

ハイドロホイストによる石炭スラリー輸送と供給システム

Coal Slurry Transportation and Feeding System Using Hydrohoist

石炭スラリーの輸送システムとして、粉炭のほか微粉炭を使った高濃度スラリー、50 mm以下の塊炭などの輸送が各所で計画されている。また、石炭ガス化や石炭液化プラントでの湿式供給にも石炭スラリーが使用されている。これら石炭スラリーの輸送及び供給システムで、ハイドロホイストは従来形ポンプに比較して画期的な長寿命と高信頼性が得られるばかりでなく、これらシステムの大容量化・高圧化の要求に応じることができる。更にハイドロホイストの採用によって、流量の検出が容易になること、石炭の破碎が少ないこと、遠心ポンプのような高濃度での性能低下がないことなどの特長を生かして、ユニークなシステムを構成することができる。

坂本正克* Masakatsu Sakamoto
宮寺 博** Hiroshi Miyadera
井上 滉*** Hiroshi Inoue
内田健二**** Kenji Uchida

1 緒 言

石炭は固体燃料であるため、パイプラインで輸送できる石油に比較して輸送費がかかる。この問題を解決するために、石炭・水スラリーをはじめ各種のスラリー輸送の開発や計画が、各国で行なわれている。米国では、既に10年以上の稼動実績をもつ粉炭・水スラリーの長距離輸送への適用のほか、高濃度微粉炭・水スラリーシステム、塊炭・水スラリーによる輸送船への積込み・荷揚げシステムなどが提案されている。一方、石油代替燃料としての石炭のガス化や液化の技術開発が、我が国をはじめ主要先進国で進められており、石炭スラリーの高圧・大容量供給システムが、その重要な開発課題となっている。

このように、石炭スラリーの高圧大容量輸送・供給システムは、石油代替エネルギーとしての石炭の利用を拡大する際の重要な技術課題の一つとなっている。これらのシステムに使用されるスラリーポンプは、接液部の摩耗が著しく、保守費がかさむなど多くの問題があり、それがこの種のシステムの実用化をはばんでいる原因の一つである。

日立製作所では、昭和40年に従来形スラリーポンプに比較して摩耗が大幅に少なく、従来のスラリーポンプの欠点の多くを改善したハイドロホイストと呼ぶ、独自の石炭スラリー輸送システムを開発し、その後、他の用途への適用の経験を積んできた¹⁾。また、昭和50年度から昭和53年度まで、通商産業省工業技術院、新エネルギー総合開発機構が推進している「サンシャイン計画」での石炭ガス化プラントへの適用のための研究開発を受託し、研究を進めていた。更に、昭和55年度以降、同じく「サンシャイン計画」での石炭液化技術の研究開発の一部として、石炭液化用ハイドロホイストの開発を進めている。

本報では、上記ハイドロホイストの概要、特長並びにハイドロホイストを適用した各種石炭スラリー輸送及び供給システムについて述べる。

2 ハイドロホイストの概要と特長

2.1 ハイドロホイスト開発の経緯

従来、2 mm以上の塊炭のスラリー輸送では、遠心形スラリーポンプが使用されてきた。その理由は図1に示すように、往復動形スラリーポンプでは逆止め弁を使用しているために、2 mm以上の塊炭の輸送が困難である。一方、遠心形スラリーポンプ

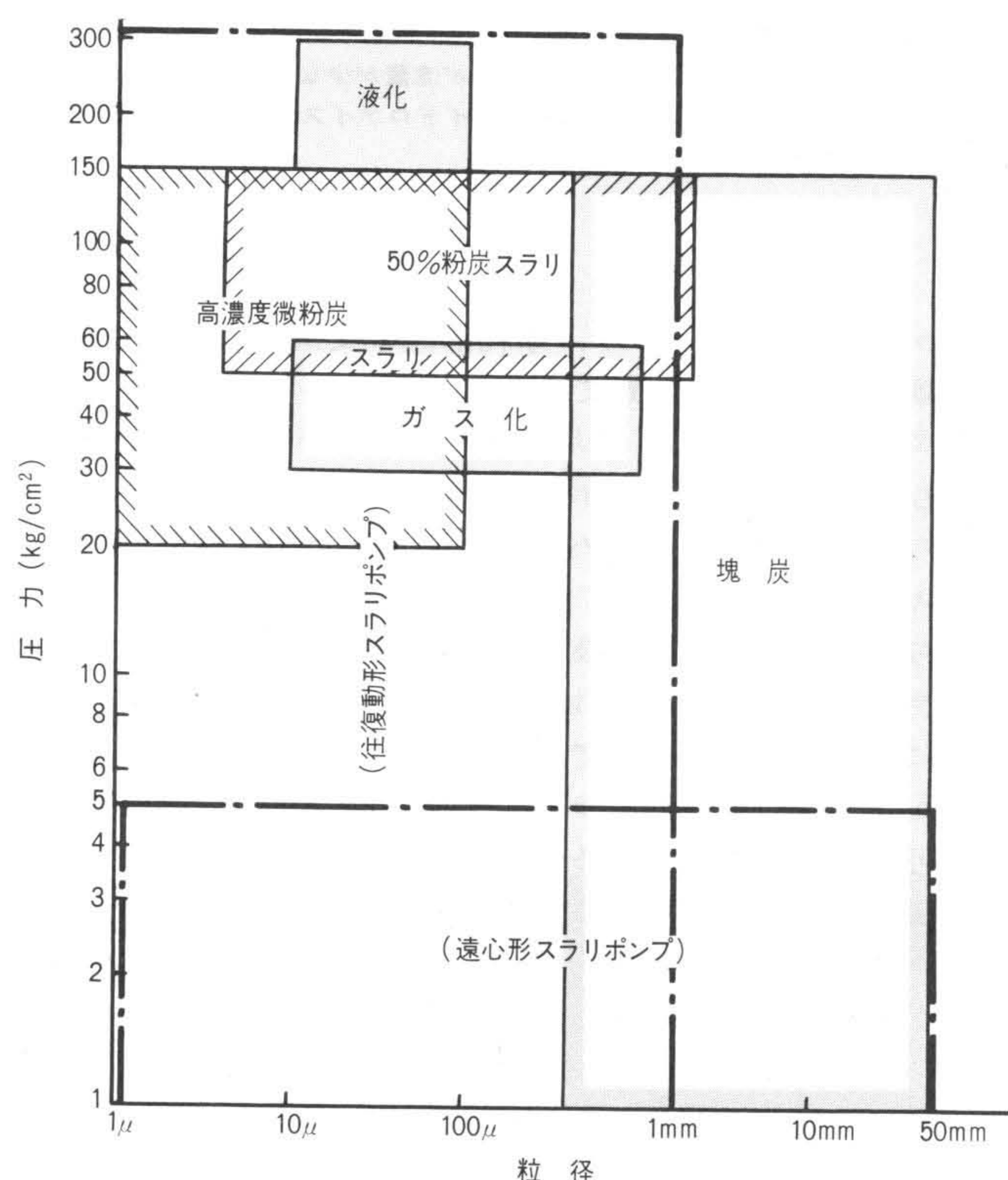


図1 石炭スラリー輸送の粒径と圧力 往復動形スラリーポンプでは、2 mm以上の塊炭の輸送ができない。一方、遠心形スラリーポンプでは5 kg/cm²以上の圧力を出すことが困難である。

では、摩耗が著しいために、同図に示すように5 kg/cm²程度の圧力を出すものの開発が困難という欠点がある。近年それよりもはるかに高い圧力の塊炭・水スラリーの輸送が計画されるようになり、高圧多段スラリーポンプが提案されているが、ステージ間の摩耗が著しいことなどの理由のため、まだその試みは成功していない。やむを得ず、圧力5 kg/cm²程度の単段ポンプを、必要な間隔を置いて直列に使用する方法が採られているが、この方法では保守すべきポンプが管路の全

* 日立製作所土浦工場 工学博士 ** 日立製作所日立研究所 工学博士 *** 日立製作所機械研究所 **** 日立製作所土浦工場

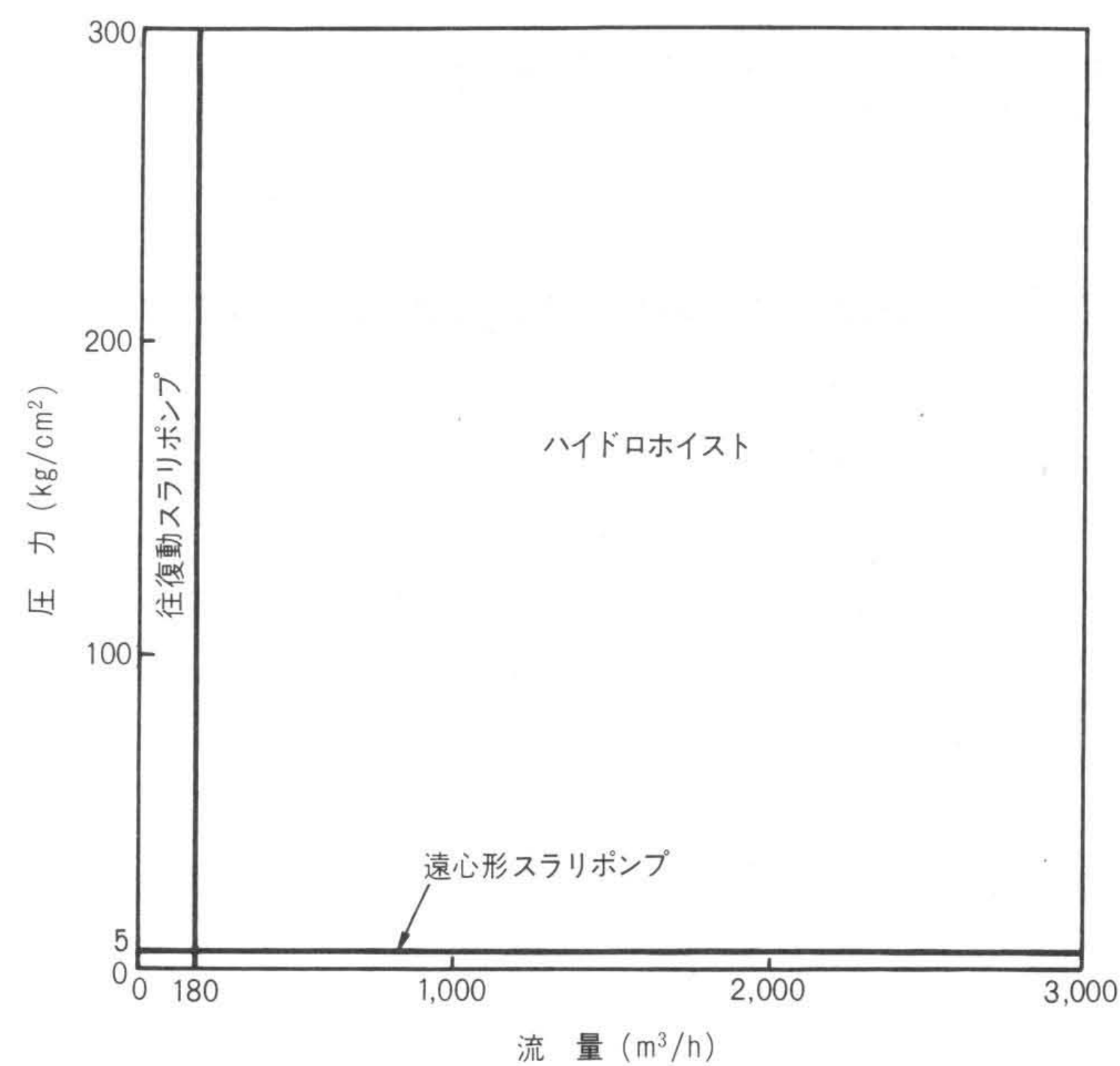


図2 ハイドロホイストの流量・圧力の適用範囲 従来形のスラリポンプでは、往復動形は高圧は可能であるが流量が少なく、遠心形では大流量が可能であるが、高圧が不可能である。ハイドロホイストによって、高圧・大流量化がはじめて可能となった。

域にわたって分散しており、摩耗部品の交換に工数がかかり、長距離の管路輸送は困難である。また、このように何度もインペラを通過させると、塊炭が著しく破碎される欠点があり、しかも、高濃度になるとポンプ効率が甚だしく低下する。これらの問題を解決するために、後述するような横形ハイドロホイストを開発した。

一方、2mm以下の粉炭及び微粉炭の輸送には、従来往復動形スラリポンプが使用されてきた。その理由は、図1に示すように、このような粒度では往復形スラリポンプの使用が可能であり、かつ遠心形スラリポンプと異なって、高圧領域に適用可能であるためである。しかし、往復動形スラリポンプは、現在以上に高速化すると摩耗が著しくなるために大容量化が困難であり、現在のところ図2に示すように、180m³/h程度が限度である。近年、3,000m³/h程度の大流量を要求されるシステムが増大しているが、このような場合には数多くのポンプを並列に使用しなければならないことになる。加えて、往復動形スラリポンプは接液部の摩耗が著しく(表1参照)、保守及び信頼性の点で問題があり、これらの問題点を解決するために後述する立形ハイドロホイストを開発した。

表1 往復動形スラリポンプの部品の寿命 往復動形スラリポンプの部品の寿命は、例えば弁の場合、500ないし1,100時間と短い。

スラリ性状	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)
項目		
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	425

注：単位(時間)

2.2 横形ハイドロホイスト
2.2.1 原理と構成(図3参照)

横形ハイドロホイストは、水平管で構成した供給管の中へ、低压スラリポンプによってスラリを充てんし、次に高压清水ポンプによって、このスラリをスラリ輸送管へ送り出すものである。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、これら操作弁を作動させる制御機器、低压スラリポンプ、高压清水ポンプなどである。具体的動作は次に述べる順序のとおりである。

- (1) A弁とC弁を閉じ、B弁とD弁を開く。低压スラリポンプから送られたスラリが、供給管の中に充てんされる。
 - (2) スラリが供給管に充满したところで、B弁とD弁を閉じる。
 - (3) A弁とC弁を開く。供給管に充てんされているスラリを、高压清水ポンプから送られる高压水によって輸送管へ送り出す。
- 以上の動作を3本の供給管ごとに交互に繰り返すが、これらすべての動作は自動的に行なわれる。

2.2.2 特長及び実績

- (1) 弁の通路は供給管と同一の円形断面をもち、通過性が良いため塊炭が容易に輸送できる。
- (2) 摩耗が少なく、接液部の寿命が長い。
- (3) 従来形スラリポンプでは困難な、高圧かつ大容量の輸送が可能である。
- (4) 塊炭の破碎が極めて少ない。
- (5) 遠心形スラリポンプに比較して効率が高い。遠心形スラリポンプと異なり、圧力発生部を塊炭が通過しないので効率が高い。図4は両者の効率比較の一例である。
- (6) 流量制御が容易である。流量が清水部分で測定できるので、正確な流量制御が可能である。

横形ハイドロホイストの実績を表2に示す。この種の塊炭輸送の実用化に成功したのは、日立製作所が世界で最初である。

2.3 立形ハイドロホイスト
2.3.1 原理と構成

本ハイドロホイストは、粒径2mm以下のスラリの輸送用として開発したものであり、基本的には横形と同一の原理に基づくものであるが、供給室が垂直に設けられ、スラリと駆動

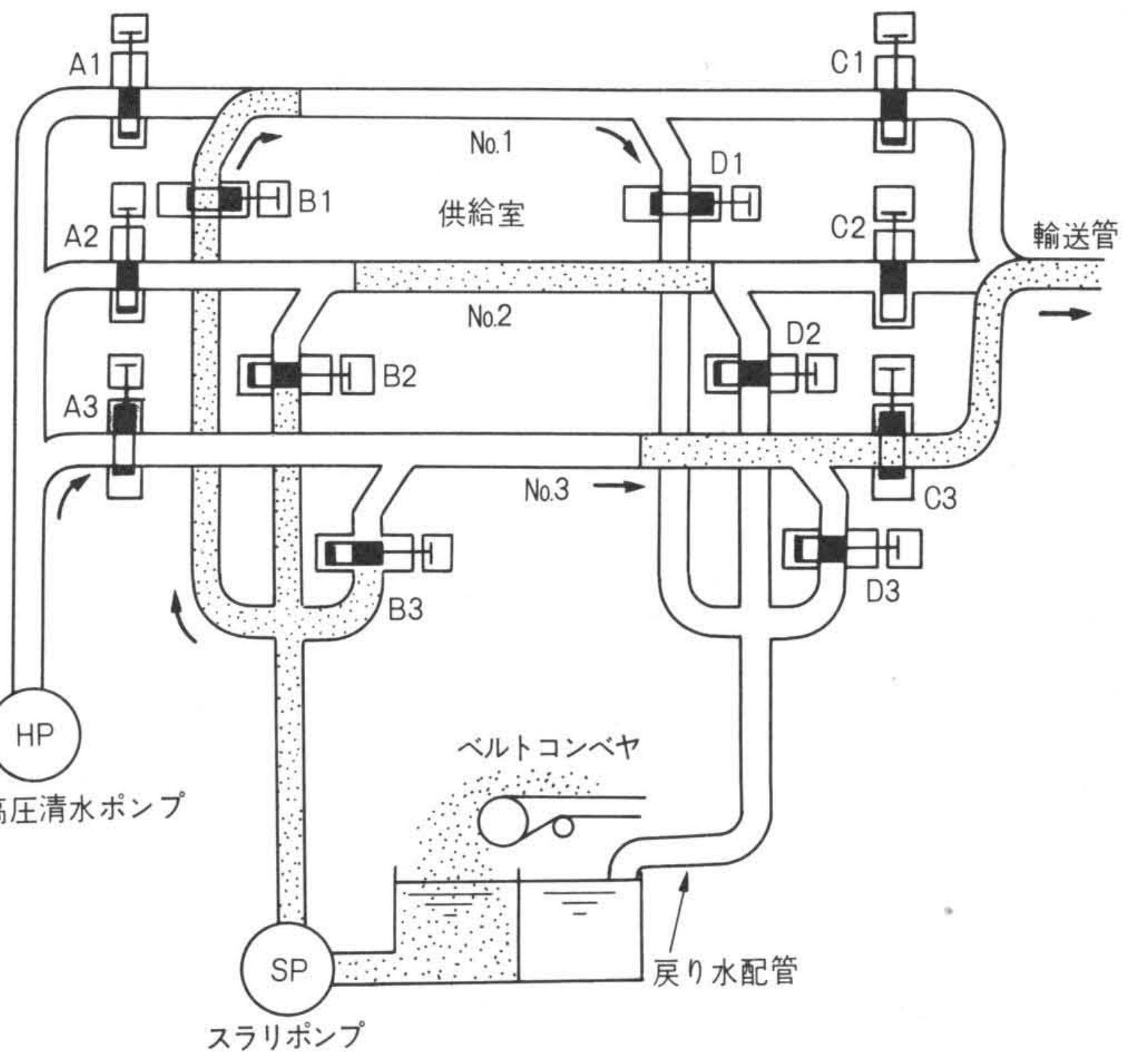


図3 横形ハイドロホイスト原理図 低压のスラリポンプで供給管の中にスラリを入れ、弁を切り替えて高压清水で圧送する。塊炭のスラリ輸送に適している。

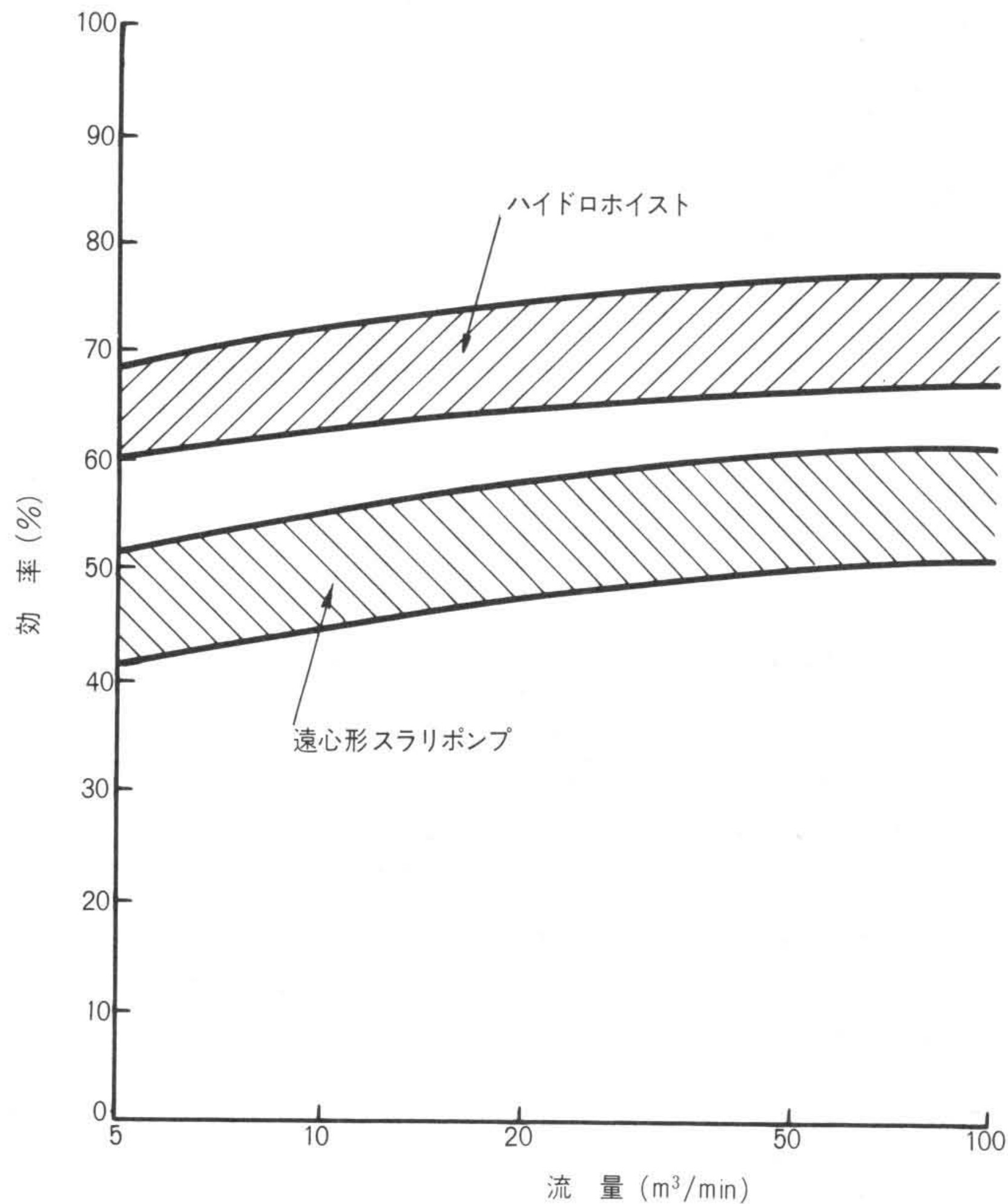


図4 ハイドロホイストの効率 遠心形スラリーポンプと比較して効率が
 高い。

液(水又は油)の境界にフロートが浮遊し、両液の混合を防止し
 ている点が異なっている。なお、フロートの上限及び下限は、
 供給室の外部に設けた近接スイッチで検出する(図5参照)。

2.3.2 特長及び実績

(1) 摩耗が少なく、接液部の寿命が長い。図6はプランジャ
 ポンプと比較した一例である。

表2 ハイドロホイスト実績一覧表 ハイドロホイストの信頼性は、
 運転実績によって証明されている。

	顧客名	スラリー	仕様	台数	製造年	運転時間
横形 ハイドロホイスト	古河鋳業株式会社 好間鋳業所	石炭+水	320m³/h× 53kg/cm² (80t/h)	1	昭和37年 (1962)	273 (1年間)
	三井石炭株式会社 砂川鋳業所	石炭+水	330m³/h× 85kg/cm² (100t/h)	1	昭和40年 (1965)	25,000
	りんかい建設 株式会社	しゅんせつ	1,300m³/h× 10kg/cm²	1	昭和54年 (1979)	—
	電源開発株式会社	ダム堆積砂	83.4m³/h× 50kg/cm²	1	昭和55年 (1980)	3,000 ラスト プラント
立形 ハイドロホイスト	昭和軽金属株式会社 横浜工場	ボーキサイト +カ性ソーダ	80m³/h× 35kg/cm²	1	昭和42年 (1967)	110,000
	同上	同上	136m³/h× 45kg/cm²	1	昭和45年 (1970)	61,000
	クイーンズランド アルミナ (オーストラリア)	同上	170m³/h× 56kg/cm²	3	昭和46年 (1971)	56,000
	日本鋳業株式会社 日立製錬所	硫化鉱+ 酸性液	30m³/h× 55kg/cm²	1	昭和50年 (1975)	30,000
	アルエッサ (スペイン)	ボーキサイト +カ性ソーダ	326m³/h× 55kg/cm²	2	昭和52年 (1977)	5,800
	アウギニッシュ アルミナ (アイルランド)	同上	326m³/h× 55kg/cm²	2	昭和55年 (1980)	建設中
	電源開発株式会社	重質油+石炭	0.5m³/h× 52kg/cm²	1	昭和56年 (1981)	2,000 パイロット プラント
	クイーンズランド アルミナ (オーストラリア)	ボーキサイト +カ性ソーダ	170m³/h× 51kg/cm²	2	昭和56年 (1981)	建設中
	カイザーアルミナ アンドケミカル (アメリカ)	ボーキサイト +カ性ソーダ	680m³/h× 60kg/cm²	1	昭和57年 (1982)	—

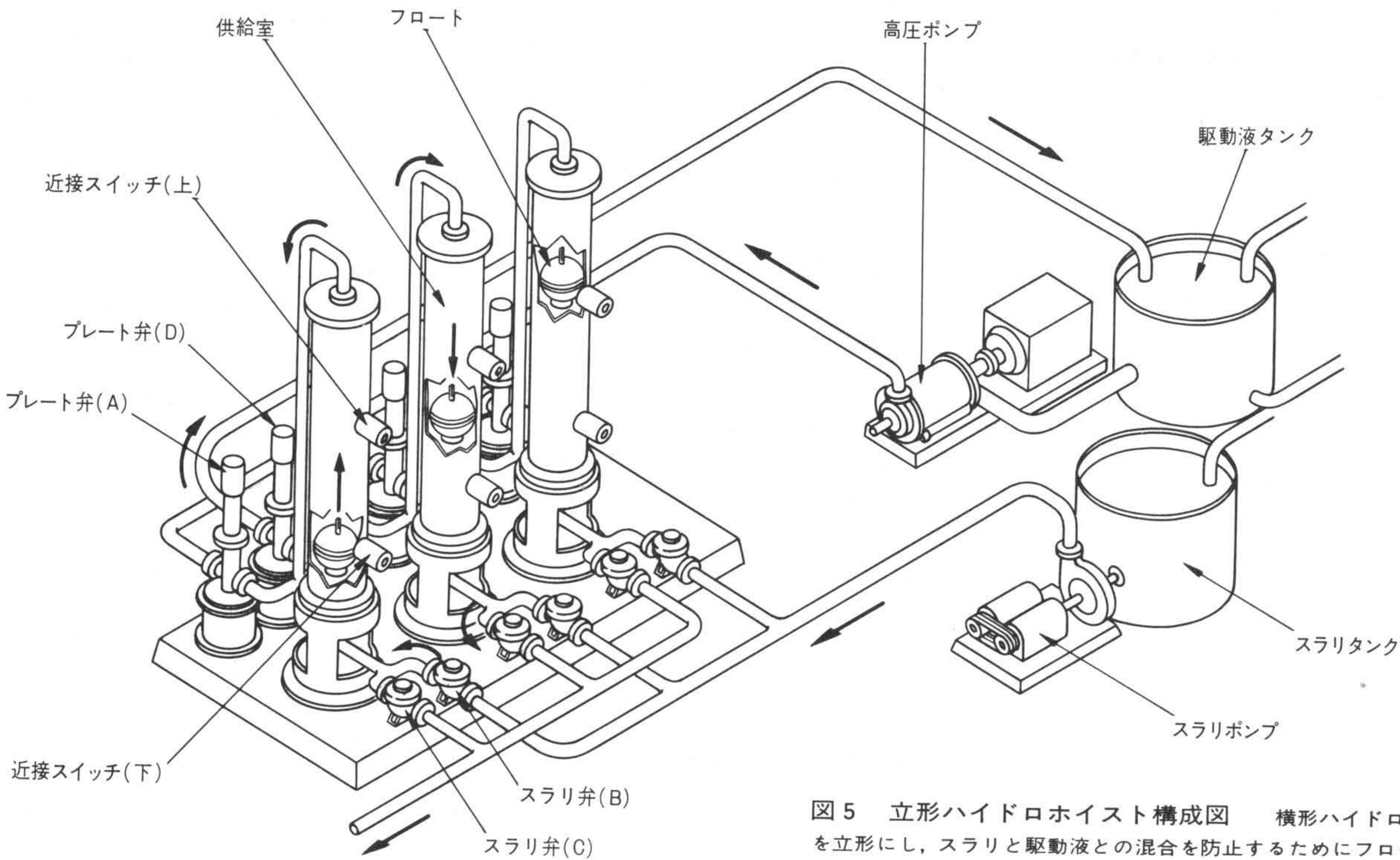


図5 立形ハイドロホイスト構成図 横形ハイドロホイストの供給室
 を立形にし、スラリーと駆動液との混合を防止するためにフロートを入れている。

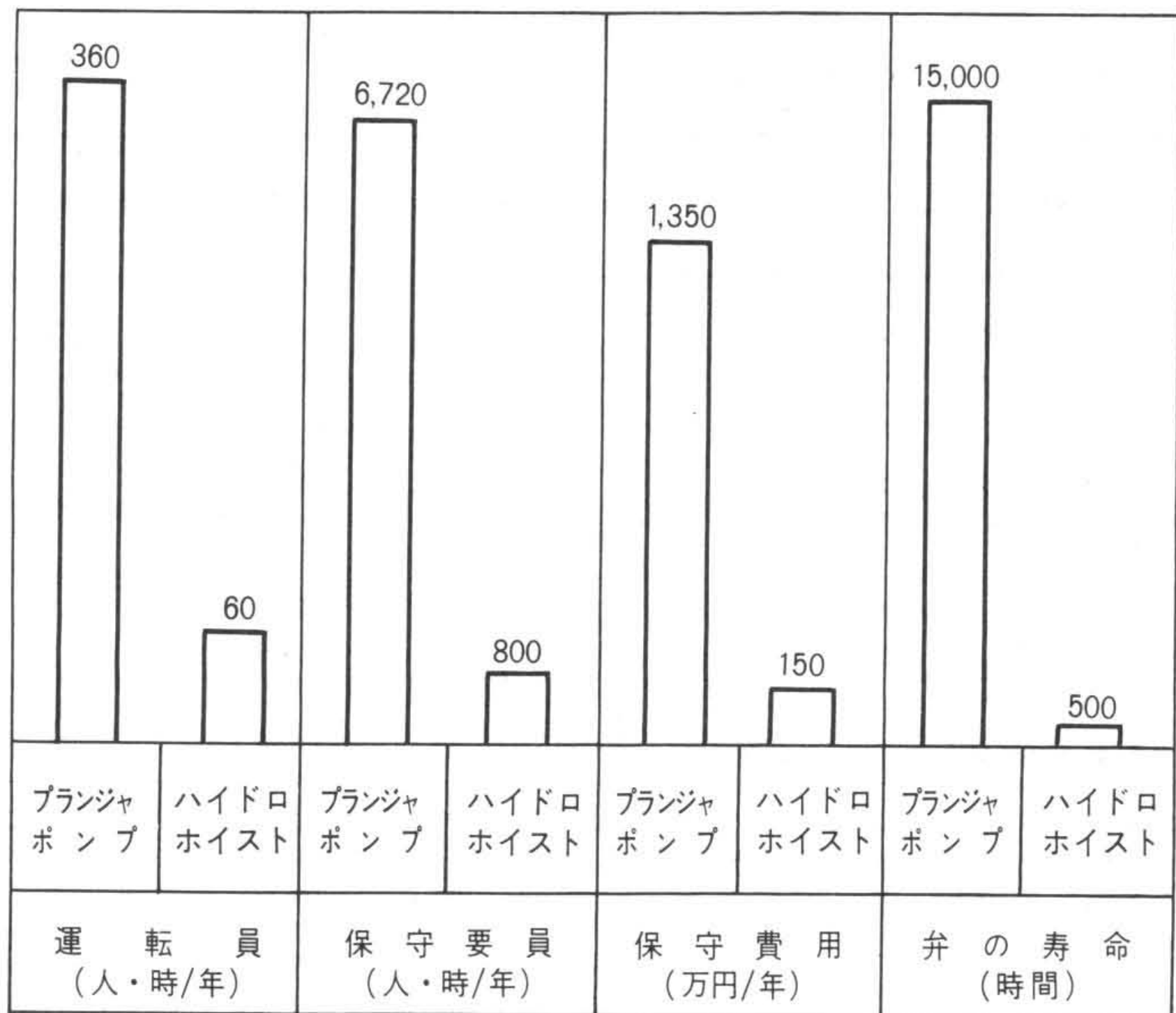


図6 ハイドロホイストとプランジャポンプとの保守費の比較例
日立製のプランジャポンプとハイドロホイストを、同一条件で運転して比較した結果である。

(2) 高圧・大容量の輸送が可能である。

(3) 流量制御が容易である。

上記の各点から、スタンドバイが不要で、1ステーションにつき1台とすることが可能である。

表2に示すように、立形ハイドロホイストは長期間連続運転の実績があり、その信頼性が証明されている²⁾。

3 石炭スラリー輸送システムへの適用

3.1 塊炭・水スラリー輸送システム

3.1.1 立坑揚炭システム

坑内掘りの炭坑で、採掘した塊炭を地上の選炭場まで中継なしに輸送するスラリー輸送システムである。図7は三井石炭株式会社砂川鉱業所で実施された実例である³⁾。垂直500m、水平1,500m、計2kmで、100t/hの原炭を輸送した。坑内掘り炭坑の無人化、無災害化が可能なシステムとして注目されている。

3.1.2 自然落差を利用した原炭輸送システム

山地の高所で石炭を採掘し、自然落差を利用して低地まで

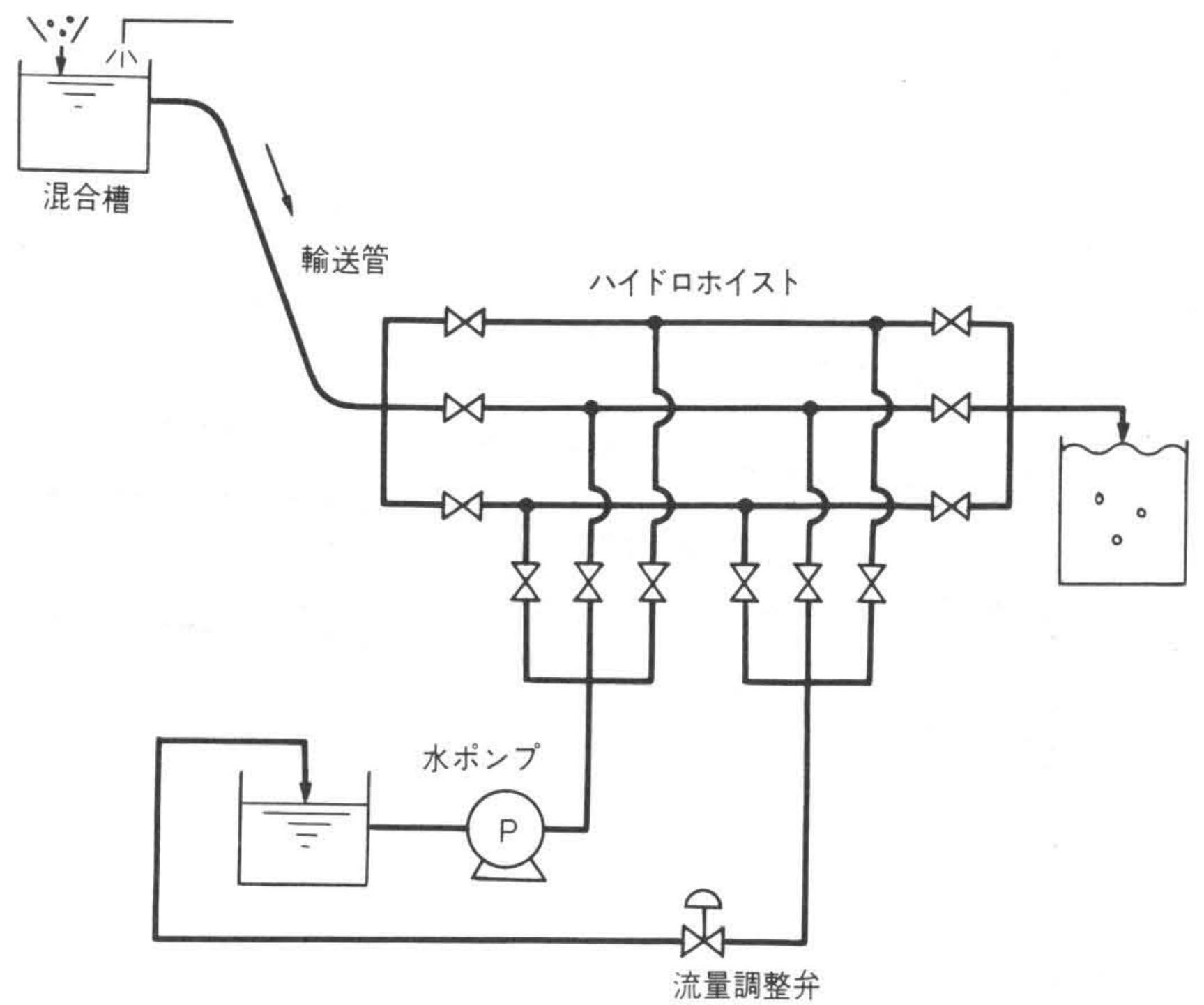


図8 自然落差を利用した原炭輸送システム
自然落差を利用して、石炭スラリーを輸送するシステムは、ハイドロホイストを出口に使用すると流量の制御が可能となる。

スラリー輸送するシステムが考えられる。この方法は、パイプだけ布設すれば動力が不要なので、地形条件によっては魅力的なシステムである。しかし、ただスラリーを流すだけでは濃度、粒径及び石炭比重の変動によって流速が大幅に変化するため、過少流速による管内閉そく、過大流速による管の摩耗などが問題となり、実用化は困難である。図8は、その対策としてハイドロホイストを使用したシステムである。輸送管からのスラリーを供給管に受け入れ、弁を切り替えた後、低圧の清水ポンプで放出する。同図に示すように、戻り水管の清水中で流量をコントロールできるので、上述のような問題がないほか、自然落差に余裕があれば、戻り水管中に水車を挿入して動力を回収することも可能である。

3.1.3 石炭輸送船の積み込み及び荷揚げ⁴⁾

従来輸入炭では1～2万tw(重量トン)の石炭輸送船が使われていたが、これを10万twにすると、輸送費が半程度に低下すると言われており、大形化が進んでいる。しかし、このような巨大な船を着岸できる岸壁の建設は、自然条件の上から

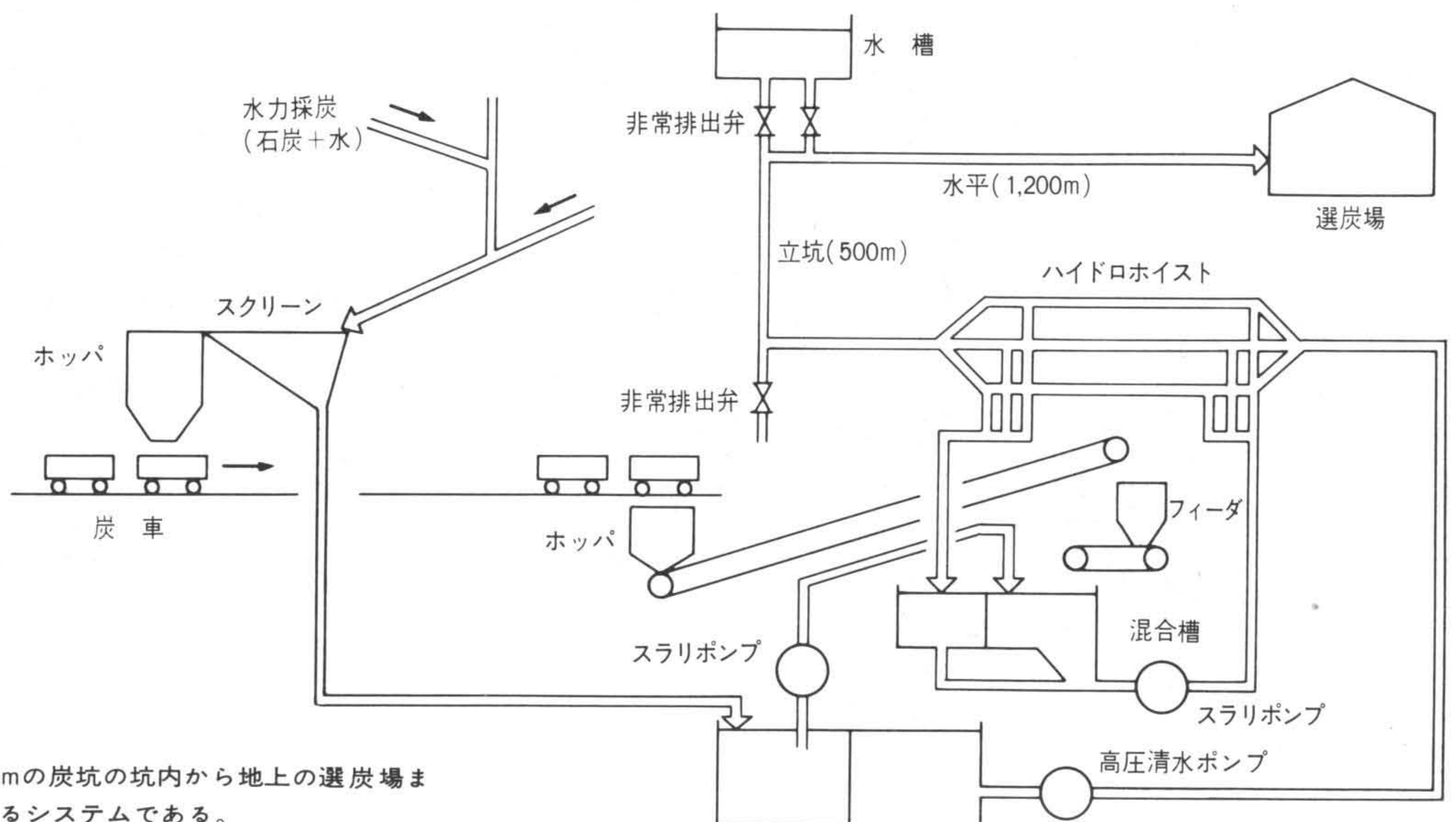


図7 立坑揚炭システム
地下500mの炭坑の坑内から地上の選炭場で、塊炭・水スラリーを、中継なしに輸送するシステムである。

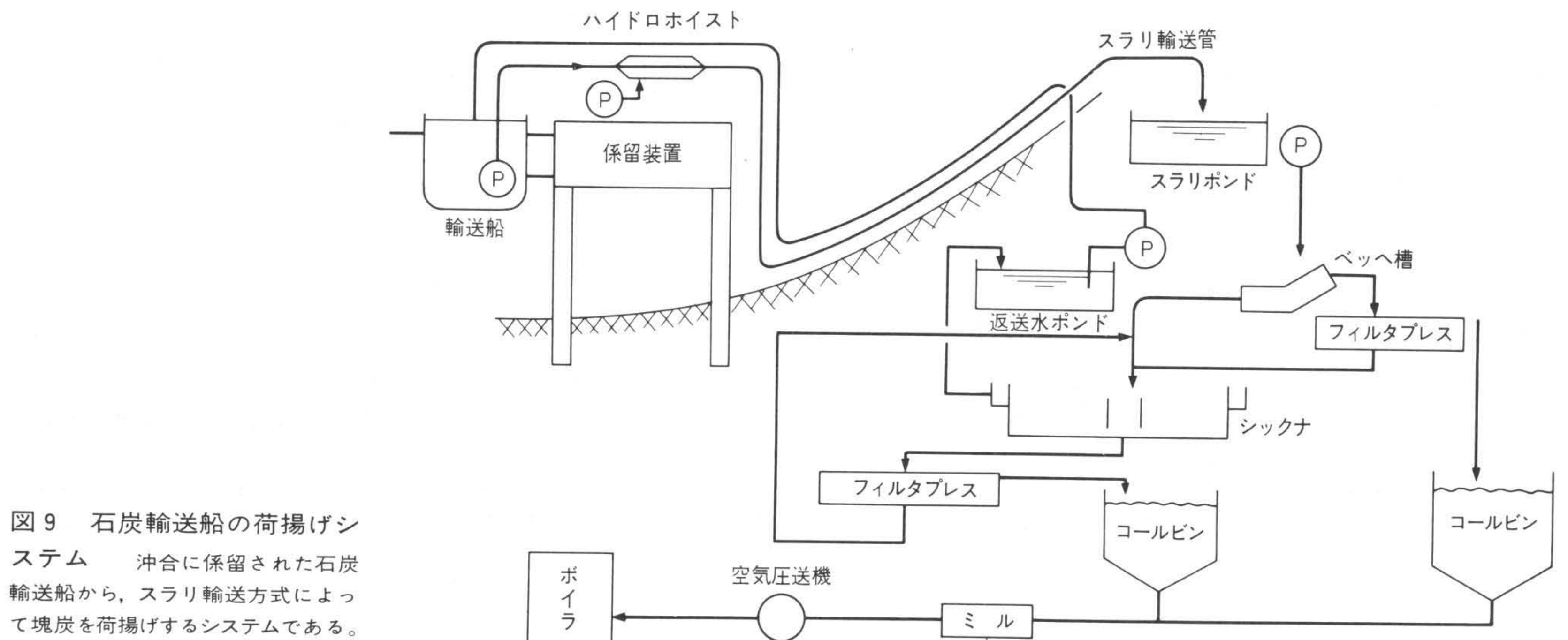


図9 石炭輸送船の荷揚げシステム 沖合に係留された石炭輸送船から、スラリ輸送方式によって塊炭を荷揚げするシステムである。

困難なことが多い。したがって、沖合に輸送船に係留し、陸地まで塊炭のままスラリ輸送をする案が考えられる。図9はそのような陸揚げシステムの一案である。同様な案は積み込みの場合でも考えられる。ハイドロホイストを採用すると、中継なしに輸送でき、石炭の破碎や動力を少なくできる利点がある。

3.1.4 長距離石炭スラリ輸送システム

図10は、米国で実用化が始まっている重量濃度50%の粉炭・水スラリ輸送システムにハイドロホイストを適用したシステムを示すものである。このシステムにハイドロホイストを適

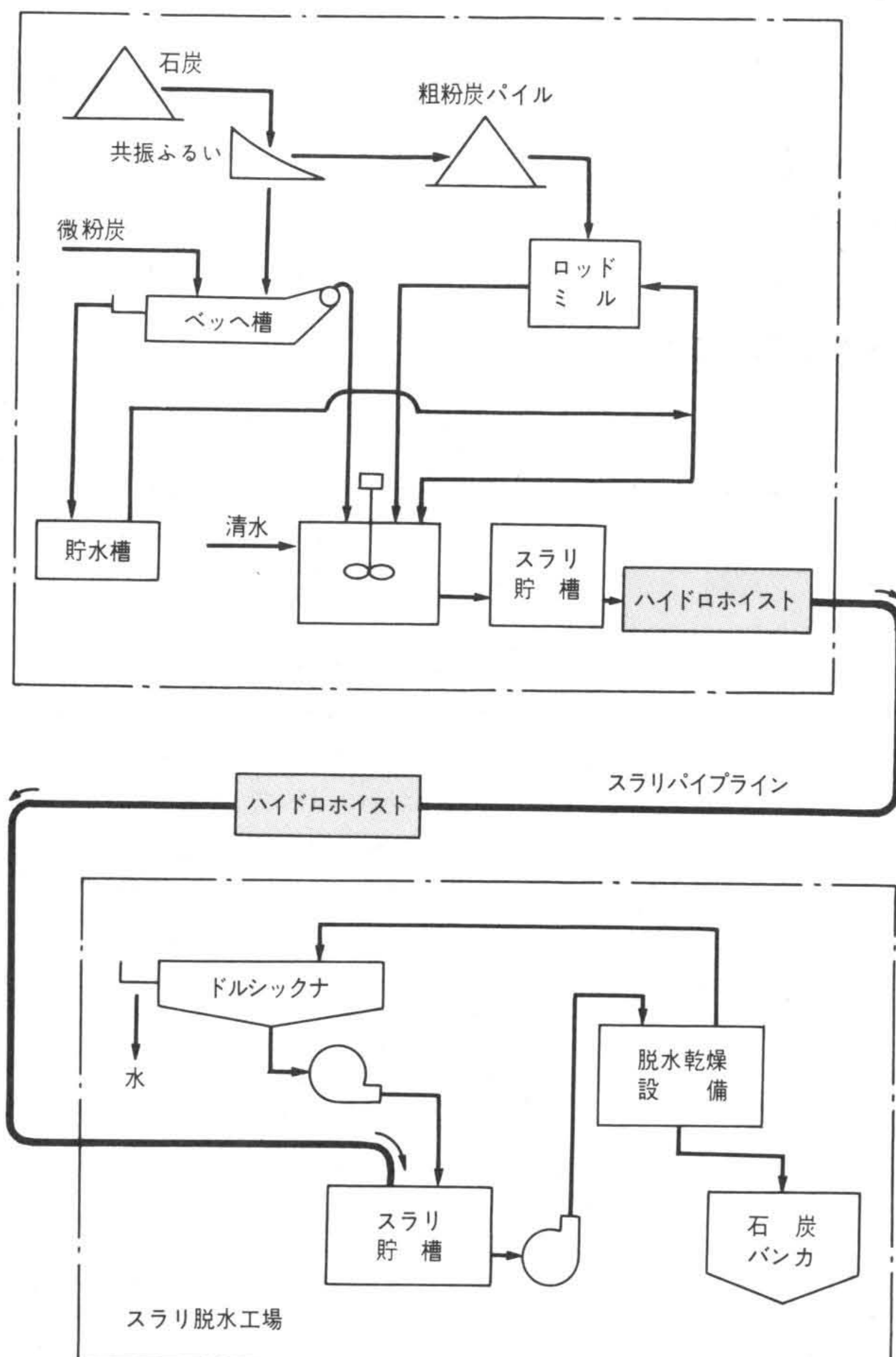


図10 長距離石炭スラリ輸送システム 長距離石炭スラリ輸送システムにハイドロホイストを採用すると、台数を減らすなど大きな効果が期待できる。

用すると、大容量・高圧であっても1ステーションにつき1セットで済むばかりでなく、流量などの自動制御や予防保全の自動化などが容易になり、摩耗の減少とあいまって経済的に有利になると考えられる。ハイドロホイストは、上記システムばかりでなく、高濃度石炭・水スラリ輸送システムにも同様に適用することができる。

3.2 石炭ガス化用スラリ供給システム

図11は、本特集号の別掲載論文「流動層石炭ガス化技術」のパイロットプラント用ハイドロホイストを示す。このパイロットプラントは、スラリ処理量 $0.5\text{m}^3/\text{h}$ であり、ハイドロホイストの適用範囲の下限以下の流量なので、駆動用の高圧ポンプとしては往復動形プランジャポンプが採用された。このスラリの母液は常温で固化する重質油であり、流量測定が極めて困難であるため、ハイドロホイストの往復回数によってプロセスの流量を求めている。

3.3 石炭液化用スラリ供給システム

石炭の液化プロセスでは、石炭液化油の一部を溶剤とし、これに石炭の微粉を混入したスラリを $150\text{kg}/\text{cm}^2$ ないし $300\text{kg}/\text{cm}^2$ の反応器に圧送する。このスラリ圧送システムは、このように高圧であるばかりでなく、 $800\text{m}^3/\text{h}$ 程度の大容量を必要とする。従来このような高圧・大容量で信頼性の高いスラリ

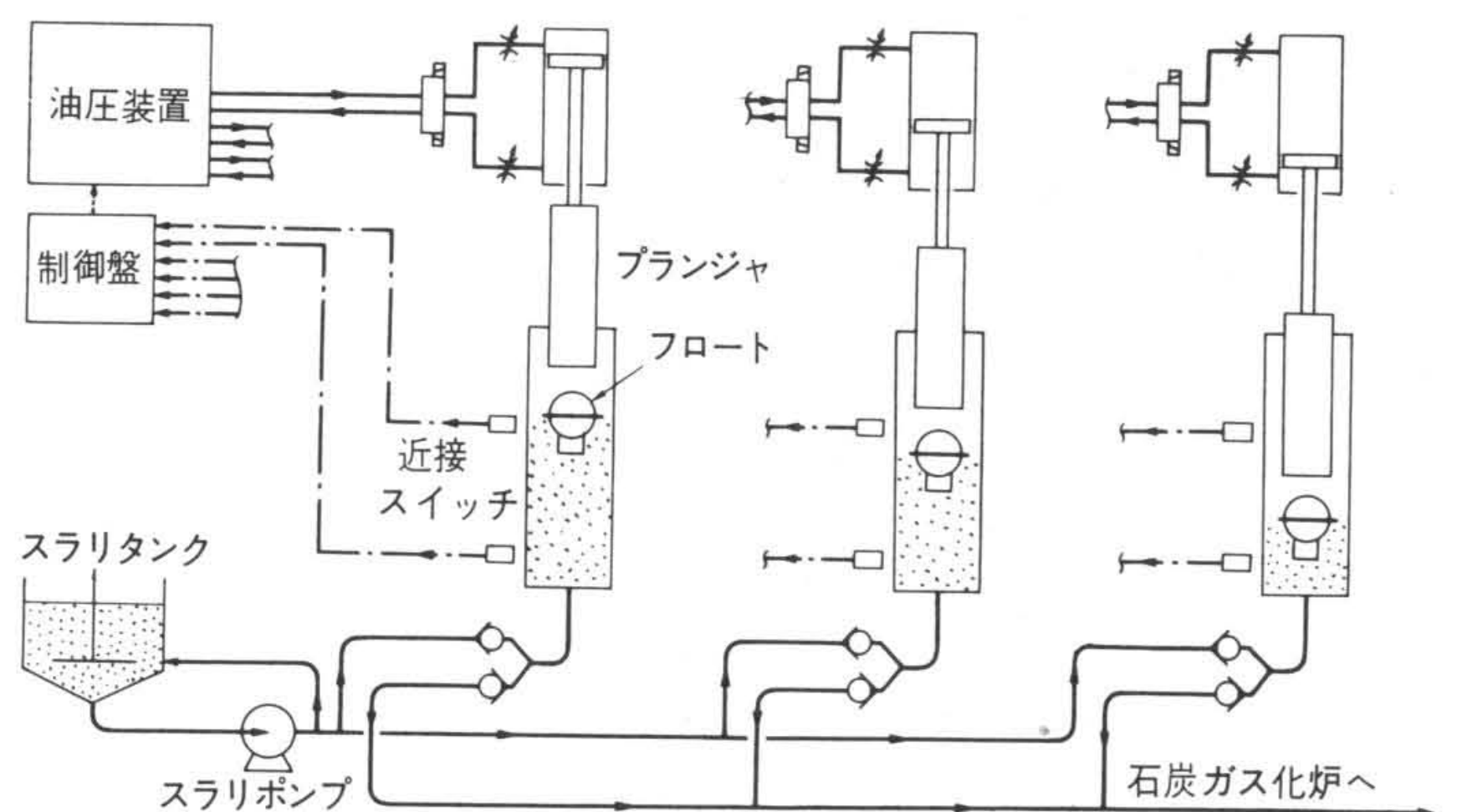


図11 石炭ガス化パイロットプラント用ハイドロホイスト 流量が非常に小さいため、高圧ポンプとしてプランジャポンプが使用された。

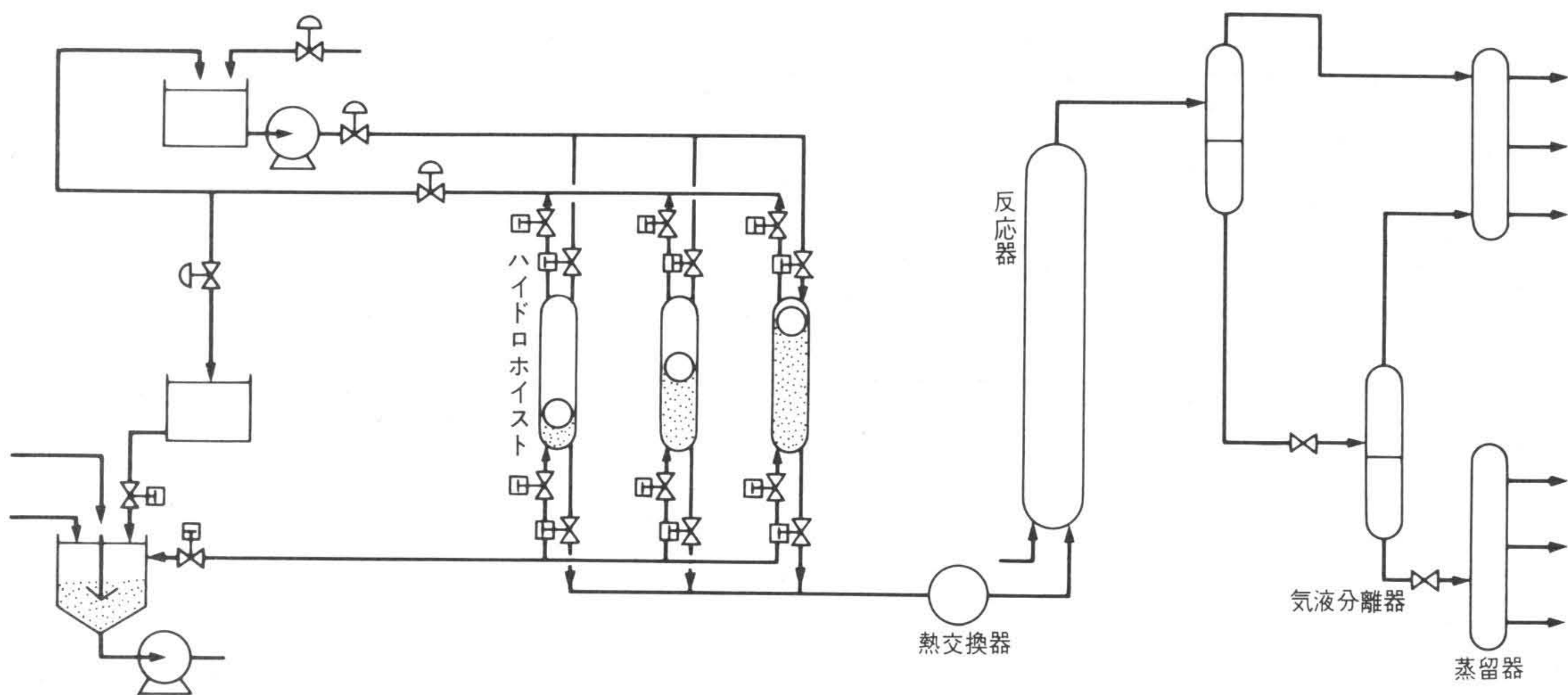


図12 石炭液化用スラリー供給システム このシステムは、大容量・高圧であるため、ハイドロホイストを採用することが望ましいと考えられる。

輸送装置は存在しなかったため、それに適した石炭液化用ハイドロホイストの開発の必要性が生じた。この開発研究を、新エネルギー総合開発機構から受託して、現在推進中である。

4 結 言

圧力発生部に石炭スラリーを通過させない画期的なスラリー輸送システムであるハイドロホイストの概要と、石炭スラリー輸送及び供給システムに適用した場合の特長について述べた。今後の多様なニーズに応じるため、機器要素はもちろんシステムの改善にも引き続き努力したいと考えている。

終わりに、新エネルギー総合開発機構及び電源開発株式会社の関係各位の御指導に対し、深く感謝する次第である。

参考文献

- 1) M. Sakamoto, et al.: Hydrohoists, Slurry Feeder without Contamination, Hydrotransport 3. Paper A1 (1974)
- 2) M. Sakamoto, et al.: Vertical Type Hydrohoist for Hydraulic Transportation of Fine Slurry, Hydrotransport 6. Paper F1 (1979)
- 3) M. Sakamoto: Progress of Hydrohoist for Coarse Coal Slurry Transportation, Proceeding of the Eighth International Conference on Slurry Transportation, 297 (1973)
- 4) R. R. Faddick: Ship Loading Coarse Coal Slurries, Hydrotransport 8. A3. (1982)

論文抄録

Systolic Arrayによるネットワーク最短路問題の並列解法

日立製作所 村松 晃・宮岡伸一郎・他1名
電気学会論文誌 103-C-2, 43~49 (昭58-2)

道路や通信網、流体パイプライン(上下水道)、電子回路などのネットワーク構造をもつ大規模システムの解析・制御では、その最短路を高速に探索する必要がある。従来の逐次処理算法中最も速いと言われるダイクストラ法は、ネットワークのノード数 n に対し n^2 ($2 \leq \alpha \leq 1$) のオーダーの演算回数を要する。このため、1,000ノード以上になるとオンラインで最短路を求めることは困難であり、別のアプローチ、すなわち並列処理の導入が要求される。

並列処理機構には大きく分けてプロセッサ・アレイ(マルチプロセッサ)方式とパイプライン方式とがある。最短路探索の場合、前者の方式ではプロセッサ間の相互通信に伴うオーバーヘッドが大き過ぎるという難点があり、後者の方式ではダイクストラ法を処理できないという問題点がある。筆者らはこれに対し、パイプライン処理できる新しい最短路探索手法を導き、これを実行するハードウェアのアーキテクチャをシスト

リック・アレイに求めた〔シストリック・アレイはカーネギーメロン大学のKungの提唱になるVLSIアーキテクチャであり、単純な計算要素(セル)を規則的に配列して超高速でパイプライン処理を行なうものである〕。

提案手法は、一端を固定したネットワークの重力場中での落下運動を模擬したもので、落下し切ったとき最短路はつり下がっているノードの系列として求められる。落下していくノードの運動は、それが結合されている他のノードの運動にだけ依存するから、ひとつの結合ノードに対する運動を計算するセルをパイプライン状に並べて規則的にデータを供給してやることによって、パイプラインを通過する間に全結合ノードに対する運動が計算できる。この計算を所望の時間刻みで全ノードが静止するまで繰り返せば解が求められる。時間刻みを変えることによって、厳密解でも近似解でも自由に得ることができる。

以上に要する計算の手間はノード数を n 、

計算繰返し回数を N とすると、パイプライン1台で nN のオーダーであり、複数台用いると最高で N のオーダー(ノード数によらない)となる。すなわち、大規模ネットワークでは、この手法は必ずダイクストラ法を凌駕する。筆者らの50~2,500ノードのネットワークを対象とした計算機実験では、大形計算機を用いたダイクストラ法より少なくとも $10^2 \sim 10^4$ 倍高速に求解できる。

最短路探索はそれ自体重要な問題であるが、最小費用流問題(ネットワーク最適化問題)の中に部分問題としても現われ、しかも多くの計算時間を要することから、この部分の時間短縮効果はネットワーク最適化(制御)問題全体の高速化にとっても有意義である。適用時には、ネットワークの構造行列を帯対角行列に変換しなくてはならないが、その帯幅がセルの個数を越えたときの処理などは、技術的課題として今後に残されている。