

# 論文審査の結果の要旨

氏名 松本 祐太

本論文は「超臨界水を利用した有機・無機複合廃棄物からの無機物リサイクル手法に関する研究」と題し、超臨界水技術の新たな展開として無機物リサイクルへの応用可能性について検討した研究であり、全8章から成る。

第1章は緒言であり、研究背景と目的が述べられている。廃棄物の適正処理や近年の金属資源の安定供給にかかるリスクやリサイクルの重要性について述べるとともに、廃棄物処理技術としての超臨界水の特徴と、超臨界水を反応場とする有機物の分解無害化に関する既往の研究をまとめている。その上で、超臨界水を用いた有機・無機複合廃棄物からの無機物リサイクルについて実廃棄物を用いた実験的検討を行い、それらの結果から処理技術としての適応可能性や拡張性について議論することを本研究の目的と位置づけている。

第2章は実験および分析方法であり、実験装置や操作手順、分析手法について詳細に述べられている。

第3章では、プリント基板からの Au および Cu 回収について、酸化剤を用いて有機物の酸化分解（超臨界水酸化）を促進させた場合と、酸化剤を用いずに有機物の加水分解・熱分解を進行させた場合の挙動の差異について論じている。超臨界水酸化の場合、有機物の完全分解と Cu の酸化にトレードオフの関係がある一方で、Cu が有機物の酸化分解を触媒的に促進する共存効果があることを明らかにしている。加水分解においては、有機物除去速度の温度依存性がピーク様の挙動を示すことを明らかにし、水のイオン濃度の上昇による加水分解の促進と高温における再重合や炭化との競争によって有機物除去の挙動が決まると考察している。

第4章では、使用済み X 線フィルムからの Ag 回収について、第3章と同様の実験的検討を行っている。超臨界水酸化では、有機物が完全に分解し Ag および AgBr の混合粉末が得られるが、Ag の一部が水中に溶出し固体としての Ag 回収率が低下する現象を報じている。一方、加水分解の場合は、Ag、AgBr の他に有機物も固体として残存するが、熱分解が促進される高温の条件や、イオン濃度が高くなる臨界温度付近の条件において、有機物の除去率が向上することを実験的に明らかにしている。さらに、超臨界水中の現象を直接観察できる可視化装置を用い、超臨界水中における有機物の消失速度や常温常圧に戻した際の再析出挙動などについて考察している。

第5章では、シリコンスラッジからの Si 回収について検討している。超臨界水酸化の場合、有機物は完全に分解する一方、回収した Si 表面に酸化被膜が生成するが、比較的短時間の処理においては酸化被膜の厚みが減少する挙動を確認している。実験的検討より、この被膜厚みの減少は表面に生成する  $\text{SiO}_2$  の加水分解に起因すると考察している。

第6章では、第3～5章の結果をふまえ、様々な有機・無機複合廃棄物に本処理法を適用する場合に、その廃棄物の性状や望ましい回収形態に基づいて適切な反応様式や反応条件を判定するための二つの方法を提案している。一つ目の方法では、有機物の酸化分解・加水分解・溶解除去の3つの処理様式の特徴を整理し、各様式での処理結果に影響しうる

廃棄物性状を階層的に配列したフローチャートを提案している。このチャートを第3～5章以外の他の実廃棄物にも適用し、それらの実験的検討などをもとに、同チャートによる処理方針の決定方法としての妥当性を検証している。二つ目の方法では、廃棄物の性状や望ましい回収形態に関する質問紙を作成し、様々な実廃棄物に関するスコアを統計学的に解析することにより、処理方法を決定する上で重要となる3つの因子を抽出している。この3つの因子が超臨界水による上記3つの処理様式の特徴と合致していることから、反応場の選択により超臨界水処理が無機物の回収に広く対応可能であると結論している。

第7章においては、本論文で得られた知見を超臨界水の特徴的な物性の観点から整理することにより、当該研究分野における本研究の位置付けを示すとともに、廃棄物の形状や共存物の影響といった検討課題を含め、本手法の今後の展望について述べられている。

第8章は結言であり、第3～7章における検討結果や考察の内容が総括されている。

なお、第3章および第4章の一部の成果について、論文提出者以外の共著者との連名による論文が発表されているが、いずれも論文提出者が主体となって実験および解析・考察を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上要するに、本論文は超臨界水を利用した無機物リサイクル手法において、実験的検討から処理の機構を水の物性変化に基づいて考察するとともに、超臨界水の物性の可変性を活かした技術として超臨界水の新たな応用分野への適用可能性を示しており、超臨界流体工学及び環境システム学の進展に大きく貢献するものである。

よって本論文は博士（環境学）の学位請求論文として合格と認められる。

以上 1999 字