

＝本会議概要＝

2007年10月26日、27日の2日間、中国雲南省昆明市において「2007中国国際銅業フォーラム」が開催された。中国有色金属工業協会が主催し、雲南銅業集团公司、北京安泰科信息開発有限公司、銅發展中心が共催する中、中国の行政関係機関、銅産業生産部門及び管理部門、貿易及びトレーダーなどの各分野から約250名の国内外の参加者が集まった。なお、中国国際銅業フォーラムは2001年に上海市、2004年に海南省海口市、2005年に江蘇省張家港市、2006年に江蘇省南京市で開催され、今回が5回目である。

今回のフォーラムでは、中国のマクロ経済の成長及び投資環境、中国銅産業及び伸銅産業の進展、市場変化及び銅価格の動き、銅のリサイクル及び環境対策への取り組み、資源の総合利用など広範囲のテーマについて意見交換が行われた。本フォーラムでは、世界鉱業のグローバル化が進む中で、中国企業がいかにその波に対応していくか、また、いまや世界の銅生産の15%を占めるに至った湿式製錬技術の中国における開発状況の報告が注目された。

本フォーラムで発表された講演内容から2007年10月に中国アルミ業集团公司と吸収合併した雲南銅業集团公司の講演内容は、今後の中国銅産業界の再編成の動向を探る上で、また、中国の湿式製錬技術開発のリーダーである北京有色研究総院のチベット玉龍鉱山開発、福建省紫金銅・金鉱山拡張へのバイオリーチングの適用は今後の中国国内からの銅精鉱の供給能力の動向を把握する上で重要かと思われるので本稿で紹介する。

グローバルな資源戦略を展開し、持続可能な発展の基礎を築き、 雲南銅業集団を100年継続する売上高1,000億元企業に

雲南銅業（集団）有限公司董事長・總經理 鄒 韶祿

I. 雲南銅業（集団）有限公司の概要

雲南銅業集団は雲南省政府より移譲された大型国有企業であり、銅を主に複数の地域と業界に跨がり、多元化した資産と多様な製品を特徴とする。採鉱・選鉱・製精錬・科学・工業・貿易を集約しているほか、先物取引・保険業務・不動産業までを一体化した大企業グループであり、雲南省政府の支援を受けている重点企業10社のトップである。2007年9月末現在の総資産は349億4,200万元、純資産は104億700万元、独資・持株企業32社、株式参加企業22社、従業員16,000人余、19事業分野・180種余の製品を提供している。2006年の銅生産量は36万t、自社生産の銅精鉱の銅含有量は13万t、その他にも金7t、銀550t、硫酸80万tを生産し、売上高は326億9,000万元、輸出入額は13億4,700万\$に達し、5年連続で雲南省随一の企業になっている。2007年の統計データでは、中国企業トップ500社中115位、製造業ではトップ500社中50位、非鉄金属工業企業では第4位である。

雲南銅業集団は国内外の同業者と幅広く交流を行うことで、極めて広い視野を持っている。この数年来、雲南銅業集団は国際的な銅工業企業の基準に基づき資源戦略を展開し、国際的な経営及び銅の二次加工レベルを引き上げ、企業の持続可能な発展を促進して来た。

II. 資源は雲南銅業集団の持続可能な発展にとって生命線

2000年以降、世界経済が回復し急速な発展を遂げるにつれて、資源の需要が益々膨らんで来ているが、資源の限界性と再生が難しいという制約から、基礎原材料価格が高止まりし、経済の急速かつ健全な発展に影響を与えており、資源が益々経済発展を制約するボトルネックになっている。近代史上、資源の占有と資源の安全保障を最終目的とした戦争が何度か発生するように、資源は国家の安全と経済発展にとって重大な戦略的意味を持つものである。

資源型企業は資源に頼って存続と発展を遂げるものであり、資源を離れては、資源型企業は事業の対象を失うことになる。まさに、「皮（資源）をなくして、毛（資源型企業）は存在しない」ということになる。特に資源の希少価値が高まるにつれ、工業利益が最上流部に移行し、資源を有するものが富と未来を制するようになって来ている。

中国共産党第16回党大会の精神と科学的發展觀の要求に照らして、中国共産党雲南省委員会と省政府の正しい指導の下、雲南銅業集団は「飛躍的に発展し、強大になり、千億元企業となる。科学的に発展し、より良くより速く、百年間存続する雲南銅業集団を形成す

る」という戦略的構想を打ち出し、5年以内に売上高を1,000億元以上に引き上げると同時に、持続可能な発展を実現することを目指している。この目標を実現するうえで最も大事なことは、資源というボトルネックを解決し、資源を幅広く確保し、原材料の自給率を高めていくことである。それは国内の多くの同業者と同様に、これまで長期にわたって、雲南銅業集団の自社生産の銅精鉱は極めて少なく、銅地金材料のわずか1/3しかない。1/3は国内の他企業から提供を受け、残りの1/3は輸入に依存している。最近の供給逼迫の影響を受け、輸入銅原料の加工賃は低くほとんど利益がない。雲南銅業集団は科学技術の革新と技術改造、世界の先進的レベルのアイサ法の導入などを通じて精錬能力を高めて来たが、企業利益はやはり主に自社資源に頼ることになる。

雲南銅業集団が5年以内に売上高1,000億元を達成するには、銅精錬能力を100万tにまで高める必要がある。生産能力の拡大に合わせて精鉱の自給率を高めていかなければ安定した生産は保障できない。従って、長期的に見て、資源は雲南銅業集団が発展するうえでの基盤であり、強大化の前提であり、利益の源泉であり、雲南銅業集団が強大化と持続可能な発展を遂げる際の生命線でもある。

Ⅲ. 雲南銅業集団の資源戦略と実施体制

中国は主要な銅輸入国であり、銅及び銅精鉱の3/4近くを輸入に頼っており、この状況が中国の銅工業と銅企業の発展を制約する最大のボトルネックになっている。雲南銅業集団は1996年4月に創立したが、すぐに資源こそが企業を強大化するのを制約する根本的な要素であると認識し、資源こそが企業の生命線であるという理念を確立した。1997年には「資源を確保し、地盤を確保し、市場を確保する」という方針を立て、積極的に資源確保と資源自給率の向上、経営安全の確保に取り組んで来た。また、2000年には資源戦略体系を本格的に始動させている。

1. 資源戦略の理論体系の制定と完備

雲南銅業集団は「資源を確保し、地盤を確保し、市場を確保する」という基本方針に基づき「科学的発展観の指導の下、既存鉱区とその周辺を安定させ、雲南省の銅資源をコントロールし、周辺省・自治区の銅資源を開拓し、積極的に“走出去（海外進出）”を進め、東南アジアにおける銅資源の共同開発を加速し、多様な方式でグローバルな資源開発に幅広く参画し、コントロール可能な資源量を安定的に高める」という資源戦略の指導思想を確立すると同時に、次のような五大原則を設けた。

(1) 既存鉱区に立脚

「既存鉱区に立脚し、深層部を強化し、周辺を拡張する」という探鉱上の原則を堅持し、採掘と地質探査を同時に進め、できるだけ当年の採掘量で当年の消費量

を補うようにして既存鉱区の寿命を延ばし、既存鉱山の生産能力を安定させる。

(2) 地方政府との共同開発

「平等互恵・相互補完・共同発展・ウィン・ウィン・マルチウィン」という方針に基づき、市場原理と国の関係法規に照らして、地域・州・県政府と鉱物資源の共同開発のメカニズムを確立し、企業と地方経済の発展を促進する。

(3) 地質調査機関との共同開発

雲南省地質鉱産局や地質調査大隊などの機関と共同リスク探査の新モデルを確立する。地質調査機関は技術と情報の強みを発揮し、雲南銅業集団は資金面の強みを発揮することにより、双方が利益を享受し、かつリスクを分担する相互補完メカニズムを形成し、銅資源の探査・開発を加速する。

(4) 開発と保護を同時に進め、当面の利益と長期的な利益を共に重視

資源開発と環境保護の関係、資源開発と資源保護の関係を正しく処理し、国の法規に照らして資源の総合利用度を高め、資源にとって最も破壊の少ない開発を実現する。

(5) 「国内内外の資源」の活用

「走出去」戦略を実施して、雲南と隣接するベトナム・ラオス・ミャンマーなどの国々の豊富な埋蔵鉱物資源を十分に活用し、共同探査や資金・技術・人材の提供を通じて国外の銅資源開発を行う。

2. 資源戦略目標に適合する健全な保障メカニズムの確立

雲南銅業集団の資源戦略の中期目標は5～7年の間に既存鉱区及び周辺地域の地質調査を完了すると同時に、省内及び周辺地域の地質探査の拡大に積極的に取り組み、2010年までに既存鉱区の銅埋蔵量を200万tに、新鉱区の銅埋蔵量を1,000万tに、亜鉛埋蔵量を300万t以上に、自社産銅精鉱を40万t（何れも金属純分量）にまでそれぞれ高め、持続可能な発展のための基礎を築くことを目指している。また、資源戦略目標を実現するために、雲南銅業集団は健全な保障メカニズムを確立している。

(1) 整備された組織指導機構の設置

集団の董事長と総経理をチーム長、各業務担当者を副チーム長とする資源戦略指導チームを発足させると同時に、資源戦略の策定と具体的な実施に責任を負う鉱産資源部を設置した。更に、雲南銅業集団資源戦略専門家諮問委員会を立ち上げ、省内の資源調査の専門家を顧問として招聘し、資源戦略や資源開発プロジェクトのためにコンサルティングや論証を行い、政策決定の際の参考にしている。また、傘下の各主要鉱山企業もそれぞれ資源戦略機構を設置している。

(2) 雲南銅業集団地質探査会社の設立

自前の探査部隊を擁し、積極的に探査事業を展開している。

(3) 初期段階探査基金の設立

集团公司として毎年2,000万元以上を新鉱区の初期段階探査に拠出し、各鉱山企業も毎年800万元以上の資金を深層部及び周辺の地質探査に使っている。

(4) 探鉱奨励制度の実施

集団は鉱山企業に対し採掘可能埋蔵量を1t(金属純分量)確認するごとに100元の奨励金を与え、地質探査の促進を図っている。

3. 資源戦略目標の重点調査地区の確定

国内の他の銅生産企業との不毛な資源獲得競争を避けるため、雲南銅業集団はその辺境に位置する地理的な優位性と歴史的背景を十分に活用しつつ資源の探査活動を進め、初歩的な計画ながら六大重点探査計画区を確定した。

(1) 雲南省探査計画区

雲南省西北部の「三江」中流部、雲南省南部の思茅・文山地区、雲南省東北部の魯甸・東川などの地区を重点的に調査する。

(2) 四川省探査計画区

四川省西部の会理・会東・塩源などの地区を重点的に調査する。

(3) 東南アジア探査計画区

ラオス・ミャンマー・ベトナムなどの銅・鉛・亜鉛資源を重点的に調査する。

(4) オーストラリア探査計画区

現地法人を設立して既存鉱山の購入、資本参加などの形式で銅鉱物資源を確保する。

(5) アフリカ探査計画区

既にザンビア政府の同意を得て中国有色鉱業集团公司チャンピシ地区の資源の優先探査権と開発権を入手している。

(6) 南米探査計画区

ペルーを重点にする。

確定された重点探査区域に従い、雲南銅業集団は雲南省の迪慶州・文山州・紅河州・怒江州、四川省の涼山州などの地方政府と戦略的協力協定を締結し、現地の鉱物資源を開発している。また、ラオス・ミャンマー・ベトナム・ザンビア・ペルーなどの政府・関係部門・企業と協力協定または協力協定の意向書を締結し、雲南銅業集団の資金・技術・人材・ブランドを駆使して各国の鉱物資源を開発している。

4. 科学技術の連携を強化し、効果的な資源戦略の展開

(1) 理論的指導を強化し、効果的な地質探査

雲南銅業集団及び傘下企業は中国地質大学・吉林大学・昆明理工大学などの大学と共同で既存鉱区の地質探査プロジェクトである「易門及び大姚銅鉱区の深層部と外周部における探鉱予測及び埋蔵量増加についての研究」及び「東川銅鉱の既存鉱区深層部と外周部の鉱体位置の予測及び埋蔵量増加についての研究」を実施した。新規増加分の銅資源埋蔵量は60万t、そのうち基礎埋蔵量が22万tあり、資源枯渇の危機が効果的に緩和され、鉱山の寿命も延ばすことができた。

(2) ブレイクスルー技術への取り組みを強化し、資源を十分に回収利用

既存資源を十分に利用することは雲南銅業集団の資源戦略の重要な一環である。雲南銅業集団は中南大学・昆明理工大学・北京鉱冶研究総院などの機関と協力して技術上の難関に取り組み、採掘技術と採掘方法の改善により銅品位の低下を避けると同時に、低品位で選鉱の難しい鉱石の処理についての研究を進め、利用可能な資源を増やし、選鉱の総合回収率を高め、企業利益を高める努力をしている。産学連携によって玉溪銅業公司の大紅山銅鉱山は銅選鉱回収率93%以上を維持するという前提の下、随伴/共生金・銀の回収率をそれぞれ10%高め、また鉄精鉱の品位を5%高めるなどして、新規に増加した年間経済利益は3,000万元に達し、選鉱の総合回収指標も国内の最先端レベルに達している。

IV. 10年の努力が実を結び、資源戦略に成果

継続的な実践と修正を経て、雲南銅業集団の資源戦略は既に初歩的な成果を上げている。1996年の創立当時に雲南銅業集団が保有していた銅金属資源埋蔵量は200万tだったが、その後、2007年には銅金属資源埋蔵量は750万tになり、国内で500km²の探鉱権を獲得している。具体的成果は以下のとおりである。

1. 既存鉱区の地質探査が大きな成果

玉溪銅業・楚雄銅冶・金沙銅業などの既存鉱区の地質探査によって大きな利益が還元された。2000年以降、既存鉱区には地質探査のための資金が投入され、深層部及び周辺部で金属資源が発見されている。

2. 新鉱区の開発に期待

2億元の資金を投入して迪慶地区の銅資源を探査・開発し、既に500万t近い銅資源の埋蔵が確認され、迪慶の羊拉・普朗の二銅鉱山の建設が始められ、2010年には年産銅精鉱20万t(金属純分量)の全国最大の銅原料基地が完成する。

3. 積極的な省外への開拓

2001年に四川省拉拉銅鉱山を持株会社化し、四川省西部地区の銅鉱山資源開発に参入し、銅金属資源の埋蔵量200万tを押さえたほか、内蒙古自治区の銅資源を開発・利用するために、雲南銅業集団が投資・建設した第一期10万tの精錬規模を擁する赤峰雲銅会社が2007年7月に正式に操業を始めた。

4. 「走出去（海外進出）」の推進

現在すでにラオス北部5省の7か所の探鉱権と2つの採掘権を獲得した。中国有色銅業集団会社と合併でザンビアのチャンビシで15万tの粗銅を生産するプロジェクトが現在行われている。オーストラリアでは「中国雲南銅業集団（豪州）投資開発有限公司」を設立した。

バイオリーチングの現状と発展動向

北京有色金属研究総院 バイオリーチング国家実験室 副主任 温 建康

I. 概要

バイオリーチングは歴史はあるが開発の余地が残されている技術で、微生物またはその代謝の産物を利用して鉱石中の有用な金属を溶出する一種の新プロセスである。設備が少ない、工程が短い、建設及び操業コストが低い、環境に優しい、低品位かつ複雑で処理が難しい鉱石への利用が可能といった技術的特長を持ち、今や世界各国のリーチングエンジニアリングの研究と応用分野の焦点となり、今世紀最も競争力を持ったリーチングの一つになっている。本報告書ではバイオリーチングの基本的概念を論述し、銅・金・ニッケル・コバルトなどの分野におけるバイオリーチングの最新の利用状況とバイオリーチングの今後の発展動向を紹介する。

キーワード：バイオリーチング 硫化鉱 技術進歩
発展動向

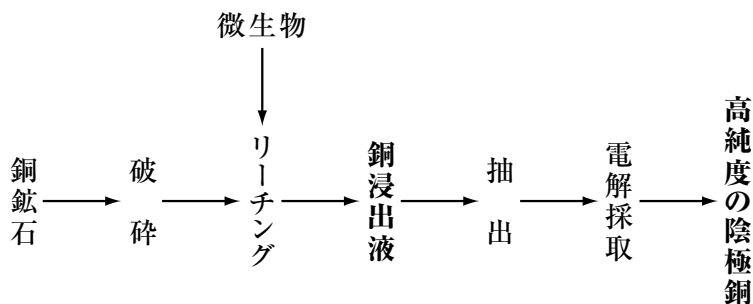


図1 バイオリーチングのプロセス

2. バイオリーチングの特徴

バイオリーチングの特徴は以下のとおりである（表1、2参照）。

- 選別が難しい低品位で複雑な資源の処理に適し、資源回収率が高い。
- 遠隔地で交通の不便な地域の資源開発に適し、規模の大小を問わない。
- 設備が少なく、工程がシンプルで、建設期間が短く、投資が少なくて済む。
- 処理量が多く、操作が簡単で、生産コストが低く、製品価値が高い。
- SO₂などの有害なガスが排出されず、溶液はリサイクルが可能で、環境負荷が少ない。

II. バイオリーチングの紹介

1. バイオリーチング

バイオリーチング技術とは微生物や空気、水といった天然の成分を利用して鉱石中から金属を直接抽出するもので、選鉱や乾式製錬法を不要とするクリーンかつ工程の短い技術で、リーチングエンジニアリングとバイオテクノロジーの学際的な分野である。

バイオリーチングのプロセスは大まかに分類してヒープリーチングと攪拌浸出の2種類に分けられる。ヒープリーチングは通常低品位の鉱石や廃石、攪拌浸出は通常高品位精鉱の処理に用いられる。硫化銅鉱のバイオヒープリーチングによる銅抽出を例にとると、そのプロセスは図1のようになる。

表1 浸出—抽出—電解採取工場と自溶炉工場の生産コスト比較（米国Magma社）

| 項目 | 浸出—抽出—電解採取工場 (cent/Kg) | 自溶炉 (cent/Kg) |
|--------|---------------------------|------------------|
| 採鉱 | 66.08 | 66.08 |
| 破碎 | 4.41 | 0 |
| 浸出 | 8.81 | 0 |
| 選鉱 | 0 | 48.46（破碎を含む） |
| 溶錬 | 0 | 33.04 |
| 溶媒電解抽出 | 6.61 | 0 |
| 精錬 | 0 | 6.61 |
| 電解採取 | 15.42 | 0 |
| 合計 | 101.32 | 154.19 |

表2 バイオリッチングと従来型プロセスとの比較
(2002年 紫金山銅鉱)

| 項目 | 従来型 選鉱・冶金技術 | バイオリッチング 銅抽出技術 |
|-----------------|----------------|-------------------|
| 処理銅の品位 (%) | 1.09 | 0.50 |
| 利用可能な銅資源 (万t) | 50 | 150 |
| 設計規模 (万t・Cu/a) | 5 | 1 |
| 年間銅トン当たり投資 (万円) | 3.6 | 2.5 |
| 生産コスト (万円/t・Cu) | 1.8 | 1.2 |
| 銅価格 (万円/t・Cu) | 1.8 | 1.6 |
| 経済的効果と利益 (万円/a) | 0 | 6,000 |

3. バイオリッチングの応用分野

- 二次硫化銅鉱(輝銅鉱・銅藍・斑銅鉱)のバイオヒープリーチング
- 初生硫化銅鉱(黄銅鉱)のバクテリアによる浸出及び精鉱のバクテリア攪拌浸出
- 硫化ニッケル・コバルト・亜鉛鉱のバクテリアによる浸出
- 石炭脱硫・ボーキサイトの脱珪素・ラテライトニッケル鉱などのバイオリッチング
- 処理が難しい金鉱のバクテリアによる予備酸化

Ⅲ. 硫化銅のバクテリアによる浸出

1. バイオリッチングによる銅抽出事例

- 1950年代、Kennecottが初生硫化銅鉱の低品質銅のバクテリアによる浸出を開始
 - 1958年、バイオリッチング史上初の特許(Kennecott)が誕生
 - 1970年代、銅溶液の抽出—電極技術が商業化される
 - 1980年、銅鉱のバイオヒープリーチングが商業化(Lo Aguirre銅鉱)
 - 1996年、徳興銅鉱山の低品質銅のバクテリアリーチング工場が完成、生産開始
 - 2005年、紫金山銅鉱山の1万トン級のバクテリアリーチング工場が完成、生産開始
- 典型的な銅山としては、Quebrada Blanca銅鉱山、Escondida銅鉱山、Cerro Colorado銅鉱山、Cananea銅鉱山、紫金山銅鉱山、徳興銅鉱山がある。

(1) チリ Quebrada Blanca 銅鉱山

海拔4,400mのチリ Quebrada Blanca (バクテリアリーチング—抽出—電解採取) 銅山は、銅品位1.3%以上の二次硫化銅鉱を処理している。銅浸出率は80%以上、年間8.0万tの銅地金を生産している。

(2) チリ Escondida 銅鉱山

銅品位1.5%以下の低品質銅と廃石のバクテリアリーチングを行っている。浸出場の規模は奥行き4.9m×幅2.0km×高さ126m(18m×7階)、浸出サイクル250日、銅浸出率50%、運転コスト1ポンド当たり40セント以下、年間23.4万tの銅地金を生産している。

(3) メキシコ Cananea 銅鉱山 (低品位銅)

超大型斑岩銅鉱山で銅含有量0.26%の低品位銅をバクテリアリーチングによって回収している。1986年に大規模なバクテリアリーチングを始める。高さ70~120m、浸出サイクル80か月、銅回収率55~60%。1990年以降は技術改良を行い、銅回収率は60%から85%に向上し、浸出サイクルが半分に短縮されている。

(4) 中国徳興銅鉱山 (低品位銅)

ヒープリーチングする銅品位は0.1%以下、未破碎の銅石を使う。年間浸出率9%。2006年に1,500tの銅地金を生産、銅地金1トン当たりの生産コストは1.5万円以下である。

現在、バイオリッチングによる銅抽出法は、海拔が高く低品位銅床において大規模な商業化が実現している。全世界でバイオリッチングによる銅抽出を行う銅山が十数か所建設され、銅埋蔵量が8,000万t以上拡大し、銅地金の年間生産量は100万tを超え、銅生産量は世界の銅総生産量の15%を占めるに至っている。

2. ニッケル・コバルトのバクテリアリーチング

- 1997年、BHP BillitonがBioNIC技術の開発に成功、日産20kgのニッケルのモデル工場を建設している。
- 1999年、ウガンダのKaseseにコバルト含有黄鉄鉱のバクテリア攪拌浸出工場を建設したが、その後資源条件に変化が生じ、現在は生産転換している。
- 2000年、Titan Resources NL社がバイオヒープリーチング技術(Bioheap™)を使って硫化ニッケル銅のリーチング工業化試験に成功したが、その後資源条件に変化が生じ、工業化は実現していない。
- 2004年、北京有色金属研究総院が雲南でバイオヒープリーチング技術を使ってヒ素含有低品位ニッケル・コバルト銅を処理、工業化試験に成功している。

3. 処理の難しい金鉱のバクテリアによる予備酸化

- 1970年代、処理の難しい金鉱のバクテリアによる予備酸化技術(Gencor)を開発。
 - 1986年、10t/日BIOX®プロセスのモデル工場を建設(Fairview)。
 - 1994年、Youanm銅山でBacTechプロセスの商業化試験が成功。
 - 中国ではここ数年、山東省の萊洲、煙台、遼寧省の鳳城などにバクテリアで予備酸化を行う金抽出工場を建設し、商業化が実現されている。
- 典型的な銅山としては、Fairview、Sansu、山東省の萊洲、遼寧省の天利などが挙げられる。

4. バイオリッチング技術の新たな進展

■低品位黄銅鉱のバイオヒープリーチング

BHP BillitonがSpenceで低品位黄銅鉱のバイオヒープリーチングの試験プロジェクトを実施、2007年に生産開始の予定。

■ Biocop®:ヒ素含有黄銅鉱の処理

2004年にBHP Billitonは高度好熱好酸性菌を使ってSpenceにバクテリア攪拌浸出—SX-EW工業化試験工場を建設。

■ Mintek

南アフリカのケープタウン大学、NICICO社と協力して硫化亜鉛精鉱のバクテリア攪拌浸出技術と黄銅鉱原鉱のバイオヒープリーチング技術を開発。

■ TPO

ニッケル・亜鉛・銅鉱の低温バイオヒープリーチング技術を実施、工業化試験に成功。

■ GeoBiotics社がGEOCOAT®技術の開発に成功。

典型的なプロジェクトとしては、チリのSpence低品位黄銅鉱バイオヒープリーチング・Spence高ヒ素含有銅精鉱のバクテリア攪拌浸出、Talvivaaraの硫化ニッケル・コバルト・銅・亜鉛鉱の低温バイオヒープリーチング、南アフリカAgnesの難処理金鉱山などが挙げられる。

(1) チリのSpence低品位黄銅鉱

チリ北部に位置し、現在建設中の唯一の黄銅鉱バイオヒープリーチングプロジェクトである。総埋蔵量3.11億t、平均品位1.14%。そのうち酸化鉱7,900万t(品位1.18%)、硫化鉱2.32億t(品位1.13%)。酸化鉱と硫化鉱は別々に

ヒープリーチングする。設計規模は銅地金年産20万t、操業年数17年となる予定である。

(2) チリのSpence高ヒ素含有銅精鉱

高ヒ素含有銅精鉱はCu33%、As4.5%、S35%で、バクテリア攪拌浸出法を採用した。作業温度：78～80℃、浸出サイクル：7～10日、銅浸出率95%、ヒ素固定率90%、年産2万tの銅地金を生産する計画である。

(3) Talvivaara硫化ニッケル・コバルト・銅・亜鉛鉱山

ヨーロッパ最大の硫化ニッケル鉱山で、1970年代に採掘を開始した。ニッケル生産量は世界総産量の2.5%を占め、その他、銅、コバルト、亜鉛も生産。2005年3月に低温バイオヒープリーチングのパイロット試験を開始、温度は-20℃である。

(4) 南アフリカの難処理金鉱山

1893年に坑内採掘を開始した。浮遊選鉱法で金含有硫黄精鉱を生産していたが、2000年にGEOCOATバイオヒープリーチング技術を用いて金精鉱のバクテリアによる予備酸化を行う(表3参照)。2003年第一四半期から生産を開始、1日の処理能力は鉱石4,400tである。

表3 処理方法による投下資本、運転コストの比較

| 処理方法 | 1日の鉱石処理量100t | | 1日の鉱石処理量1,000t | |
|-------------------------|--------------|--------|----------------|--------|
| | 投下資本比 | 運転コスト比 | 投下資本比 | 運転コスト比 |
| 焙焼 | 1.67 | 1.63 | 2.14 | 5.56 |
| 加圧酸化 | 2.50 | 2.50 | 3.21 | 8.33 |
| 攪拌・バクテリア酸化 | 1.33 | 1.63 | 2.86 | 6.11 |
| GEOCOATバイオヒープリーチング・予備酸化 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

5. 世界各国の重要研究計画

(1) AMIRA'sリーチング計画

BHP Billitonなど多くのグローバル鉱業企業がCSIRO、UBC、南アフリカ・ケープタウン大学などの研究機関と共同で細菌の成長からヒープリーチングのシミュレーションの研究を行い、硫化鉱のバイオヒープリーチングの効率を向上させ、商業化を実現している。

(2) BIOSHALE計画

フィンランドでblack shale oresからバクテリアリーチング技術によりニッケル・コバルトを回収する。

(3) BioMinE計画

EU委員会が企業12社、科学研究機関7社、大学14校、政府機関2か所と共同で行うバイオリーチング技術の研究で同計画は1,790万ユーロを投資し、4年間で

完了する予定である。

IV. バイオリーチング技術の発展動向

1. 高効率バクテリア種の開発分野

- 耐寒/耐熱/耐塩基性/高活性のバクテリア種の選定・培養とリーチングの応用
- 従属栄養菌の選定・培養とリーチングの応用
- 浸出過程におけるバクテリアの生態変化とコントロール技術の研究
- 現代分子生物学技術のバイオリーチングにおける応用

2. バクテリアリーチングの基礎理論とエンジニアリング分野

- 浸出プロセスにおける細菌の成長モデルの研究
- リーチングプロセスの酸化メカニズムの解明

- 浸出プロセスの数学的シミュレーションのグレードアップ
- バイオリーチングのエンジニアリング化技術の改善と標準化

3. バイオリーチング技術の応用分野

- 黄銅鉱のバイオヒープリーチング技術開発
- ニッケル・コバルト・亜鉛などの硫化鉱のバクテリアリーチング技術開発
- 低温バイオヒープリーチング技術の研究
- 石炭浮遊選鉱やボーキサイトの脱珪素、ラテライトニッケル鉱などにおける従属栄養菌の応用

V. 北京有色金属研究総院バイオリーチング技術研究の概要

1. 紫金山銅鉱山のバイオヒープリーチング-抽出-電解採取技術

「第10次5ヶ年計画」期、国家科学技術部攻関（難関攻略）計画の支援を受けて、二次硫化銅のバクテリアによる銅抽出のエンジニアリング化の研究が行われ、福建省紫金山銅鉱山に国内初の硫化銅鉱山のバイオヒープリーチングによる銅抽出鉱山が建設された。同研究成果は2005年度中国有色金属工業化学技術進歩一等賞を受賞。特許4件を出願し、3件が授権済みである。

処理する鉱石のタイプは低品位銅鉱で、含有鉱物は主に輝銅鉱、銅藍、硫砒銅鉱などの銅鉱物である。大量の黄鉄鉱を随伴し、高硫黄・銅含有鉱石に属し、多雨地域が産地となっている。バイオヒープリーチング-抽出-電解採取による銅抽出鉱山の設計規模は、年間鉱石採掘量330万t、坑内採掘で年産1.3万tの銅地金を生産する計画である。

採掘能力が設計要件を満たしていないため、2006年の実質採掘量は170万t、リーチング銅品位は0.38%、浸出サイクルは7か月、銅浸出率は80%、銅地金1tの生産コストは1.39万元となった。

2. 西藏玉龍銅鉱山のバクテリアによる湿式銅抽出技術

「第10次5ヶ年計画」期、国家科学技術部攻関（難関攻略）計画の支援を受けて、チベット玉龍銅鉱山のバクテリアによる湿式の銅抽出技術の研究が行われ、バクテリアによるカラム浸出の拡大試験を完了し、特許1件を取得した。「第11次5ヶ年計画」国家科学技術支援計画下で、寒冷・高地の環境の条件下で複雑銅鉱から効率的に銅を抽出する商業化された鉱山の建設が進められている。

玉龍銅鉱床は中国の超大型銅鉱床の一つで、累計の探査済み銅埋蔵量は650万t（金属純分量）で、鉱床は酸化鉱帯、二次鉱帯、初生鉱帯の三つの鉱体に分けられ、海拔4,560～5,120mで外部的な環境条件は厳しい。

試験プラントは海拔4,200mの高原に建設され、規模は300t/yの銅地金のリーチング/攪拌浸出で、北京有色金属研究総院がリーチング技術を、北京鉱冶研究総

院が攪拌浸出技術を担当している。

3. 低品位ニッケル・コバルト鉱からのバイオリーチングによる抽出技術

「第10次5ヶ年計画」期間に、雲南省科学技術計画と北京有色金属研究総院革新基金の支援の下で、国内初の年産5万tの硫化ニッケル鉱石処理のバイオリーチングによるニッケル抽出工業化試験プラントを建設した。工業化試験は成功し、発明特許1件を取得している。

4. 研究スタッフと設備

2005年12月、国家發展改革委員会によりバイオリーチング国家工程実験室の設立が許可され、目下、計画に基づき建設が順調に進められている。

有色金属研究総院には鉱物加工・有色冶金・冶金物理化学の三つの修士課程があるほか、有色金属冶金博士課程、ポスト・ドクターコース、留学帰国人員のためのワークショップがある。両院（中国社会科学院と中国科学院）のアカデミー会員である王淀佐教授の指導を受ける40人余の研究スタッフの構成は以下のとおりで、教授7名、高級エンジニア5名、修士12名、博士4名、ポスト・ドクター2名、修士課程学生10名、博士課程学生3名である。鉱物加工、湿式冶金、微生物、バイオケミカル、鉱物学、環境エンジニアリングなどの専攻が揃った学際的な科学研究陣営となっている。

5. 展望

高品位で選鉱・製錬が容易な銅・ニッケル・亜鉛・コバルト・金などの有色金属鉱物資源が益々逼迫するのに伴い、低品位で処理の難しい資源の開発が増え、バイオリーチング技術が今世紀最も強大な競争力を持つ鉱業冶金技術の一つとなる。

高温リーチング用バクテリアによる黄銅鉱の浸出と従属栄養菌によるニッケルラテライト鉱の浸出などの技術が飛躍的に進歩し、新しいバイオリーチング技術が次々と開発され、バイオリーチング技術は今後益々発展するものと思われる。

(2008.1.22)