

論文の内容の要旨

専攻名 システム創成工学専攻

氏名 花田 一利

本論文では、溶液化学を基礎とする分離・濃縮およびそれらを利用した分析技術に基づいて、鉄鋼中微量元素分析方法の高性能化および鉄鋼スラグの機能開発について検討した。

鉄鋼製品は自動車、電気製品および建築材料等の様々な分野で用いられており、私たちの生活に欠くことできない材料となっている。鉄鋼製品の高機能化・高付加価値化研究のためには鉄鋼中に微量含まれている成分の真の効果を見極めることが重要である。新規鉄鋼材料の開発研究の進展には、鉄鋼中に含まれる極微量成分を高精度・高感度に定量する方法の確立が不可欠となっている。一方、製鉄プロセスで副生される鉄鋼スラグは、人工鉱物としてセメントやコンクリート骨材、路盤材等に利用されているだけでなく、農業用の肥料としても使われている。鉄鋼スラグが路盤材として使用される場合、スラグに含まれる成分の含有量はスラグの品質管理上重要である。例えば、スラグの膨張は、スラグ中の遊離酸化カルシウム (free-CaO) や遊離酸化マグネシウム (free-MgO) などの酸化物の水和が主要因とされる。人工鉱物としての鉄鋼スラグは潜在的な可能性を秘めた材料であり、その機能開発は鉄鋼スラグの利材化を促進し、持続可能な社会の実現に資する。このような社会的なニーズに対応するために、本論文では従来の鉄鋼分析技術では達成することができなかったサブ $\mu\text{g g}^{-1}$ レベルでしか鉄鋼に含まれない微量元素を高感度に測定する分析法の開発と鉄鋼スラグの利材化のための基礎検討として、製鋼スラグに含まれるfree-MgOの新しい分析法の開発、機能開発のための処理技術の開発を行った。以下に本研究について章ごとに概説する。

本論文の第一章では、本論文の背景と目的について述べた。

第二章では、従来技術では困難であった鉄鋼材料中に $\mu\text{g g}^{-1}$ からサブ $\mu\text{g g}^{-1}$ レベルでしか含まれない極微量分析法の開発について検討した。これを達成するために、「微量分析に適した試料分解法」「マトリックスからの目的元素の分離法」および「高感度検出法」の最適化を行った。「微量分析に適した試料分解法」については、試料調製時の汚染低減を目的として試料の分解からマトリックス分離などの前処理までを1本の試験管内で行う試験管分解法を開発し、その有用性を明確化した。特に、通常酸では溶液化が困難とされる難分解性化合物形成元素については、マイクロ波加熱と外部加熱を用いた2種類の加圧分解法を適用することにより、迅速かつコンタミネーションフリーの分解ができることを示した。「マトリックスからの目的元素の分離」については、

4-メチルー2-ペンタノンを用いる溶媒抽出法およびフッ化水素酸を用いた陰イオン交換分離法による鉄の除去法を開発し、合わせて30元素以上の不純物分析を可能にした。これらの手法では分析が困難な鋼中ケイ素とリンの定量には、ケイ素をモリブドケイ酸、リンをモリブドリン酸としてデキストランゲルに選択的に吸着して鉄マトリックスから分離し、ICP-MSでモリブデンを測定することにより、ケイ素及びリンを高感度に測定できる個別の分析方法を開発した。「高感度検出法」としては、多元素を同時に分析可能でありかつ一番高感度な手法ではあるものの、これまで鉄鋼分析への適用例が少なかった誘導結合プラズマ質量分析装置(ICP-MS)の適用を検討した。ICP-MSの適用により、鉄鋼分析においても同位体分析法が有効であることを明らかにした。これらの検討により、鉄鋼中の $\mu\text{g g}^{-1}$ からサブ $\mu\text{g g}^{-1}$ レベルのアルミニウム、クロム、ニッケル、銅、ジルコニウム、ニオブ、モリブデンはじめとする30元素以上の微量元素を高感度かつ同時に分析できる手法を開発することに成功した。

第三章では、鉄鋼スラグを高温高压水および酸処理を行い、スラグ構成成分の溶出挙動の調査と吸着材としてのスラグの効能を検討した。製鋼スラグ中のfree-MgO分析法を開発し、 I_2 添加エチレングリコール溶解法と熱重量測定を組み合わせによりfree-MgO量が求められることを明らかにした。本技術は、スラグのエージング処理条件の検討やスラグの出荷判定基準の指標などへ適用可能である。また、高温高压水を用いる水熱処理による鉄鋼スラグの処理効果について検討した。イオン積が最大となる処理温度 $250\text{ }^\circ\text{C}$ において最も効果的な処理が可能であることを明らかにし、スラグ中のイオン成分をほぼ完全に溶出させることに成功した。さらに、製鋼スラグを $0.18\sim 0.20\text{mol l}^{-1}\text{ H}_2\text{SO}_4$ 濃度で処理することにより、Seに対する吸着能力が発現することを見出した。このSe吸着能の発現は、 H_2SO_4 で処理したスラグ表層にシュベルトマナイトおよびヒドロキシアパタイト相が生成することによるものであることを明らかにした。

第4章は本論文の結論である。