

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

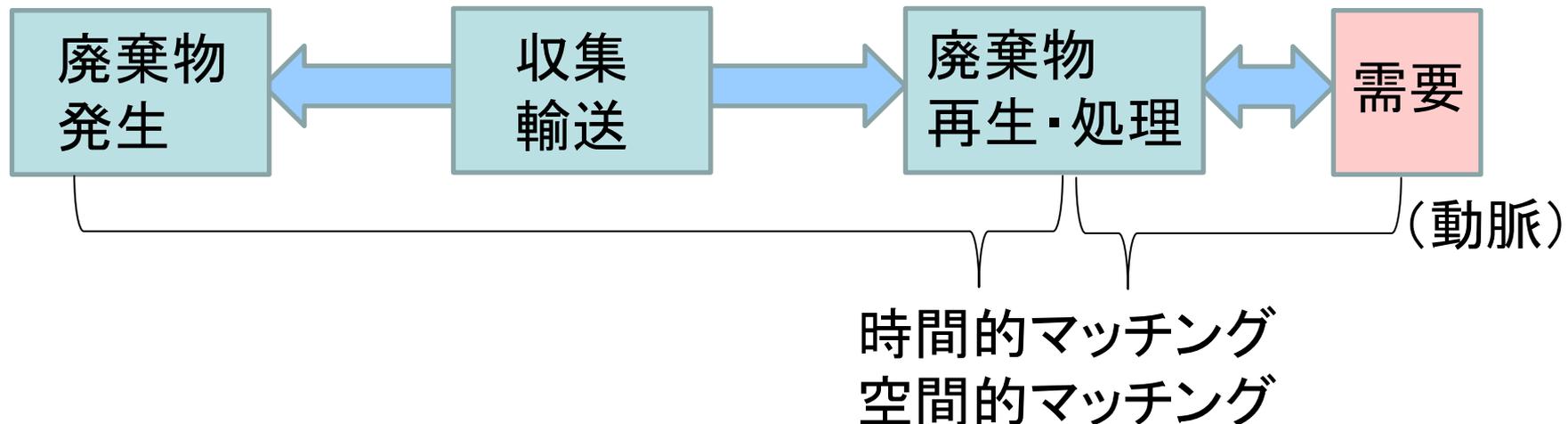


到達目標(最適化のバウンダリー)は？

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

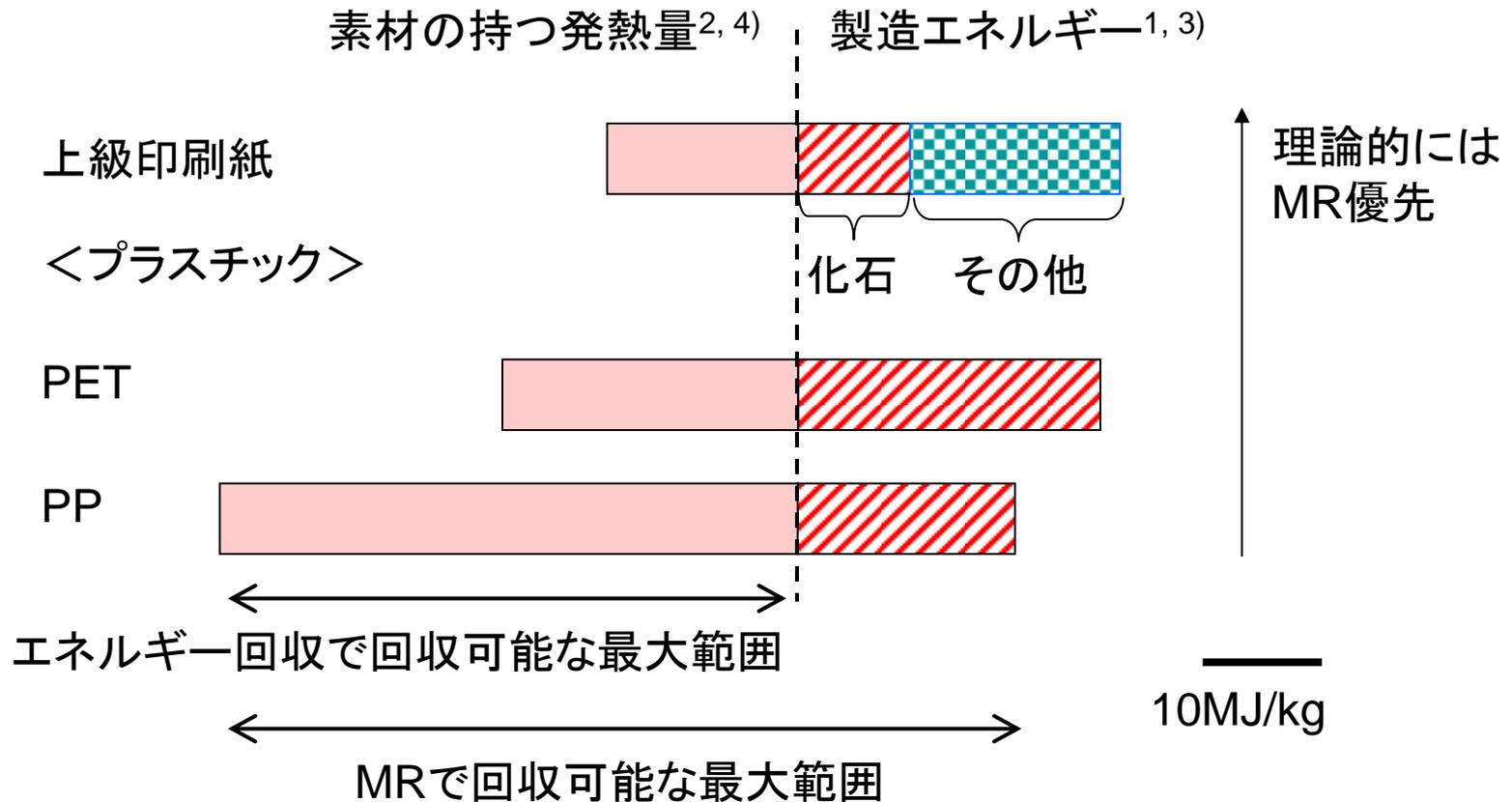
外気7°C、室温20°Cの理論最大COPは23
#実際にはあり得ないが理想的な条件を仮定

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-CO₂/kg or 円/kg

kg-CO₂/kg or 円/kg

リサイクルによる
CO₂削減効果

kg-CO₂/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

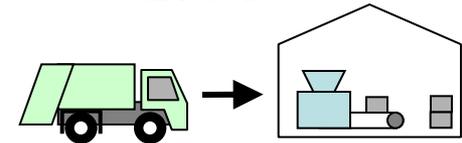
歩留まりの比

性能の比

無次元(共通)

費用

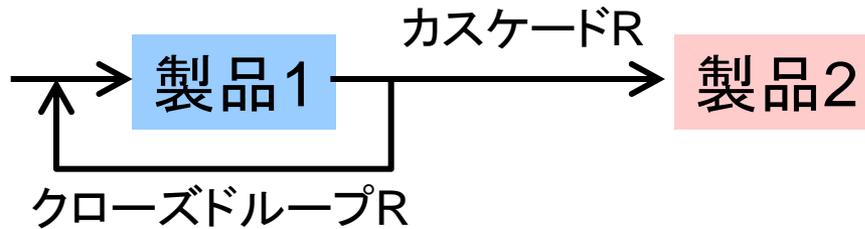
分別収集や選別に要する費用も
この中に含まれる



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 > CO₂
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CO₂排出量 - クローズドループのCO₂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CO₂削減効果

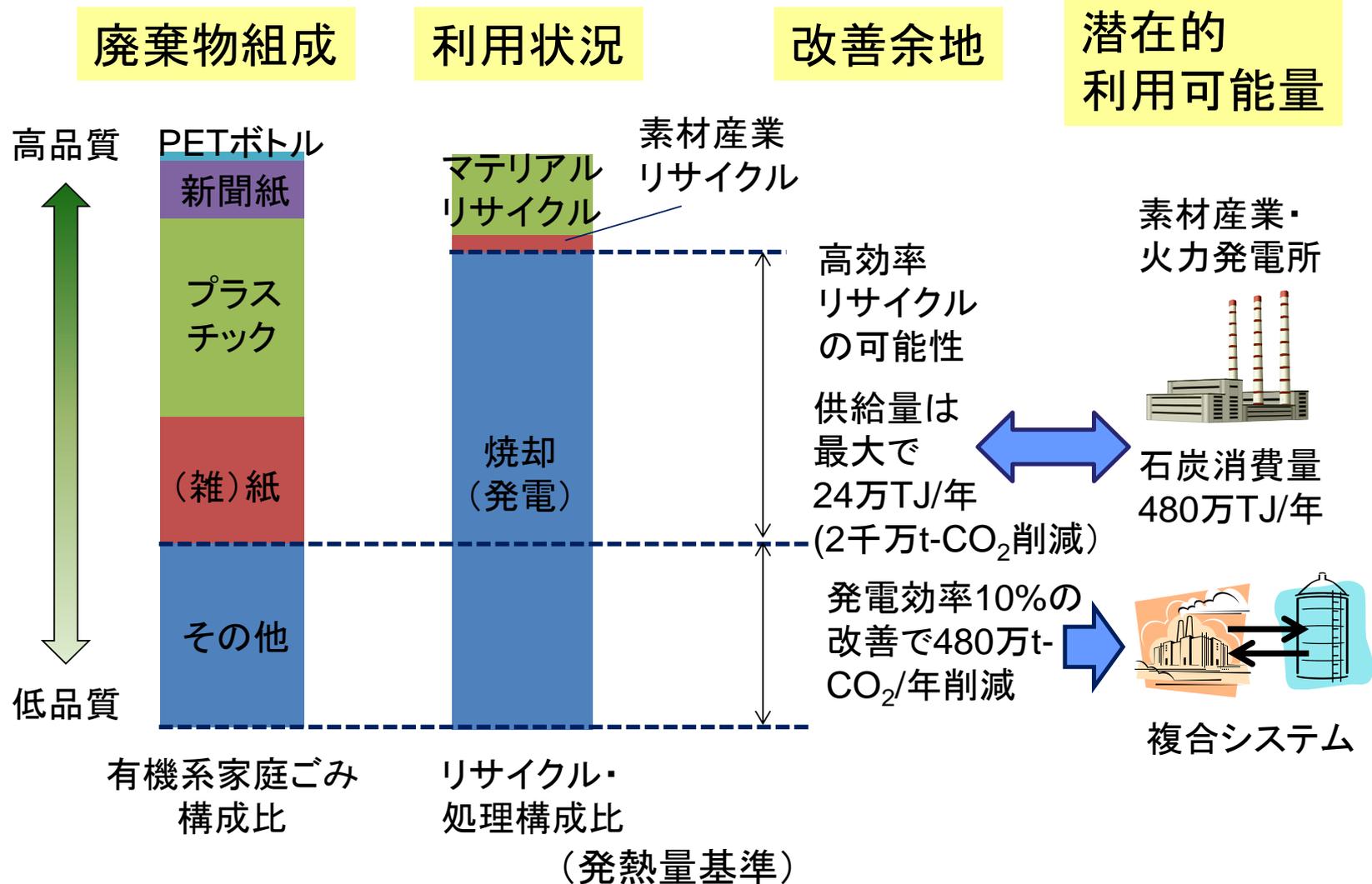
カスケードR
のCO₂削減効果

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

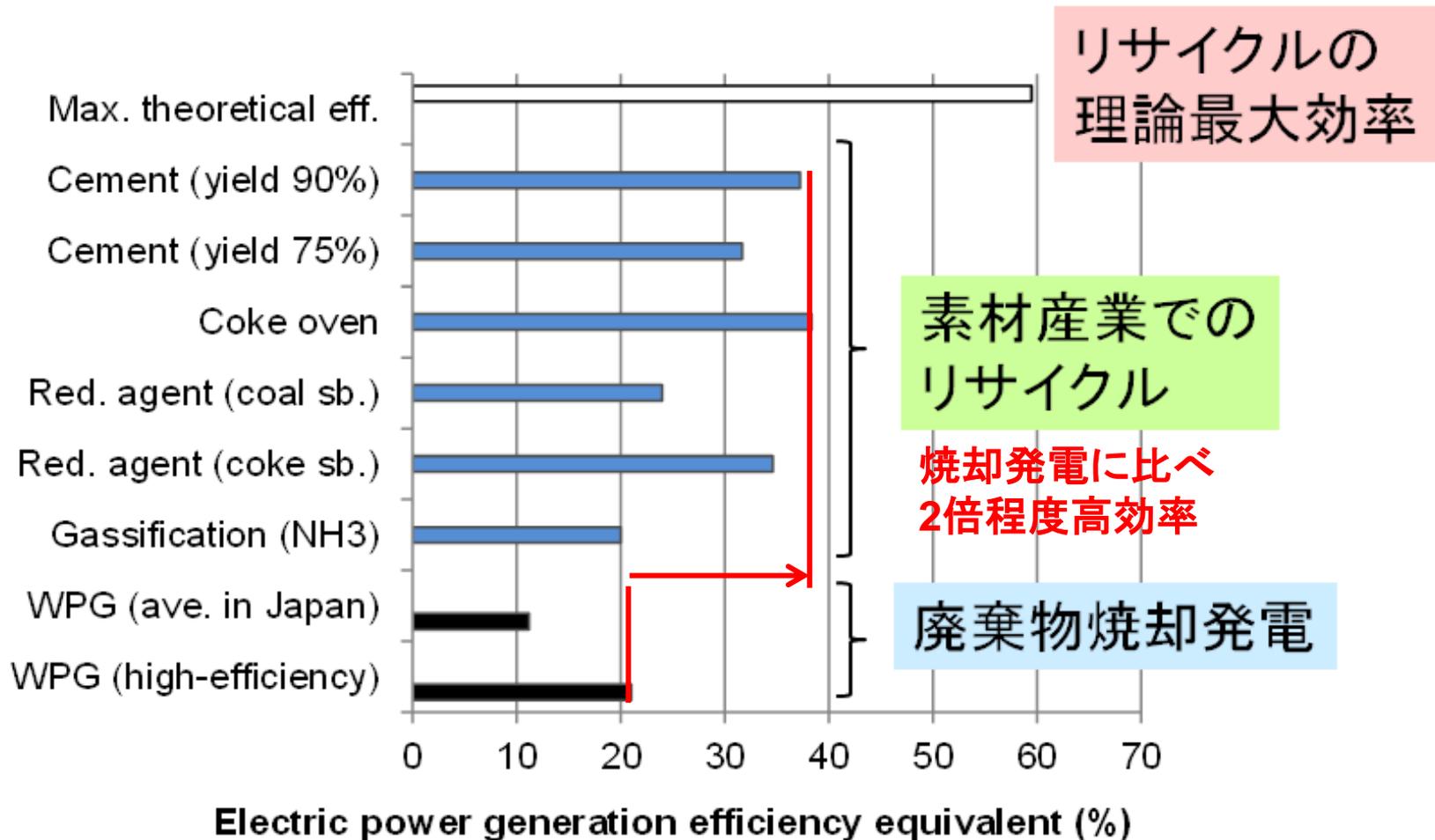
$$\Delta S = \theta \cdot M_o \cdot \frac{y_A}{\theta \cdot y_o} \cdot \frac{f_A}{f_o} - P \quad \text{リサイクル1回当たりの評価式と同じ}$$

- 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



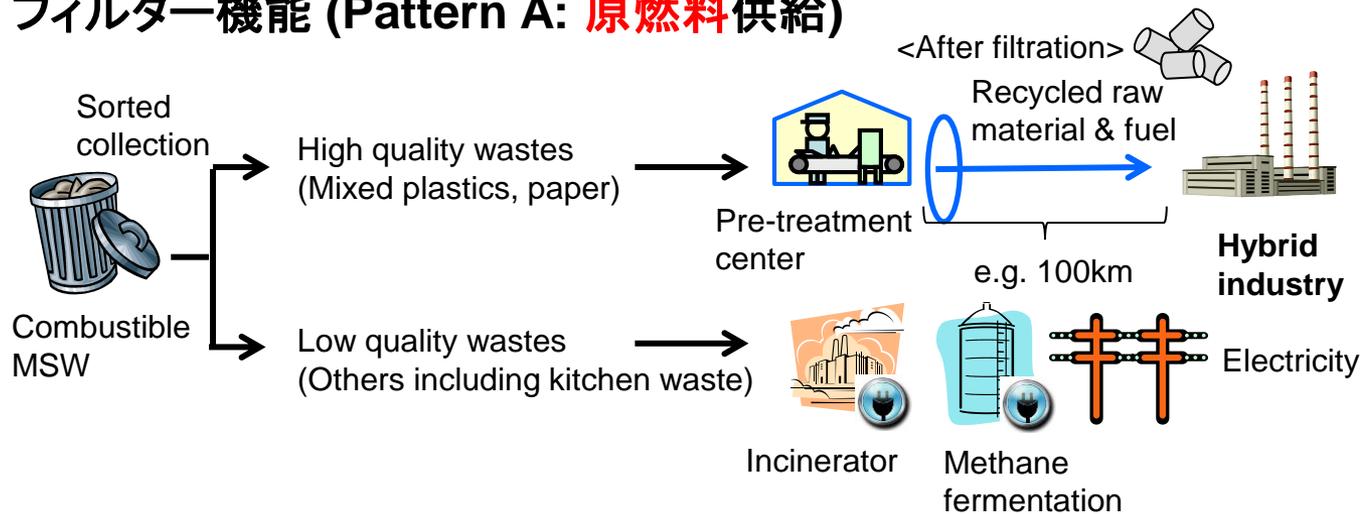
廃棄物の産業での活用



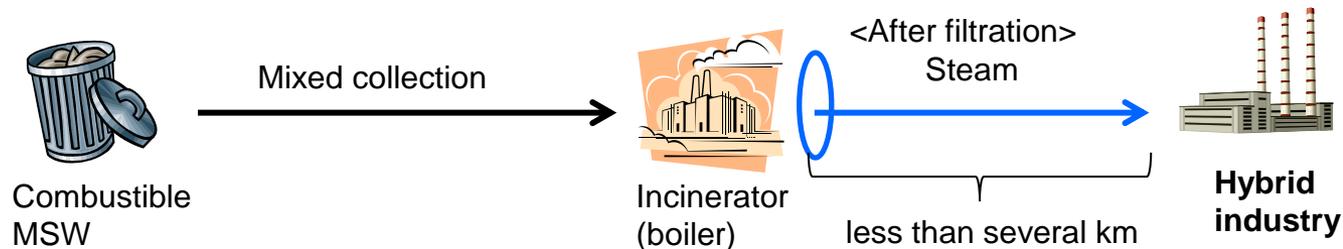
Fujii et al., *J. Clean. Prod.* 2015

廃棄物の産業利用拡大に向けて

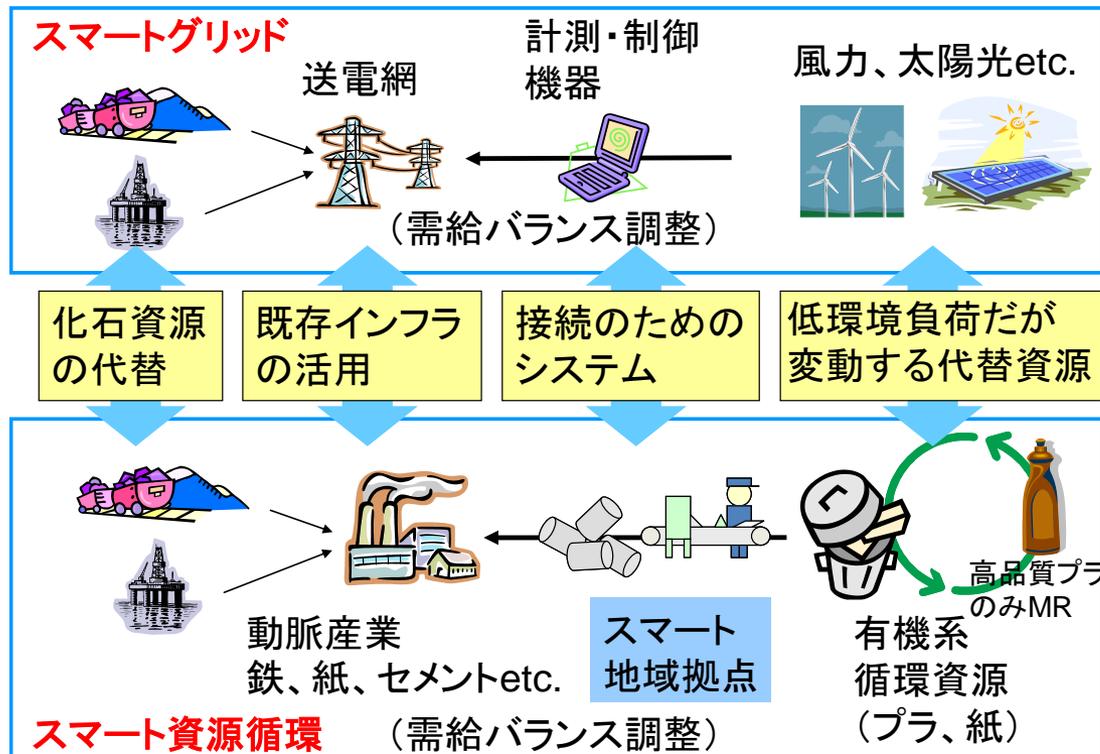
フィルター機能 (Pattern A: 原燃料供給)



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

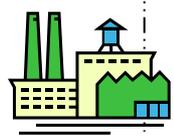
成型加工

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



消費者

対象は容器包装
以外にも拡大

MR
好適プラ

プラ

雑紙

汚れた
プラ・紙

厨芥

焼却ごみ
発熱量維持

スマート資源循環
地域拠点

需要分の生産

MRに適した
プラの一部を選別

・簡易な選別

調整

調整

・製品まで
一貫処理

MR製品

固形
原・燃料

焼却施設
(発電)
設置数減少



必要最小
数を設置
(稼働率最大化)
メタン発酵

- ・高品質化
- ・需給調整

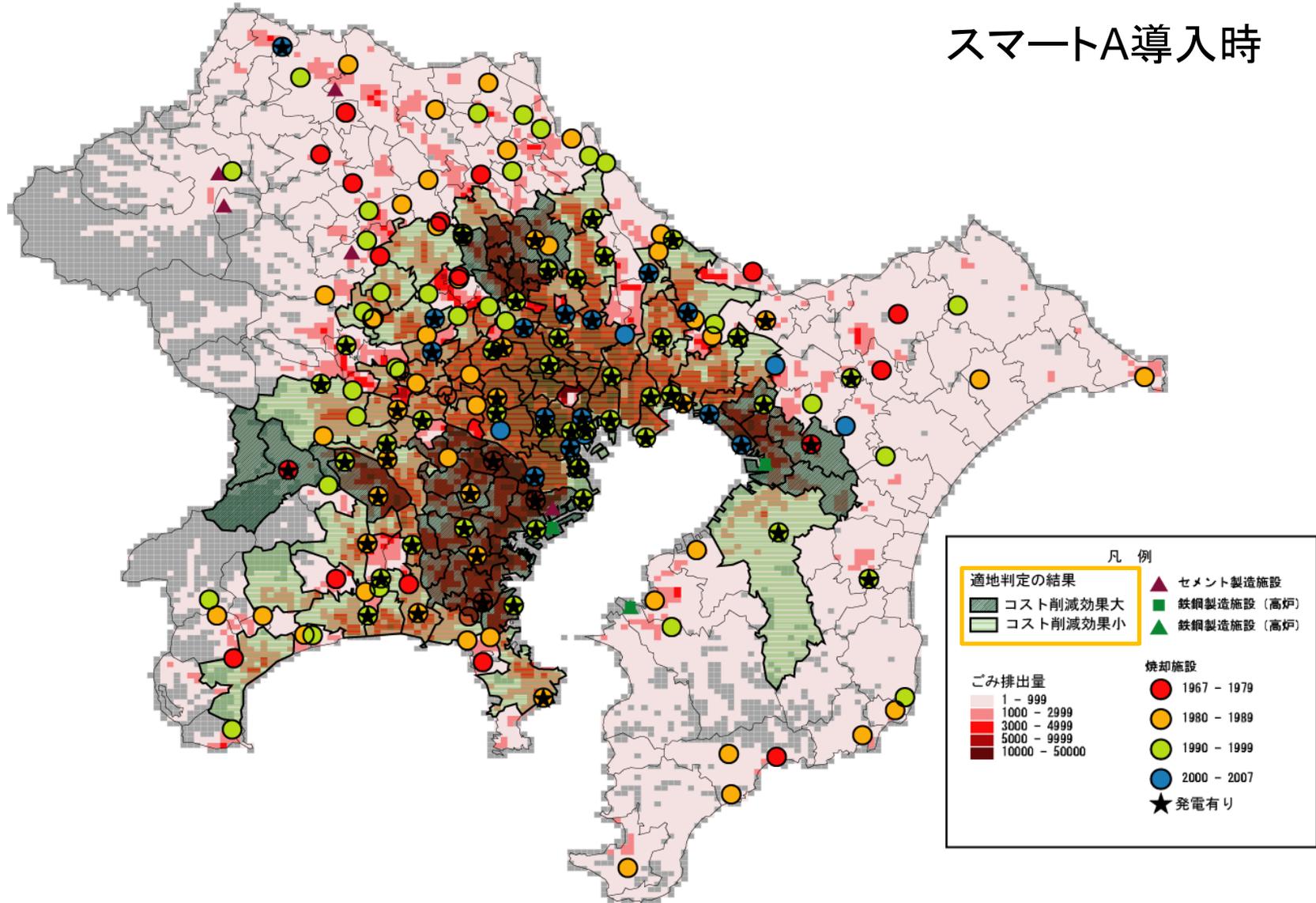
- ・低環境負荷
原・燃料の
買取制度等

同一発熱量
の石炭等と
大きな遜色の
ない価格

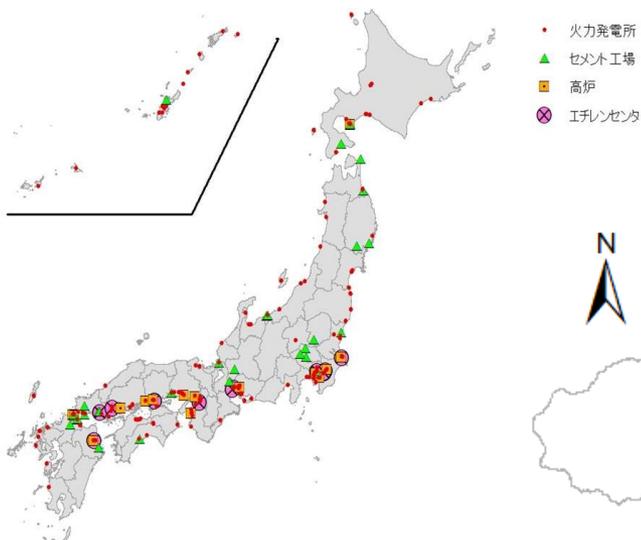
Fujii et al.,
RCR, 2012 他

導入適地

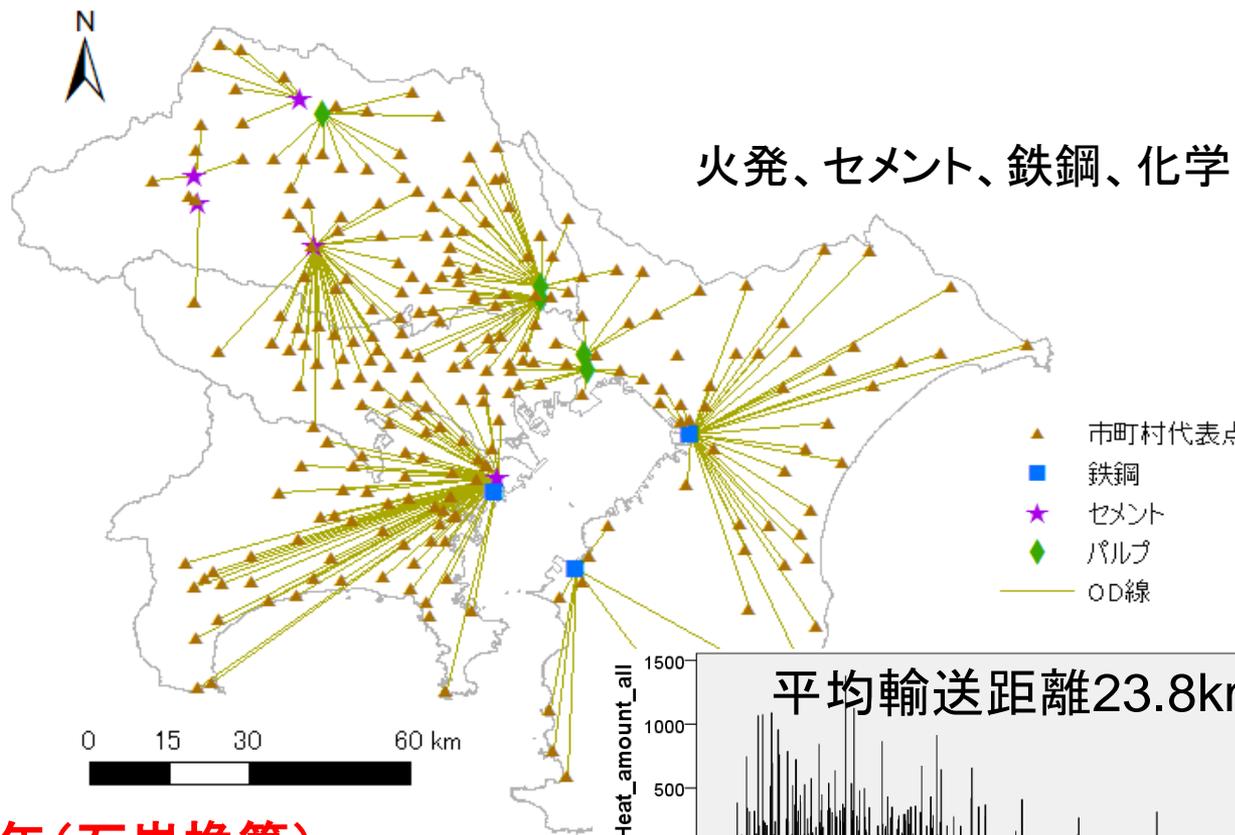
スマートA導入時



産業での原燃料利用



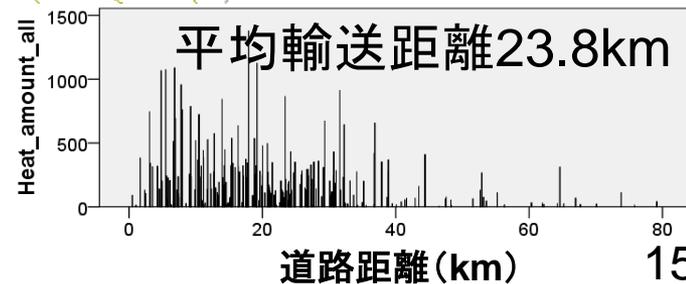
一都三県での工場への道路距離算定例



火発、セメント、鉄鋼、化学

産業のGIS
データベース化

0 15 30 60 km



55000TJ/年、500万t/年(石炭換算)
のCO₂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

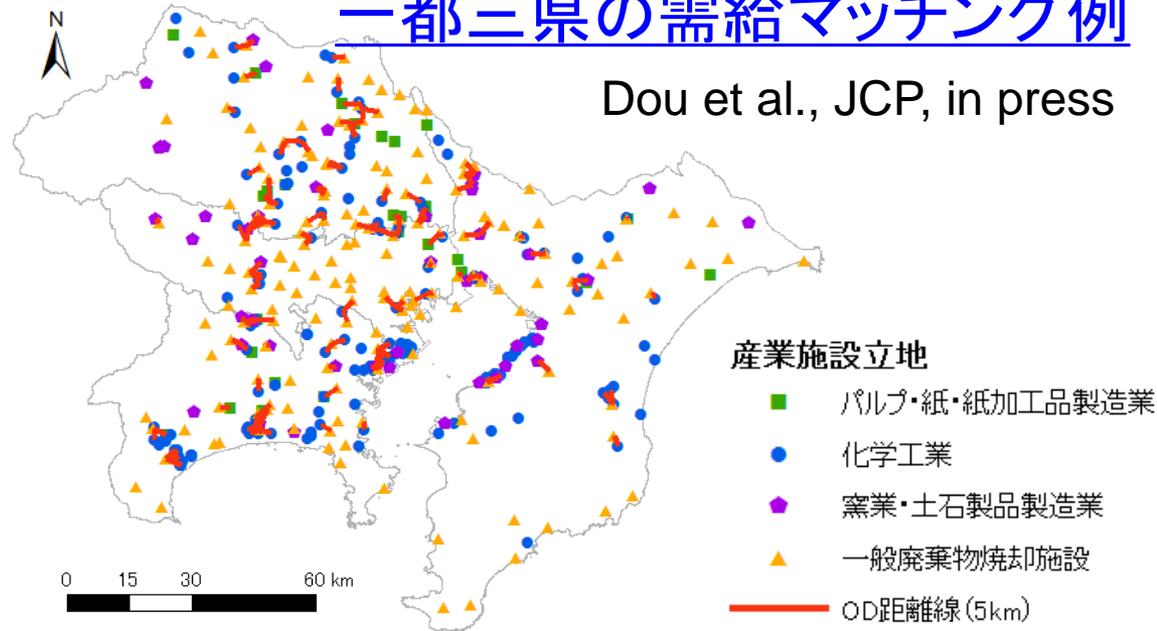
道路沿いのパイプライン
建設を想定

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CO₂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**

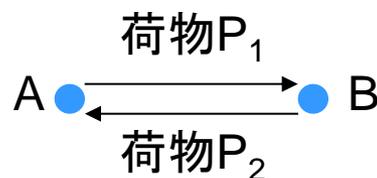
ネットの輸送 = 輸送の全体 - ネットではない輸送

NT GT NNT

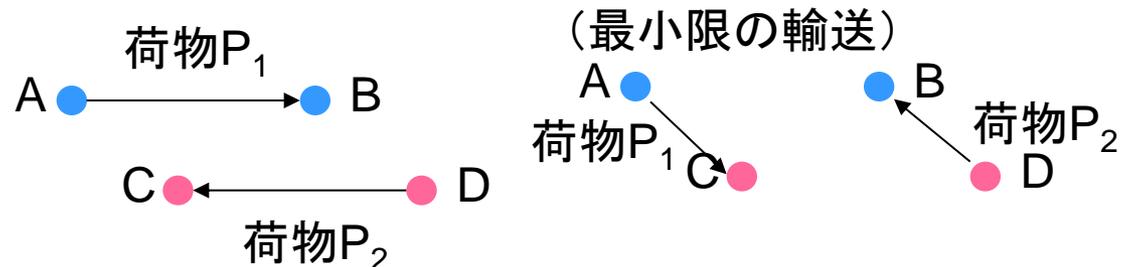
ネットではない輸送

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)

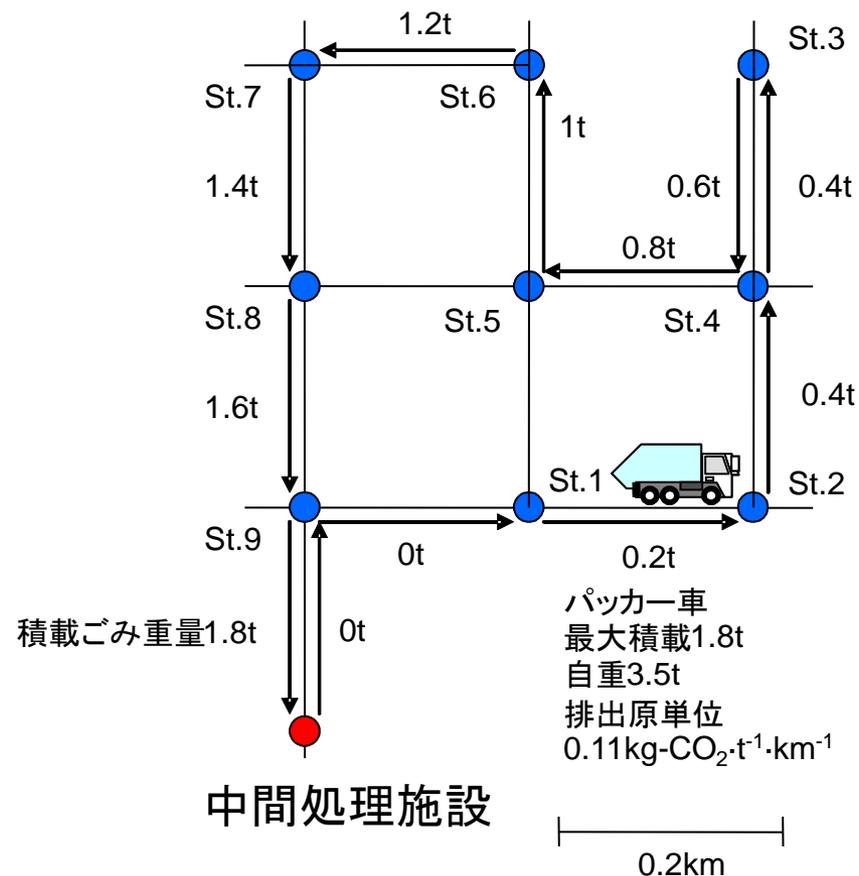
解析対象

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

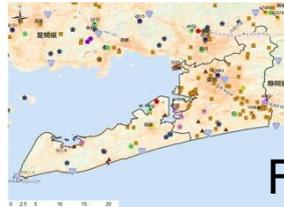
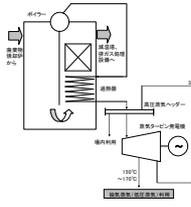


IoTの活用により収集頻度を低下(最適化)させることが有効

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
 - CO₂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

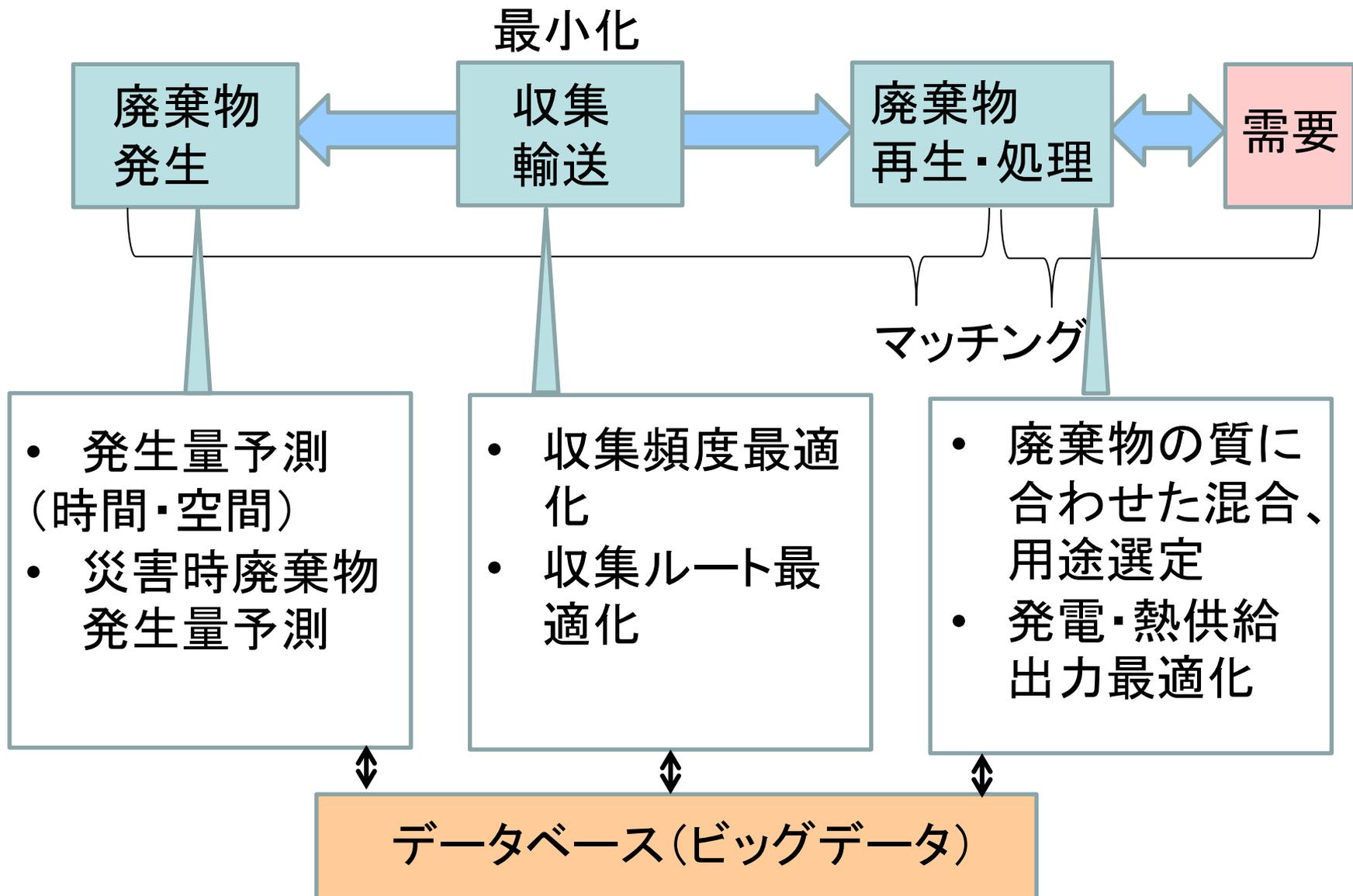
1. 廃棄物をより高度に利用する可能性(目標)
2. 廃棄物・リサイクルでのIoTの可能性(手段)

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)
 - ・配送ルートのお最適化
 - ・再生原料・燃料の配合のお最適化
 - ・電力・熱需給のお最適化

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



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

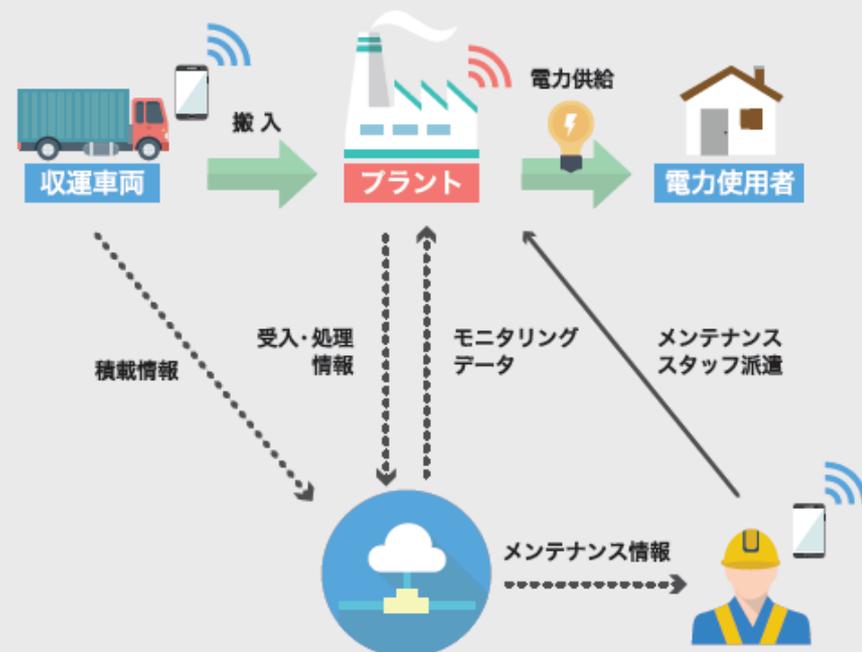
積載率向上 / ルート回収 / 片荷運行削減等

※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

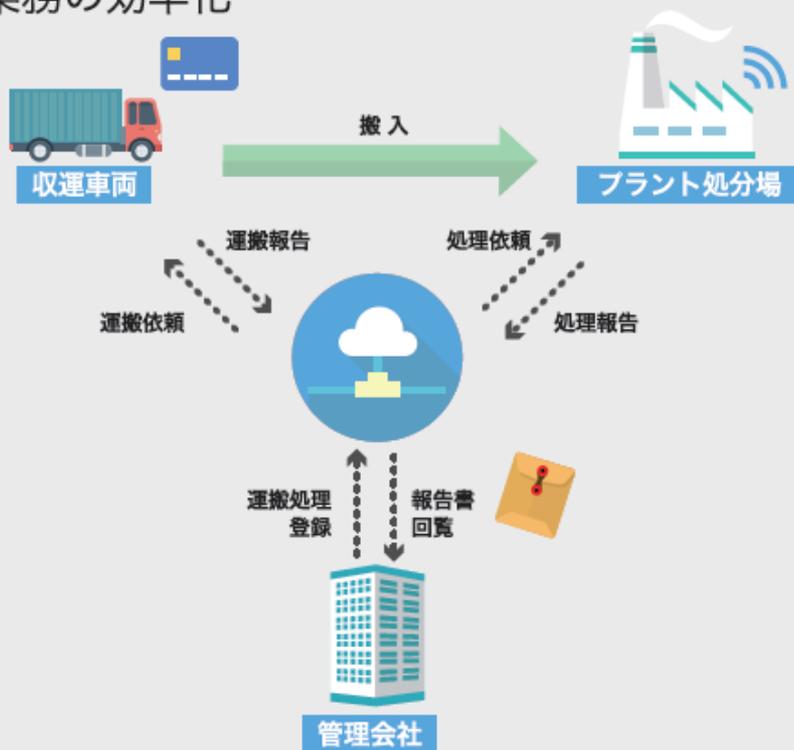
※プラント運転管理を可視化することで、保守管理や発電の効率化を実現



ロジスティクス高度化WG

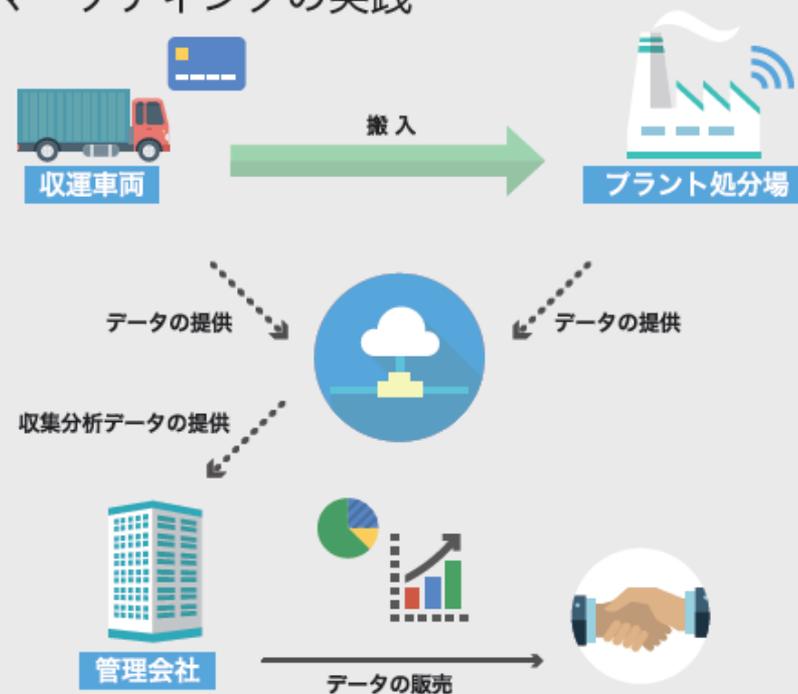
デジタル管理とペーパーレス化

※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

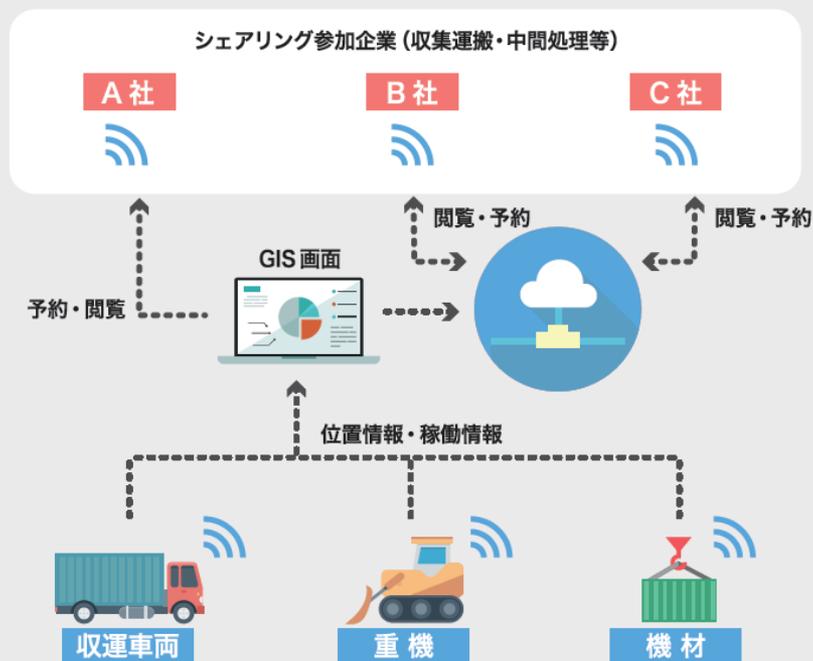
※物流データの分析によるビッグデータ・マーケティングの実践



新規事業創出WG

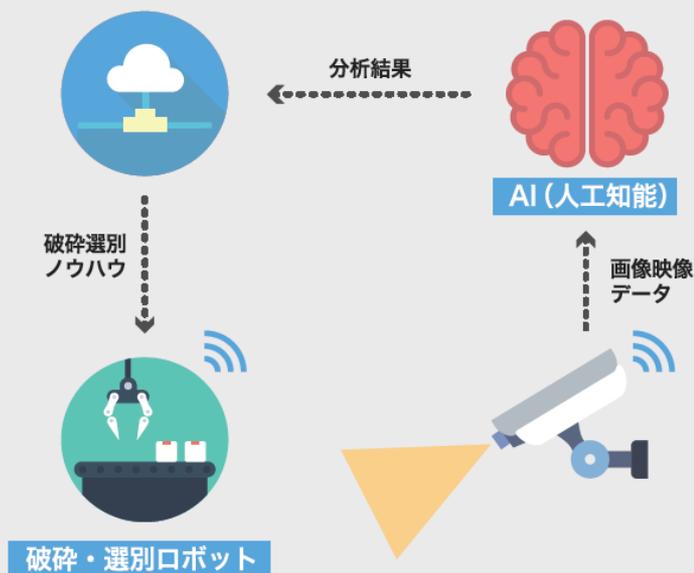
車両・機材等シェアリングシステム構築

※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



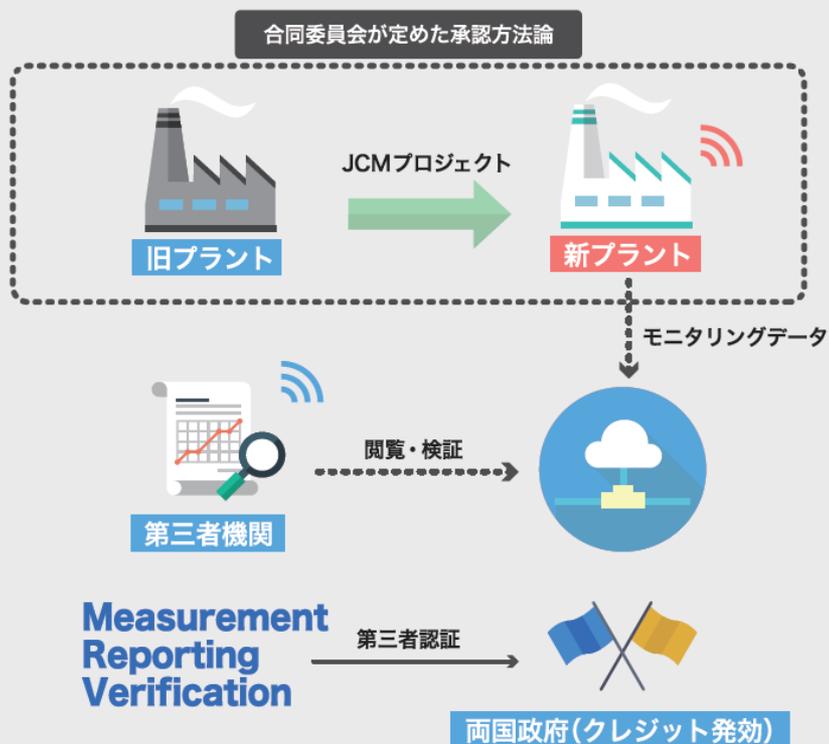
破碎選別プラントの精度や歩留まりの向上

※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



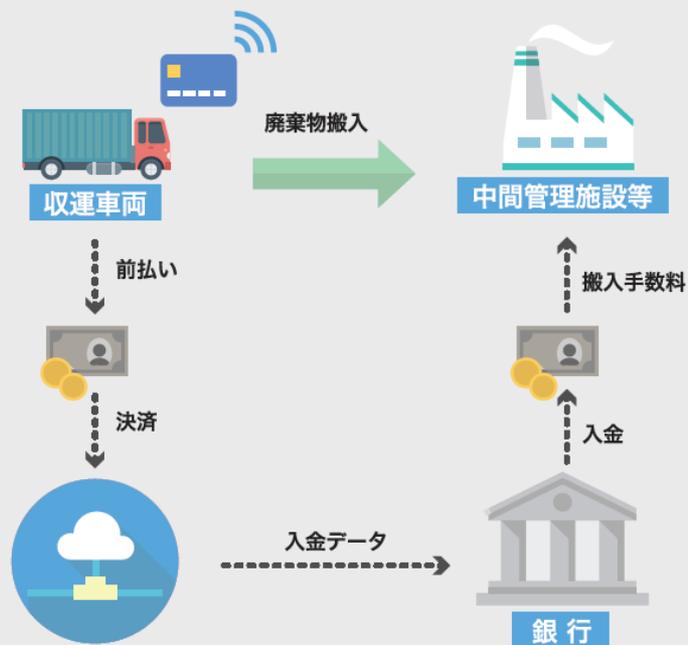
海外事業促進WG

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