

# 別紙 1



# 平成 29 年度 循環型社会形成 推進研究発表会

## 研究発表資料

本研究発表会は、環境研究総合推進費（資源循環領域）を活用して平成 28 年度に終了した研究及び平成 29 年度に進めている研究の内容・成果を広く一般に公開するものです。

平成 29 年 12 月 18 日  
中央大学駿河台記念館



平成 29 年度  
循環型社会形成推進研究発表会  
研究発表資料

目 次

ページ

【研究発表会】平成 29 年 12 月 18 日（月）10:00～11:40

1	硝酸性窒素等の有害物を排出しない白金族リサイクルプロセスの開発	成田 弘一（産業技術総合研究所）	1
2	高電圧パルス破碎を利用した太陽光発電パネルの選択的破碎と物理選別技術	飯塚 淳（東北大学）	5
3	巨大地震に耐えうる環境安全で堅牢な最終処分場の新技術開発に関する研究	島岡 隆行（九州大学）	13

【シンポジウム】平成 29 年 12 月 18 日（月）13:20～16:20

1	将来社会に求められる資源循環技術システム	大迫 政浩（国立環境研究所）	18
2	リチウムイオン電池の高度リサイクル	阿部 知和（本田技研工業㈱）	30
3	高性能・高耐久性リサイクルプラスチック創製のための再生技術に関する基礎研究	八尾 滋（福岡大学）	37
4	廃石膏ボードリサイクルの品質管理の在り方と社会実装	遠藤 和人（国立環境研究所）	45
5	炭酸型 Mg-Al 系層状複水酸化物を利用した廃棄物焼却排ガスの新規処理技術の開発	亀田 知人（東北大学）	50

事業の概要は、環境省ホームページをご覧ください。

環境研究・技術 情報総合サイト 環境研究総合推進費 <http://www.env.go.jp/policy/kenkyu/suishin/gaiyou/index.html>

## 平成 29 年度 環境省 循環型社会形成推進研究発表会プログラム

### 12 月 18 日（月）午前の部

#### ●研究発表会（10:00～11:40）

◆10:00～10:25

硝酸性窒素等の有害物を排出しない白金族リサイクルプロセスの開発

成田 弘一（産業技術総合研究所）

◆10:25～10:50

高電圧パルス破碎を利用した太陽光発電パネルの選択的破碎と物理選別技術

飯塚 淳（東北大学）

◆10:50～11:15

巨大地震に耐えうる環境安全で堅牢な最終処分場の新技術開発に関する研究

島岡 隆行（九州大学）

◆11:15～11:40

総括ディスカッション

### 12 月 18 日（月）午後の部

#### ●シンポジウム（13:20～16:20）

#### 循環型社会形成に資するリサイクル品質の向上等のための技術開発

◆13:20～14:00

特別講演 将来社会に求められる資源循環技術システム

大迫 政浩（国立環境研究所）

◆14:00～15:20 パネリスト発表

●14:00～14:20

リチウムイオン電池の高度リサイクル

阿部 知和（本田技研工業㈱）

●14:20～14:40

高性能・高耐久性リサイクルプラスチック創製のための再生技術に関する基礎研究

八尾 滋（福岡大学）

●14:40～15:00

廃石膏ボードリサイクルの品質管理の在り方と社会実装

遠藤 和人（国立環境研究所）

●15:00～15:20

炭酸型 Mg-Al 系層状複水酸化物を利用した廃棄物焼却排ガスの新規処理技術の開発

亀田 知人（東北大学）

◆15:30～16:10

パネルディスカッション

コーディネーター

大迫 政浩（国立環境研究所）

パネリスト

阿部 知和（本田技研工業㈱）

八尾 滋（福岡大学）

遠藤 和人（国立環境研究所）

亀田 知人（東北大学）

# 硝酸性窒素等の有害物を排出しない 白金族リサイクルプロセスの開発

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

(研究代表者) 環境管理研究部門

成田 弘一

(研究分担者) 無機機能材料研究部門

野村 勝裕、粕谷 亮

## — 研究の背景 —

### 白金族分離精製におけるポイント

#### 白金族金属 (PGM)

◆ 溶解して水溶液の状態とする工程を経て精製される場合が多い

安定であり極めて溶解し難い

	Pt	Pd	Rh	Ir	Ru	Os
濃硝酸	△	○	x	x	x	x
王水	○	○	△	△	△	△
塩酸+塩素ガス	○	○	△	△	△	△
濃硫酸	x	○	△	x	x	○
シアン化アルカリ+酸化剤	○	○	-	-	-	-

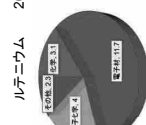
◆ 化学的性質が類似、多様なイオン種を同時に形成

相互分離が極めて困難

## — 研究の背景 —

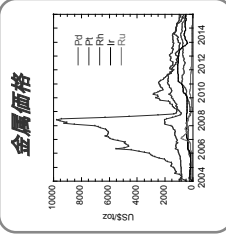
### 白金族を取り巻く状況

#### 白金族の需要



#### 産地

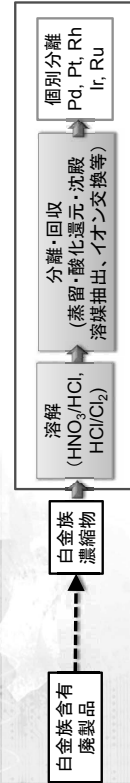
	Pd	Pt	Rh
南ア	72.5	127.4	17.9
ロシア	81.8	24.9	2.8
北米	28.1	9.2	0.7
ジンバブエ	8.2	10.6	0.9
その他	5.1	3.4	0.1



◆ 様々な工業用途に利用  
◆ 産地が偏在  
◆ 価格が乱高下

## — 研究の背景 —

### 白金族分離精製 従来法の課題



◆ 溶解や分離・回収の工程で王水など硝酸を使用することが多い

→ 特に回収精錬業者

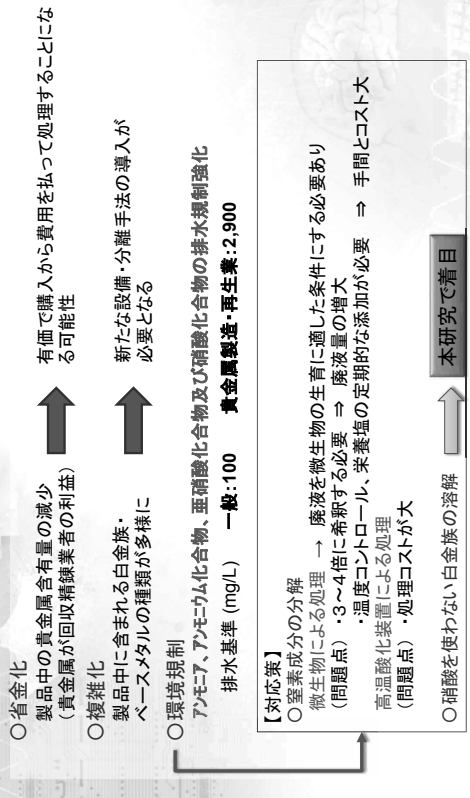
◆ 白金族溶解、一部白金族の回収の際に、大きな酸化力が必要のため、王水や塩素ガスなど、毒性の高い試薬を用いる

→ 特殊な回収・処理設備が必要

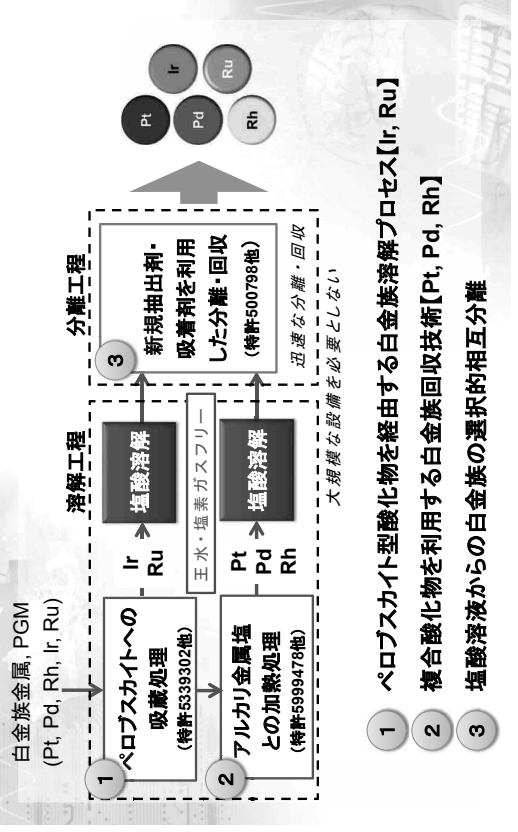
◆ 多様な分離操作を必要とするため長時間の処理が必要

→ いくつかの白金族は、一般的な抽出・吸着分離が極めて困難

環境負荷が小さく、高効率(低コスト)の分離回収プロセスが確立できれば、将来的にもメリットは大きい

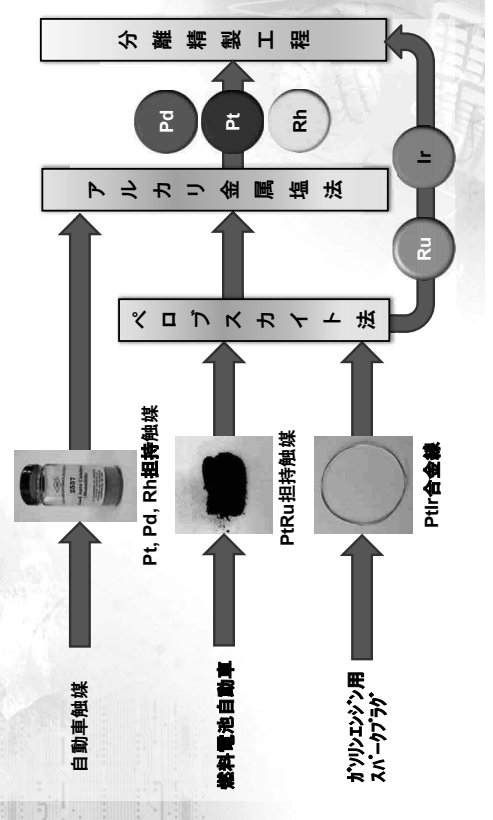


Ref. 董沼ら、日本金属学会誌、81、152-156 (2017)



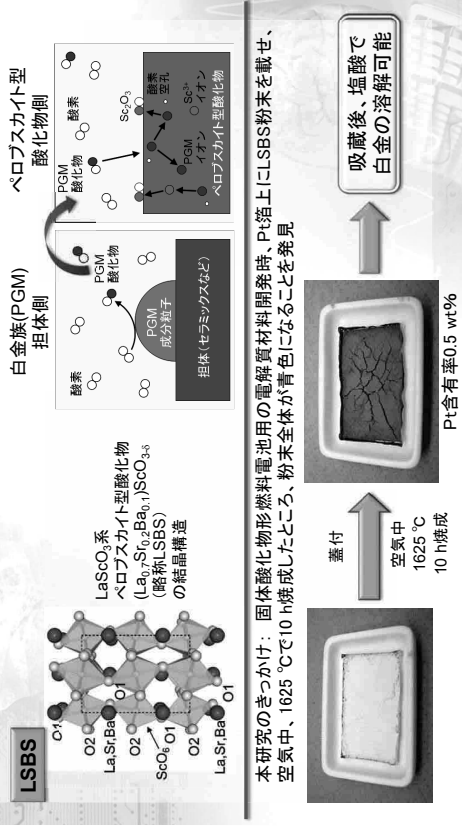
- 1 ペロブスカイト型酸化物を經由する白金族溶解プロセス【Ir, Ru】
- 2 複合酸化物を利用する白金族回収技術【Pt, Pd, Rh】
- 3 塩酸溶液からの白金族の選択的相互分離

組み合わせによる白金族の浸出  
(対象可能な製品)



(1) ペロブスカイト型酸化物を經由する白金族溶解プロセス  
技術の概要: LSBS粉末による白金族吸蔵

ペロブスカイト型酸化物による気相を介した白金族の吸蔵、及び塩酸への溶解

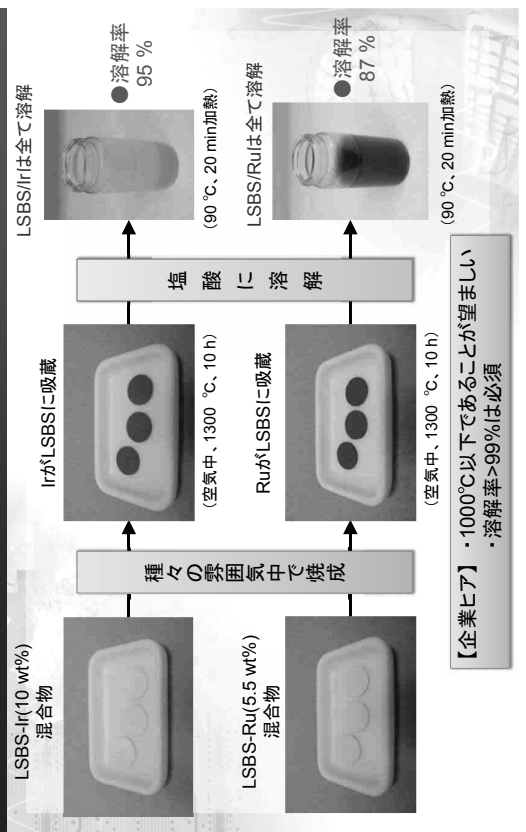


本研究のきっかけ: 固体酸化物形燃料電池用の電解質材料開発時、Pt粉末を載せ、  
空気中、1625℃で10 h焼成したところ、粉末全体が青色になることを発見



(1) ペロブスカイト型酸化物を経由する白金族溶解プロセス

( $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.2}\text{Ba}_{0.1}\text{ScO}_{3-\delta}$ )によるIr、Ruの塩酸溶解

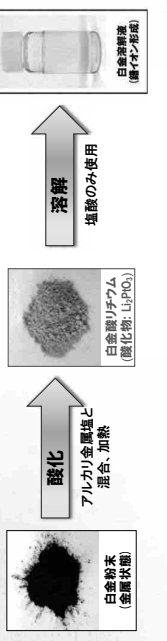


(2) 複合酸化物を利用する白金族回収技術

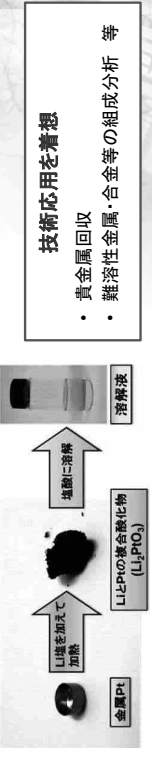
技術の概要：白金族複合酸化物の生成及び塩酸溶解

複合酸化物を経由して白金族金属を塩酸に溶解する新規プロセスでは、有毒な酸化剤を必要としないため、従来の溶解プロセスに比べて環境負荷を大幅に低減することができる。

アルカリ金属塩との複合化を導くことで白金族を塩酸に溶解



本研究のきっかけ：リチウムイオン二次電池用正極材の開発時、白金をつぼがりチタム塩と反応し、黒色に変化。黒色の化合物を除去するため塩酸に浸漬したところ、るつぼ全体が溶解。



(2) 複合酸化物を利用する白金族回収技術

白金複合酸化物の塩酸溶解と他の白金族への適用結果

白金族に対するアルカリ金属塩の反応性

	Pt	Pd	Rh
$\text{Li}_2\text{CO}_3$	○	○	○
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	○	×	○
$\text{K}_2\text{CO}_3$	×	×	○

リチウム-白金族複合酸化物の生成反応式

$\text{Pt} + \text{Li}_2\text{CO}_3 + \text{O}_2 \rightarrow \text{Li}_2\text{PtO}_3 + \text{CO}_2$ 600-800°C
$\text{PdO} + \text{Li}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Li}_2\text{PdO}_2 + \text{CO}_2$ 700°C-800°C
$\text{Rh} + 1/2\text{Li}_2\text{CO}_3 + 1/4\text{O}_2 \rightarrow \text{LiRhO}_2 + 1/2\text{CO}_2$ $\text{Rh} + \text{Li}_2\text{CO}_3 + \text{O}_2 \rightarrow \text{Li}_2\text{RhO}_3 + \text{CO}_2$

焼成条件により生成物の組成が変化

白金族の白金溶解率は100%に到達

(2) 複合酸化物を利用する白金族回収技術

自動車廃触媒中の白金族浸出結果

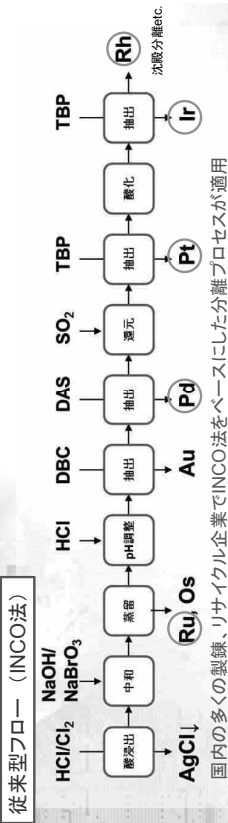
自動車廃触媒粉末  
NIST SRM2557  
白金族濃度：0.16 wt%

- 複合酸化物形成により浸出率が飛躍的に増大
- Pt及びRhをほぼ全量溶解
- Pdは再度処理することでほぼ全量溶解

自動車廃触媒を用いて得た試料  
および自動車廃触媒の白金族浸出結果  
(溶解条件：12 M塩酸、180°C、2 h、密閉容器使用)

(3) 塩酸溶液からの白金族の選択的相互分離

従来型フロー（INCO法）



蒸留  
酸化・還元  
沈殿分離

3価のクロロアニオン  
(Ru(III), Ir(III), Rh(III))  
の抽出・吸着が困難

目標：塩酸溶液中の3価白金族イオンに対する有用な分離法の開発

Rh(III)に対しては、高効率抽出剤、吸着材を見出している  
(特許5007983号、特願2015-070863)

● Ru(III), Ir(III)の分離挙動に着目

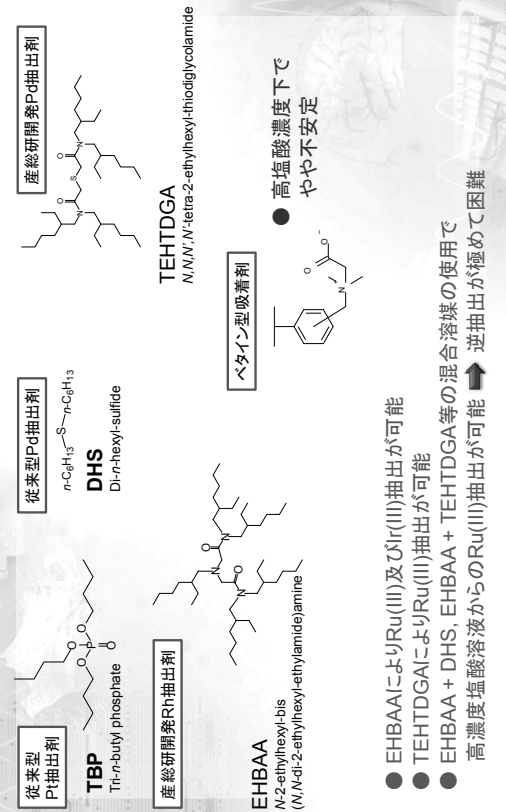
まとめ

1. ベロブスカイト型酸化物を経由する白金族溶解プロセス  
Ir及びRuに対し、1000℃以下で固溶し、かつ塩酸への溶解率>99%の条件を確立  
【研究進行中／予定】  
模範廃材 (Pt-Ir合金線、Pt-Ruカーボン担持触媒)との反応性および塩酸への浸出挙動の検討
2. 複合酸化物物を利用する白金族回収技術  
複合酸化物物により、自動車廃触媒中のPd, Pt, Rhを>99%溶解  
【研究進行中／予定】  
複数種のLi塩(硫酸塩および水酸化物、酸化物等)を原料に用いたときの白金族の反応、および塩酸への浸出挙動の把握
3. 塩酸溶液からの白金族の選択的相互分離  
新規抽出剤EHBAAを使用することで、分離不活性なIr(III)、Ru(III)を抽出・逆抽出可能  
【研究進行中／予定】  
Ir(III)及びRu(III)の水溶液中の存在状態及び抽出分離メカニズムの把握

↑ 本研究における浸出・分離法による、模範廃材からの白金族分離フローの構築

(3) 塩酸溶液からの白金族の選択的相互分離

検討した分離剤とRu(III), Ir(III)分離特性



課題番号：3K162004

## 高電圧パルス破碎を利用した 太陽光発電パネルの選択的破碎と 物理選別技術

研究代表者：飯塚 淳 (東北大学 多元物質科学研究所)  
研究分担者：柴田 悦郎 (東北大学 多元物質科学研究所)

### 研究の背景

- 太陽光発電パネルによる発電は1990年代から導入が開始され、その発電量は増加傾向
- 初期に導入された太陽光パネルが更新時期を迎えており、今後廃棄される太陽光発電パネルの量は、大幅に増加
- 太陽光発電パネルは複合材料。発電のためのシリコン層、多層の樹脂から構成されるバックシート、表面のガラス層等から構成される。非鉄金属としては、電導のための銅や銀、集光率向上のためのアルミニウム、樹脂に含有されるチタン、接着のための鉛や錫等が含有される。
- これらの多層の材料を高効率で分離しつつ、リサイクルに回せるような要素技術が必要であるが、多種材料の選択的分離は非常に困難であり、現在は主に化学的な処理を組み合わせた手法が検討されている。
- しかし、より太陽光発電パネルリサイクルの経済性を向上させるためには、コストが低廉な物理選別技術によってこれらの複合材料の分離、選択的回収を行うことが望ましい。



From Wikimedia commons

2

### 背景

#### 太陽光発電の特徴

- エネルギー源の確保が容易である。
- 発電の際に地球温暖化の原因とされているCO<sub>2</sub>を発生しない。

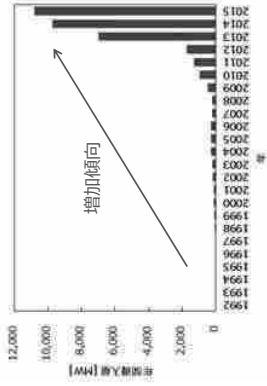


図 日本における太陽光発電設備の年間導入量推移 [1]

図 太陽電池モジュールの排出量 [2]

#### 太陽光発電パネルの処分に関して検討が必要である。

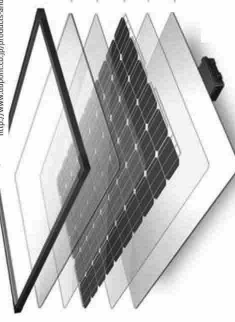
[1] IEA PVIS: Trends 2016 in photovoltaic applications - Survey Report of Selected IEA Countries between 1992 and 2015, 2016.

[2] 株式会社三菱重工業が、平成29年度地球温暖化防止対策として、太陽電池モジュールの回収とリサイクルの環境調査報告書 報告書, 2015.

### 太陽光発電パネルの複雑構造

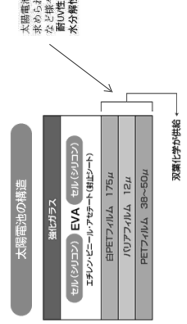
#### 太陽電池パネルの構造①

引用：デコ株式会社  
<http://www.deco.co.jp/product/solar-photovoltaic-materials.html>



#### 太陽電池パネルの構造②

引用：双葉化学株式会社  
<http://www.futabachem.co.jp/product/tpou.html>



太陽電池の構造

双葉化学が提供

3

劣化を促進、多層構造が一般

接着の低下が一般的。太陽電池パネルの最上層、樹脂の酸化と物理的ダメージが原因

セルへのダメージが原因となることが多い。光透過率は

シリコンで太陽電池の製造は

セルへのダメージが原因となることが多い。光透過率は

劣化層(シリコン)が原因となることが多い。光透過率は

劣化層(シリコン)が原因となることが多い。光透過率は

劣化層(シリコン)が原因となることが多い。光透過率は

劣化層(シリコン)が原因となることが多い。光透過率は

劣化層(シリコン)が原因となることが多い。光透過率は

劣化層(シリコン)が原因となることが多い。光透過率は

劣化層(シリコン)が原因となることが多い。光透過率は

劣化層(シリコン)が原因となることが多い。光透過率は

劣化層(シリコン)が原因となることが多い。光透過率は

劣化層(シリコン)が原因となることが多い。光透過率は

劣化層(シリコン)が原因となることが多い。光透過率は

劣化層(シリコン)が原因となることが多い。光透過率は

劣化層(シリコン)が原因となることが多い。光透過率は

劣化層(シリコン)が原因となることが多い。光透過率は

### 太陽光発電パネルの構造

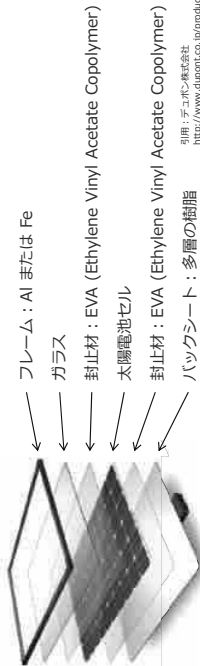


図 太陽光発電パネルの構造

引用: デュポン株式会社  
<http://www.dupont.co.jp/products-and-services/solar-photovoltaicmaterials.html>

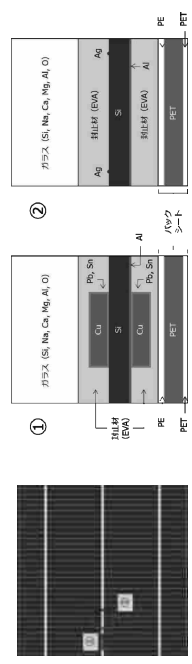


図 本研究で対象とした多結晶タイプの太陽光発電パネル断面の概略図

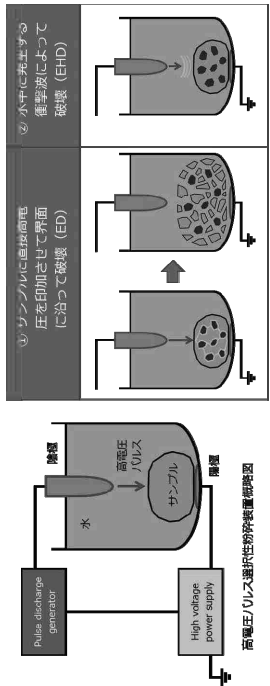
太陽光発電パネルは多種の材料で構成される複合材料である。  
 → 高効率かつ低コストで分離し、リサイクルする技術が必要である。

### 研究の目的

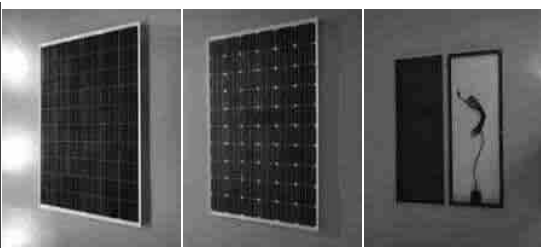
- 本研究では近年効率的な装置が開発され、複合材料の選択的破碎を可能とする要素技術である高電圧パルス破碎を太陽光発電パネルリサイクルに適用することを検討する。
- 高電圧パルス破碎は、水中で破壊対象試料に高電圧を引加することで、複合材の界面に発生するプラズマ由来の衝撃波による引張り応力、及び水中で発生する衝撃波によって多種複合材料の選択的破碎を行う技術である。
- 高電圧パルス破碎のリサイクル材料への適用は近年盛んに検討されており、電子基板やタンタルコンデンサ、液晶パネルディスプレイ等に適用され、非常に高い選択的破碎性能が得られている。
- 本研究では、この高電圧パルス破碎技術を太陽光パネルの粉碎に適用し、かつその他の物理選別技術（重液選別等）と組み合わせることで、パネル中の多種材料（ガラス、Ag、電極（Cu、Pb、Sn））を選択的に分離回収する手法の確立を目的とする。

### 高電圧パルス破碎とは

- 水中の固体試料に高電圧パルス放電をすることで界面に沿った破壊を起こし、選択的な粉碎を行う。(ED)
- また、水中に発生する衝撃波によっても破壊が生じる。(EHD)
- 原理的には、電気伝導度あるいは強度の違いがある材料同士は相互分離可能。
- 複雑な層構造を有する太陽光発電パネルに対しても、材料の相互分離が可能であると期待される。
- 電力消費が小 (CO<sub>2</sub>発生量小)



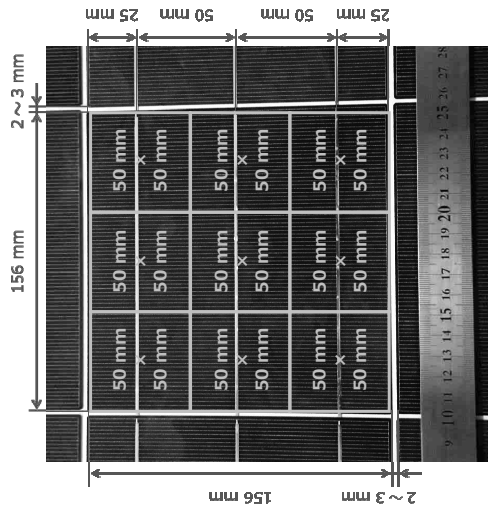
### 実験試料 | 多結晶、単結晶、アモルファス



- 多結晶タイプ**
- 低価格、普及量大
  - ニッコーフアイメンメックの協力の元、廃パネルを入手
  - メーカー：センチュリースパルソーラー (中国製)
  - 型番：YXGF-250P60
  - サイズ：1650×988×45 mm・重量：18.540 kg
- 単結晶タイプ**
- やや高価格、普及量中
  - ニッコーフアイメンメックの協力の元、廃パネルを入手
  - メーカー：東芝 (中国製)
  - 型番：TA60M250WA
  - サイズ：1649×990×39 mm・重量：18.540 kg
- アモルファスタイプ**
- 薄膜、普及量小、リサイクル困難
  - 未使用の商品を購入
  - メーカー：Coleman
  - サイズ：924×313×22 mm・重量：4.555 kg

## サンプルサイズの決定 (多結晶)

8



1 セルあたり 9 サンプル  
作製する。

1 モジュールあたり

60 セルなので

1 モジュールで

540 サンプル

作ることができる。

## 実験方法 | 第一段破碎 (多結晶)

9

1. 初期サンプルサイズを 50 × 50 mm に設定した。
2. サンプルを下部電極上に横置きした。

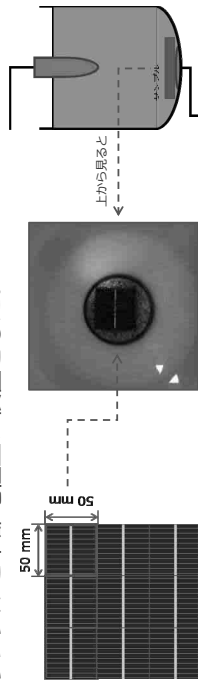


図 サンプルの置き方

図 初期サンプルサイズ

3. 以下の 4 条件で破碎を行った。(パルスを数回印加 → 産物を確認)

表 第一段破碎での条件

条件	放電電圧 [kV]	電極間距離 [mm]	放電周波数 [Hz]
条件①	90	10	5
条件②	110	20	5
条件③	130	20	5
条件④	180	20	5

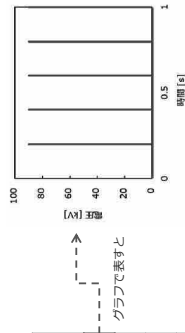


図 条件①での電圧と時間の関係

## 第一段破碎 (多結晶)

10

### 第一段破碎 (多結晶)

条件①

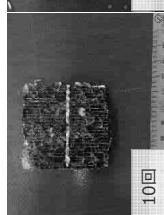
放電電圧 90 kV · 電極間距離 10 mm



20回

条件②

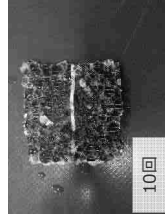
放電電圧 110 kV · 電極間距離 20 mm



10回

条件③

放電電圧 130 kV · 電極間距離 20 mm



10回

条件④

放電電圧 180 kV · 電極間距離 20 mm

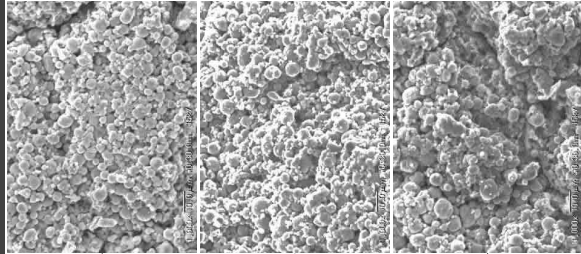
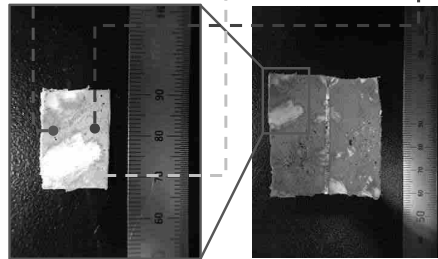


20回

特定の条件で破碎を行うと二層に分離することが明らかとなった。  
→ それぞれの層を破碎する方が効果的な結果が得られると考えた。

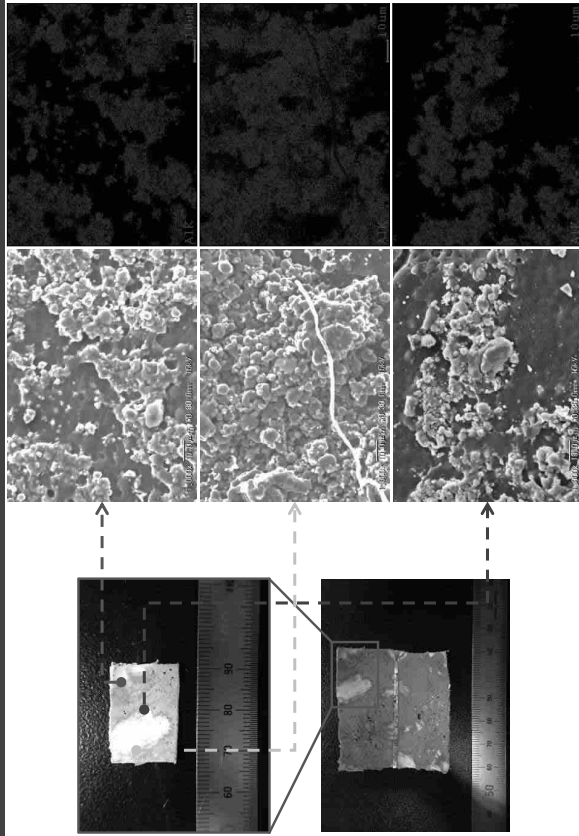
## バックシート層のAl電極 (単結晶)

11



## バックシート層のAl電極 (単結晶)

12



## 実験方法 | 第二段破碎 (多結晶)

13

1. 二層に分離させた後、一方を下部電極上に横置きました。



2. 以下の3条件で破碎を行った。(パルスを50回印加 → 産物を確認)

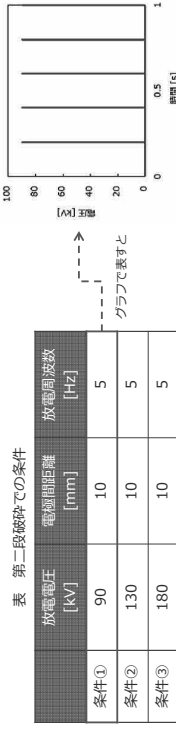


図 条件①での電圧と時間の関係

## 第二段破碎 | ガラス・シリコン層 (多結晶)

14

条件① 放電電圧 90 kV・電極間距離 10 mm 250回でバスバー電極が分離



条件② 放電電圧 130 kV・電極間距離 10 mm 250回でバスバー電極が分離



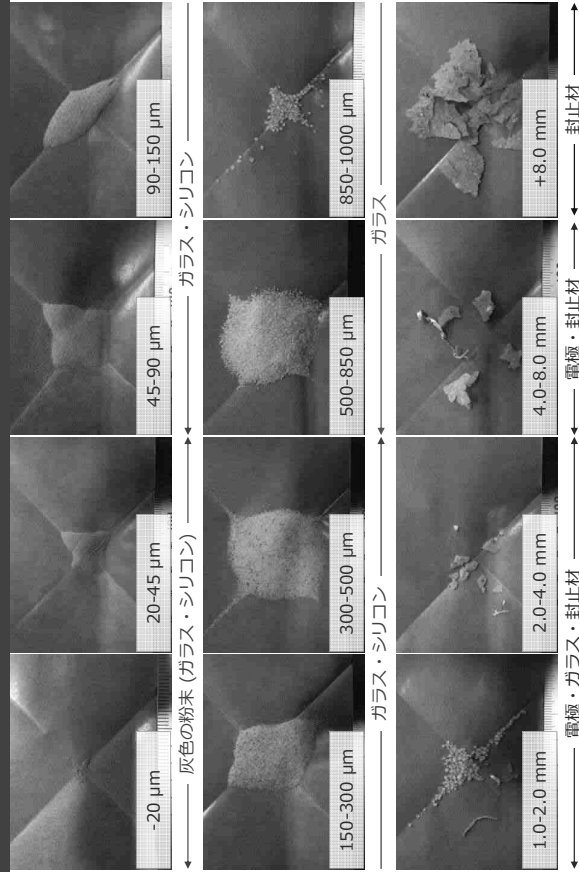
条件③ 放電電圧 180 kV・電極間距離 10 mm 50回でバスバー電極が分離



放電電圧が低い方が、封止材を破壊せずに剥離が進行している。

## 破碎物の粒群ごとの産物 (多結晶)

15



### 16 破砕物の粒径ごとの重量割合 (多結晶)

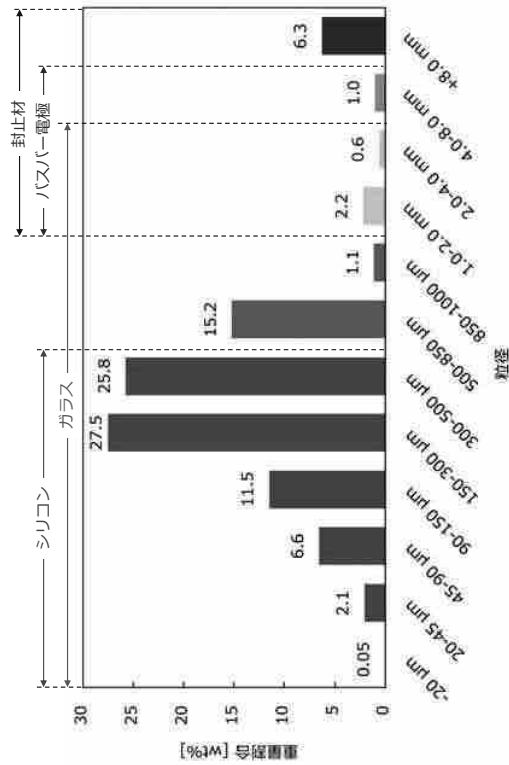


図 破砕物の粒径ごとの重量割合

### 18 破砕物の成分 | Cu・Pb・Sn・Ag (多結晶)

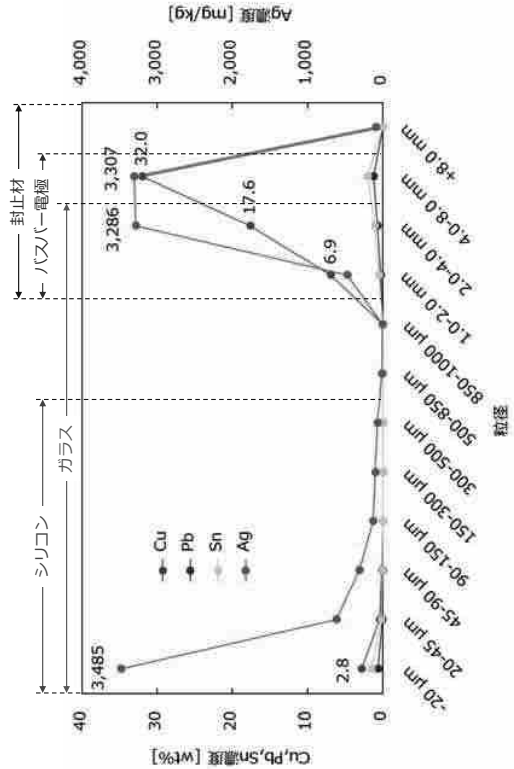


図 破砕物の粒径ごとのCu, Pb, Sn, Ag濃度

### 17 破砕物の成分 | Si・Na・Ca・Mg・Al (多結晶)

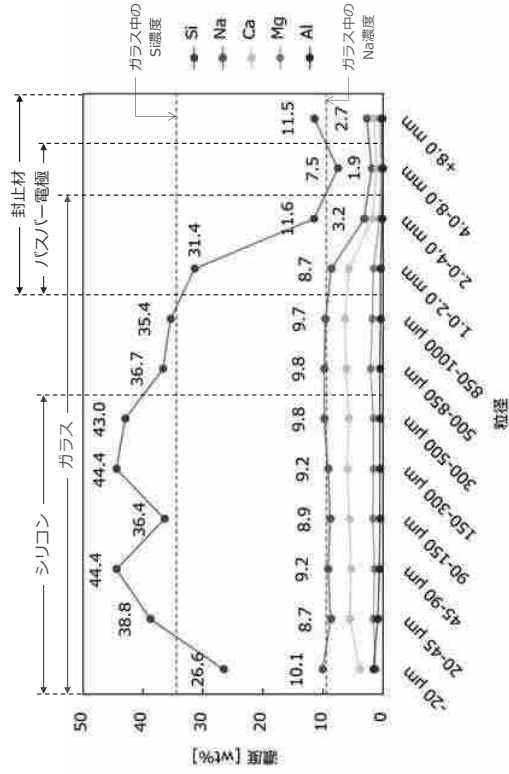


図 破砕物の粒径ごとのSi, Na, Ca, Mg, Al濃度

### 19 粒径ごとの各部材の重量割合 (多結晶)

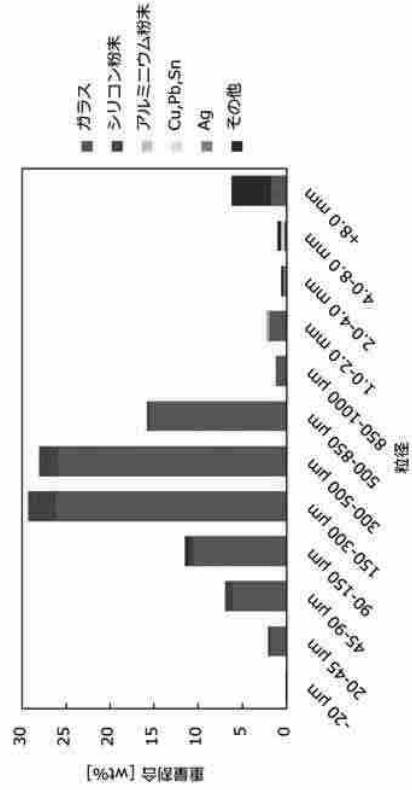
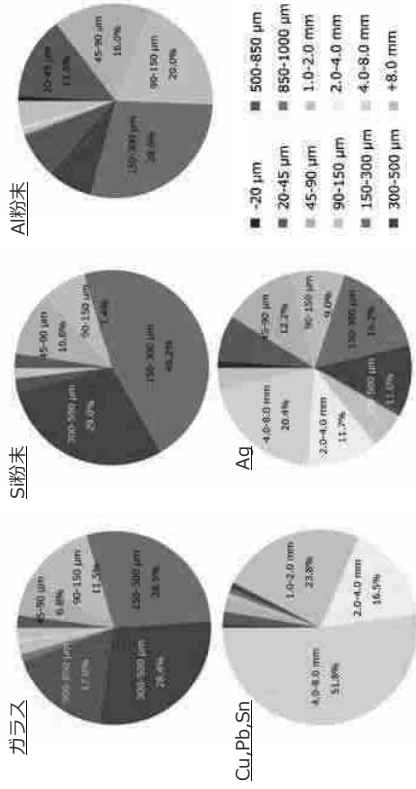


図 破砕物の粒径ごとの各部材の重量割合

- 150-300, 300-500 μm : ガラスの重量が多いが Si が混入している。
- 500-850 μm : ガラスの割合が高くなっていく。

## 部材ごとの各粒径への分配 (多結晶)

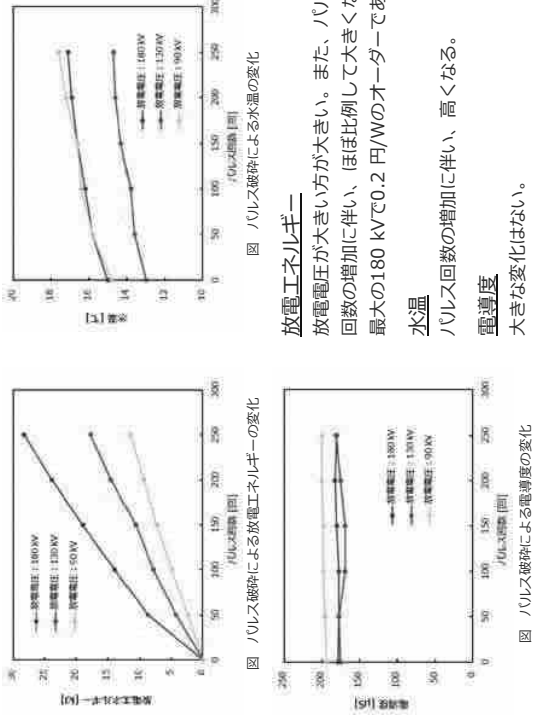
20



Agは特定の粒径への偏りがなかった。  
→ Agを回収するためには分級以外の物理選別を組み合わせる必要がある。

## パルス破碎による各値の変化 (多結晶)

21

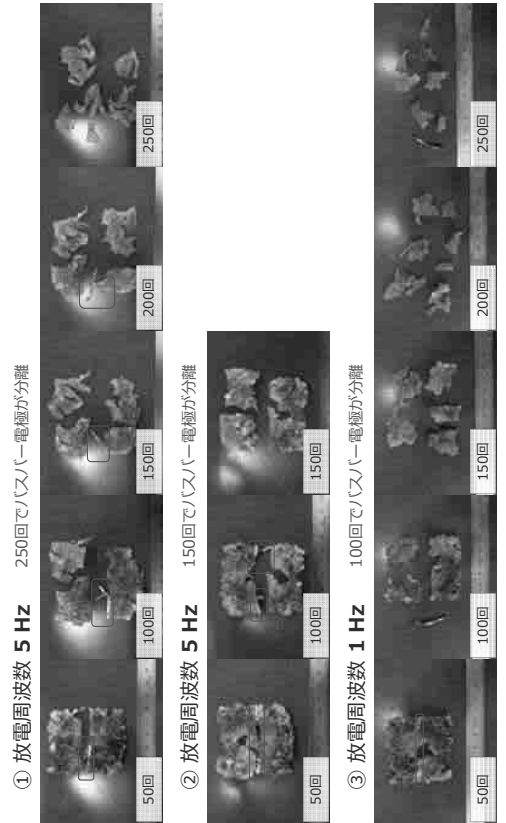


放電エネルギー  
放電電圧が大きいが大きい。また、パルス  
回数の増加に伴い、ほぼ比例して大きくなる。  
最大の180 kVで0.2 円/Wのオーダーである。  
水温  
パルス回数の増加に伴い、高くなる。  
電導度  
大きな変化はない。

## ガラス・シリコン層 | 周波数による違い (多結晶)

22

放電電圧 90 kV、電極間距離 10 mm は固定し、破碎を行った。



## 第二段破碎 | バックシート層 (多結晶)

23

条件① 放電電圧 90 kV・電極間距離 10 mm 200回でバスバー電極が分離

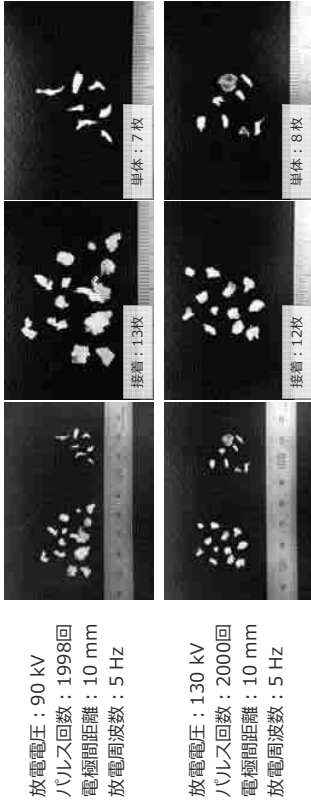


電圧が低い方が、シートが相互に剥離しながら破壊が進む傾向が強い。



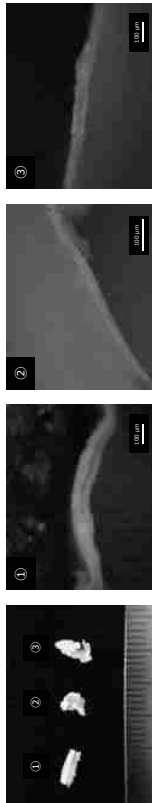
## 24 破碎後のバックシート層 (多結晶)

破碎後の破片から20枚取る。→ 単体が接着しているか分類した。



放電電圧: 90 kV  
パルス回数: 1998回  
電極間距離: 10 mm  
放電周波数: 5 Hz

放電電圧: 130 kV  
パルス回数: 2000回  
電極間距離: 10 mm  
放電周波数: 5 Hz



## 25 パルス破碎後の選別 (多結晶)

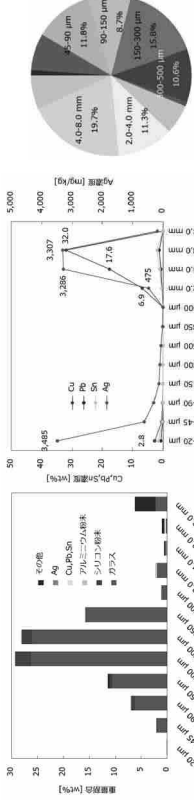


図 Agの各粒径への分配

図 破碎物の粒径ごとの各材料の重量割合

- ① -500  $\mu\text{m}$ : ガラスとシリコン粉末・Agが混在していた。  
→ ガラスとシリコン粉末を分離し、純度を高める。Agを濃縮する。
- ② -20  $\mu\text{m}$ : Ag濃度は最も高いが、3,000 mg/kg程度であった。  
→ 選別によってAgの濃度をさらに高める。

### 選別手法として重液選別を採用

- 素材間の比重差を利用して選別を行う手法である。
- ①300-500  $\mu\text{m}$ 、②-20  $\mu\text{m}$ の二種類の粒径で実験を行った。

## 26 重液選別 | ①300-500 $\mu\text{m}$ (多結晶)

- ガラスの比重は2.5、シリコンの比重は2.3である。  
→ ホリタングステン酸ナトリウムを用いて比重2.4の重液を作製した。
- サンプルを選液管の上から投入した後、1時間超音波洗浄を行った。
- 終了後、軽産物をスポイトで回収した後、重産物を回収した。

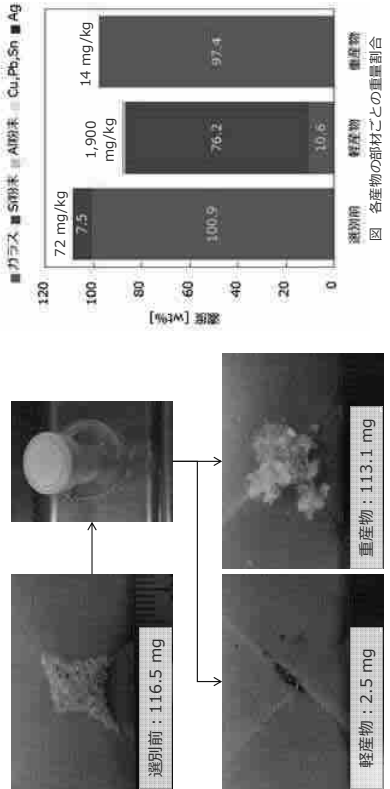


図 各産物の部材ごとの重量割合

## 27 重液選別 | ②-20 $\mu\text{m}$ (多結晶)

- ガラスの比重は2.5、Agの比重は10.5である。  
→ ホリタングステン酸ナトリウムを用いて比重3.0の重液を作製した。
- サンプルを分液ロートの上から投入した後、24時間放置した。
- 終了後、コックを開いて重産物を回収した後、軽産物を回収した。

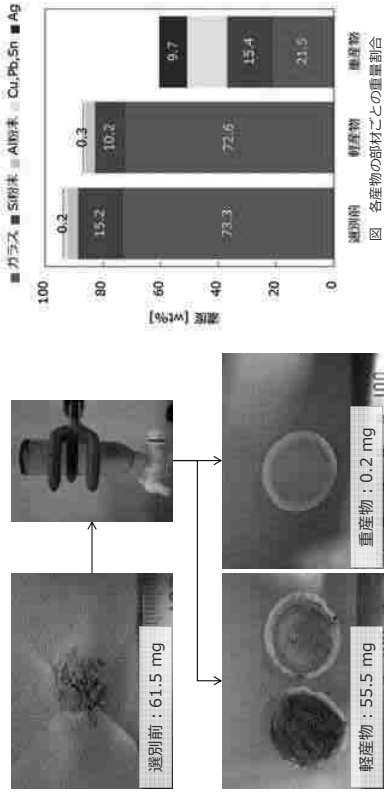


図 各産物の部材ごとの重量割合

## これまでのまとめ

### 第一段破碎

放電電圧：110 kV・電極間距離：20 mm・パルス回数：20回  
→ 両タイプで二層に分離した。

### 第二段破碎(ガラス・シリコン層)

放電電圧：90 kV・電極間距離：10 mm  
→ 多結晶タイプは250回、単結晶タイプは50回でバスバー電極が分離した。

### 第二段破碎(バックシート層)

放電電圧：90 kV・電極間距離：10 mm  
→ 多結晶タイプは200回でバスバー電極が分離した。

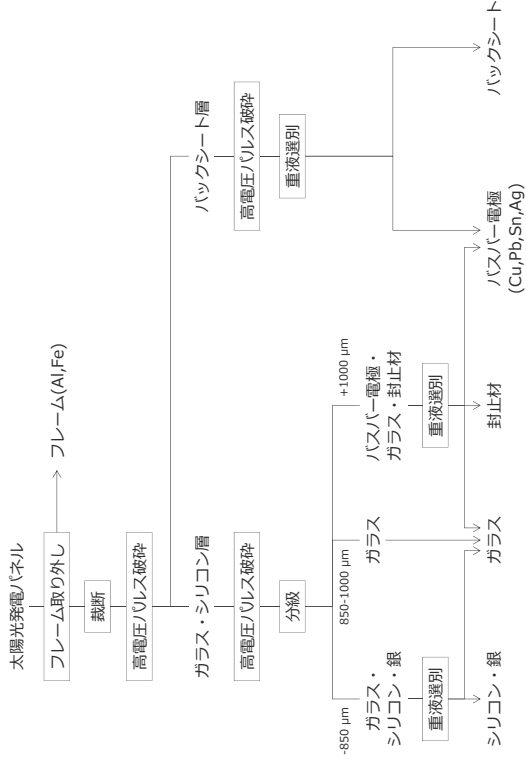
### 破産物の観察・元素分析

- 粗粒群では封止材が混入しており、細粒側に進むとガラスのみの粒群があった。さらに微細な粒群ではガラスとシリコンが混在していた。
- Ag濃度は、 $-20\ \mu\text{m}$ とバスバー電極で存在する粒群で高くなっていた。

### 重液選別

- ガラスとシリコン・Agの分離では、重産物でガラス、軽産物でシリコン・Agの濃度を高めることができた。
- Agの濃縮では、重産物においてAgの濃度を高めることができた。

## 本研究によるリサイクルイメージ



## 今後の予定

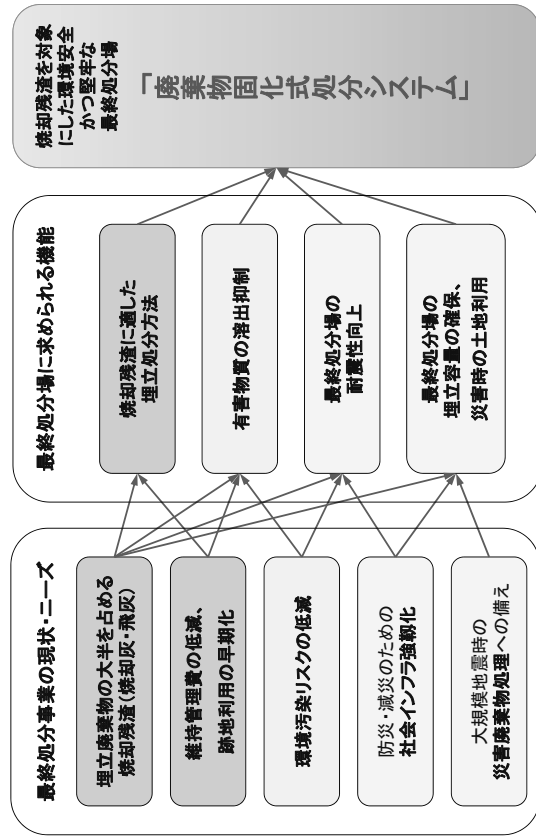
- 単結晶タイプ・多結晶タイプ  
→ 各粒群の組成分析、重液選別試験を進め、各部分のリサイクルを念頭において試験を進める。
- アモルファスタイプ (リサイクルが非常に困難)  
→ 高電圧パルス破碎装置による破碎実験を進める。
- 各タイプのパネルに対する太陽光発電パネルにおける高電圧パルス破碎のメカニズムを明確化する。
- 処理コストを定量化し、その他のパネル処理技術との比較検討を行っていく。

## 『巨大地震に耐えうる環境安全で堅牢な 最終処分場の新技術開発に関する研究』

環境省・平成28年度環境研究総合推進費 研究事業  
 (課題番号 3K143001)  
 平成26年度～平成28年度

研究代表者  
 九州大学大学院工学研究院  
 教授 島岡 隆行

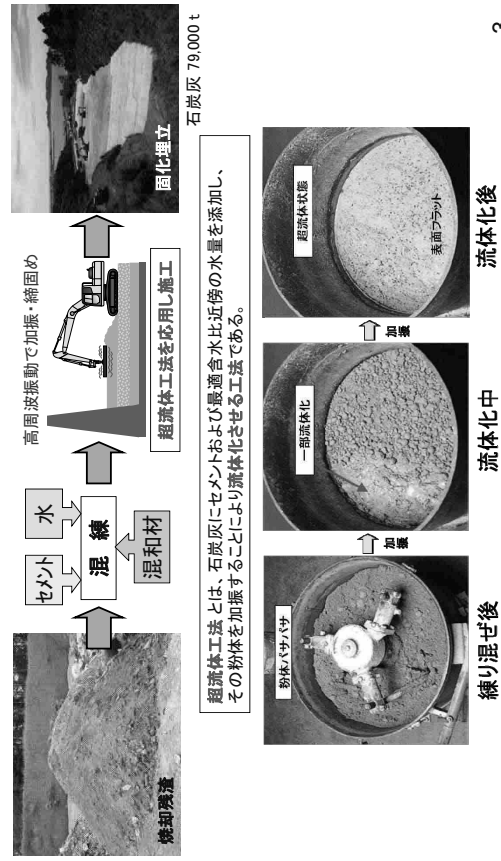
### 1. 研究の背景及び目的



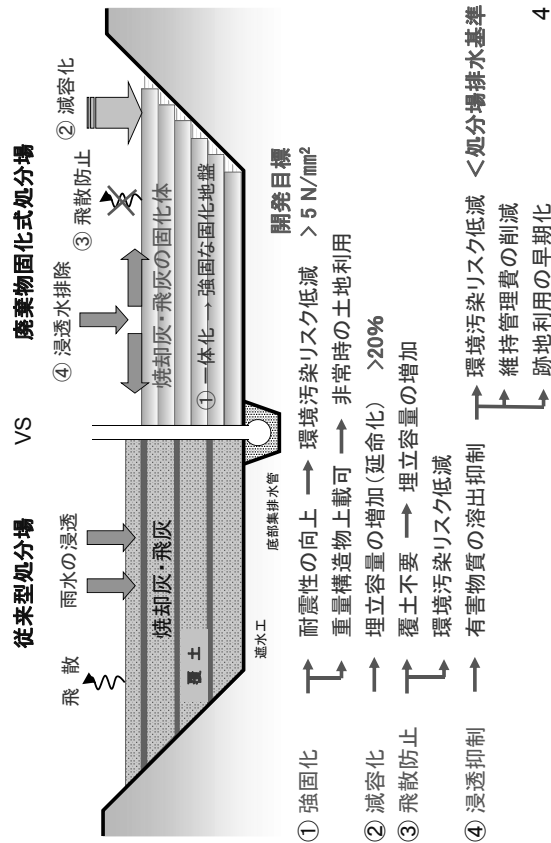
## 報告内容

1. 研究の背景及び目的
2. 研究の内容及び体制
3. 主な成果
  - テーマ(1)・(2) 固化体の材料及び性状
  - テーマ(3) 固化体の耐久性
  - テーマ(4) 固化式処分場の施工性
  - テーマ(5) 固化式処分場の耐震性
4. 総括

### 廃棄物固化式処分システムとは？



## 廃棄物固化式処分システムの4つの特徴と効果



## 3. 主な成果

- テーマ(1)・(2) 固化体の材料及び性状
- テーマ(3) 固化体の耐久性
- テーマ(4) 固化式処分場の施工性
- テーマ(5) 固化式処分場の耐震性

## 2. 研究の内容及び研究体制

廃棄物処分場、焼却残渣の研究実績が豊富で各種分析装置を保有する『九州大学』と  
 石灰灰固化研究、施工実績が豊富な『安藤ハザマ』の共同研究体制

<p><b>テーマ(1)・(2) 固化体の材料・性状 (H26-H28)</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>焼却灰及び飛灰の物理化学的性状</li> <li>示方配合、セメント、混和材の添加等の検討</li> <li>固化体の圧縮強度、透水性</li> <li>固化体の有害物質の溶出特性</li> <li>固化体の孔隙構造</li> </ol> <p>透水試験          マイクロX線CT画像</p>	<p><b>テーマ(3) 固化体の耐久性 (H26-H28)</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>耐凍性試験 (凍結融解、乾湿繰返し、塵外曝露)</li> <li>吸湿・潮解性試験 (性状変化、物質溶出)</li> <li>腐蝕性ガス発生状況</li> </ol> <p>塵外曝露試験          吸湿・潮解性試験</p>
<p><b>テーマ(4) 固化式処分場の施工性 (H27-H28)</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>現場における配合決定手法</li> <li>現場密度試験による溶出効果把握</li> </ol> <p>混練状況          現場密度試験(水置換法)</p>	<p><b>テーマ(5) 固化式処分場の耐震性 (H28)</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>動的FEM解析による地震時挙動解析</li> <li>振動台実験</li> </ol> <p>動的FEM解析          振動台実験</p>

## テーマ(1)・(2) 固化体の材料及び性状

**① 一軸圧縮強度**

セメント添加率 (%)	焼却灰・飛灰及び混和材 (添加率20%)	焼却灰及び飛灰	飛灰のみ
10	~18	~10	~5
15	~15	~8	~4
20	~12	~6	~3

固化体の一軸圧縮強度は10N/mm<sup>2</sup>程度(軟岩相当)であり、セメント添加率の調整により所定の強度の廃棄物埋立地盤の形成が可能である。

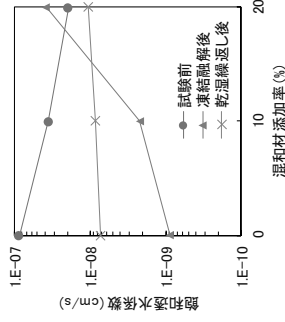
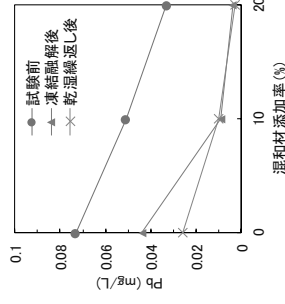
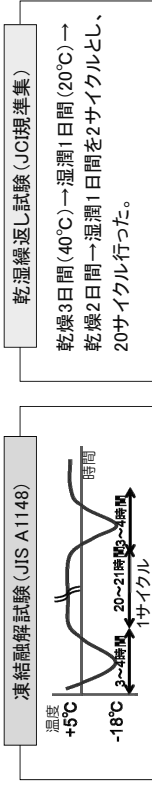
**② 飽和透水係数**

セメント添加率 (%)	飽和透水係数 (cm/s)
10	~1E-07
15	~1E-08
20	~1E-09

固化体は実質不透水 (< 10<sup>-7</sup> cm/s) である。  
 雨水の埋立地盤内への浸透は極めて少なく、浸出水処理は主に埋立地盤の表面を流れる表流水となる。

### テーマ(3) 固化体の耐久性

#### ① 耐候性 (a) 凍結融解、(b) 乾湿繰返し

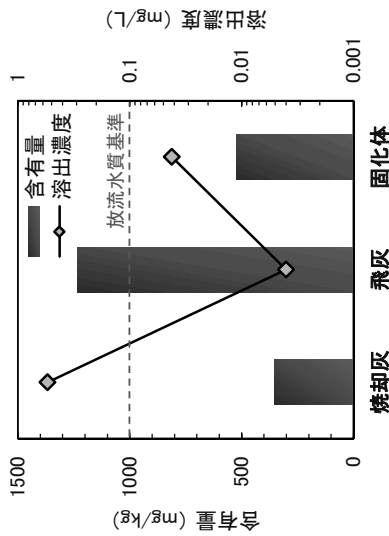


試験前後の鉛溶出濃度

試験前後の飽和透水係数

- 凍結融解後及び乾湿繰返し後の固化体
- 鉛溶出濃度は放流水質基準以下 (<0.1mg/L) を維持
- 透水係数は実質不透水 (<10<sup>-7</sup>cm/s) を維持

#### ③ 有害物質溶出特性



- 固化により、Pbの溶出濃度は放流水質基準以下に低下した(固化体の一部は土壌溶出量基準以下まで低下)。

#### ① 耐候性 (c) 長期屋外曝露

【配合】

- ・焼却灰: 飛灰 = 3 : 1
- ・セメント添加率 10%
- 【供試体寸法】
- ・10 × 10 × 40cm

表層剥離  
クラック

混和材添加率	28日目	148日目	559日目
0%			
10%			
20%			

- 供試体の一部に表層剥離及びクラックが発生した。
- ポップアウト部には炭酸カルシウムの析出が見られた。

#### ② 吸湿・潮解性

- 焼却灰及び飛灰は吸湿・潮解性を示す潮解性塩類 (NaCl, KCl) を多く含有
- 固化体から潮解水とともに有害な成分が流出し、また固化体の孔隙の拡大により、環境安全性及び固化体の強度が低下することが懸念される。

吸湿・潮解促進試験装置

構成要素: デシケータ、アクリルデシケータ、固化体、グレーチング材、水、ソーダライム、コンプレッサー、圧力計、流量計

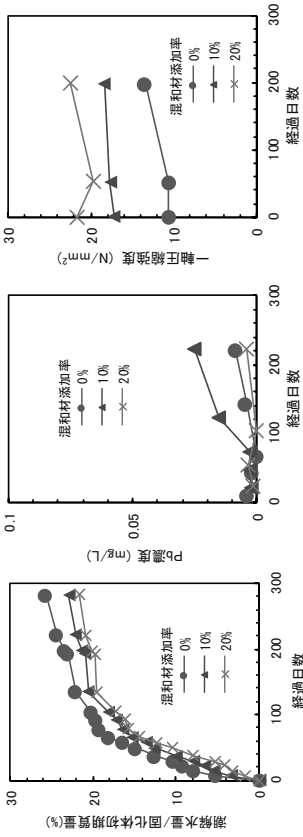
条件: 温度: 20°C, 相対湿度: 90%

試体寸法: φ 10cm × H 50cm

写真: 試体 F-1 の表面に発生した潮解水の拡大写真と、7日目後の試体表面。

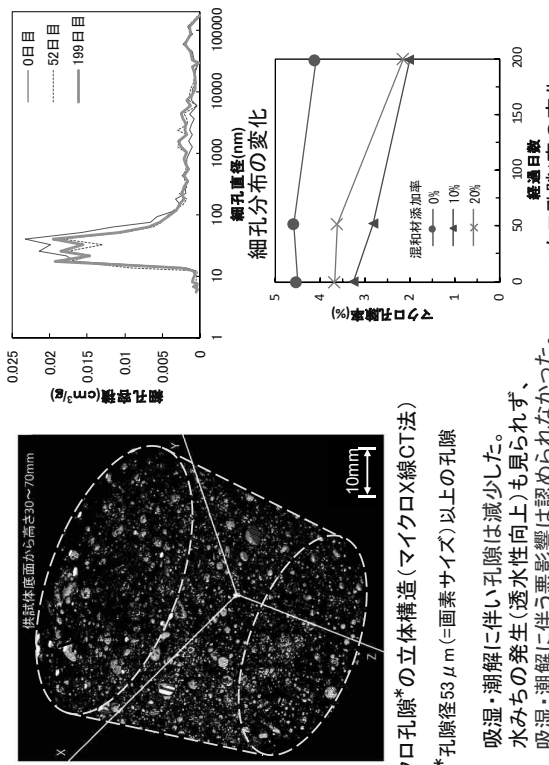
吸湿・潮解が生じた固化体 (試験7日目)

② 吸湿・潮解性



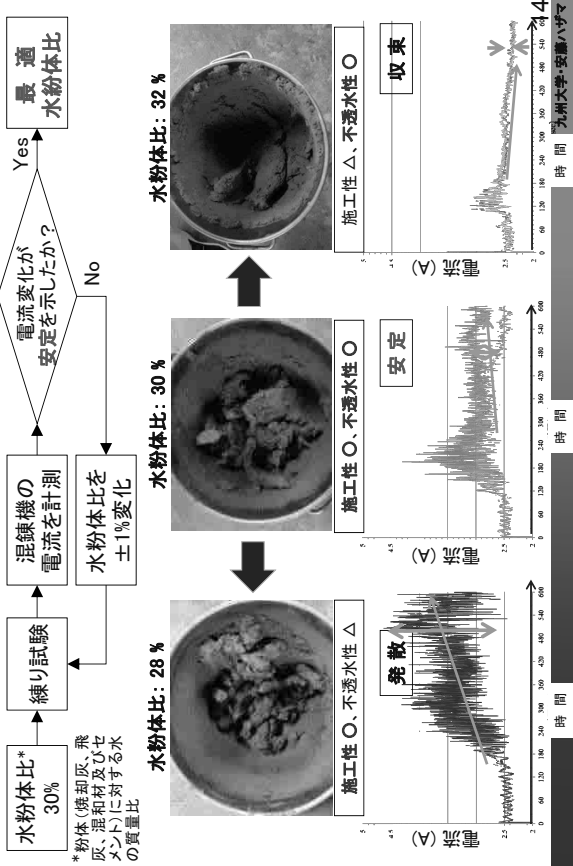
潮解水量は固化体質量の2〜3割程度であった。  
 水質は放流水質基準 (Pb < 0.1mg/L) を満足した。  
 吸湿・潮解に伴う固化体の強度低下は認められなかった。

② 吸湿・潮解性: 吸湿・潮解に伴う孔隙変化

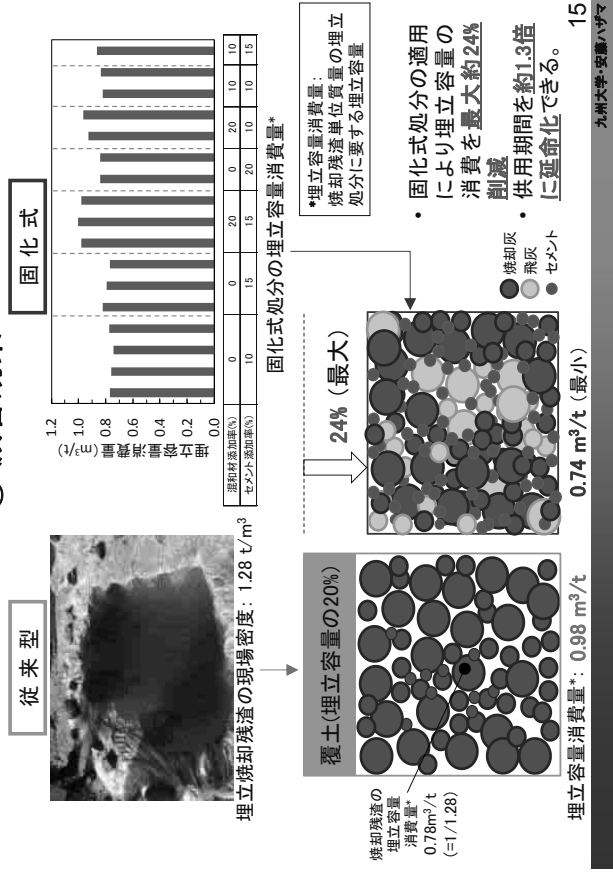


吸湿・潮解に伴い孔隙は減少した。  
 水みちの発生 (透水性向上) も見られず、  
 吸湿・潮解に伴う悪影響は認められなかった。

① 現場で最適な固化を可能とする最適水粉体比の決定手法

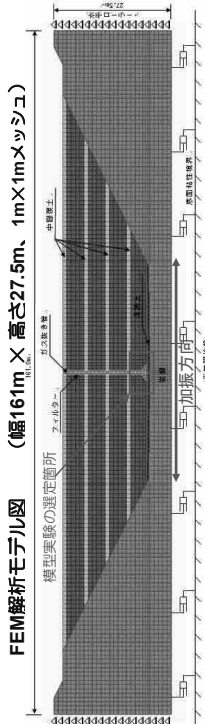


② 減容効果



## テーマ(5) 固化式処分場の耐震性

### ① 動的FEM解析



動的FEM解析結果の例 (入力地震動：最大818gal 兵庫県南部地震 JMA神戸NS波形)

	従来型処分場	固化式処分場
加速度	最大996 gal 0 200 400 600 800 1000 (g)	最大800 gal 0 200 400 600 800 1000 (g)
変位	最大6.3 cm 0 1.6 3.2 4.8 6.4 (cm)	最大4.2 cm 0 1.0 2.0 3.0 4.0 (cm)
せん断ひずみ	最大0.03 μ 0 0.005 0.010 0.015 0.020 0.025 0.030 (μ)	最大0.02 μ (保護土) 0 0.005 0.010 0.015 0.020 (μ)

16

## 4. 総括

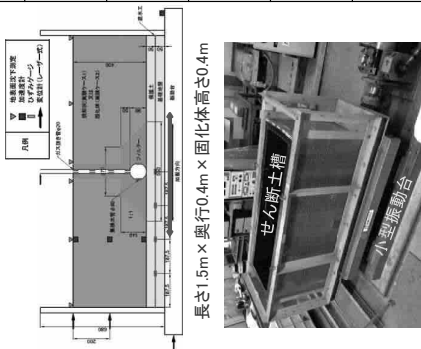
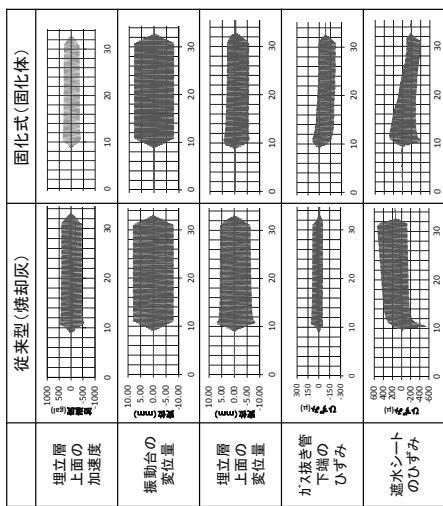
- (1) 焼却灰及び飛灰の固化体は、①軟岩相当の強度を有し、②実質不透水であること、③固化により有害物質の溶出を大幅に抑制できることを明らかにした。
  - (2) 固化体の特性は、④固化体が劣化しても保持され、⑤吸湿・潮解が固化体の強度、⑥環境安全性に及ぼす悪影響は認められなかった。
  - (3) 様々な焼却残渣に対して、⑦最適な固化を可能とする新たな配合決定手法を見出し、⑧固化式処分の減容効果、⑨固化式処分場の地震時挙動も明らかとなった。
- 以上のように、固化式処分場は環境安全かつ堅牢であるとともに、処分場の延命化を図ることもでき、実用化が期待される。

18

## ② 振動台実験

### 処分場の部分模型 (1/10スケール)

### 代表的な実験結果 (500 gal, 4Hz, 20秒加振)



### 実験結果

- (1) 固化式は、埋立層上面の加速度および変位量が従来型に比べて小さく、地震耐性に優れている。
- (2) 一方、固化式は、堅型ガス抜き管(特に集水管との接合部)に焼却灰より応力がかかるが、レベルは小さい。
- (3) 透水工(透水シート)への影響には大差がないが、固化式の方が従来型に比べ若干ひずみが小さい。

17

H29循環型社会形成推進研究発表会 平成29年12月18日



## 将来社会に求められる 資源循環技術システム

国立環境研究所資源循環・廃棄物研究センター 大迫政浩

## 本日の講演内容

- ▶ はじめに(資源循環・廃棄物分野の技術変遷と今後)
- ▶ 国立環境研究所における取組み(Waste-to-energy)
- ▶ 国立環境研究所における取組み(Waste-to-material)

2

## 社会ニーズや政策動向と主な技術開発動向 (1990年代)

社会ニーズや政策動向	主な技術開発内容
処分場安全性確保	遮水システム、漏水検知システム(埋立処分)
ダイオキシン問題	燃焼改善、排ガス処理(活性炭噴霧・バグフィルター)等ダイオキシン抑制技術(焼却処理)、浸出水中ダイオキシン分解技術(埋立処分)
処分場ひっ迫	灰溶融・ガス化溶融等の減容化技術
容器包装リサイクル法制定	光学的選別等高度選別技術、廃プラスチックのマテリアル・ケミカルリサイクル技術
不適正処分・不法投棄問題	汚染土壌処理技術、汚染拡大防止技術

3

## 社会ニーズや政策動向と主な技術開発動向 (2000年代)

残存PCB・アスベスト等のストック問題	PCBの化学分解処理技術、アスベスト無害化技術
地球温暖化問題 バイオ燃料等再生可能エネルギー転換	バイオガス化技術、BDF化、バイオエタノール化
アジア新興国等への展開	低コストシステム化
ベースメタル、レアメタル高騰	使用済み製品からの物理選別技術、残渣の溶融メタル回収

4

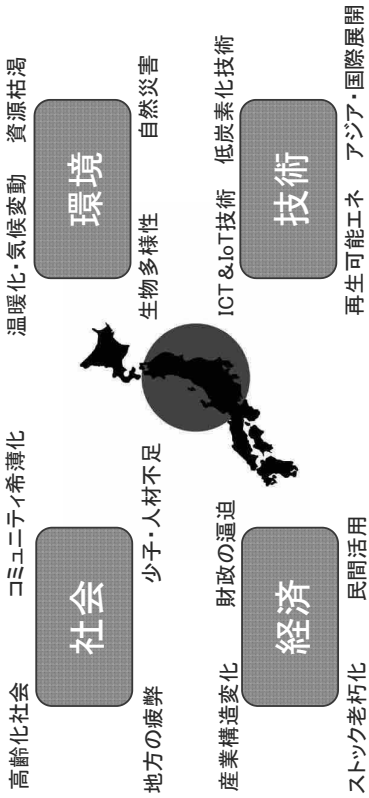


## 社会ニーズや政策動向と主な技術開発動向（2010年代）

電力自由化・FIT制度	発電効率化技術（低空気比、排ガス再循環、低温エコノマイザー、無触媒脱硝等）（焼却処理）
福島第一原発事故による環境放射能汚染	焼却ノメタン発酵コンバインドシステム 生物ドライ／選別SRF化／堆肥化システム（MBT技術）
水俣条約・水銀規制 ICT、IoT技術進展	放射能汚染廃棄物等処理における放射性セシウム制御技術 廃水銀の硫化処理技術、隔離処分技術 トレーサビリティシステム、燃焼制御、遠隔監視技術等

5

## 複雑化する社会動向



6

## 廃棄物系バイオマスからのエネルギー転換及び焼却残渣からの金属資源回収技術の開発

### 1. 食品廃棄物等のエネルギー化技術開発 2. 焼却残渣からの金属回収研究

**都市規模に応じた普及促進技術**

- 残渣処理一体化ユニットシステム
- 無動カ化
- 未利用バイオマス原料化
- インフラ連携

**都市ごみの焼却残渣中には金・銀等貴金属や非鉄有価金属の徹底回収**

- 欧州では金属物理選別施設が多数稼働
- 焼却残渣の環境安全性向上効果も期待

**環境負荷・持続可能性向上**

- 環境負荷物質の排出実態把握と削減
- 運転監視技術の高度化
- 適切な燃料利用法の検討

**有害/有害金属含有量と焼却処理における化学形態評価**

- 物理的形状による焼却残渣の選別実験：金属含有粒子の資源性・有害性評価

7

## 国立環境研究所におけるWaste-to-energy 研究

### 飲食店廃グリースからのバイオ重油およびバイオガス生産技術の開発

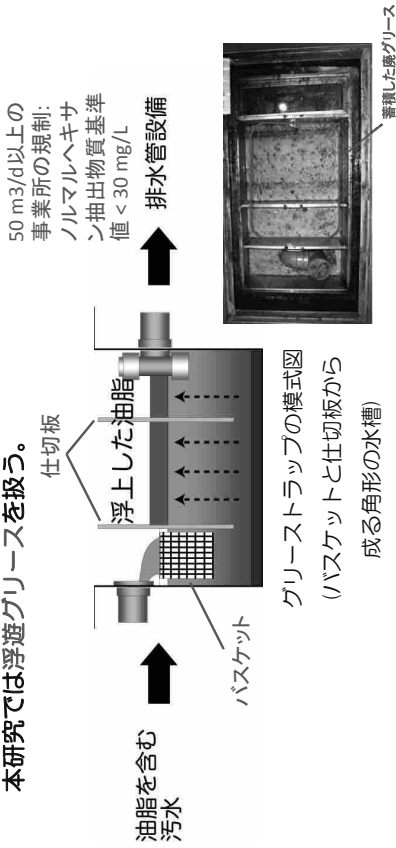
小林拓朗  
倉持秀敏



8

## 本研究で対象とする廃グリース

廃グリース = 飲食店・食堂の厨房に設置された油水分離集積器（グリーストラップ）に蓄積した排水由来の油脂を含む廃棄物。とくに、本研究では浮遊グリースを扱う。



9

## 厨房排水中の油脂濃度

主な(未規制)の小規模事業場排水の水質調査例

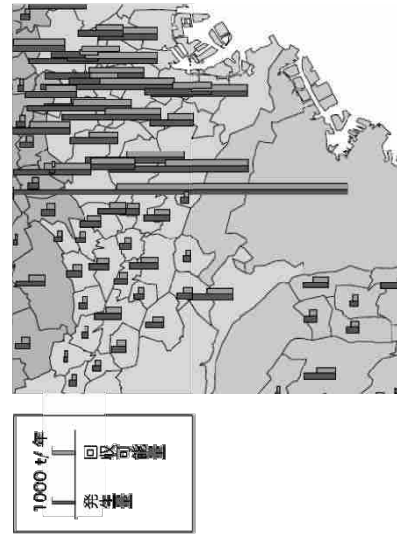
種類	排水量 m <sup>3</sup> /日	BOD (mg/L)	油分(n-Hex) (mg/L)
給食センター	50 - 200	400 - 600	100 - 1300
一般食堂	16.2±15.4	260	35
中華料理	4.4±15.4	950	240
ファストフード	8 - 105 (ave. 30)	390 - 920 (600)	35 - 195 (82)
ファミレス	27 - 78 (ave. 46)	245 - 660 (400)	38 - 190 (85)
ラーメン店	16 - 100 (ave. 40)	500-2500 (1100)	45 - 430 (140)
中華料理	19 - 86 (40)	290-1200 (590)	40 - 260 (100)
和食店	13 - 73 (31)	90-1000 (300)	7 - 90 (25)

赤松(1986), 山本(1991), 伊与(1994)

ただし、これらはトラップからの流出水である。  
 >厨房から発生する排水中の濃度はそれ以上

10

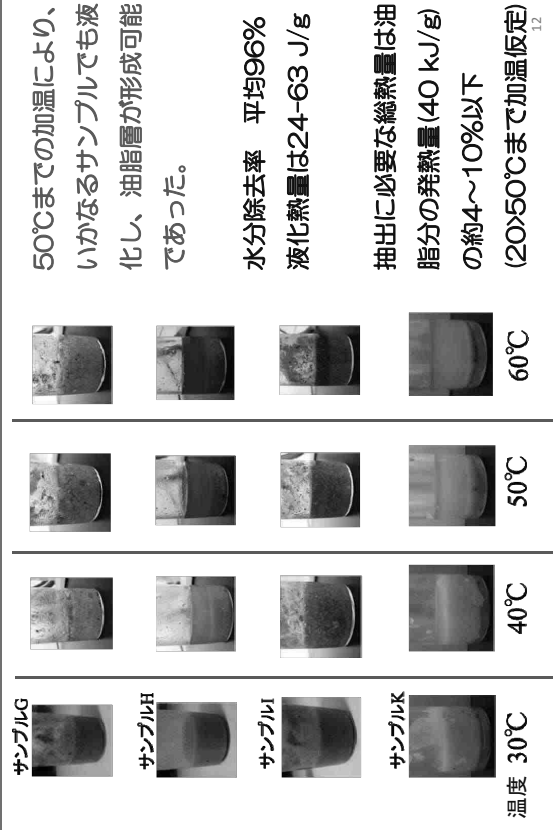
## 廃グリースの年間発生総量と回収可能推定量



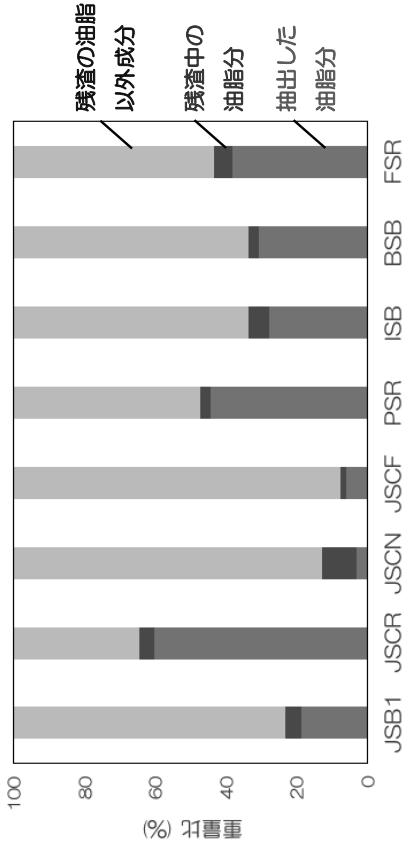
関東圏域発生量合計: 13.7万トン/年  
 関東圏域回収可能量合計: 7.9万トン/年

11

## 加温による油脂分の抽出



## 2014年春サンプルの油脂抽出例



サンプルによって、油脂分の濃度にばらつきがあり、

抽出油脂分は3.0~60.8%。

抽出率 (=抽出油脂分/全油脂分×100)も23~94%ではついていたがほとんどは80%以上が抽出されていた。

13

## 残渣からのメタン発酵によるエネルギー回収

### 廃グリースからの油脂抽出後の残渣の性状分析例

TS (g/L)	SS (g/L)	COD <sub>c</sub> (g/L)	COD:N:P	糖 (g/L)	タンパク質 (g/L)	脂質 (g/L)	Co (mg/L)	Ni (mg/L)
101.7	69.1	153.2	1000:12:1	13.6	17.9	65.4	0.1	1.2
±14.8	±9.0	±20.0		±5.2	±2.8	±3.1	±0.1	±1.3

残渣は水分が割合程度であり、エネルギーのポテンシャルは油脂よりもかなり低い。

- ・ TS, SS は標準的な湿式メタン発酵に適した水準であった。
- ・ 窒素・リンは生物処理において不足しない程度に含有されていた。
- ・ 有機物成分のうちのとんどが、脂質によって占められた。
- ・ メタン菌の必須栄養元素の Co, Ni は極めて低濃度だった。

性状からは、Co, Niなどの微量金属や、場合によってはアルカリ度や窒素源を補充することでメタン発酵が可能な原料であると評価できる。

14

## 残渣のメタン回収ポテンシャルの位置付け

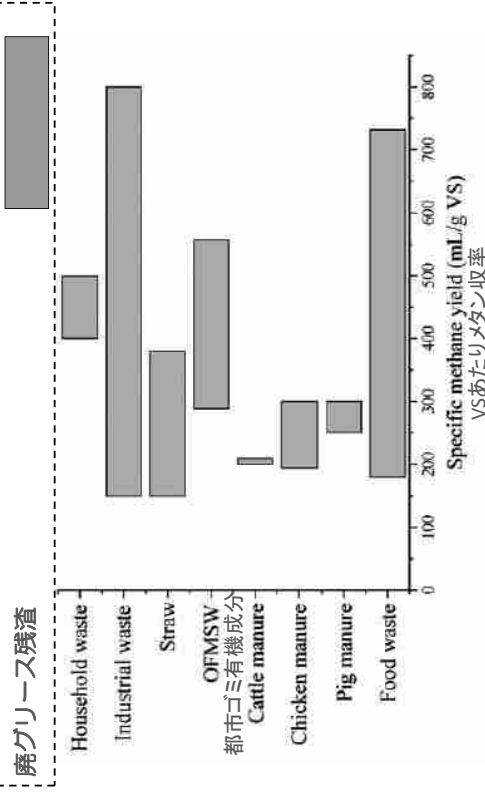


Fig. 3. Specific methane yields from waste streams (data collected from Abouelenien et al. (2010); Angelidaki and Ellegaard (2003); Ariunbaatar et al. (2014); Banks et al. (2011); Kiran et al. (2014b)).

Xia (2016) Biotechnology Advance 5

グループI: フランス料理、ラーメン

特徴として酸価、過酸化価が低い。脂肪酸の不飽和度が高く、液化温度も30°C以上ある。

グループII: 居酒屋(揚物など多い)、焼肉

特徴として酸価が非常に高い。脂肪酸の不飽和度が高く、液化温度も30°C以上ある。

グループIII: 居酒屋(揚物など多い)

特徴として酸価が非常に高い。脂肪酸の不飽和度や液化温度 (25~35°C) が中程度。

グループIV: カレー、欧風パブ

特徴として酸価が中程度。脂肪酸の不飽和度や液化温度 (25~37°C) が中程度。

グループV: 和風食堂、中華料理、ポルトガル料理、欧風バー

特徴として酸価が低い。過酸化価がやや高い。脂肪酸の不飽和度や液化温度が非常に低い。

グループの特徴を決定付けるのは、主に酸価と脂肪酸不飽和度および液化温度であった。

16

## ここまでを整理すると…

- 50℃で加温することにより、いかなる廃グリコースも液化する。液化によって油脂の層が形成され、抽出可能である。
- 手作業回収によって得られる廃グリコースからは、加温法によって単位重量あたり平均37%の油脂が回収可能である。
- 加温抽出に必要なエネルギーは、抽出油脂そのものの発熱量と比較すると十分に小さい。
- 残渣は、湿式のメタン発酵に適した有機物濃度であって、他のバイオマス原料と比較して高いメタン収率が期待できる。
- 抽出油脂は、主に酸価(脂肪酸遊離度)と不飽和脂肪酸割合・液化温度とによって、類型化された。
- グループVを除くと遊離脂肪酸や飽和脂肪酸割合が高く、BDFなどの高品質な燃料利用は困難と思われた。

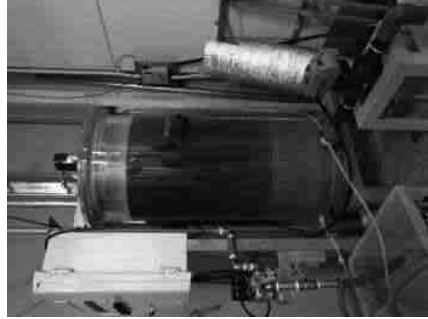
17

## バンチスケール装置を用いた、 廃グリコースからの油脂抽出

18

## 浮遊グリコース全量を使った油脂抽出の実験

100 Lスケールの装置を用いて、回収された数店舗分の浮遊グリコースを全量使って、実験を実施した。



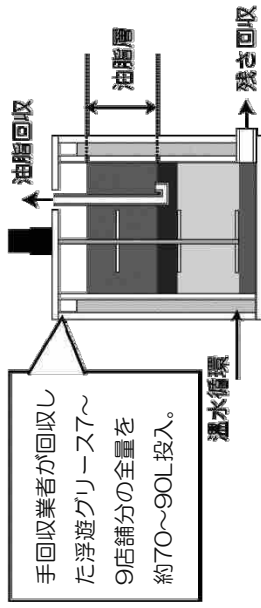
抽出は全て機械的に実施。センサーとポンプ付きスライダーで、油脂の界面を検知し、それより上方の液体をポンプで全て吸引。



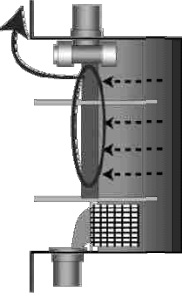
19

## 浮遊グリコース全量を使った油脂抽出の実験

### バンチスケール実験装置



2年に渡って、計4回実施した。



室温状態



加温後

## 抽出油脂の特性

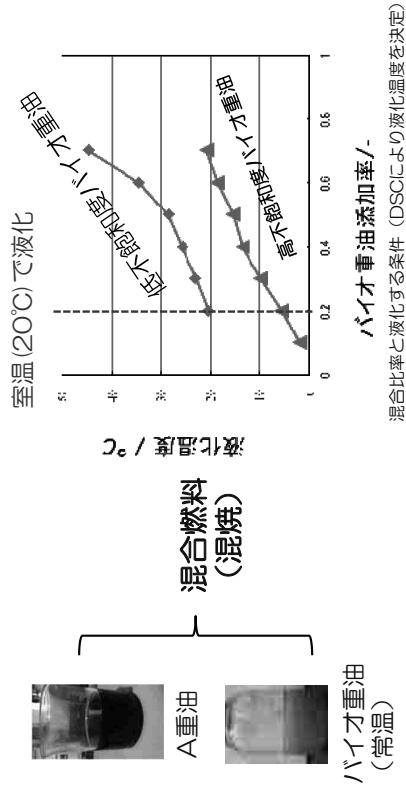
	A重油 (JIS K 2205)	Mar.	Sep.	Dec.	Feb.
動粘度 (mm <sup>2</sup> /s at 50 °C)	20	24	189	2192	20.5
流動点(°C)	5	2.5	22.5	7.5-15.0	12.5
残留炭素(wt%)	4	0.34	0.35	0.21-0.26	0.34
水分量(ppm)	3000	2200	4000	2500	2600
灰分(wt%)	0.05	0.002	0.011	0.001	<0.001
硫黄分 (mg/kg)	5000	43	30	46	24

4回の実験で得られた抽出油脂は、流動点以外A重油の規格と同等であった。  
これを持って、本研究では抽出油脂をバイオ重油と呼称することにした。<sup>21</sup>

## ここまでを整理すると…

- 飲食店舗から採取されたグリース全量を使い、数店舗分を混合した場合にも、加温液化により油脂分が回収可能であった。
- 加温法によって単位重量あたり30-50%の油脂が回収可能である。
- 抽出された油脂はA重油規格と同等であった。
- 液化温度が比較的高い点が問題であったが、そのような油脂でも重油との混合で室温液化が可能であった。

## 高い液化温度の解消に向けて - 重油との混合



A重油との混合(2:8)で、低不飽和度のバイオ重油であっても室温液化が可能であった。

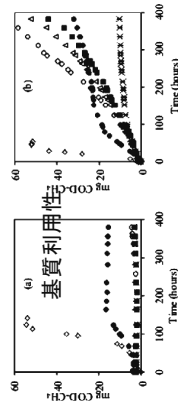
そのほかの燃料としての評価は、共同研究者倉持らが実施中である。

## 油脂抽出残渣からのメタン発酵の連続処理について

## 高級脂肪酸による阻害の仕組み

膜を通した物質移動の制限

Pereira MA (2005) Biotechnol. Bioeng.



高級脂肪酸が細胞膜に吸着した結果、細胞内外のやりとりが妨げられ、基質取り込みと生産物排出が制限される

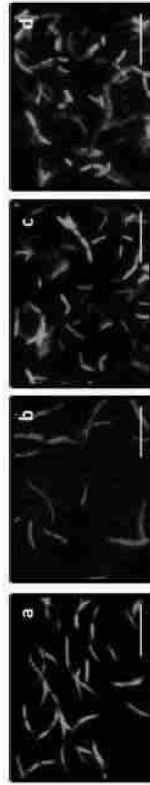
脂肪酸吸着あり

脂肪酸吸着なし

緑：正常な細胞

赤：細胞膜を損傷した細胞

Sousa DZ (2013) Appl Environ Microbiol.

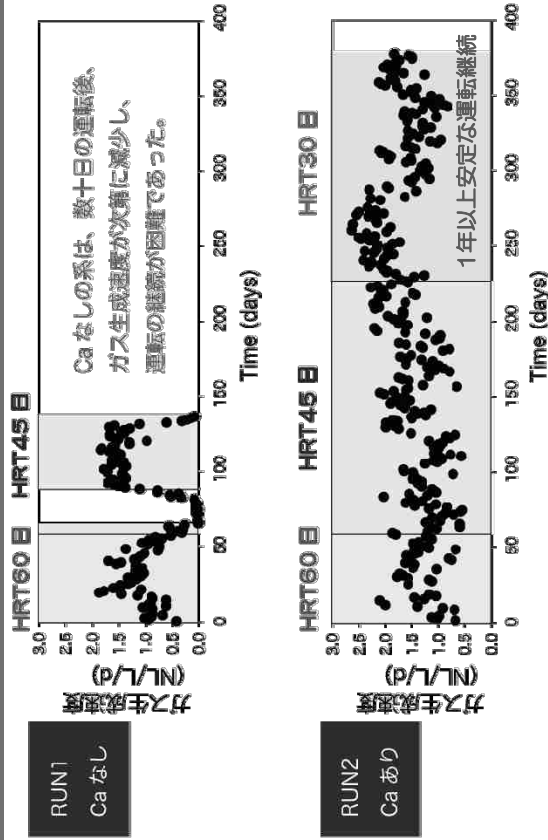


*Methanospirillum hungatei*      *Methanobacterium formicicum*

aとc: オレイン酸 0mM    bとd: オレイン酸 0.5 mM

25

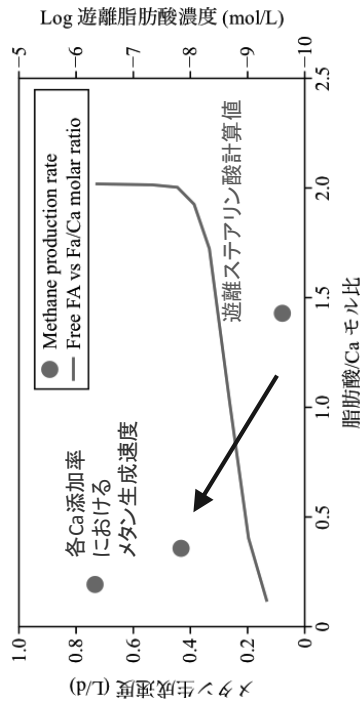
## 連続メタン発酵実験におけるガス生成特性



Ca ありの系は、HRT30 日 (COD 容積負荷 5.3 kg/m<sup>3</sup>/d) まで安定な運転が可能だった。

## 脂肪酸カルシウム塩形成による阻害緩和

高級脂肪酸とカルシウムとの金属塩形成による遊離脂肪酸の低減



Caの比率を増大させることにより、阻害を緩和し、より大きなメタン生成速度が達成された。

26

## ここまでを整理すると…

- 表面コーティングした水晶振動子センサーによる簡易な方法で、発酵液中の高級脂肪酸を定量的に検出可能であった。
- Caの添加により高級脂肪酸塩を形成させ、メタン発酵の阻害を緩和することが可能であった。
- 阻害緩和対策を行った上で、現実的な滞留時間で廃グリースからの油脂抽出残渣の連続メタン発酵処理が可能であった。その結果、約8割のCOD成分がメタンへと転換された。

28

### 最後に- 廃グリースからのエネルギー回収収支

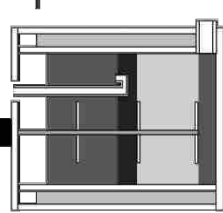
グリーストラップ

1トン



油脂抽出

約 35wt%



A 重油相当オイル  
C16:0,C18:1,C18:2  
が主な脂肪酸  
350 kg

約 65wt%



メタン発酵の結果  
抽出油脂の約1割  
分のエネルギーを  
残渣からさらに回  
収可能であった。

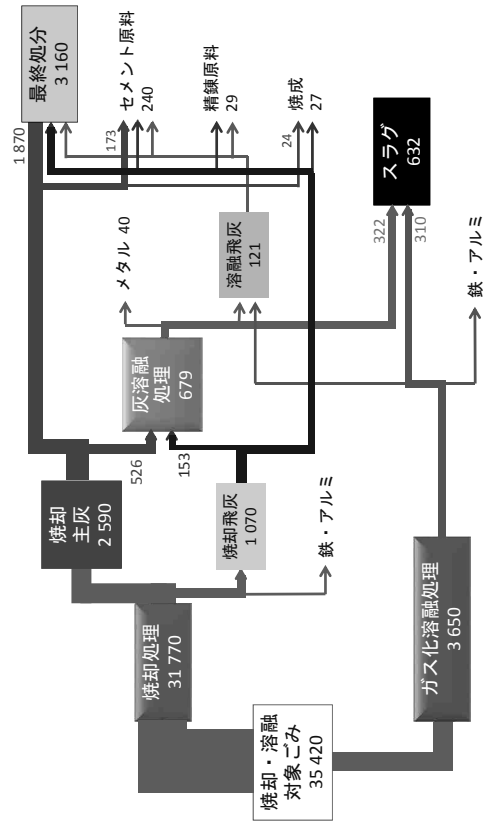
CODの70%が  
メタン化  
30 m<sup>3</sup>-メタン  
= 約 30 kg 重油

### 国立環境研究所における Waste-to-material 研究

焼却残渣からの金属等回収研究

### 日本の熱処理残渣のストリーム

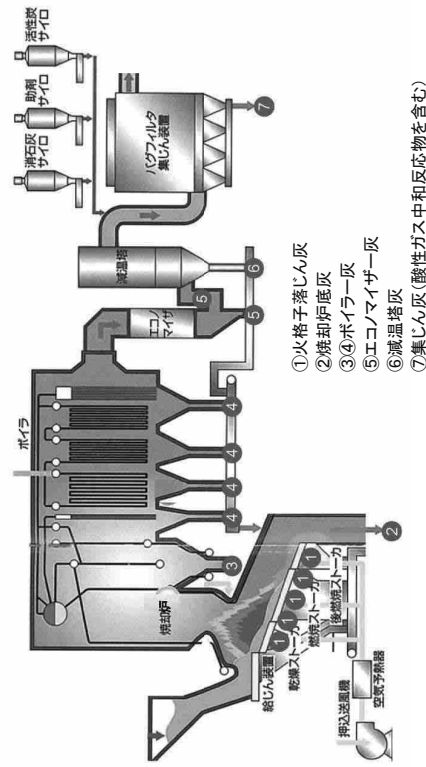
単位: 千トン  
2011年度



環境省データ⇒日本環境衛生施設工業会取りまとめ

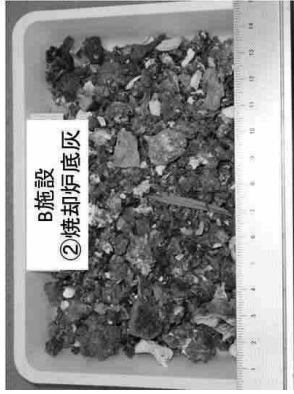
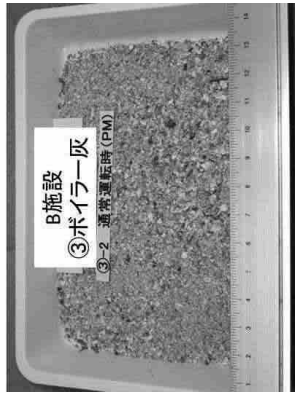
出典: 希倉宏史、国立環境研究所セミナー資料 (2017)

### ストーカ式焼却施設の例 (B施設) (300 t/d 廃熱ボイラ+水噴射)



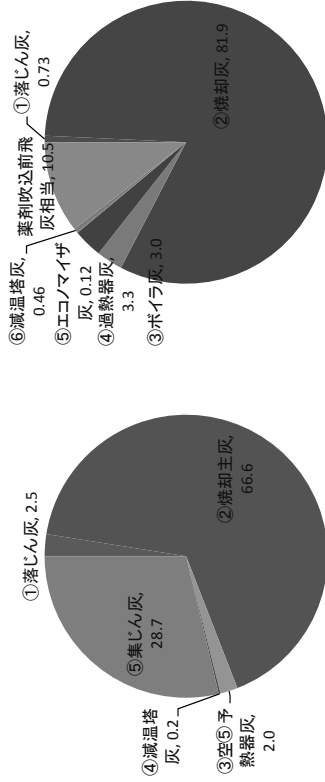
- ① 火格子落下じん灰
- ② 焼却炉底灰
- ③ ④ ボイラー灰
- ⑤ エコノマイザー灰
- ⑥ 減温塔灰
- ⑦ 集じん灰 (酸性ガス中和反応物を含む)

出典: 希倉宏史、国立環境研究所セミナー資料 (2017)



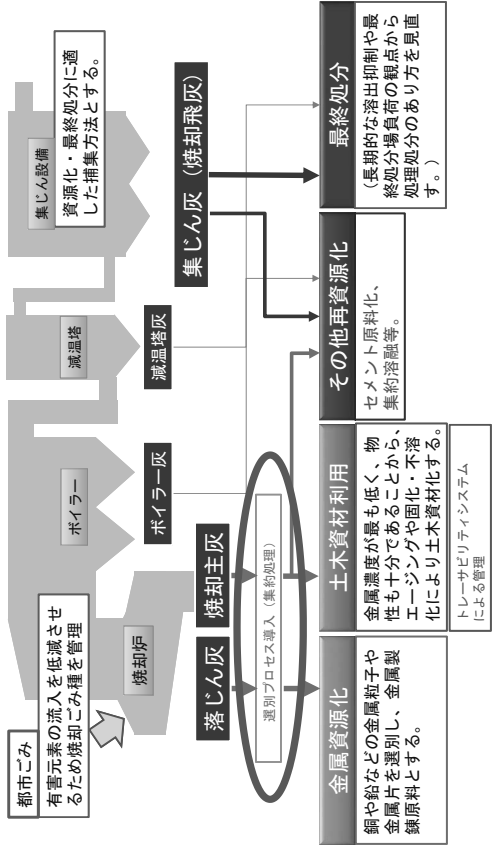
出典：希倉宏史、国立環境研究所セミナー資料（2017） 33

# 重量収支



出典：希倉宏史、国立環境研究所セミナー資料（2017） 34

## 焼却残渣循環資源化トータルスキーム(案)



出典：希倉宏史、国立環境研究所セミナー資料（2017） 35



Environmentally sound use of bottom ash



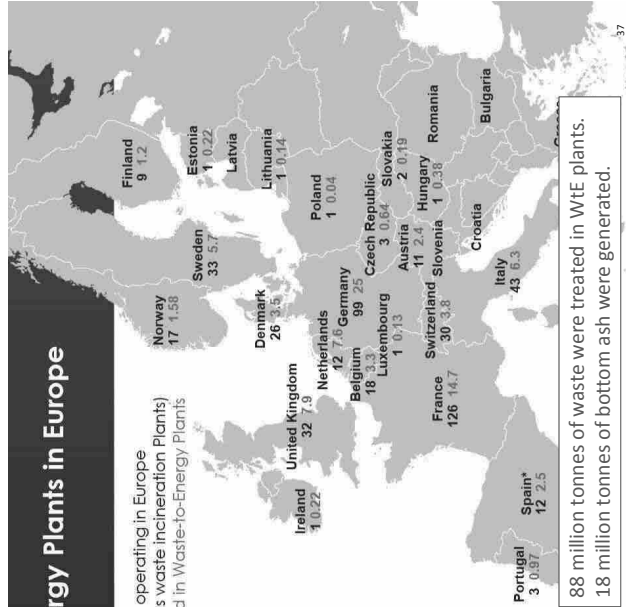
Photo: Bottom ash, Indaver

出典：希倉宏史、国立環境研究所セミナー資料（2017） 36



## Waste-to-Energy Plants in Europe 2014

- Waste-to-Energy Plants operating in Europe (not including hazardous waste incineration plants)
- Waste thermally treated in Waste-to-Energy Plants in million tonnes



88 million tonnes of waste were treated in WtE plants.  
18 million tonnes of bottom ash were generated.



info@cewep.eu | www.cewep.eu

Data supplied by CEWEP members and national sources  
\* Includes plant in Andorra

出典: 希倉宏史、国立環境研究所七ミナ一資料 (2017)

出典: 希倉宏史、国立環境研究所七ミナ一資料 (2017)

## ISWA Report BOTTOM ASH FROM FROM WTE PLANTS METAL RECOVERY AND UTILIZATION



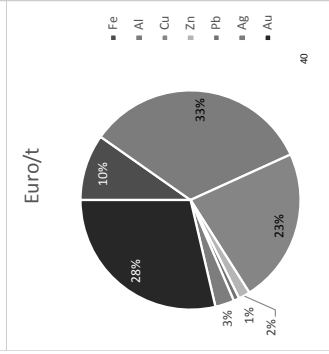
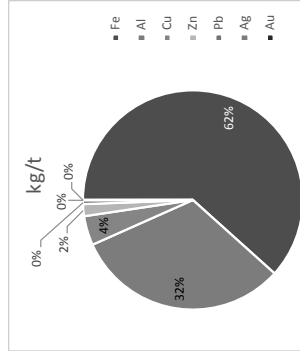
出典: 希倉宏史、国立環境研究所七ミナ一資料 (2017)

Element	unit	range	average
Silicon	g/kg	168-274	221
Calcium	g/kg	89.1-104	94.9
Iron	g/kg	46.7-77.8	65.1
Aluminum	g/kg	45.0-56.1	50.3
Sodium	g/kg	33.3-39.2	35.4
Magnesium	g/kg	10.5-11.2	10.7
Potassium	g/kg	7.4-8.6	8.1
Copper	g/kg	3.4-11.0	5.6
Zinc	g/kg	2.0-4.8	3.1
Barium	g/kg	1.1-2.4	1.5
Lead	g/kg	0.6-2.6	1.4
Silver	mg/kg	-	19.9
Gold	mg/kg	-	1.9

**Table 1**  
Approximate composition of bottom ash, in mass percentages, sources: (ISWA, 2006), (Astrup & Christensen, 2003). Silver and gold values estimated from results presented in (Morf, et al., 2013), see Appendix 1.

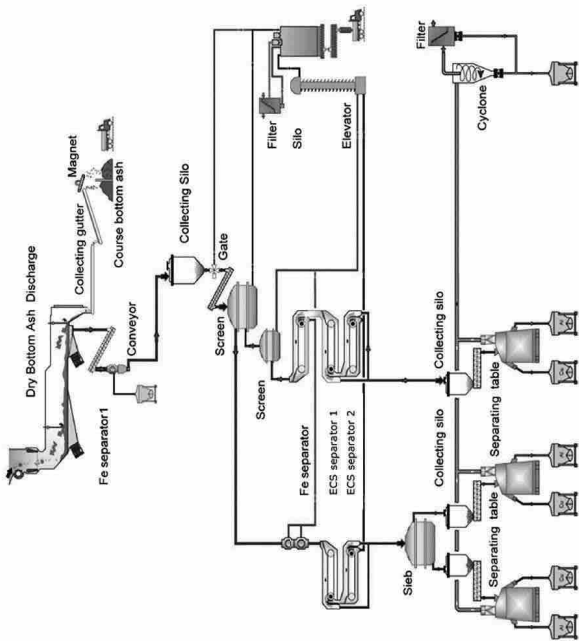
**Table 2**  
Amount of selected metals present in bottom ash, from (Morf, et al., 2013). Scrap prices are subject to variation and thus approximate values.

Metal	Amount [kg/tonne]	Estimated scrap price [€/kg]	Euro/t
Fe	31.4	0.12	3.77
Al	16.1	0.80	12.88
Cu	2.2	4.00	8.80
Zn	0.9	0.73	0.66
Pb	0.3	1.07	1.08
Ag	0.004	270	11.04
Au	0.0004	27600	38.55



出典: 希倉宏史、国立環境研究所七ミナ一資料 (2017)

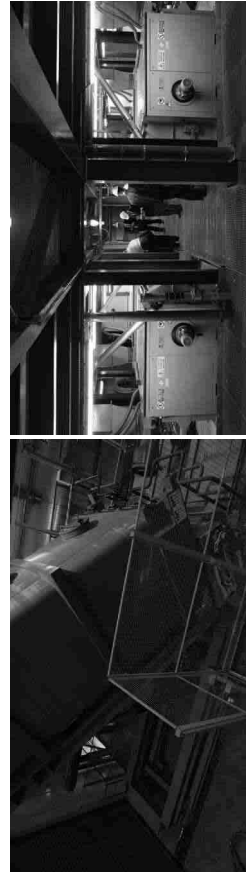
Figure 20 shows the sorting system at the ZAR facility, treating dry bottom ash from the REZO plant. The material (> 5 mm) is sorted and handled externally.



出典：希倉宏史、国立環境研究所セミナー資料(2017)



出典：希倉宏史、国立環境研究所セミナー資料(2017)



出典：希倉宏史、国立環境研究所セミナー資料(2017)

## 金属回収後の主灰の建設資材リサイクル



Figure 23 Concrete tiles produced from bottom ashes.



Figure 24 Construction of noise barrier along the A12 highway in The Netherlands.

出典：希倉宏史、国立環境研究所セミナー資料(2017)

## 各国の主灰取扱いの特徴

国名	主灰の取扱い
ドイツ	資材リサイクルに関する統一の制度を準備中だが、現在は地方政府ごとに運用。天然資材が豊富な内陸部では規制は厳しく、資材が比較的乏しい北の平野部では利用に積極的する傾向。 焼却主灰の有効利用率は公式には90%(路盤材が30%程度、最終処分場内の敷土材や覆土材に45%程度)。
スイス	焼却主灰の土木資材利用は法律上許可されておらず、埋立処分しなければならぬ。
デンマーク	道路材料として長年利用され、自動車専用道路の路盤材として特に利用が進んでいる。99%がリサイクルされている。
オランダ	全ての都市ごみ焼却事業者と政府との間で“Green Deal Bottom Ash”を契約(内容:>6 mm非鉄の75%以上を回収する。2020年以降、粒状物を全て利用できるようにクリーンにする)。自動車専用道路のジャンクジョーンや防音壁にも利用。

■ 主灰の道路材料利用が行われている国: デンマーク、ベルギー、フランス、ドイツ、オランダ、ポルトガル、英国、スペイン。 ■ イタリアBSBプラントはコンクリート骨材に利用

Source: 今回ヒアリング情報(ドイツ)、CEWEP Bottom ash fact sheet

出典: 着書歴史、国立環境研究所セミナー資料(2017)

45

## 今後の資源循環・廃棄物分野の技術展開

- 経済社会のストックからできるだけ資源を回収し、最低限の天然資源のみ使うようにする技術社会への転換
- 低炭素社会のために導入された太陽光パネル、ハイブリッド車などの新規技術から生じる新たな廃棄物・リサイクル
- カーボンニュートラルな廃棄物や未利用資源のエネルギー転換拡大
- 新たに普及してきた新規材料(炭素繊維やナノマテリアル)や新規化学物質(難分解性有機汚染物質POPsなど)の処理・リサイクル時の適正管理

46

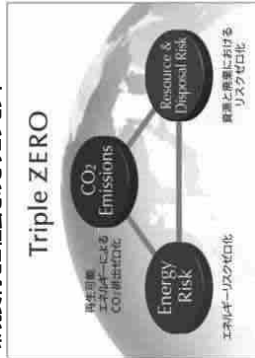
# リチウムイオン電池の高度リサイクル

研究課題番号 3K152013  
 研究代表者 本田技研工業株式会社 阿部 知和  
 研究実施期間 平成27年5月29日～平成29年3月31日

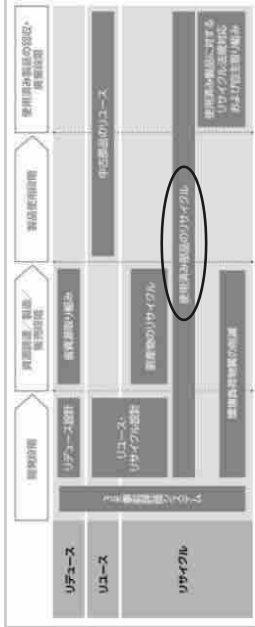
## Hondaの環境取組みの考え方



### 環境負荷ゼロ社会をめざすコンセプト



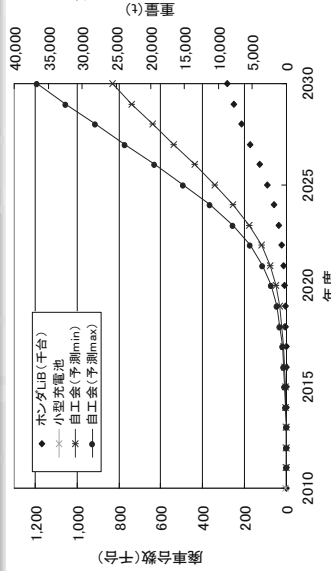
### 資源と廃棄物におけるリスクゼロ化の取り組み



## 説明内容

1. Hondaのリサイクルへの取組み
2. リチウムイオン電池 (LiB)の高度リサイクル技術の開発
3. まとめ

## 使用済み自動車駆動用電池発生量予測

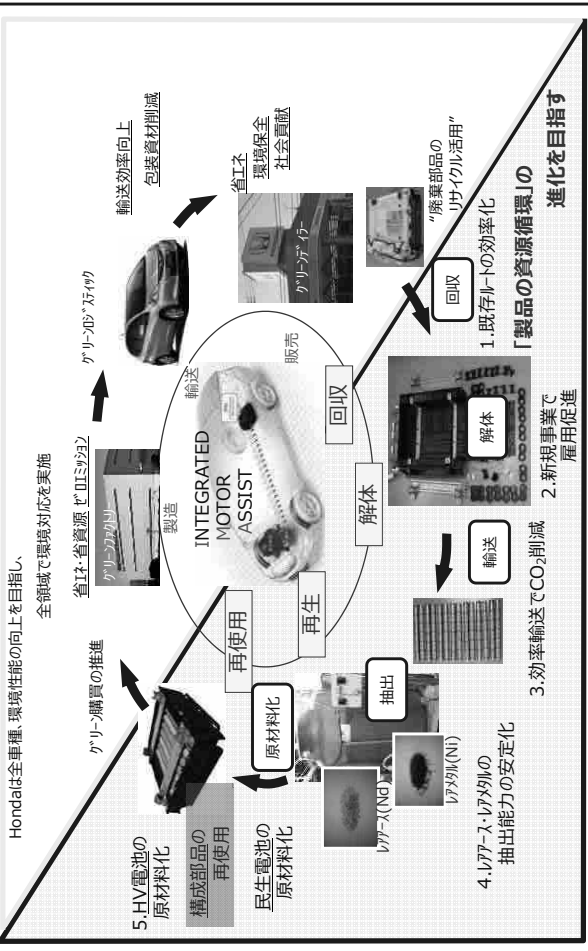


使用済み自動車駆動用電池は  
今後大幅に増加する



## 電動部品のリサイクルが現在の重要な課題

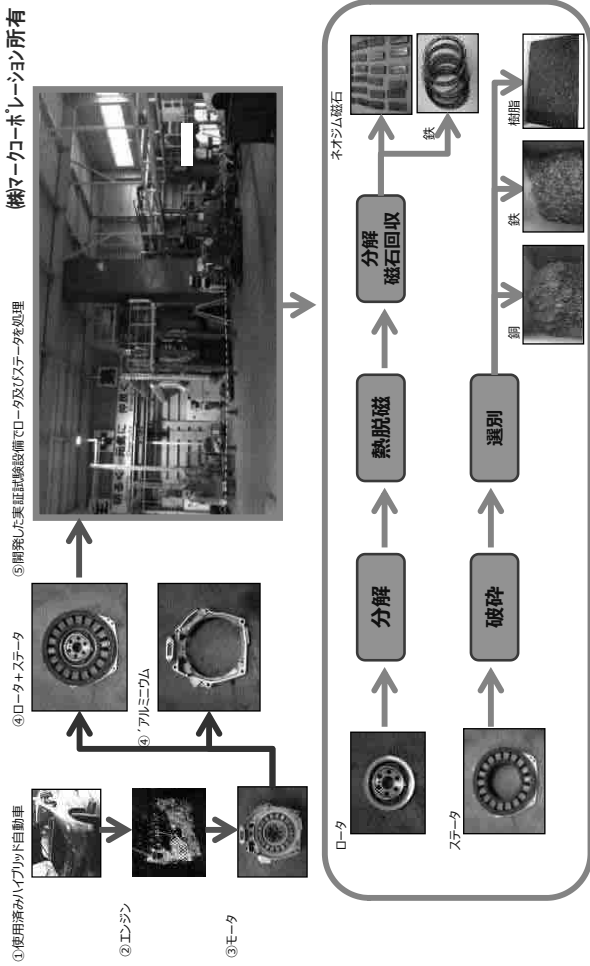
# ニッケル水素電池リサイクル



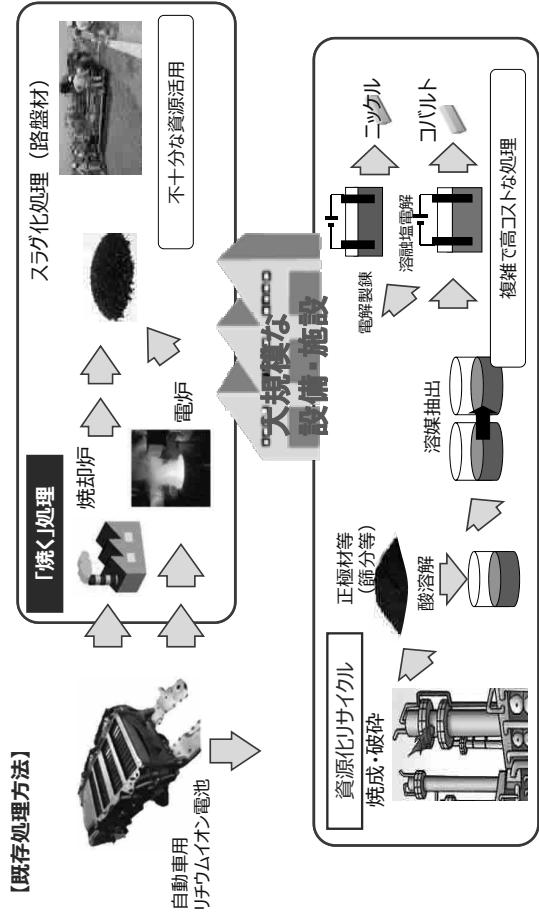
# 説明内容

1. Hondaのリサイクルへの取り組み
2. リチウムイオン電池 (LiB) の高度リサイクル技術の開発
3. まとめ

# 駆動モーターのリサイクルシステム

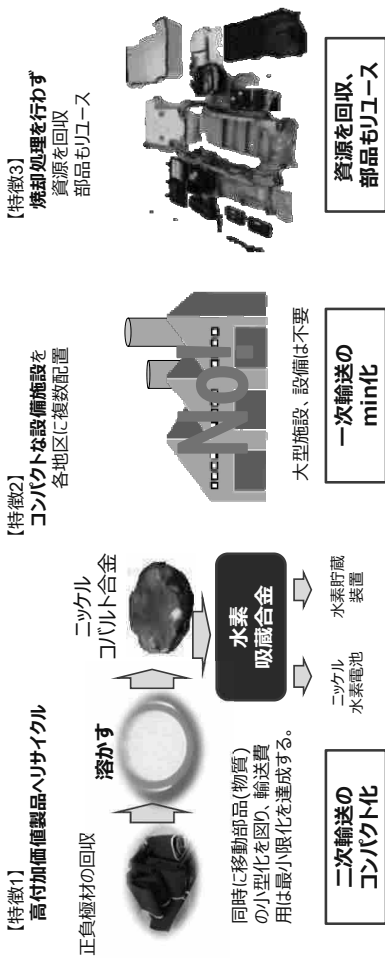


# リチウムイオン電池処理の現状



## 高度リサイクルの研究開発目的

【目的】 LiBを焼却せず、直接合金化し水素吸蔵合金等に適用。  
処理コストの低減を図り、今まで困難であった資源の活用を可能とする。



【特徴1】  
高付加価値製品へリサイクル

【特徴2】  
コンパクトな設備施設を  
各地区に複数配置

【特徴3】  
焼却処理を行わず  
資源を回収  
部品もリユース

## 精緻な解体によるコンパクトな設備で再資源化を低コストで実施

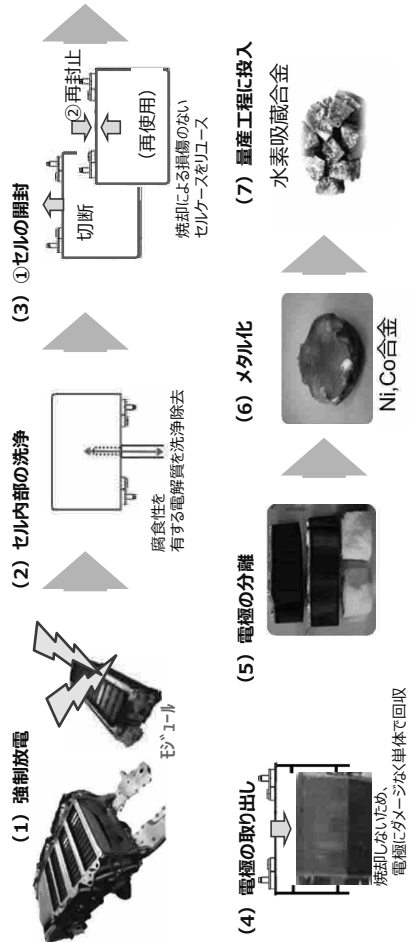


9

## LiB高度リサイクル2年間の基礎調査結果

2年間の基礎調査により、焼却せず電極を取り出せる可能性を見いだせた。  
ここから得られる正極を直接、水素吸蔵合金の製造  
に利用することで現状のリサイクル費用低減を目指す

### 高度リサイクルプロセス

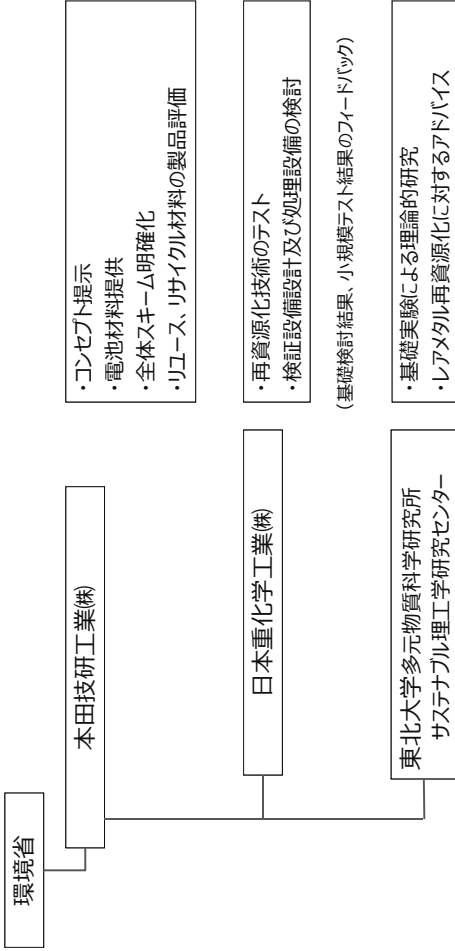


## リバースエンジニアリングでセルを解体し電極を合金化する方法を開発

11

## 研究開発体制

2015年度の環境研究総合推進費 (2015年度～2016年度の2年間)

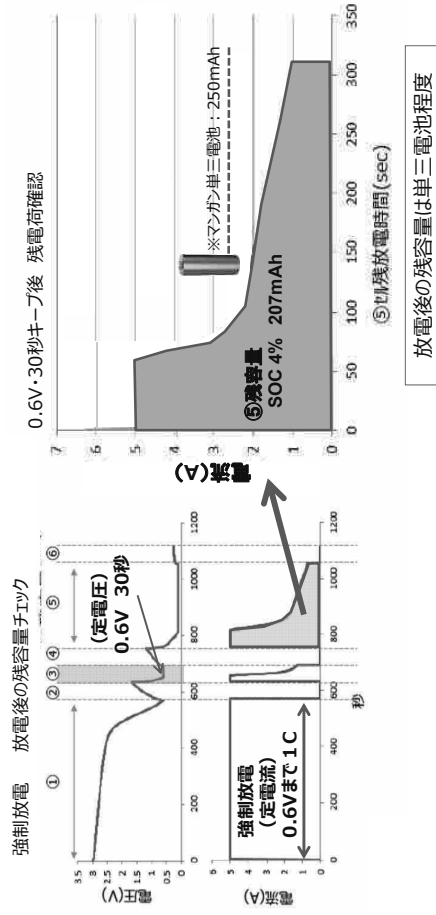


研究課題番号 3K152013  
研究代表者 本田技研工業株式会社 阿部 知和  
研究実施期間 平成27年5月29日～平成29年3月31日



10

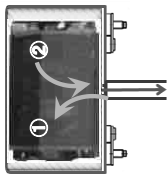
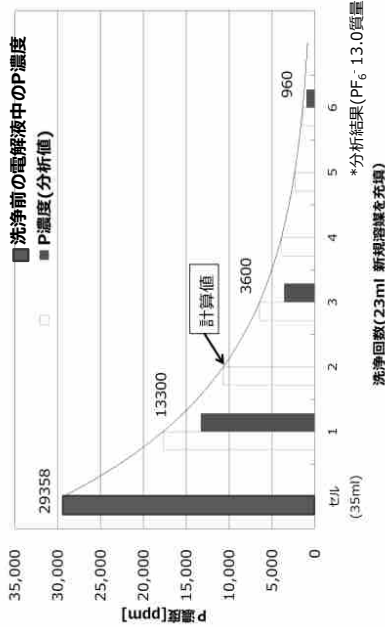
## 安全に作業するための放電条件の検討



## 強制的放電後に電圧が回復するため、残留電荷に配慮が必要

12

## セル内洗浄条件の検討 ①作業環境で考慮すべき電解質濃度



- ① 内部を減圧後、溶媒を注入
- ② 吸引して電解液を排出

## 圧力開放弁から洗浄溶媒を注入してセル内を洗浄する

## セル内洗浄条件の検討 ②メタリ化工程で考慮すべき電解質の残留

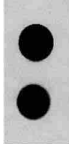
### 洗浄後の正極中に残留する電解質量の把握

正極中の電解質濃度をP濃度で評価

条件	P濃度 (µg/g)
洗浄無し	3,800
セル内3回洗浄	1,200
1min x 2回	280
1min + 20hour	200

洗浄は、切り出したシート状の正極を50mlのDMC中に浸漬

φ16 サンプリング 2カ所



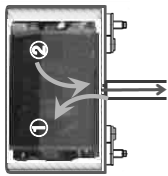
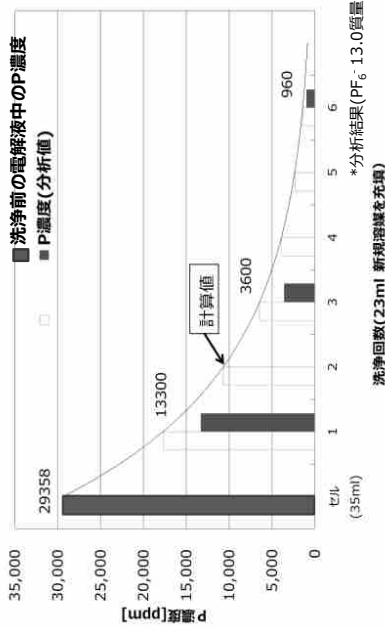
ハソした正極を1枚で洗浄



(バツ中で洗浄)

## 正極材の再熔解工程では、電解質の濃度を考慮したプロセスを展開

## セル内洗浄条件の検討 ①作業環境で考慮すべき電解質濃度



- ① 内部を減圧後、溶媒を注入
- ② 吸引して電解液を排出

## 圧力開放弁から洗浄溶媒を注入してセル内を洗浄する

## 正極材からNiCo合金を回収する技術の開発

フラックスとして生石灰 (CaO) を選定し、小型電気炉で正極材からNiCo合金の製造実験を実施。活物質がアルミニウムで還元され、スラグ (CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) とともにNiCo合金の生成を確認。

### 小型電気炉による溶融実験

LIB 正極試料 電極Alによるアルミ還元 (活物質の還元)

正極試料 : 10.0g  
CaO : 3.54g  
混合  
1500 °C 溶融 (30分保持)

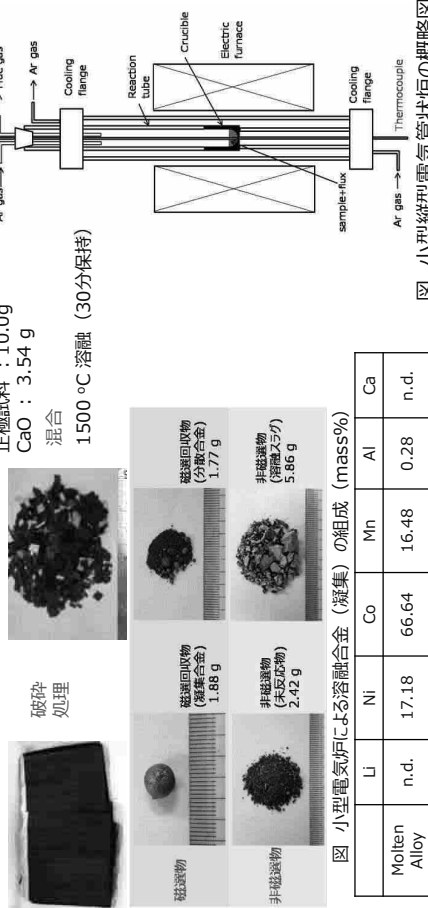


図 小型電気炉による溶融合金 (凝集) の組成 (mass%)

	Li	Ni	Co	Mn	Al	Ca
Molten Alloy	n.d.	17.18	66.64	16.48	0.28	n.d.

小型電気炉によりNi-Co溶融合金を回収 → 誘導加熱炉を用いたスケールアップ試験へ

## 正極材からNiCo合金を回収する技術の開発

東北大学での基礎検討結果を踏まえ、誘導加熱炉を用いたスケールアップ試験を実施。回収した正極材からNiCoMn合金を高収率で回収出来ました。

回収率: 15年度実施時 Ni 64% Co 65% ⇨ 16年度実施: Ni 99.7% Co 91.3%

正極材100gに対して、フラックスとしてCaOを35.4g 添加して高周波溶解炉にて溶解



表 正極材の成分分析値および100g当たりの物質質量

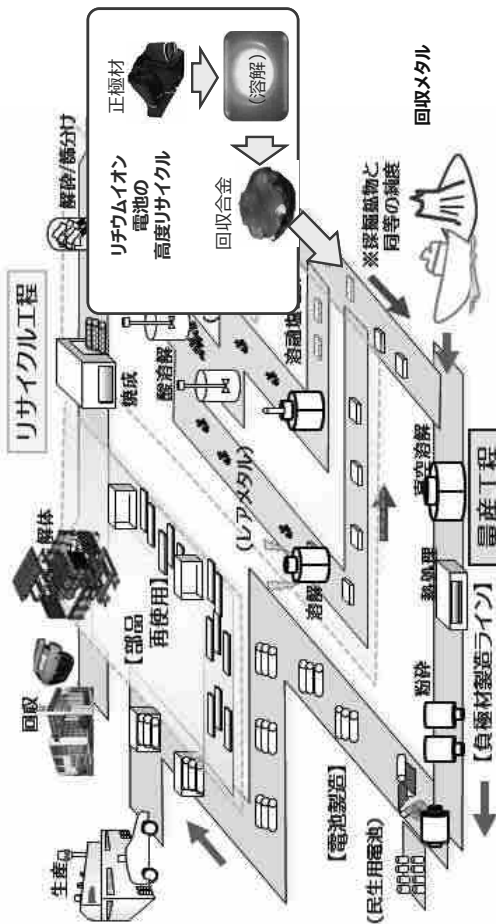
	Li	Ni	Co	Mn	Al	C	P	O	Total
①	4.57	6.56	28.49	6.35	22.38	5.77	0.23	25.65	100.0

表 回収サンプルの分析値、および換算した物質質量

	Li	Ni	Co	Mn	Al	C	Mg	Ca	[WT%]	[g]	[回収率 %]
②	0.04	13.92	55.35	12.81	14.82	0.55	0.03	0.20			
③	-	6.54	26.0	6.02	6.96	-	-	-			
③/①	-	99.7	91.3	94.8	31						

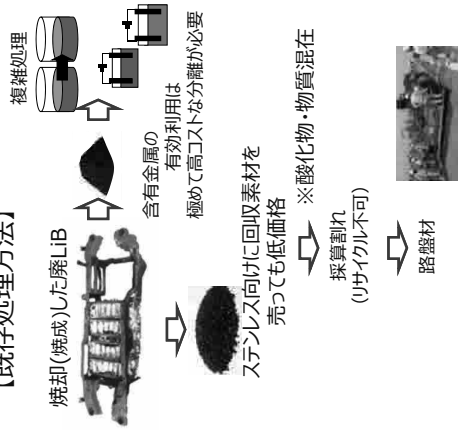
ニッケル水素電池のレアアース・リサイクル

稼働開始:2012年4月



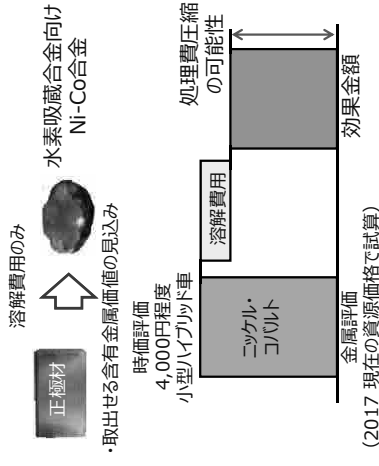
既存の水素吸蔵合金製造ラインの原料に活用

【既存処理方法】



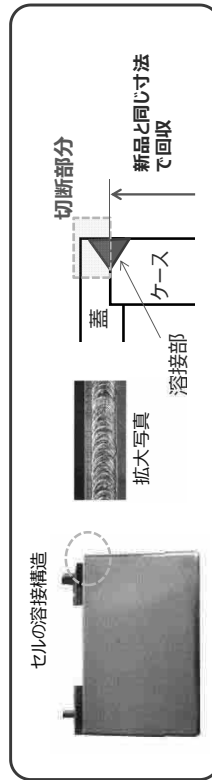
【本テーマ：解決策】

Ni, Coを分離せずに、再資源化が可能

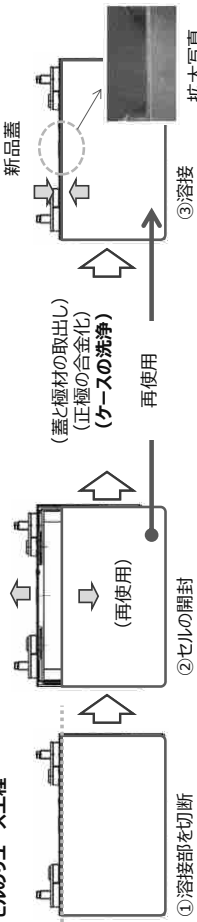


正極材の効率的なリサイクルによる処理コスト低減

セルケースのリユースの可能性



セルのリユース工程



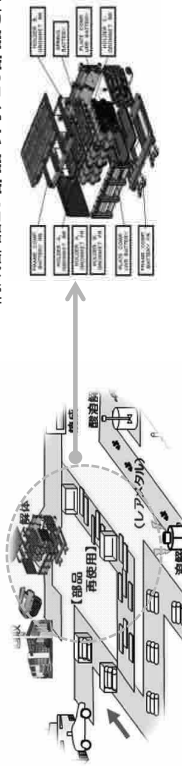
リークテストを実施し電池メーカーが使用可能と判断

コストの高い部品をリユースすることで費用回収

構成部品のリユース

ニッケル水素電池のレアアース・リサイクル

構成部品17部品の内、10部品を再利用



リサイクル電池



ニッケル水素電池で事業化している周辺部品のリユースも推進



## 本研究による主な成果（2年間）

2年間の取組みで、達成した事項

- 1) 大量処理設備検討のための基礎条件の定量把握
  - ① 製品品質と作業性、安全性を両立する強制放電条件
  - ② セル内洗浄条件と残留する電解質の関係
    - ・処理時の作業環境に対応が必要な電解質の濃度
    - ・正極材のメタル化工程で対応が必要な電解質の濃度
- 2) リサイクル材の高収率な回収
- 3) セルケース等の構成部品リユースの可能性

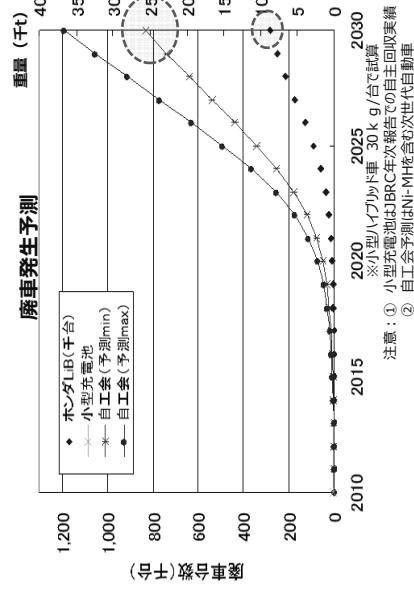
### 【結果】

- ・本手法によるLIB高度再資源化の達成可能性が検証された
- ・達成に必要な取組み課題が明確化できた

## 開発の効果（高度リサイクルによる処理費改善の見込み）

現在費用 約1.5万円/台  
(2017年現在の小型ハイブリッド車で試算)

### 【処理費低減に対する効果試算】



(2030年)  
発生予測: 8万台 (国内)

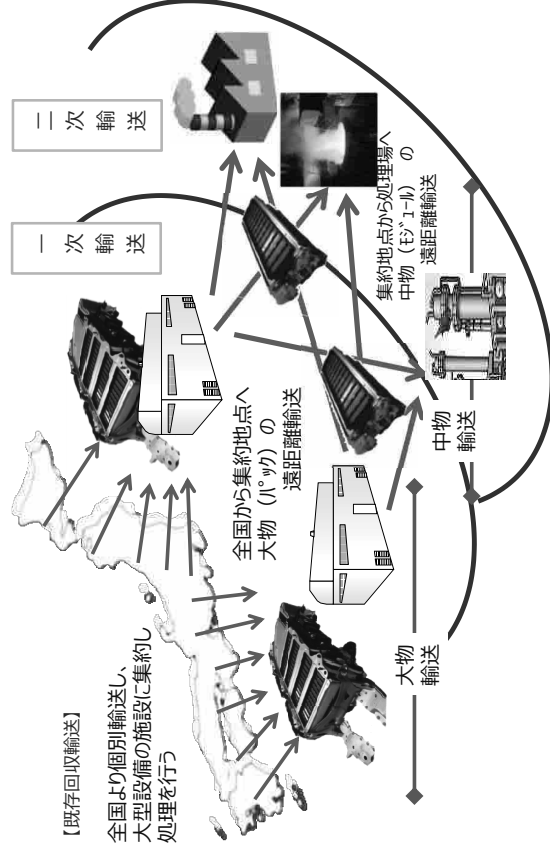
⇒  
ホンダ発生予測: 30万台

⇒  
処理費用: 45億円/年  
(2030年の総処理費用)

⇒  
目標: 処理費用半減  
Ni, Coの回収90%以上

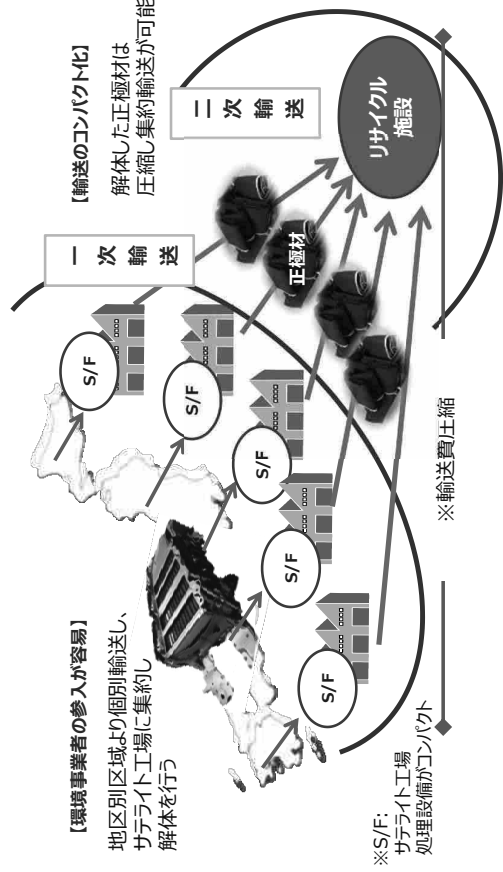
## 再生材使用による資源循環、輸送量削減によるCO2削減

## 輸送費削減方法 ①現状の課題

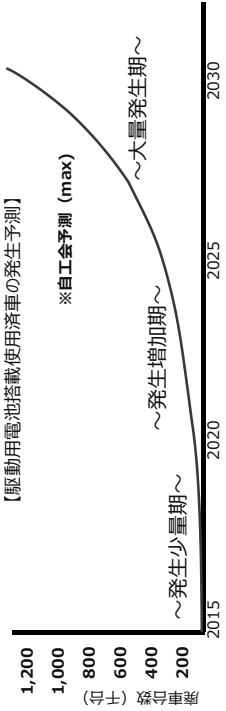


LIBユニットは大きく重いため、輸送費が高い

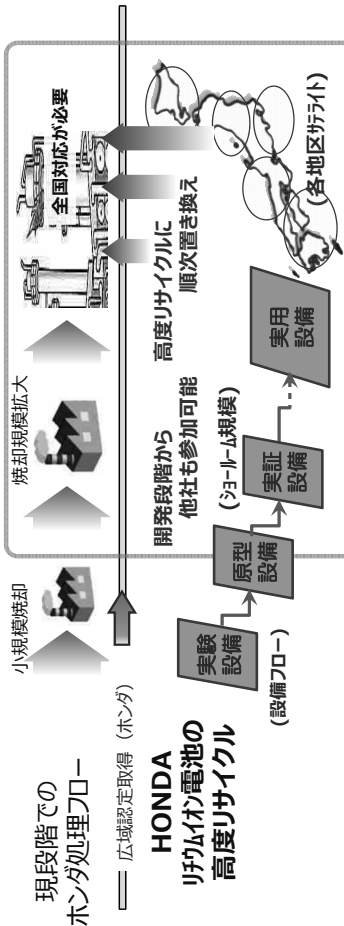
## 輸送費削減方法 ②本プロセスによる改善



- ・大型LIBユニットを発生場所の近くで分解処理
- ・正極、負極等を集約してリサイクル施設に輸送



現段階での  
ホンダ処理フロー

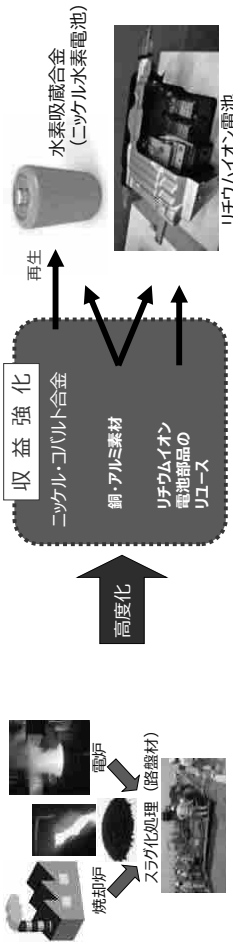


2025年の大量発生時期に向けて実証事業を推進

まとめ

- 2年間の基礎研究により、
- 焼却せず電極を取り出せる可能性を見い出せた。
- 正極を溶融固化させる技術により直接水素吸蔵合金の製造に利用可能な材料にすることができた。
- 負極を高品質な銅として回収すると共に、バッテリー周辺部品のリユースの可能性を見出した。

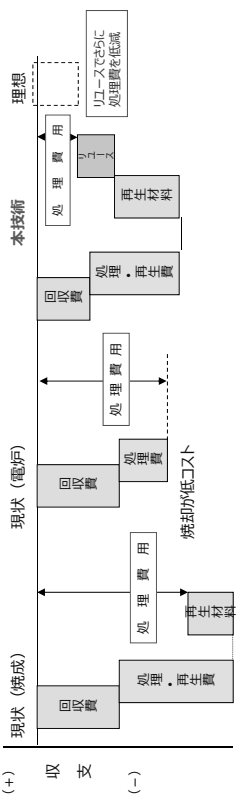
事業性の考え方



<電炉による処理>

<本技術による処理>

目標コスト：経済性を優先した焼却処理（電炉）の半減



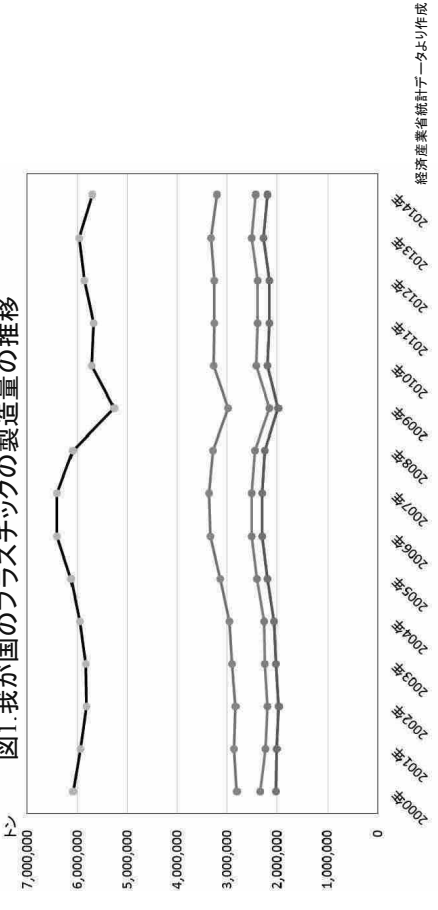
回収費用削減・部品リユースを含め資源価値の向上を図る

平成29(2017)年12月18日(月)

# 高性能・高耐久性リサイクルプラスチック 創製のための再生技術に関する基礎研究

福岡大学 工学部 化学システム工学科  
教授 八尾 滋

図1. 我が国のプラスチックの製造量の推移



- ◆ リーマンショックで落ち込み、完全には回復していない
- ◆ 容器包装関係は回復し、増加傾向にある

当該分野でのプラスチックリサイクルは、愁眉の課題



## 平成27年度低炭素型3R技術・システム促進事業委託業務報告書より引用 (平成27年度環境省委託事業)

シナリオの設定	試算結果(再生プラ利用率)
現状 環境PR車の再生プラ利用率は20%、他は1.5%	1.5万トン
導入シナリオA 環境PR車の再生プラ利用率は20%、その他は1.5% →環境PR車で全体シェアの5%	2.2万トン
導入シナリオB 環境PR車の再生プラ利用率は20%、基準達成者は5% →これらで全体シェアの50%	2.3万トン
導入シナリオC 環境PR車の再生プラ利用率は20%、その他はすべて5%	4.6万トン
導入シナリオD 最大導入 全ての車両の再生プラ利用率は20%	18.1万トン

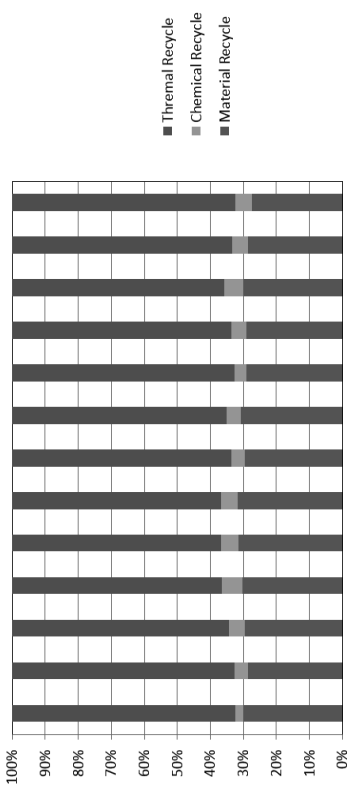
現状の再生量から想定すると、容りなどからの転用も視野に入る

## 平成28年9月27日(夕刊) 読売新聞



## マテリアルリサイクルの加速

### 各種リサイクルの適用比率

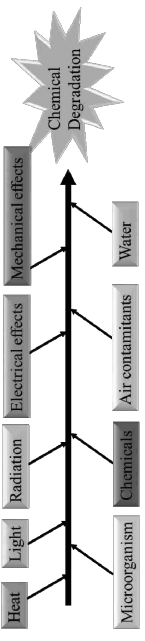


マテリアルリサイクル比率を高める必要があるが  
リサイクル比率はこの10年上、全く変化していない

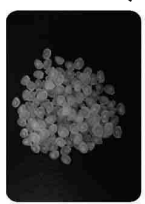
なぜマテリアルリサイクル率が増加しないのか？

リサイクルされたプラスチックは力学特性が非常に悪い

### なぜリサイクルプラスチックの物性が悪いのか 1. 廃棄プラスチックは化学劣化している



→ 化学劣化は再生が不可能である  
2. 異種高分子・異物が混在している



バージンペレット



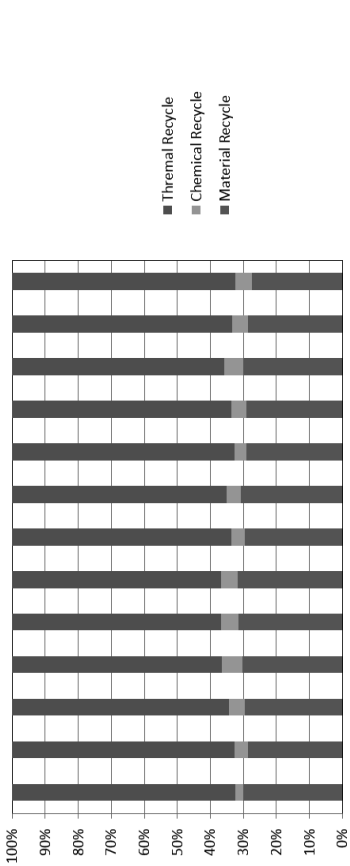
リサイクルペレット

→ 分離・純化は非常に困難

マテリアルリサイクルにより物性を再生することは不可能

← 現在の常識(都合のよい常識)

### 分子物性が同じモデルリサイクル樹脂での検討結果

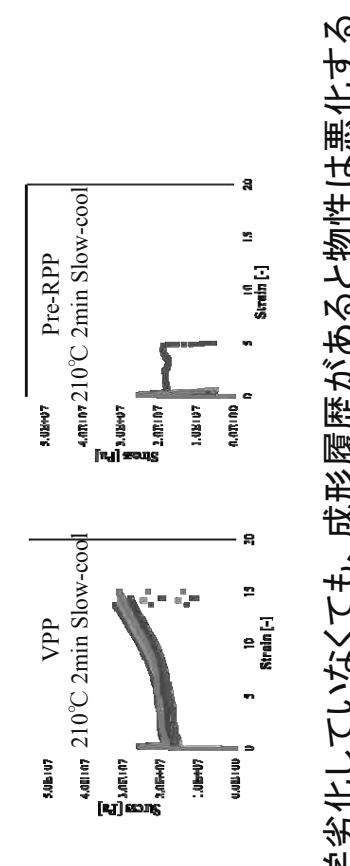


化学劣化していなくても、成形履歴があると物性は悪化する  
物性低下の主要因は化学劣化ではなく物理劣化である

なぜマテリアルリサイクル率が増加しないのか？

リサイクルされたプラスチックは力学特性が非常に悪い

### 分子物性が同じモデルリサイクル樹脂での検討結果



化学劣化していなくても、成形履歴があると物性は悪化する  
物性低下の主要因は化学劣化ではなく物理劣化である

なぜマテリアルリサイクル率が増加しないのか？

リサイクルされたプラスチックは力学特性が非常に悪い