

2022年度(令和4年度) 廃棄物資源循環学会 春の研究討論会

**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（セミナーD）**

日 時：2022年5月26日（木） 10:00～11:30

利用システム：Zoomミーティング（完全リモート）

廃棄物資源循環学会 情報技術活用研究部会

2022年度 廃棄物資源循環学会 春の研究討論会
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

情報技術活用研究部会

1. 開催概要

【趣 旨】

静脈系サプライチェーンの最適なマネジメントのために適用可能なICT・AIの導入ポテンシャルの探索、システム開発と導入による効果に関する環境面・経済面・安全面から評価について実施した、2019年度環境研究総合推進費「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（JPMEERF20193005）」の研究成果を報告するとともに、廃棄物処理・リサイクル業界における今後のICT・AIの導入における可能性について検討します。

【タイトル】 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

【主 催】 廃棄物資源循環学会 情報技術活用研究部会

【日 時】 2022年5月26日（木） 10:00～11:30

【利用システム】 Zoom（本セミナーはZoomを用いた完全オンラインで開催）

【定 員】 500アカウント

【参加費】 無料

2. プログラム

進行：情報技術活用研究部会 幹事 松岡浩史（資源循環ネットワーク）

【研究紹介】

- ① **排出・処理事業者間インタラクションの手法と最適化**
 - 北九州市立大学 環境技術研究所 教授 松本 亨氏
- ② **収集過程のトレーサビリティの手法と効果**
 - 一般社団法人廃棄物適正処理推進機構 石井 美也紀氏
- ③ **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**
 - 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 藤井 実氏
- ④ **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**
 - 和歌山大学 システム工学部 教授 吉田 登氏
- ⑤ **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**
 - 立命館大学 理工学部 環境都市工学科 教授 橋本 征二氏

3. 連絡先等

廃棄物資源循環学会 情報技術活用研究部会 幹事 松岡浩史

メールアドレス：h.matsuoka@trace-recycle.or.jp

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

平成31(2019)年度環境研究総合推進費

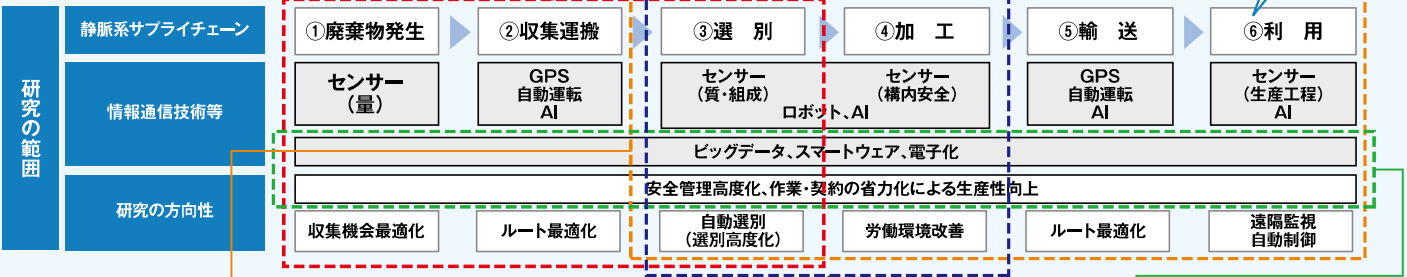
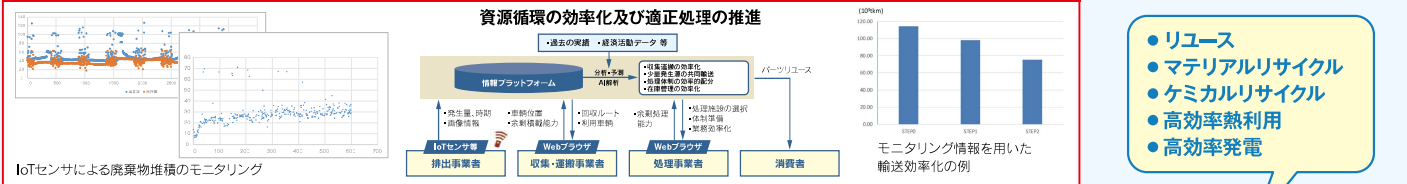
北九州市立大学・国立環境研究所・和歌山大学・立命館大学 等

◎研究のイメージ

研究の目的

- 産業廃棄物の発生から選別・加工・再利用に至るプロセスを静脈系サプライチェーンと位置づけ、その最適マネジメントのために適用可能なICT・AIの導入ポテンシャルを調査・検証する
- 具体的な導入ステージを想定し、ICT・AI技術を活用したシステム開発と導入による効果を環境面・経済面・安全面から評価する
- 静脈系サプライチェーン全体を通じたマネジメント最適化に対するICT・AI技術の有効性評価を示す

【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



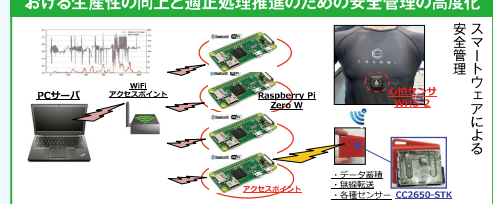
【サブテーマ2】産廃のエネルギー利用高度化を想定した需給マッチングの最適化



【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



【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



◎概要

産業廃棄物の発生から選別・加工・再利用に至るプロセスを静脈系サプライチェーンと位置づけ、その最適マネジメントのために適用可能なICT・AIの導入ポテンシャルを探索した上で、具体的な導入ステージを想定したシステム開発と導入による効果を、以下の4つのサブテーマによって環境面・経済面・安全面から評価する。さらに、その展開可能性と導入効果についての拡大評価についても実施する。

【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(松本 亨・北九州市立大学)

収集運搬効率化やリユース・パーツ生産工程の自動化などに資するセンシング技術(センサー+IoT)、アルゴリズム(AI)による機械学習・ディープラーニングモデルを含む、インタラクションの仕組み(情報プラットフォーム:PF)についてプロトタイプを開発し、実証によってモデルの検証および改良を行い、汎用性のあるモデルとPF型ビジネスモデルの提示を行う。

【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(藤井 実・国立環境研究所)

産業への熱エネルギー供給を中心とする産業廃棄物処理のエネルギー利用高度化に向けて、情報技術活用方法を調査した上で、エネルギー利用のための需給マッチングシステムの基本設計を行う。焼却施設等の遠隔運転、自動運転など、IoTやAIを活用する技術動向も把握しながら、提案するシステムの費用対効果や、普及のポテンシャル推計を行う。

【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(吉田 登・和歌山大学)

産業廃棄物のサーマルリサイクル(焼却)施設における機械学習の導入による原動機系、素材系を対象とした維持・保全の高度化の評価を行い、換業環境をふまえて導入可能なICT・AIシステムの提案と産廃サーマルリサイクルプロセス全体での維持・保全の高度化の可能性と環境・経済面での効果を明らかにする。

【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(橋本 征二・立命館大学)

中間処理施設や収集運搬の作業者が着用するスマートウェアから生体情報・動作情報等を収集して、作業者の作業効率や体調・危険領域への進入状況等を分析し、生産性の向上と安全管理の高度化のための評価を行う。また、廃棄物処理業における各種事務処理を対象として、RPA等の活用による生産性の向上の評価を行う。

◎実施体制

研究代表者	松本 亨 (北九州市立大学)		
サブテーマ	実施	分担	連携
1	北九州市立大学	早稲田大学	資源循環ネットワーク 医療廃棄物適正処理推進機構 ユバーツ、素しい
2	国立環境研究所	東洋大学	クレハ環境
3	和歌山大学		大栄環境
4	立命館大学		みずほ情報総研 京都環境保全公社、グーン

◎スケジュール

本研究は3カ年で実施し、2019年度はIoT・AI技術の導入可能性評価とプロトタイプの開発、2020年度は導入ステージ・業界を想定した情報技術の開発・実証、2021年度は導入効果の評価と展開可能性の分析を行う

2019年度	2020年度(2年目)	2021年度(3年目)	
センサー技術の検討、情報プラットフォームプロトタイプの開発	実際のデータをもとにした検証	社会実装に向けたビジネスモデルの検討	1
エネルギー需給マッチングの仕組みづくり	需給マッチングシステムの試行による課題の抽出	高度なエネルギー回収システムの可能性評価	2
中間処理施設における予測検出システムのプロトタイプ開発	プロトタイプの範囲拡大と活用可能性の検討	維持・保全高度化の可能性と効果の把握	3
スマートウェアやRPAの活用に関する予備実験	スマートウェアやRPAの活用に関する事例蓄積と改善	各ソリューションの体系化と生産性向上・安全管理高度化効果の評価	4

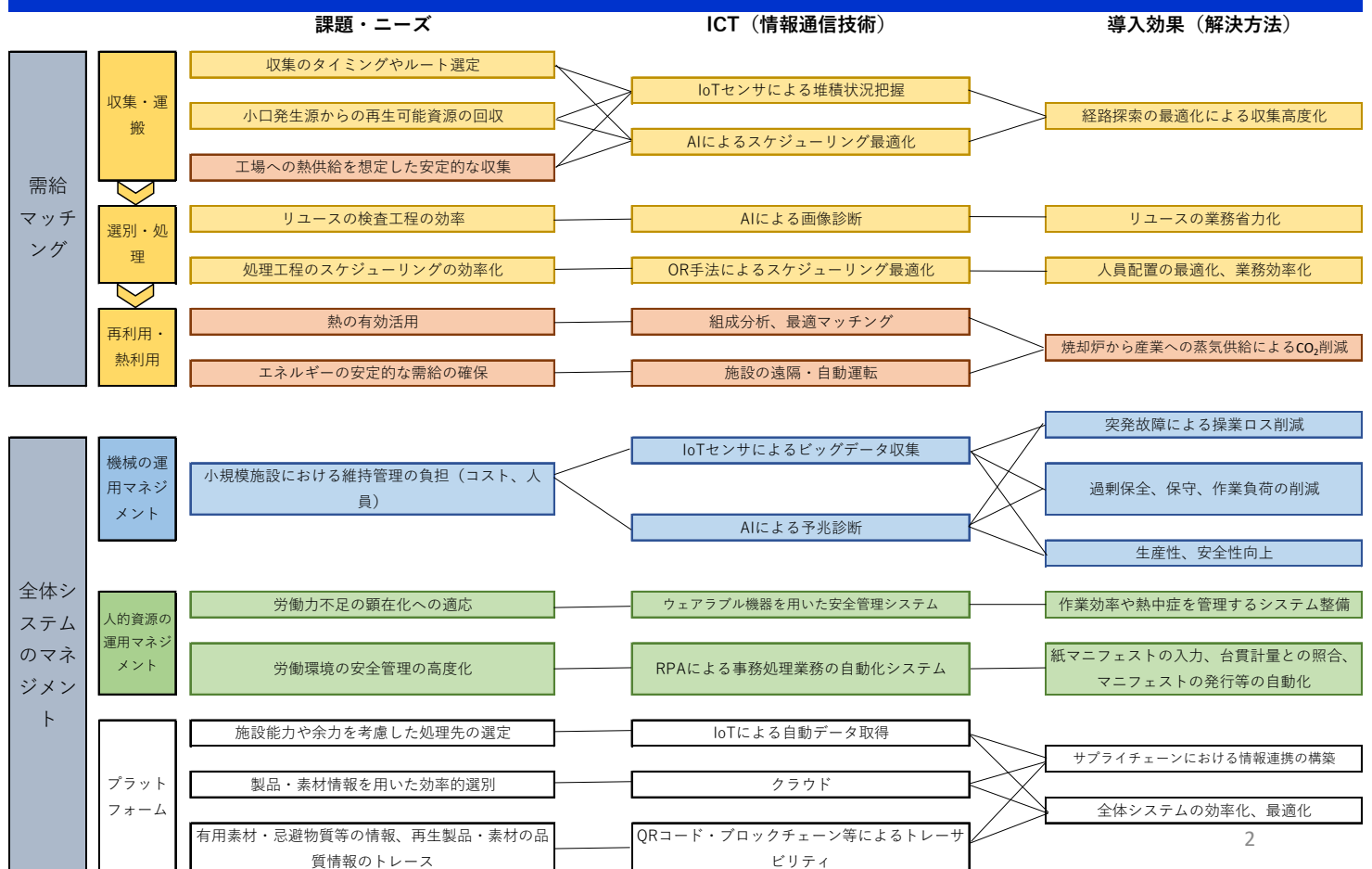
① 排出・処理事業者間インタラクションの手法と最適化
北九州市立大学 環境技術研究所 教授 松本 亨氏

排出・処理事業者間インタラクションの 手法と最適化

環境研究総合推進費 3-1905
 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

北九州市立大学 環境技術研究所
 松本 亨

研究背景(課題・ニーズ、技術、期待される効果)



研究背景

研究背景

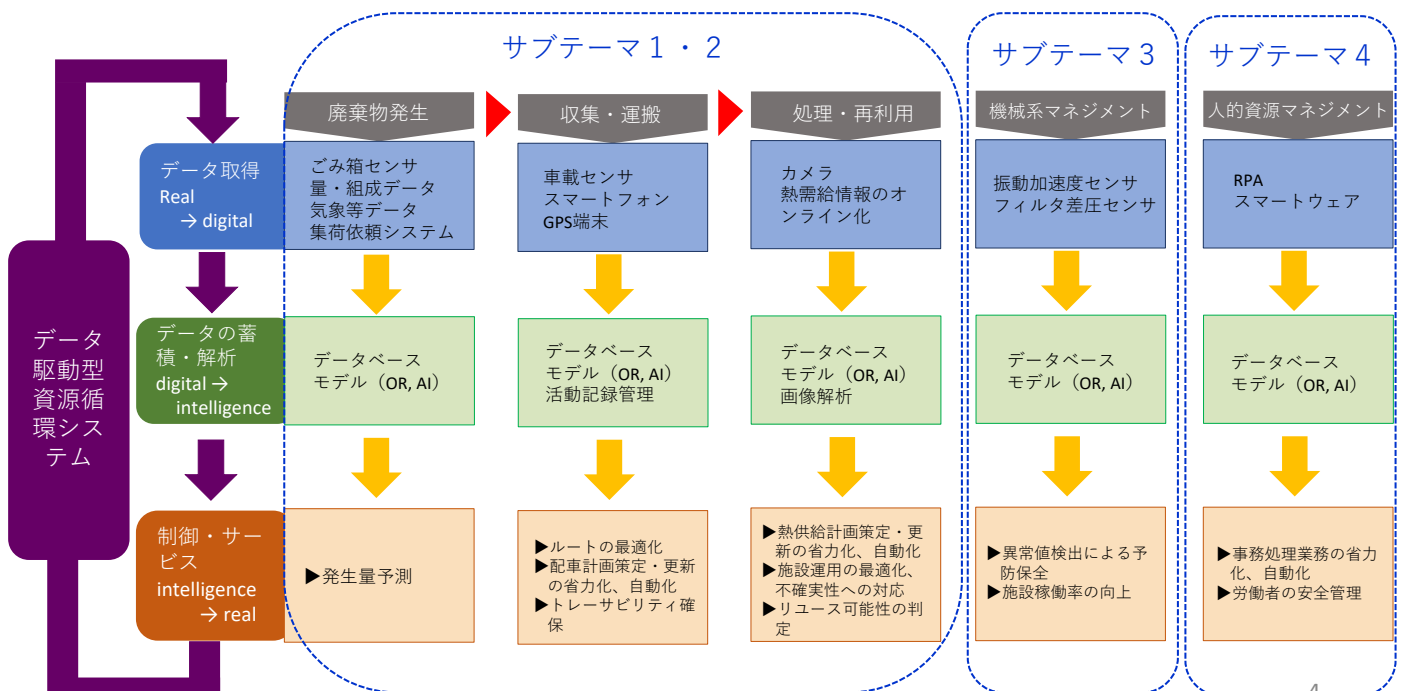
- 環境面での対策強化や労働力不足等多くの問題に直面しているが、これらに対する解決策の1つとして、IoT・AIを含む情報技術を活用した廃棄物回収、中間処理工程等の省人力化やリサイクルの経済性向上、マテリアル品質・エネルギー管理の高度化による大幅な低炭素化や資源回収の促進が挙げられる。
- 廃棄物・資源循環分野においても情報通信技術を用いることで、よりクリーンでスマートな産業となることが、大量生産・大量消費型社会の変革と労働力の安定的確保に繋がり得ると考えられる。

3

研究の目的

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。



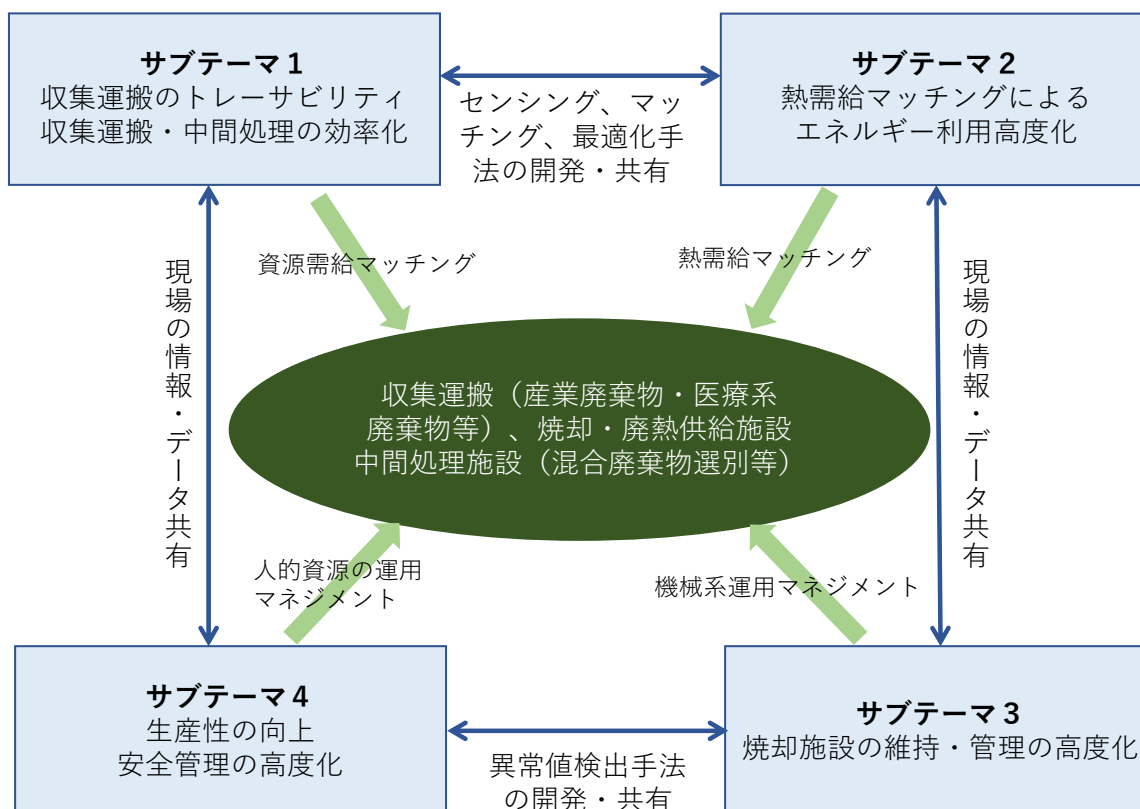
4

研究の目的

- 全体
 - 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。

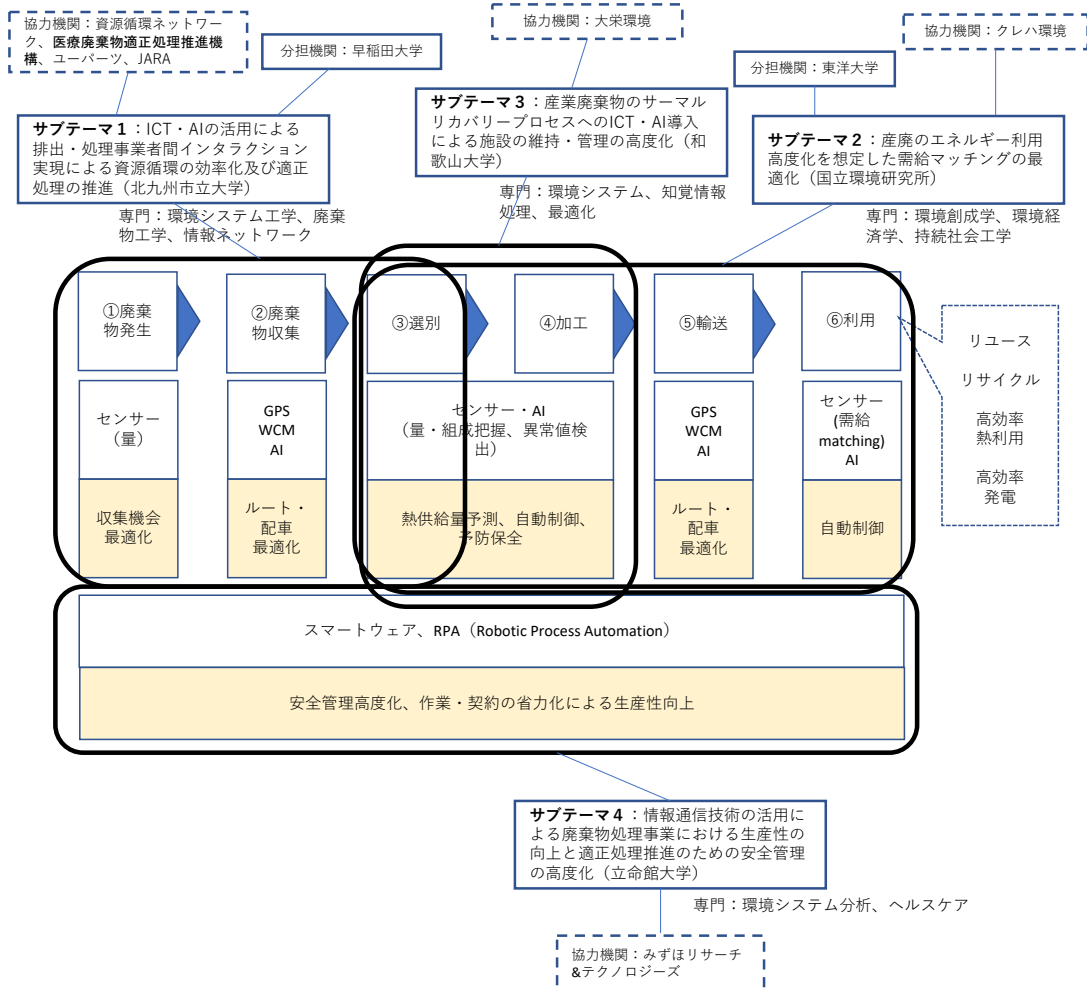
5

研究体制



6

研究体制



7

研究内容

1. IoTセンサの利用可能性

熊軼凡、吉田未希也、伊藤友輔、古閑宏幸：2019年度電気・情報関係学会九州支部連合大会（2019）リサイクル事業におけるリアルタイムIoTセンサ情報可視化システムの試作

2. 廃棄物発生量（回収需要量）の将来推計

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

3. 収集運搬の最適化

- ルート回収
- スポット回収

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

4. 中間処理施設運用の最適化

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

伊藤友輔、安部大輝、古閑宏幸、藤山淳史、松本亨：廃棄物資源循環学会誌, 印刷中（2022）中間処理施設における廃棄物処理計画の最適化

8

IoTセンサと廃棄物、利用環境の適合性

	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	×	×	×	×	×	×	○	○	○

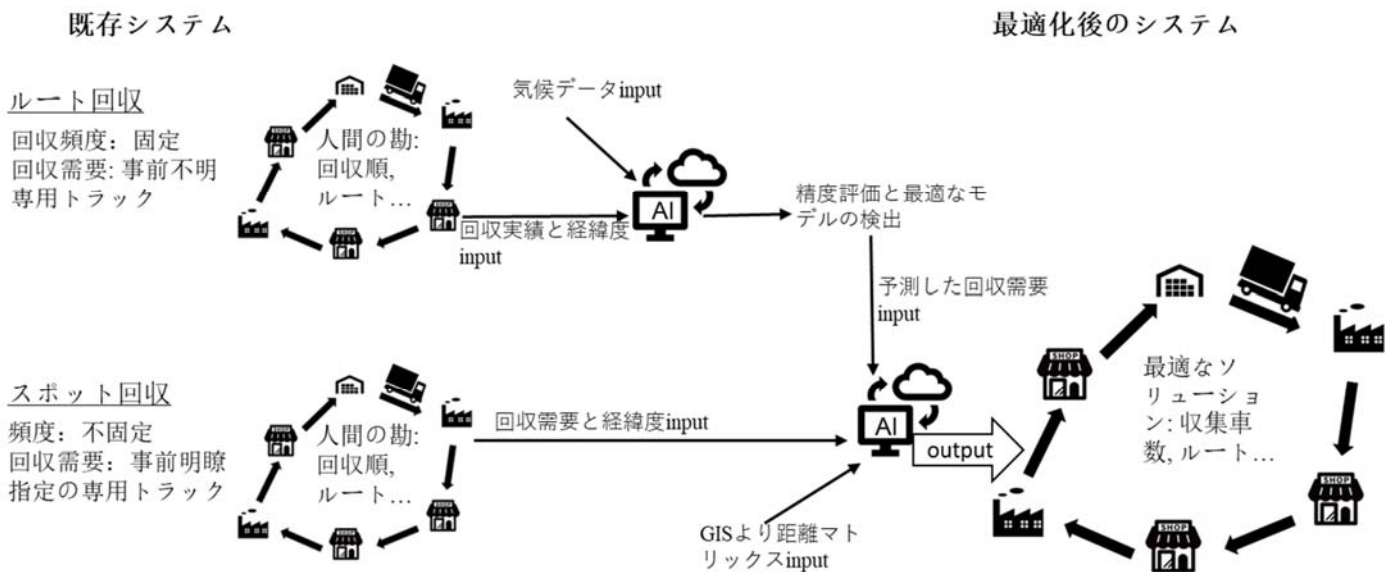
10cm ~ 100cmでの測距性能

◎：高精度、○：計測可能、△：要フィルタリング処理、×：測定不可

- 赤外線三角測距センサは、廃棄物処理現場での測距には適さない
 - 距離が投光されたレーザー光の対象物表面における反射角に大きく依存するため、廃棄物の多くの場合で安定しない
- 赤外線ToF測距センサ（特にD社のVCSEL（垂直共振器面発光レーザー）センサ）は、屋内環境においてほとんどの対象物を高精度で測量可能であること、さらには高湿度環境における耐性を持っている
 - 直射日光や霧の水蒸気は赤外線波長特性に影響を及ぼすため、精度が劣化することに注意しなければならない。
- 超音波測距センサは、比較的環境耐性が高く、赤外線ToF測距センサと比較して若干精度は落ちるものの適用範囲が広い
 - 気温による音速の変化、測定環境固有の反射波形が測定値に影響を与えるため、別途フィルタリング処理が必要であることに注意しなければならない。
- 実際の導入には価格や耐久性との関係も精査することが必要

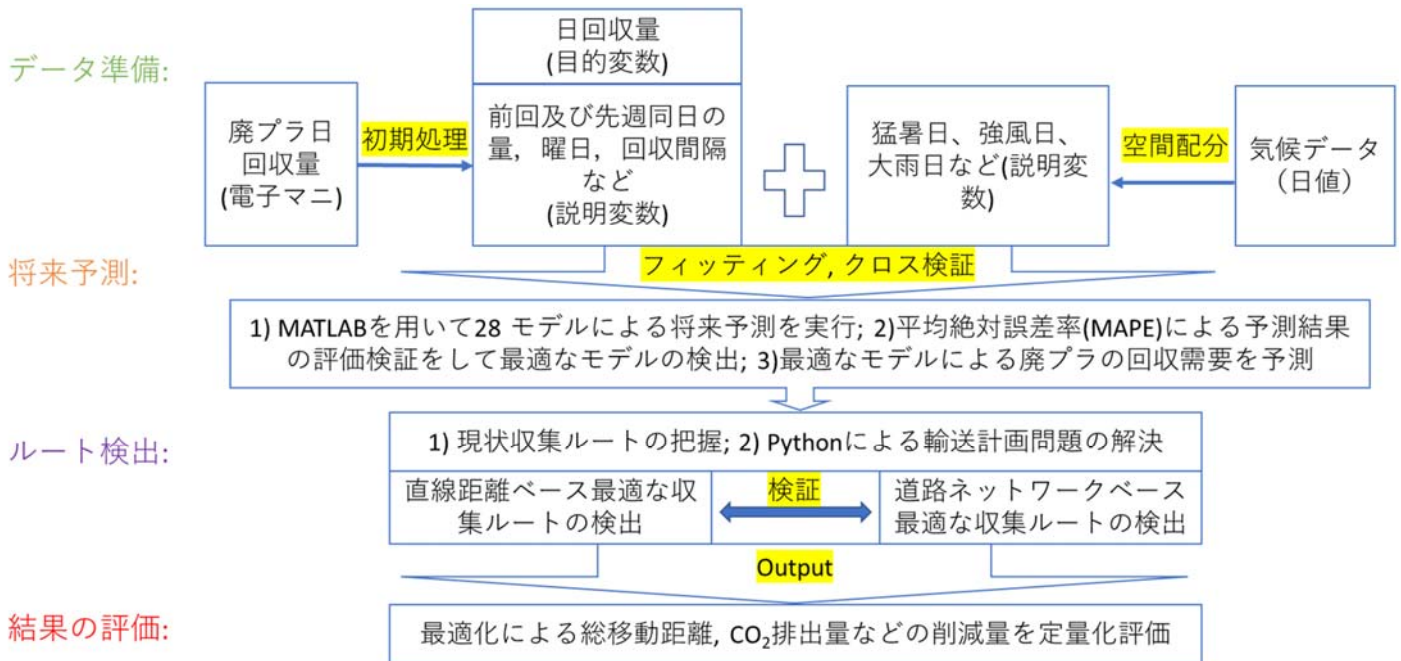
9

廃棄物の収運最適化の概念図



10

解析フロー(発生量予測→ルート最適化)



AI技術を用いた廃プラ収集システムの効率化に関する解析フロー

廃プラ回収需要量の将来予測

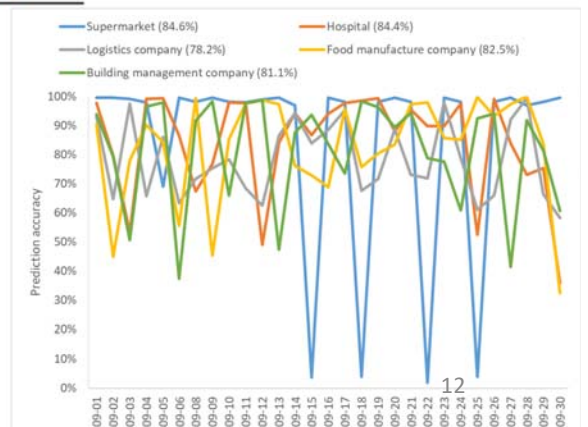
本研究で利用した独立変数のまとめ

変数名	概要
Day_num	日付順番 2018.4.1 ~ 2020.9.30
Weekday	曜日
Pre_d_climate	前日の気候による影響(カテゴリータイプ): 風速 $\geq 10 \text{ m s}^{-1}$, 日降雨量 $\geq 20 \text{ mm}$, 最高気温 $\geq 35 \text{ degree}$
Pre_d_holiday	前日による休日可否の影響
Interval	前回回収日との間隔
Num_fday	前回回収日の回収量
Num_sday_fw	先週と同じ曜日の回収量

産業系廃プラの回収実績の概略(5施設)

施設種類	回収量 [kg/日]		標準偏差	回収実績数	気候区分
	最小値	最大値			
スーパー	10	50	19.4	6.3	912 博多
病院	10	60	28.3	9.5	910 八幡
物流企業	40	520	225.8	86.2	909 福岡市
食品製造工場	70	1,120	593.1	153.5	912 大宰府
ビル管理会社	10	200	92.2	23.8	899 博多

福岡県内5つの施設における日回収需要量の予測結果(2020年9月、凡例の括弧内は予測精度の月平均値)



容量制限付輸送計画問題の定式化

$$\text{Min } \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in E} d_{ij} x_{ij}^k \quad 1)$$

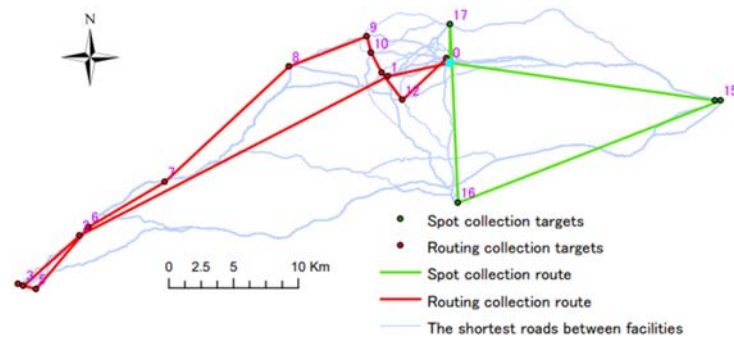
Subject to

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \in V \setminus \{0, i\}} q_j x_{ij}^k \leq Q \quad \forall k \in K \quad 2)$$

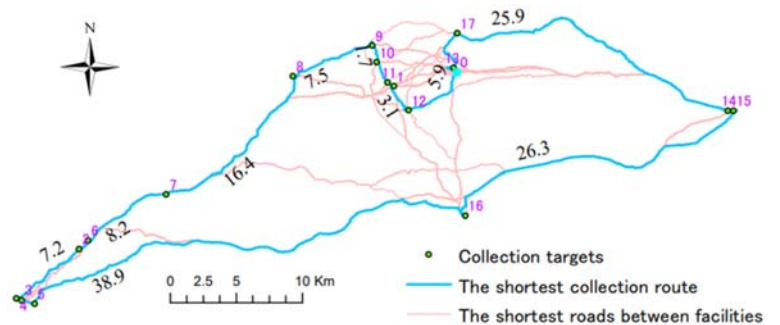
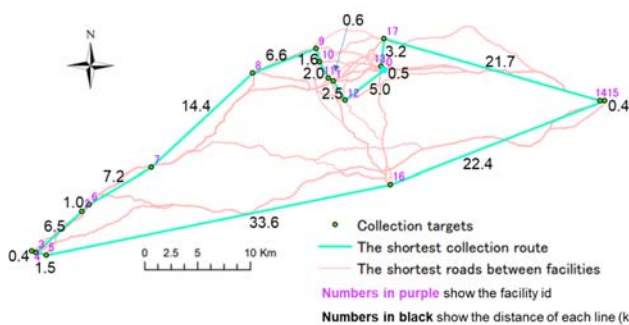
- ここで、式(1.1)は収集による総移動距離を最小とする目的関数、 d_{ij} は施設*i*と施設*j*間の距離(km)、 x_{ij} は施設*i*と施設*j*間のルートを経由するかどうかを表すバイナリ変数;
- 式(1.2)は施設から収集した廃プラの量 q_j (t)がトラックの最大積載量 Q 超えないようにする制約条件を定義している。なお、収集量の実績を踏まえ、本研究では2トントラック1台が1回で全ての拠点を回ると設計し、 $K=1, Q=2$ とした。

13

収集ルートの最適化



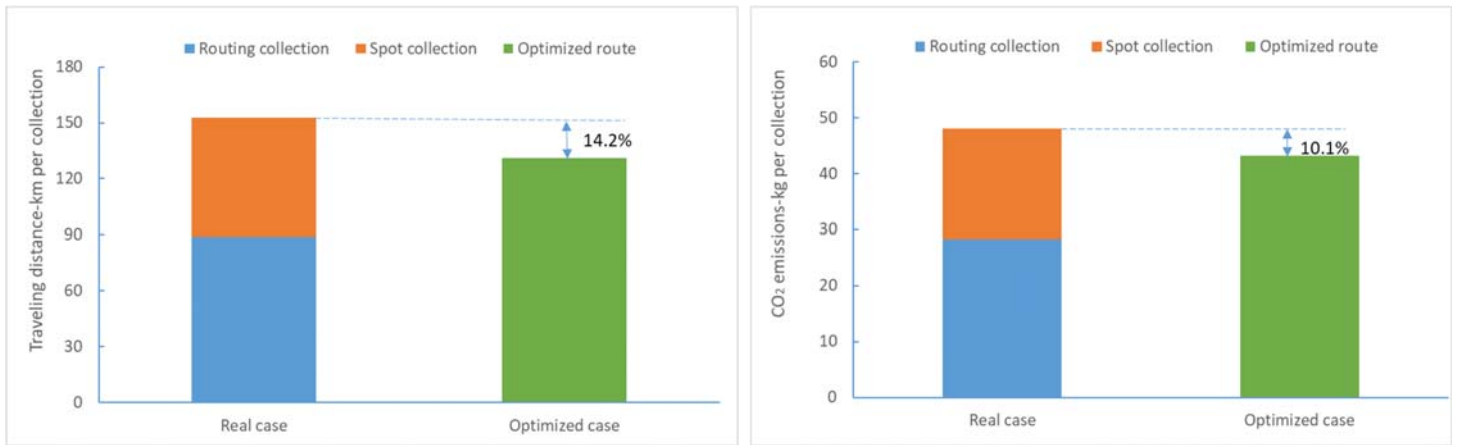
収集運搬業者の産廃プラスチック収集実績にもとづくルートと距離（赤線：ルート回収、緑線：スポット回収）



産廃プラスチック収集ルートの最適化結果（左：直線ベースの最短ルート、右：道路ネットワークベースの最短ルート）

14

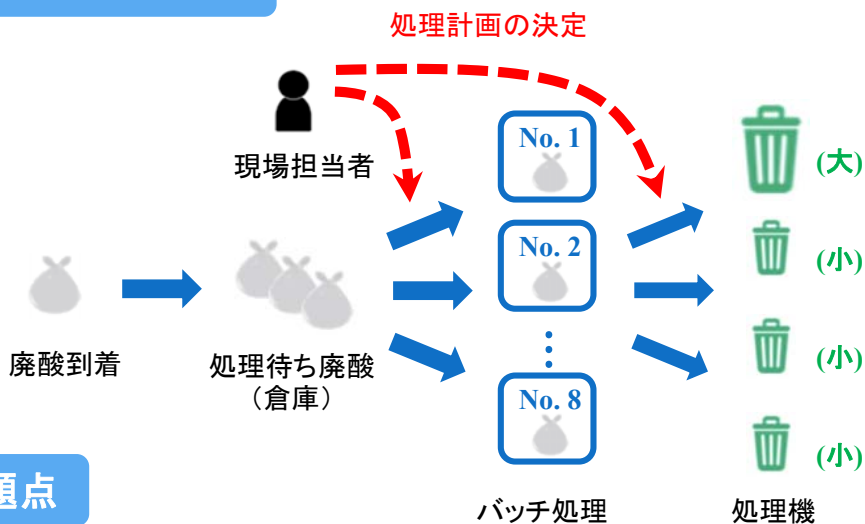
最適化による効果(ルート回収)



現状ケースと最適化ケースの解析結果（左：総移動距離、右：CO2排出量）

中間処理施設運用の最適化

廃棄物処理の流れ



課題点

- ① 現場担当者の経験や勘によって処理計画を決定するため、最適な処理計画といえない
- ② 廃棄物が計画通りに到着しない場合がある

目的／提案手法

① 線形計画法による処理計画決定手法

⇒ 目標処理量の達成, 人員配置や稼働回数等のコスト削減

② 到着量の変動を想定した対応手法

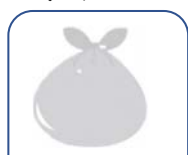
⇒ 計画外の到着発生時にも残量を最小化し, 処理施設の受け入れ能力向上を実現

17

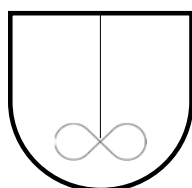
施設データ

・ 処理機の特性

バッチ



少量



小処理機

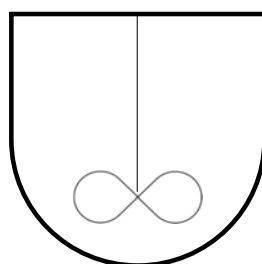
小処理機

基数・・・3台
1バッチ(1回)の処理時間・・・3時間
1日の全稼働回数・・・7回以下
(日勤に4回,夜勤に3回稼働可能)
1バッチ(1回)の処理量・・・平均**2420kg**

バッチ



多量



大処理機

大処理機

基数・・・1台
1バッチ(1回)の処理時間・・・3時間
1日の稼働回数・・・1回以下
(日勤に1回,夜勤に0回稼働)
1バッチ(1回)の処理量・・・平均**6920kg**

※小処理機は同時に稼働する台数を決めて処理を並行で行い、追加で処理する場合は時間が余っているか確認して稼働させる。

18

① 線形計画法による処理計画決定手法

目的関数:

コスト最小化

$$\min_x \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^{N_s} \sum_{k=1}^{N_t} c_j x_{i,j,k} y_k$$

費用コスト

$$c_j = \begin{cases} tp, & j = 1 \\ tp\alpha, & j = 2 \end{cases}$$

制約条件:

処理量の制約

$$\sum_{i=i}^T \sum_{j=1}^{N_s} \sum_{k=1}^{N_t} \mu_k x_{i,j,k} y_k \geq \mu_{min}$$

$$\begin{aligned} x_{i,1,1} y_1 &\leq 4 \\ x_{i,2,1} &\leq 3 \\ x_{i,1,2} &= 1 \\ x_{i,2,2} &= 0 \\ x_{i,j,k} &\geq 0 \end{aligned}$$

稼働回数の制約

x : 稼働回数

y_k : 稼働の台数

μ_{min} : 最低目標処理量 [kg]

μ_k : 処理量 [kg]

T : 期間 [day]

N_s : シフト数

N_t : 処理機の種類数

t : バッチ処理時間 [h]

p : 手当 [yen/h]

α : 日勤手当に対する
夜勤手当の割合

19

② 到着量の変動を想定した対応手法

処理量の制約

$$\sum_{i=i}^T \sum_{j=1}^{N_s} \sum_{k=1}^{N_t} \mu_k x_{i,j,k} y_k \geq \mu_{min}$$



$$\sum_{i=i}^T \sum_{j=1}^{N_s} \sum_{k=1}^{N_t} \mu_k x_{i,j,k} y_k \geq \mu_{min} \beta$$

処理余剰率 β の導入

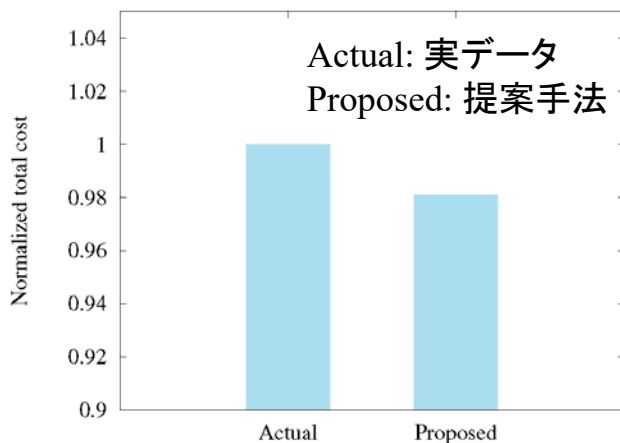
- 到着量が計画量と比べて**多い** ⇒ β を**大きく**
- 到着量が計画量と比べて**少ない** ⇒ β を**小さく**
- 到着量の変動量によって適切な β の設定は変化するが、今回は静的に与えるものとする

20

結果:

① 線形計画法による処理計画決定手法

総コスト(実データで正規化)



パラメータ設定

$T = 21$ [day]
 $N_s = N_t = 2$
 $y_1 = 3, y_2 = 1$
 $\mu_1 = 2420$ [kg], $\mu_2 = 6920$ [kg]
 $t = 3$ [h]
 $p = 1000$ [yen/h]
 $\alpha = 1.5$

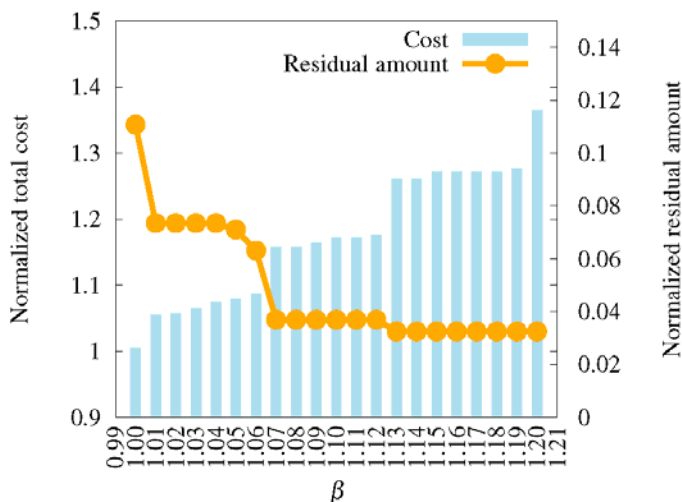
- 提案手法の総コストは実データと比べて改善
- 提案手法では夜勤の稼働回数を抑制できる

21

結果:

② 到着量の変動を想定した対応手法

コストと残量(実データで正規化)



パラメータ設定

$T = 52$ [week] (364 [day])
到着量 = 12 [kg/day]
到着量の変動範囲 = -5~5 [%]
到着量の変動分布 = $N(0, 3.04)$
※突発的変化の発生率 = 10 [%]

- β を大きくすると残量を低減できるが、コスト増加
- 今回の環境における適切な $\beta = 1.07$

22

中間処理施設運用の最適化:まとめ

- 処理計画の効率化を目的として「線形計画法による処理計画決定手法」と「到着量の変動を想定した対応手法」を提案
- 提案手法は実データと比べて総コストを改善できる
- 適切な処理余剰率 β の設定により, 提案手法は到着量の変動する状況下においても有効である

- 今後の応用を考えると
 - 制約条件のより現実的な設定
 - 予測技術による到着量推定からの長期的・短期的な処理計画の作成

謝辞

(独) 環境再生保全機構環境研究総合推進費 (JPMEERF20193005) により実施された成果の一部である。

② 収集過程のトレーサビリティの手法と効果

一般社団法人廃棄物適正処理推進機構 石井 美也紀 氏



収集過程のトレーサビリティの手法と効果

一般社団法人 廃棄物適正処理推進機構 (ADAMOS) (旧 医療廃棄物適正処理推進機構)

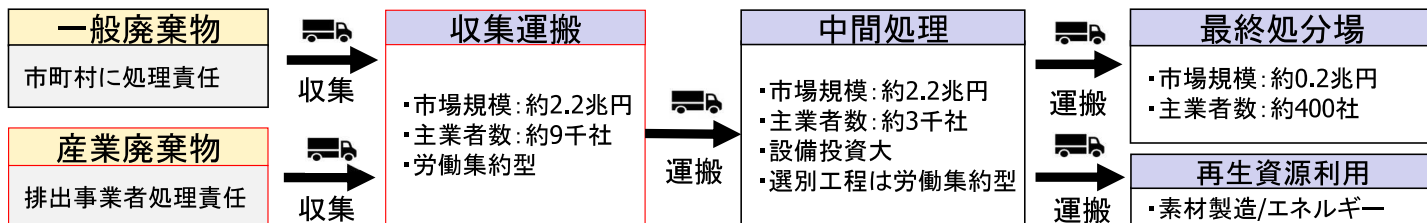
専務理事 石井美也紀

早稲田大学小野田研究室

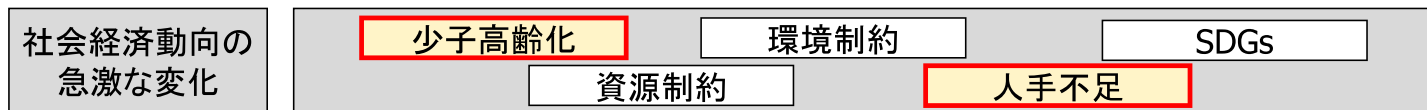


研究背景・目的

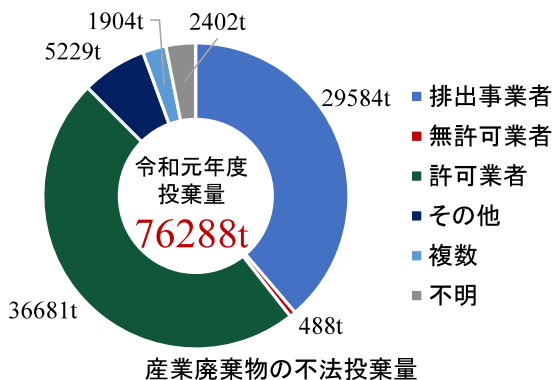
2



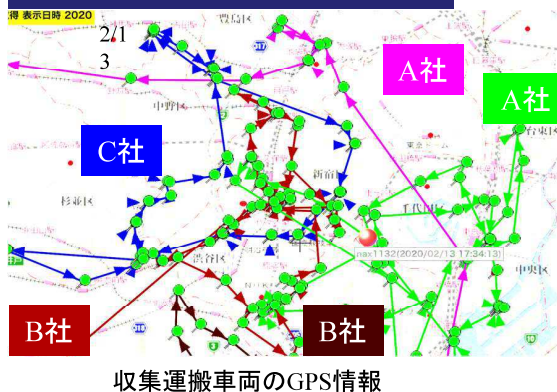
出典: 林孝昌「廃棄物処理・リサイクルビジネスのイノベーション」



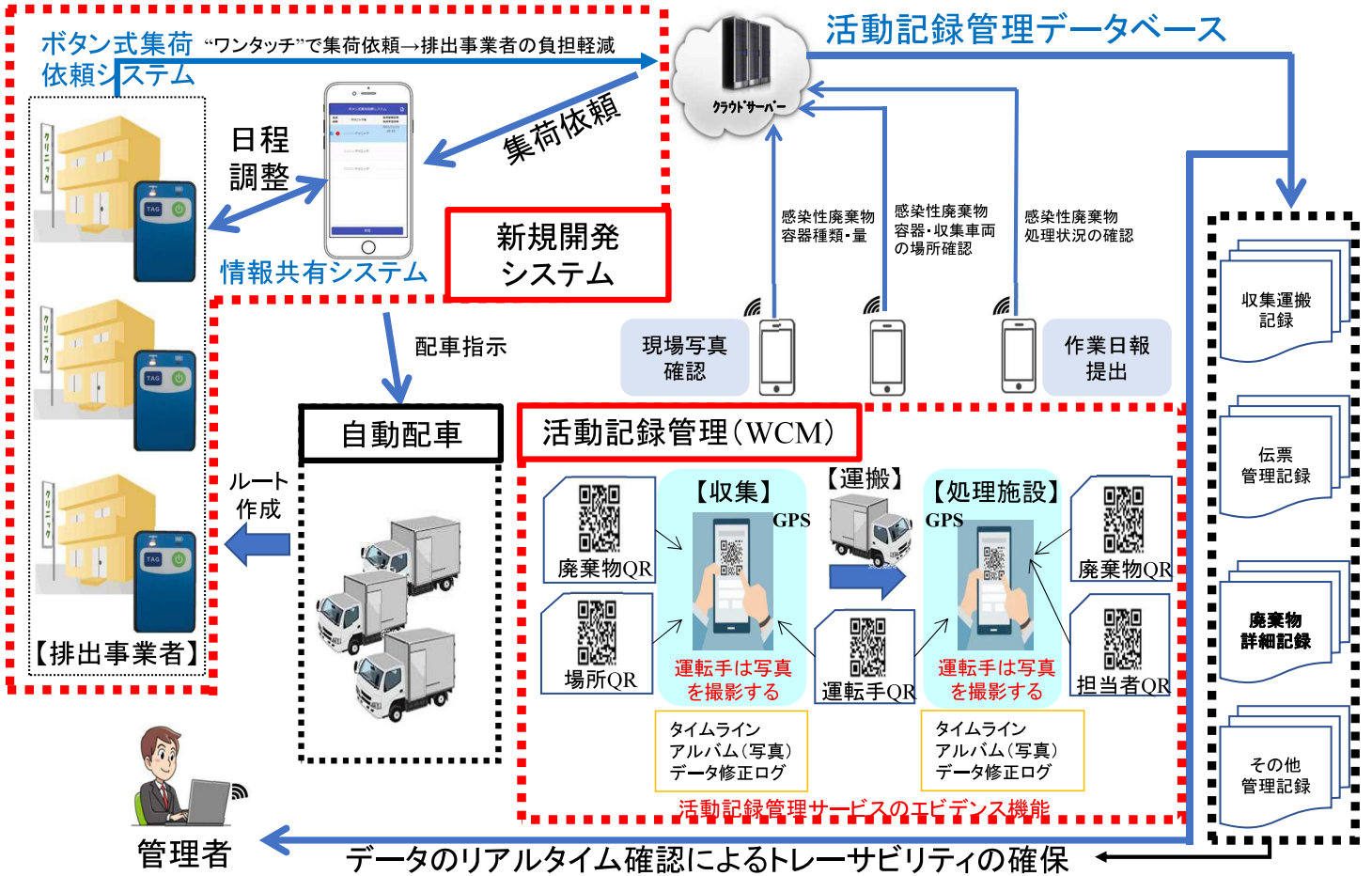
課題①: 不法投棄



課題②: 非効率的な収集運搬



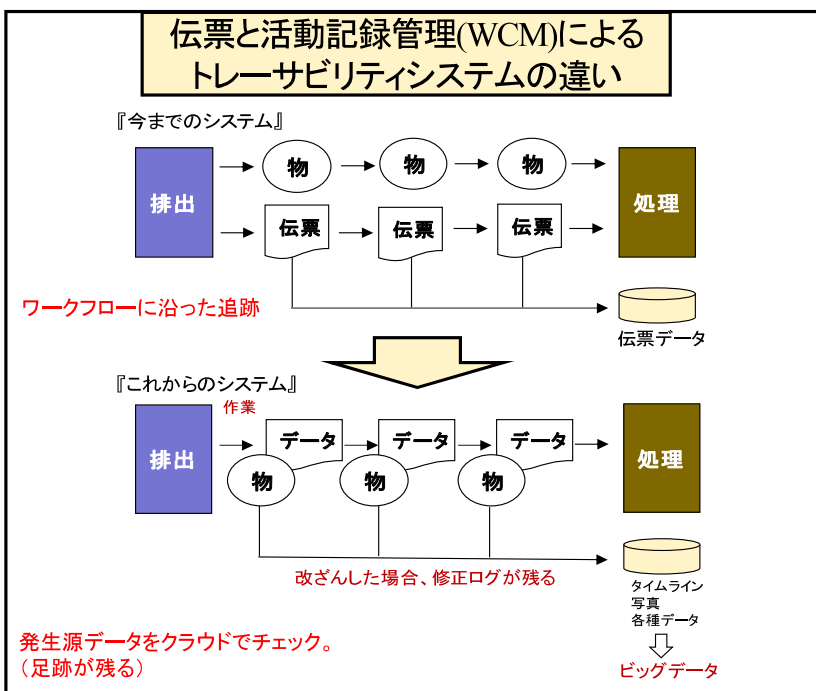
本研究では、小規模な排出事業者に着目し、適正処理推進と小口回収業務の効率化を図るため、ICTを活用したシステム(活動記録管理: WCM, 集荷依頼システム)の構築をする。実証実験を通じて、システムその他廃棄物・資源循環への展開可能性を示し、静脈産業の課題解決に向けた提案を行う。



ONODA Laboratory

活動記録管理システム (WCM)

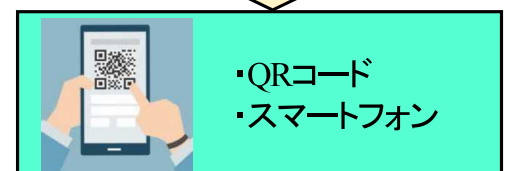
- 伝票の代わりにQRコードとスマートフォンを用いることで、作業データが自動的に記録され、作業員の負担を小さくすることができる。また、自動的に記録されるので、情報の改竄・作業ミス防止にも繋がる。
- 活動記録管理システムは、低コストで容易に導入することができる。



出典：環境研究総合推進費「政策決定者向けサマリー」



即時性の実現



出典：株式会社プラスワンコミュニケーションズ「マニフェストとは」



医療廃棄物の小口回収システムへのAI・IoT活用モデルの構築に向け医療機関に対してアンケート調査を行った。

医療機関の調査

- 調査対象: I市内の260件医療機関(回収率35%)
- 調査期間: 2019年12月09日～12月18日
- 質問項目:
 - ①電子マニフェストの使用状況と容器保管場所
 - ②診療所で発生する廃棄物種類の容器別の状況
 - ③感染性廃棄物の収集運搬契約の状況
 - ④個人情報・機密文書の管理・処分状況
 - ⑤トレーサビリティシステムの認知
 - ⑥実証事業の参加意向

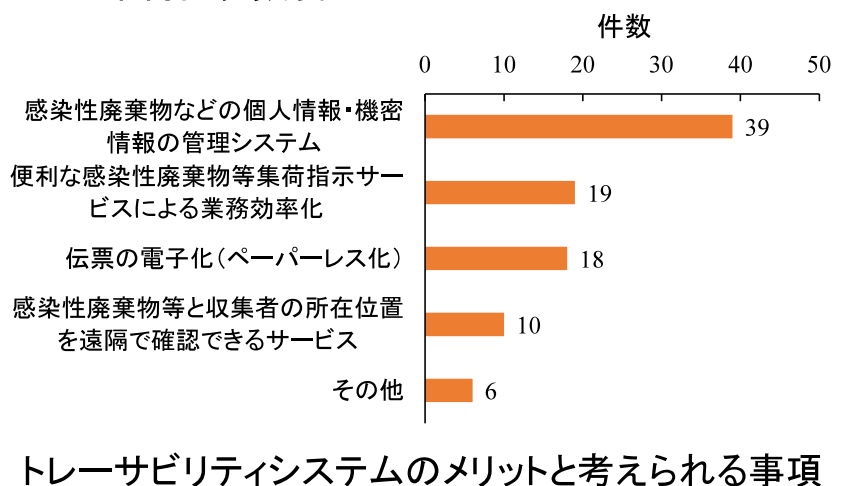
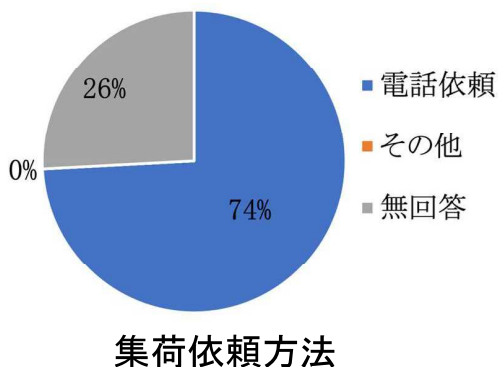
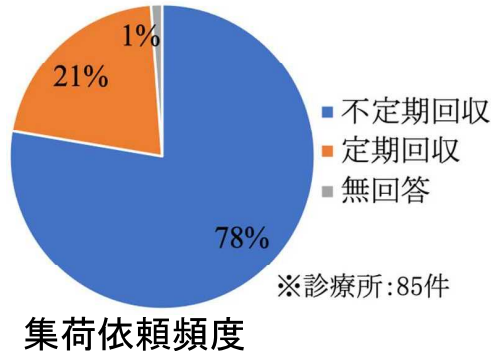
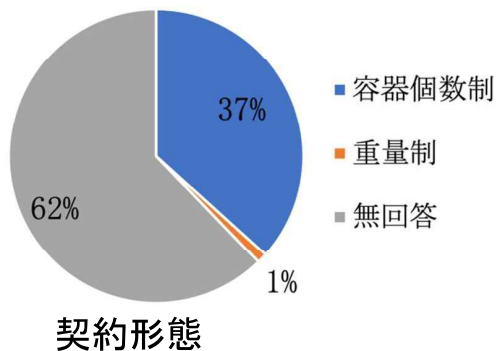
		回収率	
区分		件数	比率
回収	病院	4	35%
	診療所	87	
未回収		169	65%
合計		260	100%

【調査項目】

- ①医療機関の属性(従業員人数, 診療科目)
- ②医療機関で発生する廃棄物種類の容器別状況
- ③医療機関で発生する廃棄物の収集運搬契約の状況
- ④個人情報が記載されている廃棄物の処理
- ⑤電子マニフェストの使用状況
- ⑥トレーサビリティシステムに関する認知度



医療機関のアンケート調査結果



小口の医療機関では不定期で電話依頼による回収が発生している。



1.調査の目的

現場の生の声の情報や意見を収集することが有効と考えるため、収集運搬業者に対し、収集現場における課題と改善点の見える化を図ることを目的とした。

2.調査の内容

(1) ヒアリング調査対象先

・ヒアリング調査の対象は、A社、B社、C社、に対し、ヒアリング調査を実施した。

(2) ヒアリング調査の内容

・ヒアリング調査の聞き取り内容は、基本的に質問項目の内容に沿ったものとするが、特に、以下のポイントについての重点的に確認を行った。

内容 対象	A社	B社	C社
日付	2019年3月18日(月)	2019年3月18日(月)	2018年12月19日(水)
車両台数	約60台 10件/D 作業時間:5-10分/件	車12台 20~30件/D	車14台 10~20件/D
ルート決め	ドライバーの経験則 回収量は事前に把握可能	ドライバーの経験則 回収量は事前に把握可能	ドライバーの経験則 回収量は事前に把握可能
小口顧客数	小口:約20000件 新規:30%増加	小口:約5000件 新規:300件/年 増加	小口:約3000件
問題意識	・収集時の駐車問題 配車・管理 ・電話	配車・管理 (新人の場合計画作成困難)	・収集時の駐車問題配車・ 管理 ・電話受注

問題意識:

①配車・管理

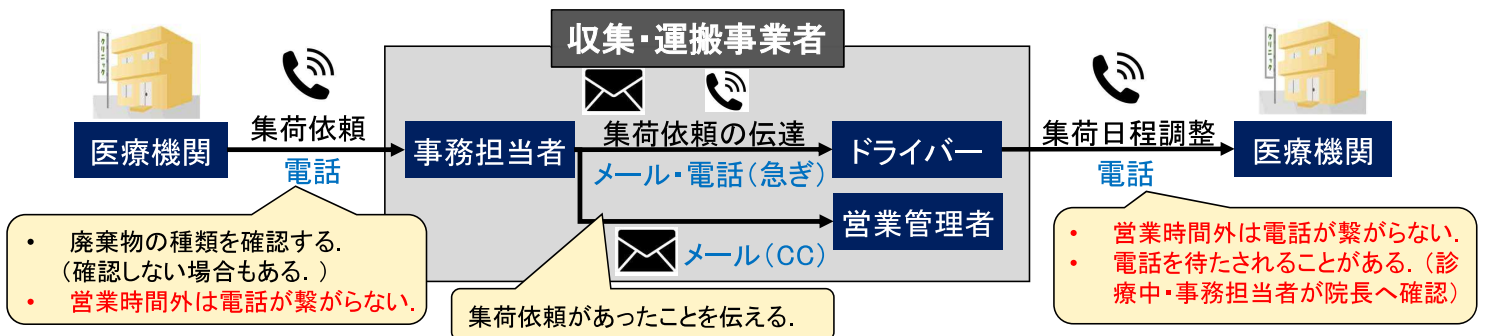
- ・経験則で収集ルートの作成
- ・電話受注の多さ

②収集時駐車問題

- ・駐車場に空きがない。
- ・収集先から遠い。
- ・作業中の車が駐車禁止場所
にやむを得ず停車。



下図は、収集運搬業者A社が医療機関(不定期回収)から集荷依頼を電話受注し、集荷予定日時決めが完了するまでのフロー図となっている。作業工数が多く、集荷依頼の電話が繋がらない場合があるなど業務が煩雑である。そこで、ボタン式集荷依頼システムを構築し、業務効率化を図る。



A社が集荷依頼を受け取り集荷予定日時決めが完了するまでの業務フロー



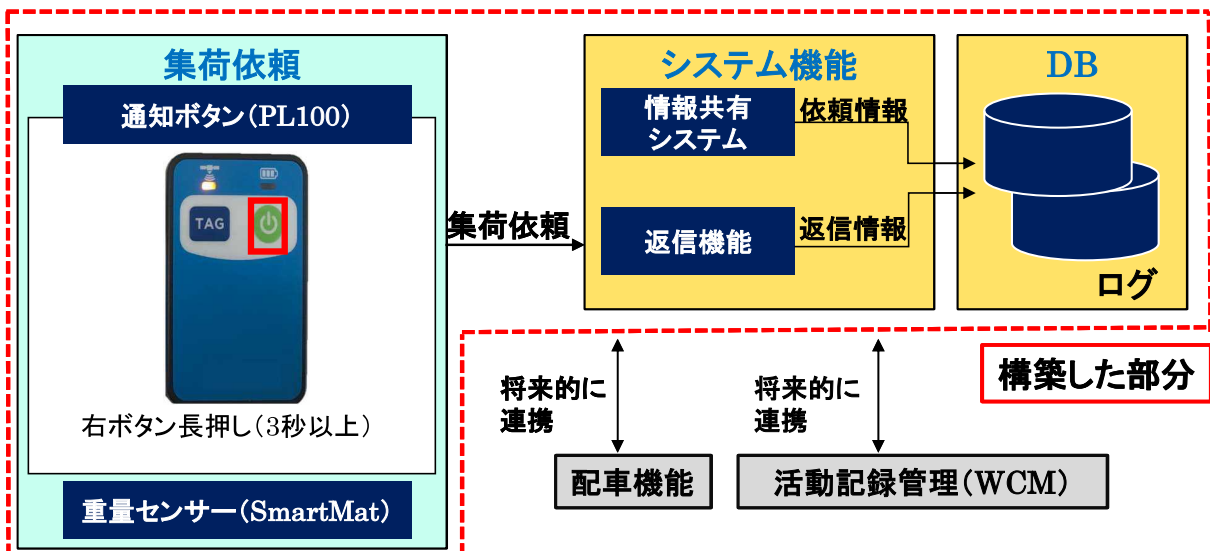
システムを活用した業務フロー

	手間:△,コスト:○	手間:○,コスト:△	手間:○,コスト:○
イメージ			
概要	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	重量を測定し自動通知
特徴	日時指定や回収回数等細かい設定が可能 通信設備の準備が必要なく導入が比較的簡単	排出事業者との受注やり取りが不要 導入が比較的簡単	排出事業者とのやり取りが一切不要 重量ベースの排出量の可視化が可能
コスト	・ネット環境コスト	・通信型通知ボタン(〜3千円程度想定) ・通信費	・通信型重量センサー(5万円程度を想定) ・通信費
課題	・排出事業者側の発注手間が増える	・電池交換が必要 ・回収タイミング等の事前条件設定必要 ・排出量が見えない ・通信システム必要 ・通信範囲制約あり	・センサーの設置などに工夫が必要 ・通信システム必要 ・通信範囲制約あり ・設置場所が限定的



ボタン式集荷依頼システム・情報共有システムの構成図と機能概要 10

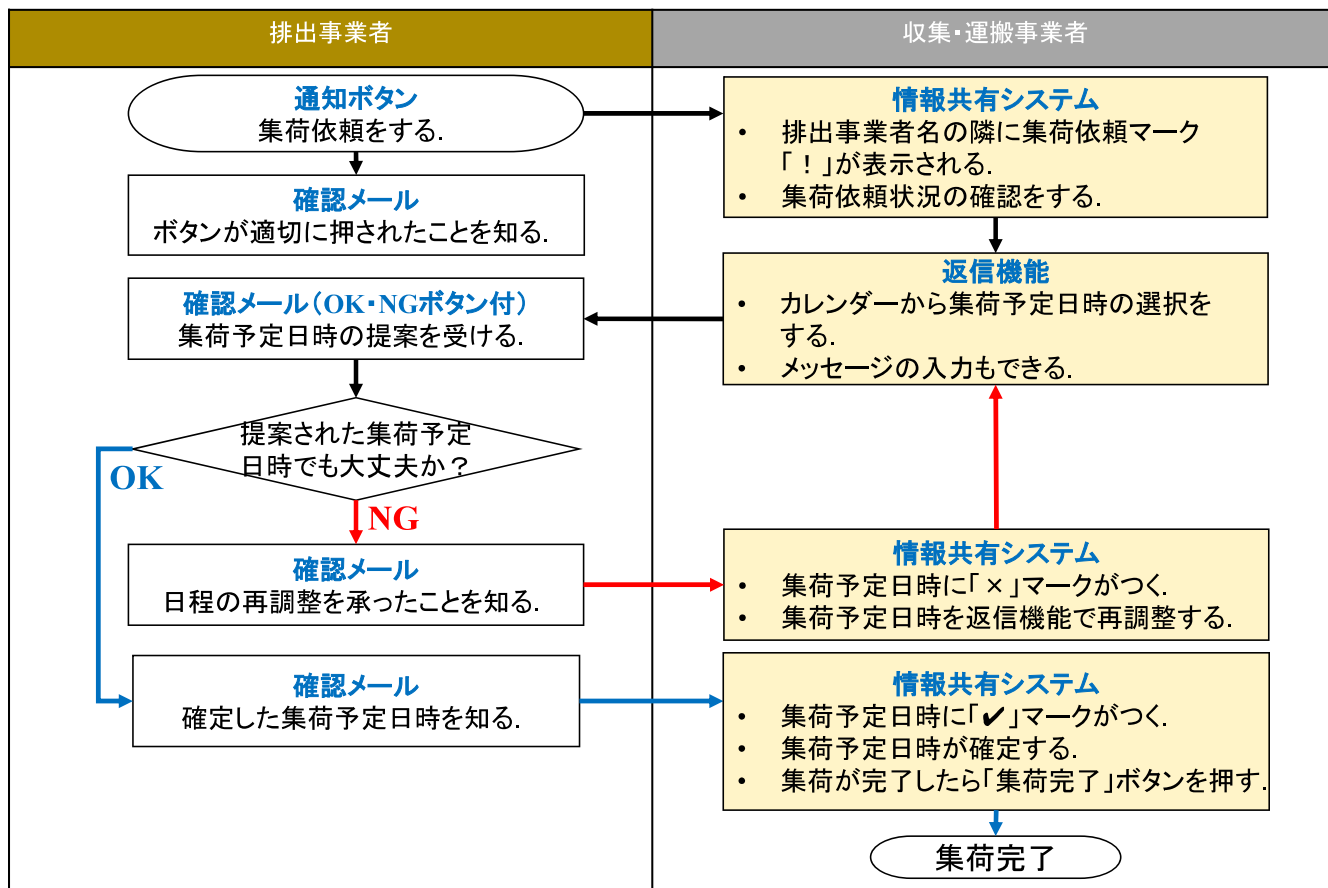
ボタン式集荷依頼システムは、赤枠で囲まれた部分を示している。ワンタッチボタンによる集荷依頼情報を情報共有システムに反映する。将来的に、自動配車システムや活動記録管理と連携する。



ボタン式集荷依頼システム全体構成

機能概要

機能名称	説明
情報共有システム	集荷依頼(ワンタッチボタン)を出している医療機関を一覧で確認できる。
返信機能	集荷依頼を出した医療機関に対して返信をする。
ログ機能	いつ・誰が・何をしたかの履歴が残る。CSV出力が可能である。



実証実験概要

【協力事業者】

- ・ 収集・運搬事業者:ドライバー2人, 営業管理者1人, 事務担当者1人
- ・ 排出事業者:8件(開業医・歯科)

【目的】

- ・ 医療機関・収集・運搬事業者の業務効率化検証
- ・ 通知ボタンを用いた集荷依頼システムの機能検証

【期間】

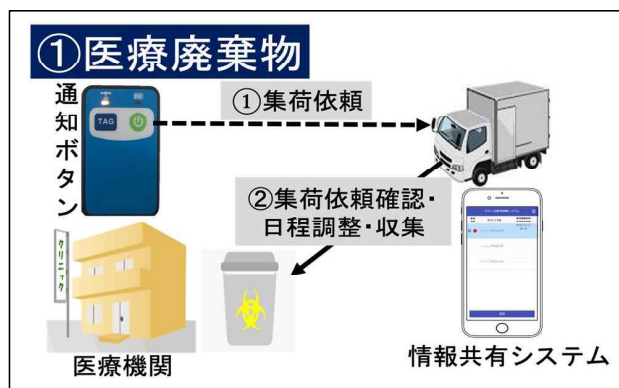
- ・ 2022年1月～

【手順】

- ① ごみの回収のタイミングで通知ボタンを押す。
- ② 収集運搬業者は集荷予定日時の調整を行う。
- ③ 医療機関は、提案された日程に対して返信をする。
- ④ 収集・運搬事業者は回収に向かう。

【評価】

通知ボタンを押した医療機関から順に、排出事業者と収集・運搬事業者にアンケート調査・ヒアリング調査を行い、システムの評価・改良の検討を実施する。



8件の医療機関に通知ボタンを配布し、合計29回の集荷依頼があった。

収集・運搬事業者へのヒアリング内容

【評価された点】

- ・ ログインで担当者を管理できる。
- ・ 集荷依頼から日程調整までが効率的に対応できる。
- ・ 操作性が良い。
- ・ 見やすい。
- ・ 継続的に使っていきたい。

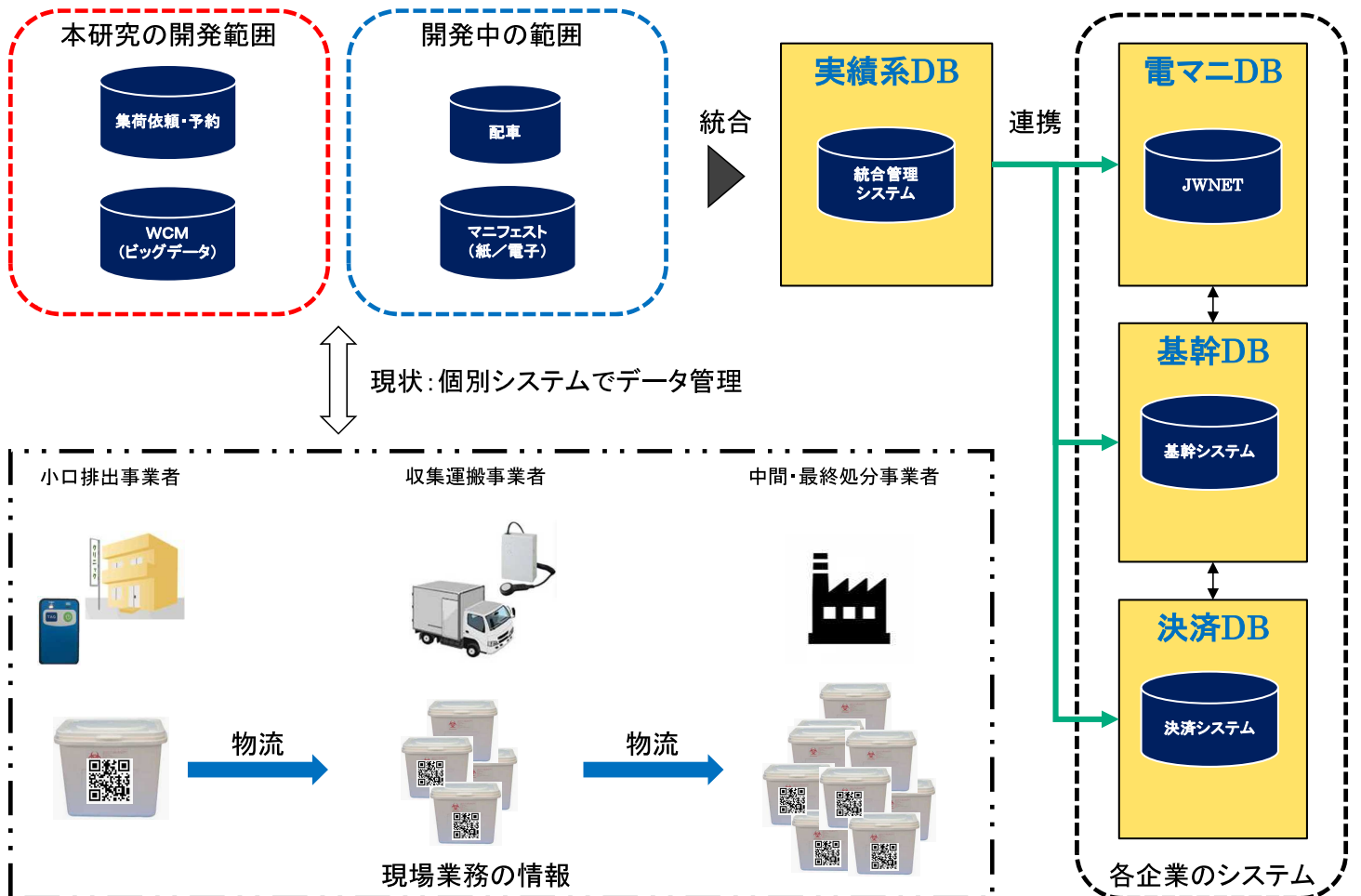
【改善点】

- ・ 返信機能のカレンダーで、当日を選べるようにしてほしい。
- ・ 決まった集荷予定日時の変更をできるようにしてほしい。
- ・ 費用対効果が得られるようにしていきたい。

医療機関名	集荷依頼回数	1回目集荷依頼日時
Aクリニック	6回	2022/01/25 15:49:42
Bクリニック	5回	2022/01/27 11:01:15
Cクリニック	3回	2022/02/04 09:47:40
Dクリニック	4回	2022/01/31 10:42:52
Eクリニック	2回	2022/01/24 14:58:07
Fクリニック	4回	2022/01/17 11:04:04
Gクリニック	3回	2022/01/25 11:14:46
Hクリニック	2回	2022/02/05 15:58:27
合計	29回	

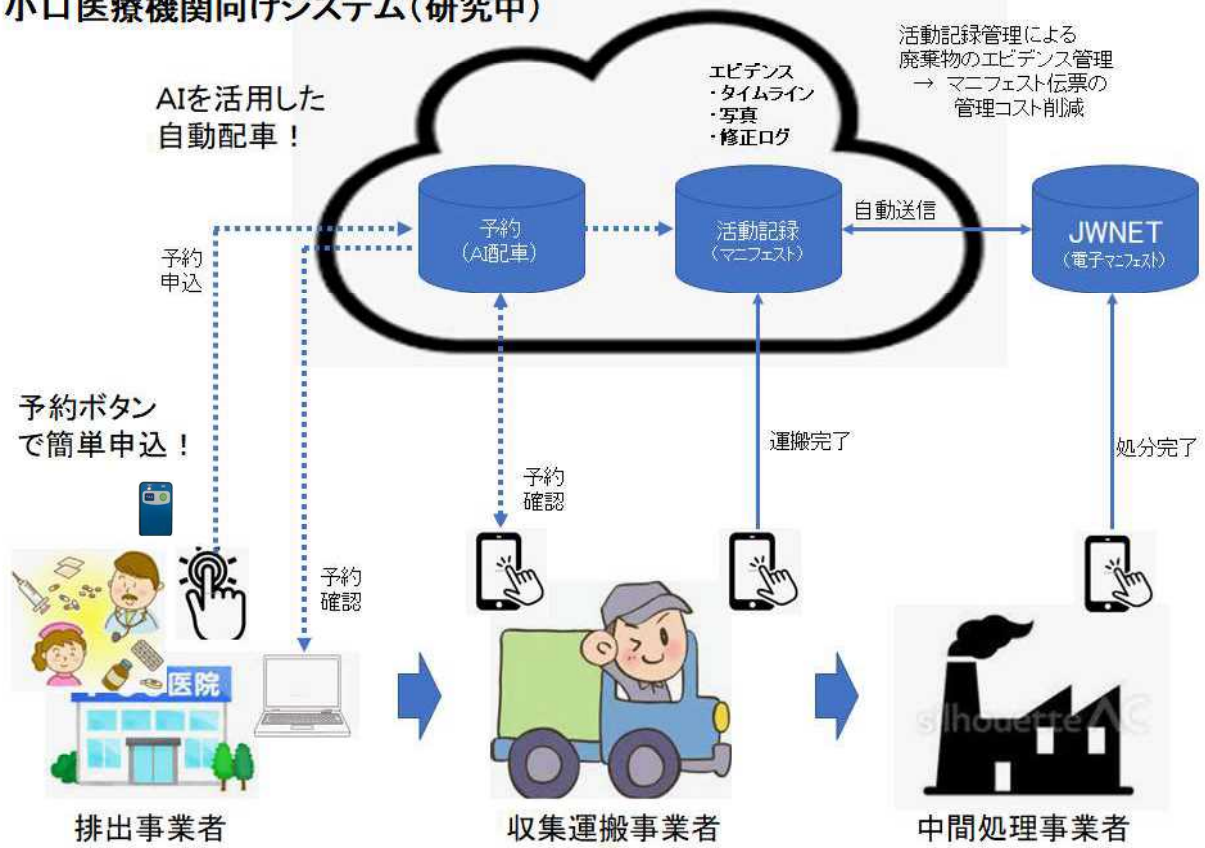
PoCから得られていた予想効果と合致する結果が得られた一方で、プロトタイプから機能拡充をしていく必要性が抽出された。

今後の展望：事業者ニーズに対する機能の拡充と課題解決





IoT/AIを活用した
小口医療機関向けシステム(研究中)



ONODA Laboratory



ご清聴ありがとうございました。

ONODA Laboratory

③ 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
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 藤井 実 氏

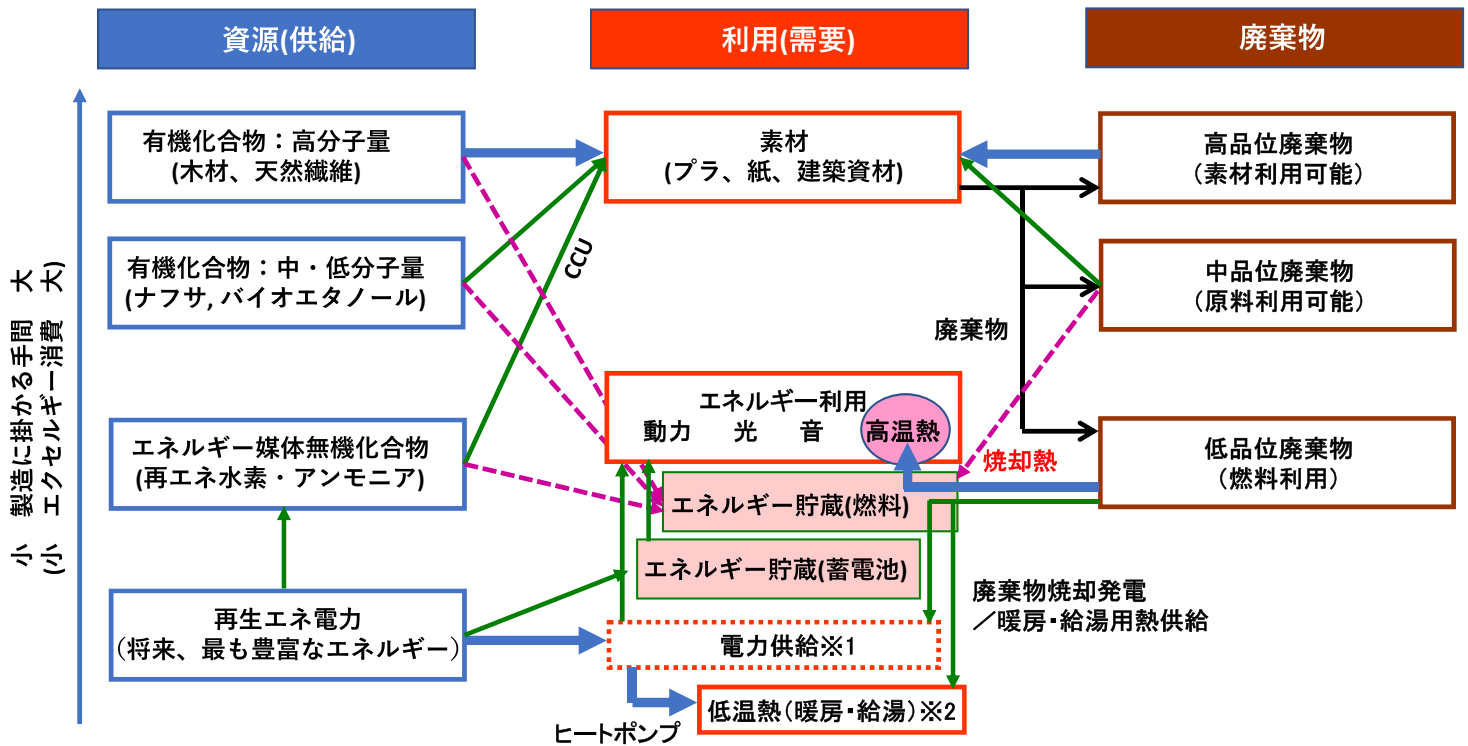
産廃のエネルギー利用高度化を想定した 需給マッチング



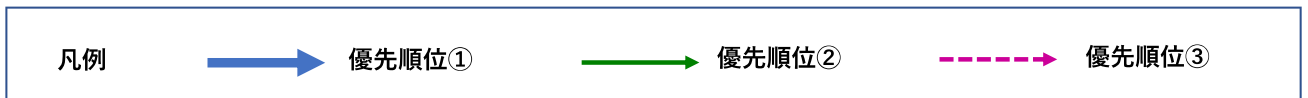
藤井 実
 国立環境研究所社会システム領域・システムイノベーション研究室・室長
 名古屋大学大学院環境学研究科・客員教授
 東京大学大学院新領域創成科学研究科・客員教授

m-fujii@nies.go.jp

資源・エネルギーの適材適所での利用による環境負荷最小化

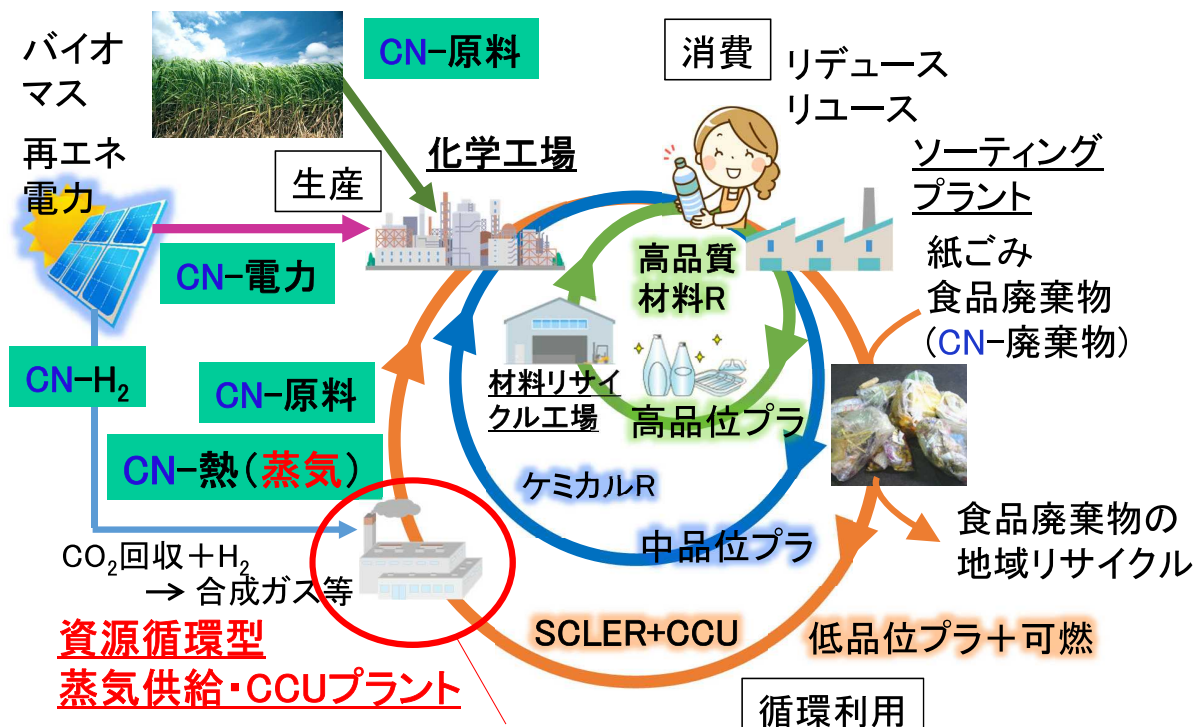


※1: 電気は多くの場合最終的なエネルギー利用形態ではない
 ※2: 暖房・給湯レベルの温度帯はヒートポンプで電力の数倍の熱供給が可能であり、価値が低い



目指す姿：カーボンニュートラルなプラスチック循環経済

プラスチックの原料・電力・熱の総てをカーボンニュートラルに変える



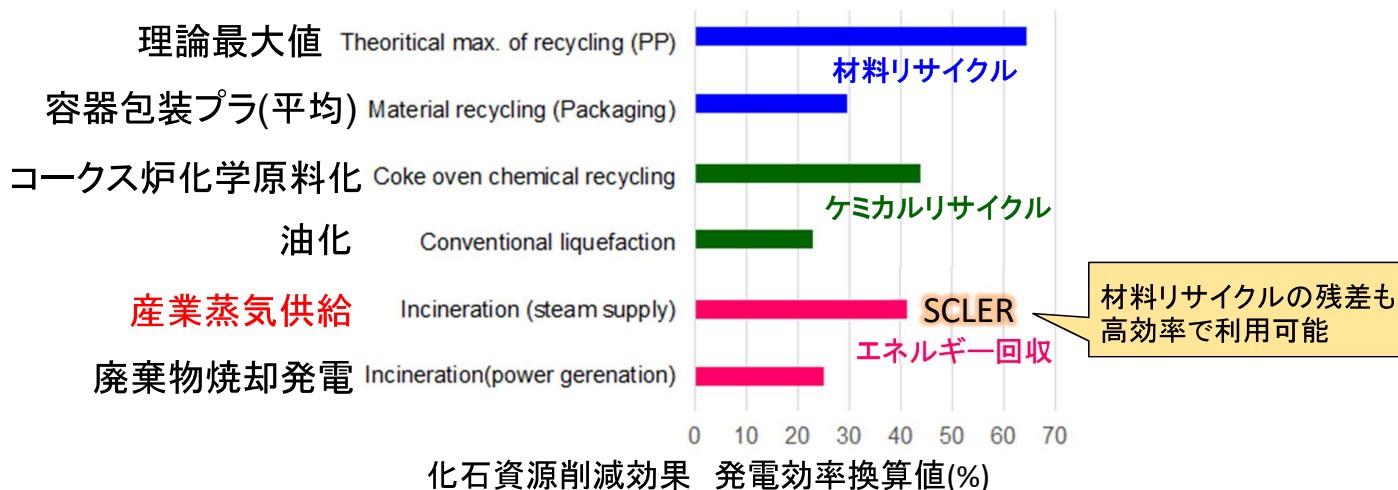
資源循環型
蒸気供給・CCUプラント

焼却発電に比べて約2倍のCO₂削減効果と経済性

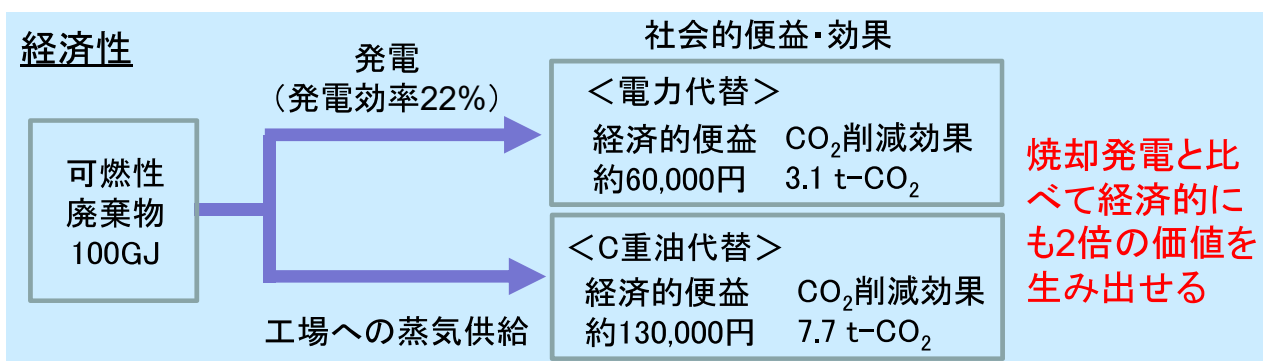
※CN: カーボンニュートラル

3

LCAからみた、プラスチックリサイクル・エネルギー回収の化石燃料代替(削減)効果



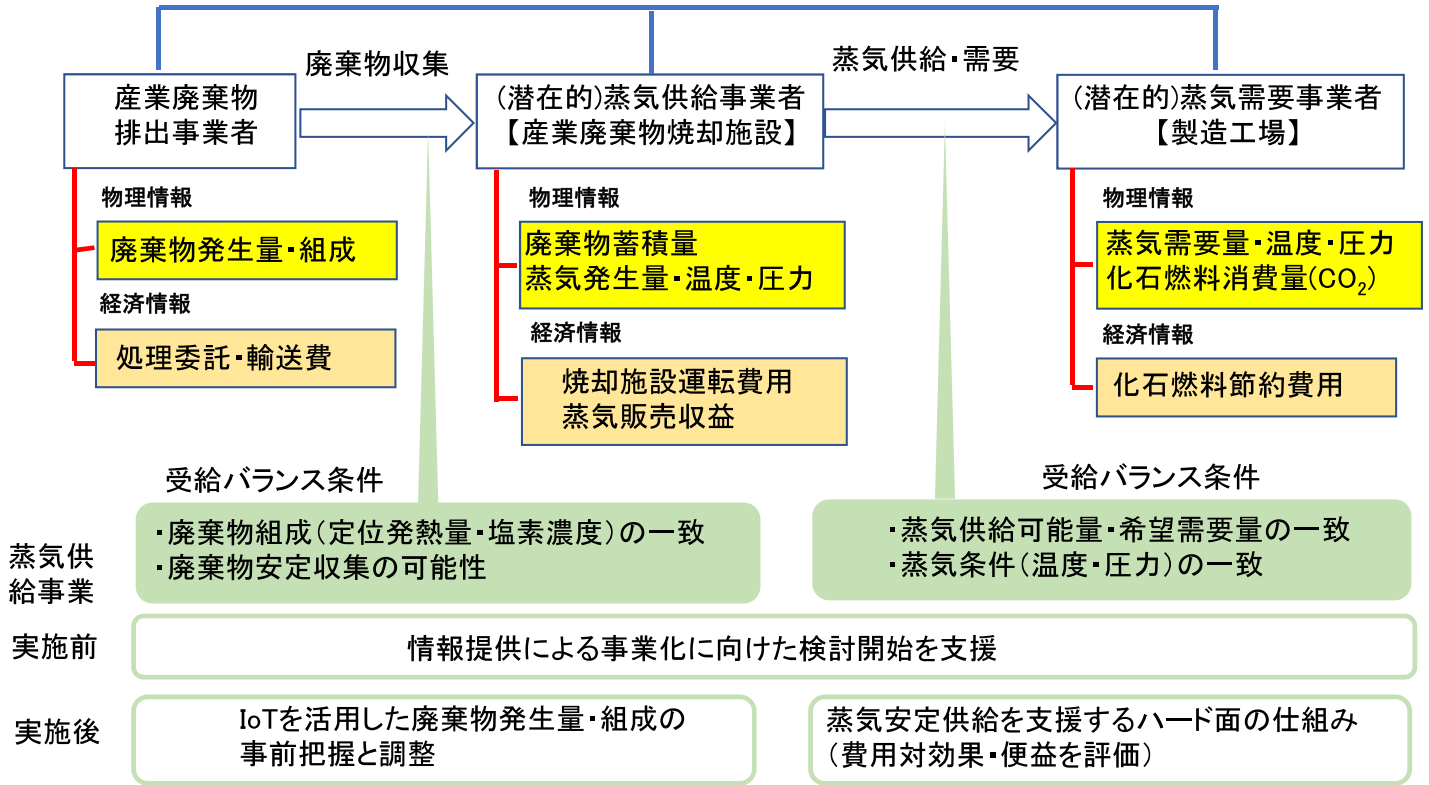
The author calculated based on the Report of Japan Containers and Packaging Recycling Association (2012)



4

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

藤井ほか, 環境科学会誌, 印刷中

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)、CO₂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

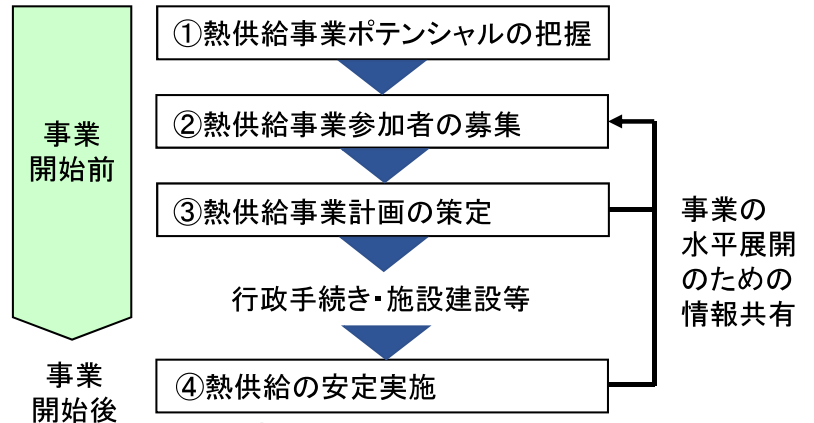


図: 事業化に向けた工程

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

PAI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、費用対効果に優れる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果的です。

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。

IoT/AI 廃棄物焼却炉 工場(蒸気使用) 通信監視・自動制御 バックアップボイラー

大きなCO₂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CO₂排出削減ポテンシャルがあると考えられます。

発電 CO₂排出量 (t/年) ×2倍 蒸気利用 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CO₂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。

事業名称	距離 (km)	投資 (万円)	削減 (t/年)	回収年数 (年)
事業A	0.3	0.85	2.32	0.37
事業B	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は、内容の説明をさせて頂きまします。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)

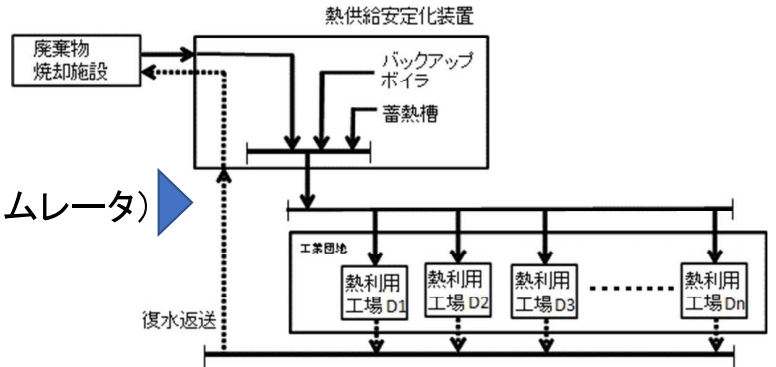
蒸気の安定供給システムの提案と費用対効果・便益の評価

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CO₂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CO₂排出削減効果と経済性が見込まれることが示された**



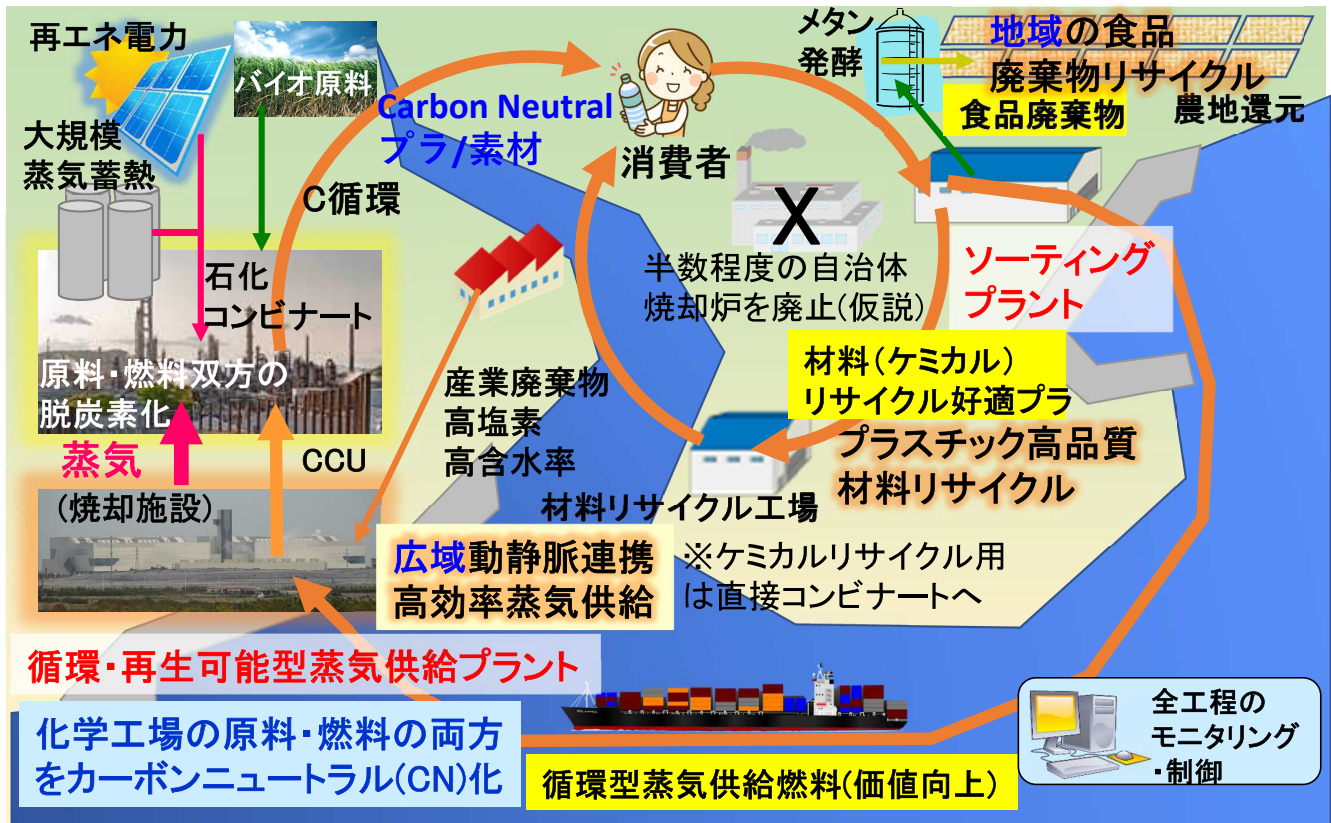
韓国・蔚山工業団地で焼却施設から化学工場への蒸気供給で利用されている蒸気アキュムレータ(蓄熱タンク)

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)



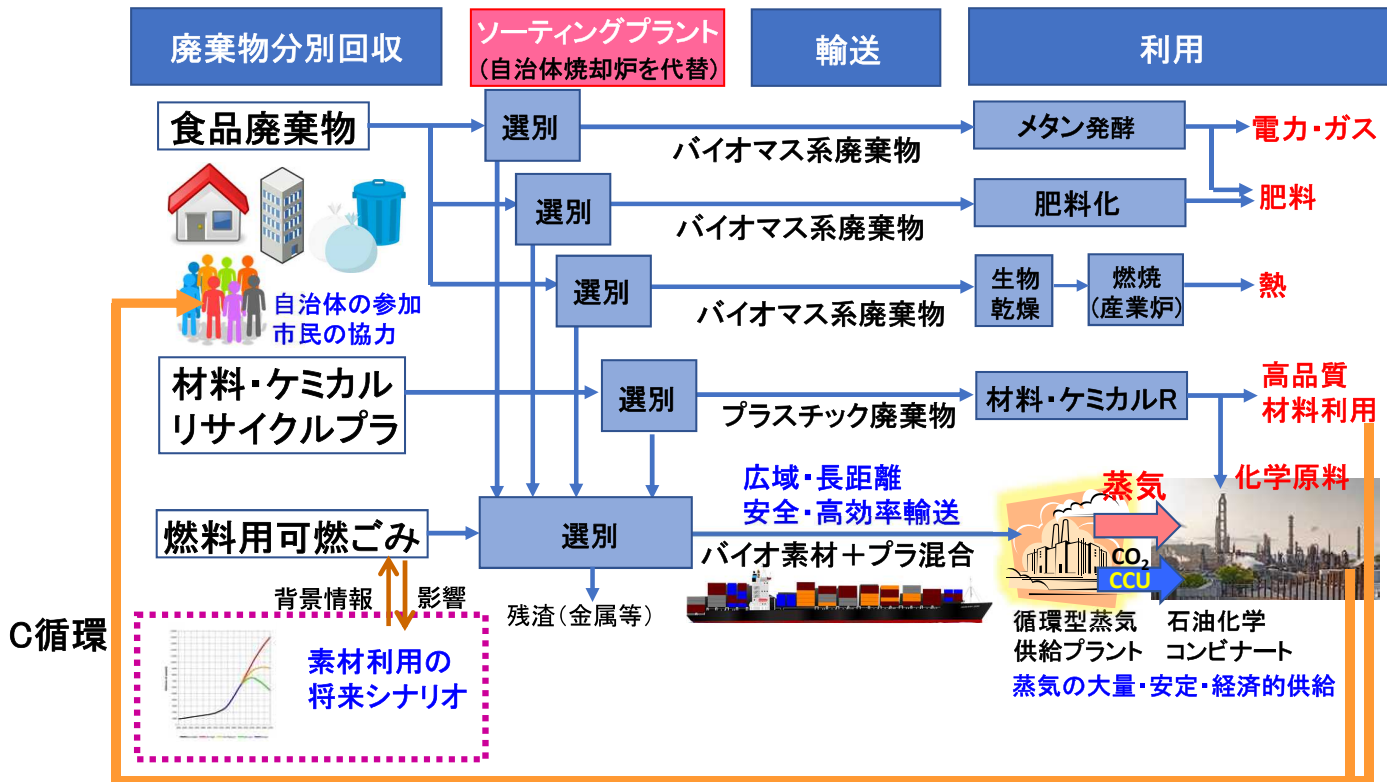
総建設費: 1390百万円
年間経費の削減額: 420百万円/年
単純投資回収年数: **3.3年**

今後の展望: 脱炭素素材産業への貢献 (一般廃棄物への展開)



廃棄物の適材適所での利用の観点からの整理

高品質な廃プラスチック類や、従来の瓶・缶・PET・古紙等を分別した上で
厨芥類は可能であれば**地域**で利用、**残渣**は**広域**で**コンビナートの燃料**として活用



合理的な(経済的な)仕組みで最大限のCO₂削減効果を得ることを目指す

一般廃棄物の熱エネルギー利用のポテンシャル

- 3400万t/年の一般廃棄物を焼却(重油換算で**900万kL/年 = 2700万t-CO₂/年の削減ポテンシャル**)。
- 1000基以上の焼却施設で焼却発電(平均発電効率13.4%、燃料節約効果は180万kL/年で、**20%の有効利用率**に留まる)。
- 一般廃棄物焼却施設の建設・維持管理・運転に**1兆円弱/年**を費やしている。

一般廃棄物の有効利用策

- 焼却熱を効率的に利用できる、コンビナート(石油、化学、製紙等)に循環型蒸気供給用燃料(焼却対象廃棄物)を集約し、**大規模専用プラント**で焼却して蒸気供給を行うことを想定。
- **化石燃料の大幅な削減と焼却施設の大規模集中化**により、**素材産業と自治体の双方に環境・経済面での大きなメリット**をもたらす。



謝辞

本研究の一部は、環境研究総合推進費 3-1905「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」(代表:松本亨教授)及び環境研究総合推進費3CN-2202「プラスチック等脱炭素広域循環経済と食品廃棄物地域循環による環境・経済効果の最大化」(代表:藤井実)により実施されました。ここに謝意を表します。

④ 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
和歌山大学 システム工学部 教授 吉田 登 氏

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

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

○吉田登・山田嵩雄・中尾彰文・和田俊和

和歌山大学 システム工学部

産業廃棄物焼却施設の現状と維持管理の課題

日々の操業中心で、熱利用や維持・管理への余裕がない

【産業廃棄物焼却施設の現状】

- 小規模炉が多い(30t/d以下が6割)
→集約化が難しい
- 余熱利用や発電が少ない(余熱利用あり3割, 発電あり7%に留まる)
→余熱利用拡大が課題
- 中間処理業の従業員数に格差(10人未満46%⇔100人以上1.1%)
→事業所での労働力維持・確保が課題

【静脈サプライチェーンの中での特徴】

- 技術・装置の寄与が大きいプロセス
→維持・管理での省力, 省コスト化が課題(突発故障に伴う操業への影響, 人的負荷や保全費用の増加等)
- 長年の現場経験に基づき技術・装置を維持管理
→維持・管理に関する暗黙知の継承が課題(技術継承を行う手段が不足)

維持・管理が、持続的な操業への影響・リスク要因に

機器保全に関する課題認識



保全方式	保全方式選定の留意点	設備・機器例
事後保全 (BM)	<ul style="list-style-type: none"> ● 故障してもシステムを停止せず容易に保全可能なもの(予備系列に切り替えて保全できるものを含む)。 ● 保全部材の調達が容易なもの。 	照明装置、予備系列のあるコンベヤ、ポンプ類
予防保全 (PM)	時間基準保全 (TBM) <ul style="list-style-type: none"> ● 具体的な劣化の兆候を把握しにくい、あるいはパッケージ化されて損耗部のみメンテナンスが行いにくいもの。 ● 構成部品に特殊部品があり、その調達期限があるもの。 	コンプレッサ、ブロワ等回転機器類、電気計装部品、電気基板等
	状態基準保全 (CBM) <ul style="list-style-type: none"> ● 摩耗、破損、性能劣化が、日常稼働中あるいは定期点検において、定量的に測定あるいは比較的容易に判断できるもの。 	耐火物損傷、ボイラー水管の摩耗、灰・汚水設備の腐食等

事後保全(BM):Breakdown Maintenance

予防保全(PM):Prevention Maintenance

時間基準保全(TBM):Time-Based Maintenance

状態基準保全(CBM):Condition-Based Maintenance

現状で多く用いられる時間基準保全は維持管理のコスト要因

出典) 環境省: 廃棄物処理施設長寿命化総合計画作成の手引き(ごみ焼却施設編) 平成27年3月改定, 2015年.

廃棄物処理へのIoT活用の系譜

1990年~2000年

- インターネットを利用した遠隔監視システム
- エキスパートシステムやファジイ理論などによる制御技術



近年では

- ICT, AI, ビッグデータ解析技術の進展により, さらなる廃棄物処理施設の高度化(自動運転, 遠隔監視, 最適運転管理)

研究の目的

- ICTを用いたプラント機器故障の予防保全に関する実証試験
- 予防保全の効果推計

- ICTを用いたプラント機器故障の予防保全に関する実証試験

➤ 送風機の振動モニタリング

対象設備・機器（送風機）

◆保有施設（サーマルリカバリー）

ロータリーキルン・ストーカ焼却炉2基（1号炉95.0t/d, 2号炉117.6t/d）

主に感染性産業廃棄物などの特別管理産業廃棄物やマテリアルリサイクル不適物を焼却して、蒸気タービン発電設備による電力供給や汚泥蒸気乾燥に排熱利用

◆実証機器

1号炉のストーカ冷却ファン（送風機） 22kw を対象に振動加速度データ取得



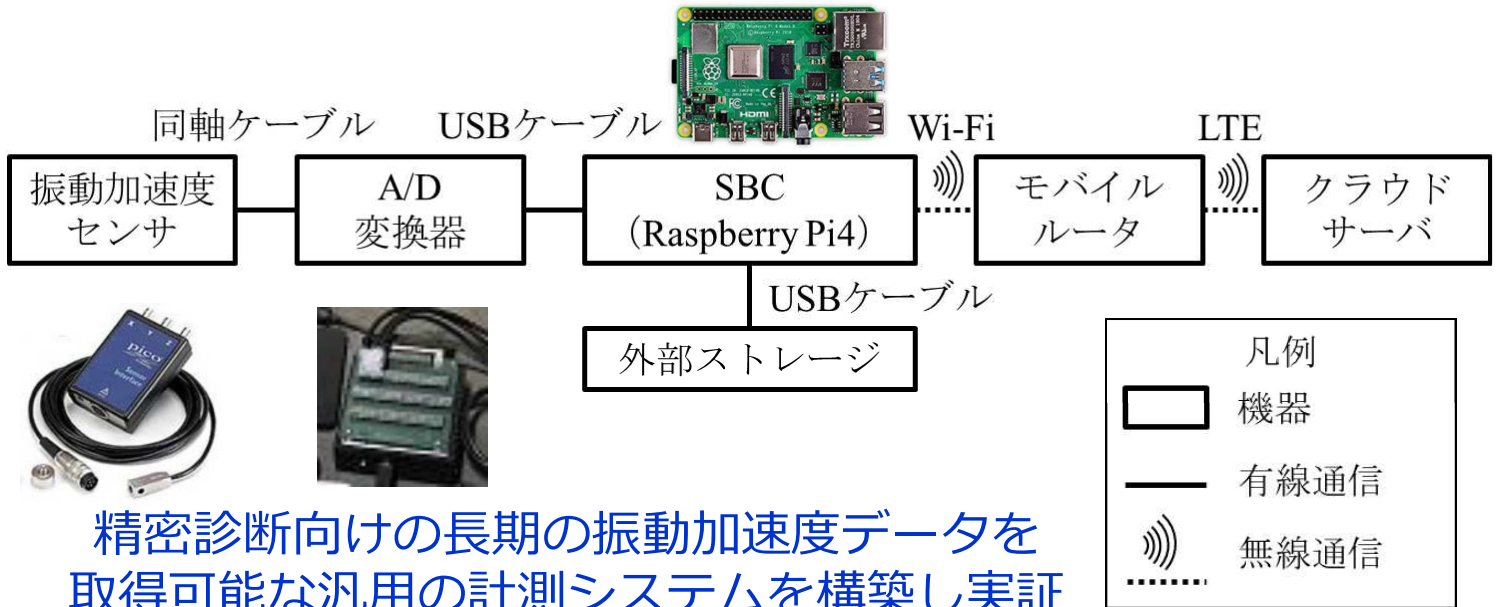
ロータリーキルン炉



冷風送風機

モニタリング機器（送風機）

市販の振動計測器は従来の振動測定用（簡易診断用等）にパッケージ化
⇒本研究向けの仕様（高サンプルレート、大記憶容量）に対応した拡張が困難



精密診断向けの長期の振動加速度データを
取得可能な汎用の計測システムを構築し実証

モニタリング機器（送風機）設置状況



モニタリング機器（送風機）の諸元

項目	仕様
振動加速度センサ	3軸圧電センサ, 周波数帯域~350Hz,
A/D変換器	サンプリングレート 500kHz, USB接続, 16チャンネル
シングルボード コンピュータ*	OS: Ubuntu 21.10, CPU: ARM Cortex A-9 メモリ: 8MB, ストレージ: SDメモリーカード** 16GB
外部ストレージ	ストレージ: SSD** 240GB
モバイル ルータ	LTE伝送速度 受信 Max150Mbps/送信 Max50Mbps
クラウドサーバ	商用クラウドストレージ

*SBC: Single Board Computer (使用モデル: Raspberry Pi4 Model B)

**フラッシュメモリーを用いた外部記憶媒体のひとつ (SSD: Solid State Drive)

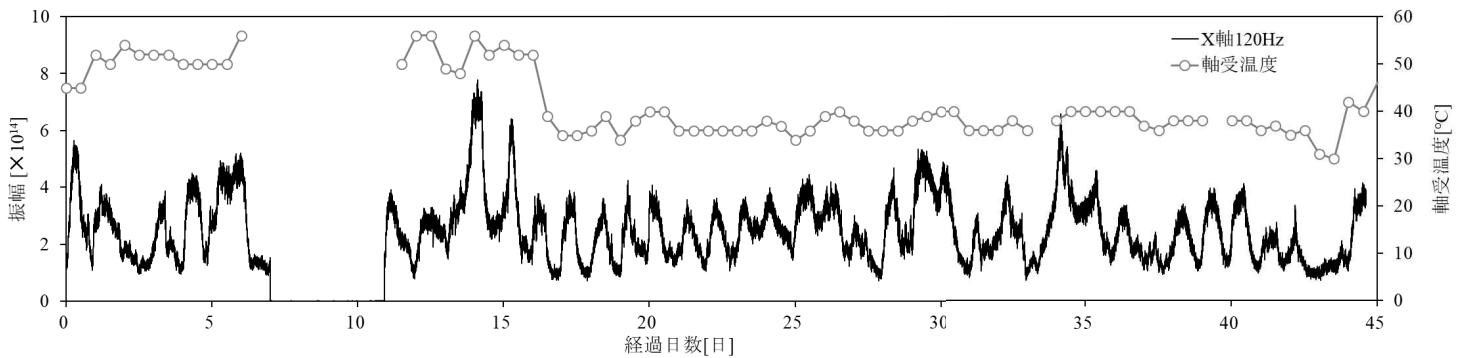
- ①計測: 汎用の3軸振動加速度センサからの信号データを計測
- ②処理: アナログ-デジタル変換の精度に影響を及ぼすサンプリングレートを通常の10倍の頻度 (500kHz) で安定的に取得するA/D変換器で処理
- ③記録: バイナリ形式で取得してファイル名を自動付与し, より少ない記憶容量で多くのサンプリングデータを保持できるようgzipコマンドによりデータ圧縮し, 外部ストレージに記録
- ④転送: モバイルルータを経由してrcloneコマンドにより汎用のプライベートクラウドにデータ転送

モニタリングシステムの特徴

- 日常点検で用いられるポータブル振動計は, 体温計で体温の瞬時値を測定するように, 回転機械の振動加速度などの瞬時値を計測することが目的であり, 簡素化され操作が容易である反面, データ蓄積や高速フーリエ変換などの機能はもたない。
- 一方, 精密診断で用いられるデータロガーは, 現地でのさまざまな診断用途に対応して, マルチチャンネル, 時間波形表示, FFTや主要な関数解析などの多くの機能がパッケージ化されて搭載されており, 多機能ゆえに高価である。また, こうした振動計やデータロガーは, 最大でも50kHz程度のサンプリングレートで, サンプリング周期はストレージ容量に依存するために, 高サンプリング周期での中長期連続モニタリングを想定したものとはなっていないものが大半。
- ある程度決められたニーズには有用であるが, データ活用型の予防保全や操作性向上に対応した機能拡張 (例えば, 高サンプリングレートや高サンプリング周期などA/D変換機能の向上, 自社サーバーやクラウドなど任意のストレージへの遠隔データ転送, 転送効率を高めるためのデータ圧縮, データサンプリングに異常が生じた場合のアラームなど) は難しい。このような振動計やデータロガーなどの課題を踏まえて, 本システムではサンプリングレートを500kHzとし, ストレージ容量およびデータ転送の負担軽減の観点からデータサンプリング周期と記録間隔を1minとする独自のシステムを構成。

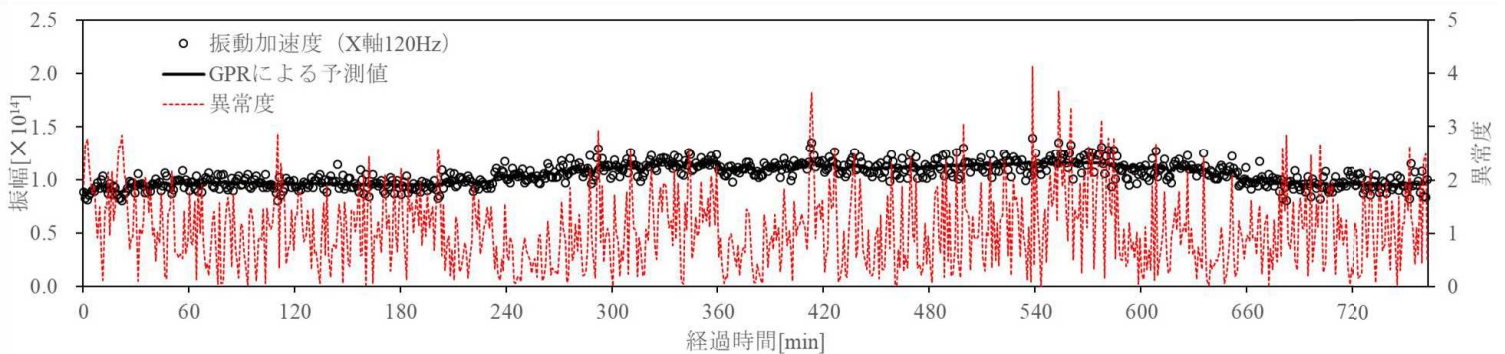
モニタリング結果

振動加速度（主軸に対して横方向成分・周波数120Hz） 振幅の推移



- この送風機は、許容値を上回る回転軸ずれ（ミスアライメント）を起こしやすい傾向
- 定期修理での軸芯出し調整から1か月半経過するとx軸（送風機主軸に対し横方向）の振動加速度の振幅は定期修理直後の10倍のオーダーにまで拡大

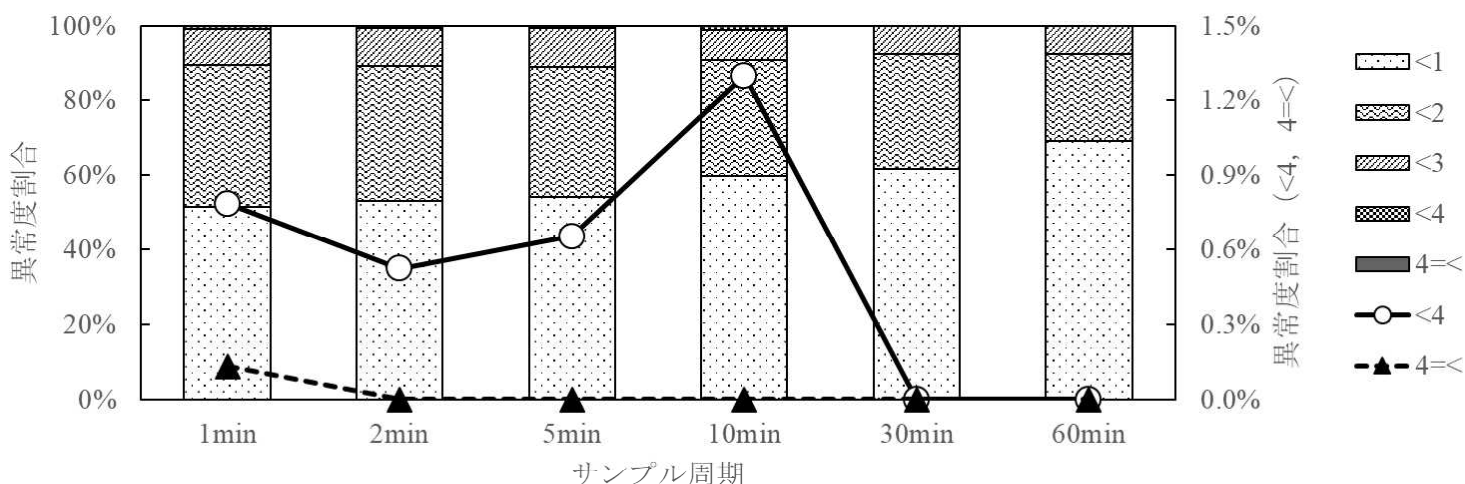
ガウス過程回帰を用いた異常度の判定



$$\text{異常度}d(x_i) = |x_i - \mu_{\text{GP}}(x_i)| / \sigma_{\text{GP}}(x_i)$$

但し、 $d(x_i)$: 異常度, $\mu_{\text{GP}}(x_i)$: 平均値, $\sigma_{\text{GP}}(x_i)$: 標準偏差

各サンプリング周期における振動異常度の割合



異常度はサンプリング周期に影響を受けることから、予防保全に向けては一定頻度以上のサンプリング周期が必要とされる

対象設備・機器 <バグフィルタ>

◆保有施設（サーマルリカバリー）

- ・ストーカ焼却炉1基（50t/d、稼働日数330日/年、定期修理120日毎）
- ・廃プラスチック類、感染性産業廃棄物、その他（廃酸、廃アルカリ、紙くず、木くず、繊維くず、動植物系残渣）

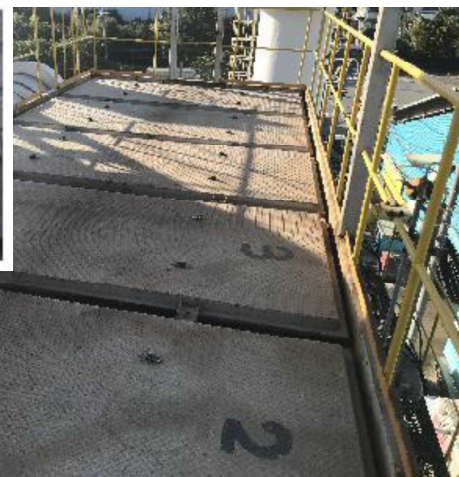
- ・バグフィルタ交換頻度：4年毎に、ろ布全交換

◆実証機器

ストーカ焼却炉排ガス処理装置（バグフィルタ）の6室のうちの1室にデジタル微差圧計を設置し、ガス出入口の差圧データを取得

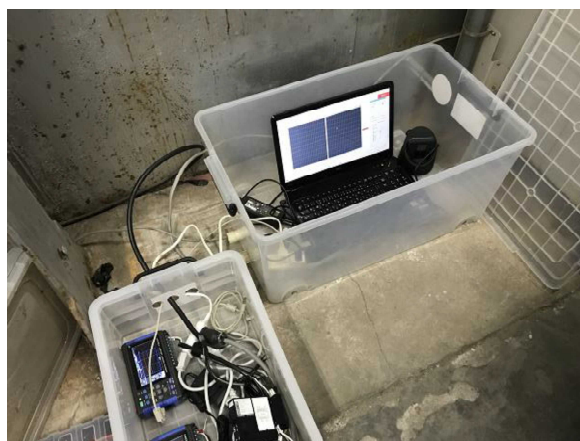
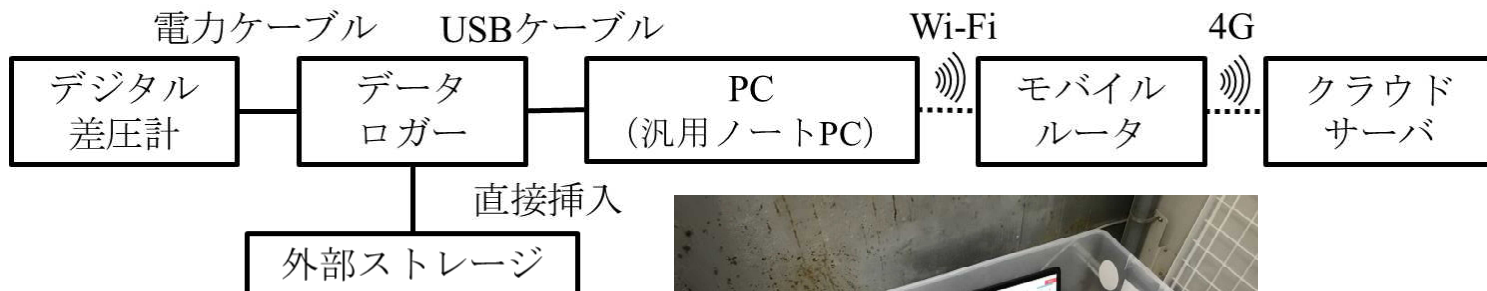
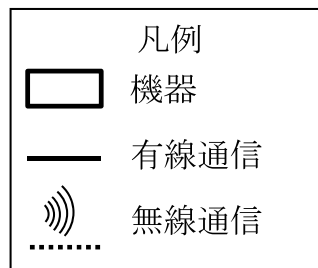
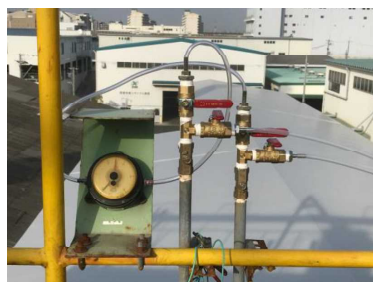


焼却炉



バグフィルタ天板

モニタリング機器（バグフィルタ差圧）



モニタリング機器（バグ差圧）の諸元

項目	仕様
デジタル差圧計	微差圧計：差圧レンジ 0~50kPa, アナログ出力 1~5V
データロガー	入力アナログ:10Ch, 電圧測定:±100mV~±60V, 1-5V サンプリング周期:10ms~1hr
パーソナルコンピュータ*	OS: Windows10 64bit, CPU: Pentium Dual-Core P6200/2.13GHz メモリ: 4GB, ストレージ: SSD 500GB
外部ストレージ	ストレージ: CF**メモリーカード 2GB
モバイルルータ	4G 伝送速度 受信 Max300Mbps/送信 Max50Mbps
クラウドサーバ	商用クラウドストレージ

*PC: Personal Computer (使用モデル：汎用ノート PC)

**CF: Compact Flash

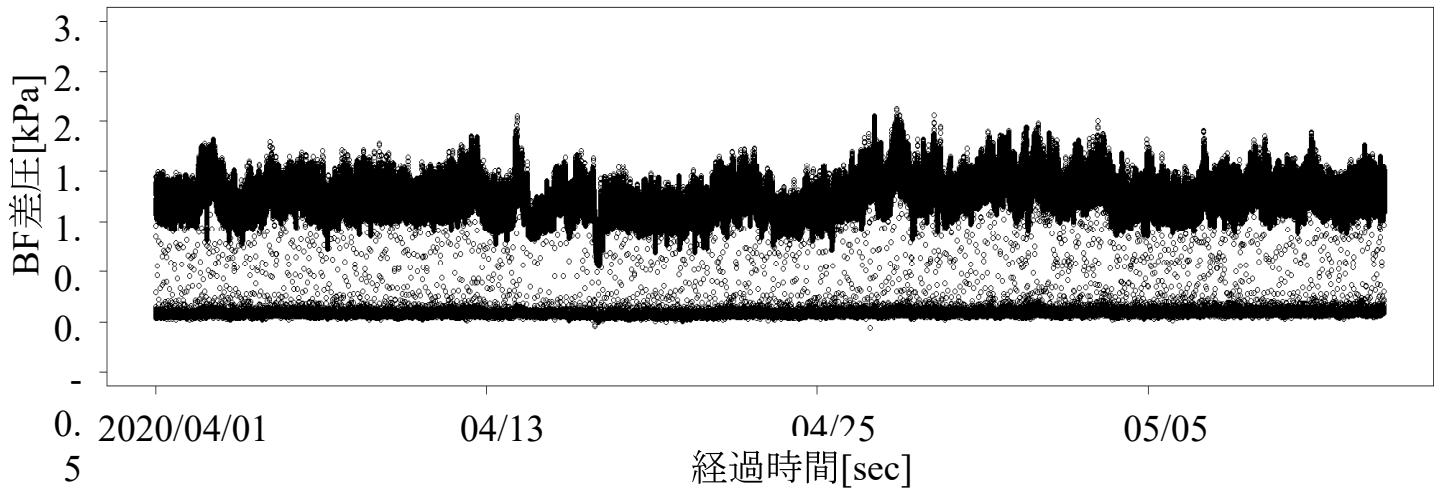
- ①計測：耐震性・耐衝撃性に優れた小型シリコン・キャパシタスセンサを備えたデジタル微差圧計により差圧を信号データとして取得
- ②処理：市販データロガーにより高サンプリング周期（1sec）でサンプリング
- ③記録：USB接続でPCの内部ストレージにデータを記録
- ④転送：モバイルルータを経由して汎用のプライベートクラウドにデータ転送

モニタリング結果

バグフィルタ差圧の推移

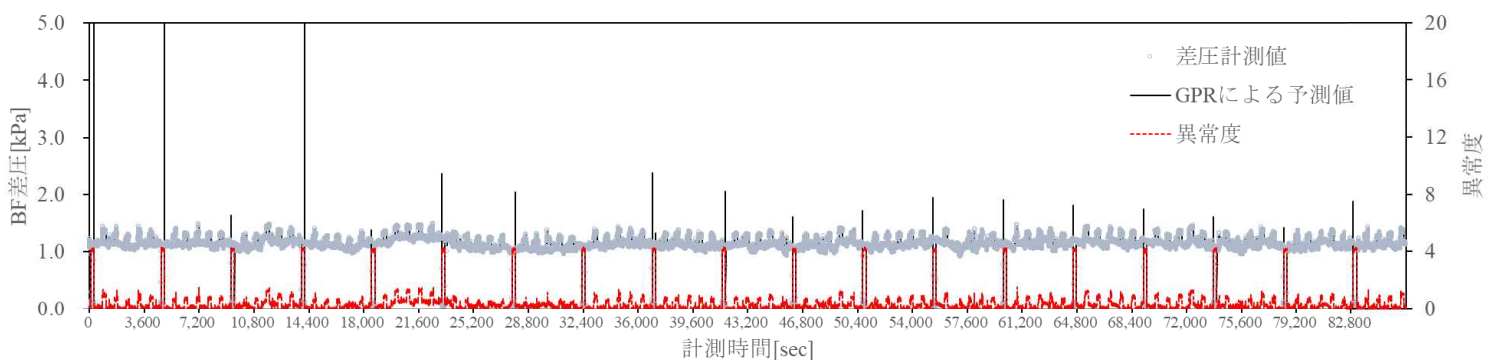
2020/04/01～05/13

○ : BF差圧



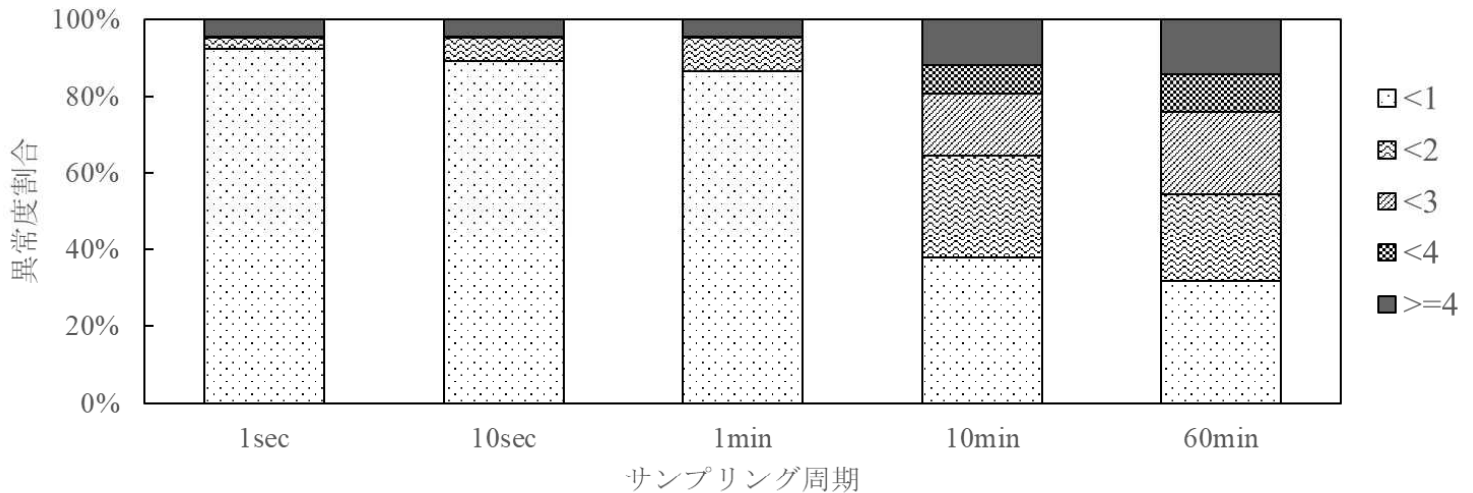
図中のプロットの多くは1.0～2.0kPa付近で推移しているが、パルスエアによるろ布に付着したダストの払い落としに伴いBF差圧が低下する部分が生じる様子が示されている。

ガウス過程回帰を用いた異常度の判定



頻繁に断片的な差圧上昇（上昇幅0.5kPa未満）がみられるほか、約77min毎に行われる3.5min間の払い落とし（パルスジェット）の間に差圧低下（低下幅約1.0kPa）が繰り返される。これによりGPRによる推計値が瞬時的に大きく振れる部分があるが、全体として計測値を忠実にトレース。

各サンプリング周期における差圧異常度の割合



➤ サンプリング周期10minと60minでは元の1secの際の異常度とは大きく異なった異常度の分布。

⇒BF差圧モニタリングにおいても、予防保全に向けては一定頻度以上のサンプリング周期が必要

➤ 予防保全の効果

誘引送風機の維持管理費用

$$MC = RC + OHC + TC$$

MC : 維持管理費用

RC : 更新費用 (0.6乗則, 12.5年)

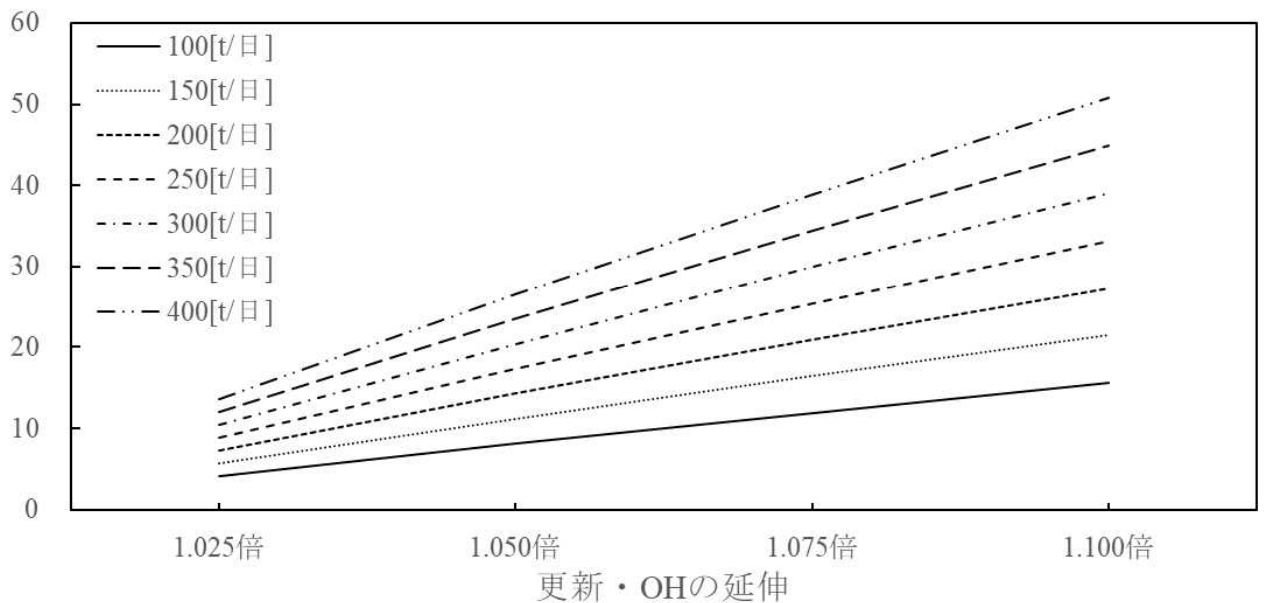
OHC : オーバーホール費用

TC : 故障対応コスト

(単位 : 万円/台・年)

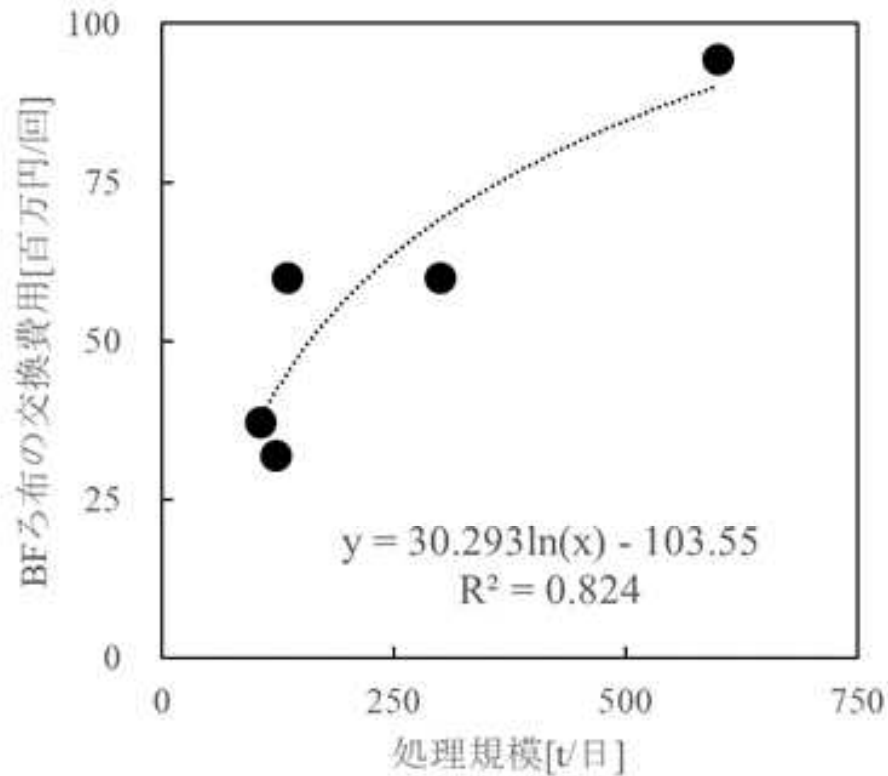
誘引送風機の耐用年数延伸による 維持管理費用の削減効果

更新・OH延伸および故障頻度低減効果
[万円/(台・年)]

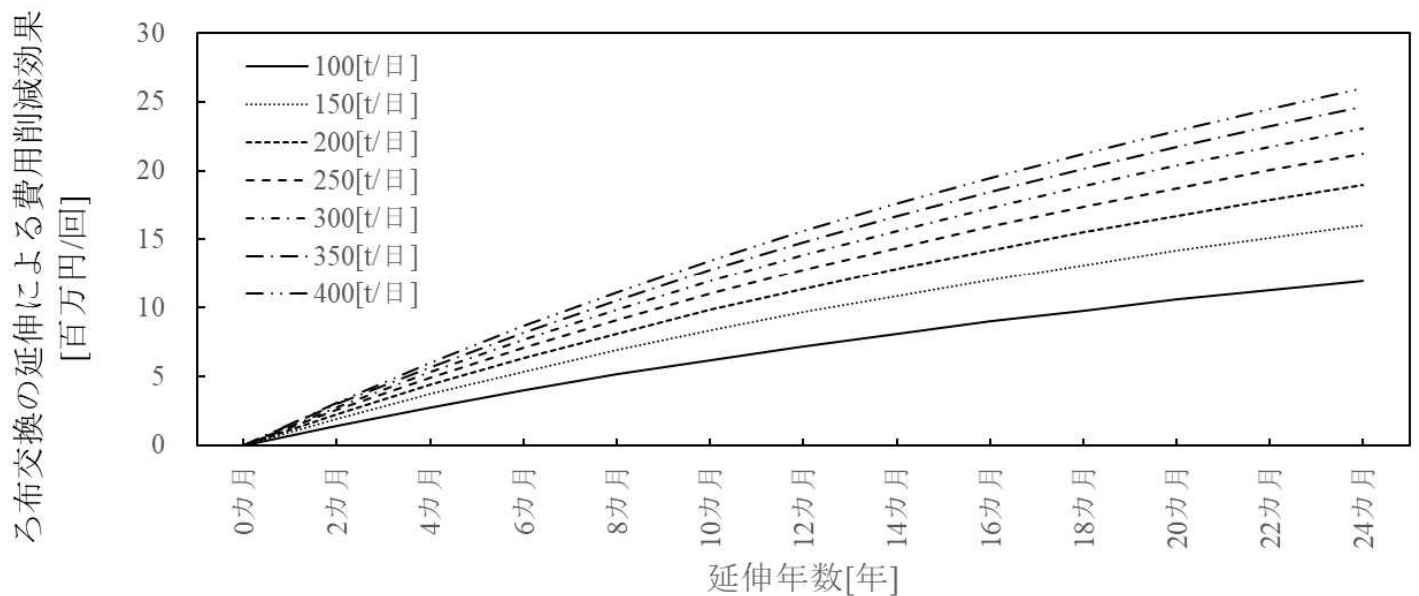


比較的小規模の100t/日炉で寿命が0.5% (半年程度) 延びることによる年間の維持管理費用削減効果は8.1万円/年であり, 1台の耐用期間全体では約111万円。

処理規模とバグフィルろ布の交換費用



ろ布交換の延伸による維持管理費用の削減効果



予防保全によりろ布交換を現状の4年から半年（定期修理の間の稼働期間2回）分延伸出来た場合の維持費用削減効果は100t/日炉で約400万円

まとめ

- 送風機の振動加速度およびBF差圧についてデータの計測，処理，記録，遠隔転送について一連の機能を有するモニタリングシステムを構築し，産業廃棄物焼却プラントで実証。
- 取得されたデータをもとに非線形回帰分析手法の1つであるGPRを用いて正常値を推定し，計測値との乖離度合いを異常度として判定する分析を実施。異常度判定の精度を担保するために，一定のサンプリング周期が必要となることを示した。
- 処理規模に対応した送風機とBFろ布の維持管理費用を推計して，機材の耐用年数を延伸することによる維持管理費用の削減効果を求めた。
- 今後，対象機器の拡張，操業ロスの回避効果，日常点検への適用など。

本研究は、環境研究総合推進費「JPMEERF20193005：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（代表：松本亨）」の補助を受けて実施した研究成果の一部です。記して謝意を表します。

⑤ **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
立命館大学 理工学部 環境都市工学科 教授 橋本 征二 氏**

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

立命館大学 橋本 征二(岡本 宗一郎、湯川 力、上鶴 喜貴)
立命館大学 児玉 耕太(橋口 伸樹、Jianfei Cao)
みずほリサーチ&テクノロジーズ 秋山 浩之
(西野 京一郎、不破 敦、森口 健生)

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

page 2

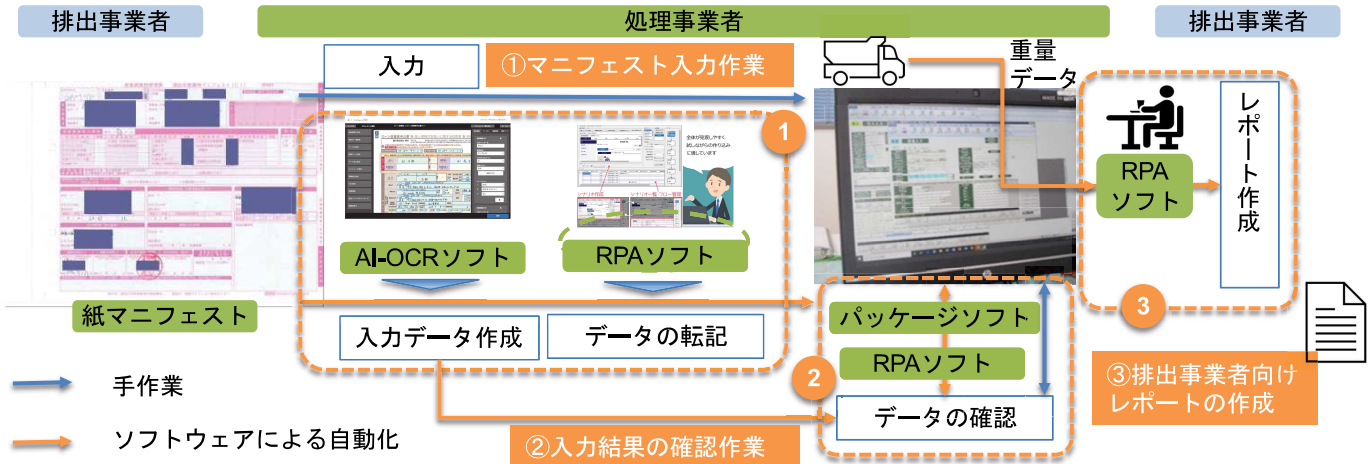
課題と目的

- | | |
|-------|--|
| 社会的課題 | <ul style="list-style-type: none">• 人手不足: 業務の電子化は進んでいるものの、電子マニフェストと紙マニフェストが混在しているほか、各種帳票類の作成・保存などには多くの作業時間を要しており、事務処理業務の効率化のニーズが高い。• 安全管理の向上: 廃棄物処理業における労働災害の度数率(死傷者数/100万延労働時間)、強度率(労働損失日数/1,000延労働時間)は全産業平均の約4倍、約3倍と非常に高く、安全管理の高度化に対するニーズが高い。 |
| 技術的課題 | 廃棄物処理業の事務処理業務や現場の安全管理に対応した情報通信技術が不足している。具体的なシステムをニーズに合わせて構築する必要がある。 |
| 目的 | <ul style="list-style-type: none">• 事務処理業務の自動化システムの構築: 紙マニフェストの入力、排出事業者向けレポート作成等を自動化するシステム(Robotics Process Automation: RPA)を開発• ウェアラブル機器を用いた安全管理システムの構築: ウェアラブル機器から生体情報を取得して、作業者の熱中症の危険性や身体負荷を管理するシステムを開発 |

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を自動化・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紙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

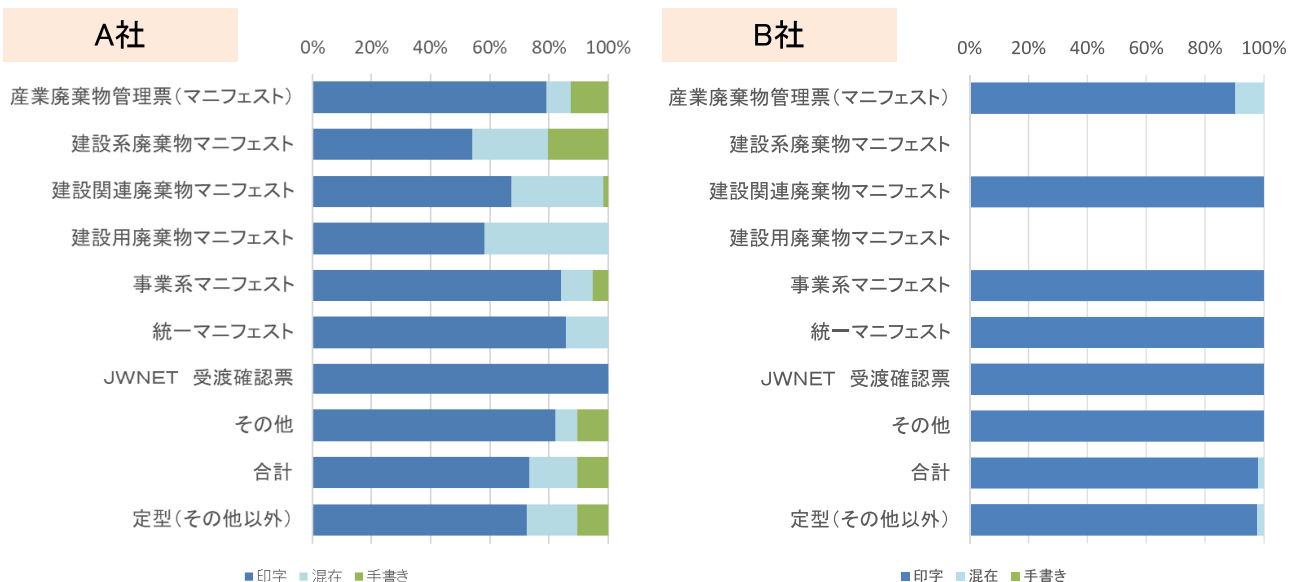


※AI-OCRソフト：帳票の形式を登録・学習し、文字画像の読取と、入力項目に対応した読取データの配置を行うソフト。

1 事務処理業務の自動化システムの構築

紙マニフェストの状況

- 2社について、定型マニフェストの印字状況を確認すると、全てが印字の割合はA社で約70%、B社でほぼ100%



1 事務処理業務の自動化システムの構築

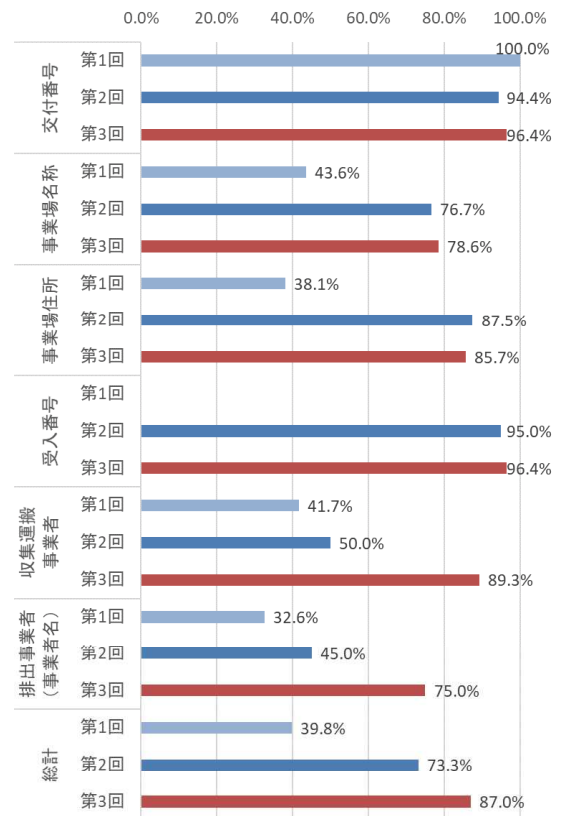
AI-OCRによる入力データの作成

- 読取対象を6項目としたA社の場合、読取精度は1回目から3回目にかけて徐々に改善、しかし、全項目合計で87.0%
- 読取対象を12項目としたB社の場合、最大で80.0%
- 数値の正答率はA社、B社ともほぼ100%



- AI-OCRの導入事例では90～95%以上の読取精度であるため、一般的な実用レベルをやや下回った
- 今後登録数が増えれば、読取精度が向上し、実用レベルに達する可能性あり
- 全角・半角や住所表記の統一なども必要

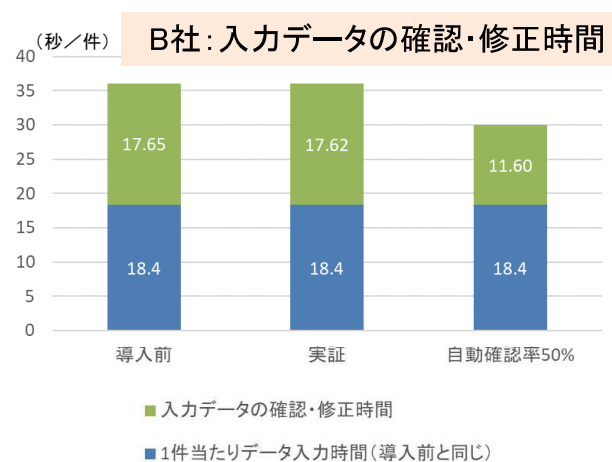
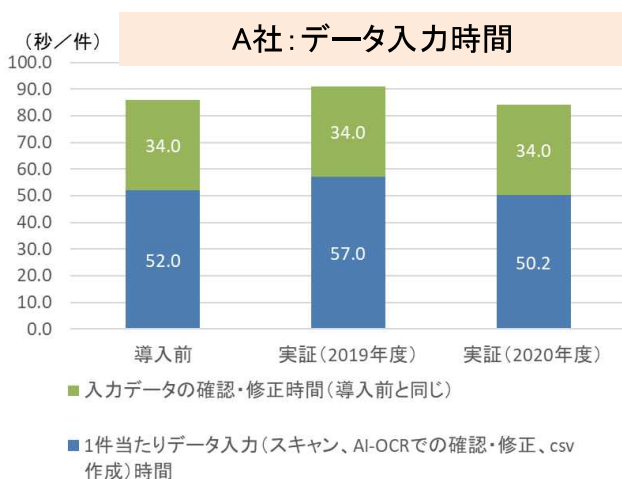
A社の読み取り正答率



1 事務処理業務の自動化システムの構築

RPAによる入力・確認作業

- 紙マニフェストのデータ入力時間(A社)は、RPA導入前に52.0秒/件であったが、導入後は50.2秒/件とわずかに短縮
- 入力データの確認・修正時間(B社)は、RPA導入前に17.65秒/件であったが、導入後も変化なく17.62秒/件、これは、AI-OCRの読取の正答率が低く、既にシステムに入力されているデータと一致しないケースが多かったため
→ 一致率を16%→50%まで高められると一定の時間削減可能性あり

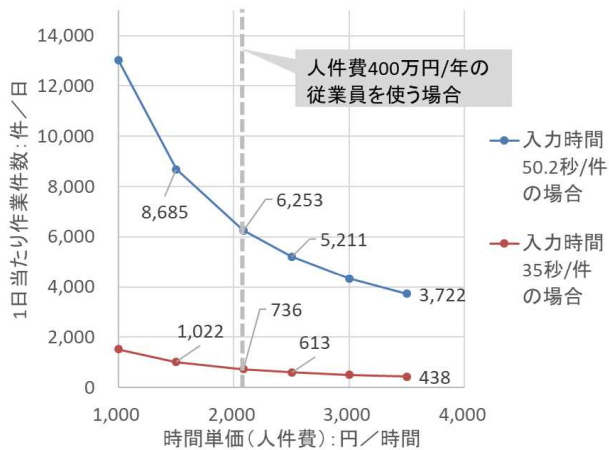


1 事務処理業務の自動化システムの構築

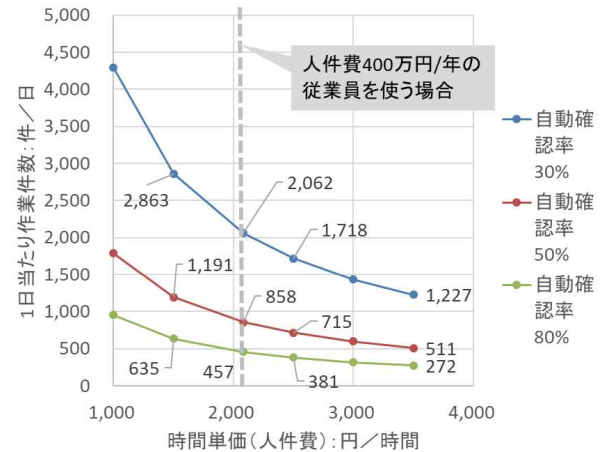
自動化システムの可能性

- AI-OCRの読取精度の向上やRPAによる自動入力パターンの追加などを通じて期待される作業時間削減効果があったと仮定して、自動化システムのコストを賄うための1日当たり作業件数の目安を推計すると、入力作業、確認作業とも500~1,000件/日

データ入力作業で導入効果を生む作業件数



確認・修正作業で導入効果を生む作業件数

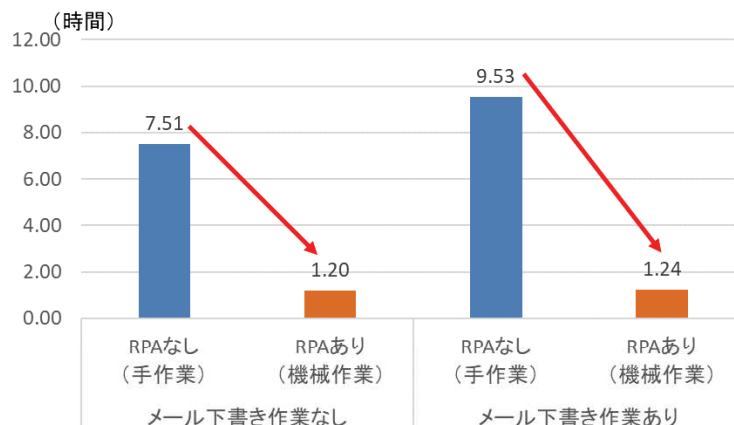


(注) 自動確認率: AI-OCRの全ての読取結果が、既にシステムに入力されている情報と一致し、自動的に確認済みとなる紙マニフェストの割合。

1 事務処理業務の自動化システムの構築

RPAによる排出事業者向けレポート作成の自動化

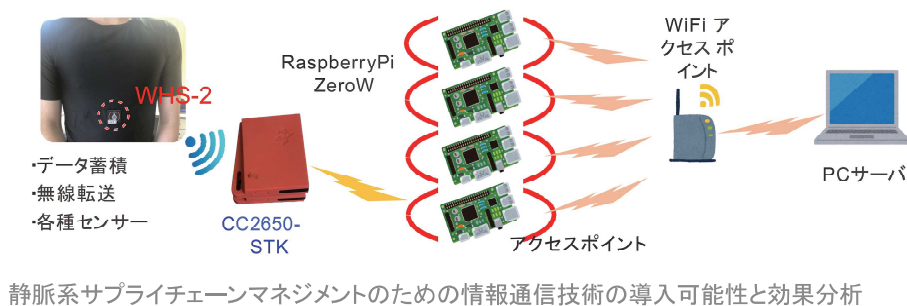
- 排出事業者向けレポート作成・保存までの作業(メール下書き作業なし)の場合、RPAを用いない手作業で115秒/社、RPAを用いた場合で18.3秒/社
- 1か月のレポート送付件数が235社とすると、前者は1か月に7.51時間を要するが、後者は1.20時間と約6分の1に減少
- メールの下書き作業まで行う場合では、約7分の1以下に減少



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(COCOMI®)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、心拍数を用いて身体負荷を判定



2 ウェアラブル機器を用いた安全管理システムの構築

熱中症の危険性の判定

① 暑さ指数(WBGT)による判定

危険(31°C以上)	高齢者においては安静状態でも発生する危険性が高い。外出はなるべく避け、涼しい室内に移動する。
厳重警戒(28~31°C未満)	外出時は炎天下を避け、室内では室温の上昇に注意する。
警戒(25~28°C未満)	運動や激しい作業をする際は定期的に十分に休息を取り入れる。
注意(25°C未満)	一般に危険性は少ないが激しい運動や重労働時には発生する危険性がある。



② 心拍による判定

<国際標準化機構:ISO9886>

- 作業中の1分間の最大心拍数は(185 - 0.65・年齢)
- 持続心拍数は(180 - 年齢)

をそれぞれ超えてはならない

<米国産業衛生専門官会議:ACGIH>

- 1分間の心拍数が数分間継続して(180 - 年齢)を超える場合
- 作業強度がピークに達した後1分間経過後の心拍数が120以下に戻らない場合は暑熱暴露を中止する

2 ウェアラブル機器を用いた安全管理システムの構築

身体負荷の判定

- 下式により判定

$$\text{労働強度(\%HRR)} = \frac{\text{作業時の心拍数} - \text{安静時の心拍数}}{\text{最大心拍数} - \text{安静時の心拍数}}$$

40%HRR以上	30～60分間持続する場合は危険
30%HRR以上	身体的な負荷が高い
30%HRR以下	8時間未満持続可能

(Borg, 1998)



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

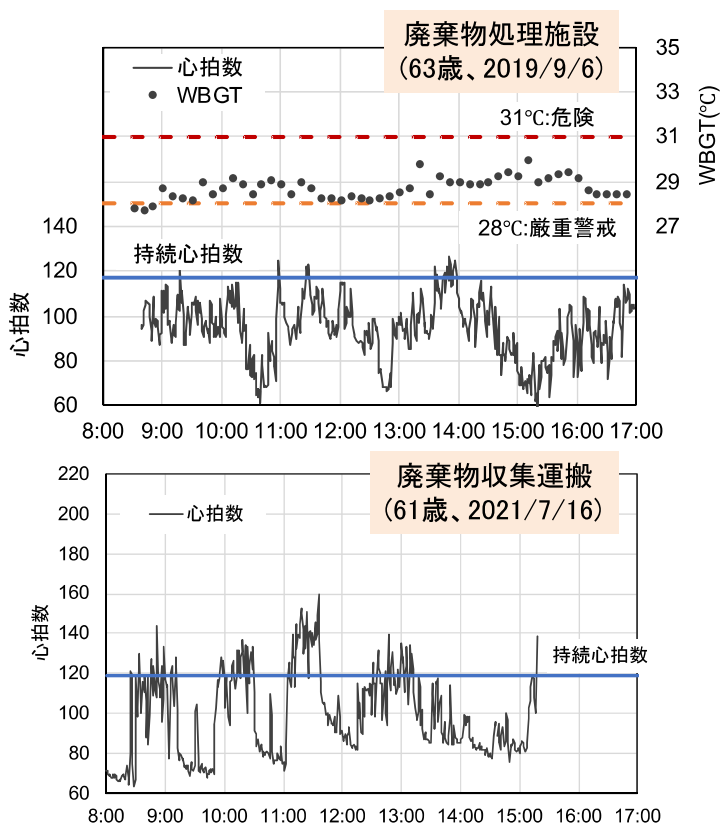
2 ウェアラブル機器を用いた安全管理システムの構築

熱中症の危険性について(計測例)

- 上図では、WBGT値はおおむね熱中症の**嚴重警戒**ライン(28°C)を超過
- 上図の心拍数については、熱中症の危険性の判断基準となる**持続心拍数**を超える値を計測(特に13:40頃～14:00頃の約20分間)
- 下図でも、**持続心拍数**を超える値を**30分以上継続して数回計測**



熱中症となる危険性があった



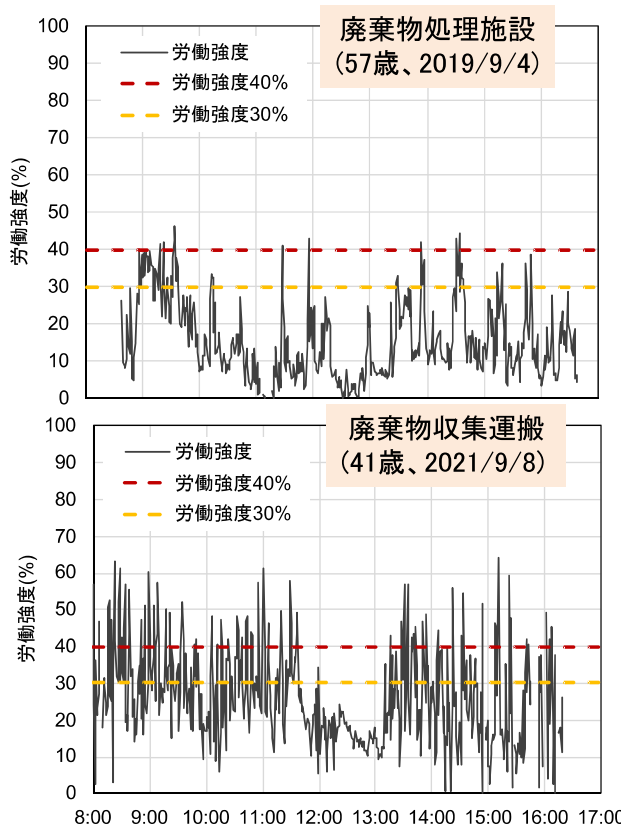
静脈系サプライチェーンマネジメントのための情報通信技術の導入可能性と効果分析

2 ウェアラブル機器を用いた安全管理システムの構築

身体負荷について(計測例)

- 上図では、労働強度は概ね40%以下の範囲を推移、負荷が高いとされる**労働強度30%**を超える時間帯が複数回
- 下図では、**30~60分間持続する場合に危険とされる労働強度40%**以上の作業時間割合が全体の約15%

↓
身体負荷が高かった



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

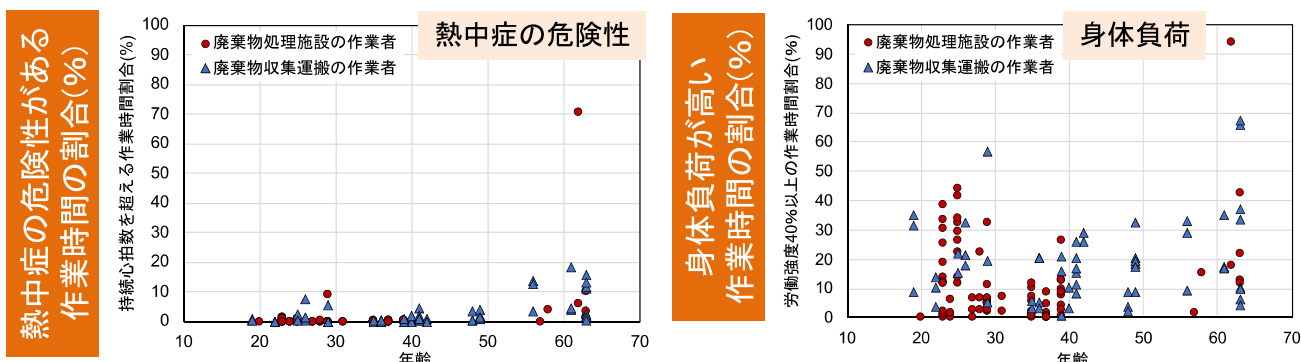
2 ウェアラブル機器を用いた安全管理システムの構築

熱中症の危険性と身体負荷について(全体的な結果)

- 年齢の高い作業者のほうが持続心拍数を超える時間、労働強度40%を越える時間が長く、熱中症の危険性や身体負荷が高まる傾向
- ただし、年齢が高くても問題ない作業員、年齢が低くても問題のある作業員もあり、同一の作業員でも日によって違いあり

➡ 心拍数をモニタリングすることで第三者からの注意喚起・警告等が可能となり、安全管理の高度化が可能

- 廃棄物処理施設での作業員と廃棄物収集運搬の作業員を比較すると、後者の方が熱中症の危険性や身体負荷が高まる傾向

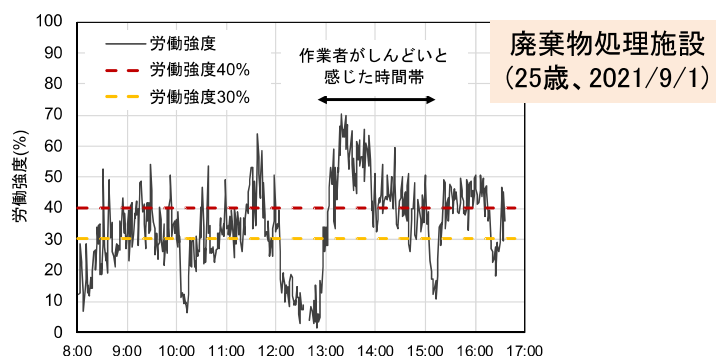


2 ウェアラブル機器を用いた安全管理システムの構築

身体負荷に関する作業者の感覚

- 下図では、労働強度が30%を超える時間帯がほとんどであり、一日を通して、作業者の身体負荷は高かった
- 一方、作業者がアンケートに”しんどいと感じた”と回答した時間帯は13:00ごろから15:00頃のみ
- アンケートを実施した54人・日のうち、労働強度が継続して40%以上となる作業時間計約800分に対し、作業者がしんどいと感じた作業時間約421分。

➡ 心拍数をモニタリングすることで第三者からの注意喚起・警告等が可能となり、安全管理の高度化が可能



まとめ

生産性の向上

- 紙マニフェストの入力・確認作業について、AI-OCRとRPAを用いて自動化・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
- 現状では作業時間の短縮は期待できず、AI-OCRの読取精度の向上や、住所表記の統一化を含む入力内容の詳細なプログラム化を実現する必要
- デジタル化された情報を用いて排出事業者向けレポートを作成する時間は、RPAにより大幅に削減可能

安全管理の高度化

- スマートウェアを活用して作業者の生体情報を計測するシステムを廃棄物処理業に導入し、熱中症の危険性や身体負荷の実態を把握
- 熱中症の危険性が高いと判定されるケース、危険な身体負荷と判定されるケースを確認
- 熱中症の危険性や身体負荷を心拍数を用いて常時計測することにより、作業者がおかれた異なる状況を踏まえた安全管理が可能に

