

メタ研通信

2023年10月号（No. 8）

I. 2023年7-9月第2四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 錫とナポレオンⅠ世

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 -中国・瀋陽市／瀋陽古河電纜有限公司での日常生活について-

瀋陽古河電纜有限公司 山内 智弘

III. 非鉄金属の基礎知識

3.1.1 銅の製錬技術

*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る場合には、日本メタル経済研究所からの引用である旨を明示してください。

I. 2023年7-9月第2四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7月～9月の発行分は、下表のとおりLME、自動車、中国、ベースメタル、リサイクルの9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、会員の方はぜひ閲覧ください。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。

2023年7月5日～9月28日

| No | タイトル等 | | カテゴリー |
|----|---|---|--------|
| 51 | LME、ニッケル取引に関する訴訟の審理が始まる | | LME |
| | 2023.7.5 | LMEにおける昨年3月8日のニッケル取引取り消し措置に対して、米国企業2社が提訴していた件に関する審理が6月20日から始まった。原告、被告双方の主張を紹介するとともにLMEの主張に対して筆者の見解を述べる。 | |
| 52 | 電気自動車と材料(6) - 安全 - | | 自動車 |
| | 2023.7.14 | EVとガソリン車の火災事故に関する特徴や日・米・中での発生件数の捉え方、主なEV火災の原因である事故と初期不良に対する対策状況について解説する。 | |
| 53 | 「中国、アルミニウム、そしてその周辺」 その(4)(スジ vs 量) | | 中国 |
| | 2023.7.26 | 物事を日本人が「あるべき姿」の「スジ」で考えるのに対して中国人は「どの程度の影響があるのか」という「量」で考えるとの説について、筆者のこれまでの中国での経験を踏まえて確認する。 | |
| 54 | 銅への投資はなぜ鈍いのか | | ベースメタル |
| | 2023.8.7 | 中長期的な銅需給について、送電分野を中心に今後も増加としているIEAの需要予測に対して、ICSG(国際銅研究会)のデータ等を見る限り大きなギャップは生じないとみることが出来る。一方、新規鉱山開発への投資意欲を減退させる様々な課題・懸念があることからそれらの現状についてレポートする。 | |

| | | | |
|----|---|--|--------|
| | LME 銅相場の先行きを読むには | | |
| 55 | 2023.8.14 | 今年1月から7月末までの LME 銅の3か月先物(3M)の値動き(5月まで下げ、それ以降の半値戻し)を題材に、これまで相場の行く先を読み当てるために使われてきた各種の手段・ツールについて解説するとともに、筆者が現時点で超先物相場(5年、10年)の推移を最も信頼する指標として考えている理由を述べる。 | LME |
| | バーゼル条約改定と E-Scrap | | |
| 56 | 2023.8.24 | 2025 年に予定されているバーゼル条約改定により E-Scrap 貿易が厳しくなると考えられているが、一方で先進国を中心としたサーキュラーエコノミーへの移行を受けて E-Scrap の重要性は増している。本レポートでは E-Scrap に関する世界の最新状況等について取りまとめるとともに、この分野で出遅れ気味の日本への影響等について述べる。 | ベースメタル |
| | 将来の EV コスト見積もり -トヨタ EV・電池戦略の読み解き- | | |
| 57 | 2023.9.8 | トヨタが平成24年3月期まで有価証券報告書で報告していた製造原価のデータを参考に最新の製造コストを推定し、トヨタの EV・電池戦略をコスト視点から紐解くこととする。 | 自動車 |
| | 「循環型産業の高度化」(6) ～首都圏自営ヤードにミックスメタル選別機導入現業機能の強化に乗り出した非鉄専門商社～ | | |
| 58 | 2023.9.15 | 中国の環境関連政策の動向を順次先取りし、非鉄再生事業の新設・改廃で対応している三報物産は、首都圏に設置した自営ヤードにミックスメタル選別機を導入する等旧来の非鉄専門商社の業態を超えた現業機能を導入し、高品位原料の安定供給体制を構築している。 | リサイクル |
| | 原油の超先物市場 | | |
| 59 | 2023.9.28 | 前回のレポートで、銅相場の先行きの判断材料として超先物価格の動向について説明を行ったが、今回は原油の超先物市場について銅市場と比較しつつ解説を行う。 | LME |

II. 寄稿

1. 金属と著名人 第5話 – 錫と皇帝ナポレオン I 世 –

伊藤忠鉱物資源開発株式会社 五味 篤

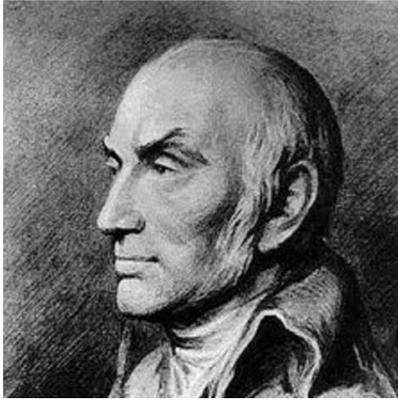
薄鉄板を錫で被覆してブリキにする発明は、ボヘミアで 13 世紀の後半から 16 世紀の半ばまでの間に完成されたであろうといわれている。17 世紀中頃より 18 世紀初めにかけてドイツ、イギリス、フランスでブリキの製造が本格化し、1730 年にイギリスで圧延薄鋼板に錫をメッキしたブリキが製造された。薄鋼板に亜鉛をメッキしたものはトタンと呼ばれる。鉄とのイオン化傾向の違いから、ブリキでは傷がつくと錫が剥げた部分から先に鉄が錆びるが、トタンは犠牲防触によって亜鉛が溶けることで鉄が錆から守られるという違いがある。



図版1 ナポレオン・ボナパルト

ナポレオン・ボナパルト(図版1)^(注-1)はフランス革命(1789~1799年)後、干渉を図る欧州諸国に対して大砲を主力にして連勝し、軍事独裁政権を確立した。特に大砲の規格化、部品の共通化、軽量化がなされ、車輪で移動可能なカノン砲の増強が図られた。1804年に国民投票で圧倒的な支持を受け皇帝に即位し、以後産業振興、学制改革、行政、司法の再編成などを行なった。1805年には理工科大学^(注-2)を設立して砲兵士官や軍事技術者を養成した。しかし、1812年のロシア遠征の失敗が引き金となって凋落、1814年エルバ(Elba)島に流された。1815年に島を脱出しパリに戻り、再びヨーロッパ連合軍と対抗、ベルギーのワテルロー(Waterloo)でイギリス・オランダなどの連合軍およびプロイセン軍と戦って敗れ、大西洋の孤島セントヘレナ(Saint Helena)島に流されて1821年に没した。

古来より軍隊が遠征するためには、兵士と馬に食糧を安定確保し続けることが重要で、フランス軍では1兵士1日当り乾パン680g、乾燥肉227g、米28gまたは乾燥豆類57g、ワイン946cc、ブランデー118cc、酢59ccが配給された。ズボンのポケットに入れられるようフランスパンは細長く焼かれた。しかし、兵士が携行する兵糧には乾パンや乾燥肉などの乾物しかなく、塩蔵や酢漬けや燻製はときに腐敗することもあった。



図版2 フランソワ・ニコラ・アペール



写真1 ニコラ・アペールが
食品長期保存で使った瓶



図版3 ピーター・デュランド

ナポレオンは栄養豊富で美味しい兵糧を大量に確保することが、兵士の士気の維持、高揚に不可欠だと考え、1795年に賞金 12,000 フランを懸けて兵糧の長期保存方法を公募した。パリの有名シェフ兼パティシエであったニコラ・フランソワ・アペール(図版2)^(注-3)は早速実験を開始し、「瓶(写真1)に予め調理した食品を詰め、コルクでゆるく栓をし、湯煎鍋に入れて沸騰加熱し、30~60分後、瓶内の空気を除いて、コルク栓をしてワックスで密封する」方法を考案した。瓶の加熱は微生物の殺菌を可能にし、瓶が冷えると真空密封された。腐敗は微生物によるもので、熱によって微生物を殺せることを、1864年にルイ・パスツール^(注-3)が証明するまでは、食品を腐敗させているのは空気にさらされているからと考え、空気を取り除く努力がなされた。この方法で、果物、野菜、スープ、マーマレード、乳製品、ジュースの保存に成功した。1803年にフランス海軍などで実地テストが行われ、「春、夏、秋の味覚を冬にも味わえる」と絶賛された。15年間実験を続けたアペールは、1810年に正式に発明をフランス政府に提出し、賞金を獲得した。1808年、フランス産業振興連盟^(注-4)にこの方法で作った3本の瓶詰めミルクを提出したが、6年後の1814年に開封、試飲され、この方法の正しさが認められ、アペール法と命名された。アペールは賞金を原資にパリ近郊のマシーに工場を開いて瓶詰めの製造を開始した。

しかし、瓶詰めは割れやすく重いために、1810年に英国人のピーター・デュランド(図版3)^(注-5)が瓶に代わってブリキを使った食料の保存方法を開発した。彼は1812年に2人の英国人、ブライアン・ドンキン^(注-6)とジョン・ホール^(注-7)に1,000ポンドで特許を売却した。特にドンキンは1808年から鉄の錫メッキに携わっていたため、それを食品産業に拡大することに熱心であった。ドンキンとホールは商業用の缶詰工場を設立し、1813年までにはイギリス陸海軍のために最初の缶詰を製造した。1818年、デュランドは米国で英国特許を再申請し認められ、これにより米国でブリキ缶が導入されるに至った。

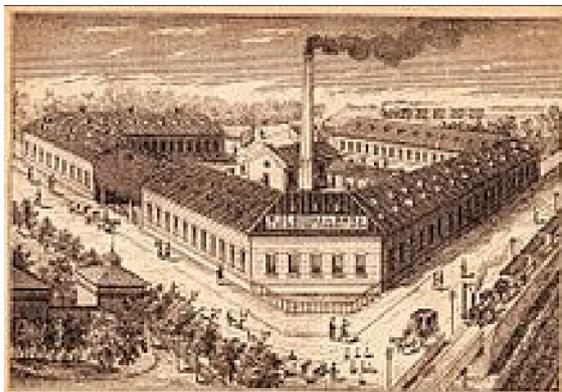


写真2 1824年 エドワード・パリーが北極探検に携行した缶詰

ブリキ缶詰は瓶のように破損することがなく、輸送においても軽量で有利であった。しかし、瓶詰に比べ高価になるため、当初は軍需用、探検用などの特殊な用途に限られていた。ドンキンの製品は、エドワード・パリー^(注-8)が率いる北極探検隊に携帯された。当時の缶詰(写真2)はブリキ板が厚いため「のみとハンマーで開けてください(Cut round on the top near the outer edge with chisel and hammer)」と書かれていたという。

英国で発明されたブリキ缶詰を一大産業として発展させたのは米国で、南北戦争(1861~1865年)では需要が増大して缶詰の大量生産に繋がった。殺菌、製缶、充填など急速な技術進歩が見られ、生産性を上げる機械化も同時に進んだ(図版4, 5)。しかし、当時の錫産地は東南アジア、ボリビアなどの国々に偏在していたため、米国では第二次世界大戦中に深刻な錫の不足を経験した。これを契機に錫の使用量を少量に制御できる電気メッキブリキ製造の技術が急速に発展していった。

英国で発明されたブリキ缶詰を一大産業として発展させたのは米国で、南北戦争(1861~1865年)では需



図版4 ブダペスト パーソルド・ワイス 缶詰工場 1885年



図版5 初期の缶詰工場内部

錫には、常温・常圧で明るい銀色で展延性のある β -Sn(白色錫)と、 β -Snが 13.2°C 以下に長時間晒されると転移して生じる α -Sn(灰色錫)の同素体がある。 α -Snは体積が約27%も大きく増加し、展性が失われる。この現象は錫製品の一部分から始まり、やがて製品全体に伝染するように広がるため、「錫ペスト」と呼ばれて、中世ヨーロッパでは、寒冷地のパイプオルガンの錫メッキパイプが錫ペストを起こすことが観察されていた。

ナポレオンは1812年に69万人からなる大陸軍(La Grande Armée)によるロシア遠征を企てて大敗を喫したが、兵士が着けていた軍服の錫製ボタンが、ロシアの極寒の冬(-40°C にも達する)に長時間晒されて錫ペストにより、ボロボロと朽ち果てたことが防寒を損ねた一因とする説がある。しかし、その時代の軍服のボタンは、兵卒のものは骨、将校のもの真

鋤で作られるのが一般的だったとか。錫ペストが発生する時間はロシア侵攻期間よりも長いという理由から、この錫製ボタンが敗因のひとつだったとの説には無理があるとされている。錫製ボタンよりも、ナポレオン自身が公募して長期保存を施した兵糧が、補給線が延びて充分ではなく、極寒のロシアでは凍て付いて役立たなかったことや、ロシア側の焦土作戦による食糧入手困難で、著しく兵士の栄養と士気を欠き、退却時には飢餓と疾病、厳寒での死者、落伍者、脱走兵によって軍隊が荒廃していったことのほうが重大であった。焦燥感に流されて、予見していた飢餓と寒さを克服するための措置を講じなかったのが敗因の一つともいわれている。

1972年2月に発生した浅間山荘事件では、機動隊員の仕出し弁当が、軽井沢高原の超低温で即時に凍り付いて食べられなかったため、ちょうど1971年に販売開始されたカップ麺で凌いだといわれる。ナポレオンも更に兵糧に改良を加えて、フリーズドライ食品やレトルト食品を開発していたなら、歴史は塗り替えられていたのかも知れない。

(注-1) Napoléon Bonaparte (1769- 1821年)

(注-2) École polytechnique

(注-3) François Nicolas Appert (1749 - 1841年)

(注-4) Exposition des produits de l'industrie française

(注-5) Peter Durand (1766- 1822年)

(注-6) Bryan Donkin (1768 - 1855年)

(注-7) John Hall (1765 - 1836年)

(注-8) Sir William Edward Parry (1790 - 1855年)

参考文献

左巻健男(2021)：絶対に面白い化学入門 世界史は化学でできている。pp.251-254, 267-271.ダイアモンド社

図版1 ナポレオン・ボナパルト

出典：Aspects of History <https://aspectsofhistory.com/napoleon-a-warmonger/>

図版2 フランソワ・ニコラ・アペール

出典：一般社団法人日本植物油協会 <https://www.oil.or.jp/trivia/can.html>

図版3 ピーター・デュランド

出典：<https://www.timetoast.com/timelines/historia-de-la-microbiologia-de-alimentos>

図版4 プダペスト バーソルド・ワイス缶詰工場 1885年

出典：https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Berthold_Weiss_Canned_Foods.jpg,
22 December 2022, at 13:03 (UTC).

図版5 初期の缶詰工場内部

出典：History of the Soft Drinks Industry
<https://virimi.com/history-of-the-soft-drinks-industry/>

写真1 ニコラ・アペールが食品長期保存で使用した瓶

出典：https://en.wikipedia.org/wiki/Nicolas_Appert, 16 February 2023, at 23:16 (UTC).

写真2 1824年 エドワード・パリーが北極探検に携行した缶詰

出典：日本缶詰びん詰レトルト食品協会 <https://www.jca-can.or.jp/useful/about/expiration>

2. 非鉄金属企業の日常

一中国・瀋陽市／瀋陽古河電纜有限公司での日常生活について一

瀋陽古河電纜有限公司 山内 智弘

1. 瀋陽について

瀋陽（奉天）といえば、日中戦争の発端のひとつである「柳条湖事件（満州事変）」の舞台となったことを思い出される方も多いのではないのでしょうか。

その意味で日本人には近代史的にクローズアップされる感のある地域といえますが、瀋陽の歴史自体は長く、7200年前から古代人が居住していたようで、春秋戦国時代には燕国がここに城を築いたことで2000年には建城2300年の祝賀が催されています。

五大十国時代に契丹である遼太祖が移住し、元代には高麗の所管として交通・交易の要所として栄えています。清の前身である後金が都（満州語で隆盛の意であるムクデン「盛京」に改名）を置き、後金が清に国名を変えて北京に遷都した際には副都となって、清の全国統一後には奉天府が置かれました（「奉天」の呼び名はここからで満州国時代は奉天市）。

さらに清代末期には近代工業化が始まり、重工業を中心として発展しています。

今でもその当時の役所や金融機関の建築物がそこかしこに残っており、東京の日本橋あたりを思わせます。

ほかにも清初の皇居である瀋陽故宮は北京の故宮とともに世界遺産に登録されており、皇居建築群のなかでも最もよい保存状態だそうです。皇帝の陵墓も残っており、現在では広大な公園として整備されています。



【瀋陽の街並み①】

中山広場。後ろは旧関東軍司令部】



【瀋陽の街並み②】

大型スーパーと高層マンション

一方で、地震がないせいか20階以上の高層ビル、マンション群が立ち並び、欧米ブランドもテナントとして入居しているような大型のショッピングモールがいくつもあ

る大都会でもあります。ただ、最先端ではなく地元感を感じさせるところが、なんとも憎いところ。

気候的には、大陸の北部で寒いというイメージ通り、1月の平均気温はマイナス10度を下回ります。ただ、瀋陽人は寒さ自慢ではなぜかハルビンに敬意を払っているようで、「ハルビンはもっと寒い。あの寒さには比べれば大したことない」と異口同音に言うのが不思議です。

ただ、昨今の温暖化のせいもあるのか、夏場は30度を超えてくるので、夏がこんなに暑いとは聞いてなかったと愚痴っていたのは私です。しかも、かなり乾燥していますので、温暖湿潤地方でしか暮らしたことのない私などはあっという間に喉をやられ、肌はがさがさです。

今後迎える冬を前に低温、低湿度に耐えられるのか、早くも戦々恐々としています。

2. 瀋陽古河電纜有限公司について

そんな瀋陽に超高压電力ケーブル製造会社である弊社は約30年前に現地の電線製造会社である瀋陽電纜と古河電工の合併会社として設立されました。



【瀋陽古河電纜外觀】

当時、超高压電力ケーブルは油浸紙による絶縁からプラスチック絶縁への移行期であり、新技術を導入したい瀋陽電纜と中国及び国際市場への進出を狙った古河電工の思惑が一致したものです。

その後、20年前には古河電工の独資となりましたが、中国の超高压電力ケーブルのトップメーカーの1社として業界をリードし、現在でも主に国家电网に電力ケーブルを供給することによって、その電力供給網の拡充に貢献しています。

足下では不動産市場の低迷によって少々景気減速感がありますが、中期的にはなお電力供給の不足感が言われており、超高压電力ケーブルの需要は続くものと考えています。

3. 瀋陽での日常生活について

さて、本題の駐在員の日常生活についてですが、筆者は何を隠そう実は瀋陽に着任したばかりで半年もたっていません。ましてや極寒の冬も過ごしてもいないのに、瀋陽の日常生活の紹介などしてもよいものかと案じざるを得ませんが、それはまた別の機会ということでご容赦いただきたいと思います。

まず住宅事情ですが、瀋陽ではホテルの長期滞在サービスやサービスアパートメントが充実しており、駐在員はそこに暮らしている方が多いようです。

ですので、立地的には繁華街に位置し、いかにも昔ながらの駐在員っぽい暮らしと言うところかもしれません。私も御多分にもれずホテル暮らしなのですが、個人的にはもっと生活感があるところがいいなあなどと思ったりします。

食事についても、日本料理屋、居酒屋がそれなりに充実しておりますし、ショッピングモールや街中には洋食レストランなどもありますので、中華料理が苦手な方でもまず困ることはないかと思います。さらに近年はローソンが精力的に出店しており、それこそホテルごとに店舗があるような感じなので、夕飯はコンビニ飯と自虐しつつも、お世話になり続けている人もいます。

私は中華料理が嫌いではないので、赴任当初は近所の個人営業と思しき家庭料理店とかを訪ねていたりしたのですが、基本的には中国の東北料理で、一人では一皿が多すぎるのと脂っこく味が濃いので、もともと薄味の



【地元の食堂 家常菜（家庭料理のお店）】

私は少し食傷してしまいました。お酒のつまみには結構いい感じではあるのですが。

ちなみに、中国ではスマホでのQRコード決済が普通というか、もはや現金が実質使えなくなっており、現地で銀行口座を開設するまでスマホで決済ができなかったため、お店で現金を支払おうとすると舌打ちをされたり、店主個人の財布からお釣りを出してもらうというようなことが度々ありました。出張者や旅行者が来たらどうなるのだろうか、と今から心配にならずにはられません。

話がそれましたが、代表的な東北料理は何かと問われると、ぱっと思いつきませんし、日本ではあまり知られてないこともあり、名前をあげても思い浮かべられないでしょう。いわゆる強火で一気に炒める「爆」という調理法で食材を炒めるか煮るかといった料理が多いようです。

食材的にはじゃがいもや茄子、ピーマン、きゅうり、鶏、豚といったあたりは日本と変わりませんが、羊や内臓系、酢漬け白菜や春雨などが多用される点が異なるでしょうか。味付けは基本的に塩か醤油ですが、ニンニク、唐辛子ほかの香辛料で中華料理らしくなります。



【地元料理のメニュー
(2段目右から2つめが鍋包肉)と水餃子】

るのはさすがです。私はやはり定番のニラと豚ひき肉が美味しいと思います。なお、新宿にある老辺餃子館は瀋陽が発祥で、こちらは水餃子ではなく蒸籠で提供される蒸し餃子が名物です。

東北料理以外でも火鍋はもちろん、串焼きのお店も多いです。串焼きは牛、豚、鶏、羊となんでもありで、夏場は店外でビアガーデン化している店もあります。

中華料理以外というと、韓国・朝鮮料理でしょうか。瀋陽市のある遼寧省は北朝鮮に接しており朝鮮族も多くいる関係でしょうが、西塔というロサンゼルスに次ぐ規模の朝鮮族・韓国人街があり、韓国・朝鮮料理屋さんが軒を連ねています。

焼き肉や冷麺は日本の韓国料理店と同様なのですが、看板メニューとしては鰻の蒲焼も目立ちます。もちろん日本の鰻の蒲焼とは似て非なるものなので、そういう期待をして訪れるとがっかりとかびっくりします。

その他にも西関美食街というイスラム教のグルメ街があったり、20世紀初め頃に建てられた欧州式・ロシア式建築物が現存する欧州風情街にはバーやカフェ、ライブハウスなどが誘致されていたりして、重層的な歴史的文化的背景を感じさせてくれます。

そんななか鍋包肉という豚肉のフリッターに甘酢を絡めた料理があります。東北料理として有名ではあるのですが、代表的な東北料理というには、なんだか少し毛色が変わっているように感じていたところ、もともとはハルビンでロシア人向けにナイフとフォークで食べられるように考案された料理だそうで、なるほどと納得しました。

あと、忘れてならないのは餃子です。こちらの餃子は基本的に水餃子ですが、その餡によって何種類もメニューがあ

なお、周囲にお店などない立地の工場ですので、お昼は会社の食堂で食べています。麺類もありますが、定食は基本的に東北料理で、仕切り付のワンプレートに数種類の料理を盛りつけてくれます。ご飯（白米）は自分でつぎ放題ですが、饅頭（中華蒸しパン）も選べます。



【社員食堂の風景】



【ある日のメニュー】

（この日はピータン付き。ごはんは自分でよそうので少なめ）

そんなこんなで朝はホテルのバイキング、昼は会社の食堂と中華料理ばかり食しているとぶくぶくと太ってしまいました。さすがに朝はサラダだけ、夜も自炊で軽めにすることにしました。夕食に先述した家庭料理屋に行くと昼夜かぶってしまうのも一因です。

自炊と言っても、大したことはなく、炒めたり、鍋で材料を煮込んだりするだけの簡単なものですが、問題は食材の調達です。ウォルマートやカルフルといった大型スーパーはあるのですが、居住地が繁華街ですので小ぶりの生鮮スーパーが近場にあまりなく、なかなか小回りが利きません。

特にお肉はパック売りではなく、お店の人に切ってもらって量り売りというスタイルが多いので、大きな肉塊、常温管理！の時点で気持ちが萎え、かつ言葉が通じないので、とても購入に挑戦しようと思えません。もっとも、これは生活感のある市場に行くともっと顕著になったりするので、我ながら一貫性はありませんが。

調味料も和風の醤油、料理酒、みりん、めんつゆといったものはなかなか売ってないので、通販で調達したりしました。通販では日本からの輸入代行もあるのですが、中国人の身分証明書が必要で日本のパスポートでは登録できなかつたりします。日本よりむしろ IT 化が進んでいるので、この身分証明関連は結構やっかいで、身分証明として日本のパスポート番号を受け付けてくれなかつたりするシステムが存在します。瀋陽では地下鉄の乗車システムが非対応なので、スマホをかざして改札を通過することができません。当然中国人はそのことに気づけないので、瀋陽市政府窓口との懇談の際に

日本人会から改善を訴えたりしています。

地下鉄の話題になったので、交通事情についても少し述べます。

自動車は普通に多く、朝晩はそれなりに混みます。現在は地下鉄の建設が着々と進行中で、工事期間中はその影響で多少渋滞も発生していますが、完成の暁には多少緩和されることでしょう。

また、シェアサイクル・電動バイクも充実しています。数十年前でしょうか、上海でシェアサイクルが導入されたときは、自転車が使い捨てのように手荒く扱われているので、中国でシェアシステムなどととても成り立たないのではないかと思った記憶がありました。ちゃんと維持、整備される体制ができあがっていて、すっかり定着しているので、少しばかり見直しました。

ただ交通マナーはかなりひどくて、特に電動バイクが歩道を音もなくやってきて、脇をすり抜けていくのは大変な恐怖です。幹線道路では自動車の駐車エリアがなぜか歩道上に設置されているので自動車が歩道に侵入してきますし、二輪車レーンがある道路でも、そこにはほぼ自動車が駐車されていることから、逆走を含めて二輪車が歩道と車道を縦横無尽に走行していますので、全方位警戒が必要です。赤信号でも右折はOK（右側通行）なので、横断歩道を渡る時には左後方からやってくる右折車にも特に要注意です。日本と違って歩行者優先ではないので（ルール上はそうかもしれないのですが、運転手の意識としてはまったく感じられない）、とにかく歩道だろうが、信号のある横断歩道だろうが、指差称呼しながら緊張感をもって歩いています。

ところが先日、片側三車線計六車線の広い道路の信号のない横断歩道を渡ろうとし

たところ、なんと横断歩道の手前で車が止まってくれるではありませんか。信号のある交差点では赤信号への変わり端でがらがん突っ込んでくるので、なんというか信号のある横断歩道よりよほど安心感がありました。なぜそこでは止まってくれるのか、まったく理解できません。日本人とは異なる思考回路が働いているとしか思えませんが、道を歩くときの危険回避ポイントが分かってきたなあと思っていたところで、こんなことに気づきますので、ことほど左様に異文化を理解するのは、ほとんど奥が深いと感じ入る次第です。



【信号機がなくとも車が停まる横断歩道】

以上

Ⅲ. 非鉄金属の基礎知識

3.1.1. 銅の製錬技術

10月号からは第3章製錬編「3.1. 非鉄金属製錬技術」のうち、銅製錬(銅自体の製錬)、銅の電解と副産物、鉛・亜鉛、ニッケル製錬について4回に分けて紹介する。

今号は銅製錬について、原料、SX-EW法などの湿式銅製錬法、自熔炉など乾式銅製錬法のうち概要、熔錬法、製銅工程紹介、銅熔錬法の比較を紹介する。

3.1.1. 銅の製錬技術

(1) 原料

自然銅も自然界には存在するが、商業的に処理される銅鉱石は酸化鉱と硫化鉱である。銅製錬では主に硫化銅鉱、とりわけ黄銅鉱(Chalcopyrite, CuFeS_2)を処理している。酸化銅鉱は浮遊選鉱による濃縮ができず、その利用は限定的であった。鉱量的にも酸化鉱床は硫化鉱床の酸化を受けやすい表面部に限られ、今後は徐々に鉱量が減少する傾向にある。

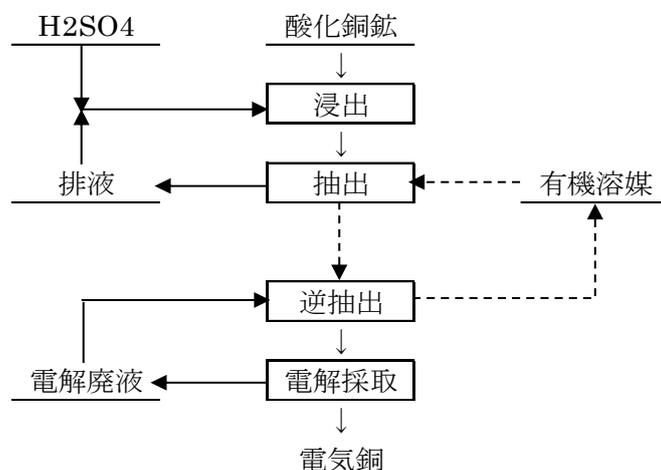
(2) 湿式銅製錬法

① SX-EW法(Solvent Extraction and Electrowinning)

酸化銅鉱石は不透性シート等を張った Leaching Pad に銅鉱石を積み上げる Heap-Leaching や、未破碎銅鉱石を単に堆積する Dump-Leaching で銅を硫酸浸出する。従来は浸出して溶解した硫酸銅をイオン化傾向の差を利用し、安価な屑鉄で還元して沈殿銅を回収していた。沈殿銅中の不純物濃度が高く、直接利用できずに乾式製錬で再処理していた。硫化銅鉱に対しては代表的な銅鉱石である黄銅鉱が硫酸に対して大変安定で、長時間をかけても十分な銅浸出率を得られず、湿式法の実用化は進んでいない。硫酸以外の酸の利用、バクテリアによる硫化物の酸化、加圧浸出等の方法も提案されているが、高試薬代、低選択性で不純物まで浸出する等の問題があり、研究段階に留まっている。

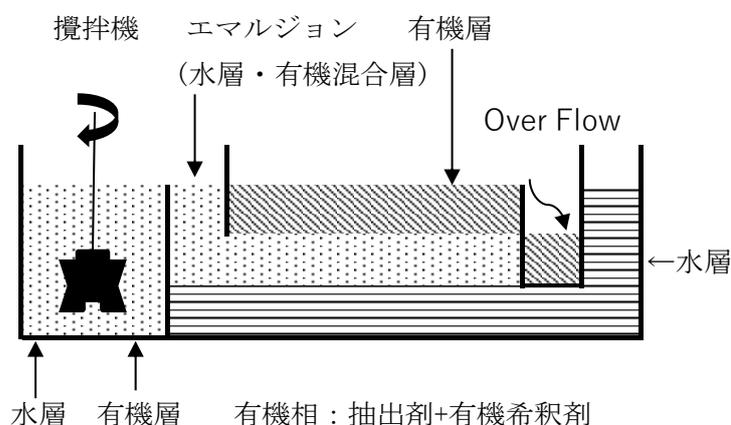
1960年代に入り浸出液から選択的に銅を抽出するオキシム系抽出剤、商標 LIX を米国の General Mills 社が開発し、酸化銅鉱の処理に革新的な変革をもたらし、商業的に販売可能な電気銅の直接生産が可能になった。現在、LIX系抽出剤は BASF 社が、ACORGA系抽出剤を Solvay 社が開発・製造・販売している。抽出剤は水層が高 pH 領域・低酸性で銅イオンを吸収し、低 pH 領域・高酸性では銅イオンを放出する性質を利用している。溶媒抽出の抽出・逆抽出操作で銅濃度を上げ、電解採取で電気銅を生産している。SX-EW法のフローを図 3-1-

1-1 に示す。抽出・逆抽出では水相と有機相を機械的に強撈拌して混合する Mixer-Settler を使用している。図 3-1-1-2 にその構造を示す。



(出典)「湿式製錬による銅鉱山開発技術」JOGMEC、2005

図3-1-1 SX-EW法フローシート



(出典)「湿式製錬による銅鉱山開発技術」JOGMEC、2005

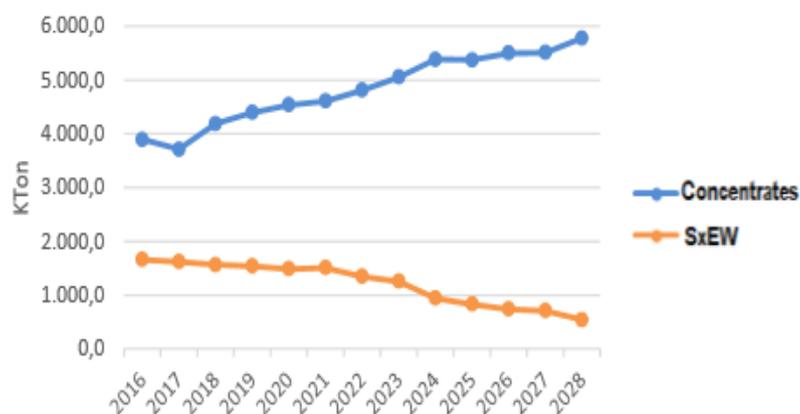
図3-1-1-2 Mixer-Settlerの構造

電解採取工程では、逆抽出液からステンレス・カソード板上に銅を還元・電着させ、これを剥離して電気銅を生産している。鉛合金アノード板上では酸素と水素イオンが発生して硫酸を再生して逆抽出工程に繰り返している。乾式銅製錬と遜色のない品質の電気銅を生産可能である。

SX-EW 法では価値の高い Au、Ag、Mo を回収できない欠点があるが、今まで利用が限定されていた酸化銅鉱や低品位硫化銅を原料に、安価な設備費・運転費で高品質の電気銅を生産する利点がある。主に乾燥地帯で採用されているが、徐々に湿潤気候な地域に採用地域を

拡大している。2018年のWBMSのデータによるとSX-EW法での電気銅生産は全電気銅生産の約16%を占めるまで成長している。

SX-EW法では銅以外にも脈石中の酸化物・炭酸塩が多量に硫酸を消費し、乾式銅製錬で多量に副生し、液体で輸送・貯蔵が困難で輸送費が高い硫酸を大量に消費する利点がある。しかし、世界の銅生産国であるチリでのSX-EW法



(出典)Cochilco 2017

図 3-1-1-3 チリでの銅精鉱、SX-EW法の生産予想

・銅精鉱の生産予想を図 3-1-1-3 に示すが、酸化銅鉱の存在は鉱床上部に限定され、今後はSX-EW法での電気銅生産は減少すると予想している。

② 直接浸出法

硫化銅鉱(黄銅鉱)の湿式製錬は長年に渡り研究されて来た。しかし下記の理由から実操業例は大変少ない。

・黄銅鉱の硫酸に対する安定性

黄銅鉱の硫酸浸出の速度が大変遅い

反応速度の促進にはオートクレーブでの高温・加圧浸出が必要

オートクレーブの腐食・摩耗・攪拌条件は未だ研究の途上で設計が困難

・貴金属回収

高価な貴金属が硫酸に不溶、浸出残渣のシアン等による再処理が必要

実収率は乾式製錬並みに維持する必要性有り

・浸出残渣の処分

乾式製錬では有害不純物はスラグ化(ガラス化)し安定化

湿式製錬では溶解度のある $PbSO_4$ 等を含む浸出残渣が発生、堆積場管理が問題

使用する酸は低価格、入手が容易、溶解する元素が選択的な硫酸(H_2SO_4)が一般的に選ばれている。塩酸(HCl)は下記の理由から用途が限定されている。

・浸出元素に選択性が少なく、浸出液の精製が困難

・HClはNaClからNaOHを製造する際の副産品、供給先が限定され高価

・金属材料に対し強腐食性

非鉄金属と錯塩を形成し、浸出効率を上げる NH_3 等の添加は価格面の問題から限定的である。

硫化物に対する湿式製錬法は硫黄の取り扱いで 3 種類の化学プロセスに大別される。

- ・硫化水素(H_2S)発生型
- ・元素硫黄(S)発生型
- ・硫酸(H_2SO_4)発生型

設備的には大気圧型、加圧型 2 種類に大別される。大気圧浸出は設備費が安価で取り扱いは容易であるが、反応速度が遅く、加熱蒸気が増加する問題がある。

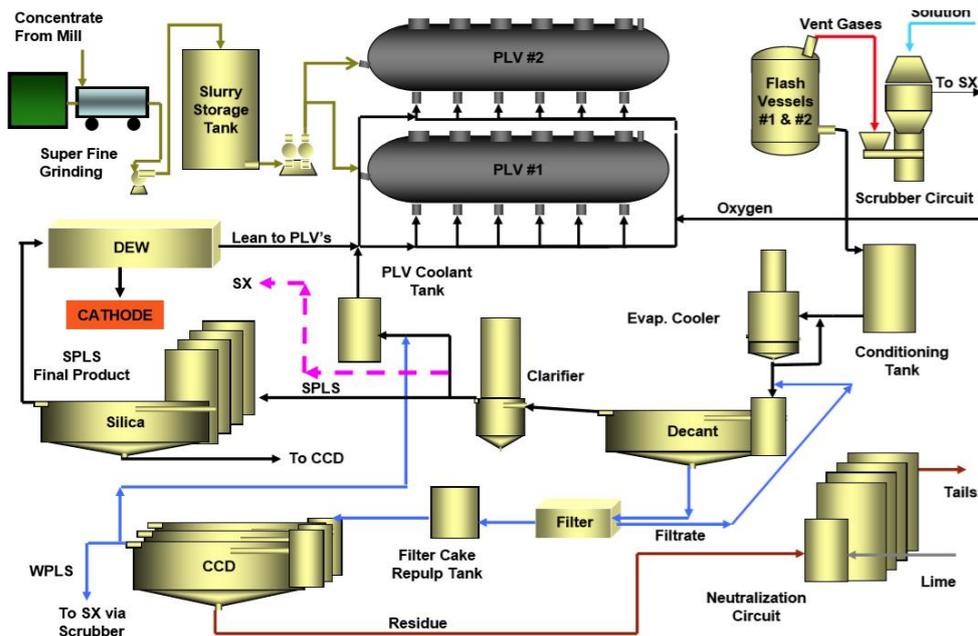
- ・大気圧浸出：住友金属鉱山社のニッケル製錬(MCLE: Matte Chlorine Leach Electrowinning)
亜鉛製錬残渣処理での高温高酸浸出(Hot Acid Leaching)
OUTOTEC 社の亜鉛精鉱の大気圧直接浸出法
- ・加圧浸出 : Morenci 鉱山の銅精鉱の加圧浸出
Ecometales 社の銅精鉱の加圧浸出(検討中)
住友金属鉱山社の酸化ニッケル鉱処理、HPAL(High Pressure Acid

Leach:

- 高圧硫酸浸出)法
- DOWA 社が開発した亜鉛製錬残渣の還元加圧浸出法
- 亜鉛精鉱の直接加圧浸出法

a. Morenci 鉱山

Morenci 鉱山の株主は 72% Freeport-McMoRan、15% 住友金属鉱山(SMM)アリゾナ社(80%SMM 社、住友商事社 20%)、13% SMM Morenci 社(SMM 社 100%)。フローシートを図 3-1-1-4 に示す。



(出典)Technology Development in the Copper Industry ,Freeport-McMoRan Copper & Gold ,JOM-Copper 2007

図 3-1-1-4 Freeport McMoRan Morenci フローシート

硫酸発生型を採用し、銅精鉱処理 215[kT/Y]、電気銅 67[kT/Y]、起業費 107[M-US\$]、Cu 回収率 97.5[%]である。既存の SX-EW プラントでの電気銅生産と副生硫酸の利用、そして内陸銅鉱山なので物流費削減の利点がある。

b. Ecometales 社

Ecometales 社は Codelco 社の 100%子会社である。銅熔錬煙灰を処理し、As を除去して堆積処分している。現在、高砒素銅精鉱の加圧浸出を計画している。図 3-1-1-5 にフローシートを示す。建設費は 324[M-US\$]で、浸出残渣からの貴金属の回収は未だ検討段階である。As は浸出残渣と共に堆積処分される。

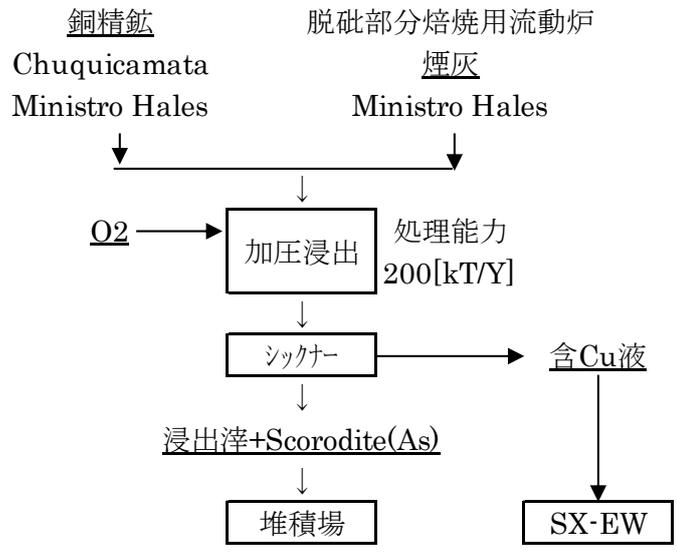
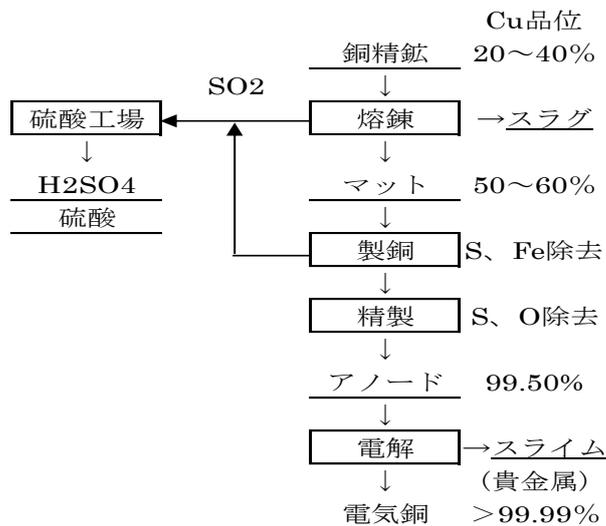


図3-1-1-5 銅精鉱の加压浸出フロー

(3) 乾式銅製錬法

① 概要

乾式銅製錬の典型的なフローシートを図 3-1-1-6 に示す。



(出典)「銅溶錬プロセスの変遷と今後の動向」MERIJ、2004

図3-1-1-6 乾式銅製錬のフローシート

② 熔錬法

熔錬工程では銅精鉱を処理し、マット(鉍:Matte、 $\text{Cu}_2\text{S}\cdot\text{FeS}$)を製造している。熔錬プロセスは大きく分けて 2 種類に分類される。

銅精鉱の熔融: 反射炉、熔鉍炉、電気炉

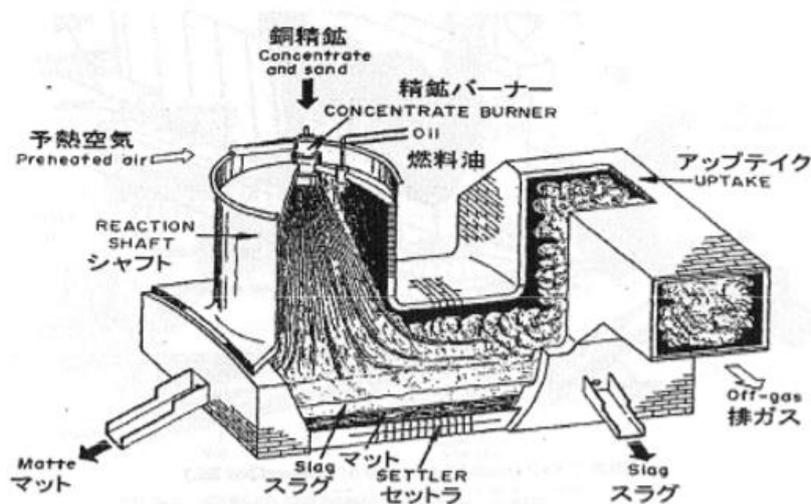
銅精鉱の酸化: フラッシュ・スマルティング 気相で酸化、自熔炉
バス・スマルティング 熔体内で酸化

羽口型 : 側吹炉、底吹炉

ランス型: 三菱炉、TSL 炉

・自熔炉(Flash Furnace)

フィンランドの
Outokumpu 社が
1949 年に開発し
Harjavalta に設置した熔
錬炉で、乾燥した銅精鉱と
珪酸鉍を加熱空気や酸素
富化空気と一緒に精鉍バ
ーナーを通じて水冷シャフ
トの上部から供給する。銅
精鉱を高速で酸化して、そ
の熱を利用してマット、ス
ラグ、そして SO_2 を含む排
ガスが発生する。マット・ス
ラグの混合熔融物は炉下部
の熔体上に落下し、スラグ



(出典)「自熔炉銅製錬」JOGMEC、2005

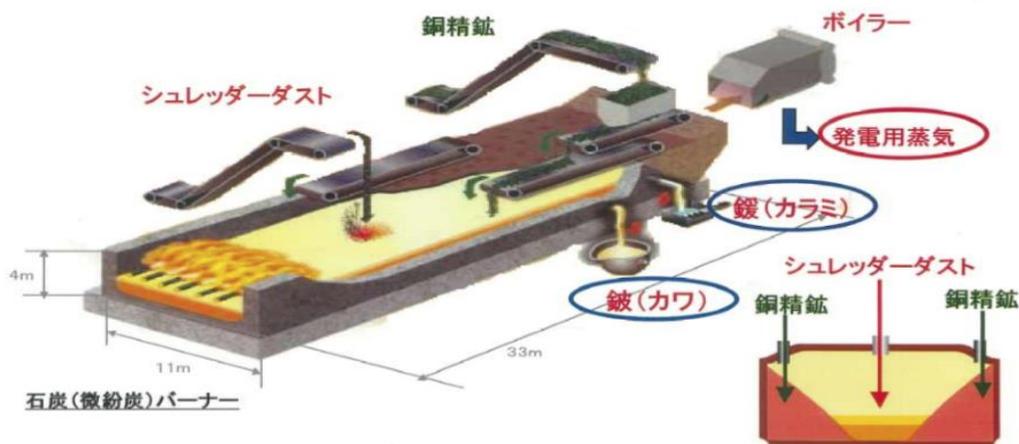
図 3-1-1-7 自熔炉の構造

とマットを比重差で分離する。炉の熱バランスはほとんど銅精鉱の酸化熱で維持している。現在はフィンランドの総合資源・製錬技術エンジニアリング会社である Outotec 社がその技術を保有している。マットは次の製銅工程に送られ、 SO_2 を含む排ガスはボイラーで熱回収後、硫酸工場で除塵・洗浄し、転化器内の触媒で SO_2 を SO_3 に酸化して硫酸を製造する。図 3-1-1-7 に自熔炉の構造図を示す。

なお、日本で初めて Outokumpu 社の自熔炉を導入したのは、古河鉍業(現古河機械金属)で、独自の技術改良を加えて足尾鉍業所で 1956 年に操業を開始した。それ以降は、日本の非鉄製錬各社はこぞってこの自熔炉鉍炉を導入していった。

・反射炉

反射炉は処理能力が大きく、以前は代表的な銅熔錬法だった。しかし、低熱効率で燃料を多消費し、排ガス中の SO_2 濃度が低く硫酸製造が困難なことから更新・休止が進んでいる。図 3-1-1-8 に小名浜製錬の反射炉の構造を示す。



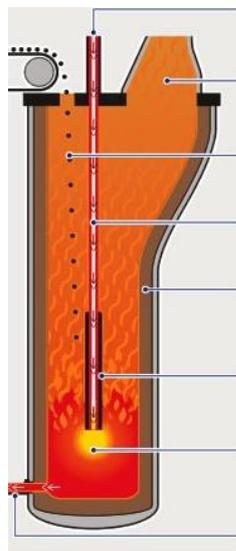
(出典) 小名浜製錬、2008

図 3-1-1-8 反射炉の構造

小名浜製錬所では燃料多消費型な点を利用し、ダイオキシンの副生がなく、多量の混合プラスチックやシュレッダーダストを処理し、熱・有価金属を回収している。低 SO_2 濃度の排ガスは排脱工場で処理し石膏を生産している。

・TSL(Top Submerged Lancing)炉:ISASMELT 炉、Ausmelt 炉

原型の ISASMELT 炉は Mount Isa Mines 社(現在の Glencore 社の一部)と Australian government`s Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO)が開発したプロセスである。図 3-1-1-9 のように耐火煉瓦ライニングを施した円筒状の炉体の上部にランスを設置し、炉下部にはスラグ・マット、または金属からなる熔融浴がある。炉上部の開口部から原料や可燃物を投入するが、酸素富化空気とともにランスから旋回流で炉内に吹き込む場合もある。ランスは内部の酸素富化空気冷却され、凝固スラグが先端部に付着して保護される。熔体は炉下部の 1~2 個のタップホールから抜き出す。TSL 炉は構造が簡単で建設費・運転コストが比較的安価で、銅、鉛、ニッケル、そして各種スクラップの処理に幅広く利用されている。



空気、酸素、燃料
 排ガス+煙灰
 原料
 ランス
 耐火煉瓦
 凝固スラグ被覆
 強攪拌バス・熔体
 1~2 個の水冷却タップホール
 熔体の抜き出し

(出典)ISASMELT 社 HP

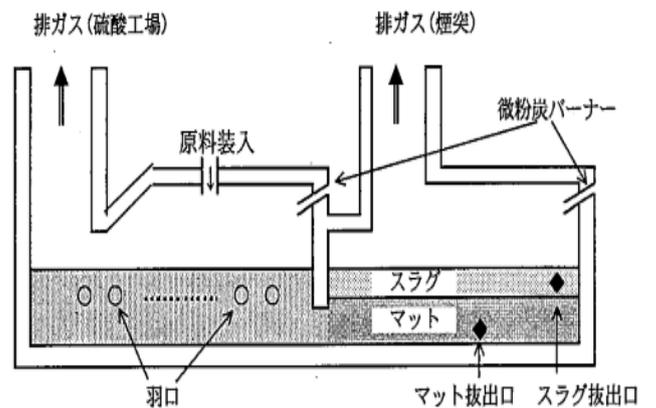
図 3-1-1-9 ISASMELT 炉の構造

・側吹炉(白銀炉)

中国で稼働しているバニコフ炉(Vanyukov)類似の炉で反応ゾーンとセトリングゾーンを水冷壁で分離し、側壁の羽口から酸素富化空気を吹き込んでいる。図 3-1-1-10 に構造図を示す。

(出典) B.Q.Chen et al

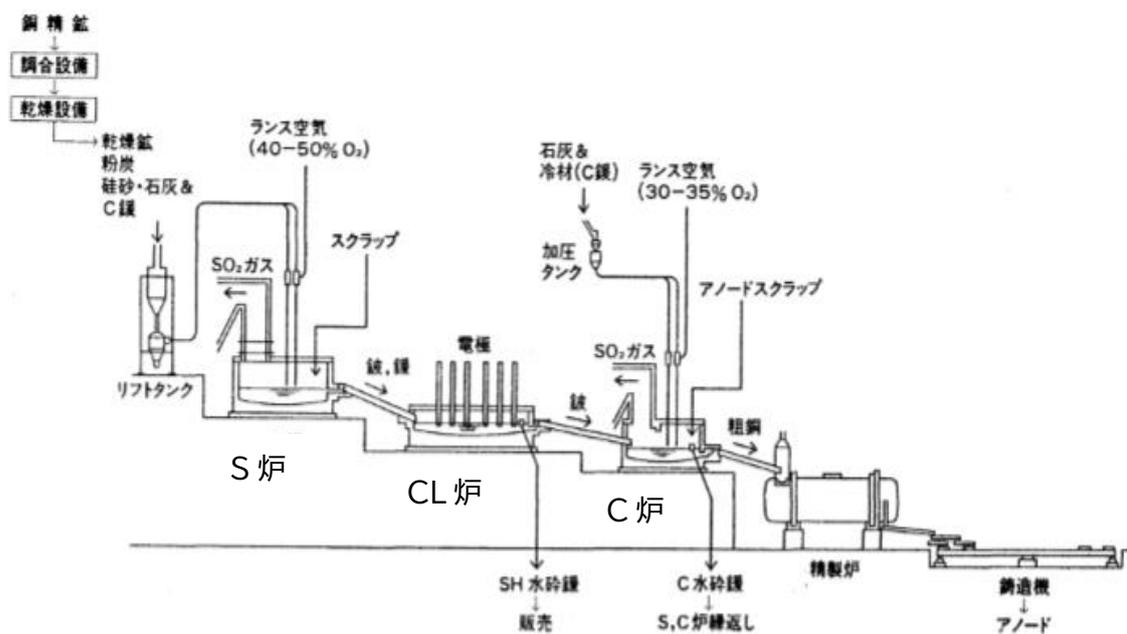
図 3-1-1-10 白銀炉



・三菱連続法

三菱連続製錬法では S 炉が熔錬炉の役目を果たしているが、連続法でありプロセス全体を説明する。図 3-1-1-11 にフローシートを示すが、S 炉では複数のランスを通して銅精鉱・珪砂・リサイクル原料を酸素富化空気とともに吹き込みマットとスラグを生成する。CL 炉ではマットとスラグを比重差で分離し、スラグは大量の水で急冷して水砕する。C 炉では酸素富化空気、石灰石、そして冷材の C 炉スラグをランスから吹き込みマットを粗銅に酸化する。余剰の C 炉スラグは S 炉へ繰り返す。

一般的に熔錬炉から抜き出したマットはクレーンで吊ったレードル(鍋)で転炉に移動する。この際 SO₂ ガスの漏煙は不可避で、その環境対策には膨大な設備・費用が必要である。本プロセスは樋で熔体を移動し、SO₂ 漏煙を最小限に抑制可能である。



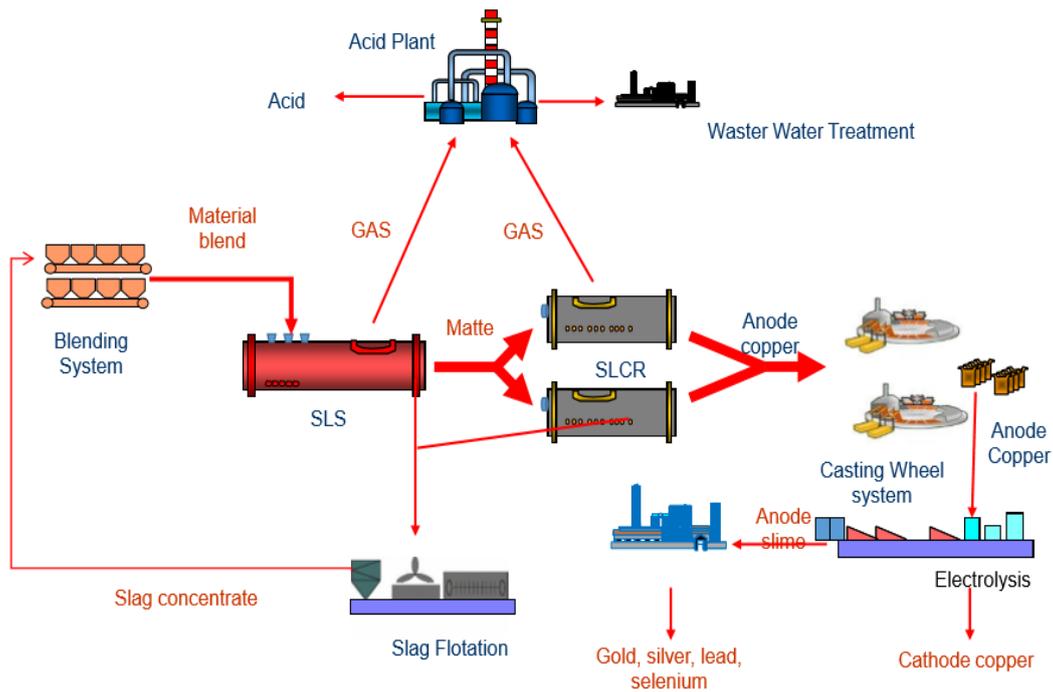
(出典) 資源と素材、109(1993)No.8

図 3-1-1-11 三菱連続製錬法フローシート

・TWO-STEP 法

湖南省水口山有色公司(Hunan Shuikoushan Mining Administration)と中国恩菲工程技术有限公司(ENFI:Engineering Institute for Nonferrous Metallurgical Industries)が鉛製錬用に開発した底吹炉を、ENFI 社が銅製錬用に改造している。東営方圓はこの底吹炉を使い、TWO-STEP 法で製錬を行っている。図 3-1-1-12 にフローシートを示すが、このプロセス・フローは以下の通りである。

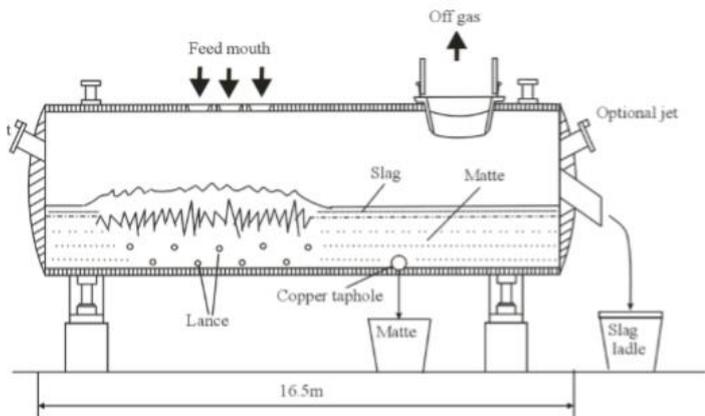
未乾燥原料を底吹炉(SLS:Submerged Lance Smelting Furnace)の熔体上に投入し白鉛(Cu:75%)に酸化する。2 基の底吹炉(SLCR:Submerged Lance Converting & Refining Furnace)に交互に白鉛を受入れ、酸化・還元しアノード化して精製炉を省いている。スラグ中の Cu 品位は 2~3%と高く、Cu 分回収のためにスラグを粉碎後、浮選している。現在、浮選の代わりに別の底吹炉を設置し、スラグを Pyrite と処理する計画が進行中である。



(出典)The Development & Selection of Copper Smelting Technology in China
NERIN 2018

図 3-1-1-12 TWO-STEP 法

底吹炉の構造を図 3-1-1-13 に示す。炉底部に角度を変えた 2 列のランスを設置している。ランスは二重管で内部から純酸素、外部から冷却用の空気+窒素ガスを超音速で吹き込み、ランスを冷却してランス周辺には凝固スラグを発生させ、レンガとランスの溶損を防止している。未乾燥原料を炉上部から炉内に投入する。



(出典)High Temperature Processing
Symposium 2014、

Swinburne University of Technology

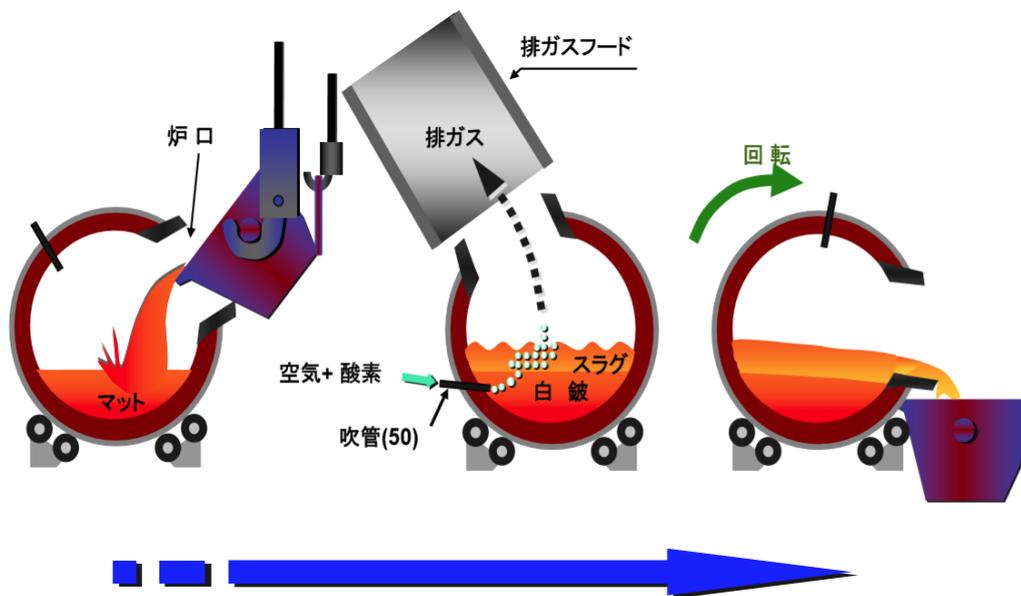
図 3-1-1-13 底吹炉の構造

③ 製銅工程

製銅工程では熔錬工程で銅精鉱から製造したマツを酸化して粗銅にしている。従来はバッチ式の PS 転炉を使用していたが、環境対策・生産性アップにフラッシュコンバーター、三菱連続製銅法 C 炉、東営方園社の製銅・精製用底吹炉が開発されている。

・PS 転炉(Peirce-Smith Converter)

1908 年に開発された耐火煉瓦ライニングを施した傾転式の水平置きドラム缶状炉で、装入・排出口(マウス)と 50 本以上の空気の送風口、羽口を取り付けてある。図 3-1-1-14 に操業の状況を示すが、数基の PS 転炉を設置し、バッチ操作でマツを受入れて白鍍(Cu:75%)へ酸化する造スラグ期、次に白鍍を酸化し粗銅にする製銅期を繰り返している。粗銅中には S を 0.02~0.1% 含み、さらに精製工程で酸化・還元シアノードにする。マツのレードル(鍋)での移動や転炉炉口からの SO₂ の漏煙が多く、環境対策費が高価になる問題点がある。副生する SO₂ 濃度は大きく変動し、数台の PS 転炉の運転サイクルを調整し、できるだけ SO₂ 濃度を安定化している。



(出典)JX 日鉱日石金属におけるレアメタルのリサイクル、2010

図 3-1-1-14 PS 転炉の運転

・Flash Converter

Kennecott-Outokumpu Flash Converting Furnace (FCF) は両社が Kennecott Utah Copper の Garfield 製錬所で開発したプロセスである。自熔炉で生成

したマットを水砕・粉碎・乾燥後、自熔炉と同様の構造の炉にバーナーから酸素富化空気ともに供給し、酸化して生成する粗銅とスラグをセトラ一部で比重分離している。本転炉は自熔炉とは独立に連続的に運転され、副生する SO₂ 濃度は安定しており、熔体移動にレードルを使わず環境的に優れたプロセスである。副生スラグの銅品位は数パーセントあり、自熔炉へ繰り返す。中国の祥光銅業有限公司(Xiangguan Copper Co.)では精鉱バーナーの構造が異なるプロセスを開発し実用化している。

④ 銅熔錬法の比較

表 3-1-1-1 のように熔錬プロセスの 40%を自熔炉が占めているが、中国では底吹炉の増加が今後予想されている。各種原料の処理が可能な TSL 炉が 15%を占めている。製銅プロセスでは表 3-1-1-2 のようにフラッシュ転炉が 21%を占めるが、未だに PS 転炉が主力で 69%を占めている。

また、最近では、中国国内では横吹炉(側吹炉)という底吹炉とは違った新方式の炉も出てきたおり、本書ではその詳細について省略するが、中国における非鉄製錬技術開発に対するイノベーションへの情熱と力強さを感じる。

表3-1-1-1 熔錬プロセスの比較

| | プロセス | 使用率 [%] | 熔錬規模 [Cu-kT/Y] | 原料 融通性 |
|-----------------------|-------|------------|-------------------|-----------|
| 自熔炉 | フラッシュ | 40 | 400 | × |
| 三菱法S炉 | バス | 5 | 350 | △ |
| TSL炉 | バス | 15 | 300 | ○ |
| Noranda炉 Teniente炉 | バス | 5 | 200 | |
| 底吹炉(SKS) | バス | 5 | 120 | △ |

(注) TSL炉：Top Submerged Lance炉

(出典) JOGMEC「世界の銅製錬技術情報」COM2016

表3-1-1-2 製銅プロセスの比較

| プロセス | 使用率 [%] |
|--------------------|------------|
| PS(Peirce Smith)転炉 | 69 |
| フラッシュ転炉 | 21 |
| 三菱法C炉 | 5 |
| 底吹炉(SKS) | 5 |

(出典) COM2016:Rio Tinto Kennecott Utah Copper
のShijie Wang氏資料

各銅製錬プロセスのエネルギー消費の比較は原料構成の影響が大きく困難であるが、一例を表 3-1-1-3 に示すが、極端な違いはない。採算面ではプロセスの差より、製錬所が立地する地域の人件費、エネルギー単価、減価償却費(=建設費/償却期間:設備製造・据え付けへの人件費の寄与率大)、営業面での副産品(硫酸・スラグ)を含む製品の販売価格・プレミアム、そして原料面での複雑鉱・スクラップ等の製錬所にとり有利な原料処理の影響が大きい。

表3-1-1-3 乾式銅製錬の消費エネルギー比較

| プロセス | 電気 | 化石燃料 | 合計 |
|-----------------------|--------------|-------|--------|
| | [MJ/T-Anode] | | |
| 自熔炉+フラッシュ転炉+スラグ浮選 | 9,266 | 1,518 | 10,784 |
| TSL炉+回転スラグクリーニング+PS転炉 | 6,903 | 4,175 | 11,047 |
| 三菱法 | 8,508 | 2,498 | 11,006 |
| 底吹炉+PS転炉+スラグ浮選 | 9,263 | 2,370 | 11,634 |

(出典) 「Energy Consumption in Copper Smelting」 JOM, May 2015