

■ シリーズ特集 ■ 明日を支える資源 (72)

〈連載：新シルクロード②〉

カザフスタン共和国における低品位鉱石・選鉱廃滓からの有価金属回収研究開発

Research and Development on Recovery of Valuable Metals from Low Grade Ores and Tailings in Republic of Kazakhstan

土屋 春 明*

Haruaki Tsuchiya

1. はじめに

1991年12月に旧ソビエト連邦が崩壊し、カザフスタン共和国、キルギス共和国、ウズベキスタン共和国、タジキスタン共和国、トルクメニスタン共和国の中央アジア5カ国が独立した。中央アジア諸国の鉱業情報が開示されるに連れ、同諸国は石油、石炭、ウラン等のエネルギー資源はもとより貴金属、ベースメタル等の鉱物資源が豊富で旧ソビエト連邦の資源供給基地としての役割を果たしていたことが明らかとなった。

とりわけ、カザフスタン共和国は旧ソビエト連邦の中でロシアに次ぎ、日本の約7倍の面積(2,717,300 km²)を有する資源保有国である。図-1にカザフスタン共和国の位置を示す。一方、旧ソビエト連邦時代の技術をベースとした鉱山操業の結果、有価金属(金、銀、銅、レアメタル等)を含有する大量の低品位鉱石・選鉱廃滓が堆積・放置されている状況にあり、又、環境対策が積極的に行われなかった結果、放置された低品位鉱石・選鉱廃滓が鉱害発生源ともなっている。

平成6年度から新エネルギー・産業技術総合開発機構と金属鉱業事業団は、カザフスタン共和国の非鉄金属資源のより一層の有効活用を実現するため環境に配慮し、堆積・放置された大量の低品位鉱石・選鉱廃滓から有価金属を回収する「環境調和型高効率鉱物資源抽出・処理技術の開発」を東カザフスタン州で開始した。

筆者は平成6年から平成9年度まで当研究開発事業に参加する機会を得たので表題について最近の世界の湿式製錬技術の動向も踏まえて紹介する。なお、本報告はエネルギー・産業技術総合開発機構及び金属鉱業

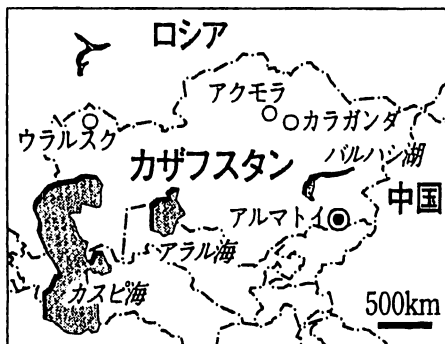


図-1 カザフスタン共和国位置図

事業団の承認のもと、当研究開発事業の概要を述べるものである。

2. カザフスタン共和国の鉱業概況

カザフスタン共和国は旧ソビエト連邦内にあってはロシアに次いで鉱物・エネルギー資源に富んだ国である。鉱産物生産は銅、鉛、亜鉛などのベースメタルの生産量では旧ソビエト連邦のそれぞれ31%、62%、56%を占め、クロム及びビスマスはそれぞれ98%、95%と旧ソビエト連邦の大半を占め、鉄鉱石は14%、石炭及び石油は10%を占めている。その他、チタン、マグネシウム、ベリリウム、モリブデン、ニオブ、タンタルなどのレアメタルやウラン燃料なども多く生産されている。また燐鉱石、重晶石、石綿、ドロマイト、石灰岩、耐火用粘土などの非鉄金属資源も豊富である。図-2にカザフスタン共和国の非鉄金属及び金鉱床の分布を示す。

カザフスタン共和国は旧ソビエト連邦内のみならず、世界的にも非鉄金属資源の重要な産出地域の一つである。同国の非鉄金属(銅、鉛、亜鉛)生産量の約70%が北東部の東カザフスタン州から産出している。

独立後のカザフスタン共和国の非鉄金属生産量の推

* 海外鉱物資源開発(株)開発部副部長
元金属鉱業事業団 技術開発部探鉱技術開発課長
〒105-0001 東京都港区虎ノ門1-21-9
秀和第2虎ノ門ビル10F

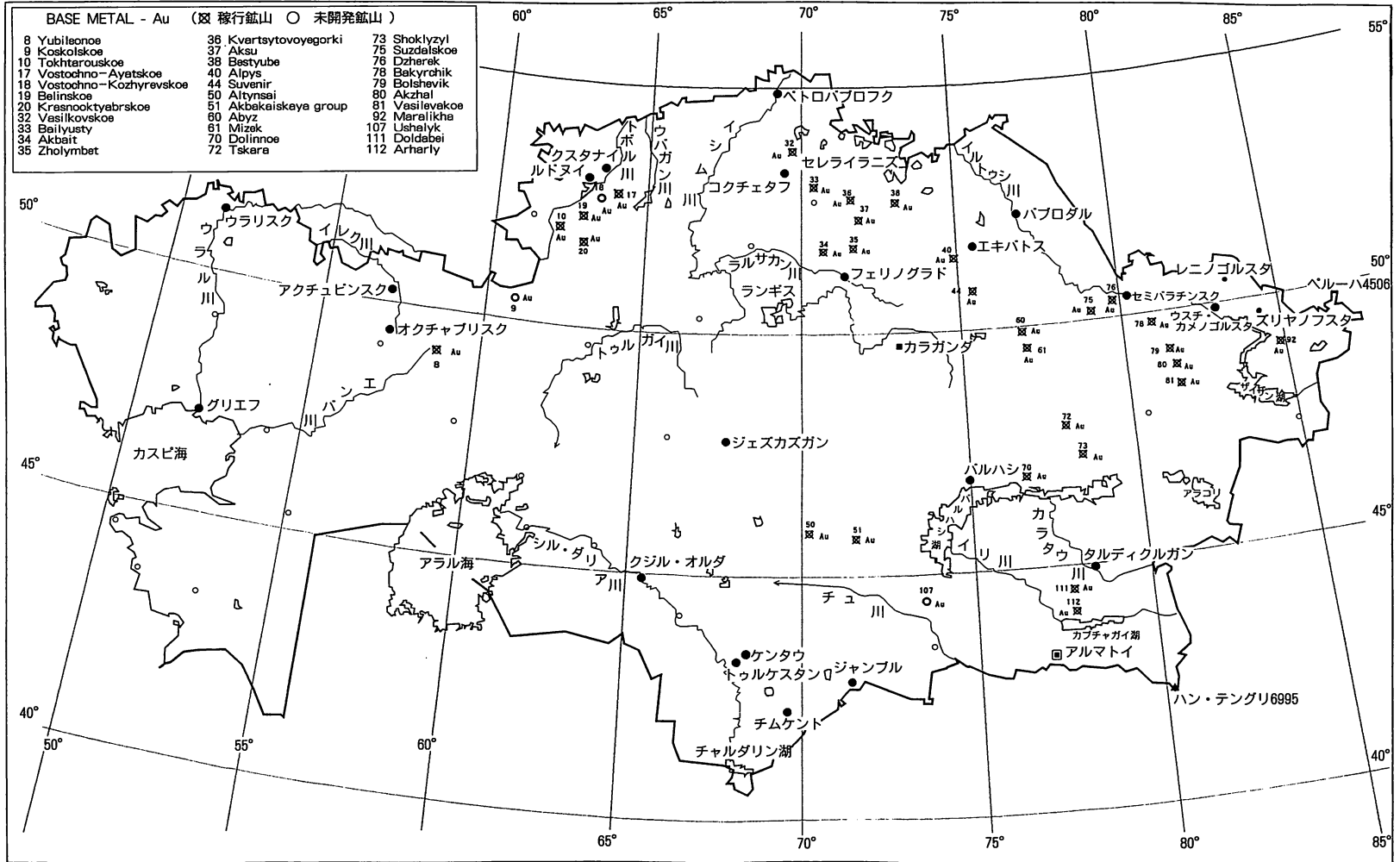


図-2 カザフスタン共和国の非鉄金属及び金鉱床分布図

表1 カザフスタン共和国の非鉄金属の鉱石生産量の推移

	1992	1993	1994	1995	1996
銅 (千トン)	303.7	263.5	215.4	232.6	237.5
全世界	9417.5	9426.2	9418.0	10109.0	10812.3
鉛 (千トン)	184.2	183.8	69.0	53.3	28.8
全世界	3075.9	2796.5	2701.9	2793.7	2783.9
亜鉛 (千トン)	221.6	218.8	148.1	148.1	158.1
全世界	7194.0	6775.2	6834.3	7117.1	7202.8

移を表1に示す。

独立直後の1992年のカザフスタン共和国の非鉄金属生産量の世界に占めるシェアは、銅3.2%（世界第9位）、鉛6.0%（世界第6位）、亜鉛3.1%（世界第7位）であった。1996年の同国の占めるシェアは、銅2.2%（世界第11位）、鉛1.0%（世界第15位）、亜鉛2.2%（世界第10位）と激減している。この生産量の低下は多くの鉱山が1940年代から1960年代に開発されたため、鉱量の枯渇、採掘鉱石品位の低下、採掘深度の深部化や露天掘りから坑内掘りへの移行などを余儀なくされた。また、製錬所から遠距離に立地する複数の鉱山から精鉱を長距離運搬せざるを得なく旧ソビエト連邦時代は只同然であった輸送コストが高くなり鉱山としての国際競争力を失った。現在、鉱山を含めたコンビナートの経営権を外国企業に5年間譲渡し、コンビナートの経営改善を図る方策が採用され、約80%のコンビナートの経営権を外国企業に譲っている。カザフスタン共和国の非鉄金属産業を取り巻く環境は厳しいものがあるが、依然として同国では非鉄金属産業は外貨獲得の有力な手段であり、1993年を例に採ると、人口の2%が就業し、国内総生産（GDP）全体の約12%を占めるとともに、外貨の約27%を獲得している。

カザフスタン共和国は、旧ソビエト連邦の非鉄金属の供給源であったことから亜硫酸ガス、重金属による大気・水・土壌の汚染がひどい。これらは製錬所のあるウスタカメノゴルスク、レニノゴルスク、ジェスガスカン、バルハシ、チムケント及びジャンプールで顕著である。これらの地域では、鉱石採掘の廃石や選鉱廃滓の環境への影響も大きな問題となっている。また、石炭・製鉄の町カラガンダも環境破壊がはなはだしい。

3. 研究開発事業の概要

「環境調和型高効率鉱物資源抽出・処理技術の開発」事業は、カザフスタン共和国において適用可能で、操

作・保守が容易でかつ鉱害を発生させない有価金属回収システム技術を開発するために、処理方式等を検討するための研究及びそのデータに基づくパイロットプラントの運転研究を行う計画である。以下に研究開発事業の実施体制、研究開発の内容等について述べる。

3.1 実施体制

新エネルギー・産業技術総合開発機構と金属鉱業事業団は、カザフスタン共和国の資源利用センター（在アルマティー）（Complex Processing of Mineral Stuff National Center）及び非鉄金属鉱山冶金科学研究所（在ウスタカメノゴルスク）（VNIITSVET MET : Eastern Research Mining and Metallurgical Institute for Non-Ferrous Metals）をカウンターパートとし、共同で研究開発を実施している。以下に資源利用センターと非鉄金属冶金科学研究所の概要を述べる。

3.1.1 資源利用センター

1993年8月に科学新技術省の傘下に組織され、鉱山・製錬・冶金・金属加工技術の研究を実施している。アルマティーに3つの鉱山・選鉱関係の研究所、ウスタカメノゴルスクに1つの鉱山・選鉱・冶金関係の研究所（非鉄金属鉱山冶金科学研究所）、カラガンダに1つの化学・冶金の研究所を有している。他にアルマティーにパイロットプラント、ステブノゴルスクにテクノパークがある。原料分野の研究ばかりでなく、クロムやオスミウム等の加工生産技術の研究も行っている。

センターの陣容は34人、うち事務局が25人である。傘下の組織は研究所や大学を含み50以上に及ぶ。その中には、80人以上の博士、500人以上のマスターをかかえ、人材豊富である。

3.1.2 非鉄金属鉱山冶金科学研究所

40年前にソ連非鉄金属省によって設立され、主として鉛・亜鉛を対象に鉱山・選鉱・冶金の研究開発を進めてきた。現在では、鉛、亜鉛以外のベースメタルや貴金属を対象にした研究開発も実施し、採鉱3研究室、選鉱3研究室、冶金10研究室、化学3研究室を有している。最盛期は2,000人の人員を擁していたが、現在の人員は650人のうち研究者は450人である。

当研究所で特筆すべきことは鉛精鉱を対象にした製錬技術であるキブセット（Kivcet）炉の開発である。現在このキブセット炉はイタリアのノヴァ・サミン（Nuova Samin）社のポルトベスメ製錬所及びカナダのコミンコ（Cominco）社のトレイル製錬所で稼働している。

採鉱研究室は約180人の人員で、地質、鉱山機械、
 通気、爆薬、岩石力学、コンピュータによる鉱山設計
 等を実施している。

選鉱研究室は約70人の人員で、重力選鉱、浮遊選鉱
 の研究開発を主として行っている。旧ソ連の主力研究
 所であったため、ソ連全域の鉛・亜鉛鉱石、ポリメタル
 鉱石、レアメタル鉱石の研究開発を行い、現在でも
 ウズベキスタン産の鉱石に対する研究も行っている。

技術開発の対象である低品位鉱石・選鉱廃滓に対して
 は浮遊選鉱による有価金属の回収、また、貴金属を対
 象にした湿式製錬技術開発を行っている。

冶金研究室では、製錬廃水処理、キブセット製錬法
 の改善及び酸化物80%以上を含んだ鉛精鉱への同法の
 適用研究、合金開発、バッテリースクラップからの鉛
 の回収等を行っている。

3.2 研究開発の内容

低品位鉱石・選鉱廃滓等から有価金属（金、銀、銅、
 レアメタル等）を、湿式処理プロセスの適用により、
 省エネルギーかつ環境低負荷の方式で回収する技術を
 開発するものである。

低品位鉱石・選鉱廃滓等の賦存状況を確認するための
 現地調査及び鉱物研究を行い、その後浸出、溶媒抽出、
 電解採取、廃水処理等の要素技術の研究開発を日本国
 内（国内支援研究）及び現地で共同で行う（現地研究）。
 要素技術の研究開発に基づきパイロットプラントを設
 計製作し、現地サイトに設置後、運転研究を行い結果
 を解析し、技術的・経済的総合評価を行う。また、カ
 ザフスタン共和国側研究者を日本に招き、我が国の鉱
 山技術、製錬技術及び廃水処理技術の理解を深め、日

表2 研究開発のスケジュール

事業内容	年度						
	平成 6	7	8	9	10	11	12
1. 現地調査 (1) 打合せ協議 (2) 原料調査 (3) 現地研究							
2. 国内研究 (1) 鉱物研究 (2) 湿式処理研究 ／廃水処理研究							
3. パイロットプラント (1) 設計・製作 (2) 輸送・設置 (3) 運転研究							
4. 総合評価（評価研究）							
5. 研究者受入れ	-	-	-	-	-	-	-
6. 報告書作成	-	-	-	-	-	-	-

本側研究者と共同研究を行なう研究者受入れ制度があ
 る。図-3に研究開発の進め方、表2にスケジュールを
 示す。

3.2.1 低品位鉱石・選鉱廃滓等の賦存状況

カザフスタン共和国の非鉄金属生産量の70%を占め
 る東カザフスタン州には、ズイリャノフ鉛コンビナート、
 レニノゴルスクポリメタルコンビナート、イルティ
 シュポリメタルコンビナート、東カザフ銅ケミカルコ
 ンビナート及びジェズケントポリメタルコンビナートの
 5つの鉱山関連のコンビナートがある。図-4にコン
 ビナートの位置を示す。

コンビナート周辺には銅、鉛、亜鉛、金・銀等の有
 価金属を含んだ大量の低品位鉱石や選鉱廃滓が堆積・
 放置されている。表3に各コンビナートの低品位鉱石・
 選鉱廃滓の堆積量及び品位を示す。

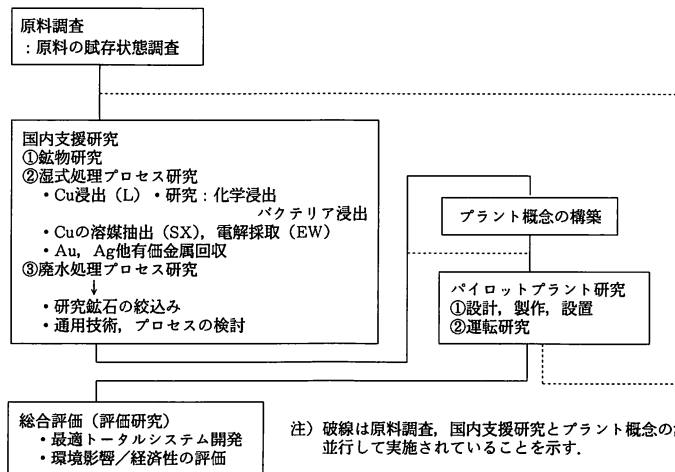


図-3 研究開発の進め方

表3 コンビナートの低品位鉱石・選鉱廃滓堆積量及び品位

コンビナート	選鉱廃滓場等	堆積量 (千t)	品位						構成鉱物
			Au (g/t)	Ag (g/t)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	S (%)	
ズィリャノフスク	同 左	94,102	0.12	2.71	0.11	0.09	0.24		黄銅鉱, 方鉛鉱, 閃亜鉛鉱, 黄鉄鉱
レニノゴルスク	同 左	138,880	0.60	7.36	0.03	0.11	0.25		
イルティシュ	ベリョーゾフカ	19,631	0.32	3.27	0.20	0.17	0.77	12.7	黄銅鉱, 方鉛鉱, 閃亜鉛鉱, 黄鉄鉱
	ペロウゾフカ	11,934	0.21	11.2	0.20	0.08	0.42		黄銅鉱, 方鉛鉱, 閃亜鉛鉱, 黄鉄鉱
東カザフ銅ケミカル	ニコラエフスカヤ (選鉱廃滓)	12,150	0.23	21.3	0.34	0.31	1.06	32.3	黄銅鉱, 方鉛鉱, 閃亜鉛鉱, 黄鉄鉱
	ニコラエフスカヤ (低品位鉱石)	7,600	0.10	10.0	0.38	0.10	0.41	36.0	黄銅鉱, 孔雀石, 銅藍, 方鉛鉱, 閃 亜鉛鉱
ジェズケント	同 左	3,100	0.36	20.8	0.84	0.15	0.87	27.0	黄銅鉱, 方鉛鉱, 閃亜鉛鉱, 黄鉄鉱

注) 空欄部分は不明

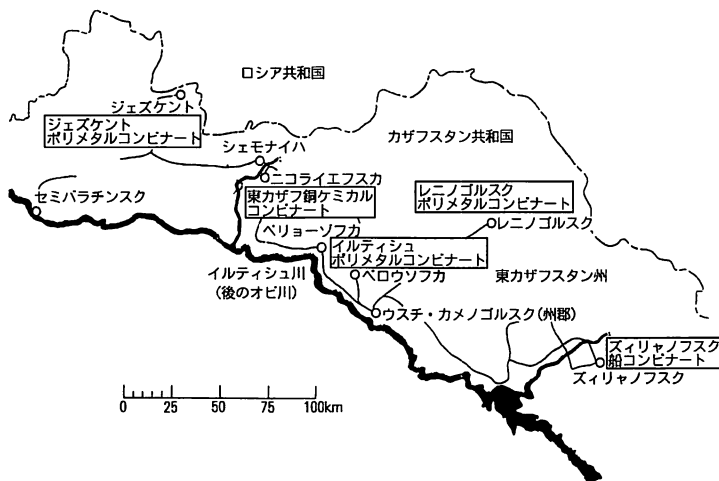


図-4 東カザフスタン州鉱山関係コンビナート位置図

レニノゴルスクポリメタルコンビナートの選鉱廃滓堆積場に含有されている金の回収事業は、CIP (Carbon in pulp) 法によりアメリカのPegasasu Gold IncとカナダのGoldbelt Resourcesにより開始されている。また、イルティシュポリメタルコンビナートは、フランス系企業により金の回収事業が計画されている。

カザフスタン共和国の今後の経済発展に寄与するために外貨獲得に有効な銅、金の回収を重要視する視点から現地調査を行い、銅品位の比較的高いジェズケントポリメタルコンビナートの選鉱廃滓と東カザフ銅ケミカルコンビナートの低品位鉱石を選定した。

また、鉱物研究の結果、両コンビナートの銅鉱物は、

一部に酸化銅鉱、二次硫化銅鉱が賦存するものの多くは黄銅鉱であることが確認された。図-5、6に各コンビナートの現場写真を示す。

3.2.2 処理プロセス

処理プロセスの基本フローを図-7に示す。

実線部で示されたプロセスは研究開発の開始時期に想定したプロセスである。

低品位鉱石は、破碎工程・磨鉱工程を経て20-30 μmに細粒化し、リーチング工程で硫酸やバクテリアによるメカニカル・リーチング(アジテーション・リーチング)を行い、固液分離後、銅を含んだ貴液を溶媒抽出工程に送る。溶媒抽出工程で高濃度化された銅は電解工程で電気銅として回収される。リーチング工程



図-5 ジェズケントポリメタルコンビナート選鉱廃滓堆積場

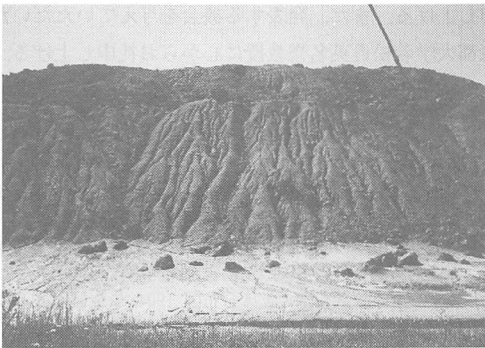


図-6 東カザフ銅ケミカルコンビナート低品位鉱石堆積場

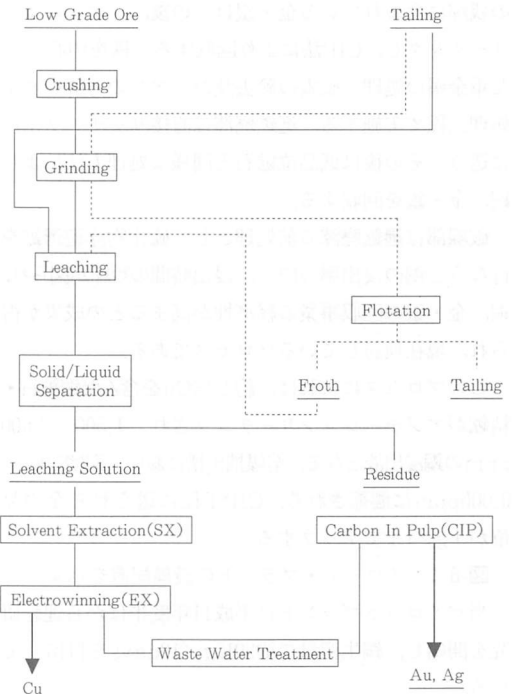


図-7 処理プロセスの基本フロー

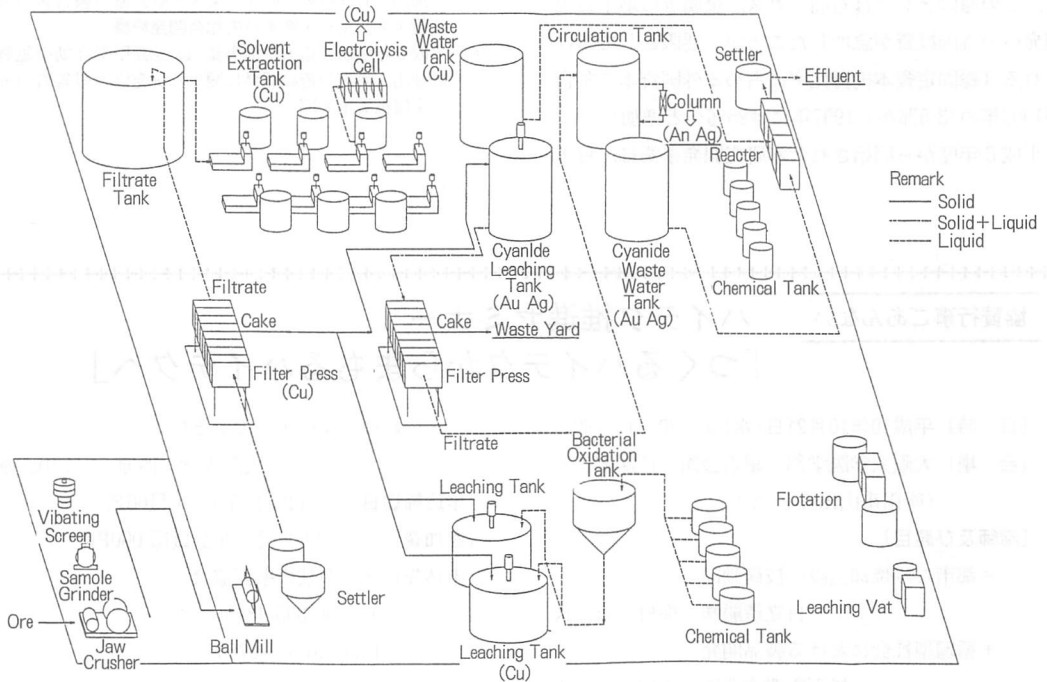


図-8 パイロット・プラント設備配置図

の残滓に含まれている金・銀はその後、シアンによりリーチングし、CIP法により回収する。鉄を中心とした重金属の処理、砒素の除去及びシアンの分解を廃水処理工程で実施する。選鉱廃滓は直接リーチング工程に送り、その後は低品位鉱石と同様な処理方法により銅、金・銀を回収する。

破線部は選鉱廃滓の前処理として硫化物浮遊選鉱を行なうと銅の浸出率の向上、浸出時間の短縮が図られ、銅、金・銀の回収事業の経済性が高まるとの成果が得られ、現在検討しているプロセスである。

このプロセスによれば、約2%Cuを含んだ銅鉱石・精鉱がアジテーションリーチングされ、1,500-2,500ppmの銅浸出液となる。溶媒抽出槽において銅は8,000-9,000ppmに濃縮される。CIP工程に送られる金の品位が1g/tまでアップする。

図-8にパイロット・プラントの設備配置を示す。

当パイロットプラントは平成11年度半ばから運転研究を開始し、銅生産量で約20Kg/10daysを目指している。

4. おわりに

1992年の12月に旧ソビエト連邦から独立したカザフスタン共和国も一時の経済不況から脱却し、1997年はGDP・工業生産とも1996年に引き続き成長基調である。この原因としては石油、ガス、金属等の地下資源開発への外国投資が急増したことが一要因としてあげられる(総固定資本投資比率に占める外国資本の割合が1996年の13.5%から1997年には25%へと増加)。

平成6年度から開始された本研究開発事業は、日本

国内での基礎研究、カザフスタンでの現地研究も順調に進み、パイロットプラントによる運転研究に必要な基礎データが得られている。本年度にはパイロットプラント設備のカザフスタンへの輸送も開始される。

この研究開発事業が大きな成果を得、将来のカザフスタン共和国での地下資源開発及び鉱害対策の有効な技術となり、又、我が国の非鉄金属資源の安定供給に貢献することを期待したい。

最後に本稿をまとめるに際し、新エネルギー・産業技術総合開発機構及び金属鉱業事業団の「環境調和型高効率鉱物資源溶媒抽出・処理技術の開発に関する研究協力」報告書を参照させて頂いたことを記し、感謝申し上げます。また、発表する機会を与えていただいた京都大学若松貴英名誉教授に心からお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 世界年鑑1998, 共同通信社
- 2) 平成5年度資源開発協力基礎調査 プロジェクト選定調査 カザフスタン共和国国際鉱物資源開発協力協会
- 3) 平成5年度総合開発計画調査 発展途上国における環境保全対策調査報告書国際鉱物資源開発協会
- 4) カザフスタン共和国の鉱床分布図 1994.7 金属鉱業事業団
- 5) World Metal Statistics 1998.3
- 6) 海外鉱業情報Vol. 26. No. 4 通巻第297号, 1996.11 金属鉱業事業団
- 7) 平成9年度研究協力推進事業 環境調和型高効率鉱物資源抽出・処理技術の開発に関する研究協力報告書 1998.3 新エネルギー・産業技術総合開発機構
- 8) 平成9年度研究協力推進事業 環境調和型高効率鉱物資源抽出・処理技術の開発に関する研究協力報告書 1998.3 金属鉱業事業団

協賛行事ごあんない

ハイテク推進セミナー

「つくるハイテクからまもるハイテクへ」

〔日 時〕平成10年10月21日(水) 9:30~17:30

〔会 場〕大阪大学医学部 銀否会館3F会議室
(吹田市山田丘2-2)

〔講師及び題目〕

* 都市ごみ焼却施設の技術動向
…日立造船(株) 梅村 省三氏

* 循環型社会における製品開発
…松下電器産業(株) 池田 裕氏

* いわゆる環境ホルモンとは

…大阪大学 西原 力氏 等

〔申込締切日〕9月18日(金) 定員60名

〔参加費〕会員12,000円 非会員15,000円

〔申込先〕(株)生産技術振興協会

Tel 06-395-4895

Fax 06-393-6730