平成１１年度　調査報告書
ＮＥＤＯ－ＩＴ－９９０３

低コストアルミニウム材及びアルミ資源循環技術の開発による自動車へのアルミニウム材適用推進に関する調査研究

平成１２年３月

新エネルギー・産業技術総合開発機構
委託先　神鋼リサーチ株式会社

NEDO 図書・資料室
010015403-8

低コストアルミニウム材及びアルミ資源循環技術の開発による自動車へのアルミニウム材適用推進に関する調査研究

委託先　神鋼リサーチ株式会社

平成１２年３月　１４６ページ

調査目的

新エネルギー・産業技術総合開発機構(ＮＥＤＯ)では、では現在検討されている国家産業技術戦略等に基づいて、アルミ産業の将来に向けた戦略の検討を循環型経済社会への適合(リサイクル)、新大型需要(自動車用材)の本格的拡大、原料及び内外競争力強化など多角的な視野の下に進めている。
本調査研究はこれらの戦略検討の支援の一部として資するため、自動車でのアルミ使用状況、使用済み自動車の発生及び処理状況、アルミ材の製造及び加工技術の現状を俯瞰し、課題抽出と提言を行うことを目的とした。

平成１１年度　調査報告書
ＮＥＤＯ－ＩＴ－９９０３

低コストアルミニウム材及びアルミ資源循環技術の開発による自動車へのアルミニウム材適用推進に関する調査研究

平成１２年３月

新エネルギー・産業技術総合開発機構
委託先　神鋼リサーチ株式会社

低コストアルミニウム材及びアルミ資源循環技術の開発による自動車へのアルミニウム材適用推進調査

(概要)

1　目的

現在、日本国内のアルミニウム需要は約３８０万トンであり、その一方でスクラップとして排出されるアルミニウムは年間約１７０万トンにも達しており、排出スクラップのうちの５４％が二次地金として回収されているものの、残り７７万トンが回収されずに埋立てなど廃棄処分されている。今後も、現状のカスケード型のリサイクルが進めば，将来，約５０万トンの需給ギャップが起こる事が予想されている。

この対応としては、①今後、燃費の向上などでアルミを多用する可能性の強い自動車へのアルミ再生地金多用化促進技術の開発（リサイクル品の新規需要開拓)、②ボリュームの大きい建築分野の廃サッシを再びサッシに戻すリサイクルシステムの確立、が方策として掲っている。自動車の平均使用年数が約１０年と見られる中で、年間約５００万台の使用済み自動車からアルミスクラップを回収し再生し展伸材等としての再利用を図る事で更なる循環型社会の構築や省エネルギー、資源確保、競争力強化、及び軽量化の促進に繋げていく必要がある。本調査はこれらを念頭に、自動車に多くのアルミが使用される場合に必要となる、●アルミニウム産業の競争力向上、●自動車用のアルミ展伸材を循環型経済システムの中で効率的に展伸材等に再生していくリサイクル化などの面から，自動車でのアルミ使用状況、使用済み自動車の処理状況、アルミ製品の製造技術及び加工技術の状況を俯瞰し、課題抽出と提言をおこなった。

2　調査の結果

調査の分析は①アルミ製品製造領域、②自動車用アルミ材の利用領域、③使用済み自動車の処理（解体、シュレッダー、固相分離技術など）に分けて行った。結果、以下の今後検討が必要な課題と調査研究内容を各領域から抽出した。

《自動車用アルミ合金の統合》

・現状の多合金品種をリサイクルし易い１ないし３種程度に絞るための研究開発（６０００系、５０００系中心に）

《ストリップ連鋳技術》

・急冷鋳造による無害化と生産コスト低減化技術の開発、特性向上のための組織制御技術の研究

《自動車用薄肉ホット上がり板生産技術》

・自動車用アルミ合金板の低コスト、高効率製造技術の開発

《レーザー溶接技術》

・リサイクル材のＹＡＧ・レーザー溶接技術の開発（不純物の無害化）

《アルミ関係固相選別技術の高度化》

・レーザー式、蛍光Ｘ線など新原理判別法による高度固相選別技術

《均質回収体制の整備》

・大量の自動車分野アルミ屑の均質回収化体制整備に関する基礎的調査研究

（これらは日本アルミニウム協会の戦略にも概ね合致している）

The report of investigation concerned with how to promote the application of aluminum alloys to automobiles by the developments of low-cost aluminum alloys and recycle technologies of the aluminum resources.

(Abstract)

1.Objective

The demand of aluminum and aluminum alloys in Japan at the present time is about 380 ten thousand ton per a year. On the other hand, the amount of scrap of aluminum and aluminum alloys is about 170 ten thousand ton per a year.
54% of the scrap is recycled for the secondary metals and the remaining, 77 ten thousand ton, is wasted for the land reclamation. It is expected that the gap between the demand and supply will be about 50 ten thousand ton per a year on the assumption that the cascade recycle system will continue from now on.

To correspond to this problem, two political plans are proposed. One is the promotion of application of recycled aluminum alloys to automobiles by the developments of the recycling technologies, which means the finding of the new demand of recycled aluminum alloys. Aluminum alloys will be much more used for automobiles, because the application of aluminum alloys will improve fuel economy. The other plan is the establishment of recycling system of wasted aluminum sash in the huge building field. It is estimated that the average life of automobiles is about ten years. It is necessary to promote the recycle of aluminum alloys from wasted automobiles which amount to about 500 ten thousand units a year, which leads to the construction of resources-recycling system, energy-saving system, resources-securing system, buildup of competitive power of aluminum industries and promotion of reducing the weight of automobiles.

In this investigation, we overlooked the circumstances of applications of aluminum alloys to the automobiles, the recycling system of the wasted automobiles, production technologies and fabrication technologies of aluminum products. Especially we put emphasis on how to build up the competitive power of aluminum industries, how to promote the recycle of aluminum alloy sheets from wasted automobiles efficiently in the resources-recycling economy system. As a result, we extracted the problems and put forth proposals.

2.Results of investigation

We surveyed from 3 stand of view. ①How the aluminum products are manufactured. ②How the aluminum alloys are used for automobiles. ③How the wasted automobiles are recycled. For example, dismantle process, shredder process and selection process in the solid phase. As a result, we extracted the problems to be solved in the future and we extracted the contents of investigations from 3 fields.

Unification of the aluminum alloys for automobiles

Research and development to narrow the various aluminum alloys for automobiles down to 1~3 recyclable alloys, especially Al-Mg-Si alloys and Al-Mg alloys.

Strip continuous casting technology

Development of the rapid solidification process to minimize the negative effect of impurities, development of the low-cost manufacturing process and research for the structure-controlling to improve specific quality.

Automotive sheet manufacturing process with thin hot-rolling finished sheet

Development of the low-cost high-efficiency manufacturing process of aluminum alloy sheets for automobiles.

Laser welding technology

Development of the YAG laser welding technology for the recycled aluminum alloys, which means the new technology to minimize the negative effect of impurities.

Advanced selection technology of aluminum alloys in the solid phase

Advanced selection technology in the solid phase by utilizing the new distinction method such as laser method or X- ray fluorescence method.

Establishment of the homogeneous recovery-system

Basic investigation concerned with how to establish the homogeneous recovery-system of bulk aluminum chips in the automotive field.

These contents of investigations coincide with the strategy of Japan aluminum association as a whole.

「低コストアルミニウム材及びアルミ資源循環技術の開発による自動車へのアルミニウム材適用推進に関する調査研究」アドバイザー名簿

順不同

区分	機関	担当者	職位	所属
ｱﾄﾞﾊﾞｲｻﾞｰ	(社)日本アルミニウム協会	蝉 庄作	常務理事	
	東京工業大学	神尾 彰彦	教授	大学院理工学研究科 材料工学専攻
	東京大学	菅野 幹宏	教授	工学系研究科 材料工学専攻
	(財)金属系材料研究開発センター	村田 富士夫	部長	アルミニウムリサイクル技術推進部
	(社)日本自動車工業会	竹井 英敏	部長	部品資材部
ｵﾌﾞｻﾞｰﾊﾞｰ	新エネルギー・産業技術総合開発機構	上野 俊夫	課長代理	産業技術研究開発部 研究調整課
		弓取 修二	主査	基盤技術研究開発室
事務局	神鋼リサーチ(株)	森本 浩太郎	理事	環境情報・技術センター
	同上	津崎 好信	上席主研	同上
	同上	今西 信之	研究理事	国際協力部

目　　次

1　調査の目的 …… 1

2　自動車におけるアルミ化及びリサイクルの現状と課題 …… 3

2－1　国内の自動車生産状況 …… 3

2－2　自動車用 …… 4
① 国内の新地金、二次合金地金の状況
② 自動車用アルミ製品需要の状況

2－3　アルミの自動車部品、部材への適用状況 …… 5
① 乗用車における使用材料構成とアルミ使用比率
② アルミ化された部品、部材の状況
③ 自動車部品に使用されるアルミ合金品種とその特徴部品

2－4　アルミ化拡大に向けた考え方 …… 16

2－5　使用済み自動車の発生状況と処理フロー …… 22
① 使用済み自動車排出台数
② 使用済み自動車処理のフロー
③ 使用済み自動車処理の課題と今後の動向

2－6　固相選別の現状と課題 …… 32
① 解体処理工程
② シュレッダー処理工程
③ 主な固相選別技術
④ 自動車用アルミ関係リサイクルの特許出願動向
⑤ 分析業界の動向

3　アルミ製造工程及び今後の課題 …… 59

3－1　溶接鋳造 …… 59

3－2　板圧延 …… 79

3－3　押出加工 …… 91

4　成形加工技術と今後の課題 …… 109

4－1　板成形加工 …… 109

4－2　押出材曲げ加工 …… 117

4－3　接合技術 …… 130

5　纏　め …… 149

1　調査の目的

現在、日本国内のアルミニウム需要は約３８０万トンであり、その一方でスクラップとして排出されるアルミニウムは年間約１７０万トンにも達しており、排出スクラップのうちの５４％が二次地金として回収されているものの、残り７７万トンが回収されずに埋立てなど廃棄処分されている。今後も、現状のカスケード型のリサイクルが進めば，将来，約５０万トンの需給ギャップが起こる事が予想されている。

この対応としては、①今後、燃費の向上などでアルミを多用する可能性の強い自動車へのアルミ再生地金多用化促進技術の開発（リサイクル品の新規需要開拓)、②ボリュームの大きい建築分野の廃サッシを再びサッシに戻すリサイクルシステムの確立、が方策として掲っている。自動車の平均使用年数が約１０年と見られる中で、年間約５００万台の使用済み自動車からアルミスクラップを回収し再生し展伸材等としての再利用を図る事で更なる循環型社会の構築や省エネルギー、資源確保、競争力強化、及び軽量化の促進に繋げていく必要がある。本調査はこれらを念頭に、自動車に多くのアルミが使用される場合に必要となる、アルミニウム産業の競争力向上、及び車用のアルミ展伸材等を循環型経済システムの中で効率的に展伸材に再生していくリサイクル化等の面から，現状を俯瞰し課題抽出を試みたものである。

従って、自動車でのアルミ使用が増大傾向にある事実を前提に、今後更なる自動車でのアルミ多用化に向けて、使用済み自動車のリサイクル状況の中から、使用済み自動車の処理､分別などリサイクルによる有価物回収の現状と課題､アルミニウム素材や製品の競争力の基盤であるアルミ素材製造工程及び成形、加工の現状と課題について整理している。
鉄鋼に次いで量産型基礎資材であるアルミニウム産業の抜本的な強化，拡大に向けて，各方面が多くの場で検討を進めている。
本調査は対象分野を自動車に絞り，また製品として展伸材を対象としているが、それらの戦略的な検討やプロジェクト推進の支援の一部に本調査がなれば、幸いである。

2　自動車におけるアルミ化及びリサイクルの現状と課題

2－1　国内の自動車生産状況

1998 年の 4 輪車全体（乗用車，トラック，バス）の生産台数は前年比約 8 %の減少，1005 万台となった。これは 1993 年に次ぐ史上 2 番目の大きな落ち込みとなっており，車種別では乗用車全体（普通車，小型乗用車、軽自動車）で前年比約 5 %の減少の 806 万台，普通乗用車が微減の 306 万台，小型乗用車は約 10%減の 405 万台，軽自動車は 2 %増大の 95 万台となっている。トラック全体は史上最大の減少幅で 194 万台、前年比 20%の減少であった。また、バスは前年比 8 %強の減少を示し約 6 万台となっている。個人消費支出の低迷や企業の設備投資抑制など長引く不況の影響をモロに受けた結果となっている。最近の国内自動車生産状況を図 2－1－1、図 2－1－2、表 2－1－1 に示す。

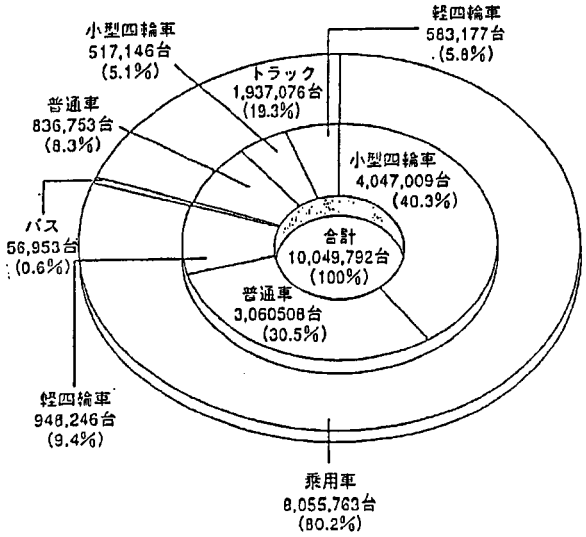


図 2－1－1
98 年の車種別生産台数構成比

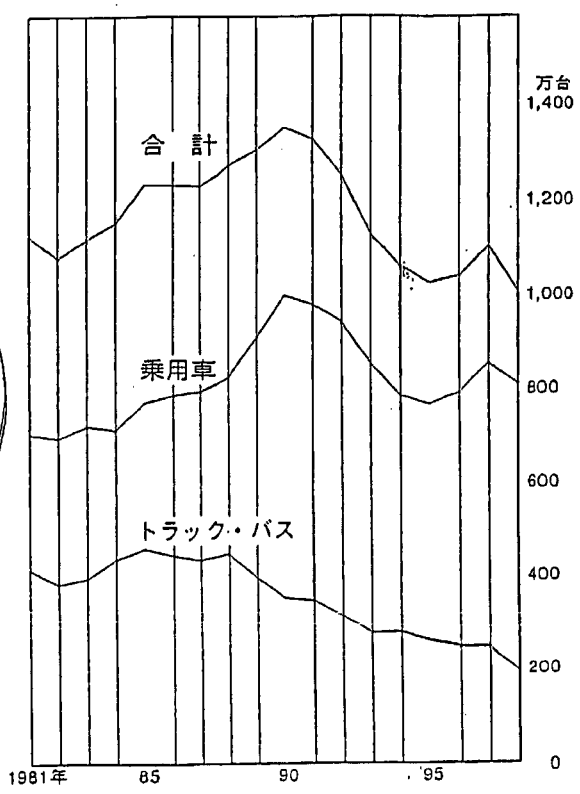


図 2－1－2
97 年の四輪車生産台数推移

表 2—1—1 日本の４四輪車生産台数の推移

年	生産台数	対前年比 %
1989	13,026,736	102.6
1990	13,488,796	103.5
1991	13,245,438	86.2
1992	12,499,284	84.4
1993	11,237,540	89.6
1994	10,554,119	94.0
1995	10,195,838	98.6
1996	10,348,699	101.6
1997	10,975,087	108.1
1998	10,048,792	81.6

日本自動車工業会調

出典：日本の自動車工業（'99 年）
〔日本自動車工業会〕

2－2　自動車用アルミ合金製品の状況

（1）　日本のアルミ新地金、二次合金地金の状況

日本のアルミ製錬は戦後、生産が再開されて以降、景気の拡大と共に発展したが、1973 年のオイルショックの影響で大きな電力を必要とする日本の製錬業は急速に衰退した。現在、その製錬はごく僅かであり、非製錬国ともいえる状況にある。1977 年の新地金生産量 1188 千トン生産をピークに、1997 年は 17 千トンまで後退している。今日では、そのため、新地金需要の殆どを海外製錬メーカーからの供給に頼っている。表２—２—１にアルミ新地金の生産量、輸入量の推移を示す。これに対して、日本の二次合金地金の生産量は米国に次いで多い２位の位置にあり、１９97 年は 958 千トンとなっており、アルミ屑を再生して二次合金にする二次合金製造業も重要な役割を果たしている。使用済み自動車の解体業者やシュレッダー業者などからアルミ屑を入手し、溶解、成分調整等が行われ、二次合金地金としてアルミ圧延メーカーや素形材（鋳物、ダイカスト、鍛造品）メーカーに原料として供給されている。

表２—２—１　アルミ新地金、二次地金の生産量、新地金輸入量の推移

（単位：千トン）

	1975	1977	1979	1981	1983	1985	1987	1989	1991	1993	1995	1997
新地金	1,013	1,188	1,010	771	256	226	407	36	32	18	18	17
二次地金	424	574	746	815	802	864	894	999	1,024	911	922	958
輸入地金	367	474	678	981	1,416	1,400	1,558	2,162	2,517	2,267	2,428	2,574

（出典：（社）日本アルミニウム協会資料）

(2) 日本の自動車分野アルミ製品需要の状況

1998 年のアルミ製品の総需要は展伸材、素形材を合せて約 3400 千トンで、その中で自動車分野向け需要の占める割合は 31%の約 1060 千トンであった。板材 1272 千トンの 33 %がキャン材を含む食料品関係で、自動車用は約 7%の 94 千トン、押出材 1044 千トン中の 69%、718 千トンがサッシなど建設関係で、自動車用は約 9%の 99 千トンとなっている。一方、鋳物やダイカスト品、鍛造品などの素形材 1092 千トン中の自動車向け需要は約 80 %の 869 千トンとなった。表2—2—2に最近10年間の展伸材（板、押出材）及び素形材の自動車分野需要の推移を示す。展伸材と素形材の構成比率は、1989 年に 15%対 85%であったが、1998 年には 18%対 82%と展伸材がやや増えたものの、依然として素形材が圧倒的に多い情況にある。ただ、昨今の燃費の向上気運の隆盛の中で、軽量化技術が重視され、アルミ展伸材もコンセプト車を先導として、スペースフレームなどアルミの特徴を活かした構造が採用されるようになって来ており、増大しつつある。

表2—2—2 国内の自動車用アルミ製品需要の推移（単位：千トン）

年	板	押出材	鍛造品	鋳造品	ダイキャスト	計
'89	63.0	78.6	13.9	317.2	466.7	939.4
'90	75.3	94.7	15.4	343.8	505.5	1034.7
'91	82.1	100.3	17.1	348.1	496.3	1043.9
'92	78.2	92.7	16.6	346.6	507.4	1041.5
'93	75.8	88.9	15.8	327.2	495.9	993.6
'94	75.6	93.6	16.3	332.0	490.5	1008.0
'95	80.2	95.9	17.1	350.3	522.7	1066.2
'96	88.4	101.4	17.7	350.3	534.5	1092.3
'97	97.1	114.8	18.2	374.4	567.1	1171.6
'98	93.8	99.4	13.6	333.9	521.4	1062.1

出典 日本アルミニウム協会資料（暦年）

2−3 アルミニウムの自動車部品、部材への適用状況

① 乗用車における使用材料構成とアルミ使用率

日本自動車工業会は数年毎に乗用車の材料の構成調査を行っている。'97 年時点での構成は普通鋼材 52%、特殊鋼材 17 %、アルミ 7.5 %、その他非鉄金属 2 %、プラスチック類など非金属 20 %となっている。鉄鋼は 78 % ('72 年) から 69% ('97 年) と軽量化指向の中で減少している。その中身は普通鋼材の減少で、冷延鋼板が大き

く減り、表面処理鋼板が伸びたが、この差と見られている。
特殊鋼材は駆動部品中心の用途であり、代替は難しく、推移はほぼ横ばいである。
替わって、アルミが伸長している。約3％（'72年）から7.5％（'97年）とジリジリと伸びて来ている。また、非金属（ガラス、樹脂、セラミック、など）の中では軽量化に沿って樹脂も伸長している。
表2−3−1に普通・小型乗用車における原材料構成比の推移を示す。

表2—3—1　普通・小型乗用車における原材料構成比の推移

材　料	'72年	'77年	'80年	'83年	'86年	'89年	'92年	'97年
普通鋼材	60.4	61.6	60.5	59.5	57.7	56.9	54.9	52.1
特殊鋼材	17.5	16.1	14.1	14.3	15.0	15.1	15.3	16.9
アルミ	2.8	2.6	3.3	3.5	3.9	4.9	6.0	7.5
その他非鉄	2.2	2.1	2.3	2.1	2.2	2.5	2.0	2.1
非金属	13.9	14.4	16.4	18.4	19.5	18.9	19.7	19.6
計	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
原単価及び重量の推移	100	106.5	105.9	102.7	105.8	115.1	136.8	141.8

出典：日本自動車工業会資料（'97年5月）

自動車の先進国である米国はアルミ化がかなり進んでいる。米国における自動車軽量化の強い指向、この中でのアルミ使用の拡大は燃費規制への対応が裏付けとなっている。燃費規制はいよいよ厳しくなって来ており（この面では、欧州も日本も同様だが)、更なるアルミ化の進展が見込まれている。
図2—3—1に最近までの北米での乗用車の使用材料構成の推移を示す。日本と同様の7〜8％（'97年）のアルミ使用率となっているが、台数が多いのでアルミ使用量は日本より多く、163万トン（'96年）程度と見られている。
この時点での車1台当りのアルミ使用量は平均して114kg／台と、日本のそれよりは若干多い状況となっている。

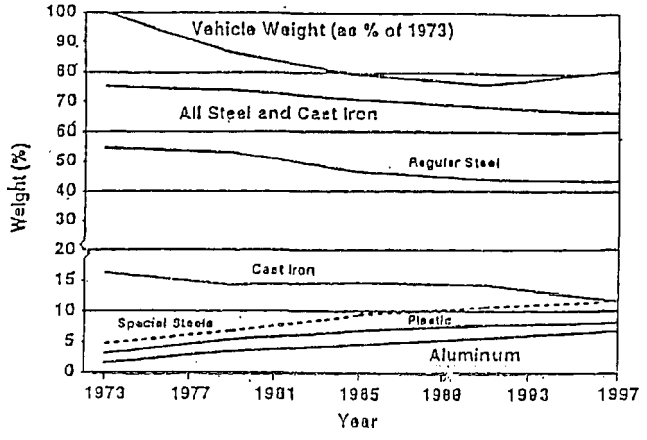


図2—3—1　北米乗用車の材料使用構成比（アルキャン）

'90 年代に入り、米国での自動車へのアルミ使用は'96 年までに数十％も伸び、この要因としてエンジンのアルミ鋳物が増大している。パネル関係やコントロールアーム等のサスペンション関係、ホイールなどの部材、部品のアルミ化が進んだためと見られている。

図２―３―２は平均的な乗用車の部位別の重量割合を示しており、今後更なる軽量化を促進するには重量の大きい部位（ボディ、シャーシ、エンジン及びトランスミッション）の軽量化（アルミ化）が狙い目であろう。

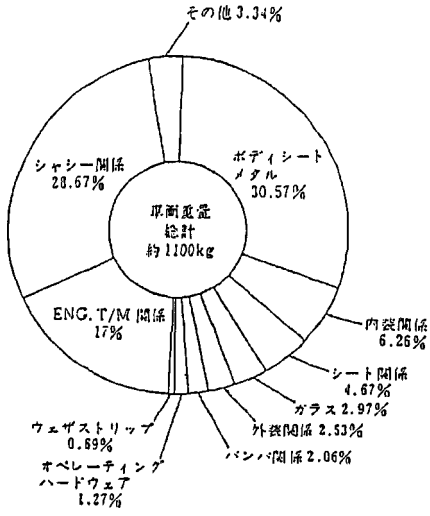


図２―３―２　車の各部位の重量構成比

出典　精密工学会誌　６６巻１号　００年

② アルミ化された部品、部材の状況

自動車とアルミの係合いは古く、'90 年代のはじめにはエンジン用アルミ鋳物などを中心に、一部のパネル部分も含めてアルミが使用されている。

その後、'73 年のオイルショックに伴う世界的な省エネルギー気運の隆盛などが引き金となり、自動車の燃費向上が大きな課題となった。この対応の中で、軽量なアルミが使われはじめ、直後の米国のエネルギー法に基く CAFE 規制や数年後に制定された GGT（ガソリン浪費車税）等が追い風となった事もあり、自動車へのアルミ使用が更に促進された。'70 年代後半から自動車の色々な部品にアルミが使われはじめた。

日本でも'70 年代後半には車重の約３％に鋳物類を中心とするアルミが使われ（後掲表２―５―３）、その後自動車部品へのアルミ鋳物、ダイスカスト品適用が進むと共に、

限定された車種ではボディやバンパー等にアルミ展伸材（板、押出材）も使われる状況になっている。

図２—３—３は日本における自動車ボディシートのアルミ適用の推移を示している。'90 年代に入り、地球環境問題が本格化する中で、多くの車種がアルミボディパネルを採用しはじめた。'95 年以降は温暖化対策、廃棄物対策の更なる深刻化への対応の中で、各地の自動車ショーでもアルミを多用する為の新たな構造（スペースフレーム等）が開発、出展されはじめた。

最近の海外のオールアルミボディ車の例を表２—３—２に、昨年開催された第 33 回東京モーターショーに出展された日本車及び海外メーカーの車のうち、アルミボディを使った乗用車の例を表２—３—３、表２—３—４に示す。また、図２—３—４はボディ以外にも多くの部品にアルミが使われている状況を示している。これらアルミ部品のおおよその重量は表２—３—５の①②③④に示す程度となっている。

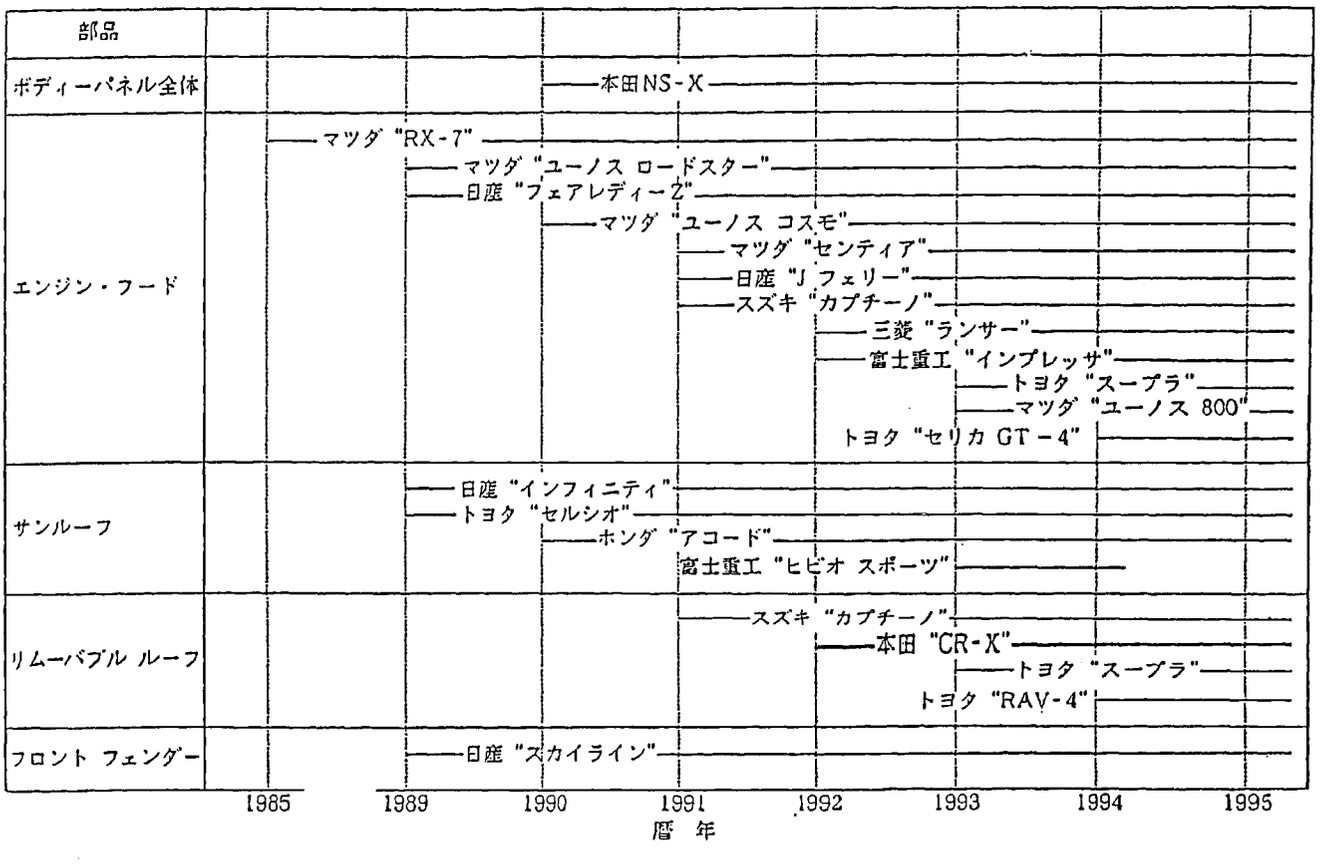


図２—３—３　日本における自動車ボディパネルのアルミ化推移

出典　金属　６５巻１２号　９５年

表2—3—2　海外の最近のオールアルミボディー車

国名	自動車メーカ	車種名	車体構造*1	生産計画	アルミメーカ	接合方法*2	内　容
独	Audi	A8	ASF	生産中	Alcoa	A, S, M	世界初のASF車
		A2	ASF	あり ('99)			超小型車/ 19 000 $/台
	Opel	MAX X	ASF		Hydro	A	小型軽量ガソリン車 車重650 kg '95フランクフルトショウに出展
	BMW	E1 Z—13	ASF		Hydro	A	'93東京モーターショウに出展
		Just 4/2	ASF		Hydro	A	'95東京モーターショウに出展 2人乗りのスポーツカー
	VW	Noak	ASF				フレームは形と板の組合せ 鋳物ノードを使用
仏	Renault	Spider	ASF	あり	Hydro	A, M, B	スポーツカー，車体110 kg 販売価格20万フラン ユーレカプロジェクト
英	LOTUS	ELISE	ASF	あり	Hydro	M, B	小型軽量スポーツ車 車重673 kg
伊	Pininfarina	Ethos III	ASF		Hydro	A	電気自動車
	Fiat	Zic	ASF				電気自動車
ノウェー	PIVCO	CityBee·	ASF	あり	Hydro	A	2人乗りの電気自動車 '94ユーレカに出展 米Calstartへ OEM
米国	GM	EV 1	シャーシがアルミ	発売 ('96/秋)	Alcan	W, S, M	2人乗りの電気自動車 3.5万ドル
	Ford	AIV Synthesis	モノコック		Alcan	W	モニタ用に40台試作 200 kg軽量化
	Crysler	Prowler	ASF	発売決定 ('97)	Alcoa	R, M, A	米国初のASF車 アルコアが専用工場建設
		Neon-Light	モノコック		Reynolds	W, B, R	12台試作
	Panoz	PANOZ	ASF	あり	Alumax	M	CF接合 現行車は鉄

＊1　ASF：アルミスペースフレーム

＊2　A：アーク溶接，S：スポット溶接，M：機械的接合，B：接着，W：ウェルドボンド，R：リブボンド

出典　自動車技術　57巻　2号　97年

表２—３—３　第33回東京モーターショーでの日本製乗用車のアルミボディー車の例

企業名	車名（ペットネーム）	備考	アルミ使用個所
三菱自動車	SUW advance	（参考出品）	ボンネット
	ピスタチオ	（参考出品）	ボンネット
	ランサーエボリューション	（参考出品）	ボンネット
	VTトミー・マキネン エディション		
マツダ	ロードスター RS		ボンネット
	RX-7		ボンネット
スズキ	EV-Sport	（電気自動車）	◎アルミスペースフレーム
富士重工業	スバル フリートエックス	（コンセプトカー）	ボンネット
		（マルチマテリアル技術）	ドア
			トランクリッド
	スバル インプレッサ WRX	（参考出品）	ボンネット
	スバル レガシィツーリングワゴン		ボンネット
	GT- E-tune a		
日産自動車	ハイパーミニ	（小型電気自動車）	◎アルミスペースフレーム
			ボンネット
			ルーフ
			トランクリッド
			フェンダー
			ドア（スチール）
			バンパー（プラスチック）
	セドリック		ボンネット
	グロリア		ボンネット
本田技研工業	インサイト	（ハイブリッドカー）	◎アルミスペースフレーム
			オールアルミボディー
	S2000		ボンネット
いすゞ自動車	ブイ・エックス・オーツー	（参考出品）	フロントグリル
ダイハツ工業	MOVE EV-FC	（燃料電池電気自動車）	◎アルミスペースフレーム
			オールアルミボディー
トヨタ自動車	なし		

表２—３—４　第33回東京モーターショーでの海外の乗用車のアルミボディー車の例

企業名	国名	（ペットネーム）	備考	アルミ使用個所
ピニンファリーナ	イタリア	無し	自動車のデザイン会社	ボンネット他
フェラーリ	イタリア	フェラーリ 360		オールアルミ
アウディ	ドイツ	アウディA 8 4.2クワトロ	量産車	◎アルミスペースフレーム、
				ボンネット フェンダー トランクリッド
				ルーフその他ボディーはオールアルミ
		アウディTT ターボ1.8クワトロ	量産車	ボンネット
オペル	ドイツ	G90	総重量750kg	ボンネット 以下・メーンフレーム及び
			4人乗り	足廻り ホイールはアルミ
			ガソリンの低燃費	シート・ステアリングはマグネシウム
			CO_2排出量=90g/km	
ダイムラー・クライスラー	ドイツ	クライスラー・ティバーGTS		アルミ製6速9.0ℓ型10気筒エンジン
	米国	CL600	市販予定	トップライト ドア
		ジープ（AMGS55L）		ボンネット
BMW	ドイツ	Z8	総重量 1,585kg	◎アルミスペースフレーム
			100%リサイクル	ホディーはオールアルミ
			エンジンは再生利用	
			日本に3つの回収拠点	
			回収は無料	
ポルシェ	ドイツ	911カレラ4・カブリオレ		ハードトップ（33kg）
GM	米国	キャデラック セビルSTS	近日中に発売	ボンネット
		キャデラック ドウビル	同上	ボンネット
フォード	米国	リンカーンLS		
		DOHC・V8	10月20日発売	ボンネット フェンダー トランクリッド
		DOHC・V6	10月20日発売	ボンネット フェンダー トランクリッド
ボルボ	スウェーデン	S80 2.4	軽量化と環境対策で	ボンネット トランクリッド
			アルミフレームを採用	
			（原話対応）	
ルノー	フランス	ルーテシア 16V		ボンネット
		ルーテシア エクスプレッション		ボンネット

出典　エルエム通信　９９年１１月号

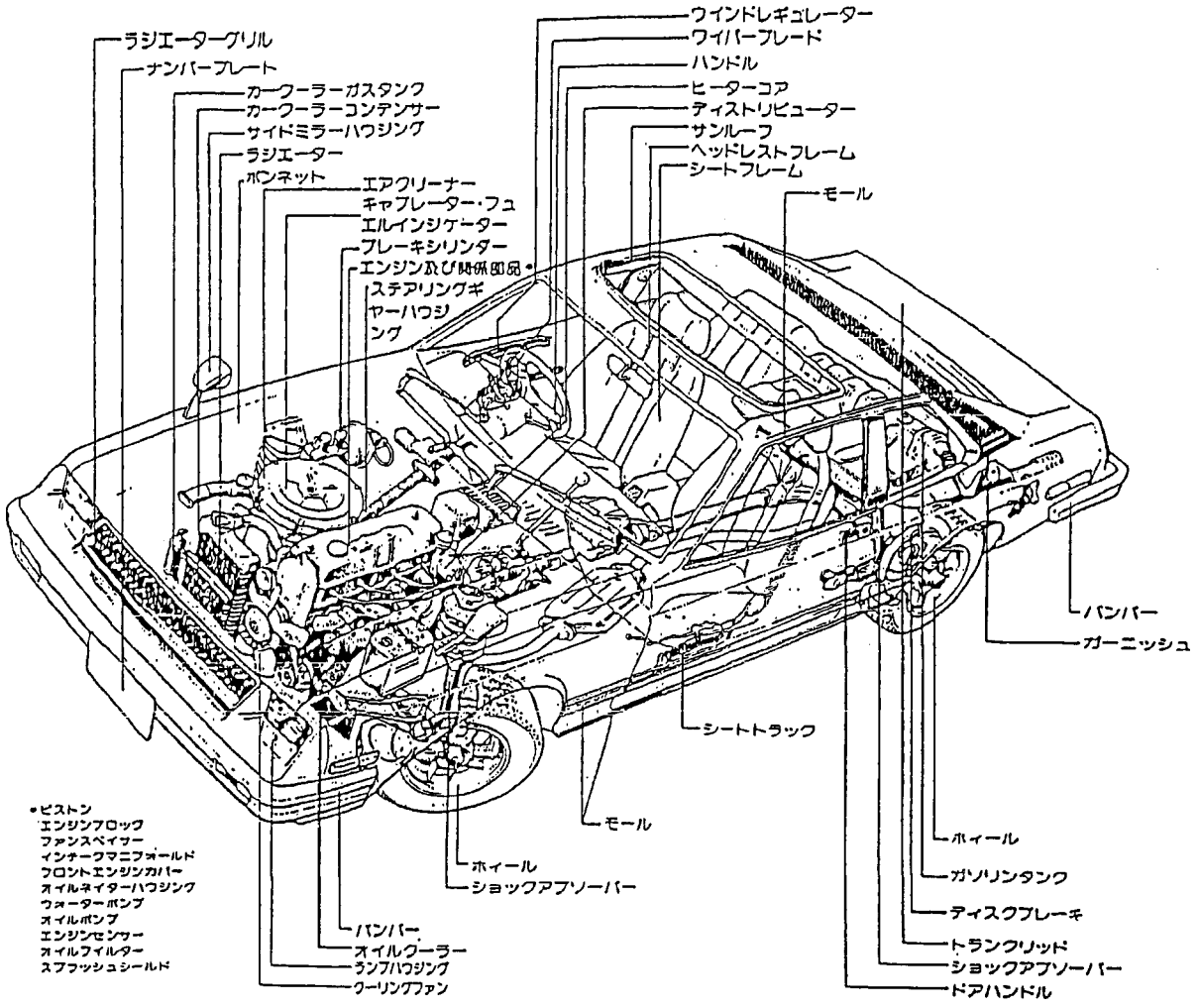


図２—３—４　乗用車に使用されているアルミ部品の例

出典　鉄鋼界　９１年１１月号

表2—3—5　国産乗用車のアルミ部品の重量の例

①エンジン関係

部　品　名	平均重量 (kg)
・ピストン	1.2
・インテークマニホールド	3.2
・インジェクター・ミキサー	0.6
・ウォーターポンプ・ボデー	0.6
・ディストリビューター	0.4
・ゼネレータ・ハウジング	0.5
・スタータ・モータ	0.5
・オイルフィルター・アダプター	0.6
・ゼネレータ・ブラケット	1.1
・ヒートチューブ	0.7
・バルブロッカ・カバー	1.5
・シリンダーヘッド	11.1
・ロッカー・アーム	0.7
・シリンダーヘッドカバー	1.5
・タイミングチエーンカバー	0.9
・オイルポンプ	1.0
・フュエル・ポンプ・ボデー	0.2
・キャプレター	1.0
・バ　ル　ブ	0.2
・リードバルブ	0.15
・オルタネータ・ボデー	0.6
・サーモスタットカバー	0.12
・ディストリビュータ・ボデー	0.2
・エアーバルブ・ケース	0.1
・インタークーラー	2.8
・インテークマニホールド・コレクター	5.47
・スロットル・ボデー	0.4
・バルブリフトガイド	1.52
・エアフローメータ	1.12
小　　計	39.98

①ドライブ・トレイン関係

部　品　名	平均重量 (kg)
・トランスミッション・ハウジング	6.96
・クラッチ・ハウジング	
リヤカバー	
・トルクコンバータ・カバー	5.2
・トルクコンバータ・ステーターガバナーボデー	
・シフト・フォーク	0.34
・T／Mフロントカバー	0.495
・T／M リアエクステンション	5.5
計	19.94

③フロントサスペンションブレーキ関係

部　品　名	平均重量 (kg)
・ステアリングギヤ・ハウジング	0.33
・マスタ・シリンダー	0.47
・ブレーキ・マスター・シリンダー・ピストン	0.06
・リアブレーキ・ピストン	0.28
計	1.14

④ そ の 他

部　品　名	平均重量 (kg)
・ステアリングギア・ハウジング	0.73
・エアコン・エバポレータ・インレット・チューブ・アセンブリ	1.0
・エアコン・コンプレッサーベース・アセンブリー	7 (3.488)
・エアコン・コンプレッサーブラケット	
・エアコン・アキュムレータ	0.4
・ヒータ・アウトレットパイプ・アセンブリ	0.85
・ランプ・ブラケット	?
・ワイパーモーター・ケーシング	0.147
・ワイパーリング取付ボス	0.02
・ワイパーアームボス	0.041
・クラッチ部品	0.383
・ウインド・レギュレータ	0.46
・ファン・カップリング	0.559
・ホイール	33.1
計	44.69

合　　計　　105.75　(75.65)

但し、(　) 内はホイールを除く。

表２—３—５によれば、アルミの総重量は約 100kg（アルミホイールを含む）で、エンジン関係が 40kg、ドライブトレインが 20kg、フロントサスペンション及びブレーキ関係が約 1kg、ホイール 33kg、その他約 10kg で、鋳物・ダイカスト品が多い。

アルミ部品が平均的にどの程度採用されているか、日本アルミニウム協会（自動車委員会）が数年毎に調べている。
最近の調査（'96 年度販売された計 26 車種のアルミ部品採用率等をまとめたもの）は、軽自動車 4 車種、小型車 9 車種、普通自動車 3 車種、RV 小型車 5 車種、RV 普通車 5 車種の群について実施されたが、車重に対する使用アルミ部品重量割合は、軽自動車 4.8 %、小型車 6.8 %、普通自動車 9.8 %、RV 車 6.2 %で、総合平均 7.3 %のアルミ使用率であった。対象車 26 台中、アルミ採用率 50～100 %の部品群（アルミ化がかなり進んでいる）を表２—３—６に、アルミ採用率 20～49 %（アルミ化が進展中）の部品群を表２—３—７に、またアルミ採用率 7～19%（アルミ化が始まった段階で、今後期待されるもの）の部品群を表２—３—８に示す。
アルミ化が進んでいるのはエンジン、ドライブトレイン、熱交換器などの関係部品で、前回調査に比し、ABS 部品のアルミ化が進んでいる。自動車へのアルミ使用は年々その部品数も増えてきているが、採用率の低いアルミ部品で今後は採用率が伸びると共に、軽量化効果の大きいボディーパネル等車体関係のアルミ化が量産車に拡がっていく事が期待されている。

表２—３—６　アルミ化がかなり進んでいる部品（採用率：60～100 %）

部　　位	部　　品	採用車	採用率（%）
エ　ン　ジ　ン	シリンダーヘッド	26	100
	ピストン	26	100
	オイルポンプ・ボデー	25	96
	ウォタポンプ・ボデー	24	92
	オルタネータ・ボデー	24	92
	シリンダーヘッドカバー	22	85
	カムシャフト・ベアリングキャップ	22	85
	スロットル・ボデー	20	77
	サーモスタット・カバー	17	65
	スタータモータ・ボデー	15	58
	シリンダーブロック	13	50
ステアリング	ギア・ハウジング	20	77
ドライブトレイン	トランスミッション	24	92
	バルブボデー	19	73
	トルクコンバータケース	14	54
ブレーキ	マスターシリンダー	26	100
	ABS 部品	17	65
熱交換器	コンデンサー	26	100
	ラジエータ	25	96
	エバポレータ	20	77
	配 管 類	16	62
	ヒータコア	15	58

表2−3−7　アルミ化が進んでいる部品（採用率：20〜40%）

部　　位	部　　品	採用車	採用率(%)
エ　ン　ジ　ン	ディストリビュータ	12	46
	デリバリーパイプ	9	35
	オイルパン	8	31
	フュエルポンプ・ボデー	7	27
	インテークマニホールド	7	27
	オイルシール・リテーナ	7	27
	ロッカーアーム	6	23
	ウォータポンプ・インレット	6	23
	オルタネータブラケット	6	23
ステアリング	コントロール・バルブ・ハウジング	10	38
	ポンプハウジング	10	38
	エンドカバー	7	27
	オイルポンプ	6	23
	ステアリング・ホイール	6	23
	イスアリング・コラム	6	23
ドライブトレイン	トルクコンバータ・ステータ	12	46
	クラッチピストン	12	46
	ロー＆リバース・ブレーキピストン	12	46
	カバーF／R	10	38
	ブレーキピストン	9	35
	フキュムレータ	9	35
	リバースピストン	7	27
	サーボピストン	7	27
	コントロールケース	6	23
	トランスファーケース	6	23
ブレーキ	ホイール・ブレーキシリンダー・ボデー	8	31
ホイール	ホイール	9	35
ボデー	サンルーフ・ガイドレール	10	38
熱交換器	ベーン	8	31
	ハウジング	7	27
	ブラケット類	6	23
その他	ワイパーリンク機能取付ボス	10	38
	ワイパーモータ・ボデー	6	23

表2—3—8　アルミ化が期待される部品（採用率：7～19 %）

部　　位	部　　品	採用車	採用率（%）
エ　ン　ジ　ン	ゼネレータ・ブラケット	5	19
	エンジンマウント・ブラケット	4	15
	フロント・カバー	4	15
	フューエルディストリビュータバイブ	4	15
	バルブリフター	3	12
	EGRバルブ	3	12
	オイルフィルター・アダプター	3	12
	オイルフィルター・ブラケット	3	12
	アクセラレータ・ペダル	2	8
	フュエルバイブ	2	8
	ファン（ブレード・プーリー）	2	8
	エンジンサポートブラケット	2	8
	コネクター	2	8
	ウォーターパイプ	2	8
	テンショナブラケット	2	8
ステアリング	エアバック関連部品	3	12
	パワーステアリング・リザーバーブラケット	3	12
	パワーステアリング・ラック・ハウジング	2	8
	ブレークアウェ・ブラケット	2	8
ドライブトレイン	シフトウォーク	5	19
	オイルポンプ・アダプター	5	19
	サーボレテーナ	5	19
	T／Mマウントブラケット	3	12
	T／Mリアエクステンション	3	12
	スピードギアスリーブ	3	12
	アクスルハウジング	3	12
	コーストピストン	3	12
	ガバナーボデー	2	8
	ディファレンシャル・キャリアカバー	2	8
	プラグ類	2	8
ブレーキ	アクチュエータ	3	12
	PCVボデー	2	8
ボデー	ルーフラック	3	12
	インストルメントルパネルエアバッグリンフォース	3	12
	アウターハンドル	3	12
	ルーフレール	2	8
	クロスメンバー	2	8
	各種ランプ類反射板	2	8
熱交換器	フランジ、シェル	5	19
	エンジンオイルクーラ	4	15
	エアコンコンプレッサブラケット	3	12

出典　日本アルミニウム協会（自動車委員会・９６年資料）

2—4　アルミ化の拡大に向けた考え方

このように，進展中の自動車へのアルミ使用を今後更に促進するには，ユーザー側に魅力ある素材，必選的素材であらねばならない。

高品質，高機能，低コスト化を進める必要がある。これらを定量的にどの位まで，という数値を描くのは，状況に応じて変わるので，難しいが，次のような考え方はできよう

(品質)

現状と同等以上。現在は，アルミ合金板など展伸材を多くの量産車に使い込む所まで至っていない。その状態になれば，対象となる自動車メーカー，部品メーカーは今以上に増大していようから，個別品質ニーズに対応する限り，今と同等以上のものになろう。しかし，これは個別ユーザーとアルミメーカーの具体的な協力の推進の中で，解決されるべきである。対象車の構造や工法，ユーザーの製造ラインの状況，などにより多少の影響は受けよう。

(機能)

自動車用に限らず，アルミが伸長して来た側面の一つが高機能化を実現してきた事である。アルミが使用される用途，特に民需にあっては［軽薄短小］化が続いた。この傾向は今後も自動車など更に進歩する用途にあっても続くであろうから，アルミ素材もよりファインな、高い機能への脱皮は必要である。

また，自動車分野でみれば，競合素材となるのは鉄鋼とプラスチックであるので，これらに有利なアルミの機能は更に伸ばし，物性など変えられないものもあるが，不利な点は革新的なアルミ素材の製法の開発、実用化等の中で対応し，必選的素材としての位置を維持して行く必要がある。超低温圧延などによる結晶粒の極微細化，これに伴う成形性や強度の向上などがこれに相当する。

品質にも関係するが，自動車の将来の車つくりの中では，新しい構造やより合理的な工法が出てくる（スペースフレームやレーザー接合，メカニカルファスニング等など）ので，今以上の高機能アルミ材が要求される必然性はある。

(低コスト)

自動車で鉄鋼と競合する場合、価格面の課題は避けては通れない。鉄鋼との価格差を縮め，非製錬ではあるが膨大な市中アルミストックを持つ我国アルミ産業の特徴を活かして，ユー ザーの納得できる価格を実現するには，地道な低コスト化技術開発や革新的な製法の実用化と共に，循環型社会システムの形成の中でアルミのリサイクルを徹底してやるしかないであろうと思われる。リサイクルシステムは、通常、多くの業界や分野にまたがる。自動車のリサイクル中のアルミ回収、再利用についても同様である。

リサイクル化では関係業界との連携は必至で、またより高度な回収技術，再生技術が必要となるので，アルミの大量使用に向けて解体業界やシュレッダー業界への協力要請や課題の共同研究（選別技術の高度化など）等、今後はアルミ側からも働きかけが必要であろう。

図 2—4—1 はリサイクルにより安価なアルミ材を得る方法として、欧州のアルミメーカーが将来予測（提案）している例を示す。欧州では、21 世紀には自動車のアルミ化が進展し，アルミ使用量が約 320Kg／台程度で飽和してくるので、それは極力リサイクル材で賄い，コストの高い新地金を使用しない循環システムを構築するというものである。これを実現するには少なくとも、リサイクル時に展伸材を鋳物に格落ちさせるのではなく展伸材に戻す事が重要となる。 そのため、今後は日本においても、大量の自動車用 アルミ合金材のリサイクルを進める上 からは、廃車スクラップの解体、シュレッダ ー工程などでの，Ｓｉ量の高い鋳物と展伸材とを、また、展伸材と他の展伸材とを効率良く，高精度に固相選別できる技術の開発，普及化が必要である。

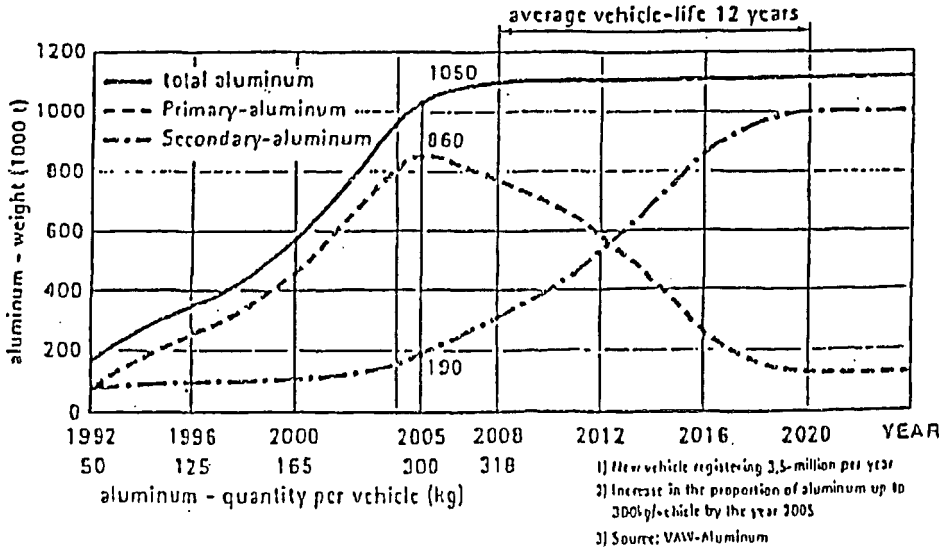


図 2—4—1　自動車における 21 世紀欧州アルミ地金事情予測

出典：欧米における自動車用スペースフレームの動向［ＩＢＥＣ—94］
（国際競争に勝つ自動車と材料フォーラム　　96 年春季大会）

一方、リサイクル性の面からは、現在使用されている自動車用アルミ部品の合金品種は多く品種をできるだけ統合（1 ないし 3 種類程度）することが将来的には望ましい。
表 2—4—1 はボディパネルのアルミ化における自動車メーカーのニーズを示している。

欧米などで従来使用されて来た2000系アルミ合金は今後採用されない方向にある。日本でも、5000系合金が成形性や耐食性の面から使用されてきたが、今後はより一層の軽量化に向けて、薄肉高強度及びバークハード（ＢＨ）性を持つ6000系がアウターパネルに、また5000系はインナーパネルなどに使用されている傾向が出てきている。各系合金も今後当分の間は、より最適化する方向で進化すると見られている（更なるリサイクル性追求の上からは、将来的には合金統一化の検討も必要であろう。）
図2—4—2は6000系アルミ合金の人工時効と塗装ベーキングを兼ねた加熱で、ベークハードする状況を従来材と改良6000系材について示している。

表2—4—1　日本でのアルミボディパネルに対するユーザーニーズ

		特性					
		耐力	プレス成形性	S-S マーク	糸錆	スクラッチ抵抗	抵抗スポット溶接
ユーザーニーズ	アウターパネル	++	++	+++	+++*	+	
	インナーパネル	+	+++	+	+		++
合金評価	2xxx (2036)	○	◕	○	◕	○	◕
	5xxx	◕	○	◍	○	◕	◍
	6xxx	◍	◍	○	◍	◍	◍

* 鋼の耐食性と同等

◕ 標準　◍ かなり良好　○ 非常に良好

\+ 一般的　++ 強い　+++ 非常に強い

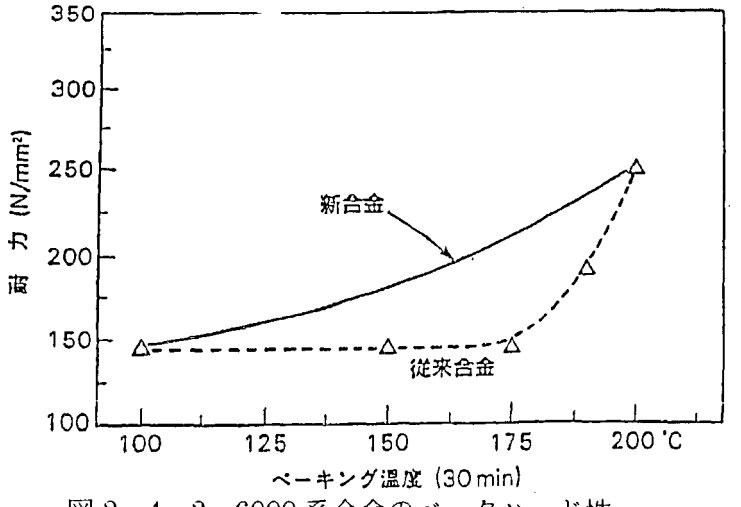


図2—4—2　6000系合金のベークハード性

出典：（表2—4—1、　図2—4—2とも）自動車用アルミ材の現状と今後の動向
（自動車技術会　95年春季大会資料）

また，コスト面への対応からは自動車用アルミ合金板などが大量使用されるまでの措置として，現在，別用途向けに大量に流れるキャン材を５０００系自動車用 アルミ板に，大量な回収が期待される廃サッシ材を６０００系自動車用アルミ板などのベース溶湯として使うことも考えられよう。自動車用に独自の合金品種が大量に流れ始めれば，これによるリサイクルシステムを確立するとのソフトランディングの考え方である。

なお、自動車用アルミ合金板のリサイクル面を配慮した合金品種の統合例はまだ多くない。図 2－４―3 は最近日本で開発された電気自動車のホワイトーボディに使用された材料の重量割合を示しており、アルミが多用されている。このメーカーの従来のアルミ使用車は AA5022 板（Al－4.5Mg 系）と BH（ベークハード）性を特徴とする 6000 系（Al に Mg, Si を主要元素して添加）板が使用されていたが、この車の場合、リサイクル性を考慮して、スペースフレーム構造を構成するプレス内板材を、より高成形性の AA5023（Al－5.5Mg 系）板をアルミ缶ふた材として量産されている A5182（Al－4.5Mg－Mm 系）の 5000 系板に統合して使用している。この結果、スクラップを A5182 合金にしてリサイクルすることが可能となっている。
これにより、スクラップ価格が有利となるだけでなく、製造上のコストダウンや、小ロット生産で手間のかかる分別回収の必要がなく、作業効率があがったといわれる。
このケースは直接的にはプレス工程等での発生スクラップを主として念頭においているが、いずれ使用済み自動車となった場合のリサイクル容易性にもつながっている。
表 2－４－2 にこの車の A5182 及び AA5023 板の使用部品例を示す。
自動車に実際に組込む場合、各部品・部材にどういうアルミニウム合金を使うかは、自動車メーカーとアルミ圧延メーカーの協力が必要であるが、個々のケースを通して、このような例がどんどん拡大していく事が望まれる。

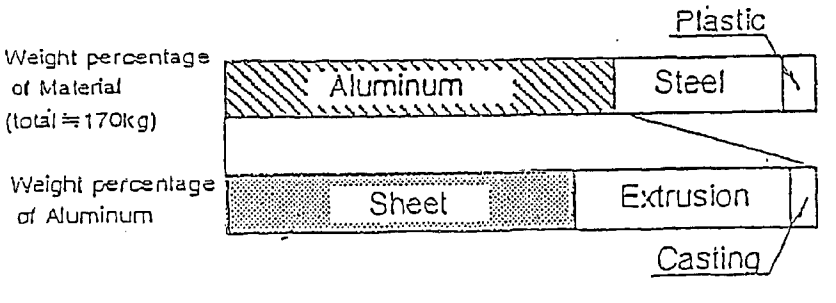


図２―４―３ 最近開発されたＥＶ車のホワイトボディの材料重量割合

表２—４—２　統合された５０００系アルミ合金板による部品の例

品　種	使用部品（板厚 mm）
A5182 インナー パネル	・メンバーサイドリヤーフロント（3.2ｔ） ・リヤーフロアー（1.4ｔ） ・フロントピラーアウター（1.4ｔ） ・ダッシュロアー（1.8ｔ） ・フロントフロアー（1.4ｔ） ・ホイールハウスインナー（1.4ｔ） ・ホイールハウスアウター（1.0ｔ）
AA5023 アウター— パネル	・フロントフェンダー（1.2ｔ） ・リヤフェンダー（1.2ｔ） ・ルーフ（1.2ｔ） ・シルアウター（1.5ｔ）

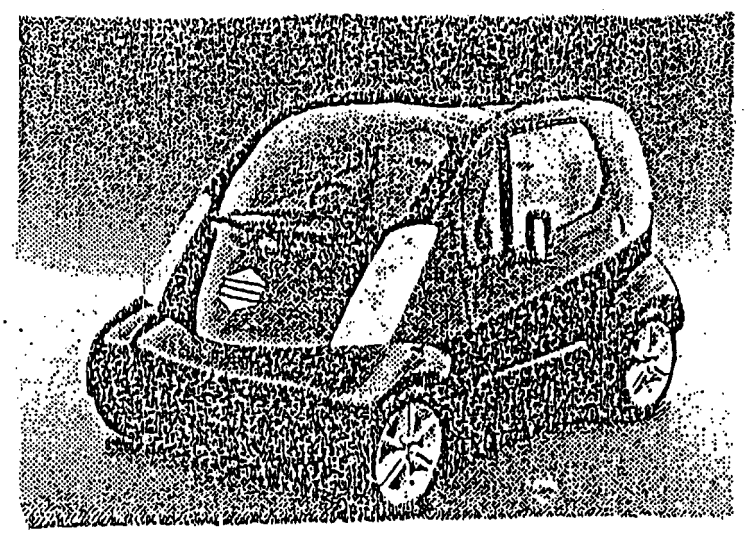


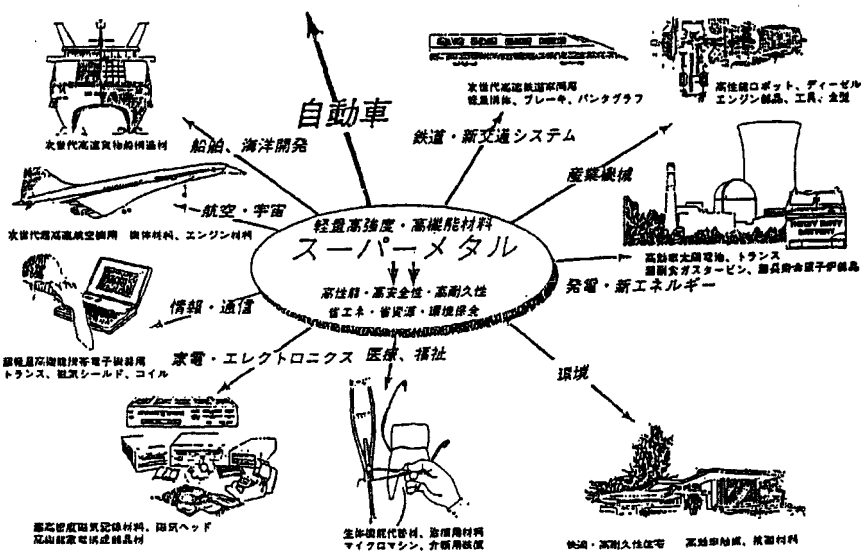
図２—４—４　最近開発された電気自動車

夢の超金属（スーパーメタル）

アルミニウム系 スーパーメタル

開発目標は、高ひずみ蓄積制御技術、回復・再結晶制御技術等により、3μm程度以下の極微細結晶粒径を有する組織制御材料で、工業的特性（強度、耐食性）が現在使用されている同種材料の1.5倍以上、かつ板幅が約200mm以上のアルミニウム系大型素材の創製技術を確立するものである。

超軽量・省エネ、高安全・快適カー用
車体・ボディ・エンジン材料、インテリアパーツ



高機能材料スーパーメタル

研究開発のスケジュール

実施項目	年度 H9	H10	H11	H12	H13
1．基礎試験（低温圧延の可能性等）	→				
2．要素プロセス適用性検討 ・低温圧延，異周速圧延，ECAP 溶湯圧延，急速加熱等 ・組織制御基礎試験	→	→	→		
3．トータルプロセスの構築 ・組織制御プロセスの構築 ・中間のまとめ			→	→	
4．実証試験とプロセス改良 ・試作材の特性評価 ・強組化機構の解明				→	
5．実証試験 ・試作材の特性評価 ・まとめ					→

(NEDO)

(JRCM)

6社参加

図2—4—5　アルミ系スーパーメタルの研究プロジェクト

出典　ふぇらむ Vol4（99年）No.11　(JRCM)

2－5　使用済み自動車の発生状況と処理フロー

(1) 使用済み自動車排出台数

わが国の自動車保有台数と使用済み自動車排出台数（登録抹消台数）の推移は表 2－5－1 および図 2－5－1 に示す通りである。同図に見られるように、使用済み自動車排出台数は、長期的には自動車保有台数を反映するが、景気の影響を受けやすいので短期的には新車需要等が大きく影響すると見られる。

1986 年頃から新車の需要が伸び始め、それとともに使用済み自動車の排出台数が増大している。その後新車需要落込みと回復を反映し、使用済み自動車の排出台数も 1991 年の 5,588 千台をピークに減少していたが、1994 年以降約 5,000 千台程度で漸増している。最近の日本市場における自動車の平均寿命は 10 年弱（表 2－5－2、図 2－5－2）であり、大まかにいえば、10 年前施行の新車需要の伸びが今後の使用済み自動車排出台数の増加を示すものといえる。1988 年から 1991 年にかけて新車需要は大きく伸長したが、この新車が今後数年間に寿命に達し、使用済み自動車として排出される。そのため今後数年間は、新車需要が大幅に落ち込まない限り、使用済み自動車の排出台数は年間 5,000 千台から漸増すると推定される。

(2) 使用済み自動車処理のフロー

部品類を外した車体殻（ガラといわれる）は、樹脂部品など再利用されない部品とともにシュレッダー処理され、金属スクラップとシュレッダーダストに分別される。シュレッダー処理される車体の重量の約 25%はシュレッダーダストとなり廃棄される。使用済み自動車の処理フロー（流れ）概要を図 2－5－3 に示す。

解体された部品は、再生部品として利用される場合と別ルートで材料としてリサイクルされる場合とがある。自動車のリサイクルルートは複雑で細部まで含めた全体が把握されているとはいえない。鉄スクラップ、非鉄金属スクラップ、タイヤ、アルミホイール、バッテリーなどリサイクルルートが確立されている分野もある。(図 2－5－4)

最近、樹脂材料の使用比率が増した（表 2－5－3、及び図 2－5－5）ために自動車全体のリサイクル率は低下していると見られるが、それでもリサイクル率は約 75%である。

表２－５－１　使用済み自動車排出台数推移（千台）

暦年	保有	新車登録	使用済み
1984	44,524	5,437	3,845
1985	46,157	5,557	3,924
1986	47,972	5,708	3,893
1987	49,902	6,018	4,088
1988	52,450	6,721	4,173
1989	55,093	7,200	4,557
1990	57,698	7,777	5,172
1991	59,914	7,800	5,584
1992	61,658	6,959	5,215
1993	63,262	6,467	4,863
1994	65,011	6,527	4,778
1995	66,854	6,865	5,022
1996	68,805	7,078	5,127
1997	70,007	6,725	5,523

使用済み台数＝保有台数＋新車登録台数－前年保有台数

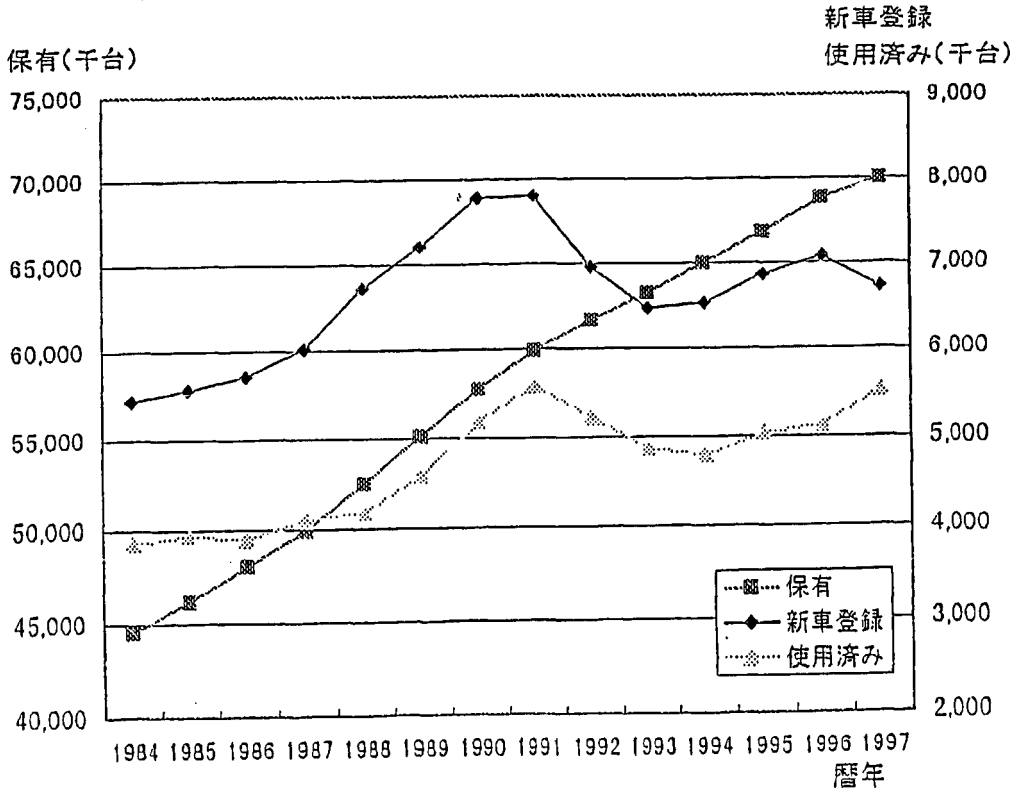


図２－５－１　使用済み自動車排出台数推移

表２－５－２　車種別平均使用年数　（単位：年）

暦年	乗用車			トラック			バス		
		普通	小型		普通	小型		普通	小型
1975年	6.72	—	6.71	6.29	5.87	6.32	—	—	—
1980年	8.29	8.41	8.29	7.77	8.10	7.66	—	—	—
1985年	9.17	9.26	9.17	8.38	9.24	8.24	10.95	12.92	9.67
1990年	9.26	10.38	9.25	9.28	10.42	9.05	11.91	13.44	10.85
1992年	9.31	10.66	9.29	9.28	10.45	9.03	11.91	13.35	10.91
1993年	9.33	9.68	9.31	9.42	10.58	9.16	12.01	13.65	10.91
1994年	9.26	10.00	9.24	9.47	10.60	9.20	12.18	13.78	11.03
1995年	9.43	9.23	9.44	9.6	10.68	9.35	12.36	13.88	11.26

出所）月刊自動車新聞社編：自動車産業ハンドブック，1995.10

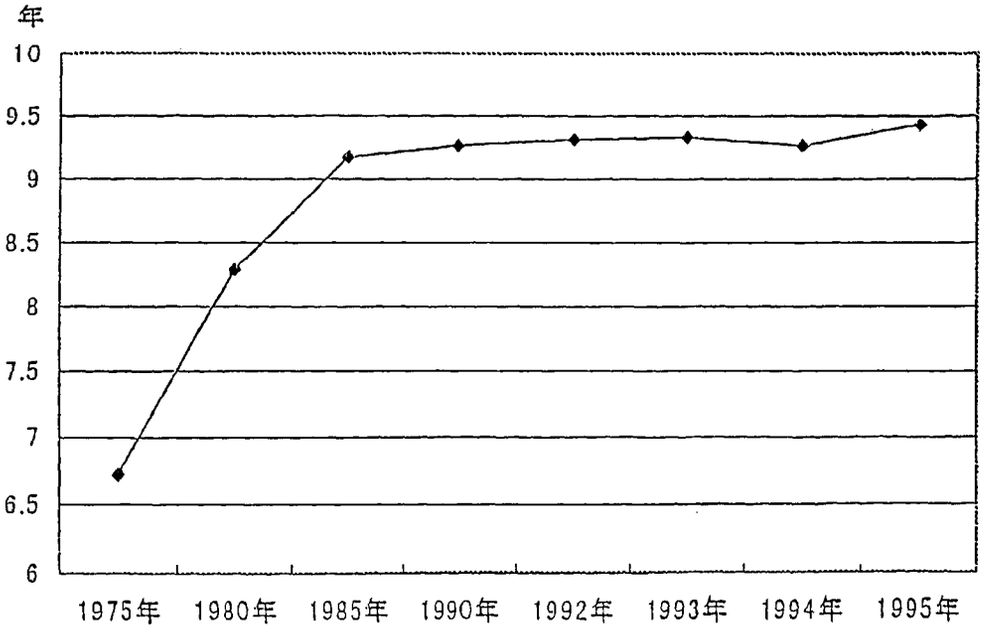


図２－５－２　乗用車の平均使用年数

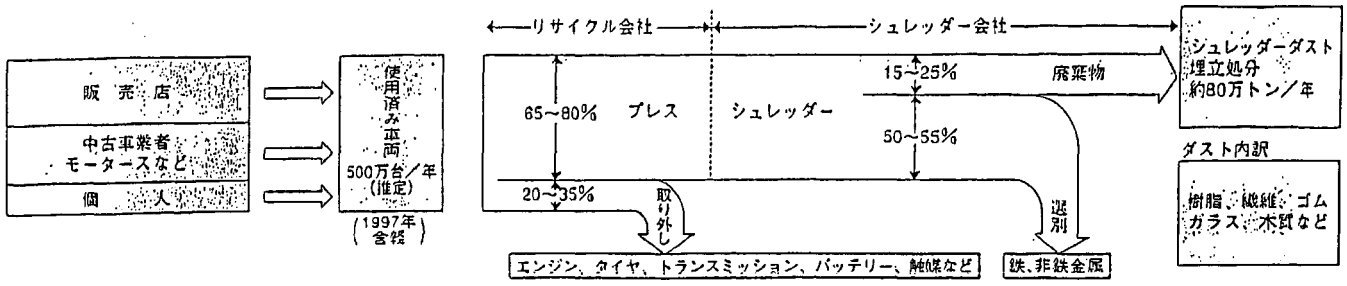


図２－５－３　使用済み自動車の処理フロー概要

出典　　自動車と環境（トヨタ自動車　98年資料）

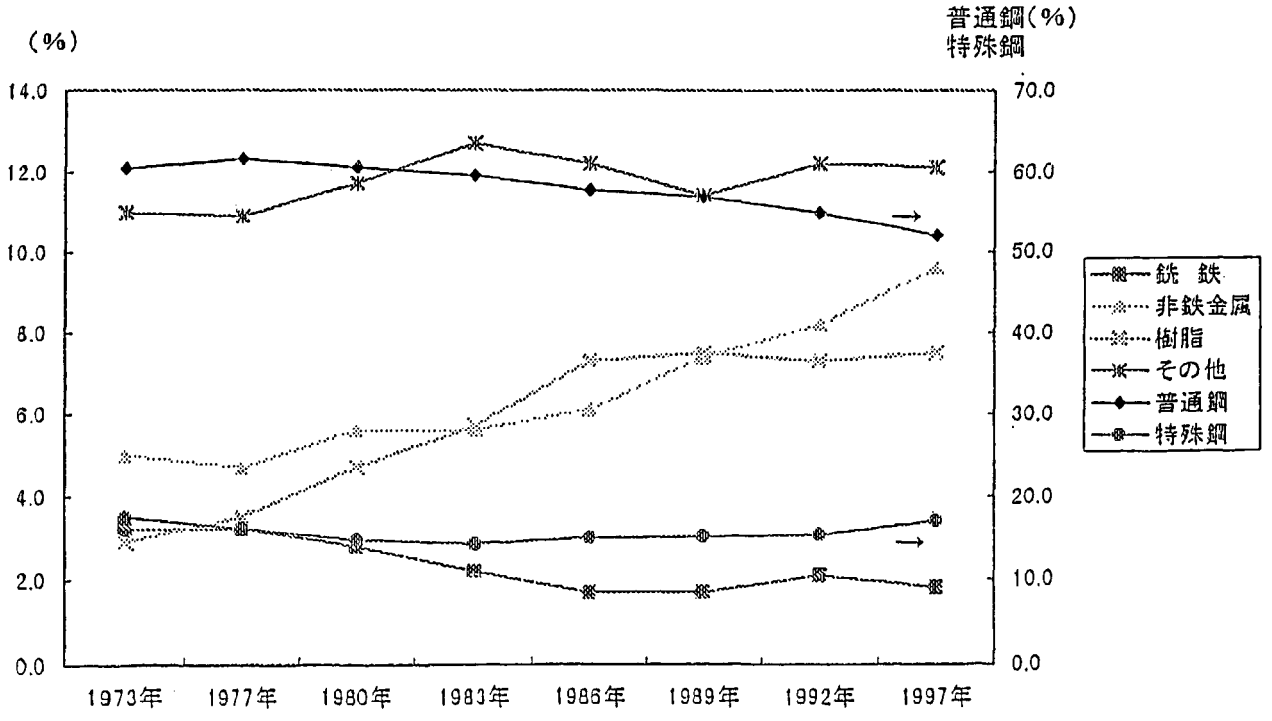


図２－５－５　普通・小型乗用車の原材料構成比率推移

（表２―３―１を図化）

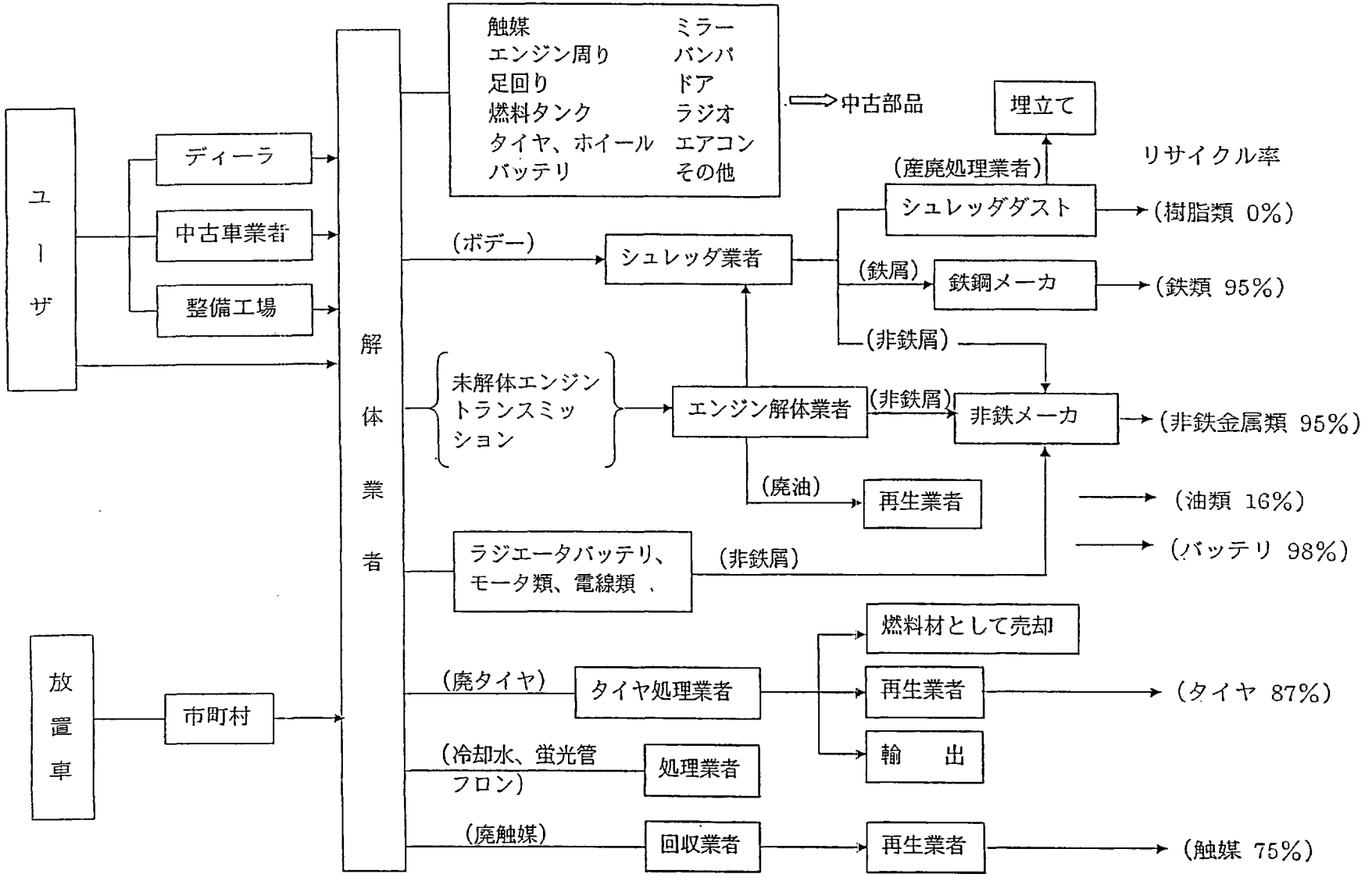


図 2−5−4 廃車処理ルートの詳細とリサイクル

表２－５－３　普通・小型乗用車における原材料構成比率推移（％）

構成材料		1973年	1977年	1980年	1983年	1986年	1989年	1992年	1996年
銑　鉄		3.2	3.2	2.8	2.2	1.7	1.7	2.1	1.8
普通鋼鋼材	棒鋼	1.2	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8
	熱延薄板	6.9	7.1	6.9	7.6	7.1	6.3	8.5	8.6
	熱延中板	7.5	7.2	5.9	5.7	4.7	4.8	3.5	3.1
	熱延厚板	0.2	0.5	0.8	0.6	0.4	0.4	0.3	0.3
	冷延薄板	38.9	37.9	33.8	29.4	26.0	22.5	15.0	13.3
	高張力鋼板		0.5	1.4	4.1	7.3	6.4	3.9	3.8
	亜鉛めっき鋼板		3.8	5.7	5.5	5.4	10.0	14.8	12.3
	その他表面処理鋼板	1.6	0.6	1.5	2.3	2.8	2.9	5.4	6.7
	鋼管	2.3	2.2	2.3	2.3	2.7	2.4	2.0	2.0
	その他普通鋼鋼材	1.8	0.8	1.2	1.1	0.4	0.4	0.6	1.2
	計	60.4	61.6	60.5	59.5	57.7	56.9	54.8	52.1
特殊鋼鋼材	炭素鋼鋼材	7.9	6.8	6.1	6.0	6.1	6.0	5.8	6.8
	合金鋼鋼材	5.6	4.6	3.8	3.6	3.4	3.5	3.7	3.3
	被削性改善鋼材		0.7	1.0	1.0	1.4	1.9	2.1	2.1
	ステンレス鋼・耐熱鋼	0.4	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.4	1.5
	ばね鋼鋼材	2.2	2.0	1.5	1.5	1.5	1.4	1.3	1.4
	軸受鋼鋼材		0.9	0.9	0.9	0.9	0.7	0.6	0.6
	その他特殊鋼鋼材	1.4	0.2	0.5	0.4	0.7	0.6	0.4	1.2
	計	17.5	16.1	14.7	14.3	15.0	15.1	15.3	16.9
非鉄金属	電気銅	1.0	0.9	0.8	0.9	1.0	1.3	1.0	1.2
	鉛地金	0.6	0.6	0.8	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5
	亜鉛地金	0.5	0.5	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2
	アルミ地金	2.8	2.6	3.3	3.5	3.9	4.9	6.2	7.5
	その他非鉄金属	0.1	0.1	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	計	5.0	4.7	5.6	5.6	6.1	7.4	8.2	9.6
非金属	フェノール樹脂	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
	ポリウレタン樹脂	0.5	0.5	0.8	0.9	1.2	1.0	1.1	0.9
	塩化ビニール樹脂	0.9	1.1	1.4	1.7	1.7	1.6	1.1	1.1
	ポリエチレン樹脂	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.4	0.3	0.4
	ポリプロピレン	0.5	0.5	0.9	1.2	2.0	2.4	2.5	2.8
	ＡＢＳ樹脂	0.4	0.7	0.5	0.5	0.7	0.8	0.7	0.6
	その他の合成樹脂	0.3	0.4	0.7	0.6	0.4	0.3	0.4	0.3
	（汎用樹脂計）	2.9	3.5	4.7	5.5	6.6	6.6	6.2	6.2
	（高機能樹脂計）				0.2	0.7	0.9	1.1	1.3
	（合成樹脂計）	2.9	3.5	4.7	5.7	7.3	7.5	7.3	7.5
	塗料	2.1	1.6	1.8	1.7	1.7	1.4	1.5	1.7
	ゴム	4.8	4.3	3.7	3.5	3.0	2.7	3.1	3.3
	ガラス	2.8	2.7	3.1	3.2	3.3	3.0	2.8	2.8
	繊維		0.7	1.2	1.3	1.4	1.2	1.2	1.1
	木材			0.2	0.3	0.5	0.4	0.4	0.3
	その他	1.3	1.6	1.7	2.7	2.3	2.7	3.4	2.9
	計	13.9	14.4	16.4	18.4	19.5	18.9	19.7	19.6
合計		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
総重量比（1973年=100）		100.0	106.5	105.9	102.7	106.8	115.1	136.8	141.3
総重量（1973年1,100kgと仮定）		1,100	1,172	1,165	1,130	1,175	1,266	1,505	1,554

（日本自動車工業会　材料部門委員会）

（注）　本資料は、調査時における普通・小型乗用車の平均的な材料構成比の推移を示したもので、調査時の調査対象車種・範囲・車種構成が異なるため、原単位総重量はその部度変化しており、原単位総重量の増減を比較することは適当でない。

(3)　使用済み自動車処理の課題と今後の動向

使用済み自動車の処理に関しては、近年以下のような問題が生じている。

①シュレッダーダストには鉛等の有害廃棄物が含まれていることが判明した。

②そのため、1994年4月よりシュレッダーダストの埋立処分に関する規制が強化（処分から管理型処分に移行）されたが、これに伴い処分場の残余容量の逼迫が懸念されている。

③従来から、使用済み自動車は有価物として取引されている。一方上記の埋立処分に関する規則強化によりシュレッダーダストの処分費用が上昇した。そのため有価物としての取引から、使用済み自動車を引き渡す側が費用を払う逆有償化等必要なコストの適切な転嫁が円滑に行われる必要がある。

以上の問題に関して通商産業省は、産業構造審議会の廃棄物処理・再資源化部会廃自動車処理・際資源化小委員会の答申（1996年4月）を踏まえて、以下の対応を進めている。

・鉛等の有害廃棄物の使用量削減を図る（表2−5−4）と共に使用済み自動車の処理プロセスの中で、その除去を進める（表2−5−5）

・シュレッダーダストの減量化、自動車のリサイクル率の向上により、埋立処分量を削減する（表2−5−6)。

・使用済み自動車の処理ルートは既に確立しており、この既存の処理ルートに関与している事業者がより一層の業の高度化を図ることによって問題解決を目指す。その際不適正処理、不法投棄を防止するため使用済み自動車の処理ルート等を管理するシステム（マニフェスト；管理票制度）を導入する。

表2－5－4　鉛使用量削減計画（4輪自動車：1,500～2,000cc クラス、1996 年 7 月現在）

部品名称		鉛含有量（代表値）	改善可能性		事前除去
			代替品開発	時期	
1	バッテリー	6,075ｇ			可能
2	銅ラジエーター	580	アルミ化	2000 年	可能
3	バッテリーケーブル端子	290	銅合金化等		可能
4	ホイールバランサ	240			可能
5	燃料タンク	200	（開発中）	2005 年	可能
6	銅ヒーターコア	110	アルミ化	2000	
7	エンジン部品（快削鋼等）	100			可能
8	ハーネス	90			
9	電着塗装	50	（開発中）	2005	
10	電子基盤等	50			
11	アンダーコート	20	塩基性亜鉛等	2000	
12	燃料ホース	20			
13	シートベルトGセンサ	20	鉄等	2000	
14	ガラスセラミックプリント	15			
15	サイドプロテクションモール	10	塩基性亜鉛等	2000	
16	パワステ高圧ホース	5			
17	その他	50			
合計		7,925			
合計（バッテリーを除く）		1,850			
2000 年合計（バッテリーを除く）		1,110	2000 年（バッテリーを除く）削減率　40％		
2005 年合計（バッテリーを除く）		860	2005 年（バッテリーを除く）削減率　54％		

表2－5－6　使用済み自動車リサイクル数値目標

	2002 年以降	2015 年以降
シュレッダーダスト埋立処分容量	1996 年の 5 分の 3 以下	1996 年の 5 分の 1 以下
使用済み自動車のリサイクル率 新型車のリサイクル可能率	85％以上 90％以上	95％以上
新型車の鉛の使用量 （バッテリー除く）	2000 年末までに 1996 年の 2 分の 1 以下	2005 年末までに 1996 年の 3 分の 1 以下

ガイドラインの改定（案）
（品目別廃棄物処理・リサイクルガイドライン、
'99 年 11 月 16 日　産構審・廃棄物リサイクル部会）
リサイクル率の向上及びそれに資する有害物質の使用量削減
自動車製造事業者、部品製造事業者、解体事業者、シュレッダー事業者及び素材事業者等はそれぞれ役割を分担もしくは協力し（「使用済み自動車のリサイクル目標等」）上記を目標にリサイクル率の向上を図るために具体的方策を策定する。（1R から 3R へ、など）

表2－5－5　事前選別ガイドラインの要点

事前選別対象物	有害性等	選別方法	回収・処分方法
燃料類：ガソリン、軽油	揮発性、引火性を有する。 廃油は埋立禁止。	タンクごと取り外すまたはタンク底に穴を開けて抜く。	自家消費等。
燃料類：LPG	揮発性、引火性を有する。 廃油は埋立禁止。	高圧ボンベを取り外す。	充填スタンドに返品または自家消費。
エンジン、トランスミッション、ブレーキ、トルクコンバーター等に含まれるオイル類	廃油は埋立禁止。	エンジンとトランスミッションを一体で取り外す。	専門業者に委託する。
冷却液	廃酸、廃アルカリは埋立禁止。	底部コックを開けて排出する。	専門業者に委託する。
バッテリー：鉛、電解液	鉛を含有する。 廃酸、廃アルカリは埋立禁止。	取り外す。	専門業者に委託する。
蛍光管	水銀を含有する。	取り外す。	専門業者に委託する。
銅ラジエーター、バッテリーケーブル端子、鉛製ホイールバランサー、ターンシート製燃料タンク	鉛を含有する。	取り外す。	専門業者に委託する。
特定フロン	オゾン層破壊物質。	抜き取る。	専門業者に委託する。（回収、処理体制整備中）
ＳＲＳエアバックインフレータ	物理的・化学的な被害を及ぼす恐れ。	車上作動または取り外す。	専門業者に委託する。

出所）事前選別ガイドライン（(財）日本産業廃棄物処理振興センター）より作成。

(4) 今後の対応課題として、以下が進められつつある。

①シュレッダーダスト排出抑制

使用済み自動車を処理することによって発生する大量のシュレッダーダストは、その埋立処分方法に関する規制が強化された結果、管理型処分場の残余年数の逼迫と処分費用の高騰に直面している。このような状況を踏まえ、使用済み自動車のリサイクル、適正処理をより一層促進するため、関係法令やガイドライン等を体系的に組み合わせた包括的ガイドライン「使用済み自動車リサイクル・イニシアチブ」(以下　イニシアチブという) が策定された。

シュレッダーダストの排出削減は、このイニシアチブの中で数値目標が策定・公表されている (1997 年 5 月、通商産業省)。内容は表 2―5―6 の通りである。

使用済み自動車 (廃家電品等含む) は、解体事業者によって解体後、有用な部品等が抜き取りされた後、シュレッダー事業者によって破砕処理等を経て、鉄、非鉄金属は再生利用され、残りがシュレッダーダストとなる。シュレッダーダストは現在年間 120 万トン排出 (廃家電や自動販売機などの使用済み自動車以外からのものを含む) しており、ほとんど全量がそのまま埋立処分されている。

イニシアチブによると、これを 3／5 (減容率 40%) あるいは 1／5 (減容率 80%) に減容する必要がある。この数値目標達成のためには、有用な部品の徹底した抜き取り、解体からダスト埋立て前までの工程における鉄、非鉄金属の回収強化等によるシュレッダーダストの排出抑制とともに、シュレッダーダストの埋立処分量の削減に向けた減容、固化、焼却等のシュレッダーダストの再処理が必要である。そのため自動車業界や日本鉄リサイクル工業会 (シュレッダー事業) など関係団体、業界各社が自主行動計画や具体的取り組みを進めている。

②非鉄金属リサイクル

シュレッダーダストの分別、減容・固化、焼却については、社会的に大きな問題となった事もあり、これまで数多くの研究開発が進められてきた。分別による有価物である非鉄金属の回収強化はそれが収益源であることもあり、多くのシュレッダー事業者で行われている。

排出ダストの減容・固化、焼却にはシュレッダーダスト中の不燃量物 (金属、ガラス等) を分別する方が効率的であり、その中からさらに金属を回収することも考えられ、この面からも非鉄金属のリサイクルが進む事を期待したい。

③樹脂類のリサイクル

使用済み自動車の処理の問題を解決していくためには現在シュレッダーダストの主成分として埋立処分されている樹脂類を再資源化することがポイントである。樹脂類の再資源化には次のような形態がある。

第１の形態は、取りはずした部品をそのまま同じ部品に再利用することである。

第２の形態は、取りはずした部品を裁断、リペレットなどにより材料として再生する事

第３の形態は、樹脂を燃焼し、その廃熱を利用する燃料化という形態である。

樹脂類のリサイクル技術の開発とともに、回収、分別などの社会の仕組みを整備する必要がある。そのためには、自動車メーカー、材料メーカー、部品メーカー、使用済み自動車解体業者、シュレッダー業者、廃棄物処理業者などの連携が不可欠と考えられる。

２－６　固相選別（解体、シュレッダーなどの分別）の状況と課題

(1)　使用済み自動車の解体処理工程

解体業者の主な仕事は、いわゆる中古の「部品取り」、すなわち廃車からまだ使用可能な部品（ドアやエンジン、ミッションなど）を取り除く行為である。

自動車解体業者は顧客から直接あるいはディーラー等を通じて廃車される自動車を引き取り、部品取り、解体、プレス等の処理を行った後シュレッダー業者に廃車ボディ部（ガラ）をシュレッダー業者に納入している。また、際の利用可能な部品、エンジン等は専門の販売業者等に納入している。

安価で品質の良い日本の中古部品は海外でも評判がよい。

解体業者の大きな悩みは、自分自身が部品メーカーではないことから、売れ筋部品の迅速な調達が困難なことである。そこで、中古部品の在庫管理ネットワークを形成し、在庫を融通しあうという動きも最近は出て来ている。

自動車解体業者の仕事でもう一つ重要なことは、中古「部品取り」に伴う「前処理」という工程である。これは中古部品以外の有価物である廃油、バッテリー、触媒等を取りはずす行為であるが、同時に有価物としては取り引きされない、いわゆる廃棄物も処理しなければならない。

シュレッダーダストへの鉛等の混入を防ぐため、バッテリー、銅ラジエーター、バッテリーケーブル端子、鉛製ホイールバランサー、ターンシート製燃料タンク等を解体、除去し、専門業者に処理を委託する。またエアコンのフロンおよび冷却液は専用機を用いて抜き取り、専門業者に処理を委託する。

ガソリンは１台当り役 20 リットル回収できる。このうち 20％をフォークリフト等作業用車両の燃料として使用し、残りは従業員等に販売している。

エンジン・トランスミッション、タイヤ、アルミホイール、足回り部品は取り外し、一部の良品は中古部品として販売している。

エンジン・トランスミッションは中古部品として販売されるのが約 30%、中古部品にならず回収業者に引き取られ、有価物として処理されるものが約 70%、アルミホイール及びタイヤは中古部品向けが約 20%、残りは回収業者が引き取り、ラジエーター等熱交換関係はアルミ使用量も多くほぼ 100%が回収業者に、また足廻り部品は 20～30%が中古部品に、残りが鉄屑業者に引取られると見られている。ボディ関係は、殆んどがシュレッダー業者や鉄屑業者に引取られシュレッダー処理等が行われる。ごく数%が中古部品として販売されていると見られている。

なお、中古部品の 70～80%は欧米、オーストラリア等（先進国低所得者向け）および東南アジア等に輸出されている。

解体業者数は全国で 4000 社とも 5000 社ともいわれるが、実態は系統だった統計もないため、殆んど把握できていない。一般に零細企業が多く転・廃業も頻繁に見られ、労働環境も 3K 的と見られている。最近の不況長期化やスクラップ価格の低迷、関係法規制強化の中で業者も大幅に減少しているとの見方もある。

大量の使用済み自動車を経済的なリサイクル循環型社会のシステムの中で処理していく為には、関係業界や企業等の各々の役割を自覚した努力及び行動と協力が必要である。解体工程に資する方策、行動の一環として、自動車メーカーや日本自動車工業会が中心となって、車部品の易解体設計の検討や各部品の解体に適した工具の開発、車解体マニュアルの発行、関係情報の提供等をおこなう計画である。その一例を表２—６—１、図２—６—１に示す。材料情報の提供や使用材質の統合等も含め、解体、分別が更に効率的に行われ、有価物回収が促進するよう、今後も関係業界による体系的な取組みが望まれる。

表２—６—１ 自動車におけるリサイクル設計の内容と分類

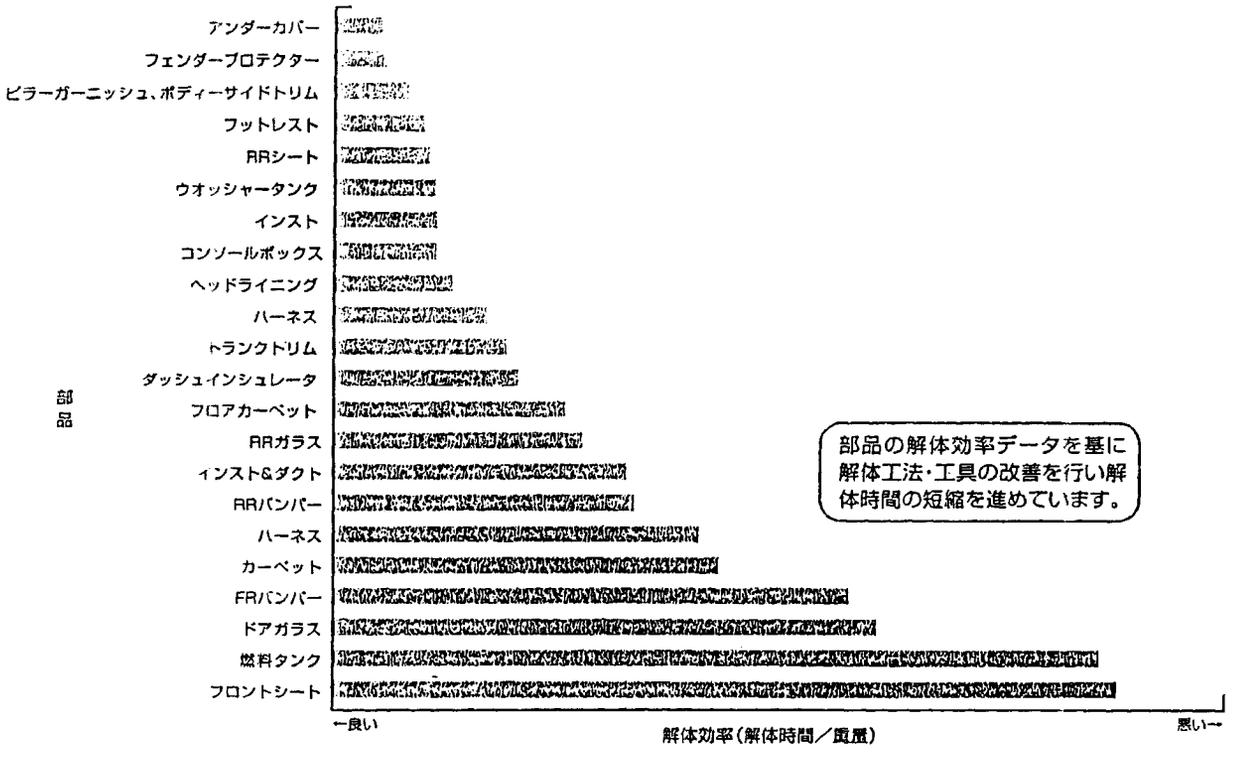
(1) リサイクルし易くするための材料の工夫		
	1）.リサイクル容易な素材の最大化	①リサイクルし易い材料への変換 ②リサイクルしにくい材料の最小化 ③リサイクルし易い新材料の開発
	2）構成材料統一による解体不要化	④複合構成部品の材料ファミリー化 ⑤アセンブリー部品の材料ごとの統合化
	3）単純構成化による異物混入の回避	⑥表面処理（塗装等）の省略 ⑦インサートの廃止
(2) 解体性改善のための構造の工夫		
	1）部品点数の削減	①部品の統合化・一体化 （材料変更、構造改善） ②部品の廃止
	2）一次解体性の改善 （ボディへの締結の工夫）	③締結点数の削減 ④取り外し易い締結構造
	3）二次解体性の改善 （部品締結・接合構造の工夫）	⑤締結・接合点数の削減 ⑥分解し易い締結・接合構造
(3) 分別のための工夫		
	1）素材の明示化	
(4) その他		
	1）減量化	①輸送包装材 ②交換部品
	2）情報の開示	

出典 トヨタ・テクニカルレビュー　４８巻１号　９８年

リサイクル解体技術開発

材料リサイクルを促進するため、使用済み自動車から効率の良い方法で部品を取り外し、回収していく解体技術・工法や解体工具の開発に取り組んでいます。

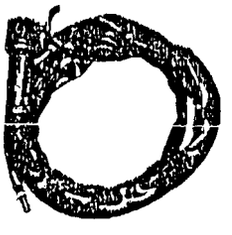
さらに、使用済み自動車の解体性分析・評価を行い、新型車のリサイクル性改善につなげています。



解体工具例

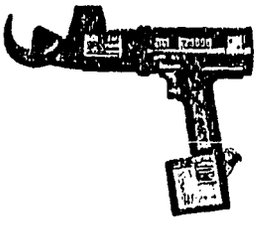
フロントガラス取り外し

振動式エアーカッターを使う工法により従来の約1/2の時間でフロントガラスを取り外すことができます。



カーペット取り外し

専用カッターにより従来の約1/2の時間でカーペットを取り外すことができます。



ハーネス取り外し

専用カッターにより従来のカッターより約1/3の時間でハーネスを切断することができます。

図２－６－１　リサイクル解体技術開発と解体工具例

出典　自動車リサイクルの取組み・日産自動車　　９８年　自主行動計画

なお，図２―６―２は車の部品がリサイクルされて，色々な形で再利用されている例を示している。このように，今後も材料から車まで、自動車製造の中で易解体設計や再利用し易い材料の盛り込みなどが更に拡大していく事が望まれる。

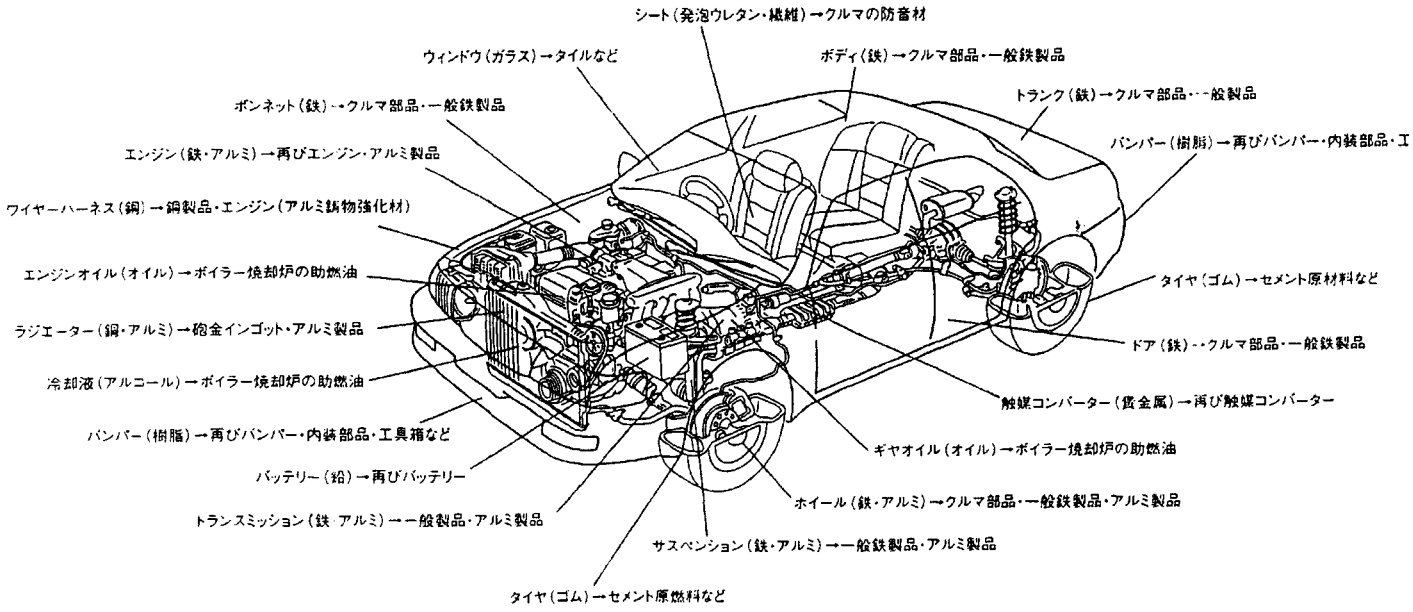
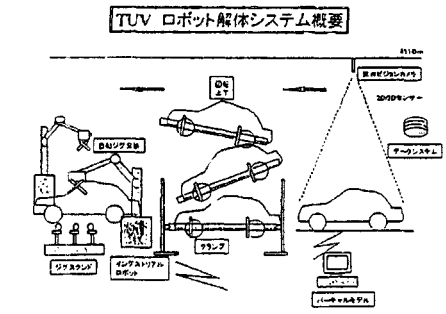
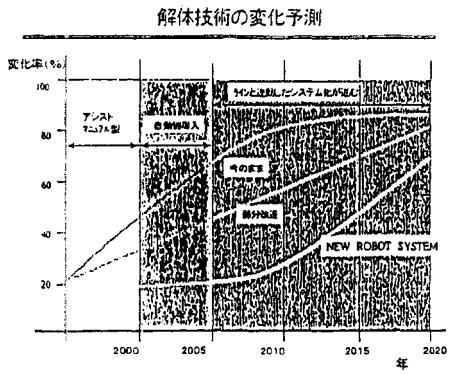


図２―６―２　乗用車のアルミ部品などのリサイクル用途の例
出典　トヨタ自動車資料（９８年 自動車と環境）



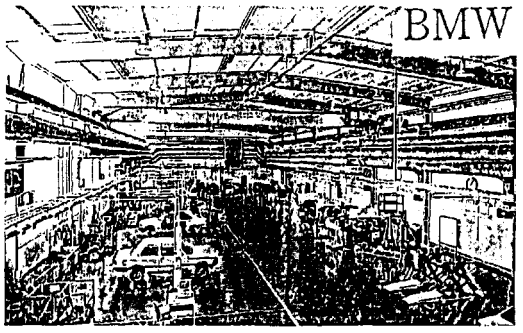
Dismantling System for Robot



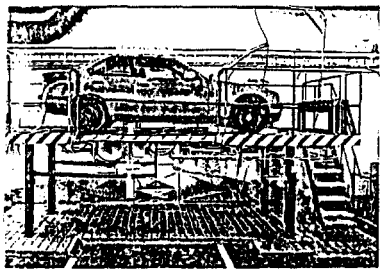
Future Trend of Dismantling Technology

ドイツのＴＵＶをコーディネータとして、オランダの自動車メーカーやドイツ、ギリシャ，フィンランドの大学研究機関と設備製造会社がコンソーシアムを組んでロボットを用いた解体システムの研究している。
このシステムは，最初にＥＬＶは天井に取付けられたビジョンカメラで車の種別を判別し、蓄積されている車の仕様データベースと照合され、解体工程のためのクランプ位置が転送される。そのデータをもとに、作業しやすい位置が設定される。解体作業のためにロボットが必要な解体治具を自動的に選択し、必要な解体作業を行うものである。ニューラルネットワーク（神経網をまねた電子回路）を利用しタイヤは丸い、バッテリーは四角、ウインドーは透明などと大まかに理解して作業を進めていくのが特徴である。

図２―６―３　欧州での廃車自動解体システム研究の例
出典　自動車技術会　９９年５月リサイクル技術フォーラム資料

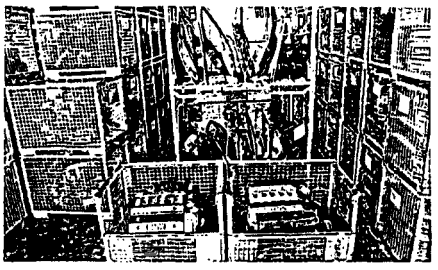


リサイクル解体研究センターに設けた解体施設内部の様子



自動車に含まれる潤滑油や冷却水などの液体を回収する工程。作業台に廃車を載せ、ボーリング装置を改良した装置で車両の底から液体を抜く

エンジンやトランスミッションなど、高付加価値の部品を取り外す工程。修理して検査した後、中古部品として販売できるので、経済性の高い解体作業となる



取り外した付加価値の高い部品の仕分け。同一部品をまとめて箱の中に収める

図２―６―４　欧州ＢＭＷのリサイクル解体研究センター
出典　日経メカニカル　（No.５２７）　９８年８月

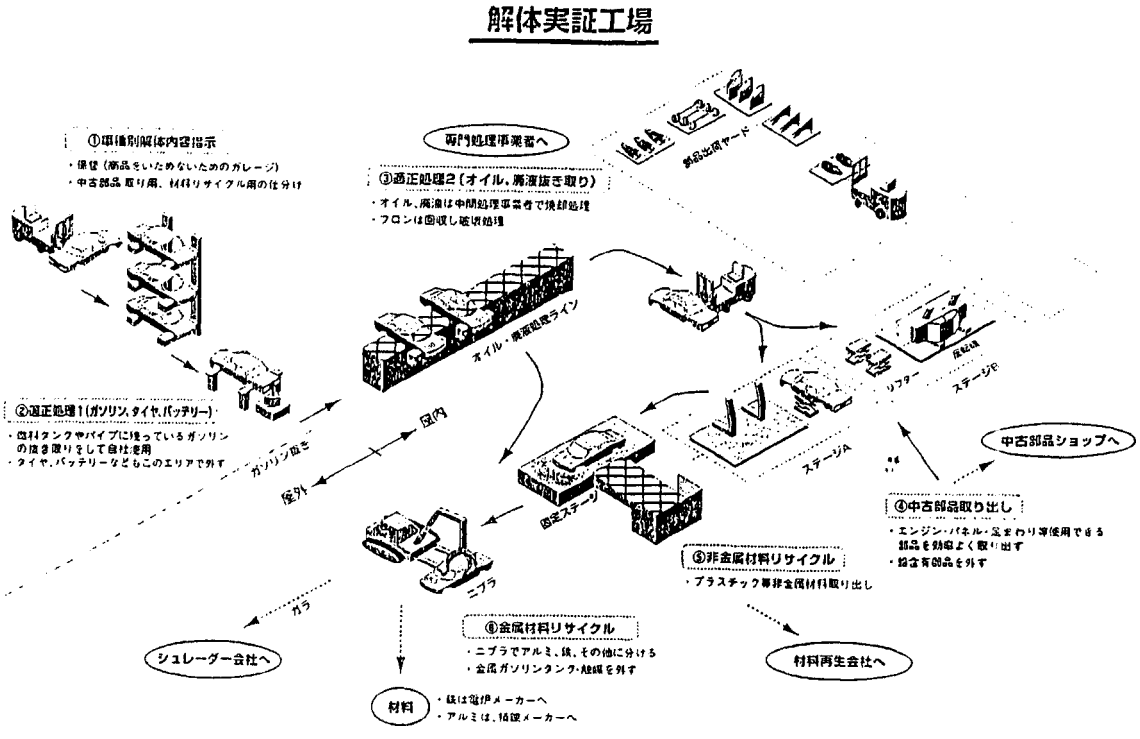


図２―６―５　使用済み自動車の処理段階の研究／解体実証工場
出典　自動車リサイクルの取組み（日産自動車９８年自主行動計画

将来のリサイクルの制度では，すでに俎板上に上がっている廃棄物引取りの生産者責任法などは施行されていると考えられる。使用済み自動車の解体も将来はロボットシステム等の自動化（自動解体ライン）も見込まれよう。ＴＵＶ等による欧州のコンソーシアムではこの方面の研究を推進中（図２—６—３）。また日本でも自動車メーカーの解体の合理化に向けた実証工場（図２—６—５）での研究など，欧州ＢＭＷも解体研究センターなどで解体技術の高度化，自動化を研究中と云われている（図２—６—４）。

(2) シュレッダー （破砕） 処理工程

シュレッダーによる鉄スクラップの破砕処置は、歴史的にはプレス（圧縮）、ギロチン（切断）等の処理技術の後に開発され、わが国ではまだ20年余りの歴史でしかない。しかし近年使用済み自動車、使用済み家電品の排出が増えるにしたがって、それらのスクラップ加工処理にはシュレッダーに負うところが非常に多い。すなわち、使用済み自動車、使用済み家電品等のように鉄以外に非鉄金属，プラスチック、ゴム、ガラス、繊維.類他から構成されている複合スクラップは、その中から鉄、非鉄金属をクリーンなものとして回収するためにできるだけ細かく破砕して単体にする必要があり、あわせて大量排出に伴う大量処理の必要製からシュレッダーが普及したといえる。

この処理技術は、1960年代の初期に開発され、その頃から欧米で稼働した。わが国では1970年に3基が稼働して以来、年々増設され1990年に約150基が稼働している。そして現在（1997年）は、176基にまで増えている。表２—６ —２に生産規模の割合を示す。

表２—６—２ シュレッダースクラップ生産状況

生産規模	工場数
500トン／月以下	10%
500～1,.000	20%
1,000～2,000	20%
2,000～3,000	20%
3,000～5,000	25%
5,000トン／月以上	5%
計	100%

投入スクラップの種類（シュレッダー原料母材）は、自動車スクラップがほとんどの工場もあるが、自動車のスクラップ70～80%、廃家電品スクラップ10～20%、建設廃材0～10%が一般的と見られている。金属系スクラップの回収量，構成比率も投入母材の種類，割合で多少変わる（例　廃家電品の投入が多いとＣｕスクラップ回収量が増える）。しかし，処理ダストの発生は自動車重量の約25%、家電品の場合は約50%と，ダスト量／投入量は廃家電品が廃車の２倍程度多い。

シュレッダー業者はここで得られる良質の鉄屑・非鉄金属を、電炉メーカーや二次合金メーカーにリサイクル原料として販売することにより主利益を得ている。こうして、自動車解体業者・シュレッダー業者の手により、廃車の約 75%（重量比）がビジネスとしてリサイクルされているのが現状である。

一般的なシュレッダーの概念は、ローターのまわりに取り付けられたハンマー（破砕刃）により、投入材料（母材）をこぶし大以下に破砕切断する設備である。後工程に有用金属類とダストの分離装置を備えている。また最近では、前処理工程としてプレシュレッダーを設置して母材を粗破砕することが一般化している。これはシュレッダーの負荷軽減と爆発防止に有効とされている。

設備の大きさはシュレッダー本体の馬力（hp）数で呼称され、処理する母材の範囲、規模によって 300hp 程度の小型機から最近では 4,000hp の大型機まで出現している。

シュレッダー設備は乾式処理法が主流であるが、湿式処理法も行われている。表２—６—３にシュレッダーの種類を示す。

表２—６—３　シュレッダーの種類

ローター軸	材料投入方式	ローター回転方式	破砕方式	ダスト分離方式
横型	上部投入方式	一方向回転	リング式	乾式
		可逆両方向回転	ハンマー	乾式
	斜上部送込方式	一方向回転	ハンマー	乾式
				湿式
竪型	上部投入方式	一方向回転	ハンマー	乾式

乾式シュレッダー設備の例を図２—６—６に示す。

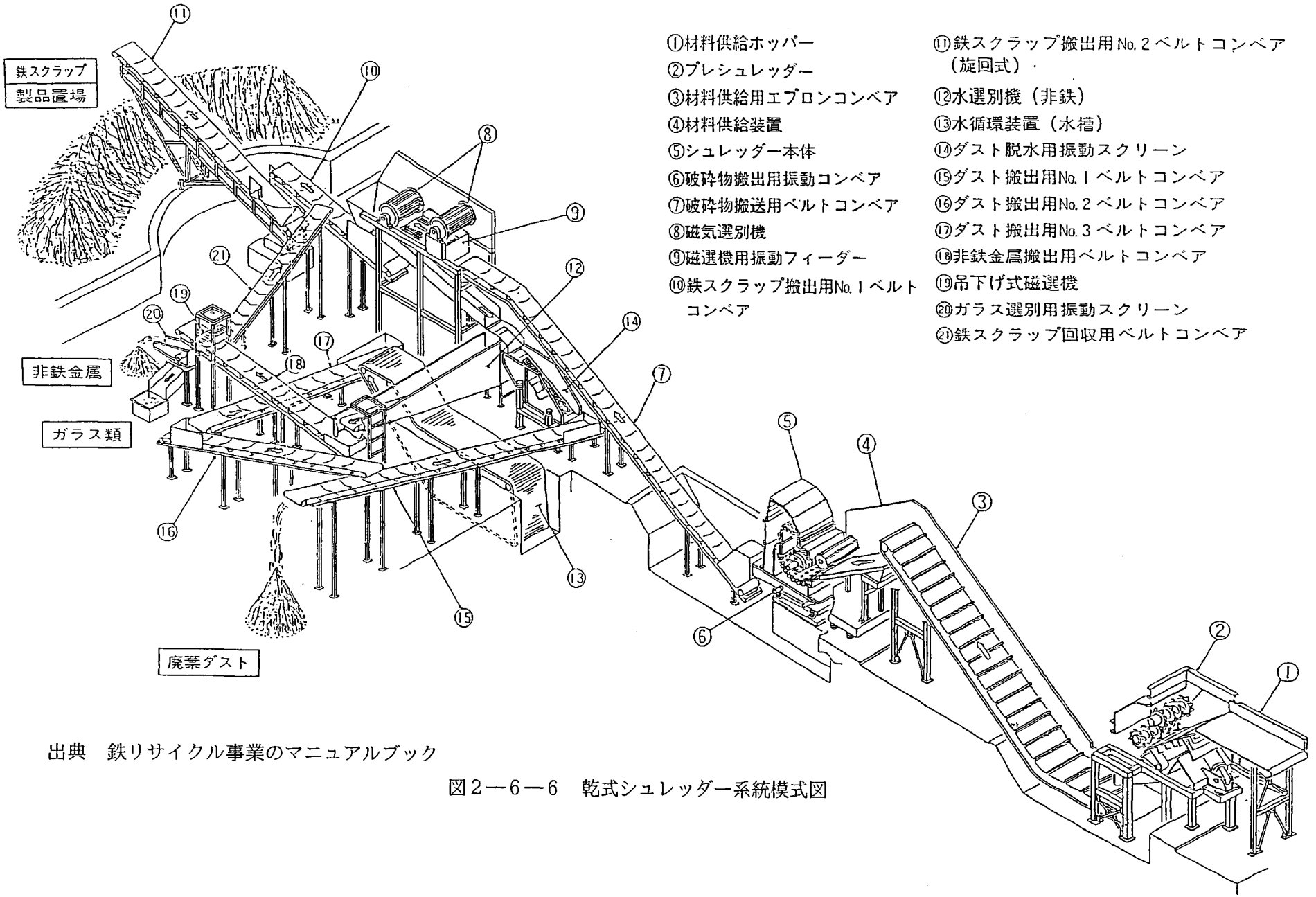
乾式シュレッダー設備は材料送り込み装置、シュレッダー本体、集塵機およびダスト分離装置、磁力選別機、非鉄金属選別装置等よりなる。乾式シュレッダー設備の特徴としてはシュレッダー加工後の鉄スクラップと非鉄金属から軽量ダスト類を分別するのに風力を利用する点である。そのため付帯設備としてサイクロン、スクラバー等の設備を備えている。

主な処理工程は以下の通りである。

①エプロンコンベア等で投入材料をシュレッダーシュートまで搬送しフィードローラーまたはコンプレッションフィーダーで加圧しながらシュレッダーに送り込む(シュレッダーの前工程にプレ・シュレツダーを設置して、材料を粗破砕する場合がある)。

②シュレッダー本体でハンマーにより破砕、切断され、所定の大きさ以下になると格子窓から排出される。

③シュレッダーから排出された破砕物は、振動コンベアを経て搬送コンベアで送られ、風力によるダスト分離装置にかけられて軽量ダストが取り除かれる。



出典　鉄リサイクル事業のマニュアルブック

図2—6—6　乾式シュレッダー系統模式図

④磁力選別機により鉄を吸着分離して回収する。
⑤回収された鉄スクラップの中に混入したモータースクラップやワイヤーハーネスほか非鉄付着物あるいは鉄スクラップにからんだダストを取り除き、選別を行う。
⑥磁力選別機にかからなかった非磁選物（重いダストと非鉄金属）は、別のコンベアでうけて各社各様の非鉄選別方法により非鉄金属の回収が行われる。
⑦粉塵ダスト本体のサイクロンで吸引、集塵される。

シュレッダー業者約100社の中で非鉄金属を回収しているのは、10—20社と云われる。
表2—6—4はシュレッダー業者のアルミスクラップに関する事業内容で、シュレッダー中心に上工程、下工程まで色々な形で手掛けている企業もある。
図2—6—7はC社のシュレッダーラインとその後工程のシュレッダーダスト再処理ライン（金属類を更に回収、埋立処分ダストの減容化対応など）の例を示す。
将来、大量のアルミニウム合金が自動車に使用される場合のシュレッダー業界でのメリット、デメリットについては、C社は，アルミは有価物であり、大きいアルミ部品は解体業者が抜きとろうし小物のアルミ部品は外し難いのでシュレッダーで回収するので、どちらかと云えばメリットの方が大きい…と考えている。
アルミ部品とマグネ部品は、できるならシュレッダー前に全て抜き取ることが、将来的には必要となると思われる。

表 2—6—4　シュレッダー業者 14 社のアルミ回収事業

・解体、部品取り		1社
・エンジン解体、溶解		3社
・アルミ溶解		2社
・シュレッダー処理（メイン業務）		14社
・MM外買い		2社
MMの処理	・乾式流動層選別、重液選別	4社
	・渦電流選別	8社
	・手選別	9社
アルミの外売り	・MM外販	8社
	・スクラップ外販	5社
	・インゴット外販	5社

（MM：ミックスメタル）

C社では，使用済み自動車を約9割，廃家電品や廃棄自動販売機等をほぼ1割の比率で処理している。アルミインゴット（２００Ｋｇ／個）の溶解鋳造は竪型傾動炉で行い，一部のボ

ルト等鉄金具が固着しているアルミ屑塊も含めて，大き目のアルミ屑を中心に溶解している。付着鉄類は溶けずに固体としてアルミ溶湯の底に残るので，毎日終業時に炉底に残った鉄屑類を排除している。 アルミインゴットの詳細な成分分析は，炉中分析装置が高価なこともあり同社ではおこなっていない。インゴットの溶湯と同じ分析用小サンプル（ナマコ）を採取しインゴットの納品先に渡している。納品先などが再溶解前にナマコの詳細成分分析し，確認している。

(3) 主な固相選別技術

アルミ二次合金等のアルミくず市場の現場では、発生場所毎で目視により種類を分類している。これにはかなりの経験が必要である。くずは新くず、故くず等に分類され、JISでは28種類のくずに分けられ取引されている。屑の取引単位には　６３Ｓやキャン屑はあるが［自動車用アルミ屑］というのはない。

アルミのリサイクルが求められている中で、スクラップの品位や二次合金地金の品質向上が期待されている。

市中でのスクラップ発生は自動車や電気製品、缶など様々な分野から発生するが、非金属や他金属などが付ずいしている場合が多い。

これらをいかに取除き、アルミ原料として再生するかは、固相分離技術の進歩にかかっている。

アルミスクラップ関係の主な固相選別法としては、以下のようなものがある。

通常，これらの幾つかを組合わせて行なわれる。

・ 手選別
・ 磁力選別（鉄屑とアルミ等非磁性材の分別）
・他の金属に比較して軽いことを利用した比重選別（風選，重液選別，流動床分離など）
・比重と電気伝導度を利用した電磁選別（渦電流選別など）
・電気伝導度と静電力を利用した静電分離
・レーザーによる発光分光分析 やＸ線分析を利用した分離法
・腐蝕による色彩を利用した分離法（色彩選別）

Ｃ社ではシュレッダー屑を５―６種類の選別方法で選別し，金属類を回収している。

①比重選別法

アルミ材料の比重は 2.7 前後であり、鉄（比重 7.86）、銅（8.9）、亜鉛（7.1）、鉛（11.4）等の重金属よりは軽く分離が容易である。マグネシウム（1.74）、ベリリウム（1.85）よりは重い。合成樹脂類の比重は 1 前後であり、これらの物との分離も容易である。ガラス、石、陶磁器の比重は 2.4～3.0 であり、これらとの分離は比較的難しい。また、被覆電線の比重も電線の太さ等から 2.4～3.0 の範囲に入る物があり分離が難しい。比重分離法には湿式法と乾式法の 2 種類がある。

○湿式比重分離法

工業的な比重分離機は水の代わりに比重の大きな物質の微粒子を水に懸濁させた擬重液を作り、その中で比重分離をおこなう。重液選別法と呼ばれる。微粒子は懸濁しているときはその濃度の伴う見かけ比重の液として挙動する。分離可能なサイズはせいぜい 5～10mm 以上が対象になる。また、重液媒体はフェロシリコン、マグネタイト等が使われる。

・装置としてはドラム型重液選別機（重選機と略す）、コーン型重選機、サイクロン重選機、ミネラルジグ等がある。リサイクリングではよりタフなそしてより単純な機械が好まれる。

・主としてドラム型重選機が用いられている。ドラム型重選機は回転するドラムの中へ擬重液を流し込みながら原料も同時に流し込む構造になっている。軽い物質は水流と共にオーバーフローとして反対側から流出しフロート産物となる。一方、重い物質はドラムの底に溜まる。ドラムの出口側内部には掻き揚げ羽根が付いており、底に溜まった重産物を重液と共にドラムの回転に伴って上部へ掻き揚げ、更に羽根から落下させる。落下する部分に受け皿を設け、外部へ排出できるような仕掛けが作られている。この産物はシンクと呼ばれる。このようにして原料中の重産物と軽産物が分離される。
図２—６—８は代表的なドラム型重液選別ラインの例である。

・コーン型重選機はシンク部をエアーリフトで持ち上げるため、金属のような比重の大きな物はフアーリフトの部分で詰まりやすい点でドラム型重選機に劣る。ミネラルジグは水の脈動を利用する点で分離の精度は良いが、精度は良いが、構造が複雑であるのが難点である。擬重液を用いた分離には難しすぎるかもしれないが、ゴム、プラスチック、木片等の除去に水だけを使用した分離には威力を発揮している。

・サイクロン重選機は遠心力が利用されるためドラム型重選機より細かなサイズまで分離でき、リサイクリング分野での応力が検討されデータでも実証されたが、実際にはあまり採用されていない。

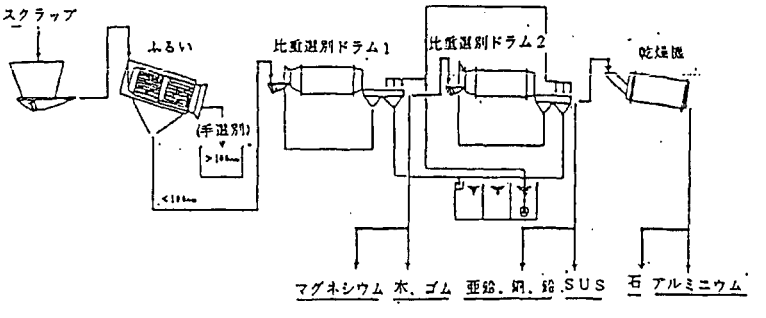


図２—６—８　重液選別ラインの例

○サンドフロー選別法（乾式比重分離法）

重液選別は擬重液スラリーの循環、フェロシリコンの回収等付帯設備が多く投資額が大きくなる。これに対し、砂などの微粒子を流動状態に保てれば擬重液の代替になり、装置を安く作ることができるという考えから流動床式選別装置が開発された。

図２—６—９に流動床式選別装置の原理図を示す。

装置には振動が与えられ、装置上の砂は流動しながら左側へ移動する。原料は砂の上へ落とし込んで供給する。移動中にある程度の浮沈分離がなされるが、更に、流動床部では下部から空気が吹き込まれ、砂が流動状態に保たれ、よりきめの細かな比重分離が行なわれる。砂より軽い物質は砂の上に浮き、砂層の中間部まで差し込まれた軽産物は取り出し用仕切板上へ乗り、仕切り板の振動に伴い次第に出口へ移動する。仕切板は穴が開いており、砂は仕切り板を通過し進行方向へ移動し、砂と軽産物の分離がおこなわれる。一方、重産物は流動床下部を移動し、床部に取り付けられた重産物取り出し用仕切り板上を斜面に沿って移動し、排出される。この仕切り板にも穴が開いており砂のみが仕切り板を通過する。その装置をドーナツ状にしておけば永久に砂はドーナツの中を循環するだけで良く、従来のような篩い分けによる砂と産物の分離、循環のための砂のリフティング操作が不要である。しかし乾式選別法は原料の構成、形状、不純物等に制約があり使いづらい面もある。例えば、スクラップ等は普通油や泥を含むため原料処理を始めると砂が粘くなり、きれいな流動状態を示さなくなるケース等である。

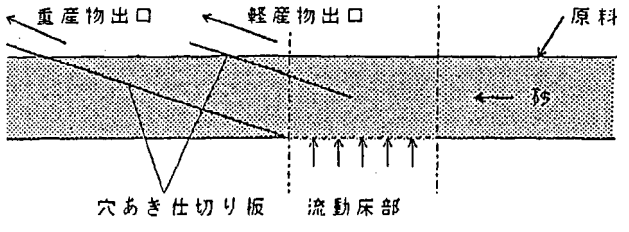


図２—６—９　流動床選別装置の原理図

C社も含めてこの方法を採用しているシュレッダー業者は多いと見られる。

屑のサイズや混入物の種類，量によっても変化するが，二次合金業者ないし重選業者に選別されたスクラップを纏めて売却する。

② 渦電流選別法（ED セパレーター）

別名、アルミ選別機の名称で知られている。サマリウムーコバルト磁石の様な強力磁石の出現により実用化された機械である。原理はレンツの法則であり、交番磁場中を導電物資が移動するとその物質中に渦電流が発生し、もとの磁場に反発する方向に磁場を作る。この磁場の作用により物質はもとの磁石に反発され飛び上がる。反発力は物質特有の値（電気伝導度／密度）に比例する。電気伝導度が大きくかつ比重が軽いアルミは良く反発される。表２—６—５に参考のため各種金属の電気伝導度と密度と電気伝導度を密度で割った数値（反発係数（仮称））を示す。

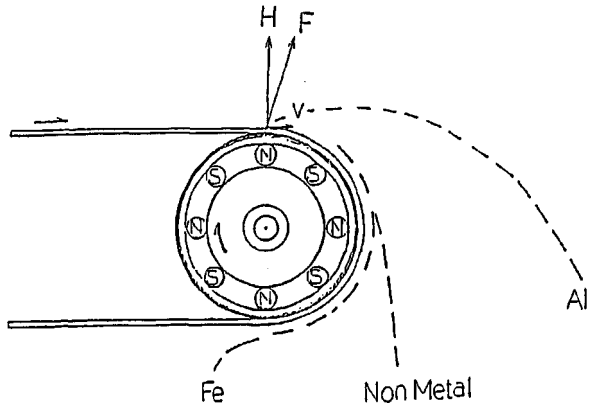
渦電流選別機には同芯タイプと偏芯タイプがある。図２—６—１０に同芯タイプの模式図を示す。１本の回転軸がありこの軸に磁石ドラムと輸送用ベルト駆動ドラムが取り付けられ、磁石ドラムは高速回転し、ベルト駆動ドラムはゆっくりと回転するように設計されている。軸のたわみがあるため両ドラム間には適当な隙間が取られている。両ドラムの外側は非磁性の材料が使用されている。ベルト駆動ドラムには特殊ゴムの輸送用ベルトがかけられ、原料は分離をおこなうヘッドドラムへ運搬される。このように磁石と原料の間には距離があり、ベルト表面の磁束密度が最大になるよう各材料、構成が工夫されている。鉄のような強磁性体が供給されると回転磁石に吸い付き、ヘッドプーリー上でコマのように自転すると同時に加熱され、輸送ベルトを引き裂くばかりか磁石ドラムにも穴を開け破損させる恐れがある。従って、選別機へ供給する前に磁選機で鉄を除去しておく必要がある。

表２—５—９各種金属の電気伝導度と密度及び反発係数

金　属	電気伝導度	密　度	反発係数σ/ρ
アルミニウム	38.2	2.7	14.2
マグネシウム	22.4	1.74	12.9
銅	59.2	8.92	6.6
銀	61.7	10.5	5.9
亜　鉛	16.4	7.14	2.3
しんちゅう	14.3	8.1	1.7
ス　ズ	8.8	7.35	1.2
鉛	4.6	11.4	0.4
ステンレス	1.4	7.9	0.2

なお，現在，パソコンや自動車部品などにもマグネ部品が使用され始めているが，シュレッダー業者の意見では，現在の渦電流方式のセパレーターではアルミ屑とマグネ屑は，反発係数が近いため，分離しがたい（同じ所に落ちる）ので，マグネが増える場合は何らかの対応が必要とも云われている（マグネ小塊や粉の混在は，次のアルミ溶解工程で発火の危険など不具合もある）。

磁石の極数（円筒上へ配置した数）と磁石ドラムの回転数が反発力に影響する。



V：物体進行速度ベクトル
H：磁石による反発力ベクトル
F：飛翔方向ベクトル

図２—６—１０　同芯型過電流選別機の模式図

磁石材料が同じ機械でも回転数とか磁石の係数により機械に差がでる。磁石の極数は6～12が選ばれ、回転数は4000rpmまで高められたものもある。磁石の極数を増やせば重くなり、価格も高くなる。磁石アレンジメントは各社で工夫されノウハウに属している。10mm以上のサイズの物を分離する場合はあまり差がでないが、10mm以下の粒子を選別する場合、機械による差が出てくる。この機械での分離限界は数ミリ程度である。

③メタルソーター

メタルソーターには物の色を検出し分離する色彩選別機、物体にレーザビームを当て発光スペクトルを検出し分離する発行分光分析法、放射性同位元素の放射線を当て発生するX線を検出し分離する蛍光X線分析法等がある。

○発光分光分析法

メタルソーティングを行なう場合必要なことは、原料を等間隔で1列に配列させることである。図2—6—11にレーザー式発光分光分析法メタルソーターの検出部の機構を示す。図2—6—12には鋳物と展伸材をレーザーで分別するラインの概念図を示す。

トリガーレーザにより検出部へ物が来たことを検知する。この信号によりパルスレーザからビームが放射され、物体に当たり原子スペクトルが発生する。これをスペクトルフィルターでノイズを除去後、スペクトルディテクターで検出し、ディテクター電子機器で物を固定する。演算機で物体の稼働速度等を計算し検出物を鳥のぞぐように分離機へ信号を出す。分離機は各種金属が別々に取り出せるような機構でありエアーを吹き出させる、あるいはピン状のプッシャーを作動させるなどである。

検出能力は取り出し部の能力は150サイクル／秒で物の大きさにもよるが3〜5t／時処理可能、そして分離したメタル部の純度は96%と報告されている。

最近コンピュータが安くなったので、これらのメタルソーターの増大も期待されている。

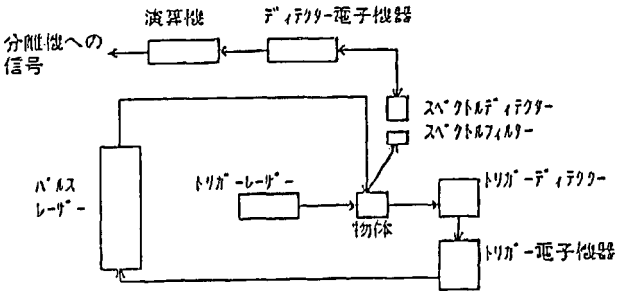


図2—6—11　レーザー式発光分光分析法によるメタルソーターの検出部の機構

発光分光分析装置の一種であるLaser Indused Optical Emission Spectroscopyを選別原理としたシステムが提案されている。

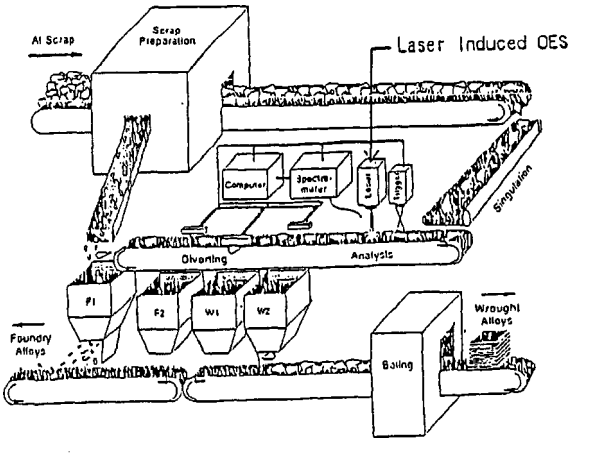


図2—6—12アルミスクラップから鋳物と展伸材　を分別するラインの例

(4) 自動車用アルミ関係リサイクルの出願動向

・リサイクルシステムは複数の業界や分野にまたがること。また、関係方面の技術進捗や改善が必ずしも技術文献や技術レポート等に発表されるとは限らないので、ここでは一部重複するかも知れないが、上記の最近5年間の出願動向（全 19 件）を概観してみた。リサイクル関係分野として以下の5つを選んだ。猶、自動車用を主眼にしたが、用途を特定してない技術も一部、含まれている。

A　固相分離　　(36 件／24 社)
B　融点差分離　(26 件／23 社)
C　液相分離　　(76 件／13 社)
D　気相分離　　(3 件／ 1 社)
E　リサイクル材　(44 件／11 社)

これらの出願の中には下記のものが含まれている。

材料メーカーとしては、
日本軽金属（28 件)、古河電気工業（30 件)、スカイアルミニウム（6 件)、昭和アルミニウム（11 件)、神戸製鋼（22 件)、新日鉄（7 件）等、自動車業界ではトヨタ自動車（4 件)、マツダ（1 件)、本田技研工業（1 件）など、外国出願人としては、アルコア（2 件)、アルキャン（3 件)、シュレッダー業の九州メタル（1 件)、二次合金業界の大紀アルミニウム（1 件）も含まれている。

・固相分離分野の出願例

この分野は複合体からのアルミスクラップ分離、混入物からのアルミニウム取り出し等に関し、自動車関係ではシュレッダー後のミックスメタル中からのアルミの分離等に関する。技術としては渦電流送別、流動床送別やカラーソンティング等が含まれる。ここでは、カラーソウティングに関するアルコア、九州メタルの出願など、その他自動車メーカーの出願及び大紀アルミニウムの出願などを等を表 2—6—6 に示す。猶、この分野で神鋼電機の出願（6 件）があるが、これは市中ゴミ、廃棄物等からアルミ屑を取出す内容のものである。

(5) 分析機器業者の動向

アルミの分析や品種判定の技術は最近では、機器の小型化や小型コンピュータと連動した判定、結果の記録、管理図作成など情報化や試料作製の無人化などシステム化が進んでいる。

分析業界の大手であるＳ社にアルミニウムスクラップの迅速分析ないし分別判定の情報を聴取した。図 2—6—13、図 2—6—14 にＳ社が扱っている、いずれも発光分光分析法による、定置型分析装置（中型)、移動型品種判定装置（コンパクト型）を示す。また図 2—6—15 はその原理を示している。

大手の同社にアルミ合金の迅速分析ないし分別分析の状況を聴取した。

Ｓ社はコンパクトなアルミ合金の分光分析装置など発売しており、鋳物メーカーや軽圧メーカー、二次合金メーカーに納入している。中型機１セットで約１０百万円。
３０種類以上の成分を同時分析できる。精度は通常のアルミ展伸材の成分分析のオーダー。
いずれもバッチ式で、定置型と移動型(簡易判別)がある。

定置型は装置を固定し据付け、分析したいフルミサンプルを縦または横に、装置内にあるサンプルチャンバーに固定セットする。チャンバーのカバーを閉めて、ボタンを押すと分析が始まる。分析が済むと隣のパソコンのハードディスクに成分毎の分光強度が表示・記録される。アルミ合金の品種毎のデーターを予め記憶させておき、分析結果と比較してそれが、どの品種に相当するか、表示する事も可能。
独自の新合金の場合は、成分値の表示のみ。
必要サンプルは最低6mm半径のサイズがあればよい。サンプルは二分の一mm厚み以上で、一応の平坦性があればよい。塗料がついている板などはヤスリやグラインダーで落とす事で可。表面粗さは目の細かい回転ブラシやグラインダーでこすった程度で可。
サンプルの調整用に必要なら、簡単なツールもある。

移動型は現在、フルミ合金用はないが、鉄鋼の管や棒、板の品種を炭素量で素早く判別する超コンパクト型を発売しており、鋼材の異材混入防止に好評を博している。アルミの成分を多少、精度を落として同方式でやるように容易に改造可能。アルミ合金系列の判別は勿論、2%のマグネと1%のマグネの違いなどは判別可能(展伸材の微量成分まで正確に･･･というわけにはいかない)。価格は現場での品種判別にどの程度の精度が必要か、にもよる。現在の移動式はセットで約５百万円。アルミ用に改造すれば、機能部分も鉄の場合よりも簡単化すると見られているので、販売台数にもよるがもっと低価格にはなる。可能性はある。

Ｓ社は炉中分析などの管理分析の機器、システムが得意。現在は、コンベア上を移動する。シュレッダー後のミックスメタルをレーザーなどで品種判別する、動的判別機器・システムはやっていない。欧米での一部の例については、リサイクル分野での判別装置の一態様として興味を持っている。廃車、解体、シュレッダー、二次合金製造、鋳物製造の流れの中で同社の分析機器が実績あるのは、二次合金と鋳物の管理分析の部分。それ以前の固相送別工程での品種判別のニーズが今後強まる可能性もある情況については詳しく把握していない。

S社のアルミ合金分析装置は昔よりコンパクト化しているが、主として溶解ての管理分析（分析精度は高く、対象成分も多い）に向いている。解体は、シュレッダー工程でのアルミ合金の分別判定にはここまでの精度は不要と思われる。

この辺が、コンパクトで安価な判別装置を前記の工程に多く普及させ、溶解前のスクラップ品位をいかに上げることが出来るか･･･図っていく上での課題であろう。

定置型も移動型ももし使用できるとすれば、解体工程である。装置の価格が問題だが、使用済み車のパネルやフードなど大型部品の合金品種判別に使える。使用済み車のストックヤードで、移動型が各車体間を移動しつつ、各車のアルミ部品の品種を判別・記録・車体表示しつつ、別の剥ぎ取り班が同品種にまとめながら剥ぎ取っていく･･･こういうやり方もあるかも知れない。実際のケースでの利点欠点は現下、十分読み込む事はできないが、このようにして均質に回収された展伸材スクラップなどが、より高価に取引されるならば、一つの方法ではあると思われる。自動車分野においては、固相分離（送別）技術は、最近ではレーザーや分光発光分析法などによる方式も報告されているが、概して個々の現場に対応した昔ながらの設備改善や手選別が多い状況にある。

分析機器業界などが溶解以前での判別にさらに適した、安価な装置やシステムを国の助成などにより開発企業化できたら、自動車でのアルミスクラップの品種別回収など高品位回収かに寄与できよう。溶解での不純物除去など溶湯処理での負担軽減のためにも、固相選別の高度化、そのための安価な使い易い装置、システムの開発と普及は必要であろうと思われる。

表 2―6―6　固相分離技術の特許出願例

名称（番号）	概　　要
アルミ合金分別を可能にする為のアルミ合金の化学処理法 （特開平 10－328620）	【目的】 化学処理済みスクラップの色を分別変数として用いて群毎に又は主要構成成分部材毎にスクラップ鍛練済みアルミニウム合金を分別することにより、スクラップの新製品製造への取り込み率を向上する。 【構成】 苛性化合物、酸、酸化剤、塗料およびこれらの組合せから成るエッチング剤を、鍛練したアルミニウム合金混合物の表面の湿式化処理で合金表面を色変化させる単一工程、または複数の工程で用いることによつて合金群、または主要構成成分部材に基づいて合金表面を識別できるようにする。これにより、鍛練済みアルミニウム合金混合物を関連グループに分別することが可能となり、スクラップの新製品製造への取込み率を向上することができる。
金属廃棄物の各種金属を種類別に送別する方法 （特開平 6－1106091）	【目的】 自動車、家庭用電化製品等の廃棄物から非鉄金属の混合金属を各金属類別に効率的にかつ自動的に選別する方法を提供する。 【構成】 液を使用した選別により比重 3.0 以下のアルミニウム、その他の物質を除去し、次にそれ以上の重い比重の混合金属に対して、過電流選別機によってステンレスを非反応金属として回収する。そして過電流選別機に反応して推力を受けた銅合金と亜鉛、鉛合金の混合金属をそれぞれ金属色の差をテレビカメラによって撮影して、原色の濃淡として検出し、その濃淡の差により銅合金と亜鉛合金を識別し、それによってアクチュエータ（圧気管、電磁弁、ノズル）を作動させ、これらの合金を選別する。

表 2—6—6　固相分離技術の特許出願例

名称（番号）	概　要
破砕スクラップの選別方法とその装置 （特開平 7－275802）	【目的】 予め入力されている素材の色と同じか、または類似している色の基準面積に占める割合で採取の可否を判定することにより、採取すべき素材を含む破砕スクラップの採取精度を高める。 【構成】 破砕スクラップはパーツフィーダに投入し、ボウルの周囲を周回させつつ整列させ、直線移走路を介して一列に供給する。このとき破砕スクラップ 1 を位置センサでセンシングし、撮像装置によって表面を撮影し、デジタル化した電気的信号にして色相認識装置に入力させる。ここで画像信号を数値化して指定信号のみを抽出し、有効画面に出力する。そして設定されている判別考査の下限を越えているかどうかを判定し、YES の場合は、第 1 噴射ノズルを動作させ、破砕スクラップ 1 を第 1 シュートに向かって吹き飛ばして回収する。
自動車用アルミニウム合金製品屑のリサイクル法 （特開平 7－207354）	【目的】 自動車用Ａ 1 合金製品屑を塗料除去した後溶解し、この溶湯を用い自動車用Ａ 1 合金製品に戻すことにより、元の自動車用Ａ 1 合金製品にリサイクル可能にする。 【構成】 焙焼法の後、機械的除去法を用いて自動車用アルミニウム合金製品屑を少なくとも塗料除去する。その後、これを溶解原料の一部、もしくは全部として用い、大気溶解する。この溶湯の一部もしくは全部を用い自動車アルミニウム合金製品に戻す。またね塗料除去法として塩化メチレンを主体とする溶媒を用い膨潤剥離する。これにより、不純物元素 Pb の混入を防止できる。

シュレッダーの前工程は［解体工程］で，ここでの主業は有価部品の抜き取り，中古部品のリユース市場への払い下げである。ＣＡＣのコンプやエンジン等が抜かれる。将来，アルミボディパネル等大型部品が量産使用され，廃車となった際はこの工程で剥ぎ取られると見られる。その場合，インナー，アウター，ブラケット等に異品種が使われていれば品種判別し，品種毎の均質スクラップに纏めることが必要となる。コンパクトな，移動式品種即時判別装置など，来るべき状態に備えて，やれる範囲から対応始める必要がある．

10—15 年後に廃車の自動解体処理ラインが実用化されたとしても，全廃車を少数の拠点で自動解体処理する事は難しく，解体業者との併行処理となる事が予測される。

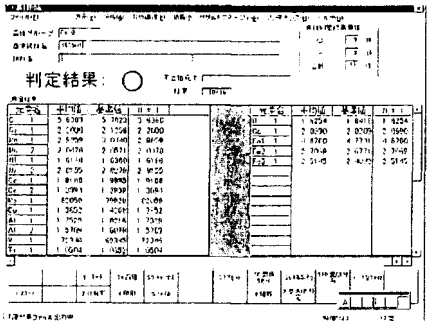
また，それまでの間にもアルミは増えるのであるから，解体業者数が減少したとしても，力のある業者が残るから，より有効なアルミ屑等の品種など分別，回収技術の改善，開発による一層の高度化は意義あるものと思われる。

ポータブルチェッカ

PORT-500

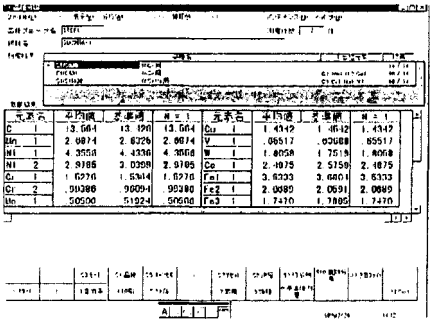
■ 異材判定機能

多量の材料の異材検出の迅速判定に用います。基準試料（材質既知の試料）をはじめに測定して，基準試料と試験材が同一材料であるか否かを判定します。



■ 品種分類機能

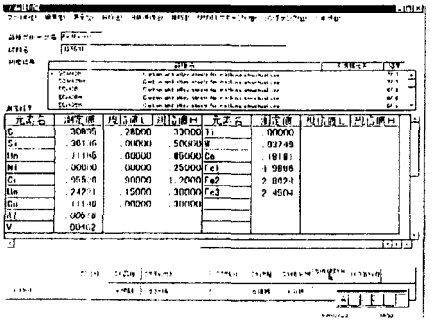
幾つかの基準試料（材質既知の試料）を予め測定しておき，試験材がその基準試料群の中のどれに相当するのか分類判定します。



■ 品種（規格）判定機能（オプション）

標準化試料は含みます。

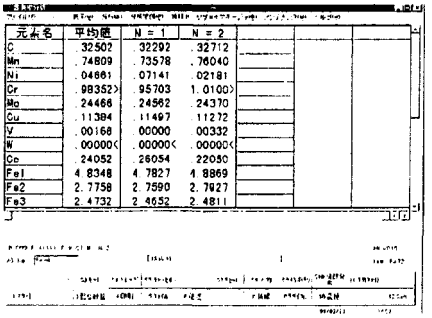
予め入力されている品種データ（規格）と測定試料のデータを比較して，該当する規格を検索します。
JIS規格は登録されています。



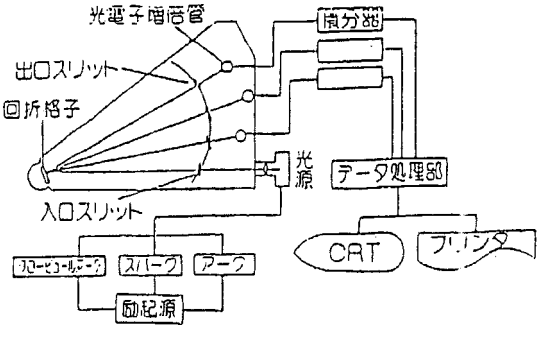
■ 近似含有率測定機能（オプション）

標準化試料は含みます。

各ベース金属毎に一般的な検量線が入力されており，この検量線をもとに各元素の含有率を測定します。
ユーザで品種に応じた検量線を作成することもできます。



〈概要〉　発光分光分析法は，液体，固体などの試料に外部エネルギーを与えることにより発光させ，放射された光を分光器により元素特有のスペクトル線に分け，その有無と強度を測定することにより試料に含まれる元素の定性，定量を行う方法である。光電測光式の場合，同種の試料であれば数分の間に10元素であろうと20元素であろうと，濃度・含有量で結果が得られる。



光電測光の原理

図２－６－１５　光電測光式発光分光分析装置

3 アルミ製造工程及び今後の課題

3—1 溶 解 鋳 造

（1）我が国アルミ合金製品製造業の現状

自動車のアルミ化時代を迎え、アルミ精錬業が事実上崩壊した日本のアルミ合金製品製造業は、国際的な生産拠点に調達力を有する自動車産業等に製品を供給するためには、より一層の高技術製品と格段のコストダウンが求められ、これを達成するための解析とロードマップが提示されている。

自動車は、缶材、建材などとともに既に大規模にアルミ合金を採用している国内の有力なパートナーであり、高技術により需要を伸ばして来た。

溶解鋳造技術は、アルミ合金製品製造における出発点とし、一方，様々のスクラップを受け入れ価値を増して再度アルミ合金製品の原料として利用するための出発点として要の技術開発が要求されている。

（2）アルミ製品スクラップの流れ

アルミ合金製品製造における溶解鋳造技術の位置づけと課題を図1によって見てみる。

先ず、アルミ電解精錬業を国内に持たない我が国アルミ産業は原料コストを下げる手段として、エネルギーコストが電解精錬の3%と言われるユーザースクラップを多用するのが有利であることは言うまでもない。

しかし、現状、自動車の製造、解体段階でアルミ合金をコンタミネーションなしで回収することは事実上困難であり、コンタミネーションの起こらないユーザースクラップの回収技術を提案する一方で、当面、効率の良い、コンタミネーション除去技術を確立する必要がある。

①ユーザースクラップ

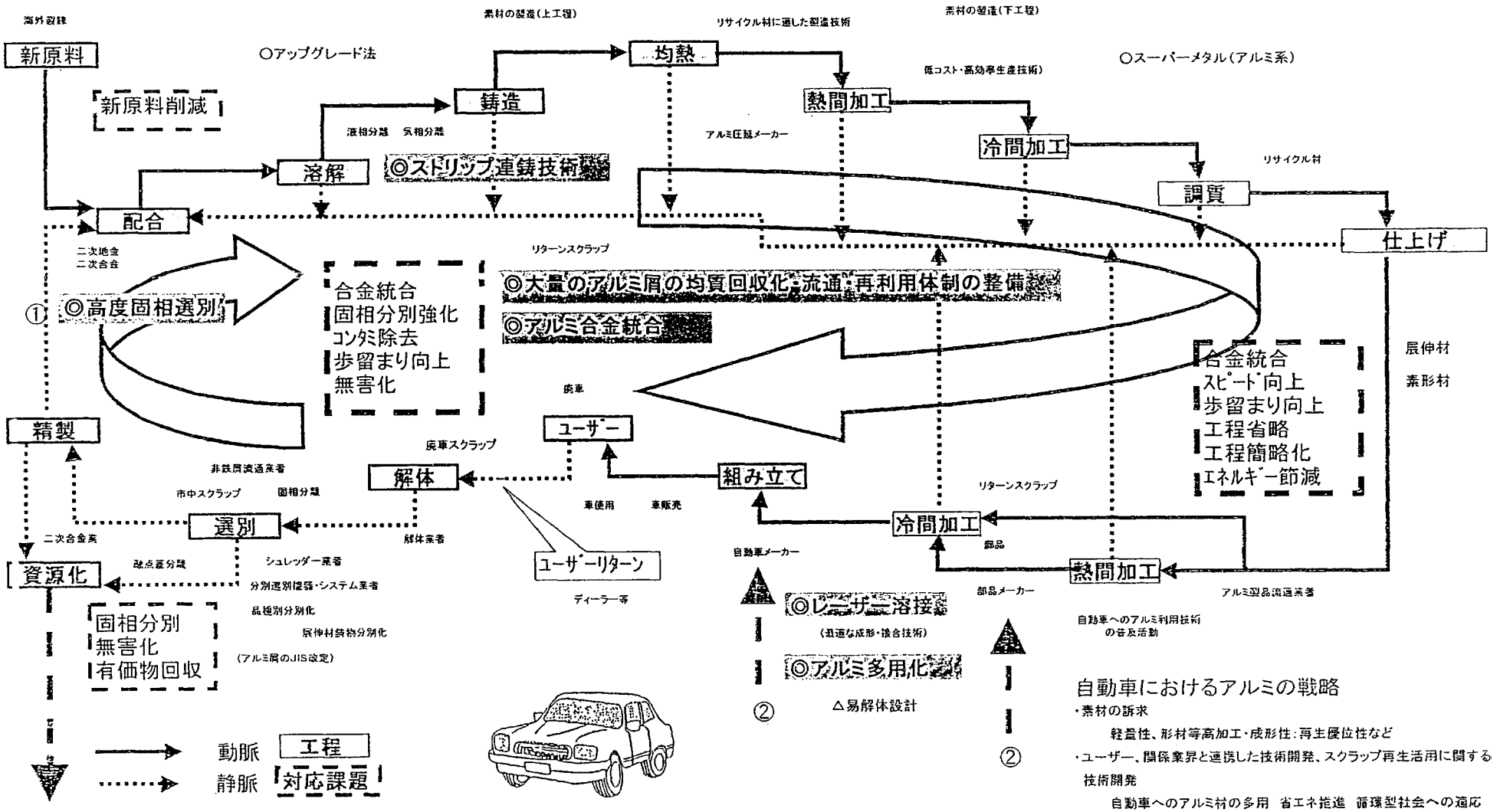
コンタミネーションを防止するために必要な技術を列挙すると次の如くであり、短・長期的に技術を確立する必要がある。

・合金の統合

適用するアルミ合金系はできるだけ少なくして済むよう製造技術の確立を進めねばならないが、コンタミネーションの影響を受けにくい合金と製品製造技術も必要とされる。

表3−1−1に自動車に使用されるアルミ合金の一例、表3−1−2にスクラップに混入しやすい元素を示す。

関係業界の連携による自動車用アルミ材とアルミ屑の大量循環システムの確立に向けて



自動車におけるアルミの戦略

- 素材の訴求
  - 軽量性、形材等高加工・成形性：再生優位性など
- ユーザー、関係業界と連携した技術開発、スクラップ再生活用に関する技術開発
  - 自動車へのアルミ材の多用　省エネ拡進　循環型社会への適応
  - 資源の安定確保　関係業界への働きかけ　など
- 低コスト、高効率生産技術開発
  - 競争力アップ　内外市場の確保　など

図3－1－1　　自動車におけるアルミニウム合金製品の閉回路

表3－1－1　自動車ボディパネル用アルミ合金の科学成分規格（mass%）

合金系	合金	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
２０００系	2002	0.35−0.8	0.30	1.5−2.5	0.20	0.5−1.0	0.20	0.20	0.20	Rem.
	2036	0.50	0.50	2.2−3.0	0.10−0.40	0.30−0.6	0.10	0.25	0.15	Rem.
	2037	0.50	0.50	1.4−2.2	0.10−0.40	0.30−0.8	0.10	0.25	0.15	Rem.
	2038	0.50−1.3	0.6	0.8−1.8	0.10−0.40	0.40−1.0	0.20	0.5	0.15	Rem.
５０００系	5182	0.20	0.35	0.15	0.20−0.50	4.0−5.0	0.10	0.25	0.10	Rem.
６０００系	6009	0.6−1.0	0.50	0.15−0.6	0.20−0.8	0.40−0.8	0.10	0.25	0.10	Rem.
	6010	0.8−1.2	0.50	0.15−0.6	0.20−0.8	0.6−1.0	0.10	0.25	0.10	Rem.
	6111	0.6−1.1	0.40	0.50−0.9	0.15−0.45	0.50−1.0	0.10	0.15	0.10	Rem.
	6016	1.0−1.5	0.50	0.20	0.20	0.25−0.60	0.10	0.20	0.10	Rem.
	6022	0.5−1.5	0.05−0.20	0.02−0.10	0.02−0.1	0.20−0.70	0.10	0.25	0.15	Rem.

表3－1－2　アルミスクラップに混入しやすい元素

混入経路	材料	混入不純物元素
付属金物 治具	鉄鋼 ステンレス鋼 亜鉛ダイカスト 銅合金 アルミニウム合金 プラスチック	Fe, Cr, Ni, Zn Fe, Ni, Cr, Mn Zn Cu, Zn, Sn Cu, Mg, Zn, Si, Mn
付帯部品	鉄鋼 ステンレス鋼 亜鉛ダイカスト 銅合金 アルミニウム合金 プラスチック ガラス コンクリート	Fe, Cr, Ni, Zn Fe, Ni, Cr, Mn Zn Cu, Zn, Sn Cu, Mg, Zn, Si, Mn
塗料 コーティング剤	顔料 樹脂	Ti, Pb, Cd
溶解工程	炉材 溶解雰囲気 フラックス	Fe, Si ガス F, Cl, Na, K, Ca

・固相分別強化

回収したアルミ分から溶解時コンタミネーションを除去することは一般的に困難である。

自動車の設計段階で、固相分別が意識された塗装、接合、材料選定を推進することは最も効果的であると考えられる。

・コンタミネーション除去

アルミの溶解工程で混入する F、Cl、Na、K、Ca 以外の元素は、各種の製造工程の合金それぞれにおいて制御されている範囲では必須の元素いであるか、害のない元素である。しかし、Mg 以外のアルミニウム製品の製造工程では除去されるとが無いから、各合金に有用な範囲の濃度まで元素を除去する必要がある。

表 3−1− 3 は米国 PNGV プロジェクトにおける分析に基づくユーザーリターンスクラップの成分の計算結果であり、図 3−1−2 はこのとき想定した固相分別 Flow Sheet である。

表 3−1−3　PNGV 725lb 車についてのスクラップ成分予想

Scrap Group	Pounds	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
Bumpers	33	0.335	0.328	0.17	0.185	1.181	0.094	2.418	0.023
Engine and Transmission	121.3	5.926	0.624	2.334	0.242	0.388	0.053	0.913	0.018
Hang-ons	124.7	0.617	0.279	0.64	0.166	0.784	0.048	0.043	0.021
Heat Exchangers	40.7	3.541	0.55'	0.842	0.528	0.14	0.018	0.462	0.015
Media	405.3	2.337	0.199	0.391	0.291	1.909	0.063	0.142	0.043
Total	725								

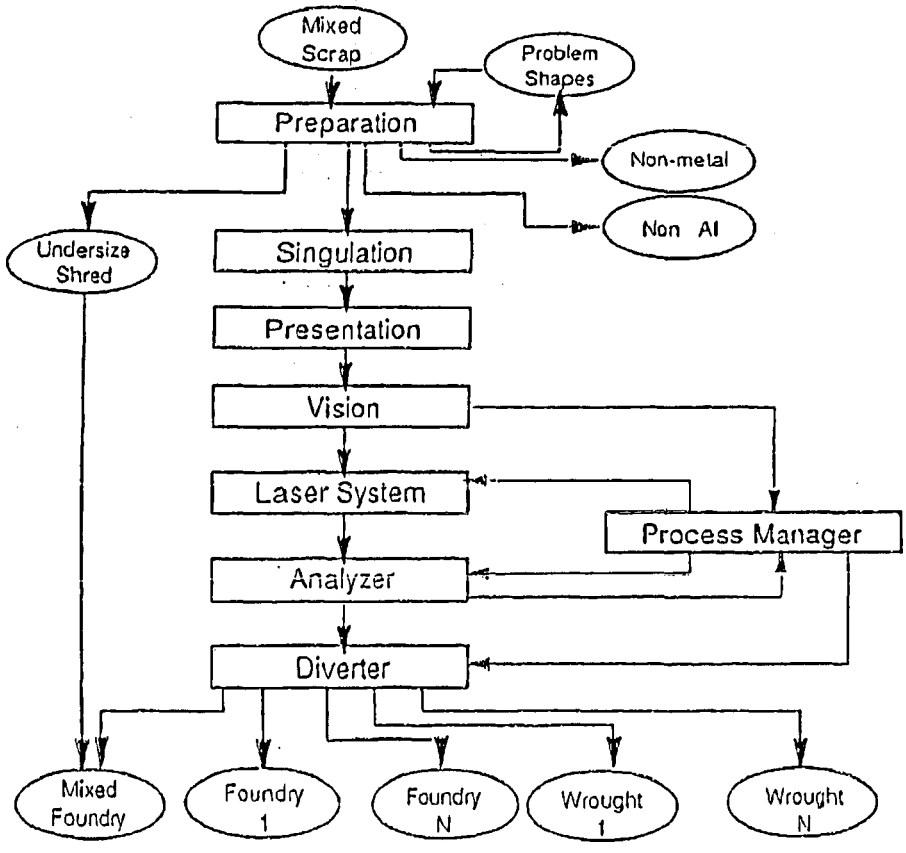


図 3−1−2　アルミ合金分別フローシート

・歩留向上

ユーザースクラップの使用はアルミ分を効率よく回収すると共に溶解精錬時の歩留りを高くすることが前提となる。

特にラジエター、エアコン等の熱交部品は薄物である、他の合金と接合されていること、表面処理が行われていることから歩留向上について特に検討する必要がある。シュレッダー屑から分離されるアルミ小片、アルミ製品・自動車の製造工程（動脈）から発生する切粉屑等と共に現在使用されている屑溶解用前炉付炉（図３－１－３）に示す渦流式溶解法、誘導溶解法、酸化物、シャフト式溶解法等広汎な技術検討と最適方法の開発選定

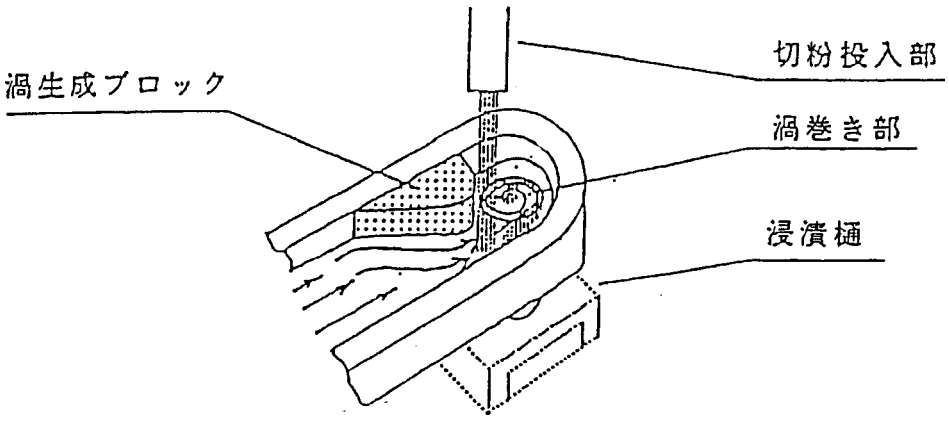


図３－１－３　渦流式アルミ切粉溶解法の概要

・有価元素活用

リターンスクラップや市中スクラップのアルミ中の元素はそのまま活用し、後の工程で成分調整用に添加物を補うのが理想である。将来のスクラップ精製技術の中には銅、亜鉛、マグネシウム、珪素、ニッケル等自動車スクラップに混入する金属元素を活用する技術が含まれるべきであろう。

アルミ合金に有用な第２、第３元素は極く単純には表３－１－４のようにまとめられる。

表３－１－４　これまでのアルミ合金製品の性能向上方法

Zn + Cu	⇒	強度アップ（超超ジェラルミン）
Cu	⇒	強度アップ（超ジェラルミン）
Bi	⇒	ブレージング時のろう付け性向上
Ti, Zr	⇒	結晶粒微細化による特性アップ
Sb, P	⇒	Al-Si 合金の初晶微細化
Sn, Pb	⇒	切削性の改良
Cr, Mn	⇒	耐応力腐食性の改善
連続鋳造法の採用	⇒	量産によるコストダウン
真空鋳造の採用	⇒	品質向上
TNT, RRA の採用	⇒	特性改善

・無害化

ユーザースクラップには様々な物質が含まれるので、歩留り向上、精錬時のコンタミ防止・公害防止を図るため、付着物、塗装を剥離する必要がある。図3－1－4はその一例であるが、乾式、湿式各種方式の中から、コストが低く、効率の良いものを選択すべきである。

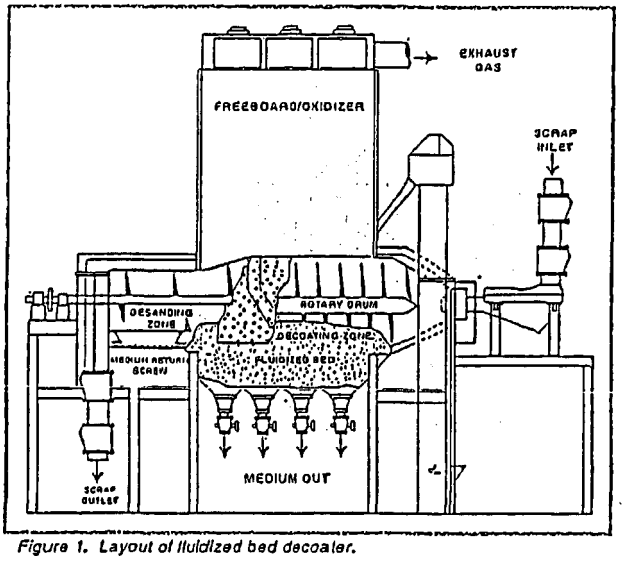


Figure 1. Layout of fluidized bed decoater.

図3－1－4　流動床剥離装置

・資源化

アルミ分として活用できないスクラップは他の製品群での活用、無害化した上での活用を図り、最終的に無害化の上，埋立処分をすることになる。うち、土として精製工程で発生するドロスは、アルミ分を回収後、充分に酸化の上，アルミナ分として活用を図る。

（3）アルミ合金スクラップの精製技術

アルミの精製技術を表3－1－5に示す。 また、当研究の成果を応用する、アルミスクラップ処理システム図3－1－5を示す

表３－１－５　技術区分とテーマ名

技術区分			テーマ名
高度溶解技術	溶湯清浄化技術		非金属介在物の除去技術の研究開発
	ドロス抑制・アルミ回収技術		ドロスからのアルミニウム回収率向上技術の研究開発
高度精製技術	液相精製技術	分別結晶法	連続結晶分別法によるアルミニウムスクラップ中の不純物除去技術の開発
			先進的分別結晶法応用技術
		金属間化合物法	偏析法による金属不純物除去及び高純化技術の研究開発
			化合物法等による不純物除去技術の研究開発
	気相精製技術	真空蒸留法	アルミニウムスクラップ中の亜鉛除去技術の開発
	半溶融精製技術	半溶融法	異合金合わせ材料スクラップの精製法の開発
支援技術	ドロス残灰利用技術		ドロス残灰の処理および利用法の研究開発
	介在物測定評価技術		非金属介在物の測定評価技術の研究開発

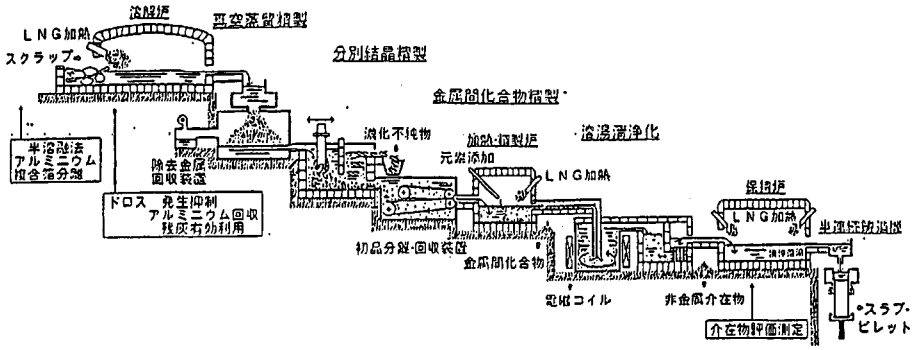


図３－１－５　アルミ合金スクラップ精製のイメージ

（4）アルミ合金の鋳造技術の概要

実用化されているアルミ合金の各種鋳造方法を図3－1－6に示す

①Foundry casting（鋳物の製造）のなかではRheo Castingで半溶融鋳造と呼ばれ国内では（株）レオテックが1994年3月までにその要素技術の開発を終了している。

②Die casting（金型鋳造）ではLow pressure casting（低圧鋳造）及びSqueeze casing（溶湯鍛造法）が自動車のホイール、エンジンブロック、エンジンシリンダー、クッションアーム等の重要部品の製造に急速に普及している。

③Ingot casing（圧延、押出、鍛造溶鋳塊の製造）ではHot Top法が押出用ビレット、鍛造用鋳造棒の製造法として定着している。鍛造用鋳造棒はVTR用シリンダーの素材として採用されてから急速に普及しており、半連鋳の縦型方式と連連鋳の横型方式で生産されている。鋳造棒はその後カークーラーのコンプレッサーのピストン、スワッシュプレート、自動車のクッションアーム用の高品質の鍛造素材として発展を遂げている。小径のため冷却速度は最大で10^2K/secに近く、準急冷凝固の代表製品である。

④表3－1－7は図3－1－6と同じくアルミ合金に採用されている各種鋳造法をやや詳しくまとめたものである。電磁ピンチ力を利用するElectro Magnetic Casting（電磁界鋳造法）は図3－1－7で示すようにKaiser, Aluswissが実用化に成功しており日本の各メーカーも技術開発を行っている。Electro Magnetic Refining法は低周波誘導により電磁ピンチ力よりも撹拌力を利用して微細な結晶粒を得る方法である。

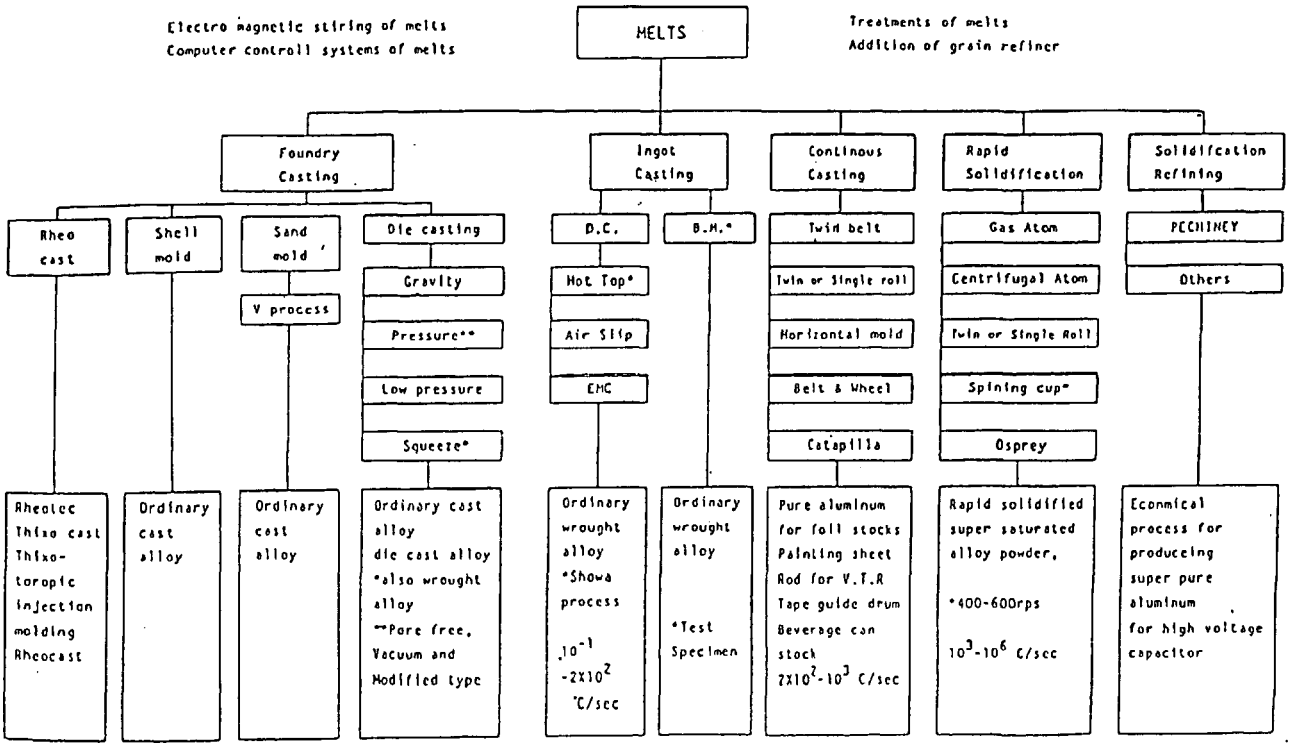


図3－1－6　アルミおよびその合金の凝固法

表 3－1－7　ffication proccesses applied to aluminum

Classification				Cast dimensions: Shape	Thickness mm	Width mm	Casting speed mm・min⁻¹	Cooling characteristic: DAS *1 μm	Cooling rate K・sec⁻¹	Lines*1 in operation	Process name
Castings	Without pressure	Sand mold		—	> 3.3	—	—	50 ～ 200	～10⁻²	—	—
		Shell mold		—	> 2.0	—	—	150 ～ 200	～10⁻²	—	—
		Permanent		—	> 2.5	—	0.1～ 3 *1	30 ～ 120	(0.5～5) ×10⁻²	. —	(PCM - CDC)
	With pressure	Pressure die		—	> 1.0	—	1 ～2.5 *1	10 ～ 30	(0.1～10) ×10⁴	4800*3	(PF)(Vacuum)
		Low pressure		—	> 3.0	—	0.1～0.3 *1	20 ～ 100	(0.1～10) ×10	1000*3	—
		Squeeze		—	> 2.5	—	0.7～2.0 *1	～20	～10³		(Hi cast)(KPH)(VSC)
Ingot	Moldless	Vertical semi-continuous casting	Electro magnetic	Slab	300 ～ 600	L 320～2,150	60～ 80	20 ～ 60	(0.05～5) ×10	> 12	(EMC)
				Billet	φ180 ～ 630		120	15 ～ 30	(0.1～1) ×10²		
	Fixed mold		Direct chill	Slab	75 ～ 635	～ 2,200	40～ 110	20 ～ 100	(0.1～1) ×10	. —	(DC) Lines are numerous
				Billet	φ 75 ～ 810		32～ 200	25 ～ 40	(0.1～3) ×10		
			Controlled quench	Slab	205	700	—	100 ～ 150	(0.01～1) ×10²	—	(ISOMET)(Delayed quench)
				Billet	φ255		—	—	—		
			Hot top	Slab	305 ～ 510	940～1,370	—	—	—	—	Fluid pressure type :(SHOWA) (AIR SLIP) Cast bar and Blank are for forgings
				Billet	φ180 ～ 320		60～ 180	20 ～ 30	(0.2～6) ×10		
				Cast bar	φ 50 ～ 100		150～ 600	5 ～ 15	(0.2～3) ×10²		
				Blank	—	—	—	—	—		
			Electro magnetic refining	Slab	610	L 360	—	—	—	—	(CREM)
				Billet	φ320		—	—	—		
		Horizontal continuous casting		Slab	70 ～ 230	110 ～ 254	100～ 200	10 ～ 30	(1～ 5) ×10	—	—
				Billet	φ150 ～ 230		40～ 250	—	—		
				Cast bar	φ 10 ～ 100		250～1,500	5 ～ 8	(0.5～1) ×10²		
	Fixed and moving mold			Rectangular*5	900mm²		—	—	—	～2	(CASTEX) Developmental
	Moving mold	Continuous casting	Wheel and belt	Thick strip	12.～ 30	250 ～ 500	4,000～7,000	20 ～ 40	(0.1～2) ×10	> 35	(RIGAMONTI)(ALBERT MANN)(PECHINEY)
				Trapezoidal*5	1000 ～ 5200mm²		6,800～10,000	20 ～ 40	(0.1～2) ×10	>140	(PROPERZI)(SPIDEMO(SOUTH WIRE)
			Two belts	Thick strip	10 ～ 50	L 320～2,500	500 ～9,000	10 ～ 60	(0.01～3) ×10²	> 28	(HAZELETT)(HUNTER)
			Articulated blocks	Thick strip	10 ～ 40	600～1,700	500 ～1,500	10 ～ 80	(0.05～3) ×10²	> 2	(HUNTER DOUGLAS)(CASTER-Ⅱ)
			Two rolls	Thin strip	6 ～ 13	L 600～2,000	600 ～2,000	5 ～ 10	(0.1～2) ×10²	>135	(SUMER HUNTER)(JUARO 3C)
	Continuous casting with heated mold			Wire, Strip	φ 8 (Example)		—	—	—	～30*5	(OCC)
Rapid solidification	Ribbon process		Single roll	Ribbon	<300 μm	<300	(15～120)×10⁴	0.2 ～ 2	(0.01～1) ×10²	—	(MELT DRAG)(OVER or PLANAR FLOW)
	Powder process		Atomization	Powder	<150 μm	—	—	0.2 ～ 10	(0.01～1) ×10²	—	(GAS or INERT GAS ATOMIZATION)
			Deposition	Sheet	～5	500	—	—	—	—	(SPRAY ROLLING)(OSPRAY)
			Spining	Powder	<1	—	—	0.2 ～ 10	(0.01～1) ×10²	—	(CAVITATION)(CENTRIFUGAL)(SPINING)
Semi-solid process				—	—	—	—	—	—		(RHEO. THIXO or COMPO CASTING)
Reinforcing	Unidirectional solidification			Notes *1 Tabulated from 80papers, but sources are omitted *2 Dendrite Arm Spacing							
	Slic casting *4			*3 Known and including other metals *4 t shot・min⁻¹, *5 Domestic only							
	Pressure infiltration			*6 Just before extrusion *7 There's pentagonal type *8 Liquid and Seal solid process *9 Members developing							

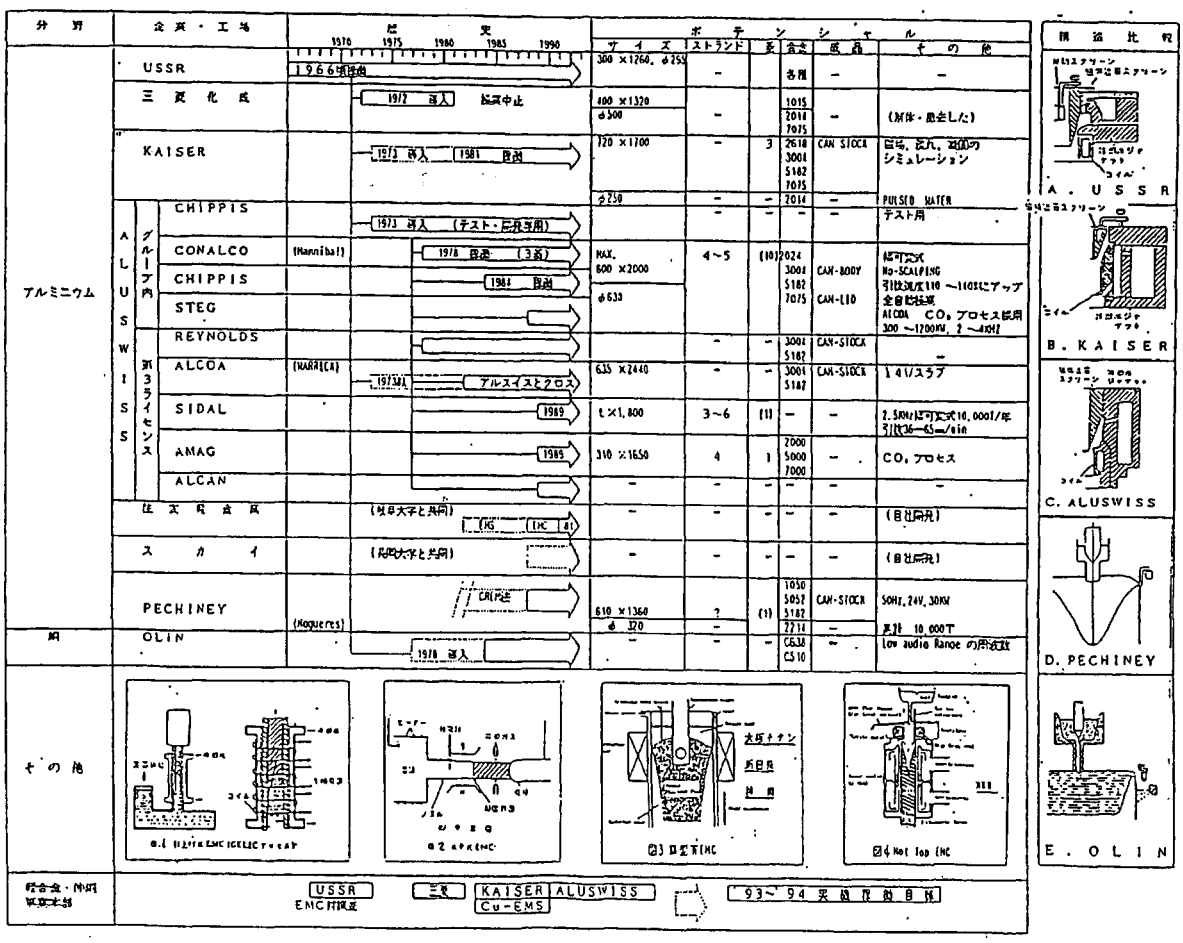


図 3－1－7　EMC (ELECTRO・MAGNETIC・CASTING) の開発稼働状況

(5) アルミ合金連続鋳造技術の概要

① 連続鋳造の種類

・半連続縦型 DC 鋳造

圧延用鋳塊サイズと一度に鋳造するビレット本数が著しく増大し、運転規模の大型化に平行して、表面品質、面削量に影響する因子に関して技術開発が行われて、浅い鋳型と“hot top”鋳造が実用化されている。

図 3－1－8 に本プロセスの概要を示す。水冷鋳型内に底台をセットし、溶湯を供給しながら底台を一定の速度で降下させ所定の長さまで鋳造後鋳こみを停止する。鋳型内の湯面のプールにより、一定に制御される。溶湯は水冷鋳型により 1 次冷却、水冷帯で鋳型下部から流出する冷却水で直接水冷され（2 次冷却）、凝固冷却が進行する。

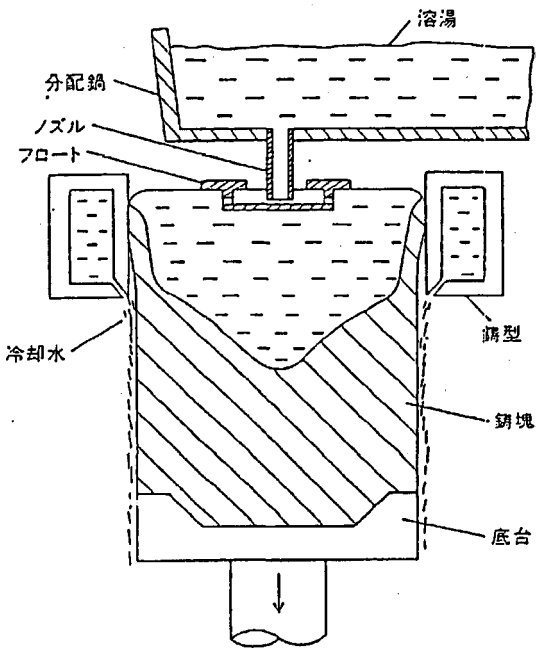


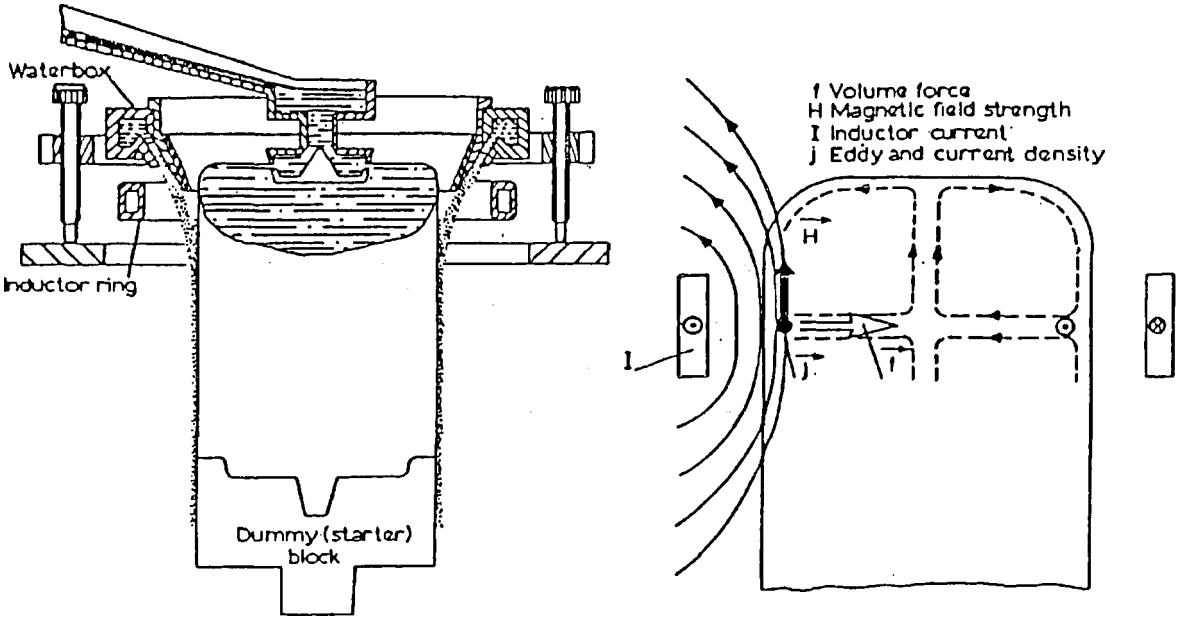
図 3－1－8　DC 鋳造法の概要

・電磁鋳造（鋳型のない鋳造法）

本プロセスの原理を図3－1－9に示す。本法では液体金属は冷却される間、電磁場によって閉じこめられていて、ビレットにもスラブにも適用することが出来る。本法の特長は次のようなものである。

(ⅰ)鋳塊表面には見分けられるような偏析がなく、非常に平滑で光沢があり、全ての合金の鋳塊が面削なしで圧延することが出来る。

(ⅱ)皮下層は通常のセルサイズよりも小さいので、edge crackingが少なく、またおそらく高温均質化処理または長時間予熱の必要性を小さくする。



a　装置の解説図（Getselvによる）　　b　原理図（Alusuisse）

図3－1－9　電磁鋳造法の原理

・薄物 strip 高速水平鋳造

Moritz は静止鋳型により高速で 10 ㎜厚の鋳造ストリップを実験的に生産することについて報告している。strip を支持し、小さな溝を形作るためのせまい fin の形をしたはり出し（extension）をもった 10～15mm の長さの鋳型を用いた。（図 3－1－10）

均質化処理又は面削なしで鋳造 strip から冷間圧延した 1.5 ㎜の板についてのデーターによると、引張強度は全ての組成および焼戻し条件において規格の下限以上で、成形性は従来法で作られている材料と同等か、あるいはいくつかの面ではすぐれている。

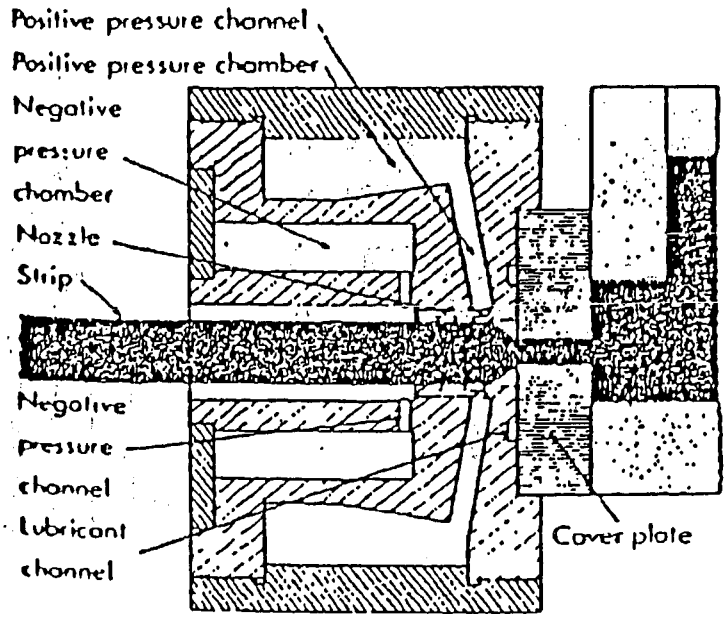


図 3－1－10　10 ㎜厚 strip の高速水平鋳造用鋳型（Moritz による）

・静止した鋳型による丸棒の連続鋳造

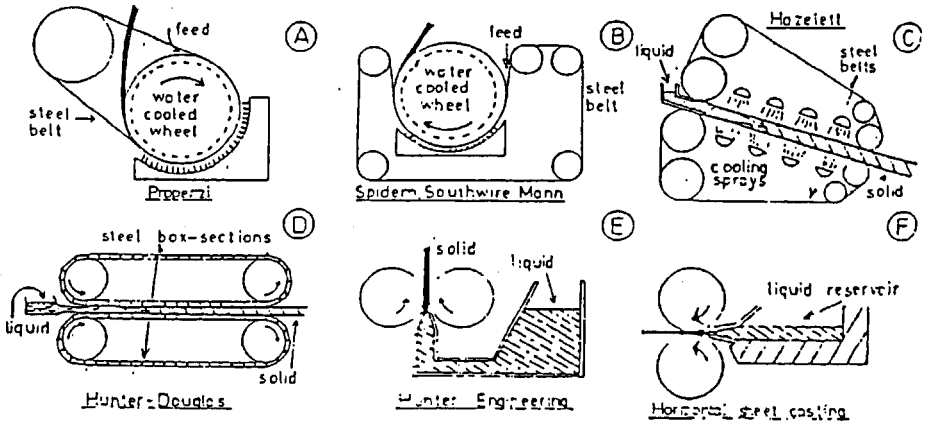
Metalは上方に出て、鉛直方向にある角度を持っている点を除けば、32 mmの丸い快削合金棒を作るNational lead方式は鋳造用ピットのない静止鋳型を用いており、水平鋳造といくつかの類似点がある、奪熱能を大きくするためうすい（1.6 mm）黒煙鋳型スリーブが用いられている。この方式は自動車工業用の切削部品を作るのに数年来使われてきている。日本では鍛造用細径棒の生産に活用されている。

・移動鋳型による連続鋳造

図3−1−11に見られるように、これらの鋳造機は移動鋳型がどのように組み合わされているかによっていくつかに分類出来ることが分かる。いくつかの場合には鋳造機から出てすぐに熱間加工されているか、または熱間加工をすることが可能である。

(ｉ)鋳造輪又は金属性鋳造ベルトをもつ機械

輪（wheel）とベルトを使う最も知られているシステムはProprerzi機であり、現在は世界的にほとんどの導電用アルミまたはアルミ合金棒の生産に用いられている。このプロセスでは、水冷鋳造輪は鉄製の側板と銅製のリムがついており鋳型は引張りがかけられた水冷の鋼製ベルトによって閉じられている。金属溶湯はレベル直下に浸漬した流量調整ノズルを通して鋳型キャビティ内に供給される。



Ⓐ Ⓑ　輪と帯を用いる鋳造機（例　プロペルチ、Southwire, Mann）
Ⓒ　　2帯鋳造機（例　Hazelett）
Ⓓ　　連結した冷却器（例　Hunter-Douglas, Alusuisse Casterll）
Ⓔ Ⓕ　ロール鋳造機（例　Huntere Engineering, Pechiney Coquillard）

図3−1−11　移動鋳型式鋳造機のいろいろ

Properzi 法および Southgate 法における鋳造棒の最大断面積は現在それぞれ 3472 および 5805 ㎜^{2}である。

Properzi およびこれと似ている Regamonti 鋳造機は、矩形断面なので、引き出される strip を圧延または巻きとるために鋳造輪を含む平面からそらせる必要があるので幅のせまい strip にかぎられる。

(ii)2 ロールをもつ鋳造機

6～8 ㎜の冷延用 strip を製造する。Hunter Engineering の設計では、溶湯は鋳造機上部の箱から Fiberfrax 管を通して精密に機械加工されているマリナイト製ノズルに供給され、さらにこのノズルは必要な全幅に溶湯を均一に分配する。鋳造機上部の箱の溶湯レベルは水冷ロールの中心幅の高さに正確に保たれ、溶湯はロールが咬み合う位置に近い凝固帯に入る。鋳造ロールから離れるように固体金属は通常の製造工程にかける 1 回の hot pass にだいたい対応するおよそ 15%の圧延をされ、その後ピンチロール、シェア、tensioning bridle およびコイラーに弧をえがいて供給される。

鋳造速度は、純アルミについて 15～20 ㎜／s、5005 について 13 ㎜／s、5052 について 11 ㎜／s と変化するが相対的に遅く、現在も幅の広い 1675 ㎜幅の鋳造機でおよそ 10,000t／yera の生産量である。

(iii)2 バンドを用いる鋳造機

このタイプで最もよく知られているプロセスは Hazelett 法で、この方法では 2 つの水冷して引張りのかけられた薄い鋼帯（1.5 ㎜厚）を用い、コイルには出来ない 15～40 ㎜の鋳造 strip を製造する。ベルトの冷却は高圧の水のジェットで行なう。金属溶湯はマリナイトを内張したタンディッシュからベルトの間の空間に、分割されたマリナイト製インジェクションノズルを通して供給する。

(iv)連結された冷却ブロックより成る 2 次ベルトをもつ鋳造機

この型については、中間の幅で厚い strip を生産する Hunter-Douglas 機が 1950 年頃から工業的に運転されている。片側の鋳型の鋳鉄ブロックに水冷機を作るために穴があけられ、運転に際してはこれらは長さがおよそ 750 ㎜の鋳鉄空間を形成するように並ぶ。金屑溶湯は移動鋳型に接触せずにしかもキャビティに一致した形のマリナイト製の舌（tongue）か鼻（snout）を通してこの鋳型内に供給され、出て来る strip には出てくるときの tearing または cracking を阻止するためピンチロールによってわずかに引き出し方向と逆の力のが加えられる。

幅の広い、厚いstripの鋳造機であるAlusuisse Caster Iが開発され、とくに鋳造出来る合金範囲が広い点においてHazelett機よりもすぐれている。

Alusuisse Caster I（図3－1－12）は厚さ15～40㎜のstripを鋳造し、4～5%Mgを含む合金例えば5182をうまく鋳造することが出来る。Casterによる最初の連続生産ラインは1500㎜幅のstripを製造するために1969年オーストラリアのLendに設置されたがその後の詳細は不明である。

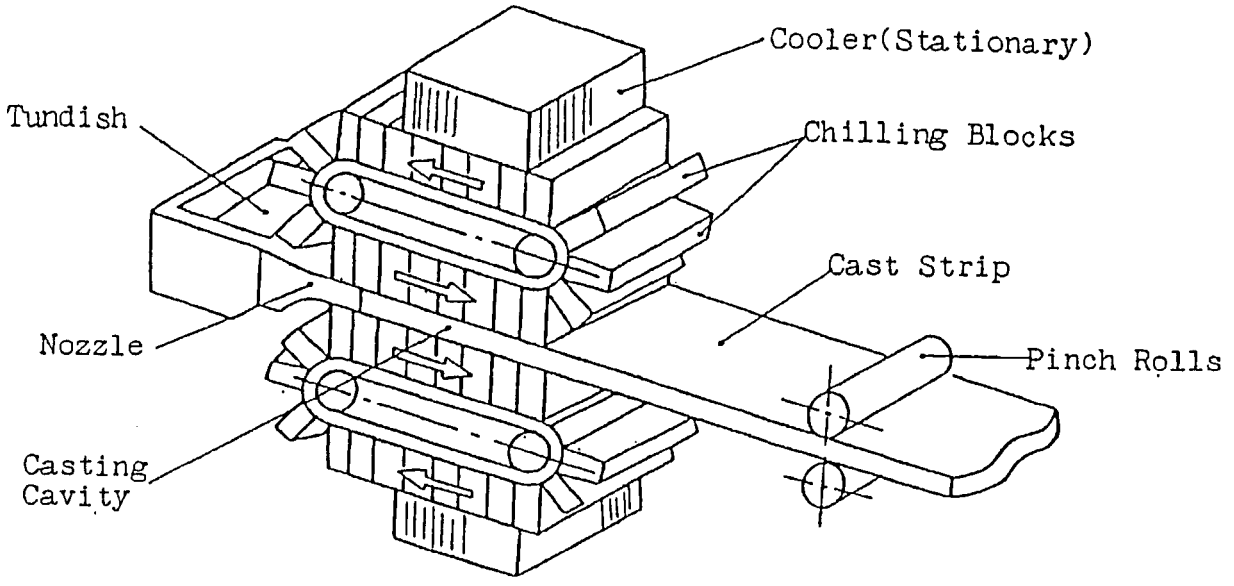


図3－1－12　Alusuisse Caster Iの概略図

②ストリップ鋳造の重要な進歩

最近の連続鋳造法の発達に関する考察によれば、最も重要な進歩は次のようなものである。

・Hunter法によるstripの幅を2030㎜に増したのと同時に鋳造速度が向上し、合金と製品品質の制限が小さくなったこと

・Hazelett法において、鋳造と同調させた連続熱間加工によって1520㎜幅の冷延用stripを作ること。機械の容量が大きくなり、stripの幅が増したこと。

・Alusuisse Caster Iの出現は幅を増すときに予想される困難を小さくして合金の選択幅を広げた。

③ストリップ鋳造した金属の性質

・強制固溶、強度および再結晶挙動

Hazelett機およびAlusuisse Caster I機で作られる厚い鋳造stripの凝固速度は通常の鋳塊に似ている。

一方うすい鋳造stripは冷間圧延されるだけで、均質化焼鈍を行わないかぎり、厚い鋳造stripから造った冷延用コイルにおける溶質の強制固溶度よりももっと高い固溶度を持つことになり、板は次のような性質を示す。

(ⅰ)常温で引張り強度（TS）と降伏強度（YS）が20%以上高く、伸びが良い。

(ⅱ)高温で引張り強度が高い。

(ⅲ)再結晶温度が高い（50～150℃高い）

・成形性

Hunter法によるstripから製造した0.9～1.25㎜のコイルから多くの製品が絞りまたはスピン加工されており、また鋳造厚さ9.0～12.5㎜のHunter stripは2.5～3.5㎜の板厚で充分な深絞り性があると主張されている。

・エッチング性および陽極酸化処理

熱間加工がないことと冷間加工の機会が制限されることは少なくとも通常の合金においては薄いstrip材から良好なエッチング性と陽極酸化処理性を得ることを不可能にする。しかしながら少なくとも1100の底の深い容器が発色陽極酸化仕上で作られている。

・金属歩留

strip鋳造工程においては面削がなく、またトリミングやスタートの失敗によるロスは10%に満たないと思われる。コイルまでの歩留りは90%以上で、文献はほとんど100%であると言われている。

これまで見てきたように、一般に金属は晶出物が微細なほど靭性が向上し、また析出粒子間隔が小さく、析出粒子体積率が大きく、結晶粒が小さいほど種々のメカニズムで転位の移動を妨げるので、冷却速度の増大は材料特性の改善に有効であると考えられている。急冷、超急冷と凝固時の冷却速度が大きくなるに連れて、組織は以下のように変化する。

①初晶化合物の微細化　②共晶化合物の微細化　③合金元素の強制固溶（後に続く加工熱処理で、安定で均一微細な大量の析出が期待できる）　④結晶粒の微細化　⑤非平衡相の生成　⑥非晶質化（後に続く加工熱処理で微細な金属結晶組織に変換できる）

従って、急冷凝固ではアルミ合金の特性改善や微量金属不純物の無害化などの効果も予測され、今後、自動車用アルミ合金板などへの実用化に向けた研究開発の成果が期待される。

（4）普通工程（ダイレクト鋳造　十　大型スラブ熱延）とストリップ連鋳の経済性

図3—1—13は普通工程及びストリップ連鋳により、7mm厚のアルミ合金板を製造する場合の相対製造コスト（熱延ラインで年間18万トン生産のケースを100とする）を比較した例で、また、表3—1—8は同板を年間4ないし6万トン生産する場合の3つの工程による製造コストを定性的に比較したものである。

普通工程がストリップ連鋳よりも製造コストが高い（エネルギー消費、スクラップ発生、メンテナンス、マンパワー、など）と見られている。年間3万トンまでの量産では薄物ストリップ連鋳がもっとも運転コストが安く、これ以上の生産規模では熱間圧延ラインを組み込んだ厚物ストリップ連鋳がもっとも運転コストが安い。

年間6万トン、18万トンの普通工程は何れもこれらには及ばないと見られる。

ただ、この場合（投資額）は、白紙からのライン建設であるため、既に普通工程を保有しておれば、新規なストリップ連鋳投資額よりも有利となる。

自動車用アルミ合金板は安全性確保の上から、十分な強度など特性が必用となるので薄物ストリップ連鋳からの製造よりも、十分な鍛錬度などを確保し易い厚物ストリップ連鋳の方が望ましいと考えられている。

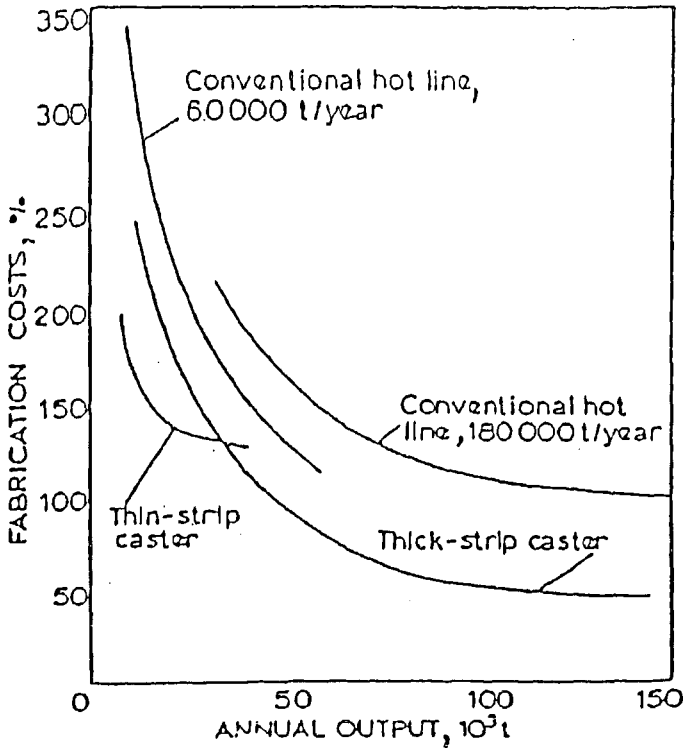


図3—1—13　普通ダイレクト鋳造とストリップ連鋳により7mm厚の板を製造する時の相対製造コスト比較

表3—1—8　7mm厚の板を年間4万トンないし6万トン生産する場合の3つの工程による製造コストの定性的比較

細目		工程		
		従来法による熱間圧延	厚物 Strip Casting	薄物 Strip Casting
製造コストの内分け				
1	エネルギー消費	高い	安い	安い
2	スクラップ配合率	〃	〃	〃
3	維持費	〃	〃	〃
4	投資額	〃	〃	〃
5	マンパワー	〃	〃	普通
必要マンパワーの内分け				
6	溶解・鋳造	高い	安い	高い
7	切断，面削，せん断	〃	非常に安い	非常に安い
8	貯蔵場所	〃	安い	安い
9	予熱と熱間圧延	安い	非常に安い	—
10	修理と保全	高い	安い	高い

（6）　アルミニウムの溶解鋳造技術の課題

自動車用アルミ合金製品の製造コストダウンを行うための技術課題をまとめる。

①DC 鋳造法

DC 鋳造法は内部品質を見ると、最高品質の鋳物であるが、より一層の品質向上、歩留、向上が必要である。

・面削の削減

ホットトップ法、電磁界鋳造法等面削を削減ないしは低減する技術が出現しているが操業の安定性、設備費等から機材のホットトップ法以外はあまり普及していない。本工程の課題抽出と研究開発の詳細なロードマップを描く必要がある。

・組織制御

廃車スクラップを大量に使用した自動車用合金は微量成分が従来とは異なってくる可能性があり、将来自動車用各種アルミ合金素材の特性と鋳造組織の関係を研究する必要があろう。

②電磁界鋳造法

自動車材に必要な特性と電磁界鋳造組織の関係・得失を明らかにする必要がある。

量産に結びつけるまでの広汎で高いハードルを明確にする必要がある。

③スクラップの直接利用

図 3—Ⅰ—16 のような、選別したユーザーリターンスクラップを直接熱間加工することにより再びアルミニウム製品とする工程が考えられる。

図ではやや極端に書いてあるが、ユーザースクラップの品質と用途に恵まれたら、先行研究もあり成立する可能性がある。

原料の前処理として半溶融スラリーの応用も考えられる。本法はミクロ偏析が少ない、凝固収縮が少ない、組織が微細であると言われており、連続鋳造、半連続鋳造の原料として面白いと考えられる。

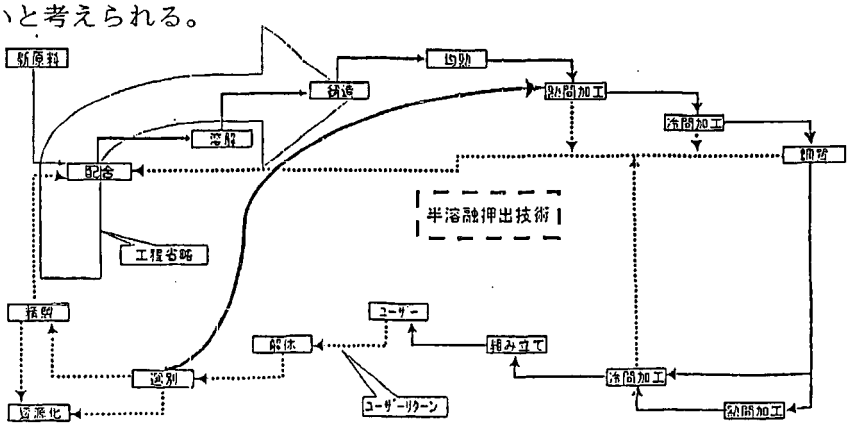


図 3—Ⅰ—16　アルミニウム合金製品のスクラップ押出し回路

(参考文献)

1) 「我が国機械産業に資する非鉄金属産業技術戦略策定に係る調査報告書：アルミニウム」、
社団法人日本機械工業連合会、社団法人日本アルミニウム協会、1999（平成11年）5月
2) Y.Murakami:Proceedings of International Conference on Aluminum alloys,ICAA-6 (1999), V.1, 3~
3) E.Usui : ibid, 15~
4) 「非鉄金属系素材リサイクル促進技術研究開発：基礎調査研究、要素技術研究成果報告書
：財団法人金属系材料研究開発センター、1996（平成8年）3月
5) 同 、1997年（平成9年）3月
6) 同 、1998年（平成10年）3月
、1997年（平成9年）3月
7) 宇野：アルトピア,(1999), No.9, 10～
8) 大西, 菅野：アルトピア,(1997), No.4, 9～
9) M.Litalien, M.Tremblay and A.Fovsenfeld : SAE Tech. Pap. Ser, SAE-970017, (1997), 10～
10) 軽金属学会第42回シンポジウム、(1993) 3月3日
11) 「スーパーメタルの先導研究」第2編大型素材（アルミニウム系)、新エネルギー産業技術総合開発機構、財団法人金属系材料研究開発センター
12) Automotive Engineering : AUG (1997) 51～
13) 「非鉄系素材リサイクル促進技術研究開発：基礎調査研究、要素技術研修成果報告書」:
財団法人金属系材料研究開発センター、1998（平成10年）3月
14) 村田：軽金属、46 (1996)、No.11, 551～
15) E.F.Emley : International Metals Review, (1999), June, 75～
16) D.M.Lewis : J.Inst.Metals, 1953－54, 82, 395
17) 宇野、杉江、：住友軽金属技報 vol32, No.1 (1991), 34
18) British Palent No.1157977
19) Z.N.Getselv : J.Met., 1971, 23, 38.
20) G.Moritz : Z.Metallkunde, 1969, 60, 694
21) G.Moritz : J.Met., 1970, 22, (11), 47.
22) Metals, 1972, 100, 301.
23) J.B.Russell : Metals and materials, 1972, 6, 78.
24) 柳本：軽金属、47 (1997), 605～
25) J.B.Russell and F.R.Nichols : J.Inst.Metals, 1958－59, 87, 209.
26) P.K.Raiford : Continuous Casting Semenar Papers, Aluminum Association, 1975, Paper II－1
27) R. W. Dix : ibid., Paper I－3
28) R. D. Hamer: J. Inst. Metals. 1958－59. 87. 219.
29) Engineer. 1959. 207. 595.
30) Light Metal Age. 1974. 32. (3. 4). 15.
31) G. R. Vassily: Continuous Casting Seminar Papers. Aluminum Association. 1975. Paper I－1.
32) A. N. Odok and I. Gyöngyös : Continuous Casting Seminar Papers. Aluminum Association. 1975. Paper I－4.
33) R. W. Hazelett and C. E. Swartz : Paper presented at AIME Annual Meeting. New York. 1964.
34) P. C. Regan : Light Metal Age. 1971. 29. (3. 4). 11.
35) C. J. Petry : Continuous Casting Seminar Papers. Aluminum Association. 1975. Paper I－5.
36) US Palent Nos. 2664607 and 2752649.
37) J. L. Hunter and R. A. Quadt : Iron Age. 1952. 169. 118; Mod. Met.. 1952. 8. 45.
38) E. Herrmann : Metall. 1958. 12. 193.
39) A. M. Odok et al.: 'Light metals 1973'. 667; 1973. AIME.
40) E. A. Bloch and G. Thym: Metals and Materials. 1972. 6. (2). 90.
41) G. Vassily : Light Metal Age. April 1974. 32. 10.

3—2　板　圧　延

アルミ板の一般的な製造工程を図３—２—１に示す。

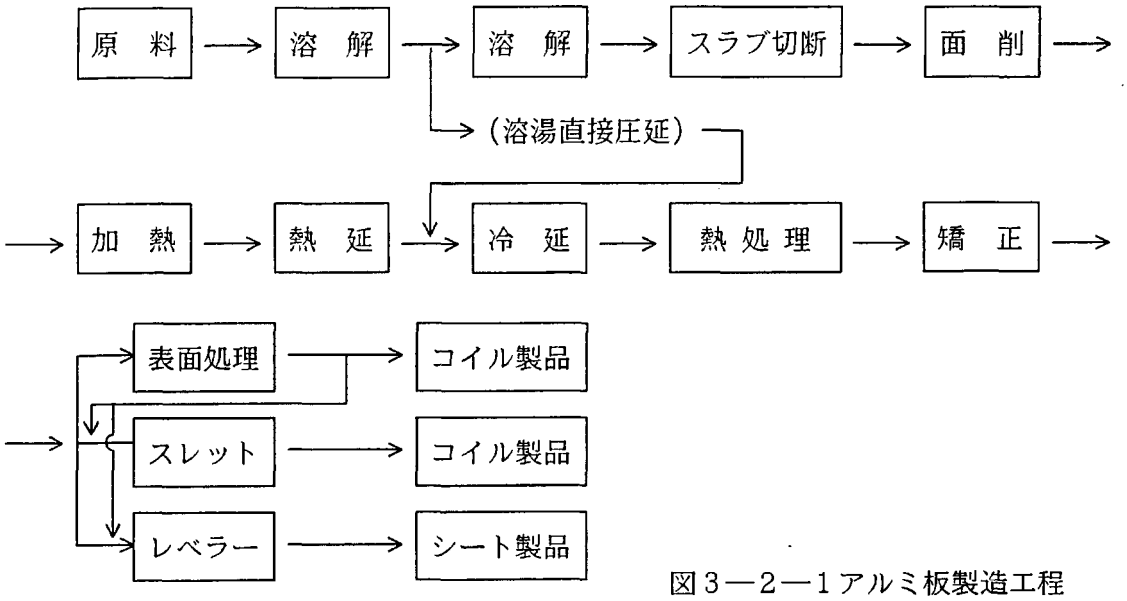


図３—２—１アルミ板製造工程

アルミの圧延工程には熱間圧延と冷間圧延があり、装置産業で多額の資金と技術力が必要とされる。過去，日本のアルミ圧延メーカーは設備の大型化，高速化，自動制御化を図る中で，メジャーとの資本、技術提携により設備技術、操業技術の KNOW HOW を導入することで発展してきたが、今後は自前の技術開発が自動車用アルミ板の大量使用に向けて，内外競争力強化，リサイクルシステム確立等の上から必要な状況となっている。

(1) 圧延設備

①熱間圧延プロセス

表３—２—１に世界の新鋭工場を示す。

表３—２—１　世界の新鋭大型圧延工場（10傑）（単位：mm, std：スタンド数）

国	企業名	工場名	熱間粗圧延機	熱間仕上圧延機
米国	アルコア	ダベンポート	幅5,588 ①	幅2,640＊5 std ⑤
		テネシー	3,048 ⑧	2,248＊5 std ⑧
		ウォーリック	1,676 ⑩	1,828＊6 std ⑩
	カイザー	トレントウッド	3,315 ⑤	2,032＊5 std ⑨
ドイツ	バウ／アルキャン	ノルフ	3,300 ⑥	3,050＊3 std ①
フランス	ペシネー	ヌーブリザック	2,840 ⑨	2,300＊4 std ⑥
		イソアール	3,400 ④	2,845＊3 std ④
日本	住友軽金属工業	名古屋	3,300 ⑥	2,286＊4 std ⑦
	神戸製鋼所	真岡	4,000 ③	2,900＊4 std ②
	古河電気工業	福井	4,320 ②	2,850＊4 std ③

仕上圧延機のスタンド数は日本では４スタンドであるが、米国では５スタンド、６スタンドである。これは対象とする市場の違いによるもので、米国では単一製品を大量生産してコストダウンをねらっているに対し、日本では市場が少量多品種生産の高品質指向である。
各工場、市場規模に応じた設備になっている。

図３−２−２に仕上圧延機の例を示す。

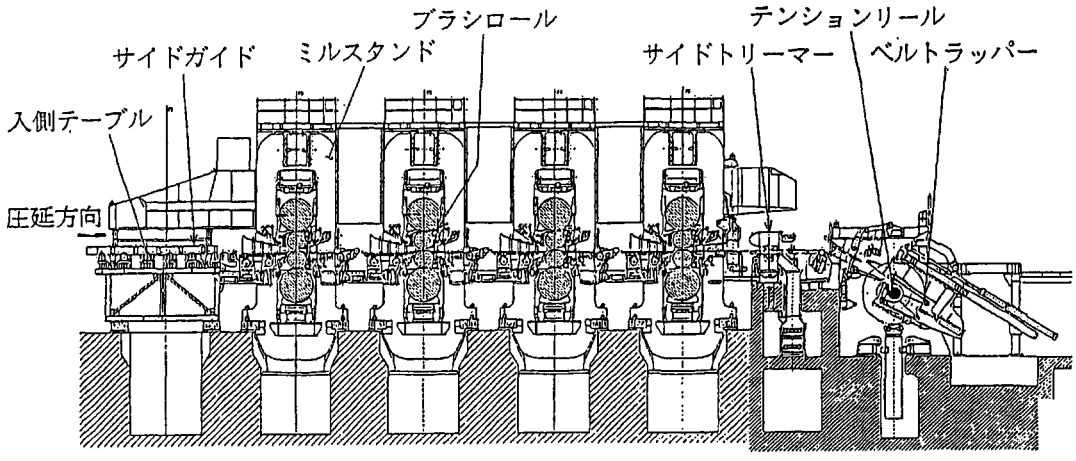


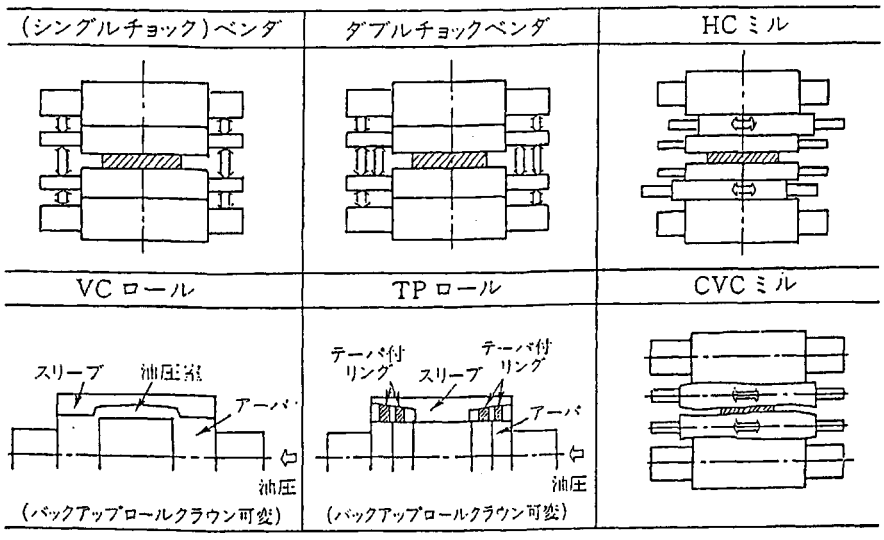
図３−２−２　熱間仕上圧延機の例

図 ３−２−２ は日本で一般的な４Hi ミルの４スタンドであるが、米国の KAISER TRENT WORK では５スタンドミルで、４Hi → ４Hi → ６Hi → ６Hi → ６Hi の配置の大規模な設備である。

②冷間圧延プロセス

日本では、非可逆シングルスタンドミルが一般的で２スタンドミルは４基である。
非可逆ミルは少量多品種に対応した設備である。
一方海外では３～６スタンドミル、完全連続式タンデムミルも設置され生産性を高くし製品の需要拡大とコストダウンを意図したものである。

最近の６Hi 冷間圧延機の例を図３－２－３に示す。



連続冷間圧延設備の例を図３－２－４　に示す。

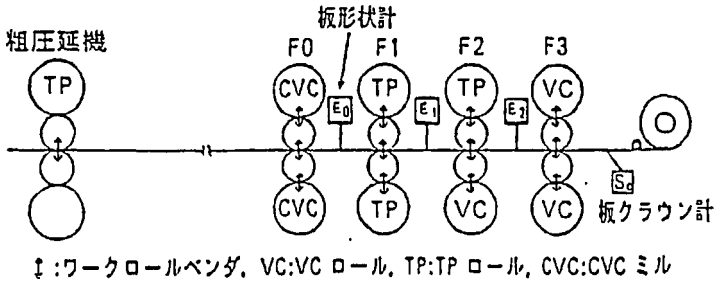


図３－２－４　連続冷間圧延設備の例

(2) 制御技術

①熱間圧延プロセス

次のものが適用されている。

・ミルプリセット制御

ロールギャップ、各スタンドの圧下力、板厚・速度、スタンド間張力、巻取張力等を自動設定する。

・長手方向・幅方向の板厚制御

各種の AGC とロールのクラウン制御装置（図 3−2−5)、とかスタンドの上流、下流に分けて配置し（図 3−2−6)、最適な制御を行っている。

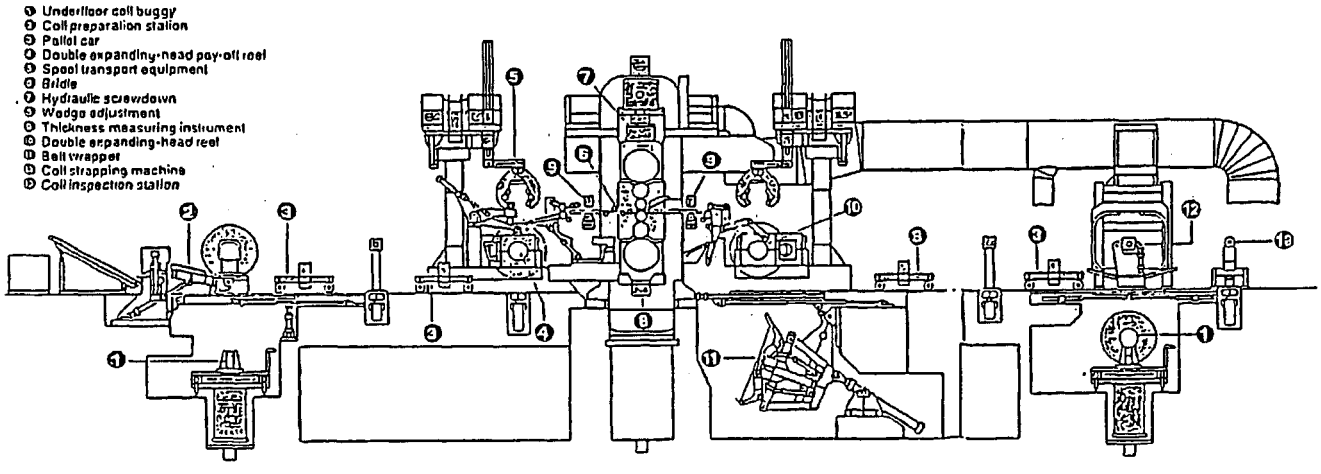


図 3−2−5　アルミニウム圧延における主な板クラウン制御装置の概要

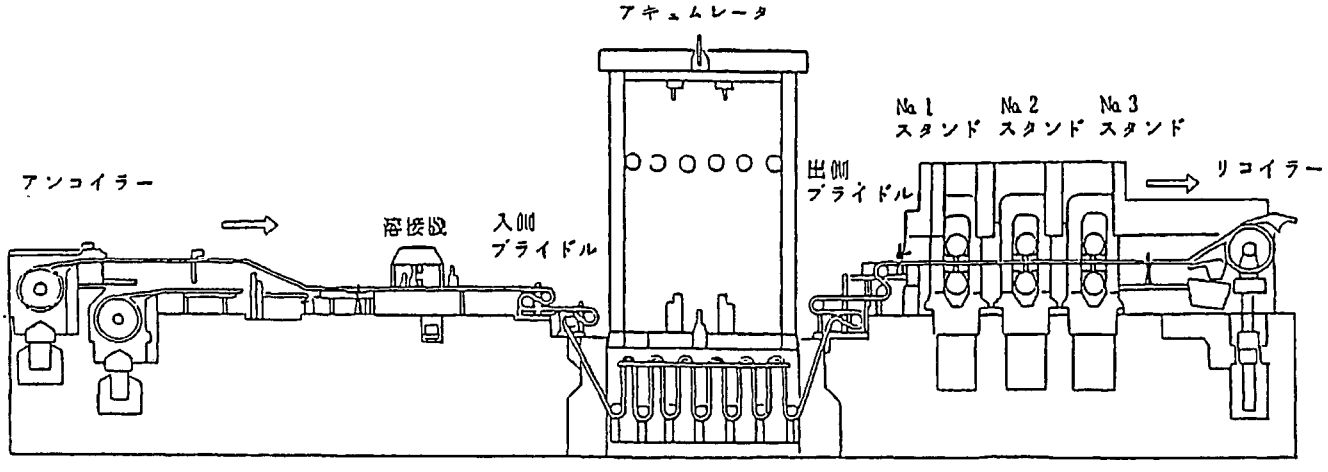


図 3−2−6　板クラウン制御装置の配置例

・スタンド間張力制御

張力制御により高速圧延を安定させ高速圧延に早く移行する為、従来のループや張力計単独の制御に替って複合した制御が採用され高速圧延の安定板厚精度の向上に効果を上げている。(図 3−2−7)

・温度制御

温度制御は圧延材の機械的性質を支配するので、圧延速度、クーラントの流量制御をし設定温度からの温度変化を min にしている。(図 3−2−8)

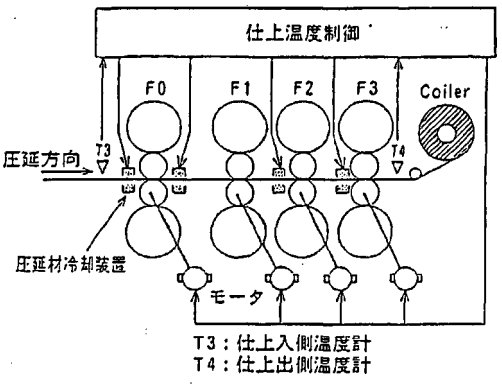
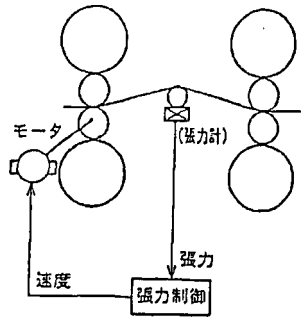


図 3−2−8　温度制御の構成例



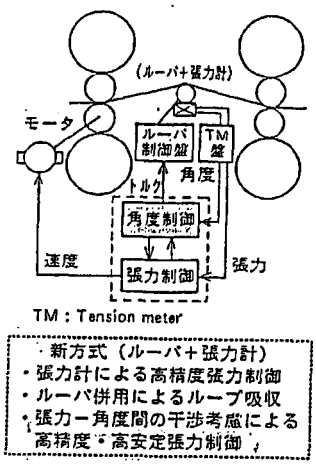


図 3−2−7　張力制御の構成例

・ 板流れ制御

通板時や尻板時の板の蛇行による絞り込みを防止するため、作業側と駆動側との差荷重を検出し、ベンダーの差圧操作を行う。制御原理を図 3−2−9 に示す。

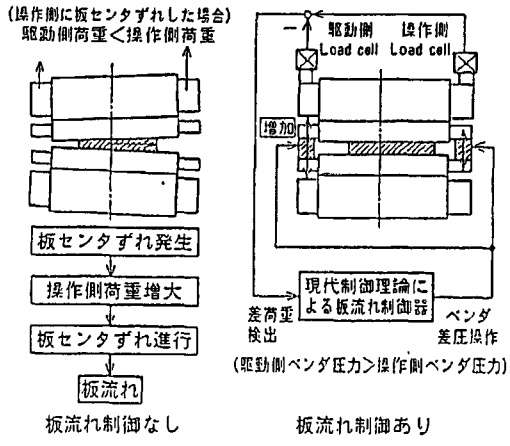


図 3−2−9　板流れ制御原理

①～⑤項を総合的に制御するプロコンが導入されたている。(図 3−2−10)

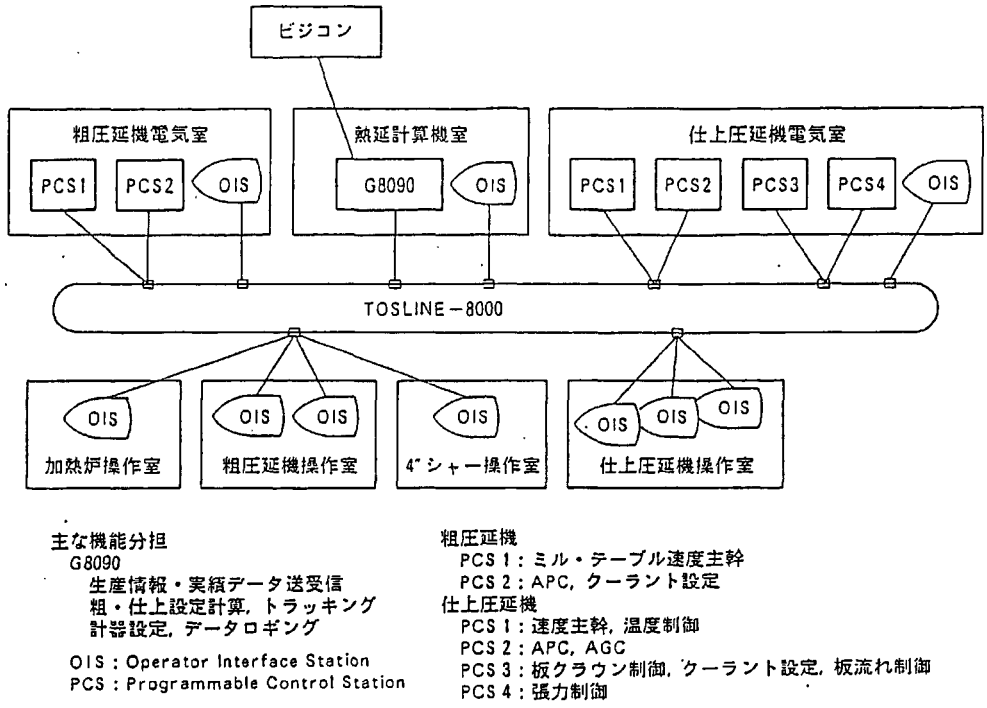


図 3－2－10　コンピュータシステム構成図（主要部のみ）

・ 表面品質管理

表面品質を損なわず安定した熱間圧延を行うには、薄くて均一なロールコーチングが必要である。このコーチングは潤滑条件とロール表面のブラッシングにより左右される。

圧延潤滑剤にはソリュブルオイルが使用され粗スタンドで 3～5 %、仕上スタンドで 5～12 %の濃度である。

今後より高速度で高圧下の熱延を行うには、潤滑性がよく冷却能にすぐれ循環使用に耐えられる潤滑剤と供給システムの研究開発が必要となる。

その時点では現行使用しているナイロンブラシと使用方法も見直しが必要であろう。

②冷間圧延プロセス

・板厚制御

各種のAGCとその特徴を表3−2−2に示す。

実機では数種類の方式を組合せて用いられる。

最近では圧延モデルを用いて、板厚と張力を同時に制御する多変数制御AGCや板厚を速度で制御し、張力でロールギャップを制御するマスフロー制御、板厚計からの検出遅れを補償したマスフロスミス法等の新しい方式が適用されている。

2スタンドミルに適用されているマスフロー制御の例を図3−2−11に示す。

この方式はシングルスタンドでも方式を変えて適用されている。

AGC	説　明	特　徴
モニターAGC	板厚計の測定値よりF／B制御	絶対板厚精度良い 測定遅れあり
ゲージメーターAGC	圧下位置と圧延荷重によるミル伸びから板厚を推定	応答速い 分解能やや低い 材料に依存しない
マスフローAGC	入側の板厚と板速によるマスフローと出側の板速よりロール直下の板厚を推定	応答速い 分解能高い 材料に依存しない
フィードフォワードAGC	入側板厚変動測定値より出側板厚の変動分を予測し、修正	応答最も速い 精度、材料に依存する生地変動に有効
ロール偏心補償制御	板厚または荷重変動のロール偏心周波数成分について修正	ロール偏心に有効
ミル加減速補償制御	ミル加減速にともなう板厚変動を予測し修正	変動モデル精度低い

表3−2−2　各種AGC方式の比較

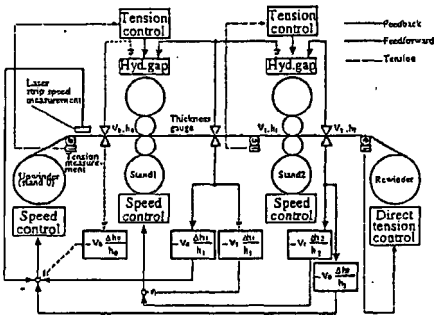


図3−2−11　Mass flow AGC

・形状制御

この制御にはロールプロフィールの制御によっている。

その手段にロールベンダー、補強ロールのクラウン変更（制御）、クーラントのゾーン制御などがありふらっと寝すセンターからの信号で制御する。

図3−2−12は中間ロールにロールベンダーを装着した6Hiミルの形状制御システムで圧延モデルを活用し、多変数制御理論を応用している。

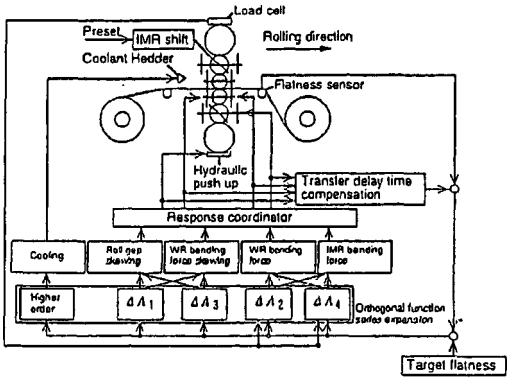


図3−2−12　Configuration of the flatness control system

・表面品質管理

(i) 板面の仕上りは圧延ロールの粗さ、コーチング、圧延潤滑剤で支配される。
コーチングは熱間圧延程問題にならない。
圧延材、面の粗さはロールの粗さに基本的に左右されるか必ずしも一致しない。
光沢は圧延、潤滑剤と圧延条件の影響を受ける。(表3−2−3)

圧延条件	光沢大（黒っぽい）	光沢小（白っぽい）
作業ロール粗度	細かい	粗い
作業ロール径	小径ロール	大径ロール
圧下率（量）	高圧下	低圧下
圧延速度	低速	高速
圧延油粘度	低粘度	高粘度

図3−2−3　光沢度に及ぼす圧延条件の影響

(ii) 圧延潤滑油は一般的に鉱物油ベースに脂肪酸、アルコール、エステル等添加したものが使用されている。
高速、高圧下のタンデムミル、一部のシングルミルで水溶性圧延油が適用されている。
潤滑性、冷却性、火災防止に対応、オイルに起因する板面の汚染対策を考慮した水溶性圧延油の実用化が今後の課題となっている。

(3)　リターンスクラップの活用技術

使用済み自動車等からのアルミスクラップを再使用する際、必然的に混入してくる不純物の影響をできるだけ押える合金成分設計と熔解、鋳造、圧延プロセス、熱処理等の製造条件を最適に組合わせて自動車用パネル材としての成形特性、焼付硬化性を備えたアルミ合金板の製造法が研究開発され発表されている。
それらの一例を表3−2−4に掲げる。展伸機を展伸機にリサイクルする最終目標までにはまだ素材製造上の課題も多いと思われるが、このような研究が今後活発化することが望ましい。
表中の②の例では，成形加工での鉄分の挙動とその悪影響を抑制する元素として，シリコン，マンガンの効果を調べている。使用済み自動車からのスクラップのように，多量の鉄分を含むものを要会原料として使用しても，その他の元素を適切に規制したものから，鉄分を微量に規制したアルミ地金を使用する従来と遜色のないものを得ることができ，スクラップの利用度を飛躍的に高めることが可能としている。
○実施例　…　①表3—2—5の合金を厚み５００×幅１２００×長さ３５００mmのサイズの鋳塊にし，綿側を両幅と上下面に各５mmずつ施した。②この面削された鋳塊を表3—2—6の条件で板に加工した。③表3—2—7は各板材の特性値を示す。純度の高い従来材との比較として，伸びが２６％と同等以上，エリクセン値が９．５mmと同等以上，降伏伸びは０．３％と同等以上を目標とした。結果，発明成分No. １，２，５，６，８は何れも目標値を満足した。発明の成分を外れる比較材はどれもこれらの特性値が未達であった。これにより，鉄分の多いアルミ合金スクラップを使用しても，従来材と同等以上の品質，特性が工夫次第で得られる。

表 3−2−4　アルミ合金材スクラップを活用する製造法の特許出願例

名称（番号）	概　要
①成形性に優れたアルミニウム合金板およびその製造法 （特開平 6−122934）	【目的】 成形性に優れたアルミニウム合金板およびその製造法を提供する。 【構成】 Mg を 3〜10wt%、Fe、Si の不純物元素を総和で 0.3〜2.0wt%含有するアルミニウム合金板上に潤滑性表面被覆を有し、摺動抵抗が 0.11 以下であることを特長とする成形性に優れたアルミニウム合金板である。Fe、Si の不純物元素を総和で 0.3〜2.0wt%含有するアルミニウムスクラップを原料とし、溶解、成分調整後 Mg 量を 3〜10wt%とし、通常の鋳造、熱間圧延後 20〜50%の圧下率で冷間圧延し、連続焼鈍を施し、さらに潤滑性表面被覆を施して摺動抵抗を 0.11 以下とする。
②リサイクル性の高い自動車ボディシート用アルミニウム合金圧延板及びその製造法 （特開平 8−165538）	【目的】 組成を特定し多量の鉄含有量を許容することにより、自動車スクラップ等の鉄分を含むアルミニウムスクラップの自動車ボディシート用アルミ合金板への再生率の向上を図る。 【構成】 合金板組成を重量比で、Mg：2.5〜8%、Fe：0.3〜1.2 を含み、かつ、Si≦0.5%、Mn≦0.3%、Si／Fe≦1.0、Sl×0.6×Fe≦0.9%に規制され、残部が Al 及び不可避的不純物からなるものとする。同時に 10μm を超える大きさの金属間化合物の数が 300 個／mm↑2 以下で、結晶粒大きさが 20〜70μm の範囲にあるものとする。なお、この組成が更に一定量の Cr、Zr、Nl、V、Cu、Zn を含むものであっても良いが、その場合、連続鋳造速度、圧延後の焼鈍条件を規制し、所要の金属間化合物数、結晶粒大きさを満足させなければならない。
③自動車部材用アルミニウム合金の製造方法及びこれにより得られる自動車部材 （特開平 11−293363）	【目的】 アルミニウム合金鋳物屑にアルミニウム伸展材屑もしくは地金を加え、溶解して不純物を希釈し、必要に応じて調整を行うことにより、アルミニウム合金屑を再生して自動車部材に適したアルミニウム合金を得る。 【構成】 好ましくはアルミニウム合金鋳物屑の 50%以上が自動車用アルミニウム合金鋳物屑でなり、さらに溶解、希釈後、必要に応じて成分調整わ行った後のアルミニウム合金の組成が、Wt%で、Si：0.5〜5.0、Mg：0.2〜5.0、Mn：0.01〜1.2、Zn：0.1〜1.2m、Cu：0.2〜1.2、Fe：0.2〜2.0、を含み、かつ Cr：0.01〜0.2、Zr：0.01〜0.2、V：0.01〜0.2、Ti：0.01〜00.2 のうち 1 種又は 2 種以上を含み、残部 A1 と不可避的不純物からなるものである。これにより、不純物を多く含んだアルミニウム合金屑を、高品位の材料として展伸材に適用可能なアルミニウム合金材料にリサイクルする。

表 3—2—5　各試験合金の化学成分

No.	合金成分 (wt%)											Mn+Cr+Zr+Ni+V (wt%)	Si/Fe	Si+0.6×Fe (wt%)	備考
	Mg	Fe	Si	Cu	Zn	Mn	V	Ni	Cr	Ti	Zr				
A	4.57	0.40	0.15	—	—	0.02	—	—	—	0.01	—	0.02	0.38	0.39	発明合金
B	4.43	0.35	0.12	0.01	—	0.03	—	—	0.01	0.02	—	0.05	0.34	0.33	発明合金
C	4.52	0.37	0.12	0.25	0.05	0.07	—	—	—	0.02	—	0.07	0.32	0.34	発明合金
D	4.57	0.72	0.18	0.20	0.01	0.12	0.01	—	0.01	0.01	—	0.14	0.25	0.61	発明合金
E	4.64	0.56	0.13	0.01	0.58	—	0.03	0.01	0.02	0.01	0.01	0.06	0.23	0.47	発明合金
F	4.70	0.12	0.13	0.02	0.01	0.15	—	—	0.01	0.02	0.05	0.23	1.08	0.20	従来合金
G	4.65	0.95	0.20	0.01	—	0.62	—	—	0.01	0.02	0.15	0.50	0.22	0.77	比較合金
H	4.56	0.55	0.18	0.01	1.08	0.01	—	0.45	0.24	0.02	0.02	0.74	0.33	0.51	比較合金
I	4.55	1.30	0.19	0.02	—	0.62	—	—	0.02	0.02	—	0.66	0.15	0.97	比較合金
J	4.32	0.56	0.54	0.02	—	—	—	—	0.02	0.01	0.01	0.04	0.96	0.88	比較合金

表 3—2—6　製造工程と条件

No.	合金	鋳造速度 (mm/min)	均熱 (℃)	熱延温度 (℃)	冷延板厚 (mm)	最終焼鈍			備考
						種類	加熱速度	保持条件	
1	A	65	530	500	4→1	CAL	20℃/sec	530℃ 保持無し	発明例
2	B	65	530	500	4→1	CAL	20℃/sec	530℃ 保持無し	発明例
3	B	65	530	500	4→1	CAL	20℃/sec	350℃ 1分	比較例
4	B	65	530	500	4→1	BAF	25℃/h	320℃ 2時間	比較例
5	C	65	530	500	4→1	CAL	20℃/sec	530℃ 保持無し	発明例
6	D	65	520	500	4→1	CAL	20℃/sec	530℃ 保持無し	発明例
7	D	35	520	500	4→1	CAL	20℃/sec	530℃ 保持無し	比較例
8	E	65	520	500	4→1	CAL	20℃/sec	530℃ 保持無し	発明例
9	F	65	520	500	4→1	CAL	20℃/sec	500℃ 保持無し	従来例
10	G	65	520	500	4→1	CAL	20℃/sec	530℃ 保持無し	比較例
11	H	65	520	500	4→1	CAL	20℃/sec	530℃ 保持無し	比較例
12	I	65	520	500	4→1	CAL	20℃/sec	530℃ 保持無し	比較例
13	J	65	520	500	4→1	CAL	20℃/sec	530℃ 保持無し	比較例

表 3—2—7　スクラップ使用材の特性値

No.	合金	引張強さ (N/mm²)	耐力 (N/mm²)	伸び (%)	エリクセン値 (mm)	降伏伸び (%)	結晶粒径 (μm)	金属間化合物数 (個/mm²)	ストレッチャーストレイン	備考
1	A	247	120	30	9.8	<0.1	30	16	○	発明例
2	B	240	111	31	9.8	<0.1	32	15	○	発明例
3	B	263	135	26	9.2	0.62	19	8	×	比較例
4	B	277	142	23	9.0	1.04	18	12	×	比較例
5	C	243	115	29	9.7	0.15	30	17	○	発明例
6	D	245	108	30	9.6	0.12	35	24	○	発明例
7	D	238	102	25	8.9	<0.1	30	295	○	比較例
8	E	240	114	31	9.8	<0.1	42	31	○	発明例
9	F	235	106	31	9.8	0.15	35	0	○	従来例
10	G	260	142	25	9.1	0.72	17	651	×	比較例
11	H	267	132	23	8.9	0.65	18	153	×	比較例
12	I	274	152	23	8.6	0.98	16	864	×	比較例
13	J	241	98	24	9.0	0.14	41	1152	○	比較例

(4) アルミ圧延プロセスの要素技術の比較

表 3—2—5 は日本と米国のアルミ圧延にかかわる最先端技術を比較したものである。設備規模、生産量によるものを除けば遜色ないものとなっている。

表 3—2—5　アルミ圧延プロセスに係る世界最先端技術項目と日米比較

工程	技術・設備項目	効　果	日本	米国
鋳造	溶湯処理技術，設備	脱ガス，介在物除去	◎	○
	電磁鋳造	内部組織改善，面削量削減	×	○
	低ヘッド鋳造	内部組織改善，面削量削減	×	○
	エッジスカルパー	熱間圧延エッジクラック低減	○	○
	高力アルミ合金大型鋳塊製造技術	航空機用材料のコストダウン	○	◎
熱間圧延	HT 制御	板厚精度，断面形状制御，表面品質向上，材料温度制御	○	○
	油圧ギャップ制御	板厚精度	○	○
	ワークロールベンド	平坦度，断面形状制御	○	○
	クーラント配分	断面形状制御	○	○
冷間圧延	タンデム高速圧延	生産性，歩留り	×	○
	6 段ミル	平坦度制御	○	○
	CVC	平坦度制御	○	○
	油圧ギャップ制御	板厚精度	○	○
	クーラント配分	平坦度制御	○	○
	水ベース圧延油	高速（タンデム）圧延	×	○
システム	革新的平坦度制御	内部応力も加味した平坦度制御（海外の鉄鋼で検討されている技術で，切り刻んでも板の平坦度が保てる制御技術）	×	×
	学習機能	板厚（熱間）板厚（冷間）制御	○	○
	クーラント配分	板厚（熱間）板厚（冷間）制御	○	○
	光焦点表面検査機	自動表面欠陥検出	○	○

◎：特に進んでいる　○：有り，または進んでいる　×：無し，または遅れている

アルミ系スーパーメタルの製造などの革命的な研究開発を実らせて，メジャーとの設備規模面などの多少のハンディを乗り越え，将来的には一歩も二歩も先んずる事が期待される。

(5) まとめ

① 昨年行なわれたのアルミ・ロードマップ等調査研究報告書の中で今後のアルミ板圧延の課題が提言されている。自動車用アルミ材に対して，現在の設備を主体に活用してコストダウンを図るには，薄肉ホット上がり板の量産化が望まれ，併行して 、熱延プロセス、冷延プロセとも高速度化、高圧下化、高精度化を可能とする水溶性油等新しい圧延潤滑油の開発とその実用化に向けた供給システムの研究が，重要な課題であると思われる。

② 溶解に際して、リターンスクラップ中の不純物の除去技術の経済的なレベルまでの実用化、量産化はまだ先になろうと思われる。原料費コストダウンの一環で積極的にスクラップを活用してアルミ合金板を製造する技術が研究、提案されている。展伸材を展伸材に戻す最終目標までにはまだ素材製造上の課題も多いと思われるが、このような地道な改善、提案などが今後更に活発化し、流れを形成して行くべきであろう。

③ アルミ板圧延業界での技術開発の進め方の１つとして、日本鉄鋼協会の共同研究会のような交流の場を検討しては如何であろうか。資本系列やメジャーとの提携など背景もあろうが，業界内で、自由な技術交流の場を設けて生産技術等を切磋琢磨する。
鉄鋼協会の鋼板部会には分塊、厚板、ホットストリップ、コールドストリップ、表面処理の５つの分科会があり、年２回会場を各社持廻りで開催する。共同研究会（1 日)、懇親会での情報交換、工場見学会（半日）等を行う。
研究会では操業成績（生産量、諸原単位など）の発表、新設備・新技術の紹介、共通のテーマの例としては、①ロール原単位の低減、②圧延油原単位の低減、③保留工場、④電力費の節減、⑤生産性の工場など
工場の操業に直結するテーマが取り上げられている。かなり，開かれた交流となっていると云われる。

参考文献

1) 川村知一：アルミニウム，No.6，Vol33（1999）
2) SMS 社カタログ
3) SMS 社カタログ，KHI 社提供，W6／3244.
4) FredL.Church：Modern Metals,（1987）
5) 杉江明士：住友軽金属技報，29（1998），11
6) A.Sugie and H.Kimura ： Science and Engineering of Light Metals，Proc，of RASELM'91，Sendai，Japan（1991），761.
7) 星の郁弥、岡村義英：第 88 回軽金属学会春季大会講演概要集（1995）
8) 上野、杉江、橋爪、岡村、橋本、星野、今西、：住友軽金属技報，Vol36,（1995.4）
9) I.Hoshino，etc：Automagic 24（1988），741
10) Siemens：Metals，Mining，& More，1,（1997）,7
11) 前田英樹：軽金属学会合金加工シンポジウム、（1996），43
12) I.Hoshino：Control Eng. Practice 1－6（1993）,91
13) 新版／アルミニウム技術便覧：p445.
14) JRCM NEWS No.157
15) （社）日本機械工業連合会（社）アルミニウム協会：我が国機械産業に資する非鉄金属産業技術戦略策定に係る調査研究報告書：1999 年 10 月

3－3　押 出 加 工

(1) 押出加工の特徴

アルミニウム合金押出材が住宅、ビル用サッシュや輸送機材に多く用いられるのは、次のような利点をもっているからである。

① 多穴形材をはじめ、非常に複雑な型材を製造することが出来、製品寸法が精密で、そのまま製品にする事ができる。

② 押出法はダイスを交換するだけで、製品そのままの形状を一工程で作ることができる。ダイス交換は数分ですむので少ロット生産に柔軟に対応するのに対して、ロール成形材は段取りに長時間かかる。

③ ロール成形では均一の肉厚になるが、押出材では不均一の肉厚のものを製造することができる。

④ ロール成形に比較して、すみ（コーナー）部の鋭い角度の製品ができる。

⑤ 一般に高温で加工を行うため、非常に大きい加工度をかけることができる。

⑥ 加工性の悪い合金でも押出法では加工可能である。

押出しによる形材、管材、棒材の製造プロセスを図３―３―１に示す。形材は通常、熱間押出し後に冷間加工を行わず、押出材としての断面形状、表面性状は押出時に決まってしまうため、押出工程が最も重要となる。

(2) アルミ押出合金の種類

押出材はその成形性の良さから、多くの用途に使用されている。自動車部品などの構造材には、強度と加工性の優れる６０００系アルミ合金が使われることが多い。

衝撃など急負担を受けるバンパーやドア関係では更に強度の高い７０００系合金なども使用される。これらの部品では、その最大の耐荷重能を発揮させるために、材質選定とともに断面設計が十分配慮される。

代表的な構造材用アルミ合金の特徴は表3―3―1に示す通りである。

表中の２０００系、６０００系、７０００系合金は熱処理型合金であり、溶体化処理、焼き入れ、人工時効などにより強度向上させるのが特徴である。

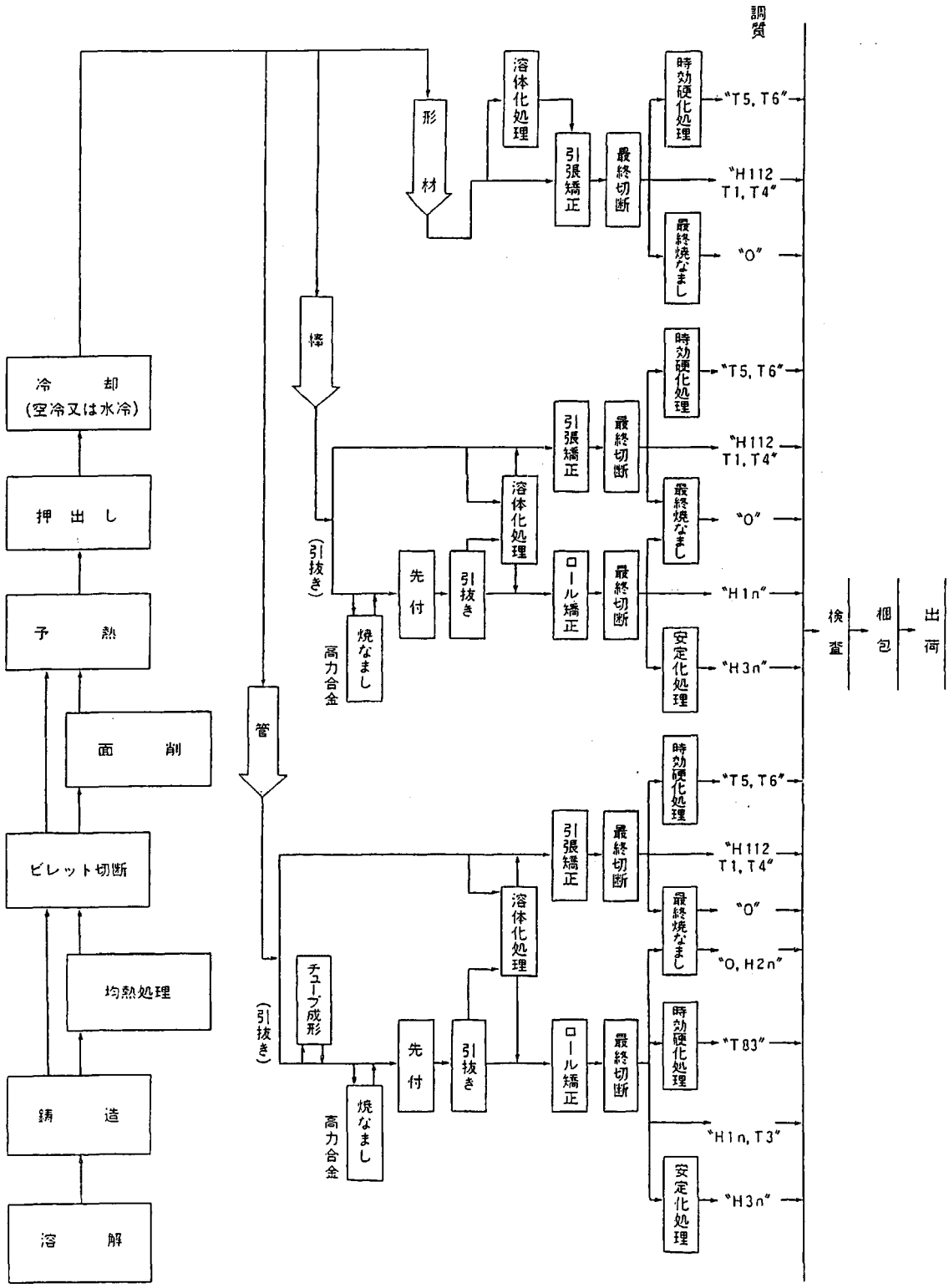


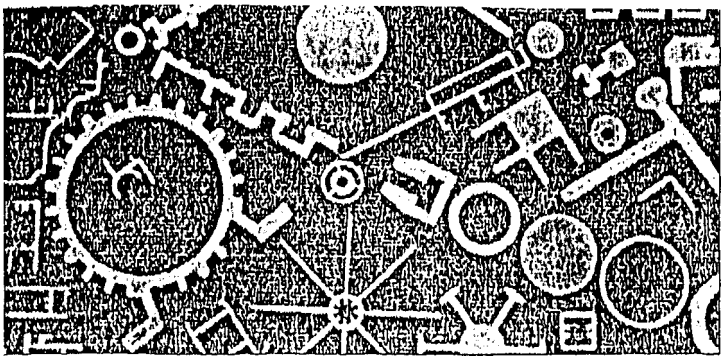
図3—3—1　押出材の製造プロセス

表3—3—1　アルミ製品の材質別特性と主要用途

合金系統	合金呼称 JIS	合金呼称 A.A	材料特性の概要	用途例
純アルミニウム系	1060	1060	導電材で61%IACS保証。強度を必要とするときは6101を使用する。	ブスバー，電線
	1085 1080 1070 1050 1N30	1085 1080 1070 1050 –	成形性，表面処理性が優れ，耐食性はアルミニウム合金中最良である。強度は，純アルミニウムであるため低く，純度が高くなるにつれて低くなる。	日用品，鉛板，照明器具，反射板，装飾品，化学工業タンク類，フィン，溶接線，導電材，はく地
	1100 1200	1100 1200	Al純度が99.0%以上の一般用途のアルミニウム。陽極酸化処理後の外観が，やや白っぽくなる以外は上記と同じ。	一般器物，フィン，キャップ，印刷板，建材，熱交換器部品
	1N00	–	1100に比べて若干強度が高く，成形性も優れる。その他の特性は1100と同等。	日用品
Al－Cu系	2011	2011	快削合金。切削性が優れ，強度も高いが，耐食性が劣る。耐食性が要求される場合には，6262系合金を使用する。	ボリューム軸，光学部品，ねじ類
	2014 2017 2024	2014 2017 2024	Cuを多く含むため，耐食性はよくないが，強度が高く，構造用材として使用される。鍛造品にも適用される。	航空機，ギヤー，油圧部品，ハブ
	2117	2117	溶体化処理後かしめを行うリベット用材として常温時効速度を遅くした合金。	リベット
	2018 2218	2018 2218	鍛造用合金。鍛造性に優れ，高温強度が高いので，耐熱性が要求される鍛造品に使用される。耐食性は劣る。	シリンダーヘッド，ピストン，VTRシリンダー
	2618	2618	鍛造用合金。高温強度に優れるが，耐食性は劣る。	ピストン，ゴム成形用金型，一般耐熱用途部品
	2219	2219	強度が高く低温および高温特性が優れ，溶接性も優れるが耐食性は劣る。	低温用タンク，航空宇宙機器
	2025	2025	鍛造用合金。鍛造性良好で強度は高いが，耐食性は劣る。	プロペラ，磁気ドラム
	2N01	–	鍛造用合金。耐熱性があり，強度も高いが，耐食性は劣る。	航空機エンジン，油圧部品
Al－Mn系	3003 3203	3003 –	1100より強度が約10%高く，成形性，溶接性，耐食性に優れる。	一般器物，フィン，化粧板，複写機ドラム，船舶用材
	3004 3104	3004 3104	3003より強度が高く，成形性に優れ，耐食性も良好である。	アルミ缶ボディ，電球口金，屋根板，カラーアルミ
	3005	3005	3003に比べて強度が約20%高く，耐食性も比較的良好である。	建材，カラーアルミ
	3105	3105	3003に比べ若干強度が高く，その他の特性は3004に類似。	建材，カラーアルミ，キャップ
Al－Si系	4032	4032	耐熱性，耐摩耗性に優れ，熱膨張係数が小さい。	ピストン，シリンダーヘッド
	4043	4043	湯流れよく，凝固収縮が少ない。硫酸陽極酸化処理により灰色に自然発色をする。	溶接線，建築パネル，ブレージング皮
Al－Mg系	5005 –	5005 5050	3003と同程度の強度があり，加工性，溶接性，耐食性がよい。陽極酸化後の仕上りが良好で，6063形材とよくカラーマッチする。	建築用内外装，車輌の内装，船舶の内装
	5052	5052	中程度の強度をもった最も代表的な合金で，耐食性，溶接性，成形性がよい。特に強度のわりに疲労強度が高く，耐海水性が優れている。	一般板金，船舶，車輌，建築，缶エンド，ハニカムコア
	5652	5652	5052の不純物元素を規制して過酸化水素の分解を抑制した合金で，その他の特性は5052と同等。	過酸化水素容器
	5154	5154	5052より強度が約20%高い。その他の特性は5052と同様。	5052と同様，圧力容器
	5254	5254	5154の不純物元素を規制して，過酸化水素の分解を抑制した合金で，その他の特性は5154と同等。	過酸化水素容器

表3—3—1　アルミ製品の材質別特性と主要用途　（つづき）

合金系統	合金呼称 JIS	合金呼称 A.A	材料特性の概要	用途例
Al－Mg系	5454	5454	5052に比べ強度が約20%高い。5154とほぼ同等の特性を示すが，厳しい環境での耐食性は5154より優れる。	自動車用ホイール
	5056	5056	耐食性に優れ，切削加工による表面仕上り，陽極酸化処理性とその発色性がよい。	カメラ鏡胴，通信機器部品，ファスナー
	5082	5082	5083に近い強度をもち，成形性，耐食性がよい。	缶エンド
	5182	5182	5082に比べて，約5%強度が高く，その他の特性は5082と同等。	缶エンド
	5083	5083	溶接構造用合金。実用非熱処理合金の中で最も強度の高い耐食合金で溶接構造に適する。耐海水性，低温特性もよい。	船舶，車輌，低温用タンク，圧力容器
	5086	5086	5154より強度が高く，耐海水性の優れた非熱処理系溶接構造用合金。	船舶，圧力容器，磁気ディスク
	5N01	－	強度は3003と同等であるが，光輝処理後の陽極酸化処理で高い光輝性が得られる。成形性，耐食性も良好である。	台所用品，カメラ，装飾品，銘板
	5N02	－	リベット用合金。耐海水性良好。	リベット
Al－Mg－Si系	6061	6061	熱処理型の耐食性合金。T6処理によりかなり高い耐力値が得られるが，溶接継手強度が低くなるためボルト，リベット構造用に使用される。	船舶，車輌，陸上構造物
	6N01	－	中強度の押出用合金。6061と6063の中間の強度を有し，押出性，プレス抜入性とも優れ，複雑な形状の大型薄肉形材が得られる。耐食性，溶接性もよい。	車輌，陸上構造物，船舶
	6063	6063	代表的な押出用合金。6061より強度は低いが，押出性に優れ，複雑な断面形状の形材が得られ，耐食性，表面処理性も良好。	建築，ガードレール，高欄，車輌，家具，家電製品，装飾品
	6101	6101	高強度導電用材。55%IACS保証。	バスバー，電線
	6151	6151	特に鍛造加工性が優れ，耐食性，表面処理性もよく複雑な鍛造品に適する。	機械，自動車部品
	－	6262	耐食性快削合金。2011に比し耐食性，表面処理性が一段と優れ，6061と同等の強度を有する。	カメラ鏡胴，気化器部品，ブレーキ部品，ガス器具部品
Al－Zn－Mg系	7072	7072	電極電位が低く，防食的クラッド皮材として主用されるが，犠牲陽極作用を利用して熱交換器フィンにも適用される。	アルミニウム合金の合せ材の皮材，フィン
	7075	7075	アルミニウム合金中最高の強度を有する合金の一つであるが，耐食性は劣る。7072とのクラッドにより耐食性は改善されるがコストが高い。	航空機，スキーストック
	7050	7050	7075の焼入れ性を改善した合金で耐応力腐食割れ性に優れる。厚板，鍛造品に適している。	航空機，高速回転体
	7N01	－	溶接構造用合金。強度が高く，しかも溶接部の強度が常温放置により，母材強度に近いところまで回復する。耐食性もかなり良好。	車輌，その他の陸上構造物，航空機
	7003	7003	溶接構造用押出合金。7N01より強度は若干低いが，押出性がよく，薄肉の大型形材が得られる。その他の特性は7N01とほぼ同様。	車輌，オートバイリム



アルミの特長を活かす押出技術

(3) 押出加工の発展

19世紀終盤、Alexnder Dickは水平プレスを用いて、加熱した黄銅の押出法を開発した。押出加工は最も古くからある塑性加工の一種である。

欧米では、このプロセスをアルミ合金に応用し、1930年から1940年にかけて航空機用アルミ合金材が多量に生産された。その後Al-Mg-Si合金6061、6063が開発され量産化、品質向上が進んだ。

日本においても、戦前には1500～4000ﾄﾝ級の押出プレスで航空機用構造材を主体にアルミ押出材が多量に生産されてきた。

戦後、空白の時期を経て住宅サッシュ用合金（6063）の生産ブームに伴い、飛躍的に生産が増え、1970年代以降、アルミ産業の中核となっていった。

これまでの押出製造技術はアルミ合金の加工性の良さから、主に押出工場／現場での経験則が基礎となって確立してきたと云える。自動車分野では一層の軽量化指向の中で、最近、新たな傾向としてスペースフレームやバンパービームにアルミ合金を採用したコンセプトカーの発表や、実車の発売が行われるようになってきた。その中では曲げ加工や接合など二次加工の新技術の確立とともに、押出製造技術もこれまでの経験則の因子を解析し、生産性よく、高精度に押出制御技術の確立及び更に低コストな新押出法の開発が必要になってきている。

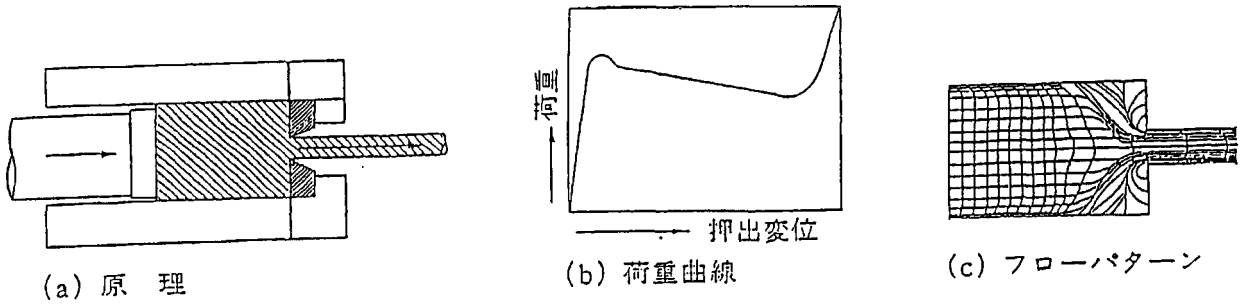


図３—３—２　直接押出法の原理とメタルフロー[2)]

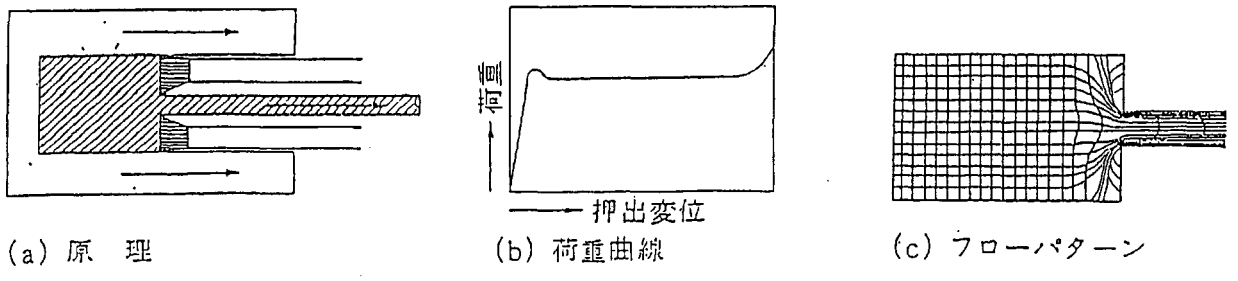


図3—3—3　間接押出の原理とメタルフロー

(4) 押出法の原理

アルミ押出法は所定の温度に加熱された被加工材、つまり、アルミビレットを円筒状の容器であるコンテナ内でラムにより加圧し、ダイス穴より押出す塑性加工である。ビレットには高い静水圧が作用して延伸が進み、内部の組織が押出方向に伸ばされる。図3—3—2及び図3—3—3に現在、主に利用されている押出法の原理の概略を示す。どちらのプレスを選択するかは製品の形状と使用する合金の種類で決まる。

現在では直接押出法が主流で、間接押出法は特別な目的をもった押出しに使用される。両者の根本的な違いはビレットがコンテナ内で移動するか否かであり、ビレットが移動する直接押出しではコンテナ内壁との摩擦抵抗が非常に大きくなる。そのため、押出しの加圧力に限界があるのでビレットの長さが制限される。

間接押出しでは摩擦抵抗が小さい分だけ、加圧力を押出変形仕事に有効に使えるので、長いビレットが使用出来ること、押出中の圧力変動が少ないので寸法精度が優れていることが特徴である。しかし、ダイスが移動する仕組みであるので、酸化したビレットの外皮が押出製品内に流れ込む現象が生じて、製品の表面性状を悪くするだけでなく、機械的性質を著しく低下させる。このため、間接押出法ではビレット外皮を除去（スカルピング）する工程が必要となる。

又、ダイス外径寸法がコンテナ内径より小さいため、押出材の断面形状や大きさに制限があるなどデメリットもある。

その他の直接押出しのメリットとしては次のような事がある。

①工具代が間接押出しに比べ安い

②アルミ材質交換が容易なので多種少量生産向き

③多本数押しが容易

一方、その他間接押出しのメリットとしては以下の点がある。

①低温押出しが可能なので微細な金属組織を得ることが出来る

②押粕を短く出来るので歩留が向上する

③特にアルミ硬質合金での押出速度の向上効果が大きい

表3—3—2に両押出法の比較を、表3—3—3に同生産性の比較を示す。また、図3—3—4に同押出中の圧力変化を、図3—3—5に押出し中の製品温度変化を、図3—3—6にに管押出しでの偏肉比較を示す。図3—3—7はビレットのホットスカルピングを示す。

表3—3—2　両押出法の比較

比較項目	間接押出法	直接押出法
押出力	小（50～70）	大（100）
最大外接円	50～70	100
断面寸法精度	良好	間接より劣る
結晶粒度	微細均一	粗大化しやすい
押出中の温度変化	小さい	大きい
押出速度	150～300	100
ビレット長さ	長い	短い
ビレット外皮	除去	除去せず

表3—3—3両押出法の生産性比較

比較項目	間接押出法	直接押出法
合金	6063	6063
ビレット外径	13インチ	9インチ
ビレット長さ	600 mm	600 mm
押出比	128	60
ビレット温度	490 ℃	510 ℃
コンテナ温度	500 ℃	450 ℃
押出速度	41 m/min	30 m/min
生産性	2200 kg/hr	1200 kg/hr

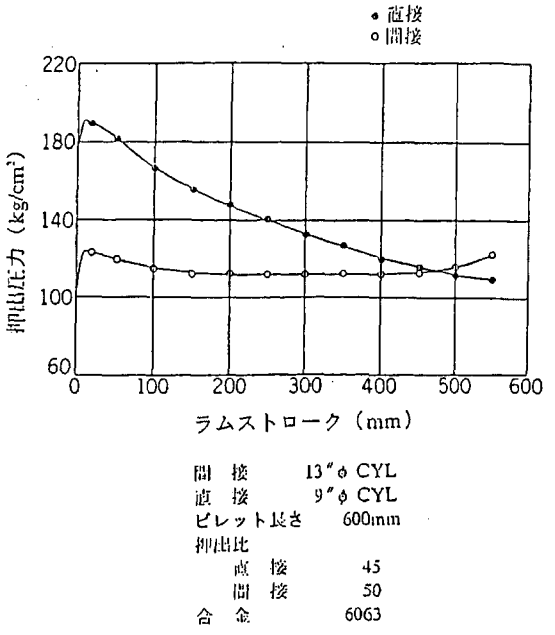


図３—３—４　押出し中の圧力変化

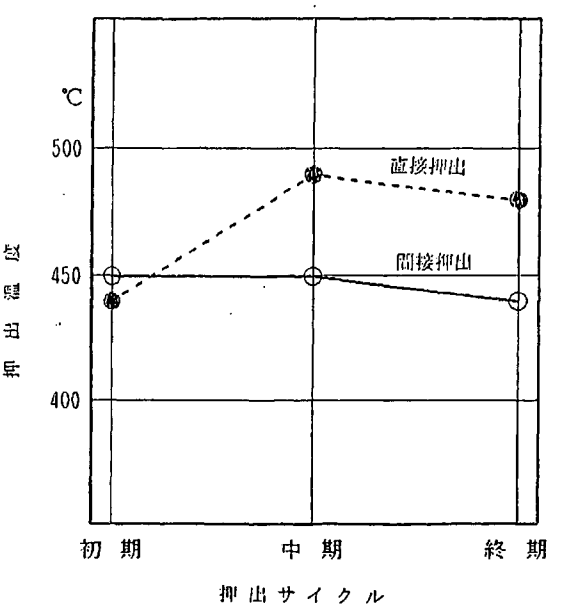
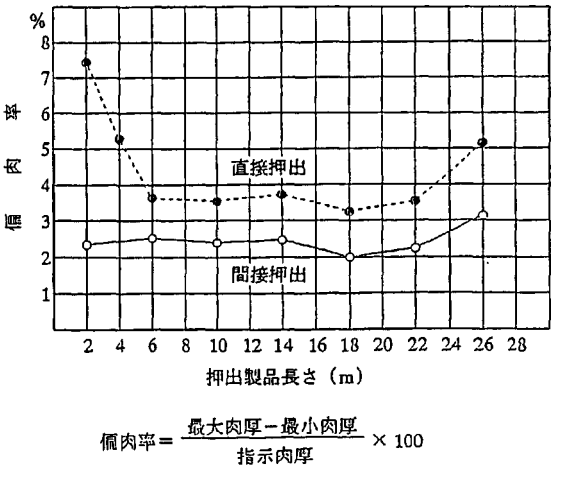


図３—３—５　押出し中の製品温度変化
（５０５６棒　押出比４５）



$$偏肉率 = \frac{最大肉厚 - 最小肉厚}{指示肉厚} \times 100$$

図３—３—６　６０６３管押出しの偏肉比較
（外形６０mm　肉厚５mm）

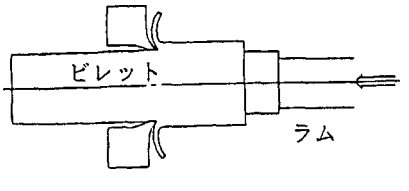


図３—３—７　ホットビレットスカルピング

（５）押出しの固有技術

アルミ合金押出技術の最大の特徴は要求される形状、寸法、表面性状を有するソリッド及びホロー形材を一回の加熱、押出加工工程で得られることである。

押出に関係する固有技術は、①ビレット製造技術、②押出プロセス、③ダイス設計技術④ダイス製作技術 、⑤後行程（矯正、熱処理）等である。

プレス設備、工具加熱設備、ビレット加熱設備も製品の出来、不出来に影響する。

押出技術の第一課題は高生産性である。特に建築用材料（住宅、ビル、内装品）や車両構造材等に使用されていて、アルミ押出材出荷量の80～90%を占める6000系押出合金の場合、この要望が大きい。今後、アルミ押出材の多用が期待されている自動車分野でも需要拡大上の大きな要因である。

押出生産性に最も寄与する因子は押出速度である。要求される形状、寸法に対して押出欠陥を生じることなく、又、機械的性質を損なうことなく、可能なかきり高速で押出で来る限界押出速度を一般的に押出性という。押出性への影響因子は更に下記がある。

- 押出性
  - ビレット製造技術
    - 1）成分
    - 2）鋳造組織
    - 3）インゴット熱処理
    - 4）メタル清浄度
  - ダイス設計と製作技術
    - 1）工具材質及び硬度
    - 2）ダイスタイプ
    - 3）ベアリングの形状、寸法
    - 4）ホローダイスのエントリーポート及びキャンバーの形状
    - 5）ダイズの表面処理
  - 押出プロセス
    - 1）ビレット加熱温度
    - 2）工具加熱温度
    - 3）押出条件制御
    - 4）プレス力量
    - 5）加水圧の分布
    - 6）ダイスの変形

限界押出速度である押出性は軟質合金ではダイスマーク及びピックアップ等の表面不具合の発生で決定し、高強度合金では押出圧力と割れ発生で決定される。

ビレットの断面積を押出形材断面積で割った押出比のパロメーターで見ると高合金になるほど高い押出比の押出が難しい。そのため、小型や薄肉の形材の場合は押出比を小さくするため、多穴化をダイス設計面で考慮しなければならない。

多穴化は押長ハンデーの発生や寸法精度の幅の拡大など別の課題を克服しなければならない。6063合金の押出性を100とした他の押出用合金の押出性指数を表２に示す。

表３—３—４ 押出用アルミ合金の押出性および代表的な機械的性質

合金	押出性の指数 6063=100	ホロー材押出可否	代表的な質別	機械的性質代表値		
				引張強さ N/mm²	耐力 N/mm²	伸び %
1100	150	可	H112	90	40	40
1200	140	可	H112、	98	43	35
2014	20	不可	T4	440	310	19
2017	20	不可	T4	430	290	20
2024	15	不可	T4	490	340	18
3003	110	可	H112	110	45	35
3203	110	可	H112	110	45	35
5052	60	不可	H112	200	100	25
5454	40	不可	H112	260	130	22
5083	20	不可	H112	300	155	20
6061	65	可	T6	320	280	13
6N01	75	可	T5	280	240	13
6063	100	可	T5	195	155	13
7003	50	可	T5	320	260	15
7N01	40	可	T5	350	300	15
7075	10	不可	T651	590	520	9

①ビレット製造技術

・ビレットの成分

我国の押出製品の大半はAl-Mg-Si系の合金が使われている。その内、6063は優れた押出性と適度な機械的性質を有し、ホローの形材が出来る代表的な押出合金である。

一方、銅、マグネシウム、亜鉛の多い高強度系合金は熱間変形抵抗値が大きいために、押出速度が遅く、製品肉厚も軟質合金に比べて厚い範囲しか押出す事が出来ない。又、ホロー型材の製造が一般に困難である。不純物成分のクロム、マンガン、鉄等の元素は微量でも押出性を阻害する方向に働く。

・鋳造組織

金属組織を細かく均一にするため鍛塊組織の微細化処理がおこなわれる。微細化剤としてはAl－Ti－B合金が使用されている。

・インゴット熱処理

鋳造されたままの状態では凝固に伴う不均一性が残存している。インゴット内が均一でないと押出性を低下させたり、最終製品の機械的性質や表面処理時に悪影響を与える。このため、高温にインゴットを保持して、合金成分や組織の均質化や過飽和に固溶した成分の析出を図る均質化処理が行われる。その後の冷却速度は押出性に影響する。平均押出速度はインゴットの冷却速度が低いほど向上するが押出材の強度が低下するので、通常、200～500℃／hの範囲に制御する必要がある。

・メタル清浄度

アルミ溶湯に混入している酸化物等介在物及び添加元素以外の不要不純物は一般に押出性を低下させる。より有効的な溶湯処理設備及び技術確立が望まれる。

② ダイス設計及び製造技術

・押出用工具

ダイスは押出製品の形状を決めるものであり、形材の表面性状も左右する。押出性の面でも最も大切な工具である。

ダイスの材質は通常、熱間工具鋼が使われ、表面処理として窒化処理等を施す。

ダイスの寿命はベアリング面の摩耗により、製品寸法公差が維持できなくなるまでである。押出速度が早くなるに連れてベアリング面の摩耗が早くなり耐摩耗対策が必要となる。より硬質な工具として高速度鋼や超鋼合金の利用が研究されている。

表面処理による工具寿命改善策として、PVD又はCVDによる各種硬質窒化物や炭化物皮膜の実用も考えられるが、母材との密着性が問題であり，それが改良がされればダイスへの適用も考えられるため、新たな表面硬化処理の開発実用が望まれる。

・工具設計

【ダイスの種類】

アルミ形材は中空部を持たないソリッド形材と中空部を有するホロー形材及び、ソリット形材であるが開口部が小さいセミソローに区分できる（図3—3—8）。

ソリット形材とホロー形材では図3—3—9のようにダイス形状が異なっている。

ホローダイスの形状としてポートホールタイプとブリッジタイプ及びポートホールタイプの変形であるスパイダータイプが実用されている（図3—3—10）。

いずれも一度分断されたメタルを高温度と高圧力下にダイスチャンバー内で圧着させるものである。

【ダイスの設計】

最近ではダイス設計の系統的整理が進んで来て、CAD化、CAM化が実施されている。押出材の形状，寸法、表面性状は押出機により又押出条件により変動するため、ダイス修正を行う経験者が必要となる。ダイス設計者と押出作業者とダイス修正者が常に情報交換してデータを整理しておく必要がある。

ダイス設計者は形状及び寸法の安定と表面性状の維持のためメタルフローを制御しなければならない。次のようなディメンジョンを決めて具現化する。

(i) 形材寸法に対する収縮代の算出
(ii) 寸法許容量の決定
(iii) 表面性状を考えたダイスベアリング長さ、形状の決定
(iv) ダイス種類の決定、ダイス孔数や配置の決定
(V) ホローダイスの場合は、ボート面積、形状、深さ、配置の決定

・ダイス製作

現在は下記工程で製作している。

(i) CADデータのCAMプログラムへの変換（NC化）
(ii) マシニングデータでの加工
(iii) ワイヤーカット加工
(iv) その他（熱処理，表面処理など）

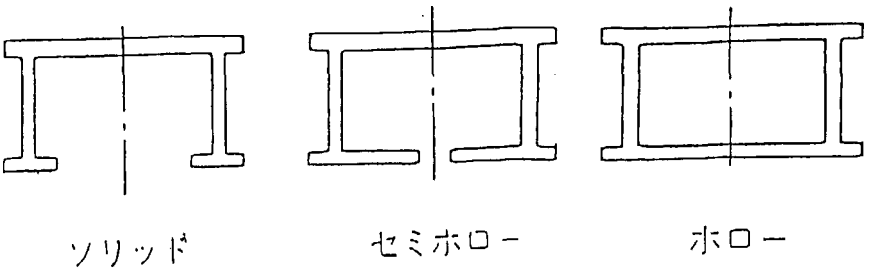


図3—3—8　押出形材の分類

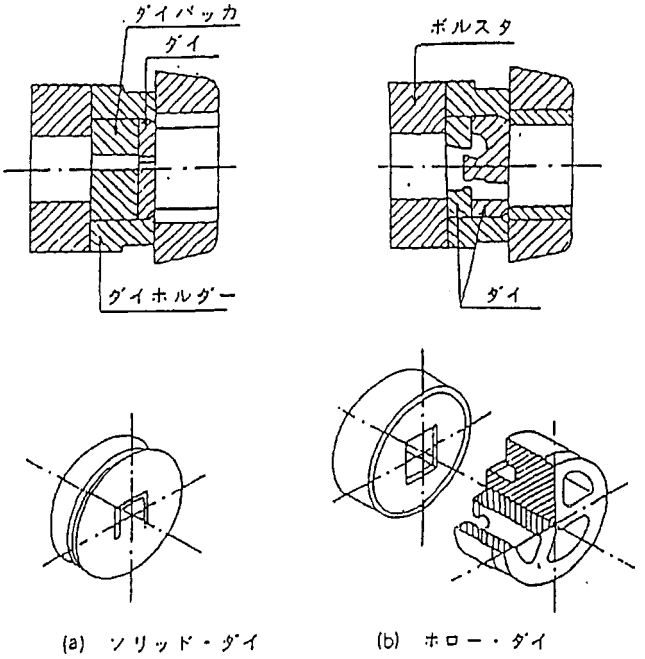


図3—3—9　押出ダイスの構造

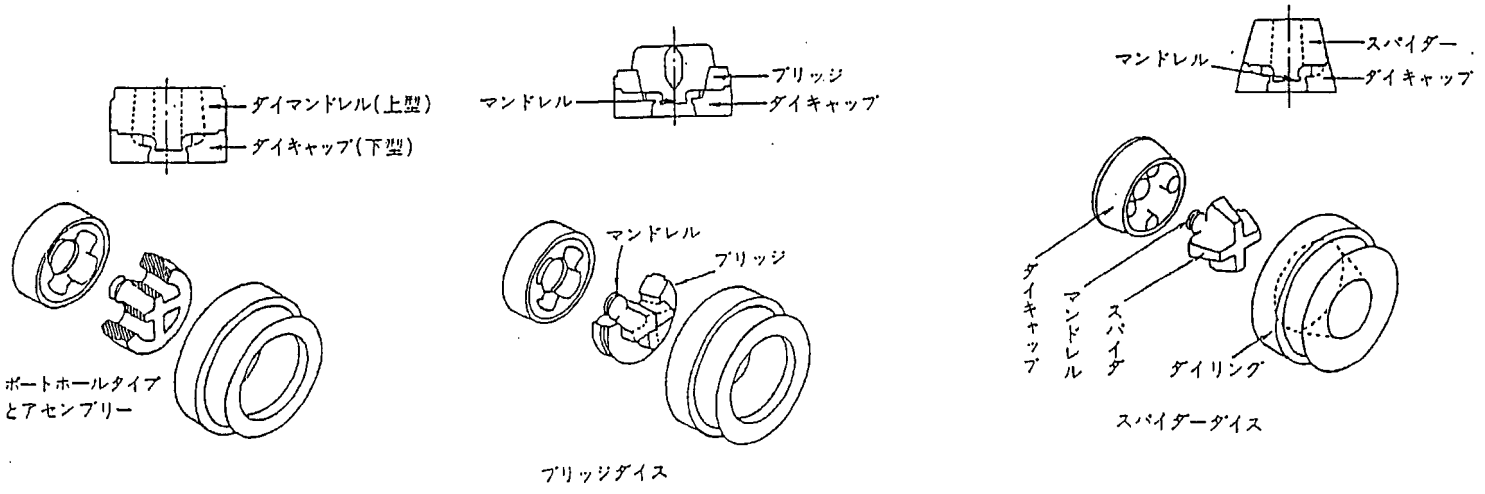


図3—3—10　色々なホローダイスの例

しかしCADデータは二次元表現のプログラムであり、ダイスの複雑な形状を表示していないためダイス製作毎にメタルフロー部の形状にばらつきがある。さらなる精密ダイスを製作するためには三次元設計及び加工ソフトの開発が必要となる

③ 押出プロセス

・ビレット加熱温度制御

アルミ合金押出ビレット温度は450～500℃が一般的であるが、変形によって生ずる熱及び摩擦熱が加わってダイス出口ではアルミ合金の融点近くまで上昇する。
工具温度を一定にするためには押出速度を徐々に遅くする方法とビレット温度を予め押出はじめ側は高く、押出終り側は低く加熱しておくテーパーヒート方法がある。

・押出速度制御

押出中の圧力変化に影響されることなくラムの動きを検出して、押出速度を一定に制御する必要がある。プラーの引張力の効果も考慮する必要がある。長手方向の材料特性を均質化し寸法精度を安定化するため、押出温度／速度の制御技術確立が今後必要となろう。

・押出用ダイスの強制的冷却制御

ダイスに接触する側のバッカー面に溝を設け、液体状態の窒素を流してダイスを冷却するシステムが一般的である。図3—3—11に液体窒素注入冷却法の例を示す。
不活性雰囲気になることにより、焼付き等の表面欠陥の発生が抑制出来、押出速度が上げることができる。

(6) 特異な押出法

①コンフォーム押出法

現在、実用化されている唯一の連続押出法である。（図3—3—12）
一般の熱間押出が所定の長さにインゴットを切断してビレットを作り、押出しているのに対して、線を素材として、ホイールの回転で生ずる摩擦力によって押出を行う方法を連続して続目のないコイル状の押出製品が出来る。
構造上、素材サイズに限界があるため、小型形材しか製造できない。このため小型の熱交換機用形材及び特殊な電線の製造等応用範囲が限られている。応用技術に粉末押しの研究も盛んに行われている。又、クラッド材の押出の開発にも利用されている。

②精密押出法

エレクトロニクス及び電気機器の分野で小型薄肉材、さらに高精密な形材が要求されている。一般にJIS特殊級の半分以下ができる。
精密押出形材の製造方法も一般の押出方法と同様のプロセスであるので加工中の温度変化や工具の変形などが押出精度に影響を及ぼし易く、これが相互に影響しあって課題の解決の進展を困難にしている。

精密押出性に関する因子も一般押出と同じであるが、より管理された押出工具形状及び押出プロセスが要求される

・ 間接押出法の選択
・ 等温押出を得るためのビレット温度分布管理、強制ダイス冷却方法、押出温度管理管理のより厳密な実施が必要となる。

③可変断面押出（異断面押出し）法

押出サイクルの途中で押出材の巾寸法や肉厚を自由に変化させる技術の開発がなされている。

図3—3—13のごとく複数のダイスを使用して、押出の途中でダイスの穴形状を変化させて、押出材の巾寸法及び肉厚を異にするダイスの変換に同調した押出圧のコントロールにより、ダイスにかかる圧力を均一にすることが成功のポイントである。

構造材に生ずる応力部分が長手方向の断面どこでも一定であるので、自動車はじめ建設用構造材として関連開発が期待される。

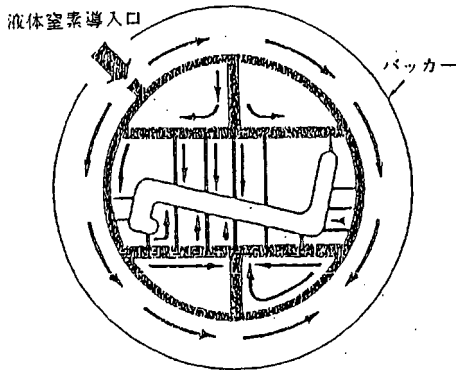


図3—3—11　液体窒素注入冷却法の例

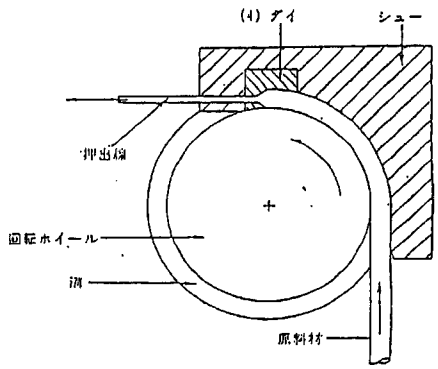


図3—3—12　コンフォーム押出法の原理

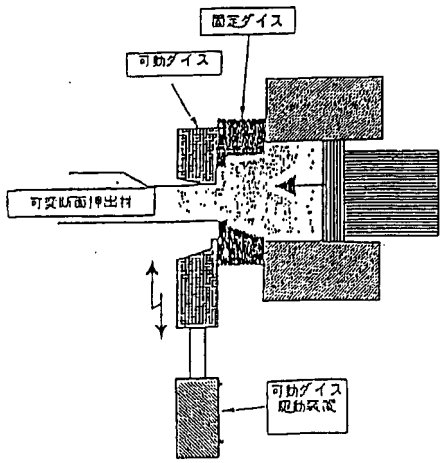


図３—３—１３　可変断面押出技術の原理

④静水圧押出法

一般の押出法は素材であるビレットとダイス間は無潤滑であるが、粘塑性圧媒を介して高速押出を行う静水圧押出法が実操業化されている。（図3—3—14）

高力アルミ合金など押出速度が極端に遅いアルミ合金製品の押出し加工に有効であると思われる。ダイス形状の複雑化、粘塑性圧媒の取り扱いの省力化、システム化の未完成で特殊な合金及び形状に使用されるにとどまっているが、複合押出及び難押出材などへの応用等が今後期待される。図3—3—15に静水圧押出法の特徴要因図を示す。

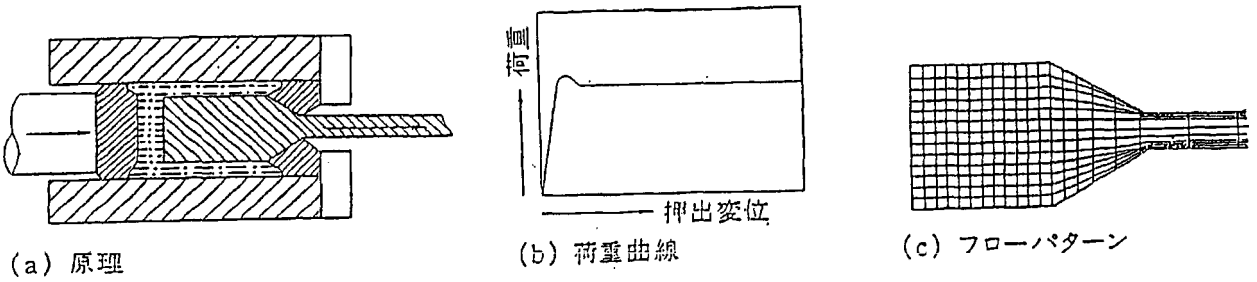


図３—３—１４　静水圧押出法の原理とメタルフロー[2)]

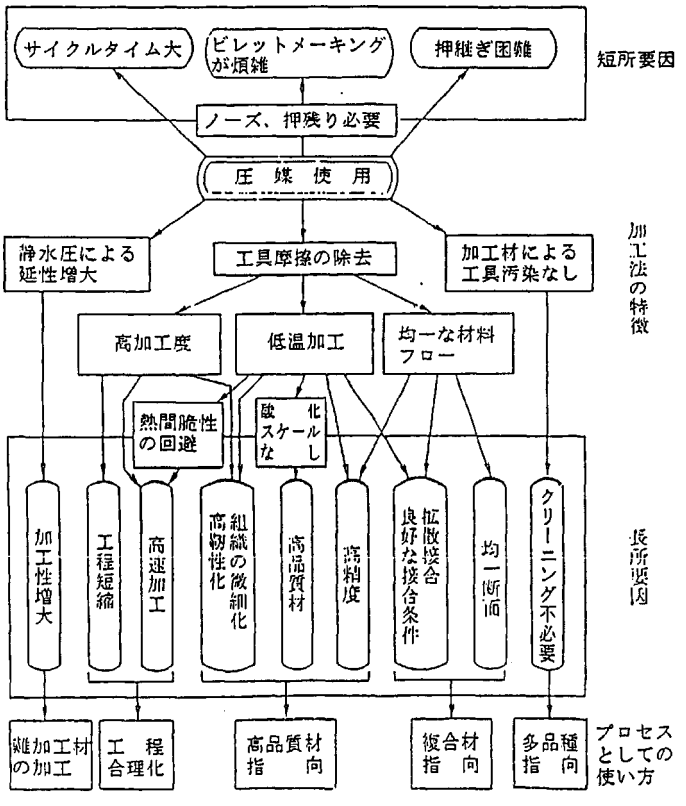


図３—３—１５　静水圧押出法の特徴要因マップ

⑤その他の押出法

その他、特殊な押出法が各々の市場ニーズを受けて研究開発されている。

・溶融、半溶融押出法
・粉末押出法
・スクラップ押出法
・繊維強化材の押出法
・複合材押出法

(7) 押出機の技術動向

押出機本体にも押出加工の高生産性及び製品精密化への工夫が様々行われている。

①負荷時の寸法精度の向上

荷重をかけた時の機械の寸法精度向上のため、各種の工夫がされている。その一例としてエンドプラテン間の撓みを小さくするため、間隔管を組込み、コラムに引張力を負荷して強固に締結したプリコンマンタイプが使用されている。これによってダイス変形が少なくなり、長手方向の寸法精度向上に寄与している。

②パソコンPLCの使用による最適条件制御での押出制御

パソコンPLCを使用した、最適押出条件の蓄積データーを基に各押出条件を制御して効率のよい押出を行っている。

制御範囲をプレス、ビルトヒーター、プラーからダイヒーターを含んだダイハンドリグ設備、後面設備、積み込み装置と拡大が図られ押出設備全体に渡ったFAシステム化へと進んでいる。

③アイドル時間の短縮

1) エンコーダーを使用したきめ細やかな位置制御、効率的なポンプ使用などアイドル時間の短縮がはかられている。
2) 製品の多種小ロット化により、ダイス交換の頻度が多くなって来ている。ダイス交換の迅速化が重要な課題である。

   一例として、ダイカセットが押出位置と待機位置の両ポジションにあり、次に使用されるダイスは事前に使用時刻を予測して装着し、交換時間の短縮をはかる工夫がされている。

(8) 押出加工、押出材のリサイクル対応状況

戦後に建築されたビルや家屋の建替えが進展する中で、押出材需要の大半を占めるサッシュ（6063合金）の回収、再利用が要急となっている。80年代初めに、サッシュなどスクラップを再溶解する事なく、直接に加圧ケークとなし、これを押出プレスで押出加工する、スクラップ押出が研究されたが、酸化物など品質面課題が障壁となり、技術研究は中断のまま推移している。

一般に自動車の寿命は建築物よりも短い。最近の軽量化指向の中で、アルミ合金展伸材の多用が期待されており、そのためにも押出材屑、または若干の不純物が混入した押出材屑を再び展伸材にリサイクル、再利用する方策が必要となっている。
アルミ押出技術の現状を俯瞰してきたが、リサイクル材を対象とした新しい押出工程の技術萌芽はまだ見られない。ただ、表3—3—5 の例のような（リサイクル押出材）としてのスクラップ活用や不純物を含む時の成分のあり方に関する検討や提案は散見され始めており、今後このような改善や実証的な開発が個々のケースの中で増大していく事が望ましい。表3—3—5はリサイクル対応押出材の出願数例を示す。

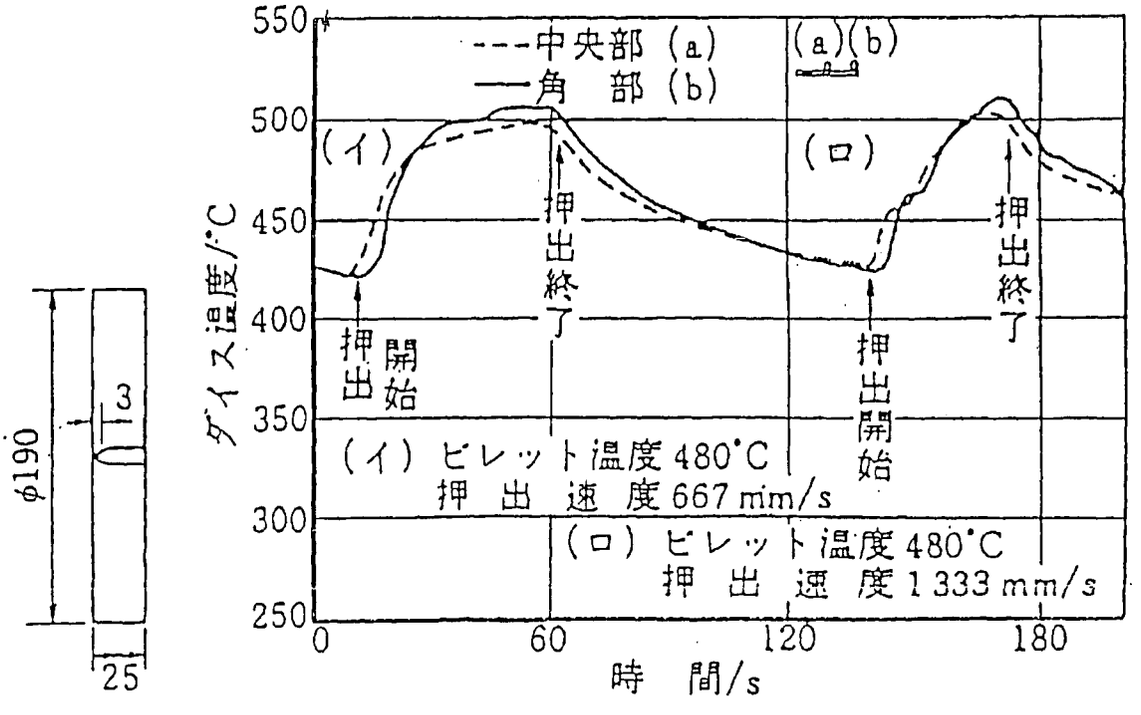


図３—３—１６　アルミ合金押出し中のダイス温度変化

表 3—3—5　アルミ合金スクラップを活用する押出し材製法の特許出願例

名称（番号）	概　要
展伸材用アルミニウム合金の製造法とこれにより得られるアルミ合金材 （特開平 11－293632）	【目的】 アルミ合金鋳物回収屑を再生して、展伸材に適用可能なアルミ合金を得る方法を提供する（自動車部材，二輪車など)。 【構成】 アルミニウム合金鋳物屑にアルミ合金展伸材屑または地金を加えて、溶解して不純物を希釈し，溶解希釈アルミニウム合金としてのアルミ合金溶湯に対して，同一容器内で冷却と圧搾を行って固相を回収するバッチ式α固溶体分離処理を行い，その後必要に応じて成分調整を行う。アルミニウム合金鋳物屑の 50%以上が自動車用アルミニウム合金鋳物屑である事が望ましい。
自動車構造部材用アルミニウム合金押出し材とその製造法 （特開平 8－225874）	【目的】 アルミ製自動車熱交換器の加工屑を原料とし，押出し材としてリサイクル使用することにより，低コストで再びアルミ合金押出し材を製造する。 【構成】 アルミニウム合金製自動車熱交換器を製造する際に発生する加工屑として，重量でＳｉ0．5／2．5%，Ｆｅ0．2／1．0%，Ｚｎ0．45／1．5%，Ｍｇ0．1／1．0%，Ｃｕ0．05／1．0%，Ｍｎ0．4／1．5%を含有し，残部がアルミニウムからなる組成のアルミニウム合金屑を溶融・鋳造する。この鋳塊を 420—580℃に 2—24 時間加熱して均質化した後，420—550℃に再加熱し，中空形状のダイスで熱間押出加工し，その直後水冷による焼き入れ，或はファン空冷による焼き入れを施した後，100—200℃の温度で 2—24 時間の人工時効処理を施す。薄肉及び複雑断面形状を有する自動車構造部材用の押出性，強度，成形性及び表面処理性の優れたアルミニウム合金押出し材が得られる。
押出用アルミニウム合金及びその製造法 （特開平 11－61312）	【目的】 Ｓｉ，Ｆｅ，Ｃｕ，Ｍｎ，Ｍｇ，Ｃｒ，Ｚｎ，Ｔｉ，及びＡｌからなる組成で，晶出物の寸法，個数を特定することにより，押出し性，機械的性質，耐食性，二次加工性に優れたアルミ合金を安価に得る。 【構成】 Ｓｉ0．50%以下，Ｍｎ1．5%以下，Ｍｇ2．0／8．0%，Ｃｒ0．35 以下，Ｚｎ0．50%以下，Ｔｉ0．20%，残部Ａｌ及び不可避的不純物からなるスクラップなどのＡｌリサイクル材を，溶解，鋳造，均熱処理を順次行ってビレットを得る。鋳造時にＮａ，Ｓｒ，Ｓｂ，Ｃａ，Ｔｅ，Ｂａ，Ｌｉ，Ｋ，Ｂｉ，Ｐ，Ａｓまたは　Ｓｅを 0．005／0．3%添加する。これによりビレットの長手方向に並行で幅方向に垂直な断面で見られる最大径 40μ以上の晶出物の個数を 200 個／㎜↑2 以下で，且つ最大径／最小径比が 5．0 以上の結晶出物の個数を 100 個／㎜↑2 以下とする。

(9) 押出加工の今後の課題

住宅及びビル用サッシュ用開発を主力として発展して来たアルミ押出材の次の期待分野は乗用車分野である。特にスペースフレーム構造などの乗用車においては、曲げや接合等の技術開発と共に押出形材に期待されているニーズは(1)低価格、(2)薄肉化、(3)形材寸法精度の向上、(4)長手方向の形状の安定化及び機械的な性質の均一性等がある。
これらのニーズをクリアするための押出加工の課題は次の通りである。

① 押出ダイスの三次元自動設計ソフトの開発

現在のダイス設計のCAD、CAMは二次元の金型設計であり、三次元のメタルフローの諸元を指針して金型製作の高度化や情報化、均質化を行うことが必要である。

② 精密押出のための等温等速押出制御技術の開発

熱間加工では寸法形状や強度を均一に制御する事が難しい特性がある。加工発熱の影響を受けてダイス温度や押出材温度が変動する（図3—3—16）。
金型出口での押出材の温度を押出初めから終りまで一定にするプロセス改善が必要である。そのためにはビレット温度分布の適正化、金型の温度分布制御、押出速度の制御等が必要条件である。押出直後の材料の温度を押出条件に迅速にフィードバックするシステムの開発、精度向上が必要となる。

③ 高速押出のための高耐磨耗工具鋼材及び表面硬化処理方法の開発

一般の押出法はダイス面を素材が直接接触しながら移動するためダイス面の性状で 押出性が決まり、寸法公差の範囲も決定される。高硬度で高剛性の安価なダイス用材料などの開発が必要である。

④ 特殊押出法の一般化技術の開発

コンフォーム押出法及び精密押出法、可変断面押出法及び静水圧押出法は現在個々に押出技術が確立し特殊な製品分野で応用されている。用途開拓により量産技術としての確立か必要である。

⑤ その他の押出法の技術確立

半溶融押出法、粉末押出法、スクラップ押出法、繊維強化押出法等については、将来、研究段階から実用化に向けた技術確立が望まれる。

⑥ 押出関連設備の仕様

プラーの以降、画期的な新設備開発の開発はないが、1) 加圧時のプラテンの撓み防止の工夫、2) 工具の適性温度保持機構、3) 最適急冷システムの確立など押出形材の精密化、均質化に寄与する設備、システムの地道な開発改善が今後とも必要である。

自動車での押出し材等アルミ多様化を促進するには、スクラップを使った成分の検討や溶解、溶湯処理技術とともにリサイクルし易い合金の検討や新しい押出技術の開発改善が必要であり，個々のケースを通して確実に進展させるべきである。

4　成形加工技術と今後の課題

4—1　板 成 形

(1) アルミ合金材の成形特性

自動車用アルミ合金板の材料特性の例を表 4—1—1 に成形限界曲線の例を図 4—1—1 に、ハット曲げ加工におけるスプリングバック量の一例を図 4—1—2 に示す。

鋼板と較べ、深絞り性（LDR)、伸びフランジ加工性（限界穴広げ率)、張り出し加工性（エリクセン値)、曲げ加工性（限界曲げ半径）などすべてに劣っている。

表 4—1—1　主な自動車用アルミニウム合金の材料特性 [1)]

材　料	引張強さ，σ_B (N/mm²)	耐力，$\sigma_{0.2}$ (N/mm²)	伸び，δ (%)	n値	r値	エリクセン値	LDR	限界曲げ半　径	限界穴拡げ率 (%)
5052	206	98	23	0.26	0.66	9.6	2.08	0 t	46
5182	284	137	28	0.30	0.79	9.6	2.11	0.5t	39
G4B	294	147	30	0.28	0.68	9.8	2.11	0.5t	—
GZ45	300	150	30	0.29	0.68	—	—	—	48
KS5030	284	137	30	0.30	0.70	9.8	2.11	0.5t	—
GC45	270	140	30	0.30	0.67	—	—	—	50
TG19	267	127	31	0.32	0.71	10.0	2.09	0.5t	—
TG25	274	117	35	0.36	0.73	10.3	2.09	0.5t	—
6009	230	125	25	0.23	0.70	9.6	2.06	0.5t	—
6010	290	170	24	0.22	0.70	9.4	2.08	1.0t	—
6111	290	159	28	—	—	8.4	—	—	—
6016	235	127	28	0.26	0.70	—	—	—	—
KS6183	284	157	30	0.23	—	9.6	2.06	0.5t	—
TM17	220	122	30	0.27	0.56	9.9	2.03	0.5t	—
TM02	251	126	30	0.29	0.64	9.9	2.05	0.5t	—
2036	340	195	24	0.23	0.75	9.5	2.08	1.0t	—
AU2G	276	179	27	0.25	0.59	9.4	—	—	—
2038	324	172	25	0.26	0.75	—	—	—	
2008	248	124	28	—	—	—	—	—	—
CV15	320	160	25	0.25	0.70	—	—	—	—
SPCC	314	176	42	0.23	1.39	11.9	2.25	0 t	165

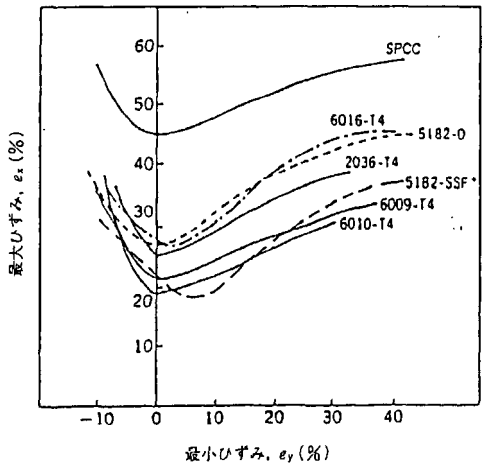


図 4—1—1 成形限界曲線図 [2)]

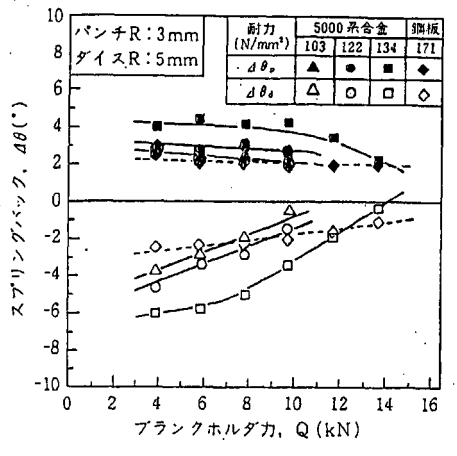


図 4—1—2 ハット曲げにおけるスプリングバック [3)]

更にアルミ合金は鋼より弾性係数が小さいことから形状凍結性も劣り、スプリングバックも発生し易い。
この様に軟鋼板と較べ成形能に劣る材料の使いこなすためプレス技術面から様々な検討がなされてきた。型設計時での成型品の形状の緩和、ブランクの形状、局部伸びの回避、絞りビードの最適化による材料流入の適正化等である。
また、プレス成形時の潤滑剤も大きな要因であり、適切に使用すれば深絞り性、張り出し加工性が向上がはかられるので検討が進められた。(表 4—1—2)

表 4—1—2　成形性に及ぼす潤滑剤の影響

潤滑剤		成形性		脱脂性
種類	粘度	エリクセン値	LDR	
防錆油	16 cSt	8.8	1.98	○
樹脂皮膜	—	9.3	2.08	○
		9.6	2.12	○
プレス油	20 cSt	9.5	2.02	○
	94 cSt	9.5	2.08	△
	373 cSt	9.8	2.02	×
WAX	—	9.9	2.06	△
塩ビフィルム	—	10.1	2.13	○

* 供試材　Al-4.5Mg-0.3Cu

潤滑剤をプリコートしたアルミ合金材も開発されて、図 4—1—3 は断面の構造図である。

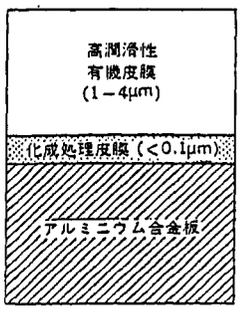


図 4—1—3　プレコート潤滑処理アルミニウム構成例 [4]

これらの成果として軟鋼板と較べ難成形であるアルミ合金板が車体の各部に適用されている。(図 4—1—4)

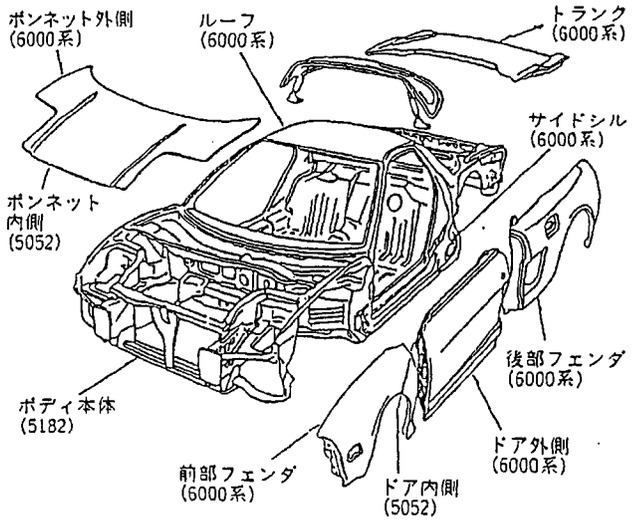


図 4—1—4　ボディ各部に使用されたアルミ合金の種類 [5]

(2) 特殊成形法

アルミ合金材の特性を生かした成形法が研究開発されいくつかが自動車部品の成形生産ラインで活用されている。

①超塑性加工

超塑性板材の成形にはブロー成形と呼ばれるガス圧による張り出し成形が適用されている。

図 4—1—5 にその方法を示す。

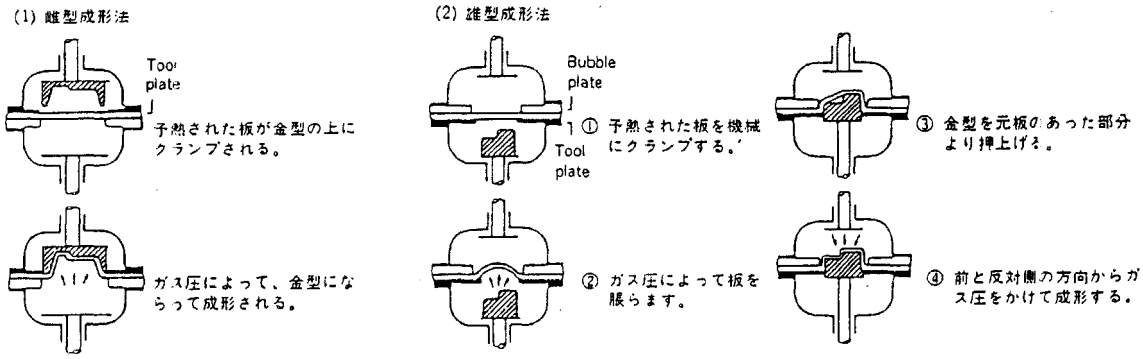


図 4—1—5　超塑性板材の成形方法[6)]

成形品の一例としてタイヤ収納ケースがある。(写真 4—1—1)

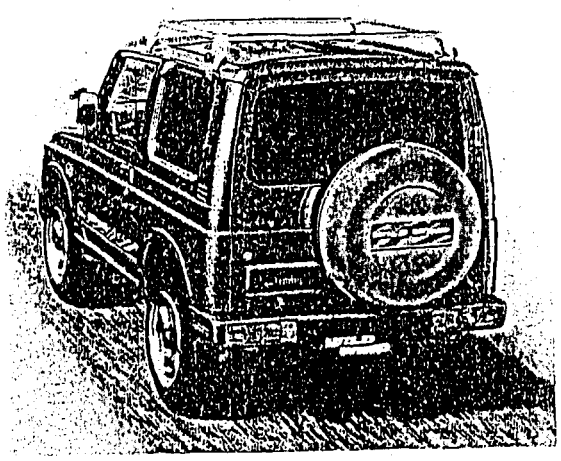


写真 4—1—1　5083SPF アルミニウム合金製のタイヤ収納ケース[7)]

③ 対向液圧成形

工程図を図 4—1—9 に示す。

この工法では限界絞り比が向上するため（図 4—1—10）自動車車体のフード、フェンダーの加工に実用化されている。加工速度がおそく、生産性は低いが、設備投資が低く抑えられることもあり、少量多品種の生産車に適用されている。（図 4—1—11）

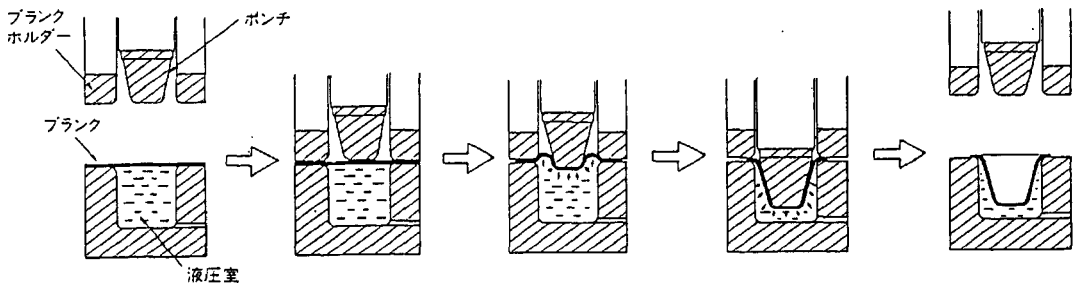


図 4—1—9　対向液圧成形の加工工程 [11]

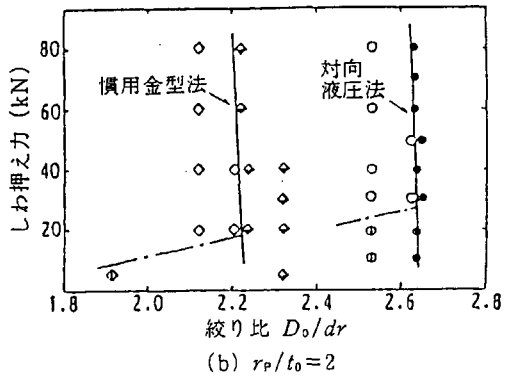


図 4—1—10　5182－O 材の成形状態図（円筒深絞り）の例 [12]

図 4—1—11 は、鋼板の適用例である。
アルミ材の適用も広がると思われる。

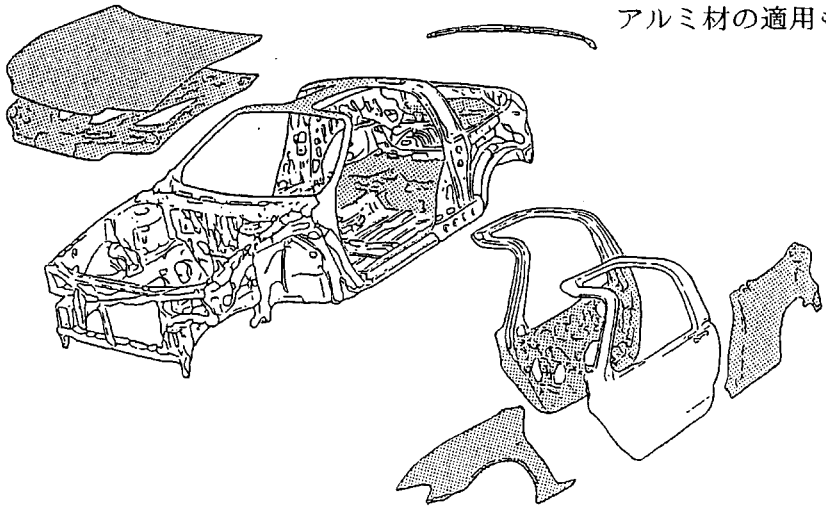


図 4—1—11　対向液圧成形採用製品 [13]

⑤ 振動付加加工法

潤滑性に劣る無洗浄油を塗布したアルミ合金材（A5052P-0 材）でパンチ、ダイへ振動を付加する液圧加工では限界絞り比が向上する。[16)]

振動により摩擦界面の潤滑状態が改善される結果と考えられている。

アルミ合金材の成形性を高める工法の一つだと思われるが、振動を付加する特別な装置が必要である。

(3) まとめ

① 一般的に軟鋼板に比し、成形性能のやや劣るアルミ合金板をプレス型設計での工夫、新しい工夫の研究開発により自動車体分野で使用されている。

エ法としては、しわ押え圧制御成形が今後活用されることを期待したい。

② 鋼板分野では熱延鋼板の集合組織と圧延条件の研究から過去予想もしなかった高$\bar{r}$値の熱延鋼板が製造されている。[17)]

従来、アルミ合金材の成形性付与には合金設計面から出発した傾向した感があり、金属学の基本である集合組織からの、特性改善に向けたアプローチも今後必要であろうと思われる。既に検討も進められているとの報告[18)]もあり、今後の進展に期待したい。

参考文献

1) 阿部佑二、吉田正勝、野口　修、松尾　守、小松原俊雄：塑性と加工，33 (1992), 365.
2) P. M. B. Rodringues : Sheet Metal Ind., (Sept, 1980)
3) 野口　修、阿部佑二：第 84 回軽金属学会春季大会講演概要，(1993), 307.
4) 伊藤秀男、竹島義雄：住友軽金属技報 vol35, (Oct. 1994)
5) 日本塑性加工学会：第 57 回塑性加工講演会資料集，(1991), 59.
6) G. B. Brook : Sheet Metal Industries, 58 (1981), 887.
7) Y. Onishi : “Products Development of Superplastic 5083 Alloy ALNOVI-1”, Materials Science Forum, Vols. 304-306 (1999), pp, 819-824.
8) 奥中啓之、横山　鎮、木村静雄：軽金属 49 (1998.8)
9) 日刊工業新聞：2000 年 2 月 17 日付
10) 阿部佑二、吉田正勝、田形　勉、松尾　守、川並　高雄：軽金属 50 (2000.1)
11) 中村和彦：プレス技術，25－9 (1987), 36
12) 中村、阿部：第 2 回塑性加工連合講演会論文集，(1991), 797
13) 金子、菅又：プレス技術，25－9 (1987)，36
14) 真鍋、西村、浜野：塑性と加工，29 (1988), 740
15) 菱田、氏原、古林、広瀬、小嶋：平成 2 年度塑性加工春季講演会論文集，(1990), 49
16) 片岡征二：軽金属：48 (1998.2)
17) 上力、松岡才二、坂田　敬、古君　修：塑性と加工，40, 467 (1999－12)
18) 左海哲夫、斉藤好弘：塑性と加工、vol.40、no 467 (1999－12) , p1161

4—2　曲げ加工

（1）曲げ加工の特徴と現状

パイプ関係を除けば、アルミ押出材の曲げ加工製品はサッシュやエクステリヤを中心とした建材分野や都市景観材などで主に使用されて来た。

自動車分野では圧倒的に鋳物が多く、モール、バンパー等限られた部品に曲げ加工した押出形材が使用されてきたに過ぎない。押出し材の曲げ加工技術は、従って世界的にも新しい技術領域なのである。自動車分野は 21 世紀に向って大幅な燃費向上が必要であると云われる。最近の欧州からの傾向として、コンパクトカーの需要拡大でアルミ押出形材が注目され始めた。日本においても先の第 33 回東京モーターショーに見られたように、スペーススペースフレームなどアルミフレーム構造のコンセプト車や実用車にみられるようになってきた。

アルミ押出機の特長はその複雑な形状が長手方向に均一に得られることである。ロール曲げ及びプレス曲げした板材を溶接して中空形状を作るよりも安価に構造部材を作ることが出来る。

一般に、フロントサブフレームなど自動車のフレーム類には曲げ加工技術や長手方向に幾つかの異なる断面が必要となる。

棒及び管などの単純な断面形状材の曲げ加工に比し、アルミ押出形材の曲げ加工技術については断面形状及び応力関係が個々に違うので、経験則が参考にしかならない。実験やシミュレーションによる科学的な理論に裏打ちされたデータベースの蓄積があまり進んでいないのが実情である。

この加工では材料の肉厚形状を変化させずに目標の曲げ形状精度を出すことが重要で、均一で曲げ易い素材開発や曲げ加工方法、装置工具などの開発が今後の課題である。

また、純粋な曲げ加工とはならないが、自動車分野では最近、鋼管やアルミ合金管などを使った、液圧方式の二次元、三次元加工方法（チューブフォーミングやハイドロフォーミング）が開発、実用化されている。自動車部品のアルミ化の中で、アルミ合金関係部材への適用も研究機関や個別企業で検討され、実用化が進むとみられる。

三次元曲げ加工やハイドロフォーミングなどが新しい車体構造の可能性を引き出す技術として注目されている。

表 4—2—1　押出し形材の機械的性質

	.n 値	F 値(MPa)	伸び（%）	耐力(MPa)	引張強さ（MPa）
A 6 0 6 1 -0	0．2 8	2 3 6	2 2．5	5 1．3	9 5
A 6 0 6 1 -T 6	0．0 8	3 8 7	1 2．5	2 4 7	2 4 7
A 6 0 6 3 -0	0．2 4	1 9 0	2 5．2	4 1．2	9 2
A 6 0 6 3 -T 5	0．0 8	3 8 7	1 2．8	1 7 6	2 0 8

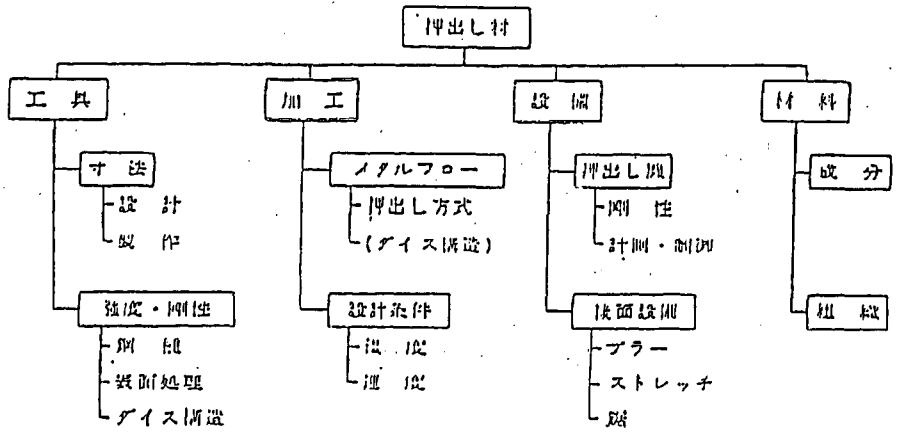


図 4—2—1　押出し形材精度にかかわる因子

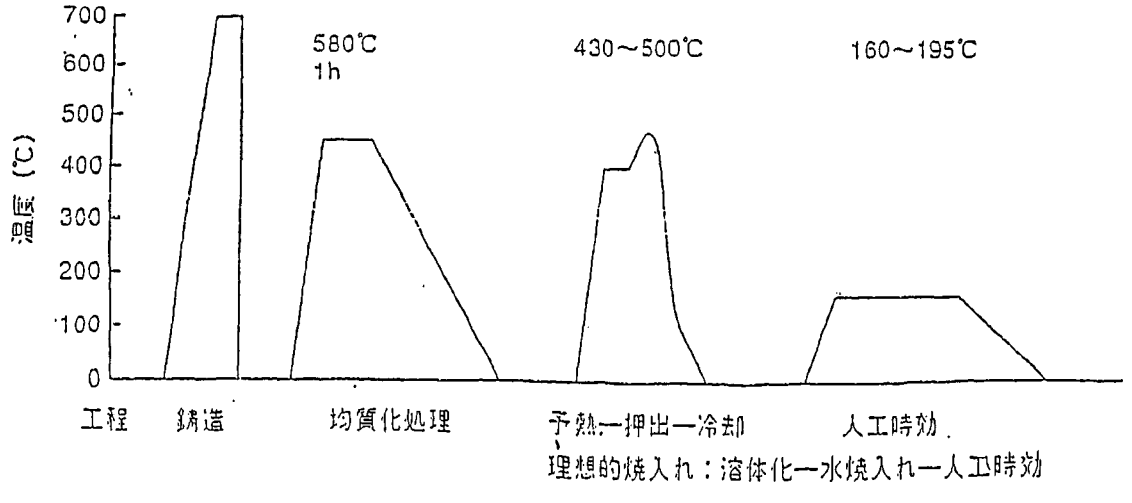


図 4—2—2　6000 系合金の押出製造工程 ＜各要素工程の熱的変化＞

（2）曲げ加工用アルミ合金形材

① アルミニウム押出形材は、建材、エクステリア、車両製品に多用されて来た形材の二次加工である曲げ加工のニーズは高くなかった。

形状及び肉厚の異なる形材の曲げ加工はその都度工夫をこらして対応して来たのが実情である。しかし建材、輸送分野でニーズが高まり特に乗用車でスペースフレーム車が話題になるようになると、アルミ形材の曲げ加工の課題の解決なくして今後の発展はのぞめない状況になつて来た。

② 曲げ加工用形材の機械的性質

表 4—2—1 に主に使用される曲げ加工用 6000 系アルミニウム合金の機械的性質を示す。

③ 曲げ加工に於いて要求される素材の特性と課題

・ 押出素材の寸法精度の向上

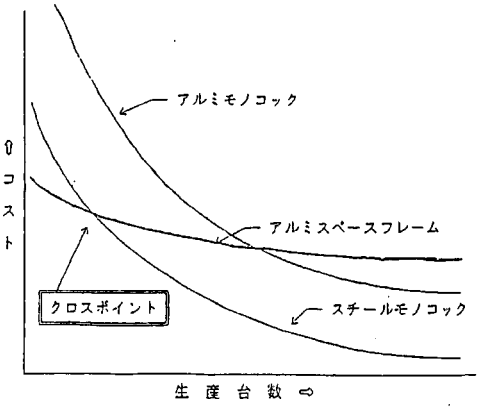
図 4—2—1 に押出形材精度にかかわる押出加工因子を示す。この内特に重要な因子は工具製作精度及びダイス出口温度であり、開発すべき課題は、押出工程での品質作りの上から、ダイスので三次元自動設計ソフトの開発であり、及び等温等速押出し制御技術の開発である。

・ 押出素材の機械的性質の安定化

6000 系合金の機械的性質は主要成分である Mg を Si によって生成する Mg_2Si 化合物の存在状態に依存していることが知られている。この存在状態を制御し、スプリングバック値にも影響する安定した耐力値を得るためには、合金成分と各工程の熱処理条件を最適に制御する必要がある。6063 系合金の押出製造工程の各熱処理パターンを 図 4—2—2 に示す。

この構造は板金部品の点数を減らし、プレス加工の比率を下げ、金型コストをはじめとするツーリングコストを低減することが狙いで、軽量でかつ生産台数によってはコストダウンとなる有力な手段として有望視されている。アルミメーカーではアルコアとハイドロアルミが同構造の開発で進んでいる。

図 は、アルミスペースフレーム車のコスト上の優位性を模式図的に示したものであり、同車は生産台数が少量の時にコスト優位性が出てくると言われている。[1] しかし、同車は従来の製造設備が使えるモノコック構造と異なり、新規設備が必要となるので、図中のクロスポイントは車メーカーの事情によりかなり異なってくると思われる。



参考図　　アルミスペースフレーム車のコストイメージ

(3) 主な曲げ加工法とその特徴

① 曲げ加工法の種類

現在使用されているアルミ押出形材の曲げ加工法とその概略を表4—2—3に示す。また、各曲げ加工の特徴のの総括表を表4—2—2に示す。

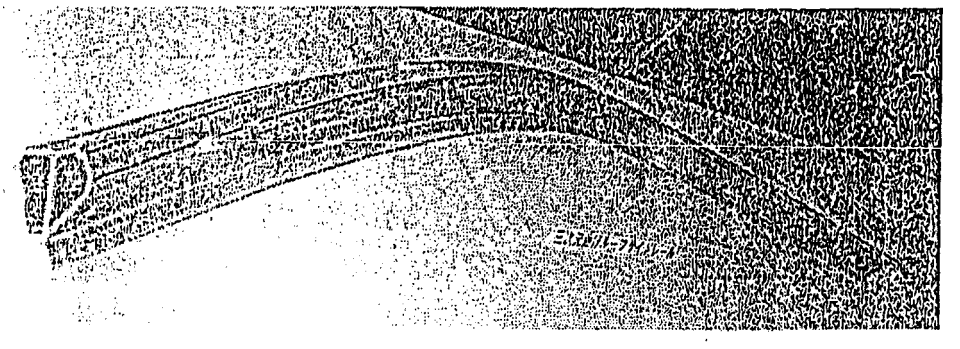
② 引き曲げ加工

図4—2—4に引き曲げ加工の機構を示す。管及び形材の曲げ加工で最も多く用いられる二次元曲げ加工法である。この方法では形材の中空部に鋼製のマンドレルを入れる。形材に曲げロールの中心を軸に回転させることにより形材が曲げられるものである。

形材には曲げモーメントの他、引張力が作用する。曲げ変形がされる範囲において回転曲げ型、圧力型、マンドレルで拘束され自由変形が生じる場所が狭いので曲げ内側に座屈が生じ難く断面変形、しわの発生がし難い方法でもある。

③ 圧縮曲げ

図4—2—5に圧縮曲げ加工の機構を示す。この方法は管の曲げ加工に通常用いられる二次元加工法である形材を固定曲げ型と締め付型でクランプして回転押出し型によって形材を固定曲げ型のまわりに押しつけて曲げ於こうとする方法である。この方法は金型の構造が比較的簡単であるため、手動のタイプもあり、小さな形材が安価で曲げ加工できる。短所は変形やしわが発生しやすく曲げ半径をあまり小さくできないことである。



参考図　三次元曲げ成形されたルーフサイドレール

図４—２—３　アルミ押出材の曲げ加工方法

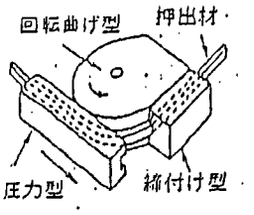
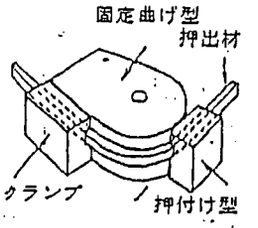
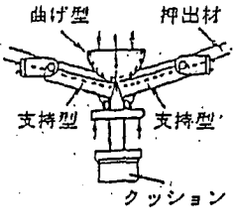
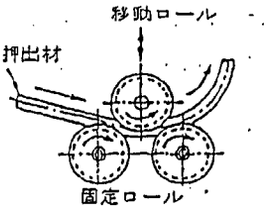
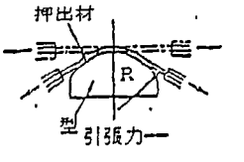
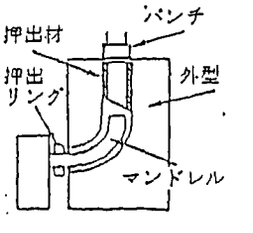
曲げ加工方法	概　　略	
引き曲げ (draw bending)	曲げとして一般的に用いられている方法であり、クランプ型によって押出材を曲げ型に固定し、曲げ型を回転させ、曲げ型と移動押え型との間で曲げ形状を得る。	
圧縮曲げ (compression bending)	押し付け曲げともいい、固定された曲げ型に押出材をクランプ型で固定し、軸方向に引張り力を加えながら曲げ型に沿って曲げることにより、曲げ形状を得る。	
プレス曲げ (press bending)	押出材を１個または２個の支持型の上に載せ、その中心を油圧ラムで押し付けて所要曲げ半径および角度をえる。	
ロール曲げ (roll bending)	２～４個のロールを駆動させ、そのロール間に押出材を通して曲げ形状を得る。	
引張り曲げ (stretch forming)	押出材の両端のクランプして軸方向に引張りを加えながら曲げ型に沿って曲げることにより、曲げ形状を得る。	
押し通し曲げ (free curve bending)	曲がりを有する貫通穴型の中へ押し通して曲げる方法で、押出材の場合は固定・可動型から成り、固定型を支点として可動型で曲げることにより、自由曲線曲げ形状を得る。	

表４—２—２　曲げ加工方法による特徴

加工方法	加工	曲げ加工性				コスト(設備/金型/生産性)	特徴		
		しわ	凹み	割れ	精度		大量	少量	曲げ半径
ドロー	2次元	△	△	△	△	△		○	<500mm
コンプレッション	2次元	▲	△	○	▲	△		○	<500mm
プレス	2(3)次元	▲	△	△	▲	○	○		>300mm
ロール	2次元	▲	△	○	▲	○	○	○	>800mm
ストレッチ	3次元	○	▲	▲	○	▲	○		>500mm
押通し曲げ	3次元	△	○	○	△	○	○	○	>最小

優← ○>△>▲ →劣

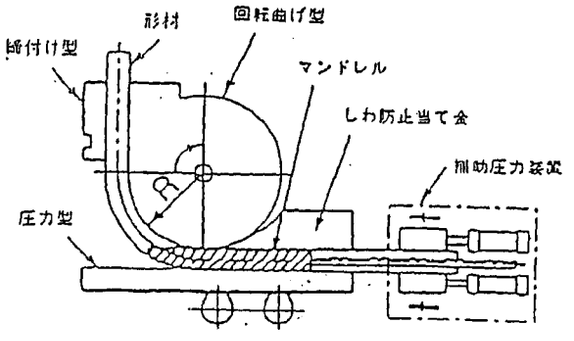


図４—２—４　回転引き曲げ方法

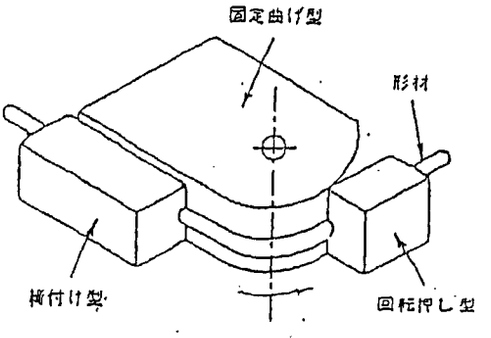


図４—２—５　圧縮曲げ方法

④ プレス曲げ

図 4—2—6 にプレス曲げ加工の機構を示す。3 点曲げ方式の加工方法である。一対のダイの中央部をパンチを押し込んで開ける方法である。普通金型を汎用プレスに取り付けて加工を行う。曲げ半径を変えるにはパンチ R 形材をかえるだけでよく自由度が大きい。

短所は曲げモーメントが作用し、金型の拘束がほとんどないので変形としわが発生しやすいことである。

これらの欠点を改善するために図 4—2—7 のように 4 点曲げすることも提案されている。

⑤ ロール曲げ

図 4—2—8 にロール曲げの機構を示す。ロール曲げは半径の変化に対応した段取が容易である。また、曲げ工具費が安いが曲げ半径が大きな製品しか適用できない。中空形材の曲げ加工では割れの発生はし難いが変形及びしわが発生しやすい短所所がある。この欠点を補うためマンドレル押込機構を用いたり図 4—2—9 のように拘束面積を拡大した工夫をしたりしている。

⑥ ストレッチャー曲げ

ストレッチャー曲げは形材の両端に張力をかけながら曲げ形に巻きつけていく方である。この方法では型が雄型のみでよいので形材の外周部に傷がつきにくい長所がある。張力を加えることによりスプリングバックを制御することができて、しわの抑止にも有効である。図 4—2—10 にストレッチャー曲げの曲げ機構を示す。

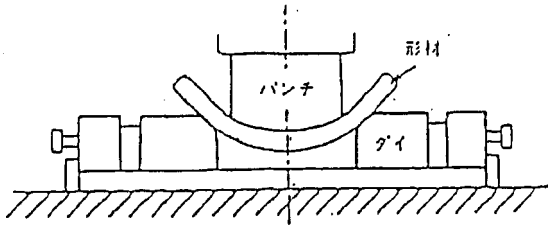


図 4—2—6　プレス曲げ方法

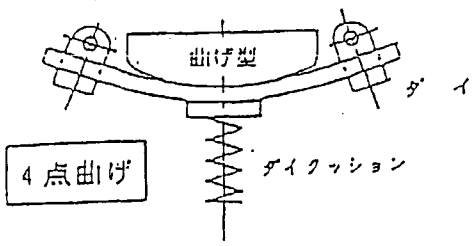


図 4—2—7 プレス曲げ加工の改良

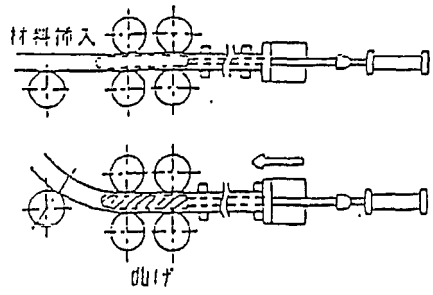
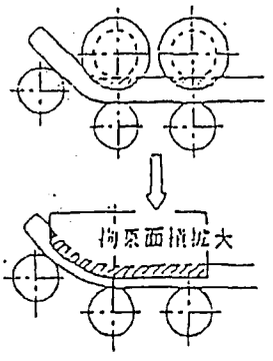
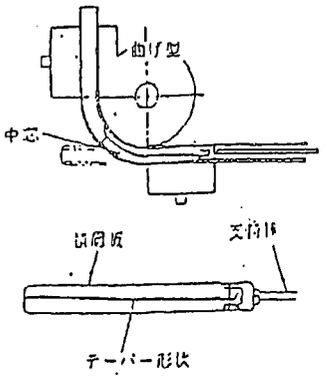


図 4—2—8　ピンチロール曲げのマンドレルおよび押込み機構



曲げ型の改良



潰れ防止用マンドレル

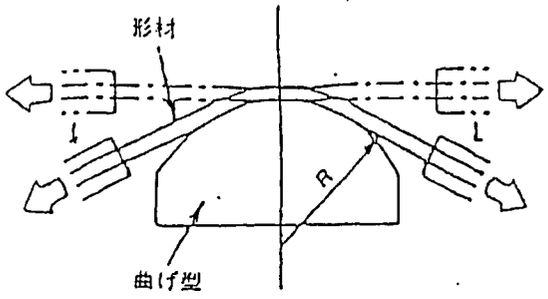


図４—２—１０引張曲げ方法

図４—２—９　拘束面積拡大などの工夫

短所としては拘束される部分が小さいので変形しやすい。
引張り曲げ加工の新機構として圧延引張り曲げ加工がある。その機構を図 4—2—11 に示す。形材に予備張力を与え、曲げ金型と加圧ローラーの間に挟み込み加圧ローラーで曲げ金型を押し付け、曲げ金型で加圧ローラーを回転移動させながら曲げ加工を行うものである。三次元加工が可能である。

⑦ 押し通し曲げ

図 4—2—12 に押し通し曲げの機構を示す。可動金型と固定金型の２つの金型を有し、相対的に変異させた、２つの金型に型材を押し通し曲げ加工を行うものである。加工形状は曲げ加工時に金型同左を行うことを特徴とすることから自由曲線形状の曲げ形状を得意としている。また、高い生産能力を有することから自動車分野で使用されることが多い。

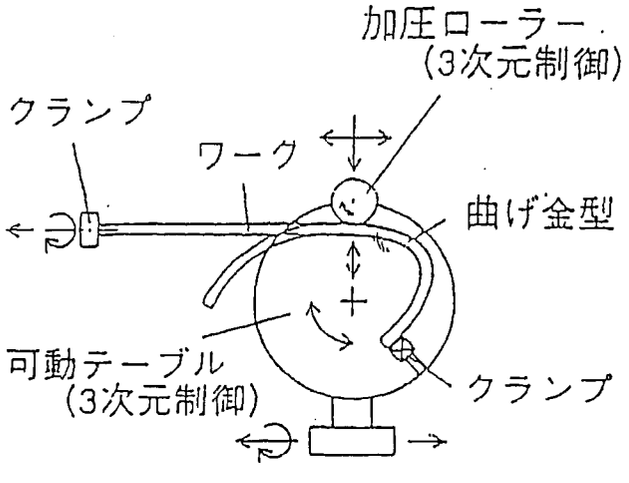
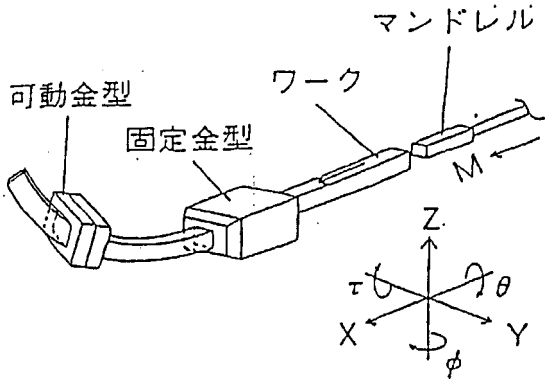


図４—２—１１　圧延引張り曲げの加工原理

図４—２—１２　マルチベンダーの加工原理



(4) 曲げ加工の中子の要求特性と種類

曲げ加工の不良現象の一つとして断面変形がある。

これを防止する目的で種々の中子が使用されている。

中子に要求されるニーズは次の通りである。

① 曲げ加工前後の取入れ、取りはずしが容易であること。

② 曲げ加工中には変形を阻止する剛性を持つこと。

③ 曲げ動作に対して柔軟に対応すると。

現在使用されている中子の材質を表 4—2—3 示す。

表４—２—３　各種中子（マンドレル）の材料

中子（マンドレル）
- 剛　体　性 ···· 鉄、真ちゅう等（プラグタイプ、可動タイプ）
- 弾　性　耐 ···· MCナイロン、ウレタンゴム、塩ビ（板、棒）等
- 粒・気体 ···· 砂、スチールボール、水、油等
- 塑　性　体 ···· 低融点合金、鉛、氷等

(5) ハイドロフォーミング成形技術を利用した曲げ加工

自動車分野でもフォーミング技術は利用が活発化しており、コンピューターによる数値解析技術の進歩も相俟って、形成時の変形挙動の予測などが可能になっている。

燃料向上や環境保全対応を進めるために、新しい機能や品質を持つ部品やコンポーネント、その製造技術の開発が推進されているが、供給素材としてのフォーミング品に対する要求も厳しくなってきている。ハイドロフォーミングは所定の長さの管材を金型内に挿入した後、内圧と軸力を作用させて膨らませ、又は金型で抑え込み、金型に充満させて所要の形状、寸法を持つ製品を得る加工方法である。

例えば、図 4—2—13 に示すように素管を上型で潰しながら型内に押し込んだ後、ノズルで液体を流し、軸押ししながら拡管する方式もある。自動車部材の加工に応用され始めた新技術で各所で技術開発が行われている。

従来、板成形品を組合せて溶接するか、中実素材を鍛造することで得られていた製品を、素材である管材から一体成形することにより、工数の削減、溶接の排除、重量の低減、高強度・高剛性化などを実現し、自動車の軽量化、燃費の向上などに資するというものである。同フォーミング用の素管には従って、厳しい変形が起きるために、素管品質には色々な特性が要求される。例えば、良好な加工性、二次加工での高変形能、肉厚の均一性、真円度などである。これらが数値解析技術を裏打ちして、初めて自動車用のフォーミング部品ができる。

同フォーミングは同一部材の断面形状を自由に成形・変更でき、部品の一体化が可能である。

曲げ加工の観点からみると、断面座屈、スプリングバックの矯正寸法特性の確保といった点では従来の曲げ加工方法に比べ有効な方法である。

三次元曲げに対しては直管をそのまま使用できる。三次元曲げ製品の場合は三次元の方向に従来の方法で曲げ加工を行うプリフォーム加工を行い、生産性の向上をはかることも行われている。本加工法は応用が始まったばかりの技術である。

自動車部品などを中心に今後の技術発展が期待されている。

図 4—2—14 では欧州の実ラインで稼働するハイドロフォーミング装置の例を示す。

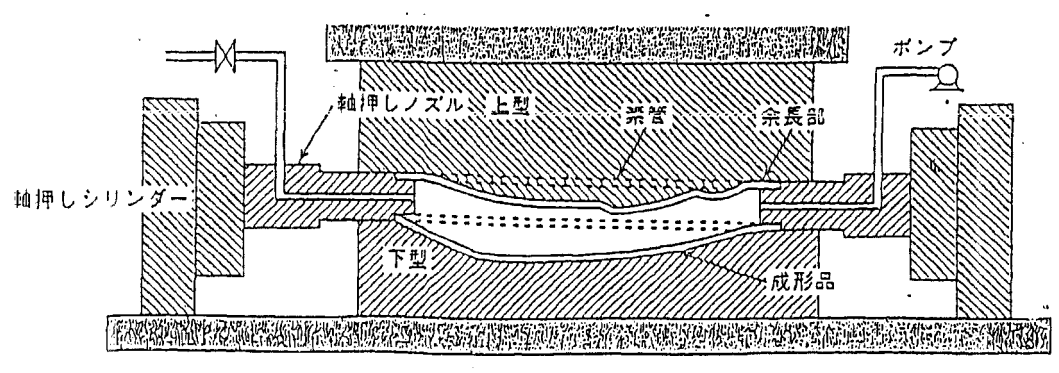


図 4—2—13　ハイドロフォーミング型構造

型技術 00 年 2 月
Vol.15 No.2

(6) 曲げ加工の課題

形材の曲げ加工は主として建材、輸送機分野で利用されて来た。しかし押出形材の形状の複雑さ、多用さのために必要の都度、予備実験を繰り返し、製品化して来たのが現実である。世界的にも新しい技術領域であるが、住宅ビル用サッシュのデザインの多様化、自動車材の拡大、特にスペースフレーム車などの実用化に向けた期待を背景に、曲げ加工のデータベースの蓄積が必要となってきた。

今後、材料メーカー、ユーザー及び関係研究機関などの連係で系統的研究が推進され、曲げ加工によって発生する表面割れ、坐屈不良、ウェブやフランジの割れなどへの対策が検討されることが望ましい。また、倒れ込みなど不良現象の解析や一層の生産性向上に向けた自動化技術の確立が必要であろう。

以下に今後の課題を揚げる。

① 曲げ加工に適した材料特性の把握と実現

押出形材の最適機械的性質の把握に安定生産技術の確立、押出形材の断面形状精度、寸法公差の向上するための技術の確立

② 曲げ剛性を低下させない、加工性に優れた断面形状の設計指針の検討

③ 既存曲げ加工圧での形状安定化（形状冷結）技術及び量産技術化

- 最適曲げ条件のデータベースの蓄積と公開
- 効果的な形状拘束治具の検討や不良現象解決のための工夫の体系化
- 中子の材質形状や潤滑油等の研究

④ 新規な需要、車体構造などを誘発する新しい曲げ加工技術の開発

- ハイドロフォーミング成形技術の確立

4—3　接　合

自動車車体の組立加工で適用されている各種の接合方法にの概要、適用例、今後の課題などは以下のとおりである。

(1) 抵抗スポット溶接

①この溶接方法の概略は（図 4—3—1）に示す通りで重ね合わせた材料の板圧方向に電極で加圧、通電し母材の抵抗熱によって点状に溶接する。モノコック構造の車体の接合に広く採用されている。

本方法では加圧力、溶接電流、通電時間及び電極の材質・形状等がポイントとなる。

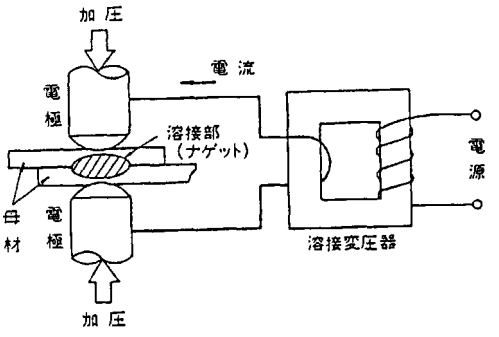


図 4—3—1　スポット溶接の概略 [1)]

鋼板に比べアルミニウム合金材は熱・電気伝導度が高いので、大電流を短時間に通電することが必要である。２倍の加圧力で３倍の溶接電流を要し、連続打点数も亜鉛めっき合金化鋼板と比べ１／１０と言われている。

溶接機も大型となるが、直流インバータ式溶接機の開発、アルミニウム合金材の表面性状の改良等により適用が広がりつつある。図 4—3—2 にその適用例を示す。

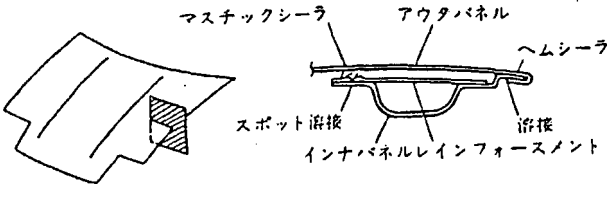


図 4—3—2　自動車ボンネットの断面構造と溶接部 [2)]

その他フロアーまわりの接合、構造材の接合にも適用されている。

② 抵抗スポット溶接の応用例としてクラッド材インサートによるアルミと鋼異材接合法がある。[3)]

アルミと鋼とのクラッド材を接合面面に介し抵抗スポット溶接すると、異材溶接が可となる。試作車であるが、トラックキャブの外板をアルミ化し鋼製部材に接合した事例がある。５年間の実用テスト結果では，接合部に電食や継手強度の低下は認められず、耐久性に問題ないと報告されている。

図 4—3—3 のようにアルミ製部材に鋼製の部品（ドアビーム）ボルト、ナットを接

合する場合にも有効である。
逆に鋼製のドアにアルミ製ドアビームと取付る際にも適用できる。本工法の問題点としては
・クラッド材のインサート工程が必要
・接合部にクラッド材の板厚分の段差が生じるなどである。

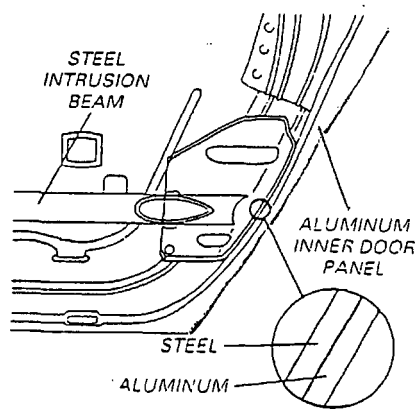
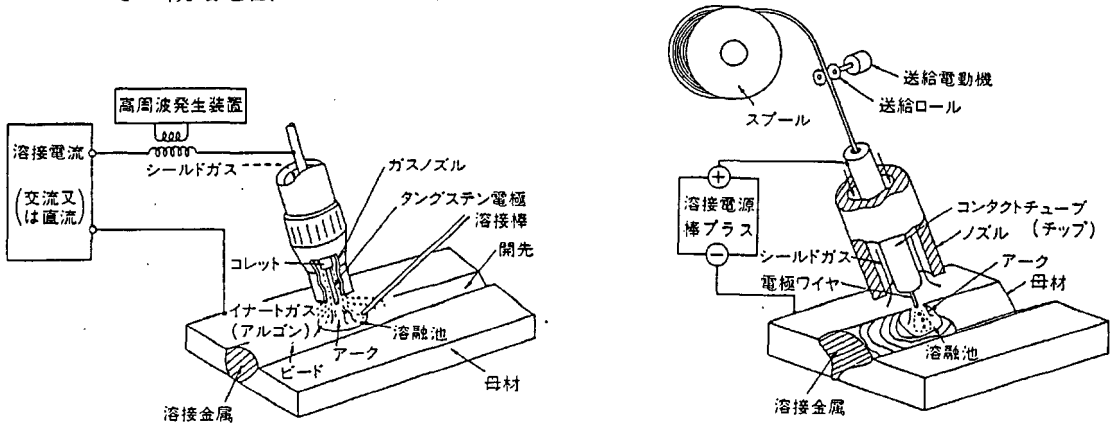


図 4—3—3 アルミ製ドアと鋼製ドアビームをクラッド材をインサートして接合した例 [4)]

(2) イナートガスアーク溶接

① イナートガスシールド中で電極と母材間に放電されたアークを熱源として溶接する方法で、アルミ合金では交流、又直流逆極性（DCEP）の下で母材の酸化皮膜の除去と溶融金属の酸化防止を行う。
本方法は船舶、鉄道車輌その他種々の分野で実績があり、信頼性の高い工法である。

・TIG 溶接（Tungsten Inert GAS Arc Welding）と
・MIG 溶接（Metal Inert GAS Arc Welding）とがある。
その概略を図 4—3—4 に示す。



TIG 溶接　　MIG 溶接

図 4—3—4　イナートガスアーク溶接の概略 [5)]

④ 其の他アーク溶接

・プラズママーク溶接（図 4—3—7）

ノズルの拘束によって集中した高温のアーク熱源を利用する溶接で、厚板の完全溶込み、開発加工不要の溶接ができる。アルミ合金ではインバータを用いた溶接電源によって実用化された。

比較的大型構造物の施工に適用されている。

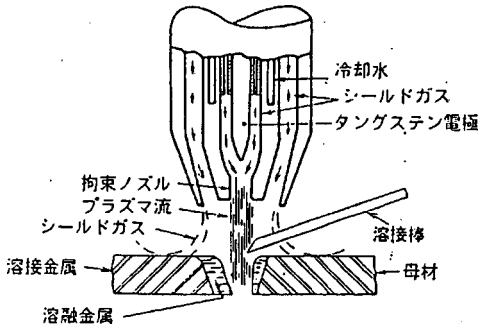


図 4—3—7　プラズマアーク溶接 [11]

・スタッド溶接

母材にボルト、ねじ、ピン等の部材を溶接によって植え付けるもので、スタッド（植込み部材）を直接電極にし母材との間でアークを発生させ加圧し溶接する。溶接部の強度は母材とほぼ同様である。

（図 4—3—8）（表 4—3—1）

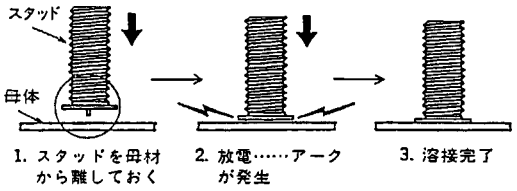


図 4—3—8　スタッド溶接の概略 [12]

表 4—3—1　スタッド溶接部の強度 [12]

（母材：GZ145－T4、板厚 2mm）

スタッド 寸法	スタッド 材質	破壊トルク(1) (N·cm)	破壊荷重(2)(N), (N/mm²)
M3	1050	49～ 69 (29)	872～ 892 〔124〕
	5056	98～118 (108)	1860～1890 〔265〕
M4	1050	88～ 98 (74)	1270～1450 〔108〕
	5056	216～245 (245)	3070～3100 〔245〕
M5	1050	98～118 (147)	1320～1490 〔 69〕*
	5056	490～ 539 (480)	3990～4390 〔206〕*

注(1)　充電電圧：60～95V，スタッドと母材間距離：4～5mm

(2)　( ) 内は計算値

(3)　〔 〕内は破壊強さ。＊印は溶接部破断，その他はスタッド部破断

(3) レーザ溶接

① レーザはレーザ媒質を励起してその媒質から放出される光を光共振器で共振幅し半透鏡で取り出したものである。

溶接に使用されるレーザは高出力が必要なため現状では炭酸ガスレーザ（レーザ媒質：炭酸ガス）と YAG レーザ媒質：YAG（イットリウム・アルミニウム・ガーネット）結晶体に保持された Nd（ネオジウム）である。

表 4—3—2 に炭酸ガスと図 4—3—10 に溶接の装置の概要を示す。

表 4—3—2 YAG レーザと炭酸ガスレーザの比較

項　　目	YAG レーザ	炭酸ガスレーザ
波　　長（μm） 発振効率　（%） 出　　力（kW）	1.06 2～4 低　（≦4KW）	10.6 ＞10 高　（≦50KW）
備　　考	光ファイバによるパワー伝送可能	—

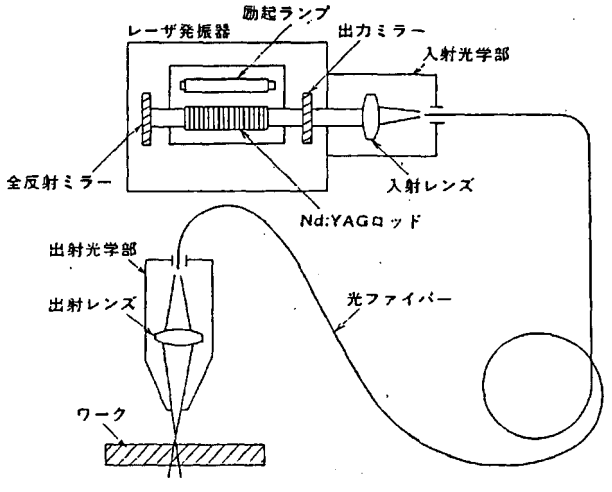


図 4—3—9 YAG レーザ溶接装置 [14]

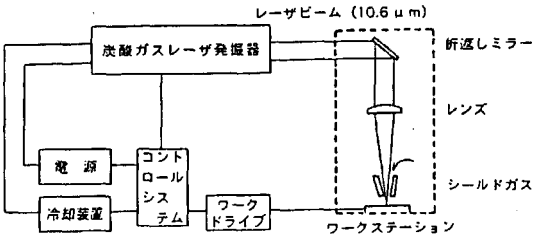


図 4—3—10 炭酸ガスレーザ溶接装置 [15), 16)]

② レーザ溶接の特徴は高速度で溶け込みの深い、HAZ がせまい、低入熱であるから変形が少い等がある。

従来小物部品の溶接、試作機のパネル切断外に限定されていたが、自動車車体の軽量化、強度化、溶接機の価格低下により、量産ラインでも適用されるようになってきた。(表 4—3—3)

③ アルミ部材へのレーザ溶接も今後増える傾向にある。アルミボンネットリムーバブルルーラのヘミング加工部、バン用スライドドアのテーラードブランクなどがある。[2) 18) 19)]

表 4—3—4 は最近の欧州の自動車メーカーにおける採用例を示す。

表 4—3—3　国内自動車メーカでのレーザー加工の適用例 [17)]

溶接・接合加工	除去加工	表面加工
・トランスミッションギヤ溶接 ・エアコンクラッチ板溶接 ・アンダーボディ溶接 ・ＡＴ部品溶接 ・ヒーター・モーター・コア溶接 ・ブリーの溶接 ・フライホイールカバー溶接 ・燃料タンク溶接 ・ＡＩボンネット・ヘミング部の溶接 ・テーラードブランク溶接 ・ボディトルーフ部の溶接 ・燃料噴射用電磁弁溶接	・カムシャフト、コンロッドの油穴あけ ・ガラス繊維入りポリエステル樹脂の切断 ・プレス鋼板３次元トリミング ・ホーン要ダイアフラム穴あけ ・ダッシュボード、バンパー穴あけ ・車体番号のマーキング ・エグゾースト・チューブの穴あけ ・トルクコンバータのスリット加工 ・ボディ外板穴あけ（ナンバープレート、アンテナ等)	・ピストンリング溝の焼入れ ・ギヤハウジングの内面焼入れ ・ディーゼルエンジンシリンダの内面焼入れ ・ＡＴ部混焼入れ ・バルブガイドの内面焼入れ ・ターボチャージャシャフトの硬化 ・クランクシャフトの焼入れ ・エンジンバルブフェース肉盛 ・シリンダヘッド・バルブシートの肉盛 ・タペット内面の焼入れ

稼働台数は、CO2 レーザー加工装置が 130 台～140 台、YAG レーザー加工装置が 100 台数

表 4—3—4　レーザー溶接採用の欧州自動車メーカーと車種

自動車メーカー	車　種
Audi	A3
Audi	A4
BMW	5シリーズ
Ford	Focus
Mercedes	Sシリーズ
Opel	Catera
Opel	Vectra
Renault	Laguna
Seal	Arosa
Skoda	felicia
Volvo	V70/S70
VW	Bora
VW	Golf
VW	Lupo
VW	Passat
VW	Vento

コンセプトカーであるがNedcar ACCESS ではアルミの床材と押出材のフレーム接合にレーザー溶接に用いている。[20)]

表 4—3—4 はアルミ合金の溶接で各種溶接法を比較したものであるが、YAG レーザが最もよいことを示している。

表 4—3—4　アルミ合金の各種溶接法の比較[21)]

加工方法	品質			生産性	設備信頼性	汎用性	トータルコスト（手直し工程含む）
	強度	入熱(歪)	外板キズ				
パルスＹＡＧレーザー溶接	強	小	無	○	○	○	○
ＣＷ　CO_2レーザー溶接	中	中	無	○	○	○	×
プラズマ溶接	強	大	無	△（要手直し）	○	○	×
MIG溶接、TIG溶接	強	大	無	△（要手直し）	○	○	×
抵抗溶接	中	大	有	×	◎	○	×

（資料）（社）軽金属溶接構造協会　アルミニウム合金のレーザー溶接の現状と将来動向

図 4—3—11(a), (b)は日本で初めてアルミボンネット（板厚 1．0mmの新地金による5000 系アルミ合金板）の溶接に，従来のスポット溶接に替えてパルスＹＡＧ溶接を採用した自動車メーカーの比較試験例である。使用したアルミ材の成分と特性は表 4—3—5 に示す。

溶接部の硬さの低下は，スポット溶接に比しレーザー溶接の方が少なく（合金　元素のＭｇの偏析が少ないため），溶接部特性はレーザー溶接の方が良好である。レーザー溶接条件の最適化図り，歪が軽減し溶接後の歪取りなど後仕上げが不要化（コストダウン），コンセプト車の生産に繋がった，としている。

表 4—3—5　使用したアルミ合金板の成分と機械的性質

	化学成分（重量%）									降伏点 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び率 (%)
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al			
アウターパネル材	0.09	0.10	0.17	0.13	4.45	0.04	0.06	0.02	残	138	272	28.2
インナーパネル材	0.25	0.40	0.50	0.20	3.50~5.00	0.20	0.10	0.10	残	138	276	30.8

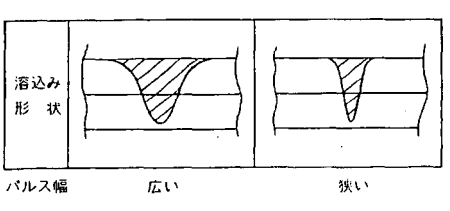


図 4—3—11(a)　溶込み形状とパルス幅

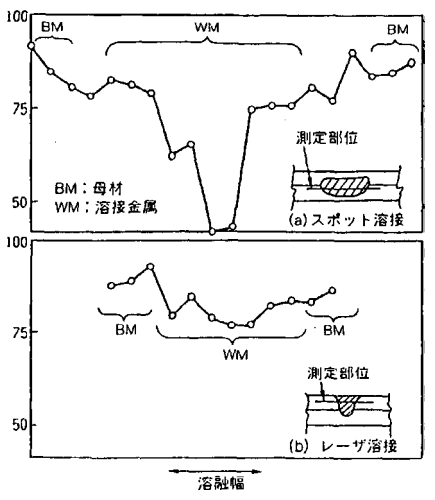


図 4—3—11(b)　溶接部断面の硬さ分布

(7) フラッシュ溶接

被溶接材の衝合面に溶融層を形成させた後、加圧、変形を与えて溶接する。発生するフラッシュの処理、ばりの除去が必要である。ホイール、オートバイリムの溶接に適用されている。

(8) 高周波誘導溶接

400KHZ の高周波電流の表皮効果と近接効果によって衝合面が局部的、効率的に加熱される。この状態で加圧し溶接する。

管成形装置と組合わせて条から溶接管の製造に利用されている。

アルミ合金ではラジエータ用多重クラッド扁平管の造管に適用されている。

(9) 接着接合

① 接着接合は異種材の接合、継手部の剛性向上、制振効果が期待できる。

② 車体の組立に接着接合を適用する製造法 ASVT(Aluminum Structured Vehicles Technology)がある。

その製造工程の概略を図 4—3—14 に示す。

素材の表面性状は接合性に大きく影響する。

これまでの研究結果では、素材の表面処理はクロメート化成処理、接着剤はエポキシ系1液熱硬化型が適切であると報告されている。

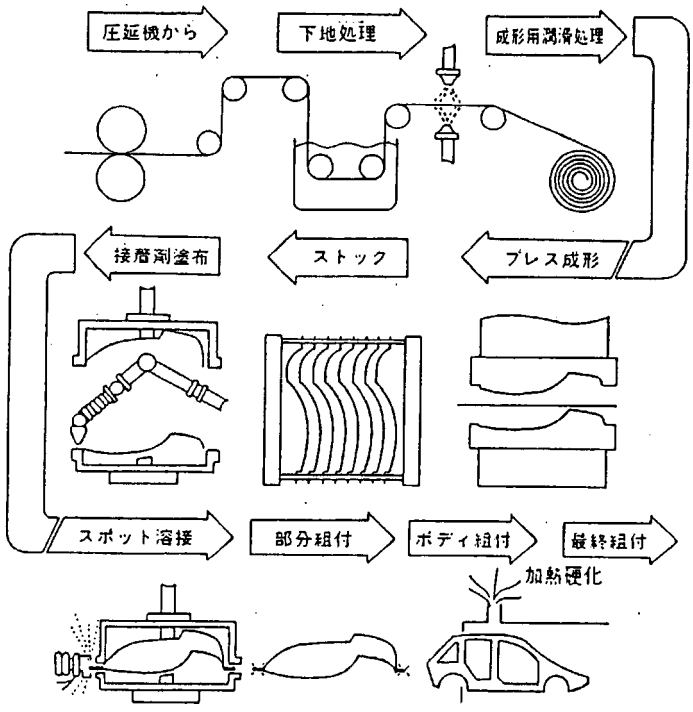


図 4—3—14 Aluminum Structured Vehicles (ASV)の製造工程 [26), 27)]

③ 接合法として、リブボンド、ウェルドボンド、スポット溶接等を併用するのが強度、耐久性、信頼性から望ましいとしている。

接着接合の適用例としては接着ハニカムがあり自動車体への適用が進められている。

(10) ウェルドボンド

① スポット溶接と接着接合を組合わせた接合法である。アルミ合金への適用については報告はあるが、専用の接着剤の開発、前処理方法は今後の課題である。図 4—3—15 に概要を示す。

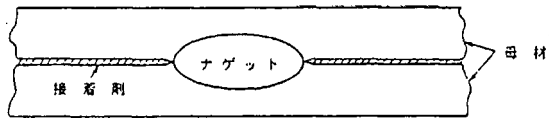


図 4—3—15 ウェルドボンド接合部[28)]

② 車体用合金と構造用液熱硬化型エポキシ系接着剤によるウェルドボンド部の強度とスポット溶接部の強度比較例を 表 4—3—6 に示す。

表 4—3—6 ウェルドボンド部の強度（スポット溶接部との強度比較例）[29)]

母材	材質 寸法 (mm) 前処理	GC45(Al-4.5%Mg-Cu)-O 板厚 1×長さ100×幅25 酸化膜除去処理
継手形状		重ね代25 mm の重ね継手
上段：引張せん断荷重 (kN) 下段：引張せん断強さ (kN/cm²)	ウェルドボンド部	6.49 1.04
	スポット溶接部	2.98 —
	接着接合部	6.75 1.08

1) 接着接合条件
接着剤：1 液熱硬化型エポキシ系接着剤
塗布厚さ：0.1～0.2 mm
硬化条件：120°C-30分

(11) 機械的接合（メカニカルファスニング）

① 本工法は重ねた板を両側から型ではみ込んで接合部を得るものでメカニカルクリンチとセルフピアシング（Self Pierce Rivet）の二つの方法がある。その概要を図4—3—16、図4—3—17に示す。

・メカニカルクリンチはリベットを使用せず雄型側の板が雌型側の外周方向に喰い込み結合強度を得る。

・セルフピアッシングは円筒形の脚をもフリベットを被接合部材に打ち込みその内で脚を広げて接合強度を得ている。

図4—3—16　メカニカルクリンチの例[10)]

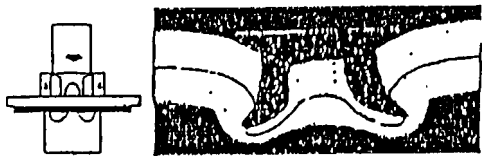


図4—3—17　セルフピアシリングペットの例[10)]

② セルフピアシングは下穴あけ加工が不要で疲労強度が高く（図4—3—18）スポット溶接と同様自動化が可能であり、欧米のアルミ合金製自動車及びあるいはアルミ合金製部品多用車に多くの実用例がある。

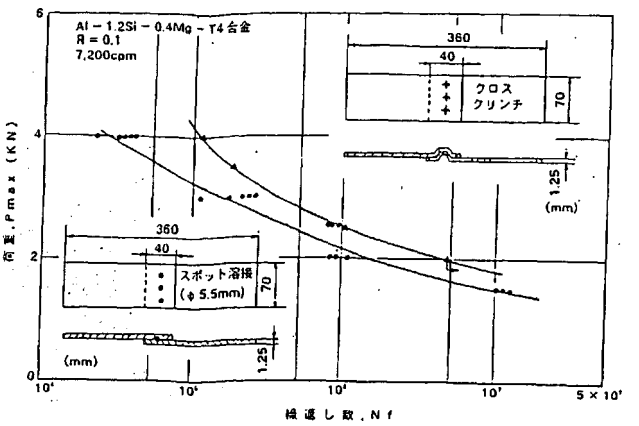


図4—3—18　Al－0.4Mg－1.2Si－T4合金におけるメカニカルファスニングによる接合部とスポット溶接部の疲労強度の比較[30]

③ 代表的な機械的な接合法とその特性を表4—3—7に、鋼材への適用例にあるがSPRの事例を図4—3—19に示す。

表4—3—7　代表的な機械的接合法とその特性[32]

接合方法			特性			
			下穴要否	片面施工	気密性	接合強度
機械的接合方法	ﾈｼﾞ締結	ﾎﾞﾙﾄ&ﾅｯﾄ	要	不可	×	◎
	ﾘﾍﾞｯﾄ	ｿﾘｯﾄﾞﾘﾍﾞｯﾄ	要	不可	×	◎
		ﾌﾞﾗｲﾝﾄﾞﾘﾍﾞｯﾄ	要	可能	×	○
		ｾﾙﾌﾋﾟｱｼﾝｸﾞﾘﾍﾞｯﾄ	不要	不可	△	○
	ﾒｶﾆｶﾙｸﾘﾝﾁﾝｸﾞ	ﾍﾐﾝｸﾞ	不要	不可	△	－
		LANCE-N-LOC,ﾃﾞﾙﾀﾛｯｸなど	不要	不可	×	○
		TOX,TOG-L-LOCなど	不要	不可	△	○
比較	抵抗スポット溶接		不要	不可	△	○
	機械的接合法と接着との併用		－	－	○	◎

気密性
×：気密性無し
△：接合部は気密性有り
　継手全体としては無し
○：継手全体として気密性有り

接合強度
○：抵抗ｽﾎﾟｯﾄ溶接とほぼ同等
◎：抵抗ｽﾎﾟｯﾄ溶接よりも大

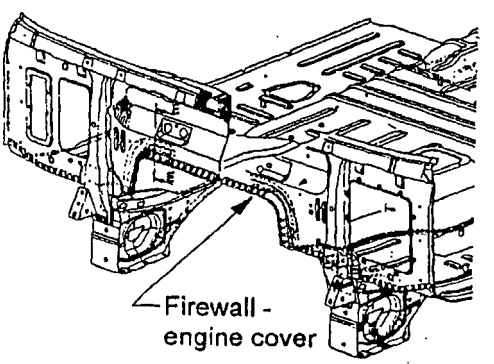


図4—3—19　Volvoﾄﾗｯｸのｾﾙﾌﾋﾟｱｼﾝｸﾞﾘﾍﾞｯﾄ適用部[31]

(12) 摩擦撹拌溶接（FSW:Friction Stir Welding）

① 摩擦熱と塑性流動を利用した接合方法で英国 TWI（接合・溶接研究所）で開発された技法である。

原理を図 4—3—18 に示す。突合された接合面に回転するピン形特殊ツールを押し入れそのシェルダ部が材料と接触しながら摩擦熱を発生・維持し、材料が軟化すると同時に接合面に沿ってツールを移動させて接合を行う。溶接形状を図 4—3—19 に示す。

金属から非金属までの応用が可能である。

ツールの最適条件、ショルダの形状等の接合条件の詳細は TWI と本技術を使用する企業の秘密となっている。

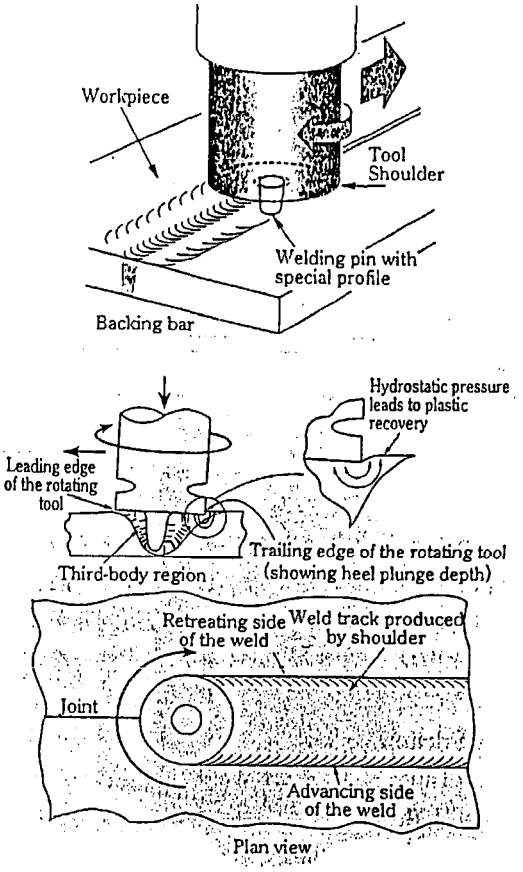


図 4—3—18 原理図 [33)]

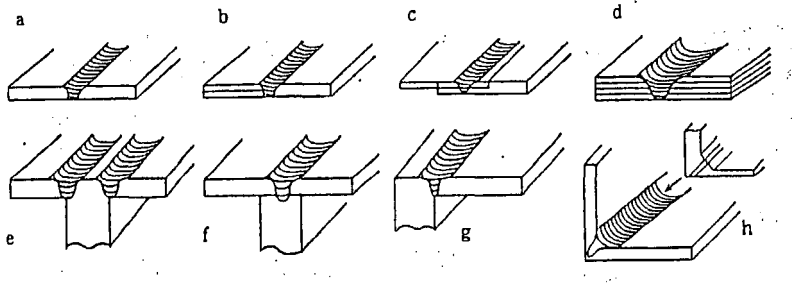


図 4—3—19 各種 FSW 溶接形状 [33)]

② 接合技術の開発需要の高いアルミニウムを中心に応用研究が進められている。

日立製作所では 2 つのアルミ合金部品の接合に水をかけながら、ツールを 1,000 回転／秒で高速回転させて接合したとの報告がある。[34)]

(13) まとめ

① 最近開発されたアルミ車とその接合方法を表 4—3—8 に示す。アルミ合金の特性を考慮して従来のスポットアーク溶接の外レーザ溶接、メカニカルファスニング接合、接着が採用されている。

表 4—3—8 代表的なアルミ採用車とその接合方法 [3)]

	.メーカ	車 種	接 合 方 法
市販車	HONDA	NSX	MIG 溶接、抵抗ｽﾎﾟｯﾄ溶接
	Audi	A8	MIG 溶接、抵抗ｽﾎﾟｯﾄ溶接、ｾﾙﾌﾋﾟｱｼﾝｸﾞﾘﾍﾞｯﾄ、ﾒｶﾆｶﾙｸﾘﾝﾁﾝｸﾞ
	Renault	Spider	MIG 溶接、TIG 溶接、ﾘﾍﾞｯﾄ、接着
	Lotus	Elise	接着＋ﾘﾍﾞｯﾄ併用
	Chrysler	Prowler	MIG 溶接、接着＋ﾘﾍﾞｯﾄ併用
	GM	EV1	抵抗ｽﾎﾟｯﾄ溶接、ｳｪﾙﾄﾞﾎﾞﾝﾃﾞｨﾝｸﾞ
ｺﾝｾﾌﾟﾄｶｰ	Ford	P2000	ｳｪﾙﾄﾞﾎﾞﾝﾃﾞｨﾝｸﾞ
	Nedcar	ACCESS	MIG 溶接、ﾚｰｻﾞ溶接、接着
	Opel	MAXX	MIG 溶接、ﾚｰｻﾞ溶接、接着、ﾘﾍﾞｯﾄ、ﾒｶﾆｶﾙｸﾘﾝﾁﾝｸﾞ
	Audi	Al	MIG 溶接、ﾚｰｻﾞ溶接、ｾﾙﾌﾋﾟｱｼﾝｸﾞﾘﾍﾞｯﾄ

② 表 4—3—9 に自動車分野で使用されると考えられるアルミ合金材の接合技術の分類を示す。アルミの接合は材料の特性から、点接合 → 線接合 → 面接合 と進展すると思われる。

表 4—3—9 自動車分野におけるアルミ接合技術の分類 [3)]

	点接合 →	線接合 →	面接合
溶触接合 ↓	MIG ｽﾎﾟｯﾄ溶接 抵抗ｽﾎﾟｯﾄ溶接	ｱｰｸ溶接(TIG、MIG)	ろう付 ｳｪﾙﾄﾞﾎﾞﾝﾃﾞｨﾝｸﾞ
低入熱溶融接合 ↓		レーザ溶接 電子ビーム溶接	
非溶接接合	ﾒｶﾆｶﾙｸﾘﾝﾁﾝｸﾞ ﾘﾍﾞｯﾄ	摩擦撹拌接合	接着 機械的接合法と接着との併用

③ 今後の開発方向としてその溶接部位に適した信頼性のある接合部を低コストで得る接合法を開発することにつきるわけであるが、レーザー溶接法，摩擦撹拌接合法は自動車 分野のアルミ合金溶接での研究開発における，今後のターゲットであろう。

（参考文献）

1) 難波、水越、佐野、長谷川：住友軽金属技報 vol32, No.1 (1991), 57
2) 高橋雄二：アルミニウム合金のレーザ溶接，軽金属溶接構造協会シンポテキスト（1995），125.
3) 江間光弘：自動車分野におけるアルミ接合技術の適用例，塑性加工シンポテキスト（1998)，67～74
4) Texas Instrument 社資料
5) (1)－66
6) 丸山、岡田：軽金属溶接，30－5 (1992), 12
7) 山本、原田、上山、小川：溶接学会論文集, 10－2 (1992), 25
8) 谷本、平本、片山：軽金属溶接，32－8, (1994), 12
9) 中野利彦：溶接技術，46－2 (1998), 140
10) 小田幸治：自動車車体軽量化と衝突安全性向上に伴う接合技術の動向，溶接学会誌 vol68, No.4, (1999), 66－69
11) 難波圭三：自動車アルミニウム合金の接合，vol43, No.2, (1993), 113
12) (1)－68
13) (11)－113
14) 鷲尾邦彦：第 98 回塑性加工懇談会（1990）
15) 林　栄吉：溶接技術，35 (1987), 8－62
16) 西川和一：溶接技術，(1987), 8-71
17) 松野健一：レーザー加工技術の現状と将来性，機械振興，(2000,2) 67
18) 久野、西尾：第 43 回レーザ熱加工研究会論文集，(1998), 93
19) Nagel, M.etal : Automotive Body Materials, Proc. IBEC'97, 29 (1997),87.
20) Frielink, R, et al. : Advanced Body Concept&Development, Proc. IBEC'97, 27 (1997), 84.
21) (17)－69
22) 阿部、林：レーザ・アーク複合溶接法、溶接技術、（1999.11 ），83－88
23) 日本工業新聞 '99 年 9 月 20 日報道
24) Schubert, G. : Proc. Alumitech '97, Atlanta, Georgia, USA (1997), 1200.
25) PTR-Precision Technologies 社資料
26) P. G. Selwood, F. J. Law, P, G, Sheasby and M. J. Wheeler: SAE 870149 (1987)
27) D. Kewley, I. G. Gampbell and J. E. Wheacley : SAE 870150 (1987).
28) (11)－116
29) (1)－56
30) 三浦、小野、城井、畑：自動車技術，38 (1984), 446
31) Litherland, H, : Materials For Lean Weight Vehicles Conference Pre-prints, Gaydon, UK (1997)
32) 例えば軽金属協会編：自動車のアルミ化技術ガイド接合編など
33) 福田哲夫：TWＩの摩擦撹拌溶接の実際、溶接技術（1999 年 7 月），89～91
34) 日経 1999 年 10 年 11 日

5. まとめ（今後の課題と提言）

自動車の状況や使用済み自動車の処理状況、車へのアルミ合金部品の採用動向、リサイクル状況、アルミ屑の選別状況、アルミ素材の製造及び成形・加工の動向などを俯瞰してきた。リサイクル環境の整備には、自動車の易解体性など自動車設計の概念に係わる問題もあるが、本調査結果からもわかるように、当面はシュレッダー化される廃車から資源をいかに効率よくく回収し、リサイクル循環のシステムに載せて行くかが重要でる。

そこで、図３—１—１を援用して今後の課題と提言を纏める。

（[課題]の・印はアルミ業界が中心となり、又は協力して進めるべき課題）

（１）図の上半分はアルミ業界，下の右半分は自動車、自動車部品業界，また下の左半分は解体、非鉄屑流通業，シュレッダー業及びアルミ２次合金業界の領域を示している。図中の太い点線矢印は現在のカスケード型のリサイクルを示している．

二次地金の流れ①は同②に比し、現在は極めて少ない。将来、大量なアルミ屑リサイクル化がなった場合、 阻害要因になり兼ねない．

[課題]—・大量のアルミ屑等の流通、再利用体制の整備

（２） 図の上左半分の溶解鋳造は，アルミ製品の出発点であり，スクラップの終点でもある。リサイクルシステム上で特に重要な工程である。

将来のアルミの大量使用，大量リサイクル時代の到来を睨んで，以前から各方面が各種の湯処理技術開発等をこの分野で実施して来，アップグレード法等成果は確実に出つつあるが、更なる低コスト化，高効率生産化，リサイクルシステムの確立に向けては，リサイクルし易い自動車用アルミ材の開発や材料統合、不純物対応など高効率溶湯処理技術の完成、実用化、ストリップ連鋳による製造工程確立、薄肉ホット上がり板生産技術などが重要になる。

[課題]— ・アルミ合金の統合、

・ ストリップ連鋳

・薄肉ホット上がり板生産技術

（３）図の右下半分の自動車，自動車部品の領域では，環境対応や燃費向上（軽量化）が大命題となっており，リサイクル率アップ，エンジン改良，新構造による車体軽量化などに業界挙げて取り組んでいる。その中でも特に，軽量化や新構造（スペースフレームなど）に対しては、アルミ合金が最も特徴をだせる領域と目されており，アル

ミリサイクル材の適用が可能となれば，循環型社会に資する技術としてのインパクトは非常に大きい。課題は量産化に向けた技術基盤であり，例えば，レーザー溶接のような新新規な組立て技術の開発が不可欠である。

［課題］一・レーザー溶接技術

（4）図の左下半分の領域では，関係企業や協会が小さい事などもあり，業界レベルの方向やガイドライン等が明確でない点におおきな問題がある。一般にリサイクルシステムは(切れる)部分があると廻らない。

自動車のリサイクルにおけるアルミ屑は有価物で、その大量な流通は解体業界、シュシュレッダー業界等も望む所である。色々と難しい点はあるが，先ずは高効率回収に向けた技術課題などを焦点付けするべきと思われる。

欧米では燃費改善や使用済み自動車の自動解体処理、レーザーによる品種など自動判別法，アルミの自動車への大量使用及びそのリサイクルシステム化の促進のため，民間，国等種々のレベルで検討が進んでいる。その中で、例えば欧州のアルミメーカーのＶＡＷ社'は２１世紀初頭には欧州で自動車にアルミが一台当たり約３２０Ｋｇも大量使用されるとの予測の中で、リサイクルにより安価なアルミ材を得る方法を提案している。更に高度なリサイクルシステムを構築する中で、極力リサイクル材を使って賄い、高価な新地金を使用しない循環型システムを作り上げる、と云うものである。また，北米では、新たにアルキャンが押出材スクラップをビレット'に戻すリサイクル化を本格化しており、自動車業界や部品メーカーもアルミ部品のリユースなど開始しつつある。

①自動車には多くの品種のアルミ部品が使用されている上，アルミの使用率アップで廃車のアルミ量は増大する。

今後，自動車用アルミ材の品種統合の方向に向かうにせよ，増大する他品種混合状態のアルミ屑を固相選別する技術は，いよいよ重要になってくると思われる。

これまでにも，各種固相選別技術はそれなりに改善されては来たが，回収率や精度を大きく向上させる新技術は実現しておらず，これからの大量のアルミ屑の回収を想定する時、固相選別技術の高度化は今まさにやっておかなければならない技術である。

②今後伸びるのは展伸材と目される。循環型再利用に加えて，この大量のアルミ屑を低コストに展伸材に戻し，また大量の鋳物から展伸材を低コストに造り込むには，鋳物と展伸材、或いは展伸材と他の展伸材を素早く精度良く品種判別する技術，装置が必用となる。現在，数千の解体業者，シュレッダー業の約 100 社（1 社のみが自社開発

のカラーソーター2ラインを保有）はこの手段を持たず，抜き取ったエンジンなどを除けば、ほぼ全てのアルミ部品屑を［アルミニウム］として処理している（品種分けしていない)。鉄も銅も非金属も混じった状態でのシュレッダー処理ではアルミの１００％の回収は無理であるだけでなく、多くのコンタミが入り，以後の溶解や溶湯処理工程の負荷をより大きくする。

③アルミの多用化に向けては，回収，選別精度アップ化のための技術、設備、システム面の高度化、充実化に併行して、自動車分野のアルミスクラップが現在よりも４―５倍以上に動き出し、そのリサイクルが拡大した場合の、均質回収、屑等流通、再利用体制の整備についても調査検討を進める必要がある。

リサイクルは多くの業界にまたがるので、体制整備のための基礎調査なども今後の課題として重要である。

［課題］―

- アルミ屑の高効率固相選別技術
- レーザー式など新原理判別法
- 大量のアルミ屑等の均質回収化、流通体制整備のための基礎調査

（５）図中、太点線で囲んだ項目は、日本アルミニウム協会が纏めたロードマップ等にも表現された対応課題である。これらの具体的な技術項目や推進時期等については同協会を中心に纏められつつある。また、次頁の表にリストアップし●を付した技術課題は日本アルミニウム協会の戦略と本調査の結果がほぼ一致している事を示している。

	内外競争力強化	低コスト化	リサイクル	市場拡大
①アルミ製品製造工程				
●自動車用アルミ合金の統合		○	○	○
（例　６０００系、５０００系、３０００系）				
・グレードアップ溶湯処理技術		○	○	
●薄スラブ（ストリップ）連続鋳造技術		○	○	
●自動車用薄肉ホット上がり板生産技術	○	○		○
・高速高圧下圧延用水溶性冷延油技術	○			
・超低温圧延技術	○			○
・三次元押出ダイス設計技術	○			
・等温等速押出し法と制御技術	○			○
・異断面押出技術				○
②自動車部品、組立て工程（アルミ側…ユーザーとの協力が必用）				
・鍛押え成形、対向液圧、温間成形など高度成形技術				○
・高精度押出形材曲げ技術				○
・ハイドロフォーミング技術				○
●レーザー溶接技術				○
・摩擦撹拌溶接技術				○
・リサイクルし易い素材の採用拡大（自動車業界など関係業界）			○	
・材料の統合（　〃　）			○	
・易解体設計の適用拡大（　〃　）			○	
③解体、シュレッダー、再生利用工程				
●大量のアルミ屑の均質回収化・流通・再利用体制の整備（関係業界の連携）			○	
●アルミ関係固相選別技術、無害化技術の高度化（　〃　）			○	
●レーザー式など新原理判別法の検討（　〃　）			○	
・ロボットによる自動解体ライン（自動車業界など関係業界）			○	
・アルミ屑ＪＩＳの見直し			○	

特に、この分野は業界間の交流や協力関係の樹立、業界間利害の調整など外向きの対応も今後必用となる。

（出典　平成１０年度　我が国機械産業に資する非鉄金属産業技術戦略策定に係る調査研究報告書
<ロードマップ>　平成１１年５月　日本機械工業連合会　日本アルミニウム協会）

以下に、日本アルミニウム協会の戦略において、また本調査の結果においても今後、研究或いは調査検討が必用と考えられた項目を示し、具体的な研究、調査内容を示す。

今後の調査、研究開発課題

《自動車用アルミ合金の統合》

(1)現状の多合金品種をリサイクルし易い1ないし3種程度に絞るための研究開発（6000系、5000系中心に）

《ストリップ連鋳技術》

(1)急冷鋳造による無害化と生産コスト低減化技術の開発、特性向上のための組織制御技術の研究

《自動車用薄肉ホット上がり板生産技術》

(1)自動車用アルミ合金板の低コスト、高効率製造技術の開発

《レーザー溶接技術》

(1)リサイクル材のヤグ・レーザー溶接技術の開発（不純物の無害化）

《アルミ関係固相選別技術の高度化》

(1)レーザー式、蛍光X線など新原理判別法による高度固相選別技術

《均質回収体制の整備》

(1)大量の自動車分野アルミ屑の均質回収化体制整備に関する基礎的調査研究

以上

本報告書の内容を公表する際は、あらかじめ新エネルギー・産業技術総合開発機構　産業技術研究開発部の許可を受けて下さい。

電話：03-3987-9389