わが国の鉱業の過去、現在そして未来

都市鉱山からの非鉄金属のリサイクル

土 田 錠*

1. はじめに

小坂鉱山は、代表的な複雑硫化鉱である黒鉱の採鉱、選鉱、製錬といった鉱山技術の開発によって鉱物資源を世に送り出すことで120年の歴史を刻み、独自の発展を遂げてきた。探査に始まり、電気、水といったライフラインの調達、採掘、選鉱、製錬、開発に伴う公害防止対策や輸送手段、交通、医療の提供など地域社会とも密接な関係をもって事業を展開してきた。

現在、黒鉱の採掘は終了したが、培ってきた製錬技術とインフラストラクチャ、地域社会の力を結集して、新たな原料ソースである「都市鉱山」からの原料調達をはじめ、循環型社会構築への一歩を踏み出している。

2. 小坂鉱山の歴史

小坂鉱山の発見は、1680年代にさかのぼるが、本格的に採掘が始まったのは1861年の元山鉱山発見以後である。黒鉱が長い時間をかけて風化した土鉱と呼ばれる1トンあたり数百グラムの銀を含む原料であった。1884年(明治17年)同和鉱業の前身、藤田組に払い下げられた小坂鉱山は、約10年の間、銀の鉱山として栄えたが土鉱は枯渇してしまった。黒鉱の鉱床を目の前にしながら、当時、製錬技術が確立されていないことから、一時期以後の開発を断念された。小坂鉱山の再生は、幾多の失敗を繰り返した後、1902年の自溶製錬技術の開発を待つことになる。

その後、自溶製錬技術を駆使し、黒鉱の露天採掘によって栄えた小坂鉱山は、1960年代、内の袋鉱床の開発によってさらに拡大した。当時の小坂製錬所は約20万トンの国内鉱を処理し、4万トンの銅を産出した。

しかし、1970年代から徐々に国内採掘量は減り始め、1994年3月の松峰鉱山の閉鎖をもって、北秋田地域での非鉄金属鉱山は、全て閉山した。可採資源の減少とともに1985年のプラザ合意以降の円高による銅価の急激な下落と採掘コスト上昇が、国内採掘の採算性を著しく悪化させたためであった。

小坂鉱山の採掘の歴史は終わったが、小坂製錬所は海外鉱を原料とする受託製錬所として操業を続けている。

3. 製錬プロセス(図1)

(1) 硫化鉱製錬

現在の小坂製錬所の自溶炉は、1967年にフィンランドのオウトクンプ社の自溶製錬法を導入したものである。同法は世界の銅製錬技術の主流となっている。

精鉱は、乾燥され、円筒形のシャフト塔頂から酸素富化された空気とともにバーナー噴霧される。精鉱は、含まれる硫

図1 小坂製錬所模式フロー図。

* 小坂製錬株式会社リサイクル部リサイクル課課長(〒017-0202 秋田県鹿角郡小坂町小坂鉱山字尾博部60-1)
Metal Recycling from Urban-Mine; Ikari Tsuchida (KOSAKA Smelting & Refining Co., Ltd., Kazuno-gun, Akita)
Keywords: non-ferrous metal, smelting, urban mine, metal recycling, complex sulfide, complex concentrate
2005年12月19日受理

化鉱・黄銅鉱の硫黄の酸化反応熱によって約1200～1300℃にて溶融される。この反応によって生じるマットとスラグをセッターにて比重差で分離させ、マットを次工程の転炉へ送る。転炉では、空気を吹き込むことにより、まず硫化鉄を酸化したスラグが抜き出される。さらに空気を吹き込むことにより、硫化銅が酸化され98%程度の粗銅が作られる。粗銅は、精製炉にて仕上げられ、アノード板に铸造され、電解精製工程へ送られ、4N 電気銅が製造される。

ここでポイントになるのは、銅および銅に親密な金属、例えば銀や金については銅の溶体側に残り、砒素などの成分はスラグ側に分離することである。この性質を使って精鉱から銅、銀、金をはじめとする種々の金属が分離されてきた。

加えて、転炉で粗銅を作る際にも硫化鉱の酸化反応熱を利用するが、1200～1300℃の温度維持では酸化反応熱が過剰であり、この余剰熱を利用して市中で回収されたスクラップ類のリサイクル処理が以前から行われてきた。

これらが、非鉄金属リサイクルのベースとなっている。

(2) 黒 鉱

黒鉱は、世界的に有名な複雑硫化鉱である。精鉱の代表的品位を図2に示す。一般的な黄銅鉱と比べると、銅品位は2/3程度だが、銀、金の品位が高く、この鉱石の価値を生み出している。その反面、鉛、亜鉛、砒素、アンチモン、ビスマスといった成分が黄銅鉱に比べて10倍以上のオーダーで含まれるため、その分離が必要になる。そのため、黄銅鉱を中心に構築された銅製錬所では、原料ソースとはならなかった。

しかし、山元製錬所である小坂製錬所は、この鉱石を扱う前提で形作られてきた。黒鉱と命運をともにしてきたと言っても過言ではない。

(3) 製錬原料ネットワーク

小坂製錬所の特徴は、黒鉱に含まれる多種の金属を回収する様々なプロセスを持つことにある。銅製錬工程とともに鉛製錬工程も併設しているところに明確に見て取れる。

自溶製錬は硫黄成分の酸化反応を利用しているので、亜硫酸ガスが発生する。この亜硫酸ガスは、洗煙除害されるだけでなく、硫酸として製品化するプロセスが導入されている。この硫酸製造工程の前段で、低融点金属つまり鉛や亜鉛の濃

元素	原料品位の巾	黒鉱品位	標準的黄銅鉱
g/t		g/t	g/t
Au	←10 100 1000 10000→	40	20
Ag	←100 1000 10000→	1,300	150
%		%	%
Cu	←1 10 30→	18	28～30
Pb	←100 1000 10000→	4	0.1～0.3
Zn	←100 1000 10000→	4	0.1～0.4
As	←100 1000 10000→	0.5	0.01～0.04
Sb	←100 1000 10000→	0.5	0.01～0.03
Bi	←100 1000 10000→	0.1	<0.01

図2 黒鉱と黄銅鉱の標準的品位。

縮物であるダストを集塵して鉛製錬工程の原料とする。

鉛、亜鉛を多く含む黒鉱を原料とする場合、特に大量にダストが回収される。このダストは、硫酸浸出から湿式選鉱を施され硫酸鉛、硫化銅、水酸化亜鉛に分離され、各々二次原料として利用される。

硫化銅は、銅製錬の精鉱として繰返し処理される。

硫酸鉛は、小坂製錬所の鉛製錬工程の原料とされる。

水酸化亜鉛は、秋田製錬飯島製錬所の原料とされる。反対に、飯島製錬所で発生する鉛、銀、銅、金を含む残渣物は、小坂製錬所の原料となっている。

このように、多種の金属を含む黒鉱の製錬原料化を通して、様々な工程を関連付けて、不純成分の除去だけではなく回収する技術までを身につけてきたことが、「都市鉱山」の種々の原料を取り扱うにあたって生きている。

含まれる金属の価値や物量、成分、性状によっては、有価購入とならないものや定常的に取り扱いできないものはあるが、逆有価での取り扱いを含めると大きく可能性が広がるものである。

4. 都 市 鉱 山

「都市鉱山」という造語が使われるようになって久しい⁽¹⁾。おそらく一般的なイメージは、携帯電話、使用済み電子機器、使用済み家電製品などが挙げられるだろう。これらの製品群は、電子部品およびそれらのユニットが組み合わされて出来ているものである。さらに細かく分解すると、電子部品の構成素材に非鉄金属が使われている。例えば、電子基板の銅箔、導電性銀ペースト、金メッキなどその用途には枚挙に暇がない。これらの製造工程から出る端材やスラッジ類の副産物も同列に挙げられる。

代表的な「都市鉱山」の産物が、どの程度の貴金属価値を持つかの例を図3に示す。当然ながら各々の産物ごとの偏差が大きく、全てがこの図で示されうるものではない。しかし、銅精鉱と比べて金、銀含有が多く有用な原料であることは、容易に見て取れる。

一方で、これらの機器類や部品類の多くは各家庭、工場、事業所などに、広くそして浅く、少量ずつ分散して存在す

図3 主な「都市鉱山」原料に含まれる金銀量。

鉱石であれば、均質とはいえないまでも、数万トン～数十万トンの鉱床が局地に存在するところから、鉱山で選鉱され濃縮後の精鉱として製錬所に送られるのが合理的である。ここに大きな違いがある。