

昭和50年度サンシャイン計画研究成果報告

坑井内測定技術に関する研究

昭和51年 3 月

工業技術院地質調査所

NEDO 図書・資料室



010018425-8

正 誤 表

修 正 箇 所	誤	正
26頁-20行	(第4.1.3図)	(第4.1.2図)
29頁-23行	ただし θ_1 : 初期温度	ただし θ_1 : 魔法瓶内初期温度
29頁-26行	$K_0 \neq 0.03$	$K_0 \neq 0.03/\text{min}$
30頁- 1行	$\theta_0 = \alpha t + \theta_2$	$\theta_0 = \alpha t + \theta_2$ ただし αt : 外部温度の時間変化 θ_2 : 外部初期温度

目 次

1. は し が き	1
2. 研究開発の必要性和技術開発の現状および今後の課題	3
2.1 研究開発の必要性	3
2.2 技術開発の現状	3
2.3 研究開発の課題	6
2.4 研究開発の進め方	7
3. 開発の長期計画と50年度の開発目標	9
3.1 検層種目の適用性	9
3.2 研究開発計画	11
3.3 機器開発についての問題点	12
3.4 委員会の組織と進め方について	13
3.5 50年度研究計画	14
4. 50年度開発機器の概要	16
4.1 P-S音波検層機	16
4.1.1 目的および原理	16
4.1.2 基本設計および予備実験	17
4.1.3 構成および仕様	21
4.1.4 まとめおよび考察	29
4.2 連続坑内流量計	42
4.2.1 使用目的と原理	42
4.2.2 使用設計の条件	43
4.2.3 構成と各部の仕様	43
4.2.4 特性実験と今後の問題点	48
4.3 耐熱・耐圧試験装置	49
4.3.1 使用目的	49
4.3.2 装置の概要	49
4.3.3 環境模擬試験装置	53

5.	5 1 年度開発種目の情報検討	5 4
5. 1	5 1 年度 P－S 音波検層機	5 4
5. 1. 1	5 1 年度製作品の概要	5 4
5. 1. 2	改良点の概要	5 7
5. 2	坑井内温度計	5 7
5. 2. 1	地熱井における坑内温度測定	5 7
5. 2. 2	測定装置	5 9
5. 3	連続坑井内圧力計	6 2
5. 4	坑井元分析システム	6 4
5. 4. 1	分析システム	6 4
5. 4. 2	測定検討項目	6 4
5. 5	現地キャリブレーター（流量計用）	6 8
5. 5. 1	装置の概要	6 8
5. 5. 2	各装置について	6 9
5. 6	現地作業機器	7 1
5. 6. 1	捲揚機	7 1
5. 6. 2	検層用ケーブル	7 4
5. 6. 3	その他の機器	7 7
5. 6. 4	検層用ケーブルの腐蝕試験	7 9
6.	総 括	8 1

1. は し が き

地熱発電は、近年新エネルギー開発の必要性の増大に伴い、サンシャイン計画の主要な柱として急進的な発展を行なうべく努力がなされている。

しかし世界的にみても、未だ他の地下資源開発の分野と比較すれば多くの未解決な技術的問題を有しているといえる。例えばわが国の地熱地帯の複雑な地質構造ならびに地下の熱構造の探査といった地質学的、地球物理学的研究を基礎とする探査技術をはじめ地熱地域における高温下の掘削技術、これらの坑井を利用し地熱貯溜層の実態究明に必要な諸情報を得る検層技術、熱水を伴う蒸気井での熱水地下還元圧入技術、地熱埋蔵量評価技術などの地熱生産技術の研究開発、さらには岩石破碎による人工貯溜層形成技術（フラクチャリング技術）などがあげられる。

これらの諸問題のうち地熱貯溜層の実態とその規模の解明を目的とする検層技術に関しては、油層工学の分野においては近年急速な発展をとげ、電気検層、電磁検層、弾性波検層、放射能検層、その他各種のプロダクション検層を駆使した油層の定量評価が実施され合理的な開発に直結している。

地熱資源の開発に当たってもまず地熱貯溜層の評価、解明にはこれらの既存の検層技術の導入と発展を計らねばならない。しかしながら地熱井においては石油井と異りはるかに高温であること、著しい熱変質作用を伴う複雑な地質構造型、蒸気または熱水の産状のちがひなどがあり、これら既存技術の移行には甚だしく困難を伴うことが多いため、地熱を対象とする適正な検層種目を選定し、測定機器と解析法の開発が強く要望されている。

このような地熱井にたいする検層技術の開発を目的として坑井内測定技術開発委員会が組織され、検層種目の選択、測定機器の開発特にフラクチャー検出技術の確立、有効層厚の決定、各種プロダクション検層技術、化学的検層の一種である坑井元分析システムの開発およびこれらの検層データの総合的解析技術等を主体とする長期計画を作成しこれら坑井内測定技術の段階的発展を推進することとなった。

昭和50年度は地熱生産井および還元井における流体の産出、流入挙動を明確にするため強く要望されている貯溜層内の亀裂検出を目標とするPSソニック検層ならびに連続坑内流量計の開発、またこれらの開発に際し耐熱耐圧性部品を試験するための高温高圧試験装置の作製を行った。

ここに、昭和50年度の研究概要と成果ならびに討議内容を述べ坑井内測定技術研究報告書とする。

地熱坑井内測定技術開発委員会委員

委員長	平 川 誠 一	東 京 大 学
委 員	伊 藤 寿 恒	石 油 資 源 開 発 (株)
"	石 黒 正 治	"
"	石 津 秀 信	帝 国 石 油 (株)
"	木 村 清	"
"	藤 原 忠 一	(株) 日 本 計 測 調 査 所
"	松 尾 岑 一 郎	日 本 重 化 学 工 業 (株)
"	神 山 幸	富 士 ポ ー リ ン グ (株)
"	坂 倉 省 吾	工 業 技 術 院
"	陶 山 淳 治	地 質 調 査 所
"	高 木 慎 一 郎	"
"	川 村 政 和	"

2. 研究開発の必要性と現状および今後の課題

2.1 研究開発の必要性

地熱資源の開発は近年急速に進められ、今後エネルギー確保の見地から急速に増大し、地熱資源開発の重要性はきわめて大きくなりつつあり、資源量としては、今後究極的に生産されることが予測されている。

しかし、資源量の生産を増大するには調査開発段階における地層の性状把握と貯溜層評価によってその成否を左右するといっても過言でないと思う。地層の性状把握と貯溜層評価を左右する技術としては、物理検層がその主体をなしていることはいうにおよばない。

元来この技術は、石油鉱業の探鉱開発において発達し、地層の性状を把握し、貯溜層を見逃さないため探鉱上非常に貢献するもので、油田開発における不可欠の技術である。そこで、地熱資源の急速な開発をするためにも地熱開発に適合した物理検層技術の開発が必要となる。

とくに、石油鉱業に見られる定量的解析へ発展させ、熱水の産出可能性の判定を行なうことを目的としなければならない。

なお、今後の早期開発の必要性の大きい我が国にとっては、地熱資源開発の世界的な勢に対処してゆくためには漸新的な方法による物理検層装置の開発が重要である。

2.2 技術開発の現状

地熱開発における坑井内測定技術は、現在、電気検層、温度検層、流量検層等が行なわれているが、方法・機器ともに従来の検層技術を応用している。

そこで「地熱坑井内測定技術開発委員会」は昭和50年6月に発足し、7回の委員会を開催し次の事項を検討した。

(1) 研究目標

地熱開発の現状における地熱環境については高温高压になっているため、将来の開発目標である高温岩体系を考え長期的にそれぞれの温度限界に対応する研究を行なう。

研究開発は、温度に関して3段階に分けて行なう。

(2) 研究計画の経緯

昭和50年度サマイン計画にもとづいて行なう。

(3) 昭和50年度技術開発

(イ) 坑壁圧着型音波検層機 (P S ソニック検層機)

地熱開発における地層の性状把握と貯溜層の評価に最も有効と考えられる装置。

(ロ) 連続流量測定装置

熱水流量測定を対象としたスピナー型流量計。

(4) 岩石速度測定結果について

音波検層機の特性和との関係で、地熱地帯のサンプルによる速度測定特に P・S 波の関係と岩盤地帯における音波検層による P 波 S 波の関係を検討。

(5) 昭和 51 年度技術開発検討

研究計画にもとづき次の計画を策定した。

(イ) 耐熱ケーブル

U.S.S 社 T Y P E 7 J 4 6 S F (4 5 0 ° F ~ 5 0 0 ° F) を基本として一部仕様変更すれば使用可能。

アーマ線材質については、ステンレス鋼線が必要と考えられる。この点、熱水での腐蝕テストを行なう。

(ロ) プロダクションログ

50 年度流量計の完成に引続き、温度、圧力を追加する。温度センサーについては、サーミスター・リニアライザー組み合わせ方式で、クリスタル発振を検討。

圧力計については、金属ベロー、差動トランス方式による絶対圧力測定と圧力計 (グラディオ・マノメーター) 方式につき検討。

(ハ) 音波検層機 (50 年度継続)

P・S 両波マイクロ・サイズモグラムをつける。(フルウェーブ、ディスプレイログ、インテンシティログ)

(ニ) 坑口測定

H₂S の検出を基本とし、人体保護、器械の腐蝕、環境汚染を考慮し、泥温、PH、カッティングガス比重、CO₂、SO₂、SO₃、ブタン、砒素の検出成分を加えていく。

逸泥の検知法としては、ピットレベルメーター開発が必要。

(6) 長期計画

(イ) 機器開発の順序

フィジビリティ・スタディー概念設計—製作の順で考え概念設計を予算化する。

(ロ) 昭和 51 年度予算要求としては、次の 4 項目提出。

- 高温用坑内温度計
- 高温用坑内圧計
- P－S ソニックログ（2 年度分）
- ケーブル（2 0 0 0 m）ウィンチ外検層装置

(ハ) 昭和52年度以降の開発計画（付表参照）

- 坑井元分析システム（ガス検出、監視装置）

昭和51年度にフィジビリティ・スタディおよび概念設計を実施し、昭和52～54年度に H_2S 、 CO_2 、PH、カッティングガス比重測定の製作にかかる。

- 電気検層（温度計付）ラテロ検層

昭和51年度両方の概念設計を実施し、昭和52年度製作。

本設計には各曲線の深度補正（インテグレーター）を加える。

- 逸泥検出装置（ビットレベルメーター）

昭和52年度試作。

- B・H サンプラー

昭和52年度フィジビリティ・スタディ

昭和53年試作。

(ニ) 機器の開発について

昭和52年度を製作の第1期目標とし、最低の機器開発を行なう。

昭和53年度以降は新しい組織で第2期目標を策定してすすめる。

◎プロダクションログ用キャリブレーター

昭和53年度よりフィジビリティを行ない昭和54年度試作とする。

◎インジェクションプロファイルの研究（ソフト）

坑井元分析システムの項で昭和53年度より3年計画とする。本件は特に還元井との関連もあり検討。

◎ソニック テレヴィューアーについて

本機の開発については大メーカーの加入が必要である。

昭和52年度より新組織のもとで検討。

◎検層車

管理面で検討。

◎第2次目標（300℃、400%）

◦耐熱ケーブルの開発

第2次目標の最も基本となる技術開発で、昭和52、53年度フィジビリティ
昭和54年度概念設計、昭和55年サンプル製作を目標。

◦検層種目の選定

昭和54年よりフィジビリティ スタディにとりかかる。

◦高温・高压容器

耐熱ケーブルのサンプル製作に合わせて昭和53年度フィジビリティ、昭和54
年度概念設計、昭和55年度製作とする。

(ホ) 岩石破碎技術の開発について

専門家で特別の委員会を作る。

2.3 研究開発の課題

地熱開発における坑井内測定は、現在方法、機器ともに従来の検層技術を応用している。

しかし、坑井仕上げの決定に重要な地層の性状把握、貯溜層評価の技術、すなわち、現在の検層技術の向上をはかるためには、地熱開発に適した検層技術を開発し、地熱検層技術を確立しなければならない。

地層の性状把握と貯溜層評価に有効な検層技術を開発するには、当面次の課題をあげることができる。

(1) 掘さく泥水の比抵抗と温度の同時測定

従来、電気検層曲線に示してある泥水の比抵抗は、試料のある温度における比抵抗であってボーリング孔内の全深度にわたる分布状態での泥水の値ではない。

ある深度における比抵抗を推定するには組成が同一のものであるとの仮定に立脚して、温度補正をすることになっている。ところが実際のボーリング孔内は単純なものでなく試料による泥水の比抵抗をもってボーリング孔内の泥水を推測することは、結果的に解析の精度を低下することになる。

したがって、解析上重要な泥水の比抵抗を連続的に測定することによって貯溜層の検知も可能となる。できれば温度と同時測定を行なうことにより解析精度を向上する。

(2) 電気検層における電極間隔の問題

電気検層はあらゆる検層の基本であると同時に、地層の性状の把握、貯溜層の評価の基礎ともいえるべき検層である。

したがって、結果の解釈には測定された値が大きく左右するので、坑径との関係を考慮した電極間隔の問題が基礎的課題である。

(3) 電気と温度の同時検層

地層の性状把握と貯溜層評価を定行的に行なう場合、同一条件で行なうことによってその精度を向上することができる。特に坑内状況が悪い場合、検層が一種目というケースがあるが、この方法では、データが一度に採れることが利点である。

(4) 坑壁圧着型音波検層機

機構上の問題については、高温高压下の対策を考慮すれば解決できるが、地熱地帯の地質状況は必ずしも一様でない。したがって、基本的課題として、強変質帯のP波・S波特にS波の検出には充分考慮する必要がある。

(5) 流量計

熱水の流動についての検出器であるが、流体内の混入物による影響のないもの考えることが基本的課題である。

以上の5項が地熱開発における坑井内測定技術開発の当面の基礎的課題といえることができる。

なお、この他の面については、長期計画のなかで逐次検討する。

2.4 研究開発の進め方

(1) 進め方

研究開発を効率的に行なうためには、研究問題が現実面で多岐多様にわたるので、その解決策として研究開発機構を確立し、十分な機能を発揮するよう各課題について責任を分担して行なうことが望ましい。

一応、次のような機構を構成し、研究開発を進める。

1. 機器の開発と実用化グループ

装置の設計を主体とした部分の研究開発、ならびに付帯事項の研究を行ない、実用化を促進する。

2. 貯溜層評価と実用化グループ

研究開発された装置によるデーターの解析を行ない貯溜層の工学的な性質を検討し、装置の実用化を促進する。

3. 調整グループ

各グループの連けいを密にするため調整を行なう。

3. 開発の長期計画と50年度の開発目標

3.1 検層種目の適用性

地熱坑井内における測定技術は最終的に少なくとも400℃、500~~℃~~の条件下で行わなければならないし、現状の石油、天然ガス坑井内の測定技術を活用することが基本となる。しかし地熱坑井は蒸気、熱水のほかに硫化水素や炭酸ガス、塩素など、高い酸性からアルカリ性まで幅広く存在し、単に耐熱だけでなく耐蝕性が機器の開発に大きな障害となる。また熱的变化による耐圧性等何れの一つをとり上げてても非常な難問題である。従って一気に全ての条件、最終条件を満足させることは極めて至難であり、ステップを踏んで研究開発を進めなければならない。

最初に石油、天然ガス井における物理検層技術が地熱井にどの程度応用できるか。また地熱貯溜岩の把握にどんな種目が適用できるかの検討から進めた。さらにボーリング工法にしても地熱坑井ではケーシングセットまでのいわゆる、上部層掘削に泥水を用い、地温の高い下部貯溜層は掘削効率からエアドリルを採用しているのが一般的な現状でドライホール内の計測条件は自ら制約を受け、またケーシングセット後の熱源評価や、還元圧入状態把握のための計測にはそれぞれの条件にマッチした適用種目の撰択が必要である。第3.1.1表に適正種目とその応用範囲を示す。

第 3. 1. 1 表 適正検層種目の摘要

坑井の種類	物理検層方法	絶対温度検層	微分型温度検層	絶対圧力検層	微分型圧力検層	バックルおよびコンティニアスフロメーター	S P 検層	坑壁接触型 S P 検層	マイクログラテロ検層	マイクログラテロ検層	デイックメーター	マイクログラテロ検層	坑壁圧着型音波検層	マイクログラ付坑壁圧着型音波検層	マイクログラ付 S 波検層	マイクログラ付坑壁圧着型 S 波検層	3 D 音波検層 (センサー坑壁接触型)	ソニックポアテレビュア	天然ガンマ線検層 (スペクトル分析付)	ガンマ線密度検層	中性子検層	中性子水分検層	液面検出用中性子検層	コアサンプリング	液体サンプリング
① 泥水掘削裸坑井	(a) 地層対比・岩石識別						○												○						
	(b) 有効層厚・亀裂検出								○									○							
	(c) リザーバーの拡がり把握									○															
	(d) 熱源検出		○																						
	(e) その他																							○	
② エアドリル掘削裸坑井	(a) 地層対比・岩石識別							○		○									○						
	(b) 有効層厚・亀裂面検出							○																	
	(c) リザーバーの拡がり判定										○						○								
	(d) 熱源能力評価		○																			○		○	
	(a) 熱源能力評価		○																					○	
③ ケーシングセッティング井	(a) 熱源能力評価																								
	(b) その他																								

3.2 研究開発計画

適正種目の中からさらに必要性の度合と開発の可能性について検討を進めた。これらの研究開発は前述のように短期間で解決させることは到底不可能で当然長年月を要するが一応の努力目標として、委員会で検討した結果、第 3. 2. 1 表の長期計画案を作成した。

第 3.2.1 表 地熱坑井内測定技術 長期計畫案

項 目	年 度	5 0	5 1	5 2	5 3	5 4	5 5	5 6
I 第1次目標 (250℃, 300 貯)								
1. 地熱貯溜層の探査機器								
(1) フラクチャー検出技術								
シー・Sソニックログ		←→						
ソニック、テレビュアー				---	←→			
(2) 有効層厚の決定								
ES ログ		---	←→			→		
ラテロ ログ		---	←→			→		
マイクロ ラテロ ログ					---	←→		
(3) 貯溜層規模推定								
3 Dディップメーター					---		←→	
γ-γ ログ					---		←→	
インダクション ログ					---		←→	
(4) 熱構造探査								
坑内ヒートフローメーター				---	←→			
2. プロダクション検層								
連続流量計		←→						
# 温度計			←→					
# 圧力計			←→					
BHサンブラー				---	←→			
現場キャリブレーター		---	(小 規 模)		(大 規 模)	←→		
3. 坑井元分析システム								
ガス検出、監視装置			---	←→				
ビットレベルメーター				←→				
インジェクション、プロファイル						---	(ソフトの研究)	
4. 検層付属装置								
ケーブル・ウィンチ			←→					
坑 口 装 置			←→					
検 層 車				←→				
5. 貯溜層評価 (ソフト)				←				
II 第2次目標 (300℃ 400 kg)								
1. 耐熱ケーブル					---		←→	
2. 検層種目の選定						---		
3. 高温、高圧試験容器							←→	

----- フィジビリティ ----- 概念設計 製作
 スタディ 解析技術の研究

3.3 機器開発についての問題点

長期計画案について本委員会で次の討議を行った。

a) Resistivity 関係

インダクションログ；

早急な必要性はあるがゾンデ本体、電極、コイル連結部、エレクトロニクス、シール関係等技術的にかなりの困難が予想されるので十分なフィジビリティスタディが必要である。

ラテロログ、マイクロラテロログ；

ゾンデ本体、リード線等耐熱材料に問題があるが最近国産で耐熱 250℃ のゴムの開発が行われたようでこれが Oリングやパットの材料としてまた耐熱ケーブルの絶縁材として使用できるなら開発の可能性があると思われる。

なおマイクロラテロ検層のエアドリルでの使用には音波検層同様センサーを直接坑壁に圧着させる方式をとらなければならない。

b) $r-r$ 密度検層

現状からクリスタル検出器、ホットマルチブライヤチューブ、リードおよびパワーセクション等耐熱的に制約され、これら部品の開発、入手とあいまってインダクション同様技術的にも十分なフィジビリティスタディが必要である。

c) 中性子水分検層

2 相フローメカニックス解析のための沸騰面、熱水-蒸気変換トランジションゾーンの把握には最も適用性があると思われるが高温下におけるエレクトロニクス部の冷却機構をはじめ、クリスタル検出器、ホットマルチブライヤチューブのエレクトロニクスの耐熱条件等技術的にフィジビリティスタディを必要とする。

d) 3D 音波検層

ドライホールではソニックボアホールテレビュアーが使用できないので音響センサーを坑壁に圧着させる Three dimension タイプの音波検層を用いる必要がある。

e) プロダクションログ関係

温度計

センサーとしてサーミスター、リニアライザーの組合せと、金属抵抗線方式のほか新しいものとして水晶共振子による発振方式がある。HEWLETT PACKARD 社のもの

は水晶発振器を用いた温度計で分解能も優れていると聞くが適用性について調査検討する。なお温度勾配の計測として温度差も必要である。

圧力計

ブルドン管方式による圧力計やベローズを用いメカニカルな方法で微差圧測定に優れたグラディオマノメーター、水晶圧電素子による方式等について性能、耐熱性について検討する必要がある。

f) 坑井元分析システム

掘削中の地質を推定できる掘進率、掘削管理上極めて重要な意味をもつ泥水比重の連続測定、逸泥状態を観測しこれを防止するビットレベルメーター等の開発も当然必要であるが地熱井では硫化水素その他の有害ガスの噴出が伴い特に人体保護、機器の損傷、環境の汚染を最も考慮する必要がある。従って H_2S 濃度の計測を主体とし CO_2 、 SO_2 、 SO_3 、メルカプタン、砒素等の成分を加え、さらに泥温、PH、カッテングス比重等を掘進深度と連動させて連続記録させることが必要である。この分析システムはリザーバーの検出にも役立つものである。検出装置としては人体の保安上即時性の監視警報装置を具備することが必要である。

g) 熱流計（ヒートフローメーター）

地表熱流測定用としては国産化されているが坑井内使用には坑壁圧着機構等の技術的な検討要素が多い。

h) 流体サンプラー

分析試料採取のため早急な開発を望まれるが耐熱性に問題がある。

i) 耐熱ケーブル

第1ステップの 250°C の使用としてはテフロン、弗化エチレンプロピレン等の耐熱性絶縁材料で可能性があるが 300°C を超えた場合、絶縁材料としては無機材料を用いる以外方法がない。

外国の文献によれば酸化金属粉末を使用した耐熱アーマートケーブルが紹介されているがこれを調査、検討する。

3.4 委員会の組織と進め方について

長期計画案に基き、本委員会で次の通り提案しこれを討議した。

a) 検層機器の開発グループとデータ解析、構造探査、貯溜層評価グループの2つに分ける必要がある。

- b) 機器の開発は53年度をメドとして製作可能なものから実用化を促進してゆく。
- c) この場合前年度に素子そのもののフィジビリティスタディが必要である。
- d) 委員の技術向上を目的とした国内外の地熱開発の研修会を行う必要がある。
- e) 地熱検層に関するPRを関係機関を通して積極的に進める必要がある。

3.5 50年度研究計画

昭和50年度はフィジビリティスタディの結果に基づき次の3項目の開発を進めた。

1) 坑壁圧着型P-S音波検層

火山岩系地層における浸透性は亀裂によることが多くこの亀裂評価にはS波検層が最も適し音波エネルギーの減退を連続記録するマイクロサismogramと組合せた音波検層を主力として初年度の開発目標とした。開発は2年計画とした。

◦坑内装置

(50年度)

- a) 音響センサー内蔵の坑壁圧着スキッド、ベース
- b) ボデー本体
- c) 坑壁圧着スキッドベース張出しドライブ機構
- d) 坑内エレクトロニクス
- e) 坑内エレクトロニクス部冷却機構

(51年度)

- a) 液体窒素ドレンチャンバー
- b) エレクトロニクスカートリッジ

◦地上装置

(50年度)

- a) 坑内供給電源パネル
- b) ΔT 振巾測定部

(51年度)

- a) 連続波形撮影装置
- b) ΔT デジタルカウンタ
- c) マイクロサismogram制御パネル

2) 連続流量測定装置

坑内流体の挙動を知ることはプロダクションログとして欠かせないものである。通常スピナー流量計が多く使用されているが高温条件を検討しコンテナスフローメーターとして開発を進めた。

◦ 坑内装置

- a) スピナー部
- b) 回転伝導部 (マグネット伝導方式)
- c) 変換部 (レゾルバ方式)
- d) セントライザー、およびケーブルヘッド

◦ 地上計測部

a) 流量計測部

整流器、増巾器、パルスカウンターを含む。

キャリブレーション装置は次年度とし、蒸気を含む2相流体の計測や新しい流量センサーについてのスタディは長期計画に加えることとした。

3) 高温高圧試験装置

地熱坑井内計測の坑内部は耐熱、耐圧条件が非常に厳しくこれらに使用されるエレクトロニクス部をはじめ絶縁、シール材料等予め同一環境でテストすることが先決でこれに適用する高温高圧試験装置の開発をとり上げた。

仕様の詳細は後述するが容積は各部品を対象として $120\text{ mm}\phi \times 500\text{ mm}$ 程度、温度 300°C 、圧力 $300\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ 、電熱による加熱方式、窒素ガスによる加圧方式を採用し本年度製作を完了した。

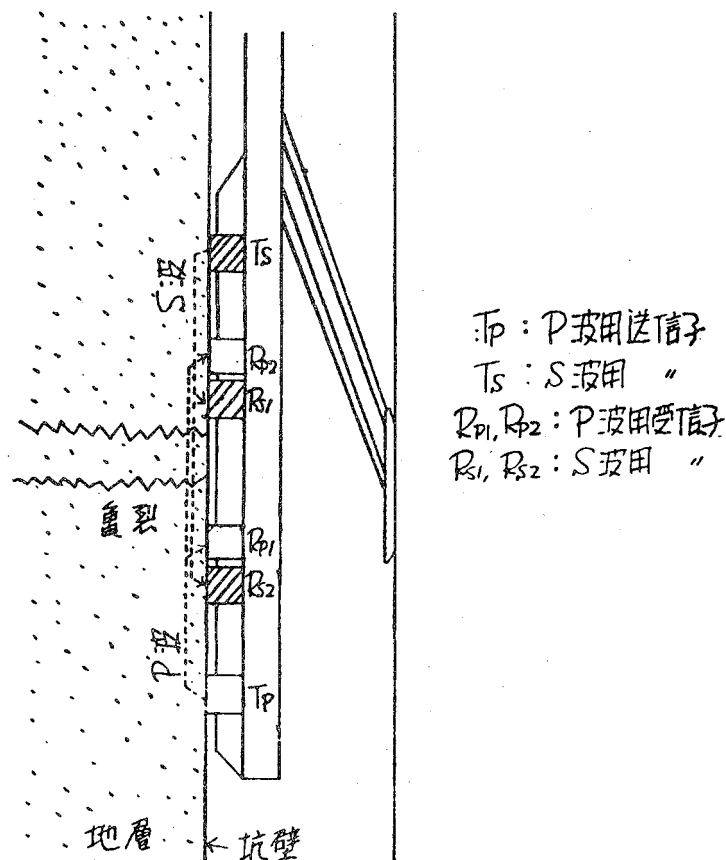
4. 50年度開発機器の概要

4.1 P-S音波検層機

4.1.1. 目的および原理

本装置は、地熱ボーリング井（泥水井、エアードリル井）内に降下して坑壁に沿った地層のPおよびS両弾性波伝播特性（速度および音波エネルギー減衰状態）を連続的に測定することにより、地層の孔隙率および亀裂を定量的に評価する目的で、設計製作されたものである。

本装置の原理は、P波用およびS波用トランスミッター（送信子）各1個と、レシーバー（受信子）各2個を、第4・1・1図に示すごとく配置し、各トランスミッターを



第4・1・1図 P-S音波検層機原理図

交互にパルス駆動し、地層を伝播した波が、2つのレシーバーに到達する時間差を求めて、P波およびS波の地層伝播時間を測定するものである。P波は、比較的均質に分散した孔隙をともなう地層においては、その地層伝播時間は、孔隙率に比例した値を

示す。しかし地層中に亀裂などが存在すると、P波の伝播時間は孔隙を反映しなくなる。一方、S波においては、亀裂部分において、そのエネルギーを著しく減少させ、見かけ上の地層伝播時間が亀裂の量に比例して遅れてくる。したがって、P波、およびS波の地層伝播時間を測定することにより、地層の孔隙率および亀裂の定量評価を行なうことができる。また、P、S両波の連続波形記録（フルウェーブディスプレイ）連続振幅輝度変調記録（インテンシティログ）の装置を付加することにより、より視覚的に地層の状況（亀裂の有無、変質帯の存在等）を、把握することが可能である。なお機器の製作は大阪電波㈱が担当した。

4.1.2. 基本設計および予備実験

1 基本設計

本装置の基本設計は、次の通りである。

1) 使用環境

最高使用温度 230℃

最高試験温度 250℃

坑径変化範囲 8 1/2" Bit ; 6" ~ 15"

最高圧力 300 Kg/cm²

2) S波を測定するため、また、ドライホールでの測定を可能ならしめるため送受信子は、スキットベースに装着し、坑壁に圧着する方式とする。

3) 送受信子の圧着は、地上からの遠隔操作で行なうこととする。

4) 送受信子を収納するスキッドベースは、金属ボデーにスリットを切ったりジットボデータイプとする。

5) 送受信子間隔（スペーシング）は、実験により決定する。

6) 送受信子としては、キュリー点（360℃）の高いジルコチタン酸鉛の電歪振動子を使用する。

7) トランスミッター駆動回路は、実験により決定する。

8) 坑内エレクトロニクスは、250℃の外気から保護するため、魔法瓶内に収納し、かつ液体窒素で強制冷却する方式とする。

2 予備実験

予備実験により、振動子駆動回路および送受信子間隔の決定を行った。

1) トランスミッター駆動回路の決定

電歪振動子の駆動には、高圧パルス（2000V以上）が必要であるが、高圧パルスを得る方法としては、次の2点が考えられる。

a) 高圧直接スイッチング方式

b) パルストランスによる方式

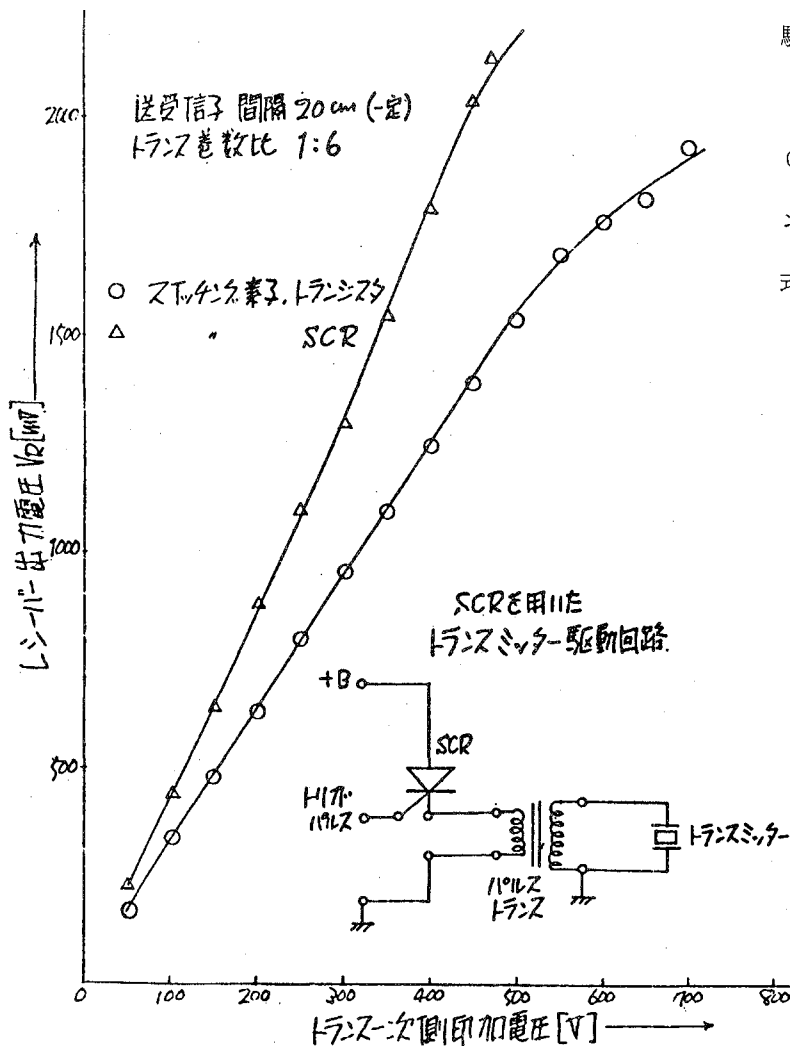
イ スイッチング素子：Tr

ロ スイッチング素子：SCR

方式a)は、高圧スイッチング素子の困難性と、ケーブルの耐圧の関係で不適合であることが判明した。

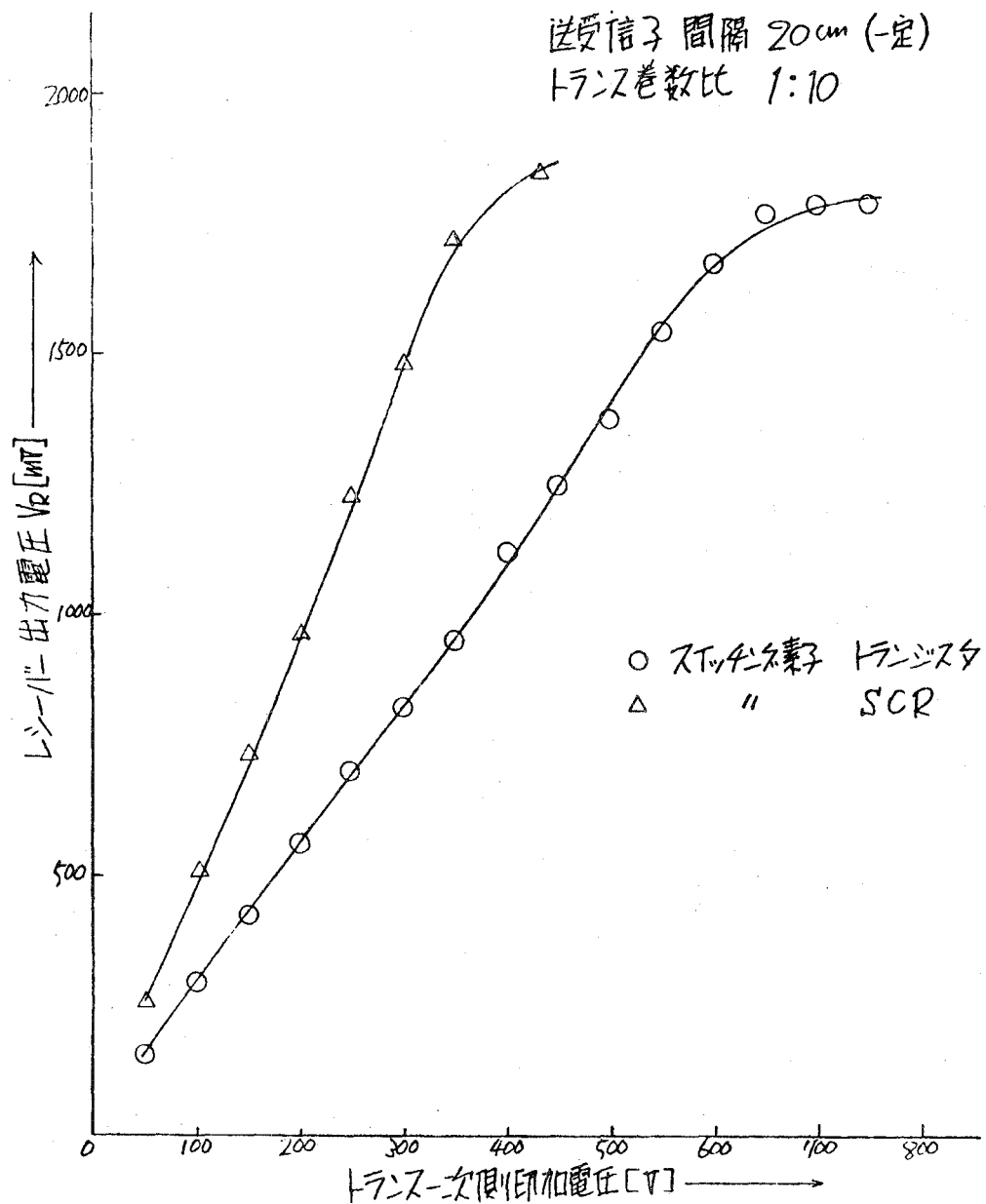
方式b)は、実験の結果充分実用になることが確認されスイッチング素子としては、SCRの方が、効率の点でトランジスタにまさっている。またトランスの巻数比をあまり大きくすることは、意味のないことが判明した。

第4・1・2図 第4・1・3図に実験結果を示す。以上の検討によりトランスミッター



駆動回路は、第4・1・2図に示すSCRとパルストランスを組合せた方式に決定した。

第4・1・2図 トランス一次側印加電圧—レシーバー出力電圧 特性曲線



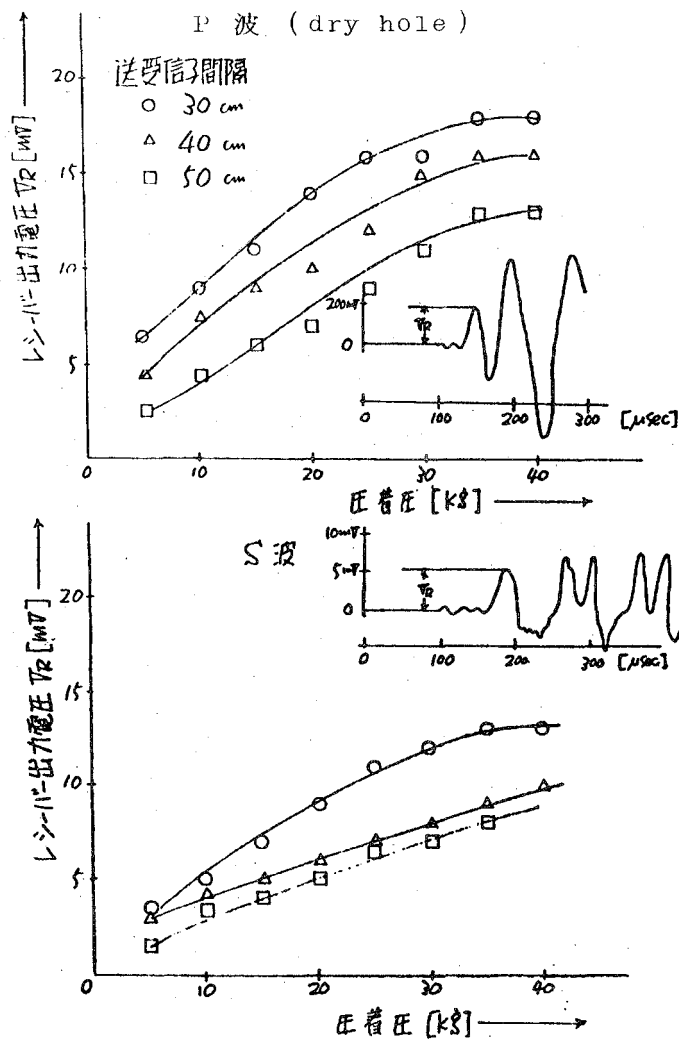
第4・1・3図 トランス二次側印加電圧—
レシーバー出力電圧 特性曲線

2) 送受信子間隔の決定

送受信子間隔を決定するため、次の5点について検討を行なった。

a) プリアンプ最小入力

坑内装置のアンプを通し、地上に送信可能な最少電圧であり、レシーバーの出力電圧に等しい。S/N比が重要な問題となるが、2 mV程度まで可能と思わ



第4・1・4図 圧着圧力ーレシーバ出力電圧 特性曲線

れる。(ここでいう電圧とは、第4・1・4図に示すごとく第1波の波高値である。)

b) トランスミッター最大印加電圧

理論的には、電歪振動子の最大歪を与える電圧まで可能であるが、実際的には、トランスの特性、耐圧によって決定される。地上からの電源の供給は、5000V以下に押さえることが好ましい。従って実際的には3000V~5000Vが限度と思われる。

c) 圧着圧力

現在のところモーターを用いて、振動子1個当り10Kg程度まで可能であるが、あまり強くすることは、坑壁保護の面からも好ましくない。

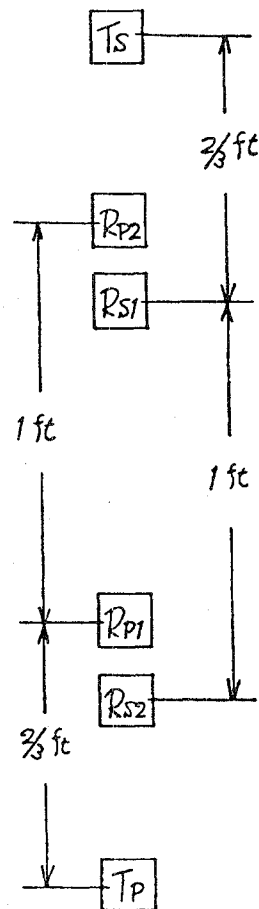
d) ボデー伝播波

テストピース(スリットを切ったアルミパイプ)で実験を行なった結果、送受信子の間隔を20cmにしても、ボデー伝播波の影響を受けないことが判明し

た。

以上の検討をふまえて、圧着圧力—送信子間隔—レシーバー出力電圧との関係を実験により求めた。実験結果を第 4・1・4 図に示す。

以上の結果より送受信子間隔は、50 cm 以下に押えなければならないことが判明



Tp: P波送信子
Rp1: " P-受信子
Rp2: " P- "

Ts: S波送信子
Rs1: " S-受信子
Rs2: " S- "

した。従って、送
受信子の間隔は、
第 4・1・5 図に示す
ごとく $2/3$ フィート
— 1 フィート — $2/3$
フィートとする。

第 4・1・5 図 P-S 音波検層機送受信子配置図

4. 1. 3. 構成および仕様

前節の基本設計および予備実験に基づき、本装置の設計、製作を行なった。本装置の全体構成図を、第 4・1・6 図に、ブロックダイアグラムを、第 4・1・7 図に示す。

1 製作品の詳細

本装置は、次の各要素に分類される。

1) 地上制御パネル

① パワーパネル

- ② アームコントロールパネル
- ③ ΔT 計測パネル
 - a) シグナル回路
 - b) タイムコントロール回路
 - c) タイムカウンティング回路
 - d) 振幅測定回路

2) 坑内装置

- ① 坑内エレクトロニクス
 - a) 4 CH プリアンプ
 - b) スタンダードパルサー
 - c) トランスミッター駆動回路 (SCR ドライバー)
 - d) リレー回路
- ② 冷却装置
- ③ ゾンデボデー
 - a) アーム張り出し機構
 - b) 送受信子収納スキッドベース

次に個々について詳述する

1 地上制御パネル

1) パワーパネル

本パネルは、ゾンデに供給する電源であり、その容量は次の通りである。

- ① 高圧直流電源 (DC. High Voltage Power)
 - ⊕ D.C. 200V ~ 450V 可変、最大 100 mA
- ⊖ トランジスタ用電源 (DC. Transistor Power)
 - ⊕ D.C. 20V ~ 100V 可変、最大 300 mA
- ⊖ リレー用電源 (DC. Relay Power)
 - ⊖ D.C. 20V ~ 100V 可変、最大 30 mA

2) アームコントロールパネル

第 4.1.8 図にアームコントロールパネルの外観図を示す。

本パネルは坑内装置スキッドベース、バックプレートの張り出しならびに閉鎖の制御を行うものである。モーター用三相交流電源 (100V, 20mA) は、三相

交流発電機等により外部より供給される。

- ④ Arm Drive (A D) - Measurement (M E A) 切換スイッチの動作説明。

A D セット時：リレー用電源から供給される電流により、坑内装置内のリレーが作動して、シリンダーポジションの表示回路およびアームドライブ回路が接続される。リレー用電源と高圧直流電源とは同一ケーブル芯線①を使用しているが両者の極性を異にしてあるため、坑内のダイオードにより、リレー回路のみ動作する。

M E A セット時：リレー用電源は切り離されるのでケーブル芯線①には、音響発信用高圧直流電源が供給され同時にアームドライブ回路が切りはなされる。

- ⑤ シリンダーポジション・インディケータ (C Y L I N D E R P O S I T I O N I N D I C A T O R) 。

スキッドベースとバックアッププレートの張り出し状況を知るもので、開および閉位置はあらかじめ地上開閉テストでチェックされる。なおこの回路は、キャリパーと共用される。

3) △ T 計測パネル

第 4・1・8 図に△ T 計測パネルの外観図を示す。

a) シグナル回路 (S I G N A L C I R C U I T)

- ① 第 4・1・9 図に本回路のブロックダイアグラムを示す。シグナル系は P 波系ロング (長スペーシング)、ショート (短スペーシング) 2 チャンネル、S 波系ロング、ショート 2 チャンネルの 2 系列、4 チャンネルからなり、それぞれは増幅された後、タイムコントロールの信号により時間プログラムされたリニエーゲートで第 4・1・12 図 (波形時間分布図) の、h のみが次段のシュミットトリガー回路 (V . B I A S E D S T .) に送られる。そこで波形は i のごとく整形され、この第 1 波が次段の R - S フリップフロップを作動させる。同一系列、すなわち P 波系ロングとショート 2 チャンネルの R - S フリップフロップの出力波形は、r となり、これの微分波形、K が合成されて最終的には波形 1 が、(この 2 つのパルスの間隔が、P 波の△ T に対応する) タイムカウンティング部に送られる。S 波ペアーも同様な動作を行なう。R - S フリップフロップは、地下から送られて来るトリガーパルス (アーミングパルスともいう。)

により、リセットされるため、その出力波形は常に j を示す。

- ㊤ 一般に P 波のシグナル上には、P 波発信時のアーミングパルスがのっている
ので、これを利用するため、エミッタフォロアーを通してタイムコントロール
部の P 波系列に送られる。

b) タイムコントロール回路 (TIME CONTROL CIRCUIT)

- ㊦ 本回路は、第 4・1・10 図のブロックダイアグラムに示す通り独立した 2 系列
の (P 波系と S 波系)、 ΔT 計測の時間制御を行なうもので S 波系も P 波系も
その動作はほぼ同じである。
- ㊧ P 波のトリガーパルスは、P 波受信系から供給され、S 波のトリガーパルス
は、坑径 (キャリバー) 信号の芯線⑦を通して地下より多重搬送されたものを
使用する。
- ㊨ P 波形のトリガーパルスを確実なものとするため、OR 回路を設けて、S 波
系のトリガーパルスとの比較を行なう。
- ㊩ 時間制御のベースはいずれも、P 波トリガー、S 波トリガー信号が基礎とな
る。(第 4・1・12 図の波形 a)
- ㊪ いずれのトリガー信号も先づ増巾整形されて O.S.M. ゲートディレー (G A T
E D E L A Y) に入れられる。ゲートディレーは、主として送信子発信直後
に発生する雑音を切るためのもので、その幅は $30 \sim 100 \mu s$ の可変となっ
ており、これの切り下りパルスが次段 O.S.M. ゲートウイダス (G A T E W I
D T H) のスタートとなる。ゲートウイダスの出力波形 g は、前述のシグナル
回路に於けるリニャーゲートの開閉をコントロールするものである。すなわち、
リニャーゲートは、第 4・1・12 図 h に示されるごとく、この信号が来たときの
み、入力信号を出力側に伝達する。
- ㊫ ΔT は地層を走行した、第 1 受信子、第 2 受信子 (P, S 波系いずれも) に到
達した波形の第 1 波の時間差を計測するものであるから、第 1 波に続いて来る
波形の乱れた反射波成分を切るため、ゲートウイダスの巾は $150 \sim 300 \mu s$
が適当である。
- ㊬ その他レコーダーキャリブレーション用の幅が $50 \sim 200 \mu s$ 程度の C A
L I B G A T E - W I D T H 回路を設ける。

c) タイムカウンティング回路 (Time Counting Circuit)

① 第 4・1・11 図のブロックダイアグラムで示すように、P 波時間計測用と S 波時間計測用の 2 系列からなるが、その動作はいずれも同じである。

② シグナル回路から送られて来る第 4・1・12 図 1 の ΔT パルスにより ΔT ゲートバイナリーは作動して、その出力波形は n となる。

③ この信号により、リニヤーゲートは開放されて 2 MHz O.S.C. により発生した標準パルスはこの時間だけ、第 4・1・12 図 P のごとくバイナリーカウンタに送られる。

④ バイナリーカウンタは、このパルスを 2 進法でデジタル計数するもので、この計数は常に ΔT に比例する。

⑤ バイナリーカウンタの出力がデジタルレコーダーに入れられる。

⑥ 2 進法のデジタル計数値は次段のラダータイプ D-A 変換器に送られて、ここでアナログ量に変換されアナログレコーダーに送られる。

d) 振幅測定回路 (AMPLITUDE MEASUREMENT CIRCUIT)

① P 波、S 波系いずれもショートまたはロング受信子に到達した第 1 波の波高値を測定するものである。

② シグナル回路で述べたごとく、アーミングパルス直後から第 1 波までの間にのっている雑音を切るため、第 1 波が来た時まで、リニヤーゲートは閉じられている。

③ このリニヤーゲートの開放は、ロング受信子の R-S フリップフロップから送られて来る出力波形、第 4・1・12 図 j の切れ下りでスタートし、次段の O.S.M. ゲートウイドスで閉じる時間をコントロールする。一般にこのゲートウイドスは、第 1 波の 1.5 倍が望ましい。

④ リニヤーゲートを通った第 1 波は次段のストレッチャーにより次のアーミングパルスが来るまで、その値を保持する。

⑤ これをアナログレコーダーで記録する。

⑥ デジタル記録する場合には、A-D 変換器に入れる必要がある。

2 坑内装置 (DOWN-HOLE EQUIPMENT)

1) 坑内エレクトロニクス

第 4・1・7 図に坑内エレクトロニクスのブロックダイアグラムが示されている。

これらは第 4・1・13 図に示されている強制冷却装置に内蔵される。冷却装置の内径は 3.3 であり全てのプリント基板はこれに挿入される。

a) 総合動作

- ① 地上から供給されるトランジスタ電源により、スタンダードパルサーは自動的に約 20 パルス毎秒の周波数で発振する。この発振信号は SCR ドライバーの S 波発信系と P 波発信系に交互に送られる。
- ② SCR ドライバーはこれらパルスに刺激されると、瞬時的にそれぞれの振動子に高電圧パルスを供給し、これら振動子を交互に振動させて音波を発射する。
- ③ S 波振動子の発振トリガーパルスはケーブル⑦を通して地上に送られる。
- ④ 各受信子の受信信号は、それぞれに直結した 4 チャンネルのプリアンプを通して (ケーブル③④⑤⑥) 地上に送信される。
- ⑤ リレー回路は、アーム張り出し時にケーブル①から供給される①直流電源で作動しケーブル④, ⑤を通し、3 PAC 電源が供給され、ケーブル⑦を通して、シリンダーポジション信号が地上に送られる。

b) 各回路の特性

① スタンダードパルサー

発振周波数は、20 パルス毎秒である。温度による周波数変化は、それほど他に影響を与えない。

② SCR ドライバー

SCR の微小電流時自己復起能力を利用した特殊高圧パルサー (第 4・1・3 図に回路が示されている。) P.S 発信子は約 10 ヘルツの間隔で交互に高圧パルスにより刺激される。S 波振動子のトリガーパルスは S 波側 (SCR 導通による電圧降下) をピックアップする。

③ 4 チャンネルプリアンプ

温度によるゲインの変動を防ぐため自動バイアス調整型とする。P 波用は、1 段、S 波用は、2 段増幅とする。また出力インピーダンスを小さくするためトランスカップリングとする。

2) 冷却装置

本装置はエレクトロニクスを金属魔法瓶に内蔵して外部熱をある程度遮断すると共に、内部を液体窒素の気化時吸熱効果を利用して冷却するものである。

a) 設計の基準

① 外部温度 230℃ 5 時間、内部温度最高 150℃

② 金属魔法びん寸法

外径：75 mm ϕ

内径：33 mm ϕ

長さ：2 m

③ 金属魔法瓶上下端に配線用リード線取出口を設ける。

第 4・1・13 図に冷却機構の概念図を示す。

b) 設計の概略

① 寸法及び詳細は第 4・1・14 図に示す通り

・液体窒素ポンペ：約 1.2 ℓ

・金属魔法瓶内圧力：MAX 40 $\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$

・ドレインチャンバー容積：約 14 ℓ

・クイックジョイント、圧力調整バルブ（流量調整）を設ける。

・液体窒素放射は金属魔法瓶内壁に均等に分散した放出口から一定の割合で放出するものとする。

3) ゾンデボデー

組立図を、第 4・1・15 図に示す。

a) アーム張り出し機構

本機構は、坑内装置降下時、ゾンデ本体に収納されているスキッドベースおよびバックアッププレートと、測定時に坑壁に対して張り出すものである。

① これらのアーム張り出し操作は、地上パネル→三相交流モータ→ボールネジ→ピストン→楔およびバックアッププレートの順に動力が伝達され、行なわれる。

② スキッドベースの張り出しは、ゾンデ本体とスキッドベース間に押し込まれる楔により、約 2 cm 張り出され、楔が抜けると、スキッドベースは、バックスプリングの伸張力によりゾンデ本体内に収納される。

③ バックアッププレートは、ピストンの降下により張り出されるが、坑径変化によるスライド分はその下部にある巻きスプリングの圧縮および伸張で吸収される。

㊟ バックアッププレートはピストンが上昇するとバックシャフトによって強制的に閉じられる。

㊤ 可動部はOリングを使用できないためステンレス金属ベローズを使用する。

㊦ モーターは油浸の圧力バランス型チャンバーに収納する。

㊩ スキッドベースを常に坑壁に圧着させるため坑径変化分は、バックアッププレートアームの伸縮で吸収する。

b) アーム張り出し坑壁圧着力計算例

㊰ 三相交流モーター

250分の1にギアダウンされている。

100V 20W

出力トルク：30 Kg-cm

回転数：5.8 rpm

㊱ ボールネジ押し出し力

$$P = \frac{2\pi \times \eta \times T}{n}$$

ただしP：押し出し力：Kg

n：ボールネジピッチ：cm

η ：ギャ効率：90%程度

T：回転トルク：Kg-cm

n = 0.4 であるから

$$P = \frac{2\pi \times 0.9 \times 30}{0.4} = 423.9 \text{ Kg}$$

㊲ バックアッププレート圧着力(P)

アーム比を1：10とすると

$$P = 423.9 \times \frac{1}{10} = 42.4 \text{ Kg}$$

㊳ 振動子面圧着力 (P_t)

振動子1個当りの圧着力は、

$$P_t = \frac{42.4}{6} = 7.11 \text{ Kg/個}$$

この値は、アーム比を調整することにより変えることが出来る。

㊴ バックアッププレート開閉時間

モーター回転数：5.8 rpm

ボールネジピッチ：0.4 cm

ピストン移動距離：4.5 cm

であるから

$$T = \frac{4.5}{0.4 \times 5.8} = 1.9 = 1 \text{ 分 } 5.4 \text{ 秒}$$

c) 受発信子収納スキッドベース

① 受発信子の配置は、第 4・1・5 図に示すごとく、上部から、S 波発信子、第 2 P 波受信子、第 1 S 波受信子、第 1 P 波受信子、第 2 S 波受信子および P 波発信子となり、それぞれの間隔は発信子-第 1 受信子間 $2/3$ フィート、第 1 受信子-第 2 受信子間 1 フィートとなっている。

② スキッドベースは、ボデー伝播波を遅らせ、減衰させるため、各受発信子間には、スリットを切る。また、スキッドベースを収納するゾンデ本体にもスリットを切る。

d) その他

高温高圧遮水は、テフロンおよび金属 O リングの 2 重方式である。

4. 1. 4. まとめおよび考察

1. 冷却装置関係

a) 坑内エレクトロニクス収納魔法瓶の温度特性を知るため、外部温度一定で内部温度の時間変化を測定した。

その結果を、第 4・1・16 図に示す。

外部温度を θ_0 一定、内部温度を θ とすると

$$\frac{d\theta}{dt} = K_0 (\theta_0 - \theta)$$

K_0 : 魔法瓶に特有な定数 ($1/\text{時間}$)

$$\text{即ち } \theta = (\theta_0 - \theta_1) (1 - e^{-K_0 t}) + \theta_1 \dots\dots\dots (1)$$

ただし θ_1 : 初期温度

となり、 K_0 を求めることにより、魔法瓶の温度変化は、計算により求められる。

第 4・1・17 図は、 K_0 を求めるために温度差 ($1\theta - \theta_01$) と、時間とを片対数でプロットしたもので、この直線の傾きより、 $K_0 \approx 0.03$ となる。

b) 外部温度が、一定の割合で変化する場合は、

$$\frac{d\theta_0}{dt} = a$$

$$\frac{d\theta}{dt} = K_0 (\theta_0 - \theta)$$

$$\theta_0 = a t + \theta_2$$

上記の微分方程式を解くと

$$\theta = a t + \theta_2 - \left[\frac{a}{K_0} - \left\{ \frac{a}{K_0} - (\theta_2 - \theta_1) \right\} e^{-K_0 t} \right] \quad -②$$

となる。

式②を用いて、実際の坑井条件下での、魔法瓶の内部温度変化を、計算した結果を、第 4・1・18 図に示す。図の斜線部分の熱量を液体窒素の気化熱で吸収してやることになる。

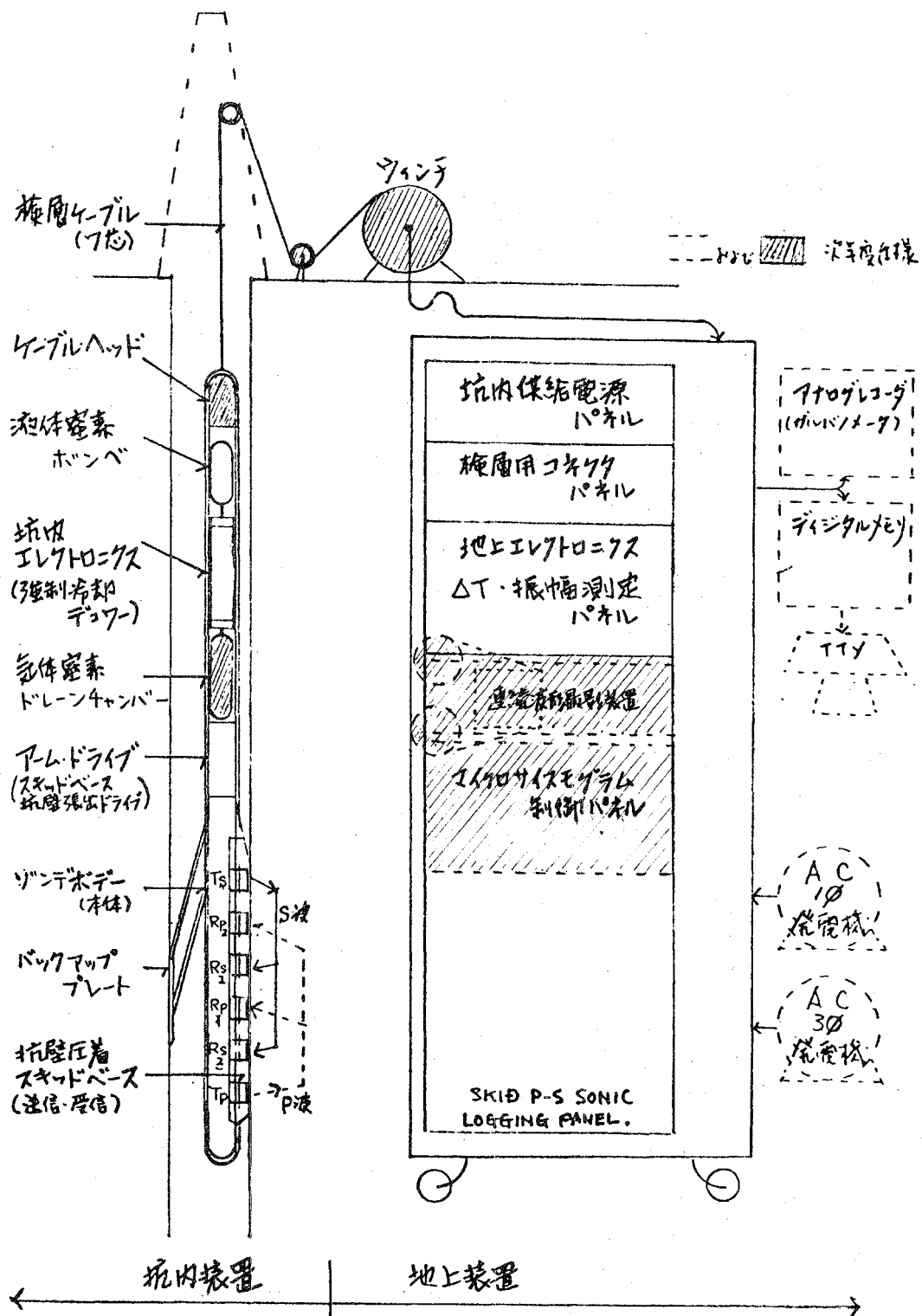
c) 第 4・1・19 図は、液体窒素ポンベの圧力上昇を知るために、常温下に放置して、時間に対する圧力変化を測定したものである。

d) 現在、液体窒素ポンベと魔法瓶は、細いパイプで接ながれている。前項の結果のごとく、ポンベの断熱効果が、魔法瓶よりもよいため、ポンベの内圧よりも、魔法瓶内の内圧の方が高くなってしまい液体窒素が、魔法瓶内に流出しない現象がみられた。これを防ぐため、ポンベ内にあらかじめ、ある程度以上の圧力を与えておくことが必要と思われる。しかし、その際の圧力調整、流量調整を、今後検討する必要がある。

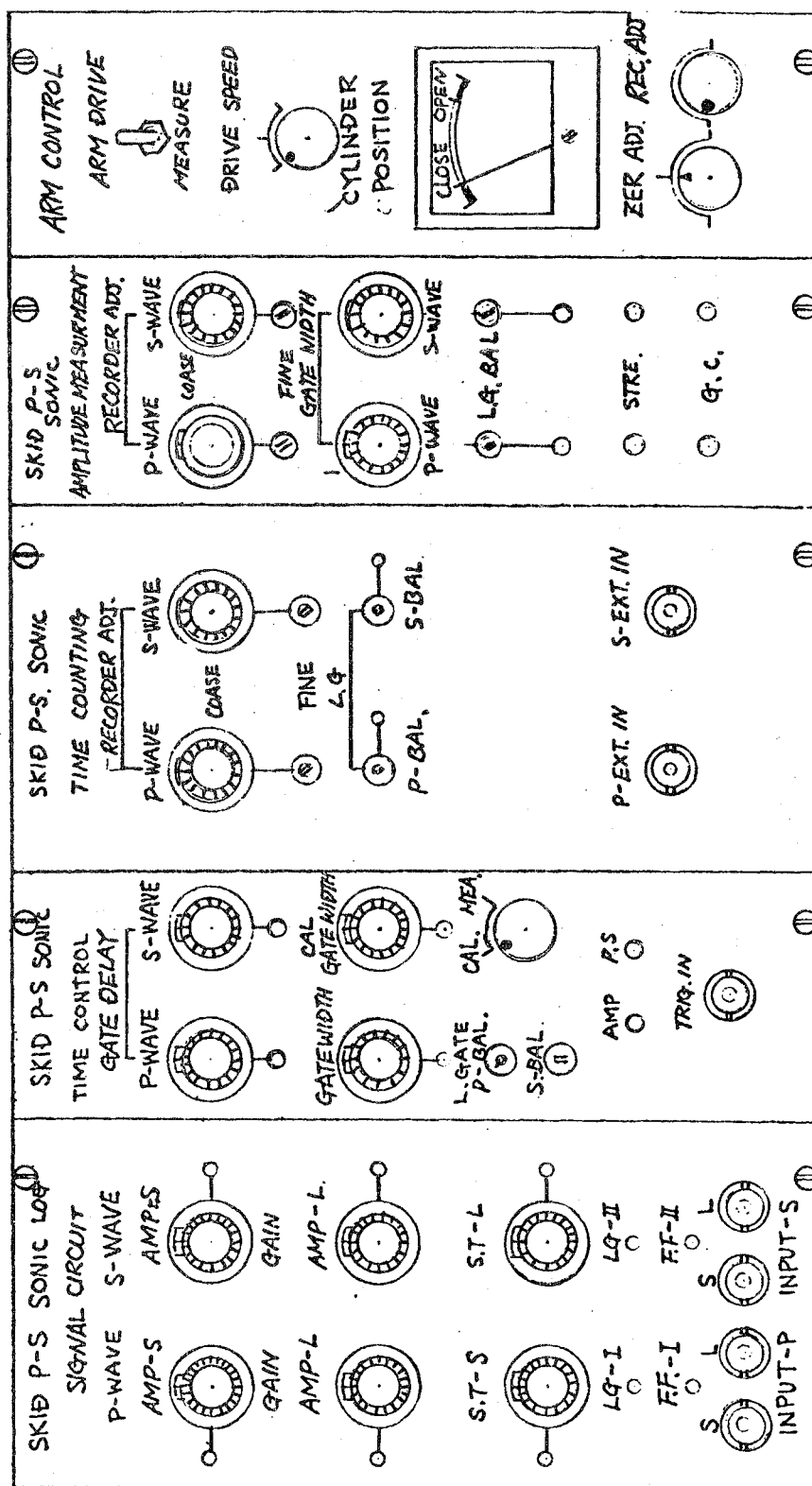
2. その他

a) より安定な、S波の検出を行なうためにS波振動子の電気-音響変換効率の改良、駆動パワーの増強を検討する必要がある。

b) P-Sソニックログの性能強化を計るため、フルウェーブディスプレイ、インテンシティログなどを行なうことが必要と思われる。

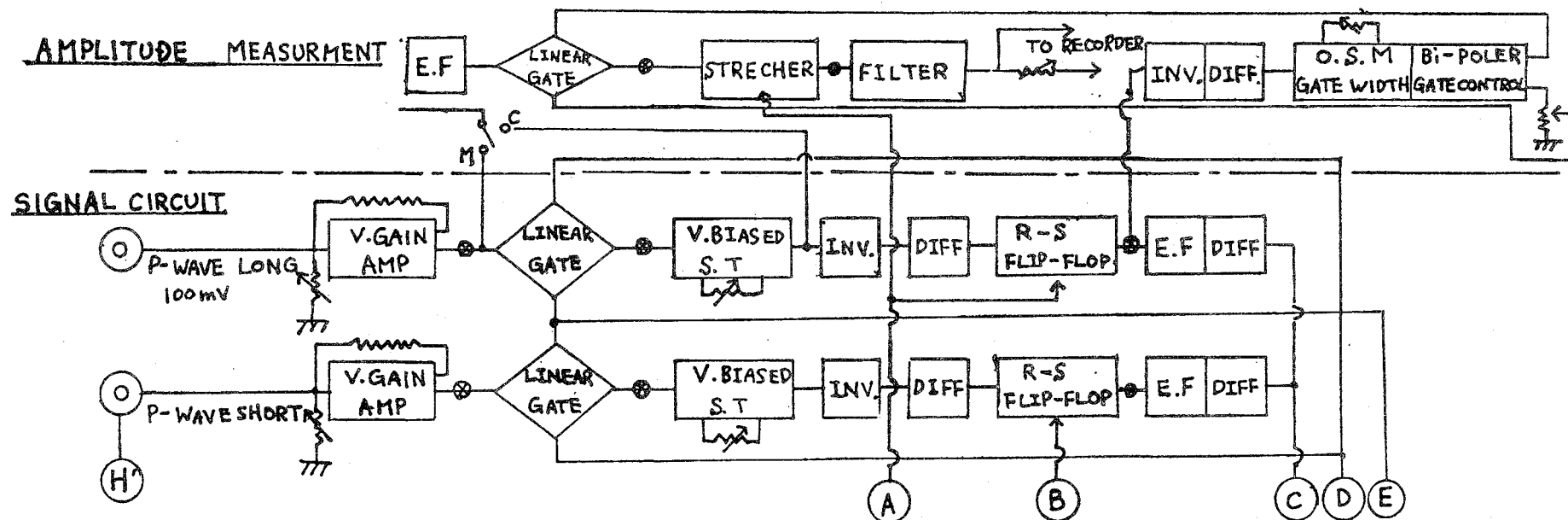


第 4 ・ 1 ・ 6 図 P - S 音波検層機全体構成図

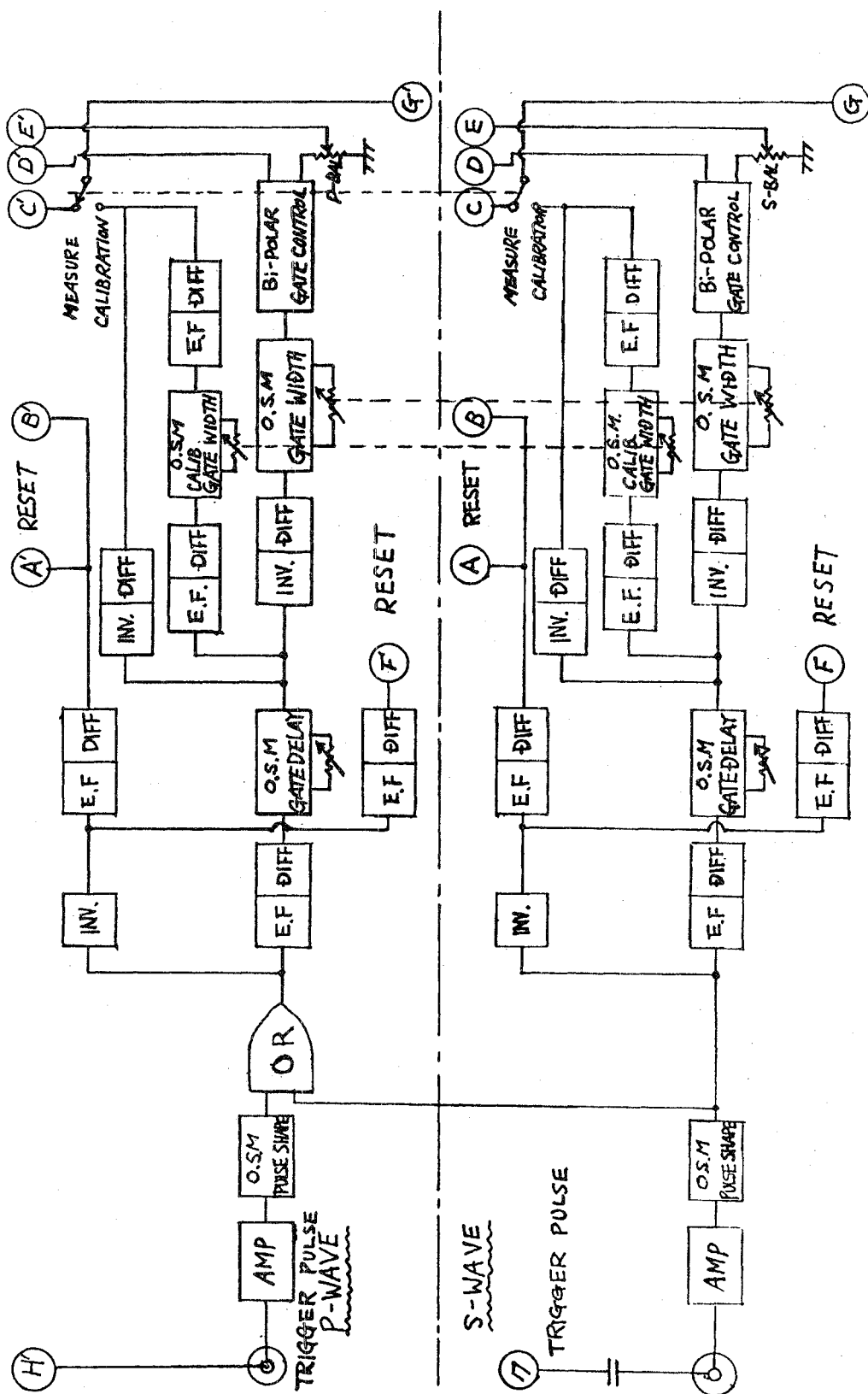


第 4・1・8 図 △ T 計測パネル外觀図

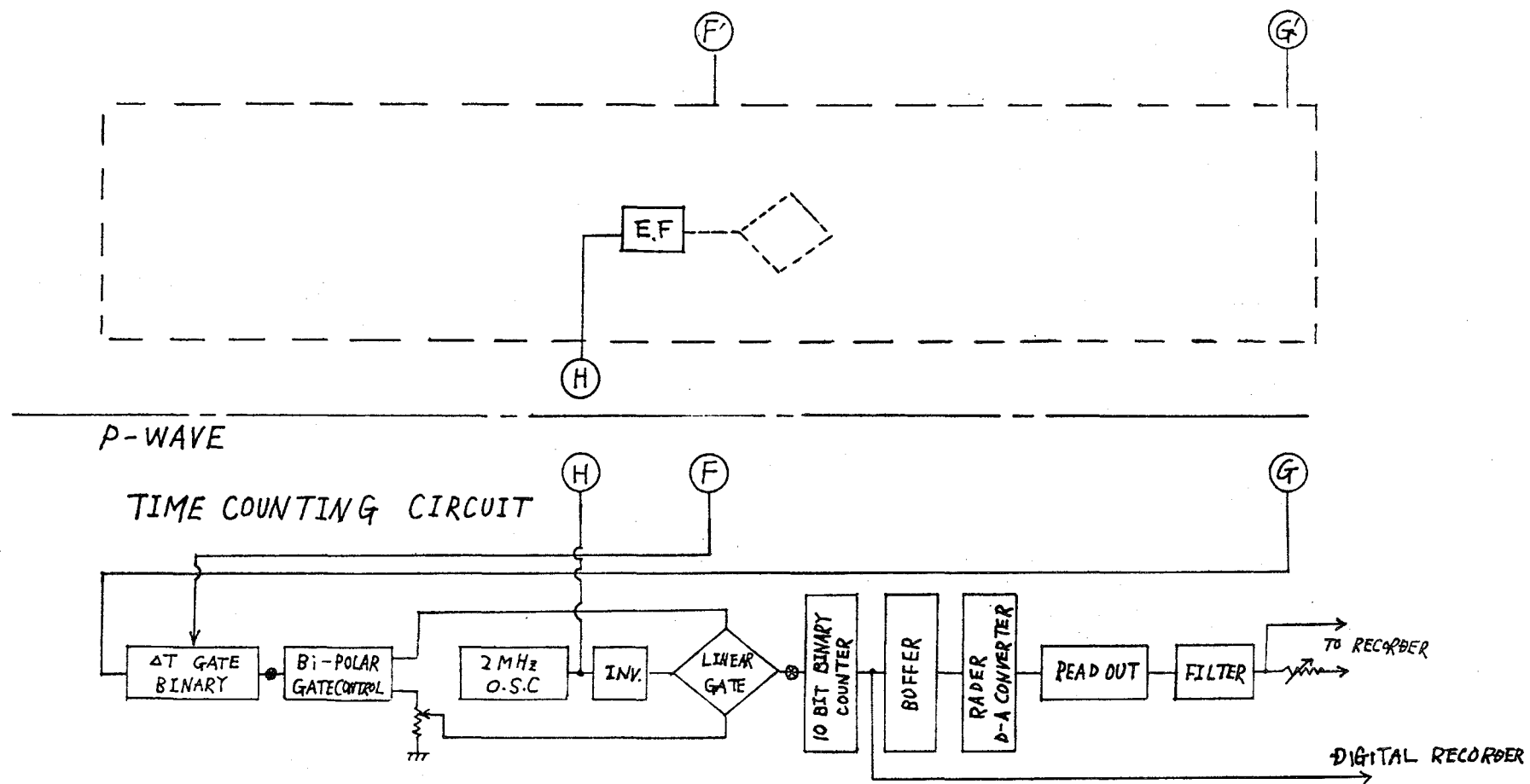
P-WAVE



第4・1・9図 シグナル回路及び振幅測定回路ブロックダイアグラム

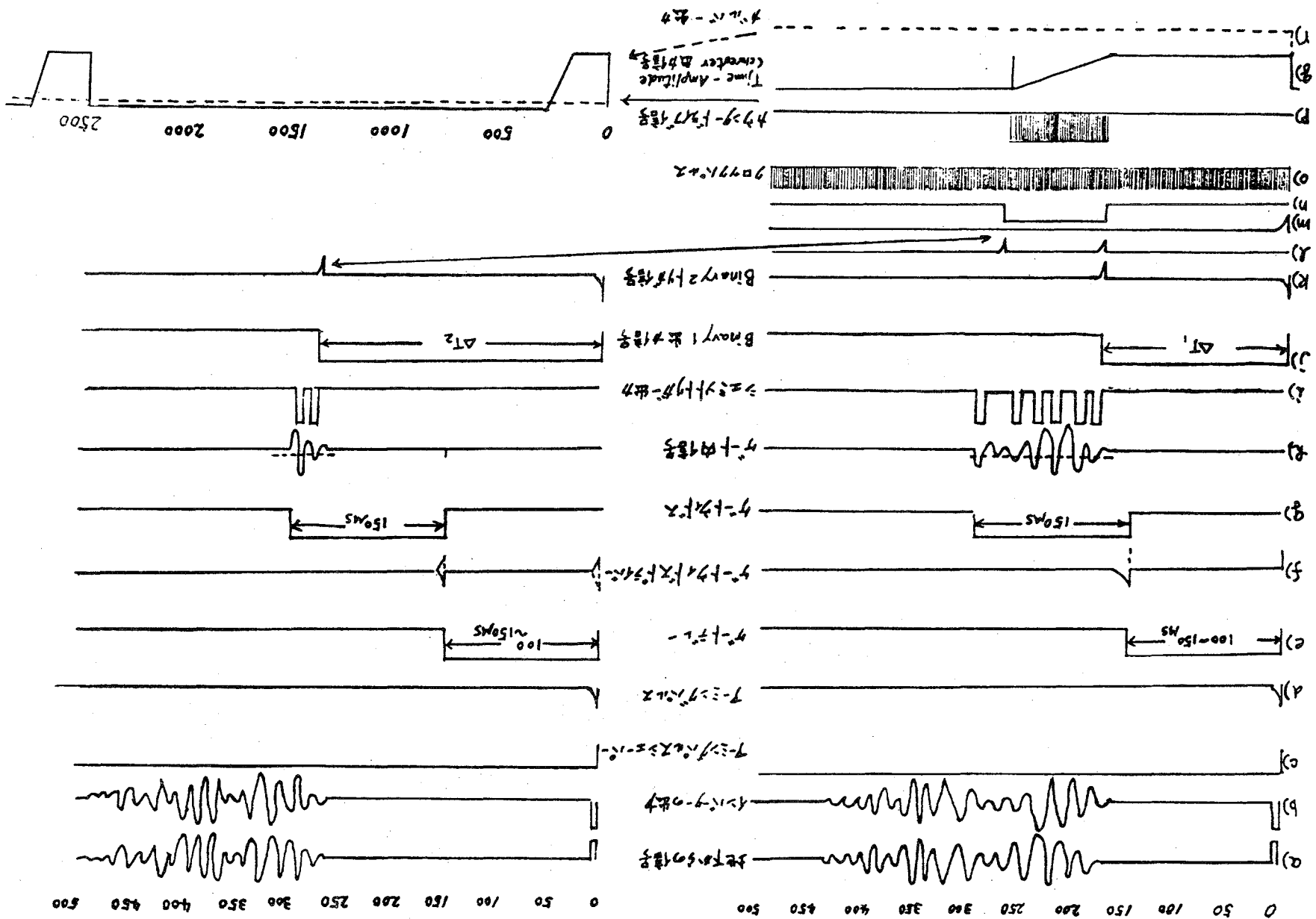


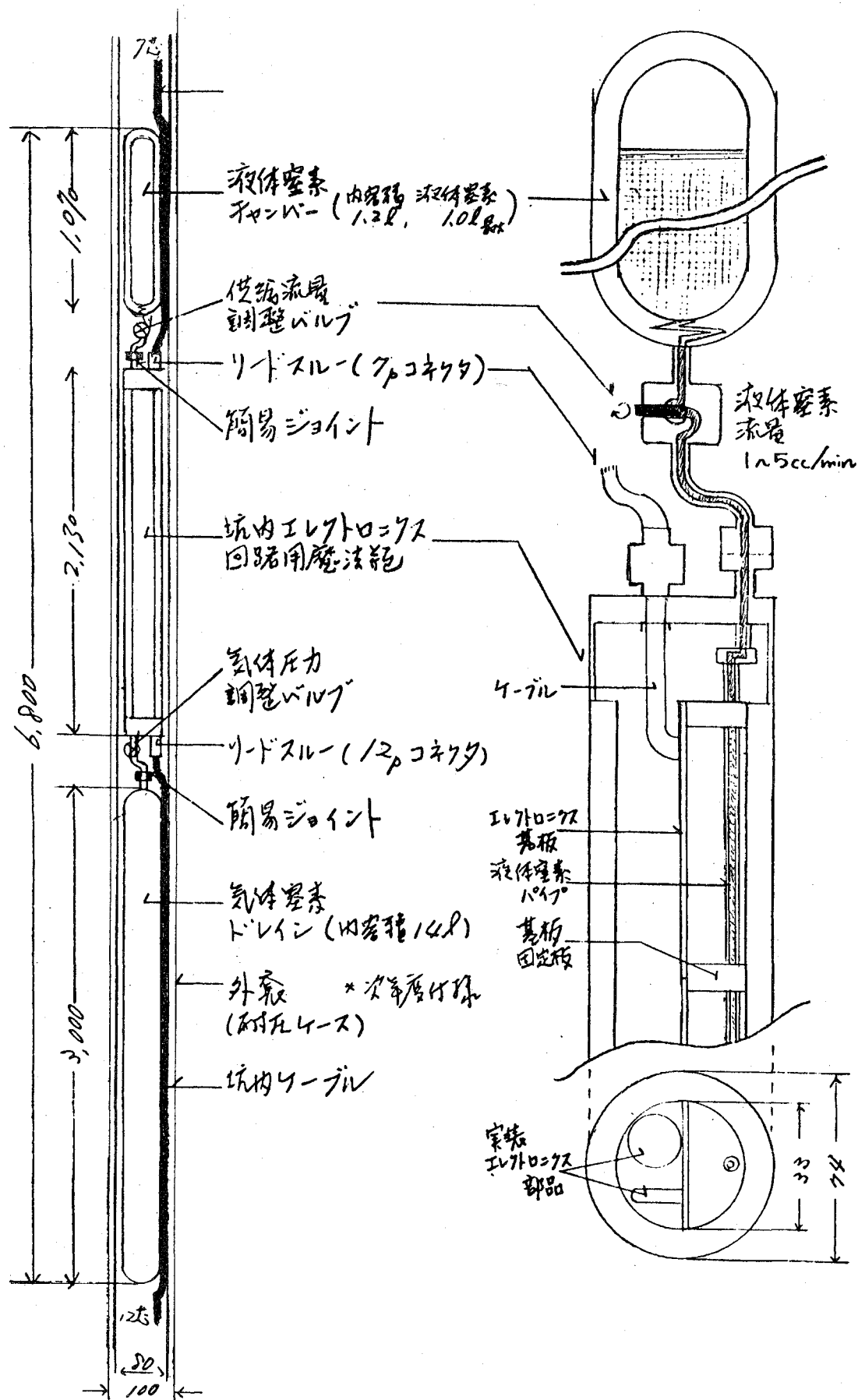
第4・1・10 図 タイムコントロール回路ブロックダイアグラム



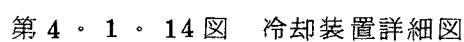
第4・1・11図 タイムカウンティング回路ブロックダイアグラム

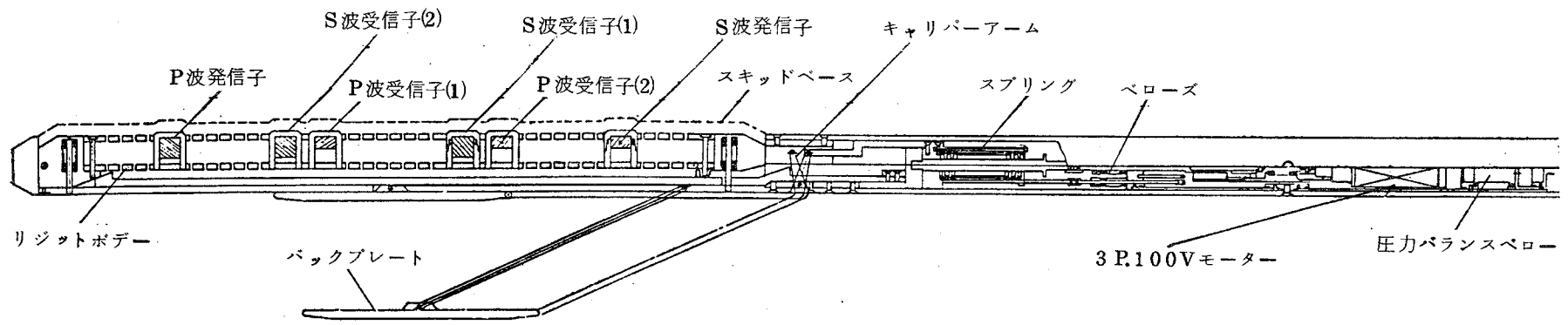
第4・1・12図 P-Sソニックスクロク波形時間分布図



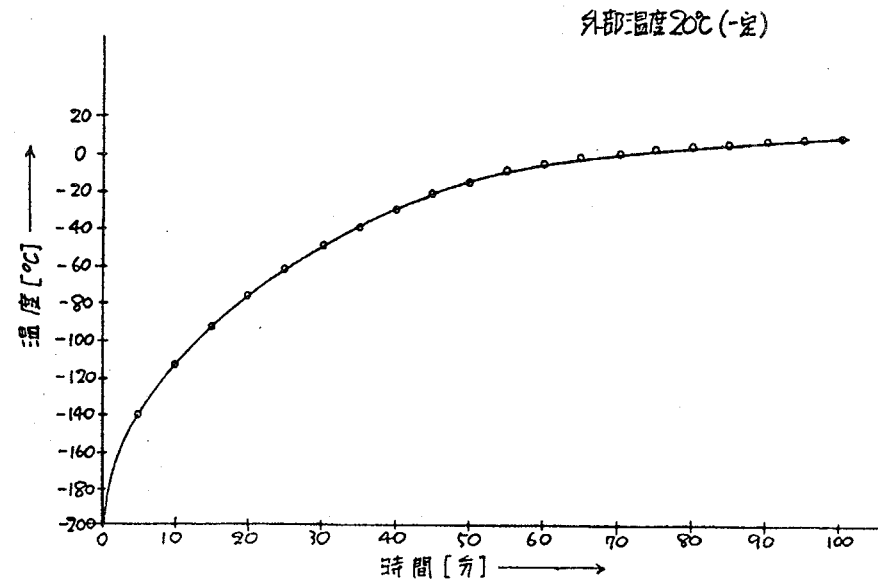


第 4 ・ 1 ・ 13 図 P - S 音波検層機冷却機構概念図

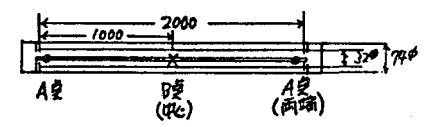
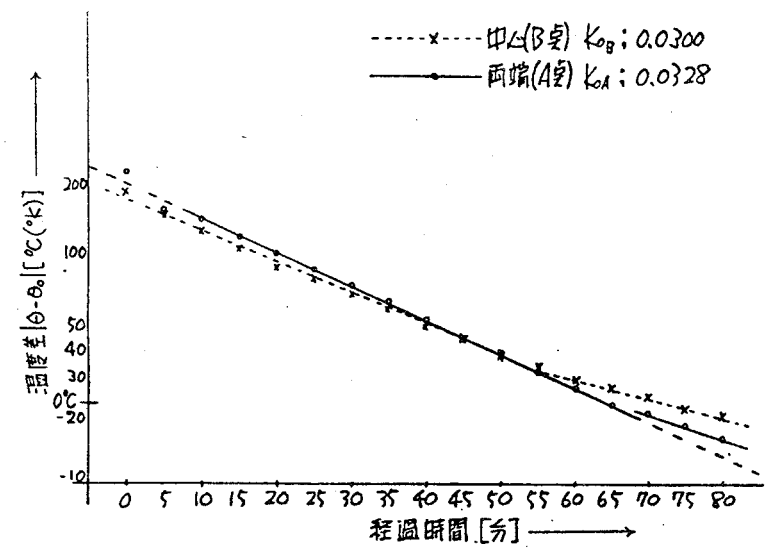




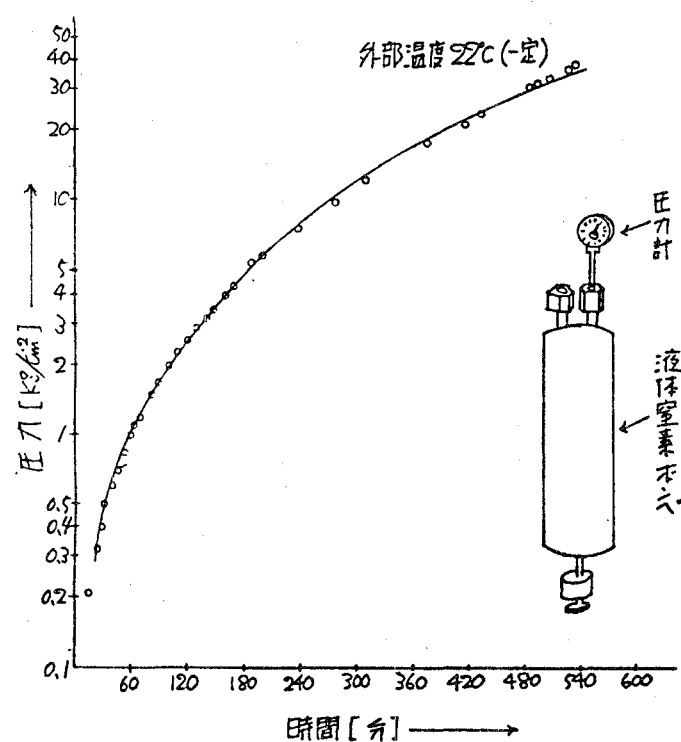
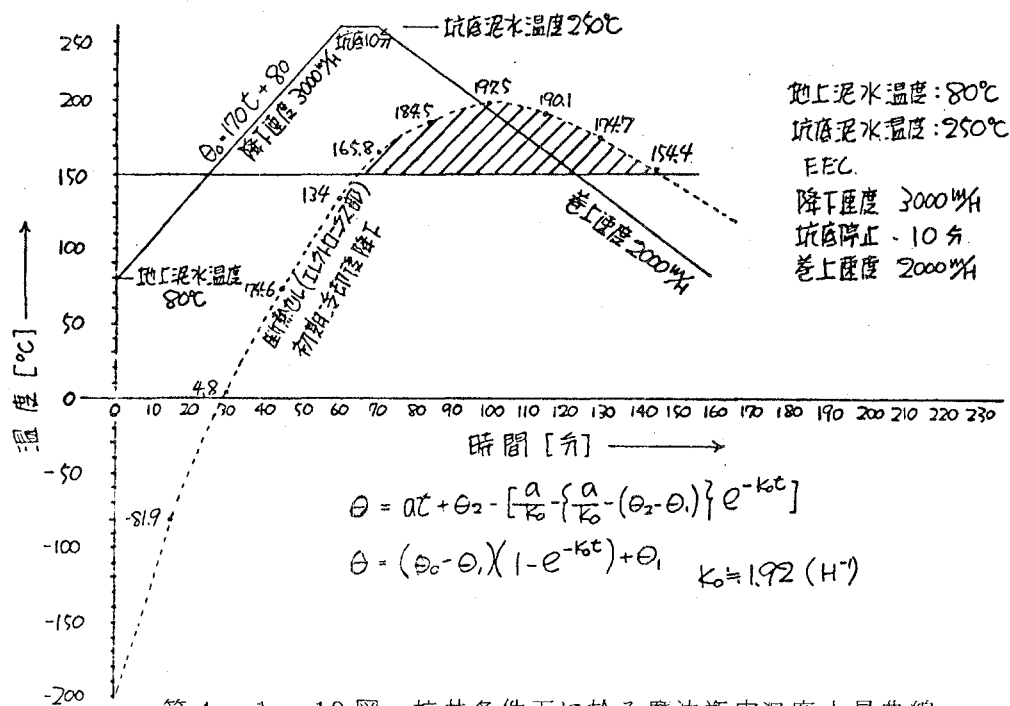
第4・1・15図 PS音波検層機ゾンデ部概要図



第4・1・16図 魔法瓶温度試験



第4・1・17図 エレクトロニクス収納魔法瓶 温度特性



4.2 連続坑内流量計

4.2.1 使用目的と原理

連続坑内流量計は、坑井内における流体の流れ（流速・流量）を連続的に観測し、その変化の状態より流体の産出層又は逸水層に関する情報を得ることを目的とする装置である。

石油・ガス井の場合と同様に、地熱井においても、

- (1) 地熱流体の産出層又は逸水層の深度と規模の決定。
- (2) 多層産出の場合、各層別産出量の適確な判定。
- (3) 還元井においては、還元の条件と還元量の決定。

などは、単に地熱生産井における有効採取又は圧入の面のみでなく今後の開発計画の上で重要な役割を果たすものである。

坑井内流量の測定には通常スピナー流量計が用いられている。これは坑井内に測定ゾンデを降上し、坑内流体の流動によって内蔵のインペラ（回転翼）を回転させ、単位時間当りの回転数（rpm）を読み取り、流速を求める。更に流速と孔径、流体密度、より流量を求める方式である。

流体が1相の場合、インペラの回転数 n と流速 v は

$$n = \alpha v + \beta$$

となり直線関係であらわされる。（ α 、 β は測定器常数） また質量流量は、

$$Q = v \cdot A \cdot \rho$$

となる。ここに

Q ：流量

v ：流速

ρ ：流体密度

A ：坑井断面積

我国における地熱井では蒸気と熱水の混合体（湿り蒸気）で産出し、これを坑口のセパレーターで分離するケースが多い。このような湿り蒸気を産出する坑井内では、ある深度に蒸発をはじめる面（フラッシュポイント）を形成しこの面を境として蒸気帯と熱水帯に分れている。したがってこのような坑井内での流体の流速は、単純な1相流体の場合と異なり複雑な流速指示となることが想定される。即ち

- (1) 蒸気帯では、深度とともに圧力増加に伴う流速の低下が考えられる。

- (2) 蒸発面附近においては2相フロー状態となり複雑な流速を指示する。
- (3) 熱水中では一様な低速となるが産出層あるいは逸水層の深度では、流速変化があらわれる。
- (4) 裸孔においては孔径の変化による流速変化を生じる。

したがってこれらの流速に変化を与える要因をデータの解析より求めれば、産出又は圧入の評価を行う上で重要な情報とすることが出来る。

4.2.2 使用・設計の条件

本器の設計に当り、我国の地熱坑井の現状より次の使用条件を定めた。

- (1) 使用環境は最高使用温度 230°C 、圧力 200 kg/cm^2 とする。
- (2) 使用孔径は4吋以上とする。
- (3) 熱水流量の測定を主とする低速型で測定範囲は $1\text{ t/h} \sim 100\text{ t/h}$ (熱水) とする。
- (4) 測定は連続記録方式とする。
- (5) 地上指示装置は、インペラ回転数のアナログ・デジタル両表示方式とする。

以上の条件を設定し次の仕様・構成とした。

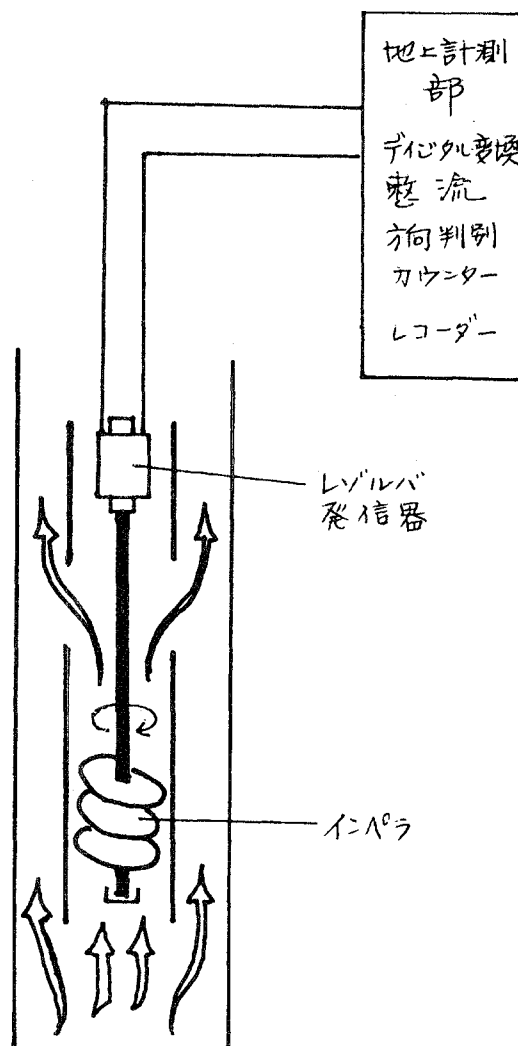
なお本器の製作者は開発工業㈱である。

4.2.3 構成と各部の仕様

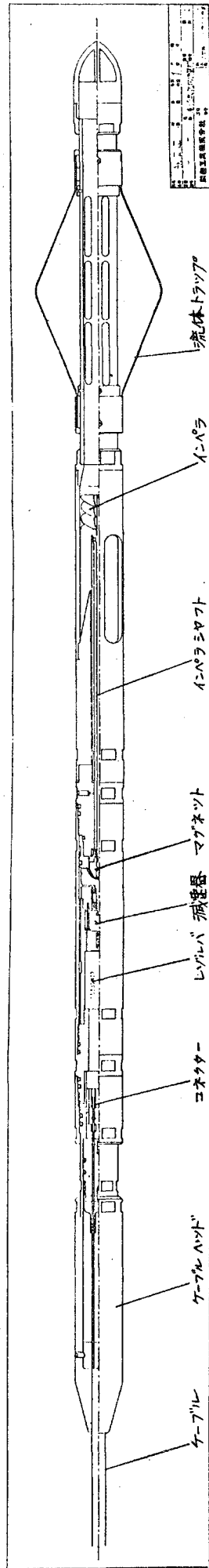
本装置は坑内ゾンデ部と坑外計測部に大別され夫々の仕様は次の通りである。

(1) 坑内ゾンデ部

坑内ゾンデ部は坑内の流体により内蔵インペラを回転し、これを回転数に比例した周波数の電圧に変換して地上計測器に伝送する装置でその作動原理と組立図を第4.2.1図、第4.2.2図に示す。



第4.2.1図 流量計の原理



第4.2.2図 流量計組立図

坑内ゾンデ部は次の3部より構成される。

①回転部

流速検出用センサーには外径35mm, ピッチ30°, (又は40°), 3段スパイラルのアルミ合金製インペラを使用し感度の向上を行った。初動速度は1.5m/分である。

インペラの回転は上下2段のベアリングで固定されたインペラシャフトにより上部のマグネット連動装置を通じて減速器に伝えられる。

②発信部

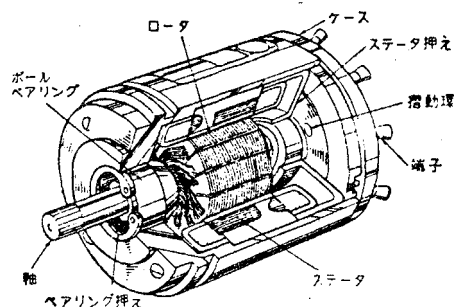
本部に使用するレゾルバー発信器は、角度伝達用として広く使用されているシンクロ電機と同じ原理にもとづく発信器で入力角度に比例した正弦, 余弦電圧信号を発生する高精度発信器で, これにより正確な回転周波数の電圧を発生する。本器には特にノイズを少なくするため, スリップリング, ブラシのかわりに回転トランスを用いたブラシレスシンクロ・レゾルバーを使用した。

本器については300℃までの耐熱特性試験を実施し一次電流, 電圧比, 移相, 残溜電圧, などの特性を確認した。

③外筒その他

外筒はステンレス製とし接続部はバイトン製Oリングによる遮水機構とした。スピナー部の先端に燐青銅製流体トラップを付け

た。これは流量が小さい場合にゾンデへの流入量を増加し回転数を上げるためのものである。また注水時には逆方向に取付ける。

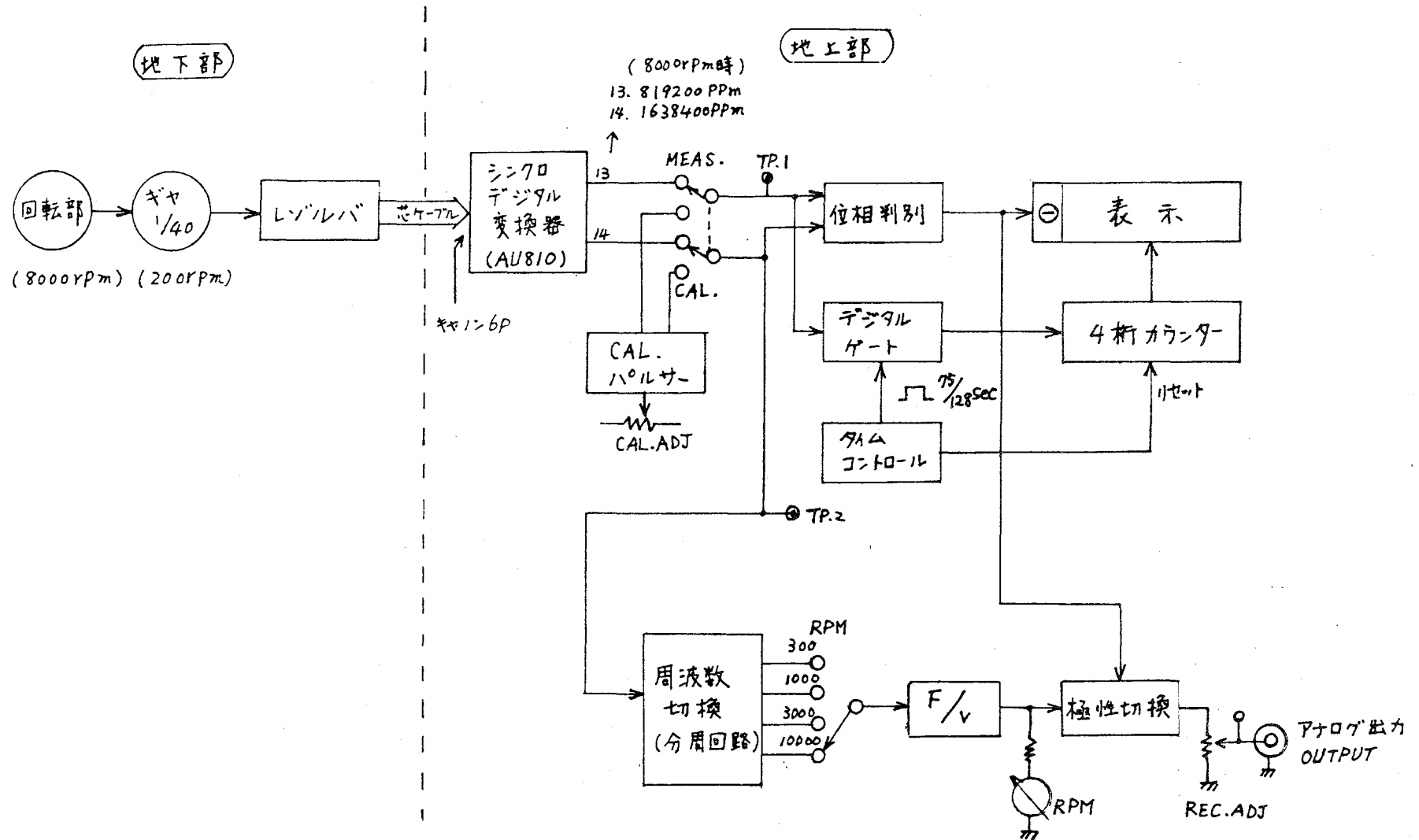


第4.2.3.図 シンクロレゾルバの構造

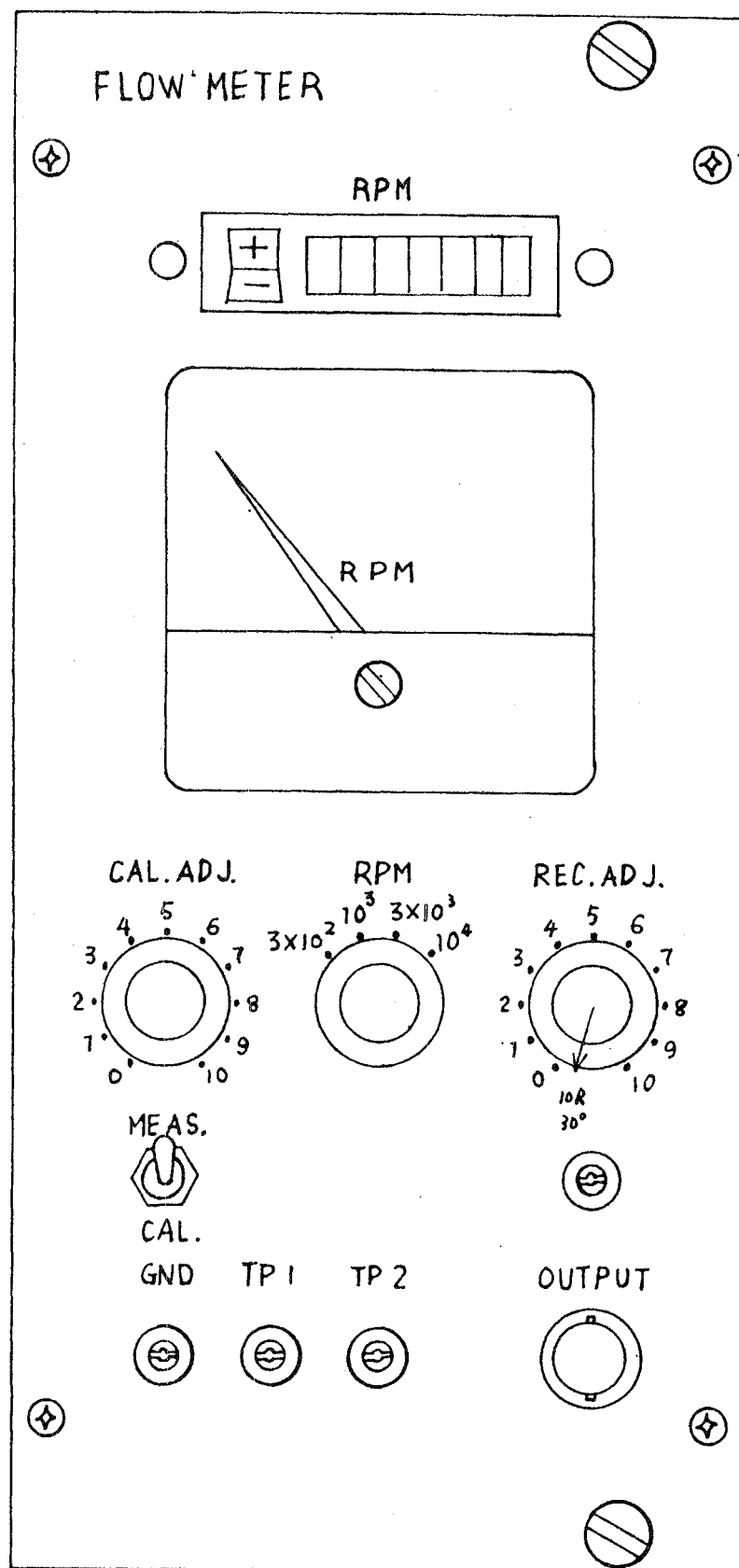
(2) 地上計測器

ゾンデ内の発信器より伝送されたインペラ回転数およびその回転方向は第4.2.4図のブロックダイアグラムに示すように, シンクロデジタル変換器, 位相判別器, 分周回路等により4桁カウンター上に表示される。

また同時にF.Vコンバーターにより回転数メーター指示および出力回路によりレコーダーに記録が可能である。



第 4. 2. 4 図 地上計測部ダイヤグラム

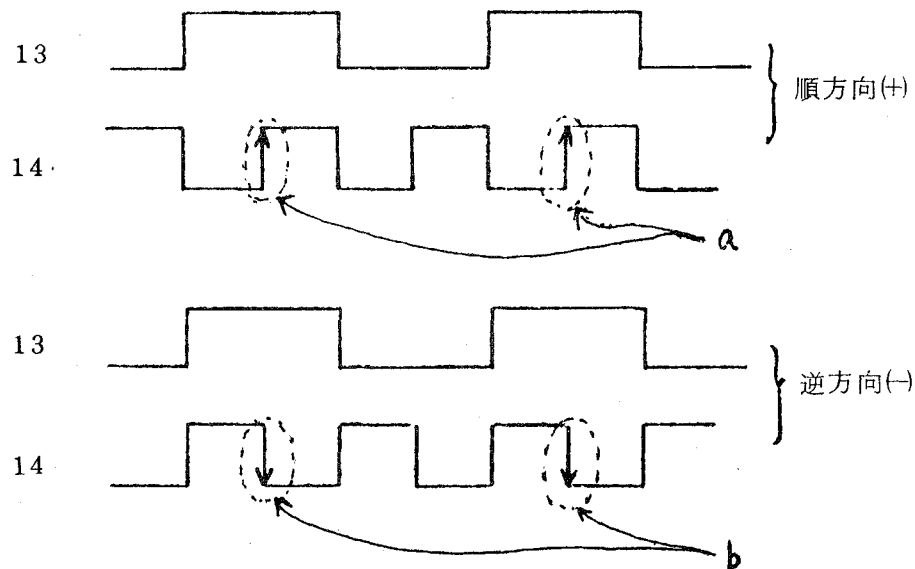


第 4.2.5 図 流量計計測装置パネル図

インペラの回転方向は流体のプロダクション、インジェクションの判定を行うもので第4.2.6図の如き位相弁別による。

◎位相判別

シンクロデジタル変換器出力



第4.2.6図 回転方向の判定

4.2.4 特性実験と今後の問題点

昭和50年度の前記の流量計の開発については、設計・製作・部品試験のみで終了し総合的な特性実験は施行出来なかった。総合的特性試験と坑口におけるキャリブレーションについては51年度の研究課題とする予定である。

前項に述べたように地熱坑井内の流体の挙動は、坑井内の地質構造・熱的構造に支配され、複雑な様相を呈することが想定される。従って流量計を有効に利用するためには、測定器の開発と同時にデータ解析の研究も行わねばならない。

坑内流量計を使用し坑内流量に関する情報を忠実に記録し解析を行うためには今後も更に次の研究・開発を継続して行わねばならない。

- ①高温・高圧下において安定した回転の確保
- ②蒸気・熱水の両方に対応出来る高速・低速用2段センサーの開発
- ③流体中に含まれるカッティングス(掘屑)による障害の除去機構
- ④キャリバーログ(孔径測定)温度・圧力などの併用による解析精度の向上。
- ⑤総合的なデータ解析の研究。

以 上。

4.3 耐熱・耐圧試験装置

4.3.1 使用目的

昭和50年度地熱坑井内測定技術研究の一部として、耐熱・耐圧試験装置を製作した。

地熱坑井内測定に必要な各種の機器開発を進める上で、その製作上の困難性の一つに、坑井内の環境が 250°C 、 200 気圧以上という厳しいものであることが上げられる。しかもこのような環境の坑井内より、地熱流体の貯溜層に関する諸情報を出来る限り忠実にかつ連続的に地上に伝達するためには、坑井内センサー部は高温・高圧の蒸気や熱水中に露出させる必要があると同時にケーブルにより電氣的な情報伝達を行わねばならない。

したがってこのような高温・高圧下の地熱坑井内に使用する測定器には十分な耐熱・耐圧性をもつコネクター部、遮水装置、エレクトロニクス部、センサー部を必要とする。

本装置はこれらの各部に使用する各種部品の耐熱・耐圧試験を行うことを目的として製作したものである。

4.3.2 装置の概要

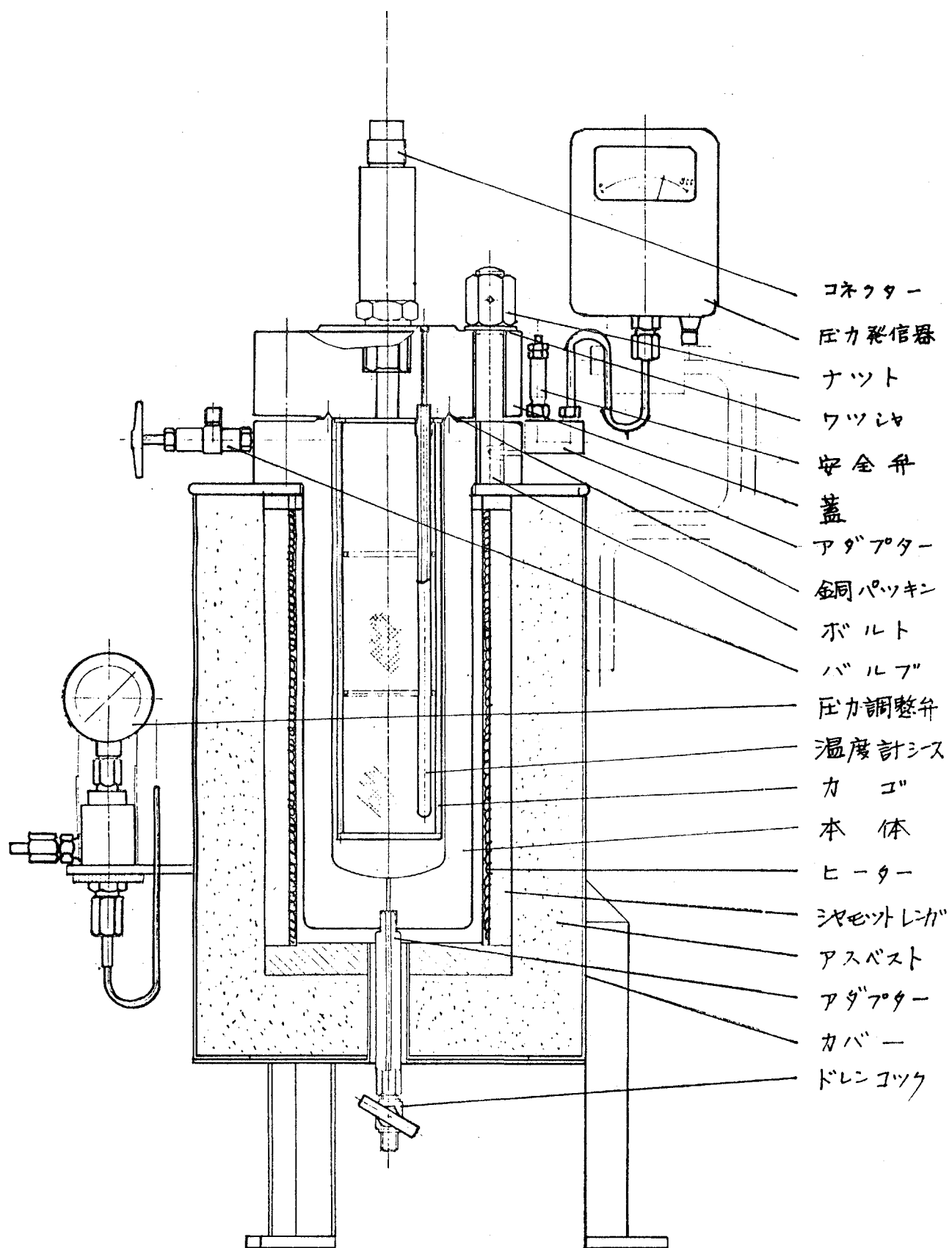
前項で述べたように本装置は主として坑井内測定ゾンデ部に使用する各種部品の耐熱・耐圧テストを目的とするためその内容積も $120\text{ mm } \phi \times 500\text{ mm}$ の比較的小型のものとした。

本装置は次の各部より構成される。

- ① 耐圧容器
 - ② 加熱装置
 - ③ 加圧装置
 - ④ 配電パネル
- ① 耐圧容器

第4.3.1図に本器の概要を示す。内容積 $120\text{ mm } \phi \times 500\text{ mm}$ 、約 5.5 l のステンレス製圧力容器で最大耐圧 450 kg/cm^2 である。

本器には十分な安全性を確保するための圧力調整弁、圧力計、記録用圧力変換器、各種バルブなどのほか、加熱、加圧中における被試験体の特性を直接計器に記録するための6芯コネクターを取付けている。製作仕様は下記の通りである。



第 4.3.1 図 耐熱耐圧容器の概要

項 目	仕 様
適 用 法 規	第 1 種 圧 力 容 器 構 造 規 格
材 質	ステンレス SUS316
試 験 筒 内 径	1 2 0 mm ϕ $\times$ 5 0 0 mm 5.5 立
試 験 圧 力	4 5 0 kg/cm ²
使 用 最 大 圧 力	3 0 0 kg/cm ²
圧 力 調 整 弁	自動式，一次圧 0 ～ 3 0 0 kg/cm ²
圧 力 発 信 器	千野式 PB-114 型
試 験 体 接 続	6 芯コネクター（水冷式）
製 造 業 者	㈱新坂下製作所

② 加熱装置

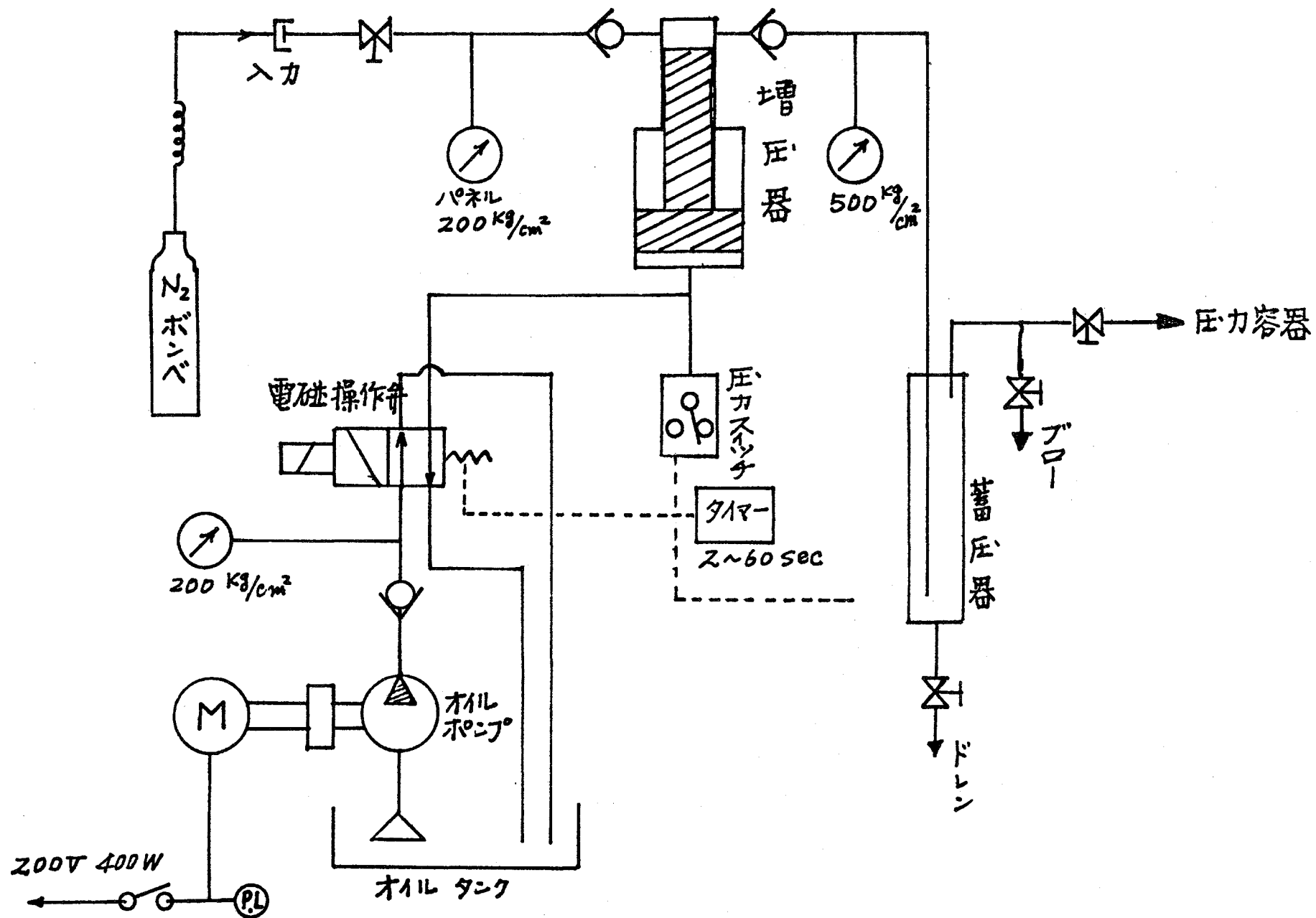
耐圧容器を囲むルツボ型ニクロム線電気炉により 3 0 0℃まで加熱可能である。
ヒーターは夫々单相 2 0 0 V，2.5kw のニクロム線 2 層を使用し夫々の電流コントロールは温度調節器およびサイリスタにより断続する。容器内温度の精度は 3%以下である。

③ 加圧装置

本装置は高温・高圧下におけるシール部分およびコネクター部のより安全性の確保と，圧力，温度による被試験体の特性変化を夫々単独に試験出来ることなどを考慮し，その加圧方式を高圧窒素ガスの圧入方式とした。加圧装置のフローチャートを第 4.3.2 図に示す。

加熱，加圧装置の仕様は次の通りである。

項 目	仕 様
使用最高温度	3 0 0℃
加 熱 方 式	5 kw ニクロム線ヒーター 2 層
温 度 調 節	0 ～ 3 0 0℃調節器，熱電対センサー，付
増 圧 器	
一次圧力	N ₂ ガス 3 0 ～ 1 0 0 kg/cm ²
二次圧力	最大吐出圧力 3 0 0 kg/cm ²
駆 動	オイルポンプ方式 4 0 0 W モーター
昇 圧 時 間	1 0 0 ～ 3 0 0 kg/cm ² 約 3 0 分



第4.3.2図 増圧器フローシート

一次圧には窒素ガスポンプを使用しこれを増圧器に入れ増圧プースターのピストンにより圧力容器に送り込む。増圧ピストンの作動は、モーター、オイルポンプ、電磁操作弁、圧力スイッチにより行う。

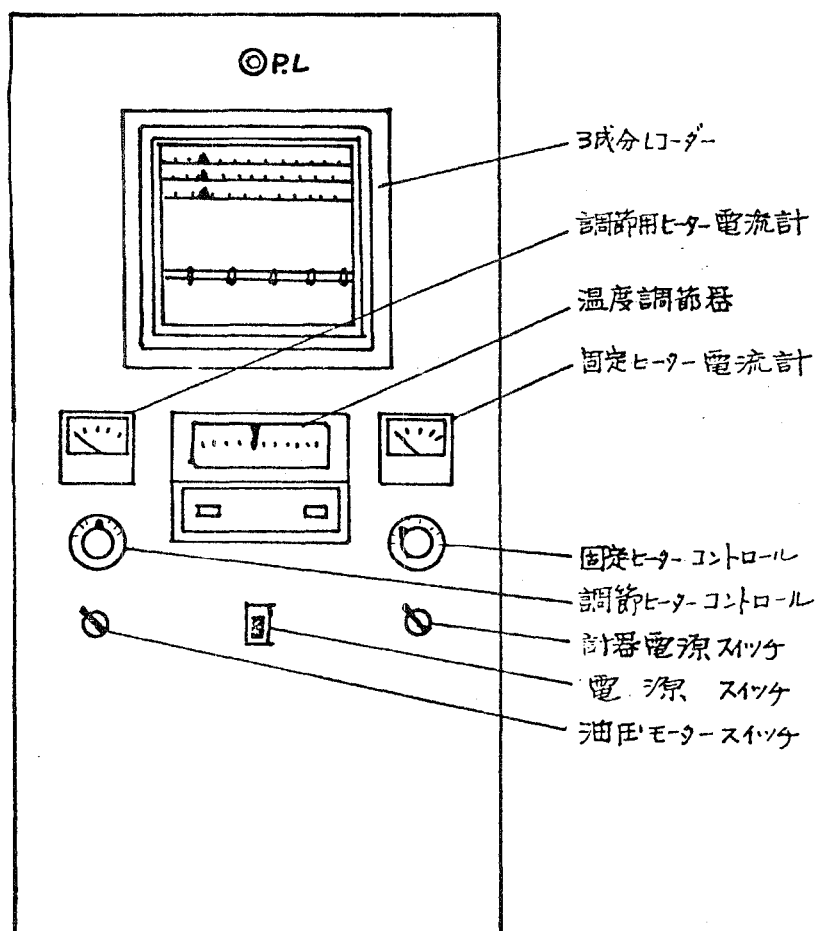
④ 配電パネル

電気炉用ヒーター、増圧器、温度調節器、圧力変換器などに要するすべての電源操作ならびに温度、圧力の記録装置を一括して配電パネルとした。第4.3.3図にその概要を示す。

4.3.3 環境模擬試験装置

本年度製作の前記耐熱・耐圧試験装置は、あくまで部品個々の耐熱・耐圧試験用として製作したもので内容積5.5ℓの小型のものである。

したがって今後坑井内測定器の総合的な耐熱・耐圧特性を試験するためにはかなり大型の地熱坑井環境を再現する試験装置が必要とならう。ちなみに工業技術院大型プロジェクト「大深度遠隔操作海底石油掘削装置」の一部として開発された高温高圧試験装置は内容積、 $260\text{mm}\phi \times 9\text{m}$ 、 200°C 、2000気圧の大型のものとなっている。



第4.3.3図 配電盤

5 5 1 年度開発種目の情報検討

5.1 5 1 年度 P-S 音波検層機

5 1 年度においては、5 0 年度製作に引つづき改良研究を行うとともに次の項目に関する開発を行い P-S 音波検層機の製作を終了する。

1. マイクロサismログラムログパネル

(連続撮映装置を含む)

2. ΔT 振巾出力デジタルカウンター

3. エレクトロニクス部耐圧チャンバー

4. 冷却装置ドレンチャンバー

(流量コントロール部を含む)

第 5.1.1 図に 5 1 年度製作分を斜線で示す。

5.1.1 5 1 年度製作の概要

(1) マイクロサismログラムログパネル

地下より送られてくる信号に含まれる情報を有効に利用し、P-S ソニック検層機の性能を向上するため本パネルを製作する。マイクロサismログラムログは P S 両波の全波形を、連続的にフィルム上に記録するフルウェーブ・ディスプレイと、全波形の振巾をシンクロスコープの輝度に変調してフィルム上に記録するインテンシティ・ログと、坑内の鉄管を伝播した波と地層を伝播した波の振巾を分離して同時に計測し、ケーシングのセメンティングの際のセメントの固着状態をしらべるセメントボンド・ログの 3 つの機能をもつものである。

第 5.1.2 図に本パネルのブロックダイアグラムを示す。

(a) ディプスマーカー回路

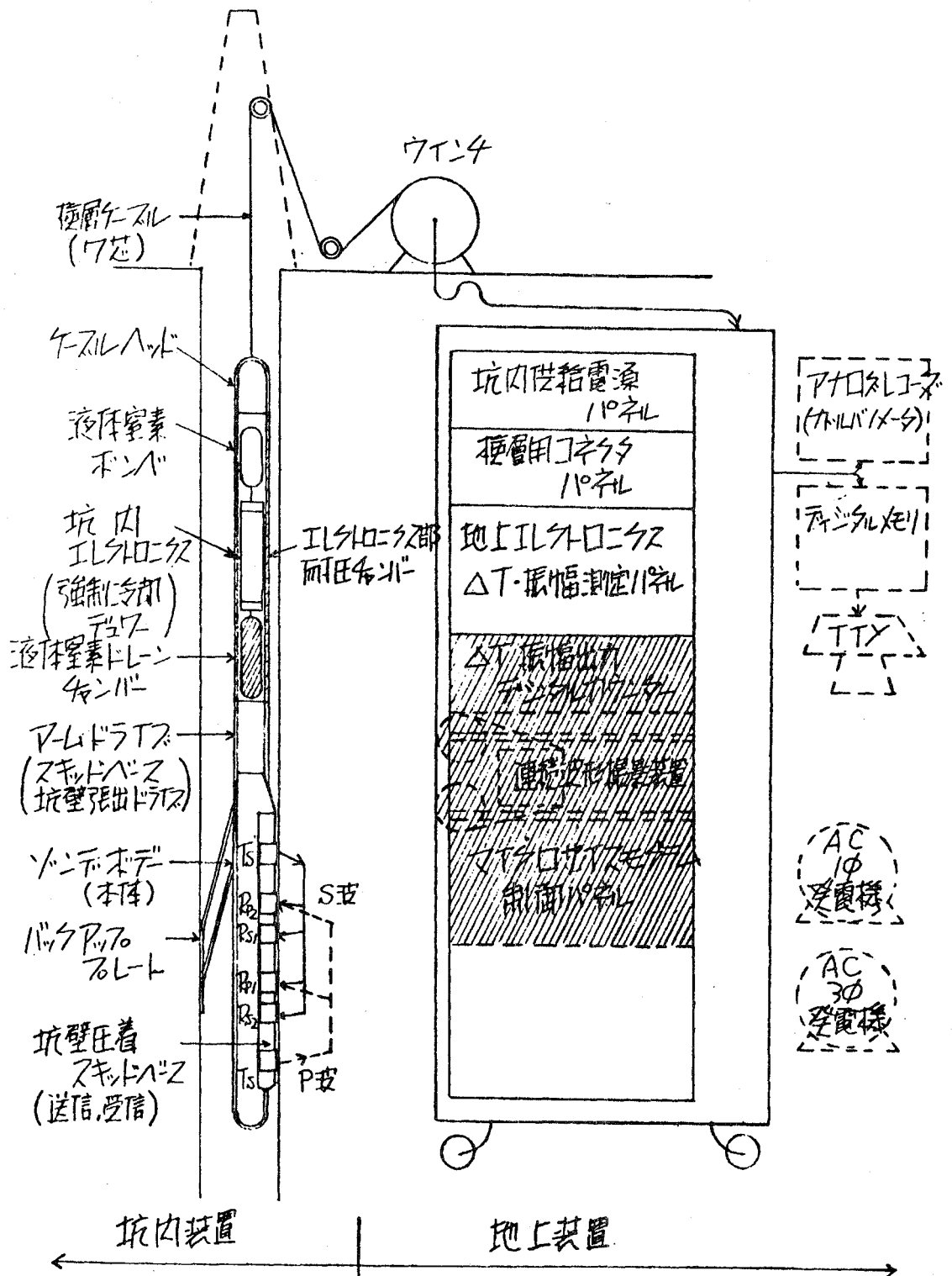
坑井元プーリーのセルシンよりの信号によりフィルム上に深度マークを入れると同時にフィルムの移動を行う。

(b) シンクロスコープ コントロール回路

P S 両波をシンクロスコープ上の左右の管面に振り分ける。

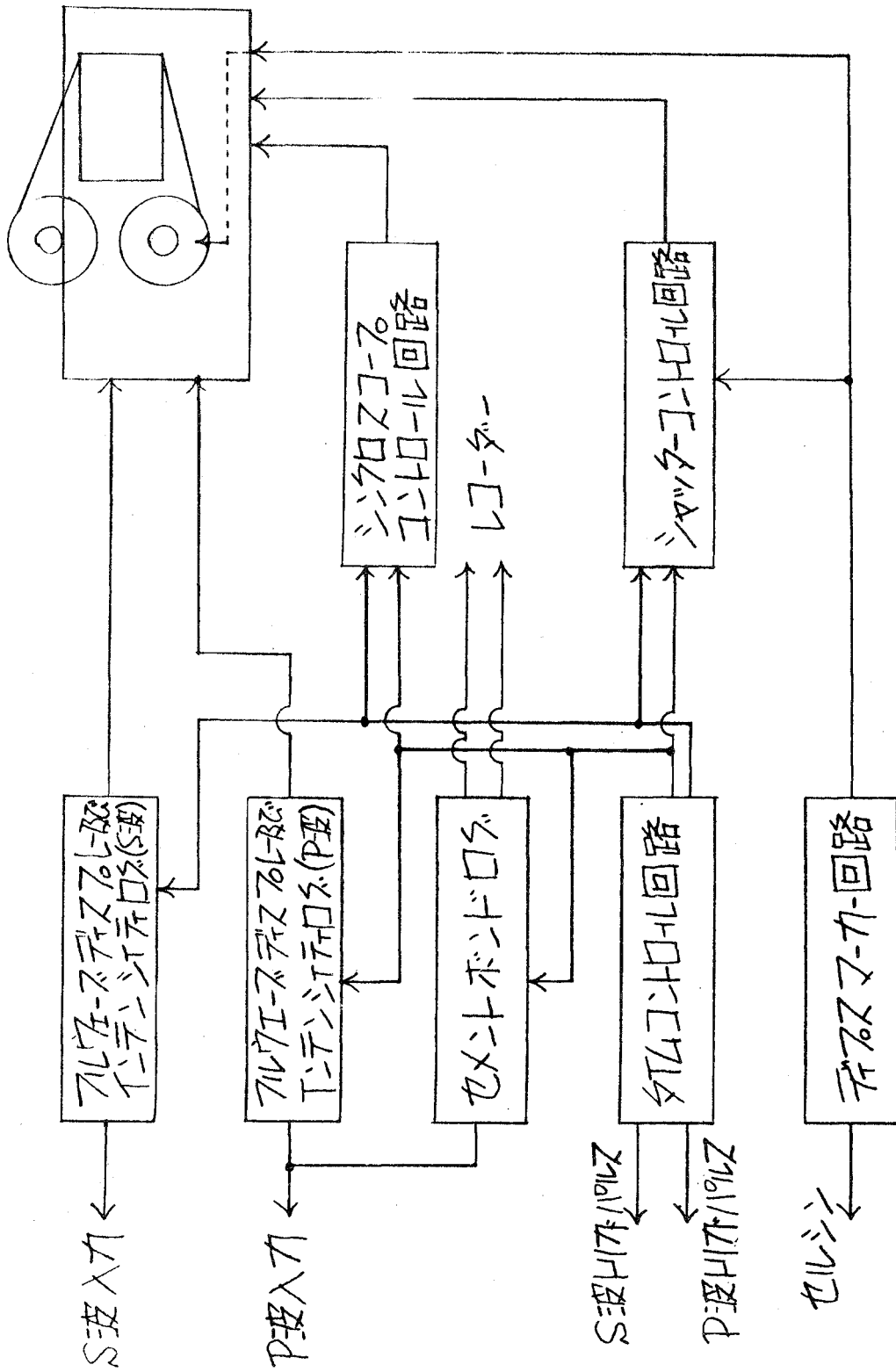
(c) シャッターコントロール回路

各波形のサンプリング間隔を決定し、シャッター又はシンクロスコープのスイープをコントロールする。



第 5.1.1 図 P-S ソニック 全体構成図

シロコウノミヤコ



第5.1.2章 マイクロサイスモグラムプログラミング

(d) タイムコントロール回路

坑内装置からのトリガーパルス（アーミング・パルス）を基準にして，全回路の時間コントロールを行う。

(2) ΔT 振巾出力デジタルカウンタ

振巾出力はアナログ信号で出てくるので，これをデジタル表示するため A-D 変換回路およびカウンタを製作する。

(3) エレクトロニクス部耐圧チャンバー

坑内エレクトロニクスを収納し外部の泥水より保護するためのケース。

(4) 冷却装置ドレーンチャンバー

第 5.1.3 図の冷却装置概念図に示すごとく液体窒素ボンベから魔法瓶内に注入された液体窒素はその気化熱で坑内エレクトロニクスを冷却する。この気体となった窒素ガスを収納するチャンバーである。また魔法瓶内に注入する液体窒素の流量コントロール機構の開発も行う。

5.1.2 改良点の概要

50 年度製作分についての実験改良は引続き 51 年度も行うがその主な点は次の通りである。

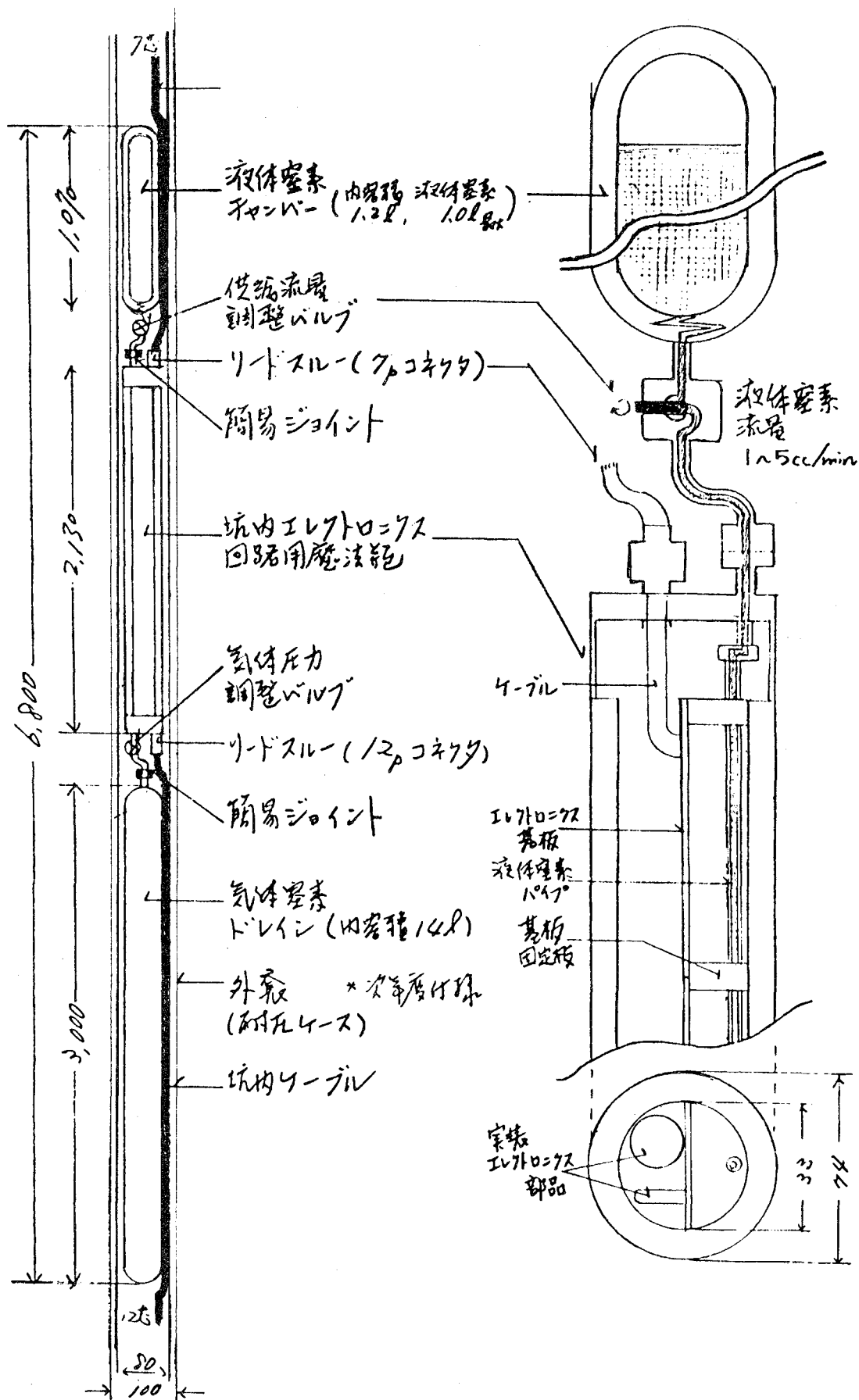
- (1) 大型模擬地層を使用して実験を行い坑壁圧着力の適正值の把握，S 波音源の出力増強又はアンプの改良による受信波型の安定化についての検討を行う。
- (2) 液体窒素ボンベと魔法瓶との接続部の改良を行う。同時に魔法瓶内液体窒素噴出機構の改良を行い瓶内の温度分布の一様化を計る。

5.2 坑井内温度計

5.2.1 地熱井における坑内温度測定

地熱貯溜層の評価に直接あるいは間接に資することを目的とする温度測定と，石油ガス鉱床の評価のためになされるサブデータとしての温度測定とは本質的には勿論同じものであるがニュアンスの異なる面ももっている。

第 1 に熱貯溜層の評価のためには温度および温度勾配の測定そのものが目的である。第 2 に石油井でも同様であるが掘さく泥水の循環などによる熱的擾乱のため，真の地温あるいは産出水温に平衡回復するには長時間を要する。したがって掘さく終了後多数回の温度測定から推定するなどの方法が取られる。第 3 に石油坑井と比し地熱井の地下温度は一般に



第 5.1.3 図 P - S 音波検層機冷却機構概念図

複雑な様相を呈することが多く、透水層・割目などを通じ熱水・蒸気などの流体の動きがある場合、温度分布に異常が見られ（早川氏の計算）、逸泥をとともう様な割目、破さい帯などにおいては泥水による冷却効果が大きいため掘さく直後の測定では局部的温度低下を示し時間経過につれ逆に上昇がみられる。また多孔質透水層では、地層水流動により温度勾配が小さくすることがある。第4に熱源の定量評価のため熱水・蒸の産出につれ変化する挙動解析も含め地熱包蔵量の推定も必要である。第5に地熱井では産出は二相流の様相になることが多く、その解析も今後の問題点の一つである。

地熱貯溜層の評価、解析のため幾多の方法、解析技術は現在も研究、開発の途上にあり発表されている。こゝでは現在、地熱井で使用されている温度測定装置および将来適応性のある測定装置について検討した。

5.2.2 測定装置

坑内温度測定装置はソリッドライン（ピアノ線、ステンレススチール線）で下げられる点測定方式のものとワイヤーラインケーブルで下げられる連続測定方式の二つのカテゴリーに大別出来る。

ソリッドラインタイプのものでは、水銀最高温度計（溜点式）、ブルドン管式（アメリカ型）、バイメタル式、ダイアフラム式温度計が実用化されている。ワイヤーラインタイプには、金属抵抗線式（白金線、Ni線）、サーミスター式温度計などがある。

ソリッドラインタイプは点測定ではあるが、耐熱ケーブルを必要とせず、米国 KUSTER 社の K P G-3 型（ブルドン管方式）の耐熱限界 370°C にみられる様に高性能のものが既に市販され、地熱井を含めた坑井での実績も評価されている。たゞ、この方式はメカニカルな測定なので素子の感温速度が遅いこと、連続測定ではないこと、測定値の深度対比不明確、微小温度差測定方式ではないこと、記録が金属製チャートなどになされるのでデータの読みとり、処理が面倒など問題点もある。同社の性能諸元を第 5.2.1 表に示す。

第 5.2.1 表 Kuster 社温度計

確 度	± 2°F
感 度	0.05%
測 定 範 囲	-4°C-370°C
チャート	2"×5"
時計（時間）	2-360
記録表（cm）	12.7
長さ×径（cm）	106×3.2
重 量（kg）	5.9

ワイヤーラインタイプは連続測定方式で、

センサーの感温速度が速く、深度対比が明瞭であり、電気信号の形でデータが得られるので記録、処理が容易などの利点を有している。この方式の問題点は、ケーブルの関係から現在耐熱限界が若干低く、今後さらにきびしくなる坑内条件にそのまま実用化は望めず、開発要素を含んでいる。ワイヤーラインタイプは各方式とも今後の研究開発により地熱井への適合性が高く、どの方式が最適であるかについてはなお検討の余地がある。各方式の概要は、下記の通りである。

(1) 金属抵抗線方式

白金あるいはニッケル抵抗線をブリッジの一辺とする抵抗温度計であり、抵抗値が温度に比例変化することを利用している。抵抗変化の直線性が特徴であり、石油井では歴史も古く実績がある。抵抗線の耐熱性は高く、地熱井に適合出来る温度計開発の可能性大である。

(2) サーミスター方式

抵抗線の代りに温度変化に対し抵抗変化係数の高い半導体素子サーミスターを置き換えたもので、抵抗変化は非直線である。現在坑井用に使用されている宝工業KKのサーミスター坑井温度計の性能諸元を第5.2.2表に示す。

第 5.2.2 表 サーミスター温度計

性 能 \ 型 名	SPD-1D	SPD-01 02
測 定 範 囲	0-150/150-300℃	100-300℃
指 示 精 度	±1.0%	SPD-01 0.05℃, SPD-02 0.1℃
電 源	1.5V	AC-100V
重 量	1.4kg	5.9kg
出 力 (mV)	0-10	0-10

※ SPD-01 : 10℃幅 10 段

※ SPD-02 : 20℃幅 4 段

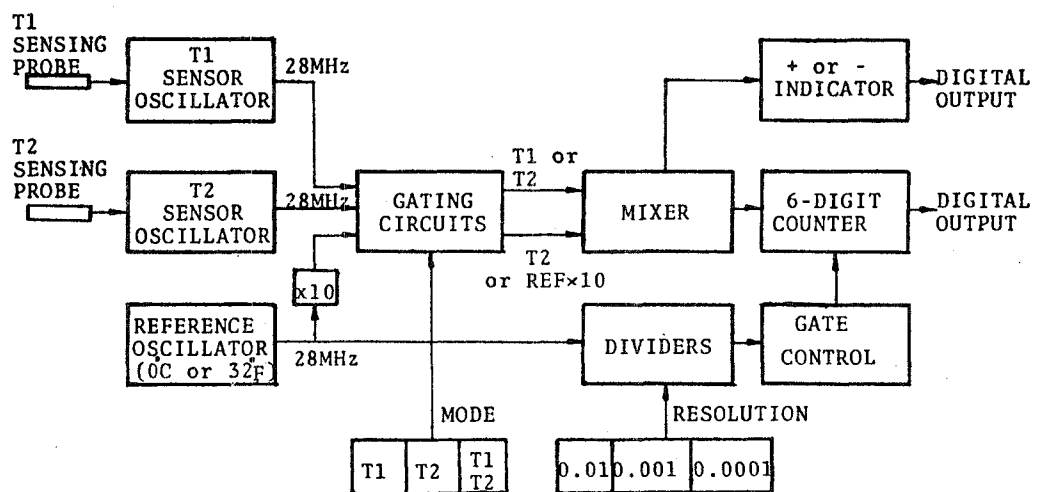
この方式は抵抗変化が非直線であるが、近年リニアライザーを用いて直線変化にして記録する方式が発達してこの欠点が除かれる様になった。微少温度差計としても容易に使用出来る方式であるが、低温度ではケーブル絶縁抵抗の、高温度ではケーブル導体抵抗の影響を受け易い。

(3) 水晶発振方式

固有共振周波数をもつ水晶共振子は温度により共振周波数が変化する。この変化は $T^{\circ}\text{C}$ の周波数を $f(T)$ 、 0°C の周波数を $f(0)$ とすると、

$$f(T) = f(0)(1 + \alpha T + \beta T^2 + \gamma T^3)$$

なる関数式で示される。近年この 2 次、3 次の温度係数 β 、 r が零となる水晶の切
断法が見いだされ、温度測定精度の画期的に優れた温度計が出現している。ヒュー
レットパッカード社 2801A 型の、この方式による温度計の回路方式を第 5.2.1
図に、性能諸元を第 5.2.3 表に示す。



第 5.2.1 図 ブロックダイアグラム

この方式の坑井用温度計はまだ開発されていないが実現の可能性は充分であり、特に優れた分解能と、微少温度差モードの出力が容易に取り出し可能である点が注目される。汎用のこのタイプの耐熱限界 250°C のものでは直ちに地熱坑井に実用出来ず開発は今後の課題であるが検討に値する温度測定方式である。

第5.2.3表 ヒューレット・パッカート社温度計

測定温度範囲：-80～+250℃(または-112～+482°F)

分解能：最大0.0001℃

直線性：0～100℃で±0.02℃以上
-40～+230℃で±0.15℃以上

正確さ：直線性，短期安定度により決められる

プローブ間マッチング：200℃において±0.1℃または使用温度の±0.05%（0℃で較正して）

安定度：

短期：±0.0001℃±1カウント

長期：ゼロドリフトは30日間で±0.01℃

周囲温度の影響：温度計，センサ発振器の周囲の温度1℃の変化に対し，読みは0.001℃変化する

表示：6桁，デジタル（℃または°F）
極性表示，記憶表示方式

5・3 連続坑井内圧力計

地熱エネルギーが探査の段階を経て試探堀および採堀に移行した段階では坑井内圧力、温度などの諸測定により地熱貯溜層の評価は更に詳細となる。地熱井での坑内諸測定は一般に種々の坑井条件下で行なわれ、第1は熱水・蒸気が噴出している場合、第2は冷水を注入して行なう場合、第3は坑井を長期間密閉している状態などである。それぞれが地熱貯溜層の産出能力評価のための資料となり地下圧力と温度の推定に使用される。また開発が相当に進んだ段階では同じ地域の他の坑井の各条件を変えて、産出井の受ける影響を調査すると、圧入井の圧入プロフィールおよび圧入井の圧入に応じて変化する産出井の圧力測定なども行なわれている。

これらの測定は圧力上昇曲線 (Buildup Curve)、圧力降下曲線 (Drawdown Curve)、沸とう点深度 (Flash Point)、坑底圧力の長時間測定 (Pressure History)、圧力減衰曲線 (Fall-off Curve) などを知るために測定され、理論式と組合せて地熱貯溜層の定量解析に、また開発が進むにつれて変化する地熱流体の挙動解析などに利用される。これらの各測定方法と理論は従来から引き続き諸種の研究がなされており発表もされているので、こゝでは地熱貯溜層の測定に現在使われているものと、今後適応性のある坑内圧力計について検討した。

(1) ブルドン管型坑底圧測定器

石油坑井も含めて坑内圧力測定器として現在一番多く使用されているのは、一般にアメラダ型と総称される坑底圧測定器であり、ピアノ線あるいはステンレススチール線で降下され、時計巻記録計に、圧力に応じたヘリカルブルドン管の動きを記録するメカニカルな方式である。このタイプの測定器は地熱坑井でも使用されており、性能諸元を第5.3.1表に示す様に、米国KUSTER社より、高温用のものが市販され、優秀な性能をもっているが、点測定方式であることとデータの読み取り、処理が面倒である。

第5.3.1表 Kuster 社圧力計

確 度	0.2 %
感 度	1 / 2000
測定範囲	0 - 56, 0 - 1550 (Kg/cm ²)
チャート	2×5 (inch)
時 計	2 - 360 (時間)
記 録	12.7 (cm)
長さ×径	186×3.2 (cm)
重 量	6.8 (Kg)

(2) 坑井用微差圧測定器

地熱井では石油井に比べ、一般に産状は複雑であり、熱水・蒸気二相流の解析、産出につれての流体挙動解析の手法は未だ確立されていない。これらの解析のデータとして坑内圧力勾配の微小変化を検出できる差圧測定は今後さらに重要となるだろう。現状では石油坑井用の微差圧計として、検出センサーにベローズを用いるメカニカルセンサータイプと放射線を用いる $r-r$ 測定タイプが主として用いられている。例としてベローズを用いるシュランベルジャー社、微差圧測定器（グラジオマノメーター）の性能諸元を第 5.3.2 表に示す。

第 5.3.2 表 Schlumberger 社グラジオマノメーター

測定範囲	$0-2 \text{ g/cm}^2/\text{cm}$		
感 度	$0.02 \text{ g/cm}^2/\text{cm}$		
長さ×径	$15' \times 1 \frac{11}{16}''$		
確 度	$20^\circ\text{C}, 5 \text{ Kg/cm}^2$	:	± 0.035
$(\text{g/cm}^2/\text{cm})$	$80^\circ\text{C}, 300 \text{ Kg/cm}^2$	:	± 0.065
	$120^\circ\text{C}, 600 \text{ Kg/cm}^2$	:	± 0.095

(3) 水晶発振方式坑内圧力測定器

最近、水晶発振子を用いる坑井用圧力測定器が開発され、注目されている。この方式は感圧センサーとして固有振動数を有する水晶発振子を用い、この発振周波数が周囲圧力に比例変化することを利用している。

現在この方式の坑内圧力測定器は測定範囲 $0 \sim 12,000 \text{ psi}$ 、感度 0.01 psi 、使用温度限界 300°F 程度である。現時点では耐熱限界が低い、他の坑内測定器の感度が 20 psi 程度であるのに、この方式では感度 0.01 psi と非常に高い。また、この方式の優れた点は水晶温度計の場合と同様、その原理から、2 枚のセンサーを用いて差圧モードの信号の取り出しが容易な点で圧力および微差圧が同時に検出可能なこと、連続測定で電気信号出力が得られるのでデータ処理が容易などの点である。

地熱井にこのタイプの坑内圧力計を使用するためには高温用測定器の開発が必要であるがセンサー自体は水晶であるため、その耐熱限界は高く可能性は大きいので今後の好適な課題と云える。

5.4 坑井元分析システム

5.4.1 分析システム

坑井内状況を把握しながら掘進を進めることは、掘さくおよび泥水管理、産出物のショージング検知などの点で重要かつ有用であり、地熱井に最適なシステムを、開発していくことが今後の課題である。

5.4.2 測定検討項目

(1) ガス検出、監視装置

石油井においては、連続マッドガス分析により、可燃性天然ガスの各成分およびトータルガスと、硫化水素の連続測定を行なうことが普遍的であるが、ここでは地熱井を対象として、硫化水素の測定を重点目標に取りあげ、検討した。

硫化水素は人体に有害であり、また機器装置に対して腐蝕性が極めて強く、掘進時の突出に対する人体および環境保護、生産時には、硫化水素産出層対策のため、その深度と、産出量を適確に把握する必要がある。

現在、石油井で行なわれている硫化水素測定装置は、酢酸鉛を滲みこませた感光テープを使用し、硫化水素と反応して硫化鉛となるにつれ、白色から黒色に変化する黒化の程度を光学的に測定する比色酢酸鉛テープ方式が採用されている。

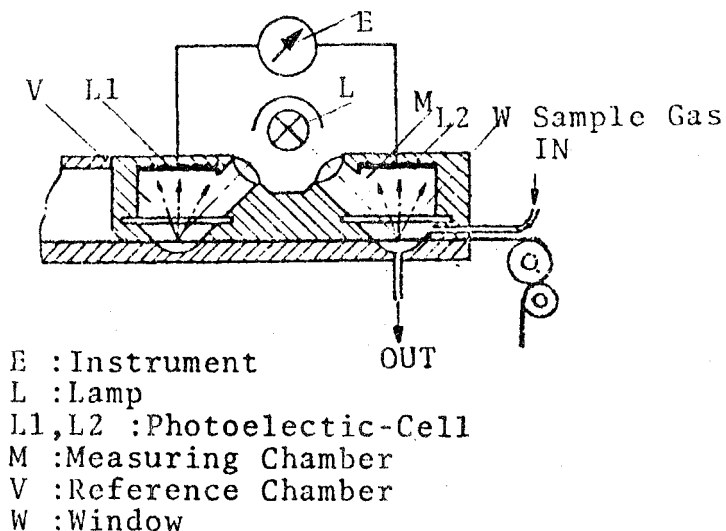
この測定方式による検出部の一例を第5.4.1図に示す。

測定原理は、測定室（M）と比較室（V）の下側に H_2S だけ着色する感光テープ（B）が一定の割合で送られている。

比較室はエアーで満され、一方測定室（M）にはサンプルガスが一定流量常時感光テープの上部から反対側へ流れている。

両測定室の感光テープはランプ（L）からの光を反射し、その光量がフォトセル（L1）と（L2）が受けている。

測定濃度はフォトセル（L2）で得た値と比較室（V）のフォトセル（L1）の値との差が指示計（E）にて得られる。



第 5. 4. 1 図 比色酢酸鉛テープ方式

この方式は石油鉱業において、実際に長期間使用されている実績があり、精度が高く保守、取扱いが簡便である等、幾多の利点を有する。

一方では、この方式は原理的にサンプルガスに一定の露出時間さらされる必要があり、瞬時値の測定には適していない。

また、一般産業排出物中の硫化水素の測定ではあらかじめ測定レンジの設定が可能であるが坑井内の硫化水素は、その産出層で突然大レンジを要するなど、バリエーションの幅が大きく、レンジの切換えも自動的に行なう必要があり、この様な要請に対して適応性が小さいなどの問題点もある。

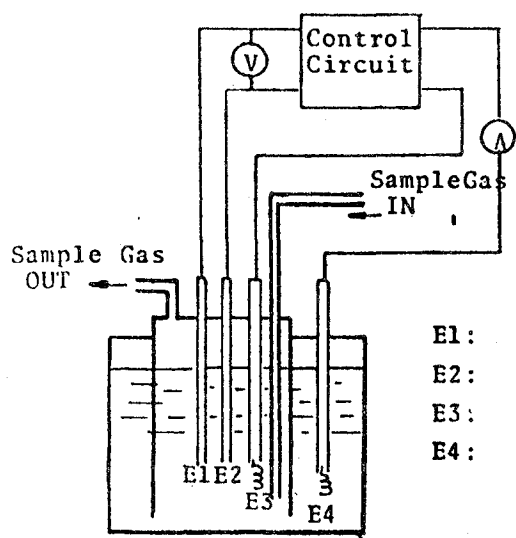
以上の観点から地熱井用硫化水素測定装置として最適な方式を調査、検討したが、これら全ての要求を満たす測定方式を選定するに到らず、実現可能な今後の開発目標として次の方針を選定した。

第一点は、バリエーションの幅が広く、自動レンジ切換えの容易な方式を選定すること。

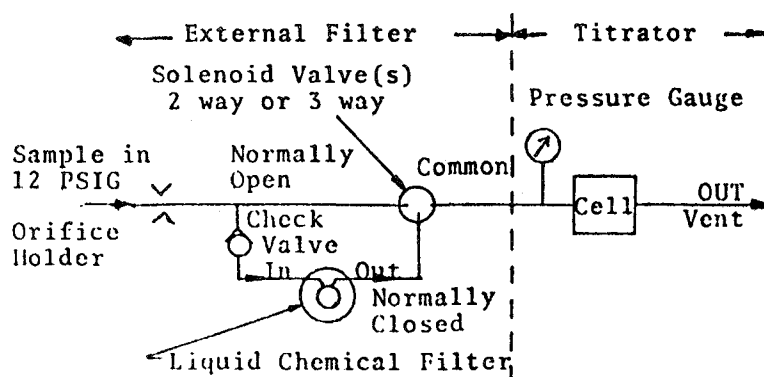
第二点として、上記と別系統になるが瞬時測定可能で警報機能をもつ方式を選定する、の二点である。

第一点に適合する硫化水素分析装置としては、電解滴定セル方式を、第二点に適合する装置としては、ガルバニックセル方式を想定した。

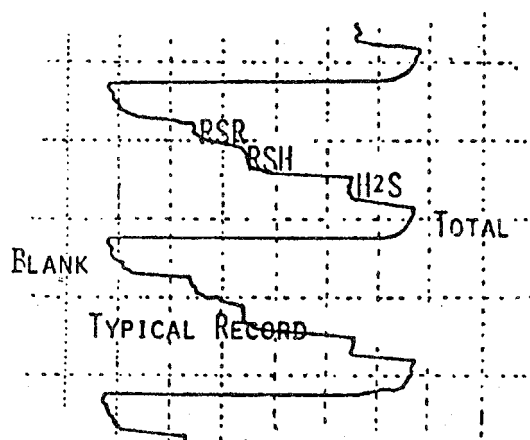
電解滴定セル方式による場合の電解セルの概念図を第 5. 4. 2 図に、サンプルの Flow Schematic を第 5. 4. 3 図に、またこの方式により得られる記録例を第 5. 4. 4 図に示す。



第 5. 4. 2 図 電解滴定セル概念図



第 5. 4. 3 図 Flow Schematic



第 5. 4. 4 図 Typical Chart Records

ガルバニックセル方式については、硫化水素の最大許容表示量、警報設定レベル数、および応答最小時間などの設定値が検討された後に詳細仕様を確定すべきである。

第 5. 4. 5 図に上記方式による硫化水素ならびに硫黄化合物検出装置模式図を示す。

なお、同図に示されている連続脱ガス装置、深度計およびポンプストロークカウンタについては、開発要素はないが実機製作時には必要な附帯装置なので例として記入したが詳細は従来使用されている石油井用のものと同様のものである。

(2) 泥水ピットレベル、比重、温度測定

泥水ピットレベル測定は、送り泥水量と還り泥水量を比較することにより、逸泥、吐泥を検出するものであり、一般に逸泥は割れ目の多い地層で、吐泥は高圧ガス、または水層で起こりやすい。

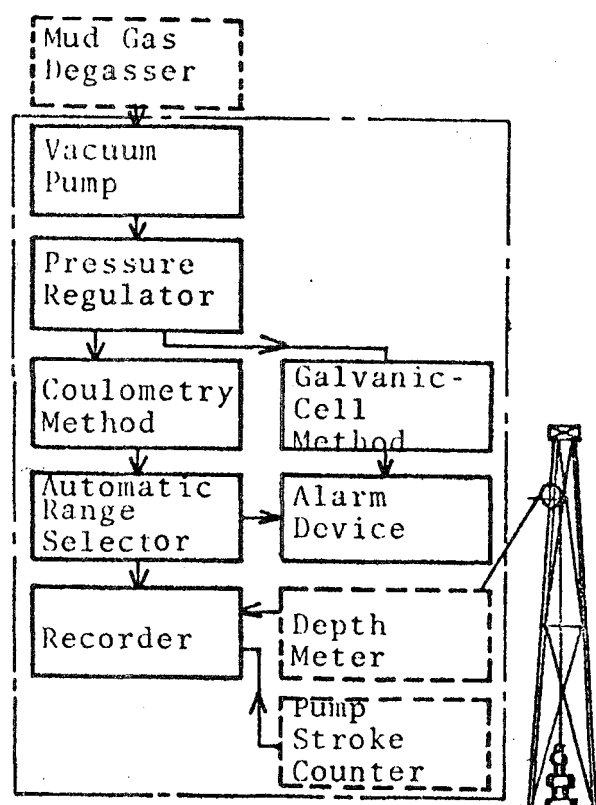
地熱井の場合でも目的は同様であるが、特に逸泥については、蒸気産出層に直接対応することが多く、掘進および泥水管理と同時に、熱源深度の検知の面でも有用である。

測定装置、方法は特に開発要素があるとはいえないが、以下に述べる泥水比重、温度の測定と相まって、地熱井に最適な解析システムを確立することは今後の課題となろう。

泥水比重は現状でも幾多の方式により、連続測定されガスカットその他坑内異常を探知し、ブローアウトなどの掘進トラブル防止に利用されている。

また泥水は坑内情報を伝達する媒体でもあり、産出成分評価の際には泥水比重も相関性をもつ。

泥水温度の測定も石油井の場合と一部の目的は同じであるが、地熱井の場合には今後、端的に、地熱貯溜層の評価に貢献出来る可能性が高く、石油井における可燃性炭化水素の検知用ガスクロマトグラフィーの導入から近年のミニコンを用いたオンライン解析システム採用に至る発達過程と同様に、近い将来には掘進率、泥水循環速度、泥水比重など関連ファクターを補正したうえで、掘進深度での単



第 5. 4. 5 図 地熱井における硫化水素
ならびに硫黄化合物検出装置模式図

位体積地層の熱容量計算が出来るレベルまで発展するだろうと思われる。

絶体泥水温度と同時に成される微分型泥水温度測定器とデータ解析システムの開発が今後の課題であろう。

5.5 現地キャリブレーション（流量計用）

坑井内の熱水の挙動を調査するために一つの方法として噴出流体の流速分布を調べる必要がある。

この調査に使用する流量計は坑井内流体の流動によって内蔵されているインペラ

（回転翼）の単位時間当りの回転数を表示し、これを流速または流量に変換する機構なので、回転数と流速・回転数と流量の関係を前もって較正しておかなければならな

い。そのためには調査しようとする坑井内から噴出する流体の中で、ほぼ坑井内と同

じ条件（例えば坑径、ケーシングサイズなど）の状態に適宜連続流量計を地上におい

て較正し、坑井内計測で得られた測定値をチェックして適正なデータを得るようにし

なければならぬ。この項では坑井内連続流量計の現地キャリブレーションについて説

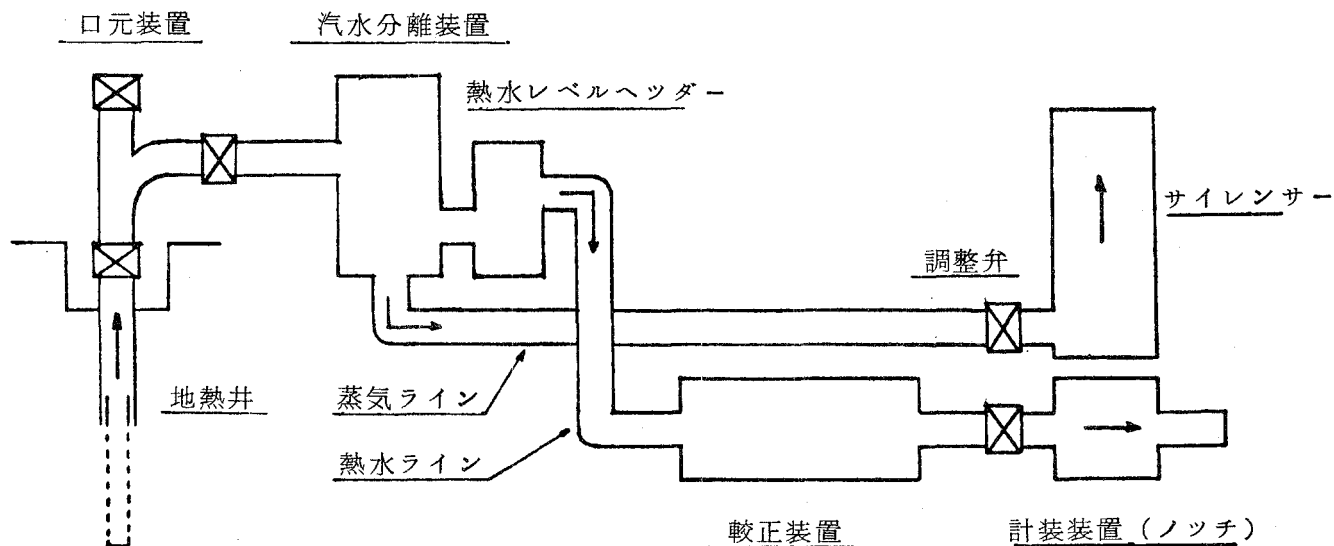
明する。

5.5.1 装置の概要

地層から噴出される地熱流体は一般に液相の熱水と気相の飽和蒸気の二相混合した二相流で流動していると考えられている。

大部分の地熱流体は熱水卓越型が多く、ある圧力下では坑井内に沸騰面があるものと考えられているので坑井内連続流量計も現段階では沸騰面から下の熱水領域の低速度流体における速度分布の計測を主体に考えた方が都合がよい。

したがって現地キャリブレーションも熱水の流動のみによる較正装置を考えて、気相の蒸気流または二相流による高速度流体の較正装置にはふれていない。



第 5. 5. 1 図 現地キャリブレーターの概略図

地上の設備装置や地熱流体の流れは第 5. 5. 1 図に示すとうり，坑井内から坑井口元装置を経て汽水分離装置までは二相混合流体で流動し，その後は熱水レベルヘッダーを経て蒸気と熱水に分離される。

分離された気相の蒸気はサイレンサーを通して大気中に放散排気される。

熱水は坑井内連続流量計較正装置に流れ，配管の方法や調整用弁でコントロールされて定流量に調整される。

熱水の流動はできるだけ乱流にならぬよう特に較正装置の配管分は充分直管部を長く設けて誤差の減少に努め，流動する熱水量はノッチ法（三角または四角セキ）により正確に計測し，坑井内連続流量計で計測した回転翼の回転数と流速の関係を調べる。

5. 5. 2 各装置について

(1) 坑井口元装置

あらかじめ Y 字管配管にして流量計較正装置への流動部と坑井内流量計を坑井内に挿入するためのリューブリケーター着装部を設ける必要がある。

(2) 汽水分離装置

蒸気と熱水を分離する性能によって U ベント型，サイクロン型，衝突型などいろいろな方式によって分類されるが，この現地キャリブレーターとして利用する

かぎりでは汽水の分離能力はあまり関係がない。

(3) 熱水レベルヘッダー

較正装置の直管部の熱水流動に脈動を起させぬように汽水分離装置内にある一定の水位を保持するために微妙な調整テクニックがいる。

(4) 坑井内連続流量計較正装置

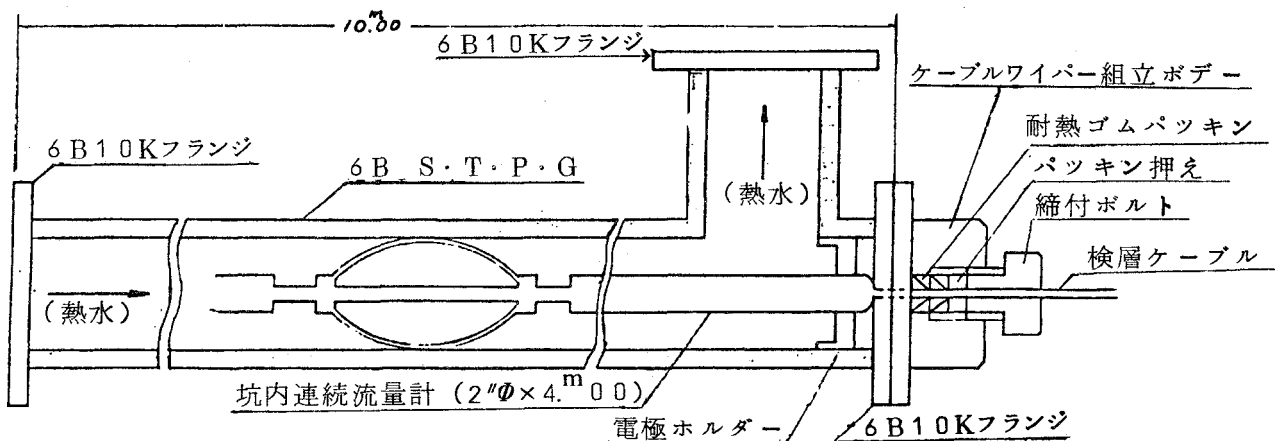
コンティニアス流量計またはアメラダ型流量計の2種類に共用できる装置になるように配慮し、較正装置の管径は坑井内のケーシングサイズや掘さくビット径によって決められるが一般的な坑井の仕様からみれば径6" 前後ぐらいが適当であろう。

いずれにしても熱水の較正装置内における流速は $0.5 \text{ m/sec} \sim 2.0 \text{ m/sec}$ 位が最適条件と予想されるので、坑井の地熱流体噴出能力から逆に管径が決められる事もある。

また径の異った較正装置を数種類準備しておき、いろいろな条件に適合した装置で調整するべきである。

直管部は乱流を防ぐためにできるだけ長い方が良いが、一般にはオリフィス流量計の前部では管径の10倍、後部で5倍以上とされているので連続流量計のような不定形なものを挿入すれば、熱水の流動はかなり乱れると推定される。

ここでは最低10mは必要であると思われる。



第 5. 5. 2 図 坑井内連続流量計較正装置

(5) 計装装置

噴出する熱水の量はノッチ法（三角または四角セキ）で正確に計測しなければならない。この熱水量はすべての基準になるものであるから、正確な計測または必要に応じて熱水流量の連続記録装置を考えなければならない。また流体の性状を調べるために坑井口元と較正装置附近の最低2ヶ所で流動する流体の温度と圧力の測定をしなければならない。

較正装置より放出される熱水はノッチ法によって計測されるがこの時熱水が沸騰し大気中へ蒸気が放散される。

この蒸気量は熱水の量に換算して熱水量に加えなければならないので注意しなければならない。

流動する圧力が高いほど大気放散量も増加するが、大体の目安として5～10 Kg/cm²の圧力条件では約15%程度の放散量と見積つてよさそうである。

(6) その他

地上設備の全ての配管装置類は熱水卓越地域の低圧力蒸気・熱水であれ、蒸気卓越地域で得られる高圧熱水・蒸気であれ圧力容器としての取扱いをうけているので、防災上全て圧力配管用炭素鋼々管（S・T・P・G）を使用すべきである。

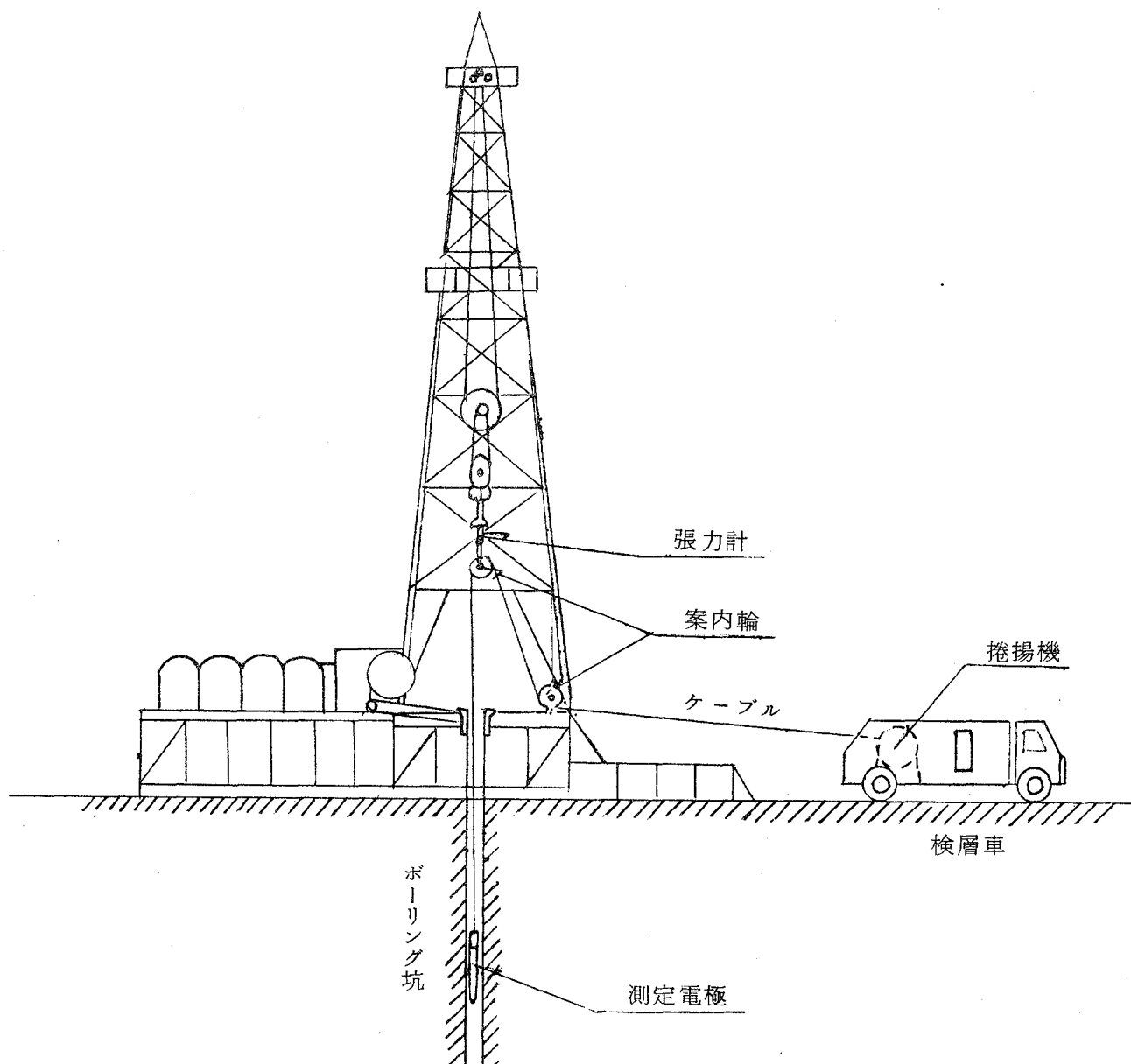
またこの現地キャリブレーターで利用した熱水は何らかの方法で再度地層中へ還元し地上へ流出しないことが最も望ましいがこのことはふれないことにする。

5.6 現地作業機器

5.6.1 捲揚機

捲揚機はウインチとも呼ばれていて動力部、ウインチ部、附属装置よりなっている。

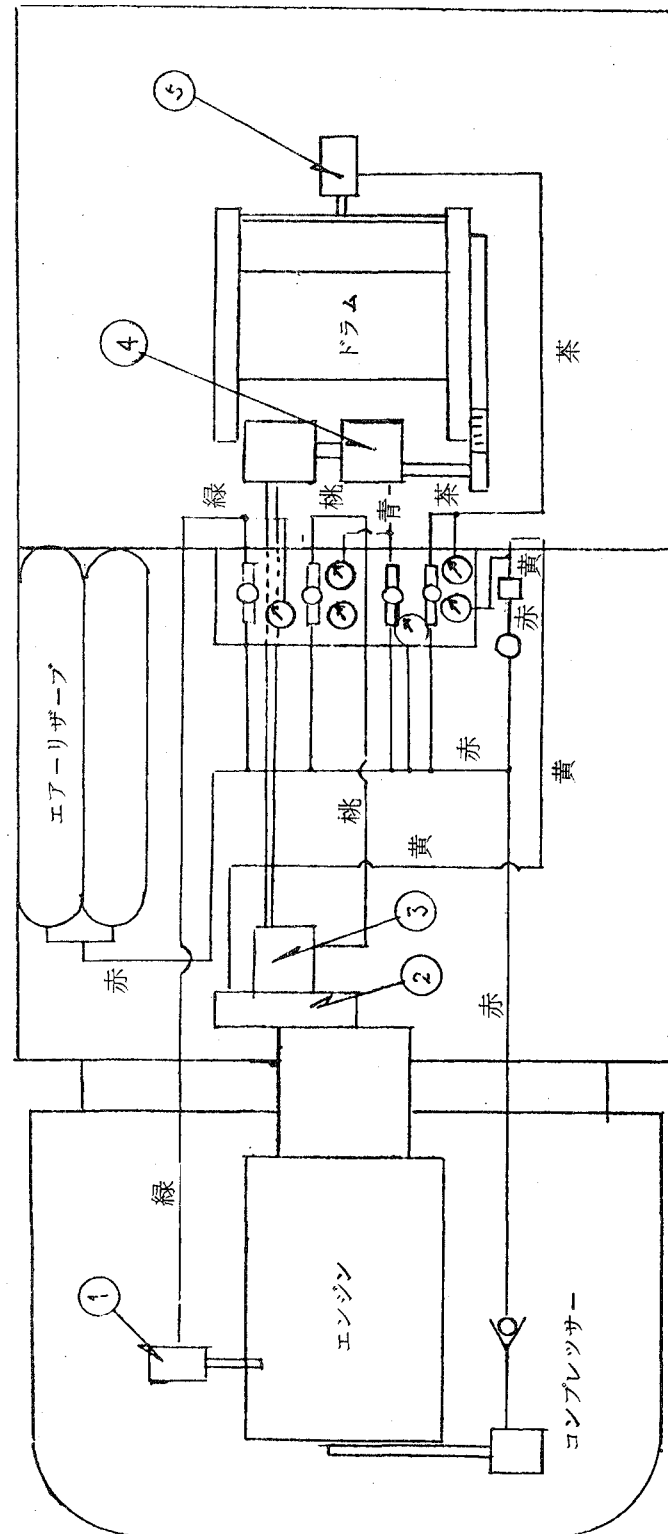
本機は坑井深度に応じて必要な長さのアーマードケーブルを巻いていて検層時にはケーブル先端に接続頭、測定電極を接続、坑井内に降下する。検層にあたっては坑井内測定器、地上の記録装置の感応度に適応した速度で適宜ケーブルを捲取れるよう設計されている。



第 5. 6. 1 図 検層坑口装置配置図

動力部はエンジン、トランスミッション、正逆切替器等を備えていて、ケーブルの揚降、捲揚速度の変換変速はレバー操作で行なう。車載捲揚機の場合は、第 5. 6. 2 図のようにコンプレッサーから供給される圧力 6 ～ 7 Kg/cm^2 のエアで軽便自在に捲揚機を動作させる。トランスミッションは 4 段にバックを有し、エンジンクラッチ軸からスプロケット、チェーンを経て、ウインチドラムを回転する。捲揚速度は大型になると測定速度 250 m/H から 2000 m/H 、捲取速度 5000 m/H が要求される。

番号	ライン	動作部	記事
	赤	元 圧	
1	緑	エンジンガバナ—	エンジン回転コントロール
2	黄	P T O . ON - OF	P T O シフトインギギヤ—接断
3	桃	U P . N . D W N 切替	正転, 逆転切替 (トルクコンバーター)
4	青	エアークラツチ	ドラムエアーフレックス作動
5	茶	エアーブレーキ	ドラムパンドブレーキ 作動



第 5. 6. 2 図 検層車エアーコントロール配管図

ウインチ部は測定値に与えるケーブルインダクタンスの影響を除くため、ドラムおよびドラム軸は非磁性材アームスブロンズを使用する。時にはケーブルの自動巻取り用としてリーバスの溝付スリーブをドラムに上巻きすることもある。巻胴径は捲取りケーブルの耐力を考慮して素線径の400～500倍以上をとる。

またウインチにはスリップリングを備えていて地上装置とケーブルを通じて伝送される電極間の電気信号を結合する。これはウインチドラムと同時回転しているケーブル終端が結線された回転部集電環と、測定器よりの接続コード終端が結線された固定子部刷子間を電氣的に接合する役目をする。集電環と刷子は高速回転体と固定子の接触を通じて微小電気信号を伝達する関係上材質は接触抵抗が小さく、温度変化の影響、高速回転時の接触変動の小さいことが要求されるので集電環に銀合金、刷子に銀カーボン等が使用される。

ウインチマンパネルは測定電極の降下深度・ケーブル張力、揚降速度等を表示するメーターおよびエンジン用ゲージ等を備えていて電極の停滞、抑留等坑井内トラブルに即時対処できるよう設計されている。また車載の場合には捲揚機駆動用の操作レバーを備えているものもある。

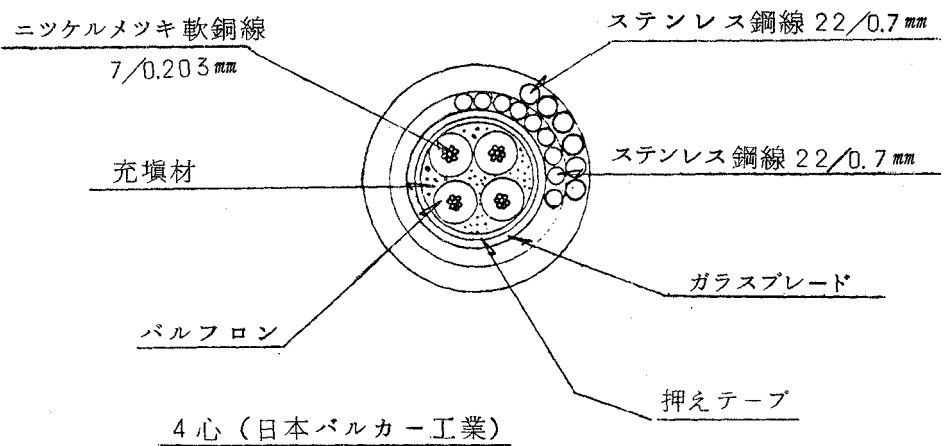
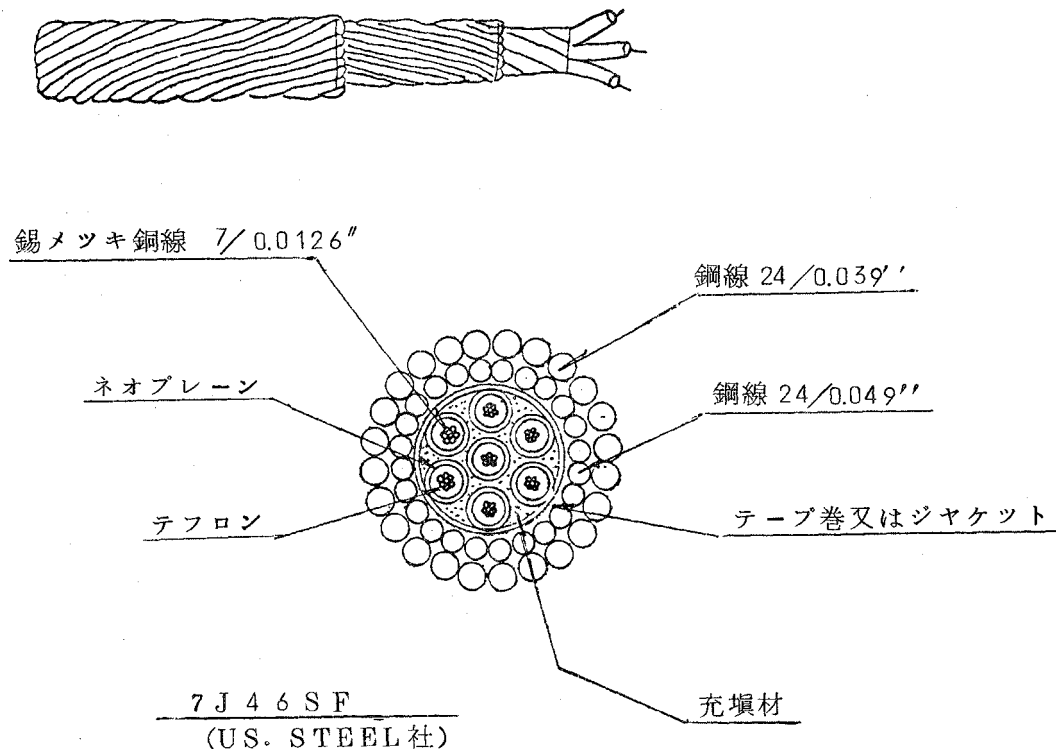
レベルワインダーはケーブルの整列捲取りを行なうためのものでドラムの中心に送りギア機構を備え、ドラム巾より大きく先端を左右に振らせる長さの軸棒を有する。軸棒先端にはケーブルのガイドローラーを備える。

5.6.2 検層用ケーブル

電気検層用ケーブルは、初期の麻編組ケーブルからキャブタイヤケーブル更に現在使用されている鎧装（アーマード）ケーブルに移行してきた。

ケーブルは測定電極を坑井内に降下すると共に電極と地上装置間を電氣的に結合するものである。ケーブルは深度数千米の坑井内を揚降するので坑内での摩擦、時には電極抑留等の事故による重荷重に耐えるため数トンの坑張力を有することが必要であるとともに、坑内圧力および坑内温度に耐えることが要求される。

高温の地熱井において使用する場合には特に耐熱性が問題となる。その使用環境を250℃、300気圧とすれば、絶縁材料には4弗化エチレン（テフロン）、弗化エチレンプロピレン等の耐熱絶縁材料を用いなければならない。またその保護被覆（シース）には、坑張力、耐酸、耐アルカリ性を考えステンレス鋼線の2層アーマードが必要である。



第 5. 6. 3 図 アーマードケーブルの構造 (例)

耐熱ケーブルの構造は第 5. 6. 3 図のように導体 (軟銅燃線) をテフロン, 弗化エチレンプロピレン, ガラスファイバー等の耐熱性絶縁体で包み, 各導体間に充填物を入れ円形状に整形, 編組を施しその上に鋼線 2 重鎧装を施したものでその特性には別表の如きものもある。

第 5. 6. 1 表 アマード、ケーブル仕様例
(US-STEEL 社)

心 数			1 心	3 心	7 心
導 体	材 質	構 成	錫メッキ軟銅線 0.51mm×7本	錫メッキ軟銅線 0.25mm×7本	錫メッキ軟銅線 0.32mm×7本
絶 縁 体	材 質	厚 さ 保 護・充 填	天 然 ゴ ム 1.21mm 線 テ ー プ	天 然 ゴ ム 0.63mm 線 テ ー プ	弗化エチレン・ プロピレン 0.38mm クロロブレン ゴム
ア マ ド	内 外	層 層	鋼 線 18本 " 18本	鋼 線 18本 " 18本	鋼 (1.24) 24本 鋼 (1.0) 24本
仕 上 り 外 径 重 量 kg/km 導 体 抵 抗 破 断 張 力 最 小 捲 取 径			4.6 mm 255 12.7Ω/km 4,200 kg 4.3 cm	9.5 mm 326 50.5Ω/km 5,000 kg 5.08 cm	11.7mm 490 37.7Ω/km 8,500 kg 5.08 cm

第 5. 6. 2 表 国産耐熱ケーブルの例

綿 心 数			心	5	4
導 体	材 質	構 成	本/mm	銀鍍軟銅, ステンレス	ニッケル鍍軟銅
	外 径	mm		7/0.26, 12/0.26	7/0.203
	テフロン絶縁体厚さ	mm		0.55 (チューブ)	0.4 (クロスラップ)
介 在 物				—	ガラス繊維
テフロンテープ巻厚さ			mm	0.4	0.4
クロロブレンシース厚さ			mm	2	—
編 組 (ガ ラ ス 繊 維)				—	ガラス繊維
ア マ ド	材 質	装 装	本/mm	—	ステンレス鋼線
	内 装	本/mm		—	24/0.55
	外 装	本/mm		—	24/0.7
最 大 仕 上 り 外 径			mm	13.2	6.7
破 断 荷 重			kg	500	2000以上
電 気 試 験	導 体 抵 抗	Ω/km		60	85
	試 験 電 圧	V		1500以上	1500
	絶 縁 抵 抗	MΩ/km		1000	1000
概 算 重 量			kg/km	195	170
耐 熱 性			℃-h	200-24	260-4

5.6.3 その他の機器

ケーブル案内輪

案内輪はケーブルが坑井内をスムーズに上下動できるよう支点と滑車の役目をするもので、上吊り用と元付け用がある。

動輪直径はウインチドラムと同様アーマードケーブルの耐力を考慮して決められる。

上吊り用は槽フックに吊下げて使用されるもので、その溝巾はトルペットハウジング径より大きくすることが必要である。案内輪フックはケーブルヘッドが通過できるよう設計されている。

元付け用は槽下アングルに取り付け使用されるもので動輪の回転を深度発信信号に変換するセルシンモーターを備える。そのため動輪外径は使用されるケーブルの中心径に円周率を乗じたもの即ち周長が深度換算に容易なように1 mあるいは2 mにつくられる。セルシンモーターと案内輪との回転歯車比はレコーダーのチャート送り機構と対応して検層記録の縮尺（ $1/100$ 、 $1/200$ 、 $1/500$ ）仕様に応じて設計される。

測深装置と深度較正機構

測定電極の降下現在深度を確実に把握すると共にその検層記録が測定深度と合致していることは検層作業にとって基本的なもので極めて重要なことである。

その深度の把握は元付案内輪に装置されたセルシンモーターにより電氣的に深度受信機構前段に送られるものと、車載捲揚機の場合に捲揚機に装置されたレベルワインダーのガイドローラー部と一体に取り付けられたメジャリングシープの回転をロッド結合により機械的に伝達するものがある。メジャリングシープは周長50 ㎞でアーマードケーブルとの摩擦による摩滅に強く然も摩滅による周長の変化を微調整できる構造で、シープ外周にはスリップ防止のためウレタンラバーコーティング等を施す。

これら深度発信の基本となるシープはアーマードケーブルとの摩擦で回転する関係上、時にはスリップを起したり、製作時あるいは使用中の摩滅で周長に微誤差を生ずることもあって、その受信深度は必ずしも正確でない場合がある。そのため、あらかじめケーブルの検尺をおこない、その鎧装に50 米間隔毎の磁気マークを施しておき、磁気検出器による検出深度と深度受信機構に直結する深度表示器（タコメーター）の深度が合致することを確認する方法がとられる。この両者間に相異がでた

ときは深度受信伝達機構の中間に設けられた差動機構（ディフレンシャルギヤー）を操作，深度を正確なものに較正する。

レコーダーのチャート送り機構は，ON，OFFスイッチ前段が差動機構後段の受信深度伝達主軸に深度表示器伝達軸と連動で作動するようになっているので，検層記録も併せて深度補正され正確なものとなる。

磁気検出装置は，レベルワインダーのケーブルガイドローラー直上に設置される検出コイルと，この下面をケーブル磁気マークが通過したとき発生する起電力により動作する接点スイッチ（メーターリレー），これに連動する警報ベルを有する検出盤で構成される。この警報で測定者は磁気マークの通過を確実に知り深度較正を確実にする。

張力計

本器は検層時坑井内に降下されたアーマードケーブルと測定電極の揚降吊り荷重を連続的に測定することによって，坑井内での事故防止，事故発生時の適切な処置を講ずるために用意される。

装置は槽フックと上吊り用案内輪間にセットする発信器（ロードセル）と，吊り荷重を示すメーター等を有する受信器で構成される。発信器と受信器間は長いシールドコードで接続される。

発信器は吊り荷重に応じて微小伸縮する軸棒に張りつけられたストレンゲージ（電気抵抗体）をホイートストンブリッジを構成する可変抵抗部に使用，吊り荷重の変化を電位変化に転換する。

受信器は測定者，捲揚機係が監視できる位置に設置される。メーターは全吊り荷重を表示する親メーターと微小荷重の変化を読み取る子メーターを有していて発信部よりの信号をメーター偏位で表示する。メーター感度は2段切替になつていて親を2.5トンと5トンスケール，子を50Kgと250Kgスケールに設計しているものもある。

リユースリケーター。

坑井内の温度，流量，圧力などを坑内流体の流出中又は密閉中に測定する場合に
は測定電極の降下には坑口にリユースリケーターを装着しなければならない。この装置は，坑井を密閉することなく噴気中の温度・圧力を測定できるようにしたもので，測定中に密閉，開放を行うことができる。坑内測定ゾーンの径により4吋，8

時の2種が必要となろう。

5.6.4 検層用ケーブルの腐蝕試験

高温な地熱井でいろいろな坑井内調査に使用される検層用ケーブルは、その特性上耐熱性・耐圧性に相当きびしい性能条件が要求される。

一方これらの諸特性以外に地下より噴出される腐蝕性ガス（主成分は H_2S ）によってケーブルの鎧装（アーマー部）が侵蝕され、ひいては耐熱性の絶縁材料までもその性質を阻害し、ケーブル全体の性能を著しく低下させることが懸念されている。

そこでケーブルの鎧装部がどの程度ガスにより侵蝕されるか、長期的耐久試験を実際に地下より噴出している地熱蒸気中に試験片を密封して実施している。

この試験は現在もお継続中でこれらの試験結果は後日とりまとめて報告する予定であるが、今回は試験の要領を示すだけである。

1. 試験場所

岩手県岩手郡松尾村寄木

日本重化学工業（株）松川地熱発電所

2. 試験に使用している蒸気

松川4号井より噴出する地熱蒸気（乾き蒸気で熱水は噴出しない。）

蒸気成分表（Vol %）

水とガス比； H_2O 98.55，gas 1.45

gas 組成； H_2O 10.0， CO_2 87.0，R 3.0

R gas組成； H_2 32.0， N_2 46.0， CH_4 22.0

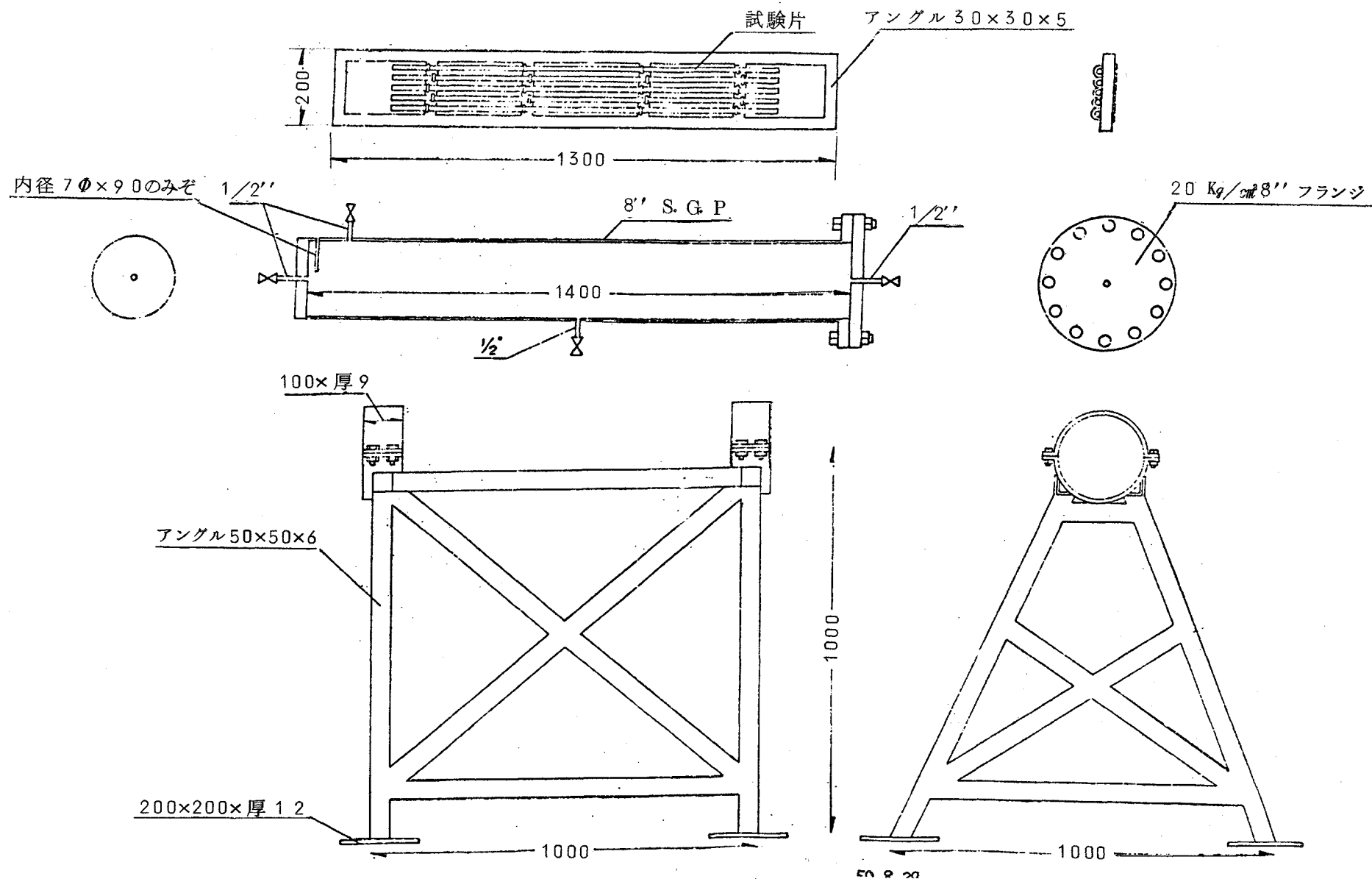
3. 試験装置；第5.6.4図参照

4. 試験片；U.S.S社製のSteel Armored Cable

型式 7J52TF

5. 試験期間及び方法

上記試験片を長さ1mのものを5本用意し、試験装置内に着装密封後蒸気を通じて、10日、20日、40日、80日、160日後にそれぞれとり出し蒸気中のガスによる腐蝕程度を観察する。



第5.6.4図 U.S.S社製 Armored Cableの長期試験装置 (Type; 7J52TF)

6. 総 括

わが国の地熱発電は、昭和41年の松川に始まり、この数年内には約200MWになるうとする趨勢にある。しかしこれまでの開発過程においてみるに地熱貯溜層の実態把握は決して充分とはいえず、必ずしも地熱エネルギーの有効的生産が行われているとは思われない現状である。このような観点より特に緊急に開発が望まれているものに地熱貯溜層内の亀裂検出技術の開発がある。昭和50年度は、この亀裂検出に最も効果的と考えられる抗壁圧着型PSソニック検層機の開発に着手した。

本機は特に受発信器を地層に圧着させ、音波エネルギーを直接地層に送り込む機構、亀裂面の定量評価や孔隙率算定に優れた特性をもつS波の併用、抗内エレクトロニクス部の冷却機構などに多くの新しい開発要素をもつものである。これに51年度製作予定のマイクロサイスモグラムログを組合せることにより地熱井における亀裂面検出の主力となるであろう。

連続流量計は自噴状態下における抗井内流体の流出又は流入姿態および深度の確認など蒸気・熱水の挙動を測定するものでこれに51年開発予定の温度・圧力要素を加えれば地熱生産に関する重要な指針を与えるデータとすることが出来る。

本器については、50年度既存のスピンナー流量計を基として耐熱(250℃)耐圧(300Kg/cm²)特性の向上と作動の安定化、ならびに発信機構に大きな改善が加えられ、主として熱水流速測定を対象としたものを設計製作した。51年度現地試験の予定である。

これらの開発機器については、各部に耐熱遮水機構、耐熱部品を使用しなければならない。これらの部品のテスト用として約5.5ℓ(120mmφ×500mm)の耐熱耐圧試験装置(300℃, 300Kg/cm²)を製作し開発試作に供している。

以上の抗井内測定機器開発のほか委員会として長期的な展望にたつた開発計画を策定した。即ちその進め方については、抗井内環境を第1期250℃, 300気圧とし、その目的を地熱貯溜層の実態と規模の解明においた測定項目を選定し、昭和50年～56年の間に夫々の機器開発と測定法の確立、同時に解析技術の確立をおこない今後の地熱開発に役立つものとする。

次に地熱開発の対象が熱水・蒸気を併う地熱貯溜層のみならず高温岩体貯溜層への進展に備えれば、第2期300℃以上の環境を想定した開発が必要となろう。この様な高温に対処して本期間中にも十分なフィジビリティスタディを行ない、超耐熱部材の開発が必要であると考えられる。

長期計画の項目としては次のものがあげられる。

分 類	検 層 項 目
1. 地熱貯溜層探査機器の開発 ① フラクチャー検出技術 ② 有効層厚の決定 ③ 貯溜層規模推定 ④ 熱構造の探査	PSソニックログ, 坑内テレビカメラ, ソニックテレビュアー ESログ, ラテログ, マイクロラテログ ディップメーター, 3D音波検層, γ - γ ログ インダクションログ 坑内ヒートフローメーター
2. プロダクション検層	連続流量計, 温度計, 圧力計, BHサンプラー
3. 坑井元分析システムと測定データの伝送	ガス検出監視装置, ビットレベルメーター, インジェクション, プロファイル(ソフト), データ伝送システム
4. 検層付帯装置	耐熱ケーブル, ウインチ, 検層車, 坑口装置 ほか
5. 貯溜層評価技術(ソフト)	貯溜層モデリング, 物質収支(熱および水)モデリング, 検層データの総合解析
6. 超耐熱部材の開発	300℃以上耐熱ケーブルのモデル試作

以上昭和50年度における地熱坑井内測定技術の研究内容を総括して述べたが、先づこれらの測定機器の開発と総合的解析技術の発展を推進することにより、地熱貯溜層の実態とその規模を解明し最も合理的な開発と生産の指針とすることは、わが国地熱開発の将来に大きく寄与するものであることを確信する。

以 上

JN0040380