

深さ 500 m の立坑における 石炭の水力輸送用自動化ハイドロホイスト

Automatic Hydro-Hoist for Hydraulic Coal Transport
in a 500-meter Deep Vertical Shaft

渡辺 慶輝*
Yoshiteru Watanabe

坂本 正克**
Masakatsu Sakamoto

内田 健二**
Kenji Uchida

要 旨

革新的な固体の高揚程水力輸送装置である自動化ハイドロホイストが、三井鉱山株式会社砂川鉱業所の、深さ 500 m の立坑の送炭を開始した。このハイドロホイストは、実用第 1 号機であり、長年の目標である炭坑の本格的な水力輸送が、ここにはじめて実現することとなった。

なお本ハイドロホイストでは、世界でも最初の試みとして、濃度の自動制御を試験中である。

1. 緒 言

石炭などの固形物混相液の水力輸送は、決して新しいものではなく、小規模のものは、サンドポンプの形で盛んに利用されてきた。地形に左右されることなく、パイプ 1 本で、どこにでも輸送できるという特長があるので、その用途は最近とみに拡大しつつある。

この水力輸送によって、坑内の石炭を地上まで輸送しようという考えは、かなり昔からあり、わが国でもすでに戦前に三雲教授の論文⁽¹⁾が発表されている。しかし、この構想が実現しなかったのは、適当な揚炭用ポンプが存在しなかったためである。

普通のサンドポンプは単段で、数十メートルの揚程しか得ることができず、数百メートルの立坑の揚炭には使用できない。多段サンドポンプの試みも多少は行なわれてはいたが、ウエアリングリング・ステージブッシュやパッキンなどの摩耗が著しく、数百時間の寿命しか得られないため、立坑の水力輸送用として実際に使用することができなかった。この困難を克服するために考案されたのが、ハイドロホイストである。

ハイドロホイストは、高圧清水ポンプの吐出管に、石炭などの混相液をそう入して、高揚程水力輸送を行なう装置である。ハイドロホイストでは、石炭の管路へのそう入部分と、高揚程水力輸送に必要な圧力発生部分とがわかれている。したがって、従来の清水用高圧ポンプがそのまま使用できるため、揚程 1,000 m 以内の立坑なら文句なしに水力輸送ができる。

ハイドロホイストの開発は、1951 年ごろアメリカで成功したのを契機として、世界各国で行なわれた。日立製作所は、以前から独自の研究を続けており、神林炭鉱に実揚程 520 m の側筒式ハイドロホイストを納入した。これが、わが国における実際規模の装置の最初のものである。またこれとは別に、1953 年以来、東京工業大学、石炭総合研究所、日立製作所の三者の共同研究で、主管圧送式ハイドロホイスト⁽²⁾の基礎研究を実施してきた。日立製作所では、この方式をさらに発展させたコンバインドハイドロホイスト⁽³⁾を開発し、その研究を続けてきた。

石炭技術研究所では、上述の成果をすみやかに普及し、実用化をはかるために、昭和 36 年度に、古河好間鉱業所の坑内に、日立製作所製の実際規模の試験装置を設置し、1 年以上の詳細な試験を実施した。その結果、完全に、実用可能との見通しを得ることができた⁽⁴⁾。

その後、実用機としてより完全なものとするための各種試験研究

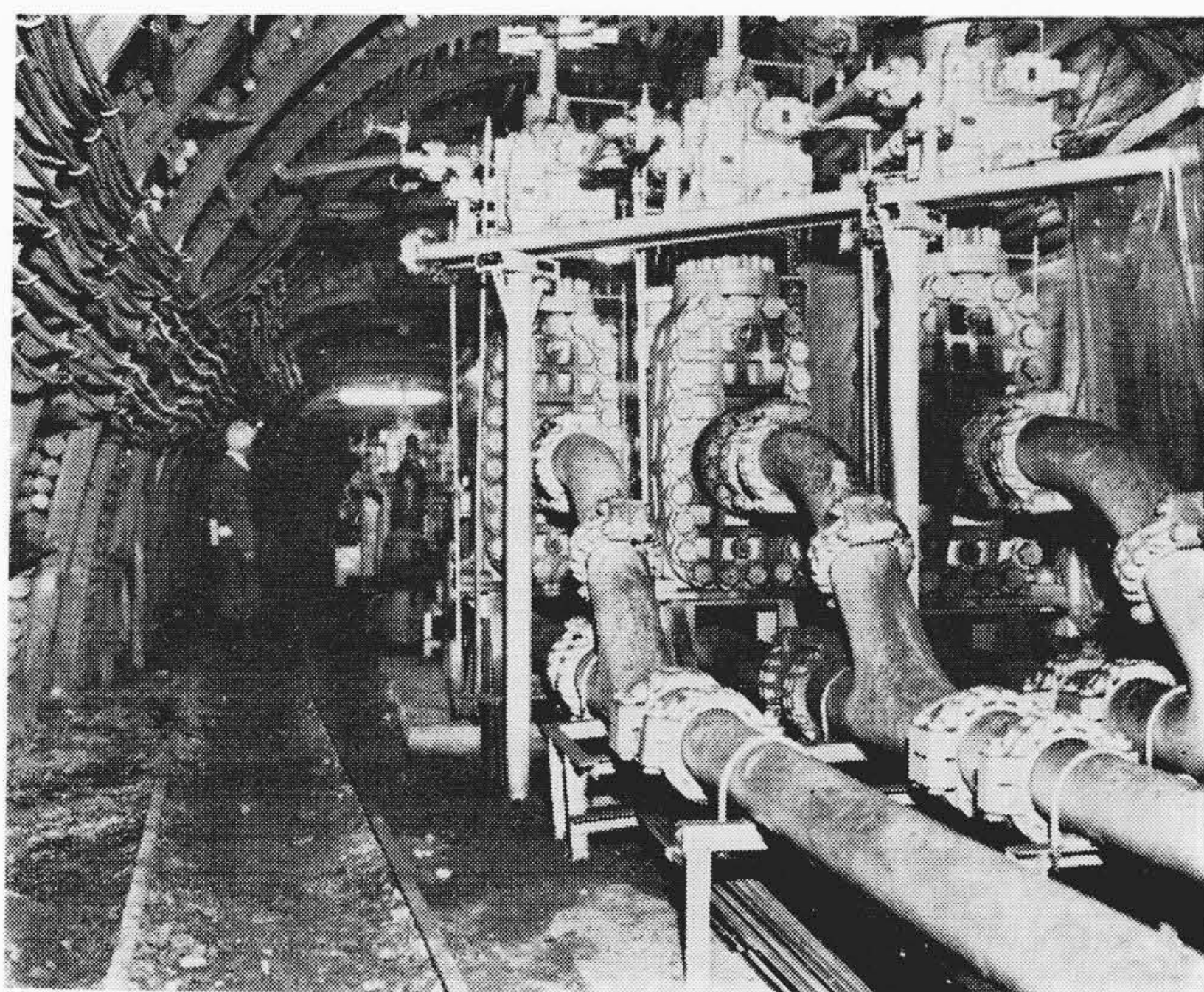


図 1 三井砂川鉱業所ハイドロホイスト坑内設置状況

を実施し、古河好間での経験も十分におりこんで、新たに設計製作した実用機第 1 号が日立製作所より石炭技術研究所に納入されたのである。本ハイドロホイストは、三井鉱山砂川鉱業所登川坑の坑内に設置され、運転開始以来連日送炭を行なっている。

なお今回のハイドロホイストには、世界でも最初の試みとして、濃度の自動制御装置が取り付けられている。これは新たに開発された濃度計で給炭量を自動的に調整し経済的な高濃度輸送をめざしたものである。

2. ハイドロホイストの原理と動作

ハイドロホイストは、供給管の中へ、低圧サンドポンプによって固体混相液を送りこみ、次に高圧清水ポンプによって、この混相液を輸送管へ送りだすものである。主要機器は 3 本の供給管、各供給管に付属する、A、B、C、D の各操作弁、操作弁用の制御機器、サンドポンプおよび高圧清水ポンプなどである。

具体的動作は次の順序によって行なわれる(図 2 参照)。

- (1) A 弁と C 弁を閉じ、B 弁と D 弁を開く。サンドポンプから送られた混相液が、供給管の中に充てんされる(図 2 No. 1 参照)。
- (2) 混相液がちょうど供給管に充てんされたところで、B 弁と D 弁を閉じる(図 2 No. 2 参照)。
- (3) A 弁と C 弁を開く。供給管に充てんされている混相液を、

* 石炭技術研究所第一研究部

** 日立製作所亀有工場

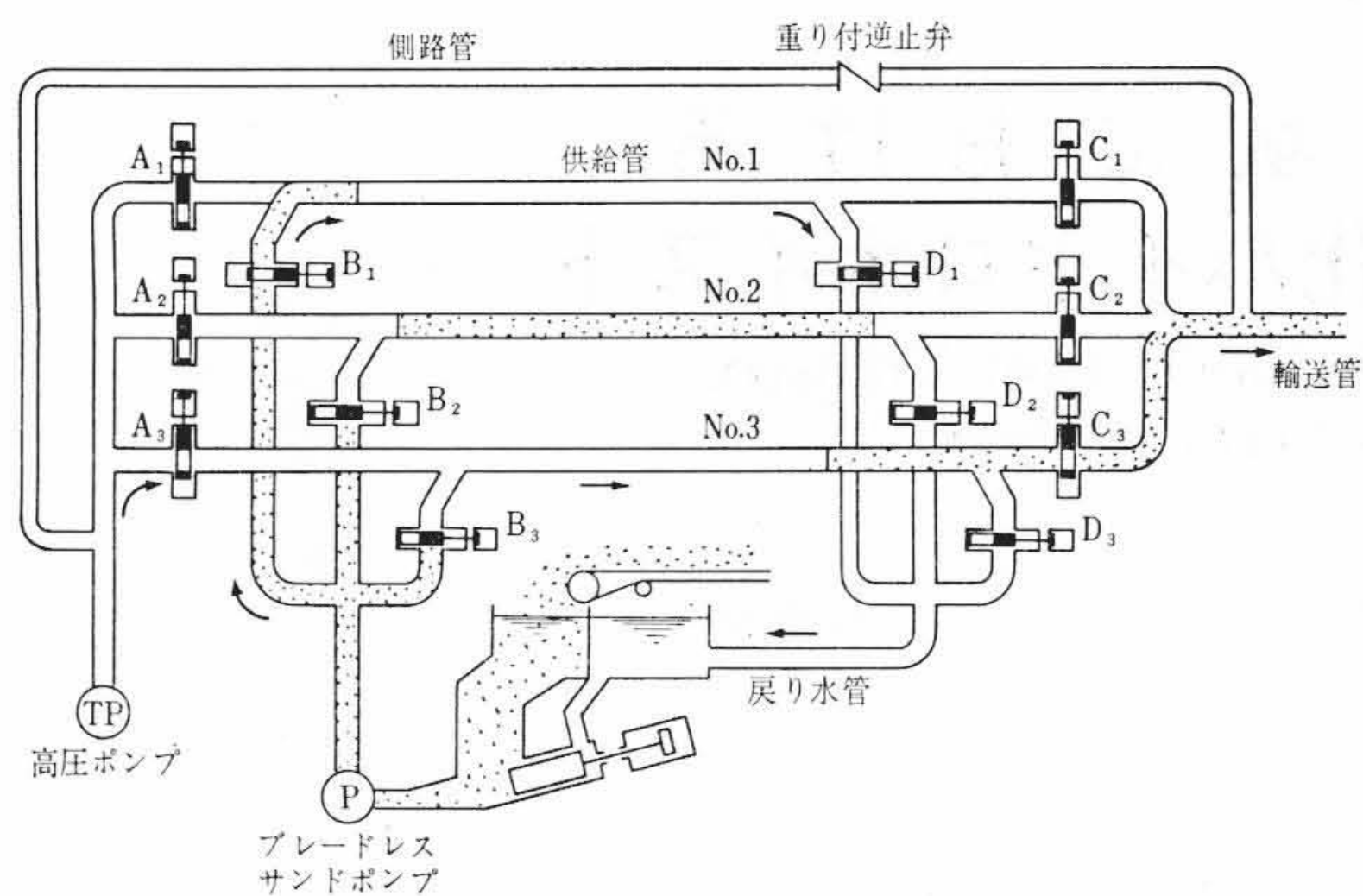


図 2 ハイドロホイスト原理説明図

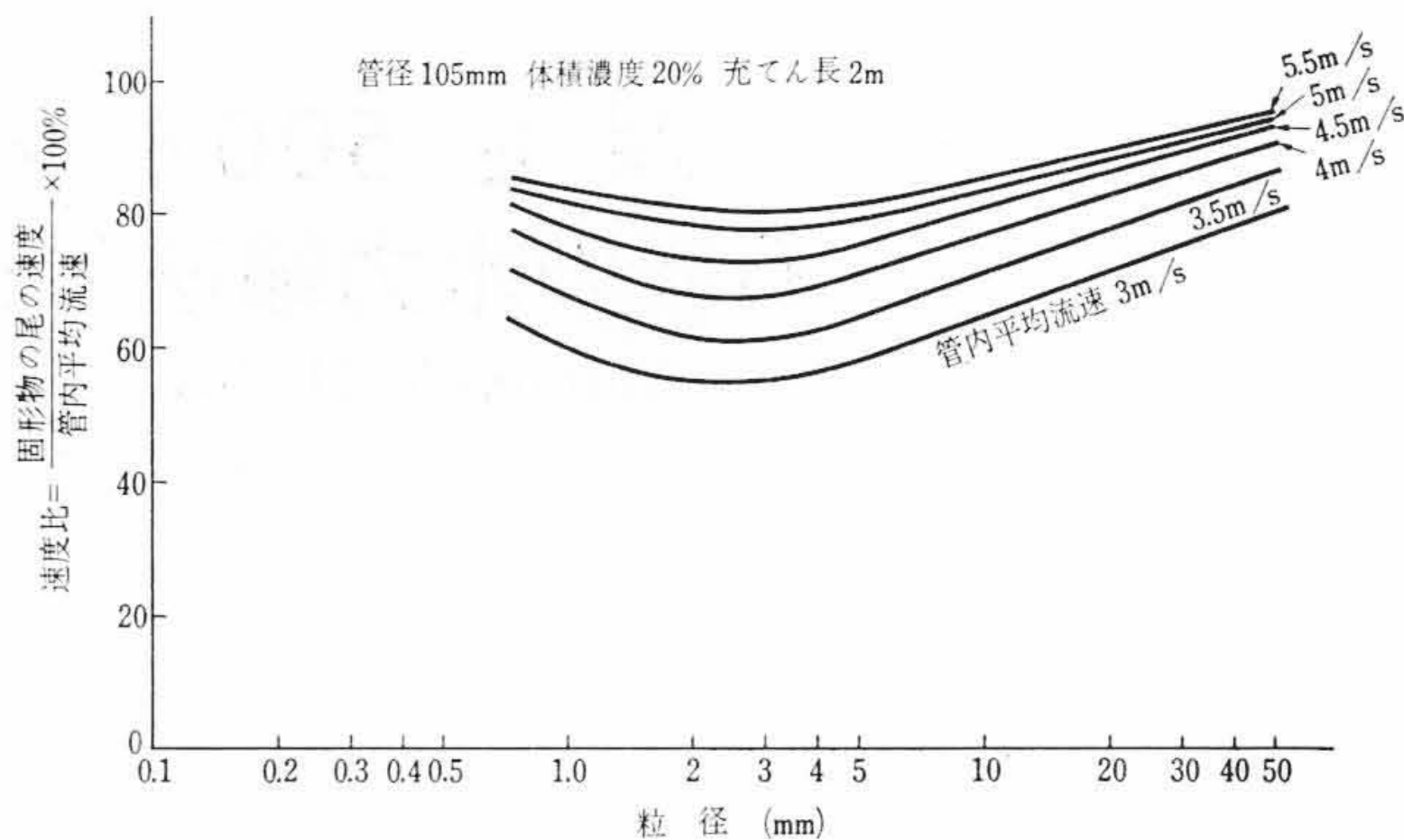


図 4 粒径と速度比との関係

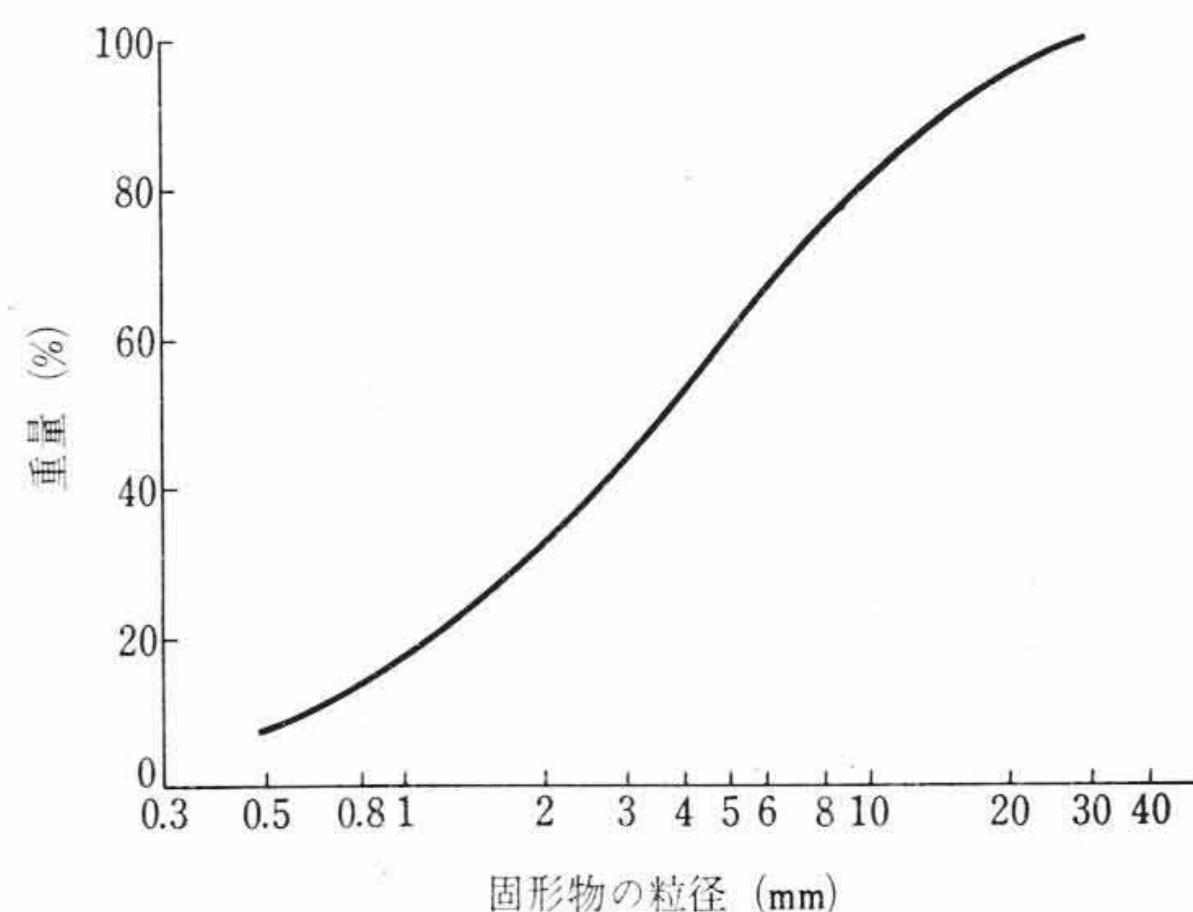


図 5 粒度分布 (三井砂川)

- (1) 弁(特にC弁)が閉じる際、石炭をかみ込み、弁が損傷する。
- (2) 供給管中に石炭が残留する。その結果、戻り水中に石炭が含まれることになり、輸送効率を低下させる。

解決策としてサンドポンプの回転数を上げて流速を増すこと、および弁の切換時に弁の開閉を同時におこなって、弁開閉の際の供給管内流速の低下を防ぐことなどを実施したが効果がなかった。したがってこの点に関する基本的性質をしらべるための研究を行なった。

図 3 は研究設備を示したものである。全長は約 50 m あり、管内径が 80 mm および 100 mm の 2 種類について試験した。

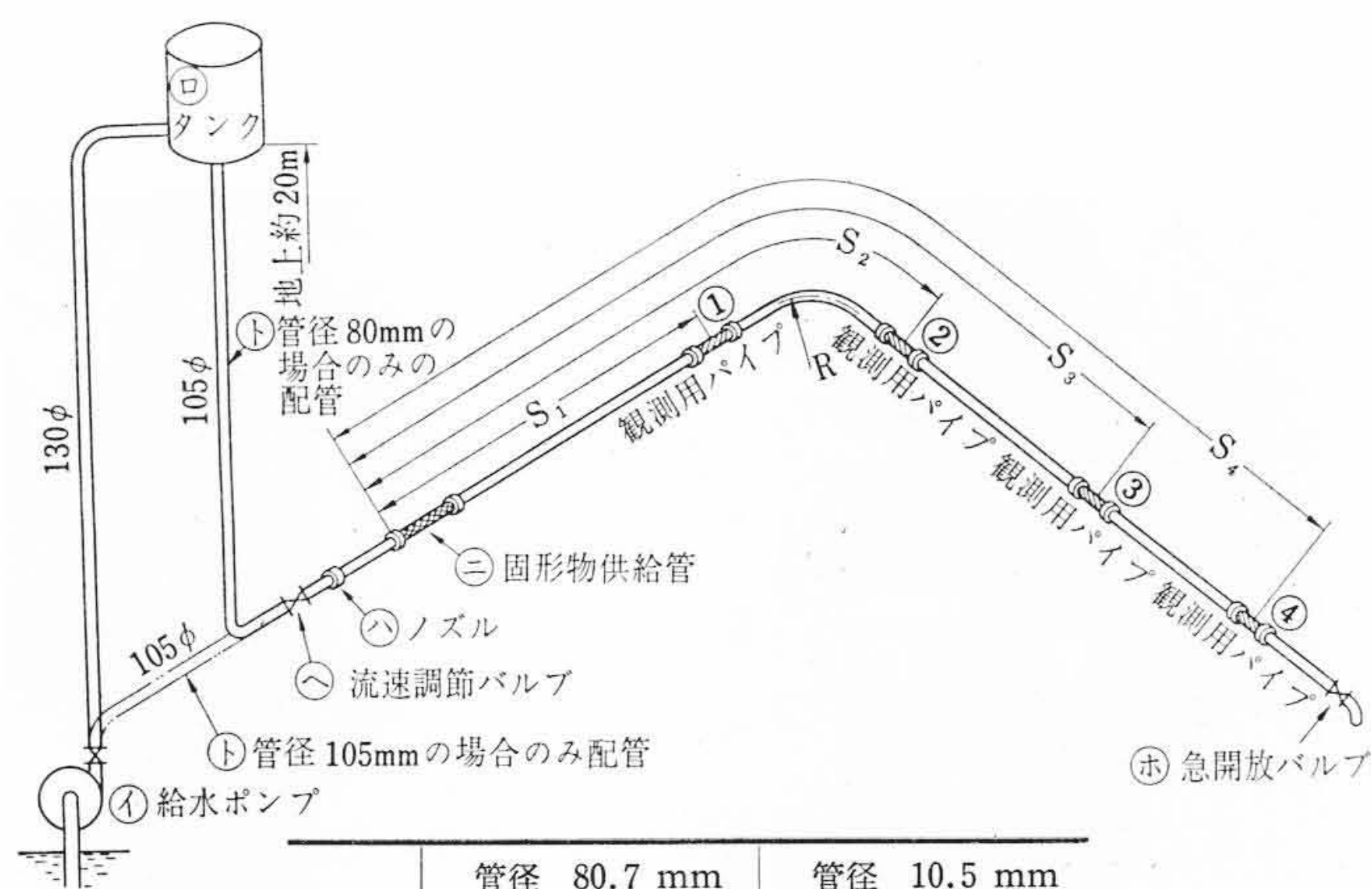
最初、管路中に固形物を所定濃度になるように充てんした後、静かに水を管路に満たした。次に管路先端のピンチバルブを急開することにより、管内の水および固形物が所定の流速で流れるようにした。管路の中には透明管を設け、固形物後尾の位置が測定できるようにした。試験結果の一例は図 4 に示すとおりである。

この試験の結果次のことがわかった。

- (1) 粒子径の違いによって混合液後尾の遅れの度合いが異なり、粒子径がほぼ 3 mm 程度のとき、もっとも遅れが大きい。
- (2) 粒子径 3 mm 程度の粒子では、平均流速をはやめても、混合液後尾の速度は平均流速とは一致しないが、平均流速に対する比は、0.8 を著しく越えることはない。

一般に輸送する石炭の粒子径は、図 5 に示すように、30 mm の大塊から、きわめて細かい微粒子まで分布しているの、当然 3 mm 付近の粒子を含む。したがって、混合液後尾は平均流速に対し、20% 程度の遅れを生ずるものと推定される。好間の際の後尾の速度も、平均流速に対し、ほぼ 80% であったことから考えて、これが、好間において生じた戻り水中への石炭混入現象のおもな原因であると考えられる。

今回のハイドロホイストでは、この点を十分考慮し 20% の遅れは当然生ずるものとして、供給管内の流速が 5.5 m/s になるように



	管径 80.7 mm	管径 10.5 mm
S ₁	13.4 m	15.1 m
S ₂	24.6 m	26.3 m
S ₃	35.9 m	—
S ₄	47.1 m	48.8 m
R	1.6 m	2 m

図 3 混相液後尾の速度実験装置

高圧清水ポンプからの清水によって輸送管中へ送りだす(図 2 No. 3 参照)。

この動作を、No. 1, No. 2, No. 3, の各供給管ごとに交互にくりかえすことによって、輸送が連続的に行なわれる。これらの動作は、指令装置の指令によって正確に続けられてゆく。操作弁の形式は、ハイドロホイスト用として、特に開発されたプレート弁である。操作弁の開閉は油圧によって行なわれる。

3. 予備研究および試作

3.1 混相液後尾の速度の研究

古河好間のハイドロホイストでは次式の F の値がほぼ 20 に達すると混相液後尾の流速が平均流速に一致するものと考えて供給管を設計した⁽⁵⁾。

$$F = \frac{v^2}{gD} \cdot \frac{1}{\delta - 1}$$

- v : 平均流速 (m/s)
 g : 重力の加速度 (m/s²)
 D : 管内径 (m)
 δ : 固形物の真比重

ところが、実際は予想に反して、混相液後尾の速度は、平均流速に比べ、かなり遅いことがわかった。

このように、混相液後尾の流速が平均流速より著しく低いと、供給管において、次のような不都合が生ずる。

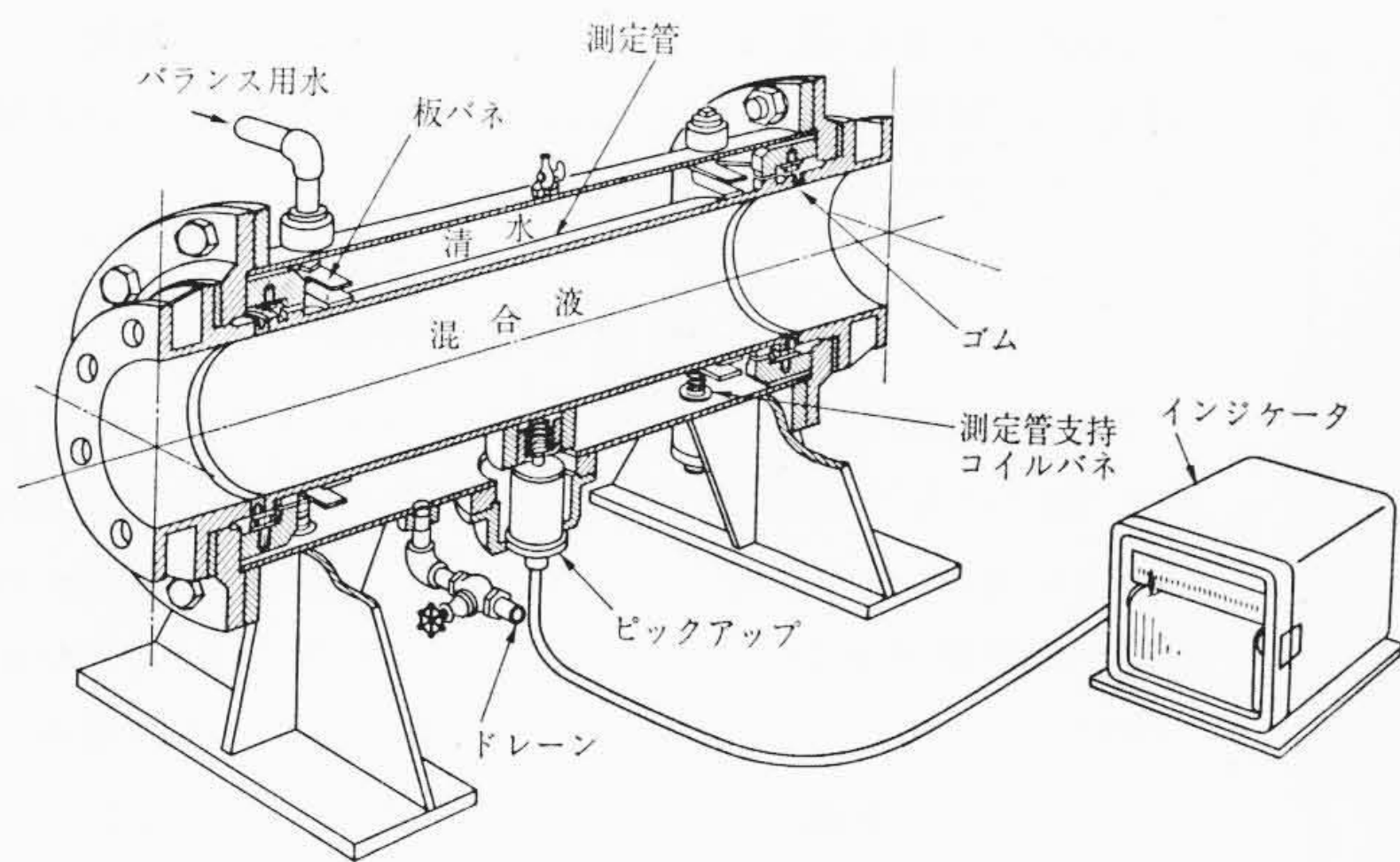


図6 濃度計立体図

設計してある。

後述するように、運転結果は予想どおり好調であった。

3.2 濃度計の試作

三井砂川のハイドロホイストでは、はじめての試みとして、濃度の自動制御を実施することにし、それに適した濃度計を試作した。

この原理は、図6に示すように両端をゴムを介して固定パイプに接続した短管の重量を、抵抗線ひずみ計方式のピックアップによって検出するものである。ゴムの変形を防ぐために、測定管全体をケーシングでおおい、それに清水を満たし、清水の圧力を管内圧力と等しくするようにした。ピックアップは完全密閉形で、ごみや微粒

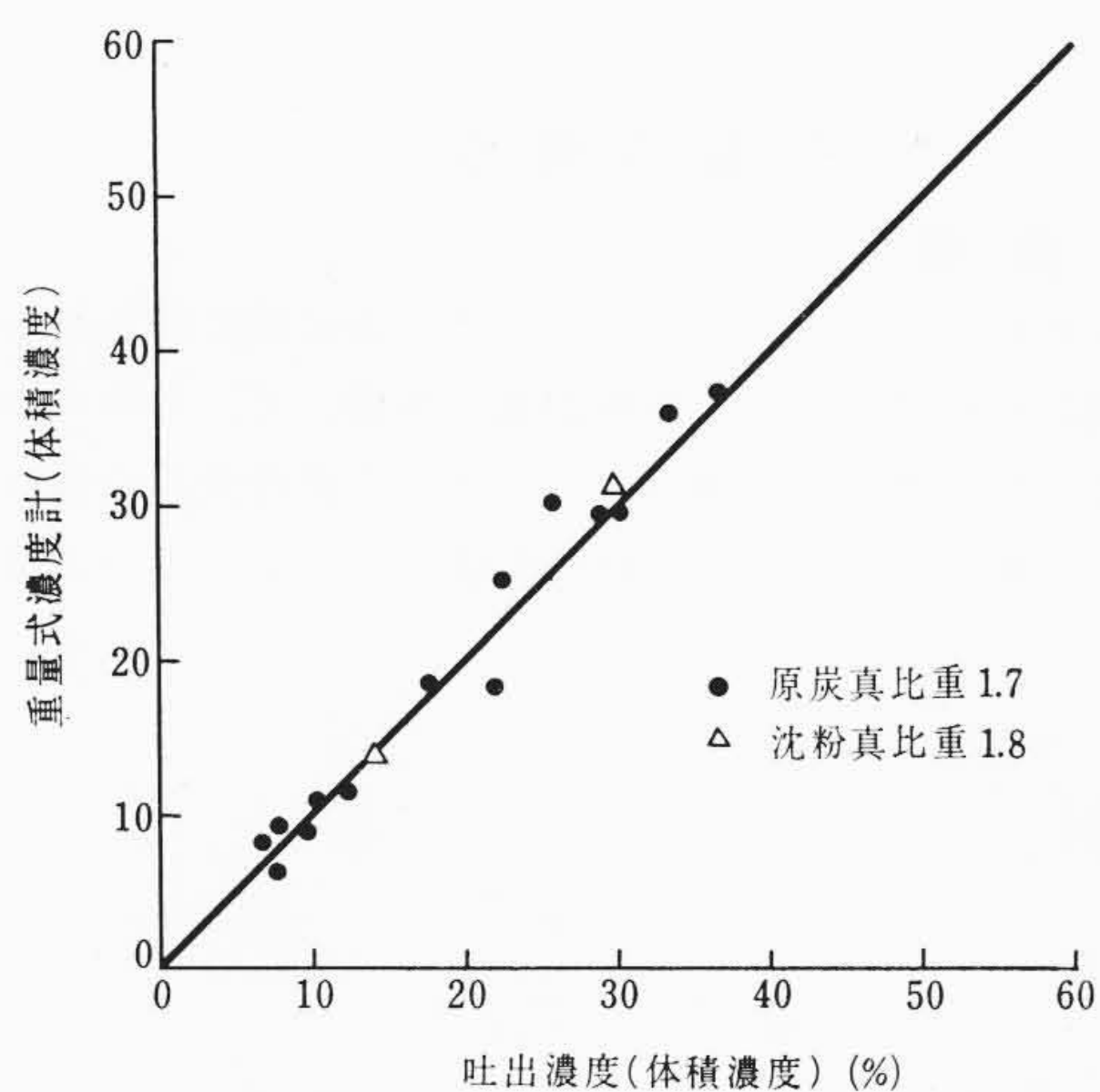


図7 濃度計と吐出濃度の比較

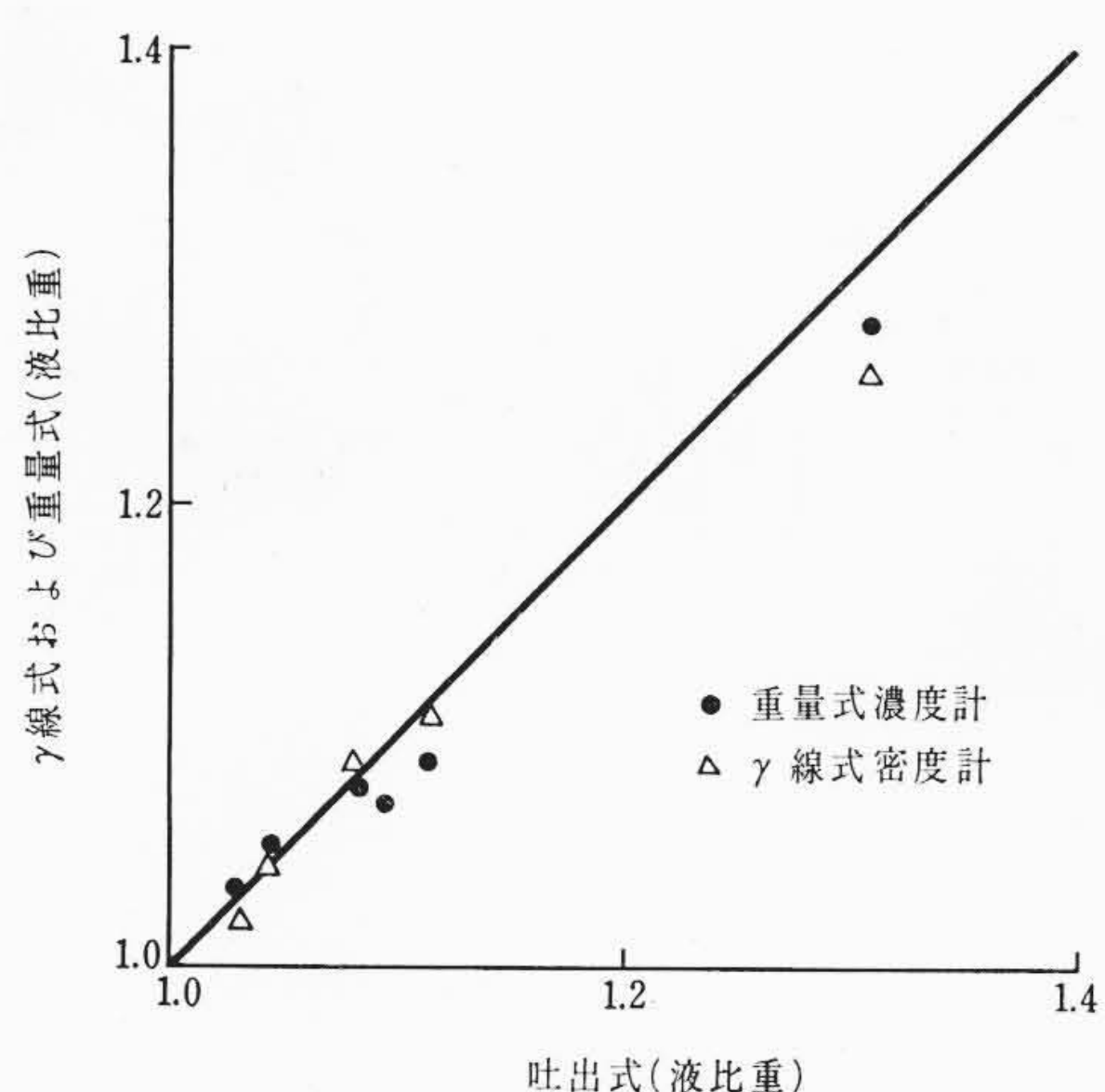


図8 γ線式および重量式濃度計と吐出濃度の比較

子がはいらないような構造である。

混合液の真体積濃度 C は次式で求めることができる。

$$C = \frac{G - G_w}{K(\delta_m - 1)}$$

G : ピックアップにかかる重量

G_w : 管内に清水の流れているときのピックアップにかかる重量

K : 比例定数

δ_m : 固形物の真比重

(試験結果)

本器の直線性は良好でヒステリシスはほとんどなかった。

ポンプを運転し、実際に固形物を通過させたときのポンプの吐出濃度と、この濃度計の示した値との比較は図7に、また γ 線密度計との比較は図8に示すとおりである。

試験の結果、本濃度計は、自動制御に必要な速応性の点でも、十分満足できるものであることがわかった。

3.3 濃度の自動制御試験

ハイドロホイストによる水力輸送の効率を高めるためには、高濃度輸送を実施することがきわめて有効である。その高濃度輸送を達成するには、濃度のばらつきを極力小さくすることが大切である。そのような理由から、濃度の自動制御試験を実施することにした。

濃度の自動制御については、一部にアイデアが紹介されている⁽⁶⁾ものの、具体的実施例はまったく見当たらない。したがって制御の方法それ自体を開発する必要があった。種々検討の結果、図9のような方法を採用することとした。すなわち、ブレードレスポンプの吸込管に濃度計を取り付け、その信号を、増幅器を経て、油圧コントローラへ送る。油圧コントローラからの信号を油圧サーボモータにより、可動管に伝える。可動管は、混合槽下部の開口部の間げきを調整する働きを有し、これにより濃度を加減することができる。図10はこの濃度制御系のブロックダイアグラムである。

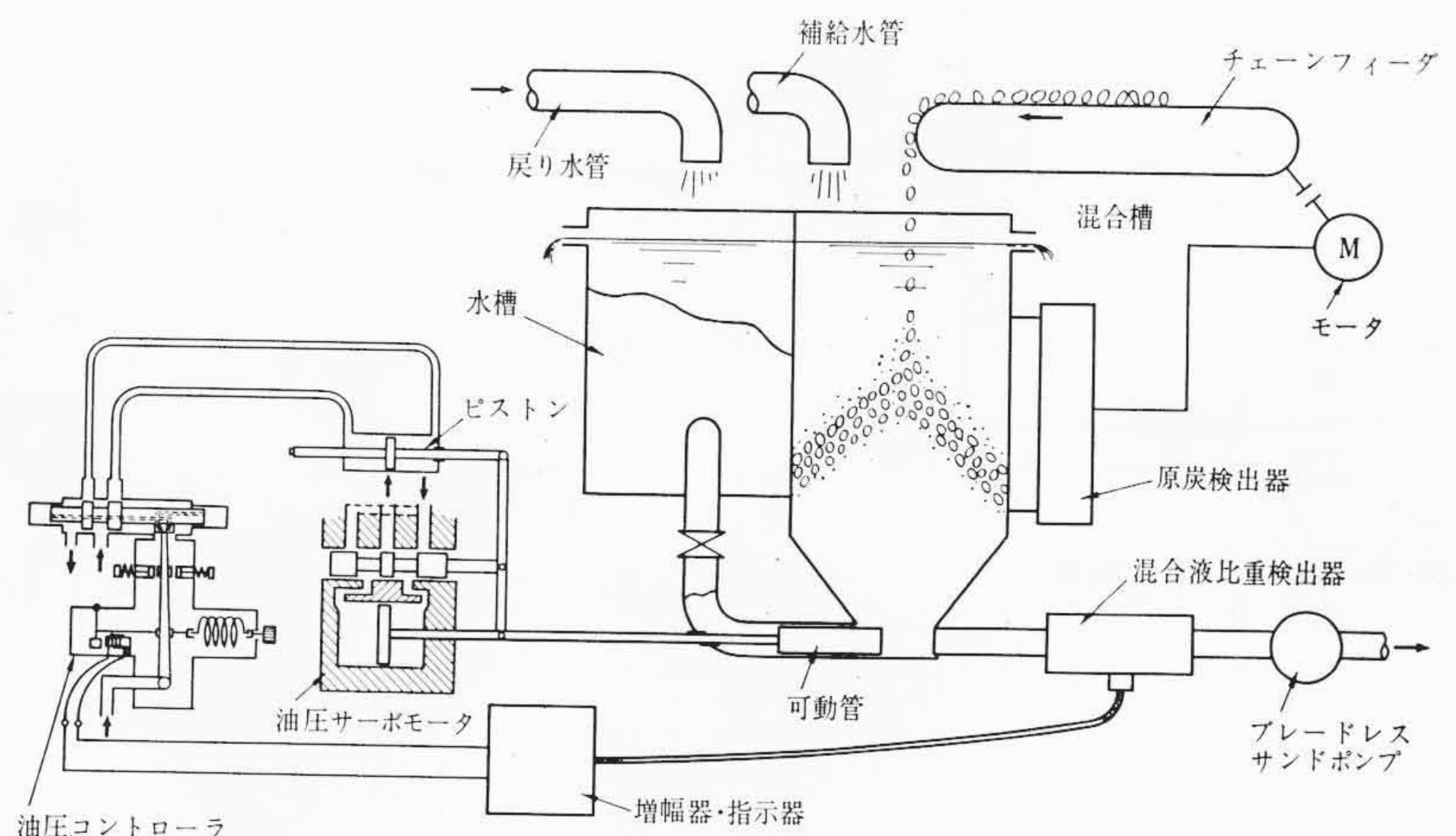


図9 濃度制御装置

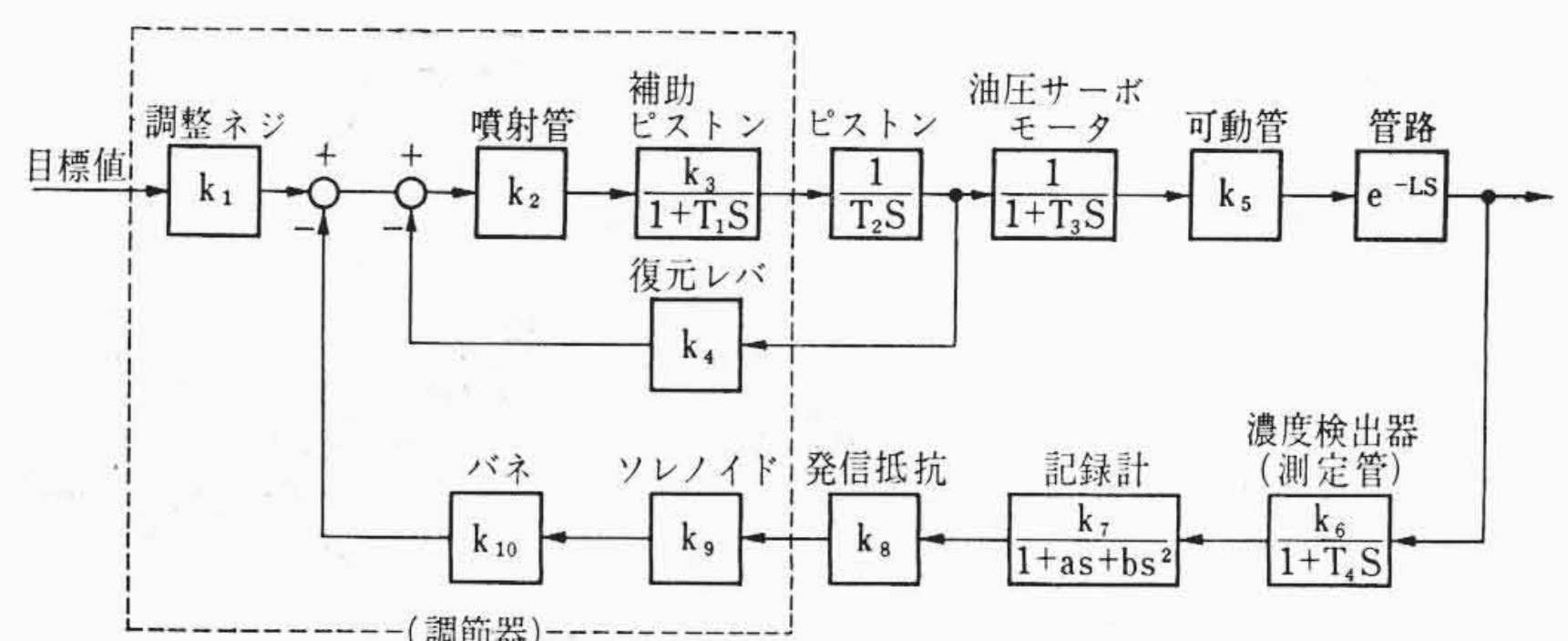


図10 濃度制御系ブロック線図

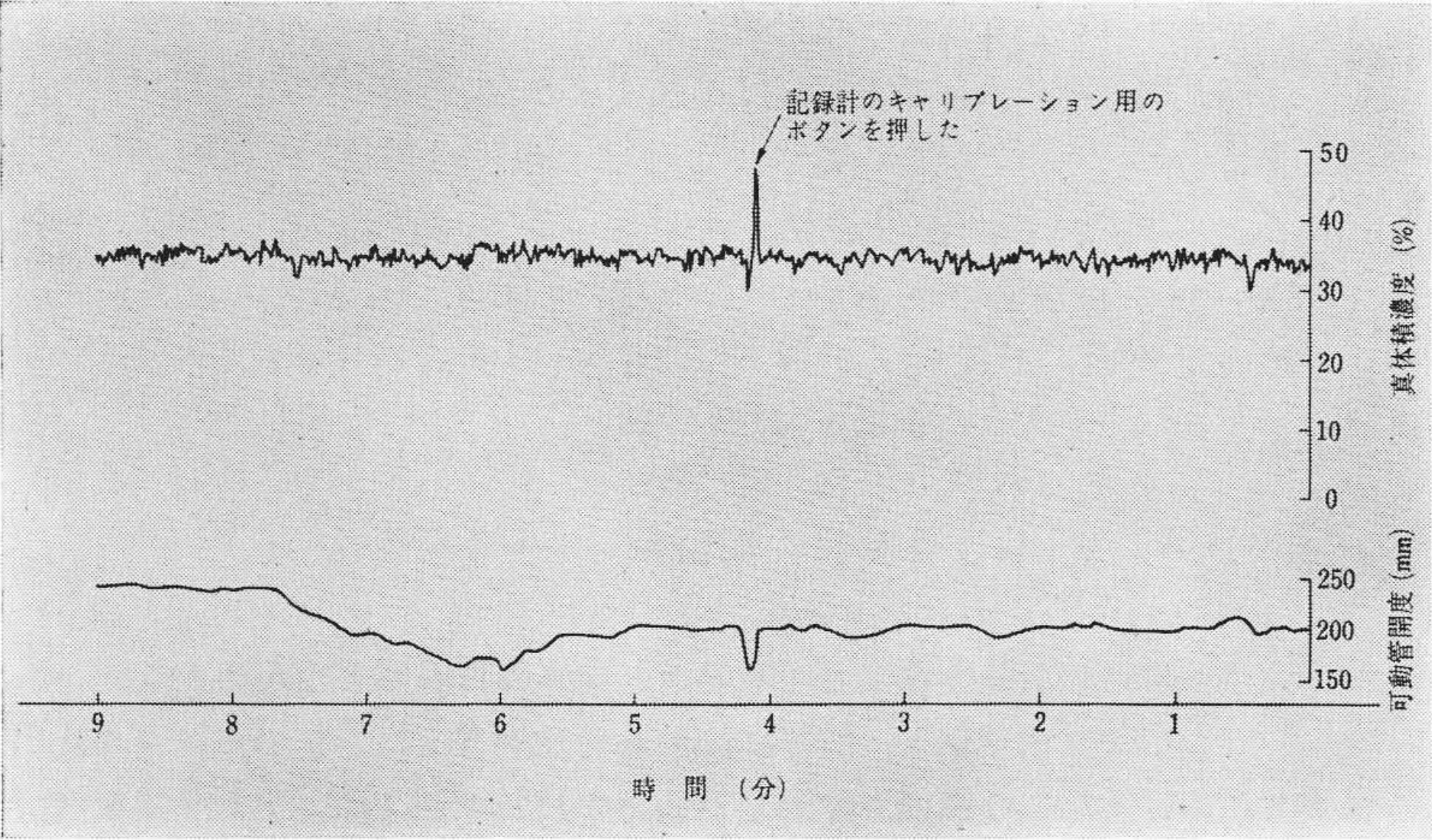


図 11 濃度制御試験結果

表 1 三井砂川ハイドロホイストの仕様

(1)	輸送物の名称	原炭
(2)	使用水の pH 値	8.3
(3)	粒子の比重	最大 2.0 平均 1.54 最小 1.23
(4)	最大粒度	30 mm
(5)	粒子分布	0.15 mm 以下 15% 0.15~2 mm 25% 2 mm 以上 60%
(6)	輸送濃度	真体積濃度 25% (原炭平均比重 1.54 のとき)
(8)	輸送量	100 t/h (真体積濃度 25% のとき)
(9)	高圧ポンプ仕様	5 m ³ /min × 850 m × 2,970 rpm × 100 kW
(10)	管内径	水平部 165 mm 垂直部 188 mm 192 mm 192 mm
(11)	管内流速	水平部 3.5 m/s 垂直部 2.5 m/s

試験の結果を図 11 に示す。外乱に対し、可動管が、自動的に開閉して、濃度をほぼ 30% 前後に保っている様子がはっきりと示されている。

4. 装置の仕様と特長

三井砂川鉱業所に設置されたハイドロホイストの仕様は、表 1 に示すとおりである。また、輸送管路の概要は図 12 に示すとおりである。すなわち、深さ約 500 m の坑内に設置されたハイドロホイスト本体から約 200 m で立坑底に至り、それから垂直に 520 m 地上まで至り、それから、多少高くなってから、下方にゆるく傾斜している坑外を約 1,300 m 経て選炭工場に達している。

今回のハイドロホイストは、ABCD の各操作弁、供給管などからなるのは、前回の好問のときと同様であるが、下記の点が、大幅に改善されている。

- (1) 試験的に濃度の自動制御装置を取り付けたこと。
- (2) 機器の摩耗防止に重点をおいたこと。
- (3) 中央操作盤によりワンマンコントロールを可能にしたこと。
- (4) 実揚程 409 m、発生揚程 850 m という従来にない高揚程であること。
- (5) 機器の保守点検を容易ならしめたこと。
- (6) 油圧を 20 kg/cm² から 70 kg/cm² にしたこと。
- (7) 外観をコンパクトにしたこと。

その他機器の細部の設計すべてに改善を加え、まったく面目を一新している。

5. 装置の構成

5.1 吸込装置

原炭はポケットからチェーンフィーダにより混合槽に送られる。混合槽内に石炭が充満すると、原炭検出器が作動して、チェーンフィーダをとめる。混合槽内へは補給水ポンプから微粉炭混合液も送り込まれる。この原炭と微粉炭が可動管を経て、ブレードレスポン

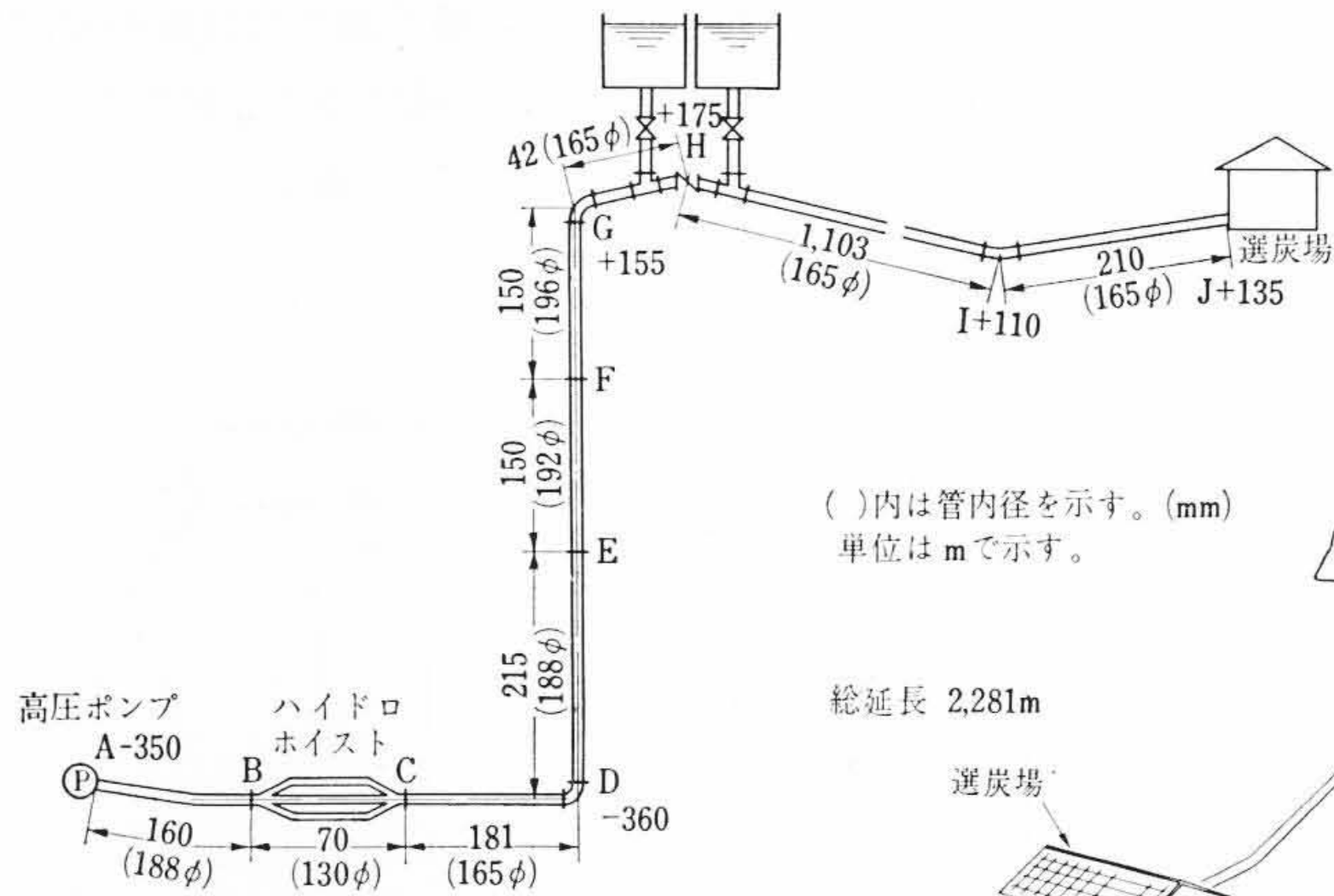


図 12 輸送管路の概要

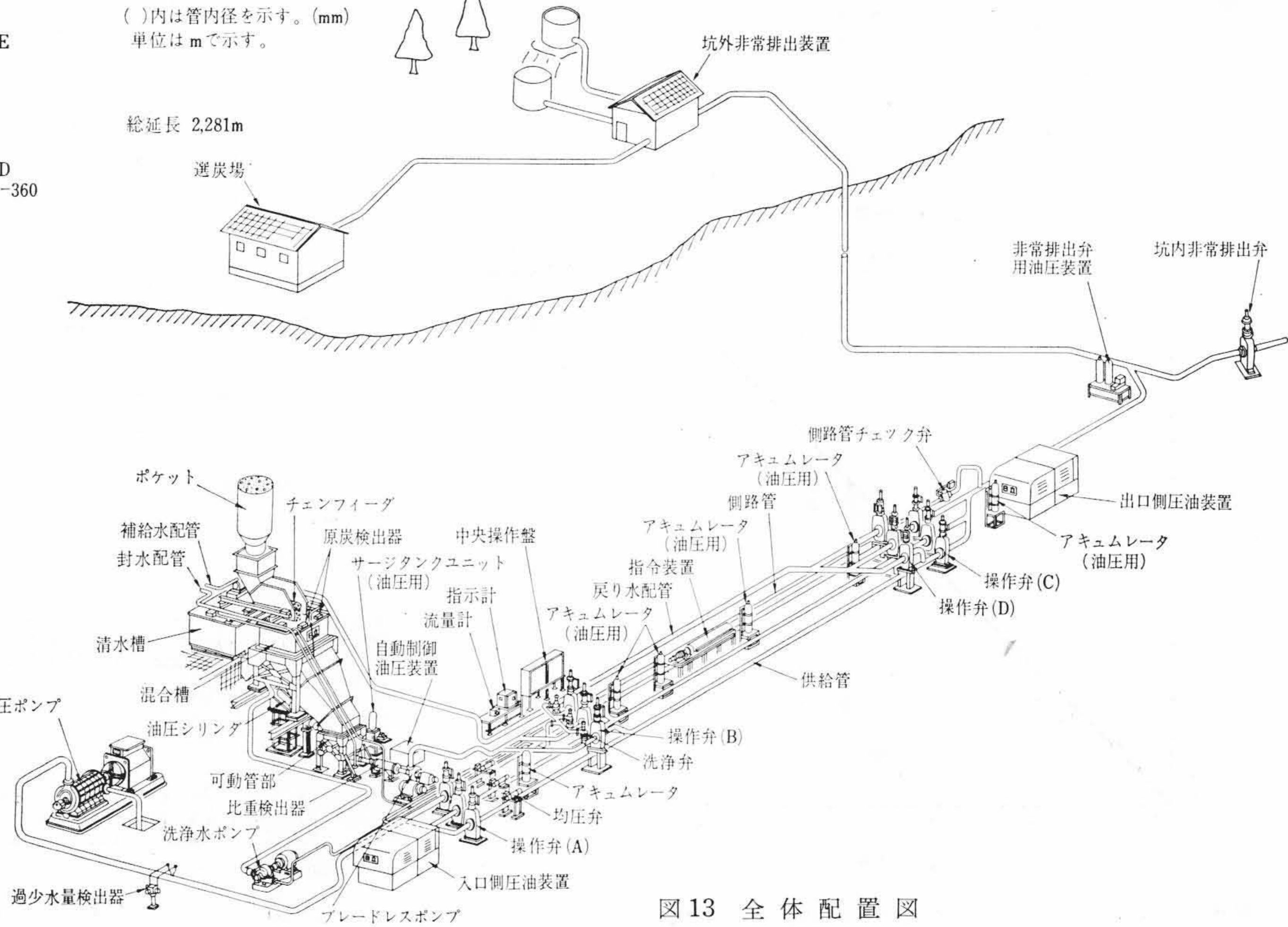


図 13 全体配置図

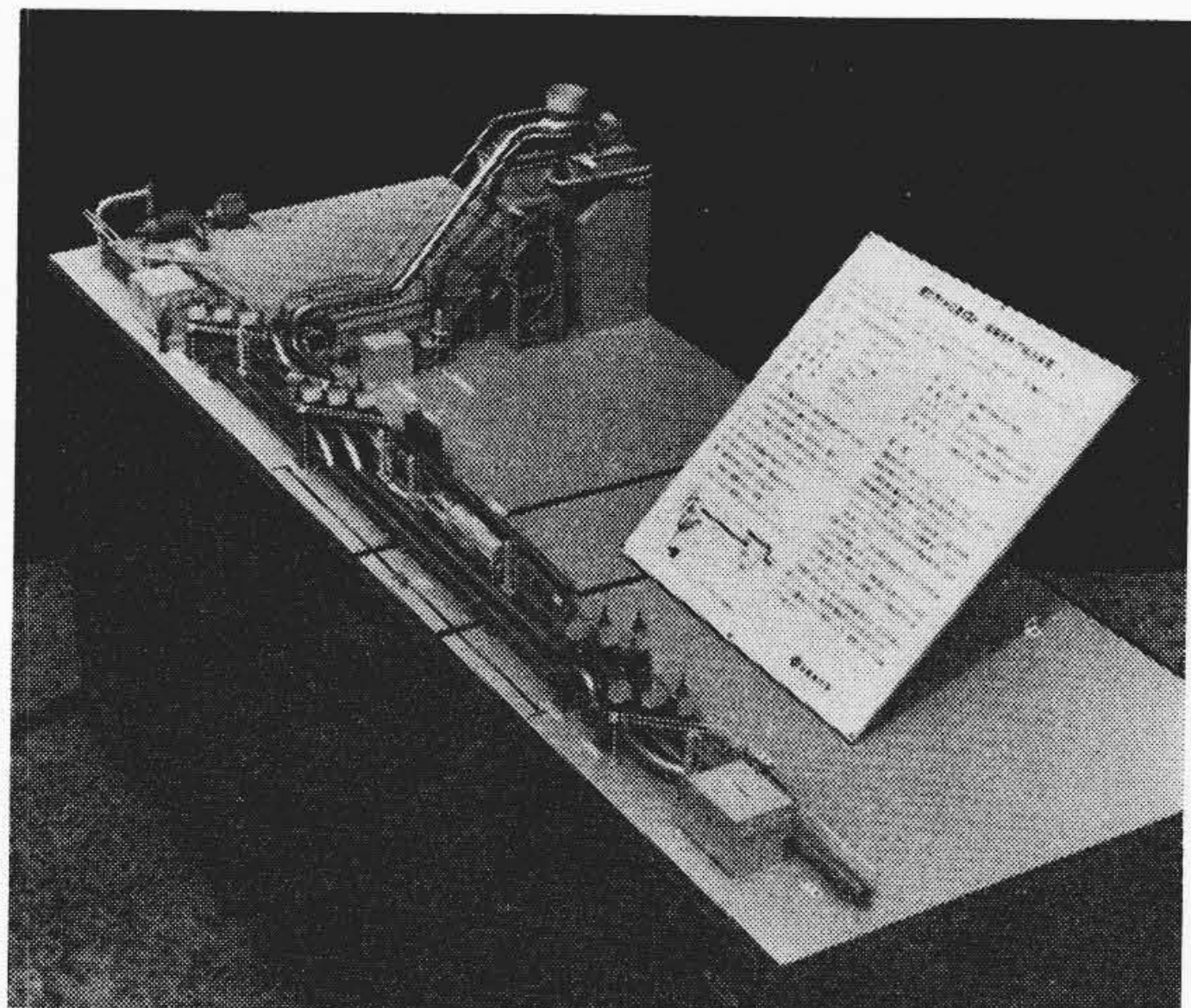


図14 装置の模型

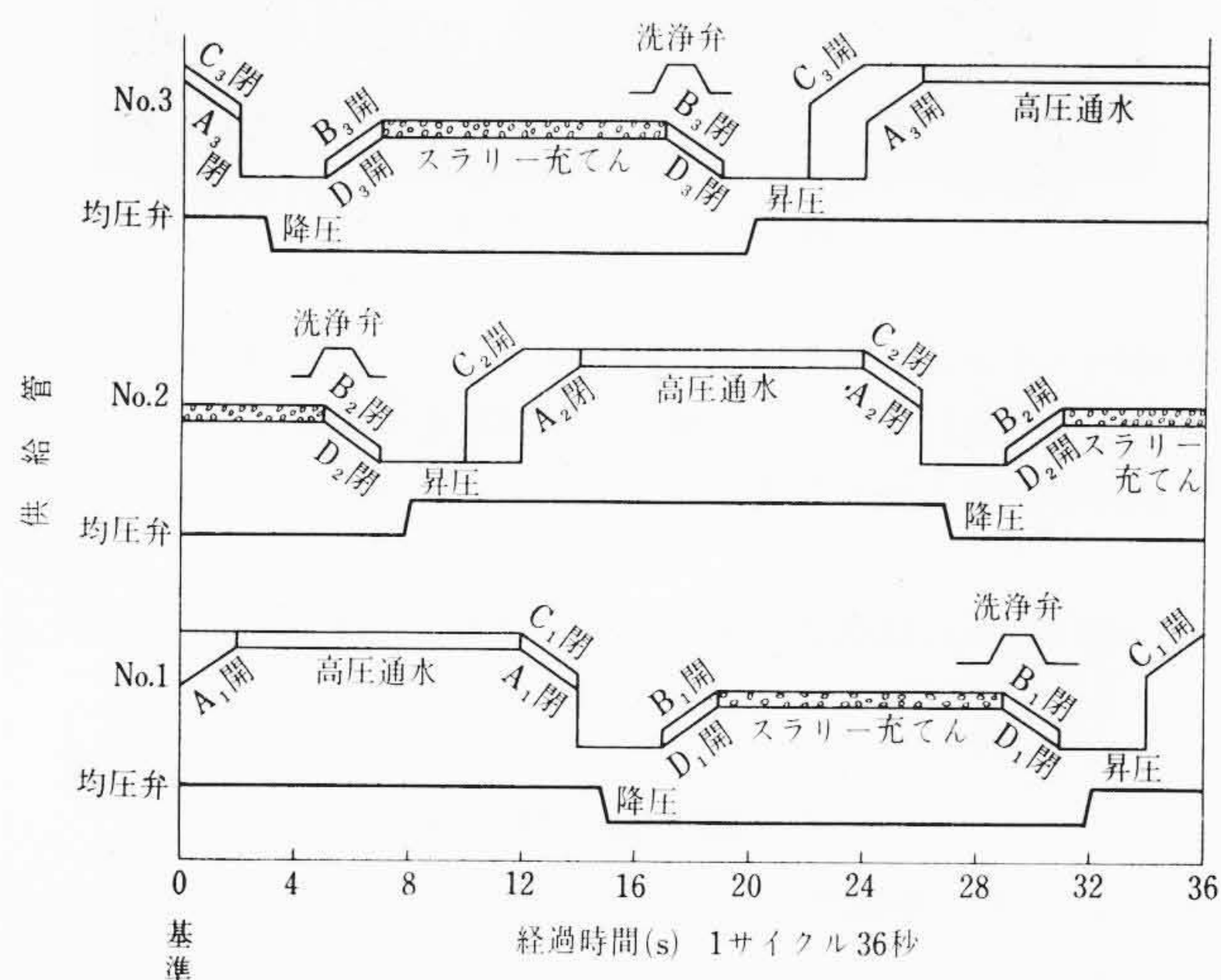


図16 タイムサイクル

プへ吸い込まれる。

可動管には、常時清水槽から水が供給されており、この水流の中へ、原炭が吸い込まれるわけである。可動管は前述の濃度制御装置の一部を構成し、絶えず開閉することにより、濃度の自動制御をしながら石炭を送る。

5.2 供給装置

3本の供給管はそれぞれ4個、計12個の操作弁を有し、その開閉によって円滑に高圧輸送が行なわれる。

高圧ポンプ側のA弁には均圧弁が設けられ、操作弁の開閉に先だって開閉し、供給管内の圧力の昇降をあらかじめ行なうことにより、

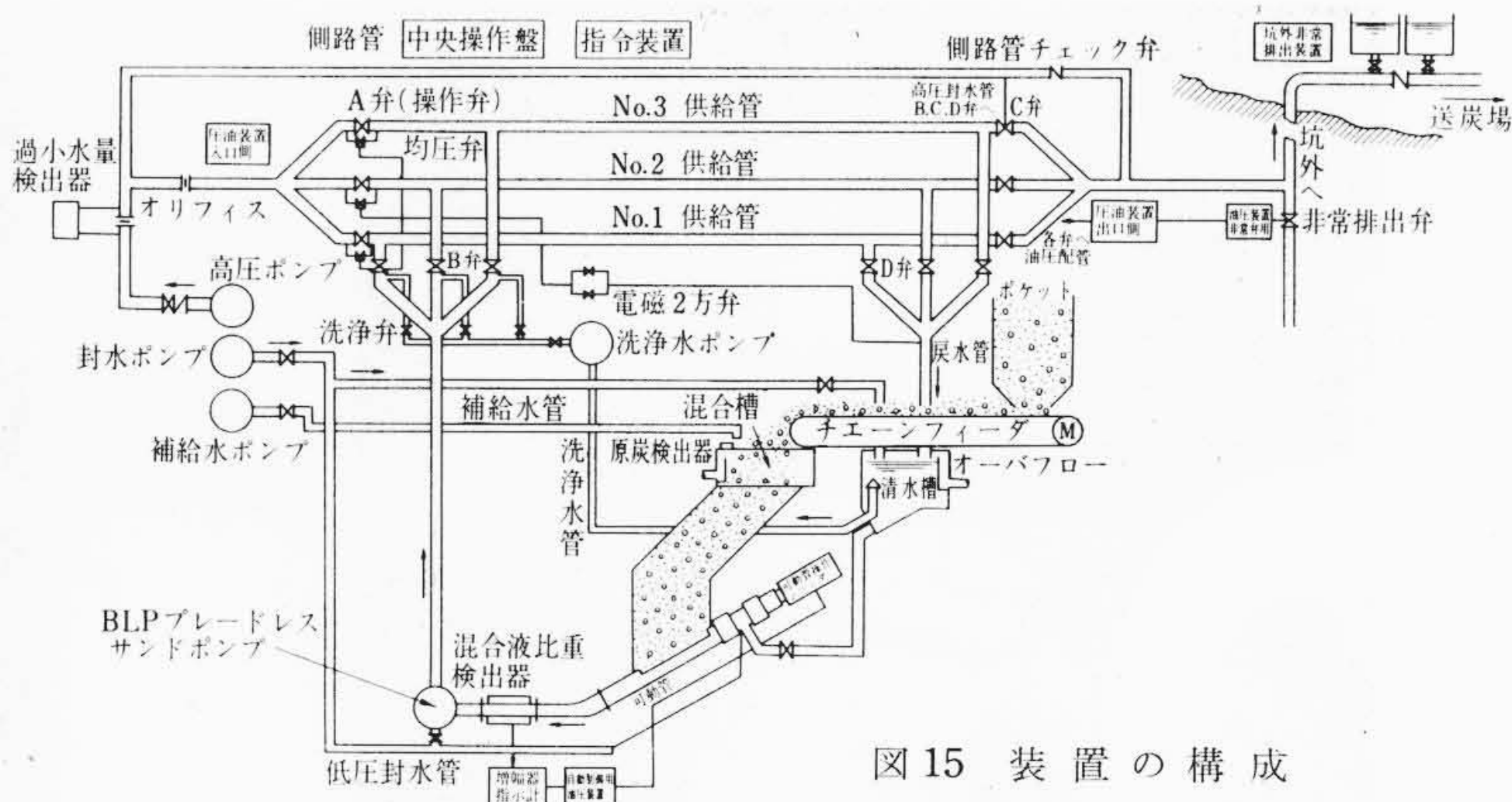


図15 装置の構成

高圧切替に伴う衝撃を防ぐ働きをしている。A、CおよびD弁は、予備研究の成果を100%利用した設計になっている。B弁については弁を閉じる際に、洗浄弁から清水を管路に注入し、これも清水中で開閉できるようにし、石炭のかみ込みによる摩耗を防ぐようにしてある。

5.3 制御装置

弁の開閉は油圧で行なわれ、その指令は一定速度で回転するカムによって行なわれる。カムよりの指令はパイロット弁により油圧切替弁に伝えられ、主弁を開閉する。そのタイムサイクルは、図16のとおりである。

停電時の閉塞を防ぐために、停電などの事故を生ずると同時に、非常排出弁が開き、立坑内の石炭を全部排出し、そのあと清水で洗浄することとした。そのため、過少水量を検出する装置など、各種の保護装置を設けた。

すべての運転は中央操作盤でワンマンコントロールされる。主要機器の運転状況は中央操作盤に表示されている。

以上のほか、前述したように、濃度の自動制御装置を設けている。

6. 主要機器

6.1 操作弁

操作弁は図17に示すようなプレート弁である。プレート弁は一枚の厚い方形の板に、供給管と同径の円形の穴があり、これを上下させることにより、弁の開閉が行なわれる。弁が閉じると、弁板の両側の圧力の違いにより、高圧側から低圧側へ押しつけられて密閉する。またこの弁は、高圧に耐えるため、きわめてがんに作られている。要部はステライトで肉盛され、摩耗に耐えるようにしてある。

この弁は塊炭やくぎなどの鉄片が迷いこんできても、簡単に切断してタイミングをくずさずに閉じうる能力があり、他の形式の弁に

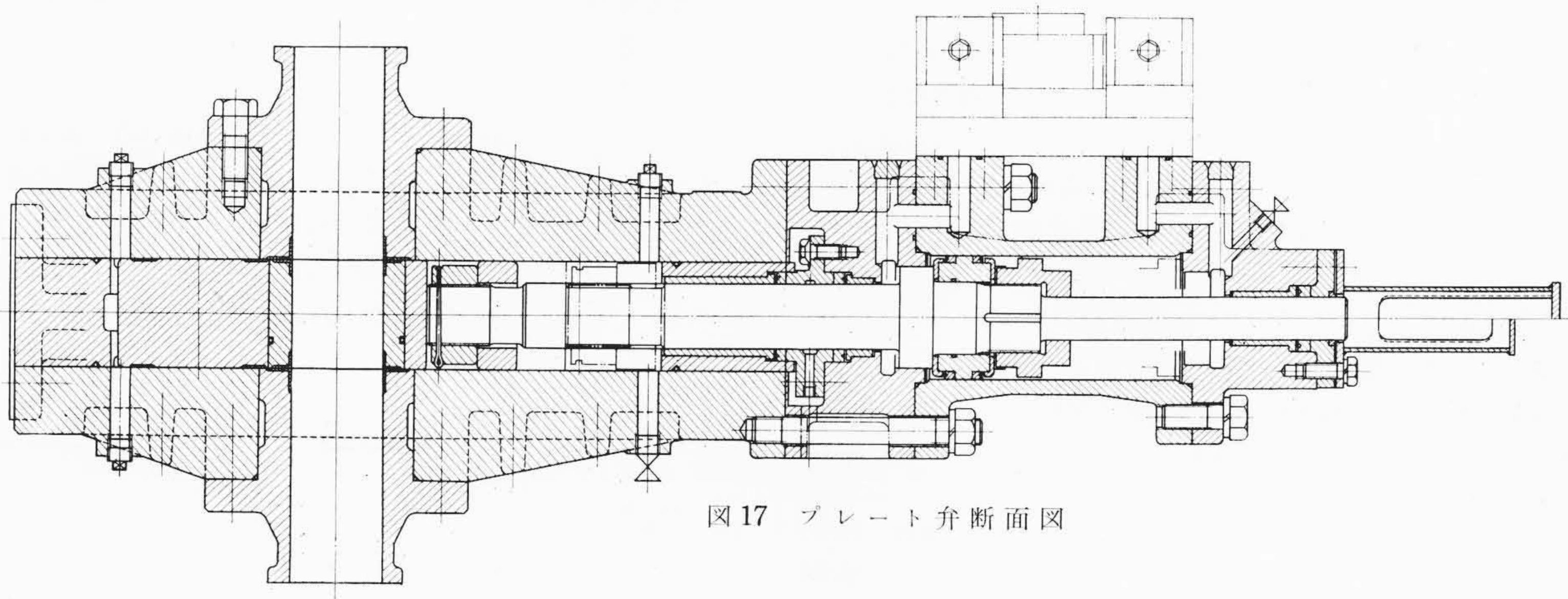


図17 プレート弁断面図

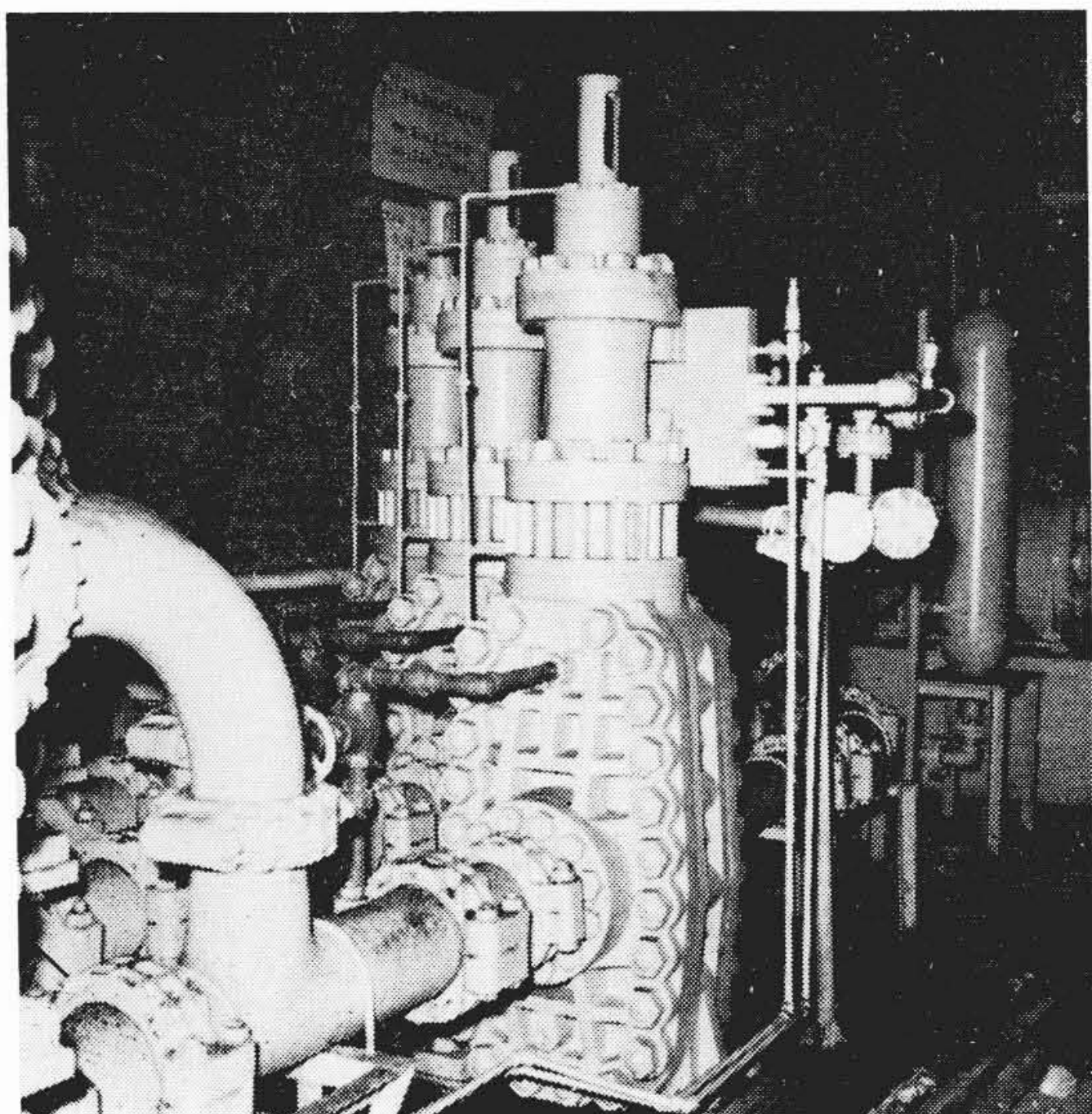


図18 プレート弁

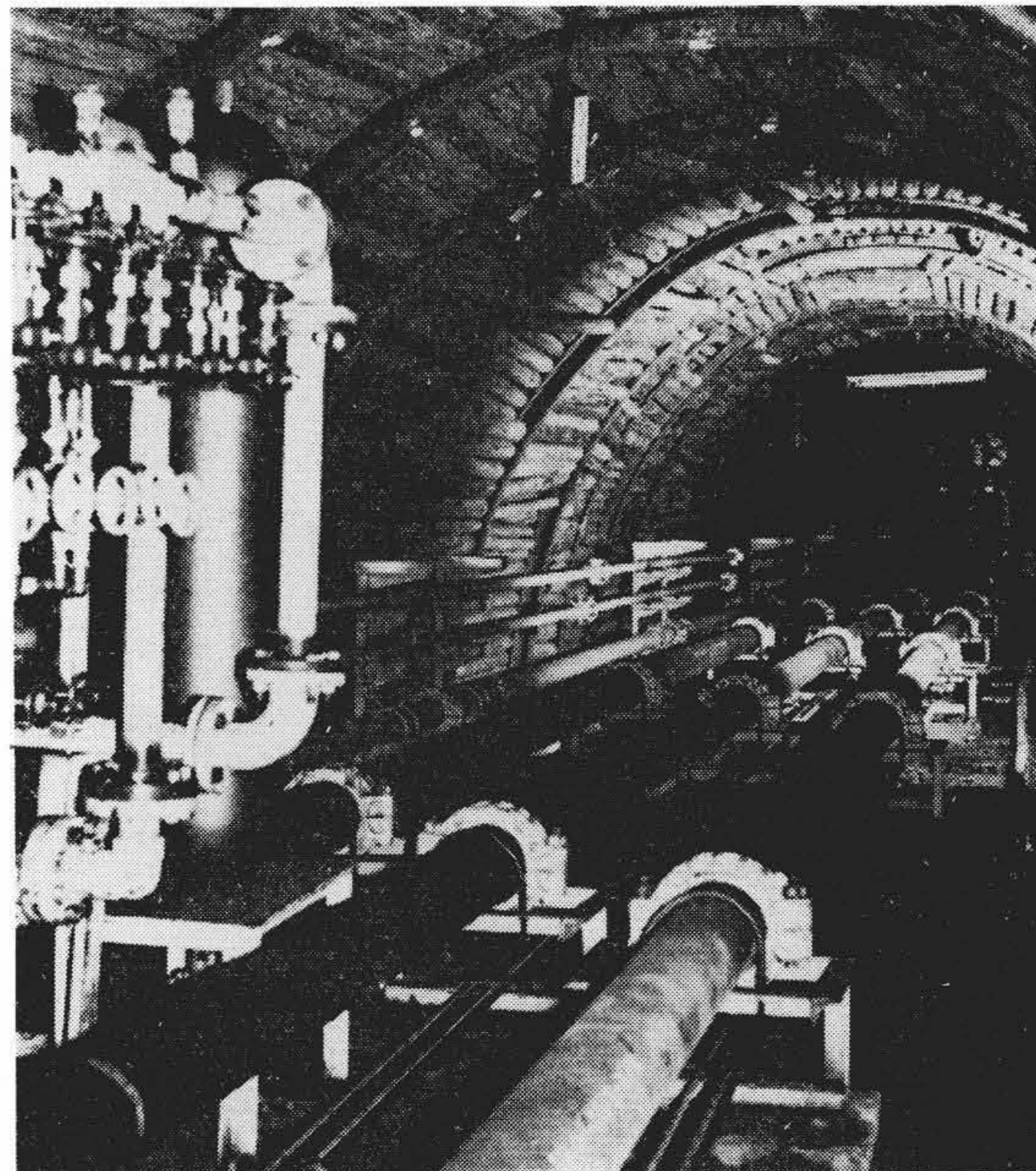


図19 供給管設置状況

比較して摩耗がもっとも少ないことが前回の好間の試験で確認されている。もし摩耗を生じても現場で、摩耗部品を簡単に換えられるようにしてある。すなわち油圧ジャッキその他の取換用工具を使って、操作弁を設置位置から動かすことなく、取り換えうるようにしてある。

なお、このプレート弁は油圧シリンダで駆動されるが、切換弁や各種油圧機器は、好間のときに比べ、きわめてコンパクトになっている。

図18は、プレート弁の外観図である。

6.2 供給管

供給管は長さ4mの鋼管を高圧ビクトリックジョイントを使って接続した約50mの3本の直線配管である。直径は予備試験で判明した必要な流速5.5m/sが得られるように130mmとしてある。肉厚は、十分摩耗に耐えるように17mmである。なお曲管部は、摩耗しやすい部分の肉をさらに厚くし、長期間の使用に耐えるようにしてある。

6.3 混合槽

混合槽は十分な吸込揚程を得るよう、高さ6m、容量9.5m³である。可動管は高濃度の輸送が可能のように、傾斜をつけた。この可動管には、濃度の自動制御装置を付属させている。混合槽に投入される原炭のレベルを検出するために、原炭検出器を取り付けてある。これは、槽の上部よりそう入した羽根をゆっくりと回転させておき、原炭のレベルが上昇してそれが羽根に当りその抵抗で羽根が停止すると、それを電氣的に検出するのである。

6.4 ブレードレスポンプ

このポンプは、十分摩耗に耐えるように、接液部には24%クロム鋼鋼を使用しており、石炭塊を破碎することなく通過させることができる。

今回は、真体積濃度37%という、高濃度で運転しているが、これは塊状物の輸送濃度としては、おそらくほかに類例のないものであろう。かかる高濃度運転は、自動制御を実施してはじめて可能になるものである。

6.5 油圧装置

圧力70kg/cm²、油量300l/minの歯車ポンプを採用した。油圧回路としては従来にない高ひん度運転であり、かつ管路長も長いので、それらの点に特に意を用いて設計されている。

6.6 中央操作盤

起動用スイッチにより運転は開始されるが、その操作順序はランプにより表示されるとともに操作弁の開閉もあわせ明示される。なお誤動作を避けるため起動および停止インタロックが設けられている。

この盤は耐圧防爆構造であり、ガスの多い炭坑でも使用することができる。

7. 運転状況

昨年11月末の運転開始以来、本年6月に至るまで送炭量が10万トンを超えている。

(1) 吸込装置および、自動制御装置

濃度の自動制御による高濃度輸送を目下試験中であるが、そのためにブレードレスポンプは真体積濃度で37%前後の高濃度にする必要があり、そのような高濃度で安定した送炭と自動制御が可能かいなか問題であった。しかし現在までの結果によれば、40%程度の高濃度においても、可動管の開度と濃度との間に直線的な関係があることがわかり、試験の前途は有望である。これには可動管を水平にせず、斜めにした点なども効果があったと考えている。

(2) 供給管内における原炭の流動状況

装置の調整完了後正常の運転にはいつてからは、戻り水中に石炭はほとんど含まれず、また操作弁に、石炭がかみこむこともまったくなかった。このことは、予備研究の結果が正しかったことを、十分に裏づけているものと考えられる。

(3) 摩耗量の減少

操作弁については、古河好間における試験の際、ある程度の摩耗がみられた。これは、前述したように、混相液後尾の遅れが、予想外に大きく、そのために、石炭をたえず切断していた結果生じたものと推定される。今回の三井砂川ハイドロホイストにおいては、この点が、改良されたうえに、弁自体の耐摩性も改善された結果、ほとんど摩耗が認められないほど改善された。表2はこ

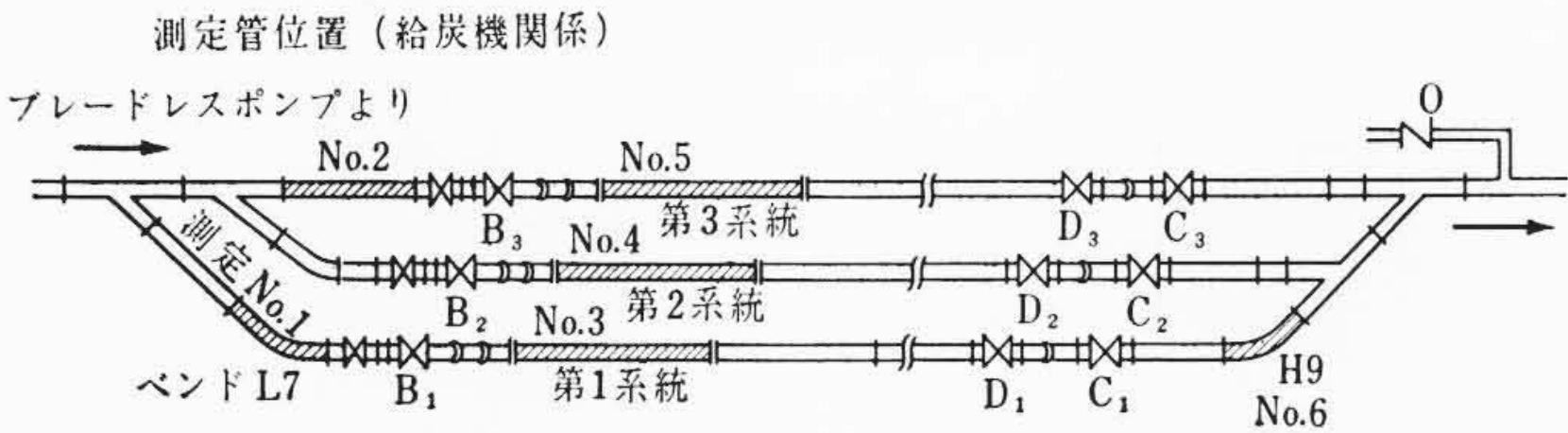
表2 古河好間と三井砂川、操作弁漏水量の比較

名称	送炭量	運転時間	試験圧	B ₁ 弁	B ₂ 弁	B ₃ 弁	C ₁ 弁	C ₂ 弁	C ₃ 弁	D ₁ 弁	D ₂ 弁	D ₃ 弁
古河好間	15,000 t	234 h	40 kg/cm ²	5.6	42	9,650	14,900	47	19	13	13	281
三井砂川	60,000	972	52	0.8	0.5	0.3	0.8	0.7	0.3	0.4	0.3	0.2

表3 供給管肉厚測定結果

No.	第1回	第2回	増減	No.	第1回	第2回	増減
No. 1 給炭管第1系統ベンドム7				No. 4 供給管第2系統直管 KY-5			
1.1	32.14	31.12	-1.02	4.1	19.90	19.73	-0.17
1.2	33.27	32.25	-1.02	4.2	18.78	17.80	-0.98
1.3	32.27	32.27	0	4.3	16.27	15.27	-0.93
1.4	33.95	34.15	+0.2	4.4	17.57	17.57	-0.11
No. 2 給炭管第3系統直管 (1.4 m)				No. 5 供給管第3系統直管 KY-5			
2.1	26.73	26.15	-0.58	5.1	17.03	17.03	0
2.2	20.17	19.67	-0.5	5.2	17.88	17.45	-0.43
2.3	15.28	14.93	-0.35	5.3	19.15	18.12	-1.03
2.4	21.04	20.58	-0.45	5.4	18.43	18.02	-0.41
No. 3 供給管第1系統直管 165.2×17.6×m NKK-STSS KY-5				No. 6 供給管第1系統C弁出口ベンドH9			
3.1	18.50	18.40	-0.10	6.1	36.67	36.27	-0.40
3.2	18.57	18.30	-0.27	6.2	34.63	34.00	-0.63
3.3	17.98	16.85	-1.13	6.3	30.22	29.74	-0.48
3.4	17.92	17.62	-0.30	6.4	32.01	33.04	+1.03

(注) 1. 測定は第1回約8,000 t輸送後、図2は約78,000 t輸送に行なった。
2. 測定にはダイヤルキャリパーゲージを使用した。
3. 測定管の位置は、下図の通りで、測定管の出口端よりみて上1, 右2, 下3, 左4の番号に対し、管端より100 mmの位置を測定した。



の点を示した表である。すなわち、操作弁の摩耗を量的に示すものは弁からの漏水量であるが、三井砂川の操作弁は、古河好間の4倍の運転時間であるにもかかわらず、毎分1 cc以下と、問題にならないほど小さく送炭による損耗が認められない。この状況は送炭量が10万トンに達した昭和41年6月末現在でも同一で、弁類の損耗防止は完全に達成できたといえよう。

このほか、ブレードレスポンプや、供給管の摩耗にも改善が認められた。表3は7万トン輸送後の供給管の摩耗量であるが、この程度の摩耗量でしかも回転使用を考えれば、200万トン以上の送炭が可能なのと推定される。これは、材質をより耐摩耗性のあるものに改善した結果であると考えられる。また、坑内外の輸送管の摩耗量も同時に測定したが、供給管とほぼ同程度の結果で、前回の好間の測定結果に比べ成績が著しく良く、水力輸送の経済性に明るい見通しを得た。

なお、以上の効果には、古河好間の石炭と、三井砂川の石炭の炭質の違いも好影響を与えていることは事実である。

(4) 高濃度輸送の達成

吐出濃度で、最大25%(真体積濃度)の安全輸送まで達することができた。なお、試験中の濃度の自動制御が完成し、輸送管路を改善すればさらに高濃度にすることも可能であると考えられる。

(5) 油圧機器の状況

油圧は、前回の20 kg/cm²から一挙に70 kg/cm²まで上昇させた。

運転の結果、大きな問題は生じなかったが、圧力スイッチの作動不良、配管ねじ部よりの漏油などが生じた。この原因は、建設機械など、油圧機器の普通の用途に比べて、作動ひん度が、比較にならないほど多く、(1分間に2~6回)かつ配管長さも数10メートルに及び、水撃などが生じやすいためである。

これらの点は順次改良され、現在は完全な作動をしており、改良後、同様なトラブルは生じていない。

8. 結 言

今回の試験によってハイドロホイストは一応完成されたものとみられる。すなわち現在までの送炭実績や摩耗量の測定結果から、この新しい装置の実用性と耐久性が十分実証された。それだけでなく、深い炭鉱の坑内からの石炭の輸送に、一つの新しい方法を開発する結果になった。今後残された課題は、装置の製作原価の低減と、より簡易なタイプの開発であると考えられる。これにより、世界に誇りうる純国産技術の成果が、炭鉱のみならず各種産業分野に広く採用され、輸送の合理化に貢献するものと期待される。

終わりにのぞみ、現場で試験を担当している、高橋且郎、立花篤、藤井農夫也、ほかの各研究員諸氏、ならびに本装置の完成にご尽力願った三井鉱山砂川鉱業所の関係各位に深く感謝する次第である。

参 考 文 献

(1) 三雲：水曜会誌第9巻第2号(昭11-10)
(2) 特許：第226609号
(3) 特許：第250447号
(4) 渡辺、寺田、坂本：石炭技術研究所、古河好間試験所納、日立ハイドロホイスト高揚程水力輸送試験、日立評論 45, 495 (昭38-4)
(5) 寺田進：ハイドロリックコンベヤ, 224 (昭37, 日刊工業新聞社)
(6) 萩原(訳)：水力輸送の自動化, ウーゴリ (昭37-1)