

熱分解によるタンタルコンデンサのリサイクル

東京都立科学技術高等学校

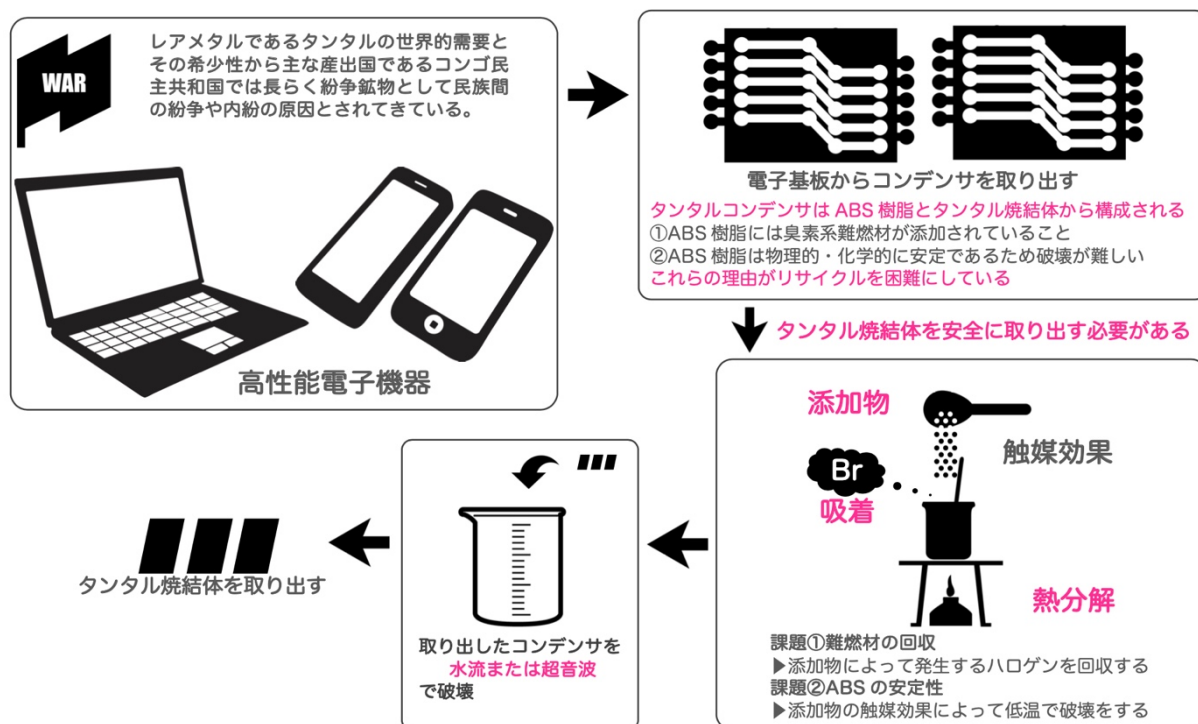
清水 梨穂

指導教員：森田 直之

研究概要

タンタルはレアメタルと呼ばれ、地球上の存在量が希であるか、技術的、経済的な理由で抽出困難な金属のうち、安定供給の確保が政策的に重要なものとされている。タンタルは、電子機器のコンデンサに使用される。今後、携帯電話やパソコンをはじめ需要は伸びていくと考えられており、その確保が求められる。また、タンタルの主な産出国であるコンゴ民主共和国では、紛争の原因とされてきた。2013年に紛争は解決したものとされているが、コンゴ民主共和国のムクウェゲ医師は2016年10月に東京大学で講演した際、「私たちは、消費者として、私たちが買う商品の中にどのようなものが使われ、どのようなところから来ているのかを確認する責務があります。それが、人権侵害を経て作られたものでないかどうかを、販売する人に尋ねて確認して買うことが必要です」と呼びかけている。

日本では、都市鉱山といわれるほど、大量の使用済み電気製品がレアメタルを含んだ状態で廃棄されている。そのため、電気機器や電子部品に含まれるレアメタルなどの資源を効率的に分離・回収する新たな技術の開発が望まれている。そのため、本研究では、タンタルコンデンサからタンタル焼結体の回収を試みた。



1. 背景と目的

タンタルコンデンサはスマートフォンに代表される高性能電子機器には不可欠なデバイスであり、電子機器の小型化に伴いタンタルコンデンサの需要は年々伸びている。タンタルはレアメタルと呼ばれ、地球上の存在量が希であるか、技術的、経済的な理由で抽出困難な金属のうち、安定供給の確保が政策的に重要なものの一つとされている。日本では、「都市鉱山」と呼ばれるほど、大量の使用済み電化製品がレアメタルを含んだ状態で廃棄されている。そのため、電化製品や電子部品に含まれるレアメタルなどの資源を効率的に分離・回収する新たな技術の開発が望まれている。しかし、タンタルコンデンサ（図 1 参照）に使われているモールド樹脂である ABS 樹脂の物理的・化学的な安定性を担保するため、ハロゲン系難燃剤が添加されている。さらに人体に重篤な影響を及ぼすわけではないが、難燃剤の添加物としてアンチモンも添加されている。このような背景からリサイクルが困難とされている。

世界的にタンタルコンデンサの外側を覆っているモールド樹脂を比較的穏和な条件で破壊し、樹脂中に納められたタンタル焼結体を回収することが求められている。本研究ではタンタルコンデンサに添加物を添加し熱分解をすることでモールド樹脂を比較的容易に破壊し、タンタルコンデンサからタンタル焼結体を回収することを試みた。先行研究では、ハイドロタルサイトはプラスチックの熱分解を促進し、有毒ガスを回収するとの報告がされている。

このことから、添加する添加物として、先行研究からプラスチック熱分解で使用されている合成ハイドロタルサイト ($\text{Mg}_6\text{Al}_2(\text{OH})_{16}\text{CO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) を添加物とし、熱分解する際にハイドロタルサイトを添加してタンタル焼結体の回収を試みた。

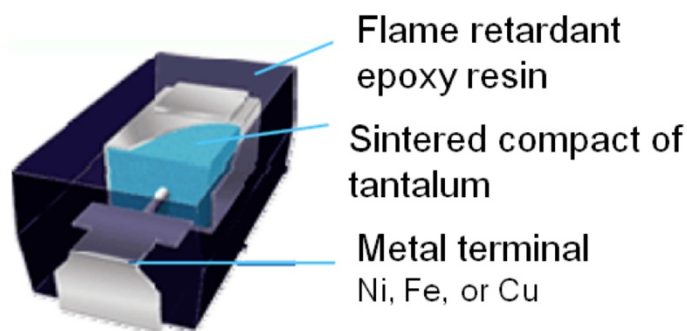


図 1 タンタルコンデンサの構造

(NEC TOKIN HP より転載)

2. 実験方法

金属反応器に試料（タンタルコンデンサ (TC) 2g とハイドロタルサイト (HT) 所定量の混合試料) を入れ（図 2 参照）、60 分間で反応器から酸素を除去するため、50mL/分の流量で窒素ガスを流し、窒素置換を行った。実験条件を表 1 に示す。

表 1 実験条件

条件	試料	添加率
I	TC	—
II	TC + HT	1 : 1
III	TC + HT	2 : 1
IV	TC + HT	4 : 1
V	TC + HT	10 : 1
VI	TC + NaOH	1 : 1
VII	TC + 海砂	1 : 1

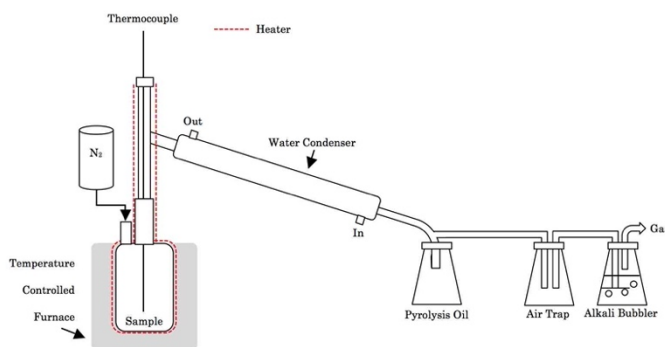


図 2 実験装置図

窒素置換後、熱分解実験を行った。金属反応器の試料部分を分解温度として測定し、5°C/分で 550°Cまで上昇させた。冷却管を通過したガスは凝縮されて液体となったものは生成油として回収容器で回収した。非凝縮性ガスは、アルカリ性水溶液のバブリングを介してガスパックに集めた。熱分解後、熱分解生成物（残渣およびガス）の分

析を行った。残渣についてはエネルギー分散型 X 線分析装置 (EDS, S2RANGER, BRUKER) による表面観察を行った。ガス成分についてはガスクロマトグラフ (SHIMAZU GC-2014) で定性・定量分析を行った。実験後のアルカリ水溶液はイオンクロマトグラフィー装置 (PIA-1000, Simazu) でハロゲンの定性・定量分析をした。また、熱分解後、回収したタンタル焼結体を蒸留水 100 に対して 3 の割合で混合し、スターラーで攪拌してタンタル焼結体を回収した (図 3 および表 2 参照)。

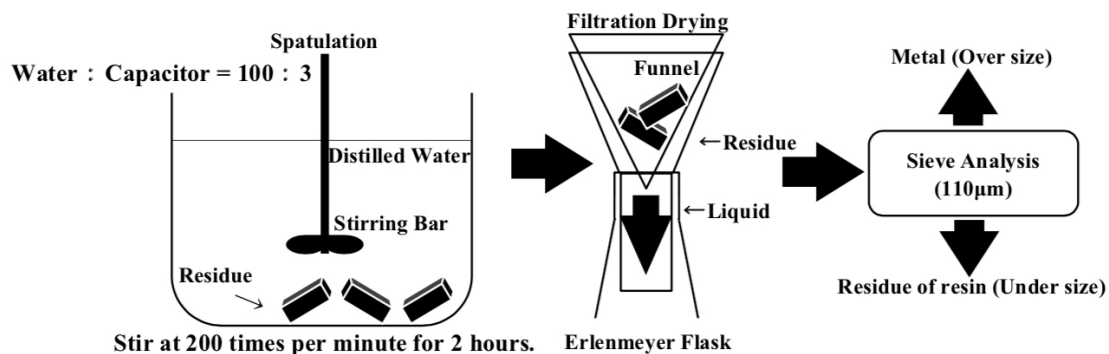


図 3 スターラーでのタンタルコンデンサの破壊

3. 実験結果

A. 熱分解後のタンタルコンデンサとモールド樹脂の破壊

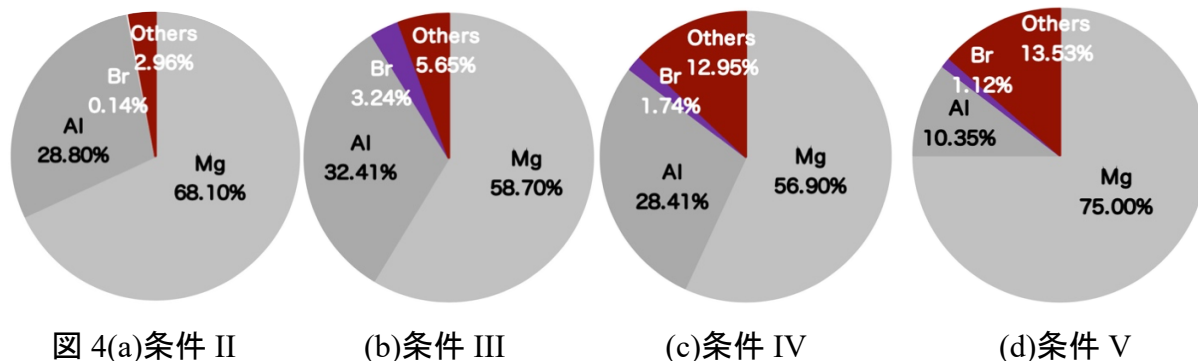
ハイドロタルサイトを添加した条件では、条件 III が顕著にモールド樹脂の破壊ができ、容易にタンタル焼結体を回収することができた。しかし、添加率によっては、破壊が十分でないものもあり、このことから、最適添加率があることが推察できる (表 2 参照)。

表 2 熱分解後とモールド樹脂破壊後のタンタルコンデンサ

条件	熱分解後	破壊後	条件	熱分解後	破壊後
I			V		
II			VI		
III			VII		
IV					

B. EDS による残渣の表面観察

熱分解後の HT の EDS による表面観察の結果、臭素を検出したことから残渣に臭素を回収させることができたことと推察できる (図 4 参照)。熱分解で生成されたガスはすべての条件で 1L 以下であり、定性・定量分析の結果、水素が検出された。また、HT を添加した全ての条件でアルカリ水溶液からは臭素は検出されなかった。さらに生成油は全ての条件で生成されなかった。



4. 考察

A. タンタルコンデンサの分解について

ハイドロタルサイトを添加した条件ではモールド樹脂が破壊されたが、容易に破壊できないものもあった。これは、ハイドロタルサイトの触媒能の影響であると考えられるが、最適添加率が存在していることを示唆した。

B. 残渣

ハイドロタルサイトを添加して熱分解した条件では、残渣から臭素が検出された。また、ガスとして臭素ガスは検出しなかった。これは塩基性であるハイドロタルサイトに酸性であるハロゲンが酸塩基反応によって中和反応が起きたために回収できたものと推察できる。ハイドロタルサイトはイオン交換能があるが、その場合、表面ではなく内部に回収されるため EDS 分析では検出できないものと推察できる。

5. 結論

レアメタルであるタンタルを多く含むタンタルコンデンサを容易にリサイクルするためにケミカルリサイクルとして熱分解処理を行なったが、ハイドロタルサイトをタンタルコンデンサに対して 0.5 の割合で添加することで十分に熱分解できることができた。

6. 今後の課題

今回の実験でハイドロタルサイトを添加することで比較的低温で熱分解できることは推察できたが、最適添加率、最適温度についてはパラメーターがあり、これらをさらに検証していく。また、塩基性の強いハイドロタルサイトもあることから、Mg-Al の構成比の違いによるハイドロタルサイトでも同様の検証を行う。

7. 参考文献

- [1] Salbidegoitia JA, González-Marcos MP, González-Velasco JR, Bhaskar T, Kamo T. Effect of Coexisting Materials on Steam Gasification of E-Waste. India (ISFR India) 2013.
- [2] Mineta K, Okabe T. Development of a Recycling Process for Tantalum from Capacitor Scraps. J. Physics and Chemistry of Solids, vol. 66, no. 2-4 2005;318-321.

8. 謝辞

本研究を行うにあたり、協和化学工業株式会社（香川県坂出市）の皆さんから研究用ハイドロタルサイトの提供をしていただきました。この場を借りて御礼申し上げます。