

銅の製錬技術

Technology of Copper Smelting

矢 沢 彬*

Akira Yazawa

1. はじめに

銅は鉄、アルミニウムに次いで大量に生産、使用される金属であり、1981年の世界製錬高は940万トン、日本は米、ソについて105万トンであるが、その製錬設備は世界最新鋭を誇っている。ただし国内産精鉱による原料自給率は1割に満たず、海外原料事情の影響を大きく受ける一方、光通信などの発展ともからみ、今後大幅な銅地金の需要の伸びは期待できず、他律的に変動する銅価格も40万円/tを切ることが多いなど、将来の国内産銅界の不安材料は少なくない。昭和40年代に極端に酷しくなった環境規制を、綿密な技術対策を以て克服し、日本のような人口密集地帯でも非鉄製錬が近代産業として成り立ちうることを世界に示したが、その後引き続いたエネルギー価格の高騰に、製錬費がかさむようになり、今後の銅製錬は一層の合理化を迫られている。

銅製錬の技術は多様であるが、世界産銅の約90%は硫化銅鉱の乾式製錬によっており、なかでも黄銅鉱(CuFeS_2)を主要鉱石とし、鉄を酸化鉄としてスラグに、硫黄は SO_2 として気相に除き、銅を金属状態で残す場合が多い。この際 SO_2 は硫酸に転化し環境保全をはかるのが普通であるが、銅1トンにつき硫酸が約3トン製造されることになり、地域条件によっては硫酸の市場確保に困窮する場合も少なくない。

銅製錬技術の詳細は成書¹⁻⁴⁾に見ることができるが、本稿ではこのように資源、環境、エネルギー、硫黄などの諸問題のインパクトを受けながら銅製錬が変わるものであるとの視点の下に、その技術を概観し、今後の展望を試みることにする。

2. 溶融製錬の概略

通常の銅製錬は、精鉱の予備処理、マット溶錬、転

炉製銅、粗銅乾式精製、電解精製、溶解鑄造、などの諸工程を経るのが一般であるが、歴史的には随伴する亜硫酸ガスや含銅廃水の処理が問題となり、変遷を重ねてきたといっても過言ではない。図-1に硫化銅鉱を自溶炉で融かして粗銅を造り、これを電解精製して製品とする場合の製錬系統図を掲げた。このうち溶融製錬の在り方については、後述するように近年いろいろな新提案もあるので、各種の溶錬プロセスの簡単化したフローを図-2に対比して示した。図-2の(i)は現行の溶融製錬工程の主要部を示す。浮選により得られる銅精鉱は一般に25~30%Cu、30%Fe、30%S程度の場合が多く、少量のZn、Pb、Ni、Co、As、Sb、Bi、Se、Au、Ag、などを含有する。この精鉱はまず予備処理にかけられるが、次のマット溶錬法との関連で、乾燥(図-1はその例)、焙焼、ペレタイジング、焼結、水を加えての混錬、のいずれかが選択、適用される。

精鉱を溶かすマット溶錬は、銅溶錬の主要部で、鉄の一部を FeO-SiO_2 系スラグとして分離棄却し、銅分を40~60%Cu程度の $\text{Cu}_2\text{S-FeS}$ 系を主体とするマット相(カワともいう)に濃縮する。この段階は連続方式で、世界的には反射炉が主流であり、わが国では十数年前までは溶鉱炉が多かったが、その後高効率、無公害化をめざしつぎつぎに新鋭の自溶炉に置き換えられた。

つぎの製銅工程はPS型と呼ばれる横吹羽口による転炉溶錬で、溶融マット中の鉄をスラグ化し、硫黄を SO_2 にして粗銅を得る段階で、その内容は図-2の(i)にみるように2段に分かれる。第1期はスラグ生成期と呼ばれ、硫化鉄を酸化して白カワ(Cu_2S に近い組成のマット)を残し、スラグを分離排出後、第2期の造銅期で $\text{Cu}_2\text{S}+\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Cu}+\text{SO}_2$ のように粗銅に転換する。

多くの金属の溶融製錬がコークス等による還元段階により金属を得ているのに対し、銅溶錬は上記のようにもっぱら酸化工程である点が特徴となっている。原理的には銅が比較的貴な金属で酸化され難いのに対し、硫黄とはかなり親和力が強いので、 Cu_2S が安定で他

* 東北大学 選鉱製錬研究所教授

〒980 仙台市片平2丁目1-1

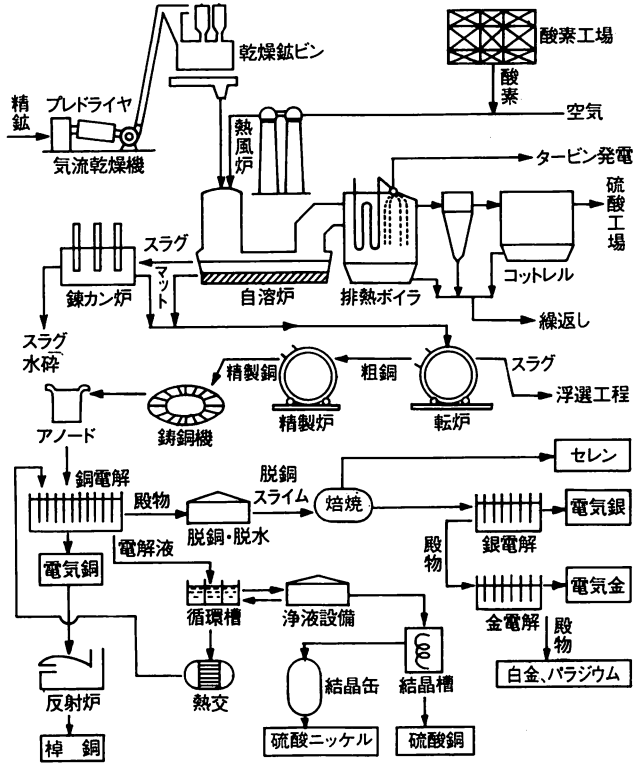


図-1 自溶炉による銅製錬系統図

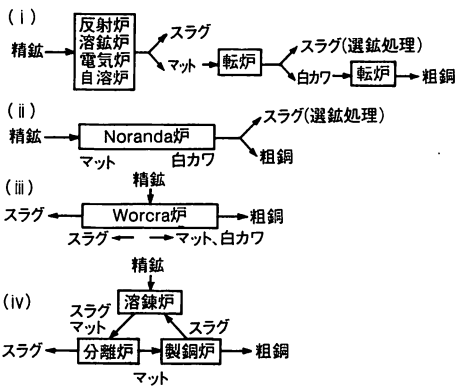


図-2 各種銅溶錬プロセスの分類

の硫化物の酸化除去により濃縮されて残り、これの酸化により直接金属銅が得られるためである。

銅溶錬ではシリカを溶剤として加えFeO-SiO₂系を主とするスラグを造るが、CaO、Al₂O₃、ZnOなどの含量も考え、融点、含銅量が低く、量の少なくて済むスラグ組成を選択する。酸化溶錬であるからFe₃O₄も生じやすいが、これが過量になると固体として析出がちになり、粘性を高め含銅量を増し炉塊を形成するなど、いわゆるマグネタイトトラブルを招きやすくなるので、十分な温度を与え、シリカを適正レベルに保

つことにより過量のFe₃O₄を防ぐ。マット溶錬炉から排出されるスラグをさらに鍊カン炉と称する小電気炉で還元溶融し、スラグ含銅量の低下をはかることも多い。転炉スラグは含銅量が高いので、マット溶錬炉に戻して処理するか、あるいは凝固後微粉碎して浮選を行い、銅分を浮鉱として回収し、残渣は棄却する。棄却スラグはセメント原料、道路材などに利用される。

排出SO₂は硫酸転化が常道であるが、外国では未だ大気放出も少なくない。わが国では稀薄SO₂でも、濃厚ガスと一緒に硫酸工場に引くか、石灰洗浄などにより石膏などに固定する。硫酸や石膏の需給が不安定で地金生産そのものに影響する場合もあり、SO₂を安価に元素硫黄に固定する技術も重視されている。

3. マット溶錬の諸法について

3.1. 精鉱の予備処理

転炉工程以降は大差ないのに反し、銅溶錬の主要部であるマット溶錬段階にはいくつかの方法があり、それに応じて精鉱の予備処理も異なる。溶錬炉用には焼結、ペレタイジング、練鉱（炉中焼成をめざし水で混練）が行われる。反射炉・電気炉には8% H₂O程度の生精鉱を投入するグリーンチャージ方式と多段焙焼炉や

流動焙焼炉により部分焙焼(一部の硫化鉄を酸化)した焼鉱を投入するカルサインチャージ方式がある。カルサイン方式では近年は高能率の流動炉の使用が普及してきている。自溶炉は0.2% H_2O 前後の完全乾燥精鉱を要するので、ロータリドライヤか図-1に示すような气流乾燥機を用いる。

3.2. 溶鉱炉法

上部から鉱石とコークス、下部の羽口から空気と、ときにより重油や石炭を導入し、最高温度1,250℃程度で溶錬を行う堅型炉方式である。炉幅は1.3m、長さ10m以下の矩形断面をもつ。近年は精鉱吹と称し、練鉱を装入し、 FeS の酸化発熱を利用する方式が行われ、排ガスからの硫酸製造も可能である。溶鉱炉は建設費が小で、マグネタイトラブルも少なく、雑物処理が可能で融通性に富み、小規模製錬に適するが、近年の粉鉱大量処理の要請には不向きであり、労力と熟練を要するので、今後とも傍流として残存するに止まろう。わが国では三井金属㈱日比と合同資源㈱宮古で操業されている。

3.3. 反射炉法

幅5~10m、長さ30mに及ぶ炉の一端にバーナーを並べ、大量の重油、天然ガスの燃焼熱により、強引に大量の粉精鉱を融かす方式であるが、煙導端のボイラで余熱の30~60%は回収される。1炉で1月あたり5,000~10,000トンの産銅が可能であり、今日なお世界産銅界の主流である。積極的な酸化を意図していないので炉内での脱硫は20~30%に止まり、低品位精鉱の場合はカルサインチャージ方式でマット品位を確保する。反射炉は操業容易で寿命が長く、機械化、自動化が進んでいるが、最大の難点は SO_2 が0.7~2%と、放出するには高すぎ、硫黄製造には低すぎる多量のガスを排出することで、燃料多消費なこともあり、次第に自溶炉その他新しい方式にかわる傾向にある。しかし最近では酸素バーナーの設置により、溶錬量や SO_2 濃度の増大をはかることも実施されており⁴⁾、この種の改良反射炉が今後とも世界的には主流の座を維持しつづける可能性も小さくない。わが国では三菱金属㈱直島でカルサインチャージ、小名浜製錬㈱でグリーンチャージ方式の反射炉溶錬が行われている。

3.4. 電気炉法

反射炉型の矩形炉の天井に6本電極を設置して電熱溶融製錬により鉱石を溶かし、マットを造る方式は、以前から北欧などで行われていたが、反射炉の長所を備えているほかに黒鉛電極の上下によりマグネタイト

の制御が容易であり、排ガス量が僅少なため SO_2 濃度が高まり硫酸工場に送ることができるので、厳しい環境規制に堪えることができる、ということで、近年反射炉に替えて世界の数ヶ所で建設された。しかし、グリーンチャージの場合600kWh、カルサインで350kWh/tにのぼる電力を消費するので、今後とも安価な電力に恵まれた地域に限られよう。

3.5. 自溶炉

乾燥微粉精鉱を予熱空気と共に炉頂部から噴出させ懸垂状態で燃焼、酸化溶錬する方式が1949年フィンランドのOutokumpu社で創始され、1956年古河鉱業㈱足尾に導入された。当初は種々のトラブルの克服に追われたが、漸次改善が加えられ、日本の溶鉱炉製錬所が次々に大型新鋭の炉を建設し、国内産銅界の主流の地位を確保するに到った。図-1に標準的な自溶炉製錬系統図を示した。キルンや气流乾燥機で0.2%程度に完全乾燥した精鉱を、予熱空気と共に図-3に示すような

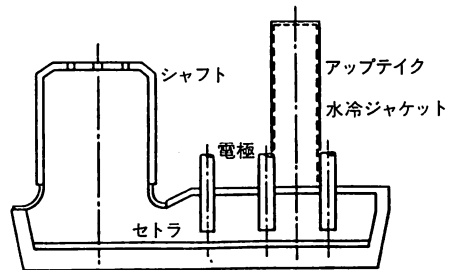


図-3 自電炉の概念図

シャフト頂部から噴出させ、落下中に酸化溶錬が行われ、下のセトラ部でマット、スラグに分離される。スラグは通常図-1に見るようにセトラの外に備えた鍊カン電気炉で脱銅処理されるが、図-3の場合は電極をセトラ天井部から挿入し、鍊カン炉を内装した形の、いわゆる自電炉を示し、日比共同製錬㈱玉野で操業されている。一般に自溶炉は脱硫酸化の程度が任意に変えられ、使用燃料は少なく、溶錬速度が大きい。排ガスは図-1、3のアップテイクからボイラで熱回収の後、清浄系を通り、硫酸工場へ送られるが、 SO_2 は9%前後と高く、硫黄収率は高い。完全乾燥精鉱が熱風と順流で混合噴出され、大幅な酸化を受ける方式が上記の長所をもたらす反面、ややもすると機械的なダストロスが多くなり、またマグネタイトラブルを招きやすい。そのため日本のように精緻な制御が期待できる場合は好適でも、世界的には反射炉にくらべ操業が難しく、融通性に乏しいという評価も残っている。

しかし、自溶炉はまだ若い炉であり、漸次反射炉に代わる傾向にあるといえよう。

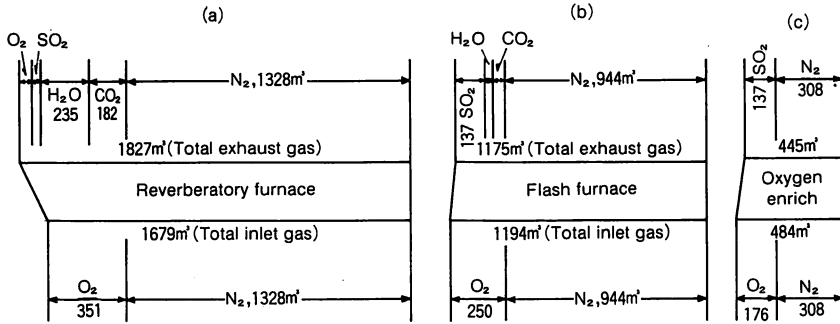
上記の自溶炉とは別に、純酸素を用いる方式がカナダのInco社で1952年から行われており、次述のように近年の酸素使用ブームから、あらためて注目を集めている。

4. マット溶錬段階のエネルギー比較

銅製錬に関するエネルギー比較は二三の研究者により論じられているが、ここでは最近のマット溶錬法の進歩をうかがい知るために、従来からの反射炉法と、近代的な予熱空気吹自溶炉と、さらにここ数年の間に普及しつつある酸素富化空気によるマット溶錬法をとりあげ、関与するガス量とエネルギー収支を概観してみることにする。図-4はこれら3つの方法に於て、炉に入るガス量と、炉から排出するガス量を示したものであり、図-5はこの際の入熱出熱を示している⁵⁾。(a)は反射炉の場合で8% H_2O を含む生精鉱に対し、トン当たり120 l の重油を燃焼させ、いわゆるグリーンチャ

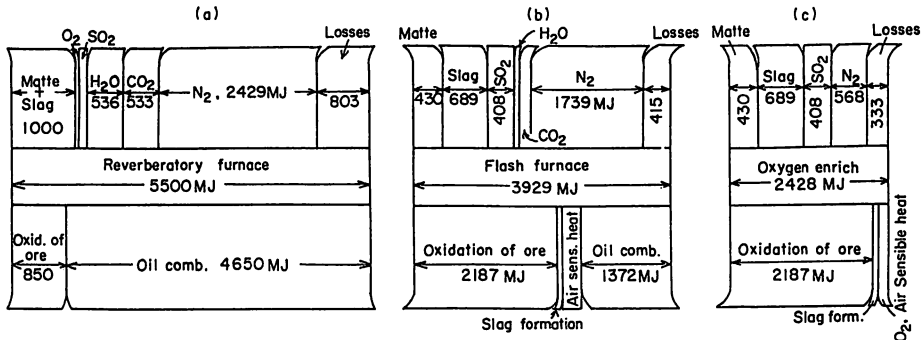
ージ方式でマットを造る場合で、若干の過剰空気が入り、一部の硫化鉄が反応酸化し、排ガス中に2%程度の SO_2 が出ることを想定している。図-5-(a)では細かい出入熱は相殺されるものとして省略したが、入熱の大部分は重油燃焼に頼っている。排ガスは1,300 $^{\circ}C$ で炉を離れるものと仮定しているが、膨大な量で、出熱も大半はガスに伴って炉を出ることになる。図-4,5の(b)は300 $^{\circ}C$ の予熱空気を用い、28% Cu の精鉱から60% Cu のマットを造る自溶炉を想定した場合で、この際不足熱を補うために35 l/t の重油を燃焼させている。図-5-(b)にみられるように、この場合鉱石酸化熱が入熱の過半を占めている点が注目し値する。すなわち旧来の銅溶錬は(a)のように化石燃料の多量消費による発熱で、単純に鉱石の溶融をはかっていたのに対し、近代の銅溶錬は FeS の酸化発熱により溶融に必要な熱をできるだけ供給し、同時に FeS 除去による高品位マット生産をめざしているわけである。

しかしながら図-5-(b)の出熱の方をみると、 N_2 の持去頭熱が大きな割合を占めていることは(a)の場合と変



(a) 反射炉(重油120 l/t)
 (b) 空気吹自溶炉(重油35 l/t)
 (c) 増酸素空気溶錬(無燃料)

図-4 各種マット溶錬法における導入、排出ガス量(精鉱トン当り m^3)



(a), (b), (c) : 図4に同じ

図-5 各種マット溶錬法における熱バランス(精鉱トン当りMJ)

わらない。これは溶錬が空気により行われている限り宿命的といえる。最近の銅溶錬は酸素を使用することにより、この宿命に挑戦しつつある点が大きな特徴になっているといえよう。図-4、5の(c)は酸素富化空気の使用により熱を補い、重油を全く使うことなく、同様に60%Cuのマットを製造する場合の収支図である。36%O₂の増酸素空気を導入することにより、31%SO₂の排ガスを得ているが、図-5-(c)にみるように、入熱のほとんどは鉱石酸化熱で占められN₂はもはや熱を持去る主要要因ではなく、必要最少限に近い形で出熱が構成されていることがわかる。

これらの図を通覧することにより、銅溶錬が化石燃料を使わぬ方向に、ガス量低減の方向に、従ってSO₂濃度増大の方向に、関与総熱量減少の方向に進歩してきたことが知られる。これにより溶錬装置はコンパクトになり、排ガス処理装置は小さくて済み、排ガスからの硫酸製造が容易になって、環境対策を容易ならしめ、さらに省エネルギー化の方向に進んだということができよう。

5. 転炉製銅と粗銅の精製

マット溶錬段階が多様であるのにひきかえ、従来の銅製錬では転炉以降の段階は大筋に於て変わりはなく、図-1に示すような工程をとっている。以下順を追って概説しよう。

5.1. 転炉溶錬と精製炉

傾転可能な円筒型炉の側面下方に横一列に並ぶ多数の羽口を備えたPS型と称する炉が一般的で、加圧空気の羽口からのインジェクションにより、溶融マット中を分散気泡がぐり抜ける間にFeSの酸化除去と不純物の酸化あるいは揮発除去が効果的に行われる。酸化発熱により無燃料で溶錬が進むばかりか、余剰熱により繰返物やスクラップなどの冷材も処理できる。

第1段階のslag生成期ではマット中のFeSを酸化し、溶剤としてシリカを添加しFeO-Fe₂O₃-SiO₂系slagを形成させ、マット中の銅を濃縮する。脱鉄がほぼ終ると75%Cu程度のCu₂S組成に近いマット—いわゆる白カワ—が残留する。ここで生成slagは排出されるが、3%程度のCuを含むため溶融状態のままマット溶錬炉に返すか、あるいは図-1、2に示したように凝固後微粉砕して浮選にかけ、銅分を回収する。転炉内に残った白カワはさらに吹いてCu₂S+O₂→2Cu+SO₂のように粗銅に転換するが、これが転炉操業第2段階の造銅期にあたる。Cu₂S-Cuは2液相を造る

が、漸次Cu₂S相は減少し、遂に消失するといわれる仕上期に入り、溶銅中のSが減少して0.04%程度、Oが増加して0.5%程度になったところで操業を終る。

以上のように転炉は高能率の炉で、排出SO₂も10%に近く硫酸製造に好適であるが、40~60%Cuのマットから99%程度の粗銅を造る工程を繰返す回分操業炉であり、しかも装入、排出のたびに送風を止めて炉を傾転させる必要がある。したがってSO₂濃度に間断があり、傾転時の漏風によるSO₂漏れも環境対策上問題で、各製錬所で工夫をこらしている。今後マット溶錬炉から供給されるマット品位が65%Cu程度の高品位のものが保証されるとなると、次の段階としては固定式炉による連続製銅が検討課題になるのは自然のなりゆきであり、この方向については後述の三菱法をはじめ今後の展開が興味深い。

転炉で得られる溶融粗銅は通常反射炉型あるいは転炉型の精製炉に移され、酸化につぐ還元でS、O含量を調整し、後続の電解精製のための陽極板(アノード)を铸造する。精製炉の還元期はいわゆるポーリングで、外国では未だその名のとりの丸太の使用も少なくないが、近年はアンモニア、天然ガス、改質重油などの使用が普遍化している。

5.2. 電解精製と鑄銅

粗銅は99%Cu程度で、各種の不純物を含むので、純銅を得ることとAu、Ag、Seなどの有価物回収を目的として、図-1に示すような電解精製工程を行う。Cu45g/l、H₂SO₄190g/l程度の電解液中で、電流密度200~250A/m²、電圧0.2~0.35V、液温60°C程度の条件で電解を行うと、粗銅アノードから溶け出した銅は純銅母板のカソード上に99.99%以上の電気銅として析出する。Au、Ag、Seなどは陽極スライムとして電解槽底に沈殿するので、図-1のようにそれぞれ回収する。これらの副産が簡単かつ高収率で行われることが、銅の乾式製錬の大きな強味になっている。電解精製のエネルギー消費は220~300kWh/tCuと、比較的少ない。

得られた電気銅はそのまま市販することもあるが、図-1のように精銅反射炉で溶融酸化のちポーリングを行い、0.03%程度のOを含むいわゆるタフピッチ銅として棹銅(さおどう)に铸造されるのが一般であった。しかし近年湯濁からの連続铸造圧延により一挙に8mm位の径の荒引線に巻取る技術が普及してきた⁶⁾。これにはAsarco社の電気銅溶融用シャフト炉に基礎を置き、タフピッチ銅の連続铸造圧延をはかるSCR法、Contirod法などと、低周波誘導炉で溶融した無酸素

銅を上向 casting してワイヤにする dip forming 法, upward casting 法などがある。いずれも鉄鋼の連铸の流行にさきがけて製品の均質化, 省エネルギーなどに貢献した注目すべき技術といえる。

6. 新製錬法および特殊製錬法

6.1. 湿式製錬法

選鉱のきかない酸化銅鉱に対し, 電解尾液を用いて浸出し, 鉛などの不溶性陽極を用い浸出液中の銅を電解採取する操業は, 以前からかなり行われてきた。電解精製にくらべ, この電解採取では浴電圧 2 V, 電力消費量 2,500 kWh/tCu と, 約 10 倍に及ぶ。ときには Cu-Fe-Zn, Cu-Fe-Co などの複雑精鉱を 680°C で選択硫化焙焼し, 鉄を残渣に除いた浸出液を電解採取して電気銅を得たのち, Zn あるいは Co を電解採取することも行われてきた。また古くから銅鉱山からの杭内水, 塩化製錬浸出液, その他含銅浸出液や廃水から屑鉄置換沈澱などによりいわゆる沈澱銅を得る方法も広く行われてきた。

近年, 稀薄な, あるいは不純物を含む浸出液を, LIX 64N などによる溶媒抽出にかけ, 純粋な濃厚銅溶液を得て, 電解を効率良く行う方法が注目をあつめている。一方, 従来困難とされた硫化銅鉱の浸出の研究も進み, 二次硫化銅鉱にはかなりの成功を収めたことから, 乾式に代わる硫化銅鉱の湿式製錬法も話題に上るようになった。しかしながら乾式溶錬法は, (1) 圧倒的に反応速度が速く, 大量鉱石の高効率製錬が可能, (2) ほとんど自溶性で所要エネルギーが少ない, (3) 電気銅品質が優れている, (4) 金銀回収に有利, など多くの理由から, 選鉱のきく硫化銅鉱に対しては今後とも優位性を保ち続けると見られている。

6.2. 還元製錬

酸化銅鉱を溶鉱炉で還元熔融製錬し, いわゆる黒銅という粗銅を得る方法が以前行われ, 今でもスクラップ処理に一部使われている。硫化銅鉱を完全酸化焙焼したのち, 同様な還元熔融製錬を行う提案も見かけるが, これらの方法の大きな問題点は, 酸化溶錬の場合と異なり, As, Sb, Bi, Pb などの不純物除去の機会が無いことにある。他の金属では, ごく一般的な熔融還元法が, 銅製錬では必ずしも好都合で無いことは注意すべきであろう。

特殊な製錬法としてセグレゲーション法が挙げられる。湿式に不向きな酸化銅を對象に少量の炭材と食塩を加え加熱すると, 生成する塩化銅が C 表面に輸送さ

れ金属銅に還元凝集する現象を利用するもので, 実用化に期待がつけられている。

6.3. 直接連続製銅法

前述のようにマット溶錬には一長一短の諸法がある上, 産出マットを回分操業に引き継がねばならない。銅溶錬はひたすら酸化を続けられれば, 遂に粗銅を得るはずだということで, より合理的な連続製錬法, あるいは一段で粗銅をめざす直接製錬法の提案が数多く提出された。図-2の(ii), (iii), (iv)は代表的な例の基本的なフローを示したものである。紙面の都合上詳しくは文献⁷⁾にゆずり以下簡単にまとめてみる。

(i) 転炉直接製錬法

精鉱を転炉あるいは TBRC 炉 (酸素上吹回転炉) に投入し酸化溶錬を行い, ときどきスラグを排出除去しながら品位を上げ, 遂に粗銅を得る方法で, 本質的には図-2-(i)の従来法型に属することになる。回分法であり, 通常鉱の大規模製錬には適さないが, 特殊な鉱石に対する小規模製錬としては考えられよう。

(ii) 並流単一炉型

図-2-(ii)にこの型の代表例として Noranda 法のフローを示したが, 横長の炉の一端から鉱石を装入し, 他端に向けて流れてゆくうちに酸化が進み, 遂に粗銅を得るという直接製銅法が考えられた。しかし生成スラグ全量が造銅期の条件に到るため, スラグへの銅損失が莫大になり, Fe_3O_4 が多量に生成し, 溶銅中に多量の不純物が吸収される, などの問題が多く, Noranda では直接製銅をあきらめ, 白カワ製造に切替えることにより, 順調な操業を得るに到った。ただし, 原料が特殊で鉄含量が僅少な場合には, スラグは少量で銅損失も少なくなるので, このような鉱石に対し自溶炉で直接製銅を試みる提案もある。

(iii) 逆流単一炉型

並流の場合の問題点を避けるために, マットとスラグを逆流させ, マットに十分な酸化を与え結局粗銅に転換し, スラグは他端で還元して含銅量を減らそうという方式で, 図-2-(iii)に示す Worcra 法が典型的な例である。原理的には興味ある方式で, QS 法・その他同様なアイデアを採用した提案があるが, 目的にかなう炉の設計が難しい。

(iv) 複数炉連続型

上述の単一炉方式は無理との判断で, マット溶錬炉, 鍊カン炉, 製銅炉の 3 炉を樋でつなぎ連続化した方式が三菱法で, フローを図-2-(iv)に示し, 図-6に炉の概念図を掲げた。S 炉と呼ぶマット溶錬炉で二重管上吹

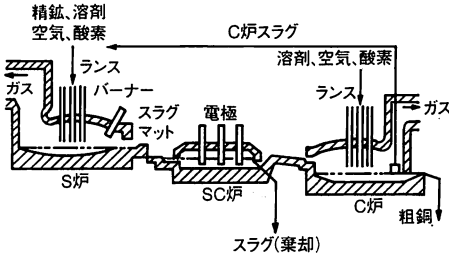


図-6 三菱連続製銅法概念図

ランスにより乾燥精鉱と増酸素空気を溶融マット中にインジェクトして酸化溶錬を行い、溢流する融体をSC炉なる鍊カン炉で棄却スラグと65%Cuマットに分離し、このマットは連続的にC炉なる製銅炉に入る。C炉では上吹きにより増酸素空気と石灰石を導入し、CaO-Cu₂O-Fe₃O₄系のフェライトスラグが形成されるが、このCu₂Oとマット中のCu₂Sが相互に反応し粗銅を生成する。三菱金属(株)高島製鍊所で操業されている興味ある新製鍊法である。

7. おわりに

以上限られた紙面で銅製鍊の技術を概説してきたが、多様にみえる銅製鍊も結局は鉱石中のFeSの酸化発熱をできるだけ有効に活用するために、酸素を用いてまず65%Cu程度のマットを造り、これを製銅炉に供給してゆくという点で意見の一致が得られるように思わ

れる。ただし環境、エネルギー、硫黄副生物などの制約から、世界的には製鍊所の立地条件により今後も変化に富んだ方式が続けられてゆくことであろう。もう一つ資源の面からの制約が非常に大きいことはいうまでもない。資源の涸渇化、低品位化、複雑化、精鉱を得る段階までの莫大な消費エネルギー（このために採鉱段階から考えると大量生産金属中銅はアルミニウムについてエネルギー多消費金属である）など、製鍊に及ぼす影響は甚大なものがあるが、これらについては他の執筆者によって解説が与えられよう。今後の銅製鍊技術はこのような諸種の制約をふまえ、世界的な視野で検討してゆくことが必要と思われる。

参考文献

- 1) 亀田満雄, 矢沢 彬 ; 金属製鍊技術ハンドブック (的場・渡辺・小野編), 413~507, 朝倉, (1963).
- 2) A. K. Biswas and W. G. Davenport; Extractive Metallurgy of Copper, Pergamon, (1976).
- 3) J. C. Yannopoulos and J. C. Agarwal(eds.); Extractive Metallurgy of Copper, AIME, (1976).
- 4) H. Y. Sohn, D. B. George and A. D. Zunkel (eds.); Advances in Sulfide Smelting, AIME, (1983).
- 5) 矢沢 彬; 硫酸と工業, 34, 131, (1981).
- 6) 柳田節郎, 池田 博, 増井 勉; 日本金属学会報, 18, 419, (1979).
- 7) 矢沢 彬; 日本金属学会報, 15, 543, (1976).

国際会議あんない

第5回世界水素エネルギー研究会
(Fifth World Hydrogen Energy Conference)

<会 期>1984年 7月15日(日)~19日(木)
<会 場>カナダ トロント シェラトンセンタ
<共 催>カナダ水素協会

国際水素エネルギー協会
カナダ研究会議

今回は、「小素への転換(Transitions to Hydrogen)」が主題である。4日間にわたる会議では、主としてつぎの4つのテーマについて最近の研究成果が発表されるものと期待される。

- 1) 水素への転換
- 2) 水素の製造法

- 3) 水素の備蓄と運搬
 - 4) 水素の変換と利用
- 幅広いエネルギー関係者の参加を希望しています。詳細は下記の事務局へのご照会下さい。

Dr. K. Charbonneau,
Conferece Secretariat,
Fifth World Hydrogen Energy Conference
National Research Council of Canada
Ottawa, Ontario
CANADA K1A 0R 6