

エコテクノ2017

福岡県リサイクル総合研究事業化センター 平成29年度研究成果発表会

# 廃棄物・リサイクル分野へのIoT導入の可能性と 産官学連携の活動

藤井 実

国立研究開発法人 国立環境研究所  
社会環境システム研究センター  
環境社会イノベーション研究室 室長

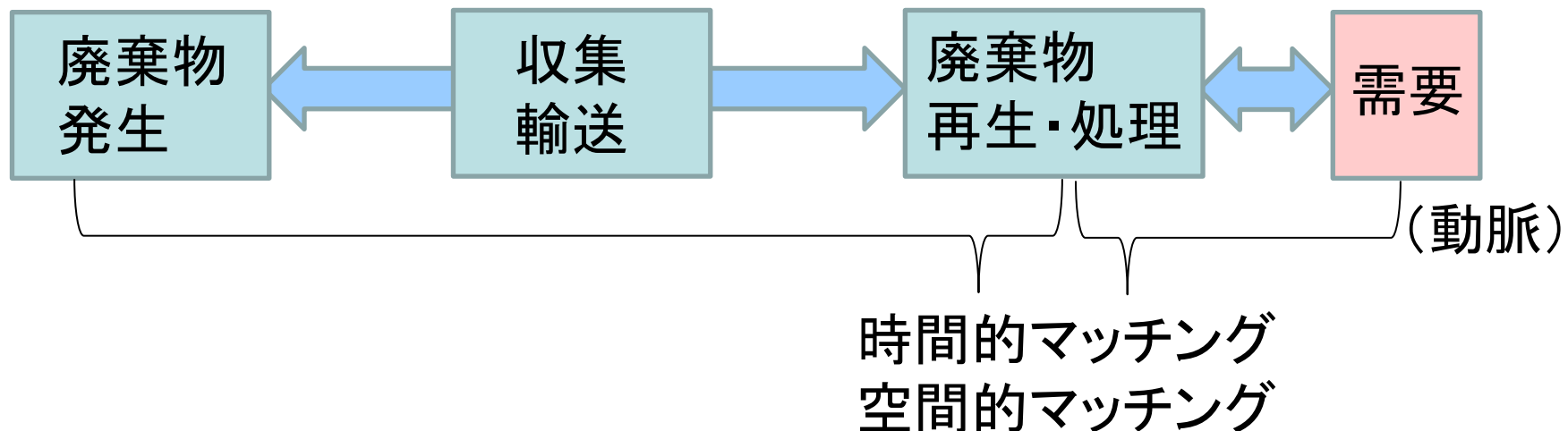


# 到達目標(最適化のバウンダリー)は？

IoTやAIの導入により

- リサイクル効率の最大化  
(環境負荷削減、経済性重視・・・)
- 部分最適ではなく、全体でも最適化

動静脈連携も含む、ライフサイクル全体の制御？



労働環境改善、新たなビジネスの創出・・・

# 講演内容

---

1. 廃棄物をより高度に利用する可能性(目標)
2. 廃棄物・リサイクルでのIoTの可能性(手段)

# リサイクルの理論最大効率

エアコンの理論最大効率は熱力学で示されている

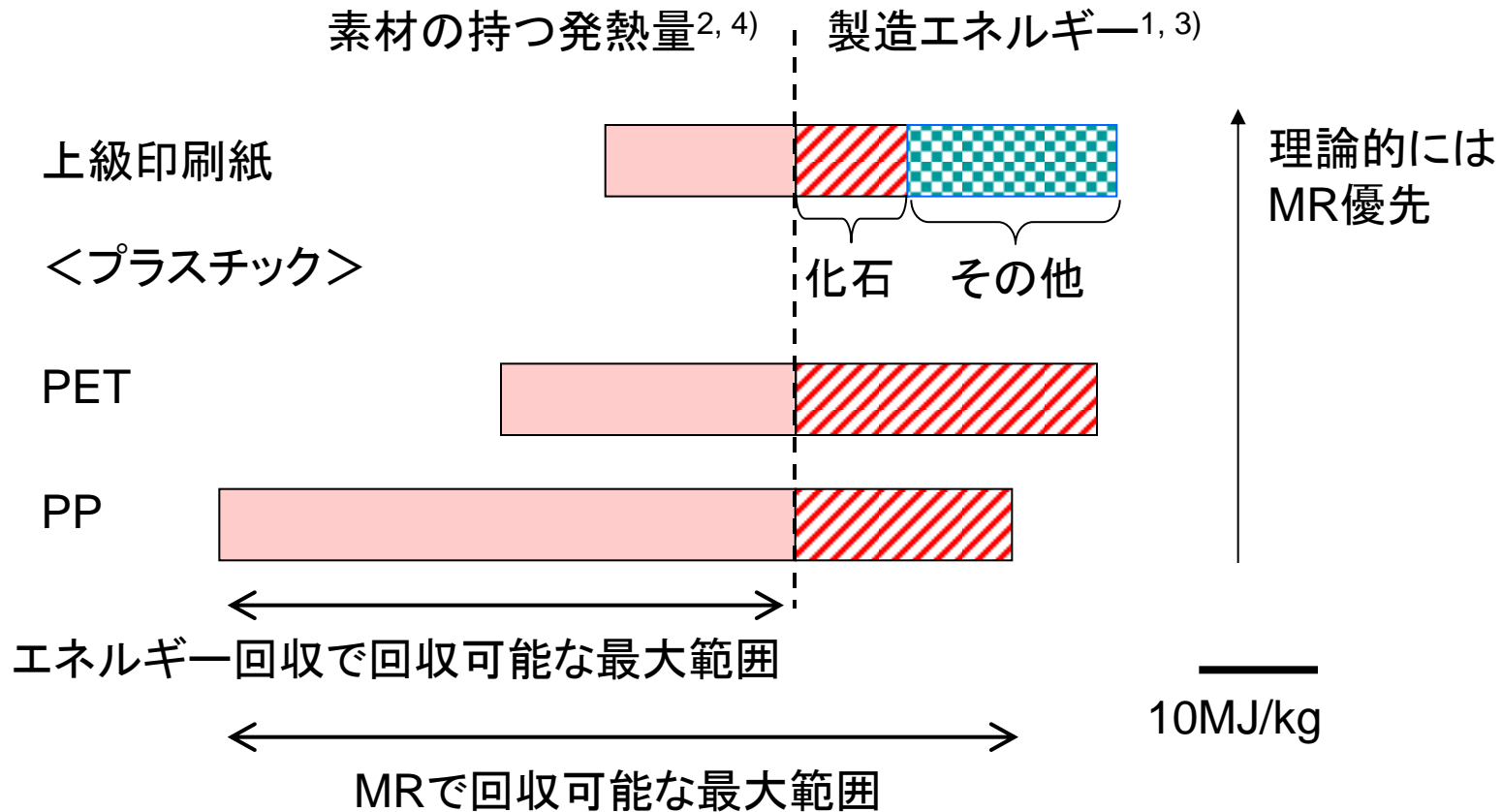
外気7°C、室温20°Cの理論最大COPは23  
#実際にはあり得ないが理想的な条件を仮定

リサイクルの理論最大効率は？

#実際にはあり得ないが理想的な条件を仮定

追加エネルギーゼロで、廃棄物1kgと同じ種類の新規素材1kgを代替

# 紙・プラスチックのリサイクルの効果



1) 日本製紙連合会, 紙のLCIデータ算定概要 (JLCA-LCAデータベース), 2006

2) プラスチックごみの最適処理技術研究会編, 廃棄物処理実務シリーズ・実際知識編2, プラスチックごみの減量化とリサイクル, 日報, 1995

3) JLCA-LCAデータベース 2004年度 2版

4) プラスチック処理促進協会: プラスチック廃棄物の処理・処分に関するLCA調査研究報告書, 2001

# リサイクル効果の要因分解

## 効果



何をどれだけ  
代替したかで  
決まる

例) C重油: 82円/kg  
PE: 170円/kg、PS: 214円/kg  
PET: 215円/kg

代替される新規資源

代替資源からの製造コスト  
- 新規資源からの製造コスト  
(- 代替資源処理コスト)

kg-CO<sub>2</sub>/kg or 円/kg

kg-CO<sub>2</sub>/kg or 円/kg

リサイクルによる  
CO<sub>2</sub>削減効果

kg-CO<sub>2</sub>/kg-AM

もしくは

ライフサイクル  
コスト削減効果

円/kg-AM

$$\Delta S = \theta \cdot M_o \cdot \underbrace{\frac{y_A}{\theta \cdot y_o} \cdot \frac{f_A}{f_o}}_{\text{無次元(共通)}} - \Delta P$$

代替されたもの

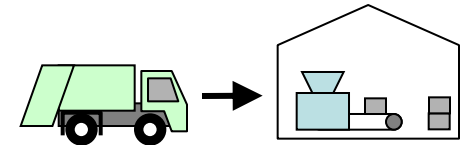
歩留まりの比

性能の比

無次元(共通)

## 費用

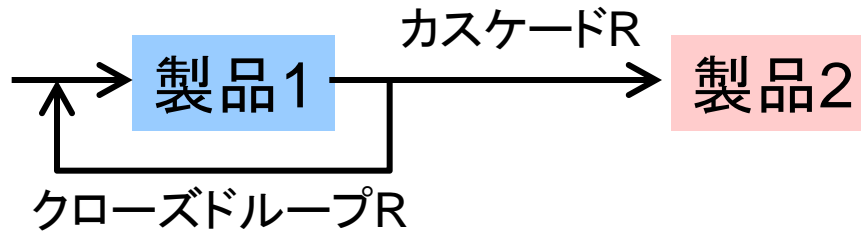
分別収集や選別に要する費用も  
この中に含まれる



O: オリジナルプロセス、A: 代替(リサイクル)プロセス  
θ: 代替(リサイクル原料)1kg当たりの値に換算するための係数

相対的に、コスト > CO<sub>2</sub>  
となる場合が多いものの、  
環境負荷の削減とコスト削減  
に有利な同時解は成立し得る

# 水平リサイクルとカスケードリサイクル



## シナリオ1:クローズドループリサイクル(繰り返し利用)

製品1はクローズドループR

製品2は新規製造

$$\text{CO}_2\text{排出量} \quad S_1 = \underbrace{(1 - r \cdot y_{A1}) \cdot (M_{O1} + P_{O1}) \cdot \frac{1}{y_{O1}} + r \cdot P_{A1}}_{\text{製品1はクローズドループR}} + \underbrace{r \cdot (M_{O2} + P_{O2}) \cdot \frac{y_{A2}}{y_{O2}} \cdot \frac{f_{A2}}{f_{O2}}}_{\text{製品2は新規製造}}$$

## シナリオ2:カスケードリサイクル

製品1は新規製造 製品2はカスケードR

$$\text{CO}_2\text{排出量} \quad S_2 = \underbrace{(M_{O1} + P_{O1}) \cdot \frac{1}{y_{O1}}}_{\text{製品1は新規製造}} + \underbrace{r \cdot P_{A2}}_{\text{製品2はカスケードR}}$$

#製品1、製品2の生産数量は、シナリオ間で同じ

# 水平リサイクルとカスケードリサイクル

カスケードのCO<sub>2</sub>排出量 - クローズドループのCO<sub>2</sub>排出量

$$S_2 - S_1 = r \cdot (M_{O1} + P_{O1}) \cdot \frac{y_{A1}}{y_{O1}} - r \cdot P_{A1} - \left\{ r \cdot (M_{O2} + P_{O2}) \cdot \frac{y_{A2}}{y_{O2}} \cdot \frac{f_{A2}}{f_{O2}} - r \cdot P_{A2} \right\}$$

クローズドループR  
のCO<sub>2</sub>削減効果

カスケードR  
のCO<sub>2</sub>削減効果

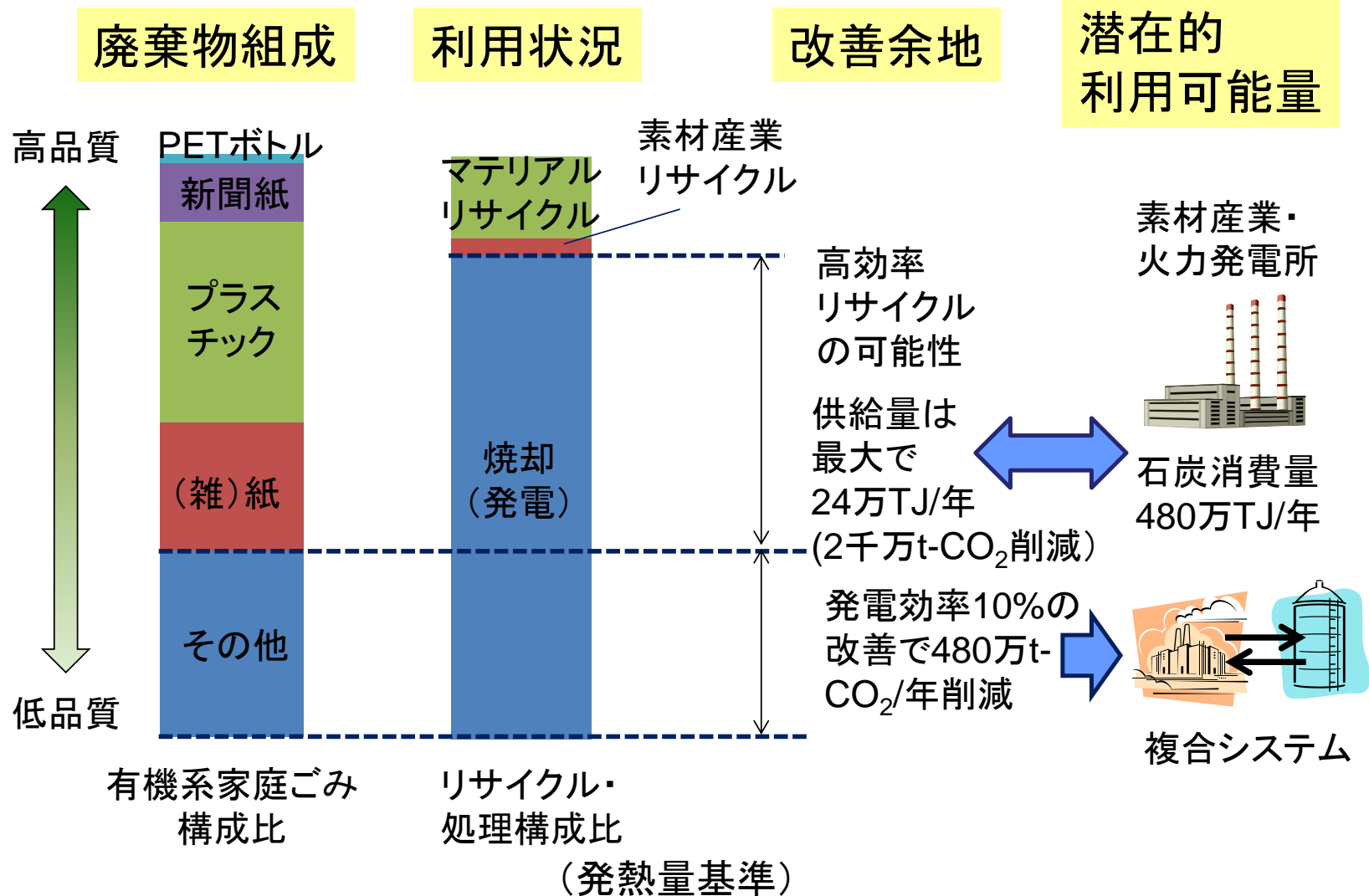
$$S_2 - S_1 = r \cdot \left\{ \left( M_{O1} \cdot \frac{y_{A1}}{y_{O1}} - P_1 \right) - \left( M_{O2} \cdot \frac{y_{A2}}{y_{O2}} \cdot \frac{f_{A2}}{f_{O2}} - P_2 \right) \right\}$$

$$\Delta S = \theta \cdot M_o \cdot \frac{y_A}{\theta \cdot y_o} \cdot \frac{f_A}{f_o} - P \quad \text{リサイクル1回当たりの評価式と同じ}$$

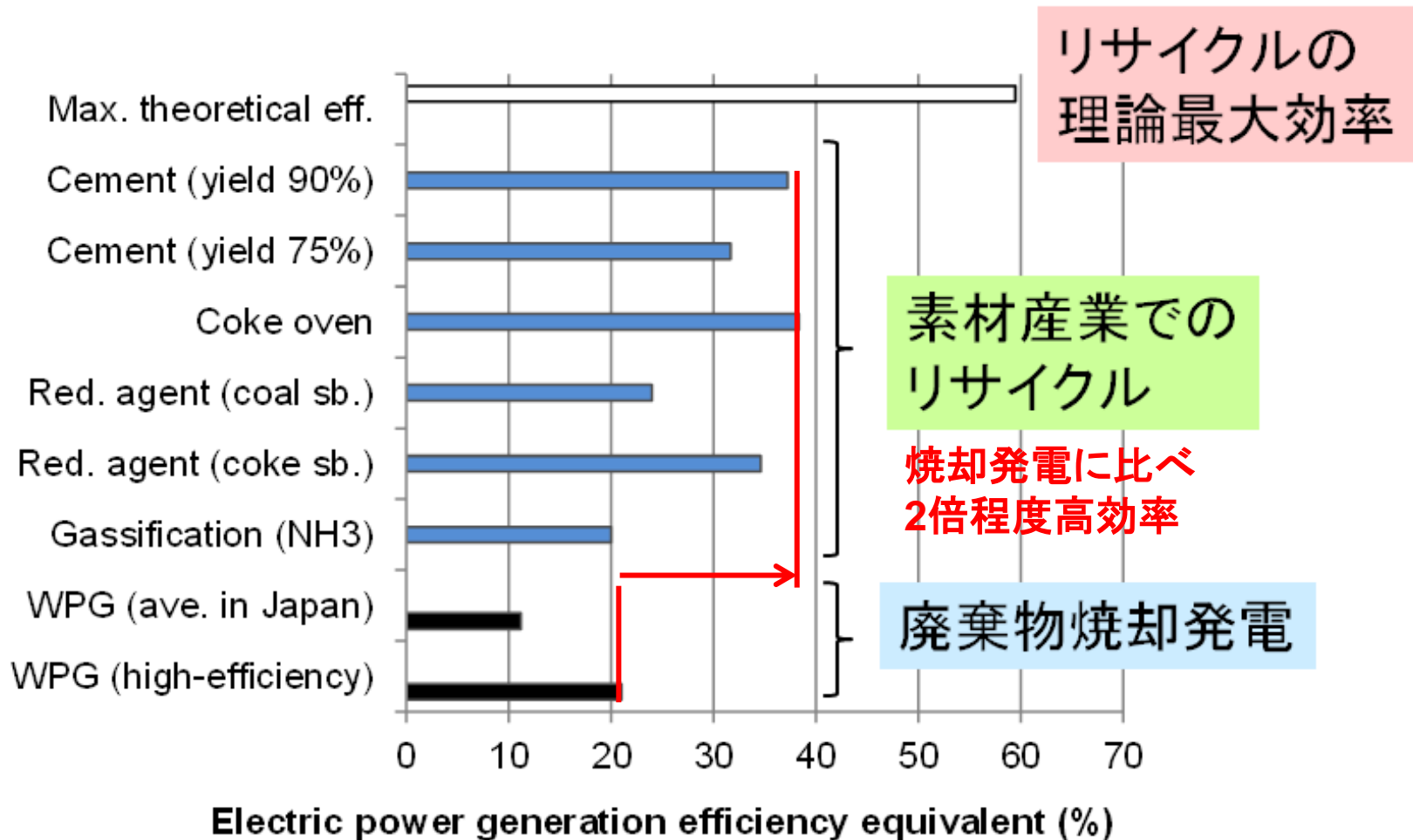
- クローズドループ(繰り返し)リサイクルも、カスケードリサイクルも同じ基準で評価すればよい
- 水平リサイクルでは性能比=1



# 廃棄物の質に合わせたリサイクル



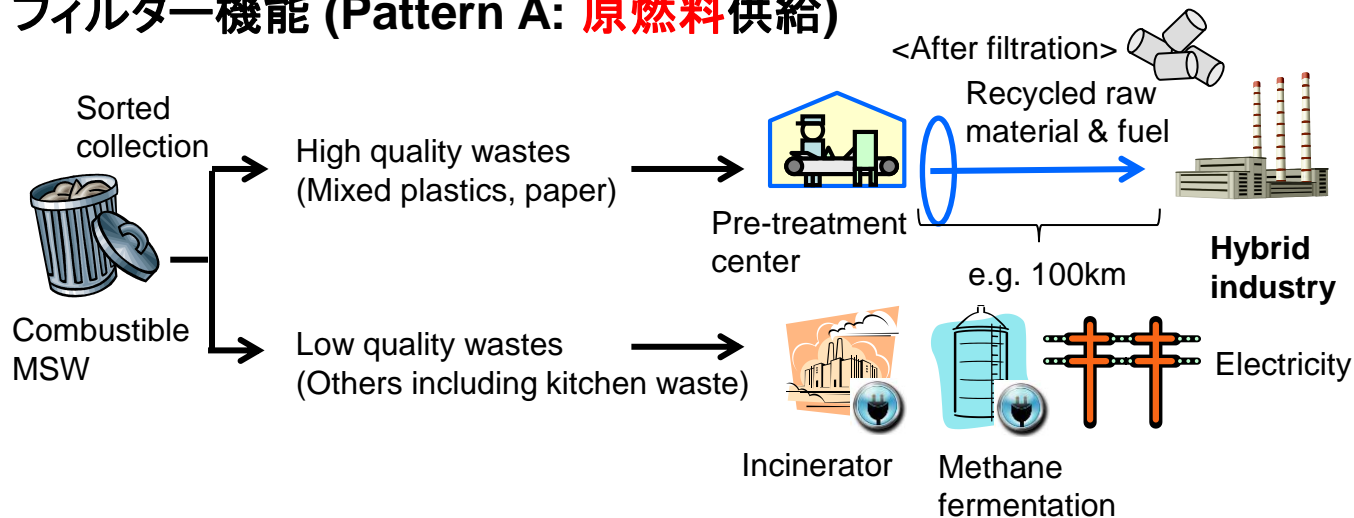
# 廃棄物の産業での活用



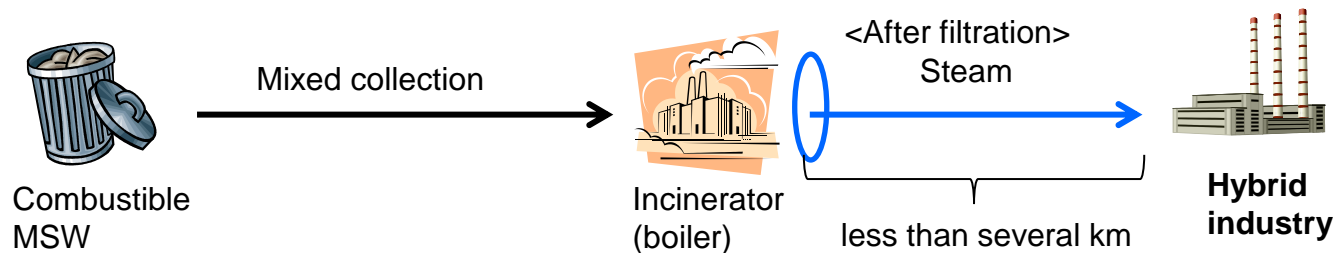
Fujii et al., *J. Clean. Prod.* 2015

# 廃棄物の産業利用拡大に向けて

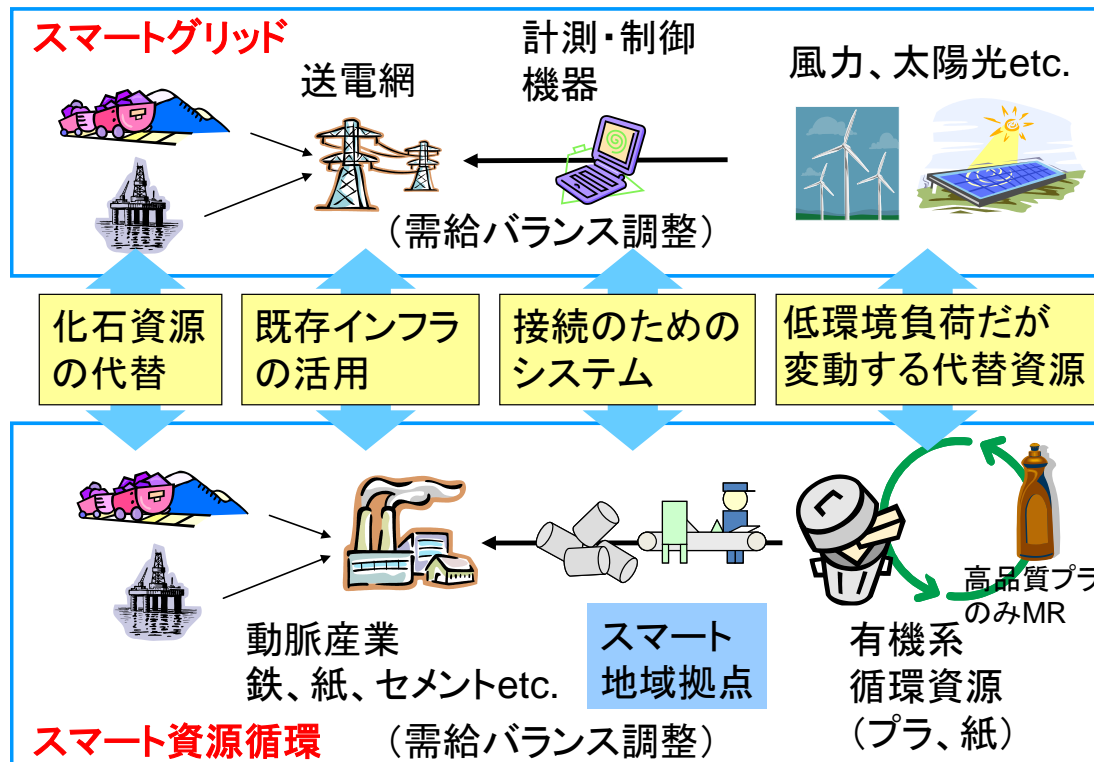
## フィルター機能 (Pattern A: 原燃料供給)



## フィルター機能 (Pattern B: 熱供給)



# スマートリサイクル



## ■スマート資源循環

- 既存施設を利用し
- 少ないインフラ投資で
- 環境にやさしい  
(変動の大きい) 資源を  
最大限に受け入れる

- 廃プラ(容器+製品)と雑古紙をまとめて分別収集⇒収集量拡大
- 地域の拠点で固形原・燃料まで一貫処理⇒汎用性のある有価物
- 高品質プラのみMR⇒企業、消費者を含めリサイクル高度化促進
- 固形原・燃料の動脈産業利用⇒循環資源の安定・高効率利用
- 焼却施設を統廃合⇒処理費用の削減

# スマートリサイクル

市民・企業の  
取り組みを反映

低コスト・高効率  
リサイクル・処理を媒介

事業性  
確保

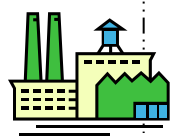
成型加工

ごみの質・量の変動に  
柔軟に対応するシステム

- ・リデュース
- ・分別向上

(広域資源循環)

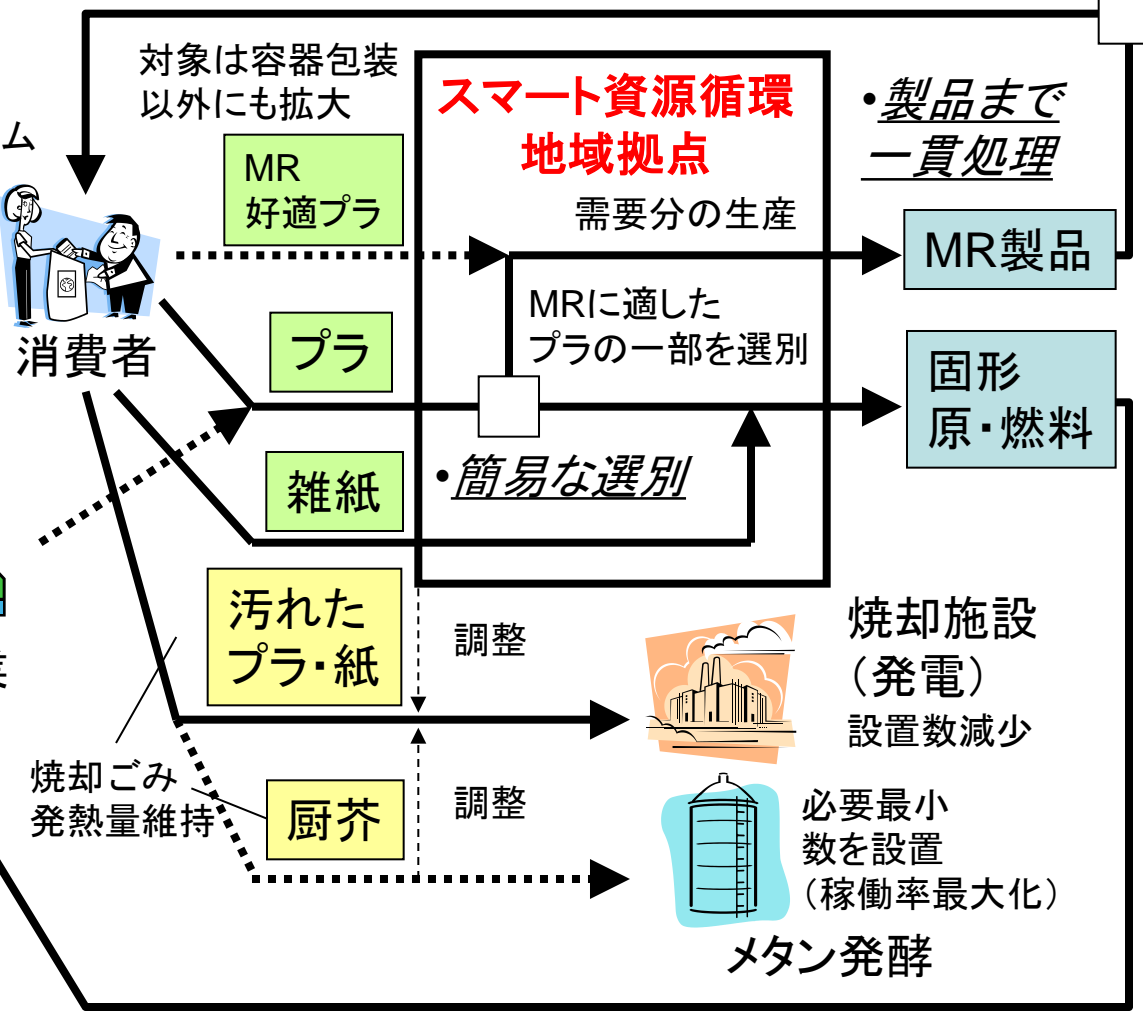
- ・易リサイクル設計
- ・軽量化



動脈産業

既存施設  
有効活用

- ・循環資源  
高効率利用
- ・短・長期需給  
変動の吸収



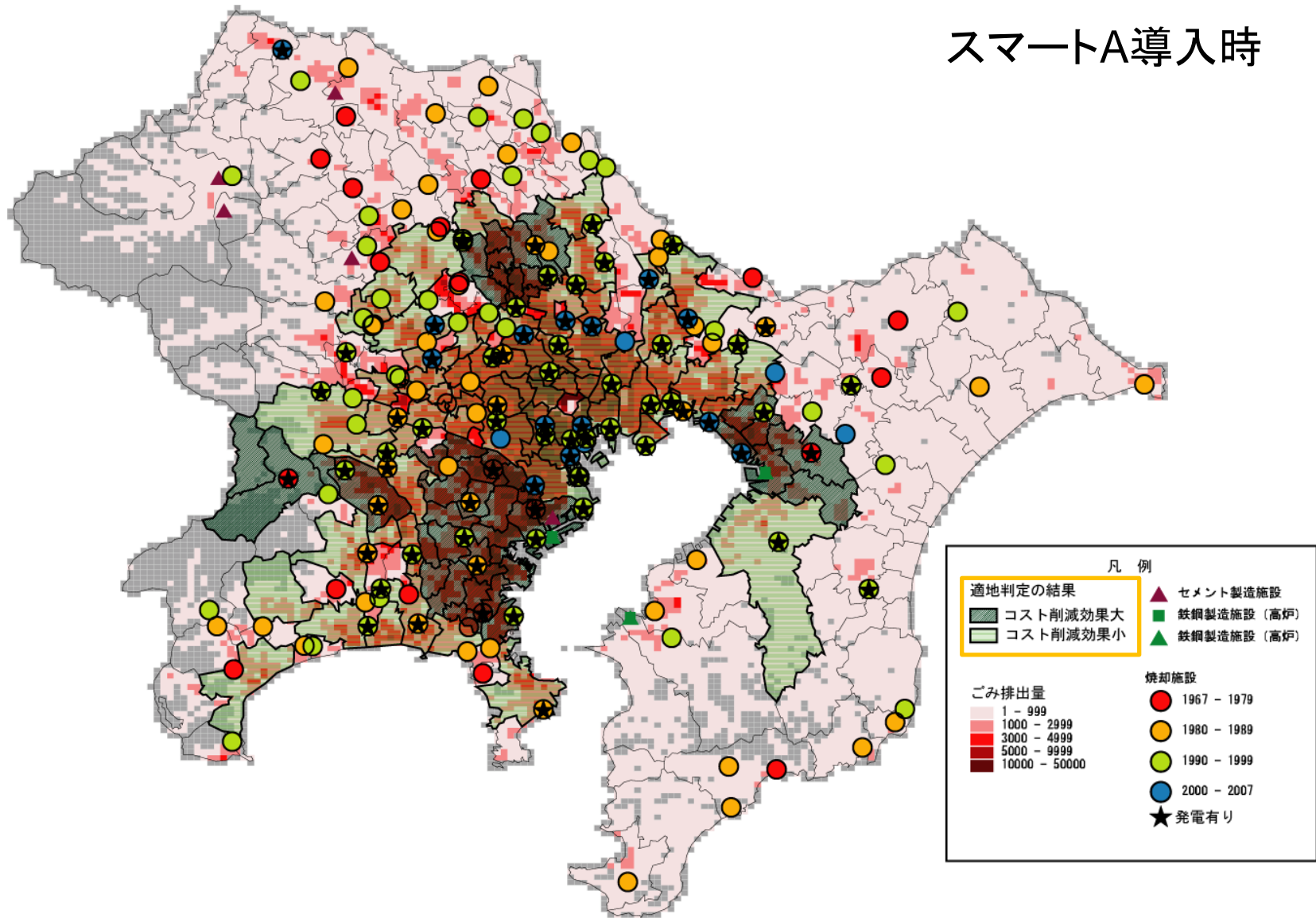
- ・低環境負荷  
原・燃料の  
買取制度等

同一発熱量  
の石炭等と  
大きな遜色の  
ない価格

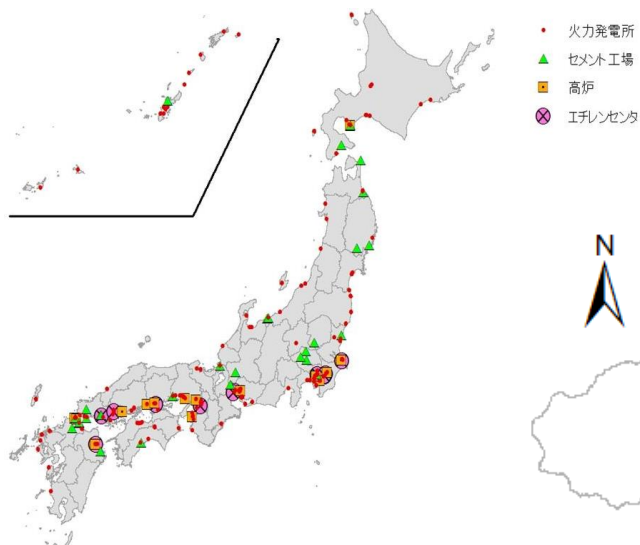
Fujii et al.,  
RCR, 2012 他

# 導入適地

## スマートA導入時

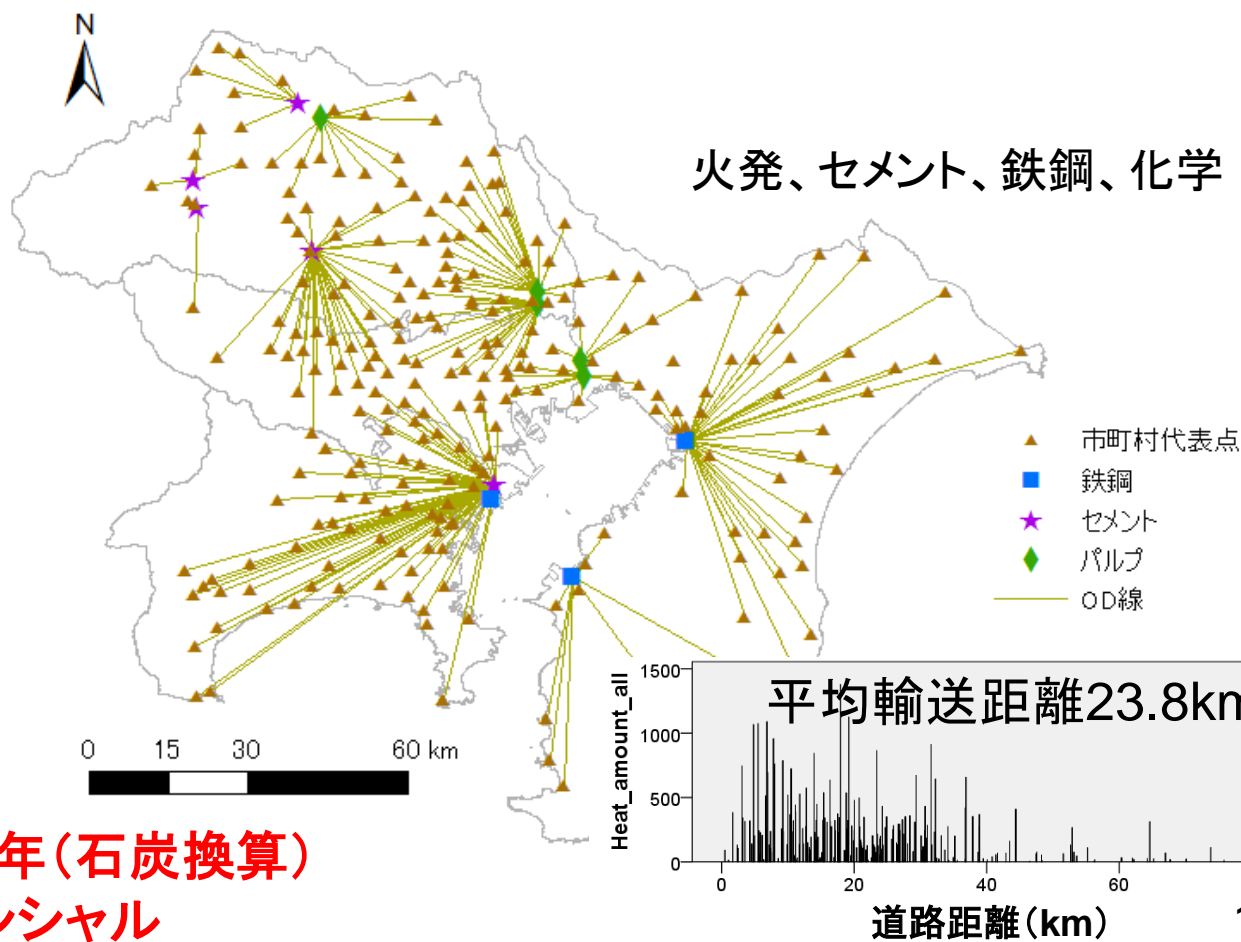


# 産業での原燃料利用



産業のGIS  
データベース化

## 一都三県での工場への道路距離算定例



55000TJ/年、500万t/年(石炭換算)  
のCO<sub>2</sub>排出削減ポテンシャル



# 素材産業等への焼却熱供給の検討

焼却施設  
(一廃)

産業施設  
温度・需要量  
から選定  
・紙パルプ  
・化学  
・窯業(石膏)

施設間道路距離

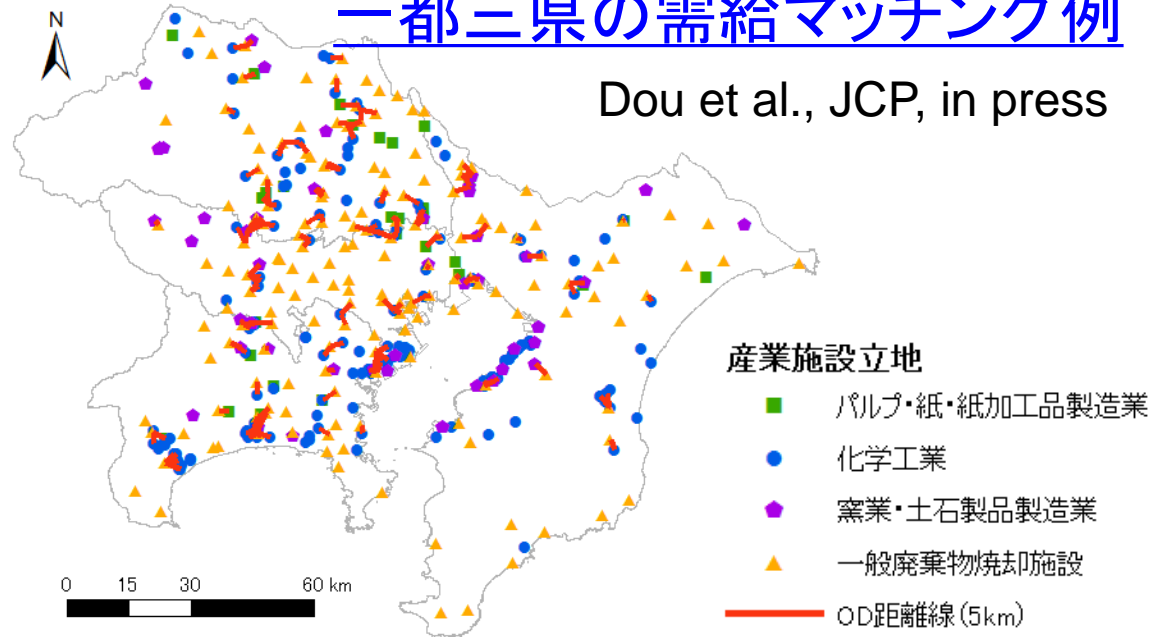
道路沿いのパイプライン  
建設を想定

施設間熱需給

既往研究より5km以内  
の組み合わせを抽出  
費用・削減効果推計

## 一都三県の需給マッチング例

Dou et al., JCP, in press



## 一都三県における需給マッチング結果

一般廃棄物焼却施設	188か所	接続可能な焼却施設	84か所
産業施設	295か所	接続可能な産業施設	144か所
ルート数(離島を除く)	45920	接続可能な供給量	35,000TJ
5キロ範囲内ルート数	187	接続可能な需要量	69,000TJ

重油換算で250万t/年のCO<sub>2</sub>排出削減ポテンシャル



# 輸送の効率化(ネットの輸送)

## ネットの輸送

ある機能(サービス)を維持するために必要な**最小限の輸送**

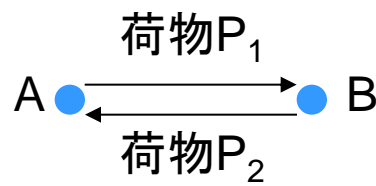
ネットの輸送 = 輸送の全体 - ネットではない輸送

NT                      GT                      NNT

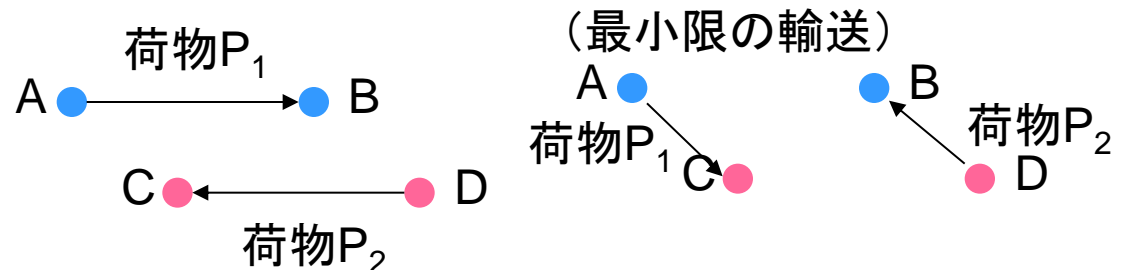
## ネットではない輸送

同一のもの、同一とみなせるものの**双方向輸送**

<NNTの例>



<輸送の一部がNNTである例>



# ネットの輸送(巡回収集の例)

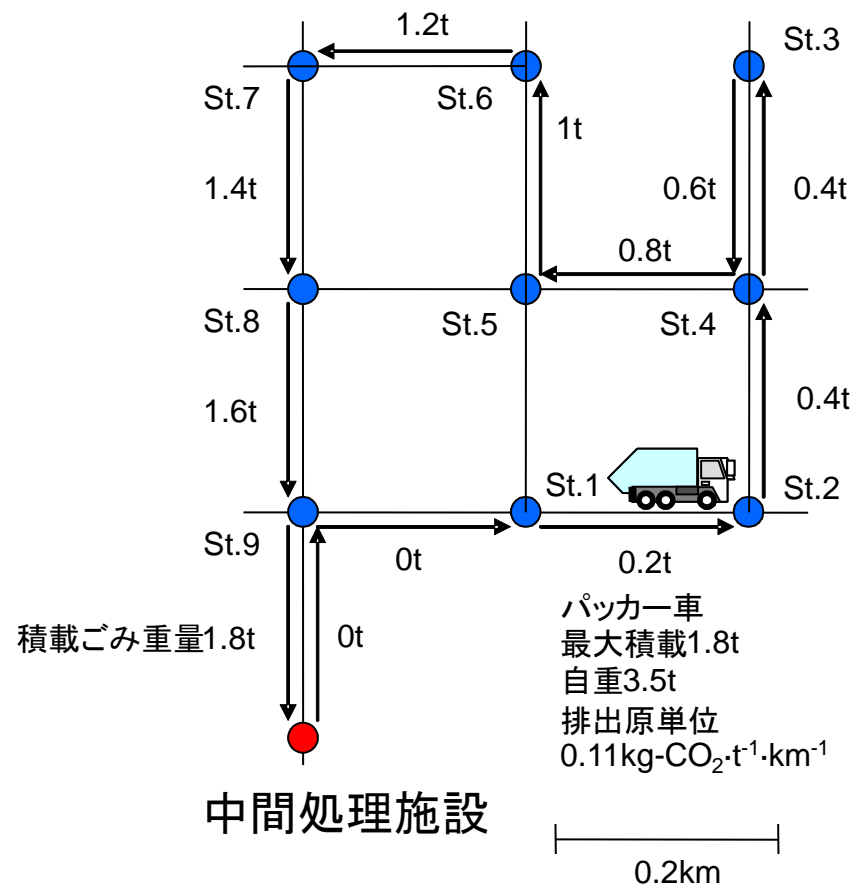
## 解析対象

家庭ごみなどの  
巡回収集

## 想定する対策

収集頻度を低下

収集頻度 (回/月)	輸送トンキ 口(t*km)	ネットの輸 送割合
9	93.2	0.51
6	76.3	0.62
3	60.1	0.79
1	47.5	1.00

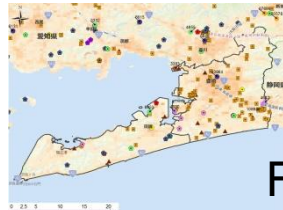
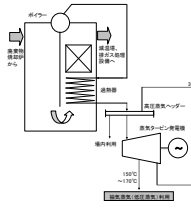


IoTの活用により収集頻度を低下(最適化)させることが有効

# 資源・エネルギー回収高度化に向けて

## データ整備, モデル・分析ツール構築

- 空間・時間データ整備
- 収集・施設プロセスモデル構築



Fujii et al. (2015)

## 国内外事例分析

- ソーティングセンター
- 産業への熱供給
- 産業原燃料利用

Ohnishi, Fujii et al. (2015)

Dong, Fujii et al. (2015)

## 費用対効果の高いシステム提案

産業原燃料化拡大 効率2倍

焼却炉設置数削減 費用削減

熱の産業・火発供給 効率~2倍

(コスト・エクセルギー効率で有利な産業系を優先)

複合型高効率発電等 効率1.3倍

需給マッチング・安定供給策検討

## インセンティブ付与の検討

- 補助金、課税
  - CO<sub>2</sub>削減効果の配分
- 大西, 藤井ほか(2015)

## 政策・制度の検討

- 市町村・県(供給側)
- 企業(需要側)

政策提言

# 廃棄物処理・リサイクルの高度化ポテンシャル

---

1. 廃棄物の**質に合わせたリサイクル**で資源代替効果を最大化(焼却発電の約2倍の向上余地)
2. 廃棄物の**需要と供給の時間・空間分布**を最適化させることで、リサイクル効果を最大化
3. **個々のニーズ**に合わせて、収集の無駄をなくしたり、要求品質を緩和したり...

# 講演内容

---

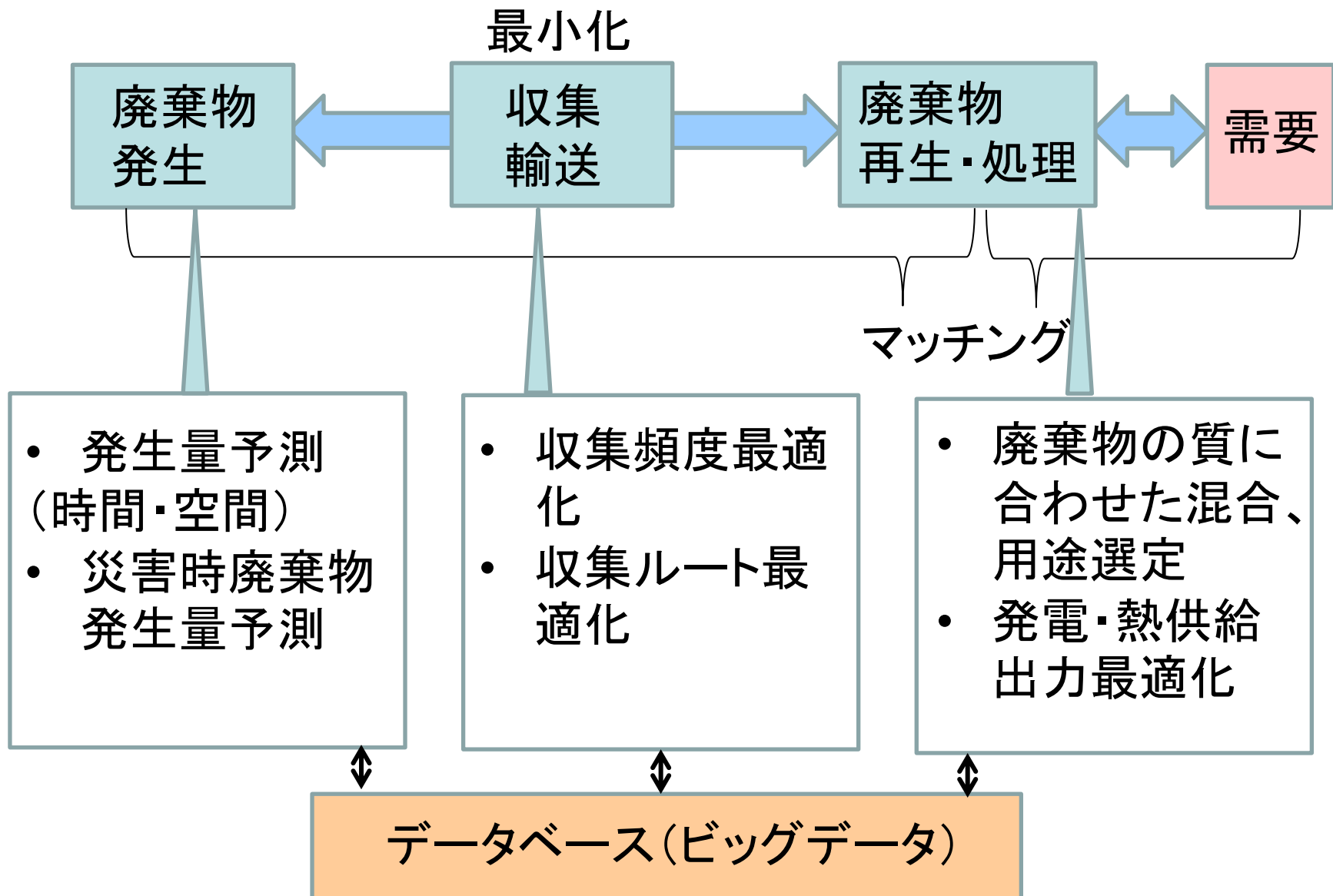
1. 廃棄物をより高度に利用する可能性(目標)
2. 廃棄物・リサイクルでのIoTの可能性(手段)

# IoT(センサー・情報収集・コンピュータ)が得意なこと

---

1. 多くの対象(データ)の整理・最適化 (全体最適化)
  - ・配送ルート最適化
  - ・再生原料・燃料の配合最適化
  - ・電力・熱需給最適化
  
2. 多数の相手に個別対応 (個々の最適化)
  - ・オンデマンド(無駄の排除)
  - ・オーダーメイド

# 発生～利用の各段階での可能性



# 普及・利用拡大に向けた活動

## 廃棄物処理・リサイクルIoT導入促進協議会

## #AIも検討対象

国立環境研究所、早稲田大学、立命館大学、北九州市立大学、富山大学と産・官の53機関（H29.9現在）

区分	機関名	区分	機関名
民間	<ul style="list-style-type: none"> <li>ヴェオリア・ジェネッツ株式会社</li> <li>宇部興産株式会社</li> <li>株式会社エックス都市研究所</li> <li>荏原環境プラント株式会社</li> <li>加藤商事株式会社</li> <li>金澤産業株式会社</li> <li>キョクトウ有限公司</li> <li>株式会社グーン</li> <li>サトーグリーンエンジニアリング株式会社</li> <li>三光株式会社</li> <li>三友プラントサービス株式会社</li> <li>JFE環境株式会社</li> <li>新日鉄住金エンジニアリング株式会社</li> <li>スズクホールディングス株式会社</li> </ul>	民間	<ul style="list-style-type: none"> <li>日本電気株式会社</li> <li>パナソニック株式会社</li> <li>日立造船株式会社</li> <li>ひびき灘開発株式会社</li> <li>平林金属株式会社</li> <li>株式会社ファインテック</li> <li>北国インテックサービス株式会社</li> <li>みずほ情報総研株式会社</li> <li>株式会社ミダック</li> <li>三菱電機株式会社</li> <li>ユニアデックス株式会社</li> <li>リコーテクノロジーズ株式会社</li> <li>株式会社リサイクル・ネットワーク</li> <li>株式会社早稲田環境研究所</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>株式会社関商店</li> <li>大栄環境株式会社</li> <li>株式会社大興</li> <li>大東商事株式会社</li> <li>太平洋セメント株式会社</li> <li>株式会社拓琉金属</li> <li>株式会社中特ホールディングス</li> <li>東芝環境ソリューション株式会社</li> <li>DOWAエコシステム株式会社</li> <li>株式会社富山環境整備</li> <li>株式会社中商</li> <li>株式会社西原商事</li> <li>一般社団法人日本汚染土壌処理業協会</li> </ul>	公共団体、 公益財団法人及び 公益社団法人	<ul style="list-style-type: none"> <li>大田区</li> <li>川崎市</li> <li>北九州市</li> <li>公益財団法人産業廃棄物処理事業振興財団</li> <li>公益財団法人地球環境戦略研究機関</li> <li>東京都環境局</li> <li>公益財団法人東京都環境公社</li> <li>横浜市</li> <li>公益財団法人横浜市資源循環公社</li> </ul>
		オブザーバー	<ul style="list-style-type: none"> <li>環境省</li> <li>経済産業省</li> <li>公益社団法人全国産業廃棄物連合会</li> </ul>





# 4つのワーキンググループで議論

## 組織図

総 会

会 長

副 会 長

運営委員会

事 務 局

低炭素化WG

ロジスティクス高度化WG

新規事業創出WG

海外事業促進WG

会長	： 藤井実	国立環境研究所 社会環境システム研究センター
副会長	： 小野田弘士	早稲田大学大学院 環境・エネルギー研究科
運営委員	： 橋本征二	立命館大学 理工学部 環境システム工学科
運営委員	： 松本亨	北九州市立大学大学院 国際環境工学研究科
運営委員	： 山本雅資	富山大学 研究推進機構 極東地域研究センター
事務局	： 一般社団法人資源循環ネットワーク	

# 低炭素WG

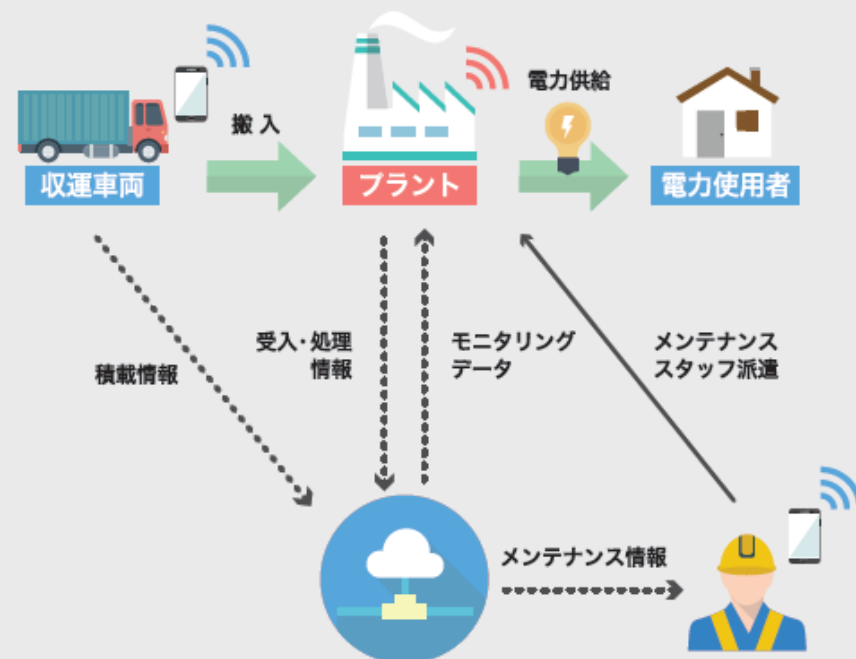
## 積載率向上 / ルート回収 / 片荷運行削減等

※物流最適化による輸送時の低炭素化



## プラント運転管理の最適化

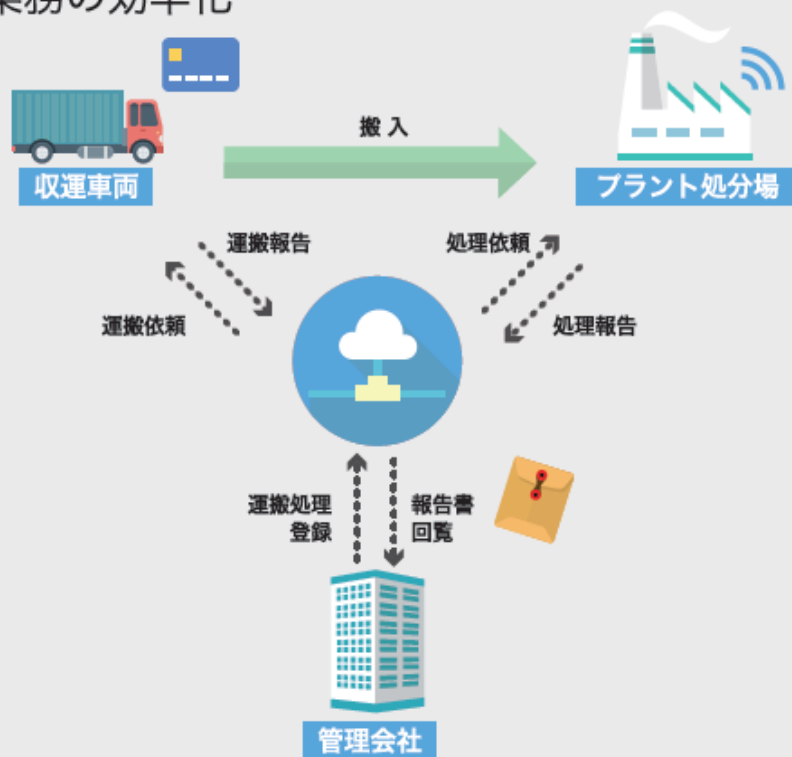
※プラント運転管理を可視化することで、保守管理や発電の効率化を実現



# ロジスティクス高度化WG

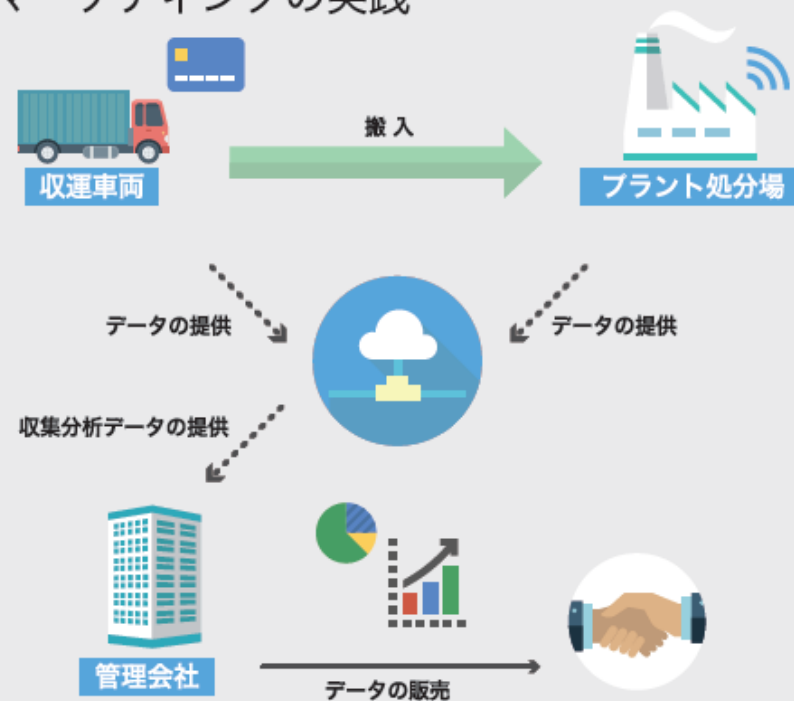
## デジタル管理とペーパーレス化

※ICカード利用による、デジタル化推進と業務の効率化



## 物流データの収集・分析と販売

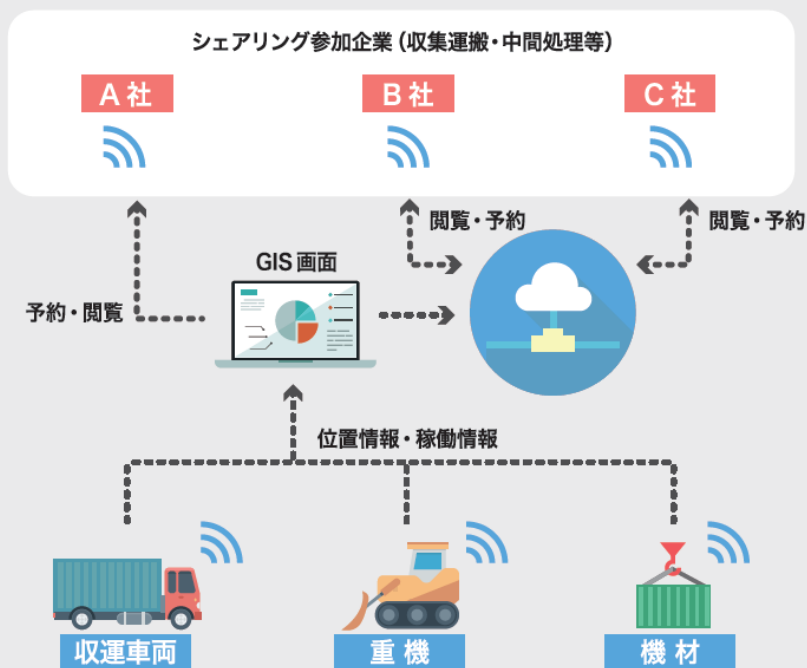
※物流データの分析によるビッグデータ・マーケティングの実践



# 新規事業創出WG

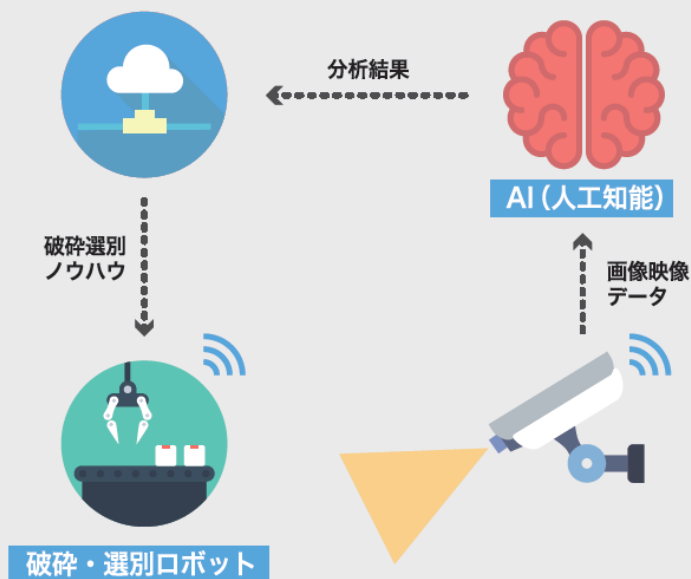
## 車両・機材等シェアリングシステム構築

※地図情報を活用した車両・機材等の  
シェアリングによる稼働率向上



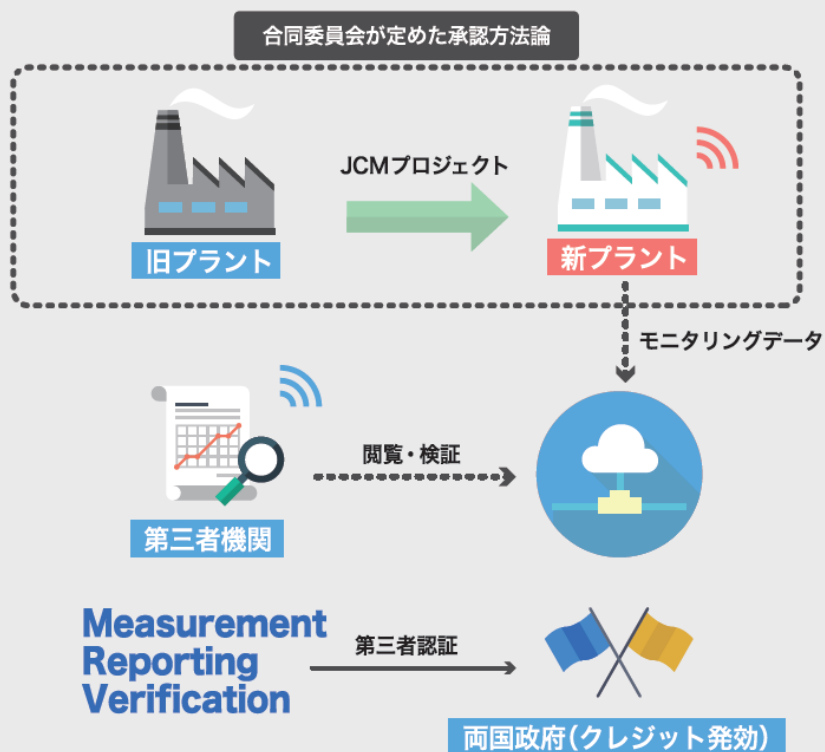
## 破碎選別プラントの精度や歩留まりの向上

※画像・映像データをAIで分析することにより、  
破碎・選別時の精度や歩留まりを向上



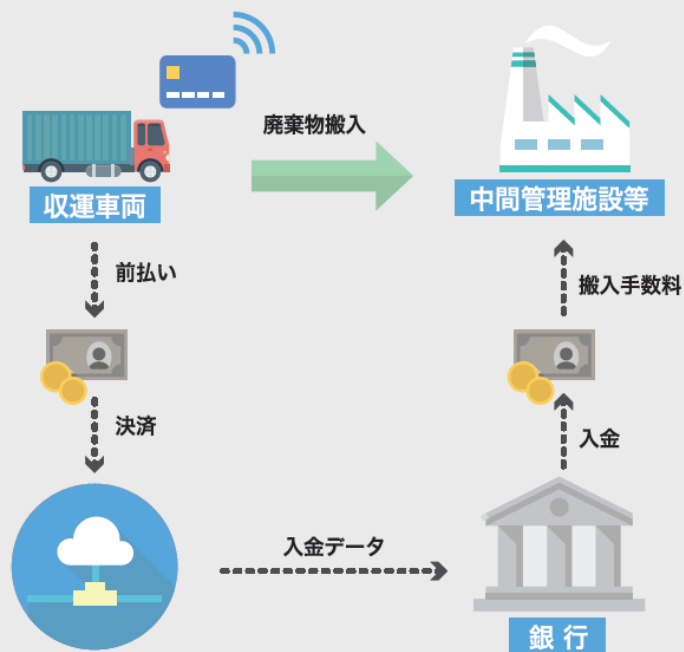
# 海外事業促進WG

## JCMにおけるMRVプロセス高度化



## 中間処理施設等での集金システム構築

※プリペイドカード等を活用した事前料金徴収システム



# 協議会の目指すこと

- ◇IoT導入促進協議会は、リサイクルビジネスの高度化・効率化に資するビジネスモデル導入を通じて、業界全体の活性化を目指している。
  - ◇廃棄物処理・リサイクルに関わるステークホルダーは幅広く、その実現には処理業者のみならず、プラントメーカーやIT会社、更には自治体等の協力が不可欠となる。
  - ◇国内外で急速に進展するIoT分野の技術開発や標準化の動きに目配りしながら、リサイクル分野への適用可能性を検証・発展させていく予定である。
  - ◇国等からの支援も受けつつ、会員機関によるFS調査やモデル事業、新規設備導入等を推進することで、新たな時代の社会インフラの役割を追い求めていく。
- ⇒リサイクルビジネスにイノベーションをもたらすプラットフォームとしての役割を果たすことこそが、IoT導入促進協議会のミッションである。

# まとめ：質・時間・空間のマッチング



高度選別（発生源・処理）



歩留まりの比 性能の比

リサイクル  
効果

$$\Delta S = \theta \cdot M_o \cdot \frac{y_A}{\theta \cdot y_o} \cdot \frac{f_A}{f_o} - \Delta P$$

代替されたもの

リサイクル工程



質に合わせたリサイクル  
と需給のマッチング

工程の省力化（自動化）  
収集の効率化（空間制御）

ご清聴ありがとうございました