

ハイドロホイストを使用した固形物の水力輸送システム

Hydraulic Transportation Systems Using Hydrohoists

最近、固形物の大容量長距離水力輸送システムが世界的に実現しつつある。このシステムにハイドロホイストを使用すると、従来形ポンプに比べ部品の摩耗が数十分の一になり、保守にほとんど手がかからなくなる。また2mm以上の固形物の水力輸送にハイドロホイストを使用すると、数百メートルの地下の坑内から原炭を輸送することができる。

本稿は、上記各ハイドロホイストの実績と、その水力輸送システムへの適用について述べる。

坂本正克* Sakamoto Masakatsu

内田健二* Uchida Kenji

本間 勲* Honma Isao

1 緒 言

パイプラインによる清水中に固形物を含んだ固液混相液の輸送は、水力輸送と呼ばれている。水力輸送の小規模なものは昔から行なわれていたが、近年、アメリカ、アリゾナ州ブラックメサをはじめ、石炭や鉄鉱石などの微粒子混相液（スラリー）の、最高数百キロメートルに及ぶ長距離輸送の実用化が相ついで成功し¹⁾、鉄道輸送に対抗できる有望な輸送手段として認められ、引き続いて大規模な計画が各地で実現しつつある。また、最近のエネルギー危機の結果、北アメリカなどで石炭の地下採掘が大きな課題となり、それに伴って坑内からの塊炭の水力輸送の需要が生じつつある。

このうち、微粒子混相液の水力輸送については、システムとして技術的に完成しているが、それに使用されている往復動ポンプの摩耗部品の寿命は短く保守費がかさむ。これに日立製作所で製作しているスラリー輸送用のハイドロホイスト²⁾を使用すると、飛躍的に摩耗部品の寿命が向上する。

また、塊炭の水力輸送については、特に数百メートル以上の高揚程輸送の場合、従来形ポンプでは水力輸送が不可能であるが、日立製作所ではハイドロホイスト²⁾で500mの立坑の水力輸送に成功し、かつ十分な操業実績を得ている。

このように、水力輸送システムにハイドロホイストを適用すると、水力輸送の質の向上と、よりいっそうの普及に大きく貢献するものと考えられる。

2 水力輸送の検討

図1に粒径をパラメータとした、水力輸送での、流速と管路抵抗との関係の一例を示す。同図の v_{cr} は限界流速、すなわち管内に固形物が沈降停止しないで移動できる限界の流速を示している。水力輸送では、この限界流速以上の流速であることが必要である。限界流速は、粒径だけでなく固形物の比重によっても変化する³⁾。

図1から分かるように、水力輸送では、固形物の粒径が小さいほどより低流速で輸送でき、したがって、より少ない動力で輸送できることが分かる。また、管の摩耗は、流速の2ないし3乗に比例し、かつ同一流速の場合には、粒径が大きいほど摩耗が大きいことが知られている。したがって、摩耗の点からも粒径の小さいことが望ましい。

しかし、粉碎や輸送完了後の固液分離を考えると、粒径が

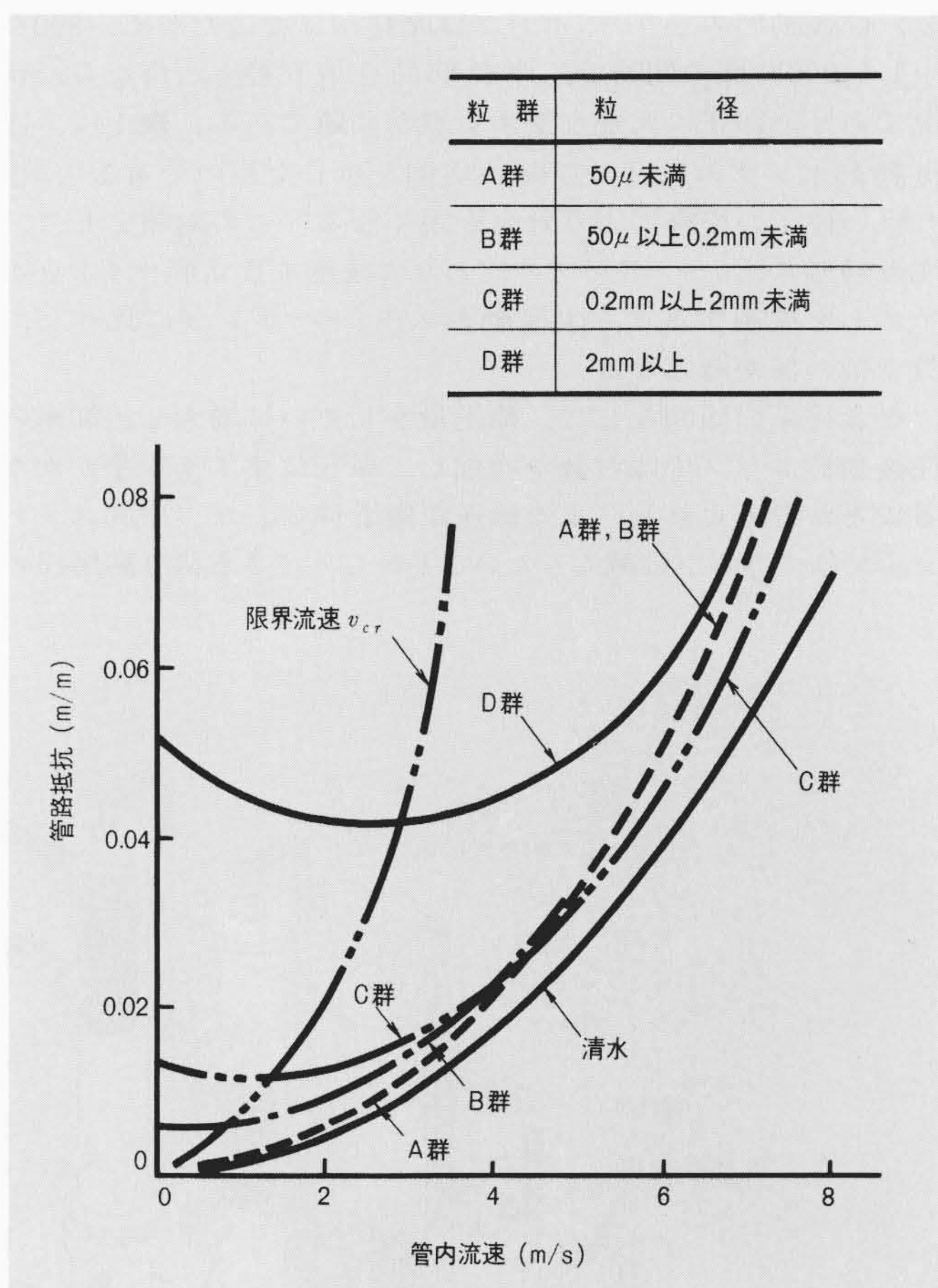


図1 水力輸送の粒径と限界流速との関係 粒子の径が大きくなるに従い、限界流速 v_{cr} 、すなわち輸送管内に固形物が沈降、停止しないで移動できる限界の流速が増大する。

小さいほど困難であり、したがって、前後処理装置に多くの設備を必要とする。一方、粒径の大きなもののほど、前後処理装置は簡単なもので済む。

以上のような理由から、単に輸送するだけの目的には長距離輸送では、前後処理設備のコストが相対的に低くなるため

* 日立製作所土浦工場

表1 往復動形スラリー ポンプの部品寿命 往復動形スラリー ポンプの部品寿命は、例えば弁の場合、500ないし1,100時間(1~2箇月)と、短い。

スラリー性状 項目	摩耗の少ないとき (ピストン ポンプ)	摩耗の激しいとき (プランジャ ポンプ)
弁	1,100	500
ピストン ロッド	3,000	—
プランジャ スリーブ	—	720
ピストン ライナ	4,000	—
ブッシング	—	425
パッキン	6,000	"

注：単位(時間)

に粒径は小さいほうが望ましく、中・近距離輸送では、逆に粒径が大きいほうが望ましい。

このうち長距離の粒径の小さいものの水力輸送では、従来、往復動形スラリー ポンプが主として使用されてきた。しかし、往復動形スラリー ポンプは摩耗がはなはだしく、500ないし1,000時間の間隔で、摩耗部品を取り替えねばならぬ状況であり、保守に人手を要する点が問題である。表1は、往復動形ポンプの部品の寿命の実例を示したものである¹⁾。より粗い粒子の場合により寿命が短くなる。この対策として、往復動形スラリー ポンプの代わりに後述する立形 hidro ホイストを採用すると、往復動形スラリー ポンプに比べて、数十倍の長寿命となる。

なお将来の傾向として、輸送量がしだいに増大し、従来の往復動形ポンプでは台数が増加して保守にますます手がかかることが考えられる。また輸送距離も伸び、かつ中間ステーションはできるだけ減らしたいことから、できる限り高揚程の

ポンプが要求されつつある。 hidro ホイストはその構造上、大容量化、高圧化が容易であり、これらの問題点の解決にも貢献するものと考えられる。

一方、中、近距離の、粒径が大きいものの水力輸送では、従来、うず巻形のスンド ポンプが使われていた。しかし、うず巻形スンド ポンプは、輸送可能な揚程が、約50m以下と極めて低いため、その用途は限られていた。地下500mの坑内からの塊炭の水力輸送に成功した、後述の横形 hidro ホイスト、パイプの耐摩耗に効果があるパイプ ライニング技術を採用することにより、比較的、中・近距離の水力輸送の用途の拡大が大いに期待される。

3 立形 hidro ホイスト

3.1 原理と構成(図2)

本 hidro ホイストは、最大粒子径 2 mm以下のスラリー圧送用として使用され、3 箇の供給室、フロート、各供給室に付属する A, B, C, Dの各弁、スラリー ポンプ、高圧ポンプなどより構成されている。具体的動作は次の順序で行なわれる。

(1) A 弁を閉じ、 D 弁を開く。スラリー 弁 C が閉じ、 弁 B が開いて、スラリー ポンプより送られたスラリーが、供給室に充滿する。

(2) スラリーが供給室に充滿して、フロートが上限に到達すれば、 D 弁、 B 弁が閉じる。

(3) A 弁、 C 弁が開き、駆動液ポンプより送られた駆動液が供給室に充滿し、スラリーは輸送管中へ送り出される。

(4) 駆動液が供給室に充滿して、フロートが下限に到着すれば A 弁、 C 弁は閉じる。

これらの動作を、3 箇の各供給室で交互に繰り返すことによって、輸送が連続的に行なわれる。弁の開閉動作は、フロ

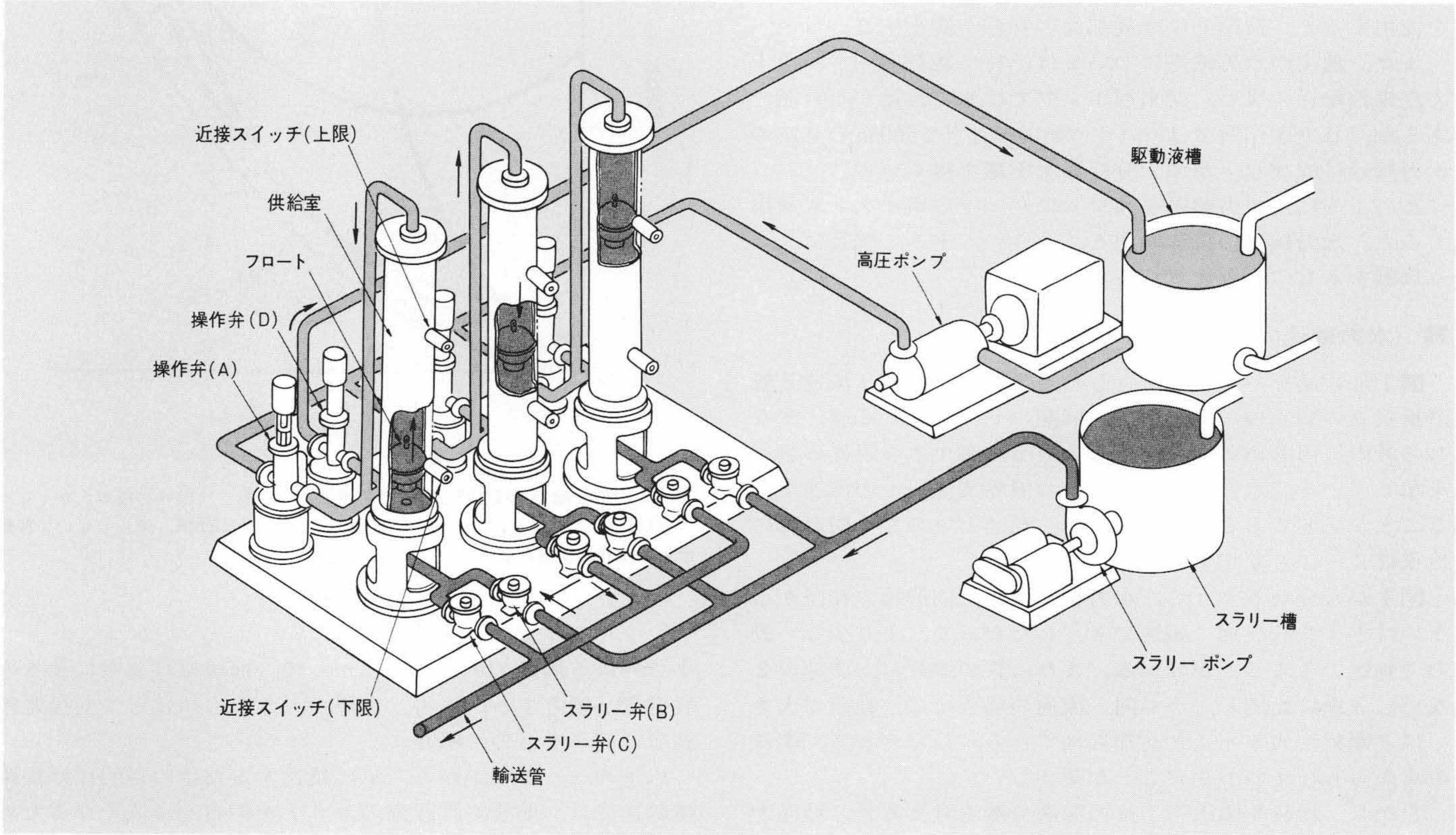


図2 立形 hidro ホイスト まず低圧のスラリー ポンプで、スラリーを供給室に充滿させ、次に弁を切り替えて、供給室内のスラリーを輸送管へ送り出す。この動作を3 箇の供給室で交互に繰り返す。2 mm以下の粒子の水力輸送に適している。

ートの上限及び下限を検出する近接スイッチの信号によって行なわれる。

3.2 経済性の比較

ボーキサイト スラリーを使用して、全く同一構造のスラリー弁を使用し、同一条件でハイドロホイストと往復動形ポンプの比較運転を行ない、経済性を比較した結果を表2に示す。同一構造の弁座の寿命は、ハイドロホイストではプランジャポンプの30倍であり、決定的に改善されており、かつプランジャポンプで1箇月足らずの寿命であったものが2年近くもつことが分かる。このことは、プランジャポンプに比べ、弁の開閉回数が非常に少ないこと、開閉の際の衝撃や脈動が全くなく、円滑、かつ静粛に運転できるためと考えられる。

3.3 実績

立形ハイドロホイストの納入実績を表3に示す。納入実績は既に計6台に達しており、運転時間から考えて既にその信頼性は完全に証明されたと言えよう。事実、問題となるようなトラブルは全く生じていない。

なお大容量化していくに従い、フロートの速度をしだいに高めて、供給室のコンパクト化を図りつつある。このことから、ハイドロホイストをより大容量化することが容易なことが分かる。なお、現在使用している、チェック式スラリー弁は、常用圧力50kg/cm²までの使用実績があり、それ以下の圧力での信頼性は十分証明されている。ただし、経験によると100kg/cm²近くになるものについては、高い信頼性を得るためにプレート弁を使用することにしてある。この弁は、後述するように石炭の水力輸送では、80kg/cm²までの使用実績があり、ボーキサイト スラリーでは、15,000時間の耐久試験を実施し、その信頼性を証明することができた。

なお表3に示すように、立形ハイドロホイストは、5台は強アルカリ性のスラリー、1台は酸性のスラリーを取り扱っている。また、スラリーの温度も比較的高く、100℃以上の経験があり、更に現在200℃までの高温スラリーの実験を行っている。このように、硬いボーキサイトなどを取り扱っ

表2 立形ハイドロホイストとプランジャポンプの経済性比較
 全く同一条件で比較運転を行なったところ、バルブの寿命はハイドロホイストが30倍となり運転員、保守要員が非常に少なくなったことが分かる。

項目	区分	ハイドロホイスト	プランジャポンプ
価 格 指 数		100	100
運 転 員		60人・時/年	360人・時/年
保 守 要 員		800人・時/年	6,720人・時/年
保 守 費 用		150万円/年	1,350万円/年
摩 耗 部 品 寿 命 スラリー弁用バルブシート及びバルブ		15,000時間	500時間

表3 ハイドロホイスト運転実績
 立形ハイドロホイストは、最高60,000時間、横形ハイドロホイストは、24,000時間の運転実績があり、その間、順調に運転している。

形式	設 置 場 所	仕 様	輸 送 物	台数	運転時間累計
立形	昭和電工株式会社横浜工場	80 m ³ /h×35kg/cm ²	ボーキサイト スラリー 2 mm以下	1	60,000時間
	"	136 m ³ /h×45kg/cm ²	"	"	38,000時間
	クィーンズランド アルミナ社(オーストラリア)	170 m ³ /h×56kg/cm ²	"	3	16,000時間
	日本鉱業株式会社日立製錬所	30 m ³ /h×55kg/cm ²	硫化鉱スラリー 1 mm以下	1	—
横形	古河鉱業株式会社好間鉱業所	80t/h 5.3 m ³ /min×530m	原 炭	"	273時間(1年間)
	三井石炭株式会社砂川鉱業所	100t/h 5.0 m ³ /min×850m	"	"	24,000時間

ているばかりでなく、酸、アルカリ、高温などの過酷な条件下で、長時間極めて満足できる成果を挙げており、石炭スラリーや鉄鉱石スラリーなどに対しても、十分に適用できるものである。

4 横形ハイドロホイスト

4.1 原理と構成(図3参照)

横形ハイドロホイストは、2 mm以上の粗い固形物を含む混相液の水力輸送用に開発されたものである。基本的には、立形と同じであり、ただ供給室が横になり、フロートと近接スイッチがない点が異なっている。弁の開閉は、指令装置によって行なわれる。

4.2 実 績

表3に実績を示す。いずれも炭坑の原炭を立坑より揚炭するために用いられた。古河鉱業株式会社好間鉱業所のものは試験用のため短期間しか使用しなかったが、三井石炭株式会社砂川鉱業所のものでは十分な運転実績が得られた。弁にはプレート弁を使用しているが、この弁は管と同一の形状の通路を持っているため、塊状の石炭でも問題なく通すことができる。

また、弁を閉じる際、固形物があっても切断して閉じることができる。弁座の寿命は4,000時間以上であった。また、立坑の場合、管の摩耗は極めてわずかであり、塊炭の水力輸送が可能であることが分かった。

なお、初期の弁はかなり大形であったが、最近、弁の重量が従来の65%と、著しく軽量化したものを製作し、前記砂川鉱業所で使用した結果、信頼性の点でも問題のないことが証明された。

4.3 テスト プラント(図4)

横形ハイドロホイストでは、石炭の輸送実績はあるが、それ以外の固形物の輸送実績がない。最近、土砂や石灰石の輸送、水力式カプセル輸送など、石炭以外のものを横形ハイドロホイストで輸送する構想が出てきたため、それらの輸送に関する各種のデータを得るために、日立製作所土浦工場内にテスト プラントを設けた。このプラントの完成により、各種流体的データ、摩耗などに関する資料を得ることが可能となり、ハイドロホイストの用途を更に拡大することが容易となった。

5 ハイドロホイストを使用する各種輸送システム

5.1 ボーキサイト スラリー圧送システム(図5)

本システムは、ボーキサイトからアルミナを製造するプラントに使用され、スラリーを高圧の反応器に圧送する。立形ハイドロホイストを使用することにより、プラント全体の操業度と経済性を高めることができる。

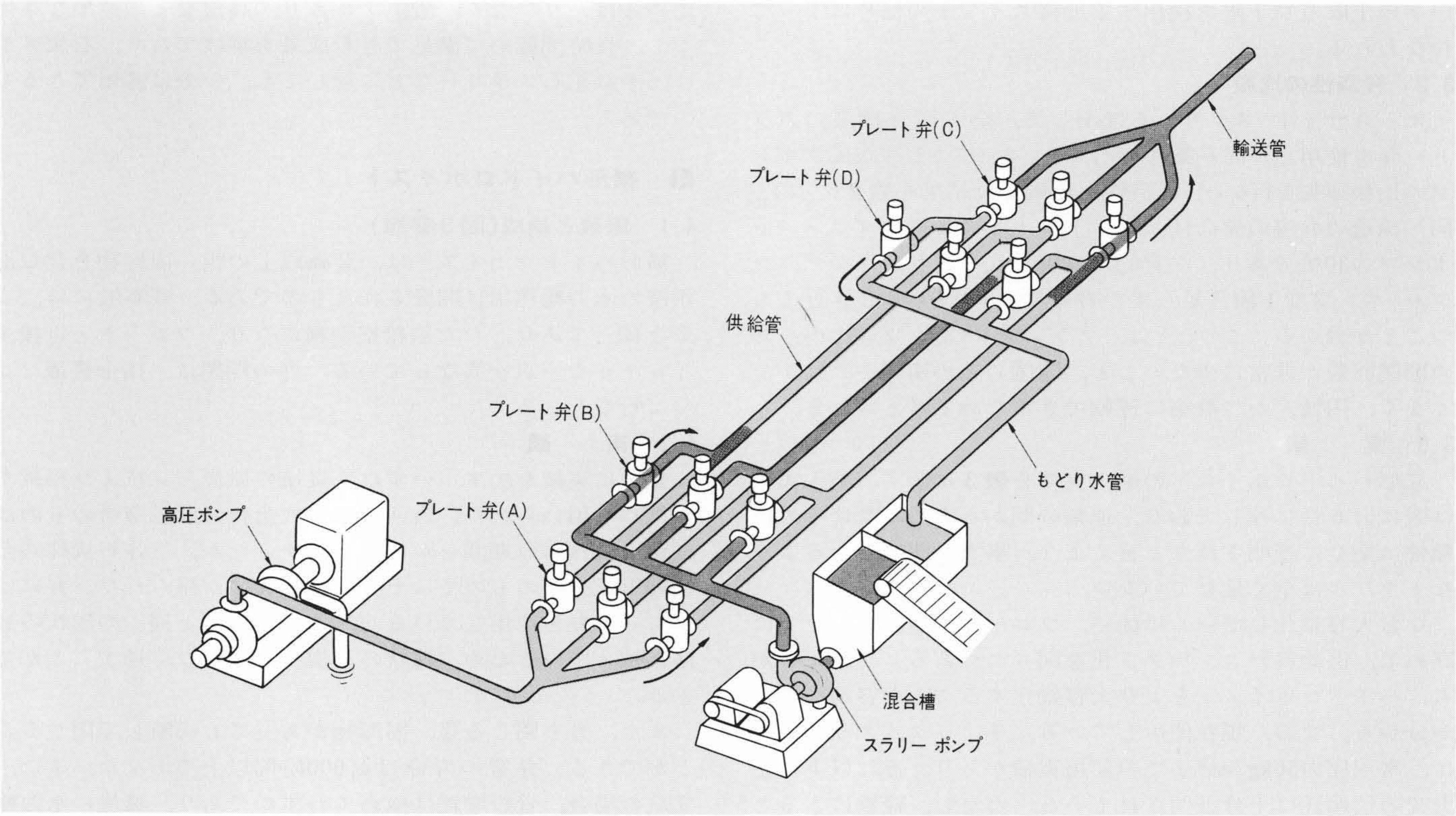


図3 横形ハイドロホイスト まず低圧のサンドポンプで、固形物を供給室に充満させ、次に弁を切り替えて供給管内の混相液を輸送管へ送り出す。2 mm以上の粒子の水力輸送に適している。

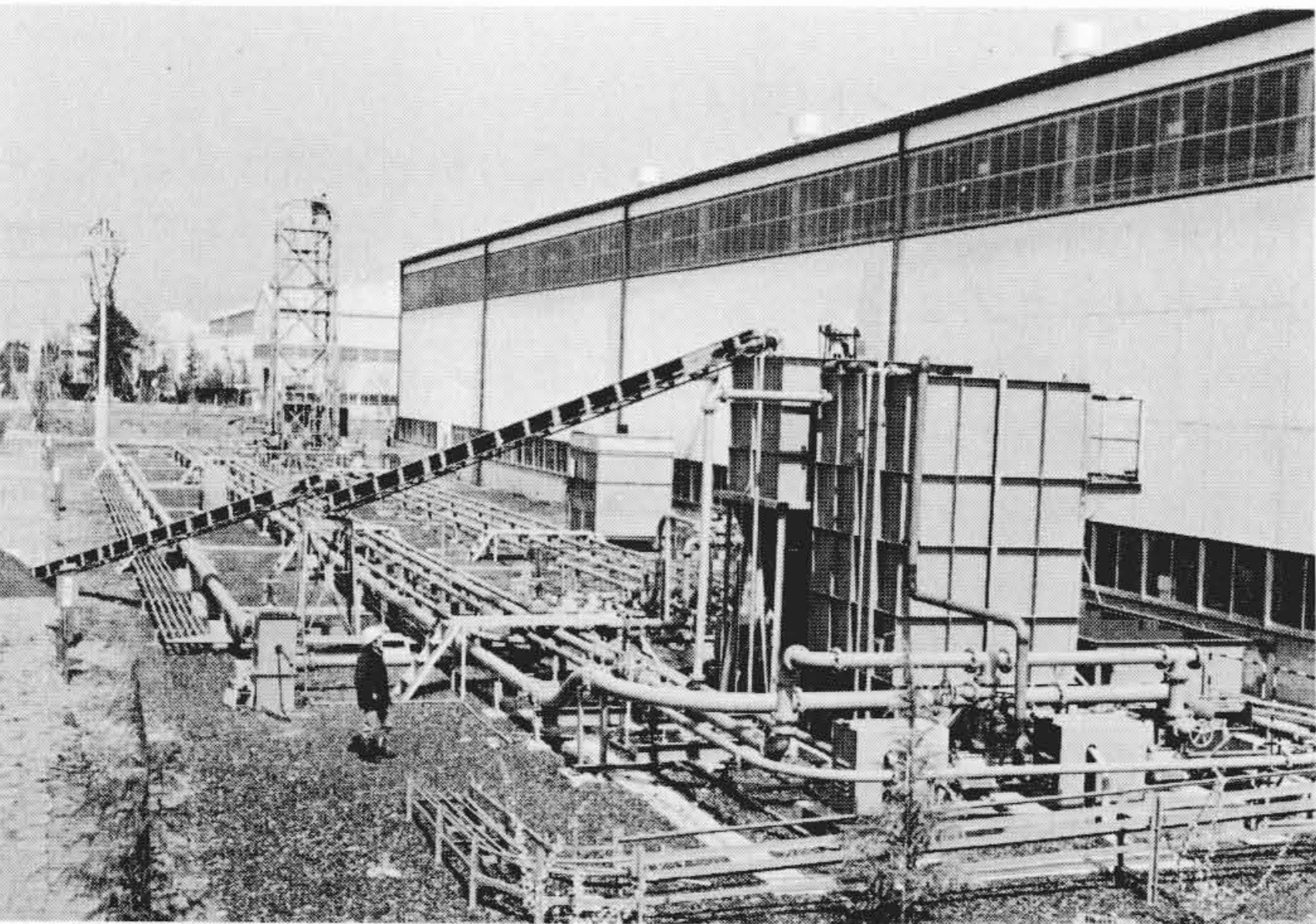


図4 テスト プラント 石炭以外の固形物やカプセルなどの水力輸送用ハイドロホイストのテスト プラントを示す。

5.2 長距離スラリー輸送システム(図6)

石炭を粉碎、粒度調整し、一定の濃度のスラリーを製造する前処理プラント、立形ハイドロホイスト、輸送管、脱水、及び水処理を行なう後処理プラントから成る。システムとしては完成したものであり、立形ハイドロホイストの直接の使用実績はないが、3.で詳述したように、ボーキサイトスラリーなどのより過酷な条件で十分な実績があるので、問題なく適用可能であり、かつ保守費を大幅に低減するものと考えられ、大容量化・高圧化も容易になる。

5.3 坑内より地上までの塊炭水力輸送システム(図7)

坑内の塊状の原炭を地上の選炭場まで水力輸送するシステムである。最高30mmまでの原炭を、内径165mmの輸送管で、

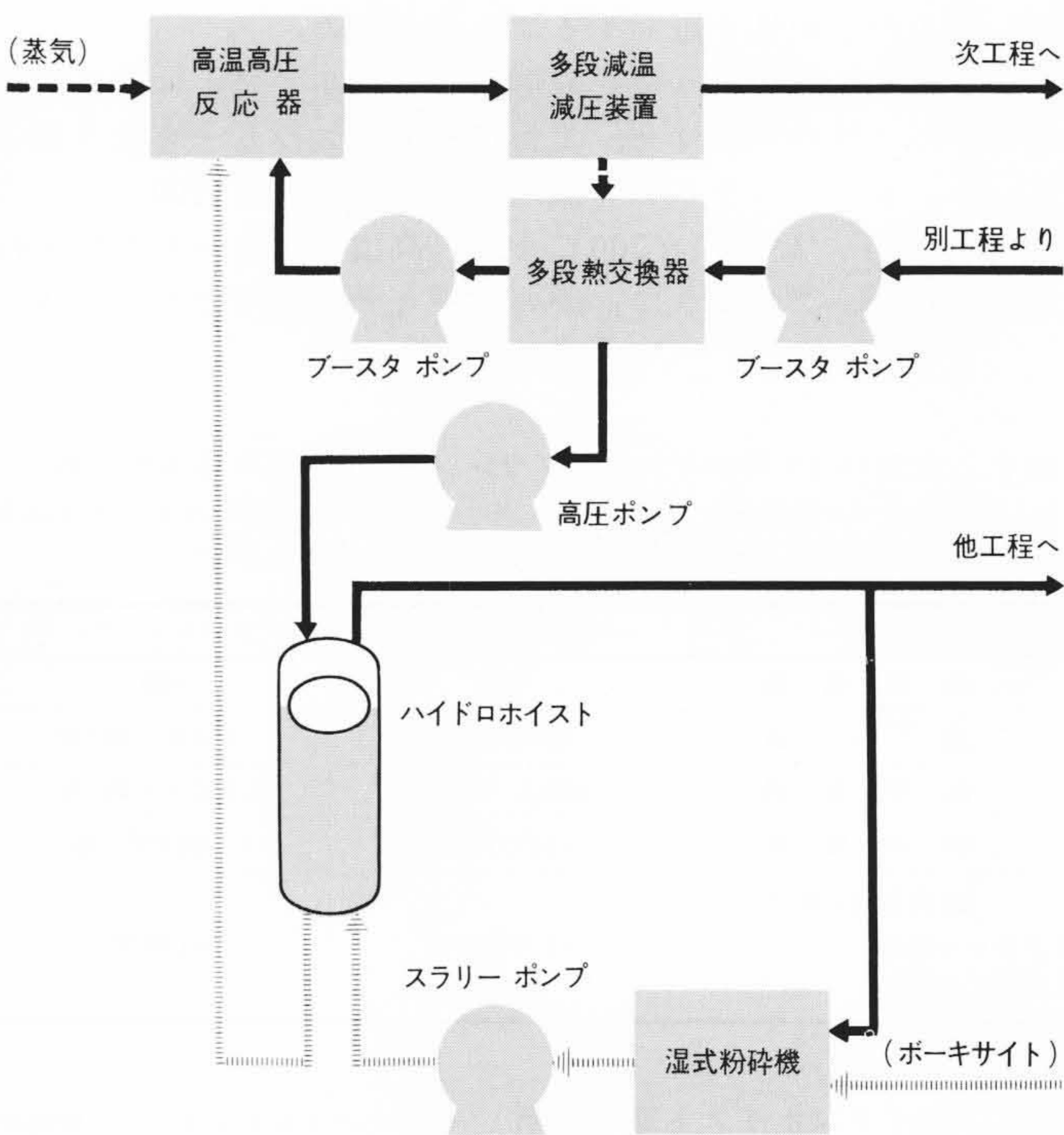


図5 ボーキサイトスラリー圧送システム 立形ハイドロホイストを使用してスラリーを高圧の反応器に圧送したシステムを示す。

垂直500 m、水平1,500 m計 2 km輸送で、約100t/h輸送した。従来の巻揚機に比較して、ランニングコストで有利なことが分かった。

5.4 重液利用システム

粒径の大きな固形物を低速で水力輸送できれば、動力や摩

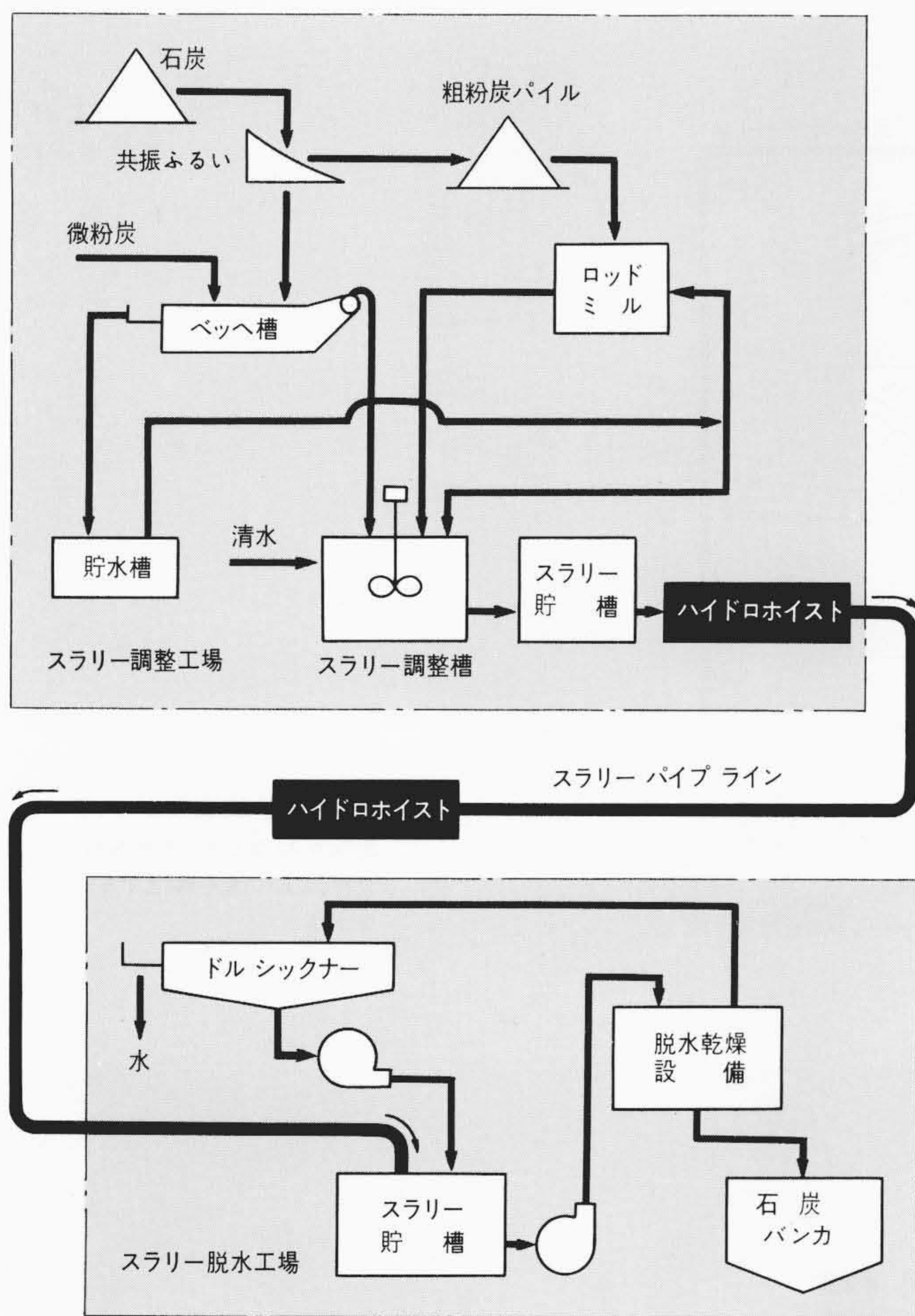


図6 長距離スラリー輸送システム 石炭スラリーの長距離水力輸送システムを示す。輸送装置に立形ハイドロホイストが使用できる。

耗が少なく、かつ脱水も容易であるという水力輸送の理想を実現できるであろう。ここに示すシステムはそのひとつである。

すなわち、図8に示すように、輸送液として固形物に含まれる微粒子を集めて重液とし、それを循環使用する。輸送には粗い粒子を重液に投入し、重液効果によって低速で送る。輸送には横形、重液返送には立形ハイドロホイストを使用する。

なお、このシステムでは重液を循環使用するので、脱水や水処理設備はごく小規模なもので済む利点がある。ただし、本システム実用化の前に、重液を使用した混相流の限界流速、管路抵抗の実測値を得ることが必要である。

5.5 水力式カプセル輸送システム(図9)

固形物を茶筒状の容器に入れ、その容器の外径よりわずかに大きな内径の輸送管で水力輸送を行なうシステムである。図9に示すように、本システムでは輸送と返送に横形ハイドロホイストが必要である。本システムでは、カプセルの見掛け比重が水に近いこと、外径が輸送管の内径に近いことなどの理由から1ないし2 m/sの低流速とすることができるため、動力や管の摩耗が少ない。

また固形物が水にぬれないという長所がある。現在、付属機器を含めて開発中である。

6 結 言

ハイドロホイストを水力輸送システムに適用すると次のような利点がある。

- (1) 立形ハイドロホイストを使用すると、従来形ポンプに比べて摩耗が数十分の一になる。その使用実績は、時間的に数万時間と十分な実績があり、使用条件も過酷であるため、2 mm以下の細かい固形物の水力輸送に対しては、ほとんどすべてのものに適用することが可能と思われる。
- (2) 横形ハイドロホイストは、2 mm以上の粒子を含む石炭の

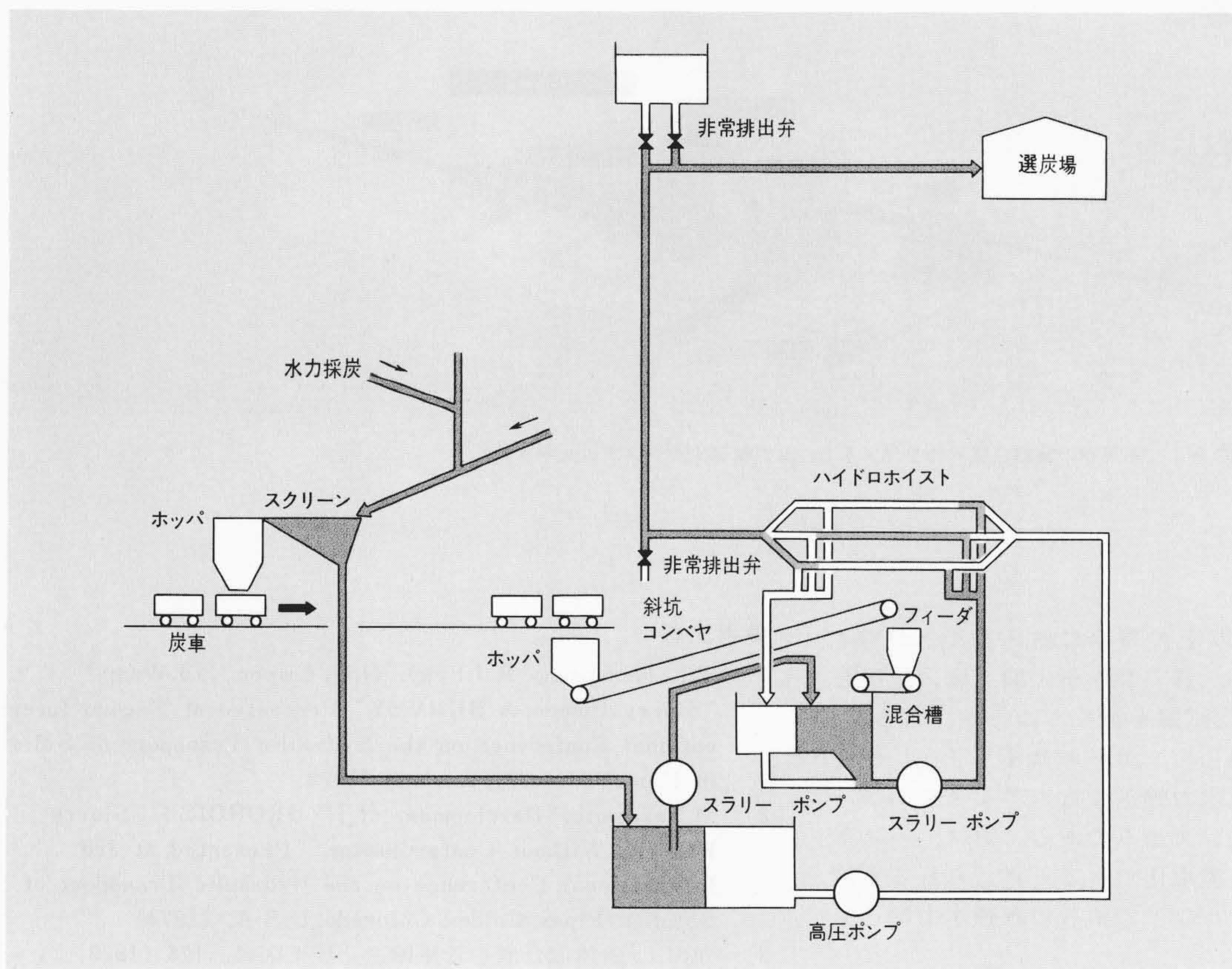


図7 塊炭水力輸送システム 横形ハイドロホイストを使用して30mm以下の原炭を垂直500m、水平1,500m水力輸送したシステムを示す。

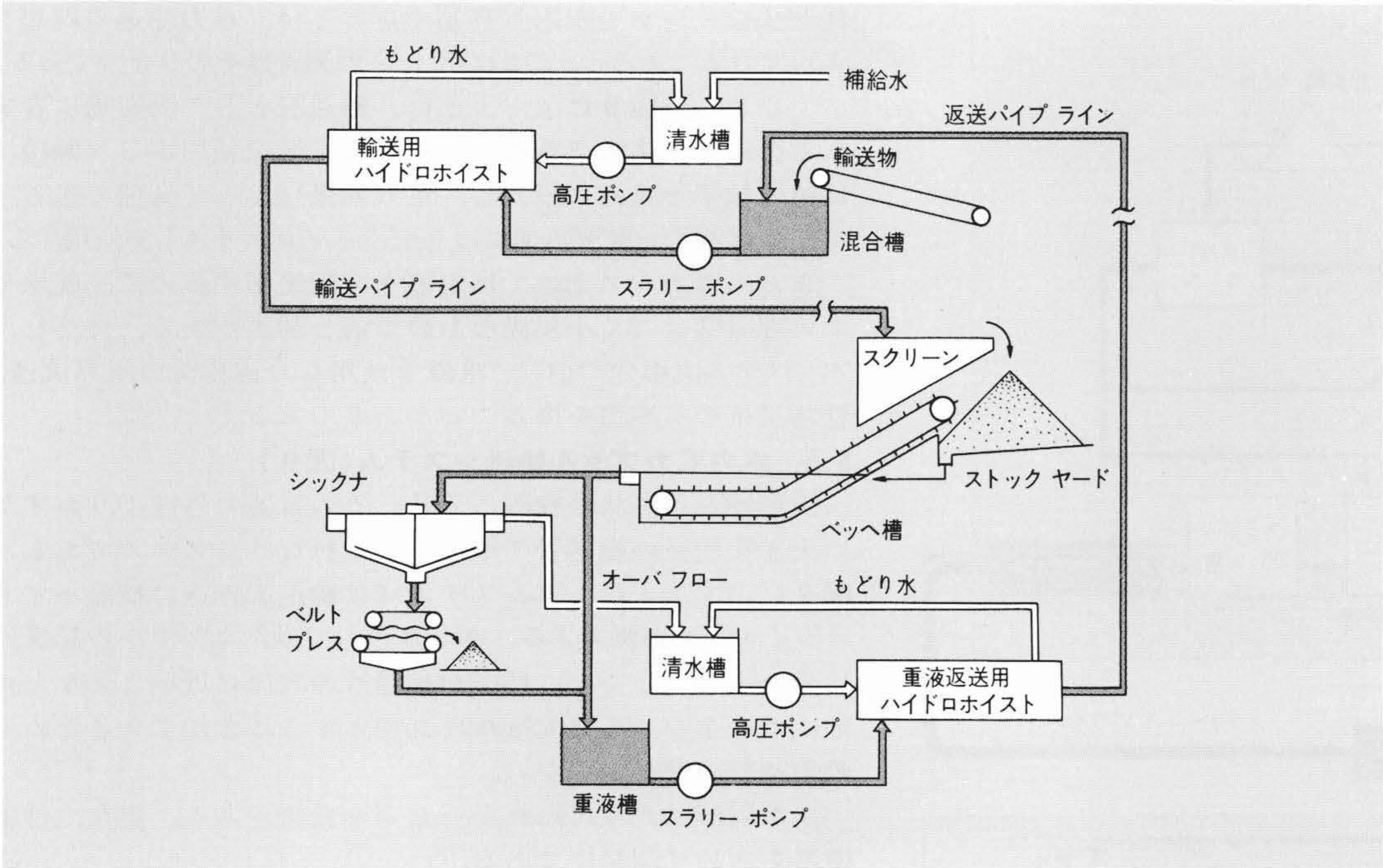


図8 重液利用システム
重液を利用して、それを母液とし
2 mm以上の塊を輸送するシステム
を示す。

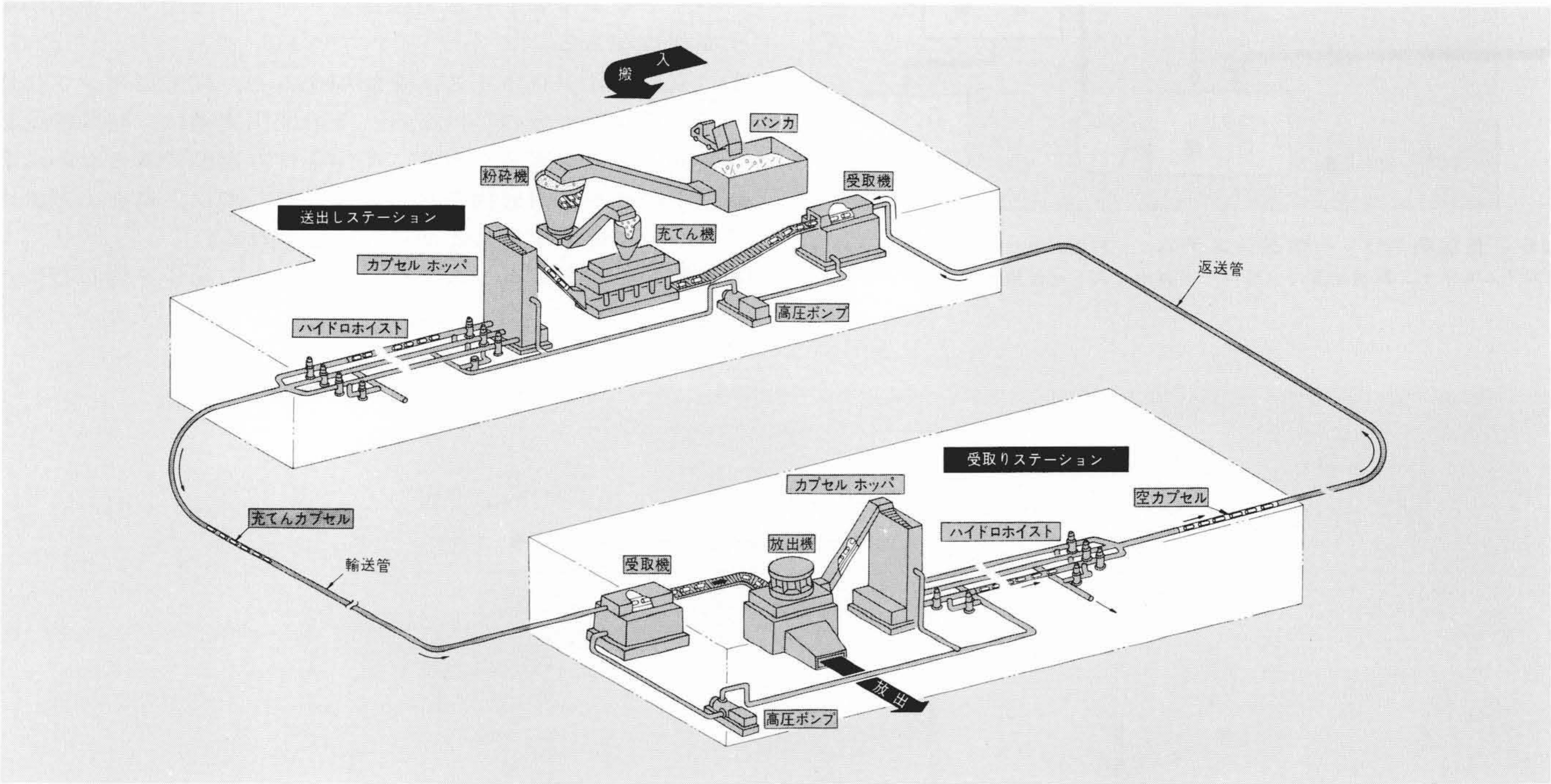


図9 水力式カプセル輸送システム 茶筒状の容器に固形物を充てんし、水力輸送するシステムを示す。

水力輸送で弁座が4,000時間以上の寿命に耐えることができる。なお石炭以外の固形物は、日立製作所土浦工場に設置したテストプラントで各種確認試験を行なうことができる。

(3) ハイドロホイスを採用した、ボーキサイト圧送、長距離スラリー輸送、塊炭の立坑水力輸送などの各システムは、実用的でかつ優れた水力輸送システムである。更に、ハイドロホイスを適用して初めて実用化できると考えられる重液利用システム、水力式カプセルなどの新しい各種水力輸送システムを開発中である。

参考文献

- 1) T.L.Thompson, R.J.Frey, N.T. Cwper, E.J.Wasp :
"Slurry Pumps, A SURVEY" Presented at Second International Conference on the Hydraulic Transport of Solid in Pipes, Coventry, England. (1972)
- 2) M.Sakamoto, "Development of HYDROHOIST : Slurry Feeders Without Contamination." Presented at 3rd International Conference on the Hydraulic Transport of Solid in Pipes, Golden, Colorado, U.S.A. (1974)
- 3) 寺田 : 「固体混合液の管路輸送」 理工図書, 126 (1973)