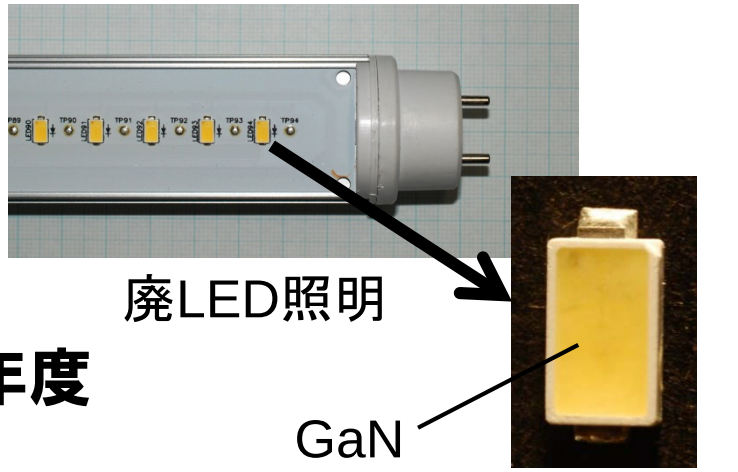
法政大学
自由を生き抜く実践知

平成29年度環境研究総合推進費
終了課題成果報告会
平成30年3年9日
砂防会館　別館3階

廃LED素子からのガリウム化合物の乾式リサイクル技術の開発



課題番号: 3K153012
研究実施期間:平成27年度～29年度
累積予算額: 83,302千円

明石孝也

法政大学　生命科学部　環境応用化学科

©Copyright Hosei University

研究開発目的と研究体制

廃LED素子からガリウム化合物を乾式でリサイクルするための技術の開発するために、本申請課題は以下の2つに分けて研究を進める。(1)にてプロセス全体を検討し、(2)にて特に問題となる項目のうち、ガリウム含有気相種を酸化ガリウムとして回収する手法の最適化および不純物を含む原料からの酸化ガリウムの選択的回収方法について詳細に検討する。※

※平成28年9月1日事業変更申請
（酸化ガリウムとしての回収に重点を置いた。）

(1)「廃LED素子からのガリウム化合物の乾式分離・回収法の開発」

研究代表者：　明石　孝也（法政大学・教授）

(2)「ガリウム含有気相種からの酸化ガリウム選択的回収方法の検討」

研究分担者：　清野　肇（芝浦工業大学・教授）

©Copyright Hosei University

本研究により得られた主な成果

- 本課題により、廃LED照明の資源リサイクルスキームが構築され、事業化された。

  累積予算額の144倍

  - LED照明120億円の売上増を目指す。（1社）※→　節電にも貢献
  - 廃棄物流の上流側を整備した。

  ※日経産業新聞 2016/3/24

- 廃LED素子から酸化ガリウムを回収する新装置※を設計し、卓上装置にて実証した。（応用研究）

  ※特願2015-253386

  - ガリウムの選択的分離・回収に成功。収率：52%～93%。
  - 電力：35 kWh、窒素ガス：69 L使用。　→　投入エネルギー削減が必要。

- 還元剤にPETやPC※を利用することにより、　熱処理温度を約100℃低減できる。（基礎研究）

  ※ 廃プラスチックの有効活用を想定。

- Sn, Znの酸化物を混入させた窒化ガリウムから、酸化ガリウムを選択的に分離・回収できる。（基礎研究）

  - 上記の卓上装置でも実証。

©Copyright Hosei University

国民との科学・技術対話の実施

- **一般公開講演会** 2016/3/12

  パンフレット配布：高校115校、他
  公共掲示板への掲示：約40ヵ所
  来場者：16名

- **オープンキャンパス講演会**

  2016/8/6、聴講者：23名

- **イノベーションジャパン展示**

  2016/8/25-26、総入場者数：20,576名

- **オープンキャンパス研究室公開**

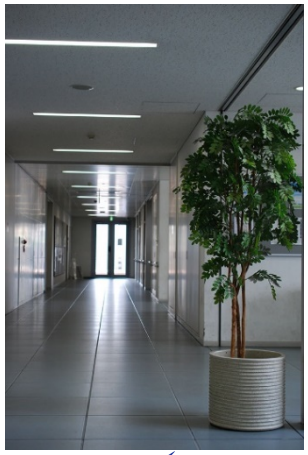
  2017/8/26、見学者：60名

- **かえつ有明中学サイエンスフェスタ**

  2017/11/11、申込者：44名

- **ポスター掲示**

  オープンキャンパス2016、2017
  総来場者数：12,216名



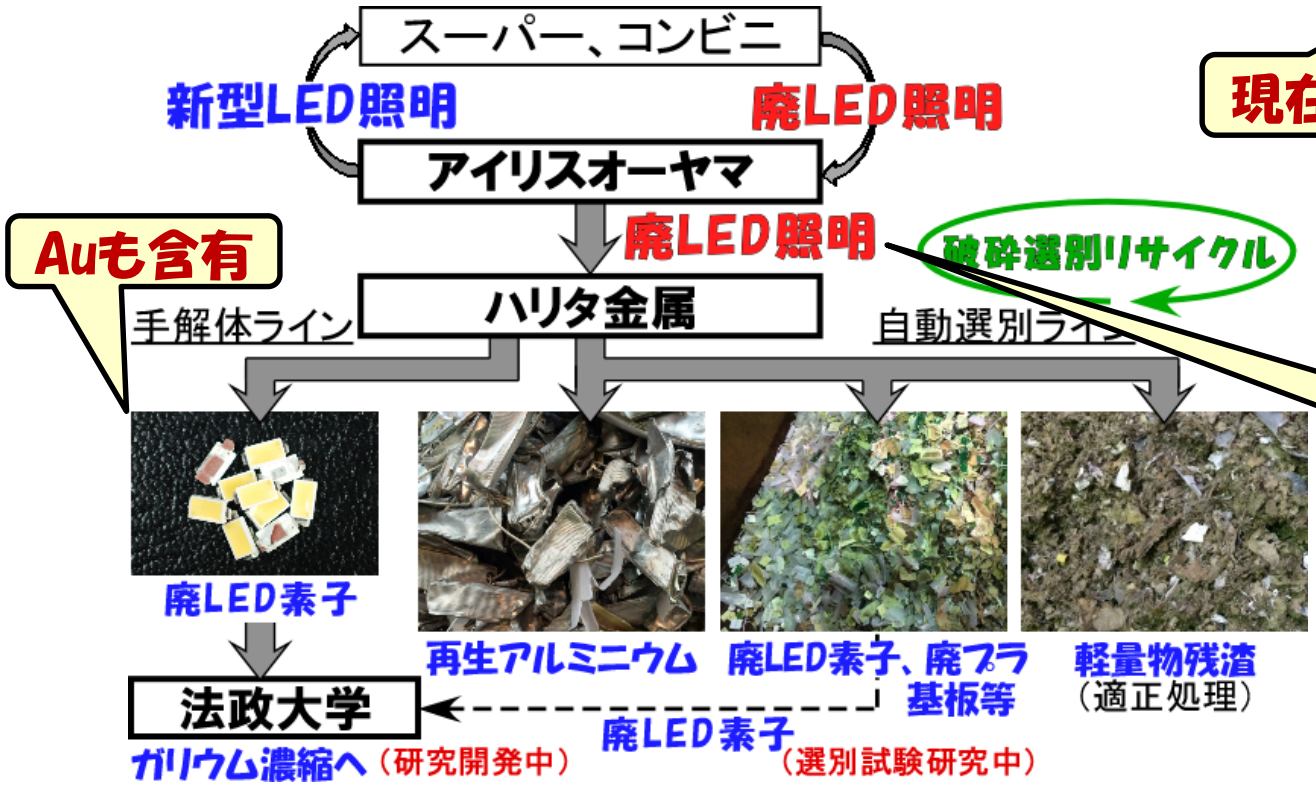
キャンパス一部を活用して
成果発信（2016/8/6～）

法政大学
HOSEI University

課題採択時のヒアリング評価者等コメント（1）

廃棄物流の上流の分別・解体のコストついてのリサーチを極めて欲しい。

- 廃棄物の中から廃LED照明のみを分別・回収するスキームを構築
- 廃LED照明から廃LED素子の分別は、現状では手作業



現在進行中の課題に期待

多量の廃LED照明の物流（上流）を構築

業界初

法政大学 HOSEI University

©Copyright Hosei University

LED照明リサイクル事業スキーム構築（業界初）

LED照明を再利用

アイリスオーヤマ,回収から一貫

買い替え需要狙う

ハリタ金属・法政大と組む

アイリスのLED照明回収事業

LED照明から再資源化

廃液発生せず処理コスト減

法政大など

ガリウム

日刊工業新聞
2016/4/12

LED照明 再利用

アイリス 法政大などと仕組み

廃LED照明

リサイクルシステム構築

ハリタ金属など アルミ、銅を回収

LED販売促進
ビジネス展開へ

「約5割増しの360億円を目指す」

日経産業新聞 2016/3/24

日経新聞(東北面) 2016/3/26

LED照明リサイクル

アイリス 法政大などと仕組み

日経MJ 2016/4/4

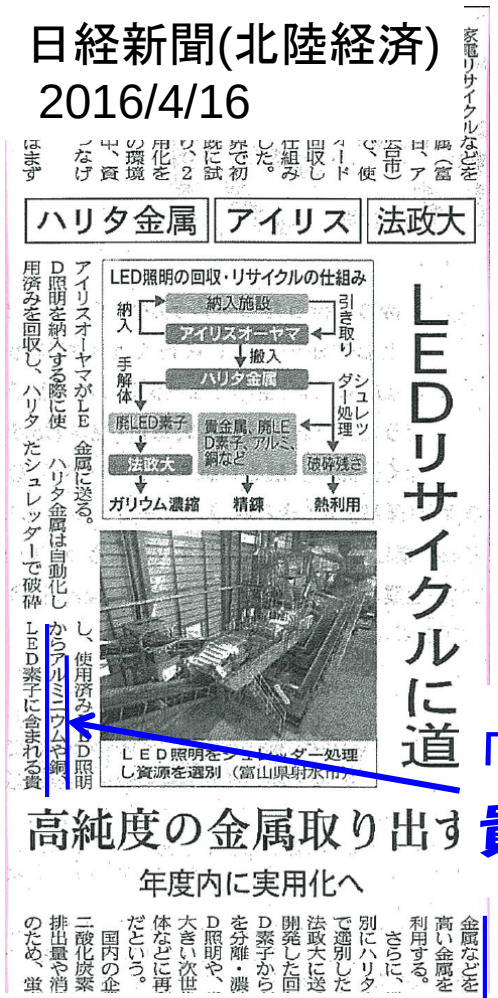
LEDリサイクル
試験実施

日刊産業新聞
2016/3/4

©Copyright Hosei University

LED照明リサイクル確立（業界初）

日経新聞(北陸経済)
2016/4/16



家電リサイクルなどを

ハリタ金属 | アイリス | 法政大

LEDリサイクルに道

LED照明の回収・リサイクルの仕組み

納入施設 → アイリスオーヤマ → ハリタ金属

納入 / 引き取り / 搬入 / 手解体 / シュレッダー処理

廃LED素子 → 法政大 → ガリウム濃縮

貴金属、廃LED素子、アルミ、銅など → 精錬

破砕残さ → 熱利用

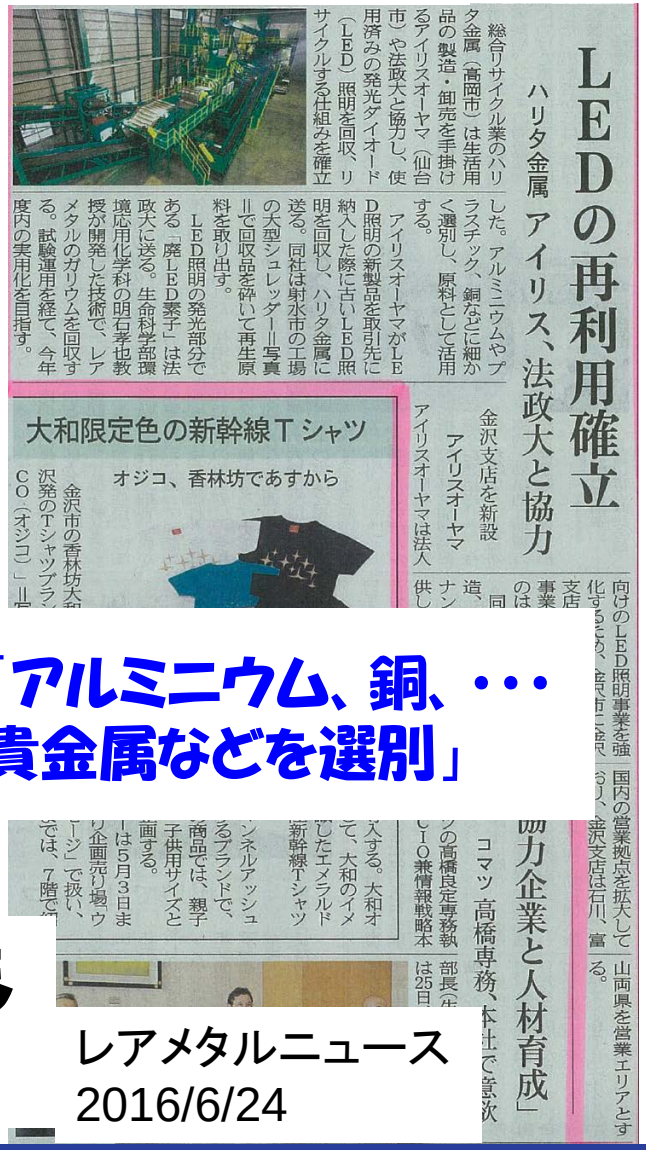
アイリスオーヤマがLED照明を納入する際に使用済みを回収し、ハリタ金属に送る。ハリタ金属は自動化したシュレッダーで破砕し、使用済みLED照明からアルミニウムや銅、LED素子に含まれる貴

LED照明をシュレッダー処理し資源を選別（富山県射水市）

高純度の金属取り出す

年度内に実用化へ

富山新聞2016/4/16



LEDの再利用確立

ハリタ金属 アイリス、法政大と協力

総合リサイクル業のハリタ金属（高岡市）は生活用品の製造・卸売を手掛けるアイリスオーヤマ（仙台市）や法政大と協力し、使用済みの発光ダイオード（LED）照明を回収、リサイクルする仕組みを確立した。アルミニウムやプラスチック、銅などに細かく選別し、原料として活用する。

アイリスオーヤマがLED照明の新製品を取引先に納入した際に古いLED照明を回収し、ハリタ金属に送る。同社は射水市の工場の大型シュレッダー＝写真＝で回収品を砕いて再生原料を取り出す。

LED照明の発光部分である「廃LED素子」は法政大に送る。生命科学部環境応用化学科の明石孝也教授が開発した技術で、レアメタルのガリウムを回収する。試験運用を経て、今年度内の実用化を目指す。

金沢支店を新設

アイリスオーヤマは法人

大和限定色の新幹線Tシャツ

オジコ、香林坊であすから

金沢市の香林坊発のTシャツブランドCO（オジコ）

向けのLED照明事業を強化するとともに、金沢支店を支店

国内の営業拠点を拡大して

山両県を営業エリアとする

協力企業と人材育成

コマツ 高橋専務、本社で意次

「アルミニウム、銅、・・・
貴金属などを選別」

資源リサイクルも
ビジネス展開へ

レアメタルニュース
2016/6/24

北日本新聞2016/4/16

LED照明リサイクル

ハリタ金属 アイリスと共同開発

総合リサイクル業のハリタ金属（高岡市福岡町本領、張田貴社長）は、生活用品大手のアイリスオーヤマ（仙台市）、法政大と共同で、発光ダイオード（LED）照明の回収・リサイクルの仕組みを開発した。本年度内の本格運用を目指す。同社によると、LED照明に関するリサイクルスキームの構築は業界初。

LED照明は、CO_2排出量や消費電力の削減につながるとして、蛍光灯からの切り替えが進んでいる。最近はLEDの初期型から高効率品への更新も始まり、需要は急拡大しているが、一方で廃棄されるLEDの再資源化が課題となっていた。

新たに構築した仕組みでは、アイリス側が取引先から使用済みLEDを引き取り、ハリタ金属の射水リサイクルセンター（射水市新湊・新湊に搬入）シュレッダー選別ラインを使い、アルミニウムのほか、基板や部品から銅・鉛や貴金属を回収して精錬する。残った部分は、焼却して熱エネルギーを取り出す「サーマルリサイクル」を行う。この工程と並行し、法政大

LED照明のリサイクルに活用されるシュレッダー選別ラインハリタ金属射水リサイクルセンター

大和交通を運営する北日本モーター（富山市東町、池田治郎社長）は、県内を訪れる外国人観光客の増加を踏まえ、14カ国語に対応するタブレットを組み込んだナビを導入した＝写真＝。コミュニケーションを円滑にすることで外国人客の満足度を高め、リピート客獲得を狙う。

観光庁によると、2016年度に宿泊した外国人は延べ

大和交

導入

生命科学部の明石孝也教授が、LED部品から高機能素材のガリウムを分離・再利用する技術の開発も進めている。

ハリタ金属では今後アイリ

事業化に向けた検討を進め、回収量やス側と、回収量やLED部分の再資源化も進め、より環境負荷の小さい仕組みの構築を目指す。

反響大

Gaのリサイクルは
研究段階

日経エコロジー2016/7/8

©Copyright Hosei University

課題採択時のヒアリング評価者等コメント(2)

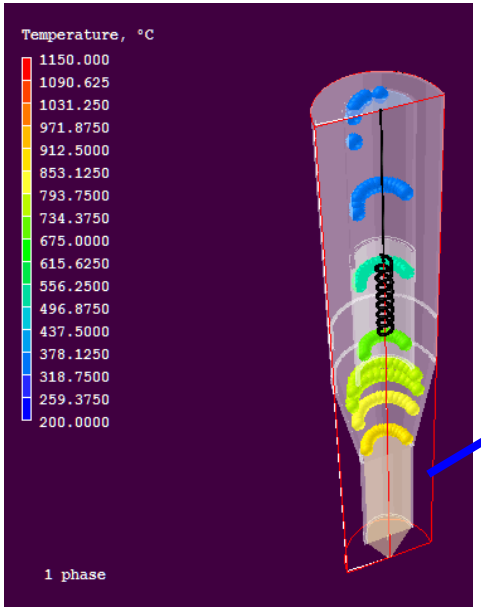
・応用面での検討は不十分であり、・・・

・熱バランスの工学設計についてのリサーチを極めて欲しい。

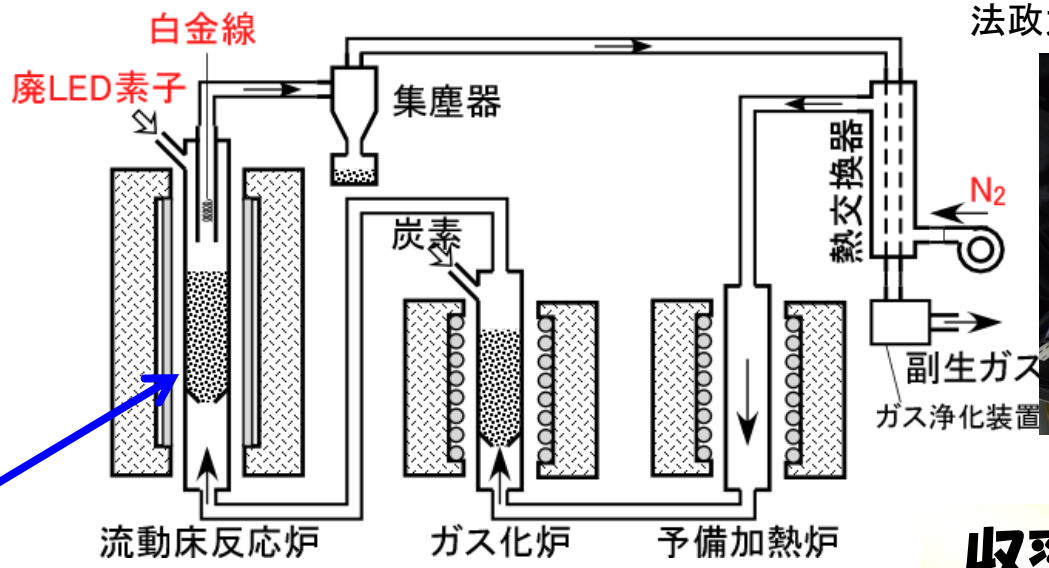
・廃LED素子から酸化ガリウムを回収する新装置を設計し、卓上装置にて実証した。

$Ga_2O(g)$の蒸気圧を高める設計

特願2015-253386
金属化合物濃縮装置
法政大学



有限体積法(Phoenics)による
熱流体シミュレーション



・ガリウムの選択的分離・回収に成功
収率：28%（中間評価時）

・電力：35 kWh、窒素ガス：69 L使用

収率と使用電力を評価
（当初目標達成）

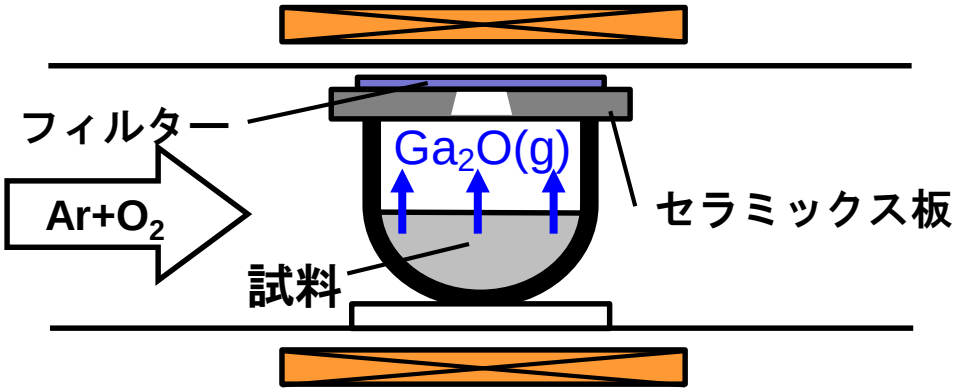
©Copyright Hosei University

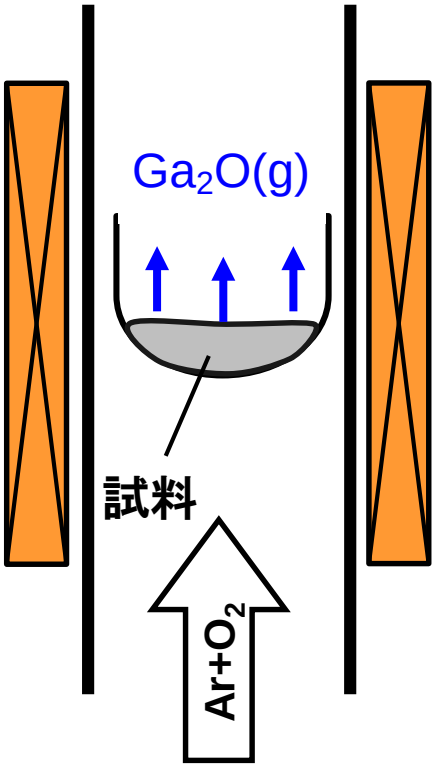
(2)ガリウム含有気相種からの酸化ガリウム選択的回収方法の検討

ガリウム含有気相種を酸化して、酸化ガリウムとして回収する方法(回収部の構造、雰囲気や温度等条件)について、高収率で選択的に回収するための詳細な検討を行う。

※平成28年9月1日事業変更申請

- 不純物(樹脂や金属など)を混合させた原料を用いる。
- 回収部の構造や雰囲気、温度などの条件が酸化ガリウムの収率および選択的回収に及ぼす影響を評価する。

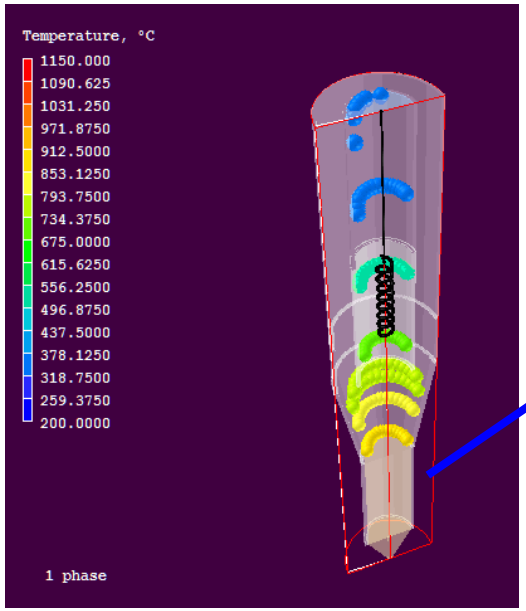




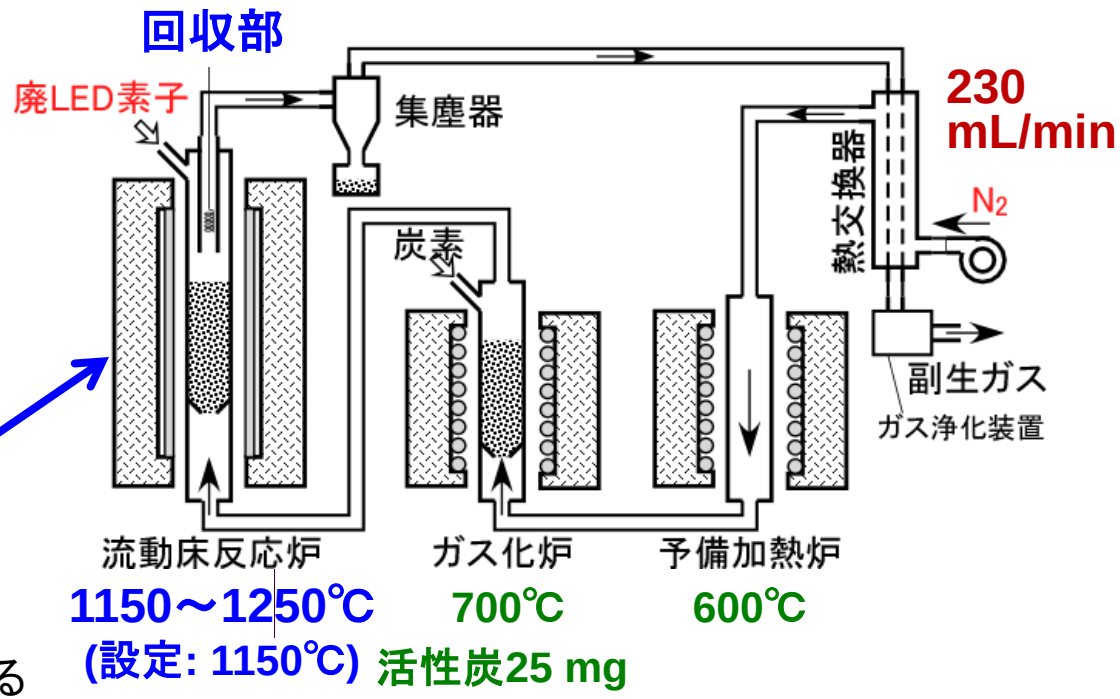
噴出流動床による酸化ガリウム分離・回収の実証実験

・廃LED素子から酸化ガリウムを回収する新装置を設計し、卓上装置にて実証した。

特願2015-253386, 「金属化合物濃縮装置 」, 法政大学



有限体積法(Phoenics)による熱流体シミュレーション



原料（廃LED素子200個）中のGa含有量: 2.5 mg

5時間の運転により、電力：35 kW、窒素ガス：69 L使用

回収部の構造を検討することにより、収率が52%～93%に向上

©Copyright Hosei University

不純物共存下での酸化ガリウムの炭素熱還元-酸化

芝浦工業大学

不純物の選択

✓ 廃LEDに混入が想定
✓ 高温で分解･気化

該当 → 酸化スズ / 酸化亜鉛 / 酸化ビスマス

無鉛ハンダの成分

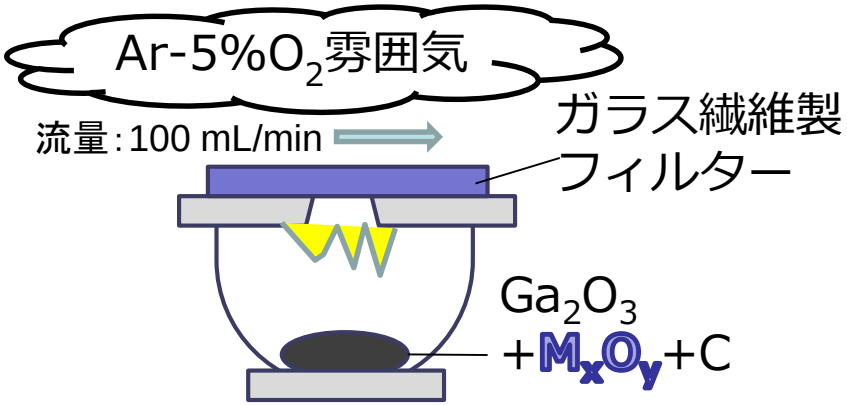


図.　分離･回収実験の容器構造

試料（以下+C）	回収率(%)
Ga_2O_3	20
Ga_2O_3-SnO_2	15（SnO_2と混在）
Ga_2O_3- ZnO	13（Ga_2O_3のみ回収）
Ga_2O_3- Bi_2O_3	0（Bi_2O_3は溶融）

※　熱処理条件：1150 ℃、1 h

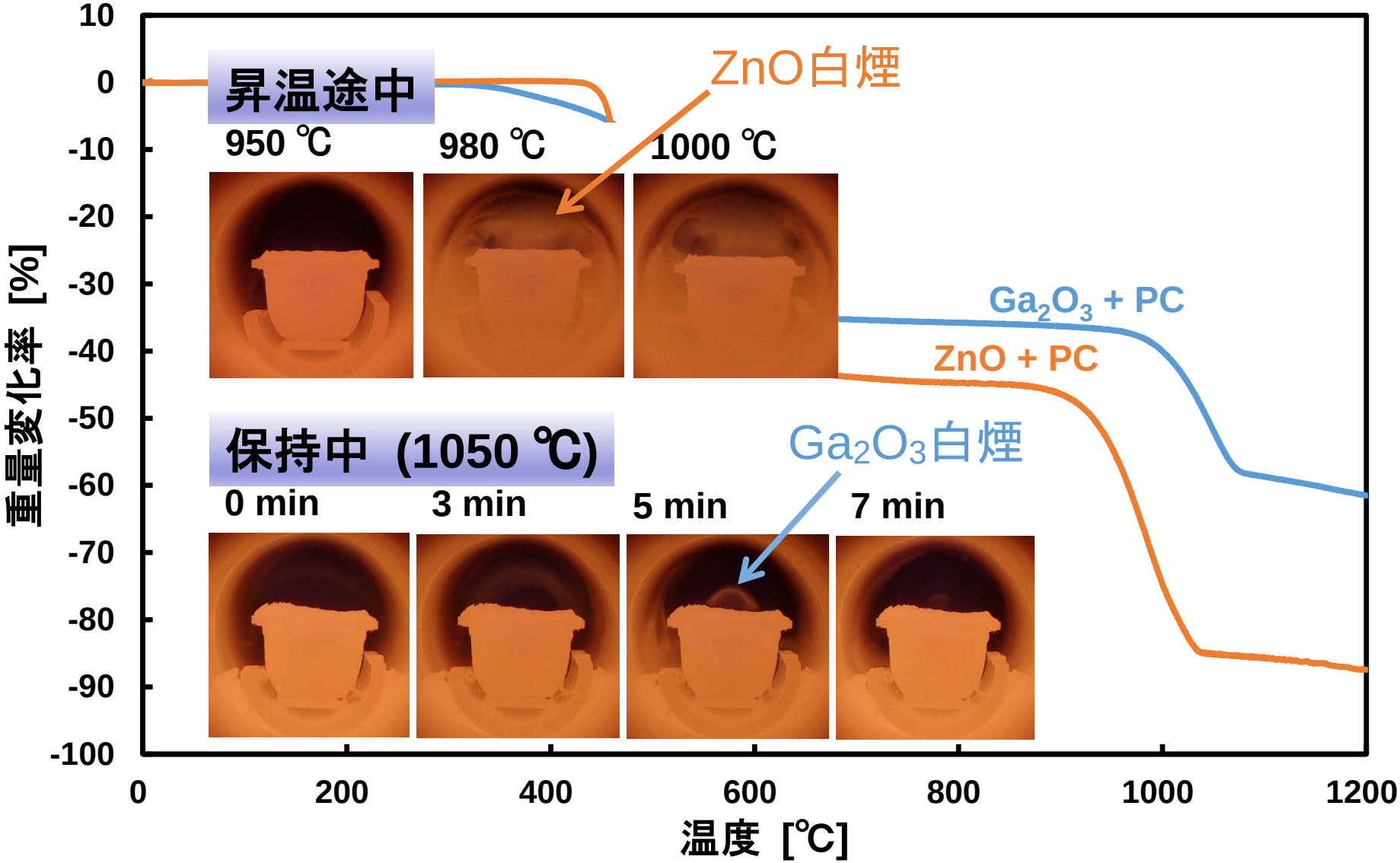
Ga_2O_3の回収収と選択性向上策は？

Ga_2O_3 - SnO_2系：　保持時間の制御
Ga_2O_3 - ZnO系：　保持温度の制御
Ga_2O_3 - Bi_2O_3系：　Bi_2O_3混入量低減

ZrOを混入させた場合の熱還元気化挙動

芝浦工業大学

O_2/Ar = 5/95 [kPa], PET : Ga_2O_3-ZrO混合粉末 ＝ 1.5 : 1 (重量比)
保持温度:1050℃, 保持時間:90 min



樹脂による酸化ガリウムの熱還元気化反応

芝浦工業大学

熱還元気化における還元剤

Ga_2O_3 (s) + **2C** → Ga_2O(g) + 2CO
樹脂材料の混入の可能性大

→ 樹脂によるGa_2O_3還元反応の調査

代表的な樹脂10種程度を検討
PET，PCは熱還元気化温度を約100℃低下させた。

樹脂活用による熱処理温度低減の可能性

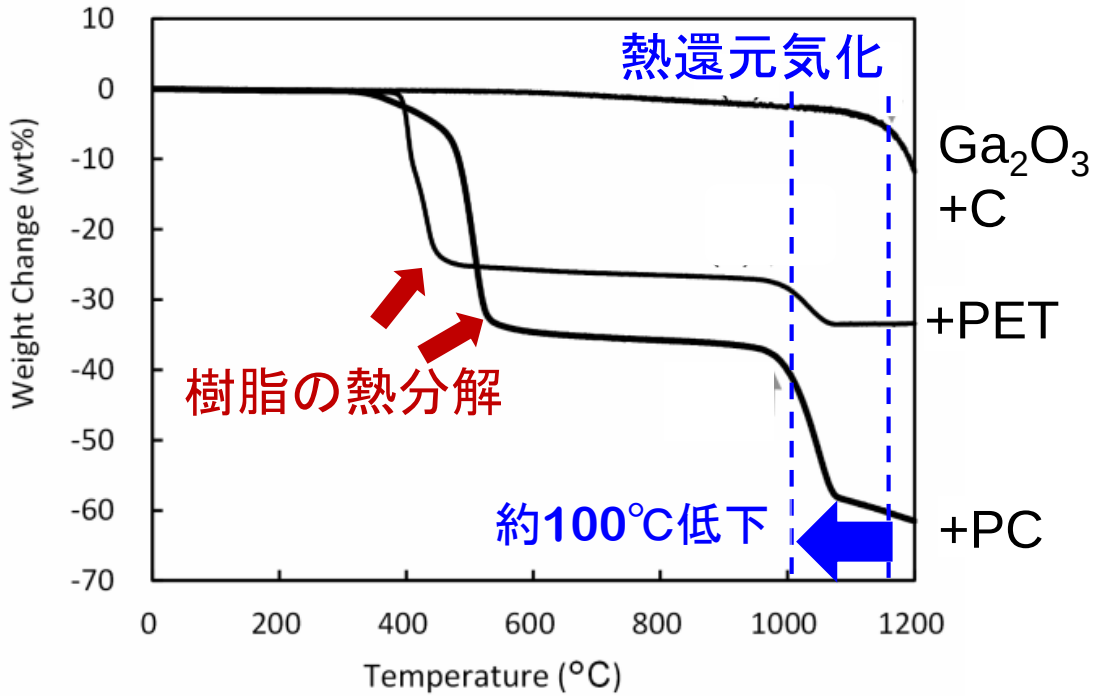


図.　酸化ガリウムと各種還元剤混合物のTG曲線

表　樹脂と酸化ガリウムの収率

還元剤	温度[℃]	収率[%]
PC	1040	22

No.5(PC)

まとめ（本研究により得られた主な成果）

- 本課題により、廃LED照明の資源リサイクルスキームが構築され、事業化された。
  - **LED照明120億円の売上増を目指す。（1社）※→　節電にも貢献**
  - **廃棄物流の上流側を整備した。**

※日経産業新聞 2016/3/24

- 廃LED素子から酸化ガリウムを回収する新装置※を設計し、卓上装置にて実証した。**（応用研究）**

※特願2015-253386

  - **ガリウムの選択的分離・回収に成功。収率：52%～93%。**
  - **電力：35 kWh、窒素ガス：69 L使用。**
- 還元剤にPETやPC※を利用することにより、　熱処理温度を約100℃低減できる。**（基礎研究）**

  ※ 廃プラスチックの有効活用を想定。
- Sn, Znの酸化物を混入させた窒化ガリウムから、酸化ガリウムを選択的に分離・回収できる。**（基礎研究）**
  - **上記の卓上装置でも実証。**

©Copyright Hosei University