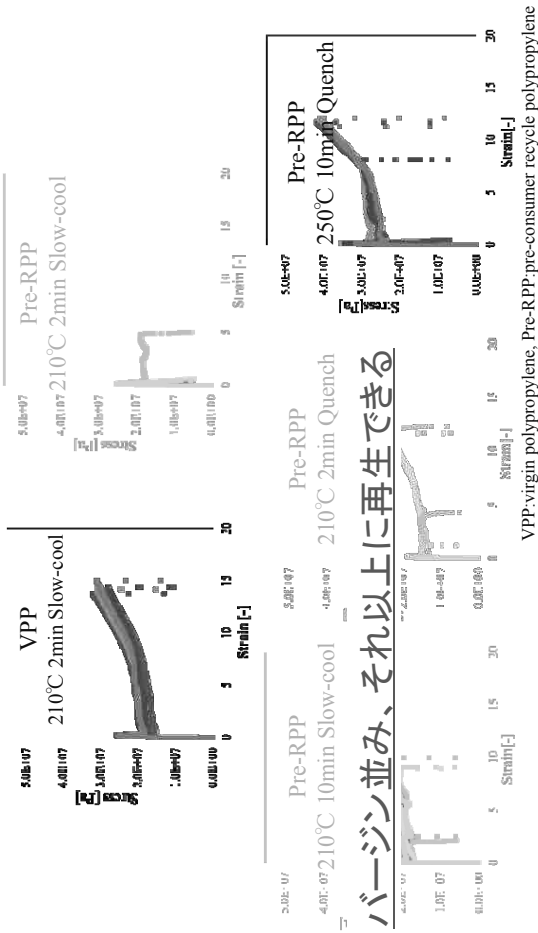


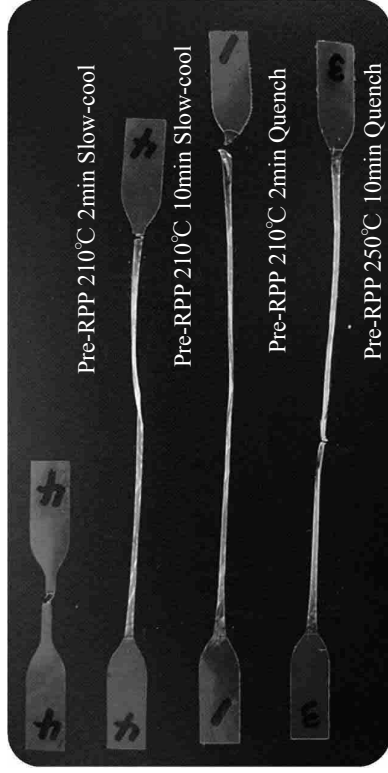
分子物性と同じモデルリサイクル樹脂での検討結果



Copyright (C) Fukuoka University All Right Reserved

9

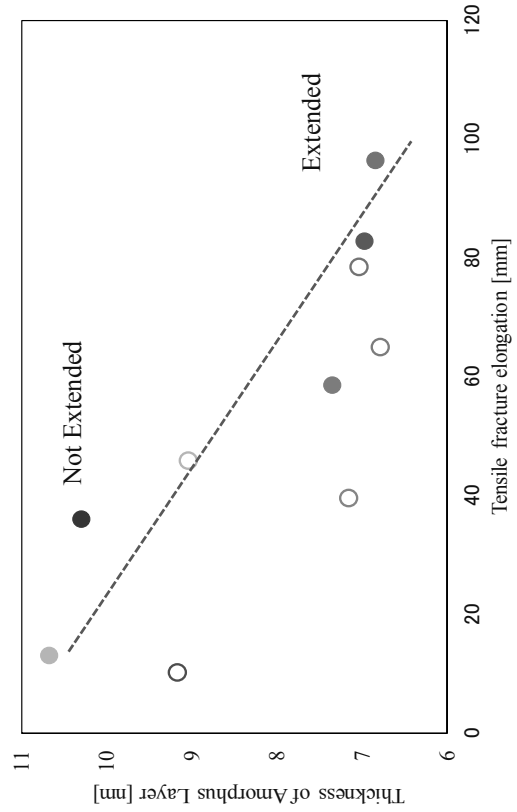
分子物性と同じモデルリサイクル樹脂での検討結果



リサイクル樹脂の物性低下の原因は物理劣化であり、  
成形条件の最適化により物理再生することが可能  
(再現性:確認済み)

Copyright (C) Fukuoka University All Right Reserved

10

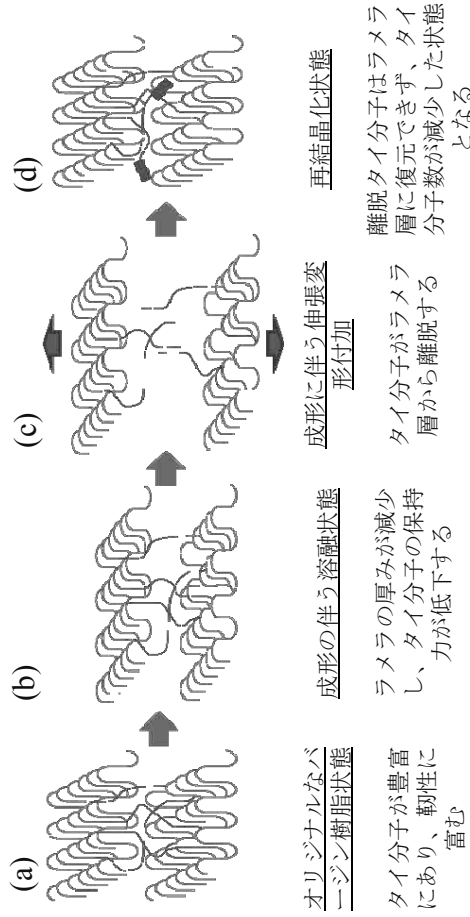


Relation between thickness of amorphous layer and tensile fracture elongation.

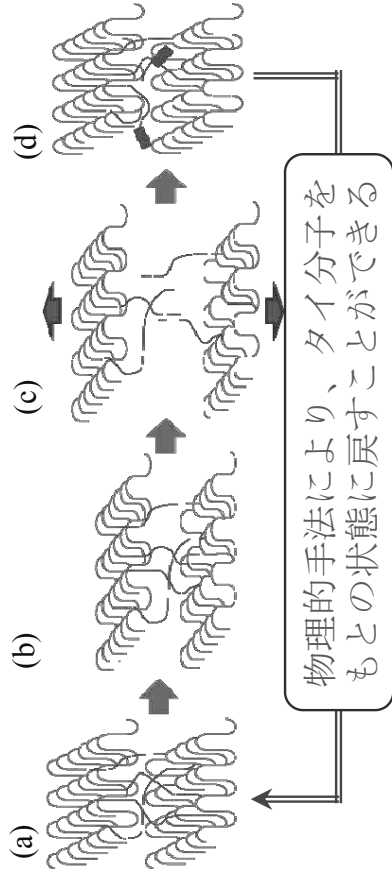
Copyright (C) Fukuoka University All Right Reserved

12

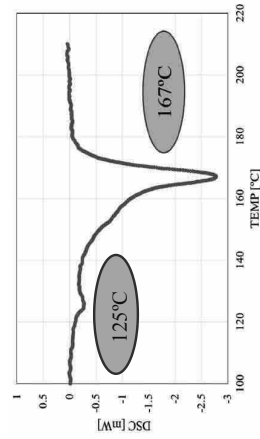
### 物理劣化メカニズム



### 物理再生メカニズム

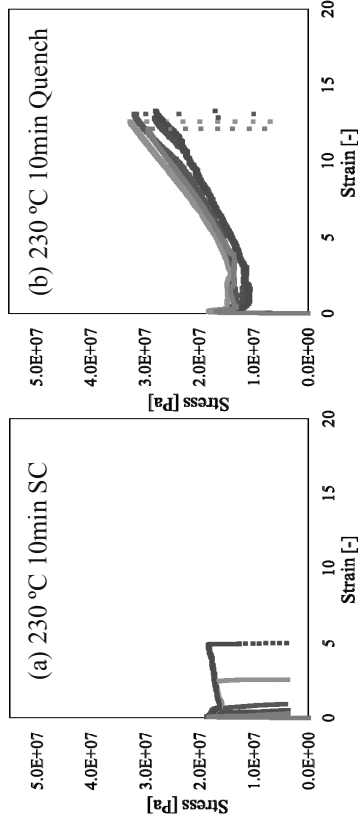


### 美容器包装リサイクル樹脂への応用:1 PP選別樹脂の場合



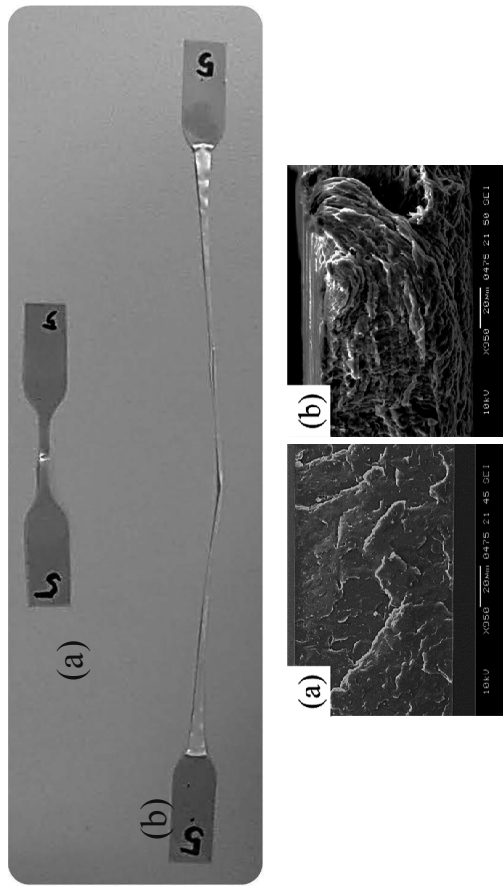
(株)エコスフアクトリーにより提供された廃棄容器包装リサイクル樹脂の  
ペレットとそのDSC曲線

### 引張試験によって得られた応力-ひずみ曲線



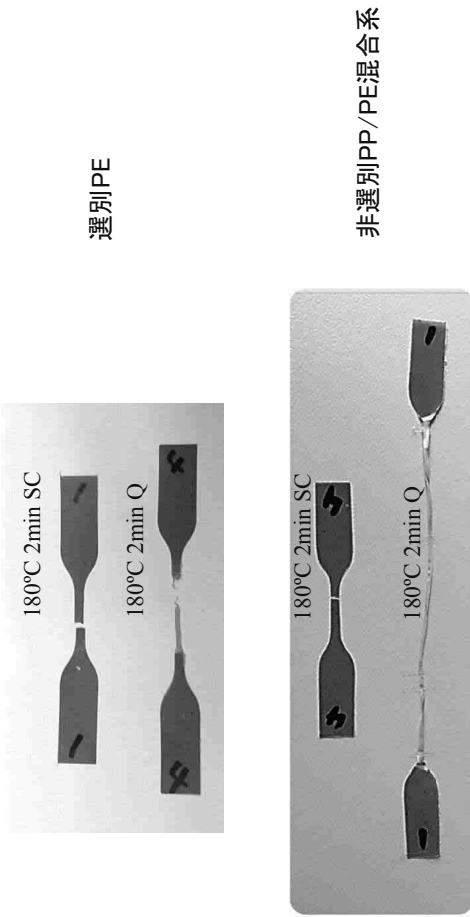
成形条件最適化により、ほぼバージンPPと同様の  
応力-ひずみ挙動を再現するようになる

引張試験後の試験片および破断面の写真



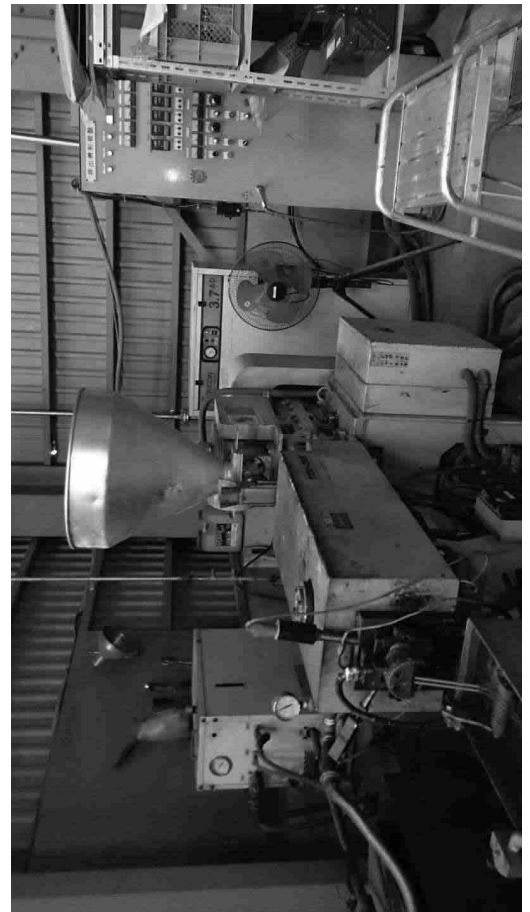
(a) 230°C 10min SC、(b) 230°C 10min Quench

その他の樹脂の成形条件最適化の結果



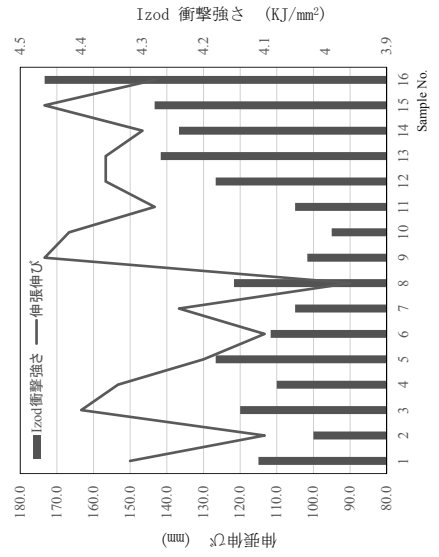
樹脂種、選別・非選別に関わらず、成形条件の最適化で物性は大きく向上する

適用範囲の拡張への取り組み：ペレット化条件の最適化



容器包装リサイクル樹脂試験片のペレット混練条件依存性

実機を用いたエコフィールとの共同実験結果



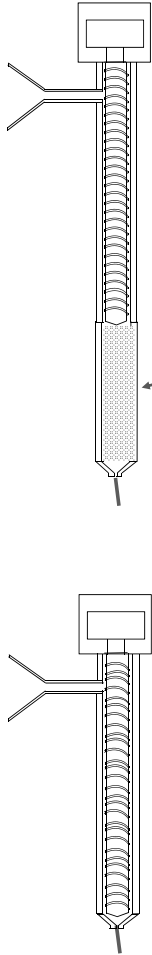
試料番号	水温 (°C)	造粒温度 (°C)	引取り回転数	スクリーン回転数
1	16.3	200	90	200
2	9.8	200	90	200
3	18.4	200	45	200
4	10.1	200	45	200
5	14.6	200	90	100
6	2.7	200	90	100
7	16.2	200	45	100
8	6.3	200	45	100
9	17.1	230	90	200
10	7.9	230	90	200
11	16.3	230	45	200
12	13.1	230	45	200
13	14.3	230	90	100
14	4.9	230	90	100
15	15.9	230	45	100
16	6.4	230	45	100

### モデル樹脂および実容器包装リサイクル樹脂での結果から

- ▶ 長時間溶融状態に保持すること ← ペレタイズにも有効
- ▶ 急冷処理を行うこと

が、力学的に良好なプレス成形品を作り出すことに有利

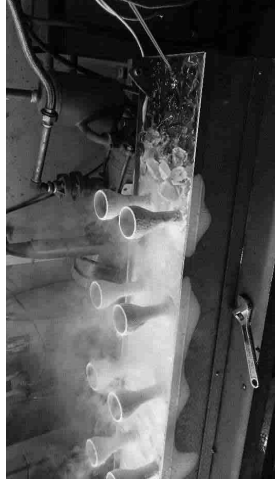
さらにペレタイザーを改良し、溶融樹脂溜まりおよび水温急冷を実施



通常のペレタイザー

溶融樹脂溜まりを設けたペレタイザー

### 2015年7月28日、29日 エコフィールでの試作実験の様子



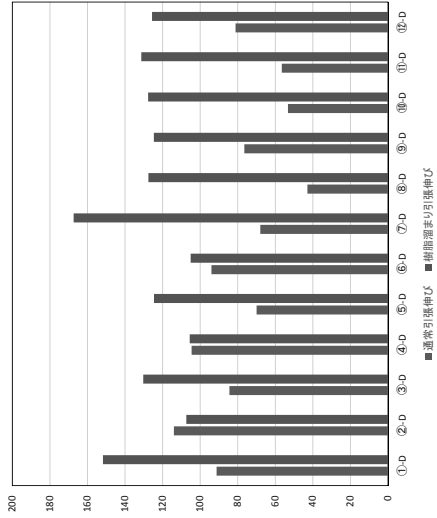
← 液体窒素を用いた冷却管による急冷ペレット試作



→ 溶融樹脂溜まり部を追加した2軸押し出し機の試作

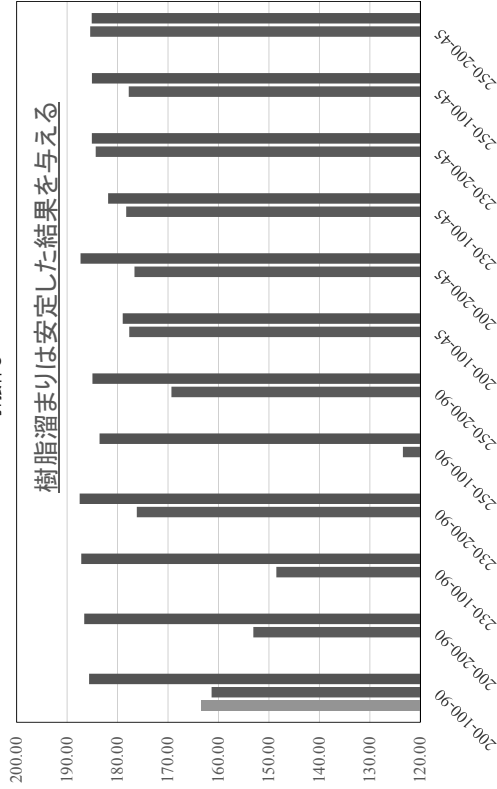
### ペレタイズ条件と射出成形品の引張伸び性能

混練温度	スクリーン回転数	水温	通常形状	樹脂溜まり
200	100	室温	①	①-D
200	200	室温	②	②-D
230	100	室温	③	③-D
230	200	室温	④	④-D
250	100	室温	⑤	⑤-D
250	200	室温	⑥	⑥-D
200	100	氷冷	⑦	⑦-D
200	200	氷冷	⑧	⑧-D
230	100	氷冷	⑨	⑨-D
230	200	氷冷	⑩	⑩-D
250	100	氷冷	⑪	⑪-D
250	200	氷冷	⑫	⑫-D



### PP選別品での最新検討結果

引張伸び



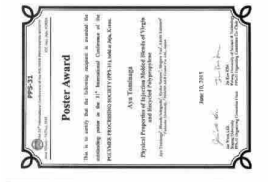
横軸は、温度-スクリーン回転数-引取速度  
緑色は元のペレット、青は樹脂溜まり無し、えんじ色は樹脂溜まり有り

## まとめ

- 廃棄プラスチックは成形履歴などによる物理劣化により物性が低下している
- 従って、成形法などを最適化する物理的手法で物性再生が可能である
- 成形法だけでなく、ペレット条件・装置によっても成形品の物性は大きく変化する
- 従って、ペレット条件(運転および装置)の最適値を見出すことにより、多くの成形法に対応できるリサイクルペレットの生産が可能である



小田 富永  
2015 PPS  
2015 化学工学会



竹中 富永  
2016 PPS  
2016 プラスチックリサイクル化学研究会



山崎 富永  
2017 ISFR



山崎 富永  
2017 ISFR



山崎  
2017 AMPP

## 新聞掲載



2015年5月22日

化学工業日報に本研究成果による物性改善手法が掲載される。

追記:

- ・2015年度イノベーションジャンジャンに採択
- ・プラスチック誌掲載
- ・コンバーテック掲載
- ・プラスチックエージ掲載

## 本技術に関する知的財産権

- ・発明の名称:リサイクルポリオレフィンを含有する熱可塑性樹脂組成物の再生方法

出願番号 : 特願2014-177310

出願人 : 福岡大学、広島リサイクルセンター

発明者 : 八尾滋、中野涼子、富永亜矢、石黒桂二

- ・発明の名称:樹脂組成物成形機および樹脂組成物の成形方法

出願番号 : 特願2016-032280

出願人 : 福岡大学、広島リサイクルセンター

発明者 : 八尾滋、中野涼子、富永亜矢、竹中希美、石黒桂二

## 産学連携の経歴

- 2014年： 環境省環境研究総合推進費に採択  
 「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」  
 3ヶ年（約6,000万円）
- 2017年： 平成29年度環境研究総合推進費新規課題に採択  
 「廃プラスチックの高付加価値化リサイクル  
 技術創製および実用化研究」  
 3ヶ年（約9,000万円）

本研究は、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(3-1705)により実施されました。

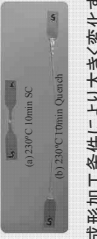
## 今後の展開



英国で実施されているPRISMIにより提案  
 されている蛍光色素による種分別  
 予算規模(£772,000)  
<http://www.letrecycle.com/news/latest-news/funding-boost-for-visible-barcode-plastic-recycling/>

現在、さらに色彩分別を計画中

分別に関する技術  
 システムの構築

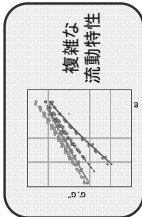


成形加工条件により大きく変化する  
 物性に及ぼす流動履歴などに関する知見の蓄積  
 大学・研究機関による基礎研究

自発的社会的システム(ユーザー)の醸成

実証による動機付け

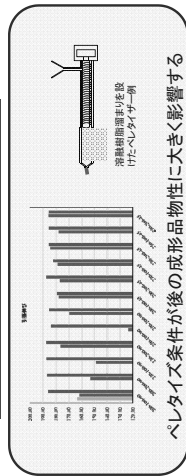
金型企業  
 製品生産企業



成形技術(金型・成形機)の向上

成形機械メーカー

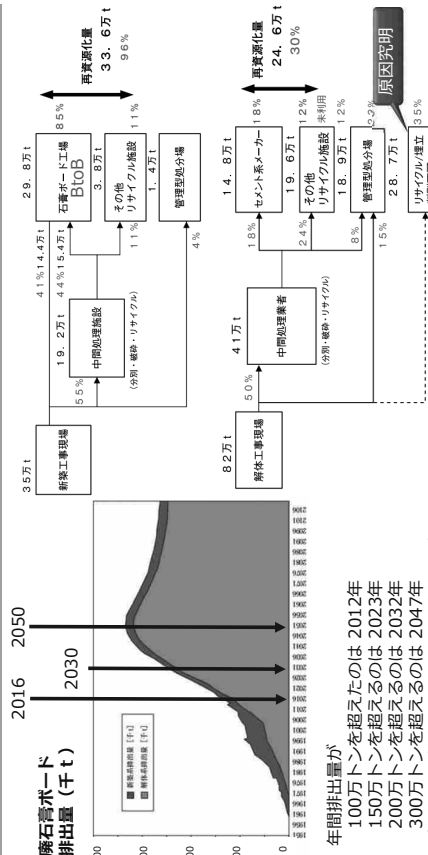
コンパウンド技術(機械・運転条件)の向上



# 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 (H29~30年度の二カ年)

- 国立環境研究所 遠藤和人  
看倉宏史  
国立環境研究所 福岡大学 佐藤研一  
福岡大学 藤岡拓朗  
福岡大学 中村吉男  
愛知工業大学 松橋宏明  
日本能率協会 西川美穂  
泥土リサイクル協会 野口真一  
(以上、5機関、8名)

## 廃石膏ボードのマテリアルフロー



新築系の排出量は変化無し。  
解体系が増加する。  
十数年後には200万トンを超える。

## 背景：廃石膏ボードリサイクルに係る状況

環境省

平成10年部長通知  
「廃石膏ボードから紙を除  
けば、廃石膏は安定型処分  
場に埋め立てが良い」

平成18年部長通知  
「紙を取り除いたとして  
も廃石膏を安定型には埋  
め立ててはいいけない」

国交省

平成20年社整備・中環審  
「廃石膏ボードは特定資材以外で  
突出した排出量だが、解体系ボ  
ードの資源化技術とマテプラロが不明  
確なので、まずは解体の適正化」

平成24年国交省  
「平成22、23年に検討会を開  
催し、「廃石膏ボード現場分別  
解体マニキュアル」を发出」  
発注側のコスト負担も視野

処理業者

中間処理業界は、紙を除去  
するための設備投資をして、  
廃石膏ボードの処理を実施

紙を除去する意味が無く  
なったが、紙を製紙会社に、  
石膏を有効利用する方向へ

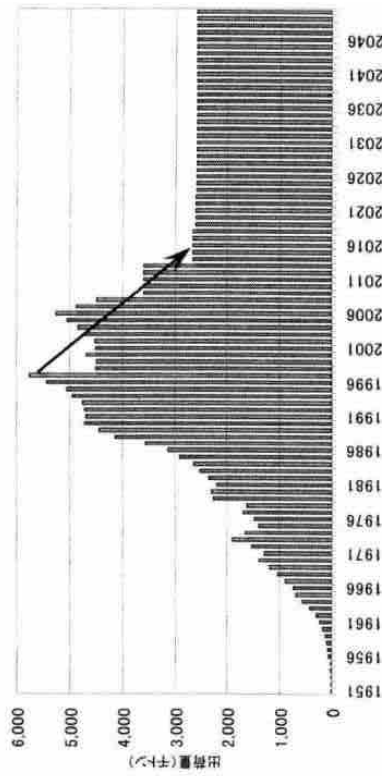
関連団体

北海道地区リサイクル研究会  
石膏再生共同組合 (関東)  
石膏ボードリサイクル推進ネットワ  
ーク (関西)  
広島県石膏ボード資源化共同組合  
ふくおか石膏ボードリサイクル研究会

平成26年  
全国石膏ボ  
ードリサイク  
ル協議会を設立

- ・ 中間処理業者は全国に400近くあるが、中小企業がほとんど。
- ・ 廃石膏のリサイクルとは、紙を除去して石膏粉を作る事。ただし、処理技術のレベルは様々な状況。
- ・ どの業者も新築系と解体系ボードを受け入れており、出荷先によって再生石膏粉の配合を変えている。
- ・ 流通しない再生石膏はストックされているケースもある。ただし、現在は何とか循環できている。

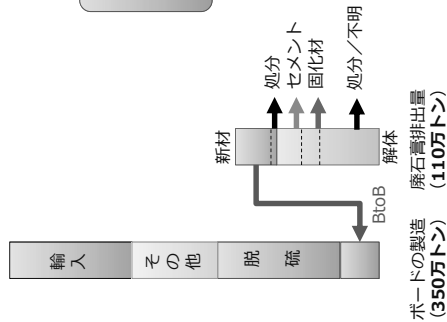
## 石膏ボードの生産量 (例)



90年代には500万トンであったが、徐々に減少して将来的には250万  
トン程度(80年代と同程度)になるのではないかと、という試算を一例と  
して考え、将来のマテリアルバランスを考える。  
(実際はこれよりも出荷量がやや多い)

# 廃石膏ボードのリサイクルの現状

## 現在の推定



新材由来の一部の廃石膏粉のみがボードtoボード (BtoB) として利用されている。固化工材として利用されている量も少ない。最終処分が多い。

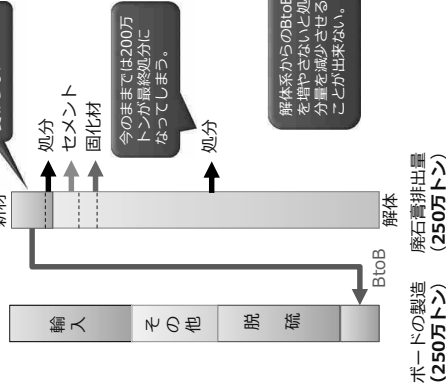
新材リサイクル量は34万トン  
 解体系→セメントと固化工材等で25万トン  
 これが現在のリサイクル市場の総量

2017.12.18

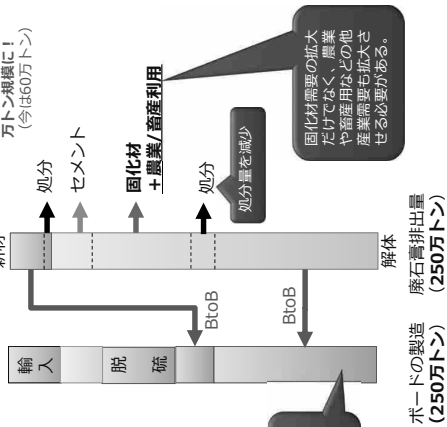
遠藤和人 国立環境研究所

# 研究の背景 (総括)

## 十数年後の予測



## 十数年後の目指す姿



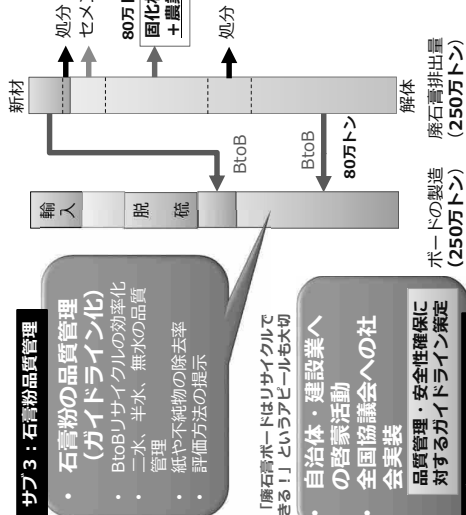
新材系の排出量は変わらない  
 今のままでは200万トンが最終処分になってしまふ。  
 解体系からのBtoBを増やさないで処分量を減少させることが出せない。  
 固化工材等とBtoBのリサイクルで160万トン削減に11万トン (今は60万トン)

2017.12.18

遠藤和人 国立環境研究所

# 研究の目的

## 十数年後の目指す姿



- 将来の石膏ボードフローと技術革新を考慮したリサイクルシステム**
  - サブ3：石膏粉品質管理 (ガイドライン化)
    - BtoBリサイクルの効率化
    - 二水、半水、無水の品質管理
    - 紙や不純物の除去率
    - 評価方法の提示
  - 「廃石膏ボードはリサイクルできる！」というアピールも大切
  - 自治体・建設業への啓蒙活動
  - 全国協議会への社会実装
  - 品質管理・安全性確保に對するガイドライン策定
  - サブ5：GL検討会・啓蒙
- 固化工材利用に向けた環境安全評価方法の提示 (ガイドライン化)**
  - フッ素の溶出
  - 硫化水素発生
  - 固化工材の把握
  - サブ1：地盤利用安全性
  - サブ2：地盤利用工学
- 農業/畜産利用の市場可能性調査**
  - 肥料用途の効果と市場規模
  - 畜産系利用の可能性調査
  - 廃石膏マテリアルフロー情報の更新
  - サブ4：MFA予測・需要

※石膏結晶の改善はメーカーが取組中  
 強度確保のため大型の塊形状結晶が必要

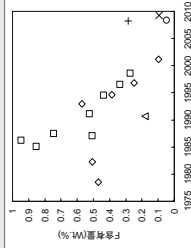
2017.12.18

遠藤和人 国立環境研究所

# サブテーマ1 地盤利用の環境安全性

フッ素含有量	基準あり (ただし、超過事例無し) (告示19号：4000 mg/kg以下)
フッ素溶出量	基準あり (告示18号：0.8 mg/L以下)
硫化水素ガス発生	基準なし (処分場と不法投棄現場での発生事例あり。石こう系地盤改良では報告なし。pH=9.5以上、DOC=10mg/L以下、ローム混合のいずれかで発生せず。)
コンクリート構造物への硫酸塩阻害	基準なし (ソーマサイト形成によるTSA (Thaumasite form of Sulfate Attack) 問題。環境中からのSO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> による構造物へのアタックが問題。15℃以下の時のみ。)

現状で基準が無い硫化水素ガス発生や硫酸塩阻害については、ガイドラインが必要。基準がある場合でも、配合設計時に評価する方法についてはセメント系固化工材と同様にガイドラインが必要。



2017.12.18

遠藤和人 国立環境研究所



### サブテーママ1 地盤利用の環境安全性

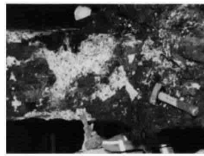
フッ素溶出量	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 再生石膏粉単体で地盤材料になることは無い。</li> <li>● セメント系固硬化材の判定方法と同様に、地盤材料と混ぜた後に溶出量を評価。</li> <li>● 本判定方法にしたがって体系的にまとめた報告は無い。</li> </ul>
硫化水素ガス発生	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 硫化水素ガス発生検査方法の提案。</li> <li>● 硫化水素ガス発生拳動試験の拡充。</li> <li>● 判定基準の提案（温泉基準等を準用）。</li> </ul>
コンクリート構造物への硫酸塩阻害	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 石膏系改良地盤からのSO<sub>2</sub>溶出特性を把握。</li> <li>● 配合量、土質、離間距離等をパラメーターとして改良地盤からの溶出試験を実施する。</li> </ul>



配合設計時の溶出試験  
+  
タンクリーチング試験



バイアル培養法による  
硫化水素ガス発生ポテンシャル試験 (100cc  
バイアル瓶、2週間)



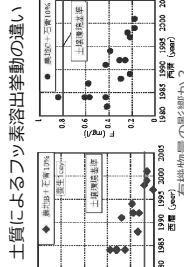
ソーサマイトによる橋脚基礎劣化事例

2017.12.18

9

国立環境研究所  
遠藤和人  
国立環境研究所

### サブテーママ2 地盤利用の工学的ベネフィット



セメント系固硬化材+石膏ロームのような特異な動きはあるか？

有機物量の影響か？



再泥化試験の一例  
(a) 石膏のみ (b) 石膏+セメント

2017.12.18

10

福岡大学  
遠藤和人  
国立環境研究所

### サブテーママ3 再生石膏粉の品質管理

利用先	セメント 凝結調整剤	ボードボード リサイクル	中性固硬化材	改良助剤	農業・畜産利用
夾雑物量	○	○	○	○	○
結晶水	○	○	○	○	×
粒徑分布	○	○	○	○	○
重金属類	×	×	○	×	○
結晶構造	×	○	×	×	×

※ 夾雑物：剥離紙・ロックウール・釘等の混入状況の確認（検査法は開発予定）  
 ※ 結晶水：二水・半水・無水の結晶状態でXRD等で評価を規定  
 ※ 結晶構造：菱形板状結晶もしくは長方形板状結晶であるか顕微鏡観察

再生石膏の信頼性向上  
 有効利用先に応じた品質検査プロトコルを作成  
 全国協議会の企業メンバーでPDCA（社会実践）

2017.12.18

11

愛知工業大学  
遠藤和人  
国立環境研究所

### サブテーママ4 マテリアルフローと需要調査



H25年度環境報告書にも掲載されているが、これは平成24年のマテリアルフローであり、それ以降、新しい情報が無いので、これを更新する。アンケートとヒアリングを実施。

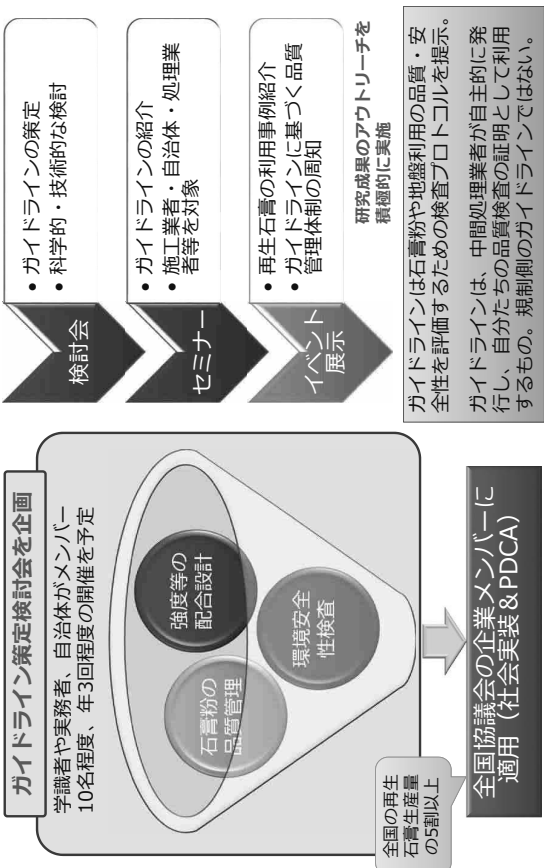
不明分を解消するため調査を継続  
 農業・畜産分野の市場開拓  
 【農業利用】 肥料や脱塩で利用されている。農地土壌改良のガイドライン（改訂版）を作成済み。更なる市場を探索。  
 【畜産利用】 剥離紙は敷き藁代替で利用事例あり。牛のゲップ対策で飼料への石膏添加研究事例あり。

2017.12.18

12

日本エネルギー  
遠藤和人  
国立環境研究所

## サブテーマ5 ガイドライン策定と社会啓蒙



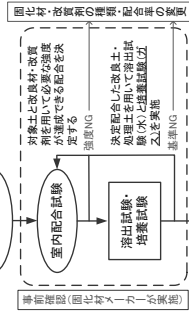
2017.12.18 13

再生リサイクル協議会  
通産和人 国立環境研究所

## 最終成果（目次）

### 「再生石膏粉の有効利用ガイドライン」

- 第1章 総説** サブ4 サブ5  
マテリアルフローや適用範囲、用語の定義に加え、利用イメージ等を記す
- 第2章 再生石膏粉の基本的性質** 全体  
再生石膏粉や固化材・改質剤の製造方法、保管時の留意事項等を記す
- 第3章 再生石膏粉の品質検査** サブ3  
用途別の品質評価項目の整理、検査方法、検査の運用方法などを記す
- 第4章 再生石膏粉を用いた固化材・改質剤の地盤利用** サブ1 サブ2  
配合試験フロー、強度、溶出量、pH、H<sub>2</sub>Sガスの検査方法とその運用方法、施工管理について記す
- 第5章 その他分野への適用と展望** サブ4  
農業利用、畜産利用、濁水対策、除塩等の地盤以外の分野に向けた展望を記す
- 第6章 管理票の例示**  
品質検査結果の運用時における管理票の例を記す



2017.12.18 14

通産和人 国立環境研究所

## ガイドライン策定状況と広報

	平成29年度	平成30年度	平成31年度
全国石膏協議会	4 11/15	5 3/16	6 7
ガイドライン検討委員会	1 7/31	2 2/27	3
ガイドラインWG	1 6/1	2 9/21	3 4 5 12/22

ガイドライン策定  
ガイドライン改訂

■ **2017NEW環境展 出版**  
開催日：5月23日（水）～26日（金）  
開催場所：東京ビッグサイト

■ **EE東北17 出版**  
開催日：6月7日（水）～8日（木）  
開催場所：多摩文化センター

■ **建設技術フェア2017in中部**  
開催日：10月18日（水）～19日（木）  
開催場所：吹上ホール

■ **びんゼロフェア北陸in新潟2017**  
開催日：11月1日（水）～2日（木）  
開催場所：新潟市産業振興センター

ガイドライン検討委員会やWGを開催する度に、新聞社にも出席して頂き、その議事内容を記事にして頂いている。

循環経済新聞 (2017.1)

2017.12.18 15

通産和人 国立環境研究所

## 社会的な動き（建リ法関係）

### 九都県市首脳会議

#### 建設リサイクル法等に関する制度の見直しについての要望書

国土交通大臣 石井 啓一 様  
環境大臣 山本 公一 様  
平成28年12月5日

#### 4 解体系廃石膏ボードのリサイクル促進

建築用内装材料等として広く用いられている石膏ボードのリサイクルの仕組みを確立した上で、建設リサイクル法の特定建設資材として石膏ボードを指定すること。

### 全国産業廃棄物連合会

全産廃発第163号  
平成29年9月25日

国土交通省 土地・建設産業局 建設業課 御中  
環境省 環境再生・資源循環局 廃棄物処理課 御中  
環境省 環境再生・資源循環局 総務課 リサイクル推進室 御中

建設リサイクル法等に関する制度の見直しについての要望書  
(石膏ボードの特定建設資材への追加等)

建設リサイクル法関係  
建設リサイクル法関係  
建設リサイクル法関係  
建設リサイクル法関係

2017.12.18 16

通産和人 国立環境研究所

## 本研究課題終了後の展開

### ボードtoボード

建設物価 2016.09 p.496  
せつこうボード 12.5×910×1.810  
420円/枚÷14.1kg/枚=29.8円/kg  
リサイクル量  
(14.4万t+15.4万t)×1,000×29.8円/kg=90億

### セメント

建設物価 2016.09 p.75  
普通ポルトランド (東京) 10,500円/t  
リサイクル量  
14.8万t÷5%×10,500円/t=311億

### 固化材

建設物価 2016.09 p.362  
固化材 19,000円/t  
リサイクル量  
20.4万t÷15%×19,000円/t=258億

- 本研究期間で作成されたガイドラインを全国協議会の企業メンバーに実装し続け、PDCAサイクルを通してガイドラインの改訂を行う。
- ボードtoボードリサイクルの確立に向けて、石膏ボードメーカーとの協力体制の継続
- 廃石膏がリサイクル可能であることを知って頂くための啓蒙活動を泥土リサイクル協会の活動の一つとして継続する。
- 平成20年建リ法の検討で、マテリアルフローの不明分、リサイクルシステムの未熟さを示された部分を解消し、適正解体に向け、特定建設資材とするための活動を継続する。
- 本研究成実は、以上の展開を行うための礎になると考えている。

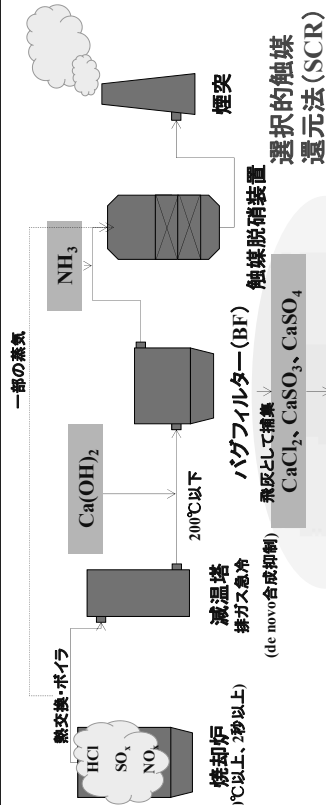
# 炭酸型Mg-Al系層状複水酸化物を 利用した廃棄物焼却排ガスの新規 処理技術の開発

東北大学大学院工学研究科  
亀田知人



Yoshioka Lab., Graduate School of the Environmental Studies, Tohoku University

## 廃棄物焼却施設における酸性ガス処理



- Ca(OH)<sub>2</sub>によるHCl, SO<sub>x</sub>処理の問題点
- ・高塩濃度の浸出水問題 (COD上昇)
  - ・最終処分場の短命化
- SCRによるNO<sub>x</sub>処理の問題点
- ・遷移金属を触媒として用いるため、コストがかかる

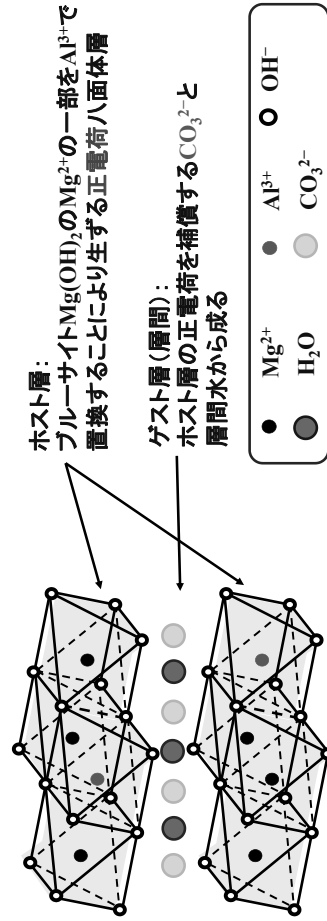
環境負荷低減、リサイクル(資源循環)に寄与する廃棄物焼却排ガス(HCl, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>)の新規処理技術の開発が必要

# 研究の背景・目的

## 炭酸型Mg-Al系層状複水酸化物 (CO<sub>3</sub>・Mg-Al LDH)



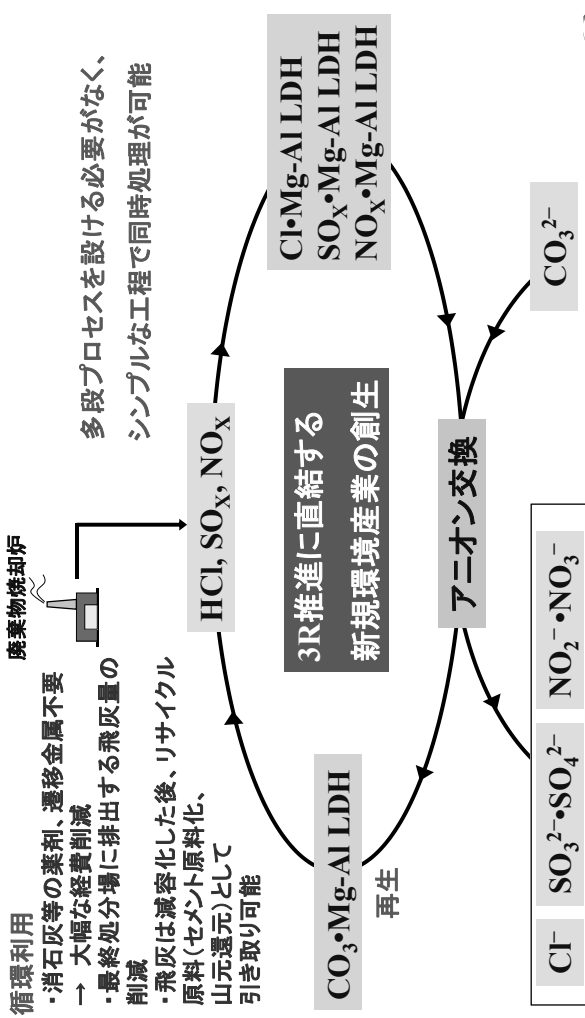
x : Al/(Mg + Al)モル比



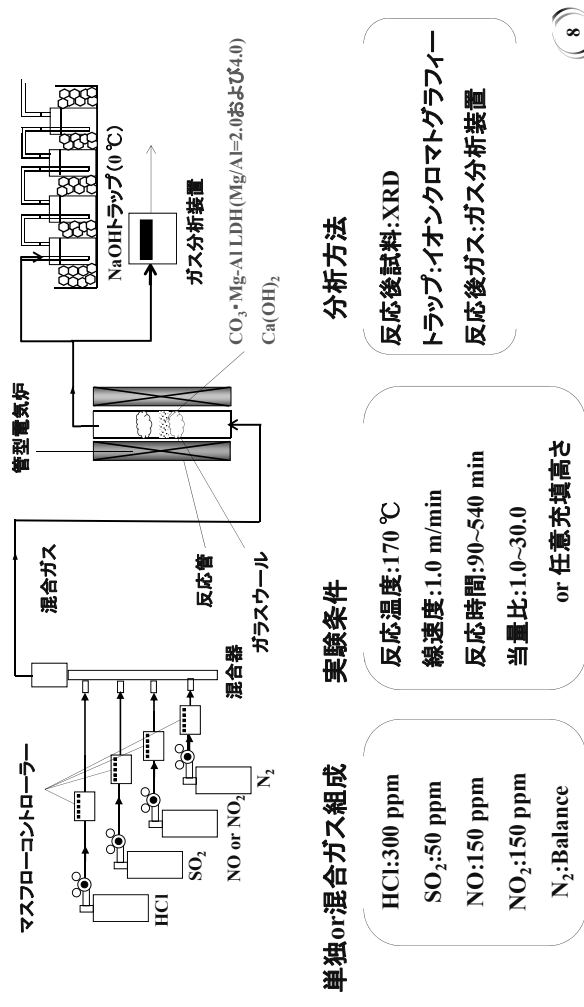
Mg-Al LDH は、アニオン交換能を有する

**CO<sub>3</sub>・Mg-Al LDHを利用した廃棄物焼却排ガス  
(HCl、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>)の新規処理技術の開発**

- ①従来の技術ではできない、HCl、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>の同時処理を行うことができる。
- ②CO<sub>3</sub>・Mg-Al LDHは、回収・再生が可能な素材であるため、資源循環できるのは大きなメリットである。
- ③酸性ガスアルカリ中和やSCR法を用いないことから、廃棄物量および酸性ガス処理コスト削減が期待できる。

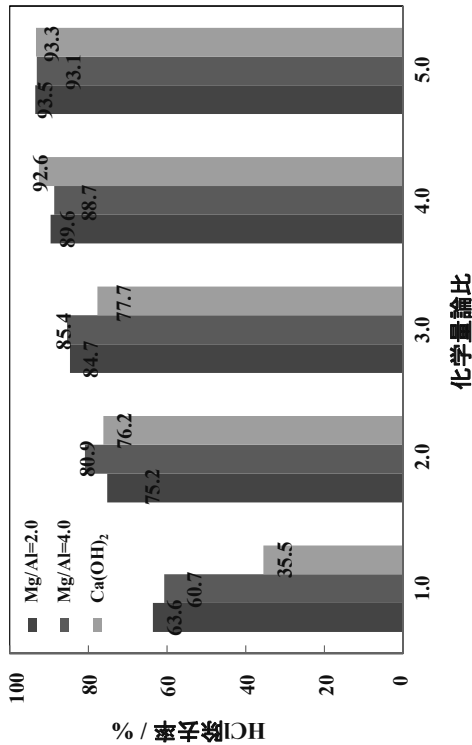


**実験方法**



**(1) CO<sub>3</sub>・Mg-Al LDHによるHCl、SO<sub>x</sub>及びNO<sub>x</sub>の  
処理技術の開発**

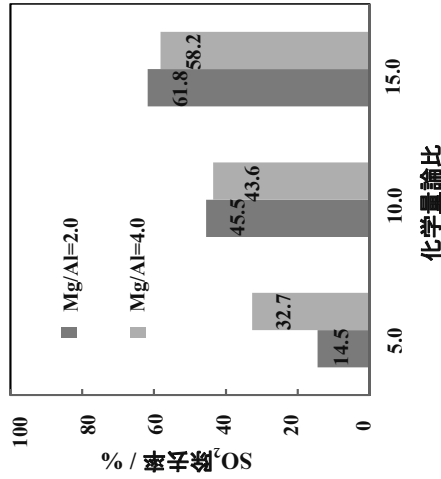
### HCl処理～Mg/Alモル比及び化学量論比の影響～



<条件>  
HCl:300 ppm  
温度:170 °C  
線速度:1.0 m/min  
時間:90 min

- ・CO<sub>2</sub>・Mg-Al LDH量の増加でHCl除去率増加
- ・Mg/Alモル比の影響なし ・Ca(OH)<sub>2</sub>と同程度の除去能力

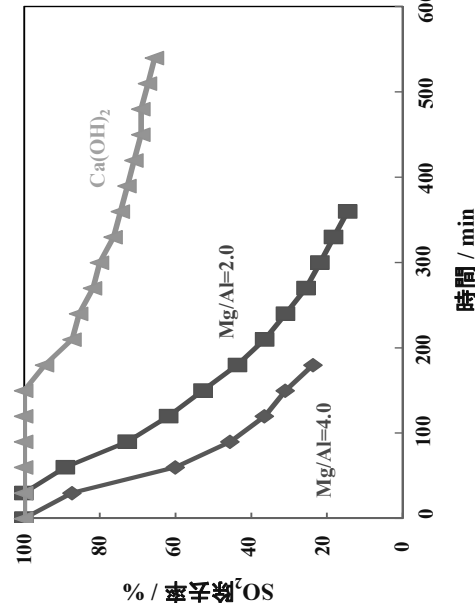
### SO<sub>2</sub>処理～化学量論比の影響～



<条件>  
SO<sub>2</sub>:50 ppm  
温度:170 °C  
線速度:1.0 m/min  
時間:90 min

- ・CO<sub>2</sub>・Mg-Al LDH量の増加でSO<sub>2</sub>除去率増加
- ・化学量論比10.0以上でMg/Alモル比の影響なし

### SO<sub>2</sub>処理～破過曲線～



除去性能  
Ca(OH)<sub>2</sub> > Mg/Al=2.0 > Mg/Al=4.0

吸着量(3 h)  
Mg/Al=2.0 46.8 mg/g  
Mg/Al=4.0 33.5 mg/g

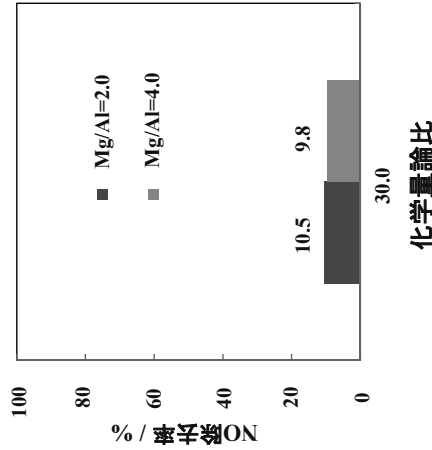
<条件>

SO<sub>2</sub>:50 ppm, 温度:170 °C, 線速度:1.0 m/min, 充填層:0.5 cm (約0.25 g)

同量のLDHと消石灰を比較

- ・LDHを大過剰量充填したにも関わらず、除去率は10%程度
- ・CO<sub>2</sub>・Mg-Al LDHは、NOに関してほぼ除去能力を持たない

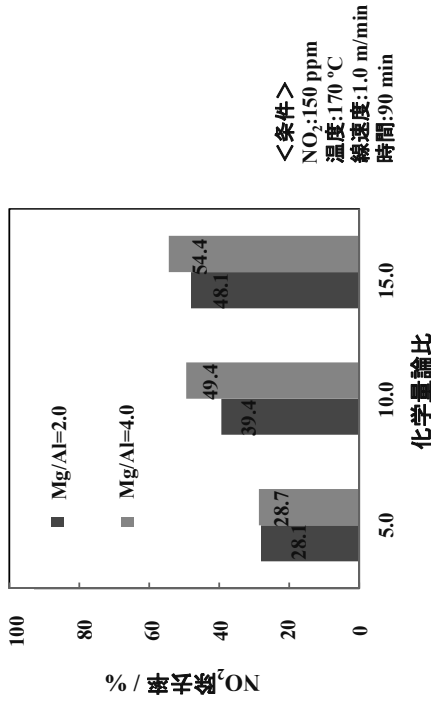
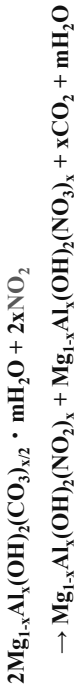
### NO処理～Mg/Alモル比及び化学量論比の影響～



<条件>  
NO:150 ppm  
温度:170 °C  
線速度:1.0 m/min  
時間:90 min

- ・LDHを大過剰量充填したにも関わらず、除去率は10%程度
- ・CO<sub>2</sub>・Mg-Al LDHは、NOに関してほぼ除去能力を持たない

NO<sub>2</sub>処理～Mg/Alモル比及び化学量論比の影響～

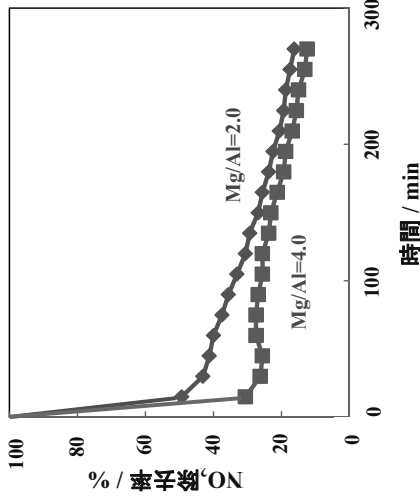


<条件>  
NO<sub>2</sub>:150 ppm  
温度:170 °C  
線速度:1.0 m/min  
時間:90 min

- ・NO<sub>2</sub>を除去することができた
- ・CO<sub>3</sub>・Mg-ALDH量の増加でNO<sub>2</sub>除去率増加
- ・Mg/Alモル比の影響なし

13

NO<sub>2</sub>処理～破過曲線～



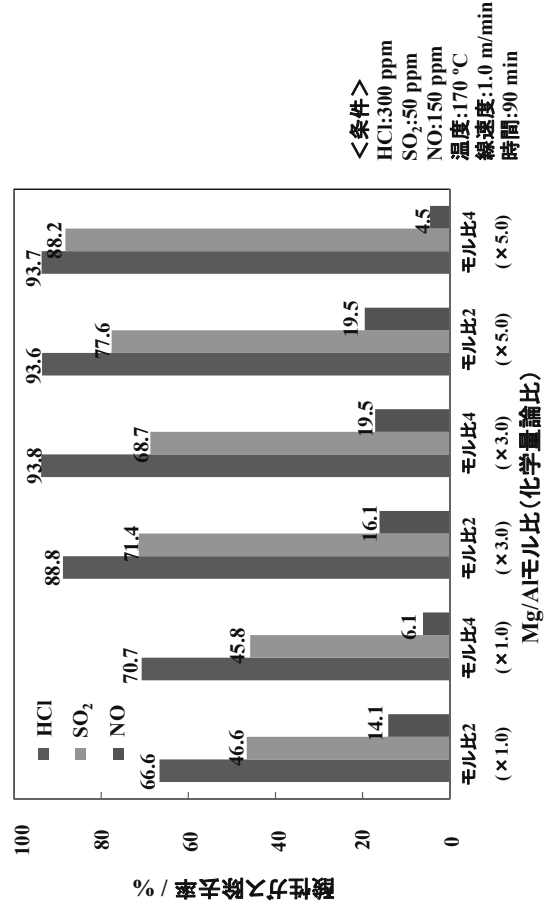
- ・開始直後に急激に除去率低下
- ・SO<sub>2</sub>とは異なる破過挙動

吸着量(4.5 h)  
Mg/Al=2.0 20.2 mg/g  
Mg/Al=4.0 19.5 mg/g

<条件>  
NO<sub>2</sub>:150 ppm, 温度:170 °C, 線速度:1.0 m/min, 充填層:0.5 cm(約0.25 g)

14

混合系①(HCl-SO<sub>2</sub>-NO) 除去性能

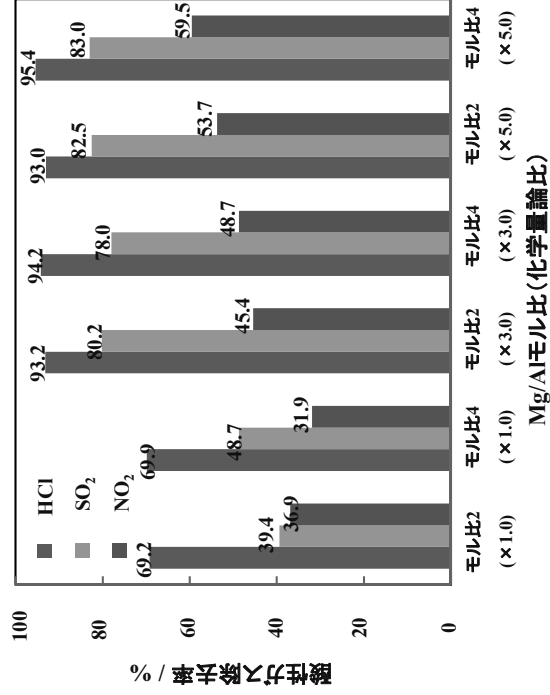


<条件>  
HCl:300 ppm  
SO<sub>2</sub>:50 ppm  
NO:150 ppm  
温度:170 °C  
線速度:1.0 m/min  
時間:90 min

- ・化学量論比の増加でHCl、SO<sub>2</sub>除去率増加
- ・NOの除去率は低かった

15

混合系②(HCl-SO<sub>2</sub>-NO<sub>2</sub>) 除去性能



<条件>  
HCl:300 ppm  
SO<sub>2</sub>:50 ppm  
NO<sub>2</sub>:150 ppm  
温度:170 °C  
線速度:1.0 m/min  
時間:90 min

- ・化学量論比の増加でHCl、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>除去率増加
- ・CO<sub>3</sub>・Mg-ALDHとの反応性の序列:HCl > SO<sub>2</sub> > NO<sub>2</sub> > NO

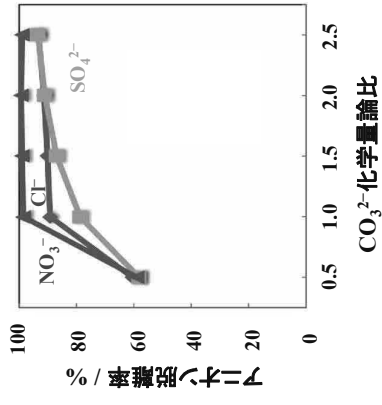
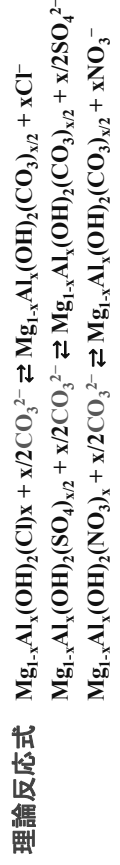
酸性ガスの同時除去

16

# (2) CO<sub>3</sub>・Mg-Al LDHの再生法、及び、HCl、SO<sub>x</sub>及びNO<sub>x</sub>処理への循環利用法の開発

17

## CO<sub>3</sub>・Mg-Al LDHの再生～化学量論比の影響～



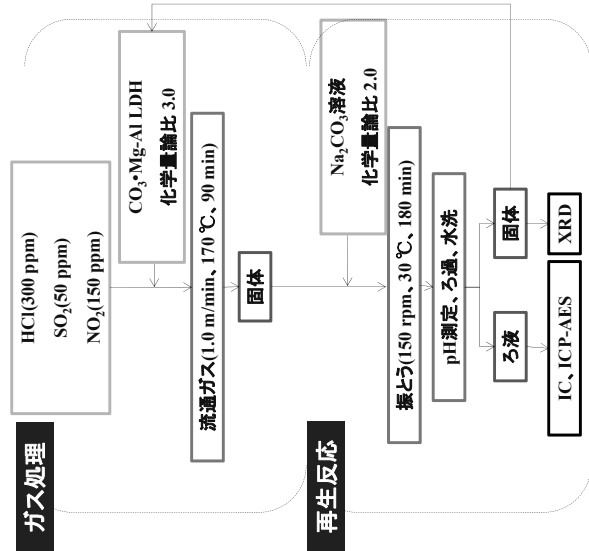
<条件>  
 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>溶液:20 mL  
 LDH量:0.2 g  
 温度:30 °C  
 時間:60 min

CO<sub>3</sub>・Mg-Al LDHの再生可能  
 ・アニオン交換反応により、LDHからCl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>の脱離可能  
 ・取り込まれ易さの序列 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> > SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > Cl<sup>-</sup> > NO<sub>3</sub><sup>-</sup> に一致

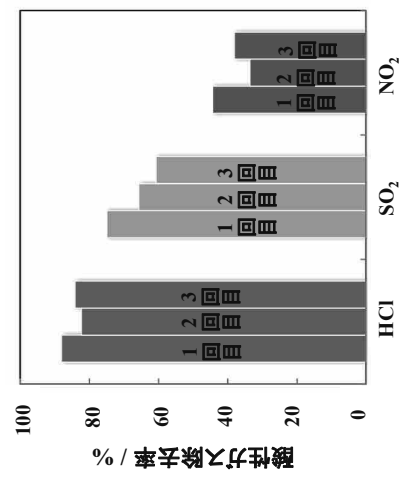
18

## 実験方法<HCl、SO<sub>x</sub>及びNO<sub>x</sub>処理への循環利用>

## HCl-SO<sub>2</sub>-NO<sub>2</sub>処理における処理回数、及びアニオン脱離率に及ぼす再生回数の影響

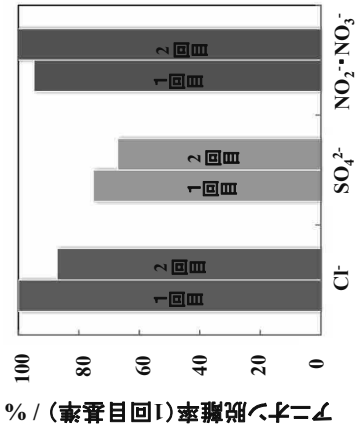


HCl-SO<sub>2</sub>-NO<sub>2</sub>処理



・処理回数による除去率の変化は小さい

アニオン脱離率



・再生回数による脱離率の変化は小さい

## CO<sub>3</sub>・Mg-Al LDHの循環利用可能

20



# (3) 廃棄物焼却排ガス処理 へのCO<sub>3</sub>・Mg-Al LDHの循環 利用のプロセス化

## 実験方法<BF(バグフィルター)試験(HCl or NO<sub>x</sub>)>

### BF(バグフィルター)試験

現状多く用いられる

BF(バグフィルター)方式

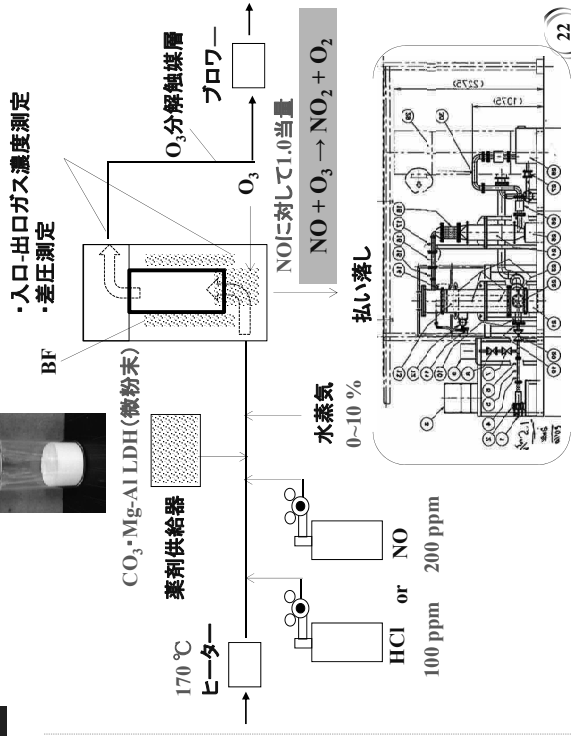
微粉末薬剤を煙道に噴霧

薬剤の堆積層

排ガス

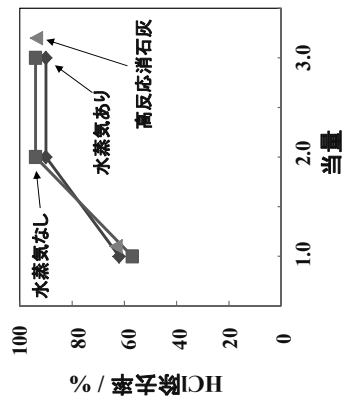
清浄ガス

BF(ろ布)



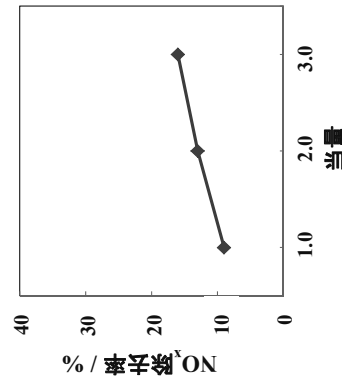
## BF試験によるHCl or NO<sub>x</sub>処理

### HCl処理



- ・Ca(OH)<sub>2</sub>と同程度の除去性能
- ・水蒸気の有無の影響なし

### NO<sub>x</sub>処理



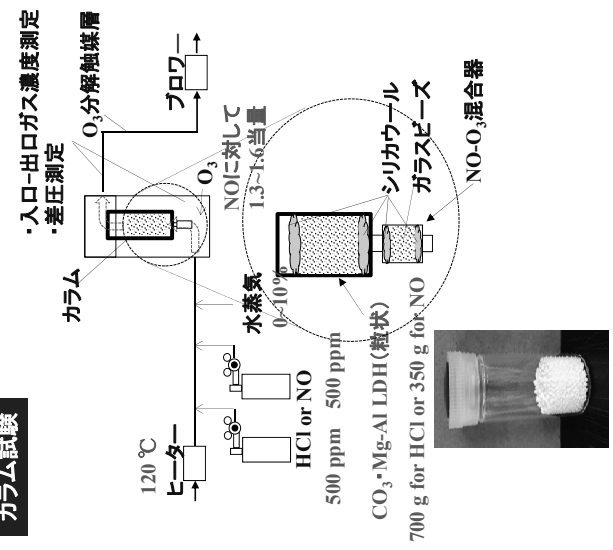
- ・NO<sub>x</sub>除去率は低い

HCl処理にBF試験適する

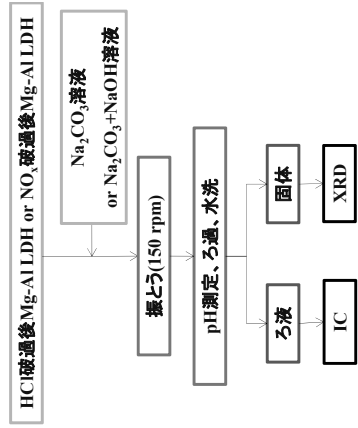
NO<sub>x</sub>処理にBF試験不適

## 実験方法<カラム試験(HCl or NO<sub>x</sub>)及び再生試験>

### カラム試験



### 再生試験

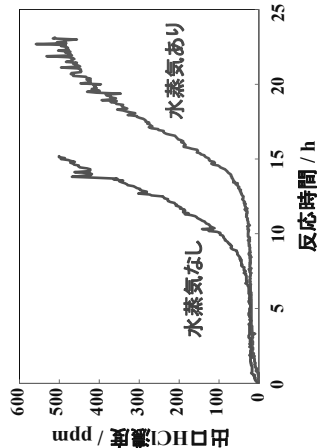


### 実験条件

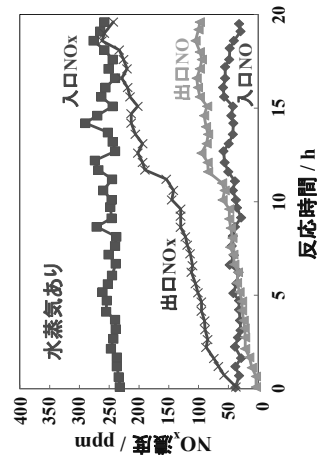
- 破過後Mg-Al LDH量:6.7 g
- Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> or Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>+NaOH溶液:20 mL
- Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>溶液濃度:化学量論比2.0~3.0
- 温度:20 °C(室温を想定)
- 反応時間:1~180 min

## カラム試験によるHCl or NO<sub>x</sub>破過曲線

HCl破過曲線



NO<sub>x</sub>破過曲線

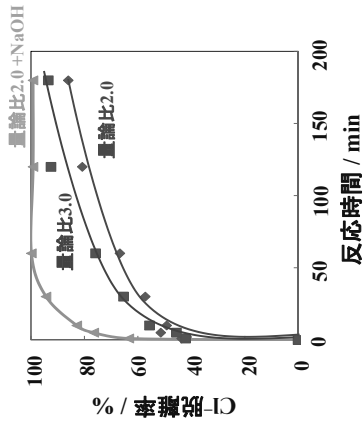


カラム試験においてHClおよびNO<sub>x</sub>を除去することができた。  
実用化の可能性が示唆された。

(25)

## HCl or NO<sub>x</sub>破過後Mg-ALDHの再生反応

HCl破過後Mg-ALDHの再生



NaOH添加でCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>として存在

・CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>とCl<sup>-</sup>とのアニオン交換

・CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>とNO<sub>2</sub><sup>-</sup>・NO<sub>3</sub><sup>-</sup>とのアニオン交換  
・NO<sub>2</sub><sup>-</sup>・NO<sub>3</sub><sup>-</sup>は脱離しやすく、NaOHの影響は小さい

(26)

## 結論

### まとめ

- ◇ CO<sub>3</sub>・Mg-ALDHによって、HCl、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>の単独ガスを除去することができた。
- ◇ CO<sub>3</sub>・Mg-ALDHによって、混合ガス中のHCl、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>を同時除去することができた。
- ◇ ガス処理後のCO<sub>3</sub>・Mg-ALDHを再生し、ガス処理へ循環利用することができた。
- ◇ HCl処理にバグフィルター試験が適することを見出した。
- ◇ カラム試験においてHCl及びNO<sub>x</sub>が除去でき、実用化の可能性が示唆された。

(27)

(28)

本研究成果は、大気汚染防止法に基づく排ガス規制の対象となっており、HCl、SO<sub>x</sub>及びNO<sub>x</sub>について、排ガス基準を満たすための経済的な処理技術の開発に貢献することができる。

本研究は、廃棄物焼却排ガス中のHCl、SO<sub>x</sub>及びNO<sub>x</sub>ガスを、CO<sub>3</sub>・Mg-Al LDHを用いて同時に処理することを特徴としている。CO<sub>3</sub>・Mg-Al LDHは、廃棄物焼却排ガス成分を同時に処理できる優れた吸着剤であり、実用化した場合においても工程はシンプルである。また、吸着剤は循環利用するため、消石灰等の使い捨てに伴う薬剤にかかる高いコストや遷移金属に比べ、非常に安価である。

本研究成果は、安価な吸着剤を使って、簡便な工程によって廃棄物焼却排ガス成分を処理することができるため、非常に優位性がある。



# Presentation of Research Projects

*Promoted by the Environment Research and Technology Development Fund  
by MOE, Japan*

This session presents research results promoted by the Environment Research and Technology Development Fund of Ministry of the Environment, Japan ('Research project for establishing a Sound Material-Cycle Society') completed in FY2016 or continuing as of FY2017, and is widely open to the public.

January 18, 2018

SABO HALL (Schönbach Sabô)

Japan Environmental Sanitation Center (JESC)



# Contents

1. Program -----	1
2. <i>Study on policy and behavior, consciousness to disaster waste management for improvement of performance, safety and reliability</i> <b>Misuzu Asari</b> (Kyoto University) -----	2
3. <i>Study on assessment and technology for safe disposal of mercury waste</i> <b>Fumitake Takahashi</b> (Tokyo Institute of Technology) -----	7
4. <i>Evaluation of WEEE/ELV generation and systems of metals/FCs collection in Asian countries</i> <b>Atsushi Terazono</b> (National Institute for Environmental Studies) -----	12





# Program

■ *Date* : Jan. 18<sup>th</sup> (Thu.) 10:00 - 12:00

■ *Venue* : SABO HALL (Schönbach Sabô), 3F Rokko

■ *Facilitator* : **Hideaki Fujiyoshi** (Japan Environmental Sanitation Center)

Time	Presentation Title	Speaker / Affiliation
10:10-10:35	<b>Study on policy and behavior, consciousness to disaster waste management for improvement of performance, safety and reliability</b>	<b>Misuzu Asari</b> (Kyoto University)
10:35-11:00	<b>Study on assessment and technology for safe disposal of mercury</b>	<b>Fumitake Takahashi</b> (Tokyo Institute of Technology)
11:00-11:15	Break	—
11:15-11:40	<b>Evaluation of WEEE/ELV generation and systems of metals/FCs collection in Asian countries</b>	<b>Atsushi Terazono</b> (National Institute for Environmental Studies)
11:40-12:00	<b>Discussion</b>	—

# Study on policy and behavior, consciousness to disaster waste management for improvement of performance, safety and reliability

Kyoto University Graduate School of Global Environmental Studies

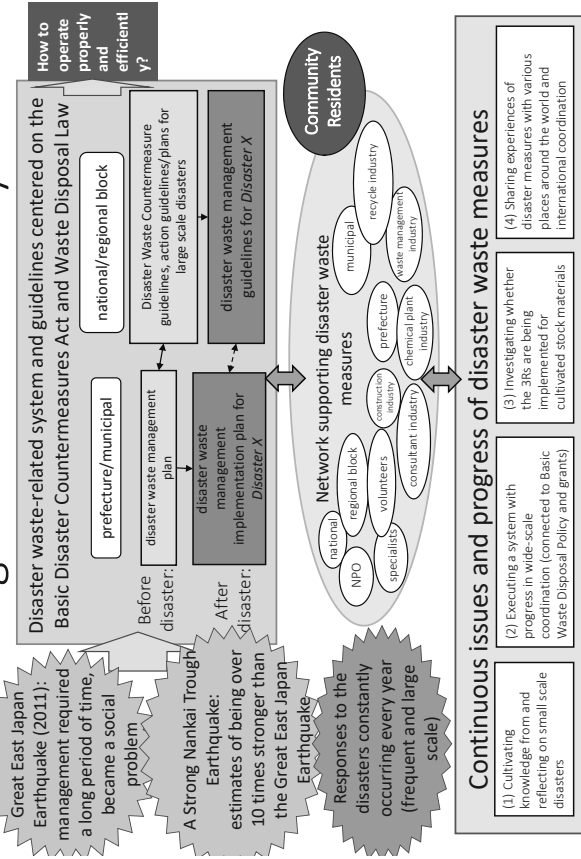
Misuzu Asari  
mezase530@gmail.com

## Objectives

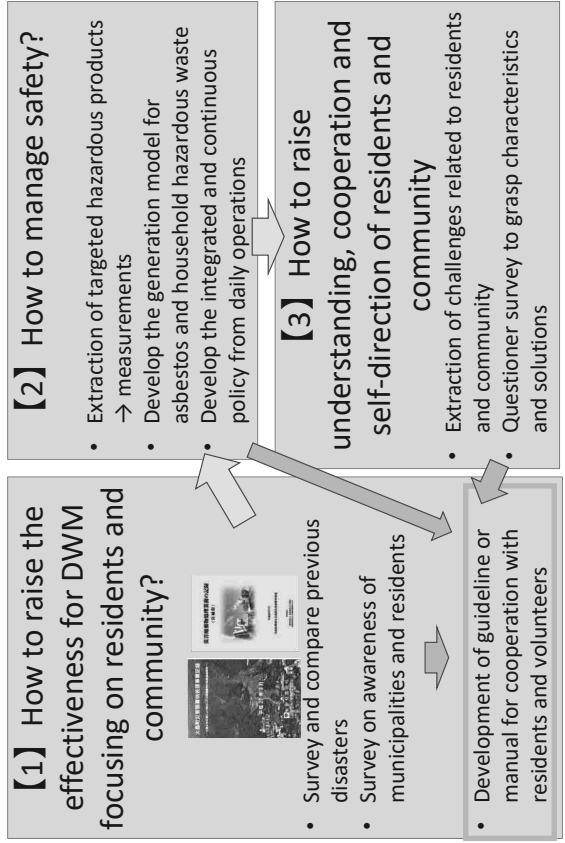
1. We focus on residents and communities, which are poorly noted in existing disaster waste management (DWM) guidelines, and aimed at understanding their relationships with managers of disaster waste.
2. From the view point of safety, we extracted some hazardous household products and discuss the measurement. For asbestos and typical products, we develop the model to grasp the generation.
3. We focus on understanding, cooperation and self-direction of residents and community, and develop the guideline for further cooperation.
  - Knowledge to raise the effectiveness for DWM and basic ability for usual waste management
  - Contribution to national and municipal governance



## Background of the study



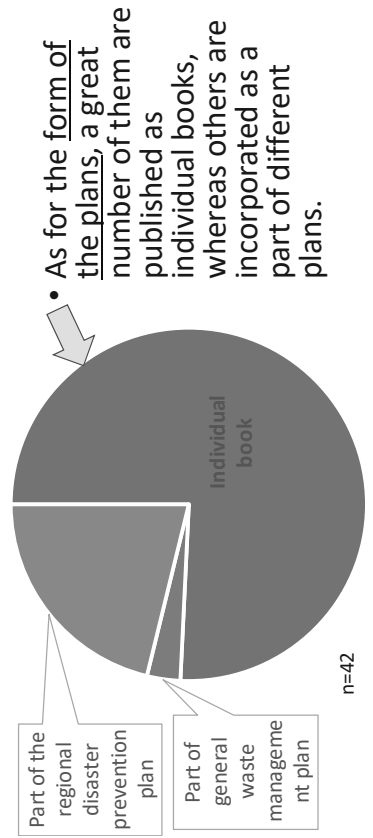
## Outline of the research



# 【1】 How to raise the effectiveness for DWM focusing on residents and community?

**Status of municipal pre-disaster preparations**

- Among 42 municipal governments, 18 of them claimed to have already established a disaster waste management plan, while 15 claimed to be in the midst of deciding a plan at the time of the questionnaire. => The relatively large cities are making progress in establishing a disaster waste management plan.

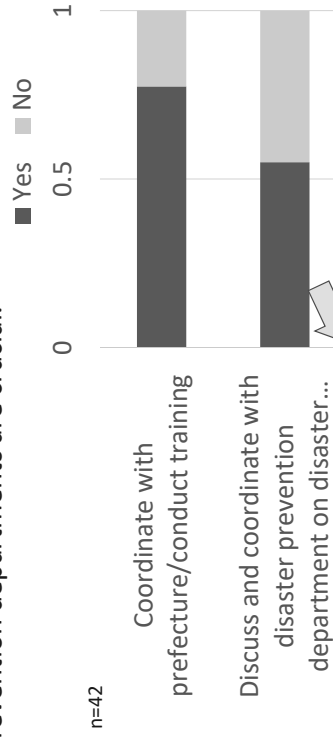


## Methods

- Survey for previous disasters: Great East Japan earthquake and Tsunami (2011), heavy rain and land slide in Horoshima (2014), flood in Joso (2015), etc.
  - Municipal governments: questionnaires (of 4 pages on A4-sized paper) to officials of municipal waste management departments in 61 of the main designated cities in Japan by e-mail and postal mail in mid-February 2017 =>42 responses
  - Residents' awareness: web-based questionnaire (provided by Cross Marketing, Inc.) between March 3<sup>rd</sup> and March 15<sup>th</sup> of 2017 => 5,200 responses
- We targeted municipalities of every region in Japan, distinguishing responses by age (ages 10 and below, and ages 20 to older than 70) and sex while aiming to keep a consistent scope.

**Prior cooperation between city and prefecture/disaster prevention departments**

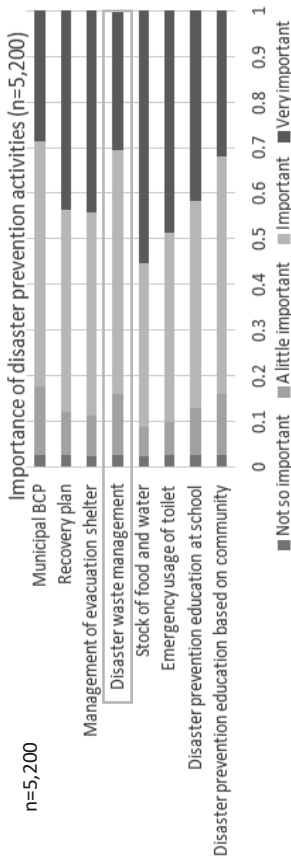
- To prepare for large scale disasters, prior cooperation between prefecture and city and coordination with the municipal disaster prevention departments are crucial.



As coordination with disaster prevention is indispensable, this presents an issue.

### Importance given by residents to various disaster prevention activities

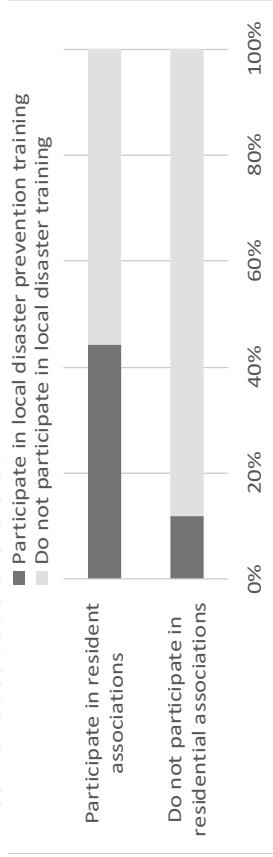
- Despite awareness for overall importance being high, the ratios of “very important” responses were lowest for disaster waste, BCP, and community-based disaster prevention education.



Connection with disaster waste issue and community based education is really important.

### Local awareness and its relationship with disaster prevention activities

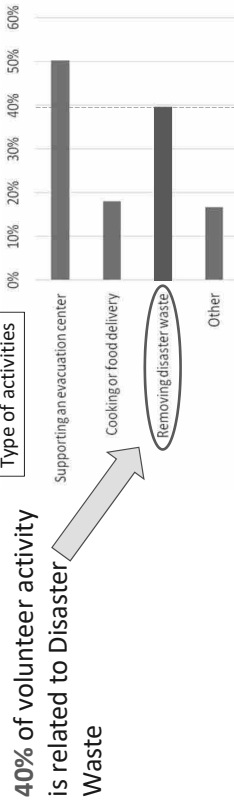
- Representative of conventional Japanese communities are local resident associations.
- Differences in local disaster prevention training attendance rates between respondents who do and do not participate in resident associations is clear.



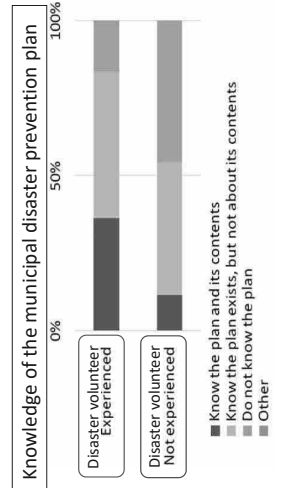
However, only 39% claiming they participate and 61% claiming they do not in local resident associations.

### Important role of volunteers

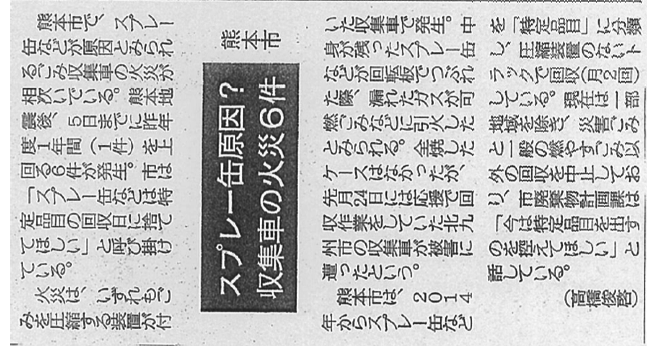
- The ratio of people who experienced disaster volunteer is 7.3%.



40% of volunteer activity is related to Disaster Waste



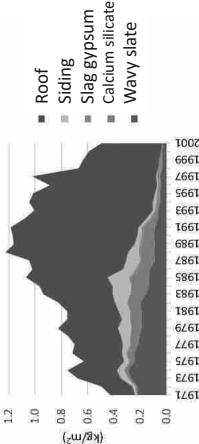
- The difference of two groups with and without disaster volunteer experiences is clear.



### 【2】 How to manage safety?

## Brief reports on hazardous waste

- Targets: asbestos and spray can
- Develop the unit amount of asbestos per floor by construction parts
  - Roof
  - Siding
  - Slag gypsum
  - Calcium silicate board 1
  - Wavy slate
- Focus on spray cans
- Consumer survey for consumption and disposal with WEB system



Develop the calculation model based on the municipalities

Material flow analysis and countermeasures

## Methods

- Survey for residents in damaged areas: posting (on site) and mailing (approx. 100 answers from each)
- Target areas:

Flood and land slide in Hiroshima (2014)

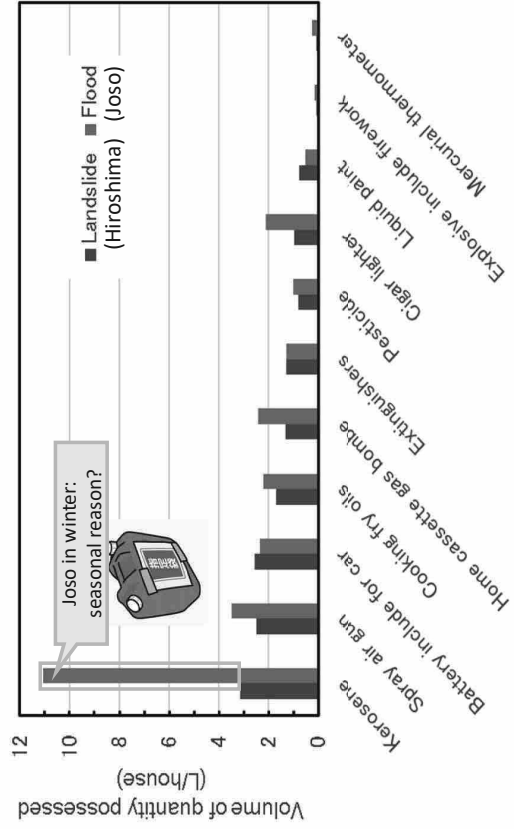


Flood in Joso (2015)



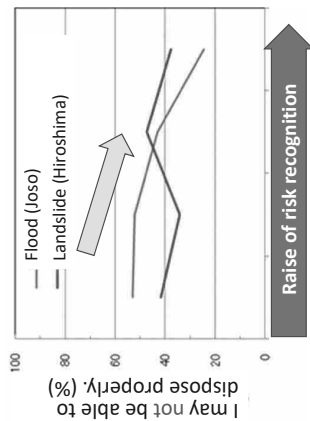
## 【3】 How to raise understanding, cooperation and self-direction of residents and community?

## Quantity of each hazardous/harmful article

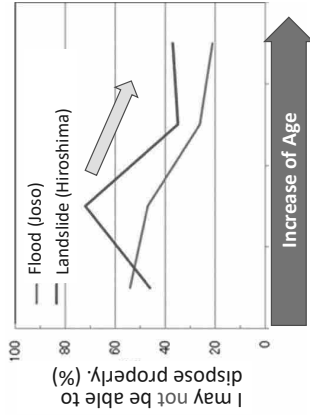


## Risk recognition & confidence of proper disposal

- Recognition of risk/hazard lead to the decrease of improper disposal  
→ Usual education or awareness campaign about hazardous waste is crucial.



- Higher generation seems to be able to separate better.  
→ Promotion to younger generation is important.



## Tentative outcomes

- [1]** How to raise the effectiveness for DWM focusing on residents and community?
- Cooperation inside the municipal government (environment and disaster, regional cooperation department) is crucial.
  - Community based education about disaster waste management must be important, but community association become weak in many places.
  - Connection with volunteer activity must be important for early stage of disaster waste separation. ...etc.

- [2]** How to manage safety?
- Many kinds of household hazardous waste may become the bottleneck for disaster waste management.
  - Asbestos and spray cans will be focused on to develop management tools and policy.

- [3]** How to raise understanding, cooperation and self-direction of residents and community
- To promote proper disposal and separation of disaster waste at the source, risk education to residents is important before the disaster.
  - Especially young generation may be important target to raise awareness about disaster waste management. ...etc.

Development of cooperation guidelines (especially residents and volunteer) and hazardous products models/policy will be promoted.

3K143002

## Study on Assessment and Technology for Safe Disposal of Mercury Waste

Prof. Masaki TAKAOKA

Kyoto University (P.I.)

Prof. Ryuji YANASE

Fukuoka University

**Prof. Fumitake TAKAHASHI** Tokyo Institute of Technology

Dr. Akito Matsuyama

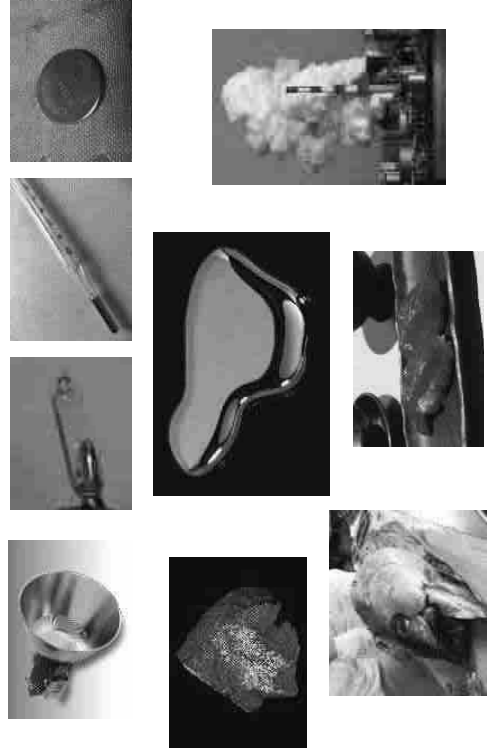
National Institute of Minamata Disease

Prof. Jiro TAKEMURA

Tokyo Institute of Technology

Fumitake TAKAHASHI : takahashi.f.at@m.titech.ac.jp 2

## Introduction



Hg as useful but toxic metal

Fumitake TAKAHASHI : takahashi.f.at@m.titech.ac.jp

3

## Outline

1. Introduction
2. Hg immobilization technology
3. Hg speciation in landfill sites
4. Hg leaching behaviors: Column leaching tests
5. Simulation for Hg monitoring well setting
6. Environmental risk of Hg landfill disposal
7. Conclusion

Fumitake TAKAHASHI : takahashi.f.at@m.titech.ac.jp 2

## Introduction

### Minamata convention on Mercury



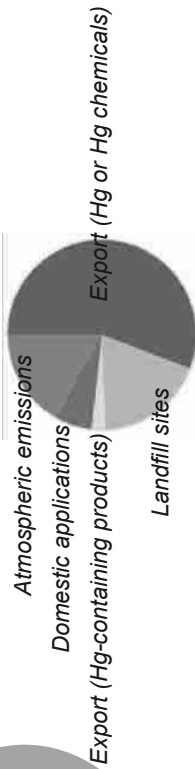
- Agreed on Oct., 2013 and empowered on Aug. 2017
- International framework for the regulation of mercury applications and control
- Reduction of Hg atmospheric emissions
- Safe disposal of used Hg at end-of-life stage

Fumitake TAKAHASHI : takahashi.f.at@m.titech.ac.jp

4

## Introduction

### Mercury fate in Japan



Uncollected Hg in Japan : 72 Mg



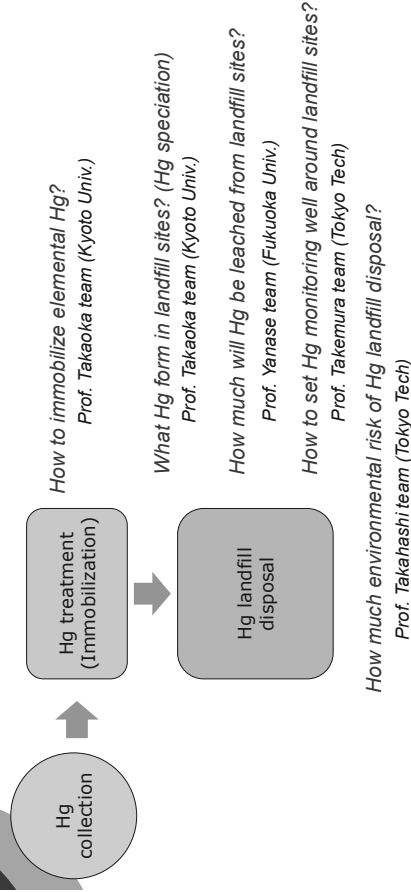
**We need to collect, treat and dispose of Hg. How to do?**

Fumitake TAKAHASHI : takahashi.f.at@m.titech.ac.jp

5

## Project objectives

Environmentally safe manners of Hg treatment and final disposal

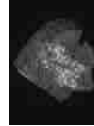


Fumitake TAKAHASHI : takahashi.f.at@m.titech.ac.jp

6

## Hg immobilization

Hg Immobilization Convert elemental Hg to HgS



Mechanical immobilization



- Conical ball milling**
- ✓ Simple apparatus
  - ✓ Low energy
  - ✓ Easy maintenance
  - ✓ High portability



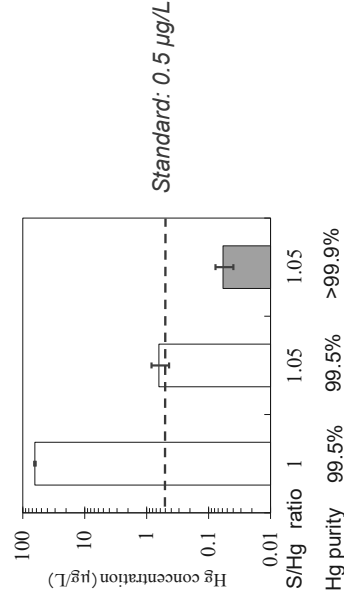
- Medium-scale ball milling**
- ✓ Scale effect

**Hg leachability of produced HgS were tested.**

Type 46 leaching test (designated by Ministry of Environment, Japan)

- ✓ Extraction medium : Water
- ✓ Liquid solid ratio : 10
- ✓ Leaching condition : Shake at 200 rpm for 6 hours
- ✓ Leachate filtration using 0.45 membrane filter

## Hg immobilization



- ✓ Elemental Hg conversion to HgS is possible by mechanical treatment.
- ✓ Optimum condition of HgS conversion
- ✓ Hg purity is important for HgS conversion due to amalgam formation.
- ✓ Scale effect is negative on HgS conversion.

Fumitake TAKAHASHI : takahashi.f.at@m.titech.ac.jp

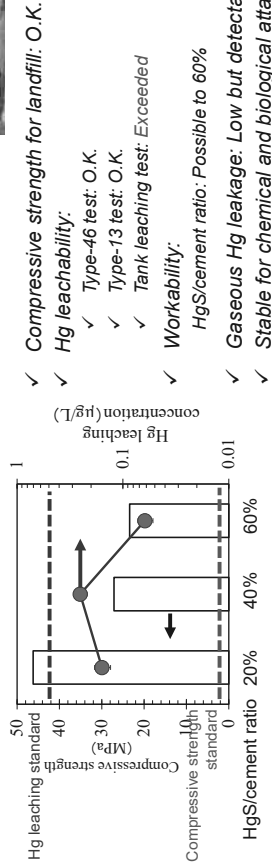
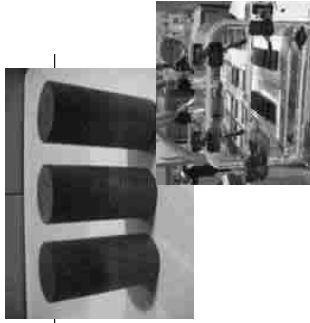
7



# Hg immobilization

## Physical immobilization

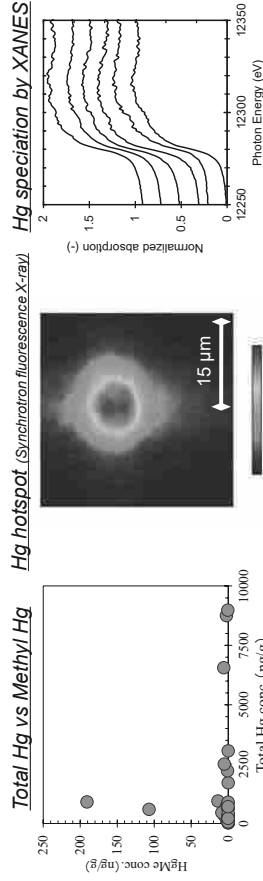
- ✓ HgS solidification using cement or geopolimer
- ✓ Compressive strength: Uniaxial compression test
- ✓ Hg leachability: Tank leaching test, type-46 leaching test, and type-13 leaching test
- ✓ Gaseous Hg leakage: Head space monitoring
- ✓ Chemical and biological stability



# Hg speciation in landfill sites



Hg in landfill bodies were sampled and analyzed.



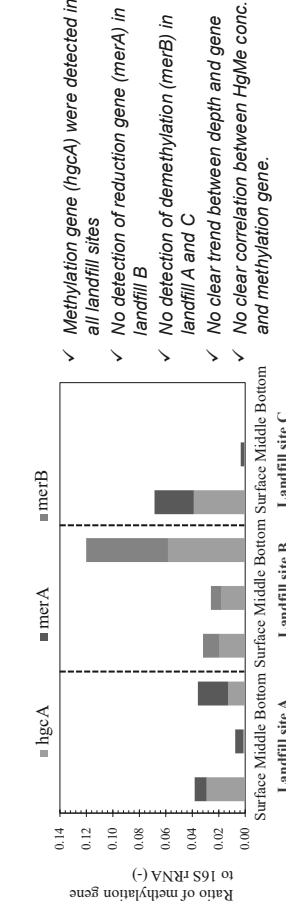
- ✓ HgMe/Total Hg ratio: Less than 1%
- ✓ 20% HgMe in hotspots
- ✓ No correlation with other elements
- ✓ Major Hg form: HgS
- ✓ Elemental Hg and HgCl<sub>2</sub> are also possible forms

# Hg cycles vs functional gene

Mercury cycles (Methylation, demethylation, reduction) by biological activities?

## Functional gene measurement

Target gene	Source organism	GenBank accession number
hgcA	Geobacter sulfurreducens	NC_002939
merA	Citrobacter freundii	AJ418049
merB	Serratia marcescens	M15049
Bacterial 16S rRNA	Dehalobacter restrictus	Y10164



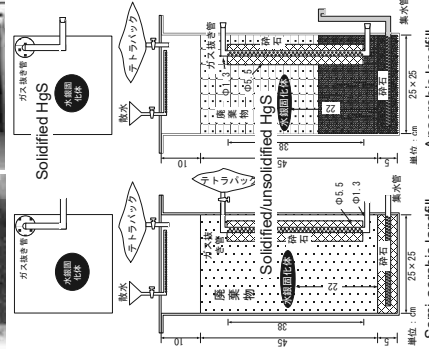
# Hg leaching (Column tests)

Unsolidified HgS — Solidified HgS



## Column conditions

- ✓ HgS setting:
  - Unsolidified HgS: Dispersive, bedded
  - Solidified HgS:
    - 100 times higher Hg input than normal case
- ✓ Landfilled materials:
  - Inorganic: Waste incineration ash
  - Mixture: Ash with sewage sludge compost
- ✓ Landfill conditions: Semi-aerobic, anaerobic
- ✓ Water supply: 1 time per week

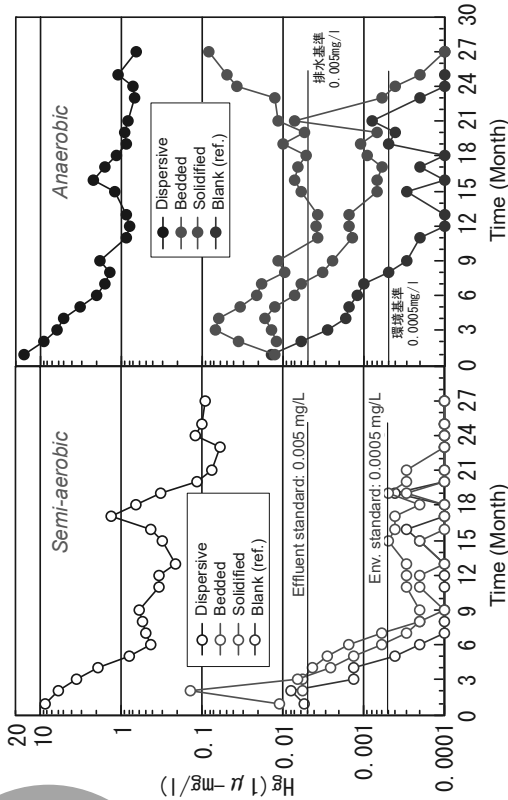


## Monitoring

- ✓ Hg concentration in leachate
- ✓ Leachate quality (pH, TOC, SS, etc)
- ✓ Gaseous Hg concentration
- ✓ 3 years monitoring

# Hg leaching (Column tests)

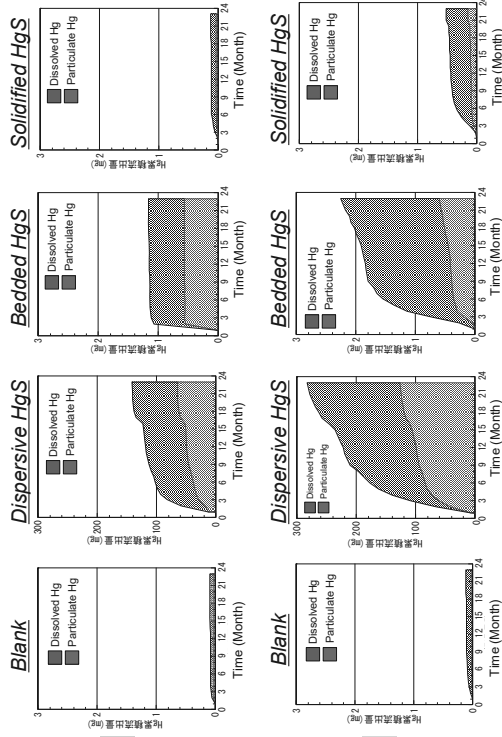
## Dispersive HgS case



Fumitake TAKAHASHI : takahashi.f.at@m.titech.ac.jp

# Hg leaching (Column tests)

## Cumulative Hg leaching

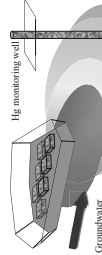


Semi-aerobic

Anaerobic

Fumitake TAKAHASHI : takahashi.f.at@m.titech.ac.jp

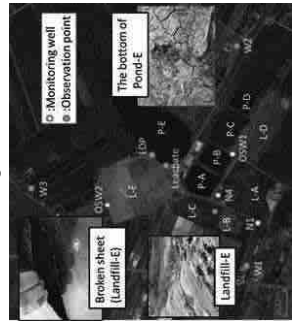
# Simulation for monitoring well setting



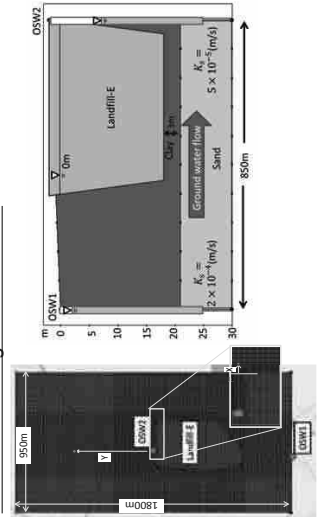
## Hg monitoring well

How to set Hg monitoring well around landfill sites?

## Real monitoring data

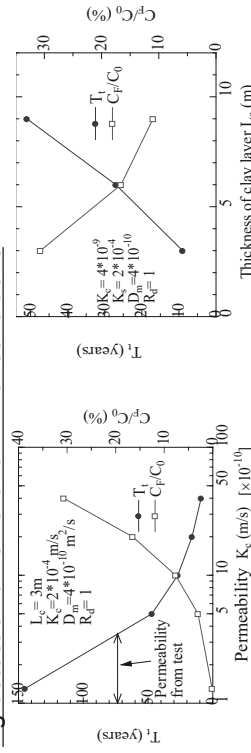


## 3D model building and simulation

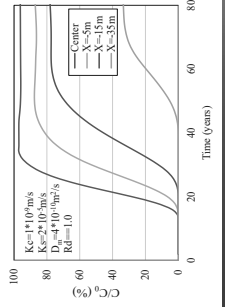


# Simulation for monitoring well setting

## Hg detection time vs landfill liner conditions



## Hg leaching conc. vs distance

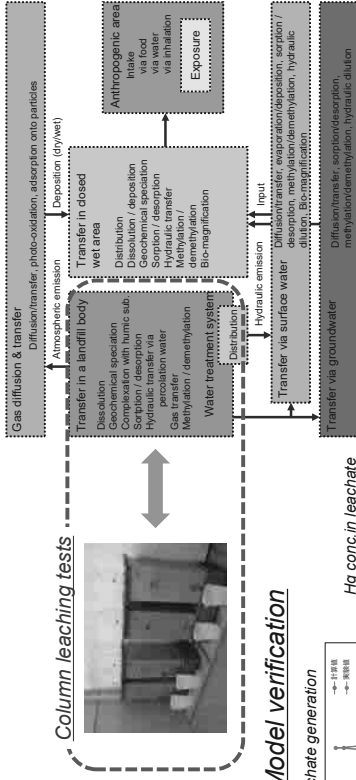


- ✓ Increase of Hg leaching concentration is inversely proportional to clay layer permeability.
- ✓ It's proportional to the square of clay layer thickness
- ✓ Long time before the first leakage detection
- ✓ More than 1000 years are necessary when Hg adsorption is included.

Fumitake TAKAHASHI : takahashi.f.at@m.titech.ac.jp

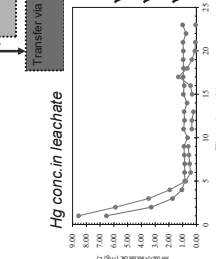
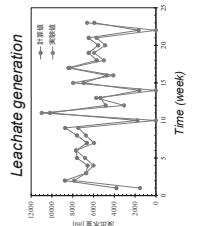
# Environmental risk of Hg landfill disposal

## Mercury environmental fate model



Column leaching tests

### 1. Model verification



- ✓ Good agreement of water mass flow
- ✓ Good agreement of Hg<sup>2+</sup> conc. in leachate
- ✓ Poor agreement of HgMe

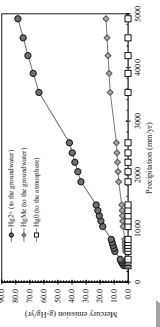
# Conclusion

- Hg purity should be higher than 99.9% before treatment.
- Cement solidification enables enough compressive strength for landfill disposal and lower Hg emission than the standard.
- Hg hotspots in landfill sites. Functional gene suggests landfill condition is favorable for methylation but not for demethylation.
- Solidified HgS or bedded disposal under semi-aerobic conditions is better for lower Hg emission.
- Permeability and thickness of clay layer of landfill site control Hg detection time of monitoring well. Long time will be necessary.
- Hg environmental fate model suggests:
  - Rainfall protection on landfill surface is effective.
  - Long time to detect clear increase of Hg leaching concentration
  - Probability that Hg exposure exceeds Hg tolerable intake can be calculated.

# Environmental risk of Hg landfill disposal

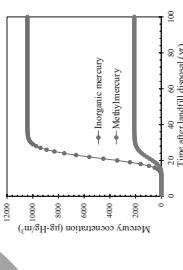
## Large impact of precipitation on Hg emission

Hg environmental fate model includes many mechanisms and correspondingly many variables. However, Hg emission is almost proportional to precipitation.



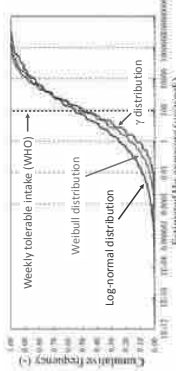
## Long time until Hg conc. in leachate exceeds the standard

After Hg leaching starts in a landfill body, more than 20 years are necessary to detect clear increase of Hg concentration in leachate. Several decades monitoring is feasible?



## Probability of Hg unacceptable exposure

Because model variables can have wide range of value with several orders of magnitude, uncertainty of simulation results is so large. Probability that Hg exposure exceeds tolerable intake might be useful indicator for easy understanding of the risk.



# Acknowledgement

This study was supported financially by Environment Research and Technology Development Fund (3K143002), Japan Ministry of the Environment.

All project members appreciate it greatly.

Thank for your attention to my presentation.

E-mail to P.I. (Prof. Takaoka)  
takaoka.masaki.4w@kyoto-u.ac.jp

**Presentation of Research Projects promoted by the Environment Research and Technology Development Fund by MOE, Japan**  
平成29年度循環型社会形成推進研究発表会  
Schoenbach Sabo, Tokyo  
18th Jan. 2018

## Evaluation of WEEE/ELV generation and systems of metals/FCs collection in Asian countries

アジア諸国における使用済み電気電子機器・自動車の排出量推計と金属・フロン類の回収システムの効果測定(3K143010)

Leader: Atsushi Terazono 寺園 淳  
National Institute for Environmental Studies (NIES) 国立環境研究所  
Project member:  
Masahiro Oguchi, Aya Yoshida, Kenichi Nakajima, Tatsuya Hanaoka (NIES)  
Shinsuke Murakami, Univ. of Tokyo  
Atsushi Santo (FY2014-2015), Yoshinori Morita (FY2015) (IGES)  
Shunsuke Kuzuhara (SNCT)



## Research project: "Evaluation of WEEE/ELV generation and systems of metals/FCs collection in Asian countries" (3K143010; FY2014-2016)

- Funded by Ministry of Environment, Japan, led by Dr. A. Terazono (NIES).
- Aims at evaluating the environmental benefit of possible collection/treatment scenarios for metals and fluorocarbons in Asian developing countries.
  - Generation of EoL products in each country in future;
  - Location of treatment facilities in Asian region;
  - Transboundary movement for more proper treatment.

### Target countries and items

- China, India, Indonesia, Japan, Malaysia, The Philippines, South Korea, Taiwan, Thailand, Viet Nam
- Common EEE (refrigerators, washing machines, air conditioners, mobile phones, TVs, personal computers) and automobiles (passenger cars, commercial vehicles)

National Institute for Environmental Studies (NIES)



The University of Tokyo



Sendai National College of Technology (SNCT)



Institute for Global Environmental Strategies (IGES)



2

### Theme 1 Estimation of WEEE (and ELVs) generation in Asian countries (NIES)

Estimate future WEEE (and ELVs) generation in Asian countries focusing on specific materials/components such as batteries, printed circuit boards, refrigerant and thermal insulating materials (time-series, geographically).

### Theme 2 Survey of behavior of metals and FCs in treatment processes (NIES, SNCT, IGES)

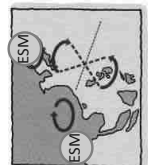
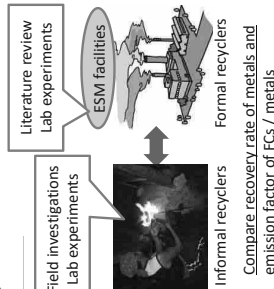
- Investigate actual recovery rate (yield ratio) of metals in the processes for metal recovery from WEEE in Asian countries (e.g. the Philippines)
- Investigate current situation of emission and collection/destruction of FCs in Asian countries (e.g. Thailand, Malaysia).

### Theme 3 Evaluation of environmental benefit of metal/FCs collection scenarios (NIES, The University of Tokyo, IGES)

- Consolidate information on the location of treatment facilities (e.g. for metal recovery, FCs destruction) in Asian region.
- Develop several scenarios for metal recovery and FCs collection from WEEE (and ELVs) in Asian region and estimate possible amount of recovered metals and destructed FCs by each scenario
- Evaluate environmental benefit (and conduct cost-benefit analysis).

Taking into account the transition of substances used for products

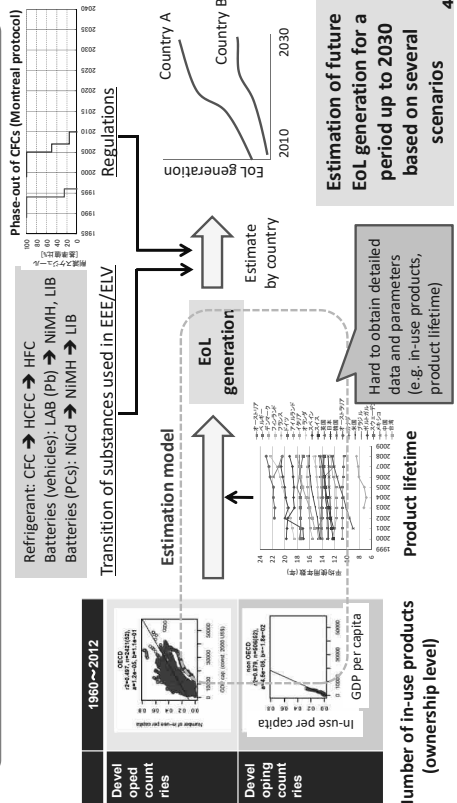
Refrigerant: CFC → HCFC → HFC  
Batteries (vehicles): LAB (Pb) → NiMH, LIB  
Batteries (PCs): NiCd → NiMH → LIB



3

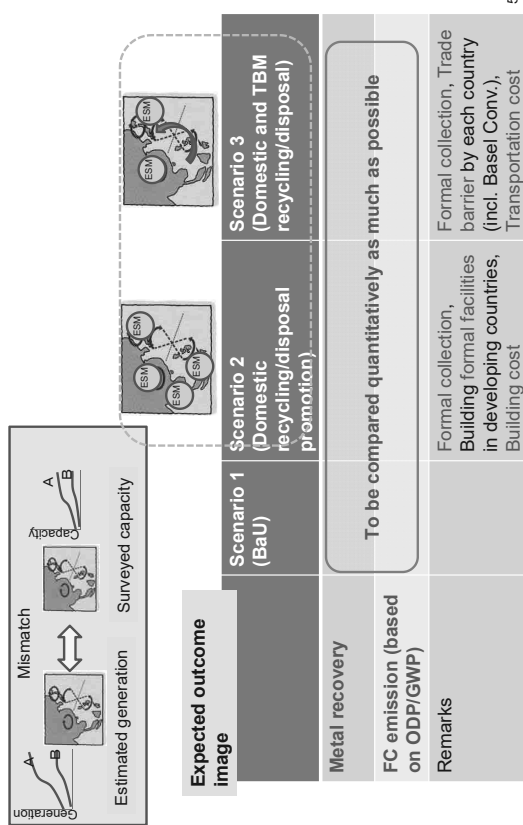
### Theme 1 Estimation of WEEE (& ELVs) generation in Asian countries

As a basis for the scenario evaluation, the study aimed at estimating the future generation of WEEE in Asian countries (time-series, geographically) focusing on specific materials/components that are related to metals and fluorocarbons.



4

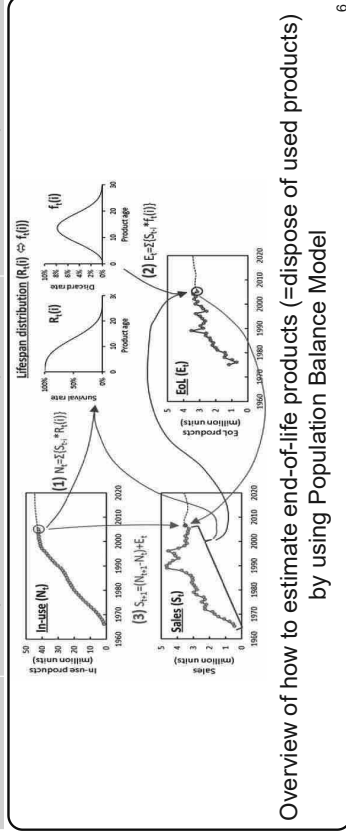
### Theme 3 Evaluation of environmental benefit of metal/FCs collection scenarios



5

### Estimating Future Emissions using Bottom-up Approach

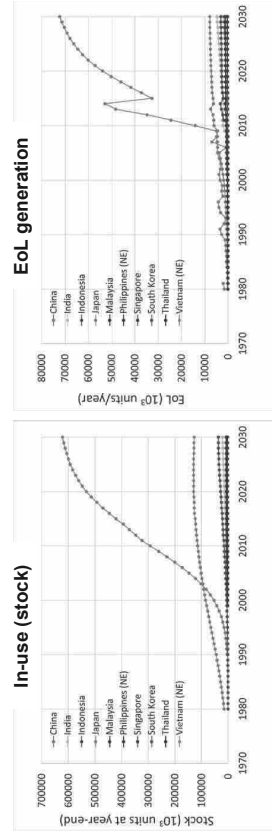
Methodology	Overview	Required variable for future scenario
Multi regression model	Using historical correlation between objective variable and basic socio-economic variable.	GDP, POP, per capita GDP
Lifetime model	Using historical correlation between number of sales by device and lifetime duration by device.	Sales numbers by device, Lifetime duration by device.
Population balance model	Using historical correlation between number of stocks by device and lifetime duration by device.	Stock (in-use) numbers by device, Lifetime duration by device.



Overview of how to estimate end-of-life products (=dispose of used products) by using Population Balance Model

6

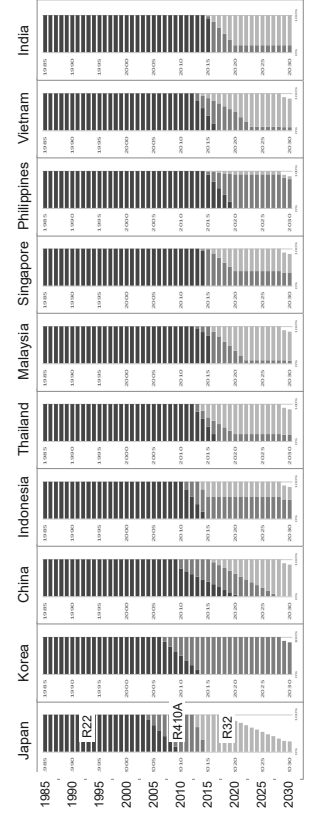
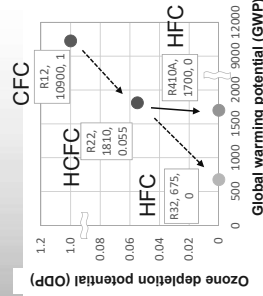
### Results: Estimated number of in-use and end-of-life products (case of air conditioners)



- The estimated number of in-use and EoL products was the largest in China. The estimated EoL generation in China was 72 million in 2030, which is 9.2 times of Japan (7.9 million).
- The estimation showed an increasing trend in the EoL generation until 2030. The growth rate in southeast Asian countries, however, was not so large.

### Refrigerant substitution in each country (case of air conditioners)

- Prepared based on interviews to stakeholders in each country. HCFC-22 (ODS) has been substituted by R410A and HFC-32 (non-ODSs, GHGs). Still contribute to global warming.
- Substitution scenarios after 2030 need to be developed taking into account the HFCs phase-down schedule (agreed in the Kigali amendment of Montreal Protocol).



8

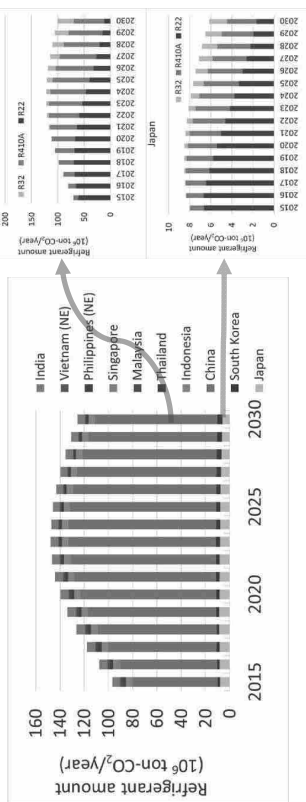
## Variety of Future Scenarios

- ◆ Depending on purposes of analyses, it is better to set wide range of future scenarios, for example, the worst case, the best case, middle of the road case, etc.
- ◆ As for fluorocarbon mitigations, there is no recovery and decomposition in Asian developing countries yet, thus it is better to differentiate scenarios of “domestic measures only by international technology cooperation” and “domestic measures mixing with cooperation of overseas transportation of fluorocarbon wastes”.

### Example of recovery & decomposition scenarios about room air conditioners in Asia

Scenario name	Scenario description
BaU	Emissions without any measures (i.e. no recovery and decomposition)
RD	Recover the amount of fluorocarbons up to the capacity level of existing decomposition facilities (such as cement kiln, rotary kiln)
RD-Max-domestic	Recover fluorocarbons at a maximum and decompose fluorocarbon waste by the existing facilities (such as cement kiln, rotary kiln). In addition, in order to deal with all fluorocarbon waste within its country independently, decomposition facilities are newly installed by international technology cooperation.
RD-Max-TBM	Recover fluorocarbons at a maximum and decompose fluorocarbon waste by the existing facilities (such as cement kiln, rotary kiln). If the capacity level of existing decomposition facilities are not enough, remaining fluorocarbon wastes are transported by ship to Japan and decomposed by using Japanese facilities.

## Results: Estimated amount of potential emission of refrigerant (case of air conditioners)

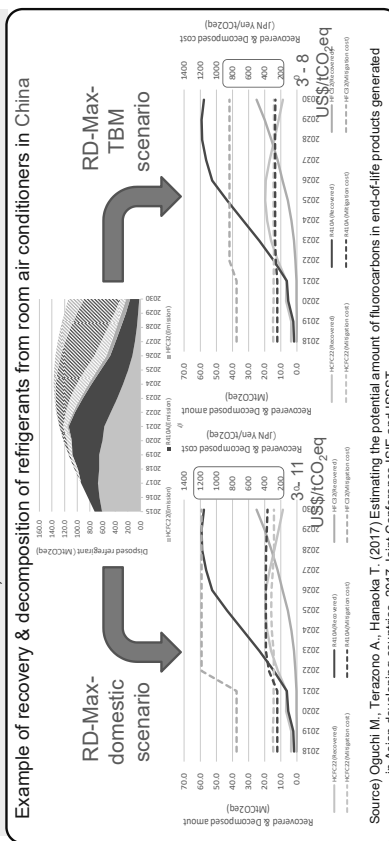


- We developed a framework of dynamic analysis considering the substitution of refrigerant.
- The CO<sub>2</sub>-equivalent amount of refrigerant in EoL products:
  - Corresponds 1% of the anthropogenic CO<sub>2</sub> emission in Asia. The contribution of China is significant (80% of total).
  - Expected to decrease in future due to the HCFC phase-out, but would still remain in 2030 due to the continuing use of R410A/HFC-32.
- The amount of refrigerant leakage during use stage would be also large (5% of initial refrigerant amount, according to an interview).

9

## Mitigation Potentials and Mitigation Cost Analyses

- ◆ Costs of mitigating fluorocarbons are estimated around 1-13 US\$/tCO<sub>2</sub>eq in 2030 in developing countries. Compared to costs of achieving the 2°C target, costs of recovery & decomposition are cost competitive.
- ◆ Costs of CO<sub>2</sub> mitigation for achieving the 2°C target are around 50-100US\$/tCO<sub>2</sub> by 2030 at least. (Source: Carbon Pricing Leadership Coalition (2017) Report of the High-Level Commissions on Carbon Prices)



(Source) Oguchi M., Terazono A., Hanasaka T. (2017) Estimating the potential amount of fluorocarbons in end-of-life products generated in Asian developing countries, 2017 Joint Conference ISIE and ISSST.

## Theme 2 Survey of behavior of metals and FCs in treatment processes

- Environmental effect (hazardous potential) and metal recovery (valuable potential) -

### Formal sectors

Environmental effect:  
- well controlled

Material Recovery

Metal recovery yield:  
- high (95%?)



Photo: MMC

### Informal sectors

Environmental effect:  
- not well controlled  
- well reported (heavy metal, POPs, etc.)

Material Recovery

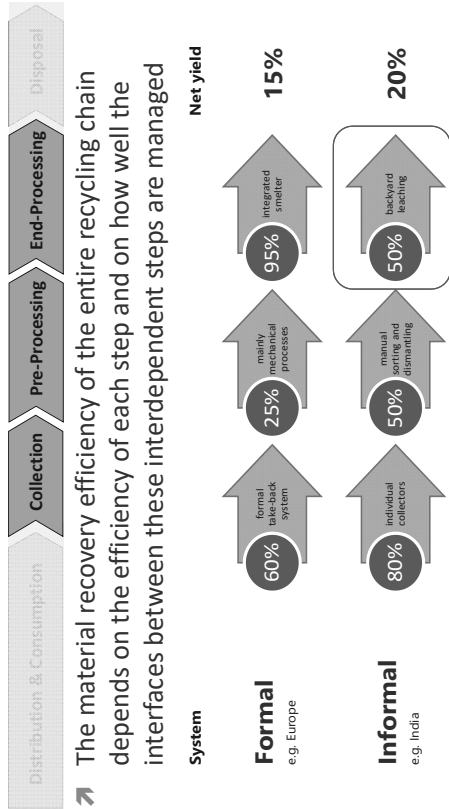
Metal recovery yield:  
- low (50%?)



Process unclear

12

## Technology & Skills



Dr. Mathias Schlupep, Empa  
The 9<sup>th</sup> NIES Workshop on e-Waste, 30 January 2013, Bangkok / Thailand

## Overview of our survey

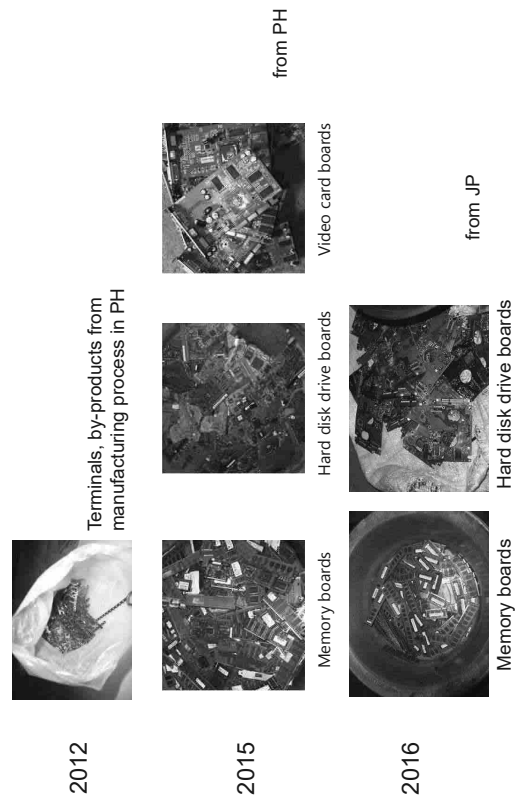
- Informal e-waste recycling processes were clarified from our field survey in Asia. Similar Au recovery processes were found in PH and other Asia.
- Metal (Au) recovery test runs** were conducted with e-waste samples at actual informal recyclers in the PH.
  - site A in 2012, raw materials: terminal -as reference-
  - site B in 2015, raw materials: circuit boards (three types from PH)
  - site C in 2016, raw materials: circuit boards (two types from JP)
- We analyzed Au contents for e-waste samples as input material, using ICP-MS or ICP-AES.
  - It was not easy due to heterogeneous composition.
- We also analyzed Au contents of recovered Au nugget, slag and residues as output. Then we tried to make mass balance during the test and to evaluate metal recovery yield of informal recycling process.
- We indicated environmental effect and safety issues. From those metal recovery data and environmental effects, we will discuss the issue of informal e-waste recycling.

14

## E-waste survey at Meycauyan in the Philippines in 2012, 2015 (ref) and 2016

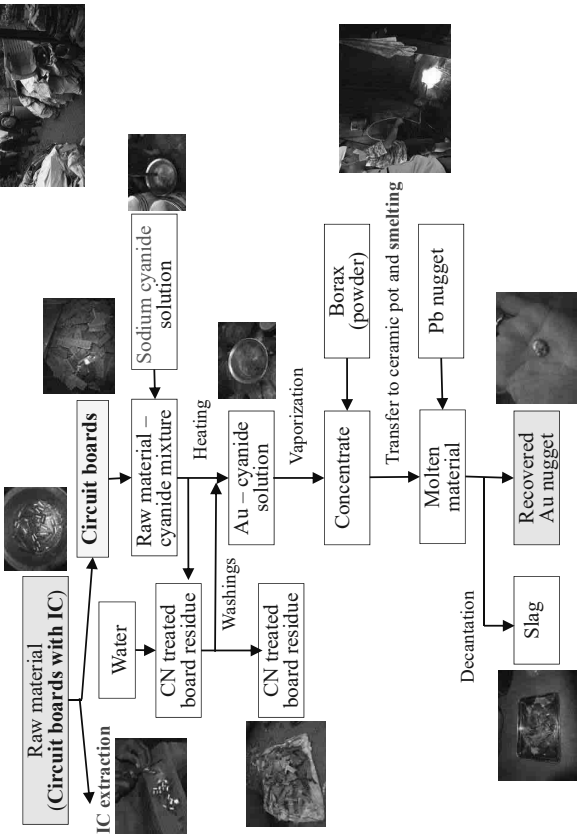


## Raw materials for test runs (e-waste as original input)

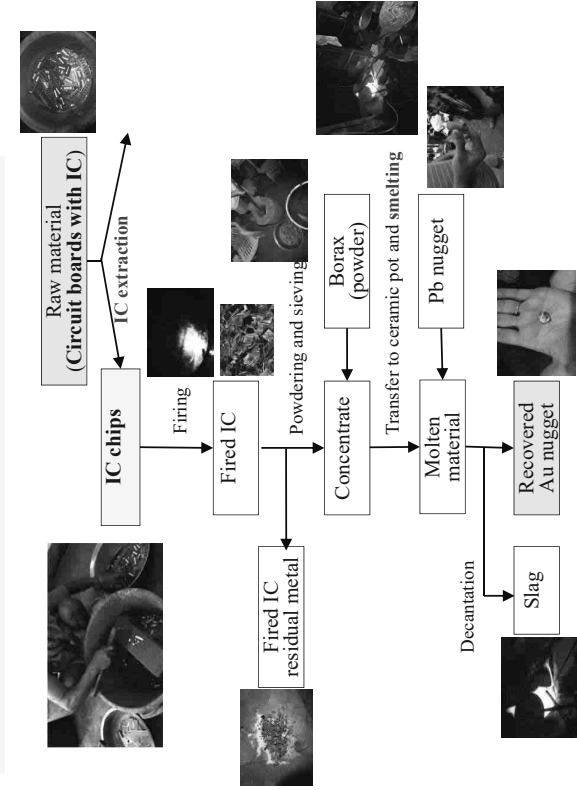


16

### Informal e-waste recycling process of our survey in 2016

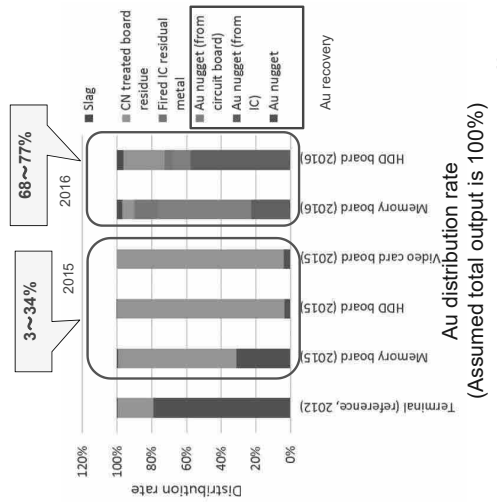


### Informal e-waste recycling process of our survey in 2016



### Result: Au Recovery Test (2015, 2016)

- Au recovery yields by informal recyclers were low, compared to formal.
  - 3-34% (2015)
  - 68-77% (2016)
- Knowledge sharing and training is important, since recovery from IC was insufficient in 2015.
- Japan can contribute to higher metal recovery (and reduce env impact) by international trade.



### Environmental effect and health concern from informal recycling

Site B in 2015



NOx emission from CN heating

Site D in 2015



Handling materials and CN with bare hand

Site C in 2016



IC firing process (banned)

From mass balancing, 64-69% of input Pb may be distributed into ambient air and soil.



Fired IC residual metal (mainly Pb) to be disposed of

Smog with NOx from the top floor (No stack and gas treatment facility)

Exhaust gas treatment facility (operation is not clear.)



## Conclusion

- The objective of this study
  - to estimate future generation of WEEE and ELV in Asian, and to identify durables that we need to tackle from viewpoint of valuable and hazardous materials management and global warming potential.
- Estimation on WEEE and ELV generation up to 2030 in Asia
  - China had dominant contribution in any items and its estimation would be several times or over ten times of those from Japan (e.g. 9.2 times for A/Cs in 2030).
  - As for FCs and those GWP from A/Cs, China again had dominant contribution. It accounted app. 100 to 140 million t-CO<sub>2</sub> after 2015, suggesting importance of refrigerant collection/disposal from EoL A/Cs from global warming issue.
  - Two recovery/disposal scenarios; (i) RD-Max-Domestic, and (ii) RD-Max-TBM, were considered. In case of FCs in China, current facilities cannot provide full capacity and Japan can support required capacity after TBM with better cost benefit. Every scenario of FCs management gave better cost benefit than other mitigation cost.
- Understanding metal recovery by informal recycling
  - We carried out printed circuit board recycling test in Philippines using scrap samples. Low recovery yields were obtained (3-34% from 1st test and 70-77% from 2nd test), suggesting inefficient metal recovery by informal recycling.
  - From mass balancing of process, input Pb distributed into ambient air and soil. Other various environmental effects were found.

21

**Thank you for your kind attention!**  
Acknowledgement: This work has been implemented by many colleagues from Philippines, Malaysia, Thailand and Japan. This was supported by Environment Research & Technology Development Fund (3K143010) by Ministry of the Environment of Japan.

Dr. Atsushi Terazono, [terazono@nies.go.jp](mailto:terazono@nies.go.jp)

22



平成29年度  
環境省

# 循環型社会形成 推進研究発表会

参加費  
無料



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。

循環型社会に関心をお持ちのみなさま、研究成果の活用を検討されている自治体・企業のみなさま、環境研究総合推進費への応募をお考えの研究者のみなさまなど、幅広い方々のご来場を心よりお待ちしております。

平成29年  
12月18日(月)  
.....

中央大学  
駿河台記念館

10:00～11:40 研究発表会

13:20～16:20 シンポジウム

「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」

定 員：100名

場 所：中央大学駿河台記念館 6階610号室（東京都千代田区神田駿河台3-11-5）

使用言語：日本語

平成30年  
1月18日(木)  
.....

砂防会館  
別館会議室

10:00～12:00 研究発表会

「国際的な循環型社会の構築に向けた研究成果の発信」

定 員：100名

場 所：砂防会館別館会議室 3階「六甲」（東京都千代田区平河町2-7-5）

使用言語：英語（日英同時通訳はございません）

※第17回アジア太平洋廃棄物専門家会議（SWAPI）と併催

プログラムは裏面をご覧ください。

各会場定員がございます。先着順・事前登録制となっておりますので、下記ホームページよりお申込みください。

お問合せ先

一般財団法人日本環境衛生センター 総局国際事業部  
〒210-0828 神奈川県川崎市川崎区四谷上町10-6 TEL:044-288-4937  
URL: <http://www.jesc.or.jp/work/tabid/279/Default.aspx>



# 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

平成29年12月18日(月)

## ◆研究発表会

(敬称略)

10:00~11:40

- ▶「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)
- ▶「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)
- ▶「巨大地震に耐え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)

## ◆シンポジウム「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」

(敬称略)

13:20~16:20

- ▶特別講演「資源循環・廃棄物分野における新たなニーズと技術展開」 大迫 政浩 (国立環境研究所)
  - ▶「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(株))
  - ▶「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)
  - ▶「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)
  - ▶「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)
- ▶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(株)) / 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)

## ◆会場アクセス



中央大学駿河台記念館 6階610号室  
(東京都千代田区神田駿河台3-11-5)

JR中央・総武線 御茶ノ水駅下車、徒歩約3分  
東京メトロ丸ノ内線 御茶ノ水駅下車、徒歩約6分  
東京メトロ千代田線 新御茶ノ水駅下車 (B1出口)、徒歩約3分  
都営地下鉄新宿線 小川町駅下車 (B5出口)、徒歩約5分

平成30年1月18日(木)

※第17回アジア太平洋廃棄物専門家会議 (SWAPI) (1月17日~19日開催) 内のセッションとして開催

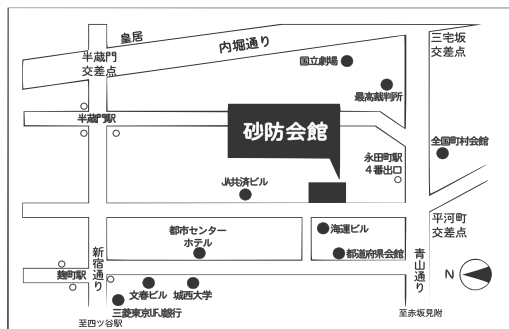
## ◆研究発表会 「国際的な循環型社会の構築に向けた研究成果の発信」

(敬称略)

10:00~12:00 使用言語: 英語 (同時通訳はございません)

- ▶「災害廃棄物処理の実効性・安全性・信頼性向上に向けた政策・意識行動研究」 浅利 美鈴 (京都大学)
- ▶「水銀廃棄物の安定処分技術及び評価に関する研究」 高橋 史武 (東京工業大学)
- ▶「アジア諸国における使用済み電気電子機器・自動車の排出量推計と金属・フロン類の回収システムの効果測定」 寺園 淳 (国立環境研究所)

## ◆会場アクセス



砂防会館別館会議室 3階「六甲」

(東京都千代田区平河町2-7-5)

東京メトロ有楽町線・半蔵門線・南北線 永田町駅4番出口、徒歩1分  
東京メトロ丸ノ内線・銀座線 赤坂見附駅より徒歩8分

講演者・発表者・演題・時間等は変更になることがあります。  
詳細はホームページをご覧ください。 <http://www.jesc.or.jp/work/tabid/279/Default.aspx>