都市鉱山から回収した金属を活用した メダル作製*

Medal Production Utilizing Urban Mine Collection Metal

高橋宏幸**, 井上信宏**, 小森裕司**, 古西政和**, 水江太一**

Hiroyuki TAKAHASHI, Nobuyuki INOUE, Yuji KOMORI, Masakazu KONISHI and Taichi MIZUE

Key words

urban mine, gold medal, recycle, Iron (III) chloride, iron powder, copper powder, nickel powder, printed circuit board, electronic waste

1. はじめに

日本は世界の中でもリサイクルが進んだ国であり、「都市鉱山」と称した使用済み電子機器に、大量の金などの希少金属が含まれていることも知られている。世界では、使用済み電子機器が発展途上国などに不法投棄され、そこに含有される有害物質による汚染で重大な環境問題を引き起こしている¹⁾。一方、日本では、小型家電リサイクル法が制定され、使用済み電子機器に含まれる有害物質を処理して金などの希少金属を回収する取り組みが進んでいる。

この取り組みについて、2020年のオリンピック・パラリンピックを機に世界中に知ってもらふことは、これからリサイクルを進めようという国々だけでなく、使用済み電子機器による汚染に苦しむ国々や、金などの天然資源の不法採掘などで困っている国々にも大きな望みを与えることができると思われる。

このような背景の下、筆者らが取り組んでいる「都市鉱山から回収した金属を活用したメダルの作製」について、紹介させていただく。

2. メダル製作に関する筆者らの技術

筆者らは、主に製鋼利材作業を担当する製鉄会社の関連事業として、各種取り組みを展開している。

主要な取り組みは大きく分けて、「鉄事業」と「鉄関連事業」であり、祖業である鉄事業は、八幡・大分・光の三拠点で製鉄に対する鉄の成分調整、製鋼工程で発生するスラグ処理、鋼管製造作業等を行っている。また、それらの鉄作りに係る設備エンジニアリングや資材調達なども行っている。鉄関連では、約25年前から環境リサイクル分野に取り組んでいる。製鉄所内で発生する鉄粉ダストから精製した鉄粉を利用した塩化鉄液リサイクル、さらに数年前より塩化鉄液リサイクルで培った技術を活用した都市鉱山

リサイクルへと、まさに「利材からリサイクル」へと取り組みを拡大している。

3. 塩化鉄液リサイクル

環境リサイクル事業は、鉄粉製造、塩化鉄リサイクル、めっきプラスチックリサイクル、都市鉱山リサイクルの事業から成っている。特に、都市鉱山リサイクル事業は、筆者らの技術を集約して活用した事業である。環境リサイクル事業の事業全体像を図1に示す。まず、鉄粉製造事業は、製鉄工程の製鋼工程から発生する鉄粉ダストを原料とし、鉄粉の製造を行っている。鉄粉ダストには、カルシウム等の不純物が多く含まれている。鉄粉ダストを粉碎、洗浄、分級することにより精製し、鉄粉を製造している。このように精製した鉄粉は、粒径0.1mmの球状であり、化学反応用としては反応が緩やかで制御しやすいのが特徴である。

塩化鉄液リサイクル事業は、半導体部品のリードフレームを製造するエッチングメーカーから発生する使用済塩化鉄液に対し、自社で製造した鉄粉を反応に用いて、リサイクルを行っている。塩化鉄には塩化鉄(II)、塩化鉄(III)

図1 環境リサイクル事業のフロー

*原稿受付 平成30年10月19日

** (株)アステック入江 FM 事業部技術グループ（北九州市戸畑区飛幡町1-1 戸畑鉄道センター内）

図2 回収金をめっきに利用する工程

の2種類があり、金や白金等は溶解できないが、特に塩化鉄(Ⅲ)は銅、ニッケル等の金属を容易に溶解させることができる強酸である。この塩化鉄(Ⅲ)の金属を溶解させる性質を利用して、エッチングで使用している。ここでいうエッチングとは、銅、ニッケル合金、ステンレス等の対象金属を溶解することで、求める形状を削り出すものであり、塩化鉄(Ⅲ)液は、高精細なものや少ロットの試作品の製造に優れている。エッチングに使用した後の塩化鉄廃液には、銅、ニッケル、クロム等の金属が溶解しており、かつては中和処理を行って処分していた。筆者らの試みでは、この取り組みで精製された製鉄粉を使用することにより、塩化鉄廃液から銅、ニッケル、クロム等を分離し、塩化鉄(Ⅲ)液へと再生することで、再度エッチング用の塩化鉄(Ⅲ)として販売している。特に、筆者らが開発した塩化鉄廃液からのニッケルの分離技術を用いて、このように再生した塩化鉄(Ⅲ)液においても、半導体部品のリードフレームを製造できる品質を保っている。

塩化鉄リサイクルの原理は、イオン化傾向の差を利用した単純なものであり、鉄よりイオン化傾向の小さな銅、ニッケルを回収するものである。一方、銅は、鉄粉を入れたら誰にでも回収できる。しかし、ニッケルの回収は理論上は可能であるが、高濃度でニッケルを回収する技術は比較的難しいと考えられる。このような背景から、筆者らは、ステンレスやニッケル合金のエッチング使用済塩化鉄廃液のリサイクル手法について検討し、高濃度のニッケルを回収する技術を独自に開発した。

4. めっきプラスチックリサイクルプロセス

塩化鉄(Ⅲ)の銅、ニッケル、クロム等の金属を溶解させる性質を活用したのが、めっきプラスチックのリサイクルである。めっきプラスチックとは、プラスチックに、銅、ニッケル、クロムのめっきを施したもので、これを塩化鉄(Ⅲ)と反応させると、金属は溶解し、プラスチックは溶け残る。溶解した金属は、塩化鉄液リサイクルで回収され、プラスチックはそのままプラスチックとして販売できる。塩化鉄(Ⅲ)は、王水等の酸とは違い、プラスチックの劣化がほとんどなく、めっきを溶解させることができるのが特徴である。

5. 都市鉱山からのリサイクル

多くの廃電子基板は、最終的に国内の精錬所にて金属が回収される。精錬所での精錬において、重要なのは回収効率を上げるために、各貴金属成分を濃縮していくことにある。そこで濃縮するために、一般的には破碎し、磁選、比重分離、分級等の手法により大別することで濃縮を行う。それに対して当社の特徴は、過熱水蒸気を用いてはんだを熔解させることで廃電子基板を破碎せず部品を基板から分離・回収し、部品を選別することにある。さらに塩化鉄(Ⅲ)を用いて銅やニッケルなどを溶解し、金を溶解させずに濃縮することを最大の特徴としている。基板に実装されている部品には半導体、抵抗、コンデンサ、コイル、コネクタ等があり、これらの部品のそれぞれに含有されている金属は異なっている。例えば、半導体、コネクタには金、コイルには銅が含まれている。このように、部品を選別するだけでも濃縮ができる。さらにコネクタや接点部分等の金めっきが施されている部品については、塩化鉄(Ⅲ)を用いることで金を溶解させずに回収している。これらの金めっきは、銅、ニッケルの上に施されている。前述したとおり、塩化鉄(Ⅲ)は、銅、ニッケルを容易に溶解することが可能であるが、金は溶解できない性質である。この性質を利用すると、塩化鉄(Ⅲ)に浸漬するだけで、銅、ニッケルを溶解し、金を分離回収することができる。塩化鉄(Ⅲ)に浸漬するだけの非常に単純な方法であるが、銅、ニッケルが溶け込んだ使用済みの塩化鉄液、特にニッケルが溶けている液については、筆者らが開発したニッケル回収の技術を用いた塩化鉄液リサイクルが最も適しており、塩化鉄も再利用することができる。今まで培った塩化鉄のリサイクル技術と廃電子基板から部品を分離して選別する新しい技術により、一般的な手法よりも、より精密な濃縮が可能となった。

6. 回収金の活用方法

この方法で回収した金は、元々が高純度の金であるため、回収した金も高純度である。通常、回収した金は精錬して純金にしてから利用される。しかし、筆者らは、図2に示すように回収した金をそのまま金めっきに利用している。純金への精錬工程を省くことで、そのエネルギーコスト

図3 初の試作金メダル

図4 京都マラソンのメダル作製のスキーム

トも省いた環境負荷の小さい金めっきになっている。これで得られた金めっきの金部分は、純金相当の純度である。この回収金を利用した環境負荷の小さい金めっきの利用の展開として、金メダル等の製造を行っている。

7. 都市鉱山回収金属によるメダル試作

2015年、一般社団法人未踏科学技術協会エコマテリアル・フォーラムの会長である原田幸明氏より、2020年東京オリンピック・パラリンピックのメダルへの活用を目的とした、「みんなの集めた廃電子機器で金メダルを！」の運動の最中、同年11月に、筆者らの都市鉱山リサイクル技術で回収された金を使ってメダルの試作ができないかという相談があった。それを受け、2016年3月に、図3に示すような9個の金メダルを試作した。

筆者らの都市鉱山リサイクルでは、金をマテリアルの状態で回収することができ、なおかつ視覚的にも金としての判断が容易なものである。この特徴を活用しながら、2016年8月を皮切りに各テレビや新聞で、筆者等の都市鉱山リサイクルと試作メダルならびに2020年東京オリパラでのメダルへの活用に向けた運動が大々的に報道されるようになった。この報道もあり、同年11月、JOC理事会で正式

図5 京都マラソン協定式

図6 京都マラソンメダル

図7 北九州卓球メダル

に都市鉱山を使ったメダルが採用されることが決定し、2017年4月より「都市鉱山からつくる！みんなのメダルプロジェクト」が始動して、今日に至るのである。

一方で、先の報道も手伝い、2020年東京オリパラに先駆けたリサイクルメダル製作の動きも起こり、京都市、下関市、北九州市からメダル製作に関するオファーを受けるようになった。

8. 都市鉱山回収金属によるメダル実例

京都市では、毎年2月に京都マラソンという市民参加型のスポーツイベントが開催されており、今回、優勝者のメダルをリサイクル金属で製作するという提案があった。図4に示すスキームとしては、京都市で回収した使用済み小型電子機器を原料として筆者らが金を回収し、回収した金を原料にして、地元の産業技術研究所でメダル製作を行うというものである。2017年2月に図5に示す協定式が行われてメダルを製作し、同年12月に図6に示すリサイクルメダルのお披露目式が執り行われた。その後、2018年2月の京都マラソンで優勝者にリサイクルメダルが授与された。本年もリサイクルメダルでの授与が行われる。また、

マラソン大会以外でも、毎年開催されている祇園祭の山鉦とよばれる装飾品の修復材としての活用が決定しており、2018年2月に協定式を結んでいる。

下関市でも京都市と同様のマラソン大会（下関海響マラソン）が実施されており、同大会での優勝者向けにリサイクルメダルを製作した。下関市では、市内で回収された使用済み家電製品が、市内の総合支援学校生徒により手解体されているのだが、今回は、そこで回収された廃電子基板を原料としている。ここでのメダルは、2017年11月の本大会で優勝者に授与された。2018年も継続して実施されている。

北九州市は「環境モデル都市」として、さまざまな取り組みを行っている。特に、北九州エコタウンは各リサイクル産業の集積地であり、リサイクル技術の発信基地としての役割を担い、国内外から多くの見学者を受け入れている。今回、2018年の北九州マラソン大会では、エコタウン20周年記念ということもあって、エコタウンに集積している各リサイクル産業の技術を結集して、同大会での金・銀・銅メダルをすべてリサイクル金属でまかなうという、市内35社、3教育機関が協力した世界初のオールリサイクルメダルの製作となった。筆者らは金・銀の抽出・調達の面で携わった。

マラソン大会以外でも、2018年6月に北九州市で開催された「卓球ジャパンオープン萩村杯」では金・銀メダルをリサイクル金属で製作する取り組みが行われた。鉄鋼の街である“北九州”をモチーフとした、図7に示すメダルの母材にはステンレスを採用している。日本の卓球界は昨今、国際大会で目覚ましい活躍を見せているが、本大会でも粘り強い戦いで日本人が優勝し、リサイクルメダルが手渡された。

このほか、北九州市で開催される国際会議等での来市者への手土産品として、筆者らが回収した金で製作したブックマークを公益社団法人北九州観光コンベンション協会に納めた。また、近年では、前述したような取り組みに一定の評価をいただき、さらなるリサイクルメダルやブックマークの開発を行っている。

そのほか、図8に示すような小学生をはじめとした一般市民を対象とした筆者らのリサイクル技術の講演活動も行っており、幅広い周知活動を実施している。

9. おわりに

これまで紹介したように、リサイクルメダルの試作以降、筆者らの技術が注目されると同時に各自治体をはじめとしたリサイクルメダル等の取り組みに大きく貢献している。一方、世界的にリサイクル産業は新たな転換期を迎えつつある。筆者らもその流れに追随できるよう、邁進していく所存である。

参考文献

- 1) ジャパンフォースサステナビリティ、<https://www.japanfs.>

図8 周知活動の様子

org/ja/news/archives/news_id035630.html, 2016.8

高橋宏幸

2006年3月九州工業大学大学院機能システム創成工学専攻修了。2006年4月(株)アステック入江入社。塩化鉄液再生処理および塩化鉄液中からの有価金属回収の高効率化、めっきプラスチックの塩化鉄による処理の開発等を行う。専門分野：電気化学

井上信宏

東芝 LSI パッケージソリューション(株)技術部を経て2011年1月(株)アステック入江入社。専門分野：プロセス開発、組立技術

小森裕司

長崎大学環境科学部環境科学科卒業。(株)アステック入江にて技術開発ほか。専門分野：環境科学

古西政和

熊本大学大学院自然科学研究科修士課程修了。(株)アステック入江にて技術開発ほか。専門分野：自然科学

水江太一

立命館アジア太平洋大学アジア太平洋マネジメント学科卒業。(株)アステック入江にて総務管理ほか。専門分野：経営学