

MASTER

フレンドリネットワークロボティクス

平成9年3月

DISTRIBUTION OF THIS DOCUMENT IS UNLIMITED
FOREIGN SALES PROHIBITED

NT

新エネルギー・産業技術総合開発機構
委託先 (財)国際ロボット・エフ・エー技術センター

『平成8年度先導研究フレンドリネットワークロボティクス』

財団法人 国際ロボット・エフ・エー技術センター

平成9年3月294頁

調査目的

21世紀に豊かでゆとりある充実した社会を築くために、日常生活から社会産業分野まで幅広く人の活動を支援する知能的情報機械（ロボット）のニーズが高まっている。特に人口の高齢化は、生活、仕事の両面において、ロボットによる多様な支援が求められるケースを増大させていくものである。

こうした社会ニーズに応えるために、人と協調しつつ、種々のサービスや支援行動を行えるロボットを実現する必要がある。本研究ではこのプロジェクトで具体的に追求すべき技術課題を検討する。かかる研究では、人間と同様な作業性を実現し得る可能性をもった人間型ロボットをプラットフォームした研究開発を行うことの有効性について検討を行い、これらの統合したプロジェクトフォーメーションを策定する。

DISCLAIMER

**Portions of this document may be illegible
electronic image products. Images are
produced from the best available original
document.**

目 次

目次	i
まえがき	iii
序論	v
委員名簿	vii
概要	viii
英文概要	xiv
1. 研究開発の概要	1
1. 1 研究開発の意義・目的	1
1. 2 フレンドリネットワークロボティクス	2
1. 3 プラットフォーム型研究開発の導入	3
1. 4 研究開発課題の概要	4
2. 研究開発状況	7
2. 1 当該分野に関する調査検討状況	7
2. 1. 1 人間型ロボットの研究動向	7
2. 1. 2 不整地移動技術の研究動向	7
2. 1. 3 当該技術に関する特許の動向	7
2. 1. 4 ネットワーク遠隔ロボット技術の研究動向	8
2. 2 当該分野における国内の研究開発動向	9
2. 2. 1 終了プロジェクト	9
2. 2. 2 現行プロジェクト	9
2. 3. 1 米国におけるFNR関連技術開発の現状	10
2. 3. 2 欧州におけるFNR関連技術開発の現状	13
2. 3. 3 IARPの報告	23
3. 研究開発課題	27
3. 1 概要	27
3. 2 アンドロイド型研究プラットフォーム技術	28
3. 2. 1 大人型プラットフォーム総合設計仕様	29
3. 2. 2 中人型プラットフォーム総合設計仕様	34
3. 2. 3 伝達機構	38
3. 2. 4 アクチュエータ	42
3. 2. 5 動力源	44
3. 2. 6 視覚センサ	54
3. 2. 7 聴覚	59
3. 2. 8 力触覚	61
3. 2. 9 人工皮膚	67
3. 2. 10 構造材料	68
3. 2. 11 制御方式	72
3. 2. 12 操作・操縦・ヒューマンインターフェイス	79
3. 2. 13 モジュール化	88
3. 2. 14 計算機	100

3. 2. 15	ソフトウェア	104
3. 2. 16	情報公開	109
3. 2. 17	ベンチマークテスト	111
3. 2. 18	応用	113
3. 3	人間共存型ロボット技術	118
3. 3. 1	人間共存型ロボットの定義と検討範囲	118
3. 3. 2	応用分野と技術課題の抽出	119
3. 3. 3	重要技術課題の評価とブレークスルー	154
3. 3. 4	人間型ロボットと人間共存	180
3. 3. 5	まとめ	182
3. 4	ネットワークベースロボティクス	187
3. 4. 1	はじめに	187
3. 4. 2	自律遠隔協調／通信制御融合	188
3. 4. 3	マンマシンインターフェイス	192
3. 4. 4	通信	195
3. 4. 5	ネットワークメカトロとロボティクスルーム	200
3. 4. 6	多自由度動作メディア	203
3. 4. 7	システム構築技術	206
3. 4. 8	応用システムイメージ集	208
3. 4. 9	まとめ	238
3. 5	アールキューブ技術	239
3. 5. 1	はじめに	239
3. 5. 2	アールキューブロボティクスの技術課題	241
3. 5. 3	適応分野	243
3. 5. 4	人間側インターフェイス技術	245
3. 5. 5	通信路技術	248
3. 5. 6	遠隔ロボット操作技術	250
3. 5. 7	適用分野毎の適用事例	253
4.	プロジェクト化に向けての基本構想	279
4. 1	プラットフォーム型研究方式の提案	279
4. 2	研究目標の設定	280
4. 3	予備調査	282
4. 4	プロジェクトの基本構想	284
4. 4. 1	研究目的	284
4. 4. 2	研究内容	284
4. 4. 3	研究開発推進体制	286
5.	まとめ	289
付録	ワークショップ開催報告	291

本調査研究は、工業技術院の産業科学技術研究開発制度に基づき、国家プロジェクト化を図るため、事前の予備的な調査・研究によるプロジェクトの効率的な推進を目的とする平成8年度の先導研究テーマとして、(財)国際ロボット・エフ・エー技術センターは、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)から委託を受けスタートした。

これまでのロボット開発は、生産現場での労働力不足解消のための自動化手段の獲得や過酷、危険作業から人を解放するための機能代行機械の実現を目的として行われてきた。

今後は、来る21世紀に向けて、高齢者社会に対応した高齢者の生活支援、作業支援及び災害の防止等、社会福祉の向上、更にはホーム・オートメーションの実現など、生産活動のみならず、日常生活を幅広く支える人間と共存可能なロボット開発が望まれている。

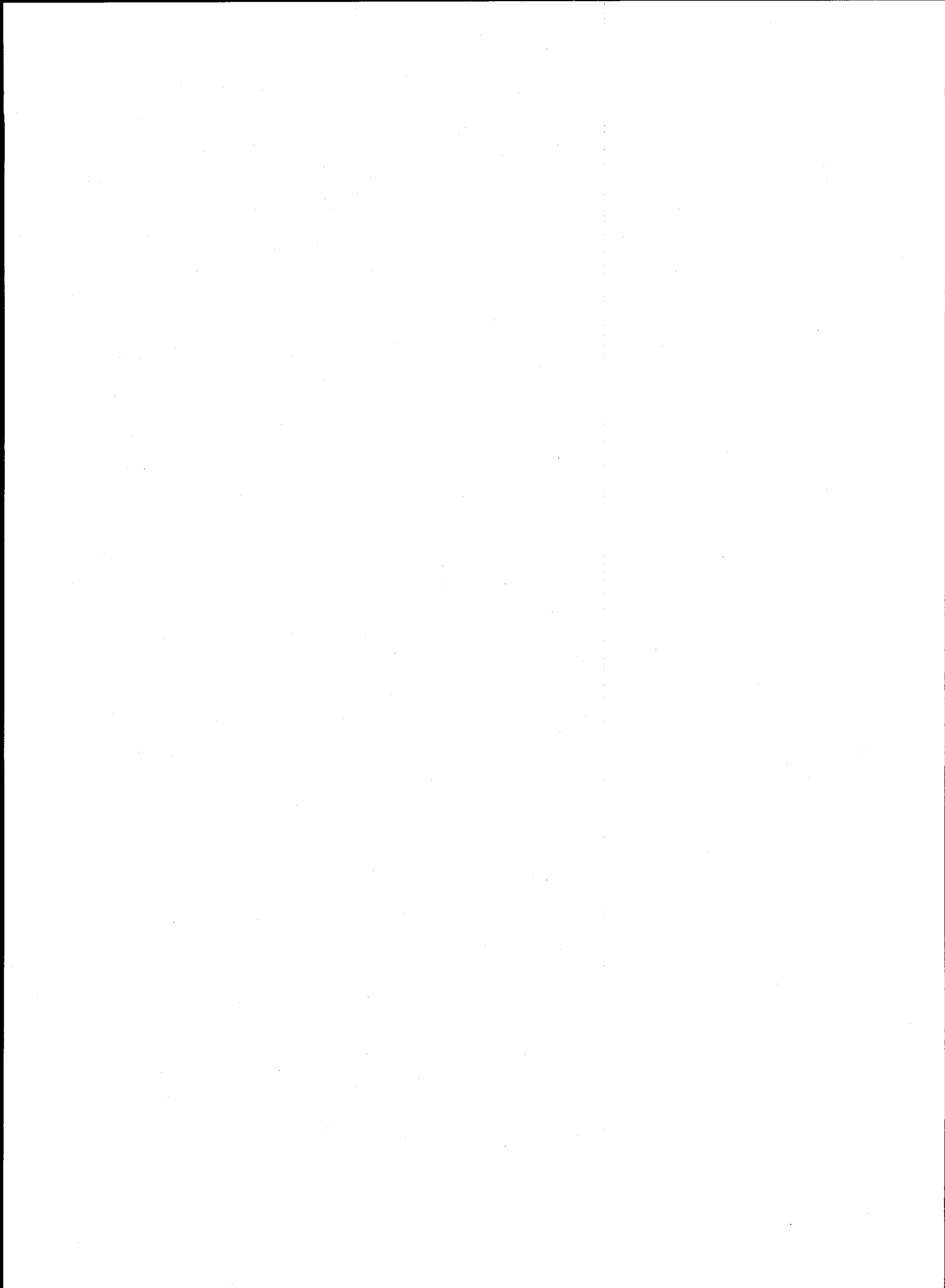
こうした人間共存環境でのロボットとしてヒューマノイド、いわゆる人間型の次世代ロボットの研究開発を推進するため、(財)国際ロボット・エフ・エー技術センター内に「フレンドリネットワークロボットプロジェクト」(委員長 梅谷陽二 豊田工業大学教授)を設置、プロジェクトの全体方針を検討するとともに、その下部組織として「プラットフォームWG」、「人間共存型ロボティクスWG」、「ネットロボティクスWG」、「アールキューブ構想WG」を設置し、技術的な検討を行った。また、本年2月7日に、「フレンドリネットワークロボティクスワークショップ」を東京で開催した。本ワークショップには200名超の研究者、技術者等の参加を得て大盛況であった。このワークショップの開催を通じて、フレンドリネットワークロボティクスの関心の高さが伺い知ることができた。

本報告書は、それらの報告も含め、フレンドリネットワークロボティクスに関する技術の体系化、技術開発課題の提言などをまとめたものである。

本調査にあたり、種々のご指導を頂いた新エネルギー・産業技術総合開発機構、通商産業省、工業技術院、機械技術研究所、電子技術総合研究所、生命工学工業技術研究所並びに委員長、主査はじめ委員各位に対し心から謝意を申し上げます。

平成9年3月

(財) 国際ロボット・エフ・エー技術センター
理事長 菊池 功



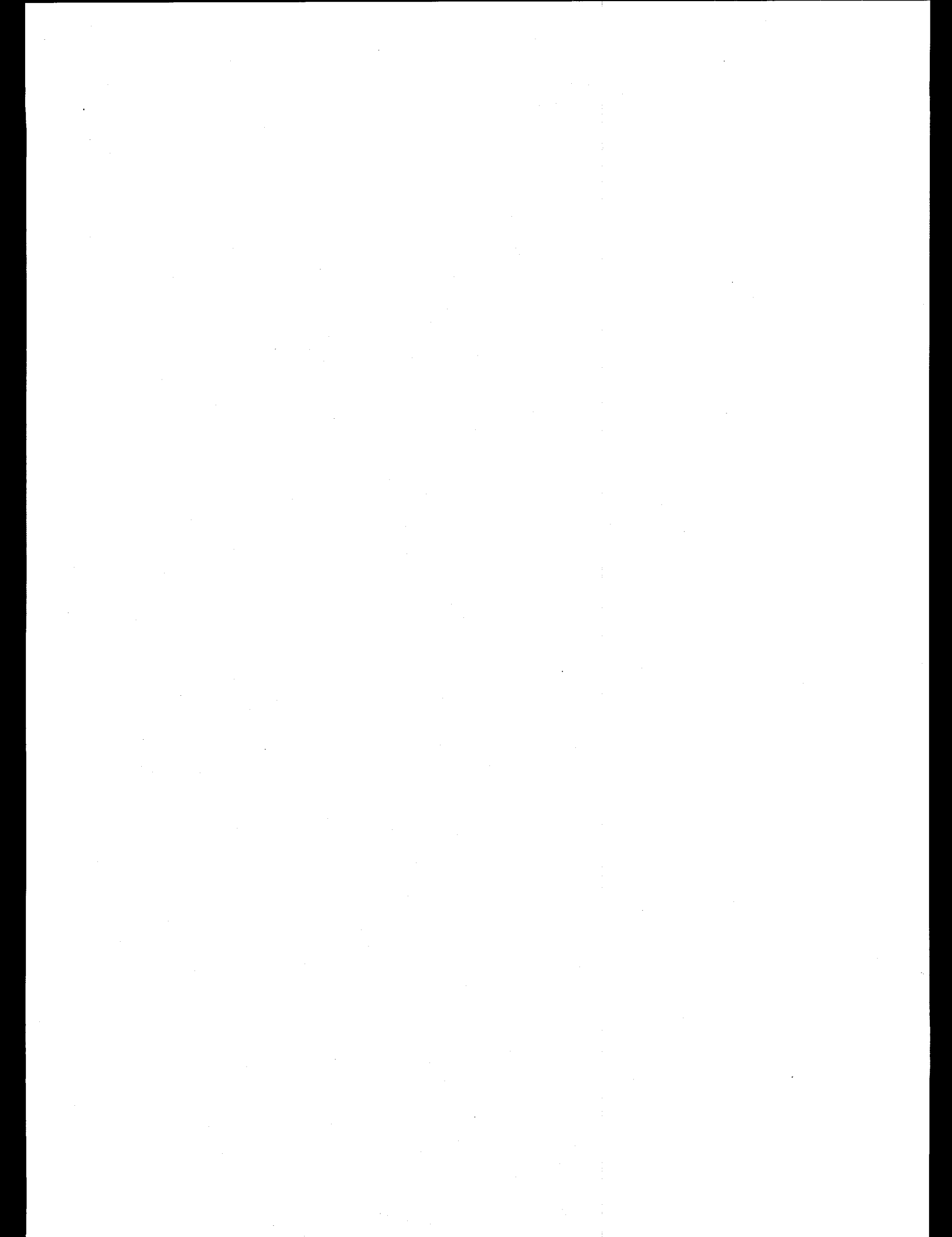
江戸時代のからくり文化の精華は、長崎のオランダ学を食欲に学んだ当時の最先端の科学者であるからくり師たちの蓄積してきた膨大な知的エネルギーが、元禄の夜明けと共に咲き乱れたものである。そして現代、これに匹敵する歴史が今まさに起きようとしている。20世紀の後半、ここ20年以上に亘って培われてきたロボット工学の膨大な知的集積が、21世紀に始まる人間-ロボット共生社会に向けて、大きく花開こうとしている。フレンドリネットワーク ロボティクス計画と称する独創的な国家プロジェクトがその役割を担おうとしている。

ロボット工学は他の工学では見られない特異な進歩をしてきた。つまり、工学の成果とその実用化との間に大きな乖離が存在していた。このことは情報関連の工学でいくつか見られる通例である。ロボット工学では、研究者の知的なフロンティア精神が産業社会のニーズを超えてシーズを創出し、そのシーズがさらに次の革新的なシーズを呼び起こすという放れ駒のごとき独走的進歩を重ねてきた。日本のみならず、これは全世界に共通の現象である。今やロボット工学の知的在庫は溢れんばかりである。

一方、これと並行して世の中は急速に変化し、製造業だけがロボットの受益者ではなくなった。産業応用よりも民生部門への適用が強く求められ、医療・福祉ロボットやホームサービスロボットなど、より人間生活に密着した共生可能なロボットが求められるようになってきた。例えば、高齢化社会に不可欠と思われる家庭内看護ロボットでは、ロボットの姿と動きは人間型が最適で、またそのロボットはインタ-ネットなどを介して治療センターとインターラクティブに結ばれていなければならない。このような例は10年以上も前からイメージされていたのであるが、ごく最近のロボット工学の知的在庫の中には、それを十分に実現するための要素技術の基本がすでにある。その第一は、遠隔地に置かれたテレグジスタンスロボットを自己の分身として活用させるアールキューブ・ロボティクス、第二は、そのインフラとしての情報ネットワークを融合させるネットワークベースト・ロボティクス、さらに第三は、永遠の夢であったがようやく実用に近づいた人間型ロボット(ヒューマノイド・ロボット)、そして第四は、それらをアシモフの3原則によって人間と共存させるための人間-ロボット共存システムのための総合技術である。

本計画は従来のそれと異なり、要素技術の積み上げと総合化によってゴールに到達するやり方を取っていない。爆発寸前の知的集積を必然的な社会の要請の中へ噴出させることに専念してい。この計画を実行することは、ロボットにおける世界のリーダー国としての責務でもあろう。

フレンドリネットワークロボティクス技術調査委員会
委員長 梅谷 陽二



フレンドリネットワークロボティクス 技術調査委員会 委員名簿

委員長	梅谷 陽二	豊田工業大学 工学部 制御情報工学科 教授
幹事	谷江 和雄	工業技術院 機械技術研究所 ロボット工学部 ハイロボティクス研究室長
幹事	平井 成興	工業技術院 電子技術総合研究所 知能システム部 自律システム研究室長
委員	井上 博允	東京大学 大学院 工学系研究科 機械情報工学専攻 教授
	舘 暲	東京大学 大学院 工学系研究科 計数工学専攻 教授
	野崎 武敏	工業技術院 機械技術研究所 ロボット工学部 部長
	築根 秀男	工業技術院 電子技術総合研究所 知能システム部 部長
	斎田 真也	工業技術院 生命工学工業技術研究所 人間情報部 部長
	木暮 賢司	N T T ヒューマンインタフェース研究所 知能ロボット部研究部 部長
	竹本 靖	(株)大林組 技術研究所 副所長
	山口 善郷	鹿島建設(株) 建設総事業本部 機械部長
	三木 修武	川崎重工業(株) 電子・制御技術開発センター 研究部 部長
	渕上 正朗	コマツ 研究本部 第四研究部長
	山岡 秀嘉	シャープ(株) 生産技術開発推進本部 精密技術開発センター
	岡部 武尚	スズキ(株) 技術研究所 取締役所長
	森田 真弘	(株)竹中工務店 技術研究所 基礎研究部 主任研究員
	辰野 恭市	(株)東芝 研究開発センタ 機械エネルギー研究所 研究主幹
	鷹巣 征行	東急建設(株) 技術研究所 メカトロ研究部長
	沖田 光	豊田工機(株) ロボットシステム部 部長
	田代 泰典	(株)ナムコ 取締役 企画事業部門担当
	石川 貢司	日本航空電子工業(株) 航機事業部 第一技術部 担当部長
	小森 康宏	(社)日本ロボット工業会 理事 事務局長
	稲田 博司	日本電気(株) 機能エレクトロニクス研究所 メカトロニクス研究部長
	藤江 正克	(株)日立製作所 機械研究所 主管研究員
	榊原 伸介	ファナック(株) 基礎技術研究所 榊原研究室長
	蟹谷 清	(株)不二越 技術開発部 ロボット開発部 部長
	内山 隆	(株)富士通研究所 Mプロジェクト部長
	荒木 純一	(株)本田技術研究所 常務取締役
	石田 徳治	ミノルタ(株) 電子情報技術部 部長
	成子 由則	三井造船(株) 技術本部 技術総括部 部長
	大道 武生	三菱重工業(株) 高砂研究所 機器・自動化装置研究室 主査
	中野 純	(株)安川電機 技術開発本部 技術管理グループ 部長
	牧内 勝哉	通商産業省 機械情報産業局 産業機械課 調査技術班長
	西村 秀隆	通商産業省 機械情報産業局 産業機械課 係長
	濱野 径雄	通商産業省 工業技術院 研究開発官 (機械・航空・宇宙担当)
	神徳 徹雄	通商産業省 工業技術院 産業科学技術研究開発室 研究開発官付
	日下 保裕	通商産業省工業技術院 産業科学技術研究開発室機械・航空・宇宙担当
	網治 登	新エネルギー・産業技術総合開発機構 応用技術開発室 主査

フレンドリネットワークロボティクス プラットフォームWG 委員名簿

主査	井上 博允	東京大学 大学院工学系研究科 機械情報工学専攻教授
幹事	新井 健生	工業技術院機械技術研究所ロボット工学部自律制御研究室研究室長
幹事	比留川博久	工業技術院電子技術総合研究所知能システム部行動知能研究室主任研究官
委員	高西 淳夫	早稲田大学理工学部機械工学科 59-308 助教授
	高瀬 國克	電気通信大学大学院情報システム学研究科第3専攻教授
	稲葉 雅幸	東京大学大学院工学系研究科機械情報工学専攻助教授
	中野 栄二	東北大学情報科学研究科システム情報科学専攻知能ロボティクス研究室 教授
	金子 真	広島大学工学部第二類教授
	荒井 裕彦	工業技術院機械技術研究所ロボット工学部ハイロボティクス研究室主任研究官
	長久保晶彦	工業技術院電子技術総合研究所知能システム部自律システム研究室
	橋本 亮一	工業技術院生命工学工業技術研究所人間情報部行動制御研究室 主任研究官
	松井 信行	鹿島建設(株)建設総事業本部機械部技術開発課担当課長
	井床 利之	川崎重工業(株)電子・制御技術開発センター研究部研究三課長
	武田 周	コマツ研究本部中央研究所第4研究部主任研究員
	辰野 恭市	(株)東芝研究開発センタ機械エネルギー研究所研究主幹
	笹原 政勝	(株)ハーモニック・ドライブ・システムズ 未来事業本部常務取締役本部長
	榊原 伸介	ファナック(株)基礎技術研究所榊原研究室長
	内山 隆	(株)富士通研究所Mプロジェクト部長
	広瀬 真人	(株)本田技術研究所和光基礎技術研究センター第2研究室室長・チーフエンジニア
	大道 武生	三菱重工業(株)高砂研究所機器・自動化装置研究室主査
	牧内 勝哉	通商産業省機械情報産業局産業機械課調査技術班長
	神徳 徹雄	通商産業省工業技術院産業科学技術研究開発室研究開発官付
	網治 登	新エネルギー・産業技術総合開発機構応用技術開発室主査

主査	野崎 武敏	工業技術院機械技術研究所ロボット工学部部長
幹事	横井 一仁	工業技術院機械技術研究所ロボット工学部感覚制御研究室主任研究官
委員	古荘 純次	大阪大学工学部電子制御機械工学科教授
	光石 衛	東京大学大学院工学研究科産業機械工学専攻助教授
	原 文雄	東京理科大学工学部機械工学科教授
	小菅 一弘	東北大学大学院工学研究科機械知能工学専攻ロボット工学講座教授
	山田 陽滋	豊田工業大学制御情報工学科助教授
	和田 充雄	北海道大学工学部システム情報工学専攻複雑系工学講座教授
	菅野 重樹	早稲田大学理工学部機械工学科助教授
	藤井 輝夫	理化学研究所生化学システム研究室研究員
	橋野 賢	工業技術院機械技術研究所ロボット工学部福祉応用研究室研究室長
	永田 和之	工業技術院電子技術総合研究所知能システム部自律システム研究室
	下条 誠	工業技術院生命工学工業技術研究所人間環境システム部 情報伝達機能研究室長
	井上 昭夫	旭化成工業㈱基礎研究所有機材料研究室室長
	水川 真	N T T ヒューマンインタフェース研究所 知能ロボット研究部 研究グループリーダー
	佐野 敬	㈱大林組 技術研究所 建築第一研究室
	奥村 勝司	㈱奥村新技術研究所 代表取締役
	佐藤 俊文	鹿島建設㈱鹿島技術研究所 第7研究部 第1研究室 主任研究員
	大築 康生	川崎重工工業㈱電子・制御技術開発センター 研究部 研究一課長
	武田 周	コマツ 建機事業本部 建機研究所 主任研究員
	上野 高敏	清水建設㈱ 技術研究所 建設技術研究部 主任研究員
	足立 吉隆	スズキ㈱ 技術研究所 第2グループ 係長
	福田 澄男	東急建設㈱技術研究所 メカトロ研究部 施工ロボット研究室 室長
	松丸 隆文	㈱東芝研究開発センタ 機械・エネルギー研究所 研究主務
	菅野 潔	日商エレクトロニクス㈱ビジュアルコミュニケーション事業部応用電子部VRグループ 専門課長
	横田 宏一	日本航空電子工業㈱航機事業部産業機器技術部主任
	根本 泰弘	㈱日立製作所機械研究所 HSプロジェクト主任研究員
	高橋 文孝	㈱本田技術研究所和光基礎技術研究センター研究管理課チーフエンジニア
	大橋 弘隆	三井造船㈱メカトロ・システム事業部プロジェクト外部課長
	川内 直人	三菱重工業㈱ 高砂研究所機器・自動化装置研究室研究員
	落合 一郎	㈱明電舎FAシステム事業部 技術部 技術第一課主査
	榊 泰輔	㈱安川電機 つくば研究所 第2グループ 係長
	佐伯 講介	㈱リコー 研究開発本部 RD企画室課長
	市瀬 和利	リコーエレメックス㈱ 新規事業開発室 課長
	西村 秀隆	通商産業省機械情報産業局 産業機械課 係長
	神徳 徹雄	通商産業省工業技術院 産業科学技術研究開発室 研究開発官付
	網治 登	新エネルギー・産業技術総合開発機構応用技術開発室 主査

フレンドリネットワークロボティクス ネットベースロボティクスWG 委員名簿

主査	築根 秀男	工業技術院 電子技術総合研究所 知能システム部 部長
幹事	平井 成興	工業技術院 電子技術総合研究所 知能システム部 自律システム研究室室長
委員	橋本 秀紀	東京大学 生産技術研究所 第3部 助教授
	溝口 博	東京大学 先端科学技術研究センター 助教授
	光石 衛	東京大学 大学院 工学系研究科 産業機械工学専攻 助教授
	小谷内範穂	工業技術院 機械技術研究所 ロボット工学部 自立制御研究室 主任研究官
	塚本 享治	工業技術院 電子技術総合研究所 情報アーキテクチャ部 分散システム研究室
	三ツ矢英司	NTT ヒューマンインタフェース研究所 知能ロボット研究部 主幹研究員
	松永 義憲	鹿島建設(株) 鹿島技術研究所 第7研究部 第2研究室長
	才木 昭義	川崎重工業(株) 電子・制御技術開発センター 研究部 部員
	柿森 伸明	シャープ(株) 生産技術開発推進本部 精密技術開発センター 主任研究員
	渡辺 淳治	スズキ(株) 技術研究所 課長
	森田 真弘	(株)竹中工務店 技術研究所 基礎研究部 主任研究員
	佐藤 務	東急建設(株) 技術研究所 メカトロ研究部 制御技術研究室 室長
	小林 広美	日商エレクトロニクス(株) 応用電子部 VRグループ
	高梨 伸彰	日本電気(株) 機能エレクトロニクス研究部 メカトロニクス研究部 研究専門課長
	菅 和俊	(株)日立製作所 機械研究所 HSプロジェクト 主任研究員
	配川 有二	(株)本田技術研究所 和光基礎技術研究センター 第2研究室 チーフエンジニア
	星島 一輝	三井造船(株) 技術本部 玉野研究所 研究員
	塩谷 成敏	三菱重工業(株) 機器・自動化装置研究室
	西村 秀隆	通商産業省 機械情報産業局 産業機械課 係長
	神徳 徹雄	通商産業省 工業技術院 産業科学技術研究開発室 研究開発官付
	網治 登	新エネルギー・産業技術総合開発機構 応用技術開発室 主査

主査	舘 暁	東京大学大学院 工学系研究科計数工学専攻教授
幹事	小森谷 清	工業技術院機械技術研究所ロボティクス部感覚制御研究室室長
委員	橋本 周司	早稲田大学工学部応用物理学科教授
	新井 民夫	東京大学大学院工学系研究科精密機械工学専攻教授
	石川 正俊	東京大学大学院工学系研究科計数工学専攻助教授
	橋本 秀紀	東京大学生産技術研究所第3部助教授
	小林 尚登	法政大学工学部電気工学科教授
	竹村 真一	東北芸術工科大学文化人類学助教授
	小山 博史	国立がんセンター中央病院第2外来部脳神経外科医員
	河口洋一郎	筑波大学芸術学系助教授
	岩本 和世	工業技術院機械技術研究所ロボティクス部ハイトテクノロジー研究室研究官
	原 功	工業技術院電子技術総合研究所知能システム部自律システム研究室
	吉野 恭司	鋼大林組技術研究所建築第一研究室副主任研究員
	白井 俊輔	鹿島建設(株)建設総事業本部機械部技術開発課課長代理
	宮本 裕一	川崎重工(株)電子・制御技術開発センター開発部開発第四課長
	森島 正明	スズキ(株)技術研究所管理・N-7係長
	小島 茂之	東急建設(株)技術本部技術研究所制御部制御技術研究室
	小山 正	豊田工業(株)東刈谷工場ロボティクス部ロボティクス設計室
	田代 泰典	(株)ナムコ取締役企画事業部門担当
	加藤 裕康	(株)日立製作所機電事業部産業情報制御システム部主任技師
	栗林 克幸	フナツク(株)基礎技術研究所樹原研究室研究員
	井辺 智吉	三菱重工(株)機器・自動化装置研究室主務
	川越 宣和	ミノルタ(株)研究開発本部電子情報技術部1課長
	牧内 勝哉	通商産業省機械情報産業局 産業機械課 調査技術班長
	神徳 徹雄	通商産業省工業技術院産業科学技術研究開発室研究開発官付
	網治 登	新エナジー・産業技術総合開発機構応用技術開発室 主査

調査実施責任者

(財)国際ロボット・エフ・エー技術センター 常務理事 大湯 孝明

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

この報告書は、先導研究「フレンドリーネットワークロボティクス」平成8年度の成果をまとめたものである。フレンドリーネットワークロボティクスは、ロボットの究極の姿である人間型ロボットを想定し、かつ、最近急速な発展をとげたネットワーク技術を活用することで新たなロボットシステムの将来像を示そうというものである。

この先導研究が人間型ロボットに着目している理由は次のようなものである。ロボットのあらたな応用分野として、これまでの工場の製造ラインや極限環境のような特殊な状況での作業にかかわって、我々が日常的に行っている活動为目标とする。そのためには、人間の日常的な行動環境のなかでそのまま利用できるようなロボットであることが要求される。その場合、人間と同じような大きさ、形、そして機能をもっていることは有力な条件であると考えられる。そのような人間型ロボットを利用することで始めて可能となる様々な応用分野の要素技術をあきらかにしようというものである。

このような目的から、この先導研究では、プラットフォーム、人間共存型ロボティクス、ネットワークベースロボティクス、アールキューブ構想、4つのWGを組織してそれぞれのトピックについて集中的な検討を行った。

プラットフォームWGは、この計画の基盤となる人間型ロボットの適切な仕様について検討を行った。目標仕様は、研究開発用のプラットフォームであって、両眼、両耳、口を備えた頭部をもち、人間と自然な対話を行うことができ、本体は自律適応制御により人間の通常の行動環境内を2脚で自律的に歩行したり、基本的な作業を行う行動知能が組み込まれたもので、さらに、高速ネットワークと接続することにより、遠隔地のコックピットから高臨場感をもって操縦することも可能とする。大きさは、身長170cm、体重70kgの大人型モデル、身長135cm、体重50kgの中人型モデルの2タイプについて仕様を策定した。

人間共存型ロボティクスWGは、このような人間型ロボットを通常の人間の活動の場において、人間と共存して利用できるようにするための鍵となる技術について検討を行い、安全技術、コミュニケーション技術、非定形作業実行技術、人間環境適合技術の4つを重要課題として指摘し、それぞれについて現状、目標、未来のステップに分けて技術内容の分析を行った。

ネットワークベースロボティクスWGは、ネットワークを応用したロボット利用システムの重要な基本技術として、共有自律、通信／プロトコル、マンマシンインタフェース、ネットワークメカトロニクス、システム化技術を指摘し、それぞれについて現状、問題点、課題、応用システム例等の検討を行った。

アールキューブ構想WGは、ネットワーク環境を利用したパーソナルなテレイグジスタンス社会の基本要素を検討し、その実現に向けて、可動カメラの段階から始めて、移動ロボット、移動作業ロボット、そして分身としてのヒューマノイドという4段階のアプローチを提唱し、それぞれの技術要素を検討した。

これらの技術調査検討を踏まえて、本報告書では、人間型ロボットを広く社会一般の中で活用できるようにする技術の研究開発プランとして、人間型ロボットをプラットフォームとして用いるという新しい形式のプロジェクト構想を提唱し、その研究目標、研究内容、研究開発体制、開発スケジュールの試案を提示している。

SUMMARY

This is the report of FY96 AIST feasibility study of Friendly Network Robotics. Friendly Network Robotics aims to create an image of the next generation robotic system which is assumed to be realized by an android robot as an ultimate robot and utilizing recent computer network technology.

The reason why this feasibility study focuses on the android is as follows. We aim introducing robots into our daily life activities as a new application field of robot other than conventional specific situations at such as production lines or hazardous environment. In order for such applications robots are requested to work in our daily environment. Having similar size, shape, and function with a human will be effective in that case. We aimed to make clear essential technological components for new application fields which will be made possible by introducing android robots.

Following the aim in the feasibility study we organized four WG, i.e., platform, human coexistent robotics, network based robotics, and R-cube plan, and conducted concentrated discussion in each WG.

Platform WG has discussed possible specification of the android robot which is a fundamental component of this plan. The target specification is a platform, to be used for research and development, constructed of head part with two eyes, two ears, and mouth, enabling natural interaction with human, body part with two legs for walking around in our ordinary environment, and two arms and behaviour intelligence to carry out fundamental tasks. In addition to these fundamental functions, by connecting high performance computer network, it will be possible to control from a remote cock-pit with high fidelity tele-existence. Supposed dimensions of the platform are, 170cm height and 70kg weight for the large size model, and 135cm and 50kg for the middle size model.

Human coexistent robotics WG discussed key issues for such an android robot to be able to work with humans in our daily environment, and pointed out four key technologies; they are safety, communication, execution of non standardized tasks, and adaptation to human environment. Current, target, and future stages of these technologies have been analysed.

Network-based robotics WG pointed out as key issues for robotic systems which incorporated network technology shared autonomy, communication/protocol, man-machine interface, network mechatronics, systematization technology, and discussed current status, problems, goals, and probable applications.

R-cube plan WG discussed basic issues of personal tele-existence society based on network environment, and proposed four-step approach to realize it as remotely controllable camera, mobile robot, mobile robot with manipulator, and then humanoid, and discussed technological components of them.

Based on these consideration, this report proposed a novel project to utilize android robots in our common social situations, which should be conducted under new system called 'platform based project' where android robots are used as platforms for research and development, and presents overall framework including research goals, research topics, project formation, project schedule.

1. 研究開発の概要

1. 研究開発の概要

1. 1 研究開発の意義・目的

21世紀を目前にして、我が国の社会はいくつかの課題を抱えている。まずその一つは人口の高齢化である。1990年の厚生省の「人口動態統計」によると、一人の女性が生涯に平均して何人の子供を産むかを示す「合計特殊出生率」は1.53で過去最低を記録した。一方、平均年齢は着実にのびており、1989年の実績で、男子75.91歳、女子81.77歳である。こうした平均年齢の延びと少子化傾向は、我が国を急速に高齢化社会へと向かわせつつある。各年齢層の人口比率の年次展開予測では、2000年前に、65歳以上の人口比率は20%、すなわち5人に一人を越え、また、14歳以下の子供の数を上回る「逆転」現象を示す時期を迎えることが指摘されている。高齢化の進展は、我々の生活において、介護を必要とする人や、介護とまではいなくても、何らかの支援を必要とする人の数を増加させ、さらには、産業の各分野においても従業者人口の減少からくる労働力不足など、いわゆる高齢化社会問題を引き起こしつつある。

こうした人口の高齢化からくる問題は、年金制度や社会福祉制度の充実など、政策で解決される側面もあるが、産業を維持し、かつ我々の豊かな生活水準を維持していくためには、科学技術の力によって問題を克服する努力も重要である。

ロボット技術は、30年ほど前から本格的な学術的研究が開始され、産業の場において、いわゆる3K作業から人を解放し、また、労働力不足を補う手段を提供する技術として注目され、製造業を中心に、強力な自動化手段を提供してきた。こうしたロボット技術は、21世紀においても、人を危険・過酷な労働から解放するとともに、労働力不足を補う技術として引き続き社会的に重要な役割を果たすものと考えられる。

しかし、従来のロボット技術は、その関心が危険・過酷な労働からの人の解放や、労働不足解消にあり、人の労働をロボットで置き換えることを主眼としてきた。一般に、ロボットは人にとって代わるものであり、人と共存して働くという点はあまり重要視されてこなかった。

21世紀の社会における高齢者対策や、広範囲の産業、ビジネス社会で想定される労働力不足は、人が生活する場で、人と共存して、人にサービスを提供し得る機械を必要としている。こうした状況下では、ロボット技術も従来のように、作業する人を代替するだけでなく、人がいる環境下でも安全に人と共存して、人にサービスを提供し得る機能を備えることが期待される。こうしたロボットの開発は、社会に新たな便宜を提供するのみならず、ロボットの大衆消費材化を促し、ロボットの市場を拡大するとともに、経済を活性化する上でも有益である。

本研究開発は以上の問題意識の基に、人が存在する空間で人にサービスを提供し得る新しいタイプのロボットに関わる要素技術、応用技術を調査研究することをめざしている。

一方、ロボット技術を考えるとき、周辺技術の進展を考慮する事は重要である。過去のロボットは、例えばマイクロプロセッサの進展でその技術が向上し、また、応用範囲も拡大した。21世紀のロボット技術も、他の技術の進展と相まって進展するものと考えられる。この点から注目されるのが、高度情報通信網の進展である。高速で、大量の情報を伝送する光ファイバ通信網の整備は、マルチメディア技術の基礎を提供するが、ロボット技術に対しても、遠隔操作技術を中心に、新しい技術と応用の世界を切り開く基礎を提供す

度情報通信網との融合は、通信網を、情報の伝送としてだけでなく、行動を伝送する手段としても活用する可能性を生み出し、21世紀の我々の生活に新たな便宜を提供すると期待される。

以上の現状分析をもとに、本研究開発では、近未来の高度情報通信網の進展を視野に入れつつ、それらの技術を活用した人間共存型ロボットの要素技術と応用技術を調査研究することを目的としている。

1. 2 フレンドリネットワークロボティクス

ロボットの研究は、学術的には、人を始めとする生物の機能を合成的立場から解明するという側面を持つ。一方において、実用面では、汎用でかつ高度な自動化機械を構築するための要素技術を提供する。実用的側面に注目し、ロボット技術は産業界でも注目され、自動化技術として研究開発が進められてきた。その結果、教示再生型ロボットを中心に、工場の生産ラインの自動化に使われ、労働力不足の解消と生産性の向上に貢献してきた。また、極限作業ロボットの研究開発に見られるように、人にとって有害でかつまた複雑な構造の環境下で、人によって作業を遂行するロボットも開発され、原子力発電プラントや高圧送電線等のメンテナンスに実際に導入されている。しかし、前節でも触れたように、これらのロボットの開発では一般に、作業空間には人が存在しないことが前提とされており、従って、ロボットは人が作業空間に立ち入らないようにするための規則を設けて使用される。

21世紀の社会は、産業の場よりも我々の生活の場でロボットを導入することが求められている。今までのロボットは、産業の場で、訓練された専門家によって使われるロボットであったが、これからは、人がいる我々の生活空間で、誰でも使えるロボットが求められる。また、そうしたロボットが開発されれば、応用の限られた従来のロボットよりもその市場は大きく広がり、ロボット産業のみならず、経済全体を活性化することにも貢献することが予測される。しかし、この状況を実現するには、そばに人がいても安全で、かつ、家電製品のように、特別に訓練を受けた人でなくても手軽に使えるロボットを開発することが不可欠である。我々が手軽に使えるロボットの実現には、ロボットの構造、形態、ヒューマンインタフェースなどに新技術が必要である。すなわち、人に親しみを与える形態を持つロボット、人が万一接触しても致命的なダメージを受けない構造を持つロボット、使いやすいインタフェースを備えたロボット.. を開発する必要がある。

また、我が国は、2010年に光ファイバを用いた高度情報通信網を整備することが計画されている。この通信網が整備され、F T T H (Fiber to Home) が実現すれば、エンドユーザーレベルでも、最大級でG b / s 級の通信が期待される。このパワフルな通信ネットワークの出現は、大量な情報の高速伝送とともに、各種機器の通信ネットワークを介した操作を可能にする。特に、機能が高い、人の四肢の動きを忠実に反映し得るロボットが接続されると、通信網を介して、人の挙動を伝送したり、また、遠く離れた所から、行動を含めて遠隔の様子を体験することなども可能になり、我々に新たな便宜を提供することになると予測される。また、通信網の発達は、情報処理の並列化をもたらし、分散知能技術、自律分散技術など、ロボットの知能化に新たな手段を提供することも予測される。すなわち、人と共存するロボットは、それが21世紀の通信網技術と結びつくことで、その

ると予測される。ロボットの遠隔操作技術は、人の行動を伝送する技術であるが、その高度情報通信網との融合は、通信網を、情報の伝送としてだけでなく、行動を伝送する手段としても活用する可能性を生み出し、21世紀の我々の生活に新たな便宜を提供すると期待される。

以上の現状分析をもとに、本研究開発では、近未来の高度情報通信網の進展を視野に入れつつ、それらの技術を活用した人間共存型ロボットの要素技術と応用技術を調査研究することを目的としている。

1. 2 フレンドリネットワークロボティクス

ロボットの研究は、学術的には、人を始めとする生物の機能を合成的立場から解明するという側面を持つ。一方において、実用面では、汎用でかつ高度な自動化機械を構築するための要素技術を提供する。実用的側面に注目し、ロボット技術は産業界でも注目され、自動化技術として研究開発が進められてきた。その結果、教示再生型ロボットを中心に、工場の生産ラインの自動化に使われ、労働力不足の解消と生産性の向上に貢献してきた。また、極限作業ロボットの研究開発に見られるように、人にとって有害でかつまた複雑な構造の環境下で、人によって作業を遂行するロボットも開発され、原子力発電プラントや高圧送電線等のメンテナンスに実際に導入されている。しかし、前節でも触れたように、これらのロボットの開発では一般に、作業空間には人が存在しないことが前提とされており、従って、ロボットは人が作業空間に立ち入らないようにするための規則を設けて使用される。

21世紀の社会は、産業の場よりも我々の生活の場でロボットを導入することが求められている。今までのロボットは、産業の場で、訓練された専門家によって使われるロボットであったが、これからは、人がいる我々の生活空間で、誰でも使えるロボットが求められる。また、そうしたロボットが開発されれば、応用の限られた従来のロボットよりもその市場は大きく広がり、ロボット産業のみならず、経済全体を活性化することにも貢献することが予測される。しかし、この状況を実現するには、そばに人がいても安全で、かつ、家電製品のように、特別に訓練を受けた人でなくても手軽に使えるロボットを開発することが不可欠である。我々が手軽に使えるロボットの実現には、ロボットの構造、形態、ヒューマンインタフェースなどに新技術が必要である。すなわち、人に親しみを与える形態を持つロボット、人が万一接触しても致命的なダメージを受けない構造を持つロボット、使いやすいインタフェースを備えたロボット.. を開発する必要がある。

また、我が国は、2010年に光ファイバを用いた高度情報通信網を整備することが計画されている。この通信網が整備され、FTTH(Fiber to Home)が実現すれば、エンドユーザーレベルでも、最大級でG b / s 級の通信が期待される。このパワフルな通信ネットワークの出現は、大量な情報の高速伝送とともに、各種機器の通信ネットワークを介した操作を可能にする。特に、機能が高い、人の四肢の動きを忠実に反映し得るロボットが接続されると、通信網を介して、人の挙動を伝送したり、また、遠く離れた所から、行動を含めて遠隔の様子を体験することなども可能になり、我々に新たな便宜を提供することになると予測される。また、通信網の発達は、情報処理の並列化をもたらし、分散知能技術、自律分散技術など、ロボットの知能化に新たな手段を提供することも予測される。す

なわち、人と共存するロボットは、それが21世紀の通信網技術と結びつくことで、その性能が向上し、様々な応用分野を持つ技術へと成長する可能性をもつ。

本研究開発は、人との共存を可能にするヒューマンフレンドリなロボット技術と、ネットワーク技術をベースにしたロボット技術の新たな可能性を追求するという2つの目標を強調すべく、“フレンドリネットワークロボティクス”と命名され、推進されることとなった。

1. 3 プラットフォーム型研究開発の導入

本研究開発では、研究開発手法に新方式“プラットフォーム型”を取り入れることを特徴の一つとしている。

従来のプロジェクト型研究は、一般に、開発目標が設定されると、その目標に到達するために解決すべき要素技術が整理され、まず、その要素技術を複数の研究グループが同時並行的に進める。そして、要素技術の成果を得た段階で、その結果を考慮して要素技術の統合化を図り、目標とするシステムを構築する。1982年から1990年度にかけて行われた工業技術院大型プロジェクト「極限作業ロボット」はこのような方式で実施された。この方式は、要素技術はバランスよく実施されるが、要素技術を統合する過程にあまり多くの研究要素が見いだせないこと、ニーズに直結する生きた要素技術の追求がしにくいなどの課題もある。

本研究開発では、「新たな技術シーズを確立し、新産業を創造する研究開発」として確実に成果を生み出すために、具体的なニーズに結びつく生きた要素技術を追求する研究方式を採用すべく、プラットフォーム型研究開発を提唱する。

この方式は、まず、現場のロボット技術や生産技術を注意深く分析した結果をベースに、現場技術で研究開発に実用可能な、新コンセプトのロボットをまず、プラットフォームとして社会に提供し、様々な分野の人の興味を刺激して、新しいニーズを発掘し、そのニーズ実現に関わるシーズを追求する形式の研究開発推進方法（プラットフォーム型）である。ここで、現場技術で研究上実現可能な新コンセプトのロボットとして人間型ロボットを想定した。

人間型ロボットに注目した背景には以下の理由がある。まず第1は、現状技術で研究上実用し得るシステムを構成することが可能と判断されること、もう一つは、ロボットの新たな応用分野として、工場の製造ラインや極限環境のような特殊環境での作業に代り、我々が日常的に行っている行動を想定するフレンドリネットワークロボットでは、人の日常的な行動環境の中でそのまま利用できる人間と相似形の人間型ロボットがベストと考えられること、である。また、研究開発戦略に関わる理由として、現状実用化されている産業用ロボットとは異なるコンセプトのロボットを提示して、産業用ロボットとは異なる新たなロボットのニーズを発掘するという点も指摘される。

ロボットの実用化の歴史を見ると、パワフルな実用技術は必ずしも、要素技術指向で生み出されてはいない。ロボット技術の世界で最も成功した実用ロボットである教示再生型ロボットは、まず、ロボット技術が社会に技術分野として認知される前の1960年始めに、その商品化第一号が米国で公表された。まず、展示会でデモが行われ、また、その基本動作が16mmフィルムに収められ、世界の関係者に公開された。その従来の機械と

は違う印象的な挙動は、多くの技術者の興味を引きつけ、特に我が国ではプロトタイプが紹介されてから2～3年の間に、100社を越える企業が類似の機種を開発商品化した。

教示再生型ロボットは、ロボットとして紹介されて以来、初期の頃は多大の期待を持って受け入れられ、様々な分野への応用が宣伝された。しかし、この時代の商品化されたロボットは、精度は1.0mmから3.0mm程度と低く、また、単純繰り返し機能を持つにすぎない機械であるから、次第にその応用範囲に限界があることが認識された。そして、過大な期待を抱いた人は、次第にロボットから離れ、機能が限られていてもそれに有用性を見いだすある特定のニーズを抱える人が新技術を付加して、ロボットの剛性、精度、速度などを改善する努力を加え、現在の溶接、塗装ロボットに見られる教示再生型ロボットの技術を確立した。こうした教示再生型ロボットの技術を確立する努力は1970年代から1980年代の中頃の間に行われた。この教示再生型ロボットの歴史に、ロボット技術におけるプラットフォーム型研究開発の一つの典型を見ることができる。最初に公開された商品はいわばプラットフォームであり、それを見た、個々のニーズを抱えるユーザ、あるいはそのユーザの意図を汲み取ったメーカーがニーズに応えるために必要な様々な要素技術を追求し、現在の、本当に使える教示再生型ロボットの技術を確立した。この技術開発の歴史は、魅力的なコンセプトの機械がまず公開されれば、それが実用上は未熟でも、様々な技術が展開されることを物語っている。

本研究開発が目指すプラットフォーム型研究開発では、まず、研究に使用する標準ハードウェアが提供され、研究推進者には、それをいかに使うかについての提案が求められる。その後、要素技術としても研究要素を含む魅力的な提案に対し、要素技術の追求が行われる。

教示再生型ロボットの研究開発の歴史では、教示再生型ロボットが日常の研究開発活動の一環として、それが世に出され、プラットフォームの役割を果たすようになった。本研究開発は、プラットフォームを政策的に世に提供し、ロボット技術の世界に変革を求めることを意図するものである。こうした方式が、成功し、意図した成果を収めるには、プラットフォームの役割を果たすものが、世の広範囲の人の関心を引きつけるものでなければならない。この条件を満たすものとして、人間型ロボットが選定された。

プラットフォーム型研究方式の大きな特徴は、要素技術が、ニーズの実現という目的意識を明確に持って追求されることである。ロボット技術に対しては、1990年代以降、一部に、研究投資の割には実用成果が少ないとの批判がある。1980年代の活発な研究投資にも関わらず、十分な実用成果が得られなかったことがこうした批判の一つの根拠である。ロボットの研究開発は依然、官学では盛んであり、また、毎年多くの国際・国内会議が開催され、研究論文の数も膨大な数に上る。しかし、実用ロボットの世界では、研究成果が反映される智能ロボットの導入台数は10%以下であり、30年来の教示再生型、簡易型ロボット主導の状況が続いている。ニーズに結びつくロボットの基礎研究開発を推進することは、今や、ロボット研究者の最重要課題の一つであり、プラットフォーム型研究開発はこうした状況を打破するものと期待される。

1. 4 研究開発課題の概要

本研究開発では、人間型ロボットをプラットフォームとして、また、未来の社会インフ

ラである高度情報通信網の整備も視野に入れつつ、人と共存できるロボット確立する上で必要な、要素技術および応用技術を調査研究する。そのために、1) 研究用人間型ロボットプラットフォーム、2) 人間共存型ロボティクス、3) ネットベースロボティクス、4) アールキューブ構想の4つの課題に分けて調査研究を推進した。各課題はWGによって検討された。各WGの検討課題の概要は以下の通りである。詳細は3章に記述されている。

1. 4. 1 研究用人間型ロボット・プラットフォーム

従来のロボット技術の現状を適格に把握し、実現可能な人間型ロボットの機能仕様を特定すること、および、電子的にも機構的にもオープンアーキテクチャな構造を備えた「研究用人間型ロボット・プラットフォーム」のハードウェア、ソフトウェアの概念設計。

1. 4. 2 人間共存型ロボティクス

人間が生活する環境下で人と共存しつつ行動する自律型あるいは遠隔操作型の人間共存型ロボットを構築するための要素技術と利用技術。自律型ロボットでは、人とロボットが多様な手段で対話あるいは協調しつつ、人にサービスを提供する技術、遠隔操作型ロボットでは、アールキューブに代表されるシステムに必要な、操作者とロボットに高度な一体感を持たせる技術、通信ネットワークを介して接続されたロボットの高臨場感遠隔操作技術、遠隔に置かれたロボットを介して複数の操作者が空間を共有し、協調的に作業する技術、人に対し好感を与えるロボット構造、人の生活空間に適合し、構造的にも安全性の高いソフトな構造を持つ自律、遠隔操作ロボットのハードウェア技術など。

1. 4. 3 ネットベースロボティクス

情報ネットワーク技術とロボット技術とを融合することにより可能となる新たなロボットシステムを構築するための要素技術、こうしたシステムにおける人とロボット、あるいはロボット同士のコミュニケーションに関わる技術、アールキューブに代表される体験型ロボットシステムを始めとする、ネットワーク融合型ロボットシステムの様々な利用技術。具体的には、人間型ロボットのような複雑な自由度と部分的な自律性を持ったロボットを遠隔から柔軟に操縦できるようにすることで、人と協調的に作業を実施するテレオートノミー、複数のロボットによる作業を遠隔制御したり、人と共同で作業を行う群ロボット、人あるいはロボットの能力・特性にあった情報交換を行う技術、物理的な電線でなく、視覚観察や力覚・触覚を通した相互作用などにより情報的に構成される仮想ネットワークに基づいた協調システム、誰でも何処からでもネットワークを介して多種多様なロボットの利用を可能にするシステム、ロボット用共通ソフトウェアをネットワークを介して相互に利用し合うことで研究開発の共通基盤としての効率的利用を図るロボット用ソフトウェアのプラットフォームなど。

1. 4. 4 アールキューブ構想

研究用人間型ロボット・プラットフォーム、および、人間共存型ロボティクス、ネットベースロボティクスに関する要素技術が開発された場合のその利用技術。高度情報通信網を前提とした、実時間遠隔操作ロボット（アールキューブ）に関わる要素技術、人間共存型・ネットベース・人間型ロボットの新応用分野の開拓など。

2. 研究開発状況

2. 研究開発状況

2. 1 当該分野に関する調査検討状況

この先導研究を開始するにあたって、学術文献を中心に、当該分野に関する研究動向の調査を行った。また、先導研究を進める過程に於ても、引き続き調査を進めた。それらをまとめて以下に示す。

2. 1. 1 人間型ロボットの研究動向

人間型ロボットに関わる研究は、2脚歩行制御、2腕制御など構成される要素の研究が個別に行われてきた。人間型ロボットとしてシステムを統合化する研究は、日本では早稲田大学のワボットプロジェクト（1970年代、1980年代）、ヒューマノイドプロジェクト（1990年～）、MITのヒューマノイドプロジェクト（1991年～）、本田技研工業のヒューマノイド研究がある。早大のワボットはシステムの統合化が行われたが、その機能は限られており、人間型ロボットとしての技術レベルは研究段階に留まる。早大、MITのヒューマノイドは歩行、腕の制御、知能化など要素研究が中心である。これまでの研究で最も完成度が高いのは本田技研工業のもので、自律安定歩行と遠隔による上肢の制御で動く約180cm、210Kgのシステムが開発されている。

2. 1. 2 不整地移動技術の研究動向

災害分野の重要課題である不整地移動技術については、階段等、室内環境の移動技術を対象とした機械技研、東工大、早稲田大（以上、日本）など、火星探査を対象とした東工大（日本）、JPL、CMU、MIT（以上、米国）、CNRS（仏国）などの研究がある。しかし、災害現場で想定される変形、陥没等のある不安定環境下での人間型ロボットの移動技術を対象としたものはない。

2. 1. 3 当該技術に関する特許の動向

人間型ロボット技術の分野は、従来、官学の研究対象として取り上げられ、産業界が実用化の対象としては取り上げてこなかった。従って、人間型ロボット技術に関わる特許そのものについては皆無である。しかし、従来公開されている特許の中には、要素技術レベルでは本研究開発に関わりをもつものも少なくない。ロボット技術全般に関わる特許は多数出願されている。例えば、日本国内では、1995年に、ハンドに関しては721件、センサ関連では3155件、移動に関するものが約3200件公開されている。また、1994年度もハンド関連889件、センサ関連3292件など、ほぼ同程度の特許が公開されている。

ハンド関連の特許では、各応用分野において、そのハンドリングする対象に応じて、種々工夫された機構に関するものが多い。また、センサ関連では、位置センサ、力センサ、トルクセンサ、距離センサ、視覚センサ、触覚センサ、加速度センサ、圧力センサ、超音波センサ、角度センサなどに関するものがある。これらのセンサもその多くは、各応用分野の用途に整合させるべく種々工夫したものであるが、触覚センサの一部に見られる分布型センサ、ハンドの機構等に関連して出願されているアクチュエータなどに関し、人間型ロボットのプラットフォーム構築の要素技術となるものがある。

一方、人間型ロボットの利用技術に関するものは、官学指向という人間型ロボットに対する従来の研究経緯から、特許出願は皆無である。人間型ロボットの利用技術は、特許の技術動向から見る限り極めて新規性が高い。

2. 1. 4 ネットワーク遠隔ロボット技術の研究動向

ネットワークを利用した遠隔作業ロボットの研究は、最近、海外においても盛んとなりつつある。米国では、カリフォルニア大学バークレイ校等でインターネットを介してロボットを利用する研究が行われている。また、ISDN回線を用いた遠隔ロボット操作実験がJPL（ジェット推進研究所）と電総研との間で95年9月に行われた。HTTP等のインターネット上のアプリケーションプロトコルを標準化する活動もMITを中心とするW³コンソーシアムによって進められている。欧州においては、フランスのLRP/CNRS、INRIA等で関連研究が進められており、96年10月にLRP/CNRSと機技研との間でISDN回線を用いたロボット操作実験が行われた。ドイツでは、DLRでVRMLを用いた遠隔操作研究が開始されている。

(2) ソフトロボティクス技術の研究動向

医療・福祉分野の重要課題であるソフトロボティクス技術については、労働省産業安全研究所や豊田工業大学、京都大学などで産業用ロボットの安全性確保の立場から、種々のセンサやフェールセーフを中心とする安全機構制御の研究が行われてきた。しかし、その基本思想は、人がロボットの作業空間に立ち入る場合には、それを検知しロボットを止める技術が基本であり、人が存在する空間で共に作業する技術はほとんど追求されていない。

(3) 対人親和技術

米国では、ディズニーランドや映画業界においてマネキンロボットを用いたアミューズメントが盛んである。これは、外見上の効果を活用した技術が中心であるが、人間型ロボットと組み合わせることで新たな応用がひらける。具体的には、特殊な合成樹脂を用いた外装技術、人間が動作を教示するために利用するモーションキャプチャ技術などが優れており、これらの技術で共同研究できる可能性がある。マネキンロボットの研究開発では、Utah大学が精力的で、同研究グループは、SARCOSというベンチャー企業を設立して、大学で開発した技術の商品化も行っている。

(4) 高臨場感インターフェース技術の研究動向

資源探査分野の重要課題である高臨場感インターフェース技術については、東大、機械技研のレイグジスタンス、MIT、NASAなどのテレプレゼンスの研究など代表的なもの他、仮想現実感を用いた遠隔操作のためのインタフェース技術の研究が、電総研、生命研、東大、筑波大（以上、日本）、CNRS（仏国）、サルフード大学（英国）などで行われているが、人間型ロボットが感じる力・触覚情報の有効な提示法は提案されていないなど、資源探査分野で用いるには不十分である。

(5) バーチャルリアリティ技術の研究動向

バーチャルリアリティ技術は、コンピュータグラフィックスやロボティクスの世界で精力的に研究されている。また、大学、国公立研究機関のみならず、企業でも精力的に研究され、商品化された成果も多い。米国ではRutgers大学、Utah大学、ワシントン大学、カーネギーメロン大学など、また企業ではEXOS、Virtual Reality Inc.、ヨーロッパでは、イタリアのScuola Superiore S. Anna、フランスのLRP/CNRSなどで特にロボットへの応用をも考慮したバーチャルリアリティの研究が行われている。

(6) 共通基盤技術の研究動向

共通基盤で開発する技術課題については、これまで産官学の研究機関で要素技術研究と

して行われてきが、個別のハードウェアを対象とした物であり、共通性・互換性に乏しく、人間型ロボットプラットフォームのための共通基盤技術としては利用できない。

2. 2 当該分野における国内の研究開発状況

産業科学技術研究開発制度の類似プロジェクトとしては、極限環境下でのロボット技術を追求した「極限作業用ロボット」プロジェクト（S58～H2）、微小な機械の製作と利用技術を迫及している「マイクロマシン」プロジェクト（H4～H12）、人間主導型のマルチメディア技術を追求する「ヒューマンメディア」プロジェクト（H8～H17）が挙げられる。

2. 2. 1 終了プロジェクト

(1) 極限作業用ロボットプロジェクト

このプロジェクトでは、人間にとって極めて危険な環境や厳しい環境下、つまり無人環境下で作業を実行できるロボットシステムを開発した。そこで研究開発された技術は、極限環境下に適した技術であり、例えば移動技術では、4足、6足、スクリーを用いた移動方式が確立された。一方、本研究開発では、人間共存環境下で、人と協調して作業を行うロボット技術の確立を目的としており、研究開発される技術は、人間共存環境下に適した技術、例えば移動技術では2足歩行技術であり、技術内容が大きく異なる。

2. 2. 2 現行プロジェクト

(1) マイクロマシンプロジェクト

マイクロマシンプロジェクトは、発電プラント等の複雑な機器及び生体内の狭小な空間等において、自律的な作業を行うことのできる微小機能要素から構成される機械「マイクロマシン」の技術を確立することをめざして研究開発を行っているものである。具体的な応用目標としては、発電施設用高機能メンテナンスシステムの研究開発、医療応用マイクロマシンの研究開発、マイクロファクトリ技術の研究開発の3つが推進されている。いずれのトピックにおいても、単機能型の機械が中心である。小型ロボットの開発も一部には含まれているが、限定的な自律機能でしかも大きさ、形態の面では人間型とは全く異なるものを目標としている。

(2) ヒューマンメディアプロジェクト

ヒューマンメディアプロジェクトは、情報機器・ネットワーク・機械など広義の情報システムと人間との間で、人間の視点にたって情報を処理するための基盤技術を確立することを目標としている。具体的な研究開発の内容としては、柔軟なマルチメディア知識表現を提供する知識メディア技術、現実世界の仮想化や抽象概念を具象化する仮想メディア技術、人間の主観的・感性的な特性を反映した情報処理を行う感性メディア技術の観点から、人間主導型のマルチメディア利用技術の構築を目指し、具体的な実問題を対象とした研究開発を行っている。一方、本研究開発が対象としているは、実世界との物理的相互作用を伴う行動である。行動を取り扱うために、実体のある機械としての人間型ロボットが必須であるところが本プロジェクトの特徴である。

2. 3. 1 米国におけるFNR関連技術開発の現状

本先導研究の準備の一環として1995年11月に行った、米国、カナダのロボット関連の有力研究機関の調査を基に、関連技術の現状を述べる。調査では、米国については、ユタ大学、カーネギーメロン大学、マサチューセッツ工科大学、ジェット推進研究所の四カ所、カナダについては、マクギル大学、クイーンズ大学を訪問した。

調査は、ロボットと人を含む外界との柔軟な物理的接触を保障するソフトロボティクス、実時間でセンサ情報や環境モデルを獲得し行動ベースで（多数のセンサ情報を行動と結合して同時並列に動作させることにより）制御を行う技術、人やロボット等の他者とロボットが相互に協調する制御技術、ロボットと人が相互に意図を伝えあう意図伝達技術、作業を行う実環境を仮想空間として再構成し人に提示する技術、ネットワークを用いて智能機械要素を結合することにより智能複合体を構成する分散智能技術、等の観点から進めた。以下その概要を示す。

(1) ユタ大学

コンピュータサイエンス学科のロボット研究グループでは、エンタテインメント・ロボット、仮想現実感、遠隔制御技術、センサフュージョン、多指ハンドなどに関する研究を行っている。

中でも、サルコス社と共同開発したエンタテインメント用の人間型ロボットが注目される。全体は足底が床に固定されており、頭、首、腕、手、胴体、腰、足から成る全身の自由度が、主として油圧によって駆動される。大人とほぼ同じ大きさのロボットは、多くの自由度と高速運動性能により、極めて人に近いリアルな動きを実現している。運動の生成方法はまだ手作業に頼る段階であるが、人とロボットのコミュニケーションおよびロボットの新たな応用という点で興味深い。また、仮想空間構成技術として対象物の手触りまでも伝送、再現しようとする触覚情報提示技術の重要性を指摘している。

(2) カーネギーメロン大学

ロボティクス研究所では、人間の行動理解、ネットワークを介した移動ロボットとのコミュニケーション、実環境からの仮想空間の構築技術、実時間ステレオビジョン、屋外移動ロボット機構、宇宙用ロボットなどの多彩な研究を行っている。

三次元視覚情報処理に基づく、ロボットと人の高度なコミュニケーションを目指す研究が一つの柱となっている。コンピュータが人の行う組立作業をテレビカメラを用いて観察してその操作内容を理解し、ロボットが同じ組立作業を行うことができる。仮想空間を迅速かつ容易に構築するため、レンジファインダによって建物内部の三次元モデルを獲得する研究、ドーム状に配置した数十台のテレビカメラを用いて人の高速動作を大量に撮影し、三次元画像として構成する研究が行われている。また、視覚等の各種センサを備え、室内や廊下を障害物を回避しつつ移動するロボットがネットワークに接続されて動いている。移動場所等の指示はロボットに搭載したテレビカメラの画像を見ながら人がワークステーション上で行うが、インターネットを介して可能となっている。

(3) マサチューセッツ工科大学

人工知能研究所では、行動ベース制御、人間型ロボットであるヒューマノイド、火星探査用移動ロボット、ハンドアイシステム、仮想現実感、力覚情報提示装置、インテリジェントルーム、視覚情報処理とそのチップ化、歩行ロボットなどの研究を行っている。

行動ベース制御を提唱し、人工知能指向のヒューマノイド研究を行っている。ヒューマノイドは、頭、首、胴体、腰から成る上半身および腕が開発されており、音源の位置を同定するための耳の研究も行われている。ヒューマノイドのための行動ベースの制御系として専用ボードを設計し並列処理を可能としている。ハンドアイシステムの研究では、飛翔物体のキャッチを題材として、軽量で高速動作の可能なアームによる適応・学習制御法を開発している。部屋という空間に知能を与え、人が自然な振舞いによってコンピュータとコミュニケーションしようとするインテリジェントルームの研究も行われている。手などの人の動きをテレビカメラによって追従して、その指示内容を理解し機器を操作することができる。また、ペンタイプの力覚情報提示装置が開発されており、外科手術の訓練等の応用が考えられている。視覚情報処理の方面ではアナログ画像処理チップ、実時間ステレオビジョンなど、応用を意識した研究が行われている。歩行ロボットではゴキブリ、七面鳥、恐竜等、生物の動きをまねた機構の研究が行われている。

(4) マクギル大学

知能機械研究センターでは、アーム機構、アクチュエータ、力覚情報提示装置、視覚情報処理、物体形状モデルの自動生成、移動ロボットの自律走行等の研究を行っている。

ロボットの要素技術が特に充実している。パラレル機構、冗長性のある機構を用いたアームや形状記憶合金を用いたアクチュエータなど、ユニークな操作機構の研究が行われている。また、コンピュータビジョンの面では、特徴抽出からモデルの獲得に至るまで幅広い研究がなされている。パンダグラフ機構を用いた力覚情報提示機能をもった一種のマウスが開発されている。さらに、レーザレンジファインダをアームに取り付けて多数の位置から物体を観測することにより、物体の正確なモデルを次第に獲得していくシステムが開発されている。高速の距離認識装置と超音波センサを備えた移動ロボットを用いて、室内環境認識と経路計画の機能の統合を研究している。

(5) クイーンズ大学

ロボット関連研究グループでは、触覚認識の心理、触覚情報処理、遠隔制御技術、外科手術ロボット、センサフュージョン、ニューラルネット応用等の研究を行っている。

このグループの特徴は心理学系と工学系の協力が密接なことであり、人の特性をベースにした研究が可能となっている。特に、触覚については高い研究水準にあり、人の認識構造や遠隔操作のため触覚再現法の研究が行われている。また、ロボットによる膝の人工骨の手術を対象として、骨の計測技術や手術者に対する可視化技術、力覚の伝達技術等を研究している。視覚の面では、仮想現実感における人の認識課程の研究を行っている。

(6) ジェット推進研究所

ロボット研究グループでは、宇宙ロボットの遠隔制御技術、マイクロ手術ロボット、火

星探査用移動ロボットなどの研究を行っている。

NASAの研究機関であるため、宇宙関連のテーマが主であるが広く波及効果を意識した研究を行っている。宇宙用機器の宇宙構造物への組付作業を自動化するため、二本の宇宙用アームを開発して、そのセンサ情報処理、作業の自動計画、モデルと実環境の整合技術、遠隔制御技術について研究している。また、遠隔制御という観点からマイクロ手術の研究も行っており、ワイヤ駆動のマスタスレーブシステムが開発されている。火星探査用の移動ロボットはレーザスリット光による障害物検知機能を持ち、行動ベースで制御される。

以上の調査結果をみると、フレンドリネットワークロボティクスの重要要素技術である「バーチャルリアリティ技術」、「ネットワーク関連技術」、「対人親和技術」の3つの技術分野で、特に米国、カナダの研究機関においても関心が持たれ、アクテブに研究が進められている。

バーチャルリアリティ技術では、アミューズメントロボット等との関連でユタ大学、医療福祉ロボットやホームサービスロボット関連で、カネーギメロン大学で研究がアクテブに行われている。

ネットワーク関連技術では、1995年9月にISDN回線を用いた先駆的研究が、電子技術総合研究所とジェット推進研究所の間で行われている。さらに、HTTP等のインターネット上のアプリケーションプロトコルを標準化する活動を進めているWWWコンソーシアムの中心的役割を担っているマサチューセッツ工科大学の研究も注目される。

対人親和技術では、ユタ大学や、同研究グループが設立したサルコス社が、技術的に本調査研究と共通する領域を追求しており、今後国際協力などを行う場合には有力な候補となる。

また、今回の調査では、訪問対象としなかった米国の研究機関の中にも、優れた関連研究を行っている機関がある。

バーチャルリアリティ技術では、ラトガース大学、ワシントン大学など、また企業ではEXOS、Virtual Reality社などで、ロボットへの応用をも考慮したバーチャルリアリティの研究が行われている。特に、ラトガース大学では、本研究開発課題との関連も強い医療福祉ロボットやホームサービスロボットへの応用研究が行われている。

ネットワーク関連技術では、カリフォルニア大学バークレイ校等でのインターネットを介してロボットを利用する研究が注目される。

対人親和技術では、ディズニーランドや映画業界においてマネキンロボットを用いたアミューズメントが盛んである。これは、外見上の効果を活用した技術が中心であるが、人間型ロボットと組み合わせることで新たな応用がひらける可能性がある。特殊な合成樹脂を用いた外装技術、人間が動作を教示するために利用するモーションキャプチャ技術などは、かなり進展しているとみられ、人間共存型ロボットの要素技術として注目すべきものがある。

2. 3. 2 欧州における FNR 関連技術開発の現状

欧州における FNR 関連の研究開発動向調査として 1996 年 1 月 28 日より 2 月 7 日までの研究機関等の訪問、および 1996 年 10 月 2 日より 10 月 11 日までの研究機関の訪問について述べる。第 1 の訪問では EU (European Commission)、ドイツ航空宇宙研究所 (DLR)、ピサ大学、Scuola Superiore Sant Anna、ミラノ工科大学の 5 機関、第 2 の訪問ではカールスルーエ大学、カールスルーエ研究センター、Katholieke Universiteit Leuven、University of Twente の 4 機関を訪問している。

(1) EU (European Commission, ベルギー)

対応者 : Dr. Egidio Ballabio (DG XIII テレコミュニケーション、情報関係の Division Head)

Mr. Frank Greco, Ms. Rosalyn Moran (課員)

Mr. Yves Dussart (対外経済関係総局日本課)

Mr. Ruprecht Niepold (ドイツ政府からの出向、日本担当、研究者として電総研滞在した経験を持つ)

訪問では、まず、当方より工技院の概要、研究開発制度等を紹介した後、Ballabio 氏より EU で進めている研究開発プログラムとして TIDE (Technology Initiative for Disabled and Elderly People) についてその概要、及び進行状況について説明を受け、質疑を行った。

EU における研究開発活動はフレームワーク研究開発計画にもとづいて国際共同研究支援活動を行うもので、EUREKA、COST などの計画が知られているが、TIDE もこの一環である。この計画はタイトルにもあるように、身障者や高齢者の自律や生活支援を行うための技術の研究開発であり、その中にはロボット技術も含まれている。1991 年に 70 のプロポーザルから 21 件が選択され、パイロットフェーズが開始された。引き続き 1994 年からブリッジフェーズとして 55 のプロジェクトが開始されている。現在、これに続く研究開発テーマの募集が行われている。このブリッジフェーズのプロジェクトは 1. Access to Technology and Related Services, 2. Life at Home and Remote Care, 3. Mobility and Transport, 4. Control and Manipulation, 5. Restoration and Enhancement of Function, 6. User and Market Issues の 5 つにグルーピングされており、これらの研究計画の中でロボット関連の主なものは以下のとおりである。

MOVAID	多機能ロボットシステムによる支援
ERI-RAID	ロボットワークステーションの評価と改善
SENARIO	先進的車椅子のナビゲーション
OMNI	知能的車椅子
FOCUS	制御通信システムのインタフェースの標準化

研究開発の実施は基本的に EU 諸国の大学、企業、研究機関によって行われ、予算の 50% は EU より、残りは手持ち資金を用いることとなっている。なお、ブリッジフェーズの EU の予算は 42,000,000 ECU となっている。

(2) German Aerospace Research Establishment (DLR, ドイツ航空宇宙研究所)

対応者: Prof. Dr. Gerd Hirzinger (ロボティクス, システムダイナミクスの
研究グループのリーダー)

Dr. Klaus Arbter (ロボットグループの研究者)

ドイツ航空宇宙研究所 (DLR) は航空・宇宙・エネルギー関係の研究開発を推進する国立研究機関でドイツ国内、Berlin、Braunschweig、Gottingen、Köln-Porz、Lampoldshausen、Stuttgart、Oberpfaffenhofen の 7 カ所に研究センターがあり、約 4000 名の職員を有している。今回はこの中でミュンヘン郊外 (市の中心より西南西約 20km) にある Oberpfaffenhofen の研究センターを訪問した。この研究機関は 5 部からなり、そのうち、Robotics & System Dynamics 部を訪問した。ゲートにおいてパスポートの提出を求められ、研究室まで案内が付いたのが印象的であった。

まず、Dr. Arbter から部の概要の説明、及び研究室で各研究の紹介を受けた。Robotics & System Dynamics 部は Dr. Hilzinger がリーダーで 50-60 人の所員がロボット関連の研究開発に携わっており、年間予算は約 7,000,000 DM との説明を受けた。部の研究テーマは大きく、1. Mechatronics、Sensor & Actuator、2. Tele-robotics、3. Learning、4. Vision の 4 つに分かれている。

研究室の見学では前者 2 つのテーマの研究の紹介を受けた。センサでは力センサの開発に力を入れており、歪ゲージタイプ、及びレーザと PSD を組み合わせた 2 つのタイプの開発を行っている。歪ゲージを用いたものは手首の力トルク情報を得るものから、計算機への 3 次元情報の入力用の 3 次元マウス (Space Mouse) を開発し、3 次元マウスはヨーロッパで数千台実用されているとのことであった。ボールスクリュウをアクチュエータとした人間サイズのコンパクトな 3 本指はまだ動かすところまでいっていないようであったが、ハードウェア的にはコンパクトに設計され、なかなかきれいに加工されていた。この指に用いられているアクチュエータはセンサと組み合わせ、ソフトウェアによるダンピング制御や剛性制御によってロボットをはじめとする各種メカトロニクス機器の駆動に利用することを考えている。

宇宙ロボット関連では 1993 年にスペースシャトル Columbia で実験を行った ROTEX (Space Robot technology Experiment) の地上シミュレータの説明を受けた。このシミュレータには環境、及びロボットの 3 次元モデルが内蔵され、かなりマクロなロボットの動作がプログラム化されており、オペレータがメニューから対象とするものと動作を選択することで対象物の把持、移動、組付けなどが実現されることが示された。見学の当日はデモを見ることはできなかったが、モデルに対応した実環境とロボットマニピュレータが用意されており、シミュレータと同じように計算機を介して操作できるとの説明であった。宇宙用遠隔制御のためのマスタマニピュレータとしては、トルク重量比が大きく高減速比のギアを組み合わせたアクチュエータを各関節に配置した軽量 7 自由度アームの開発を進

めている。これは自重 7-8kg に対してペイロード 13kg と従来にない特徴をもったものである。ハードウェア的には完成したところで、まだ振動がとれない状態とのことであった。

以上の見学を行ったあと、Dr. Hilzinger に訪問の目的を説明し、質疑を行った。政府の推進する研究開発の方向については、この研究グループのこれまでの実績に対する評価が高く、研究方向は自ら定めると自信を持っていた。日本と比較についてはマイクロロボットや歩行機械、ヒューマノイドなどは日本が進んであり、日本が遅れている分野については外交辞令かはっきりした答えは得られなかった。今後重要視している研究として 3 次元グラフィクスを強調していたのが印象的であった。

研究内容ではないが、DLR では機械部品の設計・加工や電気・電子回路の設計・製作のためのテクニシャンをそれぞれ数人、研究グループとともにもっており、また見学した設計室やマシンショップなども整っているのが研究推進上の大きな特長であると感じた。

(3) ピサ大学 (イタリア)

対応者 : Dr. A. Bicchi (講師, ロボット研究グループのリーダーのひとり)

Prof. Giuseppe Casalino (Universita di Genova かつて、ピサ大学のロボット研究グループのメンバーであったが 1 年前に移動)

ピサ大学は 650 年の歴史を持つ国立大学で、イタリア国内でレベルの高い大学の一つである。大学としてのキャンパスは特になくピサの町でも城壁に囲まれた古い市街地の建物に教室や研究室が分散している。しかし、工学部は城壁の少し外の市街地のかなり大きな建物にまとまっている。人口 10 万人のピサの町で学生数が 4.5 万人、スタッフが 2000 人、博士課程の学生数が 500 人とピサは大学の町といえる。

ピサ大学におけるロボット研究は大学内の Centro "E. Piaggio" と呼ばれる研究所で進められている。学科としては Robotics & Bio-engineering と Electrical System and Automation の 2 つにまたがっている。ロボット研究グループの規模は専任のスタッフが 4 人、一部関与しているものが 3-4 人で、15 年前ほどから研究を開始し、12 年前に現在のリーダーともいえる Dr. Bicchi が加わったとのことである。研究予算は政府からのものが減少しており、その分 EU からのものが増加しているとの説明があった。工業界からの資金も減少しているようである。

研究としては入力自由度数に対して出力自由度数が多い、いわゆるノンホロノミックな系をうまく制御する方法を、把持物体の把持制御やボール型移動ロボットなどのハードウェアをもとに検討している。また、外科手術用の穿孔器の先端の位置や受ける力をビジュアルに表示するシステムの研究開発を行っていた。将来はより自然なハプティクスディスプレイに発展させる予定とのことである。他に移動ロボットによる環境認識、そのための採取情報量を最大にする経路計画に関する研究、ネットワークを利用したパスプランニングの比較システムの紹介を受けた。こうしたロボット関連の研究に携わる大学院学生数は約 15 人でそのうち半数以上は博士課程在籍者及び博士号を取得したものとなっていた、なお、学部学生は 30 人である。

(4) Scuola Superiore Sant Anna (イタリア)

対応者：Prof. Paolo Dario (医用ロボットとメカトロニクス研究の教授)

Scuola Superiore Sant Anna は 1987 年に設立された一種の大学院大学といった性格の公立大学で、研究者や大学のスタッフの育成のための、主に博士課程の教育と研究を行っている。学生数は 180 人、博士課程の学生は 90 人、教授は 20 名である。組織は、Social Sciences と Experimental and Applied Science の 2 つの学部に分かれており、ロボティクス関連の研究は後者の中で進められている。

本訪問ではロボット関連の研究でリーダである Prof. Dario にまず、工業技術院での研究開発、及びヒューマンフレンドリーネットワークロボティクスプロジェクトの概要について資料を用いて説明し、質疑を行った。ヨーロッパは保守的な面があり、機械工学でいえばメカトロニクスが、まだ新しいコンセプトであるとの話があった。ヨーロッパにおいて理論的な論文が多いのは理論的なものが重視されているからであり、一方産業界ではあまり公表しないからではないかとの指摘がなされた。日本の研究開発の優れる点に関する質問については、ハードウェアの質がよく、かつては創造性が劣っていると思われたが、最近はヨーロッパよりも勝っているのではないかと考えているとの答えであった。重要と考えている研究テーマとしてはマイクロメカトロニクス、メディカルメカトロニクス、環境問題関連の研究が挙げられた。

研究室の見学では以下のような様々な研究の紹介がなされた。

ホームオートメーションや身障者の支援のためのマニピュレーションとしてカメラ画像から対象物を選んで指示することにより、対象物をマニピュレータでつかみ上げるデモが行われた。各技術については目新らしさは感じられなかったが、実用化に向けて地道にシステムを構成している姿勢が感じられた。また、移動ロボットにマニピュレータを搭載したシステムも同様の目的で開発されており、プロジェクトの成果発表を目指して研究を加速していた。これらのマニピュレータには人間に近い把持動作が行える人間型ハンドを開発し、利用していた。

人間の網膜の視覚細胞のように中心が高分解能な視覚センサを用いたコミュニケーションシステムの研究が進められていた。センサ自身はジェノバ大学によって開発されたものと紹介されたが、このセンサを内蔵したカメラを雲台の上に乗せ、人間の顔をトラッキングして表情に重要な中心部分を高分解能な画像として伝送し、モニタするシステムである。このセンサで得られた情報を画像情報処理することはまだ考えておらず、通信容量の制約のもとで重要なところをより詳細にという試みではあるが、興味深いものであった。

マイクロシステム関連の研究では SMA を利用したミニロボット、マイクロケミカルセンサ、マイクロインタフェイスなどの研究が進められていた。中でもマイクロインタフェイスの研究は神経細胞から信号を取り出すために一旦神経繊維を切り、微小な穴を開けた電極を介して両端を配置して細胞が成長して繋がるのを待つというものでエンジニアリングとメディカルとが一体となった研究であった。

(5) ミラノ工科大学 (イタリア)

対応者： Prof. Alberto Rovetta (機械工学科教授，テレロボティクス研究グループ
のリーダー)

Dr. Arianna Togni (ポスドク)

ミラノ工科大学はミラノの市街地中心から東北部に位置する国立大学で、学生数5万人、内、工学が3万人、建築が2万人といった規模の大学である。

訪問では古くからロボットの研究を進めてきている Prof. Alberto Rovetta を訪ねた。Prof. Rovetta の研究室のスタッフ、及び大学院生の同席のもと、始めに近藤開発官が工業技術院における研究開発、機械・航空・宇宙分野の研究の動向についての分析、及びマイクロマシンプロジェクトなどの概要を紹介し、次いで先導研究のより詳細な紹介を行った(小森谷)。質疑では先導研究のサブテーマのひとつであるソフトロボティクスの具体的なイメージやマイクロマシンで研究開発されているアクチュエータやセンサが入手可能かなどの質問がなされた。また、ホームロボットなどは早大の故加藤教授などによってかなり前に提案もされているが実現するのは困難ではないか、また、10年程度で適用できる分野はどんなところかなどの指摘や質問がなされた。

近未来に重要と考えている研究分野についてはテレロボットやテレサージェリーとの回答で、研究室ではこうしたロボットのための設計、VRの利用、そして安全性を重視したいとのことであった。研究開発における日本の優れる点に関しては技術レベルが高く、チームワークのよいこと、よいハードウェアの入手が容易であることなどの回答を得た。日本に優れる点としては創造性を考えているようであった。

研究室の見学では事前に現在、従来のロボットの研究からは手を引いていると説明されたように、かなり古いマニピュレータや3本指ハンドぐらいしかロボットのハードウェアがなく、これらは教育用に使用しているとの説明を受けた。最近では医療に結び付いたロボティクスとしてテレサージェリーに力を入れており、通信回線結んで遠隔地に指令を送ったり、遠隔地の医用画像データを表示するシステムが紹介された。研究室の見学の後、リモートの手術のデモを見るため大学から少し離れた共同研究を行っている病院の研究室を訪問した。ここでは患者の生検をテレオペレーションで行うシミュレーションを見学した。システムはまず、超音波断層装置のプロープに取り付けた赤外線発光ダイオードによってプロープの位置をマニピュレータ座標系で更正する。得られた超音波断層像を大学の研究室に転送してその画像をオペレータが見て、必要なターゲットを選択し、病院のマニピュレータにターゲットを刺すように指令を送ってマニピュレーションによる生検を実行するシステムである。マニピュレータには日本製の小型産業用スカラロボットが使用されていたが、システムの信頼性を確信しているのかマニピュレータの可動範囲への人体の侵入はあまり気にしてはいなかった。

このようなテレオペレーションに関しては1993年にミラノとJPL間での実験、また、ミラノローマ間でも生検のシミュレーション実験を行っているなどかなりの経験を有しているため自信を持っているようであった。

(6) カールスルーエ大学 (Universität Karlsruhe, ドイツ)

対応者: Prof. U. Rembold (計算機科学部の教授, 実時間計算機システム, ロボティクス研究所のリーダー)

Prof. R. Dillman (計算機科学部の教授, 実時間計算機システム, ロボティクス研究所のメンバー)

カールスルーエ大学はかつて工科系の大学として著名であったが、人文系などの学部を加え、現在は総合大学となっている。大学はカールスルーエの街の北西に市街地に接して位置している。カールスルーエ大学では計算機学部の実時間計算機システム・ロボティクス研究所を訪問した。この研究グループは本年で 21 年目を迎え、これまで生産システムへの計算機の実時間制御の利用を中心として研究を進めてきている。現在は生産システムやロボットの知能化に関して、ロボット言語、データベース、センサ、ロボットハンド、制御システム、マンマシンインタフェースから CIM まで広く研究を展開している。研究グループのメンバーは約 30 名、最大時で約 45 名、研究スペースとしては地下 1 階、地上 2 階の建物をほぼひとつ使用しており、実験装置の配置からかなりの余裕が感じられた。

訪問ではまず、始めに Prof. Rembold より研究グループの全般的な説明、現在進行中の研究テーマに関する説明があった。その後、次のような研究に関して研究を実施している大学院生などから説明を受けた。研究テーマとしては(1) 冗長マニピュレータ、(2) 自律移動ロボット(KAMARO)、(3) 3本指ロボットハンド、(4) 移動ロボットによるマイクロマニピュレーション、(5) MRI 画像とモデルとのマッチング、(6) レーザレンジセンサによる環境認識、(7) 6足歩行機械、(8) ロボットシミュレータと遠隔制御、(9) マルチモーダルインタフェース、(10) 運動感覚フィードバック用パラレルリンク機構である。全体として実験装置もきれいに作られており、計算機に構成されているシミュレータも非常によくできているように見えた。研究としての新規性とともにより実際に使えるものにしていくことの姿勢が強いものと思われた。特に、マイクロマシン技術に関連の深い、(4)のマイクロマニピュレーションはピエゾアクチュエータによって微少駆動される3本の足で支持される微小移動ロボットがテーブル上を微小移動しながらマイクロマニピュレーションする新しい方式のもので興味深かった。

カールスルーエ大学では、ソフトウェアの蓄積による高機能の使いやすいインタフェースを持ったシミュレータが多用されており、計算機ソフトウェアの蓄積の重要性がこれからの研究の展開にあたって非常に重要であることを再認識できた。

(7) カールスルーエ研究センター (Forschungszentrum Karlsruhe, ドイツ)

対応者 : Dr. Udo Voges (応用情報研究所のリーダー)

Dr. Bernd Kohler, Dr. Ulrich Gengenbach (応用情報研究所のメンバー)

Dr. Olaf Wollersheim (マイクロ技術研究所のメンバー)

非営利 (国立) 研究所で核分裂技術を中心とする原子力関係の研究が主体であったため、カールスルーエ原子力研究センターと呼ばれていたが、核分裂関係の研究の割合の低下によって2年前にその名称から原子力を外し、現在はカールスルーエ研究センターと呼ばれている。研究所はカールスルーエの北方約 12km の所に位置している。1956 年の設立で今年の夏に 40 周年記念行事が行われている。現在の研究分野は核分裂 (15%)、核融合 (20%)、環境 (30%)、エネルギー (30%)、基礎 (5%) の割合である。職員は 4000 名で、研究者が約 1200 名、教授約 60 名、約 200 名の博士課程の学生、さらに国内外からの客員が約 500 名となっている。予算は約 5.2 億ドイツマルクである。外部からの予算では、10% が州政府、90% が連邦政府からくるとの説明を受けた。

本訪問ではまず、応用情報研究所のリーダーである Dr. Udo Voges より FZK の概要、およびロボティクスとマイクロ技術関係の研究の概略の説明を受けた。応用情報研究所は 5 グループからなり、各グループ約 15-20 名の研究者で、全体でおよそ 100 名の研究者といった規模である。取り扱う分野は環境と計算機科学、制御とコミュニケーション、ロボティクス、マイクロシステムなどの分野である。

見学では遠隔マニピュレータによる手術システムの紹介を始めに受けた。このシステムはこれまで原子力関係で行ってきたマニピュレータの遠隔制御を手術に拡張したもので、腹腔内に先端にピンセットやセンサやメスなどを持つ鉗子をマニピュレータで挿入して、腹腔内の状況をモニタしながらマニピュレータを介して鉗子の先端の器具を柔軟に遠隔制御することで手術するシステムである。患部に自由にアクセスするための鉗子先端の多自由度化、腹の貫通点を機械的に拘束する機構を持った双腕マニピュレータ、遠隔制御のマスタアームシステム、鉗子の動きを模擬するシミュレータと、各々の要素技術の開発とともにシステム化を図っており、近いうちに外科医による操作性の検討も行うとの話であった。双腕マニピュレータ、およびマスタアームとも特殊仕様のために研究所の内製品で非常によくできており、オペレータによる操作状況も見せてもらったが、なかなかスムーズに動いていた。技術的には近い将来、ある程度機能は実現できるものの、実用となると各種安全性の問題があり、10 年以上先の実用化を想定しているようであった。

このロボティクスのグループではマイクロ技術研究所のグループの作るマイクロ部品を組み立てるマイクロアセンブリの自動化の研究も行っており、マイクロ光学スイッチ素子の自動組立装置の紹介を受けた。これは LIGA プロセスで作成した型からモールドで作った基盤、2 つのボールレンズ、干渉フィルターとから構成されるもので、基盤を XY に微小平面駆動が可能なテーブルに置き、その上部にマシニングセンタのように各種の専用のハンドリング装置を設置して、各部品を取り上げ、基盤に挿入するシステムで、完成一歩手前であるとの説明であった。非常に具体的なものに研究のターゲットを絞っているのはその実用化によって将来の家庭への光ファイバー網の部品として大幅な需要が見込めると

の考えのようであった。

マイクロ技術研究所ではこの研究所のオリジナル手法である LIGA プロセスによる様々なマイクロコンポーネントに関する説明、および実物を用いたデモの紹介を受けた。加速度センサ、ジャイロセンサ、楕形静電アクチュエータ、ワブルモータ、楕形静電アクチュエータとミラーを組み合わせたマイクロ光スイッチ、プラスチック膜の両面に電極を付け通電によって膜の変位を起こす構造のマイクロポンプ、最新のものとしてマイクロ分光素子などが説明された。全般的にセンサにしても光スイッチのようなマイクロ光部品にしても説明によると実用化を非常に意識した研究がなされているようで、しばしば、どれくらいの需要があるかとの話がなされた。また、作成するものとして流量を制御するポンプやバルブ、計測するセンサなどから光ファイバーを意識した光情報路を構成する機器に重点を移しているように感じられた。

カールスルーエ研究センターでのマイクロ加工技術の研究は LIGA プロセスを開発したところだけあってその成果の蓄積はかなりのものがある。その研究は特にセンサやマイクロ光制御機器として実用を常に考慮している点で、マイクロマシンプロジェクトとは少し性格が異なっており、このような意識の違いを目の当たりに見れたことは大きな刺激となった。

(8) Katholieke Universiteit Leuven (ベルギー)

対応者：Prof. Joris de Schutter (機械工学科生産技術、機械設計、自動化研究グループのリーダー)

Dr. Dominiek Reynaerts (機械工学科生産技術、機械設計、自動化研究グループのメンバー)

1425 年の設立のヨーロッパでも古い大学のひとつであり、ベルギー内では最大の総合大学で、ブリュッセル大学とさらに他一つの大学と並ぶ工学系でも 3 指のひとつである。大学はブリュッセルの東方約 20km のルーヴェン市に位置している。古くからの学部などはルーヴェンの街中にあるが、理工系学部は町の南西郊外、また医学系も病院とセットで町の西の郊外に位置している。全学生数は約 27000 名で 12 学部からなり、工学部の現在の学生数は 2000 名と以前よりは減少しているとのことであった。工学部 7 学科のひとつである機械工学科には、Production Engineering, Machine Design and Automation (PMA), Energy Conversion and Applied Mechanics (TME), Center for Industrial Management (IB), Biomechanics and Engineering Design (BGO) の 4 つの部門があり、今回訪問した PMA は教授 5 名、ポスドク 10 名、博士課程の大学院生 65 名とおおよそ 100 名の規模である。このグループの研究内容は現在、Production と Automation とを結び付け Flexible Production Automation、Machine Design と Automation とを結び付けた Mechatronics, Robotics との 2 つとなっている。

ロボティクスの研究では比較的古い大型のマニピュレータから小型のより新しいマニピュレータを数台実験室に持ち、センサ情報を利用した対象物体のモデル化、マニピュレータの協調制御、複数台のマニピュレータを利用した CIM など興味深い研究が行われている。

た。特徴的であったのは、こうしたロボットの研究プロジェクトの終了毎にその研究に使用されたシミュレータなどが視覚的に見える形で計算機内に蓄積され、容易にデモできるように整備されていることであった。したがって、ロボットに関係する計算機関連のソフトウェアが共用できる形に蓄積されているものと思われる。

マイクロ技術に関する研究ではこの研究グループで技術の蓄積のある micro-electro-discharge machining (微小放電加工技術) と shape memory alloy based acutuation (形状記憶合金を利用した駆動技術) をもとにして微小機械システムの実現を目指している。

微小放電加工技術は通常のマイクロメカニズムの作成に用いられるシリコンのエッチングに比較してより複雑な 3 次元形状の作成を狙っている。現在は加速度センサなどを試作しているが、将来的には微小放電加工技術とシリコンのエッチング技術とを組み合わせ、情報処理機能を併せ持ったセンサの実現を計画している。説明者の Dr. Reynaerts は今後マイクロシステムの実現にはマイクロアセンブリ技術が重要であると強調していた。形状記憶合金は簡単な機構で大きな力を出すことができるのでマイクロ機構の駆動に有利であるため、医療用の小型バルブの開閉などへの利用を研究しており、埋め込み仕様のモデルなどかなり実用に近いものも紹介された。

以上のマイクロ関係の研究は機械工学科内の研究であるが、大学内に約 600 名規模の Interuniversity Micro Electronics Center (IMEC) が独立した研究機関とし設立されており、この機関と連携をとって研究が進められている。今回はこの研究機関を訪問できなかったが、話ではマイクロシステム部の中で各種の小型センサが研究されているそうである。

大学の研究ではあるが実用化を強く意識して研究が行われている点が印象深かった。また、米国のように大学での研究成果をもとに企業化を図ることが奨励されており、そのようにして独立した企業と共同して研究を進めている例がいくつかあり、大学の研究がこのようなシステムによって産業界に転移されているとの話であった。

ルーヴェン大学でのマイクロ技術の研究はマイクロ部品の加工、およびアクチュエータの研究に重点が置かれており、マイクロ部品を組み合わせるシステム化についてはこれからの重要な課題となっている。

(9) University of Twente

対応者： Dr. J. G. E. Gardeniers (MESA (Micro Electronics, Materials Engineering, Sensors and Actuators) 研究所のメンバー)

ツェンテ大学はデルフト大学、アウントフォーヘン大学と並んで工学系ではオランダで 3 大大学のひとつである。キャンパスはアムステルダムの方約 125km で、エンスヘーデ市に属している。本出張では電気工学科の建物に付随する Micro Electronics, Materials Engineering, Sensors and Actuators (MESA) を訪問した。

MESA は 1980 年に組織されたセンサとアクチュエータ研究グループと IC 電子研究グループとが 1990 年に合体して設立された学内研究所といった研究機関で、マイクロシステム技術に関する研究と産業界への橋渡しを目的にしている。組織は約 40 名のパーマネン

トの研究者（教授も含む）、約 120 名のテンポラリの研究者（大学院生を含む）、約 40 名のテクニシャンなど総勢 200 名を越える規模である。研究所には約 2 年前に完成した、建物のほぼ 1 階のスペースを占めるクリーンルームがあり、IC プロセスなど各種マイクロ素子やマイクロ部品の作成装置、機器、および作成した素子や部品などの機能検査装置などが揃えられ、数人のオペレータや博士課程の大学院生によって活用されている。研究者は仕様や設計図で指示することによってマイクロ素子などが手にはいるシステムになっている。このクリーンルームは現在拡張中で、さらに大きくなるとのことであった。

MESA の研究グループは以下の 9 つから成っている。(1) Biosensor and Electrochemical Sensors, (2) Micromechanical Transducers, (3) Light Wave Devices, (4) Information Storage Technology, (5) IC-Technology Device and Reliability, (6) Analog Circuits and Systems, (7) Testable design, Testing and diagnostics of Micro systems, (8) Applied optics, (9) Molecular Engineering。今回はこの中でマイクロマシンに関連の最も深い(2)の研究を調査した。このグループは MESA の中で最もアクティブに研究を行い、研究成果も最も挙げているとのことであった。共振周波数の変化を利用した各種センサ、静電気を利用したマイクロアクチュエータ、マイクロ機構部品といった分野を中心に研究を行っている。センサとしてはマイクロ加工技術を用いた小型ロードセル、圧力センサ、流量センサなどの研究の紹介を受けた。アクチュエータでは楕形静電アクチュエータ、ワブルモータの駆動の様子をビデオを用いて紹介してもらった。マイクロ機構部品の作成のための高精度表面研磨技術の説明を受けた。また、直接説明は受けなかったが、LIGA プロセスなど高価な方法ではなく、3 次元の構造を柔軟に作成する方法として Dry Etching, Electroplating, Molding (DEEMO) 方法に力を入れている。現在のところ、研究としてはマイクロ部品の作成法の高度化として高精度化や最適化を主眼としていてシステム化のような例は少なかった。システム化されている例では医療応用として眼圧調整のための埋め込み型圧力調整器は興味深かった。これは眼球内を満たしている液体を眼球外に排出して眼球の圧力を一定に保つ一種の圧力調整弁で機械的な方法で弁を構成しているため、数点の部品からなり、眼球内に埋め込むことを想定しているものである。

以上、マイクロ関係の研究を積極的に進めているが、MESA での研究は ESPRIT、BRITE EURAM、EUREKA などの EC プロジェクトも実施していたり、数多くの企業との共同研究を行うなど外部との積極的な繋がりを持っていることも特徴といえる。こうした企業の中には日立製作所も含まれている。

ツエンテ大学の MESA の訪問では、クリーンルームを核として、機械工学、電気工学、応用物理、応用化学の専門家がマイクロ関連の研究を集中的に進めている様子を見ることができた。それぞれの専門家は分野が細分化されているわけであるが、共用の施設を使い、ごく近い位置で研究を進めることで研究協力もしやすい環境で、理想に近い研究環境ではないかと思われた。マイクロ部品の研究開発はもとより、システム化に際してはこのような学際的な研究環境が非常に研究を促進する環境であると感じられた。

2. 3. 3 IARP 会議報告

IARP (International Advanced Robotics Program) はベルサイユ経済サミットに起源を持つ政府間レベルで先端ロボット技術について情報交換を行い、国際的な技術協力を推進するために毎年開催される会議で、前半の専門家会合と後半の各国政府代表の会議である Joint Coordinating Forum (JCF) から構成されている。第 15 回は 1996 年 10 月 3 日から 5 日まで 3 日間にわたってドイツカールスルーエ大学で開催された。参加者は以下のメンバーである。

各国政府代表

S. Ramakrishnan	Australia
Peter Kopacek	Austria
David G.Hunter	Canada
Georges Giralt	France
Manfred Dheher	Germany
Tom Martin	Germany Chairman
Ursula Frey	Germany
Giuseppe Mosci	Italy
Michio Hamano	Japan
Valery Gradetsky	Russia
Jose de No	Spain
Norman Caplan	USA

各国専門家

Gerd Hirzinger	Germany
Giulio Sandini	Italy
Kiyoshi Komoriya	Japan
Kazuhiro Tsuruta	Japan
Takeo Kanade	USA

今回の内容は次のようにまとめられる。

(専門家会合)

- ・先端ロボット技術の技術動向調査レポート(30 頁)の議論と承認。
- ・各国専門家による先端ロボティクスの研究開発の展望。

(代表者会議(JCF))

- ・先端ロボット技術の技術動向調査レポートの要約版の作成と承認。
- ・参加国の参加資格に関する変更。
- ・次年度以降の活動としての Workshop 提案の受付と承認。
- ・次回開催国の確認と日程の決定。

専門家会合ではフランス代表のとりまとめで参加各国がこの1年間かけて調査を実施した「ロボット技術とその実際の適用の将来インパクト」と題する技術動向調査レポートの報告を行い、質疑の後、承認した。この報告は先端ロボット技術に関する現在進行中のプロジェクトの概要、近未来の研究課題、適用分野が網羅的にまとめられており、先端ロボット技術の世界的な研究開発動向の認識に大変役立つものとなっている。この技術動向調査レポートの中で、マイクロ技術やマイクロシステム化技術はロボットや生産技術にとって大きなインパクトを与える先端ロボット技術のひとつとしてとらえられている。

各国の現状報告の中で日本からは、日本の最近の先端ロボティクスの研究動向として先導研究「フレンドリネットワークロボティクス」を簡単に紹介し、産技プロジェクト「マイクロマシン」に関して、本年度から開始された第2期の研究計画概要を紹介した。日本の推進しているプロジェクトには各国の関心も高いようで、このプロジェクトの中で開発を計画している試作システムに関する具体的な質問も活発に行われ、マイクロマシンプロジェクトに関する理解が得られていると感じられた。

代表者会議(JCF)では前記の技術動向調査レポートの要約版を作成をした。参加国に関しては、スペインのフルメンバーへの昇格が全員一致で承認された。また、中国のオブザーバーとしての参加も承認された。今後、参加を呼びかける国としてブラジル、韓国、ニュージーランドの3カ国が認められた。そして、次年度以降の活動として6件のワークショップが承認された。

次回の会合はカナダのモントリオールで1997年9月29-30日に開催することが決定された。

以下に代表者会議で討議されまとめられた技術動向調査レポートの要約版の抜粋を参考にする。

INTERNATIONAL ADVANCED ROBOTICS PROGRAMME (IARP)

FUTURE IMPACT OF ROBOTICS RESEARCH

- TECHNOLOGIES AND PRACTICAL UTILIZATION -

EXECUTIVE SUMMARY

(approved at the IARP/JCF (Joint Coordinating Forum) in Karlsruhe/Germany on 5 Oct. 1996)

The International Advanced Robotics Programme (IARP) was initiated by the G7 Heads of State at the Versailles Summit in June 1982, with the intent: "To foster international cooperation toward the development of advanced robotic systems able to dispense with human exposure to difficult activities in harsh, demanding or dangerous conditions or environments".

This charge helped formulate within the IARP the technology and application of robotics to improve the quality of life in all countries. The present report aims to assess the current status and the future impact of Robotics Research Technologies in practical utilizations. Hence, it seeks to define the strategy of IARP for an efficient action that will keep with the intent of its creation. The report briefly analyzes and characterizes the most relevant aspects of the present situation.

Industrial Robots are considered as a typical representative integrating the state of the art of many front running key technologies. At the end of 1995, the world total number of industrial robots mainly installed in manufacturing was approximately 700,000 with a yearly growth rate averaging 30%.

The other important application domain, Service and Intervention Robots, has begun to expand Robotics and Intelligent Machines beyond the shop-floor applications. This includes the following:

- Materials handling and transportation, construction, sewer inspection and repair,
- field-based applications such as mining, forestry, agriculture, underwater, space,
- public-oriented areas ranging from domestic and professional cleaning, hotel and hospital catering, assistance to the disabled and the aging,
- network based remote operations,
- health care, surgical, and medical intervention.

Currently, about 1000 service robots have been put into operation world-wide. This includes scientific and commercial products operating in both public and private application.

The R&D efforts that have brought industrial robotics to efficient market driven products have reached a level of maturity that paves the way for the necessary future developments in enabling technologies. As a consequence, it is reasonable to forecast seminal applications that could open broad market perspectives. These results have been made possible and fostered by the very important efforts engaged by Governments, public institutions, industrial companies and basic research laboratories throughout the world. Synergism among these institutions has been instrumental in moving the field forward. Furthermore, international cooperation has been a central development factor with a number of large and ambitious programmes (ESPRIT, EUREKA IMS, . . .). World-wide, laboratories which number by the hundreds, from universities, corporate centers, and national institutions, are today engaged in Robotics Research and appear in several ways as actors in the international arena.

Hence, the very important developments in the Enabling Technologies, with dramatic developments in information technologies, have fostered new perspectives in Manufacturing and the very broad domain of Service and Intervention robots.

It is possible to confront today the development of sophisticated machines endowed with operational and decisional autonomy, i.e. Intelligent Machines, that will prime human factors enhancement to achieve Human-robot co-existence. This offers the opportunity to promote a host of novel robotic machinery for applications that will range from better and more efficient working conditions, e.g. mining, to the satisfaction of very demanding social needs, such as health care, assistance to the impaired and the aging applications, and environmental remediation. Clearly, those perspectives touch upon very different aspects than robots in the production line. Market products which will correspond to user requirements will not only satisfy societal needs but will offer a vector for economical growth and creation of new jobs. A good example could be the Personal Robots for public users with a mass production market.

A broad host of domains covered by Service and Intervention Robots challenges both Robotics researchers as well as social, economic, and political decision makers.

Based on the above, IARP reaffirms its original role and strategy; to foster international cooperation; to promote the field of Advanced Robotics, looking beyond today's industrial products; and to focus attention on novel application domains in response to needs. IARP will remain a lightly structured body pursuing the role of assessment and information source to the participating national officials.

In accordance with this, IARP will assume a pro-active role by:

- promoting themes and domains of special interest for international cooperation through national official channels and institutions,
- associating new countries, that are important international or regional actors, with the capacity to benefit from the IARP and to be beneficial for the other members.

Thus, within the framework of these two general directions, IARP will continue to promote and assist new endeavours, associating enabling main technological developments into novel, future shaping applications that will trigger new products and jobs.

3. 研究開発課題

3. 研究開発課題

3. 1 概要

本章では、フレンドリネットワークロボティクスの研究開発課題を要素技術別に述べる。すなわち、本プロジェクトの意図する、人の生活空間においても活用可能なロボットの技術課題および将来の通信ネットワークの活用を意識したロボットの制御、利用技術課題を抽出し、整理する。

本調査研究では、人間型ロボットを研究の共通基盤すなわち研究プラットフォームとして使うことを想定することから、プラットフォームWGを構成し、その実現可能性とプラットフォームとして適切な人間型ロボットの仕様の検討を行った。また、同時に、人間共存、ネットワークを活用したロボットの制御に関わる要素技術課題を追求すべく、人間共存型ロボット技術、ネットベースロボティクス技術WGを設置し、多様な角度から、要素技術の抽出を行った。さらに、ネットワークを活用したロボットの未来の応用形態を明らかにするために、アールキューブ（R3）構想WGを設置し検討を行った。本章ではそれぞれのWGの検討結果が記述されている。

3. 2 アンドロイド型研究プラットフォーム技術

プラットフォームWGでは人間型ロボット技術の研究開発に使用するプラットフォームの仕様の素案をまとめた。プラットフォームは、人間型ロボットの研究開発を行なう際の基盤となる標準ハードウェアモデルであり、2脚で歩き、2本腕で作業する人間の様な形をしたロボットとして構想されている。両眼、両耳、口を備えた頭部をもち人間と自然な対話を行なうことができ、本体は自律適応制御により人間の通常の行動環境内を2脚で自律的に歩行したり、基本的な作業を行なうという行動知能が組み込まれている。更に高速ネットワークと接続することにより、遠隔地のコックピットから高臨場感をもって運転制御することを可能とするものである。プラットフォームの利用形態としては、それを用いて様々な応用シーンの開拓研究に取り組むほか、プラットフォームを構成する各要素を新技術により高性能化する研究を積み重ねつつ、プラットフォーム自体の改良・高度化を継続し、人間型ロボット技術を集積してその高度化を図る。

本WGでは、具体的なプラットフォームの仕様策定に際し、時期的な問題として本プロジェクトの開始時（平成10年度）を想定して、設定すべき技術開発の数値目標をとりまとめた。即ち、この技術仕様はプラットフォームの第1次モデルとしての研究開発のスタートラインを想定したものであると考えることが出来る。先導研究初年度にあたる本年度では、

大人型モデル（身長170cm、体重70kg）

中人型モデル（身長135cm、体重50kg）

の2種類のモデルについて2つのチームで総合仕様を検討した。

また、プラットフォームの総合仕様策定と共に、そのプラットフォームを実現するために必要な関連要素技術の現状と、挑戦すべき要素技術の開発目標についての検討も行った。さらに、応用例についても列挙した。検討した技術項目は次の通りである。

伝達機構

アクチュエータ仕様

動力源（電池及びエンジン）

センサ（視覚・聴覚・力触覚）

人工皮膚及び構造材料

制御方式（作業制御・歩行制御）

操作・操縦・ヒューマンインターフェイス

モジュール化

計算機系

ソフトウェア

情報公開及びベンチマークテスト

応用

以上の調査研究結果を以下に示す。

3. 2. 1 大人型プラットフォーム総合設計仕様

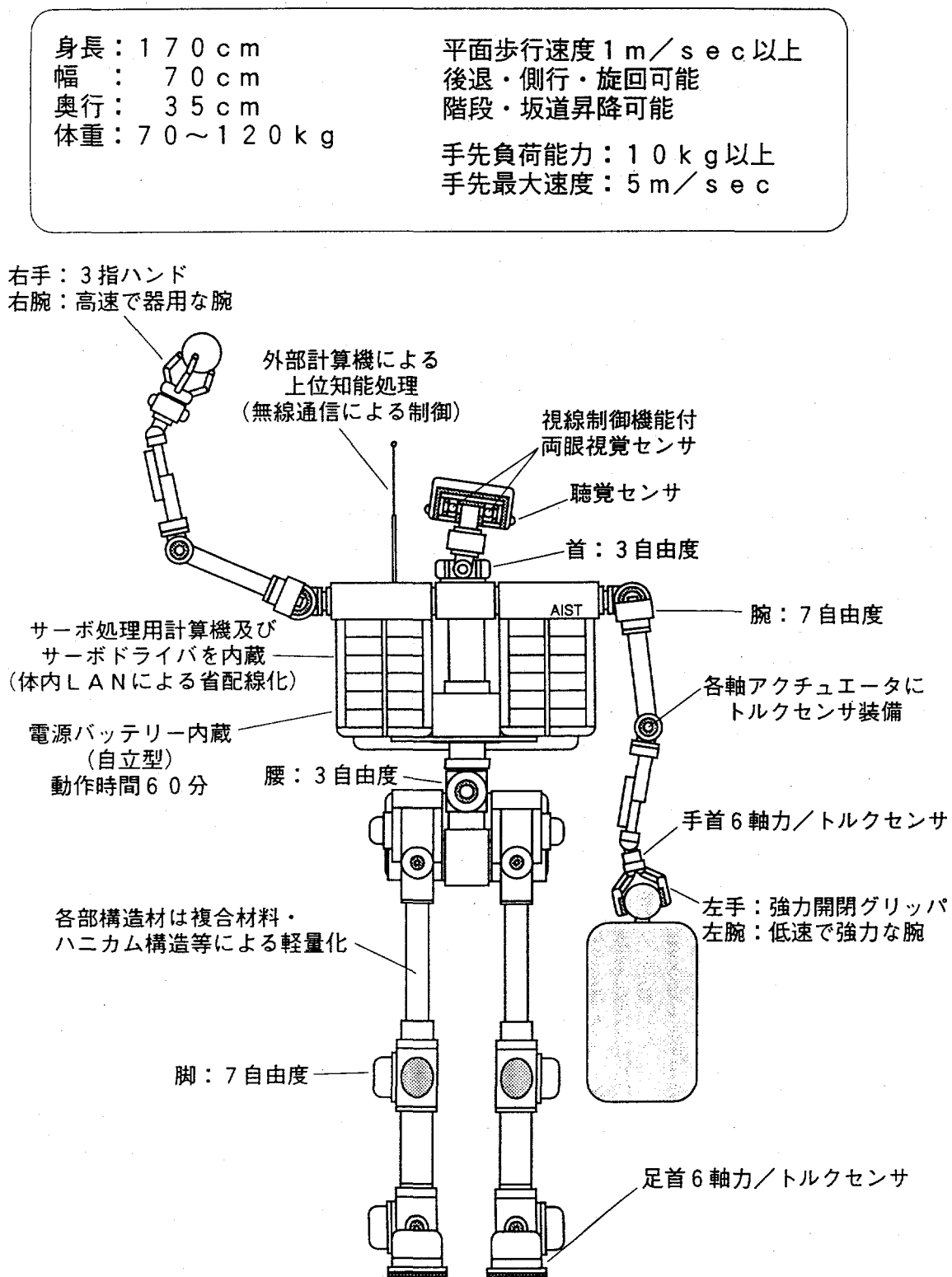


図3.2.1 大人型プラットフォームの概要

(1) 基本的な考え方

はじめに、本総合仕様の基本的な考え方を述べる。ヒューマノイド（人間類似型ロボット）のハードウェアが満たすべき要件は、a. 形状上の人間類似（幾何学的・運動学的類似、形状空間における静的な人間類似）b. 運動能力の人間類似（動力学的類似、状態空間における動的な人間類似）c. 感覚能力の人間類似の3つである。これらのいずれが欠けても、人間の知能の研究のためのロボット、あるいはアルキュードや人間共存作業における市場製品としてのロボットとして十分に機能するものとはなり得ない。

しかしながら、2～3年後の製作を目的としたロボットプラットフォームにおいてこれらのすべてを完全な形で満たすことは、アクチュエータ・動力源・構造材料・センサ等のハードウェア要素技術の現状から言って、ほぼ不可能だと思われる。したがって、妥協案として、プロジエクト当初に製作・提供されるモデル（モデル1）では少なくとも形状上の人間類似をクリアし、かつ既存のハードウェア要素技術で可能な限りの感覚的類似と動力学的類似（動的歩行など）を実現する。また、プロジエクトの中で実行できるかどうかは未定の段階にあるものの、a. b. c. のすべてをある程度満たしたヒューマノイドの仕様（モデル2）をロボット工学におけるグラフ・チャレンジの一つとして掲げ、プロジエクト内外におけるハードウェア要素技術の開発を通じて、より高いレベルの人間類似が達成されることを期待する。モデル1とモデル2の運動能力上の違いは負荷能力の増加ではなく瞬時能力にある。定格設計ベースではなく、瞬時パワー設計および寿命設計の導入により運動選手的な能力の実現をめざす。

仕様の基本的な示し方としては、統合システムとして構築した結果としてのプリミティブな作業に関する能力をもって仕様とする。同じ作業における人間の能力を基準とし、それと比較可能な形で指定する。便宜上、各部要素の性能について具体的な値も示すが、これらの値はあくまで概算による参考値である。また、ここでは知能や制御の詳細は指定しない。現在それを生かすける制御則等があるかどうかに関係なく、アクチュエータ容量や時定数、センサのレスポンス、メカニズムの寸法や質量などで決定されるハードウェア上の潜在的な全能力についての仕様を示す。ソフトウェアの形で実現される知能や制御は、プラットフォーム提供先における研究開発課題であり、ここではその前提条件となるハードウェア上の能力を保証するにとどめる。

(2) 全体構成

a. サイズ

身長	幅	奥行き	体重
人間 150～180cm	40～60cm	20～30cm	40～80kg
P F 170cm	70cm以内	35cm以内	120kg以下

(できれば70kg程度)

b. 自立性

エネルギー供給：バッテリー等のエネルギー源を内蔵、連続動作時間60分以上
計算機：身体各部のサーボ制御用計算機を搭載、上位計算機は外部

(無線通信による制御)。

(3) 機械仕様

a. 自由度構成及び可動角

腕：各7自由度（肩3軸・肘1軸・手首3軸）

肩：前180度＋後70度、開き下90度＋上50度、捻り90度＋90度

肘：曲げ0-160度

手首：曲げ前90度＋後45度、左右曲げ45度＋45度、捻り90度＋90度

（PUMA等の産業用ロボットのように手首伸展位置が特異点とならないこと）

手：モデル1－右手：3指ハンド（各指3自由度）

左手：開閉のみ（グリップ、または差動機構による対象物扱い）

（右腕は高速で器用な腕、左腕は低速で強力な腕とする）

モデル2－4～5指人間型ハンド

脚：各6～7自由度（股2～3軸・膝1軸・足首3軸、＋必要ならば爪先にも1軸）

股：前130度＋後50度、外45度＋内45度、捻り30度＋30度

膝：曲げ0-120度

足首：前60度＋後10度、左右30度＋30度、捻り外45度＋内10度

体幹：腰部3自由度（前屈90度＋後屈45度、側屈±40度、捻り±70度）

頭部：3自由度（前屈50度＋後屈70度、側屈±40度、捻り±90度）

眼球：側方両眼各1軸±60度、上下同時1軸±45度

b. サイズ

大腿：48cm 下腿：43cm 踝－爪先：25cm

上腕：33cm 前腕：27cm 手首－指先：20cm

体幹（股関節－首付根）：42cm 頸（首付根－顎先）：7cm 頭：20cm

c. 重量配分

頭部：5% 体幹：33% 上腕：8%×2 前腕：4%×2 手：5%（右）3%（左）

大腿：8%×2 下腿：5%×2 足：2%×2

（アクチュエータの軽量化をはかるとともに、各部構造体について複合材料・ハニカム構造等の採用により軽量化につとめること）

d. トルク（モデル1）

（以下は減速機出力側10sec定格値。瞬時最大値はこの3倍以上、ダイナミックブレーによる保持トルクはこの5倍以上とする。）

右腕：肩4.5kgfm 肘2.7kgfm 手首0.7kgfm （2kg負荷把持を想定）

左腕：肩6.0kgfm 肘4.2kgfm 手首1.2kgfm （9kg負荷把持を想定）

体幹：10kgfm

脚：股8kgfm 膝10kgfm 足首6kgfm

(4) 踏破能力

a. 規定コースの通過時間。

床面種類：アスファルト及びリノリウム床を基本とし、芝、砂利面上でも平面歩行は可能とする。

	モデル 1	モデル 2
前進	1m/sec以上	1m/sec以上 (定常歩行時) 5m/sec (10秒間のみ)
後退	0.3m/sec以上	1m/sec以上
側行	0.2m/sec以上	0.3m/sec以上
旋回	半径1m・0.3m/sec	半径1m・1m/sec以上
その場旋回	45度/sec	180度/sec
階段 (段高20cm・段巾30cm)	1 段 / 5sec	1 段 / 1sec
坂道昇降	0.2m/sec (傾斜5%)	0.3m/sec (傾斜10%)

b. 以上の数値は無負荷時。

モデル 1：手先に1kg負荷把持、または方法を問わず10kg負荷搭載

→歩行速度は無負荷時の50%以上

モデル 2：手先に10kg負荷把持、または方法を問わず20kg負荷搭載

→歩行速度は無負荷時の50%以上

c. 歩行時の外乱力積に対するバランス保持

重心高さで前方・後方・側方にZMPを中心とする力積モーメント印加

モデル 1：1kgf%sec モデル 2：5kgf%sec

(5) 運動能力・作業能力

a. スタートアップ

	モデル 1	モデル 2
座った状態からの立ち上がり	10sec以内	2sec以内
寝た状態からの立ち上がり	30sec以内	5sec以内

b. 腕部を前方・側方に最大伸展時の負荷保持 (片腕)

モデル 1：(右腕) 負荷0.5kg・10sec (左腕) 負荷1kg・10sec

モデル 2：負荷2kg・30sec

c. 床面から高さ1.5mまでの負荷上げ下ろし (片腕)

モデル 1：負荷0.5kg・5sec以内 (右腕) 負荷2kg・10sec以内 (左腕)

モデル 2：負荷10kg・2sec以内

d. 床面から0.5m/1m/1.5mの高さで10sec力印加 (片腕)

モデル 1：側方・前方7kgf、下方12kgf、上方2kgf (右腕)

側方・前方12kgf、下方15kgf、上方9kgf (左腕)

モデル 2：側方・前方15kgf、下方18kgf、上方12kgf

e. 手先最大速度

モデル1 : (右腕) 無負荷・5m/sec (左腕) 0.5kg負荷把持・2m/sec

モデル2 : 0.5kg負荷把持・10m/sec

f. 手先可操作度

体幹前面0.5m以内の範囲で人間の80%以上

g. 一般化慣性楕円体体積 (アクチュエータを含む)

モデル1 : 体幹前面0.5m以内の範囲で人間の150%以内 (右腕) 300%以内 (左腕)

モデル2 : 150%以内

(6) 感覚機能

a. 視覚

中心視弁別視力0.1相当 (モデル1) / 0.6相当 (モデル2)

大域視各眼視野左右120度以上、上下90度以上

両眼立体視可能

眼球回転速度300度/sec以上 (上下、左右とも) (モデル1)

600度/sec以上 (モデル2)

(オプション: 赤外線 (温度) 検出 / モデル2)

画像処理・視覚処理の詳細は中人型PFに準拠。

b. 聴覚

両耳、検出周波数15kHz、帯域60db

c. 力覚

各腕アクチュエータ減速機出力軸側にトルクセンサ (モデル2 : 帯域80db)

手首部6軸力 / トルクセンサ

足首部6軸力 / トルクセンサ

d. 平衡覚

体幹部に傾斜角、角速度、3軸加速度センサ

e. 接触覚

体幹・四肢に分布型接触センサ

(7) 情報処理関連

詳細は中人型PFに準拠。

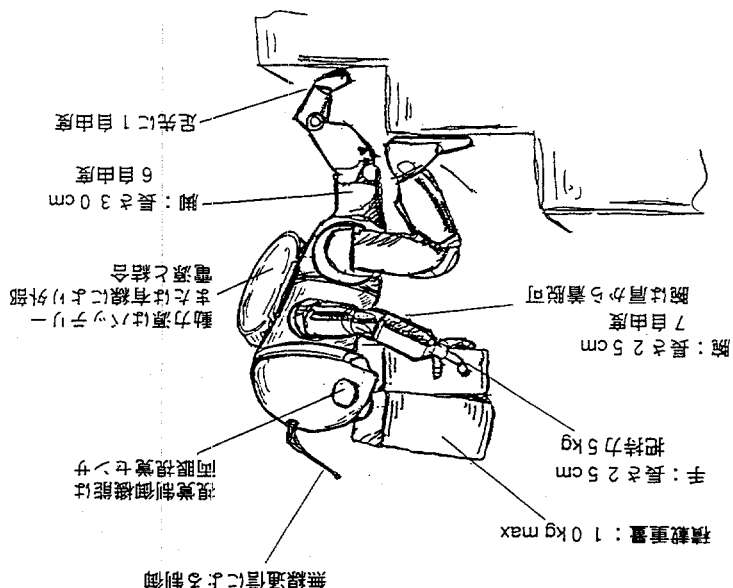
(8) 通信機能

詳細は中人型PFに準拠。

(9) 対衝撃性・対人安全性

新たな構造材料による軽量化、バックドライバビリティの高いアクチュエータ、瞬時パワー設計による力・速度の危険領域の限定等により人間共存も可能な対人安全性の実現をはかる。

図3.2.2 中人型プラットフォームの概要



身長: 135cm	太めの体型
腕行: 60cm以内	(胴体部はφ60cm以内)
握: 60cm以内	
体重: 50kg	
(バッテリー10kg)	
平面歩行速度: 0.4~0.6 m/sec	
後退・側行・旋回可能	
階段・坂道昇降可能	
手先負荷能力: 5kg max	
抱え上げ時: 最大10kg 程度の重量物を運搬	

3.2.2 中人型プラットフォーム 総合設計仕様

(10) 環境問題に関する配慮
ヒューマノイドとしての市場が確立し量産製品としてゆく過程で完全リサイクルへの方策も考慮すること。

標準プラットフォームの場合、同じ部品が多数製作可能なため交換用部品のストックが可能である。また全同じロボットが色々な使われ方をし、色々な壊れ方をし、というものは改良のための貴重なデータであるとも考えられ、壊すことを恐れずに改良に結びつけることも一つの方策であろう。

落下後、転倒はさせないものとする
・足を折り曲げて最も重心を低くした状態から無制御で前方、後方、側方に転倒
・同じ状態から前方に手を突いて転倒

アの耐衝撃性の仕様として、・直立・無制御で足部を下に高さ50cmからコケリ床に落下自分の意志による衝撃の大きな動作に耐え得る造りとする必要である。ハードウェアを頑丈な造りとし、厚い緩衝材で覆うことは、重量増加の原因となる。ただし、「倒れても壊れない」というのはむしろ制御の問題であって、そのためにハード転倒せずに歩行できるというのは、ヒューマノイドとしてはかなり基本的で重要な能力である。

(1) はじめに

人間型ロボットは、より多くの人々に働きかけられる点、より多くの人々が関心を持てる点で、他のロボット群とは大きく異なる存在だと言える。人間型ロボットの特質は、まず第一に、人間と同様な環境に存在し、人間と協調作業したり、人間に代わって作業を行える点にあると言える。特に、直立2足で移動する事により、狭い通路や扉、階段やオフィス内などの、人間と同様な環境内に無理なく存在する事ができるようになる。そのため、安定な歩行性能は重要である。

このような環境内で期待される作業としては、人間との協調作業や、荷物運び的なもの、遠隔操作等がある。また、全身型の特質を考慮すると、手先での器用な動作よりも、カバンを保持したり、荷物を担いだり、机を運んだり、ドアの開閉を行い移動したりというふうに、大まかな動作が主体になると言える。

中人というサイズから来る利点としては、

- ・実験時などの対実験者、環境、ロボット自体の安全性
- ・軽量性や安全性による実験の容易さ
- ・軽量小型のための高出力性

一方、欠点としては、

- ・体内容積や重量制限が低いため、搭載する計算機やバッテリーが制約される。
- ・大人サイズの実環境に多少馴染みにくい(階段など)

等がある。

以上の様な、人間型、全身作業、中人サイズ等といった点を踏まえた上で行った仕様の検討結果を以下に示す。

(2) 全体仕様

a. 人間型(2脚2腕)ロボット

やや太めの体型： 機器収納容積大、転倒安全性、自己破損回避

b. 踏破能力

人間が移動する通常の屋内環境(ビル屋内、オフィス事務所etc.)を移動出来ること。

移動速度： 2km/h (max 3km/h),

階段登降速度： 1 段 1 歩 / 1.5 秒程度

路面のうねり、段差にとらわれず、安定して移動できること。

扉を開閉でき、通過、また低いを跨ぐ事ができること。

c. 運搬能力

床面上の物をつかむ事ができること。グリップ程度の手(把持力 5kgf)

最大10kgf程度の重量物を運搬できること(抱え上げ等)。

d. 自律性

ロボットに不具合が生じた場合は、人間の支持により回復できる能力を持つこと。

(転倒時の対応、障害物などへの対応、etc.)

ロボットへの動作指令(自己位置、動作手順、目標物体、etc)は有線を主とするが、無線でもできること。

遠隔操縦ができること。

操縦する際には、作業画像、接触感がわかること。

動作能力(特に移動)は、ある程度ロボットの自律により実行出来るが、あくまで人間の指令による行動を主とする。

e. その他

自律系のコントローラ、計算機は本体に搭載する。

ロボット稼働以外の時は、ロボットステーションなるものに保持。

動力源はバッテリー、または有線の実験用外部電源。

(3) 全体構成

全高 : 1350 mm

幅、奥行 : ϕ 600 mm以内

重量 : 50kgf (バッテリー10kgf)

動作環境 : 15 ~ 40℃

搭載物 : モータアンプ、コントローラ、バッテリー、無線機器、視覚系システム

a. 機械系仕様

腕などは、肩から交換できるモジュラー骨格仕様とする。

基本的に、脚、腕などの寸法、重量、可動範囲、可動速度などの詳細は、研究段階において決めて行くものとする。

なお、参考値を次節の各部仕様に示す。

衝突等による過負荷を考慮(力センサ、耐衝撃性)

低慣性化、機械式コンプライアンス

b. 小型実時間高速ネットワークによる省配線(アンプ、センサ類)

1msecサーボでも 50自由度 $\times$ 1msec $\times$ 128bit=6.4Mbps 程度

数十M~数百Mbps以上の実時間ネットワーク。

情報量よりも低遅延性(実時間性)重視のネットワーク。

センサ値の収集、アンプへの指令。計算機間通信

センサや小型モータアンプ等を体内モータ近辺に内蔵。

自律系を制御する計算機は胴体に内蔵とする。

高性能バッテリー10kg搭載(Li亜鉛、Liイオン等)

c. 計算機系仕様

SPECint92 数100~1000の計算能力で運動学、軌道生成、制御まで一通りは可能。計算量的には、5本のマニピュレータ + 全体制御。

視覚処理は、別途、トラッキングビジョン等の専用ボードを導入。

無線LANによる遠隔制御や非実時間処理

耐衝撃性(記憶デバイス等)、耐高温性、低消費電力

d. ソフトウェア系仕様

市販レベルの実時間OSや動力学シミュレータを標準で添付

既存の運動学、各種制御法、ロボット言語のプログラムの集積化

e. その他

体表面 : 接触センサ(高密度指用、低密度用)、衝撃吸収材

(4) 各部仕様 (数値は参考値)

a. 腕

7自由度 (肩3軸、肘1軸、手首3軸)

上腕、下腕とも、250mmで太さ手首100mm以内

各関節にトルクセンサ：腕全体の制御のため。

モータは 10～60Wクラス、

減速比180～350程度 (軽量高減速の減速機)

重量的に余裕がある場合は、パッシブコンプライアンス等を付加。

双腕冗長制御、インピーダンス制御等を提供

	肩1	肩2	肩3、肘、手首1	手首2	手首3
最大トルク (kgfm)	: 25,	25,	10, 10, 6,	6,	2
最大角速度 (deg/sec)	: 100,	100,	180, 180, 180,	180,	180

b. 手指

機能はグリップ程度とする： 機能を絞り込み軽量化するため

把持用： 1.5kgfm, 60 deg/sec

モータは20Wクラス

c. 脚

6+1自由度

脚長： 大腿、下腿ともに 300mm

モータは 60～140Wクラス、減速比80～160

つま先自由度： 実サイズの階段昇降に必用。

足首に6軸力センサ： 重心位置の測定

通常歩行や階段移動については制御方式をセットで提供

制御法が未確立の運動は、機械性能(プレイバックレベル)を極力あたえる。

	股2軸、	膝、	足3軸
最大トルク (kgfm)	: 2.5～4.5,	9～15,	5～9
最大角速度 (deg/sec)	: 75, 75,	280,	280, 280, 220

d. 頭

カメラ制御： パン、チルト (首機構との協調)

画質重視 (中、大型カメラ)： 遠隔操作等、ズーム機能他。

視線制御重視 (小型カメラ)： 自動追尾等

映像送信用トランスミッター

聴覚、音声機能

e. 胴体

計算機、アンプ、センサ、バッテリー等の内蔵スペース

スペースの余裕がある場合は、腰3自由度機構。

姿勢センサ、傾斜計 (Gセンサ)、障害物センサ、前方センシングセンサ

3. 2. 3 伝達機構

アンドロイド・プラットフォームでは、アクチュエータとして電気モータが主として想定されているため、ここでは電気モータ向けの減速機と伝達機構に関する技術の現状や技術課題等について述べる。

(1) 減速機

人間型ロボットでは30自由度前後の機械要素全てを本体内に内蔵せざるを得ないため、軽量かつ低容積である事が要求される。このような仕様に該当する電気モータ用の減速機には、ハーモニックドライブ、遊星減速機、ボールスクリュウ等に絞られる。以下に、各減速機の特徴とその比較について述べる。

a. 各減速機の比較

ハーモニックドライブは、重量と耐荷重の比率であるトルク密度が非常に高く、また容積に比して減速比が大きく一段で50~160程度ある。また、バックラッシュがないため精度と安定性の高い制御が可能である。サイズも $\phi 20\text{mm}$ ~ $\phi 330\text{mm}$ と幅広い。ただし、伝達効率が若干低く、また摩擦も大きい。

遊星減速機も広く使われているが、歯車伝達であるため耐荷重に比してサイズや重量が大きく、トルク密度は低い。また、バックラッシュも大きい(低バックラッシュ製品も有)。しかし、低い減速比(1段:3~5)を得ることができ、段数により容易に減速比を選択できる。また効率も多少良い。

ボールスクリュウは、前者と異なり直動形式である。転がり減速であるため摩擦が少なく効率も高い。また、比較的大きな荷重を受ける場合に適している。ボールスクリュウ自体は低バックラッシュだが、リンク機構部によるガタが発生しやすい。パラレルリンク駆動に適している。なお、可動容積が大きく必用で、回転関節駆動に対しては可動範囲が120度前後と小さいのが欠点である。

その他の減速機は、基本的に耐荷重に比して重量が大きく、自立ロボットには不適切だと考えられる。人間型ということで、シリアルリンク構造の腕脚機構が基本構造であると考えられるため、回転型減速機でトルク密度の高いハーモニックドライブは非常に適していると思われる。次節に、ハーモニックドライブに関する詳細を述べる。

b. ハーモニックドライブ、遊星減速機

現在のところ、トルク密度が最も高い減速機の部類にはいるハーモニックドライブ機構を主として遊星減速機を一部含めた、技術開発史、技術の現状及び今後の課題について概説する。

・技術開発史

1981 産業ロボット用HD「Rシリーズ」を開発。

1982 HD小型コンポネント「スーパーミニタイプ」開発

- 外径 ϕ 30, 40, 50mm, 減速比=50, 88, 100, 110, 定格トルク 1.5~7.8Nm
- 1985 超小型コンポネント「マイクロタイプ」
外形 ϕ 20mm、減速比=80, 定格トルク 0.3Nm
- 1988 HD新シリーズ「Sシリーズ」開発
IH歯形により強度・剛性・寿命が2倍。
- 1991 遊星歯車減速機「HPシリーズ」開発
外形 ϕ 71 * L 35 ~ ϕ 235 * L 107
減速比 5, 11, 16, 25, 33 定格トルク 3.4~300Nm、低バックラッシュ
- 1992 新型HDコンポネント「CSF-2Aシリーズ」開発
軸方向長さ1/2に短縮 この結果トルク/容積比2倍
ユニットタイプHD「CSF-2UHシリーズ」開発
- 1994 遊星歯車減速機ユニット「HP・CP-Aシリーズ」開発
外径 $\square$ 60 * L 35 ~ $\square$ 170 * L 102
サーボモータギヤヘッド用、減速比=5, 9, 21, 33, 定格トルク 3.0~176Nm)
- 1995 シルクハット型HDコンポネント「SHFシリーズ」開発、
高剛性・扁平・中空構造
- 1996 遊星歯車減速機ユニット「HPCPシリーズ」開発
外径 $\square$ 60mm ~ $\square$ 170mm、減速比=5, 10, 21, 33
定格トルク 2.0~176Nm)

c. 技術の現状

本プラットフォームには回転型減速機としては小型、軽量化、アクチュエータへの組み込み安さから「CSF-2Aシリーズ」コンポネントが適していると思われる。

仕様

外形： ϕ 50 ~ ϕ 215、定格トルク：5.4 ~ 951Nm
減速比：1/50 ~ 1/160

トルク密度

	コンポネント	ユニット (ケース、軸受け付き)
減速比=50	82.7 Nm/kg	25.6 Nm/kg
減速比=100	143.1 Nm/kg	46.6 Nm/kg
減速比=160	156.1 Nm/kg	48.7 Nm/kg

d. 技術課題

イ. トルク密度の向上

現在CSF型HD 1.3倍まで向上する可能性がある。即ちコンポネントでは

減速比=50では平均82.7 Nm/kgが107.5に、

減速比=100では平均143.1 Nm/kgが186.0に

減速比=160では平均156.1 Nm/kgが202.9まで

見通せる。又 ユニット型では

減速比=50では平均25.6Nm/kgが33.2に、

減速比=100では平均46.6Nm/kgが60.6に、

減速比=160では平均48.7Nm/kgが63.3まで見通せる。

しかしながら本アンドロイド型ロボットでは更に大きなトルク密度を達成しなければならない。その為には全体質量軽減の為のアクチュエータ、センサーとの融合設計などの設計改善が必要と考える。

e. 詳細仕様設計

200wモーターを基準とした設計事例

イ. ハーモニックドライブ (CSF-2A コンポーネント)

減速比	50	100	160
外形	φ70*L33.5	φ85*L37	φ85*L37
定格/ピークトルク(Nm)	32.5/72.8	87.1/204.1	87.1/228.8
重量(kg)	0.28	0.42	0.42
トルク密度(Nm/kg)	116.1	207.4	207.4

ロ. 遊星減速機 (ケース、負荷用ベアリング一体型)

減速比	11	20	33
外形	□90*L68	□90*L68	□100*L76.5
定格/ピークトルク(Nm)	15.6/31.2	19.5/37.7	44.2/89.7
重量(kg)	1.4	1.6	2.6
トルク密度(Nm/kg)	11.1	12.2	17.0

(2) 伝達機構

a. 回転駆動

・回転軸 - 回転減速機 - モーター

出力軸を直に減速機付モーターで駆動。シンプルだが関節部大。

制御の安定性や精度は良

・回転軸 - 回転減速機 -<伝達>- モーター

出力軸内に減速機を設置。多少コンパクト

伝達部のガタが最終段に出にくい。制御性、安定性良

・出力軸 -<伝達>- 回転減速機 - モーター

出力軸の隣等からベルトやワイヤで伝達。関節をコンパクト化

最終段の伝達部のガタや弾性が大。制御性や精度が悪い

b. 非回転(直動、ワイヤ)駆動

- ・直動ボールスクリューによる回転関節駆動
耐荷重大。関節部はスマート。回転関節では可動範囲が120度前後と少
可動部が大きいため必用容積大
- ・直接的ワイヤ伝達
ワイヤ伝達と減速を同時に行う(whole arm等)
モータ配置が多少自由。蛇管駆動に比して摩擦等がなく制御性良。
アーム慣性を低減可なので安全性は良。
- ・ワイヤ+蛇管駆動
モータの配置が自由。軽量化による安全性の確保。
蛇管の摩擦のため制御性悪い、耐荷重や精度も確保しにくい。

c. その他

- ・ベベルギア
直交回転2自由度を差動でスマートに実現。肘関節に良く利用される。
出力段がギア伝達なのでガタがでやすく精度や制御性が悪い。
- ・パラレルリンク
荷重大かつ可動範囲少箇所に適用可能性。胴体、首、手首等。

d. 各部機構検討

- ・眼球機構：高速高加速度、精度重要(低バックラッシュ)
- ・首：視覚装置に影響。精度重要(低バックラッシュ)
- ・胴体：トルク大、シリアル機構は難あり。パラレルリンク機構。
- ・腕：シリアル・リンク骨格が基本。前章参照。
直接駆動：制御性は良いが腕が重量化
ワイヤ駆動：軽量化により安全性高・制御性悪い
- ・指：ワイヤ駆動が主流。指関節を直接駆動できるげん小型減速機付モータ有
- ・足：基本的に腕に類似。直接駆動。膝関節にトルク集中。
歩行時の衝撃吸収:応答性の速いので機械式コンプライアンス

e. 技術的課題

移動ロボットの重量化は、モータよりも、減速機とそのハウジングや支持ベアリングに起因している場合が多い。特に力センサ等のオプション的要素を含む場合、接合のための支持部等が増大して重量化しやすい。現時点では、積極的に組み込みタイプの減速機(ハーモニックCSF等)を用いて、ハウジングを一体設計することが、全体軽量化を促進するポイントになる。したがって、技術的課題としては、減速機そのものの性能を改良するだけでなく、まずアクチュエータ、減速機、エンコーダ、力センサ、配線スペース、外骨格等を一括的に設計すべきであると考えられる。これは単なる小型減速機付モータモジュール

ルというより、肘用モジュール、手首用モジュール、というレベルでのモジュール化の必要性を意味する。

また、重量増の原因となっているベアリングの軽量化、蛇管に代わる伝達機構(軽量ピストン等)、小型機械コンプライアンス用素材(板やネジリ)、小型無段変速器なども、検討すべき課題であると思われる。

3. 2. 4 アクチュエータ

(1) 技術開発の歴史

産業用ロボットは1961年頃に米国で実用化されたが、そのアクチュエータは、当初は油圧式が主流であった。日本には、1968年頃に産業用ロボット技術が導入され、油圧式が普及し始めたが、1973年の第一次オイルショック、1979年の第二次オイルショックを契機に、スポット溶接ロボットを中心にそのアクチュエータは、オイルを使う油圧シリンダ・油圧モータから保守性の良い電気モータに急速に置き代わり始めた。産業用ロボットは、プレイバック方式が主流であるため、電気モータとしては電気サーボモータが使用され、通常、モータのシャフトに回転位置検出のためのエンコーダが搭載されている。電気サーボモータとしては、初期は、DCサーボモータが使用されたが、次第にブラシ磨耗のないACサーボモータに置き代わってきた。ACサーボモータは、回転子(ロータ)に永久磁石を用いる同期形とコイルを用いる誘導形に大別される。小型、軽量、高効率求められる産業用ロボットには主に、同期形のACサーボモータが使用されている。

(2) 現状の技術

現在商品化されている同期形ACサーボモータで1kgの重量を持つものの仕様例を次に挙げる。

定格出力	0.2kW
トルク	0.6Nm
最高回転数	3000rpm
ロータイナーシャ	0.000017kgm ²
外形寸法	60×60×125mm
重量	1kg

(3) 技術課題

サーボモータは、動物の筋肉等と比べて、出力/重量比が小さいことが課題であると言われる。もちろんこれは、ほとんどの産業用ロボットが採用しているメカニカルアームの剛性に頼った制御方式のせいでもあり、アクチュエータだけの責任ではない。

産業用ロボットは、高速に動作し、かつ、短時間で停止しなければならない、しかも停止時の手先の振動は許されない。アンドロイドでは、そのような要求は少ないと考えられるし、フレキシブルアーム制御や、小脳に模した適応学習制御方式等が実用化されれば、アクチ

ュエータに対する要求の緩和も期待される。従って、アクチュエータの技術課題としては、現状に比べて、可能な限り、出力／重量比を高めることが挙げられる。

(4) 詳細仕様設計

アンドロイドのアクチュエータ数は、最低でも、腕(7軸×2)＋脚(7軸×2)＋腰(3軸)＋首(3軸)＝34軸となる。大人の全重量は70kgということなので、1アクチュエータあたり平均2kg以内となる。ボディの重量を考慮し、アクチュエータは、モータと減速機から構成されるとして、1アクチュエータあたりの平均重量は、1kg程度が限度と考えられる。モータのタイプは、次の理由により、同期形ACサーボモータが良いと思われる。

- ・ブラシレスなので、保守が不要である。
- ・永久磁石により界磁を作るので効率が良くなる。(損失が少ない)

アンドロイド用アクチュエータの詳細設計の難しさは、重量や外形を同一条件とした場合、アクチュエータに結合された減速機の出力トルクをどこまで向上できるかにある。ACサーボモータの性能に関しては、技術的にかなり成熟しているので、原理的な技術革新を望むのは難しいと思われる。ただし、エネルギー積が高く単位重量あたりの磁束密度の高い希土類系の磁石を多用するなどすれば、大幅に性能を向上させることはできる。例えば、価格が安く現在最も普及しているフェライト系磁石の代わりに、価格は高くなるが最近利用が進んでいるネオジウム・鉄・ボロン系の磁石を採用すれば、アンドロイド向けとして、適度な性能／価格比のものが得られる可能性がある。

一般的にモータの重量は、出力容量よりも出力トルクが支配的である。したがって、設計に際しては軽量化のために、低トルク高速形モータとして回転数を大幅に向上させ、これに軽量で減速比の高い減速機を組み合わせるのも有効な解決法の一つである。アンドロイドは、通常の産業用ロボットと比べて、高速性に対する要求が厳しくないので、減速比を高くできる可能性がある。ただし、減速比を高くすると出力側の変動に対してロバストに制御できるメリットはあるが、主に減速機の摩擦の影響でその変動を入力側で捉えて制御に反映させることはしづらくなる。したがって、例えば、マスタスレーブ制御のスレーブ側として使用するのであれば、減速比が高いのは望ましくない。ただし、適切なセンサ、例えば、関節トルクセンサ等を使えばその問題も解決できると思われる。工作機械の場合は、重い対象を安定に制御するため、モータのイナーシャを大きくするのが普通であるが、本ロボットの場合は、イナーシャを小さく設定できると思われるので、回転数の向上が期待できる。小型軽量化に際しては、自己発熱も形状に比例して減少させる必要が生じる。特に、脚部は、常に自重を支えており、そのアクチュエータの動作デューティは低くできない。そこで、材料・構造・加工等について、銅損、鉄損、機械損などを現状に比べて大幅に減少させる開発を行う必要がある。また、適当な冷却装置が必要になる可能性もある。

170cm, 70kgのアンドロイドを想定して、ACサーボモータ＋減速機から構成される回転形アクチュエータの目標仕様の例を次に挙げる。ただし、本仕様が実現できるかどうか

は更に検討が必要である。

定格出力	0.5kW
トルク	300Nm
最高回転数	60rpm
外形寸法	60×60×100mm
重量	1kg

アンドロイドの脚／腰、腕／首、手指に使用するアクチュエータは、およそこの順で出力が小さくなり、これに適した設計をする必要がある。

最後に、ACサーボモータのエンコーダについて述べる。現在商品化されているACサーボモータでは光学式エンコーダが通常採用されている。これは光学式であるため、精度と耐ノイズ性に優れているからである。また、消費電力が低い磁気式エンコーダも市販されている。アンドロイドでの用途を考えると、高速回転を考慮しても、分解能等の性能は、現状の技術で特に問題はないと考えられる。ただし、可能であれば、より一層小型にできれば望ましいと言える。

3. 2. 5 動力源

ここでは、動力源としてバッテリーを用いる方式と、エンジンを利用する方式の2つについて検討した。

(1) バッテリー方式

a. 技術開発史

電池を大別すると、充電、放電を繰り返す二次電池と放電のみの一次電池がある。

イ. 一次電池

代表的な電池の開発は下記の通りである。マンガン乾電池における「一液漏れ」との戦いを経、リチウム電池における「安定性、安全性」との戦いの結果、現在の時計用や電卓用の小型軽量の電池を開発するに至っている。リチウム電池に関しては、まだまだ発展途上であるが、他の電池に関しては、かなり成熟期に入っている。二次電池に比べて、充放電に対する電極の工夫が不必要な分、高いエネルギー密度をもつ。

ボルタ電池 (1800)

マンガン電池 (1866)

アルカリマンガン電池実用化 (1950)

リチウム電池実用化 (1970)

ロ. 二次電池

代表的な開発時期は下記のとおりである。一次電池に先を越されていたが、ニッケルカドミウムの実用化をスタートに「高エネルギー密度」をキーワードにポータブル機器のバ

ッテリとして開発されていった。一方、大容量としては自動車用として鉛蓄電池が開発され、「小型軽量化」とともに、「メンテナンスフリー」がキーワードであった。

一次電池に比べて、充放電に関する可逆性が必要な分、エネルギー密度の一次電池との差が非常に大きかった。近年の開発速度には目をみはるものがあり、その差も大分縮まってきた。

鉛蓄電池 (1859)

ニッケルカドミウム電池 (1899)

b. 技術の現状

ヒューマノイド用の電池としては、軽量、コンパクトさからいえば一次電池の方が有利である。しかし近年二次電池の開発が急速に進歩し一次電池に近づいてきたし、また資源環境的に見ても、使い捨ての一次電池は対象外とし、ここでは二次電池のみを考えることにする。二次電池を考える上で、その性能を表す指標を下記に示す。

イ. 指標

・エネルギー密度 (重量、体積)

単位重量、体積あたりのとりだしえるエネルギー。電気自動車を例に上げると、一回の充電で走れる走行距離を決定する。重量エネルギー密度 (Wh/kg) と体積エネルギー密度 (Wh/L) がある。ほぼ、重量が体積の2倍の値をとる。

・出力密度 (重量、体積)

単位重量、体積あたりに取り出せる出力。電気自動車では加速度、登坂能力を決める。

・サイクル特性

定められた条件下で充放電を繰り返したとき、初期の容量に対して、ある割合まで低下するサイクル数。耐用年数を決める。

・急速充電

放電とともに充電時間も重要なファクターである。そのためにも急速充電できる電池が好ましい。通常よりも大電流 (10倍程度) で充電すればよいのだが、その充電制御にいろいろな方法が開発されている。

ロ. 電気自動車 (EV)

電池の用途的には、大きくポータブル機器 (オーディオ、パソコン、携帯電話) 用の小容量蓄電池と、電気自動車、バッテリーフォーク等用の大容量蓄電池に大別される。ヒューマノイドを考えるとときには、出力的には小容量では無理であり、最近進歩の著しい電気自動車用バッテリーを考える必要がある。電気自動車用バッテリーは、電池セルを数十個直列に連結する場合が多いので、ヒューマノイド用としては、それらをいくつか搭載すればよい。以下にEV用に開発された代表的なバッテリーを列挙する。

・鉛蓄電池

負極：鉛 正極：酸化鉛

今までの電気自動車のバッテリーのほとんど。安価。エネルギー密度は $40Wh/kg$ 程度

例) 12V 21Ah (252Wh) 7.5kg (H187:W127:L187)

・ニッケル水素電池

負極: 水素吸蔵合金 正極: ニッケル酸化物

コードレス機器用として市場に出回り始めたばかりであり、大型電池に関しては開発がスタートして間もないが、高エネルギー密度かつ高出力密度であり、電気自動車のバッテリーとしても有望。急速充電可能(1h)。エネルギー密度は70Wh/kg程度。

例) EVラリー優勝車のバッテリー

最高時速125km/h、一充電走行距離180km

8リッター 18kgを24個

・リチウムイオン電池

負極: カーボン系炭素材料 正極: コバルト酸リチウム

リチウムはもっとも電位の低い原子であり、理論的にエネルギー密度がおおきい。しかし、その高反応性のゆえ、安全性が大きな課題であり、一次電池ではリチウム金属を用いているが、二次電池ではリチウムイオンの形で開発されている。

小型電池では、携帯電話、パソコン等の電源として広く使用され、現在EV用の電池モジュールの開発が各社で行われている。メモリ効果もない。現在、EV用の新電池として最有力視されている。急速充電可能(1h)。エネルギー密度は120Wh/kg。

例) 直径67mm長さ440mm重量3.5kg

エネルギー密度100Wh/kg、出力密度300W/kg、サイクル数1200

・ナトリウム硫黄2次電池

高エネルギー密度(100W/Kg)。ただし高温(300度)で使うため実用に難有り。

以上の特徴をまとめたものを図3.2.3に示す。

電池	開発の状況					特長	今後の課題
	エネルギー密度 (Wh/kg) 理論値現状→将来		出力密度 (W/kg) 現状→将来	寿命 (サイクル) 現状→将来	材料費 (相対値)		
密閉鉛	170	35 → 40	200 → 300	350 → 500 <	100	高出力密度 高信頼性 低コスト	長寿命化 低コスト化 エネルギー密度の改善
Ni - Cd	240	50 → 60	220 → 250	500 → 1000	1300	高エネルギー密度 高出力密度 高信頼性	低コスト化 大型化
Ni - Fe	260	50 → 60	160 → 200	800 → 1000	790	高エネルギー密度 負極活物質安価	低コスト化 密閉化 充電効率の改善 自己放電性能の改善
Ni - Zn	340	70 → 85	230 → 270	200 → 500	630	高エネルギー密度 高出力密度 負極活物質安価	低コスト化 負極の寿命改善
Ni - MH	280	55 → 70	220 → 250	500 → 1000	1500	高エネルギー密度 高出力密度	低コスト化 大型化安全対策
Li イオン	415	115 → 180	100 → 200	300 → 500	2300	高エネルギー密度 高電圧	低コスト化 大型化 安全対策 寿命改善
Na - S	780	100 → 120	130 → 150	350 → 1000	1100*	高エネルギー密度 活物質安価	低コスト化 β -アルミナの改善 安全対策
FC PEFC	3700	—	60	4.5 → 11 年	3000	高エネルギー密度	低コスト化 出力密度の改善 安全対策
エンジン	12000	400	540	50 万 km (20 年)		高エネルギー密度 高信頼性	排気ガス対策 騒音対策

* β -アルミナを含む

図3.2.3 電気自動車用に開発が進められている蓄電池の比較

c. 技術課題

イ. 小型・軽量化

原理的には金属リチウム・フッ素で5.9V、6100Wh/kgの高電圧高エネルギー密度の電池も一部研究されているが、まだ、夢の段階である。当面は従来のリチウムイオン電池系が次世代の電池になると考えられている。理論エネルギーが1000~2000Wh/kgの電池系が多くあり、これらの中から新リチウム二次電池が誕生すること可能性が大きい。

ロ. 安全性の向上

特にリチウムイオン電池はリチウムの高反応性から、衝撃や、過放電、過充電などでの発火、爆発等が実用化の最大の問題である。より細かい充放電の制御が必要である。

ハ. 環境問題、資源問題

従来の満願電池、鉛蓄電池やニッケルカドミウム電池では、水銀、鉛やカドミウムなどの有害物質を含み、一時公害問題になった。またこれらの物質は同時に貴重な資源でもあり、リサイクルが重要問題である。またリチウムイオン電池においても、正極に用いるコバルトが資源的、コスト的には問題となる。リサイクルを考えるか、コバルトを用いない方法を考える必要がある。

ニ. パワーキャパシタ (高エネルギー密度型電池(通常)+高出力型電池(高負荷時))

二次電池はエネルギー密度は比較的高いが、極端に高いパワーは出しにくいという特徴がある。たとえば、ヒューマノイドがアクチュエータのもつ瞬間最大トルクを出そうとするとき、電流不足になることが考えられる。また、その最大電流をひとつのバッテリーでまかなうことを考えると、とてつもなく大きなバッテリーになる恐れがある。そこで、瞬時のパワーを補うために、高出力型電池(パワーキャパシタ)を組み合わせるハイブリッド方式が有効と考えられる。現在開発中のパワーキャパシタとしては、500~700W/kg、1~3Wh/kgのものがあり、今後さらに高効率なパワーキャパシタの開発が望まれる。

ホ. バッテリー・マネージメント・システム

従来の定置型の産業用ロボットのように、主電源からは十分な電力が供給される場合と違い、自立型ヒューマノイドを考えると、電力異常に対する安全対策が重要となる。たとえばヒューマノイドの二足歩行を考えると、バッテリー異常になった瞬間転倒の可能性もある。また把持しているものを落下する恐れもある。常に最大電流がバッテリーの能力を越えないように監視し、何か異常があった場合にも、異常を早期に診断し、ヒューマノイドが他に危害を及ぼさない、または自分を守る最低限の安全を確保する機能が必要である。

d. 詳細仕様設計

EV用に開発されつつある代表的なリチウムイオン電池を例にあげて、2～3年後の進歩を鑑みてヒューマノイドへの適用を試算してみる。2～3年後の努力目標としてエネルギー密度では、 180Wh/kg 、 360Wh/L 、出力密度 200W/kg を想定する。

「中人型」を例に取り、バッテリー重量を 10kg とすると、容量 1800Wh 、出力 2000W ということになる。連続動作時間を一時間とすると、連続で 1800Wh 程度となる。ロボットのアクチュエータが定格程度で使われると仮定すると、腕一本が 300W 程度、足が一本あたり概算で 600W 程度ということで、二足二腕で 1800Wh 必要となり、ちょうど 10kg のバッテリーで一時間もつことになる。研究用のプラットフォームという性格を考えると、産業用ロボットのような連続定格ぎりぎりの使い方はしないだろうが、そのバッテリーの容量内での効率的な使い方も研究の対象になりそうである。

もう一つ問題となるのは、瞬間パワーである。ロボットのアクチュエータの瞬時最大トルクは定格時の通常数倍程度ある。そう考えると、脚（特に膝）に用いる 150W 程度のアクチュエータの場合、1アクチュエータだけで瞬時 800W 程度必要となる。複数アクチュエータを同時に使うとすぐ定格の 2000W を越えてしまう。鉛蓄電池を例にとると、定格の7～8倍の出力の場合、2分程度で放電してしまう。それから考えると、せいぜい定格出力 2000W の2～3倍をある短時間使用するのが限界であろう。

通常歩行時は問題ないかもしれないが、階段昇降時や起きあがり時などのように全身を持ち上げるときが苦しいかもしれない。さらなる熟考が必要となる。前項のパワーキャパシタのようなものを使用する必要があるかもしれない。

さらに考慮すべき点は、コントローラ、センサ系の消費電力である。これらはアクチュエータと違い常時平均的に消費するものである。画像処理等、高度な処理を行うコントローラをたくさん積むとすぐに数百W消費してしまうので、コントローラ設計時には消費電力を抑える工夫も必要となる。

どちらにせよ、前項マネジメントシステムで述べたように、かなり、バッテリーの容量ぎりぎりのところを使っているため、バッテリー不足時、異常時等のモニタリングが重要であり、異常時への安全対策が非常に重要となってくる。

(2) エンジンを利用する方式

a. エンジンを動力源とする機械の現状

移動とする機械の多くはエンジンを利用している。その代表が自動車であり、最近は環境問題からバッテリー化の推進が進められている。しかしながら、性能的には未だ時間を要すること、また、量産型の自動車ですら価格の問題を乗り切るのは容易なことではないと想定される。

ロボットは、軽量小型性を極めて厳しく求められる機械であり、そのエネルギー源として重量当り出力の大きなエンジンの採用を検討することも無駄ではない。

イ. 作業機械の駆動方法

パワーショベル・ブルドーザに代表される作業機械は多様な動きを要求されるという意味ではロボットに近い。これらの機械は以下の理由で油圧駆動を用いている。

- ・エンジンは負荷変動化での効率が良くない。
- ・速度変更はその追従性も考慮すると不可能に近い。

これを模式的に示すと図3.2.4のようになる。通常エンジンは低回転で回り、作業負荷がないとき、少ないときは油はリリーフ弁を介してタンクにドレンする。従って、エネルギーは常に消費されており、効率は必ずしも良くない。

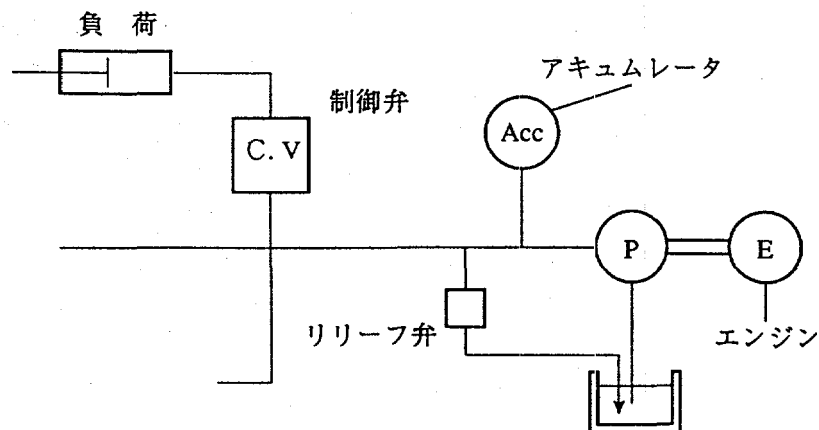


図3.2.4 代表的油圧（エンジン）システム

h. エンジン駆動のロボットの構想

イ. 基本的考え方

上記の通り、エンジンは制御性が悪いのでエンジンを1次エネルギーとして発電し、それ以降を電気駆動とするいわゆるハイブリッド方式を構想する（図3.2.5）。

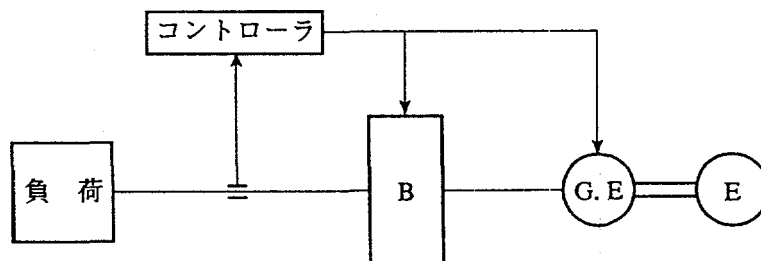


図3.2.5 ハイブリッド方式の概念

ロ. ハイブリッド方式の従来の考え方

エンジン発電機は負荷の急変に弱いので、通常はバッテリーを併用する。この場合、

- ・バッテリーは通常必要な電力をカバーする。
- ・エンジンは高負荷電力の必要があるとき使用する。

瞬時：エンジン

定常：バッテリー＋充電エンジン

停止：充電エンジン

従って、図3.2.6(a)に示すようにエンジン、発電機とも最大パワーを考慮した設計を行う必要がある。即ち、バッテリー等が大型化（バッテリーのみよりは小型）し、機械性能は十分に確保されるが、全体としてバッテリー方式よりメリットが多いとは言えない。

E：エンジン, G：発電機, B：バッテリー, D：ドライバ, M：モータ

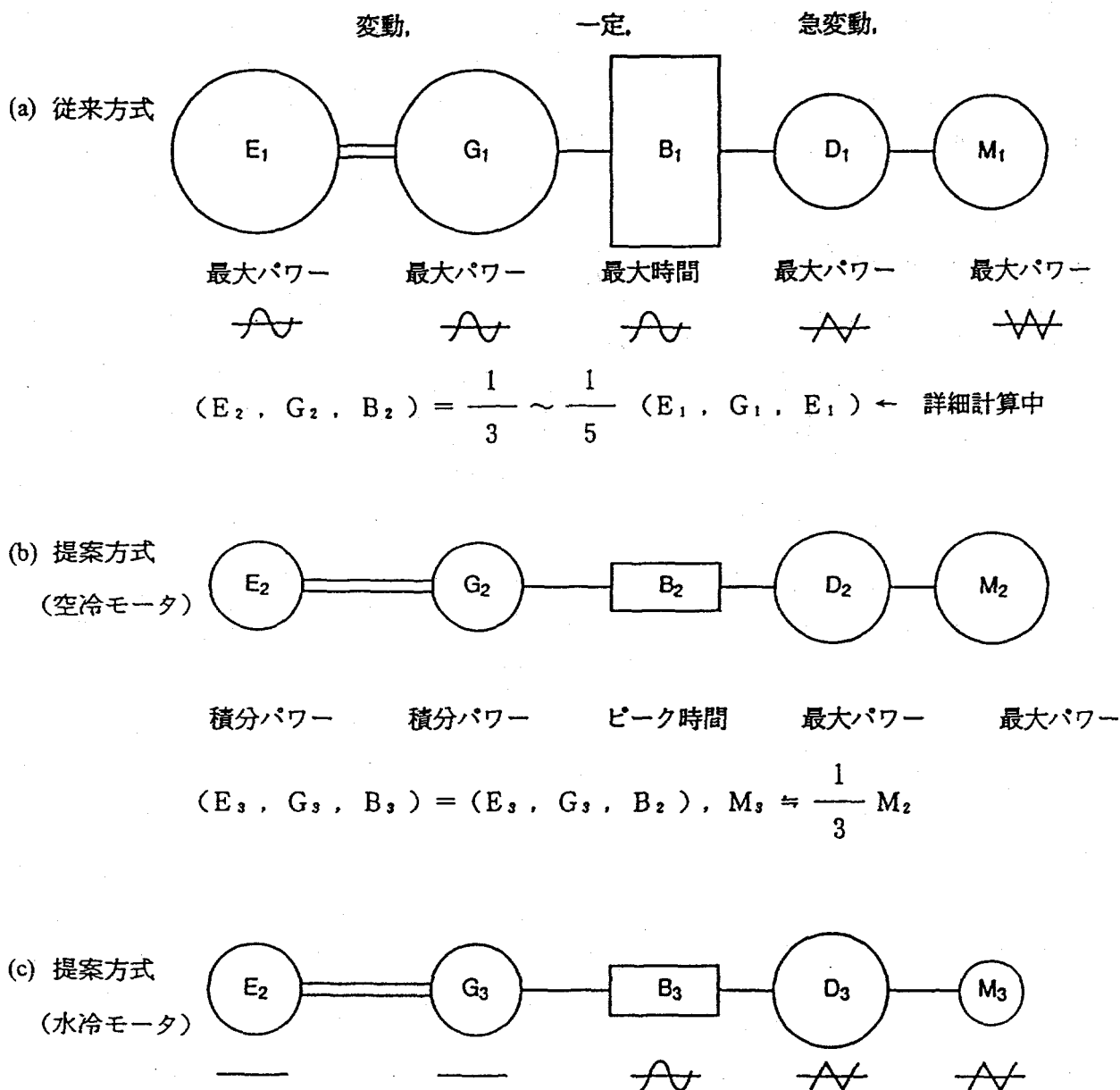


図3.2.6 ハイブリッド方式の比較

ハ. 短時間支援バッテリー方式

・コンセプト

図3.2.6(b)にその概念を示す。本方式は従来の発想を逆転し、

瞬時電力はバッテリーを利用。連続使用短時間

エンジンは平均パワー（停止時含む）を供給

としたものである。ロボット所要動力は、

間欠的な高パワー

停止アクチュエータも多い

特性を持つ。従って、ロボットの運用にもよるが、新しい概念を用いれば電源部の大きさを数分の1にすることができる。

同様な発想を駆動アクチュエータに適用すると駆動アクチュエータ出力を見かけ2～3倍とすることが可能となり、全体としての小型化に寄与できる。即ち、水冷によって最大パワー時のアクチュエータの短時間温度上昇を押さえる。冷却水はタンク等での長時間放冷によって降温する。

・試算例

* ビークルへの実装例

仕様概要

重 量	1.5ton (ペイロード含む)
速 度	2m/sec
バッテリー連続使用時間	20分
アクチュエータ数	4 (750W×2、200W×2)

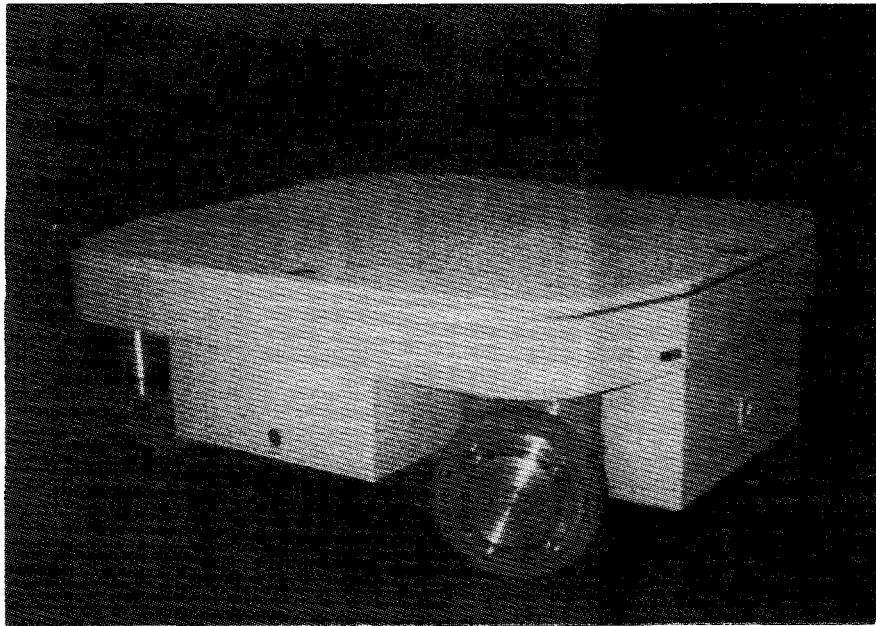
設計計算は省略するが、このビークルに必要な動力としては

550W～1kW (30cc程度ガソリンエンジン)

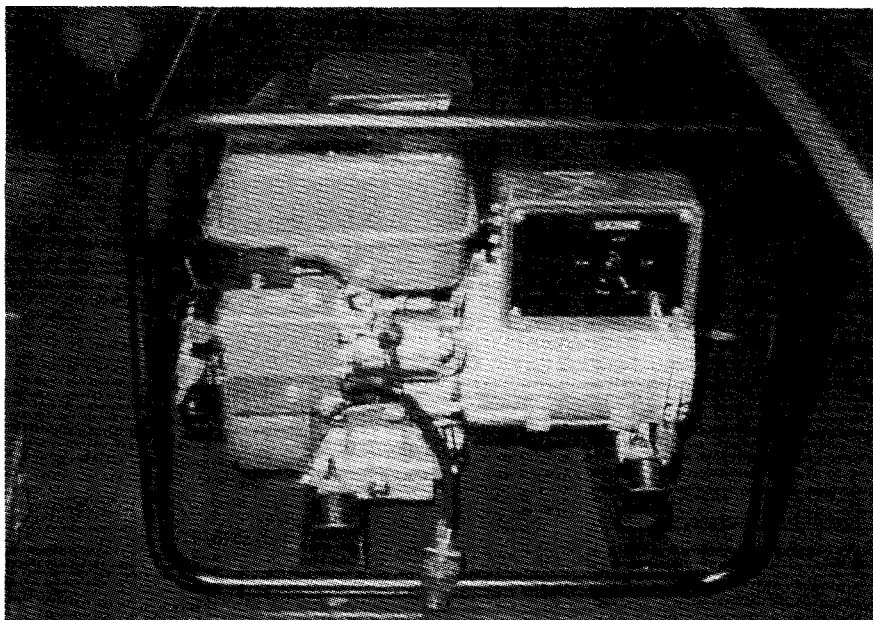
550W発電機

バッテリー2～3Ah×22個 (重量約40kgf、鉛蓄電池)

程度となる (図3.2.7)。



(a) 全 景



580×450×425mm (550W)

(b) エンジン発電機

図3.2.7 ハイブリッド方式ビークル

* ヒューマノイドの概算イメージ

電力についての仕様が不明であるので、正しい試算は不可能であるが、ピークルの例から推定すると

体 重 1/10

重力方向動有から考えて

エンジン出力 200W程度 (10cc程度)

直流発電機 200W × (280V × 1A)

バッテリー 2~3A / 定格0.2Ah程度

程度が想定される。重量・寸法については

市販品での入手性

放熱フィンの構成

エンジン超動停止の制御系への組み込み

バッテリー種類の決定

を考慮すれば、図3.2.8程度のイメージを実現できると思われる。

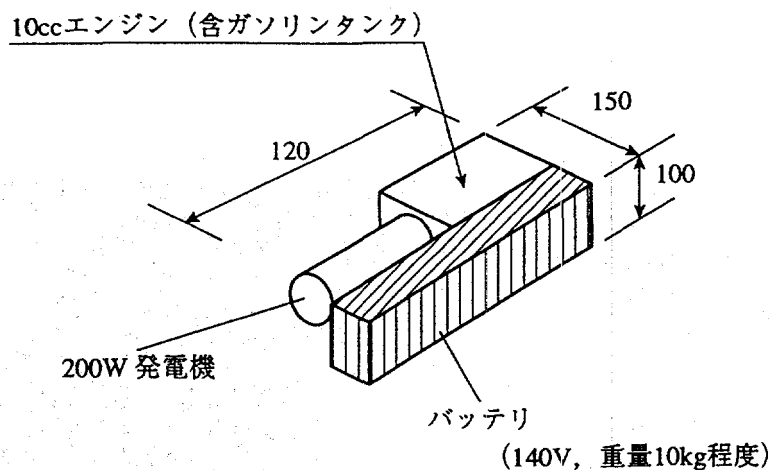


図3.2.8 ハイブリッドエンジンイメージ

3. 2. 6 視覚センサ

(1) ロボットに必要な視覚の機能

まず、ロボットの視覚に要求されている機能を整理したい。ロボットが視覚によりセンシングし行動する仕方を、作業対象物を操作（マニピュレート）する場合と、移動する場合に分けて考える。

a. 作業対象物を操作（マニピュレート）する場合

作業対象物を認識し、それをトラッキングし、且つ3次元位置計測をおこない、ビジュ

アルフィードバックしながら、ハンドで作業対象物を把持し、アームで作業対象物を目標の位置・姿勢に移動させる。

b. 移動の場合

視覚により移動可能な空間を見つけ、障害物を回避しながら、ランドマークを検出し、自己位置を同定しながら、移動経路を生成し、車輪や足を駆動し目的地に到達する。

上記の2つの場合においてロボットの視覚に必要な基本的な機能を挙げると、次の4つになると考える。

- ・画像入力
- ・トラッキング
- ・3次元位置計測
- ・作業対象物・ランドマークの認識

(2) 技術開発の現状

前項で挙げた4つの機能に関する技術の現状を以下に述べる。

a. 画像入力

この機能は最も基本的な機能であり、他の機能はこの画像入力が終わった後のデータの処理に関するものである。この機能を担う画像入力装置は、撮像素子の付いたカメラ、A/D変換器及びメモリからなっている。

撮像素子はCCDが最も広く用いられており、画素数も100万画素を越える高精細のものもあり、小型でロボットに搭載するための軽量小型の仕様は十分満足する。

分解能や入力速度(フレーム/秒)は撮像素子からメモリへの入力で、規定されている。特に人間がモニターを通して見る画像に必要な仕様で規定されており、速度が30フレーム/秒で分解能は768(水平)×480(垂直)程度である。これは技術的な限界ではないので、現状の技術でもロボットに必要な仕様を満足できるものが出来ると思われる。

b. トラッキング

トラッキングに関しては、高速の相関演算チップも出ていて、ロボットの視覚には十分な速度でトラッキング演算ができると思われる。井上、稲葉らはSGS0Thomsoの相関演算プロセッサST1322Eを用いて、33msecのフレームレートでトラッキングを行う装置を開発した。演算速度が不足であれば並列処理をすればよい。画像の相関演算をビデオレートで実行する専用LSIを使用した1ボードのカラートラッキングシステムがすでに開発されており、本プロジェクトにも直ちに適用可能である。さらに、1~2年後には、CPUコア(32ビット高速RISC)とトラッキングLSIを1チップに集積したインテリジェントチップが登場し、そうなれば、カメラとの一体化も不可能ではない。現状のトラッキングの速度を限定しているのは、画像入力装置の処理速度であろう。

c. 3次元位置計測

3次元位置計測の方法には、対応点を相関により求めるステレオ視とレーザを照射して

対応点を指示しているレーザレンジファインダが主流である。また、移動車など比較的長い距離を計る場合には、光が物体から反射して戻ってくるまでの時間を光強度変調波の位相の変化として検出する光飛行時間法がある。

ステレオ視では、金出らがフレームレート（30画面/秒）分解能 256×240 で処理をする装置を開発した。また、レーザレンジファインダでは井口、佐藤がスリット光を走査し、全てハードで処理するファインダを開発した。これはフレームレートで処理しているが、それ以上の処理速度を実現できる。位置の測定精度は三角測量の原理に基づいているので、 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ のシーンを基線長 60 cm で見ると、撮像素子の分解能を 768×480 とすると、上下の誤差は約 5 mm 、左右の誤差は 2 mm 、奥行き誤差は 10 mm 程度である。個々の物体は単一の材料でできていることが多く、画像の濃淡信号の変化が少ないので相関を用いたステレオ視は適用できず、レーザレンジファインダを用いることになる。

d. 作業対象物の認識

認識技術の現状をここで述べるには紙面が少ない。しかし、現在の認識のための入力情報である画像の濃淡信号だけでは少なすぎるように思う。少なくとも、カラーの濃淡信号、それに対応した3次元位置（形状）データを使用すべきであると考ええる。

例えば、白い花瓶を画面内から抽出しようとした場合、白い部分の3次元形状を測定し、3次元の形状でマッチングすることができれば、アルゴリズムは非常にシンプルになる。作業対象物の認識にとって3次元位置（形状）計測はキー技術と考えている。

(3) 技術課題

a. 画像入力

人間の目の視野は極めて広く、特に左右方向では 180° 以上にも達すると言われる。通常の光学系では視野を広くとると歪みが増大し計測上不都合を生じる。そこで、視野の中央では精度が確保され、かつ周辺部分では広い視野を与えるような光学系の開発が一つの解として考えられる。

また、 1000 フレーム/秒で画像メモリに 1024×1024 の画像信号(8bit)を入力する画像入力装置を開発することが必要と考える。

b. 3次元位置計測

512×512 、 30 フレーム/秒（できれば 100 フレーム以上）で3次元位置計測をしたい。高速で画像入力を行うことがキー技術となるであろう。

工場での加工・組立の際を考慮すると、位置計測精度は 1 m 立方を 0.1 mm の誤差で測定したいところであるが、リアルタイム性を重視し、測定精度は現状で良いとする。

c. トラッキング

1024×1024 、 200 フレーム/秒でトラッキングしたい。このトラッキングは

3次元形状の物体をトラッキングできること。すなわち、画像の形が変化してしても、高速サンプリングにより変化を小さくして、トラッキングしたい。

(4) 仕様検討

以上はロボットのための視覚について技術の現状や課題を見てきた。ここでは、アンドロイド型に搭載する視覚のための装置の仕様を記す。1年後に製作開始できることを想定して以下の仕様を決めた。但し、平行して高速画像入力装置や高速3次元位置測定装置の開発などを進めたい。

アンドロイド型に搭載するには、視覚のための撮像素子、データ処理装置は小型軽量でなければならない。大量のデータ処理は無線で画像データを外部の計算機に送って後に行う。

a. 撮像素子

視覚系の撮像素子としては、ビジコン、MOS型センサ、CCDセンサと進展してきて、現時点でいえばCCDセンサの採用で議論の余地はないと思われる。CCDのチップサイズについては、数年前までは1/2"が主流であったが最近では1/3"、1/4"と小型化が進んでいる。一方で、画素数はローエンドの20万画素から100万画素を越える高精細なものまで幅広い。カラー対応としては単板式と3板式があるが、ロボットへの組み込み用としては、小型軽量化の観点から単板式が現実的であり、また、性能も十分であろう。NTSCカラー出力で、プリント基板上にCCD、CCD駆動回路とレンズが直付けされたカメラがすでに市販されている。これを2個用いて、複眼とする。

以上から、撮像素子(目玉)部分の仕様として以下が想定される。

眼球

撮像素子	1/3～1/4" カラーCCD×2 (複眼)
画素数	768×480以上
視野角	50°
重量	30g/単眼×2

b. 眼球運動機構

目玉を動かす自由度としては、水平方向(パン)と上下方向(チルト)の2自由度が最低必要である。あと自動焦点とズームが考えられる。ズームは位置測定精度の改善には欠かせない機能であり、自動焦点機構は大局的な3次元位置測定には必要と考えるが、アンドロイド型ロボット搭載用としては小型軽量を重視して、これらの自由度は今回見合わせる。両眼の動かし方として、a) 2眼独立と、b) 2眼共通があり得る。徒に自由度を増やすことは得策でないが、一方で2眼共通では視野の拡大という観点で不十分であろう。ここでは、パン方向は2眼独立とし、チルト方向は2眼共通とする方式を提案したい。

眼球の運動速度として、人間の場合、サッケード(飛越的運動)では最大720°/sにも達するとされる。目玉自体を軽量化すればトルクはさほど必要でなく、速度重視の観点からダイレクトドライブ方式またはボイスコイルモータを用いた直動方式が有望で

ある。

以上より、目玉の動きについての検討仕様を以下に示す。

眼球運動

パン角度	$\pm 90^\circ$ (2眼独立)
チルト角度	$\pm 60^\circ$ (2眼共通)
角速度	MAX $720^\circ / s$
駆動機構	ダイレクトドライブモータ またはボイスコイルモータ + 高分解能エンコーダ
重量	200 g / 単眼 $\times 2$

c. 視覚センサ処理

視覚センサデータの処理としては、オンボード側の処理とリモート処理の仕分けが一つの課題である。計測・認識・モデル化・記憶等の大きな計算機パワーを必要とする処理はリモート側で処理することが現実的である。一方で、トラッキング処理や注視処理はリアルタイム性がより重視されるべきであり、また、比較的容易にハードウェア化が可能であるのでオンボード側で処理を行う。

1～2年後には、CPUコア(32ビット高速RISC)とトラッキング専用ハードウェアを1チップに集積したLSIが実現可能であろう。

d. 画像処理

トラッキング処理・注視処理はオンボードで処理、CPUと専用ハードウェアを1チップ化する。計測・認識・モデル化・記憶等はリモート側計算機で処理する。

e. 伝送

視覚センサデータは、リモート側計算機による認識・計測等の処理のために、リアルタイムで送出される。ロボットの動きに大きな制約を与えるケーブル類をなくす意味から、伝送は無線により行う。例えば1.3GHz帯を用い、10MHzの帯域を確保して小規模の回路構成でリアルタイムの無線伝送が可能である。

到達距離は研究用として10～50mもあれば十分であり、出力(パワー)は10mW以下の特定小電力無線が適当と考えられる。

伝送

生画像をリアルタイムに無線伝送	
使用周波数	1.2～2.4GHz
帯域	10MHz
重量	100 g / ch $\times 2$

小型の無線モジュールの開発が必要である。現状のモジュールは、体積: 15(cc)、消費電

力: 1(W)。ロボット本体内蔵用としてはまだ不十分であり、一層の小型化、省電力化が求められる。

3. 2. 7 聴覚

(1) 技術開発の歴史

音声認識の研究の歴史は長く、実用化もされてきたが、現状では、限られた用途に使用されているにとどまっている。最近になって、パソコンのアプリケーションの起動を行うもの、カーナビゲーションの入力用として地名などの大語彙の単語認識を行うもの、また、書き取りを目的とした汎用の音声入力を行うもの、などが商品化されるようになってきている。

アンドロイド型になるとロボットに「どんなことをさせるか」という内容がより高度化することが考えられ、その場合には、言葉による指示が重要になることが予想される。アンドロイド型ロボットに音声認識、音声合成による対話機能を持たせようとしたものとしては、早稲田大学の WABOT の例が上げられる。

(2) 技術の現状

音声認識の認識性能は、80年代から90年代前半にかけて、大きく向上した。現在、実用化されているものの多くは、隠れマルコフモデルなどの統計的な手法を用いて、大量の音声資料から認識モデルを作成するものである。

通常の音声認識は、マイクロフォンを口の近くに置いた状態で発話することが想定されている。たとえば、ヘッドフォンと一体になった接話型のマイクロフォンや、マイクスタンドに取り付けたマイクロフォンを用いて、静かな環境で収録された丁寧な発声の音声を対象とした場合、かなり高い認識性能が得られる。マイクロフォンに近い位置で話された音声を対象とすることによって、相対的なノイズの割合を少なくすることが、高い認識性能を得るために、非常に重要な点となっている。

ところが、アンドロイド型ロボットに対して、人間同士の会話のように話しかけることを想定すると、マイクロフォンに近い位置で話された音声を対象とするのではなく、かなり、離れた位置で話された音声を対象とする必要が生じる。

指向性の強いマイクロフォンを用いたり、簡単な雑音除去処理を施したりすることが考えられるが、現状の技術では、静かな環境で収録された音声の場合と比べて、認識性能の低下は、かなりのものである。

さらにロボット自身のアクチュエータなどから発生する音は、かなりの大きさとなることが予想され、音声認識にとっては、非常に過酷な環境での使用となる。

(3) 技術課題

「耐環境音声認識技術」

かなり離れた位置で話された音声を対象とし、周辺の環境音が相対的に大きくなった状況での音声認識性能の向上のためには、現在の騒音中の音声認識技術を高度化するとともに、アンドロイド型ロボットに特有の問題を解決することが重要となる。

具体的には、まず第一に、人間の音声（話し声）とそれ以外の環境音（物音）を聞き分ける技術が必要である。このためには、音声と環境音の物理的・音響的な性質を理解した解析およびモデル化手法が重要である。たとえば、音声は、時間領域では百～数百ヘルツの基本周期にしたがった繰り返し波形で、周波数領域では基本周期に相当する調波構造を持っていることを利用することなどが考えられる。

つぎに重要な技術課題は、ロボット自身のアクチュエータなどから発生する騒音（雑音）の除去技術である。この場合に、雑音の発生源とその音響的な性質は、ある程度、あらかじめ知ることができるので、それをいかに利用するかが重要である。時間領域での演算や、周波数領域での補正などによって雑音の影響を軽減する技術が必要である。

（４） アンドロイド型ロボット聴覚の仕様設計

上記の技術課題が解決されたとしても、アンドロイド型ロボットの聴覚として、十分に汎用的な機能を実現することは、当面、非常に困難である。したがって、アンドロイド型ロボットにある限られたタスク（課題）を実行させるための仕様を以下に述べることにする。

a. 耐環境音声認識に必要な技術項目

- ・人間の声とロボット自身から発生する音を十分な精度で区別できること
- ・タスク実行に伴う環境音を十分な精度で識別できること
- ・ロボット自身から発生する音のうち、定常的な音については、時間領域または周波数領域での処理によって、その影響を軽減したものを音声認識部への入力とできること
- ・上記の処理などによって、音声の開始時点と終了時点とを、十分な精度で決定できること

これらの技術項目は、マイクロフォンなどの音響系、信号処理技術、パターン認識技術などの総合的な開発によって実現するものとする。これらの項目の達成によって、アンドロイド型ロボットに話しかけた音声に対して、静かな環境で収録された音声の認識性能に近い精度を実現する。

b. タスク実行に必要な音声対話の設計

アンドロイド型ロボットに実行させるタスク（課題）はあらかじめ決まっているものとする。ここで、音声によってロボットに指示を与え、また、ロボットからの音声などによる応答にしたがってつぎの指示を与えるということを続けて、最終的なタスクを達成する

ような状況を想定する。

こうした音声対話を行うための語彙や文型、対話の流れ（対話フロー）の設計は、つぎの手順で行う。

- 1) タスクの意味内容項目の抽出
- 2) 使用される語彙と文型の抽出
- 3) 対話フローの設計
- 4) 被験者による語彙・文型・対話フローの評価

設計にあたっては、音声認識の誤認識をできるだけ少なくするような語彙の選択や、エラーからの適切な回復処理などに注意する必要がある。

3. 2. 8 力触覚

(1) トルクセンサ

a. 技術開発史・技術の現状・技術課題

力（トルク）を検出する方法としては、物質に外部から力（トルク）が加わることによりその物質が変形したり、物性が変化したりすることを利用して計測するものが大部分である。従来（過去→現在）製品化されているものとしては以下の方式がある。

イ. 歪みゲージ方式

歪みによる電気抵抗の変化を検出する方法である。半導体式と金属抵抗体式の2種類がある。半導体式はSi等の半導体材料を用い、主にピエゾ効果を利用している。金属抵抗体式は変形に対する電気抵抗変化が比較的大きいCuNi（銅、ニッケル）合金等の箔材を用い、金属の電気抵抗が変形量に応じて変化する効果を利用している。

歪みゲージ方式は力やトルクを計る最も手軽な方法である。ただしゲージを母体に張り付けなければならないため、非接触計測ができない。この点が一番大きなネックになっている。

* メーカー 共和電業、ニッタ等多数

ロ. 磁歪方式

パーマロイ、ニッケル、フェライトなどの強磁性体は外部からの力により歪むと、磁気特性が変化する。この磁歪特性を利用する。

* メーカー クボタ、高千穂（磁歪式トルクセンサ）等

ハ. 静電容量方式

外部の力による変形を、変形部に取り付けられた電極間の静電容量の変化として検出する。

ニ. 光学方式

前項ハ. と同様に変形量を、光てこを用いて拡大し、P S Dやホトダイオードにより検出する方法である。

・位相検出方式：(トルク測定) トルクが加わった軸のねじれ角度を、光学式や電磁ピックアップにより交流波形の位相差として検出する方法である。

* メーカー 小野測器等

これらの諸方式の定性的評価を試みると次の表となる。

	小型化	非接触化	温度特性	応答性	感度
歪みゲージ方式	○	×	○	○	○
磁歪方式	○	○	○	○	○
静電容量方式	○	○	×	○	×
光学方式	×	○	×	×	×
位相検出方式	×	○	○	○	○
マイクロマシン	◎	○	○	○	×

将来の技術課題としては、S i 素材を中心としたマイクロマシニングによるセンサが有利と考えられる。ピエゾ効果や静電容量を利用した高感度の力センサが試作されている。またマイクロマシニングによるアクチュエータと組み合わせる事により、力や振動を与えて変位量との平衡をとる様な能動型のセンサの実現も可能となる。しかしながら、実用範囲での感度はまだ不足であるのでその解決が望まれる。

b. 詳細設計

トルク密度が最も高い部類の減速機ハーモニックドライブ (以下HD) にトルク検出器を融合する方法の実現が望まれる。手法としては、HDの出力軸に加わるトルクに応じて減速機の一部である、フレクスプラインが変形するので、この変位量を何らかの手段で検出するのが有望である。

イ. 歪みゲージ方式

HDはウエーブジェネレータ、フレクスプライン、サーキュラスプラインの3つの部品から構成されているが (図3.2.9参照)、その中でフレクスプラインは薄肉のカップ状をした金属弾性体であり、モータ軸に固定されたウエーブジェネレータによって開口部が楕円形にたわめられる。このフレクスプラインのねじり変形を測定することにより伝達トルクを検出する事ができる。HD減速機に対して有限要素解析を行うことにより最適な検出

箇所を探すと、おおよそフレックスプラインのダイヤフラム部となる。実際のHD減速機に歪みゲージを接着剤で貼りつけて測定すると図3.2.10のような結果が得られる。ただし $\pi/2$ の補償及び対称性を考慮し、ゲージの貼りつけは4箇所とした。その後 $\pi/4$ の補償を追加する等の改良を行うと、直線性 $\pm 2\%$ 以内でのトルク計測が行える。残り課題としては歪みゲージの取り付け方法と耐久性などであろう。

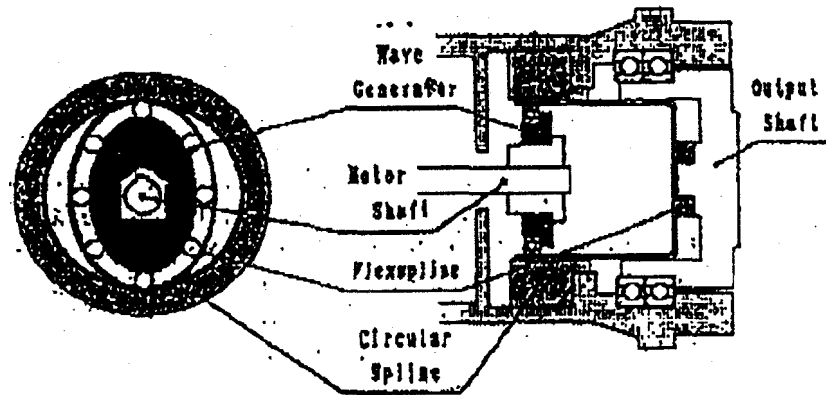


図3.2.9 ハーモニックドライブの構成

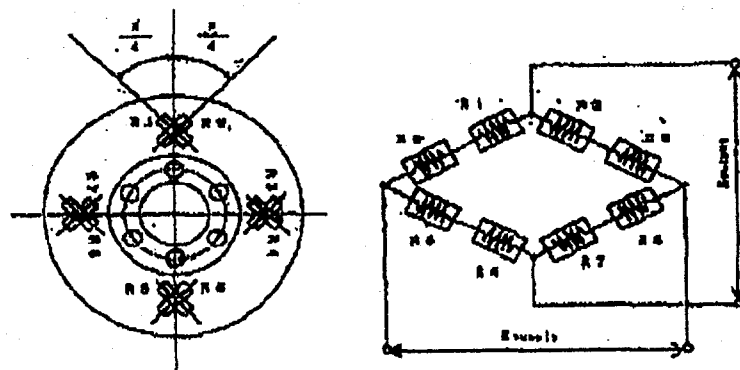


図3.2.10 歪みゲージの貼りつけ

ロ. うず電流方式

検出原理は前項と同様にフレックスプラインのねじり変形を測定することにより伝達トルクを検出する事になるが、フレックスプラインの金属透磁率が加えられる応力により変化する現象を利用している（図3.2.11参照）フレックスプラインの胴部にセンサヘッドを配置し（1ターンの被覆銅線）、センサヘッドに高周波電流（30MHz程度）を通電する。これによりフレックスプライン内部にうず電流が発生するが、フレックスプラインのねじり変形→金属透磁率の変化→うず電流の変動を測定する。うず電流方式はまだ実験段階であり、直線性が5～10%程度となっている。

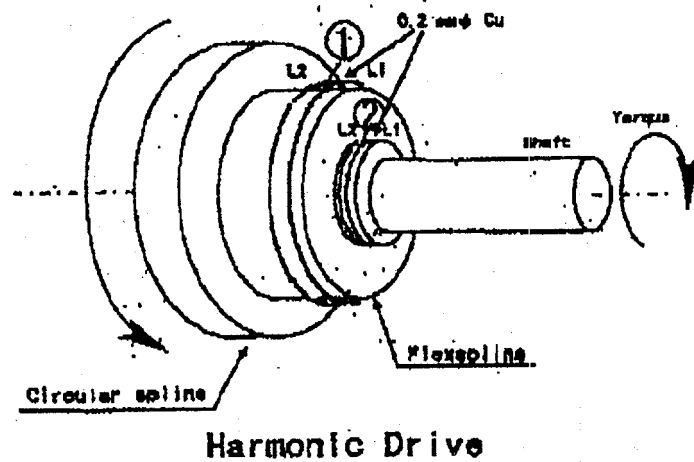


図3.2.11 うず電流方式

	小型化	非接触化	温度	応答性	感度特性
歪みゲージ方式	○	×	○	○	○
うず電流方式	○	○	○	○	○

以上の二つの方式の中から、技術開発の進展を見ながら使用部位に適した方式の設計をする事が良いと思われる。

(2) 6 軸力センサ

a. 歴史的背景

外部の拘束環境に順応するようにロボットを動作させようとする場合には、通常のロボットに見られる硬い位置決め動作と違って、ロボットに柔らかさを付加したり、ロボットと外部環境との接触力を積極的に制御する必要がある。このようなコンプライアンス制御や力制御においては、ロボットハンド部に加わる外力を計測することが不可欠になる。ロボットの手先に加わる力を計測する方法には、各関節にトルクセンサを配置して等価的に手先に加わる力を計測する方法と、手首部に直接力覚センサを装着する方法がある。ただし、前者の方法には、トルクセンサとハンド間に不可避免的に存在する慣性力や摩擦力を補償しなければならないなどの問題があるため、一般には直接的で確実な後者の方法がよく用いられる。

このように手首部力覚センサの市場ニーズもあって、これまでに多くの力覚センサが開発され商品化されてきた。例えば、ニッタ（株）やビー・エル・オートテック（株）などが積極的に市場に参入してきている。6 軸力センサは、3 軸方向の力と 3 軸回りのモーメントを同時に計測が可能なセンサで、一般に丸棒や角材から精密な加工技術を駆使してセンサ形状を削り出すというのが一般的であった。このためセンサ構造は全体的に複雑でし

かも大きくなりがちであった。このような力覚センサに対して、内山らは力覚センサの各軸方向の検出精度をできるだけ均一にすることが重要であるという認識にたち、歪コンプライアンス行列を特異値分解して得られる条件数をできるだけ小さくするという設計指針をうちだし、力覚センサの設計に極めて明快な指針を与えた。一方、Salisburyは力覚センサ出力を利用すると、力構造だけでなく、ロボットと対象物との接触点情報も得られることを指摘し、6軸力覚センサに新しい付加価値を与えた。その後、このアイデアはBrockら、辻村ら、Bicchiによって更に一般的な方法へと展開されている。この一連の研究の中で、Brockらはハンドの指先に直接組み込み可能な十字型の6軸力覚センサを開発し、力覚センサの小型化にはじめて挑戦している。またBicchiは円筒状の単純な6軸力覚センサを設計し、ハンドへの実装を試みている。また金子らは3軸力覚センサの経済性に着目し、3軸力覚センサを二つ組み合わせて6軸力覚センサを構成する場合の設計論を展開している。

b. 基本原理

図3.2.11は典型的な6軸力センサの一例である。このセンサはその構造から4本梁方式6軸力センサと呼ばれることもある。このセンサは図のように4本の梁を中心軸から4方向に出し、各梁の側面全てにひずみゲージが貼り付けられている。図のようにxyz軸方向を定義し、センサ信号を S_{zy} 、 S_{xy} 、 S_{zx} 、 S_{yz} のように検出方向とセンサ設置軸を添え字として表現し、さらに正方向にある方を1、負方向を2としている。この場合、力とモーメントをまとめたベクトルを F 、またセンサ信号をまとめたベクトルを S とすると、両者の間に、

$$F = MS$$

なる関係が成立する。ただし M は 6×8 行列で、一般に較正試験によって個々のセンサに対して個別に用意される。力覚センサが高価なのは、この作業に人手がかかるからである。なお、力覚センサの構造によっては M は 6×6 行列になる。

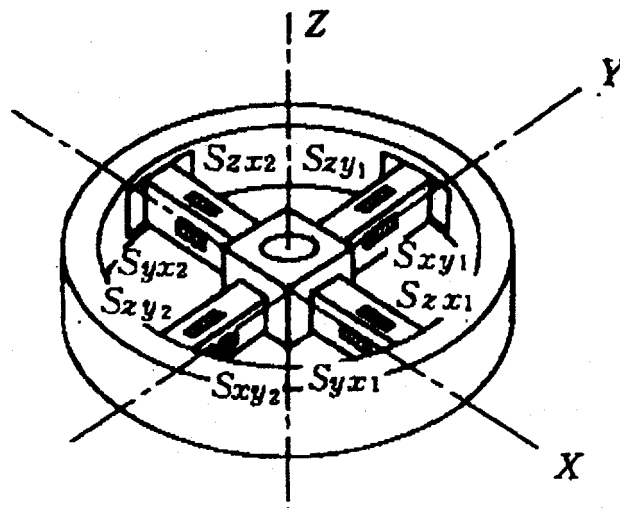


図3.2.12 6軸力覚センサの一例

c. 詳細設計

自立的なプラットフォームを実現する上で特に重要な点は、プラットフォームの重量を極力軽減することである。このような立場で考えた場合、6軸力覚センサとコントローラで2Kgもするようなものをプラットフォームに何台も設置するのは賢明な方法とは思えない。常識的には、1.(2)で記述した減速器の柔軟部(フレクスプライン)のねじり変形を利用して関節トルクを推定し、手先力を推定の方が重量、体積を軽減する上ではるかに得策であろう。

(3) 触覚センサ

a. 歴史的背景

対象物や環境をマクロに観察するためには視覚センサの役割が大きい。しかしながら、ロボットが対象物と直接接触するような作業に対しては視覚センサだけでは十分ではなく、触覚センサ情報が不可欠となる。以上が、触覚センサがロボットに使われるようになった背景である。

b. 技術的課題

触覚センサはロボットと操作対象物あるいは環境との間の関係を直接両者を接触させることによって検知する感覚器である。基本的に、ロボットが対象物に接触しているか、いないかの2種の情報をそのセンサの出力として得る接触覚センサと、どの程度強く物体に接触しているかという情報を得る圧覚センサの2種類があり、これらを総称して触覚センサと呼ばれている。この触覚センサによって可能となる機能は、ロボットの種類はセンサの配置により異なるが、一般的には次のような項目を挙げることができる。

- ・対象物あるいは環境の探索
- ・対象物体の確認
- ・対象物との衝突の検知
- ・物体形状の測定、認識

触覚センサは対象物や環境との直接的な接触を伴う。このため、非接触センサと比べてセンサが壊れやすい、再現性が得にくい、といった技術的課題をクリアしていく必要がある。

c. 詳細設計

プラットフォームの重量を極力軽減する上で、不必要に触覚センサを配置すべきではない。どうしても必要な部分(例えば手先、指先)だけに配置するという設計指針が重要であろう。現実的な触覚センサとしては、感圧導電ゴムを用いたもの(例えば横浜ゴム製)や静電容量方式(ハーバード大学)がある。それらをロボットの形に合わせて配置する。

3. 2. 9 人工皮膚

(1) 歴史的背景

外部の拘束環境に順応するようにロボットを動作させようとする場合には、通常のロボットに見られる硬い位置決め動作と違って、ロボットに柔らかさを付加したり、ロボットと外部環境との接触力を積極的に制御する必要がある。このようなコンプライアンス制御や力制御においては、ロボットに加わる外力をトルクセンサや力覚センサで計測し、それに応じてロボットの動きを制御しなければならない。このように制御によって作り出されるコンプライアンスはアクティブコンプライアンスと呼ばれる。

一方、人間の体は柔軟な皮膚によって取り囲まれていて、外部との接触によって衝撃的な力が発生するのを防ぎ、体内部組織を保護している。この皮膚のコンプライアンスは制御によって作り出されているのではなく、皮膚そのものが元々備えているものである。このようなコンプライアンスはパッシブコンプライアンスと呼ばれる。ロボットに人工皮膚を張り付ける主な理由は以下の二つである。一つは人間の皮膚と同様、ロボット自身を保護するため、もう一つはロボットが接触する環境を保護するためである。特に、ヒューマンフレンドリなロボットを考える場合、ロボットが人間と直接接触する機会が増えるため、特に後者の理由を重視した立場で、人工皮膚の必要性を考える必要がある。ただし、人工関節、骨組みとなる機械構造材料（チタン合金、FRP、アルミ合金）や表面コーティングの研究は活発に行われているものの、人工皮膚の研究は従来ほとんど行われていないというのが実情である。

(2) 技術的課題

人工皮膚としてはゴム材料やシリコンが有望である。ゴムの特性は、(1)柔らかい、(2)大きく変化しても壊れない、(3)力を抜くと元に戻る、という他の材料とは異なった特異的性質がある。特性(2)、(3)はゴムがもっているエントロピー弾性に起因したもので、通常のエネルギー弾性と区別される。このエントロピー弾性は変形を分子の形態の変化として受けることによって現われる。すなわちエントロピー弾性は、分子がエントロピー大（安定状態）→エントロピー小（緊張状態）の間を変化して変形を吸収することによって弾性効果（パッシブコンプライアンス）を発揮する。ゴムのコンプライアンスはその中に含まれる充填材やその他の配合材によって変えることができる。また温度を上昇させるとコンプライアンスは大きくなる。一般に温度上昇に対してコンプライアンスの変化は均一に起こるのではなく、ある温度で急に大きくなることが知られている。この臨界温度をガラス転移温度 T_g という。通常のゴムは T_g が室温以下にあり、プラスチックは室温以上にあると理解することができる。室温でゴムが柔らかく、プラスチックが硬いのはこの移転温度の違いによる。またゴムは純ゴムの状態では強度や耐摩耗性が十分ではなく、一般的には補強のため、カーボンブラックが配合される。一方、ゴムは弾性だけでなく、粘性的性質も兼ね備えている。この粘弾性特性まで設計値通りに試作する設計理論はいまだに確立されておらず、実際のゴムの配合設計にはいまだに経験に頼らざるを得ない部分が多い。

(3) 詳細設計

ロボットの人工皮膚を想定した場合、材料の厳密なコンプライアンス値は、さほど重要ではなく、人間の皮膚程度の柔らかさで仕上がりれば十分である。そこでロボットの主要部分（特に環境と接触する可能性が高い部分）に対して、粘土、木で基本的な型を作り、そこにシリコン材料を溶かし込んで人工皮膚を作成し、それを接着剤で貼り付ける程度で一応の目的は達成できる。ただし、アクチュエータや電子回路基盤の近傍では排熱や空気の対流に留意して皮膚形状を設計する必要がある。あるいは、ロボットを構成するリンク部材に直接数mm程度の厚さのシリコンコーティングを行っても本来の目的は十分達成できる。

3. 2. 10 構造材料

(1) 技術開発の歴史と展望

ロボット工学においては、産業技術という側面からも、あるいは実世界における身体に基づく知能の構成的研究という側面からも、現実の環境で動く実体としてのロボットハードウェアは不可欠の存在である。こうした実体を最も底辺の部分で支えている基幹的なハードウェア要素技術はアクチュエータ・エネルギー源・構造材料の3つであり、今後いかにロボット工学が発展しようとも、これらを欠いて実際に動くロボットを作るとは物理的に不可能である。

ところが学問領域としてのロボット工学を主に構成しているのは感覚・認識・計画・制御・機構等の分野であり、上記の3つのハードウェア要素技術の研究は不当に軽視されているように思えてならない。ロボットを構成する構造部材はその力学的特性等に大きな影響を与えるにも関わらず、従来のロボット研究においてはそれほど深い関心を払われてこなかった。昨年の日本ロボット学会学術講演会における発表約600件のうち、材料に関するものは10件足らずであり、それらも主にマイクロロボットやアクチュエータ材料についてのものである。これは日本ばかりでなく、世界的にもほとんど同じ状況であると言える。1991~1995年のIEEE Trans. on Robotics and Automation においてmaterialをキーワードとするものは皆無である。

この結果として、ロボットアームを考えてみると、制御技術等の急速な進歩にも関わらず、ハードウェアについては20年前とほとんど同じものがいまだに用いられているという奇妙な偏りがある。構造材料に関して言えば、現在のロボットに用いられるのはアルミ合金か、せいぜい部分的にFRP程度で、最先端の材料技術を積極的に取り入れている航空・宇宙分野等と比べると非常に遅れていると言わざるを得ない。

こうした状況は、決してアクチュエータ・エネルギー源・材料等のハードウェア基幹技術がロボット工学において本質から外れた些末な問題であることを意味しているのではないし、またこれらの技術が進歩の余地がないほど完成された状態にあるとも信じられない。むしろその原因は、ロボット研究が発祥し、そのコミュニティが形成された時点での分野

もしくはその研究者の構成が、そのまま組換えられることなく現在まで受け継がれているという歴史的な事情にあると思われる。

大学や研究機関においてロボット研究者の母体となっているのは、主に機械工学・制御工学・情報工学等の学会や学科である。我々はこれらの母体において学問的業績を挙げ学生を教育しなくてはならないので、学問領域を大きく逸脱して構造材料の研究に手を染めることができない。また産業界におけるロボット研究者も、結局は上記の学科の出身者が中心であり、その発想スタイルは学界の主流から抜け出たものとはなりにくい。さらに産業界においては、先端ロボットは未だフィクションの段階にあり、実際の商品であるロボットは産業用ロボットに限られている。産業規模が小さいため量産効果によるコスト削減にも期待できず、厳しいコスト競争の中で開発リスクの高い新材料の導入には踏み出せない。かといって、座して待っていたのでは、材料分野を専門とする研究者・メーカーがロボット用構造材料の開発に参入してくる可能性は薄い。

上記のような状況を打開する上で、材料などのハードウェア基幹技術をアンドロイド型ロボットと関連させて研究開発することには両面的な意義がある。一つは、サービス等の人間との共存作業を前提としたアンドロイド型ロボットにおいては、硬くて重い産業用ロボットとは全く異なる設計原理が求められ、必然的に新たな材料やアクチュエータの導入をうながす、という面である。これを裏返して考えれば、構造材料・アクチュエータ・エネルギー源についての必要スペックが、それぞれの専門分野に対して、これまでのロボット工学よりも明確に打ち出せる、という意味を持つ。従来のロボット工学は基本的には、既存要素の組み合わせでできたものを動かす、というスタンスにあったため、材料にしてもアクチュエータにしても、できるだけ軽くて強く、といったような漠然とした要求しか出せなかった。あるいはそういう要求すら出さずにそれらを制御や知能の問題として解決するのを尊ぶ傾向があった。アンドロイド型ロボットの場合、人間という明確な手本があり、それを達成目標として各要素技術について具体的な数値としての必要仕様を割り出すことができる。そうすればロボット工学者のみでは解決できなかったこれらの問題について、周辺分野の研究者やメーカーとの連携が生まれる可能性がある。また当然その効果はアンドロイド型以外の形態のロボットにも及ぶはずである。

(2) 技術の現状

大学や研究機関で製作されてきた研究用ロボットの構造部材は、主にアルミニウム合金材からの削り出し、あるいはアルミニウム引抜材（アングル、パイプ等）であり、ロボットの性能よりは入手と加工の容易さに重点を置いて材料の選択がなされてきた。また産業用ロボットの構造部材は価格低廉なアルミニウム合金の鋳造部品が中心である。

とはいうものの、新たな素材の導入も散発的にはあるが試みられている。マニピュレータに関しては、1984年頃にMITの浅田研究室で製作されたダイレクトドライブアームにCFRP（炭素繊維強化プラスチック）が用いられた。また同じ頃に大日機工が試作したDDアームにはアルミハニカム材が採用された。1987年に東大の井上研究室で作られたパラレルマニピュレータにもCFRPが使われている。1989年にはドイツのDLR、Institute for Robotics and System Dynamicsにおいて、炭素繊維を格子状に組んだ部材を用

いた超軽量7自由度アームが製作された。1990年、極限作業ロボットプロジェクトの原子力作業ロボット実証機（三菱重工、日立製作所）では、上半身躯体部にCFRP、下半身躯体および腰関節にチタン合金が用いられた。1993年に東芝で作られた航空機洗浄用アームでは、構造部材にマグネシウム合金、アームにCFRPパイプ、カバーにABS樹脂が使用された。また腱駆動型アームに関しては、アモルファス合金線（機械技術研究所）、ケブラー繊維（東工大広瀬研）が試みられた。構造材料とアクチュエータを兼ねたものとして、東芝のFMAや早大三輪研の形状記憶マイクロマニピュレータなどがある。また、フレキシブルアームは本来材料特性に依存するロボット挙動が課題なのだが、制御によって振動を抑制するというスタンスが中心で、軽量高比強度材料や高減衰能材料を用いて振動しにくいアームを設計するという観点はほとんど見られない。

移動ロボットについては、1985年に科学万博に出展された早大加藤研究室の2足歩行ロボットWL-10RDにはCFRPが用いられた（同じく楽器演奏ロボットWABOT-2にもCFRPが使われた）。また東工大広瀬研究室による4足歩行ロボットTITAN-IIIの脚部もCFRPであった。これらのロボットのシリーズではその後もいくつかにCFRPが採用されている。東工大広瀬研究室による節体幹移動ロボットKR-Iでも躯体にCFRPが使われた（1988年）。このほか、早大高西研究室では2足歩行ロボット足裏の緩衝材の研究が行われている。

ただし、こうした新材料の導入や材料の選択を含めたロボットの設計原理に関する系統的な研究は全くの空白状態にあると言ってよい。また新たに採用された材料の大半がCFRPだが、この10年間にも複合材料（FRP、FRM、FRC、C/C）、軽金属アモルファス合金、セラミック材料、ハニカム材料、耐熱金属材料、制振材料、自己潤滑材料等の分野において、種々の新素材が開発・実用化されており、広範な材料を積極的に取り入れ、文字通り適材適所とする努力が必要である。

（3） 技術課題と仕様設計

一般にロボットの構造材料において重要な性質は、

- ・被制御性（軽量性、防振性、剛性）
- ・構造性（比強度、じん性、耐食性・耐熱性・耐摩性などの環境強度）
- ・被加工性

である。ヒューマノイドにおいては、エネルギー源を含む自立性、人間共存のための軽量性、人間と比較しうるレベルの運動能力、といった厳しい要求が課されており、上記の材料特性のうちでは特に軽量性と比強度（強度／比重）が重要であろう。

一方で高精度・高剛性が要求された産業用ロボットと比べると精度に関する必要性はずっと低くなると思われる。空間に固定されていない人間の身体では精度という概念がそもそも成り立たない。したがってヒューマノイドでは金属よりも比強度は高いが剛性の低いFRP等を体幹や四肢の骨格部分において広範に使用することも可能となる。また産業用ロボットでは切削加工により各部材の基準面・基準軸とそれに対する相対寸法で部品の精度を出し、それらの積み重ねで全体の精度を決める。そのために、工作機械による加工の容易な金属材料が用いられ、また組立もボルト・ナット締結を基本としている。ヒューマ

ノイドでは精度による制約条件が弱くなることによって材料の選択幅が広がり、また接着剤による組立等の新たな設計法が取り入れられる（FRPと金属など、種類の異なる材料を混用する際に接合部の強度が問題となりやすいが、接着構造はその解決策ともなりうる）。また各部材についてもハニカム・トラス・発泡成形等の軽量構造を採用することができる。

剛性の低い材料を用いることで固有周波数の低下が心配されるところであるが、固有周波数は質量（比重）とのバランスで決まるので、十分軽量な材料を用いればさほど影響は出ないと思われる。またFRP等は金属と比べてはるかに減衰能が高くそれ自体防振性を有する。駆動力の伝達部等に通常の金属よりは減衰能の高い制振合金を配することも可能だろう。

FRP等の非金属材料を使う場合に新たに問題となると考えられるのはアクチュエータから発生する熱である。金属は熱伝導性が高いためにロボット全体の構造を通して熱を逃がすことができた。断熱性の高い高分子マトリックス材による複合材料等を用いる場合には、アクチュエータ周りの熱設計、場合によっては強制冷却を考慮する必要があるだろう。

また、ロボットにおいて構造が大がかりとなり重量増加の元となりやすい部分は関節摺動部である。アクチュエータや角度センサの搭載という問題もあるが、軸受およびその支持部を締結組立構造とすることも大きな要因である。この部分には自己潤滑材料を用いることにより構造を大幅に簡略化し軽量化できる可能性がある。医療用の埋め込み型人工関節の材料や構造も参考とすべきである。

金属材料については、その成分のみでなく熱処理（焼き入れ、焼きなまし等）や表面処理（焼成、蒸着、メッキ、溶射等）によっても剛性や耐磨耗性などの性質が大きく変化する（アルミニウム母材＋DURA-KOTE処理等）。表面処理は加工後に行われるため被加工性を損なわずにその他の特性を向上させることができ、薄肉構造等により軽量化にも寄与しうる。

構造材料に準ずるものとして被覆材料（人工皮膚）および緩衝材料がある。ロボットが転倒しても壊さないように保護する立場をとるか、制御を充実させて基本的にロボットは倒れないという立場をとるか、によってこれらに対する考え方が変わってくるだろう。機械構造むき出しよりも、シリコン等の覆いがあると、ヒト肌の感覚が出て親しみがわくし、倒れたときの内部保護の役目も期待できる。また特に人工皮膚についてはセンサ機能を兼ねたインテリジェント材料に対する期待が大きい、これらは材料工学分野においても研究段階にあり、導入は将来の課題であろう。

材料の選択に関してはその製法も含めて考える必要がある。ヒューマノイドが単品生産ではなく標準プラットフォームとして複数台製作されることは、特に材料においてコスト面で有利な条件となる。例えば高分子材料等で型成形により単品の部品を作ることはコスト上きわめて不利だが、多数作られる場合には切削加工と同等あるいはより廉価にできる場合もある。それだけ材料の選択肢が増え、各部品に適切な材料が使える可能性もある。

3. 2. 1 1 制御方式

ヒューマノイドの制御は、ロボットの作業の制御とロボットの移動の制御に大別できる。作業の制御は主として手・指による作業に関するものであり、移動は主として脚による2足歩行に関するものである。

(1) 作業制御

a. その背景と課題

ロボットによる作業制御の歴史は、マニピュレータ制御の歴史である。1954年 Devolは教示再生型の制御方式を発明し特許をとった。これは最初の開発例であり、現在でもその方式は工場など大量生産の場で使われている。しかしヒューマノイドのような自律型には応用できない。1962年、Ernst は計算機により制御される最初の機械の腕MH-1を開発した。その後、pieperにより、マニピュレータ座標と作業空間の直交座標との間の座標変換に関する体系的研究Kinematics が行われ、さらに詳細な研究が岡本やPaulによってなされた。指における座標変換の問題は岡田により研究された。

1970年井上は力の制御を行うことにより、組み立て作業にもロボットが適用可能であることを示した。Paulはマニピュレータの関節トルクを計算機が直接指示するソフトウェアサーボを開発し、滑らかな軌道制御の可能性を示した。力を制御することにより複数のマニピュレータによる協調制御が可能になることを、黒野、中野、高瀬らが示した。これは両手を有するヒューマノイドには重要な方式である。

1976年高瀬らにより、座標変換と動力学計算をソフトウェアサーボ中に統合することに基づく作業座標制御が開発され、仮想メカニズムの構成による作業実施へのアプローチが示された。その後、作業制御を目的として、力と位置を統合制御する、Raibert/CraigらのHybrid制御、杉本らのコンプライアンス制御、SalisburyのStiffness制御、KatibのOperationalSpace制御、小菅の仮想内部モデル型制御などが研究開発された。これらの流れはHoganによるImpedance 制御に結実し、マニピュレータの運動学的・力学的制御の形式化としては一応の完成を見た。

多自由度指の制御の研究については、1960年代の山下・森の先駆的研究、そして1980年前後の岡田の研究はSalisburyなど外国勢に引き継がれ、今また、安川電気など日本の企業での研究にもつながっている。

作業の制御はロボットの自律化を進める上で極めて重要である。作業レベルのコマンドを受け、あとは自律的に行動することがヒューマノイドとしても必須の要件になる。しかしながら技術水準はそこまで達していない。作業の制御はヒューマノイドの研究プラットフォームの上で研究の対象とすべきものである。

末広らは、作業と動作の中間にスキルという層を設け、スキルレベルでの自律化を図っている。平井らは組み立て作業における物体の接触状態遷移のネットワーク表現を提案している。比留川らは接触動作の自動計画を行い、組み立て作業の自律化を目指している。内山や吉川は平面内でのペグインサージョンの問題を扱い、作業制御のシミュレーションの

研究を行っている。

これらは研究途上にあり、それらをバックアップするためにも、マニピュレータの実際の運動学的・力学的制御が必要となる。そのため次節の詳細設計仕様では、作業制御に必要なマニピュレータの実際の運動学的・力学的制御の仕様を与える。先に運動学的・力学的制御の形式化としては一応の完成を見たと言ったが、その意味は次のとおりである。マニピュレータの制御で現在最もネックになっているのが、慣性と摩擦の制御である。形式的には、実在の慣性や摩擦の効果を補償制御で打ち消すことができ、望まれるそれらの効果を仮想的に構成することもできる。実際はそれが極めて難しい。今後の主要な課題は、それらの補償方式をどうするか、または、作業の観点から、それらの問題をなんとか回避する方策があるか、ということになる。

b. 作業制御に関する詳細設計仕様

ヒューマノイドに必要な作業を前もって特定することは困難である。作業は考え出せばいくらでも新たに作ることができるオープンエンドな対象である。そこでここでは、レベルをほぼ対象物レベルとし、対象物の状態を遷移させる基本作業について考える。11の基本作業を列挙し、それらを実現するために必要なマニピュレータの運動学的・力学的制御の仕様を与える。

対象作業	仕様
イ. 押しつけ・持ち上げ作業 {物体を持ち上げたり、 ツールを持って外界に力を 加えたりする作業である}	力出力 (片手) 1 0 0 N 力検出精度 0.0 5 N 力制御精度 0.1 N
ロ. 自由空間における位置決め作業 {物体を空間中の一定位置 に保持したり、物体を定置 する準備としてアプローチ ポイントに位置決めしたり する作業である}	手先における精度 0.0 0 0 5 m 0.1 deg インチング動作分解能 0.0 0 0 2 m 0.0 4 deg インチング動作静定時間 0.1 sec

ハ. 移動作業

動作速度 (軌道追従時) 2 m/sec
(投球のような関節運動時) 5 m/sec
軌道追従精度 0.002 m
(2 m/secの時)

ニ. 拘束下の移動作業

{ドアの開閉、台上での
物体の滑らし、棒の穴から
の引き抜き等の作業である}

人工拘束 作業座標系での任意の軸方向
について、自由空間における
位置決め機能と同等の仕様
外界への適応性 0.1 m/sec/N
 {10 cm/sec の速度で外界に
 適応する時必要な力が1 N}

ホ. 組み合わせ作業

{取付け、分離などの
作業である}

コンプライアンス特性 10 N/m~100,000 N/m
 の可変バネ特性
接触点位置検出精度 0.001 m
ジャミング検出機能 有り

ヘ. 衝撃力作業

{釘を打つ、たたいて穴を
あける等の作業である}

ダンピング特性 10~10,000 N/m/secの
 可変ダンパ特性

ト. 振りによる作業

{試験管を振ったり、
うちわであおいだり、
ふるいにかけてりする
作業である}

往復動作特性 振幅0.5 mで2往復/sec

チ. 加工を行う作業

{のこでひく、やすりを
かける、研磨する等の
作業である}

加工状況の推定

力と運動の関係、振動
摩擦などを監視し加工
の状況を推定する

リ、液体や粉体のような

物質を扱う作業

{注ぐ、塗る、混ぜる、

拭く、清掃する等の

作業である}

作業状況の監視

液体や粉体の様子を監視

する必要があるのでビジ
ョン頼る部分が多い。し
かし拭く作業は、摩擦の
具合などからも様子を知
ることができる。

又、指による作業

{物体を握ったり、つまんだり、

鉛筆で字を書いたり、布のような

柔軟物を絞ったり、結んだり、

縫ったり、もんだりする

作業である}

把握力

10 Kg の物体を持ち上げる力
(指1本あたり指先で30N)

動作速度

4 Open-Close /sec

位置/力制御

冗長多自由度の協調制御。

持ちかえ機能

つまみ状態から握り状態への

遷移を可能にする手の内での

物体のハンドリング機能の付

与。

作業状況の監視

柔軟物の状態検出にはビジョ

ンが必要。手の内での物体の

位置姿勢の検出にも、触覚・

力覚とともにビジョンが必要。

オ、双腕による作業

{双腕による長大物のハンド

リング、道具のハンドリング}

協調制御

二、の人工拘束、外界への適応

性に準ずる。

以上の作業遂行に関わる制御のための仕様において、イ、～ハ、は「ヒューマノイドブラ

ットフォームの制御」)として必須であり、他は今後の研究課題である。又、は作業状況の監視を除いては必須である。

(2) 歩行制御仕様

a. 歩行制御技術開発の背景と課題

最初に2足歩行を行った機械は、1893年にカナダのG. Moorが作った蒸気人間であるといわれている。ただし、これは腰に支持棒がついており、原理的に倒れることがないようになっていた。1968年、アメリカのR. Mosherは、足首と股関節の2自由度で上に人が乗って操縦するタイプで倒立振子形のハードウェアを試作した。実験により、その平行保持制御が可能であることを確かめた。2足歩行が可能なロボットの開発を目指した開発事例としては、これが最初ある。その後は、ハードウェアを持たない理論面での歩行制御の技術開発とハードウェアを持つより実際の制御技術の開発という大きな2つの流れで、国内外を問わず今日まで多くの事例が報告されている。まずハードウェアを持たない理論面での歩行制御技術の開発は、M. Vukobratovic らにより1969年に始められ、70年代中ごろまでF. Gubina, H. Hemami, R. B. McGheeなどによって続けられ、80年代中ごろからしばらくは鳴りを潜めていたが、ここ数年は高機能な計算機の普及等の理由により再び報告例が増えてきている。しかし、これらにおいてはどれも動歩行を取り扱っているものの、ロボット性能や歩行条件の極端な理想化がわれている例が大半で、実際のロボット制御に用いるには問題があるものが多い。ただ、M. Vukobratovic はZMP (Zero Moment Point)とよばれる仮想上のパラメータを導入することで、点状のみならず面状あるいは線状に支持されたロボットの運動と歩行の安定性を結び付ける方程式の定式化に成功した。

3次元のハードウェアによる静歩行制御技術の開発を始めたのは、加藤(一)らである。加藤(一)らは、歩行の全周期に渡って、重心(の路面への投影点)が、単脚あるいは両脚の足底によって形成される支持多角形の内側に入るような歩容を提案した。9自由度で空気圧駆動型の2足歩行ロボットWAP-3が、1971年に静歩行を自動的に行なうことに初めて成功した。また1980年に、加藤(高)らは歩行系は倒立振子としてモデル化し、動歩行における歩容を位相面上で明らかにした。同時に静歩行から動歩行に至る中間段階の歩行として、動的な立脚の切り換えと静的な遊脚の振り出しを行う準動歩行制御方式を提案し2足歩行ロボットWL-9DRにより歩行を実現した。

動歩行制御方式の開発を始めたのは、D. C. Wittである。D. C. Wittは前頭面内における動的安定化を実現した。まず1970年に、股関節の開閉とスライド形で油圧によって駆動される脚機構を有する3自由度のロボットを開発し、動的足踏み状態を維持させることに成功した。さらに1972年には両足マヒ患者や切断者のための"Duckling Lower-Limb"とよばれる受動型の2足義肢の開発も行い、その後この義肢上に油圧ポンプとリザーバを搭載し、前頭面内では動(力学)的に、矢状面内では静(力学)的に安定化する制御により、平坦路上でエネルギー的に完全に自立した2足歩行にも成功した。

現在では3次元のハードウェアモデルを用いた開発事例は多数あるが、実際に3次元無拘束で歩行を実現しているものには上体を有する例が多い。古荘らは、人間の運動制御系に局所フィードバック制御が存在することに注目し、姿勢情報をもとに接地時に前脚膝の曲げ角を可変することで角運動量制御を行う上位レベル制御系、ならびに位置と速度のハイゲイン・フィードバックにより関節制御を行う下位レベル制御系により構成される階層構造制御方式を開発し、上体を持つ2足歩行ロボット健脚シリーズにより平坦路上の動歩行を実現した。また高西・山口らは、任意の下肢とZMPの軌道から安定な上体の運動パターンを得る手法を開発し、上体を有する2足歩行ロボットWL-12シリーズにより既知の非平坦路上における動歩行を実現、さらに足部から得られた路面形状情報をフィードバックすることで未知の非平坦路上での2足歩行や力センサフィードバックによる未知外乱の加わる環境下での歩行も実現した。現在では、ただ歩くことだけを取り上げれば、ロボットの2足歩行に関する基本的な技術的問題はほとんど解決されているといえる。

今後のロボットの機能的発展に伴って生じると考えられる技術的課題は多数あるが、

- ・腕などを用いた各種力作業に伴う安定性の維持
- ・視聴覚情報等を用いたより高度な歩行の安定化・知能化
- ・人間あるいは他のロボットとの協調作業に伴う安定性維持
- ・自己保全性の確保
- ・対人安全性の確保・その他

などが主なものとして挙げられる。

b. 歩行制御詳細仕様設計

ここでは当面の歩行制御実現を目指す目的で基本歩行仕様、グランドチャレンジとしての高度な歩行を目指す目的で高度歩行仕様として2つの仕様を併置する。

歩行制御の基本は、図に示すように1歩行周期を5つの時期に分割し、基準となる歩行パターン(以下基準歩行パターン)を用いたフィードフォワード制御を中心に、運動覚・力覚・視覚・平衡覚および足裏接触覚センサからの情報により基準歩行パターンからの偏差をフィードバックすることで安定な歩行制御を実現する。また、歩行に関わる各関節レベルでの制御仕様については、以下のように基本歩行も高度歩行も同じものとする。

歩行における関節レベル制御仕様

脚 : 各6~7自由度(股2~3軸・膝1軸・足首3軸)
体 幹: 腰部3自由度(前後屈・側屈・捻り)
制御精度: 位置・力ともに全軸とも $\pm 1\%$ /フルレンジ

イ. 無負荷時

手・腕に何等かの随意運動を行わせる場合は主として体幹を用いたZMP補償制御、そ

うでない場合は腕の振りを利用したヨー軸モーメントの補償制御も同時に行う。頭と眼球は少々運動してもZMPへの影響はほとんどないものとして歩行の安定化制御からは除外する。

また運動覚・視覚および平衡覚センサからの情報を基に路面の偏差および実際の運動の歩行パターンからの偏差を検出し、基準歩行パターンに逐次修正を加えるフィードバック制御により安定性と同時に路面形状偏差へ適応した下記のような歩行を実現する。

	基本歩行制御仕様	高度歩行制御仕様
前進	1 m / s 以上	1 m / s 以上 (定常歩行時) 5 m / s (10秒間のみ)
後退	0.3 m / s 以上	1 m / s 以上
側行	0.2 m / s 以上	0.3 m / s 以上
旋回	半径1m 1m/s以上	半径1 m · 1 m / s
その場旋回	45° / s 以上	360° / s 以上
階段 (段高20 cm · 段巾30 cm)	1 段 / 5 s	1 段 / 1 s
坂道昇降	0.2 m / s (傾斜5%)	1 km / h (傾斜10%)
許容形状偏差	±0.01 cm / ±3°	±0.03 cm / ±5°
制御精度	±5%	±3%

ロ. 負荷時

下記のような既知外力を受ける場合の基準歩行パターンを基に、力覚センサにより負荷力、運動覚・視覚・平衡覚センサにより路面の偏差および実際の運動の歩行パターンからの偏差を検出し、基準歩行パターンを逐次修正するフィードバック制御により安定性と負荷および路面形状偏差への適応を果すことで、負荷条件に対応した歩行を実現する。このとき手・腕には随意運動はさせないものとする。

基本歩行：手先に1 kg 負荷把持、または方法を問わず

10 kg 負荷搭載→歩行速度は無負荷時の50%以上

高度歩行：手先に5 kg 負荷把持、または方法を問わず

20 kg 負荷搭載→歩行速度は無負荷時の50%以上

ハ. 歩行時の外乱力積に対するバランス保持

無負荷時の基準歩行パターンを基に、力覚センサより外力を検出し、運動覚・視覚・平衡覚センサからの情報を用いて路面の偏差および実際の運動の歩行パターンからの偏差を検出することで、基準歩行パターンを逐次修正するフィードバック制御により、外乱下においても安定性と路面形状偏差に適応した歩行を実現する。このとき手・腕には随意運動はさせないものとする。

重心高さで前方・後方・側方にZMPを中心とする力積モーメント印加

基本歩行：1 k g f m 秒

高度歩行：5 k g f m 秒

ニ. スタートアップ

以下のような動作においては、運動パターンを用いたプログラム(フィードフォワード)制御を行う。

	基本歩行	高度歩行
座った状態からの立ち上がり	10 秒以内	2 秒以内
寝た状態からの立ち上がり	30 秒以内	5 秒以内

ホ. 負荷作業 (片腕)

基本歩行における下記のような負荷作業では、あらかじめ作業の種類と負荷重量の組み合わせに応じた上下肢・体幹のきめ細かな基準運動パターンを作成しておき、実際の作業中には力覚センサより負荷力、運動覚・平衡覚センサより姿勢を検出し、基準運動パターンを逐次修正するフィードバック制御により体幹の位置を変更することで、姿勢全体の静力学的安定性を維持できるようにする。

高度歩行における下記のような負荷作業では、あらかじめ作業の種類と負荷重量の組み合わせに応じた下肢の基準運動パターンを作成しておくが、実際の作業中には力覚センサより負荷力、運動覚・平衡覚センサより姿勢を検出することで腕・体幹ならびに下肢の運動を変更、さらに場合によっては立脚位置をも変更するフィードバック制御により、安定姿勢を維持する。

基本歩行：負荷 2 k g ・ 10 秒以内(位置制御精度 ± 1 c m)

高度歩行：負荷 20 k g ・ 1 秒以内(位置制御精度 ± 0.5 c m)

ヘ. 力印加作業 (片腕)

下記に代表される力印加作業では、基本的には負荷作業での制御方式に準ずる。

基本歩行：側方・前方 5 k g、下方 10 k g、上方 2 k g

(力制御精度 ± 0.2 k g)

高度歩行：側方・前方 10 k g、下方 15 k g、上方 5 k g

(力制御精度 ± 0.05 k g)

3. 2. 12 操作・操縦・ヒューマンインターフェイス

(1) 技術開発の歴史

人間とロボット間の操作操縦系として、テレオペレーションの歴史について以下に述べる。テレオペレーションとは、「遠隔の作業現場にある機械の腕を操ること」であり、原子力利用技術とともに発展してきた。

イ. マジックハンド

「人間から離れた作業現場のロボットを窓越しにみながら操作する」

1949年 ANL model-1 アルゴンヌ国立研 (機械式マスタ・スレーブマニピュレータ)

1954年 ANL E1 アルゴンヌ国立研 (電気式マスタ・スレーブマニピュレータ)

作業現場にいるような臨場感がない。

ロ. エグゾスケルトン型人力増幅器 米軍とGEの共同プロジェクトが発端

「人間が外骨格型機械 (エグゾスケルトン) を着て、自分の力を増幅しながら悪環境で作業を遂行する」

1960年代 ハーディマン GE、NASA

安全性がとれない、貴重なスペースを人間に占有されるため、実現できなかった。

ハ. スーパーバイザリイコントロール (管理制御)

「すべての動作を逐次送らず、ロボット言語の命令として伝達する」

1960年代後半 MITシェリダン教授が提唱

1970年代 宇宙用テレオペレーションから発展

自律性をロボットに与えることにより、能率が向上。臨場感の問題は未解決。

ニ. テレイグジスタンス

「人間が仮想的にロボットの中に入り込んだような感覚で遠隔のある程度自律性を持ったロボットを操縦する」

1980年代 極限作業ロボットプロジェクト

参考文献

- E. G. Johnsen, W. R. Corliss, "Teleoperators and Human Augmentation",
AEC-NASA Technology Survey NASA SP-5047, Dec. 1967.
- R. C. Goertz, W. M. Thompson, "Electronically Controlled Manipulator",
Nucleonics, Vol. 12, No. 11, pp. 46-47, 1954
- W. R. Ferrel, T. B. Sheridan, "Supervisory control of remote manipulator",
IEEE Spectrum, pp. 81-88, 1967
- 館, "テレロボティクスとテレイグジスタンス",
計測と制御, Vol. 28, No. 12, pp. 1059-1064, 1989

(2) 技術の現状

人間の各感覚において、人間からロボットへの指令技術とロボットから人間への提示技術について、技術の現状を以下に示す。

視覚	計測, 指令	・視線方向計測 (眼球運動計測 (MEL), 筋電計測など) ・ジョイスティック, ポインタなどによる指示 ・知的モニタリング (ETL)
	提示	・HMD, 立体メガネ ・大型モニタ ・立体テレビ
聴覚	計測, 指令	・音声認識 (不特定話者単語認識, 連続音声ワードスポッティング機能)
	提示	・立体音響 (ステレオヘッドホン, サラウンドスピーカ) ・音声合成, 録音音声再生
運動感覚 (力覚, 触覚など)	計測, 指令	・マスタアーム/ハンド ・IAS (東大生研) ・視覚処理による運動計測 ・非接触センサ (磁気センサ, 超音波センサなど) による運動計測 ・ジョイスティック, ペン入力, カセンサによる指示 ・キーボードなどによる動作コマンド入力 ・データスーツ・センサグローブによる運動計測 ・ハンドル・ペダル (アクセル, ブレーキ)
	提示	・マスタアーム/ハンド (バイラテラル制御) ・電動モータ・油圧駆動方式, ワイヤ駆動方式, ゴム人工筋駆動方式, 形状記憶合金駆動方式など ・接触点への触覚提示 ・風船膨張, 電気刺激, 振動刺激, 圧力刺激など

図3.2.13 人間・ロボット間のインタフェース技術の現状

(3) 技術課題

人間・ロボット間の操作操縦系についての技術課題について、以下に示す。

制御法

○操作入力方法の考案

- ・言語やレバーによる操作などと組み合わせて、ロボットの動きを指令する方法

○自律動作とマニュアル操作の選択基準の設定

- ・ロボットの反射的な動作 (転倒時に手を突くなど) が発生したときに、操縦者側に負担が生じないように操作レベルの切り替える方法
- ・ロボットが自律的に動作しているときに操縦者が介入する方法

- 力・運動の拡大・縮小などのスケーリング問題の解決
 - ・ロボットや操縦者の身体サイズの差異の解消する制御法
 - ・身体的障害あるいは弱者のサポート方法

視覚、聴覚（頭部）

- 情報提示方法の考案
 - ・ロボットの情報がすばやく理解できるように、視聴覚情報処理を有効に使用する。
（話し言葉に変換した親しみやすい音声情報、読みとりやすく可視化した視覚情報、作業内容に応じた視聴覚情報の適切な加工、提示情報の適切な選択など）
- 違和感のない立体視の実現
 - ・長時間見ても疲れない提示方法
- 臨場感のある立体音響の実現
 - ・音源方向の定位が可能なレベルの提示方法
- 自然な音声認識の実現
 - ・連続音声、不特定話者対応音声認識装置

運動感覚（腕部）

- マスタ・スレーブ系の制御系の構成
 - ・時間遅れ問題
 - ・安定問題
 - ・力・運動スケーリング問題
- ロボットの環境情報を忠実に再現が可能な表現能力を持つ力・触覚提示
 - ・視覚情報がなくても、指による滑り・操りが可能な触覚情報の提示方法
 - ・バイラテラル制御における異スケール間のスケール効果の考慮
- 操縦装置の装着の簡易化
 - ・ロボットが非接触時には、無拘束になるマスタアーム/ハンド
 - ・サイズ調整の容易な装着方法
 - ・パラメータやサイズ調整不要の操縦装置
- 動作命令伝達方法の簡易化
 - ・レバー操作で動作入力ができるような操作法
- マスタアーム、マスタハンドの機構
 - ・省スペース化、軽量化、モジュール化、安全性考慮、広い可動範囲確保、冗長自由度（スレーブと同等以上）

運動感覚（首部、胴体部）

- 頭部、肩・腰部の運動計測方法
 - ・拘束感少なく、運動を計測する方法

運動感覚（脚部）

- わかりやすい操作方法の開発

- ・脚の移動指令は、コクピット脚部のペダルなどの簡易な機構で行う
- 身体全体の傾斜感覚の提示方法の開発
 - ・座席自体に可動部を設けて、動作方法を検討。
- その他（研究の多様性への対応策）
 - ロボットの内部情報計測・記録
 - ・ロボットの内部情報を実験データとして保存、提示できる機能
 - ・ロボット内部情報からロボットの状態を診断し、警告を出す機能
 - 操作者の疲労検出
 - ・生理学的見地から操作者の状態データを計測・保存できる機能
 - 通信端末
 - ・無線、有線、どちらにも対応できるような設計
 - ・一対多などのマルチオペレーション対応を考慮した通信接続端末の増設機能
 - 操縦コクピットのモビリティ
 - ・車輪を下部に設置して、移動時に利用できる構成

（４） 詳細仕様

a. 人間・ロボットインタフェースの形態

人間・ロボット間のインタフェース形態には、ロボットの動作を完全にマニュアル操作で行う「全身バイラテラル操作」から、ロボットに自律性を段階的に与えていくと、次表のように分類できる。

自律 マニュアル	全身バイラテラル操作	あたかもロボットの中に入っているかのような感覚で操作する。 トレイグジスタンスの実現。
	上半身バイラテラル操作	操作者はコクピットに座って操作する。 移動方向や速度を指示する。
	ユニラテラル操作	力や運動のフィードバックは操作者になく、ロボット側で自律的に調整する。 操作者の安全性が確保される。
	コマンド操作	キーボードや音声でコマンド指示をする
	監視操作	客観的にロボットの動作をみて指示を行う
	コミュニケーション操作	ロボットと対面して、ジェスチャー・音声などで指示する。 ロボットは操作者の意図を理解して作業する。

全身バイラテラル操作



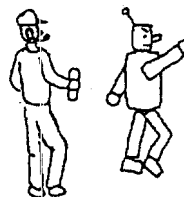
上半身バイラテラル操作
ユニラテラル操作



コマンド操作



監視操作



コミュニケーション操作

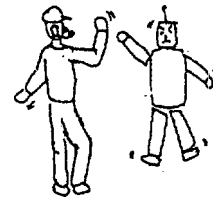


図3.2.14 人間・ロボットインタフェースの形態

研究プラットフォーム用ロボットとしての操作形態を考えると、ベースとして必要最小限の自律性だけを持たせたロボットを操作する、バイラテラル操作/ユニラテラル操作の切替も可能な上半身バイラテラル操作の形態が適切であると考ええる。

その理由として、次のようなことが挙げられる。

- ・高い自律性に関しては、それ自体が研究でありプラットフォームには要求されることで

はない。また、エラー復旧、動作の直接教示などの点からもプリミティブな入力手段が必要である。よって、研究用プラットフォームとしては「コミュニケーション操作」や「監視操作」は適していない。

- ・ R3 研究には、ロボット全体の研究のみならず、各部分のみの研究も行われることから、すべてプリミティブな操作形態である「全身バイラテラル操作」を採用すると操作箇所が多すぎることになる。また、上半身と使った作業を研究する場合は多いと考えられ、移動機能に関わる下半身についての自律性は不可欠と思われる。
- ・ 上半身としては、バイラテラル操作とユニラテラル/コマンド操作を切り替えられるような操作形態であれば、必要に応じて人間の動作計測も可能になり、ユニラテラル操作でロボットの自律性に関する研究もできる。

b. 詳細設計仕様

「上半身バイラテラル制御可能なコクピット型操縦装置」について、基本的な詳細設計仕様を示す。

○電源

外部供給。バックアップ電源を装備し、短時間（30分）駆動可能。

非常時電源OFF（非常停止機能）

○重量

150kg、手押し車輪で移動可能。

○サイズ

W120、H200、D180

操縦者の大きさに合わせて調整可能な機構

○計算機系

ロボットの計算機と同じプラットフォーム

（開発の効率化のため。また、インタフェース関係の研究にもロボット本体のソフトウェア資源などが有効に使えるため。）

○操作系

インタフェース設定操作パネル

基本機能のみとし、増設改造容易なインタフェースとする。

頭部インタフェース：

音声入力用マイク、連続音声不特定話者認識機能

ステレオスピーカ（ロボットの耳の配置と同数、2個以上）

頭部3自由度計測

広視野角視覚情報提示可能なヘッドマウントディスプレイ（HMD）

（ロボットの視覚カメラと同等の視野角をもつ）

シースル機能（HMDを装着中に操作パネルの操作ができる）

腕部インタフェース：

軽量・安全、バイラテラル制御可能な7自由度双腕マスタアーム

(最大速度、動作範囲、最大トルクなどは、ロボットのアームと同等とする)

力センサ付きアーム操作用グリップ

(ロボットハンド操作用のグリップ機構、スイッチ類を設置)

胴体部インタフェース:

肩 3 自由度計測 (腰 3 自由度計測、ロボット上半身構造に依存)

脚部インタフェース:

ペダル 3 カ所、レバー 1 カ所

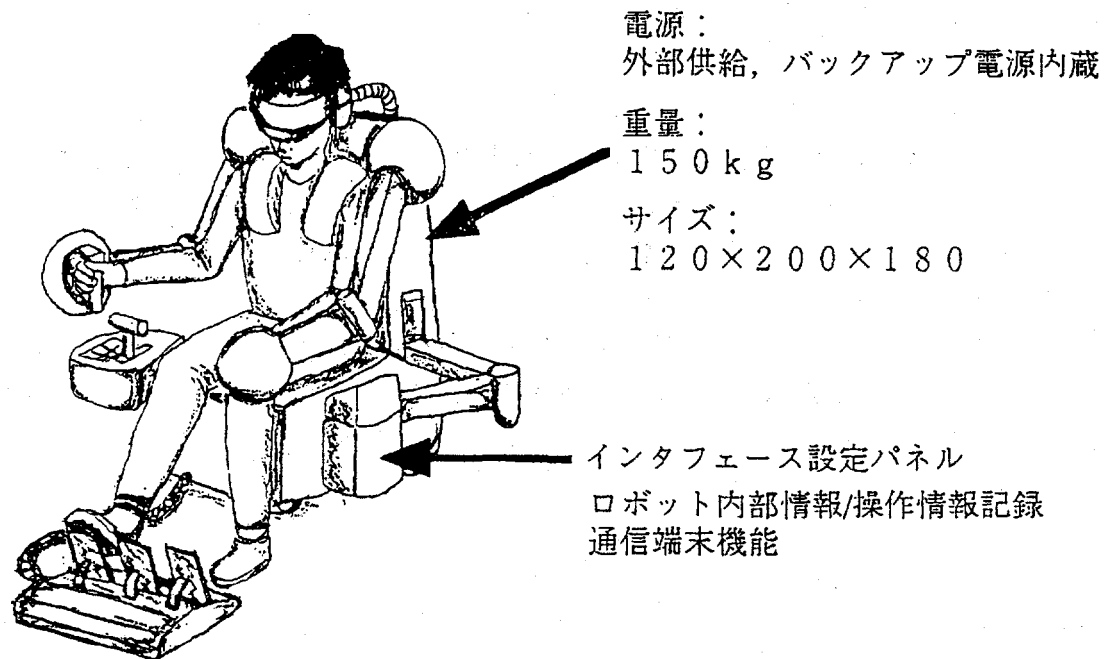
(前進/後進、速度指令、ステア指令、減速/停止指令などと組み合わせ可能)

○その他

ロボット内部情報データ計測・記録

操縦者の生理学データ計測・記録 (オプションで追加可能とする)

通信端末機能 (有線・無線両対応、ポート増設可能)



HMD（シーンスル機能付）

頭部運動計測

音声入力用マイク

スピーカ

7自由度マスタアーム

open/close 2x

操作グリップ

肩部運動計測

脚部操作用レバー
各種設定スイッチ

脚部操作用ペダル

図3.2.15 上半身バイラテラル制御可能なコクピット型操縦装置

3. 2. 13 モジュール化

(1) はじめに

一般に、システムの構成要素の中で共通に使用されると共に高度な機能をはたす部分を共通化して、生産性や保守の効率を上げる方式がモジュール化あるいはモジュール構造である。共通化される部分の中でも特に汎用性の高いものは標準化される[1]。したがって、アンドロイド型プラットフォームのモジュール化とは、ハードウェアの視点ではエンドエフェクタ、アーム部、脚部、センサ部などの機能要素の汎用化あるいは標準化を行うことであり、ロボット全体をこのような汎用化、標準化された要素で構成することである。また、各機能に付随する制御ソフトウェア、全体を統括する知能ソフトウェアなどもモジュール化の対象となりうる。

アンドロイド型プラットフォームをモジュール化することの意義は、研究開発時におけるプラットフォームの保守性を高めると同時に、プラットフォームのもつ様々な機能をターゲットシステムの中で有機的に活用できる点である。各機能要素に対して幾種類かのモジュールを用意することにより、多様なプラットフォーム応用システムを容易に構成することが可能となる。プラットフォームそのものが標準化しやすくなるとともに、モジュール毎の修正や改良、新しいモジュールによる置き換えなどが可能となり、ロボットの要素研究の高度化、そのシステム化の研究開発が行いやすくなる。一方、モジュール化によるデメリットとしては、モジュール毎の独立性や完成度を高めることにより、他のモジュールとの整合性やプラットフォーム全体構成のためのハード、ソフト、信号処理等に過度のオーバーヘッドが生ずることとなる。ロボットの寸法、重量、効率などの最適化が図りにくくなるため、特に中人アンドロイドのようにプラットフォームの小型化を目指す際には障害となる可能性がある。

(2) 技術開発の歴史

計算機のハードウェア、ソフトウェアなどでは既にモジュール化が基本思想として確立している(IBM System 360、1964)。このことは、知能ソフトウェアのモジュール化にとって大いに参考になる。ロボットに関連しては、研究レベルで自律型移動ロボットのコンピュータアーキテクチャにモジュール化構造が適用された例がある[2]。開発レベルでは、大型プロジェクト「自動縫製システム」において、3次元縫製のアームのモジュール化が図られた[3]。この例では、アーム各軸にCPUを持たせ、サーボコントロール、モータ駆動の高速化を図ると共に、省配線化による小型軽量化が研究された。目的の作業に応じて最適な軸構成、自由度構成が可能となり、汎用性、信頼性の向上が実証された。

産業用ロボットに関しては、手先ツール、エンドエフェクタを一種のモジュールと考えることができよう。マニピュレータの手首部までをベースマシン、あるいは標準セルとし、ツールやパレッターを交換することによりマウンター、異形部品挿入機、ネジ締ロボット、半田付けロボットなど様々な作業ロボットに転用することが可能となる。ロボットのハードウェアそのもののモジュール化は進んでいないが、ハンドリング装置としての産業用ロボット、視覚センサ、搬送装置などを機能別モジュールと位置づけ、多様な作業工程を構成する可能性が考えられる。

アンドロイド型プラットフォームそのものが未開発のものであり、そのモジュール化技術も未開発未研究ではあるが、先に示した計算機アーキテクチャ、ソフトウェアの構成法や、モジュール型アームの構成例は一つの指針となり得る。

(3) 技術課題

ここでは、プラットフォームをハードウェアとソフトウェアの双方の視点でモジュール化することを考察し、必要とされる技術課題を検討する。ハードウェアの視点では、機能別に頭部、必要ならば視覚、胴体、アーム、ハンド、脚、必要ならば足、の各モジュールに分割する。各モジュールの基本構成要素はアクチュエータ、センサ、ドライバ、動作制御・通信用CPU、通信デバイス、データバックアップ用バッテリーなどである。また、制御知能に関わるソフトウェアの視点では、作業、歩行、認識、意志疎通、などの基本知能モジュールに分割することが考えられる。このようなモジュール化を達成するために必要な技術課題は以下の通りである。

- ・アクチュエータの小型化、センサとの一体化技術。
- ・各機能に搭載可能な高性能CPU。
- ・各機能に搭載可能な小型通信デバイス。
- ・信号・情報圧縮技術。
- ・容易な機構締結法と高信頼性小型信号コネクタ。

(4) 仕様の基本検討

アンドロイドを頭、胴体、腕（1本）、ハンド、脚（1対）、足の各部分で分離可能とし、各部をモジュール化する場合の基本仕様は次のように考える。

- a. 頭部モジュール： 視覚センサ、聴覚センサ、センサ処理系（必要ならば視覚センサを別モジュールとする。例えば、通常カメラか、赤外線カメラかの選択。）
- b. 胴体モジュール： OS搭載計算機、発声部、首3自由度機構、腰3自由度機構、主電源
- c. 腕モジュール： 6自由度機構、力覚センサ、運動制御系搭載
- d. ハンドモジュール： 接触センサ、センサ処理系、運動制御系搭載
- e. 脚モジュール： 姿勢センサ、ジャイロ、センサ処理系、運動制御系搭載
- f. 足モジュール： 接触センサ、力覚センサ、つま先1自由度

全体として、以下の点を配慮する。

- ・各モジュールのハード的結合は数本のビス等で容易なこと。
- ・各モジュールの電気・信号結合はコネクタ等で容易なこと。
- ・ローカルな制御系、信号・情報処理系が各モジュールに搭載されている（各機能に処理用CPUをもつ）あるいは対応している（各機能に必ずしもCPUをもたない）。
- ・各モジュールのためのコマンドドライバ、並行プロセス制御機能などを行うOS。
- ・モジュールを接続するとOSが自動的に認識し、必要なソフトウェアがインストールされる。

(5) モジュール化詳細仕様の試検討

a. ロボットモジュールの背景と現状

近年のコンピュータを中心とするエレクトロニクスの発展は、次の意味でモジュール化を可能とするようになってきていると判断される。

- 機械の直接最終的自由度は6自由度以上でも以下でもない。
- コンピュータ、半導体の著しいコストダウンは、冗長機能を内蔵した低コスト機能部品を可能とする（自動車の発想）。即ち、ロボットの構成をうまく考えれば標準化、モジュール化も可能であり、また、コストも低減できる。具体的には

- ・システムとしてのモジュール
- ・ハードウェア構成モジュール
- ・機能モジュール
- ・部品モジュール

に分類して考えると良い。

b. 課題分析

イ. システムと階層化

ロボットは、大きな技術領域を包含するシステム製品である。従って、

- 狭義にはコンピュータシステム（図3.2.16）
- 広義にはネットワークシステム

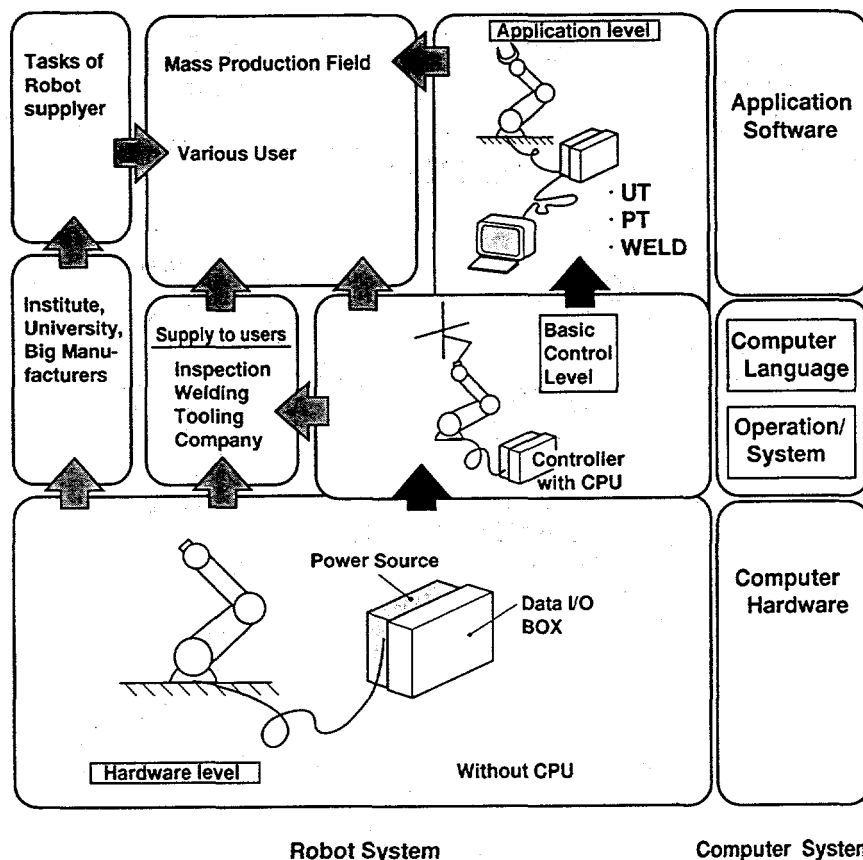


図3.2.16 Concept of Hierarchical System for Intelligent Robot

の考え方を参考にすると良い。ネットワークシステムは、本テーマとは若干関係が薄いと考えられるのでここでは除外する。ロボット本体の階層化は、大別すると

- ハードウェア
- 運動制御
- 作業実現

のレベルで取扱えると考えられるが、作業実現は確定した方法論が研究テーマそのものであることから、別分野で取扱う。また、運動制御とハードウェアは目的とする機能実現の立場で機能モジュールとして定義する。

また、ハードウェアには最小レベルとしての部品がある。本分野は、ロボットの機能を大きく左右するものであるが、部品レベルでは汎用的技術領域であるので、ここでは考察から除外する。

ロ. 機能モジュールの課題

- ハードウェアモジュール

ハードウェアモジュールを大別すると図3.2.17のように更に階層化される。

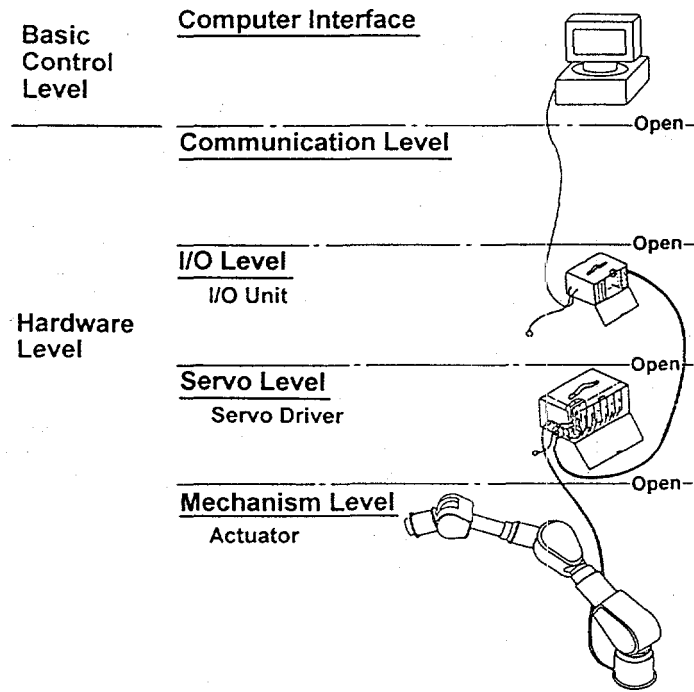


図3.2.17 Hierarchical Opened Systems on Hardware

本モジュールに要求される課題は、

- ① 小型・軽量化
- ② 低コスト化
- ③ 高取扱い性（メンテナンス性）

に集約しても大きな誤りはない。

○ソフトウェアモジュール（運動制御モジュール）

運動制御については既に出尽くした感があるが、

- ① ハードウェアとのなじみ性
- ② 適用の限界

が、設計時に判り難い。モジュール化においては、この課題についての解決策を考慮する必要がある。

c. 新しいモジュール化の考え方と構想

イ. モジュール化の意義

アンドロイドの設計のみに着目すれば、モジュール化は大きな意味をもたないが、プラットフォームとしては次の位置付を持つ。

- ・アンドロイドの完成の中間段階としての活用策支援
- ・新しい設計の普及と効果出し
- ・合理的コストの実現

また、アンドロイドのような非常に高度なハード・ソフトはそのMTBFを確保するため

- ・信頼性の十分検証されたもので構成
 - ・破損時の修理・交換が迅速に確保
- されることが必要となる。また、
- ・21世紀対応のリサイクル型機械
 - ・知能化開発の速度・精度の確保（含ソフトウェアモジュール）
- の観点が必要となる。

ロ．システムとしての考え方

○モジュール化の基本構想

アンドロイドはその形状は小さいが、大規模はシステム品である。従って、

- ① 階層システムモジュール（縦のモジュール化）
- ② 各層に於る機能モジュール（横のモジュール化）

を行う必要がある。ここで、階層システムモジュールはアンドロイドシステムの根幹を成すものであるが、一方で様々な発想があり絞りきれない領域でもある。そこで、今回は機構・エレクトロニクス関連を中心に構想を述べる（図3.2.18）。

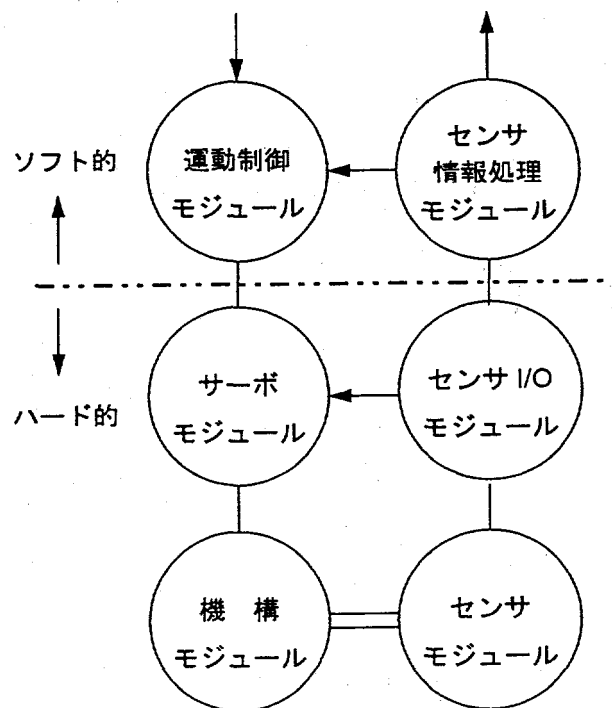


図3.2.18 モジュール構成例

○アンドロイドのモジュール構成

アンドロイドは総合仕様を示されるように人型のイメージがあるが、モジュールの考え方としては実現される形態に専用的対応を行うと発想に立たず、ロボットの構成を階層的に

とらえる。

・通信系（ロボット）

従来ロボット内の信号線は全て平行であり、このことが

① 電氣的モジュール化の阻害

② 信頼性の低下

をまねいてきた。

この解決のためには

① サーボドライバのビルドイン化

② 信号伝送の高速化

を行う必要がある。図4はその構想の1例であるが、要は

① モータ内蔵的ドライバ

② LAN回線のロボット機体への導入

が必要となる。

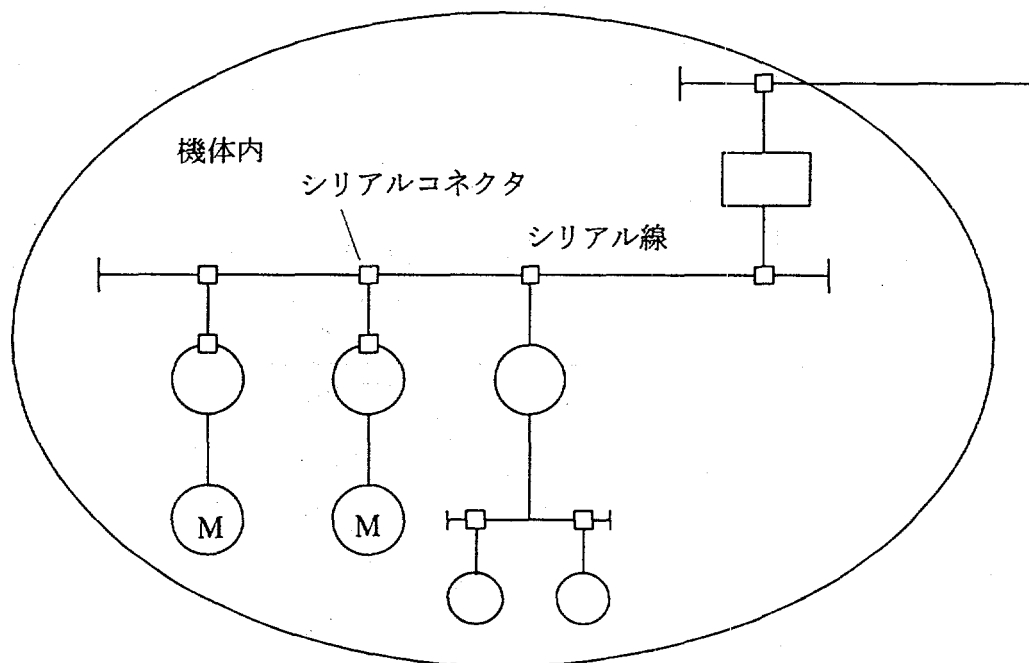


図3.2.19 機体内完全シリアル構成

・動力系（電源）モジュール

これまで、電源系統については全く論じられてこなかったが、信号線が単純化されると電源ラインも処理が必要となる。即ち、必要に応じた電圧系、電流容易についての配慮が必要となる（図3.2.20）。

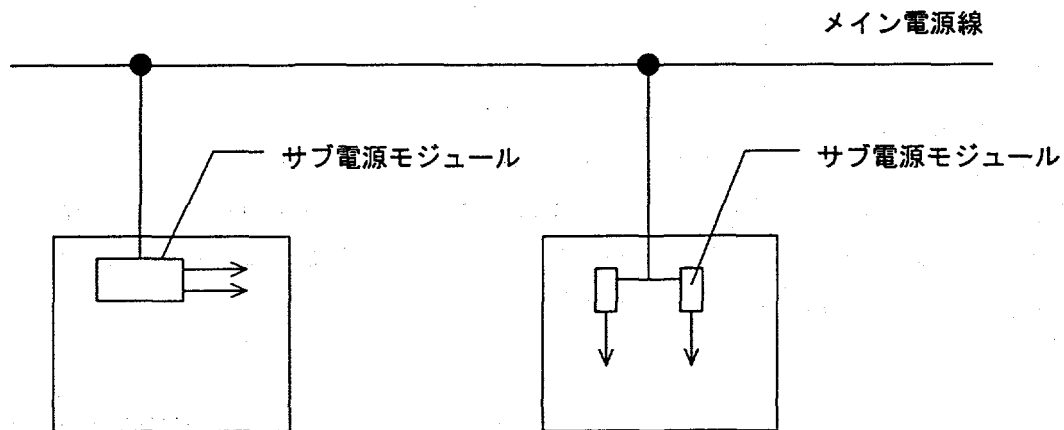


図3.2.20 電源システムとモジュール化

ハ. 機能系

○運動制御系

この部分は方式が確立していないので、種々の運動制御の手法をモジュール化（関数化）において必要に応じて組替えて用いる。このとき、その組替えが容易に行えるような体系を考える。（図3.2.21）

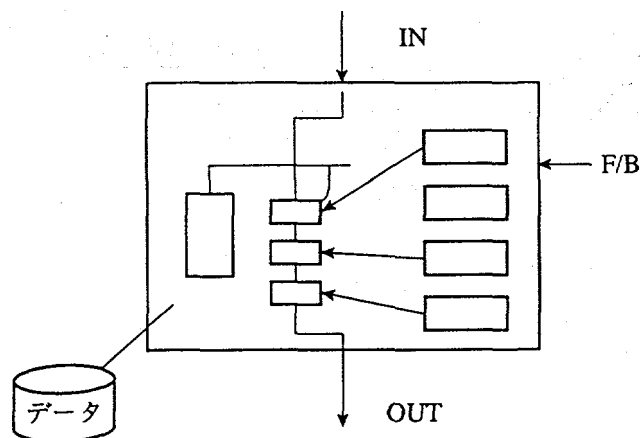


図3.2.21 運動制御系

○アンドロイドの部分機能の活用

上記の考え方でアンドロイドが構成されれば

- ① ワンタッチ組立て（機械的・電氣的）
- ② 運動制御リアルタイム（的）組込み

が実現される。従って、アンドロイドの各機能部分をモジュールとして活用できる。

例えば、

- | | |
|--------------------|-----|
| ・視覚モジュール | 目と耳 |
| ・マニピュレータ（軽作業）モジュール | 腕 |
| ・マニピュレータ（重作業）モジュール | 足 |

の応用が考えられる。これらのモジュールは各モジュールが適切なコストで提供されれば、近い将来のロボットの作り方を一品手作り → 汎用モジュールの組合せに変革する可能性を有し、産業への波及も大きい（図3.2.22）。

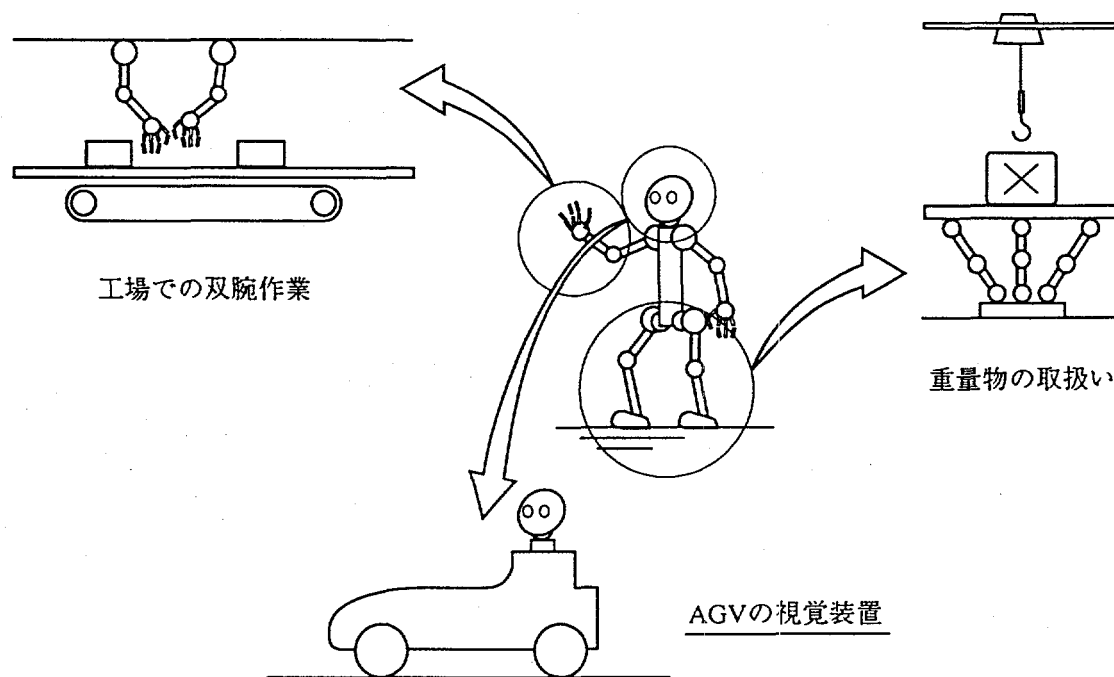


図3.2.22 機能モジュールの応用

○構造化部品

ロボットを構成する様々な部品は

- ① シリアル結合（情報・電力）
- ② ワンタッチ結合（機械）

を前提する。従って、従来のように一つ一つの部品が電気コネクタ・パラレル配線で接続できないため、構造化を行うことが必要となる。以下、現在試行中のモジュール化と比較しながら代表的例を示す。

・アクチュエータ系

アクチュエータはトルク発生器であるが、それを高精度に実現するためには多くのセンサが必要となる。また、そのための電源の供給も不可欠である。従って、これらを全て統合したものとして考える。即ち、

- ① 機械的モジュール化ウ減速機、モータ、ブレーキ、エンコーダ等の一体化

② 電氣的モジュール化ッパワー部を除いて1チップ化で小型化・低コスト化を図る（図3.2.23、図3.2.24）。

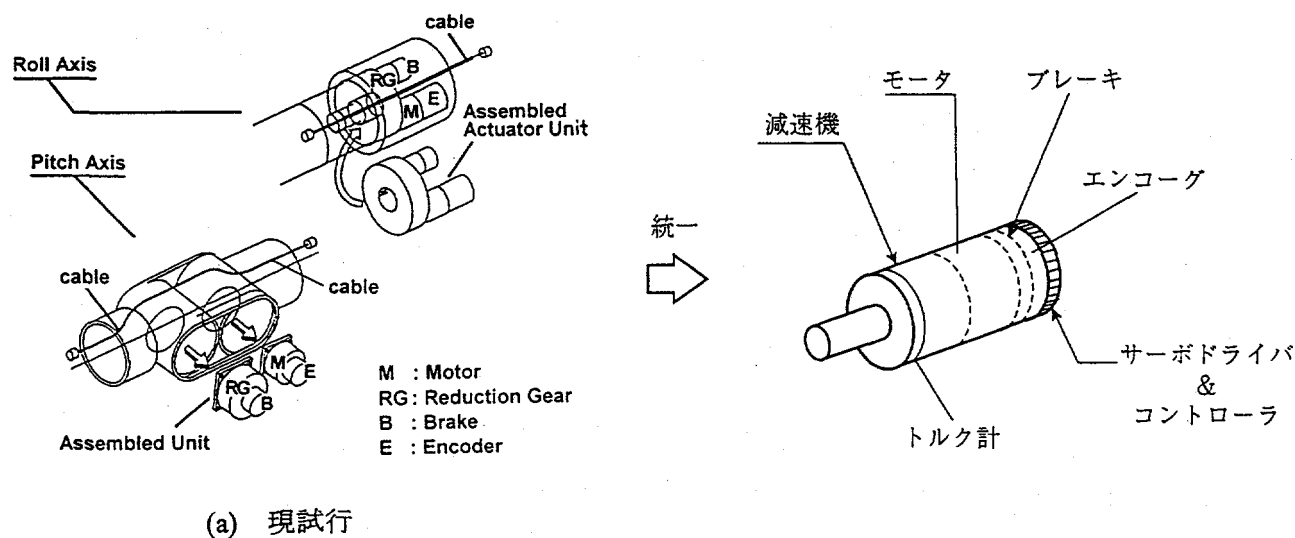


図3.2.23 アクチュエータドライバモジュール（機械）

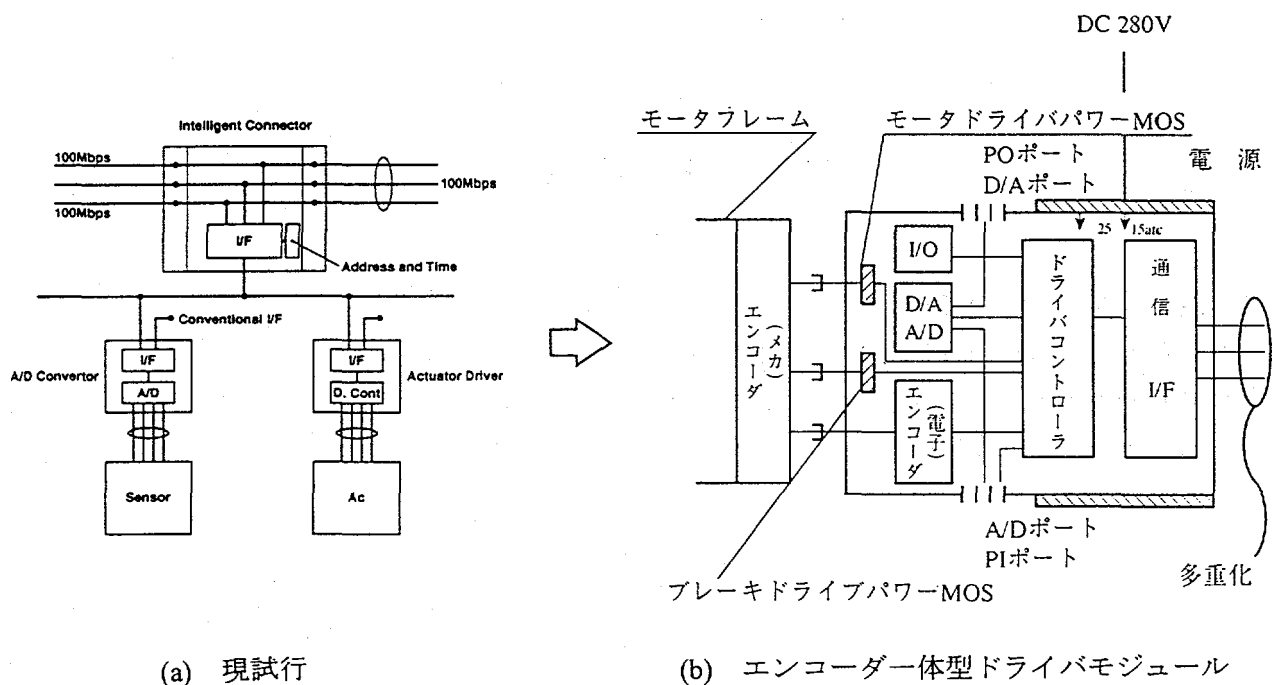


図3.2.24 アクチュエータドライバモジュール（電気）

○センサ系

センサには多くの種類があり、統一的に扱うのは難しいが

① DC入力（電圧の整合）

② パルス入力

のものについて考える。この場合いずれにしてもセンサの大きさに対して十分小さなもので、例えば

③ 寸法 10mm×10mm×3mm程度

を狙う。(図3.2.25)

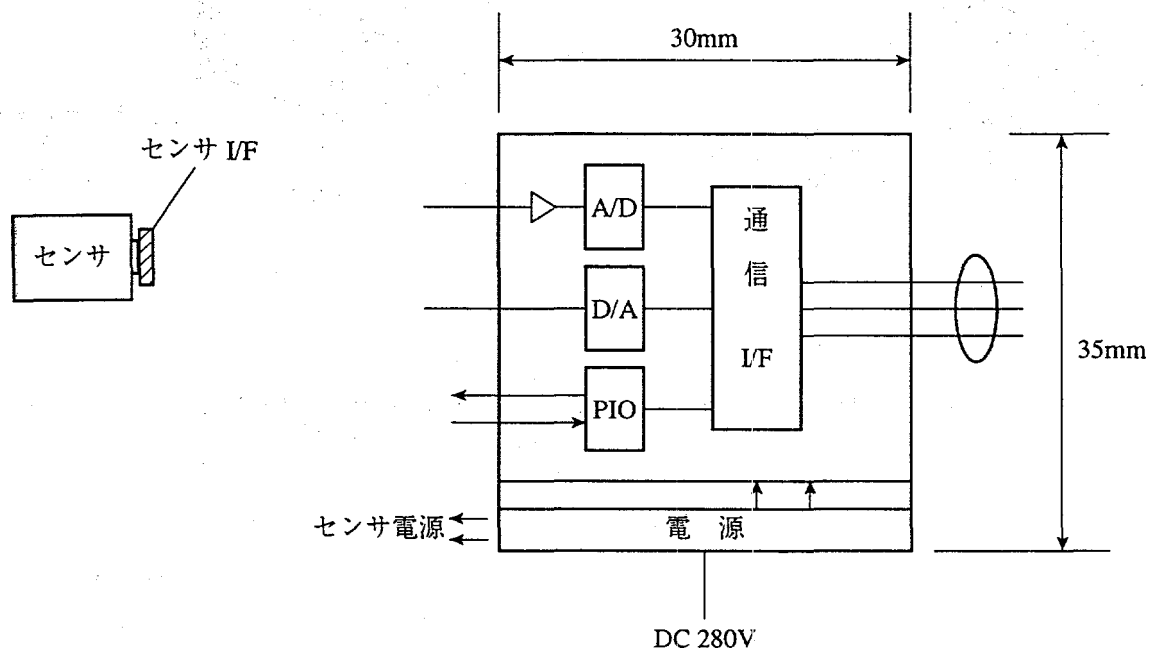


図3.2.25 センサI/Fモジュール

○構造物モジュールの種別

これらのモジュールは理想的には1種類で作ることが好ましいが、ロボットの構成を全く同じ物とするように変更する必要がある(図3.2.26)。ここでの仕様はアンドロイドの実現にあるので、先端を小さく、根元を大きくする方式となる。

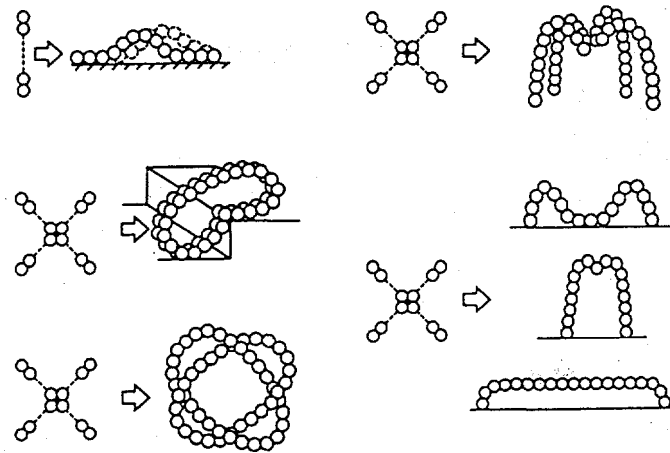


図3.2.26 Holonic Mechanism and Form Changing Control

従って、

- ① アクチュエータは3種（大・中・小程度）
- ② センサ は3～5種
- ③ 通 信 は統一

の考え方が妥当であろう（図3.2.27）。また、指等の完成度に問題がある部分については、モジュール化を急ぐ必要はないかもしれない。

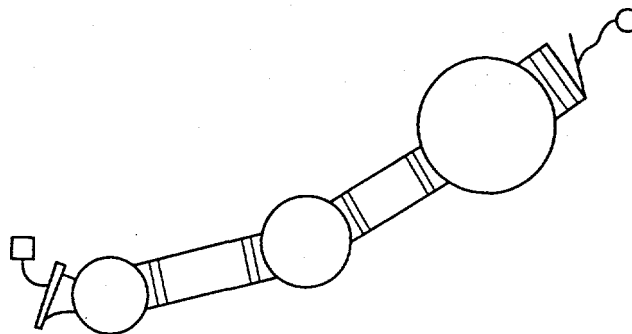


図3.2.27 モジュール化組み上げのイメージ

○小型化との整合

一般にモジュール化部品のみを活用すると小型化が阻害される。ここでは

- ① 集積化・集合化による各モジュールの小型化
- ② 若干の小型化に対する阻害要因の発生は許容する。

即ち、アンドロイド開発に致命的にならない限り、そのモジュールとしての近未来的活用はアンドロイドの大きなドライビングフォースとなると予想される。従って、容易な転用の可能なモジュール化の徹底は重要ファクタといえる。

ニ．リサイクル社会への提言

21世紀はリサイクルを考慮しない機械は生き残れない。従って、

- ・モジュールとしての交換利用
- ・モジュール内の構造化

を行うことによって、用済になったロボットの全体を廃棄することなく、徹底した利用が可能となる。

d．おわりに

アンドロイド型プラットフォームの中で中人タイプは小型化を目指すものであり、コンパクトな機構の中にできる限りの機能を詰め込もうとするならば寸法・重量を大幅に伴う各機能のオーバーヘッドは許されず、モジュール化とは相反することである。

しかしながら、各機能をモジュール化すること、あるいは各機能を改良し新しいシステムを作り上げることそのものがプラットフォームを使った研究ととらえることができる。このためには、分解しやすい構造であること、オープンアーキテクチャであることが必要であり、この意味でのモジュール化設計はプラットフォームとして不可欠な発想と考えられる。

参考文献

- [1] 日本機械学会編：機械工学便覧、p. A4-47、日本機械学会、1987
- [2] 金山他：車輪形ロボットのための走行モジュール、日本ロボット学会誌、2-5、pp. 402-415、1984
- [3] 谷川義之：生地ハンドリング技術、アパレル研究（繊維工業構造改善事業協会）、16、pp. 206-214、1989

3. 2. 1 4 計算機

(1) 技術開発の歴史・現状

足をもつアンドロイドロボットは従来のロボットの分類では、自立移動ロボットととらえなければならず、据え置き用ロボットの計算機をそのまま使うわけにはいかない。自立ロボットの体内計算機の構成法は、CMUのNAVLABのように大型ボディ内に通常のワークステーションを入れる例、筑波大学油田研のロボットのように消費電力を考慮して市販のVMEBus用計算機を用いずに独自の計算機構成をとる例、ボディ上に計算機を載せないリモートブレイン方式などの例がある。

アンドロイドのソフトウェアには、従来の物体操作、脚移動のソフトウェアが参考になるが、両方を同じソフトウェア体系にまとめあげる必要がある。脚腕を連動する全身動作のソフトウェアは近年すこしづつ研究がはじまりつつあるが、ソフトウェア開発は時間がかかるため、ソフトウェアのプラットフォームを構成可能な計算機システムを選ばなければ

ばならない。計算機のハードウェア進歩はロボットの進歩よりずっと速いため、計算機用ソフトウェアプラットフォームの構成法の研究を無視せずにとりこめる計算機／ソフトウェア方式とする必要がある。

計算プロセッサの電源電圧も5V系から3.3V系へと下がり、低消費電力化、スリープ機能などがプロセッサに配慮されてきた。I/Oとの接続のためにボードに分けてシステムを構成するのではなく、プロセッサの中にI/O機能を付加できる組み込み用プロセッサで構成することが容易になってきた。32bitRISCプロセッサ、DSP機能、フラッシュメモリなどをもつものも現れ、現在まさに開発が進んでいる。プロセッサ部分をコアとし、周辺回路の組み合わせをユーザ側で自由に指定できるASIC対応のワンチップ組み込みプロセッサも利用できるようになってきている。

アンドロイドはセンサアクチュエータの数が多く、物理的にも分散するために、組み込み用プロセッサのネットワークにせざるを得ない。ワークステーションネットは10Mbpsから155Mbps程度に進展してきた。プロセッサ内蔵の通信機能には400Kbps、20Mbps、100Mbpsなどのものがあるが、特定プロセッサになるためにソフトウェアの開発が進んでいないものも多い。プラットフォームとしてのアンドロイドの計算機には、低コストの小型パーソナルコンピュータ用規格と技術を導入する方向が重要で、パソコン用マルチメディア通信規格USBやIEEE1394などこれから普及しそうな規格を利用できるようにすべきである。

(2) 技術開発課題

体内配置 計算機プロセッサ技術は、現状の組み込みプロセッサの進歩を待てばよいが、問題は、それを安定かつ簡便に利用できるようにする周辺技術である。

a. CPU間通信

ロボット内の複数のCPUチップを有機的に結合して効率よく働かせることがトータルの性能向上には欠かせない。上に挙げたIEEE 1394は、ピーク転送レートは高いものの、転送サイクルが125 μ sに固定されているため、遅延時間が大きい等の問題もある。オーバーヘッドが小さくリアルタイム性に優れたプロトコルの開発も検討課題となろう。

b. CPUの低消費電力化

CMOSプロセスは本来低消費電力であるが、最近のRISCチップではクロックレートの向上により消費電力はむしろ増大する傾向にある。ロボット側計算機としては、低電圧駆動およびCPUの動的な負荷変動に対応した可変クロックレート化などにより消費電力を減らす努力が必要である。

c. 配線実装技術

振動もする体内に組み込むシステムにおいて、ノイズの影響をなくし、コンパクトな肢

体に分布可能な小型コネクション方式、修理拡張のメンテナンスにも対応可能な配線実装技術が重要。

d. 運動体のオンラインICE技術

通常の組み込みボードではICEなどを用いるが、アンドロイドのように動き回る運動体の場合には、据え置き型ICEではなく運動中にも使えるものが重要となる。テレメータ、テレコントロール技術を駆使したICE技術が必要。

(3) 計算機系仕様

すべてをロボット側で処理することは、膨大な計算機パワーを必要とし、重量/消費電力の点で不利である。また、すべてをリモートで処理すると通信容量の無用な増大や、処理の時間遅れを招く。両者を勘案した適切な配分が必要である。ここでは、

リモート側計算機処理

- ・ 全体制御/行動計画/高次認識
- ・ 視覚処理 (計測、認識、モデル化、記憶)

ボディ側計算機処理

- ・ 関節制御
- ・ ローカルセンサフィードバック

という配分を考える。

a. リモート側計算機処理

通常のワークステーションネットワーク上に構築し、ボディと無線LANで接続する。100Mbps以上の有線ネットワークインタフェース、2Mbps以上無線LANとする。運動中のセンサ情報を体外計算機でモニタ処理できるようにするための高速インタフェース確立する。体内計算機の処理をそのまま実行できるように、体内LANとのソフトウェアインタフェースをもたせる。自律モードだけでなく、遠隔操作モードとの併用ができるように、動作指令用操作系とのインタフェースをそのネットワーク系に持たせる。

リモート側計算機としては、開発環境の整ったUNIXワークステーションがまず第一に考えられるが、これに限定されるものではなく、各研究者がその研究目的に応じてパソコン、スーパーコンピュータなどを自由に選択できるようにシステム設計すべきである。具体的には、各計算機はLANに接続され、同じくLAN接続された無線送受信機を介してロボット本体を制御することになる。無線LANの伝送速度としては、電波を用いたものが1~2Mbps、光によるものでは10Mbpsが可能となっている。

無線LANの仕様比較

[電波]			[光]	
使用周波数	2.4GHz		赤外線	850nm
占有帯域	20MHz以下		N/A	
送信出力	10mW以下		20mW	
通信速度	1~2Mbps		10Mbps	

b. ボディ側計算機

体内LANを構成。補助記憶はフラッシュメモリなど100MB以上の半導体メモリ。中核計算機と分散配置コントローラ、分散配置センサ情報収集プロセッサ、のネットワーク構成。体外計算機と無線LANで接続。体内センサ情報は画像化して体外計算機と接続できるようにする。

ネットワーク配線、計算機ノード、コネクタ類を含めた計算機系すべての重量5Kg以内(中型アンドロイド)。しかし、プラットフォームとして機能拡張がなされた後体外計算機の機能を移行するために、さらに3Kg程度の計算機を搭載可能な形で考える。

レジューム機能付き。パワーオンリセット。内部補助記憶からの立ち上げ、外部ネットワークからの立ち上げ機能の両方をサポート。消費電力100W程度におさえる。

イ. 関節制御

高速の演算処理機能を備えたCPUによるソフトウェアサーボとする。CPUとしては、32ビットのRISCプロセッサまたはDSP内蔵の16ビットプロセッサをコアとし、各種I/Oポートやバス制御機能を内蔵した1チップMCU(MicroControllerUnit)が適当であろう。以下に32ビットRISCベースのMCUの仕様例を示す。

1チップマイクロコントローラ 仕様例

CPUコア:	32bit RISC (FR20)
動作周波数:	50MHz
汎用レジスタ:	32bit×16
アドレス空間:	32MB
キャッシュメモリ:	1kB
DMA:	8チャネル
シリアルI/F:	3チャネル
A/D変換器:	8チャネル
D/A変換器:	8チャネル
その他:	タイマ: 6チャネル 外部割込み: 4チャネル(16レベル)

すでに8チャンネルのD/A変換器を内蔵しているので、外部にPWMドライバを接続するだけで8つのモータの同時制御が可能となる。その場合、一般的なPID制御を前提とすると、CPUの演算能力から逆算して制御周期として1ms程度が十分可能である。

ロ. センサフィードバック

力覚、圧覚など、接触覚のセンサはその即時性からローカルに処理すべきと考えられる。具体的には、ハンドの把持力制御、関節のカトルク制御/可変インピーダンス制御等がある。AD変換器と上記プロセッサの組合せにより1ms程度の周期で実行する。

ロボット内の計算機間通信としては、昨年末に規格化され既に専用LSIも市販されているIEEE 1394(シリアルバス)があり、ビットレートとしては400Mbps(技術的には800Mbps)まで可能とされているが、リアルタイム性に問題があるとの指摘もあり今後、オーバーヘッドの小さな通信プロトコルの開発も検討課題となろう。

ロボットの全自由度を40程度とすると、以上の検討から想定される計算機仕様は以下の通りである。

CPU	32bit RISCベースMCU × 4～5個 動作周波数 50～100MHz
メモリ	RAM/16MB, ROM/4MB
OS	VxWorks または 相当のリアルタイムOSをROM化して搭載
CPU間通信	IEEE 1394シリアルバス等(要検討)

3. 2. 15 ソフトウェア

(1) 基本概念

プラットフォーム型研究開発の目的の一つは、研究開発対象となるハードウェアを共通にすることにより、その上で開発されるソフトウェアの相互利用・公開を促進することである。そこで、ソフトウェアの研究開発に当たっては、開発当初からこの点を念頭においてソフトウェアを蓄積していき、相互評価を重ねることによって、評価の高いソフトウェアをデファクトスタンダード化していく必要がある。本項では、そのためのソフトウェア構成法について述べる。

(2) 技術開発の歴史と現状

ワークステーションならびに、パソコン用の基本言語として、これまで、C言語からオブジェクト指向言語機能をもつC++言語がよく利用されてきていたが、近年並列処理記述が可能なマルチスレッド機能を搭載したJava言語が有力な言語としてみなされてきている。これらの言語の上にこれまで様々なソフトウェアが開発され、デファクトスタンダードとなったソフトウェアが市場を寡占する状況になっている。また一部では、WWWを用いて別々に開発されたソフトウェア群の情報をまとめて提供する試みも開始されている。例えば、CG関係のシェアウェアを集めたGraphic Gems (<http://www.geom.umn.edu/software>)

/cglist/cglib/AllGems.TOC)、計算幾何学関係リンクのみをまとめて情報を提供しているミネソタ大学のGeometry Centerのページ (<http://www.geom.umn.edu/software/cglist/>) 等があるが、これらは情報を提供するだけで、集めたソフトウェアの評価は行っておらず、実際使いものになるかどうかは不明である。

一方、産業用ロボットを中心とするロボット工学の分野では、個々のロボットメーカーや大学の研究室、国立研究所等が、別々にソフトウェアを開発してきており、相互利用はほとんど進んでいないのが現状であろう。以前はロボット言語という研究があったが、専用言語化しても使われなければ意味がないのがソフトウェアであり、既存の計算機言語にロボット用周辺機能を利用できるようにライブラリを拡張した形のシステムがほとんどとなっている。基礎におく言語としては、よく利用されるC言語の他、人工知能研究で発明されたLispやProlog言語なども利用された。一方のロボット言語については、最近ようやくJISが制定され、産業用ロボット用言語であるSLIM(Standard Language for Industrial Manipulators)と、中間コードの標準であるSTROLIC(STandard Robot Language in Intermediate Code)が規定された(JIS-B8439-1992、または、新井民夫、JIS使い方シリーズ産業用ロボット言語SLIM、(財)日本規格協会、1994)が、その普及は今後の課題と言える段階である。さらに、大学や国立研究所で研究開発されてきたソフトウェアについては、画像理解関係のソフトウェアを共同で提供するIUEプロジェクト (<http://www.aai.com/AI/IUE/IUE.html>)、日本ロボット学会が国内機関で開発されたソフトウェアをCD ROM化して配布した試み(日本ロボット学会誌14巻1号)、電総研によるEuslispの公開配布が挙げられる程度である。このうち、Euslisp(<http://ci.etl.go.jp/~matsui/eus/euslisp.htm>)は、オブジェクト指向機能、マルチスレッド機能を持つ。オブジェクト指向用クラスには、座標変換計算、ソリッドモデル機能、ストリーム通信機能などがある。大規模になりがちなソフトウェアにおいて重要なことは、大きくしないことである。いかに汎用なものを厳選できるかのセンスが必要である。Euslispはそうやって育ってきたところに特長がある。Javaなどの新しい言語で普及しそうな、マルチスレッド、ネットワーク対応、オブジェクト指向言語が現れたところで、Euslispなどのプロトタイプソフトウェアを参考にその機能を移植することを行なうことが普及には重要である。

(3) 技術課題

ソフトウェアの相互利用を促進するための課題としては、対象となるハードウェアの共通化あるいは仮想化、モジュール化、ネットワークを介した利用の促進、ドキュメントの整備、共同で使い込むことによるソフトウェアの評価、保守方法、知的所有権の問題等が挙げられる。また、ソフトウェアを膨大・複雑にしなくてもすむための技術課題が最も重要である。具体的な課題としては、次のものが挙げられる。

・分散ソフトウェア開発環境

通常のワークステーションネットワーク上に接続されたI/Oを管理制御すると同じ感覚で、体内のプロセッサ群のメンテナンス・実験が可能なソフトウェア体系を作る必要がある。

・アンドロイド行動シミュレーション環境

全身をもつアンドロイド型ロボットのソフトウェアの開発には、実機ができる前にシミュレーションできる環境が重要である。多肢ボディのダイナミックな振舞、外界との相互作用力による動作シミュレーション、安定性解析用基本計算ルーチン、センサ情報シミュレーション機能など。

・アンドロイド自律系ソフトウェア

自律系がなくても壊れないボディを持たせるか、前もって壊れない程度の自律系を持たせるかの選択を行なう必要がある。片足バランス基本制御、両足接地時のバランス制御、上下肢を統合利用する動作、基本反射動作、両腕接触時のなじみ動作、省エネルギー行動、エネルギー不足における警告・回避機能などの自律系のための基本ソフトウェアは最低限必要。

(4) ソフトウェア仕様

相互利用・公開を可能とするため、次に挙げる様な基本仕様を満たす必要がある。

- ・汎用性 汎用性を高めるため、自由度構成や幾何学的パラメータ、力学的パラメータを容易に指定・変更出来ること。
- ・モジュール性 機能毎にモジュール化され、組み合わせが容易であること。
- ・公開性 第三者による利用・デバッグ・改良を容易とするため、ソースコードまたはAPIを公開すること。また、内部のAPIも含めて、十分なドキュメントを用意すること。
- ・移植性 異なる計算機環境に移植が容易な様に、特殊な計算機言語は使わないこと。また、OSに依存するコードは極力少なくし、ソースを分離しておくこと。
- ・可搬性 相互利用をより促進するため、必要な部分についてはネットワーク可搬とすること。
- ・保守性 発展段階においては、ネットワークを介して保守可能な体制を整備すること。

ソフトウェア共有法の例としては、次のものが挙げられる。

・ソースコードの共有

これは、開発されたソースコードの所在を示すリンク情報を、担当のインターネットサイトで管理する方法で、最もプリミティブなやり方である。上記のミネソタ大学のGeometry Centerのページなどは、この方法を採用している。

・実行形式の共有

Javaの様な、仮想マシンの上で動き、ネットワーク可搬な計算機言語でソフトウェアを実装すれば、各クライアントサイトでソフトウェアを保守することなく、実行形式をネットワークを介してダウンロードして実行させることが出来る。

・プロセッサの共有

ベクトル型のスーパーコンピュータや並列計算機等の高価な計算機のプロセッサを共有する方法で、ボトルネックになる部分だけを遠隔サイトにある高速計算機で実行し、全体の高速化を計る。

例えば、電総研等で開発中のNinf(Network based Information Library for Global World-Wide Computing Infrastructure, <http://phase.etl.go.jp/ninf/>)を利用すれば、ソースコード中で遠隔実行させたいところを

```
Ninf call some_function(x,y,z);
```

という感じに書き換えるだけで、実際の計算は遠隔サイトにある高速計算機で実行される。以上の説明図を図3.2.28に示す。

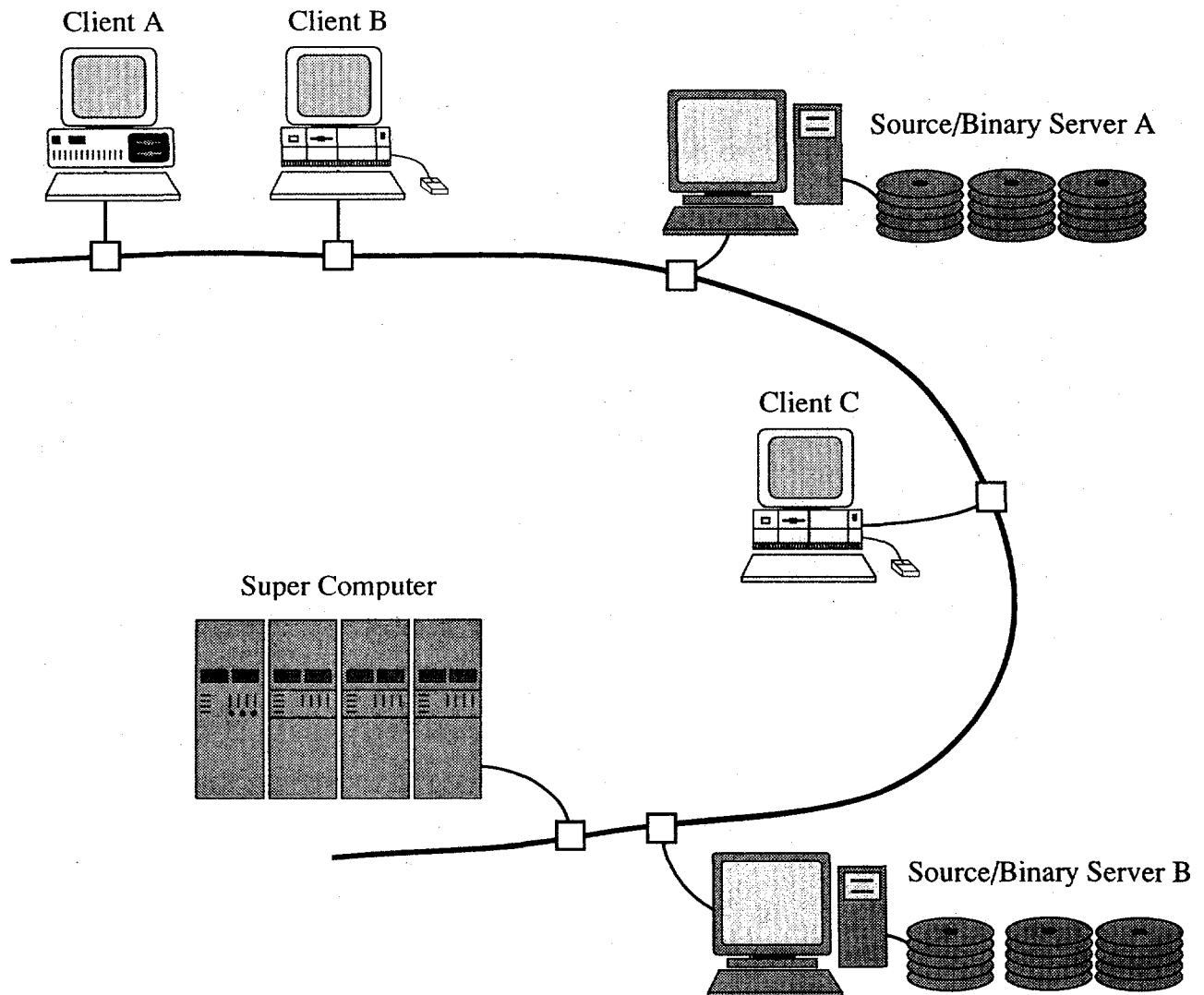


図3.2.28 ソフトウェア／計算資源の共有の概念図

共通ソフトウェア開発項目は、大きく行動シミュレーションのためのソフトウェア、ア

ンドロイド組み込み用基本典型動作プログラム、基本行動拡張用開発環境ソフトウェアの3つに分ける。ボディを制御するプログラムがそのまま行動シミュレーションプログラムとしても動くような枠組を持たせる。基本行動は複雑すぎない代表的な環境で動くものとし、その行動プログラムをテンプレートとし、その適用範囲を拡張する形でソフトウェアの発展を図れるようにするための支援ソフトウェアを重視する。

- ・行動シミュレーション環境

- ボディモデル表示プログラム

- 立体、隠線処理、隠面消去、立体密度、光源、照度計算、OpenGL対応。

- 運動入力解析プログラム

- 逆運動学、逆動力学、接触拘束も扱える順動力学、各種座標系対応軌道グラフ表示、各種座標系対応軌道生成・変形。

- センサ情報モニタリング

- 視野入力・表示、視野画像入力・生成、センサ画像入力・生成、運動軌道にそったセンサ情報生成機能。

- 体内・体外衝突検出

- 立体衝突検知機能、運動軌道中の衝突検査、衝突箇所の計算。

- センサ・動作マッピング機能

- センサイメージ・動作の結合部分の交換によるビヘービアのシミュレーションを可能とするための機能。

- シミュレータモデル変更機能

- シミュレータモデルの変更のための簡便な対話型エディタと、プログラム組み込み用編集コマンドを用意する。

- ・基本動作ソフトウェア

基本的に整備された環境で、以下に示す基本行動を実現できるだけの基本ソフトウェアを搭載する。2足歩行、階段登り降り、つたい歩き、ぶらさがり、片足立ち、バランス制御、寝返り、起き上がり、立ち上がり、つかまり立ち、バランス不安定時の反射行動、転倒時の衝撃吸収行動の生成、外部環境との接触に基づくなじみ行動、物体のかかえこみ、各種持ち上げ動作。また、視覚探索、ステレオビジョン・トラッキング等の視覚機能、音源定位、人間とコミュニケーションするための音声認識・合成機能。操作者に視覚・力触覚情報の呈示、操作結果の処理を行う操作操縦機能。操作コックピットと被操作ロボットとの通信を行うプロトコル・言語。

- ・基本ソフトウェアの拡張による開発のための環境

- 基本動作プログラムのシミュレーション機能

- 基本動作プログラムをそのまま行動シミュレータプログラムで実行可能とする。

- センサ信号のモニタリング

- 基本行動を行なっている最中のセンサ信号がどのように変化しているかをモニタするためのソフトウェア。

○シミュレータへのデータ入力機能

実ボディの運動時における実データをシミュレータへ入力するための機能。

○シミュレータプログラムの調整拡張

シミュレータ出力と実機データとの比較、モデルと実機とのマッチング検査機能等。

3. 2. 16 情報公開

(1) ロボット工学におけるソフトウェア開発の現状

本来、実世界で動くロボットは、外界から情報を取り込み再び外界に作用するまでの一連の機能を統合したトータルシステムとなつてはじめて意味をもつ。そのあるべき姿は知能、マニピュレーション、移動、センシングなどの機能が有機的に結合・協調して働くものであることは間違いない。にもかかわらず現在のロボット研究はそれぞれに関する個別の要素研究がほとんどである。しかも各分野は高度に細分化され、飽和の域に近づいている。一方、個々の分野で開発された技術は誰にでも使えるツールとして提供されているとは言いがたい。自分とは異なる分野の成果も含めたシステムの統合化の研究に踏出すためには、そうした分野の進展をも自力でたどることが必要であり、多大な労力とリスクを伴う。結果としてロボット研究者は自分の分野の殻に閉じこもりがちになり、他分野の成果を取入れたシステムの統合化はいつまでも進まない。

現在のロボット研究の大半の実体はソフトウェア開発であると言っても過言ではあるまい。ロボット研究者の実質的な研究活動のうちでは、コンソールに向つてプログラミングを行っている時間が圧倒的に長いのが実情だと思われる。ところがこうして貴重な時間を費やして作成されるソフトウェアのほとんどは、研究が終了した時点で使い捨てとなるか、せいぜい同じ研究室の範囲内で使われる程度にとどまっている。

研究成果を伝える公的な手段が紙に書かれた論文による二次情報のみという現状は、技術伝達のボトルネックとなっている。他の研究者の成果を利用するためには、論文を読んで完全に理解し、もう一度自分自身でソフトウェアを作り直す以外に方法がなく、多重の研究投資を要する。このことはまた学界と産業界の乖離を生んでいるとも言える。大学・研究所などの研究機関で開発された技術の多くは企業へ普及されることなく終り、現場からのフィードバックを受けることができない。

ロボット研究における一次情報の大半を占めるソフトウェアは、電子メディアによる流通や、ツールとしての再利用が本質的に容易である。技術伝達的手段としてソフトウェアはある意味で論文を越えるものである。実際のロボットを動かすプログラムには論文には書かれないノウハウが詰め込まれている。広い範囲のロボットソフトウェアが直接的に流通し、研究者にとって容易に入手できるようになれば、自分の専門分野以外に関するソフトウェアの開発時間が短縮され、しかも最新の成果を手軽に使うことができるようになる。例えばマニピュレーションの研究者が歩行ロボットとの統合化への進出を考えた場合、歩行制御のソフトウェアがツールとして簡単に手に入る。その結果、統合化研究の効率は劇的に向上すると考えられる。また個別の要素技術についても同分野の研究成果がソフトウ

エアとして提供されれば、追試や比較、改良が非常に容易にまた公正に行なえる。企業としても各大学・研究機関などで開発された技術の実用性を簡単に評価できるようになる。このことは現在危機的状況にあると言われる企業内のロボット研究への貢献にもつながると思われる。

一方、ロボット工学においてソフトウェアの流通・再利用の障壁となっている問題にロボットソフトウェアのハードウェア依存性がある。通常の計算機ソフトウェアは再利用が容易で、ある計算機で開発されたソフトは次々に別の機種に移植されてゆき、その間に改良が重ねられて実用に耐えるものとなる。ロボットの場合、特定のロボットハードウェア（メカニズム、センサ、アクチュエータなど）のために開発されたソフトウェアを他のハードウェアに移植するためにはその度に改造が必要となるため、そうしたプロセスが円滑に機能していない。これを克服するためには少なくとも研究開発レベルでのプラットフォームの標準化が必要である。

（２） 本プロジェクトの位置づけ

本プロジェクトの構想においては、アンドロイドプラットフォームのデファクト標準化によって、こうしたハードウェアの障壁が取り除かれ、知能、マニピュレーション、移動、センシング等のロボット要素技術を統合した産官学にまたがる研究環境が構築される。計算機ネットワークで結合された主要な研究機関がすべて同種の標準プラットフォームを持ち、それを動かすために開発したアプリケーションソフトウェアをパブリック・ドメインに蓄積してゆけば、あらゆる研究機関がネットワークを通じて常に現時点で最高峰のロボット技術を反映したソフトウェアを入手可能であり、しかもそれを直ちに自分の持っているハードウェアで実行できるという体制が実現される。プロジェクト終了時点では質・量ともにこれまで類を見ないソフトウェアのバックグラウンドを持ったロボットハードウェアが存在することになる。またプロジェクト終了後もそれはロボット工学研究のインフラストラクチャとして機能し続け、企業にとっても広範なビジネスチャンスとなることが期待できる。

（３） 情報公開に関する提言

このように、本プロジェクトにおいては学術研究上の標準となりうるロボットプラットフォームの構築、さらにはデファクト・スタンダードへの誘導や新規市場の開拓といったことをめざしている。このプロジェクトで作られるロボットプラットフォームは単なる製品あるいは試作品ではなく、それ自体もパブリック・ドメインに属すべき知的公共財としての性格を持つ。こうした構想を実のあるものとするためには、例えば以下のようなかなり思い切った施策が必要と思われる。

a. 徹底したオープンアーキテクチャとブラックボックス性の排除

従来のロボット製品を研究用プラットフォームとして利用する際の問題点は、幾何学的

・動力学的パラメータやサーボアンプ特性等が明らかにされていない上、制御構成が自己完結的であるために、研究に必要な部分を変更する際の自由度がきわめて低いということであった。本プロジェクトのロボットプラットフォームにおいては、サーボレベルから上位知能まであらゆるレベルの制御をオープンとし、どの部分のソフトウェアも自分で改造可能とすべきである。また、少なくとも学術的利用に関しては、単にロボットの仕様を公表するのみではなく、完全に設計データを公開し、WWWなどで設計図や回路図、マニュアル類を取得できるようにする。ロボットを動かすための基本的なソフトウェアもソースレベルかつ無償でFTPできるようにする。

b. 公募研究グループの外にも開かれた研究体制

プラットフォームの提供先以外の大学・研究機関のために、実物とほぼ同等の機能をもつシミュレータプログラムを無償頒布すること等により、プラットフォームの利用を限られたグループ内で独占するのではなく、分野研究者全体に対して開かれた研究ネットワークを作る。

c. ツールとしての完成度向上

公募研究の委託先には研究開発されたソフトウェアや改良設計の提出を委託の条件とし、これをさらにハードウェアメーカーやソフトハウスへの委託で使える形にブラッシュアップして再び無償公開する、というサイクルを作る。

必要な情報には誰でもアクセスできると同時に、それによって得られた知見や考案を同じ枠組の上に蓄積してゆける仕組みを作ることが必要だろう。これは技術的な枠組の問題のみではなくプロジェクトに参加しそれを運用する研究者の側の人間的要素に関わる問題でもあることに注意すべきである。自分が研究開発したソフトウェアを誰もが使える形で公共に提供する努力は、現在のところ公的な学問的業績としては認められていない。理念はともかく実際のところはソフトウェアの提供について消極的となる研究者が多く、ソフトウェアの蓄積が思うように進まないという事態も予想される。運用する人間の側において、ソフトウェアの流通を円滑に行うためのルールやインセンティブを確立することが是非とも必要である。

3. 2. 17 ベンチマークテスト

アンドロイド型ロボットプラットフォームのハードウェアが人間共存作業において十分な機能を発揮するためには、形状上の人間類似のみならず、運動能力及び感覚能力の人間類似を達成しなくてはならない。人間の運動能力、感覚能力はきわめて高いものであり、既存の要素技術の組み合わせのみでそれを工学的に実現することは困難である。本プロジェクトで製作されるアンドロイド型プラットフォームは、時間的に言って現状の技術のみを用いて実現可能な範囲のもので妥協するしかない。しかし、将来のアンドロイド型ロボットの設計仕様の決め方としては、各要素技術の現状からボトムアップにロボット全体の

仕様を決めるのではなく、ロボットが持つべき性能からトップダウンに各要素技術の達成目標を決めることが望ましい。そのためにはアンドロイド型ロボットの身体的能力のベンチマークテストを策定し、性能目標の基準とすべきである。

これまでのロボットの機構は対象作業に応じて自由に設計することができたので、統一的な性能評価や比較をすることはほとんど不可能だった。アンドロイド型という枠組がはめられることによってそれが可能になりうる。すなわち人間の能力を基準とし、人間に同じテストを行った際の実測値に基づいて、それに対して何パーセントというような形で性能を表すことができる。以下にその例を示す。

1. ハードウェア条件

身長 $xx\text{cm}$ 以下、幅 $xx\text{cm}$ 以下、奥行き $xx\text{cm}$ 以下、体重 $xx\text{kg}$ 以下

エネルギー供給：バッテリー等のエネルギー源を内蔵、連続動作時間 xx 分以上

計算機：身体各部のサーボ制御用計算機を搭載、上位計算機は外部

(無線通信による制御)。

上位制御方法は問わない。

(自律制御でも、ティーチングプレイバックでも、遠隔操縦でもよい)

2. 踏破能力

規定コースの通過時間を測定。

床面種類：アスファルト及びリノリウム床を基本とし、

芝、砂利面上でも平面歩行は可能とする。

前進：定常歩行 $XX\text{m/sec}$ 以上、瞬時最高速 $YY\text{m/sec}$ 以上

後退： $XX\text{m/sec}$ 以上、側行： $XX\text{m/sec}$ 以上、

旋回：半径 1m ・ $XX\text{m/sec}$ 、その場旋回 $ZZ\text{度/sec}$

階段昇降（段高 $HH\text{cm}$ ・段巾 $LL\text{cm}$ ）： $1\text{段}/X\text{xsec}$ 、

坂道昇降： $XX\text{m/sec}$ （傾斜5%、傾斜10%）

- ・以上の数値は無負荷時。
- ・手先に $XX\text{kg}$ 負荷把持、または方法を問わず $YY\text{kg}$ 負荷搭載の場合
→歩行速度は無負荷時の $XX\%$ 以上
- ・歩行時の外乱力積に対するバランス保持
重心高さで前方・後方・側方にZMPを中心とする力積モーメント印加、
 $XX\text{kgf}\cdot\text{m}\cdot\text{sec}$

3. 運動能力・作業能力

- ・スタートアップ

座った状態からの立ち上がり： $XX\text{sec}$ 以内、

寝た状態からの立ち上がり： $YY\text{sec}$ 以内

- ・腕部を前方・側方に最大伸展時の負荷保持（片腕）

30sec保持：負荷 $XX\text{kg}$ 、瞬時最高値：負荷 $YY\text{kg}$

- ・床面から高さ1.5mまでの負荷上げ下ろし（片腕）：負荷 $XX\text{kg}$ ・ $TT\text{sec}$ 以内

- ・床面から0.5m/1m/1.5mの高さでTTsec力印加（片腕）
側方・前方XXkgf、下方YYkgf、上方ZZkgf
- ・手先最大速度
無負荷時・XXm/sec、 YYkg負荷把持・ZZm/sec
- ・手先可操作度：体幹前面0.5m以内の範囲で人間のXX%以上
- ・一般化慣性楕円体体積（アクチュエータを含む）
：体幹前面0.5m以内の範囲で人間のXX%以内

これらのテストは人間にも同じテストを行うことができるため、ロボットの性能を直接人間と比較することが可能である。これらの各項目について、本プロジェクトで製作されるロボットプラットフォームが人間と比較して20%とか30%といった性能を示したとして、将来のアンドロイド型ロボットでそれを100%に近づけるためには各要素技術には何がどれだけ不足しているかといったような具体的数字による目標を与えることができる。

こうしたデータは、アクチュエータ・エネルギー源・構造材料等のハードウェア要素技術についての必要スペックを打ち出す際に有益である。従来のロボット工学は基本的には、既存要素の組み合わせでできたものを動かすというスタンスにあったため、要素技術の必要仕様はきわめて曖昧な形でしか出せなかった。アンドロイド型ロボットの場合、人間という明確な達成目標があるため、各要素技術について具体的な数値としての必要仕様を割り出すことができる。そうすればロボット工学者のみでは解決できないようなハードウェア要素技術の改善について、周辺分野の研究者やメーカーとの連携が生まれる可能性がある。

3. 2. 18 応用

研究プラットフォーム開発過程から、将来の完全自律型アンドロイドロボット開発に至るまでの過程で、開発段階に見合った成果（応用例）が期待される。

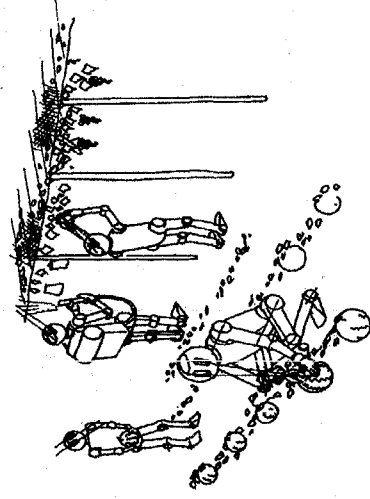
各開発ステップにおけるロボット仕様予測を下記に示す。

開発ステップ	ロボット仕様		
	手・足・パワーハート部分	認識技術・制御技術	法律・環境等
1,プラットフォームβ版配布	○動作するだけ	○位置決め等精度悪い ○マスタースレイブ・ティーチング	○使用は監視員付きでのみ可能
2,プラットフォームをベースとした開発	○道具の使用が可能 ○運動機能向上（把持力・走行・持久性等）	○位置決め制御の向上 ○自律制御部分の増加	○信頼性の向上と監視員の不要化
3,完全自律型アンドロイドロボット開発	○指・関節を使った自在な作業 ○運動機能向上	○単位作業計画立案 ○自律制御	○安全性の向上による無人作業の実現

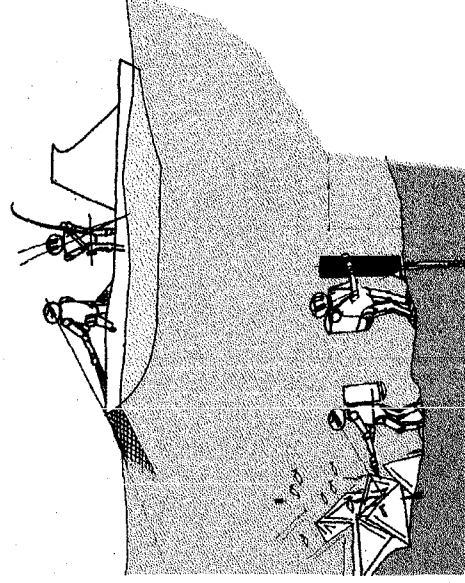
図3.2.29 各開発ステップにおけるロボット仕様予測

また、産業界におけるアンドロイド型ロボットの開発過程における応用例を推定する。

分野	開発 step	応用例
農業・林業	step1	○消毒味'ット ○除草剤散布 ○草刈り ○苗木測定 ○畜舎清掃 ○危険作業が主体
	step2	○果実袋掛け味'ット ○果実受粉 ○農耕・稲作管理 ○家畜育成管理 ○単純作業への適用
	step3	○収穫味'ット ○栽培 ○養鶏・養豚 ○羊毛刈
	step1	○給餌作業味'ット ○一本釣り ○水質管理 ○水中調査・検査
水産・海洋開発	step2	○海底電線埋設・保全 ○気象・海洋観測 ○種苗計数
	step3	○捕獲魚選別味'ット ○水中・海底収穫 ○海中構造物保守 ○



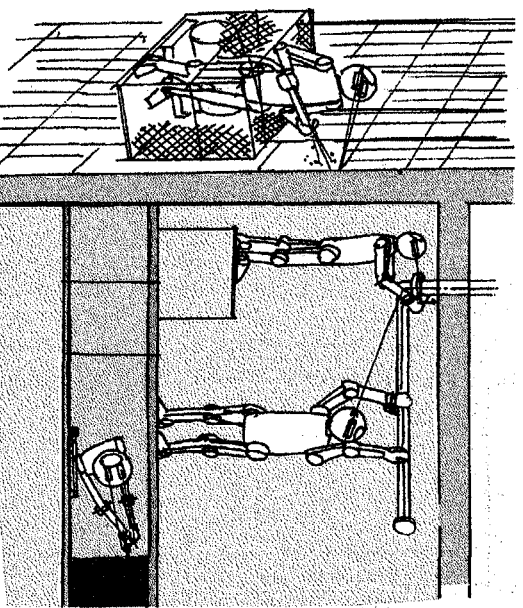
農業応用例



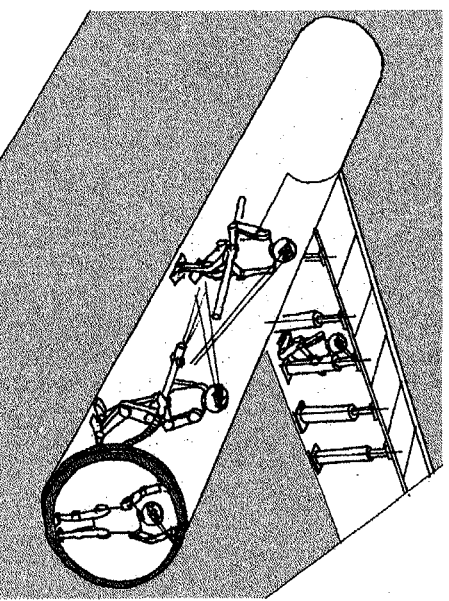
水産・海洋応用例

図3.2.30 農業・水産・海洋への応用例

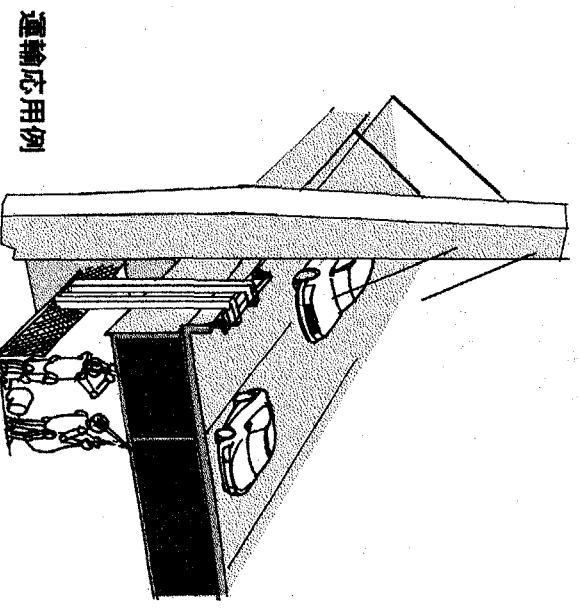
分野	開発	応用例
建築・土木	step1	○ 収付け味^{ツト} ○ 塗装味^{ツト} ○ 検査味^{ツト} ○ 危険/極限作業味^{ツト}
	step2	○ 建設機械操縦味^{ツト} ○ 資材搬送 ○ 品質管理 ○ 単位作業 (コンクリート打設・鉄筋組立等)
	step3	○ 建設機械操縦味^{ツト} ○ セ^ツリ^ツ・内装材組立 ○ 配管組立・解体 ○ 足場解体味 ○ 複合作業
鉱業	step1	○ 環境検査味^{ツト} ○ 非常時カ^ツ ○ 巡回管理
	step2	○ 坑内清掃味^{ツト} ○ ス^ツリ^ツ積み替え ○ 支保工組立補助 ○ 削孔・発破補助
	step3	○ 坑内品質管理味^{ツト} ○ ス^ツリ^ツ積み・ス^ツリ出 ○ 支保工組立 ○ 削孔・発破
運輸・倉庫	step1	○ ト^ツン^ツル/倉庫点検味^{ツト} ○ 道路検査 ○ 誘導・指示 ○ 危険作業
	step2	○ 軌道整備味^{ツト} ○ 脱酸素な雰囲気内倉庫の倉出し・倉入れ ○ 荷物選別/移載
	step3	○ 道路・鉄道保守 ○ 車輛点検・整備 ○ 鉄道運転
商業	step1	○ 音声カ^ツハ^ツ味^{ツト} ○ 商品搬送 ○ マ^ツキ^ツ
	step2	○ 冷蔵庫管理味^{ツト} ○ パ^ツキ^ツン^ツ ○ 買い物介助 ○ 巡回・警備
	step3	○ 施設保守味^{ツト} ○ 商品陳列 ○ 商品在庫管理



建築応用例



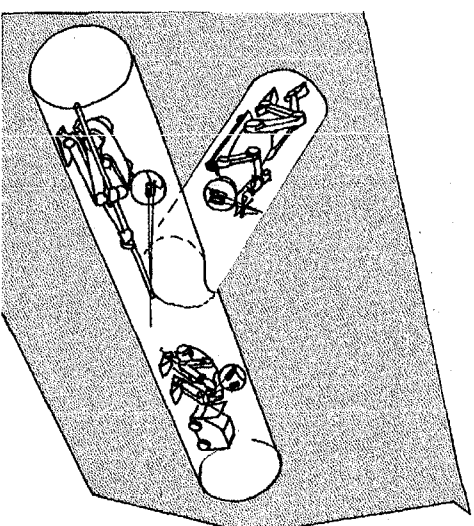
鉱業 配管・ダクト点検保守応用例



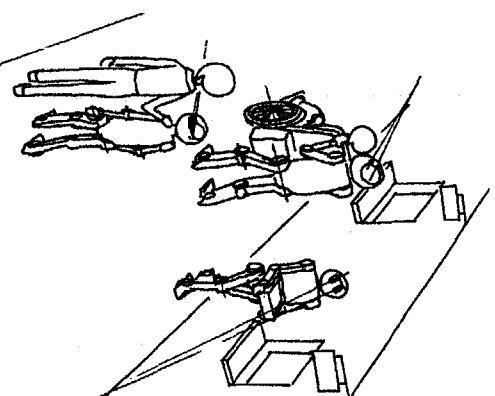
運輸応用例

図3.2.31 建築・鉱業・運輸への応用例

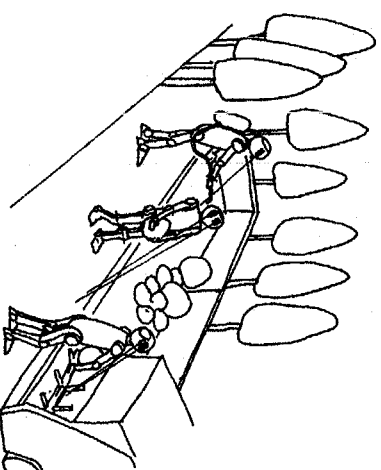
分野	開発	応用例
エネルギー 電力 ガス 上下 水道	step1	○塗装味^{ツト} ○加熱炉等点検 ○既設パイプライン点検 ○搬送 ○危険・極限作業
	step	○清掃味^{ツト} ○資材・機器搬送 ○単位作業
	step3	○パイプ保守味^{ツト} ○配管・配線敷設 ○配管・配線保守 ○複合作業
医療 福祉	step1	○配膳味^{ツト} ○放射性物質取扱 ○加圧器具/薬搬送 ○危険作業
	step2	○患者移動補助味^{ツト} ○歩行補助 ○筋力回復補助 ○手術補助
	step3	○老人看護味^{ツト} ○障害者コミュニケーション ○盲人用歩行補助
環境	step1	○消毒味^{ツト} ○処理場内点検 ○清掃 ○危険作業
	step2	○ゴミ収集 ○ゴミ選別 ○焼却炉ゴミ投入灰処理
	step3	○焼却炉保守 ○無人ゴミ収集 ○複合作業



エネルギー・上下水道配管・パイプ保守



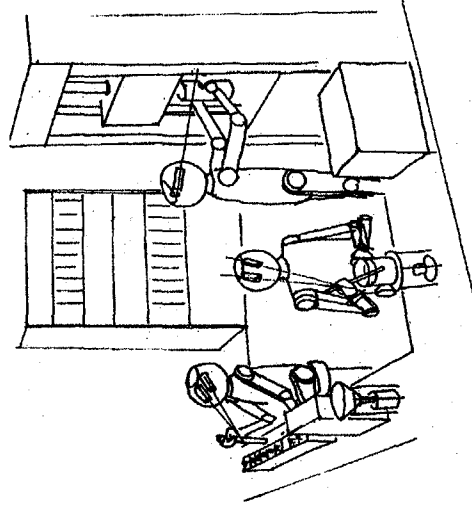
医療・福祉応用例



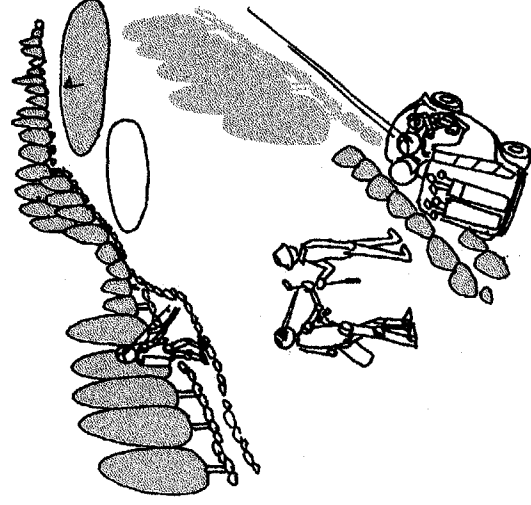
環境・ゴミ処理応用例

図3.2.32 エネルギー・医療福祉・環境への応用例

分野	開発 step	応用例
教育 ・ 研究 ・ 開発	step1	○ゲラント整備ロボット ○OOA教育 ○試料ハンドリング ○試験管ヒックアンドプレー
	step2	○危険性を有する実験 ○給食の食器/缶洗浄 保管 ○実験動物世話 ○試験・検査 ○計器・検査機器セット
	step3	○教師代行 ○苗種分類 ○サンプル採取
サー ビス ・ そ の 他	step1	○コンボール収集ロボット ○ファイル整理・搬送 ○ガイド ○物品搬送
	step2	○キャビネット ○階段荷物搬送介助 ○家庭内清掃 ○ペット散歩 ○競技審判
	step3	○大型催場清掃・保守 ○車輛整備保守 ○調理 ○洗濯



研究・開発応用例



サービス応用例

図3.2.33 研究開発・サービスへの応用例

3. 3 人間共存型ロボティクス技術

3. 3. 1 人間共存型ロボットの定義と検討範囲

高齢化社会にともなう労働力不足の問題等を解消し、豊かでゆとりのある21世紀を創造するために、日常生活から社会産業分野まで人と協調しつつ人にサービスや支援活動を行う新しいロボットの技術開発が求められている。

これらの背景を踏まえて、人間共存型ロボティクスWGでは、国立研究所や大学等から13名、企業等から21名の総勢34名の委員会を構成して、今後の5～10年を想定し、人間共存型ロボットが期待される分野とその実現のために必要な重要技術課題の抽出を行った。

(1) 人間共存型ロボットの定義

人間共存型ロボットのニーズ及び技術課題の抽出にあたっては、調査研究であるので検討範囲を可能な範囲で広く取ることにした。その結果、「人間共存環境で動作する自律／遠隔操作型ロボット」と「無人環境で動作する遠隔操作型ロボット」の二つを検討対象とした。特に、後者は操作側の機器と操作者がここでの人間共存の関係にあることから、検討対象に含めた。

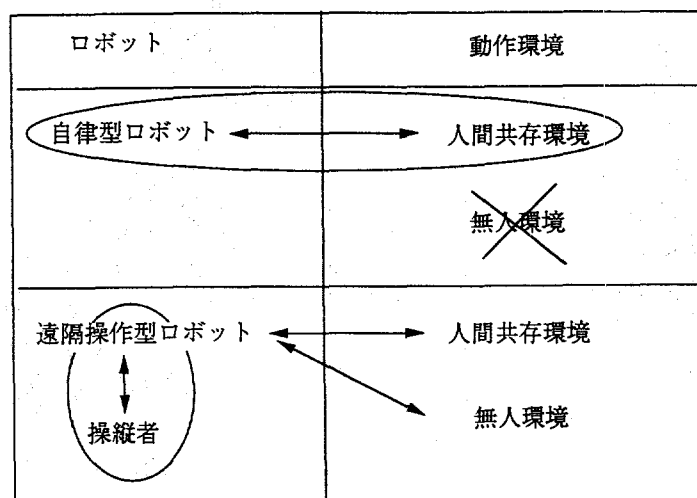


図 3.3.1 人間共存型ロボットの範囲

(2) 人間共存型ロボットが期待される分野

人間共存型ロボティクスの具体的なニーズについては、委員へのアンケート調査、通商産業省の分野別研究開発会議の研究分野体系、産業構造審議会が策定した新規産業創出環境整備プログラム等を考慮して検討し、医療・福祉、生活・文化、ビジネス支援、住宅、サービス、新製造、建設・土木、環境・安全の8分野が主に期待される分野と判断し、各分野毎に期待される人間共存システムとその技術課題を調査した。この調査結果を、「3. 3. 2 応用分野と技術課題の抽出」にまとめた。

(3) 人間共存型ロボットにおける重要技術課題

ニーズの検討に基づいて、それらを実現するための重要技術課題を横断的に整理した。重要技術課題は「安全技術（安全性を確保し、人とのソフトな接触を可能にする技術）」、「コミュニケーション技術（容易なロボット操作を可能にする技術）」、「非定型作業実行技術（非定型作業の実行を可能にする技術）」、及び「人間環境適合技術（人及び生活環境の多様性に対応す

る知能化技術)」の四つに大別され、各々はさらにいくつかの技術課題に細分化される。ここでは細分化された技術項目について、本先導研究を踏まえて提案される本格プロジェクトの中で追求されるべき「目標レベル」を、それらの「現状レベル」との比較において検討した。この調査結果を、「3. 3. 3 重要技術課題の評価とブレークスルー」にまとめた。

3. 3. 2 応用分野と技術課題の抽出

(1) 人間共存型ロボット技術の応用が期待される分野

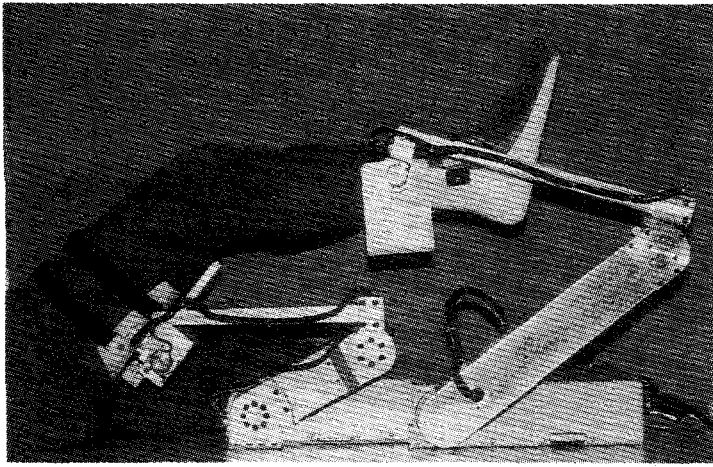
日常生活から社会産業活動まで、人間共存型ロボット技術の期待されている分野は広い。本WGでは、まず、現在どのようなところに人間共存型ロボット技術が適用されており、また、社会的要求としては、どのようなところに人間共存型ロボット技術が望まれているのかを把握するために、第1回WGを開催するに当たって各委員に、

- ・ 現在、商品化／開発中の人との共存を指向した機械システム
- ・ 研究開発が熱望されている人との共存を指向した機械システム

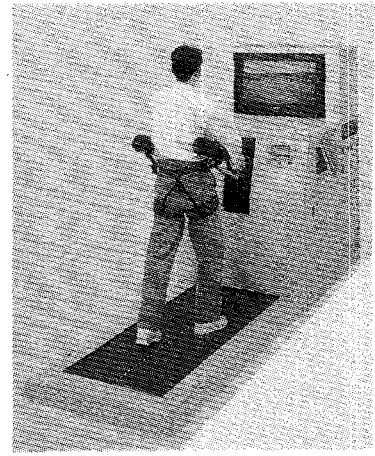
の2項目についてアンケート調査を行った。アンケート結果の一部を次に示す。

a) 現在、商品化／開発中の、人との共存を指向した機械システム

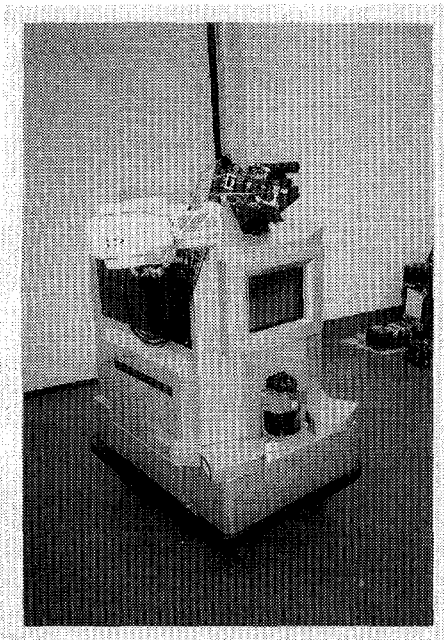
- ・ 下肢用リハビリ装置：片方の下肢に運動療法を実施する装置
- ・ 歩行訓練機：VR機能による歩行感の実現
- ・ AGVを利用した老人ホーム内の搬送システム
- ・ 空気圧アクチュエータを使用した患者抱き上げ移送装置
- ・ FFJOYARM：アームレスト型で力フィードバック機能付の操作性の高いマスタアーム
- ・ ソフトサポートマニピュレータ：接触時にソフトに回避できる機能
- ・ ERアクチュエータを用いた力覚提示装置：低慣性、高周波成分を含む力覚提示が可能
- ・ 写真撮影ロボット：人間の指示に基づきカメラを受け取って撮影する
- ・ COA (Creative Office Architecture) ロボット：ニューロコンピュータを利用した、「見て」、「聞いて」、「しゃべって」、「自在に動き回る」ことのできるロボット
- ・ WAMOEBA1R2：情緒交流ロボット
- ・ 人間の痛覚耐性に基づく安全な人間・ロボットシステムの開発
- ・ 顔ロボットシステム：実時間で人間の6つの大きい表情を認識・表現
- ・ 遠隔臨場マニピュレータ：バイラテラル制御立体映像システム
- ・ WAM-10A/H：安全に人間との協調が可能な7自由度力制御アーム／人間型ハンド
- ・ CAD用力覚フィードバックを備えた6軸直交型ロボット
- ・ 情報共有型作業教示システム：非言語情報を活用したマルチモーダルインタフェース機能
- ・ HOMES (Human Oriented MEchanical Systems)：人間協調生産システム
- ・ 群ロボット操作システムを含むプラントの統合的操作システム
- ・ 自動玉掛け外し装置：玉掛けを、安全な場所より無線遠隔操作で迅速に外せる装置
- ・ 搭乗型バイラテラル・マニピュレータ
- ・ 雲仙普賢岳の無人化工事に使用した遠隔施工システム
- ・ 極限作業ロボットのマスタアーム：人間と同構造腕と4本指、指感覚のフィードバック
- ・ 配電作業用ロボット：人手による操作と自動動作のハイブリッド
- ・ ヒューマンフレンドリ・ロボット：人とビーチボールを打ち合うロボット



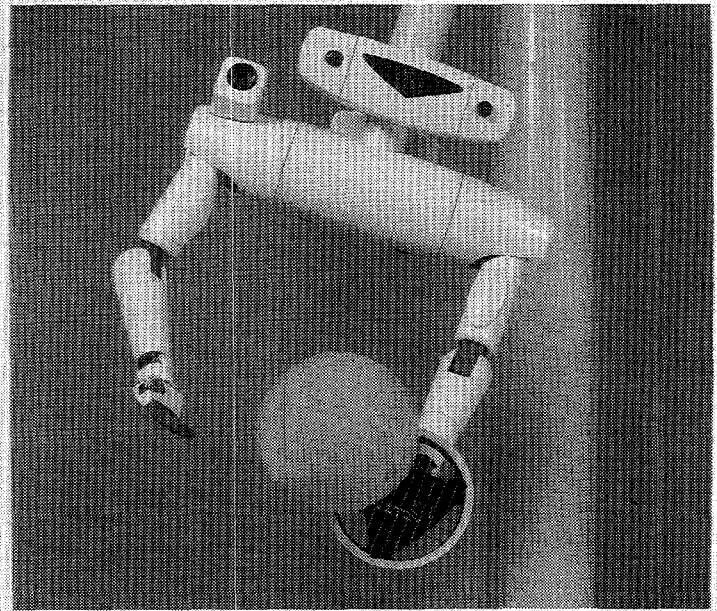
(a) 下肢用リハビリ装置



(b) 歩行訓練機



(c) 写真撮影ロボット



(d) 人とビーチボールを打ち合うロボット

図 3.3.2 人との共存を指向した現状機械システムの例

b) 研究開発が熱望されている、人との共存を指向した機械システム

- ・ ヒューマンケア：看護支援、排拙介助、食事介助、衣料着脱介助、的確な情報サービス
- ・ 施設用リハビリ機器
- ・ 遠隔手術及び内視鏡下腹腔内手術などの医療用外科手術
- ・ 臨場感のある感覚提示が可能な娯楽・教育システム
- ・ インターラクティブ芸術メディア
- ・ 知的創造空間としてのオフィスでの人間作業の支援
- ・ 在宅勤務を実現するためのパーソナルロボット
- ・ 家庭で使えるパーソナルロボット（自立支援）
- ・ 除雪などの人間生活機能維持

- ・行動範囲をローカルな地域に限定した、お使いをするパーソナルロボット
- ・農林魚業等の分野での高齢者作業補助
- ・物流産業（港湾／空港等）
- ・セキュリティ
- ・素人でも意図伝達可能な教示システムなどを備えた、使い易い、搬送組み立て作業用ロボットシステム
- ・一人生産方式による組み立て工程支援など、人間協調生産システム
- ・3K（危険、きたない、きつい）作業を現場作業者と協力して行う機械
- ・発電所等のプラント、インフラ構造物、鉄道、自動車等の車両などの（遠隔）保守メンテナンス
- ・災害地で重量物の除去、被災者の救出

以上の結果と、通商産業省の分野別研究開発会議の研究分野体系、産業構造審議会が策定した新規産業創出環境整備プログラム等を考慮して、人間共存型ロボット技術の応用が期待される分野として、以下の8分野を選定した。

- ・医療・福祉分野
- ・教育・訓練・アミューズメント（生活・文化）分野
- ・オフィス（ビジネス支援）分野
- ・ホーム（住宅）分野
- ・サービス（非製造）分野
- ・製造分野
- ・建設・土木分野
- ・環境・安全分野

各分野毎に期待される人間共存システムとその技術課題を調査した結果を、次に示す。

(2) ヒューマンフレンドリ・ウェルフェア・ロボット（福祉分野）

a) 目的と背景

若年人口の減少に伴い、高齢化社会へと日本は着実に向かっている。そこで、近い将来における介護者の不足は深刻なものとなると考えられる。また、若年人口の減少により、中高年齢者が生産現場や医療・福祉を含む第3次産業の第一線で働く必要が生じ、これをアシストするための加齢工学の必要性が論じられている。これらの状況を緩和するためには、人にやさしいロボットの開発が重要となる。

そこで、ロボットによる介護、リハビリテーション、アシストを目的として下記の作業を行うロボットを開発する。

- | | |
|-------------|---------------|
| ・病人、けが人の世話 | 食事の補助 |
| ・リハビリテーション | 運動機能回復訓練 |
| ・高齢者の世話 | マッサージ、姿勢の変化 |
| ・その他身の周りの世話 | 掃除、ベッドメイキングなど |
| ・独居老人のモニタ | |

以上の作業のためには、ロボットと人は触れ合うか、あるいは非常に接近する必要がある。そこで、力学的な安全性が重要となり、また人との情報交換を何らかの方法で行う必要がある。

b) システム内容

b) システム内容

必要とされる機能は下記の通りである。

イ) 安全機能

人と接近する、あるいは触れるロボットでは、まず第一に安全性を確保する必要がある。

①機構及びアクチュエータの面からの安全機能

- ・アクチュエータ及びリンク部の慣性を可能な限り小さくし、人間との衝突時における衝撃力を小さくする。

- ・あらゆる作業を想定せずに、作業をある程度限定することにより、アクチュエータが発生する最大出力を設定する。また、力が小さくても、どんどん加速すると衝突時には危険なため、機構的に速度が飽和するようなシステムを作る。

- ・アームの外側をソフトな粘弾性材料で囲むことにより、衝撃力を和らげる。

②制御・センサの面からの安全機能

- ・力・コンプライアンス制御の導入

- ・関節トルクセンサやリンク表面への触覚、圧覚センサの導入による接触の検知。

③情報面からの安全機能

- ・人間の動きを観察・予測し、危険ゾーンにきたら人に危険を知らせる、あるいは、ロボットの側が危険を回避する行動をとる機能。

- ・モータのオーバーヒート、過大な速度、加速度の監視等、ロボットの内部状態をモニタリングする機能。

- ・ロボットが危険なのは、ロボットの動作を予測できないからである。作業を行なう前に、ロボットが構えのポーズをとる等、動作予告を行ない、人間側に危険を知らせる機能。

④運転条件の面からの安全性

- ・介護ロボットを使用できる人の条件

- 何らかの形で意思表示ができる人。

- 安全か危険かの状況判断のできる人。

- ・ロボットが動く条件

- 使用者の意志で動かす。

- そして、使用者の意志で停止できる。

- ・ロボットによる監視

- 使用者の状況、健康状態などを監視する。

- 非常事態にはすぐに他に連絡をする。

ロ) コミュニケーション機能

①ロボットの状態を人に知らせる機能

- ・これから何を始めようとしているのか知らせることが重要。

- 人間型ロボットによるジェスチャによるコミュニケーション。

- 自然発生による音声や、見やすい表示装置でロボットから情報提示。

- ・また、どの程度の速度や力でその仕事をしようとしているのかを知らせることも必要。

②音声・動作により人間の意図・要求といった情報をロボットに知らせる機能

- ・人間の動作を追跡して、ロボットの作業に必要な情報をリアルタイムに獲得し、より広い適用状況で安定な動作を実現する技術。

- ・具体的には食事の補助において、被介護者の頭部の動きを追跡して得た三次元運動情報をマニピュレータにフィードバックし、軌道を修正しながら食物を適切に被介護者の口元に運搬する機能。また、唇の動きを追跡して、口の開閉状況を把握しながら食事の摂取を補助する機能。
- ・雑音のある複数同時発声の中から、被介護人、介護人、医師を自動判別しコミュニケーションができる機能。

③テレビ電話のように他の人とのコミュニケーションの手助けをする機能。

ハ) 多種多様な対象物のハンドリング機能

①柔軟物操作

- ・布や紙など柔らかく不定形なものを扱うマニピュレーション機能。(ベッドメイキングの補助、着替えのアシスト、清拭etc)

②対人操作

- ・被介護者の関節を揉みほぐす、マッサージを行なう、リハビリテーションを行なう、患者を抱き抱える等、人に触れる操作機能。

③その他

- ・患者の要求に合わせて、身の回り様々な物を取ってくるなど、多種多様な対象物を扱うことのできるハンドリング操作機能。

ニ) 親和機能

特に機械アレルギーのある高齢者を対象にするだけに、ロボットの形態は十分考慮する必要がある。使用する側に受け入れられやすい形態の研究が必要。

ｃ) 現状で開発されている関連システム

現状では病院内の搬送ロボット、歩行訓練システム、筋及び関節機能回復訓練システムが市販されている。また、食事支援装置、簡単なリハビリテーションロボット等が研究開発中である。

ｄ) 研究開発課題

イ) 安全機能

①機構及びアクチュエータの面からの安全機能

- ・新しいアクチュエータ及び機構の開発、あるいは既存のアクチュエータ及び機構の改良が必要になる。アクチュエータについては、機能性流体の応用が考えられる。

- ・表面を覆うソフトかつ軽量の粘弾性材料の開発。さらにこの部分で触覚、圧覚の検知も可能とする。

②制御の面からの安全機能

- ・安全性の面から見た力制御方式の再検討。

ロ) 行為理解

- ・人間の動作を追跡することにより、人間の動作予測を行なう情報処理手法の開発。

- ・人間の動作・表情から、人間の意図・要求をくみ取る情報処理手法の開発。

ハ) 高次マニピュレーション機能

従来の幾何モデルベースドマニピュレーションから脱却した、新たなマニピュレーション技術

- ・布や紙など、不定形な対象物のハンドリング技術。

- ・医師や理学療法士が行っている運動機能回復訓練、マッサージなどの分析、及びそのロボッ

トによる実現のためフォースディスプレイ等の開発とその知的制御方式の確立。

- ・工場における対象物の形状及び目的が明確である作業と異なつて、人間を相手とする作業内容及び対象が明確に定義しにくい状況下での知的な力制御方式の開発。

ロ) 産業・社会への波及効果

イ) 人間共存技術としての波及効果

- ・今後の高齢化社会では、中高齢者による福祉、機能訓練が現実のものとなる。このような状況における本ロボットシステムの福祉現場への参加は、福祉にあたる中高齢者の負担を大きく軽減する。
- ・さらに、本提案のロボットの導入による福祉従事者の負担の軽減は、患者に対する行き届いた看護へとつながる。

ロ) 人間共存技術以外への波及効果

- ・人間に近い質量分布を持つロボットの機構開発への挑戦は、新しい発想の機械システムを創生する。
- ・機能性流体等を用いた低慣性アクチュエータの開発は、新しい高速高精度なメカトロニクスシステムの開発へとつながる。

- ・多種多様な対象物のハンドリング技術の開発は、工場における省力化を大きく進める。

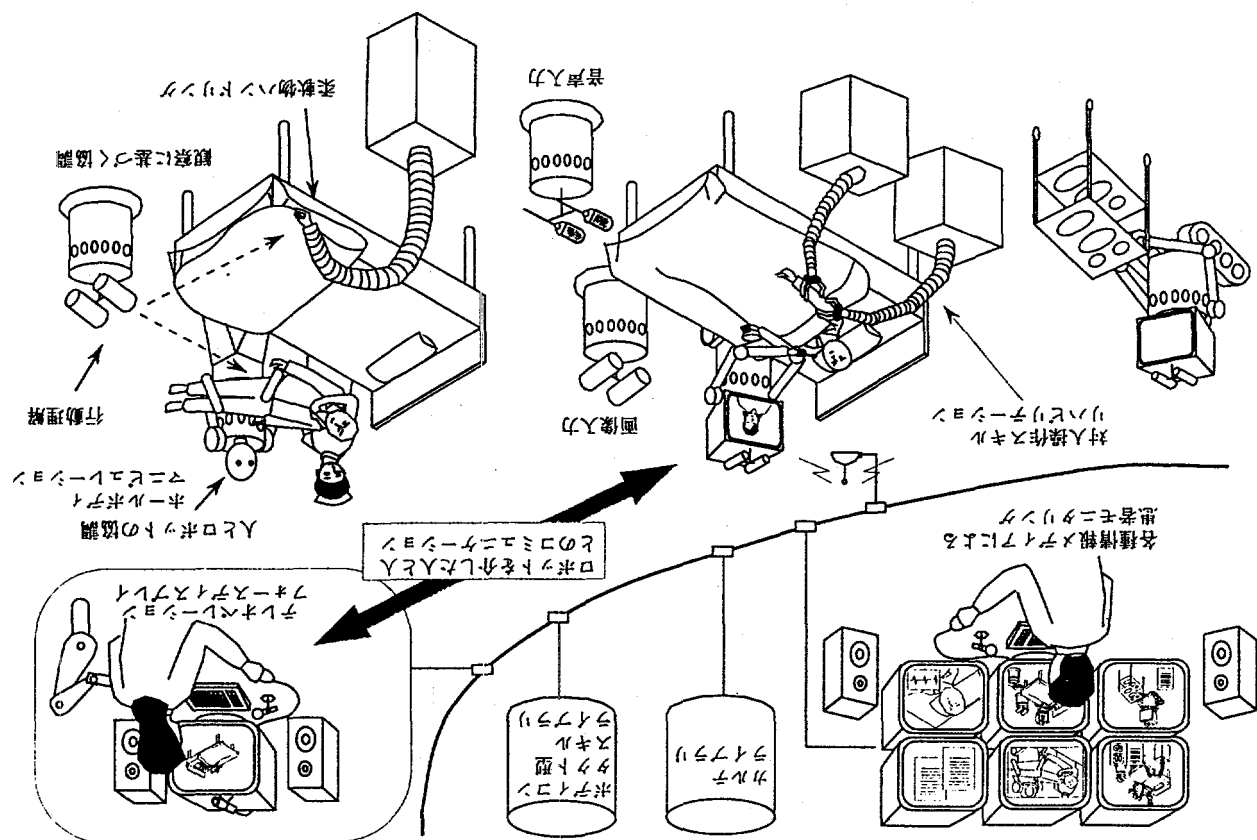


図 3.3.3 ヒューマンレベルフレンドリーなロボット構成例(介護用群ロボット)

(3) 見守りペットロボット (福祉分野)

a) 目的と背景

わが国は高齢化社会から高齢社会、そして超高齢社会へと入ろうとしている。21世紀初頭には、4人に一人が65歳以上の高齢者という、人類がかつて経験したことのない社会を迎えると危惧されている。さらに、核家族化、女性の社会進出などの傾向は、高齢者の面倒は家族が見るといった旧来の日本の伝統を希薄にし、寂しい老後の姿を思い描かせる。ここでは、希薄になりつつある家族のきずなをハイテクによって取り戻すロボットシステムを提案する。高齢の親達の近くにペットとして存在し、それとなく日常生活を監視し、誘導、運搬、掃除など身の回りの世話をし、さらに簡単な会話の出来るペットロボットの開発を目指す。

b) システム内容

ペットのように高齢者の近くにおいて、画像、超音波センサなどのセンサを用いて日常生活を見守り、遠くの家族に画像情報を送る。また、逆に高齢者に家族の画像を送ることも出来る。さらに、転倒、急病などの緊急時には高齢者の指示がなくともセンサ情報の処理に基づいて家族や、しかるべき社会施設に通報する。高齢者の痴呆を防ぐために、高齢者と自然な会話が出来ることが必要である。

c) 現状で開発されている関連システム

見守りペットロボットに関連する分野として、アミューズメントロボット、監視ロボット、掃除ロボットなどがある。例えば、早稲田大学は人間型ロボットプロジェクトにおいて動物ロボット、顔の表情提示ロボットなどの開発を行っている。しかし、個別技術の開発だけであり、構造化、小型化、高度化、に問題点を残している。

d) 研究開発課題

イ) 安全機能 (人やものを傷つけない、壊さない)

- ・センサ：高忠実視覚、聴覚、力感覚
- ・力制御：ハードウェアとしての力制御、ソフトウェアとしての力制御
- ・制止機構：ブレーキ
- ・柔軟材料：柔らかい表面

ロ) コミュニケーション機能

- ・会話：日常会話、励ます会話、楽しませる会話、健康状態を聞きだす会話、カラオケ
- ・娯楽：簡単なゲームなど

ハ) 知的機能

- ・判断：日常生活の動きから正常と異常の識別
- ・記憶：長い期間における変化の識別
- ・学習：高齢者のくせ、行動パターン

ニ) 動作機能

- ・緊急時の病院等への連絡、避難誘導
- ・軽量物の運搬
- ・掃除

e) 産業・社会への波及効果

高齢者の新たな土地での生活は困難であり、急激な環境変化は発病、急死の原因といわれている。核家族化の進んだ現在及び将来において、都会の若夫婦、僻地の高齢者というパターン

は変わらないと思われる。充分な機能と適正な価格によって、若い夫婦、高齢者ともに必要とする製品になるであろう。人口の1/4が高齢者となる21世紀初頭には大きな市場が約束されている。また、最近の若者を中心とした情報アミューズメント機器の爆発的普及は、高度な技術を提供すればわれわれ技術者の予想もしない商品を産み出す可能性を秘めている。

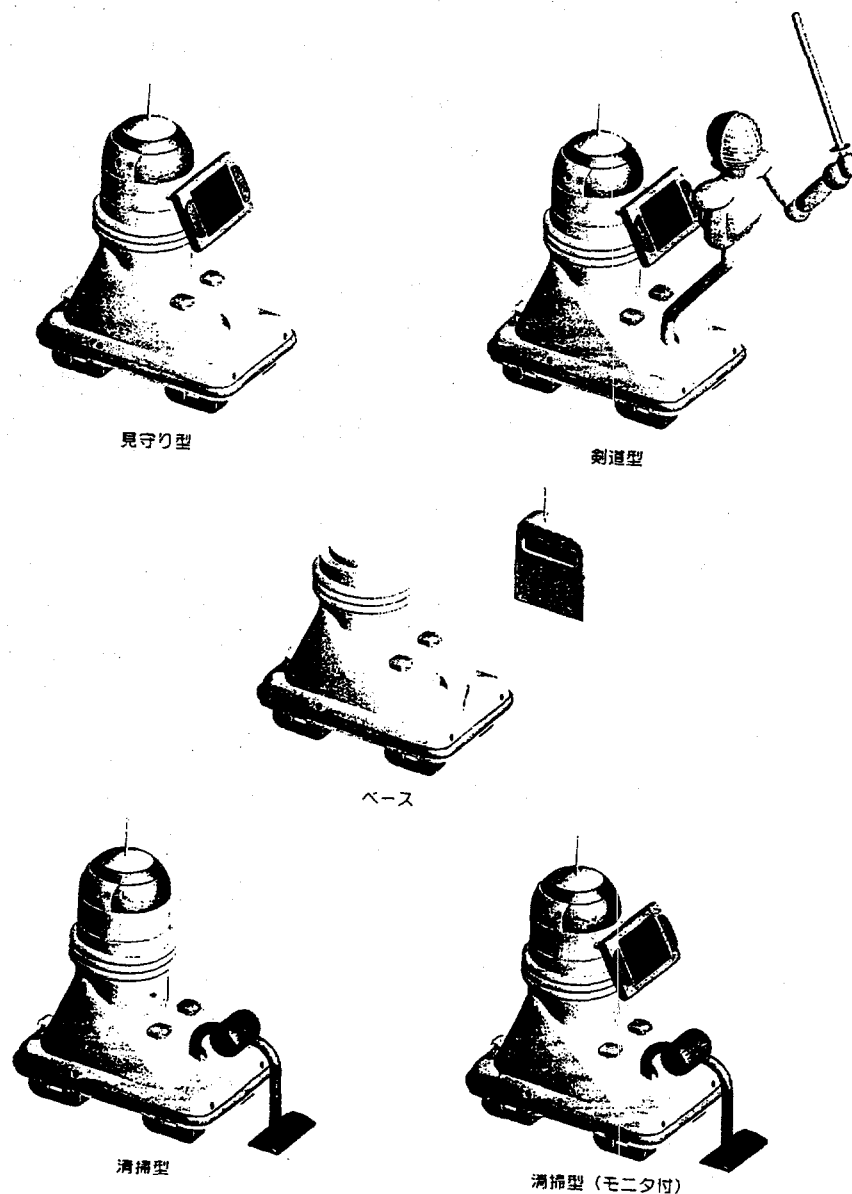


図 3.3.4 見守りペットロボット

(4) 高度医療支援ネットワークロボット (医療分野)

a) 目的と背景

予想される超高齢社会に向けて、医療システムの高度化とともに、地域リハビリなどをリモートロボティクス・メカトロニクス技術を用いて遠隔で行い、高度な医療を提供できる拠点とネットワークで結ぶことにより、遠隔地域・在宅に多数存在する高齢要介護者・患者に対し、効率的で効果的な治療を提供する。もって寝たきり防止と在宅医療を推進し、社会的入院の防止と医療費の削減をねらう。

b) システム内容

必要とする機能の概要は以下の通りである。

- ・医療拠点で使われる高度作業支援ロボティクス
- ・地域・在宅と拠点を結ぶネットワーク・遠隔制御システム
- ・地域・在宅で使われる自立・遠隔ロボティクス

イ) ロボット側

①安全機能

- ・電氣的・機械的安全性。過負荷防止。特に高齢者・患者の保護。

②コミュニケーション機能

- ・操縦者の顔を実時間でみながら会話できる。

③知的機能

- ・身体の状態の計測（筋肉・関節・皮膚の固さ、体温、脈拍など）

④その他の機能

- ・身体各部を屈曲・伸展。
- ・柔軟制御。

ロ) 操縦サイト側

①安全機能

- ・電氣的・機械的安全性。過負荷防止。

②コミュニケーション機能

- ・高齢者・患者の顔を実時間でみながら会話できる。
- ・身体の状態の計測（筋肉・関節・皮膚の固さ、体温、脈拍など）結果の表示。

③知的機能

- ・高齢者・患者の過去のデータの記憶と再現。評価機能。

④その他の機能

- ・人間型操縦装置。
- ・バイラテラル制御。

c) 現状で開発されている関連システム

米国では手術支援ロボットが研究されており、例えばROBODOC(インテグレートッドサージカルシステム)、PUMA(メモリアルメディカルセンタ)などが手術の助手として、診察、穿孔作業などをする実験がなされている。また、欧州でも脳手術などで、MINERVA(ローザンヌ)、PUMA(イギリス)などを使った外科手術が研究されている。また、リハビリ分野でも、従来の工業用マニピュレータを用いて、介護作業支援システムなどの試作(一部実用化(例: HelpMate、トランジションズリサーチコーポレーション)段階)が進んでいる。しかしながら、いずれのシステムも従来の工業用ロボットを用いており、その安全性、対象となるユーザ・患者との親和性、自立・遠隔制御技術などに問題点を残したままとなっている。国内でも、テレサージェリ(遠隔手術)システムの研究が大学(東大光石研、名大福田研、早大など)で行われているほか、下肢の運動への追従機構、ダイレクト・ティーチなどの機能を持つ下肢用リハ装置(安川電機)(研究開発段階)、訓練者の歩行速度に追従して負荷を可変させるアクティブインピーダンス制御などの機能を持つ歩行訓練機(日立)(製品)など、ロボティクス技術を応用した医療用メカトロニクス機器の開発が行われている。しかしながら、ほとんどの機器は施設用となって

おり、在宅用などに向けての総合的で実用性の高い研究開発が必要である。また、筋電などの生体計測、バイオフィードバックなどの機器と患者の情報融合、操作性、患者の治療意欲を向上させる機器インターフェースの開発など、これからの超高齢社会に対応するための開発課題が山積している。

d) 研究開発課題

- ・高齢者・患者・医師・保健婦など対象となるユーザと親和性の高い人間型ロボティクス技術
- ・本質的な安全性確保システム技術
- ・知的な自律・遠隔制御技術
- ・VRを含む対話インターフェース機能(マルチメディア+バイラテラル制御)
- ・リハビリテーション評価機能。

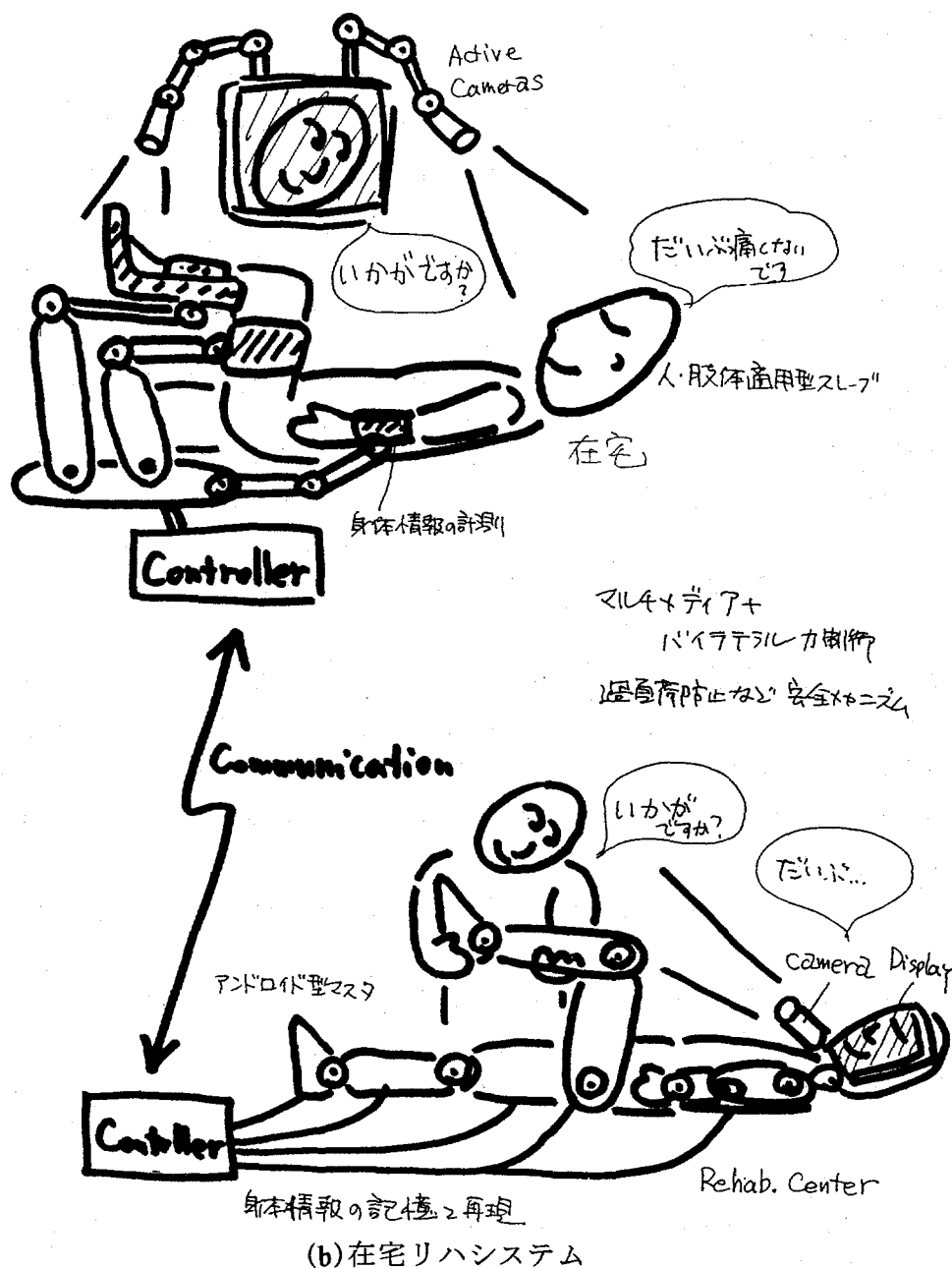
e) 産業・社会への波及効果

超高齢社会において、医療システムの高度化、地域リハビリテーションなどを提供でき、遠隔地域・在宅に多数存在する高齢要介護者・患者に対し効率的で効果的な治療を提供できる。また、寝たきり防止と在宅医療を推進し、社会的入院の防止と医療費の削減の効果がある。



(a) 在宅・地域の医療相談・検診・治療

図 3.3.5 高度医療支援ネットワークロボット



(b) 在宅リハシステム

図 3.3.5 高度医療支援ネットワークロボット (続き)

(5) 人間型運転ロボット (非製造分野)

a) 目的と背景

非製造分野のロボット導入が実現することは、主に産業用に限定されてきた従来のロボット市場の拡大の意味もあり、メーカーサイドとしても常に模索している。但し、非製造分野におけるロボット、もちろん自動機械も含むが、その作業の非定形さから、従来の生産ラインのように単純でなく、例えば、ベルトコンベア等の自動化のための付帯設備の手間や費用が馬鹿にならない。また、付帯設備として何が必要かと言った根本的な事象も、設置し稼働してみないとわからない面も多い。そのため、このような付帯設備の簡易化が非製造分野のロボット導入の第一条件とも言える。

また、農業・林業における内外価格差の解消や従事者の高齢化による過酷な労働からの解放、後継者難といった面からも自動化は望まれている。

さらに、従来の定形作業の自動化分野において、確실히行われていることは、その作業領域から人を排除することである。したがって、従来の自動化装置は、例えば確実に位置決めされた四角い重量物を確実に5mだけ運ぶと言った、その機械の持つ自律能力に拘束され、人との協調によって解決可能である、環境のちょっとした変化に臨機応変に対応し作業の効率化を図るといったことは、まず期待できなかった。

そこで、非製造システムの自動化において、従来の人手による施設／設備を全く変えることなく、また人間との共存を行いながら自動化を行うことを目的とした人間共存型ロボットが望まれている。

b) システム内容

現状、研究開発されている自動化作業を想定するロボットは、それぞれ専用に新規開発されたものである。実際のフィールドで、種々作業に展開しようとする、個別にまた新規開発する必要があり、開発コストが膨大になる。そこで、一種類の人間型ロボットを開発し、それを既存の建設機械、農業機械等のいわゆる車に乗せ、その人間型ロボットが機械を操縦する形態を考える。

従来の人手による施設／設備を全く変えることなく、また、人間との共存を行いながら自動化を実現しようとするときに、単純に考えられることは従来人間が行っていた人手作業をそのままロボット等の機械で自動化することである。したがって、運動の機能を実現する機械装置で考えるならば、目的達成のための人間型ロボットは、汎用的かつ一つの理想的な機械装置とみなせる。但し、知的機能は、何らかの形で人間の介在を受け付けるシステム構成にしておくことも必要と言える。そこで、非製造分野での分かりやすい具体例として、車の運転を行うロボットを取り上げる。

非製造分野における車運転ロボットには、すべてではないが、以下の適用例が考えられる。

イ) 建設現場の運転ロボット

土木作業等の建設現場でのパワーショベル、ブルドーザ、大型トラック等の運転を従来の人に代わって行う。

ロ) 港湾物流現場の運転ロボット

比較的、自動化の進んでいる港湾物流施設のクレーンの運転やトラック等の搬送車の運転を従来の人に代わって行う。

ハ) 農業現場の運転ロボット

田植え機や耕耘機等の農業機械の運転を従来の人に代わって行う。

c) 現状で開発されている関連システム

システムの目的とそのための課題等を明確になるように研究・開発中、また商品化されているものであっても最先端のものを取り上げた。

また、いずれのシステムもコスト低減の課題を有する。

イ) 農業・林業分野

生研機構においてはデッドレコニングとGPSによる自律走行で農作業を行う「ほ場自律走行システム」が研究されているが、位置推定の精度が問題として残っている。

クボタ、岡山大学、島根大学、フロリダ大学、CEMAGREF（仏）等の機関で画像処理により完熟果実を識別し、マニピュレータで収穫するロボットが研究されているが、屋外での視覚処理、果実の個体差識別、傷付けない把持、不整地の自律走行が問題として残っている。

東大、東北大、コマツ、ヘルシンキ工科大学等で傾斜面を歩行する林業歩行ロボットが研究されているが、スピードが遅い、急峻地に対応できない問題が残っている。

ロ) 港湾物流分野

ECT (Europe Combined Terminal BV) では、レール走行式完全自動化クレーンや設定領域の自由走行を可能とする無軌道無人コンテナ搬送車 (AGV) による世界最先端の「デルタⅡ/シーランドターミナル」を1993年に商品化したが、従来のゴム式タイヤによるトランスファークレーンにかわる自動クレーンのためのレール設置やAGV自律走行のためトランスポンダの路面格子埋め込みや走行領域の完全な人の立ち入り禁止等、さらなる自律化による付帯設備の削減が今後の高度化のための課題と言える。

三井造船では、従来無かったコンテナの積み上げ積み下ろしできる無人制御可能なコンテナヤードクレーンと無人コンテナ搬送車を組み合わせたコンテナターミナル自動化システムを開発し商品売り込みを図っているが、クレーンやAGVの自律走行のための付帯設備の削減が今後の高度化のための課題と言える。

d) 研究開発課題

イ) ロボット側

①トラック運転の人間型メカニズム

自由度的には、その機能に応じて人間以下の自由度で十分なものもあると思うが、もともと人が運転していたものを運転代行するため、基本は人間型ロボットの構成要素が最適と考えられる。但し、モジュール化を充実させておき人間型ロボットがハードウェアのプラットフォーム的になるような構成をしておくことは、機能に応じた自由度縮減を考える際の設計簡易化のため、ひとつの重要な課題である。

簡単に運転席に積み込めるように、軽量化が必要であるとともに、ロボットの固定機能も必要。

・視覚

- ーあらかじめ計画されたトラックの進路の確認
- ートラック前方の障害物等の不測事態の発見

・腕

- ー車運転の手腕系の操作
- ーハンドル、ギア、ウインカ、ワイパ、サイドブレーキ操作

・足

- ー車運転の足脚系の操作
- ーアクセル、クラッチ、ブレーキ操作

②安全機能

屋外環境 (朝/昼/夜及び晴れ/曇り/雨) でのセンシング機能で、特に

- ・作業場内の人との衝突回避
- ・トラック間の衝突回避 (特に人運転のトラック)
- ・自身の運転トラックの衝突回避

である。

③コミュニケーション機能

- ・ロボット知能系の情報のオペレータへの伝達

多数かつ複数の情報の効果的なオペレータ伝達が必要で、頭部カメラ、腕の情報、足の情報、トラック回りのセンサ情報等の一括伝達は、1人のオペレータではハンドリングできない。そこで、「正常性の確認*）」と言った異常が何であるかまでは問わないロボット知能系がまず必要である。

*）正常でないことをオペレータに伝達し、その異常事態をオペレータが判断する。

- ・ロボット間のコミュニケーション

オペレータ室に一旦集約して、統合制御部計算機等で処理する

④知的機能

- ・障害物の発見

特に、人の認知アルゴリズムが重要で人の定義された特徴との比較によるセンシングでなく、複数のセンサによる人らしきものの検出可否を行い、その重ね合わせ（ヒュージョン）により障害物の発見を行う。

その他、以下のセンサ処理も重要である。

- －速度に応じたセンサ処理

速い速度・・・低密度であいまいだが処理が高速

遅い速度・・・高密度で正確だが処理が低速

- －距離に応じたセンサ処理

遠い距離・・・低密度で広く大まかに判断

近い距離・・・遠い距離の情報分析をもとに、範囲を限定して高速処理

- ・作業内容の簡易教示

基本的にはCG等を使ったオフライン方式だが、マウス＋音声で操作する。

オフライン教示時の誤差は、ロボット側のセンサが処理する。

- ・作業地図に倣った動作

ロボット位置評定機能・・・GPS等の近年発展の著しいインフラの利用と作業環境内の電灯や建物等の不動物の有効利用

ロ）操縦サイト側

①安全機能

- ・ヒューマンエラーの低減策

②コミュニケーション機能

- ・音声／ジェスチャによるオペレータ意思のロボットへの簡易伝達

③知的機能

- ・ロボット自律機能と遠隔操作の融合

- ・音声認識と解析

- ・人間のフリの認識と解析

e）産業・社会への波及効果

人間型の運転ロボットを取り上げたが、本報告の範疇にとらわれずに以下の産業・社会への波及効果が期待できる。

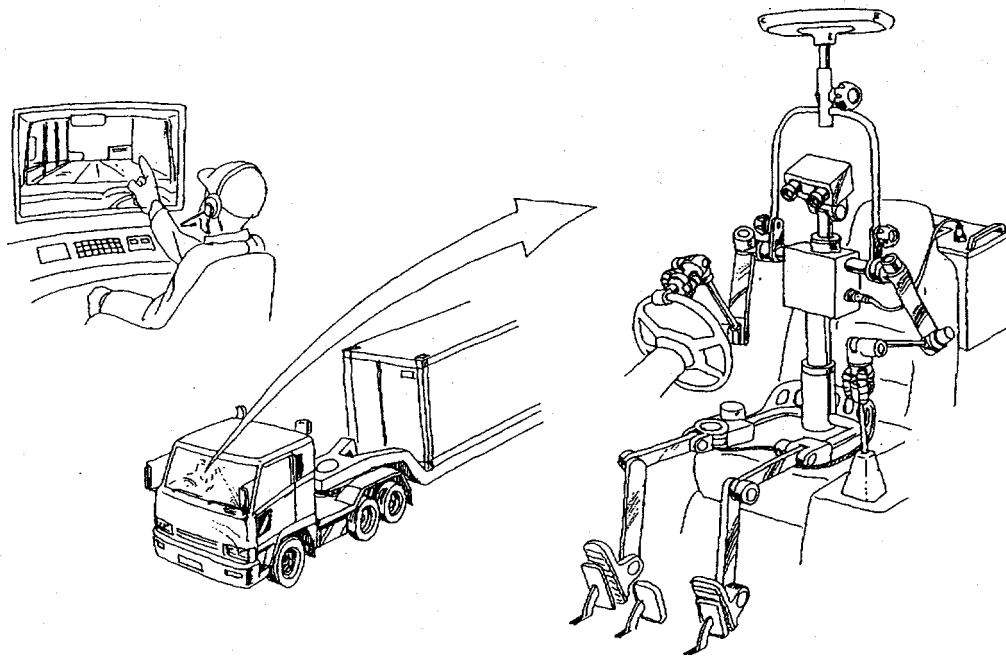
- ・インフラを変えずに人間の代替えができるため、既存の非製造設備の高度化が即図れる。

- ・人と対する親和感が期待できる。

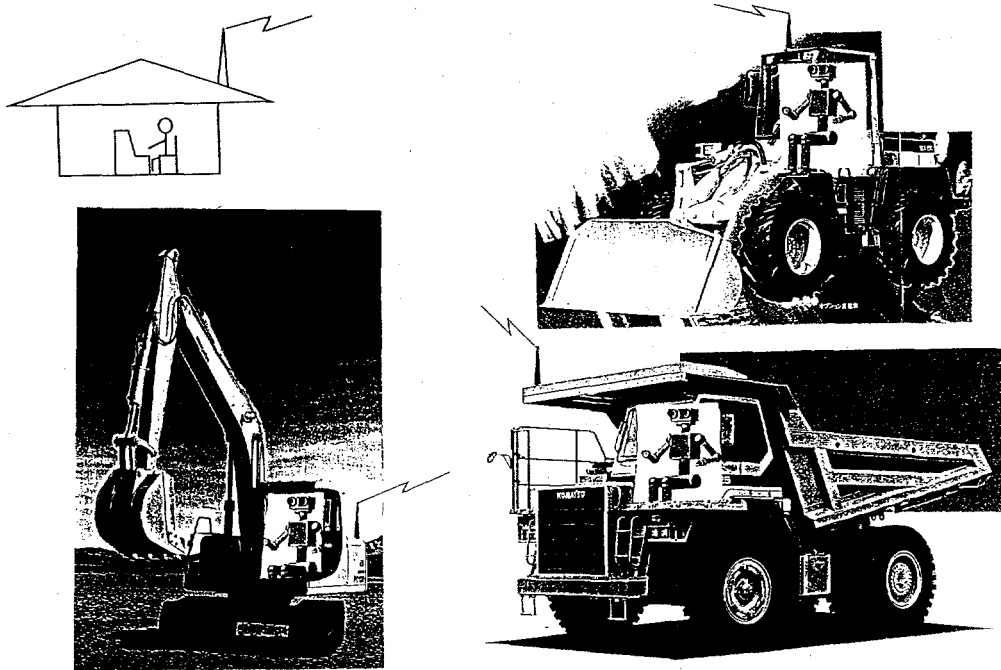
また、人間型ロボット*）」とすることで、クレーン、農業機械、車等の機能に応じた自由度（機

能) 選択したロボットハードウェアの簡易構成が可能と考える。

*) ハードウェアの複雑化のためそのメンテナンス性を考慮してモジュール化すなわちプラットフォーム的ハードウェア構成とならざるをえない。これに従いソフトウェアもモジュール化され従来開発が難しかった自律機能のためのソフトウェアの共有も期待できる。

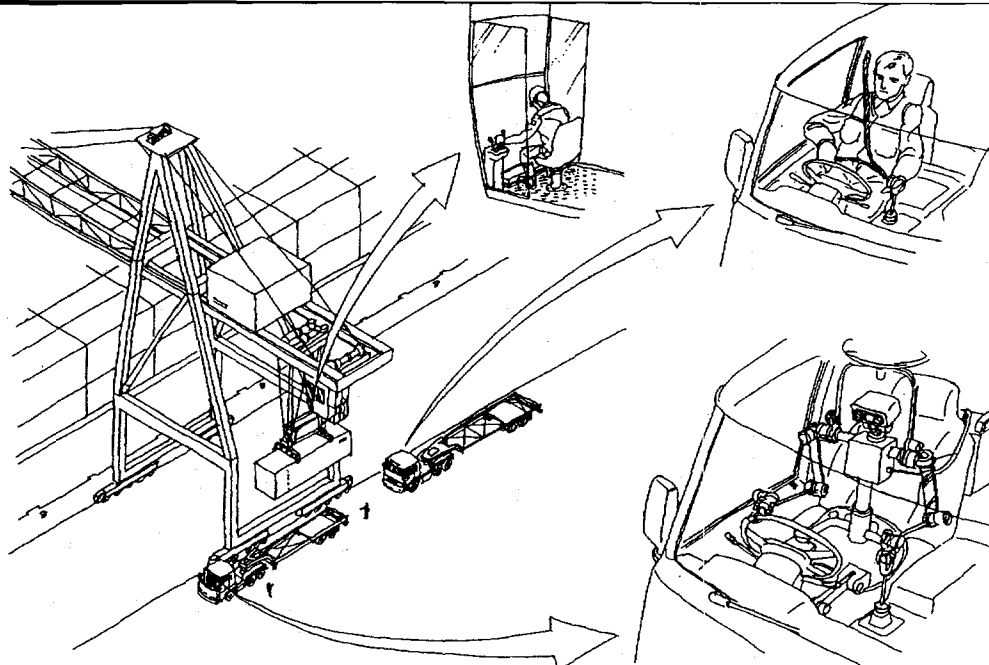


(a)トラックを運転する人間型ロボットイメージ

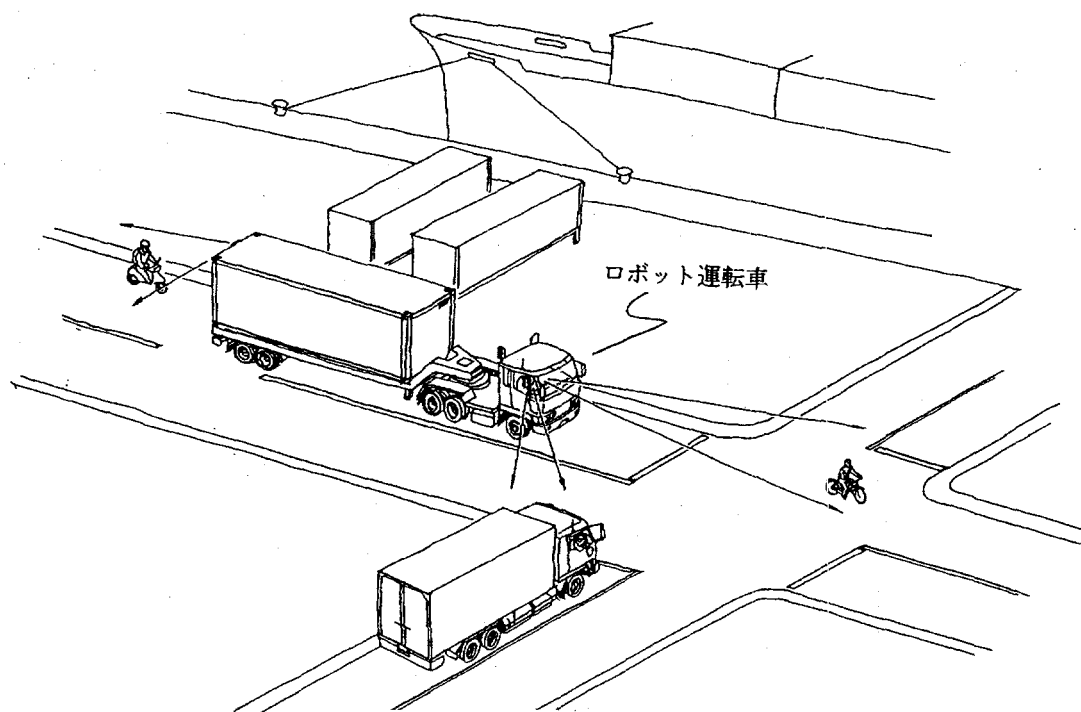


(b)建設機械を運転する人間型ロボットイメージ

図 3.3.6 人間型運転ロボット



(c) 港湾物流における人間との協調イメージ・その1



(d) 港湾物流における人間との協調イメージ・その2

図 3.3.6 人間型運転ロボット (続き)

(6) 新製造システム (製造分野)

本システムは、「小量製造システム」、「中型部品整列システム」、「外観検査システム」、「簡易作業教示システム」から構成される。

a) 目的と背景

ここでいう製造とは、工場内でのもの作りと規定する。そこで、製造に関わる用途を掲げ、それぞれについて、人間型ロボットの適用性を検討する。

用途としては、以下のものが掲げられる。

・ハンドリング：一パレタイジング、重量物搬送、機械加工、射出成形、プレス加工、高温作業

- ・組み立て
- ・塗装
- ・検査測定
- ・無人搬送
- ・溶接：一スポット溶接、アーク溶接

事例調査として、日本ロボット学会誌、自動化技術等の専門紙を中心に研究テーマを調べたが、製造業に適用することを仕様にした人間型ロボットの事例は見つけられなかった。現在ロボットが適用されている製造分野は、「少品種大量生産」分野であり、以下を特徴とする。

- ・位置制御繰返し作業
- ・センサレス
- ・環境、対象の公差管理徹底

すなわち、大量生産することで、製品あたりの設備設計・管理コストを低減し、投資を可能としている。いいかえれば、設備コストを必要とせず、簡便に作業を教示できるロボットを用いた生産方法が実現できれば、小量生産が可能となる。これが可能な分野は、

- ・大型製品一品受注生産（造船、原子力、重電、建設、土木）
- ・特注生産（小ロット生産）

などがある。

特に電子製品、機械分野の生産自動化ラインにおいては、短期間でコントロールソフトの構築／変更でき、かつ自動化が難しく経験年数に左右される様な精密・複雑な組立／調整作業行程にも対応できる安価な「小量多品種生産型ロボットシステム」が求められているとのニーズが指摘されている。また、この前段に、通常の部品供給装置でハンドリング困難な数cmから数10cmの大きさの部品を整列供給する「中型部品整列システム」が必要となる。これらシステムは、環境整備に特別な投資を行うことは困難であるから、従来は人手によるところが多かった。特に、生産寿命が短く小量しか生産しない製品は、ほとんど人間のフレキシビリティに依存しているのが現状である。したがって、投資効率が満足された上で、これら作業遂行システムは人間と同様の環境条件で動作すること（理想形態は人間型ロボット）が求められる。但し、生産分野である以上、効率・コストが最優先であることを考慮すれば、いずれの場合も、人間型である必然性は必ずしもない。

製造業のロボットへの要求条件としては、

- ・効率、コストパフォーマンス
- ・正しい繰返し作業（対象が限定されたばらつきの範囲内）

すなわち、総合的な能力の大きさ、汎用性よりは、限定された作業において秀でていることが求められている。従って、部分的モジュールでは人間の機能を持っていたとしても、全体が人間に近いものである必要は必ずしもないと考えられる。ただ、最近の製造業で求められていることとして、ニーズの多様化から、多品種、小量生産が求められ、製造の形態もラインによる大量生産から、セル生産、と呼ばれるような方式へと変化しつつある。従って、製造業の次の課題はこのようなシステムに受け入れられる人間共存型ロボットの開発であろうと思われる。

製造の形態として、例えばユーザが個別に工場設備を借りて、自分のほしい仕様の製品を自ら製造する様なシステムが要求された場合、遠隔操作によるか、ユーザの直接指示によるか、あるいは、作業補助として工場でのものつくりを支援する作業を行なうことを想定すると、工場設備に対する知識の乏しいユーザにとっては、自分自身の構造機能と同形態のロボットを操作、あるいは指示する方法が作業状況が理解しやすく、かつ操作もし易いと思われる。この意味からは、人間型の意義は高い。

これら、製造プロセス終了後には品質保証のための検査工程が必要である。外観検査は人間の優れたパターン認識能力を生かした検査である反面、目の疲労等の苦痛を伴いかつ体調による検査レベルの不安定さをかかえている。また、評価項目が数値化しづらいため、ロボットによる完全自動化は困難であったり、コスト的に採算がとれないものが非常に多い。従って、人間と共存して、「外観検査を支援するロボット」の開発は重要である。具体的には、

- ・ロボットが前もって検査を行い、人間の優れたパターン認識能力や感性を必要とするものだけを選別してくれる
- ・人間にとって苦痛を与える検査項目（例えば、表面の小さなくぼみを見つける場合、正反射光を見続ける状態、つまり光った表面を見続ける状態）や人間が不得意な検査項目を担当してくれる

以上のような支援をしてくれるロボットは切望されている。

また、現在製造分野（に限らないかもしれないが）において最も切望されている機能は教示のやり易さ、つまり「人間にとっての使いやすいロボットシステム」であると考ええる。そもそも、人間共存の機能は、形態依存と形態非依存の2つに分けて議論すべきであると考ええる。

表 3.3.1 製造分野における人間共存機能

人間共存機能	形態依存機能	環境適応，物理的相互作用，物理世界
		形態，力学的条件から機能を規定
	形態非依存機能	情報伝達，意図的相互作用，意味世界
		作業意図伝達，プログラミング，情報再利用など意味，情動的条件下から機能を規定

システム構成、情報ハンドリング、ヒューマンインタフェースなどの多くの部分は、形態非依存で解決すべきで、かつ可能な課題である。製造分野における人間共存とはこのような観点で考えることを提案したい。無論、物理世界と相互作用を持つことが、ロボットの最大の特徴であり、形態で機能をデザインする情報機械システムであるため、境界があいまいなことを承知の上である。

b) システム内容

イ) 小量製造システム

①環境変動対応機能

短期間でコントロールソフトの構築／変更が可能

②精密マニピュレーション機能

精密・複雑な組立／調整作業工程にも対応可能

③簡易教示機能

人間の意図を反映する作業教示

ロ) 中型部品整列システム

①視覚機能

環境変動にロバストな視覚

②簡易教示機能

人間の意図を反映する作業教示

③モデリング機能

対象、環境の簡便な入力機能

ハ) 外観検査システム

①視覚機能

環境変動にロバストな視覚、照明技術

②簡易教示機能

人間の意図を反映する作業教示

③精密マニピュレーション機能

いろいろなワークをハンドリングできるハンド

ニ) 簡易作業教示システム

①安全機能

通常のデッドマンSW

②コミュニケーション機能

センサ情報、イメージ情報、環境情報などの提示、共有、操作機能

③知的機能

パターン認識、環境認識、状況理解等多数

ホ) 共通機能

①安全機能

人に危害を加えない

②知的機能

作業をしている人間の状態（検査中か手待ちか、疲れていないか）を認識できる技術

ｃ) 現状で開発されている関連システム

イ) 小量製造システム

SONYはSuper SMART systemを商品化。家電の中量生産を企図。上記の意味での小量生産に適用するには生産設計、治具、ハンド等環境整備にコスト大。人間型としては両腕移動車型ロボット(KAMURO)がカールスルーエ大学で開発され、簡単な組立作業を実現。速度、環境整備等の問題はのこる。

ロ) 中型部品整列システム

小型部品：振動ボウル、フィーダ、

中型部品：SONY APOS、ダイキン整列ロボットなどの実用化事例有り。

いずれも、中一大量生産を指向。治具、ハンド、照明等環境整備は作業毎に対応。一般には人手が現状。

ハ) 外観検査システム

現在実用化されている外観検査の代表的なものは

- ・画像処理を利用したもの：ピンの検査など
- ・レーザービームを走査させその反射光や透過光を利用するもの：圧延した鋼、光学部品のきず検査など

以上のようなものがあるが、形態は専用の検査装置である。

ニ) 簡易作業教示システム

KUKA社ではwindows/PCベースのKCPI/KRC1というペンダント/コントローラを、安川電機ではGUIを多用した、溶接作業条件簡易教示サポートツールET (Easy Teaching) PADを商品化しているが、あくまでも通常のティーチングプレイバックを意図したものであり、人間との容易なコミュニケーションを実現したものではない。

d) 研究開発課題

人間型ロボットとしての基本機能についての課題はここでは触れない。

イ) 小量製造システム

上記、「c) システム内容」で述べた内容に加え、

・CAD等、設計システムとの連携機能、及び製造対象モデルの形状情報、他属性情報の認知機能

・3次元物体認識機能

・製造スケジュールシステムとの連携機能

・製造関連機器（組み立て機器、加工機器などの操作知識ベース：基本的には標準の運転機能を保持し、それを応用することでフレキシブルに様々な製品製造に対応する。）との制御I/F。

・より繊細な触覚機能（ハンド部）

ロ) 中型部品整列システム

上記、「c) システム内容」で述べた内容に加え、

・視覚情報からの複雑な形状の高速認知／判別処理システムの開発

・高速柔軟ハンドリングマニピュレータの開発

ハ) 外観検査システム

上記、「c) システム内容」で述べた内容に加え、

・人間の状態（検査中か手待ちか、疲れていないか等）を認識できる技術

・S/Nの高い検出ができる視覚センサ、照明技術

・いろいろなワークをハンドリングできるハンド技術

・高速な画像処理システムの開発。

ニ) 簡易作業教示システム

上記、「c) システム内容」で述べた内容に加え、

・高速大容量情報伝達方式の標準化

e) 産業・社会への波及効果

イ) 小量製造システム

①消費者の身近なところでオーダメイド生産が可能となるため、アルビントフラーが「第3の波」で述べたと同様に、物財の生産に関しても「プロシューマ」が現れ、流通も含めて社会構造が変革する。

②ある時計メーカーでは、インターネットを通じ、顧客に好みのデザインを作成してもらい、そのデータに基づき顧客だけの製品をつくる試みを行なったところ、好評で、注文に応じるのが大変であったようである。将来、更に、製造そのものまで、顧客が行なうところまで拡張した姿を想定してみたい。その製造方式として、ここで述べる小量製造システムを位置づけることができる。

③製品企画・開発においては、現在でも顧客ニーズを広く調査することが行なわれてきている。上述の様に、将来は製造においても、必要なものを、必要な時に、自分だけのものを作るといった考え方が大いに広まることが予想される。すなわち、ここで提案した人間型ロボットによる小量製造システムは、新規形態の産業構造への変革を促進する効果をもたらすことが期待できる。

④従来の小量製造は、専門家としての作業者が顧客の要望に応じて製造するという形態をとっていた。しかし顧客が直接製造に参加することで、製造工場、機器設備のオープン化が促進され、設備機器の効率的な運用が行なわれることになる。例えば、平日は工場を保有する企業が主として運転し、休日は顧客が遠隔操作で運転するなどである。あるいは、異なる企業同士で、昼夜使い分けることも出来るであろう。多くの企業が重複して同様の機器類を設置することによる無駄も排除されると同時に、見込み生産における在庫、廃棄物の削減も期待できる。又、顧客自身の製造した物であるということは、製品への「愛着：持つ喜び、使う喜び」、「もったいない」、「大切に使う」など、現在失われつつある人間の製品に対する感性を取り戻すことにも貢献できるのでないかと思われる。環境エネルギー資源問題にも応えることができるのは言うまでもない。

ロ) 中型部品整列システム

未整備環境下のハンドリング作業が可能となることで、生産以外にメンテナンス、危険環境下の操作（原子力）や災害救助支援、宇宙での作業など波及効果は大きい。

ハ) 外観検査システム

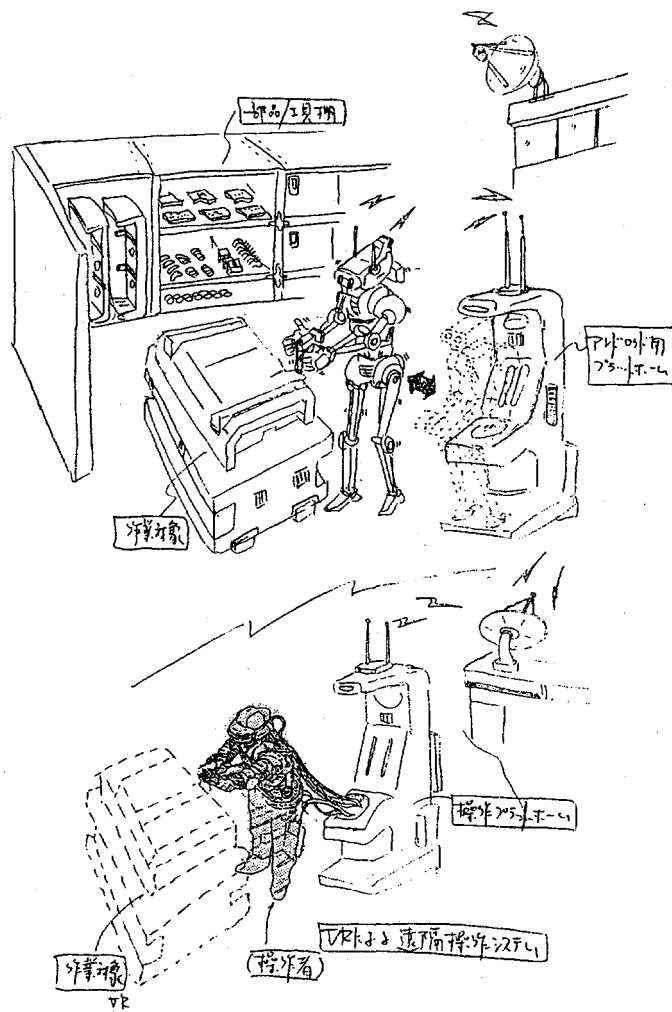
①難易度や作業者の負担の差はあるが、外観検査は現在の製造業においては、不可欠であり、かつ携わる人数は大変多い。従って、外観検査システムは多くの人を支援することにより、苦痛な作業からの解放と検査品質の向上をはかれる。

②重要な技術課題であるS/Nの高い検出ができる視覚センサ、照明技術は他の分野のロボットの外界認識技術に応用が出来、優れたロボットを開発する上で不可欠なものである。

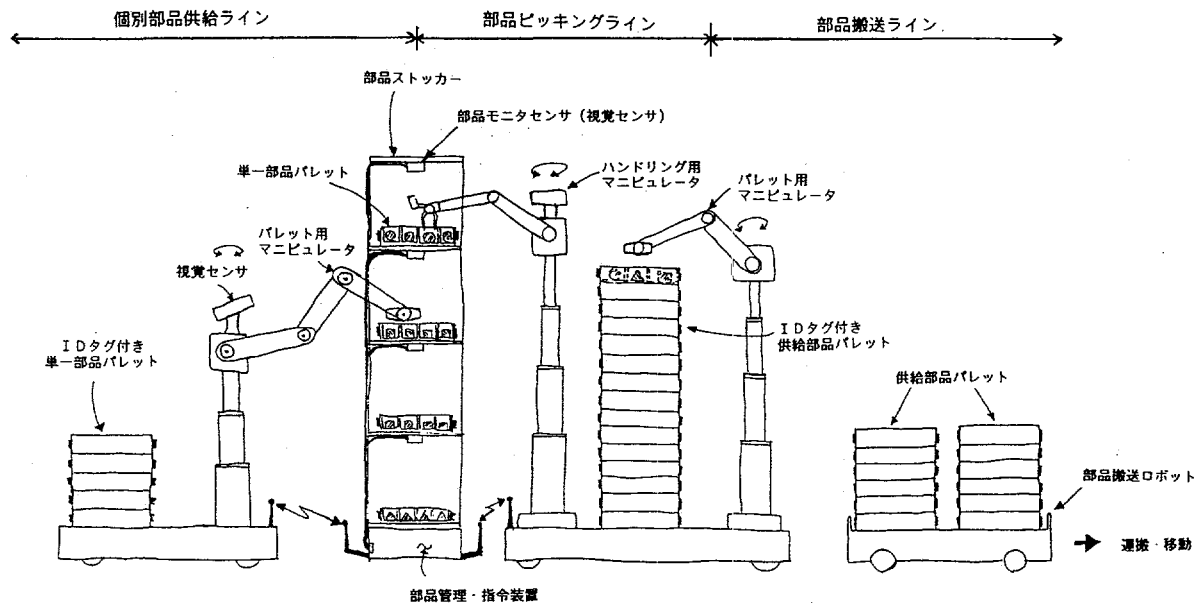
③検査基準は製造業の考えで決まっている現状では、規格外のものは破棄、手直ししか道がない。（規格外であっても好みや使い方で使えるものはある。）従って、ロボットに分別等の機能を付加することにより、経済的にロスが少なく、省資源に貢献できるシステムを作ることができる。さらに、本技術は監視システムなど広範な社会サービスに適用できる。

ニ) 簡易作業教示システム

知能化機械への意図伝達手段として日常生活におけるマンマシンインタフェースを大きく改善することができる。適用分野は、家庭、オフィス、施設、自動車など広範にわたる。

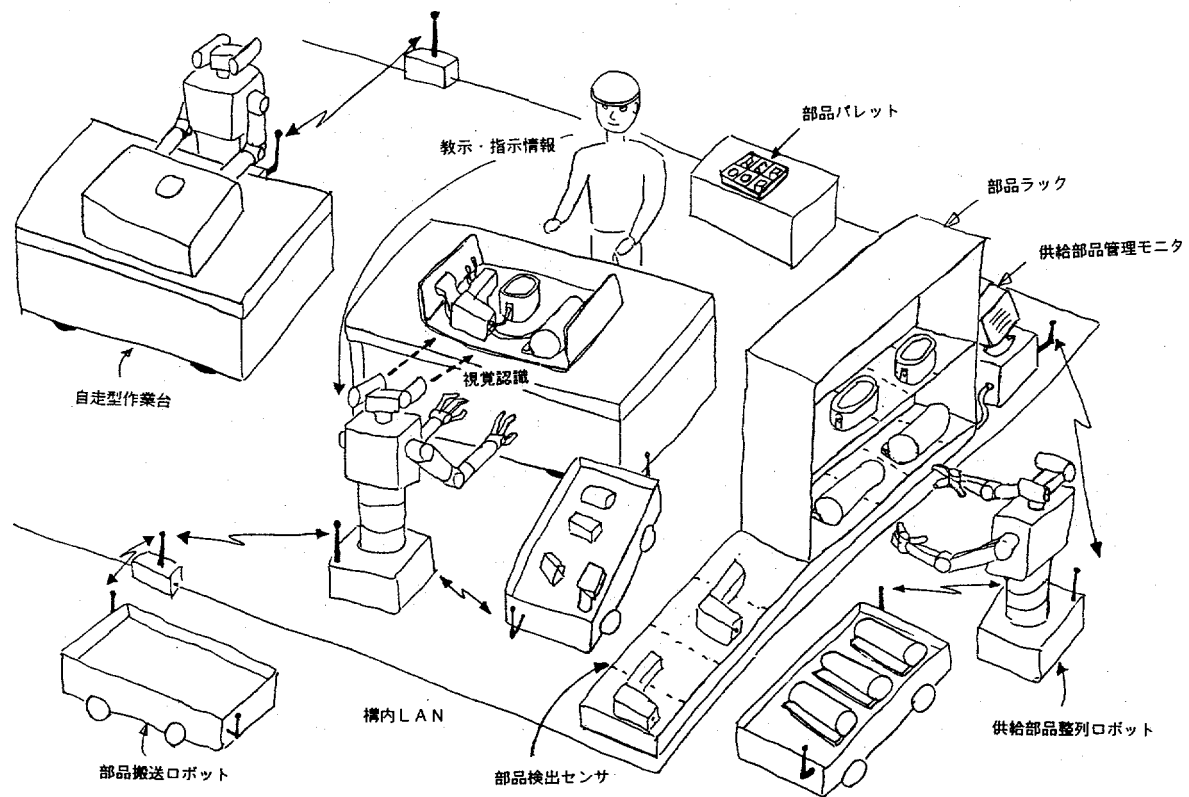


(a) 小量生産システム用人間型ロボット

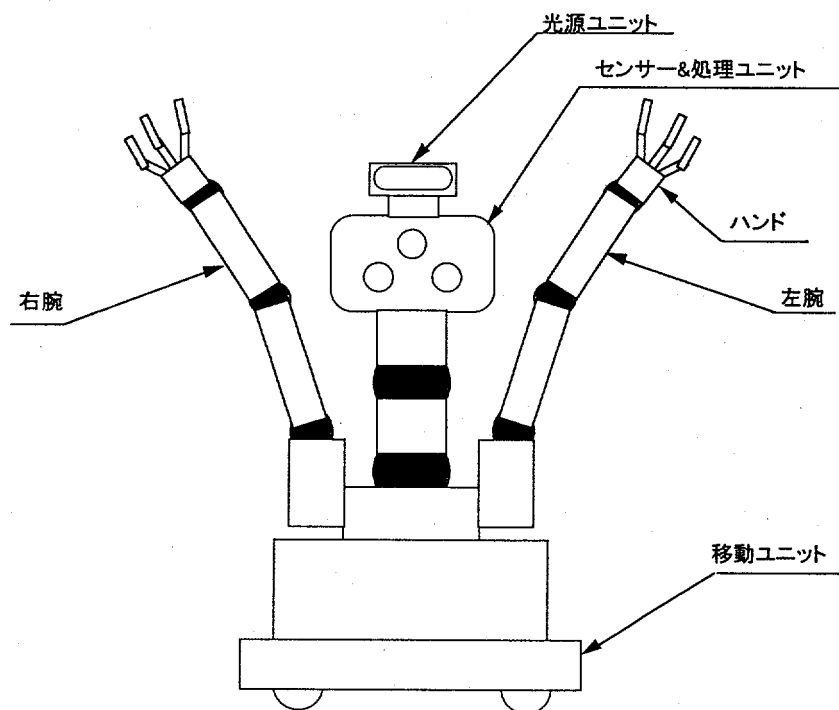


(b) 中型部品整列システム (個別部品供給ラインから部品搬送ラインまで)

図 3.3.7 新製造システム

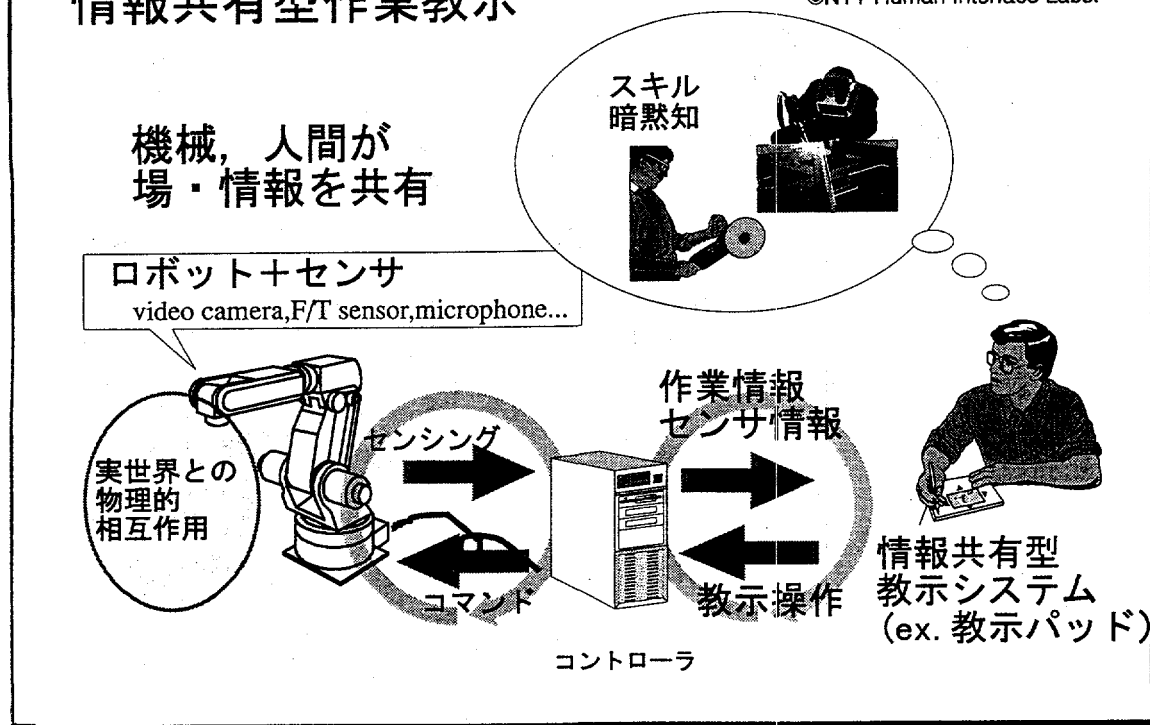


(c) 中型部品整列システム(組立加工ライン)



(d) 外観検査ロボット

図 3.3.7 新製造システム(続き)



(e) 情報共有型作業教示

図 3.3.7 新製造システム (続き)

(7) ビル点検ロボット (建築・土木分野)

a) 目的と背景

生産・消費型社会からストック型社会への移行が叫ばれているなか、メンテナンス技術の重要性が見直されている。特にビルや橋脚をはじめとする大型構造物については、阪神・淡路大震災を契機に、新たに補強技術や劣化診断技術の開発が始まっている。また、設備の維持・管理に関するニーズも高く、省エネを考慮した効率的な設備の運用や、個人の要求に合わせたオフィスの快適な環境づくりが求められており、きめ細かな空調設備の運転やシステムの開発が急がれている。

本システムは、既に人間が居住 (使用) しているビル内で、居住者に迷惑をかけることなく、以下の項目について、ビルの点検・診断を実施するものである。

- ・最適な設備運用のために、人間に近い感覚でビル内の環境 (温度、湿度、明るさ、騒音 etc.) を計測する。
- ・防災 (消防) 設備や水道、ガス、電気などの法定点検を行う。
- ・壁面、屋根、塗装状態などを定期的に計測し、ビルの劣化を診断する。
- ・震災後に、構造体の状態を診断し、耐震判定を迅速に行う。

b) システム内容

イ) 安全技術

- ・障害物や人間を回避する。
- ・高い信頼性で制御する。

ロ) コミュニケーション技術

- ・簡単な言葉で人間と会話する。
- ・人間の識別や状態・動作を理解する。

・遠隔地からロボットを臨場感をもって操作する。

ハ) 人間環境適合技術

- ・環境を認識し、自己位置を判断する。
- ・実環境（段差走行、扉開閉）に対応して移動する。
- ・状態の変化に対応して行動する。

二) 計測・診断技術

- ・オフィス環境（温度、湿度、明るさ、騒音）を人間に近い感覚で計測する。
- ・構造材料（コンクリート、鉄骨 etc.）の劣化を非破壊で計測する。
- ・仕上げ材料（タイル、屋根 etc.）の劣化を非破壊で計測する。
- ・天井、ガラス等の汚れを計測する。

ｃ) 現状で開発されている関連システム

建設会社や電気メーカーでは、壁面検査装置やコンクリート検査装置等の材料計測機器は開発・商品化されているが、それを統合して多機能化したものはなく、計測には熟練技術が必要である。また、オフィス環境計測においては、電気メーカーから快適度を計測するセンサーが商品化されているが、温度、放射温度、気流の計測に限られ、他の環境要素を同時に計測できるものは開発されていない。

表 3.3.2 現状で開発されている関連システム

技術内容	環境計測技術	ビル劣化診断技術
名称	・設備集中管理システム ・電気室の異常感知システム ・各種センサー	・壁面検査システム ・非破壊検査によるコンクリート強度計測 ・建築物の耐震判定システム ・配管検査システム
機関	各整備メーカー	建設会社および電機メーカー
状況	製品・実用化	試作段階から実用化へ
内容	・設備管理 ・センサー	・各種建築材料の計測
問題点	・設計段階から計画しておく必要がある	・計測結果にばらつきがある
		・各種計測をおこなうセンサーやシステムはあるが、それらを統合したものはない ・計測装置の移動は、人間がおこなわなくてはならない

d) 研究開発課題

イ) 安全技術

- ・障害物予測・回避
- ・システム信頼性向上

ロ) コミュニケーション技術

- ・人間個人・動作の判別
- ・言語の理解

・テレビゲジスタンス

ハ) 人間環境適合技術

- ・環境認識、自己位置検出

・実環境対応二足歩行

・自律学習・適応

二) 計測・診断技術

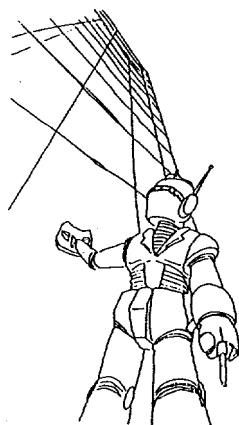
・人間型環境計測装置

・多機能非破壊検査装置

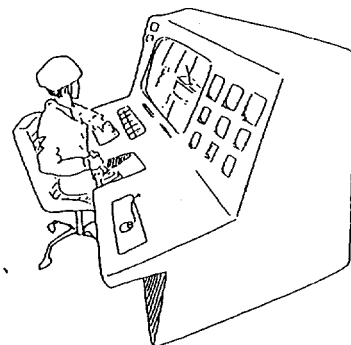
e) 産業・社会への波及効果

震災時に迅速に正確な耐震判定を行い、二次災害による危険を未然に防ぐ。また、設備の最適運転により、個人の要求に合った快適な環境を提供し、コスト削減や省エネルギー化にも寄与する。

■壁面や柱・梁の状態を計測し、ビルの劣化を診断する



■中央管理センターのオペレータがロボットを操作し
ビル管理を行う



■環境（室温、明るさ）計測と、居住者からのヒアリングで、
快適な空調運転を行う

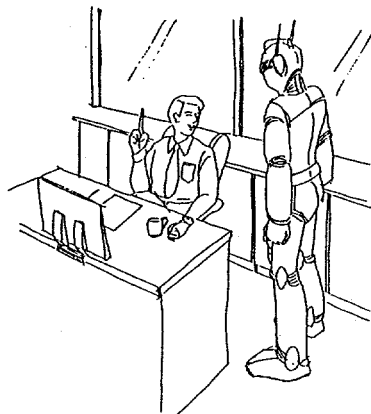


図 3.3.8 ビル点検ロボット

(8) ヒューレクス (Human Life Enrichment Complex: HULEX) (教育・訓練・アミューズメント分野)

健康者、子供、老人、弱者などいろいろな人の生活を豊かにする総合的ライフエンリッチメント施設

a) 目的と背景

高度情報化と高年齢化社会を迎える21世紀には、健康者でもストレスの多い生活を余儀なくされ、また老人や弱者の支援にも多大の人手を必要とすることが十分に予想される時、これら社会を構成するすべての人々が自分の目的にあった身体的、精神的サービスを受ける事ができ、自分の人生を豊かにする事の出来る総合的施設は、人々のコミュニケーションを活性化させ、社会をより幸福と繁栄に導くものと考えられる。このような総合施設は大人も子供も、老人も弱者も社会的心理的差別のない参加を可能にし、21世紀の新しい社会を作り出す事に大きく貢献すると言える。このような人間生活を豊かにする総合的施設は、

- ・健康者のためのフィットネス運動支援機械
- ・各種運転支援機械
- ・インタラクティブアミューズメント機械
- ・学習支援機械
- ・おしゃべり相手機械
- ・生涯学習支援機械

など、人間と共存できる知能機械システムを設備し、人間に優しいサービスのできるものであることが大切である。このようなサービスのできる人間共存型機械を実現する技術は人間とのコミュニケーションの図れるものである必要があり、その開発は世界的にみてその途についたばかりであると言える。

b) システム内容

Hulex内部のロボットには、以下の機能が必要である。

イ) 安全機能

- ・人に危害を与えないようにする機能
- ・どのような場合に“危害”となるのかを変動する環境下で判断する機能

ロ) コミュニケーション機能

- ・人の“心”を理解する機能
- ・どうactionしたらよいかを決定する機能
- ・どう表現するか機能

ハ) 知的学習機能

- ・個人的な機械であるため、「記憶」をし、それによって、人間に対応する仕方がカスタマイズされるような機能

ニ) その他の機能

- ・人間に“安心感”を与える信頼性、信用性を具備すること
- ・ロボットに特有の人間との物理的インタラクション機能

c) 現状で開発されている関連システム

リコーエレメックス(株)では、日本の伝統的なからくり文化の技術を取り入れることにより、豊かな表情としなやかな動作を実現できる機構と、観客と双方向コミュニケーション出来

る機能を実現したアミューズメントロボットとして感性・情緒型ロボットシステムが開発され、すでに試作が終了しているが、安全対策や装置が大型のため威圧感があり、親しみが持てないなどの問題点が残されており、また音声認識や教示などの機能を充実すべきであるとの要求が出ている。なお、HULEXは教育・訓練及びアミューズメントのみならず人間生活を豊かにしうるような要素全てを網羅する構想である。従って例えばディズニーランドに代表されるようなテーマパークから博物館や美術館、あるいは図書館のような施設における各種サービス機械についても既存システムとみることができる。

d) 研究開発課題

イ) ロボットの形態に関する技術

人に安心感を与えるロボットの形態をハードとして実現する技術

ロ) 安全性技術

ロボットが十分に信頼性があり、またその人間を含む外界認識の確度が十分に高く、人に危害を与えないようにするためのハード・ソフト技術

ハ) “コミュニケーション”を実現する技術

コミュニケーションのモダリティの統合化技術や各要素技術の開発

ニ) 知的学習機能を実現する技術

利用者が使えば使うほど使い易くなるような適応技術の開発

e) 産業・社会への波及効果

以上のような施設は、今後ますます高齢化が促進される社会において、老人や障害者などの社会的弱者が豊かな生活を実現する上で必要不可欠な性質のものである。こうした施設に人間共存型ロボット技術を導入することによって、これまで以上に物理的な相互作用を通じた体験やコミュニケーションが可能となり、そうした人々が健常者に気兼ねすることなく、いきいきと生活しうるような社会作りに貢献できる。

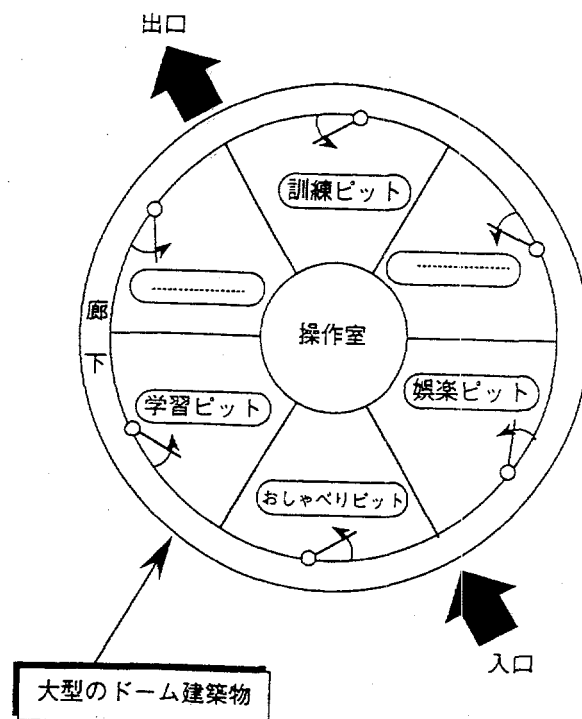


図 3.3.9 ヒューレクス (Human Life Enrichment Complex: HULEX)

(9) 強力ロボット (ホーム・オフィス分野)

a) 目的と背景

強力ロボットは、以下の作業を行うことを目的としている。

- ・人及び荷物を背負い、段差階段のある室内の移動を行う。
 - ・人及び荷物を背負い、屋外の移動を行い、登山、観光案内等も行う。
 - ・お使いに行くとき荷物持ちロボットとして付いていく。
 - ・知力と強力を兼ね備え、頼りになるパートナー。
 - ・人工環境にも自然環境にも適応でき、作業が育てられる。
- 強力ロボットは、“奴隷”と言うよりは、僅かながらも意志を持って従ってくれる“家来”であり、以下のような状況で必要とされている。

・家庭での力強いパートナー

ーお使いの荷物持ち、散歩の友、茶飲み友達、何処にも行ける(車)椅子代り

・社会生活環境でのサービス業務

ーレクリエーション(登山など)のガイド、手ぶらで登山、社会生活環境での道案内、自然環境の保護監視、調査

・災害救助補助

ー災害などの緊急時のファイアーマン

ー瓦礫の中の救助物資輸送手伝い

b) システム内容

イ) 基本機能

①移動機能

- ・重量100kg程度の人／荷物を背負える。
- ・高さ(深さ)100cm程度の段差(溝)を越せる。
- ・階段を昇降できる。

②環境検出・適応機能

- ・障害物・段差等を認識し、それに対応して避けて進む、止まるなどの動作を行う。
- ・人の後を付いていく。
- ・背負った人／荷物の状態を認識できる。
- ・背負った人／荷物の位置・姿勢をなるべく一定に保つ。

③エネルギー自立機能

- ・1週間は無給油で動き続けるクリーン・エネルギー自立機能
- ・高周波マイクロウェーブによるエネルギー伝送機能
- ・バイオマスエンジンによるエネルギー自給機能

④高次知的機能

- ・メタ知識と自律的作業取得。
- ・人、小動物、樹木、道、道路、樹林、森林などの認識。
- ・子供、大人、老人、職業人、サービスマンなど見分けられる。
- ・生活スタイルの把握。

ロ) ロボット側

①安全機能

- ・倒れない。
- ・ぶつからない（自身のみならず、背負っている人や荷物の大きさを考慮して）。
 - －足元の障害物、膝上の障害物
- ・人／荷物の背負い／下ろし時の安全確保。
- ・対人の安全性
 - －柔らかなアクチュエータ／センサ／メカニズム／動作制御。
- ・故障時の安全性
 - －分散アーキテクチャ
 - －インテリジェント・センサ技術
 - －インテリジェント・アクチュエータ技術
 - －ネットワーク型ロボット制御技術

②コミュニケーション機能

- ・「乗せて」、「これ持って」、「行くよ」、「おいで」などのあいまいな言葉を理解しての行動
- ・分からないことは聞き返すインタラクティブ・コミュニケーション
- ・視覚、聴覚、触覚情報に基づく人間動作、行動、意図の理解

③知的機能

- ・環境認識＝段差を見つける。障害物を見つける。
- ・人間認識1＝背負った人の状態を気にする。
- ・人間認識2＝特定の人の後を付いていく。
- ・メタ知識と自律的作業取得（最初は間抜けでも、徐々に賢くなる機能）。
 - －例えば、部屋の中や自宅周辺の地理を徐々に覚える。また、経験を能力に変える機能。

④その他の機能

- ・“忠義の心”機能＝奴隷のように服従するのではなく、慕ってくれていうことをきく忠義の心。
 - －人の道に反する場合には、忠告をする。
 - －知恵を獲得しながら、ほめたり、ばつを感じて賢くなる。

c) 現状で開発されている関連システム

富士通研は、人間の歩行動作を代行する二脚型のユーザ搭載型下肢型ロボット「マイエージェント」を試作した。姿勢保持と脚送りは、空圧シリンダーとゴム人工筋を組合わせている。下肢型ロボットは、ユーザの歩行意志を骨盤の回転によって認識し、ユーザは下肢型ロボットの上に座ったまま移動することが可能である。しかし、歩行面の状態（段差、溝、傾斜）に対応した歩行動作が取れない、環境認識機能を搭乗者にまかせている、空気圧ホース付で行動空間が狭い等の問題点が残されている。

d) 研究開発課題

イ) エネルギー

- ・エネルギー自給技術（コンパクト発電・蓄電技術など）の開発
- ・エネルギー供給技術（電磁誘導等）の開発

ロ) アクチュエータ

- ・柔らかなアクチュエータ

ハ) センサ

- ・自身認識（背負った人や荷物を含めた）センサ
- ・環境認識センサの開発

ニ) アルゴリズム

- ・姿勢安定化アルゴリズムの開発
- ・障害物検知アルゴリズムの開発
- ・行動決定アルゴリズムの開発
- ・故障時に安全を確保する分散アーキテクチャ

ホ) 高次知的機能

- ・服従ではない忠義の心で主人に應對（時には背いて進言する）
- ・育てられる技術、動機付け、学習、賢さの獲得

エ) 産業・社会への波及効果

従来のロボットが主に産業用途において活躍する機械であったのに対して、パーソナル・ロボットは、身体障害者、高齢者、女性、健常生活者の身近な所にいて代りに働いてくれたり、サポートしてくれるロボットである。日常生活を営む上での様々なバリアへのテクニカル・エイドとして生活の自立度の向上、積極的な社会参加支援が期待される。このように、パーソナルロボット技術は、産業のみならず経済、経営そして人間生活に大きなインパクトを与え、産業社会、人間社会のありかたが大きく変り、従来の家電製品の発展とでも言えるようなヒューマン・インダストリとも言うべきいくつかの新産業の創設が期待される。

また、産業としてみるとパーソナルロボットは、2005年には1,750億円市場、2010年には約1兆円となるとの予想がある。（パーソナルロボットの開発・普及促進に関する調査研究報告書。財団法人 機械システム振興協会 平成6年）

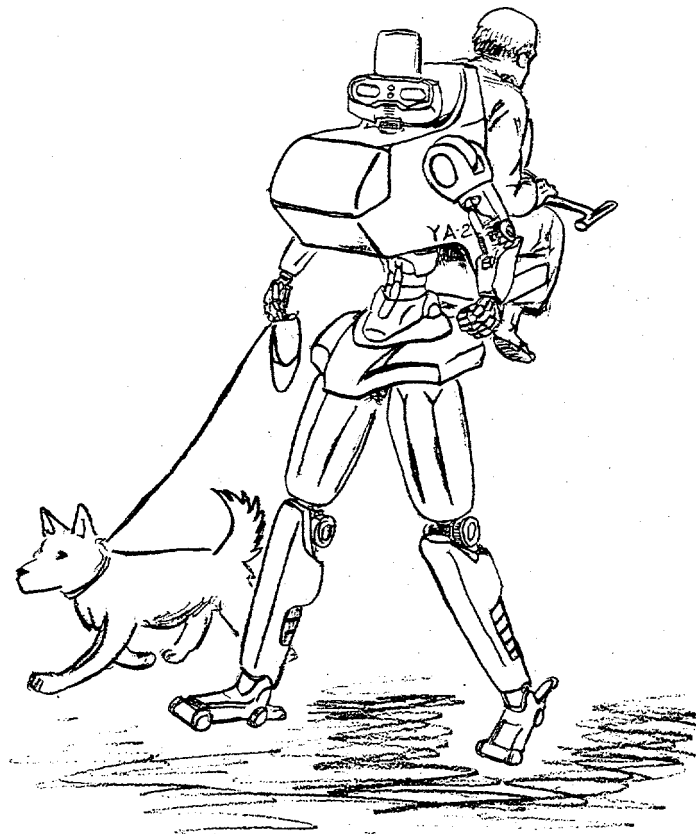


図 3.3.10 強力ロボット

(10) 自律型受付・案内ロボット（ホーム・オフィス分野）

本システムは、メッセンジャロボットや警備ロボットとしても適用できる。

a) 目的と背景

本システムは、オフィス等で来客に対して各種案内をするものである。単にジェスチャ等で道順を伝えるだけでなく、訪問先まで直接案内もする。移動が可能なので、資料運搬などメッセンジャとしての機能もある。さらに、各種外部入力センサを活用することで、警備ロボットとして機能することもできる。

このようなシステムは、主に一種のエンタテインメントと位置付けられるが、実際に多くの来客がある場合には、必要性が高くなる。案内だけでなく、荷物運びや警備などオフィス内の各種雑用にも対応することで、高付加価値となり、必要性も極めて高くなるといえる。

b) システム内容

イ) 安全機能

人間に案内資料などを手渡す、人間と共に往来のある通路を移動する、などの動作のための機能。

- ・距離、領域センサによる障害物（人間を含む）の検知
- ・マニピュレータに過負荷が加わった際の外力への追従と回避
- ・衝突時（主に移動時）の衝撃力吸収機構と復帰制御
- ・音声による警報

ロ) コミュニケーション機能

- ・会話認識（不特定話者、ロボット取り付けマイク使用）と音声合成
- ・人間の視線追従
- ・ジェスチャによる案内情報提示
- ・内蔵通信機による電話回線・ネットワークアクセス

ハ) 知的機能

- ・会話等から相手の求めている情報の種類を素早く抽出すること
- ・確認作業やエラーリカバリ

c) 現状で開発されている関連システム

いくつかの会社で「受付ロボット」と称するロボットが試作されている。しかし、単にコンピュータディスプレイとキーボード（専用スイッチの場合もある）だけのものか、コンピュータ端末に簡易マニピュレータを連動させることでロボットのジェスチャ機を持たせたものかのいずれかに過ぎない。ユーザインタフェース、特にGUIは優れていても、全体的にはいわばコンピュータそのものの機能に留まっており、人間のようにマニピュレーションと移動を組み合わせで自ら案内することができる例は無い。

また、荷物運びなどオフィスにおける主としてメッセンジャ的作業の用途では、米国で開発された「ヘルプメイト」（日本では安川電機が）が実用例としてあるが、案内など人間とのコミュニケーションが必要となる作業に適した機能と形態は有していない。

d) 研究開発課題

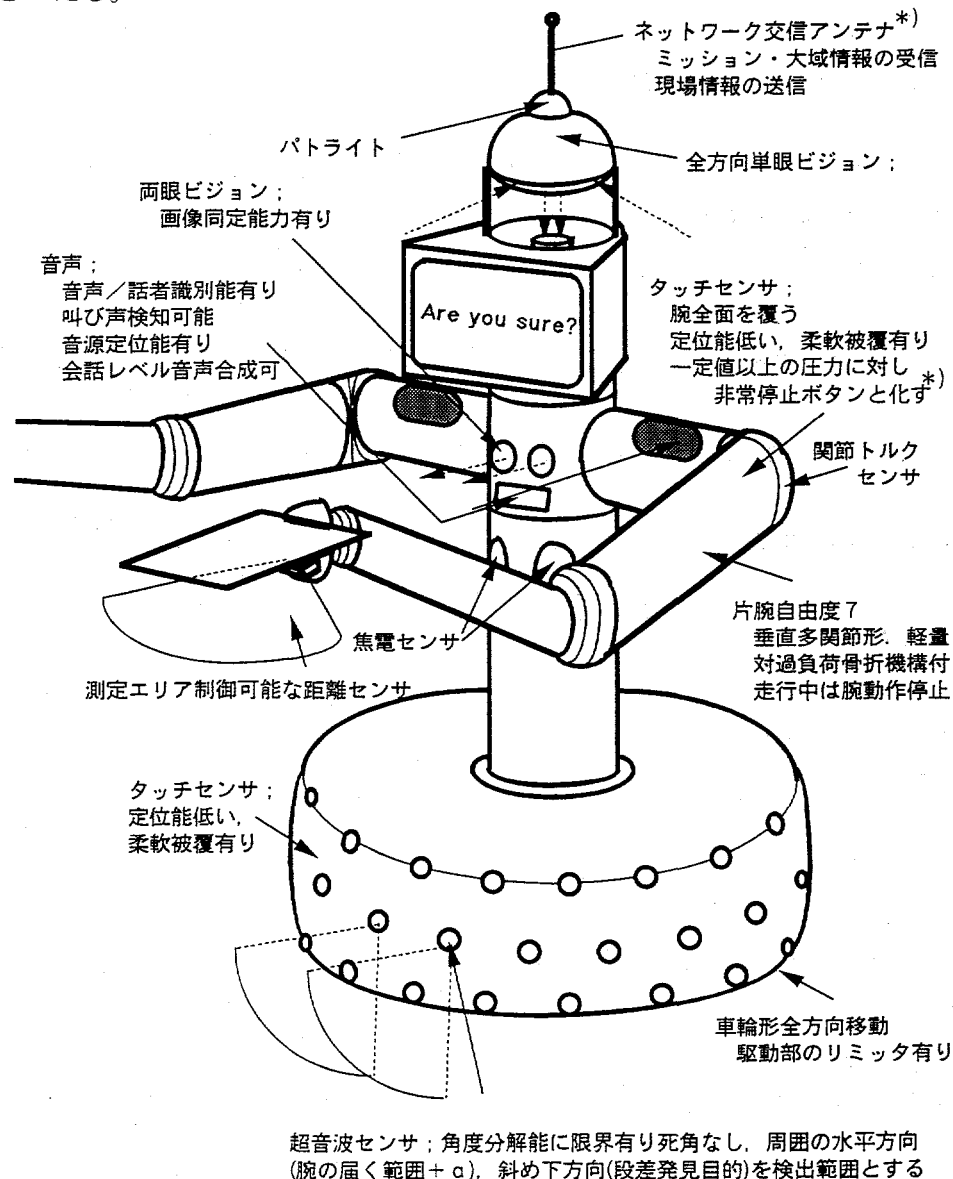
上記、「b) システム内容」で列挙した必要機能のうち、既に確立されつつある技術及び現状で精力的に進められている技術を除いた残された重要課題を以下に示す。

- ・フェイルセーフな近接覚センサ

- ・ マニピュレータ、胴、足（移動機構）の衝撃吸収構造
- ・ マニピュレータの外力追従機構とその制御
- ・ ジェスチャと移動との協調制御
- ・ ジェスチャと会話との協調制御
- ・ 機能安全確認機構

e) 産業・社会への波及効果

ここであげたオフィス用ロボットには、人間と直接コミュニケーションできる物理的・情動的インタラクション技術、人間に新しい情報を的確に伝えるコミュニケーション技術が必要である。これらの技術は、基本的ヒューマンインタフェースと位置付けることができ、人間が使用する機械全てに適用が可能である。その結果、人間共存型ロボットという新しい市場の開拓だけでなく、従来の、自動車、家電製品、精密機器など、多くの機械産業のさらなる活性化につながるといえる。



*)非常停止からの復帰は、現場・遠隔いずれからも可能

図 3.3.1 1 自律型受付・案内ロボット

(11) 救助ロボット（環境、安全、エネルギー分野）

a) 目的と背景（作業内容、必要性）

イ) 目的

災害現場における人命の救助、瓦礫の除去、救助装置の搬送等

ロ) 背景

震災、プラント災害、高層住宅の火災等で、人間が活動できない、又はその作業効率が悪いために被害が拡大する場合が多い。この状況を打破するロボットが求められている。

b) システム内容

イ) ロボット側

①安全機能

過大出力防止、非常時パワーオフ又は現状姿勢保持の選択、自己異常検知、操作指令の安全性チェック、異常時の退避。

②コミュニケーション機能

音声出力（ロボットと被災者側）、3D画像、ステレオ音響、処理画像と実画像の融合。

③知的機能

立体環境認識、障害物検知、被救助者の状態判断、特殊視覚（炎中、煙中、暗夜）、X線視覚、赤外線視覚、危険予知（ガス、温度等）。

④その他の機能

・マニピュレーション

二本腕、6自由度以上、可搬重量100kg以上、力制御、接触覚、複数台ロボットの協調動作。

・移動

不整地移動（段差30cm、溝幅50cm、傾斜30度）、速度1m/s、動揺制御。

・動力源

自立、連続作業時間2時間以上、外部動力供給可、小型、静粛、クリーン。

・耐環境性

耐熱、耐水、防爆。

・ロバスト性

故障冗長システム、軽故障時に性能を抑えて作業遂行。

ロ) 操縦サイト側

①安全機能

安全キャビン、入力の正当性チェック（動作範囲、速度、力、衝突の可能性）。

②コミュニケーション機能

マスタアーム、ジョイスティック、音声、視線、脚による指令、司令部との通信（音声、画像、その他）。

③知的機能

シェアドコントロール（手動操作と自動作業の分担）、オペレータの疲労監視。

④その他の機能

移動機能（トラック並）、独立動力源。

c) 現状で開発されている関連システム

本文で述べているような救助ロボットは実用化されていない。日本ロボット工業会の専門委

員会「災害対処ハイパワー・ロボットシステム研究開発調査専門委員会」では適用技術、システム要件等を調査検討し、システム構想、開発課題を明らかにしている。経済的な課題の他に、技術的課題として、対人探索救助技術、対物ハイパワーマニピュレーション技術、耐環境ロボストボディ技術、耐環境ロボスト移動技術が挙げられている。

研究機関では、神戸、明治、東海等の大学で研究が行われている。東海大学は移動ロボットで人間を助け起こす実験を行っており、実際の人間を扱うためには、パワーの設定と安全性の確保が課題との結果を得ている。他の機関では、構想や基礎検討の段階が多いようである。

d) 研究開発課題

イ) 自律的複数ロボットの協調制御：災害時には複数台のロボットが必要となろう。それらの持つ機能も、種々のものが考えられる。これらロボットを効率よく組み合わせて協調作業を行わせる制御。

ロ) 不整地走行機構。

ハ) 静粛でクリーンな動力源。

ニ) 安全性：操作指令の正しさ、安全性チェック。オペレータの疲労監視。故障時のロボスト性。

e) 産業・社会への波及効果

本ロボットシステムは本質的に生産財ではなく、社会の安全に関する必要経費的なものと考えられる。本システムが実用化されても高価なものとなり、その普及も社会的なコンセンサスを得ながら限られた予算内で行われるものと考えられる。よって直接、本システムが産業分野で大きな市場を創出するとの楽観はできないが、社会システムに於ける心理的安心感の増大、そこからくる社会への信頼感や忠誠心の向上は大きなものが期待できよう。

また、本システムに採用された諸要素技術は、建設・土木、対人サービス分野等で広く適用可能なものである。

人命救助を必要とする災害は特定できない。種々の状況に1種類のロボットで対応は不可能である。そのため、ここでは機能を分けた複数のイメージを提示している。

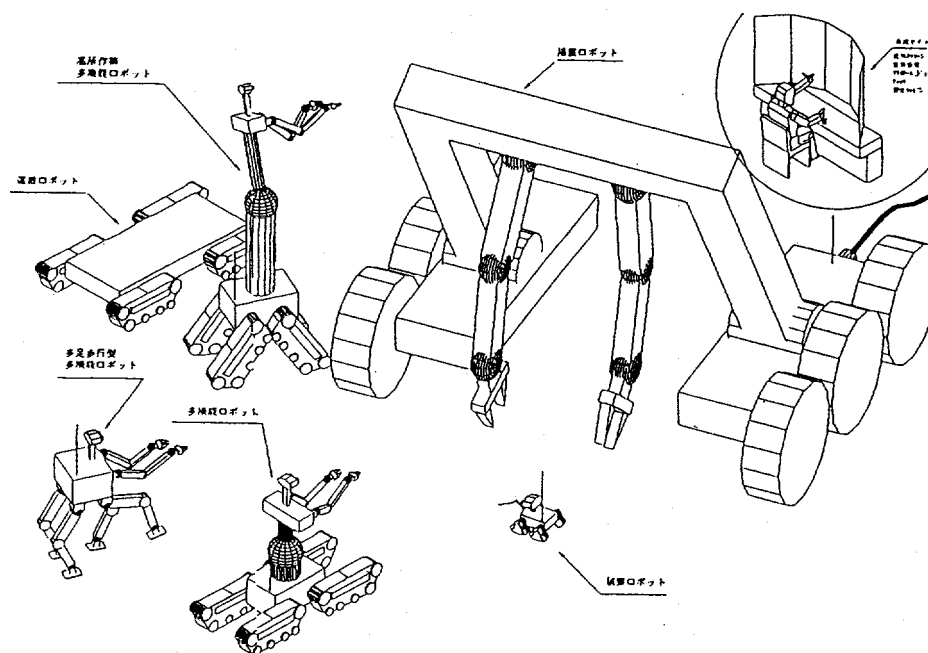


図 3.3.12 救助ロボット

3. 3. 3 重要技術課題の評価とブレークスルー

(1) 人間共存型ロボティクスにおける重要技術課題

前述のニーズ検討に基づいて、それらを実現するための重要技術課題を横断的に整理した。重要技術課題は「安全技術（安全性を確保し、人とのソフトな接触を可能にする技術）」、「コミュニケーション技術（容易なロボット操作を可能にする技術）」、「非定型作業実行技術（非定型作業の実行を可能にする技術）」、及び「人間環境適合技術（人及び生活環境の多様性に対応する知能化技術）」の四つに大別され、各々はさらにいくつかの技術課題に細分化される。ここでは細分化された技術項目について、本先導研究を踏まえて提案される本格プロジェクトの中で追求されるべき「目標レベル」を、それらの「現状レベル」との比較において検討した。

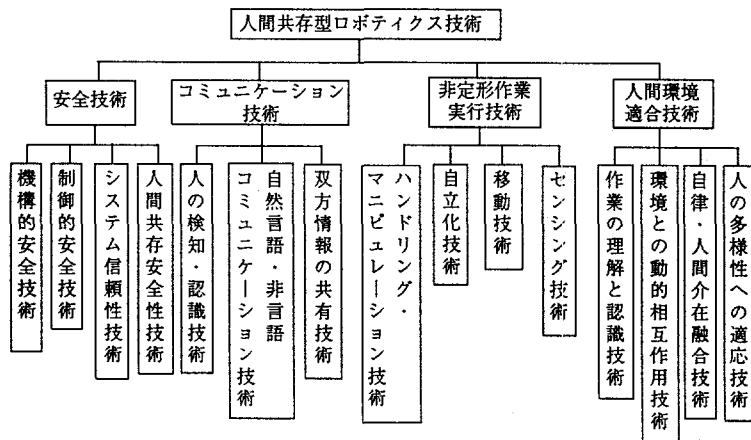


図 3.3.13 人間共存型ロボティクスの技術体系

(2) 安全技術

a) 基本的考え方

どんな機械を開発する場合でも、その前提条件として、安全でなければならない。安全を確保するための技術開発は、従来からも様々なアプローチがなされているが、人間共存型ロボティクスにおける安全技術に対する基本的な捉え方としては、従来の生産現場で使われるロボットにおける考え方とは視点を大幅に変える必要があると考えられる。従来のロボット技術では、人間とは生活・作業空間を分離することを前提とした安全技術を適用してきた。ここでは人間とロボットが同じ生活・作業空間に共存することを前提に、将来の姿としての人間とロボットのより高度な協調をめざした安全技術の研究開発における重要技術課題を抽出することとした。

安全技術には、大別して機構、制御、システムの物理的・機能的な信頼性に関わる技術と、人間と共存する場合に特徴的な対人安全性に関わる技術があると思われる。しかしながらこれらの分類における技術は相互に強く関連があり、要素技術単独で議論できるものもあれば、人間とのインタラクションにおいて議論しなければならないものもある。また、各要素技術の融合したシステムにおいてはじめて意味を成すものもある。そこで、各技術の位置づけをより明確にするために、安全技術を機能要素ごとに分類し、機構、制御、システム信頼性、人間共存安全性という4区分で議論することとした。特に、人間の生活空間との共存・協調に関わる課題を人間共存安全性の区分に入れ、機械単独の信頼性に関わる課題は残りの区分で議論することとした。

上述したように、現状は人間とロボットの生活・作業空間を分離して、たとえロボットが予測不能の動作をするようなことがあっても人間の安全性を確保することを前提とした技術が開発、適用されてきた。その代表的な要素技術を以下「現状の技術レベル」に列挙する。

人間とロボットが同じ生活・作業空間に共存し、何らかの作業を一緒にするとき、特に問題となるのはロボットと人間、及び人間が通常何気なく使っている物との接触である。このときロボットが接触・操作する物は、人間が通常の生活の中で操作することを前提として作られているので、必ずしも機械操作に適するとはいいいがたいものもある。そこで重要と考えられるのは人間との接触検知、対人間・対日常物操作力の制限・制御、及び予測不能の動作をしたときに対人安全性がより確保しやすい技術である。特に、制御ループ内に力覚センサからの検出信号に基づく目標値を導入した力制御については、絶対安定で実用的な方式は現在研究段階にあり、機構、制御など様々な面からの研究開発がなされている。その研究課題を以下「研究段階」に示す。

将来的に人間とロボットがより高度な協調作業をする時の安全技術について考えることは、技術の研究開発の方向を考える上でも重要と考えられる。そこでは、ロボットが、対象とする作業の内容を理解し、対人安全性を基本とした非常時の動作規範を埋め込んだロジックに基づく協調動作をする姿が想像される。また、心理的な面での「安心感」を人に与える機械にする必要もある。ロボットが人間の形態をしていることも、その心理的なバリヤを取り除く形態としての機能を備えていることになろう。また、清潔、修理・パーツ交換が容易、動作が容易に推定できるコミュニケーション機能などの物理的・心理的に人間に与える信頼感を盛り込んだ形態、機能を持つことも必要となろう。その課題を、以下「将来技術」に示す。

以上示した基本的な考え方に基づき、安全技術における現状技術・研究段階・将来技術の区分・整理を行った。

イ) 機構

①現状レベル

安全柵、インタロック、イネーブル装置(デッドマンSW)、メカニカルストッパ(ハードリミット)、ガード(固定ガード・インターロックガード)、カバー・エンクロージャ

②研究段階

メカニカルな過大力防止機構(骨折、パワーリミッタ、機能性流体)、接触検知、柔軟構造材、低慣性高速応答機構・アクチュエータ

③将来技術

高トルク重量比アクチュエータ、ディスプレイブル機構(感染防止)、冗長機構

ロ) 制御

①現状レベル

速度フィードバック監視、位置フィードバック監視、パラメータ異常監視、指令速度異常監視、チェックサム異常監視、パリティチェック、ウォッチドッグタイマ、データ異常監視、ソフトリミット、サーボドライバ異常監視、エンコード異常監視、電源異常監視、非常停止・安全停止SW、過電流検出、速度・動作範囲制限、センサ故障検出

②研究段階

多重系(パワー・CPU)、パワー・制御分離系、力制御、OFFロジック、人間検出(接触圧力)

③将来技術

フェールセーフ力制御、障害回復(自動、半自動)、動的再構成、高信頼化(能動的冗長化、受動的冗長化)制御、痛覚センサ、汚染検知センサ

ハ) システム信頼性

①現状レベル

誤動作検出、断線検出、回路自己診断(異常検出)、存在検知装置(ライトスクリーン、接触検知装置)

②研究段階

多重系(パワー・CPU)、OFFロジック、機能安全、耐ノイズ(電磁場)フィールド、タスク対応指令値誤り検出、知的(知識ベース)タスクマネジメント

③将来技術

動的再構成、障害回復、ホットプラグ、モジュール規格、接続性互換性保証通信プロトコル規格

ニ) 人間共存安全性

①現状レベル

パトライト等注意喚起手段、存在検知装置(超音波検知装置)

②研究段階

人間検出・認識(接触・非接触)、音声・映像警報、音源定位式対象・障害識別接触による物理的コミュニケーション技術

③将来技術

安心感を与える形態・機能・コミュニケーション技術(心理的インタフェース)タスク対応剛性制御、汚染検知、殺菌・洗浄可能、人間認識(接触位置、程度)、身体特性に合わせた接触計測・制御、負荷制御接触の可否予測、把持力制御、環境(人間)認識、環境理解、内部認識状態提示、2元構成自律システム

将来 目標 現状	協調 共存 分離	将来			
		感染防止機構 冗長機構 高トルク重量比アクチュエータ 柔軟構造材	動的再構成 高信頼性化制御 汚染検知センサ 障害回復 痛覚センサ	接続性・互換性保証 モジュール規格 通信プロトコル規格 障害回復 ホットプラグ OFFロジック	二元構成自律システム 殺菌・洗浄可能機構 人間・環境認識 接触の可否予測 把持力制御 内部認識状態提示
		低慣性高速応答機構 メカニカルな過大力防止機構	フェールセーフ力制御 力制御	知的(知識ベース) タスクマネジメント	身体特性に合わせた 接触計測・制御 物理的コミュニケーション タスク対応剛性制御
現状	分離	接触検知 カバー・エンクロージャ メカニカルストップ 安全機構	人間検出(接触圧力) 多重系(パワー・CPU) 非常停止・安全停止SW ウォッチドックタイマ ソフトリミット データ異常監視	タスク対応指令値誤り検出 ライトスクリーン 接触検知装置 耐ノイズフィールド 回路自己診断 誤動作検出	音源定位式対象・障害識別 音声・映像警報 人間検出 超音波検知装置 パトライト
		機構	制御	システム信頼性	人間共存安全性

図 3.3.1 4 安全技術マップ

b) 重要技術課題

課題の選択にあたっては、生活空間の共存・協調の観点から、人間との接触、及びその検出・認識・制御に関するものの必要性が高く、従来あまり広範な研究がなされていないか、従来の技術の延長では解決困難な課題という認識で選択した。

また、ここで使われている「接触」の具体的な意味としては、ロボットの手（足）先が人間に直接触れる作業（例えば介護）における場合に限定される物ではなく、人間とロボットの共存・協調作業（例えば建設現場支援、ホーム、オフィス作業）時におけるロボットの一部と人体の接触（予期せぬ場合も含む）、ロボットと作業対象物の接触なども含む範囲で考えることとした。ここで取り上げた課題については、現状実用化できる技術は開発されておらず、また現状技術の延長で解決できるものではなく、技術的なブレークスルーが必要と考えられるものである。

イ) メカニカルな過大力防止機構（機構）

①技術的困難度

技術的ブレークスルーが必要

②克服すべき問題点

過大力防止機構は、機械と人間との共存・協調を図る上で、人体への危害を防止する安全性の最後の砦として機能する必要がある。そこでは、タスクによって規制すべき力の上限が変わる、電源切断など最悪の条件下でも確実に機能する、もとの状態への復帰が容易である必要がある、など、様々な観点からの問題点が考えられる。また、広範な製品展開においても同様な安全性が保証される必要があり、ガイドラインづくりや、その規格化も重要な観点と考えられる。

③解決手法

本課題は、制御、回路などのシステムによる安全機能の基本要素として、最終的な対人安全性を確保する基本技術に関わるものである。したがってシステム全体の安全性確保にとって極めて重要な課題となる。その解決策としては、機能性流体等を用いたクラッチ・トルクリミッタ機構や、摩擦やスナップ機構を用いた骨折機構などの研究開発が必要と考えられる。このとき、一律にトルク・伝達力の上限値を決めることはできず、タスクの内容を理解した上で、対象とする人間の特性を考慮した設定が必要であり、また、これが可能な機構を実現することがブレークスルーを必要とする研究課題である。

ロ) 低慣性高速応答機構（機構）

①技術的困難度

技術的ブレークスルーが必要

②克服すべき問題点

機構の低慣性化は、動作中の人間との接触時の安全のために重要な課題であり、低慣性アクチュエータ等低慣性高速応答機構の開発は、これに対するキーテクノロジーである。

③解決手法

低慣性で高速応答な機構・アクチュエータの研究は、ロボット技術における一般的な課題でもあるが、対人安全性という視点でとらえたとき、極めて重要な課題として浮かび上がってくる。したがって一般的な研究開発を延長するだけではなく、人間共存という明確な目的のもとに研究開発力を集中する必要があると考えられる。

ハ) フェールセーフ力制御 (制御)

①技術的困難度

技術的ブレークスルーが必要

②克服すべき問題点

人体との接触を前提とした機械では、接触をいかに安定・安全に行うかが重要な課題である。そこでは、力フィードバックを入れた系の安定を保证する革新的制御技術が必要とされる。また、力センサについても小型低コストで長期にわたって安定なものが要求され、例えば歪みゲージ方式のような従来の技術の延長線上では実現が困難である。人体との接触計測に適する新しい発想の力センサの開発も重要な課題の一つである。

③解決手法

力を制御することは、人間共存型ロボットの動作中の安全を確保するための基本課題であり、特に対人安全性の視点から、人間を制御ループの中に取り込んだシステムでの技術開発が必要になると考えられる。こうした人間共存環境の下での対人安全性を重点においた力制御技術の研究開発を行う必要がある。

ニ) 知的タスクマネジメント (システム信頼性)

①技術的困難度

技術的ブレークスルーが必要

②克服すべき問題点

人間・ロボットの共存・協調という状況において、絶対安全を実現するために、ロボットは最適な行動を生成する知的なシステムコーディネーションを発揮できなければならない。そこでは、広範な知識の統合、意図伝達のためのシンボル化、エラーリカバリ等を考慮した実時間指向エージェントアーキテクチャの構築が要求される。

③解決手法

機構、制御などの上述した要素技術を統合して応用システムを構築しようとするとき、絶対安全性確保のために必要不可欠なシステム技術が知的タスクマネジメントの課題であり、構築しようとする応用システムの目的・機能に対する深い理解に基づいた知的なタスクマネジメント機能の実現が必要となると考えられる。従来は、特別な制約条件の下であらかじめ定められたシナリオにしたがって動作する機械について論じられているものがほとんどであったが、人間共存型ロボットにおける絶対安全性という観点からは、動作状況に応じた知識の利用・獲得・統合、エラーリカバリ等を実時間で行うための汎用アーキテクチャの研究開発が必要と考えられる。

ホ) 人間との接触を前提とした物理的・心理的コミュニケーション技術 (人間共存安全性)

①技術的困難度

技術的ブレークスルーが必要

②克服すべき問題点

人間に理解されやすい認識状態・行動の呈示、人体特性に合わせた接触計測・負荷制御 (接触可否予測、把持力制御)、さらに人間の過誤・不測を補うための協調的行動の意味付け等、人間共存を強く特徴づける技術の統合が必要である。

③解決手法

人間共存という場において、物理的に安全であることはもちろん、心理的に安心感が得られ

るという観点からの研究開発も極めて重要と考えられる。こうした心理面のアプローチは、コミュニケーション技術として論じられるべきものもあるが、対人安全性という観点から安全技術として統合されるべき部分も多いと思われる。例えば、機械の次の動作が周囲の人間に容易に予測できるよう伝達する技術があれば、人間がその情報に基づいて回避するなどの対応ができるため、安全性確保に役立つと考えられる。さらに、人間の物理的・心理的特性の理解を深め、人間の過誤・不測を補い得るような統合的な安全技術の研究開発が必要である。

以上で摘出した安全技術における課題は、包括的・統合的な議論が必要であり、また、対象が人間であるがゆえに到達すべき技術レベルを一律に決められない難しさもあり、単独の企業や研究施設が現存する技術レベルの延長線上で解決案を提示できる性質のものではない。したがって、国家レベルの主導體制のもとに将来にわたる技術を検討し、規格化、標準化を考慮した包括的な技術開発・育成をはかる必要があると考えられる。

c) 産業への波及効果

上述した安全技術は、人間共存型ロボティクスにおける応用分野全般に関わる基本技術であるが、特に医療・福祉など直接人体に接触する機械を扱う分野や、機械に対する知識を前提としない利用者を対象とした家庭での応用分野などにおいて、実用的な機械を実現するためのキーテクノロジーと位置づけられる。

また、ここで述べた各要素技術は、人間と関わる機械全般というような極めて広範な応用分野での利用が考えられる。そのためにも規格化、標準化が重要であると考えられる。

(3) コミュニケーション技術

a) 基本的考え方

機械システムと人間が共存する上で重要と思われるコミュニケーション技術に関して述べる。ここではコミュニケーション技術を、まずイ) 人間の存在を検知し、その心身の状態を計測する検知・認識技術、次にロ) 人間との情報伝達を親和的に行うための自然言語・非言語を用いたコミュニケーション技術、そしてハ) 情報の伝達を効果的に行うための情報提示技術、及びお互いの理解を高める上で重要な情報の共有化技術に関して技術評価と予測を報告する。以下にその分類項目について記す。各項目においてⅠからⅢへは、工学的手法が主要技術のものから心理学的手法が重要になるものへと推移すると考えられる。

イ) 人の検知・認識技術

Ⅰ. 人の検知・検出の技術

Ⅱ. 人の動作の計測・理解の技術

Ⅲ. 人の「心」の状態の計測

ロ) 自然言語・非言語コミュニケーション技術

Ⅰ. 認識・理解の技術

Ⅱ. 表現の技術

Ⅲ. 意志決定の技術

ハ) 双方情報の共有技術

Ⅰ. モデリング技術

Ⅱ. 報提示技術

Ⅲ. 情報共有化技術

b) 重要技術課題

イ) 人の検知・認識技術

I. 検出・検知の技術

①現状の技術レベル

大学等での研究レベルの他に、製品レベルのものもある。

- ・画像処理による人間の存在、個人特定等の研究がある。制限条件下では100人程度の判別が可能となっている。演算時間は十秒～分オーダー。

- ・可視光と赤外線の情報とのヒュージョンは、軍用ではよく行われているようである（戦車の検知等）。

- ・防犯用センサでは、画像処理によって人らしきものの検出を行うものが製品化されている。固定背景で動くものを検出し、大きさ等で人が動物かの判断をしている。

- ・家電製品では、赤外線による人と人数、場所の検出を行うものがある。エアコン等に使用されたもので、センシングは厳密なものではない。

- ・既製品の例としてふるまいセンサ（M社）がある。温度差（2度以上）を赤外線の変化として検出している。検出範囲は、左右角度50度、上下30度、距離5m程度、小動物が検出範囲内に入っても検知。また、人体が範囲内に入っても静止ならば検出されない。

②目標の技術レベル

一般的な日常生活環境において必要と考えられる状況を想定して、以下の目標レベルを設定した。

- ・人間と非人間との弁別技術。

- ・特定の個人の判別技術。

- ・複数人の弁別技術。

- ・各人の属性（年齢、性別など）の判別技術。

- ・人の視覚的・聴覚的追尾のロバスト化の技術。

③克服すべき問題

- ・画像処理に時間がかかり、実時間性がない。

- ・画像処理は、限られた環境下でないと安定に実行されない。

- ・画像処理、赤外信号処理のように、単独の情報処理では安定性、信頼性が不足。

- ・個人識別のアルゴリズムが不完全。

- ・トラッキングの技術のロバスト化と知能化。

- ・聴覚信号との融合。

④解決の方法

- ・画像処理の高速化（ハード、ソフト）

- ・一般的環境下での画像処理技術の開発。

- ・可視光及び赤外光による画像処理、音声（音紋）認識、その他センサ情報の統合技術の開発。

AI技術の活用。

- ・人間の表情、個人性等についての効果的特徴量の抽出。

⑤産業への波及効果

人間の検出技術は、人間の動線検出による居住環境評価、労働環境評価、群集流動の計測による公共空間の設計支援技術への応用としてのキーテクノロジーとなる。

II. 人の動作の計測・理解の技術

①現状の技術レベル

- ・関節角度計、加速度計等を用いた基本動作計測。
- ・人間の腕などにマーカを取り付けて動きを計測している。
- ・ジェスチャ解析のレベル。
- ・手話認識の技術は応用されつつある。
- ・顔表情の動的認識が研究レベルで実施されている。

②目標の技術レベル

人間に負担をかけず、機械システムが人間の動きをある程度理解をし親和的な行動を行うため、以下の目標レベルを設定した。

- ・無標点無拘束の動作計測技術。
- ・基本動作理解（座る、立つ、歩く、走る、つかむ・・・）
- ・顔表情の理解のための特徴計測。（文脈把握の中で）

③克服すべき問題

- ・隠蔽された身体動作の推定技術。
- ・着衣状態での動作計測。（被服の模様、身体外形の隠蔽）
- ・家具什器の存在する環境における無標点動作計測。
- ・人の動作の文脈中での理解の技術。
- ・言語（自然）理解との統合化による人の動作の理解のロバスト化。
- ・文脈の中で人の動作・ジェスチャ理解と言語理解との統合も（理解のロバスト化のため）必要であり、人工知能的ブレークスルーが必要。

④解決の方法

- ・画像処理技術の高度化。高速な画像処理ハードウェアの開発と上記パターン判別が可能な高度画像処理ソフトウェアの開発。

⑤産業への波及効果

人間の動作・表情を計測・理解することで、独居高齢者の安全確認等への住宅セキュリティ技術、動作と製品との関連から製品の評価・設計支援技術への応用としてのキーテクノロジーとなる。

Ⅲ．人の心の状態計測

①現状の技術レベル

- ・心拍・呼吸数、皮膚インピーダンス、脳波の生理状態から、ストレス、覚醒、疲労など人の状態が行われているが、主に接触式電極から信号を得ている。
- ・顔や音声から感情ファクタを抽出する技術が研究室で実施されている。

②目標の技術レベル

人間のストレス、疲労等の心の状態に応じて機械システムの動作のチューニング等を行うことを可能とするため、以下の目標レベルを設定した。

- ・非接触・無拘束計測方式の確立。（電極等を被験者に取付けずにすむようにする。）
- ・ストレス、疲労等の人の心の状況を示す計測量とその計測法及び心の状況の推定方法の確立
- ・各種モダリティの統合化された情報処理技術

③克服すべき問題

- ・心の状況を示す計測量が、作業タスクに依存する。作業タスクに応じた計測量を選択する必

要がある。

- ・ 個体内、個体間変動への対応。

④ 解決の方法

- ・ 作業タスクに応じた計測技術の研究開発とその分類から統合化。
- ・ 情報統合による推定精度の向上。生理量のみからでなく、立ち振舞い等の行動量からの情報を統合し、推定精度を高める。

⑤ 産業への波及効果

人間のストレス、疲労等の心の状態を計測・理解することで、居住環境、労働環境の評価・設計支援、人間にとって使いやすいマン・マシンインタフェースの構築への応用としてのキーテクノロジーとなる。

ロ) 自然言語・非言語コミュニケーション

Ⅰ. 認識や理解

① 現状の技術レベル

- ・ 自然言語の特定話者のものの理解の研究が研究レベルである。
- ・ 顔表情の実時間認識の研究が研究レベルである。
- ・ 動作やジェスチャ理解は、その解析のレベルである。

② 目標の技術レベル

人間と共存するロボットとの間での意志の疎通＝コミュニケーションを自然言語及び非言語で行う時、現状では人間の方に負担や拘束がかかりすぎるので、ロボット側での自然言語の理解の技術をさらに向上させ実用化できるものとする必要がある。

- ・ 学習などによる自然言語の理解のレベルの向上。

- ・ 文脈中での文章・動作の理解の技術。

- ・ 意味と“心理的メッセージ”の理解の技術

③ 克服すべき問題

- ・ 音声や表情から「心」の状態を理解する人工知能技術の開発
- ・ 「言語」と「非言語モデリタイ」との統合化技術
- ・ 文脈による意味の多義性。

④ 解決する方法

- ・ 不明

⑤ 産業への波及効果

この技術は、インタラクティブコミュニケーション技術の根幹であり、これからの情報化社会が“インタラクティブ”性を主流とするものになると考えられるので、メディア産業、エンタテインメント産業などの情報産業、サービス産業への波及効果が大きい。

Ⅱ. 音声・表情・動作の表現

① 現状の技術レベル

- ・ 録音音声の合成による文章発声。(実用化されている)
- ・ 顔表情のロボットによる実現の研究が実施されている。
- ・ 動作の表現の研究は僅かにある程度。

② 目標の技術レベル

人間と共存するロボットの間での意志の疎通＝コミュニケーションがより自然であり、人間

に心理的負担の少なく人間を活性化させるものであるためには、日常の顔一顔のコミュニケーションでのコミュニケーションモダリティを採用する必要がある、ロボットが人間の慣れ親しんだモダリティで情報を表現することが大切である。

- ・自然な響きのする自然言語発話の技術（感情付加音声など）
- ・安心感のある動作の現実技術

③克服すべき問題

- ・自然言語における感情要素の抽出と付加の技術
- ・安心感のある動作の要因分析とその力学的実現の技術

④解決の方法

- ・人間の動作や言葉の分析、心理学での“Sentic”の知見の活用など
- ・合成音声やロボット動作の評価からのアプローチ

⑤産業への波及効果

この技術は、インタラクティブコミュニケーション技術の根幹であり、これからの情報化社会が“インタラクティブ”性を主流とするものになると考えられるので、メディア産業、エンタテインメント産業などの情報産業、サービス産業への波及効果が大きい。

Ⅲ．意志決定のモデル

①現状の技術レベル

- ・感情のhard-wired modelがいくつか提出されている。
- ・SA的感情モデルがロボットの行動決定において研究されている。

②目標の技術レベル

- ・長期的なブレークスルー的研究が必要（人工の“心”のモデルは実現不可能かどうか不明）のものから、現状の技術的延長のものまでいろいろなレベルがある。
- ・応用する分野によって大きく異なると考えられる。

③克服すべき問題

- ・人工の「心」のメカニズムとして、この意志決定のモデルを考えると、克服すべき問題は山積していると考えられる。
- ・限定された条件下での応用なら、ルールベースの蓄積とその活用法でエキスパートシステムとして実現できるだろう。

④産業への波及効果

この技術は、インタラクティブコミュニケーション技術の根幹であり、これからの情報化社会が“インタラクティブ”性を主流とするものになると考えられるので、メディア産業、エンタテインメント産業などの情報産業、サービス産業への波及効果が大きい。

ハ) 双方情報の共有技術

人間にとって過酷な環境下では人間に代わってロボットが作業することが望まれているが、現在のロボットは自律的に作業する能力があまり高くない。しかし、作業能力は極めて高度なものが要求されるので、能力の至らない部分や、いざという場合には人間が遠隔操作することもある必要である。これらのシステムでは操作する人間のインタフェイスが重要である。

また、インタフェイスに用いられる情報は、画像、音声、キー（ボタン）入力、触覚、力覚、その他の運動感覚などの、パターン情報とシンボル情報の混合として存在する。

①視覚

ロボット側（スレーブ）に立体カメラを取り付け、操作者（マスタ）がHMDなどの立体視デバイスでスレーブの周りの環境を確認する。また、マスタの頭部の動きに連動してスレーブの立体カメラ架台が動く（3自由度）。NASAでは、ロボットに付けた立体カメラの情報からワークステーション上に3Dのオブジェクトをリアルタイムに構築し、実際に動いている人、ロボットの動きもWSに取り込み、例えば、人が指をさしている物の特定も可能である。

②聴覚

音については、スレーブ側にステレオマイクをつけてマスタ側のヘッドホンで再現する。また、スレーブ側にマイクを複数取り付け、その情報から2つ以上の音の発生位置を検出する研究もある。

③触覚

現在は触覚ディスプレイの場合、物にさわった感じが分かる程度で、それも1本の指先にのみ表示可能な場合がほとんどである。ロボット制御などでは、スレーブ側に圧覚センサやトルクセンサを取り付け、その情報を元にマスタアームにフィードバックする方式で、力の表示をしているケースもある（電話の活線配線ロボットなど）。

また、指先の繊細な感覚を計測するセンサ・デバイスは、近年の半導体密度の向上に伴い小型高密度のものが多種開発されている。一方、それらセンサの計測した触覚情報をマスタスレーブ操作者にフィードバックする方式は、なかなか適当なものがない。通商産業省大型プロジェクト「極限作業ロボット」で開発されたエア駆動メカニズムで人の指先に触覚情報をアナログ伝達するフィードバック装置では、触覚センサの計測密度は約30点／指先あるのに係わらず、4点の組み合わせで実現せざるを得なかった。

④平衡覚

アミューズメントなどで使用しているモーション・ベースなどを使えば可能である。

以上、示したようにヒューマンフレンドリで臨場感あふれるインタフェイスは実現されていない。テレオペレーションロボットが人間と共存する場合を対象にすると以下の通り。

1. 環境モデリング技術

①現状技術レベル

あらかじめ環境モデルの情報を持っていて、それと照合するための情報をセンシングし環境を認識するプロセス、すなわち、モデルマッチングが一般的アプローチである。しかし、室内でのモデル、屋外でのモデル等の認識のためのモデルが多種多様必要で、非常に限定された条件下でしか適用できないのが、大きな理由となっている。

単に計測器だけを見ると、超音波撮像、CCDカメラによる画像処理か、CCD+レーザによる光切断法等があり、実用に供されているものも多い。

②目標技術レベル

従来のモデルマッチングは、“認識”によるアプローチであったが、事前に持つ環境モデルのロバスト性を高めることが重要であり、より確かでより多くの情報を持ったモデルを構築することが非常に難しいとのコンセンサスができつつある。

そこで、より簡易なモデルで多種多様なセンサを融合して認識を行う方式が考えられている。これをよく、認知と呼び極端にはON/OFFレベルの単純なセンサ情報、例としては「スパナが落ちている」ではなく「有ってはいけない何か落ちている」や「火災が起きている」ではなく「正常でない状態に有る」レベルの情報を融合して環境のモデリングを行う手法が重要である。

③克服しなければならない問題

・総論

- －できるだけ簡単なモデル化。(学習等によるモデルの同定パラメータがより少ない/パラメータの影響が独立している)
- －単純情報の融合による認知アルゴリズム。
- －センサの計測信頼性向上 (H/WとS/W)。
- ・概ね既知環境＝環境モデルを事前に持てる場合
 - －環境を再度確認した上でのモデル・マッチング技術及びモデリング修正技術
 - －リアルタイム化。
 - －できるだけ低度の計算機能力
- ・未知環境：環境モデルを事前に持てない場合
 - －情報の中から形を探し出し、それが何であるかを認知し、モデル化して貯える技術。

④解決手法

・総論

- －センサに応じた簡易モデルの構築。
- －～らしきものとしてのモデル構築。従来のものの特徴でなく共通項で構築。
- －単純フィルタ (カルマンフィルタを簡易化したもの) の並列及び階層的な複数処理
- －センサフュージョンによる信頼性向上。単純には、“複数” の同じ/違う種類のセンサによる計測と処理。
- ・概ね既知環境＝環境モデルを事前に持てる場合
 - －主に環境認識センサ能力の向上による認識精度の向上。
 - －計算機能力の向上と簡単アルゴリズムの開発。
- ・未知環境：環境モデルを事前に持てない場合
 - －濃度画像 (CCDカメラなど) や距離画像 (レーザレンジファインダなど) のほかに新たなセンシングデバイスや方法の研究開発
 - －知識ベースや学習を組み合わせながらも、リアルタイム性を追求できるほど重たくならない、新しいアルゴリズムの開発。

⑤産業への波及効果

最近、遠隔メンテナンスが注目されている。例えば、海外のプラントを日本国内のスーパーバイザが現地の専門化でない現場作業員を指導しながらメンテナンスすることが考えられる。

・第1段階：信頼性の高いセンサ機器

過酷な環境とセンサの使い方をあまり知らない者も使用する。

・第2段階：プラント自己診断機能の向上

従来は計測の生データを単純に伝送していたが、知的に何らかの判断を加味した情報に加工して国内オペレータに伝送できるようになる。

II. 情報提示技術

①現状の技術レベル、及び、②目標技術レベル

これまでは主に視覚に頼るものが開発されてきた。これからは、人間の全感覚に訴えるマルチメディアディスプレイが必要となる。

③克服しなければならない問題：

- ・現状の立体視装置では、長時間使用すると疲れる、船酔いに似た症状がでる。これは、マスタの頭部の情報からスレーブのカメラを動かし、その映像をマスタのHMD等に表示するまでの時間遅れが大きいほど発生しやすい。また、現状のHMD等の立体視では、両眼の左右の視差の違った映像だけをマスタに与えるため、焦点は常に同じで、近くでも遠くでも同じ場所に表示されるため通常の見えかたと違うため疲れやすい。

- ・人の体性感覚（皮膚感覚、深部感覚）は体全体にあり現状の指先限定したとしても、力だけではなく温度、材質感、湿度などの表示も必要。

- ・何と何を、どの様に、組み合わせて、リーズナブルでそれなりの臨場感を提供できるかを明らかにする。

④解決手法

- ・各種感覚を用途に応じてどのように組合わせるかが重要となる。

- ・人間の感覚、認識に関する再点検。

- ・従来の工学分野だけでなく、生理学・心理学的な知見も含めた新たなアプローチが必要。

⑤産業への波及効果

- ・医療分野における手術装置

医療分野において、医者の遠隔操作で機械を使用した手術が行われるようになってきた。例えば、肝臓に針を刺し、エタノールを注入するガン手術の場合、人間の微妙な臨機応変な位置決めも重要だが、長時間同じ位置に位置決めすることは機械のほうが確かに有利である。

ただ、機械は前述の微妙な臨機応変な対応が得意でなく、人間の感覚に訴えるインタフェース技術の活用により、スキルを持った医者しかできなかった手術が機械の支援である程度の医者でもできるようになると思われる。

Ⅲ．情報共有化技術

①現状の技術レベル

- ・ロボットと人間とが互いに共有している情報を意識する技術はほとんどない。

②目標の技術レベル

人間はロボットの行動から、ロボットの特性・性格などについての情報を獲得し、理解できるが、ロボットと同程度に人間の行動からその人の性格を知るための能力を有する必要がある。これによって高度のコミュニケーションが確立する。

- ・行動理解の人工知能技術

- ・文脈の中で行動理解する人工知能技術

③克服しなければならない問題

不明

④解決手法

不明

⑤産業への波及効果

「Ⅰ．環境モデリング技術」、「Ⅱ．情報提示技術」で述べた産業への貢献が大きい。

将来 心のつながり	モタリテイ統合化情報処理 心理情報計測・推定 心理情報計測・推定 個体内・個体間変動対応 情報統合による推定精度向上 動作による心身状態推定	心理的メッセージ理解 意味理解 感情モデル	行動から性格認知
目標 一般大衆	隠蔽された身体動作推定 無標点・無拘束動作計測 個人の同定 人間と非人間の弁別	文脈中での文章・動作の理解 安心感のある動作 感情付加音声 感情付加音声	実時間環境モデル構築 温度、材質感、湿度などの提示 VRインターフェイス マルチメディアディスプレイ
専門家 現状	ふるまいセンサ 生体情報の接触計測 手話認識 固定背景での個人特定	動作やジェスチャー解析 顔表情の認識と発現 特定語彙の自然言語理解 特定語彙の自然言語理解	モーション・ベース フォースディスプレイ 可動立体カメラ・HMD マイク・スピーカー

人の検知・認識 自然言語・非言語 双方情報の共有
コミュニケーション コミュニケーション

図 3.3.15 (a) コミュニケーション技術マップ

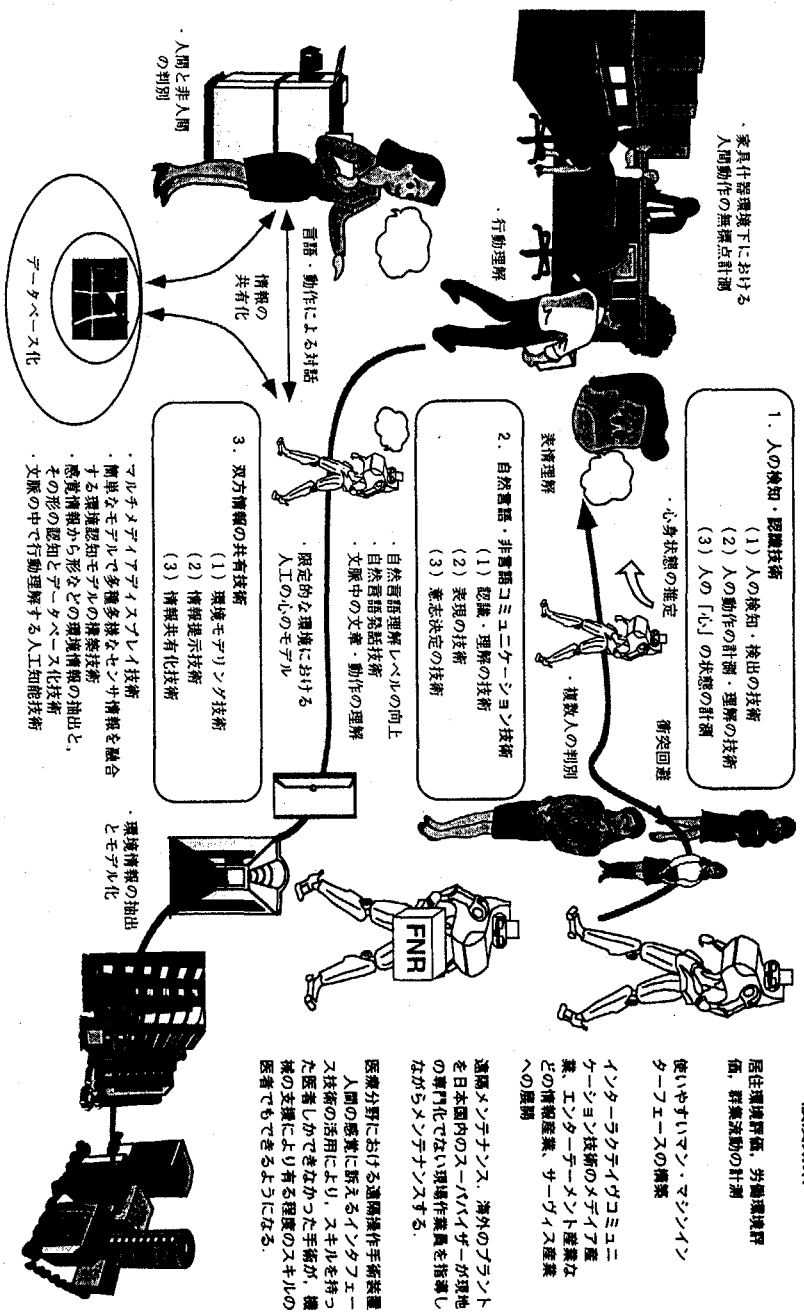


図 3.3.15 (b) コミュニケーション技術概念図

(4) 非定型作業実行技術

a) 基本的考え方

非定型作業実行技術を、ハンドリング・マニピュレーション技術、センシング技術、移動技術、エネルギー技術の4項目に分類して検討した。

b) 現状技術

イ) ハンドリング・マニピュレーション技術

実用化レベルではティーチング・プレイバック方式がほとんどである。整った環境下での定型物体のハンドリング・マニピュレーションは、センサで対象を認識、モデル化し、動作プランを立てて実行することは可能である。

また、遠隔操作型マニピュレータ技術では、腕に相当する限られた軸数のバイラテラル方式がある程度である。負荷力の大きさ、方向等は感じられ、操作対象物の制約に従った動作（ハンドル回しやドアの開閉等）が可能である。グリップ単独もほぼ上記と同様である。

ロ) センシング技術

① 良い条件での単純な環境認識に限定。

ロボットビジョンは、背景とのコントラストを大きくするなど照明系の最適化を行った状況下でしか使えないものが多い。また、外観、表情といった複数の要素をセンシングする必要がある場合には、ごく限られた範囲でしか認識できない。

② 汎用性で人間の五感に劣る。

例えば、目とCCDを比較した場合、感度や、ダイナミックレンジは劣る。また、目には超広角・望遠機能、複雑な認識に対応するために優れた網膜（感度、分解能、反応速度分布を持つ等の処理機能もある）を有する。

③ 処理速度が遅い。

リアルタイム処理に追従できるのは単純処理。

④ 少ない数（1〜）のセンサ信号処理しかできない。

⑤ 受動的なセンシングが中心。

⑥ 研究レベルで優れたセンサ、処理技術はあるが、コスト、大きさ、信頼性等の問題を抱える。

ハ) 移動技術

現在の実用化レベルでは車輪式、クローラ式の移動機構を有し、人間のいない環境で遠隔地より操作して動かすタイプのロボットと、また室内及び屋外の決まったルートをセンシングしながら自動で移動するタイプのロボットが主流である。＜例：遠隔操作型ブルドーザ、FA搬送ロボット＞

一方、研究試作レベルにおいては二足または四足脚歩行式で重心をうまく移動させながら既知の平面移動や階段昇降が可能なロボットが開発されている。また、屋内の未知のルートについても画像処理を併用して移動可能なものも現れている。

ニ) エネルギー技術

① エネルギー源

床面掃除用などの自走行式では鉛バッテリーを使用。エネルギー密度が低く、容積／重量共に大きくなる。また、メモリ効果による短寿命などの問題もある。現状のエネルギー密度は約40Wh/g、出力密度は180W/Kgである。

② エネルギー供給手段

接触型（コンセント方式）。一般充電（充電時間8時間程度）。自動化機構が複雑、充電時間が長い。

③省エネルギー化

設定された作業手順に従い、フィードバック制御の評価関数として電流値などを付加し、各アクチュエータの省エネルギー制御を行う。

c)重要技術課題

イ) ハンドリング・マニピュレーション技術

I. 多種多様な対象物、柔軟物体のハンドリング・マニピュレーション

柔軟物ハンドリング機能は、ベッドメイキングを行なう時などに必要となる。多種多様な対象物のハンドリング・マニピュレーション機能は、身体の不自由な人の要求に合わせて、身の回りの様々な物を取ってきてあげるといった、簡単な身の回りの世話を行なう時に必要となる。

①技術的困難度

状況に応じて、様々な形状の物を扱ったり、対象物自体が変形するので、予めモデル化し、動作プランをたてて実行することは不可能。技術的ブレークスルーが必要と思われる。

②克服しなければならない問題

多種多様な対象物、柔軟物を適応的に扱えるセンシング、認識、ハンドリング技術。

③解決手法

行動を通して対象物情報を獲得し、獲得した情報に基づいて次の行動を選択・修正する知覚行動循環が必要である。

II. ホールボディマニピュレーション

対象の大きさ、作業内容に応じて、指先から上半身全ての部位を選択的に利用するマニピュレーション技術。抱きかかえなどが代表例。少ない関節トルクで安定なハンドリングが実現できるので安全面からも有利である。

①技術的困難度

パワーグラスの解析から、静力学特性については調べられている。しかし、ホールボディマニピュレーションを実現するためには全身触覚が必要となり、ブレークスルーが必要。

②克服しなければならない問題

ボディー全体に貼れる触覚センサ、及びその処理技術。

③解決手法

触覚センサの開発。

III. 高技能マスタースレーブ

人間の腕及び手が持っている全ての機能を人と同程度又は人以上の能力で達し得るスレーブと、そのスレーブに加わる全ての刺激を操作者に適度な大きさで感じさせることができる双腕マスタ、腕部は6自由度以上、手部は5指×3自由度以上の多自由度操作機能や、重さ、接触（全体）、温度等の伝達を含む全刺激のフィードバック機能が必要。

①技術的困難度

多自由度化されることで級数的に重量が増加する。又、エネルギー及び信号の伝送経路も複雑になる。信号は局部的な多重通信等の解決策は考えられるが、エネルギーは困難である。これを単純化するためにはより先端側で動力の制御を行いたい。さらに人間の腕を包み込み、力を含めた全ての刺激を与えうる構造、方式が必要である。

②克服しなければならない問題

- ・マニピュレータの小型軽量化。
- ・エネルギー、信号伝送経路の単純化。
- ・全ての刺激に対する各々のセンシング技術。(スレーブ側)
- ・全ての刺激を再現する各々の技術。(マスタ側)
- ・触覚ディスプレイ技術。

③解決手法

- ・多自由度小型軽量化マニピュレータ機構の開発。
- ・より先端に配備出来るような小型軽量化された動力制御装置の開発。
- ・アーム全体の触覚センサ及び触覚ディスプレイの開発。
- ・接触再現装置の開発。マスタグリップ付マスタアームの開発。

IV. 対人操作

被介護者の関節にマッサージを施す、清拭、抱きかかえて移送する場合など、介護者の補助を行う。

①技術的困難度

機構、制御、センシング、知能面全てにわたりブレークスルーが必要。

②克服しなければならない問題

対人に対する安全の確保。身体特性、動作、表情、感情を含めた人間のモデル化。

③解決手法

- ・軽量のロボット材料、アクチュエータ、柔軟な触覚センサの開発。
- ・人間をモニタリングし、行為、意図を理解する情報処理技術の確立。
- ・人間とのコミュニケーション技術の確立。

ロ) センシング技術

I. 個々のセンサ技術の充実

信号処理レベルから認識レベルまで個々のセンサ能力を高める。

①技術的困難度

現状技術の延長上。

②克服しなければならない問題

センサ信号の解釈。リアルタイム処理技術。

③解決手法

センサ信号のリアルタイム処理。

作業コンテキストを考慮したセンシング技術。

II. 実環境認識

人間が活動できる環境下で作業に必要な環境情報認識。

①技術的困難度

作業目的によって、必要な情報の取捨選択が必要となり、ブレークスルーが必要。

②克服しなければならない問題

複数のセンサ情報の融合及びリアルタイム処理、学習、予測まで行う。システムの小型化及び経済的コストで供給。情報の選択。

③解決手法

インテンショナルセンシングの強化。

ハ) 移動技術

Ⅰ. 二足歩行式

人間と同等の走行能力を持ち、屋内外でのルート移動が可能なこと。走行地形としては、平坦地、傾斜20度迄の斜面（前後左右とも）、300mm程度の障害物、一般的な階段を対象とする。

①技術的困難度

- ・屋内の単純な二足歩行は現状技術で可能。
- ・前述した以上の条件下や、屋外での凹凸や段差のある環境において、二足歩行で安定的にかつ速い速度で移動することは現状技術では困難である。
- ・ドアの開け閉めのような、移動しながらの作業や、突然の障害物の回避、決められたルート以外の未知環境下における自己位置認識は技術的にブレークスルーが必要である。

②克服しなければならない問題

- ・二足歩行時における次動作を予測した重心の移動制御技術（動的モーメント補償）
- ・走行接地面の状態（硬い、柔らかい、前後左右への傾斜度、凹凸の有無等）を接地前もしくは接地直後にセンシングし、動作決定する必要がある。
- ・歩行面に傾斜や凹凸がある場合の脚及び足首には人間と同様の自由度が要求されると思われるため、作業環境に対応した高自由度二足走行メカニズムが必要。（移動速度及び信頼性の向上も無視できない）
- ・さらにバランスをとるための人間の足の指のように高速で微妙な力を調整する機構が必要。
- ・上記の移動機構とロボットのマニピュレーション機能の有機的結合
- ・移動する障害物が突然出現したときの緊急停止／回避制御技術や作業反力による安全性の向上も必要。
- ・屋内外での移動環境に制限されない高精度な自己位置検出システムの構築と過去の移動環境の地図データベース化・共有化。

③解決手法

- ・移動環境上の問題としては二足歩行の範囲を歩行に影響する障害物のない部分に限定し、階段や斜面上の移動は別の移動手段（エレベータ等）を用いる。また、補助的な脚を付加し安定度を向上させたり、専用のアタッチメントを装着し移動を行う。
- ・完全二足歩行が無理な場合には二脚と車輪とのハイブリッド構造や、多脚（四足以上）の走行方式を採用する。
- ・二足歩行時の次動作予測プログラムの開発。
- ・走行時の次の接地面情報（3次元情報、支持力があるか否かの軟弱度に関する情報）を高速にセンシングできるセンサの開発。
- ・上部（ボディ部）の外界との干渉を避けるため、移動機構とマニピュレーション機構を統合した機構設計及び制御手法の開発。
- ・移動／誘導に必要な高精度の自己位置・姿勢検出センサの開発。
- ・上記の移動情報の統合的データベースシステムの開発。

Ⅱ) エネルギー技術

完全自立型（バッテリー方式）以外にも半自立型としてパンダグラフやマイクロウェーブなどによるエネルギー供給が考えられるが、作業自由度の疎外や人間共存に対する安全面での懸念

念があり検討から除外した。

また、開発期間（5年）とインフラの整備状況を考えると、新方式バッテリー（燃料電池）の適応には不十分と考え現状の延長線上での方式に止めた。

I. エネルギー自立化技術

①目標方式

・エネルギー源

高エネルギー密度／出力密度の次世代バッテリー方式（リチウムイオンバッテリー）、エネルギー密度：100Wh/g、出力密度：300W/Kg。

・エネルギー供給手段

電磁誘導方式、急速充電方式（充電時間10分程度）、自動充電方式

②克服しなければならない問題

・エネルギー源

安全性や長寿命化を図った大型化、コスト低減。

・エネルギー供給手段

電磁誘導方式の高効率化、急速充電設備の小型化。

③解決手法

現在電気自動車分野で盛んに研究が行われており、その動向待ち。

II. 省エネルギー化技術

省エネルギー化での重要技術は、知能化制御技術であるが、開発期間（5年）でのコンピュータ技術の革新は難しいと考え現状の延長線上での方式に止めた。

①目標方式

予めプリワイヤリングされた環境マップと視覚、聴覚、触覚などのセンシング機能を使って、環境変化に対応した最も効率的な行動計画（ハンドリング、移動）を選択し、各アクチュエータ制御を行う。

②克服しなければならない問題

・視覚、聴覚、触覚などのセンサ融合による統合センシング情報処理技術。

・センシング情報と環境マップからの行動計画選択技術。

③解決手法

多少アルゴリズムの開発が必要であるが、ほぼ既存技術の統合で開発可能。但し、ハードウェアの高速化、小型化が必要。

④産業への波及効果

作業機械全般の省エネルギー化へのキーテクノロジーとなる。

表 3.3.3 エネルギー自立化技術

項 目		エネルギー源	エネルギー供給手段
現 状	方式	現在のロボットは一部を除いてワイヤード方式	
		床面掃除用等の自走行式では、鉛バッテリーを使用	接触型（コンセント方式） 一般充電（メモリー効果、充電時間8時間程度）
	課題	走行自由度が損なわれる	
		エネルギー密度が低く、容積／重量共に大きい エネルギー密度：40Wh/kg 出力密度：180W/kg メモリー効果がある	自動化機構が複雑 充電時間が長い（使い方によっては問題なし）
目 標 技 術 レ ベ ル	方式	高エネルギー密度／出力密度の次世代バッテリー方式（例 リチウムイオンバッテリー） エネルギー密度：100Wh/kg 出力密度：300W/kg	電磁誘導方式 急速充電時間方式（充電時間10分程度）
	技術的困難度	現状技術の延長線上	現状技術の延長線上
	克服課題	安全性や長寿命化を図った大型化 コスト低減	電磁誘導方式の高効率化 インフラ側が巨大になる（単純計算で数100Aの電流供給）
	解決方法	現在電気自動車分野で盛んに研究が行われているので、その動向待ちでよい	
将 来 技 術 レ ベ ル	方式	燃料電池方式	カセット型液化燃料の脱着 改質方式（液体燃料から水素への変換方式） 直接水素利用方式
	技術的困難度	技術的ブレークスルーが必要	技術的ブレークスルーが必要
	克服課題	高効率化 小型化	改質器の高効率化、小型化 水素の高効率貯蔵
	解決方法	？	

表 3.3.4 省エネルギー化技術

項 目		省エネルギー制御方式
現 状	方式	設定された作業手順に従い、フィードバック制御の評価関数として電流値を付加し、各アクチュエータの省エネルギー制御を行う。
	課題	作業手順が限定される 環境変化に対応できない
目 標 技 術 レ ベ ル	方式	予めプリワイヤリングされた環境マップと視覚、聴覚、触覚などのセンシング機能を使って、環境変化に対応した最も効率的な行動計画（ハンドリング、移動）を選択し、各アクチュエータ制御を行う。
	技術的困難度	現状技術の延長
	克服課題	視覚、聴覚、触覚などのセンサ融合による統合センシング情報処理技術 センシング情報と環境マップからの行動計画選択技術
	解決手法	多少アルゴリズムの開発が必要であるが、ほぼ既存技術の統合で開発可能 但し、ハードウェアの高速化、小型化が必要
将 来 技 術 レ ベ ル	方式	与えられた複数の作業に対応し、最も効率的な行動計画（ハンドリング、移動）を自律的に生成し、それに合わせ、各アクチュエータが自律的な省エネルギー制御をする。
	技術的困難度	技術的ブレークスルーが必要
	克服課題	適応型コンピューティング知能化技術 各アクチュエータの知能化と自己組織化技術
	解決手法	？

将来	汎用作業	抱き上げなどの対人操作	水素エネルギー カセット型燃料電池	脆弱地移動 自然環境移動	予測センシング
目標	非定形作業	不定形物体操作 柔軟物体操作 ホールボディ マニピュレーション 高技能マスタースレーブ	急速充電 電磁誘導 エネルギー供給 リチウムイオン バッテリー	未知環境下における 自己位置認識 移動未知障害物の 実時間回避 屋外移動 作業と移動の同時実行	インテンショナル センシング 実環境認識 能動センシング
現状	定形作業	力制御 モデルベース制御 整備環境下作業 剛体操作	一般充電 接触型エネルギー供給 鉛バッテリー 有線エネルギー供給	屋内移動 車輪・クローラ式移動機構	受動的センシング 低処理速度 環境整備の必要
		ハンドリング・ マニピュレーション	自立化	移動	センシング

図 3.3.1 6 非定形作業実行技術マップ

(5) 人間環境適合技術

a) 基本的考え方

人間共存型ロボットの実現するためには、基礎的な技術として、ロボットの挙動を支える知能、適応能力、情報処理能力などの知的側面を考える必要がある。ロボットが人間の意図を忠実に反映して仕事を遂行するためには、人間の意図を理解し、求められる作業の内容を把握し、必要な情報を獲得し、利用しながら作業を進めることを可能とするような技術確立しなければならない。さらに、ロボットが人間の生活環境に共存するためには、人間の年齢や性別のみならず、性格や癖など、多様な条件に対応して柔軟に対処しうるような適応能力を持つことが重要である。以上の議論から、人間共存型ロボットの知的側面を支える基礎技術の一つとして、「人間環境適合技術」の開発が求められるものと考え、ここではその中の主要な研究テーマとして特に、

イ) 作業の理解と認識

ロ) 環境との情報面における動的相互作用

ハ) 自律・人間介在融合技術

ニ) 人の多様性への適応技術

の4点に重点をおき、具体的技術課題の設定を行う。

ロボットと人間との関わり方の議論はすなわち、ロボットの自律性と人間介在の度合いのバランスの問題となる（図3.3.17(a)参照）。これまでロボットの研究は、単体のロボットとしてどこまで自律化できるかという、いわばロボットの知能に重きを置いた自律ロボットの方へと、遠隔操作システムあるいはマスタースレーブシステムなど、いかに操縦性、操作性を向上させるかというダイナミクスあるいは制御に重点を置いた方向と並行して進められてきた。しかしながら近年では、自律ロボットをいかにして遠隔から操縦するか、あるいは遠隔操縦システムの自律性を高めて、操作者のワークロードをいかに軽減するかといった問題が議論されており、人間共存型ロボットという枠組みを考えると、二つの方向性の境界はほとんど消滅したと言っ

てよい。そこでは、ロボットが自律であるか遠隔操縦型であるかに関わらず、人間が望むようなレベルでロボットに作業指令できることが望ましい。すなわち、細かい部分までいちいち指令したくない場合には、例えば“掃除をなさい”というふうにミッションレベルでロボットに指令を与え、細かい指定がしたい場合には、極端に言えばマスタスレーブ的に作業を進めることができるなど、人間の希望に対して柔軟に対応するための「自律・人間介在融合技術」を開発する必要がある。また、現状の技術レベルでは、前述のようにミッションのみを与えて自律的に仕事させることは困難であり、そのためには少ない情報からいかにして人間の意図を理解し、作業内容を把握するかという技術についても検討しなければならない。

人間共存型ロボティクスでは、遠隔操縦型か同一空間共存型かといったロボットと人間との共存の形式を区別せず、双方ともに人間共存型として扱うが、その場合、複数の異なる種類のロボットと複数の人間とが共存し、互いに関わりあう状況を想定せねばならない。このような状況は人間とロボットによって構成されるマルチエージェントシステムとみることができるが、こうしたシステムにおいて効率的に所望の作業を進めるためには、エージェント間の情報伝達の方法（単なるエージェント間通信といった問題以外の方法）について検討する必要がある。ロボットの技術開発においては、一般に環境条件は与えられるもので、ロボットの直接的な作業によって環境に働きかける以外は、ロボットは環境に対して受動的である。これに対して人間や動物などの生き物は、例えばアリのフェロモンに代表されるように、直接の作業目的以外に環境に対して能動的に働きかけ、情報を残すことによって、目的の行動をより効率的に遂行している。従って人間共存型ロボティクスで想定する状況においても、環境へのマーキングや環境内におけるアフォーダンスを発見することにより、ロボット間あるいはロボットと人間の間の間接的な情報伝達を行い効率的に作業を進める技術を新たな開発課題に含めるべきである。さらに、ロボットと人間の関わり方を考える場合、ロボットは複数のそれぞれ異なる人間に対して、それぞれその人間の癖や性格に応じた対応をすることが望ましい。そうした人間の多様性への適応並びに学習能力の確立も重要な技術課題である。

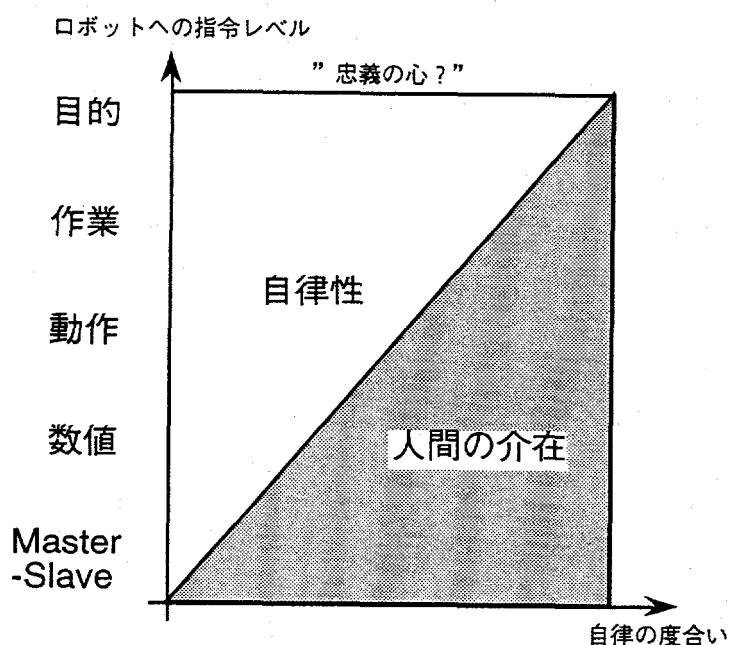


図 3.3.17 (a) 自律性と人間の介在の関係

b) 現状の技術レベル

イ) 作業の理解と認識

現状の産業用ロボットの動作教示は各アームの関節の移動量と速度を数値データで与えるNC制御か、ロボットのエンドエフェクタの移動をPoint-to-Pointで教示する方法、あるいはロボット言語を用いて作業教示するいずれかの方法が用いられている。また、これらの教示データをオフラインで作成するオフラインプログラミングも一般に使用されている。研究レベルでは、コンピュータ上の仮想環境の中でロボットを操作し教示する方法や、レーザポインタを用いてロボットを教示する方法などが提案されている。自律・遠隔融合技術については研究段階であり、作業の記述はロボット言語で行い、作業を実行するための詳細データは人間がマスタスレーブを操作することで入力する方法や人間作業をTVでとらえ、その画像の理解に基づいて作業手順を生成する方法などが研究されている。

ロ) 環境との情報面における動的相互作用

従来のロボット技術の開発においては、ロボットの稼働する環境は予め固定的に与えられるものとの認識が強く、主たる作業によって環境に働きかけることを除けば、ロボットは環境に対して常に受動的であるとのとらえかたが主流である。しかしながら人間や動物などの生き物は、例えばアリのフェロモンに代表されるように、直接の作業目的以外にも環境に対して能動的に働きかけ、環境に情報を残すあるいは環境内の「モノ」を利用するなどして、目的の行動を柔軟かつ効率的に実現している。こうした生物の特徴を参考にして、近年ではユービキタスコンピューティングやTTT(Thinks that Think)など、モノや環境に情報や知能を与え、さらにロボットがそれらと能動的に相互作用を行うことを想定したシステムの開発が始められている。

ハ) 自律・人間介在融合技術

「a) 基本的な考え方」で述べられているように、これまでのロボットに関する研究開発は単体のロボットの自律化と遠隔操作システムの二つが並行して行われている。前者はロボットの自律性を高めて人間の介在(支援)無しに自動化(無人化)を図ることを主目的とするものであり、後者は機械やロボットを操縦するという人間の介在を前提としたものである。単体ロボットの自律化に関する研究開発は、いろいろな分野で数多く行われているが、ここでは人間の介在が不可欠な遠隔操作に関する現状技術レベルについて述べる。

遠隔操作技術については、マスタスレーブやバイラテラル操作式のマニピュレータ、人工現実感などのトレイグジスタンス技術を用いた遠隔操縦ロボットシステムなど、人間共存型ロボットの基盤となる多くの技術の開発が進められている。特に、人間共存型ロボットのニーズが高い建設分野では、活火山周辺等の危険区域や劣悪環境下の工事において、建設機械の遠隔操作が実用化されている。

1994年から継続的に行われている雲仙普賢岳周辺の工事では、ダム等の大型土木工事現場で用いられているような大型の建設機械が、安全で快適な操作室でカメラ映像や各種データをもとに、非常に小型なりモコン装置で遠隔操作されている。本工事では、人間がすべて遠隔操作する方式以外に、ダンプトラックの自動運転やブルドーザのブレードの自動制御なども採用している。ダンプトラックはティーチングによって自動運転を行い、人間はスタートや停止などの指令と安全監視のみを担当する。またブルドーザのブレードの自動制御は、遠隔操作が難しいドーピング(押土)作業を支援するものであり、ブレード操作を自動化してオペレータの負荷を軽減している。これらは自律性を高めた機械の遠隔操作であり、初歩的な「自律・人間介

在融合システム」の実用例と言える。

ニ) 人の多様性への適応技術

従来のロボット技術においては、主として動的な環境条件への柔軟な対応を目的としてロボットの適応性が議論されてきた。これに対して人間共存型ロボティクスでは、ロボットが相手にする人間の多様性についても考慮する必要がある。人間の多様性に人工物がシステムレベルでどのように対応するかといった問題は、これまで主としてヒューマンインタフェースの分野で研究が進められてきており、インタフェースを介さずにロボットの直接的な適応機能としての人間の多様性への対応についてはほとんど議論されていない。

c) 重要技術課題

イ) ミッションレベルによる作業教示技術（作業の理解と認識）

フレンドリネットワークロボティクスプロジェクトにおける人間共存型ロボットに求められる機能の一つとして人間環境適合技術がある。これは、ロボットと人間が共存する場面では従来の産業用ロボットとは異なり、人間とのインタラクションのための技術を確立しておく必要がある。様々な応用分野で活躍する人間共存型ロボットを実現するためには人間の意図するとおりにロボットを動作させる技術の研究開発が重要である。

従来のロボットでは数値またはロボット言語により動作させており、知能ロボットと呼ばれるものでも、予め入力されたプログラムにしたがって動作していたにすぎない。人間の知能を人工的に実現する人工知能に関する研究は長年行われているが、人間の脳の構造や機能を十分に解明することは出来ていないし、それを人工的に再現することは現状ではかなり困難である。したがって、本研究で目指すものは人工頭脳の実現ではなく、ロボットに容易に指令を与え、作業を行わせる技術の研究開発を行う。目標とする技術レベルはミッション（目的）レベルでの作業教示とする。

ロ) 環境との情報面における動的相互作用

環境との柔軟な相互作用を行うためには、

- ①ロボットが環境に情報を残したり、環境に知能を与えたりといった行為を実現するためのデバイスや通信手段など具体的手法の開発
- ②もともと環境内に存在している利用可能な資源（アフォーダンス）をロボットが自律的に見いだして利用できるようにするための学習技術を目指し目標とする必要がある。

上記①及び②はそれぞれ、ロボットが環境と柔軟に相互作用するためのハードウェア的及びソフトウェア的技術開発に対応している。

ロボットが本来の作業以外に環境と相互作用して情報のやりとりを行うためには、通信手段に代表されるような情報メディアをハードウェア的に用意する必要がある。工業的にはすでに情報タグのようなメディアが開発され、導入された例も少なくないが、このようなタグに対してロボットが能動的に情報を書き込むといった技術についてはほとんど開発がなされていない。ロボットが情報メディアとして利用可能な具体的デバイスの実現が重要な目標技術となる。また、こうしたデバイスが環境内に設置されている場合に、それらをロボットがどのように利用するかというソフトウェア的な側面についても、技術開発を行う必要がある。特に人間と同じ環境にロボットが共存することを想定すると、人間のために用意された情報メディアやその他のモノについても、必要に応じてロボットが操作したり、利用したりすることによって、ロボットのために新たなインフラを準備することなく人間との共存を実現できる。人間環境にお

けるそのような物的条件は生産現場と異なり、全て統一されているわけではないため、環境内に存在するそうした資源の利用の仕方をロボットに逐一指定することは困難である。従って、環境との相互作用のためのソフトウェア技術の一つとして、ロボットに利用可能なモノや情報メディアを自律的に発見して利用できるようなアフォーダンス学習機能を持たせることを目標とすべきである。

ハ) タスクレベルによる作業指令 (自律行動・遠隔操作融合技術)

自律・人間介在融合技術は、ロボットの自律性と人間の介在の度合いをどの程度に設定するかによって必要な技術も目標とするレベルも大きく異なる。すなわち、人間の介在度を高くすればロボットの自律性は低く設定できる。一方、介在度が低い場合は、ロボットには高い自律性が求められる。

教育を受けた専門の人が操作するこれまでのロボットと異なり、人間共存型ロボットは素人でも使いこなせることが重要であることから、使用者が望むレベルで介在できることが最終目標であると考えられる。技術的難易度から考えた場合、細かな部分までロボットに指示して仕事させることより、大まかであいまいな指示でロボットに仕事させることの方が難しいことは明らかであろう。しかし「掃除をなさい」というようなミッションレベルでロボットに指示を与えて自律的に仕事させることは現状では不可能であり、実現までには多くの研究期間を要すると思われる。したがって、自律・人間介在融合技術については、必要な機能、開発期間等から考えて、タスクレベルを目標とするのが妥当である。ここで言うタスクレベルとは、「掃除をなさい」というミッションを作業ごとに分解して、例えば「窓を開けて、床は掃除機で掃除した後、モップをかける」というようにロボットに指示することである。このレベルの人間共存型ロボットならば、ミッションレベルと比較して比較的短い期間で開発できるとともに、素人の簡単な指示で「掃除」というミッションを達成できるため、大きな波及効果が期待できる。

タスクレベルの自律・人間介在融合技術を開発する上で、克服しなければならない問題としては、

①ロボットの挙動を支える知能

- ・人間からの細かな指示がなくても個々の作業を行う機能
- ・ロボット自身の能力に合致した作業計画を作成する機能

②適応能力

- ・作業環境を認識して適応する機能
- ・いろいろな人間に柔軟に対応する機能
- ・危険回避・安全性評価機能

③情報処理能力

- ・大まかであいまいな指示から人間の意図を正確に理解する機能 (簡易な教示方法)
- ・具体的な作業内容を把握する機能 (必要な道具の選定等も含む)
- ・与えられた指示だけで作業不可能な場合に必要な介在を人間に求める機能

などが考えられる。これらの能力は自律・人間介在融合技術にだけの課題ではなく、作業の理解や認識のための技術や適応技術などと共通する課題である。自律・人間介在融合技術が自律ロボットと人間が介在するシステム化技術であることを考えると、技術課題もいろいろな面で重複せざるをえない。①のロボットの挙動を支える知能などについては、これまでに進めら

れている単体ロボットの自律化に関する研究開発の延長と考えられるが、いろいろな人間に柔軟に対応する適応能力や情報処理能力には技術的なブレークスルーが必要不可欠である。

これらのブレークスルーが必要な技術課題の解決方法としては、自律・人間介在融合技術がシステム化技術であることから、人間共存型ロボットのプラットフォームを製作し、これを用いて自律・人間介在融合技術などの技術課題を総合的に研究するようなプラットフォーム型の研究開発が最適と考えられる。

ニ) 学習による人間の多様性への適応 (人の多様性への適応技術)

人間を相手にする場合、個々の人物に応じて様々な好みや癖があり、それらを全てあらかじめ把握し、ロボットに対応させることはほとんど不可能である。従って、ロボットが人間と相互にやりとりをしながら、経験的にその特定の人間の好みや癖を学習し、それぞれの人物に応じた対応を行うことが望ましい。従ってここでは、ヒューマンインタフェースを介さない、ロボットそのものが持つべき機能として、学習によって個々の人間の趣向や癖を見いだし、それに応じて人物毎に異なる対応を実現するような技術開発を目標とする。

d) 産業への波及効果

イ) 作業の理解と認識

現在のロボットがヒューマンフレンドリでないのは人間の感覚的な言葉や身ぶりでロボットに動作を命令したり、コミュニケーションを図ることが出来ないからである。ミッションレベルによる作業教示技術が確立すれば、人間型のロボットだけでなく、一般の産業用ロボットにも応用することが可能で、生産現場でのロボットの利用は飛躍的に進展することが期待される。

ロ) 環境との情報面における動的相互作用

環境との相互作用技術をロボットが人間の生活環境に存在する資源をうまく利用する技術ととらえれば、特にホーム・オフィス環境で人間の仕事や生活をサポートする作業に利用可能であり、従来の固定的なシステム構成から脱却できる。

ハ) 自律・人間介在融合技術

自律・人間介在融合技術は、自律ロボットと人間が容易に介在できる技術であることから、人間の介在が前提となる分野やロボットだけでは完全な自動化(無人化)が不可能な分野で特に大きな波及効果が期待される。応用分野で考えると、人間と環境を共存する福祉、医療、ホーム・オフィスと、人間の介在が不可欠な建築・土木、環境・安全・エネルギーなどの産業分野における人間共存型ロボットのキーテクノロジーなることは明らかである。また自律・人間介在融合技術の研究開発による成果は、製造業に広く用いられている産業用ロボットへの応用はもちろん、これまでにない新しい分野への適用など、新たなニーズ形成に繋がると考えられる。

ニ) 人の多様性への適応技術

本技術は人間との直接的インタラクションが密に行われる、例えばホーム・オフィス環境において非常に有効である。ホームロボットなどでは、ロボットを家庭内において長い期間使えば使うほどロボットが持ち主の好みを学習し、それに合わせて生活のサポートをしてくれるといった効果が期待できる。また、オフィスには多様な人々が立ち入るため、オフィスで毎日働いている人、訪問が頻繁な人、はじめての来客など、それぞれの人物の立場に応じた対応が求められるが、そうした煩雑な判断を可能とするような知的機能の実現が期待される。

将来	自発行為	自発的行為	アフォーダンス学習 群知能	忠義の心
	人間環境適合	ミッション指令 作業内容の自動理解・計画 ジェスチャ・自然言語での指令の伝達 作業指令	動的相互作用 環境把握と危険回避 作業に応じた環境認識	意図理解 行為理解 生理・心理レベル反応 表情検出 共存者の多様性への適応 操作者の多様性への適応 環境変動への適応 作業の多様性への適応
	人間が迎合	動作指令 数値指令 MS	障害物回避 ランドマーク 誘導線	トレイグジスタンス 音声・画像モニタ 無線操縦 ラジコン 異構造MS バイラテラルMS 自律マルチエージェント ロボット言語 ティーチングプレイバック
現状		作業の理解と認識	環境との動的相互作用	自律・人間介在融合 人の多様性への適応

図 3.3.1 7 (b) 人間環境適合技術マップ

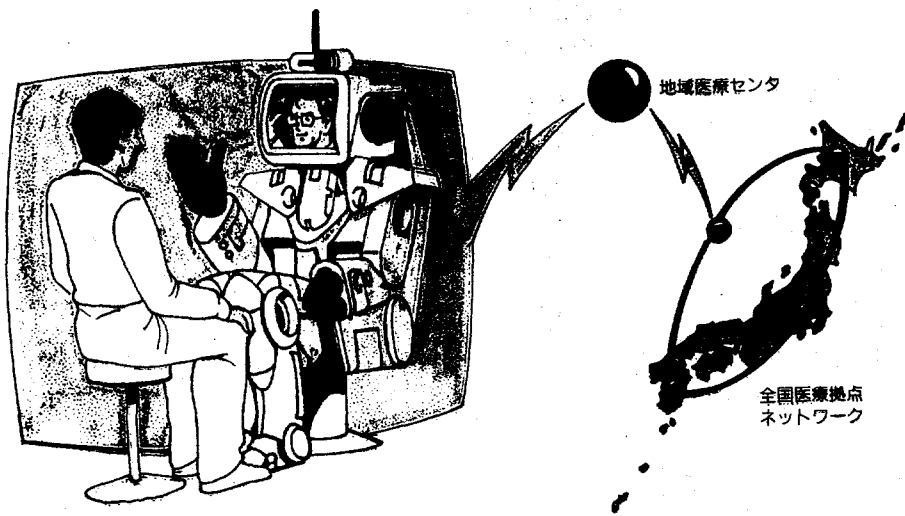
3. 3. 4 人間型ロボットと人間共存

変化のある地形を安定的に移動できる二足による移動機構、人間に代わって複雑な作業を行うことができる二腕、人間と接触または協調作業をすることができる安全性・信頼性を備えた制御機構等を有した、高い自律性をもつ人間型ロボットは、

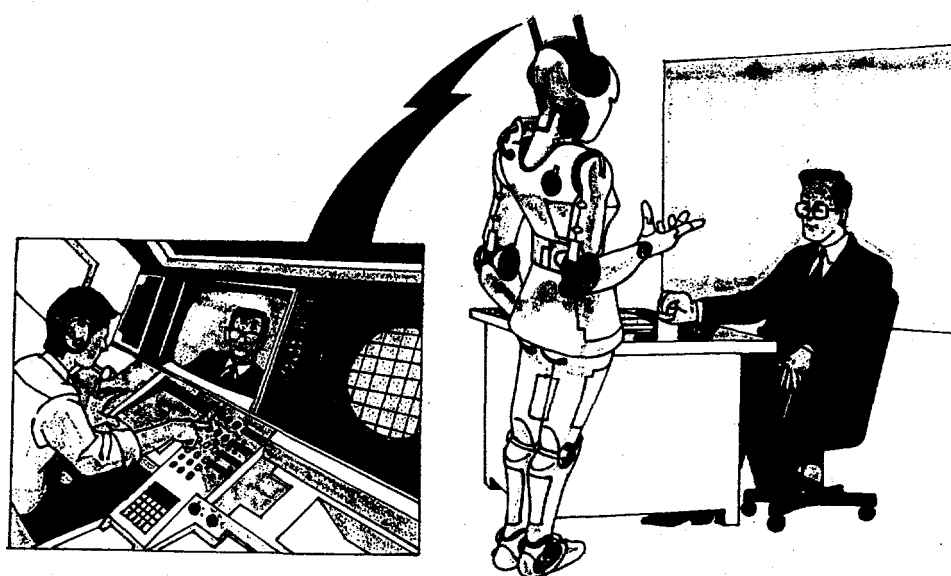
- a) 人間が活動するために整備された家屋構造、社会インフラに馴染みやすい形態を有する
- b) ロボットを使用した経験のない一般人にも親しみやすい形態を有する

といった点から、人間共存型ロボットとして適当な形態の一つであると考えられる。つまり、人間型ロボットを用いれば、特別な装置を新たに開発することなく、現状で人間が使っている装置類を同じように用い、人間が行っているやり方で同じように実行するという形で人との置き換えが可能であり、大きなブレークスルーとなる。また、ネットワーク技術との連携により実現される遠隔制御型の人間型ロボットは、場所的、時間的制約から人間活動を解放することができる。このため、危険、きつい、汚いといった3K作業はもとより、遠隔地への移動などから人間が解放され、「労働」の考え方を变えいくと期待される。

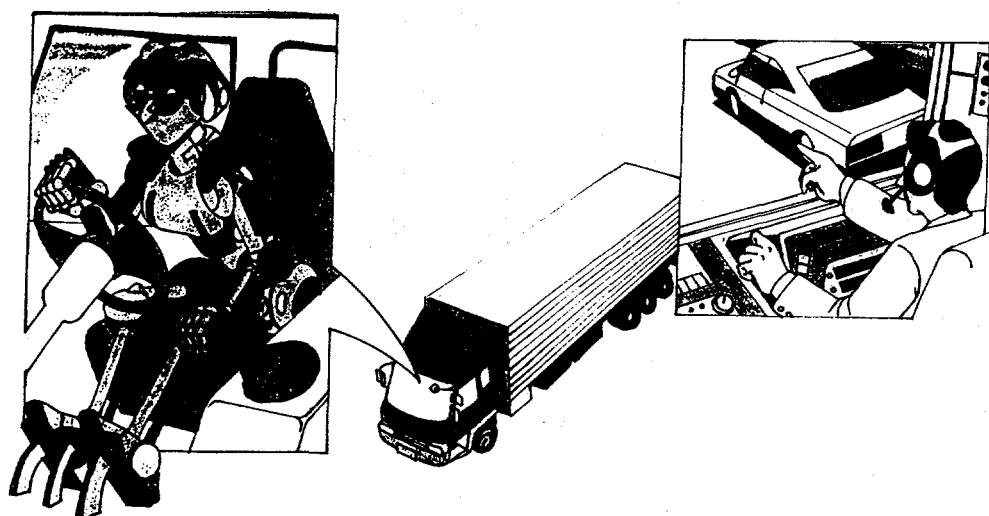
人間共存型ロボットが期待される分野に対する調査結果でも、医療分野の「高度医療支援ネットワークロボット」、福祉分野の「ヒューマンフレンドリウェルフェアロボット」、サービス分野の「人間型運転ロボット」、建設・土木分野の「ビル点検ロボット」など、人間型ロボットが適用可能な多くの興味ある例が提案された。



(a) 高度医療支援ネットワークロボット



(b) ヒューマンフレンドリウェルフェアロボット



(c) 人間型運転ロボット

図 3.3.18 人と共存が期待される人間型ロボット

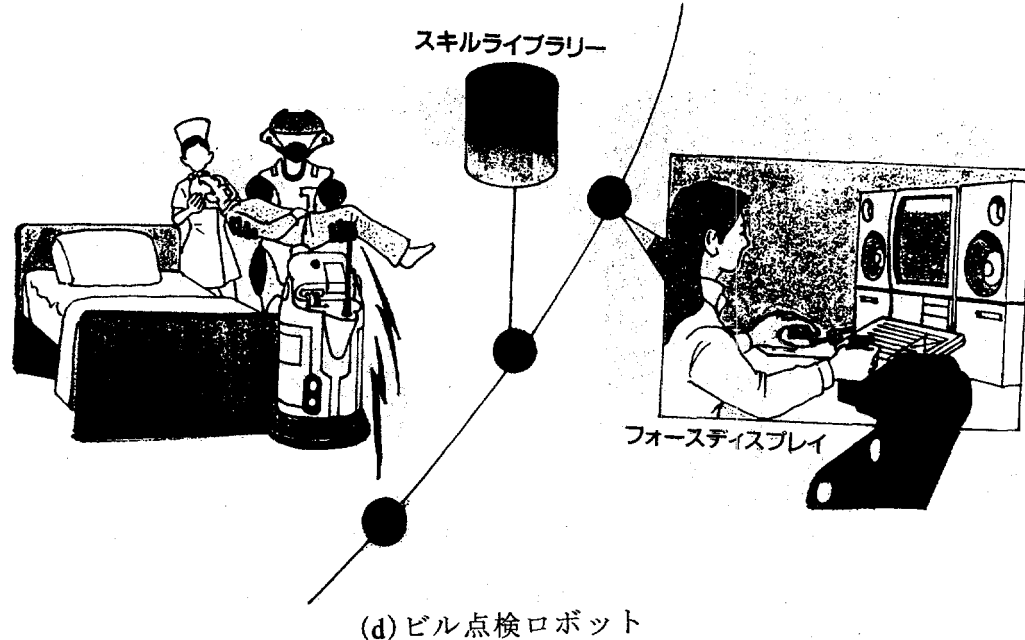


図 3.3.18 人と共存が期待される人間型ロボット (続き)

現状の技術レベルで構築可能な人間型ロボット (3.2 節 参照) を、人と共存させるには、「3.3.3 人間共存型ロボットにおける重要技術課題」で明らかにされた、「安全技術」、「コミュニケーション技術」、「非定型作業実行技術」、及び「人間環境適合技術」の各方面にわたる研究開発が必要である。中でも、「人が居る空間でロボットが動作しても人の安全性が保証される技術」、「人に親近感を与える技術」の開発が、人間型ロボットを人と共存させるためのキーテクノロジーであり、重点的な研究開発が望まれる。

3.3.5 まとめ

人間共存型ロボティクス技術は、豊かでゆとりある 21 世紀を実現するために医療・福祉や生活・文化あるいは新製造などの種々の分野で活動する人間共存型ロボットに不可欠な技術である。しかし、それらの重要度や最終的に目標とする技術レベルは、具体的な応用分野と密接に関連する。今後は、具体的ニーズに沿って必要不可欠な技術を特定し、そのブレークスルー手法を精査していく必要がある。

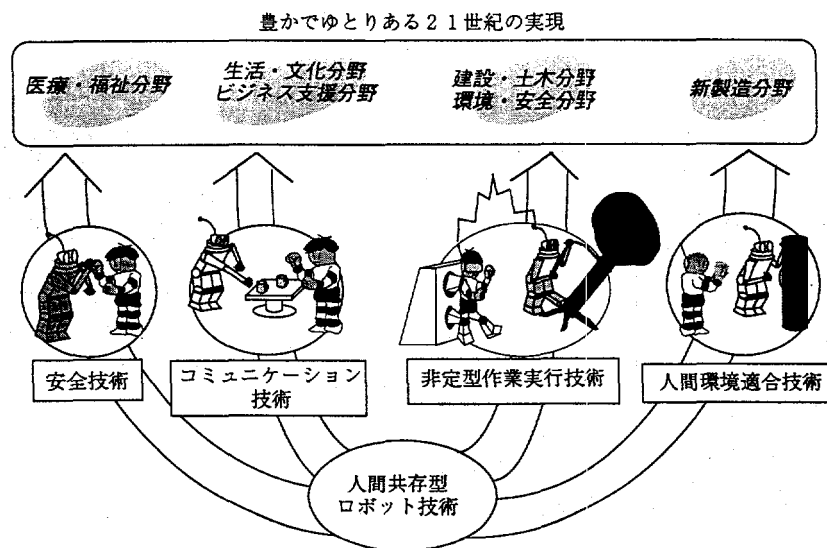


図 3.3.19 人間共存型ロボット技術の波及効果

参考文献

- 1) Strategy for unfolding a fabric piece by cooperative sensing of touch and vision, IROS'95, pp. 441-445, (1995)
- 2) 空気圧ゴム人工筋アームによるジャグリング, 13th 日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 23-24, (1995)
- 3) 多指ハンドの物体操作による把持物体形状モデルの獲得, SICE'96, pp. 207-208, (1996)
- 4) 観察に基づく協調, 13th 日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 853-856, (1995)
- 5) Intelligent Monitoring System for Limited Communication Path: Telerobotic Task Execution over Internet, IROS '95, Vol. 2, pp. 104-109, (1995)
- 6) 自動制御式プレーシングクレーン「建設機械」'85.10, 「建築学会梗概集」'85.10
- 7) 自動玉掛け外し装置(オートクランプ, オートクロウ), 「建設機械」'86.1
- 8) 6軸直交型ロボットを用いたフォースフィードバックデバイスに関する基礎研究, 日本機械学会論文誌(C編), (印刷中)
- 9) Development of a Human-type Manipulator, Bull. Japan Soc. of Precision Engg., 20, 3, pp. 191-192, (1986)
- 10) Development of a Human-Type Manipulator Using High Performance Control Cable., J.of Robotics and Mechatronics, 1, 1, pp. 42-46, (1989)
- 11) 骨格型肘・前腕関節機構の張力拮抗制御, 日本ロボット学会誌, 11, 8, pp. 148-156, (1993)
- 12) Reflex-like Control for the Coupled Tendon-Driven Manipulator, Int'l Conf. on Intelligent Robots and Systems, (1994)
- 13) 人間とロボットとの多様協調発現のための感覚行動機構, 第1回JSMEロボメカシンポジウム論文集, pp. 101-102, (1996)
- 14) ソフトウェア不要の汎用コンピュータとロボットへの応用, 電子技術1993-1
- 15) ニューロコンピュータが指向する新しい情報システムとは何か, 月間情報処理1993-1
- 16) 計測と制御, Vol.34, 698, (1995)
- 17) レオロジ-学会誌, Vol.20, 67, (1992)
- 18) ER流体の開発と応用, シーエムシー社
- 19) 高精度バランス機構の研究, 第1回ロボティクス・メカトロニクス講演会, pp. 103-104, (1989)
- 20) 建設作業用バイラテラルマニピュレータの開発, 第1回建設ロボットシンポジウム, pp. 391-396, (1990)
- 21) 三井マニピュレータ・システム, 三井造船技報/製品・技術ニュース
- 22) 重量物ハンドリング装置の開発, 第3回建設ロボットシンポジウム(1993.7.21~22)
- 23) センサベーストロボットにおける作業教示方式, 日本ロボット学会誌, Vol.13, No.5, pp. 623-656, (1995)
- 24) 生産におけるメカトロニクス, 日本機械学会第74期全国大会講演資料集(V) [No.96-15], pp. 274-275, (1996)
- 25) 情報共有型インタフェースを利用した教示システム-教時報の提案-, 第1回ロボティクスシンポジウム講演予稿集, pp. 117-122, (1996)
- 26) ロボット作業設計/実行管理システムの開発, 第1回ロボティクスシンポジウム講演予稿集, pp. 123-128, (1996)

- 27) Multimedia Communication Pendant for Robotic Task Teaching by Sharing Information, Proc. Japan/USA Symposium on Flexible Automation, pp. 483-490, (1996)
- 28) A Multi-modal Teaching Advisory System using Complementary Operator and Sensor Information, Proc. ROMAN'96, pp. 351-356
- 29) 遠隔臨場マニピュレータ, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'92論文集 (Vol.B, pp. 181-186)
- 30) ERアクチュエータのバーチャルリアリティへの応用, 第39回自動制御連合講演会前刷り, pp. 329-332, (1996)
- 31) Application of Actuators Using Particle-Type ER Fluids for Force Display Devices, Master-Slave Systems, and Medical Treatments and Welfare, Proc. of Japan/USA Symposium on Flexible Automation, Vol.1, pp. 241-244, (1996)
- 32) 電気粘性体を用いたアクティブ制御, トライボロジスト, 第41巻, 第6号, pp. 512-517, (1996)
- 33) ER流体を用いたメカトロニクス機器の制御(展望解説), 計測と制御, 34巻, 9号, pp. 687-691, (1995)
- 34) メカトロニクス機器の電気粘性体を用いた制御に関する研究分科会成果報告書(日本機械学会, P-SC237), (1996)
- 35) 両方向回転型ERアクチュエータの制御, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'96講演論文集Vol.B, pp. 1267-1268, (1996)
- 36) 高性能ERアクチュエータの開発とそのバーチャルリアリティへの応用, 第13回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 343-344, (1995)
- 37) ERアクチュエータのフィードバック制御, 第14回日本ロボット学会学術講演会予稿集.
- 38) ERアクチュエータを用いた閉リンク型力覚呈示装置の開発, 第14回日本ロボット学会学術講演会予稿集
- 39) ゴミ収集用作業移動ロボット"C-LABOR"の開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'96講演論文集, Vol.B, pp. 1441-1444, (1996)
- 40) 光ファイバージャイロを用いた車輪移動ロボットの走行制御, 第13回日本ロボット学会学術講演会予稿集, Vol.3, pp. 905-906, (1996)
- 41) H ∞ 制御に基づくロボットアームのインピーダンス制御, 日本機械学会論文集, C編, Vol.62, No.569, pp. 1503-1509, (1996)
- 42) 駆動系の弾性を考慮したロボットアームのロバストインピーダンス制御, 第14回日本ロボット学会学術講演会予稿集(印刷中)
- 43) 建設機械の遠隔操作技術, 鹿島技研リーフレット
- 44) 川崎重工技法131号, (1996.10)
- 45) 実証機用多本指マニピュレータ作業システム, 日本ロボット学会誌Vol.9, No.5, pp. 628-637, (1991)
- 46) 電気現場技術'92.6, Vol.3, 九州電力工法発表会資料
- 47) 歩行訓練機, 機論C, Vol.62, No.5, pp. 1928-1934
- 49) Development of 4-D.O.F. Manipulator Using Mechanical Impedance Adjuster, Proc. of IEEE Int. Conf. on R&A, pp. 2902-2907, (1996)

- 50) 7自由度MIAアームの開発, 第1回ロボティクス・シンポジア, pp. 179-184, (1996)
- 51) 人間との物理的・情緒的インタラクションを意識した多指ハンドの開発-開発コンセプトと製作-, 第14回日本ロボット学会学術講演会, (1996)
- 52) 人間協調ロボットの安全素材と動作制御, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会'96, pp. 1167-1170, (1996)
- 53) Emergence of Mind in Robots for Human Interface-Research Methodology and Robot Model, Proc. of IEEE Int. Conf. on R&A, pp. 1191-1198, (1996)
- 54) 人間とロボットの情緒交流に関する研究-評価ロボットWAMOEBA2の設計と製作, 日本機械学会, ロボティクスメカトロニクス講演会'96, pp. 449-452, (1996)
- 55) 動作・生体情報に基づく旋盤作業中の人間状態識別, 精密工学会春季大会学術講演会, pp. 473-474, (1996)
- 56) 旋盤作業における個人情報導出と人間へのフィードバック, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会'96, pp. 660-661, (1996)
- 57) A Vision-based Interactive System for Underwater Robots, Proc. IROS'95, Pittsburgh, pp. 561-566, (1995)
- 58) Development of an Autonomous Underwater Robot Twin-Burger for Testing Intelligent Behaviors in Realistic Environments
- 59) 異常診断のための協調的判断・操作システムの開発, 第11回ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集, pp. 33-40, (1995)
- 60) Cooperation between a Human Operator and Multiple Robots for Maintenance Works from a Distant Place, Distributed Autonomous Robotic Systems 2, Springer-Verlag, pp. 50-59, (1996)
- 61) マニピュレータシステムの原子力施設への応用, 平成5年電気学会C部門大会論文集, (1993)
- 62) 産業用マスタースレーブマニピュレータの制御, 平成8年電気学会C部門大会論文集, (1996)
- 63) A Failure-to-Safety "Kyozon" System with Simple Contact Detection and Stop Capabilities for Safe Human-Autonomous Robot Coexistence, Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 3089-3096, (1995)
- 64) 安全な接触検出及び停止機能を有する自律共存型フェイル・セーフロボットシステムに関する研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集, pp. 261-263, (1995)
- 65) 安全な人間の接触検出及び停止機能を有するフェイル・セーフロボットシステム, 第13回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 723-724, (1995)
- 66) 人間の痛覚耐性値の評価, 日本ロボット学会誌, Vol.13, No.5, pp. 639-642, (1995)
- 67) A failure-to-Safety robot system for human-robot coexistence, J. Robotics and Autonomous Systems, Vol.18, pp. 283-291, (1996)
- 68) 痛覚耐性の評価とこれに基づく人間共存型ロボットのメカニズム, 日本機械学会第1回JSMEロボメカ・シンポジア講演論文集, pp. 55-58, (1996)
- 69) 協調行動発現のための「意味空間」の提案-安全部分空間の構成-, 第14回日本ロボット学会学術講演会予稿集, (1996)
- 70) Fail-Safe Human/Robot Contact in the Safety Space, Proc. 5th IEEE Int. Workshop on Robot and Human Communication, (1996)
- 71) アクティブ・ヒューマン・インタフェース(AHI)のための顔ロボットの研究, 日本ロボット

- 学会誌, No.12, Vol.1, pp. 155-163, (1994)
- 72) 人間と協調するロボットの技術課題, 計測と制御, No.34, Vol.4, pp. 243-247, (1995)
- 73) 表情のモニタリング, 計測と制御, 計測と制御, No.34, Vol.4, pp. 248-254, (1995)
- 74) 顔ロボットにおける6基本表情の動的実時間表出, 日本ロボット学会誌, No.14, Vol.5, pp. 677-685, (1996)
- 75) 人の顔の6基本表情の実時間認識, 日本ロボット学会誌, No.14, Vol.7, pp. 994-1002, (1996)

3. 4 ネットワークベースロボティクス

3. 4. 1 はじめに

(1) このWGの目的

ネットワークベースロボティクスWGでは、ネットワーク技術とロボット技術とを融合することにより可能となる新たなロボットシステムについて、その構築のための要素技術、こうしたシステムにおける人とロボット、あるいはロボット同士のコミュニケーションに関わる技術、および R キューブに代表されるような体験型ロボットシステムを始めとするネットワーク融合型ロボットシステムの様々な利用技術課題の調査を行った。

(2) 活動経緯

限られた時間の中で、効率的に検討を進めるため、当WGでは各会合の開催の前に各委員に各回の議題に関し、e-mail でアンケートを行い、WG当時は集中的な議論を進めるという方針で進めた。実施したアンケートと開催した会合は以下の通りである。

アンケート

10月15日 本プロジェクトに関する基本的イメージについて

10月23日 応用システムのイメージ

10月31日 応用システムの図の作成、技術要素項目の再検討

会合と議題

第1回WG 10月23日 主な議事：基本的イメージの交換、論点の検討

第2回WG 11月18日 主な議事：技術要素の検討

第3回WG 12月16日 主な議事：応用システムの検討

(3) 主な成果

以上のアンケートや会合での議論を通して、下記に示す項目を具体的な技術要素として抽出した。

- ・自律遠隔協調／通信制御融合
- ・マンマシンインタフェース
- ・通信／ネットワーク／プロトコル
- ・分散 AI、ネットワークメカトロ、ロボティックルーム
- ・多自由度動作メディア
- ・システム構築

それぞれの内容は次節 3.4.2 から 3.4.7 節に詳細が説明されている。また、個々の技術要素を応用したシステムについて、イメージ図の作成を行った。これらについては 3.4.8 節にまとめた。

3. 4. 2 自律遠隔協調/通信制御融合

(1) 定義(概要)

自律システムと遠隔操縦システムとの機能協調は、ロボットの高度化・知能化及び適用領域の拡大を図るうえで極めて重要である。自律遠隔協調(Shared Autonomy)は、このような協調作業を行う場合の、「人間とロボットとの効率的な作業分担（自律センサベースシステムと遠隔操縦システムとの相互補完）」と定義できる。特に、システムとして動作する場合、個々の作業レベル（知識レベル・動作レベル等）によってロボットと人間が画一的に分担するのではなく、状況・局面に応じて柔軟に協調・補完することが理想である。このためには、センシング技術やリモート技術等の核となる要素技術の高度化・複雑化に加えて相互のインターフェース手段やロボットの親和性（外観だけでなく制御・動作としての親和性）等についての新しい提案が必要になるものと考えられる。

一方、ネットワークやロボット群の制御・協調といった視点からみると、「自律分散型機能モジュールのネットワークによる統合（目的・用途に応じた機能モジュールをネットワークにより統合し全体として高度な作業を達成する）」と考えることもできる。この場合、機能モジュール、知識データベース及び人間等を連携するネットワークがシステムを中心であり、個々のセルの高度化に合わせてシステム全体の向上を図ることができる。いずれにしても、高度に協調していくためには、対象・環境に対するモデルの構築とネットワーク上での共有及び実時間での相互更新が重要な基礎技術となる。

自律遠隔協調は、テレロボティクス、テレイグジスタンス技術等の進展に伴い新しく求められてきた技術要素である。その定義・概要についても、ベースとなる要素技術の進展と応用分野の明確化にともなってより具体化・体系化が進むものと考えられる。

(2) 現状と課題

(a) 自律遠隔協調における自律性

イ) 現状

従来のロボットとは、自立性（物理的に独立したボディ）をもち、自律性（情報的にも他と独立して、即ち自己のセンサ系と意志決定系および制御系）により、置かれた環境下で、与えられた行動目的を具現化しうる機械であるといえる。一方、今回対象とするロボットは、ネットワークをベースとして「遠隔」かつ「協調」を可能とするものでなくてはならない。遠隔作業においては、当初直接操縦であったものが、スーパーバイザリコントロール方式が提案され、さらに最近協調・協同作業等のより積極的かつ平等的な方式“Shared Autonomy”に発展してきた。ロボットが協調的であるとは、ロボットが自己の行動を自分のもつ情報と自分の行動目的に照らして決定するのみならず、他者（人またはロボット）のもつ情報と他者さらには社会の意志や目的にしたがって行動を決定ことを意味する。したがって、ロボットの行動原理として自律的であることと協調的であることには、相反する部分がある。

ロ) 課題

複数のロボットが協調しているとは、個々が独立して動いており、何らかの共通の目的に沿って働いていることをさす。したがって、複数のロボットの協調を議論するには、まず、それらロボットがどのように独立しているか、さらにそれに応じた課題を考える必要

がある。

以下に、独立性のレベルと解決すべき課題をマトリクスで示す。

表 3. 4. 1

独立性のレベル	システムの組織化	コントローラのアーキテクチャ	制御アルゴリズム
多自由度協調 動作レベル	----	----	冗長度を有する多自由度の制御 法
複数制御系間 の協調	----	全体の分散化	独立したプログラムによって多 自由度の協調的動作を可能とす る並列アルゴリズム
群による協調	協調創発のメカニズム 全体システムの目的達 成のための意志決定	分散している個々に情報 伝達する技術 センサ・環境情報の共有 化の方法	個々のローカルな環境情報のみ のフィードバックだけで全体シ ステムとしての機能と頑健性が 確保できるアルゴリズム

以上の協調に関連した技術のみならず、自律機能による制御から人間の操縦による制御への制御状態の切り替え等に Shared Autonomy 理論を応用した具現化技術を開発する必要がある。

(b) 遠隔操作（遠隔制御）

イ) 現状

現在、近距離でのロボット操作はいろいろ研究され、かなりの成果があがってきている。最近では操作性をあげるために、操作対象からの力感など、（操作）環境情報のフィードバックがかなりなされてきている。それに対し、遠隔操作は土木重機の遠隔操作などに使用されているが、一般的な利用にはまだまだ至っておらず、ほとんどが研究レベルである。また、遠隔系を構成するために、最近話題になりつつあるネットワーク技術を利用しようという動きが出てきている。

ロ) 課題

遠隔系においての問題点を以下にあげる。

・通信遅延

多数の機器がネットワークを使用するため、負荷状況によって転送速度が変化する。

・通信途絶

規模が大きくなればなるほど、不具合の発生する確率はあがる。

・通信容量不足

近距離であれば大容量のデータ線を使用（データ線の本数を増やすなど）すればよいが、遠距離となると近距離ほど簡単に大容量にできない。

上に示した問題点を解決するための課題として、以下に示す項目が考えられる。

・データ転送速度の高速化

・信号伝達遅れ補償

通信遅延による指令の遅れを補償する技術。

- ・指令の抽象化

通信容量の不足を補うために、細かな指令を行うのではなく大まかな指令により対象の動きを操作する。また、操作対象は大まかな指令を理解するだけの賢さを持たせる。

- ・伝送データの高圧縮技術

通信容量の不足を補うために、操作対象から送られてくる情報を高圧縮により小さなデータにして送る技術。

- ・通信途絶に対するバックアップ

- ・時系列の補償

現在のネットワーク技術を用いた場合、送信側から発信したデータの順番が受信した側で保証されないので、そのデータの順番を保証する技術。

(c) 自律系と遠隔系の融合

イ) 現状

人間から見ると、本来自律性の高いロボットが望ましく、その場合には最終目的だけを指示すれば後は適当にやってくれる。その意味から基本的に自律機能は究極的には完全自律が望ましいが、日々進歩することが期待されるため遠隔と自律機能の区分を固定化して決め付けることは困難でもあるし、賢明でない。従って、その時々における短期的な目標設定にならざるをえない面がある。

ロ) 課題

自律性が完全でない以上、自律系と遠隔系の融合に対しては、人間の介入のために必要な情報をいかに共有するかが基本的な問題となる。

自律系：

- ・遠隔操縦のための基本的な自律動作の実現法と遠隔からの制御方法

漠然とした命令から適切な自律動作が発現できるようにするための、状況変化に対応可能な基本的な動作パターンの持ち方、対象の指示方法。究極的には意図・感情の理解・察知。

- ・感覚を含めた情報の取得

センサフュージョンシステムの実現。特に感覚機能において重要と考えられる視覚機能の高度化。現状では任意対象、任意環境の3次元認識は不可。対象・環境の限定、投影系の併用等により3次元計測が可能な段階。

- ・自律/遠隔の自己判断機能

自己ヘルスマモニタリング的な監視、評価機能。自己回復も出来ればベスト。

- ・ロボットの周囲とのコミュニケーション。

周辺にいるロボット群との群制御/協調のための情報共有手段。人間とロボットを区別しない群協調制御。

遠隔系：

- ・自律部とのスムーズで連続的な share

動作レベル、動作計画レベル、目標・目的レベル、意図レベル等の各フェーズにおける share, 介入の方式。

- ・移動/作業経験の蓄積、共有化技術

移動/作業用の環境地図のフォーマット化、センサー情報等の付随するさまざまな情報の統合フォーマット化。一度やったこと、ほかのロボットがやったこと、別の情報源から分かっていることなどを、有効に使ってロボットがネットワーク全体としてだんだん賢くなるようにする。

インターフェース：

- ・人間の理解手段の高度化

遠隔臨場感、人工現実感の高度化。自然言語、感性情報処理。

- ・身振り、動作によるコミュニケーション技術。

人間の身振り・手振り等を認識する人間的コミュニケーション。特にロボットの周囲にいる人間との直接のコミュニケーションには重要。

(3) 目標

自律遠隔協調システムが持たなければならないと思われる機能は、自律系としての自律性の高さや遠隔性としての操作性の良さ及びその2つが協調し作業を効率良く行うことである。この3つの機能は各々独立して考えられるが、システムとしての高い整合性を取るためには、3つの相互作用を何らかの形で規定することにより単純な組み合わせを超えた機能同士の有機的な融合が期待できる。この規定は、システムにスーパー・バイザリイ的に関わる遠隔操作者（オペレータ）の操作性といえる。ヒューマン・マシン・インターフェースの課題である。

オペレータの操作性は人間が対象となるため極めて定量化の難しい指標であるが、メカトロニクス・ロボット・制御・通信技術が各々かなり進んでいる現在ではこの操作性を真正面に捉えることによって、各々の技術が融合しあい新しいフェーズに達することが可能となる。

本システムでは、対象とする自律遠隔協調システムを具体的に想定して、自律性・遠隔性・協調を各々支える技術を決め、オペレータの操作性がどのようになるかを検討し、各々の技術がどのように関わることにより操作性が向上するかを目標とする。

具体的な一例として、建設重機（バックホウなど）の自律遠隔協調を考える。自律性としては、ブロック積みなどの定型作業のプログラム化・GPSと連動した位置・姿勢制御、遠隔性としてはPHSを用いた動画像伝送・力感覚伝送・音伝送・制御信号伝送、協調としては2台の重機による作業といった明確な機能の設定を行い、オペレータの操作性を検討する。検討の結果が各機能にフィードバックされ操作性が向上される。ここでは明確な方法論を得るのは難しいが、操作性の向上そのものを目標とすることによって自律遠隔協調システムの完成度を高めていく。

3. 4. 3 マンマシンインターフェース

(1) 定義 (概要)

マンマシンインターフェース (以下マンマシン I/F) とは、広い意味では人間とロボット間の情報伝達の方法を提供するものであるが、ロボットの形態 (自律型/遠隔操縦型) に応じて異なる形態が考えられる。

自律型ロボット: この場合、ロボットは自律的に行動できるので、人間はロボットに対して「目的・作業レベル」での指示を行なうだけでよく、ロボットはその作業指示を認識できることが必要である。また、ロボットはロボット自体の状態を人間に伝達する方法を持っている必要がある。いずれの場合も自然言語や直感に基づくレベルでの人間とのコミュニケーション手段が理想的である。

遠隔操縦型ロボット: ロボットは「動作レベル」での指示に基づいて行動する。人間がロボットの自律性の低さを補う必要があるため、ロボットの状態は人間の五感に近い形態で直接的にフィードバックされることが理想である。その意味で Haptic (触覚) は遠隔操縦型ロボットにおけるマンマシン I/F として重要な位置づけにある。

「Haptic "Master-Slave" operation」は以下の要素から構成される。

- ・マスター出力要素: 人間であるオペレータの手や指の操作 (位置、姿勢、力の入れ具合) をセンシングして遠隔のロボットに伝達する。
- ・フィードバック要素: ロボットアームが対象物に触った感覚をオペレータに忠実にフィードバックする。

Haptic の定義として、ここでは力覚を中心とした対象物の形、剛性、温度、摩擦、慣性、素材感などを想定する。

(2) 現状と課題

(a) 自律型ロボットにおけるマンマシン I/F

イ) 現状

人間とロボットとの間で決めておいた共通のシンボルを作業指示や状態に対応づけ、そのシンボルを通してコミュニケーションを行なっている。

記号化、図形化されたシンボルを使用する場合の例としては

キーボード、マウス、タッチパネル、CRT, HMD

などが典型的である。

音声入力や音声出力は、音でシンボルを表現する場合の例である。音声入力では予め登録した単語を識別する方法が主流であり、文脈の理解までには至っていない。音声出力においても、予め録音された単語、文章の中から選ばれたものを再生する方法が主流である。

ロ) 課題

- ・自然言語、直感型 I/F によるコミュニケーション技術

ロボットの自律性が高くなり、かつ、人間のように道具を利用する事で複数の作業を行えるようになった場合、有限のシンボルだけに頼るコミュニケーションだけでは I/F としての自由度は限られたものになってしまう。

- ・人間と複数ロボット間のコミュニケーション

ネットベースロボティクスの観点からは、複数のロボット同士の通信だけでなく、人

間と複数のロボット間の通信（1対多）も重要である。協調作業を行なう複数のロボットを一個の群と捕らえて人間とのコミュニケーション手段を考える必要がある。

・ロボットの環境協調技術

走行時における障害物回避等、現状技術は自律性に関しては研究が開始された段階であり、周囲の環境に適合するには至っていない。福祉・看護などのロボットを研究するにあたっては自律性を持たせる上で環境に協調できるロボット、融通性の効いたロボットがマンマシン I/F の観点からも必要となる。

・ロボットのデザイン

人間と協調する上でデザインは重要な要素となる。I/F を検討する上でロボットの構成や機器の配置など違和感のないデザインが必要である。

(b) 遠隔操縦型ロボットにおけるマンマシン I/F

イ) 現状

Haptic では入力（オペレータの操作のセンシング）と出力（力覚提示）の2つの段階での自由度が考えられるが、現在入力は1自由度から6自由度（x, y, z, yaw, roll, pitch）までほぼカバーされている。このセンシングには、磁気式、カメラ式、光学式、機械式、超音波式、赤外線式（またはこれらの組み合わせ）などの3次元センシング技術が利用される。

一方出力は6自由度まで実現しているものもあるが、一般的にはまだ実用レベルまで達していない。

触覚ディスプレイドライバには、国内外で製品化されているものがあり、ネットワークを通じて master-slave として利用されている研究例もある。また、フィードバック付きロボットアームも開発されているが、行なう操作によって、デバイスの形態や精度、レベル、入出力自由度、要求仕様が異なる。

視覚に関しては3D映像システムが使われるようになってきたが、視野の狭さ、解像度など不十分な点が多い。また、映像を通して作業することから人間工学的に無理があり、違和感からくる心理的不安や疲労感が否めない。

その他に聴覚、臭覚など人間が知らずに感じている感覚に近づけることに関する研究はあまり進んでいない。

ロ) 課題

技術的問題：

- ・自由度を制限せずに5本指及び手のひら全体に対して、どうやって自然なフィードバックを返せるか
- ・力フィードバックに素材感や温度などの異なる皮膚感覚をどう組み合わせるか
- ・6自由度の力覚提示は必要？
- ・小型軽量化

デバイスの装着感：

理想的な形としてはなるべく何も装着せずにその感覚を得る方がよい。特に手足にいろいろ付けることはオペレータの自由度を大きく阻害する。

提示力とスケーリング：

操作によってどの位までのトルクを必要とするか（マクロにもミクロにも）。また master-slave 間の力のスケールダウン、スケールアップの値はどう設定するのがベストか（対

象となる操作によっても異なる)。

安全性：

ハプティックデバイスはモータを利用するため、それ自身凶器となる可能性がある。安全機構や安全規格をどう実現するか。

標準化：

- ・力覚パラメータの一般定義（堅さ、柔らかさ、ざらざら感、粘性などの数値化、定量化）
- ・ハプティックとしてのプロトコルの定義
- ・master-slave 間で交換するハプティックデータの種類、フォーマット、リアルタイム性とデータ量などの取り決め。
- ・生体運動計測等による人間（マスター）の違和感・疲労感の研究（操縦性）

(3) 目標

自律型ロボットのマンマシン I/F としては、

- ・自然言語や感情、身振りなど直感に基づくコミュニケーション手段
- ・ネットベーストロボティクスの観点から、ネットワークを構成するロボット群と人間とのコミュニケーションの手段

が当面の目標である。最終的にはロボット対ロボット、人間対ロボットで共通のコミュニケーション手段が求められる。

一方、遠隔操縦型ロボットでは、

- ・大きな力を必要とする大型ロボット操作と、TeleSurgery のような細かい作業によって何種類かのハプティック技術の使い分け
- ・場合によっては触覚情報の別の形—色、音声、光—での提示が、当面の目標である。触覚の伝達レベルとしての目標は以下の通りである。
- ・第1段階ではマスター側で手持ったデバイス（ジョイスティックやグローブなど）を介して触覚を伝達する。
- ・第二段階では、腕、肘、肩まで含める。
- ・最終的には手の平や5本指全体の触覚を伝達、さらに足やその他の体の部分で感じる触覚や体勢感覚まで含めて伝達する。

また、いずれの段階においても

- ・目標値の設定などCADとの連動、シミュレーション技術の確立は関連する重要な技術目標である。

3. 4. 4 通信

(1) 概要 (定義)

フレンドリ・ネットワーク・ロボティクスにおける中核概念となる通信について、その特質、現状の通信技術とネットワーク・ロボティクスにおける課題について述べる。

通信技術はコンピュータ技術・エレクトロニクス技術の発展とともに、急激な進歩を遂げている分野である。音声情報の伝達を主体にアナログ電話網という形で発展してきた電気通信ネットワークは、近年、コンピュータの発展とともに、コンピュータ間でのデータ通信手段としての役割を増大させている。これとともにネットワークのデジタル化の進展が著しい。デジタル化の大きな特徴は音声であれ映像情報であれ、デジタル化することにより、同一のネットワークを使ってデータの授受が可能になることである。マルチメディアもしくはマルチメディアコミュニケーションはこの特徴を端的に表したものに他ならない。近年のインターネットの爆発的ともいえる社会への浸透はこのマルチメディアコミュニケーションを具現化したものであり、今後、社会の様々な領域でデジタルネットワークが極めて重要なインフラストラクチャとなることは間違いのない事実である。

ところで、情報のデジタル化によるデジタル通信はコンピュータ間でのシンボリックな情報はもちろん音声情報、さらには映像情報を容易に授受することを可能とした。すなわち人間の聴覚、視覚に関わる情報の伝達を可能にしている。これらに運動（動き）の情報を加えることが出来れば、ネットワーク経由の離れた場所に運動（動き）を伝えることが可能になる。このような視点に立つとロボットはネットワークに接続され遠隔のシステムからの運動情報を実世界で実際の動きに変換する装置と捉えることができる。すなわち、通信と結びついたロボットは距離を超えて、遠隔地から特定の作用を実世界の対象に及ぼすシステムと考えることが出来る。この観点からロボットにおける通信を以下のように定義することができる。

通信：実世界と相互作用を行う機械（ロボット）を距離、時間、物理的サイズを超えて利用可能とするメカニズム（システム）

言い換えればネットワークロボティクスとは、ネットワークを利用して、距離、時間、物理サイズを超えて、実世界に相互作用をおこなうことのできるシステムと捉えることができる。

また、従来の通信とロボットにおける通信を比較すると、以下のような差異がある。

「データ通信や音声や映像の通信の場合、通信された情報は直接的に実世界に作用を及ぼさないが、ネットワークロボティクスにおける通信情報は直接的に実世界に作用を及ぼす内容を含む」

この差異によりネットワークロボティクスにおいては通信においては以下のような特質を有する。またこれらに関連する通信システムとしての重要な要素を以下にあげる。

・ロボットは実世界と相互作用を行う機械であるため、不確さの内在する実世界で所望の動作を行うためには、完全な自律能力を持つロボットでない限り、作業環境や作業状況などの様々な情報をセンサ等により獲得し、ロボット側から送信する必要がある。このため通信システムとしては双方向通信の能力が求められる。また作業環境、状況を的確に伝達させるために十分伝送帯域が不可欠である（伝送帯域）

・遠隔操作（いわゆるテレオペレーション）においては、オペレータとロボットが作業

空間、作業対象に関する情報を共有しつつ、会話的に処理を進める。会話処理を円滑に進めるためには、通信による遅延が人間が無視できる程度でなくてはならない。

(通信遅延)

- ・オペレータからの作業指示とこれに基づくロボットの実世界の作用、さらにこの作用により得られた結果とこの情報のオペレータへの提示という因果関係(時間関係)を保持した情報授受を通信システムとして保証する必要がある(通信プロトコル)

- ・現実のネットワークにおいては伝送容量に制限があり、また伝送遅延やさらに後述するような様々な処理遅延がある。このためロボットとどのような情報のやり取りを行えば、伝送容量の問題や、遅延の問題を回避しつつ、確実な動作をロボットにさせることが出来るのかを考慮する必要がある。すなわち、ロボットとやりとりする情報の質について議論が必要である。またこのためには情報システムとしての参照モデルを構築しておく必要がある。(情報記述)

以下では、これらを基本視点に据え、通信、ネットワークの現状、ネットワークロボティクスに利用する場合の問題および課題について述べる。

(2) 現状

ここでは、現状ネットワークロボティクスで利用可能なネットワークとして、公衆ネットワーク、LAN、インターネット型の3つのカテゴリに分けて、現状について述べる。

(a) 公衆回線サービス

デジタル公衆回線サービスにおいて最も一般的なものはISDNサービスであり、国内ではINSネット64と呼ぶサービスが近年急速に普及してきており、現在では新規電話加入ユーザの半数以上が従来のアナログ電話ではなく、INSネット64への加入となっている。ISDNサービスでは64kbit/sの情報チャネル2本(Bチャネル)と16kbit/sの情報チャネル1本(Dチャネル)で構成され、従来の加入者線をそのまま使いディジタル化が可能であるため、極めて容易に利用することができる。またこの上位のサービスとして1.5Mbit/sの通信容量をサービスするINSネット1500がある。ISDNサービスの特徴は基本的に回線交換サービスであり、さらに帯域保証がされていることにある。すなわち、提供されているサービスの帯域は常に保証されることが特徴である。また、伝送遅延については一旦通信路が確立すると接続中の遅延量の変動は極めて少ない。なお最近ではBチャネルを複数本束ねて通信路とする機能を持つ機器も現れてきている。

また無線関係では携帯電話系とPHS系が混在するが、携帯電話系のデジタル通信能力は現状9.6Kbpsが上限である。一方のPHSは97年春より、32kbit/sのデータ通信が利用可能になる。PHSの32Kbit/sのサービスは無線デジタル通信としては簡便であるにもかかわらず、比較的高速なデジタル通信が可能となるため様々な用途への利用が期待されている。

(b) LAN

LAN(Local Area Network)はその名の通り、空間的に閉じた世界での通信環境を提供するものである。方式的にいくつかのものがあるが現在はEthernetと呼ばれる方式が主流である。Ethernetでは伝送帯域として10Mbit/sが規格となっている。伝送媒体の規格としては3

種のものであるが、現在の主流はツイストペア線を用いた 10Base-T と呼ばれる規格が主流である。また GHz 帯や赤外線を利用した無線 LAN の研究・実用化も活発に進められている。

LAN の特徴は複数のユーザが通信路を共有して利用 (バス形式) するところであり、メリットはネットワーク構成が簡単になることであるが、各ユーザが利用可能な伝送容量は複数ユーザで利用するために保証されない。また、複数ユーザ間での通信路利用の調停を行うため (CSMA/CD)、同時利用ユーザ数が増加すると急激に伝送能力が低下する。このため通信中の伝送遅延は利用者数の変動、データ量の変動に左右され、動的に変動する。一般的に Ethernet 上に TCP/IP と呼ばれるプロトコルを実装した系では最低限 20ms 程度の遅延があり、ネットワークの負荷の増大により遅延量は増大する。LAN の次世代としては Ethernet の規格をベースの伝送帯域を 100Mbit/s (100BASE-T や 100VG-AnyLAN) にしたものや、FDDI (CDDI)、さらに ATM を利用したもの等の製品化が進んでいる。このため、LAN のみでネットワークが構成できれば伝送帯域の問題はかなり低減する。

また、上記のような有線 LAN に加えて無線 LAN の開発も活発に行われている。移動ロボットのように、有線で接続することが困難なシステムでは極めて重要な技術となる。GHz 帯を利用した無線 LAN では、米国で 10Mbps、日本で 5Mbps 程度のものが市販されている。数十から数百 m の伝送が可能であるが、同一エリア内に複数の無線 LAN のノードが存在する場合、有線 LAN と同様、伝送能力は低下する。

(c) インターネット (WAN)

インターネットは全世界の複数の LAN を公衆回線、専用線等を経由して接続されたコンピュータ用ネットワークであり、TCP/IP のプロトコル上に構築されたネットワークシステムとなっている。メリットはほぼ全世界との通信が可能であること、また端末として多くの機種 of コンピュータが利用できることがあげられる。また、インターネット上で音声データや映像データを授受するメカニズムについてもさかんに研究・実用化されている。デメリットは伝送帯域が保証されないこと、伝送遅延も極めて大きく、また変動も大きいことがあげられる。国内においてもこのインターネット用とも言うべき、コンピュータ通信の低廉で高速なネットワークとして OCN (Open Computer Network) がサービスを開始している。遠隔地からのロボットの制御というネットワークロボティクスのネットワークとしてはインターネットが最も広範囲な地点間で利用可能なものと言える。しかし、先にも述べたように、伝送帯域、伝送遅延の問題が最も顕著なネットワークでもある。

(2) 問題点と課題

最初に触れたネットワークロボティクスにおける通信の特質から問題点と課題を述べる。

(a) 伝送帯域

先にも述べたようにネットワークロボティクスにおいてはロボットの対峙している実世界の環境情報、作業対象の情報を遠隔地にいるオペレータに伝達する必要がある。例えば、ロボットの移動や作業動作自体の制御のために 100Byte 程度のパケットの授受を 5ms 程度の周期で行うとすると 320Kbps 程度の伝送帯域を必要とする。また繊細な力覚情報を必要とするような作業を行うため、制御周期を 1ms 程度に縮めると 1.5Mbps の帯域が必要となる。さらに制御情報以外にロボットの動作状況や作業環境を確認するために TV カメラや

環境音等を収集するためのマイク等のセンサ情報を伝送することはオペレータにとって重要な情報となるが、TV画像を現在最もデータ圧縮効率の高いMPEG1符号化で送ったとしても1.5Mbps程度の伝送帯域を必要とする。コマ落としを許容すればさらに伝送帯域を圧縮することは可能であるが、通常のISDN回線での伝送は極めて困難である。

伝送帯域自体はロボットの領域に限らず、今後、他の分野においてもより広い伝送帯域を求めるニーズは高く、技術の進歩とともに広帯域化されていくことは十分予想のできることである。しかし限られた伝送帯域の中で、どのような情報伝達がもっとも有効なのか検討することは極めて重要になる。具体的には上記のような制御情報自身のデータ圧縮技術も不可欠な要素となる。また画像情報を利用する場合についても、コマ落としで狭帯域化するのか、解像度を下げて狭帯域化するのか、輝度の量子化数を下げて狭帯域化するのかなど、情報の利用方法に着目した情報の圧縮が不可欠となろう。

(b) 伝送遅延

伝送遅延はネットワークロボティクスにおいて、とりわけテレオペレーションを考慮に入れた場合深刻な問題となる。LANやインターネットを利用することを前提とすると、動的に変動する遅延量がインタラクティブな操作に及ぼす影響は重大である。さらに、伝送帯域を狭めるために、データの圧縮処理を行った場合、圧縮（送信側）・伸長（受信側）処理に要する時間が処理遅延として伝送遅延に加わる。例えば前記の画像符号化方式であるMPEG1を用いた場合、数100msの遅延が符号化時に発生し、復号時にも同程度の遅延が発生する。このため全体としては人間が操作することが極めて困難な遅延量が発生する。さらに、画像データ、音声データやロボット操作データなど、異なる情報が異なった処理系を通ることによりそれぞれ異なった遅延量を持つことも考えられる。各種のデータの時間同期をとる方法については、マルチメディア処理の研究として進められているが、遅延自体が低減されるわけではない。またテレオペレーションに固有の問題として、画像データ、音声データ、ロボット操作データ等の中から、テレオペレーションのフィードバックに有効なデータ成分を抽出し、少ない遅延で優先的に伝送するような仕組みも課題となる。

遅延に耐えられるシステム構成を検討していく必要がある。最重要課題は遅延時間をカバーできる局所自律性をロボットにいかにかつ持たせることであるが、上記したような、各種データの時間同期や優先的なデータ伝送なども課題として検討を進める必要がある。

(c) プロトコル

ネットワークロボティクスにおいては、実世界と相互作用を行うロボットを遠隔からコントロールすることが不可欠である。このためにはリアルタイム性（ある遅延量は前提としなくてはならないが）を保証しなくてはならない。現状の実用に供されているネットワークプロトコルには、このリアルタイム性を考慮したプロトコルは皆無に等しい、従来のコンピュータ間通信ではメッセージの授受が確実に行えることは重要視してきたが、リアルタイム性については極めて希薄である。とくにTCP/IP等のパケットプロトコルはパケットの到着順序すらネットワークの状態によっては変化する。このような状況の中でロボットを動作させることは極めて危険な状況となる。このため、リアルタイム性を何らかの形で保証するプロトコルは重要な検討課題であり、ネットワークロボティクスのフィールドから提案していくべきものであると考える。

また、遅延のところでも述べたように、各種のデータを使って通信を行った場合、それぞれの情報の持つ遅延量が異なることから各データの時間関係が不明確になり、さらに双方向で通信を行っているような場合、因果関係自体が不明確（アクションとレスポンスの関係がメディア間の遅延の差異によりはっきりしなくなる）になることが考えられ、これらを保証するメカニズムをプロトコルに組み入れておく必要がある。

(d) 情報記述

上記で述べたように、ネットワークにおける伝送帯域、伝送遅延等の問題を考えた場合、ロボットとオペレータの間での情報の授受の仕方を検討することは極めて重要である。ネットワーク経由でのオペレータによる力フィードバックや画像を用いた遅れのない俊敏な操作を遠隔操作のみで実現するには多大な困難が予想される。それを補完するためにロボットは部分的な自律性を持つことが求められる。すなわちセンサベースロボットがネットワークロボティクスの基本となる。

センサベースロボットを想定した時、ロボットに対して送信すべきコマンドは従来の単なる空間移動のための命令群だけではなく、センサを利用した命令群が必要になる。さらにはセンサで捉えた対象物をどのように情報としてオペレータに送信するのかという問題も出てくる。また、例えば接触感のような力覚情報を、振動情報や視覚情報のように形にメディア変換（情報変換）して表現・提示することも必要になると考えられる。このため各種の情報を統一的に扱うことの出来る情報記述法の確立は不可欠である。また情報の記述をどのように体系化するかを考えるために、ネットワークロボティクスにおける情報通信のためのリファレンスモデル（OSIの階層モデルに相当する）の検討が重要になると考えられる。

また情報記述の問題は、より上位のシステムとのコミュニケーションのために不可欠であり、この視点からも検討を深める必要がある。例えば今後の社会の大きなインフラストラクチャとなりうるCALSと呼ばれる高度情報通信環境とロボットが直接結びつくことにより、産業構造に大きな変革を生み出すことができる。例えばCALSにより実現される電子商取引やロジステックスと物を作るセクションの直結により、より効率的な生産が可能になる。

現在のインターネットブームやCALSという仕組みを可能にしたものは、突き詰めて考えるとHTML（SGML）という記述形式とHTTPというプロトコルにより可能となったと言える。ロボットをネットワークに組み入れようとするとき、上記HTMLに相当するロボットの記述を行う仕組みが不可欠になると考えられる。インターネット上では既に3次元物体を記述するためにVRML等の言語的拡張が行われつつあるが、ロボットの場合さらに、運動の情報についてリアルタイム性を考慮した記述系が不可欠になると考えられる。

3. 4. 5 ネットワークメカトロとロボティックルーム

(1) 概要／定義

「ネットワークメカトロ」とはネットワークで相互に結合されたメカトロニクス機器群からなるシステムのことをいう。それら機器群を相互に運用するためには、それぞれの機器に組み込まれたローカルなコンピュータが、ネットワークとメカニクス双方を制御することが不可欠である。イメージとしては人工衛星制御システムなどがこれに近い。

そもそもメカトロニクスとは、「メカニクス+エレクトロニクス=メカトロニクス」という考え方に基づいて作られた和製英語である。この考え方は計算機プログラムにより、線形制御と非線型制御とをデジタル的に自由に組み合わせ、しかも従来機器に内蔵される形になったマイコン制御型自動化機器を支える技術として現れたものである。これは、1980年代に起こったマイクロプロセッサの技術革新により、それまでの自動化機器で主体であったアナログ型のPID制御とオンオフ型のプログラマブルシーケンサに代わり、より高度な制御を、より安価に、より信頼性高く実現するものとして登場した。メカトロニクスは和製英語であったにもかかわらず、メカトロニクス機器の普遍的な普及により、1990年代に至っては、ひろく欧米でも通用し、大学の講義としても成り立つ大きな技術分野となった。

この間、進展したコンピュータネットワーク技術、とりわけ1995年～1996年にかけて起こったインターネットブームは、計算機に広域ネットワークの利用という大きな武器を与えた。そのため、これまでのメカトロニクスでは、ハードウェア上の限界から実装不可能と思われたアプリケーションも、そのつどネットワーク資源から必要なものだけを利用することで実現できる可能性が出てきた。このようなネットワーク技術とメカトロニクスの融合体を、ここではネットワークメカトロと呼ぶことにする。

このネットワークメカトロを、個々のメカトロニクス装置・機器の側からみれば、それらをネット化することにより、背後のネットの恩恵を利用して個々の装置の高機能化の実現をはかれるという効果が期待できる。すなわち、メカトロニクスが機械のコンピュータ化を通して機械の高機能化をもたらしたように、ネットワークメカトロは機械のコンピュータネットワーク化を通してより高い次元での高機能化を目指すものである。

一方、逆にネットワークの側からみれば、個々の装置や機器を通して、記号と論理の世界であるネットワークの世界が、現実の物理的世界と接続され、現実の世界に働きかけたり、現実の物理的世界から情報を得てその状況を推定したりできるという効果が期待できる。

これは、更に見方を変えれば、ネットワーク上に分散した複数のエージェントからなるシステムそのもの、あるいはそのようなシステムを実現するための枠組であると見做すことができる。すなわち、ネットメカトロを単なるネットワーク化された機器群にとらえるのではなく、マルチエージェントで構成される分散AIの一つの実現の場としてとらえるのである。ここでのエージェントには、物理的な実体を持たないものと物理的実体をもつものとがあるとする。前者がいわゆる通常の意味でのソフトウェアエージェント、後者はネットワークに繋がっている個々のメカトロニクス装置・機器である。

このようなネットワークで結ばれた複数のメカトロニクス機器同士を有機的に連携させることができれば、全体でひとつのロボットとして機能させることが期待できる。例とし

てロボティックルームがある。ロボティックルームとは、建物や部屋、空間の中に分散配置されネットワークで結ばれたメカトロニクス機器同士が連携し、建物や部屋全体が一つのロボットして機能して中にいる人間に支援を与える環境をいう。

(2) 現状

上述したネットワークメカトロの研究事例としては以下のものがある。東大工学部では工作機械をネットワーク化し、高精度の加工を遠隔でおこなったり、機械間の連携をはかって生産システムの高機能化を実現している。京大工学部では、空間中に分散配置された多数のカメラエージェントをネットワークで結合し、それらが連携して物理世界エージェント(移動ロボット)の活動を支援する分散視覚システムを構築している。東大先端研では、人間を取り囲む形で室内に分散配置された多数のセンサやアクチュエータが、ネットワークを介して連携し室内の人間の活動を支援するロボティックルームを構築している。

実現技術の点からいえば、上述したようにインターネットの爆発的普及、拡大により、大きなコンピューティングパワーや大容量の記憶などをネットワークを介して利用できるようになってきている。従来のメカトロ装置側に搭載されたコンピュータだけでは寸法的制約から性能、容量に制限があった。しかし、そのようにネットワーク上の別の高性能、大容量のコンピュータを利用したり、複数のコンピュータを同時にアクセスして全体として高性能、大容量化を達成して利用したりすることができれば、メカトロ装置搭載コンピュータの制約は軽減されることになる。

ただし、現在のところ、ネットワーク上の資源を自由に利用できるシステムは、インターネットもしくはイントラネットに接続されたUNIXワークステーションとパーソナルコンピュータである。産業機器では一部の工場内LANで接続された自動化ラインなどに限られている。最近、インターネットの利用を前提としたネットワークコンピュータと呼ばれる計算機が出荷された。これは、まだインターネット上のWWWホームページのブラウザに限られているが、アプリケーションの開発と規格化が進めば小型化と汎用性が期待でき、さまざまな機器に組み込むことが考えられる。

(3) 問題点

さて、ネットワークメカトロニクスが持つ問題点を考えると、ひとつには通信コストの高さが考えられるが、これは今後の普及により低価格化が期待できる。つぎに、通信速度とそれを支えるバンド幅があるが、これも現在有線、無線、両方の回線の高速化に大きな設備投資が行われようとしており、情報の圧縮技術と相まって、解決されることが期待できる。そして、3つめに上げられるのが、セキュリティ、安全性と信頼性である。セキュリティは情報の欠落や機密情報の漏洩など情報に関するだけではなく、メカトロニクス機器に特有の作業安全性の確保が必要である。そのためには、宇宙開発などで取られるフォルトトレラント的な対策が必要であろうし、最後には人間の助けを得やすい機構や構成が必要となる。

さらに実現する上での、より低いレベルでの技術的な問題点としては以下のものがあげられる。まず、機器制御用の組み込み型リアルタイムOSと、ネットワークアクセスが容易で多用されているUnixやWindows95等のOSとの両立が一般的な形では実現されてい

い点がある。また、ネットワークプロトコルとしては、使用経験の蓄積、実装の多さ、利用可能ソフトウェアの蓄積を考慮してインターネットプロトコル(TCP/IP)を利用することになるが、TCP/IP では実時間性が保証されないという問題点がある。今後、多数の機器をネットワークに接続してゆこうとすると、アドレスが不足するという問題がある。既に現行の 32bit の IP アドレス(IPv4)では IP アドレスが枯渇することは時間の問題であると言われている。その解決策として最近規定された 128bit アドレスの IPv6 への移行が求められている。

(4) 目標／技術開発目標

ネットベーストメカトロニクス目標としては、プラントのリモートメンテナンスのようなロボットによる作業を前提にしたもののほか、さまざまな家電製品のネットワーク接続による電力調整制御などが可能となり、瞬間的電力使用上昇による停電の会費や、省エネルギー化技術、地域電力使用の平準化などへの応用も考えられる。また、ロボット技術は、技術集約型の工学であるが、ネットベーストメカトロニクスは、高度化された個別要素が独立して発達する舞台である。

実現技術上の技術開発目標としては上述した実時間性の問題の解決がある。

すなわち OS やプロトコル、通信方式に起因するネットワークのタイムラグを補償しながら、かつ、動きを保証するメカトロニクス制御技術の確立が必要である。

また、特に人間を相手にするロボティックルーム型のシステムにおいては、人間を傷つけない安全性・信頼性を保証するメカトロニクス制御技術の確立が不可欠である。また、人間の機能や感性を納得させる機械設計論の確立も求められる。人間の活動空間にあつて効果的に人間に支援を与えられるようにするためには、人間の五感特に、触覚や嗅覚、味覚など視覚・聴覚を拡張する感覚を足るセンシング技術、その感覚を人間に伝達できるマン・マシンインターフェイス技術の確立が必要である。

3. 4. 6 多自由度動作メディア

(1) 定義 (概要)

遠隔地にある現実の世界と利用者の間で現実感をもったインタラクションを実現する情報伝達メディアを定義する。従来のメディアでは画像と音の伝達により離れた場所の情報を受け取り、視聴者の情報取得に対するニーズに応じていた。多自由度動作メディアでは画像や音に加え、重さ・質感などの物理感覚や動き・作業という行動など、従来の情報通信の枠組みを超えた情報を収集・伝達することを特徴とする。これにより、視聴者がネットワークで接続された先で自ら作業をしているかのごとく能動的に情報収集できる手段を提供し、臨場感ある体感情報の伝達を可能とするメディアを実現する。

本メディアは以下の技術要素から構成される。

- ・ネットワーク技術：

ユーザが直接に接することのできない環境の情報の伝達

- ・多自由度移動/多自由度センシング技術（視覚/聴覚/触覚....）：

ユーザ個別の希望に従った遠隔地情報の収集

- ・多自由度情報入力・提示技術（触感提示、3D表示、3D音響....）：

収集した情報の臨場感をもった提示と、移動センシング部への多自由度指令の円滑な入力

本メディアの応用機器を使用するユーザは、多自由度操作端末を駆使することによりネットワーク先端に接続された情報収集デバイス（入力デバイス）を駆動する。カメラやセンサなどの入力デバイスが所望の情報を入力可能な場所になれば移動機能により移動させる。対象物の裏側の情報が欲しい場合にはハンドリング機能により対象物を手にとり裏返すことができる。また、その際検出可能な対象物の質感や重量感などの体感情報も収集する、など、従来の単なるカメラやマイクなどのデバイスだけでは入力できない情報を収集することができる。収集した情報は、あたかもユーザがネットワーク先端の情報収集場所にいるかのごとく多自由度情報提示技術により臨場感をもって体感するようユーザに提示することができる。

効果として、ネットワークを介してあたかも自らそこにいるかの様に離れた場所での作業を実現することにより空間的制約を打ち破ることができる。また、24時間稼働するロボットの操作によるショッピングや美術鑑賞などにより時間の制約を解消することができる。また、力の衰えた高齢者に自由に遠隔地での活動を可能とする等、産業形成、景気高揚、福祉等社会的問題の解決への貢献が期待される。

(2) 現状と課題

(a) 現状

多自由度メディアを実現する為に必要な上記技術の現状は以下のようにまとめることができる。

イ) ネットワーク技術

- ・ネットワークに関し、民間による技術進展と、官・公によるインフラ整備が進行中。

利用の容易化と高速化（バンド幅拡大）に関する制約は少ない。

-NTTのOCNサービスでは利用価格に応じて 128Kb/s,1.5Mb/s,6Mb/s が利用可能に。

高バンド幅でのネットワーク利用が容易化。

-CATVインターネットサービスでは1 Mb/s から数 Mb/s で接続。

-衛星通信によるインターネットサービスで2 Mb/s の試験サービスを開始。

-NTTによる加入者線の光ファイバ化率は2010年で約50%を目標。

ロ) 多自由度移動・センシング技術

・多自由度移動に関して走行部は限定環境・車輪ベースでは技術開発レベル。未整備環境／自然環境及び、脚による歩行は研究レベル。ハンドリングの為の腕／多自由度機構は小型化・モジュール化・オープン化が進展している。

・視覚／聴覚に関しては、40mm 角以下の基板型カメラなどカメラの小型化がすすみ、ロボット関節による動きと組み合わせたアクティブカメラの研究が進んでいる。また、インターネットにより移動カメラを駆動し、周囲の情景の好きな部分を見るインターネット放送局など、通信を介した移動型カメラの応用も進展している。

ハ) 多自由度情報入力・提示技術

・触感提示に関し、力覚、接触覚などの提示デバイスの商品化が立ち上がり始めた段階である。

・3次元グラフィクス表示用計算機は価格低下が進む。

(b) 問題点

イ) ネットワーク技術

高速性、広域性、利用価格、等に関しては個人レベルでの利用が容易になっているが、基本的に絵や音の情報通信を応用として技術開発が進んでおり、以下のような問題点が残っている。

・予測不可能な遅延時間の存在による実時間性確保の困難さ。

・通信路上での "多自由度の動き・作業" の伝達方式／プロトコル／伝達すべき情報の定義がまだ明らかにされていない。

・伝達する実時間情報の時間的関係の保証が考慮されていない。

ロ) 多自由度移動・センシング技術

・多自由度移動に関し、簡単な移動目標（多自由度）の指示方式、概要指示からの具体的移動命令生成、障害物の存在に影響されない移動制御方式の確立、等が未解決。

・多自由度センシング技術に関し、臨場感あふれる体感情報を伝達する為に収集が必要なパラメータの種類が明らかにされていない。

ハ) 多自由度情報入力・提示技術

・情報の提示技術に関しては、視覚・音響情報と触覚情報の融合方式、力覚と微妙な触感情報の提示を両立させるデバイスの実現、に課題が残る。

・力覚／触覚などユーザに直接接触するデバイスの故障時の安全性基準の設定に課題が残る。

(3) 目標

多自由度動作メディアを実現するためには前項にまとめた問題点の解決が必要である。

個人レベルのユーザまで利用可能なシステムの実現に向けた技術開発目標として、以下のような項目があげられる。

(a) ネットワーク技術

高バンド幅ではあるが遅延のある通信路を通して実時間にて多自由度動作の指示と多様な環境情報の実時間交信を実現する技術。

- ・多自由度行動（移動／腕による作業）の記述方式／伝達プロトコル
- ・画像／音声／作業動作など、異種情報の時間的關係の同期化／順序關係の保証技術
- ・現実の環境から得た環境情報とシミュレーションによる仮想世界内の情報の融合利用による仮想的な通信遅延補償と臨場感向上技術
- ・複数ユーザの並行した要求に対するデータ共有／融合／協調／調停
- ・1ユーザによる複数ロボットの並行利用方式（仮想ロボット操作）

(b) 多自由度移動・センシング技術

ある程度の自律作業機能、危険回避機能を持ち、利用者へ送る遠隔地の環境センシング（視覚・聴覚・触覚／力覚）機能と、ネットワークを介した指示による移動機能・対象物操作機能の実現。

- ・部分自律作業機能／危険回避機能
- ・対人安全性の確保
- ・移動ロボット機構構成
- ・小型アクチュエータ／パワー源
- ・機構／通信インターフェースの標準化

(c) 多自由度情報入力・提示技術

ロボット側環境情報の臨場感を持った操作者への提示と、操作者の指示によるインタラクションを実現する多自由度入出力デバイスの実現

- ・力／触感フィードバック型多自由度入出力デバイス
- ・小型軽量3D画像出力装置、小型軽量3D音響装置
- ・仮想モデルと現実世界の融合表示技術
- ・臨場感向上のための体感パラメータ抽出技術
- ・対人安全性の確保

これらの技術開発項目に関する研究開発を推進し、以下のような応用への適用を推進する。

- ・テレショッピング
- ・遠隔保守システム
- ・遠隔教育システム
- ・アミューズメントシステム

3. 4. 7 システム構築技術

(1) 定義 (概要)

携帯電話、PHS、衛星通信（イリジウム等）LAN等の既存の低コスト通信インフラと機械をできる限り使った（一部は改造）役に立つ新しい機械のコンセプト創出とそれを実現するために、通信や自律遠隔制御などの要素技術を統合する技術。この際、制御を通信手段によって行うための最適なプロトコルを確立して標準仕様を定め、システムを構築する。また、機械により制御対象、制御方式など異なるため、インテリジェントを持たせた通信プロトコルの確立を行う。

(2) 現状

通信を使った機械にはラジコン操作のもの、通信衛星を利用したもの等幅広くある。

(a) ラジコン利用

農業機械、無人採収期、建設機械（ホイールローダ）、ビルのダクト清掃機械、無人監視ビークル（磁気テープなど軌道があるもの）

(b) 衛星通信利用

飛行機、船の自動運転、森林火災検知、渋滞情報とリンクしたカーナビゲーション

(c) LAN利用

リモートメンテナンス機器、ビル・セキュリティ・システム、自動生産機械

(3) 問題点と課題

社会に貢献しうるネットワーク機械システムの像が明確に定まっておらず、安全性や操作性、コストといった問題もあることから、現状では、人間とかかわり合う動く機械で、ネットワーク化したものがほとんどない。特にネットワークで制御する場合、センサーや画像情報を使って間接的にロボットの状況を正確に把握するのは難しく、ロボットの自律性が要求される。こうしたことから、社会に貢献しうるシステムコンセプト作成や、人に対する安全性、通信遅れや通信途絶が予想される環境下で使用するためのロボットの自律性向上を目的としたシステム設計が課題となる。

項目例を以下に示す。

(a) システム化技術

- ・技術動向およびニーズ動向予測によるシステムコンセプト創出
- ・センサシステム、アクチュエータの仕様決定、選定、配置（ハード設計技術）
- ・制御、通信など多種ソフトを統合するためのオープンなソフトウェア体系構築
- ・ロボットと人との間での情報交換内容の決定
- ・制御用通信プロトコル

(b) 安全化技術

- ・人らしき物の認識
- ・フェールセーフ技術（危険回避予測技術）

(c) 3次元地図解析によるサービスエリア予測技術

- ・3次元移動物体認識技術

(d) 周囲通信環境の動的認識による最適通信手段の融合技術

(4) 目標

開発5年間で、人が殆ど介在しない環境下で稼動するネットワーク機械、10年間で人が介在する中で稼動するネットワーク機械を構築することを目的としたシステム設計。

参考として、無人搬送システム、2輪ライダーロボット、リモートメカニックスロボットについての目標を以下に示す。

(a) 無人搬送システム

- ・自律化された車の中での無人搬送（開発5年）

例：飛行場、湾港

- ・人および人が運転する車がある中での無人搬送（開発10年）

例：一般道路

走行環境：一般道路想定（信号、標識、白線、GPS、地図に従って走行）

走行速度：0～40Km/h

- ・人への荷物収受ロボットの開発（開発10年）

サイズの異なる荷物のマテハン技術

人との接触回避

建物内の移動（階段、敷居などの段差、エレベータ等）

(b) 2輪ライダーロボット

- ・ロボットによる固定の二輪車の運転制御（第1段階）
- ・ロボットによる低速走行中の補助輪付き二輪車の運転制御（第2段階）
- ・ロボットによる二輪車の運転制御が可能なライダーロボットの開発（第3段階）

(c) リモートメカニックスロボット

- ・特定の故障状況に絞った車両診断用メカニックスロボットの開発（第1段階）
（例）電気的な故障に限定する。
- ・目の判断の項目も入れたより高度なメカニックスロボットの開発（第2段階）
- ・メカニックスの替わりが務まるロボットの開発（第3段階）

3. 4. 8 応用システムイメージ集

ネットワークベースロボティクスを応用したシステム例のイメージを以下に示す。
分類方法としてはとりあえず以下の様にした。

- ・作業代行型

人間に替わって作業を行うことが中心であるもの。

- ・体験伝達

体験や情報を遠隔の人間に伝えることを中心であるもの。

- ・ロボティックルーム／ネットワークメカトロニクス

ロボットという形態にあまりこだわらず、機能が中心であるもの。

- ・ネットワーク／システム

ネットワークを用いたシステム機能が中心であるもの。

なお、これらの分類は、必ずしも独立ではない。また、それぞれの例そのクラスにだけ限定されるものでもないことを断わっておく。

1) 作業代行型

イ) コンビニエンスアシスタントロボット

概要：

一般消費者向けの、誰でもいつでも使えるお手伝いロボットをめざすもので、日常の様々な作業の助手としての手伝いをしたり、自分の代わりに遠隔地に行って、観光、買い物、探検など行う。

ロボットは、アンドロイド型、動物型、車輪／キャタピラ型、ロボティックルーム型を問わず、用途に応じて最適な形態をとる。ロボット本体には自律機能に不可欠なもののみ搭載するリモートブレイン方式とする。高速のリアルタイム制御（遅延1～20msec）が必要な機能は、ローカルネットワークで結合されるローカルネットブレインで実行する。ローカルネットワークは上記遅延で大容量伝送（～10Mbps）を行う能力を持つ。低速のリアルタイム制御（遅延0.1～1sec）で十分な機能は広域リアルタイムネットワークで結合される広域ネットブレインで実行する。

作業の助手として使う時は、ロボットの自律動作が主体となり、ユーザーは簡単な指示装置や身ぶり、対話による直接のコミュニケーションで作業のポイントのみを指示する。遠隔操作の時は、視覚／聴覚／力覚／体勢感覚／風／温度等のディスプレイと操作の入力デバイスを持つバーチャルコントロールボックスで操作する。

一般ユーザーの多様なニーズに答えるため、レンタルロボットサービスの拠点を設けて用途に応じた仕様のロボットを提供する。観光地や探検エリアにはそれぞれに適した仕様のロボットを現地に用意する。よって、ユーザーは常時必要なものだけ保有すればよい。実際に活動するロボット本体以外のリモートブレインとネットワークは共用化してシステム全体を低コスト化する。結果として、ロボット本体の低コスト化も実現する。

技術要素と目標：

- ・数百メートルの範囲で数十台のロボットが共存作業可能なリアルタイム無線伝送技術

伝送遅延1~20msec、画像及び感覚伝送のための個体当たりのピーク伝送容量が10Mbps程度。(用途に応じて媒体は電波、光、その他)

開発期間 ~5年

- ・ローカル/広域ネットワーク統合リアルタイム通信プロトコル

遅延の問題のないローカルネットワークや専用回線による結合と遅延はあるが一般に使用できる広域ネットワークによる結合をシームレスに拡張可能。

開発期間 ~5年

- ・ネットワークを介したエキスパートによるロボット操作スキルの指導、訓練

開発期間 ~5年

- ・触覚を中心とした臨場感の入出力デバイス、ネットワーク伝送技術

開発期間 ~5年

- ・広域リアルタイムネットワークによる認識/判断/記憶機能等のネットワーク分散処理

開発期間 ~5年

- ・操作スキル等の動作知識の自律動作ライブラリー化とそれに基づく遠隔操作

開発期間 ~10年

- ・人間とロボットの直接のコミュニケーション(身ぶり、対話)

開発期間 ~10年

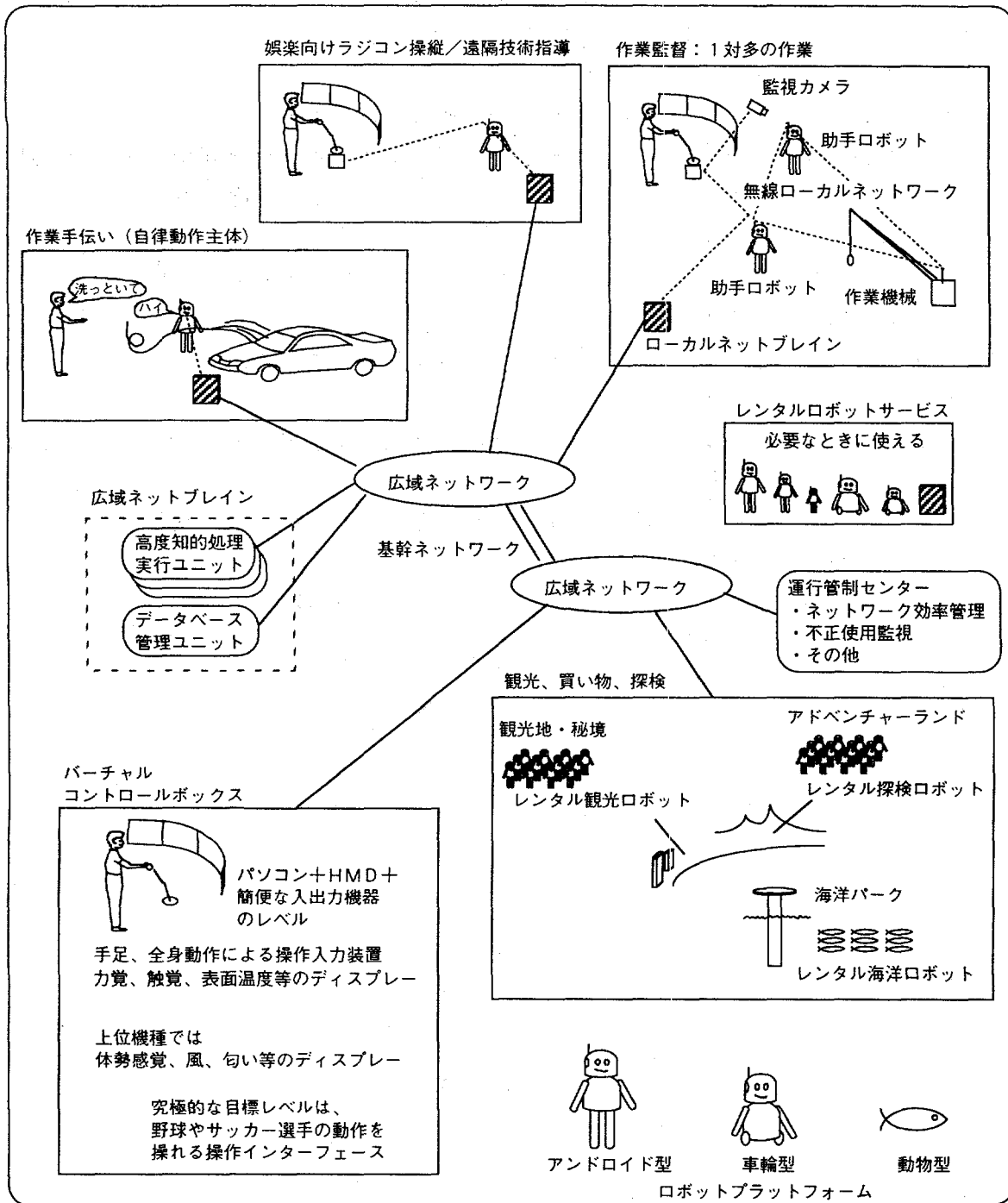


図3.4.1 コンビニエンスアシスタントロボット

ロ) 2輪ライダーロボット

概要:

二輪車に乗ってテストコース内を、自由に走れるライダーロボット。特に危険の伴う走行が出来たり、耐久テスト時として長時間走れることが必要である。車両の状況に応じた走行が可能である。例えば、路面の状況、道路のバンクの具合、車速、エンジン回転数、車体の傾きなどに応じて、運転の姿勢を変える必要がある。

現状は4輪用の運転シミュレータ作られているが、二輪用は開発も進んでおらず、テス

トライダーに頼っている状況である。

技術要素と目標：

センサー技術；小型軽量のセンサーが必要である。路面状況センサー、バンク角検出センサー、対地絶対速度計など。

実時間コントロール；高速走行時における、実時間制御技術。

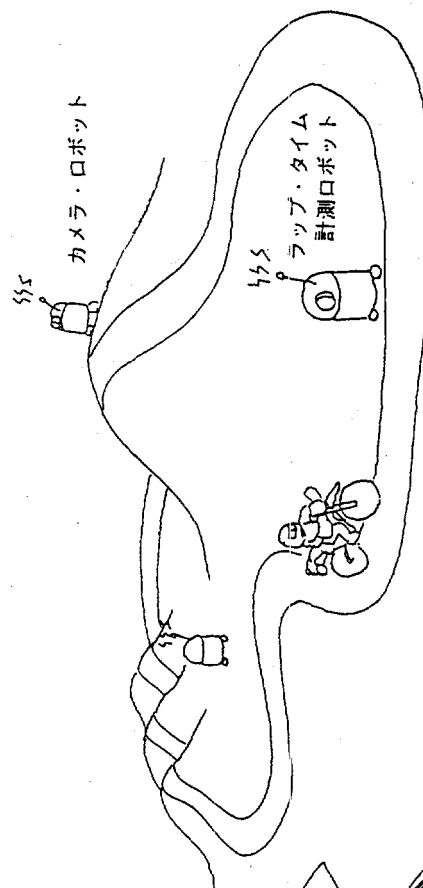
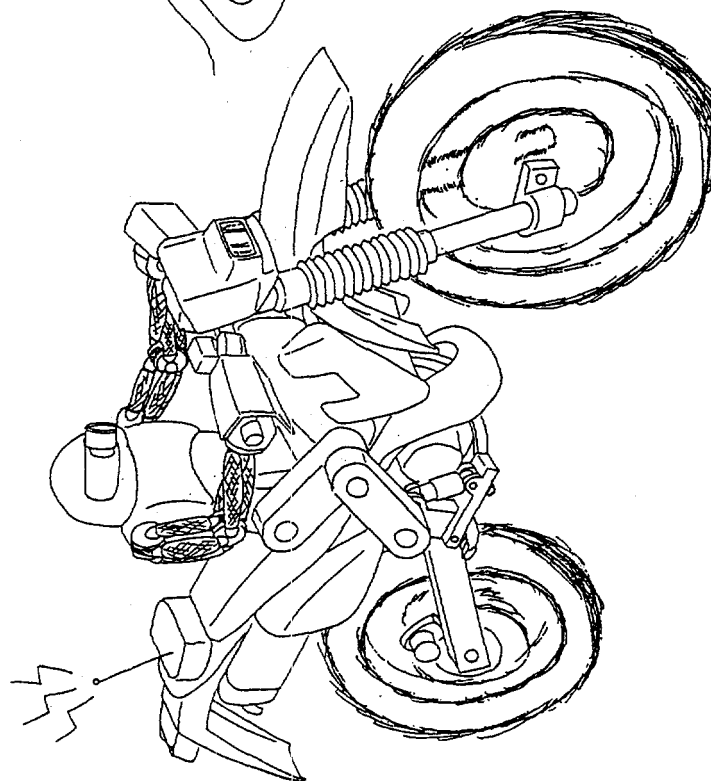
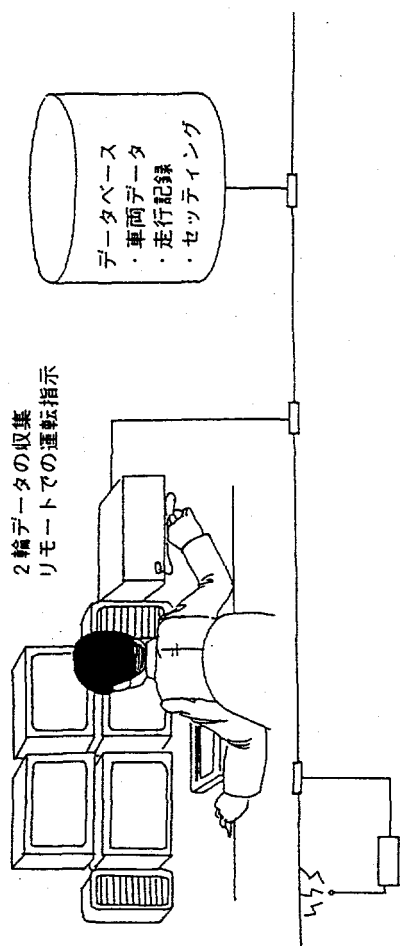
通信技術；地上局との高速なデジタル通信が可能な無線通信。

軽量化；あまり重量が大きいと二輪車に乗せることが不可能になるため、軽量化が必要となる。このためには、軽量のアクチュエータが必要となる。

第1段階は固定の二輪車をシミュレーション的に走らせ、ロボットの運転制御を行う。

第2段階で低速走行な補助輪付きの二輪車でロボットが運転制御する。最終段階で二輪車の運転制御が可能なライダーロボットを研究する。

2輪データの収集
リモートでの運転指示



実験コース

図3.4.2 2輪ライダーロボット

ハ) リモートメカニックスロボット

概要：

複数のロボットが車のサービス点検や故障診断を行うロボットである。車両のECUや車内LANと無線で通信しながら、電氣的な車のデータをとる。その際、車両の運転状況を作る必要があり、エンジン回転数のコントロールなども同時に行うことが必要である。目で見て判断する項目もあるので、画像をセンターに転送し解析することが必要となる。現状では電氣的なデータは故障診断ツールによって行っているが、あとは、サービスマンの手作業となっている。

技術要素と目標：

画像認識技術；画像データからオイルの汚れ具合やタイヤの減り具合などを判断する。専用のセンサーを使って計測することも可能と思われるが、カメラによる画像判断が安価で実用的である。

高度な故障診断プログラム；新規な故障に対しても、予測が可能なインテリジェントな診断ツールが必要となる。

柔らかいマニピレータ；ボディの塗装などを傷つけない柔らかい手が必要となる。第1段階は、特定の故障状況に絞ったメカニックスロボットで車両診断を行う。例えば電氣的な故障に限定する。第2段階は、目の判断項目も入れたより高度なメカニックスロボットを開発する。最終段階ではメカニックスの替わりが務まるロボットにしていく。

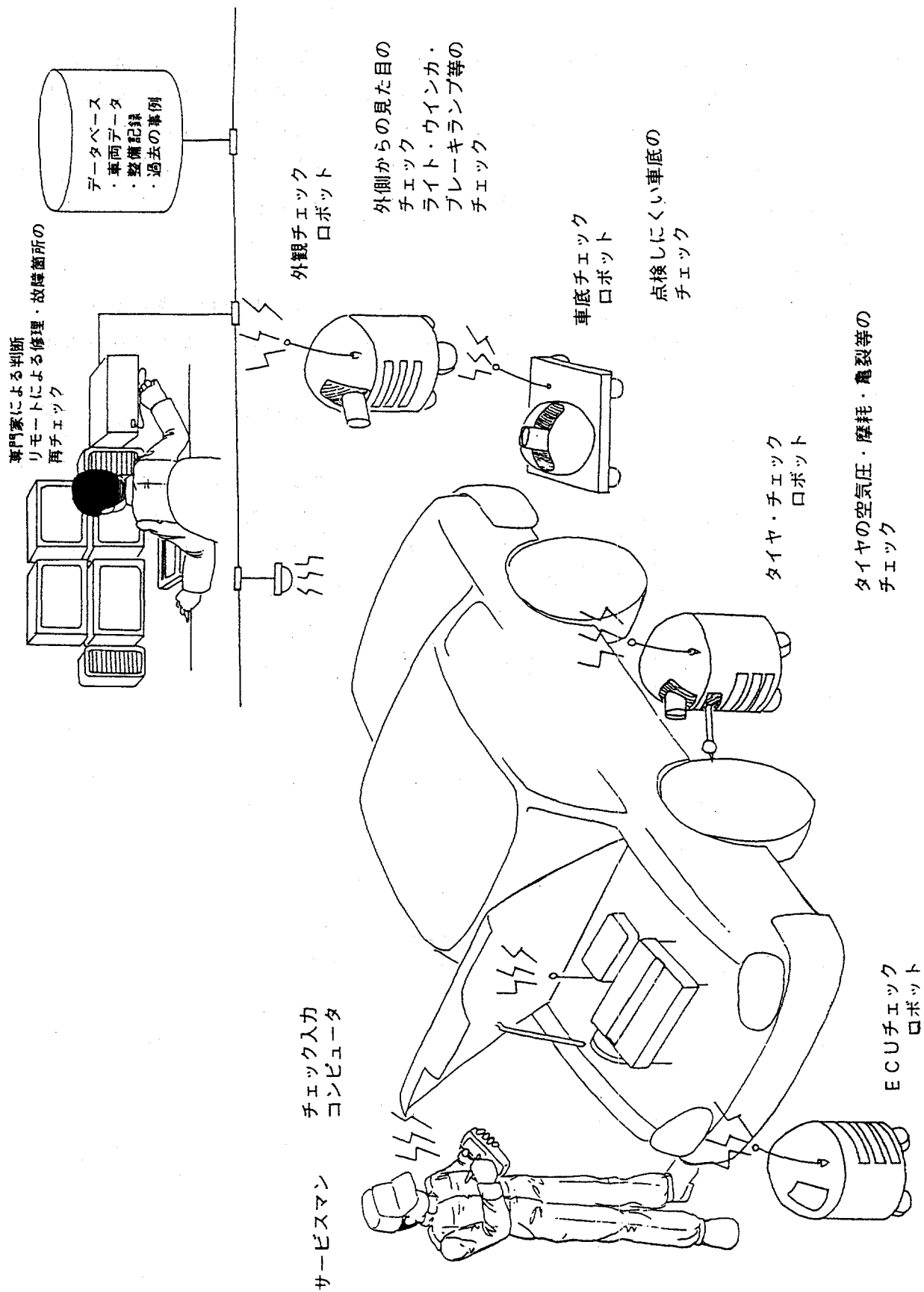


図 3.4.3 リモートメカニックスロボット

ニ) 遠隔医療ロボット

概要：

日本社会では急速な高齢化とともに人口の集中と過疎化が平行しており、地域医療態勢も広域診療や自宅診療などが必要とされるようになってきた。そこで、マルチメディア技術と広域ネットワーク技術とが融合した遠隔診断技術がきめ細かい医療態勢を実現するひとつの手段として注目されつつある。しかし、医療現場では問診と共に触診が締める比重は大きく、ロボット技術が必要と考えられる。医師に対し体感覚からかけ離れた構造の機械では診断を困難にすると考えられるので人間型が望ましい。このような、過疎地などで遠方に点在する地域住民が自宅にいながらにして総合病院の医師の診断を受けられる遠隔診断ロボット。もしくは、地域のクリニックで遠方の医師がその場にいるかのように診察を行うロボットが有用であろう。

技術要素と目標：

日常の内科検診の実現を目標とする。高度な触覚感覚の医師への伝達。視覚、聴覚、臭覚の伝達も必要であろう。



図3.4.4 遠隔医療ロボット

ホ) 建設現場ロボット

概要：

建設現場では、人の作業がなかなか減らないのでコストアップや納期短縮のネックになっているので、さまざまな建設現場に適用可能なのは人間型である。せまくて、坂や仮設階段があり、資材が置いてあったりする建設現場で重労働である資材運搬や資材取り付け

の補助を行う。

技術要素と目標：

複数ロボットの協調作業と人間のダイレクト教示法が重要である。実現目標としては、現場作業員から指示を受けて資材を運搬したりするような作業が想定される。

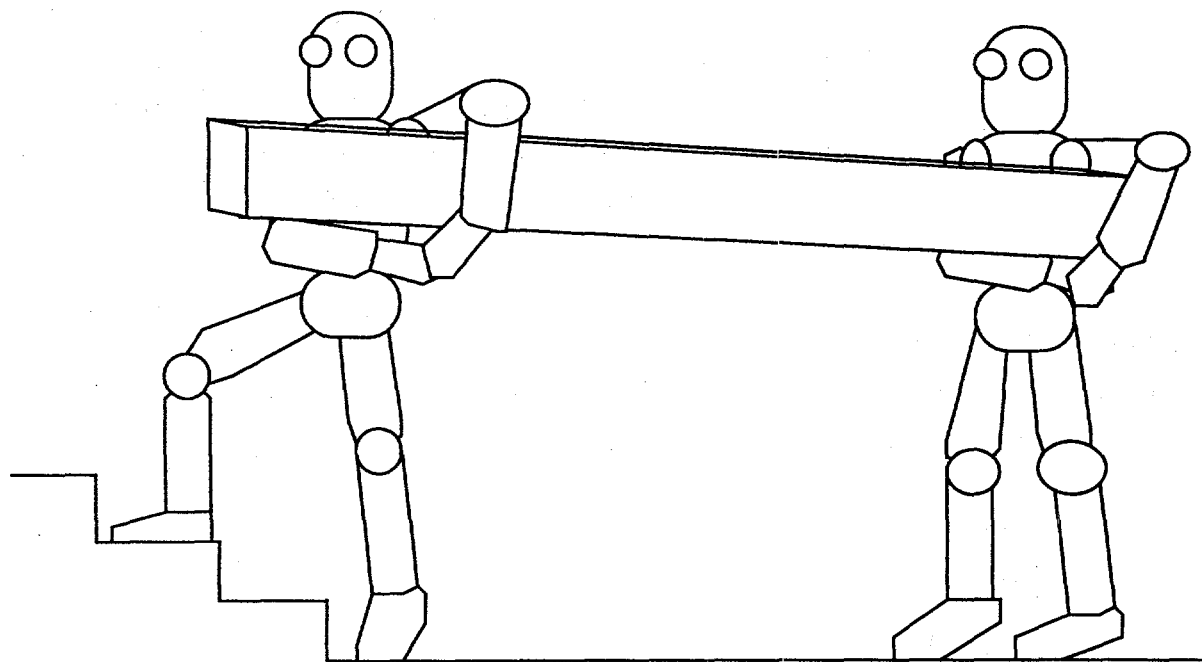


図3.4.5 建設現場ロボット

へ) 環境ロボット

概要：

人間が行なっている作業を代替して行なう自律型ロボット。特に、人間が退屈とを感じる作業や、危険作業を代行する。人間が行なう作業を全て代行するのではなく、人間と共存して作業を行なう。そのため人間が扱う道具をロボットも扱えることが前提となる。道具を持ち替えることにより、多種の作業に対応する。

人間との協調を前提にするため、ロボットへの作業指示は自然言語で行なう。ロボット同士もネットワークを構成することにより、協調作業が行なえる。

公園、道路、鉄道などの環境保全、プラントの保守点検などに利用する。いわゆる3Kも含まれるが、単純で退屈な作業から人間を開放する。専門的な作業、エキスパートの置き換えではなく一般作業の代替を目的とする。

技術要素と目標：

5年以内に実現可能な目標として、以下の技術要素の実現が適切な目標と考える。

- ・マニピュレーション；数種類の道具のハンドリングと持ち替え。
- ・移動；二足歩行による不整地移動。
- ・コミュニケーション；自然言語による作業指示の理解／ロボット内部状態の表現
- ・視覚；物体の視覚的特徴からその性質の連想たとえば、「紙」を見たらそれが「軽い」

「柔らかい」と連想する。

- ・ 自己防衛動作；力覚センサ、接触センサにより自己が危険と感じた時には何らかの防衛動作を行なう。
- ・ 小型化：体重100Kg程度であること。
- ・ 低消費電力：内蔵バッテリーにより1時間動作できること。

10年以内に実現可能な目標としては、上記技術を統括制御するための制御技術とその関連技術を考える。

- ・ 複数移動体間の通信
- ・ 自然言語処理
- ・ 運動機能の学習、熟達
- ・ 接触検知センサ
- ・ 統括制御技術

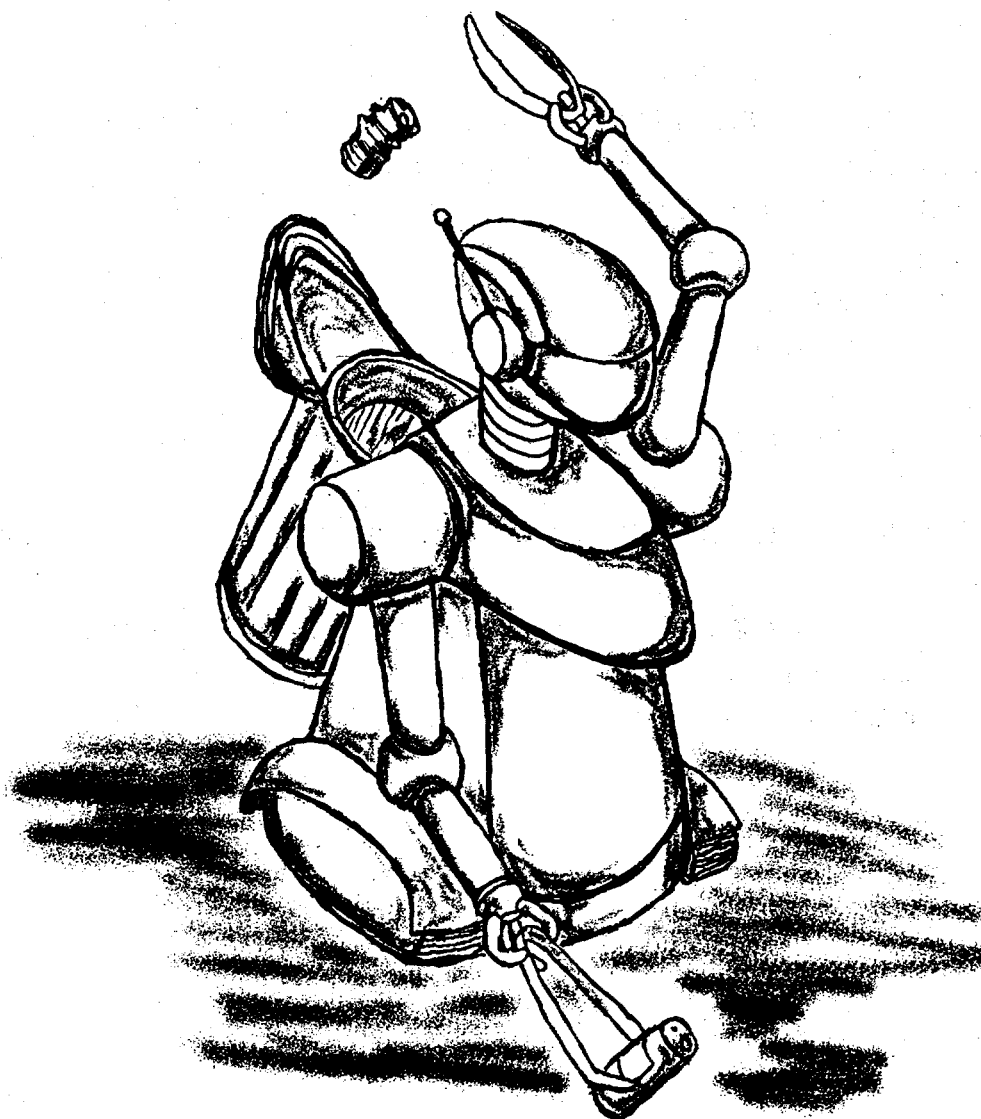


図3.4.6 環境ロボット

ト) メタモロボット (MetamoRobot)

概要:

愛玩ロボットとお助けロボットに、主人の状況に応じて変身するロボット。

愛玩ロボット時

- ・ 通常はかわいらしい愛玩ロボットとして存在する。
- ・ 主人の話に相づち?をうったりして、聞き役となる。
- ・ かわいらしい表情、しぐさでフレンドリである事を表現する。
- ・ 時間がたつにしたがって、人間側の対応に合わせて段々となついてくる。
- ・ 主人の声、表情、身振りに反応し、主人の命令を第一に聞く。
- ・ 主人が疲れたら、目的地まで運んでくれる。
- ・ 愛玩ロボット同士は井戸端会議で、お互いに情報交換を行う。
- ・ 常に主人のおかれた外界の状況を把握する。

お助けロボット時

- ・ 危険を察知したら、それに対処するのに最適なお助けロボットに変身する。
(ライオン型、象型、サル型etc.)
- ・ 避難誘導・災害時の救助、危険予知・回避等状況判断して、最適行動をとる。
- ・ 主人に情報を教えたり、主人を乗せて運んでくれたりする。
- ・ お助けロボット間で情報を交換し合って、共同作業も行う。
- ・ 最悪の場合には、身を犠牲にしても主人を守る。

補足説明 (開発の背景):

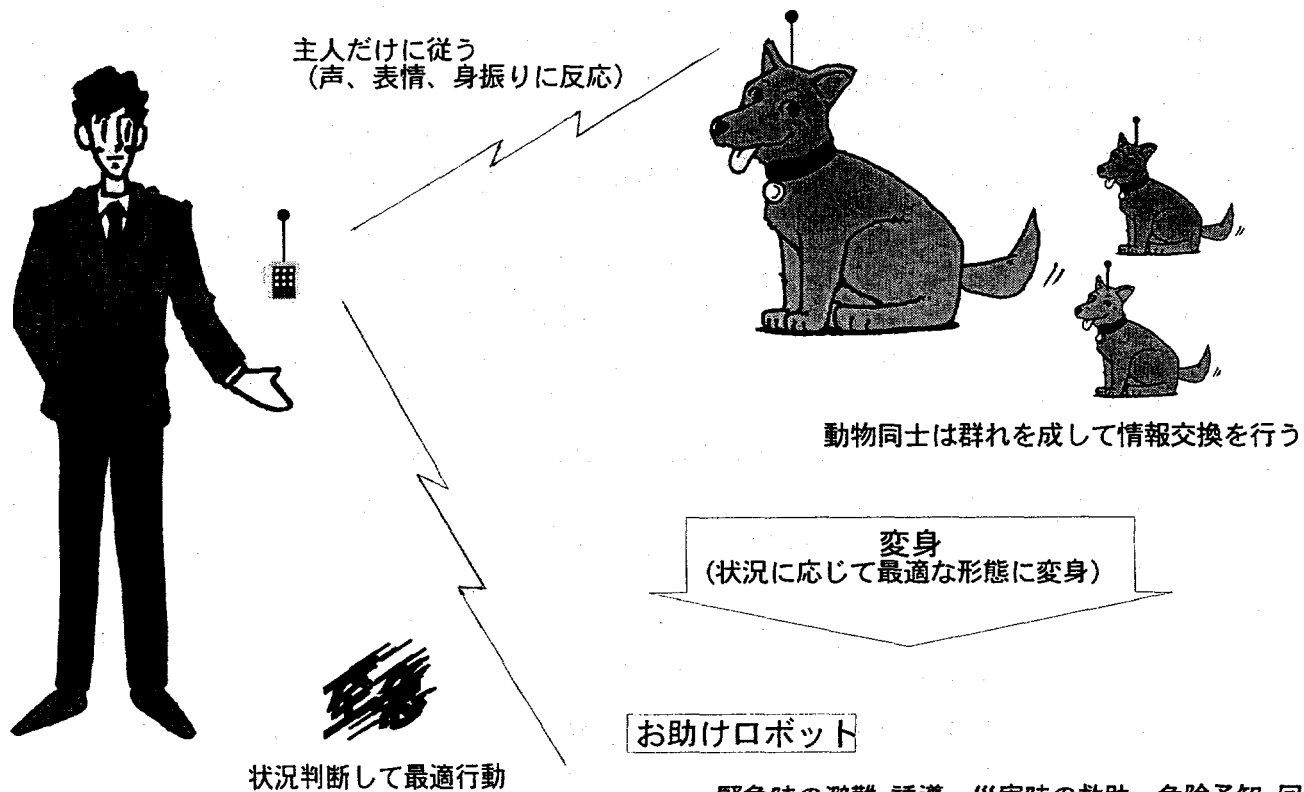
- ・ 表立ったニーズが薄いため、単一では開発の対象となりにくいですが、一般の人にはフレンドリ。
- ・ 物理的、機能的は変身を可能にして多機能にすることにより、用途を広げて開発価値を高める。
- ・ 動物型の特徴を生かせれば、人間型より向いている場合もある。人間型は動物型の形態ともみなせる。
- ・ この種のロボットが可能となると、建設現場のような雑然とした場所で、人間作業者をサポートするロボットとしての応用や、災害現場のような危険な場所での救助ロボットへの応用は、非常に高いニーズがある。

MetamoRobot (愛玩ロボット+ お助けロボット)

主人の状況に応じて変身するロボット

愛玩ロボット

- ・通常はかわいらしい、愛玩動物
- ・主人の話しの聞き役になる
- ・表情、しぐさでフレンドの表現
- ・時間が経って親しくなると段々なついてくる
- ・外界の状況を常に把握
- ・最悪の場合には、身を犠牲にしても主人を守る



お助けロボット

- ・緊急時の避難・誘導、災害時の救助、危険予知・回避
- ・ライオン型、象型、サル型 etc. の変身メニュー

連絡を取り合って共同作業

図3.4.7 メタモロボット (MetamoRobot)

2) 体験伝達型

イ) リモートショッピングロボット

概要：

人間型のロボットを店舗内に配置し、ユーザがネットワーク経由にてこのロボットを駆動することにより、店内の商品を実際に手に取り、確認することのできるシステムである。商品の確認や、店舗の中を自由に移動するなど、ユーザは自宅にいながらあたかもその店舗にいるような感覚を味わうことができる。従来もインターネットショッピングなど商品情報の提供手段はあるが、提供可能な情報はあらかじめ登録した商品に限られ、情報提供者により撮影した方向からの画像が得られるだけである。本システムでは、ユーザが自由な方向から商品の情報（画像、質感等）を取得することが可能である。情報提供側に対しても、日々入れ替わっていく膨大な量の商品に対し、単に陳列場所に置くのみで情報提供の準備が完了し、従来のような商品個別の撮影・デジタル化・3次元モデル化等の工数が不要という大きな利点がある。

全く独立した自立ロボットを一般自然環境で自在に用いることは、かなり困難であるが、店舗は限定された環境であり、移動ロボットの実現性は高い。ロボット外部に高い能力を持つ計算機（リモートブレイン）を持つ構成により、ロボット本体は移動・作業・感覚入力等に集中でき、実現可能性が高い。

人間がアクセスする対象を人間と一緒にアクセスする為、人間型のロボットが適用範囲が広い。移動ロボットに必要なセンサやエフェクタを付け、ネットワークにて遠方の対象物にアクセスする程度で十分有用な場合も多いであろう。

技術要素と目標：

- ・環境は人間が対象とする商品であり、腕、視覚、など人間の上半身の機能は人間と同等である事が大きな利点となる。
- ・移動環境は比較的平らな床を仮定して良く、車輪／クローラなどを適用。
- ・エスカレータや階段の利用が要求される場合は、2足歩行が有利となる。
- ・回りにいる人間との親和性の観点からは安全そうな外形が最重要であり、移動方式として2足歩行か車輪かは付随的な問題である。
- ・店舗内で人間といっしょに行動するため余り大型でないこと、ある程度の自律的移動を可能とするハードウェアを本体内に搭載している事が要請され、アンドロイド型ロボットプラットフォームの早期実現によるフィージビリティースタディー実験を並行した研究推進が望まれる。
- ・高度な自律機能の処理および高度なネットワーク機能に関してはロボット本体と別に設置した装置で処理するリモートブレインタイプにて実現してよい。

[リモートショッピングロボット]

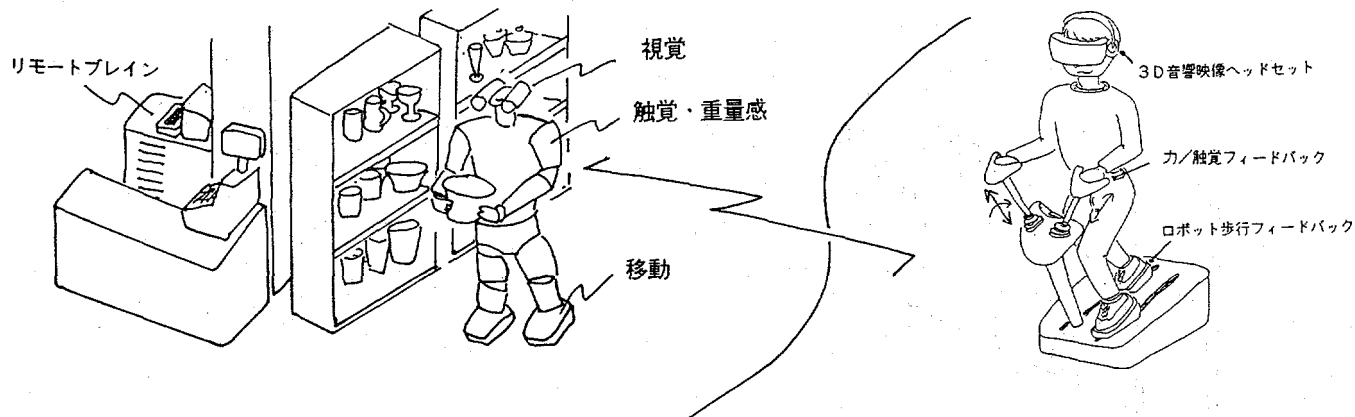


図3.4.8 リモートショッピングロボット

ロ) リモート検査ロボット

概要：

工場、産業施設、無人の作業場所などにロボットを設置し、遠隔地から検査・保守作業を実現する。ネットワーク経由にてセンシング機能と移動機能を利用できるので広い施設内の多岐に渡る箇所を自由に検査することができる。また、ロボットがハンドなど作業手段を有しているので、検査により必要と判断された部位に対して修理や調整など、保守作業を実施することが可能となる。以上により、従来のカメラや計測器によるオンライン監視システムと比較して格段に有用な遠隔検査・保守システムを実現することができる。

技術要素と目標：

- ・種々の場所へのアクセスが必要となる検査／保守作業のため、腕、視覚、など、人間の上半身に近い機能を搭載するアンドロイド型であることが有利となる。
- ・移動に関しては作業対象場所に大幅に依存する。平らな床のみで構成される工場や産業施設では車輪によるフロア内移動とエレベータを用いたフロア間移動のみで十分である。パイプラインや配線ダクトなどを乗り越えた移動が必要な場所では2足歩行が要請される。
- ・効率良い作業遂行のためにはある程度高い自律機能の実現が必要となるが、リモートブレインタイプにて実現してよい。
- ・アンドロイド型の研究プラットフォームを用いて、搭載可能機能と要求作業とを擦りあわせながらの研究推進が望まれる。

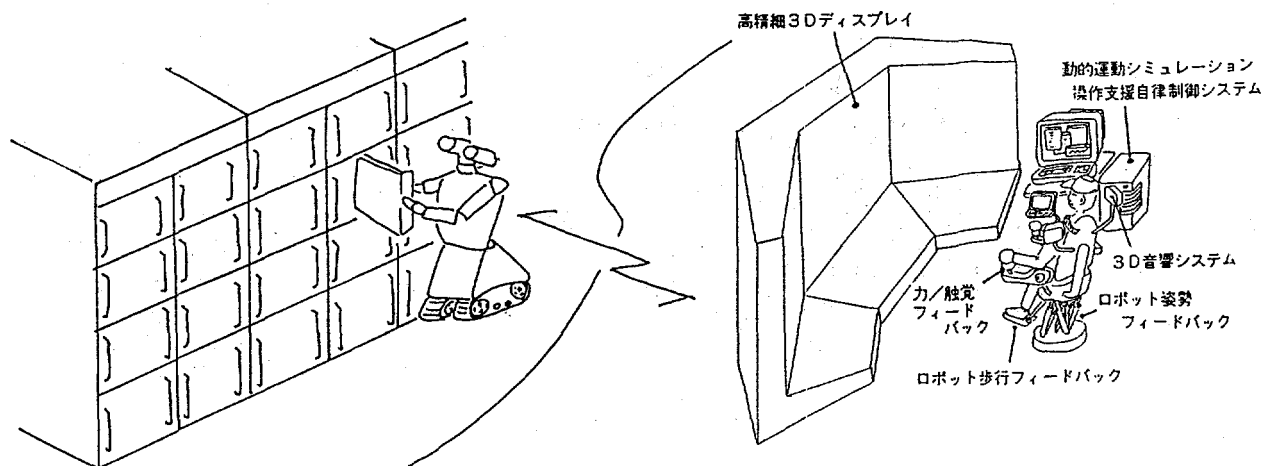


図3.4.9 リモート検査ロボット

ハ) アクティブセンシングロボット

概要：

「ニューロマンサー」のモーリのように、遠隔地の環境を人間の感覚として知覚し、オペレータに忠実にリアルタイム伝達／再生することを目的としたヒューマノイド型ロボット。応用例として、a)エンハンスド臨場感会議、b)エンターテインメント、c)観光、ナビゲーション、d)メンタルヘルスケア（心理療法の支援、長期入院患者の慰安）、e)リハビリテーション、などが想定される。

アンドロイド型の利点としては、

- ・移動：人間と同じ環境を同じ方法で移動できる（車輪ではなく二本足で）階段の上り下り、家庭やビルの中、車や電車や飛行機による移動
- ・人間と同じ方法、同じ感覚で、環境を認識、学習することができる
- ・親近性：機械というより友達的な感覚で接することができる

協調性：人間と同じ環境で強調して行動できる

- ・マスター／スレーブとして利用できる

などが上げられる。

技術要素と目標：

ネットワーク／通信技術

- ・Internetなどの低コスト基本インフラ（スレーブとマスター間）
- ・無線ネットワーク（近くの拠点からロボットまで）

高いリアリティを実現する感覚のセンシングと再生技術

- ・立体ビデオ映像の送受信：ステレオカメラ入力と立体表示機能
- ・立体音場：スレーブの周りの音場をマスターに立体的に再現
- ・音声の送受信：会話、音声認識、自動翻訳
- ・MotionCapture（頭、腕、足、手の位置姿勢や表情の伝達）とロボットサーボの連結
- ・触覚データの送受信（haptics）握手、物を持つ、物の形や大きさを知る
- ・体勢感覚の送受信壁にぶつかる、階段を昇降する、歩行、走行、座る、しゃがむ

- ・嗅覚ディスプレイ (olfactory) 芳しい香り、危険な匂い

自然な入力システム

- ・手振り、身振りを入力としてマスタからスレーブへ伝達
- ・音声によるガイド
- ・(絵やメールを送るための) 手書き認識入力
- ・誰でもロボットを直感的に簡単に使えるユーザインターフェイスの確立

その他

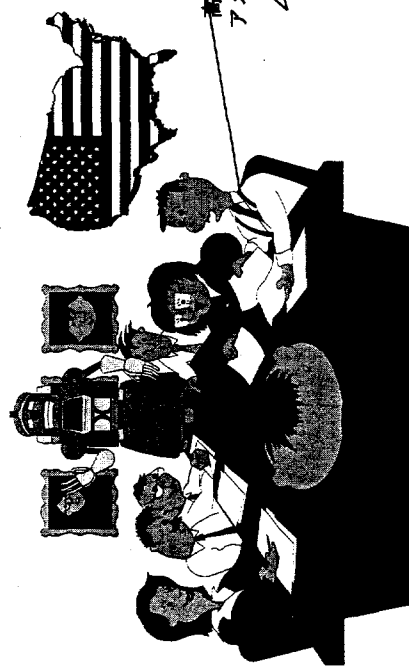
- ・自律性、安全機構、動力 (バッテリー)、アクチュエータの小型化、収納など

目標の補足:

- ・ここでは大きなトルクを必要としない簡単な作業、操作を目標とする。
- ・スレーブには高いインテリジェント性は持たせず、マスターからの指示をいかに忠実に表現するかを重点を置く。

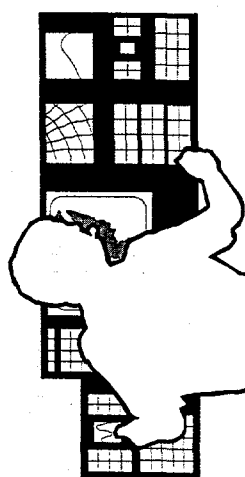
実現のための期間として、5年から10年を想定する。

日商エレクトロニクス株式会社
1997年2月 応用電子部 小林広美



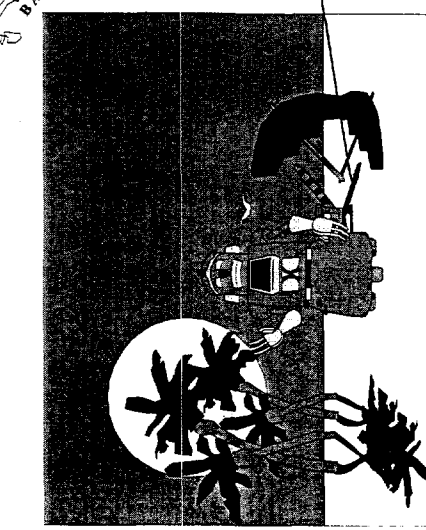
高速ネットワーク回線
アメリカ<----->日本

遠隔オペレーションルーム
感覚のセンシングと指示入力

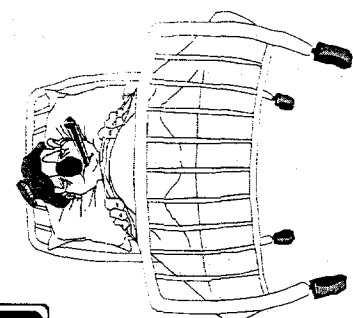
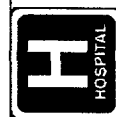


1) エンハンスド臨場感会議システム

遠隔地から会議などに参加、同じ体験を共有できる



高速ネットワーク回線
リゾート地<----->日本(病院)



入院中患者の心理治療、ヘルスケア、
リハビリテーション等に応用可能

2) 遠隔地ナビゲーションロボット・システム

図3.4.10 アクティブセンシングロボット

ニ) インテリジェント水中ロボット

概要：

水中作業を陸上からの遠隔操作により行うシステム。 複数台の水中ロボットで構成され、大きく作業用と監視用に分類される。この分類以外は機能的に同じ小型ロボットで構成する。各ロボットは相互にネットワークで接続されており、群知能ロボットとして行動する。このロボット群への作業指令は、アールキューブ技術により情報提示された陸上のオペレータから、オペレータの動作の形で与えられる。その指示を遂行するために必要な数のロボットが、群として協調して作業を行う。

1台のロボットでいろいろな作業を行おうとすると、ロボット自身が大型化（パワーなどの問題による）するなどして効率が悪くなってくる。そこで、複数台の小型ロボットの協調作業により、作業の効率化をはかる。

具体的な特徴として、

- ・機能の同じロボットによる群作業なので、どれかが故障を起こしても残りのロボットが肩代わりできる。
- ・複数のロボットが協調して作業を行うため、作業効率が良い。
- ・ひとつのロボットに機能を集中する必要がない。
- ・複数台が動いているため、周りの環境などの効率的な情報収集ができる。
- ・ネットワークを用いて情報を共有できる。

などをあげられる。

技術要素：

- ・群知能技術
- ・水中におけるネットワーク技術
- ・操作者の動きを理解する技術
- ・アールキューブ技術

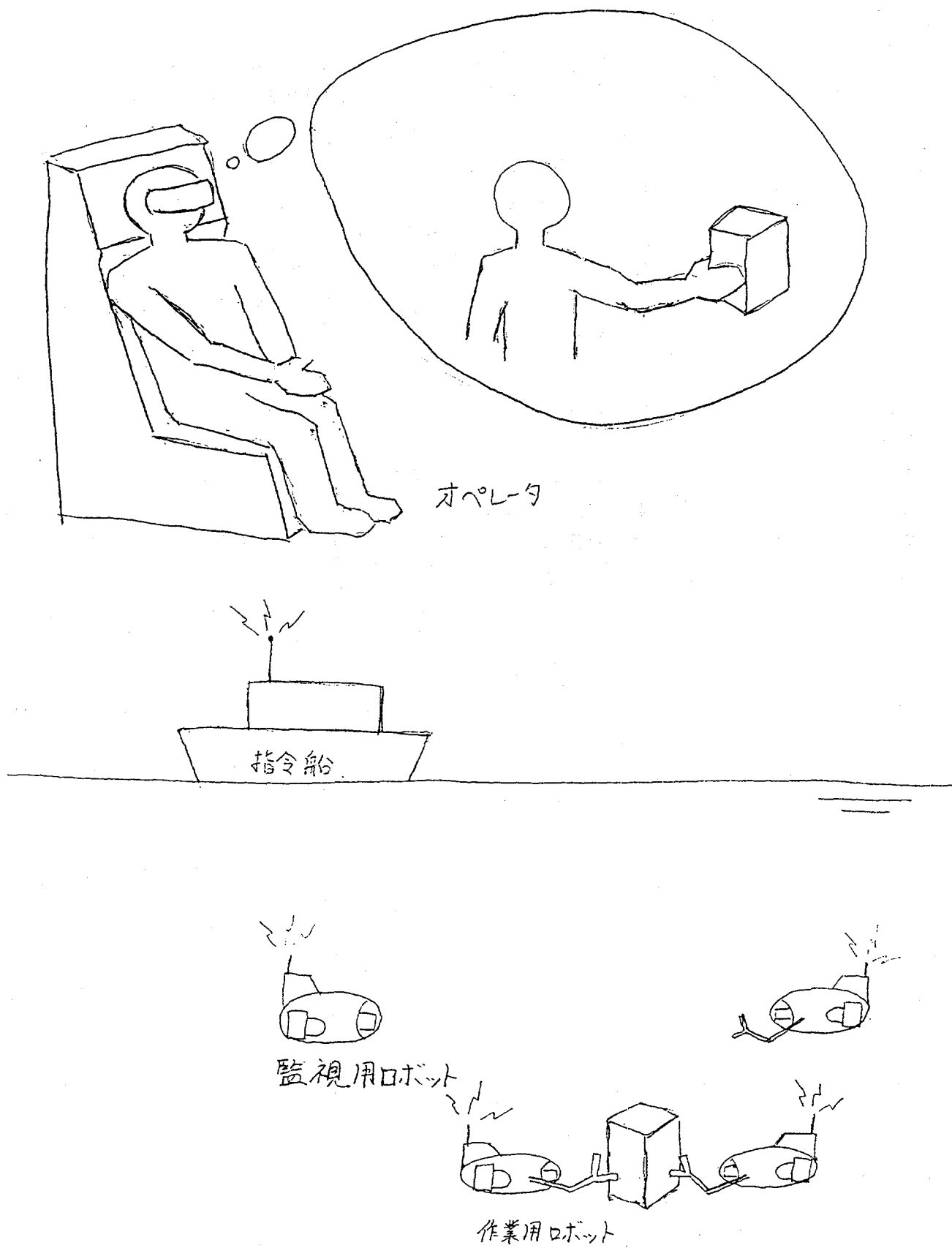


図3.4.11 インテリジェント水中ロボット

3) ロボティックルーム／ネットワークメカトロニクス型

イ) ホームロボティクス

概要：

一般の家庭における、情報・メディア、調理、空調・環境、セキュリティ等を総合的にサポートするアンドロイド・空間分布協調型ホームロボティクスシステム。マニピュレータ機能等は可能な限りアンドロイド型に集約し、空間の効率的な活用を図る。

技術要素と目標：

- ・ 通常の部屋の環境、すなわち、家具、雑貨の分散した環境の中での移動。
- ・ 日常的な作業の中で、簡単なものを遂行できる程度の知能。リモートブレインを利用する。
- ・ 家電等をネットワークにつないで総合的に制御する技術
- ・ 複数のアンドロイドロボットの作業協調技術

開発期間としては、空間分布型を中心としたシステムで、約5－10年を想定する。

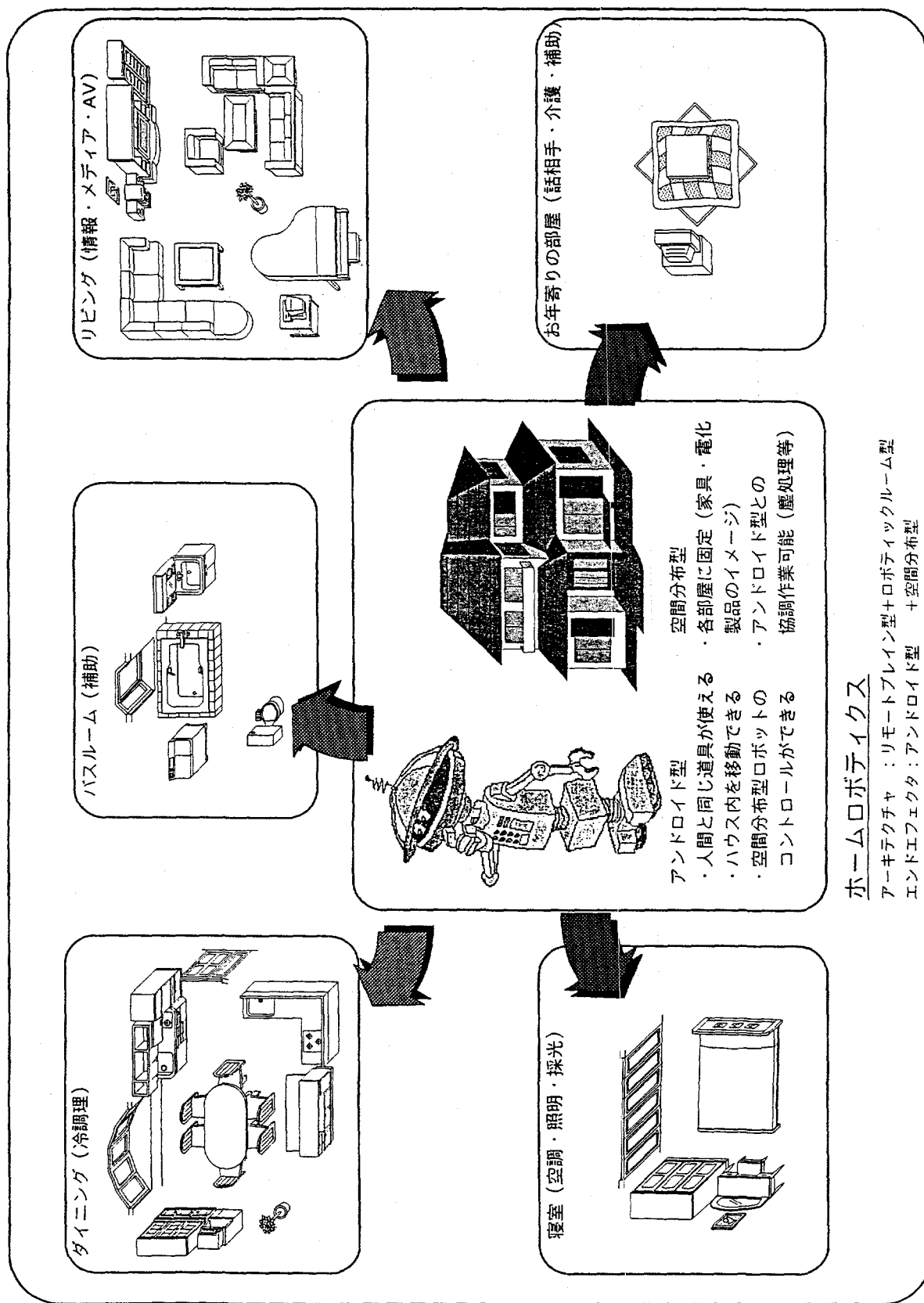


図3.4.12 ホームロボティクス

ロ) 汎用揚重搬送システム

概要：

建物の建設途上から竣工後まで活用可能な非生物型のビル内汎用揚重搬送システムで、次のサブシステムから構成される。

a) ユーザーフレンドリーなヒューマンインターフェイス

・オペレータからの「全館のゴミを明日の朝までに出しておきなさい」といったあいまいな表現からなる指示を受けると、インテリジェントシステムで構成された親機が複数の子機にタスクを配分して、その作業を最も効率的に遂行できる。

b) 建物存続全期間活用可能型

- ・建物の建設中の工事用リフト・水平搬送装置として活用できる。
- ・建物竣工後から解体されるまでの全期間ゴミ搬出装置として活用できる。

c) 親子型

- ・建物のエレベーターシャフト等にセットされ各階を垂直に移動し、複数の水平搬送用ロボットを所定階まで揚重できるとともに各水平搬送ロボットに作業を指示できる親機
- ・親機からの指示を受け、所定階でそのタスクを遂行できるとともに、複数の水平搬送ロボット間でコミュニケーションを取り、与えられたタスクを複数のロボットで協調して遂行できる子機

技術要素と目標：

オペレータルームは、通常、建物が統合監視できる警備員室（または監視室）等でユーザーフレンドリーなインターフェイスによって管理者から親機に作業指示できる。

親機は、非生物型（見かけは通常のエレベーターだが、タスクスケジューリング機能や子機への作業指示等のタスクマネージャ機能を有す。）

子機は、移動可能な複数の非生物型ロボット

開発期間は、約5年とする。

汎用揚重搬送システム

工事中

竣工後

建築資材の揚重
搬入に活用

夜間ビルゴミの
搬出に活用

子機

親機からの指示を受け、所定
階で複数の子機と協調してタ
スクを実行できる。

オペレータ・ルーム

建物の集中視室等からユ
ーザーフレンドリーなインタ
ーフェイスによって簡単に作
業指示ができる。

親機

管理者からの指示の意味を理
解し、作業計画をたて、複数の
子機に適切にタスクを割り当
てられる。

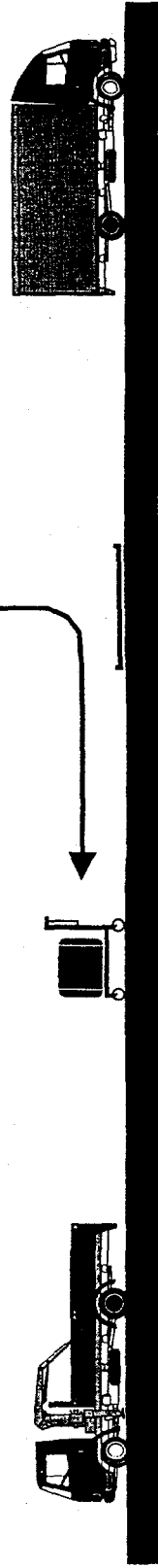


図3.4.13 汎用揚重搬送システム

4) ネットワーク／システム型

イ) NBRによる人間支援システム

概要：

社会の高度な情報化によりComputer Network（情報インフラ）が急速に整備されてきている。そして、現在は非常に限定された環境にのみ存在するロボットと、Computer Networkを結び付けたものが、Network Based Roboticsである。我々はNBRによって、ロボットの社会進出が進め、来たるべき21世紀に向けて高齢化や労働不足などといった問題を解決しようとしている。このロボットの応用分野としては、テレサージェリといった医療や老人介護といった福祉にとどまらず、家庭や工場、さらにはアミューズメントなどが考えられている。

技術要素と目標：

- ・ 人間とロボットとの共存
- ・ オペレータの高度な臨場感
- ・ 大容量の通信網

NBRによる人間支援システム

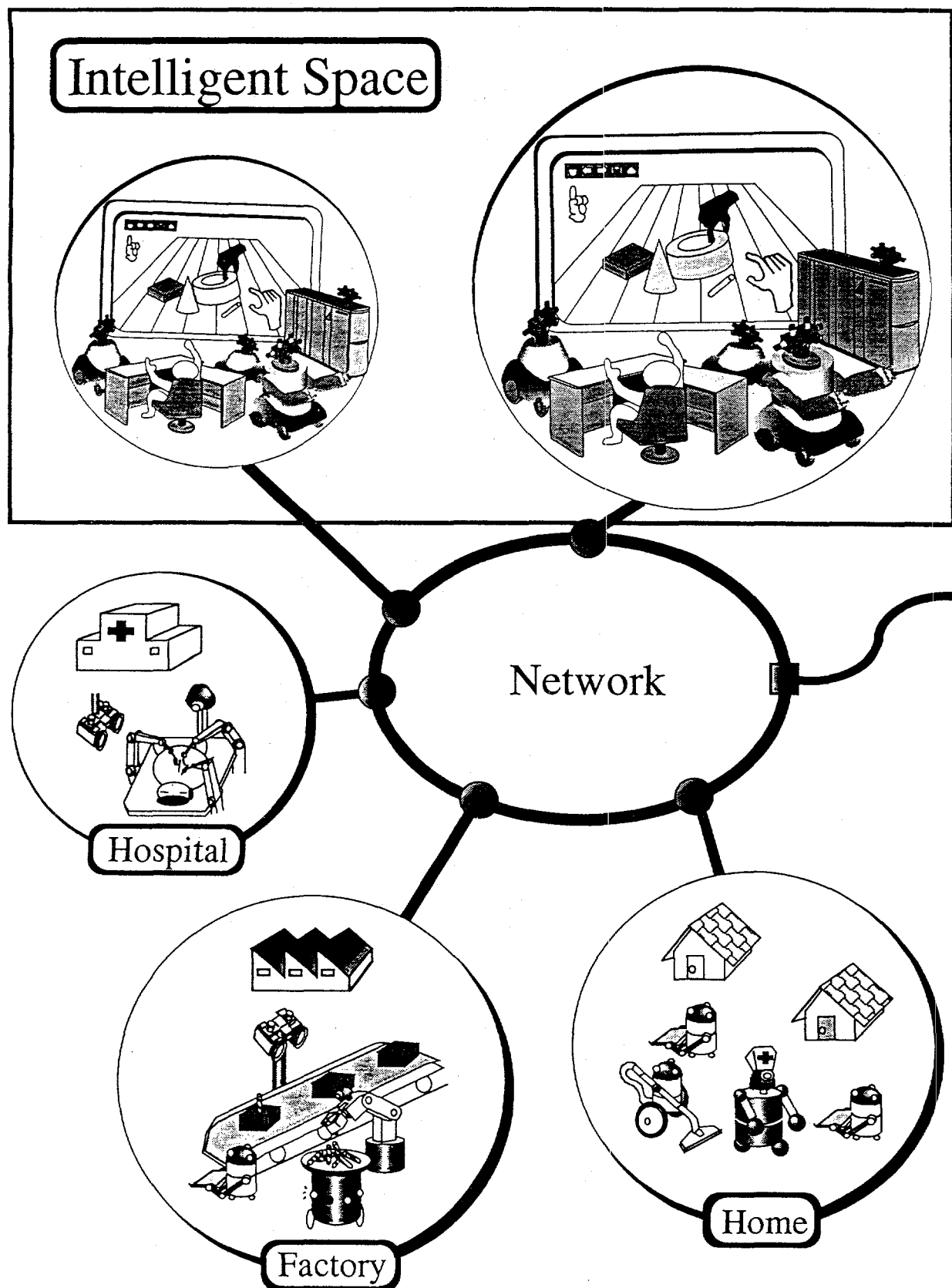


図3.4.14 NBRによる人間支援システム

ロ) 医療拠点ネットワーク

概要:

末端装置は、末端のターミナル地点での状況、拠点施設は、拠点での状況の一部を示している。末端では、患者や検診者がNBR装置によって、診察・検診を受けている模様を示している。体温や脈拍など通常のバイタル情報のみでなく、触診や顔色、体温分布、声など医師が接するような感覚で情報を収集できるとともに、患者にとっても違和感のないフレンドリィ性を有する。モニタには医師の顔や各種情報を表示でき、また、ここに設置しているテレビカメラによって、患者側の情報を伝える。また、触診が可能なように、触覚センサがあり、その他にバイタル情報用のセンサがある。さらに、フレンドリィ性を増す看護婦(人間)またはアドバイザーヒューマノイドなどがあるとより実用的である。本装置は、固定式でも良く、また、車などに搭載可能である。自走するかどうかは、オプションと考えて良い。遠い将来は、一家に一台となる。このときには、他の機能を持つマルチ端末的な利用が考えられる。

一方、拠点でのNBR装置は、医師が各種情報を収集できるようにロボティックルームのような機能が組み込まれている。モニタにより患者の様子を観察でき、その他医療情報を表示する。また、テレビカメラなどで、医師の様子を末端側へ伝送し、相互に相手を理解できるようになっている。触覚の情報は、触覚再現部で再現され医師の感覚として理解される。

これら末端と拠点とは、ネットワークでリンクしており相互に対話型で進められる。また、ネットワークは、コンピュータやデータベースともリンクしており、必要な情報を利用できる。

技術要素と課題:

- ・拠点システムにおけるネットワークに基づいた遠隔診断、遠隔治療、遠隔手術の実現
このための拠点施設における装置の実現
- ・低侵襲な診断・治療装置による高度医療における患者や医師の負担軽減
患者の搬送、地方担当医師とのテレイグジスタンスなど
- ・末端における遠隔医療のための物理的情報収集や物理的作用装置の実現
- ・その他、カルテ情報管理、セキュリティ、安全性などに関わる情報化メカトロニクス

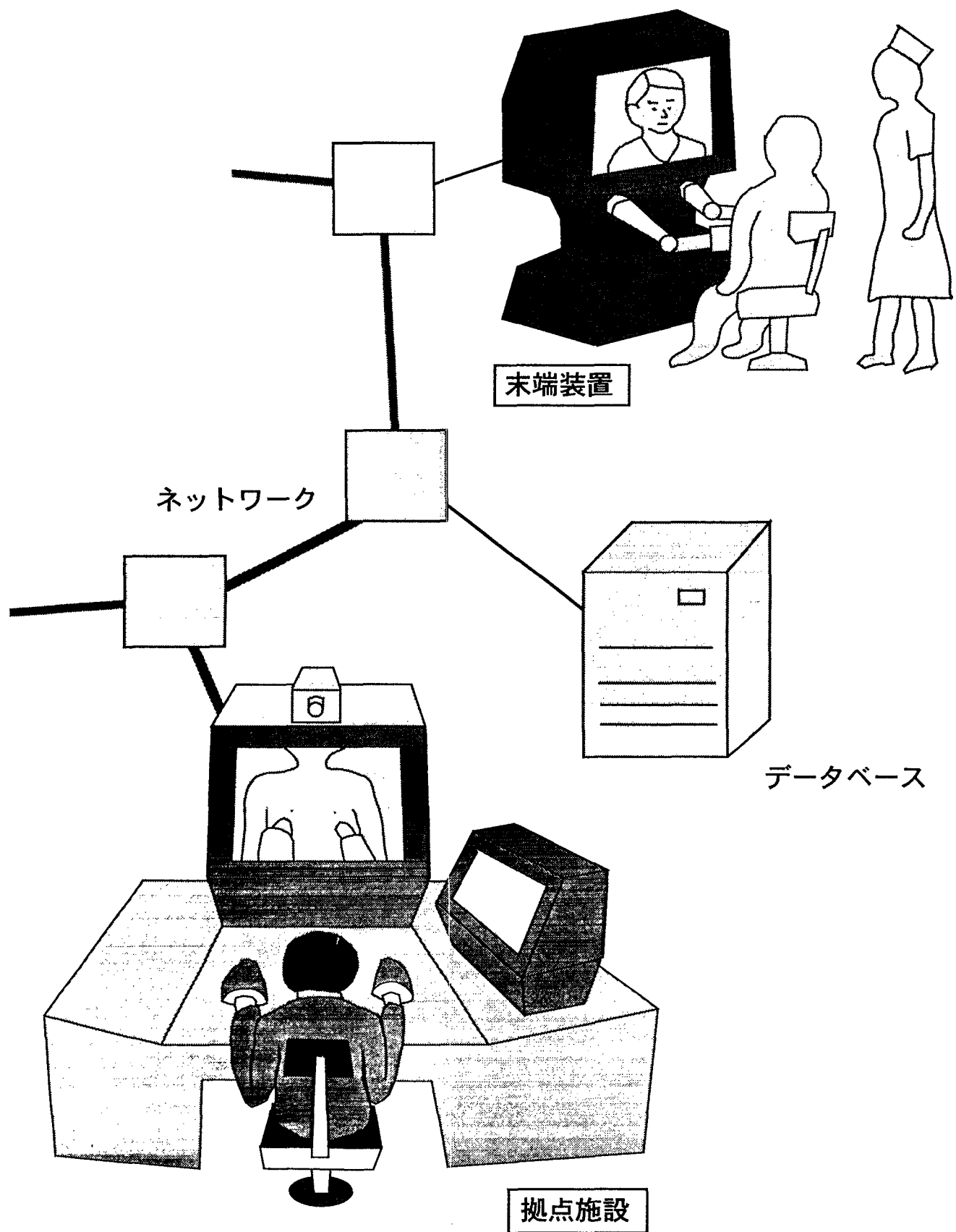


図3.4.15 医療拠点ネットワーク

ハ) 無人搬送システム

概要：

都市全体をカバーできるネットワークを利用して、高度な自律機能をもった自動運転の車を用いて、様々な資材を無人で随所に配送できるシステムである。

技術課題と目標：

a) 自律化された車の中での無人搬送（開発5年） 例：飛行場，湾港

b) 人および人が運転する車がある中での無人搬送（開発10年） 例：一般道路

走行環境：一般道路想定（信号，標識，白線，GPS，地図に従って走行）

走行速度：0～40Km/h

c) 人への荷物収受ロボットの開発（開発10年）

サイズの異なる荷物のマテハン技術

人との接触回避

建物内の移動（階段、敷居などの段さ、エレベータ等）

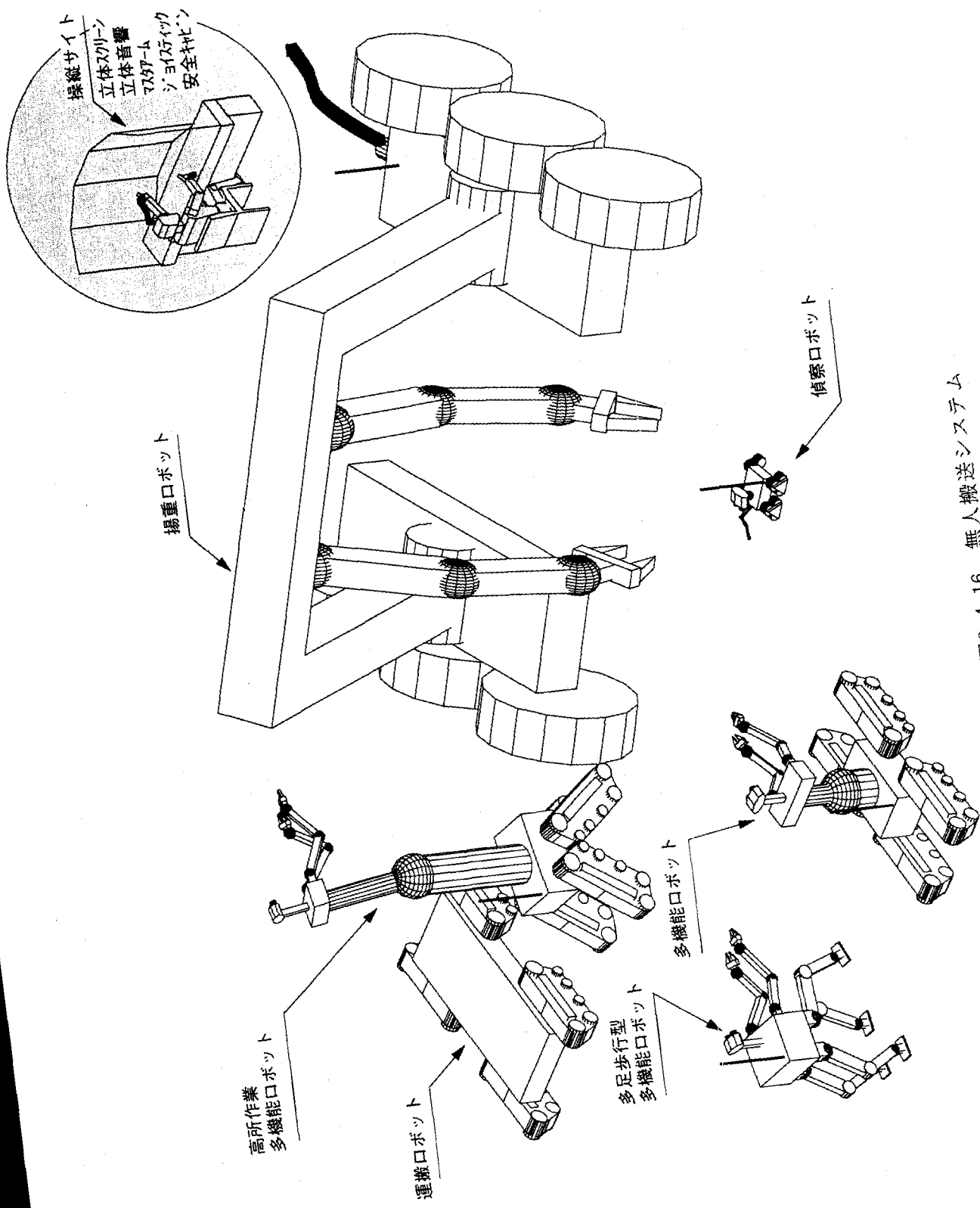


図3.4.16 無人搬送システム

ニ) コンビニエンスファクトリ

概要:

現代は多様化の時代といわれ、生産者は消費者の多様なニーズを満足させるとともに高い収益を確保するために、高い付加価値を可能とする多品種少量生産の実現に向け多くの努力を傾けている。今後の社会においては、アルビン・トフラーがその著作である「第3の波」におけるプロシューマ（生産者と消費者の直結）の概念がますます推し進めていかれると考えられる。ただ現代の工業社会は個々の消費者にマッチするような製品を一品生産するには多くの困難が予想される。

しかしながら以下のように生産のフェーズを2つに分けて考えた場合、コストを押さえつつ、後者のフィニッシュアップ生産による個別化、多様化への対応が可能になると考えられる。

将来の生産形態＝規格半完成品の大量生産＋ニーズ対応のフィニッシュアップ生産
すなわちフィニッシュアップ生産とは、量産された規格半完成品に対して、ユーザのニーズ、嗜好にあわせた仕上げを行う工程を指し、これを製造プロセスの中で積極的に分離しようとする考え方である。

この生産形態では、規格半完成品の量産を行う工場とフィニッシュアップ生産を行う工場の立地条件は異なる。すなわち、量産工場は現在の工場と同様な立地条件での生産が最も合理的であるのに対して、フィニッシュアップ生産は消費者のニーズを吸収し、即応できる大都市のなかでの立地が合理的である。このような観点で見ると、現在、都市のそこかしこで見られるようなコンビニエンスストアのように、消費者の近くで消費者の利便性を考慮した工場というコンセプトが生まれて来る。ここではこのコンセプトに基づく工場をコンビニエンスファクトリと呼ぶ。

コンビニエンスファクトリのコンセプトに近いものは既に外食産業では導入されている。すなわち、半完成品である素材を大量生産によって生産し、これをチェーン店形式にレストランで最終調理をしてお客様にだすという仕組みである。

コンビニエンスファクトリはこの考え方を工業製品に当てはめようとするものである。このためコンビニエンスファクトリでは製品の最終組み立て、外装の作成、加工、塗装等が主な作業として考えられる。外装の作成、加工等は専用機に近いものを行うことが合理的と考えられるが、最終組み立て等はロボットの行うべき作業となる。また専用機とロボットの間の作業対象物の授受等を考慮に入れ、また空間効率を高める必要があることを考えると、コンビニエンスファクトリ自体、一種のロボティックルームとなることが想像できる。

また、ネットワークロボティクスという観点からみると、量産工場とコンビニエンスファクトリ間での情報通信は言うに及ばず、各コンビニエンスファクトリのロボットの制御のために各店にそれぞれ人間をおいたのでは非効率的であり（接客担当は別にして）、集中センタでの監視もしくは作業指示を行う形になると思われる。

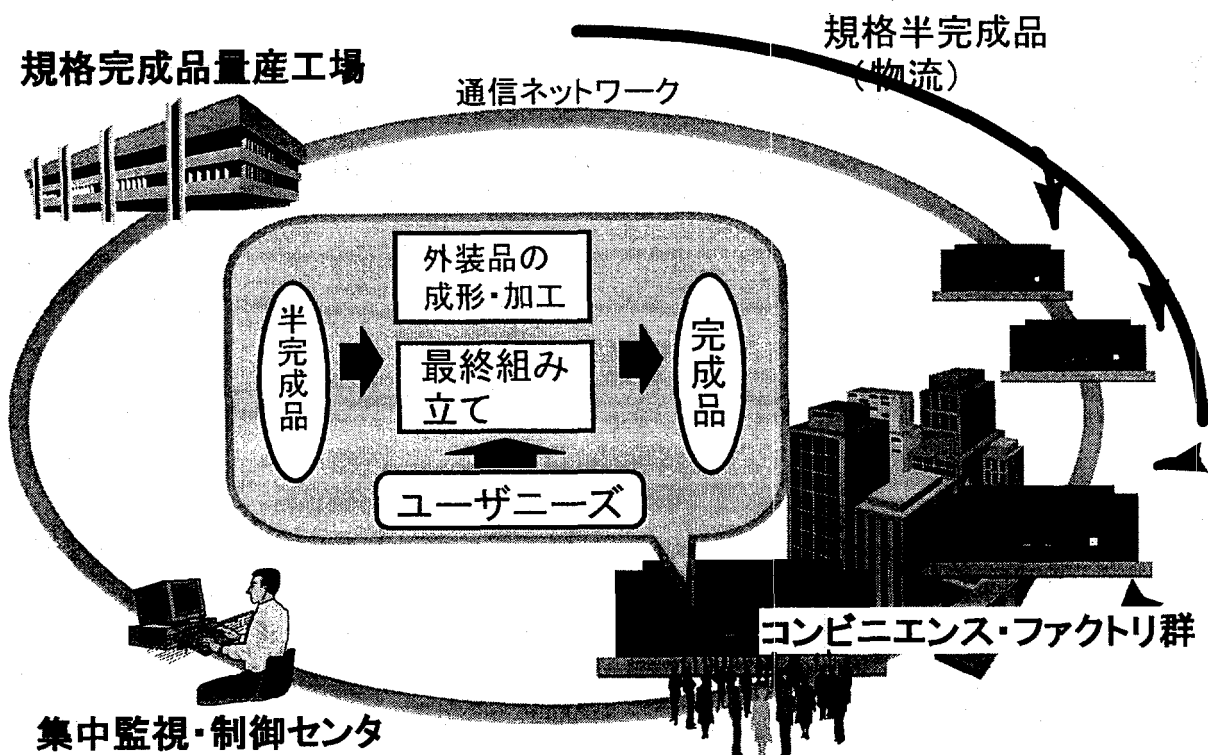


図3.4.17 コンビニエンスファクトリ

3. 4. 9 まとめ

ネットワークベースロボティクスWGでは、ネットワーク技術とロボット技術とを融合することにより可能となる新たなロボットシステムについて、その構築のための要素技術、こうしたシステムにおける人とロボット、あるいはロボット同士のコミュニケーションに関わる技術、およびRキューブに代表されるような体験型ロボットシステムを始めとするネットワーク融合型ロボットシステムの様々な利用技術課題の調査を行った。

先導研究初年度ということもあり、このWGでの検討を進めるにあたり、トピックについては、アンドロイド型ロボットに強く限定することはせずに、一般システム的な事項についても議論を行った。そのため、第2節から第7節にまとめた技術要素、および第8節にまとめた応用システムイメージには、直接にアンドロイド型ロボットに結びつかないものも含まれている。これらは、今回の先導研究をベースにした第5章のプロジェクト提案そのものとの連携は弱い、ロボティクス分野の将来的な技術シーズ／ニーズの可能性を示唆するものとして価値のあるものと考え、この報告書に含めて掲載した。

3. 5 アールキューブ技術

3. 5. 1 はじめに

アールキューブ はネットワーク環境を利用したパーソナルなテレイグジスタンス社会をめざした基礎研究と位置づけられる。Real-time Remote Robotics（実時間遠隔制御ロボット技術）の頭文字をとってR³と表記して、これをアールキューブと呼んでいる。情報のみが行き交う現在のネットワークを作業の伴うものとする試みともいえる。「フレンドリネットワークロボティックス」で代表される新しいネットワーク社会の構想を世に問いながらそれを実現するための基礎的な研究が指向されることになる。

このシステムが実現できれば、例えば、現在の家庭のパソコンがVR入出力付のVRパソコンになり、それを用いてB-ISDN等のネットワークを介して世界中のサイトにテレイグジスタンスすることが可能となる。家庭内のパソコンにはパーソナルロボットがあたかもコンピュータの端末機器のように接続され、コンピュータの指令で制御されたり、テレイグジスタンスモードでは使用者の目となり耳となって環境を認識し、使用者の意のままに分身のように行動する。

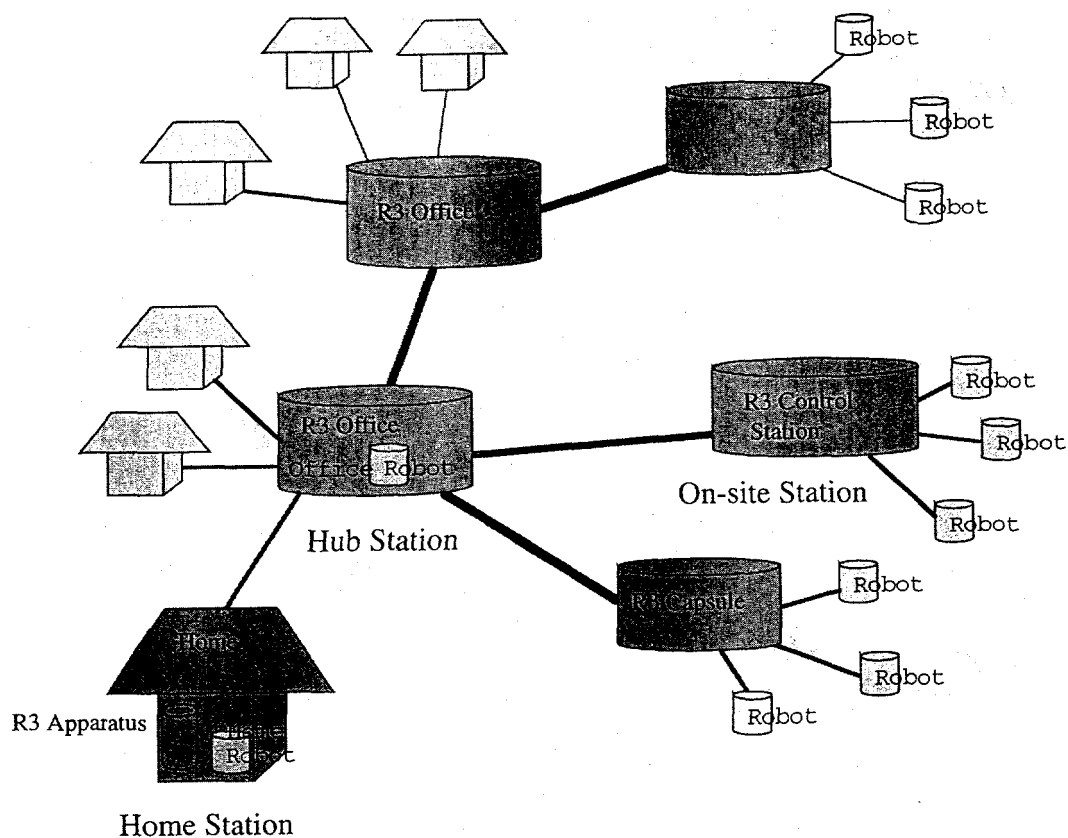


図3.5.1 アールキューブシステム

家庭だけではなく、オフィスや工場、病院、学校、図書館、美術館、公園、競技場、アミューズメントパークなどあらゆるところに、テレイグジスタンスロボットが配置されており、人は家庭からでもオフィスからでも、あるいは公衆電話のような公衆アールキューブサイトから世界中のアールキューブロボットを自分の分身として利用できる。これを用いれば例えば、病院に永く入院していて外にでられない子供たちやお年寄りが、ほかの子

供たちと一緒に遊んだり、自分の家族の住む家に戻ったりすることが、等価的に可能となるのである。スペースシャトルのアールキューブロボットにテレイグジストすれば、所謂「宇宙からみた地球の平和」を宇宙飛行士でなくとも体感できるというわけである。しかし、このような理想的なシステムを実現するためには解決しなければならない多くの技術課題があることは明白である。まず、人間がいかにして臨場感を得て通常の生活を送るのと同じ感覚でアールキューブロボットを使いこなせるかという問題であり、人間の意図を非拘束かつ的確に反映できるよう、生理学や心理学的な知見に裏内されたVRインタフェースを模索し実現しなければならない。通信の問題も重要である。リアルタイム性を保証した大容量・超高速の通信に加え、いかにして人間の異種の感覚間の同期を保証するのか、多数の使用者の協調作業をいかにして可能とするかなどVR固有の問題が含まれる。

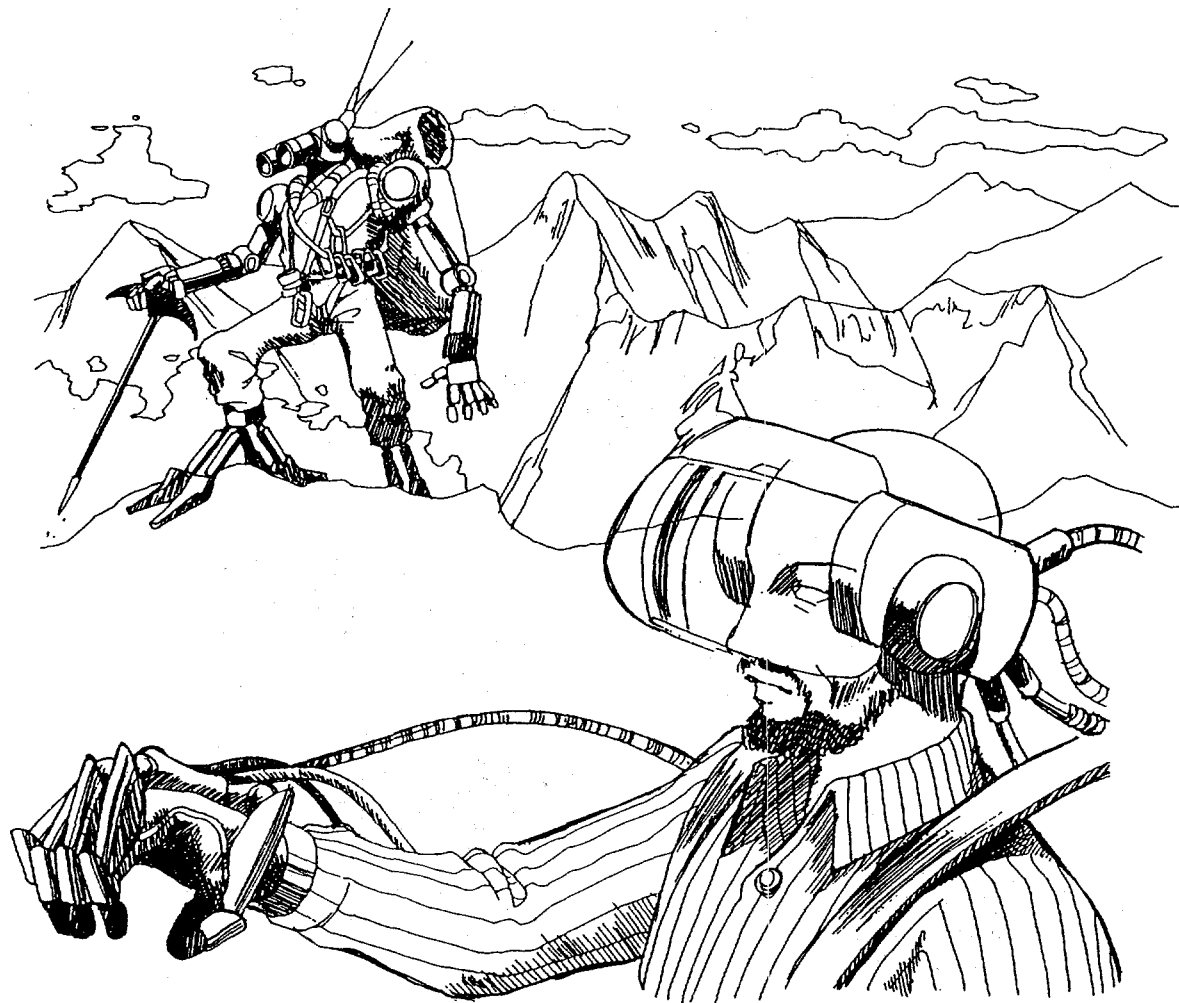


図3.5.2 アールキューブ登山（アールキューブストーリーより）

アールキューブロボットのハードウェアとソフトウェアの構成の諸問題もある。家庭内に適したロボットと各種作業に適したロボットという形で多くの種類のロボットが作られるであろう。それはちょうど自動車とのアナロジーで捉えられよう。というのは高速道路を走るビークルが自動車であるように情報ハイウェイを行き交うビークルはアールキューブであるからである。家庭用のパーソナルロボットは自転車を運転するように無免許で利用でき、災害救助用の大型ロボットは特殊免許、通常の利用は普通免許といった運用形

態が可能となる。そしてここで最も重要となる技術が安全知能である。いままでややもすればロボットや機械の知能は人間の高度の大局的な判断や思考を置き換えようとして失敗してきた。しかし、アールキューブにおいてはロボットの知能は人間の最高級の判断や意思を置き換える必要はない。むしろ、それこそが人間の最も重要な部分であり、人間はその部分こそ自分で行いたいのである。そして自動車を運転するようにアールキューブロボットを操縦する。しかし、自動車とは異なりアールキューブロボットは知能も有して人間が見逃した危険を回避するのである。これが安全知能である。安全知識の原則はアシモフのロボット3原則と同一である。すなわち、人に決して危害を加えてはならない。危険を看過することで人間に危害を与えてもいけない。人間の危険を与えない条件のもとで人間の命令に服従しなければならない。そして、この2項に反しない限りロボット自らの安全を守らなければならない。人間が自らの責任と判断でアールキューブロボットをテレグジスタンスで操りながら、人間の見逃した危険をロボットの側でも二重にチェックする安全知能は今後のロボット技術のキーテクノロジーの一つとなろう。

本調査研究では、このようなアールキューブの未来像を念頭におきつつ、それを実現するためのステップを、人間の動きに追従し見たいところを見る可動カメラの段階から、移動ロボット、移動作業ロボット、そして分身としてのヒューマノイドと段階分けして検討している。その結果、ヒューマノイドを構成するハードウェアとしてのプラットフォーム研究開発と、可動カメラのような機器も含め、それらをネットワークのなかで利用するためのソフトウェアとしてのプラットフォーム研究開発の重要性が明らかになってきた。前者はプラットフォームWGで取り組んでいることから、本WGとしては、後者として、遠隔リアルタイムロボット操作言語 (Real-time Remote Robot Manipulation Language : R-Cube ML) の研究開発を提案している。

1) 通産省アールキューブ研究会編：アールキューブ, 日刊工業新聞社, 1996.

3. 5. 2 アールキューブロボティクスの技術課題

遠隔のロボットを自分の分身のように操作して遠隔地の情報を得たり、遠隔の環境に働きかけたりするアールキューブの基本的なシステムは図3.5.3のように表される。すなわち、ネットワークに接続され遠隔地に配置されるロボット、同じくネットワークにアクセス可能な操作者、それに両者を接続するネットワークの3つが基本要素である。人間操作者はロボットの備えるセンサを感覚器として用い、ネットワークを通して得られる情報を感覚フィードバックインタフェースを介して受け取ることによって遠隔の環境を体感する。あたかも遠隔の環境にいるような感覚が得られる、このようなテレグジスタンス技術をもとにしてロボットで自分の行動を実現し、遠隔の環境に働きかけられる行動のネットワークを介した伝送がアールキューブの最大の特長である。遠隔地のロボットへの操作コマンドや操作指令は図示のように行動指令インタフェースを介してロボットに伝送する。遠隔地のロボットの活動する環境は、通常人間が行って活動するのが困難である極限環境であってもよいし、他の人間が活動する環境であってもよく、その場合は他の人と共存し、協調して必要な作業を実行することも考えられる。

アールキューロボットシステムを実現するには以上の各要素、および要素間の接点部分で各種の技術が必要となる。まず、人間からの指令に基づいて行動するロボットに重要な技術としては、「ソフトロボティクス」、「リアルタイムロボット制御技術」、「安全知能」などがある。「ソフトロボティクス」とは、人間が活動する環境で人間とロボットが共存しながら活動するため、従来のロボットでは必須ではなかったロボットの機構的な柔らかさや運動の柔らかさを如何に実現するかのものである。人間に好ましくない極限環境での活動でも、環境とのインタラクションによってロボット自体を壊すことなく、また、環境にダメージを与えないためにもこうした技術は必要である。ダイナミックに変化する環境で操作者の行動を実現するロボットの制御に実時間性は欠かせず、「リアルタイムロボット制御技術」はベースとなる技術課題である。この技術は操作者に高い臨場感を与えるためのロボットの環境情報のセンシングにとっても重要な技術である。「安全知能」とは、すでに前節で述べたように人間の見逃した危険をロボットの側でも二重にチェックする安全確保のためのロボットに与えるべき知能である。

一方、人間側で必要となる技術には図示のように「感覚呈示技術」、「感覚呈示デバイス技術」、「ヒューマンロボット協調技術」などがある。「感覚呈示技術」とは、遠隔地から伝送された感覚情報を、視覚、力覚、触覚、聴覚等の感覚情報に再構成し、対応する感覚呈示デバイスに感覚情報を送る技術や複数の感覚情報を巧みに組み合わせることによって高臨場感を実現する技術である。「感覚呈示デバイス技術」とは人間に対して視覚、力覚、触覚、聴覚等の感覚情報を提示するためのデバイスの構成技術である。「ヒューマンロボット協調技術」とは、人間とロボットが共存して作業を行う場合に、ロボットが人間と協調して作業を進めるための技術であり、これには共同作業を行う人間の意図を理解し、さらに手助けをする技術や、人間との接触などによる事故の回避技術などが含まれる。

さらに、ロボットと操作者間の情報伝達のためのネットワークに関する技術としては「遠隔リアルタイムロボット操作技術」（図3.5.4参照）や「場の情報伝送技術」などがある。また、近年話題となっているネットワークを介した情報の伝送のための規格に加えて、ロボット操作のための行動伝送用のプロトコルの決定などの問題がある。

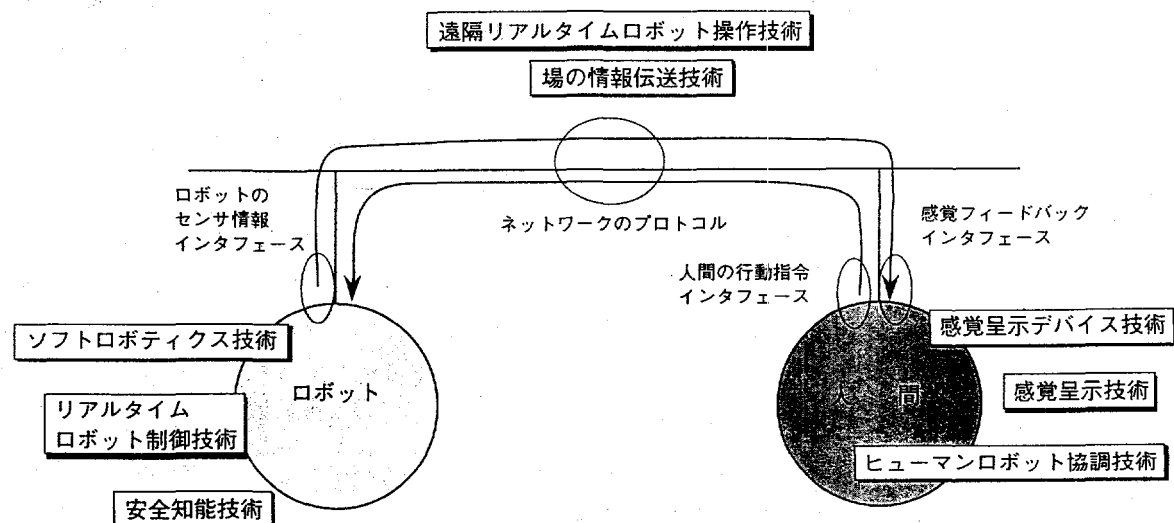


図3.5.3 アールキューロボティクスの技術課題

以上述べた技術課題の中でロボット側に必要な各技術については3.3で述べられるので、ここではアールキューブロボットが適用される分野でロボットがどのように活用できるかを3.5.3にまとめ、それぞれの適用分野毎の有効な事例については3.5.7でより詳しく述べる。人間側の部分、すなわちインタフェースについては感覚情報呈示デバイスを中心として、どのようなデバイスがどのような感覚情報の伝達に利用されているか、また利用されるかについて3.5.4に整理する。ネットワークに関するものとして、3.5.5に、遠隔地の情報を得ながら遠隔のロボットを操作することを想定した場合の現状で利用可能な通信路の状況について述べる。また、3.5.6にはネットワークを介してロボットを操作する手法、および操作イメージをR-Cube ML言語を中心として述べる。

3. 5. 3 適応分野

FNRで想定するロボットは、従来のロボットが人間の活動空間とは隔離された形で用いられるのとは異なり、人間と共存した環境で用いられることを主な特長とすることから、適用対象分野を人間の日常生活から産業活動、さらには災害地などの非日常的な場面まで広い範囲を対象とした。すなわち、適用分野としては、まず、一般生活での利用として「日常生活支援分野」を、今後、アールキューブの大きな適用分野になると予想される「アミューズメント分野」、社会生活を支えるインフラ整備関連として「社会活動支援分野」、アミューズメントと並んで大きな分野となると考えられる「教育・訓練分野」、さらに在宅診療や遠隔手術などの「医療・福祉分野」、3K作業代替やメンテナンスなど従来のロボットの適用分野のイメージに近い「産業応用分野」、そして「災害救助分野」である。

こうした各分野で人間の分身として機能する理想的なアールキューブロボットを想定することは、プロジェクトのターゲットとする数年では必ずしも現実的ではないことから、ここでは現状で利用可能なものから段階的に理想のアールキューブロボット（ヒューマノイド）に至る実現のレベルを考え、表3.5.1に示すように適用事例を整理した。現在でもすぐに可能なレベルとしてはまず、遠隔地の視覚情報を採取可能な「パソコン+可動カメラ」が考えられる。これは必ずしも操作者の思うように視線を動かして遠隔地の高い臨場感を操作者に与えられるものではないが、アールキューブシステムの第1ステップとなり得るものである。次いで移動機能をつけ加えた「パソコン+可動カメラ+移動ロボット」のレベルでは操作者の指令に従って環境の中を移動しながらより広い範囲の視覚情報を得ることが可能になるためさらに機能を高めることができる。しかしながらこのレベルでは環境に対して操作を加えることはできない。第3レベルとして想定したマニピュレーション機能を付加した「パソコン+可動カメラ+マニピュレータ」では環境に関して操作を加えることができ、ようやくこのレベルで本来の意味でのアールキューブが実現される。より自由な環境情報の採取と環境に対する操作を可能とするのが、第4レベルの「マニピュレータ+移動ロボット」である。さらにこの第4レベルの先に人間共存環境で人間と違和感無く協調して活躍できる人間型のロボットであるアンドロイド型、ないしはヒューマノイド型のロボットのレベルがある。表3.5.1では適用分野を横軸に、アールキューブの実現レベルを縦軸として適用事例をまとめているが、表中のように各レベルでは重複があったり、高レベルになるにしたがって必ずしも適用事例が増えるようにはなっていない。高レベルはそれより下位レベルの分野はカバーしているとみる必要がある。

表3.5.1 アールキューブ適用分野

適用分野							
	日常生活支援 (ホームユース)	アミューズメント	社会活動支援 (コミュニティ ロボット)	教育・訓練	医療・福祉	産業応用 (3K作業代替・ メンテ)	災害救助
1) パソコン＋ 可動カメラ	天気、交通情報 テレビ電話 景観、留守番	観 光 博物館 美術館など訪問	監 視	遠隔授業、語学学習 地理学習 相談事	モニタリング 在宅診察 外出体験	監 視 (作業、安全、育成) 診断	被災地モニタ
2) パソコン＋ 可動カメラ付き 移動ロボット	遠隔会議 情報収集 捜し物	観 光 博物館 美術館など訪問	巡回監視 来客対応 セールス	家庭教師 運転訓練 海外視察 登山訓練	モニタリング 院内サービス (清掃など) 外出体験	巡回監視 点 検 診断 (パイプライン メンテなど)	救 援 情報伝達
3) パソコン＋ 可動カメラ付き マニピュレータ	ゲーム 料理 人の世話	ショッピング	運転代行 来客対応 事務作業支援	運転訓練 習い事 陶芸、楽器演奏 遠隔加工、遠隔作業	在宅診察・治療、 遠隔手術、 介護、介護支援 工場勤務、娯楽相 手、リハビリ	荷わけ、廃棄物処理 (ゴミ分別) 塗 装	被災地モニタ 情報伝達 救助支援
4) マニピュレータ ＋ 移動ロボット	簡単な家事(洗濯、 掃除、留守番) 買 物	レジャ－の 代理体験	郵便、宅配、清掃、 ユーティリティ メンテ支援	スポーツ指導 家庭教師 危険作業技術指導 収穫、森林作業	外出体験 在宅リハ、歩行訓 練、医学研究 社会活動支援(生 産活動、公共奉仕 など)	建設作業(資材供給、 足場組立) 危険物処理作業支援 汎用作業(溶接、 部品供給など) 農作業支援	被災者探査、 救助、保護 物資輸送
5) ヒューマノイド (ブラットフォーム)	日常家事(料理、 留守番ほか) 買 物	人と時空間の共有	交 流 介 護	スポーツ指導 留 学 運転訓練	外出体験、介護 院内サービス 生活支援(買物 代行など) 社会活動支援	清掃、メンテ修繕 建設作業	被災者救助 避難誘導

R3 実現のレベル

例えば、教育・訓練分野を例にとってみると、R3実現のレベルとして、「パソコン+可動カメラ」を用いた適用事例では、人間の感覚のうち、視覚、聴覚が利用可能なので、遠隔地の教室などに「パソコン+可動カメラ」を配置することにより、遠隔地からだれでも遠隔授業や語学学習等を受ける「遠隔授業・学習」が考えられる。このレベルの事例では、現状の市販のデバイスを用いてすぐにも実現可能と思われる。次に「パソコン+可動カメラ+移動ロボット」のレベルにおいては、ロボットに移動機能を持たせることを想定し、自動車の運転訓練や、ロボットを海外に配置することにより海外視察も行うことが可能になる。次に「パソコン+可動カメラ+マニピュレータ」のレベルでは手を用いた作業にまで適用事例を拡張できるので、例えば、手作業を伴うような習い事や遠隔加工などが可能になる。また、第4レベルの「マニピュレータ+移動ロボット」になると移動しつつ手作業を行える遠隔ロボットを想定すれば、スポーツ指導や、収穫作業を行うことができるようになると思われる。そして「ヒューマノイド」のレベルでは、人間のすべての機能をロボットを通して遠隔地で発揮できると想定して、それまでのレベルの適用事例を当然含みながら、海外留学や様々な種類のスポーツ指導などが可能になると考えられる。

3. 5. 4 人間側インタフェース技術

人間側のインタフェースはアールキューブを実現する際の重要な3要素のひとつである。現在、計算機と人間の情報伝達的手段として様々なデバイスや方式が開発実用されてきているが、アールキューブの実現ではさらにこれらの機器、および方式の高度化が必要とされる。ここでは現状での入出力デバイスを元に、今後アールキューブ関連で実用されると予想されるものをパソコン入出力デバイス、VR入出力デバイス、さらに進んだ入出力デバイスの3つのレベルに分け、それぞれのデバイスについて伝達可能な感覚情報にどのようなものがあるかを、人間への情報の提示、および人間からの情報の入力、の2つの面からまとめ、表3.5.2に示す。この表において、パソコン入出力デバイスとは、現状のパソコンに接続可能で一般的に広く使われているものを指し、VR入出力デバイスとは、パソコン入出力デバイスほど一般的ではないが、現状のパソコンなどに接続可能で、おもにバーチャルリアリティ分野で用いられているものを指している。また、さらに進んだ入出力デバイスとは、現在開発段階にあり、より高度な感覚情報の伝達が可能なものを示している。

人間への情報提示ではVRの関連で視覚情報呈示用のデバイスが数多く研究開発されているが、アールキューブではさらにこれに加えて、力感覚や触覚情報の提示が欠かせず、この種のデバイスの開発が重要である。人間からの情報入力のデバイスとしては表のように位置情報に関するものが非常に多いが、情報提示と同様にアールキューブでは力指令の重要性が高く、こうした使いやすいデバイスの開発が望まれる。

以下に表中の一部の入力デバイスに関して説明を加える。

HMD：眼の直前に小型ディスプレイを設置し、視覚刺激を電子的に代替しようというものである。このディスプレイと、頭部の位置と角度を検出するセンサを用いて、常に頭の向いている方向の映像を供給してやれば、装着者の周囲すべてに仮想的な空間を発生すること、すなわち、非常に広い視野の広がりを実現することができる。

表3.5.2 人間側のイシタフェース

[illegible]

液晶シャッターめがね+ステレオディスプレイ：CRTに右眼用左眼用の映像を交互に供給し、右眼用の映像の時に右眼用のシャッターを開き、左眼用の映像の時に左眼用のシャッターを開くようにしてやると、左右両眼に異なった映像が供給され、立体視が可能となる。通常の映像信号（60ヘルツ）では、右眼用左眼用の映像が30ヘルツでしか供給できなくなるのでチラツキが生じることがある。それを防止するために、映像信号を120ヘルツに上昇させて使用するシステムが開発されている。

ケーブ（CAVE）：体験者を囲むように正面、床面、側面に3m×3m程度の大きさのスクリーンを配置し、立体プロジェクタで1つの連続した映像を投影する。体験者は液晶シャッターメガネを利用してスクリーンを見ることによって高い臨場感が得られ、仮想世界の中に覆い包まれるような感覚が持つことができる。複数の人間が同時に同じ体験をすることが可能な特徴もある。

ジョイスティック型マスターシステム（ワイヤー）：スティックが多数のワイヤで空間的に吊られており、オペレータはそのスティックを空間の6自由度に自由に動かして指示する。ワイヤがアクチュエータにより駆動される仕組みになっており、反力が人に戻る。触覚情報はスティック部で伝えるが、現在は接触情報程度を伝えられるに過ぎない。動作範囲があまり大きく取れない欠点があるが汎用性のある有力な入力デバイスである。

データグローブ：人の手の形をしたグローブにオプティカルファイバを配し、人の指の動きまでも検出する。手の位置と姿勢は次項の磁気センサで空間での大きな運動を測定する。力のフィードバックに問題点が残されている。

ポヒマスセンサ：このセンサの測定原理は、発信コイルを励磁して、磁界を発生し、その磁束が変化した時に他の計測コイルに誘導される電流が両コイルの相対的位置関係（距離と姿勢）によって決まることを利用している。三つの直交発振コイルと三つの直交計測コイルにより、両者の位置関係を計測することができる。発振コイルの各々は、例えば1/60秒ごとに1/180秒ずつ励磁され三方向の磁界を次々に発生する。それに同期して三つの計測コイルの電流を測定すればよいというわけである。磁気を用いる方式は、微弱な磁界を使用するために、計測範囲が高々2m立方と必ずしも大きくなく、しかも、周囲に磁性体が存在する場合、空間計測精度が大きく劣化するという欠点を有している。

ファントム（PHANTOM）：力覚／触覚をオペレータに提示することができるハプティック・インターフェイスデバイスである。本体に装着された指サック状のジンバル(Gimbal)の中に指先を入れることにより、仮想世界にある物体の滑らかな壁面、尖った角、球状のボール、木目の荒い面、摩擦などの情報をオペレータに提示できる。アプリケーションによっては2本以上の指を使ったり（Multiple Finger Interaction）、仮想の作業空間を2人以上で共有し合う（Multiple User Interaction）ことも可能である。また、スタイラス、ハサミ、メス、針、ドライバーなどの器具を指サックの代わりに取り付けてそこに反力を返すようにすることもできる。

また、PHANTOMは指先のx, y, zの位置および、指先に発生する抵抗反力値ををコンピュータにフィードバックすることも可能である。

ユニラテラルエグゾスケルトン型マスターアーム、バイラテラルエグゾスケルトン型マスターアーム：人間の腕と同一の自由度を有する機械の腕の形をしたゴニオメータを人間の腕を覆うように取り付けるか、あるいは人間の腕に添わせるように配した人間の腕運動計測装置である。ユニラテラル型は人間の腕の運動を計測するだけのもので、バイラテラル型は、遠隔の外界や仮想環境からの反力をフィードバックするタイプである。

マスター・マニピュレータ：通常のバイラテラルのマスターの有するカフィードバックに加え触覚情報もフィードバックする。現在のところ接触情報が主である。

3. 5. 5 通信路技術

アールキューブを実現するためには、その適用範囲、適用レベルに応じた通信形態を選択する必要がある。現在広く使われている通信媒体として以下のようなものがある。

1) N-ISDN (64kbps ~ 1.5Mbps)

現在、広く普及しているのもであり、各個人で広く利用されるものである。基本インターフェースは、2B+Dであり、データ通信では最大128kbpsを利用できる。

2) 無線 (Serial & Ether) (1.6Mbps ~ 10Mbps)

無線方式としては、スペクトラム拡散方式と赤外線方式がある。現在の無線Etherでは、2Mbpsから10Mbpsのものがある。赤外線方式の場合は、基本的に指向性があり、通信距離も比較的短い。そのため移動ロボットなどの方向定位が困難なものにはあまりむいていない。一方、スペクトラム拡散方式では、無指向性であるため、通信速度は比較的高速化しにくい。また、通信可能範囲は100~300mくらいまでであるが、ローミング機能を使うことで広範囲をカバーすることができる。

3) Ethernet (10Mbps, 100Mbps)

現在のLAN環境を低コストで実現できる通信環境である。通信速度として10Mbps、100Mbpsが主流であるが、1Gbps程度のバックボーンも開発されている。

4) B-ISDN (156Mbps ~ 数Gbps)

B-ISDNは広帯域化されたISDNであり、ISDNのより完全な形での実現をねらったものである。基本速度としては155.52Mbpsであり、高速広域ネットワークの基本になるものである。

5) ATM (26Mbps ~ 数Gbps)

ATM (Asynchronous Transfer Mode:非同期転送モード) は、B-ISDNの骨格となる技術であり、STM (Synchronous Transfer Mode:同期転送モード) に対抗する多重方式で、自由な位相で多重・分離されるため、速度や帯域が幅広く分布しているマルチメディア情報を

効率よく転送でき、パケットモードのように融通性のある通信ができる。

6) 衛星通信 (64kbps ~)

通信衛星を利用した場合、そのコストは非常に大きくなるが、アナログで通信する場合は、約0.5秒程度の遅れをともなつて通信可能である。また、デジタル通信を行なう場合は64kbps、1.5Mbps etc.等を占有することも可能であるが、これも非常にコストがかかる。

上記の通信形態を考慮して、アールキューブの実現性を各レベルごとに検討する。

1) パソコン+可動カメラ

このレベルでは、アールキューブの実現としては、そのほとんどがモニタリングである。パーソナルや教育分野のような適用分野では、あまり高解像度ではないがリアルタイム性、遠隔性が高い場合は、ISDN回線などでも十分に適用できる。また、医療の分野における在宅診察に関しても、解像度のみを重視し、動きをあまり必要としない場合も同様に考えられる。また、3K作業の分野では、ほとんどがLANの環境と考えられるため、Ethernetで構築されたLANでも、高解像度で高速な通信が可能である。

2) パソコン+可動カメラ+移動ロボット

このレベルでは、移動ロボットの操作が必要であるが、障害物回避など低レベル行動をローカルに行なわせることで、命令の簡素化を行なうことができ、その通信コストを非常に低く抑えることができる。したがって、このレベルにおいても(1)のレベルと同様に考えることができる。しかしながら、多くのロボットが同一回線を用いて通信する場合は、ロボットの数に比例した通信コストがかかるため、より高速な通信形態が必要となる。広域ネットワーク(WAN)では、B-ISDNを利用した通信形態が必要となるであろう。また、移動ロボットからの画像転送に無線を利用すると、その通信バンドをほとんど使用してしまうので、転送レートを低くするか、外部計算機にアナログで送信し、ネットワークに流すと言った方法をとる必要がある。

3) パソコン+可動カメラ+マニピュレータ

このレベルのアールキューブでも、上記のレベルとほぼ同じことが言えるが、マニピュレータの操作の場合は、力フィードバック等よりリアルタイム性が要求される。この場合は、遠隔になればなるほど時間遅れが問題となる。遠隔手術、代行運転などは、高度のリアルタイム性、高解像度の画像を必要とするために、超遠距離からの操作は非常に困難である。しかし、B-ISDNのチャンネルを複数利用することでその実現可能性も見えてくると思われる。また、遠隔加工などでは、メディア変換等を用いて情報転送を少なくし、加工機械の操作を簡素化することでISDNのような回線でも利用可能であると考えられる。

4) マニピュレータ+移動ロボット

このレベルでは、1)、2)、3)よりも非常に多くの情報量を転送する必要がある。特に外出体験やスポーツ訓練などでは、操作者への非常に多くの情報を提供するためには、WANの環境では非常に困難であると考えられる。ATMを利用したLANの環境下、B

-ISDNの複数チャンネルの利用が必要である。そのため、同一エリア内の複数利用の形態ではその実現性はかなり低いであろう。

5) アンドロイド

アンドロイドを用いたアールキューブでは、ほぼ人間と同レベルの動きが要求されるために、WAN環境でそのまま利用することは困難である。しかし、操作を簡素化し、体を維持するレベルの動きをローカルに保証することで通信量を削減でき、その実現可能性が出てくる。

ここまで、アールキューブの実現レベルでそれぞれ検討したが、通信のリアルタイム性を確保するためには、プロトコルを含めてその通信形態を考える必要がある。現在、高速ネットワークのために様々なプロトコルが検討されている。検討されているマルチメディアプロトコルとしては、XTP4.0、RTP、ST2+、RSVPなどがある。これらのマルチメディアプロトコルは実装が始まったばかりの段階であり、セキュリティの対応等の問題も含んでいる。

アールキューブの実現には、そのリアルタイム性から遅延時間の保証、帯域の維持を含んだプロトコルを用いて通信全体を考える必要がある。また、通信量の削減のための情報の圧縮、変換を検討すべきである。

3. 5. 6 遠隔ロボット操作技術

インターネットの爆発的発展は、世界規模での情報共有を可能にしたWWW(World Wide Web)によってもたらされたと言っても過言ではない。当初WWWはスイスのCERNにおいて分散文書データベースを目的として開発されたが、これに画像などの付加情報を統合したブラウザ(閲覧)ソフトウェアであるNCSA Mosaicの出現により、急成長を遂げた。近年さらに文書+画像の2次元情報のみならず仮想三次元空間を閲覧するための記述形式であるVRML (Virtual Reality Modeling Language)が国際標準として制定され、WWWは新たな段階へと発展しつつある。

VRMLは標準的三次元空間記述という大きな貢献をもたらし、世界中に分散する三次元仮想空間へのアクセスを可能にしたが、実世界へのアクセスに関しては全くの対象外である。アールキューブロボットの研究開発は、実世界に存在する遠隔ロボットを通して実環境へのテレイグジスタンスをネットワーク経由で行う手段を提供することにより、世界的規模での実環境へのテレイグジスタンスの可能性を示すことを目的とする。

遠隔ロボットをWWWブラウザを用いて制御する事例は1994年頃からUniversity of South California (USC)などにおいて見られるが、記述および通信に用いられているのはそれぞれ通常のHTML (Hyper Text Markup Language)言語およびHTTP (Hyper Text Transfer Protocol)プロトコルである。この場合、広く普及しているWWWブラウザをそのまま利用できるという利点があるが、反面以下のような問題点が存在する。

- a) ロボット制御インタフェースをHTML言語で記述するため、操作可能なインタフェースがHTMLでサポートされているボタンなどのインタフェースに限定される。

- b) 遠隔ロボットサイトのサーバとクライアントのブラウザとの間でやり取りされる情報は「ボタンを押した」といったユーザインタフェースレベルの情報であり、ロボット制御に適した情報通信が行われているとは言い難い。
- c) ユーザからのユーザインタフェース操作情報はWWWサーバで解釈されCGI(Common Gateway Interface)を介して制御が実行されるが、ユーザの操作をどのようなロボット操作に結びつけるかの関連付けはCGIスクリプトに委ねられており、ロボットサーバの提供者がHTMLファイルとCGIスクリプトとの間の整合性を注意深く設計する必要がある。すなわち、ロボット操作の記述と実行の間に何ら統一性が保証されておらず、汎用的なロボット操作に関して整合性を保つことは困難である。
- d) 通信に用いられているプロトコルはHTTPそのものであり、HTTPプロトコルの性格上一連のデータが受け渡された後は接続を切断するので、連続して遠隔ロボットと接続し継続的に操作しつつ情報を得るという用途には向いていない。

アールキューブロボットの研究開発では、上記のような問題点を克服するため、新たに記述言語および通信プロトコルを開発し、統一的な記述と操作を可能にすることを目標とする。

アールキューブロボットの実現イメージの雛形について述べる。VRMLブラウジングの場合と同様にWWWサーバ上にRCML(R-Cube Manipulation Language)言語を用いて記述したロボット記述ファイルを用意し、このファイルをWWWブラウザがダウンロードしてRCMLブラウザを起動する。RCMLブラウザは記述ファイルの内容を読み込み、遠隔ロボットサーバの位置、ロボットの自由度配置などの情報、諸元、制御パラメータ、入手可能遠隔情報の種類などを解析する。RCMLブラウザは解析結果を元にこれらの情報を提示するとともに、制御のためのユーザインタフェースを構築し、画面上に制御ボタンやダイヤルを作成する。ユーザが接続ボタンを押すと、ブラウザはRCTP(R-Cube Transfer Protocol)プロトコルを用いて遠隔ロボットサーバに接続要求を行う。接続が確立されると、ブラウザは画像などの遠隔情報表示ウィンドウを生成し、リアルタイムに遠隔ロボットと通信を行いユーザの操作を遠隔ロボットに伝えるとともにロボットから入手する情報を提示する。切断ボタンを押すと、接続は終了する。この様子を図3.5.4に示す。

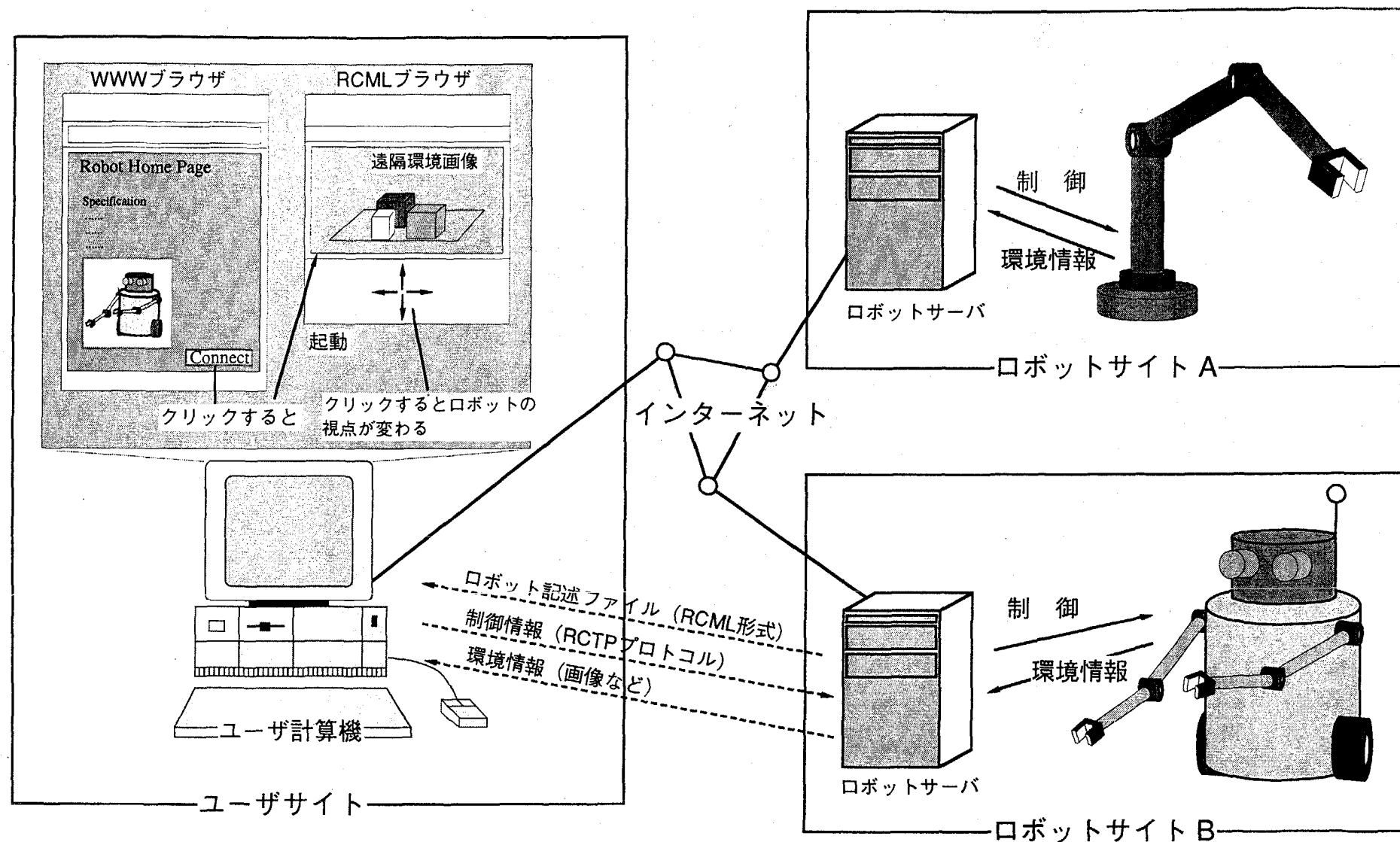


図3.5.4 R-Cube MLによる遠隔ロボット操作イメージ

以上のイメージを実現するために必要な開発技術要素は、大別して以下の2つである。

- a) R-Cube Manipulation Language (RCML) : 遠隔ロボットサーバのネットワーク上での位置 (URLで記述 : rctp://robot.lab.ac.jp/robot1といった形式)、自由度配置、制御可能パラメータ、入手可能情報などを記述する言語。ASCIIテキスト形式で、HTTP、FTPなどのファイル転送プロトコルを用いてクライアント側にダウンロードする。
- b) R-Cube Transfer Protocol (RCTP) : 遠隔ロボットサーバ (RCTPサーバ) とクライアント (RCMLブラウザ) との間の通信手順および内容を規定するプロトコル。「通信内容」には遠隔ロボットを操作するためのコマンド群が含まれ、その意味では従来のロボット操作言語に相当する部分は本プロトコルの設計開発に含まれる。
さらに、これらに基づいて実現イメージの試験的実装を行う。
- c) RCTPサーバソフトウェア : 実際のロボットに接続し、クライアントとRCTPプロトコルによる通信を行いつつロボット制御を仲介するためのソフトウェア。ユーザの操作情報を受け取り、これに基づくロボット制御を行うとともに、ロボットが取得するカメラ画像などの情報をクライアントソフトウェアに送出する。
- d) RCMLブラウザ : RCTPプロトコルによりサーバソフトウェアと通信を行いつつ、ロボットからの情報をユーザに提示するソフトウェア。ユーザの操作情報をサーバへ送出し、サーバから画像などの情報を受け取って適切な形で提示を行う。将来的にはロボットがステレオカメラを有しユーザがHMDや三次元計測デバイスなどの環境を有する場合には、必要に応じて立体視表示を行うことも想定する。

なお、遠隔ロボットの機能としては、以下のような段階を想定する。

- 1. 方向制御機能付きカメラ : 3軸方向に回転可能なカメラにより、ある地点における周囲の映像を提供する。ユーザはカメラ方向を制御し、自由な方向の遠隔環境画像を入手することを可能にする。
- 2. カメラ付き移動台車 : 上記の機能に加えて、一定の条件の下での移動が可能な台車をベースとして用いることにより、自由な地点における任意方向の遠隔環境画像を入手することを可能にする。
- 3. カメラ・マニピュレータ付き移動ロボット : さらに、遠隔ロボットにマニピュレータを装備し、遠隔環境画像の入手のみならず遠隔環境においてマニピュレータを用いた作業を可能にする。

3. 5. 7 適用分野毎の適用事例

(1) 日常生活支援分野

a. お使いロボット

概 要 :

お使いロボットとは、パーソナルロボットの所有者あるいは使用者 (主人) に成り代わり、用を足すパーソナルロボットである。用、即ちその人にとってなすべき必要があることには、多くのことが考えられる。例えば独身や共稼ぎ夫婦等、平日の昼間に自宅が留守

になる人は、会社や学校等の職場からパーソナルロボットを操縦して、自宅に届いた宅配便の受け取りを行ったり、局留めの小荷物を郵便局に受け取りに行くなど、自宅あるいは自宅周辺で行える用事をパーソナルロボットで行う。また、自宅で老父母を介護しているなど、自宅を留守にできない人は、自宅からパーソナルロボットを操縦して、回覧版を隣の家まで届けたり、近所のお店で簡単な買い物をするなど、自宅周辺で行える用事をパーソナルロボットで行う。

このようにパーソナルロボットは、主人自ら、あるいは主人の家族が代理で行っていた用事を、主人に成り代わり、実行してくれる。このときパーソナルロボットの動作制御には2種類あり、A地点からB地点に移動する等の単純な動作は自律制御で行い、ロボットが環境や人とコミュニケーションを取る必要がある場合には遠隔操縦で主人自ら行う。

現状での問題点：

独身や単身赴任者、共稼ぎの夫婦など、平日の昼間に自宅が留守になる人たちの中には、宅配便や書留の受け取り、新聞の集金などのように、自宅に本人あるいは本人の家族がいることを前提としたシステムに不便を感じている人が多い。また、本人が直接出向いてサービスを受ける、銀行や郵便局、区役所などにも、不便を感じている人が多い。また、老父母を自宅で介護していると、主婦が家を離れて近所の郵便局や区役所、魚屋、肉屋、八百屋等に行くのも容易ではない。

このような場合、本人に成り代わり、用を足すことができるパーソナルロボットがあれば、職場と自宅のように時間や空間的な隔たりがある場合でも、時間や空間の制約から逃れ用事を行うことができる。

アールキューブ技術を用いて可能になる点：

パーソナルロボットの全ての動作を主人が遠隔操縦していても、コンセプトと違うものになってしまう。A地点からB地点までの移動などの簡単な動作は、パーソナルロボットが自律制御で行う。あるいは、店にすでにあるロボットをトレイグジスタンスモードで利用し、買ったものは宅配サービス送ってもらう。パーソナルロボットが人や環境とコミュニケーションする必要がある場合のみ、主人が遠隔操縦する。このため、経路の途中で障害が発生した場合などは、その状況を主人が見て、ロボットを遠回りさせたり、引き返させたりなどの柔軟な対処ができる。また、共稼ぎ夫婦や独身者の場合、目的地の店などでロボットを介して他人と会話することにより、希薄になりがちな地域との関係が密接なものになる。

その他の応用例：

警備ロボット・掃除ロボット・オフィスロボット



図3.5.5 お使いロボット

b. 家庭円満アールキューブ

概 要：

単身赴任や長期出張などで家族がバラバラに住んでいたりと、核家族化が進んでいるため、各人が孤独感を持って生活をしている。そこで自宅にアールキューブロボットを配置し、家族間のスキンシップを図る。

現状での問題点：

単身赴任などで家族がバラバラになったとき、家族同士連絡を取る手段は、手紙、電話、FAX、テレビ電話かあるいはビデオを送ったりする程度であり、家族のスキンシップをとることはできない。

アールキューブ技術を用いて可能になる点：

自宅にアールキューブロボットを配置することによって、単身赴任先からアールキューブ技術を用いて家族とのスキンシップをとることが可能になる。家族と散歩したり、我が子を抱きしめることができる。

その他の応用例：

長期の出張などによって自宅を留守にするとき、留守宅を監視したり、掃除したりすることができる。あるいは自宅に忘れ物をしたとき、アールキューブロボットを使って、出張先にFAXしたり、忘れ物を宅急便で送ったりすることができる、オフィスでもその人にしかできないことを出張中であってもやってもらうことができる。

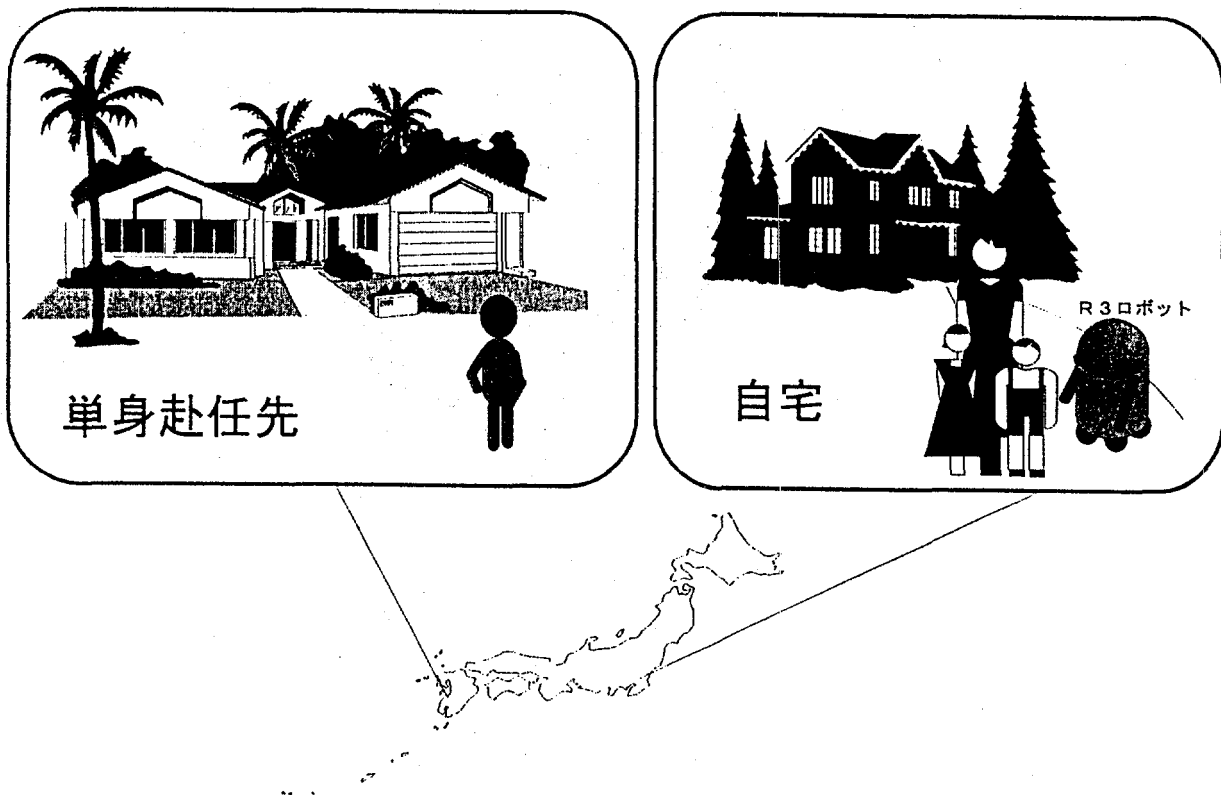


図3.5.6 家族のスキンシップへの利用

表3.5.3 家族とのコミュニケーションの実現レベル

人間側の インターフェイス	実現レベル
現在のパソコン 入出力デバイス	可動カメラやマイク・スピーカ等を用いて家族とのコミュニケーションをはかる
現在のVR入出 力デバイス	マニピレータや移動機能をもつロボットを遠隔操作して、家族とのコミュニケーションをはかる
さらに進んだ入 出力デバイス	R3ロボットを用いて家族と散歩したり、我が子を抱きしめることが可能になり、家族とのスキンシップをはかれる

(2) アミューズメント分野

アールキューブ・パーク

概 要： 実在するテーマパークに、世界中からアールキューブ技術を用いて「来園」する。

現状での問題点：

通常郊外に立地するテーマパークに訪れることは時間的にもかなり負担となる。さらに、海外のそこにしかないという著名なパークに行こうとするとなおさらである。また、家族や友人・カップルで一緒にといっても時間的な都合や距離的に困難な場合も考えられる（単身赴任や出張など）。

アールキューブ技術を用いて可能になる点：

アールキューブ技術を用いて、テーマパークに「来園」することが可能になれば、世界中のどんなテーマパークにも、時間的・距離的な制約無しに訪れ楽しむことができる。このことは、単に遠くのテーマパークで遊べるということではなく、日本にいる家族が、東京ディズニーランドを訪れるとき、単身赴任で米国にいる父親はアールキューブ技術で「来園」することにより、家族そろっての楽しい時間が共有できることになる他、日本にいるA氏がフランスにいるB子と米国のフロリダにあるユニバーサルスタジオと一緒に体験することも可能になる。これは従来のVR技術の世界を超え、アールキューブ技術が初めて可能とする「人間対人間」のヒューマンコミュニケーションの環境である。

その他の応用例：

発展型を考えると、既存のテーマパークへの「来園」ばかりでなく、アールキューブ技術でなければ体験できないような「アトラクション」の登場や、さらにアールキューブ技術を用いなければ実現しないような全く新しい概念の「アールキューブ・パーク」も登場する可能性も考えられる。

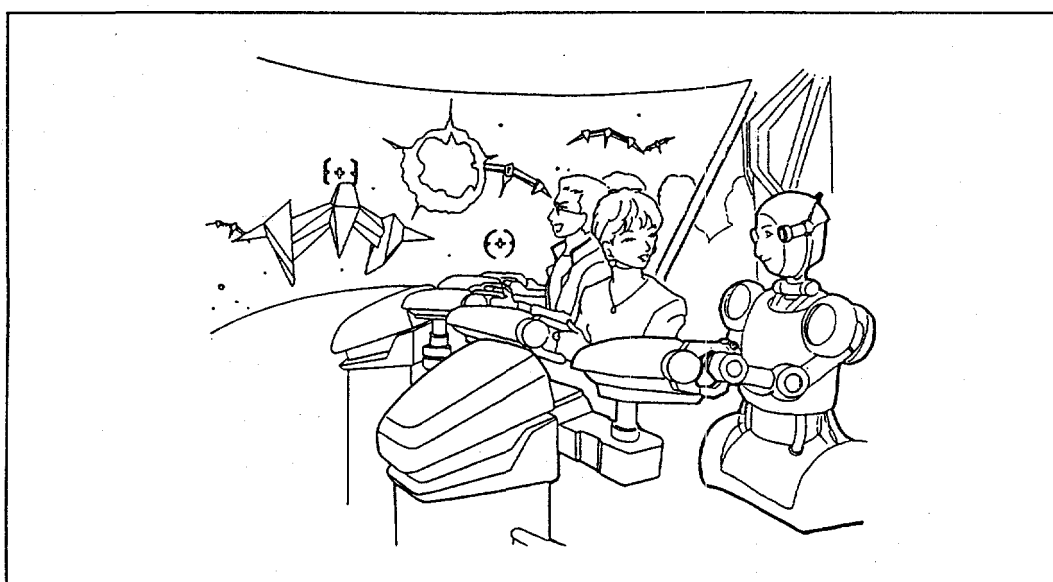
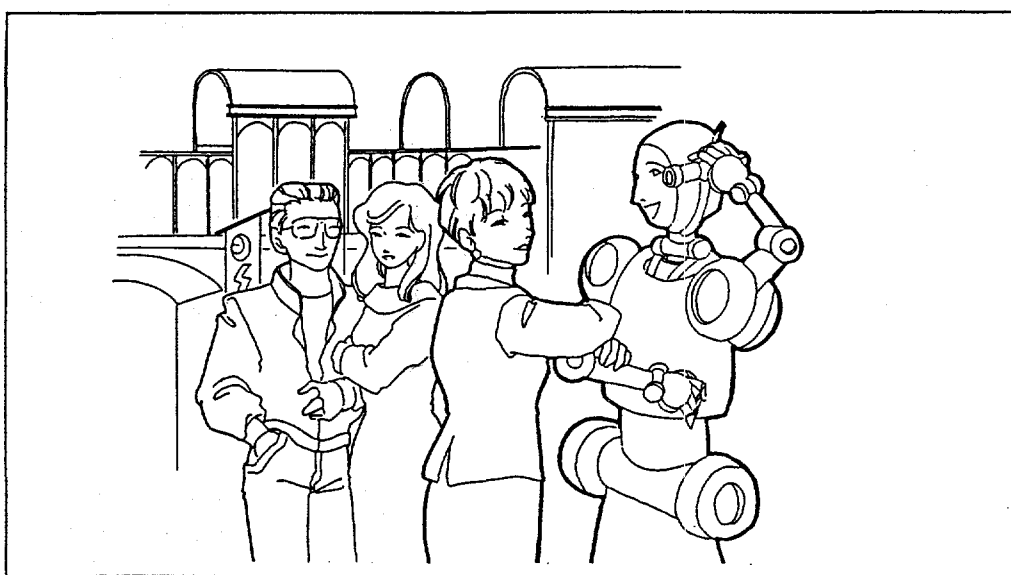
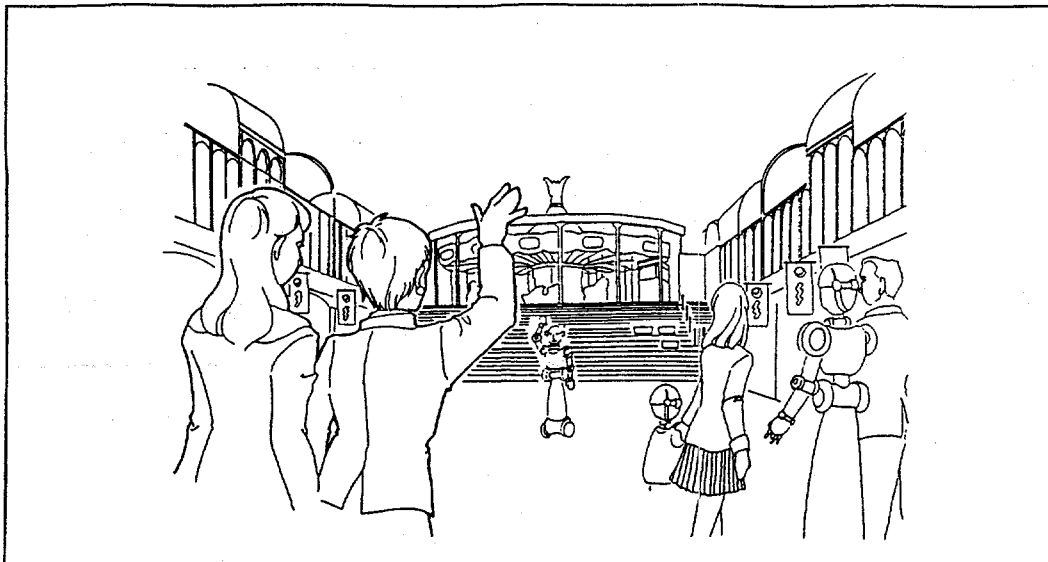


図3.5.7 テーマパークでの共有体験

(3) 社会活動支援分野

救急救命士アールキューブロボット

概要： 交通事故発生による突然の心臓停止など1分1秒が人命を左右する状況下において、現場に急行し、救急救命作業（心臓マッサージ、輸血、電気ショック、人工呼吸など）を行うロボット。また、救急車内で救命作業、治療行為などを行うロボット、もしくは専用デバイス。

- ・前者については、一家に一台常駐とはいかないまでも、通常は町内／団地内の消火栓、防犯灯（数百m間隔以内）の脇に常駐させる（格納しておく）ことを基本とする。現場からの出動依頼（119番）通報後、消防局からの指令に基づき、現場に一番近いロボットが覚醒、現場に直行する。現場への移動、救急救命作業の実施は、消防局指令部に駐在する救急救命士の遠隔操作（アールキューブ利用）により実施される。
- ・後者は、医師の救急医療作業を正確に再現できる、救急車内に設置したロボットもしくは専用アールキューブデバイス（可動カメラが搭載されたマニピュレータなど）であり、病院で待機している医師の遠隔操作により、病院到着までの間、緊急を要する高度な医療処置が行われる。

現状での問題点：

- ・救命確率を考えると心臓停止からの救命作業開始時間は5分以内が望ましい。ところが、現状では119番通報後、消防局から救急車が到着まで最速6～7分であり、救命作業開始が遅れてしまう。
- ・救急車内では、救命作業が医師と連絡をとりながら引き続き行われているものの、専門的かつ高度な応急医療処置が必要な場合は、病院到着後の本格的な治療をより効果的なものにするためにも、医師による直接処置の実施が最善である。しかし、全救急車に医師を、しかも患者に適した専門医を常駐させるのは容易でない。

アールキューブ技術を用いて可能になる点：

- ・ロボットを地域内に点在させることが可能であれば、通報後2、3分程度で現場到着可能（ロボットの移動を「介護者が格納場所まで取りに行き、現場に設置する」としても可）であり、救命作業開始までの時間短縮、救命確率の飛躍的向上が見込まれる。救命作業もロボット（または専用デバイス）を介しての専門家（救急救命士、医師）によるものなので信頼性大かつ有用性大である。

その他の応用例：

- ・火災の初期消火作業、地域内パトロール（防犯、ガス漏れ／漏水点検）にも利用可能である。
- ・一家に一台常駐であれば、介護ヘルパーの遠隔操作による老人介護にも利用できる。

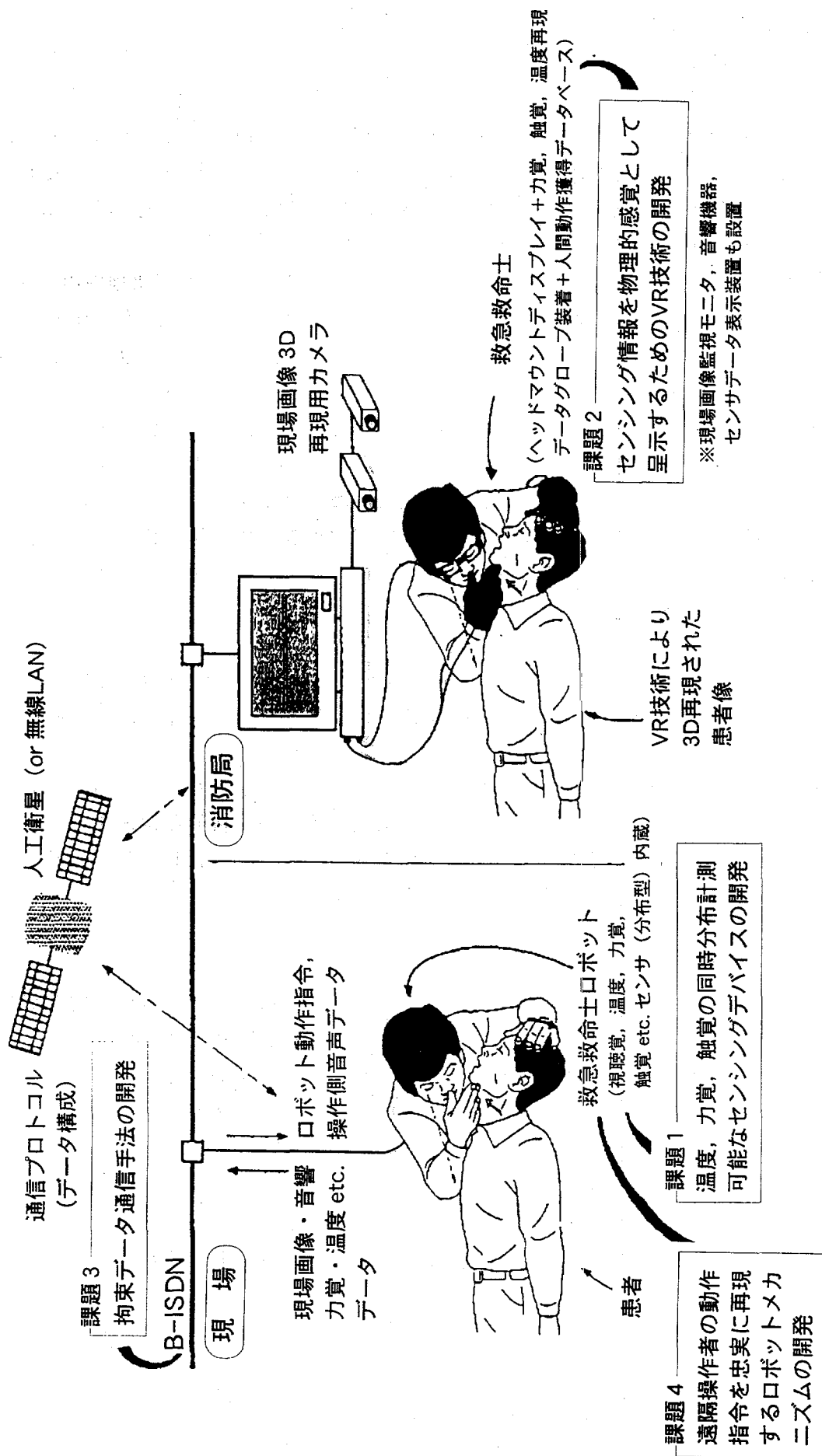


図3.5.8 救急救命士アールキューブロボットイメージ

表3.5.4 救急救命士アールキューブでの人間側インタフェースと通信形態

人間側のインタフェース	実現レベル	利用デバイス	通信形態
現在のパソコン 入出力デバイス	操作者（救急救命士，医師）はマイク，カメラ，家庭用デジタル体温計，血圧計等利用により，患者の容体についての情報を画像（瞳孔の開き，顔色，患部の様子），音響（心拍音，患者や介護者の声），センサデータ（体温，心拍数，心拍波形，脳波）として通信回線で入手し，電話で介護者に救命作業の指示を与える．	デジタルセンサ， カメラ，マイク	ISDN
現在のVR入出力 デバイス	PC入出力デバイスとの組合わせにより，現場センサデータを計算機内の患者モデルに取り込み，操作者がこの患者モデルにVRデバイスを用いて接触すると，重量感，接触感（再現データはポイント代表点のものを利用）を感じることができる．また，単純動作ならVR空間での操作を現場のロボットで再現できる．	HMD， データグローブ	ISDN
さらに進んだ 入出力デバイス	ロボットもしくは専用デバイスに埋め込まれた画像，音響，力覚／触覚センサにより現場の情報を入手し，現場から離れた地点にいる救命士のもとに，現場の様子が仮想3Dで再現される．救命士がこの仮想3D患者像に対し救命動作を行うと，現場のロボット，または専用デバイスにより，その動作が忠実に再現される．	デジタルセンサ， カメラ，マイク， HMD， 力覚&触覚&温度再現データグローブ， 人間動作獲得スーツ	無線LAN （衛星利用） & 高速B-ISDN

(4) 教育・訓練分野

a. 遠隔操作による海外の熟練作業・教育

概要： 遠隔で熟練作業ができると同時に、知らず知らずの内に熟練技術者も育成できる。

現状での問題点：

現状方式は、画像データや既に取り付けてある計測器のデータの一方向的な送信が主体であり、例えば、「あるバルブを分解して中を見たい、ある配管の流量を計測したい」等の複雑なことに対しては、現地の作業員に画像や音声等でうまく説明して行わざるをえない。すなわち、言葉によるコミュニケーションの領域がキーポイントで、ましてや、国際間かつ現場作業員間のコミュニケーションの場合、この壁は非常に大きい。

アールキューブ技術を用いて可能になる点：

遠隔によるメンテナンスはプラント等における不定型作業に対して、エンジニアの現地派遣等を省略した早期な対応が可能となり、期待するところが大きい。ましてや、海外のプラント等ではなおさらである。

そこで、提案する動きも伝達できる仕組みを設けることは、上記のコミュニケーションの問題を大幅に改善するばかりでなく、途上国等の人材育成にも寄与できる。

その他の応用例：

1) 新産業可能性

- ・メンテナンスのグローバル化によって世界レベルのサービス産業の期待ができる。
- ・教育、リハビリ等の運動技能産業が育成できる。

2) 社会へのインパクト

- ・社会インフラ（発電所等）の適切な処置による資産消耗防止（こまめなメンテによる長寿命化）。
- ・技能の伝承容易化。
- ・運動能力の向上。

主要技術課題：

1) 拘束感のないスーツ

人間形状を正確に計測するマスタと正確に伝達するスレーブの開発。

- ・超多自由度軽量スーツ（アミ状スーツ）
- ・ベルトアクチュエータ

2) 環境認知技術

教示者と非教示者の状況を正確に認知判断する技術。

- ・くせをモデル化した動作の検知
- ・動作意図の検知（音声，視点，センサ等の統合）
- ・環境反転表示装置

3) 遠隔協調

不十分な通信環境で人間どうしが運動レベルでリアルタイムに協調する技術。

- ・遠隔双方向スキル共用型制御
- ・時間尺度変更制御

4) 運動制御技術

教示者と非教示者の運動能力の違いを考慮して動作を伝達する手法に関する技術。

- ・時間尺度変更制御
- ・作業形態補完制御

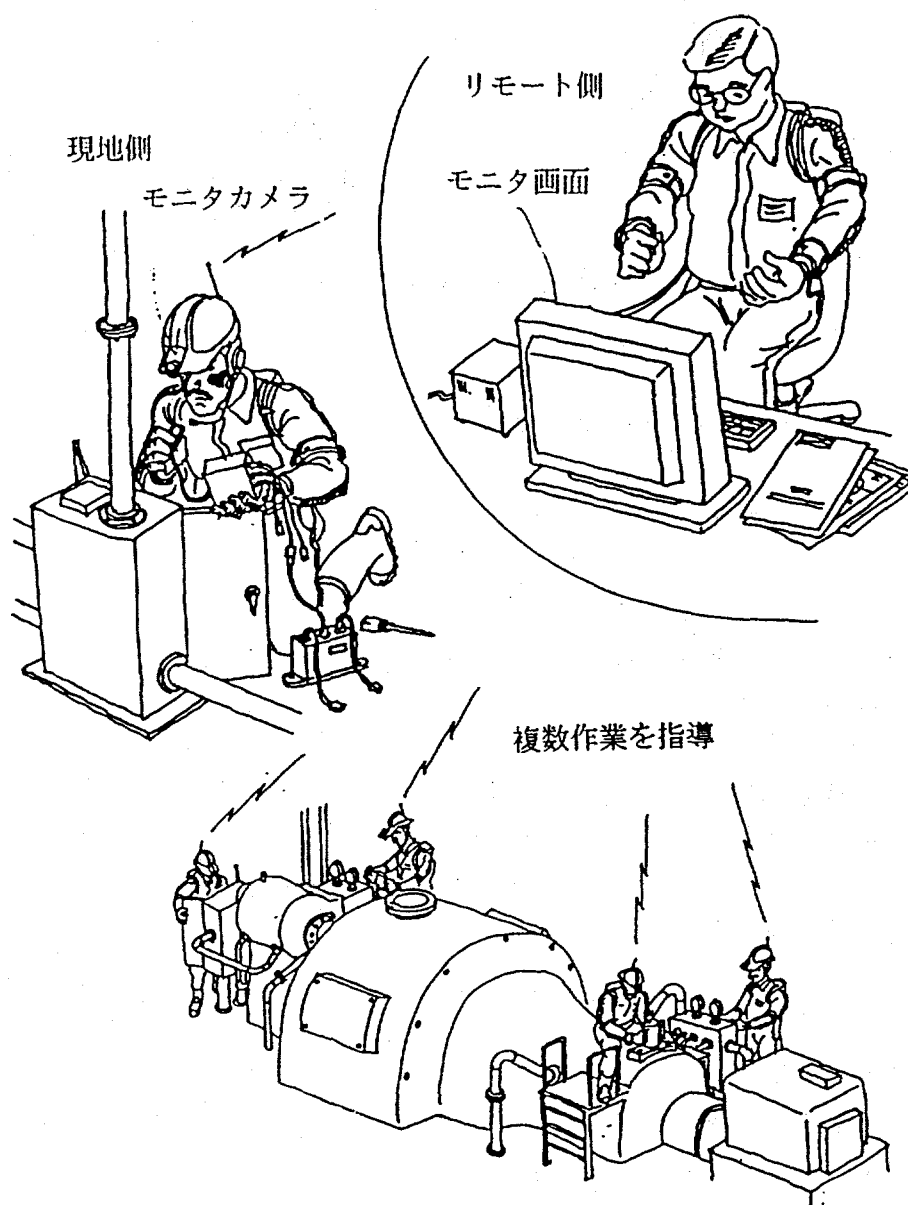


図3.5.9 遠隔操作による熟練作業・訓練のイメージ

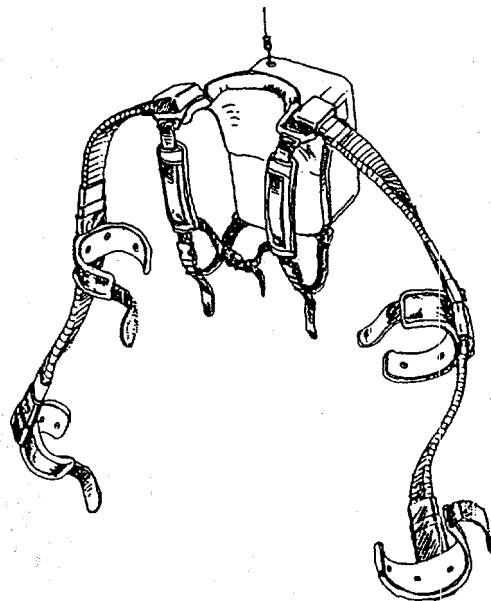


図3.5.10 教示スーツ

b. 世界最高の指導者による楽器演奏の訓練

概要： 世界最高の指導者のもとで楽器演奏を習う

現状での問題点：

指導を受けるために、指導者のところまでいくことは、特に指導者が海外にいる場合大変な労力になる。

アールキューブ技術を用いて可能になる点：

アールキューブロボットを、あらかじめ指導者のもとに送る、あるいは生徒のところに送っておくことで、アールキューブ技術を用いて、たとえば、バイオリンなどの楽器演奏の指導を受けることが可能になる。

その他の応用例：

ビデオやカセットテープ、テキストなどを用いた、いわゆる通信教育では難しい教育の分野、力覚、触覚等の情報が必要になるもの、たとえば、陶芸、生け花、舞踊などの教育訓練についても同様の効果があると思われる。

優秀なエンジニアによる外国への技術指導。(指導者がR³ロボットを操作する)

新人の研修や訓練で使用。(生徒がR³ロボットを操作する)

指導者は、HMDやヘッドホンなどを装着し、それぞれの楽器にはどの弦やキーが押されているか、またその圧力などが感知できるセンサを備えている。



指導者



生徒

指導者のR3ロボット

図3.5.11 楽器演奏の指導

(5) 医療・福祉分野

在宅診療アールキューブ

概要：医療拠点センターから医師や専門看護員がアールキューブ技術を用いて被介護者の自宅にある在宅診療ロボットを操作して在宅診療、生活指導、リハビリ指導等を行う。

現状での問題点：

高齢化社会の到来により、今後介護を必要とする人口が増加すると予想されるとともに、被介護者のニーズにあった介護方法が求められる。介護する側については、核家族化の進行や価値観の多様化に伴って、被介護者の増加に伴う介護者の負担が社会的にも問題となると予想される。また、被介護者の病状やニーズに応じて色々な介護形態（施設介護・在宅介護等）が選択され利用されるようになると考えられる。

そのうちの一形態である在宅介護について考えると、被介護者にとっては家族と一緒に暮らせるという安心感、家族にとっても常に被介護者の様子を見れるという安心感が有る反面、容態の急変に対する心配や、家族の時間的負担の問題がある。アールキューブ技術を用いることにより、効率の良い医療サービスが行えるとともに、被介護者のニーズと介護者の負担軽減および安心感が提供可能となると考える。

リアルタイム技術を用いて可能になる点：

在宅介護にとって最も心配されるのが、被介護者の健康管理である。リアルタイム技術を用いれば、医師あるいは、コネサルタメントが診療所から、在宅診療ロボットを操作して診療を行うことが可能となり、定期的な往診や、通院による診療に比べて頻繁かつ、効率的に診療を行うことができる。また、遠隔地にいる専門医の診察が可能となるので、確な治療を行うことが期待できる。診察内容としては、問診（意識／顔色／口腔内の様子）・聴診（心拍音／心拍数）・触診（血圧／体温測定／心電波形）等五感を利用した診察が、あたかも患者が目の前にいるように行える。また、被介護者が自宅にいたまま、実際の医師に接するのと同じように診察を受けることができるため、家族にとっても安心できる。通信情報としては、双方向の動画像データ・音声に加えて、患者の測定データを診療所に伝送する必要があるが、通信遅れに対しては寛容であると考えられるので、B-ISDN (ISDN) を利用したインターネット等のインフラが利用できる。

在宅診療ロボットがヒューマノイド型になることにより、在宅リハビリ指導が可能となる。診療所にいる指導員が、在宅診療ロボットを操作して、実際の被介護者に接することにより、患者の力覚等を体験することにより回復度合の判断を行い、適切なリハビリメニューを組み立てて指導する。また、ロボットに対して患者に適したプログラムをロードしておき、被介護者は普段ロボットをカスタマイズされたリハビリ補助具として使用する。この場合、通信情報としては、マニピレータに感じる力覚データをリアルタイムでフィードバックする必要があり、専用線の利用が前提となる。また、安全性を保证するような仕組がロボット側に必要になる。

その他の応用例：

在宅診療ロボットの通信機能を利用して、

- ・外出中の家族が携帯端末によって被介護者の様子を観察することができる。
- ・離れた所にいる家族や知人と会って会話やゲーム等が楽しめる。
- ・在宅被介護者同士で、公園等に出かけて体験を共有することができる。

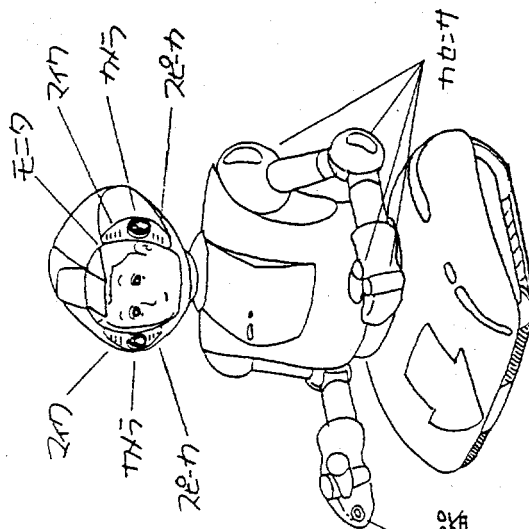
在宅診療ロボットに高度な移動機能がつけば、

- ・戸外へ移動する際の移動補助ツールとして使用することもできる。

①顔の投影方法／センサープローブ

- 介護者(口ボ、ト操作者)の顔を
口ボ、ト頭部のみで示す。

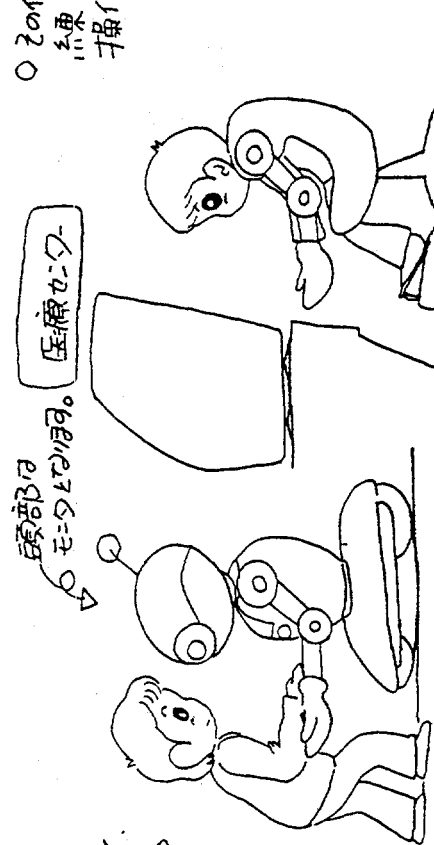
- 被介護者の顔のモニタ画面サイド
のカメラで撮られ、コンピュータにて顔
映像の角度修正を行ひ、介護者
側モニタへ表示。
介護者の顔映像表示も
同じ方法で行われる。



②リハビリロボットのイメージ

- 歩行言川練
く被合護者
○ボルトに体をあてて、
歩行の言川練をいする。

- 〈介護者〉
医療センターでモニタ-
で被介護者の状態を
と確認しているから、
ロボ・トア-ム、移動
速度の操作は行わない。



證案內容

- 問診
(体温・問診・確診)

- 聴診：石手部の聴診器で診察する。

- 觸診：カゼンサにより。

- 月夜、手先にかゝる
 冥荷を伝え、介
 言者、則て冥荷
 と再現させること
 で含蓄あり。

- 手先には、聴診器の他に
体温、血圧、心電波計等
測定する器具も設け得る。

- その他「ハゼ」も歩行訓
練と同じようなロボット
操作で可能である。

- 1111ビエタトモ
賢急時、口不ト
を通て対処方法
を本人の同意の
指示あることも可能
也。2

図3.5.13 在宅診療アールキューブの主要技術課題

表3.5.5 医療・福祉分野における入出力インタフェース

	アールキューブ 実現レベル	1) パソコン+ 可動カメラ	2) パソコン+ 可動カメラ付移動 ロボット	3) パソコン+ 可動カメラ付 マニピュレータ	4) マニピュレータ+ 移動ロボット	5) アンドロイド
応用例	共通の特徴 /共通の特徴	カメラの操作信号	カメラ操作信号 ロボット制御信号	カメラ操作信号 マニピュレータ操作信号	ロボット操作信号 マニピュレータ操作信号	アンドロイド操作信号 アンドロイド感覚情報
モニタリング	有線	最低5f/secの動画像	最低5f/secの動画像			
在宅診察・治療	有線/近距離無線	最低10f/secの動画像 高精彩カラー静止画像 音声信号		最低10f/secの動画像 高精彩カラー静止画像 音声信号 診察測定データ		
外出体験	遠距離無線 臨場感重視	最低30f/secの動画像 音声信号	最低30f/secの動画像 音声信号		最低30f/secの動画像 音声信号 力覚フィードバック	最低30f/secの動画像 音声信号 力覚フィードバック
院内サービス (清掃など)	赤外線無線 複数の通信ターミナル		最低10f/secの動画像 音声信号		最低10f/secの動画像 音声信号 力覚フィードバック	最低10f/secの動画像 音声信号 力覚フィードバック
遠隔手術 医学研究	ワイヤード リアルタイム性重視 3次元画像必要			最低30f/secの動画像 力覚フィードバック	最低30f/secの動画像 力覚フィードバック	
在宅リハビリ	近距離無線 リアルタイム性重視 3次元画像有効			最低10f/secの動画像 力覚フィードバック	最低10f/secの動画像 力覚フィードバック (歩行訓練)	
在宅介護	近距離無線 リアルタイム性重視			最低10f/secの動画像 力覚フィードバック		最低10f/secの動画像 力覚フィードバック
社会活動支援	有線/近距離無線 リアルタイム性重視 3次元画像有効			最低30f/secの動画像 力覚フィードバック (工場勤務等)	最低30f/secの動画像 力覚フィードバック (生産活動等)	最低30f/secの動画像 力覚フィードバック (公共奉仕等)
生活支援 (買い物代行等)	遠距離無線 自律性必要 3次元画像有効					最低30f/secの動画像 音声信号 力覚フィードバック

表3.5.6 医療・福祉分野における通信形態

1) 現在のパソコンの入出力デバイス

入力装置	キーボード マウス ジョイスティック カメラ マイク (スピーカーカ)	病院内巡回 (方向指示), モニタリング, 外出体験 (カメラ操作) モニタリング, 外出体験 (カメラ操作) 在宅診察 (問診, 会話) 在宅診察 (問診, 会話)
出力装置	ディスプレイ (カメラ) スピーカー (マイク)	在宅診察 (問診, 会話), モニタリング, 外出体験, 病院内巡回 在宅診察 (問診, 会話), モニタリング, 外出体験

2) 現在のVRの入出力デバイス

入力装置	VRグローブ 3Dマウス トラッキング装置	遠隔リハビリ, 医学研究, 社会活動支援 在宅診察 (触診) 遠隔リハビリ
出力装置	HMD (3次元カメラ) 立体TV (3次元カメラ) CAVE (マルチカメラ)	遠隔手術, 医学研究 外出体験 外出体験

3) さらに進んだ入出力デバイス

入力装置	力覚フィードバックグローブ 体感スーツ 視線入力装置	遠隔手術, 遠隔リハビリ, 遠隔介護, 在宅診察 (触診), 院内サ ービス 遠隔リハビリ, 遠隔介護, 生活支援 遠隔介護, 在宅診療
出力装置	皮膚感覚付グローブ ホログラフディスプレイ	遠隔手術, 在宅診察 (触診), 遠隔リハビリ 遠隔手術

(6) 産業応用分野

建設機械アールキューブ

概 要： 危険、あるいは劣悪環境下における重機作業をアールキューブ技術を用いて快適な環境下での遠隔操作により行う。

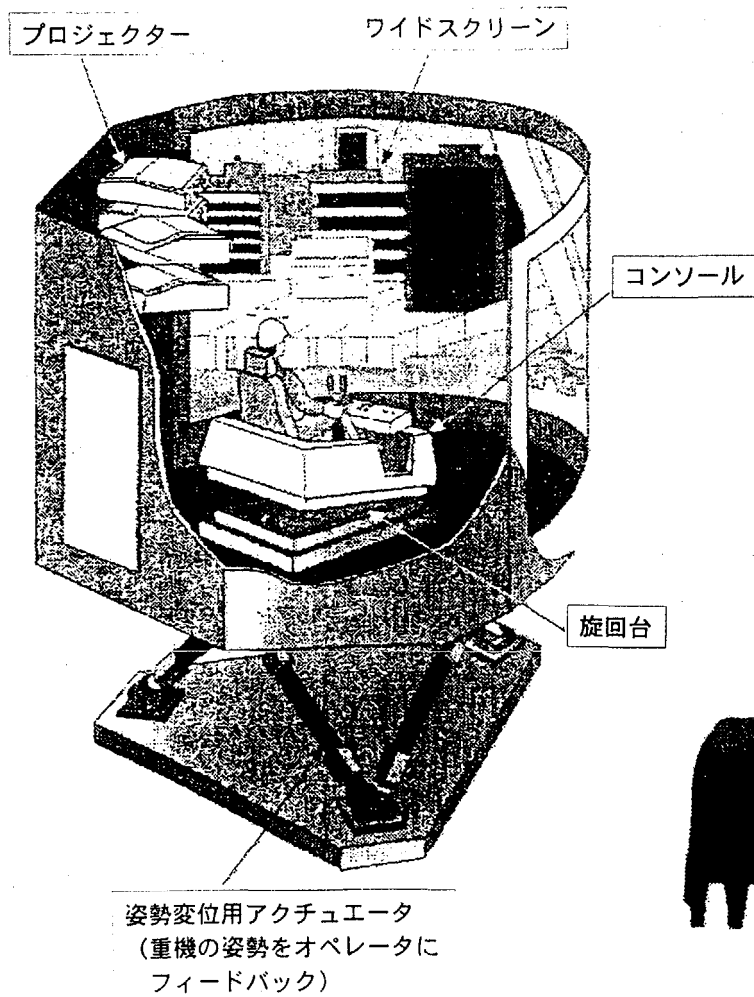
現状での問題点：

災害多発地帯での対策工事中の被災、あるいは災害復旧現場での2次災害の発生が問題となっている。

アールキューブ技術を用いて可能になる点：

3K環境が改善されるばかりでなく、危険で立ち入りができない現場での作業が可能となり、安全かつ建設の生産性の飛躍的向上が期待できる。

マスター側イメージ



スレーブ側イメージ

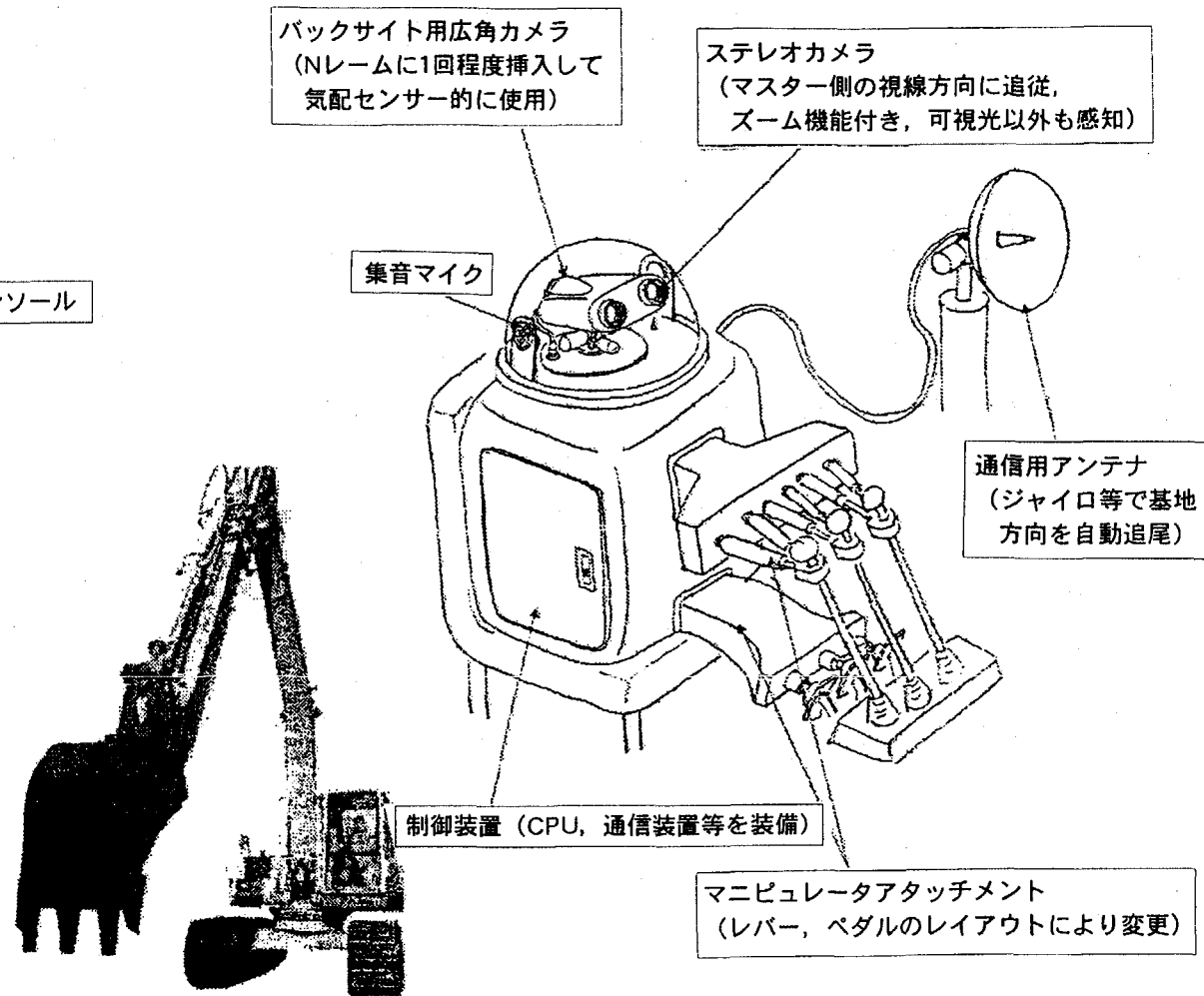


図3.5.14 建設機械アールキューブイメージ

(7) 災害救助分野

災害モニタ・救助ロボット

概要： 将来、大地震やそれに伴う大規模火災、土砂崩れや土石流などによる被害を最小限に押さえるために、迅速な災害救助活動が必要であり、またこれらの活動を支援するための以下のような機能を持ったシステムとロボットの構築が必須である。

- 1) 災害の状況を的確にとらえ、その状況を全国各地にリアルタイムに送信する
- 2) 災害情報を基に的確な救援対策計画をたて、早急に被災地にフィードバックする
- 3) 建物や崩壊土砂の下敷きになったり、逃げ遅れた被災者を早期に発見する

災害モニタ・救助ロボットにより災害発生直後の状況の把握（被災地の状況のモニタリング、被災者の有無・位置探査、被災者の症状など）を迅速に行うことで、本格的な災害救助・復旧作業をスムーズにすすめることができる。

現状での問題点：

土砂崩れや土石流が発生した際の被災者救助活動や災害復旧作業では、2次災害の発生が懸念されることから、救急隊員はさらに危険な状況にさらされることとなる。また、作業の中断や待機による救助活動の遅れを引き起こすこともある。災害発生原因の判明と2次災害発生の危険度の判定は重要な作業となる。災害モニタ・救助ロボットを遠方の地盤工学の専門家が操作・モニタリングすることによって、被災地の診断や2次災害の危険性の判定を早い時期に行うことができる。

アールキューブ技術を用いて可能になる点：

現状の技術によって災害状況のモニタリングを行う場合、災害場所から離れた位置からカメラ映像によって災害地を映し出すだけにとどまっている。アールキューブ技術を導入した場合、カメラ映像がより現実的になるだけでなく、実際の地盤を専門家が触れながら被災地の調査が行えたり、被災者の脈や血圧などを測りながら診断ができるため、よりの確な判断が下せる。

その他の応用例：

災害モニタ・救助ロボット（力感覚や触覚などを検出することができるマスタースレーブマニピュレータを有するもの）を建設機械のオペレータ席に搭乗させて、オペレータロボットとして使用すれば、本格的な災害救助・復興作業を行う段階で建設機械の無人化運転が可能になる。

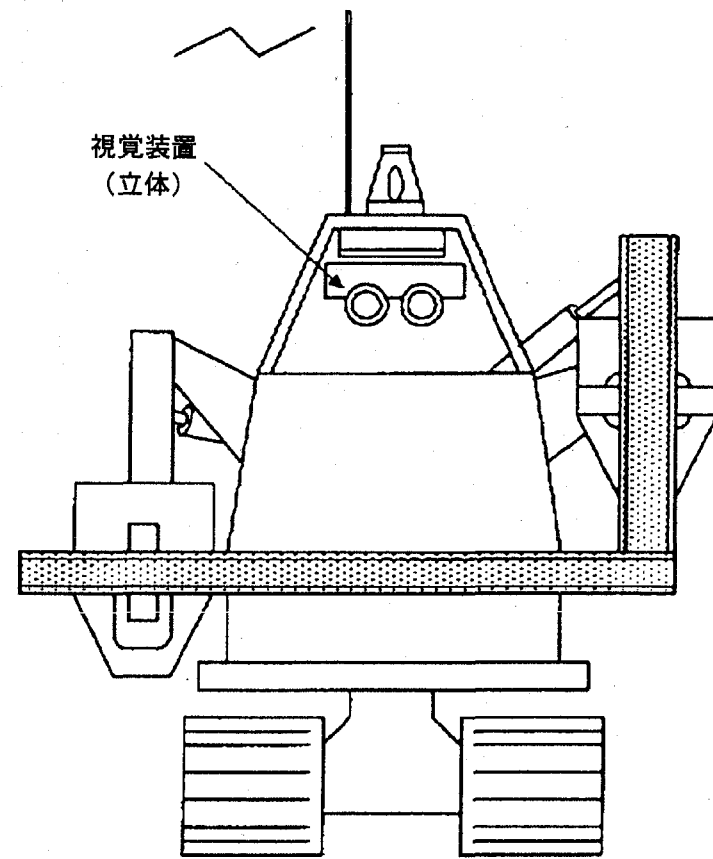
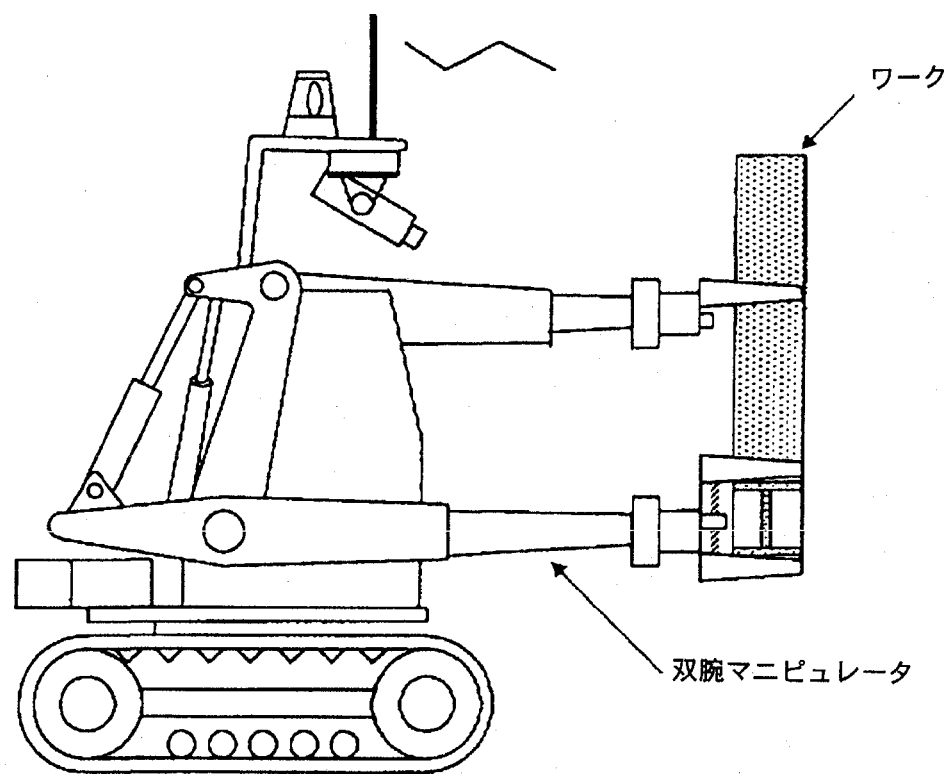


図3.5.15 重量物運搬据付け作業ロボット

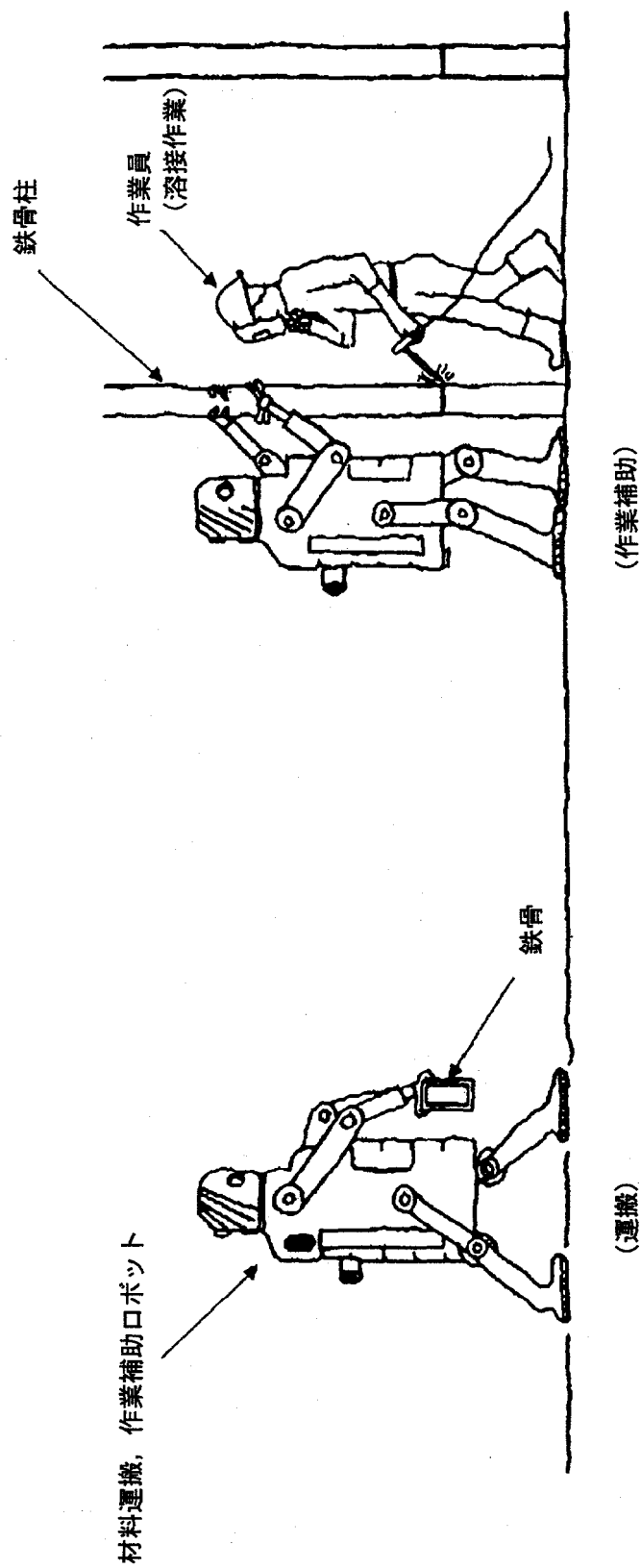


図3.5.16 材料運搬作業補助ロボット

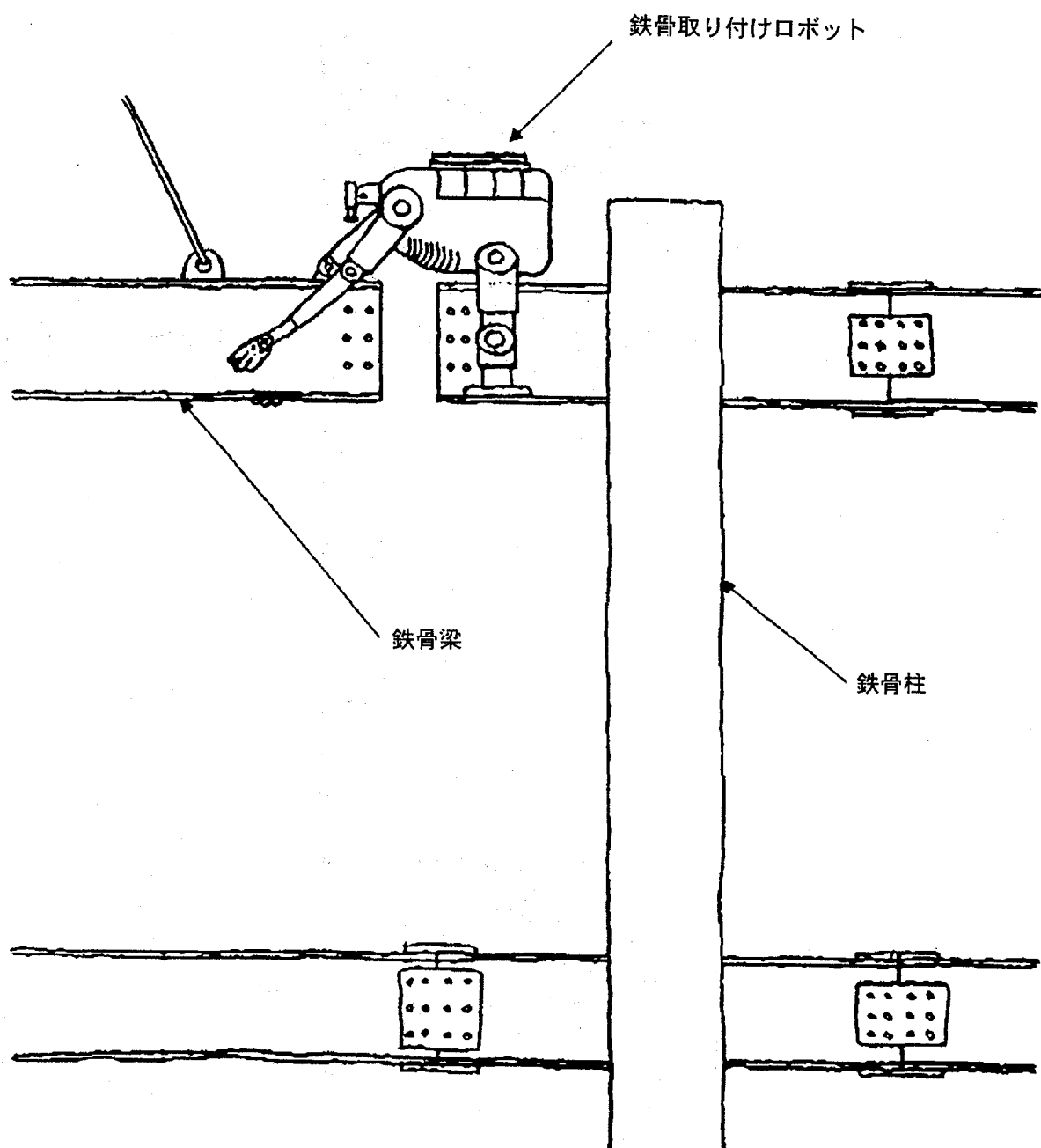
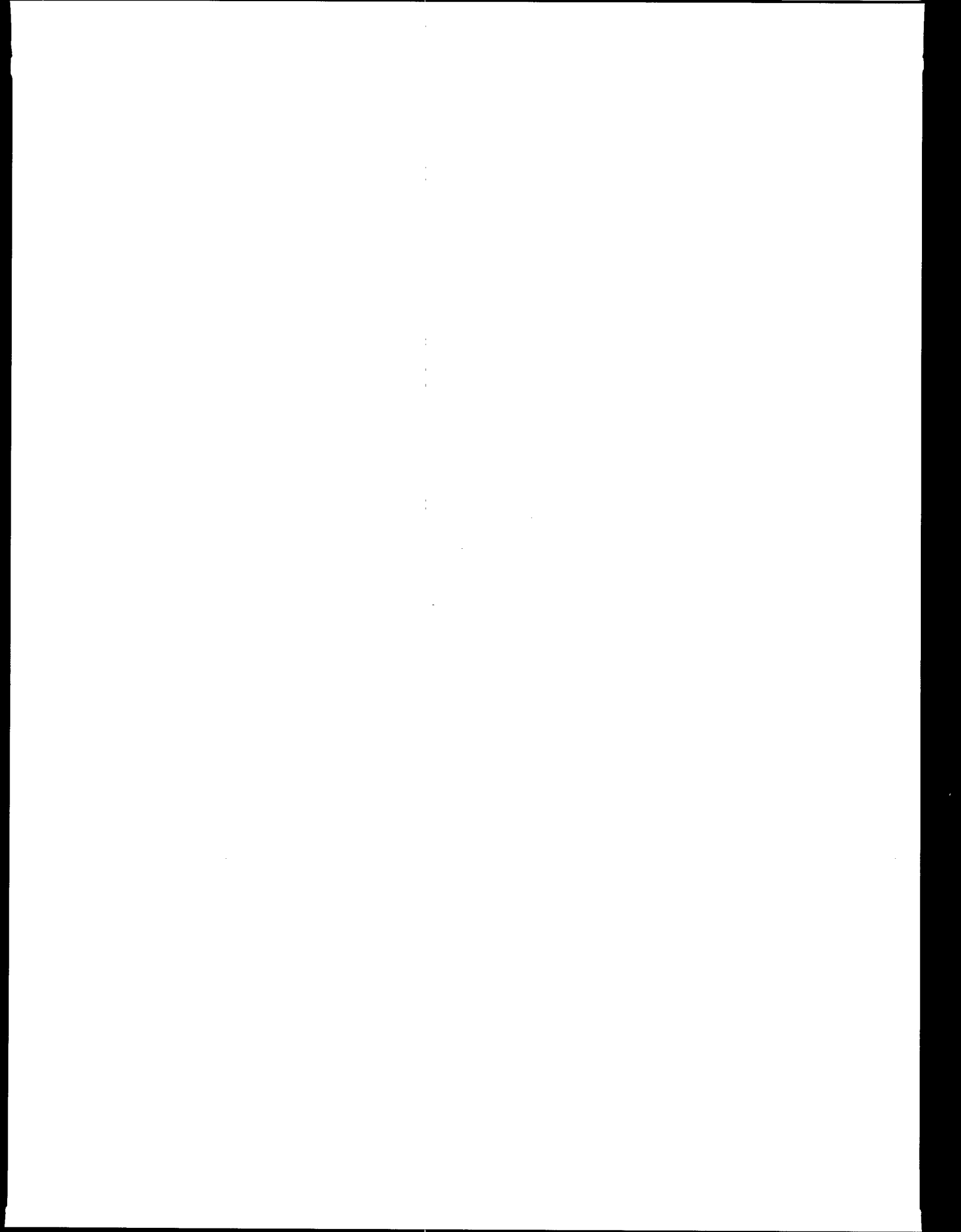


図3.5.17 危険地帯作業ロボット

表3.5.7 災害救助における人間側インタフェース

人間側の インタフェース	実現レベル
現在のパソコン 入出力デバイス	スレーブ側のカメラで捕らえた映像を、遠隔地のマスタ側に送信してモニタに映し出す。 探査や計測を行ったときのデータも表示する。 マスタ側のジョイスティックおよび操作ボタンにより、映像の切り替えや計測器、ロボット の操作を行う。
現在のVR 入出力デバイス	マスタ側のHMDに、被災地映像と探査や計測を行ったときのデータを重ねて表示し、よ り正確な災害状況を把握する。
さらに進んだ 入出力デバイス	スレーブ側のロボットにマニピュレータを搭載して簡易な作業を行う。マスタ側では、マ ニピュレータを操作しながら2次災害の危険性などについて判断する。 例) 崖崩れなどの災害時には、マニピュレータを通して地盤の状況（もろさ、固さ、含水 度など）をマスタ側（地盤工学の専門家）に伝えることができる。 また、救急隊員や医師によって被災者の発見、被災者の症状を遠隔地から判断できる



4. プロジェクト化に向けての基本構想

4. プロジェクト化に向けての基本構想

4. 1 プラットフォーム型研究方式の提案

従来のロボットの研究開発は、まず開発目的を定めた後、その目的を達成するためにどのような要素技術を追求すべきかを検討する。そして、一定期間の要素技術研究の後、個々の研究の成果を評価し、達成度の高い成果を統合化して、相応の目標を実証するシステムを開発するというプロセスを踏む。このような要素技術重視型の研究開発の方法は、一見妥当に見えるが、どのような実証システムが開発されるかは、達成された要素技術レベルに依存して決まるため、最初に設定された要素技術研究が意図した通りに成果を上げない限り、目標を達成できないという問題がある。また、要素技術は、並行して追求される要素技術と統合されて、具体的な応用のイメージを持つから、個々の要素技術レベルの研究では、それが利用される最終的な応用システムに結びつく形での課題追求がしにくい。さらに、要素技術の統合の課程は一般に、単に成果を結びつけるという”作業”に陥り勝ちで、研究開発的色彩が極めて低下するのが通例である。すなわち、達成レベルの異なる要素技術の成果を何とかつなぎ合わせて、成果を統合システムの上で実証することに労力が費やされ、要素技術成果を改善し、その統合システムを、具体的な応用に結びつけることに努力を分配する余裕は一般にもてないのが実状である。従って、こうした研究開発では、具体的な応用を切り開く成果が出たことは極めて少なく、要素技術がシーズとして蓄積されるだけの成果にとどまることが常である。

ロボット技術の研究の歴史は30年に及び、最近では数多くの国内、国際会議も開催され、極めて研究開発活動は活発である。しかし、特に、1990年以降、ロボット研究が、実用に結びつかない点を指摘する声が強くなりつつある。30年前に、教示再生型ロボットが最初の実用型機械として開発されたが、以来、特に、最近では数千に及ぶ研究論文が毎年発表されているにもかかわらず、実際の経済効果を上げているロボットは、教示再生型やシンプルな機能を持つロボットに限られている。

こうした傾向は、ロボット研究が汎用を尊び、特定の実用目的から一歩身を引いて問題を追求することに一因がある。その結果、無駄を嫌い、かつ専用を好む実用技術に採算的に勝てる成果が得にくい。この状況を改善するためには、ロボット技術の特徴を失うことなく、ニーズにつながる生きたシーズを追求することに努力を集中する必要がある。

本プロジェクトでは、以上の現状を打破し、将来の新しいロボットのニーズをも発掘する研究を推進するものとして、人間型ロボットを研究プラットフォームとして使用する”プラットフォーム型研究開発”を提唱する。

研究プラットフォーム型とは、研究の共通基盤となる試作品を先行的に開発、これを幅広く研究者、利用分野の技術者等に配布し、共通基盤に様々な技術提案、改良意見等を募り、試作品の新バージョンを開発する技術開発方式であり、この場合の共通基盤としての試作品をプラットフォームと呼ぶ。

現状技術レベルを概観すると、研究の実用に耐える程度の人間型ロボットを制作する技術シーズは十分存在する。そこで、本プロジェクトでは、まず、現状の要素技術や生産技術を統合して、人間型ロボットを開発し、それを研究の共通基盤（プラットフォーム）として社会に提示する。そして、各層の人にそれを見せて、どのように改造し、どのように

使うかを公募し、興味深く、かつ、研究要素を含む提案を取り上げて研究する。すなわち、人間型ロボットという新コンセプトのロボットを示して、ロボットの新たなニーズを発掘し、それを実用にするための要素技術を追求するという方針を採用する。このような方法は、要素技術型の実証機開発にみられる、要素技術の統合という研究開発的にはあまり意味のないプロセスを回避できる利点がある。また、要素技術が利用技術と同時開発的に追求されるため、実用に結びつくシーズが成果として得られる可能性がある。さらに、研究成果はプラットフォーム上に集約されるため、プラットフォームが事実上の標準として普及する可能性も持つ。これは、研究開発の効率化を生み出すとともに、プラットフォームの市場形成につながり、プラットフォーム提供産業、ひいては、プラットフォームとして使われた人間型ロボットの市場形成、産業創生をも促すと予想される。

4. 2 研究目標の設定

本プロジェクトでは、21世紀の社会ニーズに応えるロボットを社会に提供すべく、また、ロボットを一つの基幹産業に育てるベースを確立すべく、研究を推進する。ロボットは従来、人にとって退屈な作業や危険な作業、あるいは人が嫌う作業を、人によって行う機械であった。生産工場や原子力プラントなど省人化や省力化にこれまで実績を上げてきたが、ロボットの産業規模を一層拡大するには、従来の工場やプラントなど、各種産業分野での応用領域を広げると同時に、自動車や家電製品など、大衆消費財の分野にまで、ロボットの応用領域を拡大する必要がある。ロボットの大衆消費財化のためには、まず、ロボットそのものを人が生活する空間で使えるようにすることが必要である。

一方、21世紀の社会は高齢化社会であり、様々な生活の場で、機械の支援を必要とする人の数が増加する状況にある。こうした社会では、生活支援型ロボットに対する強いニーズが存在する。人の生活空間で行動し得るロボットは、経済効果だけでなく、我々の生活を支える技術として、社会的に開発する意義がある。

従来の産業用あるいは極限作業ロボットは、省人、省力がその導入の背景にあるから、人と共存、協調ということはあまり考慮されなかった。本プロジェクトで考慮されるロボットは、人の生活空間で行動し、かつ人と共存し得ることが一つの条件である。また、我々の生活空間に機能的にもまた構造的にも適応するものが望ましい。

こうした新しい分野に適用できるロボットを社会に提供するには、新しいコンセプトに基づくロボットに注目する必要がある。そこで、本プロジェクトで取り上げられるのが人と相似形の形態を持つ人間型ロボットである。その根拠は2点ある。一つは、我々の生活空間でそのまま使えるロボットは、人と同じような大きさ、形、そして機能を持つことがまず有力な条件と考えられること、もう一つは、2足、2腕、体幹、2眼をもつ人間型ロボットは、それを構築するためのシーズはすでに蓄積されており、これらに現在の企業が持つ優れた生産技術を付加すれば、実用的な人間型ロボットのハードウェアが制作できる状況にあると考えられることである。本研究では、将来の実用ロボットの標準として、“人間型ロボット”を使うことを想定し、基本的な歩行やマニピュレーション機能をもつ人間型ロボットの標準プラットフォームを開発するとともに、人間型ロボットを人の生活空間を始めとする社会の各層で使えるようにするための利用技術を研究開発する。

また、ロボットの研究と実用化は、その歴史が示すように、周辺技術の影響を受けて進展する。1980年代に出現したマイクロプロセッサやコンピュータ周辺機器の開発から生まれた小型軽量モータは、教示再生型ロボットの性能向上と市場拡大に多大の貢献をした。今後のロボットの実用技術の進展も、周辺技術の多大の影響を受けることが予測される。ロボット技術に影響を与える技術環境として、高度情報通信網の進展が注目される。特に、2010年に整備が予定されている光ファイバを用いた高速・高容量情報通信網は、マルチメディアの進展を促すが、各種メカトロニクス機器にも新たな性能を付加する役割を果たすと予測される。本プロジェクトでも、こうした周辺技術環境を視野に入れ、通信ネットワークの活用を考慮した人間型ロボットの利用技術を追求する。

4. 3 予備調査

プロジェクト化に向けた予備調査として、研究開発が望まれる課題について、関連企業等から提案を募集した。本節では、そのアンケート結果について短くまとめる。

最も提案の多かったのは、定型的・高難度を特徴とする作業代替目的のものである。これは、現状のロボットの応用が産業用に限定されていることから、当然と言えば当然の結果であると思われる。この応用分野に分類されるものを次に列挙する。

- (1) アンドロイド型 3K 作業代替ロボット (2 社)
- (2) 工場メンテナンスの無人化
- (3) アンドロイド型材料運搬・作業補助ロボット
- (4) アンドロイド型建設機械操縦ロボット
- (5) アンドロイド型土木作業ロボット
- (6) マルチ建設機械遠隔制御システム
- (7) 熟練職人 (人間国宝) ロボット
- (8) リモート教示スーツ (熟練技術者育成)

このうち、(1)～(6)は苛酷な労働条件下での労働力確保の困難さ、人件費の高騰等に対応するためのものと思われる。(3)～(6)に示されている様に、建設業界からの期待が大きいことが伺える。(7)と(8)は、熟練職人の技術が失われていくことに対する危機感を反映している。人間型ロボットだからこそ可能な技の伝承に期待が寄せられている。

次に提案の多かったのは、非定型的・人間共存・遠隔実時間を特徴とする医療福祉・サービスへの応用である。これは、人間型ということで、人間に合わせて整備されている社会環境への適合性が良いことと、非産業分野へロボットの応用を拡げることによる市場の飛躍的拡大にロボット業界の期待が集まっていることがその理由であろう。この分野に分類される提案を次に列挙する。

- (9) 在宅介護支援自律宅配システム
- (10) 遠隔介護／介助システム (ネットワーク・ホーム・ヘルパー)
- (11) アンドロイド型高齢者自立介助ロボット
- (12) 高齢者施設内サービスロボット
- (13) 付添いロボット (人間型盲導犬ロボット)
- (14) 救急救命士アールキューブロボット
- (15) ビル内ごみ回収・床清掃ロボット

21 世紀初頭に到来する高齢化社会に向けて、介護は社会全体の大きな負担となることが予想され、この分野におけるロボットへの期待は非常に大きい。人間との共存のためのソフトロボティクスが、実現へのキーテクノロジーの一つである。

続いて、災害救助への応用についての提案が幾つか挙げられた。この分野の特徴は、

非定型的・人間共存・遠隔実時間に加えて、悪環境への適応がある。瓦礫の中で移動可能な不整地移動技術、暗闇でも被災者を探索出来るセンシング技術等が必要になる。この分野における提案には次の様なものがあった。

(16) 災害救助ロボット

(17) 救助支援ロボット

(18) 災害復旧ロボット

阪神大震災後に行なわれた日本機械学会のレスキューロボット機器研究会による調査でも、開発すべき3つのキーテクノロジーとして、生存者探索技術、掘削技術、人間のハンドリングを挙げており、悪環境への対応とソフトロボティクスがキーという点で一致している。

最後の応用例として提案されているのは、高臨場感インターフェイス技術をキーとしたもので、

(19) アンドロイド型体験代行ロボットシステム

である。これは、遠隔環境をあたかもそこにいるかの様に感じられるインターフェイスを介して体験可能なシステムで、アミューズメント・ショッピングや遠隔監視保守、自然界に活動範囲を拡げた場合は資源探索等も応用として考えられる。

以上の予備調査結果から、次の様な4つの主要応用分野を抽出した。

- ・ 定型的・高難度を特徴とする作業代替
- ・ 非定型的・人間共存・遠隔実時間を特徴とする医療福祉・サービス
- ・ 非定型的・人間共存・遠隔実時間・悪環境への適応を特徴とする災害救助
- ・ 高臨場感インターフェイス技術をキーとする遠隔体験代行・資源探索

4. 4 プロジェクトの基本構想

4. 4. 1 研究目的

(1)目的

21世紀に豊かで活力のある充実した社会を築くために、日常生活から社会産業分野まで幅広い場面において、人が存在する環境の中で、人と協調しつつ種々のサービスや介護などの支援を行うことができる人間型ロボットの実現を目指す。

(2)必要性

a. 人間向け社会環境で利用されるロボット

高齢者介護、対人サービスの需要が増大してきている一方で、これに対応する労働力は減少してくるため、これらの分野の機械化、自動化の必要性が増大している。このため、人間が活動するために整備された家屋構造、社会インフラの中で、人間と同様に移動し、作業することができるロボットが必要とされている。このためには、2足歩行による移動機能が最も適していることから、人間型ロボットの技術開発が必要である。

b. 専用機械による自動化の限界

我が国産業の生産性の向上は、メカトロニクス技術による工作機械、建設機械、産業用ロボットなどの専用機械によって実現されてきた。機械が商品レベルに達するためには、技術開発投資に見合う一定規模の需要が必要である。逆にいうと、多様なニーズが少量づつ必要となるサービス分野等においては、専用機械による自動化は民間独自で開発されることは難しい。このため、幅広い動作が可能で汎用的なロボットの開発が望まれている。

c. 機械産業、実装技術の技術革新を牽引

本プロジェクトを我が国においてロボット産業・機械産業として確立された技術分野からみると、これまでの技術領域とは異なる新たな技術体系である。このため、本プロジェクトの成果はロボット産業・機械産業にも新たな革新をもたらすことが期待される。

4. 4. 2 研究内容

(1)目標

変化のある地形を安定的に移動できる二足による移動機構、人間に変わって複雑な作業を行うことができる二腕、人間と接触または協調作業をすることができる安全性・信頼性を備えた制御機構等を有した、高い自律性をもつ人間型ロボットを、ネットワークを通して遠隔操作できる技術を開発する。

(2)技術課題

プロジェクト前期で研究用人間型ロボットプラットフォーム（以下、プラットフォーム）を開発する。後期においては具体的なニーズを踏まえた技術開発テーマを公募し、複数の優れた提案についてプラットフォームを提供し、これに機能追加、改造する形で研究開発を進める「プラットフォーム提供型技術開発方式」によって実施する。

a. 研究用人間型ロボットプラットフォームの開発

先進的なロボット技術の研究開発は、既に商業化レベルにある産業用ロボット分野を除

いては、個別技術シーズを探求するための散逸的な努力にとどまっている。個別技術は、相当程度高いレベルにあるため、現時点において、これらをシステム技術としてとりまとめ、共通基盤として活用すれば、一段高いレベルの研究開発が可能となると考えられる。しかしながら、実用レベルの人間型ロボットを開発するための共通基盤としてのプラットフォームは現時点では存在しない。

このため、以下の要件を有した人間型ロボットを開発する。

- － 2足2腕を有すること
- － 安定した移動機能を有する
- － ネットワークを活用して遠隔操作が可能
- － 機構的、電子的にオープンアーキテクチャであり機能追加が可能 等

このために、次の技術的ブレークスルーを実現する必要がある。

- － センサー機能を有した小型の複合機能モータ
- － ロボットの体内のリアルタイムLANシステム
- － ロボットをネットワーク上から操作できる操作言語
- － 安定的な歩行を行うための基本動作ソフトウェアライブラリ
- － これらを組み合わせたシステム化技術

また、後期の要素技術開発等を効率的に行うため、コンピュータ上でプラットフォームの動作を確認できるシミュレータ、プラットフォーム用の動作制御等のソフトウェアを開発するための開発ツールキットも同時に開発する。

b. 人間型ロボットの要素技術の研究開発

プラットフォームの機能拡充をする形で、幅広い分野において実用レベルの性能を実現できる要素技術を開発する。具体的な応用を想定して以下の技術開発を行う。

イ. 不整地移動技術

変化に富んだ地形、大きな障害物が多数ある地面、倒壊・沈降が起こる足場などにおいても、安定的に移動できる技術を開発する。

ロ. 作業知能技術

工具の使用、荷物の積み下ろしなどの基本的な作業動作をロボットが自律的に行うことを可能にする技術を開発する。

ハ. ソフトロボティクス技術

人が居る空間でロボットが動作しても人の安全性が保証される技術、人に親近感を与える構造の技術開発を行う。

ニ. 高臨場感インターフェース技術

ネットワークによって空間的に離れた操作者がロボットを介して遠隔地の環境を高度に情報取得することを可能とする技術を開発する。

4. 4. 3 研究開発推進体制

人間型ロボット技術は、以下の4フェーズに分けて技術開発を行うことを想定している。プロジェクトの全期間を通じて、人間型ロボットの要求仕様を決定し、標準化戦略を立案し、提案テーマを選定し、次世代人間型ロボット仕様を策定するプロジェクトチームによって研究管理を行う。

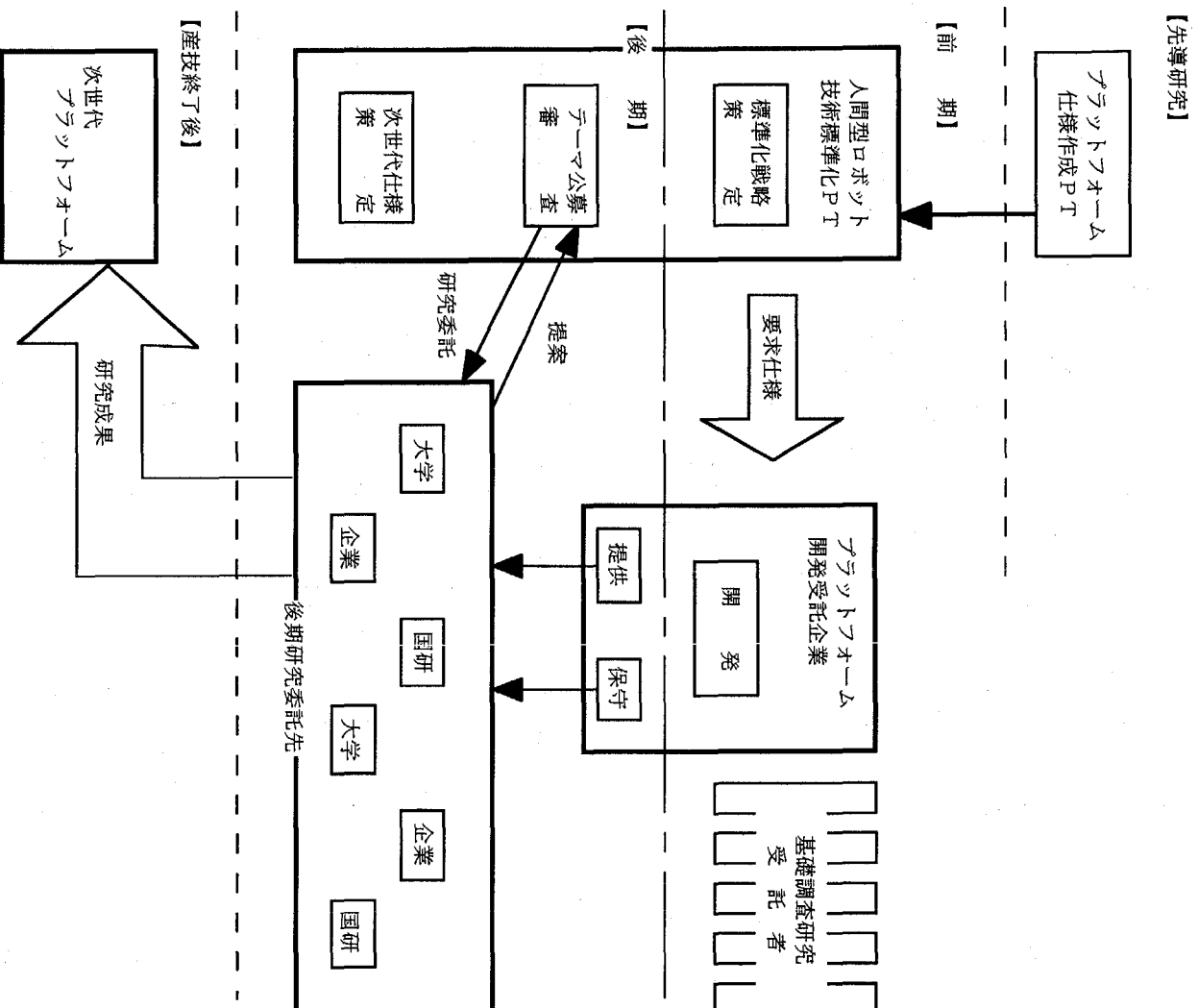


図4.4.1 人間型ロボット技術研究開発推進体制

(1) 先導研究（平成8～9年度）

人間型ロボットプラットフォームの実現可能性、要求仕様について、豊田工業大学梅谷陽二教授、東大井上博允教授、東大舘暲教授、機技研野崎武敏部長、電総研築根秀男部長を委員長とした委員会方式で検討。

(2) プラットフォーム開発フェーズ（前期：10～11年度）

大学、国研、企業の研究者によって構成されるプロジェクトチームによって、先導研究で得られた要求仕様を満たすプラットフォームを開発できる企業を選定する。同PTにて併せて標準化戦略を策定する。プラットフォーム開発企業においては、同一仕様の人間型ロボットを10数台程度作成する。

また、後期に実施される研究開発に向けての基礎調査研究を複数の大学、企業、国研等において実施。

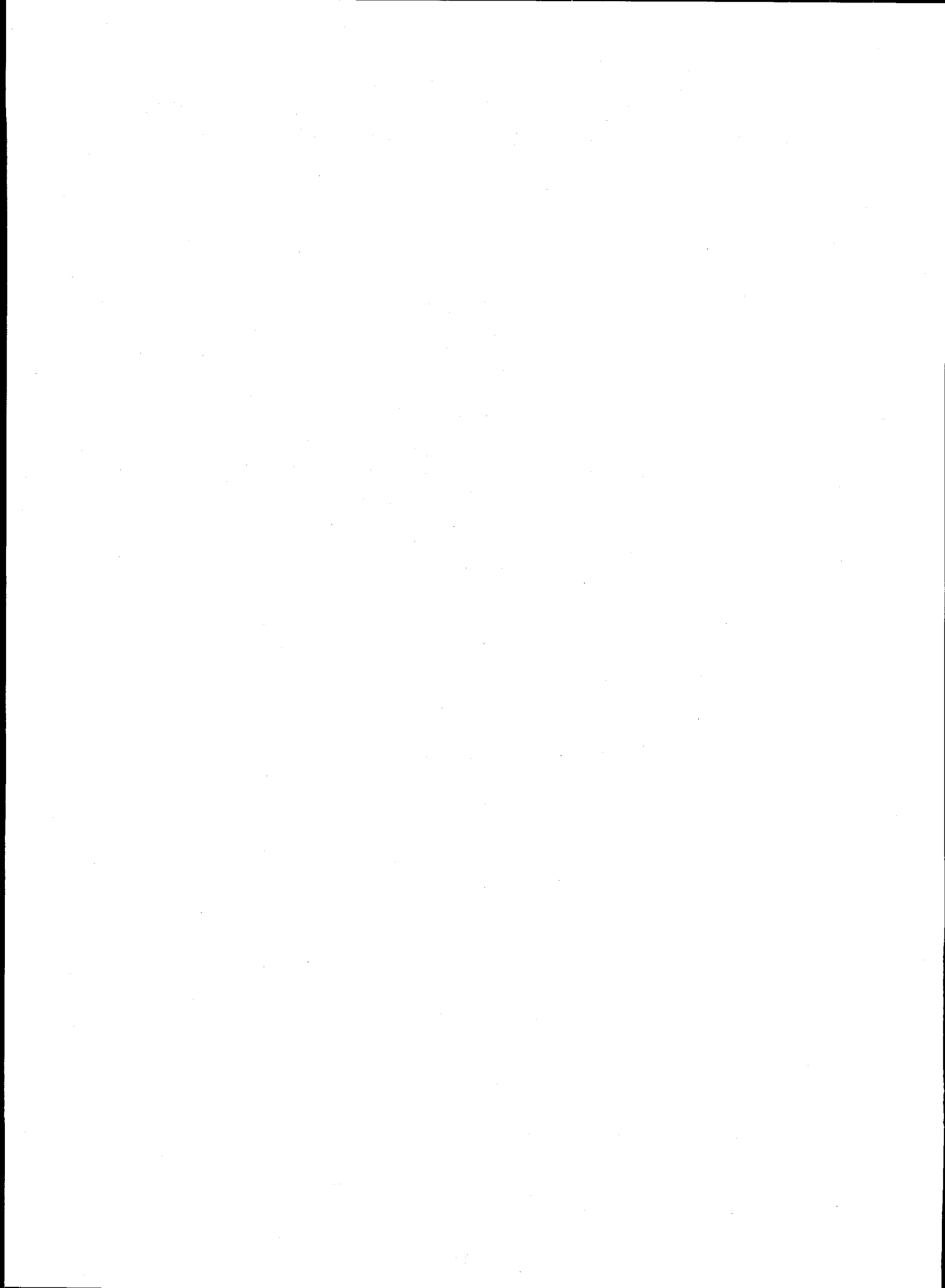
(3) 機能強化技術開発フェーズ（後期：12～14年）

PTは、プラットフォームの機能強化を行う提案を公募。審査の上、企業、大学、国研、外国企業等の研究実施者を選定し、プラットフォームと研究費を提供。PTとプラットフォーム開発企業は、研究成果をプラットフォームに取り入れることを検討。現在までのところ、電力、医療福祉、石油探査、建設、ロボット関係の企業、大学、機技研、電総研、生命研等の国研などの関心が高く提案を行ってることが期待される。

(4) 次世代プラットフォーム（産技プロ終了後）

プロジェクト成果を取り入れた形で、次世代プラットフォームを開発し、プラットフォーム提供型技術開発を継続。

以上の過程で、実用化、商業化されるレベルに達するもの生じた場合は、関連知的財産権を提供し、具体的な応用分野の早期開拓を促す。



5. ま と め

5. まとめ

ロボット技術の先進的な研究開発が大学や国立研究所を始めとする様々な研究機関で活発に進められているとはいえ、既に商業化レベルにある産業用ロボット分野を除いては、個別の技術シーズを探求するための散逸的な努力にとどまっているというのが現状である。もちろん、個々の技術そのものについては、相当程度高いレベルに達しているといえる。現時点において、これらを一貫性をもったシステムとして統合し、新たな研究の共通基盤として活用すれば、より高いレベルの研究開発が可能となると期待される。しかしながら、実用レベルの人間型ロボットを開発するための共通基盤としてのプラットフォームは現時点では存在しない。

そもそも、この先導研究が人間型ロボットに着目した理由は、製造業分野を越えたロボットの新しい応用分野として、工場の製造ラインや極限環境のような特殊な状況での作業だけでなく、我々が日常的に行っている活動をそのまま代行させたり、人間と共に働けるようなロボットの実現を目標としているからである。そのためには、人間の日常的な行動環境のなかでそのまま利用できるようなロボットであることが重要な鍵となる。すなわち、人間と同じような大きさ、形、そして機能をもっている「人間型ロボット」を利用すれば、我々人間が様々な仕事を行っている現状の環境にそのまま導入できると期待されるのである。これが人間型ロボットをプラットフォームとして用い、その上で新たなロボット応用技術の研究開発を推進しようという今回の提案の基本理念である。

このような目的から、この先導研究では、プラットフォーム、人間共存型ロボティクス、ネットワークベーストロボティクス、オールキューブ構想、4つのWGを組織してそれぞれのトピックについて集中的な検討を行った。

プラットフォームWGは、この計画の基盤となる人間型ロボットの適切な仕様について検討を行った。目標仕様は、研究開発用のプラットフォームであって、両眼、両耳、口を備えた頭部をもち、人間と自然な対話を行うことができ、本体は自律適応制御により人間の通常の行動環境内を2脚で自律的に歩行したり、基本的な作業を行う行動知能が組み込まれたもので、さらに、高速ネットワークと接続することにより、遠隔地のコックピットから高臨場感をもって操縦することも可能とする。大きさは、身長170cm、体重70kgの大人型モデル、身長135cm、体重50kgの中人型モデルの2タイプについて仕様を策定した。詳細な仕様は本文中にまとめられている通りである。この人間型ロボットプラットフォーム計画の重要な方針として、これをオープンアーキテクチャとして、その上での新たなロボット機能開発を柔軟に進められるようにすることがある。これは、この人間型ロボットを作ることそれだけが我々の目標ではなく、ロボット分野のより発展性のある将来のために、我々ロボットの研究開発に携わるものが共通基盤性をもってそれを進めることで個々の成果を容易に統合し、あるいは相互に利用できることも目指しているからである。

人間共存型ロボティクスWGは、このような人間型ロボットを通常の人間の活動の場において、人間と共存して利用できるようにするための鍵となる技術について検討を行い、安全技術、コミュニケーション技術、非定形作業実行技術、人間環境適合技術の4つを重要課題として指摘し、それぞれについて現状、目標、未来のステップに分けて技術内容の

分析を行った。

ネットワークベースロボティクスWGは、ネットワークを応用したロボット利用システムの重要な基本技術として、共有自律、通信／プロトコル、マンマシンインタフェース、ネットワークメカトロニクス、システム化技術を指摘し、それぞれについて現状、問題点、課題、応用システム例等の検討を行った。

アールキューブ構想WGは、ネットワーク環境を利用したパーソナルなテレグジスタンス社会の基本要素を検討し、その実現に向けて、可動カメラの段階から始めて、移動ロボット、移動作業ロボット、そして分身としてのヒューマノイドという4段階のアプローチを提唱し、それぞれの技術要素を検討した。

これらの技術調査検討を踏まえて、現在、「人間型ロボット」プロジェクト化の構想作りが進められている。

プロジェクトの目標は、変化のある地形を安定的に移動できる2足による移動機構、人間に変わって複雑な作業を行うことができる2腕、人間と接触または協調作業をすることができる安全性・信頼性を備えた制御機構等を有した、高い自律性をもつ人間型ロボットを、ネットワークを通して遠隔操作できる技術を開発し、これを共通の研究基盤、すなわちプラットフォームとして用い、この上で具体的なニーズを踏まえたロボット応用に関する技術開発を進めるというものである。提案されている技術課題内容のあらましは次のようなものである。

- ・不整地移動技術

変化に富んだ地形、大きな障害物が多数ある地面、倒壊・沈降が起こる足場などにおいても、安定的に移動できる技術を開発する。応用分野としては、災害分野が想定されている。

- ・作業知能技術

工具の使用、荷物の積み下ろしなどの基本的な作業動作をロボットが自律的に行うことを可能にする技術を開発する。応用分野としては、プラントやオフィスビルなどの保守分野が想定されている。

- ・ソフトロボティクス技術

ロボットが人の居る空間で動作しても安全性を保证する技術、人に親近感を与える構造の技術開発を行う。応用分野としては、福祉/介護分野が想定されている。

- ・高臨場感インターフェース技術

ネットワークによって空間的に離れた操作者がロボットを介して遠隔地の環境を高度に情報取得することを可能とする技術を開発する。応用分野としては、資源探査分野が想定されている。

平成9年度には、これらのトピックについてさらに分析や検討が重ねられ、「人間型ロボット」プロジェクトのより具体的な姿が示されていくであろう。

ワークショップ開催報告

1. 開催日時 1997年2月7日(金) 10時～17時
2. 開催場所 TEP I Aホール [(財) 機械産業記念事業財団]
3. 参加者数 206名 (内訳: 企業107名、大学60名、官公庁39名)
4. 主催者 新エネルギー・産業技術総合開発機構
(財) 機械産業記念事業財団
(財) 国際ロボット・エフ・エー技術センター
5. 配布資料 テキスト (内容: プログラム、講演概要、OHP原稿)
6. 開催趣旨

これまでのロボット開発は、生産現場での労働力不足解消のための自動化手段の獲得や過酷、危険作業から人を解放するための機能代行機械の実現を目的として行われてきた。

今後は、来る21世紀に向けて、高齢化社会に対応した高齢者の生活支援、作業支援及び災害の防止等、社会福祉の向上、更にはホーム・オートメーションの実現など、生産活動のみならず日常生活を幅広く支える人間と共存可能なロボット開発が望まれている。

こうした人間共存環境でのロボットとしてヒューマノイド、いわゆる人間型の次世代ロボットの研究開発をナショナルプロジェクトとして推進するため、(財) 国際ロボット・エフ・エー技術センターは、産官学の協力を得て、産業科学技術研究開発制度の先導研究テーマとして調査研究を行ってきた。

本ワークショップは、この先導研究の検討結果を踏まえ、「フレンドリネットワークロボティクス」は、真に人間に役立つ機械となり得るか、その適用分野等を論点として開催した。

7. ワorkshopの概要

7. 1 プロジェクト推進の目的・概要

発表者: 技術調査委員会委員長 梅谷陽二 (豊田工業大学

工学部制御情報工学科教授)

21世紀までに計画されている高度情報通信網を活用し、産業現場だけでなく、普段人間が生活する空間の場で、人間と共存しサービスを提供する遠隔操作可能なロボットを開発するため、ナショナルプロジェクトを目指し設置された「フレンドリネットワークロボティクス」技術調査委員会及びその傘下の4つのワーキンググループ(WG)の調査研究概要について紹介された。

7. 2 先導研究調査報告

7.2.1 人間共存型ロボティクスWG

発表者: 主査 野崎武敏 (工業技術院機械技術研究所ロボット工学部長)

人間共存型ロボットの範囲、期待される分野、重要技術課題に関する調査報告が行われた。

7.2.2 ネットベーストロボティクスWG

発表者：主査 築根秀雄（工業技術院電子技術総合研究所知能システム部長）

ネットワーク融合型ロボットシステムの様々な利用技術課題に関する調査報告が行われた。

7.2.3 アールキューブ構想WG

発表者：主査 舘 暲（東京大学 大学院工学系研究科 計数工学専攻教授）

ネットワーク環境を利用したパーソナルなテレイグジスタンス社会を目指した、実時間遠隔制御ロボット技術に関する調査報告が行われた。

7.2.4 プラットフォームWG

発表者：主査 井上博允（東京大学 大学院工学系研究科 機械情報工学専攻教授）

人間型ロボット技術の研究開発に使用するプラットフォームの仕様と、その実現のための関連技術の現状、要素技術の開発目標等に関する調査報告が行われた。

7. 3 特別講演

7.3.1 「Hyumanoid Robots and Their Applications」

講演者：ジョン・ホラバック（ユタ大学 コンピューターサイエンス学科教授）

これまでに実施されてきたユタ大学及びサーコス研究所の人間型（ヒューマノイド）ロボットに関するプロジェクトについて、ビデオとOHPを使って紹介された。ビデオには、握り潰さないように優しく物を掴む右手ロボット、ディズニーランドで出会うアミューズメントロボット、映画ジェラシックパークに登場した精巧な怪獣ロボット、センサースーツを用いた、女性とダンスができるフォード社のロボット等が登場した。

(ABSTRACT)

This talk will survey past and present humanoid robotics projects at the University of Utah and Sarcos Research Inc., which include multi-fingered hands, anthropomorphic master/slave arms, and full animatronic figures.

These robots have been created to mimic human structure to varying degrees, for a variety of compelling reasons.

The Utah/MIT Dextrous Hand was the first robotic device produced at Utah, and was created as an advanced research tool into machine dexterity. The thought was that robots could not have the same dexterity as humans, without a comparably capable end effector as the human hand. Every aspect of the Hand comprised novel technology created specifically for the project, including actuators, sensors, transmission elements, and real-time controller.

A humanoid structure was chosen for the hand because (1) the human is an existence proof of a successful design, and (2) human interaction with the Hand such as in teleoperation is facilitated by similarity of structure. The design philosophy was heavily influenced by human functionality.

Novel components had to be created to achieve the desired performance, so that

any limitations in capabilities could be ascribed to limitations in control strategies rather than to limitations in the hardware.

This design approach was continued with several generations of hydraulic telemanipulators: the TOPS manipulator and several versions of the Sarcos Dextrous Arm. The choice of actuators is the most critical part of any robot design, and these arms employ hydraulic actuators for human-like strength and speed in a compact package.

Similar performance cannot be achieved with electric motors due to their inherent limitations. Direct-drive hydraulic actuators are employed in the Sarcos Dextrous Arm to linearize joint mechanical properties, and to permit compliant interactions through high-bandwidth joint torque control. Joint torque sensing is important in humanoid robots also to reduce structural loading and to generate smoothly interacting and natural looking limb behaviors.

A parallel development has been full humanoid figures, with up to 50 or more degrees of freedom for arms, hands, legs, torso, head, and face. Over 100 such robots for entertainment have been produced for Disney theme parks.

In designing such complicated robots, the careful planning of conduits and structures is important for reliability and aesthetic appeal. These robots can be programmed to recreate smooth, graceful, and fast human actions.

The next generation of humanoid robots is represented by the Ford figure, which is controlled by a human actor wearing a whole-body goniometer, the Sensor Suit.

Interaction between this remotely controlled robot and the audience is so effective that these robots are frequently mistaken for human actors.

These robots have been applied for trade show displays, museums, and theme parks. Another application for humanoid robots has been for human emulation, such as protective clothing testers for space suits.

Lastly, although they are not humanoid and definitely not human friendly, the robot dinosaurs of Universal Studio's Jurassic Park the Ride were also created by Sarcos.

7.3.2 「ヒューマノイドロボット」

講演者： 本田技研工業株式会社 吉野浩行代表取締役副社長

本田技研工業が長年にわたり開発を進めてきた、完全二足歩行の人間型ロボットの開発経緯、技術等に関する説明及び巧みに段差を乗り越え、階段を昇り降りする様がビデオで紹介された。

7. 4 パネルディスカッション

司 会： 東京大学

パネリスト：東京大学

株式会社安川電機

東京女子医科大学

評論家・東京大学先端技術研究センター

東京電力株式会社

本田技研工業株式会社

舘 暲教授

井上博允教授

菊池功代表取締役会長

桜井靖久教授

立花隆客員教授

大出厚原子力管理部副部長

吉野浩行代表取締役副社長

「ヒューマノイド（人間型）ロボットが拓く21世紀」をテーマとして、舘教授を司会進行役に、研究者の立場から井上教授、ベンダーの立場から菊池氏、医療分野におけるユーザーの立場から桜井教授、評論家の立場から立花氏、電力分野におけるユーザーの立場から大出氏、それに特別講演の吉野氏の6名のパネリストとして参加。ヒューマノイドロボットの可能性、有効適用分野、技術研究課題、プラットフォーム型プロジェクトフォーメーション等についてディスカッションが行われた。