

世界最大のISP亜鉛製錬所を訪ねて



八戸製錬(株)八戸製錬所の熔錬工場(青森県八戸市)

亜鉛は、鉄鋼製品の製造に多く使用される重要な材料の一つである。今回は世界最大のISP亜鉛製錬所を訪ね、製造技術の特徴や最近の動向について紹介する。

液体の鉛に亜鉛が溶け込んでいる様子
(八戸製錬所の鉛スブラッシュコンデンサー)

日本唯一の蒸留亜鉛の生産拠点

青森県八戸市。北東北を代表する漁業基地である八戸港があるが、臨海部には大規模な工業港、漁港、商業港が整備され、その周囲には工業地帯が形成されている。

1968年(昭和43年)、八戸で亜鉛を生産するため操業を開始したのが、八戸製錬(株)八戸製錬所(以下、八戸製錬所)である。

ここで生産される亜鉛製品は、蒸留亜鉛(PW: Prime Western、純度98.5%以上)、精留亜鉛(SHG: Special High Grade、純度99.995%以上)の2種類である(図1)。亜鉛のほか、粗鉛、カドミウム、スラグ、硫酸、石膏の生産も行っている。

八戸製錬所の最大の特徴は、亜鉛製錬に「ISP (Imperial Smelting Process) 法」を採用していることである。

亜鉛製錬の方式には、乾式の「熔鋳炉法 (ISP法)」と湿式の「電解法」がある。

ISP法は、亜鉛の沸点が低い(907℃)ことを利用し、原料から亜鉛を蒸発させる方法である。亜鉛精鋳を焙焼・凝結して焼結鋳を作り、この焼結鋳とコークスを混合加熱して、亜鉛分を還元・気化させる。気化した亜鉛を鉛に吸収させ、その後亜鉛を分離・回収する。

電解法は、電気分解によって亜鉛を得る方法である。



図1 出荷を待つインゴット (左) 蒸留亜鉛 (右) 精留亜鉛

亜鉛精鋳を焙焼して焼鋳を作り、これを硫酸に溶解させ、電気分解して電極に付着した亜鉛を回収する。電気亜鉛の純度は99.99%と高く、ISP法よりも短い工程で亜鉛が得られる。現在、世界の亜鉛生産の96%を湿式法が占めている。

ISP法は、熔鋳炉を使って亜鉛と鉛を同時に生産する方法である。そもそもイギリスのImperial Smelting社が、鉛熔鋳炉の発展形として開発した製錬技術であり、1960年に最初の商業炉がイギリスで稼働し、亜鉛と鉛を生産した。その後、世界各国にISP製錬所が建設されたが、2000年以降、コークス価格高騰、亜鉛価格低下などの影響によりISP製錬所の閉鎖が相次いだ。現在は日本、中国、インド、ポーランドの計7カ所が稼働している。日本国内では八戸製錬所だけであり、亜鉛生産能力は世界最大の11万2千tを誇っている。



図2 亜鉛製造の主な設備

特徴ある製造工程

八戸製錬所における亜鉛の製造工程の概要は、以下のとおりである(図2)(詳細は連携記事参照)。

1. 焼結工程

熔鉱炉へ供給する原料を製造するのが焼結工程である。原料の構成は、亜鉛・鉛精鉱が約50%、リサイクル原料が約45%、産業廃棄物が約5%である。

このうち亜鉛・鉛精鉱は、精鉱中の硫黄を燃焼させ、その熱で原料を焼き固め焼結鉱とする。リサイクル原料には、亜鉛めっき工場からのドロス、再生亜鉛工場からの亜鉛滓、製鋼煙灰を処理した粗酸化亜鉛などがある。これらの一部は焼結工程へ、残りは製団工程で団子状の製団鉱に加工される。

2. 熔錬工程

熔鉱炉で亜鉛と鉛を同時に製錬する工程である(図3)。焼結鉱、製団鉱、コークスを、熔鉱炉の頂部から交互に投入し、1300℃以上の高温の熔鉱炉内で溶解すると、亜鉛蒸気、粗鉛、スラグが得られる。亜鉛蒸気は鉛スプラッシュコンデンサーにおいて、溶解した鉛(530℃)から攪拌羽根により起こしたスプラッシュ(しぶき)に接して急冷することにより、鉛中に溶け込ませる。これを冷却して鉛中の亜鉛の溶解度を下げることにより、粗亜鉛を分離・回収する。

3. 精製工程

熔錬工程で得られた粗亜鉛は、微量不純物の除去工程を経て、蒸留亜鉛(純度98.5%以上)となる。また粗亜鉛の亜鉛純度を高めるため、精留塔にて沸点の差を利用

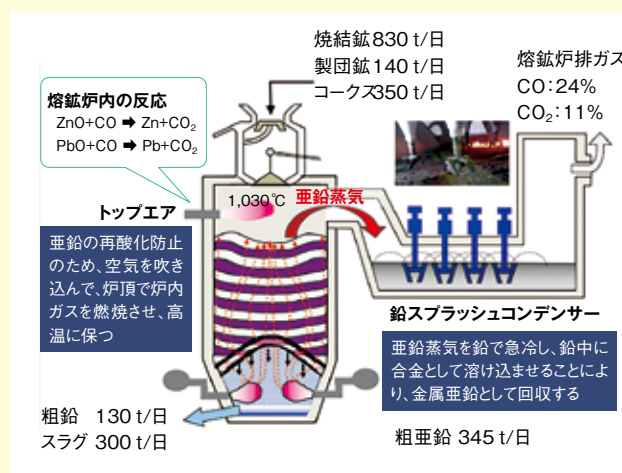


図3 ISP熔鉱炉の仕組み

して鉛とカドミウムを分離し、精留亜鉛(純度99.995%以上)を得る。

また、亜鉛製造工程の排出物から各種の副生物を生産することができる。

例えば、焼結工程から得られるのは硫酸である。焼結工程から排出される排ガス(SO₂含む)を除塵し、硫酸製造設備で硫酸を製造する。

このほか、熔鉱炉から排出された溶融スラグは、スラグフューミング工程で重油と空気を吹き込んで酸化亜鉛を分離し、スラグ中亜鉛純度を3%以下まで低減し、スラグとする。できたスラグはセメント材料として再利用される。

ISP法のすぐれた特徴

ISP法は、電解法にない多くの特徴を備えており、「循環型社会にはISPが不可欠」と言われる。主な特徴は以下のとおりである。

1. 亜鉛と鉛を同時に製錬できる

ISP法は、亜鉛と鉛を同時に製錬できる工程であり、電解法では難しい亜鉛・鉛混合鉱の処理が可能である。

亜鉛の需要の多くを占める溶融亜鉛めっきでは蒸留亜鉛が使用される。ISP法で製造された蒸留亜鉛は、精留亜鉛や電気亜鉛に比べて亜鉛の純度は低く、鉛含有量が多い。溶融亜鉛めっきでは、めっき時の流動性を高めるため、めっき液に鉛を添加することが多い。ISP法の蒸留亜鉛には、亜鉛と鉛が均一に分散しているため、安定しためっき品質が得られる特徴がある。

現在、世界のISP製錬所のうち、蒸留亜鉛の製造拠点は八戸とインドの2箇所のみであり、亜鉛めっきの需要に着実に対応している。

2. 原料に様々な精鉱、リサイクル原料、産業廃棄物などを使用することができる

ISP法の原料は、亜鉛・鉛精鉱が約50%であり、その他にリサイクル原料や産業廃棄物が使用されている。このうちリサイクル原料は、亜鉛めっき工場から排出される

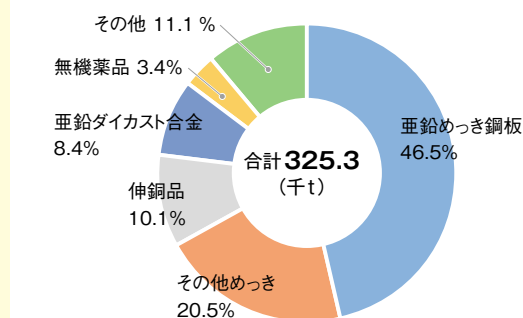


図4 亜鉛の国内需要の内訳(2023年) 出典:日本鉱業協会「鉱山」

ドロスや、再生亜鉛工場で発生する亜鉛滓、製鋼煙灰を処理した粗酸化亜鉛などであり、近隣の工場から排出されたものである。

製造工程内に製団工程があるため、様々な原料を製団して熔鉱炉で加熱することができるのも大きな特徴である。

電解法は、基本的に亜鉛精鉱を原料とした生産を前提としているが、ISP法は亜鉛精鉱だけでなくリサイクル原料を効率よく使えるプロセスとなっている。これにより地域から発生する廃棄物を原料として、再利用することができる。

亜鉛は身近な金属

亜鉛は単体では青白色の金属である。酸化物及び水酸化物は両性化合物で、酸にもアルカリにも溶ける。

亜鉛化合物は、古代から人類に知られていたが、金属単体が得られたのは銅、鉄、スズ、鉛よりもずっと後であった(1746年に閃亜鉛鉱(亜鉛の硫化鉱物)から単体の亜鉛を得る方法が発表された)。金属亜鉛の発見が遅れたのは、酸化亜鉛を還元するのに約1100℃の高温が必要なのに対し、亜鉛の沸点は907℃なので、亜鉛蒸気から金属亜鉛を抽出するのが難しかったためであった。

亜鉛の最大の用途は、鉄鋼製品の防食めっき用である(図4)。亜鉛は鉄に対する犠牲防食作用が強く、亜鉛めっき表面処理に欠かせない。「トタン」は銅板に亜鉛めっきしたものである。亜鉛めっきには、溶融亜鉛めっきと電気亜鉛めっきの2種類がある。

溶融亜鉛めっきは、高温で溶かした亜鉛に製品を浸し、製品表面に亜鉛皮膜を形成する方法である。めっき膜が厚く、長期間の防錆効果があり、建築の屋根や壁、鉄骨など、土木分野ではガードレールや橋梁など、多くの製品に適用される。

一方、電気亜鉛めっきは、めっき槽に製品を浸して電気を通し、プラス極の亜鉛をマイナス極の製品表面に析出させる。緻密なめっき膜厚のコントロールが可能で、薄い皮膜を形成することができ、自動車部品や電機製品などに適用される。



溶融亜鉛めっきの独特なスパングル*模様

*スパングル: spangle.きらきら光る小片の意味



自動車や建材に使われる亜鉛ダイカスト製品

(一社)日本ダイカスト協会「ダイカストって何?」HPより

めっき以外の用途の一つにダイカスト製品がある。亜鉛の融点は鉄、アルミニウム、銅及びその合金に比べて低いため、鑄造に適しており、ダイカスト用合金として用いられる。

身近な用途として真鍮(黄銅)がある。真鍮は、亜鉛を20%以上含む銅との合金である。亜鉛が30~40%含まれるものも多く、硬貨や装飾品などに幅広く使用される。

ちなみに、亜鉛は私たち人間にとって必須元素である。亜鉛は、タンパク質や核酸の代謝にかかわり、生命活動維持に必要な栄養素であり、欠乏すると味覚障害、皮膚や粘膜への障害などが起こりやすくなる。現代人の健康にとって欠かせない金属元素である。

このように亜鉛は、工業材料として重要であるうえに、私たちの社会や生活にとっても不可欠な金属である。

3. 原料中の不純物に強い

電解法では、フッ素や塩素が多く含まれた原料を扱うのが難しいが、ISP法では対応が可能である。また産業廃棄物に含まれる各種の不純物を除去することができ、例えばばいじんや鉛含有塗膜くず、鉛ガラスの受け入れも行っている。

4. 原料中の有価金属を有利に回収できる

製造工程から副生物としてカドミウムなどの有価金属が得られる。これらは製品として販売し、再利用される。

リサイクル原料や産業廃棄物に含まれる金、銀、銅、ビスマス、アンチモン、スズなどは、粗鉛や銅ドロスとして回収し、地金化できる。

資源リサイクルのネットワークを構築

八戸臨海工業地帯には、八戸製錬所のほか鉱山、セメント、鋼材、製紙などの工場が立地している。これまで各工場は協力して、廃棄物削減や排出物の再資源化、CO₂排出削減などに取り組み、他工場で排出された廃棄物を原料やエネルギー源として有効利用したり、自工場からの排出物を再生利用したりしてきた。

例えば電炉工場では、廃自動車のリサイクルを行っており、破碎後に発生するシュレッターダストや電炉煙灰を八戸製錬所が処理する。八戸製錬所からは、熔鉱炉で使用するコークスの篩下で出た粉コークスを電炉工場に販売する。

また製紙工場では、工場から排出する炭酸カルシウム滓を八戸製錬所が処理する。八戸製錬所からは工程内の副生物である硫酸を販売している。

ISP法は「原料を選ばない」ことが大きな特徴であり、他社では回収が難しい低濃度の重金属を含む原料でも製品化できる。この特徴を生かし、様々な廃棄物や原料を受け入れて再利用することができ、再資源化率の向上に大きく貢献している。

八戸製錬所では、工程中で排出されるエネルギーの有効利用にも注力している。例えば熔鉱炉からの排出ガスは所内の熱風炉、発電設備などに100%再利用される。これにより、工場内で使用される電力は自家発電率60%を維持している。

カーボンニュートラルの実現に向けて

資源リサイクルや省エネルギーで大きな成果を収めている八戸製錬所だが、今後取り組むべき課題は何だろうか。



八戸製錬(株)八戸製錬所

(左)製錬課技術係長 俣岡 昌嗣郎氏 (右)製錬課長 榎本 潮氏

亜鉛めっきは鉄鋼製品の耐食性を向上するため、カーボンニュートラルに貢献している技術だといえる。特に塩素に対する耐食性が極めて優れているので、海洋構造物の長寿命化や異常気象への対策に広く活用されていくことを期待したい。(俣岡氏)

「亜鉛リサイクルを、今よりさらに促進していきたい。様々な所から排出されるスクラップから、いかに効率よく回収し、再生利用していくか。亜鉛のリサイクル率は、他金属に比べそれほど高くないので、今後はもっと高めていきたい。特に、建築や土木構造物の亜鉛めっきなど、これまで難しかった所からも回収を進めたい。」(俣岡氏)

「最近では、再生可能エネルギーの需要が高まり、太陽光発電や風力発電の設備に、亜鉛めっきを施した大型の鋼構造物が多く建設されている。こういった需要への対応はもとより、リサイクルについても確実に対応していく必要があると思う。」(榎本氏)

最後に、カーボンニュートラルの対策についてお話を伺った。

「日本も世界もカーボンニュートラルの達成を目指して、技術開発に取り組んでいる。ISP法は優れた特徴を持つ製造技術だが、熔鉱炉でコークスを使用するため、CO₂の排出は免れない。CO₂排出をどのように減らし、改善していくか。これが私たちにとって大きな課題だ。今後は、ISP法の優れた点と、カーボンニュートラルを両立させていく方法を見出して行きたいと思う。」(榎本氏)

今回は、亜鉛製造の立場から、資源リサイクルや省エネルギーに取り組む八戸製錬所を紹介した。カーボンニュートラルの実現と持続可能な社会の構築を目指し、培ってきた技術力と環境への配慮をどのように結び付けていくのか、今後の対応に期待が寄せられている。