各種捕収剤によるゼノタイムの浮遊性に関する研究*

若 松 貴 英**・中 廣 吉 孝**
 川 西 義 博**・今 西 信 之***
 隈 元 純 二***

A Study on Floatability of Xenotime by Some Kinds of Collectors

Takahide WAKAMATSU, Yoshitaka NAKAHIRO,
 Yoshihiro KAWANISHI, Nobuyuki IMANISHI
 and Junji KUMAMOTO

In this study, the floatability of xenotime was examined using some kinds of collectors.

First of all, electrokinetic property and flotation behaviour of xenotime were considered in the presence of sodium oleate. Electrophoresis data indicate zpc of 6.5 without sodium oleate, but zpc in presence of sodium oleate indicates negative charge all over the pH ranges. From Hallimond tube flotation tests with sodium oleate, floatability of xenotime revealed maximum values at both pHs of 3 to 4 and 7 to 8. On the other hand, floatability of xenotime at pH of 4 to 7 was very poor. The authors discussed concerning the depression phenomenon of xenotime at pH of 4 to 7 from the point of view of ionic equilibrium. From logarithmic concentration diagram, we pointed out that it was caused by the formation of mono- and poly-hydroxide complexes. Besides sodium oleate, the effects of sodium dodecylsulphate and sodium dodecylbenzene-sulphonate as anionic collectors was also examined on the floatability of xenotime as a function of pH.

Secondly, the effect of dodecylammonium acetate as a cationic collector was considered from a series of electrophoresis measurement and Hallimond tube test. The maximum floatability of xenotime in the presence of dodecyl-ammonium acetate occurred at pH of 10.5 to 12. In the case of use of amine collector, it was found that such phosphate ion as polyvalent cation played the role of surface active ion.

1. 緒 言

希土類元素は原子番号57の La から71の Lu までの15元素に Sc と Yを加えた17元素の総称である。この群に含まれる元素は、化学的、物理的性質が互いに似ているために、鉱物中にこれらの元素が組合わされて共存している。したがって、希土類金属やその化合物を含む鉱物は多く、約 200 種類にも及んでおり、これら希土類鉱物相互の分離を著しく困難にしている。希土類鉱物の中でも実際に工業的に利用されている原料鉱物は少数で、モナズ石、セライト、バストネサイト、ガドリナイト、ゼノタイム、フェルグソナイト、褐簾石、サマルスカイト、ユークセナイト、ソルトバイタイトぐらいで、とくにレ

ア・アースの原料としてはモナズ石、バストネサイト、ゼノタイムが代表的鉱物である。

レア・アースの原料鉱物の選鉱と精製については、向井の詳しい報告がある¹⁾。上記の主要な希土類鉱物の中で、バストネサイトについては California にある Mountain pass 選鉱工場で浮選による操業が行われている²⁾。バストネサイトの浮選に関する最近の研究としては、Morrice ら³⁾、Fuerstenau ら⁴⁾、向井ら⁵⁾の報告があり、いずれも興味ある結果を発表している。モナズ石については、最近 Climax molybdenum Co. の特許があり、浮選の可能なことが示されているが、その他のレア・アース鉱物の浮選による分離・回収法についてはほとんど研究がなされていない。

モナズ石およびゼノタイムなどの鉱物は漂砂鉱床中の抗風化作用をもつ重鉱物として存在する場合が多く、通常はイルメナイト、メチル、ジルコン、ガーネット、錫

* 昭和60年11月12日本会第75回例会において発表

** 京都大学工学部資源工学教室

*** ㈱神戸製鋼所 昭和60年10月20日受理

Fig. 1 Acryl cell for electrophoresis measurement.

石などの重砂鉱物とともに産出する。したがって、モナズ石、ゼノタイムについては、比重選鉱、静電選鉱、高磁力磁選などを組合せた方法が用いられているが、粉鉱処理に問題があり、かつ収率が低い。したがって、浮選法の適用が望ましいが、モナズ石、ゼノタイムの浮選については未だ十分な研究が行われていないのが現状である。ここにおいて本研究では、まずゼノタイムについての浮選性を明らかにすることを目的として、数種の捕収剤を用いて検討することを試みた。

2. 試料鉱物および実験方法

試料鉱物としては、Southeast Asia Tiv Research and Development Centre (Ipoh, Malaysia) から提供を受けたゼノタイム精鉱を用いた。X線回折測定を行った結果、不純物はほとんど認められず、きわめて純粋なゼノタイム精鉱であることを確かめている。

ζ電位の測定は、粒子の動きを顕微鏡で捉える電気泳動法により行った。セルはアクリル樹脂製で Fig. 1 にその略図が示されている。測定方法としては、所定 pH 値に調製された一定のイオン強度の溶液に -300 mesh のゼノタイム試料を加え、マグネティック・スターラにより 2 hr 攪拌したのち、10 min 間静置して、その上澄液を電気泳動測定用セルに空気が混入しないように注入した。イオン強度を一定にするための支持電解質として NaCl を使用した。セルを顕微鏡にセットし、両端の電極に電圧を印加して電気泳動速度を測定した。この際、電極の極性を交互に変化して電気泳動速度の平均値を求めた。測定終了後、pH を測定して ζ-pH 曲線を求めた。なお、捕収剤を添加した場合についても ζ電位測定を行った。電位決定イオンを検討するために用いた試薬としては、塩化イットリウム ($\text{YCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) およびりん酸三ナトリウム ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) を使用した。

浮遊率の測定はハリモンド管を用いて行った。48/100 mesh のゼノタイムを蒸留水にて十分洗浄したのち、真空乾燥して測定に供した。試料鉱物の約 1 g をハリモン

ド管に入れ、これに予め NaOH あるいは HCl にて pH 調節した所定濃度の捕収剤溶液を約 150 ml 加え、3 min 間条件付与を行ったのち、5 min 間窒素ガスを送気し、浮鉱および沈鉱を乾燥秤量として浮遊率を求めた。

実験に用いた捕収剤としては、陰イオン捕収剤としてオレイン酸ナトリウム (以下 NaOl と略す)、リノール酸ナトリウム (以下 NaLi と略す)、ドデシル硫酸ナトリウム (以下 SDS と略す) およびドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム (以下 SDBS と略す) の 4 種類を使用した。また、陽イオン捕収剤としてはドデシルアンモニウム酢酸 (以下 DAA と略す) を使用した。

3. 実験結果および考察

3.1 陰イオン捕収剤によるゼノタイムの ζ電位および浮遊性

まず、ゼノタイムの ζ電位についての検討を行った。Fig. 2 は支持電解質として NaCl を用いてイオン強度を種々変化した場合の S 電位を pH の関数として求めた結果を示している。Fig. 2 に示されているように、ゼノタイムの等電点は 6.5 であり、それより酸性側では正、アルカリ性側では負の荷電をもつことが分る。以下の ζ電位測定はすべてイオン強度 $1 \times 10^{-3} \text{ M} (\text{NaCl})$ と一定にして行った。

Fig. 3 はイオン強度 $1 \times 10^{-3} \text{ M}$ と一定条件の下に、陰イオン捕収剤としての NaOl (25 mg/l) が存在する場合の ζ電位を pH の関数として求めた結果を示している。なお、破線 (A) は NaOl が存在しない場合の ζ電位曲線を示している。図に示されているように、NaOl のような陰イオン捕収剤が存在する場合には、ゼノタイムの ζ電位は pH の全領域に亘って負の値を示しており、とくに pH 7~8 において ζ電位は負の最大値を示している。

Fig. 4 は NaOl の添加濃度を変化した場合のゼノタイムの浮遊率を pH の関数として測定した結果を示している。捕収剤として NaOl を使用した場合には、ゼノタイムは pH が 3~4 および 8~9 付近において最大の浮遊

Fig. 2 Zeta potential of xenotime as a function of pH at different concentrations of NaCl.

率を示しており、pH が 4~7 の領域においてゼノタイムの浮遊性は著しく低下することが認められる。また、NaOl の添加濃度の増加とともに、pH 3~4 および 8~9 における浮遊率はともに増加することが認められる。pH 3~4 における浮遊率は、NaOl 添加濃度 50 mg/l で 100%を示しているが、浮遊する pH の幅は広くなる。一方、pH 8~9 においては、NaOl 添加濃度が 100 mg/l において浮遊率は100%を示しており、NaOl 添加濃度の増加とともにゼノタイムが浮遊する pH 領域も広くなることが認められる。

pH 3~4 の領域における浮遊率の増大は、Fig. 3 に示されている ζ 電位からも明らかのように、この pH 領域

Fig. 3 Zeta potential of xenotime as a function of pH in the presence of 25 mg/l sodium oleate. (A shows original zeta potential-pH curve.)

Fig. 4 Floatability of xenotime as a function of pH in the presence of sodium oleate.

においては ζ 電位が負の荷電を示していることから考えて、ゼノタイム粒子表面にオレイン酸イオンが物理吸着して浮遊性を増大させることが考えられる。このようなオレイン酸イオンの物理吸着によることのほかに、この pH 領域においては Fig. 5 に示されているように、HOI が優勢であることから HOI の吸着によっても浮遊率の増加に寄与していることが考えられる。

一方、pH 8~9 において浮遊率が再び良好となるのは、Fig. 3 に示されているようにこの pH 領域において ζ 電位の差 (NaOl が存在する場合の ζ 電位と存在しない場合における ζ 電位の差) が最大値を示すことから考えて、安定なオレイン酸-石けん錯体がゼノタイム表面に強い吸着をしていることによるものと推察される。Kulharni および Somasundaran ら⁷⁾ は、赤鉄鉱-オレイン酸塩系においてこのような現象を認めており、pH 7~8 においてオレイン酸-石けん錯体の形成が浮遊性の増大に寄与していることを指摘している。この錯体は pH 7~8 に

Fig. 5 Degree of dissociation of oleic acid as a function of pH.

において最大を示し、オレイン酸のみあるいは石けんの場合よりもかなり界面活性があるものと考えられており、赤鉄鉱のほかにジルコンおよびモナズ石⁸⁾、孔雀石⁹⁾などについても同様な現象が認められている。

Fig. 4 において、pH 4~7 の領域においてゼノタイムの浮遊率が顕著に低下していることが認められる。筆者らは、この抑制現象は多核水酸化錯体の生成によるものと考えた。このためには、Y-OH 系の対数濃度図を用いて考察することを試みた。対数濃度図は下記の定数を用いれば容易に求めることが可能である。

Y(III) の水酸化錯体については、下記のような化学種の存在が知られており、その生成定数も J. Kragten の著書¹⁰⁾に報告されている。

以上の水酸化錯体のほかに $Y_2(OH)_2^{4+}$ および $Y_3(OH)_5^{4+}$ のような多核水酸化錯体の存在も知られている。

以上のような Y(III) の水酸化錯体の逐次生成反応は下式のようなものである。

また、固相の $Y(OH)_3(s)$ が溶液中に飽和している場合にはつぎの平衡がある。

$Y(OH)_3(s)$ が溶液中に飽和している場合の $[Y_2(OH)_2^{4+}]$ および $[Y_3(OH)_5^{4+}]$ の濃度を求めるためには、それぞれの β_{22} および β_{53} を K_{s0} と組合せることにより得られる。すなわち、

$$\begin{aligned} [Y_2(OH)_2^{4+}] &= \beta_{22} \cdot K_{s0}^2 / [OH^-]^4 = 10^{-32} / [OH^-]^4 \\ [Y_3(OH)_5^{4+}] &= \beta_{53} \cdot K_{s0}^3 / [OH^-]^4 = 10^{-31.6} / [OH^-]^4 \end{aligned}$$

以上の定数を基にして、固相の $Y(OH)_3(s)$ が溶液中に飽和している場合の各イットリウム水酸化錯体の濃度の対数を pH に対してプロットすると Fig. 6 に示すようである。Fig. 6 において斜線の部分は $Y(OH)_3(s)$ の沈

Fig. 6 Logarithmic concentration diagram for yttrium hydroxide species.

Fig. 7 Floatability of xenotime as a function of pH in the presence of sodium oleate and sodium linolate.

殿する領域である。Fig. 6 に示されているように、pH が 4~8 の領域においては $[Y(OH)^{2+}]$, $[Y_2(OH)_2^{4+}]$, $[Y_3(OH)_5^{4+}]$ のような水酸化錯体が優勢であることが認められる。

以上のことから明らかなように、pH が 4~7 の領域におけるゼノタイムの抑制現象は、恐らく $[Y(OH)^{2+}]$, $[Y_2(OH)_2^{4+}]$, $[Y_3(OH)_5^{4+}]$ のような水酸化錯体の生成に起因するものと推察されている。

Fig. 7 は陰イオン捕収剤として 2 重結合を 2 つもつ不飽和脂肪酸塩としてリノール酸ナトリウムを使用して浮遊率測定を行った結果を示している。なお、Fig. 7 には NaOl の結果も併せて示されており、捕収剤添加濃度はいずれも 25 mg/l である。Fig. 7 に示されているように、NaLi は NaOl の場合と同じように、pH 3~4 および 7~8 に最大の浮遊率を示す結果が得られた。NaOl の場合と異なる点は、pH 3~4 のピークの方が低く、pH 7~8 のピークが著しく高いことである。以上のことから、脂

Fig. 8 Floatability of xenotime as a function of pH in the presence of sodium dodecylsulphate.

Fig. 9 Effect of addition of sodium dodecylsulphate on floatability of xenotime at pH 1.75.

肪酸塩の不飽和度の差異による捕収性については、アルカリ性領域においては不飽和度の大きい NaLi の方が捕収剤が強く、酸性領域においてはその逆の現象となる。

以上の NaOl および NaLi のような脂肪酸塩捕収剤の他に、硫酸塩およびスルホン酸塩系の捕収剤についてもゼノタイムの浮遊性についての検討を行った。

Fig. 8 は硫酸塩系の捕収剤として SDS を用いて浮遊率測定を行った結果を示している。図に示されているように、SDS は pH 2 以下の酸性領域においてのみゼノタイムを浮遊させることが認められる。pH が 5 以上の領域では SDS 添加濃度を増加してもゼノタイムの浮遊率は 10% 以下であり、ほとんど浮遊しない。Fig. 9 はゼノタイムの浮遊率に対する SDS 添加濃度の影響について検討した結果を示している。pH は 1.75 と一定条件である。図に示されているように、SDS 添加濃度の増加とともに、ゼノタイムの浮遊率も顕著に増加し、SDS 添加濃度 50 mg/l 以上において浮遊率は 90% 以上を示すようになる。

Fig. 10 はスルホン酸系の捕収剤として SDBS を用

Fig. 10 Floatability of xenotime as a function of pH in the presence of sodium dodecylbenzenesulphonate.

いて浮遊率測定を行った結果を示している。SDBS の場合も SDS の場合と同じように、pH 2 以下の酸性領域においてゼノタイムの浮遊性の良好なことが認められる。

3.2 陽イオン捕収剤によるゼノタイムの ζ 電位および浮遊性

陽イオン捕収剤として DAA を用いてゼノタイムの浮遊性について検討した。

測定の結果は Fig. 11 および Fig. 12 に示すようである。Fig. 11 は DAA を添加した場合のゼノタイムの ζ 電位を pH の関数として測定した結果を示している。Fig. 12 は DAA を 25 mg/l 添加した場合の浮遊率の測定結果を示している。

Fig. 12 に示されているように、pH 6.5 (等電点) よりも酸性側ではゼノタイムは全く浮遊しない。しかるに、pH 6.5 を過ぎると浮遊率は急激に増加することが認められ、pH 10.5~12 において浮遊率は90%に達する。

Fig. 11 の ζ 電位曲線に示されているように、等電点

Fig. 11 Zeta potential of xenotime as a function of pH in the presence of dodecylammonium acetate.

(A shows original zeta potential-pH curve.)

Fig. 12 Floatability of xenotime as a function of pH in the presence of dodecylammonium acetate.

Fig. 13 Effect of addition of dodecylammonium acetate on floatability of xenotime at pH 10.5.

以下の pH 領域においては、DAA を添加した場合と添加しない場合の ζ 電位曲線はほぼ同様な形状を示しており差異は認められない。しかしながら、等電点よりも大きい pH 領域ではその差が次第に大きくなり、pH 9 付近で ζ 電位の差は最大値を示している。このことから明らかに、等電点以上の pH になるにしたがい DA^+ のゼノタイム表面への物理吸着性が強くなり、浮遊性を増加させるものと思われる。pH 12 を越えると急激に浮遊率が減一するのは、 DA^+ が DA 分子になりゼノタイム表面への吸着性が弱くなることによるものと推察される。

Fig. 13 は、pH 10.5 と一定条件の下に DAA 添加濃度を種々変化した場合の浮遊率測定の結果を示している。図に示されているように、25 mg/l では90%、40 mg/l では94%に達しており、これ以上の添加濃度において浮遊率はほぼ一定値を示すようになる。Gaudin らが指摘しているように¹¹⁾、アミン濃度がある一定濃度以上になると、chain association により疎水基が水側に配向した2次元ミセル状をなした hemimicelle の形成によるものであろう。

3.3 ゼノタイムの ζ 電位に及ぼす Y^{3+} および PO_4^{3-} イオンの影響

塩類鉱物の電位決定イオンはその構成イオンと考えられるが、液中に溶解、解離したこれらのイオンは H^+ 、 OH^- などと反応して、pH に応じた種々の化学種を作り、また鉱物表面が直接水和するなどきわめて複雑である。本節においては、ゼノタイムの構成イオンである Y^{3+} および PO_4^{3-} を添加したときの ζ 電位の影響について検討することを試みた。

Fig. 14 は $YCl_3 \cdot 6H_2O$ の添加濃度を種々変化した場合におけるゼノタイムの ζ 電位を pH の関数として測定した結果を示している。図に示されているように、pH 7

Fig. 14 Effect of addition of yttrium chloride on zeta potential of xenotime under constant ionic strength.
(A shows original zeta potential-pH curve.)

以下の酸性領域においては Y^{3+} 濃度の増加とともに ζ 電位は正に増加することが認められ、 Y^{3+} が電位決定イオンとして作用していることが推察される。なお、Fig. 6 に示されているように Y^{3+} は pH 8.5 付近から水酸化物の沈殿が生成し始めるので、pH 8.5 以上では電気泳動法による ζ 電位測定は困難となる。

Fig. 15 は PO_4^{3-} を添加した場合におけるゼノタイムの ζ 電位に対する影響について検討した結果を示している。 PO_4^{3-} の添加濃度を変化してもさほど顕著な電位の変化は認められないが、 PO_4^{3-} を添加すると添加しない場合に比較して若干負に増大することが認められる。

Fig. 16 は $YCl_3 \cdot 6H_2O$ および $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$ の添加濃度を種々変化して、pH をパラメータとした場合のゼノタイムの ζ 電位を測定した結果を示している。Fig. 16 に示されているように、 Y^{3+} の場合には添加濃度の増加とともに ζ 電位も明らかに正に増大していることから、 Y^{3+} はゼノタイムの電位決定イオンと考えられる。一方、

Fig. 15 Effect of addition of sodium phosphate on zeta potential of xenotime under constant ionic strength.
(A shows original zeta potential-pH curve.)

Fig. 16 Effect of electrolytes (Na_3PO_4 , YCl_3) on zeta potential of xenotime under constant ionic strength.

PO_4^{3-} の場合には、pH 4 における ζ 電位は PO_4^{3-} の添加濃度の増加とともに負に増大し、 PO_4^{3-} 添加濃度が $5 \times 10^{-4} M$ を越えると電位は逆転し完全に負の電位を示すようになる。しかしながら、pH 7 および 10 の場合には PO_4^{3-} 添加濃度が $9 \times 10^{-5} M$ 付近で最大値を示したのち、 ζ 電位は負の値ではあるが正に増大していく傾向を示す。このようなことから、ゼノタイムの構成イオンである PO_4^{3-} は必ずしもゼノタイムの電位決定イオンであると断定することはできないが、 PO_4^{3-} 無添加の場合よりも負に電位が増大することから電位決定イオンとしての寄与をしているものと推察される。

3.4 ドデシルアンモニウム酢酸によるゼノタイムの浮遊性に及ぼす多価陰イオンの影響

陰イオン型捕収剤による石英の浮選において、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} などの金属イオンが活性作用をもつことは古くから知られており、金属イオンあるいはその化合物が石英に対する界面活性イオンとして働くことによるものと考えられている¹²⁾。しかるにアミン浮選における界面活性イオンの存在については知られているところが少ない。中塚らは¹³⁾、ルチル、ジルコン、イルメナイトなどのアミン浮選において SO_4^{2-} などの多価陰イオンが酸性領域で鉱物を活性化することを認めており、これを多価陰イオンの界面活性イオンの性質によるものであることを指摘している。

Fig. 16 の結果において、 Na_3PO_4 を添加した場合の pH 4 における ζ 電位についてみると、 Na_3PO_4 添加濃度 $5 \times 10^{-3} M$ 付近から ζ 電位は負に増加し始め、電位の符号の逆転が起きている。この傾向は Na_3PO_4 添加濃度の増加とともに著しく、 PO_4^{3-} の吸着がゼノタイム/水界面の電気二重層に強い影響を与えることを示している。

Fig. 17 Effect of addition of sodium phosphate on floatability of xenotime as a function of pH in the presence of dodecylammonium acetate.

したがって、 PO_4^{3-} はゼノタイム表面に特異吸着を起こし、 ζ 電位の符号の逆転を起こすことから、アミン浮選において PO_4^{3-} のような多価陰イオンは酸性領域でゼノタイムを活性化することが考えられる。ここにおいて、本節では PO_4^{3-} のような界面活性イオンを含むアミン水溶液中におけるゼノタイムの浮遊性について検討した。

測定の結果は Fig. 17 に示すようである。Fig. 17 に示されているように、 Na_3PO_4 の添加により pH の増加とともにゼノタイムの浮遊性は著しく増加し、pH 6.8 以上においてはほぼ 100% の浮遊率を示す。以上の結果から明らかなように、 PO_4^{3-} はゼノタイムに対して界面活性イオンとして作用して、ゼノタイム表面に特異吸着して電位の逆転が起こるために、DAA による浮遊性が増大することが確かめられた。

4. 結 言

本研究においては、代表的な希土類鉱物の一つとしてゼノタイムを選び、数種の捕収剤を用いてゼノタイムの浮遊性について検討することを試みた。得られた結果を要約すると下記のようなものである。

- (1) 陰イオン捕収剤としてオレイン酸ナトリウムを用いて検討した結果、ゼノタイムは pH 3~4 および 8~9 付近において最大の浮遊率を示し、pH 4~7 の領域においてゼノタイムの浮遊性は著しく低下することが認められた。pH 3~4 の領域における浮遊率の増大は、この pH においては ζ 電位が負の荷電を示すことから、ゼノタイム粒子表面にオレイン酸イオンが物理吸着して浮遊性を増大させることのほかに、オレイン酸分子の吸着も浮遊率の増加に寄与しているものと思われる。さらに、pH 8~9 において再び浮遊性が良好となるのは、オレイン酸-石けん錯体がゼノタイム表面に強い吸着をすることによるものである。一方、pH 4~7 における抑制現象については平衡論的な考察を行った結

果、この pH 領域においては $[\text{Y}(\text{OH})^{2+}]$, $[\text{Y}_2(\text{OH})_2^{4+}]$, $[\text{Y}_3(\text{OH})_3^{4+}]$ のような多核水酸化錯体が優勢であることから、このような水酸化錯体の生成に起因することを推察した。オレイン酸ナトリウムのほかに、2重結合を2つもっている不飽和脂肪酸塩としてリノール酸ナトリウムについても検討を行った結果、オレイン酸ナトリウムの場合と同様な結果が得られた。

- (2) 陰イオン捕収剤としてドデシル硫酸ナトリウム及びドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウムを用いた場合のゼノタイムの浮遊性について検討した。これらいずれの捕収剤も pH 2 以下の酸性領域においてのみゼノタイムを浮遊させることが認められた。
- (3) 陽イオン捕収剤としてドデシルアンモニウム酢酸を用いた場合には、pH 6.5 (等電点) 以下の酸性領域においてはゼノタイムはほとんど浮遊しない。pH が 6.5 以上になると浮遊率は急激に増加し、pH 10.5~12 において浮遊率は90%達し良好な浮遊性を示すことが確かめられた。
- (4) ドデシルアンモニウム酢酸によるゼノタイムの ζ 電位および浮遊性に及ぼす多価陰イオンの影響について検討した。 ζ 電位測定の結果、 PO_4^{3-} が存在する場合には酸性領域において PO_4^{3-} がゼノタイム表面に物理吸着して電位の逆転が起こることから、 PO_4^{3-} はゼノタイムに対して界面活性イオンとして作用することを推察した。事実、アミン浮選において PO_4^{3-} のような多価陰イオンを添加すると、酸性領域でゼノタイムを活性化して浮遊性を増加させることを確認した。

参 考 文 献

- 1) 向井 滋：鉄と銅，Vol. 71, No. 6 (1985), p. 633
- 2) S. H. Doyton: World Mining, January (1956), p. 43
- 3) E. Morrice and M. M. Wong: U. S. Bureau of Mines, Report of Investigation, 8689 (1982)
- 4) D. W. Fuerstenau, Pradip, L. A. Kha: and S. Ragnavan: 14th IMPC, Tronto, Canada (1982), IV-6
- 5) 向井 滋，今西信之，隈元純二，森田雄二，岡本啓子：浮選，Vol. 31, No. 3 (1984), p. 209
- 6) Climax Molybdenum Co.: U. S. Patent, (1952), No. 2, 610, 738
- 7) D. D. Kulkarni and P. Somasundaran: AlChE Symp. Ser., vol. 150 (1975), p. 124
- 8) S. G. Dixit and S. K. Biswas: Trans. Am. Inst. Min. Eng., Vol. 244 (1969), p. 173
- 9) S. K. Mishra and S. Cross: Proceedings of 5th Aust. Electrochem, Perth, Australia, August (1980), p. 18
- 10) J. Kragten: Atlas of Metal-Ligand Equilibria in Aqueous Solution. Ellis Horwood Ltd., (1978), p. 718
- 11) A. M. Gaudin and D. W. Frestenau: Trans. Am. Inst. Min. Eng., Vol. 202 (1955), p. 958
- 12) A. M. Gaudin and C. S. Chang: Trans. Am. Inst. Min. Eng., Vol. 192 (1952), p. 193
- 13) 中塚勝人，永井亮一，下飯坂潤三：日本鉱業会誌，Vol. 84, No. 957 (1968), p. 27