

川崎製鉄技報

KAWASAKI STEEL GIHO

Vo2. (1970) No.1

粉状鉄鉱石のスラリー輸送について

Ocean Transportation of Iron Ore Slurries

清水 政治(Masaharu Shimizu) 桜井 昭二(Shoji Sakurai) 佐藤 範彦(Norihiko Sato) 増山 勤(Tsutomu Masuyama)

要旨：

大部分の製鉄原料を海外に依存するわが国にとって海上運賃の動向は直接製鉄コストに影響するほど大きい。山元、船主および使用者の三者は船舶の大型専用船化に最大の努力を払っているが、その結果巨費を要する港湾設備の大型化が強要されることになる。粉鉱石のスラリー輸送は港湾と荷役設備の簡略化と同時に従来 30,000DWT の船しか受け入れられなかったインドやゴアからでも 100,000DWT 級による積み出しが可能となる点で画期的な方法である。昨年ペルー―千葉間で行なった実験結果を基にして、本年ペルー―ポーランド間で本格的輸送が実現し、さらにインド―日本間で計画がたてられている。ここではペルー―千葉間で行なわれた実験の概要を示す。

Synopsis：

For the Japanese steel industry which has to import most of the raw materials for its steelmaking, the trend of ocean freights is so significant as to directly threaten the final cost picture of finished products that miners, shippers and manufacturers have all been making utmost efforts to reduce freights by using as large vessels as possible even at great expenses for expanding harbor and ore handling facilities. The transportation of iron ore fine in slurry form can not only simplify the port and loading facilities but can load iron ore fine on a 100,000 DWT vessel even at the ports of India and Goa where the largest vessel that can be berthed is limited to 30,000 DWT class in the conventional transporting method. Following a successful trial ocean transportation in 1968 of iron ore slurry from San Nicolas, Peru, to Chiba, Japan, a 40,000 DWT slurry carrier cruised from San Nicolas to Portland, Oregon in May, 1969. Further tests on a larger scale are planned from Kudremukh, India, to Japan. This paper gives an account of the test transportation of iron ore slurry from San Nicolas to Chiba conducted in 1968.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

粉状鉄鉱石のスラリー輸送について

Ocean Transportation of Iron Ore Slurries

清水 政治*

Masaharu Shimizu

桜井 昭二**

Shoji Sakurai

佐藤 範彦***

Norihiko Sato

増山 勤****

Tsutomu Masuyama

Synopsis :

For the Japanese steel industry which has to import most of the raw materials for its steelmaking, the trend of ocean freights is so significant as to directly threaten the final cost picture of finished products that miners, shippers and manufacturers have all been making utmost efforts to reduce freights by using as large vessels as possible even at great expenses for expanding harbor and ore handling facilities.

The transportation of iron ore fine in slurry form can not only simplify the port and loading facilities but can load iron ore fine on a 100,000 DWT vessel even at the ports of India and Goa where the largest vessel that can be berthed is limited to 30,000 DWT class in the conventional transporting method.

Following a successful trial ocean transportation in 1968 of iron ore slurry from San Nicolas, Peru, to Chiba, Japan, a 40,000 DWT slurry carrier cruised from San Nicolas to Portland, Oregon in May, 1969. Further tests on a larger scale are planned from Kudremukh, India, to Japan.

This paper gives an account of the test transportation of iron ore slurry from San Nicolas to Chiba conducted in 1968.

1. 緒 言

最近の鉄鋼生産高の驚異的な上昇に伴って鉄鉱石の輸入量も1968年度で全所要鉄鉱石量の85%に相当する6,500万トンを越え、原料炭についても全所要量の76%に相当する3,000万トンが輸入されている。このように大量の原料を海外に依存するわが国にとって、その輸送と荷役の能率化は直接製鉄コストに影響するほど重要な問題である。

近年西オーストラリアを初めとする新しい鉱山

では、能率化された大規模な採掘技術が採り入れられ、一方海上輸送についてみてもすでに20万トン級の専用船が就航しようとしており、コストダウンへの道は着々と進められている。

このような現状において注目すべきことは、積地、揚地での荷役の合理化と港湾設備の簡略化とを目的とした粉状鉄鉱石のスラリーによる海上輸送法の出現である。すなわち既存の港湾設備では3万トンの船舶しか受け入れることのできないようなインド、ゴバなどの積出港でもスラリー輸送によって10万トン級の専用船で粉鉱石を積み出し、運ぶことが可能となるので海上運賃の低減に

* 千葉製鉄所製鉄部長

*** 千葉製鉄所管理部製鉄管理課長

** 千葉製鉄所管理部製鉄管理課課長

**** 千葉製鉄所製鉄部原料処理課課長

大きく寄与することになる。

本報告ではこのような考えのもとにマルコナ、三井物産および当社の3者によって行われたペルーのサンニコラス―千葉間のスラリー輸送実験の概要を紹介する。

2. スラリー輸送の背景

わが国における鉄鉱石消費量の推移をFig. 1に示す。1968年度で全消費量の85%に相当する6,500万トン以上が海外の資源に依存していたことになるが、その依存先は10年前と現在とは大きく変っている。そのようすをFig. 2に示すが、1961年頃まではアジア地区、特にマレー、フィリッピンなどの東南アジアからの入荷量が多かった。しかしわが国の粗鋼生産高の急速な伸びのために、これら東南アジア地区の鉄鉱石資源は枯渇化の一途

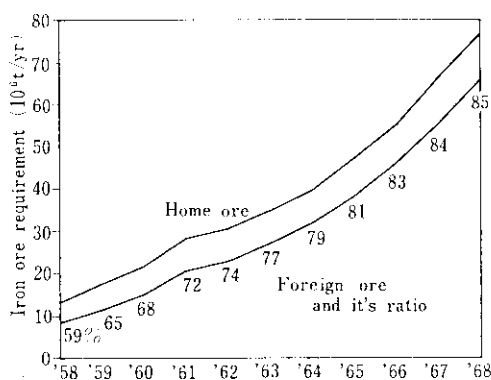


Fig. 1 Iron ore requirement and the ratio of the foreign ore

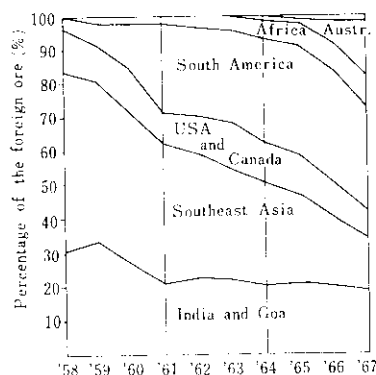


Fig. 2 Change of the foreign ore source

をたどり、代ってチリー、ブラジルを中心とする南米地区の鉱山が続々と開発されていった。同時にアフリカ地区からの入荷量も増加するにつれて海上輸送距離はFig. 3にみられるように急激に長くなり、1958年ごろに比較して現在では約2倍も遠方から運んできている。その結果海上運賃の負担が大きくなるとともに、その性格上きわめて不安定である海運市況に対処するため船舶の専用船化ならびにその大型化の必要性が叫ばれ、1960年に初めての専用船が就航するにいたった。ついでその大型化の傾向が急速に進み海上運賃の低位安定化に大きく貢献してきた。Fig. 4は過去10年間の海上運賃の変遷を示したものであるが、10年前にくらべて海上輸送距離が2倍近くになったにも

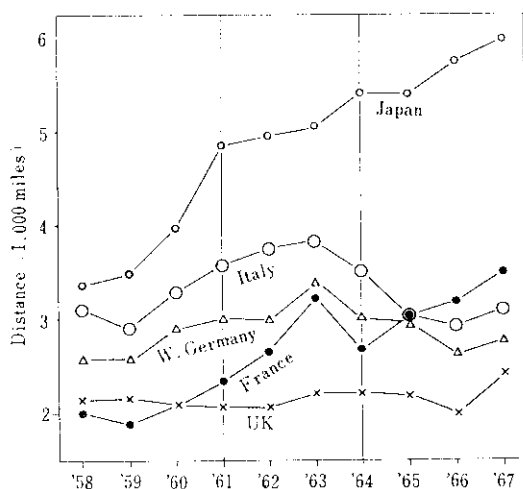


Fig. 3 Average haulage distances per ton of foreign ore

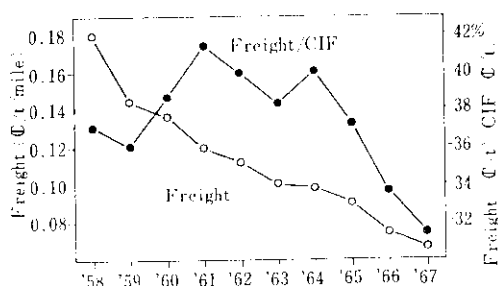


Fig. 4 Average freight cost of foreign ore

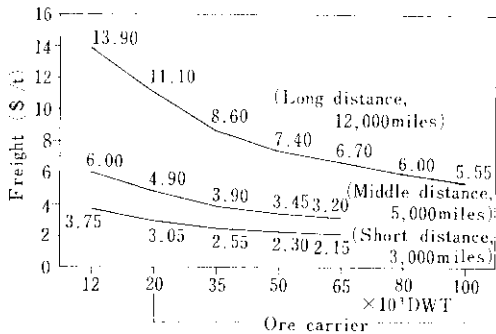


Fig. 5 Decrease of freight cost by ore carrier

かわらず、1マイル当りの運賃は低下の一途をたどり、運賃の負担率も専用船の本格的稼働が始まった1962年より低下している。ここで専用船の大型化に伴う運賃の低減度合を Fig. 5 に示すが、船型が大型になるほど運賃は低下し、また海上輸送距離が遠くなるほど大型化による運賃の低下率が高いことがわかる。一般船でインドなどの中距離から鉄鉱石を運ぶ運賃と80型(80,000DWT)で2倍以上遠方の西アフリカ近辺から運ぶ運賃が同じ程度になっている。船型の推移をみると1960~1961年ころの建造船は20型が最大であり、1962年に初めて50型が出現、1966年に70型、1968年に100型

そして現在では150型が出現、1970年には200型が就航しようとしている。この船型の大型化は港湾設備と荷役設備の大型化を伴ってきたが、結局この面での建設費用あるいは技術上の問題から専用船の大型化が頭打ちになるのではないかと考えられる。

たとえば現在千葉製鉄所の鉱石バースは最も深い所で水深は12mしかないので最大60型の専用船しか受け入れられない。ここに130型級の専用船を受け入れようと思えば水深を16mにしなければならない。そのためにはバース、航路の浚渫、さらに後方の荷役設備の増強など、ざっと40億円もの投資が必要となる。しかし60型と130型専用船の運賃の差はブラジル、アフリカなど遠距離ソースでトン当たり50~70セント、オーストラリアからでさえ10セント以上になるので十分メリットはあることになる。ところでこの巨額の投資をせずに大型船を利用し、また山元の積出港が非常に小さい場合でも大型船を利用できる方法として考え出されたのが粉状鉄鉱石のスラリーによる海上輸送である。これは山元の粉鉱石を積出港までパイプラインでスラリー輸送し、大型専用船が停泊できる沖合までパイプラインを伸ばして直接、連続的に積み込み作業を行なった後、ホールド内の上澄みの水分を除去して海上輸送を行ない、揚地では積地同様大型船が停泊できるところからパイプラインで圧送することにより、直接、連続荷揚げが可能である。この方法によれば積地、揚地における港湾設備、荷役設備は簡略化され、スラリー鉱石の受け入れ設備とその処理設備だけで十分である。

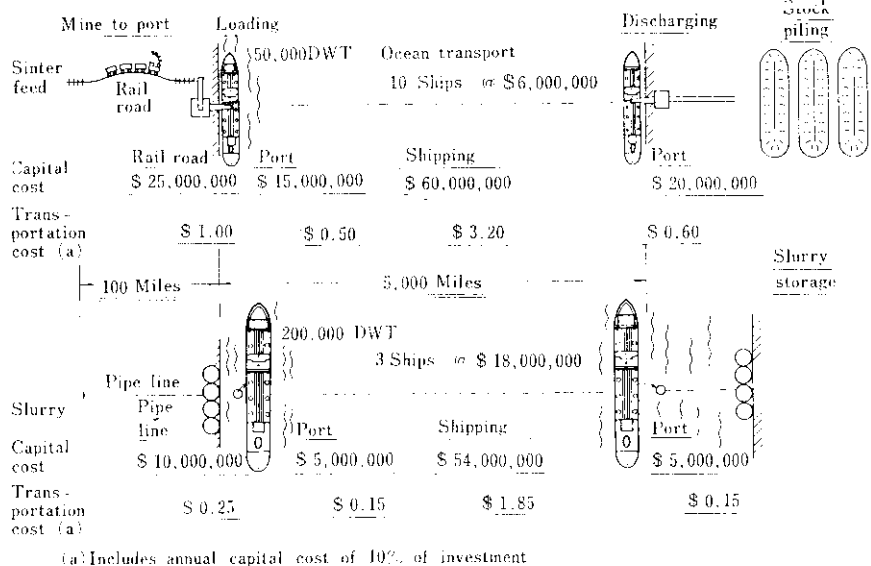


Fig. 6 Mine to mill ore transportation

Table 1 Slurry system savings(\$)

	Capital cost	Transportation cost per ton
Conventional sinter feed	120,000,000	5.30
Slurried pellet feed	74,000,000	2.40
Slurry savings	46,000,000	2.90
Savings per year		14,500,000

Assumptions: Shipping rate 5,000,000 t per year.
 Mine location 100 miles inland. Customer location-tidewater-5,000 miles from loading port

ちなみに従来の鉄鉱石輸送方法に比較してスラリーによる海上輸送がどの程度の経済性を有するか設備費用ならびに操業費用の点から試算するとおおよそ次のとおりである。Fig. 6は山元陸送100マイル、積出港から揚地港までの海上輸送5,000マイルを従来の方法で輸送した場合とスラリー状で輸送した場合のコストの比較図で、従来の荷役方法では50型しか入港できない山元港湾から年間500万トンの粉鉄石を運ぶ場合を考えている。すなわちスラリー荷役により200型の専用船による輸送が可能となり、しかも積地揚地における港湾設備費用も $\frac{1}{2}$ から $\frac{1}{3}$ に削減でき、荷役費や輸送費も軽減され、その結果Table 1に示すようにトン当たり\$2.90のコスト低減となる。年間の鉄石輸送量が500万トンとすれば年間450万ドルのメリットとなる。

しかし現状ではこの方法はペレットフィードに限られているので、塊鉄石ならびに輸入ペレットなどの場合には大型専用船の受け入れ設備に巨費を投じなければならない。したがって現段階におけるスラリー輸送のメリットは、インド、ブアなど大型船の入港が不可能な地域からの粉鉄の大型船利用による運賃低減に限られるがそれだけでも大きなメリットである。たとえばインド、ブアに3万トン級の専用船の代りに10万トン級のスラリー専用船を使用して、90%固体濃度で海上輸送したとすると、トン当たりブアで2ドル弱、インドの場合で50セント強の運賃低下が可能と思われる。

スラリー輸送によるその他のメリットとしては船内荷役作業が不要になり、さらに荷役時の発塵や落鉄がないので公害や作業環境の面ならびに省

力化の面で大きな効果がある。

3. スラリー輸送実験の準備

鉄石や石炭をパイプを通してスラリー状で輸送することはなにも目新しいことではなく、わが国の鉱山、炭鉄あるいは当社千葉製鉄所のペレット工場で実施している。外国においてもオーストラリアのタスマニア島で山元からペレットプラントまでの85kmにおよぶ距離を大規模にパイプ輸送を行なっている。また石油の場合にみられるように大型船を沖合いのブイにつないでそこから海底パイプを通して荷揚げし、それも本船のポンプを利用しているケースが多く、陸上には単に受け入れタンクのみというところもある。しかし製鉄所の港湾設備や荷役設備については前述のように巨費を投じているのが現状である。これが流体輸送に代われば大規模な設備も省略でき、場合によっては岸壁も航路も不要というきわめて合理化された形態となる。しかし石油の場合と違って鉄鉱石の場合にはいろいろと問題が存在する。鉄物学的には赤鉄鉱、磁鉄鉱、褐鉄鉱などがあり、物理的にも、化学的にも千差万別である。とくにここで扱うのは粉状鉄鉱石であるが、最も問題となるのは粒度構成と親水性の度合いである。

Table 2 Characteristics of iron ore slurries

1. Pulp density	85.43 wt% solids					
2. Size distribution by wet screening wt %	+200mesh	200-325	-325			
	14.0	16.5	69.5			
by Elutriator	+58 μ	58-41	41-29	29-19	19-11	-11
wt%	22.4	17.6	16.1	16.4	10.6	16.9
SiO ₂ %	4.7	3.0	2.5	2.7	2.8	
3. True density of iron ore	4.83					
4. Bulk density of slurries	solids %	80	70	60		
	density	2.727	2.243	1.905		
5. Specific surface area (cm ² /g)	1,266 1,651					
6. Chemical anal. of iron ore(%)	T.Fe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	S	P
	65.91	24.43	3.70	3.35	0.480	0.017

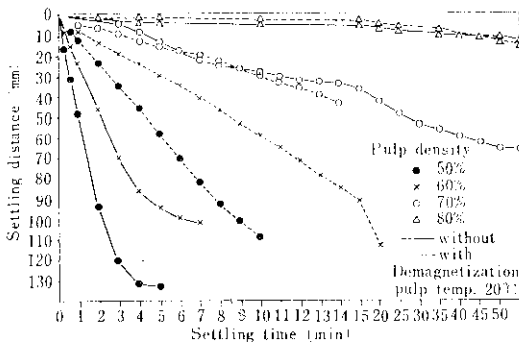


Fig. 7 The effects of pulp density and demagnetization on settling of slurries

実験に先立って山元よりスラリー試料を取り寄せ種々の測定を行なった結果を **Table 2** に示す。鉄鉱石は磁選精鉱で、この表中、 SiO_2 含有量が粗粒部分に比較的多いのは脈石分が粗粒部分に片寄っているためと考えられるが、58ミクロン以下の粒度については比較的化学成分が安定しているとみてよい。**Fig. 7** は固体濃度を50~80%に変えて粉鉄石の沈降状況を測定したデータであるが、この際沈降速度に与える脱磁の効果もあわせて調査した。この結果によると、濃度50~60%では脱磁の影響が顕著で、あらかじめ粉鉄石の磁気分を取り除くことにより、スラリー状にした場合粒子の沈降速度は相当遅れることがわかった。すなわち、山元より積み込んだスラリーは長距離航海中にホールド内で粒子が沈降し、底部に固化してしまうのを防ぐのに役立つことを示している。しかし濃度が70%以上では脱磁の効果はないようである。後述するが、実際の航海には濃度が80%近いこと、また粒子の沈降防止剤を使用したり、機械的攪拌を試みたので脱磁は行っていない。

実際航海中の大きな問題は荒天時の船の揺れをスラリーが促進するのではないかとということである。事実含水粉体の海上輸送時にいくつかの海難事故が過去に起きており、各国とも航海中の船舶の復元力の点から含水粉体輸送に関して種々の規定を設けているのが実情である。わが国においても、1特殊貨物、船舶運送規則の中で、含水微粉精鉄のばら積み運送に関する規定を設けている。このようにスラリーの濃度については技術的にも

また一方、むだな水分を輸送しなければならないという輸送コストの面からも十分検討を要する問題であった。

4. 山元、積地および揚地における設備概要

Fig. 8 に山元ならびに積地港におけるフローチャートを示す。鉄鉄石の破碎、篩い分けならびに磁選工程は数段階に行なわれ、十分品位を上げてから積出し港のシクナーまでスラリー輸送され、そこから船のホールドへポンプアップして太平洋を千葉まで航海する。千葉製鉄所での受け入れ設備を **Fig. 9** に示す。Lバースに着岸した船から、

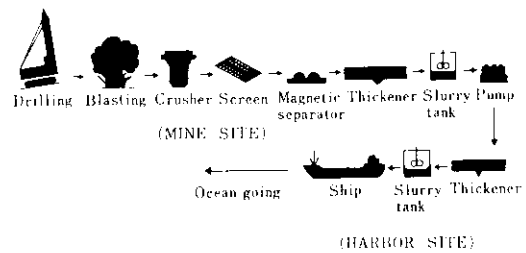


Fig. 8 Schematic flow chart of concentrates at mine and harbor sites

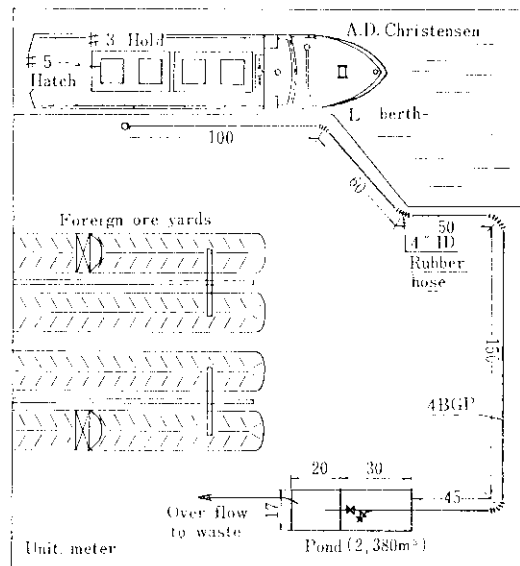


Fig. 9 Arrangements of slurry pipe lines from ship to pond at Chiba works

船上に設置されたポンプによりスラリーがポンドへ移送される。ポンドはバースより400m離れた当所第2ペレット工場西隣りの鉱石ヤードの一部に造成されている。幅17m、深さ2.8m、長さ30mで約1,400m³の容量とし、底部はスラリーの水分が十分抜けるように鉱滓バラスを敷き、壁は既成のコンクリートの上に一部土のう積みを行なった。スラリー受け入れ中、ポンドからのオーバーフローした水を受け入れるため、ポンドの隣りに20mの長さで同じ幅と深さの補助ポンドを造った。船内ホールドからポンドまで400mの距離を4インチガスパイプが通り、船上のポンプ排出端とバースのパイプの接続に当っては、潮の干満や荷役中の減荷に対応するようにラバーホースで十分な余裕を取ってある。陸上の400mの配管は地上に50m間隔に固定して、曲り角は10Rのラバーホースを用い、スラリー輸送中の配管の脈動を抑えた。ポンドからのオーバーフローした水は隣りの補助ポンドへはいり、そこで鉱石粒子を沈降させて澄水は60t/h、9HPの水中ポンプ2台で海中へ排水したが濁水の心配はなかった。また400m配管途中の数個所に新水噴射装置を設け、スラリー輸送中の粉鉱石による詰まりを防いだり、輸送終了後の配管内の清浄ができるようにした。ポンドへ受け入れたスラリーは自然乾燥後、クレーンラブにより第2ペレット工場のホッパーへ払い出され、ペレット用原料として使用される。

5. スラリー用船舶

建造技術ならびに構造上スラリー専用船としては次の3つの重要な問題がある。

- (1) スラリー用ホールドは広すぎても狭すぎても好ましくなく、正確に仕切られていること
- (2) ホールド内は各部位ならびに全体が歪に対して十分な強度を備えていること
- (3) 航海中船が安定していること

積み込み完了後ホールド内の余剰水分を除去し終った状態でスラリーの濃度は80%が最大である。これ以上濃度を上げようとすれば船の待ち時間が長びき経済的に引き合わなくなる。80%濃度

のスラリーの比容積は0.37m³/tで、たとえばペレットの0.50m³/tに比較して相当小さい。このような比容積のスラリーを正確に仕切られたホールドにできるだけフリーサーフェイスのないように満載して船の安定性を確保しなければならない。また一部のホールドをスラリー用に改造した今回のような場合には、特に船体の曲げ応力に十分注意を払って改造しなければならない。とくにスラリー専用船の安定性については非常に問題がある。スラリーと水分の境界面ならびに上部水面がどこにあるかによって、つまり重力の中心と浮力の中心の距離によって船の安定性が違ってくる。積み込んだスラリーは直ちに粒子の沈降が始まり、連続的にそれが続くので水分とスラリーの境界面は航海中連続的に移動することになる。このような観点から十分検討の上鉱石専用船A.D.

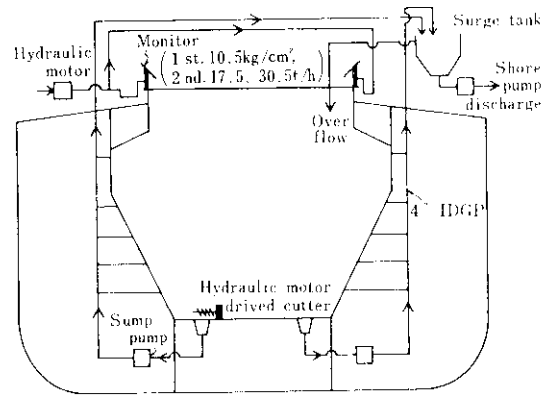


Fig. 10 Sectional flow diagram of the A.D. Christensen

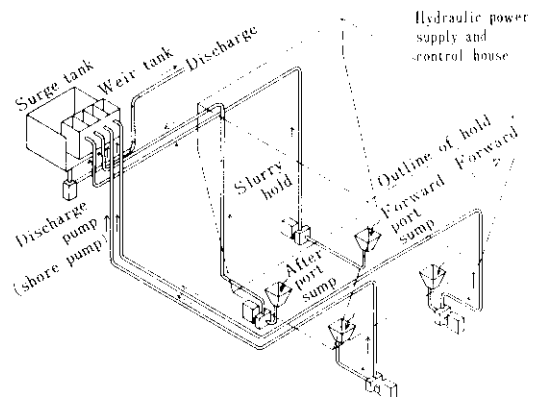


Fig. 11 Isometric flow diagram of slurry test equipment aboard A.D. Christensen

Christensen号, 31,500DWTのホールドの1ハッチをスラリー用に改造した。そのようすをFig.10とFig.11に示す。ホールド底部に4個のサンプ(ump)を設け、おのおのゴム張りのサンプポンプで、各パイプラインを通してデッキ上に設けられたサージタンクへスラリーが送られる。パイプラインの途中には数個のピンチバルブがあって、サンプと隔壁の各点との間でスラリーの循環ができるようにしてある。各サンプには4種類の噴水装置と3種類のエダクター(eductor)が試験的に取り付けられている。ホールドのひと隅にはサンプを通さないで直接ホールドからサージタンクへスラリーを揚げる大きなエダクターが設けられている。またデッキの上には3個のモニター(monitor)があって、ホールド底部に固化したスラリーに10.5kg/cm²の高圧水を噴射することにより、スラリーを切り崩してサンプへ送り込むことができるようになっている。

6. スラリー輸送実験

6・1 第1回目の実験

1968年5月10日、山元積出港であるブルーのサンニコラスにおいて船積みが開始された。積み込み濃度は71.8%で、300t/hの速度でホールドへ積み込まれ、ホールド上層部の澄水を除去して濃度を77.8%として船積み完了した。乾量で、2,359t、スラリーとして3,034tの磁選精鉱がA.D. Christensen号の1ハッチに積み込まれ、残りのホールドにはペレットが合い積みされた。25日間の航海中に起る粒子の沈降を防ぐために沈降防止剤としてホモジナイザーをスラリーに対して0.1%添加した。なおホモジナイザーは後のペレタイジング工程になら影響を与えないことが確かめられている。ホモジナイザーは商品名をポリホル402、薬品名をポリアクリルアミドと称し、両性表面活性剤の一種で、当社研究所における試験結果では約1ヵ月間ほとんど粒子の沈降なしにスラリー状を保っていた。しかし航海中、悪天候や波の影響による船のピッチングやローリングの結果、粒子の沈降が生じ、上層部に澄水層ができて

しまい、実航海におけるホモジナイザーの効果はほとんどないことがわかった。今回の航海では試験的にホモジナイザーを使用したとはいえ、ホールド内でのスラリーの循環も、攪拌も全く行なわないという厳しい条件であったので、船の動揺やエンジンの振動などによる粒子の沈降を防ぐことはできなかったものと思われる。

6月5日、千葉製鉄所のLバースに着岸すると同時に船上の排出ポンプ端とバースの配管の末端をフレキシブルホースで接続した。スラリーのホールドからの排出は船上のポンプを利用してホールド底部のサンプから行なったが、底部に沈降した粒子層が非常に強固なためにスラリーのサンプへの流れ込みが不十分で、Fig.10にみられるデッキ上のモニターから7~10kg/cm²の高圧水を噴射して固化したスラリーを切り崩しながらサンプへ流し込んだ。その結果多量の水を使うことになり、その上サージタンク下の排出ポンプ(shore pump)の機械的なトラブルもあって、相当量のスラリーをホールドとサージタンク間で循環せざるを得なかったため、荷役能率は予定されたよりも低下した。

第1回の実験から多くのことを修得したが、そのおもなものを次に示す。

(1) 船の振動や揺れ、それにホールド内でのスラリーの自重により粒子の沈降は予想以上に早く、ホモジナイザーを用いてもほとんど効果はない

(2) スラリーをポンプアップする際には、スラリーの比重、濃度および荷揚げ速度が時々刻々変化するもので、これに適用できるポンプは電動式のものより油圧式の方がはるかにすぐれている

(3) サージタンク下の排出ポンプのグランドやパッキングはよほどしっかりしたものをしないと、スラリーによる磨耗のために漏水が生じて連続運転が不可能になる

(4) 高圧水モニターは固化したスラリーの切り崩しと再スラリー化に非常に効果的であった。さらに噴射水の圧力を上げることによって、いっそうの効果が期待でき、その上スラリー全体の水分コントロールにも役立つ

以上の点を考慮して第2回目の実験では種々の

改善を加えた。

6.2 第2回目の実験

船上設備でのおもな改造箇所は次の点である。

- (1) エダクターはすべて除去した
- (2) モニターの圧力を 17.5kg/cm^2 まで高めた
- (3) サンプとサージタンク間の配管を改造した
- (4) 排出ポンプの能力増強を計って2台直列に設置し、油圧ポンプを採用した
- (5) 直径3mのアジテータをホールド内に設置して航海中にスラリーの撹拌を行なうことにした

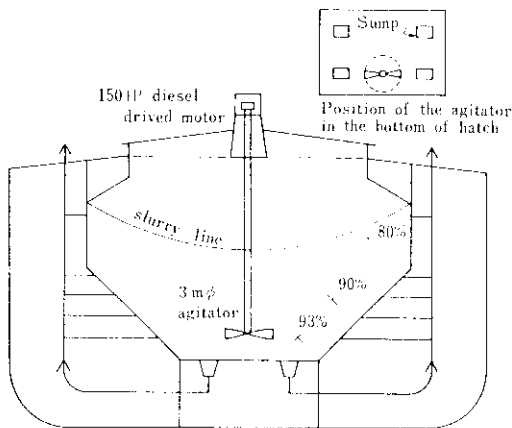


Fig. 12 Sectional profile of the propeller agitator mounted on the deck and pulp density of the slurries

Fig. 12 にアジテータの取り付け状態を示すが、プロペラは船上にある150HPのディーゼルエンジンで駆動されるようになっていて、ホールド上部から見ると、ホールドの片側中央部に位置している。プロペラは250mmφのシャフトに取り付けられていて、回転数は30rpmまで可変である。

第2回目の積み出し港での積み方は第1回目とまったく同様であったが、濃度78.3%、積み高は前回より多く4,485tである。スラリーをホールドへポンプアップしている間、アジテータは12rpmで駆動させておき、荷役完了後30rpmまで回転数を増した。今回はホモジナイザーを添加しなかった。出航後間もなく粒子の沈降による過負荷のためアジテータの回転数が低下し始めた。

アジテータのプロペラの大きさや、ホールド内での取り付け位置の問題もあったが、やはり粒子の沈降を防止することができず、船の安定航海を考慮して出航後1週間でアジテータを止めてしまった。この状態で1968年8月3日に千葉のLバースに着岸し、直ちにポンプアップが開始された。ホールド底部の4台のサンプポンプのうち2台をホールドからサージタンクへの排出用に、2台をホールド内のスラリーの循環用に使った。高圧化したモニターの効果も非常に大きく、またFig. 10にみられるサンプ上のカッターも効果的に働いて、ほとんどスムーズにスラリーの荷揚げが行なわれた。ホールドに沈降したスラリーの排出に多量の水を使用したけど、それでも平均排出濃度は約65%であった。スラリーをより早く、より高い濃度で効率よく荷揚げするためにはホールド内で加える水をできるだけ有効に利用しなければならない。この点、今回使用した高圧水は非常に有効であった。

この2回の航海実験から、スラリー状を完全に保ちながら輸送することは不可能であり、むしろ積み込み後、澄水を除いてスラリーを沈降させて航海した方が安全であり、揚地で再スラリー化することによりスムーズな荷揚げができることが確認された。

なお、スラリーのサンプリングや秤量については、積地、揚地における連続サンプリングにより濃度や成分、粒度の測定を行なったが、なんら支障もなく終始した。

7. 受け入れたスラリーの性状および処理

次に船が揚地に着いたときのホールド内におけるスラリーの水分偏析、ならびにボンドへ受け入れた状態におけるスラリーの性状について述べる。Fig. 12のホールド内各レベルでのスラリー濃度は下部へ行くほど高くなり、底部では93%にも達している。したがってこの状態から、一度沈降したスラリーは相当安定した積み荷状態を示すことが予想される。ボンドへ受け入れたスラリーはボンド内で沈降し、オーバーフローは隣接する補助ボンドへはいつて再度粒子が沈降し、上澄は水中

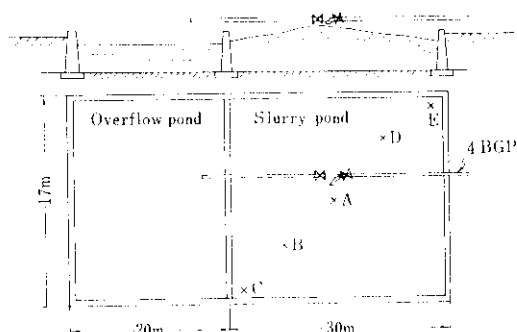


Fig. 13 Sampling points in the slurry pond at Chiba site

Table 3 Properties of slurries at each point in pond

Sampling point	A	B	C	D	E
Specific surface area (cm ² /g)	971	1,505	1,989	1,552	1,800
Minus 325 mesh contents(%)	67	75	81	78	76
True density(-)	5.05	4.95	4.78	4.90	4.80

Table 4 Chemical analysis of concentrates

	T. Fe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	S	MgO	Cu
1st. San Nicolas	67.51	25.51	2.82	0.48	0.590	0.79	0.026
-Chiba	66.32	25.12	3.89	0.65	0.641	1.15	0.029
2nd. San Nicolas	69.75	27.31	1.76	0.42	0.328	0.48	0.011
-Chiba	67.91	25.99	2.23	0.51	0.307	0.76	0.012

ポンプで排水される。沈降したスラリーはポンド内の各位置でその性状が異なり、とくに粒度分布に偏析が生ずる。Fig. 13にポンドに受け入れたスラリーの状況とそのサンプリング位置を示す。各位置における性状は Table 3 に示すようにポンドへの落ち口 (A) から遠くなるに従って比表面積が大きくなり、微粒子分が多くなり、逆に真比重は比較的小さくなることわかる。層の上下方向については大きな差はなかった。このことからホールドでの沈降は粒子の大きさにはあまり影響されないものと考えられる。

次に参考までに第1回、第2回のスラリーの化学組成を Table 4 に示す。S が若干高いが、Al₂O₃ に比べて SiO₂ が非常に高く、良好な鉄石と言える。

ポンドへ受け入れたスラリーは澄水をオーバーフローさせ、残留水分は蒸発あるいはポンド底部へ吸水させて自然乾燥し、10日間位でクレーンのグラブによるつかみ込みが可能となった。そのときの水分は約12%で、第2ペレット工場のホッパーを経てペレット工場へ送られ、なんらトラブルもなく使用できた。

8. その後のスラリー輸送実施例

両次にわたるサンニコラス千葉間におけるスラリーの海上輸送実験の成果から、本格的なスラリー輸送をペルーのサンニコラスから北米オレゴ

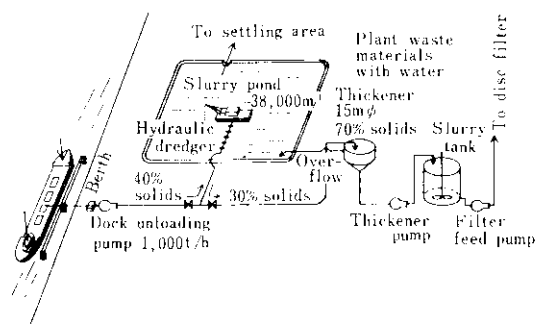


Fig. 14 General arrangement of slurry transportation at Portland

ン州のポートランドまでの間に適用する計画がたてられ、1969年5月から実施されている。これはギルモアスチールが電気炉用装入物としての還元ペレット工場を建て、その原料としてペルーの磁選精鉄をスラリー輸送するものである。Fig. 14はギルモアスチールのスラリー受け入れ設備を示す。スラリー濃度75~80%で40,000 DWTの専用船で運ばれ、荷揚げは陸上にあるポンプを使用して40%濃度、1,000t/hの速度でポンドへ送られる。千葉製鉄所でのテストの結果からポンド内における粒度偏析を避けるため、ポンドの底を2重のアスファルトにして湿式ポンドとした。ポンド内にはドレッジャーが水面を自由に動いてスラリーを受け入れる仕組みになっている。このポンドには工場内で発生するダスト類がすべて回収されて送り込まれる。ポンドからドレッジャーによっ

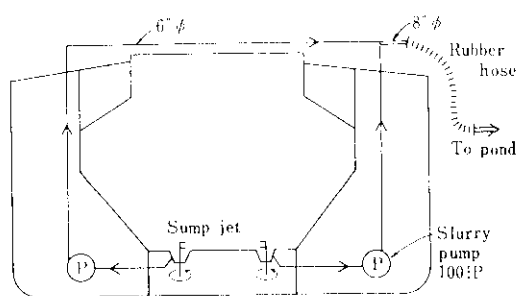


Fig. 15 Sectional profile of the one hold setting
4 sump jets on the bottom of the hold.
Jet stream: $25\text{kg}/\text{cm}^2$, 180 t/h

て圧送されたスラリーはシクナー、スラリートンクを経てペレット工場へ送られる。同工場におけるペレット焼成は第1工程で酸化ペレットを造り、次工程の還元炉へ装入する方式で、両焼成炉ともにミドランドロス方式の堅型炉である。

またペルー日本間としては第3回目のスラリー海上輸送実験が1969年8月にサンニコラスと神戸製鋼所間で行われた。サンニコラス—千葉間の過去2回にわたる試験結果から船内の構造も大幅に改良されたが、そのようすをFig. 15に示す。すなわち、デッキ上に設置されていた高圧噴射水用モニターはすべて取りはずされ、船底4箇所のサンプにおのおの3インチ径のパイプを設けて、そこから圧力 $25\text{kg}/\text{cm}^2$ 、流量 180 t/h の高圧海水が噴出するようになっている。このジェットパイプは 360° 回転可能で、回転速度は $1/3\sim 5\text{ rpm}$ 、噴出海水の昇圧は隣のハッチ船底にある3台のディーゼルエンジン(150HP)を使って油圧ポンプで行なわれる。

今回の試験結果をまとめると、スラリー積高 $4,200\text{ t}$ (乾量)、到着時水分10%、荷役開始時スラリー濃度10%前後、荷役安定時スラリー濃度60%、荷役時間14.5時間、荷揚げ速度1時間当たり 290 t (乾量)であった。着岸水分10%で太平洋航海中はスラリーの攪拌も高圧水の使用も行っていない。スラリーの排出はまず船底のジェットパイプより高圧水を噴出して船底に固化したスラリーをサンプへ切り崩し、4箇所のサンプから2台の100HPスラリーポンプによってデッキ上の6インチ配管へ圧送し、受け入れポンドへは8

インチ配管で送られる。荷役開始時は固化スラリーの切り崩しのために排出スラリー濃度が10%と低い、2時間後には50~60%濃度で安定排出が行われている。

ポンプ類はすべて油圧式とし、配管接続部のシールを一層厳重にしてきたこと、高圧噴水装置を船底サンプに設置し、 $25\text{kg}/\text{cm}^2$ と昇圧したことなどにより今回の試験は成功した。なお使用した船は OREAD 号であるがこれは先の A. D. Christensen 号のスラリー用ハッチを一部改造して船名を変えたものである。

9. ま と め

まず2回にわたって行われたサンニコラス—千葉間の粉鉱石スラリー海上輸送実験をまとめると次のとおりである。

(1) 海上輸送中における本船のエンジンの振動やビッチング、ローリングなどにより、沈降防止剤や機械的攪拌によっても粒子の沈降は防ぎ得ない。したがって水を運ぶロスを省き、航海中の安全性を高めるためにも積み地でできるだけホールド内の水分を除いて航海し、揚地で再スラリー化して荷揚げする方がよい

(2) 再スラリー化には高圧噴射水が非常に有効であった

(3) ホールド内でのスラリーの粒度偏析はほとんどない

(4) 受け入れ側での技術的、設備的な問題はほとんどなかった

(5) ポンドへのスラリーの排出口が1個所ではポンド内における粒度偏析は避けられない

(6) ポンドでのスラリーの自然脱水は10日後に12%水分となって、クレーンでのグラブ操作が可能となる

サンニコラス—千葉間のテストをベースにしたその後のテストにより、スラリー輸送の技術はタンカーとほとんど同程度の水準にまで達した。

現に既述のごとく大規模なスラリーの海上輸送が実現しているばかりでなく、今後の問題としてインドのクデルムク鉱山開発計画の中にはこのスラリー輸送による対日出荷計画が織り込まれてい

ることや対象がペレットフィードのような微粉精鉱ばかりでなく、将来はシンターフィードや粉石灰石にも適用しようとする試みがあることなどからしてもスラリー輸送の将来がうかがい知れよう。わが国の高炉原料は将来15%が山元ではほとんど整粒された生鉱石、10%が輸入ペレット、残りの75%が自家製処理鉱となろう。したがって、こ

の自家製処理鉱の原料となる粉鉱石がスラリー輸送の対象として考えられる。今後新しく建設される製鉄所で粉鉱石のスラリー輸送によって巨費を要する港湾ならびに荷役設備、さらには後方のベルトコンベア設備なども相当簡略化できるとすればそれは大きなメリットである。

