

## 審査の結果の要旨

氏名 吉村 彰大

近年、世界において電気・電子機器の普及が進んでいる。この電気・電子機器には金(Au)などの貴金属が用いられている。貴金属は鉱石中の品位が数 ppm 程度であるため採掘・精錬時の環境負荷が大きい。一方、電気・電子機器の貴金属含有濃度は数百 ppm に達することもあり、使用済み機器を二次資源とする貴金属リサイクルは、天然資源やエネルギーの消費を抑制できるため、持続可能な社会構築のために重要である。

現行の貴金属のリサイクルは、大きく乾式法と湿式法に分けられ、それぞれ特長と課題がある。乾式法は、既存の銅製錬プロセスなどを利用するもので、施設の立地に制限があり輸送時にコストや環境負荷が発生する。一方、湿式法は、乾式法に比べ小規模設備でも操業可能で、立地や新規参入の面での障壁は小さいが、廃液処理に伴うコスト負担や環境負荷が大きい。

本研究は、日本国内における電気・電子機器用途に消費される Au の物質フロー分析を実施し、二次資源としてのリサイクルポテンシャルの評価を行うとともに、有機溶媒（有機王水）を用いた新規の湿式法によるリサイクルプロセスを開発し、高効率なリサイクルプロセスを構築することに取り組んだものである。

第1章は、緒言であり、日本国内における使用済み機器由来の Au のリサイクルポテンシャルを明らかにするためには、物質フロー分析による社会中のストック量と廃棄量の推計が有効であることを説明している。そして、今後は、既存法と比較して操作性が容易で、低コスト、低環境負荷のリサイクルプロセスの開発が必要であることを述べた上で、本研究の位置づけおよびその目的について記述している。それゆえ、本論文の学術的な位置づけや重要性を読み取ることができる。

第2章では、日本国内における電気・電子機器向けに消費される Au について、物質フロー分析を実施し、その Au の二次資源としてのリサイクルポテンシャルについて推計した結果を説明している。1984-2012 年にかけての電気・電子機器向け Au の消費量、ストック量および使用済み機器中の含有量を推計した結果は、それぞれ最大で 8.87 t(2006 年)、44.5 t(2005 年)、6.90 t(2008 年)となり、それ以後は減少傾向にあることを示している。この推計から、今後、Au のリサイクルに際してより効率の良いプロセスの開発が必要であることを示している。

第3章では、電気化学測定および熱力学計算を用い、Au や他の金属について、ハロゲン化銅含有 DMSO 中での溶解、および水(H<sub>2</sub>O)添加による析出のメカニ

ズムを解析している。そして、ハロゲン化銅を含有する DMSO 中では、 $\text{Au} / \text{Au}^{3+}$  の酸化還元電位が  $\text{Cu}^+ / \text{Cu}^{2+}$  の酸化還元電位に対して卑となるため、Au の溶解が進行することを示している。一方、水溶液系では、 $\text{Au} / \text{Au}^{3+}$  の酸化還元電位が  $\text{Cu}^+ / \text{Cu}^{2+}$  の酸化還元電位に対して貴であることから、Au が溶解している DMSO 溶媒に対して  $\text{H}_2\text{O}$  を添加することで、溶解 Au を析出させ回収できることを説明している。

第 4 章では、各種金属に対しハロゲン化銅含有 DMSO による溶解、および  $\text{H}_2\text{O}$  添加による析出実験を行い、有機王水を用いた貴金属リサイクルプロセスの特性を検討している。溶解に関しては、溶質濃度の増大によって溶解量、溶解速度ともに増大し、初期溶解速度はシアン水溶液を用いる既存手法に対して十分に高速であることを確認している。析出に際しては、硫酸等を添加し、溶媒を酸性に保つことで高純度 Au を回収でき、回収率も 90 %程度に達することを示している。さらに、HCl 添加で析出させた場合は、条件の違いにより粒子の形状を制御できることを示し議論を行っている。また、この溶媒は、Au の他に Cu, Ni, Sn, Zn をも溶解し、特に Sn が Au と共存した場合、溶解・析出ともに著しく阻害することが確認され、適切な前処理が必要になることを指摘している。さらに、蒸留による溶媒の再生実験を行い、蒸留により  $\text{H}_2\text{O}$  を分離除去した溶媒でも再度 Au を溶解可能であることを確認し、廃液の発生が少ない循環プロセスの構築が可能であることを議論している。

第 5 章では、本手法のプロセス設計およびコスト試算を行い、既存プロセスとの比較で有効性を評価している。Au の溶解・析出、および廃液処理のコストは、Au 1 g あたり 12-16 円程度であることを示している。また、使用済み機器中の Au 品位に応じて、破碎処理、および基板の触媒酸化処理費用などの前処理も含むコストを試算し、既存のプロセスと比較して優位性を保つための前処理費用の開発目標値について検討している。

本論文は、物質フロー分析という俯瞰的視点に基づき、国内の二次資源としての電気・電子機器中の Au のリサイクルポテンシャルを推計するとともに、有機王水を用いた低コスト・低環境負荷のプロセス開発に取り組み、循環型社会構築に貢献する環境基盤マテリアル工学としての有用な知見を提供している。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。