

学 位 論 文 要 旨

紙の製造安定化および高品質化に向けた微量分析法の開発 Development of microanalytical methods for stable production and quality improvement of paper

武井 俊達

近年、海洋プラスチックやマイクロプラスチックによる環境汚染がグローバルな課題としてクローズアップされ、さらに、プラスチックの原料である石油資源の枯渇、プラスチック燃焼時の二酸化炭素排出による地球温暖化の影響など、脱プラスチックの社会的要求がますます本格化している。日本においても環境省のプラスチックの資源環境戦略に、ワンウェイプラスチックの排出を累計25%抑制することが目標値として盛り込まれている。このような社会情勢の中で、カーボンニュートラルな木質バイオマスを原料とする紙・セルロース素材が、プラスチックの代替素材として大きな注目を集めている。最近、セルロース材料において、今までよりも、さらに高品質が求められるようになってきた。そのため、ごくわずかな元素、成分の存在がその機能発現に大きく影響する。紙の製造安定化・高品質化を目指すためには、これまでの分析方法では検出できないごくわずかな元素、成分の情報が必要となってきた。本研究ではこれまでとは異なる新たな微量分析法の開発を試みた。以下に、得られた研究成果について述べる。

第2章では、結晶構造を調べることのできるX線回折法（XRD）に着目し、光学系、検出器などの検討を行い微量分析法の開発を試みた。

XRDを用いて、オフセット印刷の版摩耗トラブルの原因究明を行った。版摩耗は印刷用の版が、用紙の填料、塗工顔料などによって版表面が摩耗し、版面線部へのインキ付着が悪化する現象である。版摩耗トラブルは、印刷品質の深刻な問題となっていたが、原因を解明する方法が確立されていなかった。ブランケットに付着した微量な微粒子を、光学系に平行ビーム法を導入したXRD分析に供することにより、その成分を特定することに成功した。さらに、走査型

電子顕微鏡法（SEM）及び学振式摩擦試験機を組み合わせた高感度・精密分析により、ある特定の極微量な微粒子が版摩耗トラブルを引き起こすというメカニズムを明らかにした。

第3章では、元素情報を調べることのできる蛍光X線分析法（XRF）を用い、前処理法、検量線などの検討を行いRefused Paper & Plastic Fuel（RPF）の正確な微量分析法の開発を試みた。

現在、パルプ工場では、化石エネルギーの削減策として新エネルギー燃料への転換を推進し、各工場でバイオマスボイラーを稼働させ、RPFの利用拡大に積極的に取り組んでいる。RPFは再生困難な古紙、プラスチックなどから作った固形化燃料であり、石炭、コークスなどの化石燃料の使用を削減し、地球環境の温暖化防止に貢献できるという利点を持っている。一方、RPFがボイラーに与える問題点として、過熱器に付着堆積した低融点塩化物による過熱器の腐食がある。この腐食問題は、RPF中の塩素が主原因で、各工場では受け入れ基準値を塩素濃度0.3%以下に管理している。各工場では、XRFを導入し、塩素の受け入れ管理を行っているが、RPFの分析結果に差異が発生していた。本研究では、JIS法に規定されている全塩素分試験方法と、工場で使用しているエネルギー分散型XRF法についての問題点を検討した。その結果、XRFを用いた改良前処理法及びRPF標準板を使用した新規微量分析法を用いることで工場間の差異を減少させ、さらに公定法であるイオンクロマトグラフ法（IC法）と高い相関がある、RPF標準板法を開発した。

第4章では、微量金属元素が測定できる誘導結合プラズマ発光分光分析（ICP-OES）に着目し、イオン化干渉の抑制、マトリックス成分の分離検討を行い、正確な微量金属分析法の開発を試みた。

ICP-OESは高感度かつ広いダイナミックレンジをもつことから、海水、河川水、排水、無機及び有機材料など、幅広い試料に応用されている。しかしながら、試料中にアルカリ金属を代表とするイオン化しやすい元素が共存すると、イオン化干渉による目的元素の検出感度低下及び上昇を引き起こし、測定精度が低下することが知られている。また、目的元素以外の成分（マトリックス成分）が多量に存在すると、目的元素の濃度を正確に検出できないケースがある。これらの問題を解決するため、イオン化干渉抑制剤や固相抽出法の適用を検討し、今まで分析が難しいと敬遠されてきた試料においても、正確な分析値を得ることができる微量分析法を開発した。

本研究では、紙パルプ分野における微量分析法に、XRD、XRF、ICP-OESを適用し、様々な実験、検討の結果、微量物質の定性、定量分析法を確立した。これらの成果は、紙パルプ分野のみならず、工業製品材料の高機能化、電気・電子部品の微細化、ナノテクノロジーやバイオテクノロジーの発展に伴う、微小微量な領域の元素分析や構造解析、現場での品質管理に有効である。