



Title	オレイン酸ナトリウムによる微細硫酸バリウムの浮選挙動
Author(s)	横井, 浩司; Yokoi, Koji; 恒川, 昌美 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 116, 27-38
Issue Date	1983-10-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41814
Type	departmental bulletin paper
File Information	116_27-38.pdf



オレイン酸ナトリウムによる微細硫酸 バリウムの浮選挙動

横井浩司 恒川昌美 高森隆勝
(昭和58年6月30日受理)

Flotation Behavior of Fine Particles of Barium Sulfate with Sodium Oleate

Koji YOKOI, Masami TSUNEKAWA and Takakatsu TAKAMORI
(Received June 30, 1983)

Abstract

Flotation and coagulation behavior of barium sulfate fine particles (average size $1\mu\text{m}$) were studied using sodium oleate as collector. Adsorption and flotation tests were carried out under various conditions, where the variables studied included sodium oleate addition, pulp density, stirring speed, conditioning time and kerosene addition. The flotation results were analyzed according to the Klimpel's flotation kinetics.

It was found that flotation of 90% recovery required 13% of surface coverage by oleate. Barium sulfate fine particles in sodium oleate solution easily coagulated by stirring the suspension at high speeds, and after a certain period breakage and compaction of aggregates occurred. When the surface coverage was less than 13%, variation of flotation recovery and water content of froth products with conditioning time corresponded to the coagulation behavior mentioned above. In the 13% surface coverage level, increasing conditioning time caused a decrease in the water content of froth products, maintaining high recovery.

When the addition of sodium oleate was sufficient for high recovery, the water content of froth products decreased with increasing the addition. When a suitable amount of kerosene was added, even at 6% surface coverage by oleate, about 90% recovery was obtained, and it resulted from a further amount of kerosene addition that the water content decreased with increasing the addition. The decreasing water content in froth products would induce reduction of the contamination of other slime into froth products.

1. 緒 言

近年、稼行対象の鉱石品位は徐々に低下する傾向にあり、それに伴ない、単体分離のために鉱石を細かい粒子径にまで粉砕する必要性が高くなってきている。一般に、極微粒子の選鉱は多くの困難を伴うため、極微粒子部分はスライムとして廃棄される場合も少なくなく、有限の資源

を有効に利用するうえで、これらの微粒子を適切に処理することが必要となってきた。微粒子処理法としては、担体浮選法、エマルジョン浮選法、加圧あるいは真空浮選法、電解浮選法、液中造粒法などがあり、微粒子の処理技術を確立するために多くの研究や試みがなされているが、まだ解決されなければならない点も多い¹⁾。

オレイン酸水溶液中で多くの非硫化鉱物が凝集を起こすことは、従来より知られている現象であるが、これらの凝集現象に及ぼす種々の要因の影響についての研究は、最近 Warren らによってようやく緒についたところである²⁻⁶⁾。非硫化鉱物の浮選において、オレイン酸ナトリウムは捕収剤として用いられることが多く、これらの凝集現象と浮選現象との関係を明らかにすることは、重要な意義を有するものと考えられる。

かかる観点より、オレイン酸ナトリウムを捕収剤とする微粒子浮選に、種々の要因が及ぼす影響について検討を行ない、浮選挙動と凝集現象との間に若干の知見を得たので、ここに報告する。

2. 試料および実験方法

2.1 試料および試薬

微粒子試料として市販一級試薬の硫酸バリウム (BaSO_4) を用い、浮選実験に供した。この試料の遠心式光透過法による粒度分布測定結果を第1図に示す。同図より明らかなように、この試料の80%以上が粒径 $2\mu\text{m}$ 以下の微粒子より構成されており、その50%粒子径は約 $1\mu\text{m}$ であった。

捕収剤として用いたオレイン酸ナトリウムは市販一級試薬であり、他に用いた試薬は特に断わらないかぎり、いずれも市販特級のものである。

2.2 実験方法

浮選実験は 250 g 用 MS 式浮選機を用いて行ない、その際の条件付与は次の2通りの装置および方法により行なった。

- 1) 2l トールピーカー中で底部より 1cm の位置にインペラー（翼長 50 mm, 翼幅 7 mm, 6枚平羽根一段）を置き、インペラーを回転させることにより行なう。
 - 2) ブレンダー（サンビーム BL-10）を用いて行なう。
- 1) では回転速度 0~5000 rpm, 2) では 6800~12400 rpm の範囲で条件付与を行なうことができる。

浮選実験およびオレイン酸ナトリウム吸着量測定の手順は以下の通りである。所定量の硫酸バリウムを 700 ml の蒸留水に懸濁し、均質分散状態になるように 1) の場合 10 分間、2) の場合 1 分間攪拌した後、所定量のオレイン酸ナトリウムを含む水溶液 100 ml を添加し、所定のインペラー回転速度（以後これを攪拌速度と呼ぶ）で所定時間条件付与を行なった。攪拌停止後、懸濁液の上部より 100 ml の溶液を採取し^{a)}、濾過あるいは遠心分離により固液分離後、オレイン

a) オレイン酸ナトリウム添加濃度が $4 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$ 以下の領域では、攪拌停止とともに、凝集した硫酸バリウムの沈降がすみやかに起こり、懸濁液の上部より清澄液を得ることができた。

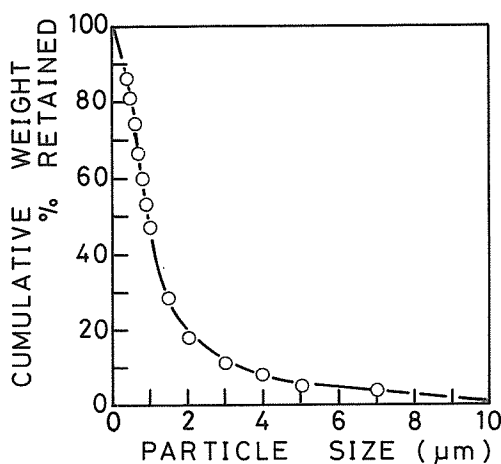


Fig. 1 Size distribution of barium sulfate.

酸ナトリウムの定量を行なった。オレイン酸ナトリウムの定量には赤外線分析法⁷⁾を用い、オレイン酸ナトリウムの初濃度と残留濃度の差よりオレイン酸ナトリウムの吸着量を算出した。オレイン酸ナトリウム濃度測定用の溶液を採取後の懸濁液全量を浮選機に移し、続いて起泡剤なしで10分間浮選を行なった。浮選実験中フロスを0~1, 1~2, 2~3, 3~5, 5~10分の各浮選時間ごとに採取し、各浮選時間における硫酸バリウムおよび水分の回収率を求め、またその結果に基づき速度論的解析を行なった。

実験はすべて自然 pH で行なった。なお本報でいうパルプ濃度は条件付与の際の固形物濃度(重量基準)であり、浮選時の固形物濃度はおよそこのパルプ濃度の1.13倍である。

3. 実験結果および考察

3.1 硫酸バリウムに対するオレイン酸ナトリウムの吸着

パルプ濃度 10%, 攪拌速度 1000 rpm, 吸着時間30分の条件下で、硫酸バリウムに対するオレイン酸ナトリウムの吸着実験を行なった。その結果を第2図に示す。オレイン酸ナトリウムの平衡濃度が増加するのに伴ない、吸着量は増大し、 5.2×10^{-5} mol/gの値で飽和した。硫酸バリウムに対するオレイン酸ナトリウムの吸着は2分子層で飽和する⁸⁻¹⁰⁾ことが知られており、これに基づき、オレイン酸ナトリウムの有効分子断面積を 30 \AA^2 ¹¹⁾として、上述の飽和吸着量から硫酸バリウム試料の比表面積を計算すると、 $4.7 \text{ m}^2/\text{g}$ の値が得られる。

3.2 オレイン酸ナトリウムによる

硫酸バリウムの浮選挙動

パルプ濃度を10%, 攪拌速度を1000 rpmとして、種々のオレイン酸ナトリウム添加量の下で30分間および60分間条件付与した後、浮選実験を行なった。その結果を第3図に示す。なお同図には、オレイン酸ナトリウム吸着量もあわせて示した。また、パルプ濃度10%, 攪拌速度7600 rpm, 条件付与時間1分の条件で実験を行なった結果も同様に第4図に示した。いずれの場合も、吸着量はオレイン酸ナトリウム添加量の増加に伴ない、直線的に増加した。実験条件が異なるにもかかわらず、同一の添加量においては吸着量はほぼ同じ値を示しており、これらの条件下では、吸着量はほぼ平衡吸着量に達しているものと考えられる。一方、浮遊率は、オレイン酸ナトリウムの添加量の増加に伴ない

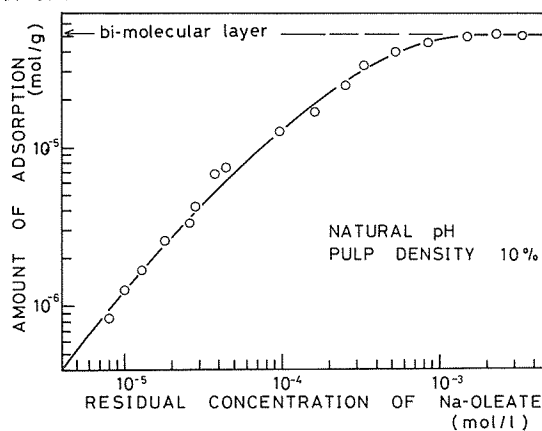


Fig. 2 Adsorption isotherm of sodium oleate on barium sulfate.

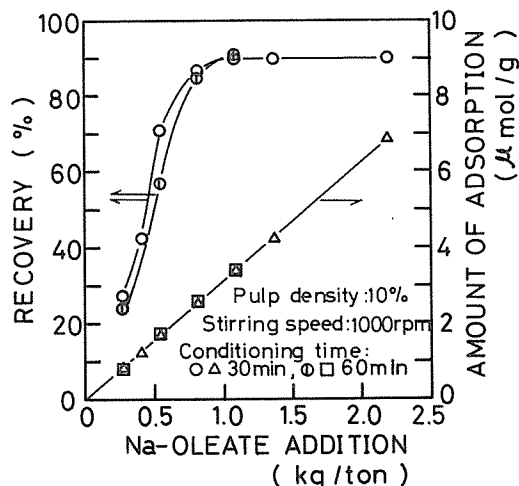


Fig. 3 Flotation recovery and oleate adsorption as a function of sodium oleate addition.
○, □: Recovery
△, □: Amount of adsorption

増大し、添加量が 1.1 kg/ton の時約 90% の値に到達するが、それ以上添加量が増加しても浮遊率は変化せず、約 90% の一定値のままであった。第 2 図に示されている吸着等温線より、オレイン酸ナトリウム吸着量が 2.6×10^{-5} mol/g の時、オレイン酸イオンは硫酸バリウム表面を単分子層被覆しているとみなしうるので、この値を用いて、90% の浮遊率を得るために必要なオレイン酸イオンの表面被覆率を第 3 図、第 4 図において求めると、約 13% となる。

前述のように本実験で用いた硫酸バリウムの比表面積は $4.7 \text{ m}^2/\text{g}$ である。この値は著者らが前に水中造粒実験に用いた試料のそれと同じであり、また両試料の粒度分布もほぼ類似している⁹⁾。そこで、比較のために浮選実験と水中造粒実験の結果をあわせて第 5 図に示した。同図に示した浮選実験結果は、第 3 図中の条件付与時間 30 分の場合のものであり、また、水中造粒実験の結果は、パルプ濃度 10%、ケロシン添加量 70 l/ton の条件のもとで SPS 試験機を用いて 30 分間造粒を行なった場合のものである。90% の浮遊率および造粒率を得るのに必要な表面被覆率は、それぞれ浮選では約 13%、水中造粒では約 95% であり、浮選の方が少ないオレイン酸ナトリウム添加量で良好な回収率を得ることができた。一方、下飯坂らは、デンプン型浮選機を用いてオレイン酸ナトリウムによる微細重晶石(硫酸バリウム)の浮選について研究し、単分子層吸着が完結する程度までオレイン酸ナトリウムを添加しないと、90% 以上の浮遊率が得られないことを報告しており¹⁰⁾、著者らとは異なった結果を得ている。

Warren らは、微細灰重石粒子を懸濁したオレイン酸ナトリウム水溶液を高速攪拌すると、疎水化された粒子の凝集が起こることを示し、これを剪断凝集 (Shear-flocculation) と呼んでいる²⁻⁶⁾。著者らの今回の実験では、条件付与を高速攪拌場で行なっており、攪拌を停止するとともに凝集した硫酸バリウム粒子の沈降がすみやかに起こることが観察され、剪断凝集が起きているものと推察される。この剪断凝集は、パルプ濃度が高いほど、また高速攪拌場になるほど起こることが報告されている²⁾。著者らの実験に比較して、下飯坂らの実験は条件付与を低いパル

増大し、添加量が 1.1 kg/ton の時約 90% の値に到達するが、それ以上添加量が増加しても浮遊率は変化せず、約 90% の一定値のままであった。第 2 図に示されている吸着等温線より、オレイン酸ナトリウム吸着量が 2.6×10^{-5} mol/g の時、オレイン酸イオンは硫酸バリウム表面を単分子層被覆しているとみなしうるので、この値を用いて、90% の浮遊率を得るために必要なオレイン酸イオンの表面被覆率を第 3 図、第 4 図において求めると、約 13% となる。

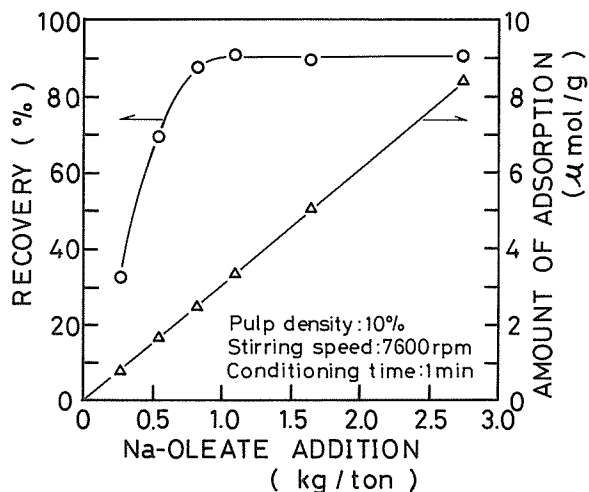


Fig. 4 Flotation recovery and oleate adsorption as a function of sodium oleate addition.

○: Recovery
△: Amount of adsorption

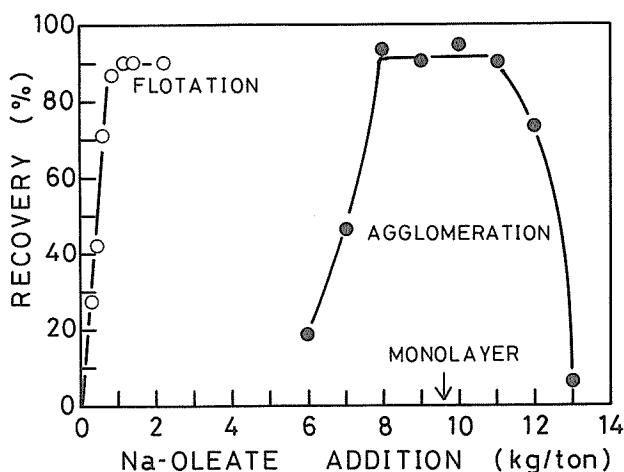


Fig. 5 Comparison of flotation with agglomeration in water.

プ濃度 (0.5%) で短い時間 (5 分間) 行なっており, このような実験条件の相違が, 上述の差異をもたらしたものと考えられる。

微粒子浮選においては, フロス層中に取込まれる水分量が一般に多いと考えられる (付録 1 参照) ので, この水分中に存在する脈石スライムのために浮選精鉱の品位が低下したり, あるいはフロス産物からの脱水が困難になるなどの問題が生じる。今回の著者らの実験においても, 比較的多量の水分がフロス層に取込まれる現象が認められたので, 水分回収率に着目して, 固形物回収率に対する水分回収率の比 (以後これを r_w/r_s とする) を計算し, 各々の浮選実験結果について検討を行なった。第 6 図は, 第 3 図における条件付与時間 30 分, 攪拌速度 1000 rpm および第 4 図における条件付与時間 1 分, 攪拌速度 7600 rpm の場合の r_w/r_s をそれぞれ示したものである^{b)}。いずれの場合も r_w/r_s は, オレイン酸ナトリウムの添加量の増加に伴ない増大し, 添加量 1.1 kg/ton の時最大値を示すが, その後は減少する傾向を示した。また, 攪拌速度 7600 rpm の場合の方が, 攪拌速度 1000 rpm の場合に較べて, r_w/r_s の値が小さく, したがってフロス層への水分の取込みが少なくなっていることが理解される。このように, 硫酸バリウムの浮選挙動は条件付与時の攪拌条件により影響を受けることが認められたので, 次に条件付与時間の及ぼす影響について検討を行なった。

第 7 図は, 攪拌速度を 7600 rpm, オレイン酸ナトリウム添加量を 270g/ton として, パルプ濃度 1% および 10% のものについて, 種々の時間条件付与を行なった後, 浮選を行なった結果を示したものである。いずれのパルプ濃度においても, 条件付与時間に関係なく吸着量は一定であり, また両者の吸着量はほぼ等しく, 表面被覆率で示すと約 3% であった。一方, 浮遊率は, 条件付与時間の増加に伴ない増大し, パルプ濃度 10% の時 45 秒で, 1% の時 1 分でそれぞれ最大値を示すが, その後は減少する傾向を示した。同様の実験を, パルプ濃度 10%, 攪拌速度 1000 rpm, オレイン酸ナトリウム添加量 550 g/ton の条件下で行なった場合の結果を, 第 8 図に示す。この場合も, 吸着量は条件付与時間に関係なく一定であり, 一方, 浮遊率は条件付与時間の

b) オレイン酸ナトリウム添加量が 270 g/ton の時の値は, 固形物浮遊率が約 30% と低いため, 第 6 図では削除してある。

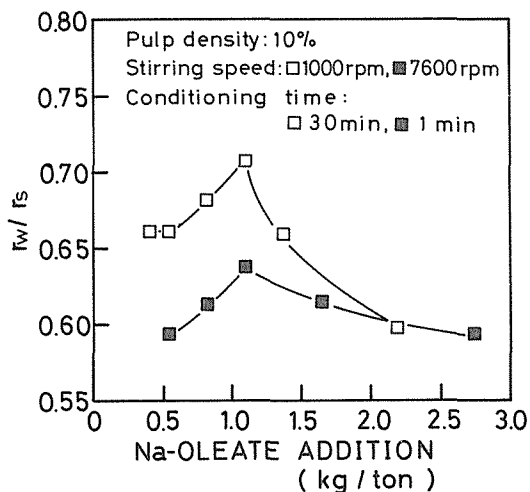


Fig. 6 Ratio of flotation recovery of water to that of barium sulfate, r_w/r_s , as a function of sodium oleate addition.

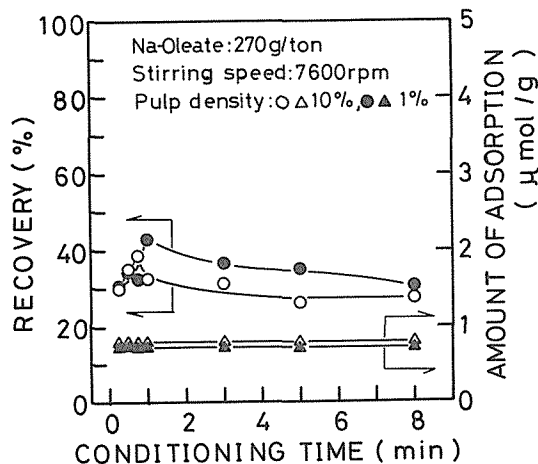


Fig. 7 Flotation recovery and oleate adsorption as a function of conditioning time.

○, ●: Recovery
△, ▲: Amount of adsorption

増加に伴ない増大し、最大値を示した後減少するという傾向を示した。

第7図、第8図より明らかなように、吸着量は条件付与時間に関係なく一定であり、これらの条件下ではほぼ平衡吸着量に到達しているものと考えられる。したがって、粒子表面の疎水性の度合はほぼ同じであるとみなされるが、一方、浮遊率は条件付与時間の変化にしたがって上述のような挙動を示しており、粒子の表面性質以外の要因がこれらの挙動に関与していることを示唆している。第9図は、第7図に示されている浮選結果を(1)式の浮選速度式¹²⁾を用いて解析した結果を示したものである⁹⁾。

$$r = R \{1 - (1/kt)[1 - \exp(-kt)]\} \dots\dots(1)$$

ここで r : 時間 t における積算回収率

k : 浮選速度定数

R : 時間無限大とした時の平衡回収率

第9図から明らかなように、いずれのパルプ濃度においても、浮選速度定数 k と平衡回収率 R は共に条件付与時間の増加に伴ない増大し、パルプ濃度10%の時45秒で1%の時1分でそれぞれ最大値を示すが、その後は減少する傾向にあり、第7図に示されている浮遊率の挙動とよく対応している。一般に、50 μm 以下の微粒子領域においては、粒子径が大きくなるのに伴ない粒子の比浮選速度定数も大きくなる傾向がある^{1), 13)}。前述のように本実験系では

剪断凝集とみなしうる微細硫酸バリウム粒子の凝集が起きており、この凝集体は、条件付与時間が増加するのにしたがって成長しその粒子径も増大するものと考えられることより、第9図にみられるような浮選速度定数の増大が生じるものと推察される。また、この剪断凝集はパルプ濃度が高いほど生じやすいので²⁾、同図にみられるようにパルプ濃度10%の場合の方が1%の場合より大きな浮選速度定数を示している。Warren らは、高速攪拌場においては上述の剪断凝集のほか、剪断力あるいはアトリションによる凝集体の破壊も同時に進行していることを指摘し、パルプ濃度が高くなるほど、また攪拌時間が長くなるほど、この破壊の影響が無視しえなくなること報告している^{2), 3), 6)}。第9図において、浮選速度定数は最大値を示した後低下する傾向を示

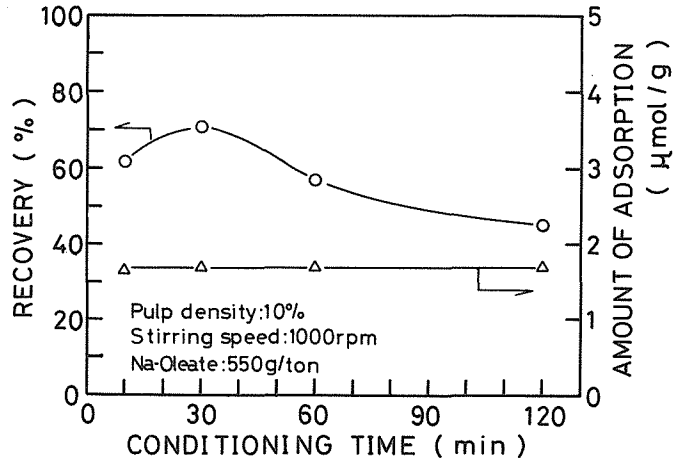


Fig. 8 Flotation recovery and oleate adsorption as a function of conditioning time.

○ : Recovery
△ : Amount of adsorption

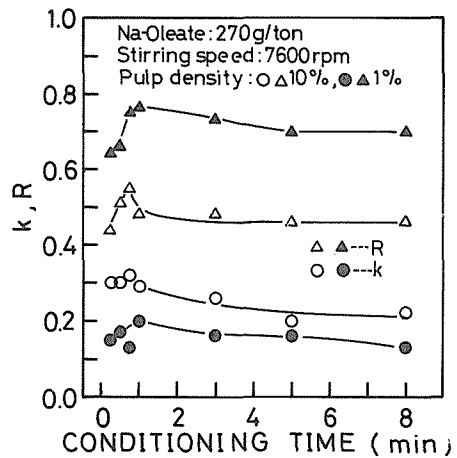


Fig. 9 Rate constant, k , and ultimate equilibrium recovery, R , in the Klimpel's equation as a function of conditioning time.

c) 二変数 k, R の決定については付録2参照。

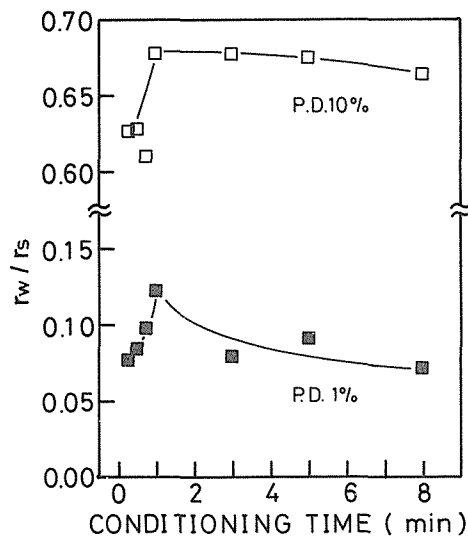


Fig. 10 Ratio of flotation recovery of water to that of barium sulfate, r_w/r_s , as a function of conditioning time.

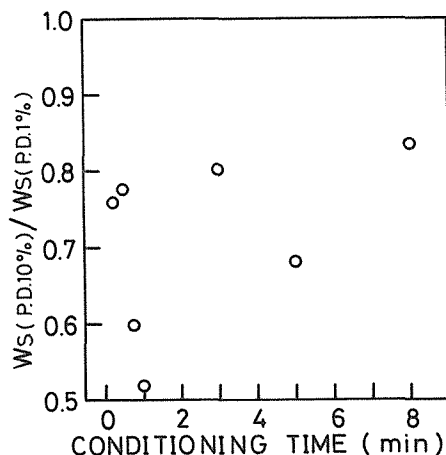


Fig. 11 Plot of $W_s(P.D.10\%) / W_s(P.D.1\%)$ against conditioning time. $W_s(P.D.10\%)$ and $W_s(P.D.1\%)$ denote weight ratio of water to barium sulfate in the froth products obtained from the experiments at 10% and 1% pulp density respectively.

しており、また、その低下する度合はパルプ濃度 10% の場合の方が大きい。これらのことは、この領域においては凝集体の破壊が無視しえなくなり、凝集体の粒子径の減少が起こり、その結果、浮選速度定数の低下という現象が生じることを示しているものと考えられる。高速攪拌場においては、攪拌開始直後に成長が主として進行し、やがて成長と破壊の間で均衡が生じた後、破壊が優勢になるものと考えられ、条件付与時間の変化に伴う浮遊率および浮選速度定数の変化は、このような高速攪拌場における凝集体の挙動に基づくものと理解される。

第 10 図は、前述の第 7 図に示した実験における r_w/r_s を示したものである。パルプ濃度 1% の場合の方が、パルプ濃度 10% の場合に較べかなり小さい値を示しているが、これはパルプ濃度 1% の場合の方が 10% に較べ固形物重量が 1/10 と少ないため、フロスを形成するのに必要な水分量が少なくすむことによるものであろう。そこで、パルプ濃度 10% と 1% のそれぞれの場合について、フロスにおける固形物単位重量当りの水分量を求め、両者の比をとると第 11 図のようになる。固形物単位重量当りの水分量はパルプ濃度 10% の場合の方が少なく、したがって、フロスへの水分の取込み割合も 10% の場合の方が少ない。

第 7 図、第 9 図、第 10 図より、浮遊率および浮選速度定数が増大する時、フロスへの水分の取込み割合が増加しており、凝集体の成長時には空隙率の高い（水分を凝集体の中に多く取込んだ）凝集体が成長していることを示している。一方、浮遊率および浮選速度定数が低下する時、フロスへの水分の取込み割合は減少しており、凝集体の粒子径の減少は破壊の他に圧密に基づく可能性もあることを示している。この圧密作用は、第 6 図において攪拌速度 7600 rpm の場合の方が 1000 rpm の場合よりも水分の取込み割合が少ないことから示唆される。凝集体の粒子径の減少に伴う空隙率の低下は、フロスへの水分の取込みを減少させることになり、微粒子相互の浮選による分離を行なう際に好都合であるので、今後これらの現象と浮選による分離性との関連について詳細な研究を行なうことが必要であろう。

第 7～11 図は、オレイン酸ナトリウム添加量が低い領域、すなわちオレイン酸ナトリウムによ

る表面被覆率が低い領域で、硫酸バリウムの浮遊性に及ぼす条件付与時間の影響を検討した結果を示したものである。次に、表面被覆率を高くした領域で、同様な検討を行なった。実験は、オレイン酸ナトリウム添加量を90%の浮遊率を得るのに必要な量である 1.1kg/ton とし、パルプ濃度を 10% として行なった。攪拌速度 7600 rpm の場合の結果を第 12 図に、攪拌速度 1000 rpm の場合の結果を第 13 図にそれぞれ示した。いずれの場合も、条件付与時間に関係なく吸着量は一定であり、これらの条件下ではほぼ平衡吸着量に到達しているものと考えられる。浮遊率も、条件付与時間の影響を受けずほぼ一定であり、表面被覆率が低い場合とは異なった挙動を示した。第 14 図に、第 12 図の実験にお

ける r_w/r_s , k , R の値を示しているが、 r_w/r_s および浮選速度定数 k は、条件付与時間の増加に伴ない減少しており、表面被覆率が低い場合の後半の挙動と同様の傾向を示した。これらのことより、表面被覆率が比較的高い場合は、きわめて短い時間内で凝集体の成長は終りその後は凝集体の破壊と圧密が進行していくものと考えられる。一方、浮遊率はその影響を顕著に受けず、またフロスへの水分の取込み割合は条件付与時間の増加に伴ない減少してゆく。このことは、浮選精鉱への脈石スライムの迷い込みの低減をはかるうえで有用であろう。

3.3 ケロシン添加による硫酸バリウムの浮選挙動

従来より、浮選による微粒子の処理においては、油を添加して浮選効率を向上させるいわゆるエマルジョン浮選が行なわれているが、この機構等については不明な点も少なくない。そこで、ケロシンの添加がオレイン酸ナトリウムによる微細硫酸バリウムの浮選に及ぼす影響について検討を行なった。

パルプ濃度 10%、攪拌速度 1000 rpm の条件下で、まずオレイン酸ナトリウムを 550 g/ton 添加し 10 分間、次いで直ちに所定量のケロシン^{d)}を添加してさらに 20 分間攪拌を行なうことにより条件付与した後、浮選実験を行なった。その結果を第 15 図に示す。ケロシン添加量の増加

d) 使用したケロシンは市販の白灯油である。

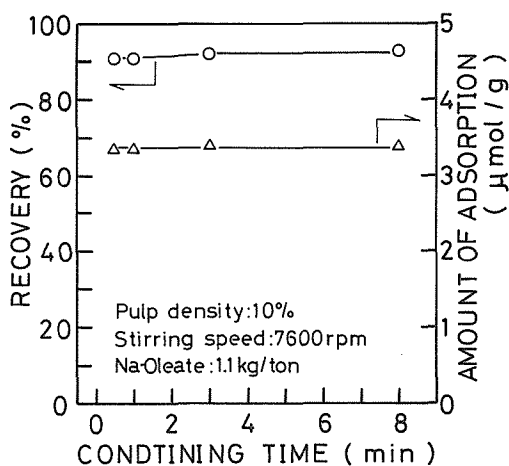


Fig. 12 Flotation recovery and oleate adsorption as a function of conditioning time.

○: Recovery
△: Amount of adsorption

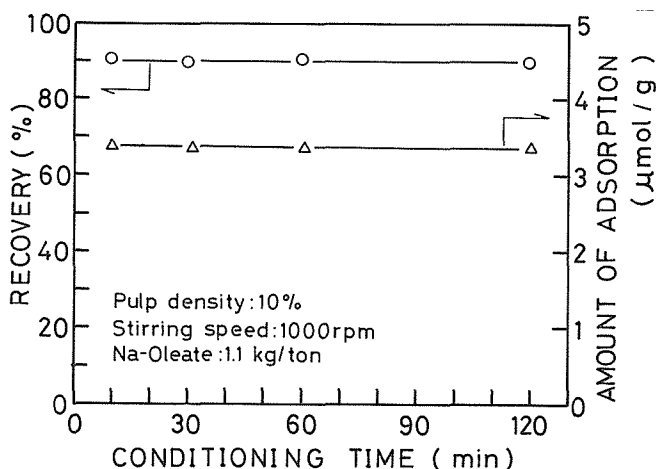


Fig. 13 Flotation recovery and oleate adsorption as a function of conditioning time.

○: Recovery
△: Amount of adsorption

に伴ない浮遊率は増大するが、添加量 1ml 以上の領域では浮遊率はほぼ一定となり、約 88% の値を示した。一方、 r_w/r_s は、ケロシン添加量の増加に伴ない増大し、添加量 1ml の時最大値を示すが、その後は減少する傾向を示した。この浮遊率および r_w/r_s の変化は、第 3 図、第 4 図、第 6 図に示されているオレイン酸ナトリウム添加量の変化に伴ない浮遊率および r_w/r_s の変化と類似しており、十分な浮遊率が得られる条件下では、オレイン酸ナトリウムあるいはケロシンの添加量が増加するに伴ない、フロスへの水分の取込み割合が低下している。これらのことより、十分な浮遊率が得られる条件下では、一般に粒子表面の疎水性の度合の増加に伴ないフロスへの水分の取込みは低下するものと考えられる。

4. 結 言

オレイン酸ナトリウムを捕収剤とする微細硫酸バリウムの浮選挙動に及ぼす条件付与時の種々の要因の影響について、検討を行なった。得られた結果をまとめると以下の通りである。

1) 微細硫酸バリウムに対するオレイン酸ナトリウムの吸着等温線と浮選実験結果に基づき、オレイン酸イオンによる表面被覆率が約 13% の条件で 90% の浮遊率が得られることが明

らかとなった。一方、水中造粒法において 90% の造粒率を得るには、約 95% の表面被覆率が必要である。オレイン酸ナトリウム添加量に関しては、浮選法の方がはるかに少ない量で処理しうる。

2) オレイン酸ナトリウム添加量が 270g/ton, 550g/ton の場合のように、表面被覆率が低い時（表面被覆率はそれぞれ約 3% および 6%）、吸着量は条件付与時間に関係なく一定値を示す。一方、浮遊率および固形物回収率に対する水分回収率の比 (r_w/r_s) は、条件付与時間の影響を顕著に受け、条件付与時間の増加に伴ない増大し最大値を示した後、減少する傾向を示した。

3) オレイン酸ナトリウム添加量が 1.1 kg/ton の場合のように、表面被覆率を高くした時（表面被覆率は約 13%）、吸着量および浮遊率は、条件付与時間の影響を受けずほぼ一定であるが、 r_w/r_s は、条件付与時間の増加に伴ない減少した。

4) 微細硫酸バリウムを懸濁したオレイン酸ナトリウム水溶液を高速攪拌すると、硫酸バリウム

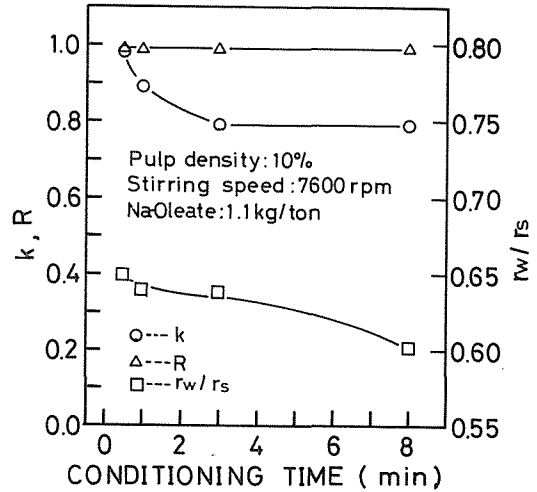


Fig. 14 Plot of k , R and r_w/r_s against conditioning time.

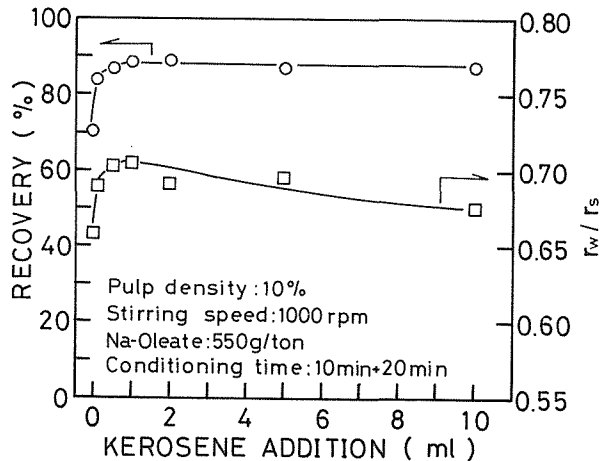


Fig. 15 Flotation recovery and r_w/r_s as a function of kerosene addition.

○: Recovery
□: r_w/r_s

粒子は凝集を起こす。攪拌開始直後には主として凝集体の成長が進行するが、やがて攪拌時間の増加に伴ない凝集体の破壊と圧密が無視しえなくなり、成長と破壊・圧密との間で均衡が生じた後、凝集体の破壊と圧密の方が優勢になった。これらの現象は、パルプ濃度が高いほど、また高速攪拌場になるほど顕著になった。

- 5) 高速攪拌場においては、凝集体成長時に水分取込み量の多い凝集体が生成し、また、破壊・圧密時にはその過程を通して凝集体中の水分の取込み割合が低下した。これらの現象は、条件付与時間の増加に伴ない浮遊率および r_w/r_s の変化と密接な関係を有しており、浮遊率および r_w/r_s は凝集体の成長時に増大し、破壊・圧密時に低下した。しかし、表面被覆率が約13%の場合は、破壊・圧密時における浮遊率の低下は認められず、 r_w/r_s のみが低下し、条件付与時間の増加に伴ない、水分の取込み割合の低いフロスを高い回収率で得ることができた。
- 6) 十分な浮遊率が得られる条件下で、ケロシンあるいはオレイン酸ナトリウム添加量を増加させると、高い浮遊率を維持したまま、フロスへの水分の取込み割合を低下させることができた。

参 考 文 献

- 1) Fuerstenau, D. W.: Fine Particle Processing, (Somasundaran, P., ed.), (1980), p. 669-705, AIME.
- 2) Warren, L. J.: J. Colloid & Interface Sci., **50**, (1975), p. 307-318.
- 3) Warren, L. J.: Trans. Inst. Min. Metall., Sect. C, **84**, (1975), p. 99-104.
- 4) Koh, P. T. L., and Warren, L. J.: Trans. Inst. Min. Metall., Sect. C, **86**, (1977), p. 94-95.
- 5) Jarrett, R. G., and Warren, L. J.: Proc. Australas. Inst. Min. Metall., No. 262, (1977), p. 57-65.
- 6) Koh, P. T. L., and Warren, L. J.: Mineral Processing (Proc. 13th Int. Mineral Process. Congr.), (1979), p. 263-293, Elsevier.
- 7) 平島 剛, 高森隆勝, 恒川昌美: 日本鉱業会誌, **96**, (1980), p. 897-900.
- 8) Yousef, A. A., and Bibawy, T. A.: Tenside Detergents, **13**, (1976), p. 316-321.
- 9) Takamori, T., Hirajima, T., and Tsunekawa, M.: Fine Particle Processing, (Somasundaran, P., ed.), (1980), p. 1506-1523, AIME.
- 10) 下飯坂潤三, 松岡 功, 吉川逸治: 浮選, **29**, (1982), p. 151-159.
- 11) Schulman, J. H., and Smith, T. D.: Recent Developments in Mineral Dressing, (1953), p. 393-413, IMM.
- 12) Klimpel, R. R.: Mineral Processing Plant Design, 2nd ed., (Mular, A. L., ed.), (1980), p. 907-934, AIME.
- 13) Trahar, W. J., and Warren, L. J.: Int. J. Mineral Processing, **3**, (1976), p. 103-131.

付 録 1

気泡に付着して浮遊した鉱物粒子は、浮選バルブの上で鉱化気泡の層を形成する。浮遊選鉱法は、この鉱化気泡の層を掻き取るにより着目鉱物を回収する技術であり、鉱物粒子と共に鉱化気泡を形成している水分が回収される。微粒子の浮選においては、この水分中に存在する脈石スライムが着目鉱物と共に回収され、精鉱品位を低下させる。それゆえ、鉱化気泡層中の水分割合は重要である。そこで、鉱化気泡を形成するために必要な水分量と粒子径との関係について、以下のような検討を行なった。

粒子は一般に粒度分布をもち形状も様々であるが、ここでは簡便のため均一の粒子径を有する球形粒子であると仮定する。そして、球状の気泡表面をこれらの粒子が隙間なく覆うものとする。

今、粒子半径を R_p [m]、粒子の密度を ρ_p [kg/m³]、気泡半径を R_B [m]、気泡の水膜の厚さを T_B [m]、水の密度を ρ_w [kg/m³] とすると

粒子一個の投影断面積は

$$\pi R_p^2 \quad [\text{m}^2]$$

気泡一個の表面積は

$$4\pi R_B^2 \quad [\text{m}^2]$$

であるので、気泡表面に付着することができる粒子数は

$$\frac{4\pi R_B^2}{\pi R_p^2} = \frac{4R_B^2}{R_p^2} \quad [-]$$

となる。また粒子一個の重量は

$$\frac{4}{3} \pi R_p^3 \rho_p \quad [\text{kg}]$$

であるので、一つの気泡表面に付着することのできる粒子の重量は

$$\frac{4R_B^2}{R_p^2} \times \frac{4}{3} \pi R_p^3 \rho_p = \frac{16}{3} \pi R_B^2 R_p \rho_p \quad [\text{kg}]$$

となる。また一つの気泡を形成している水分重量は

$$\left\{ \frac{4}{3} \pi R_B^3 - \frac{4}{3} \pi (R_B - T_B)^3 \right\} \rho_w = \frac{4}{3} \pi \rho_w \{ R_B^3 - (R_B - T_B)^3 \} \quad [\text{kg}]$$

である。したがって、粒子単位重量当りの水分重量は

$$\frac{\frac{4}{3} \pi \rho_w \{ R_B^3 - (R_B - T_B)^3 \}}{\frac{16}{3} \pi R_B^2 R_p \rho_p} = \frac{1}{4} \times \frac{\rho_w}{\rho_p} \times \frac{R_B^3 - (R_B - T_B)^3}{R_B^2} \times \frac{1}{R_p} \quad [\text{kg/kg}]$$

となる。

一定の条件下で浮選を行なう時、 ρ_w/ρ_p は一定であり、 R_B (気泡径)、 T_B (気泡の水膜厚さ) も変化しないものと考え、鉱化気泡を形成するために必要な水分量は R_p (粒子径) によって変化することが、上式により理解される。 R_p が小さくなるにしたがって、粒子単位重量当りの水分量は増加することになり、微粒子浮選においてはフロス層中に取込まれる水分量が多くなる。

付 録 2

浮選速度式 $r=R\{1-(1/kt)[1-\exp(-kt)]\}$ 中の2つの変数 k および R の最適値の決定は、次式を用いて、各浮選時間における積算回収率についての実験値と計算値の差の2乗和が最も小さくなるようにして行なった。

$$\text{minimize } \sum_{j=1}^5 \{r_j(\text{experimental}) - r_j(\text{calculated})\}^2$$

なお、 R は1以下であることにより、 R の最適値は0~0.99の範囲で求めた。

この浮選速度式による解析結果の一例を図Aに示す。実験値は、パルプ濃度10%、攪拌速度1000 rpm、オレイン酸ナトリウム添加量270 g/ton、条件付与時間30分の条件下で得られたものである。実験値と計算値がよく一致しており、Klimpelの速度式は本実験結果の解析に十分適用できることが理解される。

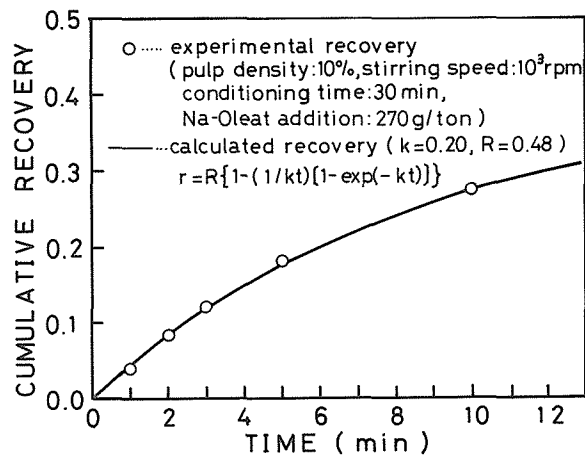


Fig. A An example of the Klimpel's recovery curve fitted to experimental result of flotation.