

# γ線による重液比重の測定

## Measuring the Density of Pulp with Gamma Ray

米 沢 利 明\*  
Toshiaki Yonezawa

梅 沢 茂\*  
Shigeru Umezawa

深 見 謙 二\*\*  
Kenji Fukami

鷲 見 哲 雄\*\*\*  
Tetsuo Sumi

諏 訪 志 朗\*\*\*  
Shirō Suwa

近 藤 秀 雄\*\*\*  
Hideo Kondō

### 内 容 梗 概

重液送鉱法により鉱石を選別するとき、その選別成績は重液比重の管理いかんにかかっている。従来、重液比重の測定には適当な方法がなく、やむなく、一定時間ごとに秤量して比重を求める、いわゆる重量測定法によっていたが、この方法では精度も悪く、また、連続測定ができないため、重液比重の時間的変動をつかむことができなかった。

これに対して、筆者らはγ線の吸収を利用すれば高精度で連続測定ができることに着目して、その基礎実験および製品化を行い、1958年7月より日本鉱業日立選鉱場にて実用に供している。この装置は、線源に<sup>137</sup>Csを使用し、検出器にシンチレーションカウンタを使用したもので、重液の比重は±0.01の精度で測定される。従来の方法に比し、簡単でしかも高い精度で測定されるようになったため、重液比重の管理が改善され、選別成績が著しく向上した。

### 1. 緒 言

重液選鉱(炭)法とは、重液材(media)として、フェロシリコン、方鉛鉱、黄鉄鉱、砂鉄、磁鉄鉱、硫酸シンダーなど高比重物質の粉末を水中に懸濁させて規定比重に調整した重液を medium として、鉱石(炭)をその比重により、沈鉱(比重の高い精鉱または廃石)と浮鉱(比重の低い廃石または精炭)とに分離する方法で、手選に代る予備選鉱法として近時広く採用されるに至り、わが国でも、現在、金属鉱石に対しては20余の鉱山に、石炭に対しては25余の炭山において実施されている。

この際、使用される重液の比重は処理鉱石、原炭の種類によって決定されるが、沈鉱と浮鉱の選別成績は操業中重液比重の変動が一定限度内に(一般に±0.01)管理されているか否かにかかっている。浮遊選鉱の場合は、鉱液(Pulp)比重の測定方法として、従来、重量測定式、隔膜式、差圧式などの計測器が使用されているが<sup>(1)</sup>、重液の比重は鉱液の比重に比し、はるかに高く、一般に金属鉱石の場合は2.4~3.1、石炭の場合は1.4~1.8であるため、重液比重測定用として隔膜式、差圧式は技術的に使用困難で、やむなく一定時間ごとに、もっとも原始的な重量測定法によって比重を測定し、操業管理を行っている状態であった。

日本鉱業中央試験所においては、かねてより上記のような重液操業管理の強化と操業成績の向上を期するため、放射性同位元素(以下 R. I. と記す)のγ線の透過を利用すれば、被測定物(重液)に接触することなく、また、

その温度、粘度、流動状況その他の諸条件に影響されることなく、きわめて簡単かつ高精度をもって重液比重の連続測定が可能であると考え、各種の基礎試験を実施しその実用化の見透しを得た<sup>(2)</sup>。その後、これらの基礎的データに基き日立製作所多賀工場において設計、製作した重液比重計を1958年7月以降、日本鉱業日立選鉱場に設置し、実用に供しているが、その結果、きわめて好成績を得ている。

### 2. γ線重液比重計の原理と基礎試験

R. I. の放射するγ線が物質により吸収されるとき、その透過γ線強度は次式によって指数関数的に減衰する。

$$I = I_0 e^{-\mu t} \dots\dots\dots (1)$$

ここに  $I$ : 透過γ線強度  
 $I_0$ : 吸収物質がないときのγ線強度  
 $\mu$ : 吸収物質の線吸収係数(cm<sup>-1</sup>)  
 $t$ : 吸収物質の厚さ(cm)

吸収物質が重液である場合には重液の線吸収係数はつぎの(2)式のような重液の密度 $\rho$ のみを変数とする関数となる。

$$\mu = \mu_s \frac{\rho - 1}{\rho_s - 1} + \mu_w \frac{\rho_s - \rho}{\rho - 1} \dots\dots\dots (2)$$

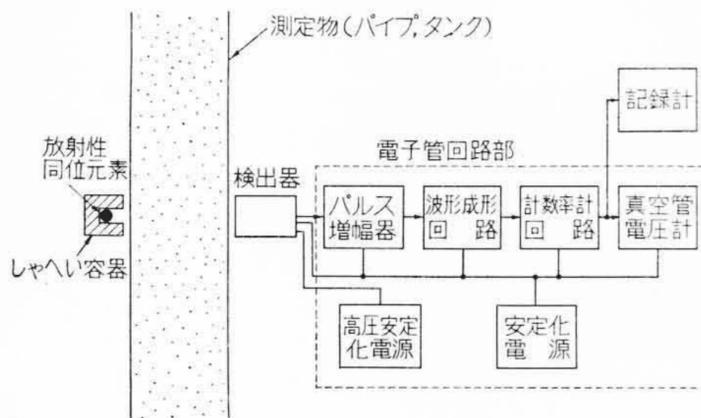
ここに  $\mu_s$ : 重液材の線吸収係数(cm<sup>-1</sup>)  
 $\mu_w$ : 水の線吸収係数(cm<sup>-1</sup>)  
 $\rho$ : 重液の密度(g/cm<sup>3</sup>)  
 $\rho_s$ : 重液材の密度(g/cm<sup>3</sup>)

すなわち、(1)式および(2)式により、透過γ線強度は重液密度と一定の関係をもって変化するので、透過γ線強度を測定することにより重液比重を知ることができる。

\* 日本鉱業株式会社本社  
 \*\* 日本鉱業株式会社中央試験所  
 \*\*\* 日立製作所多賀工場

第1表  $^{60}\text{Co}$  および  $^{137}\text{Cs}$  の  $\gamma$  線に対する吸収係数

| 試料        | 密度<br>$\rho$ | $^{60}\text{Co}$   |                             | $^{137}\text{Cs}$  |                             |
|-----------|--------------|--------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|
|           |              | 線吸収係数<br>( $\mu$ ) | 質量吸収係数<br>( $\mu\text{m}$ ) | 線吸収係数<br>( $\mu$ ) | 質量吸収係数<br>( $\mu\text{m}$ ) |
| 純水 (15°C) | 1.000        | 0.0627             | 0.0627                      | 0.0820             | 0.0820                      |
| フェロシリコン   | 6.514        | 0.370              | 0.0568                      | 0.511              | 0.0785                      |



第1図 RSS形  $\gamma$  線密度計の構成

基礎試験\* としては、まず、線源、吸収体、検出器およびしゃへい用鉛れんがを含む系を適当に配置し、透過線束をNarrow Beam として検出器に受け、その放射線の強さを測定し、純水、フェロシリコン（脱泥した-65メッシュ）の  $^{60}\text{Co}$  または  $^{137}\text{Cs}$  の  $\gamma$  線に対する吸収係数を算出した。その結果を第1表に示す。

これより、実際に使用する比重 2.85 の重液の線吸収係数は  $^{60}\text{Co}$  の場合  $0.248\text{ cm}^{-1}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  の場合  $0.334\text{ cm}^{-1}$  となる。これより線源の強さ一定のとき、統計的変動を考慮した場合のもっとも誤差の少ない重液層の厚さ  $^{60}\text{Co}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  の線源としての得失、必要線源の大きさなどについて検討を行った。その結果、重液を 10cm (4")  $\phi$  パイプに充満して流しながら測定することとし、指示のおくれが若干許容されるので、シンチレーションカウンタを検出器に用いた場合、時定数を100秒とすれば、線源として10 mcの  $^{137}\text{Cs}$  を用いることにより、十分な精度で比重を測定できることを確認した。

### 3. RSS形 $\gamma$ 線密度計

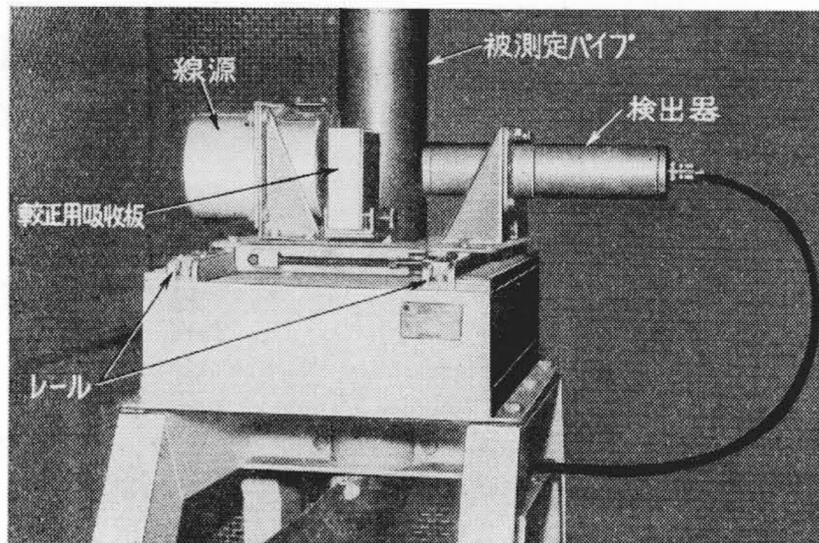
重液比重の測定に使用した実際の装置について以下概説する。

#### 3.1 装置の概要

本装置は線源に10 mcの  $^{137}\text{Cs}$  を、検出器にシンチレーションカウンタを使用したもので、その構成を第1図に示す。

シンチレーションカウンタの出力パルスは同軸ケーブルで比例増幅器へ伝送され、ここで増幅されたのち、波形成形回路へ入る。波形成形回路は波高送別器の機能を

\* 基礎試験に対しては昭和31年度鉱工業応用補助金を受けた。



第2図 RSS形  $\gamma$  線密度計の検出部

兼ねているので、一定のパルス高さ以上のものが送別されて計数されることになる。計数率計回路の直流出力は検出される  $\gamma$  線強度に比例し、したがって重液比重とも一定の関係を有するので、この出力が記録計にはいって重液比重を指示記録する。また、安定化電源はこれらの回路を安定に動作させるためのものである。

装置を長時間運転する際に発生する記録計指示のドリフトは  $\gamma$  線の標準吸収板による吸収と比較することにより容易に補正される。すなわち、検出部は第2図のごとく、線源および検出器を同一の台の上へ取付けたもので、レールに沿って移動できる構造になっているので、較正時にはこれらは被測定パイプに隣接して取付けられた吸収板の位置まで引出すことができる。運転にさきだち、あらかじめ比重既知の被測定物と等価な吸収を与える吸収板の厚みを求めておけば、運転中、随時、吸収板を透過する  $\gamma$  線の強度を測定することにより装置の動作を確認することができ、また、必要に応じて目盛の較正を行うことができる。吸収板は実際には厚みの異なった何種類かのものの組合せにより任意の比重に相当する厚みが得られる。

線源として使用される10 mcの  $^{137}\text{Cs}$  は、本装置では鉛厚み約75 mmのしゃへい容器に収納され、漏洩  $\gamma$  線強度はしゃへい容器表面においても1 mr/h以下となっているので、運転中、放射線の人体に及ぼす悪影響はまったく考慮する必要がない。

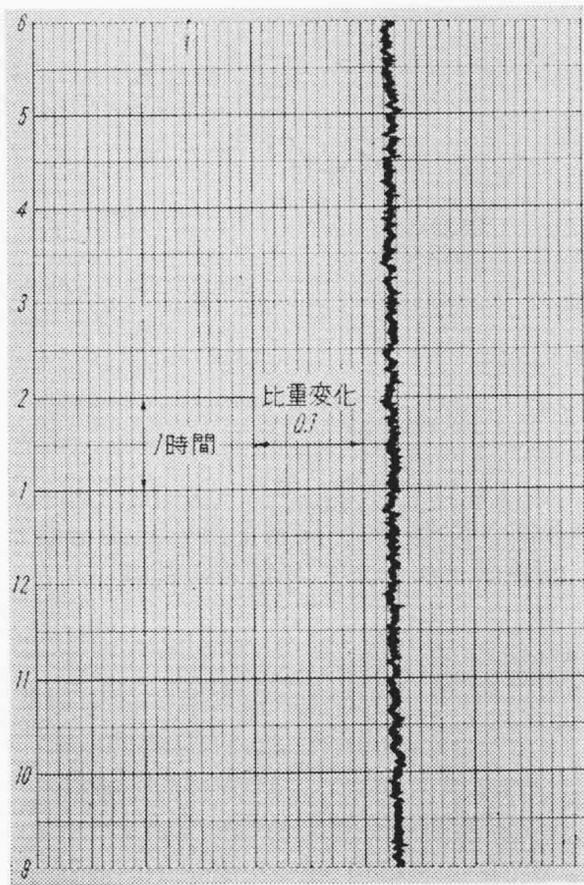
#### 3.2 特性

$\gamma$  線の吸収を表す(1)式において、線吸収係数  $\mu$  は吸収物質の密度が大きいものほど大きくなる。そこで(1)式を次のごとく変形する。

$$I = I_0 e^{-\mu t} = I_0 e^{-\frac{\mu}{\rho} \rho t} = I_0 e^{-\mu m \rho t} \dots\dots\dots (3)$$

ここに  $\mu m = \frac{\mu}{\rho}$  : 質量吸収係数 ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )

質量吸収係数  $\mu m$  は  $^{137}\text{Cs}$  から放射される  $\gamma$  線のエネルギー



第3図 較正時の長時間運転記録

ギーに対しては、第1表に示すように吸収物質の種類により大きく変ることがないので、 $\mu m$  をかりに一定の値とみなせば、 $\gamma$ 線強度は近似的には密度  $\rho$  により指数関数的に変化するものとみなすことができる。そこで、以下(3)式を  $\gamma$ 線密度計の特性を検討する上の基本式とする。

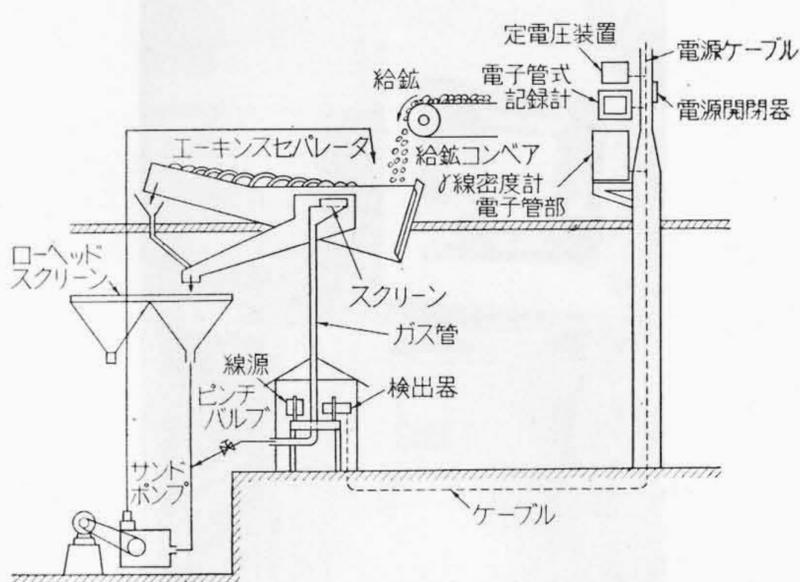
密度が  $\Delta\rho$  だけ変化すると  $\gamma$ 線強度変化は

$$\Delta I = \frac{\partial I}{\partial \rho} \Delta\rho = -\mu m t I \Delta\rho \dots \dots \dots (4)$$

したがって

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = -\frac{(\Delta I/I)}{\mu m \rho t} \dots \dots \dots (5)$$

$\mu m \rho t$  は被測定物の材質および幾何学的寸法により定る値であるが、前述のごとく比重 2.5~3.0 の重液を 10 cm (4")  $\phi$  ガス管に通して  $^{137}\text{Cs}$  の  $\gamma$ 線 で測定する場合、第1表の  $\mu m$  の値を採れば  $\mu m \rho t = 2.0 \sim 2.4$  となる。実際には、前述の Narrow Beam の関係が成立たず、かなりのコンプトン散乱線が検出器に入射するので  $\mu m$  は第1表の値より小さくなり、 $\mu m \rho t$  の値も上記より 30~50% 小さくなる。比重 2.5~3.0 の重液に対して  $\pm 0.01$  の精度で測定するには  $\gamma$ 線強度変化  $\Delta I/I$  について 0.5~1% 程度の精度で検出すればよい。 $\gamma$ 線密度計ではその精度に影響を及ぼすものはおもに放射能の統計的変動による誤差と長時間連続運転中のドリフトである。このうち、放射能の統計的変動による誤差は計数率計回路の時定数、線源の強度、検出器の計数効率などを適当に選ぶことにより、ある程度任意に選ぶうる値である。また、記録計で測定値を連続記録するときは、その記録結果より長時



第4図  $\gamma$ 線密度計現場配置図

間の平均値を読みとることができるので<sup>(3)</sup>、実際の誤差は非常に小さくなる。本装置では、計数率を 1,000 cps 以上とし、また、計数率計回路の時定数を 100 秒とすることにより、統計的変動による誤差は許容誤差をはるかに下回る値にすることができた。

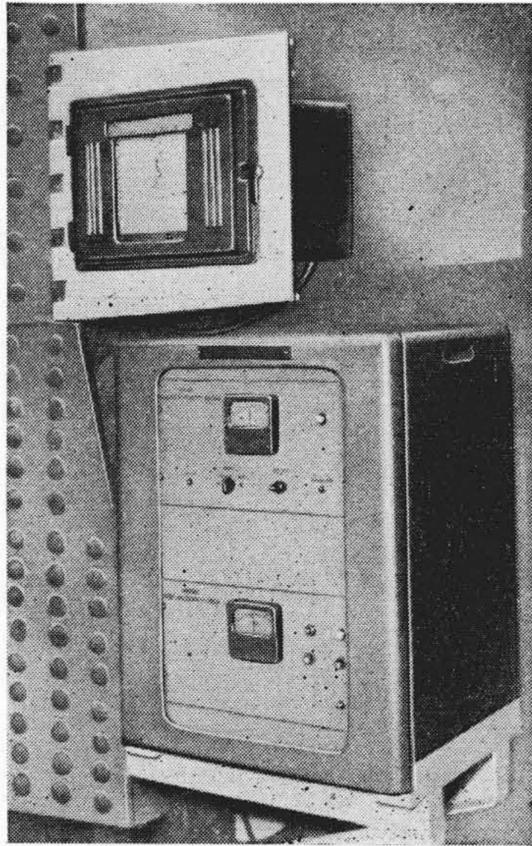
長時間連続運転中のドリフトは、この種の真空管回路を使用した計器では必ず発生するものであるが、その値の大小によって装置の較正を行うための必要なひん度が決定される。

ドリフトの原因としては下記のものと考えられる。

- (1) 検出器の特性変化
- (2) 高圧電圧の変化による二次電子増倍管のゲイン変化
- (3) 比例増幅器のゲイン変化
- (4) 波高送別レベルの変化
- (5) 波形成形回路出力パルス高さの変化

検出器の特性変化のうちでは、もっとも大きく現われるのは温度による影響である。温度が変わると蛍光体の発光強度の変化、二次電子増倍管のゲイン変化、蛍光体と二次電子増倍管の光学的結合度の変化などが現われ、これらの影響の総合的な値としては蛍光体に NaI を使用した場合 1°C 当り約 1% の出力パルス高さの減少となる<sup>(4)</sup>。これを計数率に換算すると 1°C 当り 0.1~0.2% の出力低下となる。実際の装置では、取付現場の1日の温度変化が 10°C 以下であるので、温度補償を行わないで十分なる精度が得られた。

高圧電圧の変動の影響は 1,000V 前後のものを  $\pm 1V$  程度におさえているので、計数率計出力変化として 0.5% 以下となる。普通の高圧安定化電源はこの程度の安定度を有するので、高圧電圧の変化の影響はあまり問題とならない。比例増幅器のゲイン変化、波高選別レベルの変化、波形成形回路出力パルス高さの変化などは、いずれも 1% 以下におさえれば十分である。

第5図 RSS形 $\gamma$ 線密度計器本体の取付け

実際の運転結果では重液比重で $\pm 0.01$ の精度をうるには、1日1~2回程度の校正で十分であった。第3図は校正時の長時間運転の記録結果である。

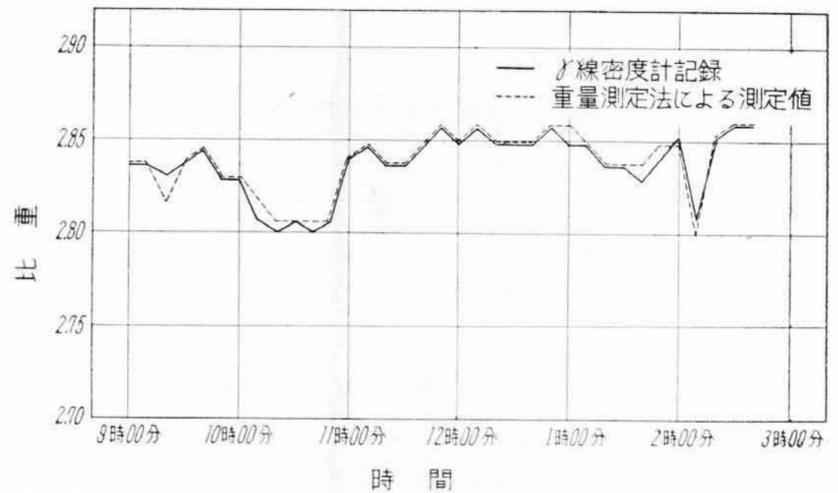
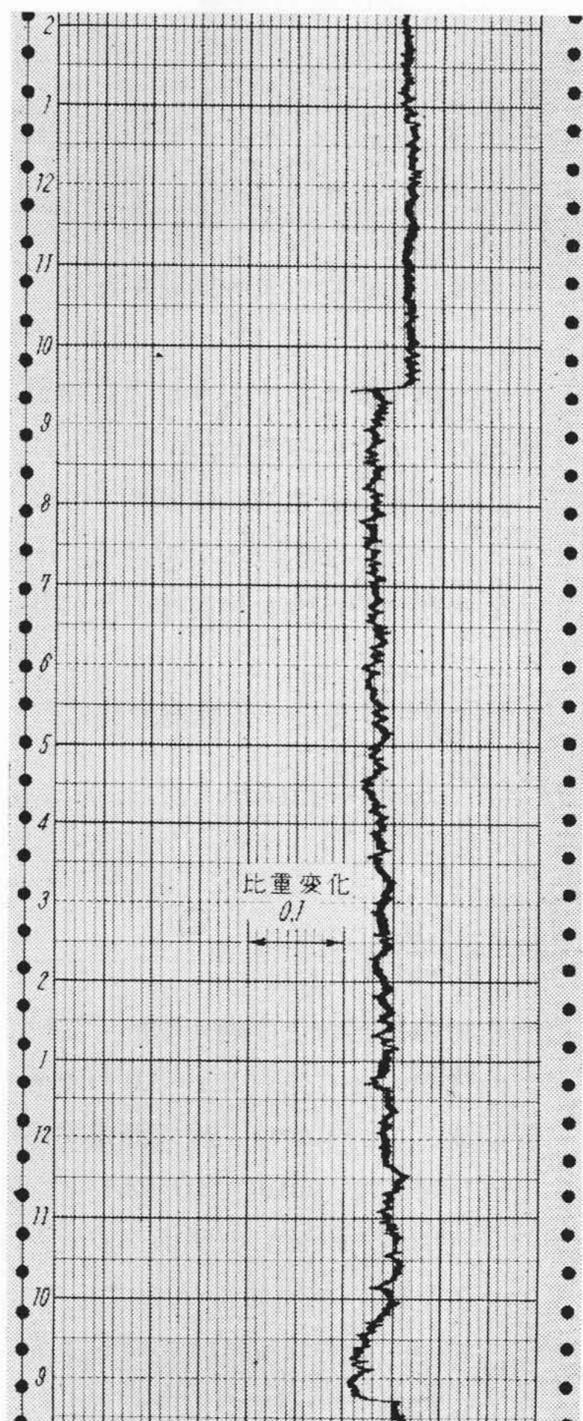
#### 4. $\gamma$ 線密度計の設置および測定結果

$\gamma$ 線密度計が管理すべき部分の重液比重を正しく指示するためには、その設置の条件として検出部の重液が常に均一な懸濁状態で輸送管内に充満し、かつ重液材が管内壁に沈積付着することのないことが必要である。そのために第4図のごとくエーキンス形分離器の溢流重液が下部の浮錠と重液の分離用ローヘッドスクリーンに流れるパイプに岐管を設け、その下部にピンチバルブを挿入し、これにより管内重液が上記のごとき正常状態に保たれるよう流速を調節し、その上部に線源と検出器を設置した。第2図はその設置状況を示している。また、第5図は計器本体の取付け状況を示す。

本密度計による測定値と重量測定法による測定値との比較を第6図に示し、操業状態の記録を第7図に示す。これより明らかとなり、本密度計による測定値は重量測定法によるものとよく一致している。校正は比重2.85相当の鉄板により、約4時間ごとに行って正確を期している。また、操業の休止中には検出部を校正位置に移して記録を継続せしめることにより装置の動作状態を監視している。

#### 5. 結 言

本密度計は1958年7月より重液比重の日常管理に使用し、順調に運転されているが、その操業管理に及ぼす影響として、つぎの点があげられる。

第6図 RSS形 $\gamma$ 線密度計の記録結果と重量測定法による測定値の比較第7図 RSS形 $\gamma$ 線密度計による記録結果

- (1) 従来の重量測定法による比重の管理に比し、いって簡便であり、しかも精度が高い。
- (2) 重液比重の時間的変動の実態が明らかになり、現場員の変動に対する処理が迅速になった。

このように重液比重管理の精度が向上した結果、選錠成績の向上ならびに経費の節約に益すること多く、選錠

操業の科学管理化に大いに寄与し、さらに操業のオートメーションへの基礎が確立された。

なお、γ線密度計は今後は鉱業関係のみならず、各種工業分野に液面計<sup>(5)</sup>とともに広く実用されるものと思われる。

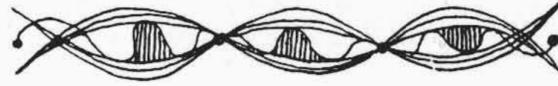
終りに臨み、本密度計設置に際して御尽力いただいた日立鉱業所選鉱課ならびに施設課の関係者各位に厚く感謝の意を表す。

参考文献

- (1) 伊藤英男： オートメーション 3, No. 7, 41 (1958)
- (2) 米沢利明： 日本鉱業会誌 73, No. 825, 167 (1957)
- (3) L. I. Schiff and R. D. Evans: R. S. I. 7, 456 (1936)
- (4) AEC Research and Development Report DP-47 (March, 1956)
- (5) 鷲見・諏訪： 計測 7, 7 (1957)



特許と新案



最近登録された日立製作所の特許および実用新案

(その2)

(18頁より続く)

| 区別   | 登録番号   | 名称                   | 工場別  | 氏名       | 登録年月日    |
|------|--------|----------------------|------|----------|----------|
| 実用新案 | 495159 | 水中モーター               | 亀有工場 | 野村茂      | 34. 6. 4 |
| "    | 495177 | 回転方向に応じ伝動能力を異にする流体接手 | 亀有工場 | 吉田暮 健三郎  | "        |
| "    | 495188 | バンドブレーキ              | 亀有工場 | 若森俊郎     | "        |
| "    | 495193 | 高圧容器のカバーの締付装置        | 亀有工場 | 山内章正     | "        |
| "    | 495198 | 高温高圧用渦巻ポンプのうず        | 亀有工場 | 小田保光     | "        |
| "    | 495199 | 流体変速機の正逆転切換装置        | 亀有工場 | 小渡寺部本 富仁 | "        |
| "    | 495194 | 空気槽における空気取出口         | 川崎工場 | 杉山田 雅吉   | "        |
| "    | 495202 | 帯電現象の除去された輪転印刷機      | 川崎工場 | 猪橋島本 正博  | "        |
| "    | 495141 | 最大指示計器               | 多賀工場 | 吉田幸陽     | "        |
| "    | 495143 | 多点記録ペン装置             | 多賀工場 | 河井桐陸     | "        |
| "    | 495144 | 記録計器の打点記録用ペン         | 多賀工場 | 片桐辺 陸鴻   | "        |
| "    | 495145 | 液体の比重測定装置            | 多賀工場 | 佐藤芳      | "        |
| "    | 495146 | 電気洗濯機注水用ホースの中継弁装置    | 多賀工場 | 滑川村 力    | "        |
| "    | 495149 | 磁気レンズの焦点距離調節装置       | 多賀工場 | 吉田金太郎    | "        |
| "    | 495154 | 電動機電機子軸端部防錆装置        | 多賀工場 | 吉島田垣 四忠  | "        |
| "    | 495157 | 炎光装置用バーナー            | 多賀工場 | 萩野田藤 忠慎  | "        |
| "    | 495160 | 電機用絶縁楔               | 多賀工場 | 山家岡 正    | "        |
| "    | 495161 | 電機用絶縁楔               | 多賀工場 | 大岡 宏     | "        |
| "    | 495162 | 電機用絶縁楔               | 多賀工場 | 大岡 宏     | "        |
| "    | 495163 | 電機用絶縁楔               | 多賀工場 | 山家岡 正    | "        |
| "    | 495164 | 電機用絶縁楔               | 多賀工場 | 山家岡中 早三  | "        |
| "    | 495169 | 磁気接手                 | 多賀工場 | 大和田 勤    | "        |
| "    | 495170 | カーボンパイル電圧調整器         | 多賀工場 | 杉浦 慎三    | "        |
| "    | 495172 | 気化器                  | 多賀工場 | 森井 正一郎   | "        |

(78頁へ続く)