

N98-02-0242

MASTER

平成8年度ニューサンシャイン計画補助事業

成果報告書

熱水利用発電プラント等開発

バイナリーサイクル発電プラントの開発
(地熱井掘削時抗底情報検知システムの開発)

DISTRIBUTION OF THIS DOCUMENT IS UNLIMITED
FOREIGN SALES PROHIBITED

平成9年3月

新エネルギー・産業技術総合開発機構
地熱技術開発室

DISCLAIMER

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

平成8年度ニューサンシャイン計画補助事業

成果報告書

熱水利用発電プラント等開発

バイナリーサイクル発電プラントの開発

(地熱井掘削時抗底情報検知システムの開発)

平成9年3月

新エネルギー・産業技術総合開発機構
地熱技術開発室

目 次

第Ⅰ編 総説

第1章 技術開発計画	1
1. 1 技術開発目的	1
1. 2 技術開発計画	5
1. 2. 1 技術開発計画の内容	5
1. 2. 2 年度計画	5
1. 3 本年度技術開発計画	7
1. 3. 1 全体開発設計	7
1. 3. 2 検知装置の開発	7
1. 3. 3 解析システムの開発	7
Summary of the Development of Measurement While Drilling for geothermal wells in FY1996	8
第2章 技術開発要領	10
2. 1 実施体制	10
2. 2 委員会	13
2. 3 研究者氏名	14
第3章 技術開発経過	17
3. 1 従来 of 経緯	17
3. 1. 1 全体開発設計	17
3. 1. 2 検知装置の開発	21
3. 1. 3 解析システムの開発	34
3. 2 技術開発項目と実施状況	37
第4章 技術開発成果の概要	39
4. 1 全体開発設計	39
4. 2 検知装置の開発	39
4. 2. 1 坑底装置	39
4. 2. 2 地上装置	42
4. 3 解析システムの開発	42
4. 3. 1 坑跡管理支援システム	42
4. 3. 2 坑井評価支援システム	42
4. 3. 3 総合動作試験	42

4. 4	今後の課題	43
4. 4. 1	全体開発設計	43
4. 4. 2	検知装置の開発	43
4. 4. 3	解析システムの開発	45
4. 5	工業所有権、技術指導、論文発表、口頭発表等の研究成果	45
4. 5. 1	工業所有権	45
4. 5. 2	技術指導	45
4. 5. 3	論文発表・口頭発表	46

第Ⅱ編 技術開発成果

第1章	全体計画設計	47
1. 1	目的	47
1. 2	平成7年度の技術開発成果	47
1. 3	平成8年度の技術開発計画	47
1. 3. 1	目標	47
1. 3. 2	計画の内容	47
1. 3. 3	開発工程	48
1. 4	本年度技術開発成果	48
1. 4. 1	全体調整	48
1. 4. 2	技術動向調査	57
第2章	検知装置の開発	64
2. 1	目的	64
2. 2	平成7年度までの技術開発成果概要	64
2. 2. 1	坑底装置	64
2. 2. 2	地上装置	67
2. 2. 3	実証試験	68
2. 3	本年度の計画	68
2. 3. 1	目標	68
2. 3. 2	計画の内容	69
2. 3. 3	実施計画日程	73
2. 4	本年度技術開発内容	75
2. 4. 1	坑底装置	75
(1)	ゾンデ	75
(2)	電子部品耐熱性確認試験	309
(3)	実験装置	319
2. 4. 2	地上装置の開発	341
(1)	実験解析プログラム	341
(2)	インターフェースプログラム	341

第3章 解析システムの開発	345
3.1 目的	345
3.2 平成7年度成果の概要	345
3.2.1 坑跡管理支援システム	345
3.2.2 坑井評価支援システム	345
3.3 平成8年度の技術開発計画	346
3.3.1 目標	346
3.3.2 計画の内容	346
3.3.3 開発工程	350
3.4 本年度技術開発成果	351
3.4.1 坑跡管理支援システム	351
(1) 坑跡計画・表示システム	351
(2) 坑跡予測システム	358
3.4.2 坑井評価支援システム	377
(1) 温度解析システム	377
(2) 圧力・解析システム	389
第Ⅲ編 今後の課題	
第1章 平成8年度技術開発成果のまとめ	393
1.1 全体開発設計	393
1.2 検知装置の開発	393
1.2.1 坑底装置	393
1.3 地上装置の開発	397
1.4 解析システムの開発	397
1.4.1 坑跡管理支援システム	397
1.4.2 坑井評価支援システム	398
1.4.3 総合動作試験	398
第2章 今後の課題	399
2.1 全体開発設計	399
2.2 検知装置	399
2.2.1 坑底装置	399
2.2.2 地上装置	401
2.3 解析システムの開発	401
2.3.1 坑跡管理支援システム	401
2.3.2 坑井評価支援システム	401

図 表 一 覧

□ 図 □

第Ⅰ編

第1.1-1図	「地熱井掘削用MWDシステム」の開発の位置付け	2
第1.1-2図	MWDシステムの概念図	3
第1.1-3図	MWDシステムの構成	4
第2.1-1図	研究体制図	10
第2.1-2図	地熱技術開発株式会社管理体制図	11
第2.1-3図	株式会社三井造船昭島研究所管理体制図	11
第2.1-4図	三井造船株式会社管理体制図	12
第4.2-1図	高温高圧試験装置系統概念図	41

第Ⅱ編

第1.4.1-1図	大別されたZoneの分布	49
第1.4.1-2図	各Zoneにおける必要ドリルカラー長と測定位置	50
第1.4.1-3図	リリーシングツールの一例	52
第1.4.1-4図	オーバーショットの一例	52
第1.4.2-1図	従来型 (Bulk) とシリコンを絶縁材とした高温タイプ (S01) の比較	61
第1.4.2-2図	高温用電子部品を応用した圧力トランスデューサ	63
第2.3.2-1図	高温高圧試験装置系統概念図	72
第2.4.1-1図	パルス弁と接点スイッチのデータフロー概念	75
第2.4.1-2図	パルス弁停止角度ずれ変更試験計測ブロックダイアグラム	76
第2.4.1-3図	パルス弁角度変更試験結果	78
第2.4.1-4図	パルス弁の摩耗確認予備試験	79
第2.4.1-5図	パルス弁摩耗試験概要	80
第2.4.1-6図	テスト・ピース概要図	80
第2.4.1-7図	アルミのテスト・ピース摩耗試験結果	83
第2.4.1-8図	ステンレス (SUS304) テスト・ピース摩耗試験結果	83
第2.4.1-9図	円錐シリンダ表面の圧力分布	86
第2.4.1-10図	平成8年度のパルス弁形状	87
第2.4.1-11図	平成8年度のパルス弁形状	87
第2.4.1-12図	パルス弁開閉タイミング	89
第2.4.1-13図	高圧ループ内パルス発生試験結果 (流量800ℓ/min、傾斜角度0°、パルス周期0.8sec)	90
第2.4.1-14図	高圧ループ内パルス発生試験結果 (流量800ℓ/min、傾斜角度0°、パルス周期1.0sec)	91
第2.4.1-15図	高圧ループ内パルス発生試験結果 (流量800ℓ/min、傾斜角度0°、パルス周期1.2sec)	92

第2.4.1-16図	高圧ループ内パルス発生試験結果 (流量1,000 ℓ/min、傾斜角度0°、パルス周期0.8sec)	93
第2.4.1-17図	高圧ループ内パルス発生試験結果 (流量1,000 ℓ/min、傾斜角度0°、パルス周期1.0sec)	94
第2.4.1-18図	高圧ループ内パルス発生試験結果 (流量1,000 ℓ/min、傾斜角度0°、パルス周期1.2sec)	95
第2.4.1-19図	高圧ループ内パルス発生試験結果 (流量1,200 ℓ/min、傾斜角度0°、パルス周期0.8sec)	96
第2.4.1-20図	高圧ループ内パルス発生試験結果 (流量1,200 ℓ/min、傾斜角度0°、パルス周期1.0sec)	97
第2.4.1-21図	高圧ループ内パルス発生試験結果 (流量1,200 ℓ/min、傾斜角度0°、パルス周期1.2sec)	98
第2.4.1-22図	耐熱モータ	99
第2.4.1-23図	磁石の保護区間	101
第2.4.1-24図	試験計測概要	102
第2.4.1-25図	耐熱試験結果	103
第2.4.1-26図	モータ回転数と弁の回転の関係	105
第2.4.1-27図	振動試験計測要領	106
第2.4.1-28図	振動特性試験結果 (X軸)	107
第2.4.1-29図	振動特性試験結果 (Z軸)	107
第2.4.1-30図	衝撃試験計測要領	109
第4.1.2-31図	接点スイッチ停止角度計測概要	111
第2.4.1-32図	電圧変化による停止位置変化確認試験結果	111
第2.4.1-33図	連続使用時の停止位置ずれ確認試験結果	112
第2.4.1-34図	軸シール試験概要	116
第2.4.1-35図	駆動機構部外観	119
第2.4.1-36図	振動試験計測概要	121
第2.4.1-37図	振動試験計測結果	122
第2.4.1-38図	振動試験記録 (X軸)	123
第2.4.1-39図	振動試験記録 (Y軸)	125
第2.4.1-40図	振動試験記録 (Z軸)	127
第2.4.1-41図	衝撃試験計測概要	129
第2.4.1-42図	駆動機構部の耐熱試験計測システム概要	130
第2.4.1-43図	機構部耐熱試験計測結果 (抜粋)	131
第2.4.1-44図	パルス発生弁駆動装置制御装置基板概観	132
第2.4.1-45図	供試体固定要領	133
第2.4.1-46図	試験機器構成図	135
第2.4.1-47図	基板単体特性試験 (X軸)	135
第2.4.1-48図	基板単体特性試験 (Y軸)	137
第2.4.1-49図	基板単体特性試験 (Z軸)	137

139	第2.4.1-50図	耐熱試験概要	176	第2.4.1-87図	分解能試験結果 (X軸)
142	第2.4.1-51図	坑底信号処理装置プロック図	175	第2.4.1-86図	高温連続試験結果
143	第2.4.1-52図	坑底信号処理装置回路外形図	174	第2.4.1-85図	磁気感度・温度補正結果 (Z軸)
144	第2.4.1-53図	試験プロックダイアグラム	174	第2.4.1-84図	磁気感度補正結果 (Z軸)
145	第2.4.1-54図	機能試験時モニタ波形 (抜粋)	174	第2.4.1-83図	磁気感度・温度特性試験結果 (Z軸)
147	第2.4.1-55図	坑底信号処理装置基板振動特性試験結果 (X軸方向)	173	第2.4.1-82図	磁気感度・温度補正結果 (Y軸)
147	第2.4.1-56図	坑底信号処理装置基板振動特性試験結果 (Y軸方向)	173	第2.4.1-81図	磁気感度補正結果 (Y軸)
149	第2.4.1-57図	坑底信号処理装置基板振動特性試験結果 (Z軸方向)	173	第2.4.1-80図	磁気感度・温度特性試験結果 (Y軸)
149	第2.4.1-58図	坑底信号処理装置振動特性試験結果	172	第2.4.1-79図	磁気感度・温度補正結果 (X軸)
149	第2.4.1-59図	坑底信号処理装置振動特性試験結果	172	第2.4.1-78図	磁気感度補正結果 (X軸)
151	(Y軸方向：トレー実装)		172	第2.4.1-77図	磁気感度・温度特性試験結果 (X軸)
153	改良概要		169	第2.4.1-76図	フラスカスゲート型方位計外観図
154	試験概要		167	第2.4.1-75図	誤差検討図
156	方位センサの概念		165	第2.4.1-74図	循環スロット検出試験結果 (傾斜計使用)
157	第2.4.1-63図	回転スロット試験プロック図 (方位計使用)	164	第2.4.1-73図	循環スロット試験プロック図 (傾斜計使用)
158	第2.4.1-64図	回転スロット試験結果 (方位計使用)	163	第2.4.1-72図	傾斜計を用いた循環スロットのプロックダイアグラム
159	第2.4.1-65図	循環スロットのプロックダイアグラム	162	第2.4.1-71図	温度－出力特性 (耐熱試験結果)
160	第2.4.1-66図	特性試験プロック図	162	第2.4.1-70図	入力周波数－出力特性 (耐熱試験結果)
160	第2.4.1-67図	耐熱試験プロック図	161	第2.4.1-69図	加振周波数－出力特性 (特性試験結果)
161	第2.4.1-68図	加振レベル－出力特性 (特性試験結果)	161	第2.4.1-68図	加振レベル－出力特性 (特性試験結果)

第2.4.1-88図	分解能試験結果（Y軸）	176
第2.4.1-89図	分解能試験結果（Z軸）	177
第2.4.1-90図	駆動基板振動特性試験結果（X軸）	179
第2.4.1-91図	駆動基板振動特性試験結果（Y軸）	179
第2.4.1-92図	駆動基板振動特性試験結果（Z軸）	181
第2.4.1-93図	増幅基板振動特性試験結果（X軸）	181
第2.4.1-94図	増幅基板振動特性試験結果（Y軸）	183
第2.4.1-95図	増幅基板振動特性試験結果（Z軸）	183
第2.4.1-96図	傾斜計外観図	187
第2.4.1-97図	重力加速度・温度特性試験結果（X軸）	190
第2.4.1-98図	重力加速度補正結果（X軸）	190
第2.4.1-99図	重力加速度・温度補正結果（X軸）	190
第2.4.1-100図	重力加速度・温度特性試験結果（Y軸）	191
第2.4.1-101図	重力加速度補正結果（Y軸）	191
第2.4.1-102図	重力加速度・温度補正結果（Y軸）	191
第2.4.1-103図	重力加速度・温度特性試験結果（Z軸）	192
第2.4.1-104図	重力加速度補正結果（Z軸）	192
第2.4.1-105図	重力加速度・温度補正結果（Z軸）	192
第2.4.1-106図	高温連続試験結果	193
第2.4.1-107図	分解能試験結果	194
第2.4.1-108図	振動特性試験結果（X方向）	195
第2.4.1-109図	振動特性試験結果（Y方向）	197
第2.4.1-110図	振動特性試験結果（Z方向）	197
第2.4.1-111図	振動対策	200
第2.4.1-112図	装置内温度センサのブロック図	200
第2.4.1-113図	装置内温度センサ外形図	201
第2.4.1-114図	試験方法ブロック図	202
第2.4.1-115図	装置内温度センサ温度サイクル試験結果	202
第2.4.1-116図	装置内温度センサ誤差評価グラフ	203
第2.4.1-117図	装置内温度センサ200℃ドリフト試験結果	203
第2.4.1-118図	ブロックダイアグラム	207
第2.4.1-119図	回路外形図	208
第2.4.1-120図	試験計測ブロック図	209
第2.4.1-121図	組み合わせ試験結果（デジタル値）	211
第2.4.1-122図	組み合わせ試験結果（方位・傾斜・ツールフェイス）	211
第2.4.1-123図	組み合わせ試験結果（装置内温度）	212
第2.4.1-124図	組み合わせ試験結果（回転・循環検出）	212
第2.4.1-125図	振動試験要領図	214
第2.4.1-126図	X軸振動試験周波数分布	215
第2.4.1-127図	電源安定化回路ブロック図	217

第2.4.1-128図	回路外形図b. 機能確認試験	218
第2.4.1-129図	電源安定化回路試験ブロック図	219
第2.4.1-130図	+15V電源安定化回路試験結果	220
第2.4.1-131図	-15V電源安定化回路試験結果	220
第2.4.1-132図	+5V電源安定化回路試験結果	220
第2.4.1-133図	-15V安定化回路（平成7年度製作）	220
第2.4.1-134図	ゾンデの計算モデル	224
第2.4.1-135図	ハウジングの耐熱・耐圧試験要領	225
第2.4.1-136図	ハウジングの耐熱・耐圧試験	225
第2.4.1-137図	従来のゾンデ組み立て概要	227
第2.4.1-138図	コネクタの概要	229
第2.4.1-139図	耐熱試験要領	231
第2.4.1-140図	耐熱試験結果	231
第2.4.1-141図	耐熱試験時の断線課程	231
第2.4.1-142図	衝撃試験要領	233
第2.4.1-143図	衝撃試験結果	233
第2.4.1-144図	振動試験結果	234
第2.4.1-145図	スピア・ポイントの概要	235
第2.4.1-146図	セントラライザの材料比較試験要領	237
第2.4.1-147図	セントラライザ・バレルに装着したセントラライザ	237
第2.4.1-148図	ランディング・ロッド	239
第2.4.1-149図	振動試験機外観図	242
第2.4.1-150図	振動試験機能力線図	242
第2.4.1-151図	計測システム図	244
第2.4.1-152図	耐久試験リファレンスPSD（X、Y軸方向）	245
第2.4.1-153図	耐久試験リファレンスPSD（Z軸方向）	246
第2.4.1-154図	傾斜情報センサ部固定方法	247
第2.4.1-155図	傾斜情報センサ部計測点	247
第2.4.1-156図	傾斜情報センサ部特性試験（X軸、傾斜計部）	249
第2.4.1-157図	傾斜情報センサ部特性試験（X軸、温度補正部）	250
第2.4.1-158図	傾斜情報センサ部特性試験（X軸、方位計部）	250
第2.4.1-159図	傾斜情報センサ部特性試験（Y軸、傾斜計部）	251
第2.4.1-160図	傾斜情報センサ部特性試験（Y軸、温度補正部）	251
第2.4.1-161図	傾斜情報センサ部特性試験（Y軸、方位計部）	252
第2.4.1-162図	駆動部取り付け方法	255
第2.4.1-163図	駆動部計測機器構成	257
第2.4.1-164図	駆動部試験結果（Z軸方向）	259
第2.4.1-165図	パルス弁の破断箇所	260
第2.4.1-166図	パルス弁の振動特性試験結果	261
第2.4.1-167図	駆動部試験結果（X軸方向）	262

第2.4.1-168図	坑底信号処理装置部取り付け方法	263
第2.4.1-169図	坑底信号処理装置部計測機器構成	265
第2.4.1-170図	坑底信号処理装置部試験結果（X軸方向）	266
第2.4.1-171図	坑底信号処理装置部試験結果（Z軸方向）	267
第2.4.1-172図	傾斜情報センサ部取り付け方法	269
第2.4.1-173図	傾斜情報センサ部計測機器構成	271
第2.4.1-174図	傾斜情報センサ部試験結果（X軸方向）	272
第2.4.1-175図	傾斜情報センサ部試験結果（Z軸方向）	273
第2.4.1-176図	バッテリー部取り付け方法	275
第2.4.1-177図	バッテリー部計測機器構成	277
第2.4.1-178図	バッテリー部試験結果（X軸方向）	278
第2.4.1-179図	バッテリー部試験結果（Z軸方向）	279
第2.4.1-180図	衝撃試験機外観	281
第2.4.1-181図	能力線図	282
第2.4.1-182図	駆動部衝撃波形	283
第2.4.1-183図	坑底信号処理装置部衝撃波形	284
第2.4.1-184図	傾斜情報センサ部衝撃波形	285
第2.4.1-185図	バッテリー部衝撃波形	285
第2.4.1-186図	コネクタ衝撃波形（シリーズ配線）	286
第2.4.1-187図	コネクタ衝撃波形（単ピン）	286
第2.4.1-188図	高温試験構成ブロック図	288
第2.4.1-189図	高温試験結果（50℃）	290
第2.4.1-190図	高温試験結果（100℃）	290
第2.4.1-191図	高温試験結果（150℃）	291
第2.4.1-192図	高温試験結果（200℃）	291
第2.4.1-193図	高温試験結果（210℃）	292
第2.4.1-194図	高温試験結果（220℃）	292
第2.4.1-195図	高温高圧試験計測要領	295
第2.4.1-196図	高温高圧試験装置	295
第2.4.1-197図	高温高圧試験結果	297
第2.4.1-198図	消費電流波形	297
第2.4.1-199図	高圧ループ試験計測ブロック・ダイアグラム	299
第2.4.1-200図	傾斜5°におけるパルス波	301
第2.4.1-201図	高圧ループ試験装置に収納されたゾンデ	301
第2.4.1-202図	ゾンデの外形概要	304
第2.4.1-203図	坑底装置	305
第2.4.1-204図	坑底装置の概要	307
第2.4.1-205図	地上底装置の概要	308
第2.4.1-206図	動作温度限界確認試験要領	311
第2.4.1-207図	温度サイクル試験要領	311

第2.4.1-208図	コンデンサ試験用ブロック図	314
第2.4.1-209図	CPUの機能評価回路ブロック図（単独）	315
第2.4.1-210図	CPUの機能評価回路ブロック図（全体加熱）	315
第2.4.1-211図	通信用IC耐熱試験ブロック図	316
第2.4.1-212図	水晶振動子耐熱試験ブロック図	317
第2.4.1-213図	高温高圧試験装置の系統図	320
第2.4.1-214図	高温高圧試験装置の配置図	321
第2.4.1-215図	耐圧容器の概略構造	326
第2.4.1-216図	膨脹タンクの概略構造	328
第2.4.1-217図	高温高圧試験装置の製作及び据付手順	335
第2.4.1-218図	高温高圧試験装置の運転手順	336
第2.4.1-219図	高温高圧試験装置	339
第3.3.2-1図	解析システムの概要	347
第3.3.2-2図	圧力解析システムの基本設計	349
第3.4.1-1図	坑井計画・表示システムの出力例	353
第3.4.1-2図	坑跡計画・表示システムの操作画面例	355
第3.4.1-3図	坑跡予測システムにおける掘具解析の概念図	358
第3.4.1-4図	WD-1井を用いた坑跡予測プログラムの評価手順	359
第3.4.1-5図	WD-1a井のビットと地層の異方性インデックス	363
第3.4.1-6図	WD-1b井坑跡予測計算結果	365
第3.4.1-7図	WD-1b井の掘削実績との計算比較結果（0～3,800m）	369
第3.4.1-8図	WD-1b井の掘削実績との計算比較結果 （拡大図：2,000～3,000m）	371
第3.4.1-9図	WD-1b井の掘削実績との計算比較結果（3次元表示）	373
第3.4.1-10図	坑跡管理支援システムの全体像	375
第3.4.2-1図	熱伝導型モデルの概念図	378
第3.4.2-2図	熱対流型モデルの概念図	378
第3.4.2-3図	逸水発生時の坑内温度計算によって得られる情報	379
第3.4.2-4図	インバージョンによる地層平衡温度の推定計算に使用した 坑井データ一覧図	386
第3.4.2-5図	インバージョンによる地層平衡温度の推定計算に使用した 葛根田WD-1a井の掘削履歴（Saito et al., 1996）	387
第3.4.2-6図	インバージョンによる地層平衡温度の推定計算結果	388
第3.4.2-7図	逸水判定のフローチャート	390
第3.4.2-8図	圧力・流量解析プログラムのフローチャート	391

〔表〕

第Ⅰ編

第1-2-1表	MWDシステムの機能及び試験規模別年度開発計画	6
第2.2-1表	「地熱井掘削時坑底情報検知システム開発委員会」委員名簿	13
第2.3-1表	地熱技術開発株式会社 研究者氏名一覧表	14
第2.3-2表	株式会社三井造船昭島研究所 研究者氏名一覧表	15
第2.3-3表	三井造船株式会社 研究者氏名一覧表	16
第3.1-1表	平成3年度から平成6年度と平成7年度の実績	18
第3.1-2表	平成3年度から平成6年度と平成7年度の実績	19
第3.1-3表	平成3年度から平成6年度と平成7年度の実績	20
第3.2-1表	平成8年度 検知装置の開発 実施状況	38

第Ⅱ編

第1.3.3-1表	平成8年度 全体計画設計 開発工程	48
第1.4.1-1表	各社ジャールスの内径	51
第1.4.1-2表	1993年～1995年のMWD等国内使用実績	53
第1.4.1-3表	サブタイプMWDの使用実績	54
第1.4.1-4表	長距離ループ試験の実施方法	55
第1.4.1-5表	各試験における主要確認事項	56
第1.4.2-1表	既存MWDの仕様とNEDO開発目標	57
第1.4.2-2表	長距離ループ試験及び実坑井試験設備比較	59
第1.4.2-3表	Honeywell社の高温電子部品（HTM0S）の開発 ロードマップ	62
第2.3.1-1表	改良設計による性能確認内容	69
第2.3.3-1表	平成8年度 検知装置の開発 開発工程	74
第2.4.1-1表	パルス弁停止角度ずれ変更試験パラメータ	76
第2.4.1-2表	パルス弁角度ずれ試験結果	77
第2.4.1-3表	試験パラメータ	81
第2.4.1-4表	試験時のキャビテーション状態と非キャビテーション条件	85
第2.4.1-5表	試験条件	89
第2.4.1-6表	組み立て用ボルトの緩み	110
第2.4.1-7表	振動試験結果	122
第2.4.1-8表	衝撃試験結果	130
第2.4.1-9表	パルス弁駆動装置制御装置性能試験結果	140
第2.4.1-10表	平成7年度との比較	141
第2.4.1-11表	疑似入力信号値	144
第2.4.1-12表	試験結果	154
第2.4.1-13表	回転スイッチ試験結果（方位計使用）	157
第2.4.1-14表	循環スイッチ試験結果（傾斜計使用）	164
第2.4.1-15表	平成7年度との比較	206
第2.4.1-16表	入力信号値	210

第2.4.1-17表	バッテリー組合せ概要	213
第2.4.1-18表	電源安定化回路の設計目標値	217
第2.4.1-19表	電源安定化回路試験条件（入力電圧、負荷抵抗条件）	219
第2.4.1-20表	ゾンデ用非磁性材料	222
第2.4.1-21表	市販の耐熱リング	224
第2.4.1-22表	セントラライザの材料	236
第2.4.1-23表	振動特性試験結果（共振周波数）一覧表	253
第2.4.1-24表	振動特性試験組合せ一覧表	254
第2.4.1-25表	衝撃試験供試体	283
第2.4.1-26表	高温試験結果まとめ	289
第2.4.1-27表	一体型ゾンデの高圧ループ試験結果	300
第2.4.1-28表	耐熱試験実施部品一覧	312
第2.4.1-29表	耐熱試験結果一覧（機能評価）	312
第2.4.1-30表	耐熱試験結果一覧（温度サイクル）	313
第2.4.1-31表	耐熱試験結果一覧（高温耐久試験）	313
第2.4.1-32表	高温高圧試験装置弁一覧表	331
第2.4.1-33表	高温高圧試験装置配管一覧表	332
第2.4.2-1表	小型ノート型ワークステーションのハードウェア仕様	341
第2.5-1表	パルス発生装置：マッドパルス発生弁、弁駆動装置制御装置、 モード切替スイッチ、坑底信号処理装置	342
第2.5-2表	傾斜情報センサ：方位センサ、傾斜センサ、装置内温度センサ、 温度補正回路	343
第2.5-3表	電源：電源、電源安定化回路	343
第2.5-4表	ゾンデ、同付帯装置：バレル、トレイ、回転式コネクタ、ス ピア・ポイント、セントラライザ、ランディングロッド	344
第3.3.3-1表	平成8年度 解析システムの開発工程	350
第3.4.1-1表	各社マッドログシステム基本使用比較一覧	357
第3.4.1-2表	坑跡予測プログラムに用いる計算入出力項目一覧	360
第3.4.1-3表	WD-1 a 井の地層の走向・傾斜	361
第3.4.1-4表	ビットの異方性と地層・ビットタイプとの対比	361
第3.4.1-5表	地層の異方性と地層・ビットタイプとの対比	362
第3.4.1-6表	WD-1 b 井計算条件	367
第3.4.1-7表	計算結果比較一覧	376
第3.4.2-1表	掘削終了時の地層温度推定法によるリグ待機時間	380
第3.4.2-2表	貯留層内対流のモデル化に適用される方程式の未知変数	382
第3.4.2-3表	MWD Temp 2 入力データ①坑井・地層データ	383
第3.4.2-4表	MWD Temp 2 入力データ②掘削中の実測値データ	383
第3.4.2-5表	MWD Temp 2 入力データ③パラメータデータ	383
第3.4.2-6表	MWD Temp 2 の出力データ	384

第 I 編

総 説

第 1 章 技術開発計画

1. 1 技術開発目的

地熱井の掘削は、高温の条件下で硬質の地層を対象とするが、わが国においては更に断裂・逸水層が多い等の複雑な地層が対象となる。また、今後地熱開発をより促進するためには環境保全等による敷地制約等を克服する必要から、基地からの指向性掘削、すなわち高度な傾斜掘削技術が要求される。

このような状況にあって掘削コストを低減するには、掘削中の坑底状況の変化を早期に把握し、適切な対応を行うことにより掘削能率、掘削精度の向上を図る必要がある。

このため、掘削時に坑底の情報（方位、傾斜、圧力、温度等）をリアルタイムで把握する Measurement While Drilling（以下、「MWD」という。）を適用した「地熱井掘削時坑底情報検知システムの開発」を行う（第1.1-1図参照）。

本技術開発では地熱井掘削において、掘削の能率及び精度の向上を可能とする「地熱井掘削時坑底情報検知システムの開発」として、地熱井掘削時の坑底情報をリアルタイムで把握する MWD システムの開発を行う。

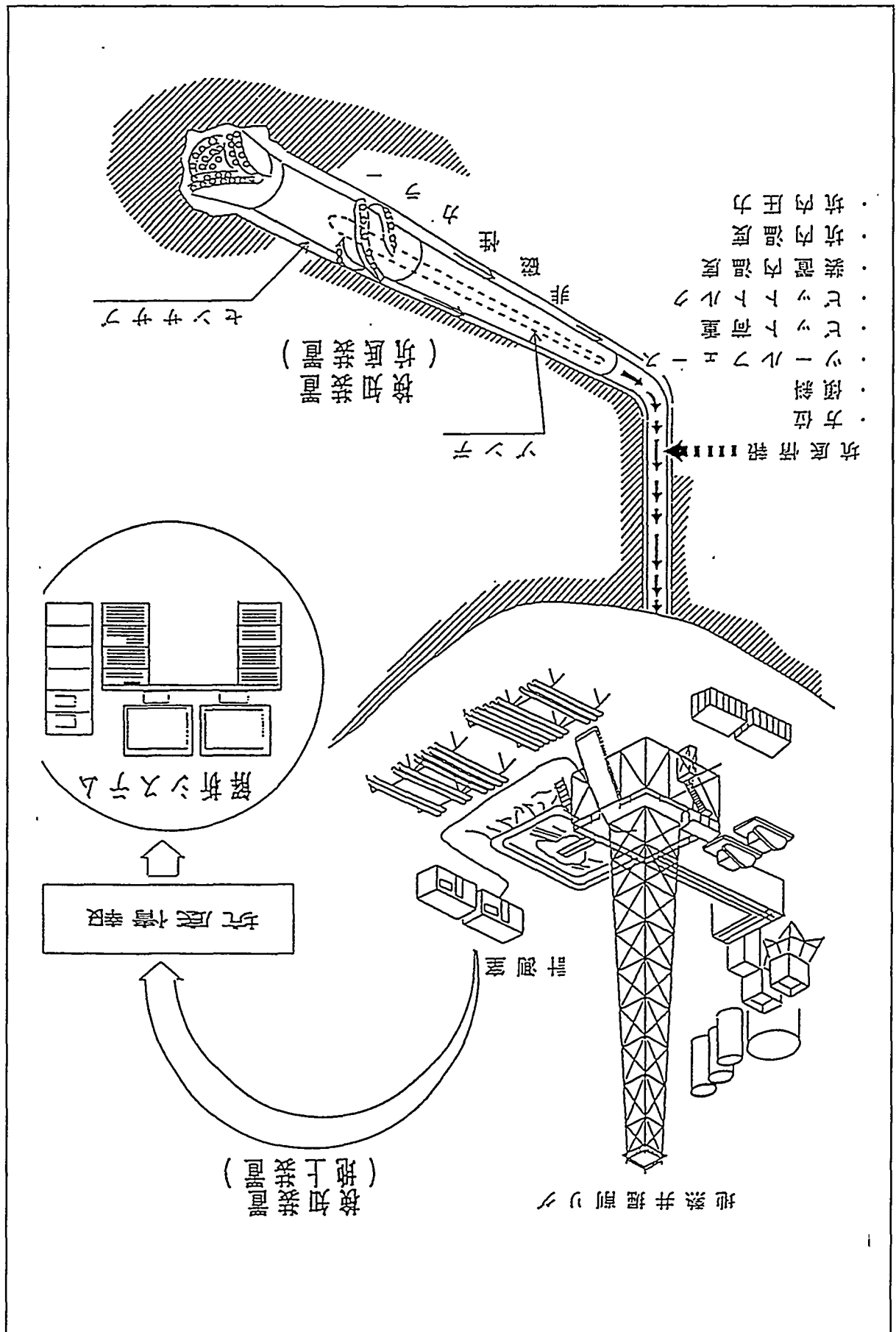
本システムを構成する検知装置はデータの計測、データ伝送及び信号処理を行い、解析システムは検知装置より得られた数値化された処理データを基に地熱井掘削時の坑跡管理及び坑井評価の支援を行うものとする。

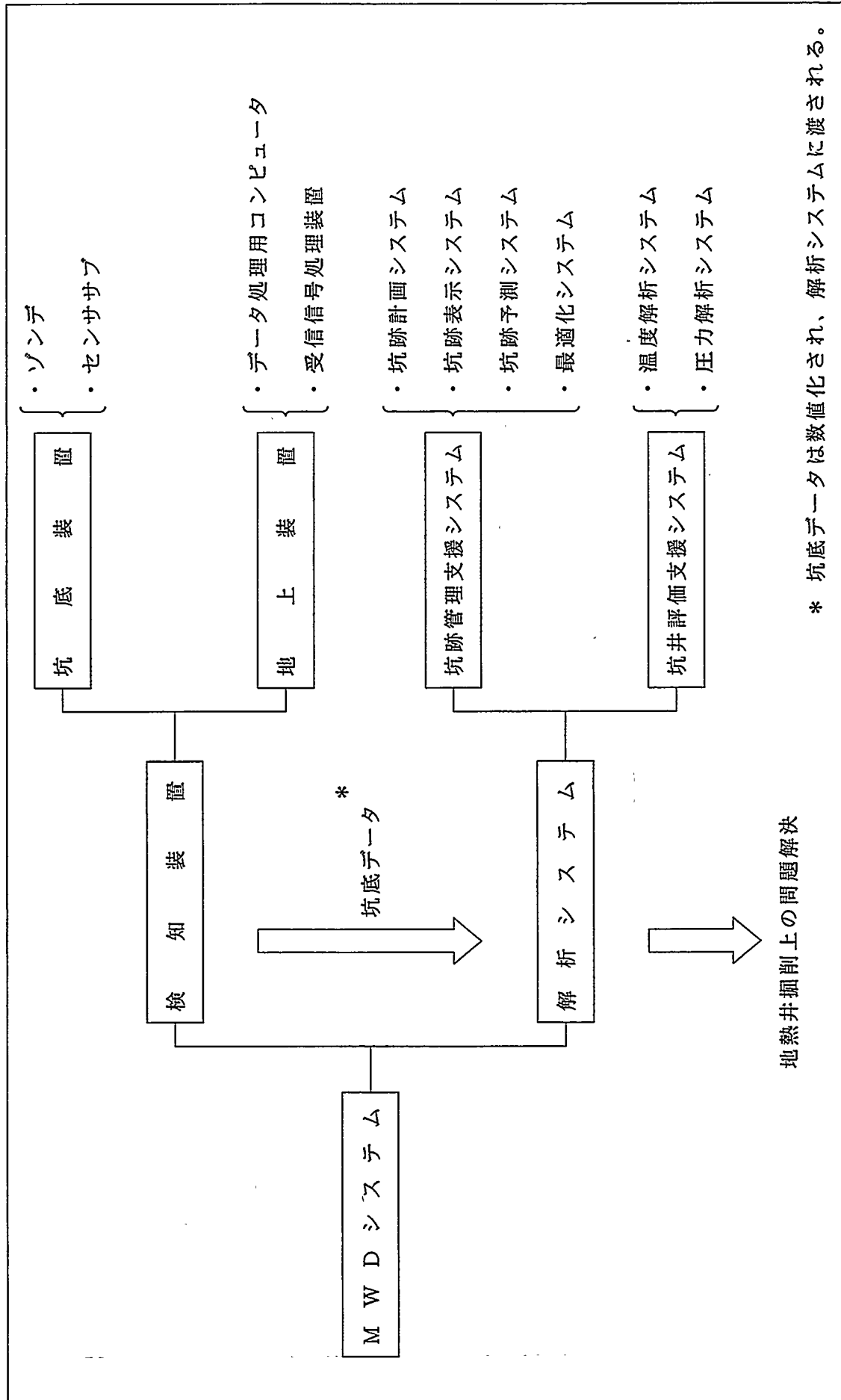
MWD システムの概念図を第1.1-2図に、MWD システムの構成とデータ（坑底情報）の受け渡しの流れを第1.1-3図に示す。

地熱井掘削における 現状の問題点	解決を要する 技術	地熱に必要な 技術	必要なMWD パラメータ	必要な解析 システム	期待される 技術的效果
・基地掘とターゲットの限定により高度な傾斜掘が必要とされる。 ・複雑な地下構造より計画通りに傾斜掘が出来ない。また、それにより坑内トラブルが発生する。 ・高温によりダウンホールモータ等の坑内機器が破損する。	・傾斜掘データの連続取得 ・坑跡コントロール技術	地熱井掘削用 MWDシステム I. MWD装置 II. 解析システム	①方位 ②傾斜 ③ツールフェース ④ビット荷重 ⑤ビットトルク	坑跡管理支援システム ・坑跡計画 ・坑跡表示 ・坑跡予測 ・最適化	・的確な坑跡コントロール ・坑内トラブルの回避、減少
地熱井評価におけるデータ取得方法の現状と制約	改善を要する技術		⑥装置内温度		・坑内機器破損回避
・温度、圧力そして流量データが坑跡掘削後の検層により取得されているため、的確な掘り止めの判断が出来ない。	・坑井掘削時オンサイトでの坑井能力評価		⑦坑内温度	坑井評価支援システム ・温度解析 ・圧力解析	・坑内機器破損回避 ・オンサイトでの的確な掘り止めの判断
			⑧坑内圧力		
			MWDでは流量データの取得が出来ない。 *地上で流量データを取得		

第1.1-1図 「地熱井掘削用MWDシステム」の開発の位置付け

第1.1-2図 MWDシステムの概念図





第1.1-3図 MWDシステムの構成

1. 2 技術開発計画

1. 2. 1 技術開発計画の内容

(1) 全体開発設計

経済的で最適なMWDシステムを確立するため、総合設計、評価、調整を行う。

(2) 検知装置の開発

地熱用MWDに要求される200℃の泥水温度下において精度良く測定可能で、且つ複雑な地質条件に対応する小型・効率的な坑底装置及び地上データ取得装置を開発する。

①坑底装置

地熱井掘削中の坑内において、方位、傾斜、ツールフェース、ビット荷重、ビットトルク、装置内温度、坑内温度、坑内圧力等の情報を測定し、地上に伝送する装置の開発

②地上装置

坑底装置からの情報を計測・記録・解析する装置の開発

(3) 解析システムの開発

検知装置から得られたデータを基に坑跡管理及び坑井評価を支援出来るシステムを開発する。

①坑跡管理支援システム

地熱井掘削のための坑跡計画の策定、及び検知装置から得られたデータを基に、坑跡表示、掘具編成解析、坑跡予測等、坑跡管理支援を行うシステムの開発

②坑井評価支援システム

検知装置から得られたデータを基に、温度解析、圧力解析等を行い、掘止め決定等に必要な地層特性把握を可能とする坑井評価支援を行うシステムの開発

1. 2. 2 年度計画

上記技術開発を遂行するためには、各技術課題を着実に克服し、最終的には実用的な成果を得る必要がある。このため、検知装置の開発については、前半部において各単体装置の耐熱性等の課題を克服し、後半部において実機を製作し、試験装置及び実坑井での試験より改良・評価を重ねる必要がある。また、解析システムについては、前半部に早期に開発の必要な坑跡計画・坑跡表示、スタティック時の坑跡予測・温度解析の開発を行い、後半部においてこれらを更に発展させたダイナミック時の坑跡予測・最適化・圧力解析の開発を行い、また実坑井での試験により改良・評価を行う必要がある。以上の点を踏まえて考えられる技術開発計画を第1.2-1表に示す。

第1-2-1表 MWDシステムの機能及び試験規模別年度開発計画

研究開発項目	平成3年度	平成4年度	平成5年度	平成6年度	平成7年度	平成8年度	平成9年度	平成10年度	平成11年度
1. 全体開発設計	設計・評価 調 整	設計・評価 調 整	設計・評価 調 整	設計・評価 調 整	設計・評価 調 整	設計・評価 調 整	設計・評価 調 整	設計・評価 調 整	評 価
2. 検知装置の開発									
2-1. 坑底装置	概念設計	試験設計・製作	改造・試験	改造・試験	改造・試験	試験改造・試験	試験開発・試験	試験改造・試験	改良・評価
2-2. 地上装置		伝送解析	信号識別	全体装置	全体装置	改造・試験	開発・試験	改造・試験	
2-3. 工場試験		要素設計	高速処理	組立・試験	組立・試験				
3. 解析システムの開発			試験装置設計						改良・評価
3-1. 坑跡管理支援システム	概念設計	坑跡計画	坑跡予測	坑跡予測	坑跡予測	改良	坑跡計画	システム統合	
3-2. 坑井評価支援システム	概念設計	坑跡表示	温度解析	温度解析	温度解析	データ取込み	システム	システム給	
4. 実証試験					実証試験	圧力解析	改良	実証試験	実坑井試験

1. 3 本年度技術開発計画

1. 3. 1 全体開発設計

検知装置（坑底装置、地上装置）及び解析システム全体の設計を行い、各項目の調整を行う。更に最新のMWDシステムと関連する掘削技術の調査を行う。

1. 3. 2 検知装置の開発

（1） 坑底装置

①検知装置のゾンデを構成するマッドパルス発生装置、坑底信号処理装置、モード切替スイッチ及び傾斜情報センサ（方位・傾斜・装置内温度センサ）及び外部付帯装置の各単体ごとの耐熱、耐振動及び耐衝撃性能を向上させた改良設計を行いゾンデを一体化して実機相当品を製作し、耐熱・耐圧・耐振動性・耐衝撃性確認試験を行う。

②電子部品の耐熱性確認試験を行い、ゾンデの一層の耐熱性向上のためのデータ取得を行う。

③検知装置の各単体装置の作動性能を確認するために高温高圧試験装置を設計・製作する。

（2） 地上装置

①実験用解析プログラム（ポンプ・ノイズ除去及びデコード化プログラム）の改良設計を行う。

②解析システムとのインターフェースを検討する。

1. 3. 3 解析システムの開発

（1） 坑跡管理支援システム

平成7年度までに開発したシステムの操作性の向上、及び地表で測定されたデータ（深度、ビット荷重、トルク等）を取り込むためのシステムの改良を実施する。

（2） 坑井評価支援システム

①温度解析機能の操作性の向上のためのシステムの改良を実施する。

②圧力解析システムの基本設計を実施する。

（3） 総合動作試験

解析システムの総合動作試験を実施する。

Summary of the Development of Measurement While Drilling for geothermal wells in FY1996

In fiscal year 1991, New Energy and Industrial Technology Development(NEDO) began the "Development of MWD(Measurement While Drilling) system for geothermal wells" project obtained in "Development of geothermal hot water power generation plant" in the New Sunshine Project of MITI, Japan.

MWD system allows personnel on the surface to acquire, in real time, bottom hole measurements which can then be analyzed. In order to reduce drilling cost of geothermal wells, the object of this project is to make the well's trajectory control more accurate and prevent the problems while drilling. The main specifications of development of MWD system are shown in table 1.

MWD system can be divided into the downhole detection unit, the surface detection unit and drilling support system.

The downhole detection unit, which consists of the sonde and the sensorsub, obtains azimuth, direction, inclination, tool-face, temperature, pressure, etc. After then, these drilling information are transferred through the circulation mud to the surface by using positive pulses generated by the pulse generator unit of sonde.

The sonde, which comprises the pulse generator unit, signal processor, battery unit, mode switches, sensors, etc., is included in the sonde housing.

In fiscal year 1996, the utility of these mechanic and electronic units of sonde under drilling condition were investigated experimentally by mean of the heat resistance test, vibration test, shock test, high pressure loop test. Based on these test results, the prototype sonde was assembled for field test in fiscal year 1997.

The development of sensorsub (of the downhole detection unit) will be started after the stability evaluation of sonde based on field test results.

The surface detection unit, which contains a signal processor and a computer for data processing, receives and converts mud pulses into a physical quantity for analysis.

The pump noise elimination program and decoder program as a part of data processing program were improved in fiscal year 1996.

The purpose of the drilling support system is to predict well trajectory while drilling and provide important information such as formation pressure, formation temperature for changing the borehole assembly. This system includes directional control support systems and well evaluation support systems.

In fiscal year 1996, the down-sizing of this system is carried out so as to improve the suitability for drilling site jobs.

Table 1. Specifications of development of measurement while drilling system for geothermal wells

Ambient specifications of downhole unit

Tool dimensions (approximately)		Length	Outer Diameter	
	Sonde (Wire line retrieval)	9 m	2"	
	Sensor sub	2 m	6-1/2"	
Measurement parameters		Range	Resolution	Accuracy
Sonde				
Direction		0-360°	0.1°	± 0.5°
Inclination		0- 90°	0.1°	± 0.1°
Tool face		0-360°	0.1°	± 0.1°
Inner unit temperature		20-220 deg. C.	1.0deg. C.	± 1.0 deg. C.
Sensor sub		0- 30ton	0.1ton	± 5%(FS)
Weight on bit		0- 30ton	0.1ton	± 5%(FS)
Torque of bit		0-1,000kgm		± 5%(FS)
Inner hole temperature		20-220 deg. C.	1.0deg. C.	± 1.0 deg. C.
Inner hole pressure		0-500 kgf/cm ²	1 kgf/cm ²	± 1%(FS)
Max.working pressure		1,000 kgf/cm ²		
Max.working temperature		200 deg. C. (continuous)		
Max.Preservation temperature		220 deg. C. (5 hours)		
Max.vibration resistance		30 G (50-500 H z, 6 hours)		
Max.shock resistance		1,000 G (0.5 msec)		
Toolface update		15 sec		
Telemetry system		Positive pulse		
Power source		Lithium battery (50 hours)		

Ambient specifications of surface unit

Pressure transducer	Explosionproof type
Data recorder & Computer	Measurement room setting
Rig floor display	Explosionproof type

Drilling support system

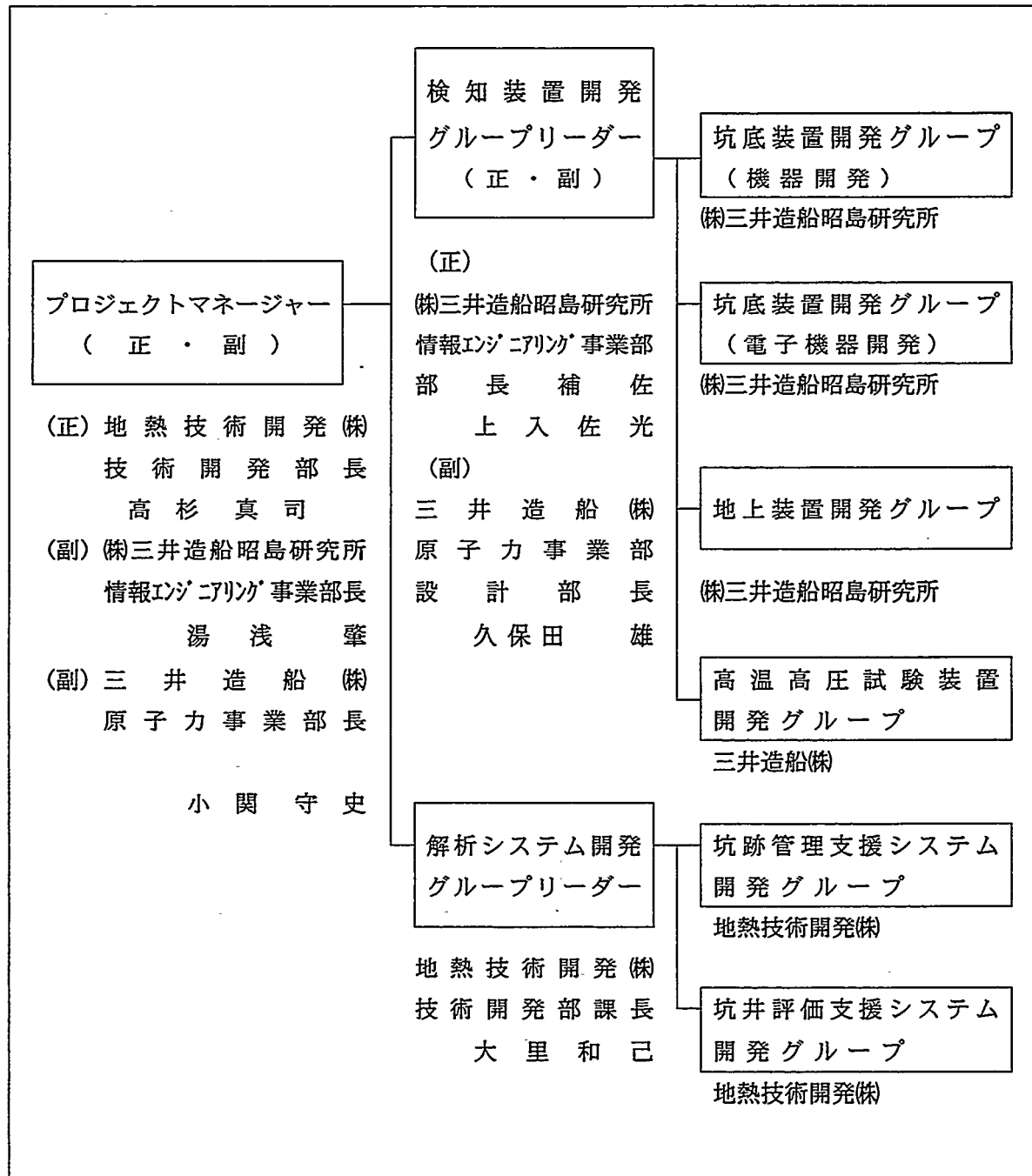
Directional control support systems	Well trajectory planning system Well trajectory visualization system) Well trajectory prediction system Optimum well trajectory support system
Well evaluation support systems	Temperature analysis system Pressure analysis system

第2章 技術開発要領

2. 1 实施体制

(1) 研究体制

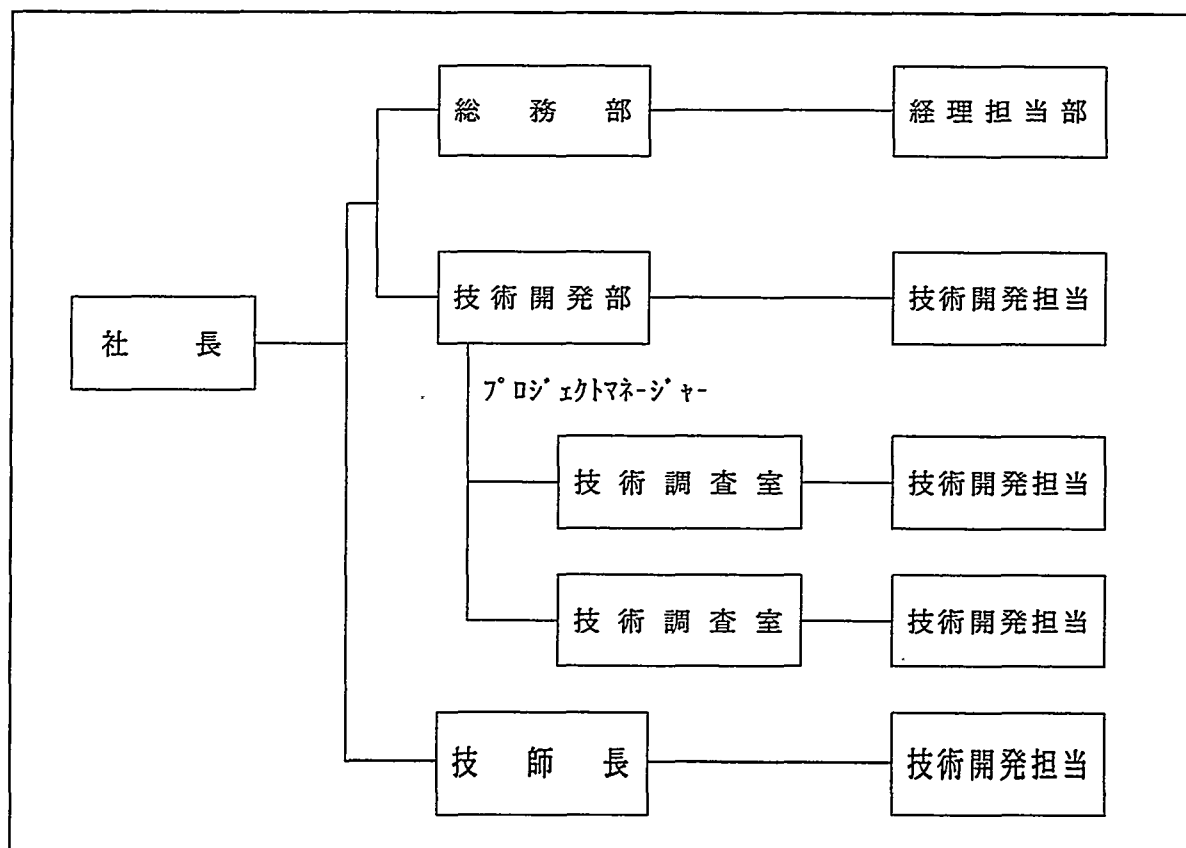
研究体制を第2.1-1図に示す。



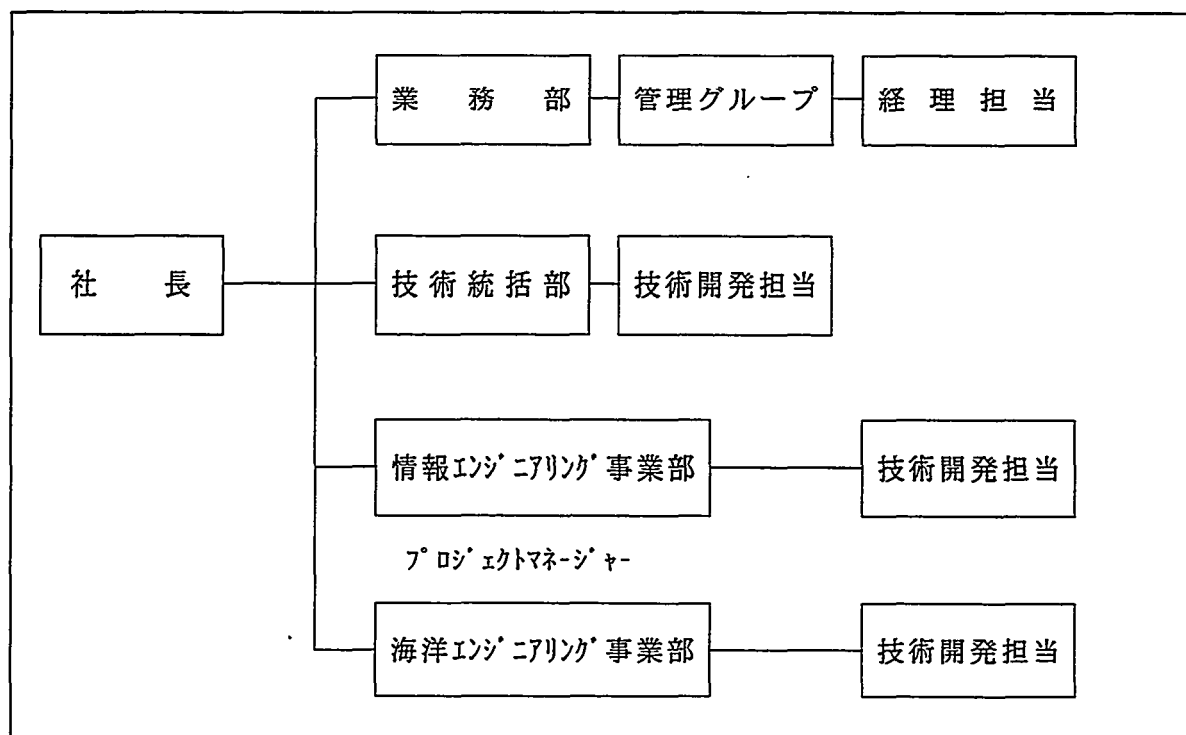
第2.1-1图 研究体制图

(2) 管理体制

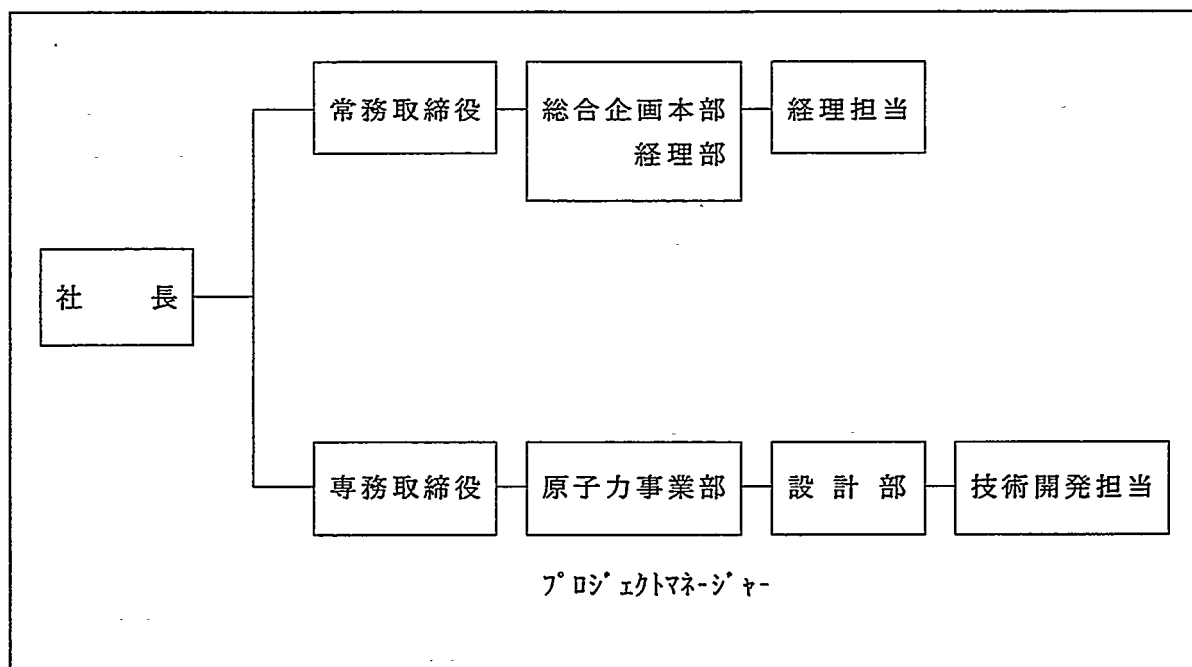
各社の管理体制を第2.1-2図～第2.1-4図に示す。



第2.1-2図 地熱技術開発株式会社管理体制図



第2.1-3図 株式会社三井造船昭島研究所管理体制図



第2.1-4図 三井造船株式会社管理体制図

2. 2 委員会

本技術開発内容を調査、審議、評価を頂くために新エネルギー・産業技術総合開発機構内に地熱井掘削時坑底情報検知システム開発研究委員会が設置されている。委員会メンバーは次のとおりである。

第2.2-1表 「地熱井掘削時坑底情報検知システム開発委員会」委員名簿

	氏名（敬称略）	所 属
委員長	田中 彰一	東京大学 工学部 資源開発工学科 教授
委 員	秋林 智	秋田大学 鉱山学部 資源・素材工学科 教授
〃	佐藤 一彦	室蘭工業大学 工学部 情報工学科 教授
〃	唐沢 広和	工業技術院 資源環境技術総合研究所 地殻工学部 開発システム研究室 主任研究官
〃	宮沢 伸一	工業技術院 機械技術研究所 生産システム部 生産情報課長
〃	杉山 佳延	工業技術院 電子技術総合研究所 電子デバイス部 デバイス機能研究室 室長
〃	堺 孝文	石油公団 石油開発技術センター 開発技術研究室 室長代理
〃	山下 武男	(株)物理計測コンサルタント 代表取締役副社長
〃	新井 雄正	石油資源開発(株) 作井部 副部長
〃	石山 芳昭	帝石削井工業(株) 取締役地熱削井部長
〃	鈴木 清平	東京都立大学 工学部 機械工学科 教授
〃	斉藤 清次	日本重化学工業(株) 地熱事業部 企画技術部 専門部長代理
〃	山口 勉	工業技術院 資源環境技術総合研究所 地殻工学部 地殻エネルギー研究室 主任研究官

（以上13名、順不同）

2. 3 研究者氏名

第2.3-1表 地熱技術開発株式会社 研究者氏名一覧表

氏 名	所 属 ・ 役 職 名	担 当
高 杉 真 司	取締役技術開発部長 兼 システム開発室長	プロジェクトマネージャー
鈴木 尉 元	技師長	プロジェクトサブマネージャー
井 上 清	技術開発部専門部長	"
中 田 晴 弥	技術開発部専門部長代理	"
大 里 和 己	技術開発部課長	グループリーダー（全般）
中 嶋 智	技術開発部技術調査室長代理	グループサブリーダー（全般）
重 益 幹 男	技術開発部課長代理	"
		全体計画設計・坑井評価支援システム 及び坑跡管理支援システム開発・実証 試験担当
高 井 健 三	技術開発部課長代理	"
佐 藤 龍 也	技術開発部課長代理	"
佐 藤 昭	技術開発部主任	"
卯 城 佐 登 志	技術開発部主任	"
福 島 紀 行	技術開発部担当	"
高 橋 涉	技術開発部担当	"
糸 川 康 行	技術開発部担当	"
中 尾 貴 祥	技術開発部担当	"
堀 川 弘 晃	技術開発部担当	"
大久保 覚	技術開発部技術調査室主任	"
谷 地 正 一	技術開発部担当	"
松 井 優 佳	技術開発部技術調査室	"
兵 藤 正 美	技術開発部課長	坑井評価支援システム開発担当
川 上 則 明	技術開発部課長	"
山 根 一 修	技術開発部課長代理	"
志 賀 貴 宏	技術開発部担当	"
岡 部 高 志	技術開発部課長代理	坑跡管理支援システム開発担当
三 浦 康 夫	技術開発部課長代理	"
井 上 純	技術開発部課長代理	"
山 岡 昌 信	技術開発部システム開発室室長代理	坑跡管理支援システム及び 坑井評価支援システム開発担当
櫻 井 信 貴	技術開発部システム開発室担当	"
川 本 恵 市	技術開発部システム開発室担当	"
斉 藤 哲 也	技術開発部システム開発室担当	"
河 西 哲 晴	技術開発部システム開発室担当	"
飯 田 伸 一	技術開発部システム開発室担当	"
		合 計 31名

第2.3-2表 株式会社三井造船昭島研究所 研究者氏名一覧表

氏 名	所 属 ・ 役 職 名	担 当
湯 浅 肇	技術統括部長	プロジェクトマネージャー
上入佐 光	技術統括部情報エンジニアリング* 部部長	検知装置開発グループ* (リリース)
細 野 一穂	技術統括部情報エンジニアリング* 部副部長	坑底装置開発グループ* (機器開発)
酒 井 彦彦	技術統括部情報エンジニアリング* 部技術課長	"
石 原 明	技術統括部技術課長	"
三 池 敏之	事業統括部情報エンジニアリング* 部技術主任	"
高 野 幸	事業統括部情報エンジニアリング* 部担当	"
渡 辺 嗣彦	事業統括部情報エンジニアリング* 部担当	地上装置開発グループ*
森 山 春樹	事業統括部情報エンジニアリング* 部担当	"
日 下 祐三	技術統括部副統括部長	リーダー補佐
松 井 亨規	技術統括部担当部長	地上装置開発グループ*
石 井 夫	技術統括部担当部長	"
福 島 雅博	技術統括部担当部長	"
江 口 辰哉	技術統括部技術課長	"
平 山 仁	技術統括部担当	"
森 本 乙彦	技術統括部技術主任	坑底装置開発グループ* (機器開発)
重 厂 公彦	技術統括部技術主任	"
森 谷 周行	技術統括部担当部長	地上装置開発グループ*
田 中 進	技術統括部担当部長	"
三 好 晋太郎	技術統括部担当	"
松 原 直哉	技術統括部主査	坑底装置開発グループ* (機器開発)
内 藤 誠	技術統括部技術主任	"
原 利夫	技術統括部担当	"
北 島 実	技術統括部担当	"
佐 伯 延博	技術統括部担当	"
和 田 弘	技術統括部担当	"
芦 田 進	技術統括部技術主任	地上装置開発グループ*
青 木 隆司	技術統括部技術主任	"
政 住 之	事業統括部担当部長	坑底装置開発グループ* (機器開発)
兵 頭 孝司	事業統括部担当	"
合 計 30名		

第2.3-3表 三井造船株式会社 研究者氏名一覧表

氏 名	所 属 ・ 役 職 名	担 当
小 関 守 史	理事原子力事業部長	プロジェクトマネージャー
久保田 雄	原子力事業部設計部長	検知装置開発グループリーダー
橋 本 修	原子力事業部設計部課長補佐	高温高圧試験グループリーダー
岡 崎 学	原子力事業部設計部課長	高温高圧試験グループ
藤 田 誠	原子力事業部設計部課長	"
作 野 晃	原子力事業部設計部課長	"
田 辺 司 郎	原子力事業部設計部担当	"
		合 計 7 名

第 3 章 技術開発経過

3. 1 従来の経緯

平成 3 年度から平成 7 年度の技術開発の成果の概要を以下に示す。

第 3. 1-1 表～第 3. 1-3 表に平成 3 年度から平成 7 年度までの開発概要を表で示す。

3. 1. 1 全体計画設計

(1) 平成 3 年度の成果

MWD システム全体の構成図を作成することにより、全体構成とデータの流れが明確になった。

MWD システムの操作性について検討を行い、各モードでの取得するデータの区別を明らかにした。また、各モードの切り替え方法を明確にした。更に、掘削作業を検知装置によるデータ取得及び伝送の関係を検討し、データ伝送のタイミングを明らかにした。

検知装置及び検知装置以外で計測されるデータの取得について検討を行い、MWD 検知装置で得られるデータは U N I X 上にデータファイルを作成することとした。

(2) 平成 4 年度

システム系統図を作成することによりシステム全体の機器配置を確認することができた。

モードの区分の見直しを行い、泥水停止時測定モードをロータリー用と指向用に分けた。

また、データ伝送の順番及び解析システムに渡されるデータフォーマットを明確にした。

(3) 平成 5 年度の成果

技術調査を行い、高温用 MWD の開発状況、ワイヤライン・リトリバブル MWD の現状（使用上の問題点、ユーザの要望等）、MWD 構成機器の開発状況、解析ソフトの動向を把握し、本研究開発で開発する MWD の位置付けを明確にすると共に技術課題を抽出するための最新の情報を得た。

また、開発する MWD システムの状況仕様をユーザの観点から再整理し、この結果と技術調査結果に基づいて今後の検討課題の抽出を行った。

(4) 平成 6 年度の成果

坑底での振動測定を実施するために測定装置及び既存データの調査を行い、地熱井掘削時の振動測定の計画検討を行った。また、リグフロア用モニタに関する検討を行い、主要な仕様を設定した。更に、MWD 検知装置が構内で曝される温度を解析システムの温度解析システムを使用して求め、耐熱試験時には温度変化のある条件での必要を指摘した。

第3.1-1表 平成3年度から平成6年度と平成7年度の実績

技術開発項目	平成3年度の技術開発成果	平成4年度の技術開発成果	平成5年度の技術開発成果	平成6年度の技術開発成果	平成7年度の技術開発成果
坑底装置	①マッドパルス発生装置、坑底信号処理装置及び方位・傾斜センサ、ビット荷重、ビットトルク、圧力、温度のセンサ等の各要素技術の検討を行った。さらにマッドパルス発生装置等概念設計を行った。これにより各単体装置の設計のためのデータが得られた。	①マッドパルス発生装置、坑底信号処理装置及び方位・傾斜センサ、バッテリーケースの設計、製作、試験を行った。また各坑底装置の実験用試験装置の設計、試験を行った。これにより実験開発のための具体的なデータが得られた。電子部品の耐熱性試験を行い市販品の性能を評価した。 ②マッドパルス発生装置の外荷設計及びタービン発電機の詳細設計を行った。これにより実験開発のための具体的なデータが得られた。	①マッドパルス発生装置、坑底信号処理装置及び方位・傾斜センサの改造、試験を行うことにより向上が図られた。 ②ビット荷重、ビットトルク、坑内温度、坑内圧力、装置内温度の各センサの詳細設計を行ったことにより具体的な概念と実験製作のためのデータ取得を行った。 ③非接触コネクタの設計、製作、試験を行い、センサ・サブとゾンデ間が非接触に情報の伝送ができることを確認したと共に、単体機器として耐熱性の向上を図った。 ④各坑底装置の実験のため、ミニループの一部に耐圧性を高める改造設計、製作並びに耐熱実験用に大型恒温槽の設計、製作を行い、実験開発のためのデータ取得を行った。 ⑤電子部品の耐熱性試験を行い信頼性の高い部品の開発を行った	①各坑底単体機器を一体化してゾンデとした設計・製作・試験を行い性能確認を行った。 ②坑底信号処理装置を改良・製作・試験を行うことにより一層の耐熱性向上を図った。 ③方位・傾斜センサの改良・製作・試験を行うことにより一層の耐熱性向上を図った。 ④掘削時の振動条件を調査し、耐振動設計に反映させることにより構造的に信頼性の高いゾンデの製作を行った。 ⑤掘削時の振動データ取得試験を行うことにより信頼性の高い設計データの作成を図った。 ⑥ゾンデ外部付非装置の設計、製作、試験を行い実機相当品の性能確認を行った。 ⑦電子部品の耐熱性確認試験を行うことによりマッドパルス発生装置及びセンサ製作のためのデータ収集を行った。 ⑧高圧試験ループを設計、製作することにより精度の高いゾンデの性能確認を行った。 ⑨ゾンデ及び外部付非装置の性能を確認するためハンギング試験装置を設計、製作することにより円滑な試験遂行を行った。	①ゾンデ一体型とした各構成要素の改良設計・製作を行い、試験を行い性能確認を行った。 ②電子部品の耐熱性確認試験を行い、マッドパルス発生装置センサ、非接触コネクタ、タービン発電機及びセンサ・サブ用センサ等の一層の耐熱性向上のためデータ収集を行うことにより信頼性の高い機器開発を行った。 ③坑底装置の各単体装置の耐圧性を確認するために小型耐圧試験機を設計・製作することにより信頼性の高い機器開発を行った。 ④坑底装置の各単体装置の耐振動性を確認するために振動試験機を設計・製作することにより信頼性の高い機器開発を行った。 ⑤坑底装置の各単体装置の耐衝撃性を確認するために衝撃試験機を設計・製作することにより信頼性の高い機器開発を行った。
工場試験装置			・工場試験装置の概念及び詳細設計を行うことにより装置全体の内容が明確になった。		

第3.1-2表 平成3年度から平成6年度と平成7年度の実績

技術開発項目	平成3年度の技術開発成果	平成4年度の技術開発成果	平成5年度の技術開発成果	平成6年度の技術開発成果	平成7年度の技術開発成果
地上装置		①パルス発生装置により生成されるパルス波を表示する実験解析用プログラムを開発した。これにより正確な実験データが得られた。 ②パルス波のシミュレーション値と実験値との比較検討を行った。	①実験用解析プログラム(ポンプ・ノイズ除去)の試験調整を行うことによりパルス波を明確にした。 ②坑底情報のデコード化プログラムの設計、製作を行うことにより数値化した坑底情報がリアルタイムに入手できる見込みができた。 ③ワイヤライン・リトリバーパブル等の地上装置側の概念設計を行うことにより問題点を抽出できた。 ④逸水等によるS/N比の劣化を修復する自動識別プログラムの開発を検討した。 ⑤中圧試験装置でのパルス波のシミュレーション値と実験値との比較検討を行った。 ⑥逸水時のパルス波のシミュレーション計算を行うことによりパルス波の伝搬特性が予測できた。	①実験用解析プログラム(ポンプ・ノイズ除去)及びデコード化プログラムを一体化することによりプログラムの実用化を行った。 ②逸水等によるS/N比劣化修復自動識別プログラムを開発することにより精度の高い坑底情報の入手を行った。 ③高圧試験ループのパルス波シミュレーション計算を行い比較検討することにより実験の信頼性を検証できること分かった。	①実験用解析プログラム(ポンプ・ノイズ除去+デコード化プログラム)の改良設計を行うことにより信頼性の高い情報収集を行った。 ②解析システムとのインターフェースを検討し円滑な坑底情報の送信を図ることにより信頼性の高い坑底情報の収集を行った。 ③パルス波シミュレーション計算を行うことにより信頼性の高い機器開発を行った。

検査装置の開発

検 知 装 置 の 開 発

第3.1-3表 平成3年度から平成6年度と平成7年度の実績

技術開発項目	平成3年度の技術開発成果	平成4年度の技術開発成果	平成5年度の技術開発成果	平成6年度の技術開発成果	平成7年度の技術開発成果
検証装置の開発					①ソングの耐熱性能を検証し、伝送情報からセンサの精度を検証した。 ②・実験用解析プログラム（ポンプ・ノイズ除去+デコード化プログラム）及びセンサ等の計測備品類を耐熱試験に用い性能及び操作性を検証することにより信頼性の高い抗底情報の手入を行った。 ③解析システムにデータを送信し、インターフェースの有効性を確認することにより相互の信頼性の確認を行った。

（５） 平成７年度の成果

MWD坑底装置（ゾンデ）の耐熱試験の調査及び試験装置の改造を行った。ゾンデ作動試験のため各MWDメーカへフローリング試験設備の調査を行った結果、試験成果をメーカに提供する必要があることが判った。海外調査、文献調査より、ANADRIIL社のMWDが耐熱175℃で、市場に出始めたこと、また、それ以外のMWDメーカでも、耐熱175℃のMWDの開発に着手していることが判った。

３．１．２ 検知装置の開発

（１） 平成３年度の成果

掘削中の傾斜掘情報、掘削情報を取得し、地上に伝送するために必要な各種技術要素の調査を行った。

また、検知装置全体の構成要素及び坑底装置を構成するマッドパルス発生装置、坑底情報の信号化処理装置及び方位、傾斜、ビット荷重、ビットトルク、坑内圧力、坑内温度、装置内温度の各センサの概念設計を行った。

（１．１） 技術調査・検討

国内、海外のMWD関連技術について調査、検討を行った結果、次の知見を得ることができた。

（１．１．１） 国内調査

メーカのカatalog調査、文献調査等により以下の成果を得た。

イ．高温用電子部品等

国内で入手可能なパーツの調査を行い現状を確認することができた。

ロ．国内で開発されている高温電子部品の現状調査

大学を中心に国内で研究開発が行われている高温用電子部品等に関する文献調査を行うことができた。

（１．１．２） 海外調査

平成４年１月26日～２月24日の間に以下の16機関19事業所の訪問とアメリカのニューオーリンズで開催されたドリリングコンファレンスに参加し、マッドパルス方式のMWD技術、掘削用高温のエレクトロニクス、センサ、モータ、発電機等の坑底装置に関する情報収集を行い

- ・ 検知装置のニーズと使用状況については、掘削会社及び掘削研究機関等のMWDの使用状況及びMWDの現状を聴取できた。

- ・ MWD試験装置等については、主にアメリカの大学を対象とした各種掘削用試験装置の見学により今後必要とする試験装置の要点を得ることができた。

- ・ MWDサービス会社とMWD関連会社についてはMWDサービス会社の現状及びセンサ等の関連機器メーカの技術の現状を聴取できた。

(1. 2) 概念設計

MWD技術の調査、関連技術の調査、検討、比較等により検知装置の概念を明確にできた。

(1. 2. 1) 全体構成

- ・検知システムと解析システムとの接点となる計測モードの切替概要を明確にした。
- ・検知システムの構成を明確にした。
- ・坑底装置の全体仕様を設定した。
- ・坑底装置を構成するゾンデとセンササブの関連を明確した。
- ・ゾンデとセンササブの情報の送受信方式を検討した。
- ・ゾンデの圧力損失計算、センササブを含めた強度計算等の結果より今後の開発計画に対する指針を得ることができた。

(1. 2. 2) 坑底装置

イ. ゾンデ

- ・ゾンデ内構成要素を明確にすると共に配置を検討することにより今後の詳細設計の概念を得ることができた。
- ・石油井用MWDを参考にし、傾斜掘情報センサの開発精度を明確にした。
- ・セントラライザ、ランディングロッド等のゾンデ外部付属治具の機能を検討して設置位置に対する指針を得た。

ロ. センササブ

- ・センササブ内構成要素を明確にすると共に配置を検討することにより今後の詳細設計の概念を得ることができた。
- ・石油井用MWDを参考にし、掘削情報センサの開発精度を明確にした。

ハ. ゾンデとセンササブの信号送受信

- ・概念を明確にしたと同時に構成概要も明確にした。
- ・仕様を設定し今後の詳細設計の指針を得ることができた。

(1. 2. 3) 地上装置

- ・機器類の構成要素を明確にした。
- ・必要とするソフトウェアを明示した。
- ・機器類の仕様を明確にし今後の詳細検討の序を得た。

(2) 平成4年度の成果

(2. 1) 坑底装置

(2. 1. 1) マッドパルス発生装置

イ. マッドパルス発生弁

- ・流体素子を用いた型が明瞭なパルスを生成し、既存のものと比較しても遜色がない。
- ・消費電力は当初予想した以上に極めて小さく、省エネルギー化の見通しを得た。

ロ. 坑底信号処理装置

- ・入力信号と出力信号の対応も良く、所定の機能を満足することができた。
- ・幅31mm、長さ530mmの極めてスリムな基板に収めることができ小型化の目標を達成した。

ハ．モード切替スイッチ

①回転スイッチ

垂直、水平、傾斜（45°）の3姿勢について試験を実施した。その結果、ピットの低回転域に相当する60rpmに対して各姿勢共に±10rpm以内でON/OFFができる精度を有することを確認した。

②循環スイッチ

水道水を用いたため最高 9 ㎥/minまでの比較的小流量の試験であったが、流体の静／動によりON/OFFができることを確認した。

（2. 1. 2） 方位、傾斜センサ

本年度は方位、傾斜の各センサ部について耐熱、振動試験を実施した。

イ．耐熱試験

①方位センサ

動作限界温度試験において限界値で振動子を支持している金具が変形し、出力が停止した。しかし耐熱限界はほぼ把握できた。

なお、支持金具の変形により温度サイクル試験は実施できなかった。

②傾斜センサ

動作限界温度試験並びに温度サイクル試験共にメーカ保証値を超えて作動することを確認したが、構成電子部品に問題があり十分な性能確認ができなかった。

ロ．振動試験

①方位センサ

試験はZ→Y→X軸の順に行ったが、最後のX軸加振時に振動子の支持金具の半田がはずれた。しかしながらZ軸、Y軸では所定の性能を得ることができた。

②傾斜センサ

X、Y、Zの各軸方向に対して0°、45°、90°の傾斜を与えて出力を測定した。

各軸とも変化は微少であり、与えられた振動条件で十分な性能を得ることができた。

（2. 1. 3） タービン発電機

マッドパルス発生装置の駆動部の電源としてタービン発電機の設計を行い、構成要素の諸元を決定すると共に設計図を得ることができた。

（2. 1. 4） バッテリーケース

制振材を用いたケースを設計・製作し、振動試験を実施した。設計は予め電池のパックとケース間に電線を通すためのすき間（電線路）を設けたが、そのことが電池を大きく揺らす原因となった。ケースに外傷等は生じなかったがパックに歪が生じた。その結果電池間に接触不良が生じた。

(2. 1. 5) 電子部品耐熱性確認試験

オペアンプ、A/D変換器、D/A変換器、CPU、クリスタル・クロックオシレータ、抵抗等耐熱性の高い製品を購入し、耐熱性試験を実施した。試験は動作限界温度確認試験並びに温度サイクル試験の2種を行い、個々の性能を確認した。その結果を以下に示す。

- ・全ての電子部品はメーカーが保証する保存温度を上回る動作限界温度を示した。
- ・動作温度の限界はメーカーが示すジャンクション温度に近いことが判った。
- ・サバイバル温度は半田熔融温度近傍にあると考えられる。
- ・IC等の電子部品を、ジャンクション温度やサバイバル温度に近い状態で長時間維持すると製品寿命が短くなり、製品の破壊にいたる時間が短くなる可能性がある。
- ・坑底信号処理装置の主要部品となるオペアンプ、A/D変換器、CPU等は単品で200℃以上の周囲温度で動作温度限界値を示している。このことは200℃以上で動作可能なシステムができる可能性を示す。
- ・抵抗器は高温においても特性に変化がない。
- ・コンデンサは高温になると容量が変化するため、この温度特性に対応した回路設計の工夫が必要である。

(2. 1. 6) バッテリ耐熱性確認試験

動作限界温度試験では定格値が減少したが、常温では再び定格値に復帰した。

(2. 2) 地上装置

(2. 2. 1) 実験解析プログラム

ミニループに取り付けられた3台の圧力トランスデューサから得られた個々の生波形からポンプ・ノイズを除去して必要なパルス波形のみを表示することができた。

(2. 2. 2) パルス波シミュレーション計算

既存の特性曲線法によるウォータハンマ解析プログラムを用いたシミュレーション計算を実施し、ミニループ内の圧力パルス波の伝搬を比較的精度良くシミュレートすることができた。

(3) 平成5年度の成果

(3. 1) 坑底装置

(3. 1. 1) マッドパルス発生装置

イ. マッドパルス発生弁

平成4年度の試験結果に基づき、流体素子を用いた弁に対して構造の簡素化を主とした改良を行った。

開発要点はセントライザの取り付け位置の確認、弁の実機形状化及びワイヤライン・リトリバブル用スピア・ポイントの基本形状等の確認等を行った。

その結果、生成されたパルス波形は明瞭で、弁の形状に関する基本原理の開発は終了した。

ロ. マッドパルス発生弁駆動装置

平成4年度の試験結果に基づき、耐熱仕様のモータを製作して試験した。

その結果、モータ軸に負荷をかけた状態で目標の220℃まで耐熱試験を実施し、所定のトルクを得ることができた。

ハ. マッドパルス発生弁駆動装置制御装置

平成4年度の試験結果に基づき、耐熱仕様のものを製作して試験した。

その結果、幅34mm、長さ295mmの基板に収納することができ、小型化の目標を達成した。

入力信号に対する出力特性及び消費電力は、当初の目標を達成した。

ニ. 坑底信号処理装置

平成4年度の試験結果に基づき、耐熱仕様のものを製作して試験に供した。

基板は外径φ34mm、長さ672mm専用のトレイに装着することができ、小型化の目標を達した。

また、200℃における各モード毎の入力信号と出力信号の対応も良く、所定の機能を得ることができた。

ホ. モード切替スイッチ

①回転スイッチ

平成4年度の試験結果に基づき改良を行い、遠心力によりメカニカルにスイッチがON/OFFできるものを製作し、常温で試験を行った。

試験は垂直、水平、傾斜（45°）の3姿勢について行った。40rpm程度でON/OFFができることを確認した。

②循環スイッチ

平成4年度の試験結果に基づき、全く様式の異なるものを製作し、試験した。

構造は金属皮膜を塗布した球形中性浮力体（フロート）と電極片及びストッパ一片から成る。

泥水の循環によりフロートが移動して電極片に接触することにより電氣的にスイッチをON/OFFする構造とした。

試験はミニループを用いて行い、循環流体（清水）の静／動によりON/OFFができることを確認した。しかしながら、泥水を用いた試験では作泥中に生じた気泡が試験中も完全に抜けることがなかったため、フロートの移動を妨げ十分な性能を得ることができなかった。今後更に改良を行う必要がある。

（3. 1. 2） 方位・傾斜センサ

イ. 方位センサ

平成4年度の試験結果より圧電振動型ジャイロを高温仕様に改良して試験を行った。

受感部本体には高温用の恒弾性金属を用いた。圧電振動子にはセラミックを用いた。耐熱試験は1軸（X軸）について行った。

その結果、受感部については目標の方位信号を得ることができた。

電子回路部については、加熱時に積分回路が正常に作動しなかった。今後更に改良を行う必要がある。

ロ. 傾斜センサ

平成4年度の試験結果より加速度センサを見直し、高温対応型の渦電流式ギャップセン

サを開発して試験を行った。

耐熱試験は1軸(X軸)について行った。受感部は目標とする角度信号出力を得ることができた。

また、今年度製作の電子回路部では150℃が限界であることが分かり今後更に改良を行う必要がある。

ハ. 装置内温度センサ

方位、傾斜センサの装置内の温度を計測し、温度上昇に伴う精度補正を行うためのセンサで今年度から試作、試験を行った。

白金薄膜温度センサ及び増幅回路部を恒温槽に入れて試験を行った。

その結果、200℃を越えると熱暴走が生じたが温度降下に従い正常となった。原因は基準電圧の変動によるため、基準電圧を一定に保つ回路構成を検討する必要がある。

(3. 1. 3) センサ・サブの詳細設計

平成3年度に実施した概念設計に基づき詳細設計を行った。

外径 $\phi 6.1/2"$ ($\phi 165.1\text{mm}$) とし、長さを2,000mmとした。耐熱仕様の各センサ、増幅器、電源等所定のスペースに収めることができた。

また、材料の選定、加工上の精度、APIのネジ基準等も明らかにすることができた。

(3. 1. 4) 非接触コネクタ

一次コイル部及び二次コイル部から構成され、一次コイルはセンサ・サブ側に、二次コイルはゾンデ側にあり、掘削情報を一次コイルから二次コイルに非接触に送信する。

本年度はコイル部のみを耐水及び耐熱仕様として試験を行った。試験は清水中、泥水中及び220℃の高温で行った。

二次コイルは外径の異なるものを3種製作して試験を行ったが、清水中、泥水中及び高温共に送信受信が良く一致した。

軸方向のギャップ試験は10mmまで異常なく送受信を行えることが確認できた。

(3. 1. 5) 電子部品耐熱性確認試験

ダイオード、トランジスタ、オペアンプ、A/D変換器、D/A変換器、アナログスイッチサンプル・ホールド、マイクロプロセッサ、スタティックRAM、プログラマブルROM、汎用ロジックIC、クロック発信器等耐熱性の高い製品を購入し、耐熱性試験を実施した。

試験はスクリーニングのフローチャートに従い、机上スクリーニング、1次スクリーニング及び2次スクリーニングにより、個々の性能を確認した。

その結果、ほとんどの電子部品はメーカーが保証する保存温度(150℃)を上回る200℃以上の動作限界温度を示した。

(3. 2) 地上装置

(3. 2. 1) 実験解析用プログラム

デコード化プログラムを開発すると共に、前年度に製作したポンプ・ノイズ除去プログラムを合体させ、坑底情報をリアルタイムに必要な物理量として表示するプログラムを開

発した。

(3. 2. 2) S/N比劣化修復自動識別プログラム

逸水時の坑内圧力をモデル化し、パルス波シミュレーション計算を行ったところ、パルス波振幅、若しくは位相遅れをモニタリングすることにより、逸水時の信号伝達のS/N比劣化を修復できる可能性のあることが判明した。

(3. 2. 3) パルス波シミュレーション計算

既存の特性曲線法によるウォータハンマ解析プログラムの用いたシミュレーション計算を実施し、ミニループ内の圧力パルス波の伝搬を比較的精度良くシミュレートすることができた。

(3. 2. 4) 地上装置の概念設計

ワイヤライン・リトリバブル装置の地上部分の装置を調査することにより開発要点を明確にすることができた。

(3. 3) 海外技術調査

平成3年度に実施した海外技術調査を受け、その後のMWD技術の動向、及びビット試験装置等の高温、高圧を用いる試験装置を調査して工場試験装置の詳細設計の助とすることを目的とし、アメリカ、ドイツ、オランダ、イギリス及びノルウェーを訪問した。

その結果、MWDに対する掘削業者の評価、高温に対する現状を把握することができた。

また、MWDサービス会社の現状を把握することができた。

坑底装置の開発装置を調査することにより今後の実験計画に展望を得ることができた。

マッドバルブ及びマッドポンプの現状を把握することができ、工場試験装置に必要な情報を得ることができた。

(3. 4) 工場試験装置

全体組立される坑底装置の試験開発用として、実坑井を模擬した条件で使用する工場試験装置の仕様の検討、概念設計及び詳細設計を行った。

その結果、装置の機能及び系統構成、配置並びに機器の仕様が明確になった。

イ. 装置の概要

工場試験装置は、試験部とした坑底装置を収納する収納容器、収納容器を支持する収納容器支持構造、泥水循環系として膨張タンク、加熱タンク、冷却器、高圧ポンプ及び配管・弁類、関連付属系並びに計測制御系から構成する。

これらの詳細設計を実施した。

ロ. 装置の配置

坑底装置及び収納容器のハンドリング及び保守性について検討し、収納容器の配置方法を選定すると共に機器の配置計画を行った。

泥水循環系の主要部の輸送及び据付についても検討を行った。

ハ. 機器の設計仕様

機器の設計は、圧力容器構造規格等の法規、規格及び基準に基づいて行った。強度評価の結果、いずれも必要な強度を有していることを確認した。また、検査仕様を検討し、製作に備えることとした。

(4) 平成6年度の成果

(4.1) 坑底装置の開発

(4.1.1) ヲツパル入発生装置

イ. ヲツパル入発生弁

- ・実機相当の一体型ゾンデを製作した。
- ・平成5年度の試験結果より更に部品数の低減を図ると共に泥水による浸食対策を検討し、弁を交換容易な構造とした。
- ・セントライザの位置と形状を検討した。
- ・平成5年度の試験結果に基づき、構造を簡素化し、高圧試験ループにて流量及び圧力を変化させ性能を確認した。

ロ. ヲツパル入発生弁駆動装置

外径33mm、長さ約105mmのモータを製作し、単体での220℃までの耐熱試験を行い安定した性能を得た。

ハ. ヲツパル入発生弁駆動装置制御装置

- ・幅30mm、長さ約300mmの基板を製作し、単体で220℃までの耐熱性能を行い安定した性能を得た。

- ・耐振動、耐衝撃対策を検討した固定装置を製作した。常温型のツツパル入発生弁駆動制御装置に装着し、一体型ゾンデに組み込んで高圧試験ループにより性能を確認した。

ニ. 坑底信号処理装置

- ・外径34mm、長さ約700mmの装置を製作して220℃までの耐熱性能を確認した。
 - ・耐振動、耐衝撃対策を検討した固定装置を製作した。常温型の坑底信号処理装置を製作し、一体型ゾンデに組み込んで高圧試験ループにより性能を確認した。
 - ・省エネルギー化を検討し、約5Wの削減を行うことができた。
 - ホ. モード切替スイッチ(回転スイッチ)
 - ヘ. モード切替スイッチ(循環スイッチ)
- 泥水循環による流体振動を利用したスイッチを試作し性能を確認した。

(4.1.2) 傾斜情報センサ

イ. 圧電振動型ジャイロ

分解能と精度向上を検討した。また、計測時に生じるドリフトの処理を検討した。

ロ. フラックスゲート型磁力計

外径34mm、長さ約580mmの実機相当品を設計・製作し、220℃までの高温特性を確認した。常温で50～500Hz、30Gの振動及び1,000G、0.5msecの衝撃試験を実施して性能を確認した。

ハ. 傾斜センサ

外径33mm、長さ約140mmのセンサ部及び幅34mm、3軸合計長さ900mmの回路を製作し、220℃までの高温特性を確認した。

ニ. 装置内温度センサ

①白金薄膜温度センサ

230℃までの基準電圧の安定化を図り、出力が直線的になることを確認し、サイクル温度試験により偏差が大きいことを確認した。

②信号検波用ダイオード温度センサ

試験品を製作し、230℃まで直線的な出力が得られることを確認し、サイクル温度試験でも偏差が小さいことを確認した。

(4. 1. 3) 振動実測

実坑井を用い、掘削中の振動を実測した。

(4. 1. 4) ゾンデ一体化振動設計

イ. 振動条件調査

掘削時の振動に関する文献調査を行った。

ロ. 強度評価

振動実測から得られたデータから外力を想定し、振動実測を基に、ゾンデの振動時の強度評価を行った。

(4. 1. 5) ゾンデ外部付帯装置

イ. スピア・ポイント

実機相当品を製作し、尖塔形状がハンドリングに与える影響を検討した。また、形状を変え、吊下・揚収性能を確認した。

ロ. セントラライザ

実機相当品を製作し、バネの剛性を検討した。また、ゾンデ取付位置を検討した。

ハ. ランディング・ロッド

ゾンデを単体使用時を想定し、ミール・シユーの形状等を検討した。また、掘削時の跳躍を抑える機構を検討すると共にゾンデ揚収時の妨げとならない機構も検討した。

(4. 1. 6) 電子部品耐熱性確認試験

スクリーニング方法とサイクル試験要領の見直しを図った。また、マッドパルス発生装置、センサ等の回路部の設計仕様に従い、より耐熱性の高い部品を取捨選択するための試験を行った。

(4. 1. 7) 実験装置の設計製作

イ. 高圧試験ループ

高圧試験ループはマッドポンプ、鋼製配管、昇圧バルブ及び作泥タンク等から構成し、垂直から水平に可動できる起倒部と水平部から成る。

製作目的を以下に示す。

- ①加圧することにより深度1,000mの坑井掘管内を模擬できる。
- ②ループ内には一体型ゾンデが収納可能である。
- ③泥水使用が可能である。
- ④傾斜時の坑底装置の挙動及びパルス波の伝搬を模擬できる。

⑤設計仕様

試験温度：常温

試験圧力：0～100kgf/cm²

使用流体：清水及び泥水

マッドポンプ：1,300、900、600 l/min（3段階可変）

ロ．ハンギング試験装置

製作目的を以下に示す。

- ①ゾンデ外部付帯装置であるスピア・ポイント及びランディング・ロッド等の吊下揚収試験ができる。
- ②高圧試験ループの起倒時の支持枠を兼用できる。
- ③垂直から水平まで任意の角度が設定できる。
- ④非接触コネクタ及びセンサ・サブの試験ができる。

⑤設計仕様

高さ：18m

作業ステージ数：3（+4.8m、+9.6m、+14.4m）

付属装置：-起倒装置（水平（0°）から垂直（90°）までの任意の角度が設定可能）

-起倒装置用電動ウィンチ

-チェーン・ブロック

（4.2） 地上装置

イ．実験解析プログラム

高圧試験ループを用い、実坑井試験仕様のプログラム構成を検討した。また、物理量の表示時間の短縮を検討した。

ロ．逸水時S/N比劣化修復自動識別プログラム

多数の逸水時のデータを取得し、モデル化を改良した。

ハ．シミュレーション計算

高圧試験ループを用いた場合のパルス波の伝搬特性計算を行い、試験結果と比較・検討した。

（5） 平成7年度の成果

（5.1） 坑底装置

（5.1.1） マッドパルス発生装置

イ．マッドパルス発生弁

明瞭なパルス波発生のため、弁の閉塞率、弁開閉時間及び、流体素子のピンチ効果を有効に発揮できる形状等の改良設計及び製作を行った。その結果、最適弁駆動パラメータが

選定され、ライナ・スリーブの採用により検知可能な明瞭なパルス波が生成されることを確認した。

また、弁の開閉時間は0.8秒でも明瞭なパルス波が得られることを確認した。

ロ. マッドパルス駆動装置

接点スイッチの構造及び材質の改良設計を行い、大型恒温槽（大気圧下）で単体で200℃×50時間の連続試験を行った結果、安定して動作することを確認した。

ハ. マッドパルス弁駆動制御装置

耐振動・耐衝撃対策のために外径φ33mmからφ28mmに小型化し、恒温槽を用いた大気圧下、200℃×50時間の連続試験を行った結果、安定して動作することを確認した。

二. 坑底信号処理装置

各センサ入力に対応する温度ドリフトの補正を確認すると共にA/Dコンバータの数を増やし、センサの分解能に対して十分な余裕を持つことを確認した。

また、単体での200℃連続試験を行った結果、耐久時間が目標50時間に対しておよそ30～40時間であることを確認した。

更に、処理内容を軽減するために各センサ入力のA/D変換を温度補正回路として別途分離独立させた。その結果、基板の長さを前年度に比べ半分以下の300mmに小型化できた。

ホ. 回転スイッチ

安定した動作性能を得るため、接点部の形状及び材質について改良設計を行った。

その結果200℃で45°、垂直では35rpmでの動作を確認したが水平方向では35～38rpmのばらつきがあった。

ヘ. 循環スイッチ

センサの出力を増幅するため高入力抵抗アンプを製作し、振動試験による動作確認を行った。

（5. 1. 2） 傾斜情報センサ

イ. 方位センサ

振動対策として体積の小さい抵抗を選択し、耐熱試験及び振動試験を行った結果、消費電流、最小分解磁界共に所定の性能を得た。

磁気に対する特性試験の結果、温度に対する出力電圧が三軸でばらつきがあり、補正を行う必要が生じたが、出力データから補正式を作成し精度を確認した。

三軸組み合わせた後に外部の磁気影響の無い所で角度感度試験を行い、地球磁場の計測を行った。その結果、特性に異常が無いことを確認した。

ロ. 傾斜センサ

三軸組み合わせでの感度特性試験を行った。その結果、各軸で若干の出力差があるものの回路で補正が可能であることを確認した。

温度特性試験より補正式を検討した。

方位センサと連結し相互の干渉の有無を調べたが出力データに異常は無かった。

また、温度上昇に伴う出力電圧降下を無くすように改良設計した。

ハ. 装置内温度センサ

信号検波用ダイオードセンサを用い性能の確認を行った。

その結果、出力電圧は温度に対して単調増加の良好な特性を示した。精度はほぼ $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ に収まっており、目標精度 $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ を満たした。

二. 温度補正回路

平成6年度までは坑底信号処理装置の一部を成していたが坑底信号処理装置への入力データの温度特性にばらつきがあったことを改善するためにセンサの近傍に設置し精度向上を行った。電子部品の耐熱試験結果よりアナログマルチプレクサを高精度のICに変更することにより精度を向上した。

(5. 1. 3) 電源

イ. 電源

耐熱 200°C のリチウム電池の特性を確認した。試験は抵抗と電池を恒温槽に入れ、 200°C で50時間連続の負荷試験及び、耐熱モータと電池を恒温槽に入れ間欠的に負荷を加える試験を行った。

その結果50時間でも十分に電力供給が可能であることを確認した。

ロ. 電源安定化回路

電池の出力電圧に温度依存性があるため、センサ回路及びデジタル回路のために電源を安定に供給する必要があるために電子部品耐熱試験結果で動作の確認された部品を用いて省電力、小型化のために単純な回路構成とし性能確認を行った。

各回路共に常温から 200°C までの温度領域で、回路負担状態での出力電圧の変化幅は0.1V以内で、設計目標を満足した。

温度上昇に伴いトランジスタ等のリーク電流の影響で軽負担での出力電圧が若干大きくなった。

本回路では出力段にトランジスタのグーリーントン接続を使用しているため、電流が急激に変化する回路には追従できないが、出力側にコンデンサを入れて特性の改善を行った。また、 200°C 連続で50時間正常に動作することを確認した。

(5. 1. 4) ソンデ付装置

イ. スピア・ポイント

バルス弁と一体化することにより強度の向上を図ることとし、改良設計を行い、振動、衝撃による脱落を防ぐことが可能となった。

ロ. セントライザ

丸棒を用いることで摺動性を高める設計を行い、一体型ソンの試験時に、ソンを容易に所定の位置に配置することが可能となった。

また、丸棒の採用により縮小時にはソンデ内に完全に収納することを確認した。

ハ. ランデング・ロット

掘削時のソンの跳躍防止のためのランディング機能を設計した。

(5. 1. 5) 電子部品耐熱性確認試験

コンデンサ、アナログマルチプレクサ、定電圧ダイオード及び高精度抵抗等の電子部品

の耐熱性能確認を行った。その結果、高温環境下でも容量値変動が少なくアナログ回路にも使用可能な小容量のコンデンサを確認した。

電源回路等に使用可能な定電圧ダイオードの性能を確認した。

極めて良好な高温特性の抵抗の性能を確認した。

目標性能に近い精度のマルチプレクサの性能を確認した。

基本的な回路構成部品はアナログ系及びデジタル系ともに、大容量の安定なコンデンサ以外はほぼ高温環境下での特性を満たした部品を確認した。

(5. 1. 6) 実験装置

坑底装置の各単体装置の耐圧性能を確認するための小型耐圧試験装置を設計、製作した。

坑底装置の耐振動性能を確認するための振動試験装置を設計、製作した。

坑底装置の耐衝撃性能を確認するための衝撃試験装置を設計、製作した。

(5. 2) 地上装置

(5. 2. 1) 実験用解析プログラム（ポンプ・ノイズ除去及び坑底情報デコード化プログラム）

改良設計をにより、処理時間短縮方法の実施、データ・セーブ方法の変更、データ表示画面の変更を行い、使いやすいシステムを構築した。

(5. 2. 2) 解析システムとのインターフェース

解析システムとの橋渡しを円滑に行うために識別子やデータの表示順位等のデータ・ファイル・フォーマットを決めた。

(5. 2. 3) パルス波シミュレーション計算

パルス弁の開閉速度等のパルス発生弁駆動制御パラメータがどのようにパルス波に影響するかを検討し、実験値と比較を行った。

また実坑井において深度がパルス波減衰にどのような影響を与えるかを検討した。

(5. 3) 実証試験

一体化したゾンデの耐熱試験を、DHP（Down Hole Pump）工場試験装置（荏原製作所 藤沢工場）を使用して行った。

循環熱水中での作動試験とし、最高200℃、最大圧力25kgf/cm²、最大循環流量1,600L/minの条件であった。試験内容としては、水中にゾンデを設置して水温を常温から200℃まで上昇させて常温に下降するサイクル試験を3回及び200℃で50時間作動させる連続試験を1回実施した。

ゾンデ作動のモニタリングのために耐熱試験用に製作したケーブル部等で漏水があり、測定データに一部欠損があったものの、以下の事項を確認した。

- ・ゾンデ一体として、200℃熱水中での動作を確認した。
- ・200℃熱水中でのゾンデ内の温度分布の偏りを確認した。精度確保のためには、装置内温度計を複数配置することを検討する必要がある。

- ・耐熱電池は200℃中で39時間必要な電圧を維持した。ただし、連続試験前の作動時間を考慮すれば、200℃で50時間作動可能と考える。
- ・検知装置の地上装置の実験解析用プログラムの作動を確認した。
- ・検知装置の地上装置から解析システムへのデータ送信、解析システム側のデータ受信を確認した。

3. 1. 3 解析システムの開発

(1) 平成3年度の成果

a. 坑跡管理支援システム

イ. 坑跡計画システム

坑跡計画に必要な機能を検討・整理し、二次元及び三次元での坑跡計画に必要な計算式を収集した。また、坑跡計画用のプロトタイププログラム（二次元の計算機能のみ）を開発した。

ロ. 坑跡表示システム

坑跡表示システムに必要な機能を検討・整理し、坑跡計算用の計算式を収集した。また、坑跡の誤差評価を行い、検知装置の方位・傾斜センサの精度は、今後のターゲットの許容範囲の狭い坑跡のコントロールをする場合にも十分であることが判った。しかし、検知装置の方位・傾斜センサの精度誤差以外に磁気干渉の影響や深度誤差が坑跡の誤差に影響するため、これらの誤差に対する対処も検討する必要があることが判った。更に、坑跡表示用のプロトタイププログラム（計算機能のみ）を開発した。

ハ. 坑跡予測システム

現状の坑跡予測に関する技術を調査し、その概要を把握した。また、坑跡管理支援システムが掘削作業中にどのように使用されるかを整理した。

b. 坑井評価支援システム

イ. 温度解析システム

検知装置により得られる温度情報を整理し、温度解析方法を検討し、開発する温度解析システムの概念をまとめた。また、温度解析シミュレーションに使用する温度データ以外のパラメータの内、温度解析結果に強い影響を与えるもの、与えないものをパラメータスタディを行い抽出した。

ロ. 圧力解析システム

検知装置より得られる坑内圧力の内、圧力解析に使用出来るデータを整理し、圧力解析方法を検討し、開発する圧力解析システムの概念をまとめた。

c. その他

この他、解析システムの機能と構成についての検討、及び海外調査による解析システムのニーズと使用状況、掘削解析の現状と今後の課題を調査した。

(2) 平成4年度の成果

a. 坑跡管理支援システム

イ. 坑跡管理支援システムの全体設計

坑跡管理支援システムの起用方法を検討し、掘削の各段階で坑跡管理支援システム内の各機能がどのように利用されるか明確になった。また、坑跡管理支援システム内のデータの流れを整理し、坑跡管理支援システムに必要なデータを明確にした。

ロ. 以下の機能を有する坑跡表示システムを開発した。

①モニタ

坑底装置より得られる各種掘削パラメータを監視する。

②坑跡表示

坑跡の平断面、鳥瞰図及び各種坑跡の解析結果を表示する。

③データ編集

坑井データ、坑跡データの入力、編集を行う。

ハ. 坑跡計画システム

坑跡計画用に以下の五つの方法を持つ坑跡計画システムを開発した。

- ・二次元坑跡計画法 (S-Shape)
- ・ロータリ用坑跡計画法 (Rotary)
- ・ツールフェース一定坑跡計画法 (ConstantTF)
- ・最小曲率坑跡計画法 (AllTurn)
- ・曲率指定坑跡計画法 (TurnHold)
- ・坑跡修正判定 (Project)

ｂ. 坑井評価支援システム

イ. 温度解析システム

①坑内温度シミュレータ (GEOTEMP2) の検証を行い、その計算結果が実坑井の実績と良く一致していることが確認出来たため、シミュレーション法による坑内回復温度、泥水冷却温度の推定に適用可能との見通しを得た。

②カーブフィッティング法の適用の検討を行い、この方法が坑内回復温度、泥水冷却温度の推定に適用可能との見通しを得たが、掘削環境を考えると適用可能な範囲が制限されることが判った。

③既存のシミュレータの場合、正しい地層平衡温度を既知のデータとして入力する必要があるという実用上の問題があるため、シミュレーション法にインバージョン法を適用した地層平衡温度推定プログラム (プロトタイプ) を開発した。

(3) 平成5年度の成果

ａ. 坑跡管理支援システム

①跡計画及び坑跡表示システム

平成4年度までに開発したプログラムを、地熱地域の実坑井の坑跡計画立案と坑跡表示に使用し、評価及び改良点の抽出を行った。この結果、開発したプログラムによって、適切な坑跡を効率良く作成出来るようになったことを確認した。一方、改良点としては地熱井掘削において重要な意味を持つ「フラクチャへの対処」を可能なものとするのが改良点として指摘されたため、断層上のターゲットを考慮した坑跡立案を行う機能を追加する

ための改良設計を行った。

②坑跡予測システム

ダウンホールモータによる掘削（掘管を回転させない状態での掘進）の場合の坑跡予測システムの開発を行った。

開発したプログラムは、BHA（掘具編成）の力学的解析に基づきビットサイドフォース（ビットに加わる坑井軸と垂直方向の力）を計算するプログラムBHAFORCEと、これを基にビットの進行方向を計算（坑跡予測）するプログラムBHAPATHの二つである。これらのプログラムの計算結果の検証を行うために、文献等で発表されている結果及び実坑井掘削結果との比較を行った。

③データベース

データベースに必要なデータを調査し、入力データを整理した。また、データベース化の方法の検討、プラットフォームの選定等のデータベースの概念設計を行った。

b. 坑井評価支援システム

イ. 温度解析システム

①温度解析システムの一部である坑内温度を解析するシュミレータGEOTEMP2について、以下の点を改良した。

- ・多変曲点地層平衡温度の入力
- ・時間刻みの掘削データの入力

検証を行った結果、計算結果が掘削実績とよく一致していることが確認出来たため、坑内回復温度・冷却温度の推定に改良したGEOTEMP2の適用が可能との見通しを得た。

MWDtemp2（プロトタイプ）に改良後のGEOTEMP2を組み込み、掘削中、浅い深度から逐次地層平衡温度の推定が可能となるように改良を行い、試験結果より実用化の目処がたったことが確認出来た。

また、温度解析システムの入力部及び坑内温度解析結果表示プログラムを開発した。

（４）平成６年度の成果

a. 坑跡管理支援システム

①坑跡計画システム及び坑跡表示システム

坑跡とフラクチャ面の交点座標、フラクチャ面上の座標位置決定の機能を追加するとともにシステムの結合を行い、試用評価した。また、この結果に基づき改良設計を行った。

②坑跡予測システム

ロータリー掘削時の掘具編成の挙動及び坑跡の予測に関する文献調査を行った。これに基づき、坑跡予測システムにて、坑跡の予測が困難となる共振条件を判定するプログラム（VIBRA）を開発した。ロータリー掘削特有のスタビライザ、ローラーリマー、ステラブルモータを取り扱えるように坑跡予測システムの機能追加を行った。更に、開発した坑跡予測システムを使用したケーススタディを行い、その操作性に関する検討を行った。

b. 坑井評価支援システム

①温度解析システム

温度解析システムの改良評価を行うため、既存の実坑井掘削時のデータの調査を行った。また、これらのデータを使用し、データに含まれる誤差等の影響を評価した。これに基づき、温度測定データに誤差が含まれる場合に対する収束性を向上させた地層温度推定プログラムを開発した。更に、このプログラムの評価試験を行い、温度測定用センサの相対的な誤差を事前に校正すれば、十分地層温度の推定が可能なことを明らかにすることができた。

(5) 平成7年度の成果

a. 坑跡管理支援システム

イ. 坑跡計画・表示システム

平成6年度の評価に基づき改良を行い、坑跡計画・表示システムにおける各画面の操作性を統一し、操作性を向上させた。

検知装置から得られる物理量データを連続取得するための結合インターフェースを開発し、データデコード用プログラムのエミュレータを用いて試験した結果、データの取り込みに関し正常に作動することを確認した。

ロ. 坑跡予測システム

平成6年度に開発したビットのみの影響を考慮した坑跡予測プログラムの解析精度の検討において、既存の坑跡と比較し、実坑跡に地層の影響があることが判ったため、地層が坑跡に与える影響を評価するための地層異方性モデルを検討し、地層異方性を評価する指数を計算するプログラムを開発した。更に、この評価指数に基づく地層異方性を考慮した坑跡予測プログラムを開発した。

既存の掘削データを用いて、開発したプログラムで実坑跡について解析し、地層の異方性指数を算出して再計算を行った結果、異方性を考慮しない場合と比較して、坑跡予測の精度が向上した。

b. 坑井評価支援システム

イ. 温度解析システム

逸水の影響等を考慮出来るようにプログラムを改良した。このプログラムの評価を行うため、逸水掘中に測定された坑内温度について比較し、プログラムの解析精度が向上していることが明らかとなった。更に、掘進中、逸水情報並びに地層平衡温度推定には、坑底温度を取得する方が、より信頼性が高くなることが判った。

ロ. 圧力解析システム

坑内圧力データを利用した解析技術の基本設計を行うための文献調査を行い、圧力解析システムの基本設計をまとめた。

3. 2 技術開発項目と実施状況

本年度の各技術開発項目の実施状況を第3.2-1表に示す。

第3. 2-1表 平成8年度 検知装置の開発 実施状況

予定 : <-----> 実績 : <----->

サブテーマ名	8年 / 4月	5	6	7	8	9	10	11	12	9年 / 1月	2	3
1. 全体開発設計			全体設計	計画設計							まとめ	
2. 検知装置の開発 2.1 坑底装置 ・ソナデ		改良設計		設計	製作			試験	試験		まとめ	
・電子部品耐熱性確認試験		購入			試験						まとめ	
・実験装置の設計製作		仕様作成		製作・据付							まとめ	
2.2 地上装置 ・実験解析用プログラム (ポンプ・ノイズ除去+デコード化プログラム)		改良設計	製作	試験	調整			試験	試験		まとめ	
・解析システム用インターフェース					調整			試験	試験		まとめ	

第4章 技術開発成果の概要

4.1 全体開発設計

4.2 検知装置の開発

4.2.1 坑底装置

ゾンデを構成するマッドパルス発生装置、坑底信号処理装置、モード切替スイッチ及び傾斜情報センサ（方位、傾斜、装置内温度センサ）について次の共通する改良設計を行い、実機相当を製作して高温高圧下での作動試験を行う。

①各単体毎及び複数の組合せ要素での高温における安定した動作の確認

②一層の省エネルギー化

③耐振動・耐衝撃性能の向上

ゾンデ各単体要素の固有の開発要素を列記する。

(1) マッドパルス発生装置

(1.1) マッドパルス発生弁

構造の簡素化及び部品の一体化を図り耐振動・耐衝撃性能の向上を図る。

実機相当機を製作し、性能を確認する。

泥水による摩耗の影響をシミュレーションする。

(1.2) マッドパルス弁駆動装置

耐振動・耐衝撃性能の向上を図る。

実機相当機を製作し、性能を確認する。

耐久性能の向上を図る。

構造の簡素化を図る。

(1.3) マッドパルス弁駆動装置制御装置

耐振動・耐衝撃性能の向上を図る。

耐久性能の向上を図る。

(1.4) 坑底信号処理装置

各センサ入力に対応する温度ドリフトの補正を確認する。

耐振動・耐衝撃性能の向上を図る。

耐久性能の向上を図る。

(1.5) モード切替スイッチ

①回転スイッチ

耐振動・耐衝撃性能の向上を図る。

耐久性能の向上を図る。

②循環スイッチ

ゾンデー体型での流体励振による振動レベルを確認する。

耐振動・耐衝撃性能の向上を図る。

実機相当機を製作し、性能を確認する。

(2) 傾斜情報センサ (方位・傾斜・装置内温度センサ)

(2. 1) 方位センサ

耐振動・耐衝撃性能の向上を図る。

温度補正の精度向上を図る。

耐久性能の向上を図る。

(2. 2) 傾斜センサ

耐熱特性の向上を図る。

耐振動・耐衝撃性能の向上を図る。

温度補正の精度向上を図る。

一層の小型化を図る。

(2. 3) 装置内温度センサ

耐振動・耐衝撃性能の向上を図る。

一層の小型化を図る。

(3) ゾンデ及び外部付帯装置

(3. 1) ゾンデ

実機相当機を製作し、耐熱、耐圧性能及び組立要領等を確認する。

(3. 2) スピア・ポイント

動作性能の向上を図る。

実機相当機を製作し、動作性能を確認する。

(3. 3) セントライザ

セントライザの動作性能を向上させる。

耐摩耗性能の向上を図る。

実機相当機を製作し、性能を確認する。

(3. 4) ランデング・ロッド

ラッチング機構の動作性能を向上させる。

実機相当機を製作し、性能を確認する。

(4) 電子部品耐熱性確認試験

電子部品の耐熱性確認試験を行い、ゾンデの一層の耐熱性向上のためのデータを取得する。

そのために以下の性能確認を行う。

- ・DIプロセスのFPGAの耐熱性能の確認を行う。
- ・高安定性のICの耐久性能を確認する。
- ・大容量コンデンサの性能確認を行う。

(5) 実験装置

高温高圧試験装置の製作、据付を行う。

①装置の概要

高温高圧試験装置は試験部本体、循環装置、計測制御装置及び電源等関連付帯設備から構成する。

試験部本体は坑底装置の一部を収容し、高温高圧の静水条件での作動試験等に供する。

装置の系統概念図を第4.2-1図に示す。

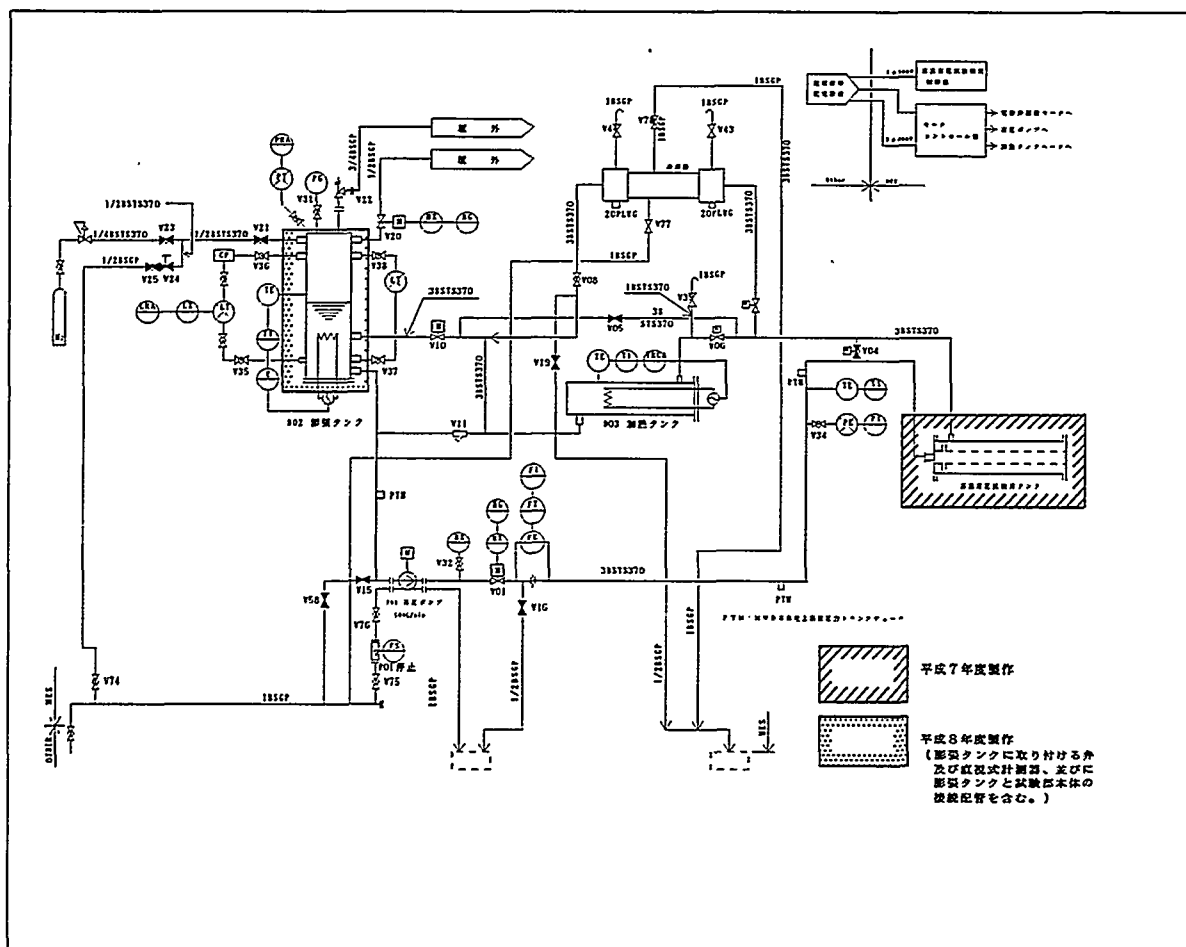
②運転条件

運転温度：250℃

運転圧力：200kgf/cm²

使用流体：水

循環流量：500L/min



第4.2-1図 高温高圧試験装置系統概念図

4. 2. 2 地上装置

(1) 実験解析プログラム

実験解析プログラム（ポンプ・ノイズ除去及び坑底情報デコード化プログラム）の改良設計を行う。

より一層の操作性の向上を図る。

デコード化の信頼性向上を図る。

(2) データ転送

インターフェースの改良を図る。

より一層の伝送レートの向上を図る。

4. 3 解析システムの開発

4. 3. 1 坑跡管理支援システム

平成7年度までに開発した計画・表示部の操作性の向上、及び地表で測定されたデータ（深度、ビット荷重、トルク等）を取り込むためのシステムの改良の基本設計を実施した。
①計画・表示部については、表示機能の追加（ケーシング深度／口径、逸水深度／逸水量、フラクチャ面と坑跡の交点位置）並びに、細部の操作性の向上を行った。

②地表で測定されるデータ（マッドログデータ）については、市場に出回っているマッドログシステムの出力フォーマットを調査し、ほとんどのシステムがWITS (Wellsite Information Transfer Specification) フォーマットに対応しているため、これを採用することにした。

4. 3. 2 坑井評価支援システム

温度解析部の操作性の向上のためのシステムの改良を実施した。すなわち、地層平衡温度の自動予測機能の精度向上と上述のマッドログシステムのWITSフォーマットに対応した測定データの自動取り込み部分を改良した。更に、平成7年度までに掘削された深部地熱資源調査井WD-1 a 井の掘削中のデータを基に温度解析部の精度向上の確認を実施した。

また、圧力解析部の基本設計を実施した。具体的には、過去にNEDOの逸水検知装置の解析システムの一部として開発された泥水等の高粘性流体での浸透率・層厚積(kh)を求めることが可能なプログラム”MRPL”を本圧力解析システムに組み込むための基本設計を実施した。

4. 3. 3 総合動作試験

解析システムの総合動作試験の一環として、深部地熱資源調査井WD-1 a 井（岩手県）の過去の掘削記録を元に、坑跡予測部の動作試験を実施した。

また、10月より掘削された深部地熱資源調査井WD-1 b 井で取得されるデータを加えて、掘削管理支援システム（坑跡表示部・坑跡計画部・掘削予測部）、坑井評価支援システム（温度解析部）の動作確認試験を実施した。

4. 4 今後の課題

4. 4. 1 全体開発設計

検知装置（坑底装置、地上装置）及び解析システム全体の開発進捗を確認するために、試験要領を検討する必要がある。

また、最新のMWDシステムと関連する掘削技術の調査を行う必要がある。

4. 4. 2 検知装置の開発

（1） 坑底装置

実機相当品ゾンデを実坑井試験を行い耐熱、耐振動・衝撃性能を確認する必要がある。
実坑井試験で確認する各構成要素の課題を列記する。

（1. 1） マッドパルス発生装置

イ. マッドパルス発生弁

掘削深度によるパルス波の減衰の影響を実坑井を用いて確認する。

泥水によるパルス弁の摩耗を実坑井を用いて確認する。

スリーブに掘管への固定要領を実坑井を用いて確認する。

ロ. マッドパルス発生弁駆動装置

パルス弁駆動軸のシール部の許容漏れ量を実坑井を用いて確認する。

ハ. マッドパルス発生弁駆動装置制御装置

高温下での延命化を図る。

二. 坑底信号処理装置

モード切替スイッチ機能の性能を実坑井を用いて確認する。

一層の小型化を図る。

（1. 2） 方位、傾斜センサ

イ. 方位センサ

実坑井を用いてセンサの性能を確認する。

回路部の一層の小型化を図る。

ロ. 傾斜センサ

実坑井を用いてセンサの性能を確認する。

回路部の一層の小型化を図る。

ハ. 装置内温度センサ

実坑井を用いてセンサの性能を確認する。

回路部の一層の小型化を図る。

二. 温度補正回路

回路部の一層の小型化を図る。

（1. 3） 電源

イ. 電源

実坑井を用いて使用時間を確認する。

ロ. 電源安定化回路

実坑井を用いて性能を確認する。

(1. 4) ソンデ及び付帯装置

イ. ソンデ

耐熱、耐圧、耐振動、耐衝撃性能を実坑井を用いて確認する。

櫓下から櫓内へのハンドリングを実坑井を用いて確認する。

ロ. スピア・ポイント

吊下揚収機能を実坑井を用いて確認する。

ハ. セントライザ

吊下揚収時に掘管内壁との摺動に伴う摩耗量を実坑井を用いて確認する。

ニ. ランディング・ロッド

実坑井のミュール・シュー・スリーブと嵌合を確認する。

(1. 5) 電子部品耐熱性確認試験

- ・電子部品の耐熱性確認試験を行い、ソンの一層の耐熱性向上のためのデータを取得する必要がある。
- ・生産中止、あるいはモデルチェンジとなり入手が不可能となる部品があるため、代替え品を取捨選択して性能を確認する必要がある。
- ・DIプロセスのFPGA (Field Programable Gate Array) の耐熱性確認を行い回路の一層の小型化を果たすためのデータを取得する必要がある。
- ・大容量コンデンサを引き続き検索すると共に等価な性能を構成するための代替え部品の性能を確認する必要がある。
- ・1997年から生産開始にはいる米国Honeywell社製の一連の高温仕様電子部品の耐熱性を確認する必要がある。

(1. 6) 実験装置

実坑井試験を目途とした動作確認試験を行うために各種の治具を製作する必要がある。

(2) 地上装置

ソンの実機相当品を実坑井を用い耐熱、耐振動・衝撃性能を確認するために以下の性能確認を行う必要がある。

(2. 1) 実験用解析プログラム (ポンプ・ノイズ除去及び坑底情報デコード化プログラム)

- ・パルス波受信用圧カトランスデューサ、マッド・ポンプのストーク検知用近接スイッチ、コンピュータを含めた計測システム等を実坑井を用いて性能確認をする。
- ・実坑井での使用を目途とした計測システムの小型、軽量化を検討する。

(2. 2) 解析システムとのインターフェース

実坑井試験を行い解析システムとのインターフェースを確認する必要がある。

4. 4. 3 解析システムの開発

(1) 坑跡管理支援システム

操作性の向上と共にマッドログとのインターフェースの改良を行う。更に、システムの改良及び精度の検証を行う。また、将来的な普及のため、UNIX上のシステムをPC上に移植する。

(2) 坑井評価支援システム

温度解析システムの操作性の向上と共にマッドログとのインターフェースを改良する。また、将来的な普及のため、UNIX上のシステムをPC上に移植する。

4. 5 工業所有権、技術指導、論文発表、口頭発表等の研究成果

4. 5. 1 工業所有権

4. 5. 2 技術指導

所 属	氏 名	指導・協力事項
神奈川工科大学 教授	山本 圭治郎	流体素子の調査
佐賀大学理工学部 助教授	寺本 顕武	信号生成の評価
東京大学工学部 教授	田中 彰一	全体システムの評価
東京大学工学部 教授	加藤 洋治	高速流体の評価
(株)物理計測コンサルタント 副社長	山下 武男	センサの調査・評価
東京理科大学 教授	関根 慶太郎	電子回路調査・評価
山形大学工学部 教授	小山 清人	振動・衝撃吸収材の調査
東京都立大学工学部 教授	鈴木 浩平	振動の評価・制振材の調査
三井造船(株)玉野事業所 技師長	杉村 章二郎	高温・高圧シールの評価

4. 5. 3 論文発表・口頭発表

発 表 題 目	発 表 者	講演会または発表誌名
1) 地熱井掘削時坑底情報検知システム (MWDシステム)の開発における坑 跡計画表示システムの開発	重益 幹男 他 2 名	日本地熱学会平成 8 年度東 京大会 (平成 8 年12月)
2) 地熱井掘削時坑底情報検知システム (MWDシステム)の開発における坑 跡予測システムの開発 (その 3)	卯城 佐登志 他 3 名	日本地熱学会平成 8 年度東 京大会 (平成 8 年12月)
3) 掘削中の入排泥温度による地層平衡 温度推定－実坑井データによる検討 (1)	高橋 歩 他 2 名	日本地熱学会平成 8 年度東 京大会 (平成 8 年12月)
4) The Propsagation of mud pulse signals in drill pipes	渡辺 嗣彦 他 1 名	Acoustical Society of Am erica and Acoustical Jap an (平成 8 年12月)
5) Estimation of the Formation temparature from the Inlet and Outlet Mu Temparature While Drilling		22th Stanford Workshop o n Geothermal Reservoir Engineering (平成 9 年 1 月)

第 II 編

技術開発成果

第1章 全体計画設計

1. 1 目的

検知装置（坑底装置、地上装置）及び解析システム全体の設計を行い、各項目の調整を行う。更に最新のMWDシステムと関連する掘削技術の調査を行う。

1. 2 平成7年度の技術開発成果

MWD坑底装置（ゾンデ）の耐熱試験の調整及び試験装置の改造を行った。ゾンデ作動試験のため各MWDメーカーからヘッフループ試験設備の調査を行った結果、試験成果をメーカーに提供することが判った。海外調査、文献調査より、ANADROL社のMWDが耐熱175℃で、市場に出始めたこと、また、それ以外のMWDメーカーでも、耐熱175℃のMWDの開発に着手していることが判った。

1. 3 平成8年度の技術開発計画

1. 3. 1 目標

全体調整として、ゾンデ耐熱試験結果を基に検知装置（ゾンデ）の改良点を提言し、MWDシステム全体の仕様の見直しを行う。また、技術動向調査として、既存の高温用MWDの稼働状況等に関する調査を行う。

1. 3. 2 計画の内容

(1) 全体調整

①ゾンデ耐熱試験結果を基に検知装置（ゾンデ）の改良点を提言し、MWDシステム全体の仕様の見直し等を行う。具体的には、検知装置（ゾンデ）の最終仕様を決定するため、ゾンデ（ワイヤ・ライン・リトリバブルタイプ）における以下のような現状調査を実施する。

- ・外形・材質
 - ・リリーシングツール・セントラライザ
 - ・ツールの性能（測定精度・サンプリング頻度等）
 - ・市場におけるサービスの形態と価格
- ②地球磁場が方位センサに与える影響に関する調査を行う。
- ③地上装置と解析システムのインターフェースに関する調整を行う。

(2) 技術動向調査

①既存の高温用MWDの稼働状況等に関する調査を行う。（国内ヒアリングによる調査）
現時点での海外MWD関連メーカーの最新動向を調査する。

- ・ S p e r r y - s u n (MWD)
- ・ H o n e y w e l l (電子部品)

②既存のMWDからのデータ取得に関する調査を行う。（国内ヒアリングによる調査）
③ゾンデ作動試験のための試験設備に関する以下のような調査を行う。（海外調査）

・) 使用可能な長距離ループ試験装置

海外における現状

平成9年度に使用可能な試験装置

・平成9年度に使用可能な試験井

国内の予定

海外の予定

④ゾンデ作動試験の実施可能な業者または関係機関について調査すると共に、MWD付帯装置、現状のユーザからの指摘事項及び市場のサービス価格等について調査を実施する。

1. 3. 3 開発工程

本年度の開発工程を第1. 3. 3-1表に示す。

第1. 3. 3-1表 平成8年度 全体計画設計 開発工程

内 容	平成8年									平成9年		
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
(1) 全体調整	←→									←→		
	計	画			全	体	調	整			ま	と
(2) 技術動向調査 ヒアリング調査	←→									←→		
	計	画			調	査	・	検	討		ま	と
海外調査						調	査	←→		ま	と	め
										ま	と	め

1. 4 本年度技術開発成果

1. 4. 1 全体調整

(1) MWDゾンデ仕様の検討

(1. 1) 作業、測定精度に及ぼすツール長の検討

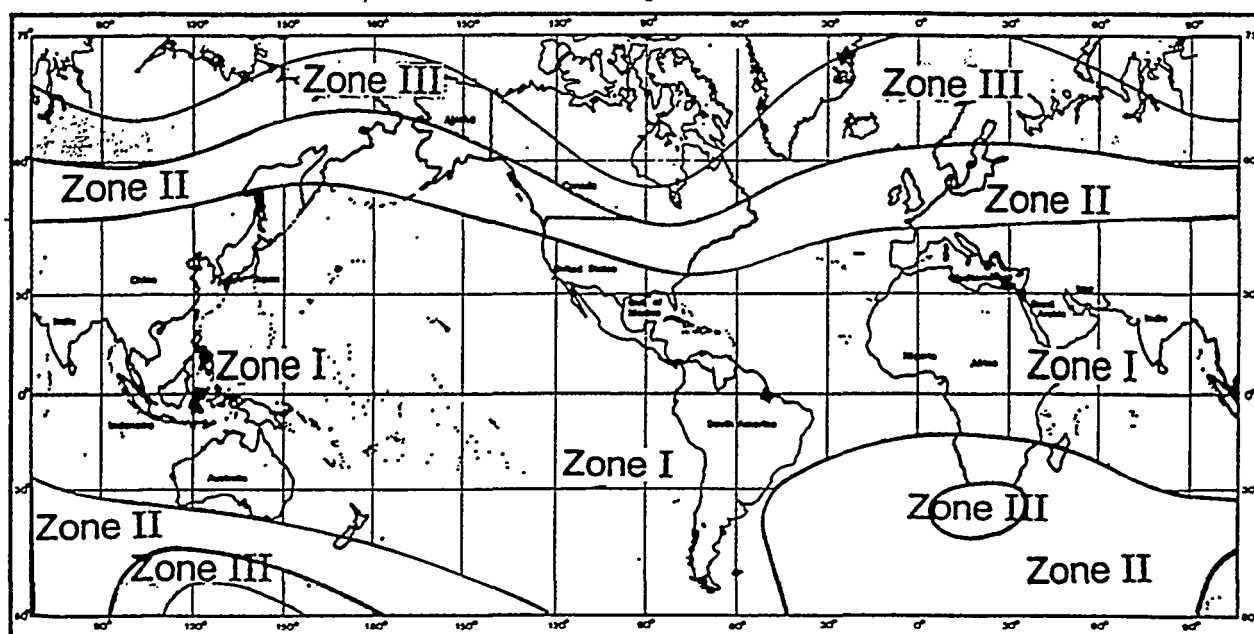
現状調査においては、既存ワイヤラインリトリバブル式MWDシステムのゾンデ長は約15ft (4.5m) から約28ft (8.6m) である。これに対して開発中のゾンデは、全長が約13mであるが、現状の地熱掘削井の掘削設備は、2,000m級で揚降管時のスタンド長は約27mが一般的となっており、これより短ければリグ下に吊り上げて坑内に降下する場合の作業上の大きな問題はないと考えられる。ただし、地上（水平状態）からリグ上に吊り上げる際に生じる撓みを抑える工夫（例えば、ツールを外筒に入れた状態で吊り上げる等）が必要となると考えられる。また、方位センサは、適正な長さの非磁性ドリルカラー内の適正位置にセットされる事が重要である。非磁性ドリルカラーについては、例えばカラー長30ftの非磁性ドリルカラーを用いる場合、方位センサが非磁性ドリルカラーの適正位置（ドリルカラー中心から1～4ft下）になるようにするために非磁性ドリルカラーの下にショートドリルカラーを取り付ける必要がある。

適正な方位センサセット位置について、地球磁場が方位センサに与える影響に関して文献調査をした結果を以下に述べる。

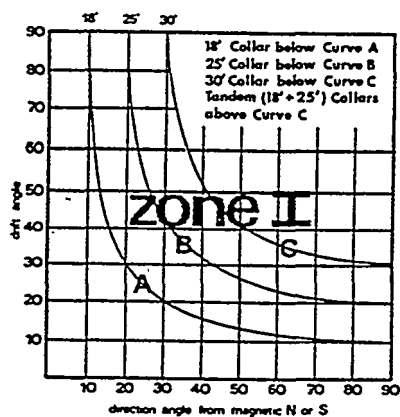
方位測定器の位置と非磁性カラー長については、掘削位置によってZone I、II、IIIの3つに大別され、各Zoneにおいても掘削方位及び傾斜によって非磁性ドリルカラー長が報告されている。第1.4.1-1図に大別されたZoneの分布、第1.4.1-2図に各Zoneにおける必要ドリルカラー長と測定位置を示す。（参考文献：APPLIED DRILLING ENGINEERING）

この結果から見ると、日本を含む大半のエリアはZone Iに含まれている。この地域においては、非磁性ドリルカラー長30ftであれば傾斜角 30° 以下で使用可能であり、非磁性ドリルカラー18ftと25ftのタンデムであれば全ての条件で使用可能であることが判る。

The Earth's horizontal magnetic intensity varies geographically, and the length of nonmagnetic drill collars used in a bottom hole assembly should fit the requirements of the particular area. This map is used to determine which set of empirical data should be used for a given area.

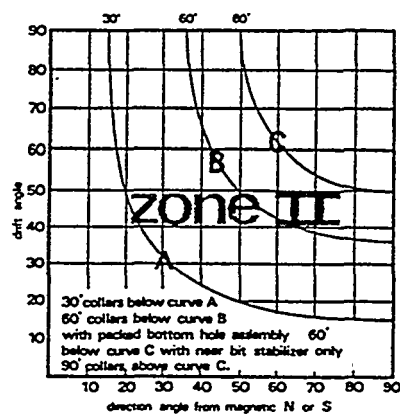


第1.4.1-1図 大別されたZoneの分布



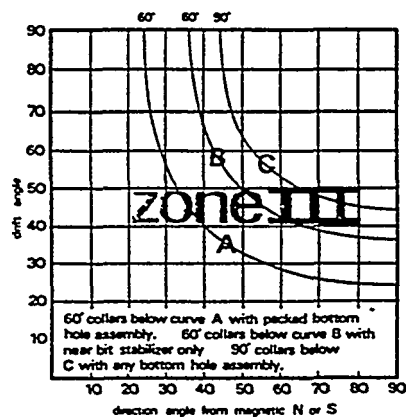
範囲	非磁性カラー長	コンパ°ス位置
曲線A以下	18ft	中心より1~2ft下
曲線B以下	25ft	中心より2~3ft下
曲線C以下	30ft	中心より3~4ft下
曲線C以上	(18+25)ft	下部カラーの中心

(Zone I)



範囲	非磁性カラー長	コンパ°ス位置
曲線A以下	30ft	中心より3~4ft下
曲線B以下	60ft	カラーの中心
曲線C以下	60ft	中心より8~10ft下
曲線C以上	90ft	カラーの中心

(Zone II)



範囲	非磁性カラー長	コンパ°ス位置
曲線A以下	60ft	カラーの中心
曲線B以下	60ft	中心より8~10ft下
曲線C以下	90ft	カラーの中心

(Zone III)

第1.4.1-2図 各Zoneにおける必要ドリルカラー長と測定位置

(1. 2) ツール外径の検討

ゾンデの外径は、リトリバブル形式を採用するため、掘具編成の内径によって制限される。一般的に使用する掘具編成は坑底より、ビット×スタビライザ×非磁性ドリルカラー×スタビライザ×ドリルカラー×ジャールス×ヘビーウエイト×ドリルパイプとなり、ゾンデセット位置までにジャールス及びドリルカラーを通過することになる。8-1/2"坑の掘削に使用される6"から6-3/4"のドリルカラーの内径は、1-1/2"から3-1/4"まで数種類ある。しかしながら、一般的な掘具編成は、抑留対策作業も考慮して選定されるため、内径が最小2-1/4"以上のドリルカラーが使用される。また、8-1/2"坑の場合に使用されるジャールスは、以下のように内径2-1/4"である。従って、開発するゾンデのツール外径は1-3/4" (44mm) であり、ゾンデセット・採揚作業で問題になることはないと考えられる。

第1. 4. 1-1表 各社ジャールスの内径

サービス会社	外径 (インチ)	内径 (インチ)
Dailey社	6 1/4"	2 1/4"
Bowen社	6 1/4"	2 3/4"
Griffith 社	6 1/4"	2 1/4"
Houston eng. 社	6 1/4"	2 3/4"

(1. 3) 外部付帯装置 (スピアポイント、セントラライザ、ランディグロッド)

(1. 3. 1) 材質

ゾンデと共に外部付帯装置についても、非磁性材料である必要がある。非磁性の材料としては、一般的に以下のものが使用されている。

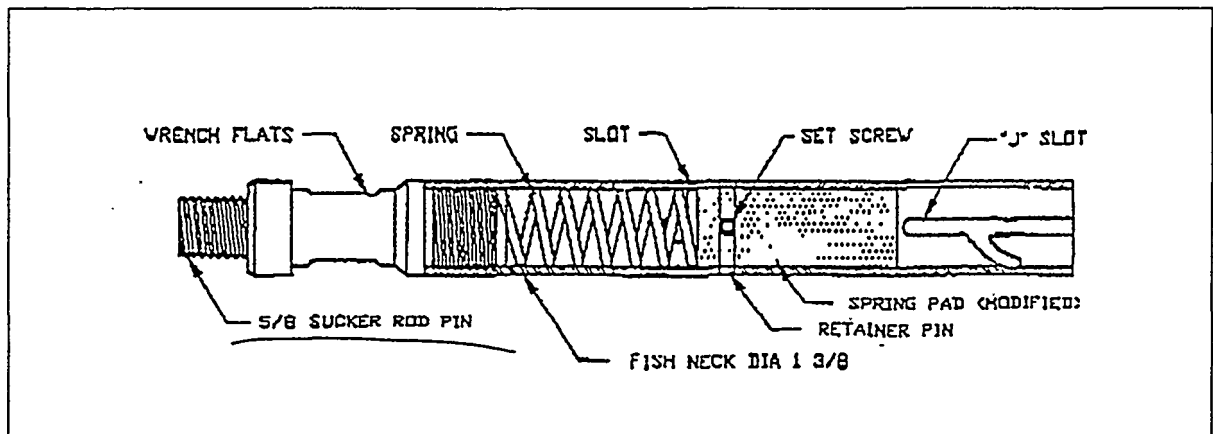
- ・ K-Monel 500TM (Copper, 30% Nickel, 65%)
- ・ Chrome/Nickel Steel (Chrome, 18% Nickel, 13%以上)
- ・ Austenitic steel/Chromium/Mangane
- ・ Copper/Beryllium/Bronzes

これらの中から、加工性、経済性の観点から本年度製作する試作ゾンデの材質として、K-Monel 500TMを採用することとした。

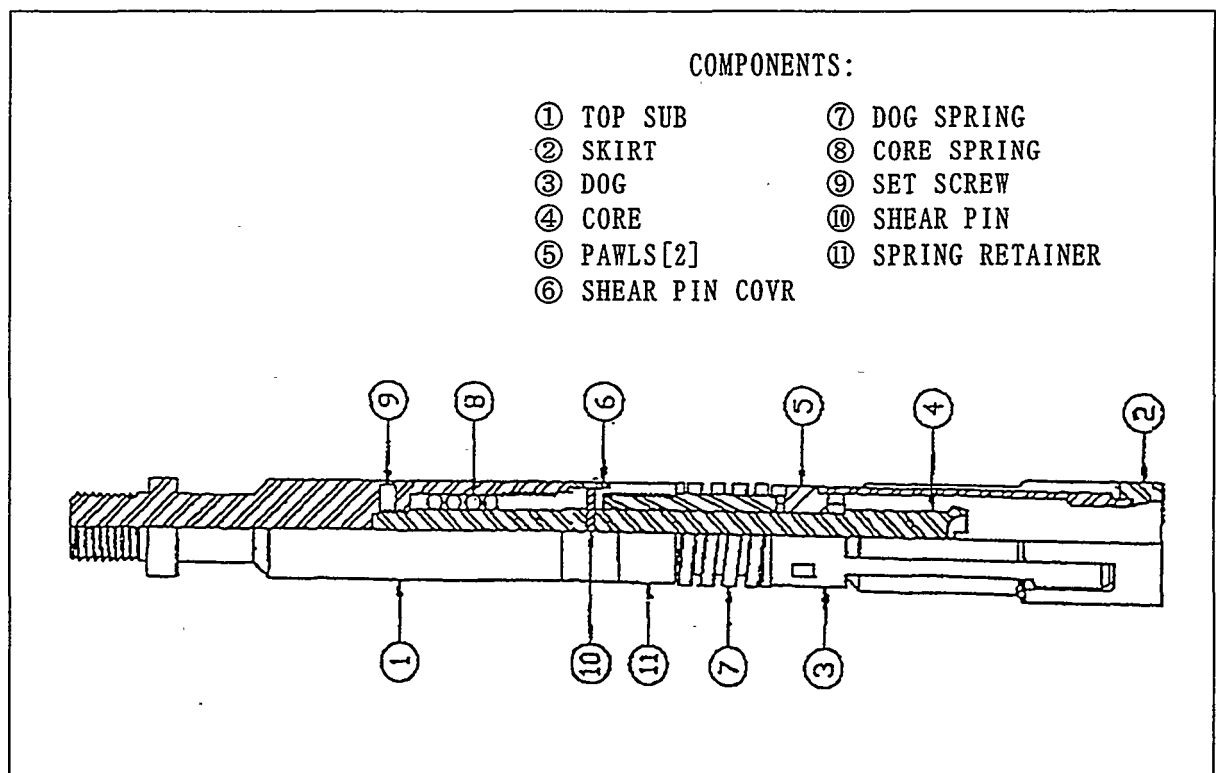
(1. 3. 2) リリーシングツール

リリーシングツール及びオーバーショットに関しては、確実かつ安全性が求められる。

現状で、一般に市販されて用いられているリリーシングツール及びオーバーショットの例を第1. 4. 1-3図及び第1. 4. 1-4図に示す。これらをMWDシステムとして適用出来ると判断できた。



第1.4.1-3図 リリーシングツールの一例



第1.4.1-4図 オーバーショットの一例

(1.4) ツールの性能 (測定精度・サンプリング頻度等)

既存MWDとの比較表で見る限り、開発しているゾンデの測定精度及びサンプリング頻度 (伝送速度) については、既存のMWDシステムと比較しても劣ってはいない。

電源 (測定時間) については、ゾンデ単独では、既存MWDの使用時間 (150℃、125～800時間) と比べるとNEDO開発目標 (200℃、50時間) では、使用時間に大きな差が生じている。これは、地熱井でのビット寿命は短く、平均的には50時間以下であること、バッテリーの容量より耐熱性を重視していること、また、元来、センササブを併用してタービン発電機より電力を供給することで泥水循環中であれば使用時間は無制限になることを想定したシステムとして設計されたことに依る。しかしながら、将来的には省電力化を目指すことが、本MWDシステムの実用化の観点から肝要である。

(2) 市場におけるサービス形態の調査

現状並びに将来の市場分析を実施した。

(2. 1) 国内地熱井における高温用MWD（アナドリル社Slim-1、耐熱150℃、ワイヤラインリトリバブル＝ゾンデタイプ）の使用実績（1993年～1995年）

下表に示すように、国内地熱井ではここ3年間で延べ11回の需要があった。これ以外に、サービス価格はより低コストだが一芯の検層ケーブルを使用する必要があるステアリングツールサービス（SDI社Eye tool、耐熱180℃）としては、延べ数20回の需要があった。今回、調査した限りでは、この2社が国内の地熱井掘削でのサービスを実施している会社である（なお、石油・ガスでは、BHI社もサービスを実施している）。従って、現状での国内需要は、ここ3年間合計で31回（年間当たり約10回）程度である。国内で、MWDでなく、検層ケーブルを必要とするステアリングツールを使用する最大の理由はサービス価格でMWDより安いことによる。従って、MWDのサービスコストが下がり、ステアリングツールに近づけば、現在ステアリングツールを使用しているデベロッパの多くも操作性に優れたワイヤラインリトリバブルタイプのMWDに移行する可能性は高い。

また、現在開発中の解析システムについても、MWDとの完全な連動並びに解析システム（坑跡管理支援、坑井評価支援）を組み込んだ形で市販されている類似システムは無く、MWDサービスとの連動だけでなく、解析システムを独立させたソフトウェアとしても、広く掘削業者を含めた需要が見込まれるものと考えられる。ただし、普及のためには、将来的に、現在UNIX上で作動しているシステムを計算能力の向上したPC（WINDOWS95）に移植して低コスト化・高機知性を図る必要がある。

第1.4.1-2表 1993年～1995年のMWD等国内使用実績

機 器	使 用 地 域	延べ回数（1年当たり平均）
MWD	澄川（秋田）	11回（3.7回/年）
Slim-1	葛根田（岩手、深部調査井含む）	
	滝上（大分）	
	山川（鹿児島）	
STS	森（北海道）	20回（6.7回/年）
Eye tool	柳津西山（福島）	
	葛根田（岩手）	
	山川（鹿児島）	
合 計		31回（10.3回/年）

(2. 2) 国内地熱井における高温用MWD（アナドリル社POWERPULSE、耐熱175℃、サブタイプ）の使用実績（1996年）

サブタイプMWD（掘管にMWDシステムを組み込んだタイプ）に関しては、これまでは高温用が無かったこともあり、下表に示すように本年度10月よりNEDO深部地熱調査井で初めて使用したが、耐熱限界175℃付近での使用時に一部データの欠損等があり、175℃付近ではまだ信頼性の面で不安な面を示した。

第1.4.1-3表 サブタイプMWDの使用実績

使用地域	坑 井
葛根田（日本重化学工業）	10月より使用したが、耐熱限界付近での使用が不安定だった。

（2. 3） 海外地熱開発地域での需要

現在、最もアクティブに開発を進めている地域は、インドネシア、フィリピンであり、今後、これらの地域での需要が見込まれる。

（2. 4） 石油・ガス井掘削での需要

最近、スペリーサン社が新たに耐熱175℃のサブタイプの高温用MWD” Solar175” を市場に投入した。これは、近年の石油開発エリアが高温になってきたことに伴い、アナドリル社に追随する形で投入してきたもので、ガルフとアラスカの深部井、更にアジア地域ではタイの海洋石油掘削で使用する予定（2年間）との情報もあり、石油・ガス井掘削でのサブタイプの高温用MWD（オペレーション温度＝175℃以上）の需要も高まりつつあるものと判断される。また、最近のSPE Annual Technical Conference and Exhibitionでの発表によると、BHI社が耐熱175℃のMWDのプロトタイプを製作したとの情報があり、各社とも従来の150℃から更に高温用のMWDに対する需要に応じる形で開発が進みつつある。

（2. 5） まとめ

現在国内で実績のあるアナドリル社Slim-1のNEDO深部地熱調査井での実績では、掘削深度2,600m（オペレーション温度＝142℃）で、限界温度150℃近辺での坑跡修正に使用されており、Slim-1（耐熱150℃）ではより深い深度での使用は困難なことが予想される。一方、葛根田、澄川、奥会津、八丁原、山川等で2～3kmの掘削が盛んに行われ、地層平衡温度も350℃近辺ないしそれを超える場合が出てきており、ターゲットにより近づいてからの坑跡修正が困難になり、掘削の成功率向上を阻害しているのが現状である。従って、より深い深度での坑跡修正のためには、より高温用のMWDシステムが必要なことは明らかである。また、海外での石油・ガス井掘削での需要も高温側へシフトしつつあり、地熱開発より大きな市場を持つ石油・ガス井掘削への展開も期待できよう。

（3） 試験計画の検討

長期開発計画に基づいて、平成8年度に実機ツールの単体試験・製作、平成9年度に長距離ループ試験、実坑井試験が計画されている。各試験で可能な主な確認事項を第1.4.1-4表にまとめた。

（3. 1） 平成8年度の開発について

平成8年度については既存の試験設備にて各単体にて性能を確認し、実機ツールを製作する。

(3. 2) 長距離ループ試験 (平成9年度計画)

長距離ループ試験を行い、2,000m相当のループ長と常温の条件下でMWDシステムの作動と性能を確認して実坑井試験に備える。この試験は、現在実施中のループ試験装置では実施不可能な次の項目について確認する。

①長い掘管 (目標仕様: 2,000m) での伝送性能確認 (等間隔で圧力波の測定を行い、各区分での信号の減衰を評価する。)

実坑井試験では、掘削の状況によっては十分な試験ができない。例えば、崩壊の発生しやすい状態で長時間MWDの試験を継続することは坑壁の維持の観点からみても不可能である。また、試験期間中に掘削作業に付随して発生する様々なトラブルを事前に予測することはできない。このため、実坑井試験では、その後の改良に十分なデータを得ることは困難な場合が生じることを覚悟しなければならない。また、ツールにトラブルが発生した場合に、掘削リグを長時間に亘り待たせることができない。従って、実坑井試験に至る前に、想定されるトラブルの大半を解決しておく必要があるため、このような長距離ループ試験を実施することが望ましい。

以上の項目を実施するためには、現行プロジェクトで所有している試験装置及び海外で所有している使用が可能な長距離ループ試験装置の現状から見て、次の方法が考えられる。

第1.4.1-4表 長距離ループ試験の実施方法

試験方法		長距離伝送性能	実坑井での掘削時性能 (参考)
I	深さ1.5～2km程度の 実験井 (リグ付き)	○	○
II	現有ループ試験装置の配管 の長距離化	◎ (時間が十分取れる)	
	深さ300～600m程度の 実験井 (リグ付き)		△ (距離の問題が残る)
III	深さ300～600m程度の実験 井 (リグ付き) + 地上ルー プ (1.7～1.4km程度)	○	○

今後、これらの選択肢から、海外で所有している長距離試験装置の現状、現有ループ試験装置の改良の可能性、費用等の観点より詳細を決定する予定である。

(3. 3) 実坑井試験 (平成9年度計画)

実坑井試験では、常温下で掘削を行い、MWDシステムの掘削時の諸条件に対する作動・性能をはじめ作業性及び操作性について確認を行う。また、実坑井試験結果より問題点を抽出し改良・改善を行い、MWDシステムの向上を図る。

第1.4.1-5表 各試験における主要確認事項

確 認 項 目	平成8年度	平成9年度	
	室内・性能確認試験 (現状の試験装置使用)	長距離ループ試験	実坑井試験
各単体部分の 高温作動試験	○	—	—
各単体部分の耐振動・ 耐衝撃性能確認	○	—	—
ゾンデー体化状況下での 高温作動試験	△ (荏原製作所平成7年度 作製DHP試験装置)	—	—
ゾンデー体化状況下での 耐振動・耐衝撃性能確認	—	—	○
ポンプノイズ除去プログラムの 性能確認(各区间で) (ポンプ:TRIPLEX)	△(短)	○	—
マトリクス伝送状況及び 精度の確認 (管形状) (距離)	△(ループ) △(短)	△(ループ) ○	○(坑井) ○
解析プログラムのインターフェース 及び作動確認	△ (タミ-プログラム)	△ (タミ-プログラム)	○
付帯装置作動・性能確認	—	△(浅部) (低温)	△(深部) (低温)
MWDシステムの操作性確認	—	—	○(リグ)

凡例 ○：最適
 △：適正
 —：不可

1. 4. 2 技術動向調査

(1) 文献調査

既存MWDの仕様についての文献調査を行った。本年度は、平成7年度の報告を踏まえ、既存のリトリバブルタイプのMWDシステム及び175℃の耐熱性を有するサブタイプのMWDシステムPOWER PULSE (Anadrill社)、SOLAR175 (SPERRY-SUN社)の仕様について調査した。その結果を第1.4.2-1表に示す。

第1.4.2-1表 既存MWDの仕様とNEDO開発目標
(出典：Petroleum Engineer International, May 1996)

サービス会社		Ana-drill	Baker-Hughes-INTeq	HALLI-BURTON ENERGY	Ana-drill	SPERRY-SUN DRILLING	NEDO 開発目標
システム名		Slim-1	DMWD	DIS	POWER PULSE	SOLAR 175	
外径 (inch)		1-3/4	2	4-3/4	6-3/4	6-3/4	1-3/4
長さ (feet)		28	23	15	25	11.5	45 (簡易型) 51 (フルスペック)
最高使用温度 (℃)		150	150 175*	150	150 175	175	200
耐圧 (psi)		15,000	20,000	20,000	20,000	22,500	14,300
電源 (測定時間)		バッテリー (800H)	バッテリー (125H)	バッテリー (255-400H)	タービン発電器 バッテリー	タービン発電器 (∞)	タービン発電器 バッテリー (50H)
伝送速度 (秒/回)		10~120	15 or 30	6.9- 34.5	2.7or5.4	8.75or14	15以下
測定項目		・傾斜掘* ¹ ・温度 ・振動 ・マルチショット ・γ線	・傾斜掘* ¹ ・ツール温度	・傾斜掘* ¹ ・ツール温度 ・γ線	・傾斜掘* ¹ ・温度 ・振動 ・ウォッシュアウト ・γ線	・方位 ・傾斜 ・ツールフェイス ・γ線	・傾斜掘* ¹ ・ツール温度 ・ビット荷重* ² ・ビットトルク* ² ・坑内温度 ・坑内圧力* ²
測定精度	ツールフェイス (GTF) (MTF)	±1.0° (傾斜>10°) ±1.0° (傾斜<10°) ±1.0°	±3.0° (傾斜>3.5°) 記載なし	±1.5° (傾斜=5°) ±3.0° (傾斜=2°) ±1.5° (傾斜=5°) ±3.0° (傾斜=2°) ±0.2°	±1.0° (傾斜>10°) ±1.0° (傾斜<10°) ±1.0° (傾斜>5°)	±2.8° 記載なし	
	方位		±1.5° (傾斜>3.5°)			±1.5°	±1.5°
	傾斜	±0.1°	±0.2°		±0.1°	±0.2°	±0.1°
ワイヤライン リトリバブル		可	可	可 エレクトロニクスのみ	不可	不可	可 ゾンデのみ

*: SPE Annual Technical Conference and Exhibition (1996) 情報 (開発中)

*¹: 方位・傾斜・ツールフェース *²: センササブによる測定

(2) 海外技術動向調査

海外技術動向調査として、平成9年度に予定されている長距離ループ試験装置及び実坑井試験設備の現状調査及びHoneywell社における高温電子部品の開発動向調査を実施した。

①Rocky Mountain Oil field Test Center (米国、キャスパー) : 長距離ループ試験装置及び実坑井試験設備

②AMOCO社Drilling Technology Test Facility : 長距離ループ試験装置及び実坑井試験設備

以下に、その概要を述べる。

(2. 1) Rocky Mountain Oil field Testing Center (RMOTC) 長距離ループ試験場

RMOTCのキャスパーオフィスは、100人前後が働いている。RMOTCは1992年にDOEにより設立された会社である。RMOTCは、テスト現場のNaval地区の石油フィールドのマネージメントを任されており、RMOTCの人間はほとんどHoustonに本社を置くFluor Danielというエンジニアリング会社から来ている。約1,200本の井戸があり、その内600本が運転している。42のインジェクション井がありガスや蒸気を注入し、オイルの回収率を向上している(EOR)。ほとんどの坑井は垂直である。一番深い井戸で5,500ft(約1,650m, ケーシングプログラム; 13-3/8"; 約30m, 9-5/8"; 約150mまで, 7"; 約1,650mまで)で、ほとんどの井戸が浅く、平均で1,000ft(約300m, ケーシングプログラム; 9-5/8"; 15~30m, 7"; 約150m, 裸坑6.5"; 約300mまで)である。EOR井では、蒸気(260℃)が注入されているため、井戸付近の地層温は約200°F(約100℃)になっている。EOR井の深度は約500ft(約150m; ケーシングプログラム; 9-5/8"; 15~30m, 5.5"; 150mまで)である。ループ試験用の配管は全くない。ただし、井戸に蒸気が注入されているため、蒸気用の配管があり、最初この配管を使用してテストできないか検討したが、蒸気管にはストレッチがついており、この部分でマッドパルスが大きく減衰する可能性があるという問題点があり、懸案となった。また、リグは掘削可能なリグが1台、ワークオーバーリグが3台、2000'級が1台である。

(2. 2) AMOCO社 長距離ループ試験場

現在400~500の坑井があり、本設備の使用者は、シュルンベルジェ、ハリバートン等である。井戸の基本的なスペックは、12-1/4"で240mからキックオフし、約400mまで掘削する。ここでの傾斜は約30°である。その後9-5/8"をセットし、8-1/2"で約600mまで水平に掘削する。全ての坑井は、基本的に前記のような坑井プログラムで掘削される。坑底(600m)で地層温は約50°である。掘削した坑井は、すぐプラグバックしてしまう。しかし、要望により坑井を残しておくことも可能である。また、坑井の坑跡データは基本的に無いので計測しなければならない。掘削計画は来年も多数あるので、新しくMWDの試験のために坑井を掘ることはない。ただし、坑井のメンテナンスが必要である。地層は、Limestone、Shale、Dromite等の互層で複雑である。坑井を残しておくため、またMWD

試験の設備や資材等の関係で、少なくとも6ヶ月前には、仕様や日程をフィックスする必要がある。

A M O C O社は、掘削中の流体の流動状況をモデル化するためにフローラップを既に持っている。これは、径が4.5"で、アニュラー部のフローをテストするために、その中に更に2-7/8"のパイプが挿入されている。プレッシャーポートも多数ある。長さは片道約90mで往復で180mであるが、追加も可能である。これには、予めモイノー型のポンプが設置されている。

第1.4.2-2表 長距離ループ試験及び実坑井試験設備比較

	R M O T C	D T T C
場 所	Casper, Wyoming, 米国	Tulsa, Oklahoma, 米国
所 有	D O E	A M O C O
管 理 ・ 運 営	Fluor Daniel, Inc.	A M O C O
ループ試験設備	評価=○ (アニュラー部再現は不可)	評価=◎
ループ配管	4.5" 10.5# (ID=4.052") Range 3 ケーシングパイプ (L=12m) (322ジョイント)	4.5" Grade S (ID=3.826") トリルパイプセクション(L=15m) その他、アニュラーセクション、チュービングセクション、ビットサブセクションを持つ
フラク・タンク	2～500 bbl+マッド・ビット使用可	
マッド・ポンプ	DB-550 1台 MM-300 1台 (Dowell-Schlumbergerから レンタルも可能)	Moyno型 520gpm(500psi)
圧力計測設備	圧力トランスデュサー等、別途レンタル必要	ほぼ、完備
坑井掘削設備	評価=◎	評価=○ (水平掘削)
	深度=1,000～5,500' (既存井) 裸坑=6.5" 坑内：非噴出、頁岩	深度=1,800' 裸坑=8-1/2" Chicago-Pneumatic Workover Rig (2,000', 40Klb) ビット径 (3-7/8"～6-1/8")
総合評価	D T T Cに較べ、施設の仕様はやや劣るが、今回の試験には使用可能である。また、コストパフォーマンスは良い。	施設の仕様は非常に良いが、コスト面でR M O T Cに劣る。

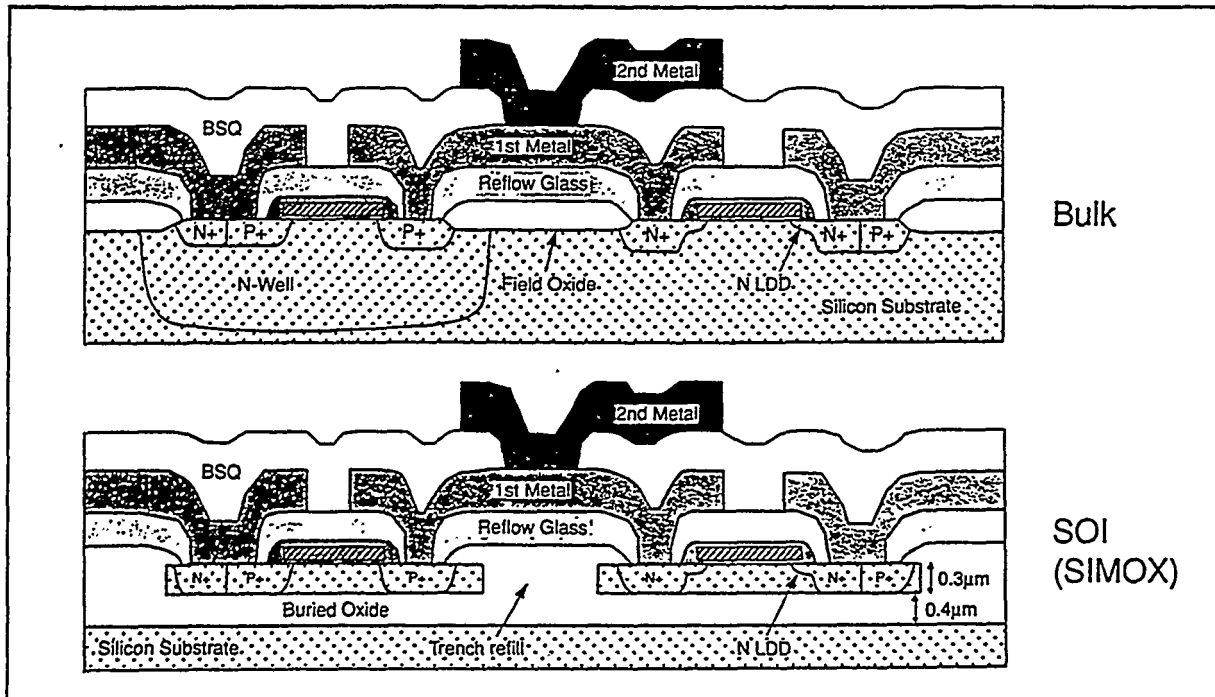
(2.3) Honeywell 高温電子部品

Honeywell は、大きく3つの部門を持っている。一つは、エアーコンディショナ、家やビルのセキュリティシステム部門、二つ目は、工業用（軍を含む）に使用する圧力センサやスイッチ、三つ目はスペーステクノロジーで宇宙船のコントロールシステム等の開発部門である。Honeywell は、従業員約600人で、高温用エレクトロニクスや圧力センサ及びエレクトロニクスの蒸着等の工場部門は24時間体制である。高温用エレクトロニクスの開発は、基本的にシリコンを絶縁材としている（第1.4.2-1図参照）。現在開発しているエレクトロニクスは、225℃パーマネント（約5年くらい）で、HTMOS、0p Amp、12Bit A/Dコンバータ等があり、第1.4.2-3表に示したロードマップに従って開発が進められている。この中で、0p Ampとアナログスイッチは販売実績もある。このロードマップの80%は予定通り開発が進んでいる。しかし、SRAMは遅れている。高温用エレクトロニクスは、主にスペーステクノロジーや自動車のエンジン部に使用することを目的に自社研究として開発が進められた。しかし、その後（1995年）一部のエレクトロニクス（12Bit A/Dコンバータ等）については、政府がサポートしている。高温用エレクトロニクス開発の流れは以下の通りである。

エレクトロニクス購入→SOI (Silicon-on-insulator)→テスト

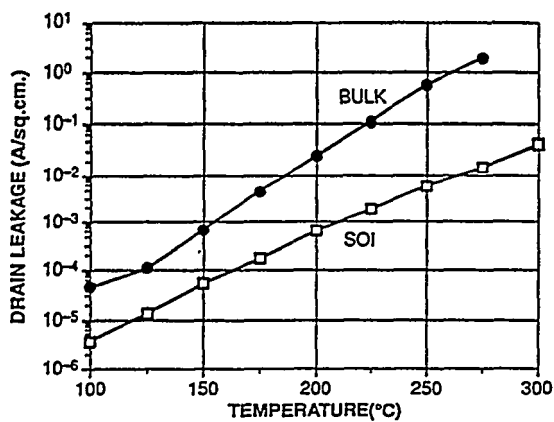
すなわち、エレクトロニクスそのものは生産しておらず、購入してシリコンを用いて改良するという方法である。18項目あるエレクトロニクス高温化の内、そのほとんどが来年内に開発を終える予定である。高温用エレクトロニクスは225℃パーマネントであるので、長期間地熱井で圧力や温度モニタリングする井戸に最適である。つまり、長期間信頼性のあるモニタリングが可能となる（第1.4.2-2図参照）。これを使用して、高温用坑井内サismickセンサも開発可能である。現段階では、上記18項目のエレクトロニクスの開発だが、将来的には、キャパシタやレジスタも高温用にする計画があるという。

Bulk Versus SOI Cross Section



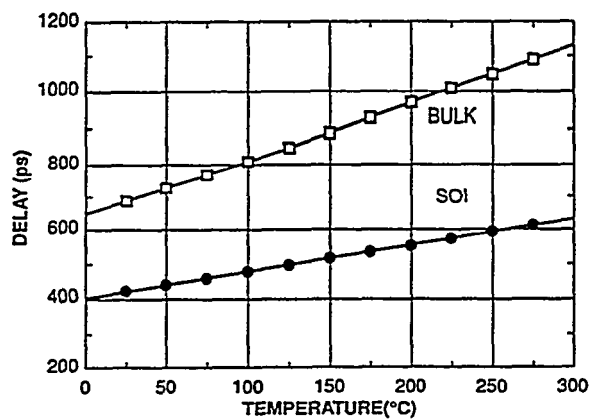
Bulk Versus SOI Leakage And Delay

Junction Leakage vs. Temp.



SOI has up to 100x less leakage than bulk

Gate Delay vs. Temp.



SOI is faster than bulk

第1.4.2-1図 従来型 (Bulk) とシリコンを絶縁材とした高温タイプ (SOI) の比較

第1.4.2-3表 Honeywell社の高温電子部品 (HTMOS) の開発ロードマップ

Process/Product	<u>1996</u>	<u>1997</u>	<u>1998</u>	<u>1999</u>	<u>2000</u>	<u>2001</u>
HTMOS-L (10V Linear)	Devel.	LRIP	Prod			
HTMOS-III (5V Mixed Sig.)	Devel.	LRIP	Prod			
HTMOS-IV (5V Digital)	Devel.	LRIP	Prod			
300° Metal System		Devel.	LRIP	Prod		
Quad Op Amp	Devel.	LRIP	Prod			
Quad Analog Switch	Devel.	LRIP	Prod			
Voltage Reference	Devel.	LRIP	Prod			
83C51	Devel.	LRIP	Prod			
Linear Regulator	Devel.	LRIP	Prod			
SRAM (32K x 8)	Devel.	LRIP	Prod			
12 Bit A/D Conv.	Devel.	LRIP	Prod			
Clock Generator	Devel.	LRIP	Prod			
HT320 (DSP)	Devel.	LRIP	Prod			
16:1 Multiplexer	Devel.	LRIP	Prod			
HT2160 Gate Array	Devel.	LRIP	Prod			
1553 Protocol	Devel.	LRIP	Prod			
Hi Z Op Amp	Devel.	LRIP	Prod			
12 Bit D/A Converter	Devel.	LRIP	Prod			
	Devel.	LRIP	Prod			

HIGH TEMPERATURE PRESSURE TRANSDUCERS

FEATURES

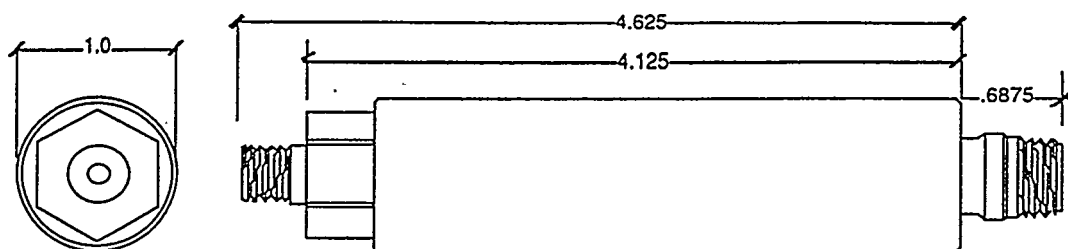
- Full Scale Accuracy (including all error sources):
1.5% from -40 to +200°C
2.0% from -55 to +225°C
- Absolute Pressure Ranges to 500 psi
- Rugged Packaging for Hostile Environments.
- High Level Temperature Compensated Scaled Output
- Silicon-on-Insulator Semiconductor Technology
- Optional On-Chip Temperature Sensor

APPLICATIONS

- Down-Hole Oil Well
- Aerospace
- Turbine Engine
- Industrial Hydraulics
- Industrial Process Control
- Heavy Equipment

HTP Series

CASE OUTLINE



Optional electrical and pressure interfaces are available. Call us for details.

GENERAL DESCRIPTION

The HTP series of pressure transducers are designed specifically for operating in severe high temperature environments. These transducers combine oxide-isolated piezoresistive sensing elements with Honeywell's HTMOS™ oxide-isolated electronics in a robust high temperature package. This complete high temperature solution provides an amplified and scaled output which greatly improves the performance, life, and operational efficiencies of systems in hostile high temperature environments. In addition, an optional on-chip temperature sensor provides data for further correction of temperature effects with an external microprocessor.

The sensors use Honeywell's proven patented ion-implantation process for precision piezoresistive sensors. This process is currently used to supply precision pressure transducers to major multinational aircraft, turbine engine,

industrial control and petrochemical suppliers. When fabricated with our Silicon-On-Insulator (SOI) process, these sensors provide precision performance, excellent reliability, improved media compatibility and high temperature operation.

The electronic components are fabricated with our HTMOS™ high temperature oxide isolated process. This high temperature process includes modifications to minimize junction leakage and adjustments to account for threshold shifts which accompany high temperature operation. Additional enhancements have been made for linear products and 10 Volt operation.

The stainless steel package uses glass-to-metal seals, high temperature solder seals, and laser welds. Barrier diaphragms are used where highly corrosive media such

Solid State Electronics Center • 12001 State Highway 55, Plymouth, MN 55441 • (800) 323-8295 • <http://www.ssec.honeywell.com>

第1.4.2-2図 高温用電子部品を応用した圧カトランスデューサ

第2章 検知装置の開発

2.1 目的

地熱井掘削時の坑底情報をリアルタイムに地上に伝送し物理量として表示すると共に解析システムへも同時にデータを伝送できるシステムを開発する。

検知装置のうち坑底装置については、掘削中の坑底情報並びに揚降管中の坑内温度データを取得する各種センサ、及びそれらのデータを信号に変換する坑底信号処理装置、更に信号を圧力波として生成するマッドパルス発生装置の開発を行う。

地上装置については坑底装置により地上へ伝搬してきた泥水圧力波信号を検知し、必要な物理量として表示すると共に解析システムへ伝送する装置の開発を行う。

2.2 平成7年度までの技術開発成果概要

2.2.1 坑底装置

(1) マッドパルス発生装置

(1.1) マッドパルス発生弁

明瞭なパルス波発生のため、弁の閉塞率、弁開閉時間及び、流体素子のピンチ効果を有効に発揮できる形状等の改良設計及び製作を行った。その結果、最適弁駆動パラメータが選定され、ライナスリーブの採用により検知可能な明瞭なパルス波が生成されることを確認した。

また、弁の開閉時間は0.8秒でも検知可能な明瞭なパルス波が得られることを確認した。

(1.2) マッドパルス発生弁駆動装置

接点スイッチの構造及び材質の改良設計を行い、大型恒温槽（大気圧下）で単体で200℃×50時間の連続試験を行った結果、安定して動作することを確認した。

(1.3) マッドパルス発生弁駆動装置制御装置

ゾンデの外径の小径化に伴い、ゾンデ内への収納をより容易にするために幅を33mmから28mmに小型化した。

(1.4) 坑底信号処理装置

各センサ入力に対応する温度ドリフトの補正を確認すると共にA/Dコンバータの数を増やしセンサの精度に必要な分解能を確保した。

また、単体での200℃連続試験を行った結果、耐久時間が目標50時間に対しておよそ30～40時間で、耐久時間を規制していることを確認した。

更に、処理内容を軽減するために各センサ入力のA/D変換を温度補正回路として別途分離独立させた。

(1. 5) モード切替スイッチ

(1. 5. 1) 回転スイッチ

掘管の回転が35rpm以下で、安定したON/OFF動作性能を得るため、スイッチの接点部の形状及び材質について改良設計を行った。

その結果、水平、45°、垂直の3態の角度条件で室温から220℃まで試験を行い、垂直では目標の35rpmの動作を確認することができたが、水平及び45°では30～50rpmでスイッチのON/OFF動作がハンチング状態となり不安定であった。しかし、坑底信号処理装置にロジック回路を構成することにより、ON/OFFのハンチング状態を回転と見なすことができるため、35rpm以下でも掘管の回転／停止の判定が可能となる。

今後、あらゆる傾斜状態にわたりON/OFFのハンチング状態の範囲を縮小化するための改良を行うと共に、ロジック回路の設計・製作を行い、省エネルギーで安定した回転／停止が検知できる機構とする必要がある。

(1. 5. 2) 循環スイッチ

ソンドは形状が限られているため小型の耐熱型センサを必要とする。しかし、小型の高温用加速度センサは圧電素子を用いた微小出力タイプであるため、高入力インピーダンス・高利得の増幅器が必要となる。センサの出力を増幅するため高入力抵抗アンプを製作し、振動試験及び耐熱試験により動作確認を行った。その結果、総合感度として流体励振を検知するに十分な10gal程度の分解能を有すること、及び高増幅のアンプにもかかわらず温度ドリフトが200℃で50gal相当と小さいことを確認した。

今後、実坑井での流体励振のレベルを確認し、循環／停止検知のためのスレッシュホールド値を決定する必要がある。

(2) 傾斜情報センサ

(2. 1) 方位センサ

振動対策として体積の小さい抵抗を選択し、耐熱試験及び振動試験を行った結果、消費電流、最小分解磁界共に所定の性能を得た。

磁気に対する特性試験の結果、温度に対する出力電圧が三軸でばらつきがあり、補正を行う必要が生じたが、出力データから補正式を作成し精度を確認した。

三軸組み合わせた後に外部の磁気影響の無い所で角度感度試験を行い、地球磁場の計測を行った。その結果、特性に異常が無いことを確認した。

(2. 2) 傾斜センサ

方位センサと連結し相互の干渉の有無を調べたが出力データに異常は無かった。

三軸組み合わせでの感度特性試験を行った。その結果、各軸で若干の出力差があるものの回路で補正が可能であることを確認した。

電子回路出力の温度係数は平成6年度より改善でき、多項式近似により150℃で±2°、200℃では±2.5°の精度を得た。

200℃で±0.1°の目標精度を達成するためには、温度に対して細かい補正用データを取得する必要がある。

(2. 3) 装置内温度センサ

信号検波用ダイオードセンサを用い性能の確認を行った。

その結果、出力電圧は温度に対して単調増加の良好な特性を示した。

温度精度はほぼ $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ に収まっている。また、 200°C 連続試験にて50時間後に $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ の出力ドリフトが発生したが、目標精度 $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ を満たした。

(2. 4) 温度補正回路

前年度までは坑底信号処理装置の一部を成していたが坑底信号処理装置への入力データの温度特性にばらつきがあったことを改善するため、坑底信号処理装置回路と分離し、センサの近傍に本回路を設置して精度向上を行った。更に電子部品の耐熱試験結果よりアナログマルチプレクサを高精度のICに変更することにより精度を向上させた。

(3) 電源

(3. 1) 電源

耐熱リチウム電池の 200°C における容量の明示がメーカーからなされなかったため、 200°C における電流、電圧を計測し容量の確認を行った。試験は抵抗と電池を恒温槽に入れ、 200°C で50時間連続の負荷試験及び、耐熱モータと電池を恒温槽に入れ、マッドパルス発生弁の駆動条件を前提に間欠的に負荷を加え、計測を行った。

その結果、目標の50時間でも所定の電力供給が可能であることを確認した。

(3. 2) 電源安定化回路

耐熱電池に温度依存性があり、出力電圧が変動し、センサ回路及びデジタル回路が誤作動を起こす。そのため、センサ回路及びデジタル回路に安定して電源を供給する回路が必要となる。

電子部品耐熱試験でこれまでに動作の確認された部品を用いて電源安定化回路を製作し、性能確認を行った。また、これまでの各要素の開発経緯を踏襲し、省電力、小型化、単純化を目的とした回路構成とした。

200°C での試験結果ではトランジスタ等のリーク電流の影響で軽負荷での出力電圧がかなり大きくなった。実際の回路負荷に相当する付近での特性は、入力電圧が3V変化した場合の出力電圧の変化幅は0.1V以内で、 200°C で50時間試験で特性もほとんど変化がなく良好な特性を示した。

今後耐振動、耐衝撃性能の確認を行うと共に 200°C 以上での出力電圧の負荷依存性を改善する必要がある。

(4) ゾンデ付帯装置

(4. 1) スピア・ポイント

強度の向上を図るマッドパルス発生弁と一体化することにより強度の向上を図ることとし、改良設計を行った。

スピア・ポイントを用いる検層機器は、ゾンデの先端にスピア・ポイントを差し込み横からスプリング・ピン等で固定する。本開発のように長時間にわたり高温、高圧下で振動、

衝撃に曝されると、スピア・ポイントとピンは異種金属であるため熱膨張係数の違いによりピンが抜け出ることがある。また、本開発のマッドパルス発生弁はゾンデの先端に位置し、中に循環泥水を流れ込ませる構造であるために先端部にピン等の突起やそのための小孔があると明瞭なパルス波を生成しにくくなる。スピア・ポイントとマッドパルス発生弁を一体にすることにより、振動、衝撃による脱落防止、及びパルス波の生成を妨げる凹凸をなくすることが可能となった。

(4. 2) セントライザ

平成6年度の板バネ式を丸棒に変更することで摺動性・耐摩耗性を高める改良設計を行った。その結果一体型ゾンデの試験時に、ゾンデを容易に掘具管内の中心部に位置させることが可能となった。

また、板バネ採用時には困難であったマッドパルス発生弁用スリーブ内の通過や掘具管内径縮小箇所ゾンデ通過が丸棒のゾンデ内に収納可能なセントライザにすることにより容易となった。

(4. 3) ランデング・ロッド

掘削時のゾンデの跳躍防止のためのラッチング機能を設計した。

(5) 電子部品耐熱性確認試験

コンデンサ、アナログマルチプレクサ、定電圧ダイオード及び高精度抵抗等の電子部品の200℃×50時間及び220℃×5時間の耐熱性能確認を行った。その結果、

- ・高温環境下でも容量値変動が少なくアナログ回路にも使用可能な小容量のコンデンサを確認した。
- ・電源回路等に使用可能な定電圧ダイオードの性能を確認した。
- ・極めて良好な高温特性の抵抗の性能を確認した。
- ・目標性能に近い精度のマルチプレクサの性能を確認した。

基本的な回路構成部品はアナログ系及びデジタル系ともに、大容量のコンデンサ以外はほぼ高温環境下での特性を満たした部品を確認した。

(6) 実験装置

- ・坑底装置の各単体装置の耐圧性能を確認するための小型耐圧試験装置（設計圧力250 kgf/cm²、設計温度260℃）を設計、製作した。
- ・坑底装置の耐振動性能を確認するための振動試験装置（正弦波：最大加速度約31 G（50kg負荷時）、ランダム波：最大加速度30 G（Peak））を設計、製作した。
- ・坑底装置の耐衝撃性能を確認するための衝撃試験装置（衝撃加速度600～1,500 G、衝撃作用時間0.5msec、衝撃波形：正弦半波、供試体最大重量50kgf）を設計、製作した。

2. 2. 2 地上装置

(1) 実験用解析プログラム（ポンプ・ノイズ除去及び坑底情報デコード化プログラム）

- ・作成した処理時間短縮プログラムを実験に使用して所定の成果を確認した。

- ・データのデコード化の方法をロータリ掘削及び指向掘削の各モードに対応するデータ・フォーマットに従いデコード化するソフトウェアに改良した。
- ・データ表示画面を日本語表示変更した。

等の結果、使用者に使いやすいシステムを構築した。

(2) 解析システムとのインターフェース

解析システムとの橋渡しを円滑に行うために識別子やデータの表示順位等のデータ・ファイル・フォーマットを決定した。

(3) パルス波シミュレーション計算

パルス弁の開閉速度等のパルス発生弁駆動制御パラメータがどのようにパルス波に影響するかを検討し、平成7年度に実施したミニループ試験の実験値と比較した。

また実坑井において掘削深度の差、即ち泥水の水頭圧の違いがパルス波の減衰にどのような影響を与えるかを検討した。

2. 2. 3 実証試験

一体化したゾンデの耐熱試験を、DHP (Down Hole Pump) 工場試験装置 (荏原製作所 藤沢工場) を使用して行った。

耐熱試験は最高200℃、最大圧力25kgf/cm²、最大循環流量1,600L/minの条件を設定することによって循環熱水中の作動試験とした。試験はサイクル試験と連続試験から成り、前者は水中にゾンデを設置して水温を常温→200℃→常温を3回繰り返すものである。後者は200℃で50時間作動を1回実施するものである。

試験結果はゾンデ作動のモニタリングのために耐熱試験用に製作したケーブル部等で漏れがあり、測定データに一部欠損があったものの、以下の事項を確認した。

- ・ゾンデ一体として、200℃熱水中での動作を確認した。
- ・200℃熱水中でのゾンデ内の温度分布の偏りを確認した。精度確保のためには、温度補正用として装置内温度計の複数配置を検討する必要がある。
- ・耐熱電池は200℃中で39時間必要な電圧を維持した。ただし、連続試験前の作動時間を加算すれば、200℃で50時間作動可能と考える。
- ・検知装置の地上装置の実験解析用プログラムの作動を確認した。
- ・検知装置の地上装置から解析システムへのデータ送信、解析システム側のデータ受信を確認した。

2. 3 本年度の計画

2. 3. 1 目標

地熱井掘削時の坑底情報をリアルタイムに地上に伝送し物理量として表示すると共に解析システムへも同時にデータを伝送できるシステムを開発するために本年度は次に述べる装置の研究開発を行う。

（１） 坑底装置

マッドパルス発生装置、坑底信号処理装置、モード切替スイッチ、傾斜情報センサ（方位・傾斜・装置内温度センサ）、電源及びゾンデ外部付帯装置等のゾンデを構成する各単体ごとの耐熱、耐振動及び耐衝撃性能を向上させた改良設計を行い、ゾンデを一体化して実機相当機を製作し、耐熱・耐圧・耐振動・耐衝撃性能確認の試験を行う。

電子部品の耐熱性確認試験を行い、ゾンデの一層の耐熱性向上のためのデータ取得を行う。

改良設計による性能確認内容の概要を第2.3.1-1表に示す。

第2.3.1-1表 改良設計による性能確認内容

	構 成 要 素	性 能 確 認 項 目			
		耐 熱	耐 圧	耐振動	耐衝撃
単体要素	マッドパルス弁	○	－	○	○
	マッドパルス弁駆動装置装置	○	－	○	○
	マッドパルス弁駆動装置制御装置	○	－	○	○
	坑底信号処理装置	○	－	○	○
	モード切替スイッチ	○	－	○	○
	傾斜情報センサ	○	－	○	○
	ゾンデ及び外部付帯装置	○	注1○	○	○
一体型ゾンデ		注2○	○	注2○	注2○

注記：1. 外筒のみ耐圧性能を確認する。

2. 試験機的能力にあわせ、一体型ゾンデを分割して性能を確認する。

（２） 地上装置

実験用解析プログラム（ポンプ・ノイズ除去及びデコード化プログラム）の改良設計を行う。

解析システムとのインターフェースを検討する。

2.3.2 計画の内容

（１） 坑底装置

（１.１） ゾンデ

ゾンデを構成するマッドパルス発生装置、坑底信号処理装置、モード切替スイッチ及び傾斜情報センサ（方位、傾斜、装置内温度センサ）について次の共通する改良設計を行い、実機相当機を製作して高温高圧下での作動試験を行う。

①各単体毎及び複数の組合せ要素での高温下における安定した動作の確認

②一層の省エネルギー化

③耐振動・耐衝撃性能の向上

ゾンデ各単体要素の固有の開発要素を列記する。

(1. 1. 1) マッドパルス発生弁

構造の簡素化及び部品の一体化を図り耐振動・耐衝撃性能の向上を図る。

実機相当機を製作し、性能を確認する。

泥水による摩耗の影響をシミュレーションする。

(1. 1. 2) マッドパルス弁駆動装置

耐振動・耐衝撃性能の向上を図る。

実機相当機を製作し、性能を確認する。

耐久性能の向上を図る。

構造の簡素化を図る。

(1. 1. 3) マッドパルス弁駆動装置制御装置

耐振動・耐衝撃性能の向上を図る。

耐久性能の向上を図る。

(1. 1. 4) 坑底信号処理装置

各センサ入力に対応する温度ドリフトの補正を確認する。

耐振動・耐衝撃性能の向上を図る。

耐久性能の向上を図る。

(1. 1. 5) モード切替スイッチ

①回転スイッチ

耐振動・耐衝撃性能の向上を図る。

耐久性能の向上を図る。

②循環スイッチ

ゾンデー体型での流体励振による振動レベルを確認する。

耐振動・耐衝撃性能の向上を図る。

実機相当機を製作し、性能を確認する。

(1. 2) 傾斜情報センサ（方位・傾斜・装置内温度センサ）

(1. 2. 1) 方位センサ

耐振動・耐衝撃性能の向上を図る。

温度補正の精度向上を図る。

耐久性能の向上を図る。

(1. 2. 2) 傾斜センサ

耐熱特性の向上を図る。

耐振動・耐衝撃性能の向上を図る。
温度補正の精度向上を図る。
一層の小型化を図る。

(1. 2. 3) 装置内温度センサ
耐振動・耐衝撃性能の向上を図る。
一層の小型化を図る。

(1. 3) ソンデ及び外部付帯装置
(1. 3. 1) ソンデ

実機相当機を製作し、耐熱、耐圧性能及び組立要領等を確認する。

(1. 3. 2) スピア・ポイント
動作性能の向上を図る。

実機相当機を製作し、動作性能を確認する。

(1. 3. 3) セントライザ

セントライザの動作性能を向上させる。

耐摩耗性能の向上を図る。

実機相当機を製作し、性能を確認する。

(1. 3. 4) ランデング・ロット

ランデング機構の動作性能を向上させる。

実機相当機を製作し、性能を確認する。

(1. 4) 電子部品耐熱性確認試験

電子部品の耐熱性確認試験を行い、ソンの一層の耐熱性向上のためのデータを取得する。

そのために以下の性能確認を行う。

・DIプロセスのFPGAの耐熱性能の確認を行う。

・高安定性のICの耐久性能を確認する。

・大容量コンデンサの性能確認を行う。

(1. 5) 実験装置

高温高圧試験装置の製作、据付を行う。

①装置の概要

高温高圧試験装置は試験部本体、循環装置、計測制御装置及び電源等関連付帯設備から

構成する。

試験部本体は坑底装置の一部を収容し、高温高圧の静水条件での作動試験等に供する。

装置の系統概念図を第2.3.2-1図に示す。

第 2.3.2-1 圖 高溫高壓試驗裝置系統概念圖

②運転条件

運転温度：250℃

運転圧力：200kgf/cm²

使用流体：水

循環流量：500L/min

(2) 地上装置

(2. 1) 実験解析プログラム

実験解析プログラム（ポンプ・ノイズ除去及び坑底情報デコード化プログラム）の改良設計を行う。

より一層の操作性の向上を図る。

デコード化の信頼性向上を図る。

(2. 2) データ転送

インターフェースの改良を図る。

より一層の伝送レートの向上を図る。

2. 3. 3 実施計画日程

本年度の実施計画日程を第2. 3. 3-1表に示す。

第2.3.3-1表 平成8年度 検知装置の開発 開発工程

予定 : 実績 : _____

サ ブ テ ー マ 名	8年 ／ 4月	5	6	7	8	9	10	11	12	9年 ／ 1月	2	3	備 考
1. 全体開発設計													担当：(株)三井造船昭島研究所 (以下昭研) 担当：三井造船(株) (以下MES)
2. 検知装置の開発													
2.1 坑底装置 ・ソナデ													
・電子部品耐熱性確認試験													
・実験装置の設計製作													
2.2 地上装置													
・実験解析用プログラム (ポンプ・ノイズ除去+ デコード化プログラム)													
・解析システム用インターフェース													

2. 4 本年度技術開発内容

2. 4. 1 坑底装置の開発

(1) ソンデ

(1. 1) マッドパルス発生装置

(1. 1. 1) マッドパルス発生弁

パルス弁単体の摩耗及び停止角度のずれの影響を確認した後、ゾンデー体型として掘削を模擬した条件下でのパルス弁の性能を確認した。

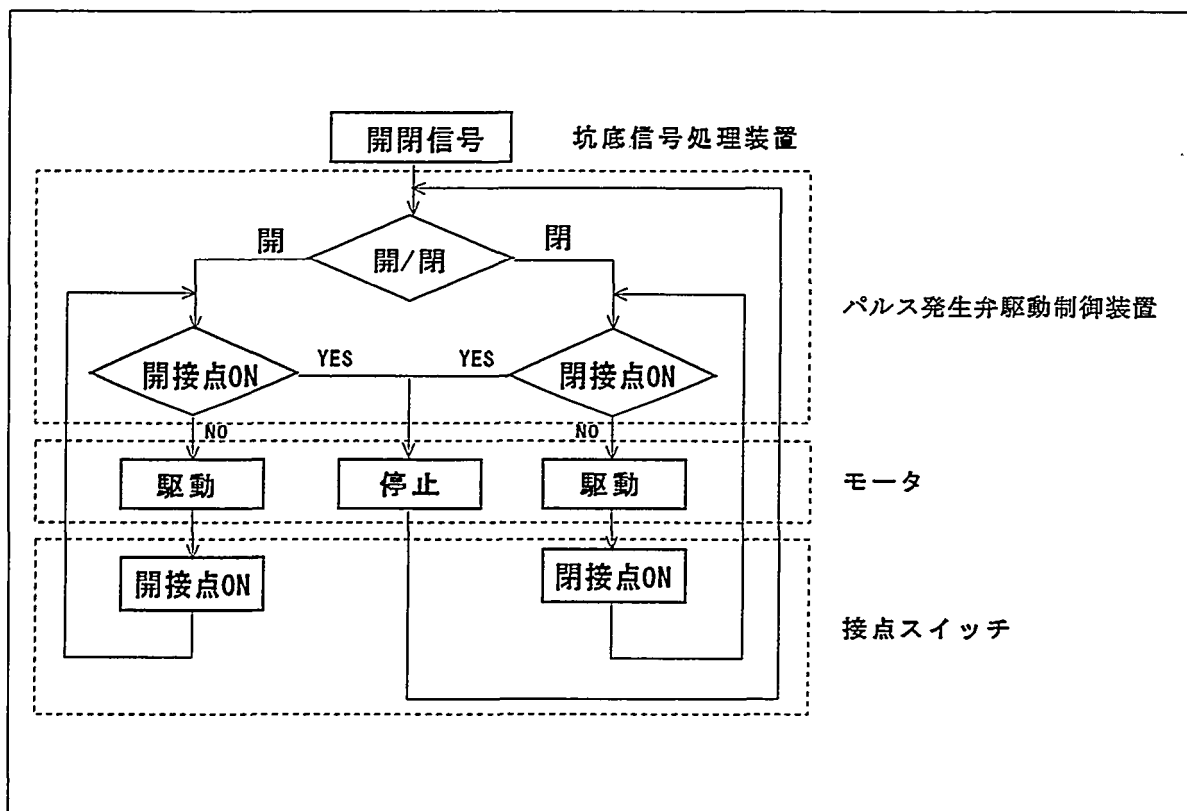
a. パルス弁停止角度ずれ変更試験

イ. 試験目的

マッドパルス発生弁（以下パルス弁と称する）の開閉は45° のピッチで行い、制御は駆動装置内の接点スイッチのON/OFFにより行う。平成7年度までの開発試験結果では、接点スイッチは最大5° 程度の角度ずれが確認されており、これがそのままパルス弁の開閉位置ずれとなっている。

パルス弁の開閉位置ずれ即ち停止角度の位置ずれによる閉塞率の変化が、パルス波の生成にどのような影響を及ぼすかを確認すると共に、接点スイッチに要求される精度を確認し、実機相当品の設計・製作に反映させる。

パルス弁と接点スイッチの関係を第2. 4. 1-1図に示す。



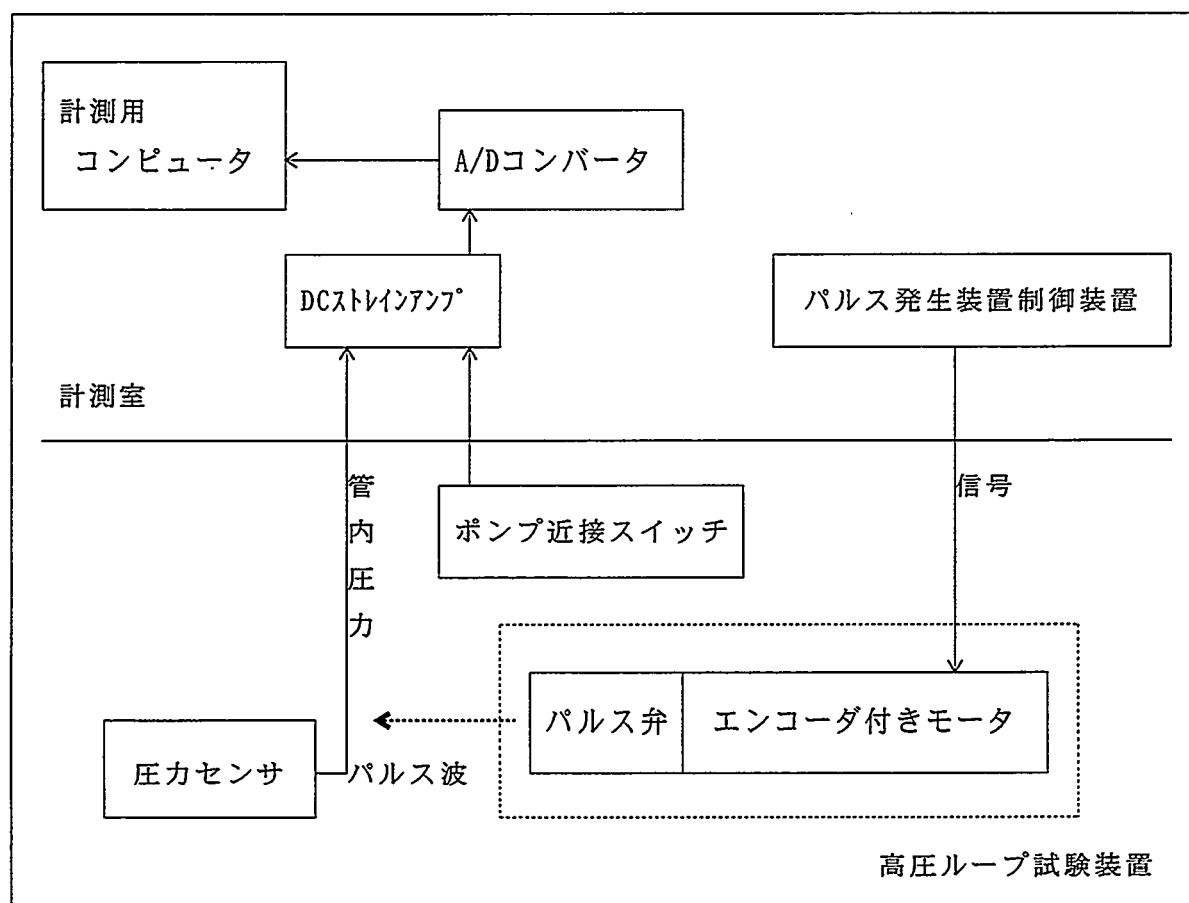
第2. 4. 1-1図 パルス弁と接点スイッチのデータフロー概念

ロ. 試験要領

試験は管内径φ73.9mm、全長204mの高圧ループ試験装置を用いる。

第2.4.1-2図にパルス弁の停止角ずれを計測するための試験計測ブロックダイアグラムを示す。

試験は清水を用いて流量1,100ℓ/minでパルス弁の角度ずれを正規の位置を0°として±5°まで1°ピッチごとに変更して行う。試験パラメータを第2.4.1-1表に示す。



第2.4.1-2図 パルス弁停止角度ずれ変更試験計測ブロックダイアグラム

第2.4.1-1表 パルス弁停止角度ずれ変更試験パラメータ

パルス弁 ずれ角	使用 流体	流量 (ℓ/min)	傾斜角度	圧力	パルス 間隔
0°	水	1,100	90°	大気圧 ^{※1}	4.0秒
±1°					
±2°					
±3°					
±4°					
±5°					

※1：ループ終端のゲートバルブを開放している状態

ハ．試験結果

試験結果を第2.4.1-2表及び第2.4.1-3図に示す。パルス弁のずれ角を 0° から $\pm 5^{\circ}$ まで 1° ピッチで変更して試験を行ったが、どのずれ角でも明瞭なパルスピークが認められることから、地上でパルス波を十分識別可能である。 $\pm 5^{\circ}$ 程度のパルス弁の停止角度ずれはパルス発生にほとんど影響しないことが判った。

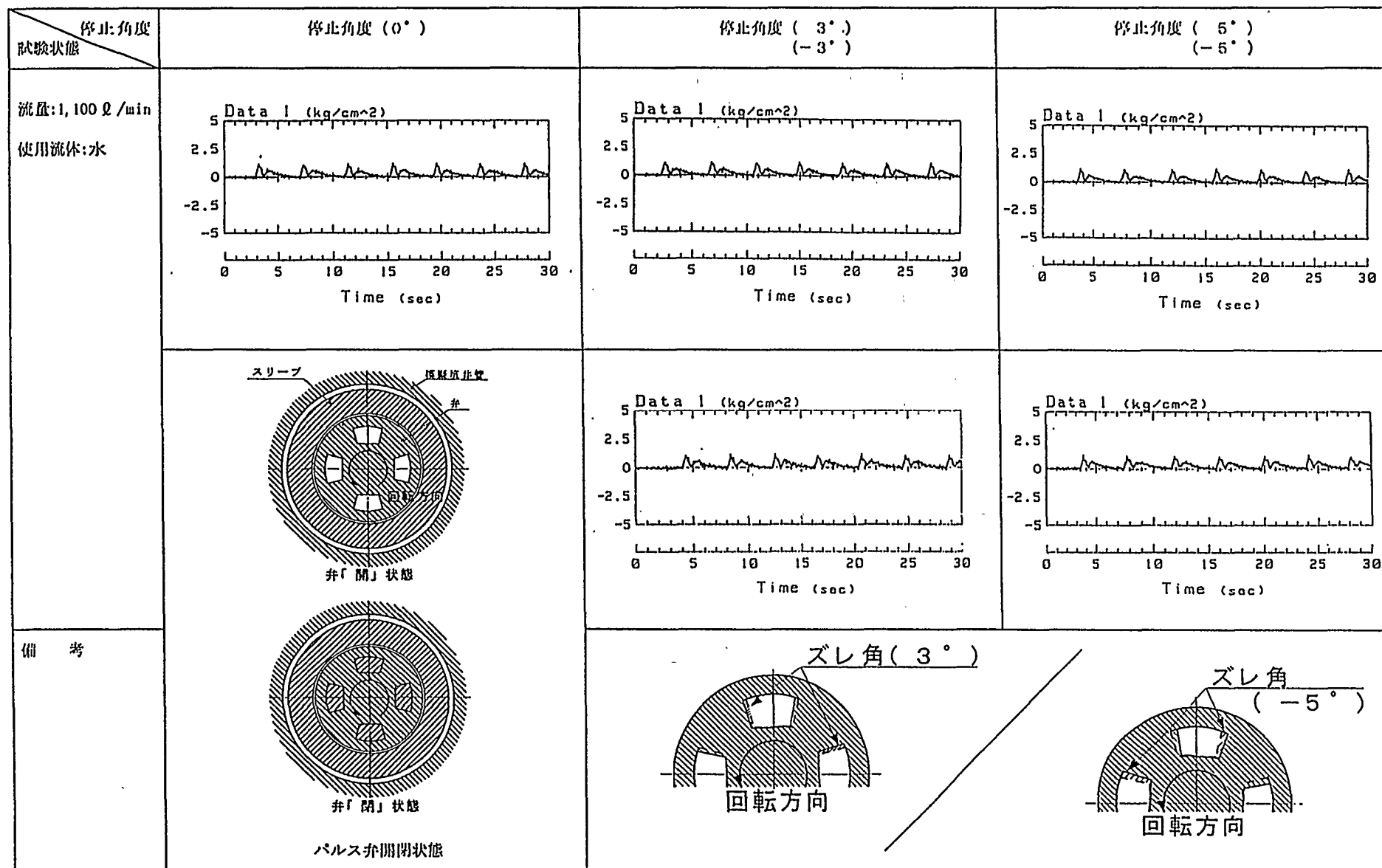
二．考察

接点スイッチの精度は機械的な製作誤差や、組立時の調整可能角度等を検討し、 $\pm 5^{\circ}$ 以下とする。

第2.4.1-2表 パルス弁角度ずれ試験結果

パルス弁 ずれ角	最大波形 (kg/cm ²)	ピーク値の明瞭さ (0° を基準○, ×)	備 考
+ 5°	1. 1 7	○	第2.4.1-3に示す。
+ 3°	1. 2 1	○	第2.4.1-3に示す。
0°	1. 1 9	○	第2.4.1-3に示す。
- 3°	1. 2 1	○	第2.4.1-3に示す。
- 5°	1. 1 9	○	第2.4.1-3に示す。

注) 0° のパルス波のピーク値及び形状の明瞭さに比較して変化が小さい場合を○
著しく変化してパルス波が認識できない場合を×とした。



第2.4.1-3図 パルス弁角度変更試験結果

b. パルス弁摩耗確認予備試験

イ. 目的

泥水中での実機相当形状のパルス弁の摩耗状況の把握及びパルス弁の摩耗によるパルス波形の変化を確認する。

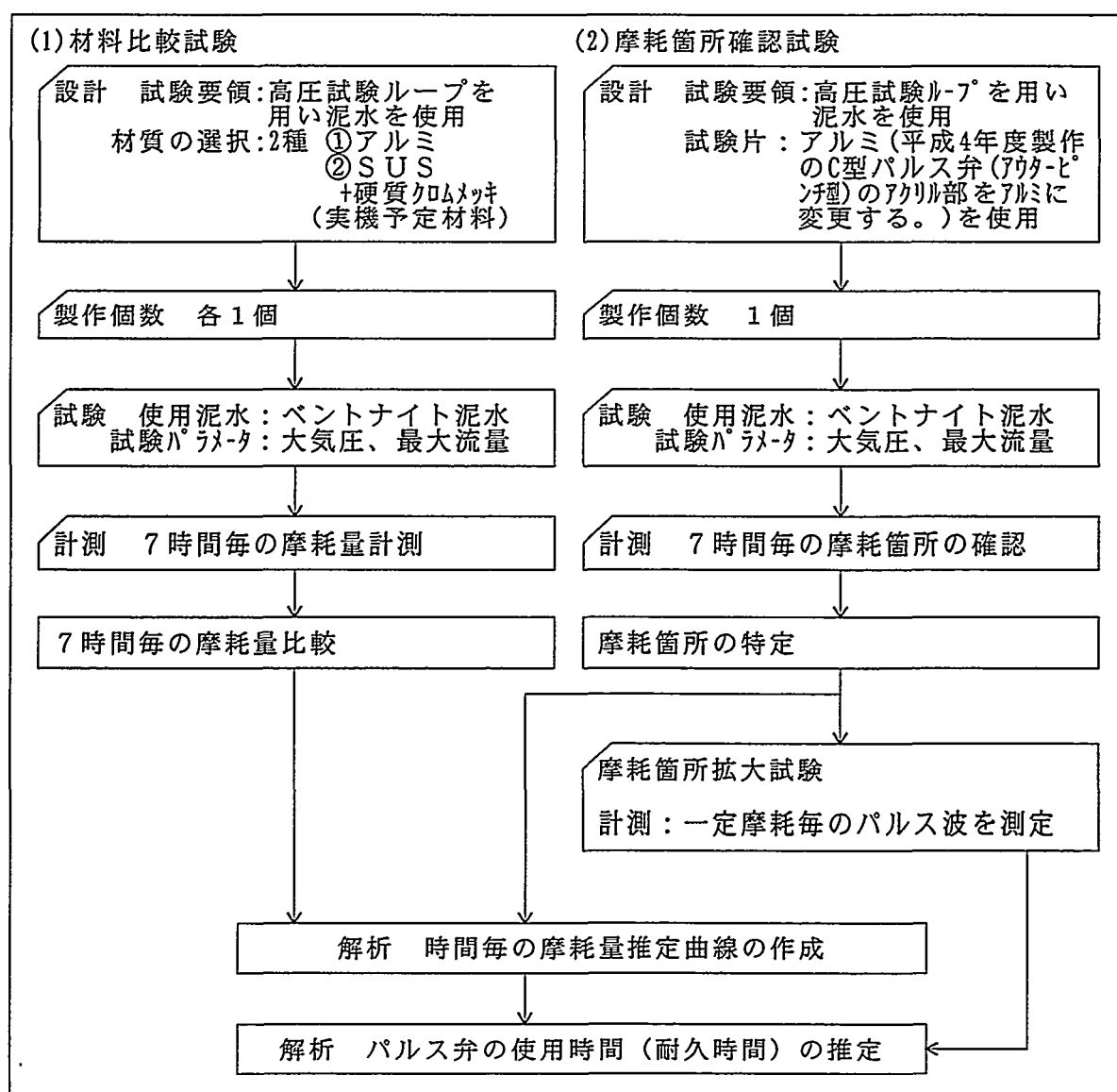
同時に、実機相当材のステンレスに硬質クロムメッキを塗布した物と、短時間で摩耗影響を確認するためのアルミの2種類のテストピースを用いて材料比較試験を行う。

ロ. 試験要領

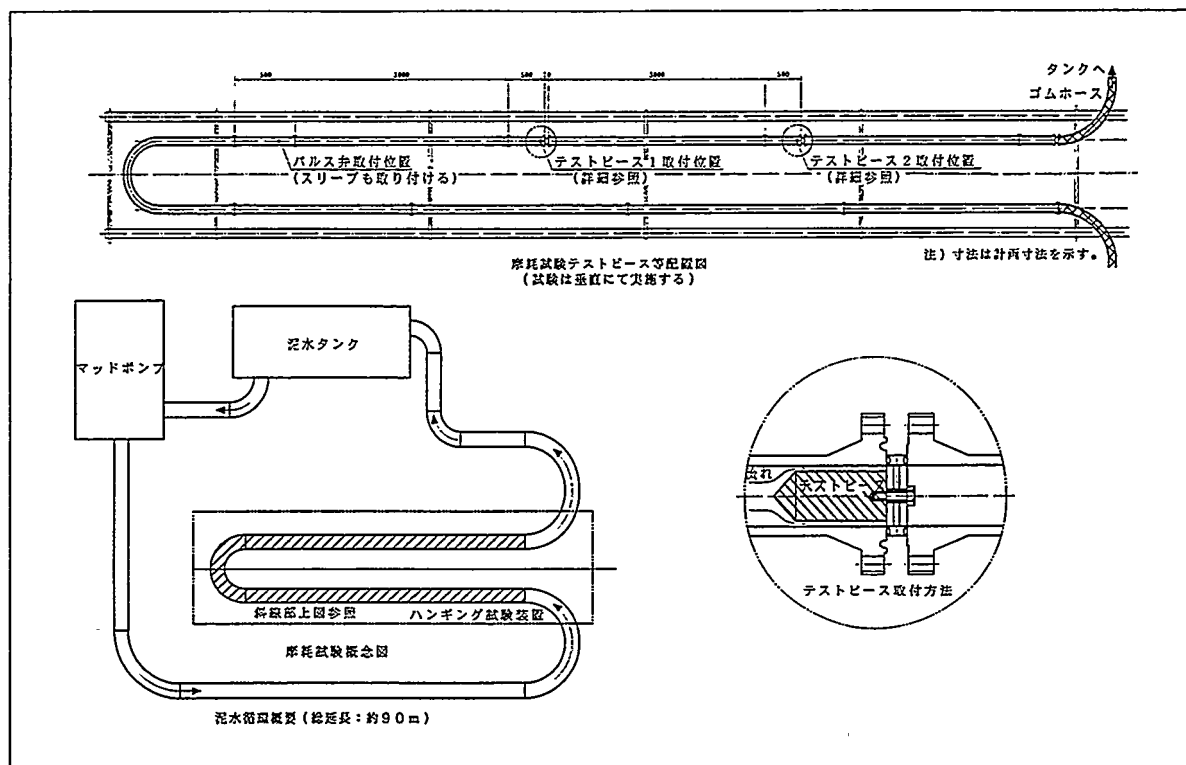
試験は第2.4.1-4図に示す手順で行う。

第2.4.1-5図に試験装置等の概要を示す。

試験は高圧ループ試験装置を使用し「二.」に示すパラメータでパルス弁を駆動させながら行う。また、試験は実坑井の状態に相当させるため、ループのハンギング試験装置部を垂直に起立させて行う。



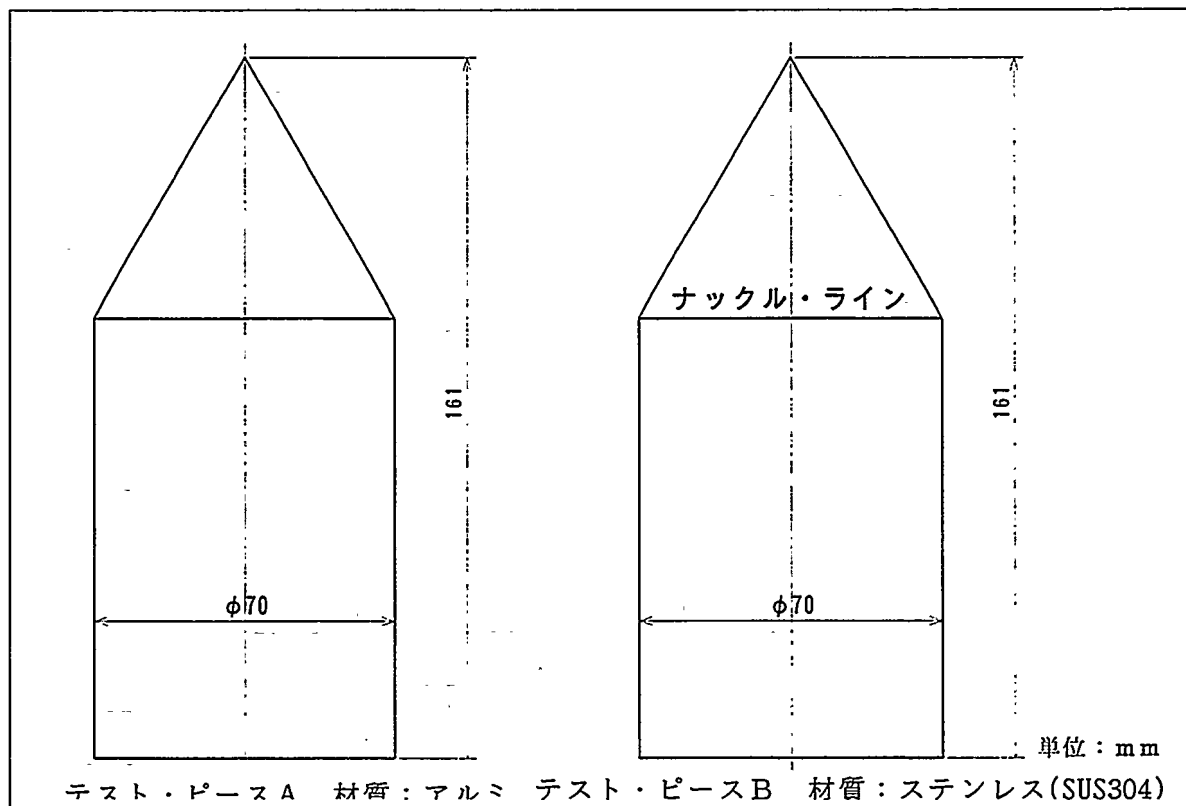
第2.4.1-4図 パルス弁の摩耗確認予備試験



第2.4.1-5図 パルス弁摩耗試験概要

ハ. 供試体

摩耗試験に供試するテスト・ピースの形状概要を第2.4.1-6図に示す。



第2.4.1-6図 テスト・ピース概要図

二．試験パラメータ

試験パラメータを第2.4.1-3表に示す。

第2.4.1-3表 試験パラメータ

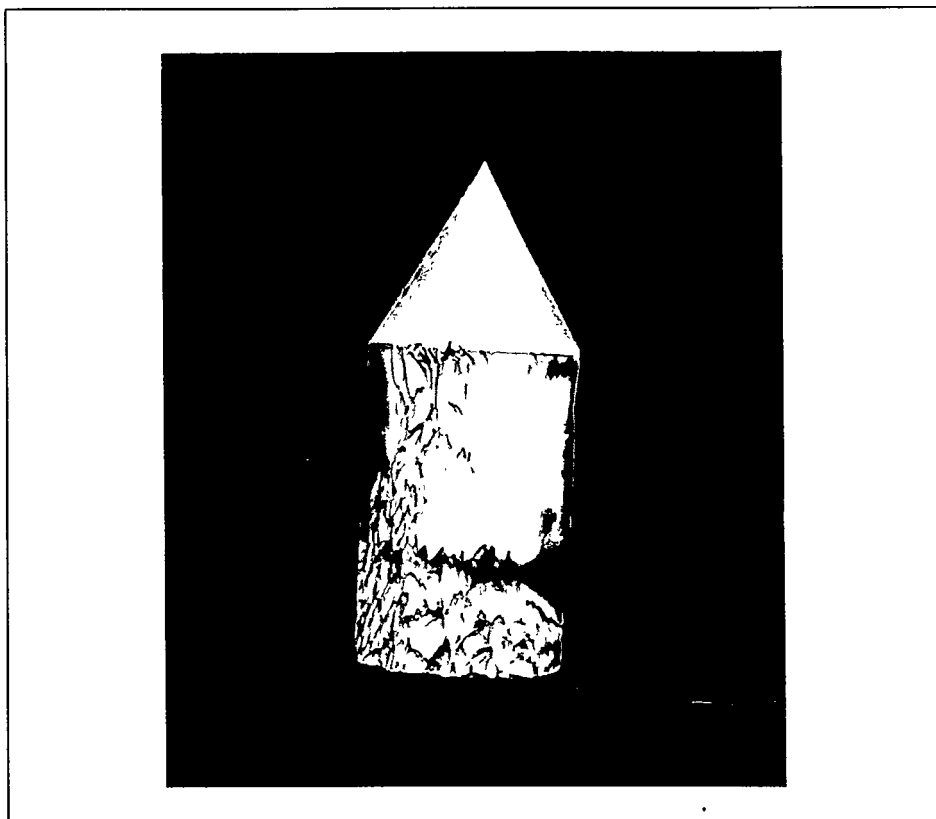
使用流体	泥水（比重 1.4g/cm^3 ） 泥水は摩耗促進のために地熱井の粒度分布に合わせ $3\sim 6\mu\text{m}$ の固形分を添加させて行う。摩耗が促進できない場合には更に研磨材等を混入する。
流量	$1,100\text{ l/min}$
パルス間隔	1.0 sec
試験時間	累積50時間を目標とする。

ホ．試験結果

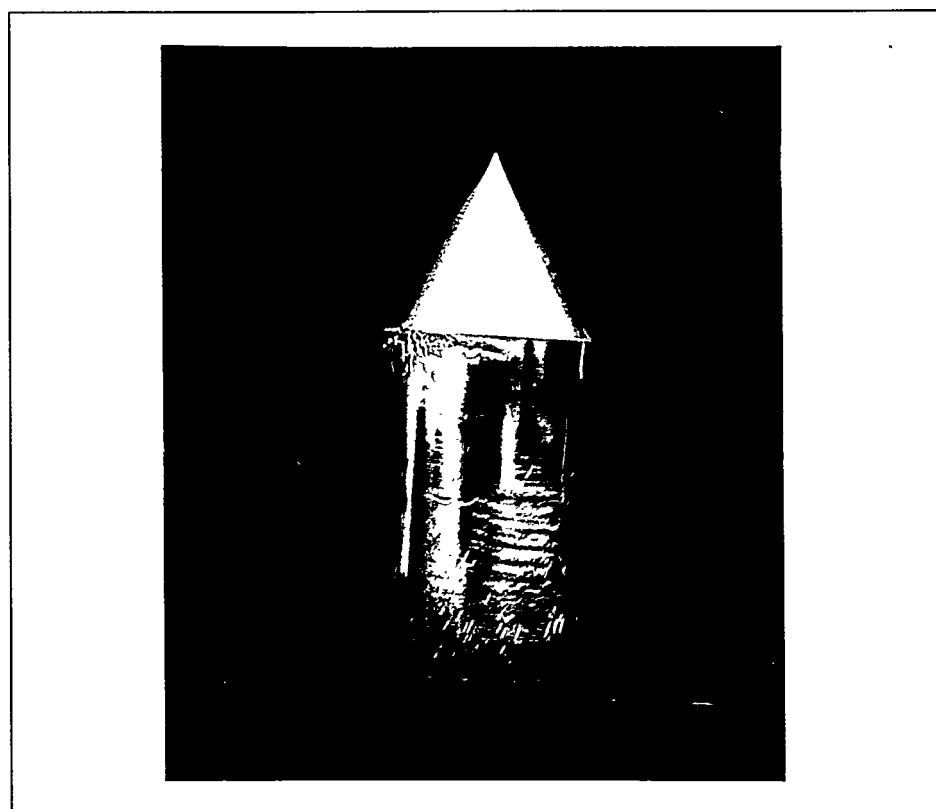
試験結果を第2.4.1-7図及び第2.4.1-8図に示す。大気圧下（深度0 m）で試験を行ったためキャビテーションの発生が激しく、テスト・ピース固定治具が破損しそうであったため試験は17.5時間で終了した。

試験結果は次の通りである。

- ①アルミのテスト・ピースは腐食によるわずかな表面の変化と激しいキャビテーションによるエロージョンのあとが見られるが、摩耗と思われる表面荒さの変化はほとんど確認されなかった。
- ②ステンレスのテスト・ピースもキャビテーション・エロージョンは見られたが、17.5時間程度では摩耗は全く確認できなかった。
- ③7時間、14時間と摩耗の進展を確認したが、両テストピースとも肉眼的に全く変化は見られなかったため、50時間でも摩耗はほとんどおこらないと判断し、試験は17.5時間で終了とした。また摩耗を模擬したパルス発生への影響試験はとりやめた。



第2. 4. 1-7図 アルミのテスト・ピース摩耗試験結果



第2. 4. 1-8図 ステンレス (SUS304) テスト・ピース摩耗試験結果

c. 考察

以上の試験結果から摩耗はほとんど起こらないことが判ったが、キャビテーション・エロージョンが実坑井で起こる可能性についてここで検討する。

キャビテーション・エロージョンはテスト・ピースのナックル・ラインのすぐ後流側と少し離れたより後流側に全周に渡って発生している。当然柔らかいアルミの方がエロージョンが大きい。

第2.4.1-9図にコーン表面の圧力分布計測結果を示すが、キャビテーションは圧力の低い部分つまりナックル部分で発生する。その理由は、ナックル部分では流速が最大になるに従って圧力も急激に低くなり、飽和水蒸気圧より低下するとキャビテーションが発生するからである。流れはキャビテーションのために一旦コーン表面から剥離し、その後流側で再度表面に付着する。従って、キャビテーションはナックル直後での圧力が急激に回復している付近で崩壊し表面を削る。ステンレスではこの傾向が明瞭に現れている。

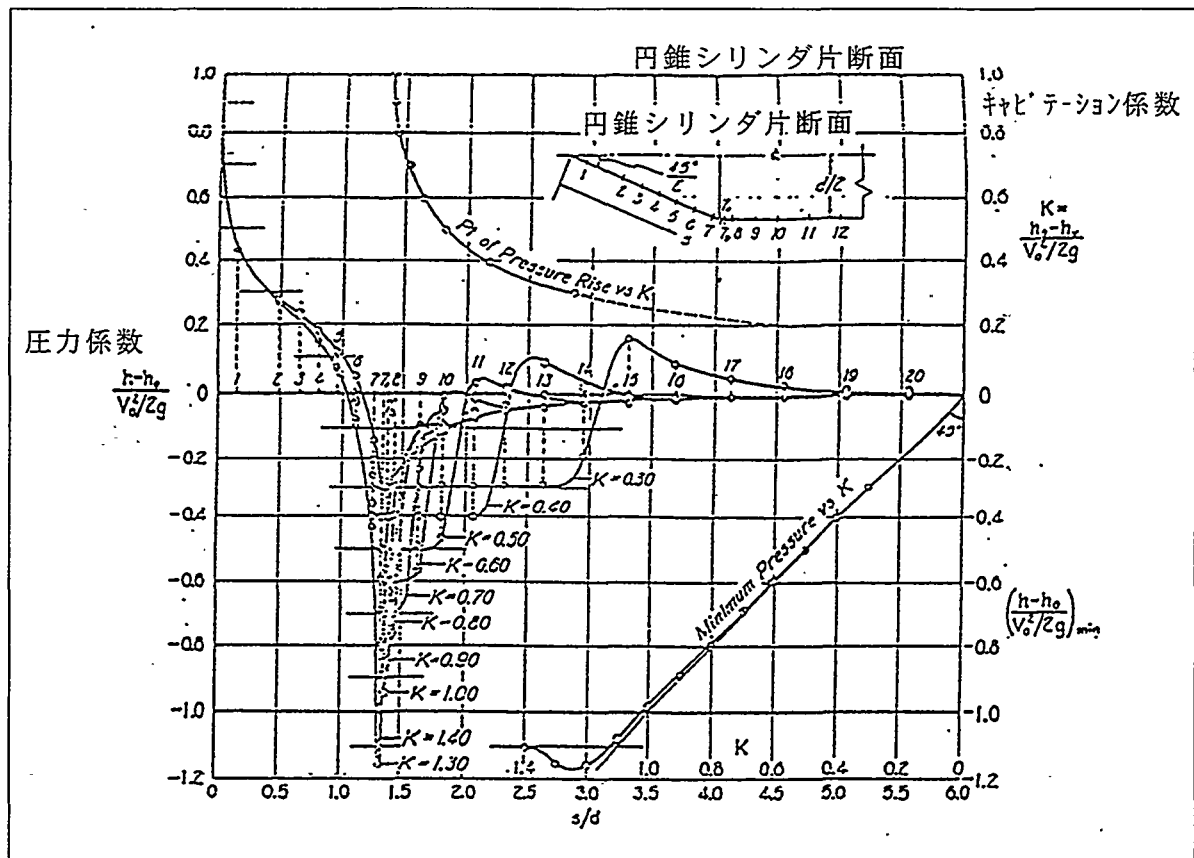
第2.4.1-3表に示すようにテスト・ピース側面での流速は36m/sを越えており、圧力はゆーに蒸気圧を下回りそこでは激しいキャビテーションが発生する。キャビテーションが起こらない条件は表面の局部圧力が蒸気圧より大きくなることである。

第2.4.1-9図に示した圧力分布と側面の静圧を考慮してキャビテーションが発生しない深度を試算した結果を第2.4.1-4表に示す。この結果から深度約160m以深ではキャビテーション・エロージョンは起こらないと予想される。

平成8年度のパルス弁は、後述の第2.4.1-10図に示すようにナックルラインを無くし極力キャビテーションが発生しない形状とした。

第2.4.1-4表 試験時のキャビテーション状態と非キャビテーション条件

			試験状態	非キャビテーション条件
深度	H	(m)	0	160
流量	Q	(l/min)	1.00E+03	1.00E+03
流量	q	(m ³ /sec)	1.67E-02	1.67E-02
ループ管内径	D	(mm)	7.40E+01	7.40E+01
テスト・ピース外径	d	(mm)	7.00E+01	7.00E+01
管内一様流速	V0	(m/sec)	3.88E+00	3.88E+00
テスト・ピース側面流速	v	(m/sec)	3.68E+01	3.68E+01
管内平均圧力	p0	(kg/m ²)	1.03E+04	1.70E+05
管内平均水頭	h0	(m)	1.03E+01	1.70E+02
流体密度	ρ	(kgs ² /m ⁴)	1.02E+02	1.02E+02
テスト・ピース側面静圧	p	(kg/m ²)	-5.81E+04 ←計算値であり、	1.02E+05
側面静圧水頭	h	(m)	-5.81E+01 実際にはキャビテ	1.02E+02
重力加速度	g	(m/sec ²)	9.80E+00 ション発生に伴い	9.80E+00
水蒸気圧	pv	(kg/m ²)	2.00E+02 圧力は水蒸気圧	2.00E+02
水蒸気圧水頭	hv	(m)	2.00E-01 (200kg/m ²)とな	2.00E-01
キャビテーション数	K	(h0-hv)/ (v0 ² /2g)	1.32E+01 り、それ以下には	2.22E+02
側面キャビテーション数	k	(h-hv)/ (v ² /2g)	-8.42E-01 ←全面キャビ発生	1.47E+00 ←非キャビテーション



第2.4.1-9図 円錐シリンダ表面の圧力分布

(Hunter Rouse他著: CAVITATION AND PRESSURE DISTRIBUTION Head Forms at Zero Angle of Yawから引用)

d. ゾンデ高圧ループ試験

本年度は掘削中のゾンデによる圧力損失を抑えるため、ゾンデ全体の外径をφ48.6mmからφ44.4mm(φ1.3/4")と小径化した。従って、パルス弁の外径も同様にφ44.4mmとした。

本年度製作したパルス弁について、小径化がパルス波発生に影響しないことを確認するために高圧ループでパルス伝搬試験を実施する。

試験は以下の順序で行う。

- ・パルス弁とスリーブの組み合わせ（パルス発生弁のみ）。

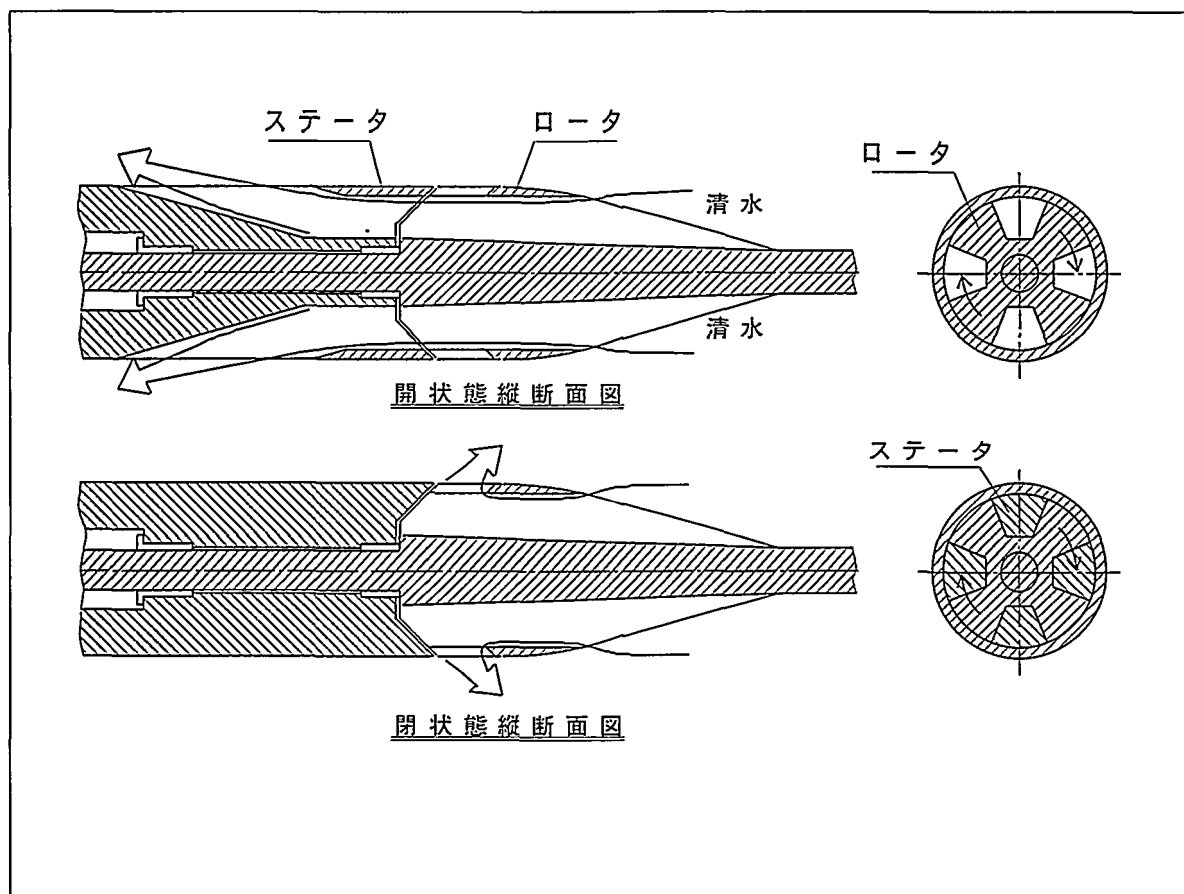
本年度新規に製作したパルス弁の形状を第2.4.1-10図及び第2.4.1-11図に示す。

試験条件は昨年度までに得られた最適弁駆動パラメータに基づき、次のように設定する。

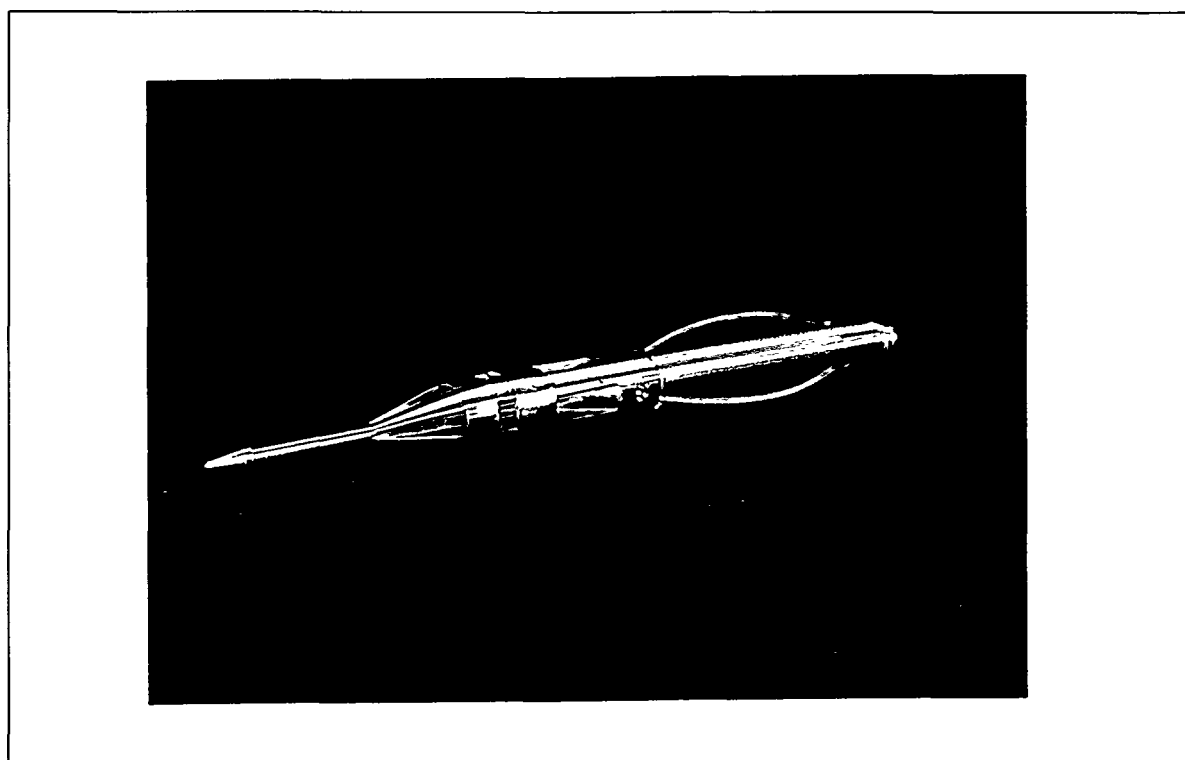
- ・パルス発生弁開閉速度： $t_a = t_b = 0.1$ 秒（第2.4.1-12図参照）
- ・弁開閉時間率：弁閉時間を弁開時間の1/3($t_o = 3 \times t_c$)。
- ・使用流体：清水
- ・流量：800 l/min～1,200 l/min
- ・傾斜角度：0°（水平）、30°、60°、90°（垂直）

管内圧力波形は次の3カ所で計測する。

- ・パルス弁直上 (data3、pressure3、noise3)
- ・パルス弁から100m上流側 (data2、pressure2、noise2)
- ・パルス弁から200m上流側 (data1、pressure1、noise1)



第2.4.1-10図 平成8年度のパルス弁形状



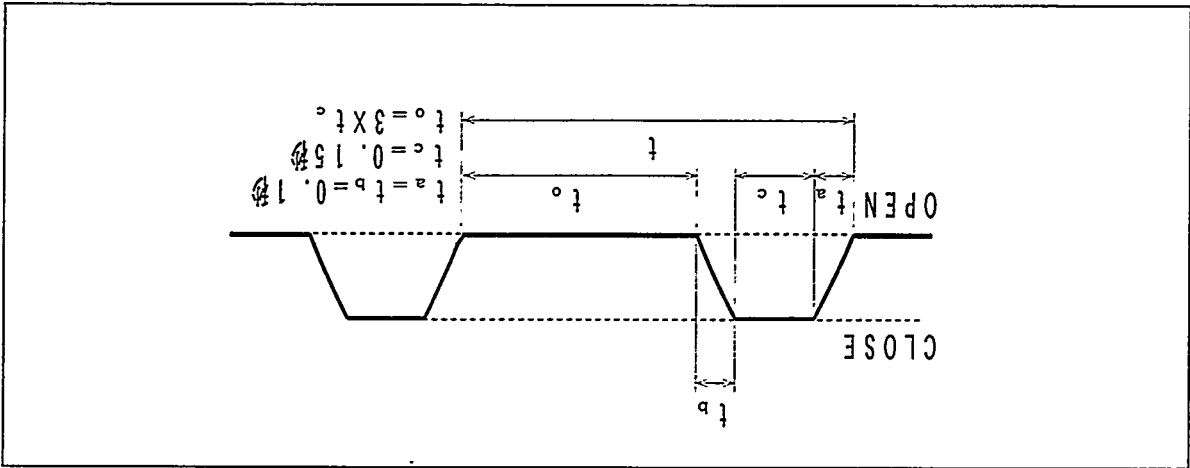
第2.4.1-11図 平成8年度のパルス弁形状

え. 高圧リーフ試験結果
イ. パルス弁単体試験
第2.4.1-13図～第2.4.1-21図にパルス弁単体での試験結果を示す。
いずれの試験条件でもピーク値は1 kgf/cm²以上、パルス波も明瞭でありデコード処理
するのに十分なパルス波が発生することが確認された。

Test No.	流量 ℓ / min	使用流体	傾斜角度 (Deg)	パルス間隔 (sec)	備 考
H8-A1-08	800	清水	0	0.8	パルス弁単体
H8-A1-10				1.0	パルス波確認試験
H8-A1-12				1.2	
H8-A2-08	1,000			0.8	
H8-A2-10				1.0	
H8-A2-12				1.2	
H8-A3-08	1,200			0.8	
H8-A3-10				1.0	
H8-A3-12				1.2	

第2.4.1-5表 試験条件

第2.4.1-12図 パルス弁開閉タイミング



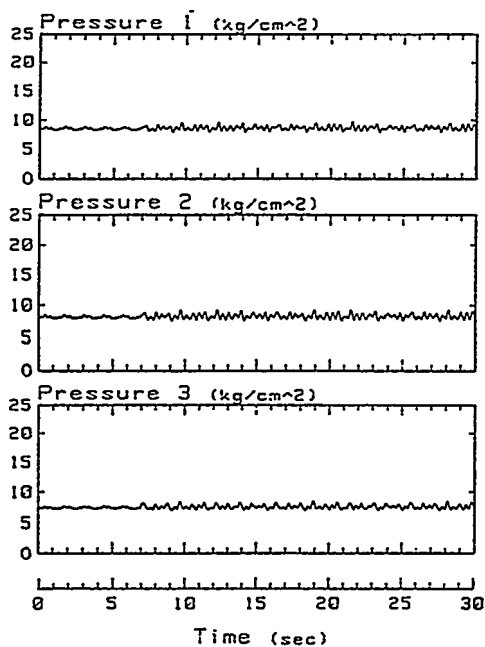
高圧ループ試験（清水）

試験番号 TEST No. H8-A1-08

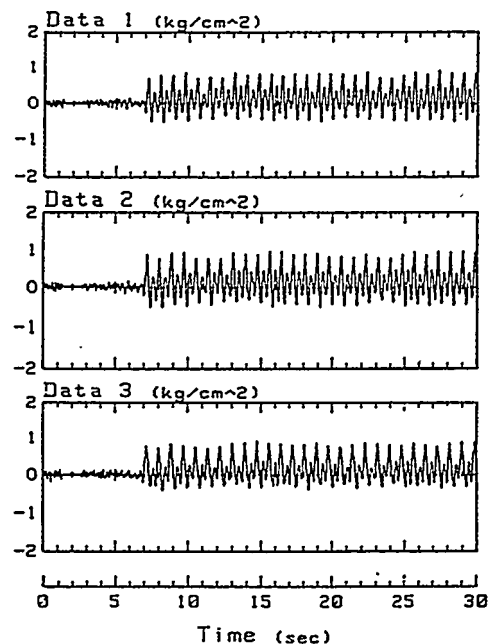
設定流量 800 l/min.

傾斜角度 0°

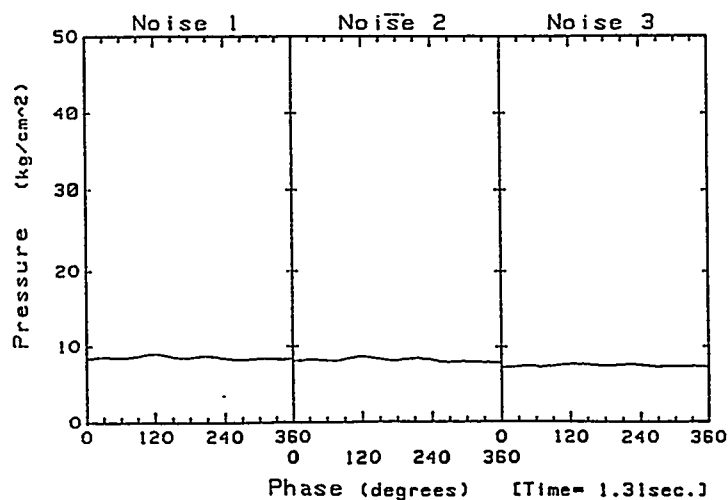
管内圧力波形



弁発生圧力パルス (ポンプ・ノイズ除去処理後)



ポンプ・ノイズ



第2.4.1-13図 高圧ループ内パルス発生試験結果
(流量800 l/min、傾斜角度0°、パルス周期0.8sec)

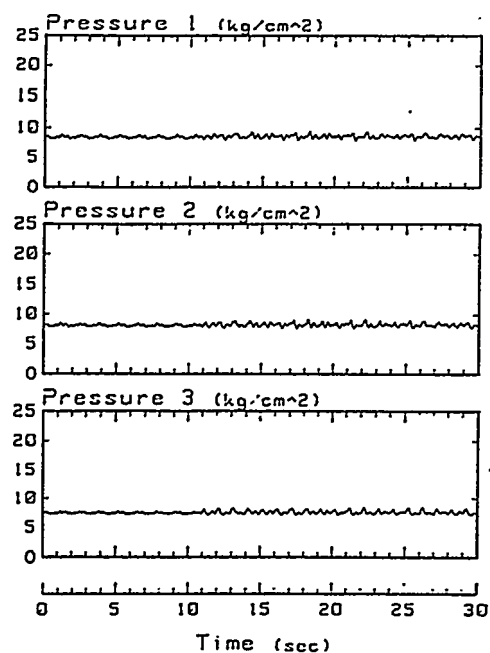
高圧ループ試験（清水）

試験番号 TEST No. H8-A1-10

設定流量 800 l/min.

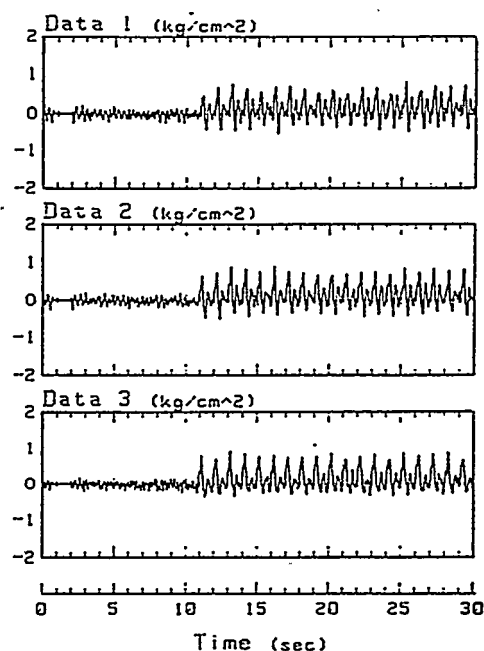
傾斜角度 0°

管内圧力波形

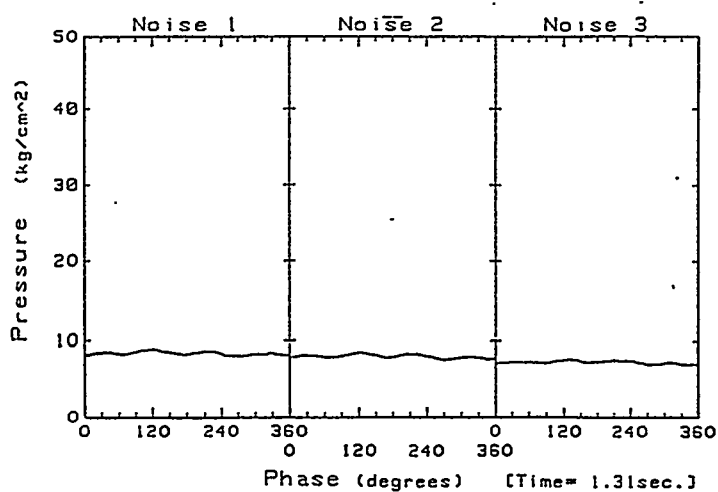


弁発生圧力パルス

（ポンプ・ノイズ除去処理後）



ポンプ・ノイズ



第2.4.1-14図 高圧ループ内パルス発生試験結果
（流量800 l/min、傾斜角度0°、パルス周期1.0sec）

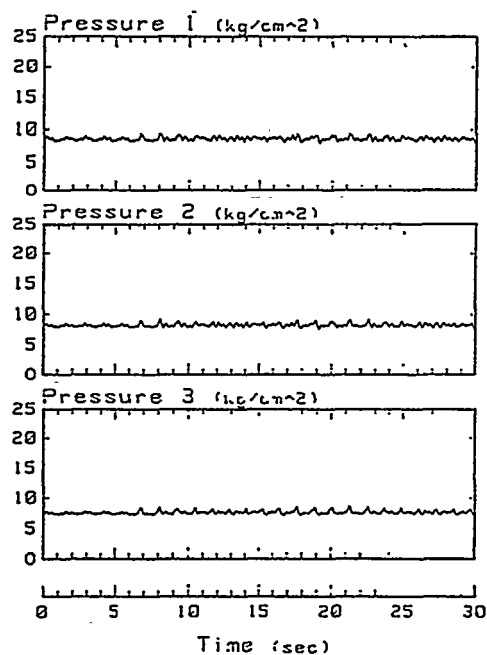
高圧ループ試験（清水）

試験番号 TEST No.H8-A1-12

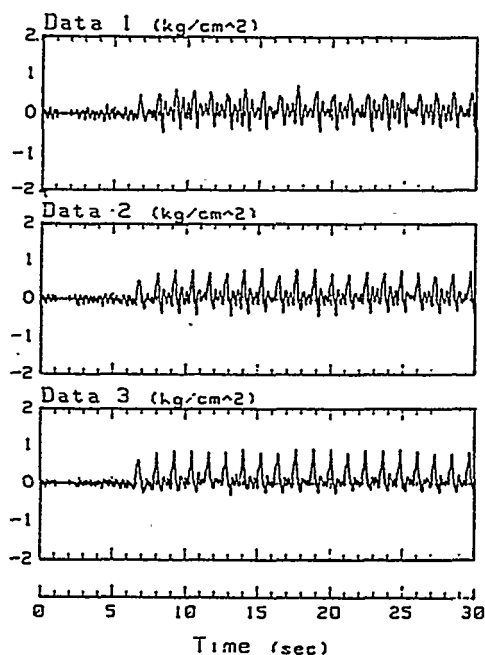
設定流量 800 l/min.

傾斜角度 0°

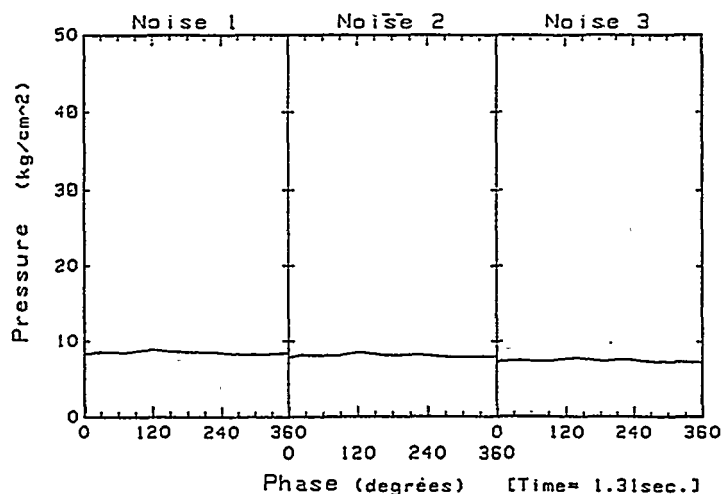
管内圧力波形



弁発生圧力パルス (ポンプ・ノイズ除去処理後)



ポンプ・ノイズ



第2.4.1-15図 高圧ループ内パルス発生試験結果
(流量800 l/min、傾斜角度 0°、パルス周期1.2sec)

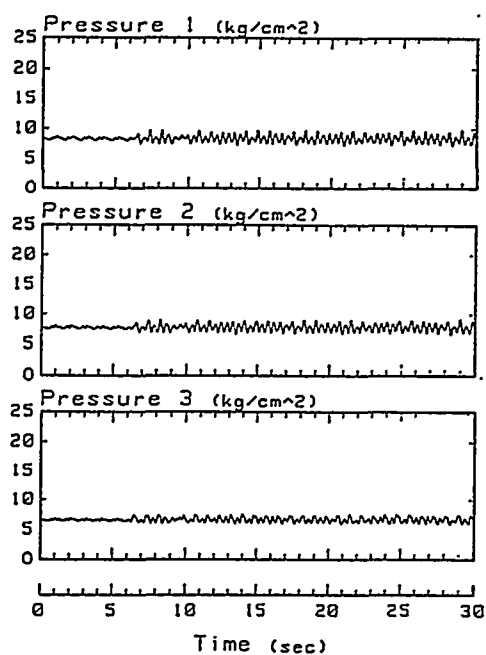
高圧ループ試験（清水）

試験番号 TEST No. H8-A2-08

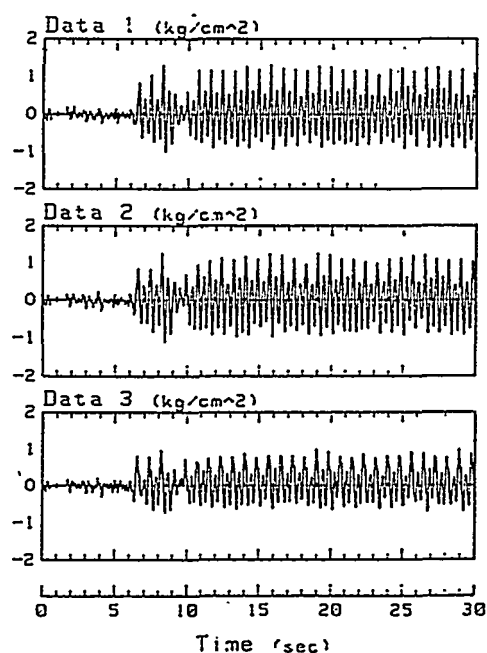
設定流量 1,000 ℓ /min.

傾斜角度 0°

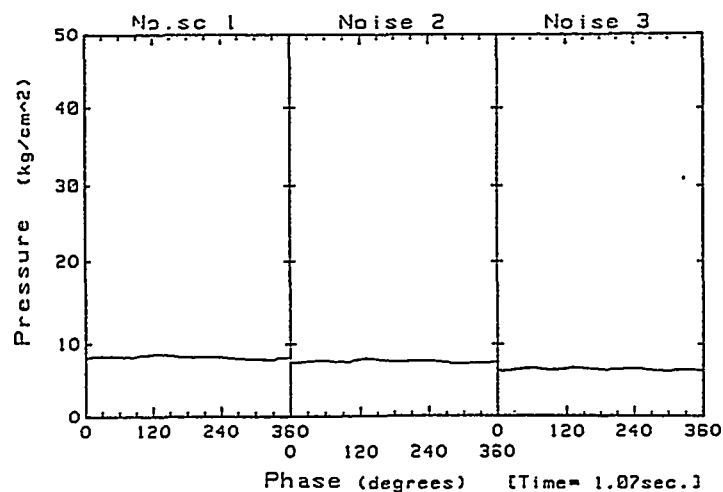
管内圧力波形



弁発生圧力パルス (ポンプ・ノイズ除去処理後)



ポンプ・ノイズ



第2.4.1-16図 高圧ループ内パルス発生試験結果
(流量1,000 ℓ /min、傾斜角度 0° 、パルス周期0.8sec)

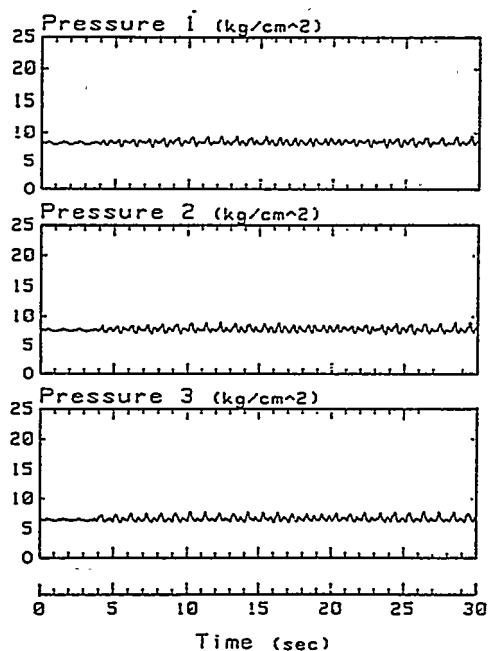
高圧ループ試験（清水）

試験番号 TEST No. H8-A2-10

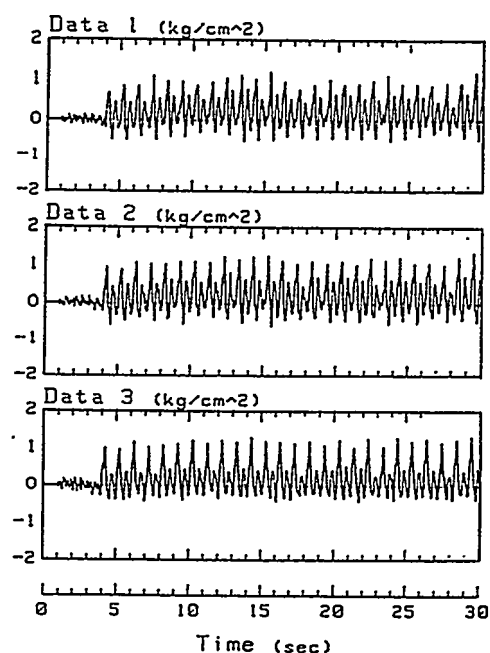
設定流量 1,000 l/min.

傾斜角度 0°

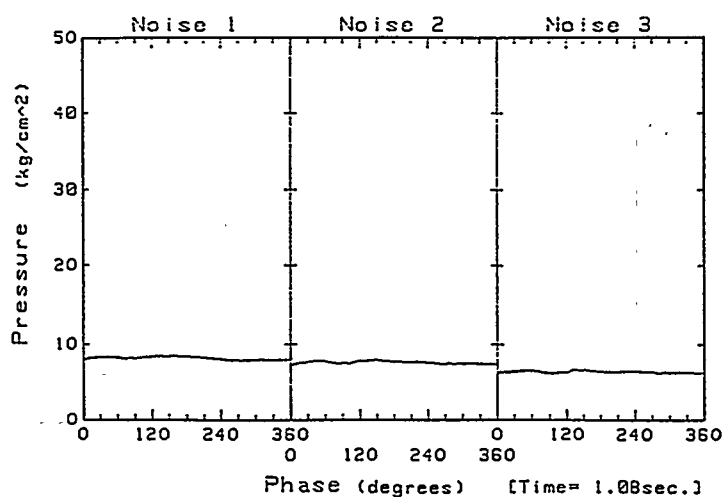
管内圧力波形



弁発生圧力パルス (ポンプ・ノイズ除去処理後)



ポンプ・ノイズ



第2.4.1-17図 高圧ループ内パルス発生試験結果
(流量1,000 l/min、傾斜角度0°、パルス周期1.0sec)

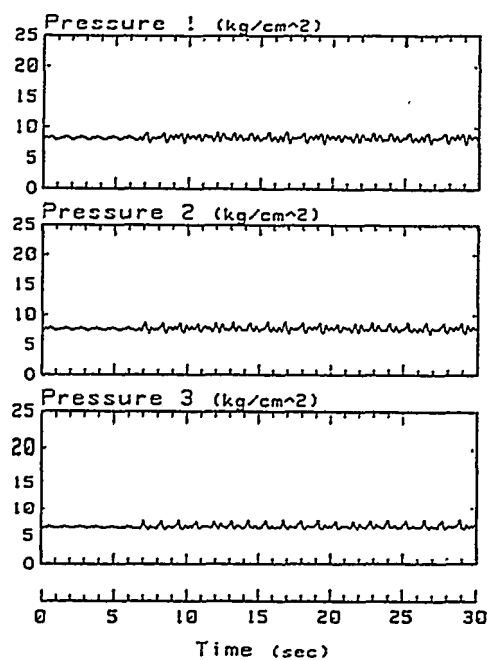
高圧ループ試験（清水）

試験番号 TEST No. H8-A2-12

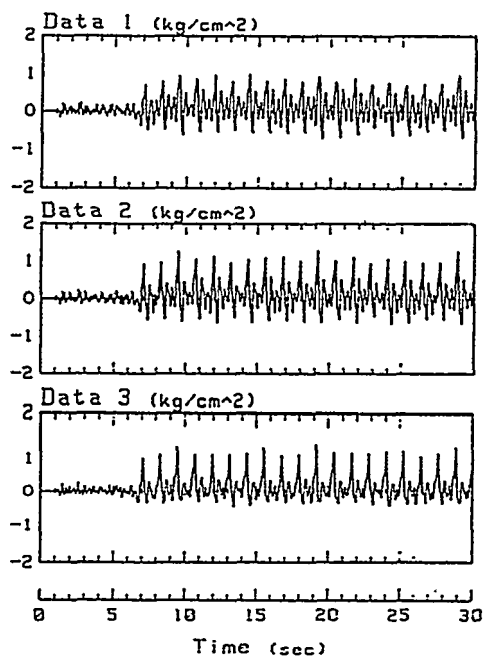
設定流量 1,000 l/min.

傾斜角度 0°

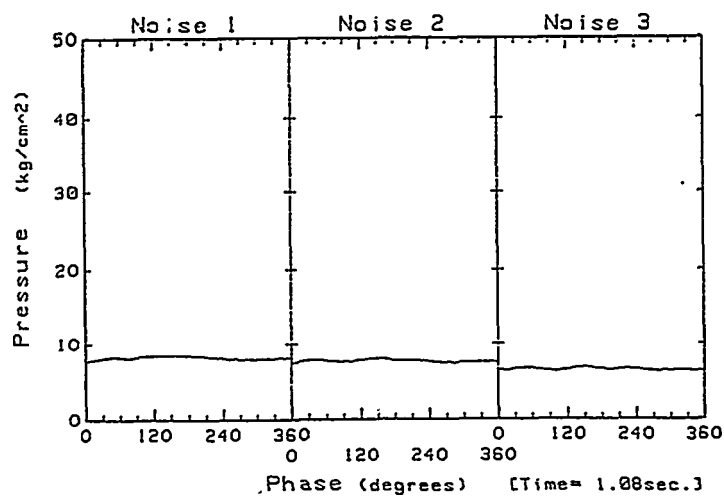
管内圧力波形



弁発生圧力パルス (ポンプ・ノイズ除去処理後)



ポンプ・ノイズ



第2.4.1-18図 高圧ループ内パルス発生試験結果
(流量1,000 l/min. 、傾斜角度 0° 、パルス周期1.2sec)

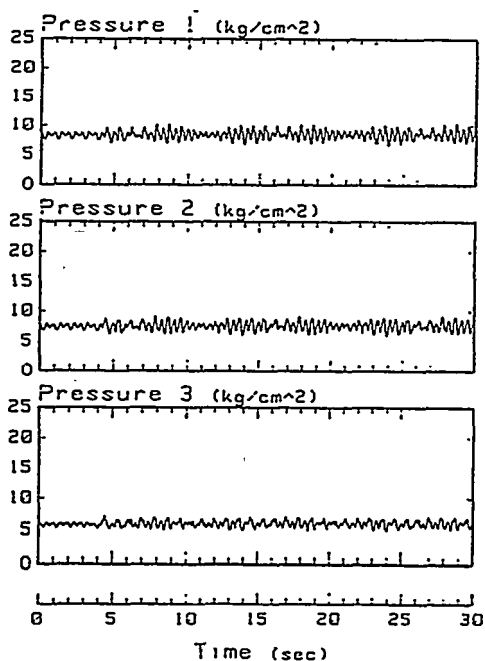
高圧ループ試験（清水）

試験番号 TEST No. H8-A3-08

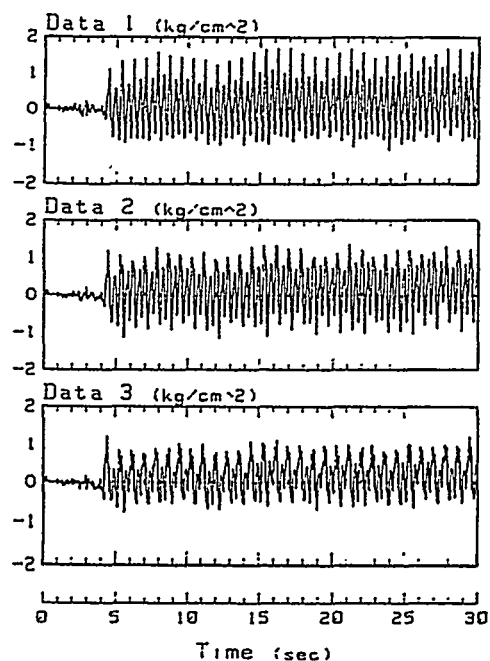
設定流量 1,200 l/min.

傾斜角度 0°

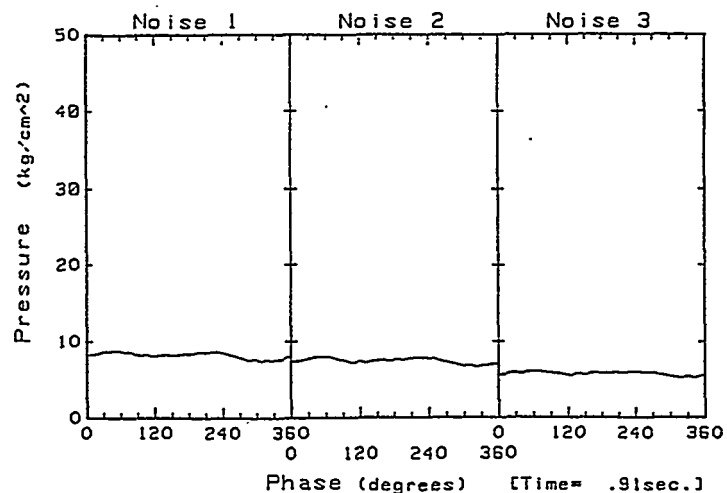
管内圧力波形



弁発生圧力パルス (ポンプ・ノイズ除去処理後)



ポンプ・ノイズ



第2.4.1-19図 高圧ループ内パルス発生試験結果
(流量1,200 l/min、傾斜角度0°、パルス周期0.8sec)

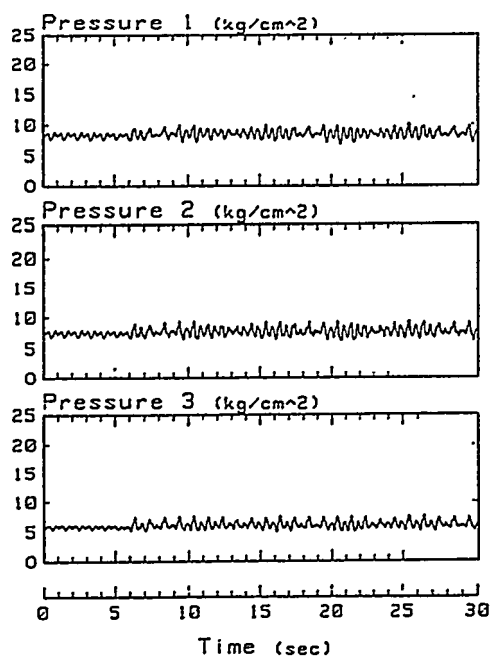
高圧ループ試験（清水）

試験番号 TEST No. H8-A3-10

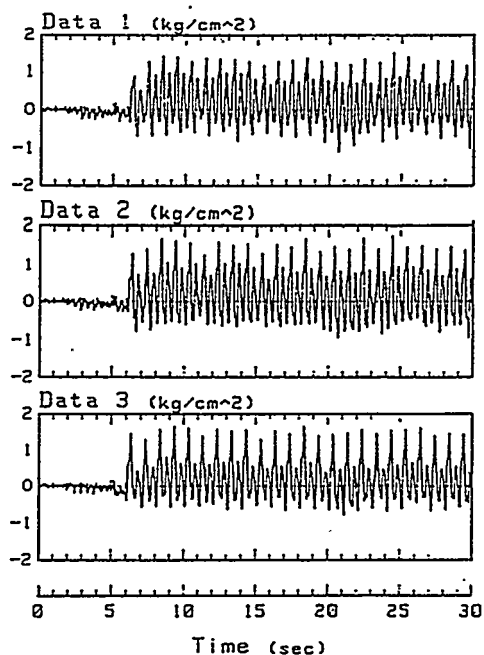
設定流量 1,200 l/min.

傾斜角度 0°

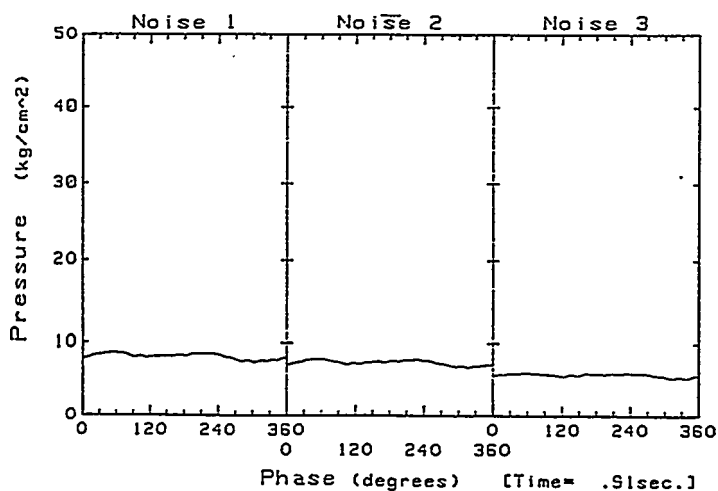
管内圧力波形



弁発生圧力パルス (ポンプ・ノイズ除去処理後)



ポンプ・ノイズ



第2.4.1-20図 高圧ループ内パルス発生試験結果
(流量1,200 l/min、傾斜角度0°、パルス周期1.0sec)

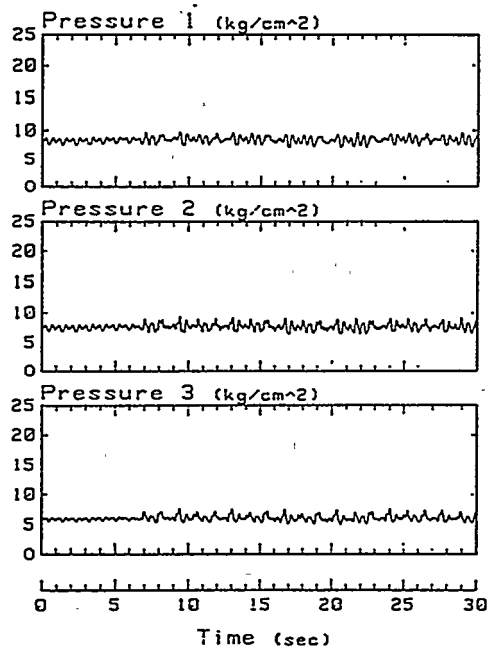
高圧ループ試験（清水）

試験番号 TEST No. H8-A3-12

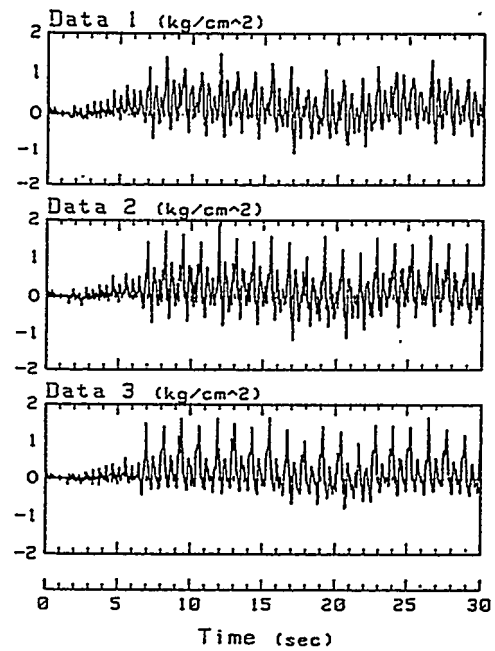
設定流量 1,200 l/min.

傾斜角度 0°

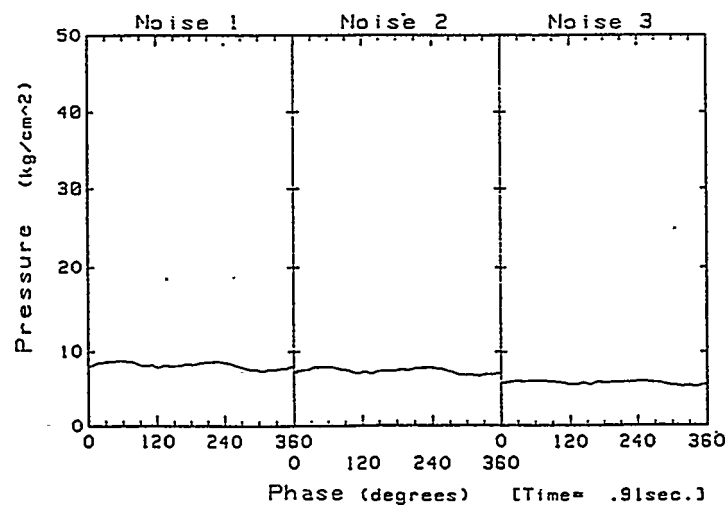
管内圧力波形



弁発生圧力パルス (ポンプ・ノイズ除去処理後)



ポンプ・ノイズ



第2.4.1-21図 高圧ループ内パルス発生試験結果
(流量1,200 l/min、傾斜角度0°、パルス周期1.2sec)

(1. 1. 2) マッドパルス発生弁駆動装置

マッドパルス発生弁駆動装置は耐熱モータ、接点スイッチ、軸シール及び機構部から構成する。

耐熱モータについては、ブラシの耐摩耗性の向上、耐振動、耐衝撃性の向上を目的とした改良設計を行ったのちに、耐熱試験、振動試験、衝撃試験を実施し目標の性能が得られたことを確認した。

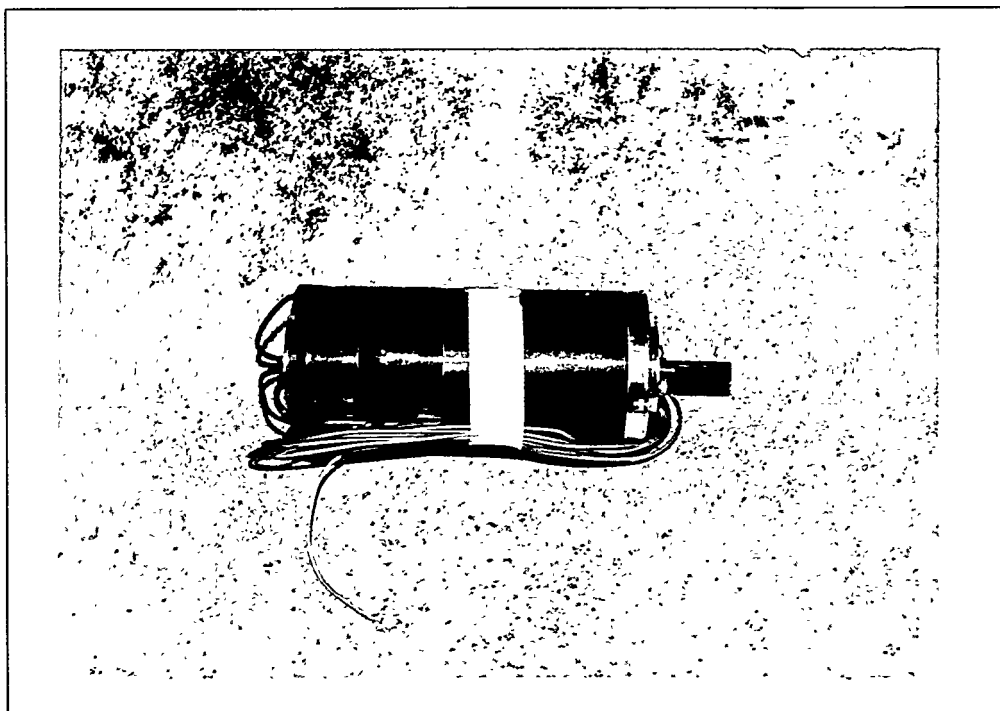
接点スイッチについては、平成7年度の機構を見直した後、設計指針を決定した。更に、3種類の設計案を挙げて試作、評価した後、動作が良好な試作案を採用した。

軸シール機構については、極力漏れの少ないシール機構を検討し試作機を製作し、机上試験で構成する要素（シール材、グリース）の最適化を図った。

以上の要素開発を終了した後に、実機としての駆動装置機構部を製作し、耐熱試験、耐振動試験、耐衝撃試験を実施し、目標の性能が得られたことを確認した。

a. 耐熱モータ

第2.4.1-22図に本年度製作した耐熱モータの外観を示す。



第2.4.1-22図 耐熱モータ

イ. 改良設計

①ブラシの形状及びブラシホルダ

平成7年度に製作したモータを高温時の間欠駆動（1秒毎に開閉動作を行う）の耐久試験に供したところ、約50時間で動作が停止した。

原因はブラシが摩耗したことによるものであった。その時の摩耗量は約0.8mmであった。これまでにブラシの材質を取捨選択し、現在の材質に到達しているため、これ以上の材

質の選択が困難であることから、今年度は耐摩耗性の向上を目指し、摩耗代を多くとれる形状とし（2.0mm）、摩耗量が許容値を越えた場合には容易に交換が可能な構造とするためにブラシホルダを含めた改良を行った。

②コイル巻線の固定

平成7年度の実証試験で、ロータの巻線が断線していたものがあった。原因はコイル巻線端部の固縛範囲が短いために自由長（約10mm）があり、そこがモータ回転により疲労破断あるいは、磁石に接触し断線したものと推定された。

そのため固縛範囲を可能な限り長くし、自由長を半分の5mm以下とする構造とした。

③磁石の保護

高温域でも使用可能な希土類の磁石は常温でも一般に脆性が著しく、衝撃に伴う欠損が発生した場合には破片が磁石とロータ間（間隙0.3mm）に挟まり駆動を停止させることが懸念される。

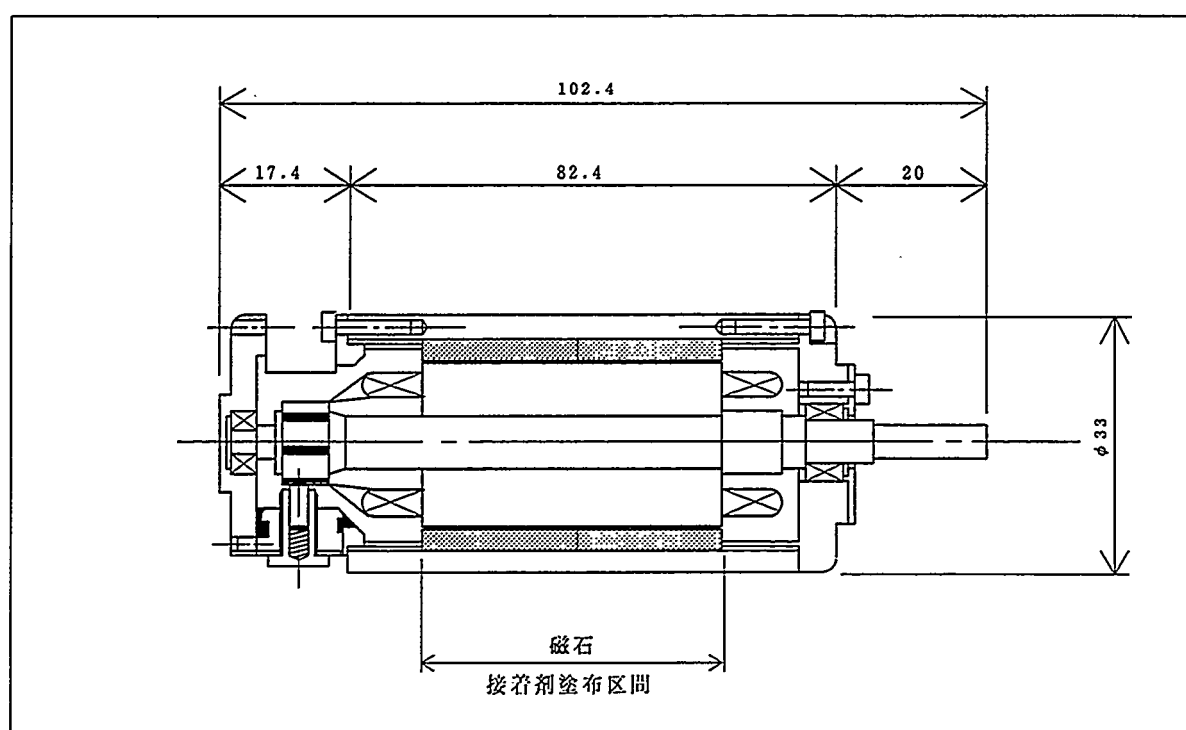
そのため、磁石のロータ側内面に耐熱型接着剤を塗布し、欠損の影響をなくすようにした。（第2.4.1-23図）

④ブラシ部の改良

後述する第1回の耐熱試験でモータが所要の仕様を満足したものの、回転数の低下が著しいこと、電流が漸減していることから信頼性に欠けると判断し、回転数の安定化を図ることを目的とした改良を行うこととした。

回転数及び電流の減少は200℃到達後、時間と共に減少する傾向にある。

原因はブラシ部の電源供給リード線の結線構造が、ブラシとブラシ周囲の絶縁樹脂と材料が異なることから熱膨張により十分な結線を維持できないことによると判断した。そこで、バネ押さえからのリード線を延長し、電源供給を確実にした。



第2.4.1-23図 磁石の保護区間

ロ. 性能確認試験

①耐熱モータの耐熱試験

・目的

耐熱モータ単体の耐熱性能を確認する。

・試験要領

試験温度：常温→200℃（50時間）→220℃（5時間）→常温

モータ負荷トルク：3 kg-cm

恒温槽型式：熱風循環式

計測項目：モータ温度、電圧、電流、減速ギヤ出力端の回転数及びブラシの摩耗量
試験計測は本体の温度が200℃静定後から行う。
ブラシの摩耗量は降温後に計測する。

試験時間：累積とする。

試験対象：本年度製作した耐熱モータ2セット（No. 1モータ、No. 2モータ）

耐熱試験概要を第2.4.1-24図に示す。

なお、この耐熱試験の第1回目の結果は開発仕様を満足したものの、試験中の回転数の変化が著しく本年度の改良結果としては満足のいくものではなかった。そのために試験前後で回転数の変動が10rpmに収まるように更に部分改良を行った。

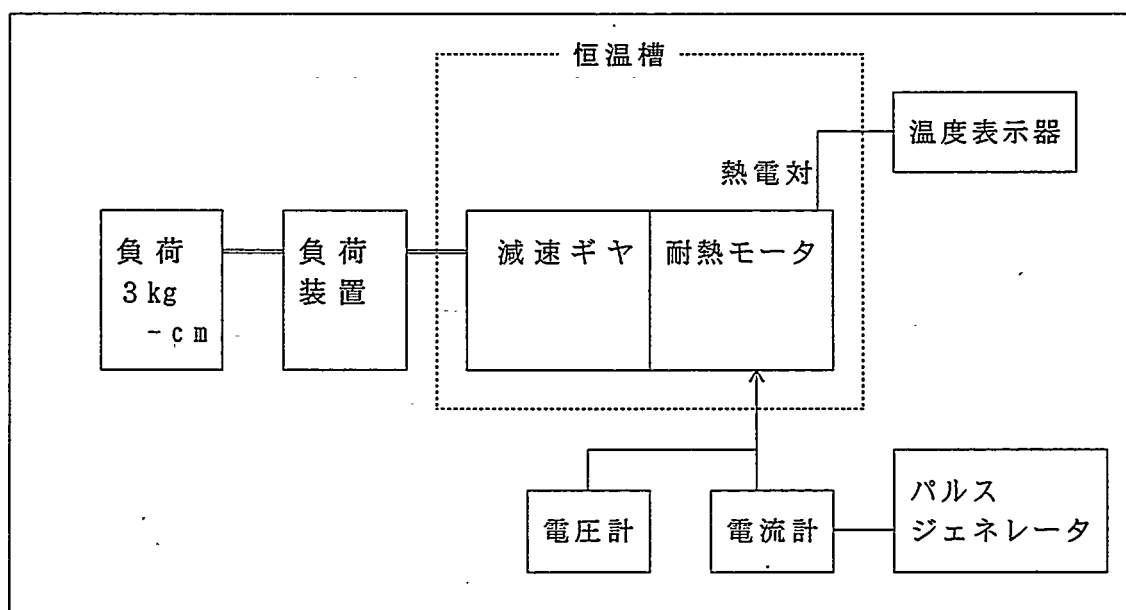
・試験結果

(a) 消費電流、回転数について、第1回、第2回試験結果を第2.4.1-25図に示す。

(b) ブラシの摩耗量は、第1回、第2回とも約0.8mmであった。

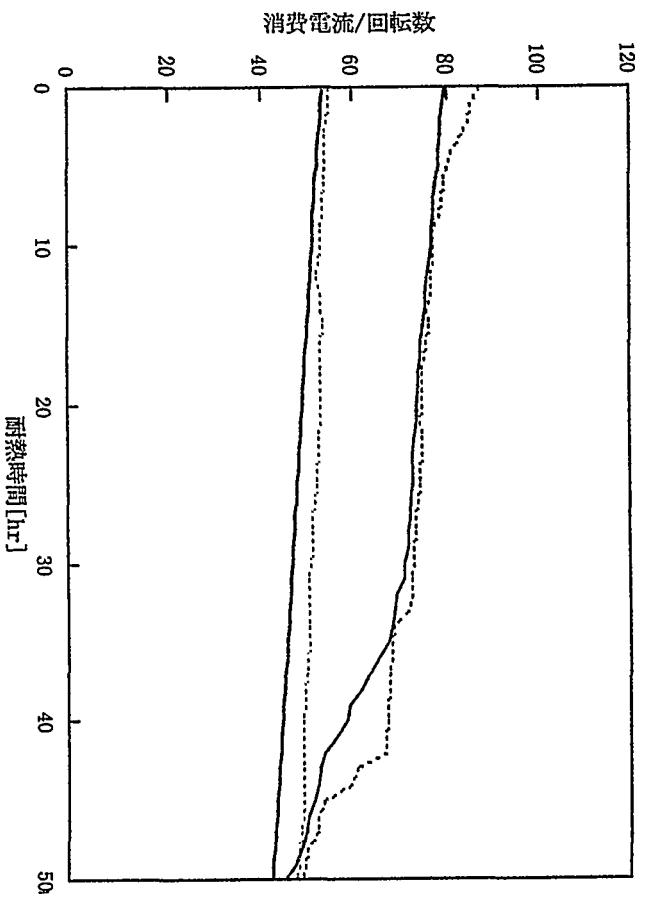
(c) 第1回試験においては、電流、回転数は時間と共に減少する傾向にあり、特に30時間後からの回転数の低下が著しい。

(d) 第2回試験結果において、No. 1及びNo. 2モータ共に回転数は80rpm以上を維持しており、試験途中の回転数の変動幅も10rpmと安定している。

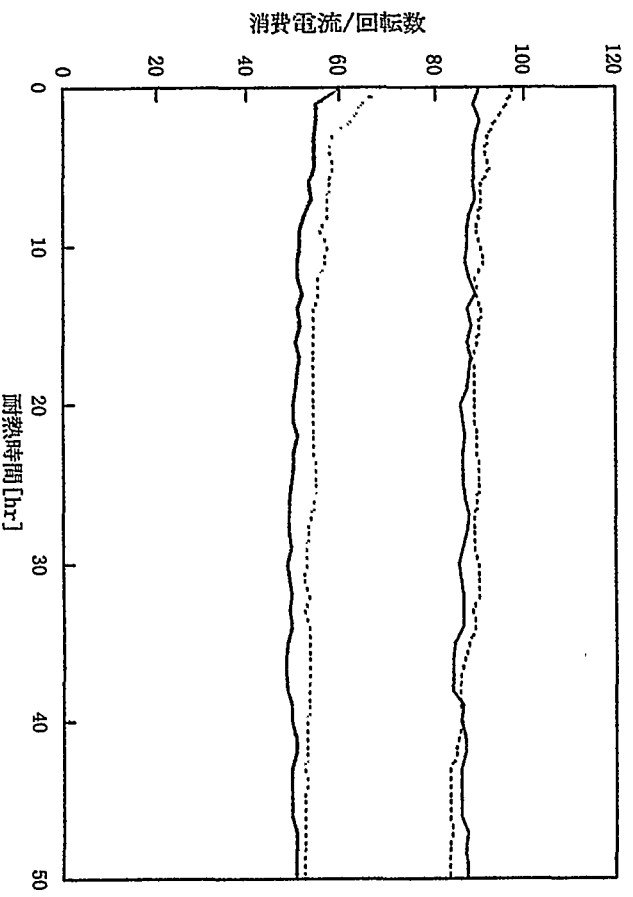


第2.4.1-24図 試験計測概要

耐熱試験結果
耐熱モータ改良前



耐熱耐久試験結果
耐熱モータ改良後



第2.4.1-25図 耐熱試験結果

・考察

(a) 摩耗代が2mmであることから、連続駆動で約125時間は使用可能と予測できる。

(b) 第1回試験のNo. 1モータでは試験開始に75rpmあった回転数が、50時間後には45rpmまで減少している。この性能でも開発仕様は満たしていることを以下に確認する。

(b-1) パルス伝送レートへの影響

平成7年度の成果として伝送レートの最も高いパルス発生間隔について述べた。実験の結果、パルス波として識別可能なパルス間隔は最短で0.8秒であることを確認している(第2.4.1-26図参照)。

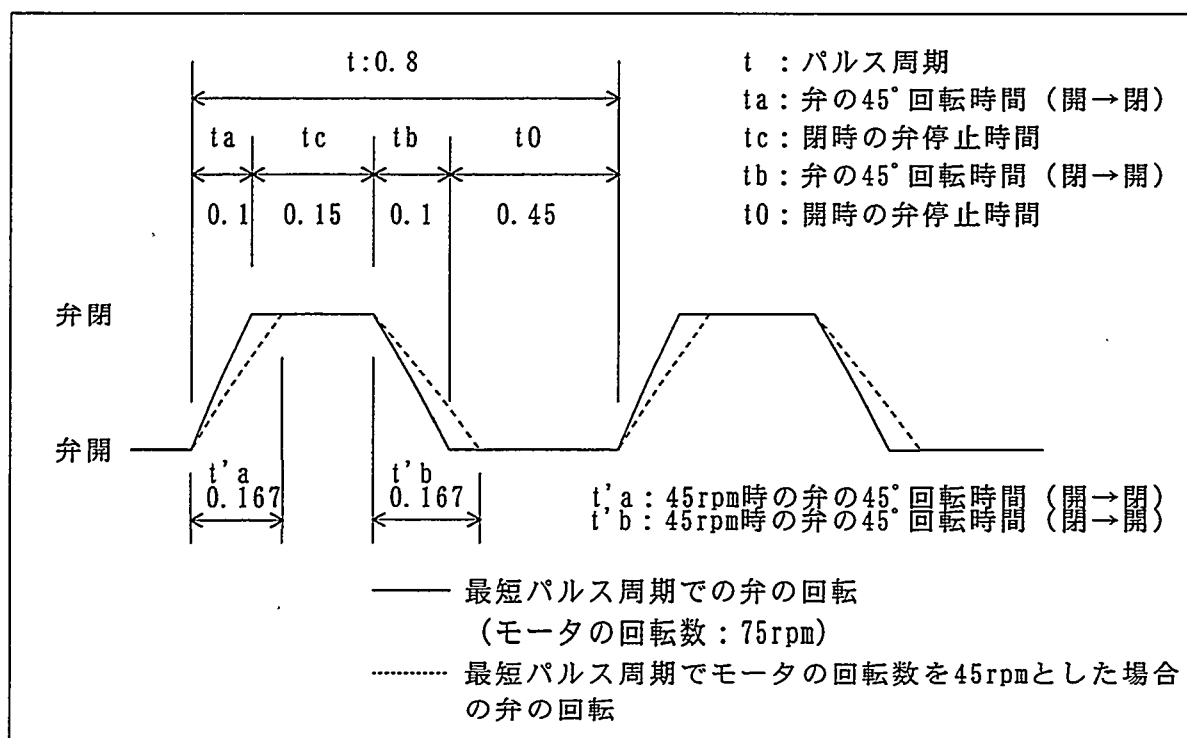
この時の弁の開閉に要する時間を 45° で0.1秒としていることからモータの回転数は75rpmと求めることができる。

回転数を第1回試験50時間後の値である45rpmとすると弁の開閉に要する時間は $0.1 \times 75 / 45 = 0.167$ 秒となる。第2.4.1-26図の点線は、その際の挙動を示す。

弁の回転開始はパルス弁駆動装置制御装置の信号による。弁駆動命令は回転数に無関係に発せられるため、弁の回転数が低下しても波形の尖度が多少変化するもののパルス間隔には変化が生じないので、伝送レートは変化しない。

(b-2) パルス波への影響

開閉時間の変化に伴う信号パルス波形については平成7年度に弁の開閉に要する時間 t_a 、 t_b を0.1~0.3秒で変化させてパルスの性状を実験的に検討しており、設定範囲内ではいずれの間隔でも識別可能なパルス波が生成できることを確認している。



第2.4.1-26図 モータ回転数と弁の回転の関係

耐熱モードが規定の振動周波数帯域（5～500Hz）で卓越周波数が無いことを確認する
振動特性試験を行う。

また、実坑井を模擬した振動を与え供試体に異常ないことを確認するラシタム試験は、ソフテに組み込んだ状態の駆動装置として実施する。

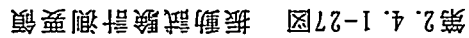
計測方法：供試体上の代表する4点にて振動を測定する。
評価基準：応答加速度が10G以下であること。

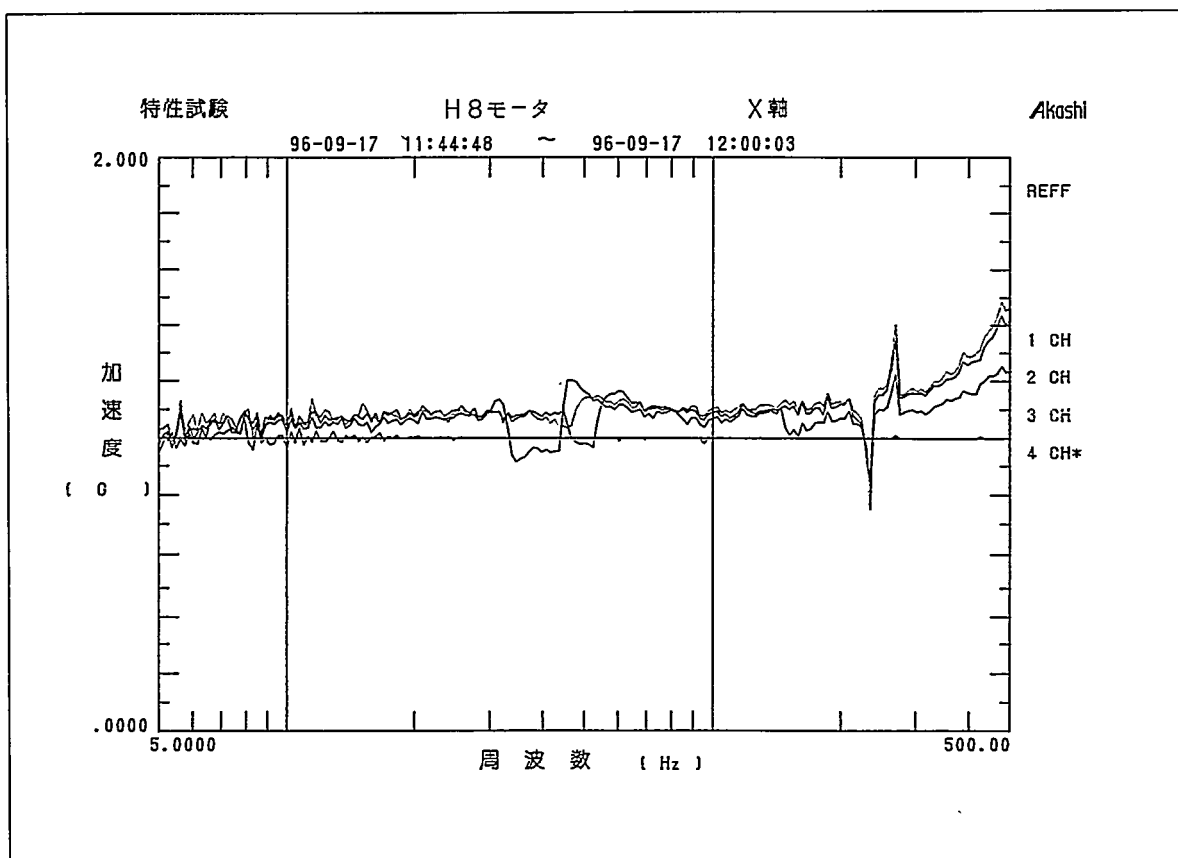
加振要領：周波数 5 ～ 500Hz, 15分スイープ、加速度 1 G (一定)

計測方法：供試体上の代表する4点にて振動を測定する。

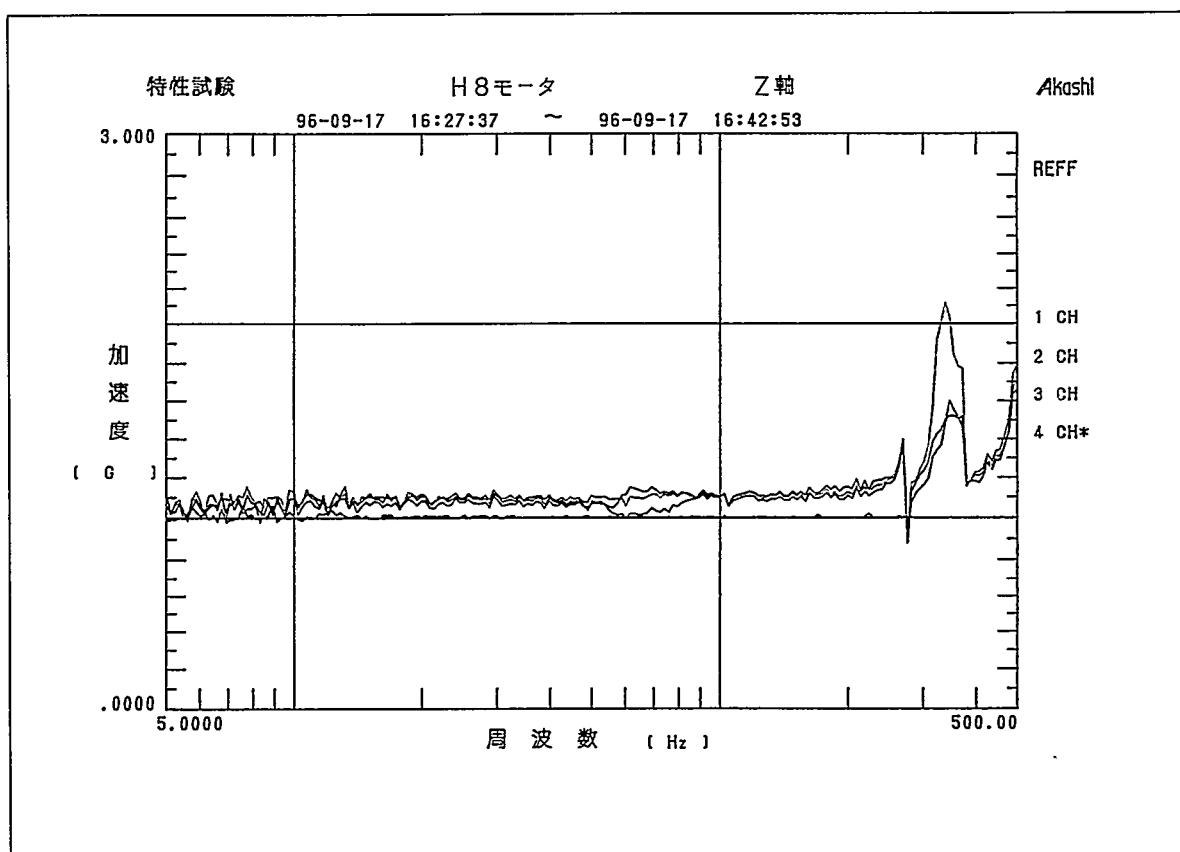
第2.4.1-28図にX軸方向、第2.4.1-29図にZ軸方向の試験結果を示す。Y軸についてはX軸と軸対称の関係にあり、ほぼ同じ特性のため省略した。

試験はX、Y、Zの3軸について行ったがいずれも卓越した周波数が存在しないことを確認した。また試験後の動作も正常であることを確認した。





第2.4.1-28図 振動特性試験結果 (X軸)



第2.4.1-29図 振動特性試験結果 (Z軸)

二．モータ単体衝撃試験

①試験目的

耐熱モータが目標仕様の衝撃性能を満たしていることを確認する。

耐熱モータを衝撃台に固定して規定の衝撃を与え、性能の劣化がないことを確認する。
また、モータの蓋取付ボルトに緩みが生じないかを重点的に確認する。

②試験要領

衝撃波形：正弦半波

方 向：直交する3軸方向を1軸ごとに行う。ただしX、Y等の形状が同一な軸はX軸のみとする。

加 速 度：1,000[G]×0.5[msec]

試験回数：各軸3回。

試験環境：常温、大気圧

確認要領：試験前後の動作状況を目視で確認する。

衝撃試験装置

試験の計測概要を第2.4.1-30図に示す。

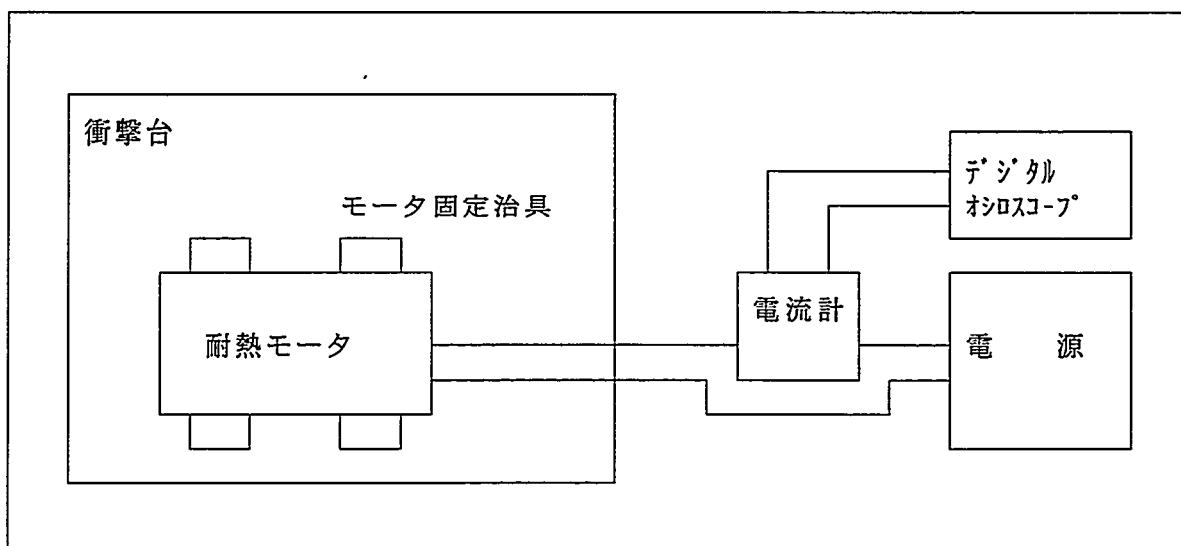
③衝撃試験結果

試験後の動作では異常無く動作することを確認した。

モータの蓋取付ボルトは前部（出力軸側）と後部に配置しており、緩みは試験前後の組み立て、分解に要するトルクで評価した。

緩み検査の計測結果を第2.4.1-6表に示す。X軸とY軸は軸対称であるため、Y軸についての所要トルク計測は省略し、X軸3回、Z軸3回、合計6回の試験を行った。

衝撃試験の前後の動作状況は消費電流に異常がないことを確認した。また、ボルトの緩みは試験前後でトルクの差がないことから衝撃による緩みはなく締結方法は適切であることを確認した。



第2.4.1-30図 衝撃試験計測要領

第2.4.1-6表 組み立て用ボルトの緩み

		試験前 [kgf-cm]	試験後 [kgf-cm]	備 考
組み立て時の締め付け所要 トルク	前部	6.2	-	
	後部	6.2	-	
分解時の所要トルク	前部	* 3.9	4.0	*比較のため試験前に分解 トルクを計測した時の 値を示す。
	後部	* 3.9	3.9	

b. 接点スイッチ

イ. 接点スイッチの開発

パルス弁の開閉停止位置を決める接点スイッチは、安定したパルスの発生とパルス波形の形成に重要な働きをする。

平成6年度に試作した周接点型は、接点ブラシを保持する絶縁体にテフロンを用いたため、高温時に変形し接触が不安定となり、パルス弁の開閉動作を安定に保つことができないことが明らかになった。

平成7年度にはステンレスのピンをセラミックの絶縁体で保持し、スプリングによって軸方向に押し付ける軸接点型を採用し高温域における動作不良の改善を目指した。その結果、200℃の環境下における耐熱試験では耐久性を示したものの、繰り返し評価実験を行う中で停止角度がずれたり、停止位置をスキップする現象が散発的に発生した。

そこで、本年度の開発は、平成7年度型の接点スイッチの停止角度ずれの原因、スキップ動作の原因を追究し、その対策を含めた設計指針を挙げたうえで、3種類の設計案を検討、試験し、良い評価の機構を採用した。

ロ. 接点スイッチの停止角度確認

①試験の種類

電源電圧変化に対する停止位置の確認と、連続使用時の動作安定性の確認の二つの観点から試験を実施する。

②電源電圧変化に対する停止位置の確認試験

・試験目的

電圧変化に対する停止位置変化、連続使用時の停止位置ずれ、この2点について確認を行い、いずれの場合についても停止位置ずれが5°以内に収まっていることを確認する。

・試験条件

使用モデル：平成7年度モデル

試験温度：常温

印加電圧：10V、11V、12V、13V、14V、14.4V、15V

・試験要領

試験は各印加電圧ごとに15回転させ、その間の正規位置に対する角度ずれ量を計測する。計測要領を第2.4.1-31図に示す。駆動制御の模擬信号としてパルスジェネレータの出力

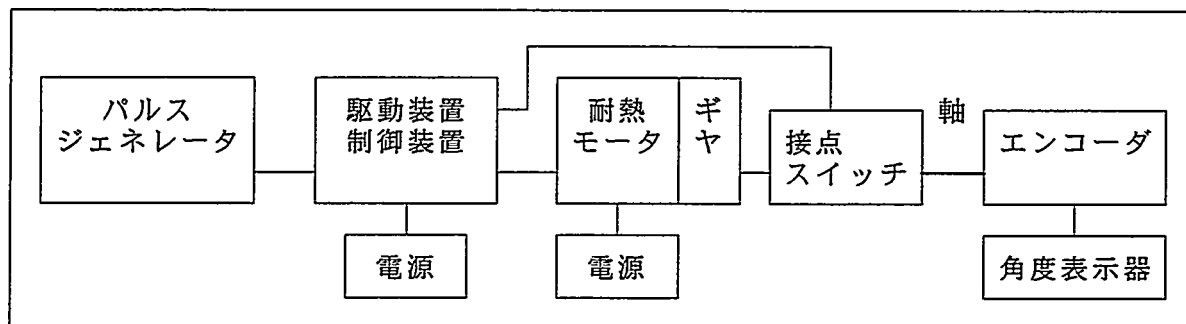
を用い、耐熱モータにエンコーダを接続して角度を計測する。

③試験結果

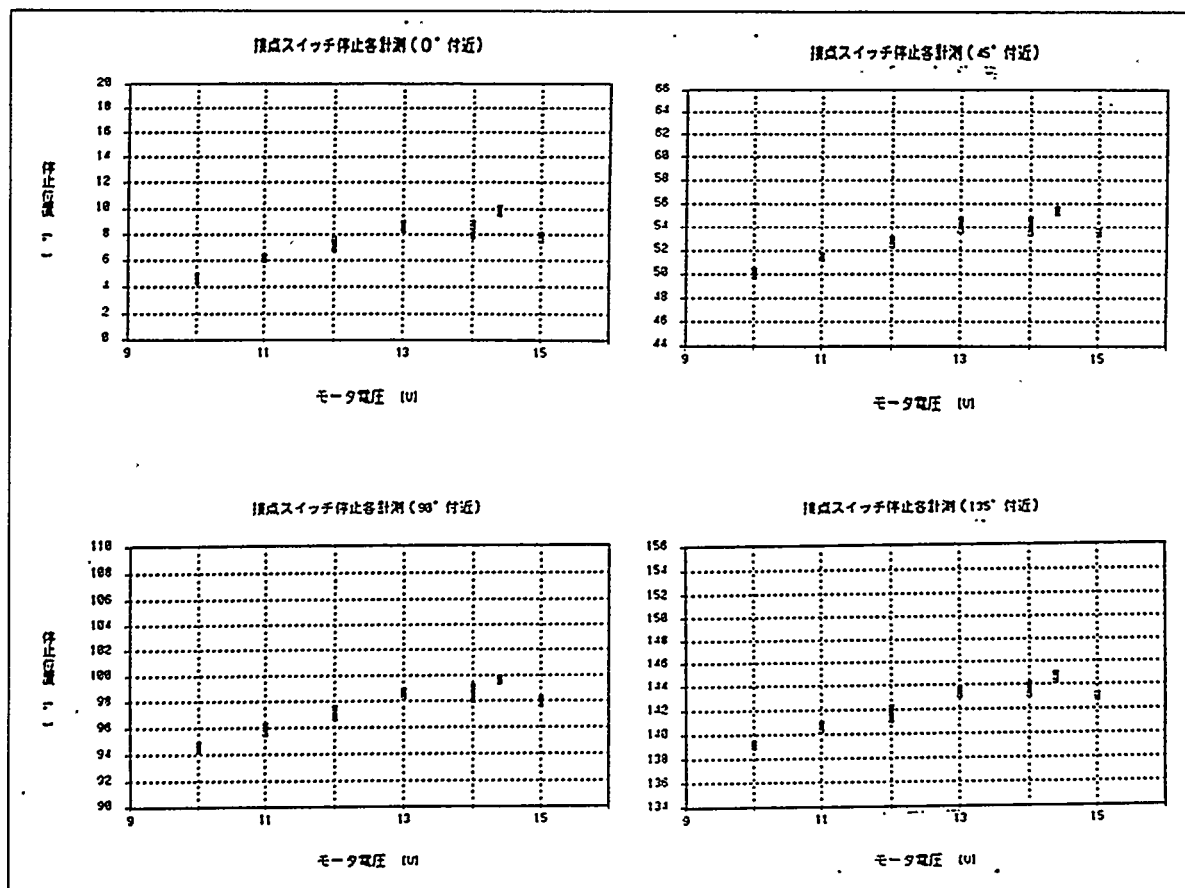
電圧変化による角度ずれ、及び一定電圧での停止位置変化の計測結果を第2.4.1-32図に示す。

いずれの電圧（10、11、12、13、14、14.4、15V）においても 2° 以上の連続使用時の停止位置ずれはない。従って、電圧変動がない限り許容範囲に収まっている。

10V～15Vの間で電圧が変化しても停止角は 5° 程度のずれに収まっている。前項でパルス弁の停止位置が 5° ずれてもパルス発生に影響しないことを確認しているので、初期状態で電源電圧が15Vで、電圧降下で10Vになった場合でもパルス波発生に影響を与えないと予想できる。



第4.1.2-31図 接点スイッチ停止角度計測概要



第2.4.1-32図 電圧変化による停止位置変化確認試験結果

ハ. 連続使用時の動作確認試験

①試験目的

一定印加電圧の条件で動作試験し、動作の安定性、信頼性を確認する。

②試験条件

使用モデル：平成7年度モデル

試験条件：常温、連続8時間

印 荷 電 圧：15V

③試験要領

第2.4.1-28図に示すようにエンコーダ出力を角度に換算して停止位置を計測した。

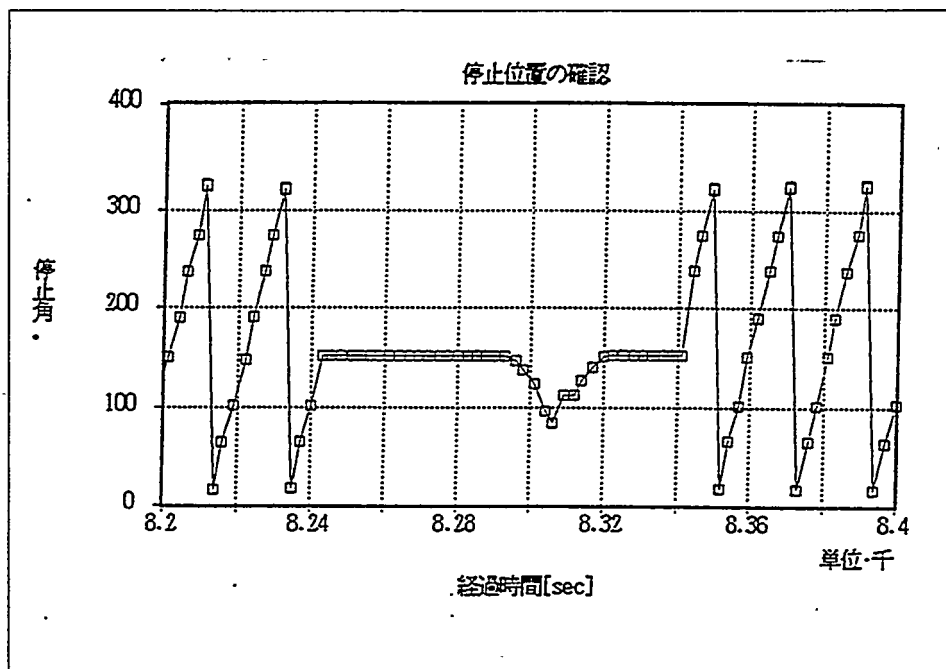
④試験結果

試験結果を第2.4.1-33図に示す。本図では 15° 、 60° 、 105° 、 150° 、 195° 、 240° 、 285° 及び 330° が正規の停止位置である。また、本図は動作異常のあった部分を抜粋して示している。

試験後の分解では接触子が受け側の樹脂を削り取り溝が形成されて削り屑が受け側の電極に付着していた。

8,240秒から8,340秒頃までの約2分間動作異常が見られる。第4.2.1-14図ではその時間のほとんどで、同じ位置で接触（□）していることが観測されている。つまり、駆動装置は回転していないのに、所定の位置まで回転していると間違って検知していることを示している。

また、8,300秒から8,320秒の間は停止位置が全く不規則である。これは停止すべき位置で停止していない、接点スイッチのスキップ現象を示している。このことは接触子（ピン）または受け側の回転絶縁体の何れかが異常であることを示す。



第2.4.1-33図 連続使用時の停止位置ずれ確認試験結果

⑤まとめ

平成7年度の接点スイッチは以上の試験により、動作の信頼性に欠ける点が確認できた。しかしながら、本試験により停止位置ずれの傾向が確認できた。

二. 接点スイッチ機構の設計指針

実機相当機の設計に当たり

- ・本節（1. 1. 1）に述べたとおりのパルス弁停止角度変更試験の結果より、パルス弁の開閉位置が $\pm 5^\circ$ ずれても波形生成に問題がないこと
- ・印加電圧の差による停止角度ずれがほぼ 2° 以内であること
- ・モータからパルス弁を回転させるまでに構造上3個のユニバーサル・ジョイントを介する必要があること

以上の3点をふまえて指針を次のようにした。

- ・接点スイッチの組み立て許容位置ずれを 2° 以内
- ・3個のユニバーサル・ジョイントの組み立て精度を合計 3° 以内
- ・組み立て総合角度ずれの合計を 5° 以内に収まるように設計するものとした。

ホ. 接点スイッチ機構の設計

本年度はこれまでの開発経緯を踏まえ、高温下での安定した動作を実現するため、次の3つ方式の設計を行った。この中で試験成績の良いものはそのまま実機相当機に使用できるように外径、軸径等の主要目は互換性のあるものとした。

①第1設計案

本案はモータのブラシとコミュニテータの関係を応用したもので、回転部に接点金属を十字に埋め込み、ブラシ部にV字型バネを用いている。回転部はセラミックで構成し、接点金属は真ちゅう埋め込み、固定接点（ブラシ部）には、平成6年度製作の耐熱モータで弾性機能が確認されているモリブデン鋼製の板バネを採用する。

また固定接点はステンレスのボールを用いたプレスフィットプランジャに容易に変更可能なとし、同一機構で部分改良が可能なものである。接点の球状化と回転による絶縁体表面の切削防止、バネ押し作用による接触の安定化を期待している。

②第2設計案

本案は回転を機械的に 45° で拘束したもので、回転軸が往復動することを特徴とする。回転軸に取り付けたカムが回転することにより板バネを押し上げ、接点を構成する機構としている。また、電氣的な接点構成が不可能になった場合に備え、板バネが閉になった状態で機械的にも回転を停止させる機構を設けた。

③第3設計案

接点と絶縁体であるセラミックが摺動する機構では、接点金属の摩耗や絶縁体の切削が著しく、長時間にわたりON/OFF動作の安定性・耐久性を確保することが困難である。従って、摺動する機構は避け、回転しながら接点構成する機構とした。

第1設計案をベースとして、固定電極のプレスフィット・プランジャをローラベアリングとし、回転電極、絶縁体外周を回転しながら動作する機構とした。また、ベアリングの軸の弾性で回転電極への接触力を確保する。

へ．接点スイッチの試験

設計案を比較検討した結果、第1設計案のプレストプランジャ型、第2案及び第3設計案を試作・評価した。

試験の確認項目は、摺動部の摩耗、接点構造の安定性とした。

試験計測要領は第2.4.1-31図に倣う。

①第1設計案の試験結果

プレスフィットプランジャの接触部の金属球が偏摩耗し、またロータ部のセラミックにも大きな溝が生じていることを確認した。このため、設計概念とした金属球の回転による均一摩耗の効果が期待できず、耐久性に問題があると判定した。

②第2設計案の試験結果

機械的なバックアップ機能の作用で、確実に定位置で停止することは確認できたが、構成部材の板バネの付け根に亀裂が生じた。強度不足が原因であるが、強度不足を補うほどの構造上の空間が取れないこと、構造が複雑であること、回転が正逆を繰り返すため軸シール機構を見直す必要があること、パルス弁駆動装置制御装置の変更を伴うことから不採用とした。

③第3設計案の試験結果

常温における試験結果は良好で本案を採用するものとした。

本案についての耐振動性、耐衝撃性、耐熱性の確認は、耐熱モータ等を組み合わせた駆動装置総合試験にて最終的に確認した。

c．軸シール

イ．軸シールの仕様

パルス弁駆動装置は耐圧容器に覆われ、パルス弁駆動用のモータを内蔵している。そのため、駆動用の軸を容器外へ出すため、シール機構を必要とする。

軸シールの仕様を次のように設定した。

シール圧力：常圧～1,000[kgf/cm²]

駆動圧力：常圧～700[kgf/cm²]

耐熱温度：常温～最高220[℃]

耐久時間：50[時間]以上

損失トルク：3.0[kgf-cm]以下

なお、軸シールによる損失トルクは耐熱モータ部の仕様トルク6.5kg-cmとし、パルス弁の開閉に必要なトルク2.0kg-cmを引いた残りに50%の余裕を持った値、即ち

$$(6.5-2.0) \times 2/3 = 3.0 \text{ [kgf-cm]}$$

とする。

ロ．軸シール機構の設計

耐熱モータの水没実験の結果、耐熱モータは湿度の高い環境下であっても、コミュニケーションが水没しなければ動作することが判った。これまでに軸シールメーカー等を調査した結果、本開発仕様のように高温高圧下での回転体の完全なシール（漏れが全くないシール）は期待できないことが分かっており、極力漏れの少ないシール機構とし、漏れ溜を併設す

ることにより耐久時間を満足させることを設計方針とした。

軸シール機構は3段のシールとした。

水密性を保つシールとしてはOリングが適しているが、高温・高圧下で回転する物体への適用例は少なく、異物が混入した際には水密を保持し難い。

このため、パルス弁側にOリングの保護を目的として泥水や削りクズなどの浸入を防ぐためにリップ型の第1シールを設けた。

更に、第2シールとしてOリングを設け、その低圧側に防ぎきれない漏れを貯水するための漏れ溜を設けている。

この漏れ溜から駆動機構部への漏水を防ぎ、第2シールをバックアップする目的で、リップ型シールを用いた第3シールを設けた。第3シールは第1シールと機能・目的が異なるため、回転トルクに影響の少ないリップ型シールを採用した。

ハ. 軸シール試験

①試験目的

軸シールに採用するシール材、耐熱グリスなどの基礎的な性状を把握するために試験を実施した。

実機のシール性能の確認は高温高圧試験にて行う。

②試験要領

軸シールの試験概要を第2.4.1-34図に示す。

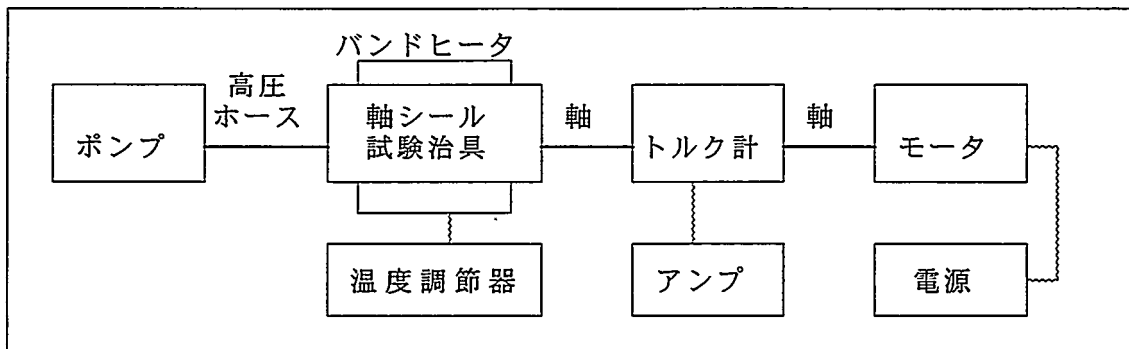
軸の回転は、常温型直流モータにて一定の速度（30[rpm]）で回転させる。

シール圧力は手動圧力ポンプにより調整する（常圧～1,000[kgf/cm²]）。環境温度はバンドヒータにより治具内部の温度を制御する（常温～220[℃]）。

なお、最速のパルス伝送レート（基準パルス間隔0.8秒）から平均回転速度は18.75[rpm]以下であるので、この軸の回転速度は十分である。ただし、実作動形態は間欠駆動なので、最終的なシール性能は後述する高温高圧試験にて確認する。

試験における設定条件は温度と圧力で決めるものとし、実施中はトルク計測、駆動電圧モニタを行う。また、試験終了後は漏れ溜に残っている水量の計測、シール材の目視検査を行う。試験手順を以下に示す。

- ・モータ回転（トルク計測開始）
- ・昇圧
- ・温度設定
- ・計測（トルク、温度、圧力）
- ・試験終了。降温
- ・圧力解放（常温）
- ・漏れ溜の水量を計測
- ・分解。各部の損傷確認



第2.4.1-34図 軸シール試験概要

二. 軸シール試験のまとめ

① グリス

グリスA：昨年度まで高温用グリスとしてすべての組み立てに使用していたものであるが、数時間200℃にて放置するとグリスの色が透明から褐色に変化することから、カーボンが析出すると考えられる。

グリスB：高温用のグリスで、昨年度の実証試験では耐熱水密性を得るためにアーマードケーブル用コネクタの内部にグリスアップしたものである。

グリスC：高温用のグリスであるが、フッ素系の油脂を基油としているために、カーボンの析出がない特徴がある。50時間以上高温下にさらしてもほとんど変色は見られない。

② 軸シール

軸シール試験で採用したOリング（P-6sizeとAS568-010size）は、つぶし代が小さいAS010sizeのほうが損失トルクは少ない。50時間の試験からは、寿命については、両者の差異はほとんど見られない。

③ シール材料

シール材料には、入手しやすいバイトン（フッ素ゴム）を採用している。

④ バックアップリング材料

材料には従来のテフロンとエンブラのPEEKを比較した。従来のテフロンは10時間程度の試験で塑性変型して軸とハウジングの隙間から材料自体が流れ出してしまう現象が見られた。一方、PEEKは50時間の試験後分解してみてもほとんど変型が見られなかった。

軸シールのバックアップリングには、明らかにPEEKが適していると判定している。

⑤ まとめ

以上の検討から、グリスC、OリングにはAS010size、バックアップリングにはPEEKを採用するのが最良と考えられる。

ホ. 試験結果

この試験によって得られた知見は以下のとおりである。

① 予備的な実験を行い実験実施の上で問題となる要素を抽出し、温度に対するシール効果、圧力に対するシール効果を確認した。

この結果、温度上昇により漏れ溜へ漏水するが、トルクの増加は少ないこと、圧力の上昇によりトルクは増加するが漏れ溜への漏水量に変化がないことが判った。

②耐熱グリースが炭化した場合、炭化したグリースがＯリングの水密性を損なう原因となっている可能性がある。

③Ｏリング単体でも常温では回転体周りの水密性能が保てるが、温度に対する水密性能が不十分である。

④部品に適切なグリスアップが行われていれば、グリスの炭化とそれに伴って発生すると考えられる漏水を避け得る。

⑤耐熱グリースでも軸受の潤滑材として適していないもの（グリスＡ、Ｂ）があることが判った。また、軸受、シール材ともに適した耐熱グリース（グリスＣ）を選定することができた。

⑥テフロン製のバックアップリングより熱に対して安定なPEEK材のほうが水密性を維持することを確認した。また、その形状はくさび形よりも平坦なバックアップリング形状が適当であることが明かになった。

⑦ここまでの実験で構成要素をほぼ決定した。更に行った実験では、加圧、加熱に対して漏れはほとんど観察されず、50時間耐久試験でも漏洩は少なかった。

⑧続いて、再現性の確認と信頼性を評価するため、軸を交換して試験した結果、軸表面粗度が粗い場合には水漏れが起き易いことが判った。

⑨表面粗度が粗い場合にはＯリングのむしれが顕著であることが確認されたので、Ｏリングと軸との摩擦の低減を図るため、線径の小さい航空用Ｏリング（AS568-010）を試用した。

まず予備的に低、中温域の寿命を評価する試験を行った結果、トルクは2.5kg-cmで、漏れへの影響、軸駆動に対する問題はないことを確認した。

⑩寿命評価を行うために、常温から100℃での試験を行った。その結果、累計90時間の寿命を確認した。

⑪最後に、Ｏリングの高温性能を確認するために、200℃における試験を実施した。その結果、50時間連続して200℃環境下にさらした状態でも漏れの無いことを確認した。

⑫また、実験を通していえることとして、トルクは回転開始後約30分で最高値を示し、その後は減少し、初期トルクと同程度の値で安定していた。初期トルクは、シール圧が200kgf/cm²で1.0kg-cm前後である。

ヘ．実機相当機の設計方針

軸シール試験によって得られた知見を踏まえ、設計方針を次のように決定した。

①軸シールによる完全なシールは不可能であり、若干の漏れを考慮する必要がある。そのためには、シール間に設ける漏れ溜容量をできるだけ大きく取るように設計する。

②Ｏリングは最高1,000[kgf/cm²]のシール圧を負担するので、フェイルセーフティの意味で2個とする。

このＯリングの複数化によって、シール機構の損失トルクが増加し、パルス弁の開閉に支障をきたすおそれがある。以下にこれを検討する。

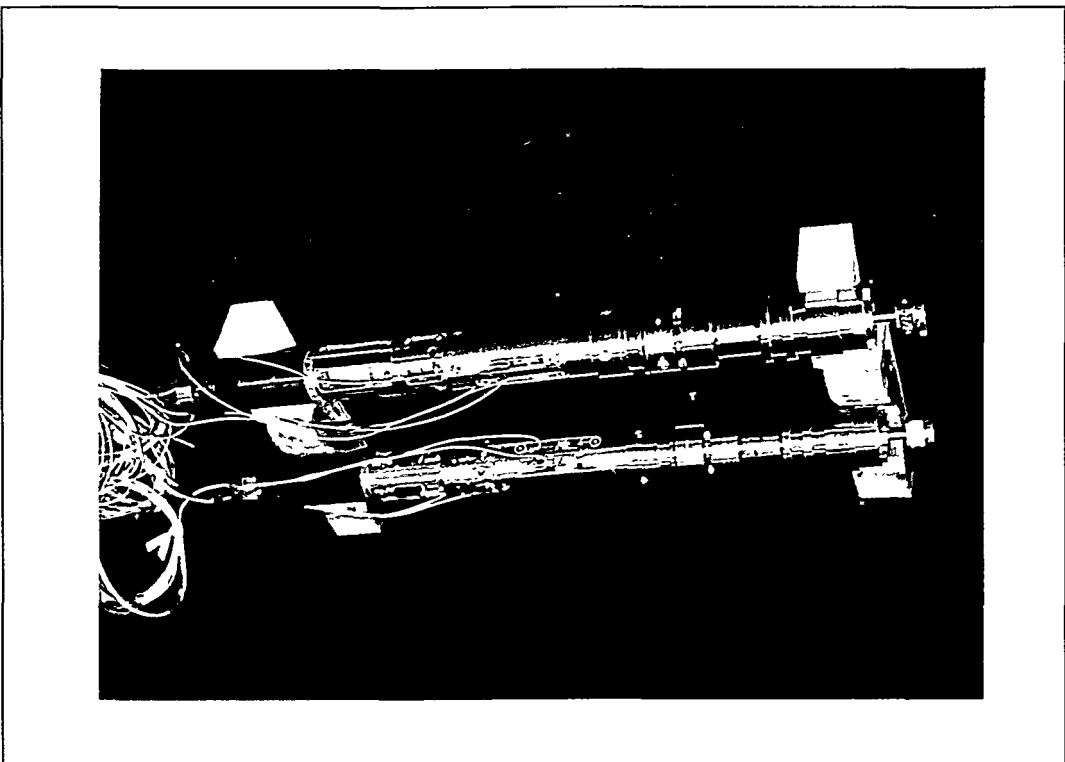
Ｏリング一般で実施した試験、例えばNo.33の最高回転トルクは2.0[kg-cm]であるが、実機では更にもう一つのＯリングによるトルク増加を考慮する必要がある。水密に関与していないＯリングにかかるシール圧（差圧）は、ほぼ0[kgf/cm²]なので、推定値として各試験の平均的な初期トルク値0.6kg-cmを増加分として考えれば、予想される最大回転トル

クは、次の程度と推定される。

$$2.0 + 0.6 = 2.6 \text{ [kg-cm]}$$

これは、前述の仕様にある損失トルクに収まっており、オリンピックを多段にすることはバル入弁の駆動を著しく妨げることはないと判断できる。

以上の耐熱モータ、接点スイッチ、軸シールの成果をふまえて、駆動装置を設計、製作した。第2.4.1-35図に最終的な駆動装置外観を示す。



第2.4.1-35図 駆動機構部外観

d. 駆動装置総合試験

本年度開発した耐熱モータ、接点スイッチ及び軸シール機構等の各要素を組み合わせ、駆動機構部としての耐振動性、耐衝撃性、耐熱性について試験を行った。

なお、駆動装置におけるX軸、Y軸、Z軸は互いに直交するものとし、耐熱モータの振動衝撃試験の場合と同様、Z軸を掘削方向、すなわち天地方向とする。X軸はモータゾウシの中心を通る方向とし、Y軸はX軸、Z軸に直交な方向とする。

イ. 振動試験

①試験目的

所定の振動試験を行い実機相当機の駆動機構部としての耐振性能を確認する。

②試験要領

加振波形：正弦波
周波数帯域：5～500Hz
幅：入力波の加速度振で1G

加振方法：1軸に対し15分のスイープ1回

加振方向：各々直交する3軸方向

計測概要：第2.4.1-36図に示す計測システムを用いて、パルスジェネレータ、消費電流、スイッチング動作のタイミングが常にとられていることを確認する。

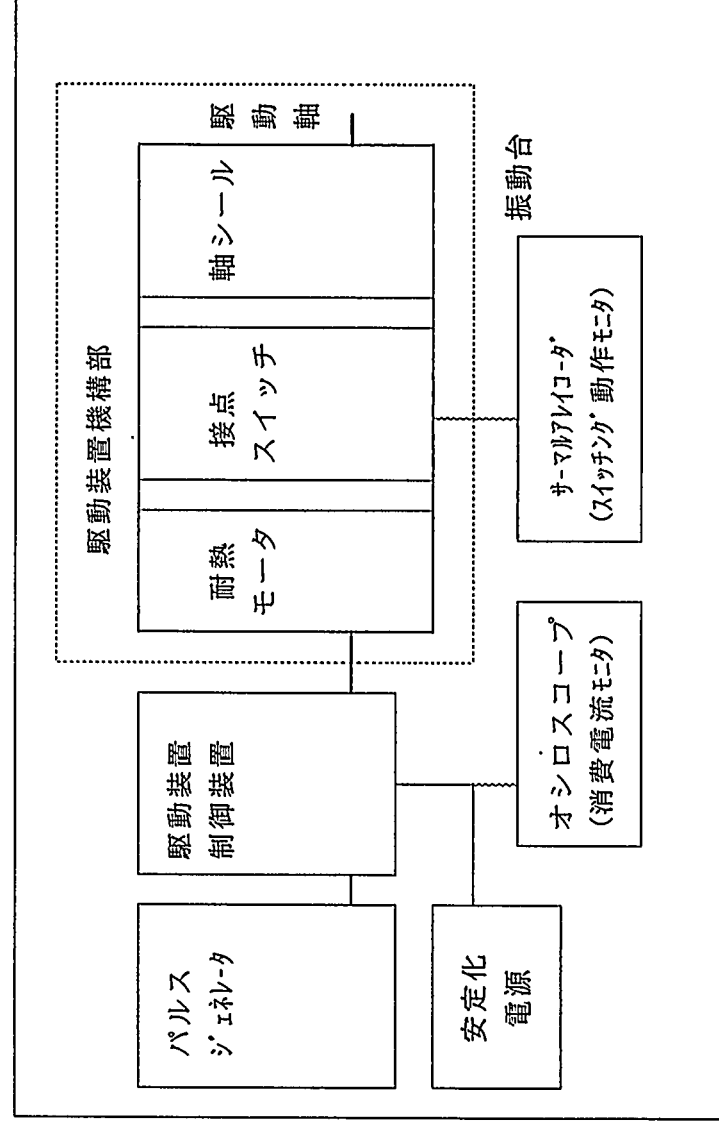
③試験結果

試験結果を第2.4.1-37～第2.4.1-40図及び第2.4.1-7表に示す。

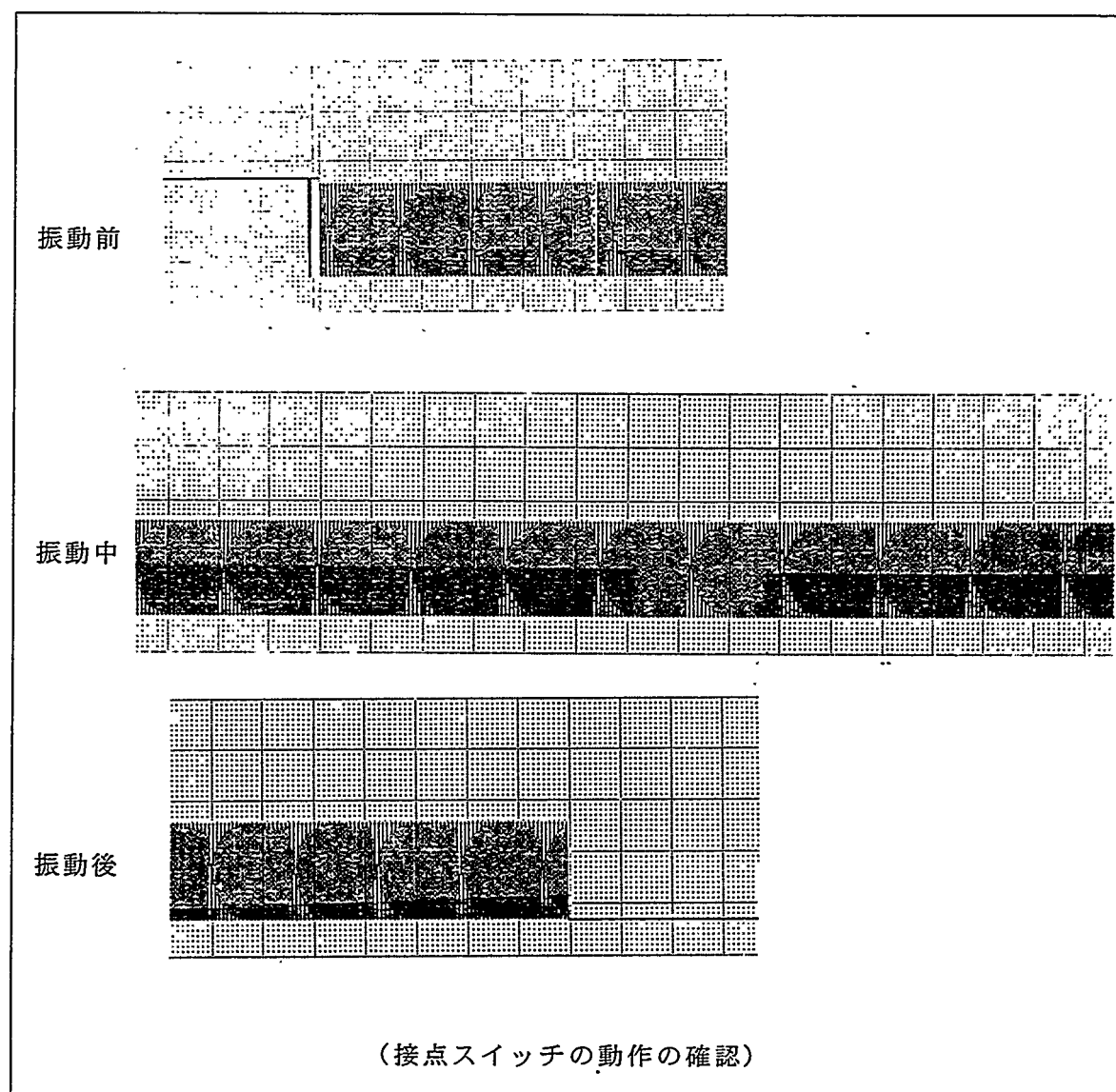
振動周波数帯域に卓越周波数は見られなかった。

振動試験前後の目視による観察では各部に変化は認められなかった。

試験中の動作確認は消費電流、スイッチング動作ともにタイミング良く動作していることを確認した。



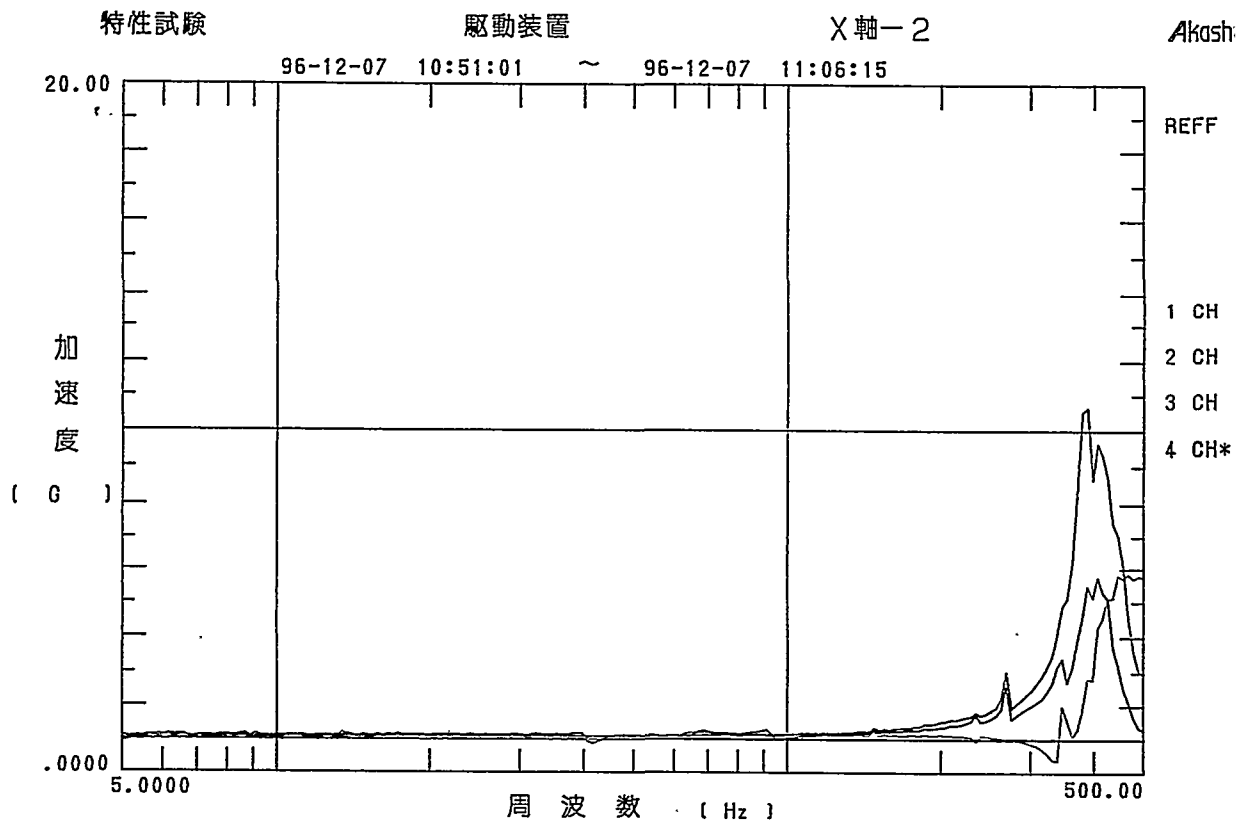
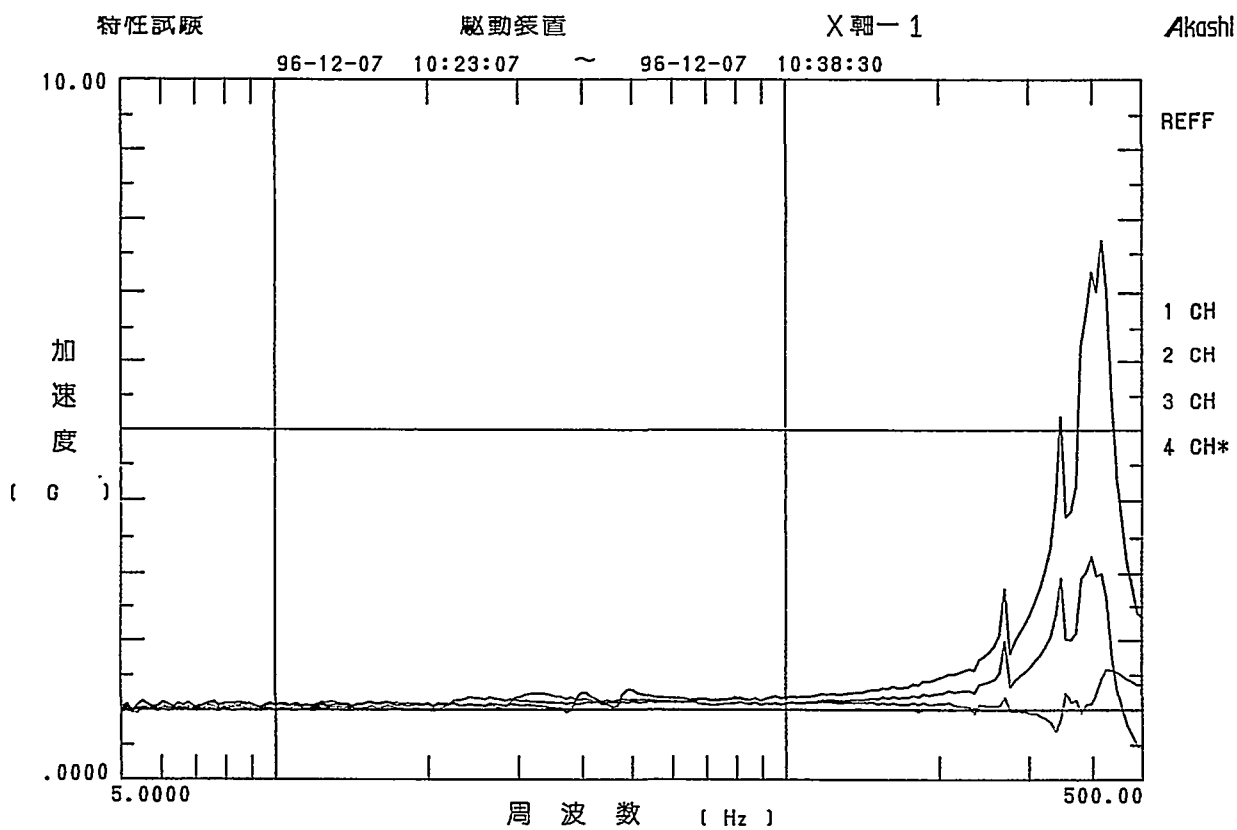
第2.4.1-36図 振動試験計測概要



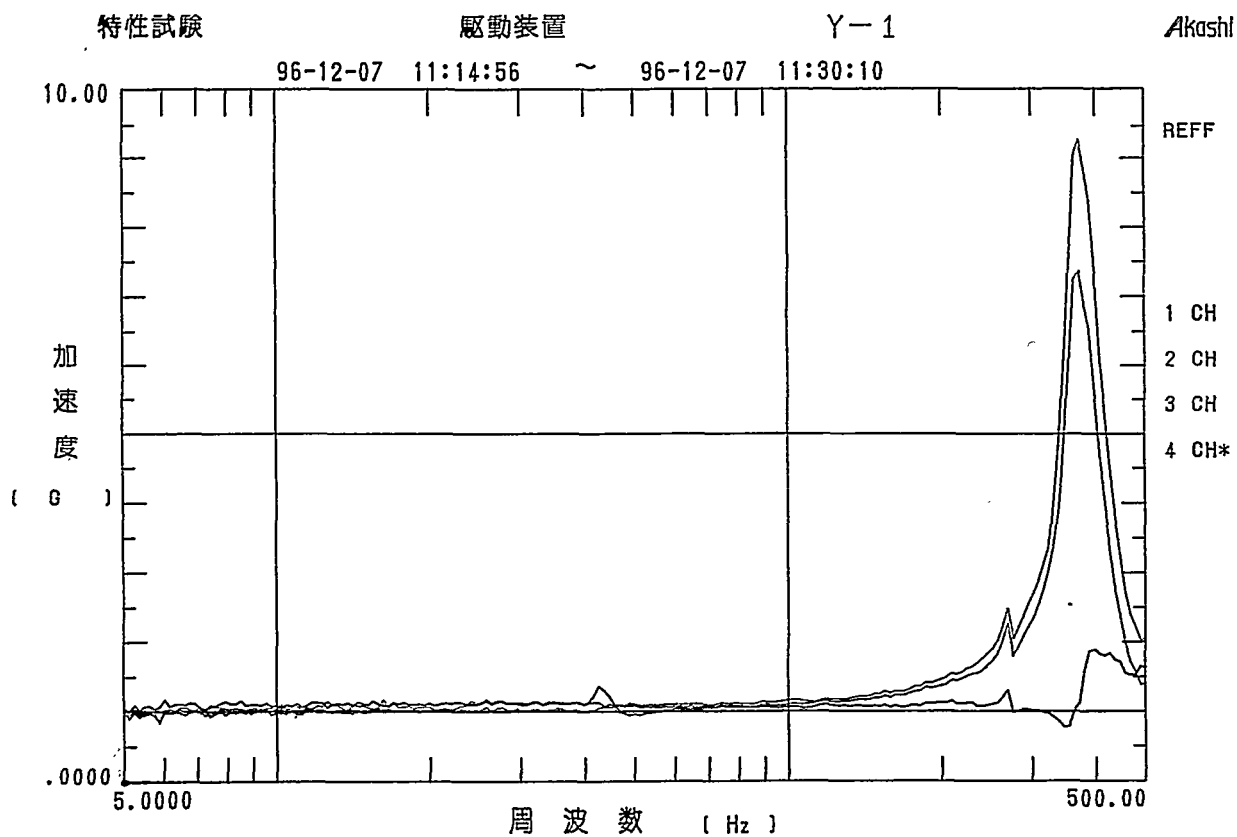
第2.4.1-37図 振動試験計測結果

第2.4.1-7表 振動試験結果

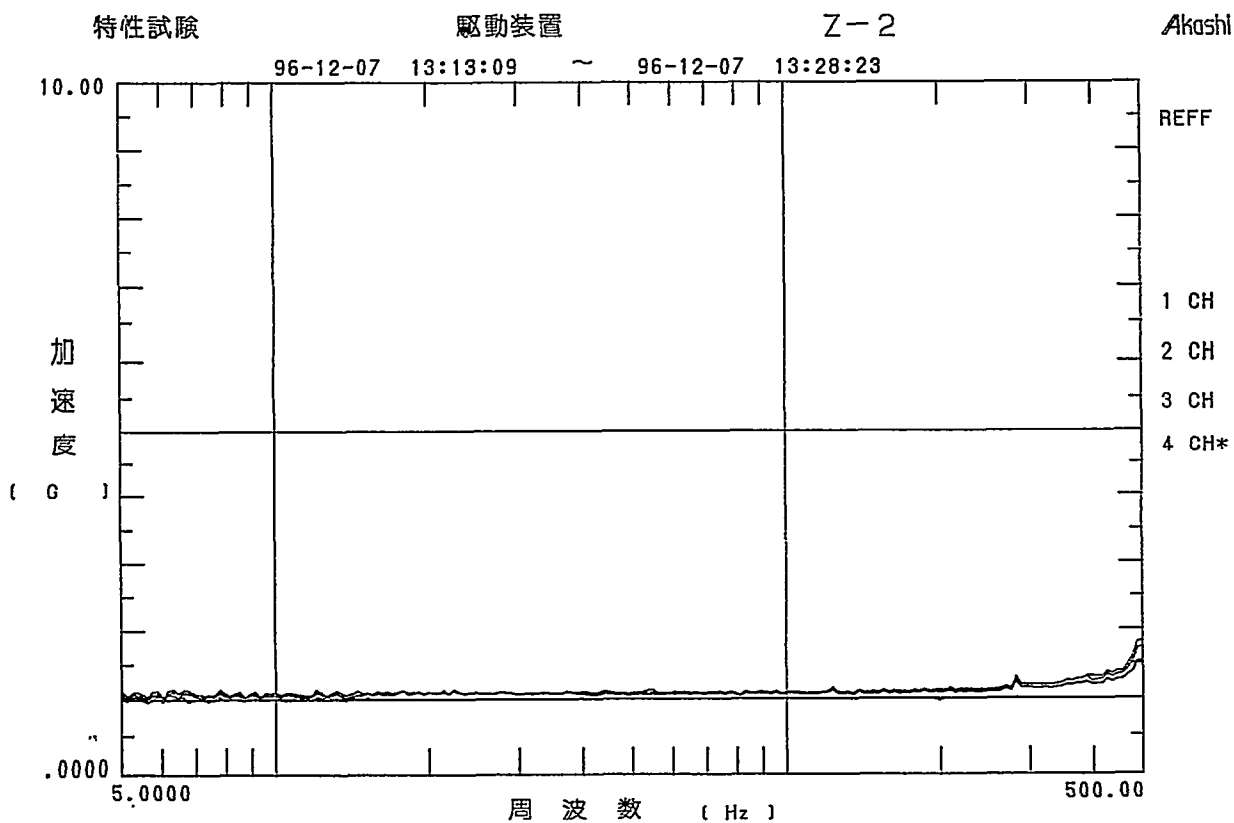
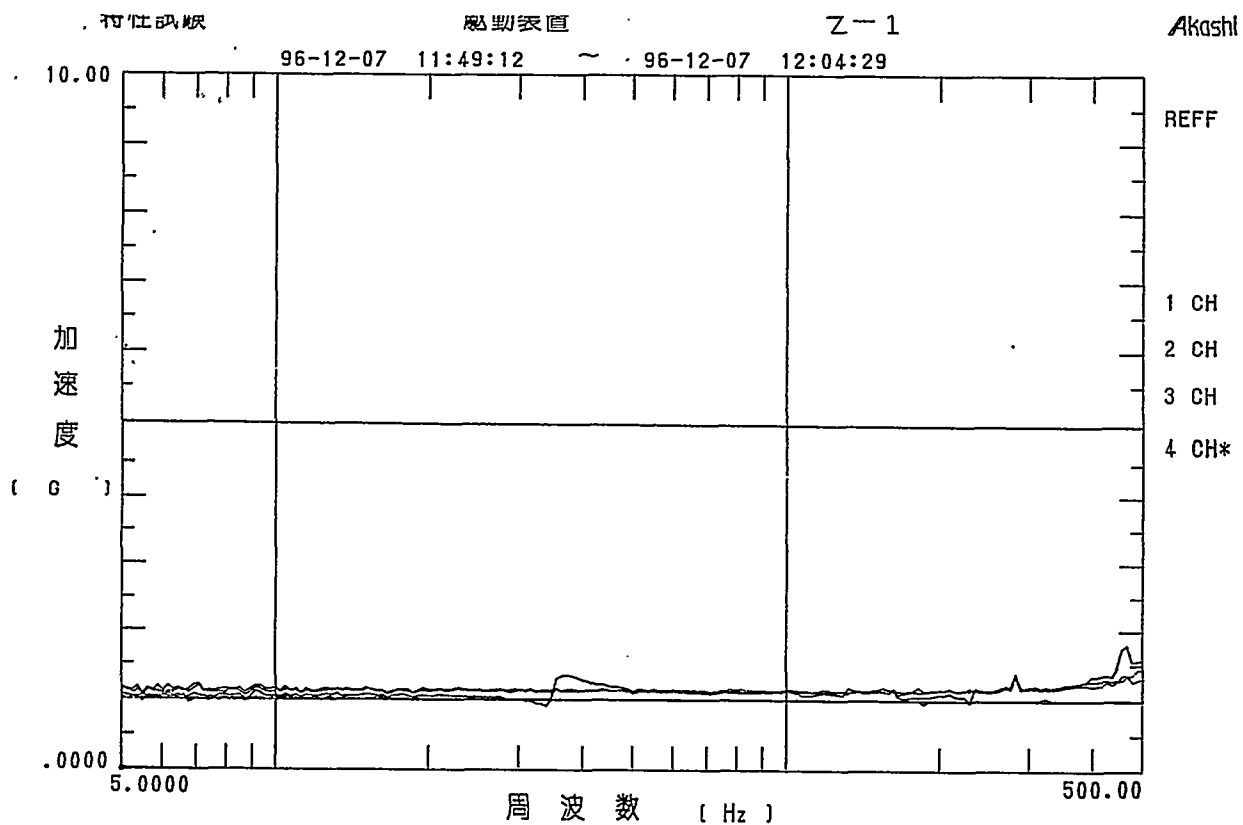
試験項目	X軸加振	Y軸加振	Z軸加振
試験前動作確認	異常なし	異常なし	異常なし
試験中動作監視（接点）	異常なし	異常なし	異常なし
試験後動作確認	異常なし	異常なし	異常なし



第2.4.1-38図 振動試験記録 (X軸)



第2.4.1-39図 振動試験記録 (Y軸)



第2.4.1-40図 振動試験記録 (Z軸)

ロ. まとめ

駆動機構部のみの耐振動性能に問題はなく、仕様を満たしていることを確認した。

今後パルス弁と組み合わせゾンデー体型として、振動試験を実施し耐振動性能が仕様を満たしているか確認する。更に、実坑井にて実機相当機の耐振動性能を確認する必要がある。

ハ. 衝撃試験

①試験目的

所定の衝撃試験を行い実機相当機の駆動機構部としての耐衝撃性能を確認する。

②試験条件

環境温度：常温

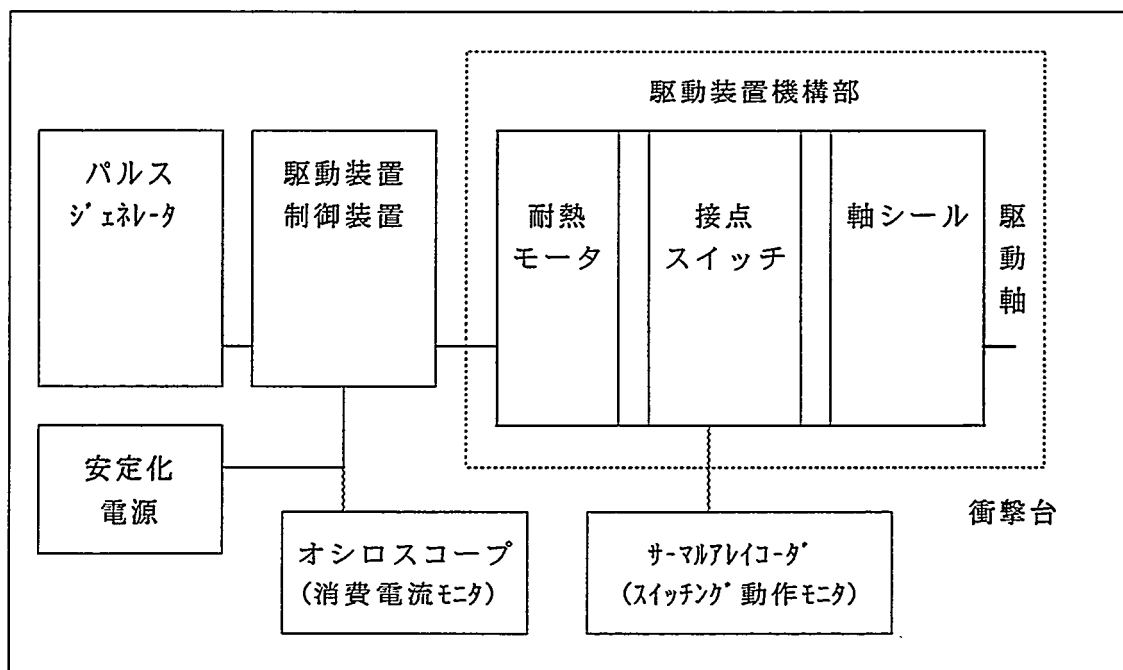
衝撃仕様：1,000[G]正弦半波×0.5[msec]、各軸連続3回実施

計測要領：一定間隔（1.0秒）で間欠動作する状態で、各軸について衝撃前後に消費電流と動作モニタ信号を観察し、動作確認を行う。

第2.4.1-41図に示すシステムを用いて計測する。

③試験結果

試験前後の動作確認、目視によって異常は確認されなかった。また、衝撃試験前後の消費電流に著しい変化は認められなかった。



第2.4.1-41図 衝撃試験計測概要

二. まとめ

駆動機構部のみの耐衝撃性能は仕様を満足している。

今後パルス弁と組み合わせゾンデー体型として、耐衝撃性能を最終確認する。また、実坑井において実機相当機の耐衝撃性能を確認する。

第2.4.1-8表 衝撃試験結果

試験項目	X 軸	Y 軸	Z 軸
試験前動作確認	異常なし	異常なし	異常なし
試験後動作確認	異常なし	異常なし	異常なし

ホ. 駆動機構部の耐熱試験

①試験目的

200℃の高温下での動作を確認し、実機相当機に使用できる機構であることを確認する。

②試験条件

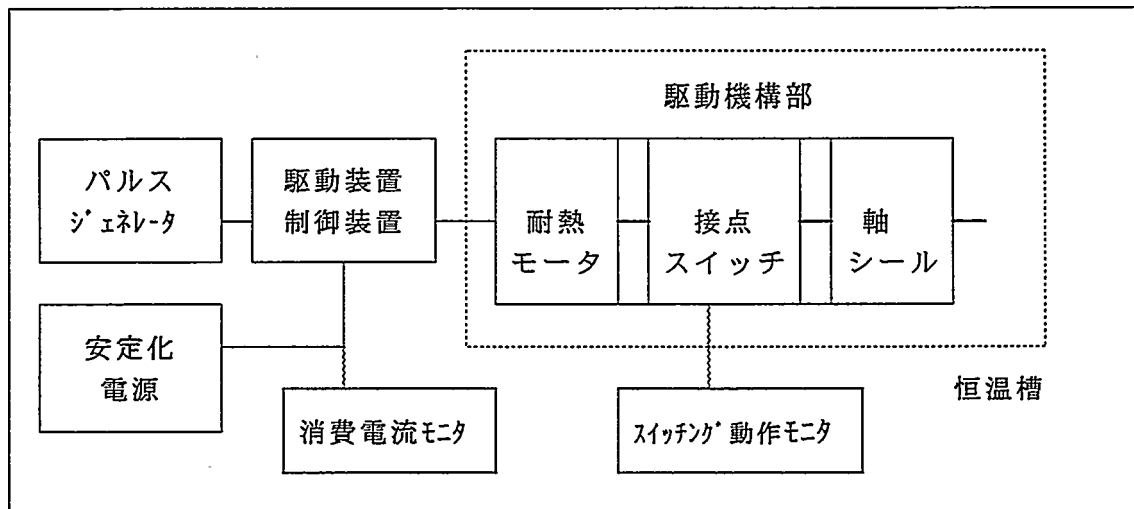
供 試 品：耐熱モータ、軸シール、第3案接点スイッチ

試験温度：室温から200℃まで昇温後、200℃一定

試験時間：200℃到達後、50時間連続

動作状況：パルスジェネレータを用い、0.8秒の間欠動作を行う。

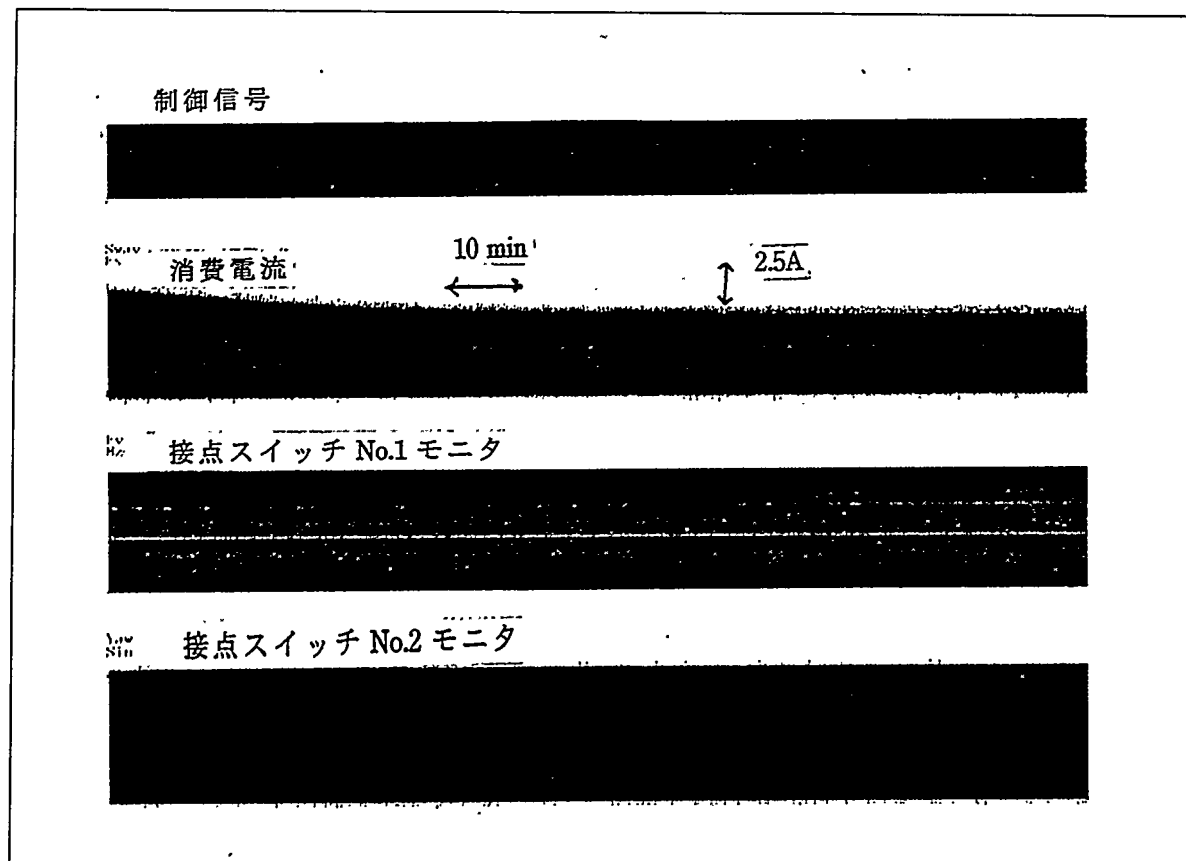
第2.4.1-42図に試験計測システムの概要を示す。



第2.4.1-42図 駆動機構部の耐熱試験計測システム概要

③試験結果

第2.4.1-52図に試験結果抜粋を示す。



第2.4.1-43図 機構部耐熱試験計測結果（抜粋）

へ. まとめ

温度が上昇することで、モータの消費電流が少なくなっている。これはブラシとコミュニテータの接触抵抗が昇温に伴い増加しているためと考えられる。また、温度整定後はほぼ一定の消費電流値を示している。

耐熱モータについて、高温下での動作は仕様を満たしているといえるが、今後消費電流がより安定するような対策を検討することで、高温下での性能の向上をねらえると思われる。

接点スイッチについては、200℃×50時間以上にわたり正常に動作することを確認した。その結果接点スイッチ機構が実機相当機でも使用できる見通しを得た。

軸シールについては、ここまでの試験では評価できない。後述する高温高圧試験にて性能を確認する必要がある。

更に今後、ソルデに組み込んで高温高圧試験を実施した後、更に実坑井試験を通じて信頼性を確認する必要がある。

(1. 1. 3) マッドパルス発生弁駆動装置制御装置

a. 本年度の改良設計

①耐振動・耐衝撃性の向上

-基板の取付ピッチを前年度同様に最大45mmとした。取り付けビスに緩み止めを施した。

②実機相当品の製作

③耐久性能の確認

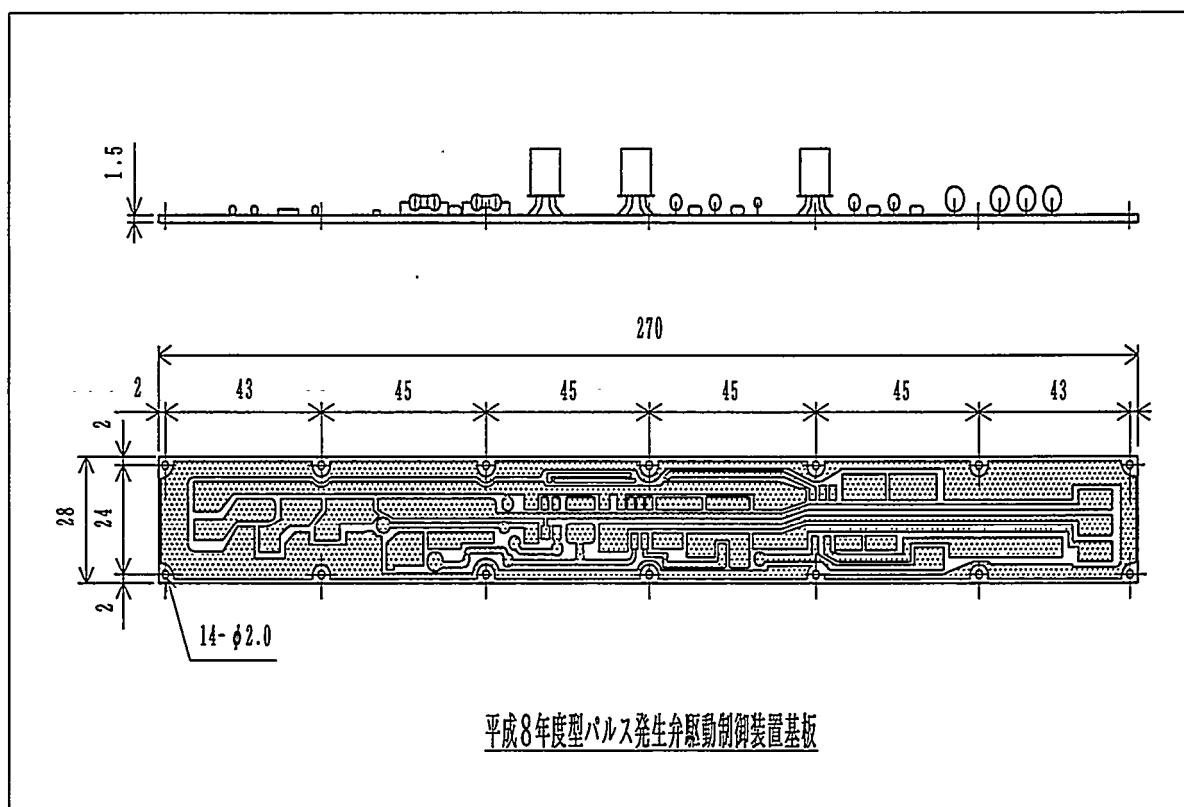
本年度は確立した振動衝撃試験方法により、その耐久性能を確認した。

④製作の簡易化

平成7年度までに製作した基板は全て銅板を使用していたが、高温ハンダが乗りにくく、電子部材間に所定の間隙を得ることが困難であった。

今年度は他の回路基板と同様に材質をポリイミドに変更した。

第2.4.1-44図に制御装置の概要を示す。



第2.4.1-44図 パルス発生弁駆動装置制御装置基板概観

ｂ．耐振動性能の確認

イ．試験概要

①特性試験

供試体が規定の振動周波数帯域に卓越周波数がないことを確認する試験を称する。

パルス発生弁駆動装置制御装置では、基板単体を振動試験専用の治具に装着して行い、続いて基板をゾンデに固定するための専用のトレイに装着して行う。

ロ．耐久試験

耐久試験は、パルス発生弁、駆動装置、駆動制御装置をゾンデに組み込み、その３体を連結した状態で実施した。試験結果は後述する振動試験の項に記載する。

ハ．特性試験

①基板単体の特性試験

加振波形：正弦波

周波数帯域：5～500Hzスイープ

加速度：1G

加振方法：1軸方向に対して15分のスイープ1回

加振方向：直行する3軸方向

試験温度：常温

確認要領：出力で行う

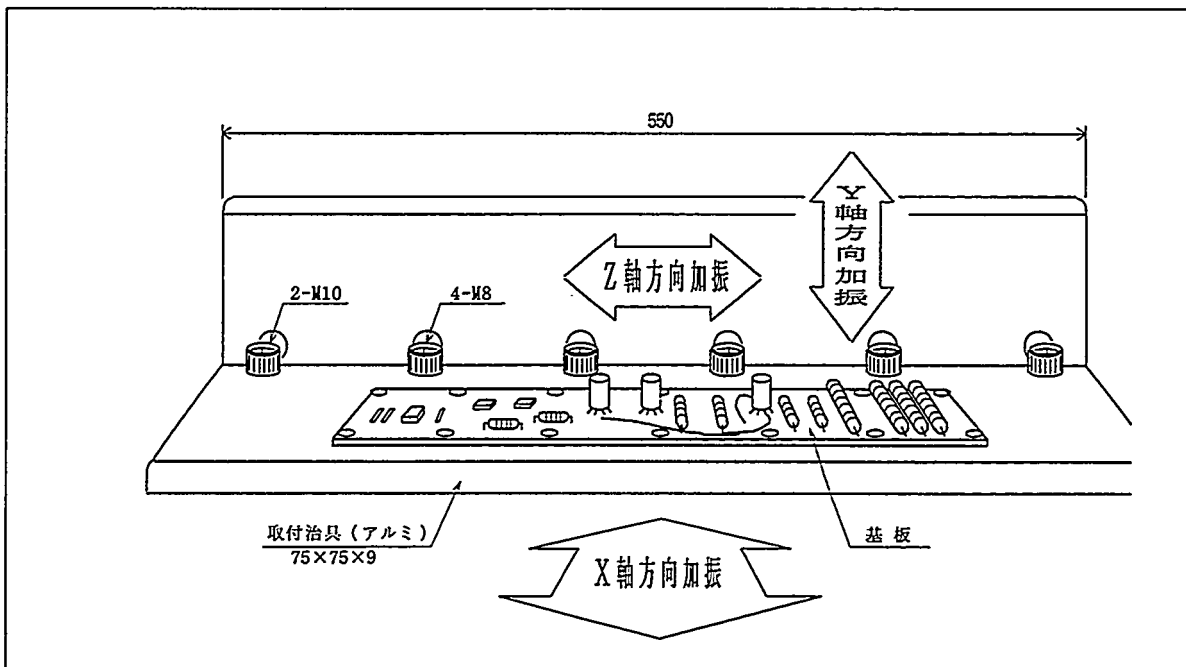
ニ．試験要領

第2.4.1-45図に供試体の固定要領を示す。第2.4.1-46図に試験機器の構成を示す。

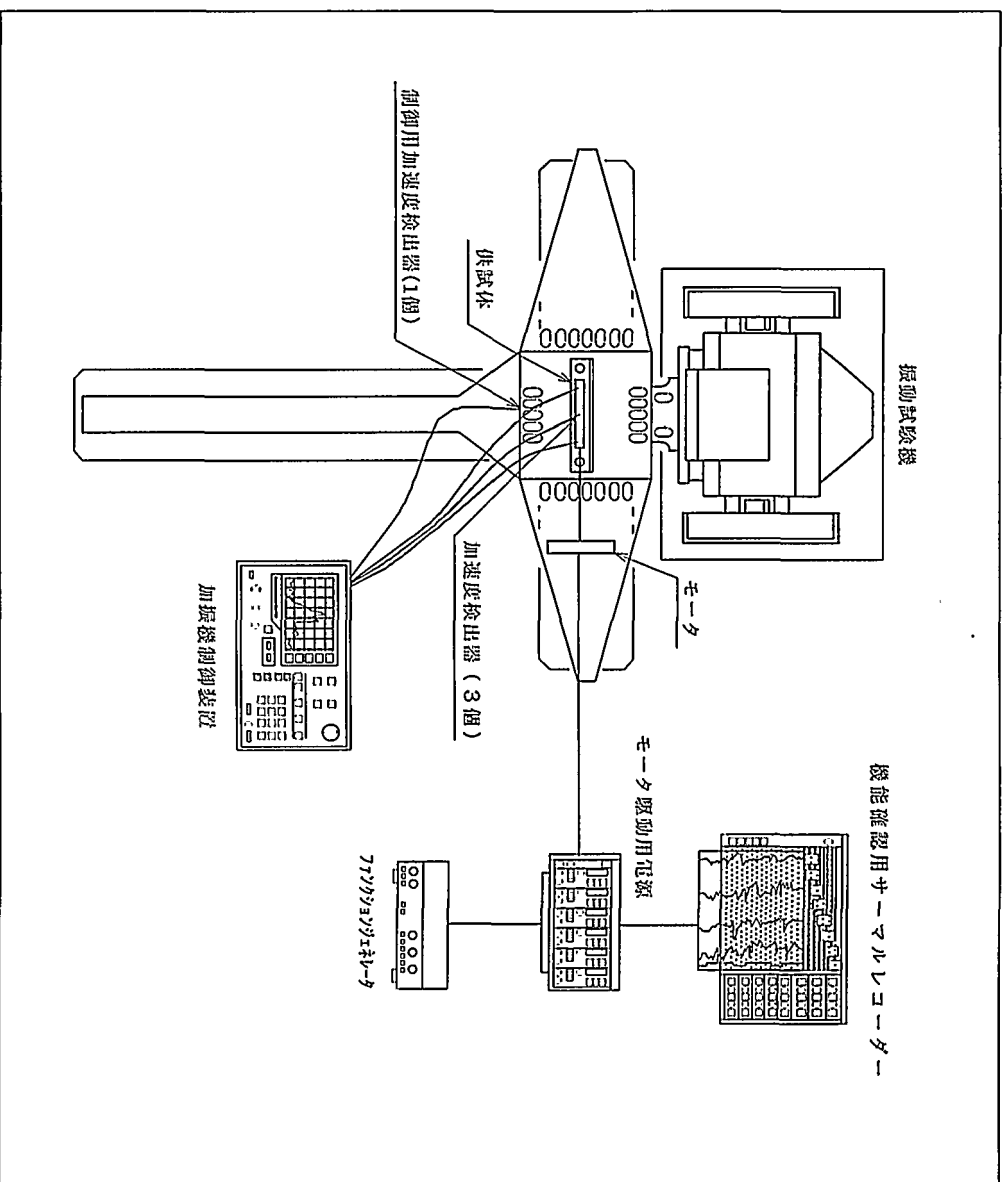
ホ．特性試験結果

試験結果を第2.4.1-47図～第2.4.1-49図に示す。

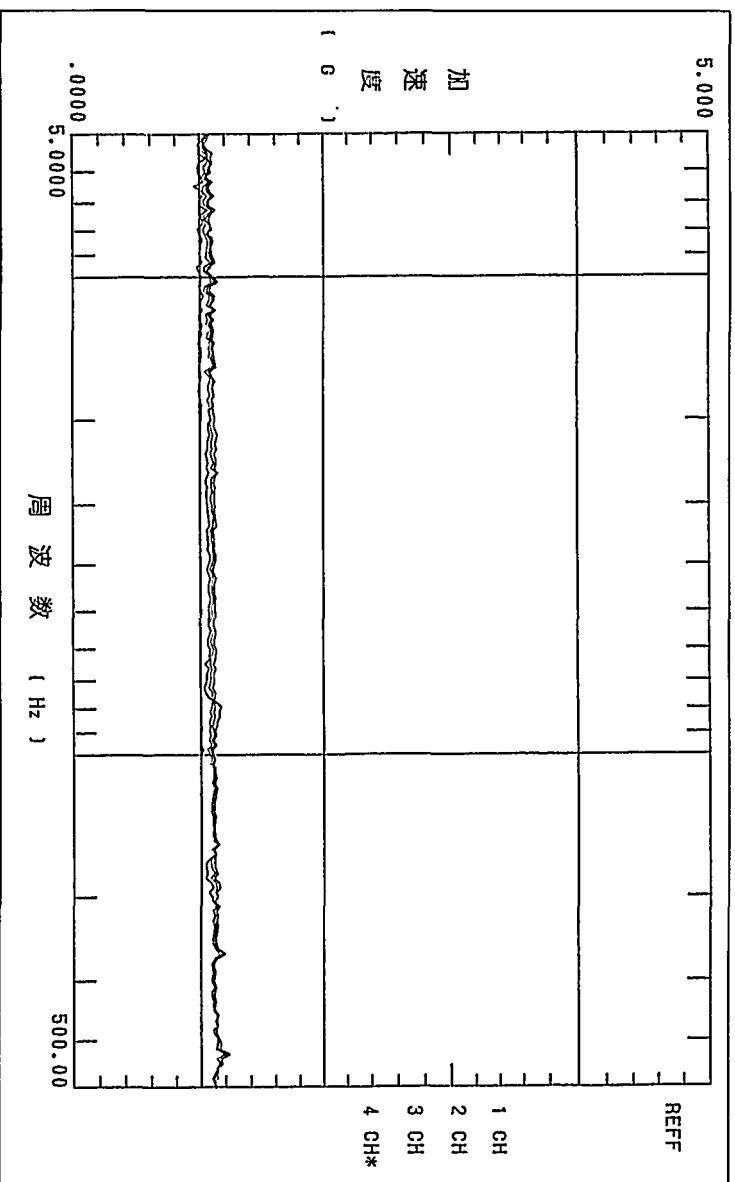
特性試験では共振等の10G以上の卓越周波数がないことを確認した。



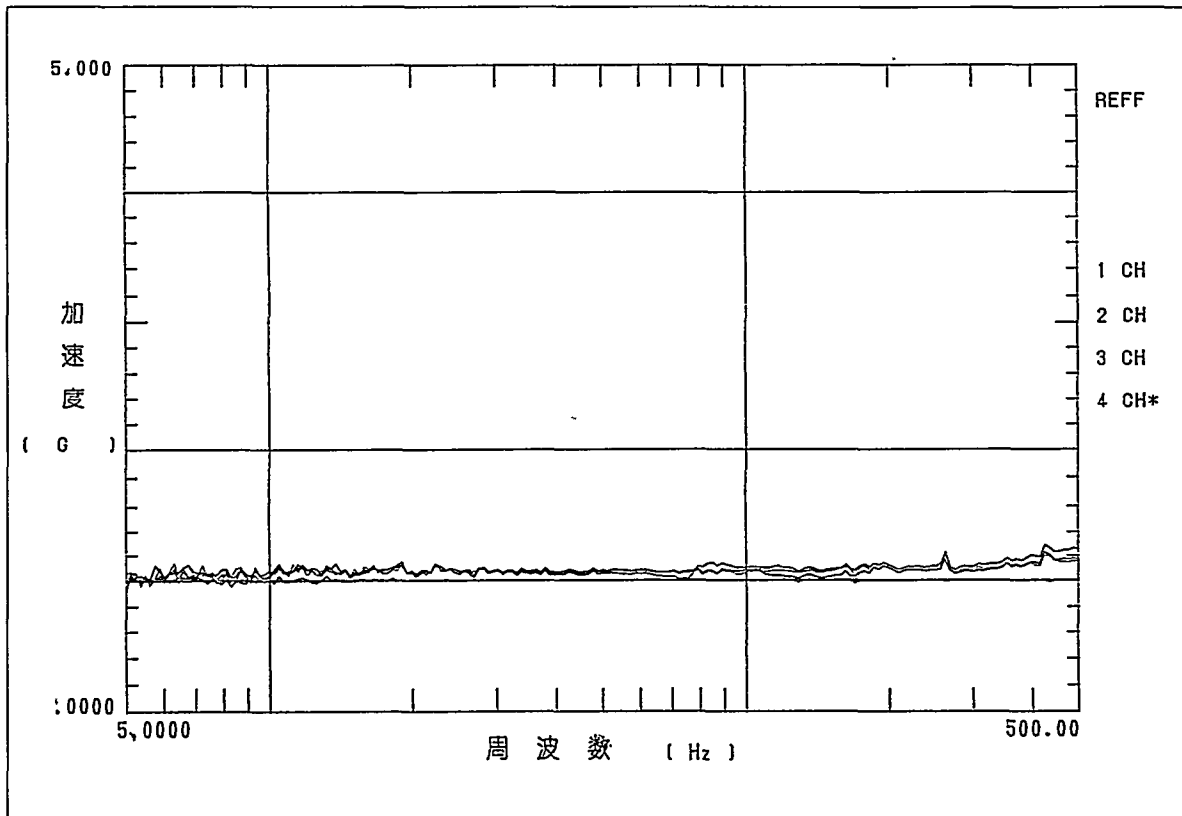
第2.4.1-45図 供試体固定要領



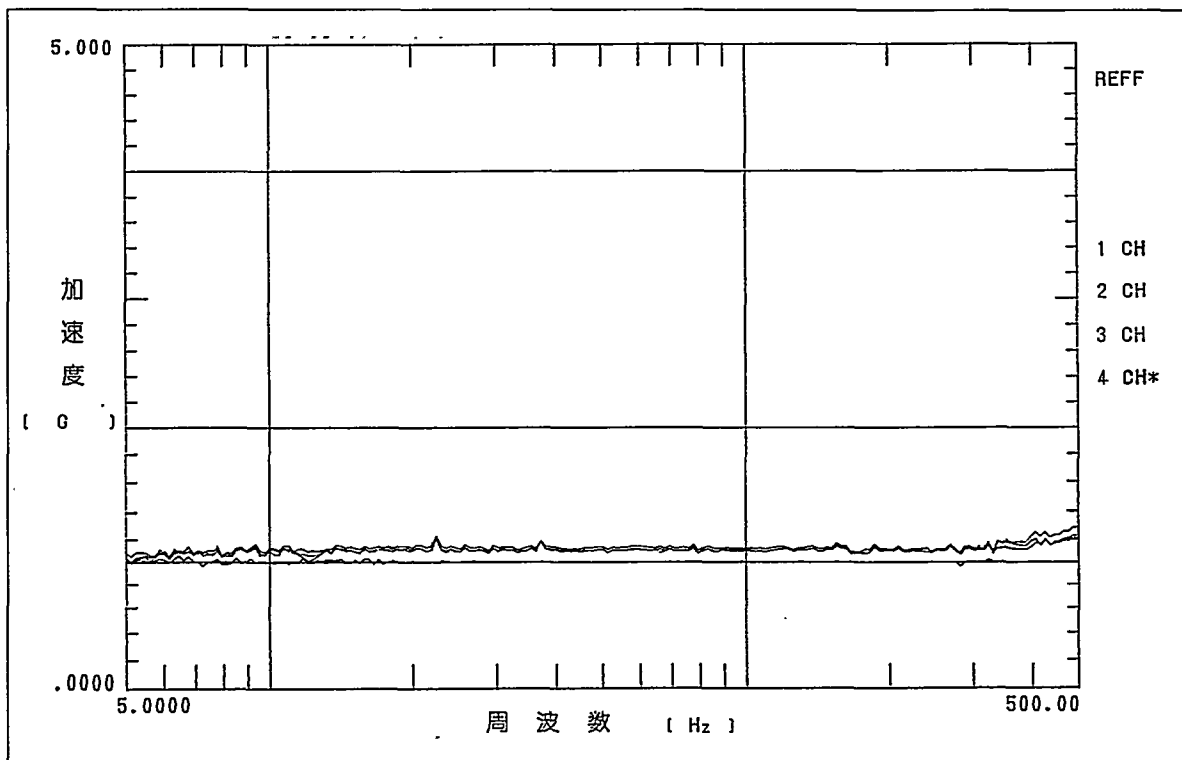
第2.4.1-46図 試験機器構成図



第2.4.1-47図 基板単体特性試験 (X軸)



第2.4.1-48図 基板单体特性試験 (Y軸)



第2.4.1-49図 基板单体特性試験 (Z軸)

ハ. 考察

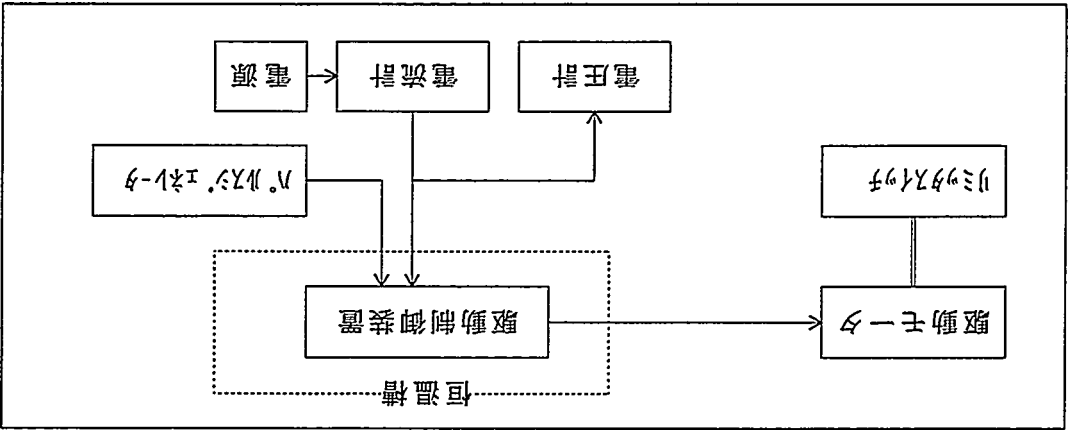
現状では、振動性能は仕様を満足するものであると判断できる。

シ. 耐熱試験

1. 試験概要

ソレノイド固定用専用トレイに装着した基板を恒温槽を用い、規定の温度での性能を確認する。

試験概要を第2.4.1-50図に示す。



第2.4.1-50図 耐熱試験概要

ロ. 試験要領

試験温度：室温、50℃、100℃、150℃、200℃、220℃

計測時間：各試験温度静定後1時間後

計測項目：温度、電圧、電流

恒温槽型式：熱風循環式

試験温度は恒温槽及び供試体の熱電対を装着し、双方の高い方を採用する。

ハ. 試験結果

第2.4.1-9表に耐熱試験結果を示す。

制御装置基板上的のリレー及び電子回路部品は、異常なくまた基板についても異常のないことを確認した。

温度上昇に伴って電流値が減少してきた理由としては、リレーのコイル抵抗及び回路のバリアス抵抗値が温度上昇とともに大きくなったためと考えられる。

ニ. 考察

いずれの試験温度でもモータ電圧の変動は1%以内に収まっており、前述の駆動装置に与える影響はほとんどないと考えられる。また、モータ電流をみても、最大値が0.203Aであり、リレーなど基板上の電子部品の動作、寿命等に与える影響はほとんどないと考えて良い。

本年度製作した駆動装置制御装置基板は、高温220℃に対して十分使用できることが確認された。

d. まとめ

現状では、駆動装置制御装置の耐振動性能、耐熱性能は仕様を満たしている。今後、ゾンデに組み込んだ状態で、振動試験、衝撃試験を実施し、更に、ほかの装置と組み合わせた状態で、実坑井試験等にて性能の最終確認をする必要がある。

第2.4.1-9表 パルス弁駆動装置制御装置性能試験結果

回数	試験温度 [℃]	モータ電圧[V]			モータ電流[A]			備 考
		瞬 時	動作時	静止時	瞬 時	動作時	静止時	
1	室温	15.004	15.004	15.004	0.203	0.197	0.018	
	50	15.005	15.005	15.005	0.199	0.172	0.017	
	100	15.005	15.005	15.005	0.193	0.162	0.015	
	150	15.005	15.004	15.004	0.190	0.160	0.013	
	200	15.004	15.004	15.004	0.179	0.160	0.011	
	220	15.004	15.003	15.004	0.179	0.159	0.011	
2	室温	15.002	15.002	15.002	0.203	0.195	0.018	
	50	15.006	15.006	15.006	0.201	0.171	0.017	
	100	15.005	15.005	15.005	0.192	0.163	0.015	
	150	15.006	15.006	15.006	0.190	0.160	0.013	
	200	15.006	15.006	15.006	0.180	0.160	0.011	
	220	15.006	15.006	15.006	0.180	0.158	0.011	
3	室温	15.005	15.005	15.005	0.203	0.198	0.018	
	50	15.005	15.005	15.005	0.198	0.172	0.017	
	100	15.005	15.005	15.005	0.193	0.161	0.015	
	150	15.006	15.006	15.006	0.190	0.162	0.013	
	200	15.006	15.006	15.006	0.180	0.158	0.011	
	220	15.006	15.006	15.006	0.180	0.158	0.011	

(1. 2) 坑底信号処理装置

a. 改良点

平成7年度の坑底信号処理装置は、200℃の環境下における連続動作試験で30～40時間後に動作が停止する問題が発生した高温動作寿命の改良及び振動対策、センシング機能を変更に伴うソフトウェア改良を実施した。

改良点は以下のとおりである。

- ・耐熱電子部品の試験結果をもとに、より耐熱性の高い電子部品採用。
- ・回路構成の改良。
- ・ソフトウェアの改良。
- ・対振動・衝撃対策。

具体的には次の諸対策を施した。

①電子部品のうちCPUは高温動作寿命の改良のために、耐熱電子部品の試験結果が良好なCPUに変更した。

②回路構成の改良については、CPUの変更、発振回路の変更、及びそれに付随する温度補正部との通信回路の変更を実施した。

③ソフトウェアは、昨年度の機能に加え、方位計を利用してゾンデの回転の検出を行うため温度補正部からの信号で回転状態を検出する機能と傾斜計の出力を監視して、その変動周波数から循環の有無を判断する機能を組み込んだ。

④対振動対策のために表面実装型の部品は使用せず、取り付け穴ピッチを157.4mmから70mm以下に短縮した。

また、クロック発振器は高温での振動対策のために、個別部品である水晶振動子を使用して回路を構成した。

第2.4.1-10表に平成7年度との比較を示す。

第2.4.1-10表 平成7年度との比較

項 目	平成7年度	平成8年度
CPU内蔵機能	演算機能 通信機能 外部入力出力	演算機能
クロック発生回路	水晶発振器（一体型）	水晶振動子（個別部品組合せ）
追加部品		通信機能IC 外部入力出力用部品
ソフトウェア 処理内容	通信制御 各種演算 ハルス出力制御	通信制御 各種演算 ハルス出力制御 回転判断機能 循環判断機能
回路基板サイズ	幅29.4mmX長さ300.0mm	幅28.0mmX長さ522.3mm
取付穴ピッチ	最大157.4mm	最大70mm

本年度の坑底信号処理装置のブロック図を第2.4.1-51図に、回路外形図を第2.4.1-52図に示す。

図中に示す番号は以下の番号と対応する。

①マイクロ・コンピュータ (CPU)

8ビット・マイクロコンピュータ

②クロック発振器

水晶振動子発振回路

③プログラム・メモリ (ROM)

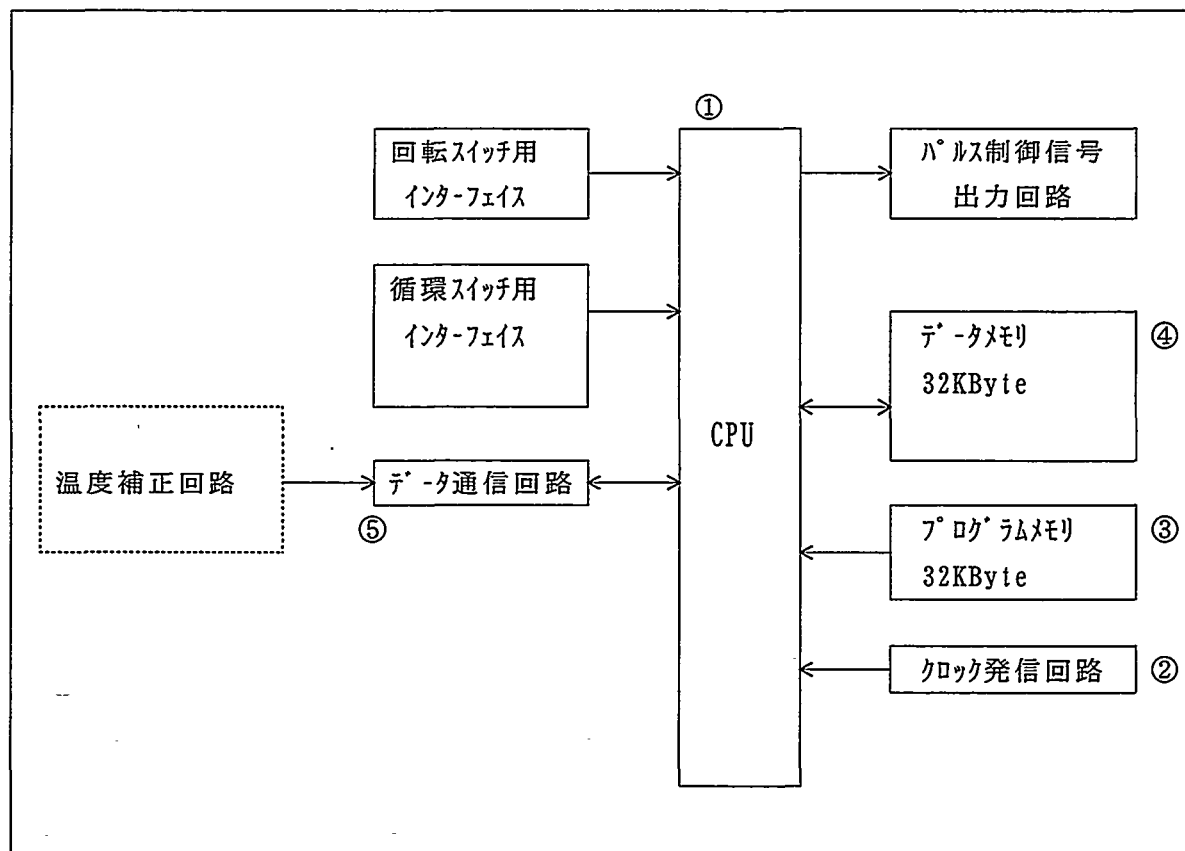
プログラムを格納するリード・オンリー・メモリ。32kBを有している。

④データメモリ

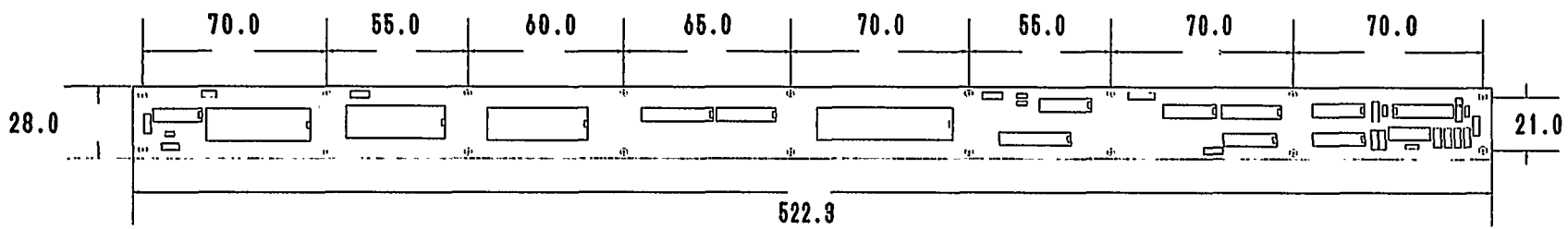
データを格納するリード／ライト・メモリ。32kBを有している。

⑤データ通信回路

温度補正部からのシリアルデータを受信する。



第2.4.1-51図 坑底信号処理装置ブロック図



第2.4.1-52图 坑底信号处理装置回路外形图

b. 機能確認試験

坑底信号処理装置は温度補正回路と組み合わせた状態で疑似信号を与えてその出力を計測する。詳細及び結果については温度補正回路の箇所で示す。

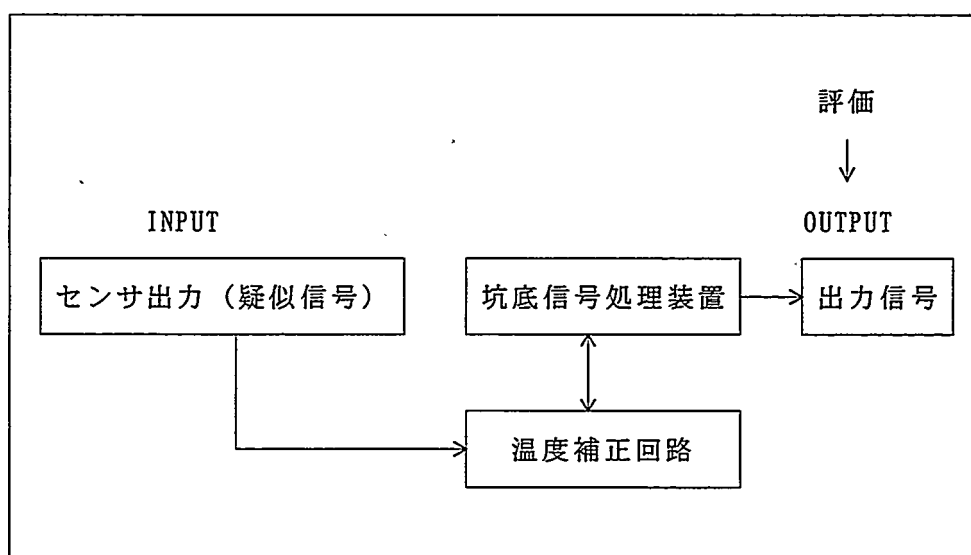
疑似信号データを第2.4.1-11表に示す。本年度はセンササブ入力の試験は省略した。回転検出機能の確認は方位計入力の代わりに、循環検出は傾斜計入力の代わりにそれぞれ発振器の出力を接続して行った。

試験ブロック図を第2.4.1-53図に示す。

試験中にモニタした弁駆動用制御出力波形の抜粋を第2.4.1-54図に示す。

第2.4.1-11表 疑似入力信号値

センサ名	疑似信号情報	試験信号電圧	センサ名	疑似信号情報	試験信号電圧
方位 (180°)	X : +120°	+5.863V	ゾンデ内 装置温度	150℃	+4.000V
	Y : -120°	-5.863V			
	Z : +120°	+5.863V			
傾斜 (60°)	X : - 75°	-7.348V			
	Y : + 75°	+7.346V			
	Z : + 60°	+5.862V			



第2.4.1-53図 試験ブロックダイアグラム

基板単体、トレー実装状態で問題ないことが確認された。

ことから問題ないとは判断する。

・共振により最も弱いと予想される電子部品に機能・外觀共に異常が見られない。

・掘削井の実使用状態の肘折のテータでは150Hz以上の振動が微弱である。

トレー実装状態では、各軸方向ともに300Hz付近で15倍程度の応答が見られるが、

2倍以下であり問題がない。

た。Y方向加振ではわずかに500Hz付近周波数で加速度が増大傾向にあるが、応答倍率が

回路基板単体での試験では、X軸及びZ軸方には共振周波数が存在しないことを確認し

態での試験結果を第2.4.1-58図～第2.4.1-59図に示す。

回路基板の試験結果を第2.4.1-55図～第2.4.1-57図に示す。また、トレーに実装した状

ハ. 試験結果

使用装置、計測方法等は方位計振動試験システムと同様である。

ロ. 試験システム

検査：振動出力で確認する。

加振方向：各々直交する三軸方向

加振方法：一軸方向に対し15分のスロープ1回

周波数帯域：5～500Hz

最大加速度：1 G

加振波形：正弦波

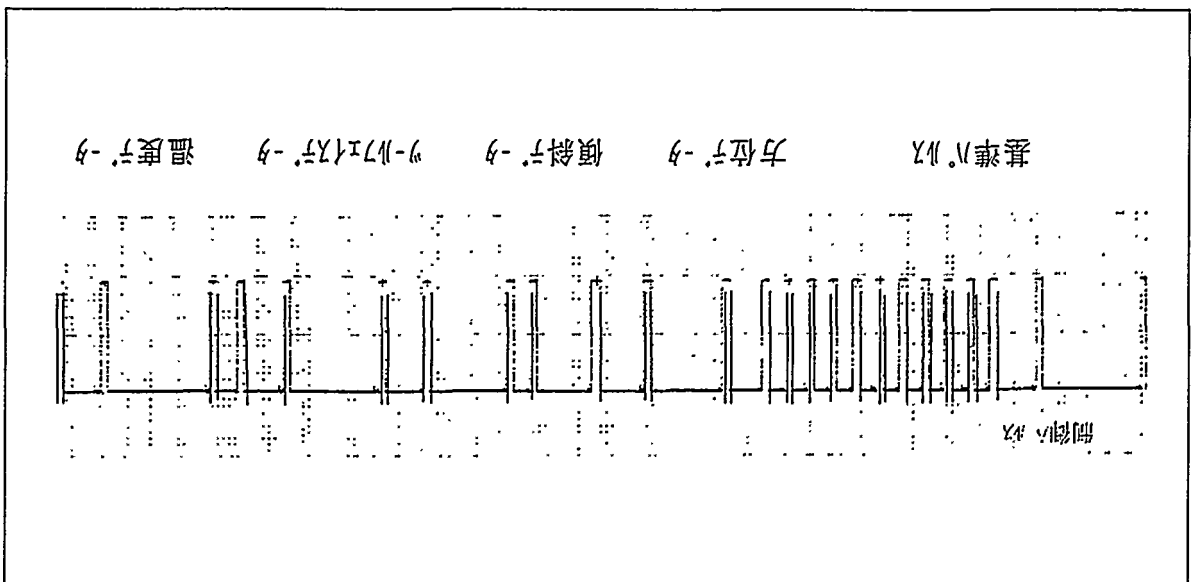
に卓越周波数がないことを確認する。

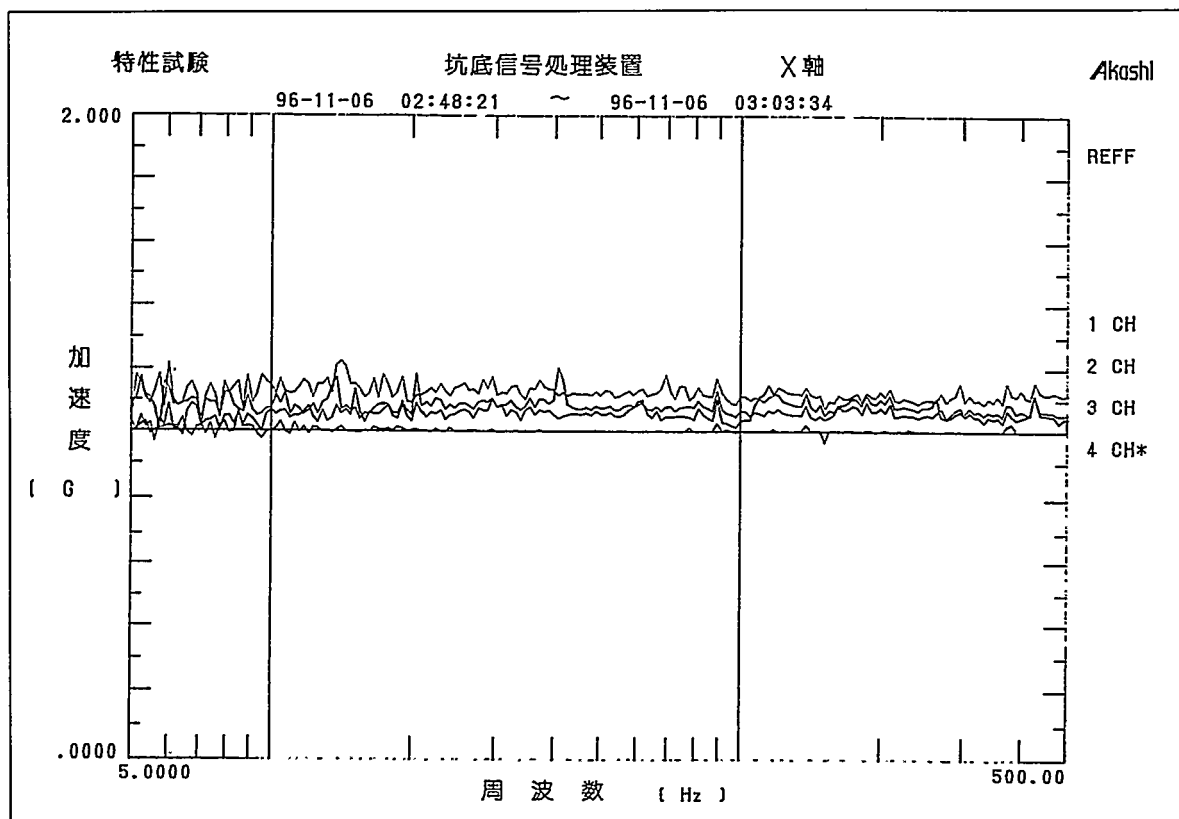
回路基板単体及び実装トレーに固定した状態で振動試験を行い、規定の振動周波数帯域

イ. 特性試験

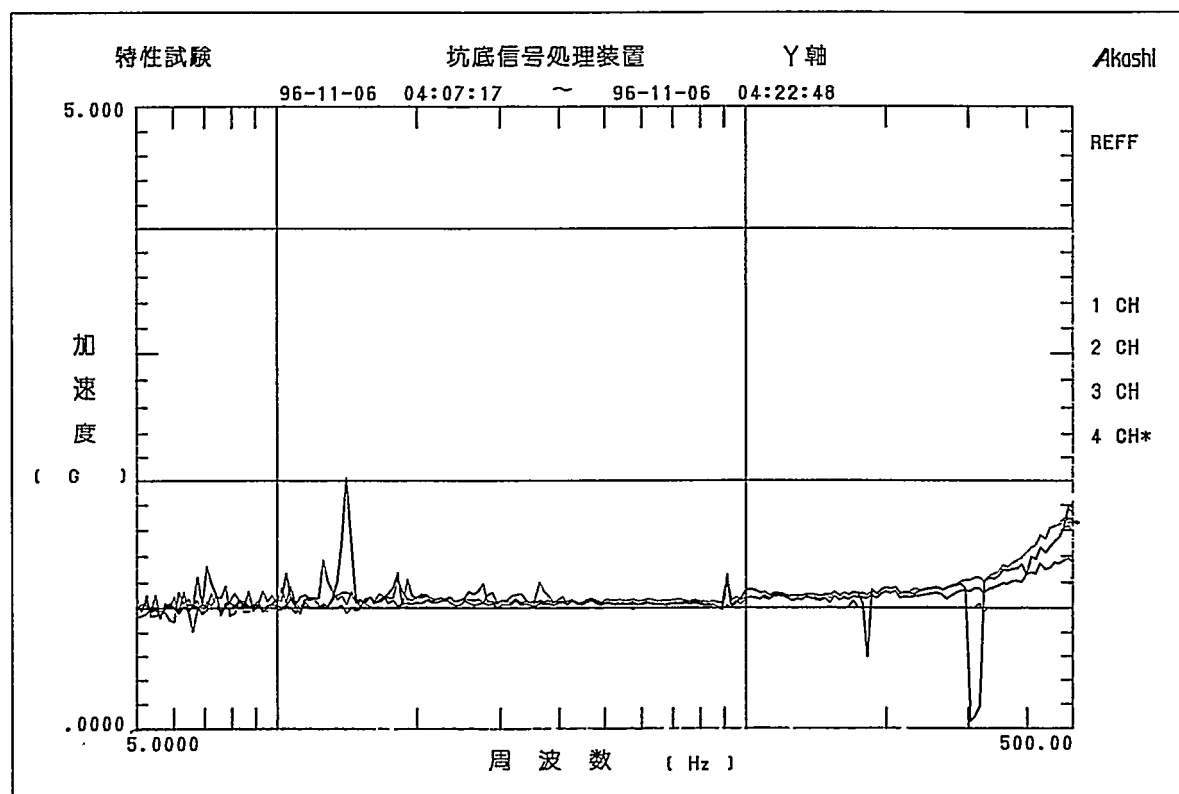
シ. 振動試験

第2.4.1-54図 機能試験時モニタ波形 (抜粋)

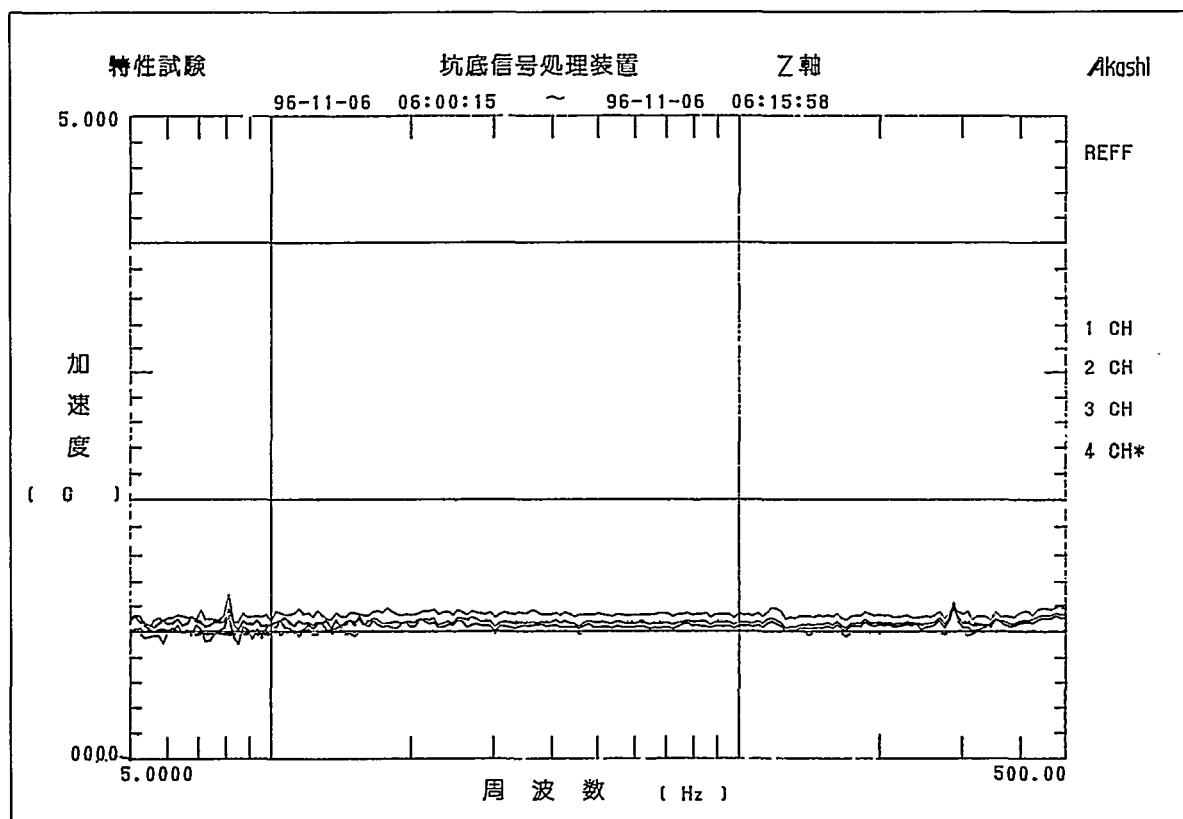




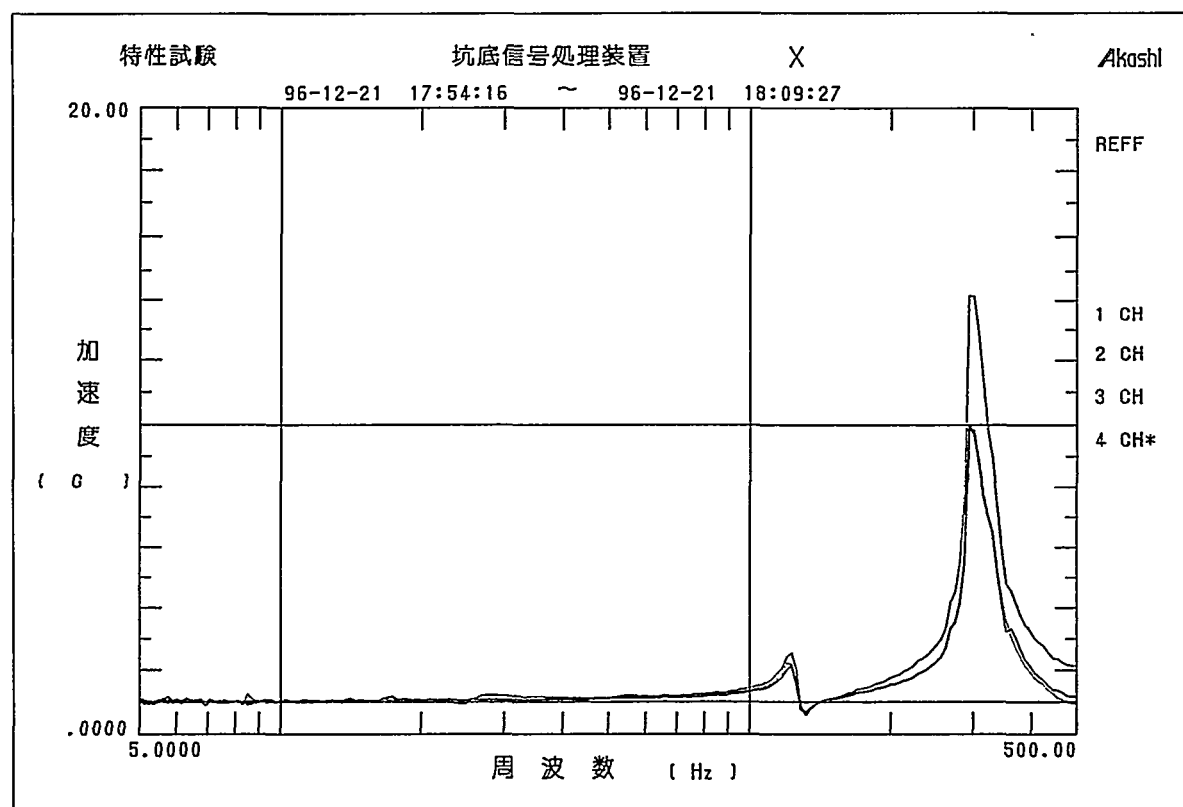
第2.4.1-55図 坑底信号処理装置基板振動特性試験結果 (X軸方向)



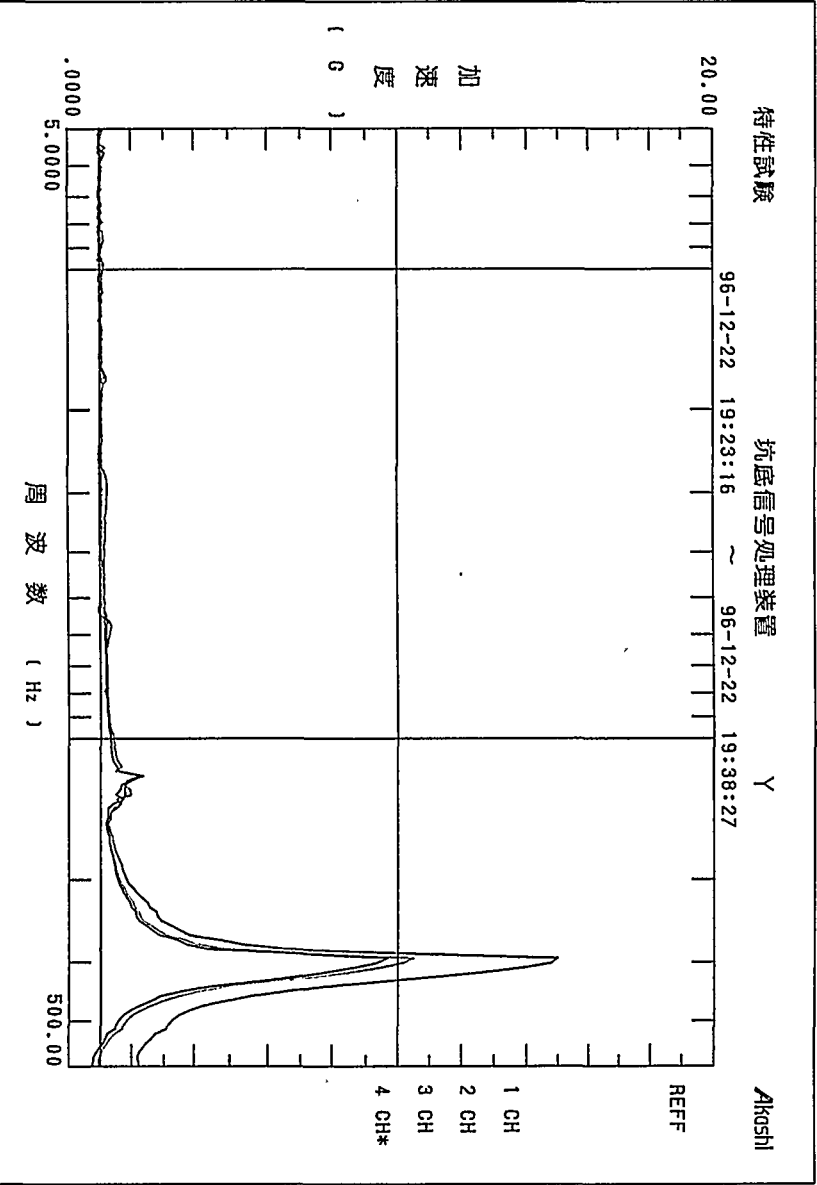
第2.4.1-56図 坑底信号処理装置基板振動特性試験結果 (Y軸方向)



第2.4.1-57図 坑底信号処理装置基板振動特性試験結果（Z軸方向）



第2.4.1-58図 坑底信号処理装置振動特性試験結果（X軸方向：トレイ実装）



第2.4.1-59図 坑底信号処理装置振動特性試験結果 (Y軸方向：トレー実装)

二. まとめ

本年度の坑底信号処理装置は、回路及び回路を構成する部品の見直し、基板固定方法の改良によって昨年度問題だった耐熱性及び耐振動性が改善され、結果は良好であり使用上問題ないことが確認された。

以後は実証試験を通して、実坑井における使用状態での動作の安定性を確認する予定である。

(1. 3) モード切替スイッチ

(1. 3. 1) 回転スイッチ

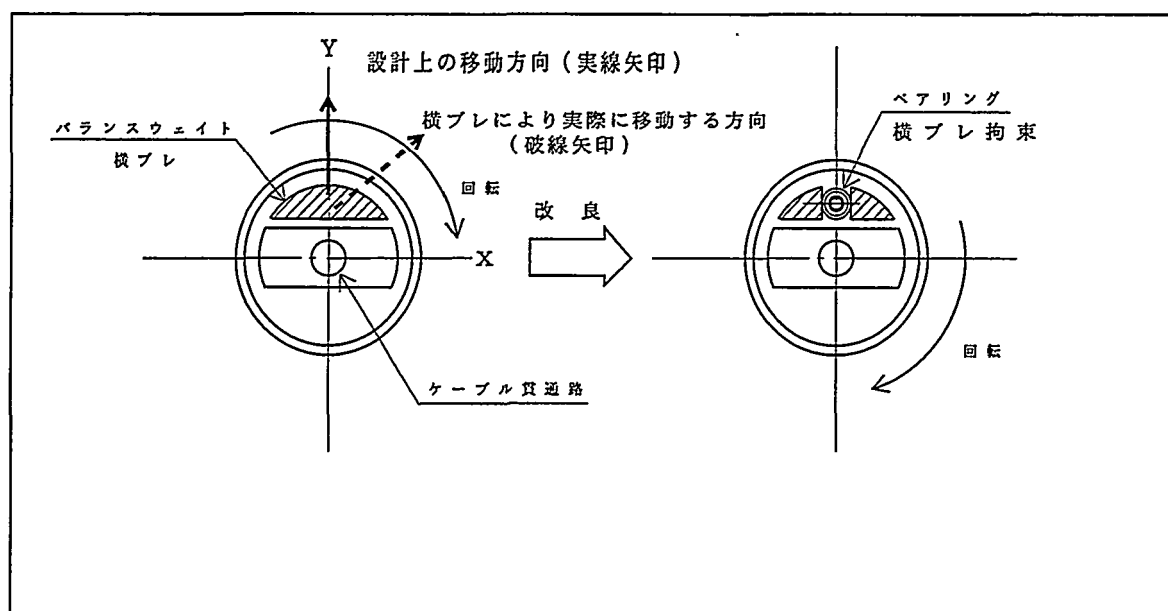
a. 改良設計

平成4年度より、回転を検出する手段として機械的な方法を検討してきた。これは、電気的な検出方法に比べ、環境温度に対する安定性、耐久性ともすぐれていると判断したためであった。平成7年度に試作した機械式回転スイッチでは回転数35rpmで安定してON/OFFを行うことができなかった。

そのため回転状態を詳細に検討した結果、バランスウェイトに遠心力が働くと保持部のベアリングが遊びにより本来の遠心方向への移動（Y方向とする）以外のX方向への移動を伴い、水平、45°、垂直の試験角度により35rpm以前に接点が接触しON状態になるかまたはON/OFFのハンチング状態を呈することが判った。

このため回転時にX方向に移動しないようにベアリングにより拘束することとした。

第2.4.1-60図に改良の概要を示す。



第2.4.1-60図 改良概要

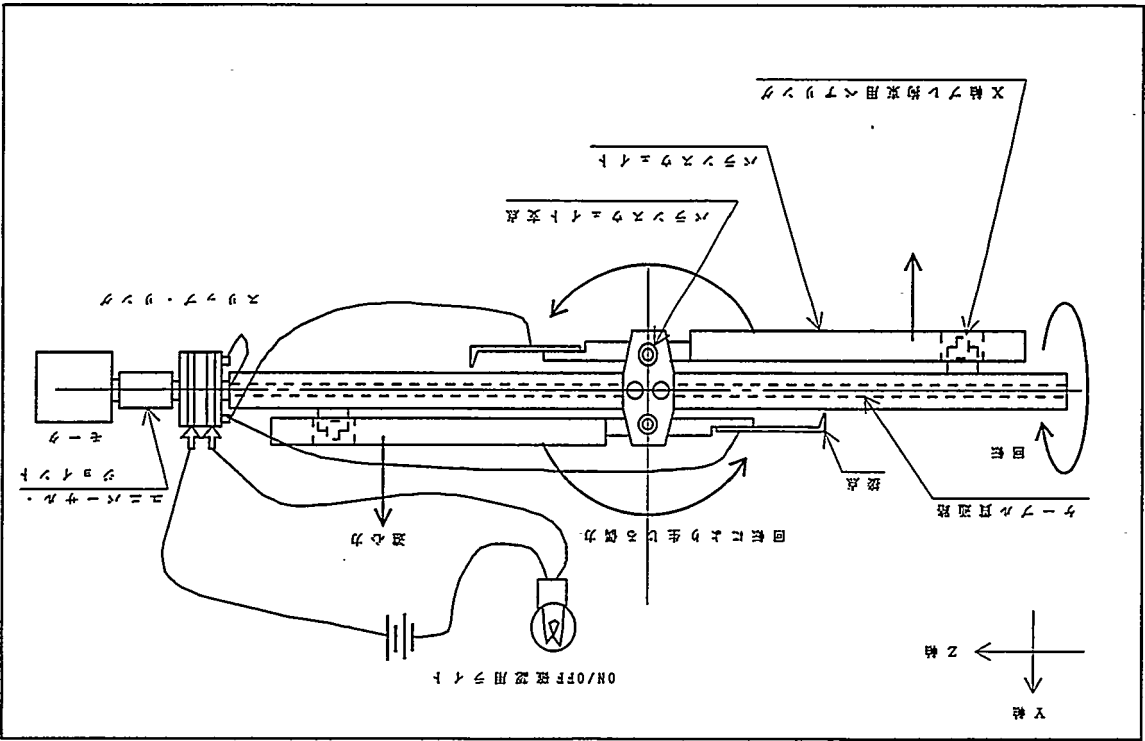
b. 試験結果

イ. 試験目的

バランスウェイトの横ブレを拘束する改良を行った回転スイッチについて、検出可能な回転数、検出の安定性を評価する。

ロ. 試験要領

試験は常温で回転数を20～60rpmの間で数回転毎に変化させ、回転数の増減方向について行った。試験概要を第2.4.1-61図に示す。動作状況の確認は供試体をモータでユニバーサルジョイントを介して設定回転数で回転させ、スイッチのON/OFFの確認をスリップリングを介してライトの点灯／非点灯で確認した。



第2.4.1-61図 試験概要

ハ. 試験結果

試験結果の一部を第2.4.1-12表に示す。回転数は、平成7年度の評価結果と対比させるために表中の値について示した。

第2.4.1-12表 試験結果

オイルの充填	姿勢	回転数 [rpm]								備考		
		20	25	30	33	35	38	40	45	50	60	
無	水平	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	34rpmより動作
	45°	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	
	垂直	×	×	×	×	×	×	△	△	△	△	
有	水平	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	
	45°	×	×	△	△	△	△	△	△	△	△	1gのウェイト負荷
	垂直	×	×	×	×	×	×	△	△	△	△	1gのウェイト負荷

記号の説明

- 正常に動作
- △ 不安定状態 (ON/OFFのハンチング)
- ▽ 不安定状態であるがウェイトの位置を調整すると動作可能。
- ×

× 動作不能

①水平方向は仕様（オイル有り、35rpm）を満足することができたが45°、垂直では不安定である。

②平成7年度では常温試験で、全ての姿勢で安定動作を果たすことができたのは60rpmであった。本年度で全ての姿勢で安定状態を呈しているのは45rpmであること、不安定領域も低回転に転じていることから、改良は評価できるが抜本的な改良には至っていない。

③振動・衝撃緩衝用の充填油を用いると仕様を満足することができた。

しかしながら1gのウェイトの調整が極めて困難で、室温によってもバラつきがあった。

④本構造は構成する左右の部品の釣合の上に成り立っているため、詳細に重量比較を行ったところ、その差は1g以下のものであった。また重心位置等も左右での差は極めてわずかなものであった。

二．考察

①ハンチング等の動作不安定状態は組立時のバランス及び構成するコイル・バネのわずかな強弱が左右しているものと推定される。

②機械的に仕様を満足するためには μm 、 μg の精度で左右の部品を釣り合わせる、組立時のバランス及び構成するコイル・バネのわずかな強弱を管理する必要があることなど制作の困難性が判った。また今後、本方式によるこれ以上の機構改良はスペース的にも無理がある。

ホ．まとめ

平成7年度の成果報告では坑底信号処理装置に不安定状態を動作状態とみなすプログラムを付与することを推奨したが、微動を拘束した本年度の改良がより動作不安定領域を発生させているため、不安定領域の定義が困難となり複雑なプログラムの構成が必要となる。

以上の検討のように機械方式による回転スイッチの製造・管理がかなり困難であることから、方位センサを用いて回転を検出する方式を検討した。

c．方位センサの代用

環境温度に対する安定性、耐久性を考慮して機械式回転検出方法を模索してきたが、収納スペースや組立・工作精度の制約もあって実用化が困難と判定された。一方、別に述べる電子部品の耐久性、信頼性の向上、CPUの処理負荷の低減など、電氣的に回転を検出することができる環境が整い、また、回転スイッチ部の廃止によってゾンデ全長を短くできることから、ここに方位計を用いた回転スイッチを検討した。

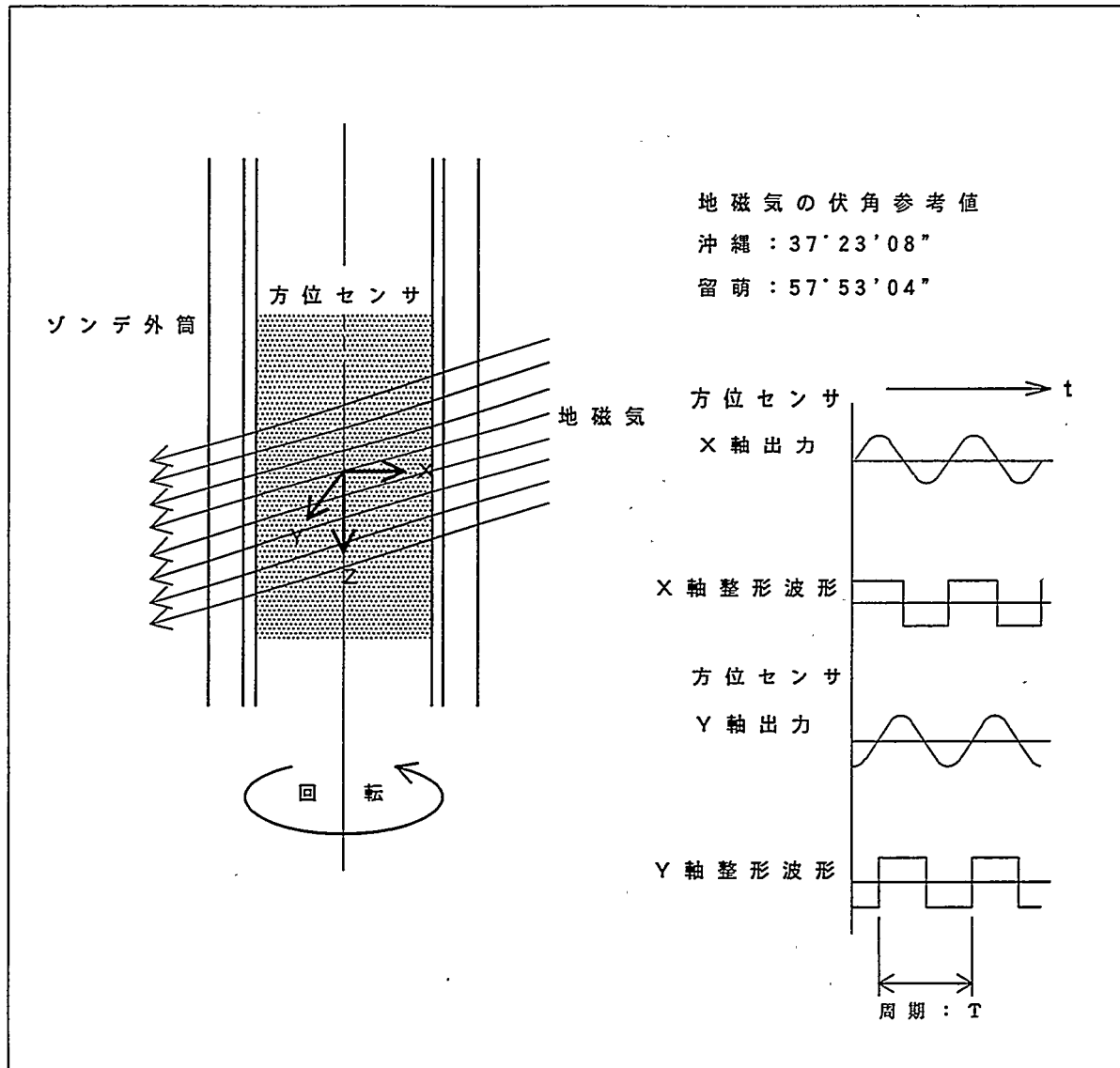
イ．方位計による回転検出原理

方位計を利用してゾンデの回転状態を検出する方法について記す。

第2.4.1-62図に示すように、傾斜情報センサに内蔵される方位センサはX、Y、Zの直交した3軸から構成される。

3軸のうち、ゾンデの中心軸に直交する2軸（X、Y）は回転にともない、地磁気との交差角度が変化するため、1回転毎にその出力は正負に変化する。この出力変化の周期を測定し、逆数を求めることにより回転数が得られる。この原理ではX、Y軸何れか1軸の出力により回転数が求まる。

この手法では回転数の検出精度は、方位センサ及び演算の精度に影響を受けるのみであることから、低速回転においても精度良く回転速度が求められる特徴がある。



第2.4.1-62図 方位センサの概念

ロ. 設計

方位センサを回転スイッチに代用する方式を実施するために必要な設計要素は、

- ①温度補正部に付加される周期測定と回転数演算
- ②坑底信号処理装置の回転スイッチ読み込みに変えて、温度補正部からの回転数データの読み込みソフトウェアである。

d. 方位計による回転検出試験結果

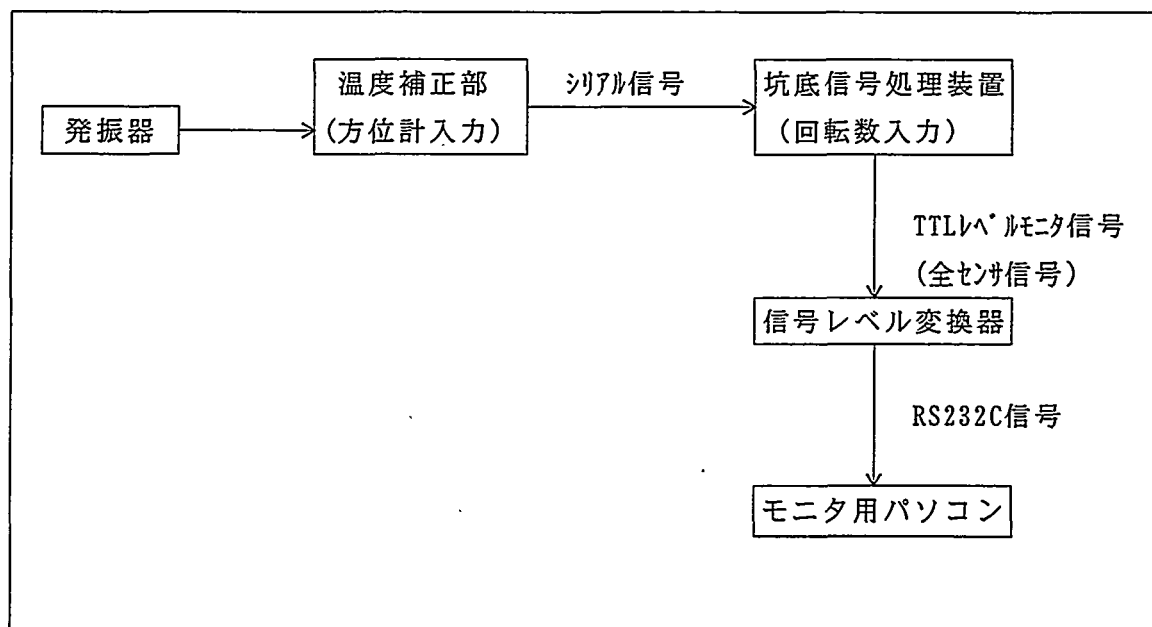
温度補正部に回転数検出ソフトウェア、坑底信号処理装置に回転数データの読込ソフトウェアを付加して回転検出の試験を行った。試験実施に当たり、実際に方位計、温度補正部、坑底信号処理装置を回転させることは試験設備等の都合で無理であるので、温度補正部の方位計電圧入力端に発振器の正弦波出力を疑似信号として与えた。

疑似信号の信号レベルは地上での方位計の出力変化範囲 ± 6 Vから地下での減少分、マージンを見込んで ± 1 V、周波数は回転数18~80rpmに相当する0.3~3.0Hzとした。また、

この検出方法では高い回転数の検出も可能なことから、6,000rpmに相当する範囲まで回転数検出の可能性を検討した。

第2.4.1-63図に試験ブロック図を、第2.4.1-13表及び第2.4.1-64図に試験結果を示す。

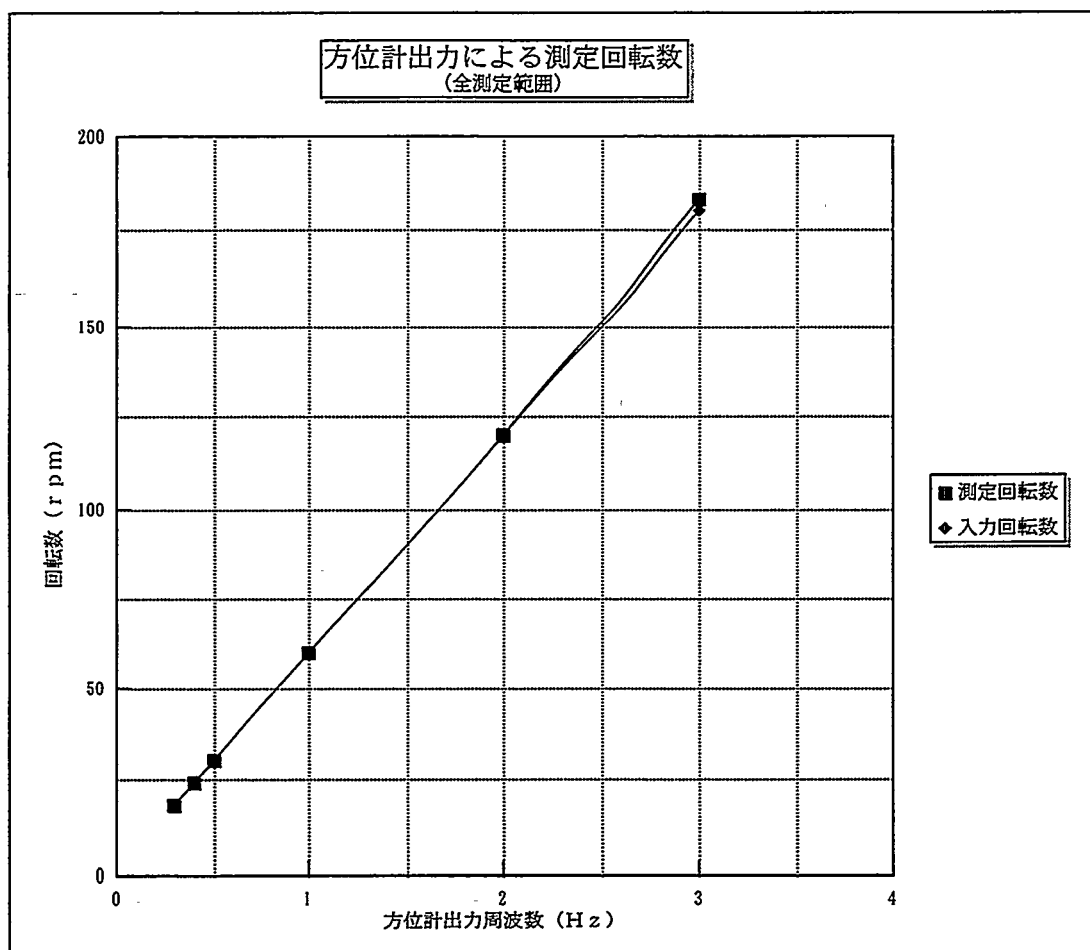
第2.4.1-13表、第2.4.1-64図から明らかなように、18rpmから120rpmまでは正確な回転数を検出している。180rpm以上では入力周波数に対して回転数の計算がずれ始めるが6,000rpmまで回転を検出しており実用上の問題はない。



第2.4.1-63図 回転スイッチ試験ブロック図（方位計使用）

第2.4.1-13表 回転スイッチ試験結果（方位計使用）

入力周波数[Hz]	回転数換算値[rpm]	回転数測定値[rpm]
0.3	18.0	18.0
0.4	24.0	24.0
0.5	30.0	30.0
1.0	60.0	60.0
2.0	120.0	120.0
3.0	180.0	183.0



第2.4.1-64図 回転スイッチ試験結果（方位計使用）

e. まとめ

方位計による回転検出を行うため、温度補正部、坑底信号処理装置のソフトウェアを変更し、発信器による疑似信号を与えてその性能を試験した。試験結果から、目標とする35 rpm以下の回転数でも回転の検知が可能であった。なお、本方式は方位計の出力を使用するが、温度補正部に回転検出のソフトウェアを付加することのみによって実現できることから、従来の方位検出及びその精度に影響を与えることはない。

ゾンデへの組込は遠心力を検出する機械式の回転スイッチに代えて、方位計を使用した回転スイッチを採用する。

（1. 3. 2） 循環スイッチ

本年度は、センサ及び増幅回路は前年度と同様とし、平成7年度の実証試験で実測した熱水循環中の振動測定結果を基に、検出する振動レベルを絞り込んで、振動判定機能を追加する回路設計を行った。

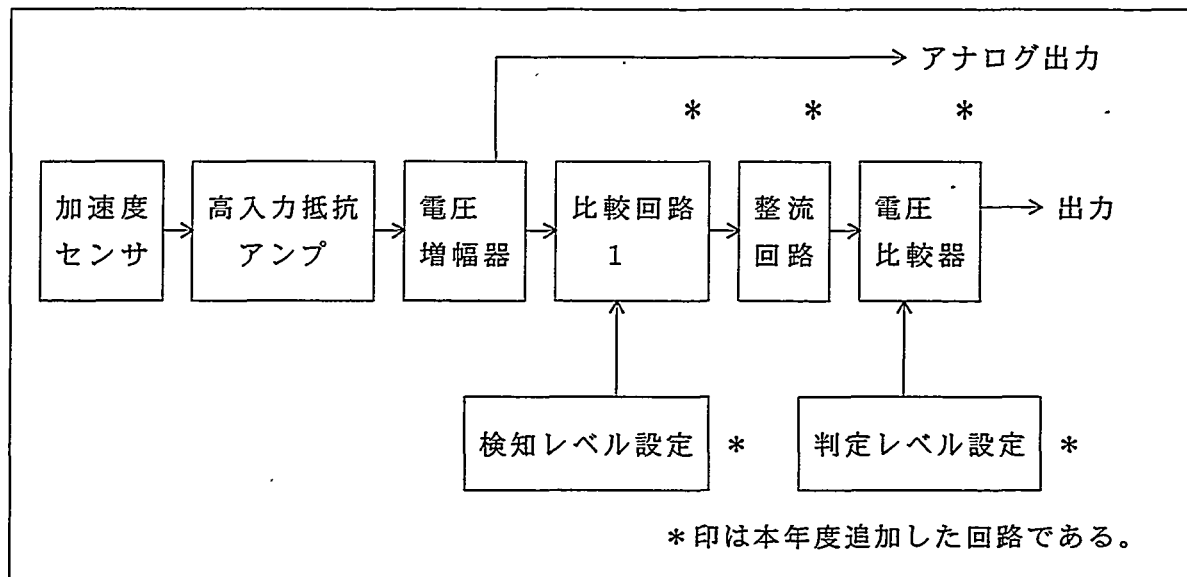
本年度の循環スイッチ回路のブロック図を第2.4.1-65図に示す。

整流回路でのダイオードのリーク電流を無視できる構成とするため、加速度センサの出

力を増幅したAC出力を、検知レベルとの比較によりデジタル的な出力にし、整流回路を通して整流平滑し、電圧比較器に入力する。電圧比較器内で判定レベルとの比較を行い、スイッチ出力をオン・オフする。

検知レベル設定、判定レベル設定共に定電圧ダイオードで電源依存性を押さえた基準電圧で設定する。

目標検知レベルは最小40galで、検知周波数は200Hz～500Hzで設計を行った。



第2.4.1-65図 循環スイッチのブロックダイアグラム

a. 改良点

改良点を以下に示す。

- ・耐熱性を高めるために高温動作が安定なオペアンプを採用した。
- ・対振動・対衝撃性を向上させるために基板取り付け穴ピッチを昨年度の70mmから65mm以下にした。
- ・振動判定回路を製作した。

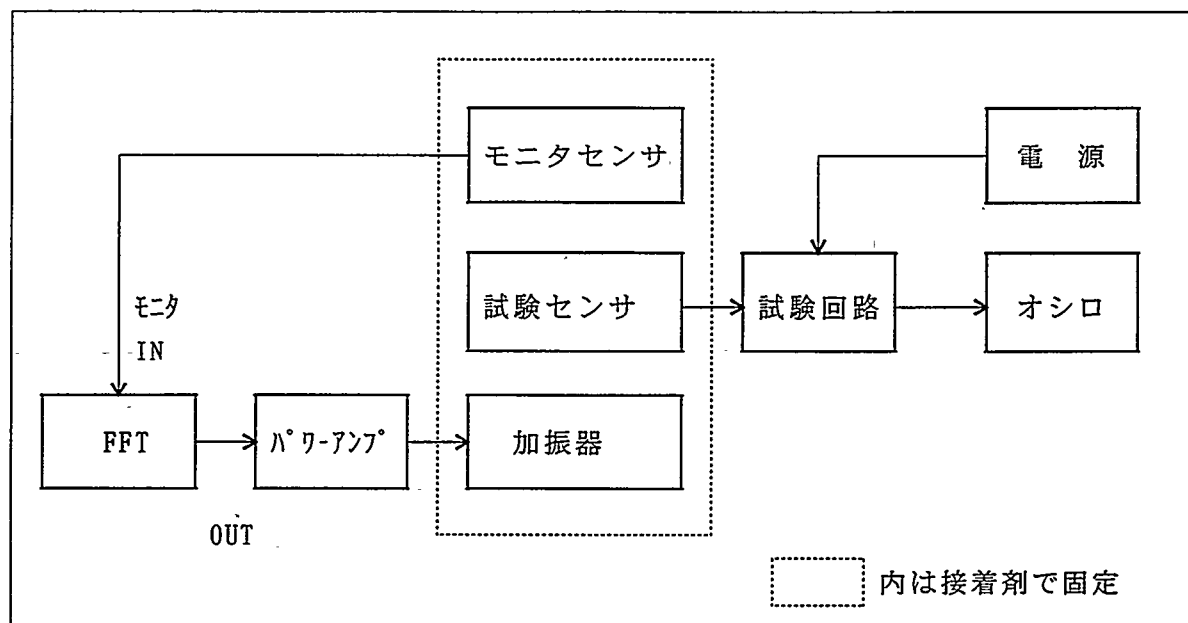
b. 性能確認試験

イ. 特性試験

常温で第2.4.1-66図に示すような構成の測定回路で機能及び特性を確認した。

試験手順は以下のとおりである。

- ・周波数を決定した後、加振レベルをFFTでモニタしながらゲインの調整により設定する。
- ・試験対象回路のアナログ出力をオシロスコープでモニタ・計測する。
- ・同時に出力（スイッチ）の動作を確認する。



第2.4.1-66図 特性試験ブロック図

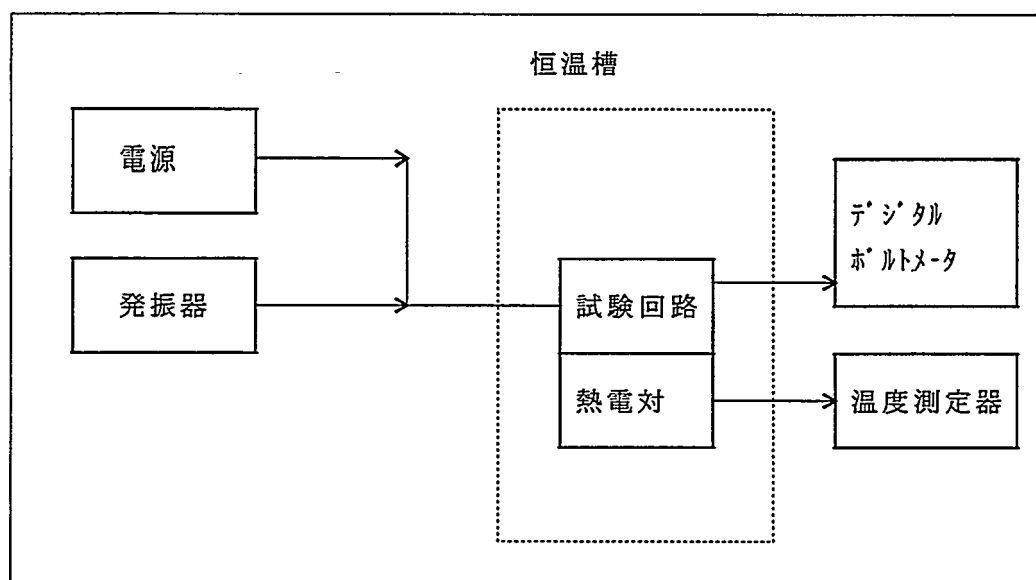
ロ. 耐熱試験

加熱状態で振動試験を与えることが困難なため、センサを一定のレベルで加振し続ける代わりに 対象回路の増幅回路に加え耐熱試験を行った。

試験回路の構成ブロック図を第2.4.1-67図に示す。

発振器で20mV（40mVp-p）の大きさの正弦波を入力し、試験回路のアナログ出力をモニタした。（40galの加速度に相当）

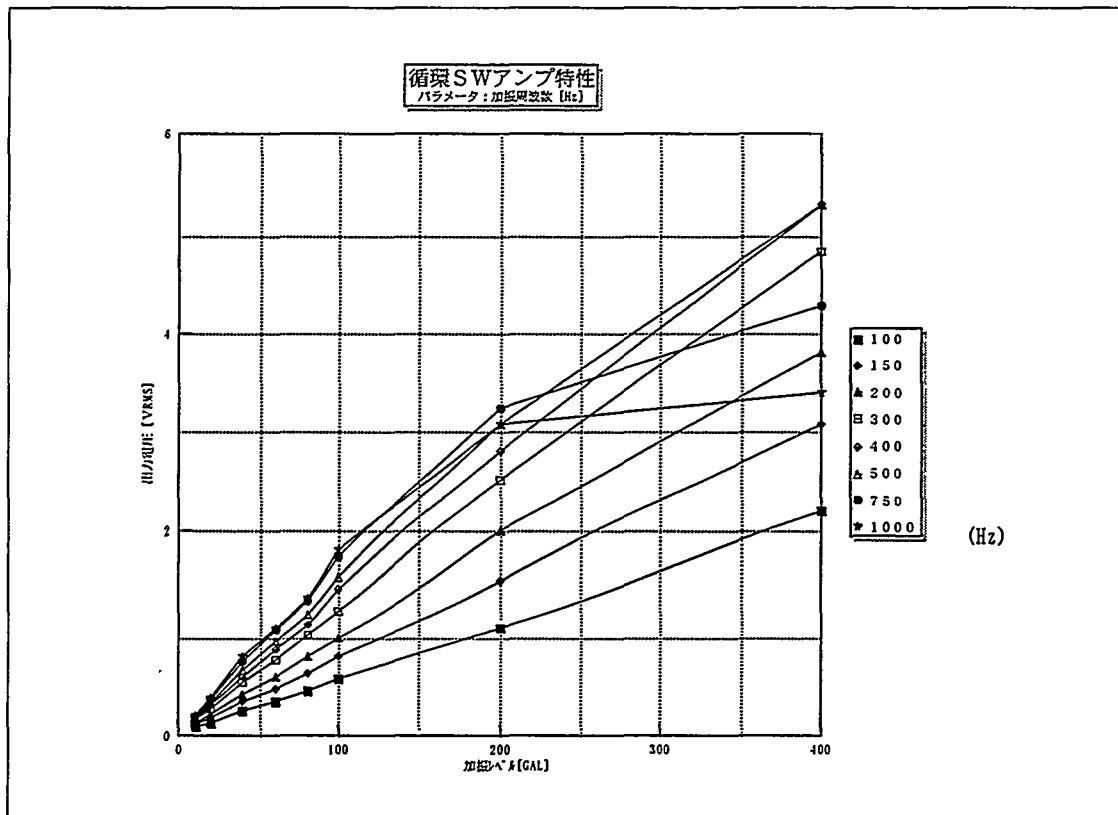
出力電圧の測定はデジタルボルトメータのAC（実効値）測定を使用した。



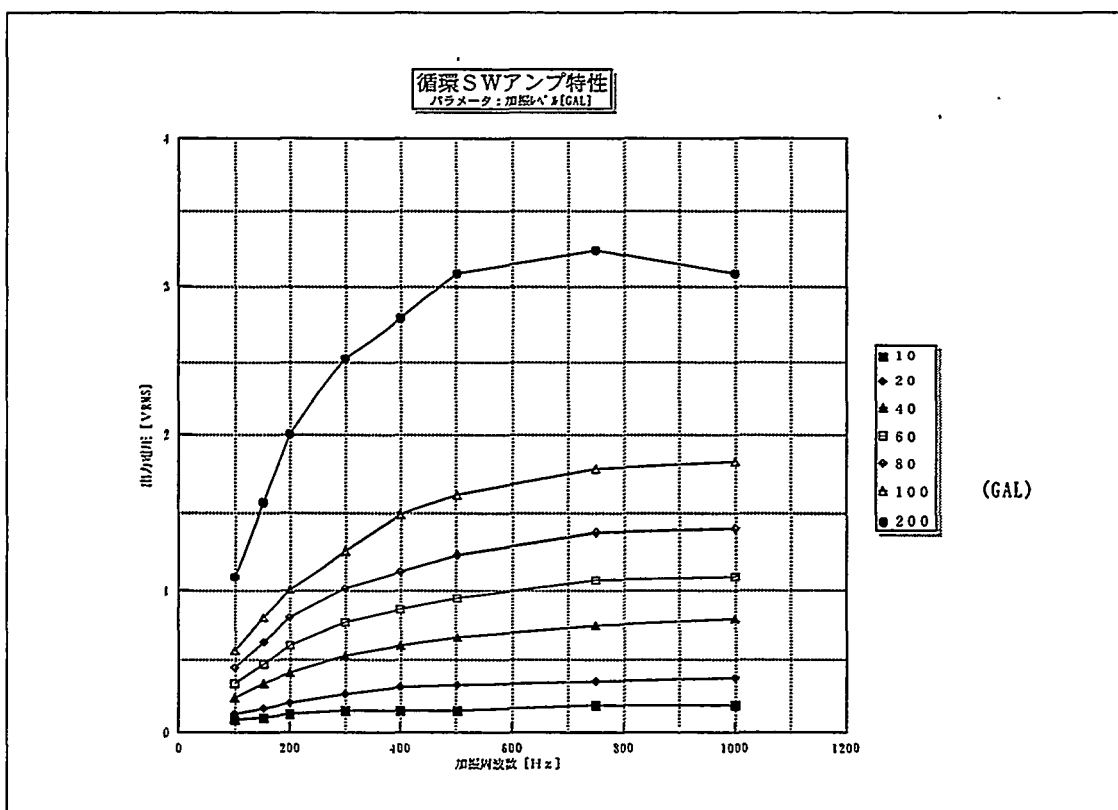
第2.4.1-67図 耐熱試験ブロック図

八. 特性試験結果

特性試験の結果を第2.4.1-68図、2.4.1-69図に示す。



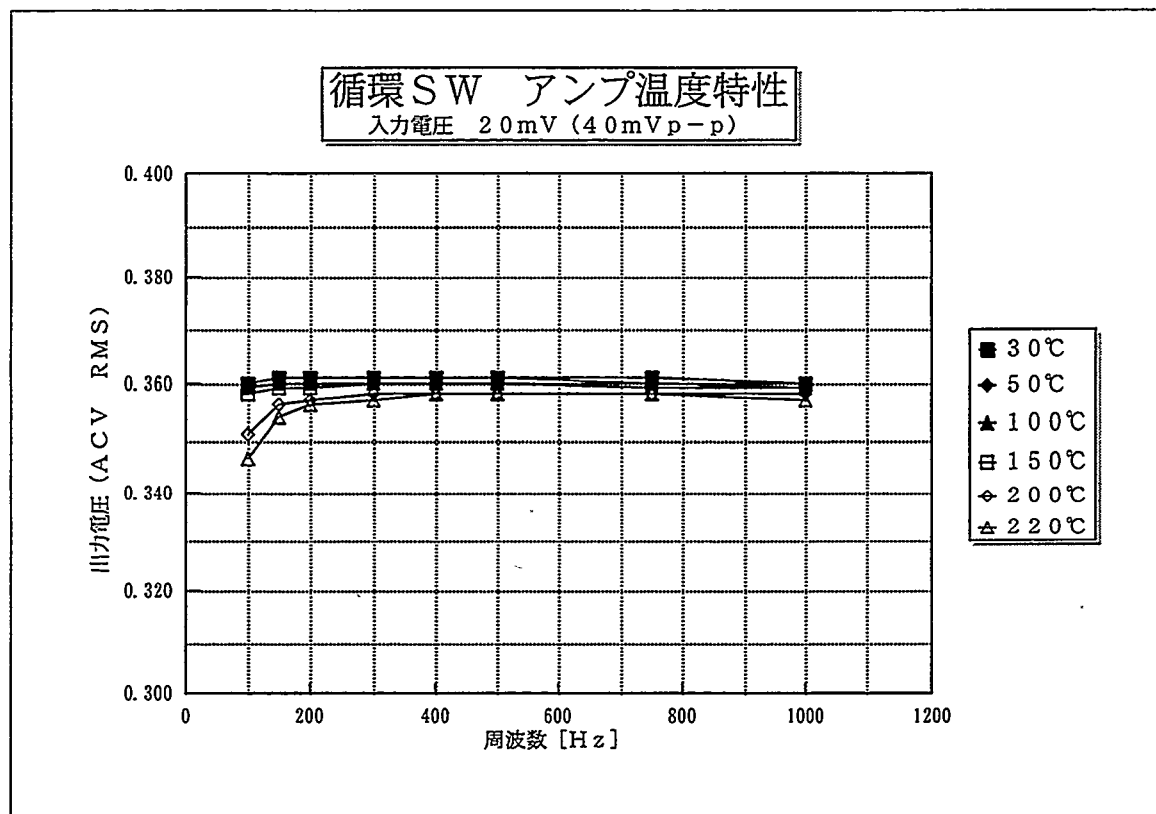
第2.4.1-68図 加振レベルー出力特性 (特性試験結果)



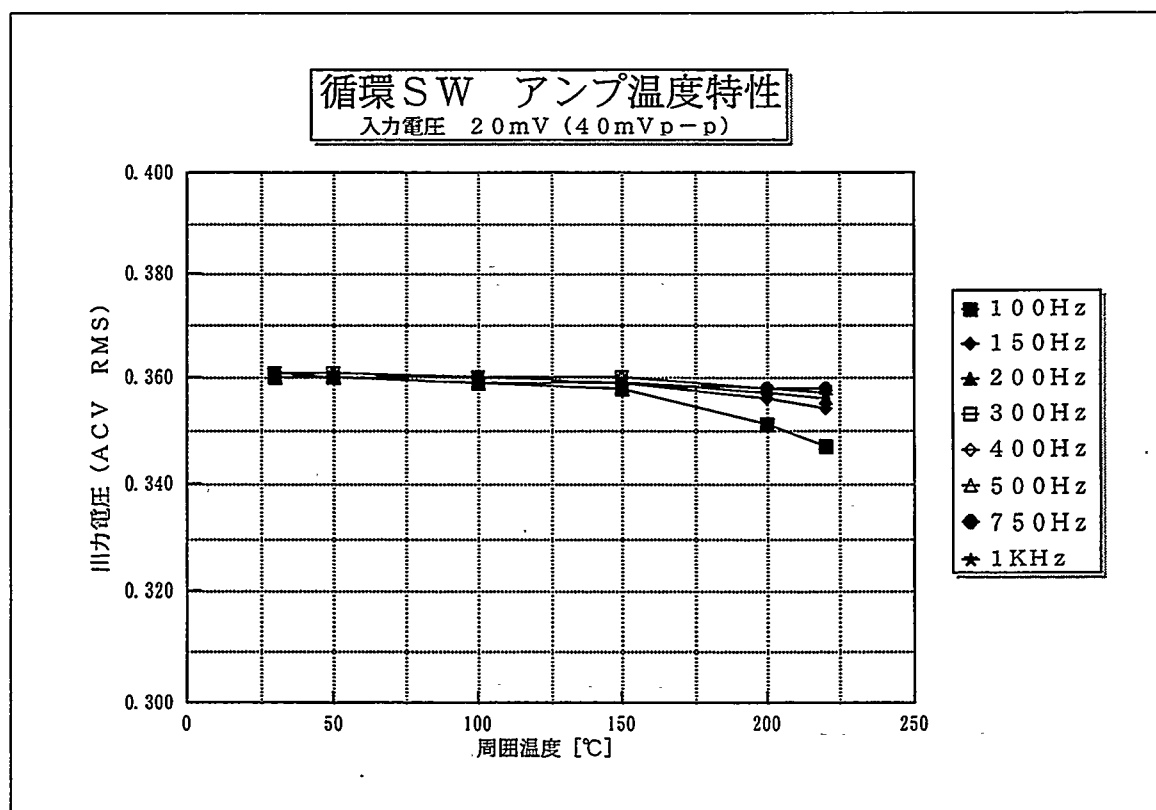
第2.4.1-69図 加振周波数ー出力特性 (特性試験結果)

二. 耐熱試験結果

耐熱試験結果を第2.4.1-70図、第2.4.1-71図に示す。



第2.4.1-70図 入力周波数－出力特性（耐熱試験結果）



第2.4.1-71図 温度－出力特性（耐熱試験結果）

ホ. 考察

振動レベルの強さに対してほぼ単調増加の出力が得られた。周波数が750Hz以上で振動レベルが400gal以上では、使用しているオペアンプのスルーレートの性能から出力波形が歪み測定値が比例しなくなっている。

電荷型の加速度センサを使用し、チャージアンプで受けていないため、出力の周波数特性は、センサとの結合部での周波数依存性が若干現れている。

温度特性は、センサを接続した状態でないので、上記周波数依存性は現れないが、200Hz～1kHzまではほぼ平坦な特性を示した。

第2.4.1-68図及び第2.4.1-69図より、目標検知振動の200Hz～500Hz/40galでは、振動検知レベルの0.28V以上の出力値であり検知可能である。

また最小検知レベルとしては、温度によるドリフト特性が15mV程度であり、20galでの出力が100mV程度あるので、ノイズ特性を考慮しても振動検知レベルの設定で、実用上20galの振動でも検知可能である。

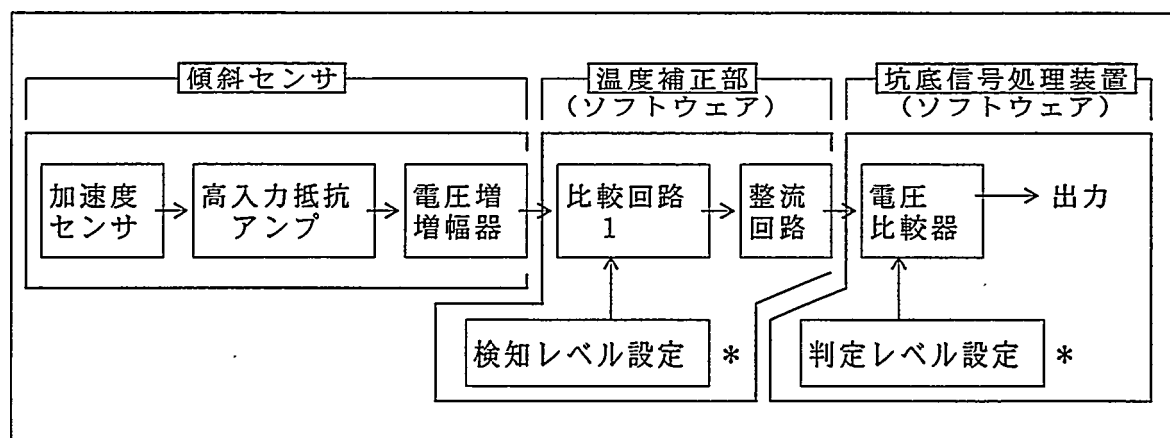
ｃ. 傾斜センサの代用

イ. 傾斜計による循環検出原理

平成8年度は傾斜センサをサーボ加速度型に変更したことにより、同センサの応答周波数の上限が循環スイッチの応答周波数の仕様と同じ500Hzになった。また、加速度に対する感度も高く（約1/1000G）循環による流体励振を検出することができるようになった。

このため、ソフトウェアの追加によって傾斜センサに循環スイッチの機能をもたせることが可能となる。センサを統一することによって、部品点数を減らすことが可能になるだけでなく、省電力化によるバッテリー寿命の延伸、ゾンデ長の短縮化などのメリットが大きいことから、傾斜センサを用いた循環検出手法を検討した。第2.4.1-72図のように構成要素を入れ替えて傾斜センサを循環スイッチとして機能させることが可能である。

泥水循環時に発生するゾンデの流体励振によって生じる、傾斜センサの出力に定常的に重畳するリップル分の振幅を温度補正部にて読みとり、一定値（40gal相当）以上であれば振動周波数を坑底信号処理装置に伝送する。坑底信号処理装置は周波数が一定値（100Hz）以上であれば泥水が循環していると判断する。



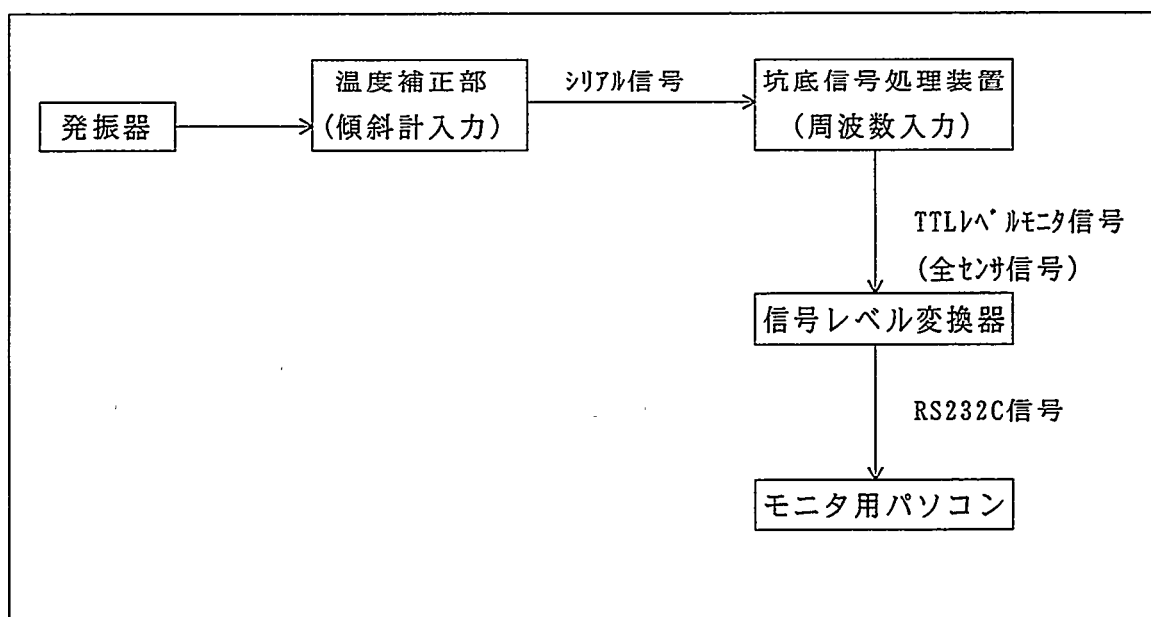
第2.4.1-72図 傾斜計を用いた循環スイッチのブロックダイアグラム

ロ. 傾斜計による循環検出試験結果

温度補正部に傾斜計のリップル分読みとり機能、坑底信号処理装置にリップル分の周波数読みとり機能を付加して循環検出の試験を行った。試験は傾斜センサ出力の代わりに発信器の出力を疑似信号を与えて性能を確認した。

第2.4.1-73図に試験ブロック図を、第2.4.1-14表、第2.4.1-74図に試験結果を示す。

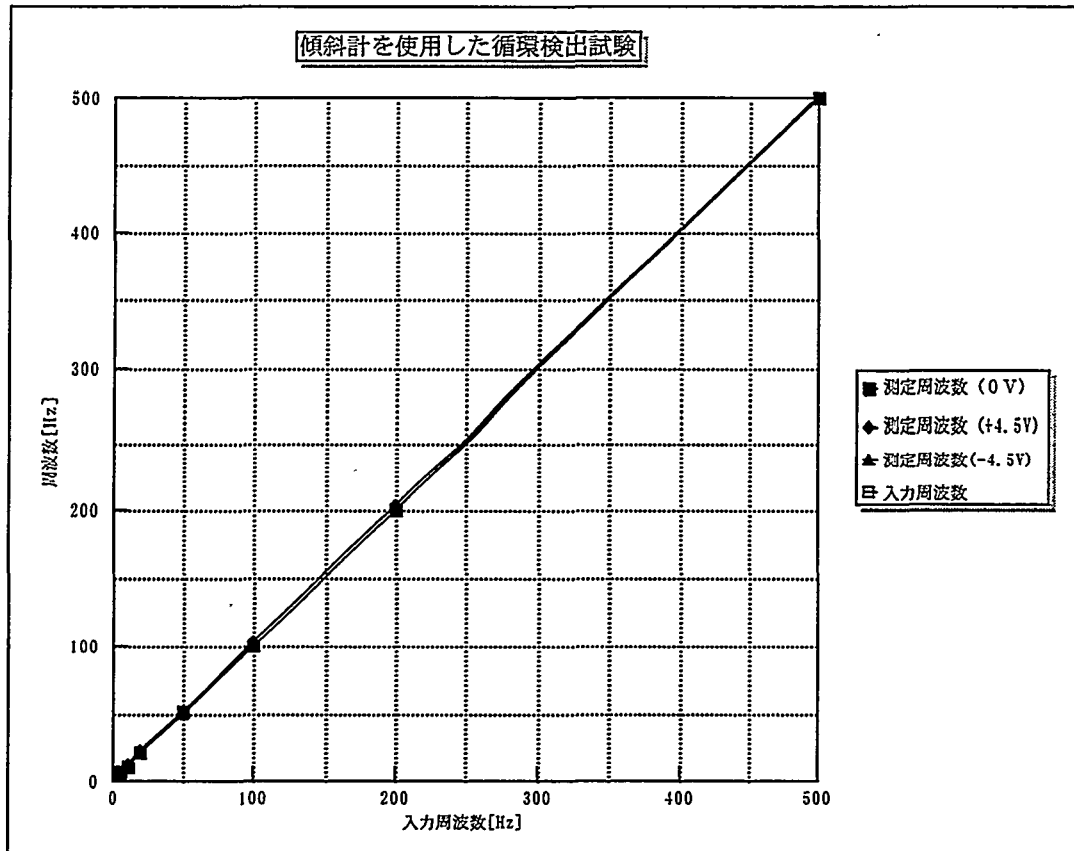
第2.4.1-14表、第2.4.1-74図から明らかなように、入力周波数に対して検出周波数に数Hzの誤差が発生してはいるが、ほぼ同じ値を出力しており泥水循環の検出は可能である。



第2.4.1-73図 循環スイッチ試験ブロック図（傾斜計使用）

第2.4.1-14表 循環スイッチ試験結果（傾斜計使用）

傾斜相当セット電圧	0 V (0°)	4.5 V (90°)	-4.5 V (-90°)
入力周波数 [Hz]	測定周波数 [Hz]	測定周波数 [Hz]	測定周波数 [Hz]
5	6	4	6
10	10	12	10
20	20	22	21
50	52	50	52
100	100	102	100
200	200	202	200
500	500	500	501



第2.4.1-74図 循環スイッチ検出試験結果（傾斜計使用）

d. まとめ

加速度センサを用いた循環スイッチ及び傾斜センサを使用した循環スイッチの両者の製作・試験を行い、いずれも目標検知レベル最小40gal、検知周波数200Hz～500Hzを満足することを確認した。

ゾンデへの組み込みに当たり、消費電力の低減、ゾンデ長さの短縮化及びスイッチ動作の基準値の調整の容易さから傾斜センサを使用した循環スイッチを採用することとした。

(1. 4) 傾斜情報センサ

(1. 4. 1) 方位計

本年度は、三軸フラックスゲート型方位計の耐久性を向上させる改良を行うとともに、精度向上のために、温度ドリフト、ゼロ点シフト、3軸でのばらつき等を補正するための計測を行い補正式を求めた。

a. 3軸方位角演算方法

傾斜角を θ 、ツールフェース角を u 、センサの重力に対する感度を K とし、センサの軸が水平線より下向きの時のセンサの出力を正、上向きの時を負とすれば各軸センサの出力 I_x 、 I_y 、 I_z は次のとおりとなる。

$$I_x = -K \cdot \sin \theta \cdot \cos u$$

$$I_y = K \cdot \sin \theta \cdot \sin u$$

$$I_z = K \cdot \cos \theta$$

従って

$$\tan \theta = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \frac{\sqrt{(I_x^2 + I_y^2)}}{I_z}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\sqrt{(I_x^2 + I_y^2)}}{I_z} \quad (\text{ただし } 0^\circ \leq \theta < 90^\circ)$$

方位角を λ 、その地点における地磁気の伏角を ζ 、センサの地磁気の大きさに対する感度を V とし、センサの軸が磁北方向向きの時のセンサの出力を正、反対向きの時を負とすれば各軸センサの出力 B_x 、 B_y 、 B_z は次の通りとなる。

$$B_x = V(\cos \zeta \cdot \cos u \cdot \cos \theta \cdot \cos \lambda - \cos \zeta \cdot \sin u \cdot \sin \lambda - \sin \zeta \cdot \cos u \cdot \sin \theta)$$

$$B_y = -V(\cos \zeta \cdot \sin u \cdot \cos \theta \cdot \cos \lambda + \cos \zeta \cdot \cos u \cdot \sin \lambda - \sin \zeta \cdot \sin u \cdot \sin \theta)$$

$$B_z = V(\cos \zeta \cdot \sin \theta \cdot \cos \lambda + \sin \zeta \cdot \cos \theta)$$

前述（傾斜角演算と方位角演算）の式を展開すると方位角は次のようになる。

$$\tan \lambda = \frac{(I_x \cdot B_y - I_y \cdot B_x) \sqrt{(I_x^2 + I_y^2 + I_z^2)}}{(I_x^2 + I_y^2) B_z - (I_x \cdot B_x + I_y \cdot B_y) I_z}$$

$$\lambda = \tan^{-1} \frac{(I_x \cdot B_y - I_y \cdot B_x) \sqrt{(I_x^2 + I_y^2 + I_z^2)}}{(I_x^2 + I_y^2) B_z - (I_x \cdot B_x + I_y \cdot B_y) I_z}$$

$$(0^\circ \leq \lambda < 360^\circ)$$

方位角 λ を求める式から、分子、分母の符号により、次の4象現に限定することができる。

$$\text{分子} < 0, \text{分母} < 0, \text{の時} \quad 0^\circ < \lambda < 90^\circ$$

$$\text{分子} < 0, \text{分母} > 0, \text{の時} \quad 90^\circ < \lambda < 180^\circ$$

$$\text{分子} > 0, \text{分母} > 0, \text{の時} \quad 180^\circ < \lambda < 270^\circ$$

$$\text{分子} > 0, \text{分母} < 0, \text{の時} \quad 270^\circ < \lambda < 360^\circ$$

更に、 $\lambda = 0$ に対しては、

分子 $= 0$ 、分母 < 0 、の時 $\lambda = 0^\circ$

分子 $= 0$ 、分母 > 0 、の時 $\lambda = 180^\circ$

$\lambda = \infty$ に対しては、

分子 < 0 、分母 $= 0$ 、の時 $\lambda = 90^\circ$

分子 > 0 、分母 $= 0$ 、の時 $\lambda = 270^\circ$

のように判定できる。

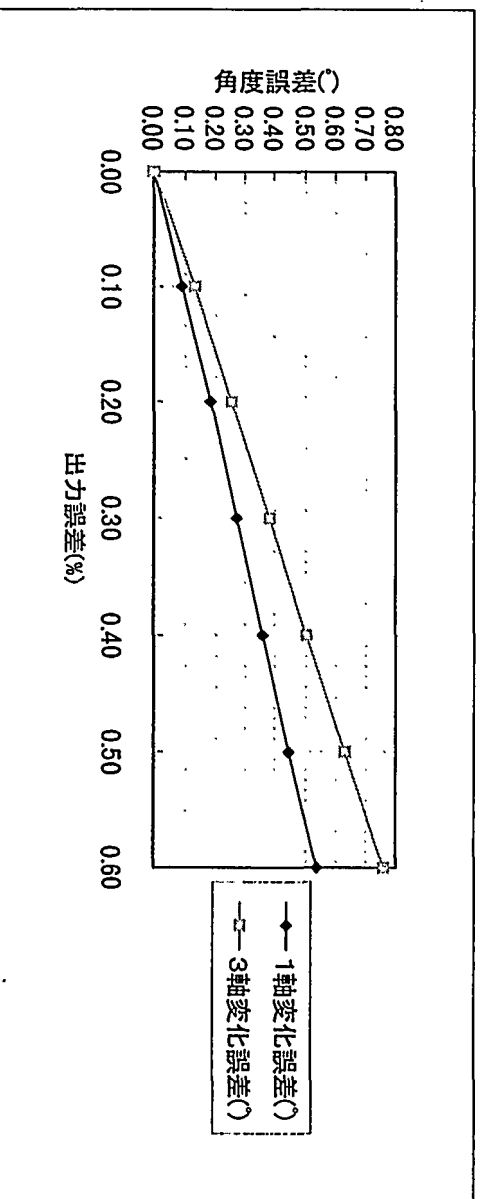
b. 方位角精度検討

方位計の精度は、方位センサの磁束密度入力フルスケールと、出力電圧に含まれる誤差に影響される。方位センサの出力電圧誤差が方位角計算結果へ及ぼす影響を評価するために、方位センサ入力のフルスケールに対する出力電圧誤差を相対値として与え、前項の計算式によりシミュレーションを行うと、角度誤差の最大値は、第2.4.1-75図に示すとおりとなる。

第2.4.1-75図から方位計の精度を目標の $\pm 0.5^\circ$ とするためには、3軸全てに誤差が発生した場合、フルスケールに対し 0.4% 以下の入力誤差とする必要がある。

次に、フルスケールを1とし3軸ともに 0.4% の入力誤差があった場合に方位を 45° ごとに変化させた場合について計算した。

この入力のフルスケールは計測地域の全磁力となり、日本では約 $46,000\text{nT}$ 、アメリカでは約 $50,000\text{nT}$ である。従って、全磁力を $45,000\text{nT}$ とすると、 180nT 以下の入力誤差であれば精度を満たす。これを電圧感度で評価すると、本方位計は温度磁気感度補正を行い $1\text{mV}/10\text{nT}$ の感度とするため、 18mV 以下の出力誤差であれば精度を満たす。



第2.4.1-75図 誤差検討図

c. 製作の要点

本年度は耐久性の向上を目的とし製作を行った。以下に要点を述べる。

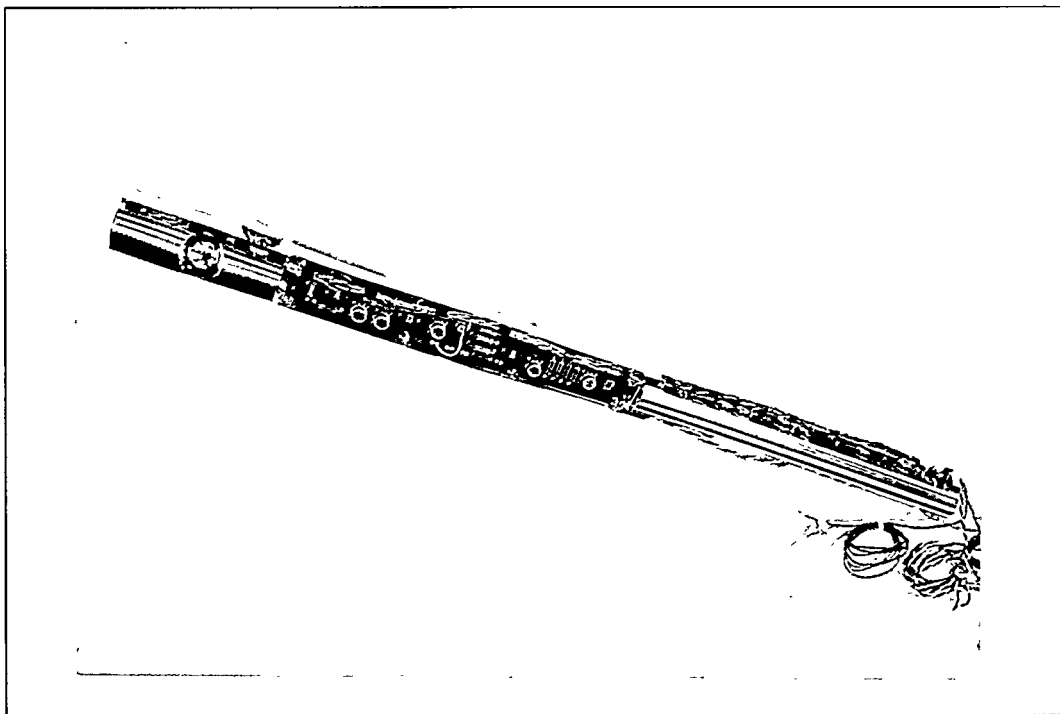
イ. プリント基板は260℃、60分でふくれのないテフロン基板を使用し、基板表面の多少の水分、油分でも基板が劣化しないように防潤対策として表面にレジストをかけた。

ロ. 温度ドリフトはセンサによる個体差があるため、各軸毎に補正データを計測した。

ハ. 温度補正データは常温と50℃から200℃まで25℃ピッチで計測し、これを基に補正式を求めた。

d. 構成

第2.4.1-76図に三軸フラックスゲート型方位計外觀図を示す。



第2.4.1-76図 フラックスゲート型方位計外觀図

e. 性能試験

本方位計の性能を確認するため以下の試験を行った。

イ. 電圧変動試験

恒温層内のヘルムホルツコイル内に方位センサを配置し、温度を変化させ計測した。駆動基板及び増幅基板も恒温層内に配置した。

電源安定化回路の出力最大変動値が0.1Vであるため、規定電圧 $\pm 0.1V$ の電圧変動に対する方位センサの出力の影響を調べた。

①電源電圧と磁束密度、温度を変化させたときの出力電圧を計測した。

②計測時の電源電圧は+14.9V、+15V、+15.1Vとした。

③計測時の磁束密度は0 nT、 $\pm 80,000$ nTとした。

④計測時の温度は、常温、50℃、100℃、150℃、200℃、220℃とした。各温度に達し、

30分後に計測した。

電源電圧が $\pm 0.1\text{V}$ 変化すると、全ての温度に対して最大出力電圧差は 12mV 以下（許容出力誤差 18mV 以下）であり、 $\pm 0.1\text{V}$ の電源電圧変化であれば精度を満たすことを確認した。

ロ. 消費電流試験

バッテリーの寿命推定のために、使用環境による消費電流値を調べた。

①電源電圧と磁束密度、温度を変化させたときの消費電流値を計測した。

②計測時の電源電圧は $\pm 14.9\text{V}$ 、 $\pm 15\text{V}$ 、 $\pm 15.1\text{V}$ とした。

③計測時の磁束密度は 0 nT 、 $\pm 80,000\text{ nT}$ とした。

④計測時の温度は、常温、 50°C 、 100°C 、 150°C 、 200°C 、 220°C とした。各温度に達し、30分後に計測した。

200°C までの 15V 系最大消費電流は 63.0mA 以下、 -15V 系最大消費電流は 58mA 以下であり、傾斜計、温度センサの消費電流値も含めると約 100mA であり、既存のセンサ（傾斜計、温度センサを含む消費電流値は 120mA ）より消費電流が少ないことが確認できた。また、磁力が変化しても 10mA 程度の消費電流変動である。バッテリー寿命計算の方位計分データとしては、最大消費電流 63mA を用いることにした。

ハ. 磁気感度、温度特性試験

精度の高い補正を行うため、磁束密度と温度を変化させてセンサ出力を計測し、そのデータから磁気感度・温度補正式を求めた。

①各センサごとに、磁束密度と温度を変化させたときの出力電圧を計測した。

②磁束密度は $-80,000\text{ nT}$ ～ $80,000\text{ nT}$ の間で $10,000\text{ nT}$ ステップで設定した。

③計測時の温度は、常温、 50°C 、 75°C 、 100°C 、 125°C 、 150°C 、 175°C 、 200°C 、 220°C とした。各温度に達し、30分後に計測した。

本方位計の磁束密度に対する出力電圧の直線性は確認済みのため、まず温度ごとの磁気感度補正式を求め、その感度補正式の0次の項と1次の項について温度補正式を求め、磁気感度・温度補正式とする。

X軸、Y軸及びZ軸の計測結果を第2.4.1-77図、第2.4.1-80図及び第2.4.1-83図に示す。

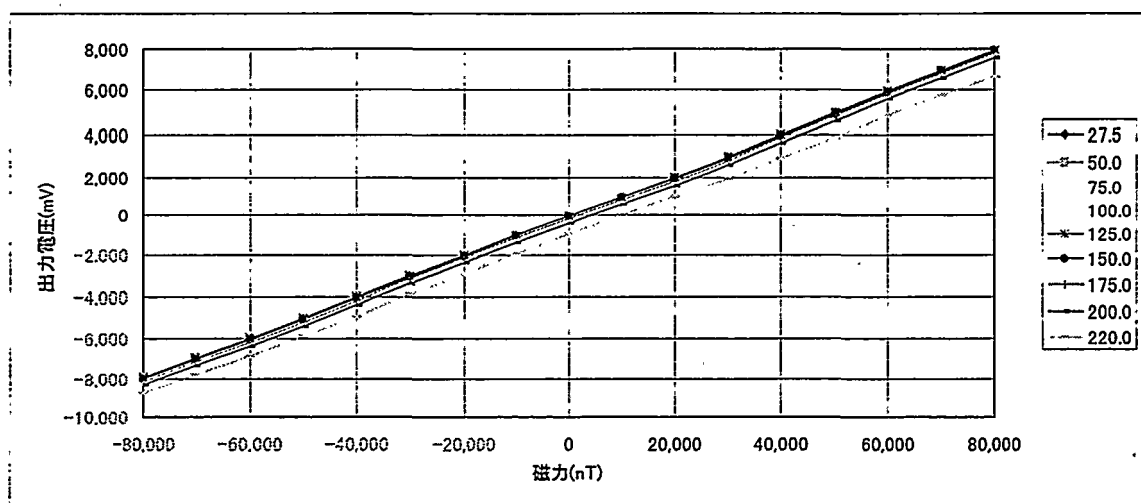
また、このデータを温度毎に磁気感度補正した結果を、第2.4.1-78図、第2.4.1-81図及び第2.4.1-84図に示す。

1次の補正式で 200°C までの補正誤差が精度内の 10mV 以下であることから、磁気感度の直線性があることを確認した。

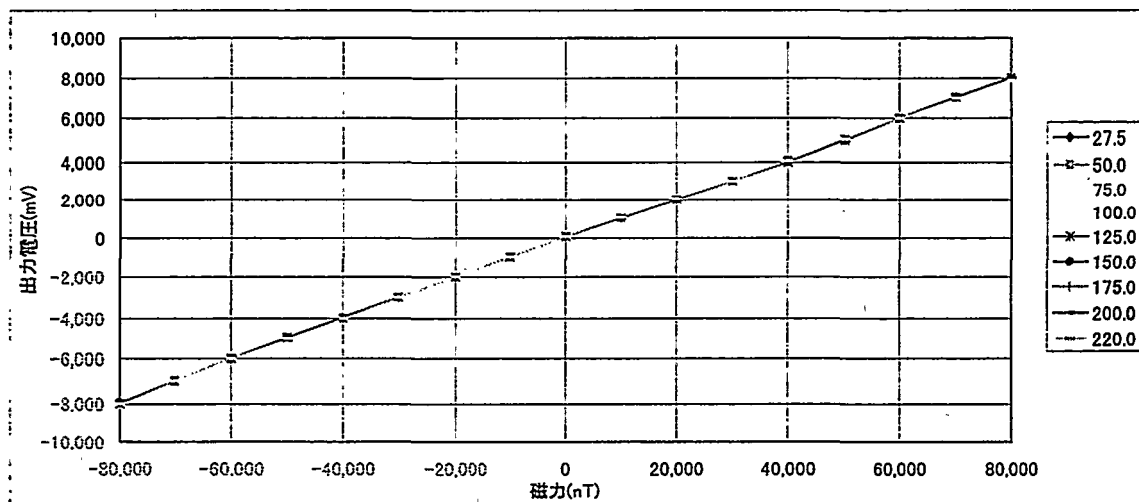
次に、この磁気感度の1次補正係数、オフセットに対して所要の精度を満たすように温度補正係数を求めた。

補正式によって求めたX軸、Y軸及びZ軸補正值を、第2.4.1-79図、第2.4.1-82図及び第2.4.1-85図に示す。

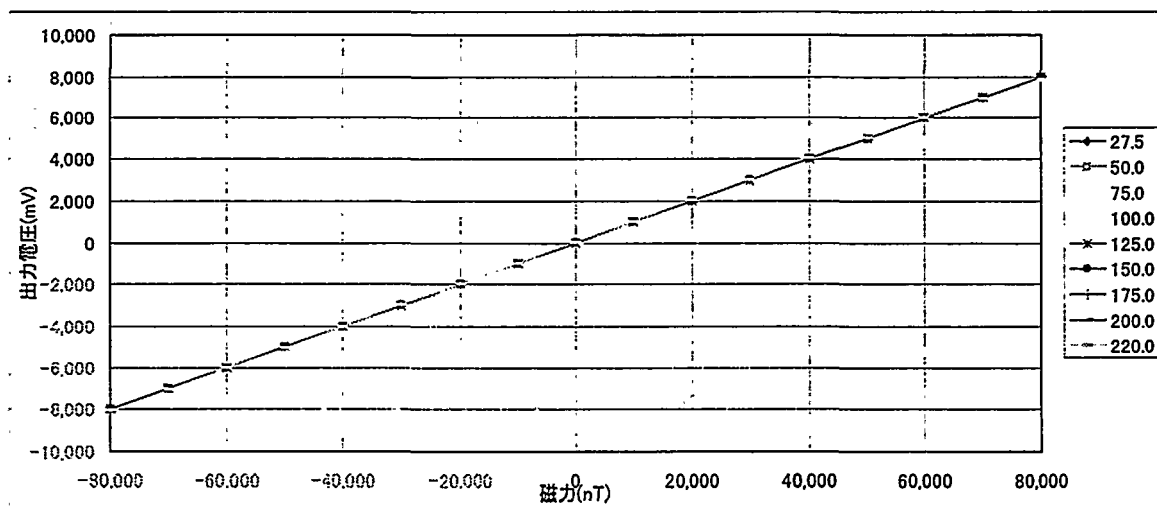
200°C までの補正誤差が 15mV 以下であることから、6次の補正式を用いれば所要の精度を満たす精度の高い補正を行えることを確認した。



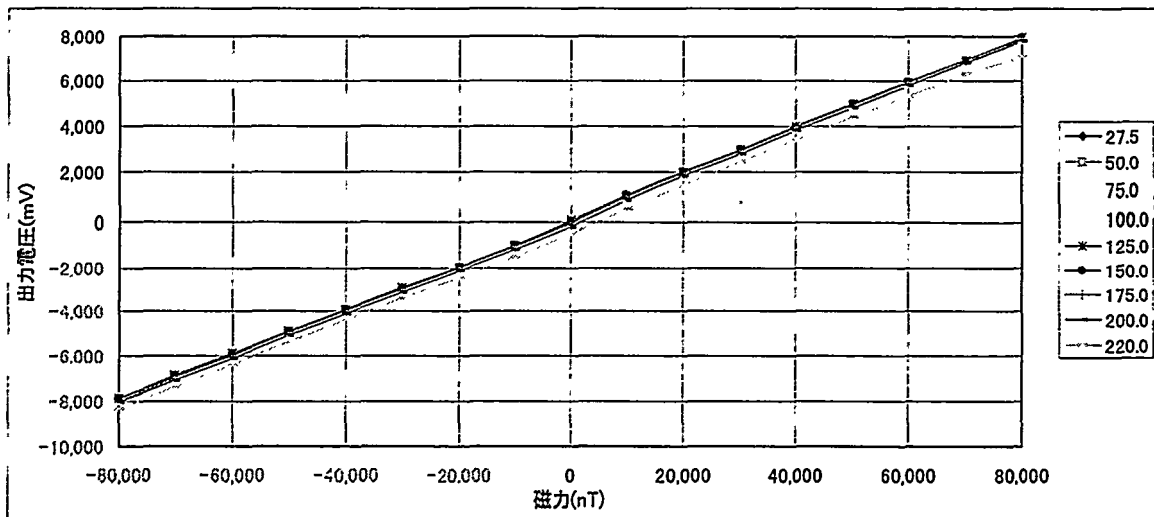
第2.4.1-77図 磁気感度・温度特性試験結果 (X軸)



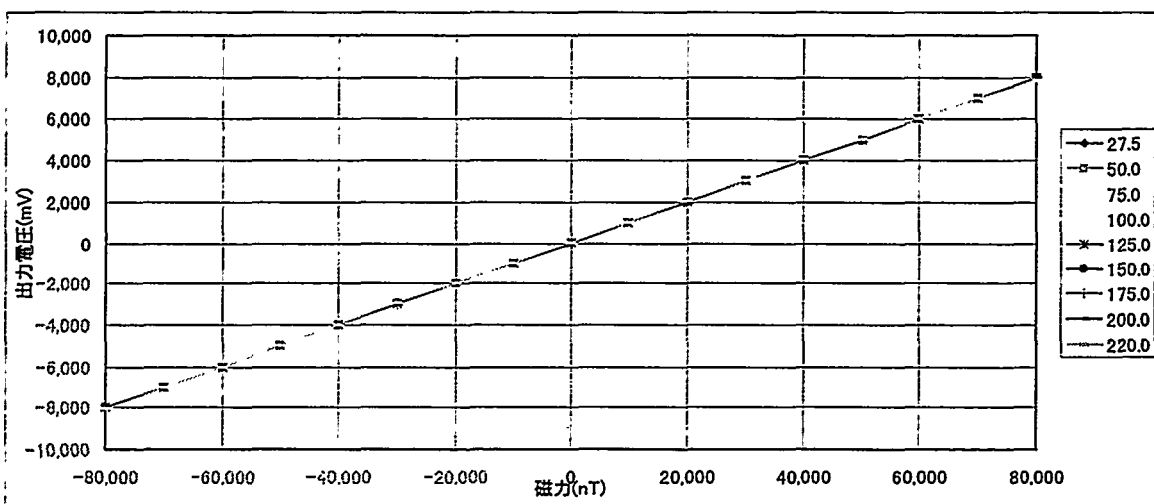
第2.4.1-78図 磁気感度補正結果 (X軸)



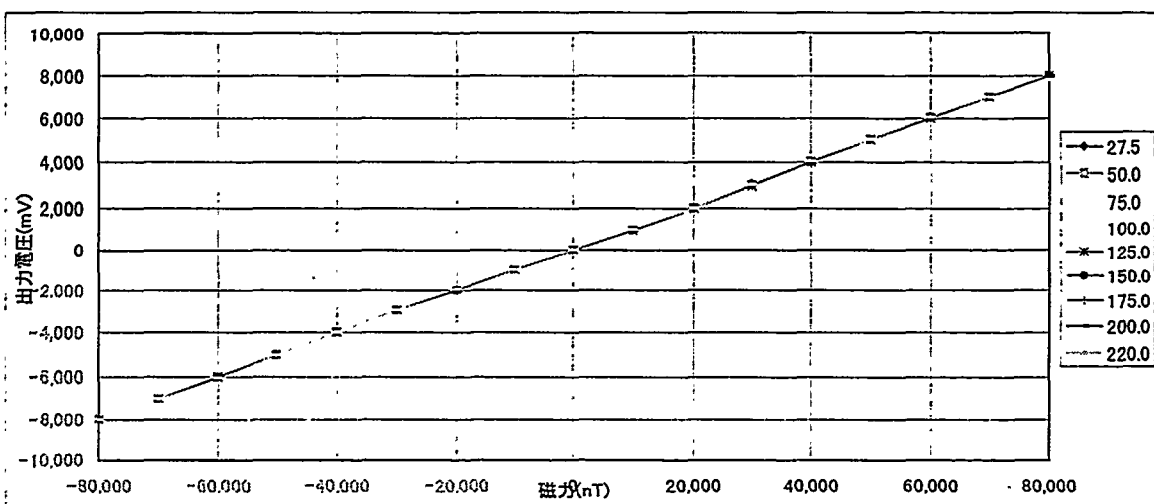
第2.4.1-79図 磁気感度・温度補正結果 (X軸)



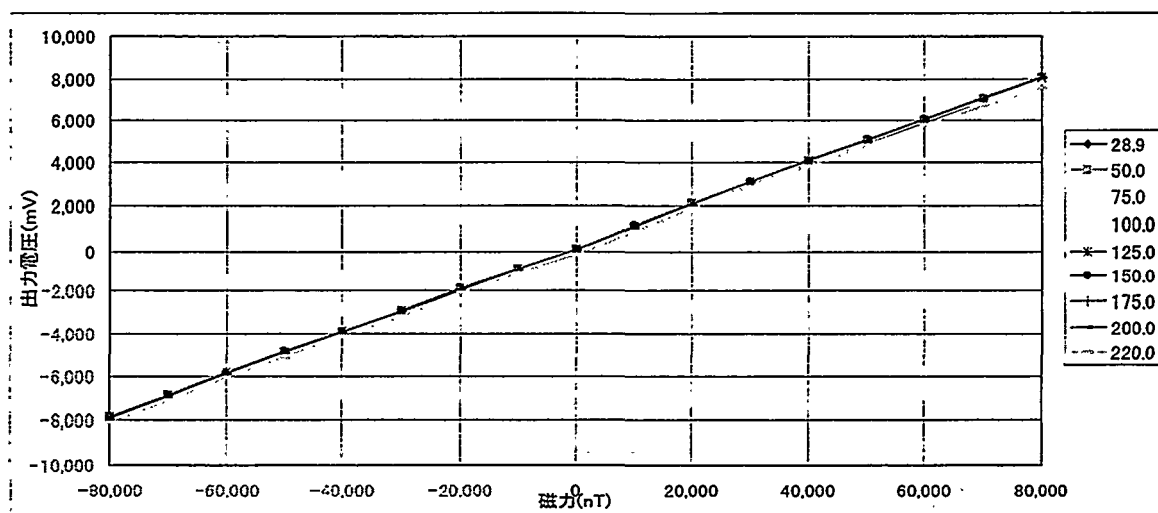
第2.4.1-80図 磁気感度・温度特性試験結果 (Y軸)



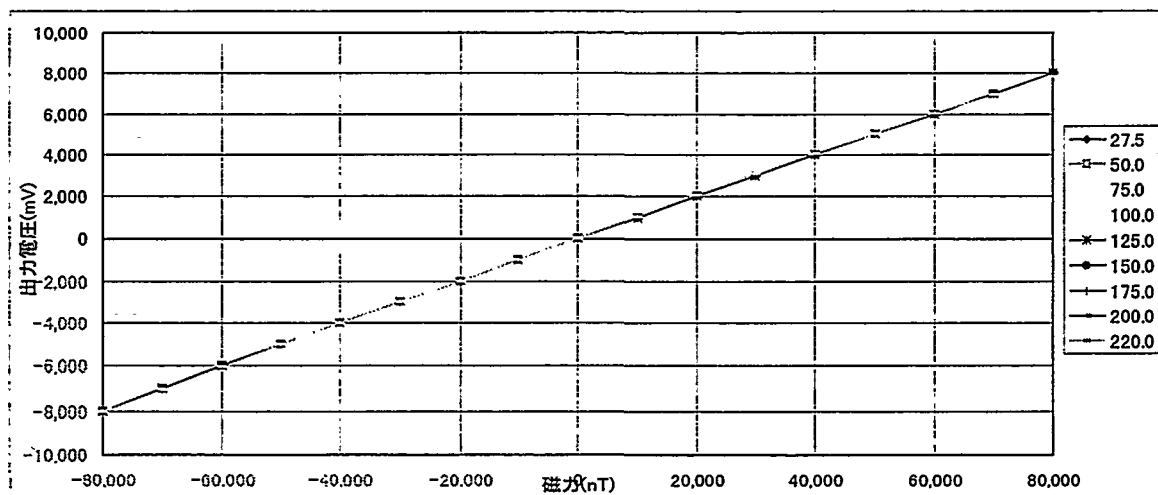
第2.4.1-81図 磁気感度補正結果 (Y軸)



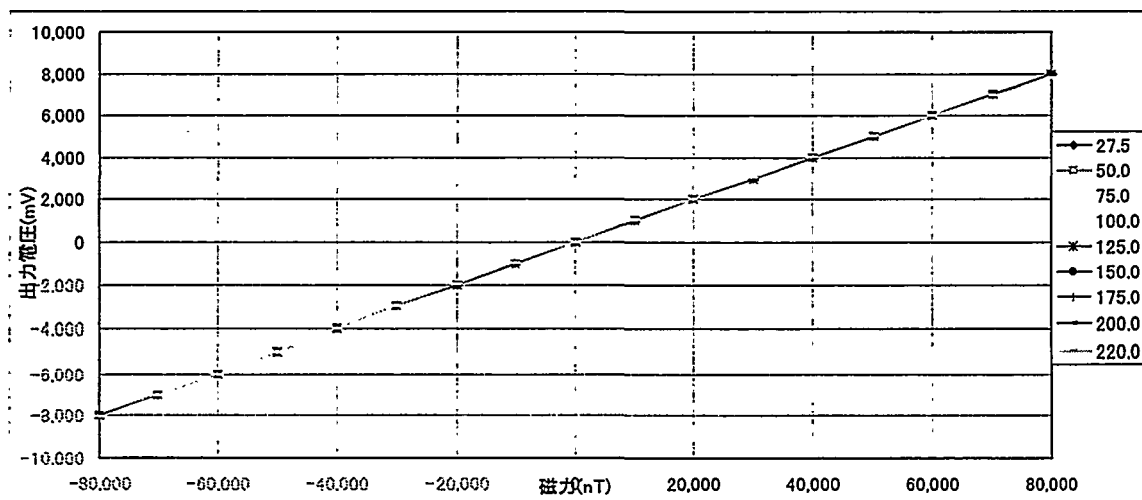
第2.4.1-82図 磁気感度・温度補正結果 (Y軸)



第2.4.1-83図 磁気感度・温度特性試験結果（Z軸）



第2.4.1-84図 磁気感度補正結果（Z軸）



第2.4.1-85図 磁気感度・温度補正結果（Z軸）

二. 高温連続試験

サバイバル温度で方位計が壊れないことを確認した。

①環境温度：220℃（恒温槽内）

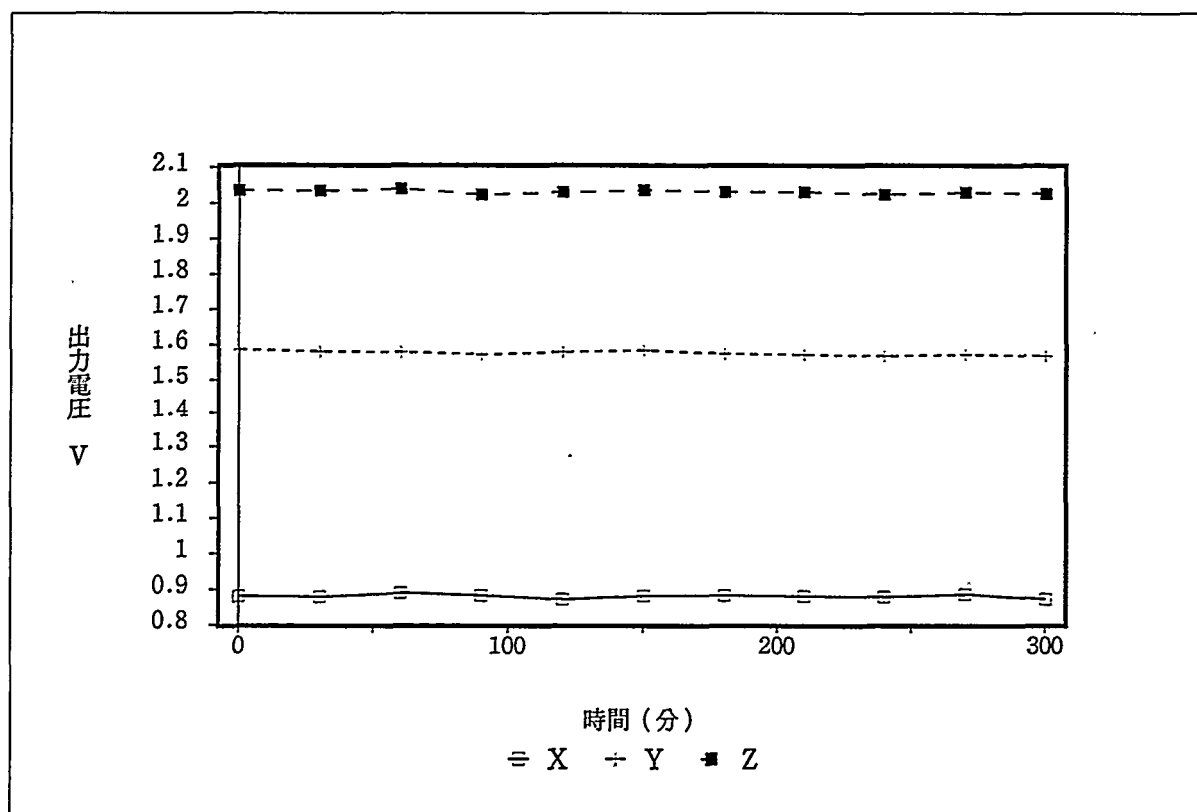
②保存時間：5 時間

③保存温度環境下における出力特性・安定性を確認した。

④自然放熱により温度を下げ、常温で出力に異常がないか確認した。

計測結果をと第2. 4. 1-86図に示す。

5 時間の計測中に恒温層のファン等の外乱による磁束密度変化の影響と思われる $\pm 10\text{mV}$ の変動はあるが、徐々に出力が下降する等のセンサの劣化は見られない。また、次項に述べるサイクル試験で、磁気感度・温度特性に異常が無いことを確認した。



第2. 4. 1-86図 高温連続試験結果

ホ. サイクル試験

昇降温繰り返し試験を行い、特性が一定であることを確認した。

①温度変化：常温～220℃

1 サイクル目は、50、100、150、200、220℃に上昇させ、更に200、150、100、50℃に下降させた。各温度で30分以上保持させた後に磁束密度を変化させて計測した。

2 サイクル目は、50、100、150、200、220℃に上昇させ、自然放熱で下降させた。各温度で5分程度保持した後に上昇させ、高温連続試験として220℃で5時間計測した。

3 サイクル目は、50、75、100、125、150、175、200、220℃に上昇させ、更に200、150、100、50℃に下降させた。各温度で30分以上保持させた後に傾斜重力を変化させて計測し

た。

②サイクル数：3サイクル

3回目の出力電圧値から1回目の出力電圧値を引いた $-80,000\text{nT}$ から $80,000\text{nT}$ までの出力電圧差は $25[\text{mV}]$ 以下である。

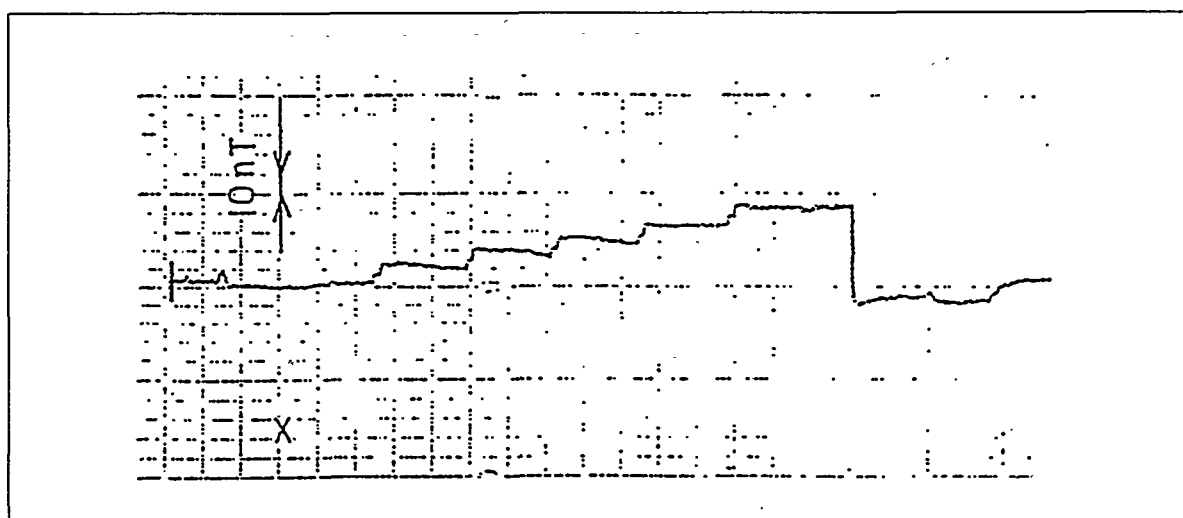
へ．分解能試験

方位センサの分解能を確認し、方位計としての使用の可能性を評価した。

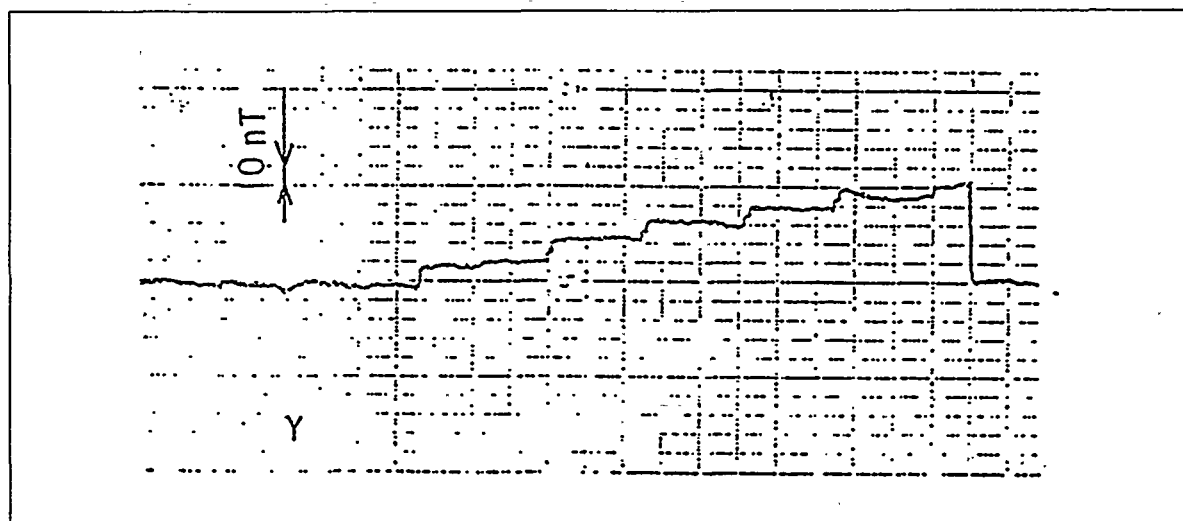
①磁界変化： 10nT ステップ ($0\text{nT}\sim 50\text{nT}$)

②环境温度：常温

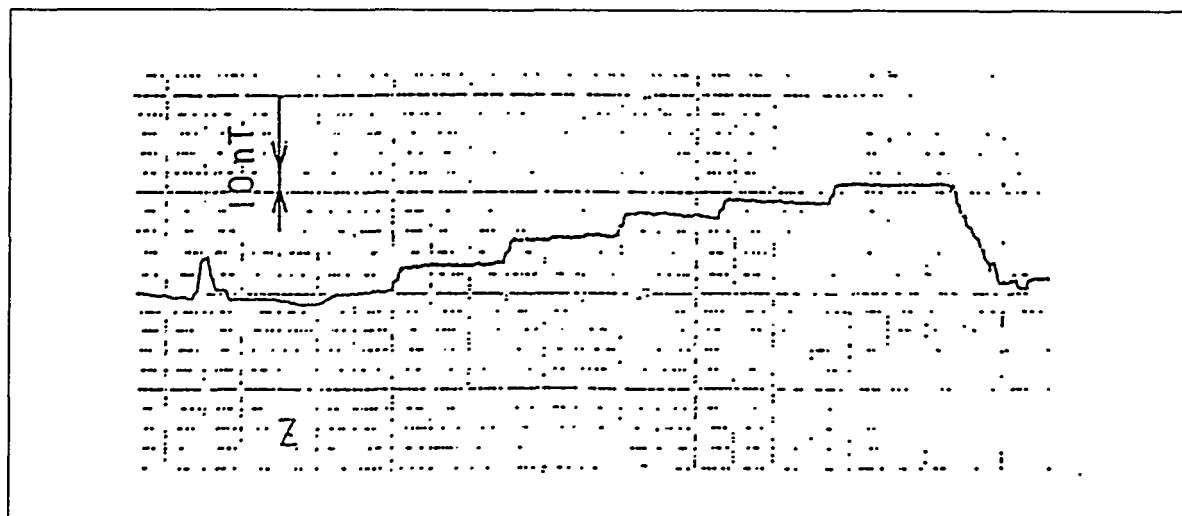
第2.4.1-87図から第2.4.1-89図に示すように、各軸とも 10nT 以下の分解能を有することを確認した。この値は方位計を構成し、方位分解能 0.1° を達するのに十分である。



第2.4.1-87図 分解能試験結果 (X軸)



第2.4.1-88図 分解能試験結果 (Y軸)



第2.4.1-89図 分解能試験結果（Z軸）

ト．振動試験

①目的

供試体の機械的欠陥及び耐振性能を判定するため、更に供試体の構造的堅牢性の判定のために行った。

②振動特性試験

掃引試験により供試体の固有振動周波数を調べ、試験周波数帯域で振動加速度の顕著なピークが確認された場合は、モールドを行う等によって共振点を5～500Hzから避ける措置を講じ、振動特性試験を再度行う。

- ・加振波形：正弦波

- ・周波数帯域：5～500Hz

（原則として振動周波数を連続して指数関数的に上昇させる。）

- ・振幅（入力波）：加速度振幅1G一定

- ・加振方法：1軸方向に対し15分のスイープ1回

- ・加振方向：各々直交する三軸方向

- ・試験時間：1軸方向に対して、供試体の固有振動数を見逃さない程度の15分とする。

（1オクターブ／分の掃引速度として試験時間を計算すると13.3分）

- ・振動計測点：

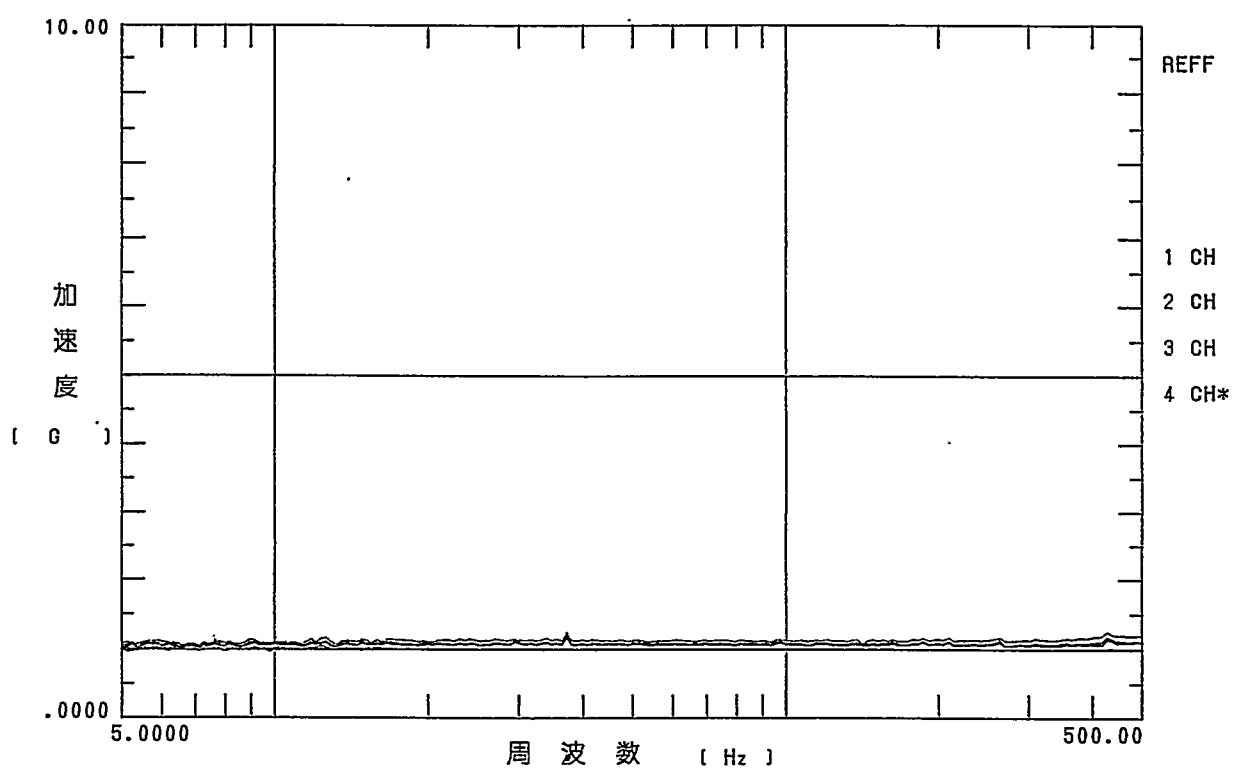
供試体に直接取り付けられた加速度ピックアップからの出力により、供試体の応答倍率を計測する。加速度ピックアップの配置は、中間点1点、その他2点の3点に取り付けることを標準とする。また、共振周波数が存在すると思われる部分は別に計測を行う。

振動試験機の制御は、振動台に取り付けた1個の加速度ピックアップからの出力をフィードバックして行う。

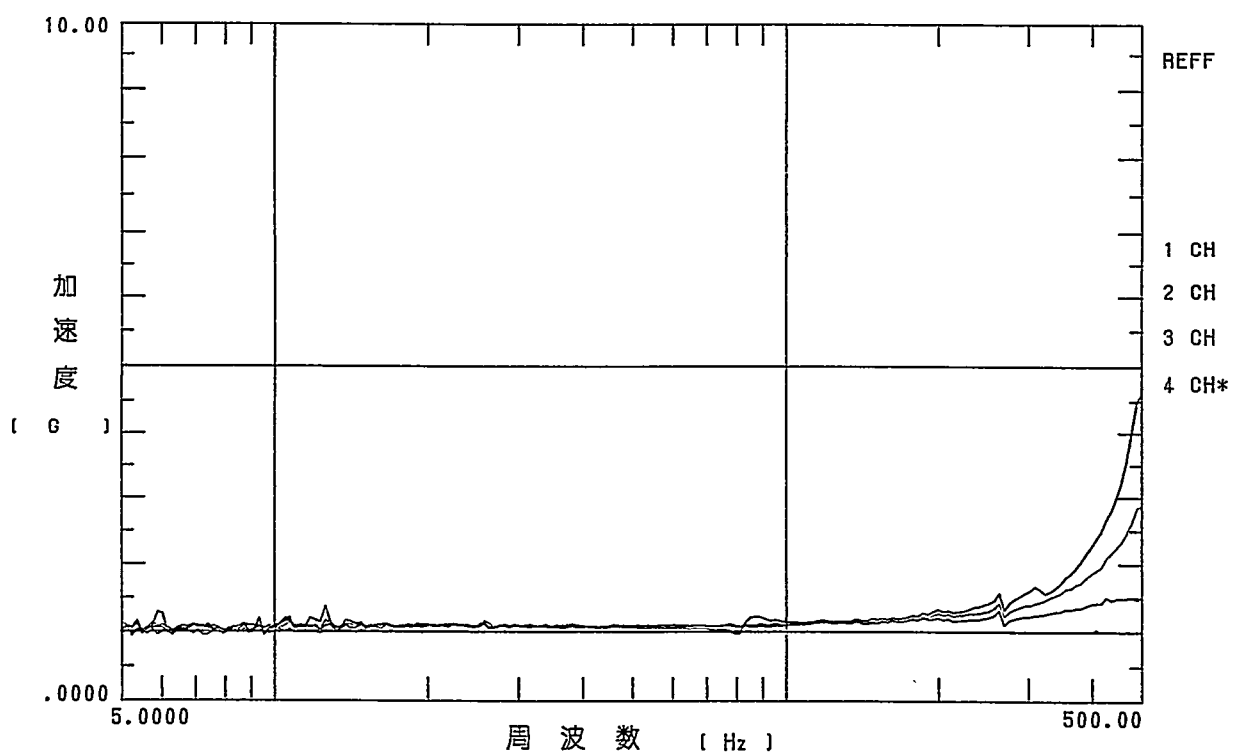
- ・試験結果：

駆動基板単体の試験結果を第2.4.1-90図～第2.4.1-92図に示す。また、増幅基板単体の試験結果を第2.4.1-93図～第2.4.1-94図に示す。

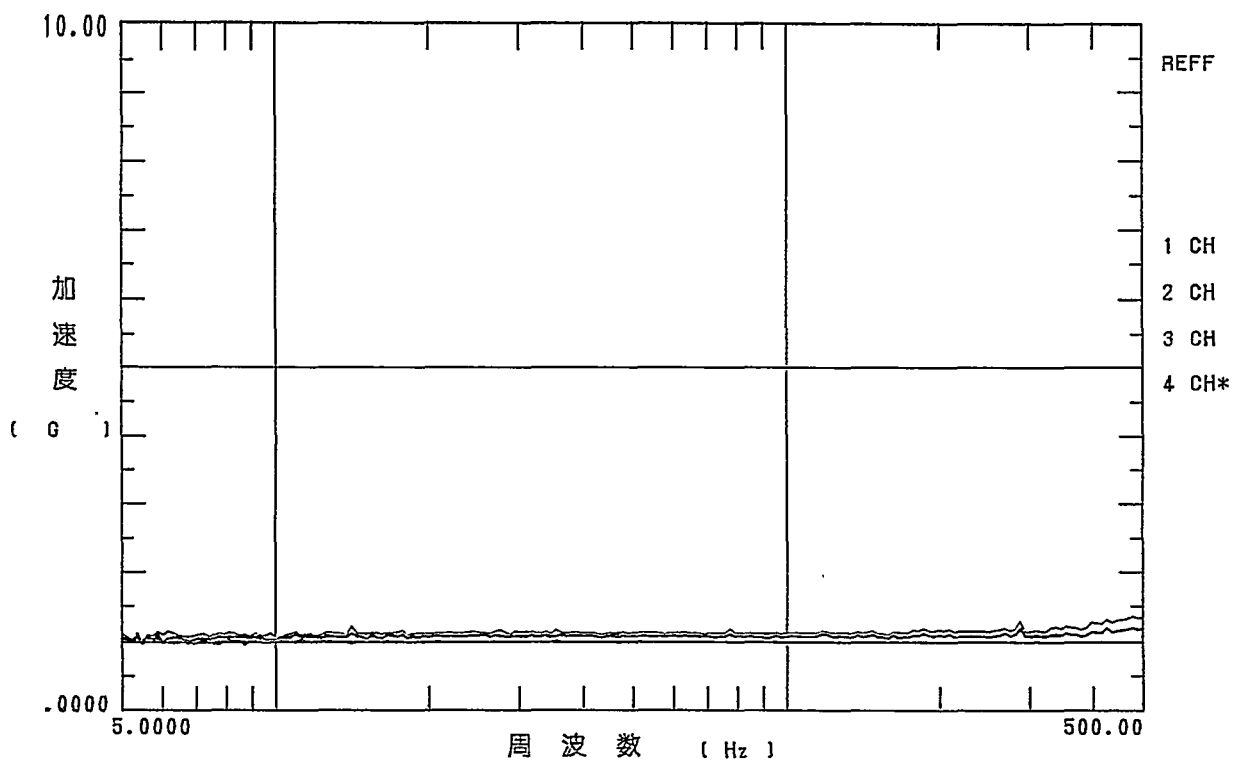
共振周波数が5～500Hzには存在しないことを確認した。また、Y軸方向の加振で500Hzにおける加速度が大きくなっているが、応答倍率が5倍以下であり、基板単体では振動に対して問題が無いことを確認した。



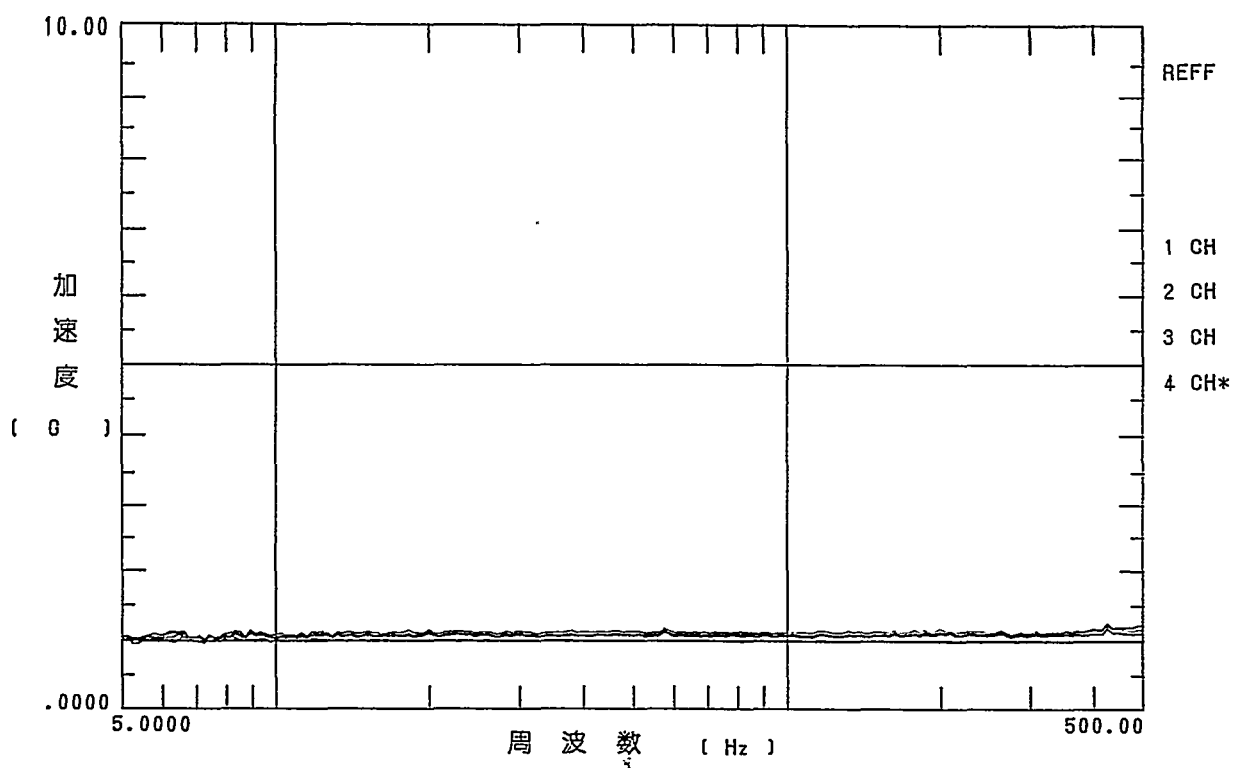
第2.4.1-90図 駆動基板振動特性試験結果 (X軸)



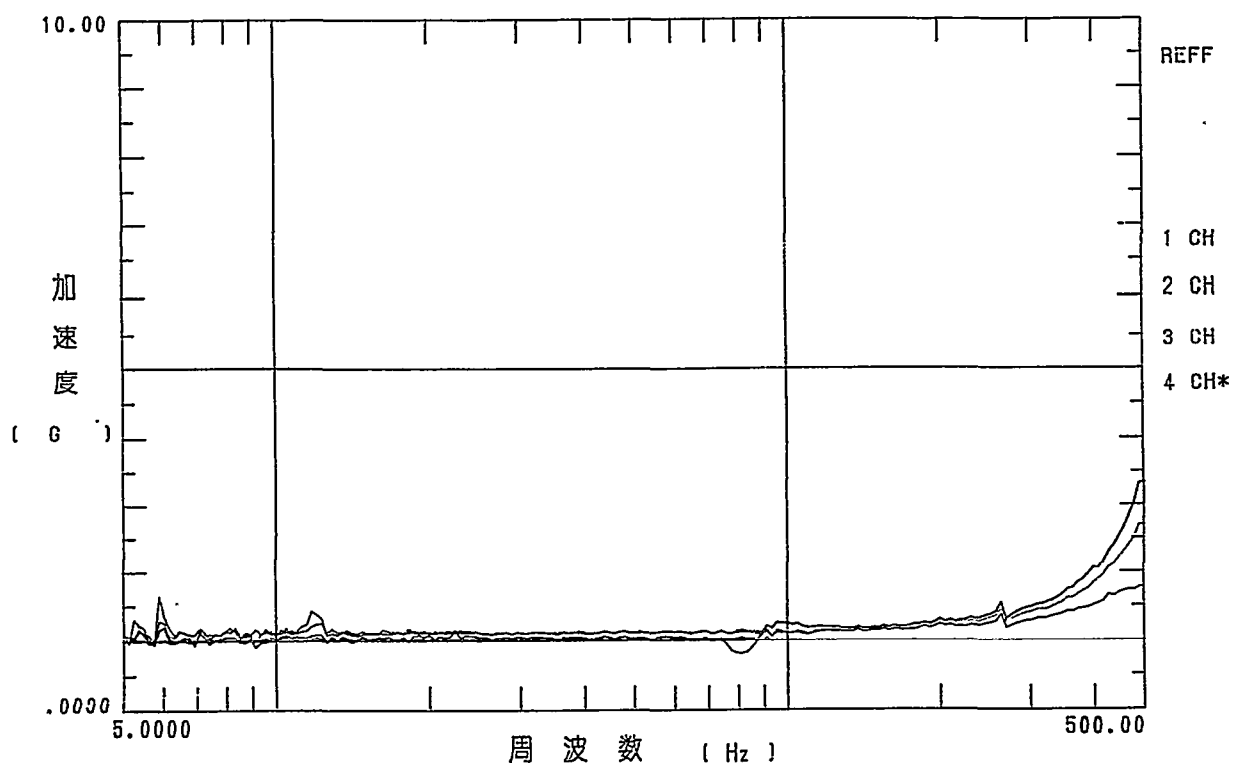
第2.4.1-91図 駆動基板振動特性試験結果 (Y軸)



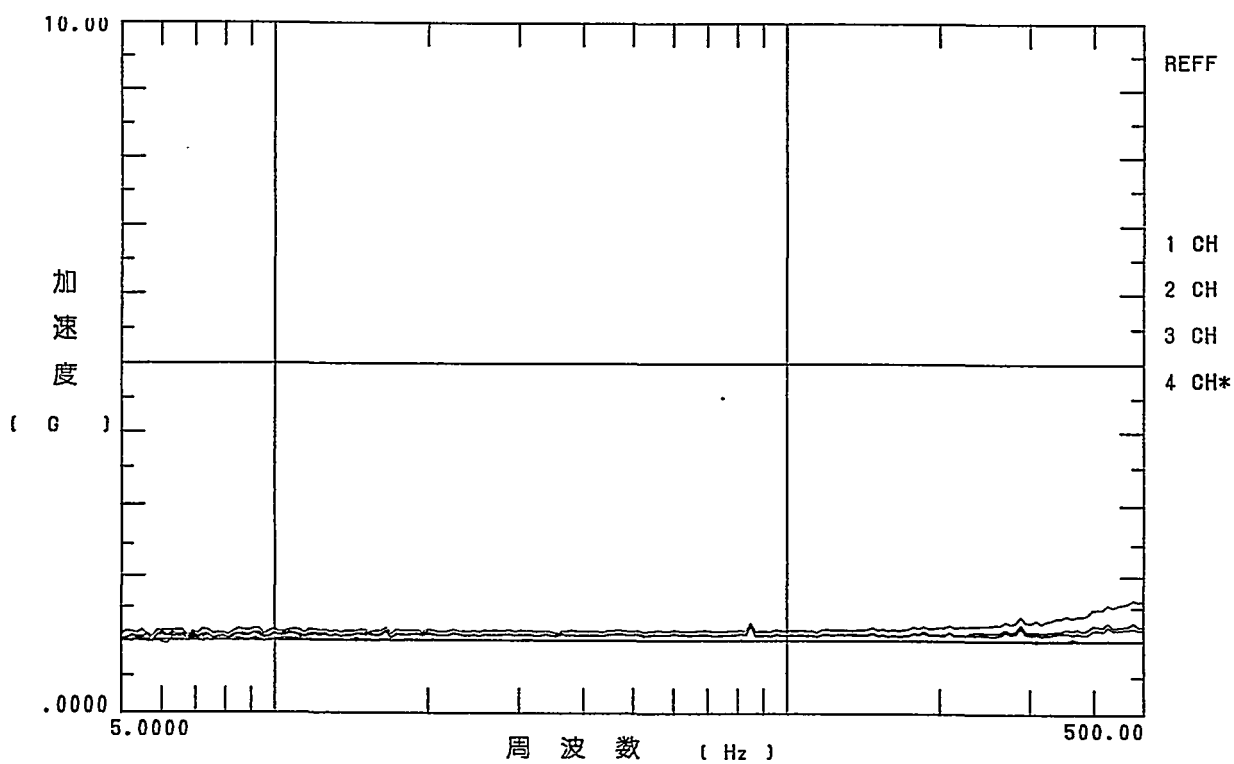
第2.4.1-92図 駆動基板振動特性試験結果 (Z軸)



第2.4.1-93図 増幅基板振動特性試験結果 (X軸)



第2.4.1-94図 増幅基板振動特性試験結果 (Y軸)



第2.4.1-95図 増幅基板振動特性試験結果 (Z軸)

f. まとめ

イ. 耐久性の向上のため、プリント基板はテフロン材を使用し、パターン保護のため、基板表面をレジスト処理し、多少の水分の付着でも劣化しないようにした。

ロ. 入力電圧を規定入力電圧から $\pm 0.1\text{V}$ 変動させたときの出力変動を計測し、最大出力電圧差が 12mV 以下（許容出力誤差 18mV ）であることから所要の精度を満足できることを確認した。

ハ. 磁束密度及び温度を変化させて消費電流値を計測し、 15V 系最大消費電流は 63mA 以下、 -15V 系最大消費電流は 58mA 以下であることを確認した。

ニ. 磁束密度及び温度を変化させて出力電圧を計測し、補正式を求めた。その結果、補正誤差が 15mV 以下（許容出力誤差 18mV ）以下であることから精度の高い補正式であることを確認した。

ホ. 220°C で5時間保存し、異常がないことを確認した。

ヘ. 常温から 220°C までの温度サイクル試験を行い、最大で 25mV 以下の電圧変動であることを確認した。

ト. センサの分解能を確認するために 10nT ステップで $0 \sim 50\text{nT}$ まで出力電圧を計測し、 10nT の分解能があることを確認した。

チ. 振動特性試験を行い回路部単体では共振周波数は規定の周波数帯域に存在しないことを確認した。

リ. これらの結果から、本方位計は所要の仕様を満たしており、実機相当機に使用することができる。

(1. 4. 2) 傾斜計

傾斜センサとして平成7年度まで渦電流方式を検討してきたが、ダイオードのリーク電流に起因した温度ドリフトが非常に大きく、対策が困難であるとの結論に達した。そのため以前より検討していたサーボ型加速度計を用いた傾斜センサが、高温でも使用可能との見通しを得たので、本年度より実機相当品として採用した。

ここでは、耐振動・耐衝撃性能を考えた設計を行い、仕様性能を満足できるかどうかの確認を行った。

また、精度向上のために、温度ドリフト、ゼロ点シフト、三軸でのばらつき等を補正するための計測を行い補正式を求めた。

a. 製作の要点

本年度は主に振動・衝撃対策を行った。以下に要点を述べる。

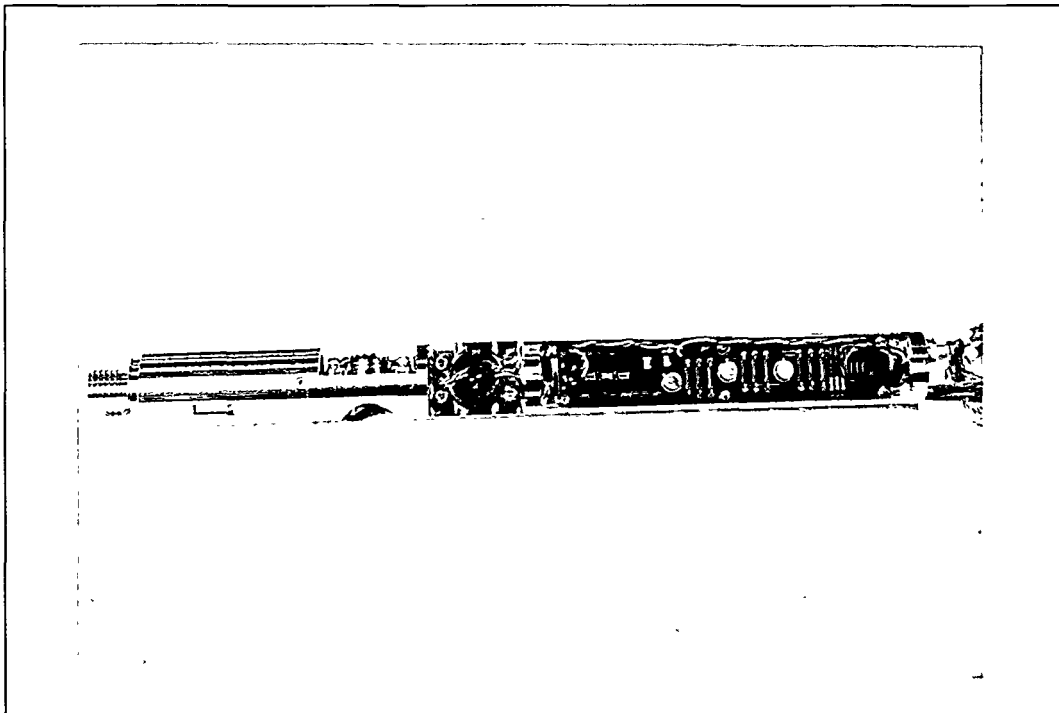
イ. プリント基板は260℃、60分でふくれのないテフロン基板を使用し、基板表面の多少の水分、油分でも基板が劣化しないように表面にレジストをかけることにより防潤対策とした。

ロ. 温度ドリフトはセンサによる個体差があるため、各軸毎に補正データを収集した。

ハ. 温度補正データは常温と50℃から200℃まで25℃ピッチで計測し、これを基に補正式を求めた。

b. 構成

第2.4.1-96図に三軸傾斜計外観図を示す。



第2.4.1-96図 傾斜計外観図

c. 性能試験

本傾斜計の性能を確認するため以下の試験を行った。

イ. 電圧変動試験

電源安定化回路の出力最大変動値が0.1Vであるため、規定電圧15Vから±0.1Vの電圧変動に対する出力の影響を調べた。

①電源電圧と傾斜重力、温度を変化させたときの出力電圧を計測した。

②計測時の電源電圧は+14.9V、+15V、+15.1Vとした。

③計測時の傾斜重力は0G、±1Gとした。

④計測時の温度は、50℃、100℃、150℃、200℃、220℃とした。

50℃、100℃、150℃、200℃、220℃の試験結果から、±0.1Vの電源電圧変動で、全ての温度で最大でも出力電圧変動は3.2mV以下（許容出力誤差5.4mV以下）であることから、精度内の変動であることを確認した。

ロ. 消費電流試験

バッテリの寿命推定のために、使用環境による消費電流値の変化を調べた。

①電源電圧と傾斜重力、温度を変化させたときの消費電流値を計測した。

②計測時の電源電圧は+14.9V、+15V、+15.1Vとした。

③計測時の傾斜重力は0G、±1Gとした。

④計測時の温度は、常温、50℃、100℃、150℃、200℃、220℃とした。

200℃までの+15V系最大消費電流は39.35mA、-15V系最大消費電流は23.70mA以下であり、+15V系は40mA、-15V系は24mAを消費電流値としてバッテリ寿命計算の傾斜計分データとした。

ハ. 温度特性試験

精度の高い補正を行うため、傾斜重力と温度を変化させて計測し、そのデータから補正式を求めた。

①傾斜重力及び温度をそれぞれ細かいピッチで変化させたときの出力電圧を計測した。

②計測時の温度は、昇温50℃、75℃、100℃、125℃、150℃、175℃、200℃、220℃、降温200℃、150℃、100℃、50℃とした。

③重力感度は、-1G～1Gの間を0.25Gごとに計測した。

本傾斜計は、重力加速度感度に直線性があり、その感度に温度依存性があるため、方位計と同様に重力加速度と温度の補正を行った。

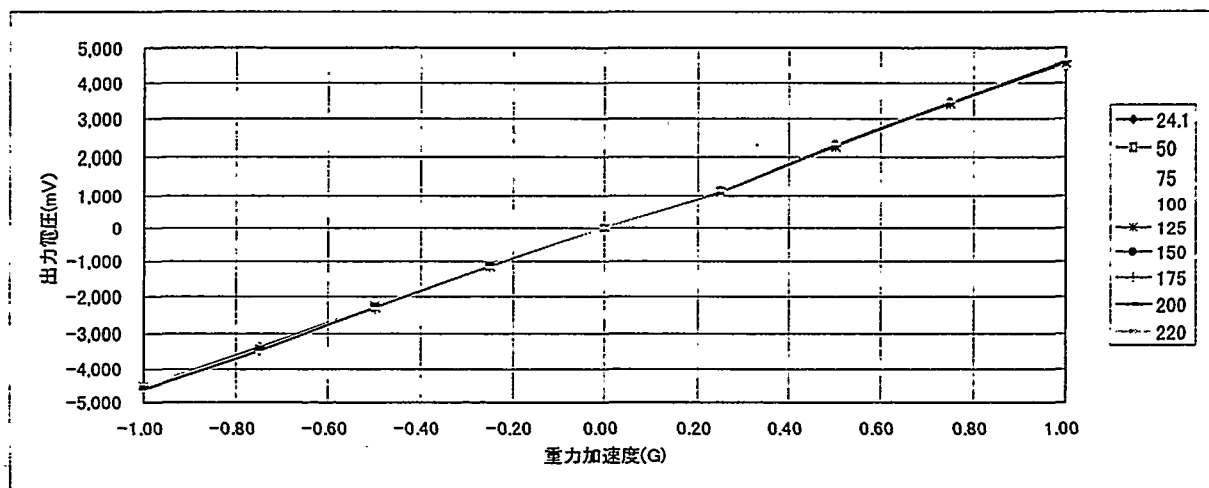
X軸、Y軸及びZ軸の試験結果を、第2.4.1-97図、第2.4.1-100図及び第2.4.1-103図に示す。

また、このデータを温度毎に重力加速度感度を補正した結果を、第2.4.1-98図、第2.4.1-101図及び第2.4.1-104図に示す。補正によって調整する重力加速度感度4.5V/1Gとの誤差をそれぞれ第2.4.1-99図、第2.4.1-102図及び第2.4.1-105図に示す。

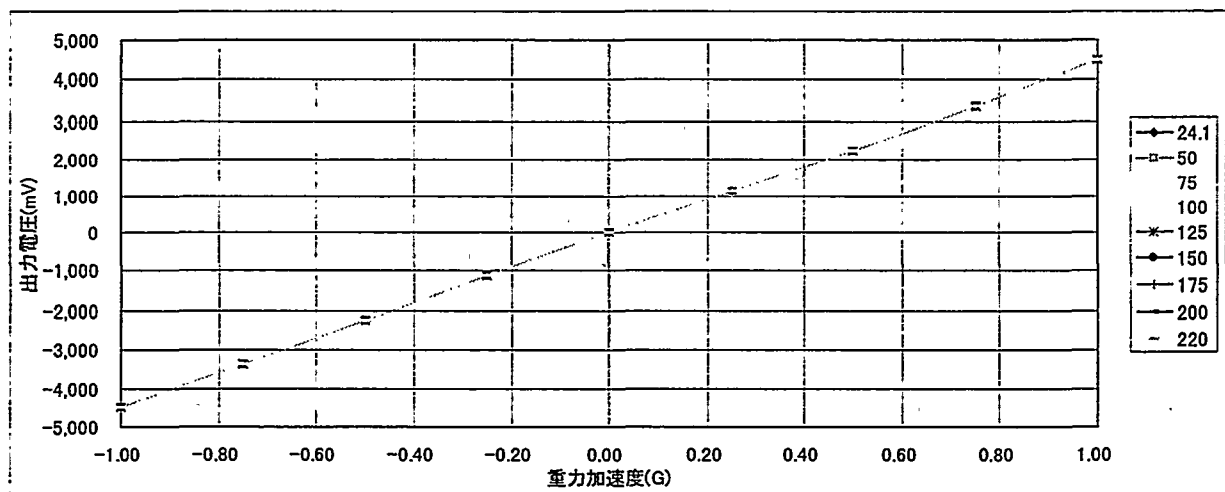
1次の補正式で200℃までの補正誤差が3mV以下であり、本傾斜センサの精度内出力誤差5.4mV以内であることから重力加速度感度の直線性があることを確認した。

次に、この重力加速度感度の1次補正係数とオフセットに対して温度補正値を求めた。

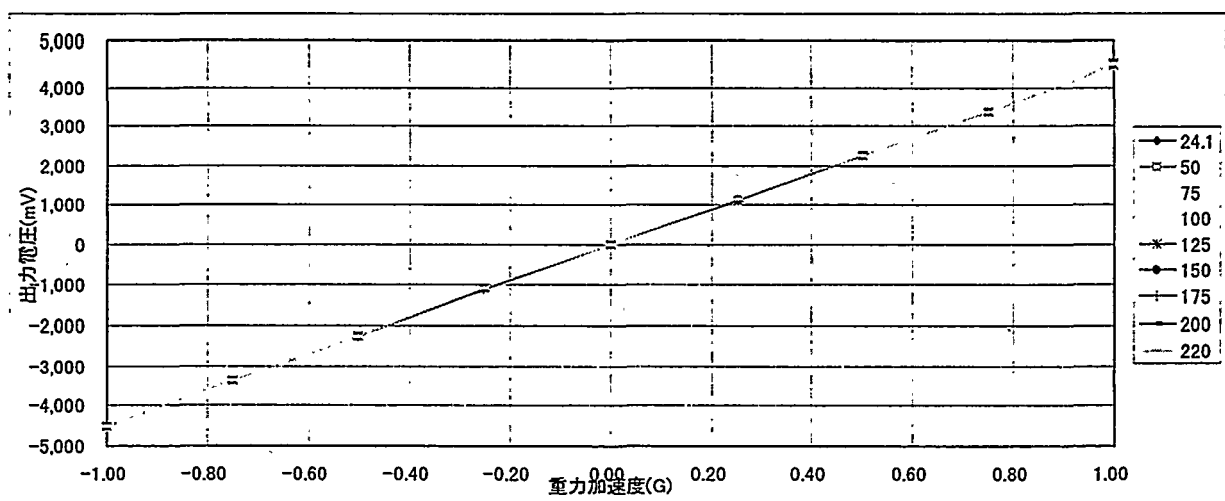
200℃までの補正誤差が5mV以下であり、本傾斜センサの精度内出力誤差5.4mV以内であることを、2次の補正値まで用いれば精度内の補正を行えることを確認した。



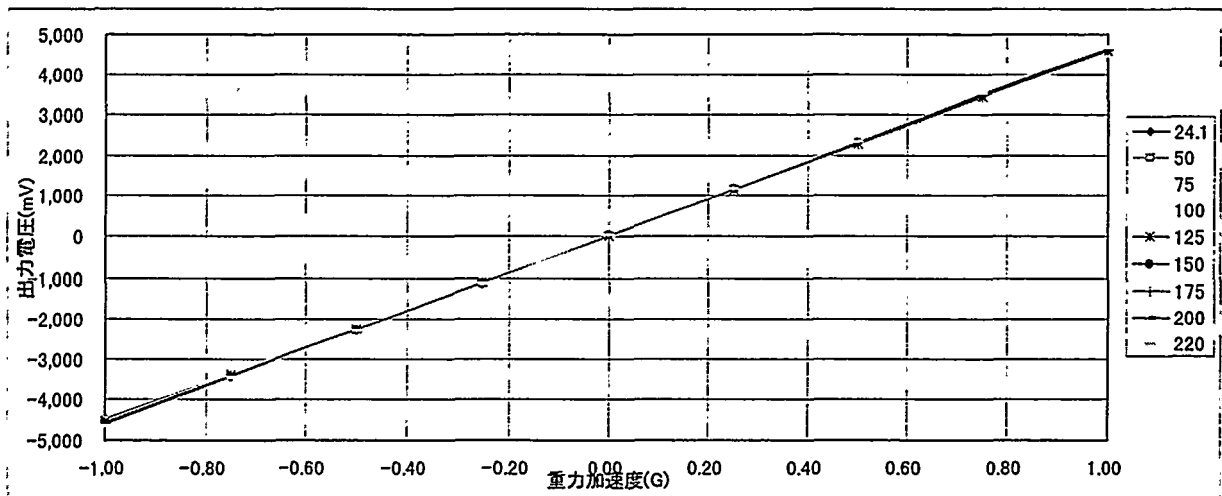
第2.4.1-97図 重力加速度・温度特性試験結果 (X軸)



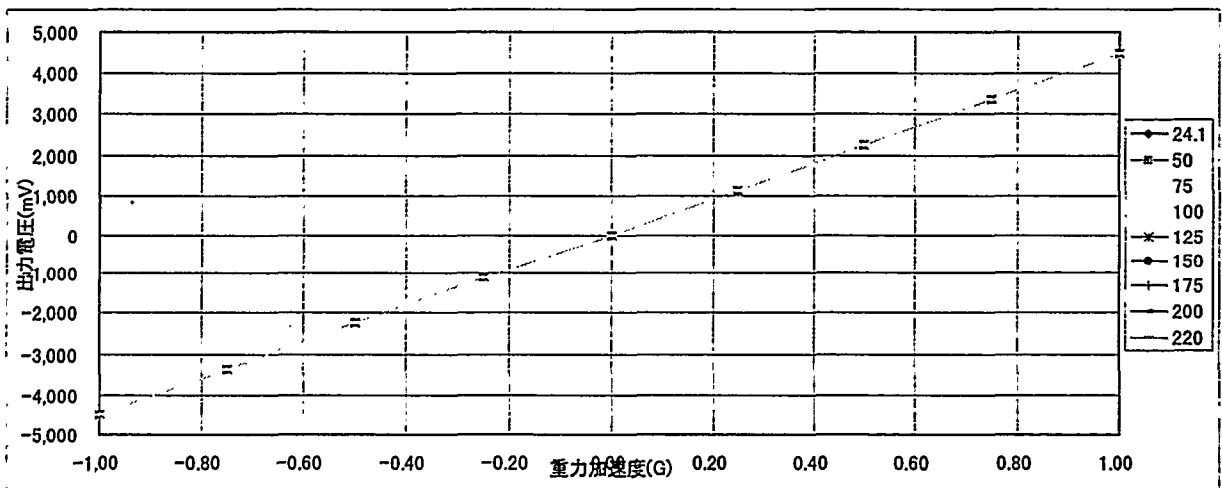
第2.4.1-98図 重力加速度補正結果 (X軸)



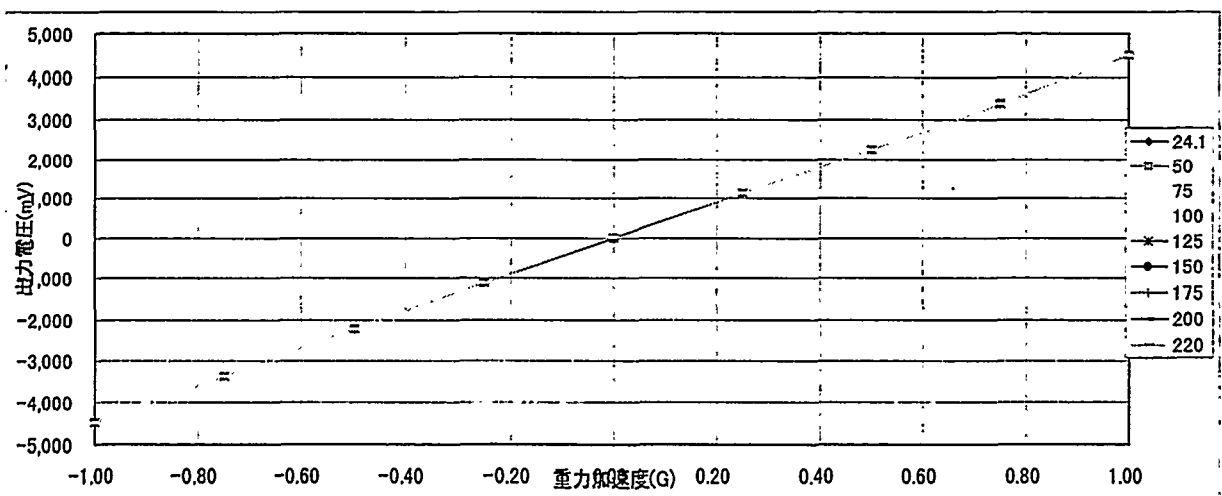
第2.4.1-99図 重力加速度・温度補正結果 (X軸)



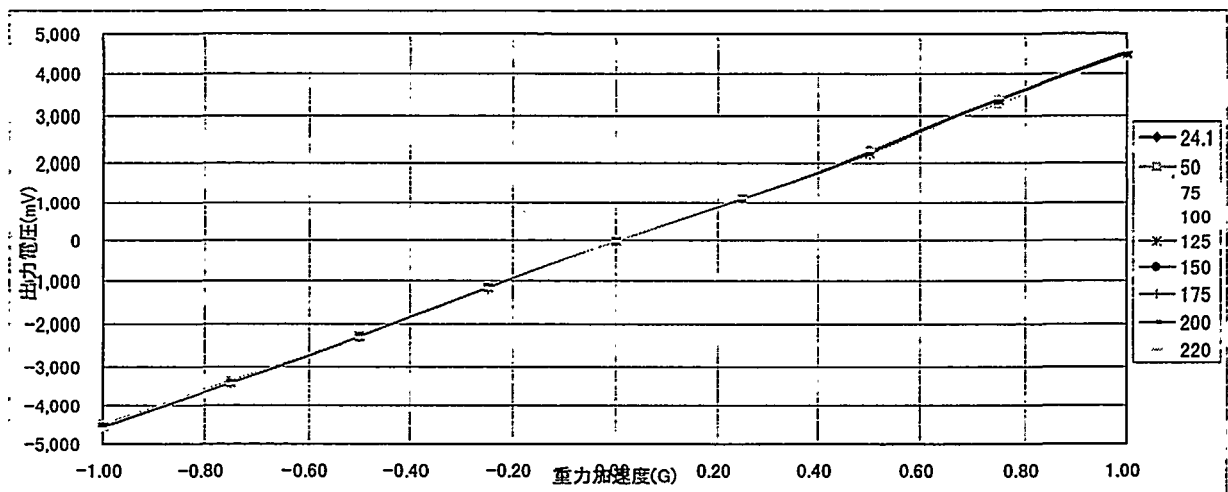
第2.4.1-100図 重力加速度・温度特性試験結果 (Y軸)



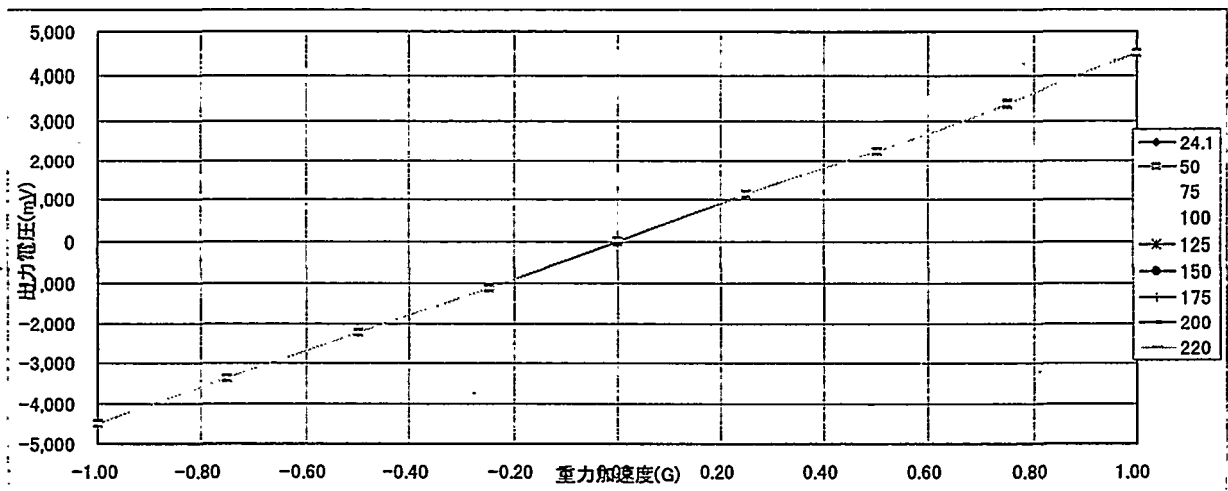
第2.4.1-101図 重力加速度補正結果 (Y軸)



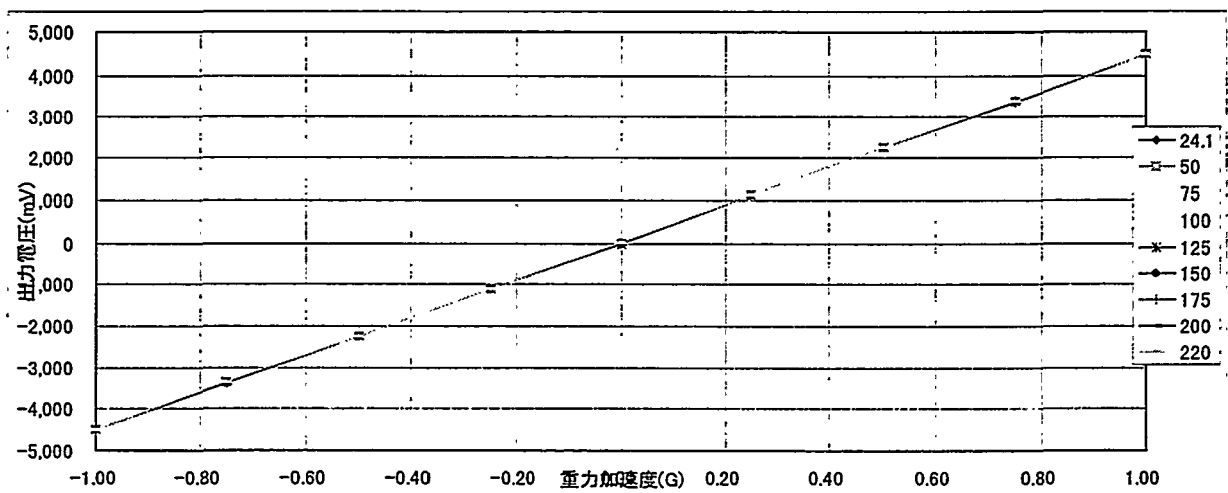
第2.4.1-102図 重力加速度・温度補正結果 (Y軸)



第2.4.1-103図 重力加速度・温度特性試験結果（Z軸）



第2.4.1-104図 重力加速度補正結果（Z軸）



第2.4.1-105図 重力加速度・温度補正結果（Z軸）

二. 高温連続試験

サバイバル温度で傾斜計が壊れないことを確認した。

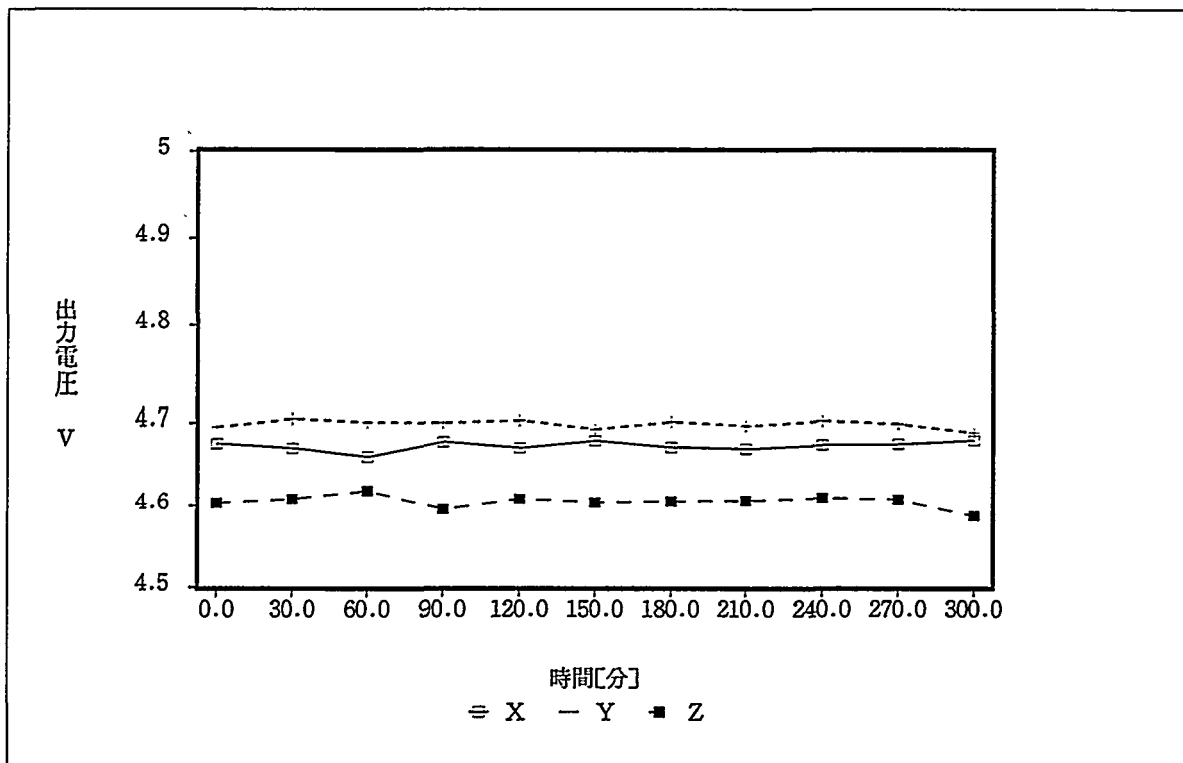
①環境温度：220℃（恒温槽内）

②保存温度：5 時間

③保存温度環境下における出力特性・安定性を確認した。

④自然放熱により温度を下げ、出力に異常がないか確認した。

第2.4.1-106図に試験結果を示す。出力下降する等のセンサの劣化は無い。また、次項に述べるサイクル試験で、特性に異常が無いことを確認した。



第2.4.1-106図 高温連続試験結果

ホ. サイクル試験

昇降温繰り返し試験を行い、特性が一定であることを確認した。

①温度変化：常温～220℃（恒温槽内）

1 サイクル目は、50℃、100℃、150℃、200℃、220℃に上昇させ、更に200℃、150℃、100℃、50℃に下降させた。各温度で30分以上保持させた後に傾斜重力を変化させて計測した。

2 サイクル目は、50℃、100℃、150℃、200℃、220℃に上昇させ、自然放熱で下降させた。昇温時は急激な温度上昇を避けるために各温度で5分程度保持した後に上昇させ、高温連続試験として220℃で5時間計測した。

3 サイクル目は、50℃、75℃、100℃、125℃、150℃、175℃、200℃、220℃に上昇させ、更に200℃、150℃、100℃、50℃に下降させた。各温度で30分以上保持させた後に傾斜重力を変化させて計測した。

②サイクル数：3サイクル

3回目の出力電圧値から1回目の出力電圧値を引いた差は、最大でも12mV以下の電圧差であることを確認した。

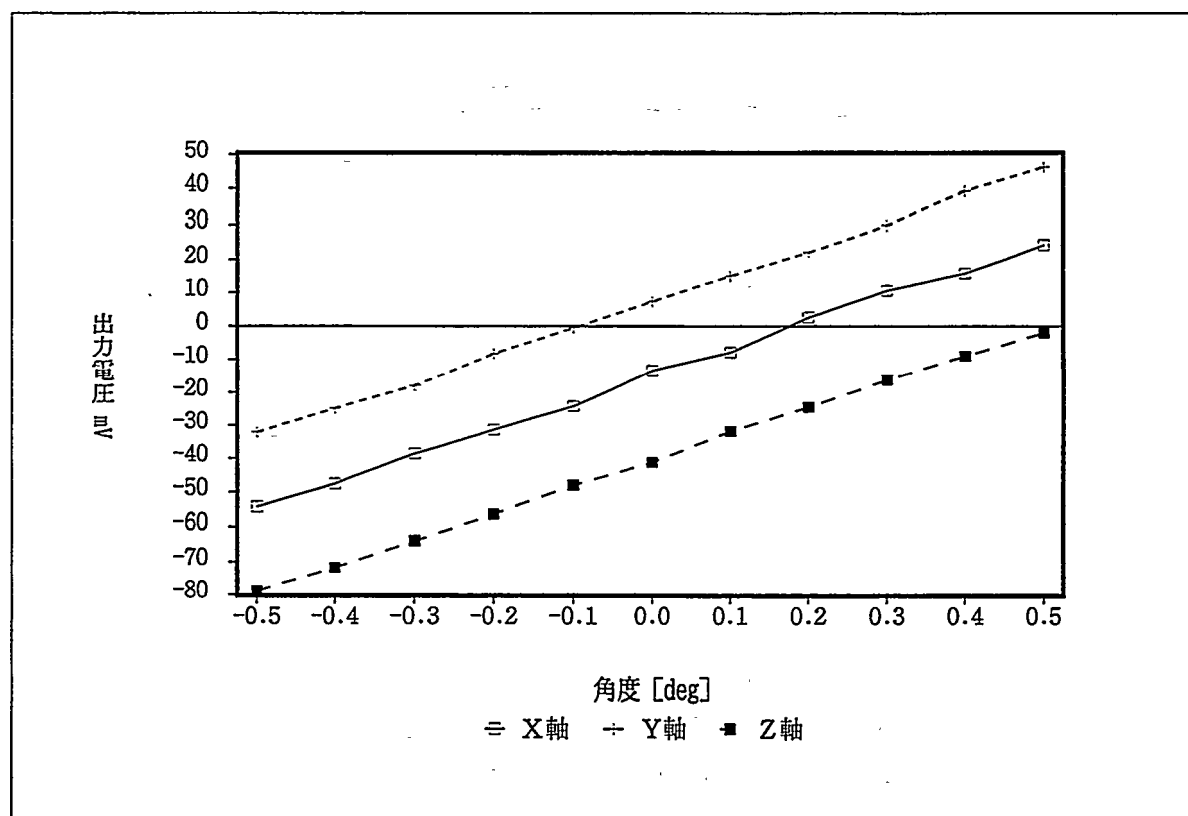
へ．分解能試験

センサの開発仕様である傾斜角 0.1° の分解能を確認した。

①角度変化：センサの感度軸を水平に設定した状態を 0° とし、 0.1° ステップで $\pm 0.5^\circ$ まで計測した。

②環境温度：常温

第2.4.1-107図に試験結果を示す。センサの感度軸を水平方向にしたとき、 0.1° の角度変化で約8mVの電圧差があり、フルスケール4,500mVの場合の理論値と同等である。よって、角度変化に対して出力変化が小さくなる水平方向から 80° の方向にセンサの感度軸を設定した場合では 0.1° の角度変化で約1mVの電圧差が得られる。この値は、計測の限界値と考えられるが、3軸のうち1軸が水平方向から $80^\circ \sim 90^\circ$ 付近に感度軸があっても、他の直交する軸が逆に 0.1° の角度変化に対する出力電圧差が大きくなるため、方位計として 0.1° の分解能を確保することができる。



第2.4.1-107図 分解能試験結果

ト. 振動試験

振動特性を確認するため方位計の振動試験と同様に試験を行った。

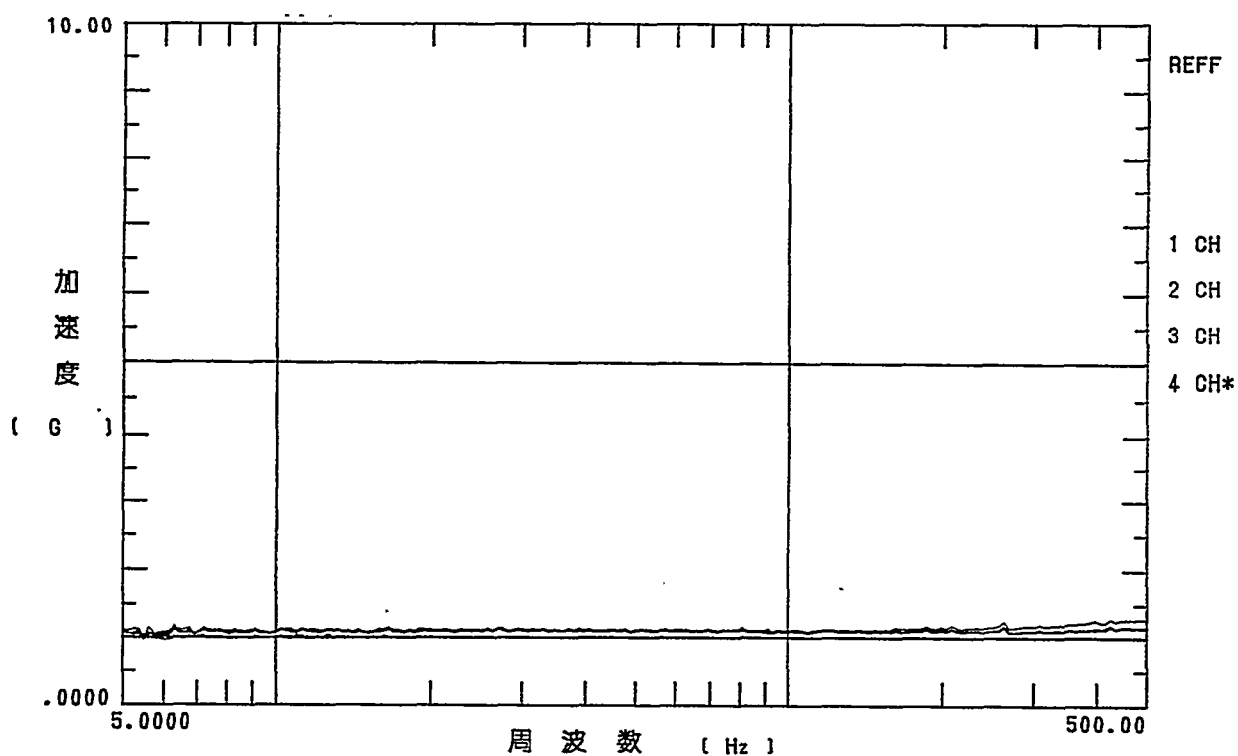
①特性試験

回路部単体の振動試験を行い、規定の振動周波数帯域に卓越周波数がないことを確認した。

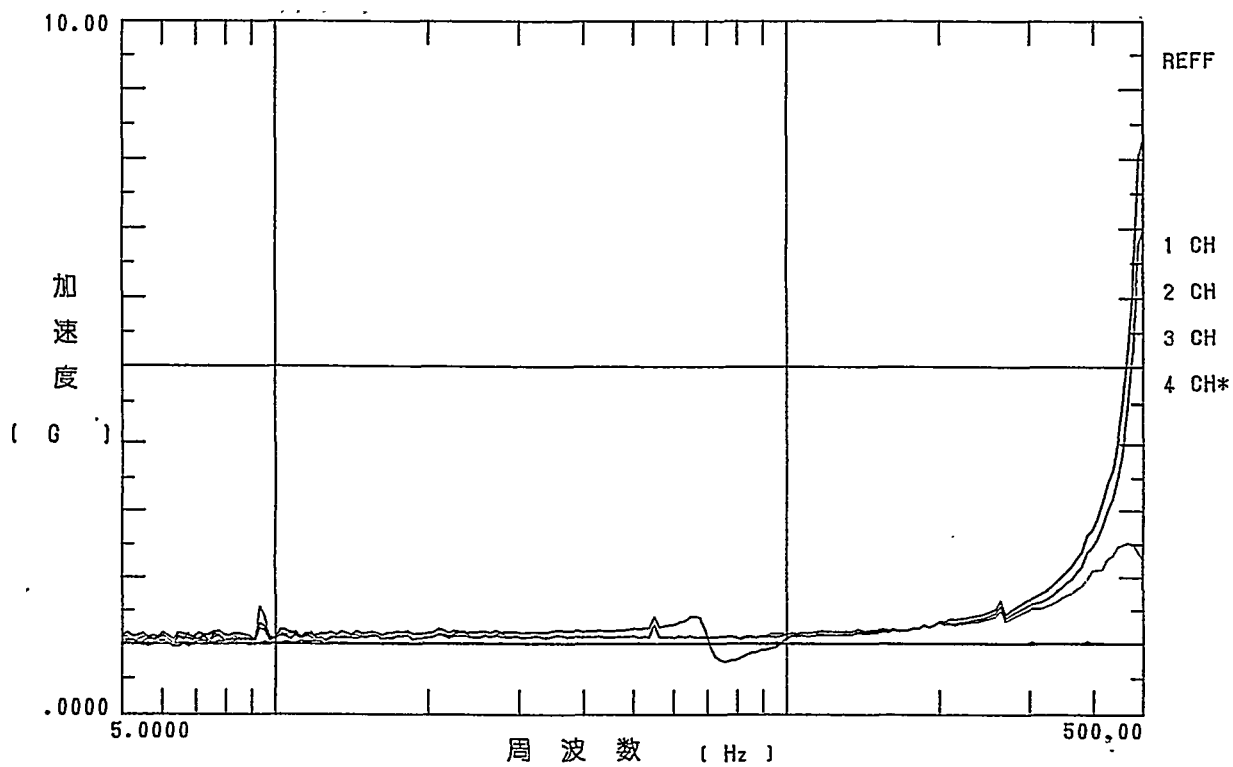
- ・加振波形：正弦波
- ・最大加速度：1 G
- ・周波数帯域：5 ～ 500Hz
- ・加振方法：1 軸方向に対し15分のスイープ1 回
- ・加振方向：各々直交する3 軸方向

第2. 4. 1-108図から第2. 4. 1-110図に試験結果を示す。

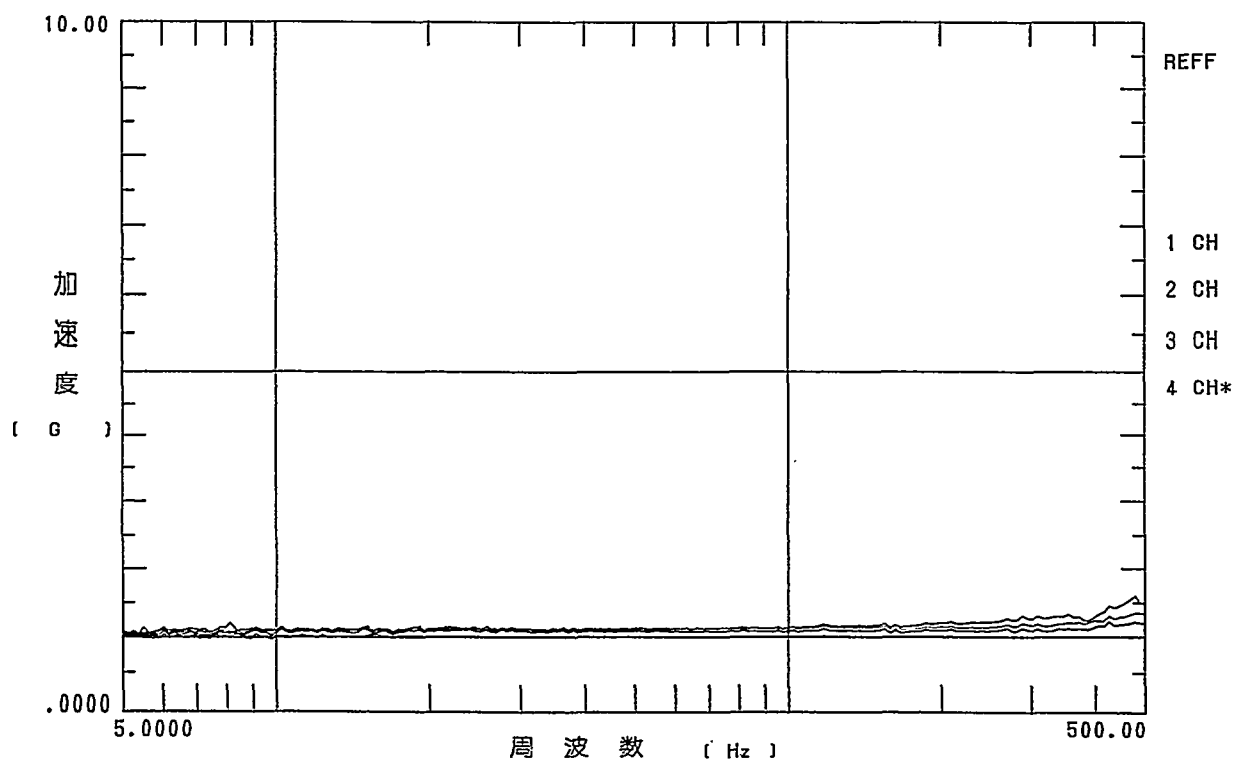
共振周波数は5 ～ 500Hzには存在しないことを確認した。また、最大の応答倍率は、Y 方向の振動に対して500Hzで8 倍程度であり、振動に対して回路部単体では問題が無いことを確認した。



第2. 4. 1-108図 振動特性試験結果 (X方向)



第2.4.1-109図 振動特性試験結果 (Y方向)



第2.4.1-110図 振動特性試験結果 (Z方向)

d. まとめ

イ. 傾斜センサとして平成7年度まで検討してきたギャップセンサ方式の温度ドリフト対策が困難であるとの結論に達し、以前より検討してきた加速度センサ方式が高温でも使用可能との見通しを得たため本年度より加速度センサ方式を採用した。

ロ. 耐久性の向上のため、防潤対策として基板表面をレジスト処理し、多少の水分の付着でも劣化しないようにした。

ハ. 入力電圧を規定入力電圧から $\pm 0.1\text{V}$ 変動させたときの出力変動を計測し、最大出力電圧差が 3.2mV 以下（許容出力誤差 5.4mV ）であることから精度内の変動であることを確認した。

ニ. バッテリの寿命を推定するために、傾斜重力及び温度を変化させて消費電流値を計測し、 15V 系最大消費電流は 40mA 以下、 -15V 系最大消費電流は 24mA 以下であることを確認した。

ホ. 精度の高い補正を行うために、傾斜重力及び温度を変化させて出力電圧を計測し、補正式を求めた。補正誤差が 5mV 以下（許容出力誤差 5.4mV ）以下であることから精度の高い補正式であることを確認した。

ヘ. 220°C で5時間保存し、異常がないことを確認した。

ト. 常温から 220°C の昇降温繰り返し試験を行い、最大で 12mA 以下の電圧差であることを確認した。

チ. センサの分解能を確認するために 0.1° ステップで $\pm 0.5^{\circ}$ まで出力電圧を計測し、水平方向付近で約 8mV の電圧差があり、 0.1° の分解能があることを確認した。

リ. 振動特性試験を行い回路部単体で共振周波数は規定の周波数帯域には存在しないことを確認した。

(1. 4. 3) 装置内温度センサ

a. 改良点

すでに前年度までの成果としてダイオード型の温度センサを使用し、200℃、50時間のドリフトを含め、計測精度 $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ の目標仕様を満足することを確かめている。

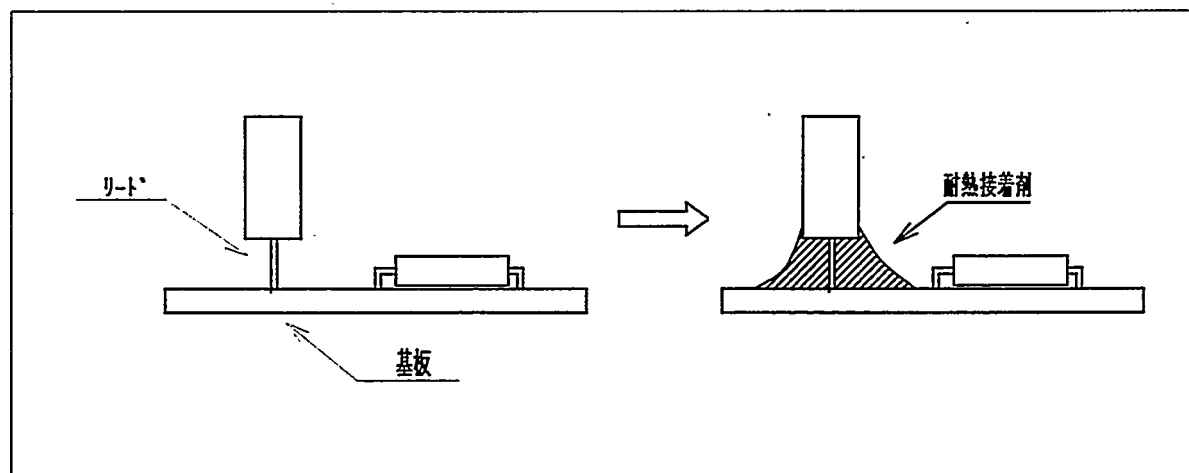
本年度は、実装型としての完成度を高める目的で、精度向上及び対振動対策を行った。

改良点は次のとおりである。

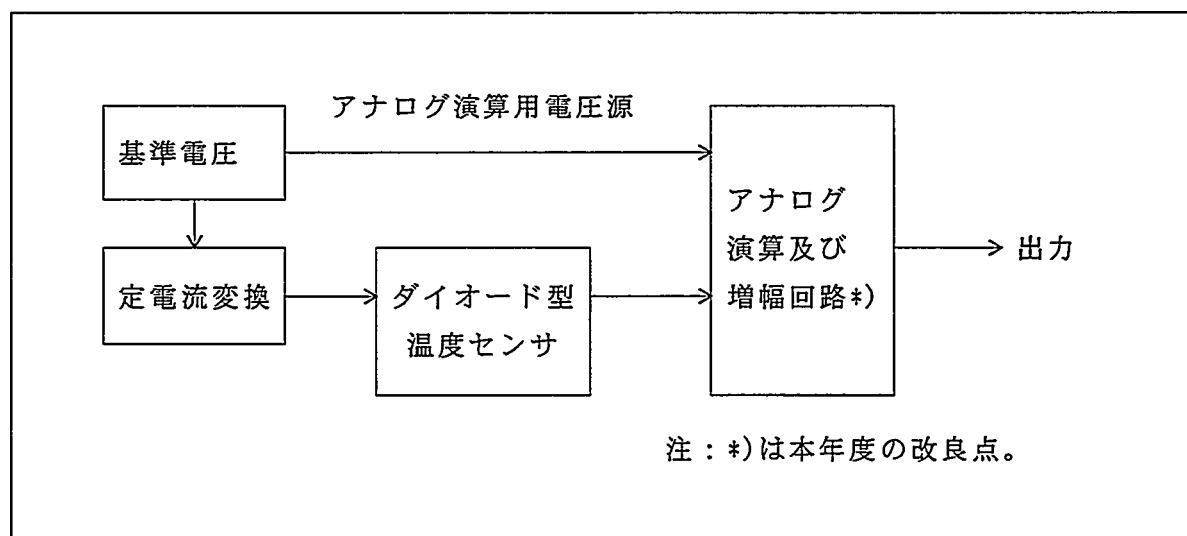
①出力用増幅回路は動作安定度の高いオペアンプを使用した。

②昨年度の回路基板での振動試験結果で、良好な結果を得たので基板形状及び止め穴ピッチは平成7年度と同様とし、リードの長い部品については耐熱接着剤で基板に固定した。適用例を第2. 4. 1-111図に示す。

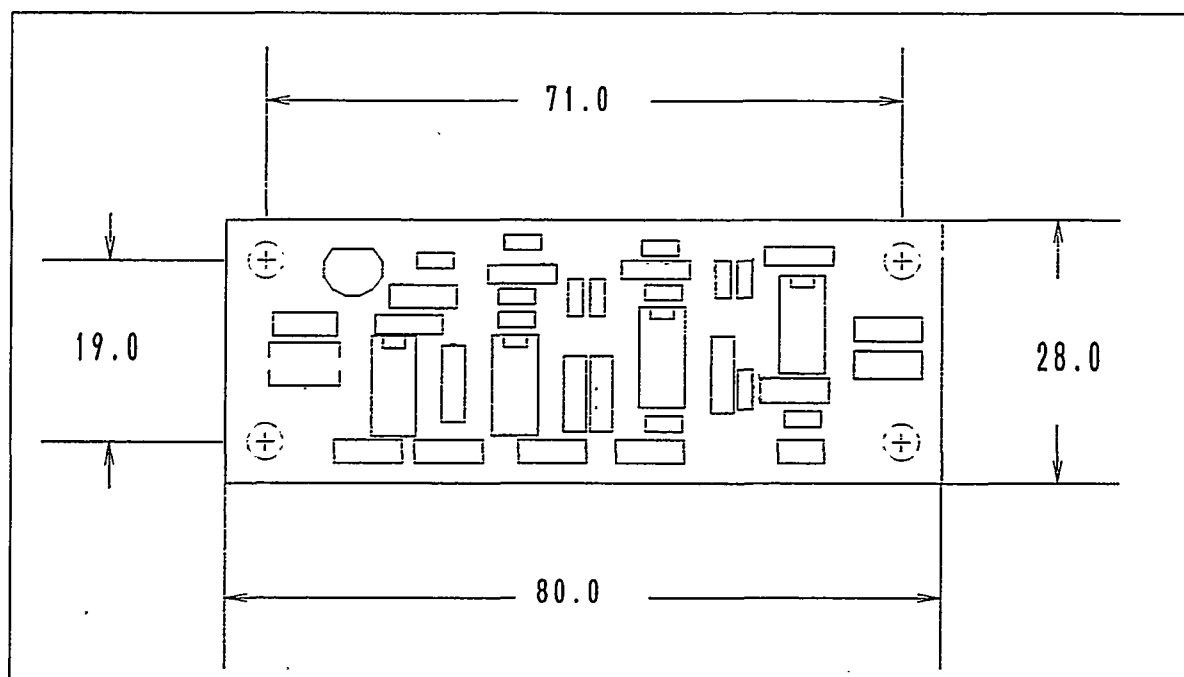
本年度作製した装置内温度センサのブロック図を第2. 4. 1-112図に、また回路基板の外形図を第2. 4. 1-113図に示す。



第2. 4. 1-111図 振動対策



第2. 4. 1-112図 装置内温度センサのブロック図



第2.4.1-113図 装置内温度センサ外形図

b. 耐熱試験

前年度同様に恒温槽内に温度センサを入れ、温度を変化させて、恒温槽内部温度とセンサ出力を比較した（第2.4.1-114図参照）。温度は50、75、100、125、150、175、200、220℃に上昇させ、更に同じステップで下降させた。これを1サイクルとして3回繰り返した。センサ出力の測定は、各温度に40分間保持して安定したことを確認後、行った。センサ出力を測定した。

また、200℃でのドリフト試験として、200℃に100時間保持し、30分毎に恒温槽内温度とセンサ出力を測定した。

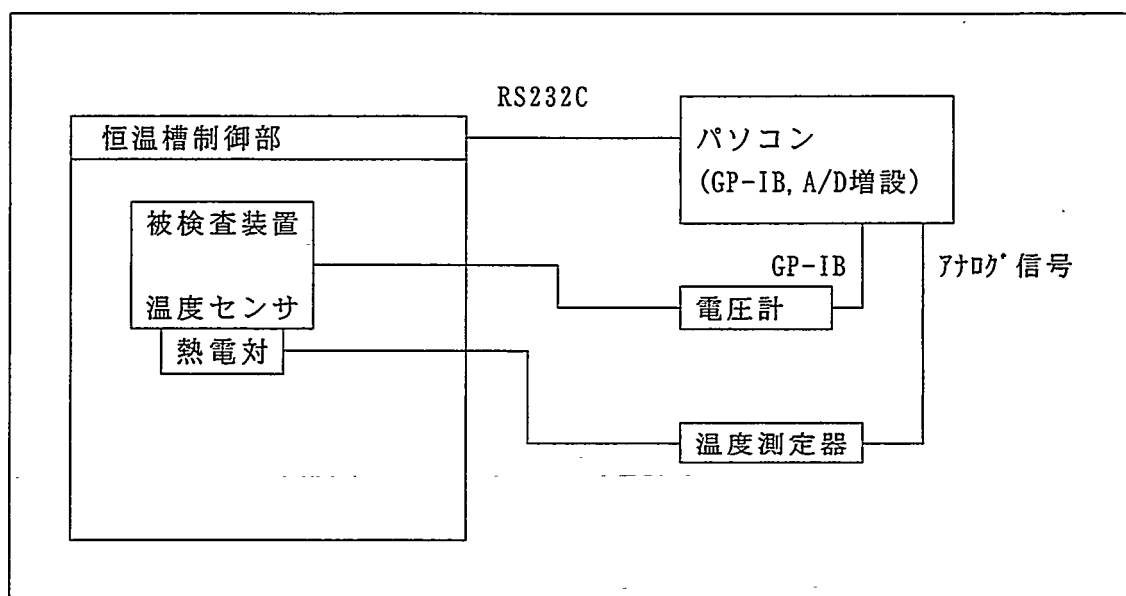
供試体は、本年度製作の2台（同じものであるが、便宜的に基板1、基板2）とした。

基板1の温度サイクル試験結果を第2.4.1-115図に示す。基板2についても同様な結果である。センサ出力は周囲温度に対して単調増加傾向を示した。

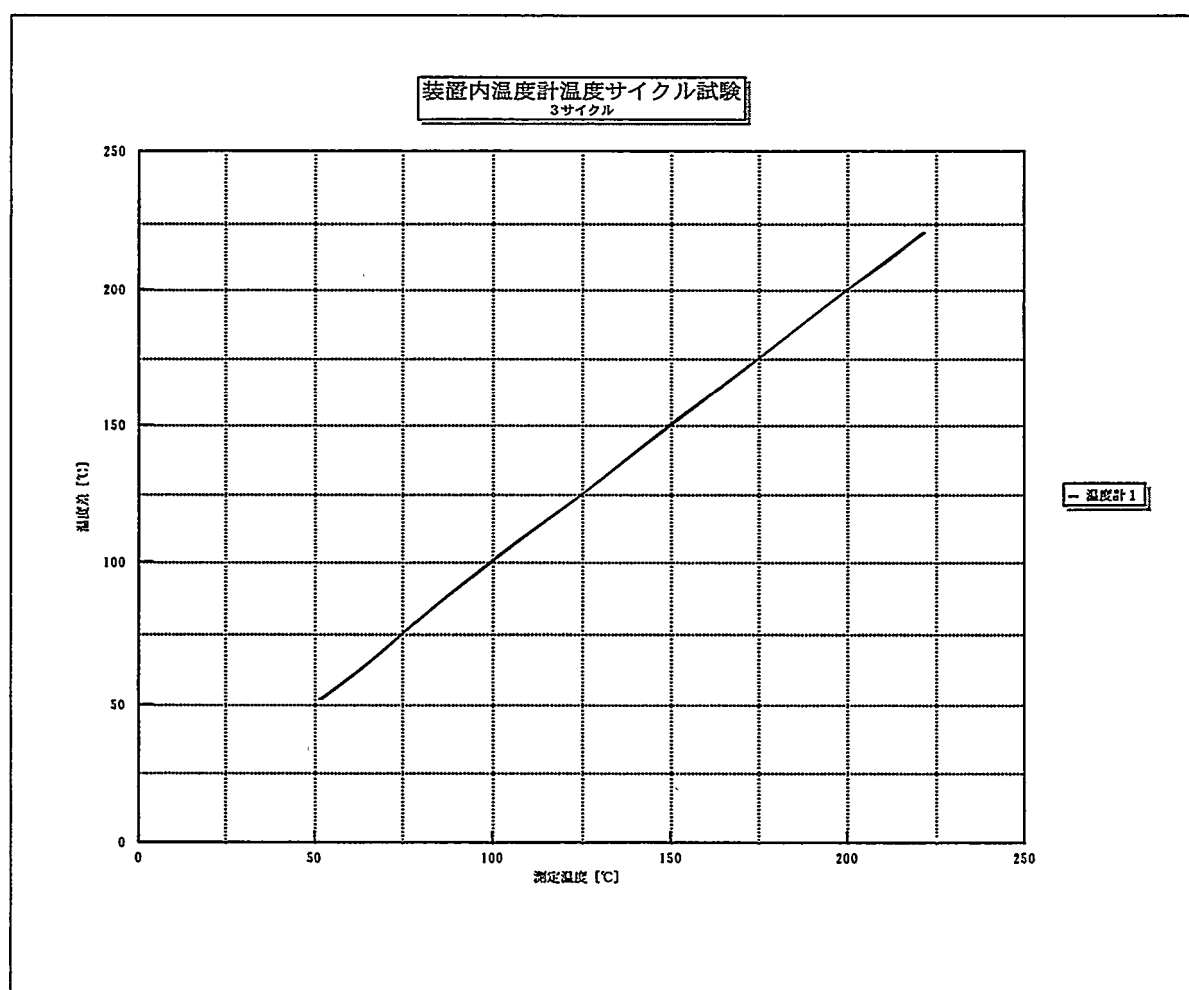
基板に密着させた熱電対の測定値とセンサ出力電圧の回帰式を求め、実際の出力電圧との差を換算温度誤差として表した結果が第2.4.1-116図である。この結果周囲温度との誤差は $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ 以内で、目標精度に収まっている。

200℃ドリフト試験結果を第2.4.1-117図に示す。サイクル試験同様に熱電対はセンサ基板上に密着させている。200℃保持時間の経過と共に出力電圧がやや低下する傾向があったが、100時間内での出力電圧の最大と最小の幅は $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ 以内であった。

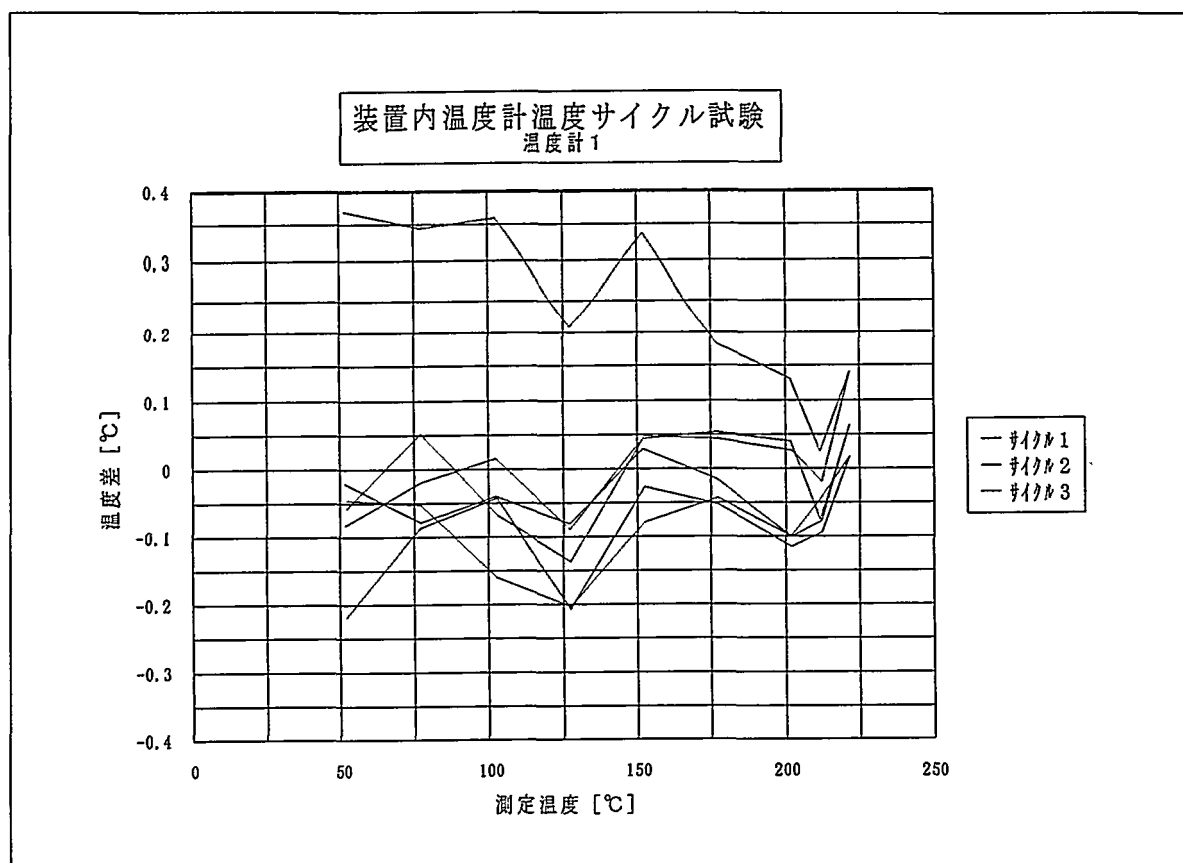
ドリフトを含めた温度測定精度は目標仕様の $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ 以内であることを確認した。



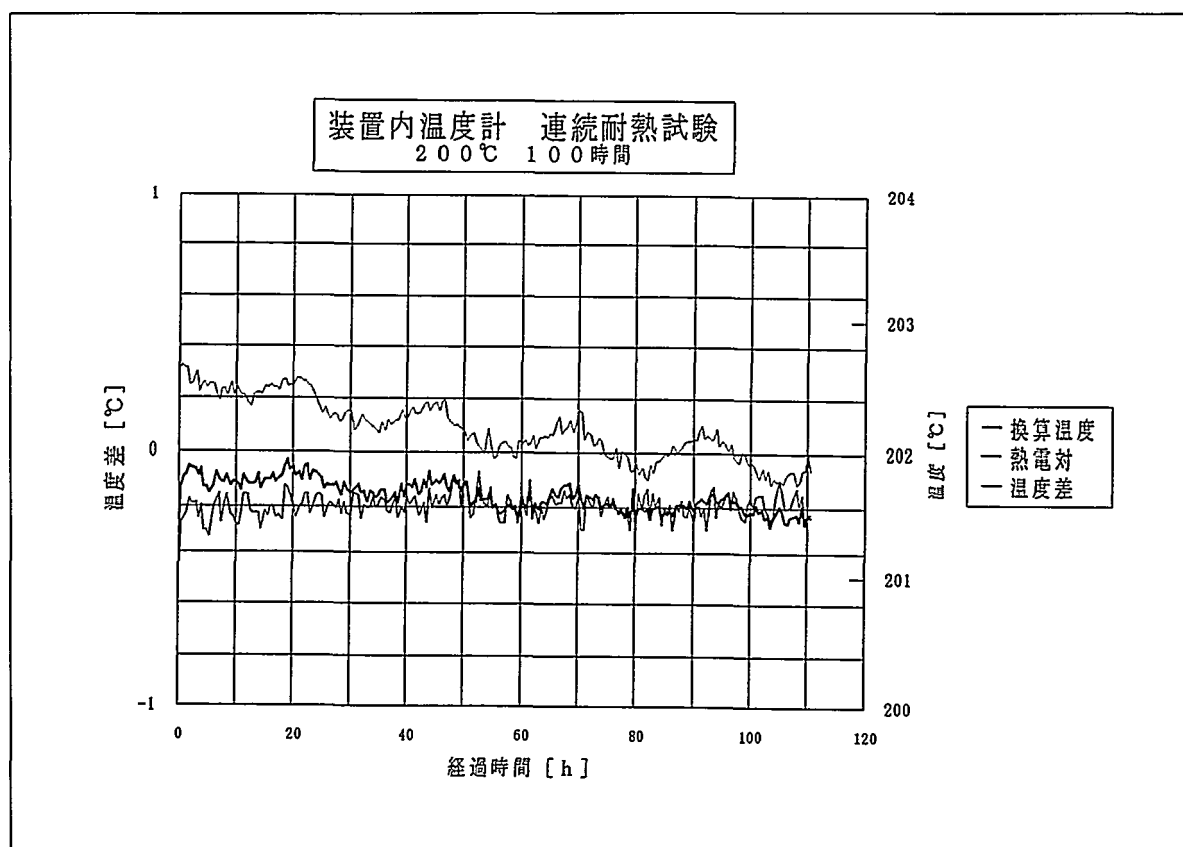
第2.4.1-114図 試験方法ブロック図



第2.4.1-115図 装置内温度センサ温度サイクル試験結果



第2.4.1-116図 装置内温度センサ誤差評価グラフ



第2.4.1-117図 装置内温度センサ200℃ドリフト試験結果

c. 振動試験

本年度製作の装置内温度センサは、方位センサと取付穴ピッチがほぼ同じ71mmであり、実装されている部品の重量差もわずかであるので、方位センサの振動試験結果を基に支障がないと判断し、試験は省略した。

d. まとめ

平成7年度に製作した温度センサは、耐熱試験で目標とする $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ の精度は達成されていたが、高温環境下における長時間に亘る特性変化の確認は未了であった。本年度は 200°C の連続加熱試験で高温耐久性を確認した。その結果、 $200^{\circ}\text{C}/100$ 時間経過後もドリフトを含めた温度測定精度は目標仕様の $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ 以内であることを確認した。

今後、実坑井に入れた状態での動作精度を確認する必要がある。

(1. 4. 4) 温度補正回路

a. 改良点

平成7年度の開発で、坑底信号処理装置における処理負担を軽減する目的で温度補正回路を分離独立させ、センサ近傍に配置する構成とし、精度・安定度を向上させることができたが、坑底信号処理装置と同様に高温動作寿命の改良及び振動対策の課題が残された。この問題を解決するため、以下に示す改良を施した。

- ①高温動作寿命改良のためにCPU及び周辺回路を耐熱電子部品試験の結果が良好な部品に変更した。
- ②高温での振動対策のためにクロック発振回路を発振器から水晶振動子を使用した回路に変更した。
- ③振動対策のために取り付け穴ピッチを70mm以下に変更する。
- ④補正方式でテーブル方式と近似式方式の両方に対応可能なように昨年度搭載していた温度補正テーブル用メモリを近似方式のみにすることにより削除した。
- ⑤方位センサの出力をモニタして回転数を検出する機能、傾斜センサの出力をモニタして循環状態を検出する機能を付加した。
- ⑥回路変更及び補正方式変更に伴いソフトウェアを変更した。

第2.4.1-15表に平成7年度との比較を示す。

第2.4.1-15表 平成7年度との比較

項 目	平成7年度	平成8年度
CPU内蔵機能	演算機能 通信機能 外部入力出力	演算機能
クロック発生回路	水晶発振器（一体型）	水晶振動子（個別部品組合せ）
追加部品		通信機能IC 外部入力出力用部品
ソフトウェア 処理内容	通信制御 各種演算 温度補正（テ-ブル方式）	通信制御 各種演算 温度補正（近似式方式） 回転数検出機能 循環周波数検出機能
回路基板サイズ		
アナログ部	幅28.0mmX長さ300.0mm	幅28.0mmX長さ286.0mm
デジタル部	幅29.4mmX長さ300.0mm	幅28.0mmX長さ522.3mm
取付穴ピッチ	最大157.4mm	最大70mm

ブロック図を第2.4.1-118図に、回路外形図を第2.4.1-119図に示す。

図中に示す記号は以下の内容を示す。

a:マイクロ・コンピュータ（CPU）

8ビット・マイクロコンピュータ

b:クロック発振器

水晶振動子発振回路

c:プログラム・メモリ（ROM）

プログラムを格納するリード・オンリー・メモリ。32kBを有している。

d:データメモリ

データを格納するリード／ライト・メモリ。32kBを有している。

e:マルチプレクサ

各センサの出力を切り替えてA/Dコンバータに入力する。

f:A/Dコンバータ

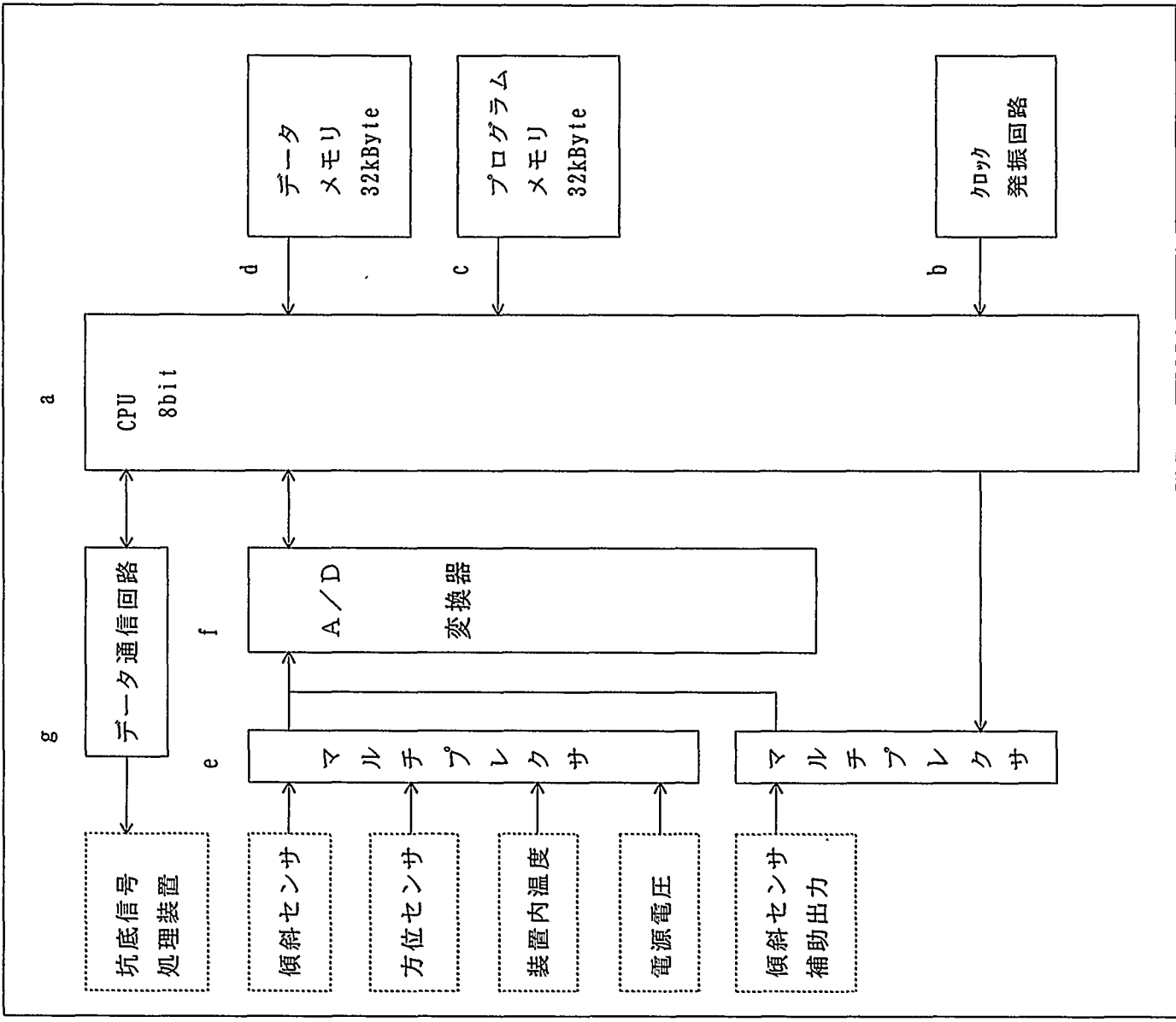
CPUからのA/Dスタート信号により、アナログデータをデジタルデータに順次変換する。

g:データ通信回路

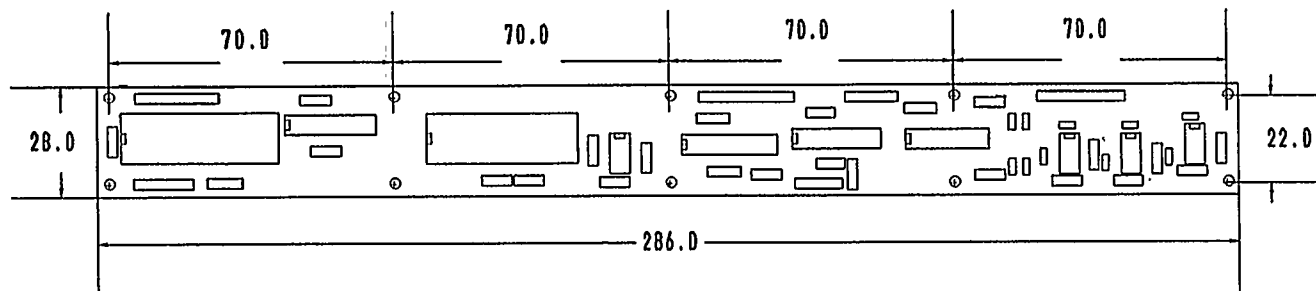
坑底信号処理装置にシリアルデータを送信する。

注記：

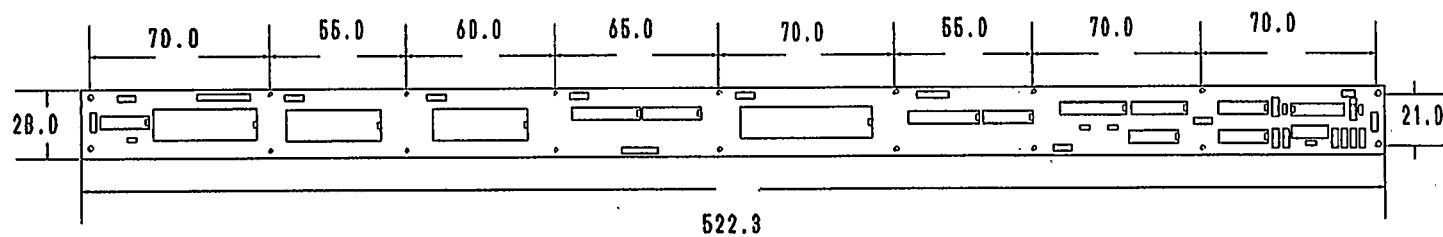
ブロック図中に示した傾斜センサ補助出力とは、循環状態を検出するためにセンサ回路内でフィルタリングされていない出力である。傾斜角演算に使用する出力はセンサ回路内でフィルタリングされた出力を使用する。



第2.4.1-118図 ブロックダイアグラム



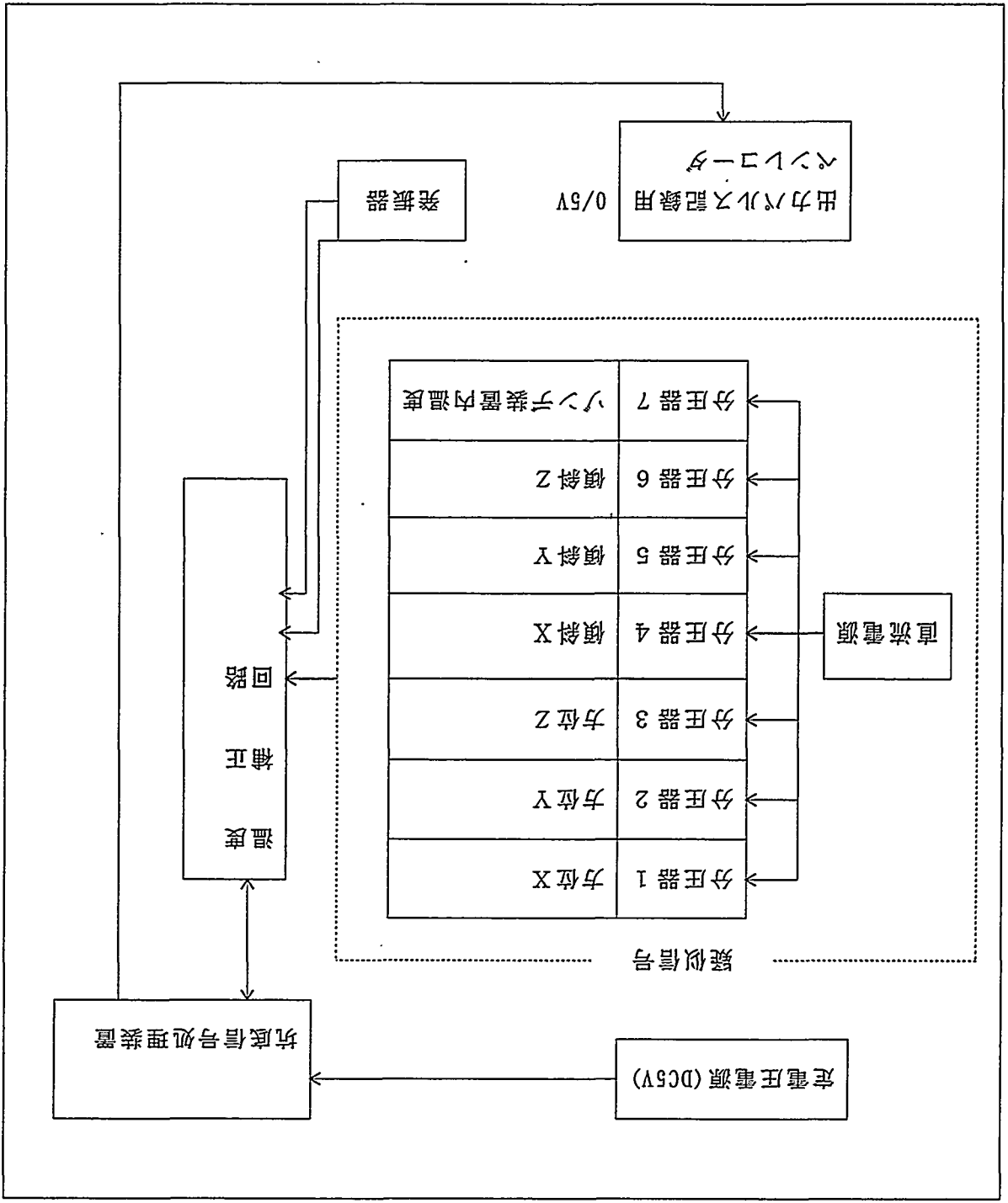
(a) アナログ回路部



(b) デジタル回路部

第2.4.1-119図 回路外形図

b. 機能確認試験
第2.4.1-120図に示すように、坑底信号処理装置と組み合わせて機能確認試験を行った。



第2.4.1-120図 試験計測ブロック図

セツサ名	疑似信号情報	試験信号電圧	セツサ名	疑似信号情報	試験信号電圧
方位 (180°)	X : +120°	+5.863V	ゾンデ内 装置温度	150℃	+4.000V
傾斜 (60°)	Y : -120°	-5.863V			
	Z : +120°	+5.863V			
	X : - 75°	-7.348V			
	Y : + 75°	+7.346V			
	Z : + 60°	+5.862V			

第2.4.1-16表 入力信号値

試験時の入力信号を第2.4.1-16表に示す。

改善効果を確認するために、代表例として前年度と同じ入力信号電圧を加えている。

本年度は温度補正回路に、回転及び循環の検出機能が追加されたので回転検出機能確認は方位計入力への代わり、循環検出は傾斜計入力への代わりそれぞれ発振器の出力を接続して行った。

回転検出疑似信号は、0.5Hz (30rpm相当) / ±1V の正弦波を、循環検出疑似信号は、100Hz、±180mV (40ga1相当) の正弦波を入力した。

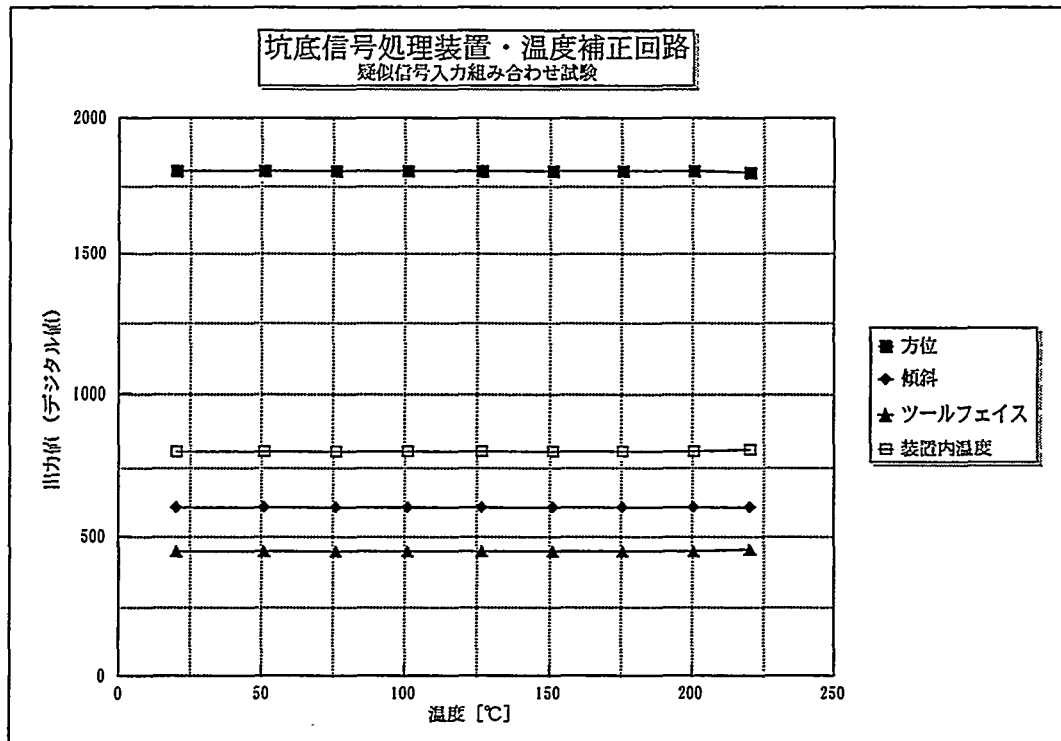
試験結果を第2.4.1-121図～第2.4.1-124図に示す。

本年度は、デジタル部のCPUの高温寿命対策を実施したので高温動作での信頼度も向上した。アナログ部は昨年度と同じ回路構成であり、昨年度と同様な試験結果が得られた。

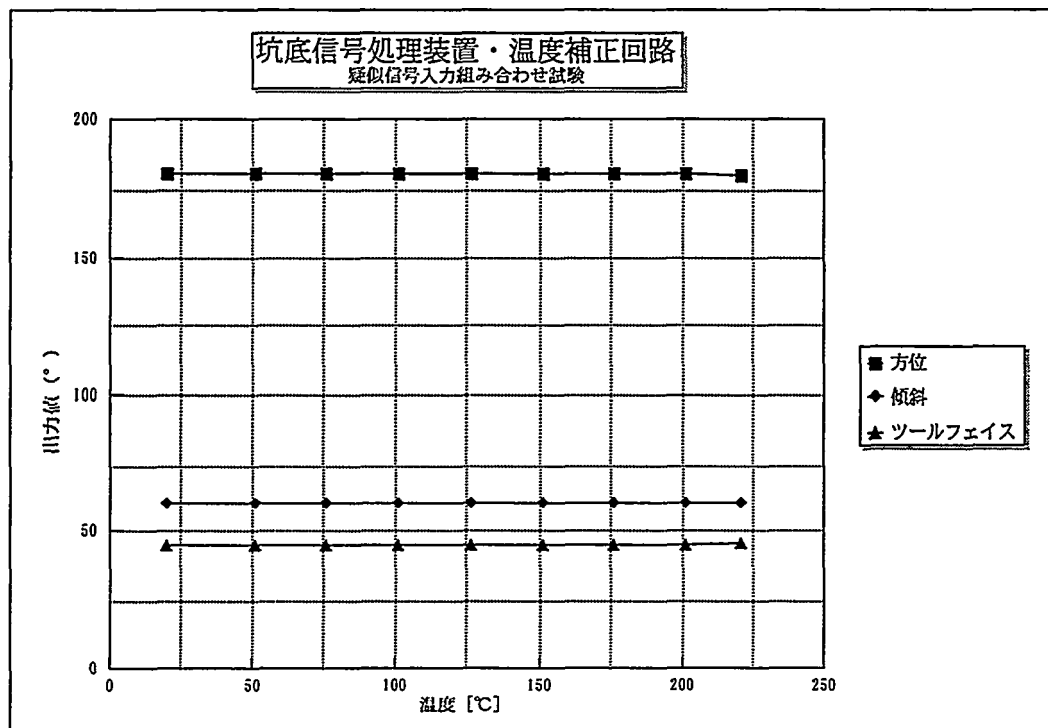
・ 同一電圧を入力した場合に、チャネル間バツキは200℃までの動作で1/2000以内に収まっている。

・ 変換値の温度ドリフトは、200℃以下では約1/1000以内で収まっている。

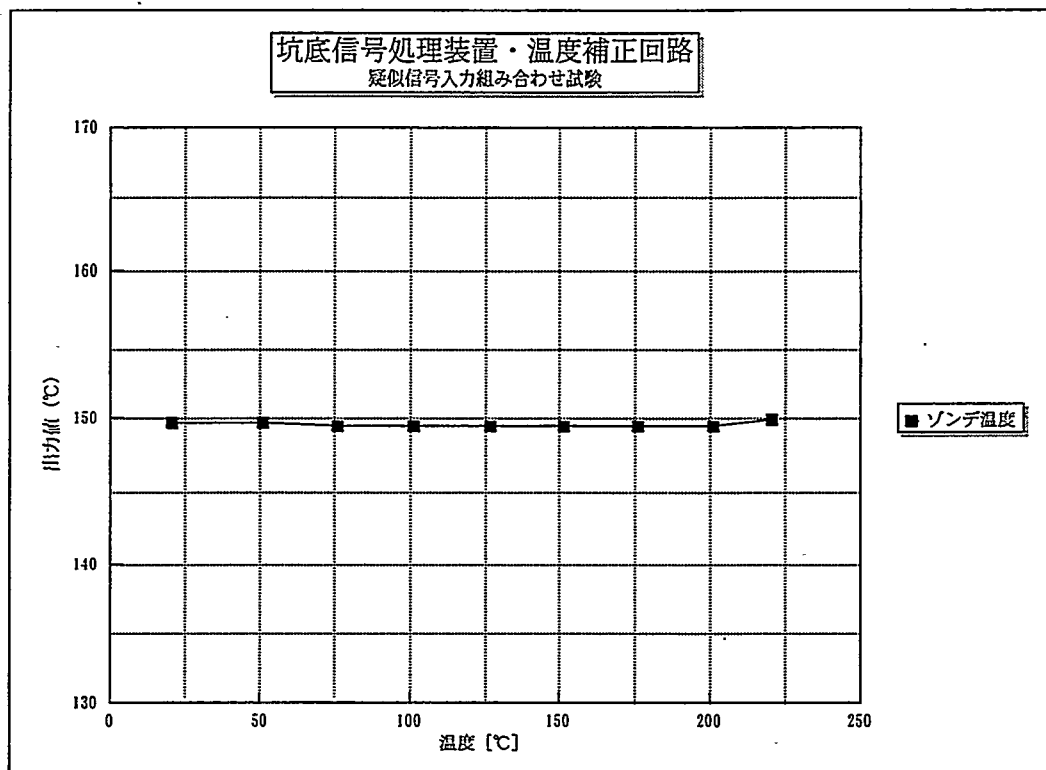
・ 回転検出機能、循環検出機能ともに高温での安定動作が確認された。



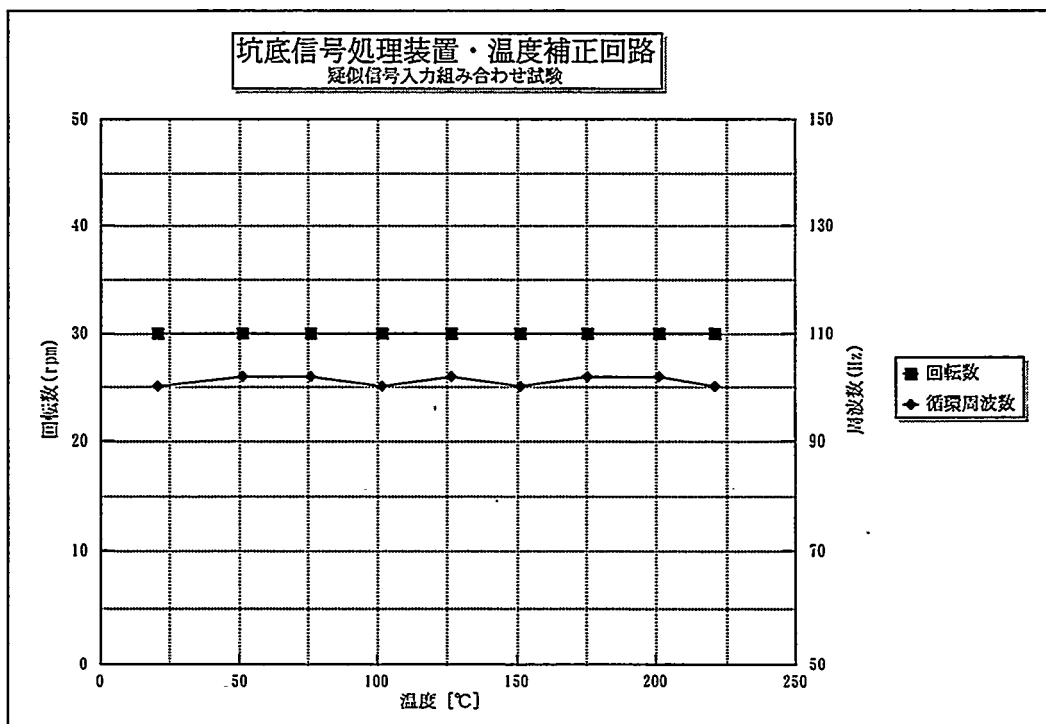
第2.4.1-121図 組み合わせ試験結果 (デジタル値)



第2.4.1-122図 組み合わせ試験結果 (方位・傾斜・ツールフェイス)



第2.4.1-123図 組み合わせ試験結果（装置内温度）



第2.4.1-124図 組み合わせ試験結果（回転・循環検出）

c. 振動試験

本年度製作の温度補正回路は、デジタル部が坑底信号処理装置とほぼ同じ構成で取付穴ピッチも同様であり、またアナログ部の取付穴ピッチは方位センサより短いので振動試験は省略した。

d. まとめ

本年度製作の温度補正回路は、200℃での安定動作が確認され、機能確認試験でも昨年度同様良好な結果が得られた。

今後、実坑井での測定精度、回転・循環の検出の安定性を確認する必要がある。

(1. 5) 電源

(1. 5. 1) 電源

電源となる耐熱バッテリーについては平成7年度の開発でリチウム電池を選定し、特性試験において、耐熱性能・耐衝撃性能・耐久時間（容量）を確認し、パッキングの方法についても検討した。本年度は耐振動性能の確認、駆動装置用とエレクトロニクス用の使用目的に適合させるためのバッテリーの組み合わせ方法を課題とした。

a. バッテリーの数量

バッテリーは大別してマッドパルス発生弁駆動装置及び駆動装置制御装置用の駆動装置用とセンサ及び回路用のエレクトロニクス用に分けられる。第2.4.1-17表に各々の組み合わせと動作可能予想時間を示す。この表は動作時間を50時間を満たすためのバッテリーの最低数量の組み合わせである。第2.4.1-17表には、各構成装置の消費電流からのバッテリーの所用数計算を示す。

第2.4.1-17表 バッテリー組み合わせ概要

系 統	電 圧	組 み 合 わ せ	本 数	長 さ	動 作 時 間
駆動装置用	+15V	5 直列×3 並列	15本	1,755mm	51.5時間
エレクトロニクス用	+15V	6 直列×2 並列	12本	1,320mm	85.4時間
	-15V	6 直列×2 並列	12本	1,320mm	90.6時間
	+5V	3 直列×1 並列	3本	354mm	103.8時間

注：駆動装置用の電圧はモータ回転時（負荷時）の電圧。

エレクトロニクス用の電圧は電源安定化回路を通した場合の値。

ｂ．振動試験

駆動装置用、エレクトロニクス用のバッテリーのなかで1組の組み合わせ長さが最も長くなる駆動装置用バッテリーについて、ゾンデ相当の容器に収納、固定して試験を実施する。

試験概要を以下に示す。

イ．試験対象概要

バッテリーの種類：リチウム（単体サイズ：101.6mm×26mmφ）

バッテリー組み合わせ本数：5直列×3並列

組み合わせ長さ：1755mm（パッキング全長）

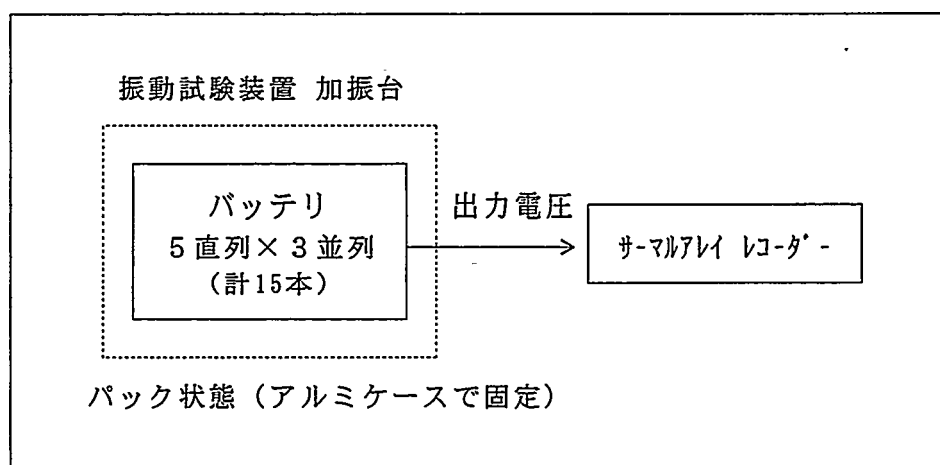
出力電圧：18.35V（開放電圧）

容量：20.25Ah

重量：約2.5kg

ロ．試験要領

試験要領を第2.4.1-125図に示す。



第2.4.1-125図 振動試験要領図

ハ．試験目的

平成6年度に取得した実坑井の振動データにより加振し、出力電圧に異常がないことを確認するとともに、バッテリーパック自体の振動特性を確認する。

①加振要領

加振データ：肘折での採取データ

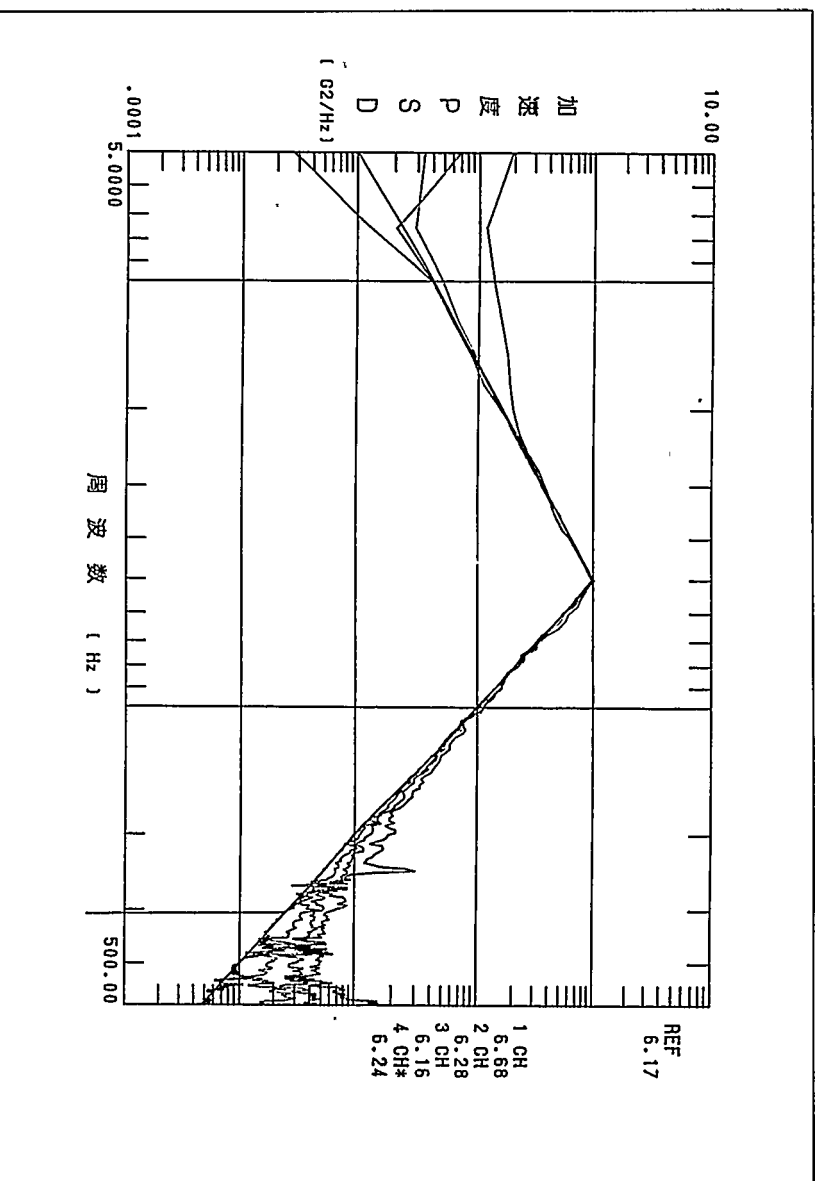
加速度：最大1G

ｃ．振動試験結果

上に記した加振条件にて2時間の振動試験を行った。

第2.4.1-126図に試験時の周波数分布を示す。

バッテリー出力は、瞬断、電圧変動などの異常がないことが確認された。



第2.4.1-126図 X軸振動試験周波数分布

d. まとめ

バッテリー本体の性能評価を終え、センサ系、モータ系の組み合わせを検討し消費電流を推定した結果、省電力化の効果もあり、高温環境下でも動作時間50時間を満たす組み合わせが得られた。

今後、ゾンデ実装状態での振動試験、実坑井での動作安定性を確認する必要がある。

(1. 5. 2) 電源安定化回路

a. 改良点

本年度は、電源安定化回路を下記のように改良し、より完成度を高めた。

①高温域での負荷依存性を改善するために出力駆動部内のトランジスタの前段にリーク電流補償回路を付加した。

②対振動性を高めるために昨年度と比べ基板サイズを140mmから100mmにし、止め穴ピッチも131mmから50mm以下に変更した。

電源電圧の安定化はセンシングの精度、回路の安定動作を確保するうえで重要である。このため、昨年度、各安定化回路の目標性能を第2.4.1-18表に示すとおり定め、回路の設計・製作及び評価を行った。

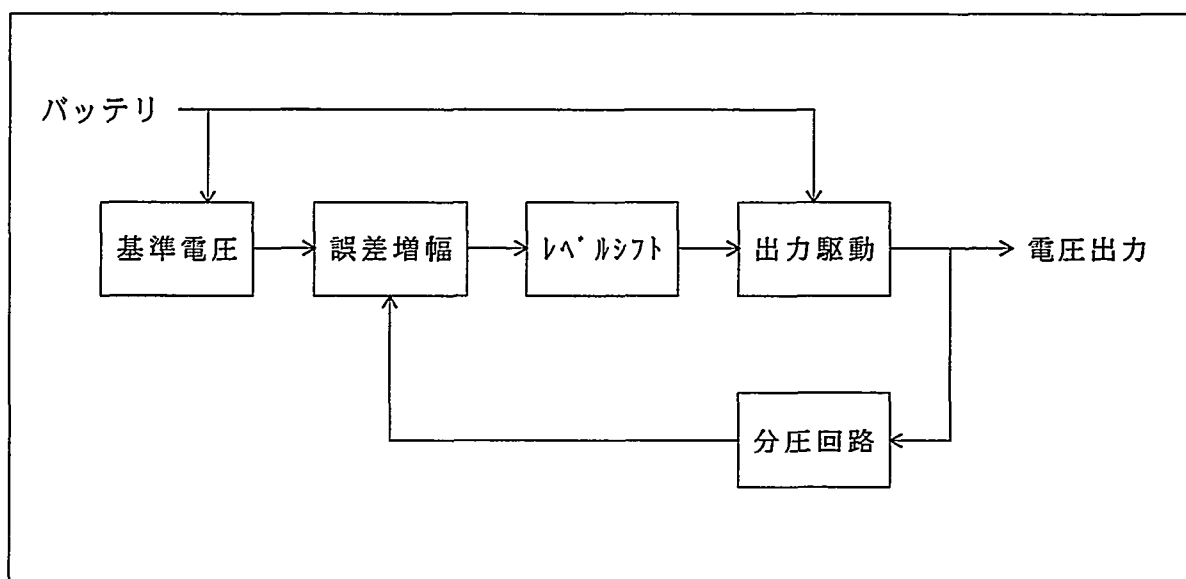
設計目標は、+15V、-15Vはセンサ系の電源電圧依存性から、+5Vはデジタル系ICの推奨動作範囲から決定した。

その結果、高温域での負荷依存性など一部改善の必要があると判断されたが、概ね目標性能を満たすことを確認した。

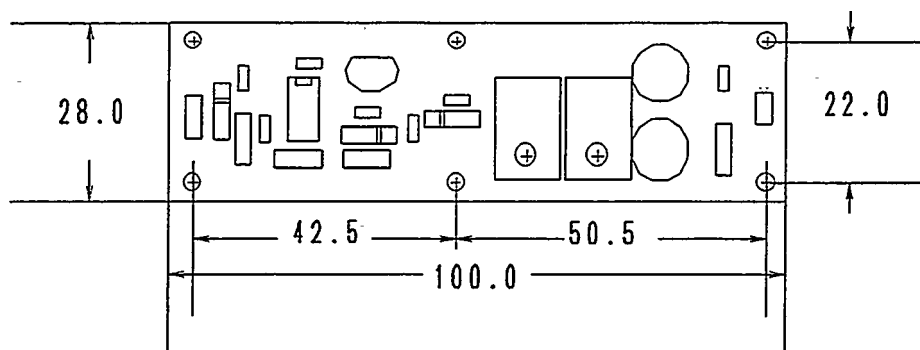
各安定化回路の動作を表すブロック図を第2.4.1-127図、基板外形図を第2.4.1-128図に示す。回路変更箇所はブロック図中の出力駆動部である。

第2.4.1-18表 電源安定化回路の設計目標値

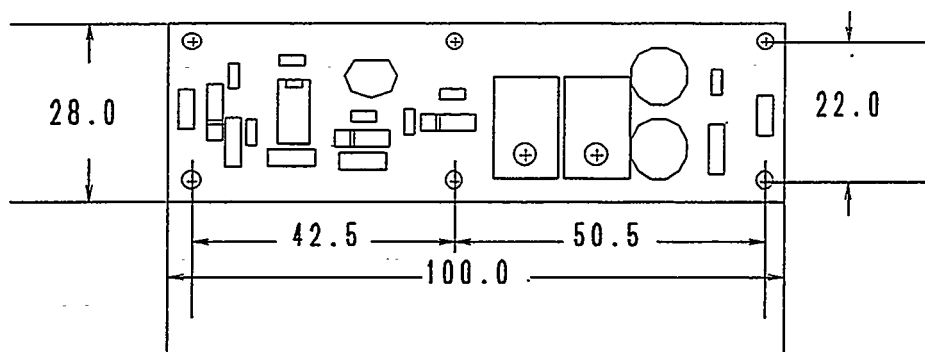
出力電圧 [V]	出力電流 [mA]	バッテリー電圧 [V]	主要供給先
+15 ±0.75	300max	17～20	センサ、温度補正回路
-15 ±0.75	300max	-17～-20	同 上
+5 ±0.25	500max	7～10	坑底信号処理装置、温度補正回路



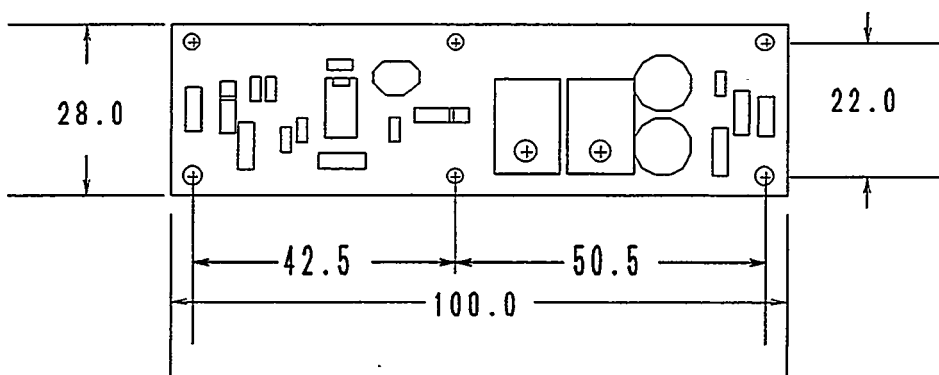
第2.4.1-127図 電源安定化回路ブロック図



(1) +15V安定化回路



(2) -15V安定化回路



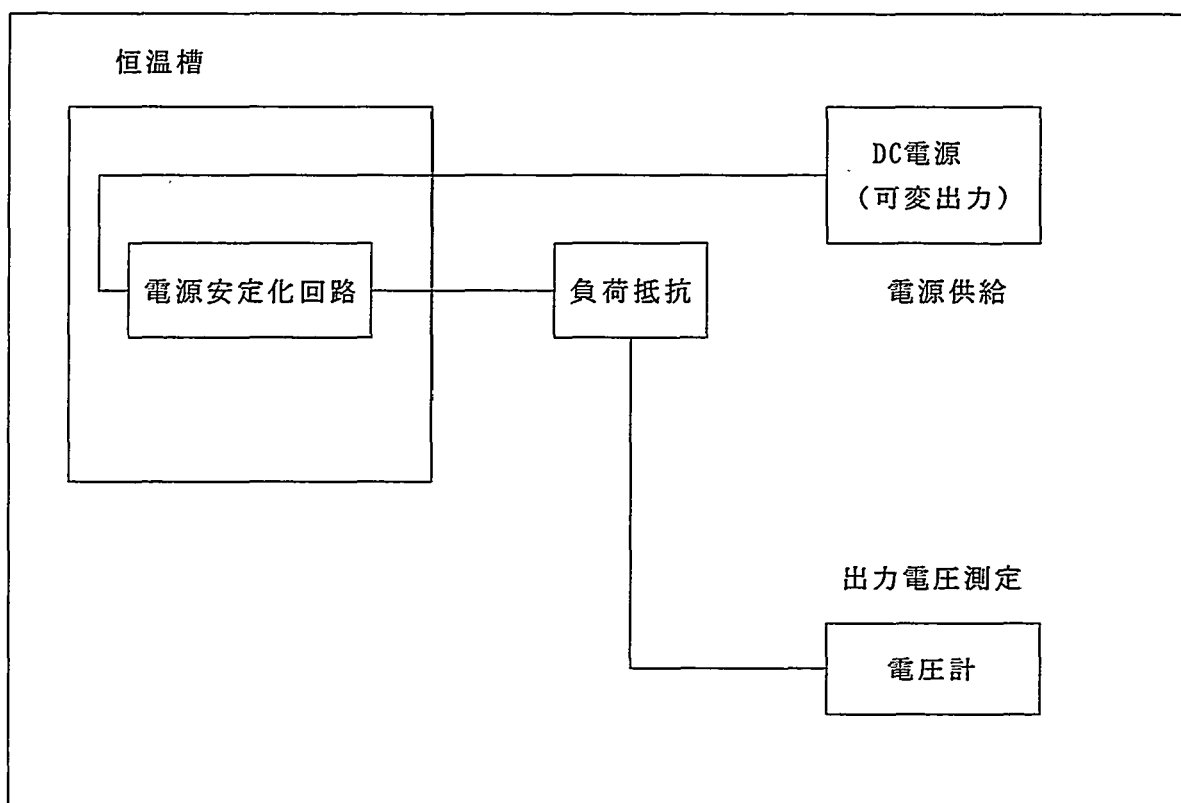
(3) -5V安定化回路

平成7年度同様に各安定化回路の出力に負荷抵抗を接続し、入力電圧を変化させ、50、100、150、200、220℃の各温度にて出力電圧の安定性を測定する。

入力電圧と負荷抵抗の条件を第2.4.1-19表に、試験ブロック図を第2.4.1-129図に示す。

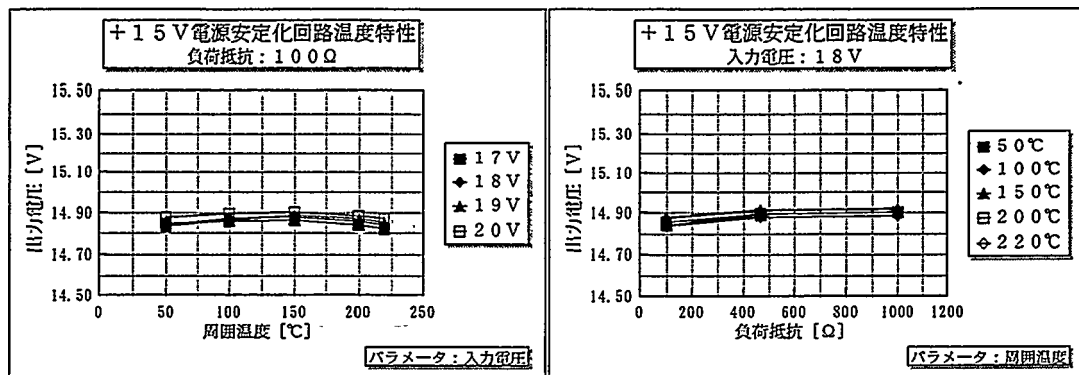
第2.4.1-19表 電源安定化回路試験条件（入力電圧、負荷抵抗条件）

安定化回路種別	入力電圧 [V]	負荷抵抗
+15V 安定化回路	+17、+18、+19、+20	100Ω、470Ω、1.0kΩ
-15V 安定化回路	-17、-18、-19、-20	100Ω、470Ω、1.0kΩ
+5V 安定化回路	+7、+8、+9、+10	25.5Ω、50Ω、100Ω

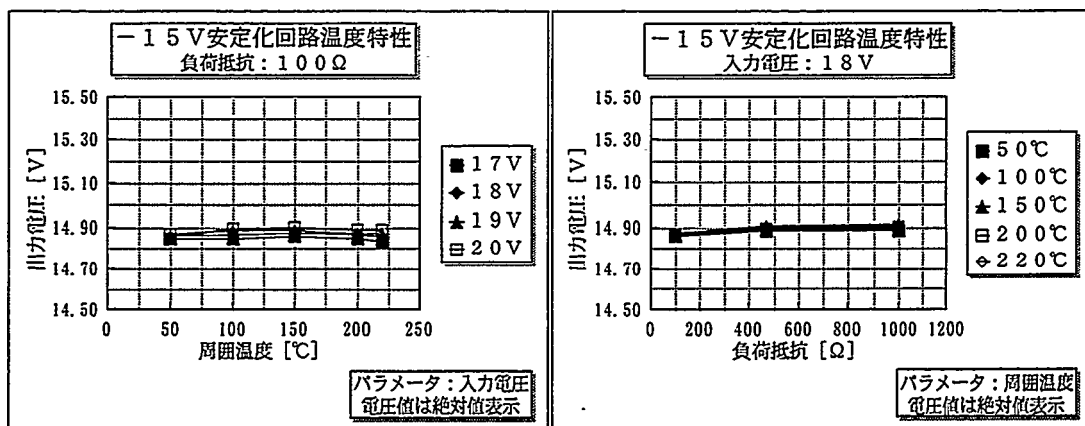


第2.4.1-129図 電源安定化回路試験ブロック図

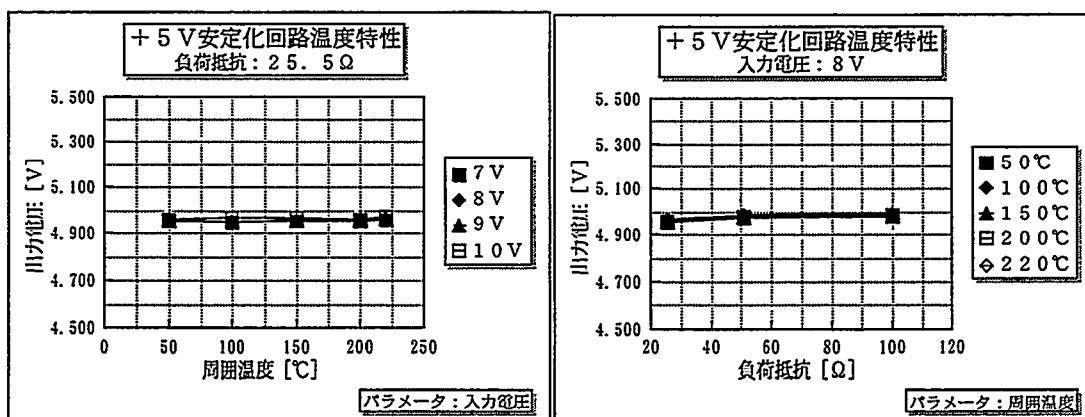
試験結果を第2.4.1-130図～第2.4.1-132図に示す。比較のために第2.4.1-133図に例示する平成7年度製作の-15V安定化回路の特性に現れる高温域の負荷依存性が解消され、50～220℃の温度範囲で最大0.12Vの出力電圧変動におさまっている。



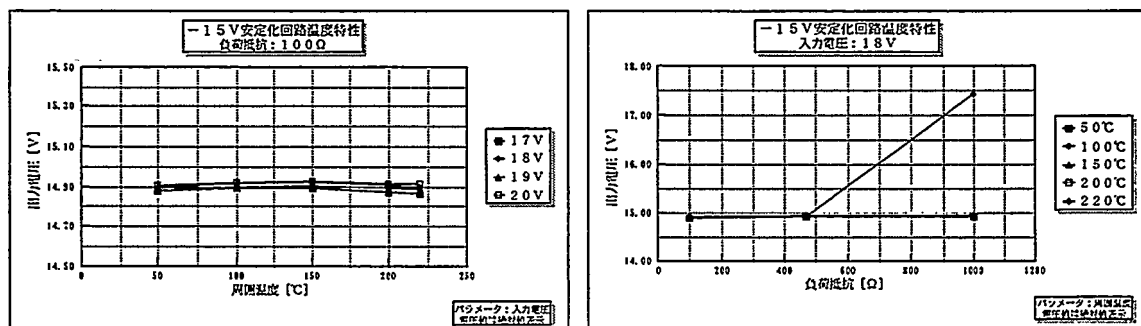
第2.4.1-130図 +15V電源安定化回路試験結果



第2.4.1-131図 -15V電源安定化回路試験結果



第2.4.1-132図 +5V電源安定化回路試験結果



第2.4.1-133図 -15V安定化回路（平成7年度製作）

b. 振動試験

本年度製作の電源安定化回路は、取付穴ピッチが方位センサ回路部よりも短く、懸案部品は耐熱性接着剤で基板に固定したので本試験は省略した。

c. まとめ

平成7年度製作の電源安定化回路の最大出力電圧変動2.5V（-15V出力：50～220℃）に比較して、出力駆動部内のトランジスタの前段にリーク電流補償回路を付加した結果、50～220℃の範囲で最大出力電圧変動は0.12Vに抑えられ、目標仕様を十分満足した。以下に各出力電圧の変動最大値を記す。

+5 V : 0.061Vp-p
+15 V : 0.120Vp-p
-15 V : 0.093Vp-p

今後、実坑井にて動作確認を行う必要がある。

（1. 6）ハウジング及び外部付帯装置

（1. 6. 1）ハウジング

a. ソンデの組み立て方法の改良

ソンの主な構成要素は平成7年度と同様にマッドパルス発生弁駆動装置、マッドパルス発生弁駆動装置制御装置、坑底信号処理装置、傾斜情報センサ等のエレクトロニクスや電源を収納するハウジングと、その間を接続するタンデム・バレルから構成することとした。また、ハウジングとタンデム・バレル間の水密性も平成7年度と同様にOリングによるものとした。

平成7年度までのソンの組み立ては、タンデム・バレルにネジを穿ち、ハウジングに差し込み外から4本のボルトで組み立てる方法を採用した。

しかしこの方法はタンデム・バレルの芯にリード線貫通のための通路があることからボルトのネジ込み深さが十分とれない欠点があった。

そのため、平成7年度の高圧ループ試験では流体の励振によりソンの振動し、組み立てボルトが脱落することが多発した。ボルトの脱落防止策として耐熱ヒシチューブ、耐熱テープ等によりボルトを覆う方法、ボルトの頭に針金溝を加工し、針金により縛り付ける方法等の種々の方法で確認試験を行ったが何れも高温及び流体中では仕様を満足することができなかった。

実坑井では流体励振の他に掘削時の振動、衝撃が加わるため、ボルトが脱落する可能性が更に高まることから、本年度のソンの組み立てにはボルト締めを止め、ハウジング及びタンデム・バレルの双方にオス・メスのネジを切り、回転させながら組み立てることとした。

ｂ．強度検討

イ．材質

方位センサがフラックスゲート型であるため、磁気を帯びやすい材質は使用することができない。非磁性材で比較的入手のしやすい材質の一覧を第2.4.1-20表に示す。

中から、200℃以上の高温時に強度劣化が少ないこと、廉価であること、加工が容易であること、入手しやすこと等の観点から材質はMonel Alloy K-500とした。

第2.4.1-20表 ゾンデ用非磁性材料

材 料 名	比 重 [g/cm ³]	ヤ ン グ 率 [kgf/cm ²]	透磁率 [emu]	常温 [kgf/cm ²]		250℃ [kgf/cm ²]		備 考
				引張強さ	0.2%耐力	引張強さ	0.2%耐力	
MONEL alloy K-500	8.44	1.825*10 ⁻⁶	1.002	10,856	7,796	9,870	6,900	注 1
INCONEL alloy 718	8.19	2.039*10 ⁻⁶	1.0011	13,500	11,800	12,230	10,850	注 1
INCONEL alloy X-750	8.28	2.182*10 ⁻⁶	1.0035	12,200	9,000	11,350	7,690	注 1
STAINLESS STEEL 304	7.93	1.930*10 ⁻⁶	1.06	5,303	2,090	4,599	不明	注 2
STAINLESS STEEL 316	7.98	1.930*10 ⁻⁶	1.06	5,303	2,090	5,303	不明	注 2
ALUMINUM 2218-T6	2.81	0.700*10 ⁻⁶	1.0	4,100	2,850	2,300	2,150	注 3
TITANIUM Ti-6Al-4V	4.43	1.160*10 ⁻⁶	1.0	9,100	8,400	7,300	6,200	注 1
Phosphor Bronze C5191	8.86	1.120*10 ⁻⁶	1.0	5,670	5,250	不明	不明	注 4

注記

1. メーカーのカatalogによる。
2. ステンレス鋼の選び方・使い方（財団法人日本規格協会編）による。
3. アルミウムハンドブック（社団法人軽金属協会編）による。
4. J I Sハンドブック（財団法人日本規格協会編）「非鉄」による。

ロ．耐圧強度

①外径及び内径の決定

ハウジングの外径及び内径を以下の方針で決定した。

- ・循環泥水の圧力損失を極力排除するため、外径を可能な限り細くすることに努める。
- ・内蔵するセンサ、エレクトロニクスの小型化の開発が進みそれぞれ外径φ33mm以内の円筒内に納めることができるようになった。
- ・また、平成7年度の成果により耐熱リチウム電池の性能を的確に把握することができたため、使用する電池の型式が決まり、電源部の内径はφ28mm以上あれば良い。
- ・嵌合用のオス・メスのネジが切れること。また、そのネジは加工を容易にするため

にはISO-Mネジが望ましい。

- ・ Oリングが装着可能であること。

以上の要因を踏まえ、ハウジングの外径は $\phi 44.4\text{mm}$ ($\phi 1\frac{3}{4}$ ") とし、内径はエレクトロニクスが容易に収納可能な寸法として $\phi 34.4\text{mm}$ として強度検討を行った。

②耐圧強度照査

応力の評価はJIS B 8270-1993「圧力容器」、JIS B 8271-1993「圧力容器の胴及び鏡板」、及びJIS B 8281-1993「圧力容器の応力解析及び疲労解析」により行う。

許容圧力が設計圧力を上回るため安全であることが判明した。

ハ. 曲げ強度

リトリーバブル式のゾンデは吊下揚収時に円滑な操作を可能とするために、掘管、またはドリルカラと同等以上の撓みを持つ必要がある。

また、吊下揚収時にゾンデは掘管に拘束されるため、大きな曲げが生じることはないがハンドリング時、または槽内に搬入する際に自重により曲げ応力が発生する。

そのため掘管との撓み量比較、及びハンドリング時の曲げ強度について照査する。

①撓み量比較

- ・ 比較対象

比較の対象はゾンデ、掘管、ドリルカラとする。ゾンデ以外のそれぞれの長さは定尺の9,000mmとする。

- ・ 計算条件

荷 重：自重

支 持 条 件：両端支持

支点間距離：9,000mm

環 境 条 件：常温、大気圧

そ の 他：各パイプのネジ部は均一な肉厚を持つ管とする。

計算は構造用汎用プログラム"GTSTRUDL"を用いた。

- ・ 計算結果

ゾンデは掘管、ドリルカラに比べ撓み量が大きいため吊下揚収には支障はない。

②ゾンデ曲げ強度照査

応力の評価は日本建築学会編「鋼構造設計基準」による。

- ・ 設計条件

設計外力(ω): 10Kg/m (自重)

設 計 温 度：常温

ゾンデ長さ：12,683mm

- ・ 計算モデル

第2.4.1-134図に計算モデルを示す。

計算は構造用汎用プログラム"GTSTRUDL"による。

- ・ 計算結果

計算結果よりゾンデの最大曲げ応力は中央に生じ、その値は $M_{\max.}=201,771\text{kgf}\cdot\text{mm}$ である。

許容応力が設計値より上回るため、ハンドリング時の強度は十分である。

d. リングの設計
上記各種評価結果をもとに、リングの設計を行った。

注記：*1 メーカーの保証値を示す。
*2 登録商標名を示す。

名 称	*1 耐熱 [℃]	備 考
JIS-B-2401 4種C	250	シリコンゴム
JIS-B-2401 4種D	250	フッ素ゴム (バイトン*2)
カルレツツ*2	316	
フロロシリコンゴム	230	

第2.4.1-21表 市販の耐熱リング

このまま同種を使用するものとする。
これまでの高温・高圧の試験結果より、特に支障を来すようなことがなかったことから
エチレン樹脂（耐熱200℃）の2種類（JIS-B-）で耐熱性は260℃である。
市販されている耐熱バックアップ・リングの材質はポリミド（耐熱120℃）及四ふっ化
・バックアップ・リング
いJIA-B-2401 4種Dを使用することとする。
平成7年度から行ってきた高温・高圧での試験結果から、熱による硬化、変形等の少な
市販されている耐熱リングの一覧を第2.4.1-21表に示す。
るリングに依るものとした。

ハウジング及びビタシステム・パレル間の水密性保持はこれまでの試験結果より実績のあ
・リング

②水密

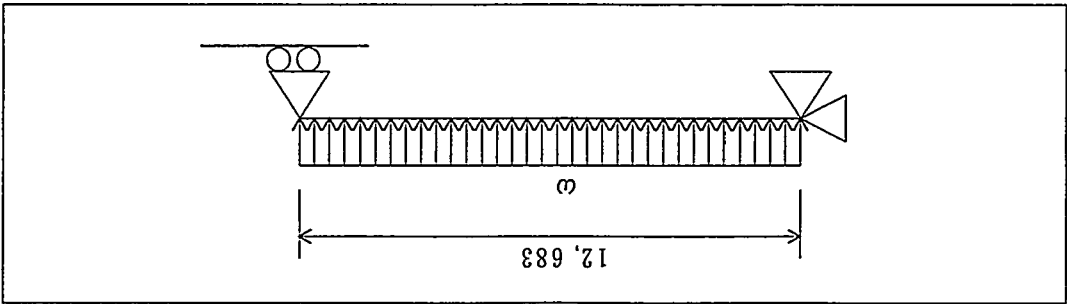
リングが損傷する可能性があるため、ネジより外側に配置した。
内側であった。回転式の場合、リングを内側に配置する組み立て時に嵌合用のネジで○
平成7年度までのリングは外止め用のボルトを採用していたため○リングはボルトより
検討を行った。

回転式コネクタを採用するに際してリング嵌合用のネジ部とシール用○リングの位置の
①ネジ及び○リングの配置

イ. ハウジング及びビタシステム・パレルの嵌合部

c. 各部の構造

第2.4.1-134図 リングの計算モデル



イ. 強度確認試験

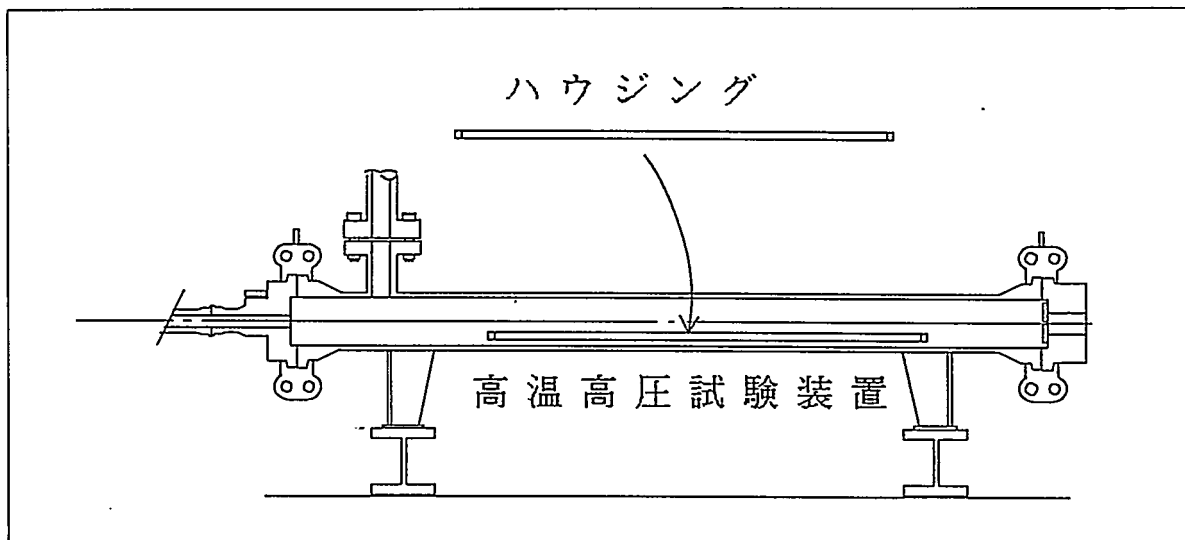
①試験目的

高温、高圧下の環境でハウジングの水密性が保たれていることを確認する。

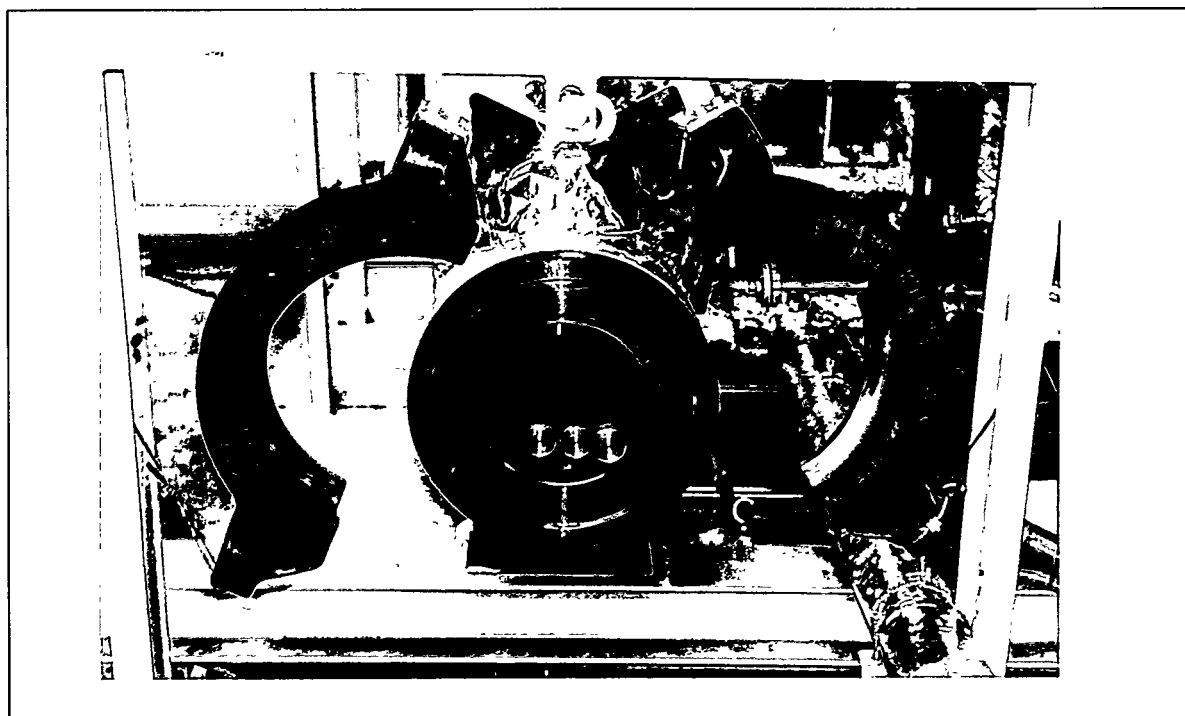
②試験要領

ハウジングとＯリング及びバックアップ・リングを装着したタンデム・バレルを組み合わせ、高温高圧試験装置に入れ、圧力：200kgf/cm²、温度：200℃で試験時間はJIS-B-8243「圧力容器の耐圧試験」に従い、高温、高圧下で30分間放置した後、圧力、温度を開放し、肉眼にて漏れの無いことを確認した。

試験要領を第2.4.1-135図に試験の写真を第2.4.1-136図に示す。



第2.4.1-135図 ハウジングの耐熱・耐圧試験要領

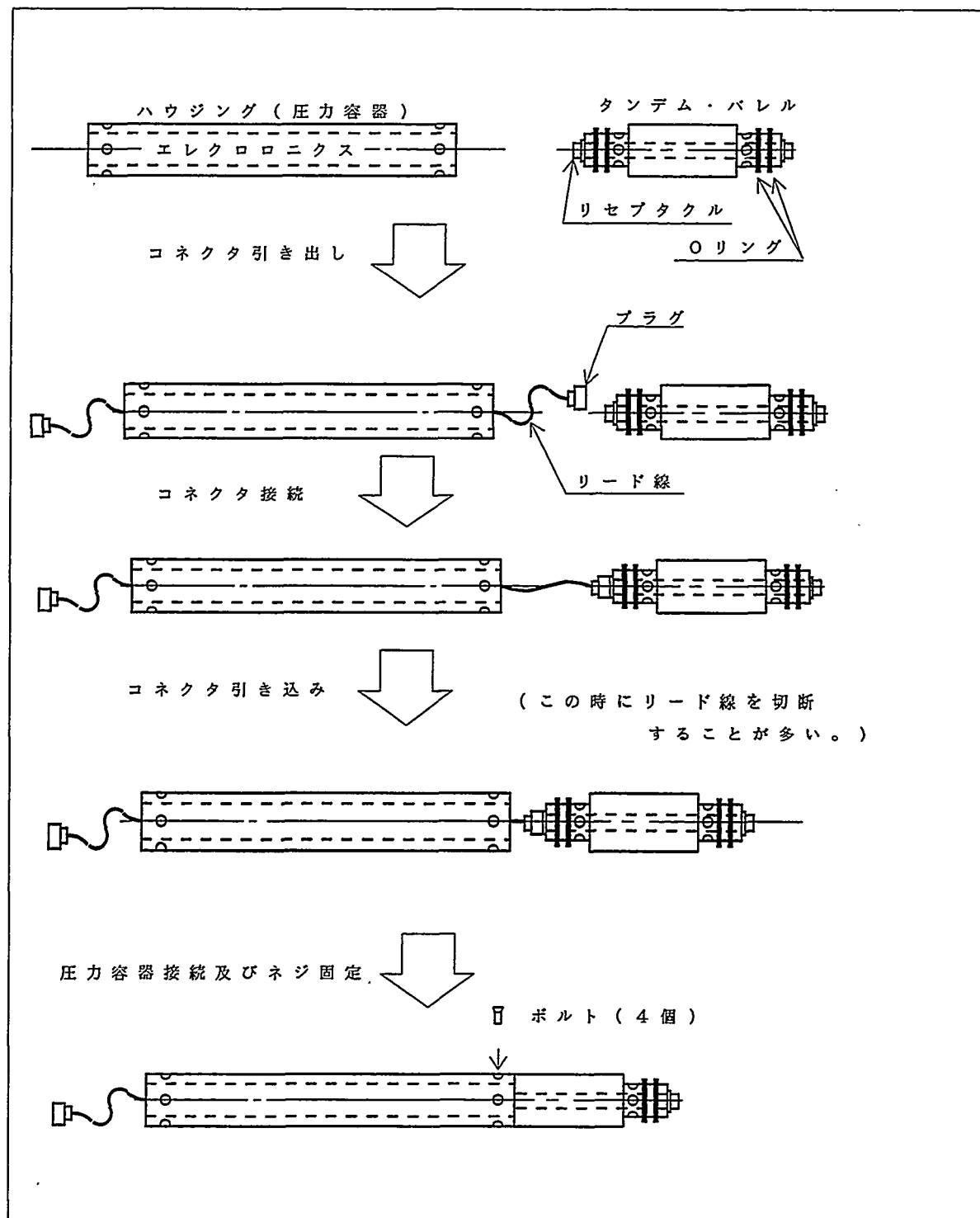


第2.4.1-136図 ハウジングの耐熱・耐圧試験

(1. 6. 2) 回転コネクタ

平成7年度までのゾンデの組み立ては、まずハウジング側のプラグを引き出し、タンデム・バレルのリセプタクルと接続する。その後プラグをハウジングに戻し、徐々にタンデム・バレルを差し込み、ボルトの位置合わせを行い、周方向に外から4本にボルトをネジ込む。

従来の組み立て概要を第2.4.1-137図に示す。



第2.4.1-137図 従来のゾンデ組み立て概要

ハウジングのプラグはタンデム・バレルのリセプタクルに接続しやすいようにリード線長さに余裕をもたせる。そのため、タンデム・バレル差し込み時にはリード線が捻れて嵌合部に挟み込まれ断線する。予めリード線をコイル状に捻っていてもリード線の数が多いことから状況はそれほど改善はされず、組み立て時にリード線の断線が多発した。

本年度はゾンデの組み立て時の作業性能を向上させるために、回転させながらハウジングを嵌合することとした。

しかし、この方式ではケーブルが捻れるため、回転しながら接続が可能なコネクタを製作した。以下にその仕様を述べる。

a. 製作仕様

①使用環境等

耐熱温度：200℃

サバイバル：220℃×5時間

②組み立て時の回転数：60～100rpm

③定格印加電圧：DC24V

④最大印加電流：5A

⑥絶縁抵抗：1,000VΩにて100MΩ以上

⑦ピン数：8

⑧耐久時間：250時間

⑨耐振動：50～500Hz、30G

⑩耐衝撃：1,000G、0.5msec

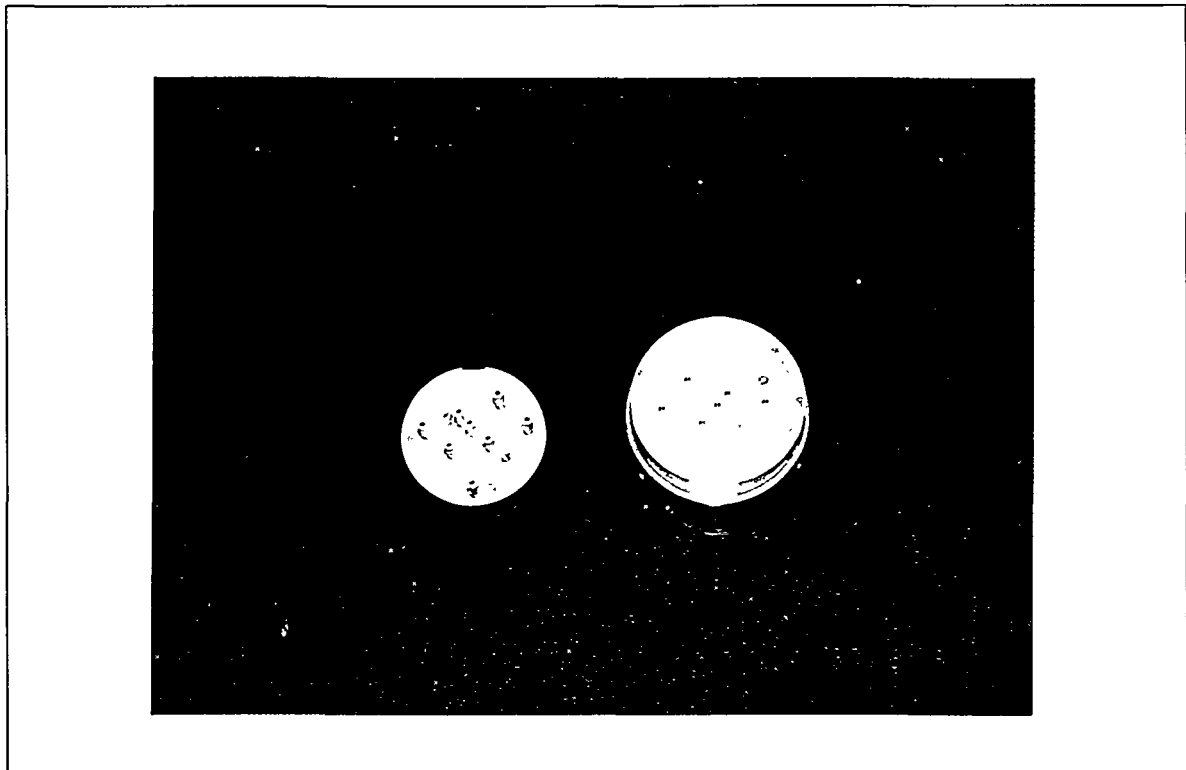
⑪形状：凸型のピンのある方をオス型コネクタとし、外径φ35.0mm×長さ110mm以下（ピンの長さを含む）とした。また、受け側をメス型コネクタとし、外径φ28.5mm×長さ110mm以下（受けピンの長さを含む）とした。

オス型のピンの配置は中心の1本を基準に3mmのピッチをもった同心円状に配置した。メス型ピンは同心円のリングとした。

ピン番号は中心部を1番とし、中心を遠ざかるごとに追番を行い最外郭を8番とした。

⑫材質：ピン及び絶縁材は耐熱性の高いものを用い、オス型の絶縁材はテフロン樹脂をメス型はセラミックを用いた。

コネクタの概要を第2.4.1-138図に示す。



第2.4.1-138図 コネクタの概要

b. 試験

イ. 耐熱試験

①試験目的

コネクタのオス、メスの各単体をセットにし、高温試験を行い、高温時の絶縁抵抗値が仕様内であることを確認する。

②試験条件

- ・ 圧力：大気圧
- ・ 温度：200℃×1時間
- ・ 試験要領

試験は第2.4.1-139図に示すように各ピン間を接続し、電流を流して試験中の抵抗増加の有無を確認した。

試験は恒温槽を用い、室温から徐々に昇温し200℃静定後1時間保持し降温するものとした。

③試験結果

180℃に到達した頃から断線が発生した。そのため、170℃の降温したところ復帰した。

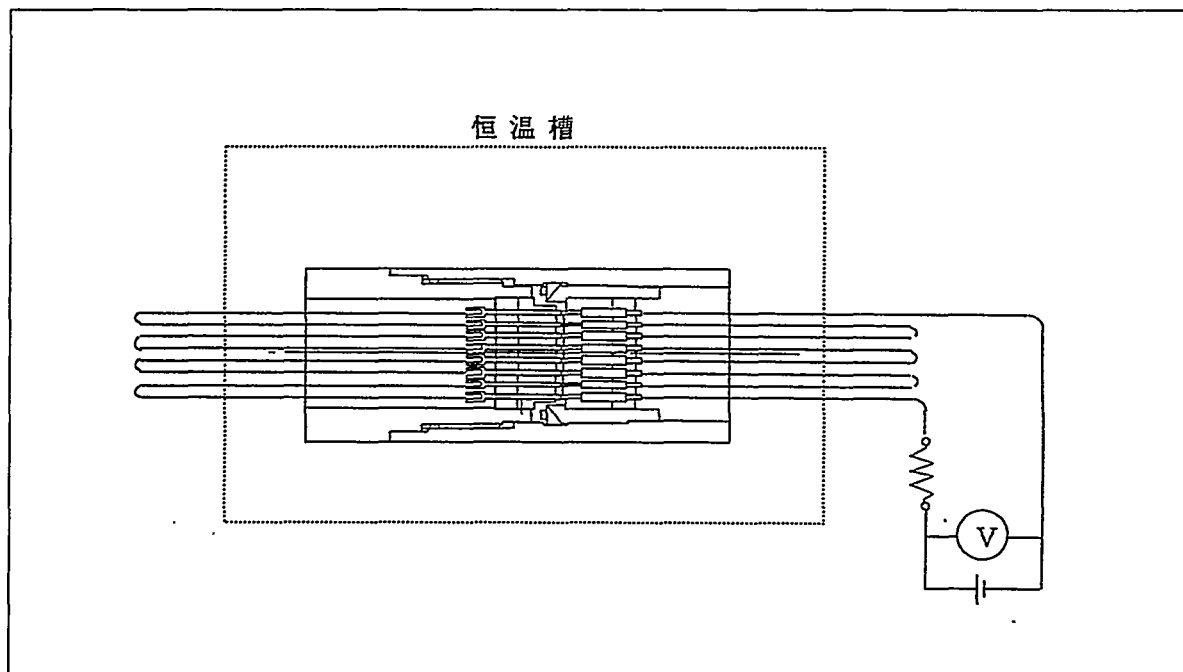
再度180℃に昇温したら再び断線が発生し、以後170～180℃間で断線／復帰を繰り返したため、途中で試験を中断した。第2.4.1-140図に試験結果を示す。

④考察

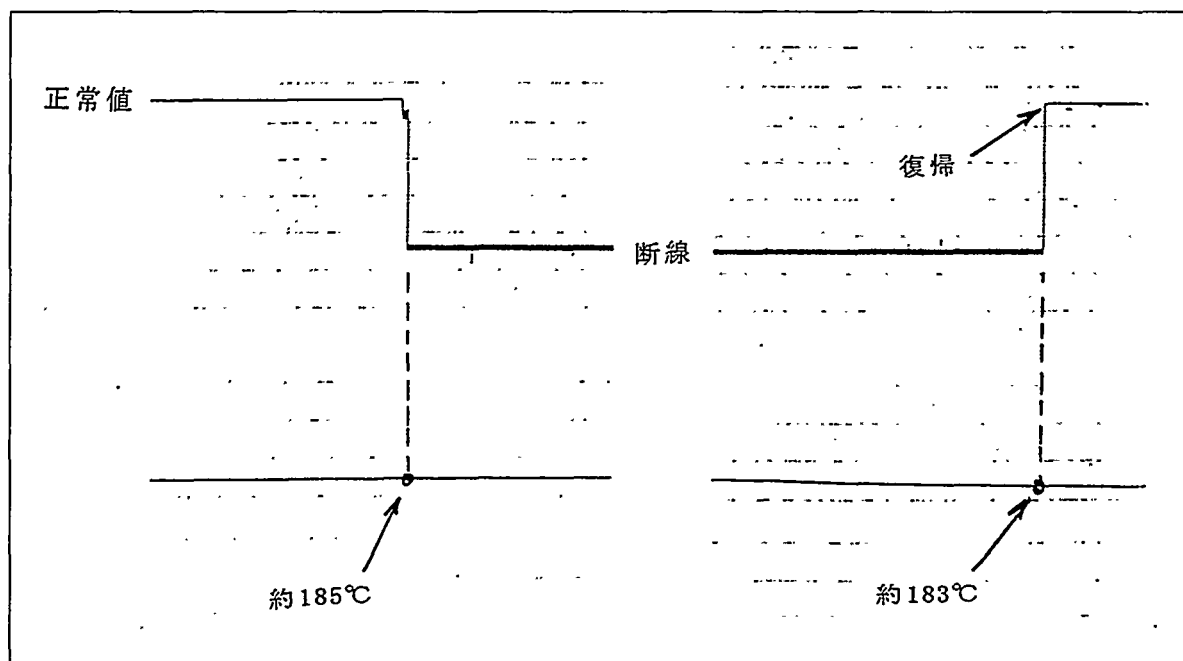
断線した箇所のピンは偏っており、中央部に集中し、中心部から外れたところは正常であった。このことから2層になっているオス側の絶縁体の内、薄い方が高温により変形し、中央部が膨れ上がると同時にピンを持ち上げてしまったことによる。第2.4.1-141図に断

線状況の概要を示す。

今後、絶縁体の材質をセラミック等に変更する必要がある。



第2.4.1-139図 耐熱試験要領



第2.4.1-140図 耐熱試験結果

ネジを貫通させてナットを用い、絶縁体を挟み込む対策を講じて再度衝撃試験を行って
でなかったことによる。

接続ネジの脱落はテフロンの絶縁体に直接ネジを切っていたため、ネジ部の強度が十分

⑤ 考察

第2.1.4-143図に試験結果を示す。図中で縦の線が瞬断を示す。

また、衝撃直後におよそ0.2秒の瞬断があることが判った。

Z軸衝撃試験後に接続ネジ (M1.6) が3本とも脱落した。

④ 試験結果

いは破損の有無を確認した。

試験は第2.4.1-142図に示すように各ピン間を接続し、電流を流して試験中の断線ある

試験はZ軸→X軸の順に行った。

とした。

ただしX軸及びY軸は 断面形状が同じであることからY軸方向の試験は省略するもの

また、試験は1軸当たり正方向3回、逆向き3回を行うものとする。

試験は平成7年度に取得した衝撃試験装置を用いて行った。

③ 試験要領

衝撃：1,000G、0.5msec

温度：常温

圧力：大気圧

② 試験条件

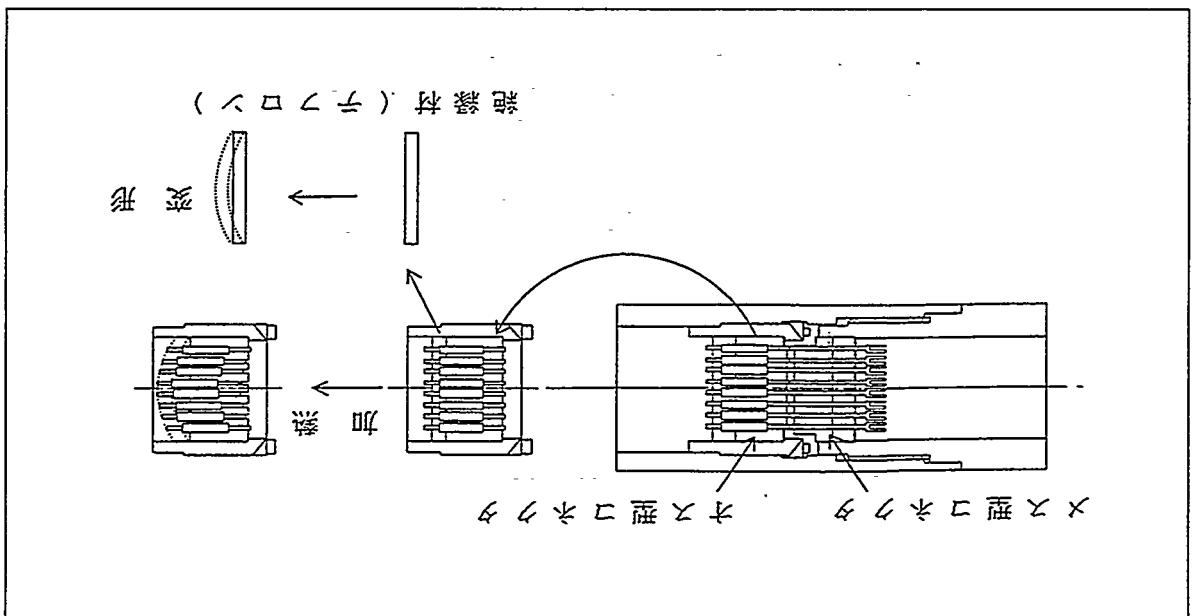
認する。

コネクタのオス、メスの各単体をセットにし、衝撃試験を行い、破損等が無いことを確

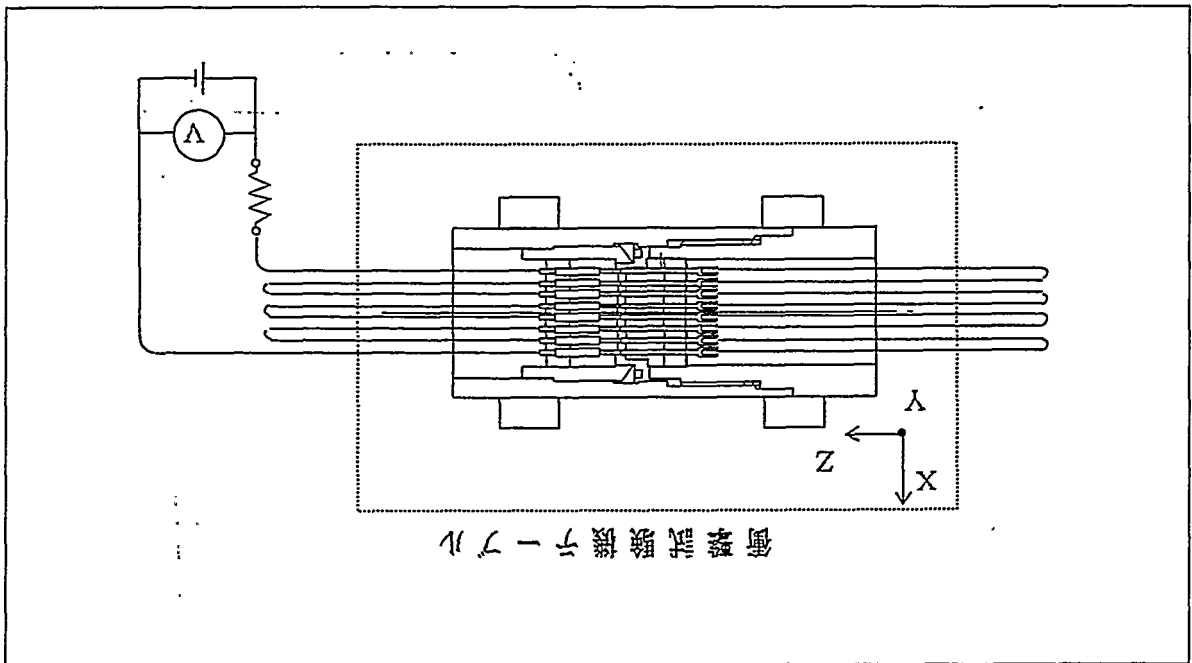
① 試験目的

□. 衝撃試験

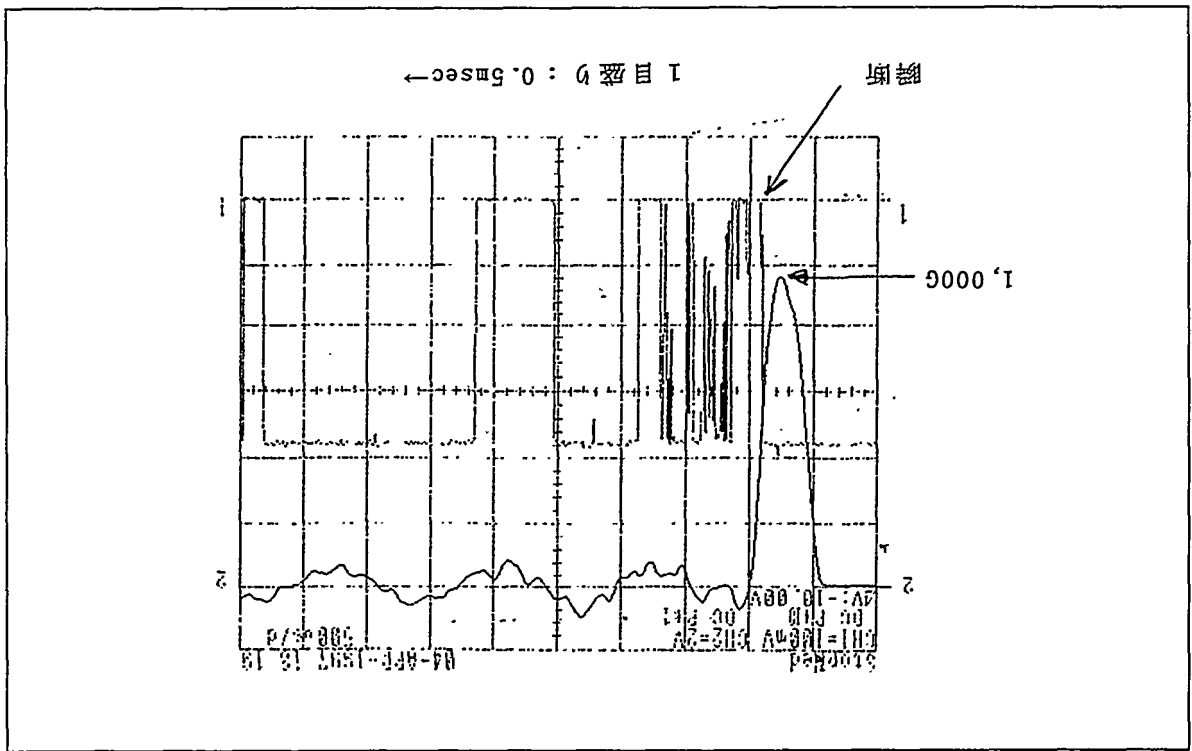
第2.4.1-141図 耐熱試験時の断線課程



も瞬断を抑えることができなかった。
 瞬断は約600G位でも発生しており瞬断の根本的な原因はピンの中のパネの強度が低すぎたことによる。また、供試品を変更しても瞬断の発生は変わらず、発生するピン番号も特定した傾向がないことから、今後パネの材質、線径を変える、ピンを複数にしてメス側のリング1個当たりのピン数を多くする等の対策が必要である。



第2.1.4-142図 衝撃試験要領



第2.1.4-143図 衝撃試験結果

ハ．振動試験

①試験目的

コネクタのオス、メスの各単体をセットにし、振動試験を行い、破損等が無いことを確認する。

②試験条件

圧力：大気圧

温度：常温

振動：平成6年度に取得した肘折のデータによる

③試験要領

試験は衝撃試験同様に1軸当たり正方向3回、逆向き3回を行うものとする。

ただしX軸及びY軸は断面形状が同じであることからY軸方向の試験は省略するものとした。

試験はZ軸→X軸の順に行った。

試験は第2.4.1-142図の衝撃試験と同じ方法で各ピン間を接続し、電流を流して試験中の断線あるいは破損の有無を確認した。

④試験結果

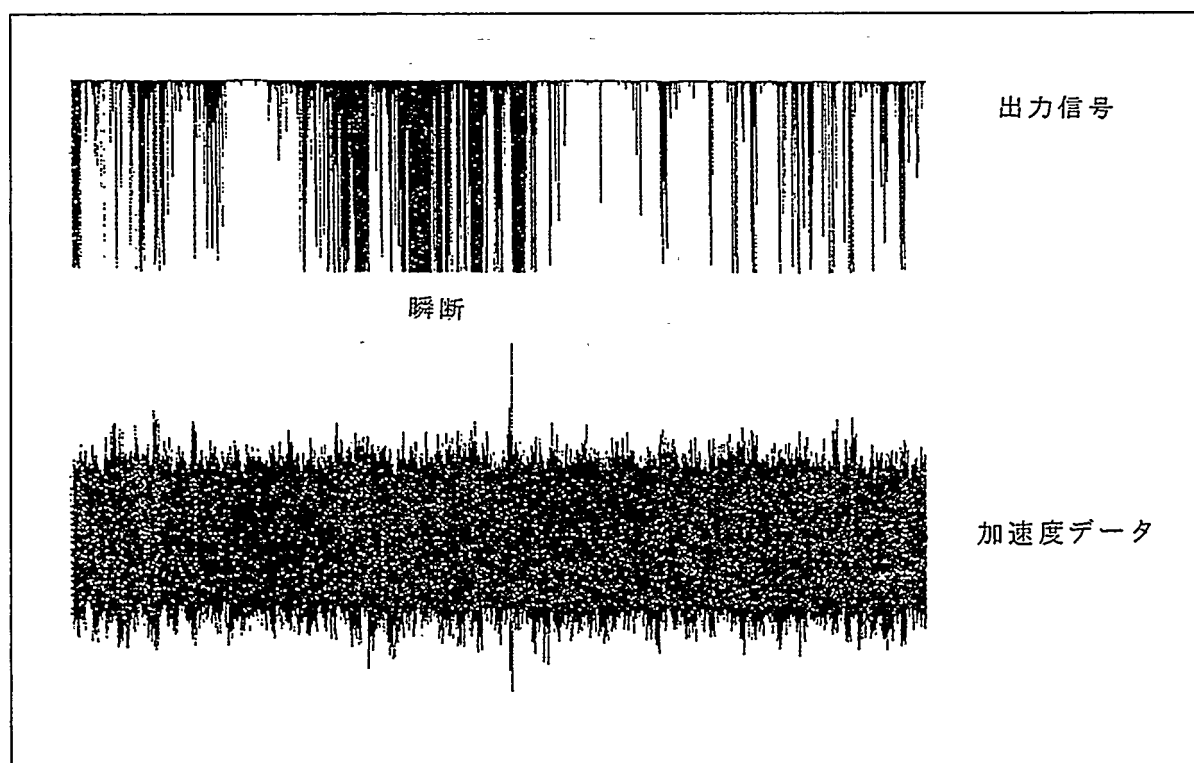
第2.4.1-144図に試験結果を示す。

⑤考察

衝撃試験同様の原因によりZ軸の試験時に接続ネジ(M1.6)が脱落した。

衝撃試験と同様な対策を講じても瞬断を抑えることができなかった。

また、瞬断が多発した。原因はピンの中のバネの強度が低すぎたことによる。



第2.1.4-144図 振動試験結果

c. まとめ

ゾンデの組み立て時の作業性能を向上させるために回転式のコネクタを製作したが、耐熱耐衝撃、耐振動の何れの試験でも不十分な結果しか得られなかった。

回転式コネクタは従来の差し込み式のコネクタに比べ、ゾンデ組み立て時の作業性能が良いことから平成6年度からアメリカのコネクタ・メーカーから情報を入手してきた。

しかしメーカー側の頑な態度から購入を断念し、国内で開発することとして進めて来た経緯がある。

今後、構造の見直し、材質の見直しを行うと同時に、ヨーロッパを含めたより広範囲な情報を入手していく必要がある。

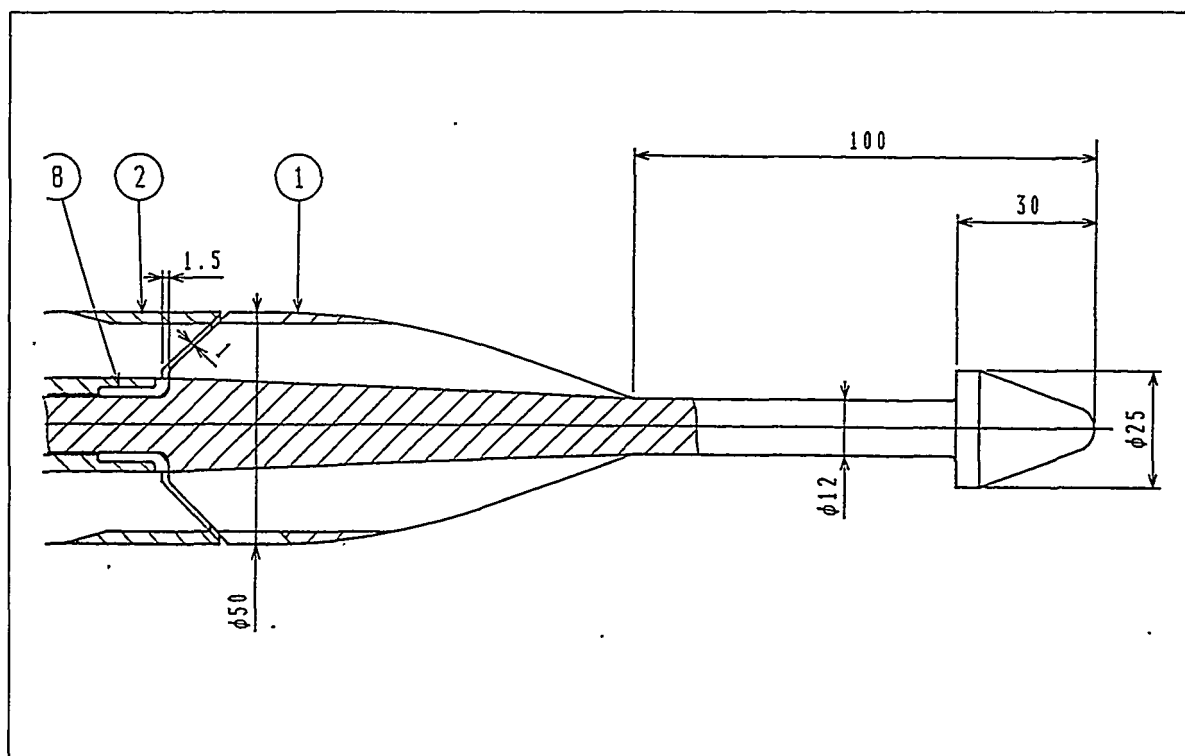
(1. 6. 3) 外部付帯装置

a. スピア・ポイント

ワイヤ・ライン式のアメリカの検層機器ではスピア・ポイントが着脱可能なものもあるが、掘削時の振動、衝撃は未知のものがあり、そのための緩み止め対策を講じるより、平成7年度の設計に基づきマッドパルス発生弁と一体型とした。

形状はワイヤ・ライン・ツールによる吊下揚収を容易とするため、頭部の外径を大きくし、 $\phi 25\text{mm}$ とした。また、パルス生成に影響を与えないように尖塔角度も型とした。

第2.1.4-145図に概要を示す。



第2.1.4-145図 スピア・ポイントの概要

b. セントライザ

①本年度の改良設計

平成6年度の板バネ式のセントライザを試作したが、ゾンデを高圧ループに収納する際に摺動が十分でなかったことや、強度不足で試験中にゾンデが模擬掘管を激しく殴打した。また板バネの円弧部がゾンデの収納、抜き出しの際に研ぎ澄まされ、刃物化し、ハンドリグが危険であった。

そのため平成7年度は板バネから丸棒の構造に変更したことにより、強度が増し、ゾンデの殴打、刃物化等の現象を回避することができた。

しかし、構造が簡単で交換も容易であったが、摺動時にバネが十分に収縮しない場合があった。そのため本年度は

- ・動作性能向上
- ・耐摩耗性能の向上

を目的に実機相当品の設計、製作を行うこととした。

バネが十分に収縮しない現象は、セントライザが横倒れをしないように両端に止め用の横棒を溶着したが、溶着時のバリ取りが不十分であった。それがセントライザが摺動した際に溝部に埋り込み、収縮を拘束してることが判った。

セントライザは消耗品と位置づけているため、加工時の表面粗度について配慮が欠けていたことに起因する。

バネ収納用の溝部に面取りを行うことにより対処した。

②材質

市販のバネ材で耐熱性が高く、非磁性材であるものを選択した。検討対象とした材種を第2.4.1-22表に示す。

ステンレス鋼（SUS304WPB）は耐熱性が290℃であるが線径の太いものは製鋼所へ特注となるため、入手の容易な燐青銅及びベリリウム銅でサンプルを作り耐熱性能を比較した。

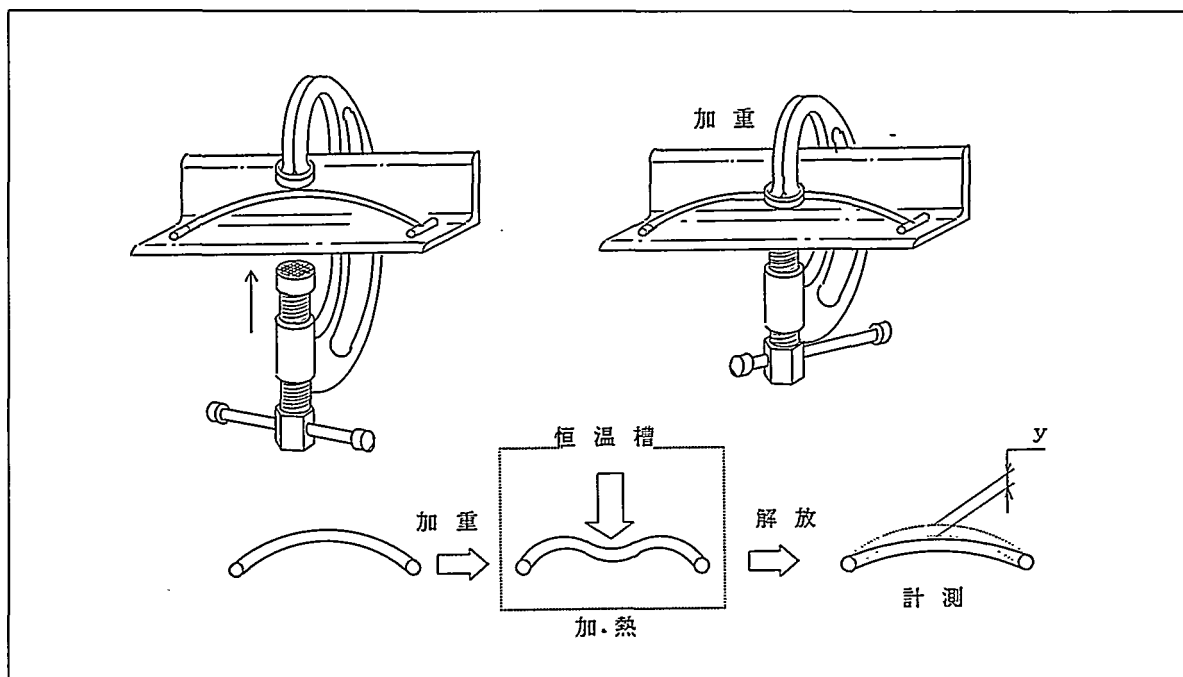
③性能比較

サンプルのセントライザを第2.4.1-146図に示すように型钢にG型クランプで固定し、200℃×5時間の熱をかけたのち、G型クランプを開放し、初期の円弧までもどるかどうかを確認した。

結果を第2.4.1-22表に示す。

第2.4.1-22表 セントライザの材料

材 料 名	G：縦弾係数性 [kgf/cm ²]	E：横弾性係数 [kgf/cm ²]
ステンレス（SUS304WPB）	7.5×10 ⁵	1.8×10 ⁶
燐青銅（C5210）	4.2×10 ⁵	1.05×10 ⁶
ベリリウム銅（C1720）	4.5×10 ⁵	1.3×10 ⁶

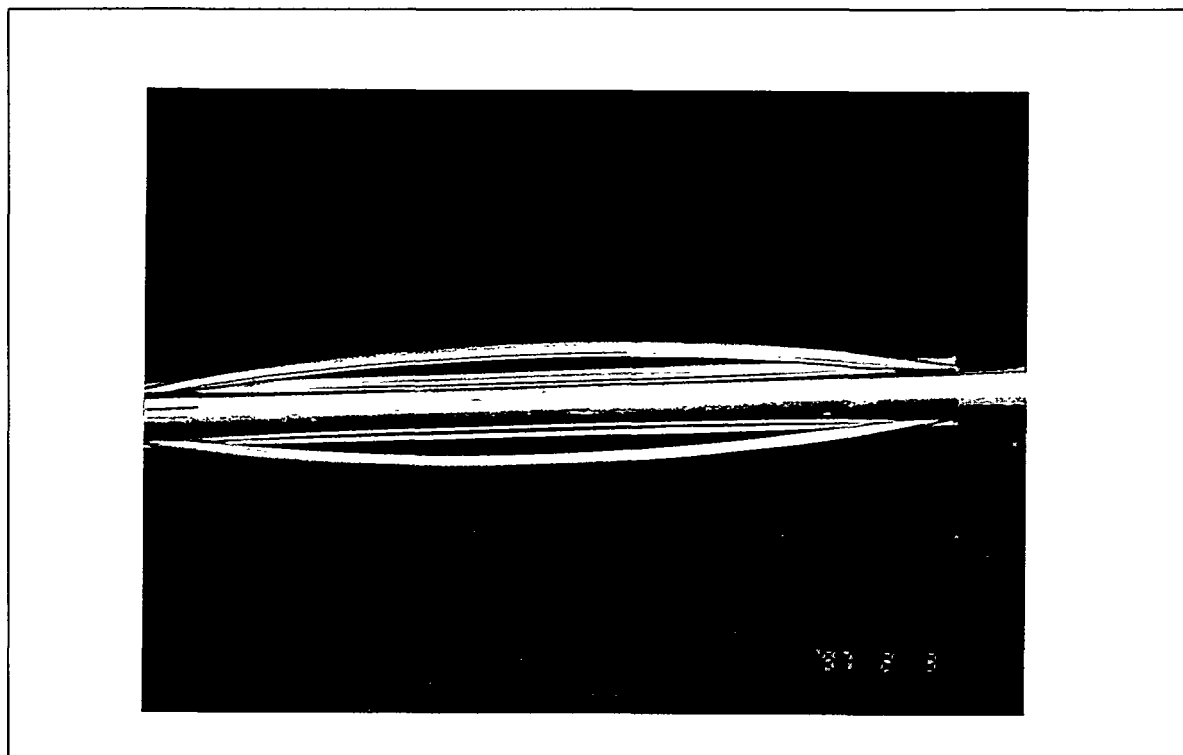


第2.4.1-146図 セントラライザの材料比較試験要領

④実機相当品の製作

この結果より燐青銅は200℃に加熱すると復元力がなくなる傾向があるため、セントラライザの材質はベリリウム銅とした。

第2.4.1-147図にセントラライザ・バレルに装着したセントラライザを示す。



第2.4.1-147図 セントラライザ・バレルに装着したセントラライザ

c. ランディング・ロッド

①動作性能向上

ランディング・ロッド（ミュール・シュー）は平成6年度に試作し、平成7年度をとおりて動作性の確認を行ってきた。ハンギング試験装置や高圧試験ループでの使用を通じ、特に改良を要する点は現れていない。

しかし実坑井では先端が摩滅しミュール・シュー・スリーブに収納できない場合があり、熱処理により材質の硬度を高める、あるいは先端にパチンコ玉を溶接し滑りを良くする等の改良が実施されていることが判った。

本年度はゾンデ全体の外径をφ44.4mm（φ1・3/4"）とするため、ランディング・ロッドの外径も同じくφ44.4mmとした。

②実機相当品の製作

加工を容易とするため、形状は平成6年度と同様に単管を斜めに切断する簡易なものとした。ハンギング試験装置や高圧試験ループでの試験を通して、キイに入らない等の支障を来したことがなかったので切断角度もそのまま60°を踏襲した。

また、切断面はミュール・シュー・スリーブのキイがどの位置で当たっても滑り込むように厚さに対して常に一定角度を保つように配した。

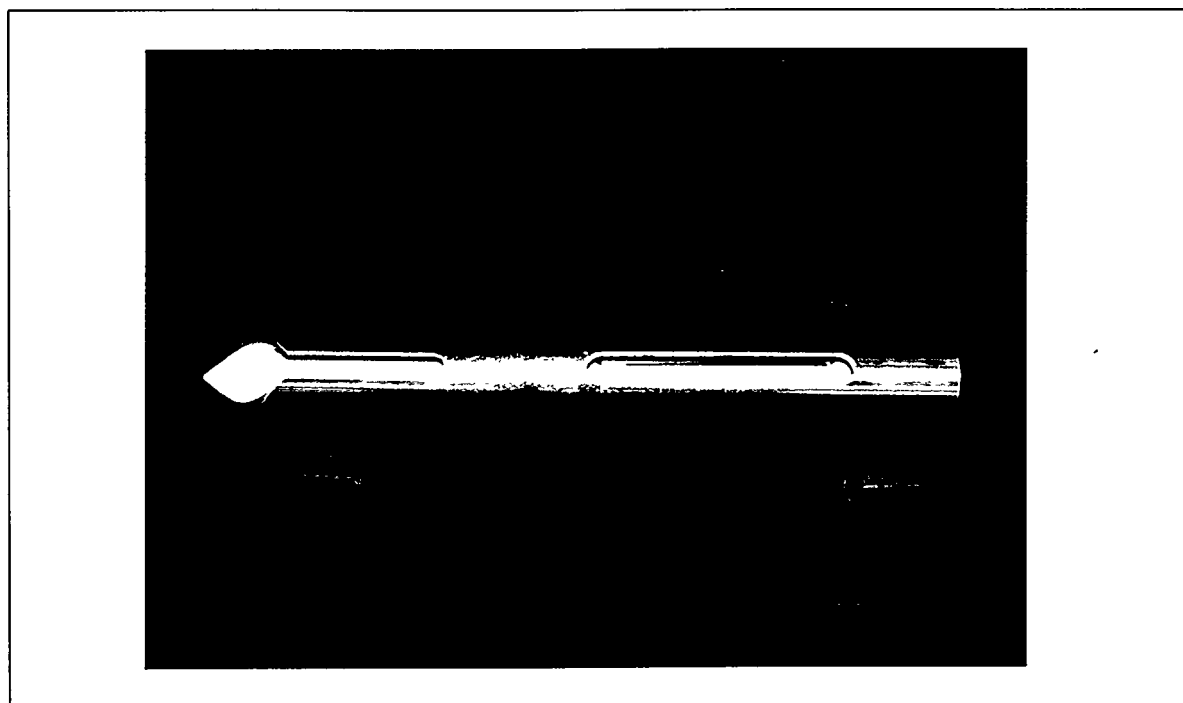
ランディング・ロッドはミュール・シューと嵌合すると泥水の流路を閉塞現するため平成6年度と同様に、外側から内側に貫通する長穴を設け、

長穴の面積≧ドリルカラーの内径断面積

とした。

材質は圧力容器ではないため高温時の強度を要しないことからステンレスとした。

第2.4.1-148図にランディング・ロッドを示す。



第2.4.1-148図 ランディング・ロッド

(1. 7) 組合せ試験

(1. 7. 1) 振動試験

a. 目的

供試体の機械的欠陥の判定及び供試体動作時に振動が加わることによって機能がそこなわれないか判定するために振動試験を行う。

b. 試験装置

MWD用試験機として開発した空冷式動電型振動試験装置を使用する。

振動発生機と振動台の外観図を第2. 4. 1-149図に示す。

イ. 型式：動電型振動試験装置

ロ. 構成

試験装置は以下の機器で構成する。

- ・ 動電型振動発生機
- ・ 冷却プロア
- ・ 駆動電源装置
- ・ デジタル振動制御装置
- ・ 水平振動台

ハ. 性能

性能概要を以下に示す。振動発生機的能力線図を第2. 4. 1-150図に示す。

①最大加振力：53,300N (5,442kgf)

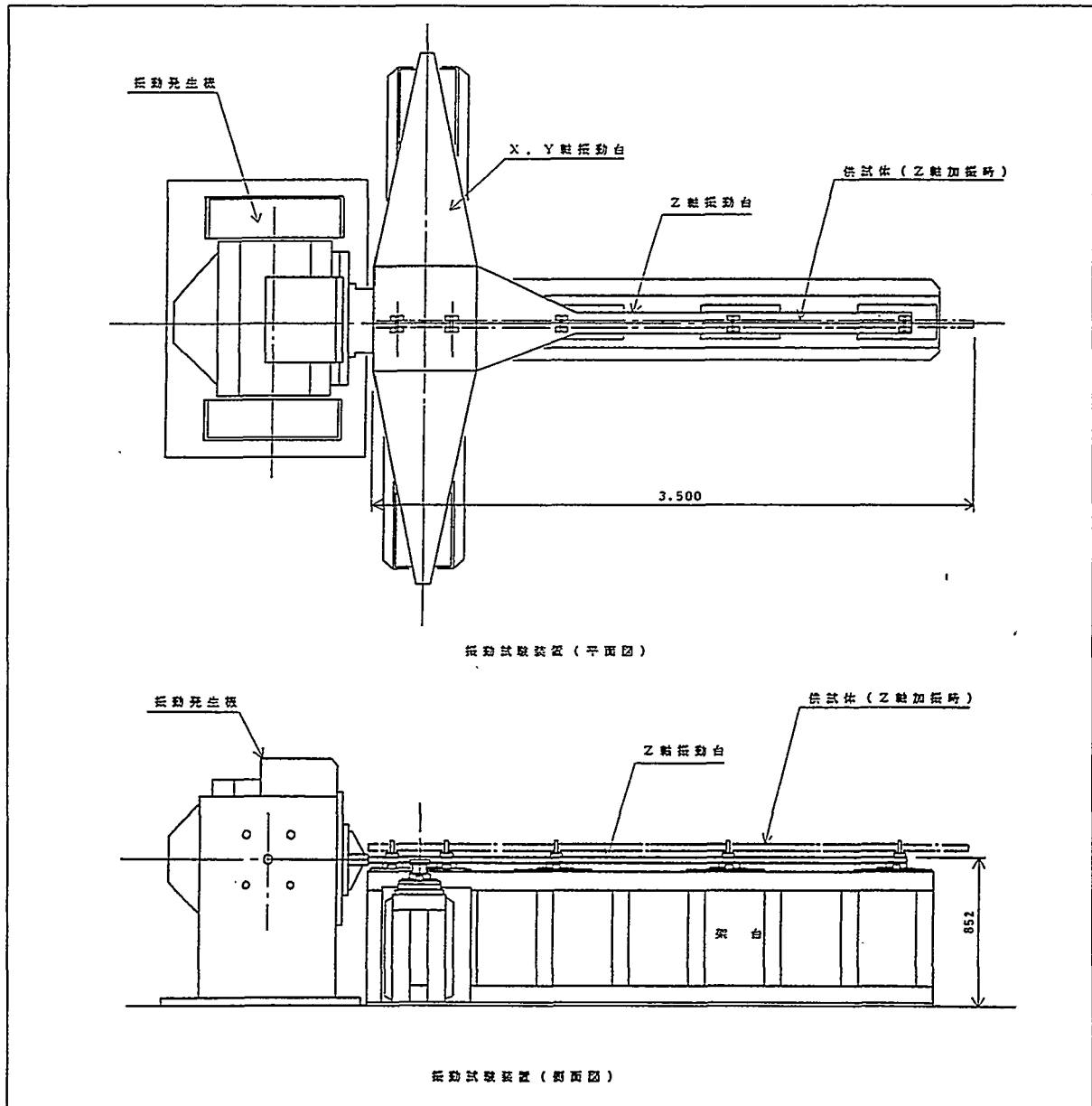
②周波数帯域：5～500Hz

③最大変位：50.0mm_{p-p}

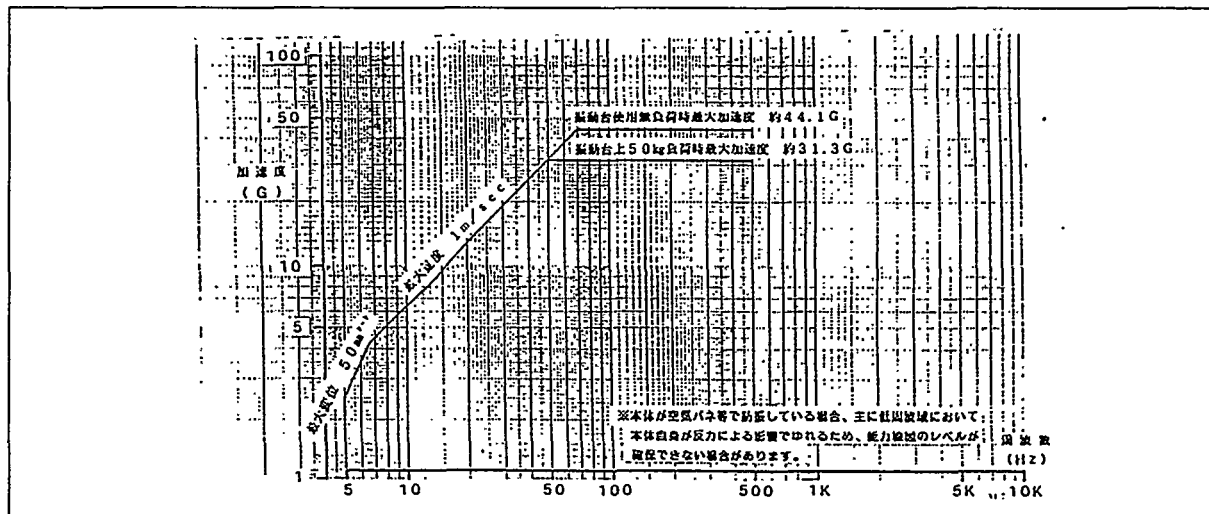
④最大速度：1m/s

⑤最大加速度

- ・ 正弦波：振動発生機単体無負荷時 約100G
水平振動台使用無負荷時 約44.1G
水平振動台上50kg負荷時 約31.3G
- ・ ランダム波：30GPeak (10Grms)
(水平振動台上50kg負荷時)



第2.4.1-149図 振動試験機外観図



第2.4.1-150 振動試験機能力線図

c. 試験方法

供試体の共振点などを評価するための振動特性試験と、実働荷重相当の条件下で所要の使用時間に耐え得るかを評価する振動耐久試験の2種類の試験を行う。

試験の順序は、振動特性試験を行った後に、振動耐久試験を行う。

イ. 加振軸

供試体を振動させる軸として、互いに直交するX、Y、Zの3軸を設定する。その際、1軸は掘削方向、すなわち天地方向とし、Z軸と称する。他のX、Yの2軸は、供試体毎に振動の影響が顕著になると予想される方向を選ぶ。供試体の軸の加振順序は問わない。ただし、X、Y軸が同形状の場合1軸を省略する。

ロ. 振動特性試験

掃引（スイープ）することにより供試体の固有振動周波数を調べることを目的とする。供試体は基板単独、基板をトレーに組み込んだ状態等、ゾンドのハウジングに組み込む前の状態とする。試験周波数帯域で顕著なピークが確認された場合は、モールドを行う等によって共振点を試験周波数帯域（5～500Hz）から避ける措置を講じ、振動特性試験を再度行う。

①加振波形：正弦波

②周波数帯域：5～500Hz

（振動周波数を原則として連続的に指数関数的に上昇させる。）

③振幅（入力波）：加速度振幅1G一定

④加振回数：1軸方向に対しスイープ1回

⑤加振方向：各々直交する三軸方向

⑥試験時間：1軸方向に対して、供試体の固有振動数を見逃さない程度の15分とする。

（1オクターブ/分のスイープ速度として試験時間を計算すると13.3分）

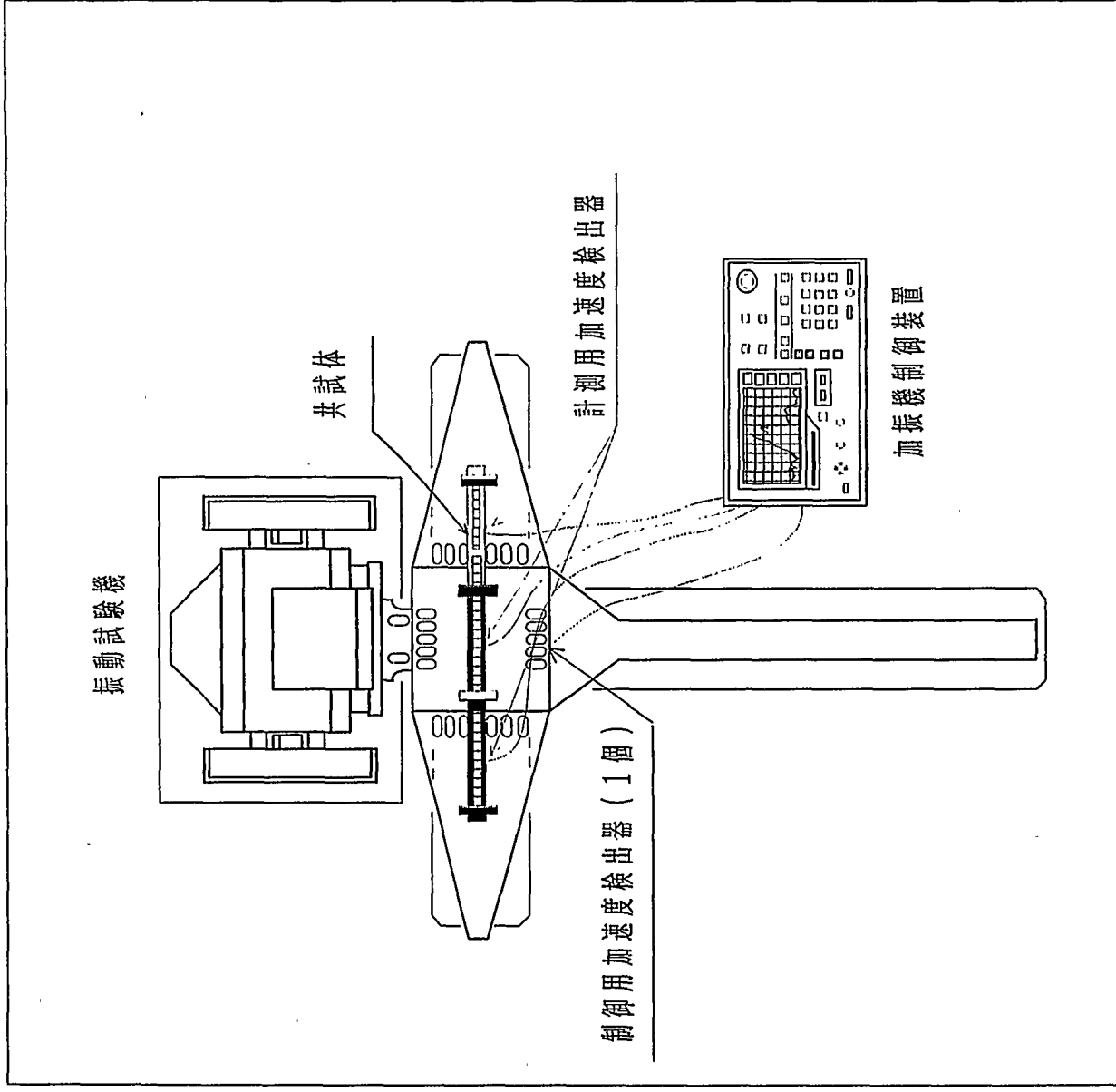
⑦振動計測点

供試体に直接取り付けた加速度ピックアップからの出力を用い、供試体の応答倍率を計測する。中間点1点、その他2点の3点に取り付けることを標準とする。また、共振周波数が存在すると思われる部分は詳細に計測を行う。

振動発生機の制御は、振動台に取り付けた加速度ピックアップからの出力を用い、フィードバックさせて行う。計測システムの概要を第2.4.1-151図に示す。

⑧判定基準

試験周波数帯域で、顕著なピークが無いこと。また、ピークが存在する場合は、平成6年度に取得した肘折の掘削データのエネルギー・レベルに従い、応答倍率が50Hzで10倍（10G）以下とし、50Hz以下は50Hzから-6dB/オクターブで下降し、50Hz以上は-10dB/オクターブで下降する倍率を良とする暫定基準を定めた。



第2.4.1-151図 計測システム図

ハ. 振動耐久試験

供試体をハウジングに組み込み、供試体が所用時間の振動に耐えられるかどうかを確認することとする。

供試体の誤動作、性能劣化、及びその他の影響が起こる全ての振幅及び供試体の動作を記録する。

①周波数帯域：500Hzまでの範囲

②振幅（入力波）：第2.4.1-152図、第2.4.1-153図に示す肘折での全てのデータを包括した入力波を用いる。

X、Y軸方向の試験では、0 Hzから 6 dB/オクターブの加速度上昇率で 50Hzで $1 \text{ G}^2/\text{Hz}$ となり、500Hzまで -10dB/オクターブで加速度が減少する波形を使用する。

また、Z方向の試験では、 $0.01 \text{ G}^2/\text{Hz}$ 一定とする。

③試験時間

1 回の試験は20分とし、異常が発生した場合は、中断し検査を行う。異常の確認、対策後に再度試験を行うものとする。

振動の低サイクル疲労論では 10^3 回の繰り返し数があれば、性能の確認が可能であるとされている。20分の耐久試験を行えば、50Hzの周波数で 6×10^4 サイクルの繰り返し数となり、供試体の傾向を確認することが可能である。

④振動計測点

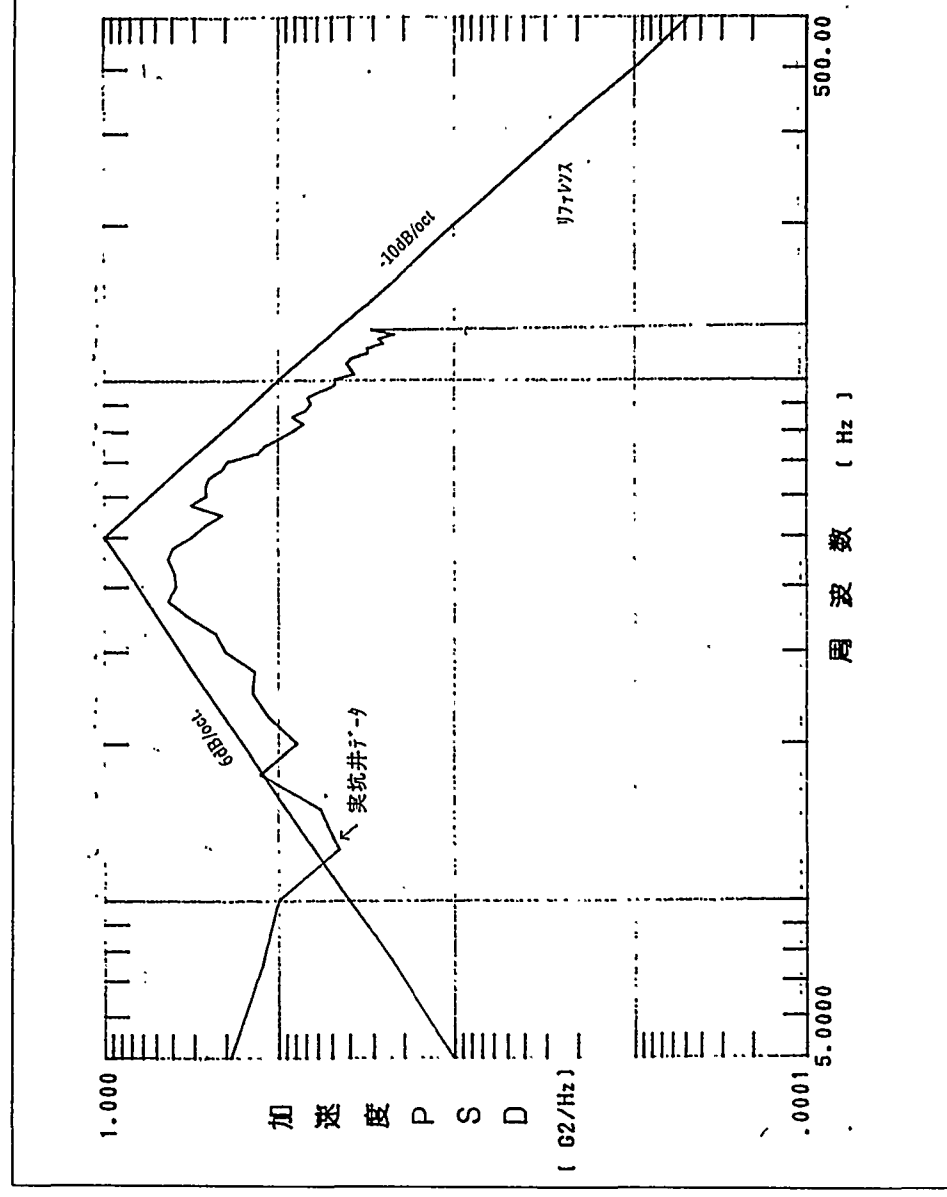
振動台または供試体取付治具の4箇所に取り付けた加速度ピックアップからの出力を計測し、1点を制御に使用する。

⑤初期測定

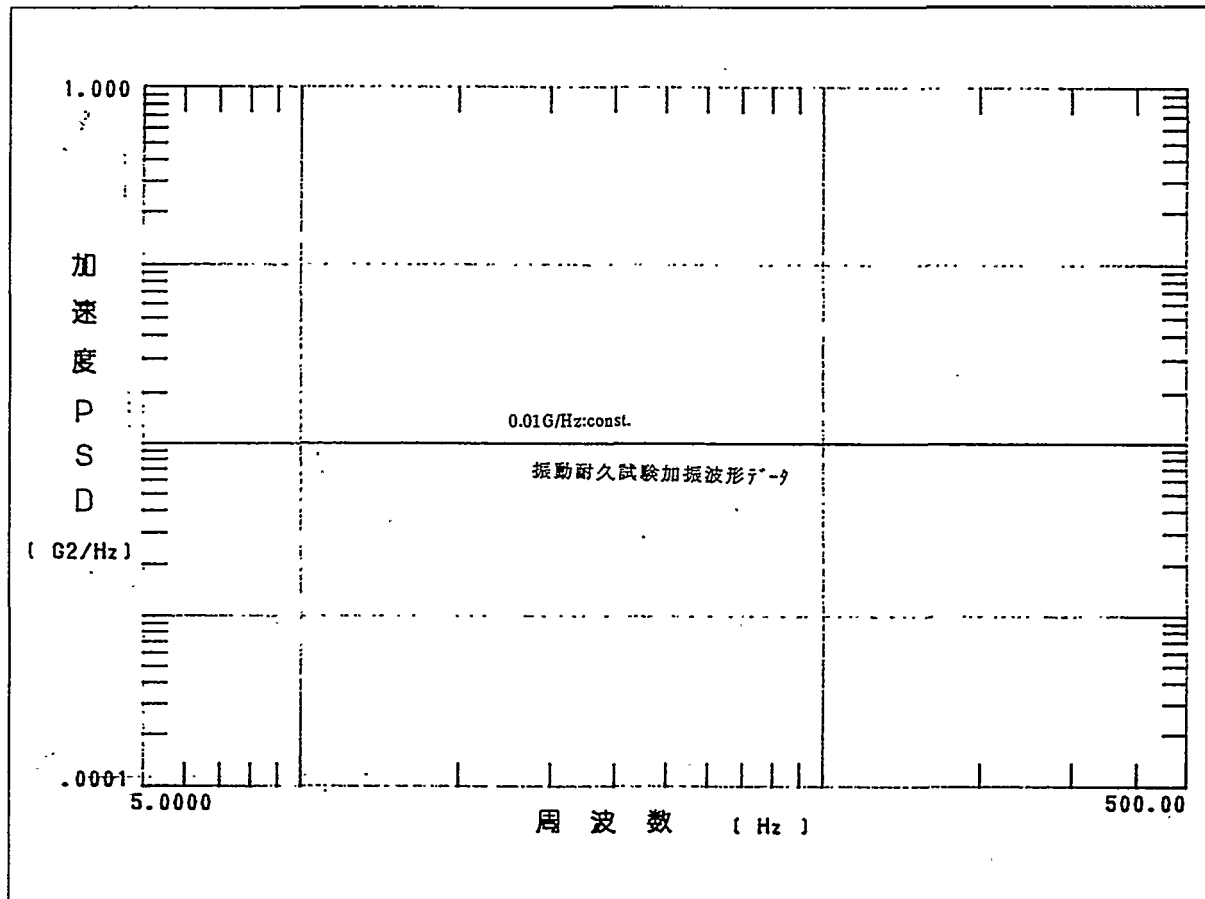
振動試験前に目視により供試体の外観検査を行い、次に出力信号の検査等の電氣的測定、及びネジの緩み等の機械的点検を行う。

⑥最終測定

初期測定と同様に、振動試験後に目視により供試体の外観検査を行い、電氣的測定及び機械的点検を行う。



第2.4.1-152図 耐久試験リファレンスPSD (X、Y軸方向)



第2.4.1-153図 耐久試験リファレンスPSD（Z軸方向）

d. 試験結果

イ. 振動特性試験

ここでは、方位、傾斜、温度補正の複数の装置で構成される傾斜情報センサ部の試験結果と、特性試験の総合評価を示す。各装置単体の試験結果の詳細は、各装置ごとに該当する項に試験結果を示す。

①傾斜情報センサ部

方位計、傾斜計、温度補正回路及び温度センサを組み合わせた状態で試験を行う。

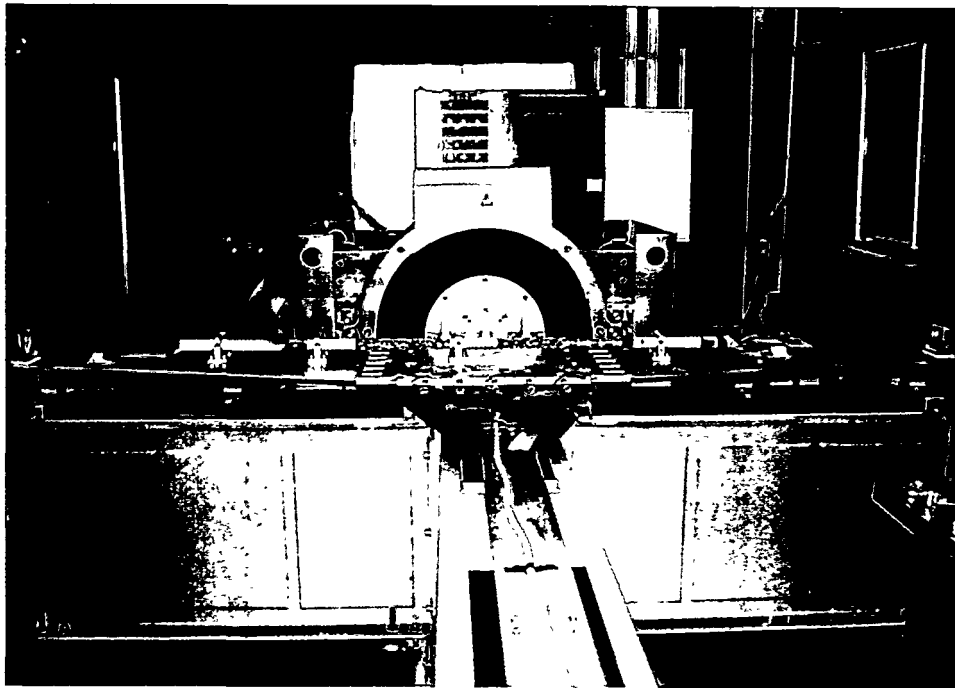
・固定方法

振動台への固定方法を第2.1.1-154図に示す。

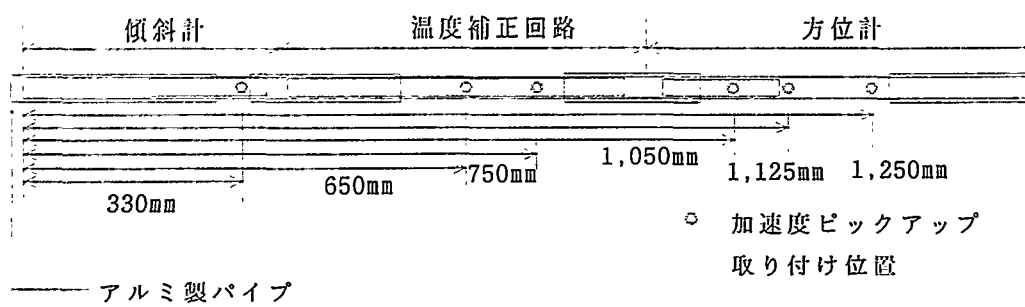
第2.4.1-155図に示すように、方位計、傾斜計及び温度補正回路で構成される供試体に対し、両端に配置される方位計、傾斜計の端部と温度補正回路との結合部2箇所の合計4箇所に、ハウジング内径と同等のアルミ製の短パイプを配置し、ハウジングへの固定方法と同様に固定した後、振動試験治具を用いて振動台に固定した。

・計測点

傾斜計の端から330mm、650mm、750mm、1,050mm、1,125mm、1,250mmの位置に加速度ピックアップを取り付けた。ピックアップ取り付け位置を第2.4.1-155図に示す。



第2.4.1-154図 傾斜情報センサ部固定方法



第2.4.1-155図 傾斜情報センサ部計測点

・試験結果

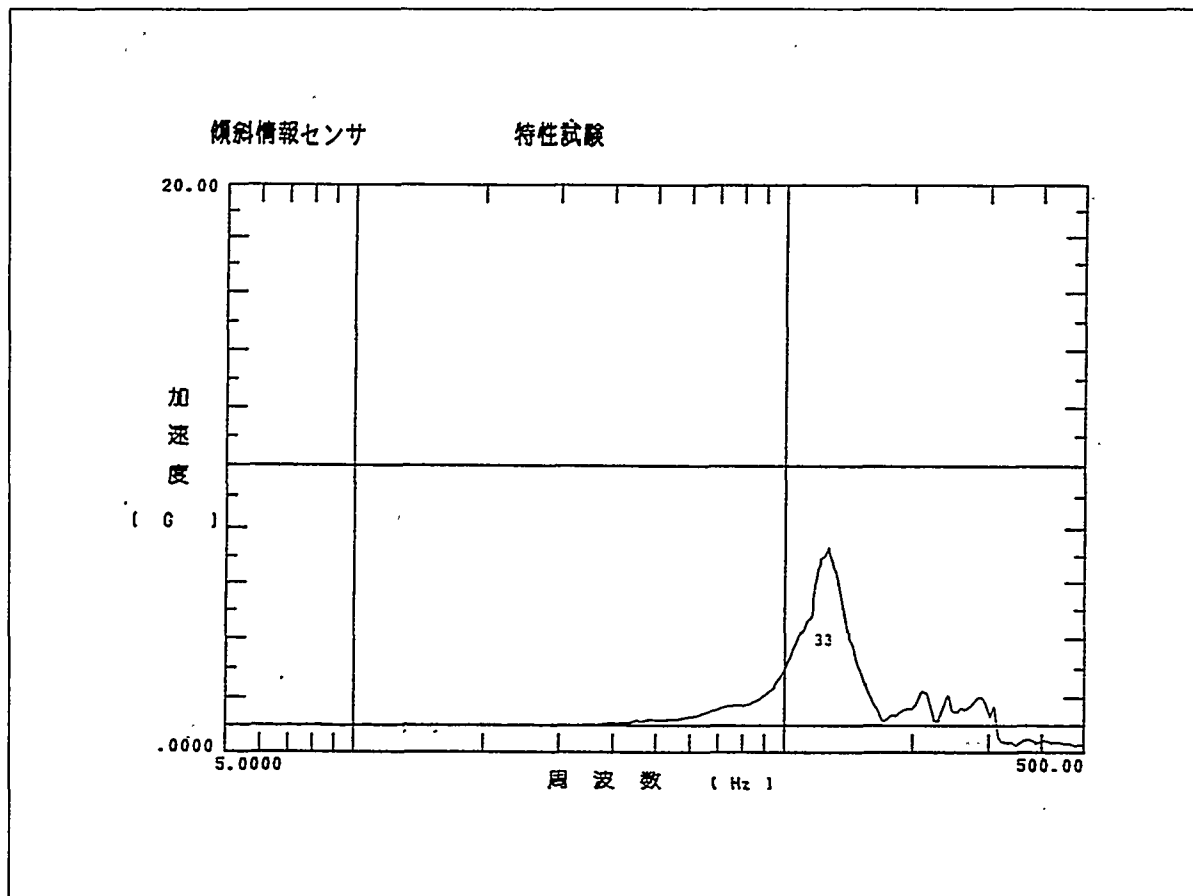
X軸方向の試験結果を第2.4.1-156図から第2.4.1-158図に、Y軸方向の試験結果を第2.4.1-159図から第2.4.1-161に示す。Z軸方向の試験は共振周波数が500Hz以上にあるため省略した。

グラフ内の数値は加速度ピックアップの傾斜計端部からの取り付け距離を示す。

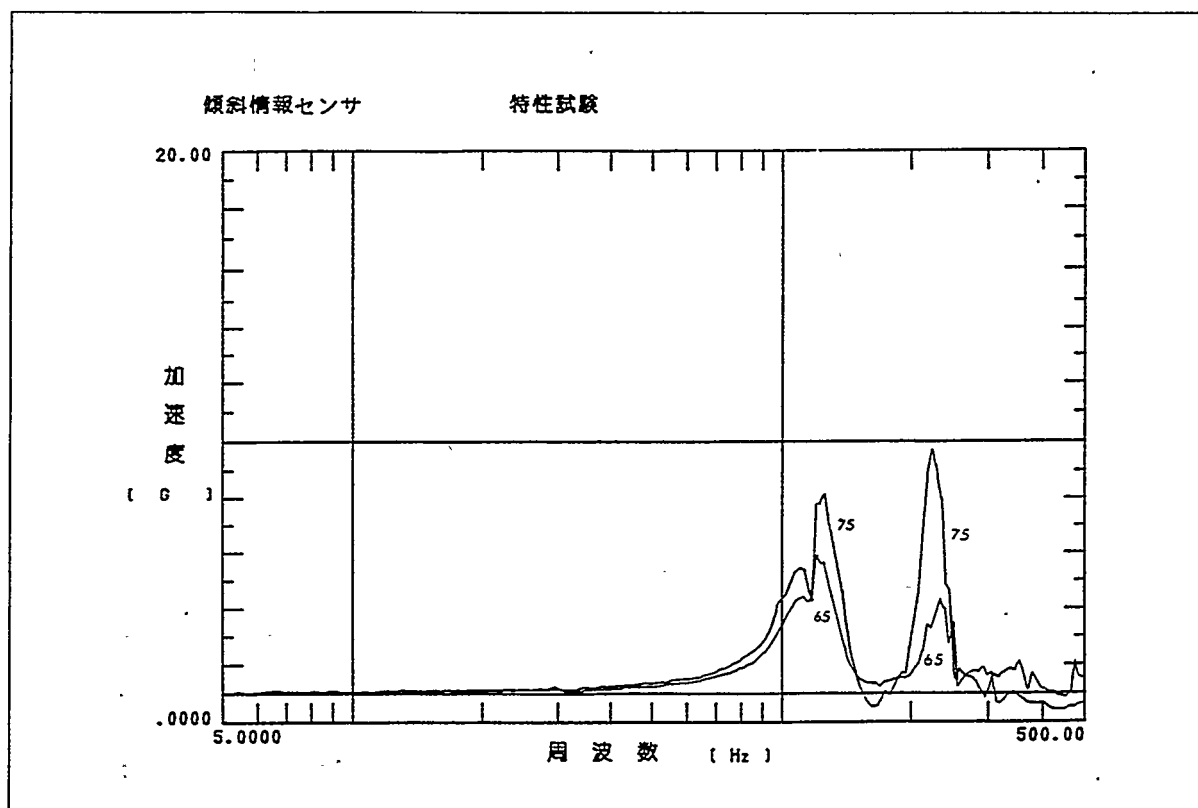
X軸は、傾斜計部で125Hz、方位計部で230Hz、温度補正部で125Hzと230Hz付近にピークが存在している。また、Y軸は、傾斜計部で110Hz、方位計部で230Hz、温度補正部で110Hzと230Hz付近にピークが存在している。

110Hzと125Hzの応答倍率は、10G以下であり、230Hz付近の応答倍率は大きいものは15.2倍である。この値は暫定基準から外れる。

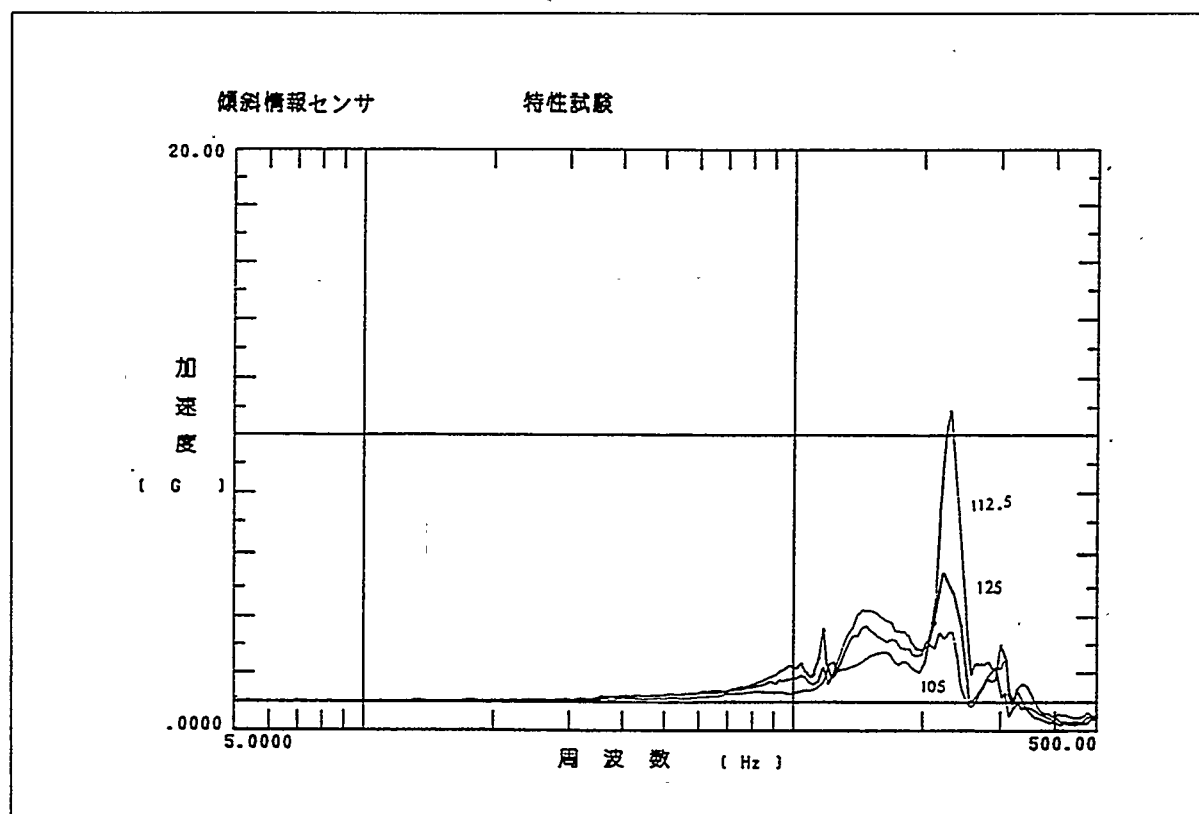
傾斜情報センサをゾンデに実装する場合には、トレイはハウジングの内径に当たり、大きな振幅を得ることはないが、第2.4.1-156図に示すように試験では加速度ピックアップを効率的に配置するため、ハウジングに相当するアルミパイプをトレイの拘束箇所に部分的に配置した。そのためパイプのない中間部は拘束するものがないために大きな応答倍率となったと思われる。実用上は問題がないと判断した。



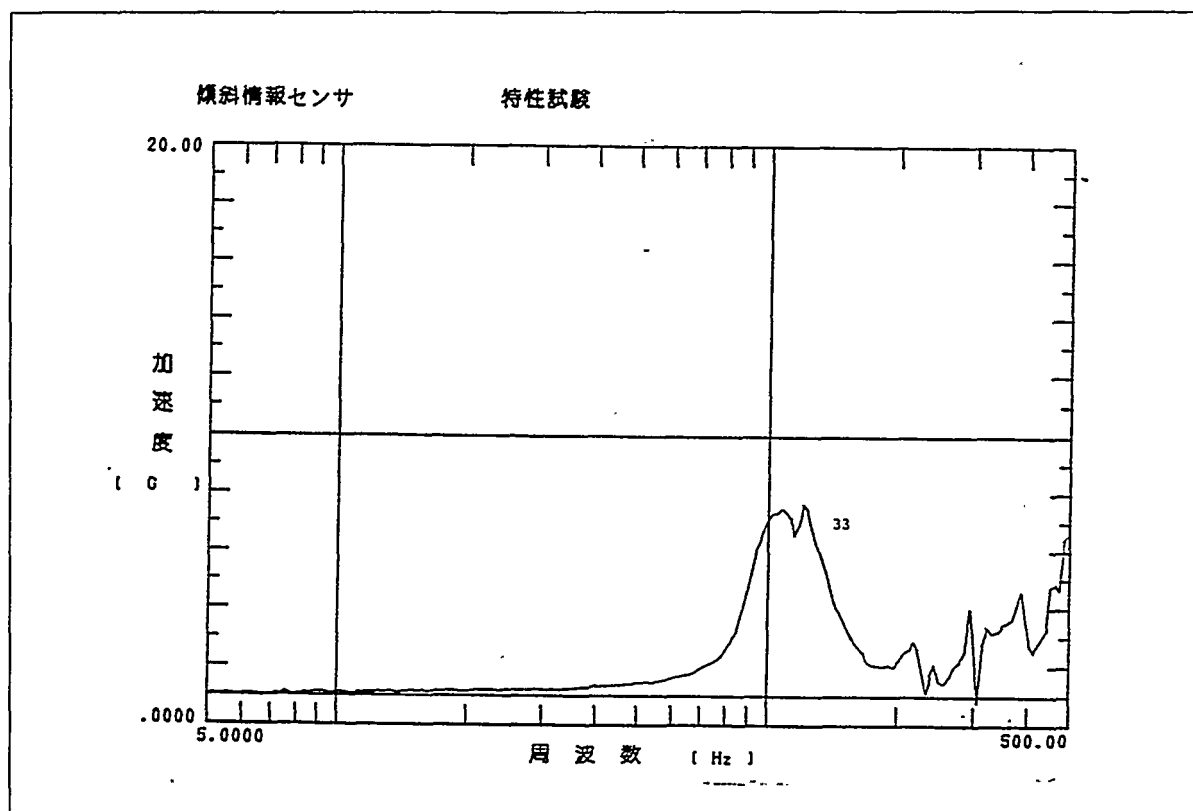
第2.4.1-156図 傾斜情報センサ部特性試験 (X軸、傾斜計部)



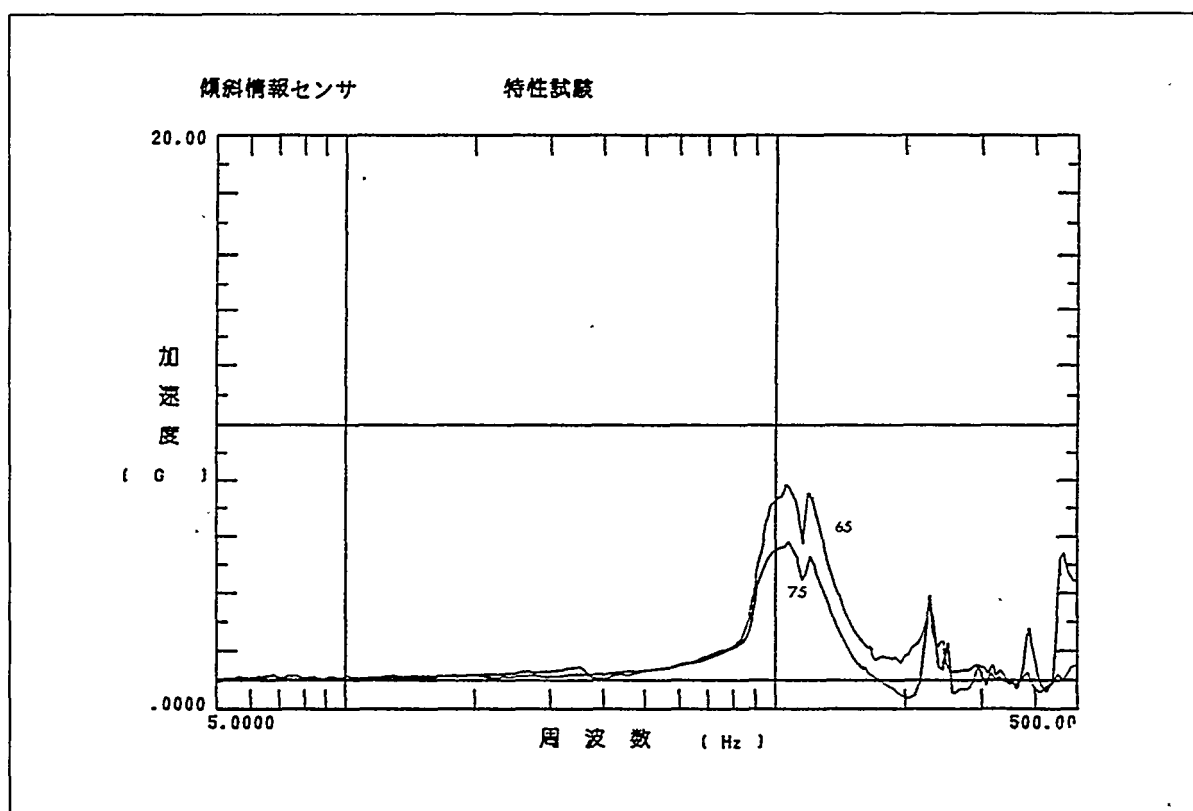
第2.4.1-157図 傾斜情報センサ部特性試験（X軸、温度補正部）



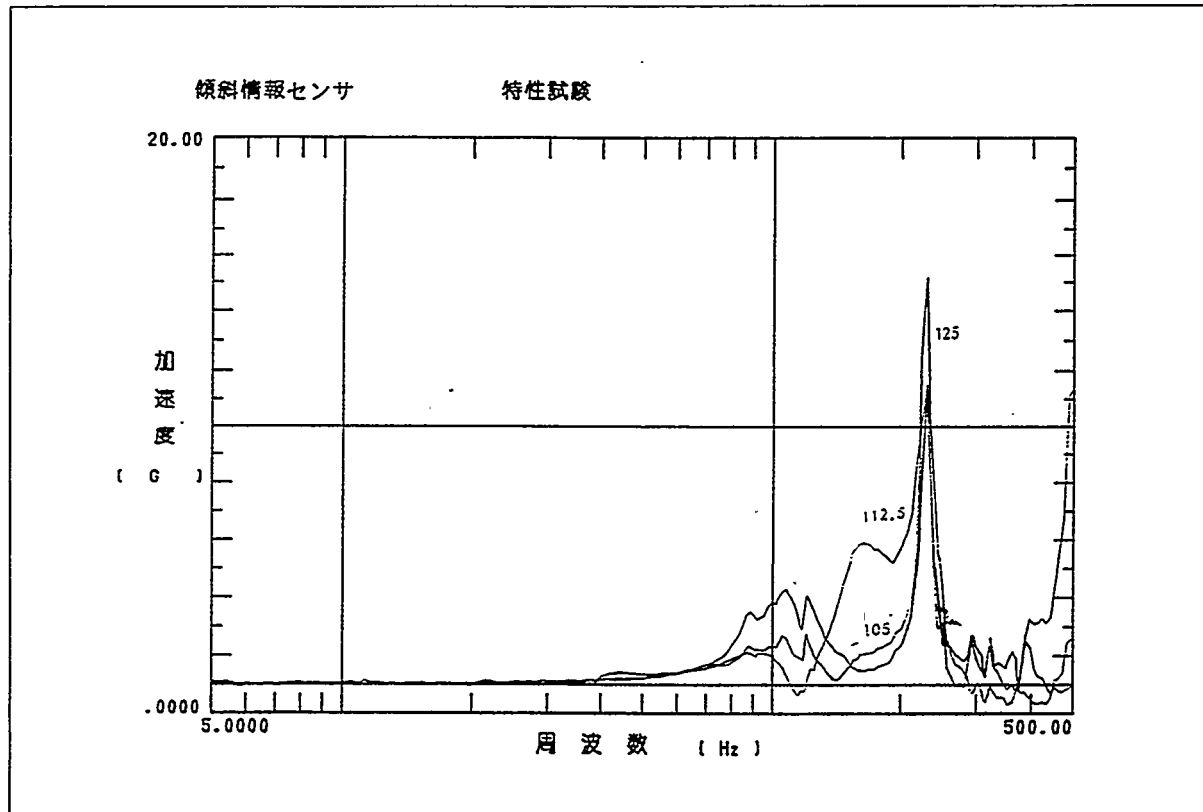
第2.4.1-158図 傾斜情報センサ部特性試験（X軸、方位計部）



第2.4.1-159図 傾斜情報センサ部特性試験 (Y軸、傾斜計部)



第2.4.1-160図 傾斜情報センサ部特性試験 (Y軸、温度補正部)



第2.4.1-161図 傾斜情報センサ部特性試験（Y軸、方位計部）

②特性試験総合評価

単体や、組み合わせて行った試験結果を第2.4.1-23表に示す。

基板単体での試験では500Hz以内に共振周波数はなかった。モータ単体の試験では、通常、駆動装置に組み込まれた場合には軸受け機構等により拘束されるが、単体試験ではロータ軸が他の機構に拘束されないため、Z軸方向に共振があった。しかし、応答倍率が2.11倍であり暫定基準から判断して問題はない。

また、組み合わせた場合は応答倍率が15倍を越えたものがあるが、基板単体での応答周波数が高いことや、綿密な計測を行うために実際のハウジングではなく相似なアルミ製のハウジングを部分部分に使用したことにより、トレイに実状以上の振幅を許したことにより生じたものであるため、問題はないと判断した。

第2.4.1-23表 振動特性試験結果（共振周波数）一覧表

供試体	共振周波数	応答倍率	軸
モータ	340Hz	2.11	Z
駆動装置制御装置	なし	—	—
坑底信号処理装置	なし	—	—
方位計駆動基板	なし	—	—
方位計増幅基板	なし	—	—
温度センサ	なし	—	—
傾斜計基板	なし	—	—
機構部	380Hz	10.6	X
坑底信号処理装置部	300Hz	15.0	X
傾斜情報センサ部	230Hz	15.2	Y

ロ. 振動耐久試験

ハウジングに機器を挿入し、セントライザ等と組み合わせた状態で、機器を動作させながら試験を行った。

組み合わせは、第2.4.1-24表に示すように、駆動部、坑底信号処理装置部、傾斜情報センサ部、バッテリー部の4種類を行った。

第2.4.1-24表 振動特性試験組み合わせ一覧表

ゾンデ構成要素	試験組み合わせ
パルス弁	↑
機構部	駆動部
駆動装置制御装置	
No. 1 タンデム・バレル	↓ ↑
駆動用電源	*駆動用電源部 省略
アッパー・セントラライザ・バレル	↑ ↓
坑底信号処理装置	坑底信号処理装置部
No. 2 タンデム・バレル	↓ ↑
傾斜情報センサ	傾斜情報センサ部
ローア・セントラライザ・バレル	↑ ↓
エレクトロニクス用電源(1)	エレクトロニクス用電源(1)部 ダミ・バッテリで試験
No. 3 タンデム・バレル	↓ ↑
エレクトロニクス用電源(2)	*エレクトロニクス用電源(2)部
アダプタ・バレル	省略
ランディング・ロッド	↓

*：基本構成が同じため、エレクトロニクス用電源（１）の結果で評価

①駆動部

・機器構成

パルス弁、駆動装置、駆動装置制御装置、セントライザで構成する。加振中もパルス弁を駆動するため、振動試験用コネクタをセントライザ側に接続し、電源や、信号の入力を行った。

取り付け状態を第2.4.1-162図に示す。

・測定項目

計測機器の構成を第2.4.1-163図に示す。

a)初期測定

組み立て時に目視により外観検査を行った。

組み立て後、通電し、パルス弁が入力パルス通りの動作を行うか確認した。

サーマルアレイコーダにより、入力パルス信号とパルス弁駆動時の電流をモニタした。

b)試験時測定

初期測定に引き続き、入力パルスと電流をサーマルアレイコーダでモニタした。

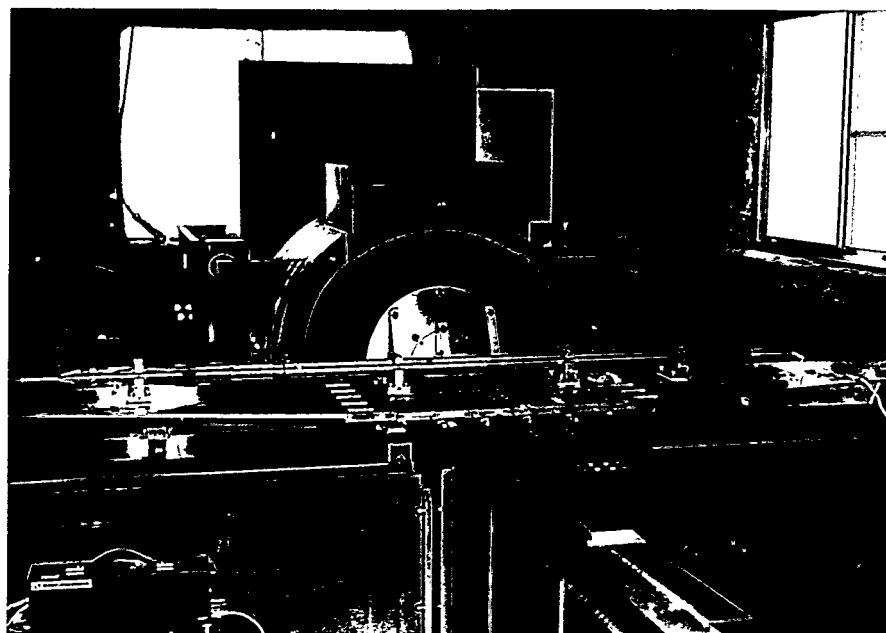
目視により、弁の動きと外観を確認した。

c)最終測定

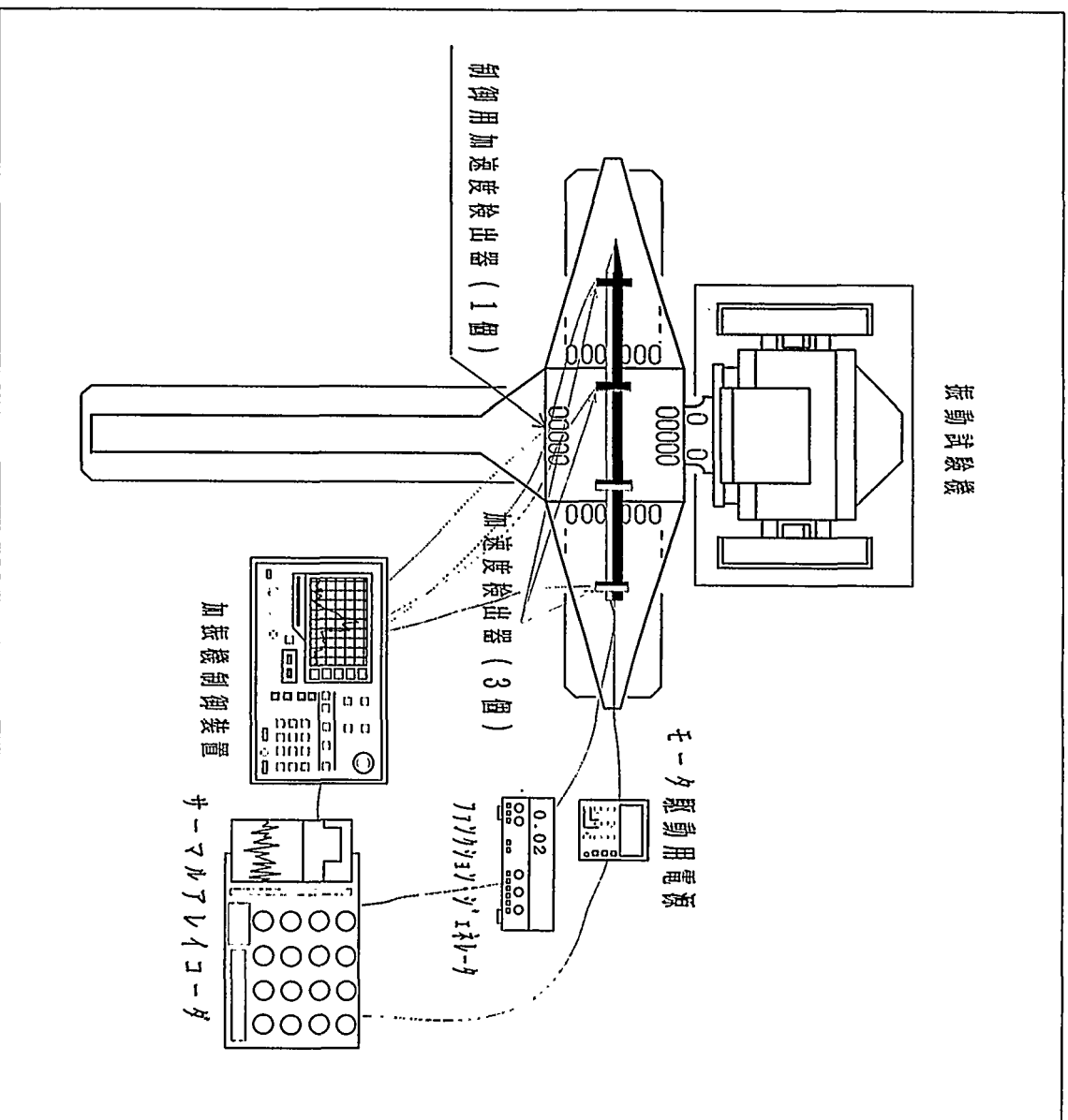
振動試験機が止まった後も、パルス弁が入力パルス通りの動作を行っているか確認した。

目視により外観に異常がないか確認した。

分解検査を行い、ねじの緩み等がないか確認した。



第2.4.1-162図 駆動部取り付け方法



第2.4.1-163図 駆動部計測機器構成

・試験結果

Z軸加振試験開始5分経過後、動作不良が発生した。分解検査を行い、コネクタの接触不良が原因であることを確認した。このためコネクタを使用せず、ケーブルを直結し試験を継続した。

再試験後、20分試験を行い、異常なく動作し、分解検査の結果も異常がないことを確認した。

Z軸方向のサーマルアレイコーダの出力を第2.4.1-164図に示す。

X軸加振試験開始6分経過後、パルス弁が脱落した。パルス弁固定用ナットが外れたためであり、外れ止めのリングを取り付けた。同時に分解検査を行い、コネクタのピンが埋没しかかっていることを確認した。これは、コネクタのボルトが一部緩んだためであり、ボルトの太さを太くして締め直した。

再試験直後にモータが停止した。分解検査を行い、制御基板パターン上でアースラインの断線を確認した。基板のねじ止め部でアースラインが細くなっている部分で断線してお

り、ジャンパ線を追加し断線対策を行った。

再試験開始から15分後、接点スイッチが動作しなくなり、分解検査後コネクタのピンが埋没していることを確認した。コネクタのピン穴が $\phi 1.0\text{mm}$ でピンが埋没したときにピン穴側面に接触し、復帰しなかったためであり、コネクタのピン穴径を $\phi 1.2\text{mm}$ に広げた。再々試験開始後約15分でパルス弁の軸が破断した。

第2.4.1-165図に破断箇所を示す。

・破断原因

破断を究明するために予備機を用いてパルス弁の重心及び重量の計測を行うと共に振動特性試験を行い共振点の確認を行った。

その結果を第2.4.1-166図に示す。

この結果から45Hz付近に2.9倍の共振応答があることが判明した。

初期の設計段階では5～500Hzの振動に対して自重の30倍、即ち30Gの加速度が加わっても異常がないものとした。

なお、計算に当たって、寸法効果係数(ξ)、切欠き係数(β)、表面仕上げ影響(m)並びに安全率(S)等は「機械設計便覧」(丸善)の数値を採用した。

軸の破断状況の検証は財団法人機械振興協会技術研究所に依頼した。走査電子顕微鏡写真による金属解析から極めて大きな外力が作用していたことが判明した。

破断結果から見直すと30G*2.9倍の加速度が加わっているものと見なした方が妥当である。

計算結果から初期の設計応力(7.3kgf/cm^2)に比べ振動試験の応力が 29.8kgf/cm^2 となり許容応力(10.0kgf/cm^2)を大きく上回っている。

破断の原因はパルス弁の軸部の隅角部の円弧が小さく、ほぼ直角を成していたために振動により応力集中があったことによる。

対策として

- ・隅角部の円弧形状を0.3mmから2.0mmとする。
- ・材質をハウジングと同等のMonel alloy K-500とする。
- ・軸の外径を $\phi 10\text{mm}$ から $\phi 12\text{mm}$ とする。

の3点とした。これらの改良を踏まえて設計の見直しを行った。その結果、軸径が大きくなったことに伴い、パルス弁の流路確保が困難となり、それを解消するために弁の外径を $\phi 44.4\text{mm}$ から $\phi 50\text{mm}$ とした。

改良後に再びX軸20分の試験を行い異常がないことを確認した。

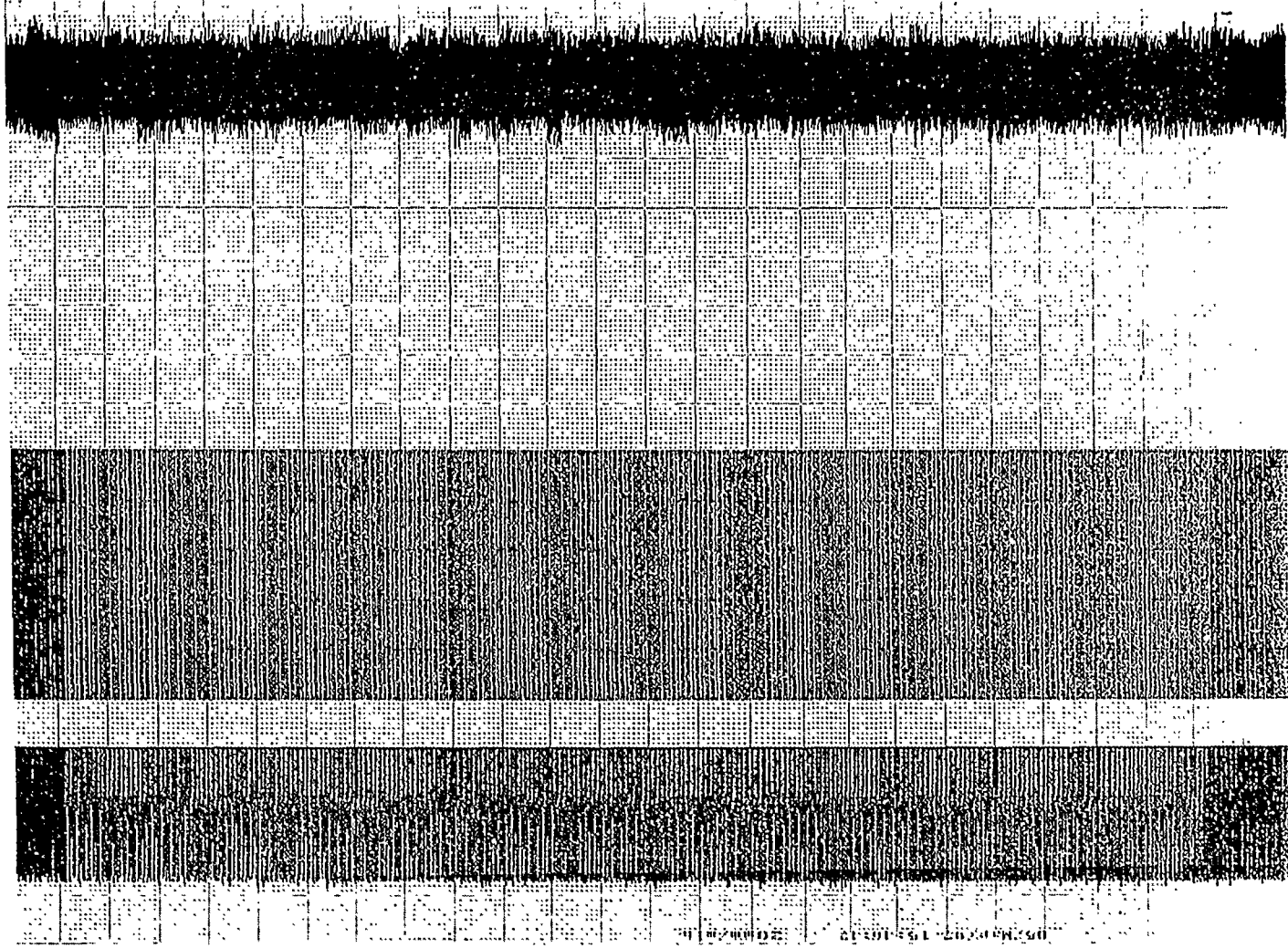
試験結果を第2.4.1-167図に示す。

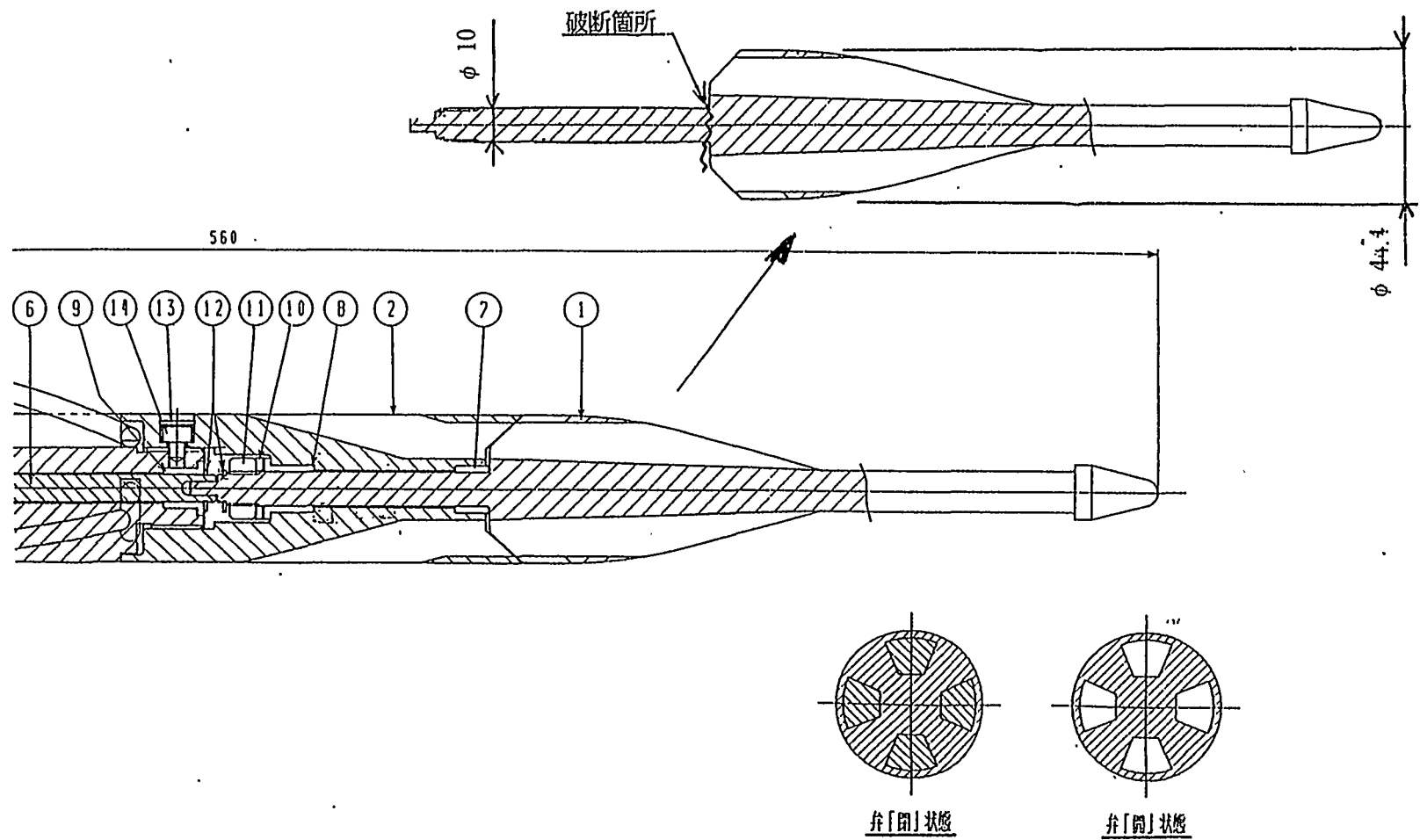
第2. 4. 1-164図 駆動部試験結果 (Z軸方向)

加速度 $\ddot{x}$ - $\ddot{y}$ (20G/div)

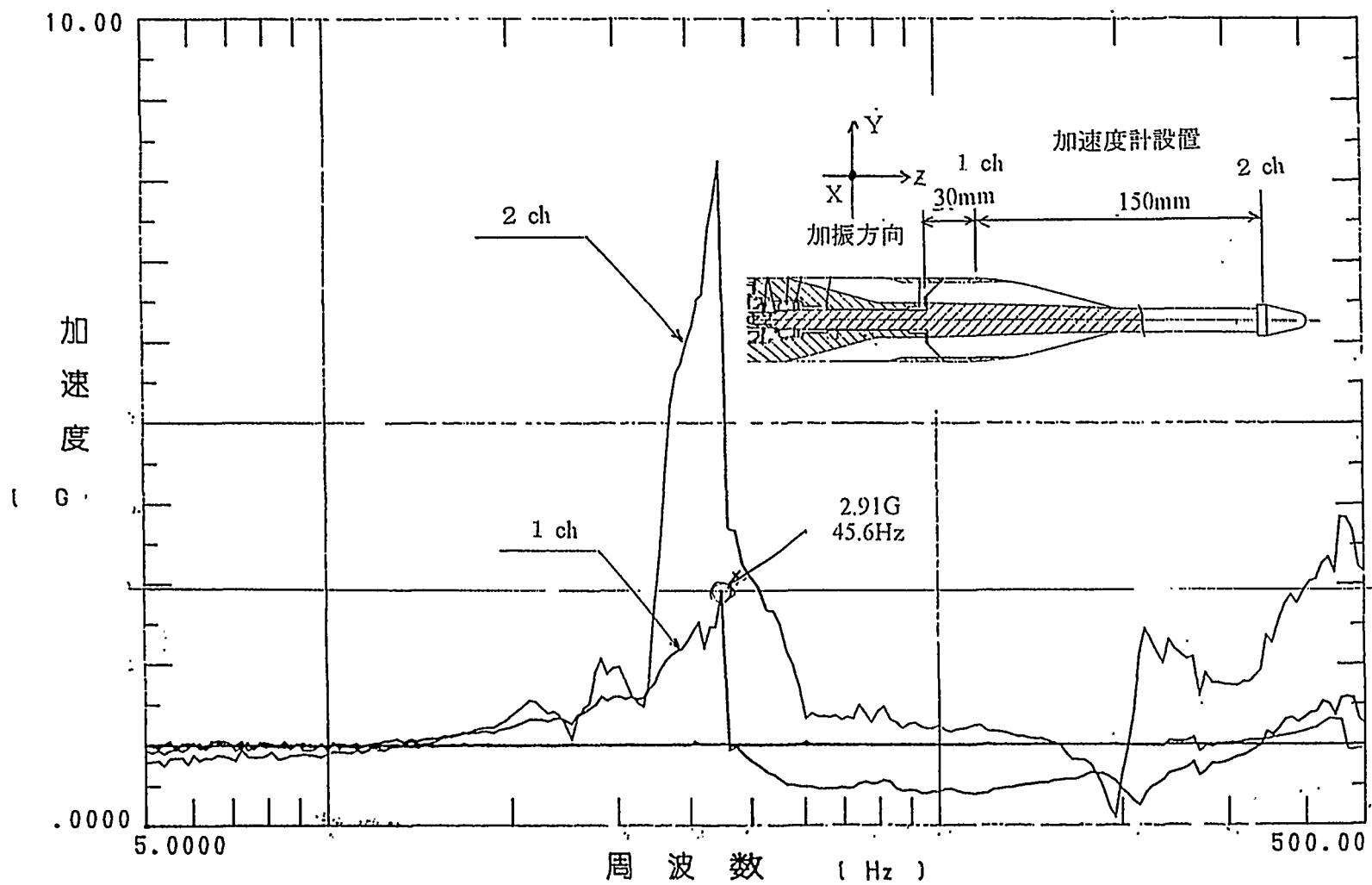
出力信号 (0 ~ 15V)

入力信号 (0 ~ 5V)

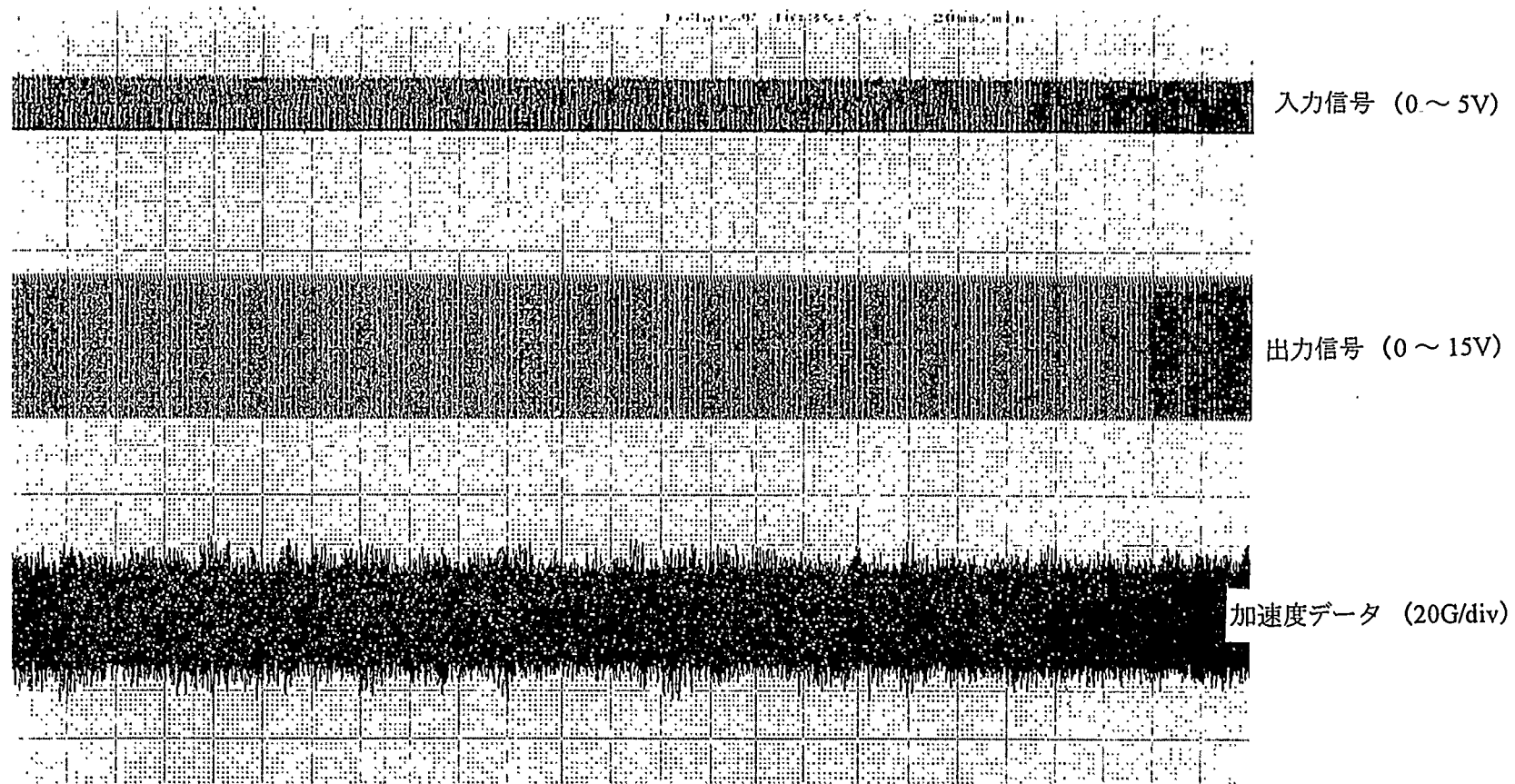




第2.4.1-165図 パルス弁の破断箇所



第2.4.1-166図 パルス弁の振動特性試験結果



第2.4.1-167図 駆動部試験結果 (X軸方向)

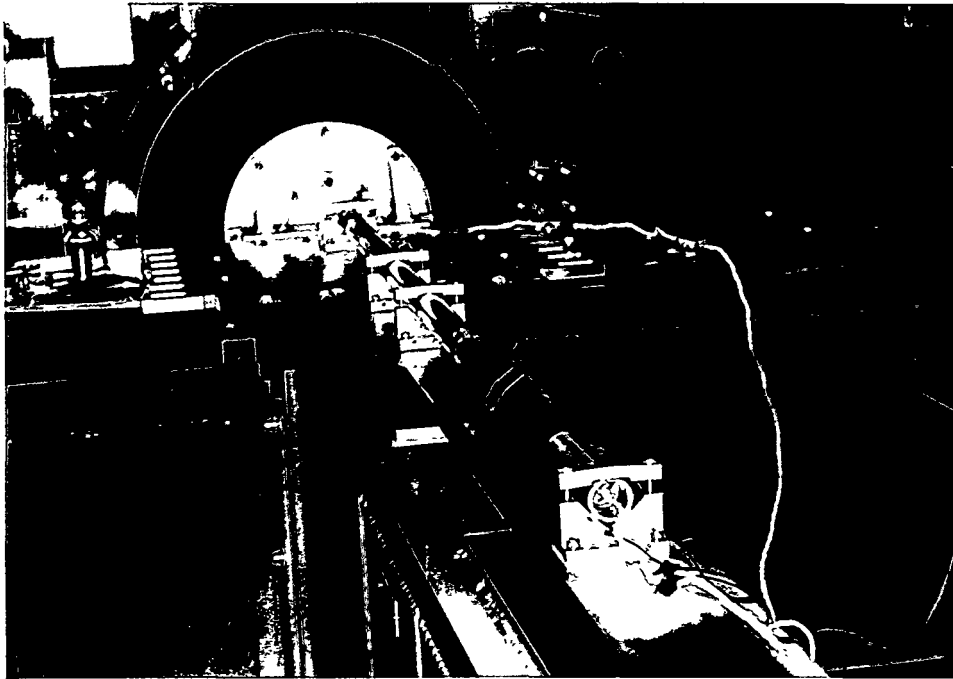
②坑底信号処理装置部

・機器構成

セントライザ、坑底信号処理装置、タンデムバレルで構成する。

振動試験用コネクタをセントライザ側に接続し、坑底信号処理装置の出力信号と電源電圧を出力し、動作確認のためのモニタ信号とした。一端に振動試験用コネクタを接続し、電源、温度補正回路からのダミー信号の入力を行った。

取り付け状態を第2.4.1-168図に示す。



第2.4.1-168図 坑底信号処理装置部取り付け方法

・測定項目

計測機器の構成を第2.4.1-169図に示す。

a) 初期測定

組立時に目視により外観検査を行った。

組立後、通電し、坑底信号処理装置からの出力信号をコンピュータに取り込み、坑底信号処理装置が正常に動作を行うか確認した。

サーマルアレイコーダにより、出力信号と電源電圧をモニタした。

b) 試験時測定

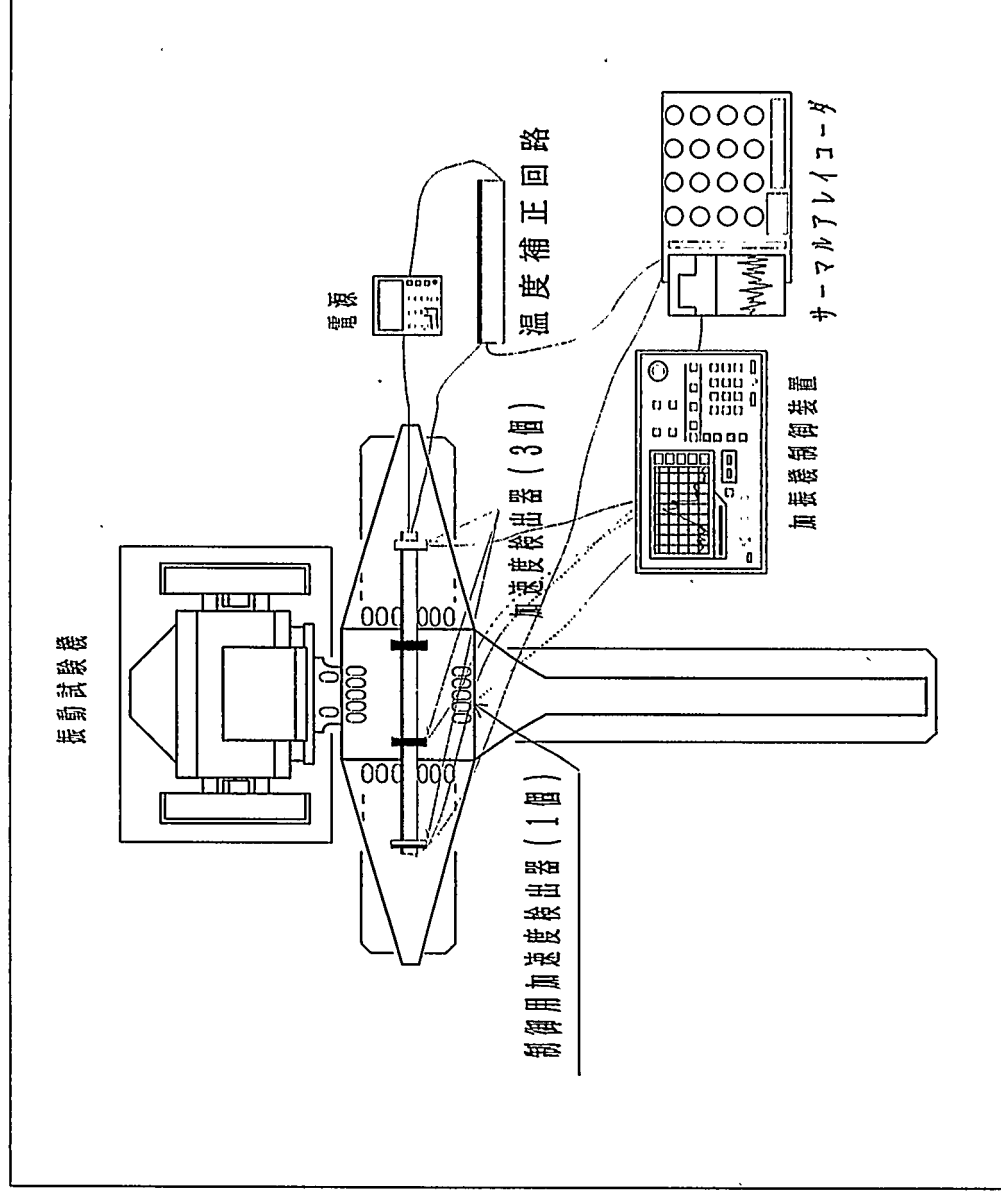
初期測定に引き続き、出力信号と電源電圧をサーマルアレイコーダでモニタした。

出力信号をコンピュータに取り込み、坑底信号処理装置の動作を確認した。

目視により、外観を検査した。

c) 最終測定

振動試験機が止まった後も、出力信号をコンピュータに取り込み、坑底信号処理装置が正常に動作を行っているか確認した。
目視により外観に異常がないか確認した。
分解検査を行い、ねじの緩み等がないか確認した。

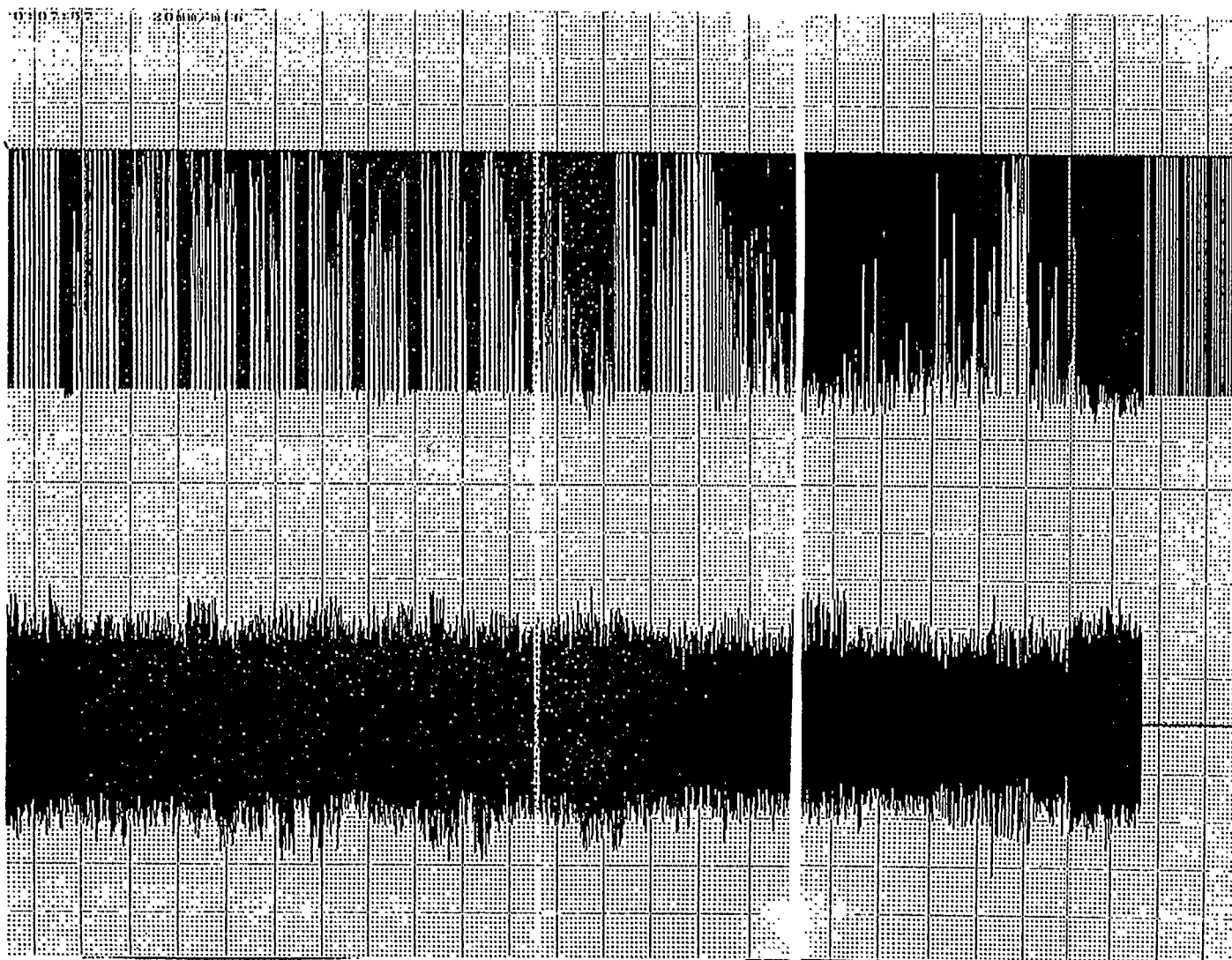


第2.4.1-169図 坑底信号処理装置部計測機器構成

・試験結果

X軸方向の試験を20分行い、試験中にコンピュータでデジタル出力信号に異常がないことを確認した。サーマルアレイコーダーの出力を第2.4.1-170図に示す。上側がパルス信号、下側が振動の制御に使用した加速度ピックアップの出力である。出力信号にノイズが見られるが、振動によってコネクタが瞬間的に断れているためである。分解検査を行い、異常がないことを確認した。

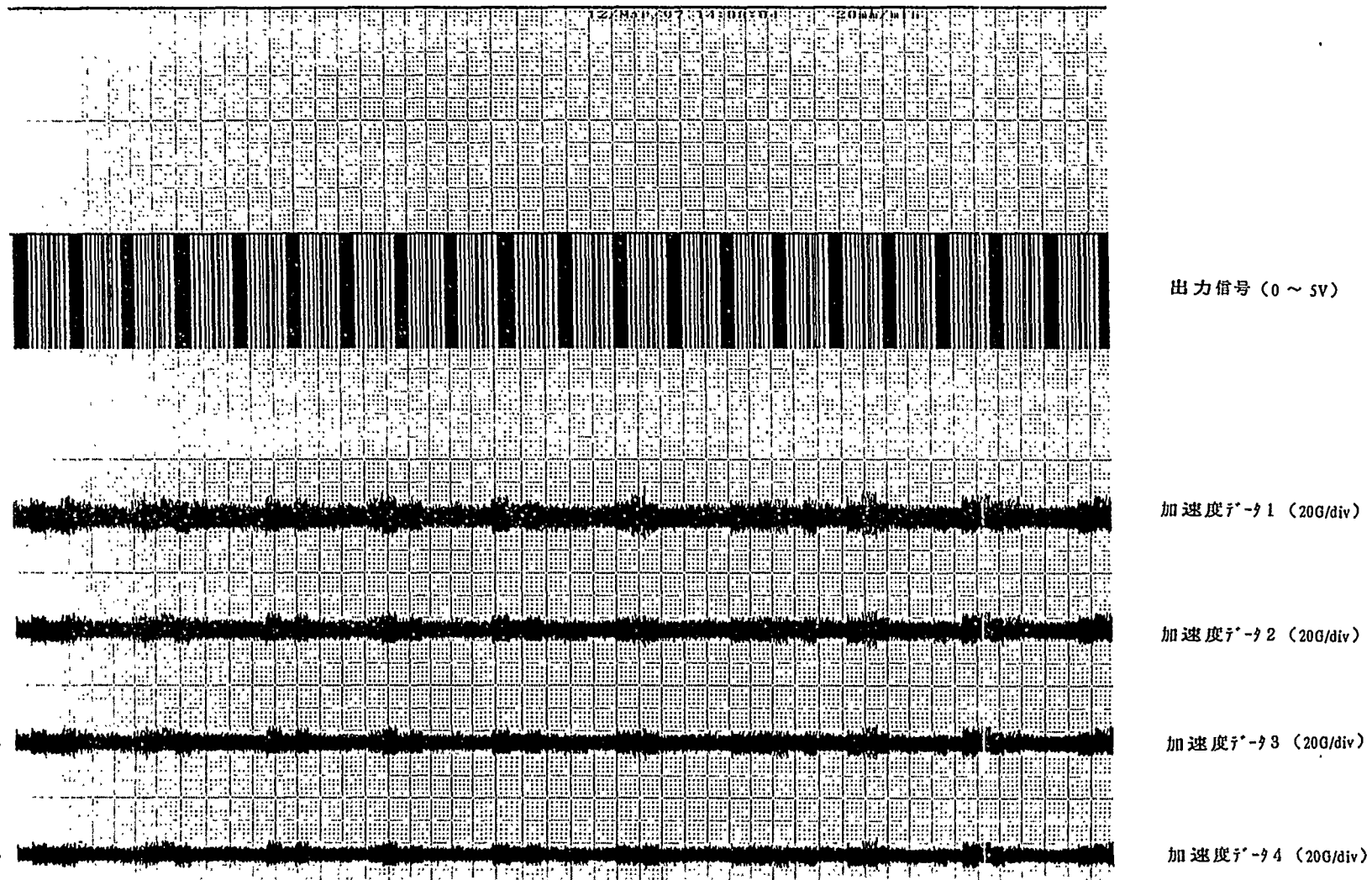
Z軸方向の試験を20分行い、試験中にデジタル出力信号に異常がないことを確認した。サーマルアレイコーダーの出力を第2.4.1-171図に示す。上側がパルス信号、下側が加速度ピックアップの出力である。パルス出力にも異常が見られなかった。試験後に分解検査を行ったところ、異常はなかった。



出力信号 (0 ~ 5V)

加速度 10G/div

第2. 4. 1-170図 坑底信号处理装置部試験結果 (X軸方向)



第2.4.1-171図 坑底信号処理装置部試験結果 (Z軸方向)

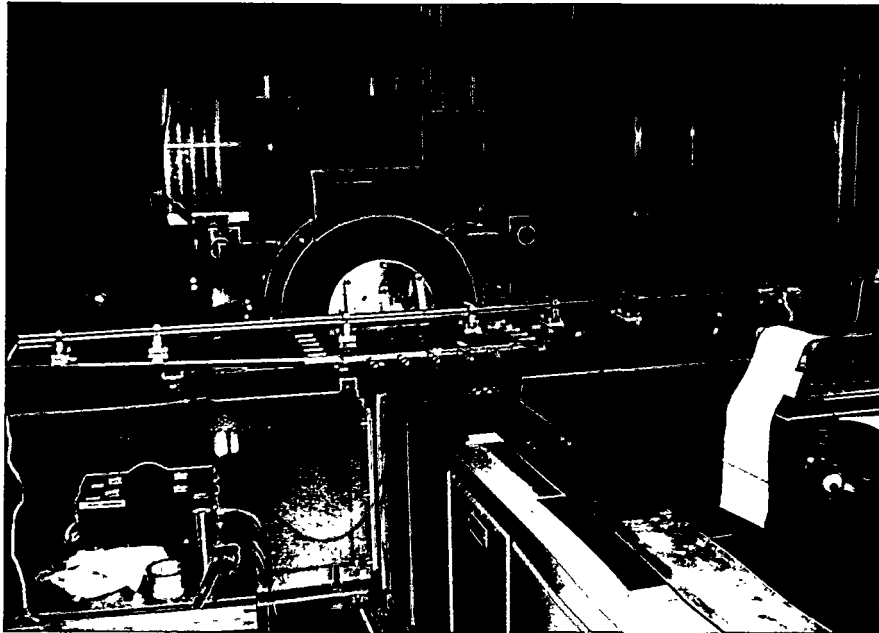
③傾斜情報センサ部

・機器構成

タンデムバレル、傾斜情報センサ、セントライザで構成する。

振動試験用コネクタをセントライザ側に接続し、電源の入力を行った。また、反対側にも振動試験用コネクタを接続し、温度補正回路からの出力信号をモニタした。

取り付け状態を第2.4.1-172図に示す。



第2.4.1-172図 傾斜情報センサ部取り付け方法

・測定項目

計測機器の構成を第2.4.1-173図に示す。

a) 初期測定

組立時に目視により外観検査を行った。

組立後、通電し、温度補正回路からの出力信号をコンピュータに取り込み、傾斜情報センサ部が正常に動作を行うか確認した。

サーマルアレイコーダにより出力信号をモニタした。

b) 試験時測定

初期測定に引き続き、出力信号をコンピュータ、サーマルアレイコーダでモニタした。

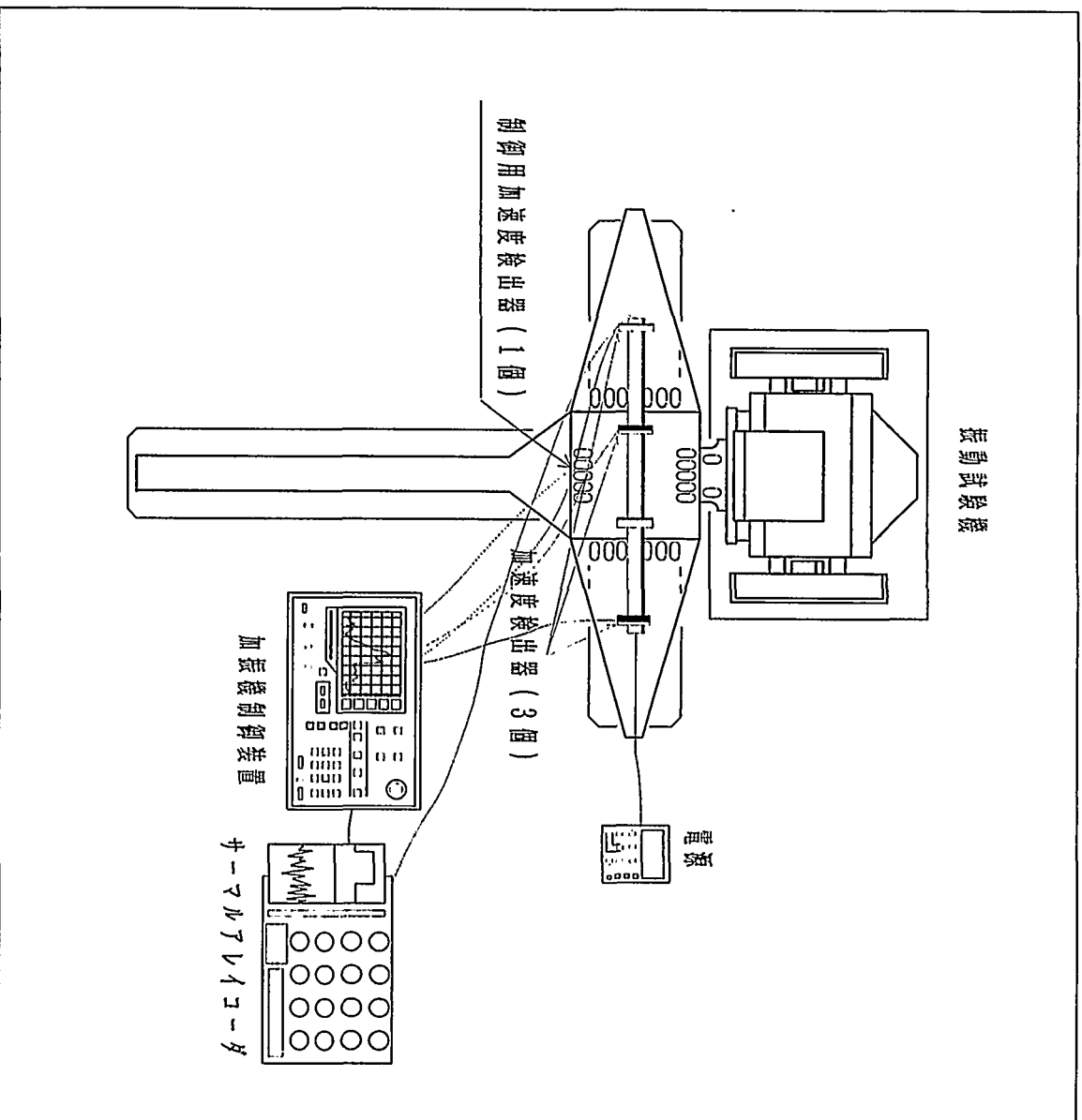
目視により、外観を確認した。

c) 最終測定

振動試験機が止まった後も、傾斜情報センサの動作を確認した。

目視により外観に異常がないか確認した。

分解検査を行い、ねじの緩み等がないか確認した。

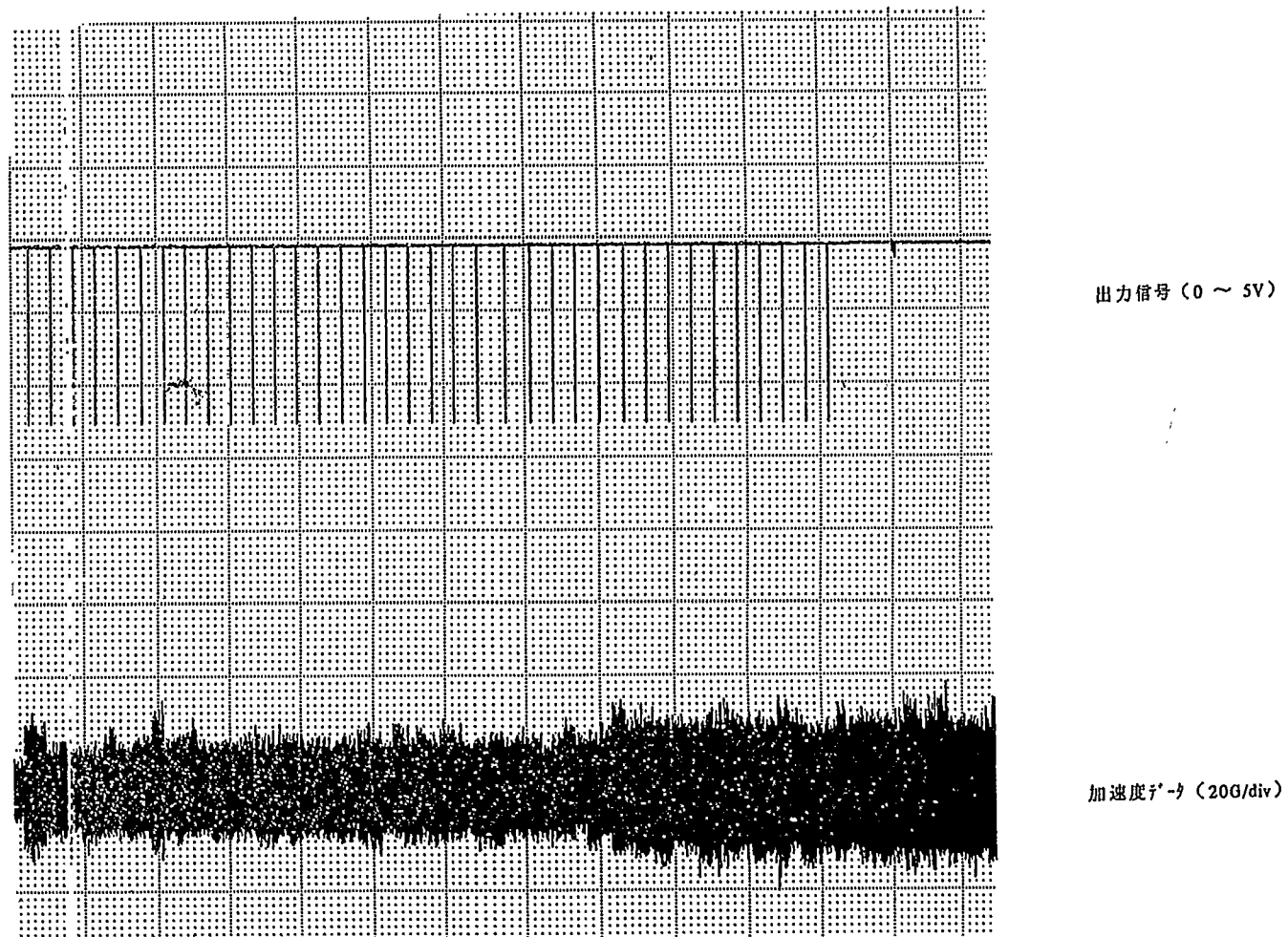


第2.4.1-173図 傾斜情報センサ部計測機器構成

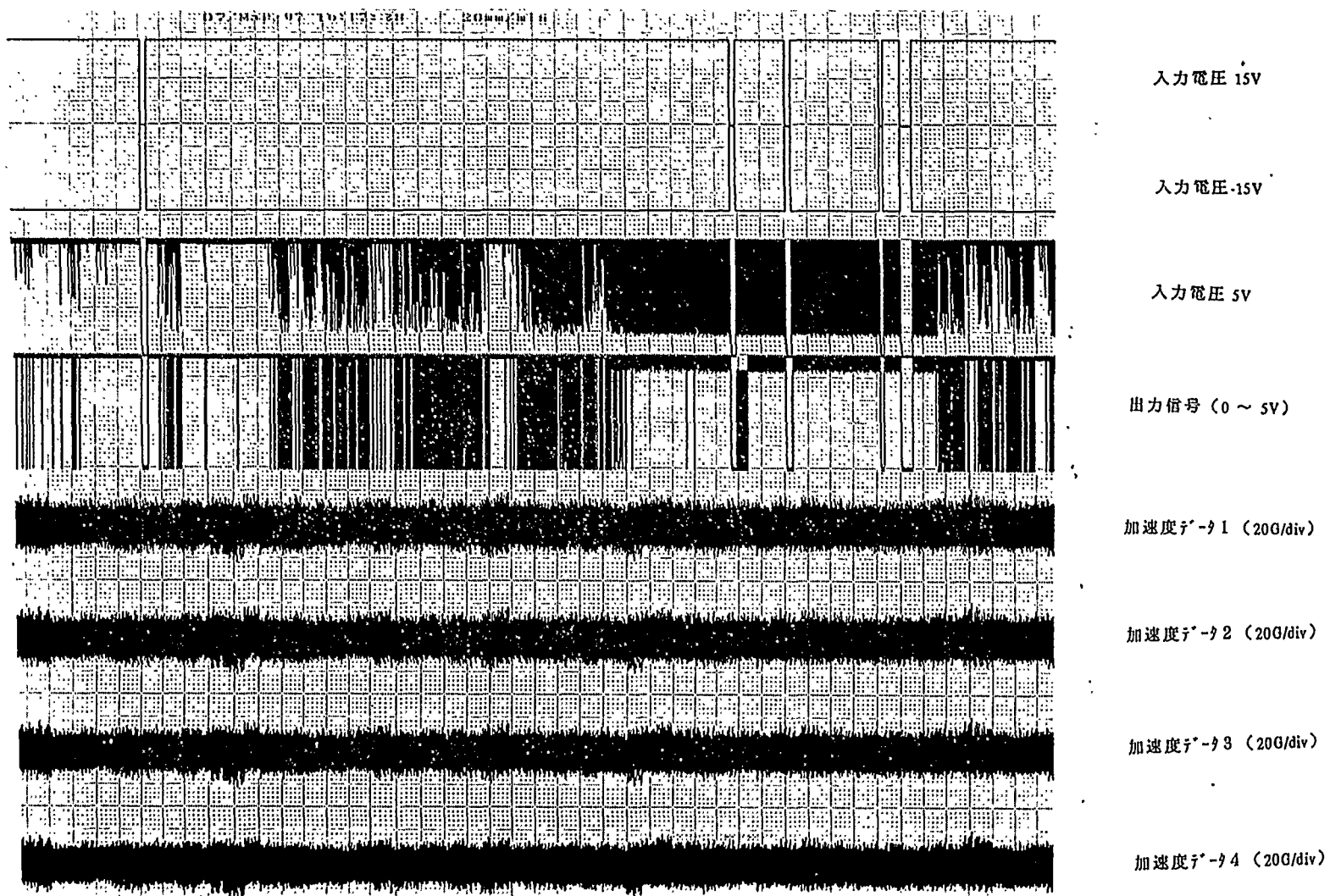
・試験結果

X軸方向の試験を20分行い、試験中の出力信号をコンピュータで確認し、異常がないことを確認した。サーマルアレイコードの出力を第2.4.1-174図に示す。上側がパルス信号、下側が振動の制御に使用した加速度ピックアップの出力信号である。分解検査を行い、異常がないことを確認した。

Z軸方向の試験を20分行った、試験中の出力信号をコンピュータで確認したところ、リセットがかかるまたはハングアップしてしまう状態が観察された。サーマルアレイコードの出力を第2.4.1-175図に示す。このような場合、電源を切り、リセットを行うと動作することを確認した。コネクタのピンコンタクトが不安定であることによりデジタル系の5Vの信号が瞬断しているため、リセット状態やハング・アップ状態になっていることが推定される。振動停止後は正常に動作しており、分解検査でも異常はなかった。



第2.4.1-174図 傾斜情報センサ部試験結果 (X軸方向)



2. 4. 1-175図 傾斜情報センサ部試験結果 (Z 軸方向)

④バッテリー部

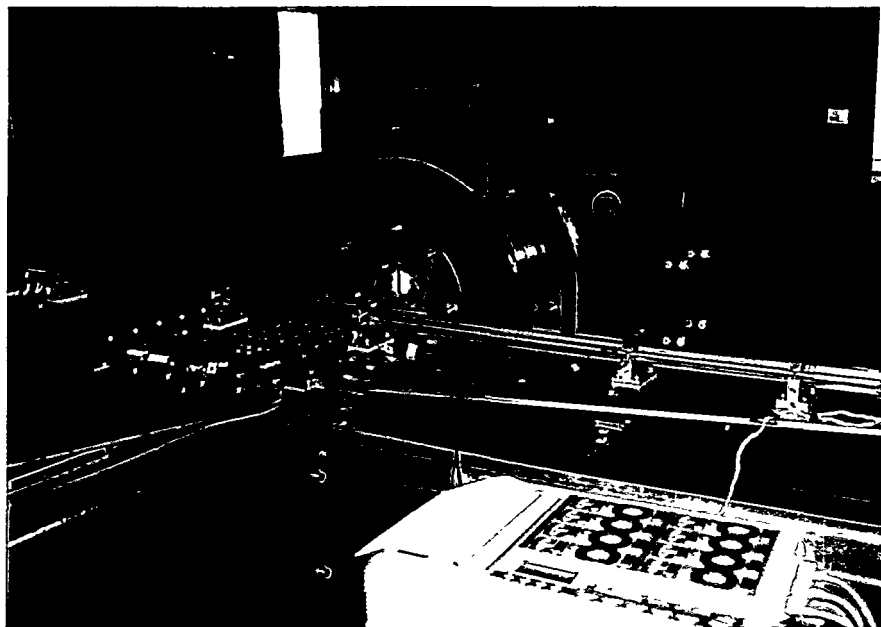
・機器構成

タンデムバレル、ダミーバッテリー、タンデムバレルで構成する。

一端に振動試験用コネクタを接続し、電源装置からバッテリーに相当する電力を供給した。

また、振動試験用コネクタをセントラライザ側に接続し、電源の出力をモニタした。

取り付け状態を第2.4.1-176図に示す。



第2.4.1-176図 バッテリー部取り付け方法

・測定項目

計測機器の構成を第2.4.1-177図に示す。

a) 初期測定

組立時に目視により外観検査を行った。

組立後、通電し、電源安定化回路が正常な電圧を出力しているか確認した。

サーマルアレイコーダにより、出力電圧をモニタした。

b) 試験時測定

初期測定に引き続き、出力電圧をサーマルアレイコーダでモニタした。

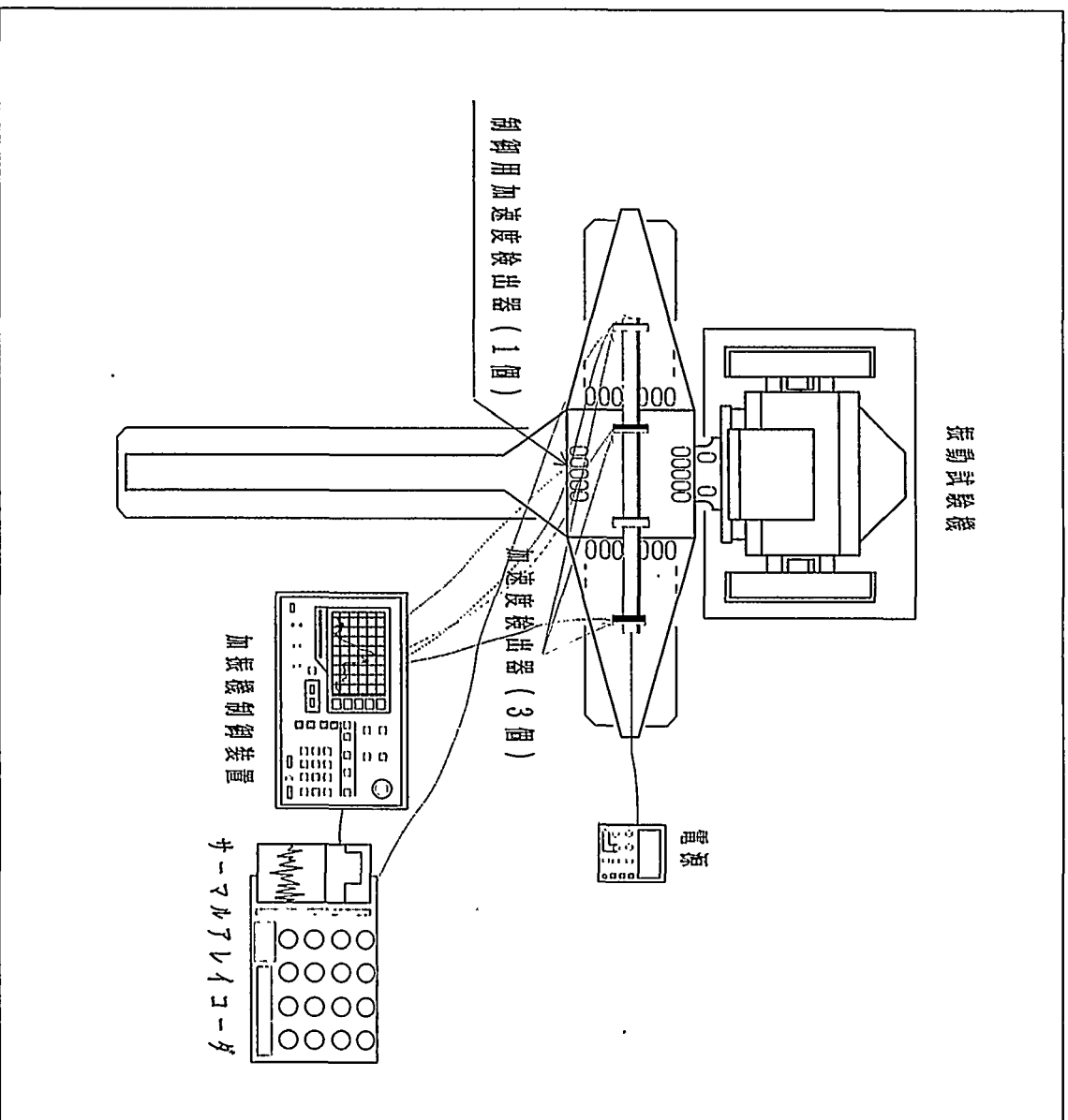
目視により、外観を確認した。

c) 最終測定

振動試験機が止まった後も、電源安定化回路の出力を確認した。

目視により外観に異常がないか確認した。

分解検査を行い、ねじの緩み等がないか確認した。

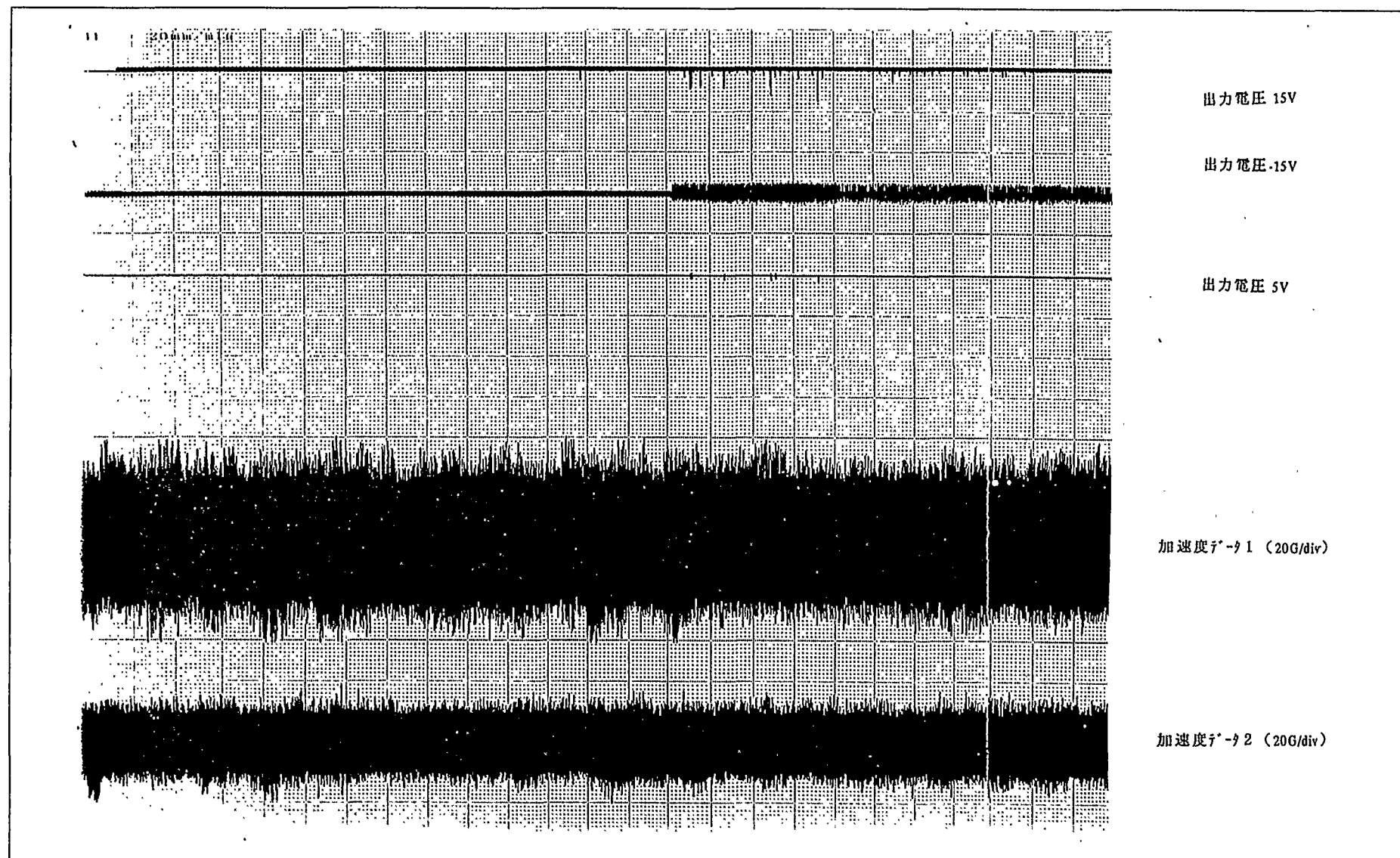


第2.4.1-177図 バッテリ部計測機器構成

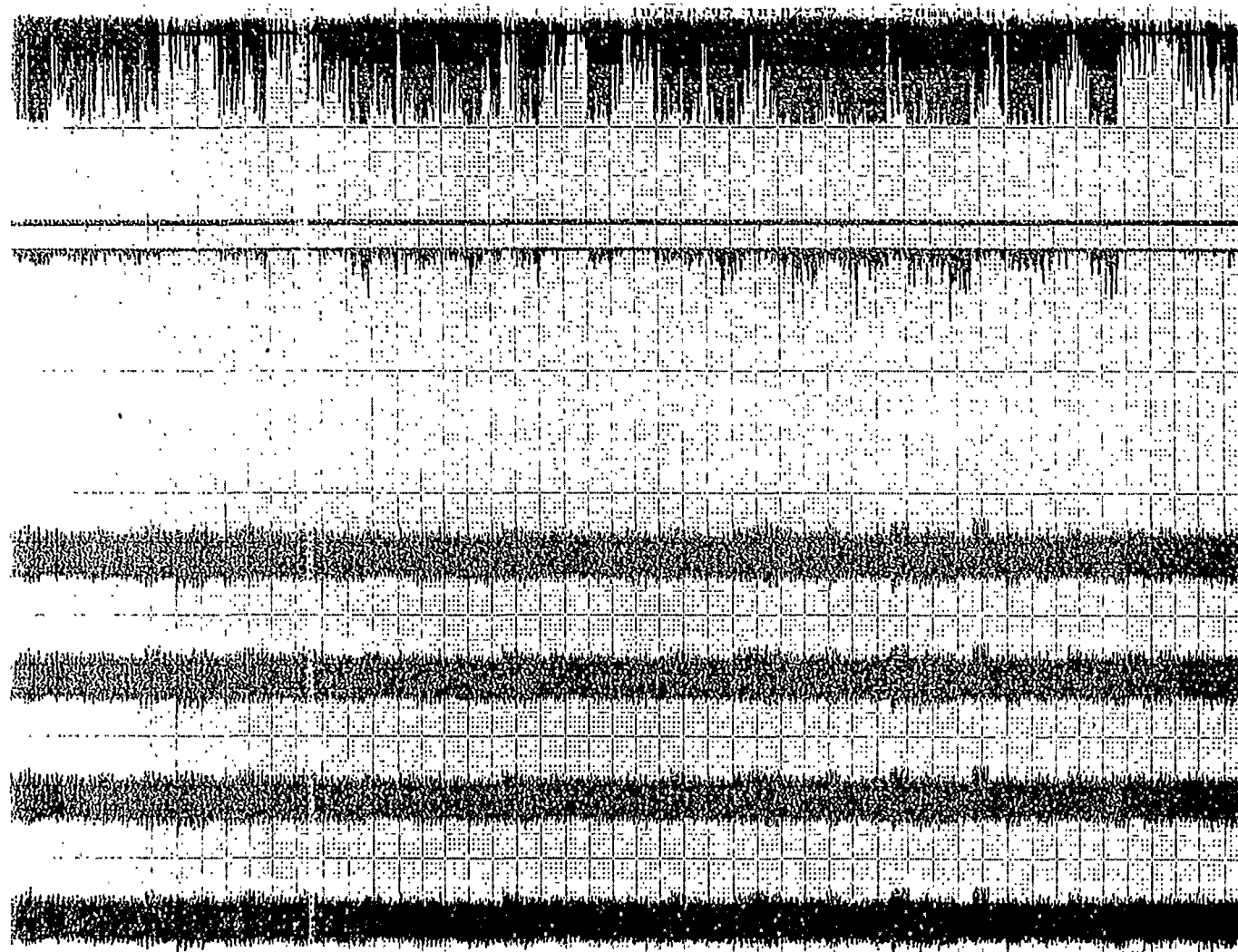
・試験結果

X軸方向の試験を20分行い、異常がないことを確認した。サーマルアイコードの出力を第2.4.1-178図に示す。上側から $\pm 15V$ 、 $+5V$ の出力信号、下側に加速度ピックアップの出力を示す。

Z軸方向の出力を第2.4.1-179図に示す。内部でダミーバッテリーが動き、コネクタと接続していたケーブルが電源安定化回路基板から抜けてしまった。
バッテリーの固定をより強固なものにする必要がある。



第2.4.1-178図 バッテリ部試験結果 (X軸方向)



出力電圧 15V

出力電圧 -15V

出力電圧 5V

加速度 $\ddot{x}$ - $\dot{x}$ 1 (20G/div)

加速度 $\ddot{x}$ - $\dot{x}$ 2 (20G/div)

加速度 $\ddot{x}$ - $\dot{x}$ 3 (20G/div)

加速度 $\ddot{x}$ - $\dot{x}$ 4 (20G/div)

第2.4.1-179図 バッテリ部試験結果 (Z軸方向)

⑤まとめ

組み合わせ試験を行い、肘折りの振動データから求めたランダム波形を用いて、X、Z軸各20分以上の振動を与えた。

駆動部は、X軸で基板の断線が確認されたが、対策後は異常は確認されなかった。また、Z軸でも異常はみられなかった。

坑底信号処理装置部は、X、Z軸ともに異常は確認されなかった。

傾斜情報センサ部は、X、Z軸ともに異常は確認されなかった。

バッテリー部は、X軸は異常が確認されなかったが、Z軸でバッテリーが内部で動き、温度補正回路の出力線が引っ張られて断線した。バッテリーの固定方法に問題があり、固定法を改善しハウジング内でZ方向に移動しないようにする必要がある。

コネクタを用いた全ての試験で瞬断が確認された。瞬断の起こらないピンコンタクトの安定したコネクタを使用する必要がある。

また、本試験で部分的な問題は明らかになったが、ゾンデを全て結合した状態で実坑井で確認する必要がある。

(1. 7. 2) 衝撃試験

a. 目的

供試体の構造的堅牢性の判定及び供試体動作時に衝撃が加わることによって機能が損なわれないかを判定するために試験を行う。

b. 試験装置

MWD用試験器として平成7年度に開発した自由落下式衝撃試験器を使用する。

外観を第2.4.1-180図に示す。

イ. 形式

自由落下式衝撃試験器

ロ. 構成

試験装置は以下の機器で構成する。

- ・ 衝撃試験器本体
- ・ 制御装置

ハ. 性能

性能概要を以下に示す。衝撃試験機的能力線図を第2.4.1-181図に示す。

最大落下高さ：650mm

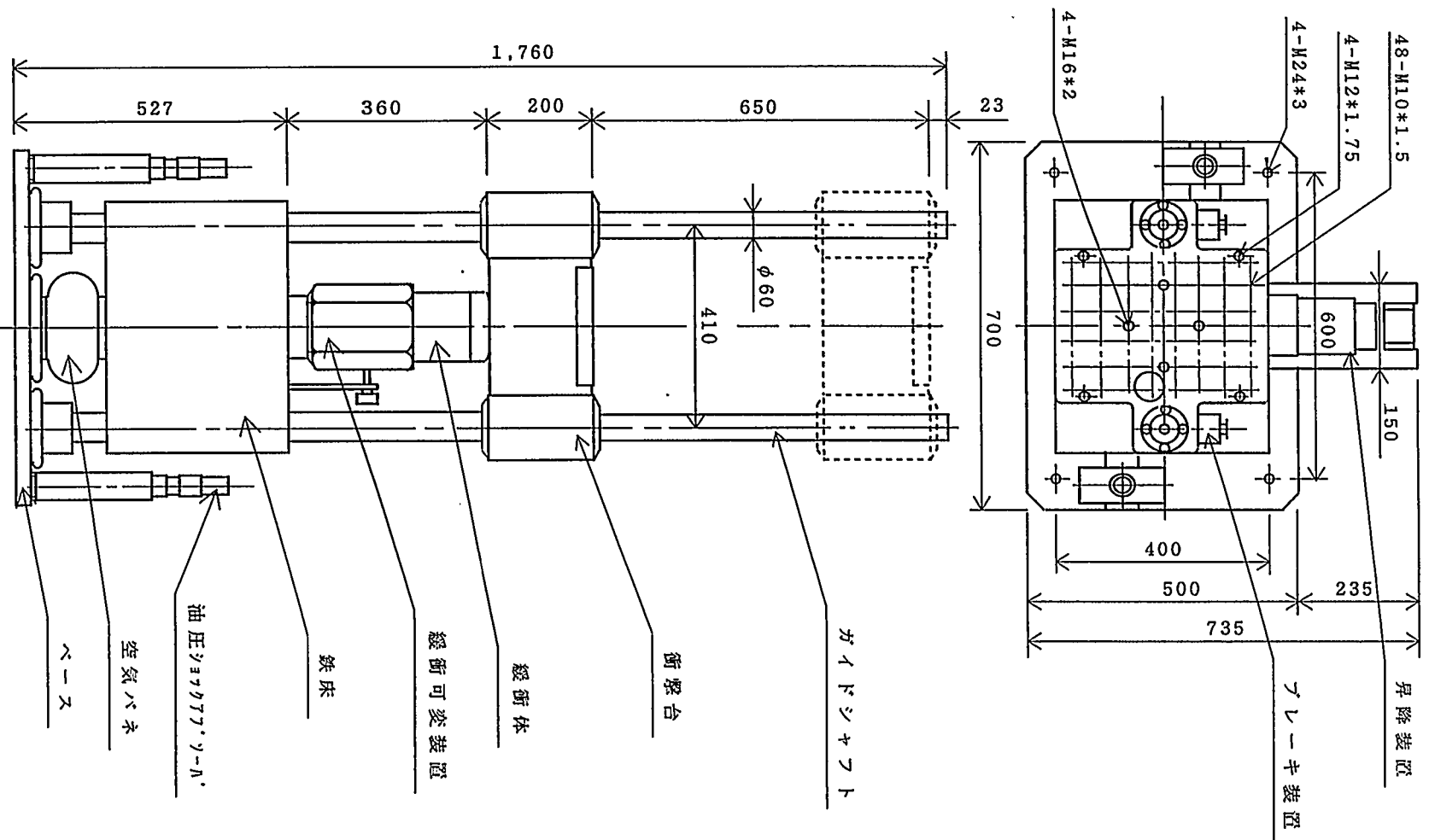
衝撃波形：正弦半波

衝撃加速度：600G～1,500G

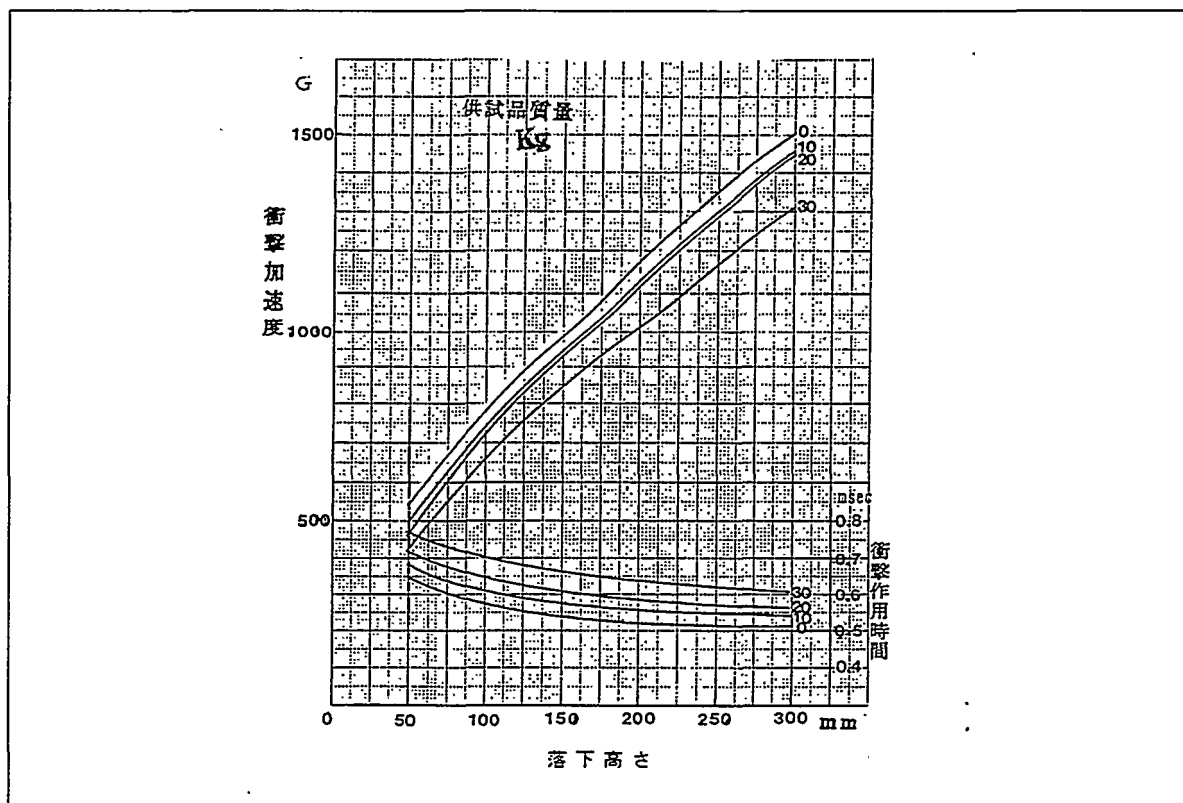
衝撃作用時間：0.5msec

供試体最大重量：30kg

衝撃台寸法：300mm（幅）×400mm（奥行）



第2.4.1-180図 衝撃試験機外觀



第2.4.1-181図 能力線図

c. 試験方法

試験方法は日本工業規格の「環境試験方法（電気・電子）衝撃試験方法（JIS-C0041）」を遵守するものとし、更に以下の規定を設けて実施した。

イ. 試験軸

供試体に衝撃を与える軸として互いに直交するX、Y、Zの3軸を設定する。その際、1軸は掘削方向、すなわち天地方向とし、Z軸と称する。他のX、Yの2軸は、供試体毎に衝撃の影響が顕著になると予想される方向を選ぶ。供試体の軸に衝撃を与える順序は問わない。ただし、X、Z軸が同形状の場合、1軸を省略する。

単体での試験でX、Y、Z軸を確認し、X、Y軸についてはほぼ同じ状態での試験であることと、実際の衝撃はゾンド挿入時等にZ軸の方向に衝撃がかかると予想されるため、ハウジングとの組合せ試験は、Z軸のみの試験とした。

ロ. 供試体

衝撃試験には、ゾンドを一体化した状態で供するのが最も理想的であるが、試験機の寸法、能力、供試体の保持方法などの制約を受け実施が困難である。しかし、衝撃に対する影響はハウジング内に機器を組み込んだ状態で試験を行うことにより判断が可能であると考えられるため、供試体を次の4つの部分に分割し、各部分ごとに実施した。

なお、供試体の動作を確認するためハウジングの両端にタンデムバレルを取り付け、試験用コネクタを接続して入出力を行った。

第2.4.1-25表 衝撃試験供試体

供試体名	駆動部
構成要素	パルス弁駆動装置 駆動装置制御装置
坑底信号処理装置部	坑底信号処理装置
傾斜情報センサ部	傾斜情報センサ
バッテリー部	電源安定化回路

ハ. 衝撃パラメータ

以下に示す試験パラメータに従って衝撃試験を行った。

衝撃波形：正弦半波

衝撃加速度：1,000G

衝撃作用時間：0.5msec

衝撃方向：Z軸方向

衝撃回数：連続3回

二. 測定項目

衝撃台に設置してある加速度センサで衝撃加速度と衝撃作用時間を計測する。計測された波形により所用の衝撃が発生していることを確認した。

ホ. 試験結果

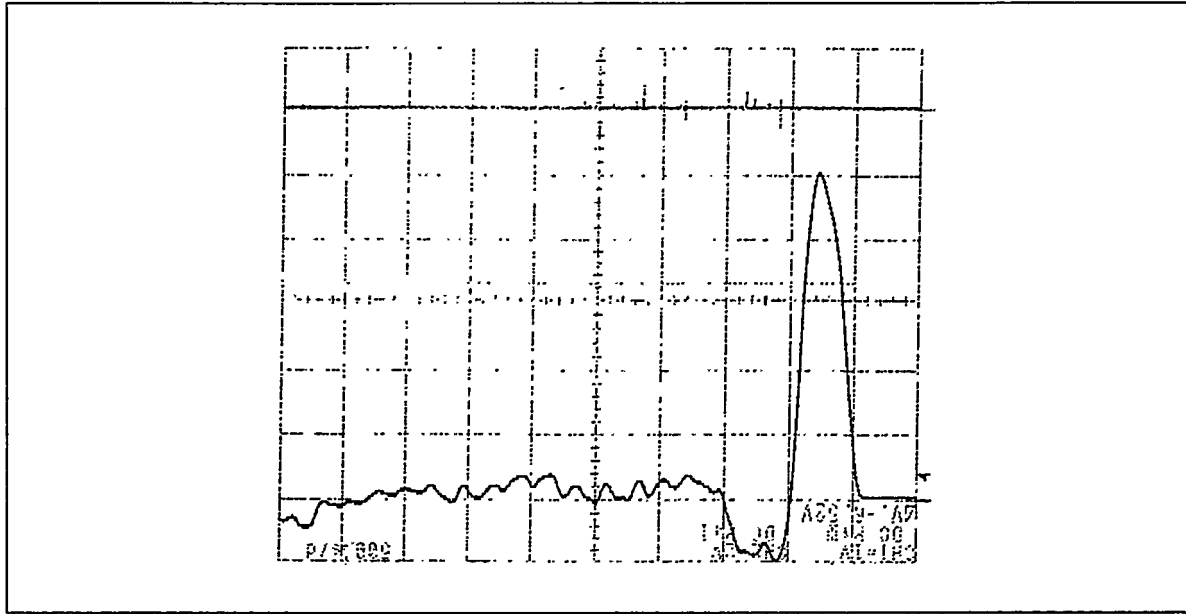
①駆動部

衝撃波形を第2.4.1-182図に示す。

上部の波形は衝撃波形で1目盛りが200Gであり、約1,000Gの衝撃がかかっている。
下部の波形は消費電流である。

試験中の動作には異常が無かった。また分解検査後、ねじの緩みはなかった。

第2.4.1-182図 駆動部衝撃波形



②坑底信号処理装置部

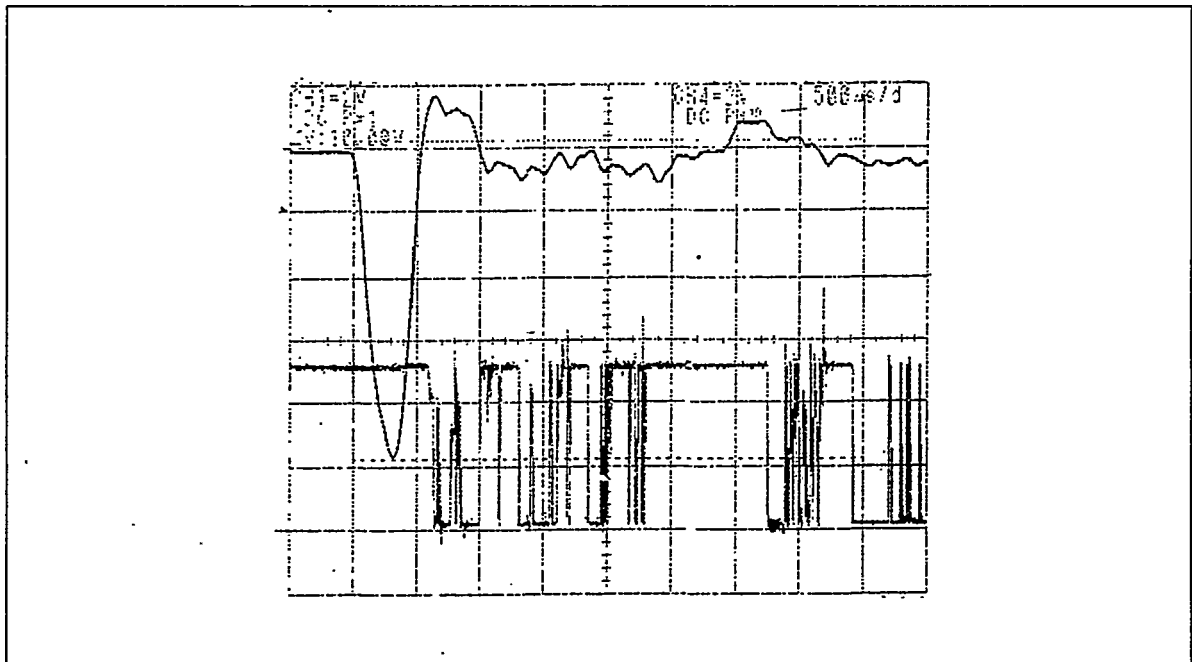
衝撃波形を第2.4.1-183図に示す。

上部の波形は衝撃波形で1目盛りが200Gであり、約1,000Gの衝撃がかかっている。

下部の波形は出力信号である。

衝撃がかかった後に出力信号に瞬断が発生した。コンピュータで坑底信号処理装置の動作を確認していたが、衝撃後にリセットがかかった。リセットがかかった後は正常に動作した。原因は回転式コネクタのピンが衝撃によって動くためであり改良が必要である。

分解検査後、ねじの緩み等はなかった。



第2.4.1-183図 坑底信号処理装置部衝撃波形

③傾斜情報センサ部

衝撃波形を第2.4.1-184図に示す。

上部の波形は衝撃波形で1目盛りが200Gであり、約900Gの衝撃がかかっている。この値は、JIS-C0041の衝撃試験時の許容限界±20%を満たしている。

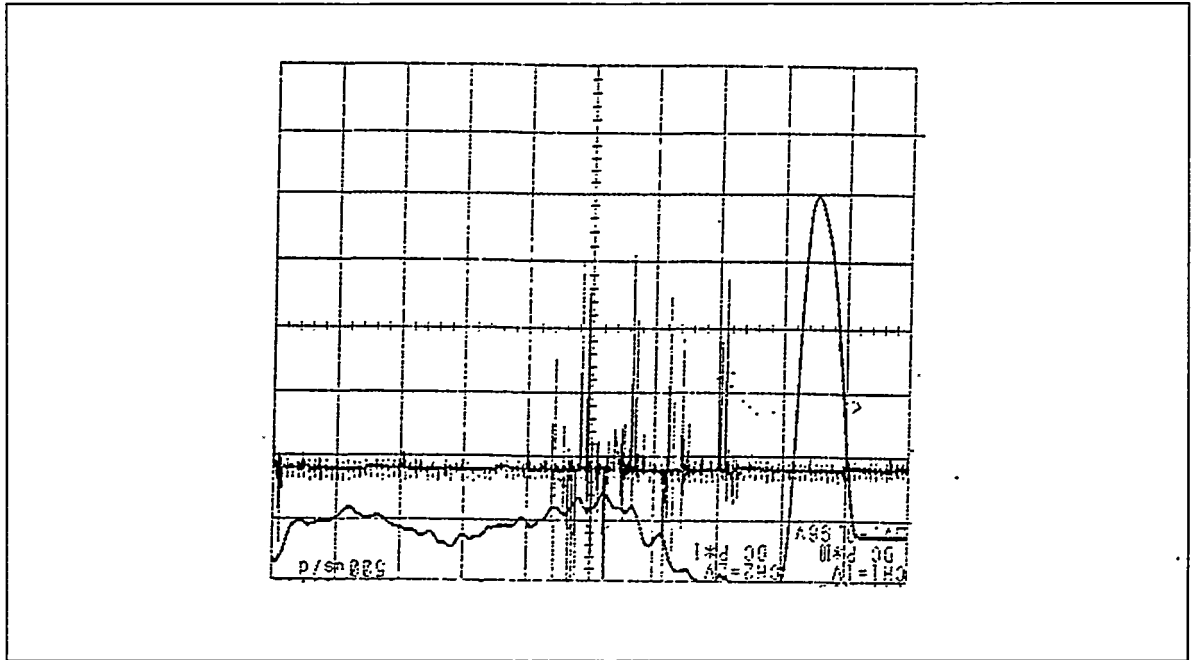
下部の波形は出力信号である。

衝撃がかかった後に出力信号に瞬断が発生した。コンピュータで温度補正回路からの出力信号を確認していたが、坑底信号処理装置同様に衝撃後にリセットがかかった。

リセットがかかった後は正常に動作した。原因は回転式コネクタのピンが衝撃によって動くためであり改良が必要である。

分解検査後、ねじの緩み等はなかった。

第2.4.1-185図 バッテリ部衝撃波形

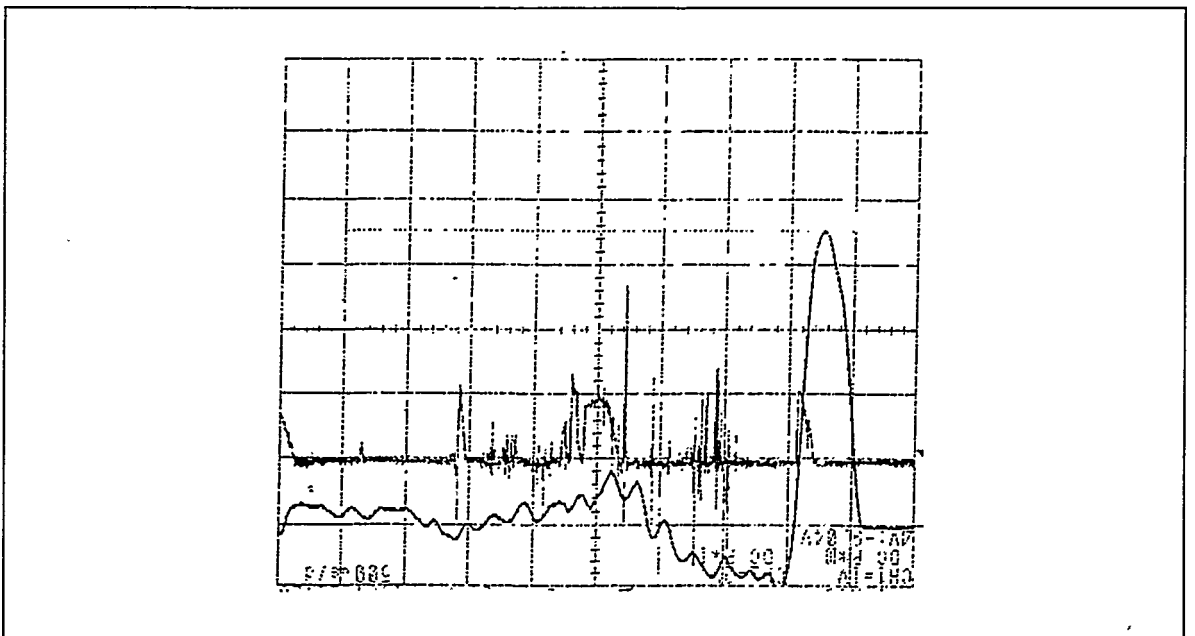


分解検査後、ねじの緩み等は無かった。
よって動くためであり改良が必要である。
衝撃がなかった後に出力信号に瞬断が発生した。原因は回転式コネクタのピンが衝撃に
下部の波形は出力信号である。
上部の波形は衝撃波形で1目盛りが200Gであり、約1,000Gの衝撃がかかっている。
衝撃波形を第2.4.1-185図に示す。

バッテリーと同重量のダミーと電源安定化回路を組合せ、試験を行った。

④バッテリー部

第2.4.1-184図 傾斜情報センサ部衝撃波形

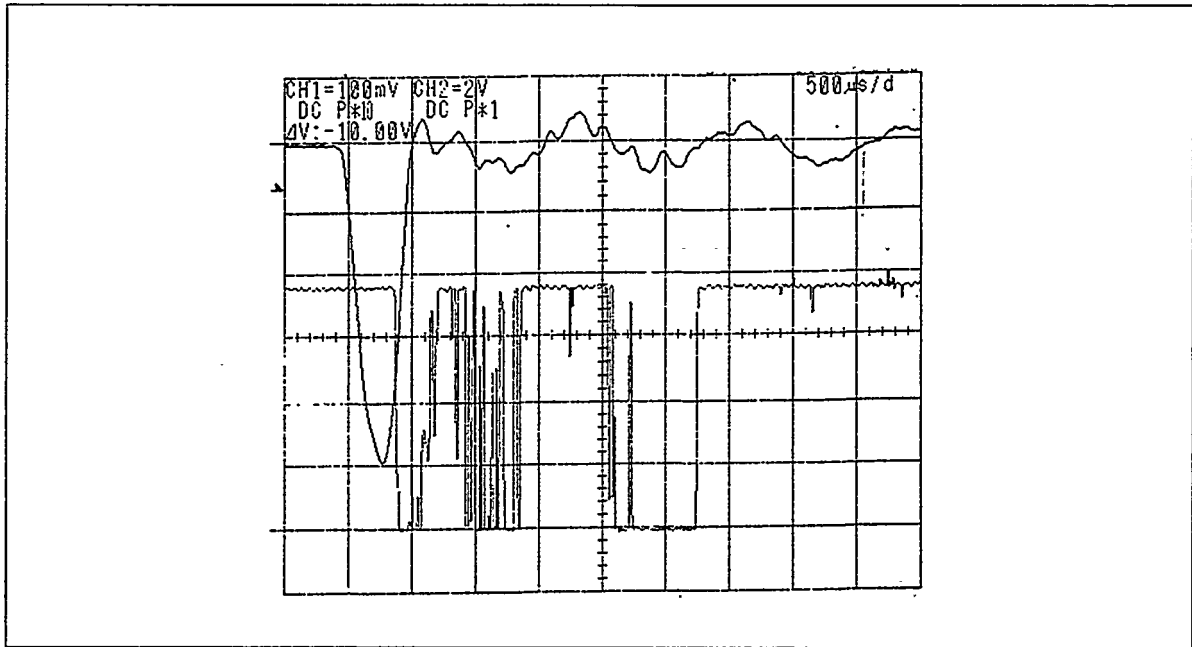


⑤コネクタ

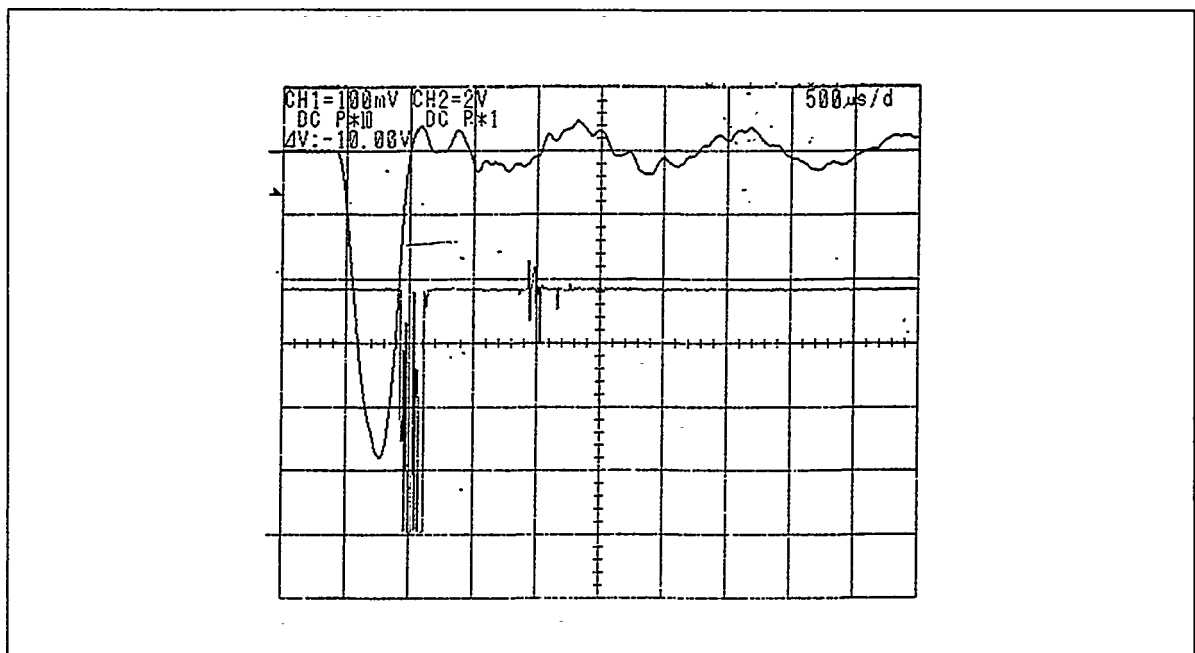
1ピンから8ピンをシリーズ配線した場合の衝撃波形を第2.4.1-186図に示す。また、1本のピンだけの衝撃試験結果を第2.4.1-187図に示す。

上部の波形は衝撃波形で1目盛りが200Gであり、約1,000Gの衝撃がかかっている。

下部の波形は出力信号であり、衝撃がかかった後に出力信号に瞬断が発生した。1ピンから8ピンまで単ピンごとに試験を行い、全てのピンで瞬断が発生していることを確認した。



第2.4.1-186図 コネクタ衝撃波形（シリーズ配線）



第2.4.1-187図 コネクタ衝撃波形（単ピン）

d. まとめ

供試体の構造的堅牢性の判定及び供試体動作時に衝撃が加わることによって機能が損なわれないか判定するために試験を行った。衝撃直後に瞬断が発生するが、試験後にすべての機器が正常に動作することを確認した。

コネクタの試験により、瞬断の原因はコネクタであることを確認した。ピンのバネやピン固定の部品の問題があることが判った。

(1. 7. 3) 高温試験

a. 試験目的

本年度製作のソルダの各構成要素を組合せ（接続）た状態で、温度による動作不良、実装・組込上の問題点がないことを確認する。

b. 試験条件

組合せ高温試験での装置、測定装置の接続ブロック図を第2.4.1-188図に示す。

バッテリーの代用として、恒温槽外に設置した安定化電源を使用し、供給電圧はバッテリーでの動作時に想定される電圧に設定した。

試験条件は、以下の通りである。

イ. 試験温度：50℃、100℃、150℃、200℃、210℃、220℃

ロ. 試験時間：各設定温度に到達後、1時間経過で計測。

ハ. 測定信号：

①駆動装置動作電流

消費電流の変化、モータ回転タイミングの確認

②駆動装置接点スイッチ電圧（オン時：0V オフ時：15V）

モータ回転タイミングの確認

③駆動装置制御パルス

各センサ信号及び坑底信号処理装置演算の確認

④坑底信号処理装置モニタ出力

各センサ信号及び坑底信号処理装置演算の確認

ニ. 供給電圧

センサ系 +15V用 +18V（6本直列時の電圧）

-15V用 -18V（6本直列時の電圧）

ロジック回路5V用 +9V（3本直列時の電圧）

モータ系+15V用 +15V（5本直列時の電圧）

ホ. 試験装置

①サーマルアレイコーダ

②安定化電源1（センサ用）

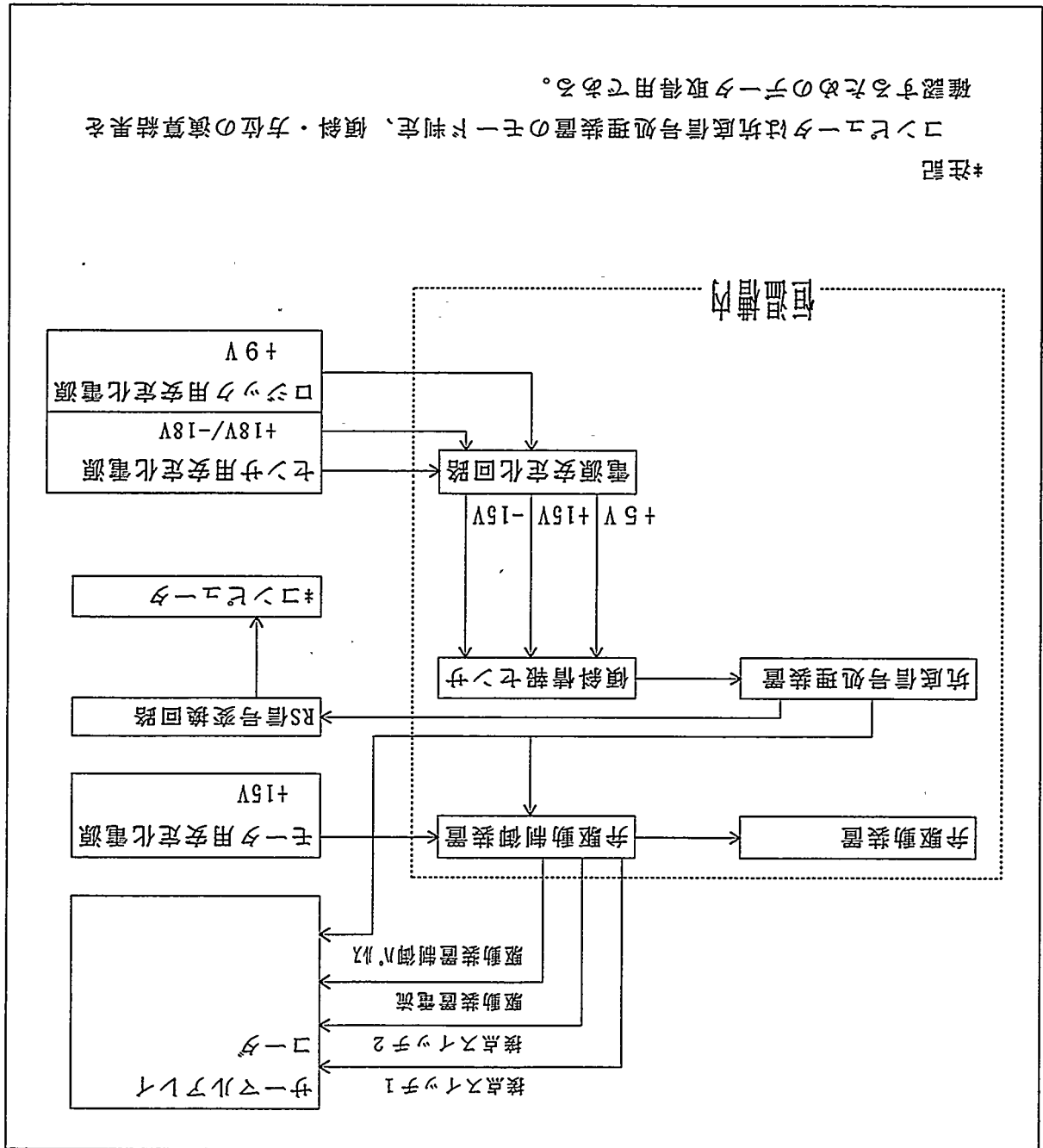
③安定化電源2（ロジック用）

④安定化電源3（弁駆動装置用）

⑤RS信号変換回路

⑥コンピュータ

第2.4.1-188図 高温試験構成ブロック図



c. 試験結果

高温試験の試験結果概要を第2.4.1-26表に、各温度でのサーマルアレイコード結果を第2.4.1-189図～第2.4.1-190図に示す。

①方位・傾斜については電動ファンによる磁界、各装置の固定材の熱変形などのために正確な測定は不可能であるため、極端な変動がない場合には正常であると判断した。

方位出力は、73.70° から79.55° までの5.85° の変動で収まっており、傾斜出力は、89.65° から90.05° の0.40° の変動で収まっている。

②装置内温度計は、温度補正回路上に組み込まれた補正近似式により、200℃までの温度で±0.4℃以内の精度以内に収まっていることが確認された。

③モード判定の結果より、本年度採用した方位センサによる回転スイッチの代用、傾斜センサによる循環スイッチの代用は、静止状態では高温でも正常に動作することが確認された。（静止状態では本来制御パルスは出力されないのも、モードをパルスがでるモードに変更して、試験を行った。）

④制御装置の消費電流は、温度が上昇するに従いピークが下がり流れる時間が長くなる傾向にあるが、動作タイミングにも遅れが無く各温度で正常に動作していることが確認された。

上記のように、組合せた状態でも各装置に温度上昇に伴う不具合は認められず、問題がないことを確認した。

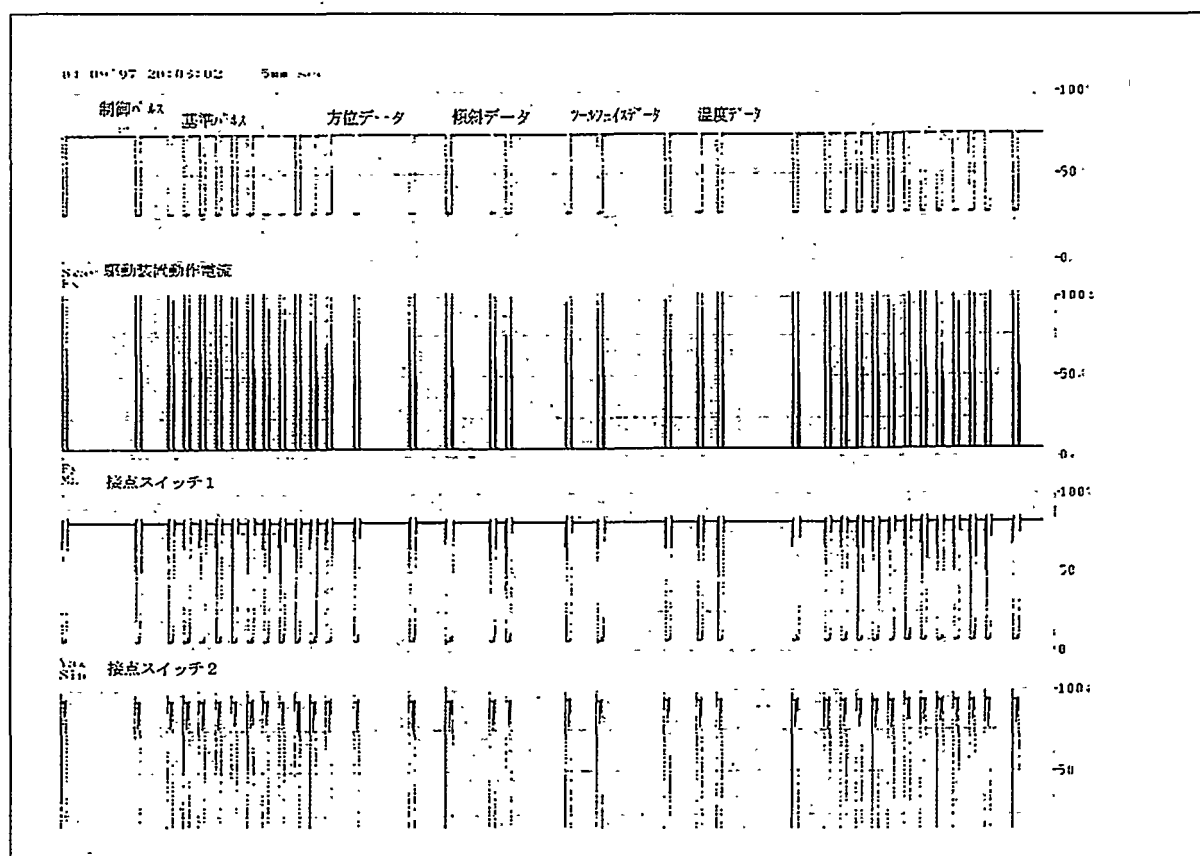
第2.4.1-26表 高温試験結果まとめ

測定項目	設定温度						判定
	50	100	150	200	210	220	
方位出力	79.30	78.55	77.85	75.25	73.70	79.55	○
傾斜出力	90.05	90.00	90.05	89.75	89.65	89.55	○
装置内温度	50.0	100.0	150.1	199.8	210.4	220.7	○
モード判定	2	2	2	2	2	2	○
制御装置消費電流	○	○	○	○	○	○	○
制御装置動作タイミング	○	○	○	○	○	○	○

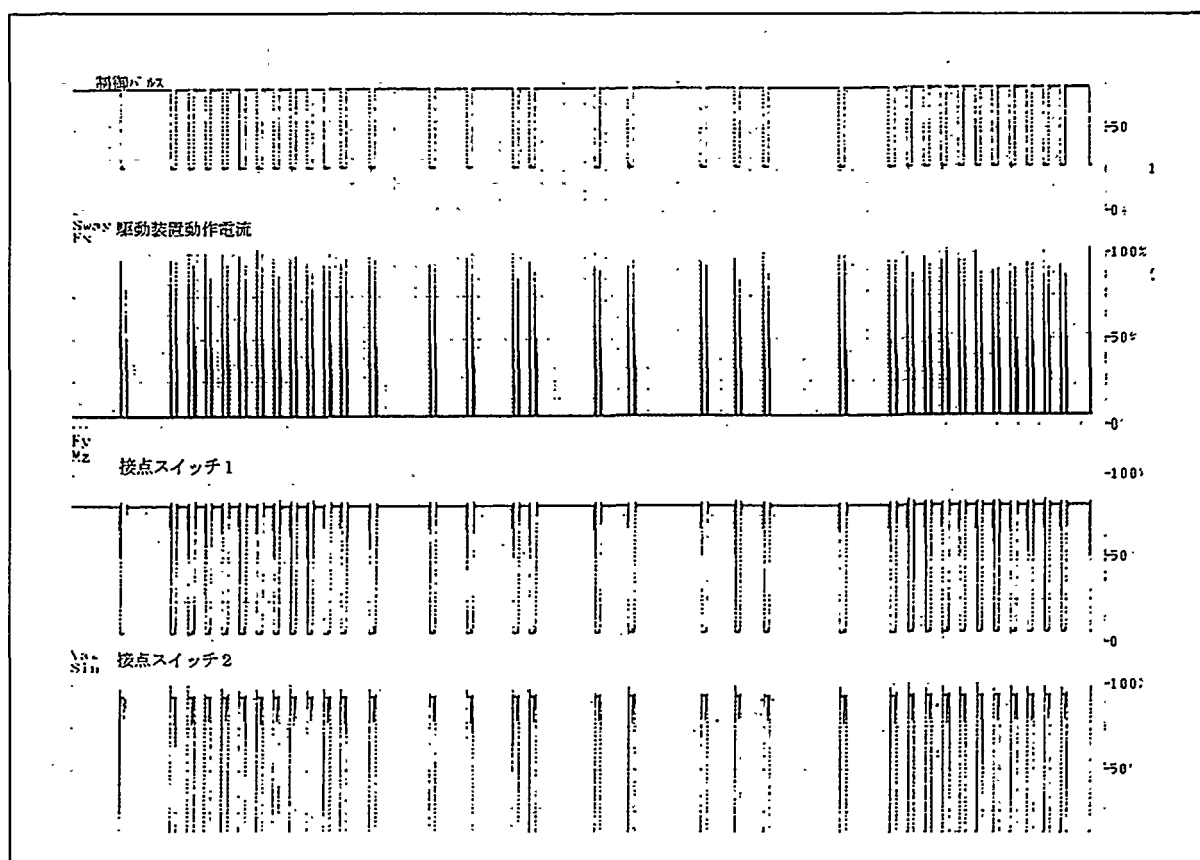
モード判定とは回転・循環の情報からパルス出力モードを決定することである。

（モード判定が試験温度で変化しなければ良とする）

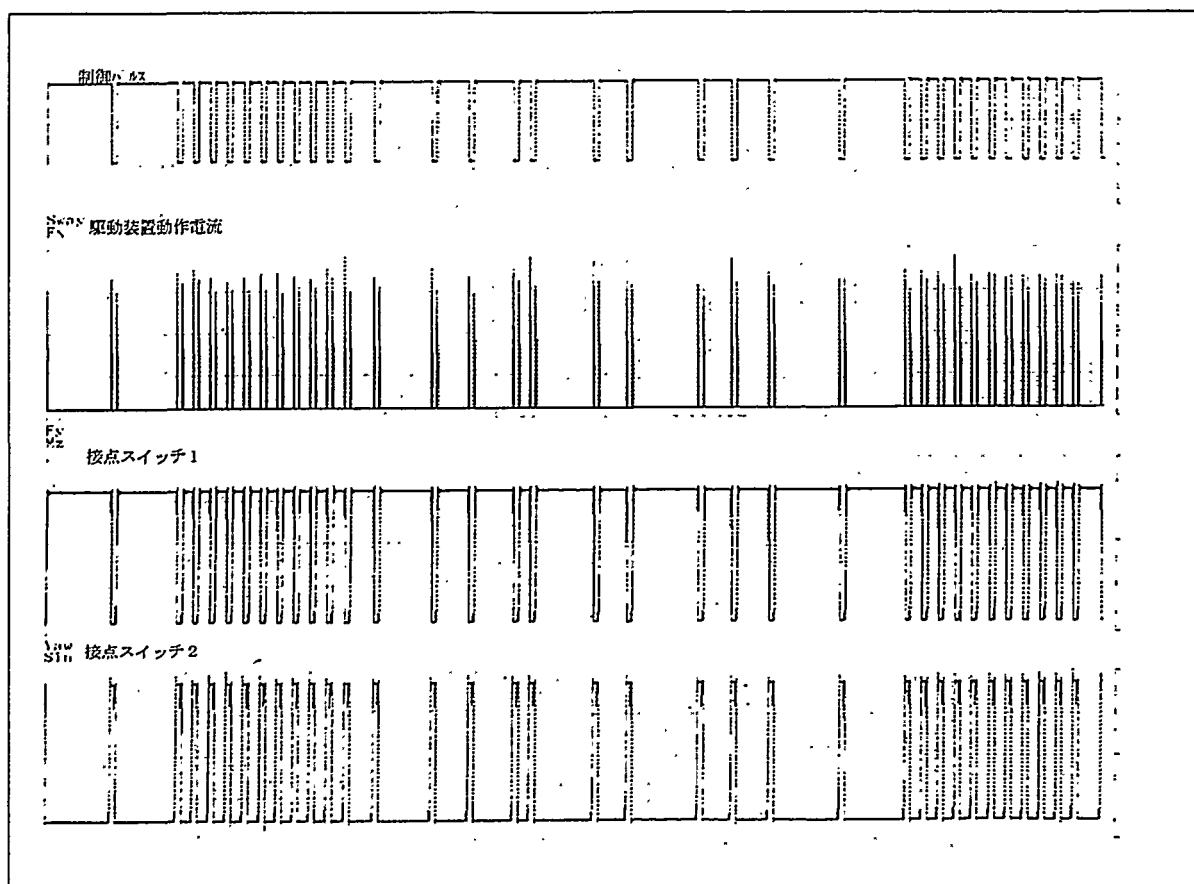
制御装置動作開始タイミングは、制御パルスの変化から制御装置電流のピークまで遅れを判定（0.1秒以内を良（○）と判定した）



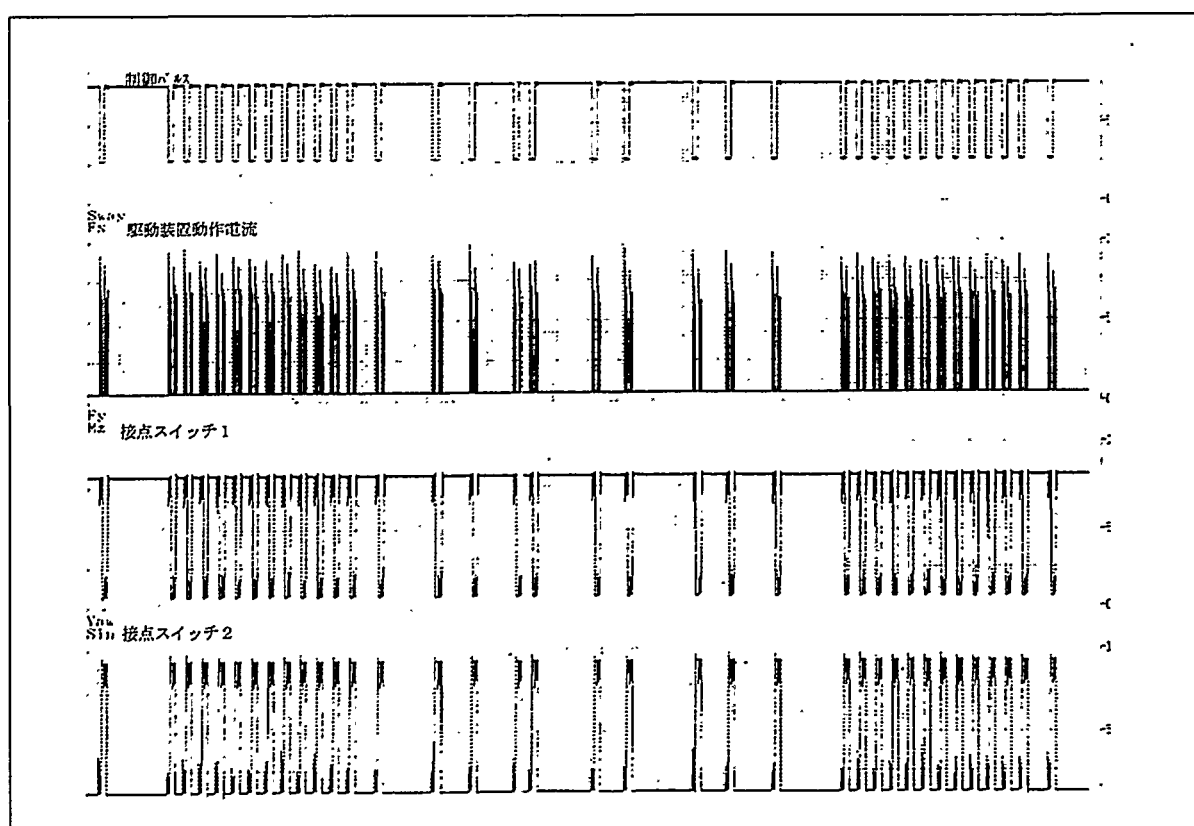
第2.4.1-189図 高温試験結果 (50℃)



第2.4.1-190図 高温試験結果 (100℃)

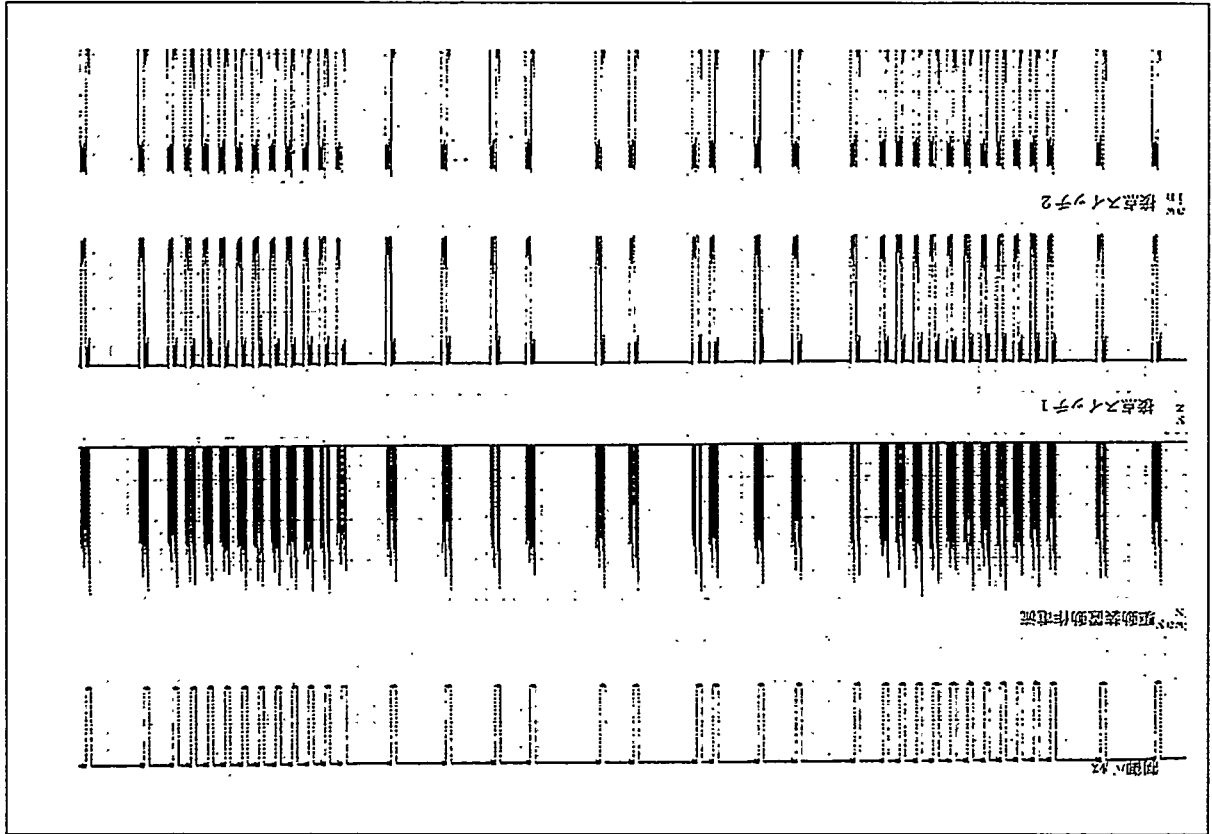


第2.4.1-191図 高温試験結果 (150℃)

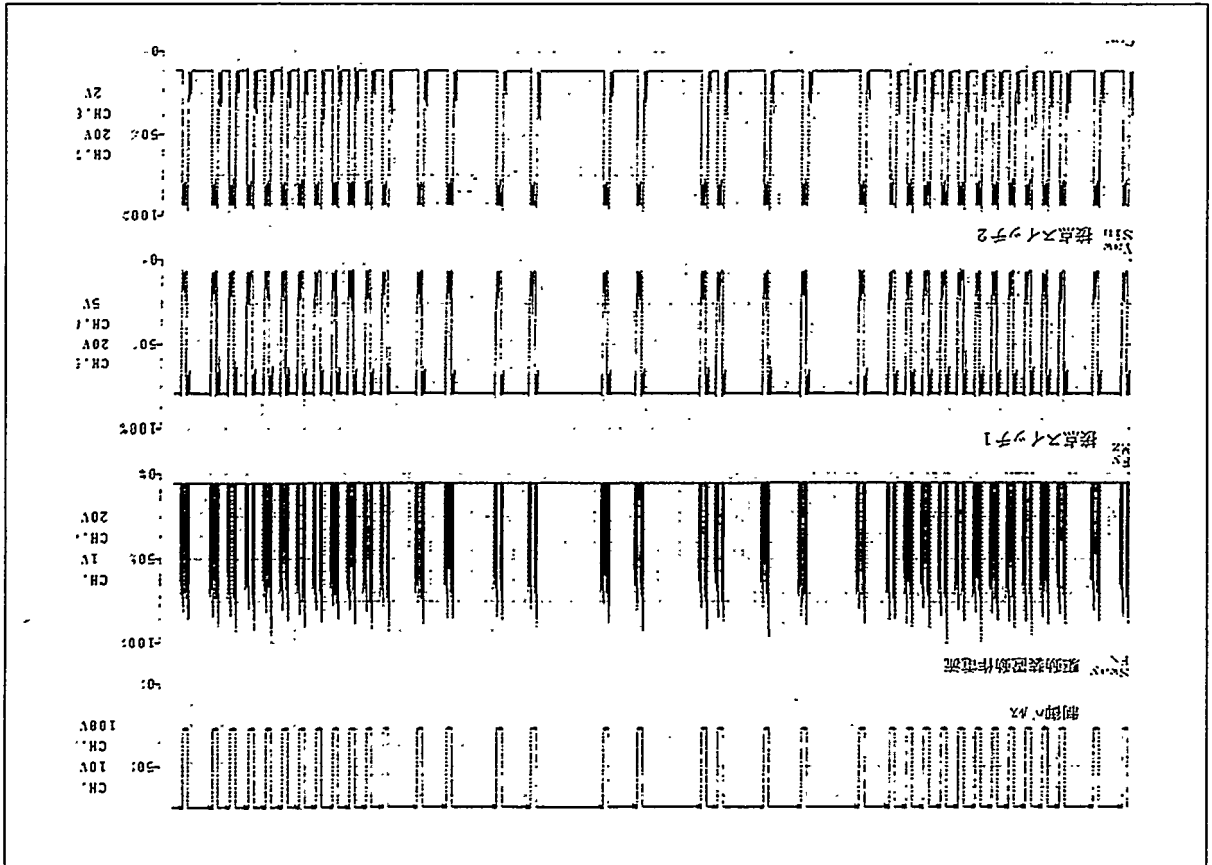


第2.4.1-192図 高温試験結果 (200℃)

第2.4.1-194図 高温試験結果 (220℃)



第2.4.1-193図 高温試験結果 (210℃)



(1. 7. 4) 高温高圧試験

a. 試験目的

平成7年度の実証試験でパルス弁駆動用の軸部から熱水の漏洩が確認された。

このため前述の「2. 4. 1 (1. 1. 2) c. 軸シール」の項で述べたように、該部の水密性を高めることを目的として、これまでリップ型シールの2段シールとしていた機構を、Oリングとリップ型シールの多段シールとする改良を行った。

本試験は、パルス弁駆動装置軸部の水密性を確認するとともに、駆動装置の高温高圧環境下での動作を確認することを目的とした。

また、試験は高温、高圧の複合条件下で行うこととした。

b. 試験要領

イ. 試験条件

最高温度：200℃

最高圧力：200kgf/cm²

駆動源：AC100V安定化電源

動作：パルスジェネレータによる間欠動作。基準パルス（0.8秒）間隔にて実施。

試験時間：昇温昇圧開始から5時間

ロ. 試験項目

計測は昇温開始から行うこととし、計測・観察項目は以下の4点とした。

①接点スイッチの動作確認

駆動装置内の接点スイッチから制御装置へフィード・バックされるON/OFF信号をオシロスコープ及びサーマルアレイコーダにより記録する。

②消費電流の計測

昇温、昇圧過程及び、高温高圧環境下における駆動装置並びに駆動制御装置の消費電流の推移をオシロスコープ及びサーマルアレイコーダにより計測する。

③各シール部の漏洩の有無の確認

試験中は駆動装置並びに駆動制御装置の電流の推移をオシロスコープ及びサーマルアレイコーダにより確認する。

また、試験後の分解により漏洩の有無を水滴、カルキ痕跡により目視確認する。

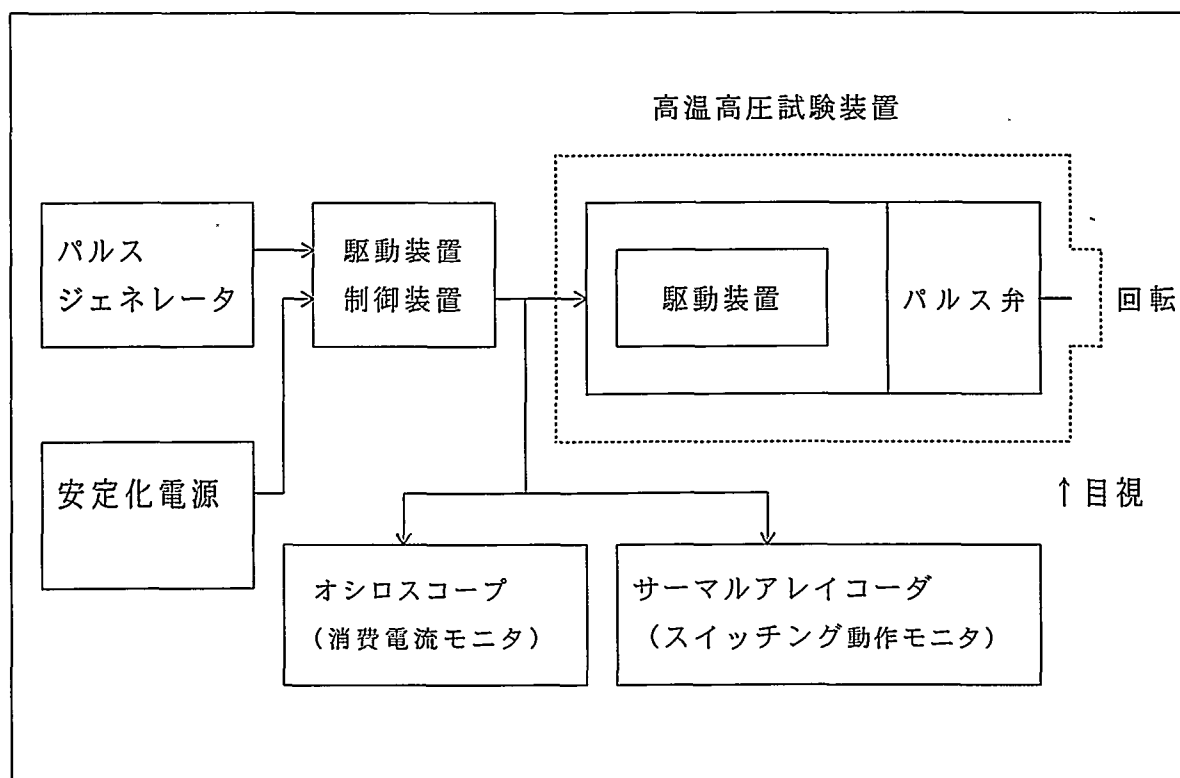
④パルス弁の動作確認

高温高圧試験装置の覗き穴によりパルス弁の動作を目視確認する。

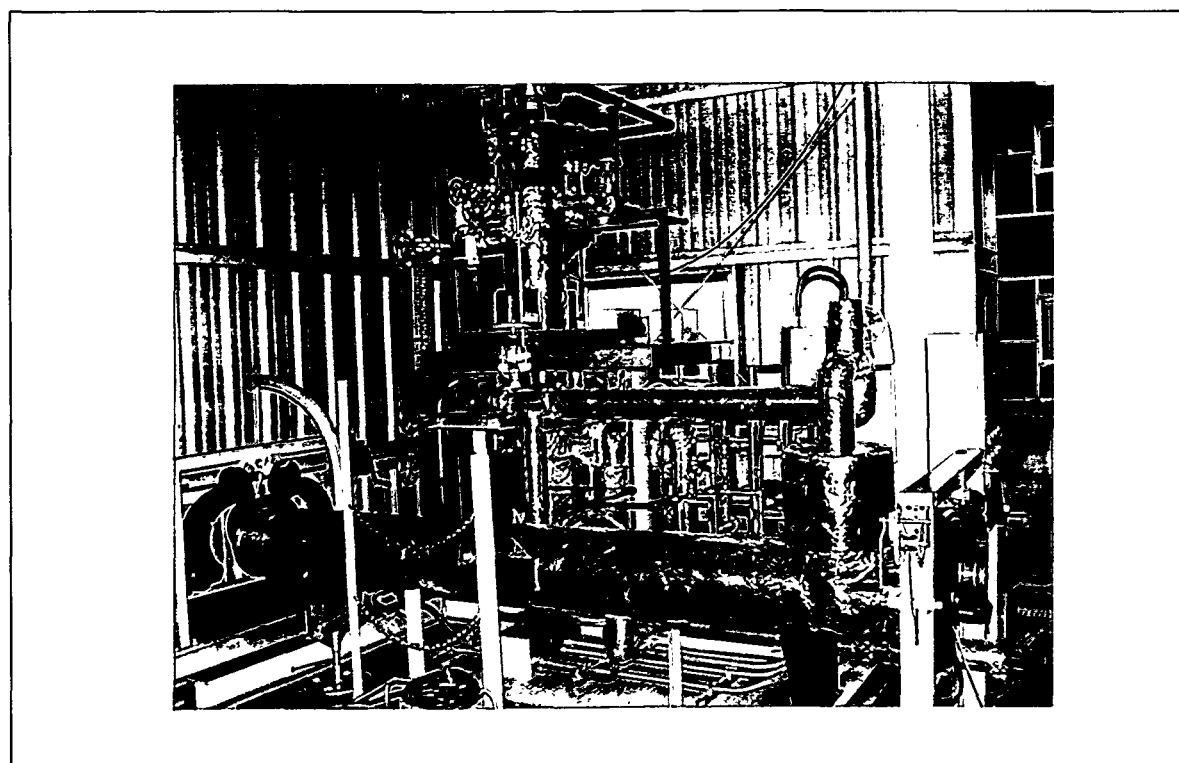
計測要領を第2.4.1-195図に示す。また、本試験で使用した高温高圧試験装置を第2.4.1-196図に示す。

c. 試験結果

第2.4.1-197図に、試験装置内温度、装置内圧力、及び駆動部の最大消費電流の計測結果を、第2.4.1-198図に消費電流波形の計測例を示す。

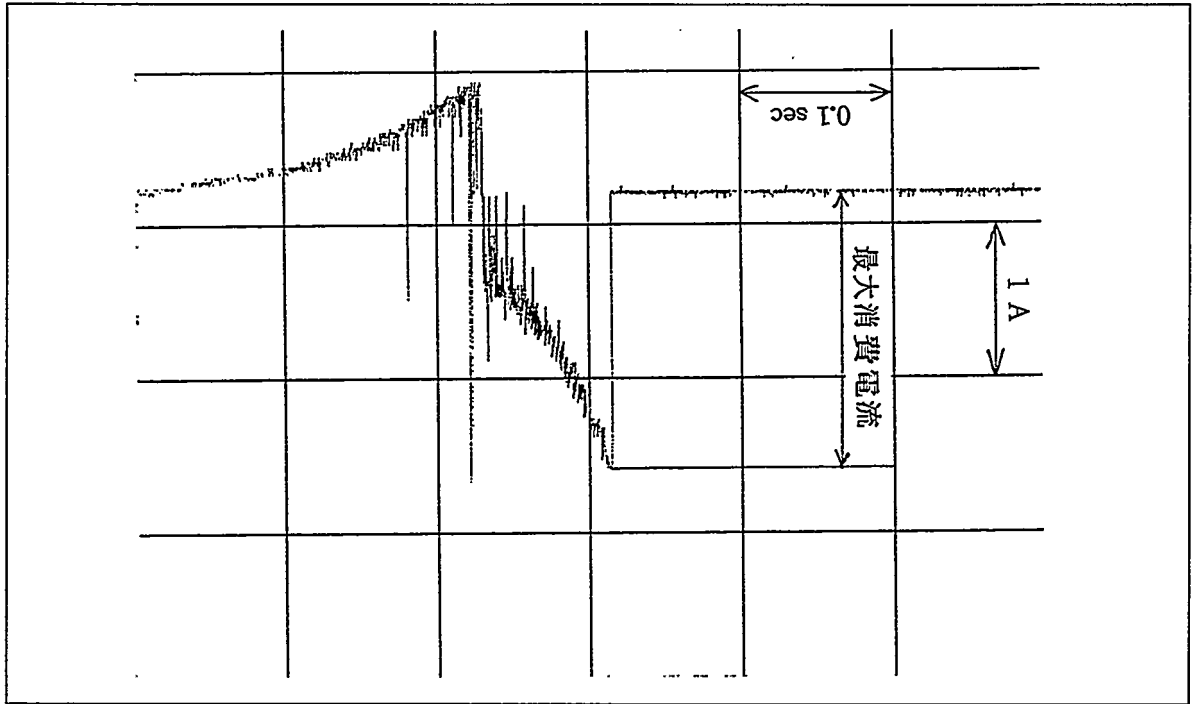


第2.4.1-195図 高温高圧試験計測要領

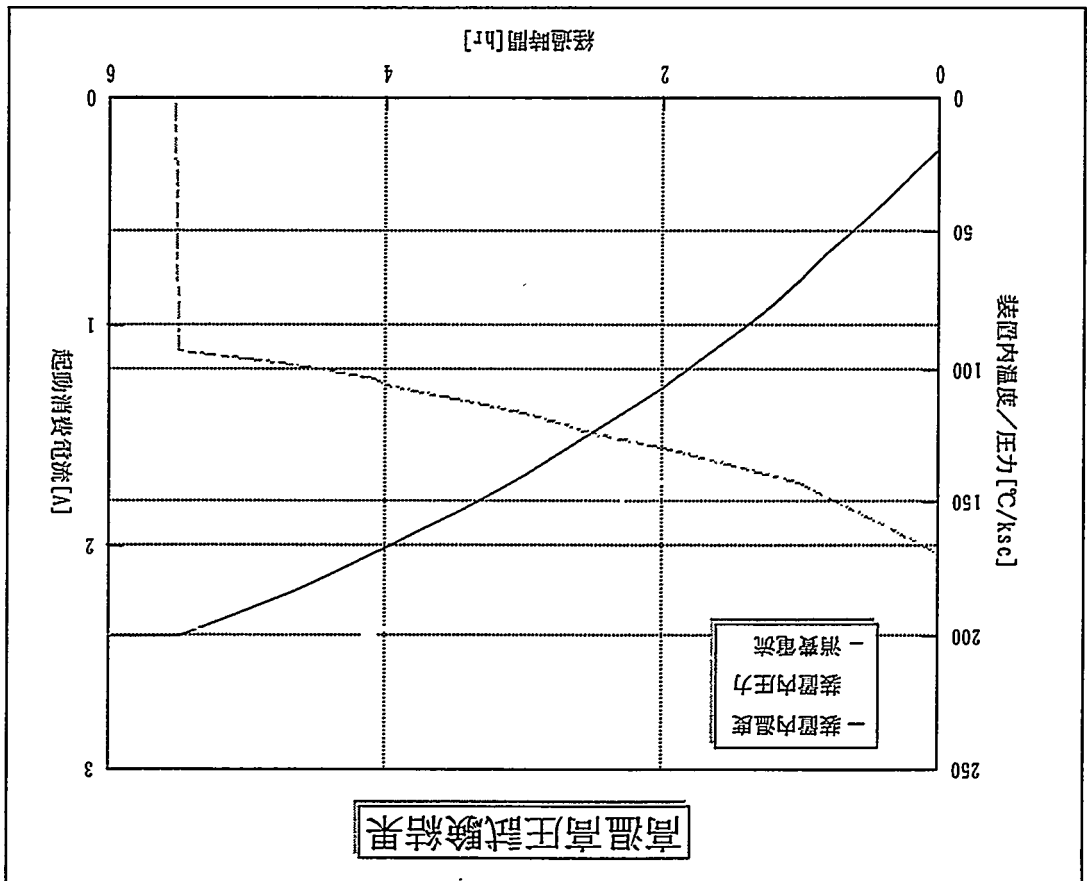


第2.4.1-196図 高温高圧試験装置

第2.4.1-198圖 消費電流波形



第2.4.1-197圖 高溫高壓試驗結果



第2.4.1-197図から装置内温度が上昇するに従い、圧力が上昇し、消費電流が減少していることが判る。

また、200kgf/cm²までの昇圧に4時間、200℃までの昇温に約5時間強を要した。

200℃整定後（昇温開始後の約5.5時間）で駆動が停止したため試験を中断し、降温し、分解した。

その結果、水漏れは計画通り第1，第2シールの間まで達していたが、それより内側の駆動機構部、耐熱モータへの水漏れは確認されなかった。

モータと接点スイッチの接触抵抗値を測定したところ、接点スイッチには異常はなかったが、モータは通常10～100Ωなのに対し、2～3kΩと両方とも異常に高くなっていることを確認した。この原因は、GPL（高温用グリース）とEDGE（コミュニテータ上のブラシが擦る帯状の端部）が類似のスペクトラムを示していることから、コミュニテータ（電機子）に高温用グリスが付着していることが判明した。

d. まとめ

軸部からの漏れについては、常温～200℃、大気圧～200kgf/cm²、の範囲において水密性が確保されていることが確認できた。しかし、200℃、200kgf/cm²の時間が0.5時間と短く、シール材の寿命の問題については確認ができていない。今後、シール材の寿命が本検知装置の使用時間、つまり50時間以上であることを確認する必要がある。

また、多段シールを採用したことによるトルク増加、接点スイッチの誤動作、消費電流値の異常な変動などは見られなかった。今後、高圧ループ試験を用い、清水及び泥水中の水密性を確認する必要がある。

高温用グリースの性状並びに高温下の密閉容器中でのモータの安定動作を確認する必要がある。

a. 目的

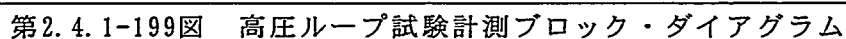
b. 試驗方法

①高圧ループ試験装置

マッドパルス測定箇所：ゾンデ直上、ゾンデ直上より50m、150mの計3カ所

サーマルアレイコーダ

試験の計測ブロック・ダイアグラムを第2.4.1-199図に示す。



c. 試験条件と計測項目

以下の条件でゾンデの動作を確認する。

イ. 試験条件

清水流量：最大1,180L/min

圧 力：10kgf/cm²

傾斜角度：90°（水平）、45°、5°（垂直）

ロ. 計測項目

①循環スイッチ動作

②傾斜出力データ

③装置内温度出力データ

④方位出力データ

⑤ツール・フェース出力データ

なお、高圧ループ試験装置はゾンデ収納部をはじめとして、大部分が鋼製であることから地磁気が乱されるため、方位及びツール・フェース出力データは参考値とする。

d. 試験結果

清水流量：1,180L/min

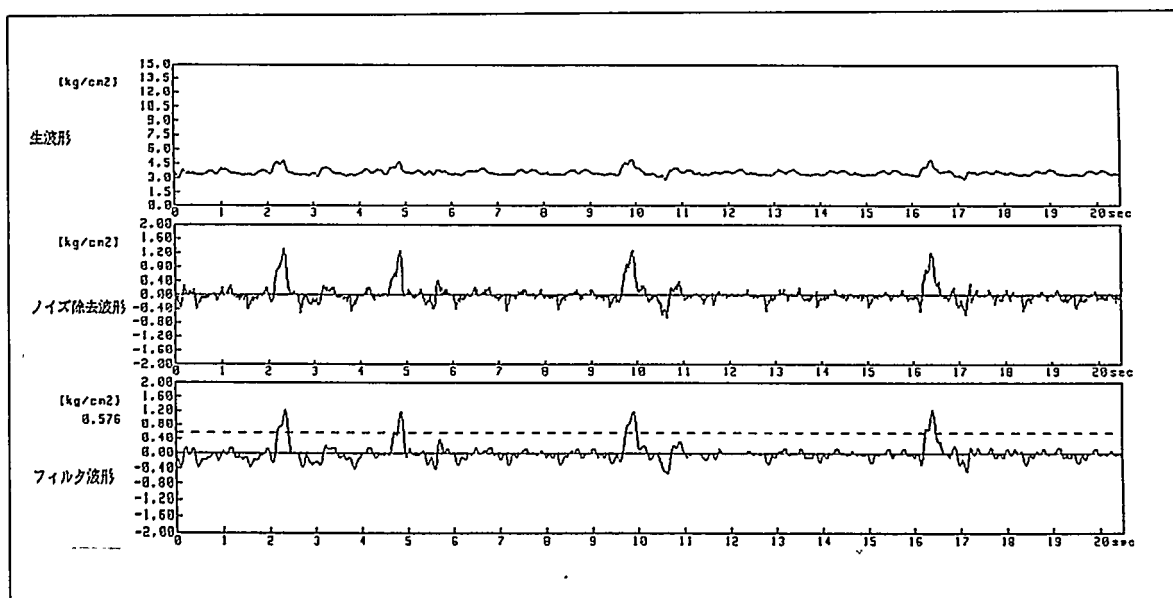
圧 力：10kgf/cm²

における試験結果を第2.4.1-27表に示す。また、第2.4.1-200図にパルス波形を、第2.4.1-201図に高圧ループ試験装置に収納された状態でのゾンデの写真を示す。

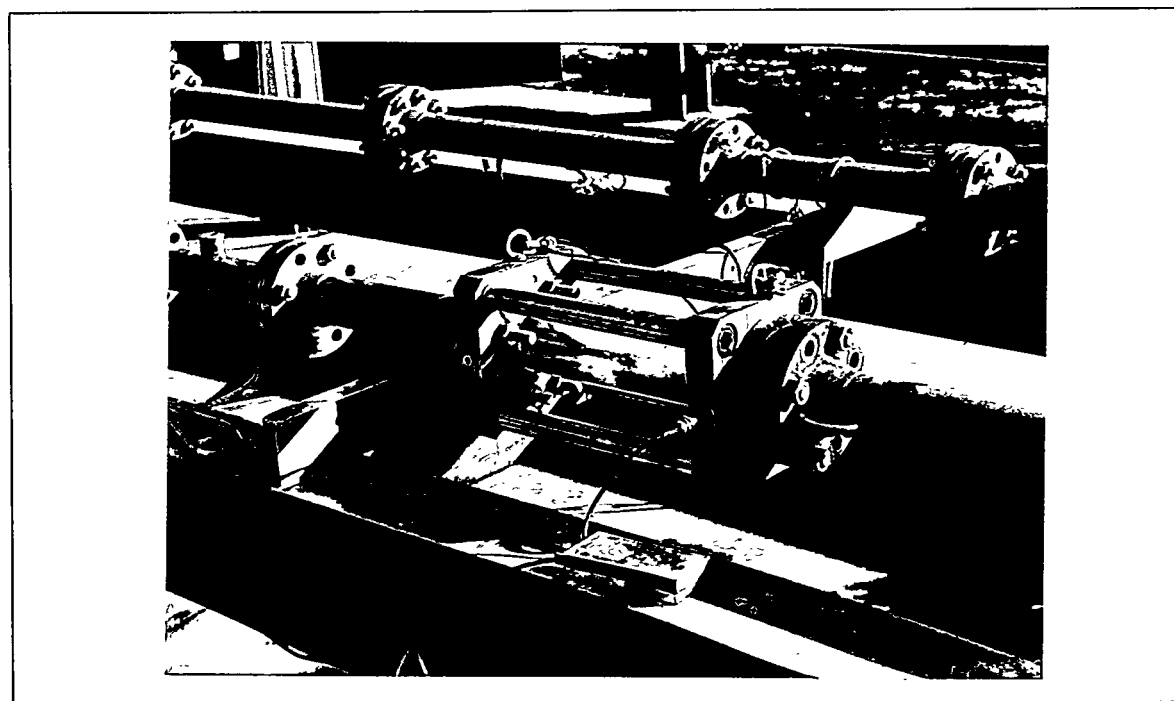
循環スイッチ：パルス出力動作開始により循環スイッチ動作を確認した。

第2.4.1-27表 一体型ゾンデの高圧ループ試験結果

設置傾斜角度	計 測 項 目	出力データ	備 考
90° (水平)	装置内温度	32.2℃	
	傾斜角	90.0°	
	方位角	180.4°	
	ツール・フェース角	152.5°	
45°	装置内温度	33.1℃	
	傾斜角	45.3°	
	方位角	179.5°	
	ツール・フェース角	155.4°	
5° (垂直)	装置内温度	31.8℃	
	傾斜角	8.7°	
	方位角	183.6°	
	ツール・フェース角	160.9°	



第2.4.1-200図 傾斜 5° におけるパルス波



第2.4.1-201図 高圧ループ試験装置に収納されたゾンデ

e. 考察

高圧ループ試験装置による一体型ゾンデの試験結果より、ゾンデ内のセンサが検知したデータがパルス波となり伝搬し、地上装置には読み込まれ表示できることが確認できた。

また、装置内温度、傾斜角のデータは試験条件とほぼ一致した結果が得られた。

傾斜角度出力データと試験条件に約 3° 程度の微少の差があるのは高圧ループ試験装置の傾斜装置が撓みを持つこと、ゾンデを収納している模擬坑井管自体も撓みを持つこと等が相乗したことによる。

掘削用の循環流体を利用し、坑底装置が検知したデータをパルス波により伝搬させ、地上装置で表示するというMWDの一連の動作が確認できた。

今後実坑井を用いた試験により動作、精度の確認をする必要がある。

(1. 8) 実機相当試作機概要

本年度に開発した実機相当試作機の概要について以下に述べる。

a. ソンデの諸元等

- ・ 外 径： $\phi 44.4\text{mm}$ ($\phi 1\frac{3}{4}"$)
- ・ 長 さ：12,705mm (41.7')
- ・ 最高稼働温度：200℃
- ・ 電 源：リチウム電池
- ・ 稼働時間：50時間 (200℃)
- ・ 耐 圧：1,000kgf/cm² (250℃)
- ・ 流 量：600～1,600L/min (150～420GPM)
- ・ 泥水比重：1.0～1.2g/cm³
- ・ 圧力損失：1 (600L/min) ～10kgf/cm² (1,600L/min)
- ・ GTF/MTFの境：5°
- ・ 伝送速度：15秒 (ツールフェース)
- ・ 計測項目：方位、傾斜、ツールフェース、装置内温度
- ・ 伝送方式：ポジティブパルス
- ・ 外 形：リトリーバブル
- ・ ツールフェースの精度： $\pm 1.0^\circ$
- ・ 方位精度： $\pm 0.5^\circ$
- ・ 傾斜精度： $\pm 0.1^\circ$

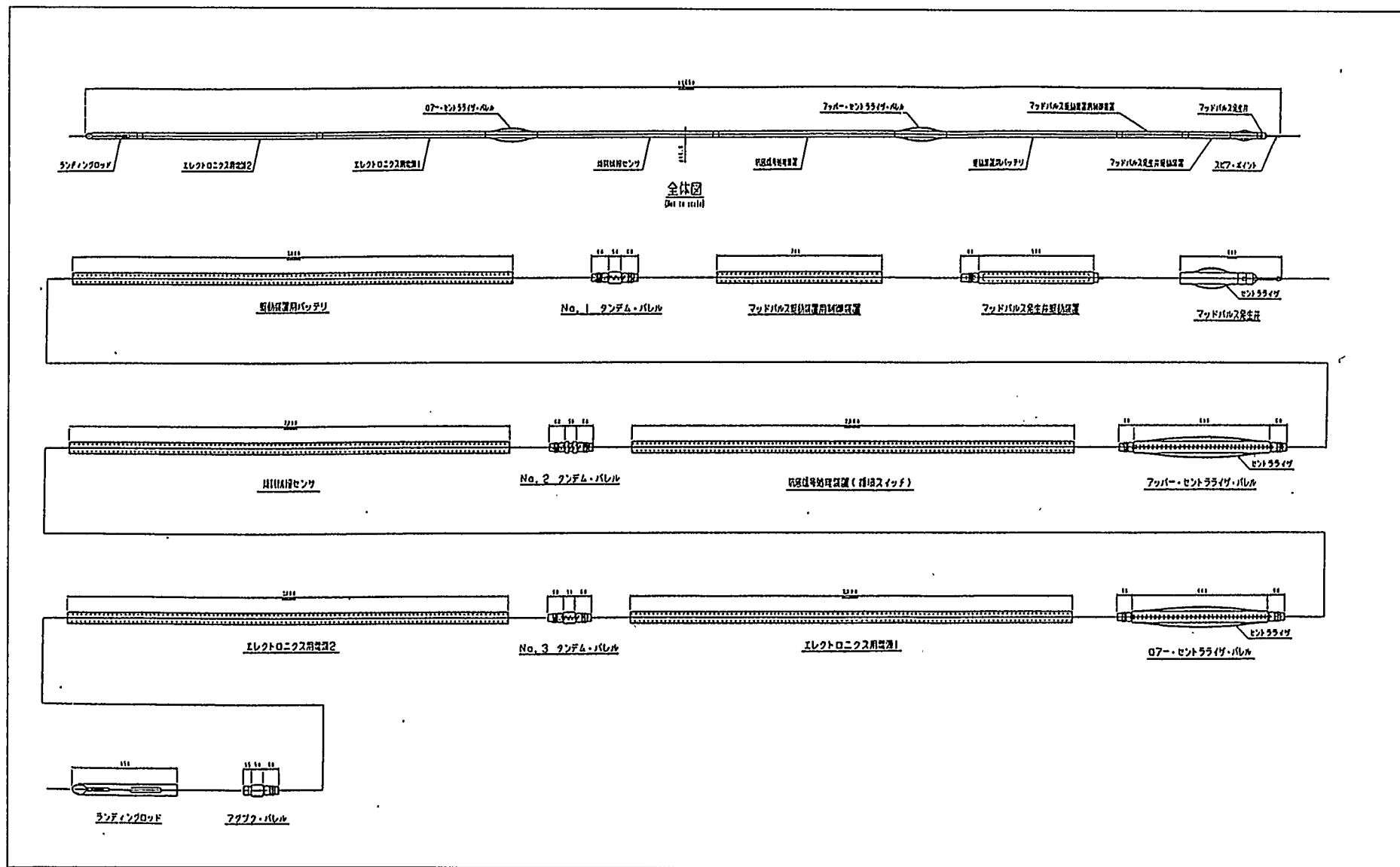
b. 装置概要

ソンドの外形概要を第2.4.1-202図に示す。

坑底装置の写真を第2.4.1-203図に示す。

坑底装置の概要を第2.4.1-204図に示す。

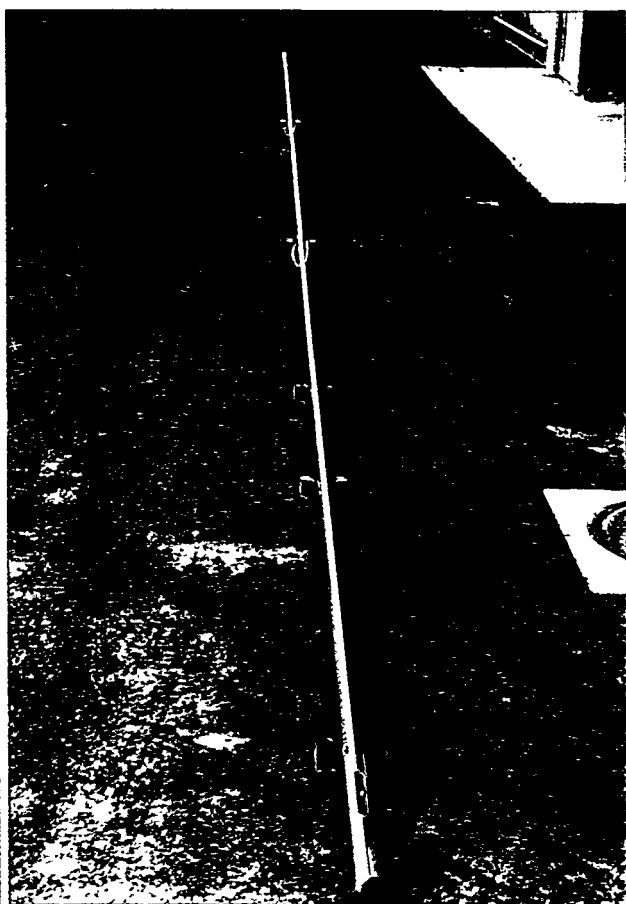
地上装置の概要を第2.4.1-205図に示す。



第2.4.1-202図 ソンデの外形概要



パルス弁側からの俯瞰

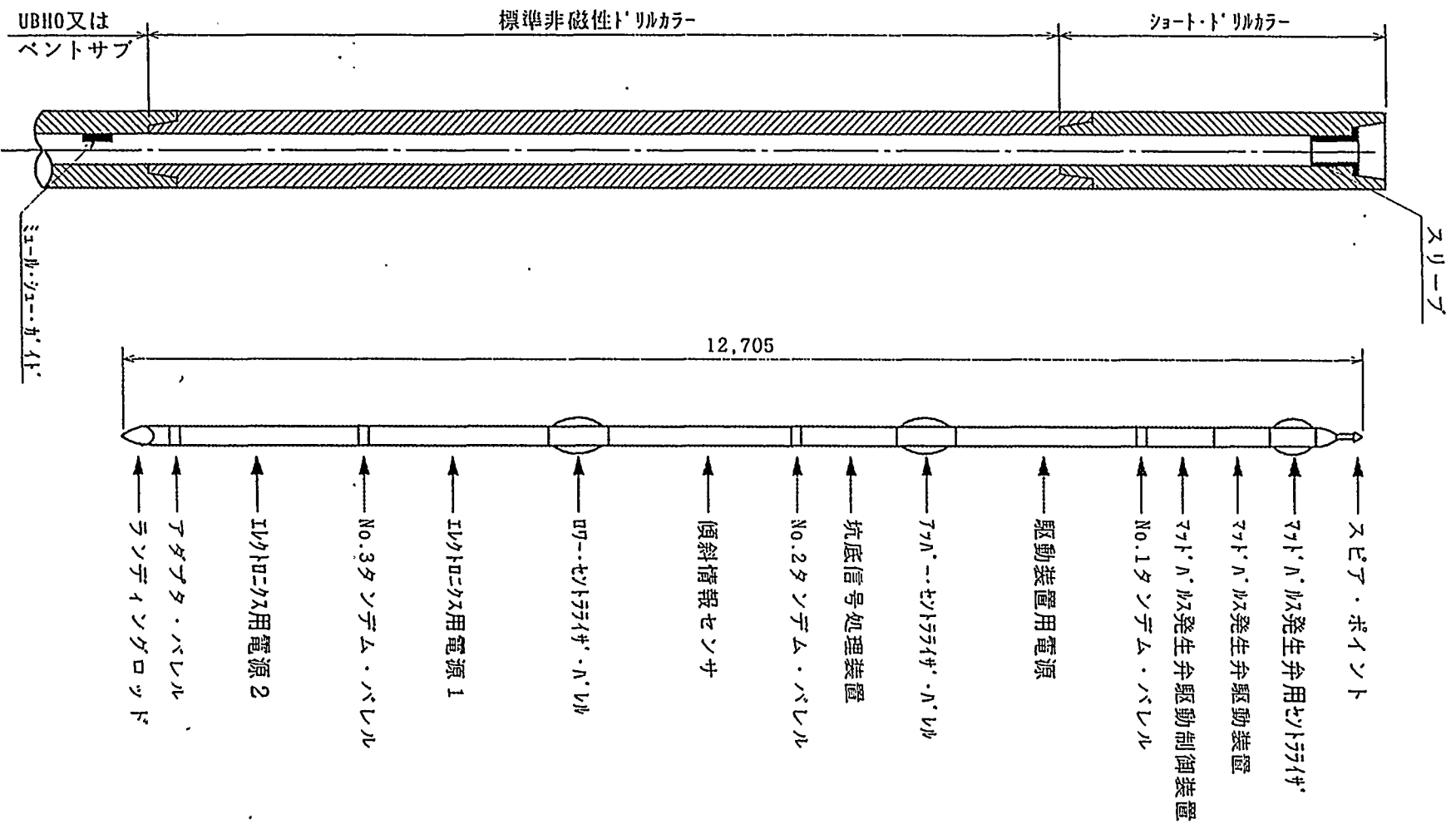


ランディング・ロッド側からの俯瞰



全 体

第2.4.1-203図 坑底装置



第2.4.1-204図 坑底装置の概要

(2) 電子部品耐熱性確認試験

a. 試験方針

試験方法は前年度と同様で以下のとおりとする。但し、デジタル回路部品に対しては適宜高温耐久性試験を実施する。

イ. 試験対象部品の選択

試験対象部品の選択に当たっては、以下の方針で行う。

- ・電子部品の場合、最近の製造技術の進歩により同一メーカーの特定部品に対する個体差が少ないので、相当仕様の複数メーカーの製品を対象とする。
- ・半導体は、一般に高温になると電気導電率が良くなるため、半導体内部の電流リークが少ない部品を選択する。
- ・デジタル系ICの場合は、集積度の高いICを選択し、低クロック周波数で使用する。集積度の高いICは、単位面積当たりの発熱量が大きい。このため、クロック周波数を増すと、IC内部の発熱量が増え、内部温度が上昇するが、これを押さえた低いクロック周波数で作動させる。
- ・アナログ系ICの場合は、誘電体分離方式を採用している素子を選択する。

は誘電体分離方式はIC内（ダイス内）に配置されたトランジスタ間のリーク電流が少ないため、特性の変化が少ないという特徴を持つ。

特にアナログ系ICの場合は、高温になるとリーク電流が増えて特性が大幅に変化する。従って、D. I. プロセスのものを選択する。

b. 耐熱性確認試験の対象

本年度はデジタル回路の高温耐久性の対策として、CPU及び周辺回路部品を主な試験対象とした。また、まだ目標とする高温特性が得られていない大容量コンデンサについても継続して試験を行った。

また、昨年度製作した坑底信号処理装置の放熱対策を行い、その効果を確認する目的で高温耐久時間の変化を測定した。クロック用発振回路は昨年度まで使用していた水晶発振器が、高温での衝撃で動作不良を起こすため、その対策として水晶などの個別部品を使用した回路について試験を実施した。

耐熱性確認試験の対象となる電子部品の種類を以下に示す。

- ・CPU及び周辺回路部品
- ・クロック用発振回路
- ・通信制御IC
- ・大容量コンデンサ

c. 試験要領

イ. 試験用機材

以下の試験用機材を用い電子部品の耐熱性試験を行う。

①サーマルテスト

恒温槽内にセットされた電子部品及び電気・電子回路の動作確認を行うためのデータ解析装置であり、各測定器・解析部は1台の筐体に収納されている。外形寸法は、高さ

2,000mm×幅570mm×奥行755mm。測定項目は以下のとおり。

- ・ 温度測定部 0 ～ +300℃ (0.1K) 6 ch入力
- ・ フナログ電圧測定部 ±40 Vmax (4mV min) 24ch入力
- ・ 波形測定部 ±10 V (1μV min) 16ch入力
- ・ 電流測定部 DC10A/1A (1mA min) 1 ch入力

②恒溫槽

電子部品のスクリーニング及び耐熱試験、温度サイクル試験にA、Bの2台を使用する。

・ 恒溫槽Aの仕様

加熱方式：熱風強制循環式

恒溫室寸法：高さ495mm×幅600mm×奥行507mm

溫度範圍：室温～+250℃

電源：AC100V 单相 (1.3KVA)

・ 恒溫槽Bの仕様

加熱方式：熱風強制循環式

恒溫室寸法：高さ800mm×幅800mm×奥行800mm

溫度範圍：+20～+300℃

電源：AC200V 3相 (5.5KVA)

③LSIテスト

温度サイクル前後の特性測定、専用加熱治具による温度特性測定、及び電子部品のスクリーニングを行うための装置である。DC項目の測定、及びタイミングテストが可能である。

外形寸法は次のとおり。

・ フラット部：高さ250mm×幅580mm×奥行き430mm

・ 制御部：高さ700mm×幅500mm×奥行き700mm

測定部仕様は以下のとおり。

・ 測定用電源：+45V～-35V (400mA) × 4台

・ 測定端子数：128t/y

・ 論理レベル電源：-2V～+8V (2.44mV) × 出力用4台

×入力用2台

・ DC測定ユニット：+45V～-35V (2.44mV) × 4台

400mA (2.44nA)

・ タイミング・クロック：50MHz

・ テスト・レート：100nsec～1.3msec

d. 試験条件

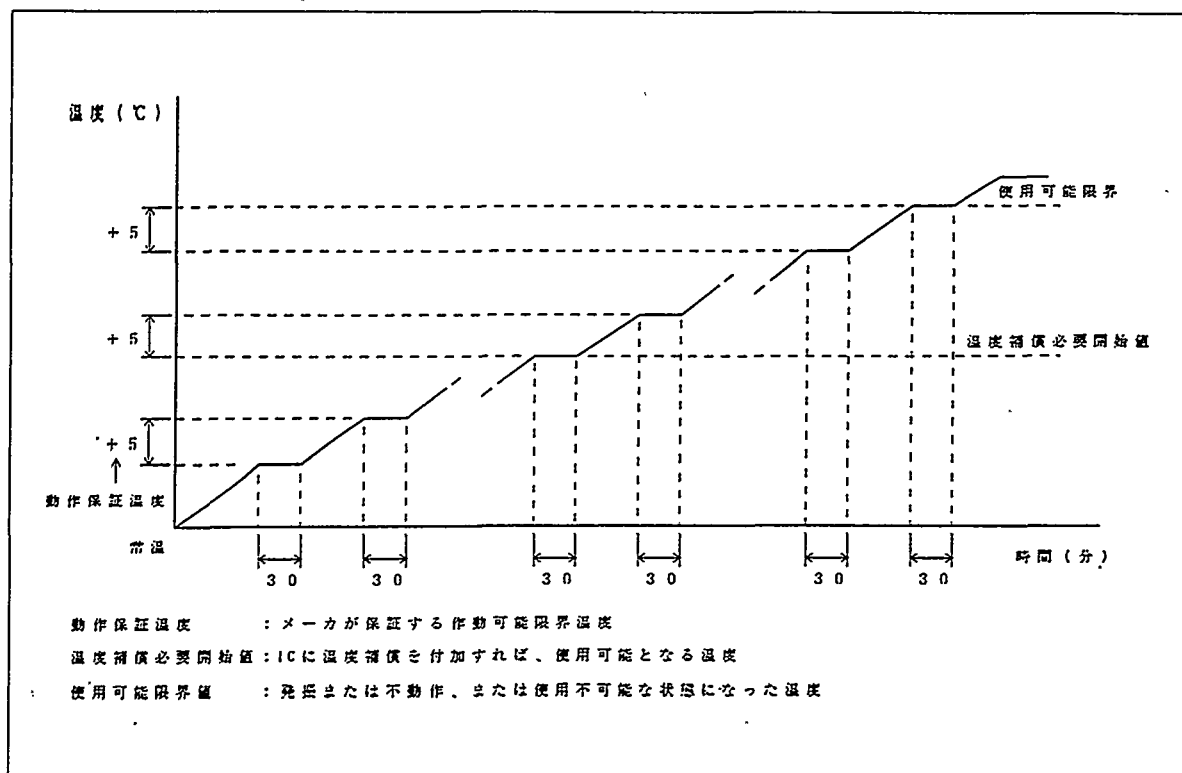
動作温度限界確認試験では、恒溫槽内に電子部品を入れ、部品の動作をモニタしながら

第2.4.1-206図のように温度を上げた。ICに温度補償を付加すれば使用可能となった温度

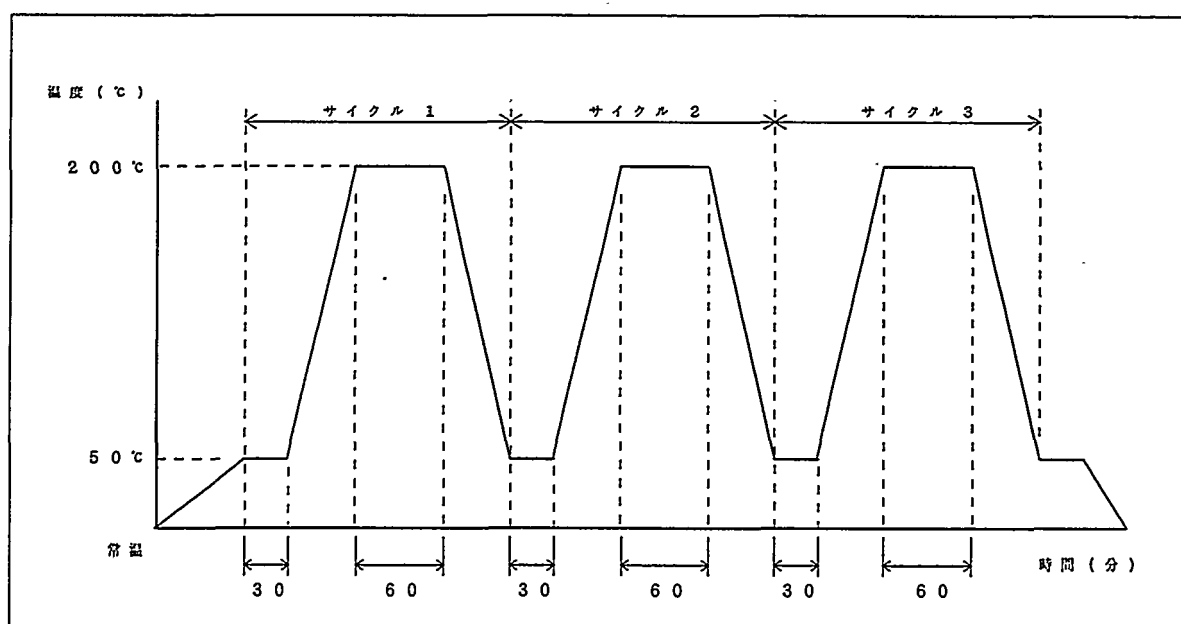
を温度補償必要開始値、発振または不動作となった温度を使用限界値とした。

温度サイクル試験では、恒溫槽内に電子部品を入れ第2.4.1-207図のように温度を変化

させ、部品の作動状況をモニタした。



第2.4.1-206図 動作温度限界確認試験要領



第2.4.1-207図 温度サイクル試験要領

e. 試験結果一覧

第2.4.1-28表に示した電子部品に対し、耐熱性確認試験を実施した。

試験結果の概要を第2.4.1-29表～第2.4.1-31表に示す。

第2.4.1-28表 耐熱試験実施部品一覧

電子部品名	仕 様	供試体 個 数
コンデンサ 1	タ イ プ： 積層セラミック 容 量： 0.47 μ F/DC50V	20個
コンデンサ 2	タ イ プ： ソリッドタンタル 容 量： 1.0 μ F/DC50V	20個
コンデンサ 3	タ イ プ： ソリッドタンタル 容 量： 1.0 μ F/DC50V	20個
C P U	電源電圧： +5V 動作温度： -55 $\sim$ +125 $^{\circ}$ C	10個
通信用 I C 1	電 源 電 圧： +5V 動作レベル： 5VCMOS 動 作 温 度： 0 $\sim$ +85 $^{\circ}$ C	10個
通信用 I C 2	電 源 電 圧： +5V 動作レベル： TTL 動 作 温 度： 0 $\sim$ +85 $^{\circ}$ C	10個
水晶振動子 1	発振周波数： 10MHz 動 作 電 圧： +5V	10個
水晶振動子 2	発信周波数： 4MHz 動 作 電 圧： +5V	10個

第2.4.1-29表 耐熱試験結果一覧（機能評価）

電子部品名	測定項目	結 果 概 要	判定
コンデンサ 1	等価容量 並列抵抗	200 $^{\circ}$ Cまで-70%以内 200 $^{\circ}$ Cでも良好	○
コンデンサ 2	等価容量 並列抵抗	240 $^{\circ}$ Cまで50%以内 200 $^{\circ}$ Cでも良好	○
コンデンサ 3	等価容量 並列抵抗	240 $^{\circ}$ Cまで30%以内 200 $^{\circ}$ Cでも良好	○
C P U	動作	240 $^{\circ}$ Cまで動作可能	○
通信用 I C 1	動作	240 $^{\circ}$ Cまで動作可能	○
通信用 I C 2	動作	240 $^{\circ}$ Cまで動作可能	○
水晶振動子 1	動作	240 $^{\circ}$ Cまで動作可能	○
水晶振動子 2	動作	240 $^{\circ}$ Cまで動作可能	○

○：精度・用途を限定すれば使用可能

×：使用不能

第2.4.1-30表 耐熱試験結果一覧（温度サイクル）

電子部品名	測定項目	結 果 概 要	判定
コンデンサ 1	等価容量 外観	変動 5 % 以内 変色のみ	○
コンデンサ 2	等価容量 外観	変動大 リード部に半田漏れあり	×
コンデンサ 3	等価容量 外観	変動大 リード部に半田漏れあり	×
C P U	動作	動作可能	○
通信用 I C 1	動作	動作可能	○
通信用 I C 2	動作	動作可能	○
水晶振動子 1	動作	動作可能	○
水晶振動子 2	動作	動作可能	○

○：精度・用途を限定すれば使用可能

×：使用不能

第2.4.1-31表 耐熱試験結果一覧（高温耐久試験）

電子部品名	測定項目	結 果 概 要	判定
コンデンサ 1	機能 外観	200℃ 100時間機能○K 変色のみ	○
C P U	動作	200℃ 72時間動作○K（単独） 220℃ 64時間動作○K（単独） 200℃ 97時間動作○K（周辺共） 計233時間動作○K	○
通信用 I C 1	動作	200℃ 50時間動作○K 220℃ 64時間動作○K 計114時間動作○K	○
通信用 I C 2	動作	200℃ 100時間動作○K	○
水晶振動子 1	動作	200℃ 150時間動作○K	○
水晶振動子 2	動作	200℃ 100時間動作○K	○

○：精度・用途を限定すれば使用可能

×：使用不能

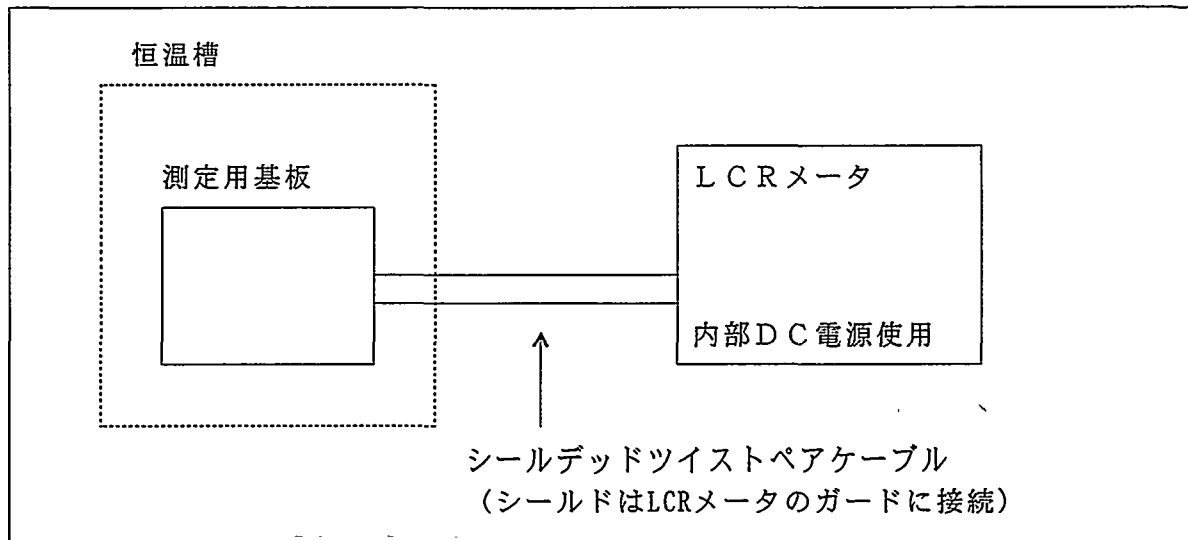
イ．コンデンサの機能及び特性試験

コンデンサ 1～3 の機能・特性を恒温槽内で測定するため、第2.4.1-208図に示す試験用回路を構成し、以下の条件の下で試験した。

- ・測定環境温度：室温、50℃、100℃、150℃、200℃、220℃、240℃
- ・バイアス電圧：+15V
- ・測定周波数：1 kHz

測定項目は以下のとおり。

- ・等価容量
- ・並列抵抗値



第2.4.1-208図 コンデンサ試験用ブロック図

①コンデンサ試験結果のまとめ

・コンデンサ1

コンデンサ1は、200℃で常温時の30%にまで容量値が落ち込み、温度に対する変動も単調な特性でないが、温度サイクル試験及び高温耐久性試験の結果、特性変動はわずかで、外観上の変化も変色のみであった。

容量の減少を見込めば、電源ラインに使用するバイパスコンデンサとしては十分使用可能であると考える。

・コンデンサ2

コンデンサ2は、温度上昇に伴い容量値が上昇する典型的なタンタルコンデンサの特性を示し、240℃で常温時の+50%程度まで上昇した。

240℃でも機能的には問題ないが、温度サイクル試験でリード部から内部接続に使用されているハンダが吹き出してきた。

使用不可能である。

・コンデンサ3

コンデンサ3もコンデンサ2と同様な特性を示し、240℃で常温時の+30%程度まで上昇した。

240℃でも機能的には問題ないが、温度サイクル試験でリード部から内部接続に使用されているハンダが吹き出してきた。

使用不可能である。

ロ. CPUの機能試験

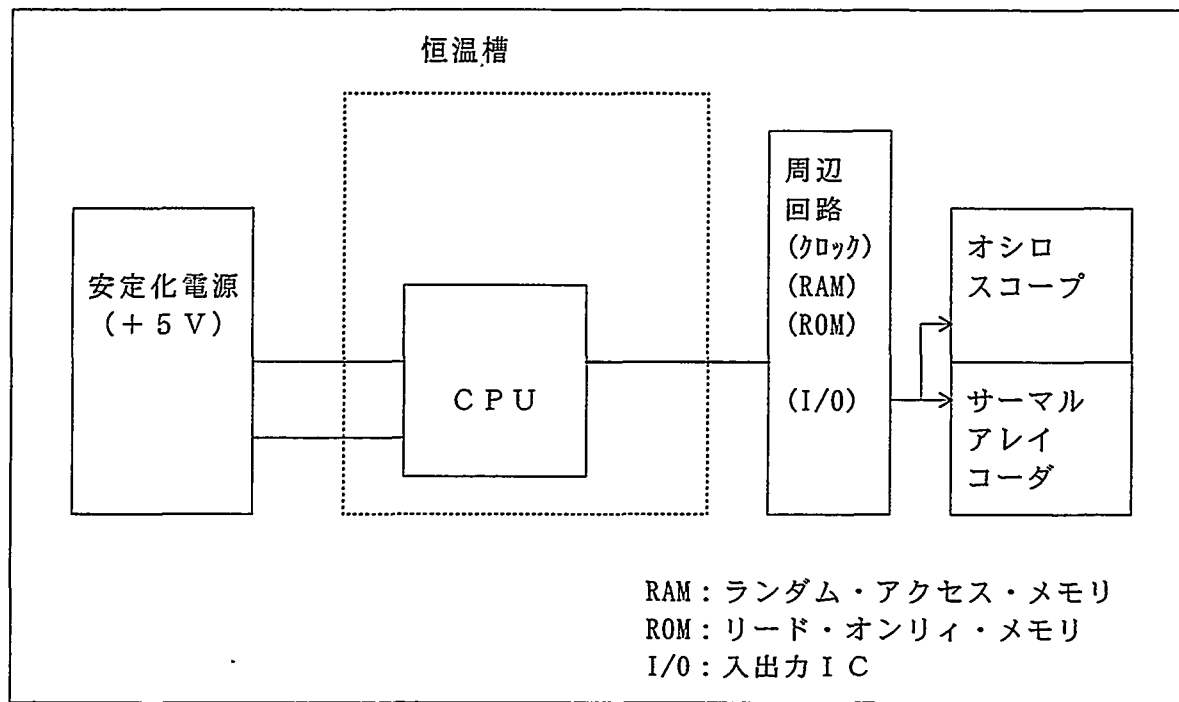
CPUの高温動作を確認するために、CPU単独で加熱する第2.4.1-209図に示す評価用回路及び周辺回路を含むボード全体を加熱する第2.4.1-210図を構成し、以下の条件で実施した。

・電源電圧：+5V

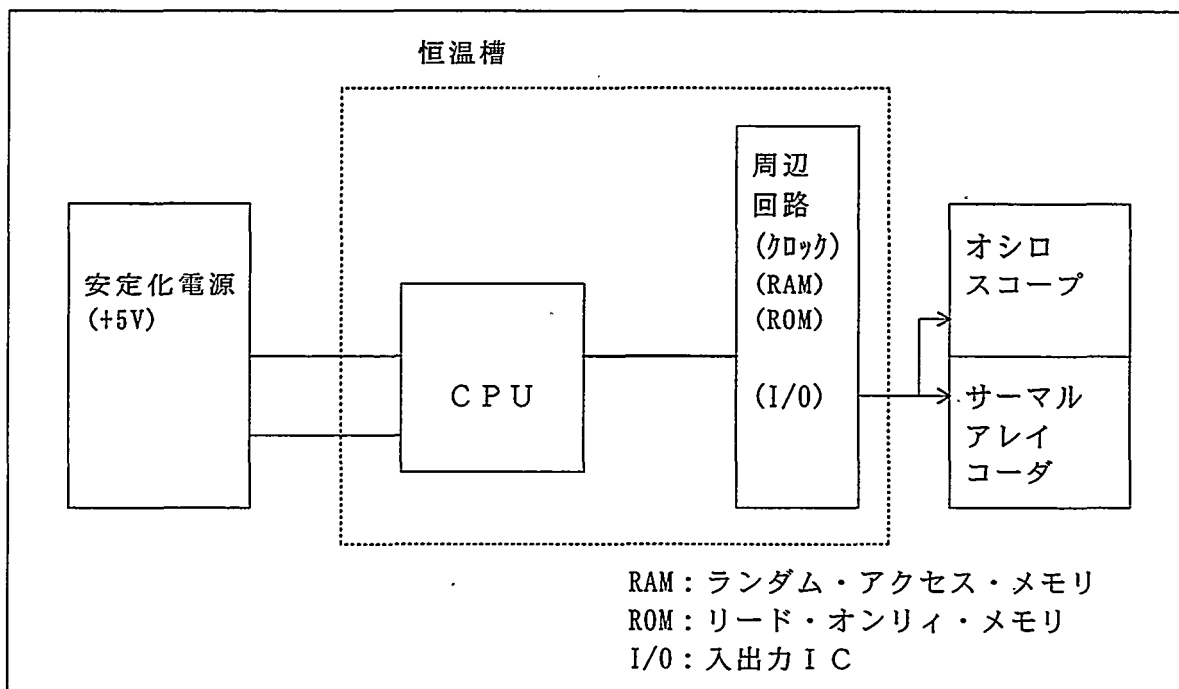
・動作周波数：2MHz

動作確認内容はメモリ・チェック及びそれに同期したポート出力と、カウンタの割り込み機能を利用したタイマ機能である。

メモリ・チェックが正常な間は第1出力に規則的な方形波が出力され、タイマ機能が正常な間は第2出力に規則的な方形波が出力される回路及びソフト・ウェアを構成した。



第2.4.1-209図 CPUの機能評価回路ブロック図 (単独)



第2.4.1-210図 CPUの機能評価回路ブロック図 (全体加熱)

対象CPUの評価熱履歴を下記に示す。すべて同一のCPUに対して実施した。

- ・ 単独加熱：耐熱機能試験（室温から240℃まで）：OK
- ・ 単独加熱：温度サイクル試験（室温から220℃：3回）：OK
- ・ 単独加熱：200℃高温耐久性試験（72時間）：OK
- ・ 単独加熱：220℃高温耐久性試験（64時間）：OK
- ・ 全体加熱：200℃高温耐久性試験（97時間）：OK（終了後に再加熱時NG）

（注：耐久試験時間は50時間を目安とし、作業時間帯にあわせ実施。）

比較のために昨年度製作の坑底信号処理装置を使用して、CPUをトレイに熱結合させることにより、放熱効果を高めた状態で加熱した場合の耐久試験の結果を下に示す。

200℃高温耐久性試験：基板1 65時間で動作NG

基板2 55時間で動作NG

220℃高温耐久性試験：基板3 13時間で動作NG

（注：動作NGは、駆動装置制御用パルスが異常波形となった状態である。）

昨年度まで使用していたCPUは、200℃における耐久性は50時間を確保できるが、220℃/5時間の高温ストレスが加わった場合には200℃/50時間の動作は確保できない。

これに対し本年度耐熱試験を実施したCPUは、200℃での耐久性が4倍程度になっており、220℃/50時間以上の高温ストレスが加わった場合でも200℃/100時間の動作が可能である。

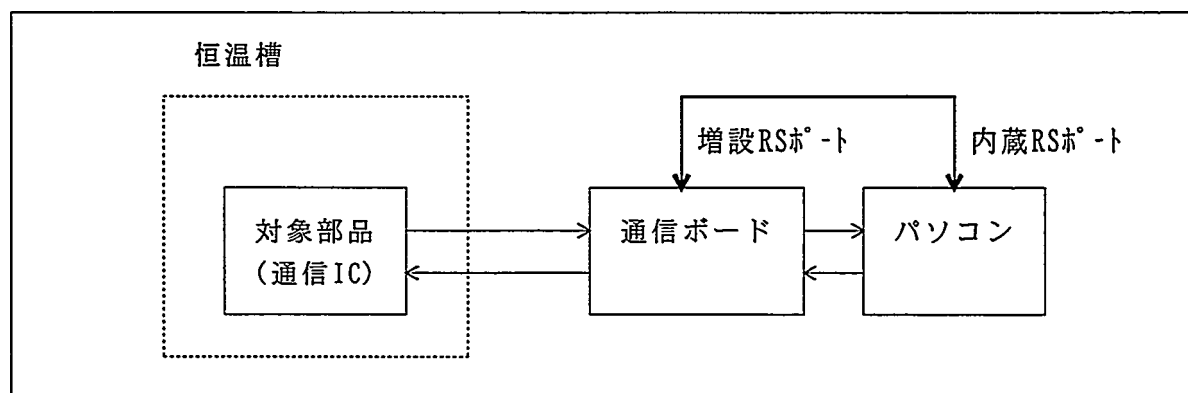
以上の結果から本年度は、坑底信号処理装置及び温度補正回路に本CPUを採用するべきであると考える。

なお全体加熱時に、ボード上には標準ロジック、メモリ（ROM, RAM）、クロック発振回路等も搭載されており、坑底信号処理装置及び温度補正回路に必要な部品全てについて200℃/100時間程度の耐久性が確認できた。

ハ. 通信用ICの耐熱試験

坑底信号処理装置、温度補正部間はシリアル通信にてデータを伝送しており、昨年度まで使用してきたCPUにはその機能が内蔵されていた。今年度以降採用しようとしているCPUは該当機能を内蔵していないため、通信用ICを設置する必要がある、その耐熱性を評価した。

第2.4.1-211図に試験のためのブロック図を示す。



第2.4.1-211図 通信用IC耐熱試験ブロック図

既製の増設用通信ボード上のICを試験対象部品に置き換え、配線を延長して恒温槽内に設置した。

コンピュータの内蔵RSポートと増設用通信用ボードのRSポートの間で通信を行い、データの送受信機能が正常に動作することにより機能の確認をする。

通信条件は、通信速度2,400bps（8 bit, NON parity）とする。

①通信用 I C 1 の耐熱試験結果

対象部品の試験熱履歴を下記に示す。

- ・耐熱機能確認試験（室温から240℃）：O K
- ・温度サイクル試験（室温から220℃：3回）：O K
- ・200℃高温耐久性試験：50時間 O K
- ・220℃高温耐久性試験：64時間で制御用パルス波形異常

試験対象部品は、デジタル回路部品であるため特性変動の数値的な解析はできないが、200℃と比較して220℃のストレスは、平成7年度の坑底信号処理装置の試験結果から判断して、耐久性を1/3程度に短縮すると推測される。従って今回の試験結果から、200℃での耐久性は約200時間程度であると考えられる。

以上のことから、200℃/50時間の耐久性は十分に満足できると思われる。

②通信用 I C 2 の耐熱試験結果

対象部品の試験熱履歴を下記に示す。

- ・耐熱機能確認試験（室温から240℃）：O K
- ・温度サイクル試験（室温から220℃：3回）：O K
- ・200℃高温耐久性試験：80時間 O K

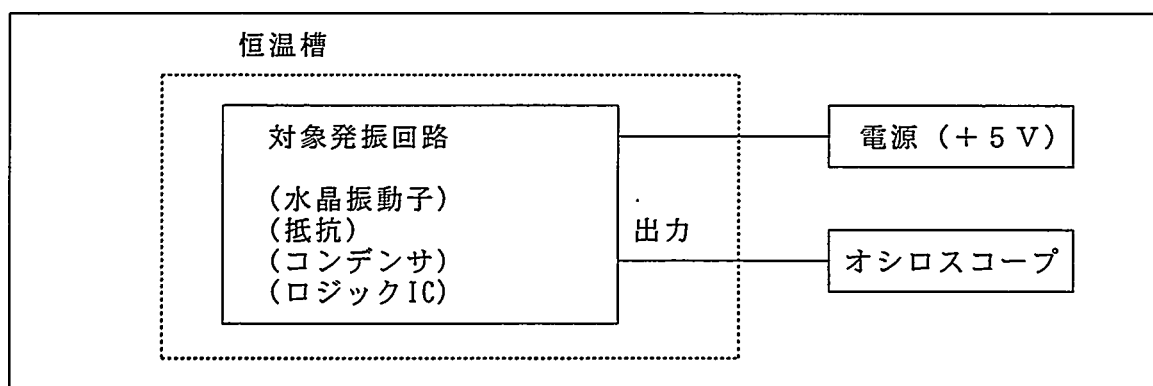
本試験対象部品は、通信用IC1と製造プロセスが異なるICであり、試験結果は良好であったが、動作消費電流がIC1の1mA程度に比べて30mAと大きく、低消費電力を求める回路には適さない。

二．水晶振動子の機能評価

平成7年度年度使用していた水晶発振器は、高温状態において基板へ加わる振動・衝撃により動作不良が発生した。また、部品の取り付け角度により、高温で動作不良が発生する場合も見受けられた。

本年度はその対策として、個別部品である水晶振動子を用いて試験を行う。

ロジックIC、抵抗及びコンデンサと試験対象の水晶振動子を用いて、発振回路を構成し、第2.4.1-212図に示す耐熱試験用ブロックにて試験を行った。



第2.4.1-212図 水晶振動子耐熱試験ブロック図

①水晶振動子 1 の試験結果

平成 7 年度まで使用していたクロック周波数 10MHz 用の水晶振動子 1 について試験を行った。

試験熱履歴を以下に示す。

- ・耐熱機能確認試験（室温から 240℃） : O K
- ・温度サイクル試験（室温から 220℃ : 3 回） : O K
- ・ 200℃ 高温耐久性試験 : 150 時間まで O K

高温動作及び耐久性試験でも良好な結果が得られた。

取り付け方向の違いや、基板へ振動・衝撃を加えた場合でも動作不良は生じなかった。

②水晶振動子 2 の試験結果

本年度使用予定のクロック周波数 4 MHz 用の水晶振動子 2 について試験を行った。

水晶振動子 2 の試験熱履歴を下記に示す。

- ・耐熱機能確認試験（室温から 240℃） : O K
- ・温度サイクル試験（室温から 220℃ : 3 回） : O K
- ・ 200℃ 高温耐久性試験 : 100 時間まで O K

高温動作及び耐久性試験でも良好な結果が得られた。また、水晶振動子 1 と同様に、取り付け方向の違いや、基板へ振動・衝撃を加えた場合でも動作不良は生じなかった。

なお、水晶振動子 1 とは、製品（メーカー・型式）が異なるので 2 種類の部品で耐熱性が確認できたことになる。

f. まとめ

本年度実施した耐熱性確認試験では以下のことが確認できた。

- ①高温耐久性の高い CPU
- ②高温での振動・衝撃にも耐えられるクロック発振回路
- ③高温動作が可能なシリアル通信用 IC

本年度実施した耐熱性確認試験により、昨年度と比較してデジタル回路の高温耐久性が高まった。

大容量のコンデンサは目標とする仕様を満足するものが見つかってはいないが、一部の構成材料を耐熱性のあるものに変更すれば対処できる可能性がでてきた。

本年度の試験でゾンデに使用する部品の大部分が確保できたが、電子部品のモデルチェンジによる供給停止の可能性があるため、今後も調査・耐熱性確認試験を続ける必要がある。

(3) 実験装置

(3. 1) 高温高圧試験装置の仕様

(3. 1. 1) 装置の目的

高温高圧試験装置は、「地熱井掘削時坑底情報検知システムの開発」において、坑底装置単体装置の試験開発用として高温高圧の静水条件での作動試験を行うためのものである。

(3. 1. 2) 装置の概要

高温高圧試験装置は、試験部本体、高温系、関連付属系及び計装制御系から構成する。試験部本体と高温系とで閉サイクル系を構成する。

試験部本体は、耐圧容器及び付属治具類から構成し、全長3,500mm以内の坑底装置単体装置または全長2,500mm以内のセンサ・サブを収納する。

高温系は、膨脹タンク、高温ポンプ及び配管・弁類で構成し、実坑井を模擬した高温、高圧の静水条件で坑底装置単体装置またはセンサ・サブの作動試験を行うためのものである。膨脹タンクにおいて、電気ヒータの出力制御により水の昇温、温度調整を行い、飽和蒸気圧と窒素ガスボンベからの窒素ガス圧により昇圧、圧力調整を行う。

試験終了後、自然放熱によるか、小型耐圧試験装置の水圧ポンプユニットにより加圧注水し、降温する。

(3. 1. 3) 装置の構成及び設置位置

高温高圧試験装置は、大別して、試験部本体、高温系及びこれらの付属系並びに計装制御系から構成する。耐圧容器は、小型耐圧試験装置と共用する。高温高圧試験装置は、実験棟A室内のピット開口部に小型耐圧試験装置と併設配置する。

高温高圧試験装置の系統を第2.4.1-213図に示す。

高温高圧試験装置の配置を第2.4.1-214図に示す。

a. 試験部本体

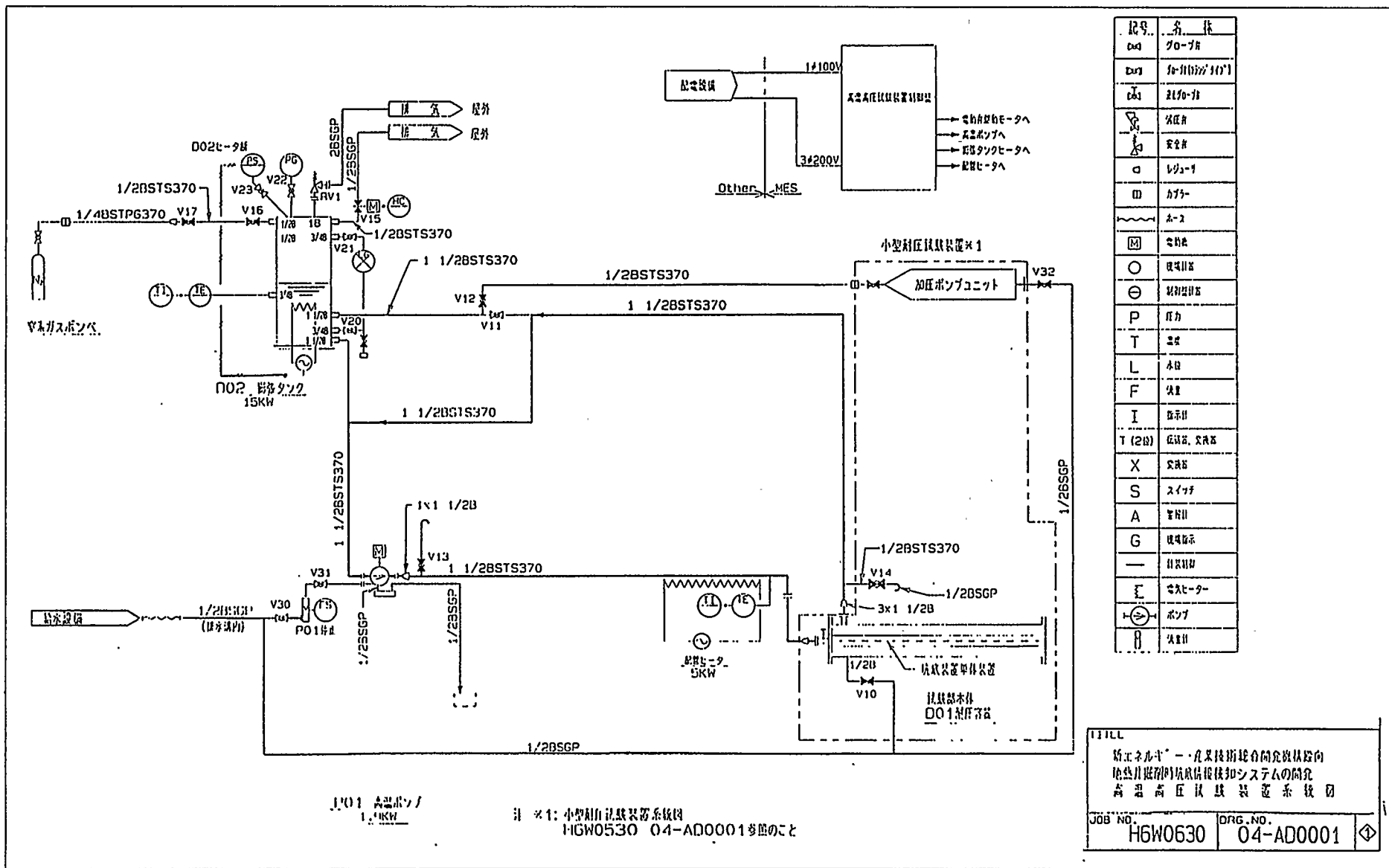
- ・耐圧容器 (D01A)
- ・内部構造及び付属治具類

b. 高温系

- ・膨脹タンク (D02)
- ・高温ポンプ (P01)
- ・配管及び弁類

c. 関連の付属系

- ・給排水系
- ・窒素ガス供給系
- ・排気系



第2.4.1-213図 高温高圧試験装置の系統図

第2.4.1-214図 高温高圧試験装置の配置図

d. 計装制御系

①計装制御系

温度計、圧力計及び液位計並びに制御盤

②電気設備

実験棟の付帯配電設備からの配線

(3. 1. 4) 基本設計条項

a. 法規及び規格基準

本装置の設計は、下記の法規、規格及び基準を適用あるいは準用する。

・ボイラ及び圧力容器安全規則（昭和47年 労働省令第33号）

・圧力容器構造規格（昭和34年 労働省令第11号）

・JPI規格

・鋼構造設計基準（日本建築学会）

・日本工業規格（JIS）

・日本電気規格調査会標準規格（JEC）

・日本電気工業会規格（JEM）

b. 基本設計条件

イ. 温湿度条件

① 外気及び建屋内外：最高 温度 +31.0℃、湿度 79%

最低 温度 - 0.4℃、湿度 57%

ロ. ユーティリティ条件

①給 水：供給圧力 3 kg/cm²G、供給温度 常温（20℃とする。）

②電 力：200V 50Hz 3相 商用電源

100V 50Hz 単相 商用電源

③排水条件：排水溝へ重力排水する。

④排気条件：排気管により屋外に大気放出する。

⑤試 薬：該当なし

ハ. 構造技術基準

機器等の構造設計は下記のとおりとする。

①圧力容器構造規格に該当する容器

圧力容器構造規格の条項規定を適用する。

②上記以外の容器、管並びにボンプ、弁等

圧力容器構造規格の準用、関連JIS-JPI規格またはメーカー標準による。

ニ. 溶接技術基準

①ボイラ及び圧力容器安全規則に該当する容器

ボイラ及び圧力容器安全規則及び関連通達の条項規定を適用する。

②上記以外の容器、管並びにボンプ、弁等

容器、管の溶接施工法及び溶接士は、「溶接施工方法の確認試験方法」（JIS-Z3040）及び「溶接技術検定における試験方法及び判定基準」（JIS Z3801）に規定する技術検定

に合格した者、または、メーカー標準とする。

③放射線透過試験の特記

上記①～②項にかかわらず、個別図面で放射線透過試験を規定した機器はそれに従うものとする。

ホ. 工事仕様

①使用する材料は、外観にキズ、変形のないものを選定する。

②使用する材料の切断は、カッティングプランを基に行う。

③プレス加工、ロール加工及び機械加工を要するものは製作図を基に、それぞれの許容寸法誤差内で加工する。

④機器等の単品としての組み立ては可能な限り工場で行い、外観・寸法など必要な検査の後、現地へ搬入する。

⑤現地での据付工事に際し機器等は、凸部を保護し、水平度及び垂直度を確認しながら慎重に据付ける。

⑥機器の据付及び配管工事終了後、高温の部分には保温を施す。また、作業員の火傷防止上必要と思われる機器、配管部は、断熱材もしくはガードを設ける。

ヘ. 試験検査仕様

①検査項目

a) 容器

- ・材料検査
- ・外観検査
- ・寸法検査
- ・溶接検査
- ・耐圧漏洩検査

b) ポンプ

- ・材料検査
- ・外観検査
- ・寸法検査
- ・耐圧漏洩検査
- ・単体性能試験

c) 配管弁類

- ・材料検査（高温系に限る）
- ・外観検査
- ・寸法検査
- ・溶接検査（高温系配管に限る）
- ・耐圧漏洩検査（高温系に限る）

d) 計装制御系

- ・外観検査
- ・単体性能試験

e) 全体を対象とした検査

- ・系統確認検査

・ 運転性能試験

②検査内容

a)材料検査

容器及び配管類に使用する耐圧部材について材料表示が規格どおりであること、または所定の材料が使用されていることを確認する。

b)外観検査

容器、配管類及び計装制御系の外観を目視により検査し、機能上有害な変形やキズの無いことを確認する。

c)寸法検査

容器、ポンプの寸法を測定し、その寸法が構造図等に記載した寸法公差内にあることを確認する。

配管の寸法は、所定の呼び径及び呼び厚さの管が使用されていることを確認する。

d)溶接検査

溶接検査は試験検査要領書による。ただし、放射線透過試験は個別図面の規定に従うものとする。

e)耐圧漏洩検査

容器、ポンプ及び配管について、最高使用圧力の1.5倍の水圧を加え、漏洩及び異常な変形がないことを確認する。

f)単体性能試験

ポンプ及び計器について性能試験を行い、所定の性能を有し支障なく作動することを確認する。

g)系統確認検査

装置を構成する機器、ポンプ及び配管及び計器の系統が系統図どおりであることを目視により確認する。

h)運転性能試験

高温高圧試験装置を所定の条件で運転し、性能を確認する。

(3. 2) 設計条件及び設計仕様

a. 装置設計条件

①運転圧力：最高 200kgf/cm²

②運転温度：最高 250℃（常用温度 220℃）

③使用流体：水（静水）、比重1.0g/cm³（常温時）

運転圧力は膨張タンクでの圧力、運転温度は耐圧容器の入口での温度とする。

b. 機器の設計仕様

イ. 試験部本体

①耐圧容器（D01A）

耐圧容器は、外径φ267.4mm、内径長さ約3,500mmの横置円筒容器で、外径φ48.6mm、全長約3,500mm以内の坑底装置単体装置または外径φ6-3/4"（171.5mm）、全長約2,500mmのセンサ・サブを収納する。

耐圧容器の両端部は開放可能な構造とし、一方の蓋部に内管またはセンサ・サブを取り

付ける。また、蓋部には入口ノズルを設け、高温系の入口配管と管継手構造で接続する。抗底装置単体装置またはセンサ・サブを蓋部に取付けた状態での着脱及び内管内に抗底装置単体装置の着脱が可能な構造である。

胴部下部に給排水ノズルを設ける。また、覗き窓を設けパルス弁の作動状況を目視可能とする。

耐圧容器の概略構造を第2.4.1-256図に示す。

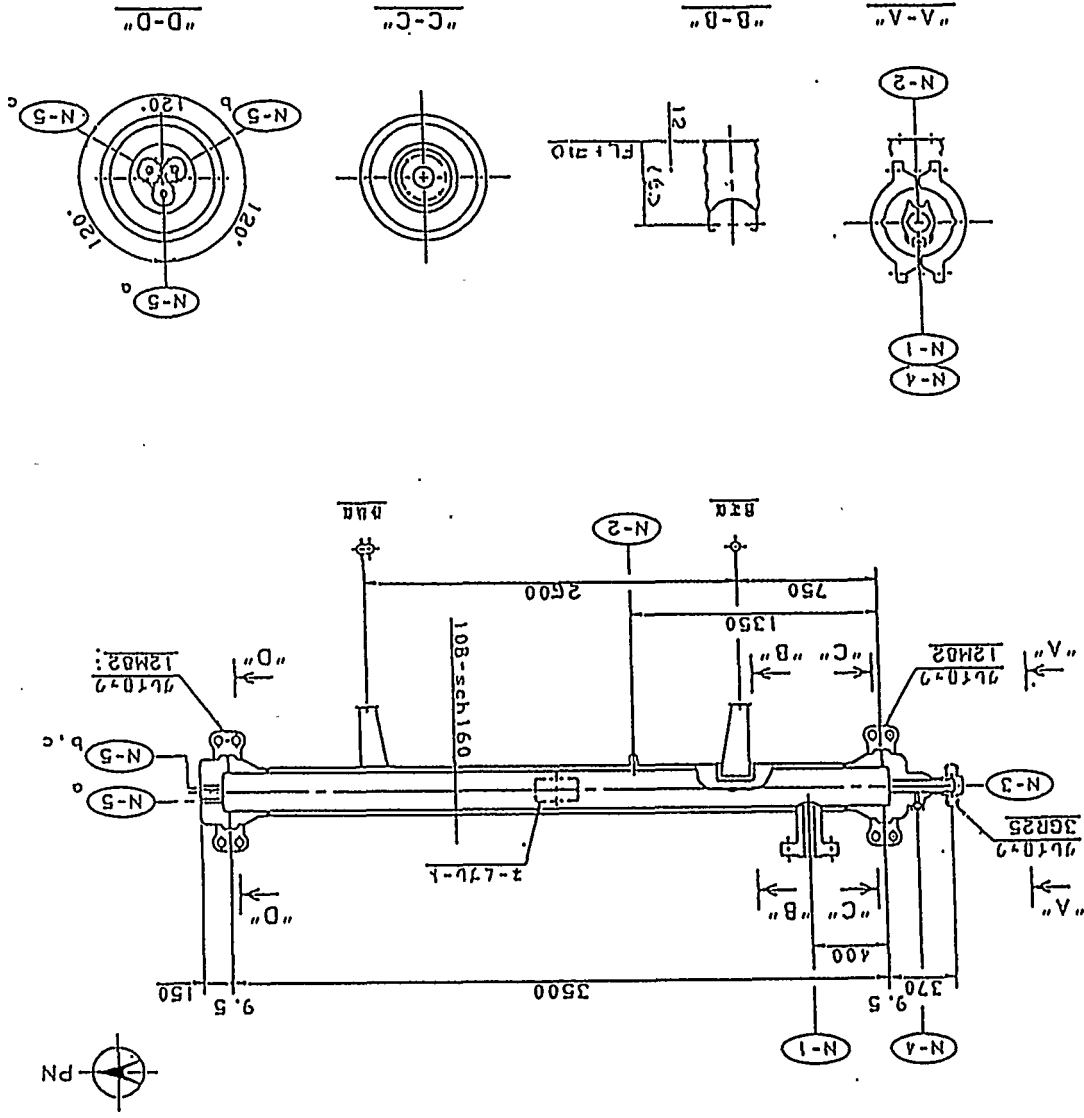
なお、耐圧容器の本体部分は、小型耐圧試験装置のものを併用する。なお、小型耐圧試験装置として使用する場合は、平成7年度成果報告書及び小型耐圧試験装置の竣工図書による。

- ・ 準 用 規 格：第一種圧力容器準用
- ・ 設 計 圧 力：220kgf/cm²
- ・ 運 転 圧 力：200kgf/cm²
- ・ 設 計 温 度：260℃
- ・ 運 転 温 度：250℃
- ・ 流体の種類：水
- ・ 型 式：横置円筒
- ・ 主 要 寸 法：外径φ267.4mm×内のり長さ3,500mm×胴の呼び厚さsch160
- ・ 主 要 材 料：STS480, SFVC2A等
- ・ 数 量：1基
- ・ 容 量：約124L
- ・ 保 温 材：ロックウール保温材
- ・ 付 属 品：覗き窓、吊り金具、グレイロック取付け取外しの台車及び、治具
- ・ 内部構造品：内管、センサ・サブ取付金具
- ・ 坑底装置（収納物）：坑底装置単体装置またはセンサ・サブ

②耐圧容器クランプボルトナット締付け装置

耐圧容器クランプボルトナット締付け装置は耐圧容器の蓋部の着脱に使用するもので、平成7年度成果報告書の小型耐圧試験装置の竣工図書を参照のこと。

第2.4.1-215図 耐圧容器の概略構造

[illegible][illegible]

	00001 - 01	H6H0530
A-3C	BIL 2-98	POL 2-98
(V I O L) H-H PWR H H M W A S E T X D O 7 1 X G B N U R M V M V A M H K Y P Q H W F D C N J M X Y - . A Z T U V		

ロ. 高温系

①膨張タンク (D02)

電気ヒータによる温度及び蒸気圧並びに窒素ガス圧で圧力を調整する。

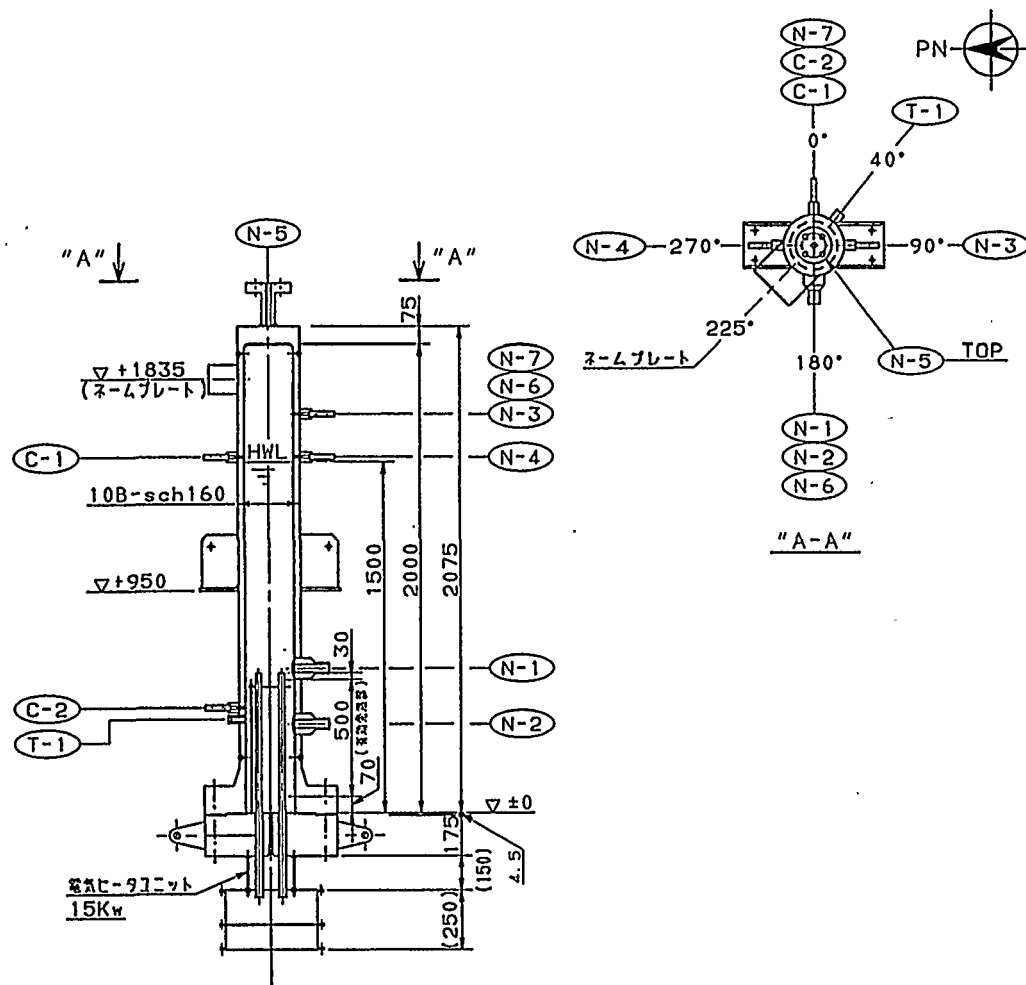
膨張タンクの概略構造を第2.4.1-216図に示す。

- ・適用規格：第一種圧力容器
- ・設計圧力：220kgf/cm²
- ・運転圧力：200kgf/cm²
- ・設計温度：320℃
- ・運転温度：310℃
- ・流体の種類：水、蒸気及び窒素ガス
- ・型式：縦型円筒
- ・主要寸法：外径約 φ267.4mm×高さ約2,000mm×胴の呼び厚さsch160
- ・主要材料：STS480, SFVC2A, S25C等
- ・数量：1基
- ・容量：約70L
- ・保温材：ロックウール保温材
- ・電気ヒータ容量：15KW (1.25KW×12)、20℃から200℃まで約6時間で昇温
- ・調整方式：加熱及び自然放熱による温度調整
蒸気圧及び窒素ガスによる加圧並びにガス放出による減圧調整
- ・過圧防止装置：圧力スイッチ205kgf/cm²の設定で電気ヒータ停止
安全弁220kg/cm²Gの設定で吹出し過圧防止

②高温ポンプ

高温ポンプは吸込側 200kgf/cm²の閉サイクル系で熱水を循環攪拌し、温度を均一にする。

- ・設計圧力：220kgf/cm²
- ・運転圧力：200kgf/cm²
- ・設計温度：260℃
- ・運転温度：250℃
- ・流体の種類：水
- ・型式：高温型キャンドモータポンプ
- ・流量：約1.2m³/hr以上
- ・揚程：約30m
- ・主要材料：SUS304L, SCS13
- ・電動機：約1.9KW, 200V 3相 50Hz
- ・冷却水流量：0.4m³/hr (入口温度35℃以下)
- ・数量：1台



設計仕様		
用途		第1種圧力容器
型式		縦型円筒
流体の種類		水
運転条件	圧力 (kg/cm ² G)	200
	温度 (°C)	310
設計条件	圧力 (kg/cm ² G)	220
	温度 (°C)	320
図示寸法 (mm)		1.0
保温・保冷の有無		有
製品重量 (kg)	空の時	1000
	負荷時	1100
容積 (ℓ)		70
本体材質		STS480
ヒータ容量 (Kw)		15
ヒータ仕様		φ23×LW500mm 1.25Kw/1本×12本 シース SUS316LTP-S
電圧		AC200V, φ3・50Hz

行号	名 称	呼び径	材 質	規格	備 考
T-1	温度計	RC3/4	S25C-N	—	—
C-2	圧力計	3/4B-sch160	STS410	—	—
C-1	圧力計	3/4B-sch160	STS410	—	—
N-7	圧力計	1/2B-sch160	S25C-N	—	—
N-6	空気ガス	1/2B-sch160	S25C-N	—	—
N-5	安全弁	1B-sch160	SFVC2A	JPI 2500Lb	—
N-4	圧力検出	1/2B-sch160	S25C-N	—	—
N-3	圧力検出	1/2B-sch160	S25C-N	—	—
N-2	水出口	1 1/2B-sch160	SFVC2A	—	—
N-1	水入口	1 1/2B-sch160	SFVC2A	—	—
管 台 一 覧 表		管 フランジ			

新エネルギー・産業技術総合開発機構 地球環境技術研究開発システム開発 高温高圧試験装置 膨脹タンク (D02)		
JOB NO	DWG NO	REV
H6W0630	20-AD1002	◇

第2.4.1-216図 膨脹タンクの概略構造

③配管

主要な配管の設計条件及び設計仕様を下記に、詳細を第2.4.1-32表に示す。

- ・設計圧力：220kgf/cm²
- ・運転圧力：200kgf/cm²
- ・設計温度：260℃（膨張タンクまわりは320℃）
- ・運転温度：250℃（膨張タンクまわりは310℃）
- ・流体の種類：水、蒸気及び窒素ガス
- ・主要寸法：1 1/2Bから1/2B
- ・主要材料：STS370, S25C等
- ・付属品：配管ヒータ、容量5KW（マイクロヒータ1KW×5）

④弁類

主要な弁の設計条件及び設計仕様を下記に、詳細を第2.4.1-33表に示す。

- ・設計圧力：220kgf/cm²
- ・運転圧力：200kgf/cm²
- ・設計温度：260℃（膨張タンクまわりは320℃）
- ・運転温度：250℃（膨張タンクまわりは310℃）
- ・流体の種類：水、蒸気及び窒素ガス
- ・主要寸法：1 1/2Bから1/2B
- ・主要材料：SF490A相当材
- ・操作方法：手動及び一部電動

ハ. 関連の付属系

①給排水系

給排水系は、給排水及び高温ポンプの冷却水として使用する。

a) 配管

主要な配管の設計条件及び設計仕様を下記に、詳細を第2.4.1-32表に示す。

- ・設計圧力：5 kgf/cm²
- ・運転圧力：3 kgf/cm²（排水系は大気圧）
- ・設計温度：80℃
- ・運転温度：常温から50℃
- ・流体の種類：水
- ・主要寸法：1/2B
- ・主要材料：SGP

b) 弁類

主要な弁類の設計条件及び設計仕様を下記に、詳細を第2.4.1-33表に示す。

- ・設計圧力：5 kgf/cm²
- ・運転圧力：3 kgf/cm²
- ・設計温度：80℃
- ・運転温度：常温℃から50℃
- ・流体の種類：水
- ・主要寸法：1/2B

- ・主 要 材 料：FCDS相当材

②窒素ガス供給系

窒素ガス供給系は昇温開始前、窒素ガスポンベから窒素ガスを膨張タンクに供給し、ガス加圧する。

a)配管

主要な配管の設計条件及び設計仕様を下記に示す。

- ・設 計 圧 力：150kgf/cm²
- ・運 転 圧 力：100kgf/cm²
- ・設 計 温 度：50℃
- ・運 転 温 度：常温から35℃
- ・流体の種類：窒素ガス
- ・主 要 寸 法：1/2B, 1/4B
- ・主 要 材 料：STS370相当材

③排気系

排気系は膨張タンクの安全弁吹出し排気及び減圧弁の排気を排気管により実験棟屋上へ大気放出する。

a)配管

主要な配管の設計条件及び設計仕様を下記に、詳細を第2.4.1-32表に示す。

- ・設 計 圧 力：0 kgf/cm²
- ・運 転 圧 力：大気圧
- ・設 計 温 度：100℃
- ・運 転 温 度：100℃
- ・流体の種類：蒸気、窒素ガス
- ・主 要 寸 法：1/2、2B
- ・主 要 材 料：SGP

第2. 4. 1-32表 高温高圧試験装置弁一覧表

弁番号	名称	型式	呼び径 (B)	圧力 クラス	駆動 方式	シール 方法	弁箱相 当材質	接続端	種別 規格	流 体 の 種 類	設計条件		運転条件		備 考
											温度	圧力	温度	圧力	
V10	耐圧容器ドレン弁	G	1/2	2500	手動	GS	SF490A	SW	JIS	高温水	260	220	250	200	既設の弁
V11	D02バイパス弁	G	1 1/2	2500	手動	GS	SF490A	SW	JIS	高温水	260	220	250	200	
V12	注水閉止弁	G	1/2	2500	手動	GS	SF490A	SW	JIS	高温水	260	220	250	200	
V13	入口管ベント弁	G	1/2	2500	手動	GS	SF490A	SW	JIS	高温水	260	220	250	200	
V14	出口管ベント弁	G	1/2	2500	手動	GS	SF490A	SW	JIS	高温水	260	220	250	200	
V15	膨張タンク減圧弁	ND	1/2	2500	電動	GS	SF490A	SW	JIS	N ₂ 、蒸気	320	220	310	200	手動ハンドル付
V16	窒素ガス閉止弁	G	1/2	2500	手動	GS	SF490A	SW	JIS	N ₂ 、蒸気	320	220	310	200	
V17	窒素ガス閉止弁	G	1/2	2500	手動	GS	SF490A	SW	JIS	N ₂	50	150	常温	100	
V18	D02ドレン弁	G	1/2	2500	手動	GS	SF490A	SW	JIS	高温水	320	220	310	200	予備
V	予備弁	ND	1/2	2500	手動	GS	SF490A	SW	JIS	高温水	320	220	310	200	V15の予備
V	予備弁	G	1/2	2500	手動	GS	SF490A	SW	JIS	高温水	320	220	310	200	
V20	LG-1計装元弁	G	3/4	2500	手動	GS	SF490A	SW	JIS	高温水	320	220	310	200	D02
V21	LG-1計装元弁	G	3/4	2500	手動	GS	SF490A	SW	JIS	N ₂ 、蒸気	320	220	310	200	D02
V22	PG-1計装元弁	G	1/2	2500	手動	GS	SF490A	SW	JIS	N ₂ 、蒸気	320	220	310	200	D02
V23	PS-1計装元弁	G	1/2	2500	手動	GS	SF490A	SW	JIS	N ₂ 、蒸気	320	220	310	200	D02
RV1	膨張タンク安全弁	パネ	1	2500	—	—	SCPH2	RF	JPI	N ₂ 、蒸気	320	220	310	310	D02
V30	P01給水止め弁	G	1/2	10K	手動	GS	FCDS	FL	JIS	水	50	5	常温	3	
V31	P01給水弁	G	1/2	10K	手動	GS	FCDS	FL	JIS	水	50	5	常温	3	
V32	加圧ポンプ給水弁	G	1/2	10K	手動	GS	FCDS	FL	JIS	水	50	5	常温	3	
V	予備弁	G	1/2	10K	手動	GS	FCDS	FL	JIS	水	50	5	常温	3	

注記；1. 略号の説明

G:グローブ、GS:グランドシール、ND:ニードル

2. 駆動電源は 200V、50Hz、3相を使用する。

3. 温度 [℃]、圧力[kgf/cm²]

第2.4.1-33表 高温高圧試験装置配管一覧表

配管番号	配管名称	定流格速 [m/s]	呼び径 (B)	呼び厚 (Sch)	材質	流体	配管長 (実長) [m]	設計条件		運転条件		備 考
								温度	圧力	温度	圧力	
HT-01	P01からD01までの配管	0.30	1 1/2	160	STS370	水	5.1	260	220	250	200	
HT-02	D01からP01までの配管	0.30	1 1/2	160	STS370	水	3.9	260	220	250	200	
HT-03	HT02分岐からD02までの配管	0.30	1 1/2	160	STS370	水	1.7	260	220	250	200	
HT-04	D02からHT02分岐までの配管	0.30	1 1/2	160	STS370	水	1.8	260	220	250	200	
既設	収納容器ドレン配管	—	1/2	160	STS370	水	0.3	260	220	250	200	既設
HT-12	加圧ポンプ注水配管	—	1/2	160	STS370	水	0.2	260	220	250	200	V12から
	加圧ポンプ注水配管	—	1/2	160	STS370	水	2.3	50	220	常温	200	V12まで
HT-13	高温系ベント配管	—	1/2	160	STS370	水	0.2	260	220	250	200	
HT-13	高温系ベント配管	—	1/2	160	STS370	水	0.2	260	220	250	200	
HT-14	収納容器出口ベント配管	—	1/2	160	STS370	水	0.4	260	220	250	200	
HT-15	D02減圧配管	—	1/2	160	STS370	蒸気N2	0.2	320	220	310	200	
HT-16	窒素ガス供給配管	—	1/2	160	STS370	N2	0.5	320	220	310	200	V16から
	窒素ガス供給配管	—	1/2	160	STS370	N2	2.9	50	150	常温	200	V16まで
HT-17	窒素ガス供給配管	—	1/4	160	STS370	N2	0.5	50	150	常温	100	SUS接続管付
HT-18	膨脹タンクドレン管	—	1/2	160	STS370	水	0.3	320	220	310	200	
HT-20	液位計装配管	—	3/4	160	STS370	水	—	320	220	310	200	
HT-21	液位計装配管	—	3/4	160	STS370	蒸気N2	—	320	220	310	200	
HT-22	圧力計装配管	—	1/2	160	STS370	蒸気N2	0.2	320	220	310	200	
HT-23	圧力スイッチ計装配管	—	1/2	160	STS370	蒸気N2	0.2	320	220	310	200	
HT-14	安全弁排気配管		2	—	SGP	蒸気	9.1	100	0	常温	大気圧	
HT-15	膨脹タンク排気配管		1	—	SGP	蒸気	9.4	100	0	常温	大気圧	
LT-30	給水配管		1/2	—	SGP	水	9.7	80	5	70	3	ホース付
LT-31	P01排水配管		1/2	—	SGP	水	5.3	80	5	70	3	
LT-32	加圧ポンプ給水配管		1/2	—	SGP	水	2.9	80	5	70	0	
LT-33	収納容器給排水配管		1/2	—	SGP	水	8.0	80	5	70	0	

注記：1. HT系統の管継手はSW, S25C相当材を用いる。

2. LT系統の管継手はネジ込み、SW及びフランジ、SGP相当材を用いる。

3. 配管長は参考値を示す。

4. 温度 [℃]、圧力 [kgf/cm²]

二. 計装制御系

①計装制御系

計装制御系は、高温高圧試験装置を運転する時に必要な各部の温度、圧力、液位を計測、監視し、電気ヒータの出力を調整することにより、温度及び圧力を調整するものである。

本装置が高温高圧な条件で運転されるので、作業者の安全を確保するため、制御盤により、ポンプ、弁等電動機及び電気ヒータの起動、停止を遠隔操作により行うこととする。

a)膨張タンク水温度

検出器の型式：測温抵抗体Pt100Ω保護管付

- ・計測範囲：0～350℃
- ・計測精度：JIS A級
- ・計器の種類：温度指示計

b)耐圧容器入口温度

- ・検出器の型式：測温抵抗体Pt100Ω保護管付
- ・計測範囲：0～350℃
- ・計測精度：JIS A級
- ・計器の種類：温度指示計

c)膨張タンク圧力スイッチ

- ・検出器の型式：ブルドン管式圧力スイッチ（上限）
- ・計測範囲：0～250kgf/cm² { 0～25MPa }
- ・計測精度：計測スパンの±1.0%
- ・設定精度：計測スパンの±3.0%
- ・付属品：サイホン管

d)膨張タンク圧力ゲージ

- ・検出器の型式：ブルドン管式圧力計
- ・計測範囲：0～500kgf/cm² { 0～50MPa }
- ・計測精度：JIS 0.5級
- ・付属品：サイホン管

e)膨張タンク水位ゲージ

- ・検出器の種類：高圧直視式水面計
- ・計測範囲：可視長0～840mm（12ポート）
- ・付属品：上下止め弁及びドレン弁

f)冷却水流量スイッチ

- ・検出器の種類：浮遊式
- ・計測範囲：0.12～1.2m³/h
- ・設定精度：計測スパンの±10%
- ・付属品：リミットスイッチ（下限警報）

g)制御盤

- ・構造：自立閉鎖型
- ・スイッチ：高温ポンプ、膨張タンクヒータ、配管ヒータ、V-15電動弁
- ・表示：膨張タンク温度、耐圧容器入口温度

(3. 3) 製作及び据付手順の検討

本装置は、容器、ポンプ、弁、配管、電気計装品、鋼構造物等の機器類から構成され、既設の小型耐圧試験装置に併設するので、これら機器類の配置を考慮し、全体の組み立て、据付の手順を検討した。また、本装置は、坑底装置単体装置またはセンサ・サブを収納し、高温高压な条件で運転されるので、特に高温水または蒸気の漏洩がないよう、製作及び据付段階で順次、検査を行い、作業者及び装置の安全をはかっている。

高温高压試験装置の製作及び据付手順を第2.4.1-217図に示す。

a. 構成機器類の製作

容器、ポンプ、弁、配管、電気計装品等機器類は各々工場製作し、試験検査により装置の耐圧シール性、性能を確認すると共に、労働省令の压力容器を適用して官庁検査を合格している。

b. 工場での組み立て、配管工事等の製作

高温系を構成する膨張タンク、弁、配管類の主要部は、工場製作することにより、品質の向上をはかる。これらは装置架台に据付ける構造とし、装置架台は幅約2m、長さ約1.4m、高さ約1.5mである。なお、装置架台は、既設の小型耐圧試験装置の架台とボルトまたは溶接構造で組み立てる。

c. 現地据付工事及び検査

製作完了した機器類及び装置架台を現地搬入する前に、既設の装置架台及び配管の一部を改造する。

次に、現地搬入、組み立て据付及び配管工事並びに電気計装工事を行ない、耐圧漏洩検査、機器の作動調整を実施し、装置全体の健全性を確認した。

高温部分を保温工事した後、所定の運転条件で運転し、運転性能を確認した。

(3. 4) 操作及び運転手順

本装置は、坑底装置単体装置を収納し、高温高压な条件で使用されるため坑底装置単体装置の着脱操作等の運転前の準備、運転、運転後の主要な操作手順を検討し、計画的な運転がはかれるようにする。

高温高压試験装置の運転手順を第2.4.1-218図に示す。

a. 運転前準備の操作手順

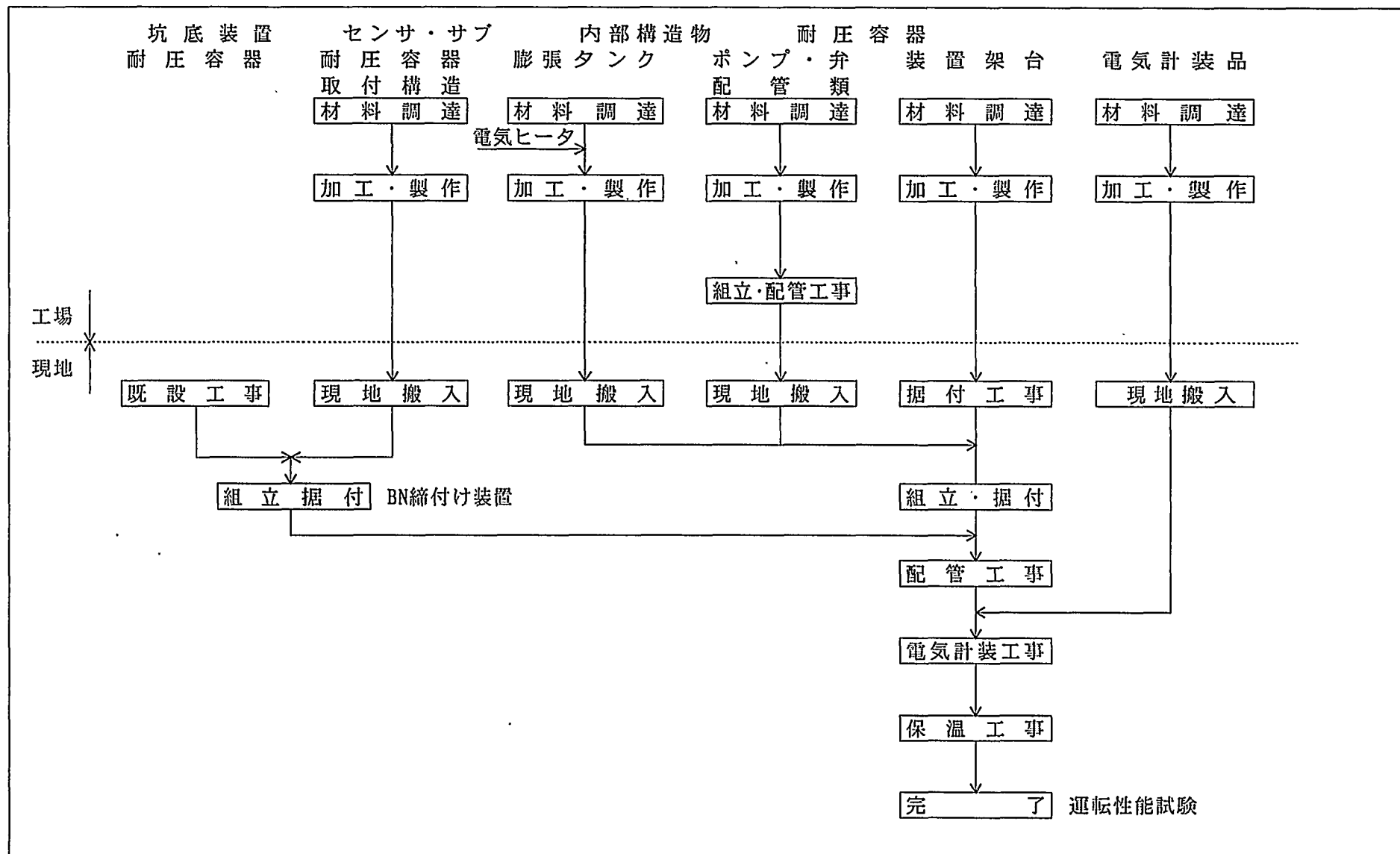
運転前の準備操作として、坑底装置単体装置の組み立て、耐圧容器への装荷、水張及び接続部のシール性の確認を行う。

イ. 坑底装置単体装置の組み立て

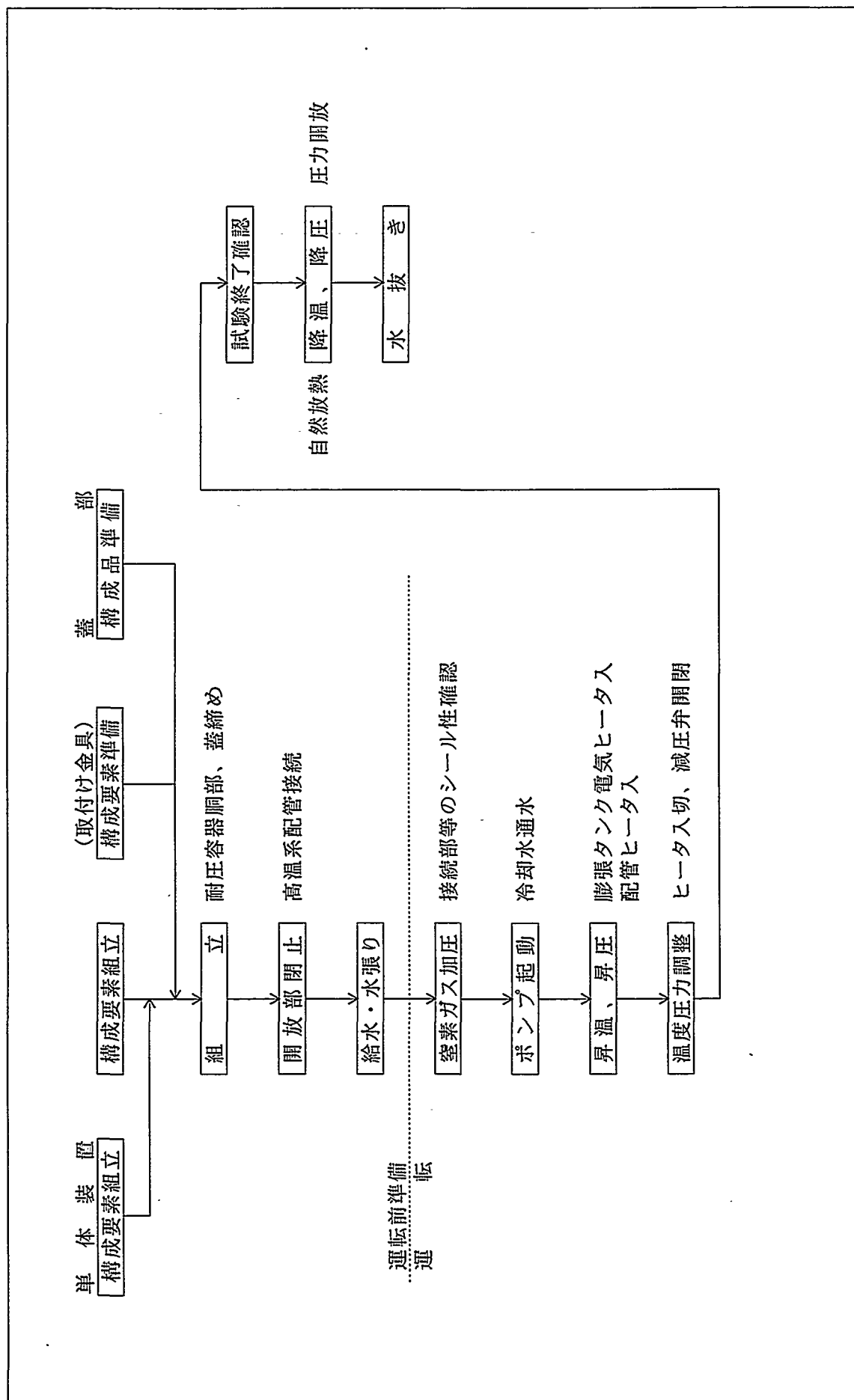
坑底装置単体装置は、外径φ44.0mm、全長約3,500mm以内である。

①坑底装置単体装置またはセンサ・サブを組み立てて、必要に応じて、電氣的な作動及び較正試験を行う。

②組み立てが完了した坑底装置単体装置またはセンサ・サブを耐圧容器に装荷する。



第2.4.1-217図 高温高圧試験装置の製作及び据付手順



第2.4.1-218図. 高温高圧試験装置の運転手順

ｂ．運転操作手順

起動、昇温昇圧、定常運転、降温降圧及び停止の主な手順を以下に示す。

イ．起動

窒素ガス加圧条件で運転する場合は、膨張タンクに所定の窒素ガスを給気する。

高温ポンプを起動し、循環を開始する。必要ならば、ベント弁を開閉操作し、空気抜きを行う。

ロ．昇圧、昇温及び温度圧力調整

- ・膨張タンク及び配管の電気ヒータに給電し、昇温、昇圧する。
- ・所定の温度、圧力に到達したならば、電気ヒータをオン・オフし調整する。
- ・坑底装置単体装置またはセンサ・サブの試験が終了したことを確認する。

ハ．降温、降圧及び停止

- ・膨張タンク及び配管の電気ヒータを断にし、自然放熱する。また、膨張タンクバイパス弁を徐々に開にし、膨張タンクの降温、降圧を行う。
- ・ポンプユニットを加圧条件で運転し、注水入口弁を開にし、高温系を降温する。
- ・高温系の温度が80℃程度になったならば、ポンプを停止する。膨張タンクの圧力減圧弁を開にし、減圧する。
- ・運転停止後、排水する。

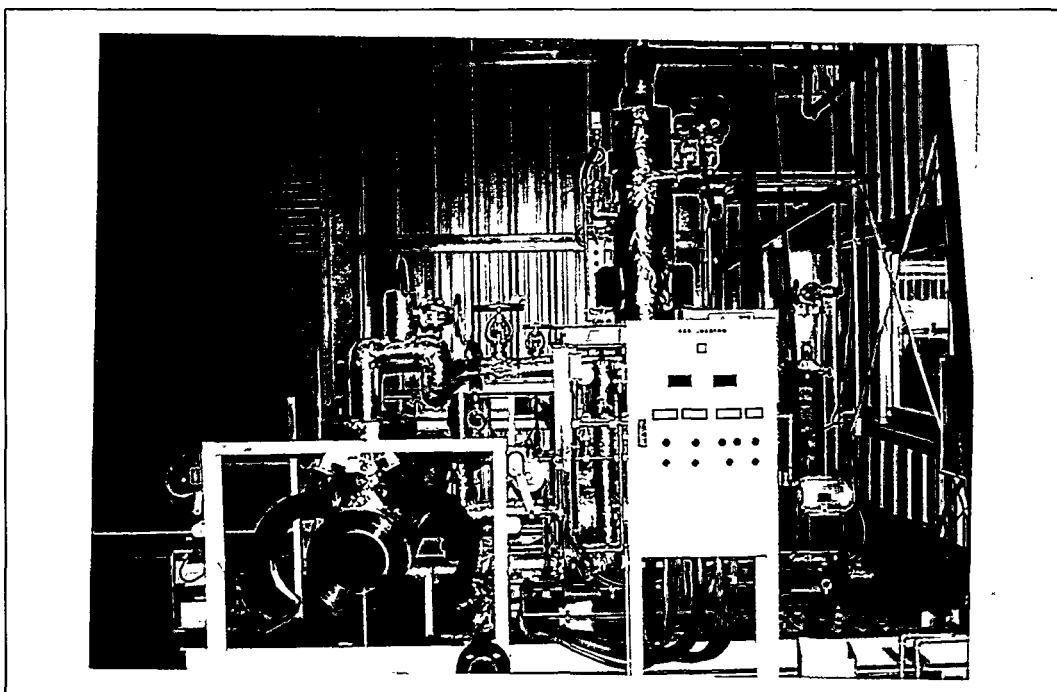
完成後の高温高圧試験装置の写真を第2.4.1-219図に示す。

(3.5) 成果及び課題

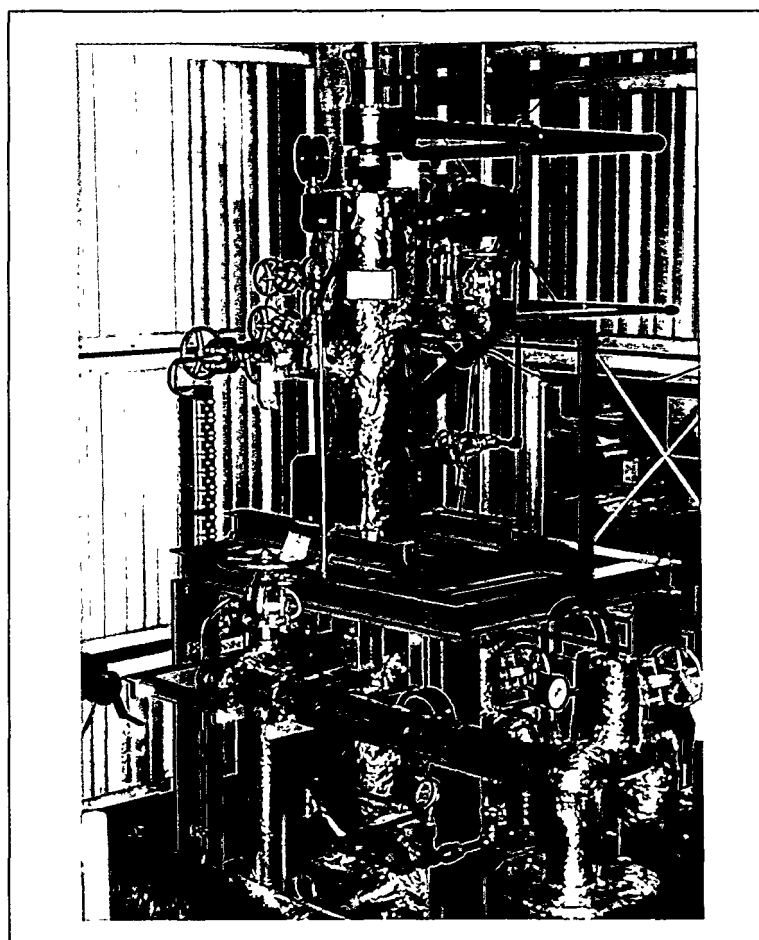
坑底装置単体装置の高温高圧の静水条件での作動試験をするための高温高圧試験装置の設計、製作、据付及び試験検査を完了した。高温高圧試験装置を使用して、坑底装置単体装置の単体または組み合わせて、温度220℃、圧力200kgf/cm²で高温高圧試験を行うことが可能である。耐圧容器は、全長3,500mm以内の坑底装置単体装置、全長約2,500mmのセンサ・サブを収納することが可能である。

高温高圧試験装置は、試験部本体、膨脹タンク、高温ポンプ、高温系配管・弁類、関連付属系及び計装制御系から構成し、平成7年度竣工した小型耐圧試験装置に併設してされている。

取扱い説明を含む設計、検査報告等の図書が別途用意されている。



高温高圧試験装置全景



膨張タンク部

第2.4.1-219図 高温高圧試験装置

2. 4. 2 地上装置の開発

(1) 実験解析プログラム

(1. 1) デコード化の信頼性向上

高圧ループを用いた組み合わせ試験時に、実パルス信号を取り込みデコード化して精度や再現性を確認、改良する。

(1. 2) ダウンサイジング化

デスクトップ型のEWSから小型ノート型ワークステーションへの移行を検討中である。現状の長所、短所はおおよ次のとおりである。

長所：・コンパクトで持ち運びが容易である（実証試験で便利）。

・省電力化できる。

・場所を取らない。

短所：・同じUNIXでもOSが若干違くとソフトを改造しなければならない。

・グラフィックス用ライブラリが異なるため画像処理ソフトを改造しなければならない。

・専用A/D装置を新規購入しなければならない。カード型が望ましい。

結局、コンパクトさへの要求が主にソフト改造容量を上回るかどうか十分検討しなければならない。

実証試験や実用的なシステム構成をにらみながら、操作性や費用対効果について調査、検討する必要がある。

小型ノート型ワークステーションのハードウェア仕様を現状型と比較して第2. 4. 2-1表に示す。

第2. 4. 2-1表 小型ノート型ワークステーションのハードウェア仕様

番号	項 目	仕 様	
		小型ノート型EWS	デスクトップ（従来）型EWS
1	モデル名	EWS4800/110NII (NEC)	HP730 CRX
2	C P U	R4700 (120MHz)	PA-RISC (80MHz)
3	メモリ	32～64MB	32MB
4	最大パフォーマンス	153MIPS	76MIPS
5	基本ソフト	UX/4800	HP-UX
6	基本インターフェース	SCSI	HP IB
7	重 量	3. 8kg	50kg

(2) インターフェイスプログラム

解析システムとのインターフェースとして効率化の余地を検討、対処していく。

2. 5 ソンデの目標使用と現状

第2.5-1表 パルス発生装置：マッドパルス発生弁、弁駆動装置制御装置、モード切替スイッチ、坑底信号処理装置

装置名称	目標仕様 (共通仕様)	目標仕様 (個別仕様)	仕様に対する到達度				H 8年度作業段階				現 状		
			耐圧	耐熱	振動	衝撃	精度	設計	製作	試験		評価	
マッドパルス発生弁			○	○	○	○	△	↑	↑	●	↑	●	パルス弁の材質を SUS304 とし、硬質セラメックスを施すことで耐摩耗性を向上。 パルス弁の停止位置のズレはパルス発生に大きく影響しないことを確認。 パルス弁の原料による形状変化・伝送信号の変化を予備実験で確認。
パルス弁駆動装置													
駆動モータ		回転数 : 6,000rpm 定格電流 : 600mA トルク : 80gf-cm	◎	◎	◎	◎	◎	↑	↑	↑	↑	●	ブラシの寿命延伸、交換の簡易化を目的として、ブラシ及びブラシホルダの構造を変更。 ブラシ構造を改良することによって集電性能を向上し、動作の安定化を達成。 コイル巻線端部の固定強化、昇降磁石をモールドすることにより、耐振動・衝撃性を改善。
軸シール		商業品性	○					↑	↑	●	●		リップ・シート、オリングの組合わせによる4段シール構造を採用。軸材質、表面処理方法を決定。 ベアリング用耐熱グリース、バックアップリングの材料を検討し、材料を選定。 熱サイクルによるオリングの変形があることから、一定時間経過後に定期的な交換が必要。
接点スイッチ	耐熱性 作動 : 200°C×50h 保存 : 220°C×5h	停止位置精度	○	○	○	○	△	↑	↑	●	↑	●	停止角度の精度より、回転・停止の安定動作が重要であることを確認。 回転型接点 SW の使用により、オーバーラン、スキップのない動作安定性を確保。
駆動機構部	耐振動性 加速度 : 30G 周波数 : 50～500Hz 時間 : 6h		○	○	○	○	△	↑	↑	●	↑	●	
駆動装置制御装置	耐衝撃性 加速度 : 1,000G 時間 : 0.5msec							↑	↑	●	↑	●	ポリイミド基板を採用し保守性・作業性を改善。 基板の取付間隔を45mm以下として耐振動・衝撃性を強化。 基板自体の振動特性試験では実動周波数帯域内に共振周波数なし。
モード切替スイッチ													
回転スイッチ	耐圧 1,000kgf/cm ²	=(位置検出式)= (方位検出式)	◎	◎	◎	◎	◎	↑	↑	●	↑	●	遠心力検出方式から、方位計出力を用いた方位変化検出方式に変更。 回転検知プログラムにより、20～7,000rpmの回転検出、判別が可能。
傾斜スイッチ		検知レベル : 40gal 周波数 : 200～500Hz	◎	◎	◎	◎	◎	↑	↑	●	↑	●	傾斜センサの出力で傾斜を検出する方式に変更。検知レベル : 10～800Hz/40gal。
坑底信号処理装置			◎	◎	◎	◎	◎	↑	↑	●	↑	●	CPUの変更により、耐熱耐久性を向上 : 連続100h(9200°C)以上の寿命を確認。 CPU変更にもとめない回転構成を変更。消費電流的増加などの問題はなし。 基板取付ピッチの狭小化により耐振動・衝撃性を強化。
CPU			◎	◎	◎	◎	◎	↑	↑	●	↑	●	

パルス弁の材質をSUS304とし、腐蝕ロメッキを施すことで耐腐蝕性を向上。
パルス弁の停止位置のズレはパルス発生に大きく影響しないことを確認。
パルス弁の腐蝕による形状変化・伝送信号の変化を予測試験で確認。

ブラシの寿命延伸、交換の簡易化を目的として、ブラシ及びブラシホルダの構造を変更。
ブラシ構造を改良することによって集電性能を向上し、動作の安定化を達成。
コイル巻線端部の固定強化、非磁磁石をモールドすることにより、耐振動・衝撃性を改善。
リップシール、オリングの組合わせによる4段シール構造を採用。軸材質、表面処理方法を決定。
ベアリング用耐熱グリース、バックアップリングの材料を検討し、材料を選定。
熱サイクルによるオリングの変形があることから、一定時間経過後に定期的な交換が必要。
停止角度の精度より、回転・停止の安定動作が重要であることを確認。
回転型接点SWの使用により、オーバーラン、スキップのない動作安定性を確保。

ポリイミド基板を採用し保守性・作業性を改善。
基板の取付間隔を45mm以下として耐振動・衝撃性を強化。
基板取付の振動特性試験では実機周波数域内に共振周波数なし。

遠心力検出方式から、方位計出力を用いた方位変化検出方式に変更。
回転検知プログラムにより、20~7,000rpmの回転検出、判別が可能。

傾斜センサの出力で傾斜を検出する方式に変更。検知レベル : 10~800Hz/40gal。

CPUの変更により、耐熱耐湿性を向上 : 連続100h(8200°C)以上の寿命を確認。
CPU変更により、回路構成を変更。消費電流増加などの問題はなし。
基板取付ピッチの微小化により耐振動・衝撃性を強化。

第2.5-2表 傾斜情報センサ：方位センサ、傾斜センサ、装置内温度センサ、温度補正回路

装置名称	目標仕様 (共通仕様)	目標仕様 (個別仕様)	仕様に對する到達度					H 8年度作業段階				現 状
			耐圧	耐熱	振動	衝撃	精度	設計	製作	試験	評価	
方位センサ	耐熱性 作動：200°C×50h 保存：220°C×5h	計測範囲：0~360° 分解能：0.1° 精 度：±0.5°	/	◎	◎	◎	◎	→	→	●	●	テフロン基板採用による信頼性向上。レジスト処理による耐久性強化。 温度変化、温度履歴に對する安定性：7.9mV以下。 磁界密度30,000nTでは0.2deg、10,000nTでは0.6degに相当 (日本の磁界密度は約 30,000nT)
傾斜センサ	耐振動性 加速度：30G 周波数：50~500Hz 時間：6h	計測範囲：0~90° 分解能：0.1° 精 度：±0.1°	/	◎	◎	メカ 保証	◎	→	→	●	●	サーボ型加速度計による傾斜検出方式。テフロン基板+レジスト処理による信頼性向上。 温度変化、温度履歴に對する安定性：3.0mV以下。0.06deg以下の角度に相当。(H7：±2.5deg)
装置内温度センサ	耐衝撃性 加速度：1,000G 時間：0.5msec	計測範囲：20~200°C 分解能：0.2°C 精 度：±0.4°C	/	◎	◎	◎	◎	→	→	●	●	出力段階毎の安定化、部品リード線の固定による信頼性を強化。 温度変化に對する精度、熱履歴に對する安定度：±0.2°C以下。 一定環境下の安定性：±0.4°C以下 (200°C, 100h連続)。
温度補正回路	耐圧 1,000kgf/cm ²		/	◎	*	◎	◎	→	→	●	→	回路を耐熱性・耐振動性に倣った部品で構成。基板取付けピッチの狭小化による耐振動性改善。 耐熱耐久性の向上を確認 (200°C, 100h連続) 補正アルゴリズム組み込み完了。方位計：6次式補正。傾斜計：2次式補正 (※：坑底信号処理装置と同じため、振動試験は省略。)

第2.5-3表 電源：電源、電源安定化回路

装置名称	目標仕様 (共通仕様)	目標仕様 (個別仕様)	仕様に對する到達度					H 8年度作業段階				現 状
			耐圧	耐熱	振動	衝撃	精度	設計	製作	試験	評価	
電源 耐熱バッテリー	耐熱性 作動：200°C×50h 保存：220°C×5h 耐振動性 加速度：30G 周波数：50~500Hz 時間：6h	動作時間：50時間	/	◎	◎	○	/	●	→	●	●	機器の消費電力を推定し、耐熱バッテリー：20-10iを使用 (H7年度相当品)。 バッテリー交換の簡略化、耐振動・耐衝撃性確保を目的としたパッケージング、固定法を採用。 常温時の性能低下 (容量不足) を抑え、寿命を延伸するため、使用方法をマニュアル化、 省電力化、機器構成の簡略化を目的としたセンサの統合の検討を継続。
電源安定化回路	耐衝撃性 加速度：1,000G 時間：0.5msec 耐圧 1,000kgf/cm ²	+15±0.75V, 300mA -15±0.75V, 300mA + 5±0.25V, 500mA	/	◎			◎	●	→	●	●	リーク電流抽換回路により高温域での負荷依存性を改善。 → 常温から220°Cまでの出力電圧精度を確保 (H7年度の課題を解決)。 基板サイズの小型化、取り付けボルトピッチの狭小化 (50mm) による耐振動性強化。

第2.5-4表 ソンデ、同付帯装置：パレル、トレイ、回転式コネクタ、スピア・ポイント、セントラライザ、ランディンググロッド

装置名称	目標仕様 (共通仕様)	目標仕様 (個別仕様)	仕様に對する到達度				H 8 年度作業段階				現 状		
			耐圧	耐熱	振動	衝撃	精度	設計	製作	試験		評価	
ハウジング													
パレル		外径：φ44.4mm (1-3/4")	◎	◎	◎	◎	◎	→	●	→	→	●	圧力容器としての強度、衝撃力・加振力からの内容物保護、加工性を検討。モネル鋼(N500)採用 200℃、200kg/cm ² での水密試験には、すべて合格。 [外径の変遷：113(φ57)→114(φ50)→116(φ48.6)→118(φ44.4)]
トレイ			△	◎	◎	◎	△	→	●	→	→	→	材質はアルミ。耐振動・衝撃性を考慮した新設計の基板に対応。
回転式コネクタ	耐熱性 作動：200℃×50h 保存：220℃×5h 耐振動性 加速度：30G 周波数：50～500Hz 時間：6h	絶縁抵抗：100MΩ以下 最大電圧：24V 最大電流：5A 非磁性体使用	△	◎	◎	◎	◎	→	→	→	→	→	高温、耐振動・衝撃性、操作性・信頼性を考慮したコネクタを使用。材質：テフロ及びびんタス 接点の金メッキ処理により、高温時の接触抵抗低減。
ゾンデ付帯装置													
スピア・ポイント	耐衝撃性 加速度：1,000G 時間：0.5sec		△	◎	◎	◎	◎	→	●	→	→	●	バルス状との一体化による強度向上、衝撃・振動による脱着防止を目的とした構造を採用。 振動・脱着時の荷重をゾンデ外周に分散させる構造を採用。 材質：ステンレス鋼。
セントラライザ	耐圧 1,000kgf/cm ²	耐摩耗性	△	◎	◎	◎	◎	→	●	→	→	●	ゾンデ全長の延伸に伴い、新たに一段設置（配置間隔：約4m）。 振動性を改善するため丸棒を使用。高温時のバネ性維持のためベリリウム鋼を使用。 中心軸上にゾンデを配置する作業能向上。縮小時には、ゾンデ内に収容可。
ランディンググロッド		方位計との 位置精度合わせ	△	◎	◎	◎	◎	→	●	→	→	●	材質：ステンレス鋼。 ミューラルシューとの種々な適合と評価する必要がある。
凡 例			◎：要求・目標仕様を満足 ○：仕様をほぼ満足 △：やや劣るが限定運用可 ×：仕様を満足しない 空欄：評価未実施 斜線：評価項目該当なし				→：作業終了 ●：作業中 空欄：未着手 完了欄●は実機相当品 試験完了						

第3章 解析システムの開発

3. 1 目的

石油井掘削において使用されている解析システムは、検知装置に付随する形になっており、一般に大型のシステムが多く、サービス会社が独自に使用するシステムであるため、その内容はオープンになっていない。

このことから、今回の技術開発では、解析システムを小型のシステムにし、検知装置から得られるデータを基に以下の支援システムを開発する。

(1) 坑跡管理支援システム

地熱井掘削のための坑跡計画の策定及び検知装置から得られたデータを基に坑跡の表示、掘具編成解析、坑跡予測等坑跡管理支援システムの開発を行う。

(2) 坑井評価支援システム

検知装置から得られたデータを基に温度解析、圧力解析を行い、掘り止め決定等に必要な地熱井特有の地層特性把握を可能とする坑井評価支援を行うシステムを開発する。

3. 2 平成7年度成果の概要

3. 2. 1 坑跡管理支援システム

(1) 坑跡計画・表示システム

平成6年度の評価に基づき改良を行い、坑跡計画・表示システムにおける各画面の操作性を統一し、操作性を向上させた。

検知装置から得られる物理量データを連続取得するための結合インターフェースを開発し、データデコード用プログラムのエミュレータを用いて試験した結果、データの取り込みに関し正常に作動することを確認した。

(2) 坑跡予測システム

平成7年度に開発したビットのみの影響を考慮した坑跡予測プログラムの解析精度の検討において、既存の坑跡と比較し、実坑跡に地層の影響があることが判った。

地層が坑跡に与える影響を評価するための地層異方性モデルを検討し、地層異方性を評価する指数を計算するプログラムを開発した。更に、この評価指数に基づく地層異方性を考慮した。

既存の掘削データを用いて、開発したプログラムで実坑跡について解析し、異方性指数を算出した。

3. 2. 2 坑井評価支援システム

(1) 温度解析システム

逸水の影響等を考慮出来るようにプログラムを改良した。このプログラムの評価を行うため、逸水掘中に測定された坑内温度について比較し、プログラムの解析精度が向上して

いることが明らかとなった。更に掘進中、逸水情報並びに地層平衡温度推定には、坑底温度を取得する方が、より信頼性が高くなり、解析上、坑底温度が必要であることが判った。

(2) 圧力解析システム

坑内圧力データを利用した解析技術の基本設計を行うための文献調査を行い、圧力解析システムの概念設計をまとめた。

3. 3 平成8年度の技術開発計画

3. 3. 1 目標

(1) 坑跡管理支援システム

平成9年度までに開発したシステムの操作性の向上、及び地表で測定されたデータ（深度、ビット荷重、トルク等）を取り込むためのシステムの改良を実施する。

(2) 坑井評価支援システム

温度解析機能の操作性の向上のためのシステムの改良を実施する。

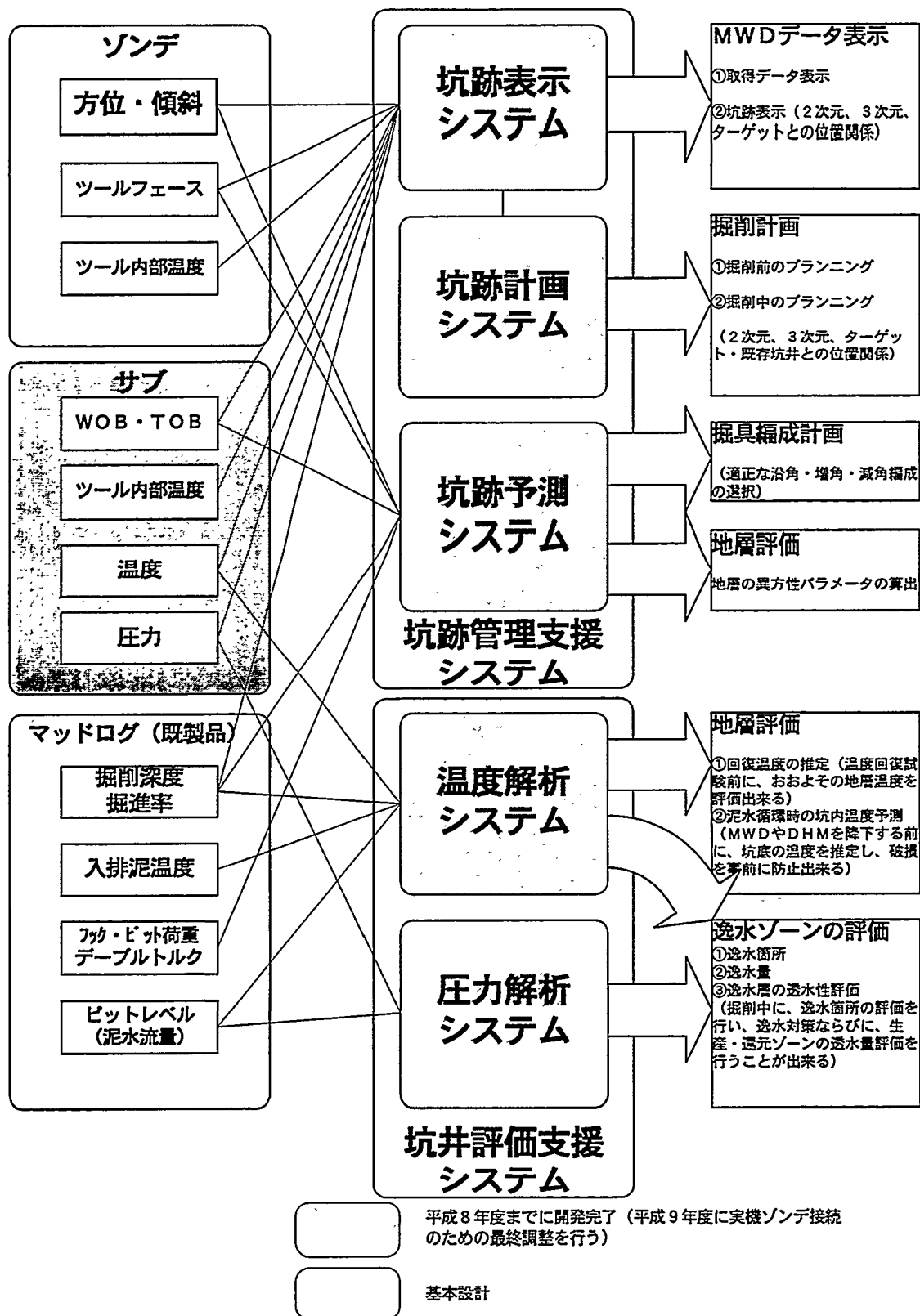
圧力解析システムの基本設計を実施する。

(3) 総合動作試験

解析システムの総合動作試験を実施する。

3. 3. 2 計画の内容

解析システム全体の概要を第3.3.2-1図に示した。



第3.3.2-1図 解析システムの概要

(1) 坑跡管理支援システム

a. 坑跡計画・表示システム

イ. システムの改良

- ・坑跡計画・表示システムにおいて、マルチターゲットでの坑跡計画アルゴリズムを追加する。
- ・地上計測装置用として既存のマッドログシステムからのデータを取り込むためのインターフェースの開発を行う。
- ・各画面の操作性を向上させるための改良を実施する。

ロ. 動作の検証

- ・深部地熱資源調査井（WD－1）において取得される予定の既存MWD並びにマッドログデータを利用して、動作の検証を行う。

b. 坑跡予測システム

イ. システムの改良

- ・開発したプログラムをシステムに組み込み、システムの改良を行う。

ロ. 精度の検証

地層の異方性を考慮したプログラムによって坑跡予測を行い、掘削実績と比較することによって精度の検証を行う。特に、本年度は、異方性の強い掘削例を選定し、これに関する検討を行う。

- ・深部地熱資源調査井（WD－1）において取得される予定の既存MWD並びにマッドログデータを解析して、精度の検証を行う。

(2) 坑井評価支援システム

a. 温度解析システム

イ. システムの改良

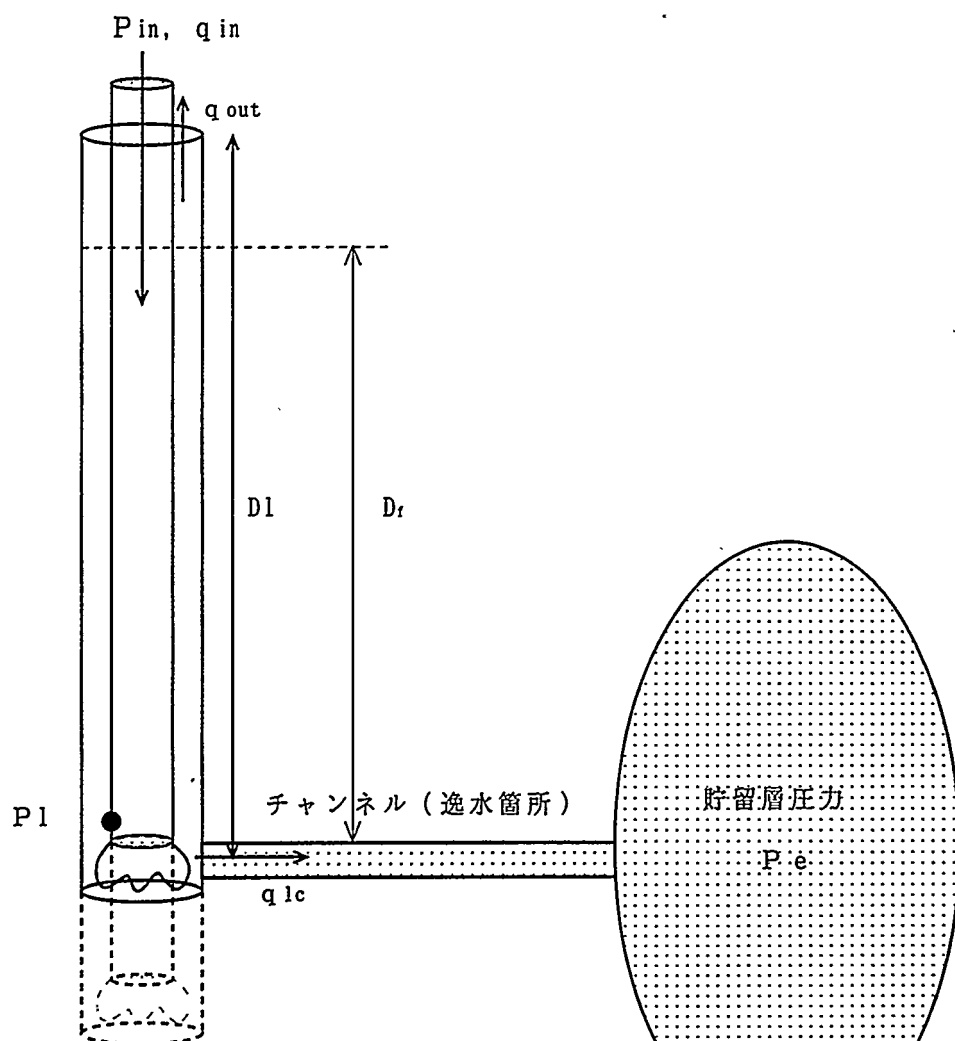
- ・開発したプログラムをシステムに組み込み、システムの改良を行う。

ロ. 精度の検証

- ・深部地熱資源調査井（WD－1）において取得される予定の既存MWD並びにマッドログデータを解析して、精度の検証を行う。

b. 圧力解析システム

掘削中の坑内圧力データを利用した解析技術についての設計を行い、適用性の検討を行う。本年度は、第3.3.2-2図に示すモデルのうち、右側の貯留層の浸透率の取り扱いに関して検討を行う。検討のベースとしては、「地熱井における逸水対策技術の研究開発」において開発した泥水粘性を考慮した地層内の圧力・流量解析プログラムを使用する。本プログラムは、多孔質体における坑井を中心とした流れを取り扱うもので、水のみならず、泥水（粘性流体）の挙動を考慮出来るようにしたものである。入力値としては、泥水物性として、泥水比重／見掛け粘性／ n 値を入力し、地層の物性として、 k_h （浸透率・層厚）と ϕ_{ch} （貯留層係数）を求める。



① 部分逸水の場合

$$q_{1c} = q_{in} - q_{out} = \frac{K_e D_1}{\mu} \Delta p_3 + \frac{K_e \gamma_s}{\mu} D_1 - \frac{K_e P_e}{\mu}$$

② 全量逸水の場合

$$q_{1c} = q_{in} = \frac{K_e \gamma_s}{\mu} D_1 - \frac{K_e \gamma_s}{\mu} D_f - \frac{K_e P_e}{\mu}$$

P1が測定できる場合

$$q_{1c} = q_{in} - q_{out} = \frac{K_e}{\mu} (P_1 - P_e)$$

D1 : 逸水深度

D_f : 逸水水頭

Ke : 有効コンダクタンス (Kg・cP/Pa)

Pe : 逸水ゾーンの有効貯留層圧力

P1 : 逸水ゾーンのアニュラー部圧力

μ : 粘度 (cP)

Δp₃ : 逸水層上部のアニュラー部の管摩擦圧力降下

γ_s : 泥水比重 (カッティングスを含む)

第3.3.2-2図 圧力解析システムの基本設計

(3) 総合動作試験

岩手県葛根田で掘削中の深部地熱資源調査井（WD－1井）において得られる既存MWDシステム・マッドログシステムによる計測データを解析システムに入力して、総合動作試験を実施する。今回、総合動作試験を実施するのは、以下のシステムである。

- ・坑跡計画・表示システム
- ・坑跡予測システム
- ・温度解析システム

3. 3. 3 開発工程

本年度の解析システムの開発工程を第3. 3. 3-1表に示す。

第3. 3. 3-1表 平成8年度 解析システムの開発工程

内 容	平成 8 年										平成 9 年		
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
I. 坑跡管理支援システム													
(1) 坑跡計画・表示システム													
a. システムの改良													
	仕様		システム改良				テスト			改 良	ま と め		
(2) 坑跡予測システム													
a. システムの改良													
	仕様		システムの改良				テスト			改 良	ま と め		
II. 坑井評価支援システム													
(1) 温度解析システム													
a. システムの改良													
	仕様		システム改良				テスト			改 良	ま と め		
(2) 圧力解析システム												ま と め	
			基本設計										

3. 4 本年度技術開発成果

3. 4. 1 坑跡管理支援システム

(1) 坑井計画・表示システム

(1. 1) システムの改良

(1. 1. 1) 操作性向上

坑井計画・表示システムの操作性の向上を実施した。今回、表示システムに以下の表示を加えた。(第3.4.1-1図、第3.4.1-2図参照)

・ケーシング深度／口径

・逸水深度／逸水量

・フラクチャ面と坑跡の交点位置

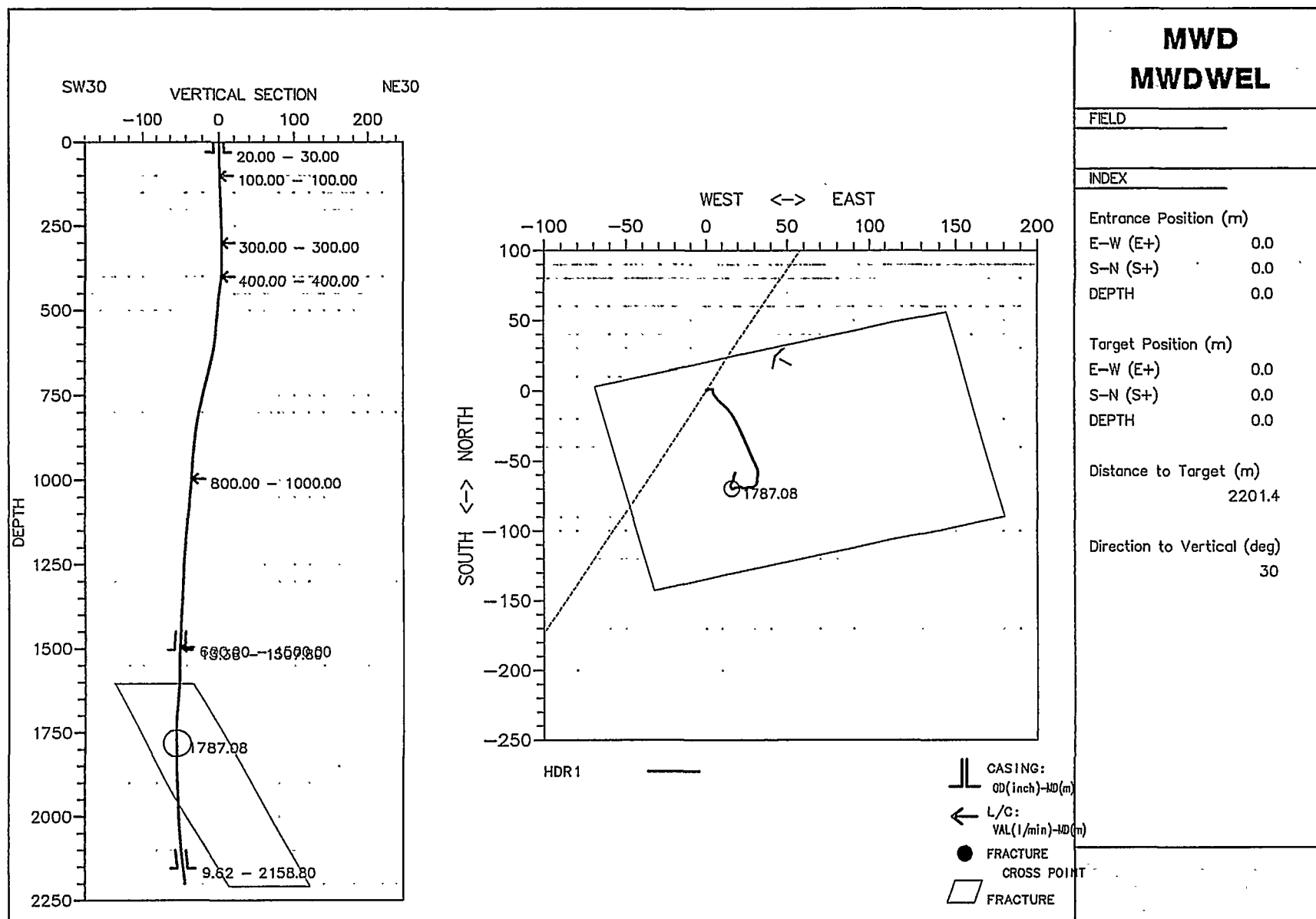
(1. 1. 2) ワットログデータ用インターフェース

現在、各社で出されている既存のワットログシステムの概要を調査した。調査は各社のパソコンにより情報を入力し、それととりまとめた。第3.4.1-1表に各社ワットログシステム基本仕様比較一覧を示す。出力フォーマットとしては基本的にはWITS (well site information transfer specification) フォーマットが多く、このフォーマットがリグサイトでの基本フォーマットとなっている。その他、ASCII、LIS、DBASE等のフォーマットでの出力、あるいはテレメトリを採用して転送するシステムもあるが、システムでは入力インターフェースフォーマットとしてWITSフォーマットを採用し、インターフェースを作製した。

別添資料2に使用するWITSフォーマットを示す。

(1. 2) 今後の課題

今後は、実際のワットログシステムを含むデータ取得システムとの結合を行い、現場での作業に耐えるインターフェースの改良を行う。また、将来的な普及を目指して、現在UNIXで動いているプログラムのPC化への基本設計を実施する予定である。



第3.4.1-1図 坑井計画・表示システムの出力例

第3.4.1-1表 各社マッドログシステム基本使用比較一覧

製造元	システム名	使用コンピュータ	センサー	出力形態	データ出力フォーマット形式
EXLOG社	ADAMS	PC	- Block Height - Hook Load - WOB - Rotary Speed - Rotary Torque - Pump Pres. - ROP - Drilling Status - Magnetmeter(RPM) - Dynamic Axial Strain - Dynamic Axial Accel. - Dynamic Torsional - Dynamic Lateral - Dynamic Tangential - Static Torsional - Static Axial - Internal Pressure - 他	- Color Graphic Screen - Color Plotter - Color Printer - Hard Disk	- WITS - ASCII - LIS - 他
DRD社	ARIS-D	Workstation	- WOB - Depth - Hooked - Torque - RPM - SPM - Directional - Gamma-Ray - Resistivity - Bending Stress - WOB - TAB - 他	- Real Time Display - Well Surveillance - Optimization - Engineering Calc. - Reporting - Database	- WITS - 他
Geoservices社	ALS2	Workstation	- Block Height - Hook Load - WOB - Rotary Speed - Rotary Torque - Pump Pres. - ROP - Drilling Status - Directional - Gamma-Ray - Resistivity - Bending Stress - WOB - TAB - Etc. - 他	- Real Time Display - Well Surveillance - Optimization - Engineering Calc. - Reporting - Database	- WITS - ASCII - LIS - 他
WELL LOGGING社	RIGWATCH	Workstation	- Block Height - Hook Load - WOB - Rotary Speed - Rotary Torque - Pump Pres. - ROP - Drilling Status - 他	- Color Graphic Screen - Color Plotter - Color Printer - Hard Disk - Reporting - Database	- WITS - ASCII - LIS - dbase - Lotus - 他
SWACO GEOLOGRAPH社	SG-SMART	PC	- ROP - RPM - Pump Pres. - Casing Pres. - Hydraulic Rotary Torque - WOB - Hookload - 他	不明	- WITS - 他
PETRON社	MUD DATA DRILL DATA LOGS GAS DATA	PC	- Rotary rpm - pipe press - Annulus press - Depth - WOB - pipe velocity - Hook Load - WOB - Rotary Torque - Pit level - Pump stroke - Mud flow out - Mud flow in - Mud gas - Mud weight in - Mud weight out - Mud temp. in - Mud temp. out - 他	- Color Graphic Screen - Chart Printer - Color Inkjet Printer - Data Printer - Hard Disk	不明

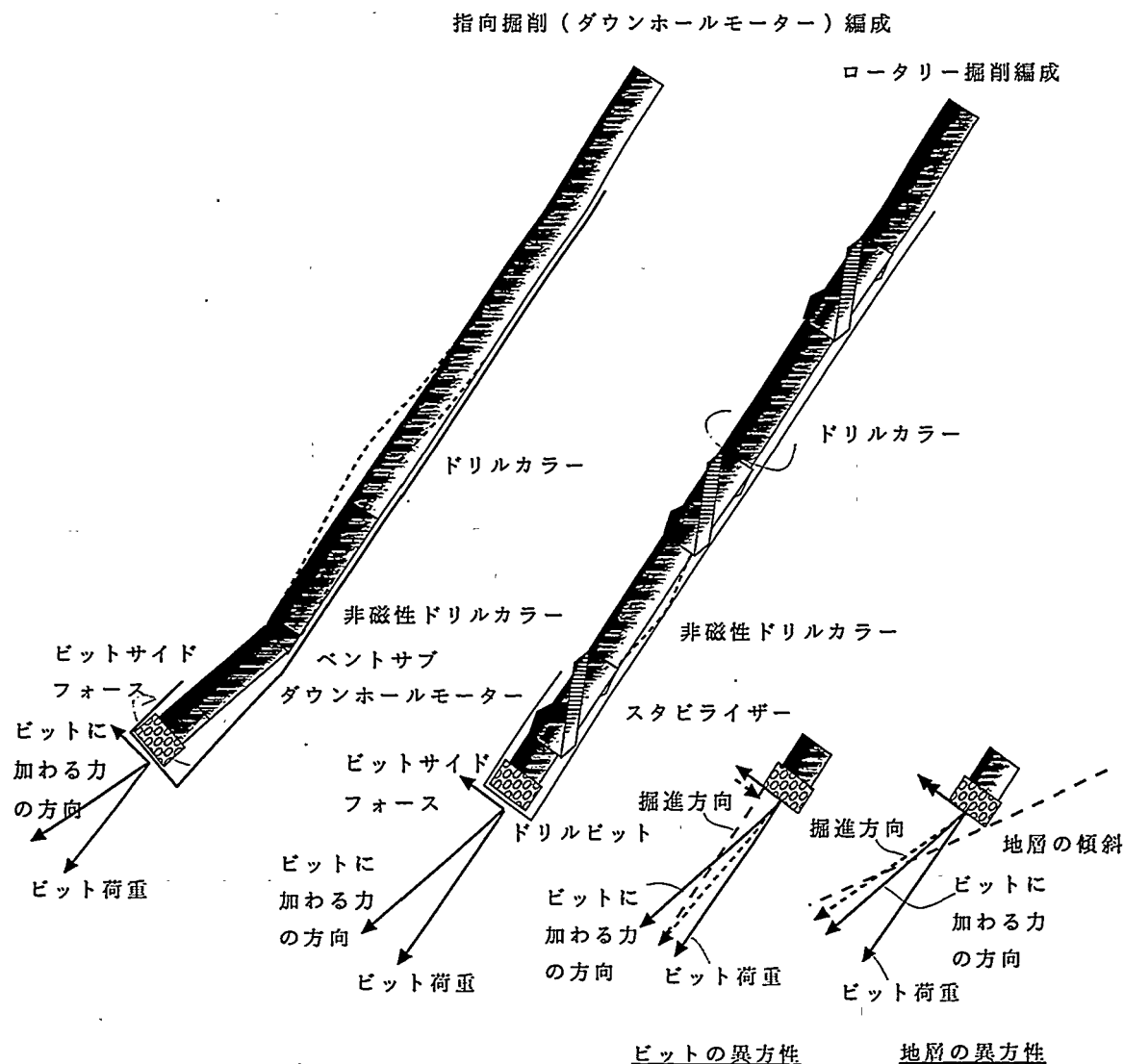
(2) 坑跡予測システム

平成7年度までに開発した坑跡予測システムを実坑井に適用した。今回、用いたデータは、深部地熱資源調査で10月より掘削したWD-1b井（岩手県葛根田）である。WD-1b井は、2,300m付近でサイドトラックを実施し、3,000m付近のターゲットに向けて掘削を行った。今回は、平成7年度までに掘削されたWD-1a井の掘削データを用いて、地層の異方性を求め、そのデータに従って、今回掘削するWD-1b井の坑跡を予測し、また、WD-1b井の掘削実績との比較を行った。

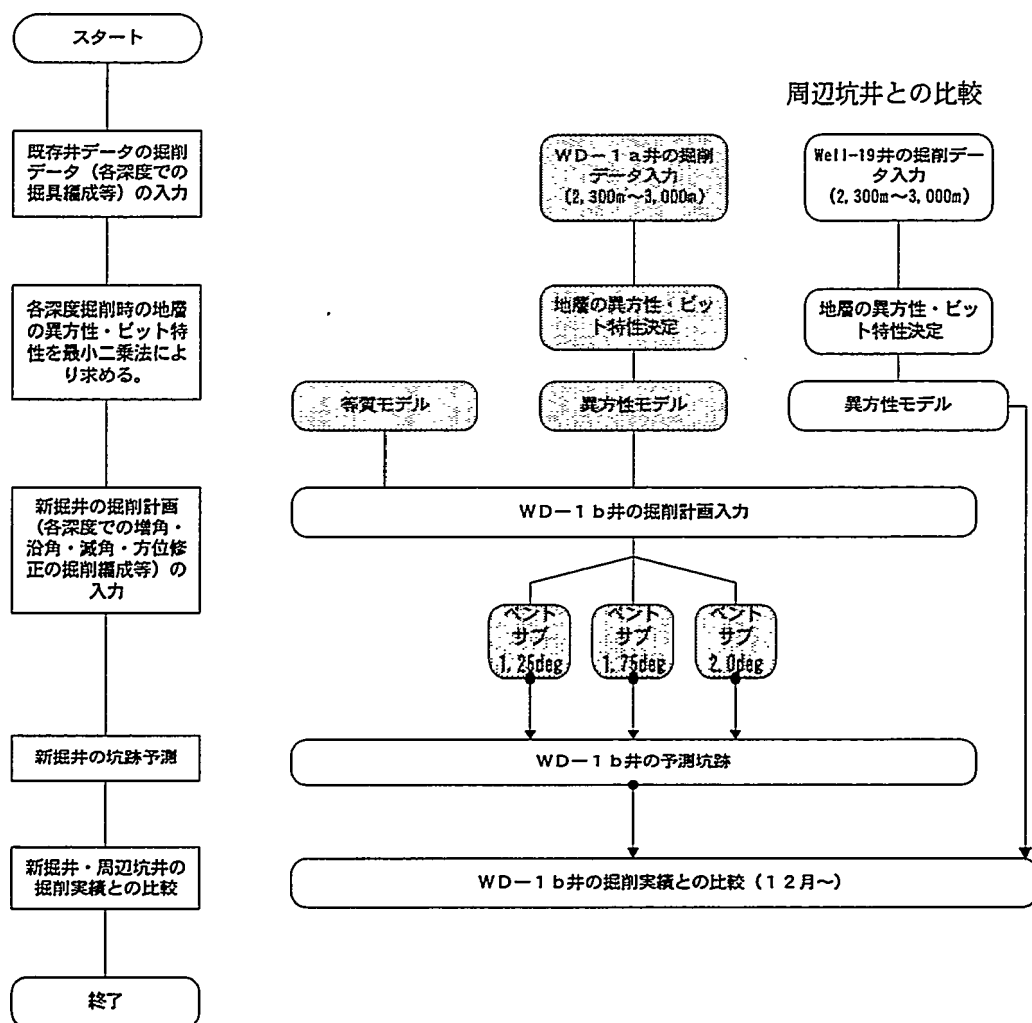
坑跡予測システムでは、第3.4.1-3図に示す2つのタイプの掘具編成（DHMを使用した場合としない場合）での計算を行った。

第3.4.1-4図に、WD-1井での解析の手順を示した。

また、第3.4.1-2表に坑跡予測プログラムに用いる計算入出力項目一覧及び坑跡予測プログラム計算入出力ファイル例を別途資料3に示す。



第3.4.1-3図 坑跡予測システムにおける掘具解析の概念図



第3.4.1-4図 WD-1井を用いた坑跡予測プログラムの評価手順

第3.4.1-2表 坑跡予測プログラムに用いる計算入出力項目一覧

計算入力項目

①一般情報	②ドリルカ-情報	③スタビライザ-情報	⑤地層情報
・ 計算開始深度	・ 外径	・ スタビライザ-数	・ 地層数
・ 計算終了深度	・ 内径	・ ビットからの位置	・ 地層上部深度
・ 実績深度	・ 全長	・ 坑壁とのギャップ	・ 地層異方性
・ 実績傾斜	・ 重量	・ カッピングレート	・ 地層ストライク
・ 実績方位	・ ヤング率	④ベントサ-情報	・ 地層ディップ
・ 計算区間坑径	・ せん断率	・ ビットからの位置	⑥ビット異方性
・ WOB		・ ベント角度	
・ 泥水比重		・ マグネティック-ルフェイス	
・ TOB		・ グラビティ-ルフェイス	



計算出力項目

・ 深度	・ 南北変位	・ ビットフォース	・ ビット接触角
・ 傾斜	・ 東西変位	・ モーメント	・ スタビライザ-接触角
・ 方位	・ 垂直変位	・ ビット傾斜角	・ スタビライザ-に加わる力

(2. 1) WD-1 a 井のビット・地層の異方性計算

WD-1 a 井の掘削データを用いて、ビットと地層の異方性をインバージョンにより求めた。また、計算に用いた地層の走向傾斜は第3. 4. 1-3表のとおりである。第3. 4. 1-5図にビットと地層の異方性インデックスを示した。第3. 4. 1-5図には同時にWD-1 a 井掘削時の使用ビットタイプ（下線はコア掘りを示す）及び地質柱状図をプロットした。なお、地質柱状図はカッティングス等からの地質構造解析及びFMI 検層結果からの推定である。なお、これらの異方性インデックスは独立したものではなく、計算上の理論値として求められるものであり、ビットの異方性は、完全な均質岩体を掘削した場合に実験的に求められるものであり、地層の異方性は、ビットの異方性が分かった場合にしか、求めることは出来ない。また、ビットの磨耗条件や、地層の不均質性によっても左右されるため、完全な分離は不可能である。従って、ここでは計算機を用いた最小二乗法により、自動的に求めたインデックスと実際のビット及び地層との対比を行い、その相関性を検討することとした。

第3. 4. 1-4表、及び第3. 4. 1-5表に異方性と地層・ビットタイプとの対比を示す。

第3. 4. 1-3表 WD-1 a 井の地層の走向・傾斜

地 層 名	深度 (m)	走向傾斜
国見峠層 (下部)	1, 290～2, 245	N-S 50° W
生保内層相当層	2, 245～2, 660	N40° E 30° W
先第三系	2, 660～2, 860	E-W 60° N
葛根田花崗岩	2, 860～	

第3. 4. 1-4表 ビットの異方性と地層・ビットタイプとの対比

深度(m)	ビット異方性	地層・ビットタイプとの対比
2, 295	◎	地層境界に近い、インバージョンによる影響がビットの異方性に反映されたものと考えられる。
2, 310	◎	地層境界に近い、インバージョンによる影響がビットの異方性に反映されたものと考えられる。
2, 550	○	ビット交換深度付近でほぼ合致する。
2, 645	○	地層境界に近い、インバージョンによる影響がビットの異方性に反映されたものと考えられる。
2, 690	○	アソグの影響が反映されていると考えられる。
2, 725	◎	地層境界に近い、インバージョンによる影響がビットの異方性に反映されたものと考えられる。
2, 810	○	ビット交換深度付近でほぼ合致する。
2, 850	◎	アソグの影響が反映されていると考えられる。
2, 940	◎	アソグの影響が反映されていると考えられる。

※○：変動が比較的小さい

◎：変動が比較的大さい

第3.4.1-5表 地層の異方性と地層・ビットタイプとの対比

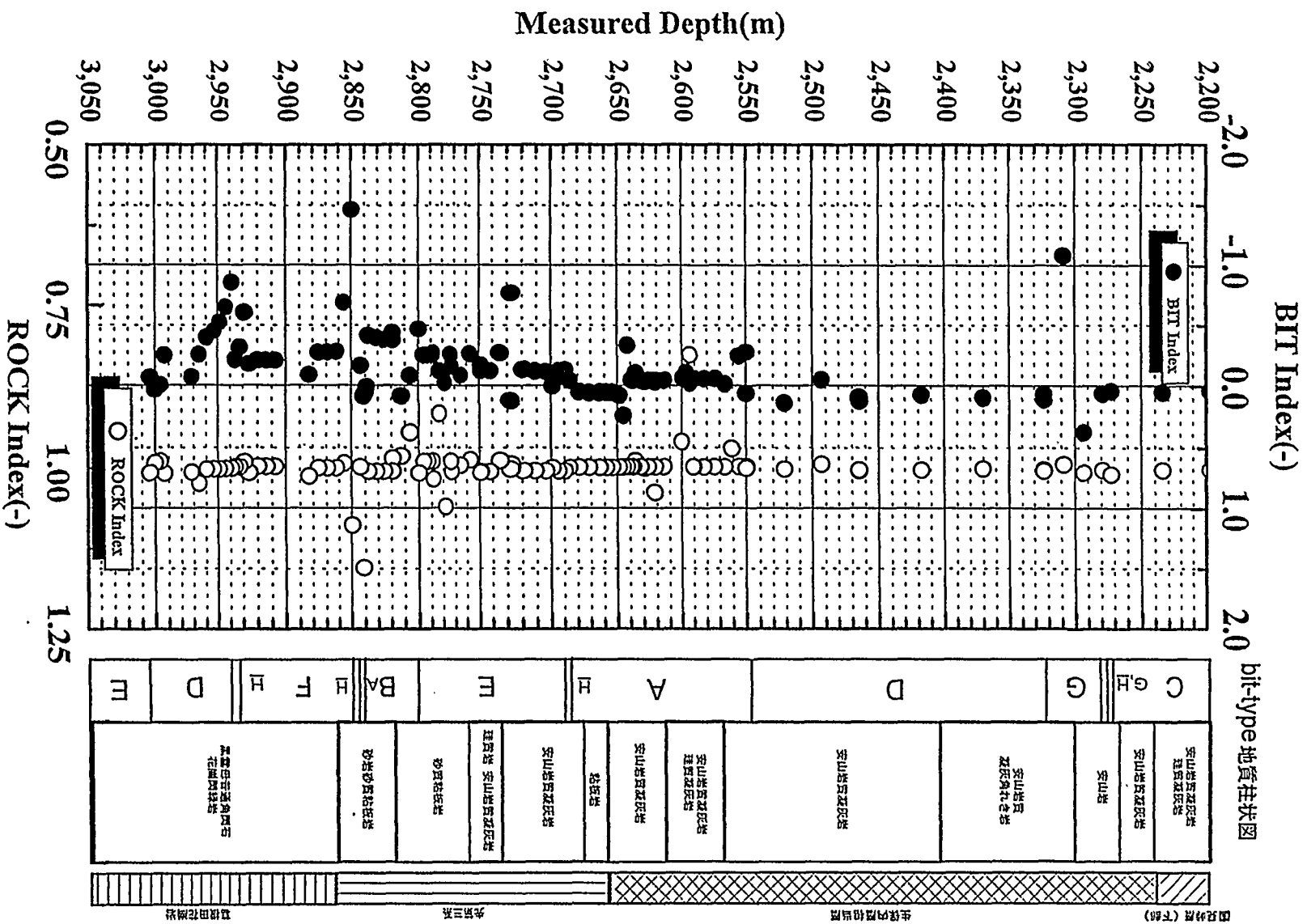
深度(m)	地層異方性	地層・ビットタイプとの対比
2,560	○	大凡地層の境界(先第三系内)と合致している。
2,595	○	地層の境界の影響が考えらる。
2,600	○	地層の境界の影響が考えらる。
2,620	○	地層の境界の影響が考えらる。
2,780	◎	異方性が細かく変動しているが、ここでの現象の原因は明らかでない。
2,807	○	大凡地層の境界(先第三系内)と合致している。
2,840	◎	先第三系と葛根田花崗岩との地層境界の影響が強いものと考えられる。

これより、詳細な部分で明確な現象は認められないが、大局的な現象としては以下の知見が得られた。

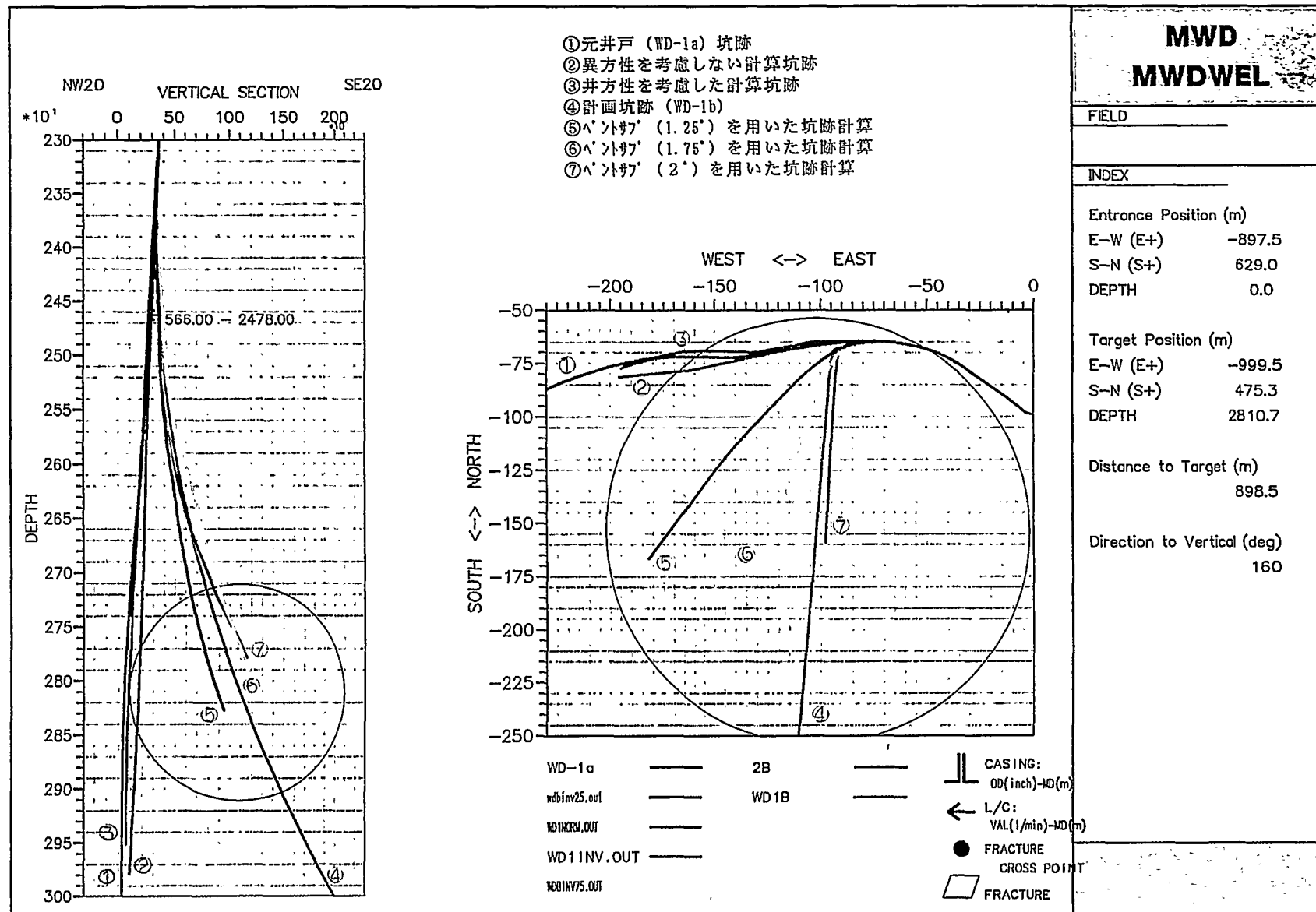
- ①コアリング深度付近ではビットの異方性インデックスが比較的大きく変動している。これはコアリングの影響が下（トリコンビットでの掘削部）まで残っているためと考えられる。
- ②地層の境界部では地層の異方性インデックスが変動する傾向にあるが、同時にビットの異方性インデックスも変動する場合もある。これはインバージョンによる影響がビットの異方性インデックスまで反映されたものと考えられる。
- ③同じタイプのビットを使用した場合、ビットの異方性インデックスの再現性は認められないが、連続で同じタイプのビットを使用している区間については比較的安定している傾向にある。

(2. 2) WD-1 b 井の坑跡予測計算

WD-1 a 井で決定したビットと地層の異方性インデックスを用いて、WD-1 b 井の坑跡予測を実施した。第3.4.1-6図に坑跡予測計算結果を示す。方位転換時のDHM掘削時のベントサブの角度は、 1.25° 、 1.75° 、 2° の3種類について検討した結果、 1.75° ～ 2° の間で、より計画坑跡に近づいている。



第3.4.1-5図 WD-1a井のビットと地層の異方性インデックス



MWD
MWDWEL

FIELD

INDEX

Entrance Position (m)
 E-W (E+) -897.5
 S-N (S+) 629.0
 DEPTH 0.0

Target Position (m)
 E-W (E+) -999.5
 S-N (S+) 475.3
 DEPTH 2810.7

Distance to Target (m)
 898.5

Direction to Vertical (deg)
 160

第3.4.1-6図 WD-1b井坑跡予測計算結果

(2. 3) WD-1 b 井の掘削実績との比較

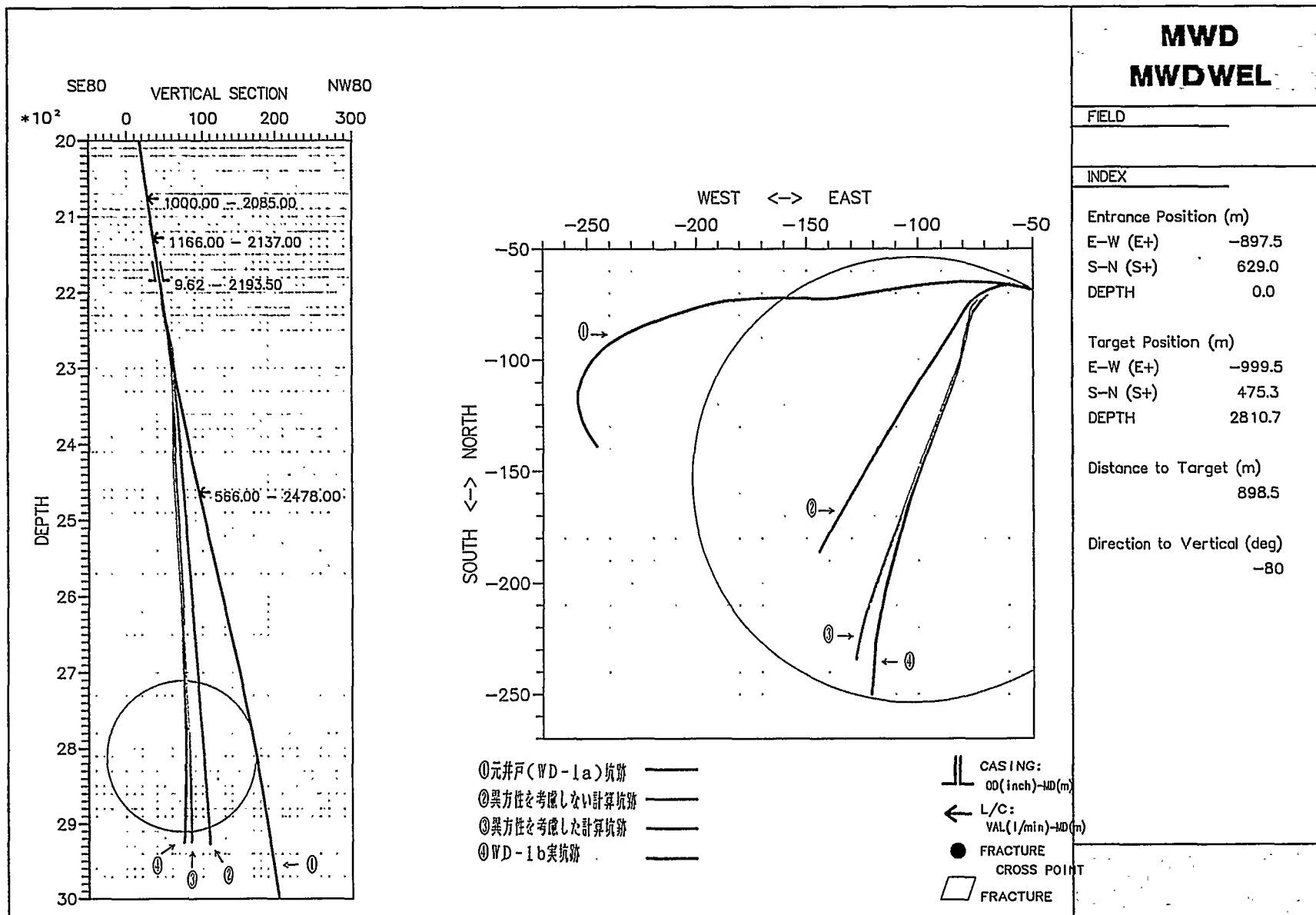
平成8年12月より行ったサイドトラック後のWD-1 b 井の掘削実績との比較を行った。計算は(2. 1)で算出した各深度のビットと地層の異方性インデックスを用い、またホイップストックの方向等、実測値に基づきKOPの方向に修正を加え検討した。ここでは、異方性を考慮した場合(異方性モデル)、異方性を考慮しない場合(等質モデル)で検討した。第3.4.1-6表にWD-1 b 井計算条件、第3.4.1-7図にWD-1 b 井の掘削実績との計算比較結果(0~3,800m)、第3.4.1-8図に掘削実績との計算比較結果(2,000~3,800m)、第3.4.1-9図に3次元表示(0~3,800m)を示す。

第3.4.1-6表 WD-1 b 井計算条件

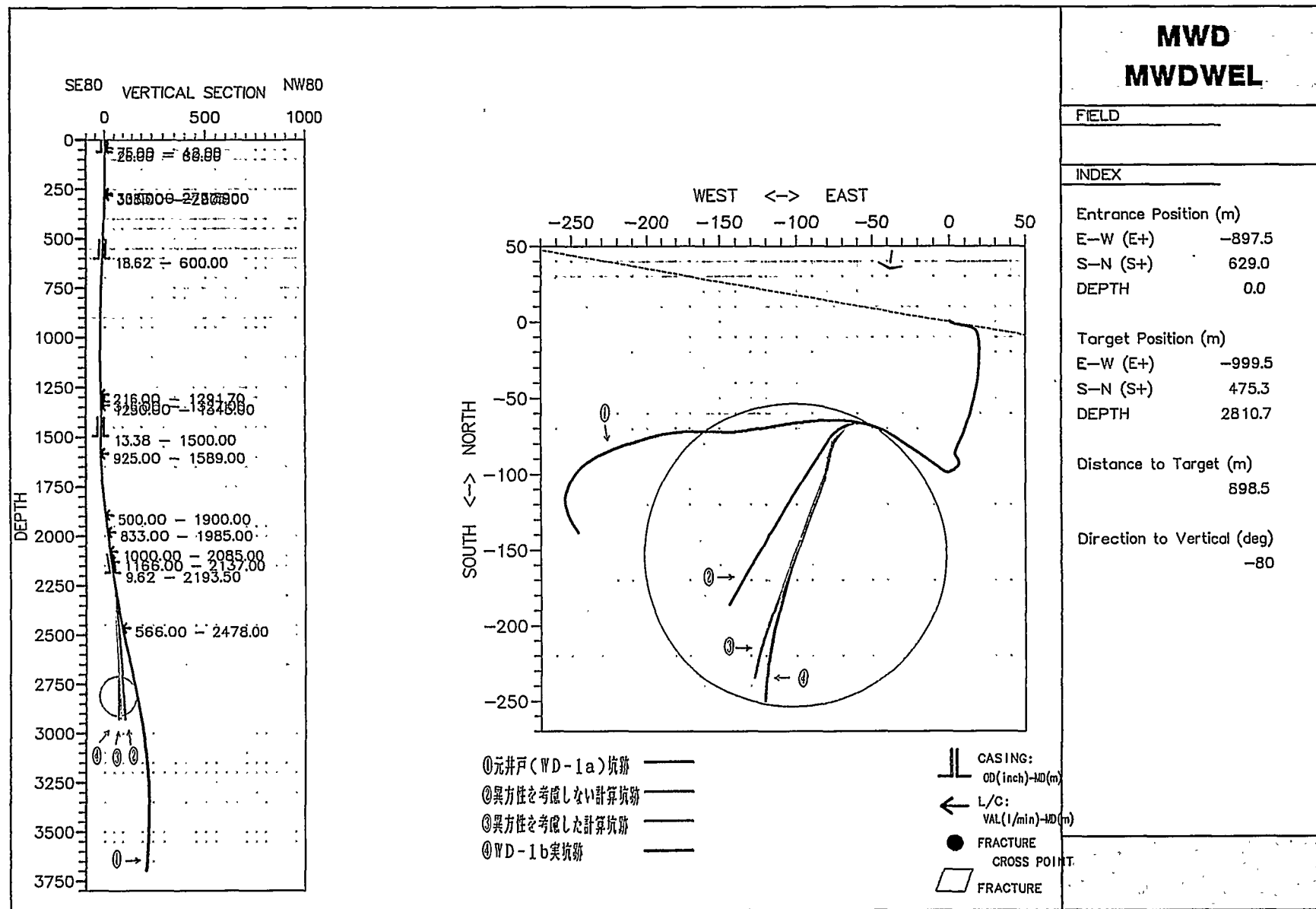
ビット、地層の異方性インデックス	WD-1 a 井より算出した値を使用 ^{※1}	
ホイップストック方位	307° (北より時計廻り)	
DHM使用時編成条件 (2,220.00~2,346.00m)	深度 (m)	ベント角度 (°)
	2,220.00~2,242.70m	1.30°
	2,242.70~2,245.00m	0.80°
	2,245.00~2,287.00m	0.85°
	2,287.00~2,346.00m	1.30°
ロータリー掘削区間編成条件 (2,206.00~2,220.00m) (2,346.00~2,963.00m)	深度 (m)	編 成 ^{※2}
	2,206.00~2,220.00m	沿角編成BHA
	2,346.00~2,963.00m	沿角編成BHA
掘削泥水条件	清水として計算	

※1 : 第3.4.1-2表WD-1 a 井の地層の走向・傾斜、及び第3.4.1-5図ビットと地層の異方性インデックス参照。

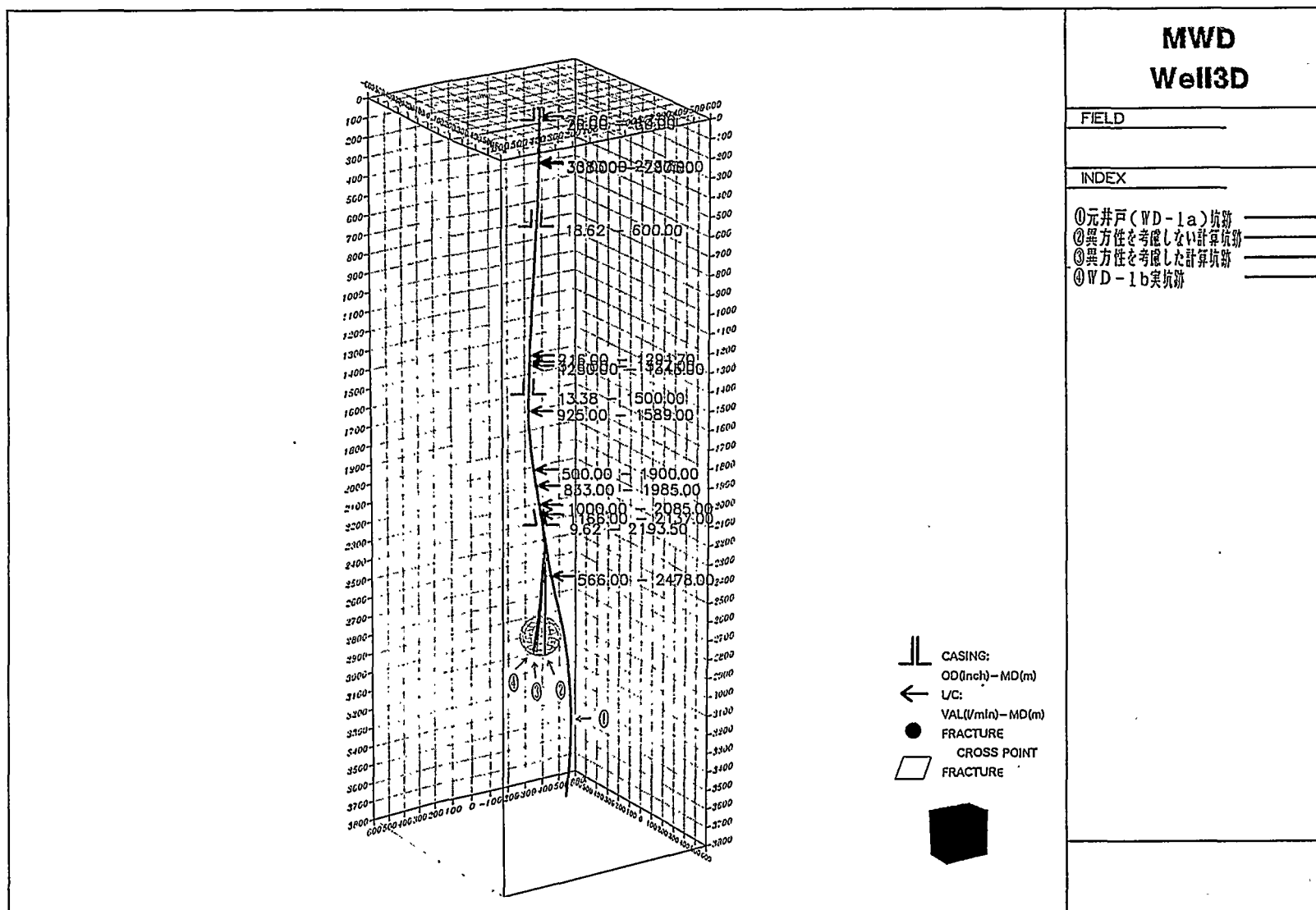
※2 : 8・1/2-Bit, 8・1/2-Stab, 6・1/2-DCを使用。



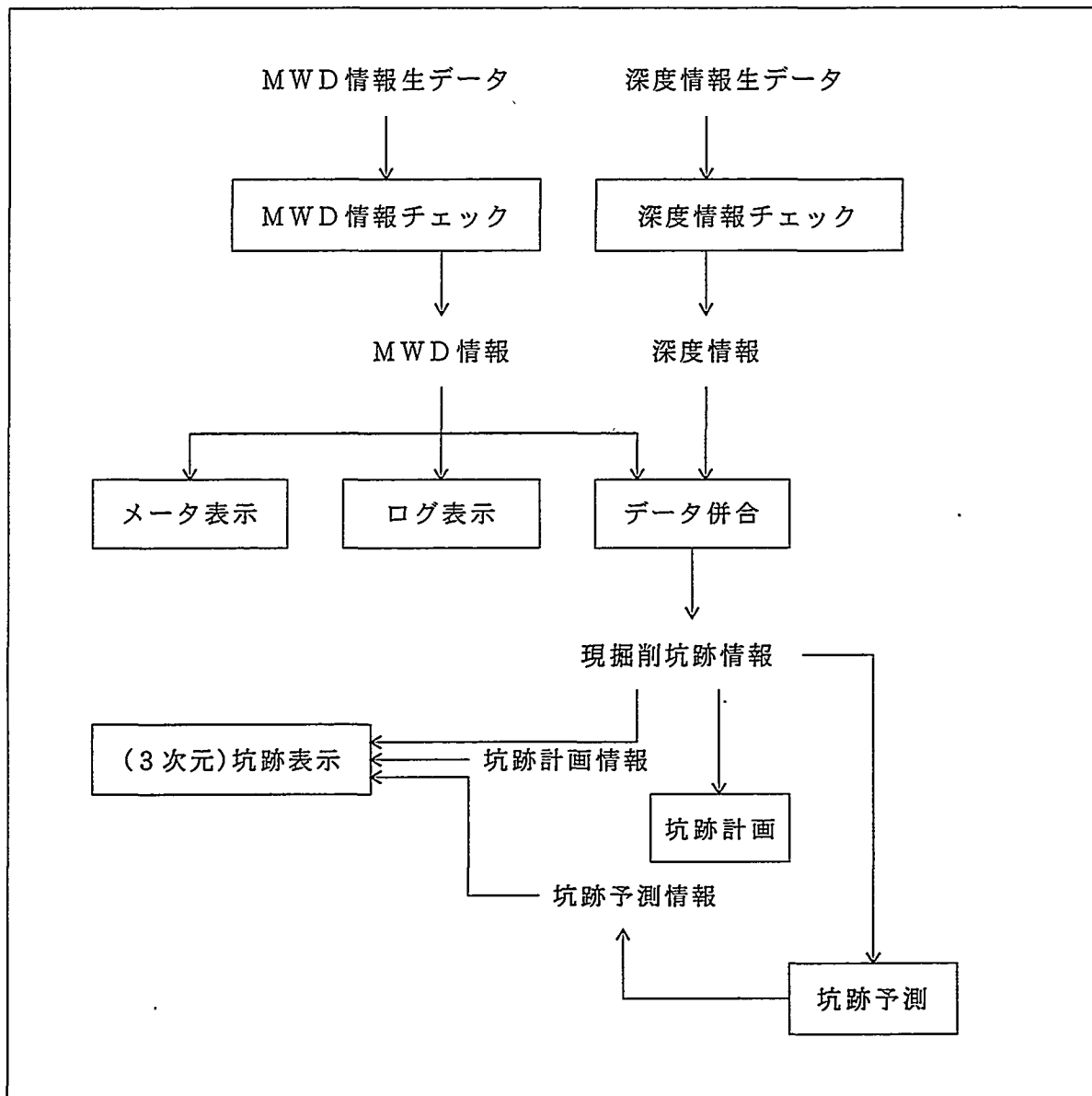
第3.4.1-7図 WD-1b井の掘削実績との計算比較結果(0~3,800m)



第3.4.1-8図 WD-1b井の掘削実績との計算比較結果 (拡大図: 2,000~3,000m)



第3.4.1-9図 WD-1b井の掘削実績との計算比較結果(3次元表示)



第3.4.1-10図 坑跡管理支援システムの全体像

(2.4) 考察

第3.4.1-7表に異方性を考慮した場合（異方性モデル）と考慮しなかった場合（等質モデル）での各深度毎の計算比較結果（南北、東西変位）を示した。ここでは実坑井WD-1b井との比較検討を行った。これより、DHM使用区間（指向掘削）については等質モデル及び異方性モデルともにN-S方向で3m以内、E-W方向で5m以内の誤差で収まっている。ここでは指向掘削で計算しているため異方性インデックスの有無の影響が出にくく、比較の実坑跡と合致し易くなっていることが主因と考えられる。

また、ロータリー掘削区間において、等質モデルでは深くなるにつれ変位が大きくなってきており、掘り止め深度である2,963mにおいて実坑井と比較してN-Sで63.35m、E-Wで19.63mの変位が生じている。ここでは地層を等質モデルと仮定しており、且つ各セクションでのBHAは全て沿角変成で計算しているため、ある方向へほぼ一定の変位でずれが生じる傾向と考えられる。一方、インデックスを加味した異方性モデルでは最大N-Sで14.98

m、E-Wで7.22mの変位は生じているものの比較的実坑井とほぼ一致している傾向が得られた。

これにより与えた異方性インデックスがWD-1 a井の対応する深度の異方性インデックスとほぼ同じであったことによるものと思われる。従って、本年度開発（改良）した坑跡予測プログラムを実坑井の掘削時に摘要することにより、周辺坑井の同深度レベルでの掘削結果と比較することにより異方性インデックスを算出できることから更に精度を向上できることが判明した。

第3.4.1-7表 計算結果比較一覧

深度 (m)	掘削方法	異方性を考慮しない場合—等質モデル (m)		異方性を考慮した場合—異方性モデル (m)	
		N-Sの距離差 *1	E-Wの距離差 *2	N-Sの距離差	E-Wの距離差
2,220.00	DHM使用	-0.83	4.18	-0.82	4.13
2,240.00	DHM使用	-0.57	4.09	-0.94	3.63
2,245.00	DHM使用	-0.50	4.19	-1.03	3.58
2,270.00	DHM使用	0.92	4.33	-2.10	2.38
2,362.00	ロータリ掘削	6.43	1.17	3.64	4.87
2,450.00	ロータリ掘削	12.83	-2.35	10.32	7.22
2,528.00	ロータリ掘削	20.26	-2.70	9.96	7.27
2,648.00	ロータリ掘削	31.90	-4.20	8.58	6.08
2,793.00	ロータリ掘削	47.28	-8.12	9.04	2.49
2,875.00	ロータリ掘削	55.14	-12.64	10.67	-0.58
2,963.00	ロータリ掘削	63.35	-19.63	14.98	-3.25

*1:プラスは北方向へのずれ、マイナスは南方向へのずれを示す。

*2:プラスは東方向へのずれ、マイナスは西方向へのずれを示す。

(3) まとめ

坑跡管理支援システムは、坑跡計画・表示システム及び坑跡予測システムにより構成される。これらは有機的に結合されており、

- ・坑跡表示
- ・坑跡計画表示
- ・坑跡予測表示

が同一画面に表示可能である。

これにより、掘削中に坑跡を表示可能であるばかりでなく、計画坑跡との比較や今後の坑跡予測との比較も可能となる。

今後は、プログラムの操作性とデータ入力の簡易化を行い、より実用的なプログラムへの改良を行っていく。また、将来の普及を目指し、現在UNIX上で動いているプログラムのPCへの移植を行っていく予定である。

3. 4. 2 坑井評価支援システム

(1) 温度解析システム

(1. 1) 目的

平成7年度までに開発した温度解析システムMWD T e m p 2（掘削時泥水温度による地層温度推定法）のインバージョンによる地層温度の推定精度を改良し、実坑井データを用いて検討することが目的である。

(1. 2) 温度解析システムの概要

平成6年度までに開発したMWD T e m p 1は、米国サンディア国立研究所で開発されたG E O T E M P 2（Mondy and Duda, 1984）をベースにして、掘削履歴を日刻みから時間刻みへの変更等の細部の改良を行い、インバージョンにより坑底温度並びに流入・回帰泥水温度から地層平衡温度を求めることを可能にしたものである。

G E O T E M P 2は、フーリエの熱伝達速度の式を基本式として、地層を熱供給源としてそこからの熱伝導のみを想定して、掘削中ないし掘削後の坑井内の温度及び坑井周辺部の地層温度の推移について計算するプログラムである（第3. 4. 2-1図）。

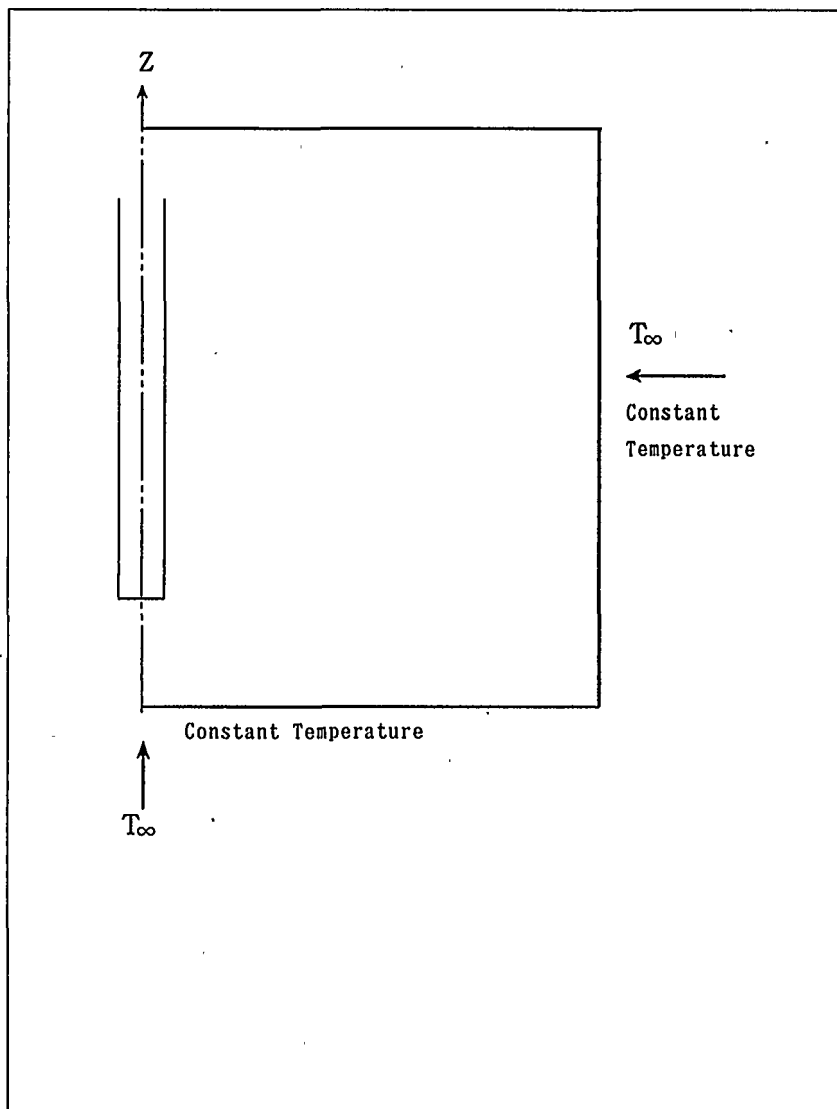
しかし、地熱井の周辺の地層においては、地層内で流体の対流による熱伝搬の可能性も考慮すべきであり、また、掘削中に発生する逸水は、通常の坑壁からの熱伝導のみと比較して、急速に周辺の地層を冷却すると考えられる。そこで、熱対流型の貯留層の場合（第3. 4. 2-2図）や逸水発生の場合（第3. 4. 2-3図）において坑内温度が推定できるように、平成7年度に更に改良を行った（MWD T e m p 2）。更に平成8年度は、MWD T e m p 1で開発したインバージョンによる坑底温度に流入回帰泥水温度から地層平衡温度を求めるアルゴリズムを組み込み、更に、現実の坑井データで安定したデータが求められるように、内部パラメータ（特に収束条件）を最適化した。この改良で追加されたサブルーチンの一覧を付録として別途資料に示した。

また、このシステムが実用化された場合の利点としては次のように考えられる。目的深度に達して逸水層に遭遇した掘削終了時の地層温度推定は、ターゲットの逸水層が生産層として十分な温度であるか否かを判定して、掘り止めにするかどうかを判断する上で非常に重要である。逸水層に遭遇した場合の地層温度推定には、一般的に次の2つの手法が用いられている。

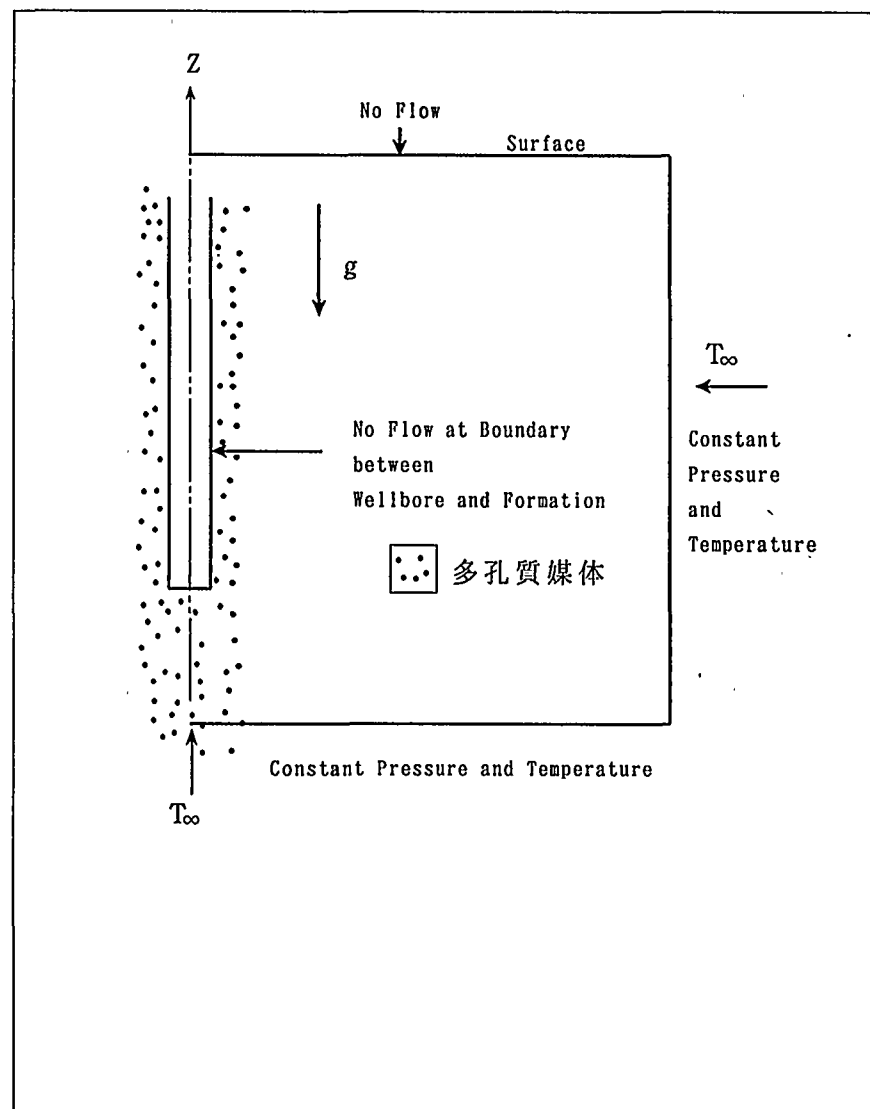
①温度回復試験（掘削終了から、8、16、32、48、96、120時間後の温度検層データを取得し、ホーナー法により、温度回復後の地層温度を推定する方法）

②流体包有物分析（掘削時に泥水と一緒に地上で採取される掘屑（カッティングス）中の流体包有物の最低均質化温度を分析し、温度回復後の地層温度を推定する方法）

これらの方法と、温度解析システムMWD T e m p 2（掘削時泥水温度による地層温度推定法）の違いは、本システムでは、掘削時の泥水温度を地上（入泥水、排泥水）と坑底で測定しながら、その温度条件に合致する地層温度を数値シミュレーションにより自動的に求めていく。従って、掘削終了と同時に結果が出るため、掘り止め判定までに要するリグ待機時間を無くすることができる（第3. 4. 2-1表）。すなわち、逸水層に遭遇してもその地層温度が低い場合に、更に掘り進むか否かを判定するまでのリグ待機時間とその経費を節約することが可能になる。



第3. 4. 2-1図 熱伝導型モデルの概念図



第3. 4. 2-2図 熱対流型モデルの概念図

第3.4.2-1表 掘削終了時の地層温度推定法によるリグ待機時間

	リグ待機時間
温度回復試験法（温度検層＋ホーナープロット法）	5 日
流体包有物分析（最低均質化温度分析）	0.5～1 日
"MWDTEMP2"（掘削時泥水温度による地層温度推定法）	0 日

（1. 3） 温度解析システムの詳細

本年度までに、温度解析システムMWDTEMP2を、掘削中の入泥水温度・排泥水温度データ及びMWDによる坑底温度データから地層平衡温度を逆解析により推定するプログラムとして開発した。

以下に、温度解析システムMWDTEMP2で用いられている貯留層内の対流のモデル化と、逆解析による地層平衡温度推定の基本的な理論の概要を述べる。

a. 貯留層中の対流のモデル化

既存の坑井内温度シミュレータGEOTEMP2（Mondy and Duda, 1984）を限定的な貯留層シミュレータと結びつけることによって貯留層中の対流をモデル化した。坑井内の流体と周囲の貯留層岩石、流体との間の熱移動は坑井の深度全てにおいて熱伝導によって行われると仮定した。掘削中の逸泥や生産流体の坑井内への流入などによって、いくつかの点においては坑井と貯留層の間で質量の流れが起こりうる。坑井内の流れのモデル化に用いられた近似とアルゴリズムは（Finsterle, 1996）に記載されており、ここでは貯留層内のモデル化のみについて述べる。

貯留層内の熱と質量の保存方程式は

$$\frac{\partial}{\partial t} \left[\phi (S_l \rho_l + S_g \rho_g) \right] = \nabla \cdot F_w + q_w \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left[(1-\phi) \rho_r C_r T + \phi (S_l \rho_l U_l + S_g \rho_g U_g) \right] = \nabla \cdot F_H + q_H \quad (2)$$

とかける。

ここで、流れは

$$F_w = \rho_l \frac{kk_{rl}}{\mu_l} (\nabla P_l - \rho_l g) + \rho_g \frac{kk_{rg}}{\mu_g} (\nabla P_g - \rho_g g) \quad (3)$$

$$F_H = H_l \frac{kk_{rl}}{\mu_l} (\nabla P_l - \rho_l g) + H_g \rho_g \frac{kk_{rg}}{\mu_g} (\nabla P_g - \rho_g g) + \lambda T \quad (4)$$

と定義される。

式中の記号の意味は以下のとおりである。

ℓ : 液相	k : 浸透率
g : 気相	kr : 相対浸透率
w : 水	μ : 粘性
H : 熱	P : 圧力
ϕ : ポロシティ	g : 重力加速度
s : 飽和状態	T : 温度
ρ : 密度、	λ : 貯留層熱伝導率
q : ソースターム	

貯留層は坑井に対して対称と仮定し、式（１）から（４）は極座標（ r, z ）において解かれる。貯留層の方程式は坑井の方程式と坑井における温度に関する条件によって、以下の如く結びつけられる。

$$T_{wellbore}(r=r_{well})=T_{reservoir}(r=r_{well}) \quad (5)$$

そして坑井と貯留層の間の流れは

$$q_{well} = -q_{reservoir} \quad (6)$$

となる。

必要とされる他の境界と初期条件は

$$T_{initial} = T(z) \quad (7)$$

である。（初期温度は深度のみの関数とする。）

$P_{initial}$ は $T_{initial}$ と関連した静水圧力である。

また、坑井から遠い地点においては、温度圧力を初期条件のまま固定した。底部の境界位置は坑井深度により決定され、一定の温度・圧力境界とした。地表に相当する頂部の境界は一定の温度・圧力境界あるいは、一定の温度で不透水性の境界のどちらかとした。

b. 数値解法

式（１）から（４）は積分有限差分法（IFDM）（Narasimhan and Witherspoon (1976), Pruess (1991)）を用いて解くことができる。IFDMは対象とする領域を多数の要素（エレメント）に分割することから始める。もし、エレメントが十分小さい場合、流体の特性はそのエレメント内で一定であると仮定できる。そうすると、あるエレメント（ i とする）において質量保存の式（１）は次のように書くことができる。

$$f_{2i-1} = \frac{\rho^{t+\Delta t} - \rho^t}{\Delta t} + \frac{1}{v} \sum_{sides} A_i F_w^{t+\Delta t} - Q_w^{t+\Delta t} = 0 \quad (8)$$

エレメント*i*と*j*を隔てている側面を横切る体積フラックスはダルシー則によって与えられる。

$$F_w^{t+\Delta t} - \rho_\ell^* \frac{k^* k_{r\ell}^*}{\mu_\ell^*} \left(\frac{P_{ei} - P_{ej}}{D} - \rho_\ell^* g_{ij} \right) - \rho_g^* \frac{k^* k_{rg}^*}{\mu_g^*} \left(\frac{P_{gi} - P_{gj}}{D} - \rho_g^* g_{ij} \right) \quad (9)$$

ここで*P_i*と*T_i*はエレメント*i*における圧力と温度の平均値を表わしている。式(9)におけるどのような時間にもなう量も時間 *t* + Δ*t* において推定される。*はエレメント*i*と*j*の値の間のエレメント特性のある形式の平均化である。この平均化が採られるべき形式に関する議論はWhite (1995) に与えられており、ここではそこで採用された方法をとる。

IFDMは、ここで用いられている保存方程式が解かれる領域の形やエレメントの形に関する限りは非常に一般的であるとはいえ、エレメントは坑井の中心に位置する同心的な円柱状のものである。これらのエレメントのいくつかは坑井内部にあり、それらに対する式(8)は次のようになる。

$$f_{2i-1} = T_{wellbore} - T_i \quad (10)$$

ここで*T_{wellbore}* は坑井内温度シミュレーションルーティンによって計算される。

式(2)は式(1)と同様な方法で分割でき、このエレメントに分割された貯留層には非線形方程式が存在する。この方程式は坑井内での流れを記述する方程式とともに解かれなくてはならない。貯留層に適用される方程式システムにおける未知変数は第3.4.2-2表に示した。

第3.4.2-2表 貯留層内対流のモデル化に適用される方程式の未知変数

変数	定 義
ρ_l	液体密度
ρ_g	気体密度
S	液体飽和
U_l	液体の内部エネルギー
U_g	気体の内部エネルギー
T	温度
P	圧力

たとえば圧力・温度に対する密度のように、これらの変数はすべて独立ではなく相互関係によって関連づけられる。方程式を解くためには2つの変数の組み合わせを選べば十分である。なぜなら、全ての変数はどの2つの変数の組み合わせからも導くことができるからである。ここではPruess (1991) に従い、単相領域においては主要変数として*P*と*T*、二相領域においては*P*と*S*を選択した。一度主要変数が選ばれると、非線形方程式はWhite (1995) に述べられた方法によって解くことができる。

c. 逆解析問題

目的は地層温度を、排泥水温度ともし利用できれば坑底温度を用いて計算することであるが、これは非線形最小自乗法（Levenberg-Marquadt法）を用いて行うことができる。今回は公開されているソフトウェアライブラリ”MINPACK”を用いて、これをプログラム化した。

この逆解析をする場合に必要な入力データとしては、第3.4.2-3表～第3.4.2-5表に示したように3つのデータファイルが必要である。

第3.4.2-3表 MWD Temp 2入力データ①坑井・地層データ

掘管	掘管内径・外径・掘管長さ
ケーシング	ケーシング内径・外径・シュー尻深度・セメント高さ
坑跡	方位・傾斜・深度
地層平衡温度	地層温度・深度
泥水特性	比重・粘性・イールド値
岩石特性	岩石密度・岩石比熱・岩石熱伝導率・浸透率
掘削実績とパラメータ	1日の掘削到達深度・1日当たりの総冷却時間・泥水流入温度・泥水流量
掘具編成	ドリルカラー仕様・ビット仕様

第3.4.2-4表 MWD Temp 2入力データ②掘削中の実測値データ

時 間
入泥水温度
坑底温度
排泥水温度

第3.4.2-5表 MWD Temp 2入力データ③パラメータデータ

推定地層温度点数・深度
推定温度初期値
逸水深度
逸水量

深度 d における地層温度	深度 d における推定誤差	時間 t における計算排泥水温度	時間 t における計算坑底温度
---------------	---------------	------------------	-----------------

第3.4.2-6表 MWD T e m p 2 の出力データ

第3.4.2-6表には出力ファイルに含まれる情報を示す。

ここでは繰り返さない。

地球物理分野における、この手法の詳しい記述はFinsterle and Pruess (1995) にあり、るまで、繰り返し書き換えられる。そして、推定の精度を評価するために誤差分析を行う。よって最小化さなければならぬ目的関数を与える。モデル変数は最適な変数が決定され、ることによってモデル化される。非線形最小自乗法は標準的な最小化アルゴリズムの手法にた、モデル変数の関数としてシステムの入力データを計算するMWD T e m p 2を用いる未知のシステムの手動は、時間的に分離した点において観測される。坑井と貯留層はまされるシステム入力データはMWD T e m p 2によって得られる。

観測されるシステム入力は測定される排泥水温度と坑底温度であり、一方計算現段階においては、モデル変数はいくつかの深度と逸泥量において決まる貯留層温度であシステムとの間の差を最小化すること、すなわち最小化の手順によって定式化される。この変数推定の逆問題は、観測されたシステムの入力データと計算によって予測されたある。逸泥箇所を推定する機能についても試みたが数値的に不安定であった。

推定される変数は地層温度であるが、オプションとして逸泥量も推定するような機能も

④地層温度の変化がある程度小さくなるまで②から計算を繰り返す。

$$f(T^{formation}, loss) = \sum (T^{calc}(i) - T^{meas}(i))$$

を最小化する。

③計算値と実測値の差が最小になるように地層温度を変える。つまり次のような目的関数

②その温度に基づき、掘削中の坑底温度、回帰泥水温度を計算する。

①ある深度で地層温度を仮定する。

うになる。

これらのデータを用いてインバージョンによる地層温度推定計算をする手順は以下のよ

(1. 3) 逆解析による地層温度推定精度の検討

今回は、MWDTEMP2により推定される地層温度の精度を評価する目的で、深部調査井WD-1aの3,729mmまでの掘削データを用いて計算を行った。使用したモデルのケーシングプログラム、地層温度、岩石物性値を第3.4.2-4図に示す。また、WD-1a井の掘削履歴を第3.4.2-5図に示す(Saito et al., 1996)。今回はMWDによる坑底温度が得られていないので、坑口の入泥水／排泥水温度のみを用いて地層温度を推定した。これらの情報を用いて地層温度を計算した結果を第3.4.2-6図に示す。

今回の計算では、特に臨界温度(373℃)を越える深度では推定値が収束せず実際の地層温度に一致する推定温度は得られなかった。すなわち、深度2,800m以深で誤差が増加する傾向が見られた。深度2,800m以浅の推定地層温度とモデル地層温度の差の標準偏差が5.9なのに対して、深度2,800m以深では47.7以上である。その結果、2,800m以浅では $\pm 12^{\circ}\text{C}$ (2σ)、2,800m以深では $\pm 95^{\circ}\text{C}$ (2σ)程度の誤差で地層温度が推定されている。この原因としては、現在のプログラムでは373℃以上の超臨界の高温条件での状態方程式を内部で取り扱えないためである。

(1. 4) 結論

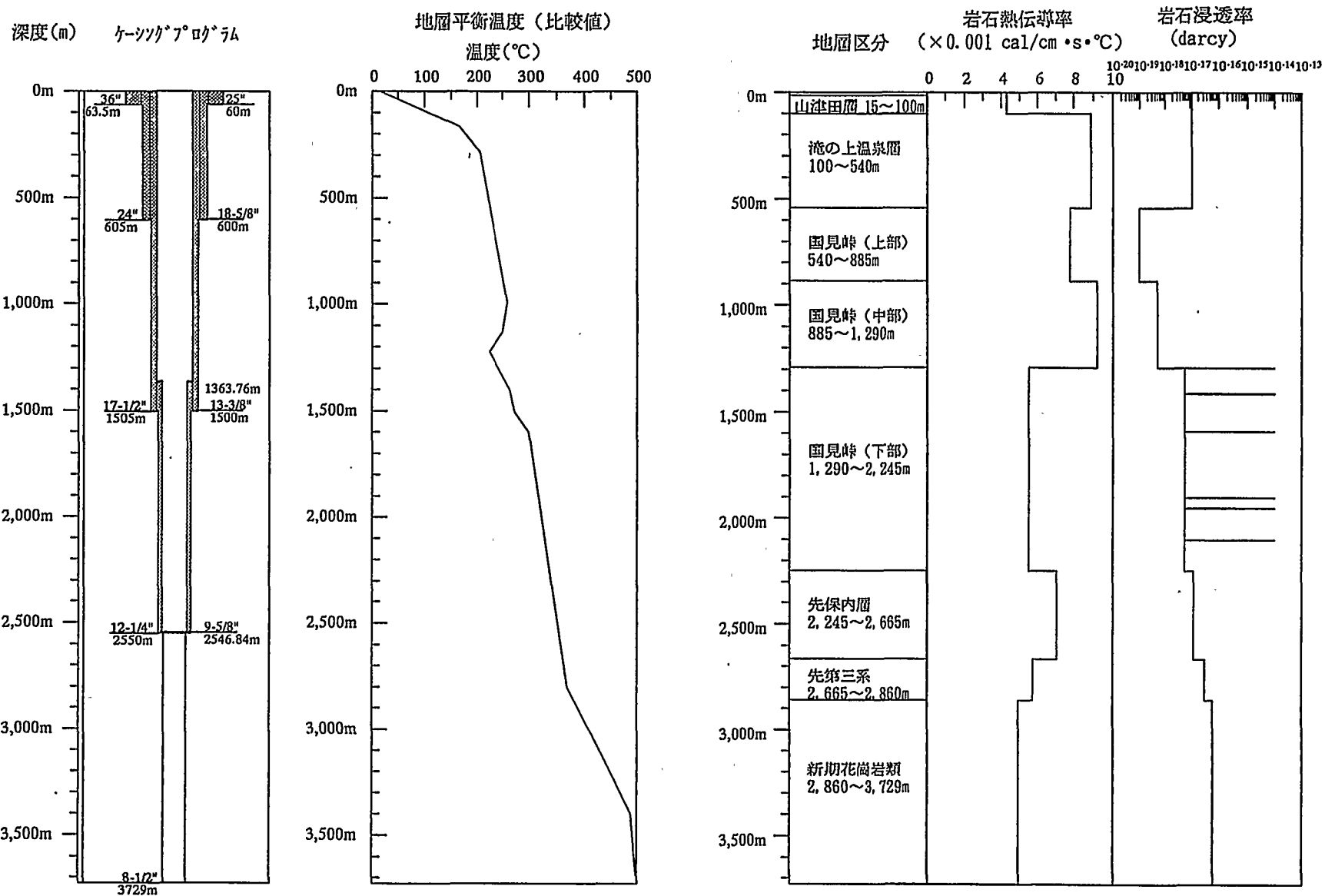
温度解析システムMWDTEMP2により、実坑井データの入排泥水温度から地層温度を推定する精度について検討を行った。その結果、泥水温度のみを用いて計算を行った場合でも、ある程度の深度までは小さな誤差で地層温度の推定が行えることが確認出来た。また、深度増加とともに誤差が大きくなる現象が見られたが、これは排泥水温度の地層温度に対する感度が鈍くなることなどが原因であると考えられる。

(1. 5) 今後の課題

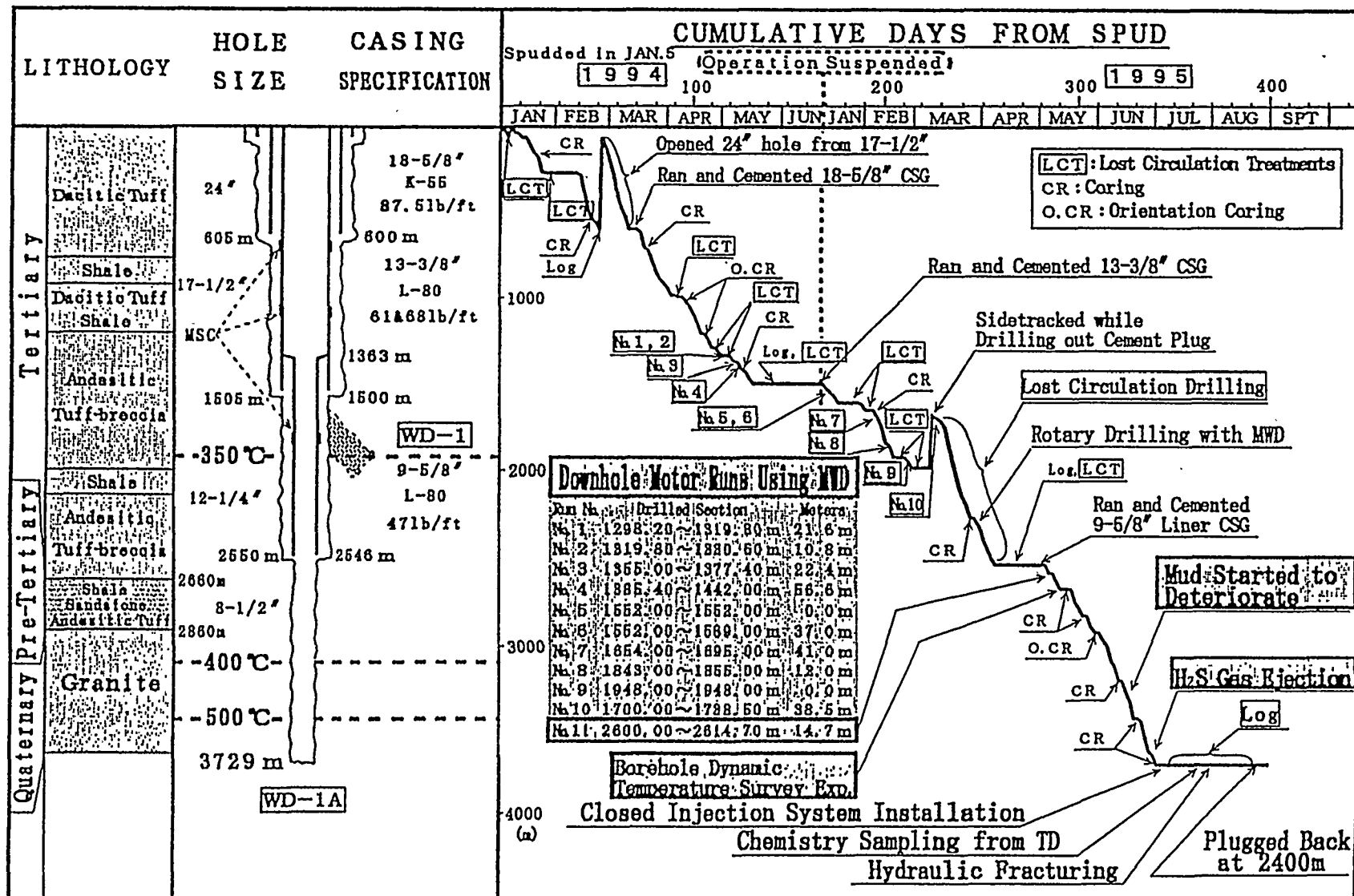
今後は、プログラムの操作性の向上とデータ入力の簡易化を行い、実用的なプログラムへの改良を行っていく。また、将来の普及を目指し、現在UNIX上で動いている3プログラムのPC化を実施する。

(参考文献)

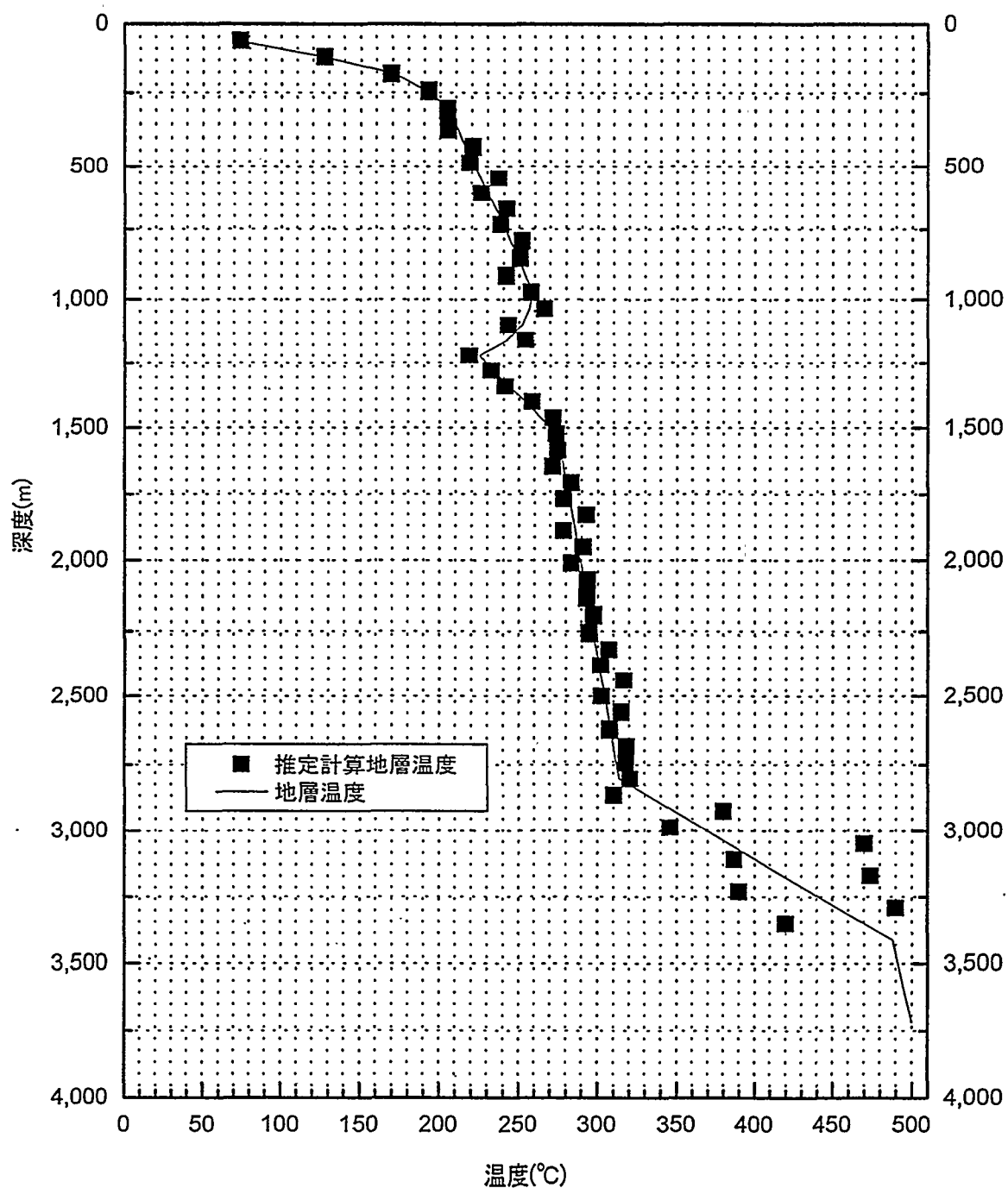
- Finsterle, S.I. (1996): TOUGH2 Users Guide Version 2.2. LBL-34581 UC600.
- Mondy, L. A. and Dudan, L. E., (1984): "Advanced Wellbore Thermal Simulator GEOTEMP2 USER Manual", SANDIA REPORT, 1984.
- Marquardt, D.W. (1963): "An algorithm for Least square Estimation of Nonlinear Parameters, "SIAM J. Appl. Math., 11, 431-441.
- Saito, S., Sakuma, S. and Uchida, T. (1996): The experience of drilling into 500 °C formation in NEDO WD-1A well, Kakkonda, Japan. Proceedings 8th International Symposium on the Observation of the Continental Crust Through Drilling, 322-327.
- White, S. P. (1995): Multiphase nonisothermal transport of systems of reacting chemicals, WATER RESOURCES RESEARCH, Vol.31, NO.7, PAGES 1761-1772.



第3.4.2-4図 インバージョンによる地層平衡温度の推定計算に使用した坑井データ一覧図
(地層、ケーシングプログラム、地層平衡温度(比較値)、岩石物性値)



第3.4.2-5図 インバージョンによる地層平衡温度の推定計算に使用した葛根田WD-1a井の掘削履歴 (Saito et al., 1996)



第3.4.2-6図 インバージョンによる地層平衡温度の推定計算結果

(2) 圧力解析システム

将来開発が予定されるセンササブによって取得される坑井掘削中の圧力データを利用して逸水層の透水性評価を行うために、「地熱井における逸水対策技術の研究開発」において過去に開発されたプログラム（MRPL ; Multiple Rate Power Law）をそのまま利用して、逸水発生時及び逸泥掘時に逸水層の透水性を評価するシステムの基本設計を検討した。

(2. 1) 圧力トランジェントデータの取得に関する検討

通常、掘削中に逸水が起こるとその規模により、逸水対策が講じられる。また、状況によっては、逸水層がそのまま生産層として生かせる場合等に逸泥掘を行う場合もある。従って、掘削時に逸水層の透水性の規模を把握することは重要である。過去に実施された「地熱井における逸水対策技術の研究開発」の成果として、次の手順により逸水層の透水性の評価が可能である。すなわち、

掘削中に逸水ゾーンに遭遇する



揚管（ただし、管内まで揚管されるかどうかは逸水の規模により判断される）



逸水検知装置（圧力・温度・スピナ検層装置）降下



泥 水 循 環



逸水検知装置（圧力・温度・スピナ検層装置）による
逸水深度・逸水量測定



循 環 ス ト ッ プ



逸水検知装置（圧力・温度・スピナ検層装置）による
圧力フォールオフデータ取得



MRPLによるフォールオフデータの解析

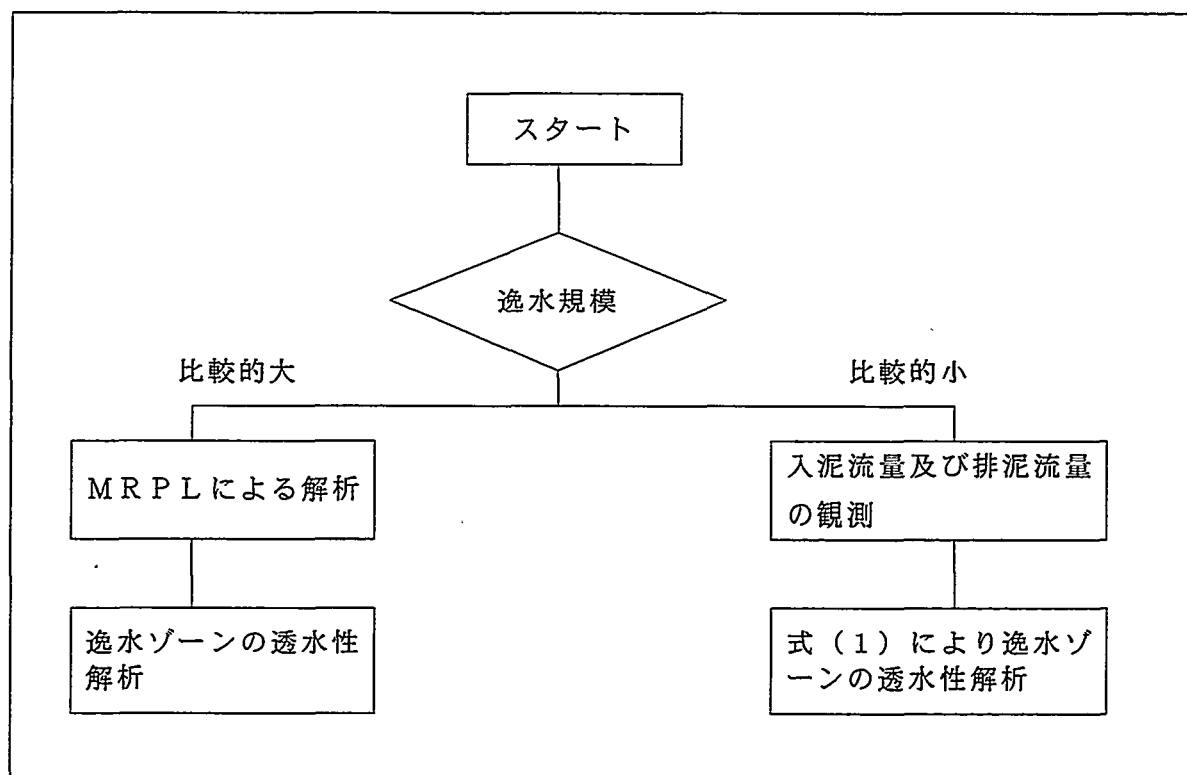


透 水 性 の 評 価



逸水対策エキスパートシステムによる逸水対策判定

今回、このシステムのうち、逸水検知装置の代わりにセンササブにより逸水発生と同時にデータを取得することで、揚管→逸水検知装置の降下・測定の手順を省き、逸水発生と同時に、より迅速に逸水層の評価を行うことが可能になる。（ただし、センササブには逸水検知装置のような、スピナセンサは付いていないため、逸水層の正確な深度検知が必要な場合は、逸水検知装置を降下する必要がある。）第3.4.2-7図に今回の逸水判定の概念フロー図を示した。



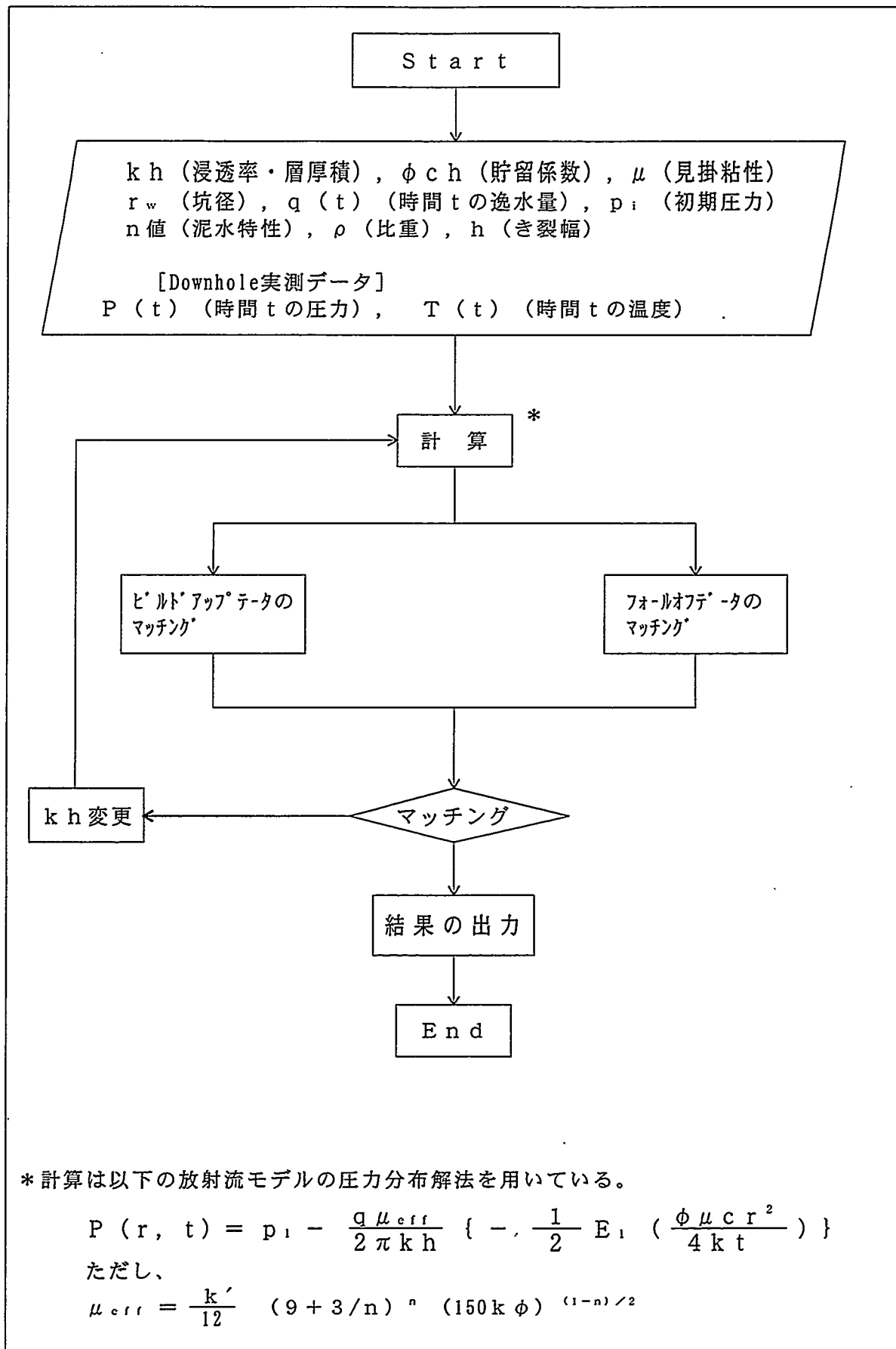
第3.4.2-7図 逸水判定のフローチャート

(2.2) MRPLプログラムの概要

開発されたプログラムは、貯留層モデルとしてラジアルフローモデルを使用しており、圧力ビルドアップやフォールオフのデータ、すなわちトランジェント状態を解析するためのものである。ただし、流体に泥水を想定し、粘性流体を扱うことが可能になっている。粘性流体の流動特性は、Power Lawモデルを使用している。第3.4.2-8図にプログラムのフローチャートを示す。

(2.3) 今後の課題

センササブの開発開始と同時に、開発を開始する予定である。



第3.4.2-8図 圧力・流量解析プログラムのフローチャート

第 III 編

今後の課題

第 1 章 平成 8 年技術開発成果のまとめ

1. 1 全体開発設計

検知装置（坑底装置、地上装置）及び解析システム全体の設計、各項目の調整の一環として、長距離ループ試験に関する調査を実施した。更に、最新の MWD システムと関連する掘削技術の調査を実施し、スペリーサンドリリングサービス社の最新 MWD、Honeywell 社の高温用電子装置等に関する最新情報をとりまとめた。また、海外調査（長距離ループ試験装置、高温デバイスの現状調査）を実施して、詳細を検討した。

1. 2 検知装置の開発

1. 2. 1 坑底装置

ゾンデを構成するマッドパルス発生装置、坑底信号処理装置、モード切替スイッチ及び傾斜情報センサ（方位、傾斜、装置内温度センサ）について次の共通する改良設計を行い、実機相当を製作して高温高圧下での作動試験を行った。

- ・各単体毎及び複数の組合せ要素での高温における安定した動作の確認
- ・一層の省エネルギー化
- ・耐振動・耐衝撃性能の向上

ゾンデ各単体要素の固有の開発成果を列記する。

（1）ゾンデ

（1. 1）マッドパルス発生装置

（1. 1. 1）マッドパルス発生弁

- ・構造の簡素化及び部品の一体化を図るためにスピア・ポントと一体型の実機相当のマッドパルス発生弁を製作した。
- ・耐振動・耐衝撃性能確認試験を行い異常のないものを開発した。
- ・泥水による摩耗の影響を確認した。

（1. 1. 2）マッドパルス発生弁駆動装置

- ・実機相当機を製作した。
- ・軸シール試験を行い安定した性能を得ることができた。
- ・接点スイッチの構造様式を決定し安定した性能を得ることができた。
- ・耐振動・耐衝撃性能確認試験を行い異常がないことを確認した。

（1. 1. 3）マッドパルス発生弁駆動装置制御装置

- ・実機相当機を製作した。
- ・耐振動・耐衝撃性能を向上させるために基板のトレイに取り付る間隔を45mmとした。
- ・基板単体での耐振動・耐衝撃試験を行い安定した性能を確認した。

(1. 2) 坑底信号処理装置

- ・実機相当機を製作した。
- ・電子部品のうちCPUは高温動作寿命改良のために耐熱電子部品確認試験で性能の良好なものを採用した。
- ・回路構成としてCPU、発信回路及び温度補正回路との通信部を改良した。
- ・方位計を利用してゾンデの回転の出力検出を行うために温度補正部からの信号で回転状態を検出する機能と循環スイッチの出力を監視してON/OFFの頻度から循環の有無を検知するソフトウェアを組み込んだ。
- ・耐振動、耐衝撃対策として基板のトレイへの取り付け間隔を70mm以下とした。
- ・耐振動、耐衝撃試験により性能を確認した。

(1. 3) モード切替スイッチ

(1. 3. 1) 回転スイッチ

- ・機械的な方式では安定した性能を得ることができなかった。
- ・掘削中に方位計のXまたは、Yの1軸成分の出力が変化すること利用し、坑底信号処理装置により回転を検知する方式を設計した。

(1. 3. 2) 循環スイッチ

- ・傾斜センサの感度を利用し、ゾンデー体型での流体励振による振動レベルを坑底信号処理装置で確認する方法を設計、製作した。
- ・耐熱性を高めるために高温動作が安定なオペアンプを採用した。
- ・性能確認試験を行い安定した性能を得ることができた。

(1. 4) 傾斜情報センサ

(1. 4. 1) 方位センサ

- ・実機相当機を製作した。
- ・温度ドリフト、ゼロ点シフト、X、Y、Zの3軸のばらつきを補正するためのデータを取得した。
- ・耐振動、耐衝撃試験により性能を確認した。

(1. 4. 2) 傾斜センサ

- ・実機相当機を製作した。
- ・傾斜センサにはサーボ型加速度計を用いた。
- ・温度ドリフト、ゼロ点シフト、X、Y、Zの3軸のばらつきを補正するためのデータを取得した。
- ・耐振動、耐衝撃試験により性能を確認した。

(1. 4. 3) 装置内温度センサ

- ・実機相当機を製作した。
- ・ダイオード型の温度センサ採用し性能を確認した。

- ・出力増幅回路には動作安定度の高いオペアンプを使用した。
- ・耐振動、耐衝撃試験により性能を確認した。

(1. 4. 4) 温度補正回路

- ・実機相当機を製作した。
- ・電子部品のうちCPUは高温動作寿命改良のために耐熱電子部品確認試験で性能の良好なものを採用した。
- ・回路構成としてCPU、発信回路及び温度補正回路との通信部を改良した。
- ・耐振動、耐衝撃対策として基板のトレイへの取り付け間隔を70mm以下とした。
- ・耐振動、耐衝撃試験により性能を確認した。

(1. 5) 電源

(1. 5. 1) 電源

- ・ゾンデ全体の耐熱リチウム電池の必要数量を確認した。
- ・耐振動、耐衝撃試験により性能を確認した。
- ・高温環境下で50時間の動作を満足する見通しを得た。

(1. 5. 2) 電源安定化回路

- ・実機相当機を製作した。
- ・高温域での負荷依存性を改良するために出力駆動部のトランジスタの前段にリーク電流補償回路を追加した。
- ・耐振動、耐衝撃対策として基板のトレイへの取り付け間隔を50mm以下とした。
- ・耐振動、耐衝撃試験により性能を確認した。

(1. 6) ハウジング及び外部付帯装置

(1. 6. 1) ハウジング

a. 外筒

- ・実機相当機を製作した。
- ・外径をφ44.4mmとした。
- ・材質は非磁性で高温時の強度劣化が少ないMonel alloy K-500 とした。
- ・耐熱、耐圧性能を確認した。
- ・タンデム・バレルとの嵌合方式を外周からのネジ止め式から全体をネジ込む方式とした。
- ・組立を容易とするために回転型コネクタを製作した。

b. タンデム・バレル

- ・実機相当機を製作した。
- ・耐熱、耐圧性能を確認した。
- ・外径をφ44.4mmとした。

(1. 6. 2) コネクタ

- ・ハウジングとタンデム・バレルとの組み立てを容易にするために回転式コネクタを設計、試作し試験した。
- ・組立作業は容易であったが十分な性能を得ることができなかった。

(1. 6. 3) 外部付帯装置

a. スピア・ポイント

- ・パルス発生弁と一体型とした実機相当品を製作した。
- ・吊下揚収装置にあった形状とした。

b. セントラライザ

- ・実機相当機を製作した。
- ・セントラライザ用タンデム・バレルにセントラライザ取り付け溝部を設計変更することにより動作性能を向上させた。
- ・材質は耐熱性能の高いペリリウム銅を採用した。

c. ランディング・ロッド

- ・実機相当機を製作した。
- ・外径はハウジングと同じく $\phi 44.4\text{mm}$ とした。

(1. 7) 組合せ試験

(1. 7. 1) 振動試験

- ・実機相当機の各要素を組み立て試験を行った。
- ・試験は固有振動を確認するための「振動特性試験」と実坑井の掘削中の振動データを加振し、耐久性を確認する「振動耐久試験」の2種類とした。
- ・回転コネクタが試験時に瞬断することが判った。

(1. 7. 2) 衝撃試験

- ・実機相当機の各要素を組み立て試験を行った。
- ・装置の寸法上の制限から、単体でX、Y、Zの3軸について行ったが組み合わせではZ軸のみについて行った。
- ・回転コネクタが試験時に瞬断することが判った。

(1. 7. 3) 高温試験

- ・実機相当機の各要素を組み立て試験を行った。
- ・回転コネクタが180℃以上では不通となることが判った。

(1. 7. 4) 高温・高圧試験

実機相当のパルス発生弁、パルス発生弁駆動装置、パルス発生弁駆動装置制御装置を組み立て試験を行った。

(1. 7. 5) 高圧ループ試験

- ・実機相当機の一体型ゾンデの試験を行った。
- ・傾斜センサ、装置内温度センサの性能を確認した。

(1. 8) 実機相当試作

- ・実機相当機の一体型ゾンデを試作した。
- ・全長が12,705mmとなった。
- ・実機相当機の概要が明確となり、ハンドリング要領が明確になった。

(2) 電子部品耐熱性確認試験

- ・DIプロセスのFPGAの耐熱性能の確認を行った。
- ・高安定性のICの耐久性能を確認した。
- ・大容量コンデンサの性能確認を行った。

(3) 実験装置

- ・高温高圧試験装置の製作、据付を行った。
- ・ゾンデを用いて性能確認試験を行った。

1. 3 地上装置の開発

(1) 実験解析プログラム

- ・実験解析プログラム（ポンプ・ノイズ除去及び坑底情報デコード化プログラム）の改良設計を行った。
- ・より一層の操作性の向上を図った。

(2) インターフェースプログラム

インターフェースの改良を検討した。

1. 4 解析システムの開発

1. 4. 1 坑跡管理支援システム

平成7年度までに開発した計画・表示部の操作性の向上、及び地表で測定されたデータ（深度、ビット荷重、トルク等）を取り込むためのシステムの改良の基本設計を実施した。

①計画・表示部については、表示機能の追加（ケーシング深度／口径、逸水深度／逸水量、フラクチャ面と坑跡の交点位置）並びに、細部の操作性の向上を行った。

②地表で測定されるデータ（マッドログデータ）については、市場に出回っているマッドログシステムの出力フォーマットを調査し、ほとんどのシステムがWITS（Wellsite Information Transfer Specification）フォーマットに対応しているため、これを採用することにした。

1. 4. 2 坑井評価支援システム

温度解析部の操作性の向上のためのシステムの改良を実施した。すなわち、地層平衡温度の自動予測機能の精度向上と上述のマッドログシステムのWITSフォーマットに対応した測定データの自動取り込み部分を改良した。更に、平成7年度までに掘削された深部地熱資源調査井WD-1a井の掘削中のデータを基に温度解析部の精度向上の確認を実施した。

また、圧力解析部の基本設計を実施した。具体的には、過去にNEDOの逸水検知装置の解析システムの一部として開発された泥水等の高粘性流体での浸透率・層厚積(kh)を求めることが可能なプログラム”MRPL”を本圧力解析システムに組み込むための基本設計を実施した。

1. 4. 3 総合動作試験

解析システムの総合動作試験の一環として、深部地熱資源調査井WD-1a井（岩手県）の過去の掘削記録を基に、坑跡予測部の作動試験を実施した。

また、10月より掘削された深部地熱資源調査井WD-1b井で取得されるデータを加えて、掘削管理支援システム（坑跡表示部・坑跡計画部・掘削予測部）、坑井評価支援システム（温度解析部）の動作確認試験を実施した。

第2章 今後の課題

2. 1 全体開発設計

- ・実坑井試験実施に向けて、全体調整を行う。
- ・海外の最近技術動向調査を行う。

2. 2 検知装置

2. 2. 1 坑底装置

- ・実機相当品ゾンデを実坑井試験を行い耐熱、耐振動・衝撃性能を確認する必要がある。
- ・実坑井試験で確認する各構成要素の課題を列記する。

(1. 1) マッドパルス発生装置

(1. 1. 1) マッドパルス発生弁

- ・掘削深度によるパルス波の減衰の影響を実坑井を用いて確認する。
- ・泥水によるパルス弁の摩耗を実坑井を用いて確認する。
- ・スリーブに掘管への固定要領を実坑井を用いて確認する。

(1. 1. 2) マッドパルス発生弁駆動装置

パルス弁駆動軸のシール部の許容漏れ量を実坑井を用いて確認する。

(1. 1. 3) マッドパルス発生弁駆動装置制御装置

高温下での延命化を図る。

(2) 坑底信号処理装置

- ・モード切替スイッチ機能の性能を実坑井を用いて確認する。
- ・一層の小型化を図る。

(3) 傾斜情報センサ

(3. 1) 方位センサ

- ・実坑井を用いてセンサの性能を確認する。
- ・回路部の一層の小型化を図る。

(3. 2) 傾斜センサ

- ・実坑井を用いてセンサの性能を確認する。
- ・回路部の一層の小型化を図る。

(3. 3) 装置内温度センサ

- ・実坑井を用いてセンサの性能を確認する。
- ・回路部の一層の小型化を図る。

(3. 4) 温度補正回路

回路部の一層の小型化を図る。

(4) 電源

(4. 1) 電源

実坑井を用いて使用時間を確認する。

(4. 2) 電源安定化回路

実坑井を用いて性能を確認する。

(5) ソンデ及び付帯装置

(5. 1) ソンデ

- ・耐熱、耐圧、耐振動、耐衝撃性能を実坑井を用いて確認する。
- ・櫓下から櫓内へのハンドリングを実坑井を用いて確認する。

(5. 2) 付帯装置

(5. 2. 1) スピア・ポイント

吊下揚収機能を実坑井を用いて確認する。

(5. 2. 2) セントラライザ

吊下揚収時に掘管内壁との摺動に伴う摩耗量を実坑井を用いて確認する。

(5. 2. 3) ランデング・ロッド

実坑井のミュール・シュー・スリーブと嵌合を確認する。

(6) 電子部品耐熱性確認試験

- ①電子部品の耐熱性確認試験を行い、ソンの一層の耐熱性向上のためのデータを取得する必要がある。
- ②生産中止、あるいはモデルチェンジとなり入手が不可能となる部品があるため、代替品を取捨選択して性能を確認する必要がある。
- ③DIプロセスのFPGA (Field Programable Gate Array) の耐熱性確認を行い回路の一層の小型化を果たすためのデータを取得する必要がある。
- ④大容量コンデンサを引き続き検索すると共に等価な性能を構成するための代替部品の性能を確認する必要がある。
- ⑤1997年から生産開始にはいる米国Honeywell社製の一連の高温仕様電子部品の耐熱性を確認する必要がある。

(7) 実験装置

実坑井試験を目途とした動作確認試験を行うために各種の治具を製作する必要がある。

2. 2. 2 地上装置

ゾンデの実機相当品を実坑井を用い耐熱、耐振動・衝撃性能を確認するために以下の性能確認を行う必要がる。

(1) 実験用解析プログラム（ポンプ・ノイズ除去及び坑底情報デコード化プログラム）

- ・パルス波受信用圧力トランスデューサ、マッド・ポンプのストーク検知用近接スイッチ、コンピュータを含めた計測システム等を実坑井を用いて性能確認をする。
- ・実坑井での使用を目途とした計測システムの小型、軽量化を検討する。

(2) 解析システムとのインターフェース

実坑井試験を行い解析システムとのインターフェースを確認する必要がある。

2. 3 解析システムの開発

2. 3. 1 坑跡管理支援システム

- ・地上装置とのインターフェースの最終調整を行う。
- ・実用化に向けて、P C化を図る必要がある。

2. 3. 2 坑井評価支援システム

- ・実用化に向けて、P C化を図る必要がある。
- ・圧力解析部については、センササブの開発状況と平行してプログラム開発を行う。

資料 1 : 使用する W I T S フォーマット

**WELLSITE
INFORMATION
TRANSFER
SPECIFICATION**

(WITS)

SECTION 1 : INTRODUCTION

Introduction

The WELLSITE INFORMATION TRANSFER SPECIFICATION (WITS) is a multi-level format used for the transfer of a wide variety of wellsite data from one computer system to another. It is presented as a recommended format by which both Operating and Service companies involved in the Exploration and Production areas of the Petroleum Industry may exchange data in either an online or batch transfer mode.

The format offers an easily achieved entry point, with increasingly flexible higher levels. At the lower levels, a fixed format data stream is employed, while, at higher levels, a self-defining customizable data stream is available. Since each level is based on earlier levels, the format provides a clear upgrade path to greater capability by building onto existing software.

In a general sense, a WITS data stream consists of discrete data sets (Data Records), each composed of a related group of fields (Data Items). Each data set is generated independently of other data sets and each has a unique trigger variable and sampling interval. The rig activity usually determines which data sets are applicable at any given time and only these are transmitted. WITS also incorporates the means for a remote computer system to poll the wellsite system and change certain parameters, including the type of data transmitted and the interval for transmission.

Background

Over the years both Operating and Service companies have developed proprietary formats for electronic data exchange. When a new working relationship is established between a Service company and an Operator, modifications and testing of formats must often be made to allow the data collection and analysis systems of the two entities to communicate with one another. This sometimes leads to problem start-ups and the resulting loss of time and data. The ongoing development and maintenance of these formats represents a significant expenditure.

The cost and complexity of format matching and modification has often led to a reluctance on the part of some Operators to get involved in this type of service, and a great deal of rig data, which could be extremely useful in evaluating rig performance, in monitoring and controlling drilling, and in formation evaluation while drilling, is often not collected or transmitted.

In attempt to resolve this information transfer problem, the Rig Instrumentation and Measurement (RIM) subcommittee of the International Association of Drilling Contractors (IADC) formed a task group, the Information Transfer subcommittee.

ISO MODEL LAYERS		WELLSITE INFORMATION TRANSFER SPECIFICATION (WITS)
7	APPLICATION	<i>NON WITS</i>
6	PRESENTATION	<pre> PRE-DEFINED RECORDS MNEMONICS } BIDIRECTIONAL DIALOGUE </pre>
5	SESSION	
4	TRANSPORT	<pre> } NON WITS } ERROR DETECTION ERROR CORRECTION ENCRYPTION PHYSICAL SYNCHRONIZATION </pre>
3	NETWORK	
2	DATA LINK	
1	PHYSICAL	

Figure 1.2 Relationship of WITS to the ISO/OSI Model

APPENDIX A : WITS PRE-DEFINED RECORDS

This appendix contains details of the 25 WITS "Pre-Defined" records. The content and format of these records has been fixed for use in levels 1 and 2 of WITS although there is no reason that they should not be used at higher levels.

NOTES

The following representation codes are used in the Pre-Defined Records:

Identifier	Rep Code	Description
A	65	Alphanumeric
L	73	32 bit 2's complement signed integer
S	79	16 bit 2's complement signed integer
F	128	32 bit IEEE single precision floating point

Examples of the format of representation codes 65, 73 and 79 may be found in the LIS handbook (Reference 2). Code 128 is an extension of LIS to enable the use of the more widely accepted IEEE format. See Appendix G for more information on the format of this representation code.

For each data item, a long mnemonic and a short mnemonic are given. It should be noted that only the short mnemonic may be used in Data Format Specification records while either may be used in other circumstances.

The transmission intervals for Pre-Defined records are specified by the Operator prior to the start of service. At levels 2 and above, these transmission intervals may be changed by the Receiver through the use of Session Dialogue Commands (See Section 4).

RECORD # 1 : GENERAL TIME-BASED

Logical Record Identifier (RID): 151

[TIME] Transmit at a specified time interval (secs).

Item	Variable Description	Mnemonic		Rep Code	Byte Length	Units	
		Long	Short			Metric	FPS
1	Well Identifier	WELLID	WID	A	16	—	—
2	Sidetrack/Hole Sect No.	STKNUM	SKNO	S	2	—	—
3	Record Identifier	RECID	RID	S	2	—	—
4	Sequence Identifier	SEQID	SQID	L	4	—	—
5	Date	DATE	DATE	L	4	—	—
6	Time	TIME	TIME	L	4	—	—
7	Activity Code	ACTCOD	ACTC	S	2	—	—
8	Depth Bit (meas)	DEPTBITM	DBTM	F	4	M	F
9	Depth Bit (vert)	DEPTBITV	DBTV	F	4	M	F
10	Depth Hole (meas)	DEPTMEAS	DMEA	F	4	M	F
11	Depth Hole (vert)	DEPTVERT	DVER	F	4	M	F
12	Block Position	BLKPOS	BPOS	F	4	M	F
13	Rate of Penetration (avg)	ROPA	ROPA	F	4	M/HR	F/HR
14	Hookload (avg)	HKLA	HKLA	F	4	KDN	KLB
15	Hookload (max)	HKLX	HKLX	F	4	KDN	KLB
16	Weight-on-Bit (surf,avg)	WOBA	WOBA	F	4	KDN	KLB
17	Weight-on-Bit (surf,max)	WOEX	WOEX	F	4	KDN	KLB
18	Rotary Torque (surf,avg)	TORQA	TQA	F	4	KNM	KFLB
19	Rotary Torque (surf,max)	TORQX	TQX	F	4	KNM	KFLB
20	Rotary Speed (surf,avg)	RPMA	RPMA	S	2	RPM	RPM
21	Standpipe Pressure (avg)	SPPA	SPPA	F	4	KPA	PSI
22	Casing (Choke) Pressure	CHKP	CHKP	F	4	KPA	PSI
23	Pump Stroke Rate #1	SPM1	SPM1	S	2	SPM	SPM
24	Pump Stroke Rate #2	SPM2	SPM2	S	2	SPM	SPM
25	Pump Stroke Rate #3	SPM3	SPM3	S	2	SPM	SPM
26	Tank Volume (active)	TVOLACT	TVA	F	4	M3	BBL
27	Tank Volume Change (act)	TVOLCACT	TVCA	F	4	M3	BBL
28	Mud Flow Out %	MFOP	MFOP	S	2	%	%
29	Mud Flow Out (avg)	MFOA	MFOA	F	4	L/M	GPM
30	Mud Flow In (avg)	MFIA	MFIA	F	4	L/M	GPM
31	Mud Density Out (avg)	MDOA	MDOA	F	4	KGM3	PPG
32	Mud Density In (avg)	MDIA	MDIA	F	4	KGM3	PPG
33	Mud Temperature Out (avg)	MTOA	MTOA	F	4	DEGC	DEGF
34	Mud Temperature In (avg)	MTIA	MTIA	F	4	DEGC	DEGF
35	Mud Conductivity Out (avg)	MCOA	MCOA	F	4	MMHO	MMHO
36	Mud Conductivity In (avg)	MCIA	MCIA	F	4	MMHO	MMHO
37	Pump Stroke Count (cum)	STKC	STKC	L	4	—	—
38	Lag Strokes	LAGSTKS	LSTK	S	2	—	—
39	Depth Returns (meas)	DEPTRETM	DRTM	F	4	M	F
40	Gas (avg)	GASA	GASA	F	4	%	%
41	< SPARE 1 >	SPARE1	SPR1	F	4	—	—
42	< SPARE 2 >	SPARE2	SPR2	F	4	—	—
43	< SPARE 3 >	SPARE3	SPR3	F	4	—	—
44	< SPARE 4 >	SPARE4	SPR4	F	4	—	—
45	< SPARE 5 >	SPARE5	SPR5	F	4	—	—

RECORD # 2 : DRILLING DEPTH BASED

Logical Record Identifier (RID): 152

[DEPTH] Transmit at a specified depth interval while drilling NEW hole (feet or meters)

Item	Variable Description	Mnemonic		Rep Code	Byte Length	Units	
		Long	Short			Metric	FPS
1	Well Identifier	WELLID	WID	A	16	—	—
2	Sidetrack/Hole Sect No.	STKNUM	SKNO	S	2	—	—
3	Record Identifier	RECID	RID	S	2	—	—
4	Sequence Identifier	SEQID	SQID	L	4	—	—
5	Date	DATE	DATE	L	4	—	—
6	Time	TIME	TIME	L	4	—	—
7	Activity Code	ACTCOD	ACTC	S	2	—	—
8	Depth Hole (meas)	DEPTMEAS	DMEA	F	4	M	F
9	Depth Hole (vert)	DEPTVERT	DVER	F	4	M	F
10	Rate of Penetration (avg)	ROPA	ROPA	F	4	M/HR	F/HR
11	Weight-on-Bit (surf,avg)	WOBA	WOBA	F	4	KDN	KLB
12	Hookload (avg)	HKLA	HKLA	F	4	KDN	KLB
13	Standpipe Pressure (avg)	SPPA	SPPA	F	4	KPA	PSI
14	Rotary Torque (surf,avg)	TORQA	TQA	F	4	KNM	KFLB
15	Rotary Speed (surf,avg)	RPMA	RPMA	S	2	RPM	RPM
16	Bit Revolutions (cum)	BTREVC	BRVC	L	4	—	—
17	Mud Density In (avg)	MDIA	MDIA	F	4	KGM3	PPG
18	ECD at Total Depth	ECDTD	ECDT	F	4	KGM3	PPG
19	Mud Flow In (avg)	MFIA	MFIA	F	4	L/M	GPM
20	Mud Flow Out (avg)	MFOA	MFOA	F	4	L/M	GPM
21	Mud Flow Out %	MFOP	MFOP	S	2	%	%
22	Tank Volume (active)	TVOLACT	TVA	F	4	M3	BBL
23	Cost/Distance (inst)	CPDI	CPDI	F	4	\$/M	\$/F
24	Cost/Distance (cum)	CPDC	CPDC	F	4	\$/M	\$/F
25	Bit Drilled Time	BTDTIME	BDTI	F	4	HR	HR
26	Bit Drilled Distance	BTDDIST	BDDI	F	4	M	F
27	Corr. Drilling Exponent	DXC	DXC	F	4	—	—
28	< SPARE 1 >	SPARE1	SPR1	F	4	—	—
29	< SPARE 2 >	SPARE2	SPR2	F	4	—	—
30	< SPARE 3 >	SPARE3	SPR3	F	4	—	—
31	< SPARE 4 >	SPARE4	SPR4	F	4	—	—
32	< SPARE 5 >	SPARE5	SPR5	F	4	—	—
33	< SPARE 6 >	SPARE6	SPR6	F	4	—	—
34	< SPARE 7 >	SPARE7	SPR7	F	4	—	—
35	< SPARE 8 >	SPARE8	SPR8	F	4	—	—
36	< SPARE 9 >	SPARE9	SPR9	F	4	—	—

資料 2 : G E O T E M P 2 に追加・変更したサブルーチン一覧

G E O T E M P 2 に追加・変更したサブルーチン一覧

SolveFlow	自由対流の方程式を解く。
SetUpJacobian	熱と流れの方程式に対するヤコビアン行列を設定する。
SetUpRow	C S R 行列に対するRow pointer arrayを設定する。
visg	水の粘性を計算する。
READRESTART	計算を前回の終了時から再開する。
WRITERESTART	計算の結果をRrestartFileに書き込む。
WellDerivs	坑井内の関数値を計算する。
fcn	坑井内シミュレータとの情報交換をする。
regions	飽和曲線上にある水（液体）に対して、温度が飽和温度を越えた場合と圧力が飽和圧力の95%以上になったときに値を返す。 (*)
region1	水（液体）の密度と内部エネルギーを、蒸気表方程式を用いて温度圧力の関数として計算する。
REGION2	蒸気の密度と内部エネルギーを、蒸気表方程式を用いて温度圧力の関数として計算する。
WELLA	坑井内温度の計算における変数値を設定する。
SetSoilProp	地層特性の変数読み込み。
SORTT	深度順に温度を並べ替える。
INITTEMP	各深度の地層初期温度を補間によって求める。 (*)
LAPACKルーチン (公開ルーチン)	行列間の操作をする。 (*)
MINPACKルーチン (公開ルーチン)	修正されたLevenberg-Marquardtアルゴリズムを用いて、m個の非線形関数の自乗の合計を最小化する。 (*)
READ (一部変更)	全ての入力データを読み込み出力ファイルに書き込む。複数の初期温度、垂直方向のグリッドサイズ、逸泥深度、量、期間等の変数読み込みが追加された。

(*) 本年度、追加・改良したサブルーチン

本書の全面または部分的な複写・転載を行う
際は、事前に当室の許可を得てください。

平成9年3月

新エネルギー・産業技術総合開発機構
地熱技術開発室

電話 03 (3987) 9461