

# 特殊ばら積貨物輸送の安全性に関する実船実験

—硫化精鉱の酸化発熱性について—

翁長 一彦\*・土屋 正之\*・田中 邦彦\*

## Actual Ship Tests on the Safety of the Special Bulk Cargo Transport at Sea —On the Spontaneous Heating of the Sulphide Concentrates—

By

Kazuhiko OHNAGA, Masayuki TSUCHIYA  
and Kunihiko TANAKA

### Summary

With regard to the spontaneous heating of the Sulphide Concentrates at the sea transport, the surveys were carried out by the actual ship tests, and the effects of the prevention of heating were discussed.

The temperature in concentrates, the temperature and the humidity of air, and the gas components of  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$  and  $SO_2$  were measured in the holds loading concentrates in the three tests of the two different type ships. Compaction of the concentrate piles by bulldozer, and covering the concentrates by plastic sheets were conducted in order to confirm the prevention of heating in the 2nd test.

It is recognized that the spontaneous heating of the concentrates changes with the condition of the navigation and the kinds of concentrates. Especially, it is assumed that the movements of concentrates particles on the slope of the pile oxidize the concentrates, and accelerate heating. Accordingly, the compaction method has the best effects of the prevention of heating, and the covering method is the second. It shall be appreciated that compaction, covering and close of the ventilators are used at the same time.

Although the temperature of concentrates at about 25 cm depth is maximum, the phenomena of heating of concentrates are irregular, the probability density function of the temperature is logarithmic normal distribution.

### 1. まえがき

微粉硫化精鉱(Sulphide Concentrate)は、銅、亜鉛、鉛、又は鉄等の硫化鉱石を粉砕し、浮遊選鉱によって得られる微粉体である。この精鉱はかなりの硫黄を含み、また鉱物学的に不安定な組成のものも含まれるため、船艙にばら積して輸送される途中で酸化発熱

を生じ、甚しい場合には発火することがある<sup>1)~3)</sup>といわれている。本研究は、実際の精鉱輸送中の状態を調査計測して酸化発熱状況を把握するとともに、発熱を生じる原因、及び実行可能な発熱防止対策の効果等について検討を加えたものである。

従来の経験と調査等により、船艙内の精鉱の酸化発熱現象は鉱種、航路で異なり、熱帯域航路においてよく発熱が生じ、また機関室近傍の部分あるいは振動によって発生すると思われる精鉱表層のクラックの附近

\* 艙装部

原稿受付：昭和54年3月22日

が高温になりやすい、といわれている。したがって船艙内温度条件、放熱条件、及び精鉱内部への空気の浸透条件等により酸化発熱現象が左右されるものと思われる。

また粉体等の発熱防止方法としては、従来は放熱促進のために通風をよくする方法が採用されており、例えば露天に堆積した石炭の自然発火を防止するためには通風排熱用の穴を掘ることが行われていたようである。しかし、最近ではむしろ酸化や変質を防ぐためにシート類で被覆したり、圧力を加えて填圧する方法が効果があるとされている。船艙内の精鉱についても同様のことが予想され、換気を行うよりは通風筒を閉鎖し、あるいは被覆、填圧を行う事が提案されてはいるが、それらの実施例や計測例はまだ極めて少なく、効

果は確認されていない。なお、精鉱の酸化防止のためには、コールトール、洗剤類を混ぜると効果がある旨報告された例もある<sup>3)</sup>。

## 2. 実験方法

調査の対象とした精鉱はブーゲンビル銅精鉱、ワンスアラの亜鉛及び鉛精鉱であって、Table 1 に示す計3回の実船実験を行った。これらの精鉱はわが国に輸入される精鉱の代表的なものであるが、なるべく熱帯域航路で輸送され、酸化性が強いと思われるものの中から選び、かつ実験に適した条件の日本船で輸送された場合である。Table 1 には調査船の主要目を始め、対象精鉱の積載量等の概要を示し、また Fig. 1 には調査船の概略配置を、Fig. 2 には各回の航路を示した。

Table 1 Principal Items of Ship Tests

		1st Voyage	2nd Voyage	3rd Voyage	
Ship	Name	Bougainville-Maruru		Norway-Maruru	
	Type	Bulk Carrier (Single Decker)		Flash Decker (Third Decker)	
	Lpp	M 158.00		M 141.00	
	B	23.50		21.00	
	D	12.80		12.50	
	d	9.42		8.87	
	G. T.	14,397		8,858	
	D. W.	22,150		10,825	
	Main Eng.	Diesel 8,300 PS × 144 RPM		Diesel 10,000 PS × 120 RPM	
Owner	Sanyu Kisen, Ltd.		Kawasaki Kisen, Ltd.		
Course	Papua New-guinea - Japan (Bougainville)		South America - Japan (Peru)		
Dates*	50. 12. 7 ~50. 12. 16	51. 3. 21 ~51. 3. 30	51. 11. 28~52. 1. 4		
Concentrate	Kind	Bougainville Copper		Huanzala Zinc	Huanzala Lead
	Loading Amount (ton)	21,434	21,376	3,505	1,002
	Number of Holds Loaded	4	4	1	1
	Capacities of Holds Loaded (m <sup>3</sup> )	14,769	14,769	1,933	1,094
Remarks					
* Dates of Measuring from Loading to Unloading					

## 2.1. 計測方法

計測事項は Fig. 3 のダイアグラムに示すように、精鉱の内部温度、船内気温及び湿度、船内酸素、CO<sub>2</sub>、CO 及び SO<sub>2</sub> ガス濃度、精鉱圧力等であり、この他に本船の log book の一般気象、海象、航海状況等の記録を利用した。第1次航の実船実験においては酸素計の probe を船内に設置してみたが、粉塵の影響で

ドリフトが生じやすいため、第2次航以降は船内ガスを吸引して計測（したがって連続計測は出来ない）する方法に改めた。また精鉱内の圧力も温度変化によるドリフトが著しく計測不能であった。

各部温度の測定点配置を Fig. 4 に示す。第1次航では3個所において精鉱の深さ方向に約25、55及び85 cmの各点の測定も行ったが、25cm深さの点が最も高温

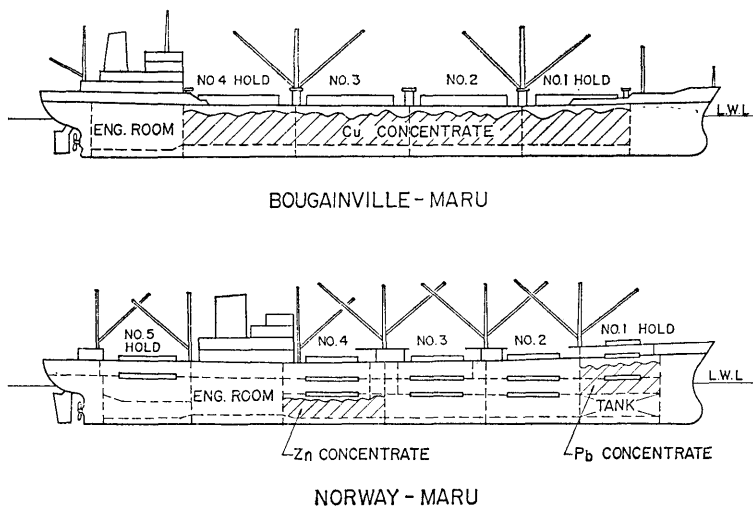


Fig. 1 Arrangements of Test Ships

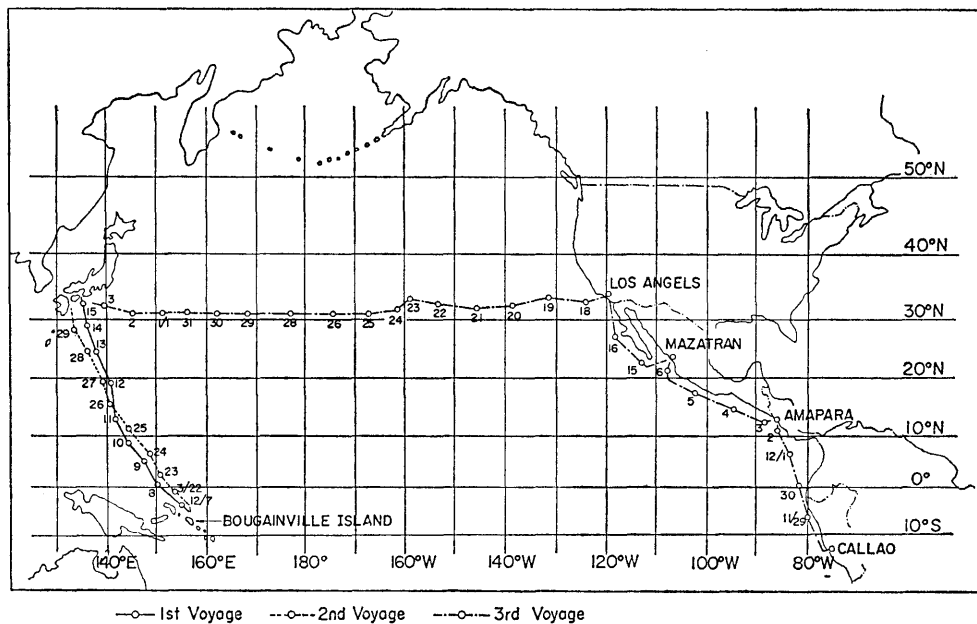


Fig. 2 Test Course

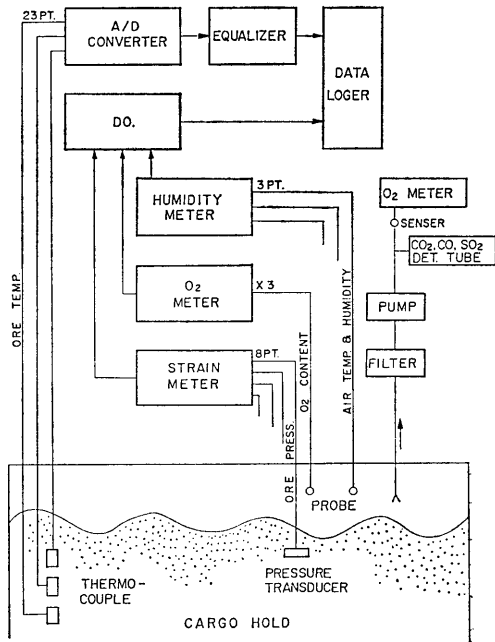


Fig. 3 Measuring Diagram

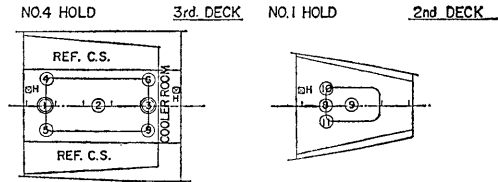


Fig. 4.3 Measuring Positions of Temperature (3rd Voyage) (marks are same as Fig. 4.2)



Fig. 5 Setting of Measuring Unit of Temperature and Humidity in Hold

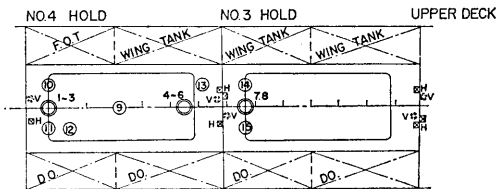


Fig. 4.1 Measuring Positions of Temperature (1st Voyage) (⊙ marks indicate the measuring positions of air temperature, humidity, and temperature distribution of concentrate, and pressure.)

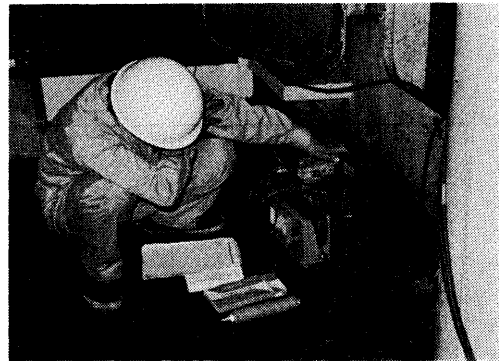


Fig. 6 Measurement of Gas

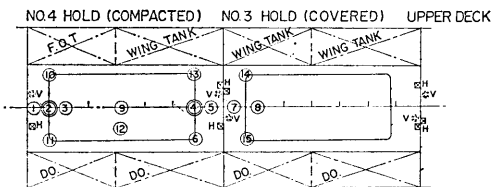


Fig. 4.2 Measuring Positions of Temperature (2nd Voyage) (⊙ marks indicate the measuring positions of air temperature and humidity.)



Fig. 7 Sampling of Concentrate

Table 2 Holds Dimensions and Loading Conditions

Voyage	Ships' Name	No. of Hold	Dimensions (m) L × B × D	Capacities (m <sup>3</sup> )	Wt. of Concentrate(ton)	Remarks
1st	Bougainville-Mar u	1	26.4 × 13.0 / 11.2 × 10.5	3,561	5,397.73	Cu
		2	28.0 × " "	3,736	5,381.03	"
		3	" " "	"	5,473.21	"
		4	" " "	"	5,183.34	"
		Total	—	14,769	21,435.31	—
2nd	Dito	1	Dito	Dito	5,405.19	Cu
		2			5,425.62	"
		3			5,268.95	"
		4			5,276.47	"
		Total	—	14,769	21,376.23	—
3rd	Norway-Mar u	1	17.8 × — × —	1,094	1,001.9	Pb
		4	22.5 × 21.0 × —	1,933	3,504.6	Zn
		Total	—	3,027	4,506.5	—

Table 3 Trimming Conditions of Concentrate (2nd Voyage)

No. of Hold	Conditions at 2nd. Voy.	
	Trimming	Ventilators
1	no	1 open 1 close
2	no	2 close
3	covered	1 open 1 close
4	compacted under hatchway	2 close

となり、また他の実験結果<sup>4)</sup>からもほぼこの深さが最高温度と推定されたため、以後の実験ではすべて25cm深さのみの温度を計測した。

なお、輸送中の精鉱の酸化状態を化学的に調査するため、航海中に船倉内に入って試料を採取し、密封しておき以後分析を行った。Fig. 5~7 に計測状況を写真で示す。

## 2.2. 積載状況と酸化防止対策

精鉱の積載状況を Table 2 に示すが、第1, 2次航においてはそれぞれ第3, 4番船倉を主な測定対象とした。

特に第2次航においては、Table 3 に示すように各

船倉ごとに換気条件を変えるとともに第3, 4番船倉については酸化発熱防止対策を実施して計測を行った。すなわち、第3番船倉の精鉱表面をビニールシートで全面被覆し、シートの継目は2重折りとしてなるべく精鉱が大気に接触しないようにした。また第4番船倉ではブルドーザーを倉内に降ろし、倉口直下の部分のみ精鉱表面を平らに填圧した。両作業はそれぞれの船倉の積付けが終了した直後に行ったものであるが、被覆作業は約10人で30分間の作業を要し、また填圧作業は約2時間(ブルドーザー1台)を要した。

第1次航及び第3次航においては、従来通りの本船の積載条件で計測を実施したものであるが、1次航では精鉱は自然堆積のまま通風筒は開放されており、3次航の第1番船倉は精鉱の上に木材が積載されたため、やはり填圧が行なわれた。Fig. 8~11 にそれぞれの積載状況を示し、また Table 4 は各精鉱の鉱物化学的組成を示したものである<sup>5)</sup>。

## 3. 実験結果

### 3.1. 温度計測結果

第1次航における温度及び湿度の計測結果の一例を Fig. 12 に示す。第1次航の調査目的は、通常の輸送状況における精鉱の酸化発熱の様子を調査するとともに、発熱を生じる環境要因を見出すことであった。

精鉱内部の温度は深さ約25cmの個所が最も高く、そ

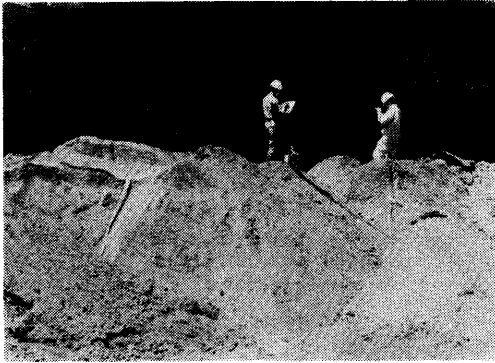


Fig. 8 Pile of Concentrate in Hold (1st Voyage)

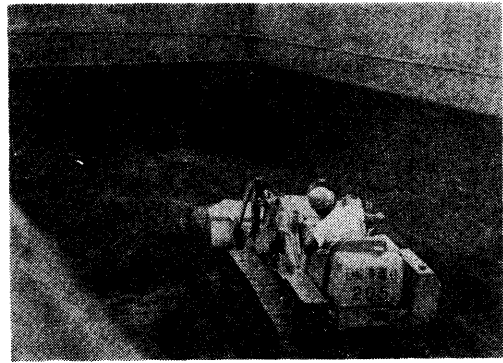


Fig. 10 Compacting of Concentrate (2nd Voyage, No. 4 Hold)

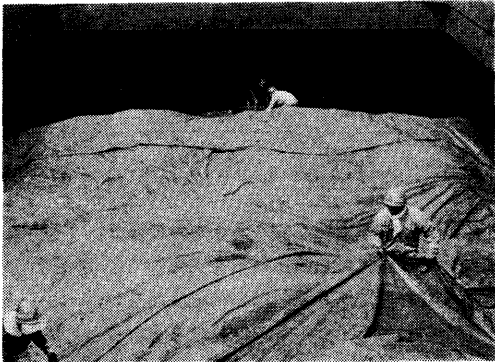


Fig. 9 Sheet Covering of Concentrate (2nd Voyage, No. 3 Hold)

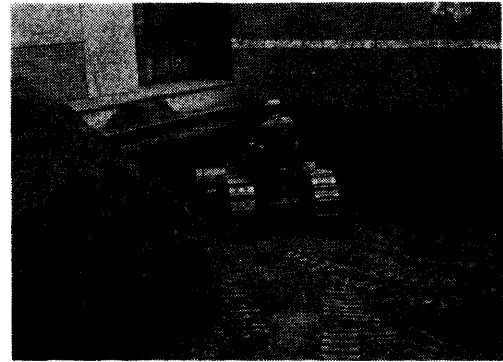


Fig. 11 Compacting of Concentrate (3rd Voyage, No. 1 Hold)

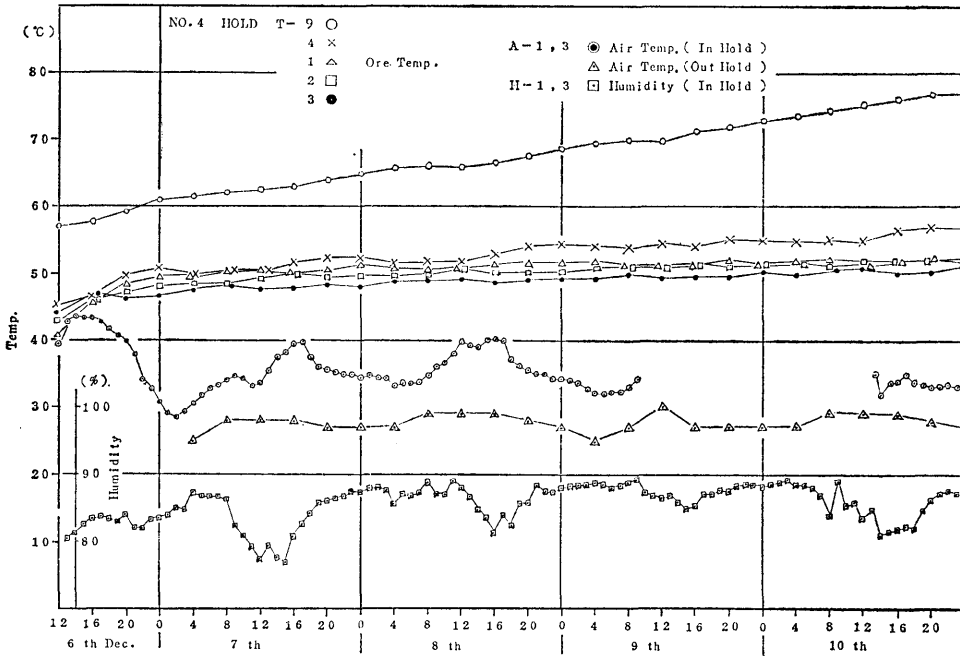


Fig. 12 Example Data of Temperature (1st Voyage)

れ以上深さが増すにつれて低下する。一方、船艙内気温は最も低いため、精鉱表面は比較的低温と考えられ、これは試料採取作業で入艙したときの感触でも裏付けられた。しかし、計測場所の違いによる温度差は深さ方向の温度分布より著しく大きい。測定個所が少ないため、平面的な等温線を描くことが難しく、また高温になった場所の特有の条件らしきものを見出すこ

とが出来ない。ただ、最も高温となった個所の共通の条件は、自然に堆積した精鉱の斜面の途中であり、その斜面の傾斜、長さがともに比較的大きいことであった。それ以外には発熱現象について規則性が認められず、高温個所は全くランダムに分布するように思われる。最高、最低温度を Fig. 13 に示すが、4番船艙の方が発熱が著しく、最高温度は80°Cに達した。

Table 4 Basic Characteristics of Concentrates

Concentrate		Bougainville Cu (porphyry copper)	Huanzala Zn (vein type)	Huanzala Pb (vein type)
Mineral Species (%)				
Chalcopyrite	CuFeS <sub>2</sub>	72.6	3.0	4.4
Bornite	Cu <sub>3</sub> FeS <sub>4</sub>	2.5	0.5	1.8
Covellite	CuS	0.6	0.2	0.3
Chalcocite	Cu <sub>2</sub> S	0.3	—	—
Enargite	Cu <sub>3</sub> AsS <sub>4</sub>	<0.1	—	0.2
Tenantite	Cu <sub>3</sub> AsS <sub>7</sub>	<0.1	0.2	0.5
Molybdenite	MoS <sub>2</sub>	0.3	—	—
Sphalerite	ZnS	0.1	82.9	35.3
Pyrite	FeS <sub>2</sub>	7.5	6.1	2.6
Hematite	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0.1	—	—
Galena	PbS	—	1.1	53.2
Gangue Minerals		16.1	6.0	1.7
Total		100.0	100.0	100.0
Chemical Component (%)				
Cu		28.15	2.57	2.20
Fe		26.97	4.86	2.30
Zn		0.13	52.18	8.21
Pb		0.020	4.38	63.44
S		30.90	30.96	16.98
Mn		0.007	0.70	0.07
SiO <sub>2</sub>		6.18	1.36	1.17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		1.10	0.08	0.15
CaO		0.60	0.11	0.03
MgO		0.42	0.22	0.02
Cd		—	0.15	0.03
Other Components (by X-ray Fluorescence Analysis)		Mo, K, Ti, Ni, Ag, Sr, Cr,	K,	Ni, Ag, W,
Specific Heat (cal/g·deg)		20°C 0.107 60 0.112	20°C 0.117 30 0.121 50 0.124 70 0.126	25°C 0.0704 50 0.0734 75 0.0759
Heat Conductivity (Kcal/m·hr·deg)		20°C 0.18 60 0.22	20°C 0.18 60 0.16	50°C 0.23

以上の結果、精鉱が発火するには至らない迄もかなり発熱することが確認されたため、この防止対策の効果を確かめる目的で第2次航の実験が行われた。同一の船舶、航路、及び精鉱という条件の下で、前述のように被覆(第3番船艙)、及び填圧(第4番船艙)の対策を施して実験を行った結果を Fig. 14 に示す。

第4番船艙では、艙口周辺部の甲板下はブルドーザーが入れないため填圧を行っていないが、この非填圧部分ではやはりかなりの温度上昇が認められる。しかし船艙の通風筒が閉鎖されているため、第1次航の場合に較べれば温度の上昇はややゆるやかである。一方、填圧部分の温度上昇は全く認められず、艙内気温と共

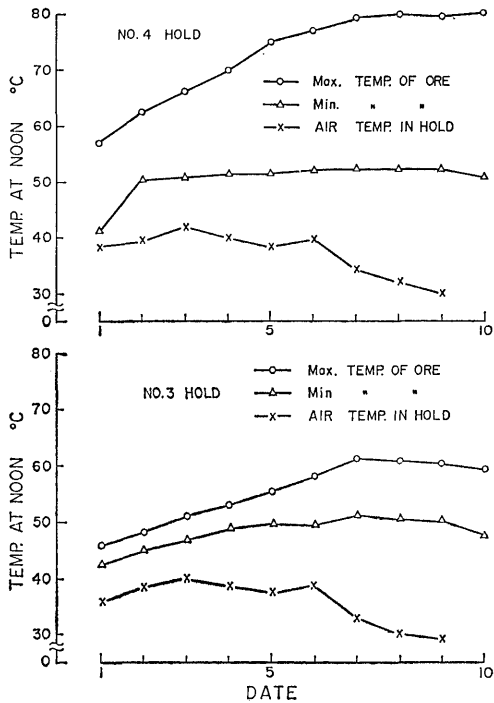


Fig. 13 Results of Temperature Measurements (1st Voyage)

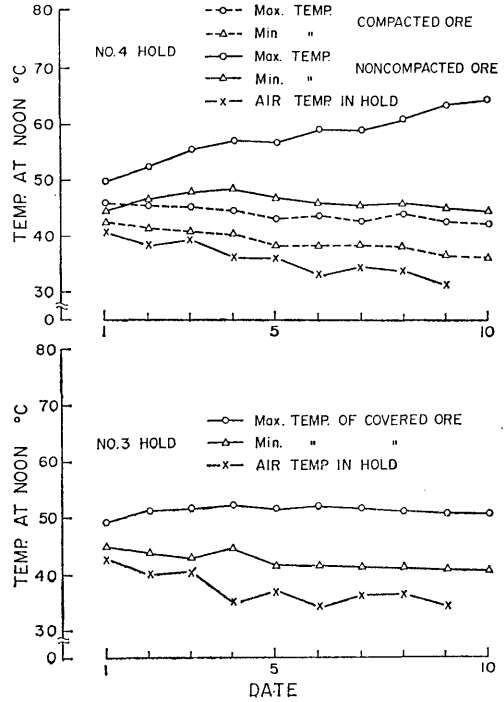


Fig. 14 Results of Temperature Measurements (2nd Voyage)

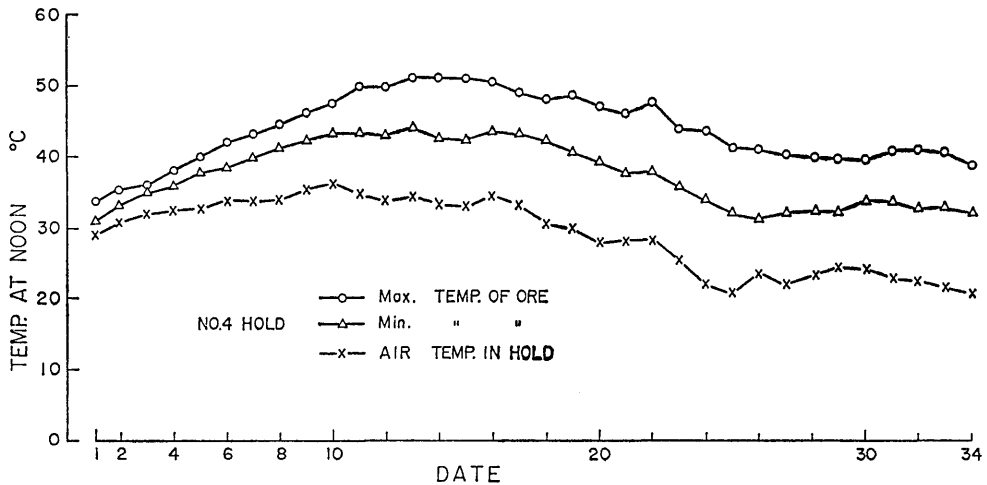


Fig. 15 Results of Temperature Measurements (3rd Voyage)



に低下する傾向が認められ、温度分布の範囲も極めて狭い。被覆を行った第3番船艙においても温度上昇は殆んど認められないが、填圧の場合に比して温度はやや高く、且つ温度分布範囲も大きい。

上記2回の実船実験は同一のブーゲンビル銅精鉱に関するものであり、また航海日数も10日程度と短いため発熱した場合の終極温度が得られていない。したがって、異なる鉱種について長期航海の発熱状況を調査することをねらいとして、第3次の実船実験を実施した。しかし、実験を行った船舶がライナー型の3層甲板船であり、精鉱はその base cargo として積載されたため、日射や外気温の影響も少なかったようであり、精鉱の著しい発熱は認められなかった。Fig. 15に第4番船艙に積載されたワンサラ亜鉛精鉱の温度を示す。精鉱温度はほぼ15日目に最高を示して以後低下し、25日目頃に荒天に遭遇して激しい船体運動を行ったにも拘わらず、それ以降発熱は認められなかった。なお第1番船艙の鉛精鉱は填圧されていたため、第2次航の場合と同様に発熱は認められなかった。

### 3.2. 艙内ガス成分計測結果

精鉱の酸化により、船艙内の酸素は減少し、 $\text{SO}_2$ 等のガスが発生する事が予想され、この現象は密閉された船艙ほど著しいと考えられる。実際にも精鉱を積載した船艙で酸欠死亡事故が生じたことが報告<sup>2)</sup>されているため、 $\text{O}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}_2$ 及び $\text{CO}$ の計測を実施した。

第1次航は計測方法が不充分のため満足な測定が出来なかったが、Fig. 16, 17に第2次、3次航の計測結果を示す。第2次航では第3番船艙に較べて4番船艙はガスの発生が著しく、酸素濃度が低下している。

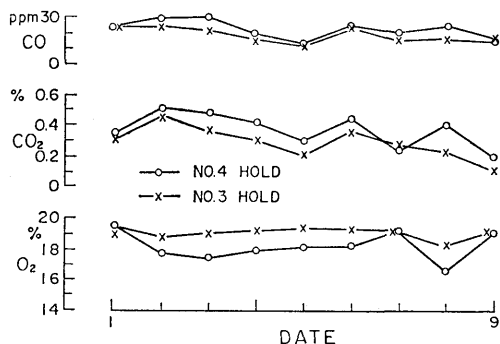


Fig. 16 Results of Gas Measurements (2nd Voyage)

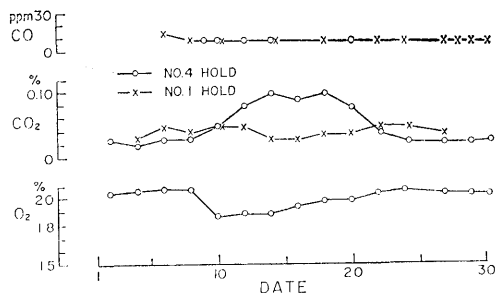


Fig. 17 Results of Gas Measurements (3rd Voyage)

酸化発熱の程度は全般的に第3番船艙の方が著しかったと思われるため、この差は船艙の密閉度の差によるものと考えられる。

$\text{CO}_2$ や $\text{CO}$ の増加(又は減少)と、 $\text{O}_2$ の減少(又は増加)の間には一応の相関関係があると認められる。さらに、これらガス組成の変化と対船風速(log book記載の風向風力、針路から求めたため精確な値ではない)の間にもかなり関連があり、風速が大きい場合には酸素濃度が低下し、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}$ ガスが増加する傾向がある。なお予期に反して $\text{SO}_2$ は検出されなかった。

### 3.3. 採取試料の成分変化

金属硫化物が酸素と反応すれば硫酸塩が生成し、この時の反応熱が発熱原因の一つと考えられるため、この硫酸塩の水又は酸に対する可溶性成分を測定すれば酸化の程度が判定出来る、といわれる(註参照)。

この目的のために航海中に船艙内から試料を採取したが、作業性が悪いために精確なサンプリングは困難であった。Fig. 18は第1次航におけるもので、最もサンプリングし易い精鉱表層部の分析結果である。航海日数の経過と共に水溶性、酸溶性の各成分は増加し、含水量は低下する傾向が認められ、発熱温度との間に密接な相関関係がある。この他に、試みに深さ10~15cmの部分サンプリングしたものは値が全くバラつき、表層から深さ方向にかけて酸化の程度が大きく変化して分布していることが窺えた。

註) この分析方法は試料に水または亜硫酸飽和水溶液を加え、振とうした後濾過し、液中に溶出した金属成分または硫酸根を原子吸光分析法により定量するものである。分析過程の誤差をさけるため、日本鉱業会で定めたマニュアルにより、専門の分析業者で実施した。

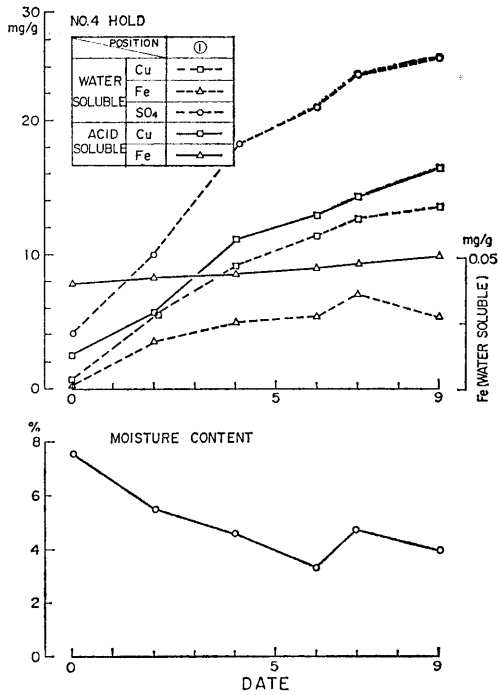


Fig. 18 Soluble Components and Moisture of Samples (1st Voyage)

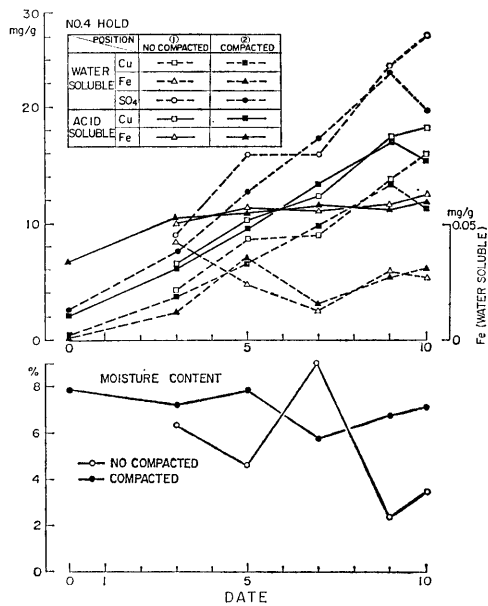


Fig. 19 Soluble Components and Moisture of Samples (2nd Voyage)

同様にして Fig. 19, 20, 21 に第2次, 3次航の結果を示すが, 値はかなりバラついたものであり, 採取した試料の中に表層部から種々の深さのもの迄が混在していたためと思われる。

4. 精鉱の発熱確率

同一の条件で積載された精鉱であってもランダムに発熱現象が生じるとすれば, 限られた測定点で真の最高温度を見出すことは難しい。3回の実験において計測された最高温度は約80°Cであるが, これが本当の最高温度であったと断定することは出来ない。しかし, より多数の標本があればこれを確率現象として推測することも出来よう。

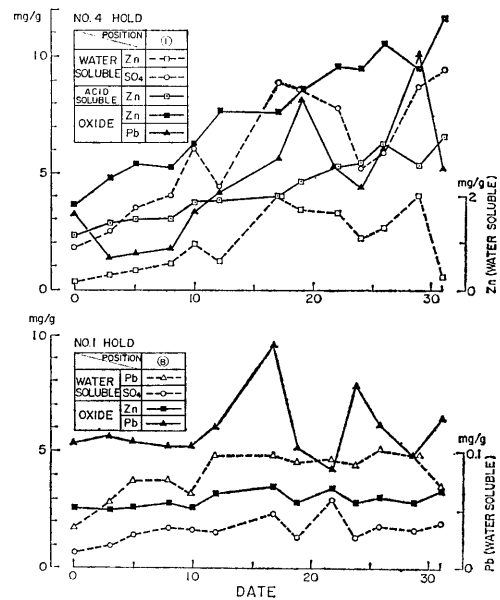


Fig. 20 Soluble Components of Samples (3rd Voyage)

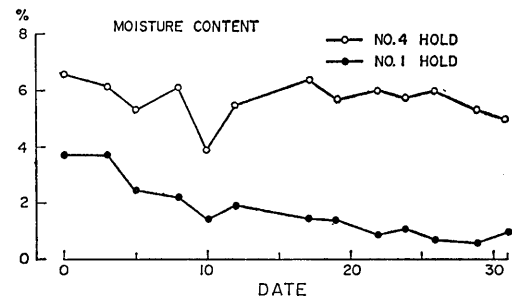


Fig. 21 Moisture Concentrates of Samples (3rd Voyage)

幸い工業技術院公害資源研究所が中心となって実施した計測資料<sup>4),9)</sup>があるため、これについて検討を加えてみる。この資料は、輸送終了時の精鉱揚荷前に精鉱内部の温度を計測したものであって、まず深さ15cmの位置で数及至十数個所の温度を計測し、その最高温度位置で深さ方向にさらに数点計測したものである（この結果からも深さ15~30cmが最高温度を示すことが認められている）。したがって深さ15cm位置の測定資料が最も多く、4鉱種（銅精鉱3種、亜鉛1種）、14船艙に及び、計測点数は93点である。これには前記実船実験を行ったものの一部が含まれており、自然堆積の場合の測定点は41点、填圧、被覆等何らかのトリミングを実施した場合が52点である。

この測定結果を温度の段階別にヒストグラムに示したものが Fig. 22 であって、確率密度関数はほぼ対数正規分布になる。填圧、被覆のトリミングした効果は明らかに認められ、トリミングの有無による関数は次式のようになる。

$$P(t) = \frac{1}{0.600 \sqrt{2\pi} (t-28)} \exp\left\{-\frac{(\ln t - 28 - \ln 24.1)^2}{2 \times 0.360}\right\}$$

……………トリミングなし（自然堆積）

$$P(t) = \frac{1}{0.602 \sqrt{2\pi} (t-24)} \exp\left\{-\frac{(\ln t - 24 - \ln 10.85)^2}{2 \times 0.362}\right\}$$

……………トリミングあり（填圧、被覆）

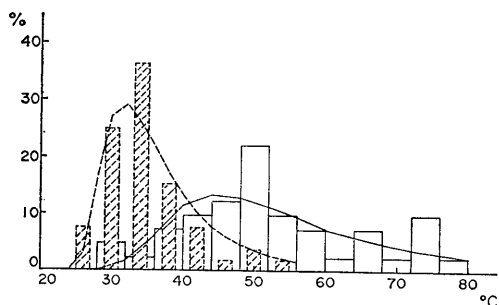


Fig. 22 Histograms of Concentrate Temperature (Solid Line without Hatching; No Trimming; Broken Line with Hatching; Trimming)

この資料では鉱種、航路、航海日数等はそれぞれ異なるが、輸送終了時という条件と測定部深さは同一であり、これによりある最高温度が発生する確率を推定することが出来ると考えられる。また、填圧、被覆の効果も証明でき、さらに精鉱が発火に至る危険性の発生確率も求められよう。

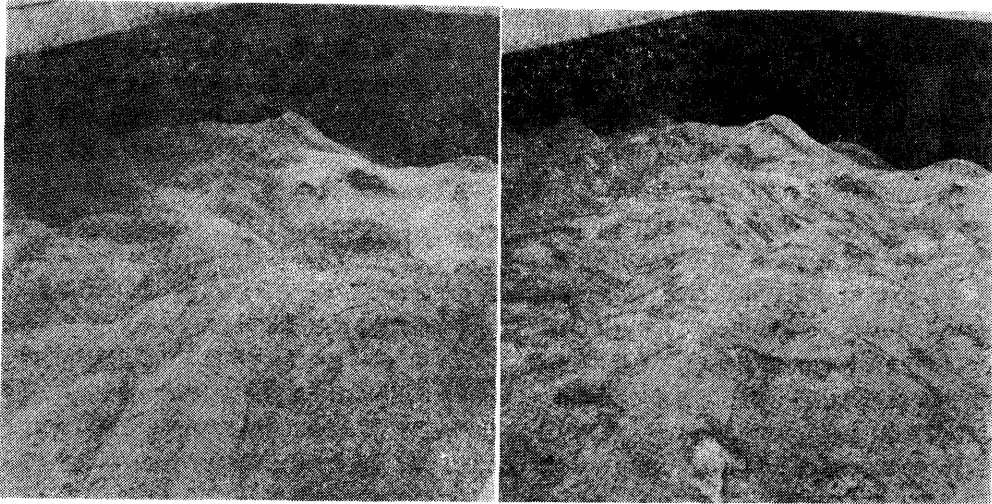
## 5. 考察及び結論

精鉱輸送中の酸化発熱現象は、酸化反応による発生熱と精鉱の放熱状態で説明出来るように思われる。温度の上昇にともなって硫酸塩可溶成分が増加すること、密閉船艙ほど艙内空気の酸素が減少すること、まだ発熱が著しい程酸素減少が著しいと認められること、等より酸化反応と発熱との関係が推定できる。一方、精鉱表面は低温であり乍らある深さが最高温度となることから、精鉱内部の熱伝導に左右されて発熱量と放熱量との差から温度上昇が生じると思われる。

しかし、精鉱の深さ方向では含水量、酸化の程度等が著しく変化していることから、この熱伝導問題を理論的に解明することにはやや困難を感じる。また数値計算を行うためには鉱物学的な酸化反応熱の数値や熱伝導率を求めることが必要となる。

一方、この現象をマクロ的かつ即物的に観察すれば、精鉱と空気との接触状態が重要な因子であり、これを絶縁すれば対策は樹立できたと考えられる。最高温度が長い急な斜面の部分で観察されたことは、船体動揺、振動等により斜面の精鉱粒子が崩れたり流下したりして、常に新鮮な空気が精鉱内に浸透して酸化を促したためと考えられる。Fig. 23 には積荷直後と輸送終了時の精鉱の同一個所の状態を写真で示すが、明らかに表面の状態が変化している。この輸送中における堆積高さの減少を、甲板上からの測深索によって計測してみた結果、0~19cmの沈下量があり、山の頂部ほどその値は大きく谷部は少ないことが認められた。また、艙内酸素濃度が低下し CO<sub>2</sub> や CO 濃度が増加する場合は対船風速が大きいと推定されたことは、自然換気の影響では説明できないが、対船風速が大きい時は船体運動も激しくなるため精鉱の運動も大きくなり、酸化が進むと考えれば説明できる。但しこれはあく迄も推測であり、加速度等を計測して実証してみなければならぬ。

なお、精鉱が高温になった個所は最初からかなり発熱していると思われる。これは積荷前に陸上の貯鉱所内ですでに酸化発熱を生じているとも考えられるが、



**Fig. 23** Pile of Concentrate in Hold  
(Right ; After Loading, before Navigation)  
(Left ; Before Unloading, after Navigation)

もう一つの理由として船艙内に精鉱が積載された時点が必ずしも同一でないことが考えられる。第1, 2次航のような専用船の場合, 船体強度, トリムの関係からある船艙では2回に分けて精鉱を積載し(第4番船艙はこれに該当する), その間隔は1日以上にもなる。したがってこの間に前半部分の精鉱は暑熱の船艙内でかなり酸化が進行することがありうる。

具体的な酸化発熱防止対策は, このような反応が進みやすい状態において精鉱と空気との接触をなるべく減らすことであり, 洗剤類を混入する方法も精鉱粒子をコーティングして空気と絶縁する作用があると思われる。本実験で実施した範囲では, 填圧法が最も効果があり, 被覆法, 密閉法の順に効果はおちる。云う迄もなく, 二つ以上の方法を併用すれば効果が上ると思われるから, 鉱種, 輸送条件等に応じて適宜対策をとることができよう。

填圧法は精鉱内部の空隙率を減少させるため, 内部の保有酸素を減らし, また表層を強固にするため空気の内部浸透も防止して一番酸化防止効果があると考えられる。しかし, 運用上はブルドーザーが必要となり, また甲板下の部分は高さの制約上填圧不可能ことが多い。これに較べて被覆法は表層からの空気浸透を防ぐだけのために, やや効果が劣ると考えられる。何れの方法も船舶運航上の経済的問題に関係するが, 実船実験で実際に行い経験してみた結果, それ程大き

な影響を及ぼすものとは思われない。

なお, どのような酸化防止対策を実施しても, 船艙内の酸素低下は避けられぬ問題であり, さらに船艙を密閉態に保持することが重要なために, 船艙内作業における酸欠事故防止には充分な対策と注意が必要であることを付記する。

## 6. あとがき

本研究課題はIMCO(政府間海事協議機関)の危険物小委員会(CDG)の討議により, まず鉱業会関係者により着手され, 次ので科学技術庁で採り上げられて当所と工業技術院公害資源研究所とが協力して実施したものである。本報告はその当所分担部分の一部である。研究課題の性格上, 具体的な対応策を樹立することが重要であり, また造船技術上の問題というよりも船舶運航上の問題, あるいは鉱物学的問題の色彩が強いため, 学問的に内容を掘り下げることが意識的に避けられたものである。しかし, この研究結果は船舶運航上の実務者にとって貴重な指針を与えるものと考えられる次第である。この結果が船舶及び積荷の安全性向上に役立てば幸いである。

本研究の実施に当たり, 東京大学資源開発工学科今泉常正教授, 同金属工学科後藤佐吉教授, 東京商船大学西山安武教授から厚い御指導を頂いたことに深く感謝すると共に, 協同して研究に参加し種々助言を頂い

た公害資源研究所資源 3 部の富田堅二、馬場利一両部長、森川薫淳課長に御礼申し上げます。さらに、快よく実船実験のために協力を与えられた山下新日本汽船株式会社、山友汽船株式会社、及び川崎汽船株式会社の関係各位とぶうげんびる丸、諾威丸乗組の方々、ならびに日本鋳業会、日本鋳業協会、日本海事検定協会の関係各位に対して深く感謝の意を表す。

#### 参 考 文 献

- 1) R. Ghys, The Danger of Fire in the Carriage of Sulphide Concentrates in Bulk, Safety at Sea Int., Aug. 1977
- 2) R. Ghys, The carriage of Metal Sulphide Concentrates in Bulk, 同上誌, Sept. 1977
- 3) 早瀬喜太郎他, 硫化鉄鋳物の酸化について, 日本鋳業会誌, No. 825, 昭和32年3月
- 4) 森川薫淳, 恒温恒湿室における硫化物精鋳の堆積試験, 日本鋳業会精鋳輸送分科研究会, 昭和53年10月
- 5) 精鋳の海上輸送における安全対策に関する総合研究成果報告書, 科学技術庁, (特別研究促進調整費) 昭和54年3月