

研究課題名

金属材料の高度利用, 省資源化, 及び循環利用に資する分析・解析技術

研究代表者名

名古屋大学・工学研究科・吉川 典彦

研究分担者名

東北大学・金属材料研究所・我妻 和明

東北大学・金属材料研究所・佐藤 成男

東北大学・金属材料研究所・柏倉 俊介

1. はじめに

2000 年度に策定をされた「循環型社会形成推進基本計画」などに代表されるように、近年の環境問題への意識の高まりから循環型社会の構築に向けた取り組みが随所で行われており、素材産業においても資源、エネルギー、環境容量の三つの制約条件を踏まえて環境保全型社会を達成するための技術発展が重要な課題となっている。特に鉄鋼産業においてはその品質を管理する分析技術において、上記三点の制約条件の低減を測るための品質管理のための分析方法の高確度化、高精度化、及び迅速化が求められている。鉄鋼材料の品質管理としては C, N, S, P 等の不純物元素があるが、これらの元素は数 ug/g の微量濃度の含有量でも素材の特性に重大な影響を及ぼす場合があり、厳密な含有量管理が必要である一方で、現行の分析法ではこれらを厳密に管理することは不可能であり、いわゆる見込み管理に頼らざるを得ない状況となっている。

金属素材産業における分析技術の応用範囲は先に挙げた品質管理や材料開発といった製品の生産段階、所謂“上流”に留まらず、近年では“下流”、すなわち金属スクラップのリサイクルの分野においてもその活用が試みられ始めている。特に鉄鋼産業はその性能向上のためにレアメタルを大量に消費する基幹産業であり、国家備蓄 7 鉱種に指定されているマンガン、ニッケル、クロム、コバルト、タングステン、モリブデン、バナジウムはその 9 割程度が鉄鋼材料の添加剤として用いられている一方で、これらは単に鉄源としてリサイクルされるに留まり、鉄鋼に添加したレアメタルは電炉鉄中に希釈・拡散し、有効利用は殆どなされていない。

本申請課題は、金属材料研究所研究部での共同研究の場を最大限に活用することにより、“金属素材産業に資する分析・解析法の研究”に携わっている研究者が一同に会する機会を提供し、研究討論ができるワークショップを開催することを目的とする。ワークショップ開催を通じて研究者コミュニティの維持拡大を図ると共に、国内の素材産業において日常分析を担当している分析技術者に対して有益な情報発信を行う。

2. 研究経過

平成 25 年 12 月 16 日 (月) から 17 日 (火) の 2 日間にわたり、本ワークショップを金属材料研究所において開催した。循環型社会の構築を目指すためのオンサイト分析 (プラズマ発光・レーザー発光分析) に関する話題を中心に、化学分析及びその応用に関する多様かつ非常に高度な分析手法についての講演が行われた。さらに、本ワークショップにて特に着目し、先に述べたリサイクル分野への応用に関して、鉄鋼分野を中心とした廃棄物市場の現状についてのセッションが設けられ、活発な議論が行われた。

3. 研究成果

循環型社会の構築に向けたオンサイト分析の視点に基づく分析法の研究開発が以下の分類によって行われた。

- 元素探索 – 工程管理、リサイクルに向けた分析技術
 - ・ 鉄鋼中の微量元素に対する精密化学分析に関する研究報告 (5 件)
 - ・ 発光分光などを利用した元素分析に関する研究報告 (3 件)
 - ・ レーザー誘起プラズマを利用した鉄鋼中等の元素分析に関する研究報告 (3 件)
- 鉄鋼スクラップのリサイクルに係る分析技術及びその社会的背景
 - ・ 元素ベースソーティング技術、及びその社会的需要に係る研究報告 (4 件)

3. 1 鉄鋼中の微量元素に対する精密化学分析に関する研究報告

- ・岡野 元（日鉄住金テクノロジー株式会社）

「カスケード型濃縮分離法を用いた鋼中の微量ビスマスの定量」

鉄鋼中に含有し、そのリサイクル性を悪化させるトランプエレメントについて、その最大濃度が0.3ppmwと非常に低く設定をされているビスマスについて、固相抽出法と一滴濃縮法を併用したカスケード型濃縮分離を行った後にビスマスを定量する手法についての報告であり、定量下限が0.1ppm程度と良好な結果が得られることが示された。

- ・長谷川 信一（物質・材料研究機構）

「ICP-MS/固相抽出法による環境調和型鉄鋼分析」

鉄鋼中の微量元素に対して、4-メチル-2-ペンタノン等の有機溶媒を用いない分離方法として、フッ化水素酸分解/陰イオン交換型固相ディスクを用いる方法についての報告が行われ、短時間、スキルフリーにてAl, Ba, Ca, Cd, Mg, Mn, Zn, Sr, Ti, Zr, Ta,及びNbについて、精度良い回収率を得られることが示された。

- ・芦野 哲也（東北大学金属材料研究所）

「化学的分離・濃縮を用いた金属材料含有極微量不純物元素分析法」

JIS規格に定められている化学分析法における定量下限値 (>1ppmw) 以下の分析感度及び精度を達成するための共沈分離法、イオン交換分離法、ガス化分離法、液-液抽出分離法についての報告があり、現在これらの手法の駆使によって鉄鋼中の60種類以上の不純物元素について、sub-ppmレベルにおける定量が可能であることが示された。

- ・上原 伸夫（宇都宮大学）

「循環利用を目指した鉄鋼副生成物中の非金属成分の分析」

鉄鋼スラグ中の非主要成分であり、アスファルトなどに再利用された際に割れの原因となる遊離石灰及び硫黄分について、一般的に用いられているエチレングリコール法の改良についての報告が成された。その考察の中において、硫黄分は硫化マンガ及び硫酸マンガンの形態で存在していることが明らかとなった。

- ・高野 優美（日鉄住金テクノロジー株式会社）

「ICP 発光分光分析法による鉄鋼中の硫黄定量法の検討」

その必要性に反して十分な検討が行われていない機器分析による鉄鋼中の硫黄の定量に関して、ICP 発光分光分析法を用いた検討についての報告が行われた。硫黄の分析線 180.731nm に関してはマンガ及びニッケルについて分光干渉が見られ、その結果を排除した結果は良好なものであったことが示された。

3-2. 発光分光などを利用した元素分析に関する研究報告

- ・中村 利廣（明治大学）

「蛍光X線分析の試料調整と標準物質」

現在の装置開発の劇的な進化により多方面で使用されることとなった蛍光 X 線分析について、その利便性と引き換えに疎かになりがちな試料の前処理や分析結果の検証についての基礎的な講演が行われた。なお、中村先生は当日怪我にて来訪されなかったため、代理で金属材料研究所助手の中村健一先生が代理で講演を行った。

- ・沖野 晃俊（東京工業大学）

「大気圧非平衡プラズマを用いた表面付着物高感度分析手法の開発」

生体に適用できる低温プラズマの高エネルギー化を目的として、講演者が開発を進めてきた高出力パルスマイクロプラズマジェットを用いた質量分析の報告があった。この分析手法による検出下限は数 fmol であり、皮膚中の汗から痛風の原因となる極微量の尿酸の検出可能性などが示された。

- ・大畑 昌輝（産業技術総合研究所）

「LA-ICPMS の定量法のポイント」

レーザー照射によりアブレーションされた試料表面中の原子を質量分析器に導入することで短時間で高感度の分析が可能な LA-ICPMS 法について、その概要が紹介された。

3-3. レーザー誘起プラズマを利用した鉄鋼中等の元素分析に関する研究報告

- ・作花 哲夫（京都大学）

「水中レーザープラズマの生成とレーザー誘起ブレイクダウン分光法によるその場元素分析への応用」

レーザー誘起プラズマ発光分析法(Laser-Induced Breakdown Spectroscopy :LIBS)を水中で用いる分析

例についての報告があった。このうち、長いパルス幅のレーザーを用いる、所謂ロングパルスが、水中におけるキャビテーションバブルとレーザー誘起プラズマの形成に有利であることが示された。

・吉川 典彦（名古屋大学）

「レーザー誘起ブレイクダウン分光法による鉄鋼材中主要元素の計測」

レーザー誘起ブレイクダウン分光法(LIBS)法の鉄鋼材柳雄のオンサイト成分分析への適用を目指して、鉄鋼材に含有される Cr, Ni, Mo の計測事例についての報告が成された。その結果として、10 秒程度の分析によって良好な含有濃度と発光強度の関係、検量線が得られることが示された。

・吉川 孝三（八大学工学系連合会）

「鉄鋼材料中微量炭素分析への LIBS の適用性について」

多種多様な特殊鋼に添加をされている微量元素のうち、特に管理が必要な炭素濃度について、LIBS を適用した定量の試みについての報告が成された。炭素は発光線の波長が紫外域にあるなど計測が難しい元素であり、検出下限として 0.08wt%程度が得られたことが示された。

3-4. 元素ベースソーティング技術、及びその社会的需要に係る研究報告（4件）

・大和田 秀二（早稲田大学）

「ソーティング技術を利用した次世代アルミ循環資源プロセス」

現状カスケードリサイクルが成されている 6000 系のアルミ合金について、展伸材に用いられていたものをもう一度展伸材に用いるための分別技術として、XRT(X 線透過検査)及び XRF(蛍光 X 線分析法)を用いたパイロットプラントレベルの操業試験結果についての報告が成され、ここで示された元素ベースのソーティングシステムの自動車鋼板への拡充の可能性について示された。

・加藤 由章（ペレンク ST ジャパン）

「金属やプラスチックのリサイクルにおけるソーティング技術論」

上記の大和田先生の講演に関連して、実際に製品として用いられている元素情報に基づいたソーティングシステムの紹介があった

・醍醐 市朗（東京大学）

「鉄鋼材の循環利用によるトランプエレメントの混入」

鉄鋼材への混入により表面割れなどの性能劣化を著しくもたらすトランプエレメントである。銅濃度の将来予測を MFA/SFA モデルにて予測した結果、銅濃度は 2050 年度までに 0.4%まで達することはないことが示された。

・松八重 一代（東北大学）

「自動車リサイクルにおける鉄鋼合金のマテリアルフロー解析」

鉄鋼と随伴してその大半が消費され移動する合金元素として挙げられるマンガン、ニッケル、クロム、モリブデン、タングステン、バナジウム等について、その利用量が大きい自動車について WIO-MFA モデルにより自動車のパーツ毎の合金利用量が推計をされ、元素ベースのソーティングを行う上での指針が示された。

4. まとめ

本ワークショップは素材開発及び循環型社会の構築に資する分析・解析技術を主題とした最新の研究について、意見の交換と情報発信を目的としました。講演は、工程管理におけるオンサイト分析（プラズマ分光・レーザー発光分析）に関する研究と工程管理のための化学分析を中心に成され、参加者（のべ 79 名）は大学及び研究機関以外に、素材製造に関わる企業からも多数の参加を頂きました。広範な分析分野の研究者が集うことで従来とは異なる視点から質疑応答が成されました。今後、この討論を活かし、それぞれの研究分野の新展開が図られることを期待しております。