

メタ研通信

2023 年 4 月号 (No. 6)

I. 2023 年 1-3 月第 4 四半期のショートアプローチの紹介

II. 寄稿

1. 金属と著名人 銅とピョートル大帝

伊藤忠鉱物資源開発株式会社 五味 篤

2. 非鉄企業現場の日常 タイ/SEI Tai Electric Conductor 社での日常生活について

SEI Thai Electric Conductor Co., Ltd 神野 峻之

III. 主任研究員レポート紹介

1. 非鉄金属における鉱物資源の責任ある調達

藤田 哲雄 元主任研究員

2. 中国の金属資源確保状況と日本の課題 特に関りチウム資源をめぐる動きについて

北 良行 主任研究員

IV. 非鉄金属の基礎知識

2.3.3 非鉄金属資源の選鉱（技術編）

*おことわり：

web に掲載されるレポート等の内容は、必ずしも日本メタル経済研究所としての見解を示すものではありません。正確な情報をお届けするよう最大限の努力を行ってはおりますが、レポート等の内容に誤りのある可能性もあります。レポート等に基づきとられた行動の帰結につき、日本メタル経済研究所及びレポート執筆者は何らの責めを負いかねます。なお、本資料の図表類等を引用等す

I. 2023 年 1-3 月第 4 四半期のショートアプローチの紹介

2022 年 7 月より皆様と情報を共有している「メタ研ショートアプローチ」の 2023 年 1 月～3 月の発行分は、下表のとおり LME、ベースメタル、レアメタル、SDGs、自動車、リサイクルの 10 件になりました。

メタ研の Web 会員サイトに閲覧コーナーを設けておりますので、会員の方はぜひご覧ください。今後も引き続きショートアプローチコーナーに掲載した記事の表題はメタ研通信でお伝えしますのでご確認ください。

1 月 13 日から 3 月 29 日までのショートアプローチ

No	タイトル等		カテゴリー
30	電気自動車と材料(2) -コスト-		自動車
	2023 年 1 月 13 日	2030 年より前には EV のコストが従来車種と同等になり普及が加速するとのコンサルタントの見通しについて分析・検証を行う。	
31	中国のリサイクル亜鉛の状況		ベースメタル
	2023 年 1 月 19 日	天然資源のリサイクル原料利用率を向上させることが課題となる中で、世界の亜鉛市場のトップシェアを占める中国の状況について報告する。	
32	循環型産業の高度化(4) ~110 年超を都心の創業地で迎える故銅問屋が鉄リサイクラーと共業する廃プラ再生事業~		リサイクル
	2023 年 1 月 26 日	JR 大塚駅近くに本社と非鉄スクラップヤードを持つ明治 44 年創業の中堅故銅問屋である株式会社井戸商店が廃プラスチック・樹脂リサイクル事業に進出している。同社の鉄、銅、プラスチック 3 素材が結合した再生事業の現状を紹介する。	
33	ハフニウムのお話		レアメタル
	2023 年 2 月 14 日	金属アレルギーを起こさない結婚指輪の材料として、レアメタルの一つであるハフニウムが人気を博している。ハフニウムの特徴と最近需給がひっ迫し価格が急騰している背景についてレポートする。	

	資源の超先物相場		
34	2023年2月17日	2か月もしくは3か月くらい先の月や期日を中心とした一般的な先物の売買に対して、資源関連では最長10年先を期日とした超先物相場がある。今回はその特徴について解説する。	LME
	水銀について		
35	2023年2月22日	水銀についてはいくつかの条約に基づき、国際的に厳格な取り組みが行われている。昨年国連でまとめられた水銀対策の優良事例を紹介するとともに、途上国を中心とした水銀問題の現状についてレポートする。	SDGs
	取引所産業と Greed (強欲)		
36	2023年3月1日	執筆者の証券会社勤務時代の経験に基づき、取引所業界における過去の米国を中心とした問題事例をGreed (強欲) という観点から解説するとともに、ニッケル問題で信用失墜した LME の今後がその Greed の渦に翻弄されつつある状況をレポートする。	LME
	ニッケル資源市場の現状とインドネシアによる資源の囲い込み		
37	2023年3月8日	ロシアによるウクライナ侵攻を受けて、電気自動車用電池材料に関心が集まる中、ニッケルの市場動向と、近年生産を急速に伸ばしているインドネシアの動向をレポートする。	レアメタル
	亜鉛系二次電池の実用化の状況		
38	2023年3月13日	再生可能エネルギーによる発電を進めていく上で安定性の観点から重要な蓄電池の中で、リチウムイオン電池に次の世代として期待されている亜鉛系二次電池の開発状況等についてレポートする。	ベースメタル
	電気自動車と材料(3) -サプライチェーン-		
39	2023年3月29日	サプライチェーンを考える上で根幹となる需要予測に関連して、中国リスクや EU の最近の動向、資源リスク等について考察するとともに、本件に関する資源会社の役割等についてレポートする。	自動車

II. 寄稿

1. 金属と著名人

－第3話 銅とピョートル大帝－

伊藤忠鉱物資源開発株式会社 五味 篤

ロシアのプーチン大統領^(注-1)が崇拝する初代皇帝ピョートル1世^(注-2)（図版1）は、西欧をモデルとして自国の旧来の社会体制や産業の刷新を強力に行った^(注-3)。1697年には自らを含む250名もの使節団をドイツ西欧諸国に派遣し、銃砲や工作機械などを大量に購入、また大勢の専門技術者を招聘してロシア国内での技術者の養成に当たさせた。



図版1 ピョートル1世肖像画
エルミタージュ美術館 (Hermitage Museum) 蔵

17世紀当時はスウェーデンが自国の鉄や銅など豊かな資源を背景に、軍事的才能の豊かなカール12世^(注-4)に率いられ、バルト海沿岸を含む北方地域を軍事支配していた。ピョートル1世は失地回復と海への窓を求め1700年に「大北方戦争」と呼ばれる戦いを始めた。1708年にはロシアに併合されていたウクライナがスウェーデンに寝返るなどの事件が起こったが、20余年の長きに亘った戦争は1721年ロシアがバルト三国などを獲得して終結し、欧州の強国としての地位を築くこととなった。これにより1721年にピョートル1世は大帝という肩書を得た。1710年には湿地帯であったサンクトペテルブルグを欧州への窓口とするために強制的に首都の建設を開始した。

この時期にはピョートル1世の号令下で、ウラルやシベリア地方の鉱山開発が急速に進んだ。鉱床が

発見された貴族たちの領地の鉱業権は「地下にある神の祝福が無駄に残されないために」帝国の管理下に置かれた。ウラル山脈東部の主な鉄と銅の鉱床（図版2）は、トゥーラ出身の鍛冶の名工で、ロシア軍の武器製造を担当したニキータ・デミドフ^(注-5)とその息子達によって開発された。まずはピョートル1世の支援を受けて1694年にトゥーラにロシア初の鑄鉄工場が建設され、1699年にはウラルにネヴァンスキー製鉄所が建設された。さらに1721年にニジニタギル（図版3）に極めて高品位の鉄鉱を産出するヴィソコゴルスキー鉄鉱山が開発され、1716年から1725年にかけてデミドフ家はウラル4拠点に製鉄所を建設した。これらは大北方戦争の間、ロシア軍への主要な武器供給者となり、勝利に貢献した。1720年、大北方戦争の貢献によりデミドフ家は貴族の称号を与えられた。



図版2 ウラル山脈の主な銅と鉄の鉱床分布図



図版3 19世紀初頭のニジニタギル
 出典：鉱物たちの庭「孔雀石の話3ウラル孔雀石細工の世紀」

18世紀初頭ロシアは鉄の輸入国だったが、1716年には早くも国内需要を満たし輸出国となった。デミドフ家はロシアの鉱山業と製鉄業を牽引、1730年代にはロシアの鉄生産は英国を抜き、18世紀の間は世界一の座に就いた。品質はスウェーデン産の鉄に及ばなかったものの、鉄や銅は19世紀には欧州各地にも輸出され建築資材などに使われた。英国の産業革命では鉄製品の3割がロシア産によって賄われていた。1889年にフランスから米国に贈ら

れた「自由の女神像」の像を鑄造するための鉄はニジニタギル産であった。

このような情勢を背景に、鉱業家アレクセイ・トルチャニノフ^(注-6)は1760年代からウラル山脈東側のグミョーシキ鉱山を経営して、銅や鉄を採掘し製錬していた。

グミョーシキ鉱山は鉄鉱や銅鉱を含む延長6km、厚さ250mの大鉱床で、巨大な深く陥没したカルスト地形を伴っていた。地殻中の銅は主として黄銅鉱のような硫化物として存在



写真1 葡萄状を示す孔雀石
ウラル、メドノルディンスク鉱山産

するが、地表近くでは大気や地下水との化学反応で、いわゆる緑色銅鉱となっていることが多い。その代表的な鉱物は孔雀石(写真1)である。孔雀石を多産したのはこれらの陥没で、赤い粘土質の土壌の中に埋まっていた。

装飾材に向いていたのは緻密な塊状孔雀石で、外観は葡萄状・鍾乳状、大きさは2~6cmが普通だった。内部は濃淡さまざまに変化する緑色が層状や年輪様の縞模様を呈していた(写真2)。この鉱山からは極

めて良質な孔雀石が産出したが、宝飾材としては評価されなかった。しかし、1725年にロシア科学アカデミーが設立され、1735年にサンクトペテルブルク近郊ペテルゴフに小規模な王立工房が設立されてロシアでの宝飾工芸産業が始まった。最初はイタリア職人によってモザイク化粧張り技術などがロシア人に伝達され、1765年にはウラルのエカテリンブルグにも設立された。

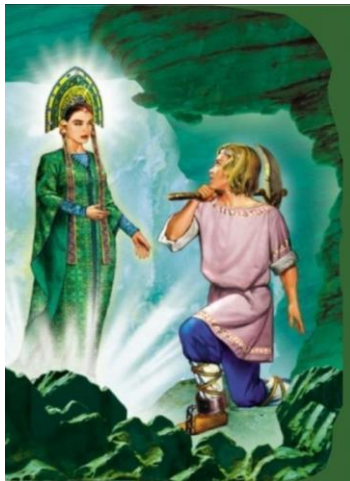


写真2 孔雀石の切断面 20cm×20cm
ウラル、グメシェフスキー地区産 フェルスマン
鉱物博物館(Fersman Mineralogical Museum)蔵

日本では山口県秋吉台付近の長登鉱山^(注-7)の銅鉱床の一部、浜の宮鉱床に石灰岩の風化によって生じた赤色粘土があり、なかに孔雀石塊^(注-8)を含んでいた。

ウラル山脈西側にあるメドノルディンスク鉱山に新しく豊富な孔雀石鉱床が発見され、1814年に開発された。ここでは多量の孔雀石が産出したが、一方ではグミョーシキ鉱山での産出は乏しくなり、やがて伝説化していった。

緑色銅鉱は1960年代に実用化されたSX-EW法^(注-9)で処理が可能となった。これは、緑色銅鉱に希硫酸を散布し銅イオンを浸出させ、有機溶媒で銅イオンを高濃度の硫酸銅溶液とする溶媒抽出工程(SX)と、調整した硫酸銅溶液を電気分解して金属銅を陰極に析出させる電解採取工程(EW)からなる。2019年の全世界の鉱山からの銅生産量20.6百万トンのうち19%がSX-EW法によるものとされる。原料となる緑色銅鉱の埋蔵が地表付近に限られているので、早くからSX-EW法を導入したチリでは2009年の2,117千トンピークにSX-EW法による銅生産量は年々減少している。



図版4 「孔雀石の小箱」に収められた
民話に登場する銅山の女王と坑夫
スチェパーン

レーニン勲章とソビエト連邦国家賞を授けられたロシアの小説家パーヴェル・ペトローヴィチ・バジョーフ^(注-10)は、グミョーシキ鉱山をはじめウラル地方の民話を蒐集し

「孔雀石の小箱」^(注-11)を執筆した。「孔雀石の小箱」には、貴族や領主に隷属した、孔雀石の坑夫や石工と銅山の女王（図版4）との民話が収められており、自然に対する畏敬の念、働く人々の仕事への誇りと情熱、幸福を求める民衆の力強い姿が描かれている。ロシア国民をはじめ CSI 諸国民にとって孔雀石は伝統的な装飾石であるとともに、職工文化の象徴でもあったという背景から、サンクトペテルブルクの冬宮殿の孔雀の間の柱やテーブル(写真3)、壮麗な花瓶（写真4）など室内装飾品に惜しげなく使われた。プーチン大統領の執務室の机上には孔雀石の置物がある（写真5）が、ウクライナのゼレンスキー^(注-12)大統領の執務室の机上にも小さいながら孔雀石の置物が認められる（写真6）。



写真3 サンクトペテルブルク冬宮殿の「孔雀の間」の孔雀石製の柱と花瓶とテーブル（1836-1839年建築）
出典：鉱物たちの庭 孔雀石の話 3 ウラル孔雀石細工の世紀



写真4 孔雀石製花瓶（1830-40年代）
エルミタージュ美術館 (Hermitage Museum) 蔵
出典：鉱物たちの庭 「孔雀石の話 3 ウラル孔雀石細工の世紀」



写真5 前副首相マキシム・アキモフ (Maxim Alexeevich Akimov) と会談するプーチン大統領と机上の孔雀石置物(緑色)

ロシア大統領府サイト 2019年4月19日 13:45



写真6 ゼレンスキー大統領の机上の孔雀石置物(緑色)

(注-1) Vladimir Vladimirovich Putin (1952-)

ロシア大統領。ピョートル大帝を敬愛し、肖像画を執務室飾っている。ロシア人の半数以上がロシア史のなかで最も誇りを感じる時代としてピョートル大帝の時代を挙げているとされる。

(注-2) Pyotr I Alekseevich (1672-1725)

- (注-3) 古い秩序を維持しようとする聖職者や貴族、唯一の皇太子であるアレクセイ・ペトロヴィチなど反対勢を徹底的に肅清した。(Alexei Petrovich (1690- 1718) 父親と違って全く軍事・政治に興味を示さず、西欧化政策に反発して対立、愛人とウィーンやナポリに逃亡、強制的にロシアに連れ戻され、帝位継承権を奪われ獄死した)
- (注-4) Karl XII (1682 -1718)
- (注-5) Nikita Demidov (1656 - 1727)
- (注-6) Alexei Turchaninov (1704?-1787)
- (注-7) 奈良時代から平安時代にかけて、東大寺の大仏建立といった国家的事業用に採掘されたと考えられている。
- (注-8) 「此の孔雀石塊をば混沌たる粘土の中より拾集するの状恰も貝を泥中に捜るが如く又鰻を海底に索むるに似て実に近代の奇観たり」と記録されている。(岩崎 (1941))
- (注-9) Solvent extraction and electrowinning
- (注-10) Pavel Petrovich Bazhov (1879-1950)
- (注-11) セルゲイ・セルゲーエヴィチ・プロコフィエフ (Sergei Sergeyevich Prokofiev (1891-1953)) がこの民話をもとに、バレエ音楽「石の花」を作曲し、1954年にモスクワのボリショイ劇場で初演された。また、ソビエト連邦で最初のカラー映画化がなされた。
- (注-12) Volodymyr Oleksandrovych Zelensky (1978-)

参考文献

岩崎重三(1941)：「銅」．内田老鶴圃

パーヴェル・ペトローヴィチ・バジョーフ、佐野朝子(訳)(1981)：「石の花」．岩波少年文庫 3111．株式会社岩波書店．

パーヴェル・ペトローヴィチ・バジョーフ、松谷さやか(訳)(1990)：「石の花」．小年少女世界名作の森 20．株式会社集英社．

Semyonov, V. B. (1987): "Malachite: Ural Gems ". Sverdlovsk Mid-Urals Publishing.

土肥恒之(2013)：「世界史リブレット人 57 ピョートル大帝 西欧に憑かれたツァーリ」．株式会社山川出版社．

鉱物たちの庭 孔雀石の話 3 ウラル孔雀石細工の世紀

<https://www.ne.jp/asahi/lapis/fluorite/column/medno4.html>

2. 非鉄金属企業の日常

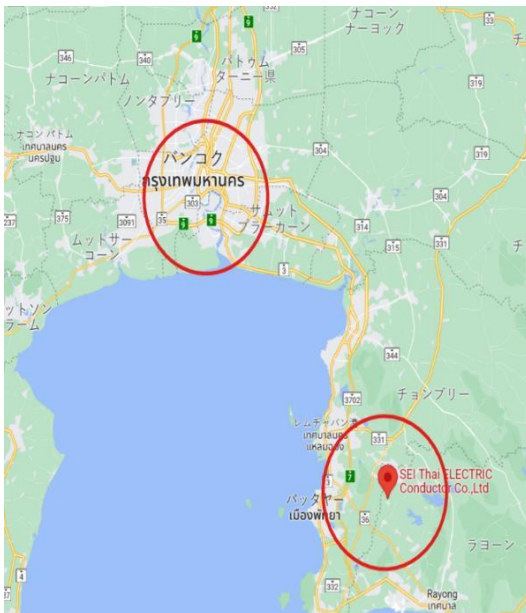
—タイ/SEI Tai Electric Conductor 社での日常生活について—

SEI Thai Electric Conductor Co.,Ltd 神野 峻之

1. SEI Thai Electric Conductor Co.,Ltd. (以下、STEC)の紹介

STEC は、住友電工グループの異なる 3 部門を集め、シナジー効果を出すべく、2012 年に設立された。バンコク市内から車で南に 2 時間程の、アマタシティという工業団地に所在。アマタシティ工業団地は海拔 100m の標高にあり、洪水のリスクが小さく(2011 年にタイでは大きな洪水があり、多くの日系企業も被害を受けた)、また、300 社以上の企業が入っており、タイで最も大きな工業団地の 1 つである。タイ国内では最大級の貿易港であるレムチャバン港から

1 時間程度の立地となっており、輸出入にも便利な立地となっている。



バンコクとアマタシティ工業団地の位置関係

(Google map)



STEC の製品は銅(荒引線、伸線)、アルミ(荒引線・伸線、切削用棒材)、自動車用アルミ電線の 3 つに分かれている。3 部門は同じ住友電工グループの部門であるが、異なる文化を持つ事業部、会社が 1 つの組織となることで、各事業部の良い所を取りいれながら、安全、品質等において、日々改善・成長し、タイ、並びに東南アジアを中心にグローバルに材料供給をしてい

る。特に銅部門については、2015 年から本格操業を開始しており、粗引線の生産能力は凡そ 13,000ton/月で、タイ国内では最大級だ。

2. 駐在員の生活

STEC 駐在員はバンコク市内から車で南に1時間半ほど、STEC からは1時間ほど離れたシラチャーという町で生活している。シラチャーはタイランド湾沿岸にあり、1990 年代から日本人の人口が増え始め、現在では 3-4 千人程度が居住している。タイではバンコクについて日本人人口が多いと言われており、世界でも有数の日本人街となっている。最近でも開発が進んでおり、既に大型ショッピングモールが 2つ程存在。ホテル/コンドミニアムの建設も進



シラチャーの街並み

んでいる。シラチャー自体は海水浴をするようなビーチはないが、すぐ北にはバンセンビーチというバンコクからも日帰りで来られるビーチが、南には後述するパタヤビーチがあるため、



パタヤビーチ

シラチャーを宿泊拠点に使うタイ人や外国人観光客も増えている。シラチャーには日本人学校もあり、家族帯同での駐在者も多い。日本食レストランもあるが、地元の屋台も立ち並んでおり、東南アジアの地元感を感じられる。街を一步出れば自然が広がっており、空気も良く過ごしやすい環境。また、食材の調達についても基本的には困らない。シラチャーには日系スーパーが進出している他、現

地系の大手スーパーでも、日本の調味料を取り扱っているところは多い。ただし、バンコクと比較すると劣るため、週末にバンコクへ出かけて食材や調味料などを買い出しに行く家庭もある。

車で南に 30 分程下ると世界有数のリゾート地であるパタヤビーチがあり、レストランやショッピングモール、高級ホテルが多く賑わっている。特にタイが 2022 年7月に、新型コロナウイルス渦で制限していた観光客の入国を緩和して以降は、世界中からの観光客で週末のみならず平日も活気に溢れている。シラチャー周辺でのアクティビティは言わずもがなゴルフが盛んで、筆者の住むシラチャー周辺にも多くのゴルフ場が存在しており、観光客も多いが予約に困ることはほとんどない。

バンコク周辺のゴルフ場は平坦なところが多いが、シラチャーは高低差がありまた違った面白さがある。

ただし、年中暖かい良いコンディションかというところではない。タイは季節が3つ、乾季、雨季、暑季とある。乾季は気温が 30 度前後だが、湿気がなく涼しく感じる他、雨も降らずベストシーズンだ。しかし雨季は 30 分程度のスコールがよく降り、暑季は気温 30 度以上で湿度も高いため、汗が止まらない。ゴルフ以外のアクティビティでいうと、海もすぐ傍にあるので、釣りやダイビングも盛んである。筆者もスキューバダイビングをタイに来て始めた。パタヤから船で 20 分も行くと、海中に亀が多く存在しており、簡単に会うことができる経験ができる。

3. タイの食文化/STEC での食事

タイ料理について紹介したい。日本でもタイ料理レストランが多く見受けられるが、トムヤムクンやガパオライス、グリーンカレーなど日本人にも聞いたことあるような料理も多く、好む人も多いだろう。一方で、タイ料理 = 「辛いもの、パクチーやココナッツが多く使われて癖の強いもの」と敬遠される方も少なくないと思う。一言にタイ料理といっても、タイ国内の地域によって特徴があ



STEC キャンティーンのカオソーイ

り、個々で特徴のある味を形成しているため、レパートリーは多いと思うので、ぜひ色々なタイ料理を知ってもらいたい。北部の代表的な料理は「カオソーイ」は、ココナッツミルク入りのカレーラーメンで、比較的味わいはマイルド。一部の料理メディアでは世界一のスープと名高い。東北部料理はスパイシーな料理が多い。例えば、「ソムタム」という青パパイヤに唐辛子やヤシ砂糖、ライムを混ぜたサラダはとてもスパイシーで、辛いタイ料理代表の一つである。また、シンプルで食べやすい料理もタイにはある。鶏ガラスープで炊いたご飯の上に、茹でたり蒸したりした鶏肉を乗せた「カオマンガイ」は、東南アジア周辺で似たような料理も多いが、食べやすいタイ料理の一つである。他にもタイ風チャーハンである「カオパット」や、塩ベースのあっさりしたスープである「ナムサイ」は、癖が少なく食べやすいタイ料理である。ただし、タイ料理は全体的には味がしっかりしている反面、油や調味料が多く使われている傾向があるため、健康面では食べ過ぎに要注意である。特にタイ駐在員は自宅と職場を車で往復する場合が多く、日常的に決まった運動をする時間を取るのが難しい状況になりがちなので、土日は少しでも運動をするように心がけている。

ここで STEC での食事について紹介したい。STEC には敷地内にキャンティーンがあり、周辺に飲食店はないため従業員は昼食を社内で摂る。タイでは外食文化が普通なこともあり、キャンティーンは朝早くからオープンしているため、夜勤終わりや朝、夜勤出社の従業員らが朝食、夕食も摂っている。メニューはタイ料理で、日替わりのbuffet形式のコーナーがある傍ら、決まったメニューの注文も可能で、レパートリーに富んでいる。日本人の中には、パク



日替わりbuffet形式の食事。6-7 メニューがある

チーや、辛味が苦手なタイ料理が苦手という人もいるが、メニュー（前述のカオパットやナムサイも注文可能）が多く、調味料の調整も聞いてくれるので昼食に困ることはほとんどない。ちなみに筆者は、割と辛味、パクチーやココナッツなどの所謂「タイっぽい」食事が好きでカオソーイや辛味の聞いたガパオライスをよく食している。ちなみに値段は 1 品 15 パーツ～30パーツ程度で白米は別途無料で食べ放題であるので、食べ過ぎに要注意である。



STEC キャンティーン内、喫食ブース

また、売店も併設している。飲み物についてはコーヒーやティー、チョコレートやストロベリーフラッペなど喫茶店ばりのメニューの豊富さである。タイティーというバナナやコンデンスミルクをたっぷり入れた、タイ式ミルクティーもあり、濃厚で癖になるが、こちらも健康を考え、飲みすぎないように注意している。新型コロナウイルス発生以降、感染対策としてキャンティーン内テーブルは全てパーティションを設置し、黙食としており、現在も継続中である。タイ国内では 22 年 10 月 1 日以降で、新型コロナウイルスの扱いはインフルエンザなどと同等の感染症分類としており、マスク着用義務がなくなってからは随分時間が経つが、タイ人は今でもマスクをしている人がほとんどである。とはいえ、社内での懇親会も増えており、コロナ以前と同様なコミュニケーションは取れるようになってきている。タイ人は本音をなかなか言わないと言われており、深いコミュニケーションによる関係構築は重要。タイ語は難しいが、これからもより良い職場づくりのためにコミュニケーションをとっていききたい。



毎日頼めるメニュー(上段は日本語メニュー)

以上

III. 主任研究員レポート紹介

1. 非鉄金属における鉱物資源の責任ある調達

(藤田 哲雄 元主任研究員)

世界的に環境や社会を重視する SDGs(Sustainable Development Goals; 持続可能な開発目標)、ESG(環境・社会・企業統治)への取り組みの重要性が一層高まっている。この SDGs・ESG にかかる取り組みの一つに「責任ある調達」と称される紛争鉱物問題の解決に向けた取り組みがある。武装勢力への資金源になっているとされるこの問題は、鉱物資源の原料の出所やそのサプライチェーンを明らかにする取り組みで、世界的に注目度が増している。近年、鉱業活動における「責任ある調達」の対象鉱物種や対象地域が拡大する傾向にあり、更に、紛争という概念以外に、鉱業活動特に職人的小規模鉱山(Artisanal Mining; ASM)における児童労働、人権問題(強制労働)、労働安全衛生の問題も取り上げて検討されている。

調査レポートでは、主に各調査機関のレポートや民間団体・NGO の公開情報を追跡し、紛争鉱物の調査について検索し、非鉄金属産業の責任ある調達に関する展開状況も調査するとともに、提言も試みた。

最初に、紛争鉱物の背景をダイヤモンドの歴史にまで遡って記述し、ドッド・フランク法の成立の巡り合せ、近年の EU の紛争鉱物規制とOECD 紛争鉱物ガイダンスについて解説した。ドッド・フランク法は、2008 年のリーマン・ショックが契機となって 2010 年に成立した米国の金融規制改革法で、金融機関に高リスクの自己勘定取引を禁じる「ボルカー・ルール」を中核に、様々な分野で米国の規制システムを再構築することを目指したもので、1920 年代の米国で金融的投機がもたらした世界金融不安および大恐慌の発生を根絶するため成立したグラス・スティーガル法の現代版と言える。加えて、2001 年、2002 年に起こったエンロン事件やワールドコム事件で問題となった粉飾決済などの企業会計不祥事のため、2002 年 7 月にアメリカ政府が制定したサーベンス・オクスリー法、通称 SOX 法の延長とも言える。このドッド・フランク法の第 15 編 雑則に追加されたのが、「紛争鉱物条項」(1502 条)で、この法律では紛争鉱物を使用しているか否かの報告に加えて、その報告内容が正しいかどうか外部監査を要求しているところが特徴的で、これは、企業の内部統制に関する報告とそれに対する外部監査を要求する SOX 法 404 条と同じ規定で、会計処理の手法が色濃く反映されている。

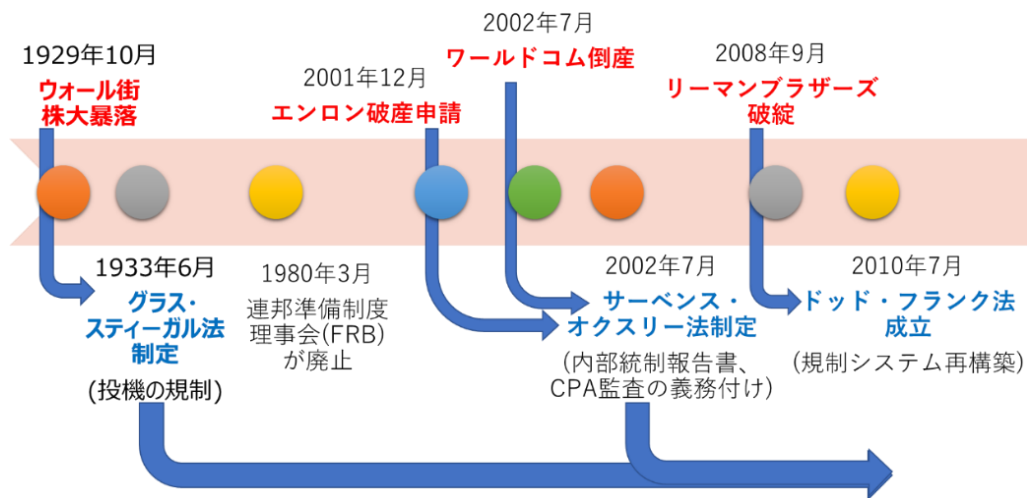


図 1 : ドッド・フランク法の成立

各種団体の責任ある鉱物調達に関する取り組みを、数多くのイニシアチブ・フレームワークを経緯・歴史を交えて解説することを通して、概観した。対象事業を「全体、下流(製品類)～製錬、上流(鉱山)」に分類して、簡単な説明をつけて次表にした。対象とするところが「全体」に及ぶイニシアチブは、CSR からの流れを汲むものが多く情報開示に焦点を当てているところが多く、「下流～製錬」に焦点が当たるイニシアチブでは、RMI が老舗で DD 支援では唯一無二と言っても良い。DMCC はガイダンスがあると言っても OECD ガイダンスそのもので、SCM としても独自の取り組みは見え難い。EPRM は CAHRAs 関係の支援では新しい取り組みであるが、資金提供が主な役割であり、RMI の取り組みとはかなり異なる。上流(鉱山)側に焦点を当てたイニシアチブには様々な組織が存在している。乱立したように見受けられるのは、Gold に関連した ASM 対応のために立ち上がったイニシアチブが多いためと推測される。

表 1 : 上流/下流関係なく全体を通した取組み 表 2 : 下流側～製錬に焦点を当てた取組み

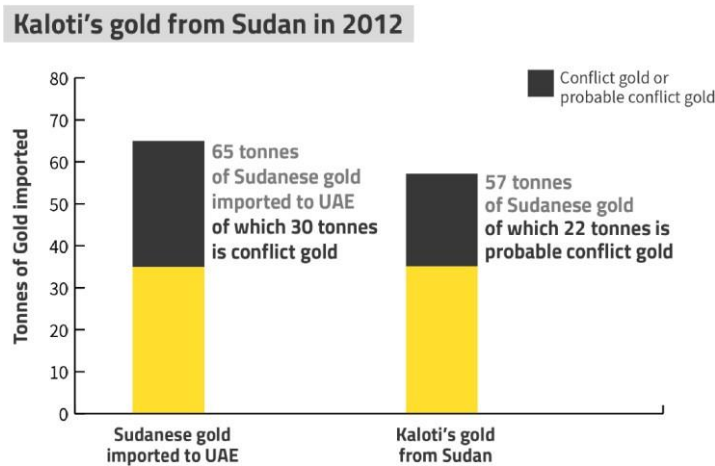
initiative	設立	取組site	initiative	設立	取組site
GRI	1997	透明性を高めるための自主基準、template提供	RMI (GeSI)	2008	下流側～製錬
TSM	2004	カナダ鉱業協会(MAC)initiative 説明責任、透明性、諮問委員会との継続協議に強み	(RBA)	2001	最も有名なinitiative
PRI	2006	投資家のinitiative ESG問題に焦点	PPA	2011	下流側⇒GLR地域のSCソリューション支援 マルチステークホルダー-initiative
ISEAL	2013	情報開示に関する sustainability規格	EPRM	2021	下流側～CAHRAsからの鉱物調達の支援
ICGLR	2006	アフリカ諸国の政府間組織	DMCC	2002	製錬⇄官公庁主催 金、貴金属のSCにおける規則 OECDガイダンスに沿っている

表3：上流側に焦点を当てた取組み

initiative	設立	取組site
EITI	2003	資金の流れの透明性
PACT	☑ (2004) 1971	NPO—貧困問題の解決 採掘現場で産業界と連携
ARM	2004	ASMセクターの環境改善
BGR-CTC	2007	ルワンダとDRCのための開発スキーム
BMP (RCS Global)	2008	ASM鉱山監視プログラム
iTSCi	2009	3T (SnTaW) のSGのDD実施を支援
Just Gold (IMPACT)	☑ 2012 (1986)	DRCで金のtraceabilityとDDシステムの開発、3TG→コバルトにも拡大
RAGS	2015	金に関する問題の学習と解決
CRAFT	2018	ASMのリスク軽減コード(基準) EPRM支援～ARMとRESOLVEが開発
RESOLVE	☑ (1977)	NPO—公共政策関連
IRMA	2018	鉱山siteに対する (責任ある採掘基準 の)自主的認証制度

また、DMCC が直面した金のロンダリング事件について詳しく記述した。国際 NGO の Global Witness は、スイス貴金属精製大手 Valcambi が、金採掘への武装勢力の関与が指摘される UAE の Kaloti 精製会社から金を調達しているとしたレポートを公表した。2018年だけで 270 社以上が、Kaloti ~Valcambi を通して金を調達しており、アマゾン、スターバックス、ソニー、ディズニー、HP らの最終製品に使用されている可能性があるという。

図2：スーダンから Kaloti に輸入された金



次に、近年の紛争鉱物規制の動向・話題で、EU 紛争鉱物規則の中で、紛争地域および高リスク地域(CAHRAs)の特定の方法について、詳細を記した。2017年5月17日に発効されたEU 紛争鉱物規則の中では、「紛争鉱物資源の鉱石や金属を」紛争地域および高リスク地域

(CAHRAs)” から調達する EU の製錬業者や輸入業者に対して、調達する鉱物資源が紛争や人権侵害を助長していないことを確認するデューデリジェンスの実施の義務付け」の対処方法が特記事項である。「DRC 及び周辺国の紛争リスク」から「CAHRAs における OECD Annex II リスク」へ対象地域と対象リスクが拡大したことに合わせ、企業も若干の方針改訂をしている。

CAHRA の指標となるリスト作成は、網羅的ではなく定期的に更新する方法論で RAND Europe が設計を行った。この方法論は、主要な法律、プロジェクトの文書化、および利害関係者と専門家の意見の分析に基づいて設計したとされており、また、紛争地域は時間とともに刻々と変化するものであり不完全さが残るから不完全さをカバーするよりも定期的更新を選択した方が実用であると考えられた方法論となっている。参照データは、RMIで取り上げられている著名なデータを参照しており、リストはほぼ全てカバーされている。

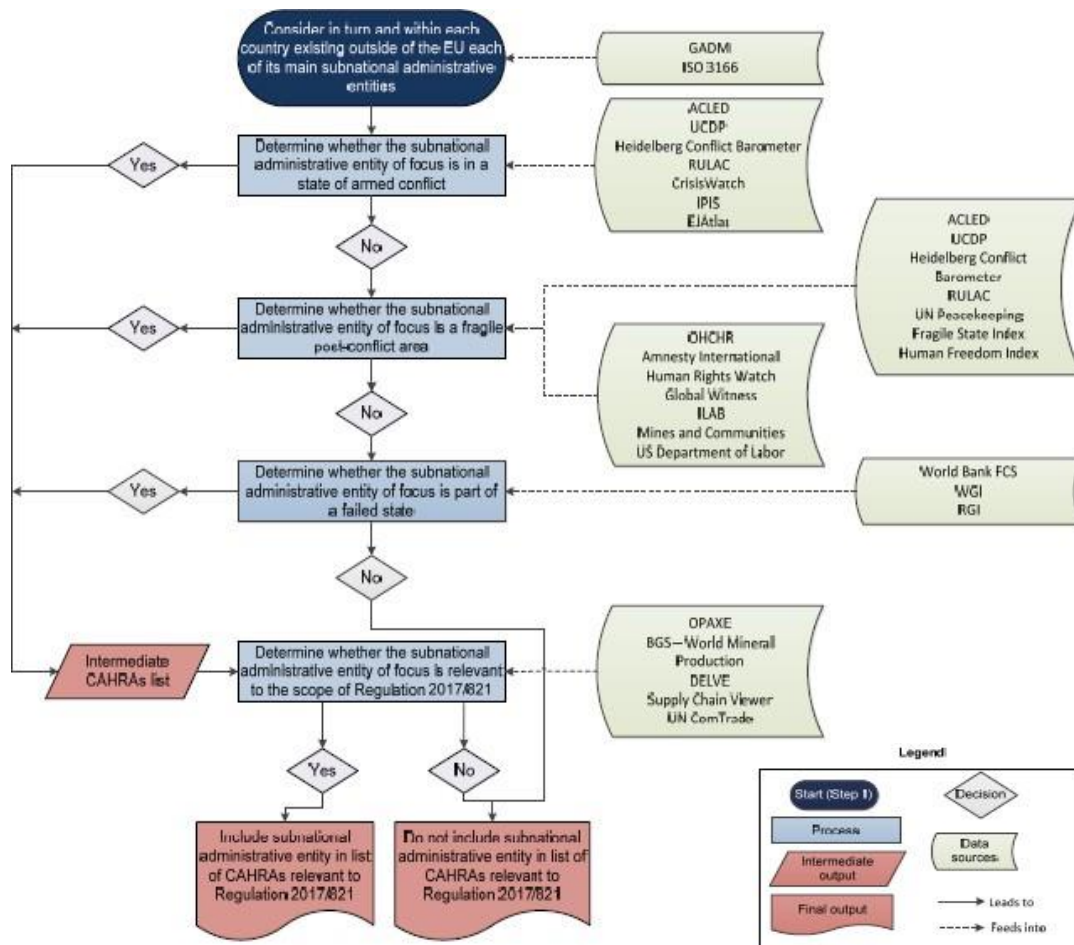


図3：方法論のプロセスフローとデータソースの概要

また、非鉄金属業界の主要な協会である LME、LBMA、LPPM の責任ある調達プログラムや ICMM の鉱業原則の概略と要求事項について明示した。Copper Mark については、その仕組みについてだけでなく共同デューデリジェンスやパートナー参加、トピックスについて記し、Copper Mark が意図していることについて推察した。更に、金鉱山に関しては WGC が進める Responsible Gold Mining Principles について解説し、宝石関係では Responsible Jewellery Council が進める取組みについて記した。

表 4：非鉄業界の責任調達に関連した取組み

組織	動向・特記事項
LME	要求事項-1. 企業管理システムの整備 -2. レッドフラグ評価 -3. ISO14001とISO45001の認証取得 2021年までに最初の報告、2023年までに監査の実施
LBMA	RGG、RSGで年次の監査 ISAE3000 標準に基づく第三者監査 会員基準(Global Precious Metals Code)によって管理
LPPM	RPPガイダンスを2019年に導入 LBMAのガイダンスに沿ったもの
ICMM	鉱業原則(10項目)、Performance Expectations(38項目)を策定 責任ある調達ガイドブックを提供
Copper Mark (ICA)	LMEの責任ある調達要件に適合(≒LMEブランド支援) CM、国際鉛協会、国際亜鉛協会、ニッケル協会 で共同のDD基準策定 ICAメンバー全てがCM参加となっていないが、 責任調達の取組みは、ICAとしては見られない(CMへ移管)
RGMPs (WGC)	責任ある金採掘を定義する一貫した枠組み 作り ESGフレームワークを一つにまとめる 他のイニシアチブと重複あり(意図していない) 多様性に関する要件を最初に導入
RJC	貴金属のCoC認証をツールとして マルチステークホルダーイニシアチブを サポート ロードマップ2030という業界 の枠組みを掲げる 2021年4月にSDGsタスク フォース立上げ

コバルトに関する「責任ある鉱物調達」の取組みでは、RMI で提供されているCobalt Reporting Template やCobalt Refiner Supply Chain Due Diligence Standard、コバルトの Risk Readiness Assessment を紹介した。また、コバルトに関するイニシアチブとして Global Battery Alliance のCobalt Action Partnership とThe Impact Facility のFair Cobalt Alliance の発足とその動向を取り上げ、業界団体 Cobalt Institute が提供した CIRAF という管理フレームワークと RCS Global がメインとなって立上げた RSBN というコンソーシアムの IBM のブロックチェーン技術についてトピックスを述べて、今後の課題などを考察した。

更に、中国のコバルトに対する取組みとして CCCMC による DD ガイダンスの発行とその後の課題について述べ、CCCMC が立上げた Responsible Cobalt Initiative の現況が不透

明であることを述べた。加えて、住友金属鉱山のコバルト責任調達取組みや、自動車・エレクトロニクス業界が取り組んだ責任調達に関する調査「Material Change」という報告書と Material Insights Platform というオンライン産業ソリューションを紹介した。

表5：コバルトに関する様々なイニシアチブ・フレームワーク

initiative	設立	特記事項
中国DDガイドライン CCCMC	2015年	OECDと協力してCCCMCが発表 中身はOECDガイダンス・RMAP (RMI) と大差なしガイドラインを知る中国企業が少ない事が問題 (JEITAのような) 啓蒙活動が大切だが...
RCI	2016年	31社が参加 RCIの活動は中国のweb-site上に存在せず、RESPECTというinitiativeが管理
Drive Sustainability	2017年3月 2018年7月	CSR Europeがベースとなって発足した自動車業界のパートナーシップ 自動車のSC全体で持続可能性を推進報告書「Material Change」発表、自動車・EL業界における責任ある材料調達を検証
GBA	2017年9月	世界経済フォーラムで設立、官民共同のプラットフォーム持続可能なバッテリーのバリューチェーンを確保 バッテリー・パスポートの開発に取組み中
CIRAF	2018年	Cobalt Instituteが立上げ コバルトに関して企業のために設計されたツール自社の業務・SCの年次評価を発表
RSBN	2019年1月	RCS Globalと自動車メーカー等の連携により立上げ Linux Foundationのモジュール式ブロックチェーン フレームワークHyper ledgerを活用、IBMが展開
FCA	2020年8月	TIF, Fairphone等が参加 Amnestyの報告(2016)が発端となって、紛争鉱物から人権問題へ方向を変え、ASMコバルト問題に取り組む
CAP	2020年9月	GBAによって設立 RMIによってPJ管理(児童労働問題解決)実装パートナー: FCA, UNICEF, IIED
RCI	2021年8月	RMIと共同で、コバルトのDD基準を改訂し、LMEの調達要件に準拠

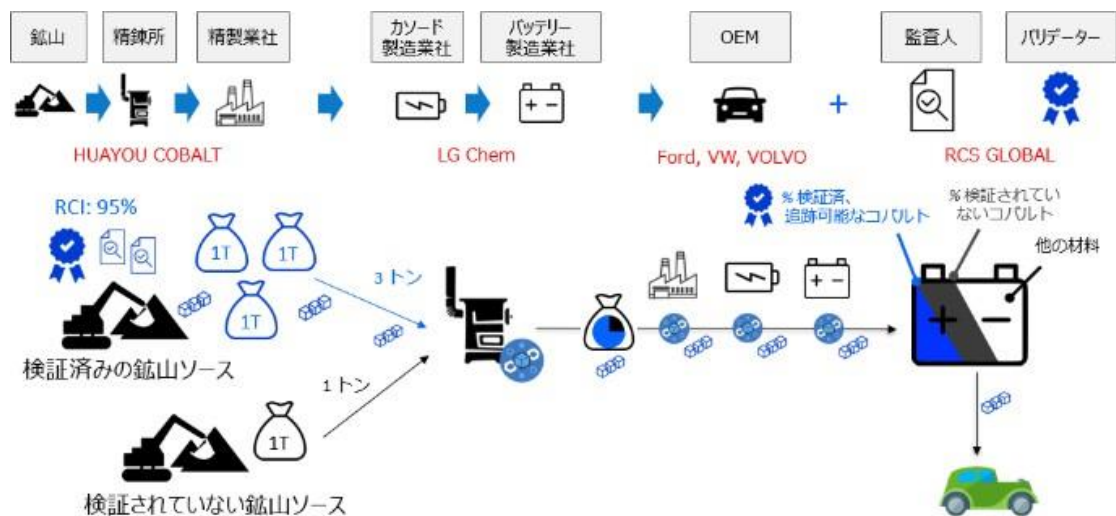


図4：RSBN が実現する鉱物資源のトレーサビリティ

[出所] https://special.nikkeibp.co.jp/atcl/ONB/20/ibm_bc/?P=2

責任ある鉱物調達の実現には、資源メジャーの「責任ある調達」の具体的な取り組みを紹介した。Rio Tinto での情報開示による Juukan Gorge の不名誉挽回の取り組みや、持続可能性と関与した ESG ポリシーの策定と維持、使用電力の Green 化をポイントとした Copper Mark の取得を取り上げた。Aurubis も責任あるサプライチェーンという観点での取り組みを多数開示している他、ブルガリア製錬所での Copper Mark 取得、Hamburg と Lünen 製錬所での CM 取得への取組み、EcoVadis のプラチナステータスを獲得し世界で最も効率的で持続可能な製錬所ネットワークを運営していると評価された事や、Nussir 鉱山の事業撤退の事例を紹介した。Umicore は、約 15 年前から職人的小規模鉱山(ASM)から得られるコバルトをサプライチェーンから排除し、ASM だけでなく、環境や労働安全衛生に配慮し、児童虐待を排除した、コバルトの責任ある持続可能な調達の枠組みを確立させた取り組みを示した。

表6：非鉄メジャーの責任調達関連の特記事項

企業名	動向・特記事項	企業名	動向・特記事項
Rio Tinto	<ul style="list-style-type: none"> ・Juukan Gorge対応が最優先 ・GHG排出量削減は大きく進歩(石炭資産売却) ・CM取得(電力Green化がポイント) 	Codelco	<ul style="list-style-type: none"> ・腐敗防止に対する取り組みは不明瞭 ・鉱業ロイヤルティ増税問題、小康状態？
BHP	<ul style="list-style-type: none"> ・責任ある調達 取組みは目立たず ・Responsible Steellに参加(GHGに関する側面が強い) ・CM – Olympic Dam, Escondida, Spenceで取得 	Teck	<ul style="list-style-type: none"> ・責任ある調達の特記事項なし ・廃棄物管理に重点
Vale	<ul style="list-style-type: none"> ・Minas Gerais州Brumadinho鉱滓ダム対応が最優先 ・サプライヤー選定でリバースオークション方式を取っている(厳しいスクリーニングを実施) 	Antofagasta	<ul style="list-style-type: none"> ・CM – CentinelaとZaldivarで取得、Los PelambresとAntucoya取組み ・Mining and Metals Blockchain Initiativeは立消え状態
Anglo American	<ul style="list-style-type: none"> ・責任ある調達の説明は詳しくweb-siteに掲載 ・近年の目新しいニュースは無し 	Aurubis	<ul style="list-style-type: none"> ・CM – ブルガリアで取得、HamburgとLunenで取組み ・EcoVadis-CSR評価でプラチナステータス ・Nussirの開発PJ – 人権と環境問題でNPO非難⇒事業撤退
Glencore	<ul style="list-style-type: none"> ・2019年 Cobalt Instituteと協力してCIRAF作成 ・2019年12月 RSBNに参加 ・2020年Murrin Murrin鉱山でRMIのRMAP実施 ・2020年8月 FCAに加入 	KGHM	<ul style="list-style-type: none"> ・LBMAのRGGとRSGで管理 ・CM – GlogowとLegnicaで取得 ・DRCのKimpe鉱山(撤退)の記述無し
Freeport McMoRan	<ul style="list-style-type: none"> ・Grasberg鉱山に関するnegativeな記載無し ・Freeport CobaltでRMI川下評価で適合 	Umicore	<ul style="list-style-type: none"> ・行動規範、人権方針、持続可能な調達憲章を採択 ・15年前からコバルトのSCMでASMを排除 ・2年に1回は現地視察するDDの徹底

最近の「サプライチェーンと人権問題」に関する世界の動向では、最もホットな話題となっている中国のウイグル問題を取り上げて、サプライチェーン上のリスク・問題点を議論した。中国製造 2025・輸出管理法・反外国制裁法などの中国の一連の法律化の問題を挙げて、企業が当事国の間で板挟みになる可能性を指摘した。また、日本の経済安全保障室の設立を受けて、その政策への期待を述べた。

最後に、非鉄金属産業に期待される取り組みと提言で、「責任ある鉱物調達」の調査で気付かされた新たな視点を取り込んで期待される取り組みをまとめ、特に外部機関との連携を推進し、ESG 部門を強化する事を提言とした。

2. 中国の金属資源確保状況と日本の課題

特にリチウム資源をめぐる動きについて

(北 良行 主任研究員)

日本は 1970～80 年代、資源を比較的安定した環境で輸入することができた。2000 年代になると中国による金属市場の寡占化が目立つようになり、また、2010 年代には世界で脱炭素化への動きが始まり、その動きには銅、ニッケル、コバルト、リチウムなどが大量に必要であることが分かってきた。

一般に、マイナーメタルの資源サプライチェーンは少数に集中する傾向があり、現在、レアアースはもとよりコバルト、リチウムなどの金属でも資源開発、原材料の加工、最終製品の生産分野で中国による寡占状態が顕在化してきた。

中国の金属生産・消費はこの 20 年間でともに5倍から 10 倍以上と大きく拡大したが、埋蔵量は世界の 1 割以下、鉱山での生産も 2割以下と極めて少なく、このため、中国は多くの資源を海外から輸入している。その量は膨大で、中国による鉱産物の流通シェアは世界の 6割から 8割以上と極めて大きな存在となっている。

リチウム資源は大きく分けてかん水と鉱石タイプがある。かん水タイプは資源量で 66% を占め、チリ、アルゼンチン、中国、米国等に分布、特徴として埋蔵量が多い、オペレーションコスト低いが、一方で開発に時間と経費が必要となる。アタカマ塩湖などが知られている。鉱石タイプは 34%を占め、オーストラリア、中国、アフリカ等に分布、特徴としてオペレーションコストは高いが、開発は比較的容易である。Greenbushes 鉱山が知られている。米国地質調査所によると埋蔵量は金属ベースで 2200 万トンあり、チリが 45%、オーストラリアが 23%を占める。鉱山での生産量は 2011 年の 3.4 万トンから 2021 年には3倍の 10 万トンに増加、オーストラリアが 54%、チリが 26%を占める。

リチウムにはマイナーメタルならではの資源の脆弱性を内在している。すなわち①生産量は上位 4 国で 95%、埋蔵量も 82%と地域が集中している。②Greenbushes 鉱山など 4 プロジェクトで世界の半分以上の生産とプロジェクトの寡占がみられる。③Albemarle 社、SQM 社など 5 社で生産量の 2/3 と生産企業の寡占がみられる。④リチウム資源開発は専門の企業によって実施されている。

中国は資源開発から EV 生産まで垂直に満遍なく活動をしており、生産量も消費量も 2～3 割増え続けている。海外における資源権益の確保では、赣锋锂业、天齐锂业、その他多数の中国企業が活動している。国ごとに見れば、チリでは天齐社が SQM 社の株式の約 25%を保有、オーストラリアでは Greenbushes 鉱山をはじめすべてのプロジェクトで中国企業が権益やオフテイク関係を維持、すべての開発段階案件で中国企業の関与、そして、すべてが中国に輸出されている。アルゼンチンでも赣锋锂业が Caucharí-Olaroz プロジェクトの権益を 51%所有、また、その他多くの国で活発な活動をしている。中間原料の生産段階では、炭酸リチウムと水酸化リチウムは赣锋锂业、雅化集团、天齐锂业などで世界の

4割を占め、LIB メーカーは CALT 社、BYD 社などで4割を占めている。すなわち、上流分野、加工分野、そして LIB 需要ですべて中国が1位となっている。

リチウム市場は 2013 年から 2020 年に需要が倍増し、その増加のほとんどは電池分野である。市場価格も急騰し、リチウム価格はこの1年余りで10倍となった。最大の関心である交通部門での脱炭素化には LIB の価格の低廉化が不可欠であるが、その中心となる電池パックの価格は 2010 年の 1,200 ドル/kWh から 2020 年には 137 ドル/kWh と下がったものの 2021 年後半には上昇してしまった。このため、2万5千ドルで販売すると打ち上げた Tesla 社「モデル3」の価格は 2022 年5月時点で4万~6万ドルを超えることとなった。

このような中でも EV 関連の生産計画だけは拡大しており、電池産業の売上高は 2030 年には3倍、これを受けてギガファクトリーの建設が相次いで発表され、リチウムの需要は 2030 年には10倍になると予測されている。これに対応して Albemarle 社や SQM 社は増産計画を打ち出し、また炭酸リチウム換算で数万トンレベルのプロジェクトが数多く発表されている。しかし、リチウム市場の不安定さから、開発がどの様に進んでゆくのかという見通しがかかめていない。基本的にはリチウムの埋蔵量は十分あるので、長期的には供給を増やすことはできる。喫緊の課題への対応としては、資源生産を急増させるか電池需要ペースを減らすかで、市場をバランスさせる必要がある。

欧米諸国は脱中国を目指して地域ごとにリチウムイオン電池のサプライチェーン構築を模索しており、今年6月には米国、カナダ、EU などを中心に The Minerals Security Partnership を結んだ。しかし、Benchmark 社によれば、ESG を考慮して中国以外のリチウムサプライチェーンの構築をするなら 20 年代末までに 420 億ドルもの投資が必要となり、精製品を中国に依存するよりも約2倍の経費となる。

下流産業の企業も自らリチウム資源市場への参入を試みている。資源メジャーでは最も注目を集めているのは Rio Tinto 社の Jadar 鉱山があげられる。電池生産企業では CATL 社が中国内外で 20 以上の原材料メーカーに投資するなど注目されている。自動車生産企業の参入も多く報道されている。Tesla 社はニッケルやリチウムで自らの採掘も示唆している。

このほかにも環境問題や、金属資源の高騰を背景とした国家による資源開発等への関与が顕在化してきた。これらの点も安価なリチウム開発とは逆行している。

日本のリチウム資源はすべてを輸入、炭酸リチウムは 76%をチリから、現在輸入の主体となる水酸化リチウムは 80%が中国からである。報道される日本企業のリチウム資源確保の動きは、商社が主体で極めて少ない状態である。日本の資源関係者には中国や韓国の動きに後れを取らないよう、JOGMEC 制度などを活用して早々の活動を期待する。

VII. 非鉄金属の基礎知識

2.3.3. 非鉄金属資源の選鉱

このコーナーでは、これまで総論、資源概要、採掘関係について照会してきたが、選鉱関係については6号と7号に分けて掲載する。6号では技術関係の概要から尾鉱処理を紹介する。

2.3. 非鉄金属資源の開発

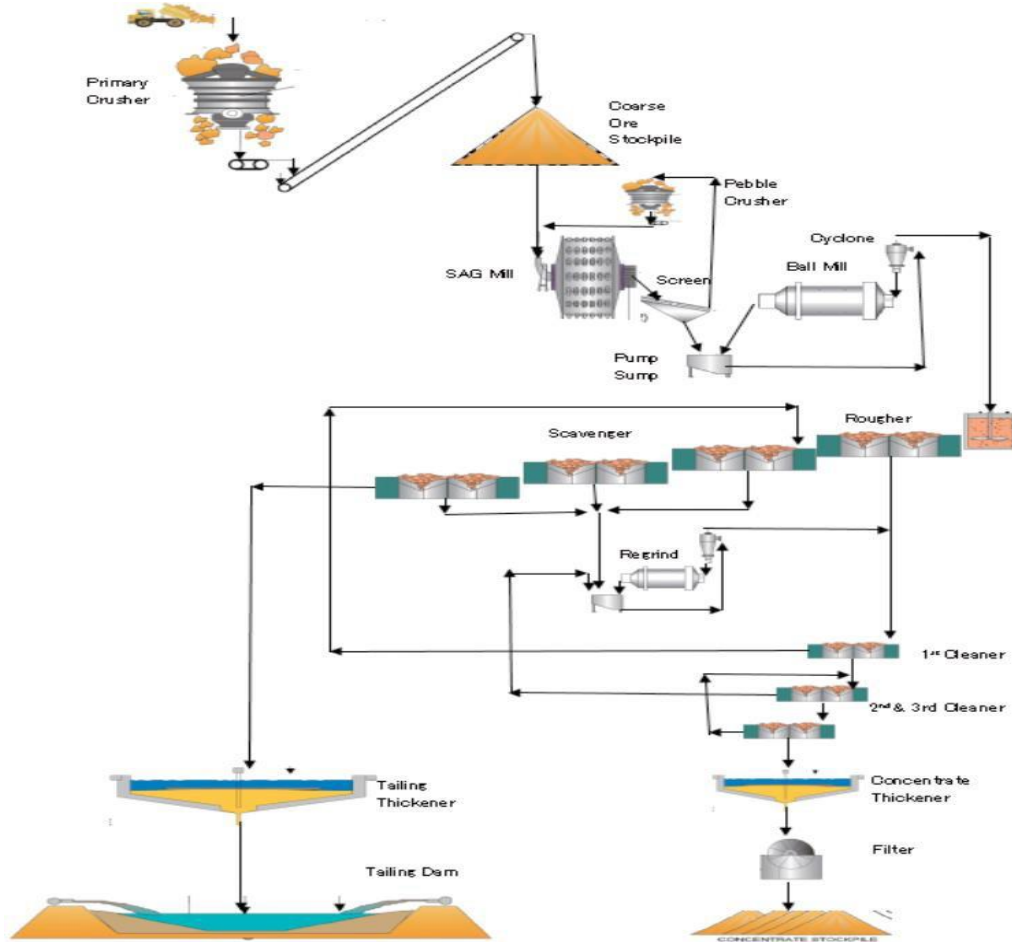
2.3.3. 非鉄金属資源の選鉱

(1) 選鉱の概要

選鉱とは、採掘された鉱石（粗鉱）を有用鉱物と不用鉱物（脈石）に分ける工程であり、2種以上の有用鉱物がある場合は互いに分離して、鉱石の品位を高め製錬に適するようにする。銅鉱山の銅とモリブデンの分離、複雑鉱の銅、亜鉛、鉛の分離などが挙げられる。

破碎→粉碎→分離（分級）→選別→脱水が一般的な工程である。

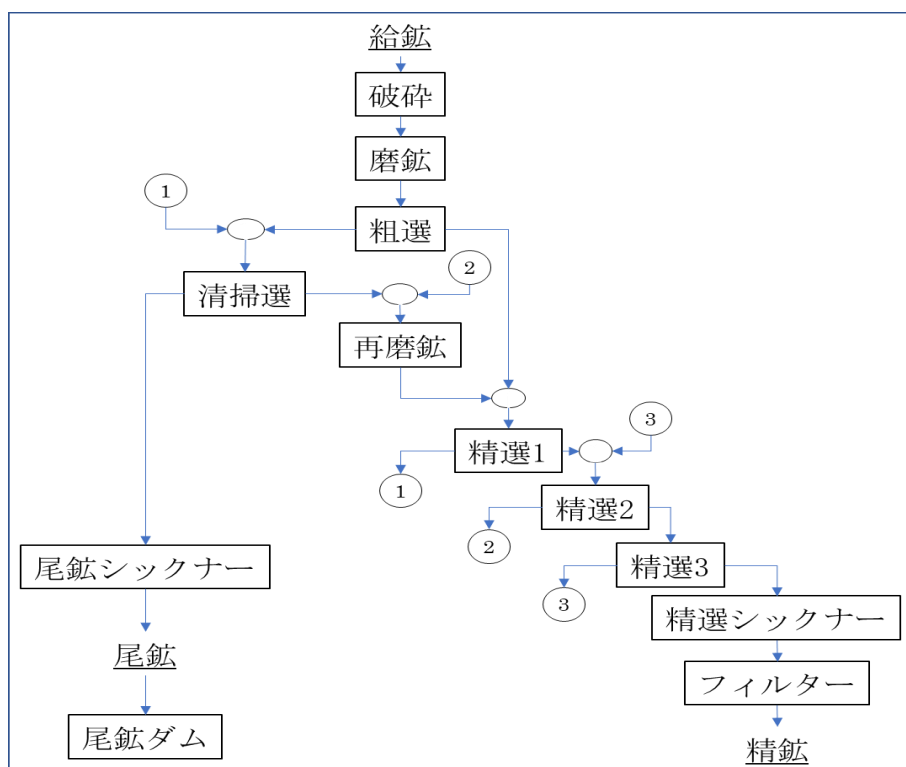
図 2-3-3-1 に選鉱の代表的フローシートを表す。



(出典) JOGMEC 2012 金属資源レポート「最新選鉱技術事情」

図 2-3-3-1 選鉱の代表的フローシート

図 2-3-3-2 に上記フローシートをブロック図で表す。



(出典) JOGMEC 2012 金属資源レポート「最新選鉱技術事情」を MERIJ 修正

図 2-3-3-2 選鉱ブロック図

選鉱の参考書としては、海外版であるが” Mineral Processing Technology” が良く用いられており、現在 2015 年発行の第 8 版が最新であるが、2006 年発行の第 7 版の和訳版が JOGMEC から配布されている。2013 年に JOGMEC の金属資源レポートに連載された中村威一氏による「最新選鉱技術事情」は現場経験を踏まえた実践的で極めて示唆に富んだ内容の報告書である。

(2) 選鉱方法

以下に選鉱の各工程を示す。

① 破碎工程

鉱山で採掘された鉱石を一次クラッシャーで粗割し、コンベアを用いてストックパイルまで運搬する。一次破碎機としては露天掘りなど大規模な採掘ではジャイレトリークラッ

シャー（Gyratory Crusher）が用いられることが多い。Gyratory は旋回と言う意味で、旋回運動によりスリコギのようにして鉱石を破碎する工程である。



（出典）METSO Web page、SANDVIC Web page

図 2-3-3-3 Gyratory Crusher

図 2-3-3-4 Jaw Crusher

一次破碎機としては、ジョー・クラッシャーが用いられることもあるが、処理量が多い場合には、エネルギー効率、生産性などの優位性も含めてジャイレトリーが用いられることが多い。ジャイレトリーの欠点は設置スペース（特に高さ）が大きくなる点と粘着性の鉱石に対しては、いつきが生じやすい点である。

② 磨鉱工程

磨鉱工程は、もっともエネルギー消費の大きい工程であり、鉱石を実用的なサイズよりも細かくすべきではない。

磨鉱機は、ドラム回転式ミルと媒体式攪拌ミルに分類される。ドラム回転式ミルは比較的粗い粒子の磨鉱に使用され、5～250mm の大きさの粒子が 40～300 μ m まで破碎される。ドラム式回転ミルには、ミル内の粉碎媒体により、ロッドミル（Rod mills）、ボールミル（Ball mills）、自生粉碎ミル（Autogeneous mills）などがある。

ロッドミルは、ロッドに挟まれることにより粉碎されるために、選択的に粗粒を粉碎し、比較的狭い粒度の産物が得られ大粒子やスライムは少ない。ボールミルに使用されるボールは単位重量あたりの表面積がロッドと比べて大きいために微粉碎の最終段階に適している。工程順としては、ロッドミル→ボールミルとなる。

近年は自生粉碎（AG : Autogeneous Grinding）と半自生粉碎（SAG : Semi-Autogeneous Grinding）が利用されてきた。AG ミルは粉碎媒体として鉱石自体を利用するドラム回転式

ミルである。SAG ミルは、粉碎媒体に鉱石自身にボール（鋼球）を加えた半自生式ミルであり、ボールミルと比較するとドラム径が大きく、ボール投入量を減らしている。SAG ミルは、運転コストが安く、粘性のある鉱石も処理できる利点があり、最近の大規模鉱山で広く採用されている。現在は多くの場合、SAG ミルを一次破碎機として、ボールミルを 2 次破碎機として使用している。SAG ミル、ボールミル、ペブルクラッシャー、サイクロンを組み合わせた磨鉱工程を図 2-3-3-7 に示す。

SAG のメーカーは、基本的には Metso Minerals、Outotec Oyj、FLSmidth Minerals の 3 社であるが、Metso Minerals と Outotec Oyj は 2020 年に合併する予定であり、選鉱機械メーカーの寡占化が進む見込みである。

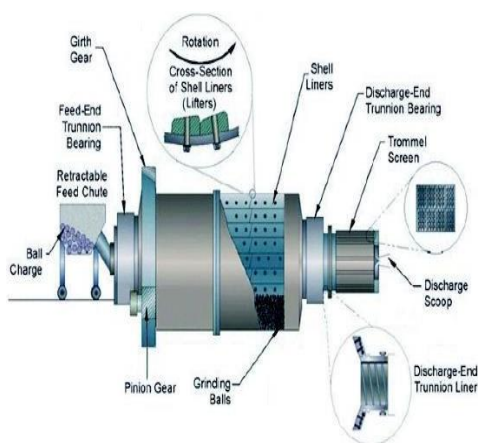


図 2-3-3-5 ボールミル

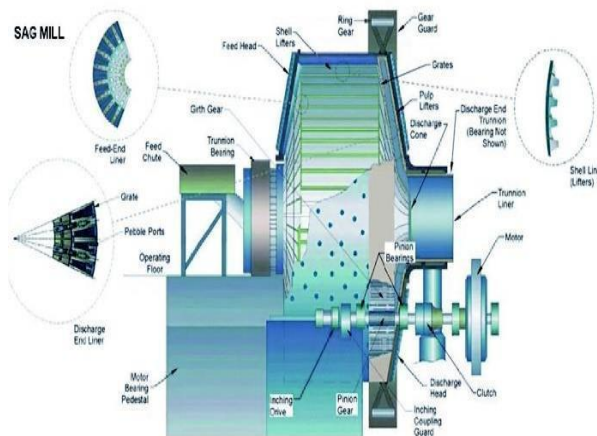
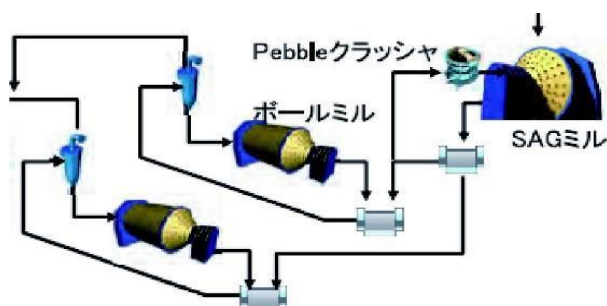


図 2-3-4-6 SAG ミル

(出典) JOGMEC 2012 金属資源レポート「最新選鉱技術事情」



(出典) JOGMEC 2012 金属資源レポート「最新選鉱技術事情」

図 2-3-3-7 磨鉱工程例

磨鉱工程で二次あるいは三次の破碎工程として、SAG ミルに代わり High Pressure Grinding Roll (HPGR) が採用されることがある。図 2-3-3-8、写真 2-3-3-1 に HPGR の模式図と写真を示す。

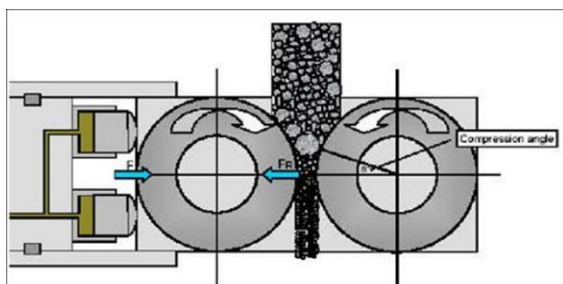


図 2-3-3-8 HPGR 模式図



(出典) 資源大学講義資料

写真 2-3-3-1 HPGR

HPGR は、供給された鉱石を二つのロールで圧碎する機構でセメント業界などでは長く用いられてきたが、近年は固い鉱石に対しても用いられるようになってきた。銅鉱山ではセロベルデ（ペルー）、シエラゴルダ（チリ）でも採用された。セロベルデ鉱山では 2006 年に、二次破碎にコーンクラッシャー 4 台、三次破碎（磨鉱）に HPGR4 台、磨鉱工程にボールミル 4 台を使用する工程を採用し、その後の拡張工事で、更に増強を実施した。

SAG ミルは、1 台当たりの処理量が大きいため大型の銅鉱山でも 1 台で操業することが多い。そのため SAG ミルが故障あるいはメンテナンス停止した場合には、選鉱工程全体が休止状態になる。HPGR の場合は並列に複数設置が可能であり、全体の工程を止めずに、修理などを行える。また、エネルギー効率の点で HPGR は SAG ミルよりもかなり優位性があり、浮選給鉱のサイズも安定している。

③ 分級工程

分級とは、粉体を粒子径・密度・形状などによって区別する操作をいい、篩分け、乾式分級、湿式分級がある。鉱山では、湿式分級で遠心力を利用する液体サイクロンが設置面積も少なく、設備費が安いので使用されることが多い。液体サイクロンは、懸濁液に分散している固体粒子を、遠心力を利用して沈降分離する分級機である。図 2-3-3-9～2-3-3-10 にサイクロン分級機の構造を示す。

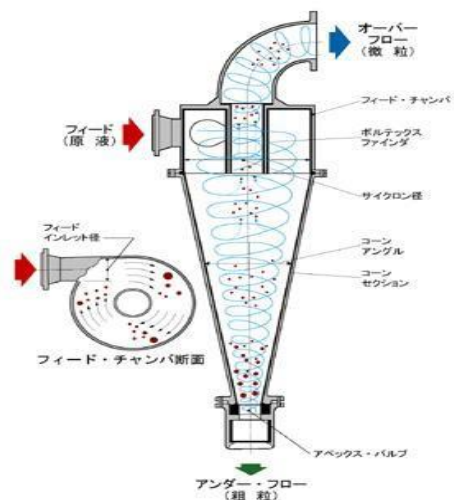


図 2-3-3-9 サイクロン

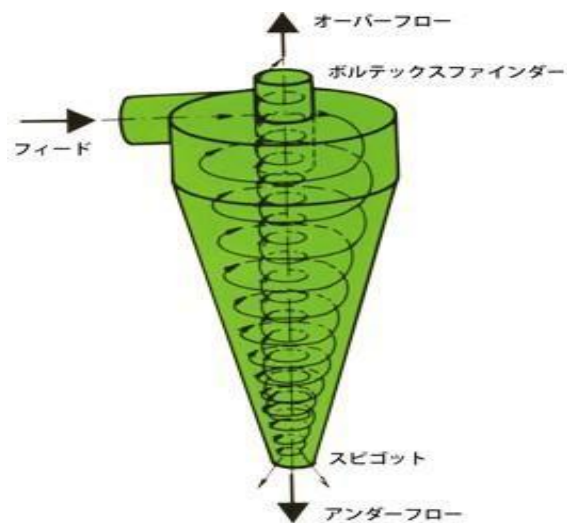
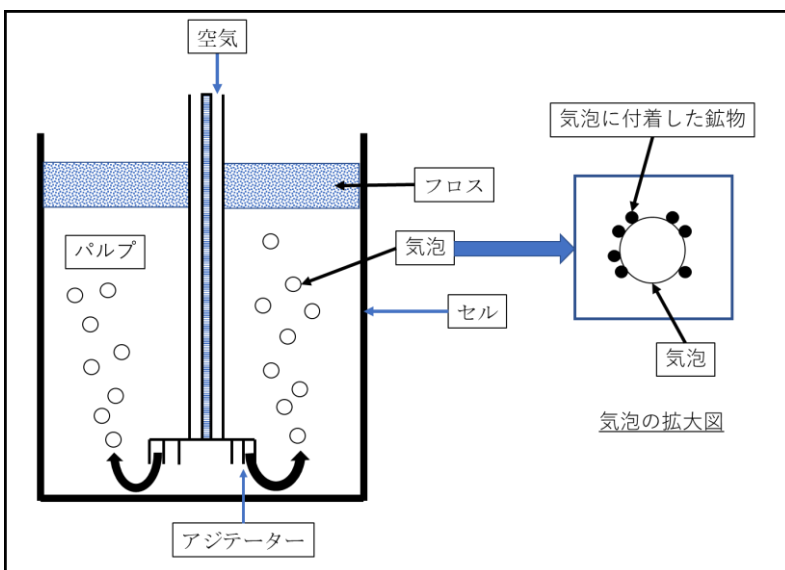


図 2-3-3-10 サイクロン

(出典) Nippo Web page、ラサ商事 Web page

④ 浮遊選鉱 (浮選)



浮選は、選鉱の代表的な選別方法であり、有価鉱物と不価脈石鉱物の表面特性の差を利用する物理化学的な選別方法である。浮選の原理を図 2-3-3-11 に示す。

(出典) MERIJ 作成

図 2-3-3-11 浮選の原理

攪拌機は、パルプ層での粒子と気泡の衝突を促進するための乱流を起こし、有用金属と気泡の接着で粒子がフロス層に運ばれ、有価金属が回収される。浮選は数段の浮選槽により実施される。

浮選工程で有用鉱物を選択的に回収するために、各役割の試薬が用いられる。試薬の種類としては捕収剤、気泡剤、抑制剤、活性剤、pH調整剤、分散剤、凝集剤として分類される。捕収剤は鉱物表面に付着してその疎水性（または親油性）を助長し、気泡への接着を容易にする。最も広く使われている捕収剤はザンセートである。気泡剤は、パルプ内での気泡の生成を安定化し、適度に強固なフロス層を作る目的で添加され、浮選速度の向上に繋がっている。抑制剤は、複雑硫化鉱で、亜鉛を抑制して銅を浮遊させるなどに使用される。活性剤は特定の鉱物の捕収効果を高めるための試薬で、例えば、亜鉛を抑制して銅を回収した後に、改めて亜鉛を浮遊させるために硫酸銅を添加するなど使用される。pH調整剤は、特定の鉱物、捕収剤に適切な pH を調整するために使用される。硫化鉱の浮選は通常アルカリ性溶液中で行われる。粗選系統と精選系統で pH を変化させることもある。通常アルカリに調整する試薬として石灰化ソーダ灰が使用される。石灰は安価であるが、相当量使用するために合計コストは高くなる。分散剤は、鉱石に粘土が含まれている場合に使用されることが多い。凝集剤は、シックナーで濃度を上げるために沈降速度を上げる目的で使用される。



(出典) 三井金属鉱業ワンサラ鉱山

写真 2-3-3-2 浮選槽の配置

⑤ 脱水工程

脱水工程は、主にシックナーとフィルターに分類される。



(出典) Outotec Web page, Pan Pacific Copper Web Page

写真 2-3-3-3 シックナー

シックナーは、沈殿により懸濁液の濃度を増加させるために用いられる。パルプは中央部分に供給され、清澄水は周囲の樋へオーバーフローし、タンクの底部全体に沈降した個体は、濃縮パルプとして中央の排泥口から引き抜かれる。放射状の回転アームに、中央の排泥口の方へ固体をかき集めるブレードが吊るされている。シックナーは、尾鉱と清澄水の分離と精鉱と清澄水の分離に使用される。また、酸性水の処理などの使われる場合はクラリファイヤーと称される。

フィルターは精鉱の脱水に使用され、オリバーフィルターなどが使用されているが、標高の高い鉱山では外気圧が低く真空ポンプによる気圧差が生じ難いことから、毛細管現象を利用したセラミックフィルターや、機械的な圧力と長い環状ろ布を用いるフィルタープレスなどが用いられる。



(出典) Outotec Web page

写真 2-3-3-4 セラミックフィルター

写真 2-3-3-5 縦型フィルタープレス

⑥ 尾鉱処理

鉱山からは、採鉱工程から出るズリ (Waste) と選鉱工程から出る選鉱尾鉱 (Tailing) が発生する。露天掘りの場合は大量のズリが発生し、ズリ堆積場が景観に大きな影響を与えることが多い。選鉱尾鉱は通常、ポンプを使って廃滓ダムと呼ばれる堰で固めた設備に保管される。廃滓に含まれる水は極力鉱山で再利用する、あるいは排水処理をした後に地域の排水システムに放出される。廃滓の管理は、閉山後でも鉱山会社の責任であり、廃滓ダムの決壊は、周辺環境および安全面への深刻な影響を与える可能性がある。廃滓ダムからの排水管理も鉱山会社の責任となる。