

## 審査の結果の要旨

### 論文題目

「熱処理と物理選別を用いた廃電子基板のリサイクルに関する研究」

氏名 小野 浩之

本審査は平成 23 年 7 月 12 日、10 時～12 時まで工学部 4 号館の旧地球会議室にて開催された。主査は指導教員でシステム創成学専攻の藤田豊久教授、副査はシステム創成学専攻の登坂博行教授、定木淳准教授、村上進亮准教授、副査の外部審査員は生産技術研究所の森田一樹教授である。

学位論文題目は「熱処理と物理選別を用いた廃電子基板のリサイクルに関する研究」であり、廃棄電子基板から基板と実装部品を特殊破砕で分離し、基板は炭化処理して銅を回収し、実装部品は粒度に分けて粗粒からタンタル、微粒からニッケルを空気中加熱処理した後に選別回収する方式を提案したもので、従来法とのコスト試算および環境評価比較も行った研究である。第 1 章は序論、第 2 章は不活性雰囲気下でのプリント配線板の熱処理による銅回収と硝子繊維の分離、第 3 章は熱処理による実装部品からのタンタル回収、第 4 章は熱処理と磁力選別によるニッケルの濃縮、第 5 章は廃電子基板のリサイクルプロセスの評価、第 6 章は結論である。

以下のような質疑および回答があった。

1. 水中爆破破砕について、爆薬量などの条件は最適化されているかの質問に対し、破砕業者内の実験である程度最適化されているが、詳細な条件は詰め切れていないので今後の課題であると回答した。
2. 第 2 章の結言にて、プリント配線板からの銅箔分離実収率 95% とあるが、本文に記述があるかとの質問に対し、品位のグラフ以外に、実収率に関するデータを記載することを回答した。
3. 第 3 章にタンタル濃縮の熱処理における、化学的な挙動の説明の質問に対し、TG-DTA の第 1 ピークでは樹脂が熱分解して発熱し、第 2 ピークでタンタルが酸化発熱していることを回答し、この挙動についてさらに説明を追記することを回答した。

4. 第5章の評価部分の論文化する予定についての質問に対し、詳細にデータをチェックしてから提出したい旨を回答した。
5. 本研究は、経済合理性もあり、環境負荷も低いプロセスといえるのかの質問に対し、タンタル濃縮については、経済的にも環境的にもメリットがあるが、その他のプロセスは金属価格次第であることを回答した。
6. 評価において、新規フローでリサイクルする部分を既存フローに補填する必要があるのではないかの質問に対し、既存フローでは、新規フローでリサイクルする量と同量分を鉱石から採掘するものとして評価し、その後の製錬工程は共通部分として評価から除いたと回答した。また、フロー図に鉱石の補填部分について追加すると回答した。
7. タンタルのリサイクルにおいて収益が良いが、価格計算方法は適切かの質問に対し、量、品位、金属価格と実収率を考慮したもので、計算法に誤りは無いが、製錬所売却時は上乘せ利益分や不純物によるペナルティが考慮されるため、その分利益は減少することを回答した。
8. プロセスの規模については考慮しているかの問いに対し、本研究の評価では、規模の影響は考慮しておらず、おおまかな評価に留まると回答した。
9. リサイクルする価値として、鉱石の場合と比較して輸送面なども考えられるが、全体フローを比較すればどうなるかとの質問に対し、本研究では輸送面等は評価していないが、鉱石の場合は全量海外から輸入しているため、リサイクルするメリットは増加すると考えられると回答した。
10. プリント配線板処理において、スラグの廃棄コストは考慮しなくてもよいかの質問に対し、鉱山保安法によれば、現在スラグの廃棄（保管）費は不要であるため、評価には加えていないと回答した。
11. 浮選処理において、PAXの使用量が10kg/tと、通常より多いが、その原因は何かとの質問に対し、SEMでマッピング可能な粒子について観察したところ、CuとSiを含む粒子は分離できていたが、全体的には単体分離が不十分であったためと回答した。
12. 環境影響評価でリサイクルの効果が大きくなるのはなぜかとの質

問に対し、評価で統合化係数を用い、算出にあたっては社会資産として鉱石を採掘することによる社会資産の減少額を計算したことを回答した。

13. 熱処理によって脱臭素した後の臭素の基準値についての質問では、臭素については、埋立基準も排水基準も現在設定されていないが、熱処理残渣は、低酸素雰囲気化での熱処理のため、ダイオキシンは発生しないと考えられると回答した。

また、各委員が持参した論文に記載の修正箇所および審査における回答書と修正箇所を審査員に送付し、修正した論文を博士論文とした。

以上のように、各質問に対して、明確に回答し、論文の新規性、有用性、進捗状況が十分であることを確認した。また、外部発表実績は、査読付き受理論文が3件、国際会議報告4件、その他の口頭発表4件、受賞歴では国際会議優秀論文賞が1件と良好であった。

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。