

**課題番号** 3-1905  
**研究課題名** 静脈系サプライチェーンマネジメントのための  
情報通信技術の導入可能性と効果分析  
**体系的番号** JPMEERF20193005

• **重点課題**

主：⑨ 3Rを推進する技術・社会システムの構築

副：⑩ 廃棄物の適正処理と処理施設の長寿命化・機能向上に資する研究・技術開発

• **行政要請研究テーマ（行政ニーズ）**

(3-2) ICT・AI技術の活用による産業廃棄物処理業におけるリユース・リサイクルの促進・生産性向上等に資する技術開発に関する研究

• **研究代表機関名** 北九州市立大学

• **研究代表者名** 松本 亨

• **研究実施期間** 2019～2021年度

• **研究分担機関名** 国立環境研究所、和歌山大学、立命館大学、早稲田大学、東洋大学

# 1. はじめに(研究背景)

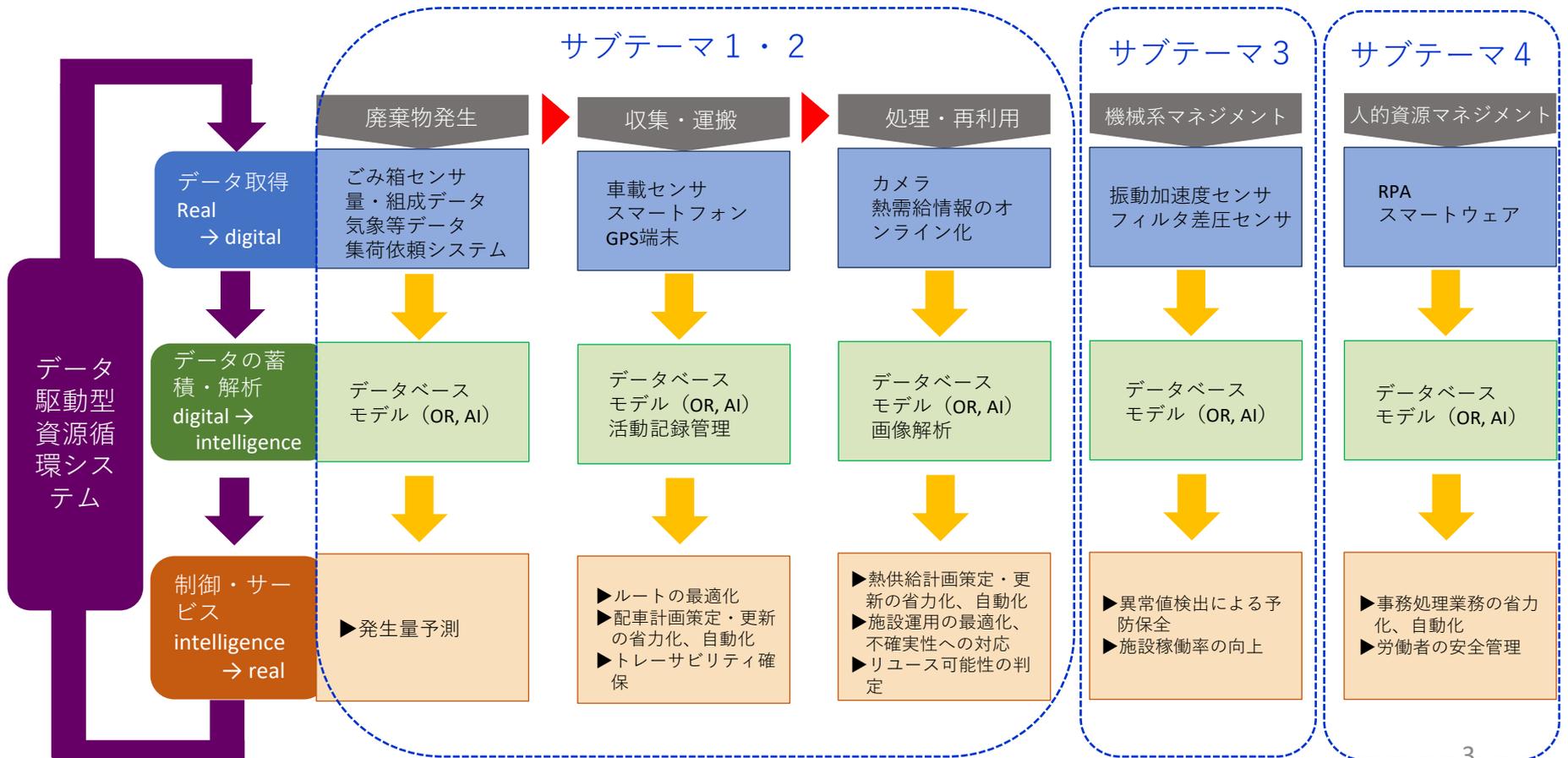
- 研究背景

- 環境面での対策強化や労働力不足等多くの問題に直面しているが、これらに対する解決策の1つとして、IoT・AIを含む情報技術を活用した廃棄物回収、中間処理工程等の省人力化やリサイクルの経済性向上、マテリアル品質・エネルギー管理の高度化による大幅な低炭素化や資源回収の促進が挙げられる。
- 廃棄物・資源循環分野においても情報通信技術を用いることで、よりクリーンでスマートな産業となることが、大量生産・大量消費型社会の変革と労働力の安定的確保に繋がりと考えられる。

# 2. 研究開発目的

- 研究開発目的

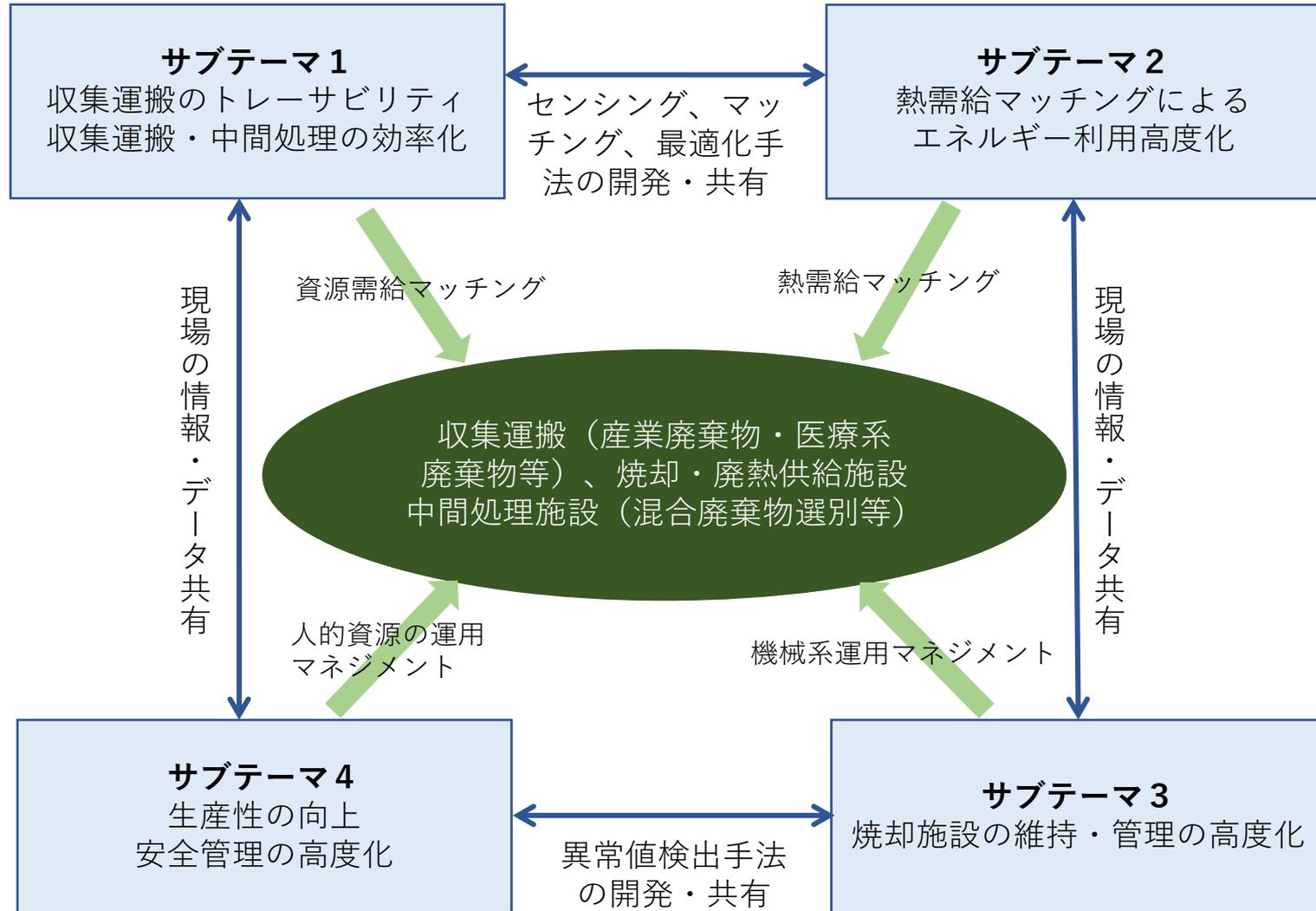
- 静脈系サプライチェーンに対する情報通信技術の活用可能性を検討し、実証的研究を通じて、これらの導入可能性の検討と効果分析を行うことを目的とする。



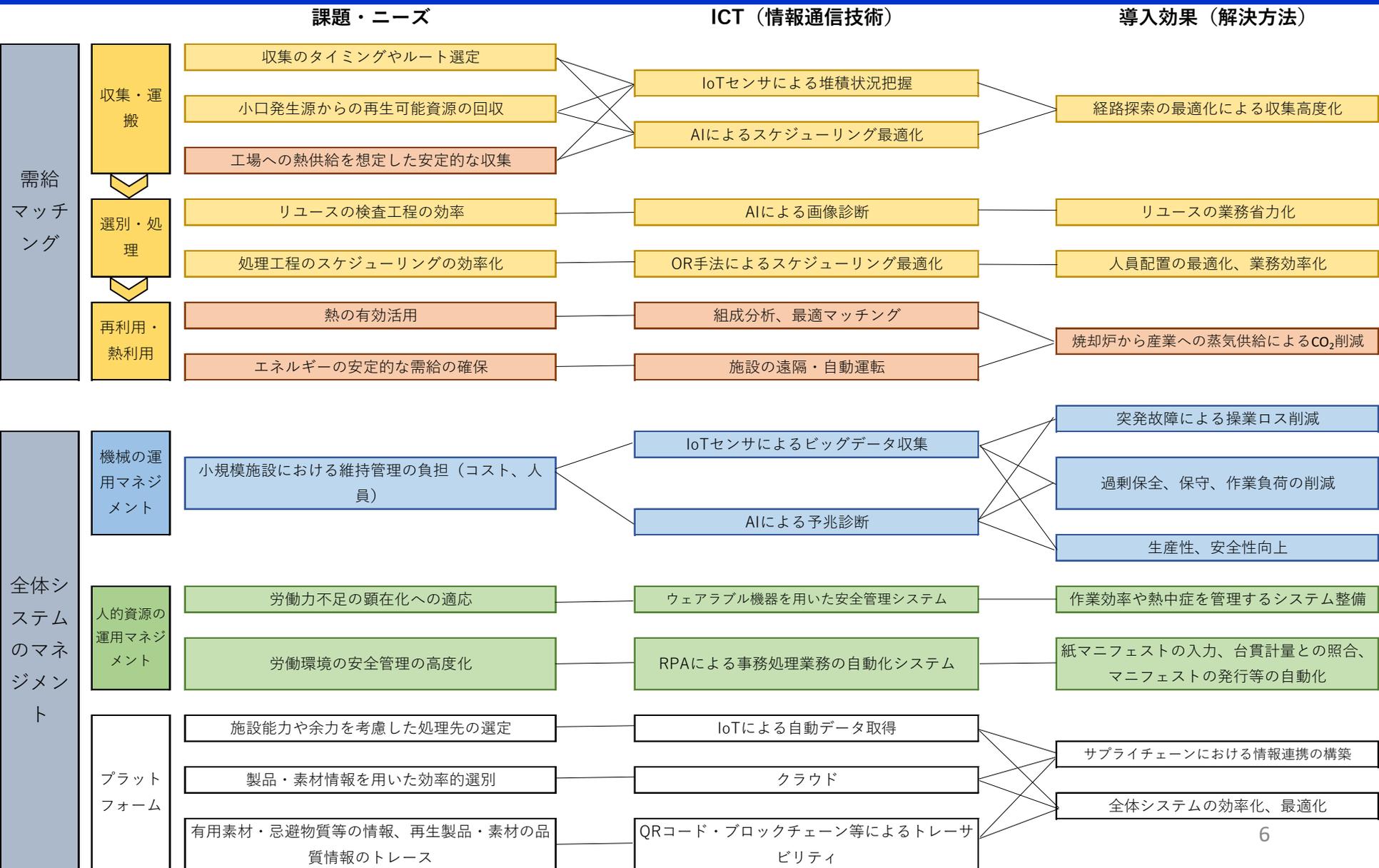
# 3. 研究目標

- 全体目標
  - 静脈系サプライチェーンの最適マネジメントのために適用可能なICT・AI技術とそれらによる課題解決の可能性の組み合わせを提示し、導入による効果を評価する。その展開可能性と導入効果についての拡大推計を行う。
  - 4つのサブテーマを通じて、静脈系サプライチェーン全体の最適なマネジメントを実現させるためのプラットフォームの在り方について提示する。
- ▶ サブテーマ1：ICT・AIの活用による排出・処理事業者間インタラクション実現による資源循環の効率化及び適正処理の推進
  - 排出・処理事業者間インタラクションによる収集効率化、処理業者の業務効率化を対象とし、IoT、AIを含む効率化アルゴリズム、プラットフォームのプロトタイプを開発する。
- ▶ サブテーマ2：産廃のエネルギー利用高度化を想定した需給マッチングの最適化
  - エネルギー需給マッチング、廃棄物需給マッチングによるエネルギー利用の高度化について、IoT等を用いて開発する。
- ▶ サブテーマ3：産業廃棄物のサーマルリカバリープロセスへのICT・AI導入による施設の維持・管理の高度化
  - 焼却プロセスの原動機系と素材系を対象とした維持・保全高度化について機械学習を用いて開発する。
- ▶ サブテーマ4：情報通信技術の活用による廃棄物処理事業における生産性の向上と適正処理推進のための安全管理の高度化
  - 収集運搬、中間処理施設、各種事務処理を対象とし、スマートウェア、RPA（Robotic Process Automation）等のシステムを導入し、生産性と労働安全の向上効果を分析する。

# 4. 研究開発内容



# 4. 研究開発内容(課題・ニーズ、技術、期待される効果)



# 5. 研究成果 5-1. 成果の概要

## サブテーマ1 ICT・AIの活用による排出・処理事業者間インタラクション実現による資源循環の効率化及び適正処理の推進

### 発生量把握と予測

#### IoTセンサと廃棄物特性、利用環境との適合性

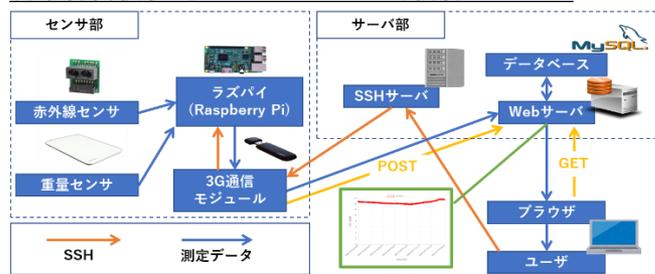
	赤外線三角測距		赤外線ToF					超音波		
	A社	B社	C社	D社	E社	F社	G社	H社	I社	
コピー用紙	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
ガラス片	×	×	○	○	×	×	○	○	○	
アルミ廃材	×	×	○	○	△	○	○	○	○	
廃オイル	×	×	○	○	×	△	△	△	○	
木屑	△	△	○	○	×	○	△	△	○	
ゴム	×	×	○	○	○	△	△	△	○	
プラスチック片	×	×	○	○	×	○	○	△	○	
土	×	×	△	○	×	△	○	△	△	
直射日光	×	×	×	×	○	○	○	○	○	
高温湿度	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
霧	×	×	×	×	×	×	○	○	○	

10cm ~ 100cmでの測距性能

○：高精度、○：計測可能、△：要フィルタリング処理、×：測定不可

#### IoTセンサを用いた

#### 廃棄物蓄積状況のリアルタイム可視化システム



コントローラID (地点の区別)	センサーID (センサーの区別)
HTTPリクエスト POST, GET	ルーティング /reiot, /reiot/manage

### 収集運搬、中間処理施設運用の最適化

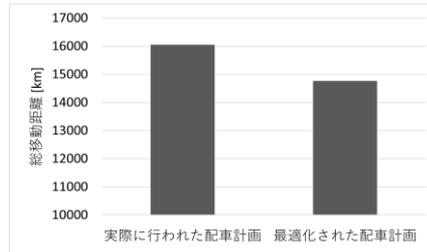
従来：作業担当者の経験や勘による  
配車計画・処理計画の策定

#### スポット回収の最適化

対象：産廃・事業系廃プラ

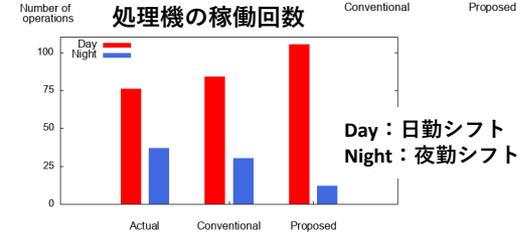
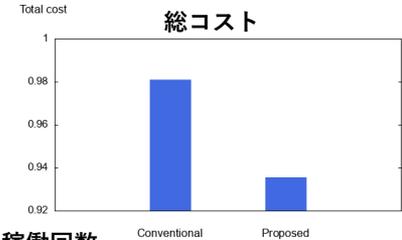
⇒ 回収量が事前に把握できた場合を想定し、  
配車計画の最適化による効果を推計

#### 全期間の総輸送距離



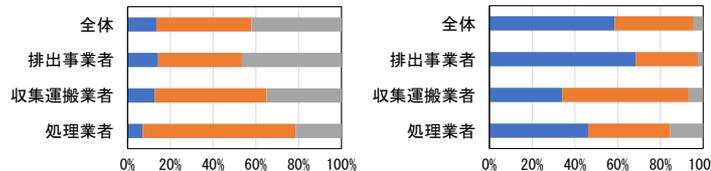
### 中間処理施設運用の最適化

⇒ 処理の効率化と費用の低減を目的として、  
稼働回数・稼働台数を決定する処理計画モデル  
を提案し、その効果を推計



### 情報プラットフォームのための技術と効果

#### 情報プラットフォームによる情報連携のニーズ把握

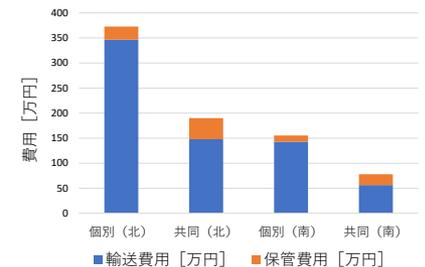


- 公開レベルⅠ：会員登録不要で、誰もが自由にアクセス可能
- 公開レベルⅡ：会員登録した事業者であれば、誰でもアクセス可能
- 公開レベルⅢ：会員登録した事業者で、かつ特定取引に関わる事業者のみがアクセス可能

- 無償 ■10万円/年 ■50万円/年

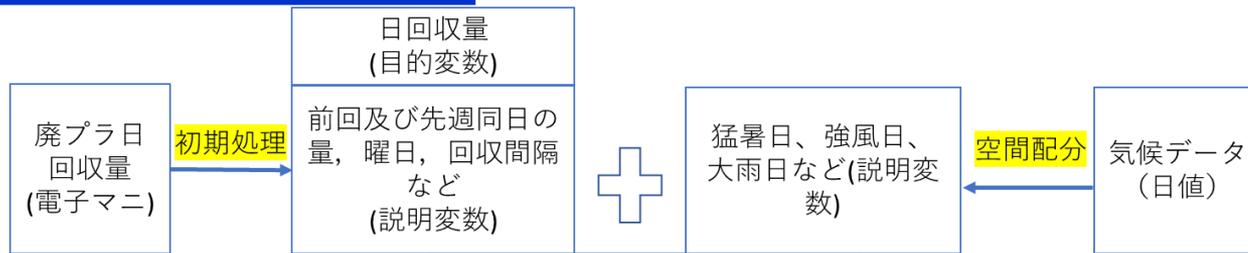
#### スマート回収の導入効果推計

対象：廃棄太陽光パネル  
⇒ 情報PFが導入された場合を想定し、  
個別回収から共同回収へ改善した  
場合の効果を推計



# AI技術を用いた廃プラ収集システムの効率化

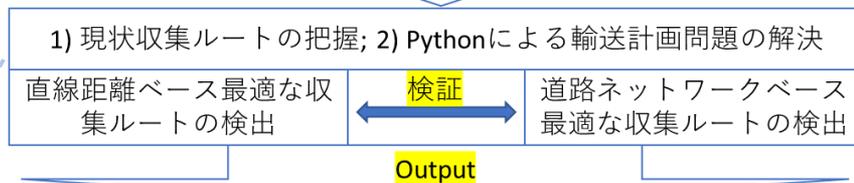
データ準備:



将来予測:

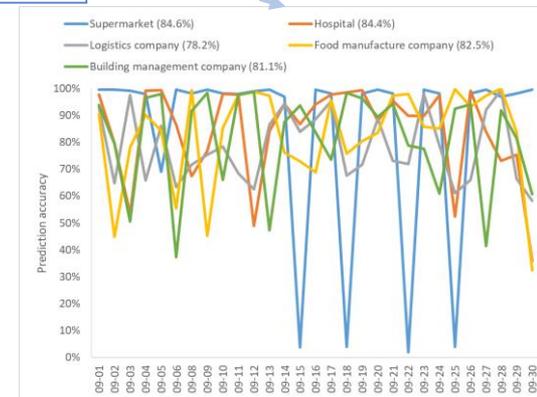
1) MATLABを用いて28モデルによる将来予測を実行; 2)平均絶対誤差率(MAPE)による予測結果の評価検証をして最適なモデルの検出; 3)最適なモデルによる廃プラの回収需要を予測

ルート検出:

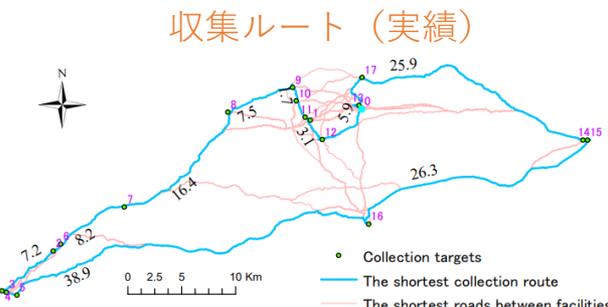
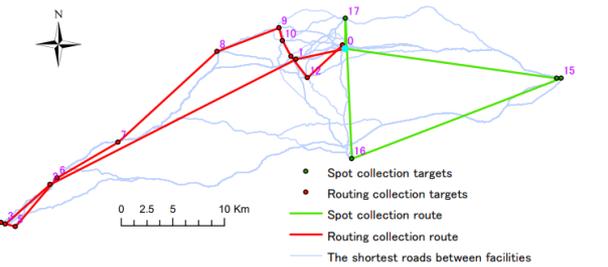


結果の評価:

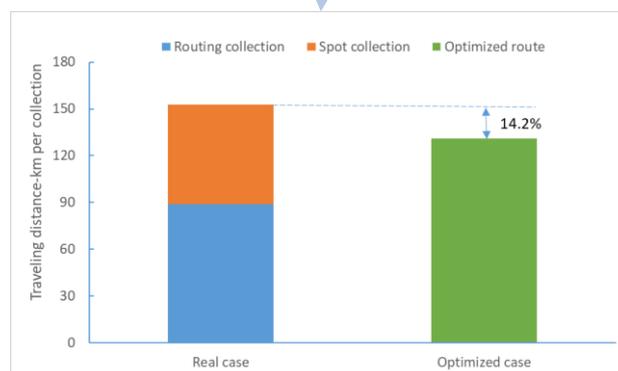
最適化による総移動距離, CO<sub>2</sub>排出量などの削減量を定量化評価



予測精度の検証



収集ルート最適化 (道路)



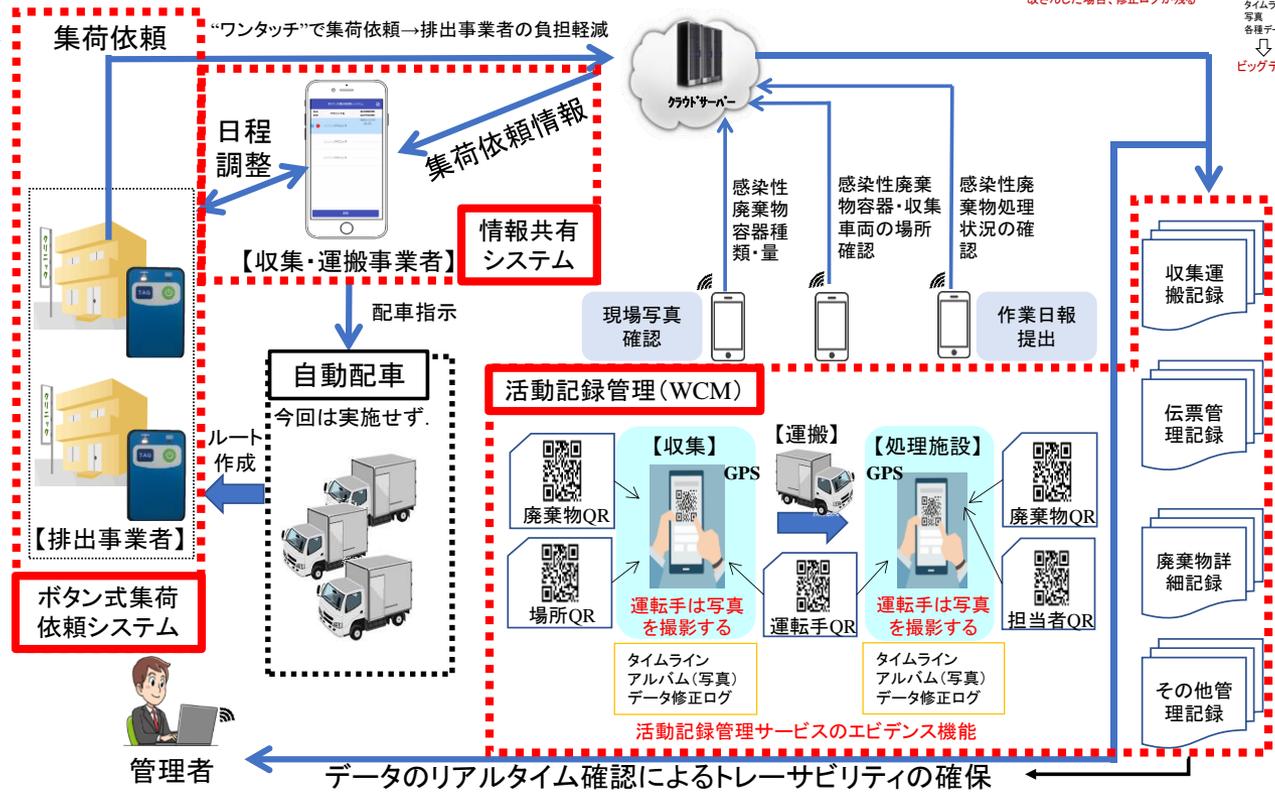
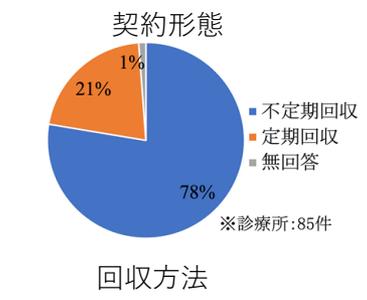
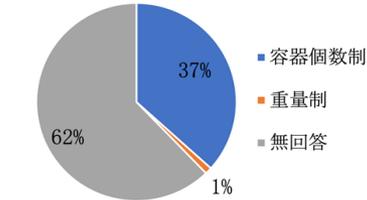
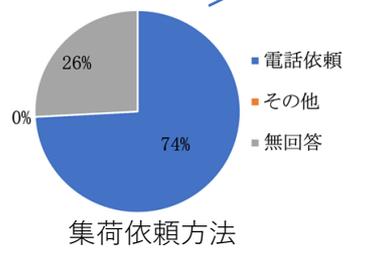
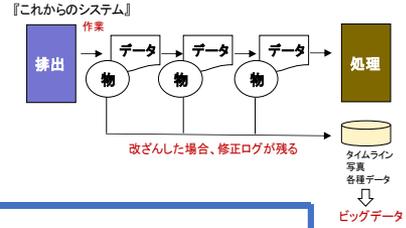
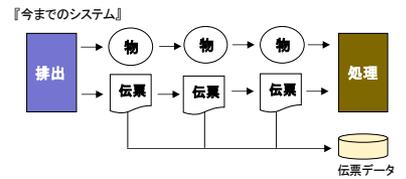
最適化前後の比較 (移動距離)



最適化前後の比較 (CO<sub>2</sub>)

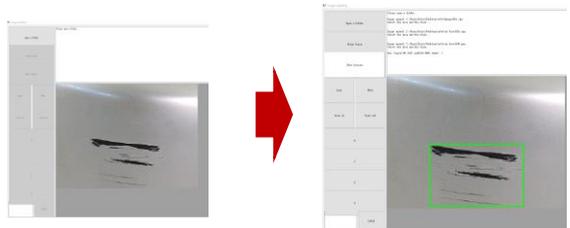
# センシング手法の体系化・WCMによるデータ収集とトレーサビリティシステム

	Web受注	通知ボタン	画像認識(カメラ)	超音波等センサー	重量センサー	曜日回収	AI予測
時間: △、コスト: ○	時間: ○、コスト: △	時間: ○、コスト: ○	時間: ○、コスト: ○	時間: ○、コスト: ○	時間: ○、コスト: ○	時間: ○、コスト: ○	時間: ○、コスト: ○
イメージ						-	
	Webを介して受注クラウド管理	溜まってきたら押してもらおう	画像認識によって排出量算出	超音波等によってごみ量を認識	重量を測定し自動通知	-	過去データをもとにAIが予測



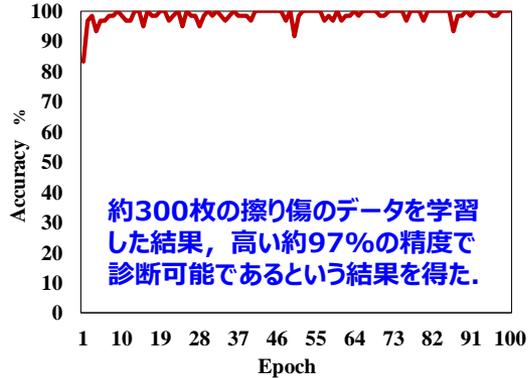
- ・ 排出実態調査等の現場ニーズに基づき、WCMに基づくトレーサビリティシステムを構築した。
- ・ 実証試験により、収集・運搬事業者、排出事業者ともに業務負荷の改善効果を確認した。
- ・ さまざまな循環資源・廃棄物処理における大規模実証、商用化に向けた動きが進行中である。

# 画像解析によるリユース可能性評価

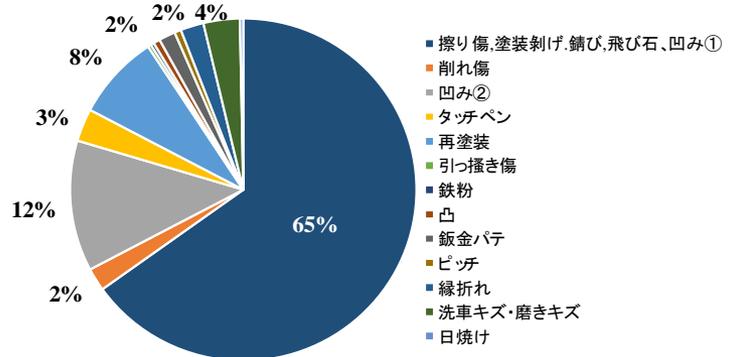


「擦り傷」のラベリングの様子

## AIによる画像診断のソフトウェアの開発

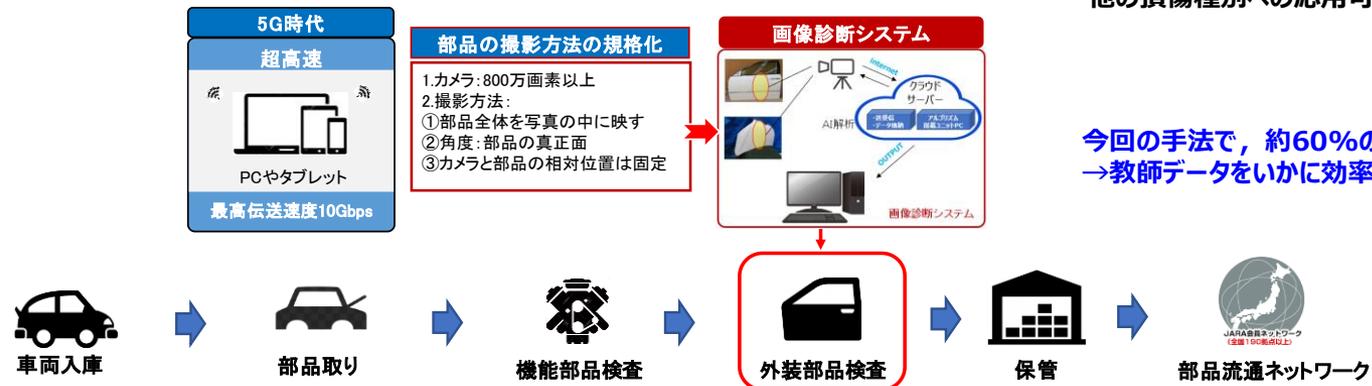


「擦り傷」の画像診断結果



他の損傷種別への応用可能性

今回の手法で、約60%の診断をカバーできる結果となった。  
→教師データをいかに効率的に収集するかが課題である。

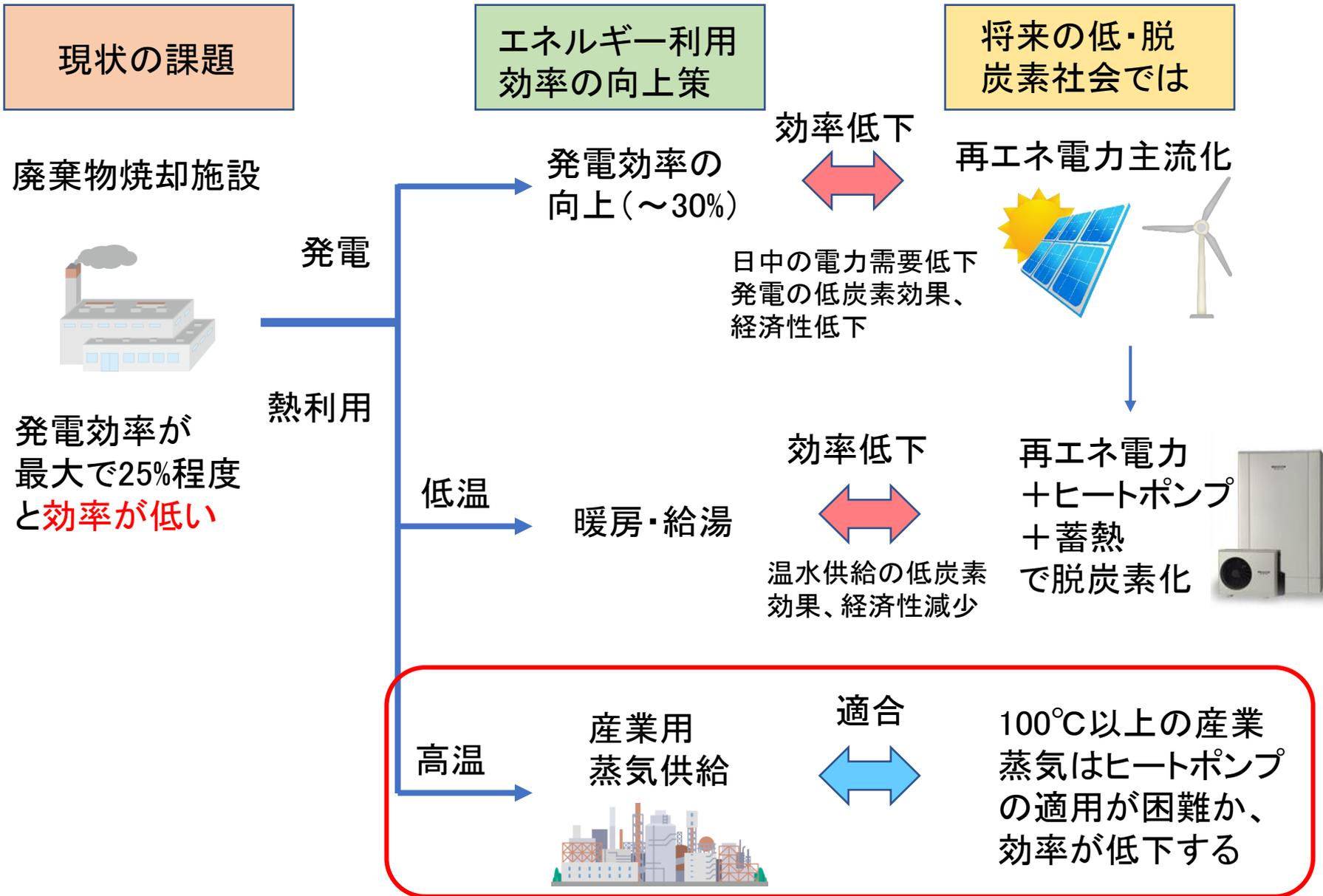


## 次世代自動車への対応



ASRの削減に向けガラス、プラ等の事前解体・選別を行うことがニーズとなっている。その際の解体履歴の管理にWCMが応用可能である。

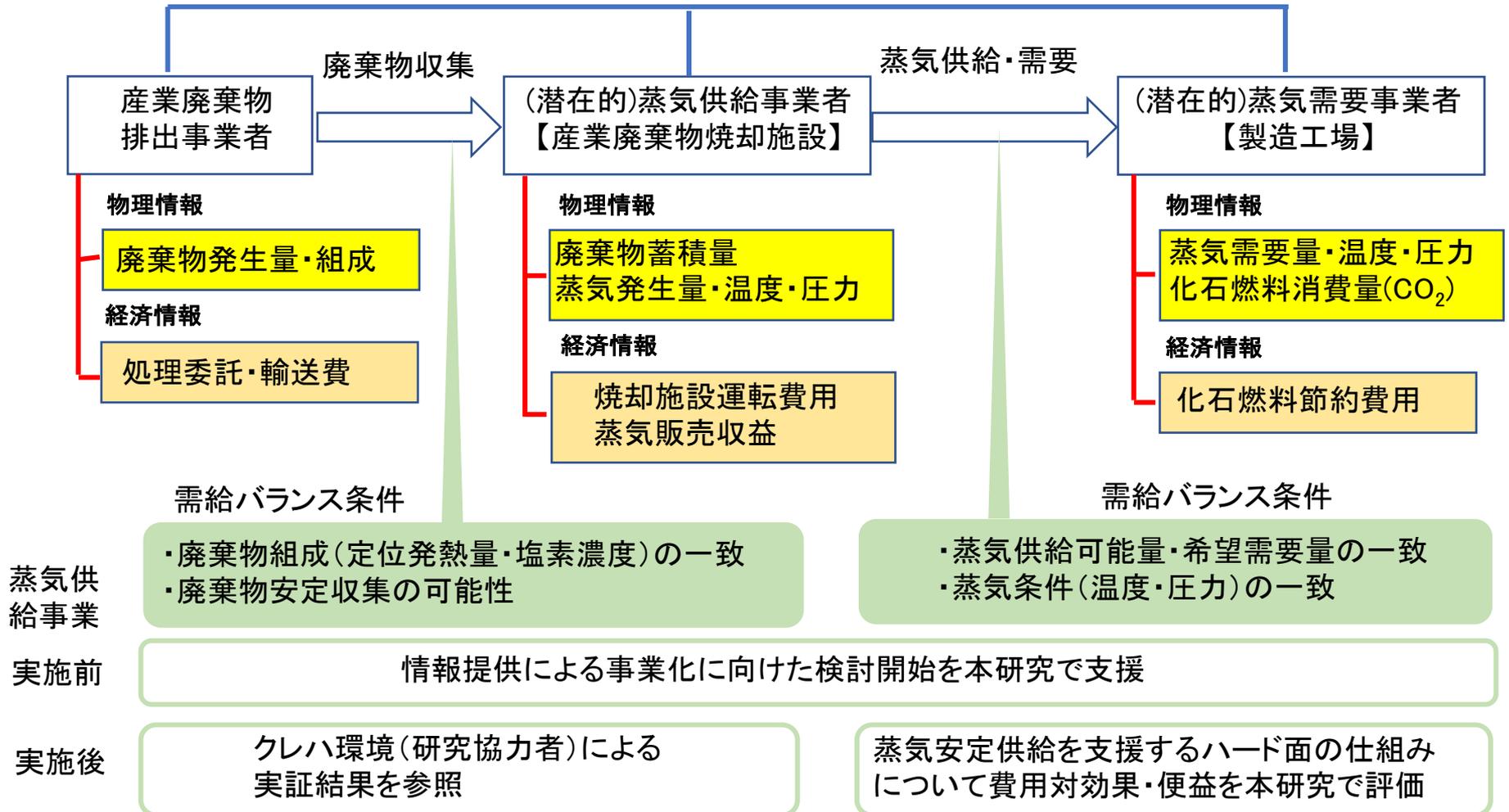
# サブテーマ2 産廃のエネルギー利用高度化を想定した需給マッチングの最適化



産業への蒸気供給は現在も将来も効率的な選択肢<sup>1</sup>

# 廃棄物焼却熱の製造工場での利用に向けて情報プラットフォームの果たす役割

熱(蒸気)の需要と供給のマッチング(事業開始前・開始後)



# 蒸気供給の事業化を促進する情報共有

**課題:** 廃棄物焼却施設から製造工場への熱(蒸気)供給が、効率が高いにも関わらず普及していない。

**対策:** 潜在的関係者(民間廃棄物処理事業者、製造工場、自治体、プラントメーカー等)への適切な情報提供・共有で事業化に向けた検討を促進

**実証:** 潜在的関係者に蒸気供給の意義、事業化のポテンシャル(簡易分析)、CO<sub>2</sub>排出削減効果、経済性などを共有して、事業化の検討を呼び掛け

**結果(成果):** 2021年12月時点で、潜在的関係者40機関のうち、37機関が蒸気供給に高い関心を持ち(地理的に実現が難しいケースも有り)、28機関が事業化に向けた検討を直接・間接的に実施

**事業化の促進支援が可能となった**

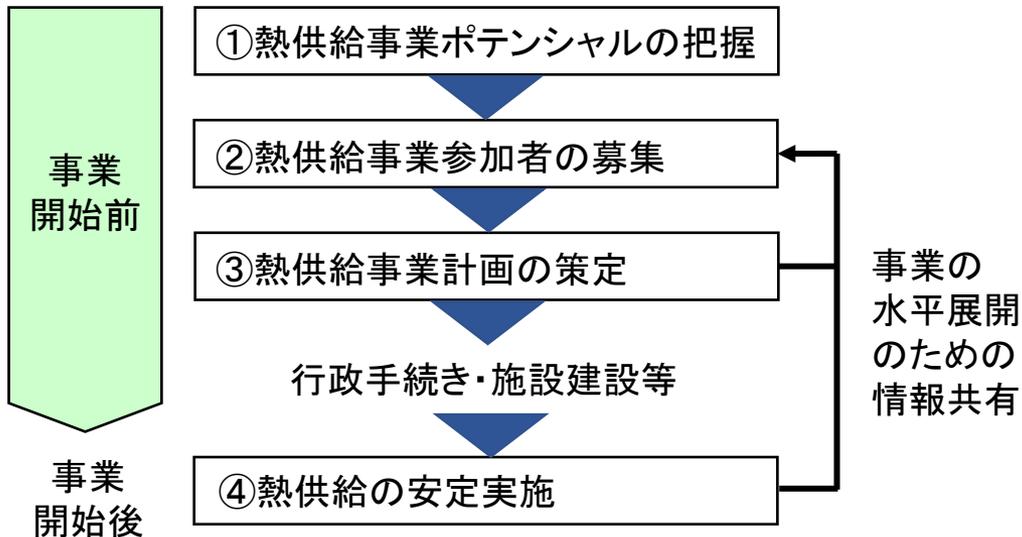


図: 事業化に向けた工程

廃棄物焼却熱の産業利用検討についてのご提案

**廃棄物焼却熱の安定利用技術の進展**

パリ協定を受けて産業の低炭素化の推進が急務となっており、費用対効果に優れた低炭素対策を講じる必要があります。

廃棄物の持つエネルギーは、既にセメントや製紙工場で代替燃料として利用されていますが、更なる利用拡大には、**廃棄物焼却炉で製造する蒸気(300℃、3.0MPa程度)**を利用することが効率的です。近年、IoTやAIを活用した自動安定供給技術も進展し、小型焼却炉からの**蒸気の安定供給も可能**となっています。

**大きなCO<sub>2</sub>削減効果と化石燃料代替による高い事業性**

廃棄物焼却炉(清掃工場)で製造した蒸気で工場のボイラーによる蒸気供給を代替すると、焼却発電(発電効率23%)に利用する場合と比べて、**約2倍の化石燃料消費削減効果**が得られます。廃棄物焼却熱による産業ボイラーの代替により、全国では最大で**3000万t/年程度のCO<sub>2</sub>排出削減ポテンシャル**があると考えられます。

蒸気配管距離1km、配管敷設費(270,000円/m)及び安定供給のためのバックアップボイラー、蓄熱装置等への投資を考慮した場合の**投資回収年数は1年程度**(熱利用規模により変動)と試算されました。

**韓国の工業団地では高収益の蒸気供給事業が実現**

韓国で第一の**蔚山工業団地**では、2基の廃棄物焼却炉からそれぞれ0.3km、2.7km離れた各工場へ蒸気が供給され、計**7万t/年以上のCO<sub>2</sub>排出が削減**されています。いずれも燃料消費削減による**単純投資回収年数は1年未満**と、経済的にも大きなメリットをもたらしています。

蒸気利用	距離 (km)	投資 (百万円)	利益 (百万円/年)	回収年 (年)
直接供給	0.3	0.85	2.32	0.37
一里+化学	2.7	5.00	7.10	0.72

出典: Hun-Suck Park (2012)

**ご関心をお持ち頂けた方はお問い合わせ下さい**

本研究は、……<記載内容一部省略>……の一環として実施しています。ご関心をお持ちの方には、内容の説明をさせて頂きまして、下記までお問い合わせ下さい。日本でも詳細なFSが実施され始めています。

連絡先を記載

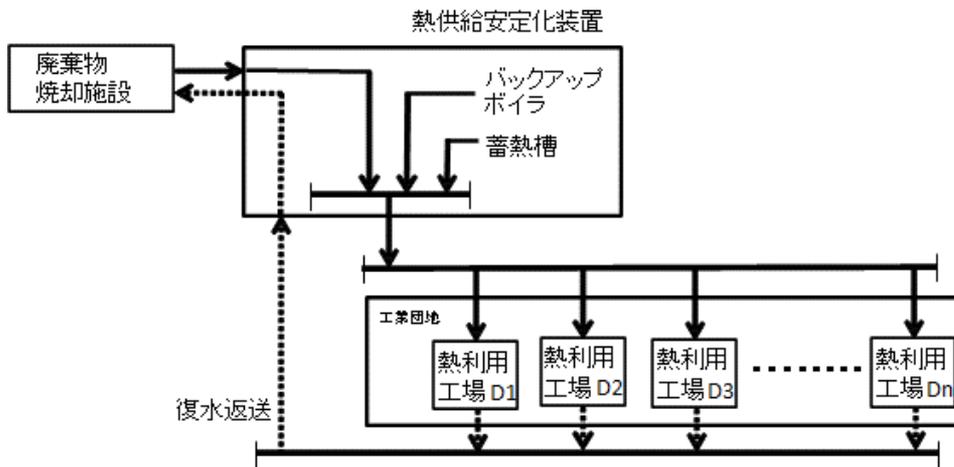
図: 情報提供の素材(例)

# 蒸気の安定供給システムの提案と費用対効果・便益の評価

660t/日の焼却施設に安定供給の仕組みを備えて蒸気供給を行った場合、約5万トン/年のCO<sub>2</sub>排出削減(重油代替)が可能であり、化石燃料の節約効果により設備投資は約3年で回収可能⇒**高いCO<sub>2</sub>排出削減効果と経済性が見込まれることが示された**



韓国・蔚山工業団地で焼却施設から化学工場への蒸気供給で利用されている蒸気アキュムレータ(蓄熱タンク)

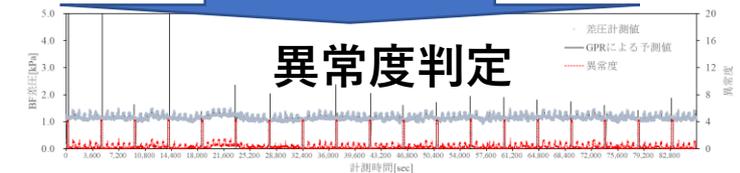
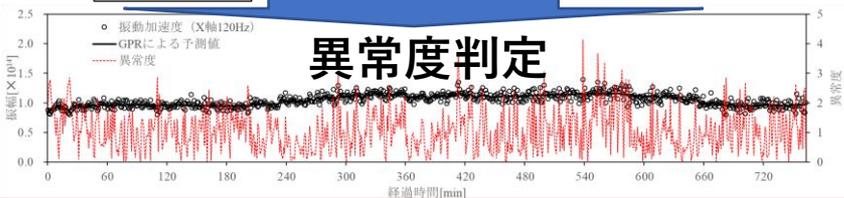
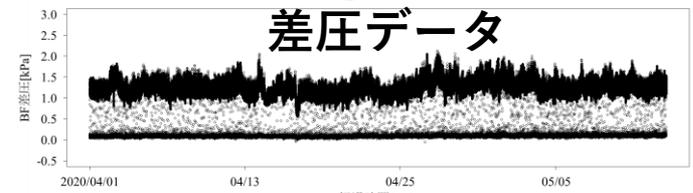
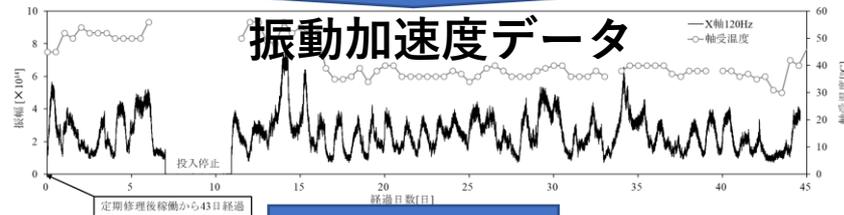


蒸気の安定供給システム  
(バックアップボイラ+蒸気アキュムレータ)

大項目	項目	単位	試算結果
設備費	バックアップボイラ：a	千円	189,000
	アキュムレータ：b	千円	355,000
	ドレンタンク：c	千円	1,000
	ドレン返送ポンプ：d	千円	3,570
	設備費合計：A=a+b+c+d	千円	549,000
	据付け工事費：B	千円	82,300
	電気計装工事：C	千円	110,000
	建築費：D	千円	47,100
	配管敷設費：E	千円	600,000
	総建設費：F=A+B+C+D+E	千円	1,390,000
年間運転・管理費	電気料金(売電逸失利益+購入分)：e	千円/年	1,980,000
	人件費：f	千円/年	3,600
	維持補修費：g	千円/年	44,300
	管理費：h	千円/年	140,000
	増加分：G=e+f+g+h	千円/年	2,170,000
	減少分(C重油料金)：H	千円/年	2,590,000
	年間経費の総削減額(正味利益)：I=H-G	千円/年	420,000
経済性評価	単純投資回収年：F/I	年	14 3.29

# サブテーマ3 産業廃棄物のサーマルリカバリープロセスへのICT・AI導入による施設の維持・管理の高度化 ①予兆診断のためのモニタリングシステムのプロトタイプ構築

- ## 研究目標
- ◆異常予兆検出のための高サンプリングレートでのモニタリングシステム構築  
(原動機系(振動加速度) 50kHz以上、素材系(バグフィルター差圧) 記録間隔10s以下)
  - ◆原動機系・素材系装置で各1箇所以上、1ヶ月以上の連続モニタリング

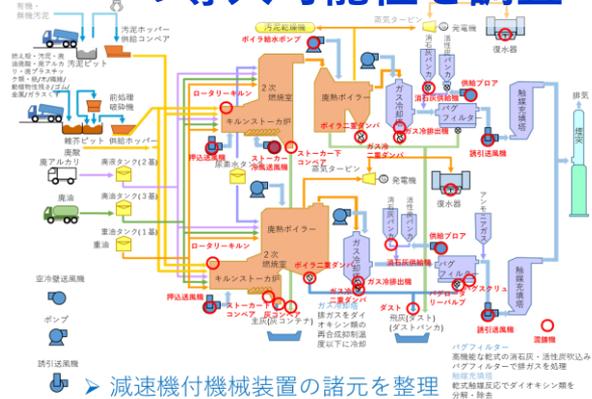


- 研究目標水準の10倍以上の高サンプリングレート (振動加速度500kHz、バグフィルタ差圧で記録間隔1s) でのデータ取得、モバイルルータ経由でクラウドへデータ転送を1ヶ月間実証
- 得られたデータから非線形回帰 (Gaussian Process Regression) による異常度判定 を達成

## ②導入可能性、環境・経済効果

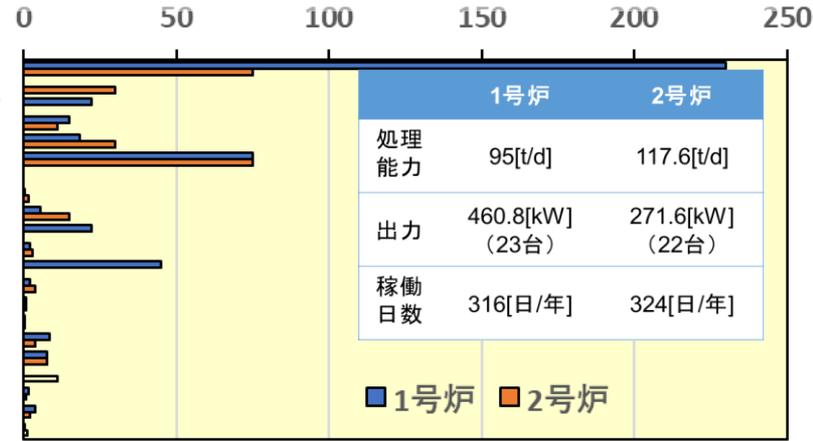
**研究目標** ICT・AI導入による維持・管理の高度化のサーマルリカバリープロセスへの導入可能性、及び環境・経済面に与える効果を明らかにする

### ◆焼却炉の減速機付機械装置への導入可能性を調査

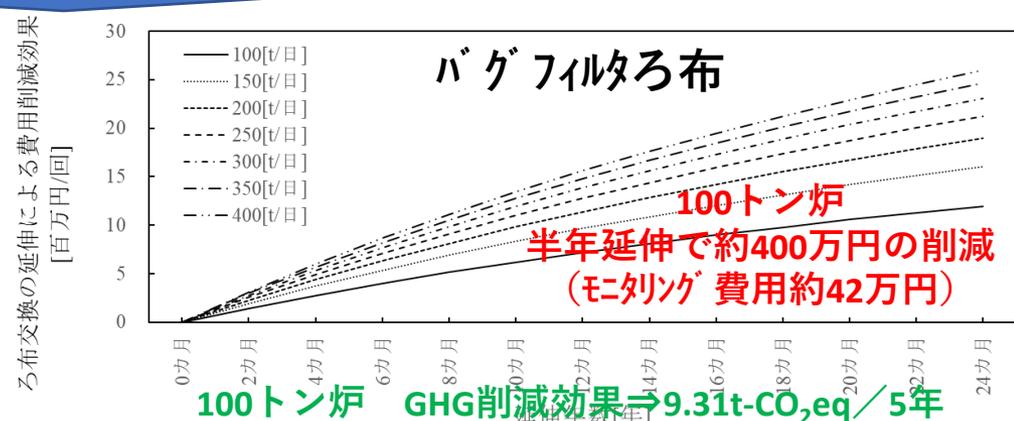
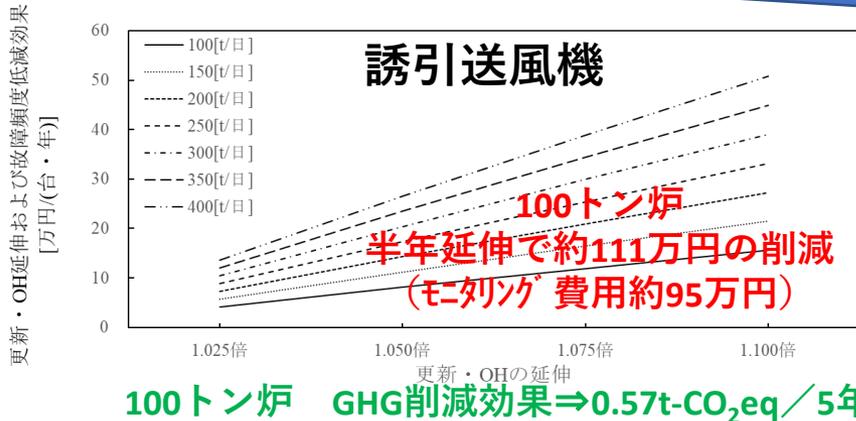


合計定格出力700kW以上、40台以上で導入可能

- 誘引通風機
- ボイラ給水ポンプ
- ロータリーキルン減速機
- クレーン減速機
- 消石灰供給ブロウ
- ガス冷スクレパ
- 主灰コンベア
- バグロータリーバルブ
- ごみ供給コンベア
- ストーカー下主灰コンベア
- ボイラ・ガス冷二重ダンパ



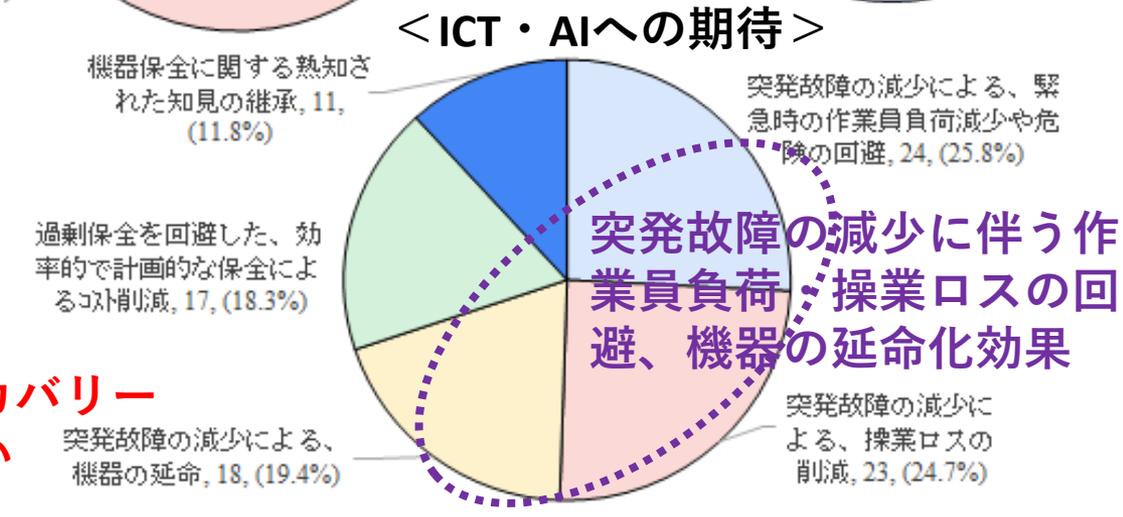
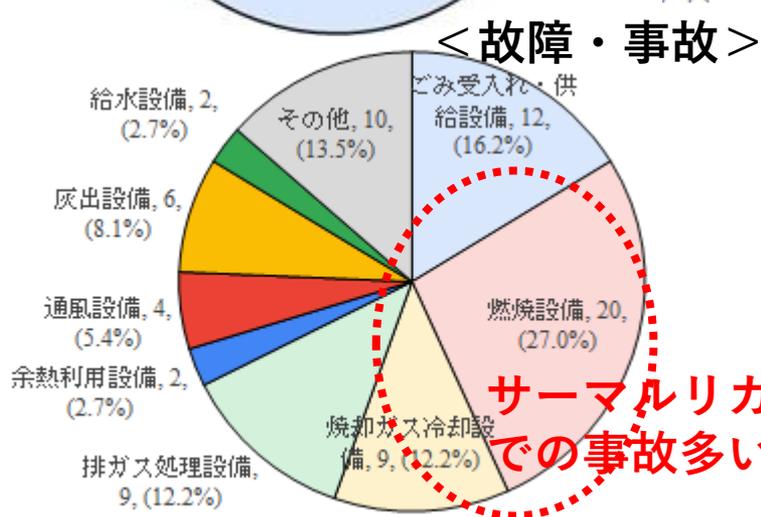
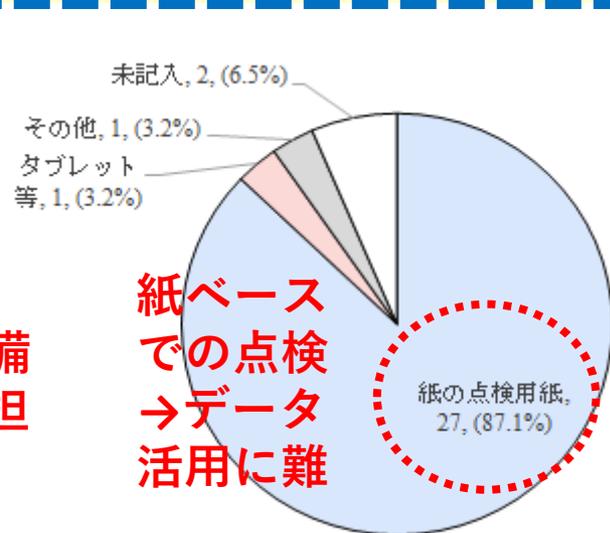
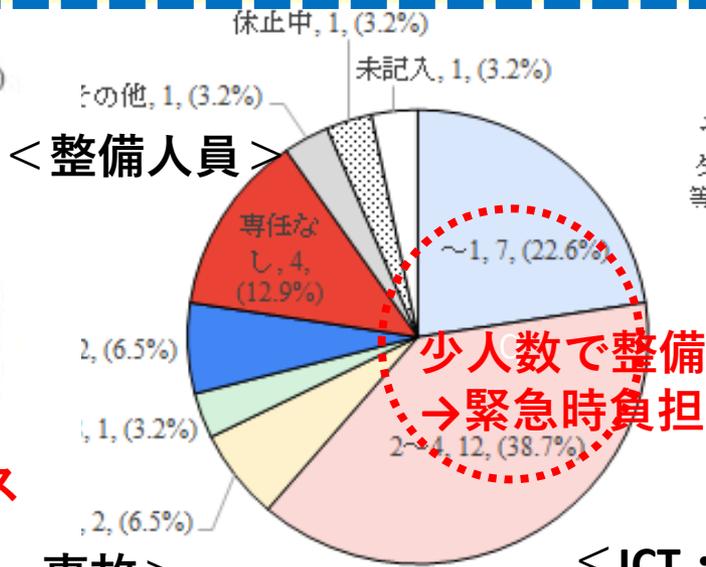
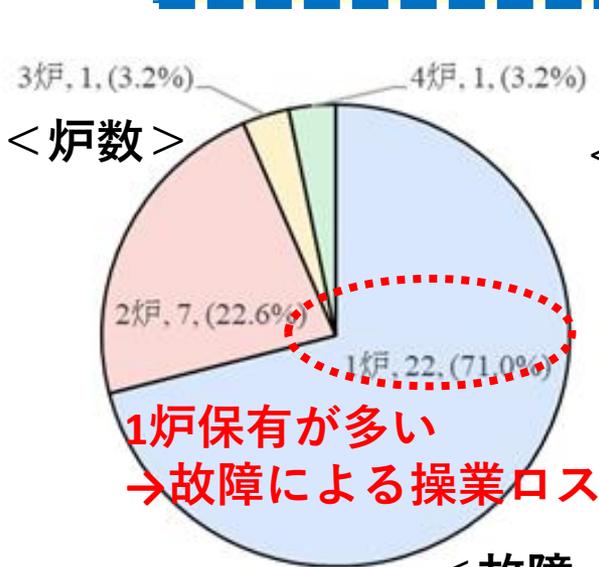
### ◆ICT・AI導入→機材（誘引送風機、バグフィルタろ布）交換延伸に伴う環境・経済効果推計



- 焼却炉内の減速機付機械装置の殆どで導入可能であることを把握
- 100トン炉・半年延伸で十分な費用対効果（大規模炉，延伸期間拡大なら導入メリット拡大）

## ②導入可能性、環境・経済効果

研究 目標 ICT・AI導入による維持・管理の高度化のサーマルリカバリープロセスへの導入可能性、及び環境・経済面に与える効果を明らかにする

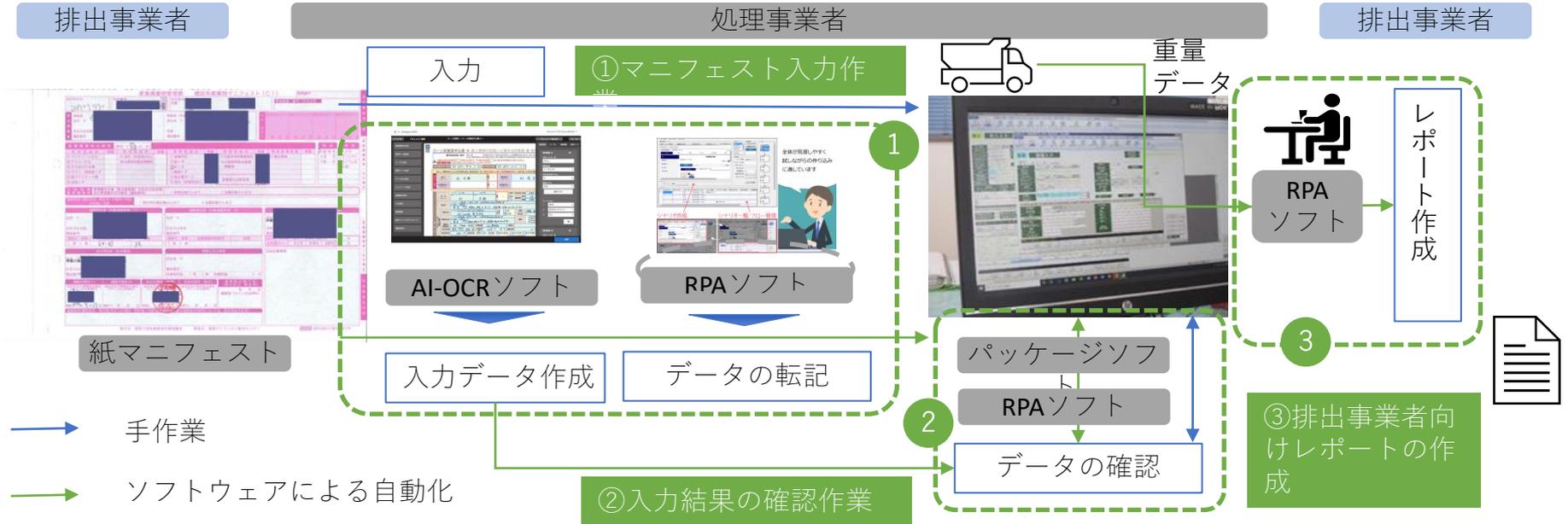


産業廃棄物処理業者へのWEBアンケートで施設維持管理の高度化ニーズを把握

# 1 事務処理業務の自動化システムの構築

## 自動化システムの概要

- AI-OCR（Artificial Intelligence - Optical Character Reader）とRPA（Robotic Process Automation）を用いて事務処理業務の自動化・効率化するプロトタイプを構築し、導入前後で作業時間を計測。
- 対象業務は、①マニフェスト入力作業、②入力結果の確認作業、③排出事業者向けレポートの作成。

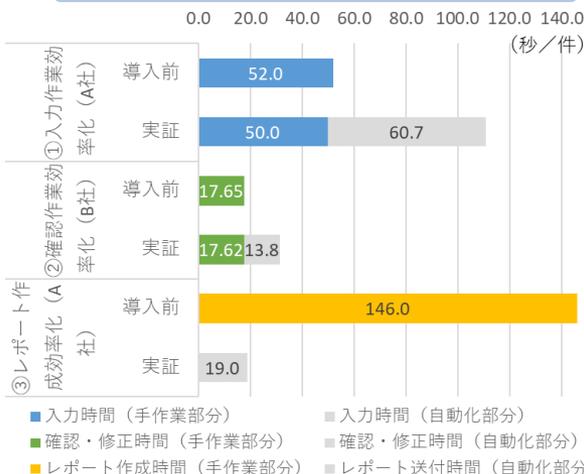


# 1 事務処理業務の自動化システムの構築

## 結果

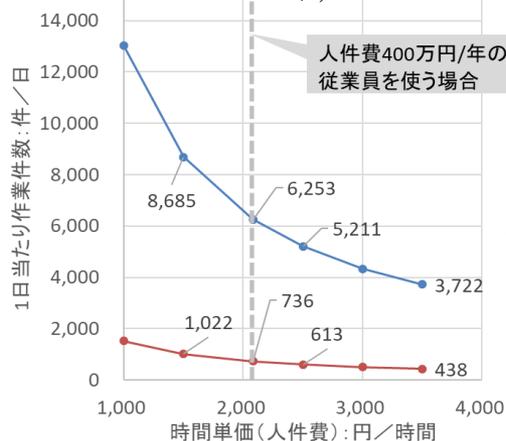
- 紙マニフェストの読取精度は平均して70～87%で、入力・確認作業（①、②）の時間を削減するには、読取精度の向上や入力内容の詳細なプログラム化を実現する必要がある。目安として、紙マニフェストの作業件数が500～1,000件/日の企業であれば、費用対効果が生まれる。
- 既にデジタル化された情報を用いた排出事業者向けレポートの作成作業（③）は、RPAにより大幅に時間を削減することができる。

導入前後の作業時間の計測結果

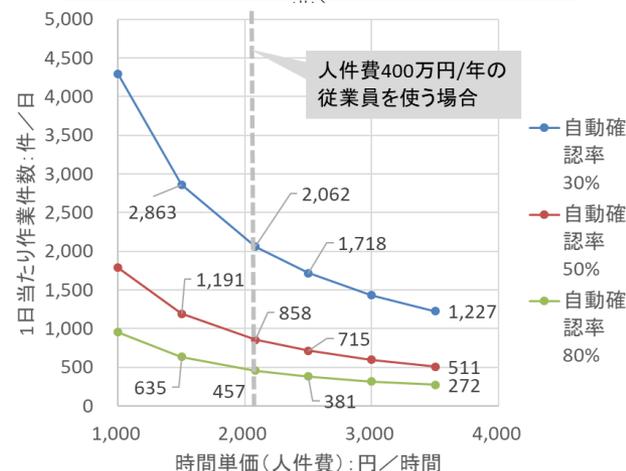


(注) 入力作業、確認作業は毎日行うのに対して、レポート作成業務は月1回のみ。

導入効果を生む作業件数 (入力作業)



導入効果を生む作業件数 (確認作業)

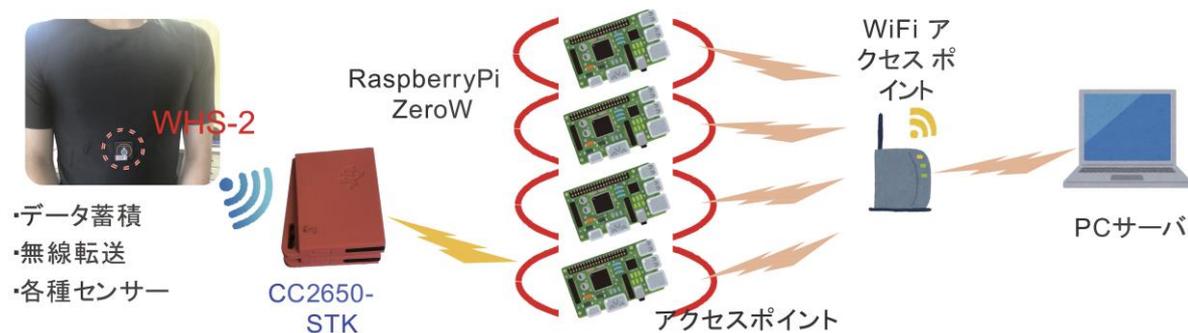


(注) 自動確認率: AI-OCRの全ての読取結果が、既にシステムに入力されている情報と一致し、自動的に確認済みとなる紙マニフェストの割合。

## 2 ウェアラブル機器を用いた安全管理システムの構築

### 計測システムと実態調査の概要

- 作業者が着用するスマートウェア(COCOMIR)と計測機器(WHS-2、WHS-1)にて心拍数などの生体情報を取得(図参照)
- 暑さ指数計(AD-5696)、温度計(RC-5+)、温度・湿度計(Watch Logger 255F)も活用
- 廃棄物処理施設(2業者)の作業員(混合廃棄物の手分別作業、医療系廃棄物の積み下ろし作業等)計85人日、収集運搬(3業者)の作業員計63人日を対象
- WBGT値及び心拍数を用いて熱中症の危険性を判定、心拍数を用いて労働強度(労働負荷)を判定

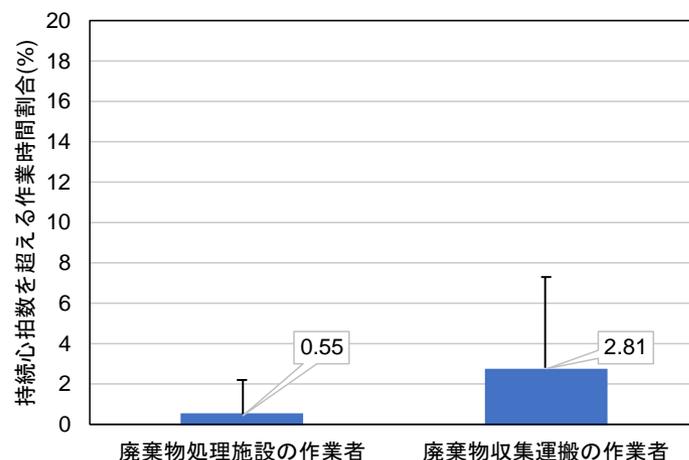
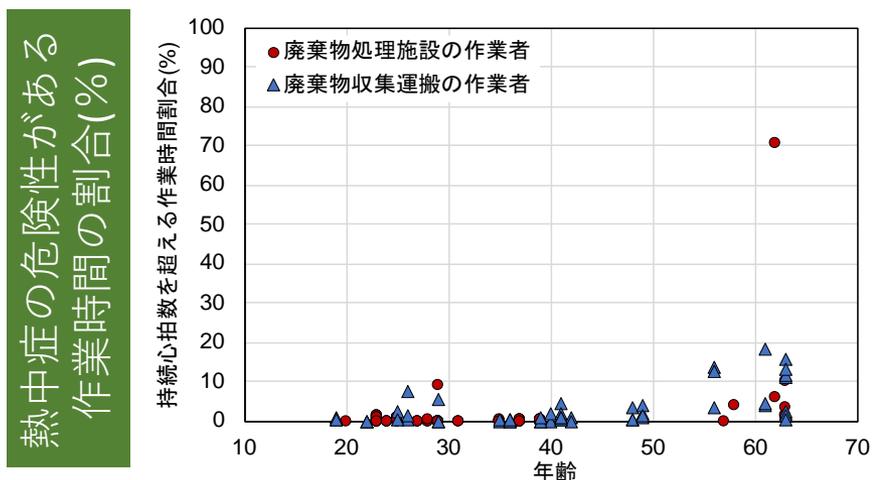


## 2 ウェアラブル機器を用いた安全管理システムの構築

### 結果

- 年齢の高い作業者のほうが持続心拍数を超える時間が長く、熱中症の危険性が高まる傾向。ただし、年齢が高くても問題ない作業者も。
- 廃棄物処理施設での作業者と廃棄物収集運搬の作業者を比較すると、後者の方が熱中症の危険性が高まる傾向。
- 労働強度も同様。アンケートの結果によると、労働強度が高いと把握された時間のうち、半分程度の時間しか作業者はしんどいと感じない

結果 → 情報通信技術を用いることで第三者からの注意喚起・警告等が可能となり、安全管理を高度化可能



## 5-2. 環境政策等への貢献

- すでに活用された成果
  - 本研究事業の実施者（松本、小野田、藤井、橋本）が参画する「廃棄物処理・リサイクルにおけるDX推進のための研究会」が作成した「**廃棄物処理・リサイクルに係るDX推進ガイドライン～処理業者編～**」が、2022年3月に公開された。本研究事業において得られた知見を盛り込んでいる。
- 活用が見込まれる成果
  - **排出量予測とルート・配車の最適化手法**については、自治体が主導して構築された廃棄PVのスマート回収を対象にその効果を実証しており、今後活用が見込まれる。
  - **中間処理業者の最適スケジューリング**については、効果が明確になったことで、今後、廃棄物の到着量の変動とその不確実性を考慮した施設運用計画策定において活用が見込まれる。
  - **WCM（Work Chain Management）**に関しては、電子マニフェストへの接続が可能であり、トレーサビリティシステムの信頼性を向上させることに貢献し、マニフェストやリサイクル法等に係る報告書類作成の効率化に大きく寄与する。さらに、環境省が推進している資源循環プラットフォームや今後、リユース・リサイクルへの取り組みが求められるリチウムイオン電池や太陽光パネルのトレーサビリティの基盤システムとしての活用が見込まれる。

## 5-2. 環境政策等への貢献

- 活用が見込まれる成果
  - **AI画像診断システム**は、実用レベルに近づいており、こうした新しい仕組みを導入した分別支援システムは、民間事業者のみならず、自治体等の廃棄物処理・資源循環政策に寄与することが可能となる。とりわけ、社会問題となりつつある小型リチウムイオン電池等を原因とする火災事故の防止策として、AI画像診断システムは有効な対策となりうる。
  - **製造工場への蒸気供給の有効性**について、40機関を超える関係者で情報共有を進め、事業化に向けた検討体制の構築を試みた結果、複数の場所での実現可能性調査を開始することができた。近い将来の実現可能性が高まっているといえる。
  - **予防保全のためのモニタリングシステム**は、一般廃棄物焼却施設においても適用可能であり、活用が見込まれる。また**デジタルデータの遠隔転送機能**については振動加速度や差圧以外の幅広い対象で導入可能であり、行政が所有する環境インフラでの活用が見込まれる。
  - **紙マニフェストの入力作業自動化、スマートウェアを利用した生体情報取得システム**の有効性を示すことができた。前者については産業廃棄物、後者についてはそれに加え一般廃棄物処理の現場においても導入が見込まれる。

## 6. 研究成果の発表状況

### 1. 誌上発表

- 査読付き論文 19件 (→次ページ)
- 査読付論文に準ずる成果発表 0件
- その他誌上発表 (査読なし) 9件

### 2. 口頭発表 (学会等) 48件

### 3. 「国民との科学・技術対話」の実施 8件

- 廃棄物資源循環学会 春の研究討論会 (2021、2022年度)
- 土木学会 環境システムシンポジウム 他

### 4. マスコミ等への公表・報道等 9件

- 環境新聞 (全国版) への連載  
「令和」を拓く資源循環イノベーション

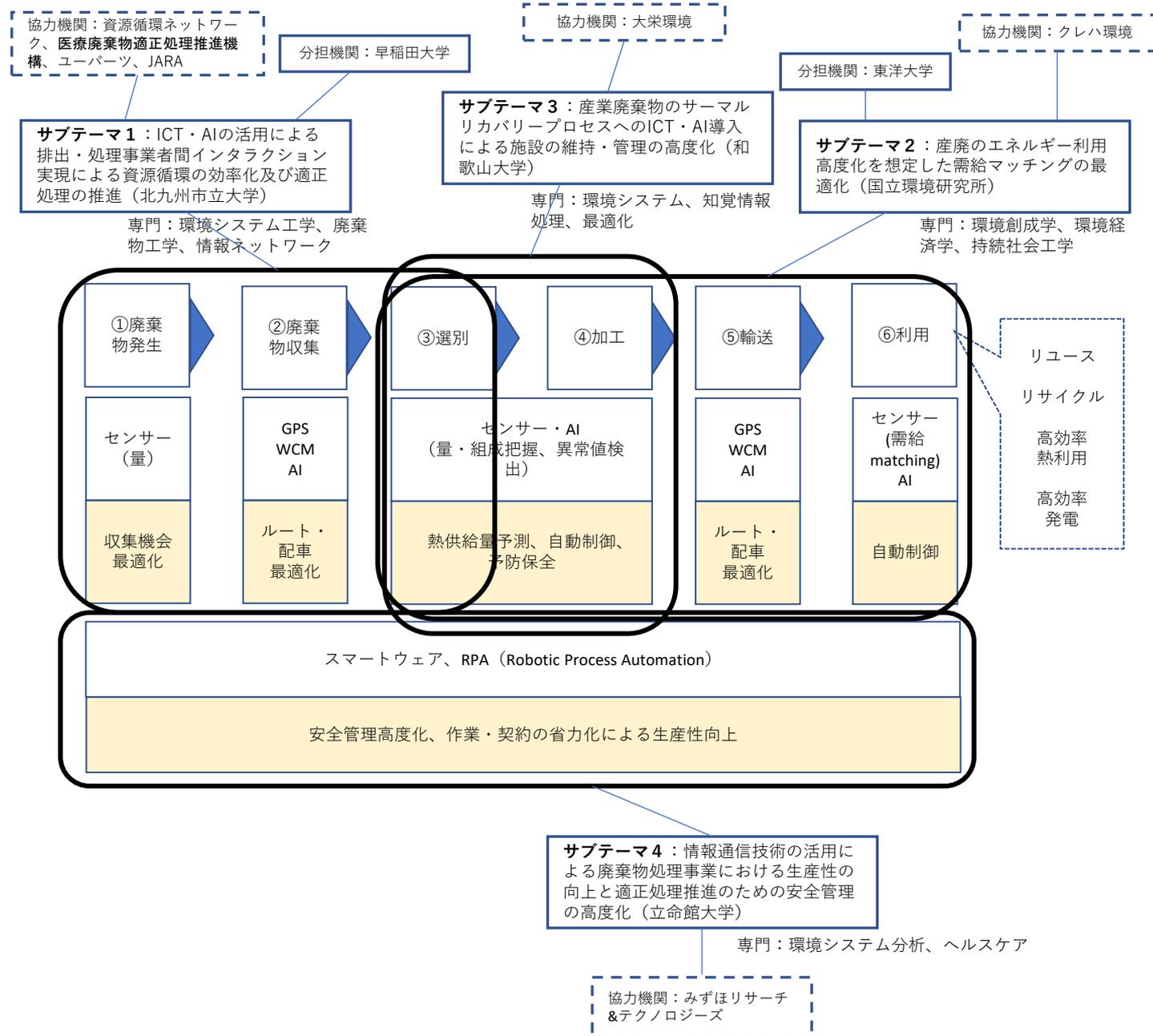
### 5. 本研究費の研究成果による受賞 5件

- 環境科学会 学術賞、奨励賞
- 廃棄物資源循環学会 優秀発表賞 他

## 6. 研究成果の発表状況(主な査読付き論文)

- 1) Richao Cong, Atsushi Fujiyama, and Toru Matsumoto, 環境科学会誌, 印刷中 (2022) AI Techniques Aid for Optimizing the Collection System of Industrial Plastic Waste
- 2) Richao Cong, Atsushi Fujiyama, and Toru Matsumoto, 環境科学会誌, 印刷中 (2022) AI Techniques Aid for Predicting the Collection Demands of Industrial Plastic Waste from Multiple Facilities
- 3) 伊藤友輔、栗栖亜矢美、合澤勝之、古閑宏幸、藤山淳史、松本亨：環境科学会誌, 印刷中 (2022) 中間処理施設における廃棄物処理計画モデルの改良
- 4) 吉留大樹、横山健太郎、程天驕、石井美也紀、小野田弘士：環境科学会誌, 印刷中 (2022) 排出事業者と収集・運搬事業者のインタラクションを考慮したトレーサビリティシステムの構築－医療廃棄物の小口回収を例として－
- 5) 胡浩、楊文博、程天顥、小野田弘士：環境科学会誌, 印刷中 (2022) 自動車リサイクル部品を対象としたAIによる画像診断システムの構築に向けた実験的検討
- 6) 藤井実、大西悟、牧誠也、岡寺智大、後藤尚弘：環境科学会誌, 印刷中 (2022) 廃棄物焼却熱の産業での活用を推進するための情報共有と安定需給に関する検討
- 7) 仮谷有優美、中尾彰文、山本秀一、吉田登：土木学会論文集G (環境) (76, 6), II\_319-II\_331 (2020) 下水処理場へのICT導入時の対象機器やシステム運用の違いが維持管理費用削減に及ぼす影響を評価する分析フレームの提案と基礎的検討
- 8) 中尾彰文、山田崇雄、和田俊和、吉田登：環境科学会誌, 印刷中 (2022) ICTを用いた産業廃棄物焼却プラント機材の予防保全モニタリング手法の開発とその効果
- 9) 秋山浩之、西野京一郎、北井俊樹、橋本征二：環境科学会誌, 印刷中 (2022) AI-OCRとRPAを活用した紙マニフェストの入力作業効率化に関する計測事例
- 10) 蔭山逸行、橋口伸樹、曹剣飛、塘将典、岡本宗一郎、橋本征二、児玉耕太：環境科学会誌, 印刷中 (2022) 廃棄物処理施設作業員の生体情報を用いたヒューマンリソースマネジメント

# 【補足】研究体制



# 【補足】ICT・AI技術と静脈系サプライチェーン

