

低品位ウラン鉱の選鉱

和田正美*

1. 緒言

周知のように原子力計画に用いられた最初のウランは手選と機械的ジグの方法によつて処理された鉱石から得られたものである。これらの方法によつて高品位鉱から塊状のピッチブレンドを相当量回収することが当時としては可能であつたが、粉鉱から有価鉱物を回収することは試みられなかつた。しかしウランの大規模の生産が必要となるに及んで、比重選鉱法は非能率的であり、ウラン鉱物が比較的軟いかあるいは脆いことが災いして微粉の損失が著しい事態がひき起こされた。また鉱石からウラン鉱物のみを選択的に浮遊させる浮選法も未だ発見されていない。現在用いられている浮選ではウラン分は随伴する黄鉄鉱・緑泥石・チタン酸塩鉱物などとともに浮遊するものである。

現在ウランの選鉱製錬¹⁾に用いられている工程は大別して、(1) 選鉱、(2) 浸出、(3) 回収、および(4) 精製の4工程とする事が出来る。しかも、アメリカ・南アフリカ・ベルギー領コンゴ・オーストラリア・ポルトガル・カナダなどで用いられている主要な方法別の生産高の百分率は Kennedy²⁾によれば第1表に示すようである。すなわち現在物理的方法の占める地位はかなり低くなつていゝる。しかし現在でも既に南アフリカでは U_3O_8 0.007% 内外と云う低品位の鉱石が年約480万トン選鉱されていること³⁾からも分るよゝうに、近い将来に物理的ないしは化学的な予備処理が低品位鉱の有効処理法として台頭して来るものとする十分な根拠がある。また浸出工程から以下の工程は普通化学反応が主体をなすものであるから科学的な研究手段が比較的得易く、その原理にも共通点が多く、かなり進歩の早いものと考えられる。しかるに原鉱を直接の対象とする予備処理の工程では未知の因子が多く、かつ複雑に関連しているために研究が困難で進歩に立ち遅れる恐れが多分にある。その上わが国のよゝうに比較的鉱物資源に恵まれない所ではいわゆる貧鉱ないしは難鉱を原料としなければならない場合が多く、技術的困難に加えるに常に経済的不利が伴うのである。また上記の浸出工程以下については世界共通の研究領域である関係で研究者の数も多く、必要があれば他の研究成果を利用する事は必ずしも困難ではない。しかし我国特有の原料については今日その必要を感じているわれわれ自身はその解決に努力しなければ、われわれよりも関心のはるかに薄い他の研究者たちが研究して呉れるような事は先づ考えられないのではあるまいか、以上列挙した種々の理由からわれわれにとつては我国特有の原料鉱石の有効処理につい

第1表 処理法別ウラン生産高の百分率
(アメリカその他の諸国を含む)
(R.H Kennedy による)

処 理 法	生 産 高(%)
物 理 的 方 法	2
酸—化学沈澱	11
炭酸塩浸出	10
イオン交換	73
カラム法	51
R I P 法	22
溶 剤 抽 出	4
計	100

本資料の一部は昭和34年9月1日原子燃料公社東海製錬所において講演した。

* 東北大学選鉱製錬研究所

1) 『ウラン選鉱製錬』と云う語はかなりばく然としたものであるが、一般にはウランの原鉱石から工業的純度のウラン化合物を得るまでの処理を意味するものよゝうである。この意味の処理を時に「粗製錬」と称することがある。これに対してアメリカでは“milling”と云う語がよく用いられている。その意味は広義には乾式製錬以外の方法で鉱石を処理することであるが、湿式製錬その他の目的のために行うばい焼などの操作を含むものである。また最近上述の意味の鉱石処理をイギリスでは“mineral processing”，ドイツでは“Erzverarbeitung”と呼んでいる。

2) Kennedy, R H. : Recent Developments in Uranium Milling Technology. (1957), 15.

3) Levin, T. : International Mineral Dressing Congress. (1958), 611.

て研究努力を集中することが当面の急務であると信ずる。

著者らは昭和31年度から低品位ウラン鉱の選鉱について若干の試験を行つて来たので、それらの結果の概要を報告して御批判を仰ぐとともに低品位ウラン鉱の処理において当面している問題について若干の考察を加え、今後の問題点に触れることとしたい。もつともこの問題は未解決な点が多く、以下の考察も現在の進歩の段階の一断面を示すに過ぎないものであることをお断りして、御了承を願う次第である。

2. 処理法の概説

鉱石の処理法を選択する場合に問題となる要素は甚だ多い。先づウラン鉱物の種類・含量・分布・比率；随伴鉱物の種類・含量・分布・ウラン鉱物の含量に対する比率；脈石の種類・含量・分布・ウラン鉱物の含量に対する比率；鉱物組織・酸化度・可溶成分などである。

これらの原鉱石の性質に関連する要素の中最も問題となるものはウラン鉱物の種類であるが、周知のようにウラン鉱物には甚だ多くの種類があり、処理法が複雑多岐にわたる一因をなしている。次に問題となるものは随伴鉱物および脈石であるが、その種類によつて適当な処理法を選ぶ必要が生ずる。随伴鉱物が金鉱である場合には経済的に有利であるが、硫化鉱物または炭酸塩鉱物である場合には一般に処理は簡単でない。粘土分に富む場合には回収工程において多大の困難を来すことが多い。またウラン鉱は性質が複雑である上に、採掘箇所によつてかなり相違することを考慮しなければならない。更にウラン鉱の処理はウランおよびこれに随伴するバナジウム・ラジウムなどの需要の変動、最終産物の品質規格の強化、これらに伴う実収率の増大ならびに価格の低減などの理由によつて、設計・系統・装置などの改善または変更を余儀なくされることが少くない。

第2表 ウラン鉱の選鉱系統

工 場	鉱 石 鉱 物	系 統
Eldorado Mining & Refining Ltd., Port Radium, N.W T., Canada ⁴⁾	ピッチブレンド・黄銅鉱・紅ニッケル鉱・黄鉄鉱・磁鉄鉱・含コバルト鉱・はん銅鉱・赤鉄鉱	手選・ジグ・浮選(脱銅)→酸浸出
COG Minerals Corp., White Canyon Mining Dist., Utah U.S.A. ⁵⁾	せんウラン鉱・黄銅鉱・銅らん・輝銅鉱・はん銅鉱・黄鉄鉱・方鉛鉱・せん亜鉛鉱(0.14% U ₃ O ₈ , 0.56% Cu)	ジグ・スパイラル・テーブル・浮選(脱銅)(200t/日)
Radium Hill, S. Australia ⁶⁾	デーヴィド石(0.18% U ₃ O ₈)	磁選・重選・浮選
Territory Enterprises Pty., Ltd., Rum Jungle, Australia ⁷⁾	せんウラン鉱・銅その他の金属硫化物	酸浸出・浮選(脱銅)
Daggafontein Mines, Ltd. ^{a)} ; Vogelstruisbult G.M. Areas, Ltd. ^{b)} ; Merriespruit (O.F.S.) G.M. Co., Ltd. ^{c)} ; S. Africa ²⁾	せんウラン鉱・チューコライト・金・黄鉄鉱・磁硫鉄鉱・方銅鉱・ジルコン・モナズ石・白チタン石(0.005~0.0085% U ₃ O ₈ , 1.05~1.7% S)	青化・浮選・酸浸出 (a) 180,000 t/月, (b) 75,000 t/月, (c) 150,000 t/月)
AB Atomenergi, Närke-Kvarntorp, Sweden ⁸⁾	含ウランばん土けつ岩(0.028% U ₃ O ₈)	重選・酸浸出(150,000 t/年)
Texas-Zinc Minerals Corp., Grand Junction, Colo., U.S.A. ⁹⁾	せんウラン鉱・含ウラン・硫酸塩鉱物・黄銅鉱	浮選(脱銅)・酸浸出(800t/日)

ウラン鉱処理の主体をなすものは云うまでもなくいわゆる「湿式製錬」であり、抽出されたウラン分の回収・精製はもつぱら化学操作によつている。浸出工程では鉱石中に銀・いおう・ひ素・アンチモン・炭酸塩鉱物などが存在する場合、カルノー石からバナジウムを回収する場合あるい

4) Behan, R.L. : Can. Mining Met. Bull. 49 (1956), 254.

5) Seeton, F.A. and J.E. Quinn : Deco Trefoil, 22 (1958), 7.

6) Jackson, N. and C.J. Nelson : S. Australia, Dept. Mines, Mining Rev. No. 100 (1954), 112.

7) Melouney, H.F. : Chem. Eng. Mining Rev. 48 (1956), 118.

8) Rothelius, E. : Swedish Mineral Dressing Mills. (1957), Kvarntorp 1.

9) Banks, N.K. : Mining Cong. J. 45 (1959), 44.

は炭質鉱石からウランを回収する場合などに予めばい焼が行われる。酸浸出はけい酸質脈石を伴う鉱石、炭酸塩浸出は炭酸塩鉱物を脈石とする鉱石に適用される。しかし U_3O_8 0.05~0.10% 程度あるいはそれ以下の低品位鉱は出来るだけ機械的な選鉱で処理鉱量の減少と処理費の低減を計る必要がある。

選鉱工程で現在採用されている方法は、(1) 放射能選鉱、(2) 低比重選鉱—いわゆる比重選鉱、(3) 高比重選鉱—いわゆる重液選鉱、(4) 浮遊選鉱などである。放射能選鉱は粒度 38mm 以上の原鉱の廃石除去に利用可能であり、比重選鉱は粗粒の一次ウラン鉱物に適用され、粒度 14mesh 以上はジグ、それ以下はテーブル・スパイラルなどが使用出来る。重液選鉱はサイクロンを利用し粒度 48mesh まで適用可能である。それ以下の粒度では浮選が利用可能である。

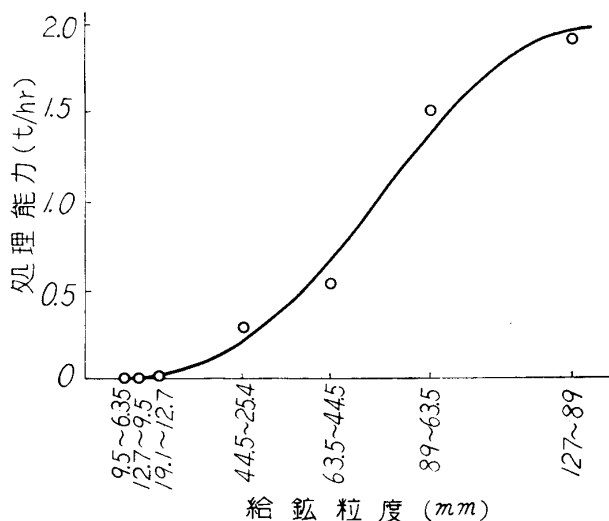
比重選鉱はピッチブレンド・せんウラン鉱などの酸化物鉱、ベタフォ石・ユークセン石・サマルスキー石・ブランライト・デーヴィッド石などの土酸塩あるいはチタン酸塩鉱、まれにウラノトール石のようなけい酸塩鉱に、重液選鉱はデーヴィッド石・含ウラン炭質けつ岩などの鉱石に、浮選は浸出の妨げとなる硫化鉱物や炭酸塩鉱物の除去、チューコライトの選鉱、まれにせんウラン鉱の選鉱などに適用される。

以上低品位ウラン鉱の処理法の概要を述べたが、カナダ・アメリカ・オーストラリア・南アフリカ・スウェーデンなどの諸鉱山で採用されている選鉱系統の実例を示せば第2表のようである。

3. 放射能選鉱¹⁰⁾

放射能選鉱は天然の放射能を利用する方法と人工放射能を利用する方法とに大別されるが、ここに云う放射能選鉱は前者を差し、電子選鉱と呼ばれている。その最も良く知られたものは Lapointe ピッカーであるが、1947年当時用いられたものは比較的高品位のピッチブレンドの鉱石にのみ適用できるものであつた。1954年に鉱染状態にある低品位ウラン鉱の選鉱用に改良されたが、Beaverlodge 地区の U_3O_8 0.045~0.08% の原鉱を選鉱し、精鉱品位 U_3O_8 0.15~0.22%、廃石品位 U_3O_8 0.01~0.02%、実収率 U_3O_8 75~80%、廃石摘出率70~75%の成績が得られた¹¹⁾。

本選鉱機操業上の問題は給鉱粒度を揃えることとこれを均等にベルト上に給鉱することの二点であると云われているが、給鉱粒度を厳密に揃えることは實際上容易でない場合が少なくないと考えられるので給鉱粒度に多少の不揃があつても、各給鉱塊の重量または容積に応じてディテクターの感度を自動的に調整できるように装置を改良することが考えられるであろう。また処理能力は給鉱粒度によつて大巾に変化する。第1図は Lapointe ピッカーの処理能力と給鉱粒度の関係を示す1例である。本装置の性質上給鉱塊を1個1個ディテクトすることはやむを得ないと考えられるから、処理能力を増すためには選別速度（現在6.7



第1図 Lapointe ピッカーの能力と給鉱粒度の関係

m/min) の増大とピッカーの併列運転台数の増加に待つ以外に方法はないであろう。本装置の経済性はこれによつて除去出来る廃石量の割合で定まるものと考えられるから、目的とする給鉱の選別成績に基いて装置を設計する必要があり、もしその単位が適当であれば適当台数を併列に設置することによつて処理能力の増大を計ることが可能となるであろう。

10) 和田正美, 真島 宏: 選研彙, 14 (1958), 141.

11) 富田堅二: 原子懇資, 特別号, No. 2 (1958), 11, 30, 32.

Bancroft 地区の Bicroft Uranium Mines, Ltd. の J. Kelley と J. F. Hutter によつて発明された K & H 式電子選別機^{12),13)} は 76mm 以上の粗粒の鉱石に適用され、精鉱品位の標準を U_3O_8 0.1% とした場合、手選では摘出可能な廃石の量は 33.6% (84t/日) で、その品位は U_3O_8 0.021% であるが、本機では廃石の量は 30.4% (76t/日)、その品位は 0.011% であり、条件によつては廃石の量が 70% 程度の鉱石を処理することも可能である。また給鉱の粒度は 25mm まで適用されると報告されている。

本法は鉱石をベルトコンベヤー上に一列に並べることは Lapointe ピッカーと同様であるが、後者のシンチレーションディテクターがベルトコンベヤーの下にあり、鉱石はゲートプレートの位置に応じて廃石または精鉱びんに入るような構造であるのと異なり、本法ではシンチレーションディテクターがコンベヤーの排鉱部に置かれ、ベルト (54m/min) から落下する鉱石の放射能の有無によつて圧縮空気 (7 kg/cm^2) を利用し廃石を軌道から外すような構造になつている。これらの方法は同一条件で実際に使用した上でなければ比較することは困難であるが、本法では鉱石の放射能を直接検知できることとベルト速度が Lapointe ピッカーの約 8 倍にスピードアップされていることの 2 点が特に有利な点であると考えられる。

後者の利点は恐らく圧縮空気の圧力によつて廃石を迅速に軌道から外すことが可能になつた事に依るものであろう。実際本法の処理能力が 20~25 t/hr である事から見てもこの事は首肯される。

4. 比重選鉱

鉱石が高比重の一次鉱物を含有し、甚だしく微細な鉱染状組織を有しない場合には、比重選鉱の精鉱品位 U_3O_8 10%、実収率 60~80%、廃石除去率 70~80% 程度の成績が可能である。また鉱石がペグマタイト質で粗粒のウラン鉱物を含む場合には実収率は 80~90% に上昇し、原鉱品位が U_3O_8 0.1% までは採算が合うと云われている¹⁴⁾。

ウラン鉱は破碎または粉碎に際しスライム化する傾向が強いので、比重選鉱を行う場合には出来るだけスライムの生成を少なくする必要のあることは云うまでもないが、またこの傾向を利用して、鉱石のスクラッピングを行い、ウラン分をスライム中に濃縮して、これを分級にによつて分離することができる場合がある。たとえば Colorado 台地の Monument No. 2 鉱山のカーノタイト鉱 (U_3O_8 0.05~0.10%, V_2O_5 0.5~1.0%) に対して選鉱比は 5~6.5、実収率は U_3O_8 および V_2O_5 何れも 60~70% の成績が得られた。但し精鉱の粒度は $>65\text{mesh}$ 2~3%、尾鉱の粒度は $>20\text{mesh}$ 5%, $<100\text{mesh}$ 8~10% であつた¹¹⁾。

スライム除去には普通分級機が用いられているが、サイクロンを利用することも考えられる。

5. 重液選鉱

粒度 48mesh 以上の鉱石に重液サイクロンを適用することができる。Lilge と Edwards と McCree¹⁵⁾ が直径 150mm のサイクロンを用い、圧力 3.9 kg/cm^2 、比重 2.70 で Beaverlodge 産のピッチブレンド鉱を分離した試験結果の一例では U_3O_8 の富鉱比 2.3~4.5 であつた。重液材としては 325mesh 以下 95% 程度の磁鉄鉱が用いられた。

またスウェーデンの Närke-Kvarntorp にある AB Atomenergi に所属のウラン重選浸出工場 (150,000t/year) では歴青質の含ウランばん土けつ岩から石灰石を除くために重選を行つている⁸⁾。ウラン分に富むけつ岩層は厚さが 4.7m あり、品位は U 0.0235% であるが、ウランは非常に微細に鉱染しているために特定のウラン鉱物としては確認されていない。原鉱中には約 10% の石灰石を含有している。重選には粒度 120mm 以下 6mm あるいは 10mm 以上の鉱石が給鉱さ

12) 高橋幸三郎：自由圏諸国におけるウラン資源とカナダ国内ウラン鉱業の現況。(1959), 27.

13) Mine and Quarry Eng. 25 (1959), 46.

14) Thunaes, A.: Trans. Can. Inst. Mining Met. 52 (1954), 60.

15) Lilge, E.O., I.C. Edwards, and H.H. McCree: Trans. Can. Inst. Mining Met. 53 (1955), 83.

れる。重液としては磁鉄鉱重液が用いられ、分離比重は2.3である。沈鉱は石灰石からなり堆積場に送られる。浮鉱は4mm以下に破碎され浸出工場に送られる。重選給鉱の粒度の下限は粒土分の多いときと冬期間は10mmとする。粗砕機としてはコーンクラッシャが6mmあるいは10mm以下の細粒を生ずる割合が比較的少いために選ばれ、浮鉱の粉碎にはコーンクラッシャ・ふるい・ロッドミルの乾式系統が用いられている。それはこの系統で得られる産物が浸出に適することが研究の結果判明したからである。

重液選鉱法は無価値の脈石が比較的粗粒で存在し鉱石との間に比重差があれば適用可能であるが、鉱粒が微細な場合にはサイクロンを用いても普通は粒度48meshが限度とされている。しかし後述するようにせつけん浮選では粒度20 μ あるいはそれ以下のスライム粒子の別処理が要求されるのであつて、この場合に可能な方法としては現在のところサイクロンの適用以外には考えられない。このためには重選サイクロンの改良について研究する必要があると考える。スライム中のウラン鉱物粒子は甚だ微細ではあるが、たとえば磁鉄鉱を重液材として用いた場合その比重は約5であるから、仮りにウラン鉱物をせんウラン鉱とすれば、その比重の比は約1.8倍であり、磁鉄鉱の粒度を適当に選べば、ウラン鉱物は磁鉄鉱と共に重液材として作用し、脈石分離にあづかることが考えられる。もしこれが可能であれば、重液循環系統中に磁選機を置いて低磁束で磁鉄鉱を回収しウラン鉱物を分離することができるであろう。ただしこの場合重液材は相当微細であるからこのような粒子の選別に適した特殊の湿式磁選機を考案することが必須となることは云うまでもない。

6. 浮遊選鉱

(1) University of Nevada¹⁶⁾——ウラニルイオンと配位化合物を作るキレート化合物について詳細な研究が行われ、これらの研究によつてりん灰ウラン鉱とカルノー石とに対し、窒素—いおう官能基をもつジチオカルバミン酸塩が有効であることが認められた。非極性基としては炭素数8~12のモノアルキルが最もよい成績を示した。活性剤の活性イオンは捕収剤イオンと反対符号のものが選ばれるのが普通であるが、りん灰ウラン鉱—ジチオカルバミン酸塩系では鉛塩が最も有効であつた。試験の結果では、りん灰ウラン鉱に対し条件剤として硝酸鉛を用い、pH 4.0で選鉱比13.6、 U_3O_8 実収率97.5%、カルノー石に対し同じく硝酸鉛を用い、pH 6.0で選鉱比13.0、 U_3O_8 実収率89.7%の成績が得られた。

これに反し同条件でオレイン酸を用いた場合にはりん灰ウラン鉱に対し選鉱比5.8、 U_3O_8 実収率91.4%、カルノー石に対し選鉱比2.8、 U_3O_8 実収率89.9%の結果が得られた。

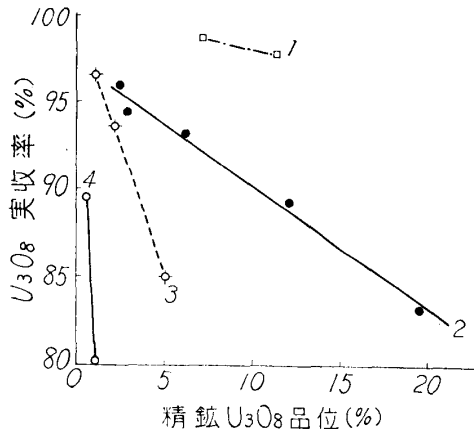
(2) State College of Washington¹⁷⁾——Spokane インディアン指定地および Spokane 山脈周辺の低品位ウラン鉱床の鉱石の浮選につき研究した。鉱石は大部分 U_3O_8 品位0.2%以下で、主要鉱物はりん灰ウラン鉱である。大部分の試験はけい質粘土岩鉱(第1型)について行われたが、この鉱石では目標とする精鉱品位 U_3O_8 1.0%、実収率 U_3O_8 90%の成績は得られなかつた。しかし花こう岩鉱(第2型)では U_3O_8 0.13%の原鉱から U_3O_8 5.0%の精鉱が85%の実収率で得られ、精鉱品位を2.0%に押えたと実収率は93.5%に上昇した。最初の鉱石の成績が良好でないのは恐らくりん灰ウラン鉱以外の浮選しにくい鉱物を含有するためであろうとしているが、むしろけい質粘土岩の影響によるものではないかと想像される。

第3の型の鉱石はれき岩および半ば風化した花こう岩で、これにりん灰ウラン鉱が鉱染したものである。この鉱石の成績は第1型の鉱石と第2型の鉱石の中間に位していた。捕収剤としてはトール油の製品である American Cyanamid の R-708、炭素数10ないし22の飽和脂肪酸などが試験されたが、炭素数18のステアリン酸が好いことが分つた。最初シクロヘキサン・ガソリン・燃料油・ケロシンその他の溶剤が試みられたが、実収率が低かつたので、ステアリン酸1(重量)、

16) Butler, J.N. and R.J. Morris : Mining Eng. 8 (1956), 1008.

17) Aitkenhead, W.C. and J.A. Jaeckel : Mining Eng. 11 (1959), 66.

オレイン酸ナトリウム 1 (重量), ケロシン 1.2 (重量), 水 100 の割合に混合したエマルジョンが用いられた。このエマルジョンはステアリン酸とオレイン酸ナトリウムを熱水と混合してかきまぜ、ケロシンを加えてかきまぜながら冷却して調製したものである。試験に際しては水酸化ナトリウムを加えて条件付与し、次いで捕収剤エマルジョンを加え最後にけい酸ナトリウムを加えた。浮選セル中の pH は 8.5~9.0 に調節した。パルプ濃度はけい質粘土岩鉱には 19%, その他には 25% とした。原鉱は品位 U_3O_8 0.12~0.39% で、粉碎度は 35~48 mog で精鉱品位 U_3O_8 0.4~12%, 実収率 75.7~95%, 選鉱比 3.3~34.6 の成績が得られた。けい質粘土岩鉱から得られた精鉱は鉄分に富むスライムと風化した黒雲母を多量に含有し、常に低品位であり、低実収率は極く微粒の未知のウラン鉱物によるものと考えている。風化した花こう岩鉱では長石は大部分カオリン化していたが、この鉱石中の粘土は精鉱の高品位と高実収率に有害な影響を与えなかつた。第 2 図はウラン精鉱の品位と実収率の関係を示す。



第 2 図 ウラン精鉱の品位と実収率との関係—Spokane りん灰ウラン鉱

- 1 : 風化花こう岩
- 2 : 花こう岩
- 3 : Daybreak Mines Inc.
- 4 : Northwest Uranium Mines Inc. (れき岩)

鉱であり、第 2 のグループの含ウラン鉱物はユークセン石・フェルグソン石および少量のせんウラン鉱である。脈石鉱物には石英・長石・雲母類 (黒雲母・白雲母) ・電気石・チタン石・黄鉄鉱・磁鉄鉱などの他に第 2 のグループでは輝水鉛鉱が含まれている。

試験の結果によれば、精鉱にスライムを加算した成績は品位 U_3O_8 0.08~0.10% 程度の 3 試料 (No. 1, 2 および 4) に対して精鉱品位 U_3O_8 0.23~0.30%, 実収率 U_3O_8 88~98%, 選鉱比 2.7~3.2, 同じく品位 U_3O_8 0.12% の 1 試料 (No. 3) に対して精鉱品位 U_3O_8 0.68%, 実収率 U_3O_8 87.3%, 選鉱比 6.6 であつた。

この成績の相違は何によるものであろうか・試料 No. 3 の含ウラン鉱物はユークセン石であり、主として石英と長石からなる脈石中に比較的粗粒で存在し、石英と結合するのが普通である。従つて 48 mesh 以下でユークセン石の単体分離は完全である。またスライム中の U_3O_8 分布率も 5.7% の最小値を示している。

これに反して成績の比較的にすぐれない試料 No. 2 では含ウラン鉱物はピッチブレンドであり、細い条脈の形で長石と密接に結合している。従つてまたスライム中の U_3O_8 分布率も比較的によく、13.8% を示している。

第 1 グループの鉱物にはオレイン酸の製品を捕収剤とし、アルカリ性回路で、けい酸ナトリウムを抑制剤として浮選が行われた。スクラッピングとスライム除去は鉱石によつて必須条件である場合もあり、またほとんど必要でない場合もあつた。これはおそらく鉱石の酸化の程度によるものであろう。第 2 のグループの鉱物は酸性回路で浮選が行われた。ユークセン石を主とする試料 No. 3 では捕収剤としてオレイン酸、抑制剤としてけいふつ化ナトリウムを用い、pH 6 とした場合が適当であつたが、ユークセン石とフェルグソン石を主とする試料 No. 4 ではこれと同様の条件では U_3O_8 実収率が 60% 程度であり、オレイン酸の代わりに R-825 と R-801 (2:1) を用い U_3O_8 実収率を 90% 程度に上昇することが出来た。浮選給鉱は 3 試料 (No. 1, 3 および 4)

とも全部 65mesh 以下で、200mesh 以下は37~70% が適度であつたが、1 試料 (No. 2) では100mesh 以下100%が適度であつた。

既に述べたようにいずれの場合にも浮選に先立つてスクラッピングとスライム除去が行われた。ここでは浮選条件の細目については省略するが、ウラン浮選に先立ち硫化鉱物を浮選するには けいふつ化ナトリウム (0.2 lb/t)、硫酸 (5.4 lb/t)、およびアミルゼンセートカリウム (0.10 lb/t) を添加して条件付与し、pH 2.0~3.0 で浮選し、更に雲母類を浮遊するには硫酸 (0.9 lb/t) および AMAC 1,120 (0.10 lb/t) を添加して条件付与し、pH 2.0~3.0 で浮選している。パルプ濃度は比較的高い方が、ウラン品位、実収率とも良好であり、パルプ濃度 23~40% で試験が行われている。

スライムは粒度約 20 μ を目標としてそれ以下を除去している。分散剤としては水酸化ナトリウムとけい酸ナトリウムの組合せあるいは Calgon、特に前者が推奨されている。後者は価格が高いのが欠点である。硫酸は凝集を起すので慎重に避けなければならぬとされている。

パルプの pH については、ユークセン石に対し捕収剤としてオレイン酸、抑制剤としてけいふつ化ナトリウムを用いた場合は pH 6.4 が最高の実収率を与えた。清選は常に pH 4.0~5.0 で行われた。

抑制剤としては既述のもの他、ケブラコ・乳酸・シアン化ナトリウム・Daxad II・でんぷんなどが試験されたが、後の三者はけい酸塩の抑制には効果がなく、乳酸は雲母の抑制剤として用いられたものであるが、結論は得られなかつた。

捕収剤としてのオレイン酸の純度については、4種の製品についてユークセン石に対する浮選試験が行われたが、蒸留されていない最も不純の製品は不適當であり、二回蒸留された最も純度の高い製品が最高の成績を示した。浮選法をウラン鉱の前処理の方法として取入れることが可能であるかどうかと云う問題については未だ結論が得られていない。例えば、試料 No. 1 では約 98% の浮選実収率が得られたが、ウラン精鉱の酸浸出では原鉱を直接に浸出した場合と酸消費量はほとんど同量であり、浮選—酸浸出法のウラン実収率は直接酸浸出法のその 96.5% に比べて 94% に低下する。従つて浮選—酸浸出法を採用したための設備投資の節約額はウラン実収率の低下による損失によつて相殺される恐れがある。浮選が酸消費の原因となる成分を有効に抑制し酸浸出を考慮に入れた全実収率が直接浸出の実収率よりも高くなつて始めて浮選段階の適用が考慮されるべきであろう。

(4) Mines Branch, Department of Mines and Technical Surveys, Canada¹¹⁾——Bancroft 地区のペグマタイトのウラン鉱について浮選の究研を行つた。鉱石は長石・石英・輝石を主とするペグマタイトで、主要な放射性鉱物はウラノトール石で、その他に風化したジルコン・せんウラン鉱・かつれん石などがあり、ウラノトール石は直径約 1.5mm の粒子として存在している。原鉱は70%固体の濃度で粉碎し、スライム除去し、35%固体の濃度で粗選、4~12%固体の濃度で精選し、選鉱比 5、ウラン実収率94%の成績を得ている。試験に用いた試薬の組み合わせはけいふつ化ナトリウム (500g/t)、スルフォン化鯨油 (500g/t)、モノジイソオクチル正リン酸 (500g/t)、燃料油 (750g/t)、クレゾール酸 (50g/t) であつた。

(5) Colorado School of Mines Research Foundation¹⁹⁾——Beaverlodge 鉱山産の一次鉱石の選鉱試験を行つた。せんウラン鉱は径 10~20 μ 、厚さ 5~10 μ の皮かく状で産出し、100~200mesh のフラクションでは 90%以上が片刃状で存在している。せんウラン鉱は主としてかつ鉄鉱で鉱染された黄鉄鉱と石英、あるいは黄鉄鉱—石英の連晶との片刃として存在するため石英を過度に抑制するとせんウラン鉱の損失が大となる。浮選促進剤としては脂肪酸、燃料油、石油スルホン酸塩の混合エマルジョンを用い、せんウラン鉱をその担体鉱物と共に浮遊させた。石英およびけい酸質脈石は鉱石の約80%を占めその大部分はせんウラン鉱を伴っていないので、ふつ

19) Mariacher, B.C. : Mining Eng. 8 (1956), 1006.

化水素酸あるいはふつ化ナトリウムで抑制すれば精鉱品位を高めることが出来る。試験の結果 U_3O_8 0.096% の原鉱に対し、選鉱比 2.7, U_3O_8 実収率 85.0% の成績が得られた。

(6) 東北大学選鉱製錬研究所^{20)~22)}——本研究所では昭和31年に宮城県気仙沼地区の松岩鉱山硫化鉱に伴うせんウラン鉱の鉱床を発見したので、そのウラン鉱の性状、選鉱および有用成分の分離抽出などに関する基礎的問題の研究を実施した。

本鉱山のウラン鉱床は折壁石英モンゾニ岩のへい入に伴つて白あ系に属する安山岩質噴出岩中には胎した中熱水性ないし深熱水性の割れ目充てん鉱床である。せんウラン鉱の鉱化は黄銅鉱・硫ひ鉄鉱を伴う磁硫鉄鉱期、黄鉄鉱・灰重石を伴う電気石期および石英・方解石期にわたつて行われたが、電気石期が最も優勢で、石英・方解石期がこれに次ぎ、せんウラン鉱はいづれの場合にも黄鉄鉱に密接に随伴している。

供試鉱石は前田坑から採取したもので、黄銅鉱・磁硫鉄鉱・黄鉄鉱・硫ひ鉄鉱・赤鉄鉱・せんウラン鉱・磁鉄鉱・灰重石などを鉱石鉱物として、方解石・絹雲母・緑泥石・角せん石・緑れん石・電気石・石英などを脈石鉱物として含有する。原鉱品位は U_3O_8 0.043% の低品位である上にきょう雑鉱物が多く、せんウラン鉱の結晶は微細でその粒度範囲は 6~300 μ 程度であるが、20~30 μ 程度のものが最も多数であり、またせんウラン鉱は硬度 5~6 であるが、もろく、粉碎に際してスライム化し易く、困難性の大きい鉱石である。せんウラン鉱は黄鉄鉱と複結晶の形をなし、せんウラン鉱の結晶が黄鉄鉱の核になつている型式のものが普通である。従つて粉碎を適当に行えば、黄鉄鉱をせんウラン鉱の担体鉱物として浮選を行うことが可能であると考えられる。

本鉱石中に含まれる磁硫鉄鉱は強磁性を有することが分つたので、磁場の強さ 850 oersted で予めこれを分離することが考えられた。磁選精鉱の重量は約23%で U_3O_8 分布率は2%以下であつた。次いで磁選尾鉱に生石灰を加えて鉱液をアルカリ性とし、エチルゼンセートとテルピネオールを加えて黄銅鉱精鉱を採取した。黄銅鉱精鉱の重量は約13%で U_3O_8 の分布率は9%であつた。更に黄銅鉱浮選の尾鉱に硫酸を加えて鉱液を酸性とし、アミルゼンセートとテルピネオールを加えて黄鉄鉱精鉱を採取した。黄鉄鉱精鉱の重量は約12%で、 U_3O_8 品位は0.12%、 U_3O_8 分布率は27.4%であつた。黄鉄鉱浮選の尾鉱の品位は U_3O_8 約0.05%で約62%の U_3O_8 分が未回収であつた。また他の試験では黄鉄鉱浮選に条件剤として硫酸銅を用い、精鉱重量約11%、 U_3O_8 品位0.12%、 U_3O_8 分布率約30%の結果を得た。上記の磁選精鉱および黄銅鉱精鉱中のウラン分は大部分 325 mesh 以下のスライム状せんウラン鉱によるもので、325 mesh 以下のウラン分の割合は前者では70%、後者では88%に上ることが分つた。それゆゑに、それぞれの精鉱について精選によるスライム除去の試験を行つた結果、磁選精鉱中のウラン分布率は0.5%、黄銅鉱精選精鉱中のそれは1.5%に低下することが出来た。精選条件は磁選は 850 oersted、浮選は鉱液を弱アルカリ性とし、テルピネオールのみを用いた。黄鉄鉱浮選尾鉱中の未回収のウラン分の分布を明らかにするため、ふるい分析を行つた結果の1例によると、325 mesh 以上の部分は重量約52%、ウラン分の分布率は約35%で、その品位は原鉱とほとんど大差がなかつた。また 325 mesh 以下の沈降試験結果によると、19 μ 以上の部分は重量21.4%にすぎないが、そのウラン分布率は約58%であり、その品位も確実に U_3O_8 0.1%以上を示している。これに反して 19 μ 以下の部分は原鉱とほぼ同程度の品位である。このことはさきに顕微鏡分析によつて得られたせんウラン鉱結晶の粒度が大部分 20~30 μ であつた事実とよく符合するものと考えられる。

このように 20~30 μ 前後の鉱粒に対してはどのような選鉱法が有効であろうか、筆者はさきに鉱物の粒度および性質と主要な選鉱法との関係について考察したが²³⁾、この場合に考えられる選鉱法としては、重選サイクロン・スパイラル・ブランケットテーブル・バナー・浮選・浸出

20) 和田正美、真島 宏、橋本敏雄、小関精彦、鈴木揖子、宮本信雄：選研彙，13 (1957)，31。

21) 和田正美、真島 宏、橋本敏雄、小関精彦、宮本信雄：選研彙，13 (1957)，131。

22) 和田正美、橋本敏雄、小関精彦：選研彙，14 (1958)，85。

23) 和田正美：浮選，No. 4 (1956)，1。

などの方法が挙げられるであろう。今せんウラン鉱の比重を 9.1~9.8, 石英のそれを 2.65 とすれば, 等速沈降比は 4.9~5.3 であるが, これを金と石英のそれに比較すると, 後者の沈降比を 10 とすれば, その比率は約 $\frac{1}{2}$ である。しかも比重選鉱法が適用される金粒子の粒度は 150 mesh 以下 20%程度の比較的粗粒の場合が多いことを考慮すれば, この場合に可能性ある比重選鉱法としては重選サイクロンがあるのみであろう。この方法については既に述べたのでここでは省略する。また浸出については別の機会に考察する。

さて浮選に戻つて, 20~30 μ と云う粒度は浮選の粒度範囲に入つてはいるが, 実操業としては 50 μ 以下は所謂スライム浮選に属するものである²⁴⁾。特にせつけん浮選では予めスライム除去を行うことが必須とされているが¹⁸⁾, 本試料の場合にも直接せつけん浮選を行つたのではほとんど品位の上昇が見られない。上掲の Queen's University の Lord と Light の実験では約 20 μ 以下のスライムを分離した場合, その中へのウラン分の分布は原鉱に対して 6~15%に相当している。本試料では 20 μ 以下のスライムを分離した場合, その中へのウラン分の分布は原鉱に対して約16%, 給鉱に対して約42%であつた。もし 9 μ 以下のスライムを分離する場合にはその中へのウラン分の分布は原鉱に対して約10%, 給鉱に対して約26%である。

次に問題となるものは鉱石の酸化である。せんウラン鉱は風化の進むにつれて密度・硬度が下り, UO_2 は UO_3 に変わり, ウランの全体としての相対的含量が減少する。従つてますますスライム化する傾向が強くなり, また捕収剤に対する反応性も低下する。また, かつ鉄鉱その他の酸化した鉱物から出る鉄その他の金属イオンによつて石英その他のけい酸塩鉱物が汚染され, 抑制作用が不十分となる。このような悪影響を除去するにはスライム除去に先立つてスクラッピングを行うのが得策である。前記 Lord と Light は浮選セル中で50%濃度のパルプに水酸化ナトリウム(原鉱に対して 1.0 lb/t))とけい酸ナトリウム(0.5 lb/t)を洗浄剤として添加して 10~15 min スクラッピングを行つている。また他の例では水酸化ナトリウムを原鉱に対して 3.0 lb/t 使用し, 1hr のスクラッピングを行い, 更にふつ化水素酸の洗浄剤としての試験を行つている。筆者らはさきに酸化鉄鉱のせつけん浮選に対し炭酸ナトリウムを洗浄剤として好成绩を得た²⁵⁾。周知のように炭酸アルカリは酸素の存在の下に鉄イオンと反応して水酸化第二鉄を生ずす。水酸化第二鉄はその溶解度が $4.8 \times 10^{-9} \text{g/l}$ (18°C) できわめて小さいから, 鉄イオンによるけい酸質脈石の活性化作用が防止され, 更に過剰の炭酸アルカリは加水分解して水酸イオンを生じ, それが優先的にけい酸質脈石の新鮮な表面に吸着され, これを負に荷電してパルプ中に分散させ, 抑制作用を呈するものと説明した。

また粘土・滑石・雲母などは浮選を妨害し, 精鉱品位を下げる悪影響を有する。従つてウラン鉱物の浮選に先立つて, それらを除去する必要がある。特に雲母類は抑制が困難であるから, その浮遊性を利用して予め除去するのが賢明である。

せんウラン鉱の浮選では, 条件剤の添加量を適正にすることと, 適量の捕収剤を段階的に加える必要のあることが予備実験によつて確かめられた。

原鉱を 65 mesh 以下に粉碎した試料を前記の系統に従つて処理して得た黄鉄鉱浮選の尾鉱を 500 g Fagergren 浮選機でスライム除去した上 50 g M.S. 浮選機でせつけん浮選を行つた結果の 1 例ではせつけん浮選給鉱のウラン分の約 45% (原鉱に対し約24%) が U_3O_8 品位 0.1%以上の精鉱中に回収された。浮選条件は炭酸ナトリウム 1.2 kg/t, 無水けい酸ナトリウム 0.24 kg/t, オレイン酸 2.55 kg/t, パルプ濃度29%, pH 8.8 であつた。最初の浮鉱は主として絹雲母からなり, U_3O_8 品位は 0.04%であるが, これに引続く浮鉱は電気石その他の黒色鉱物からなり, U_3O_8 品位は 0.11~0.13%であつた。すなわち本試験で回収可能なウラン分は U_3O_8 として黄鉄鉱精鉱中に約27%, せつけん浮選精鉱中に約24%, 計51%である。スライム中には約16%の U_3O_8 が含

24) Dorr, J.V.N. and F.L. Bodqui: Cyanidation and Concentration of Gold and Silver Ores. 2nd ed. (1950), 33.

25) 和田正美, 沢野 清: 特許公報 (昭 29-5851).

まれているが、その品位は低く U_3O_8 約0.05%であり、精鉱自身も品位が高くないので、これに加えることができず黄鉄鉱以外の硫化鉄精鉱、せつけん浮選中鉱、その他に分布する U_3O_8 約12%、せつけん浮選尾鉱中に含まれる U_3O_8 約21%と共に未回収であつて、今後スライム中のウラン損失の減少、せつけん浮選のウラン実収率の向上などの見地から有効なスライム分散剤および選択的な捕収剤あるいは強力な活性剤または抑制剤の研究を行う必要がある。

(7) University of Saskatchewan²⁶⁾——北 Saskatchewan の Charlebois Lake 地方のペグマタイトウラン鉱の浮選について研究が行われた。原鉱品位は U_3O_8 0.055~0.08% 程度である。ウラン浮選の捕収剤としてはオレイン酸ナトリウム、*n*-デシルメルカプタン、American Cyanamid の R-712・R-801・R-825、ラウリン酸・ミリスチン酸・パルミチン酸・ステアリン酸などのナトリウム塩、条件剤としてヘキサメタリン酸ナトリウム・けい酸ナトリウムなどが試験された。鉱石の主要鉱物は長石と石英であるが、相当量の黒雲母を含有し、放射性鉱物はせんウラン鉱の微小な結晶として存在し、平均粒度は約 0.2mm で、普通黒雲母と共生している。これらの試薬の中最良の成績を与えたものはヘキサメタリン酸ナトリウム (0.3 lb/t)・ミリスチン酸ナトリウム (3.0 lb/t)・オレイン酸 (0.4~1.1 lb/t) の組み合わせであつて、 U_3O_8 品位 0.22~0.40%、実収率 75.0~85.0%、選鉱比 4.4~6.9 の成績が得られたが、しかし U_3O_8 0.1%以下の低品位鉱からウランを回収することは、浮選・浸出いずれの方法を問わず、現在の段階では経済的に不利であらうとしている。

(8) Massachusetts Institute of Technology²⁷⁾——1946年から1951年にかけて南アフリカの低品位ウラン鉱の処理について多方面の研究が行われた。この研究は湿式製錬にイオン交換を応用することを試みて最初の成功を取めた点で歴史的意義をもつものである。1945年当時採掘されていた鉱石に比べると南アフリカ産のウラン鉱はその 1/20~1/100 の低品位であつて、南アフリカのウラン鉱の開発はこの意味からも画期的のものであつた。現在南アフリカでは金鉱製錬が主体となつているために、青化製錬の尾鉱からウランが回収されている。しかし新しく操業を開始するとすれば、浮選—酸浸出—青化法の方式が有利であるとされている。主要ウラン鉱物はせんウラン鉱とピッチブレンドで、20 μ ないし数ミクロンの鉱粒として炭化水素鉱物のチューコライトの中に分布している。金はしばしば炭化水素と密接に結合している。せんウラン鉱はまた硫化鉄物、特に黄鉄鉱に随伴している。そして高比重のフラクションは金とウランの含量が高い。主な脈石は石英で、また葉状のけい酸塩である雲母類と緑泥石類が存在する。最初ロックドバッチテスト方式で金とウランの総合浮選を行い、ウランの実収率 81.3%、金の実収率 98.8%の成績を得た。浮選剤としてはボールミルにオレイン酸 (2.5 lb/t) を加え、次に硫酸 (0.1 lb/t) を加えて pH 7.5 とし、更にアミルザンセート (0.025 lb/t) を加え、最後にパイン油 (0.04 lb/t) を加えた。種々の浮選剤が試験されたが、上記の組み合わせが最も満足すべきものであつた。また用水としては軟水が良好な成績を得るために必要であつた。金の実収率は直接青化法にまさるとも劣らぬものであることが実証され、ウラン実収率は精鉱品位によつて80~90%とすることができ、選鉱比は普通 5~6 に上つた。

(9) Government Metallurgical Laboratory, Johannesburg³⁾——南アフリカでは28工場で硫酸浸出によるウランの抽出が行われているが、浮選—酸浸出の方式を採用しているのは3工場だけである。原鉱のウラン品位は平均 0.03% U_3O_8 であるが、経済的な選鉱法があれば、0.01%程度まで処理可能であろう。また現状で実用されている酸浸出法も適切な予備選鉱法の併用によつてより経済的となるに相違ない。有効かつ経済的な浮選法を考案するため多くの実験研究が行われたが、完全な成功は未だ収められていない。

鉱石の特異性はウラン抽出の原鉱の品位が低く 0.005~0.07% U_3O_8 であるが、金が存在する

26) Van Cleave, A.B. : Can. Inst. Mining Met. Bull. 49 (1956), 827.

27) Gaudin, A.M., R. Schuhmann and J. Dasher : J. Metals, 8 (1956), 1065.

ために採鉱と粉碎の経費が多くの場合採取される金の価値で支払われることである。鉱石は微粒の石基の中に存在する球状のペップルからなるれき岩であるが、ペップルは無価値であり、有用成分は石基中に含有されている。石基は石英・雲母質鉱物・黄鉄鉱および少量の磁硫鉄鉱その他の二次硫化鉱、ジルコン・モナズ石・白チタン石その他の少量からなり、チューコライトは時に肉眼で認められる程の大きさであるが、せんウラン鉱は一部は直径 $20\sim 100\mu$ の破片状粒子として、一部は不規則な形状の二次せんウラン鉱として石基の構成鉱物の間あるいはこれらの割れ目や裂け目の中に存在している。せんウラン鉱は常に方鉛鉱の介在物を含み、時にはその他の硫化鉱を含む。また金は割れ目に沿ってせんウラン鉱を貫いている。母岩は普通雲母質けい岩である。Witwatersrand の金工場で粉碎される鉱石の大部分は 10μ 以下の粒子を $20\sim 30\%$ 含み、せんウラン鉱として存在するウランの相当量が遊離の状態が存在することは明らかであるが、有効に選鉱するためには細かすぎるのである。選鉱に適する部分、たとえば 10μ 以上の粒子は大部分のチューコライトを含んでいる。チューコライトは軟いが、比重が小さいためにボールミル・分級機回路で粗粒で排出される。粗粒のチューコライトはしばしば 10% 以上の U_3O_8 分を含み、浮遊し易いため高品位ウラン精鉱の給源となつている。粉碎鉱の粗粒部分に含まれるせんウラン鉱は、チューコライト中に含まれるものを除き、少量が遊離の状態が存在し他はれき岩の石基から来る鉱物に付着あるいは介在した状態で存在している。ここに起る一つの困難は、一部雲母質鉱物中に含まれるせんウラン鉱を回収しようとするれば、無価値な脈石の雲母質鉱物の浮遊を伴い、石英を抑制しようとするれば、一部石基の石英と結合しているウラン分の損失を来することである。この関係は先に記述した Beaverlodge 鉱山産の鉱石の場合に類似している。

炭素精鉱—炭素精鉱中にはチューコライトの外パイロフィライト・絹雲母・緑泥石・石英・多少の硫化物および多量のスライムを含む。パイロフィライトの抑制剤としてはかせいでんぶん・カルボキシルメチルセルローズ (セルローズゴム), guar ゴム, American Cyanamid R-620 などが用いられる。たとえばパイロフィライトを多量に含む粗選精鉱 (バイン油 0.09 lb/t) にセルローズゴム (0.1 lb/t) を加えて精選した成績は粗選精鉱の重量 15.7% , U_3O_8 分布率 22.6% に対し、精選精鉱の重量 1.3% , U_3O_8 分布率 17.2% であつた。精鉱中のスライム分は目立つたウラン給源であり、たとえば 10μ 以下の部分は品位約 0.05% U_3O_8 であるが、その U_3O_8 分布率は約 23% を占めている。浮選条件はやかましいものではなく、バイン油の使用量は 0.1 lb/t 程度、パルプの pH は広い範囲に変えることが可能であり、 $Ca(OH)_2$ を約 1 lb/t 加えることは有効である。炭化水素油たとえば diesoline あるいはパラフィンの添加はウラン実収率を増大する。Aerosol O.T. あるいは Teepol X などの湿潤剤を使用して調製された油と水のエマルジョンは効果を示さなかつた。炭素精鉱中のウランの実収率は鉱石を予め青化処理しても影響を受けないようである。

硫化物精鉱—チューコライトはザンセートによつてもよく捕収されるので、炭素精鉱中に回収されなかつたチューコライトの大部分は硫化物精鉱中に回収される。硫化物精鉱は少量の捕収剤たとえば 0.1 lb/t 程度のアミルザンセートの添加によつて行われるが、その中にはチューコライトの他黄鉄鉱および少量のその他の硫化物、相当量の石英およびパイロフィライト、多少の絹雲母と緑泥石、および、相当量のスライムを含んでいる。しかし硫化物に結合しているウランの量は少量で、硫化物精鉱中の全ウラン量の 10% 以下であり、チューコライトのウラン分が相当量を占めている。またスライムのウラン分布率もかなりの部分を占めている。たとえば 10μ 以下の部分の品位は 0.04% U_3O_8 であるが、その分布率は約 20% を示している。遊離のせんウラン鉱は硫化物精鉱中に存在してもその回収はまったく完全なものではない。従つて炭素精鉱と硫化物精鉱を別々に採取することは有利でなく、炭素—硫化物混合精鉱を採取すれば十分である。この場合原鉱に対しては U_3O_8 実収率 $32\sim 73\%$, 選鉱比 $3\sim 23$, 青化残査に対しては U_3O_8 実収率 $31\sim 62\%$, 選鉱比 $2.5\sim 26$ の成績が得られた。予め青化処理した場合のウランの実収率低下につい

ては、種々の浮選条件の試験が行われたが、取り立てた効果は見られなかつた。この場合にも **Massachusetts Institute of Technology** で行われたせつけん浮選の前処理としての少量の酸によるかくはん、ろ過、および洗じようが有効であろうと考えられている。

オレイン酸浮選—青化残査の浮選に悪影響を及ぼす3要素として挙げられているものは用水の硬度、粉碎用メディアム、および青化の影響である。オレイン酸浮選の特異な点は浮選給鉱のスライム除去の効果が得られず、200 mesh 以下 99% 程度まで粉碎してもほとんどその影響が認められなかつた事である。実際ある試験では最も細く粉碎した時に最も好い結果が得られた。この原因については前述のようにスライム中のウランの分布率が相当の割合を占めていることによるのではないかと想像される。オレイン酸浮選の他の困難は浮選条件の変化に対して非常に敏感なことである。たとえば原鉱浮選の成績は U_3O_8 実収率 35.7~82.8, 選鉱比 4~6.5 のように大巾に変化している。浮選条件はオレイン酸 2~4, ペンタゾールザンセット 0.03~0.1, パイン油 0.03~0.2, American Cyanamid R-301 0.1~0.025, エーロフロート 0.05, オレイン酸ナトリウム 0.1 lb/t であつた。オレイン酸はボールミルに添加するか、あるいはオレイン酸ナトリウムと共に浮選機に添加することによつてエマルジョンとして使用するのが有益であつた。

カナダ法—この方法はジフェニルカルバザイド (0.2 lb/t), American Cyanamid R-404 (0.5~1.0 lb/t), Carbitol (0.08~0.16 lb/t), 硫酸銅 (2.0 lb/t) のような特殊の試薬の組み合わせを用いるもので、高品位鉱に対しては U_3O_8 実収率80%, 選鉱比 5~13 の成績であつたが、採掘鉱の青化残査に対しては U_3O_8 実収率 41~50%, 選鉱比 7~12 の成績が得られたに過ぎない。

スルホン酸塩浮選—スルホン酸塩を捕収剤として用いる時はスライム部分が著しく浮遊する傾向があり、予めスライム除去を行う必要のあることが認められた。American Cyanamid Co. はスライム除去した鉱石に対してけいふつ化ナトリウム (0.5 lb/t)・硫酸 (2.0 lb/t) および R-801 (1.5 lb/t) を加えて条件付与した後浮選して第1精鉱をとり、更にエーロフロート25 (0.3 lb/t) を加えて第2精鉱を浮遊させ、混合精鉱の重量13.5%, U_3O_8 分布率51.7%, スライムの重量11.1%, U_3O_8 分布率 22.1% の成績を得た。

スライム処理—金の採取に必要な程度に粉碎された青化残査は 10μ 以下の部分の多量を含み全ウラン量の $\frac{1}{3}$ 以上がこの部分に分布している。しかもこのような細かいフラクションの精選は有効でなく、そのまま精鉱に混合すれば精鉱品位を下げ、精鉱量を増す。またこの部分を廃棄すればウランの損失を著しく増大する欠点がある。これに対し一つの対策として直径の小さいサイクロンを用いて $1\sim 5\mu$ の微細粒子を除去し、それによつて品位の上昇した部分を精鉱に混合する可能性が示唆されている。

上述した青化処理—浮選—酸浸出を実操業に採用している鉱山は Daggafontein, Vogelstruis, bult および Merriespruit だけであるが、これらの原鉱は青化廃さいあるいはこれに青化廃さいダムから回収したものを混合したもので、いずれも直接浸出するには余りに低品位 (0.005~0.0085% U_3O_8) である。各鉱山では炭素—硫化物精鉱を浮遊し、黄鉄鉱その他の硫化物は酸浸出後再浮選によつて回収する。同様の系統はウラン浮選にも用いられ、粗選精鉱は最終精鉱とし、粗選尾鉱から清掃浮選精鉱を採取し、粗選機の前にあるコンディショナに返している。ここに注意しなければならないのは浮選給鉱となる青化廃さいが相当量 (0.1 lb/t 程度) の遊離石灰と遊離シアンを含有するので、これらの影響を無害にするため pH 6 あるいはそれ以下でパルプを条件付与する必要のある事である。これらの方法によつて毎月 400,000 t の品位 U_3O_8 0.005~0.0085%, S 1.1~1.7% の青化処理鉱が精鉱品位 U_3O_8 0.04~0.05%, S 15~23%, 実収率 U_3O_8 36~50%, 硫化物 90% 近くで選鉱されている。今後浮選法の改善によつて更に一層の利益が期待されるのである。

浮選法は原鉱の硫酸浸出を妨げる炭酸塩あるいは炭酸塩浸出を妨げる硫化物などのきょう

雑鉱物の分離、ウランの担体をなす硫化鉱物の回収などに適用可能であるが、ウランの実収率の点に問題があり、特にスライム化したウラン鉱物の損失が多い。更にウラン鉱そのものを対象とする浮選は相当困難である。

Gaudin²⁸⁾ はウラン鉱の浮選についてウラン化合物の不安定性と多様性が多大の困難を来す原因であり、加うるにウランの選択性捕収剤の欠如が問題を救うべからざるものとしていると述べている。このようにウラン鉱の浮選では捕収剤の発見が先決問題であることは異論のないところであろう。

それでは如何にすればこのような浮選剤が見出されるであろうか、この疑問に対して、Wark と Sutherland²⁹⁾ が一般的見地から捕収剤の選択について述べているところを参考することは有意義であると考えられる。すなわち金属酸化物のような塩基性の鉱物に対しては陰イオン捕収剤が有効である。非極性基の炭素数は脂肪酸やアルキル硫酸塩では低濃度の場合12あるいはそれ以上を必要とする。捕収剤としての化合物の溶解度や、鉱物のイオンと複分解によつて不溶性塩を生成し、あるいは配位結合によつて安定な錯塩を生成する性質などは捕収性に影響を及ぼす因子ではあるが、その必須条件ではない。炭化水素をエマルジョンの形で添加するとオクチル硫酸ナトリウムのようなある種の捕収剤ではその捕収力を増大する。捕収剤がイオンとして作用する場合には、陰イオン捕収剤としては pK_a の低いものが有効であり、これに反して非解離の捕収剤が作用する場合には、陰イオン捕収剤としては pK_a の高いものが有効である。気-液界面活性の強い捕収剤はあわに吸着され易いために損失が多く、オレイン酸ナトリウムがオレイン酸に比べて有効でない一因と考えられる。

第3表は試験または操業に用いられているウラン鉱の浮選剤を示す。

パルプ濃度は Lord と Light¹⁸⁾ の研究では比較的高い方が成績が良いと云われているが、金鉱浮選の場合には比較的低いパルプ濃度(20%程度)が普通に用いられている。また Fahrenwald³¹⁾ はパルプ濃度を35%から10%に下げることによつて実収率、精鉱品位および浮選速度の上昇が認められたと報告している。

ウランと金のこの一見相反する結果は何によるものであろうか。Gaudin²⁸⁾ は操業上には高濃度を用いる方が有利であるが、他方機械的にフロスを抱き込まれる脈石によつてフロスの品位が低下するのは勿論である。しかし適正なパルプ濃度の問題は未だ明確に解決されていないと述べている。Sutherland と Wark²⁹⁾ は浮選剤の添加量は原鉱トン当りのポンド数またはその分数で表わされるのが普通であるから、パルプ濃度が高いほど浮選剤の濃度が高いことを指摘している。また Klassen³²⁾ はパルプ濃度約25%までは鉱物の浮遊量は増加するが、それ以上では急激に減少し、40%以上では特にその減少が著しいことを認め、これは高濃度ではセル内の空気の分布が不均一になるためであると推論した。しかし一般的にはパルプ濃度が増大すれば単位時間に浮遊する鉱物量が増加する。また浮遊する鉱物の濃度が小さいときはあわに付着する速度がやや増加すると Sutherland と Wark²⁹⁾ は想像している。ウラン鉱は金鉱に比べると浮遊度は相当低いと考えられ、またその品位も金鉱よりは高いが、かなりの低品位であるから、これらの見地からすればパルプ濃度は高い方が適当であると思われる。しかし同時に脈石の混入も予想されるから、有害なスライムの除去と有効な脈石分散剤の使用が必要となるであろう。またスライム除去に際してはパルプ液中にはスライムその他から溶出した有害なイオンが存在する可能性がある。従つて原鉱をスクラッピングとスライム除去した後、パルプ液をろ過洗じようした上、あらためてリパルプして浮選することも考えられる。結局ウラン鉱の浮選には、原鉱をスクラッピン

28) Gaudin, A. M. : Flotation, 2nd ed. (1957), 366, 485.

29) Sutherland, K. L., and I. W. Wark : Principles of Flotation. (1955), 20, 86, 355, 383.

30) Ginocchio, André : Proc. Intern. Conf. Peaceful Uses Atomic Energy. 8(1956), 133.

31) Fahrenwald, A. W. : Eng. Mining J. 137 (1936), 554.

32) Klassen V. I. : Chem. Abst. 34 (1940), 2653 ; 35 (1941), 29.

グしてスライムを除去し、あるいは更にパルプ液をろ過した上、リパルプして有効な脈石分散剤を加え、比較的高濃度のパルプで浮選するのが望ましいであろう。

第3表 ウラン鉱の浮選剤

番号	ウラン鉱物	起ほうおよびフロース調整剤	捕収剤	条件調節および分散剤	文献
1	せんウラン鉱	Ucon 75-H-1400 (エマルジョン) (の1/10の量)	エマルジョン (Emulsol 300・No.2 燃料油・Oronite L, 3:3:1) 10~20 lb/t	H ₂ SO ₄ (pH 6.0) Marasperse CB	19)
2	せんウラン鉱	—	オレイン酸 2.55 kg/t	Na ₂ CO ₃ 1.2 kg/t Na ₂ SiO ₃ 240 g/t (pH 10.9~8.8)	22)
3	せんウラン鉱	—	ミリスチン酸ナトリウム 3.0 lb/t オレイン酸 0.4~1.1 lb/t	Na ₆ P ₆ O ₁₈ 0.3 lb/t	26)
4	せんウラン鉱 ピッチブレンド チューコライト	バイン油 0.04 lb/t	オレイン酸 2.5 lb/t アミルザンセート 0.025 lb/t	H ₂ SO ₄ 0.1 lb/t (pH 7.5)	27)
5	せんウラン鉱 ピッチブレンド	Ac70 0.04~0.085 lb/t クレゾール酸 0.03 lb/t バイン油 0.03 lb/t	Sec-ブチルザンセートナトリウム 0.17~0.19 lb/t イソプロピルザンセートナトリウム 0.18 lb/t エーロフロート 25 0.02~0.03 lb/t 混合エーロフロート 15, 31, 33 0.02 lb/t Satmar 促進剤 0.13 lb/t	H ₂ SO ₄ 1.3~4.5 lb/t (pH 5.0~5.7)	3)
6	ウラノトール石 ピッチブレンド せんウラン鉱	B-23	オレイン酸(非蒸留および蒸留) 2.0~3.0 lb/t (粗選)	Na ₂ SiO ₃ 1~2 lb/t (pH 7.8~8.1)(粗選) Na ₂ SiO ₃ 0.5 lb/t (pH 9.0~10.6)(精選)	18)
7	ウラノトール石 せんウラン鉱	クレゾール酸 50 g/t	スルホン化鯨油 500 g/t 燃料油 750 g/t	Na ₂ SiF ₆ 500 g/t モノジソオクタル 正りん酸 500 g/t	11)
8	りん灰ウラン鉱	B-23 0.2~0.35 lb/t バイン油 0.18 lb/t	エマルジョン (ステアリン酸 1.5~3.0, オレイン酸 1.5, オレイン酸ナトリウム 1.0~3.0, ケロシン 1.1~4.8 lb/t)	NaOH 0.15~1.2 lb/t Na ₂ O・nSiO ₂ 0.3 lb/t Na ₂ SiO ₃ 1.2 lb/t (pH 8.15~9.0)	17)
9	りん灰ウラン鉱 カルノー石	MIBC(B-70)0.4 lb/t (各段毎に添加)	n-モノ-nデシルジチオカルバミン酸カリウム 1.8 lb/t (3段に分割添加)	Pb(NO ₃) ₂ 1.5~3.0 lb/t (3段に分割添加) (pH 6.0±0.5)	16)
10	バルソンサイト 銅ウラン鉱 カソライト	—	オレイン酸(500g/t)・アルコール	H ₂ SO ₄ (pH 6~8) Na ₂ O・nSiO ₂	30)
11	ピッチブレンド 銅ウラン鉱 りん灰ウラン鉱 ウラノフェーン バルソンサイト	—	オレイン酸(1,500g/t)・アルコール Teepol	Na ₂ CO ₃ (pH 6.4~7)	30)
12	ユークセン石 せんウラン鉱	—	オレイン酸(2回蒸留) 0.35 lb/t	H ₂ SO ₄ 0.15 lb/t (pH 6.0) Na ₂ SiF ₆ 0.6 lb/t	18)
13	ユークセン石 フェルグソン石 せんウラン鉱	—	Ac 825・Ac 801 (2:1) 0.6 lb/t	H ₂ SO ₄ 5.4 lb/t (pH 2.0) Na ₂ SiF ₆ 0.5 lb/t	18)

スライム除去の粒度は原鉱中のウラン鉱物の結晶粒度によつても左右されるであろう。

Dorenfeld³³⁾によれば硫化鉱物に対する重晶石のスライムの影響はその粒度が 200mesh 以下の場合でも甚だ大きい。従つてスライムの影響は粒度のみでなく、その性質によつて著しく左右されることが想像される。特にその界面電氣的性質が重要な因子であることは Sun³⁴⁾ その他の研究によつて明かにされている。従つてスライム被覆に対しては適当な分散剤の使用が考えられなければならない。しかし Del Giudice³⁵⁾ はスライム被覆は被覆される鉱物の陰イオンまたは陽イオンとスライムの陽イオンまたは陰イオンが互に反応して溶解度のより小さい「セメント」を表面に生成するためであり、スライム被覆の防止剤は浮遊させる鉱物の表面に、セメント化合物の溶解度と鉱物と捕収剤との反応生成物の溶解度との中間の溶解度をもつ化合物を生成するものでなければならないと主張している。これらの界面電気説と溶解度説の何れをとるべきかによつて、分散剤もまた変りうるものであろうが、この問題については未だ十分な実験的根拠が得られておらず今後の研究に待たなければならない。

7. 結 論

選鉱学は粉体工学 (Micromeritics) の一分科をなすものであつて、処理の対象となる鉱物粒子の粒度が第一義的な要因をなす事は自明の理である。それゆえにここでは先づこの問題について考察することとする。

我々がここで問題としているのはウラン鉱物であるが、既述のようにウラン鉱物の代表的なものはせんウラン鉱である。そしてその粒度は Saskatchewan の Charlebois Lake 地方のペグマタイト鉱の例²⁶⁾では平均 200μ のかなり大きい値が報告されているが、普通は平均 $5\sim 30\mu$ 程度の場合が多い。今仮りに平均を 20μ とし、せんウラン鉱の比重を 9.4 とすれば、直径 20μ のせんウラン鉱の球状粒子の重量は

$$9.4 \times \frac{\pi}{6} \times (20)^3 \times 10^{-12} = 3.9 \times 10^{-8} \text{g}$$

である。また脈石の代表的なものとして石英をとり、その比重を 2.65 とすれば、上記のせんウラン鉱粒子を 1 個だけ含み、その含量が 0.1% に相当する石英粒子の大きさは $3.05 \times 10^{-2} \text{cm}$ となる。すなわち約 48 mesh (295μ) に相当する。またせんウラン鉱の分析品位を 84% U_3O_8 とすれば、粒度 20μ のせんウラン鉱粒子 1 個を含み品位 0.1% U_3O_8 以上の石英粒子の粒度は 288μ (約 60 mesh) 以下となる。若し粒度 20μ 程度のせんウラン鉱が脈石中に一様に鉱染した低品位ウラン鉱があるとすれば、この鉱石を種々の粒度に粉碎した場合、粉碎比が小さい時は原鉱品位に近い品位の粒子が多数生ずるが、粉碎比が大きくなるに従つて、種々の品位の粒子を生じ、最高品位と最低品位との開きは大きくなり、それぞれ純粋なせんウラン鉱と純粋な脈石のそれに近づくであろう。云うまでもなく完全に単体分離したせんウラン鉱粒子は大部分 20μ 以下の粒度であり、廃石品位を 0.01% U_3O_8 以下とすれば、これに相当する粒子の粒度は 620μ (約 28 mesh) 以上となる。また精鉱品位を 0.1% U_3O_8 以上とすれば、これに相当する粒子の粒度は 60 mesh 以下であるから、この場合に適用可能な選鉱法は脈石に対してはその粒度の下限 28 mesh まで、鉱物に対してはその実収率を高度に保つためにその粒度の上限 60 mesh から 20μ (約 700 mesh) あるいは更に数ミクロンまで有効に選別出来るものでなければならない。このような条件に適合できる選鉱法としては既に述べたように、スパイラル・ブランケットテーブル・バナー・重選サイクロン・浮選・浸出などが挙げられるのであるが、これらの中比重選鉱法はすべてスライムの損失が甚だしいために、スライム部分にウラン鉱が濃集する場合には不利である。従つて比重選鉱法が適用できる場合でも有価鉱物なるべくスライム化しないよう破碎法を工夫する必要がある。またウラン鉱物ガスライム化し易い傾向を利用して、これを分級によつて分離する事も出来

33) Dorenfeld, A.C. : Eng. Mining J. 154, No. 5 (1953), 87.

34) Sun, S. C. : Trans. Am. Inst. Mining Met. Engrs. 153 (1943), 479.

35) Del Giudice, G.R.M. : Trans. Am. Inst. Mining Met. Engrs. 112 (1934), 398.

る。この場合には脈石は比較的スライム化しにくく、スライムの品位がウラン精鉱として十分であるか、またはスライム自身の品位は十分高くないが、他に高品位の精鉱が得られ、これにスライムを混合して実収率を上げることが可能であるかのいずれかでなければならない。またスウェーデンで実施されているように重選によつて粗粒の母岩または脈石を除くことも可能である。重選サイクロンは未だ研究段階にあるが、微粒子に対する選別機として期待の持てるものであろう。物理的選鉱法としてはこの他磁選・静電選鉱・放射能選鉱などがあるが、いずれも粗粒に対する選別法であるから、その適用性は特定の場合に限られる。また放射能選鉱の欠点の一つは処理能力の小さすぎることであったが、K & H 式電子選別機の考案によつてこの点は大幅に改善された。この方式は鉱石の有する放射能を検出するものであるから機構が確実に動作するものであれば信頼できる選鉱法であり、廃石摘出率の大きい原鉱に対しては有利に適用することができるであろう。

近時原鉱石の困難度が増大するに伴つて、スライムの問題がしばしば論じられるようになったが、スライムとは何かと云う問に対して明確な定義が与えられていない。Taggart³⁶⁾はスライム粒子の上限は著者により一定せず、0.5mm (約 32 mesh) である場合もあり、0.1mm あるいは 0.07mm (150~200 mesh) である場合もあるが、大部分の粒子は 1μ 以下の粒度であり、これらの2群は沈降特性を異にし、後者はコロイド状あるいはセミコロイド状であると述べている。これに対して Gaudin²⁸⁾ は「近似コロイド」粒子 (“near-colloidal” particle) と云う用語を用いているが、その粒度範囲を規定していない。コロイドと云うのは特定の物質を差すのでなく、その特定の状態を指すのであるから、これに一定の粒度を与えることは問題であるが、その粒度範囲を $1m\mu\sim 0.1\mu$ とすれば²⁹⁾、セミコロイド状粒子は大部分 $0.1\sim 1\mu$ 程度の粒度と考えるであろう。

Dorr と Bosqui²⁴⁾ は金鉱の浮選では 50μ 程度以下のスライム部分を除去する事が有利であると述べているが、現在の場合には単体の有価鉱物をほとんど全部除去することとなり、この部分を精鉱に加算出来る場合は別として、実施困難な場合が多い。一方せんウラン鉱を対象とするせつけん浮選ではスライムの影響が著しいことが多く、スライム除去は是非とも実施する必要があるが、その程度は慎重に検討しなければならない。また除去したスライム分が相当量の有価鉱物を含むが、そのまま精鉱に加算出来ない場合の処置については今後の研究に待たねばならない。

次に問題として挙げられるものは鉱石の酸化である。これに対してはスライム除去に先立つてスクラッピングが行われている。その場合の洗浄剤としては炭酸ナトリウム・水酸化ナトリウム・けい酸ナトリウム・ふつ化水素酸などが用いられる。またスライム除去後パルプ液中に残存する有害イオンを除去するため過、洗じようした上、あらためてリパルプして浮選する方法が考えられる。

浮選剤としては種々のものが試験あるいは操業に使用されているが、脂肪酸系の捕収剤に対して、酸化物鉱やニオブタンタル塩には普通硫酸酸性の回路が用いられ、けい酸塩鉱やりん酸塩鉱には水酸化ナトリウム・けい酸ナトリウムなどによる塩基性回路が良く用いられる。酸化物鉱には余り強い分散剤は用いられない。リグノスルホン酸型の分散剤あるいは少量のヘキサメタりん酸ナトリウムなどが用いられる。これに反してけい酸塩鉱・りん酸塩鉱・ニオブタンタル塩鉱などにはけい酸ナトリウム・けいふつ化ナトリウムなどの比較的強い分散剤あるいはモノジイソオクチル正りん酸などが用いられる。メタりん酸イオンは抑制作用が強く、鉄やアルミニウムのイオンと不溶性の沈殿を生成することによつて、これらのイオンがけい酸塩鉱物を活性化することを防止すると云われている³⁶⁾。硝酸鉛はりん灰ウラン鉱、カルノー石などのりん酸塩鉱・バナジン酸塩鉱に対して活性効果をもつ。

捕収剤としてはオレイン酸あるいは類似の脂肪酸が主薬として用いられているが、オレイン酸

36) Taggart, A.F.: Handbook of Mineral Dressing. (1945), 12-34, 15-04.

は融点(14°C)が比較的が高く、水に対する溶解度が著しく小さく、それ自身起泡性を持ち、カルシウムやマグネシウムイオンと反応して不溶性の沈殿を作る欠点を有する。従つてこれを捕収剤として使用する場合には種々の困難を生ずる。これに対して種々の対策が講じられているが、ウラン鉱浮選の場合の使用状況を見ると、(1)他の脂肪酸と混合する、(2)エマルジョンの形で使用する、(3)溶剤に溶解して使用する、(4)捕収性を持たないフロス調整剤を併用する、(5)捕収剤を少量ずつ分割して逐次添加する、(6)パルプのスライム除去を行う、(7)軟水を用いるなどの方法がとられている。(1)によつて混合物の融点が低下する。この目的にはミリスチン酸(C-14)・ステアリン酸(C-18)などの中級脂肪酸が適当である。また不飽和度の高いリノール酸・リノレン酸などと混合すれば捕収力を増す効果がある。(2)によつて機械的に分散される捕収剤の量を減じ、全体として添加量を減ずることが可能となる。またエマルジョンの成分によつて捕収性を調整することができる。(3)は(2)と同様の効果があるが溶剤としては揮発性が大きくなく、浮選に悪影響を及ぼさないものを選ぶ必要がある。(4)により捕収剤の添加量を減じ、またフロスを最良状態に保ち、精鉱品位と実収率の向上を来すことができる。(5)によつて浮選条件の変化に応じて捕収剤を添加することが容易となる。また最近の研究ではオレイン酸のような高分子捕収剤は液溶中の濃度が高くなると鉱物表面に多分子層吸着を起し、しかも、鉱物表面の不均一性によつて必ずしも単分子層が完成してから多分子層に移行するとは限らず、鉱物表面上で吸着層はパッチ状となつて散在している可能性があると考えられている。このような場合には吸着される捕収剤は既に吸着した分子と巨大なミセルを形成して外方へ成長するために、鉱物表面の湿潤性を減ずることにはほとんど寄与しないばかりでなく、かえつて分子の極性基が水の方に向い、折角減少した湿潤性がまた逆に増加する危険性が生ずると考えられる。従つて捕収剤の無駄な消費を減ずると同時に過剰添加による選別成績の低下を防止する効果がある。(6)によつてスライムの悪影響が除かれる。すなわち、微細なスライムは表面積が著しく大きいために、これが有害物質であればそれ自身の影響も大きく、また有害イオンをパルプ中に溶出する度合も大きい。これらの悪影響は選別の対象となる鉱物粒子に及ぼすものと、浮選剤、特に捕収剤に及ぼすものとの両方を考えなければならない。また微細粒子が有価鉱物からなる場合には粒度が小さくなるに従つて、莫大な量の捕収剤を吸着するにもかかわらず、その被捕収性は減少する。それゆえにスライム除去によつて捕収剤その他の薬剤の無駄な消費を減ずると共に選別成績を向上する効果がある。なおスライム除去と同時にパルプ液をろ過・洗じようした後リパルプして浮選すれば既に述べたように一層効果は大となるであろう。またこの方法によつて粉碎用メディアムに起因する鉄塩や青化処理あるいは硫化鉱浮選の際のシアン化物を除去し、その悪影響を無くすることができる。この際予め少量の酸を添加してかきまぜることも有効である。(7)はせつけん浮選における硬水の悪影響から免れる当然の処置である。オレイン酸の他の欠点は浮選条件の変化に対して敏感であり、不純なオレイン酸は捕収剤として不適当なことである。これに対しては浮選条件をできるだけ一定に保つように努めることおよび再蒸留された純度の高い製品を使用すること以外に方法はないものと思われる。

捕収剤としてはオレイン酸の他、スルホン酸類・カルバミン酸塩などが用いられているが、取り立てて述べることも無いであろう。

フロス調整剤としては合成潤滑油・非イオン性表面活性剤・高級アルコール型起泡剤などが用いられている。

ウラン鉱は普通のせつけん浮選の場合に比較して原鉱品位・浮遊度ともに低く、パルプ濃度はなるべく高い方が良いが、他方脈石の混入が予想されるから、スライム除去と分散剤の利用を合せ考えなければならない。従来の実績では粗選には普通25~40%、粘土分などが多い場合は19~23%程度、精選には4~12%程度のパルプ濃度が用いられている。

ウラン鉱の現在の浮選成績は上記の試験および操業のデータから選鉱比3~35、平均7.6、 U_3O_8

実収率36~94%, 平均78%程度であることが判明した。浮選法をウラン鉱の前処理の方法として取入れることが可能であるかどうかと云う問題については当面する個々の場合に対して検討すべきことであつて一般的結論を引出すことは困難であらう。また技術面の他に経済面をも考慮しなければならないから、ここでは触れない。しかし単に技術面あるいは学理面から見ても未知の分野が広いことを痛感するものであり、今後の研究発展が切に期待される。

筆をおくに当つて、資料を提供され、御教示を賜り、かつ御助力下さいました方々に厚く御礼を申し上げます。

(昭和34年11月14日受理)