カラム浮選技術の発展

今 井 哲 男*

Development in Column Flotation Technologies

Tetsuo IMAI

1. は じ め に

浮遊選鉱（浮選）法が1860年に開発されて以来、多くの浮遊選鉱機（浮選機）の開発が進められている^{1,2)}。浮選法では、粉碎した鉱石を水と混合してパルプを形成させ、浮選剤を添加した後、空気を混入し、気泡に付着した鉱粒を浮上させてフロスとして分離回収する。

浮選機は、パルプと空気を混合し浮上分離を行う装置である。1920年代にサブエアレーション式浮選機が開発されて後、この型式が主流となり、現在広く使用されている。サブエアレーション式では、インペラを空気ポンプの機構にして空気を吸込む方法や、強制的に加圧空気を吹込みかつインペラで剪断する方法を採用して、鉱粒回収率を高めている。近年、浮選槽の大型化が進み、ポーフリー銅鉱浮選の粗選系統等では容量 100~200 m³の浮選機が用いられている^{3,4)}。

一方、カラム浮選機は1961年にカナダで発明され⁵⁾、その後、1980年に初めてカナダの Mines Gaspé で実用機が稼動した⁶⁾。当機種の特徴は、パルプと気泡を 10 m 程度の高柱状槽内で向流接触させることである。駆動部を持たず簡単な形状で、床面積が少なく、建設費・操業費が安い。さらに、細粒鉱物の浮選では精鉱品位の向上が見込めるため、近年、世界各地の選鉱場や選炭場で、急速に導入されている。特に、精選系統や微粒鉱の浮選では従来のサブエアレーション式浮選機と置き換えられつつある^{3,4,7~11)}。日本国内では、北海道の豊羽鉱山の鉛および亜鉛精選系統で6基のカラム浮選機が稼動している。また、銅ヒープリーチングの SX-EW 法における有機物除去、排水・汚染土壌処理、古紙の脱インク処理等の鉱物・石炭処理以外の分野への活用も試みられている。

ここでは、カラム浮選機の構造と操業パラメーターを

概説するとともに、カラム浮選技術の発達と最近の動向について展望する。

2. カラム浮選機の構造

カラム浮選機は、図1に示すように細長い筒型の構造をしている。一般的に、機高 9~15 m、直径 0.5~3.0 m で、断面は四角形あるいは円形である。直径 2 m 以上のカラム浮選機では槽内の軸方向に整流板を取り付けたものが多い。鉱石パルプを上部から約 1/3 の位置から給鉱し、一方、カラム槽内に設置したスパージャーを通して、底部から空気を導入し、気泡を供給する。また、フロス品位を向上させるために、フロス上面に洗浄水を散布する。パルプは下方に移動し、上昇してきた気泡と接触して、疎水性鉱粒が気泡に付着する（捕収域）。気泡に付着した鉱粒は、上昇してフロス中に至り、洗浄水により精選されて精鉱となる（精選域）。気泡に付着しない鉱粒は、パルプ状の尾鉱としてカラム下部から排出される。

3. カラム浮選機の操業パラメーター

3.1 空気量

カラム浮選機の操業では、空気量を変化させて微調整を行う。槽内に気泡が導入されると、パルプとの置き換えが生じる。この時置換された体積比を空気 (gas) のホールドアップ (ϵ_g) と呼んでいる（パルプ部分の比率は $1-\epsilon_g$ である）。空気ホールドアップと流入速度の関係を図2に示す。空気流入速度 (J_g) が上昇するにつれて、 ϵ_g は比例的に増加し、一定粒度の気泡が槽内に均一に分散する（図2の気泡流域）。 J_g がさらに上昇すると、 ϵ_g は不安定になり、大きい気泡が急速度で上昇し水と細気泡が下降するようになる（図2の激動-乱流域）¹²⁾。このため、空気量は気泡流域の上部域で調整することが好ましい。

3.2 パルプレベル

* 日鉱金属株式会社技術開発センター
平成11年11月29日受理

図1 カラム浮選機の構造

浮選成績の安定化のために、フロス層とバルブ層の界面レベルを一定にし、フロス高さを変動させないことが大切である。このため、通常、レベルセンサーと洗浄水流量計あるいは尾鉱抜き出しバルブの開度調節計とを連動させてフロス高さを一定に保つ。

3.3 洗浄水量

精鉱品位を上昇させるためには、適正量の洗浄水を添加する必要がある。洗浄水の一部は、フロスとともにオーバーフローするが、大部分の洗浄水は、フロスを通過して捕収域へと下降して行く（図1参照）。尾鉱流量 Q_t (vol/hr) と給鉱流量 Q_f (vol/hr) との差をバイアスと呼んでおり、精選を効率よく行うために、常にバイアスを正 ($Q_t - Q_f > 0$) の状態に保つ必要がある。この状態で、給鉱中に含まれていた水はほぼ尾鉱に流れ、洗浄水量 Q_{ww} (vol/hr) が精鉱流量 Q_c (vol/hr) よりも多くなる。ただし、バイアスが高すぎると、尾鉱品位が上昇して成績はかえって悪化する。一般的には、

$$1 < Q_t / Q_f < 1.1$$

で操業する¹³⁾。

4. カラム浮選機の発達

カラム浮選機は、1980年にカナダの銅・モリブデン鉱のモリブデン浮選操業に組入れられて後、世界各地の非鉄金属選鉱場や選炭工場に広がった。当時、すでに操業

機は製造・販売されていたが、構造が簡単であるため、カナダをはじめ各地の鉱山では自山でカラム浮選機を設計・建設して実用化した。対象系統は、精選系および微粒鉱の分離浮選である。

豊羽鉱山選鉱場では、1988年から、亜鉛精選および鉛精選系統にカラム浮選機を使用しているが、実用例として、これらの設置状況の概略を記す。豊羽鉱山では、カラム浮選機導入に当たり、1986年より、給鉱に種々系統のバルブを用いて、直径 45 cm のカラム浮選機 2 基によるパイロットプラント試験を行い、適合性を評価した。

図2 空気ホールドアップと流入速度の一般的関係

図3 豊羽鉱山亜鉛精選系統

次いで、6基の操業用の円筒型カラム浮選機（機高13.5 m、直径1.5～2.7 m）を製造して、カラム浮選機適用の効果が見込まれる鉛精選、亜鉛精選等3系統に組み入れた^{14,15)}。操業機の設計に当たっては、カナダのIsland Copper 鉱山に設置された自山製カラム浮選機を参考にした。

カラム浮選機の槽内パルプレベルの測定には差圧密度計センサーを用い、このレベルセンサーと尾鉱のパルプ開度調節計とを連動させてレベル制御を行う方式を採用している。気泡発生スパージャーには、試験機ではフィルターろ布を用いたが（気泡径2～6 mm）、操業機では目詰まりの少ない有孔ネオプレン管（孔数50～60個/inch²）を用いた。また、粗粒鉱に対する採収率を維持するため、図3に示すように、カラム浮選機の尾鉱に対してバックアップ用機械攪拌型浮選機を設置（精選清掃選）している。亜鉛精選の成績制御には、北大と共同で開発した、オンライン品位分析結果と気泡発生量等とを連動させたファジィ制御を用いている^{16～20)}。豊羽鉱山では、カラム浮選機の導入により、精選系統の処理量増大を可能とするとともに、精鉱品位が2%上昇し（採収率は同等）、操業コストが6百万円/月低減している。

5. カラム浮選機に関する技術開発

5.1 気泡発生機構の進歩

（1）水/空気ジェット式エアレーターの開発

カラム浮選機の気泡発生用スパージャーは、構造は簡単であるが、寿命は織物製で2～3ヶ月、ゴム製で5～7ヶ月と短く、補修が煩雑で操業上信頼性に欠けるため、スパージャー部の改良が重要課題であった。このため、

1980年代後半から、スパージャー部を機体外部に設置出来て補修が容易な、水/空気ジェットを用いた各種の空気吹き込み式エアレーターの開発が進んだ。

① Turbo Air 型 US Bureau of Mines (USBM) は、内径50 mmのエアレーター内にガラス玉あるいは石英粒子を充填した水ジェット式スパージャーを開発した。当機は高圧（最大720 kPa）で作動するため、多量の細粒の気泡発生が可能であり、また図4に示すように、水圧と起泡剤添加量を調整して気泡径を0.1～3.0 mmの範囲で変化出来る¹³⁾。USBM機は、1990年に設立された仏米合弁会社であるControl International社から、Turbo Air という名称で販売されている。

② Flotaire 型 米国のDeister Concentrator社の

図4 Turbo Air型スパージャーの気泡発生特性（比較（点表示）：ろ布製スパージャー）

図5 空気ジェット式スパージャー (Minnov EX 社製) の構造

Flotaire 型は、加圧空気を外部スパージャーから機内のエアレーション板を通し槽内に放散する構造をしている²¹⁾。圧力 300~480 kPa、空気と水の流量比約30で作動し、0.1 mm 程度の細粒気泡を発生させる。当機は、1986年に実操業に導入後、ヨーロッパ、アフリカを中心に各地に急速に広がった。

③ CESL 型 カナダの Cominco Engineering Services (CESL) 社が1988年に開発したエアレーターでは、外部スパージャーで生成した空気-水混合物を多数の有孔金属管を通して槽中に放散する。圧力は 300~600 kPa で運転し、気泡径は 0.3~0.4 mm である。空気ホールドアップは50%まで確保できる。各有孔金属管は操業中に交換することが出来る構造であり、稼働率のロスが少ない。CESL 型は、北米、南米、南アフリカを中心に広く適用された。

(2) 空気ジェット式エアレーターの開発

カナダの Minnov EX Technologies 社では、近年、水を用いず空気のみを吹込み(空気ジェット)で気泡を発生させる機構を持った、耐久性に優れたスパージャーを開発している。このスパージャーは、ニードルと気泡を

噴霧するオリフィス(1個所/スパージャー)から成る簡単な構造で、オリフィス径が大きくまた内面がセラミック被覆されているため、スケールによる汚れや閉塞がなく、寿命は2年と長い。発生する気泡径は 0.5~3.0 mm で、水/空気ジェット式よりは若干大きい。

CESL 社、米国の Eimco 社、南アフリカの Multotec Process Equipment 社等でも同種のスパージャーの開発販売を開始している。この方式のスパージャーは、従来のカラム浮選機のスパージャー部だけを交換することにより容易に使用できるメリットもあり、近年、世界各地の選鉱・選炭工場で広く用いられている。空気ジェット式スパージャーの構造および気泡の噴出状況を、各々図5と図6に示す。

(3) 固定式ミキサーによる微細気泡発生エアレーターの開発

米国 Polytechnic Institute and State University の Virginia Center for Coal and Mineral Processing (VCCMP) では、超微粒子の精鉱品位上昇を目的として、1990年代初頭に、Microcel™ 型スパージャーを開発した。当スパージャーは、パイプ内部に固定式のパルプ・空気混合機構(In-line static mixer)を持ち、この中を空気と尾鉱パルプの一部(繰返し)が通過する際に、剪断力により 0.1~0.4 mm の細粒気泡を発生させる²³⁾。

5.2 パルプ/空気の混合と浮選分離機構を区別したカラム浮選機の開発

一般の浮選機では、パルプと空気の混合と鉱物の浮選分離を同一槽内で行っているため、各々の機能が十分に発揮できない。これを改善するため、混合と分離を別の槽で行い浮選時間を短縮する試みがなされ、実用化されている。

(1) 空気吸込み式エアレーターの開発

オーストラリアの MIM Process Technologies 社が開発した Jameson 浮選機は、パルプと空気を混合させる降泥管と浮選分離用の低機長の槽から成っている^{24,25)}。当機では、給鉱パルプが降泥管を流下する際に空気を吸

図6 空気ジェット式スパージャー (CESL 社製) の気泡噴出状況

い込むスラージェット式エアレーション法を用い、バルブと気泡を混合する。浮選時間は短く、Hilton 鉱山の鉛浮選における試験では従来型のカラム浮選機の13分に対して3分で充分であった。空気の供給は自給式で、降泥管の数は処理鉱量により1本～数本選定が出来る。近年、槽内パルプレベル制御のため、尾鉱繰り返し機構を組み入れた Mark III が開発されている。Jameson 浮選機は、小型で機構が簡単であり、操業コストが安い。現在、オーストラリア国内の微粉炭処理工場では、半数以上が当機種を使用している。3 m 径 Jameson 浮選機の構造と浮選機内のバルブと気泡の動きを、各々図7と図8に示す。

ドイツの Erz- und Kohleflotation GmbH (EKOF) 社が開発した Ekoflot-V 浮選機や、中国の LM 浮選機も同種の機構を備えている²⁶⁾。

(2) サイクロン式エアレーターの開発

サイクロンの遠心力を用いて鉱石バルブと気泡を混合させるエアレーターが開発されている。空気の供給は自給式であるが、圧力空気挿入も併用できるタイプもある。遠心力により鉱粒は槽の壁側に移り、気泡は内側を上昇することにより、捕収速度が速くなる。当浮選機は特に細粒浮選に有効であるが、粗粒に対しては粒子径と粒子比重が分離効率に悪影響を与える。当機種は、選炭工場で使用されている²⁷⁾。

(3) 水／空気ジェット式エアレーターの適用

カナダの Amelunxen-Wales Technologies 社で開発した Contact カラム浮選機は、バルブと空気の混合を浮選分離槽外に設置した接触槽 (Contactor) で行う構造を

している。まず USBM 型水／空気ジェット式スパージャーで空気と水とを作用させ気泡を発生させた後、直ちに接触槽内でバルブと混合させて、浮選分離カラムに送る。接触槽の圧力は 0.7 から 2.7 気圧で、接触槽内の流速は 3 m/秒で気泡の凝集を防いでいる²⁸⁾。

(4) 空気吹込み式エアレーターと従来型エアレーターとの併設法の適用

Multotec Process Equipment 社では、空気吹込み式エアレーション型カラム浮選機と従来型カラム浮選機との両特徴を持ち備えたユニークな機種を開発し、1997年から Turbo Column という名称で販売している。すなわち、当機では、給鉱バルブを降泥管から流下させる際に、空気吹込み式のプレエアレーションを行い、さらに槽下部に設置したスパージャーから気泡を放散して浮選に供す。また、尾鉱の一部を繰り返して槽内のパルプレベルを制御している。機高 7～8 m で圧力空気量を40%程度に低減させることが出来るため、建設費と操業費が減じる。また当浮選機は空気量の調整が容易であり、かつ粗選系統への適用が可能である⁴⁾。

5.3 機械攪拌機構を併設したカラム浮選機等の技術開発

カラム浮選機は、比較的粗粒鉱物を浮上させる能力が低い。この改善に、機械攪拌機構との併用法が検討され、種々の機構が開発されている。Leeds 浮選機は、サブエアレーション式の Agitair 型インペラ機構を持つカラム浮選機であり、1988年に Wemco 社が Wemco-Leeds カラム浮選機として販売した。当機の槽内には、比重の異なるロッドを敷き詰め、精選効果を高めている²⁹⁾。

図7 Jameson カラム浮選機 (3000/12型) の構造

図8 Jameson カラム浮選機内のバルブと気泡の動き

Hydrochem 浮選機は、槽中央部に垂直軸があり、軸には数個（最大8個）のインペラが設置されている。さらに、インペラ間には、軸に固定ディスクが設置され、搅拌域を区分している¹⁰⁾。

この他、カラム槽中に波状型のパッキン垂直板を充填した充填式カラム (Packed column) 浮選機^{30,31)}、槽内に多機能の領域をもつ多段槽 (Multi-cell) 浮選機¹⁰⁾ 等、種々の新しい機種のカラム浮選機が開発されている。

6. カラム浮選機の適用領域の拡大

(1) 銅ヒープリーチング SX-EW 法における有機物除去

銅鉱石のヒープリーチングでは、浸出銅の溶媒抽出工程で産する抽出貴液を電解採取工程に送り電解銅を生産する。抽出貴液中の残留有機物除去には、従来砂ろ過法が用いられていたが、この工程をカラム浮選機に置き換える試みが進められた。これにより、電解採取工程へ送る電解液中の有機物を安定して低値に保持でき、電解工程の安定性が高められた^{32,34)}。当技術は、現在、オーストラリア、北米、南米の実操業で広く用いられている。

(2) 排水・土壌中の重金属イオンの回収

Michigan 技術大学では、Cu, Pb, Hg, Fe, Zn, Cd 等を含む酸性溶液に対して、硫化水素ガスを吹込み、捕収剤と起泡剤を添加した後、カラム浮選機を用いて硫化物の浮選分離を行なう方法を開発している³⁵⁾。

また、スロバニアの A. Seselj らは、土壌をバルブ状にして溶液中から有価物を分離・回収する、土壌水洗処理法へのカラム浮選機適用を検討した³⁶⁾。この結果、浸出溶液を苛性ソーダで中和後 (pH 9)、捕収剤にイソプロピルゼンセートソーダとドデシル硫酸ソーダ ($C_{12}H_{25}$

NaO_4S) とを添加して、Zn 回収率70%、Pb 回収率90%を得ている。

(3) 古紙の脱インク処理

製紙工場における古紙の脱インク処理には、従来から機械搅拌あるいは加圧浮上法等を用いた浮選処理法が適用されているが、McGill 大学の Watson らは、従来型カラム浮選機、充填型カラム浮選機および機械搅拌式浮選機を用いて試験を行い、各機種の性能比較を行った³⁷⁾。その結果、3種の浮選機の脱インク効果はほぼ同等であるが、有機物（紙繊維と脂肪酸残留物）ロスに機械搅拌式浮選機の通常値5～10%に較べて、両カラム浮選機では2%以下に抑えられた。

(4) 精油所排水中の油分回収

製油所排水には、油やグリースが少量（一般的には50 ppm 以下）含まれており、この油分除去には、機械搅拌式の浮選機が使用されてきた。しかし、剪断力が強く、小さな油分フロスを十分に気泡に付着させることが難しく、また、浮上させる量が少ないため、気泡とともに大量の水をスキナーでかき取らざるを得なかった。ここにカラム浮選機を用いた結果、搅拌が少ないため油分の気泡への付着がスムーズで、一度付着した油分は脱離しにくく、油分回収率が増加した³³⁾。

(5) イオン浮選 (U-Mo) に対する適用

イオン浮選は、1962年に Sebba が考案した希釈溶液からのイオン抽出技術である。当技術では、まず液中に界面活性剤を添加し、イオンと反応させ、溶解物あるいは沈澱物の形態をした有機金属化合物を形成させた後、これらを浮遊させる。ただし、適当な浮選機がないため、あまり実用化は進んでいない。フランスの R. Houot らは、イオン浮選に、微細なフロスを形成しかつ搅拌力の

少ないカラム浮選機の適用を検討した。当研究では、対象をウランウム硫酸浸出液中のモリブデンとし、カラム浮選機に、Microcel, Turbo Air および Flotaire 型を用いて比較した³⁸⁾。その結果、遅い攪拌速度の方が澱物の粒度は大きくなるので、カラム浮選機を使用することにより、95%以上の Mo 回収率が得られた。また、Microcel 型機種が最も優れ、次いで、Flotaire 型であった。

7. お わ り に

カラム浮選機は、1980年にモリブデン浮選操業に使用されて以来、多くの非鉄金属鉱物や石炭の選別工程に適用されている。特に、精選系統では従来のサブエアレーション式浮選機に換えて当浮選機を導入している鉱山が多い。開発初期には、気泡発生用の空気スパージャーの目詰まり、補修等に問題があったが、種々の改良がなされ、近年、長寿命で取り扱いが容易な各種の機種が開発されている。

当浮選機は、その構造から単体分離された鉱粒の選択的回収には優れた効果を発揮するが、一方、粗粒の鉱粒や片刃鉱回収に適しているとはいえない。このような欠点克服のため、目下、安価で効率のよい機種の開発が鋭意進められており、今後の技術開発が期待される。

カラム浮選機は、設備および操業コストが安く、また取り扱いが簡単な上、フロス層を厚く保ち、多量の細かい気泡を発生させることが出来る等の優れた特徴を有している。今後、これらの特徴を生かし、浮選のみならず気液混合等の領域においても、各種のカラム浮選機あるいはスパージャーが適用される可能性は大きい。

参 考 文 献

- 1) A. F. Taggart: Handbook of mineral dressing, Sec. 12. Flotation, p. 52-84 (1945)
- 2) 斎藤平吉, 高橋慎祐: 鉱山読本, 第5巻 選鉱編, 第28集(中) 浮遊選鉱論, I. 浮遊選鉱機, p. 1-65 (1963)
- 3) T. Brewis: Flotation cells, Mining Magazine, Vol. 175, No. 1, July, p. 18-24 (1996)
- 4) D. Clifford: Flotation advances, Mining Magazine, Vol. 179, No. 5, Nov., p. 235-243 (1998)
- 5) P. Boutin and D. A. Wheeler: The flotation column, Canadian Mining Journal, Vol. 84, Aug., p. 55-56 (1963)
- 6) T. Cienski and V. Coffin: Column flotation operation at Mines Gaspé molybdenum Circuit, Canadian Mining Journal, Vol. 102, March, p. 28, 31, 32 (1981)
- 7) S. Hall: Developing flotation technologies, Mining Magazine, Vol. 164, No. 6, June, p. 379, 380 (1991)
- 8) T. Brewis: Flotation cells, Mining Magazine, Vol. 164, No. 6, June, p. 383-390, 393 (1991)
- 9) R. H. Yoon: Microbubble flotation, Minerals Engineering, Vol. 6, No. 6, p. 619-630 (1993)
- 10) J. B. Rubinstein: Column flotation —Process, design, and practices, 2. Design of flotation columns, 3. Aerators in flotation columns & 10. Column flotation practice, Gordon and Breach Science Publishers, p. 7-66, 238-272 (1995)
- 11) J. A. Finch: Column flotation: A selected review-Part IV: Novel flotation devices, Minerals Engineering, Vol. 8, No. 6, p. 587-602 (1995)
- 12) J. A. Finch and G. S. Dobby: Column flotation, Chap. 2. Collection zone, Pergamon Press, p. 9-36 (1990)
- 13) R. L. Amelunxen: The mechanics of operation of column flotation machines, Paper No. 1, 17th Canadian Mineral Processors Conference, Ottawa, Jan., p. 13-31 (1987)
- 14) 今井哲男, 沢木 来, 玉井英晴: コラム浮選機使用等による豊羽選鉱成績の改善, 資源と素材, Vol. 105, No. 5, p. 359-363, (1989)
- 15) 今井哲男, 沢木 来, 玉井英晴: 豊羽鉱山における Pb および Zn 浮選へのコラム浮選機の導入, 資源処理技術, 第36巻, 第2号, p. 19-24 (1989)
- 16) 平島 剛, 高森隆勝, 恒川昌美: カラム浮選における精鉱品位制御へのファジィ制御の適用, 1990年資源・素材学会秋季大会, R-2, p. 5-8
- 17) 平島 剛, 大島一馬, 松原 徹, 高森隆勝, 恒川昌美, 今井哲男: カラム浮選における精鉱品位制御に関する研究, 1991年資源・素材学会春季大会, 3707, p. 403-404
- 18) 今井哲男, 沢木来, 久保 進, 玉井英晴: 浮選工程の制御と管理システムの改善について—プロセスコントローラー導入による—, 資源と素材, Vol. 107, No. 9, p. 334-338 (1991)
- 19) T. Hirashima, T. Takamori, M. Tsunekawa, T. Matsubara, K. Oshima, T. Imai, K. Sawaki and S. Kubo: The application of fuzzy logic to control concentrate grade in column flotation at Toyoha Mines: Column '91, Proceeding of an International Column Flotation, Vol. 2, p. 375-389 (1991)
- 20) 平島 剛, 大島一馬, 恒川昌美, 大塚悦央, 久保進, 今井哲男: 豊羽鉱山におけるカラム浮選機のファジィ制御, 資源と素材, Vol. 112, No. 3, p. 161-166 (1996)
- 21) J. A. Christophersen: Recent Deister Flotaire column flotation cell developments, 資源技術処理, 第35巻, 第4号, p. 207-225 (1988)
- 22) D. J. Murdock and H. E. Wyslouzil: Large-diameter column flotation cells take hold, Engineering and Mining Journal, Vol. 192, No. 8, Aug., p. 40-42 (1991)
- 23) G. H. Luttrell, M. J. Mankosa and R. H. Yoon: Improving fine particle flotation using microbubbles, AIME Proceeding. Annual Meeting of the Minnesota Section, SME and University of Minnesota Mining symposium 65th-53rd, P. 207-217 (1992)
- 24) G. J. Harbort, B. R. Jackson and E. V. Manlapig:

- Recent advances in Jameson flotation cell technology, Mining Engineering, Vol. 7, Nos2/3, p. 319-332 (1994)
- 25) G. M. Euans, B. W. Atkinson and G. J. Jameson: Recent advances in Jameson cell technology, Column '96, Ed. By C. O. Gomez and J. A. Finch, p. 40-49 (1996)
- 26) C. Xinghua: Study and test on a new flotation device: LM Flotation cell, Mineral Engineering, Vol. 11, No. 5, p. 457-462, (1998)
- 27) T. Yalcin: The effect of some design and operating parameters in the cyclo-column cell, Minerals Engineering, Vol. 8, No. 3, p. 311-319 (1995)
- 28) R. L. Amelunxen: The contact cell —A future generation of flotation machines, Engineering and Mining Journal, Vol. 194, No. 4, p. 36-37 (1993)
- 29) V. R. Degner and P. L. Person: Leeds column performance evaluation, Mineral Engineering, Vol. 4, Nos 7-11, p. 935-950 (1991)
- 30) D. C. Yang: Packed column froth separation of fine particles, Proceeding of the 1st International Conference on Modern Process Mineralogy and Mineral Processing, p. 569-574 (1992)
- 31) I. Bilgesu, T. P. Meloy and M. C. Williams: Packed column froth flotation—escalator model and plugging, International Journal of Mineral Processing, Vol. 53, No. 1/2, p. 59-74 (1998)
- 32) D. Reagett: Mount Isa Mines Limited copper leach SX-EW pilot plant, The Aus IMM Proceedings, Vol. 298, No. 1, p. 33-35, (1993)
- 33) J. Donald and P. Murdock: Column cells continue to find new applications, Mining Magazine, May, p. 238, 240, 243 (1993)
- 34) P. M. Keyser, J. D. McKay, C. D. Walker and D. G. Foot, Jr.: Application of column flotation for the removal of organic material from aqueous streams, Column '96, p. 209-214 (1996)
- 35) C. C. Nesbitt and T. E. Davis: Removal of heavy metals from metallurgical effluents by the simultaneous precipitation and flotation of metal sulfides using column cells, Extraction and Processing for the Treatment and Minimization of Wastes (MMMS), p. 331-342 (1993)
- 36) A. Seselj, J. Stazisar and B. Salopek: Use of column flotation in the soil remediation process, XX IMPC, Vol. 5, p. 709-717 (1997)
- 37) J. A. Watson, C. O. Gomez and J. A. Finch: De-inking recycled paper using column flotation, Column '96, p. 195-207 (1996)
- 38) R. Houot, L. O. Filippov, R. Joussement, E. Jdid and P. Blazy: Application of column to ion flotation: Case of U-Mo sulphuric acid solutions, Column '96, p. 183-193 (1996)