浮選機の性能について

広 田 元 英*

The Basic Studies on #21 Fahrenwald Flotation Machine

Motohide HIROTA

1. 緒 言

1-1 目 的

当日立鉱業所はもとより、現在各浮遊選鉱場において最も普遍的に使用されているファーレンワルド型浮遊選鉱機は、過去多くの経験を経て現在の設計がなされ、またその優秀性によつて広く使用されているのではあろうが、使用する我々にとっては各部分の果たす効果にはまだ不明の点も多く、経験上得られた知識においてもその効果程度も明らかでない。また粗選、精選、清掃等現場操業上の使用目的に応じて改良の余地がまだ残されていないとはいえない。

このような理由により当所では21番型ファーレンワルド型浮選機と同様な単一区浮選機を製作し、以前より試験を行つてきた。

本試験は現在日鉱本社飯島係長が当所在動中鉱業協会にて発表したものに、その後試験を続行し追加したものである。勿論すべての試験が完了したわけではなく、今後も引続いて行う予定であるが、現在までの結果に就いて以下に報告する。

1-2 試験浮選機

試験に使用したファーレンワルド型浮選機のセルは6%鉄板製であり、第1-1図に示すごとくその上面は21番型に準じ960mm角とし、高さは1380mmである。その側面の一部に透明セルロイドの窓を設け、内部観察を便ならしめた。また槽底には厚さの異なる木板数枚を挿入可能ならしめ、インペラと槽底との間隔を変化させた。駆動電動機は15HPのものを使用し、このVプーリおよび浮選機のプーリを交換して、インペラの回転数を変化させた。

基礎試験に当つてはとくに断わらぬ限り第1表の条件を標準条件として行つた。

消費電力はワットメータによる直読値を採用し、3回の平均を求めた。なお使用電源は50~440Vである。

第1-1図 試験用単一区浮選機略図

空気量測定は17のメスシリンダに水またはバルブを満たし、これが気泡と置換するに要する時間より算出する方法によつた。測定は表面10点で行ないこの平均値をもつて空気量“Q”とした。

1-3 性能の表示

浮選機の性能を何で表現するかは種々論があると思うが、今回は機械的な面を主とした試験であるので、動力をワット、空気量を $\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ min}$ で表わしこれを基としてKW 当りの空気量すなわち

$$P = \frac{Q}{W \cdot 1000} \dots \dots \text{m}^3/\text{m}^2 \text{ min KW}$$

を算出し、動力指数としてPで表示した。**)

なお各グラフは第2・4・1図、第3・3・2図の動力を除きすべて同一スケールで描いてある。

受理 昭和37年1月12日

* 日本鉱業株式会社 日立鉱業所鉱山部選鉱課主任

** ソ連の文献1)2) UBETHBLE METARRBL 33(8) 16~31 (60) ではこの逆数、すなわち発生気泡量当りの動力で表示している。

第 1 表 標準条件

インペラ (ゴムライニング、コンカル型)	: 6 枚羽根480%φ	羽根高さ50%
プレート (ゴムライニング)	: 外径540%φ	内径230%φ 厚さ22%
スタンドパイプ	: 径200%φ	長さ620%
インペラ回転数	(n) :	340r.p.m
インペラとプレートとの間隔	(d) :	6%
インペラと槽底との間隔	(h) :	75%
水 深	(S) :	725%
槽 の 深 さ	(H) :	800%

2 標準インペラによる試験

2-1 水 深 (S)

浮選機の使い方として Deep Cell と Shallow Cell とがあることはよく知られているが、この場合水深が変ることによって、動力、空気量がどのように変化するかを見た。

試験に当つては S を変化させ h は一定とした。したがつて第 1-1 図に見るごとく H も自動的に増加する。

試験 media は清水、清水にヤーマ F パイン油を 10 mg/l 添加したもの、および 25%pd. のパルプの 3 種類である。

この結果を第 2・1・1 図に示す。

動力はいずれの場合にも S の増加に伴い一次函数的に上昇し、その絶対値は清水が一番低く、起泡剤を添加した清水、パルプの順に高くなる。

グラフより実験式を求むれば、

$$W = 3.43 S + 1410 \cdots \cdots \text{パルプ}$$

$$W = 3.12 S + 1280 \cdots \cdots \text{超泡剤添加した清水}$$

$$W = 3.28 S + 870 \cdots \cdots \text{清水}$$

となる。

定数項はその media によつて変るが、S の係数はいずれも 3.1~3.5 であり似かよつた値を示している。

空気量は当然のことではあるが、S が増加するにつれて減少する。これを逆にいえば S を小さくすることにより空気量を効果的に増加させることが出来る。

絶対値では清水の場合が一番高く、他の二者は同じ位であるが傾向はいずれも似ている。

この結果 P は S の増加につれて激減する。

2-2 インペラと底槽との間隔

インペラと槽底との間隔は狭すぎれば液面が動揺し、また大きすぎれば dead の部分を生じて沈澱を起すなどのトラブルが発生する。従つてどこかに最適点がある筈であるが、沈澱の生成はパルプを連続給鉱した試験を行なはなければ判らないので、本試験では動力、空気量に h がどのように作用するかを調べた。

試験に当つては h を変化させ S を一定としたので H も変化している。(∵ $H = S + h$)

第 2・1・1 図 水 深 (S mm)

試験 media は清水と25% p.d. のパルプとである。

この結果を第2・2・1図に示す。

動力は一般にパルプの方が高いことは予想されたが、いずれの場合にも初め d が増加するに従って急激に減少する。これは槽底とインペラ底部との間の抵抗が小さくなるためと考えられる。この値は $h=60\sim 80\%$ で極小となり、 h が更に大きくなれば再び大きくなるが、この増加率は比較的ゆるやかである。これは第2・2・2図に示すごとくインペラ下部にある Water Column を廻転させるためと考えられる。この影響はあまり深部までは及ばないので、 h が120~150%以上になると平衡状態となる。

空気量についてはほとんど顕著な差は見られなかった。

P は初め増加し、次で h が120% 附近より平衡状態となる。

したがって当試験機では $h=60\sim 80\%$ で行うのがよい。

2-3 インペラとプレートとの間隔

インペラとプレートとの間隔すなわち gap は当所では6% を標準としてセットしているが、これが適当な値であるかも不詳であるので効果を試験した。

試験に当っては H を一定とした。こうすればプレートとの位置はウイングで固定されているので、 d の変化とともに S も変化している。

試験 media は清水と25% p.d. のパルプとである。

この結果を第2・3・1図に示す。

動力は水、パルプ何れの場合にも初め d を増加させてもほとんど一定であるが、 d が20%を超えると増加を始め、更に40%を超えると急激に上昇する。これは第2・3・2図に示すごとくインペラがプレートと離れることによりインペラ上部の Water Column を廻すようになるためと考えられる。

これに対し空気量は d の増加に伴い極めてゆるやかに増加する。

P は d の増加に従い減少している。

したがって当試験機では d は6~20%の範囲内ならいずれでもよい。あまり小さい値では空気量が不安定となる。これは Cavitation のためと思われる。

2-4 インペラの回転数

インペラの回転数が動力や空気量に大きな影響を与えるであろう事は想像に難くない。そこで n を216~351 r.p.m. の間で10段階に変化させその効果を見た。

試験 media は清水である。この結果を第2・4・1図に示す。

第2・2・2図 インペラ下部の Water Column および h の変化と動力変化の関係

第2・2・1図 インペラを槽底との間隔 (h mm)

第2・3・1図 インペラとプレートとの間隔 (d mm)

第2・3・2図 d の増加とともに増加する上部 Water Column.

動力は n が大になるに従い急激に増加し、またその増加率も逐次増加して行くことが見られた。この曲線を $W=an^b$ と見做し、実験式を求めれば、

$$W=0.0431/n^{1.92}$$

となる。

空気量も n が大になるにつれて初めは急激に増加するが、400~450r.p.m の間に変曲点を生じそれ以上は空気量は増加するも増加率は漸減している。

P は 420~440r.p.m 程度で極大値となり、動力当りの空気量はこの附近が最も多いことを示している。

2-5 パルプ比重

従来までの試験で清水よりも常にパルプの方が動力は高く空気量は少なかった。これは予想されたことであつたが、これがどの程度であるかは不明であるので標準状態における試験を行つた。

試験は濃度 0~44.2% p. d 間を11段階に分けて行つた。これをパルプ比重に換算すれば1.00~1.40となる。

p.d	0	5.7	8.7	14.8	19.4	22.6	28.7	32.0	38.0	41.5	43.5
ρ	1.10	1.04	1.06	1.11	1.15	1.17	1.23	1.27	1.33	1.38	1.40

この結果を第2・5・1図に示す。

動力は $\rho=1.1$ 位まではほとんど変りない。これは濃度の影響よりも Idoling Power の方が大であつたためと思われる。1.1を超すと増加を初める。しかしこの値は $\rho=1.40$ で清水の 120% 程度であり予期したより低かつた。A.M.White & E.Brennel³⁾ によれば $\rho^{0.86}$ に比例すると云われているので実験式を求めれば

$$W=2726\rho^{0.956} \quad \text{となる。}$$

第2・4・1図 回転数 (n r.p.m)

第 2・5・1 図 バ ル プ 比 重

たゞし前述のごとくこの式は $\rho=1.1$ 以下では満足しない。

空気量が漸減するがその値は $\rho=1.40$ で清水の 84% 位でこれも予期したよりも影響も少なかった。

P は ρ が大となるにつれて減少し $\rho=1.40$ で清水の 68% 程度となる。

2-6 プレートの外径

現場操作中浮選機に装着してあるプレートが摩耗を起せば動力が上昇し、空気量も増加する傾向があることが観察された。そこで試験機に摩耗したプレートを装着してデータをとった結果第 2 表に示すごとく摩耗の度合い進むに従い 動力、 空気量とも上昇することが確認され

た。

この様にプレートが予期以上に重要な作用を及ぼす様であるので中空部径は一定とし、外径の異つたプレートを 10 個鉄板にて作成し試験を行った。

この場合インペラは標準のものを使用し、試験 media は清水である。

この結果を第 2・6・1 図に示す。

動力はプレート径が大な方ではほぼ一定であるが、約 $D=520\text{mm}$ 以下では急激に増加する。これは第 2・6・2 図に示すごとくプレート径が小さくなることによりインペラ上部の Water Column を廻すためであろう。

なおプレートなしの場合、動力は 12,990w であった。

第 2 表 プレート摩耗の影響

プレート重量 (kg)	動 力 (ワット)	空 気 量 ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{min}$)	備 考
20.90	3,300	0.70	新 品
18.50	3,380	0.74	表面のゴムライニングは摩耗しているが、裏面はほとんど摩耗していない。
16.00	3,840	0.73	表面のライニングはほとんどはがれているが裏面はほとんどはがれていない。
4.80	4,640	0.90	表面、裏面ともほとんどライニングははがれている。

第 2・6・1 図 プレートの外径 (D mm)

第 2・6・2 図 d の減少とともに増加する上部 Water Column とパルプの Recirculation

空気量も動力と同様な傾向であつた。これはプレート径が少なくなるとパルプの Recirculation が良くなるので Suction が強くなるためと考えられる。Recirculation を多くすれば空気量が増すことは操業用の Denver 浮選機においても見られる現象である。しかしプレートなしの場合は空気量少なく $0.64\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{min}$ であつた。

P はばらついてはいるがほぼ一定値と見られる。

2-7 インペラ羽根高さ

インペラの羽根高さを増せば攪拌は強力となり、沈澱を防止すると同時に空気量を増加することが知られているが、動力の増加も避けられない。当所では以前25%であつたのを上記の理由から現在では50%としている。

この効果を試験するため鉄製 コニカルインペラ を作成し、これに羽根をネジ止めて試験を行つた。したがつてインペラの重量は羽根高さとともに増加するので、これ

が Idolng Power を増加させることが理論上考えられるが30%で41.7kg、60%で47.7kgであつたのでその影響は少ないと思われる。この結果を第2・7・1図に示す。

動力は羽根高さが増加するにつれて予想通り急激に増加する。

空気量も増加するが30%位から増加率は下りゆるやかとなる。

P は30%近くで極大となり、それ以下は下るが、この減少率は30%前の増加率より小さい。

したがつて効率は30%が最高ではあるが、それ以上でもそれ程低くはなく、沈澱を防ぐなどの必要があれば増加させるべきである。

3 その他の型式のインペラによる試験

前述のごとく当所におけるインペラはコニカルディスク型を標準としているが、インペラの型状はこの他にも数多くある。その主なものはマルチブレード型とレシーデット型であるので、この二種を鉄板で設計製作し試験を行つた。(写真1～8参照)

しかし鉄板製であるために重く、このデータを軽いゴムライニングしたコニカルディスク型と比較することは無理と思われるので、コニカルディスク型のインペラ及びプレートをも鉄板で製作し比較した。その重量を第3表に示す。

第 3 表 重 量 表

型 式	イ ン ペ ラ	プ レ ー ト
コニカル (ゴムライニング) 型	24.50 kg	20.90 kg
コニカル (鉄 板 製) 型	45.35 kg	30.60 kg
レ シ ー デ ッ ト 型	41.10 kg	54.70 kg
マ ル チ ブ レ ード 型	52.45 kg	47.60 kg

第 2・7・1 図 インペラ羽根高さ (mm)

Photo 1 鉄製コンカル型インペラ

Photo 2 鉄製コンカル型用プレート

Photo 3 レシーデット型インペラ

Photo 4 レシーデット型用プレート(表面)

Photo 5 レシーデット型用プレート(裏面)

Photo 6 マルチブレード型インペラ

Photo 7 マルチブレード型用プレート(表面)

Photo 8 マルチブレード型用プレート(裏面)

第 3・1・1 図 水 深 (S mm) (レシーデット型)

第 3・1・2 図 水 深 (S mm) (マルチブレード型)

試験は水深 (S) インペラと槽底との間隔 (h) 及びビンペラとプレートとの間隔 (d) について行つた。

試験 media はすべて清水と 25% p.d. のパルプとの二種である。

また各グラフは変形インペラのデータを実線で表し、同時に比較のために鉄製コンカルディスク型インペラのデータを破線で示した。

3-1 水 深

3・1・1 レシーデット型インペラ (第 3・1・1 図)

動力は清水およびパルプの何れの場合にも直線的に増加しておりその係数は“3”程度である。またこの絶対値もコンカルディスク型とそれ程違わない。

空気量もグラフの形状はコンカルディスク型と大差ないが、絶対値はレシーデット型の方がやや高い。

従つて P もほとんどコンカルディスク型と大差ないがレシーデット型の方がやや高くなつてゐる。

3・1・2 マルチブレード型インペラ (第 3・1・2 図)

動力は清水およびパルプの何れの場合にも直線的に増

加しているが、その係数は何れもコンカルディスク型よりも小さく“2”程度である。

空気量は傾向も絶対値もほとんどコンカルディスク型と変りないが、パルプの場合はマルチブレード型の方がやや少なかつた。

また P もパルプの場合にはマルチブレード型の方が低い傾向であつた。

なおデータ数が少ないので実験式は明記出来ないがその大体の値は

コンカルディスク型 清 水 $W=2.4S+2,000$

コンカルディスク型 パルプ $W=3.2S+1,900$

レシーデット型 清 水 $W=3.0S+1,800$

レシーデット型 パルプ $W=2.9S+2,100$

マルチブレード型 清 水 $W=1.6S+2,400$

マルチブレード型 パルプ $W=2.1S+2,400$

である。

3-2 インペラと槽底との間隔

3・2・1 レシーデット型インペラ (第 3・2・1 図)

動力はコンカルディスク型インペラに見られたような

第 3・2・1 図 インペラ槽底との間隔 (h mm) (レシーデッド型)

第 3・2・2 図 インペラと槽底との間隔 (h mm) (マルチブレード型)

70%前後の極小部分が見られず、 h の増加に伴って初めはやや急激に、100%を超すとゆるやかに増加し、120%~150%以上では平衡に達する。

これはインペラ下部の Water Column を廻わすために消費される動力に対し槽底とインペラとの間の抵抗等の他の因子が比較的小さかったと考えられるが、この理由についてははつきりと断定はできない。

動力の絶対値は初めレシーデッド型の方が低い、平衡に達すればコニカルディスク型と同等となる。

空気量はコニカルディスク型ではほぼ一定であるのに対し、レシーデッド型のそれは動力量と同様な傾向を示し、約50%以上では絶対値はコニカルディスク型を上廻っている。

P はほぼ似たような図形であるが一般にレシーデッド型の方が大きい。

3・2・2 マルチブレード型インペラ (第 3・2・2 図)

動力はレシーデッド型と同様の図形であるが、その絶対値は 3 種のインペラの中で最小である。

動力増加の傾向に対してはレシーデッド型のときと同様にはつきりした理由は述べられないが、コニカルディ

第 3・2・3 図 マルチブレード型インペラおよびプレート略図

スク型のプレートが単純な円板型であるのに対し、変形インペラ用のプレートは第 3・2・3 図に示すごとく何れも切込みおよび邪魔板のついたものである、プレ

ート形状に起因しているのかも知れぬが、この断定については今後の試験にまたねばならない。

空気量 P は何れも動力が増加している間はほぼ一定であり、動力が平衡に達する70%前後からやや増加している。

3-3 インペラとプレートとの間隔

3・3・1 レシーデッド型インペラ (第3・3・1図)

動力は d の増加につれて初めは減少し、20~25%で極小値を示し、次いで再び増加する。

この理由は前述のごとくプレートに16枚の邪魔板があるので、これとインペラ羽根間に摩擦抵抗を生ずるが、 d の増加と共に第3・3・3図に示すごとくラップしている部分が少なくなるため20~25%まで減少し、それ以上になれば2・3で述べたごとく、上部の Water Column を廻すためと考えられる。

動力の絶対値はコンカルディスク型と同等かやや小さい。

空気量は何れも動力と似た傾向を示している。したがって条件によってコンカルディスク型より大きくも小さくもなる。

P はレシーデッド型の方がやや高い。

3・3・2 マルチブレード型インペラ (第3・3・2図)

動力は $d=10\%$ 位で極小値のごとくなり、その後は

第3・3・3図 レシーデッド型およびマルチブレード型インペラの d の変化と動力変化との関係

第3・3・1図 インペラとプレートとの間隔 (d mm) (レシーデッド型)

第3・3・2図 インペラとプレートとの間隔 (d mm) (マルチブレード型)

d の増加と共に急激に増加し、30%を超えると一層甚だしく上昇する。これは羽根数が多いため上部 Water Column の影響を受け易く、30%以上では Cavitation に打ち克つためのみに、動力がいたづらに消費されていると考えられる。したがって空気量も $d=10\%$ 位より増加を始めるが、20~25%で極大値となり、それ以降は極端に低下する。またこの時には細かい気泡の他に大きい気泡が多量に生じ Boiling のごとき様子となつた。

P は $d=20\%$ 以上よりすでに下り出し、30%を超えると急激に減少する。

このことからコンカルディスク型、レシーデット型においても d を極端に大きくすれば、プレートが装着されてないと同様な効果となるために、マルチブレード型と同様な結果を示す事が推定される。

4 総 括

前記各条件において21番型ファーレンワルド単一区試験機において行つた基礎試験の結果を総括すれば次のごとくである。

- (1) インペラ底面から水面までの深さと動力との関係は一次関数で表現出来、動力をワット、水深をmmで表わした場合の方向係数は、コンカルディスク型インペラ、レシーデット型インペラでは“3”前後、マルチブレード型インペラでは“2”前後である。空気量はSを減ずることによつて効果的に増加する。
- (2) インペラと槽底との間隔と動力との関係は、コンカルディスク型インペラの場合、 $h=70\%$ 前後に極小値が存在するが、レシーデット型インペラ、マルチブレード型インペラの場合には見られなかつた。これはプレートの形状も影響していると推察されるが、この確認は今後の試験をまたねばならない。

- (3) インペラとプレートとの間隔と動力との関係は、何れも d の増加に従い急激に増加する。また邪魔板付プレートをを用いた場合には極小値が現れる。

空気量は d の増加と共に増加して行くが、次第に平衡状態となりある点を超えると急激に減少する。

- (4) 回転数の増加により動力は n の1.9乗に比例して急激に増加する。

空気量も始めは急激に増加するが、400~450 r.p.m. で変曲点を生じ増加率は減少する。

P には極大値が存在する。

- (5) パルプの比重の増加により、動力は ρ の0.96乗に比例して増加する。

空気量は減少するが、動力、空気量とも予想より影響は少なかつた。

- (6) プレートの外径が小になれば、動力、空気量とも増加する。

- (7) インペラ羽根高さが増加すれば、動力は急激に増加する。

空気量は初めは急激に、30%以上ではゆるやかに増加する。

P には極大値が存在する。

- (8) レシーデット型インペラ、マルチブレード型インペラについてはまだ試験項目が少ないので、はつきりした結論は出し得ないが、おのおの個性的な特性を有している。これらの特性が現場操業の各系統における諸要求にどのように対応するかは不明であり、またインペラのみの特性かプレートの持つ特性かをもまだ不明である。これに関しては今後も試験を行ないたいと考えている。

以上不十分なデータ、不明確な説明ではあつたが、各所でファーレンワルド型浮選機が使用されている現在、現場操業を行なうに当つて幾分かの参考に役立つことがあれば幸甚である。

5 謝 辞

本報告は緒言でも述べたごとく、本社飯島係長の研究を骨子として、さらに試験を行なつたものである。試験を行なうに当つては、伊藤課長をはじめ、当所選鉱課各位のご指導、ご協力を得た。ここに深甚な謝意を表する次第である。

文 献

- 1) O.A. ШУМКОВ; 迅速浮選法の実験的応用方法と将来性 ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ 1959
- 2) В.А. РУНДКВИСТ, С.И. МИТРОФАНОВ; 上記論文に関する討議 ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ 1960
- 3) A.M. White & E. Brennen; Trans Am, Inst Chem, Engin (30) 585~597 1934
- 4) A.F. Taggart; Handbook of Mineral Dressing
- 5) C.W. Thomas; Modification to Flotation Cells at the Zinc Corporation Limited. the Aust I.M. M. No. 178 1956
- 6) M. Clement; Verschleisserscheinungen in Flotationszellen. Wear Vol 1 Nr 1 Aug 1957/58 P 58~63
- 7) 林大輔; Fahrenwald 浮選機のインペラにおける気泡の流れ模様 日本鉱業会誌
- 8) 亀井三郎他; 化学機械 (18) No. 2 1949