

# ハイパースペクトルカメラ を用いた廃棄物処理への 数理学からのアプローチ

開催者（石森洋行@国立環境研究所）

2026年3月6日(金)

明治大学中野キャンパス6階/研究セミナー室3

2025年度開催研究集会型「独立開催タイプ」

## 研究集会の概要

NASAが開発したライン走査分光器を嚆矢とするイメージング技術は、1970年代初頭以降質・量に桁違いの進化を遂げ、今日では環境・美術・考古・医・薬・理・農・工・食・軍事など様々な分野で活躍するハイパースペクトルカメラに結実しています。

本研究集会では、廃棄物処理という難問の解決を支援するハイパースペクトルカメラの活用技術と、そこに潜む数理的課題を議論します。

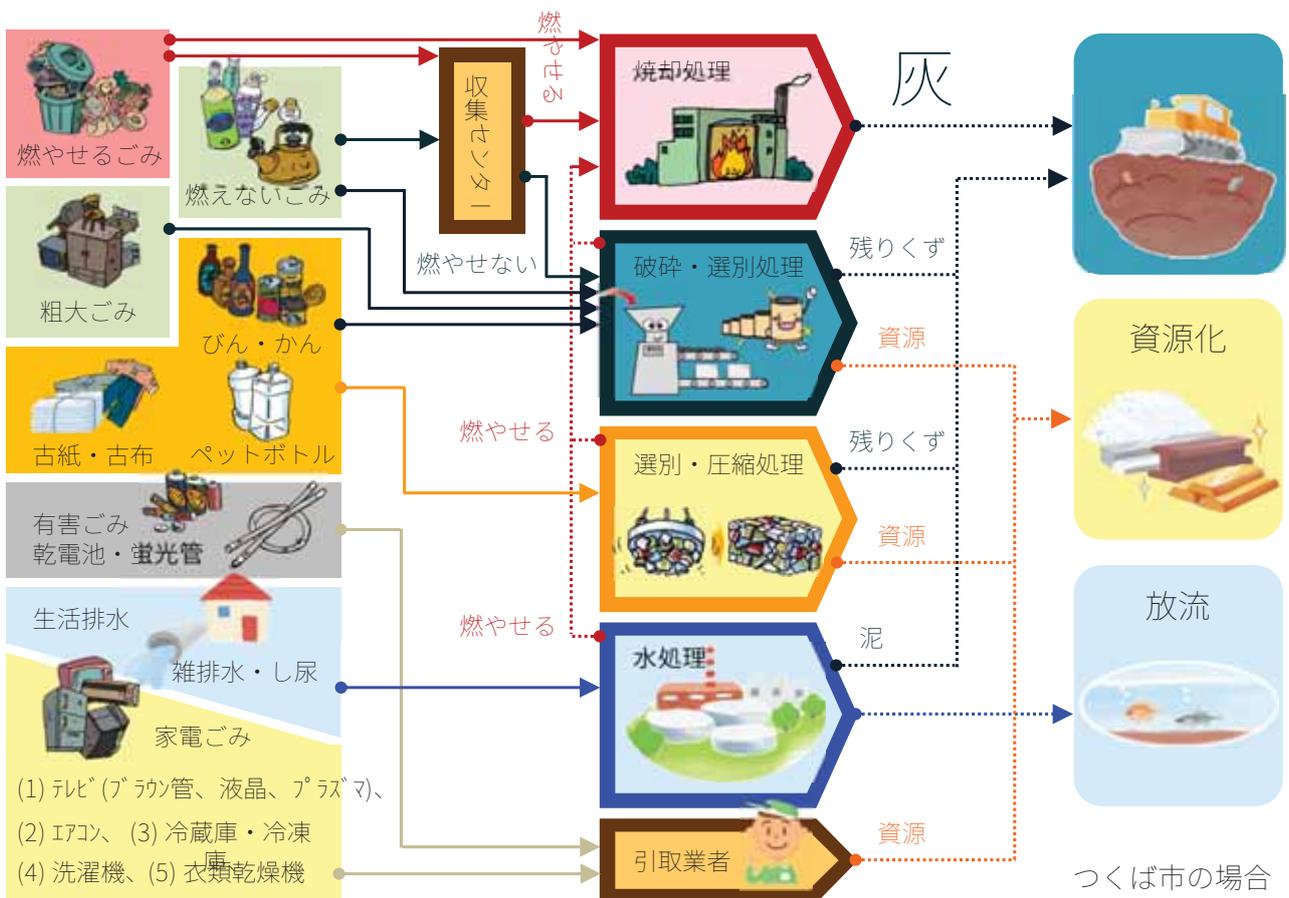


# プログラム

時間	講演タイトル・講演者
13:00-13:20	趣旨説明 石森洋行（国立環境研究所）
13:20-13:55	廃棄物処理処分のこれまでの取組と今後の方向性、磯部友護
13:55-14:30	廃棄物分別作業への支援技術、落合知
14:30-14:40	休憩
14:40-15:15	超高齢化社会と循環経済を見据えた中間処理、杉本竜一
15:15-15:50	ハイパースペクトルカメラの原理、劉ジェシカ
15:50-16:00	休憩
16:00-16:35	ハイパースペクトルカメラの社会実装、萩原一郎
16:35-16:55	総合討論及び閉会の辞、石森洋行

研究者と事業者：廃棄物、精密機器、AI開発、ロボティクス

## 廃棄物処理



# なぜ今、廃棄物処理に数理学が

## ■ 社会的背景

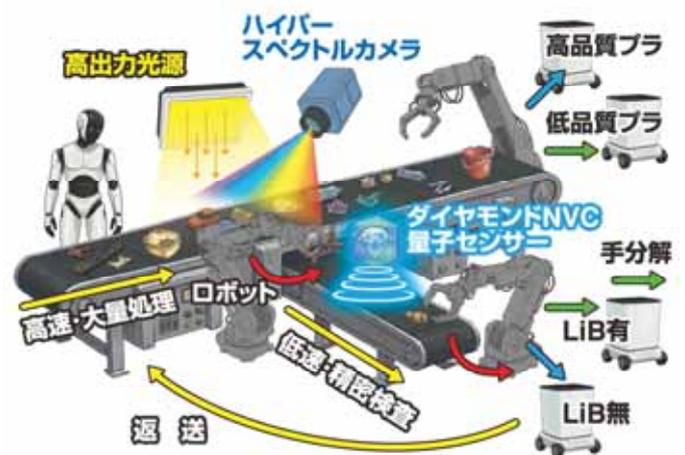
- ・ 国内約800箇所の廃プラスチックリサイクル工場
- ・ 搬送速度 3 m/s の高速選別ライン
- ・ LiB混入による火災事故（復旧費 最大約50億円規模）
- ・ 超高齢化・人手不足・分別能力低下

## ■ 技術的課題

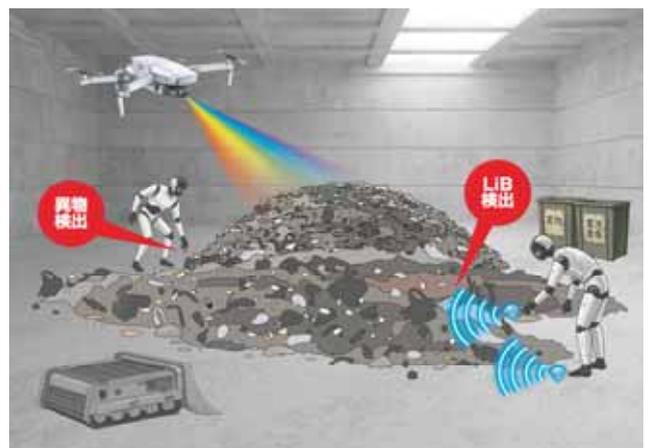
- ・ 目視検査依存（1台最大20分）
- ・ 危険物検出の非接触化の必要性

## ■ 数理学の役割

- ・ 分光データ高次元解析
- ・ 異常検知アルゴリズム
- ・ ロボティクス最適化



## どのような未来が描けるだろう？



ハイパースペクトル解析の応用は廃棄物分野にとどまらず、農業・インフラ・医療など幅広い領域への展開が期待されます。普及拡大によるコスト低減も見込まれます。ぜひ皆さんの専門領域からアイデアを出し合いましょう。

# 埼玉県における 廃棄物処理処分のこれまでの 取組と今後の方向性

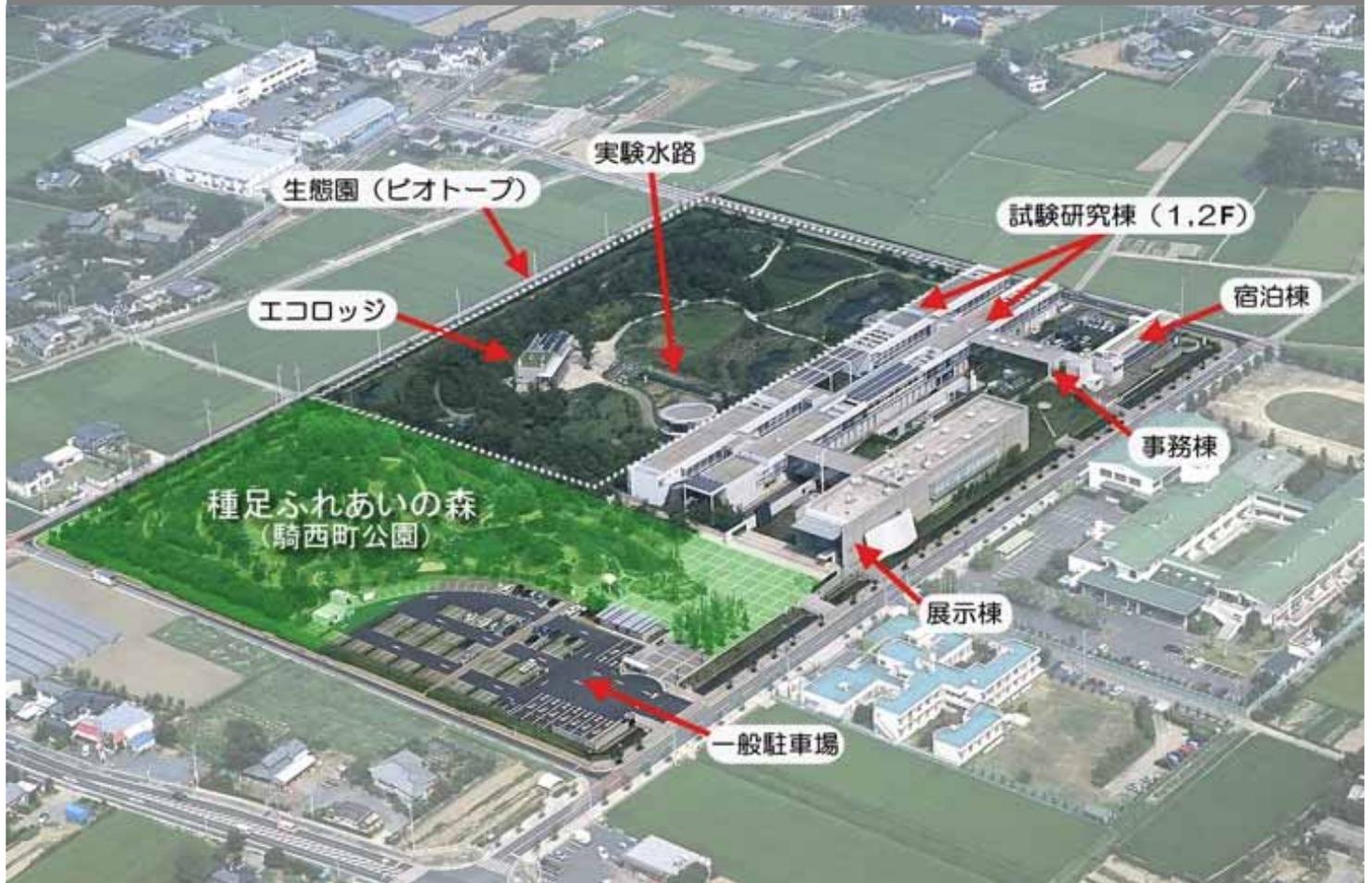
国立環境研究所 石森洋行  
埼玉県環境科学国際センター 磯部友護

明治大学先端数理科学インスティテュート「現象数理学研究拠点」共同研究集会  
2026年3月6日（金）

## 本日の内容

- 1.自己紹介
- 2.埼玉県における廃棄物処理の概況
- 3.廃棄物処理処分にに関する研究取り組み紹介
- 4.県内処理業者による先進的取り組み紹介
- 5.ハイパースペクトルカメラに期待すること

# 1. 埼玉県環境科学国際センター



# 1. 資源循環・廃棄物担当

## 資源循環・廃棄物担当

●一般廃棄物及び産業廃棄物の発生源から最終処分にいたる総合的な廃棄物管理の体制を支援するための調査・研究

### 資源循環システムに関する研究



廃棄物展開試験の様子

地域の特性を考慮した資源循環システムの構築

環境負荷を低減した持続可能な廃棄物のライフサイクルの構築  
リサイクル製品の安全性評価



環境に配慮した石膏ボード(左)の開発

### 中間処理に関する研究

焼却処理のサーマルリサイクルの検討  
建設混合廃棄物の選別後保管施設の高効率化



建設廃棄物の選別後保管施設の一例

### 最終処分に関する研究

処分場の有害化学物質の安全・安心保障  
処分場のモニタリング方法の検討



大型模擬処分場の実験風景

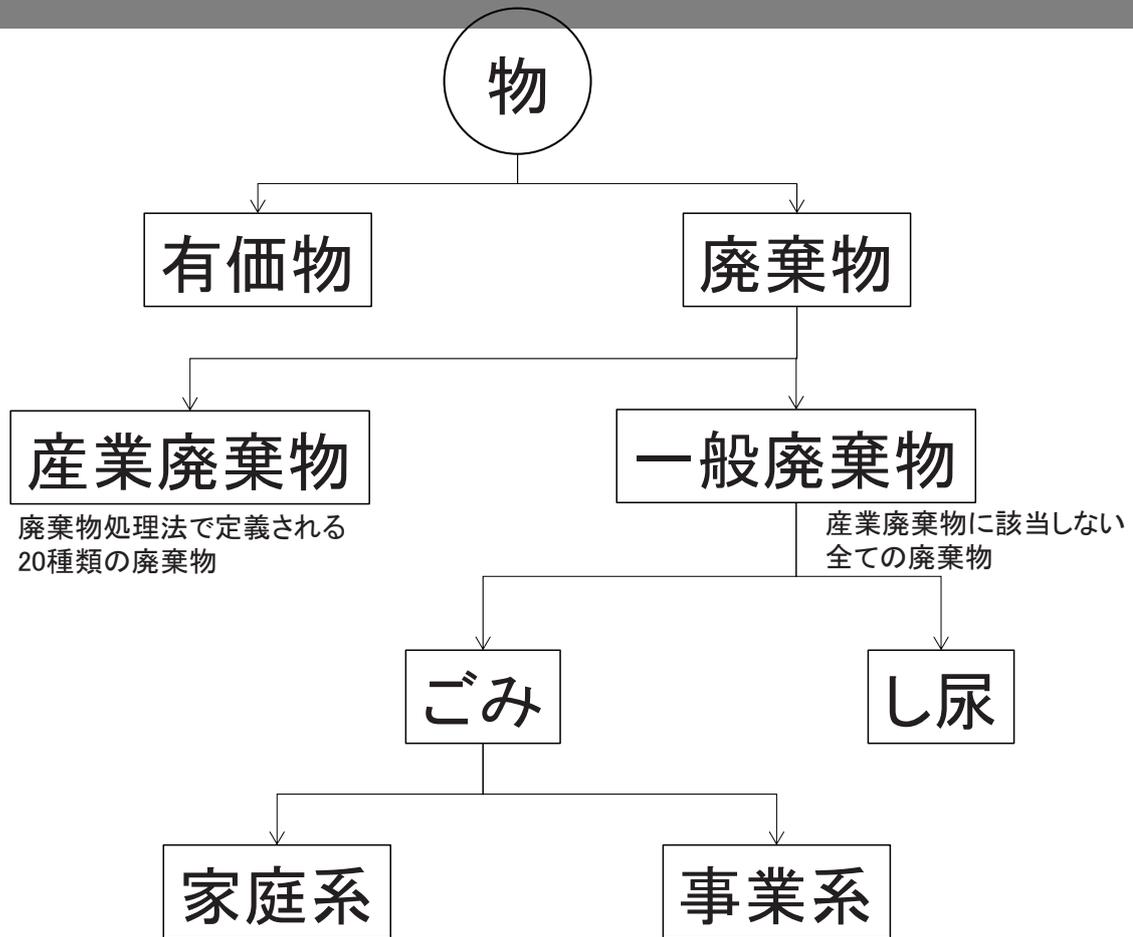
### 不法投棄対策

不法投棄現場調査法の開発  
生活環境保全上の支障除去の検討



不法投棄現場の支障除去風景

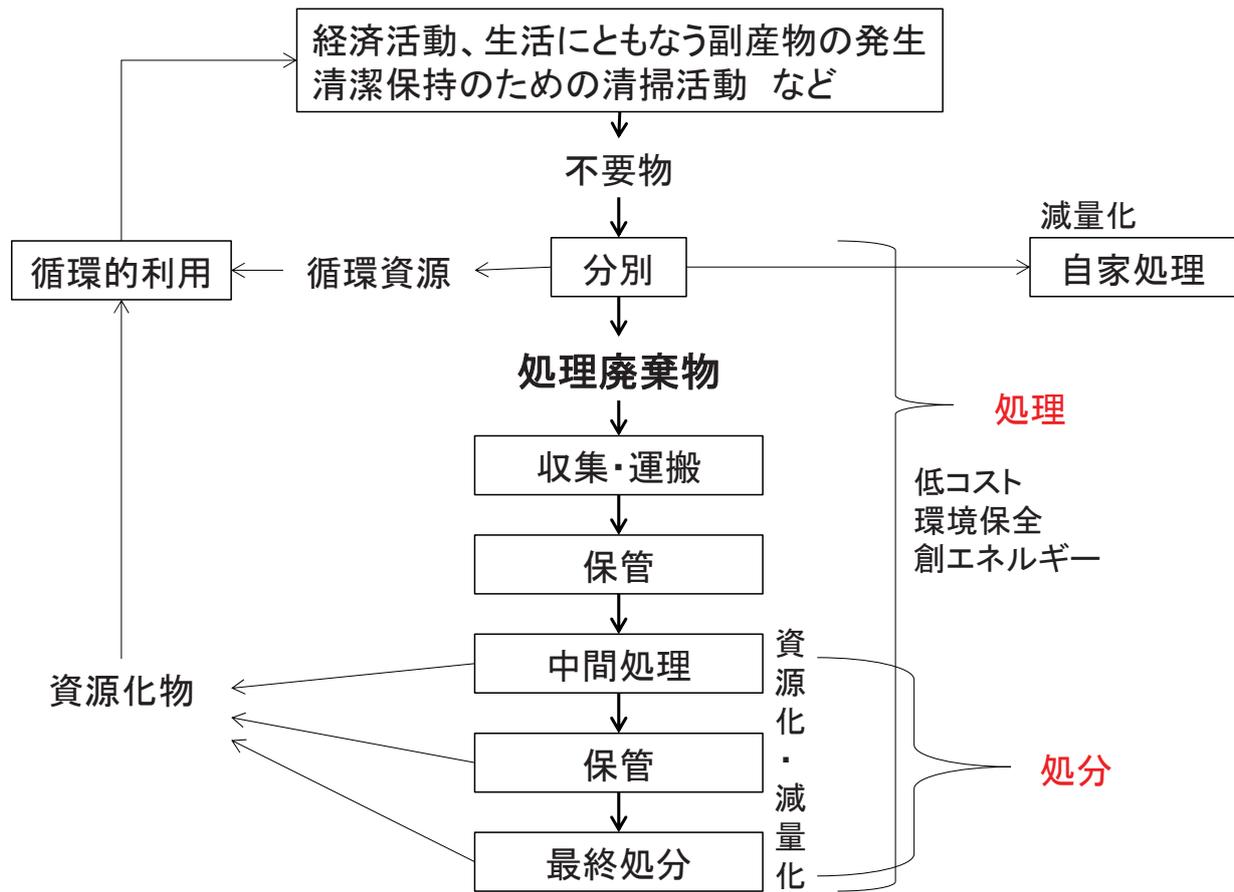
## 2. 廃棄物とは



## 2. 産業廃棄物とは

- 燃え殻
- 汚泥  
(有機性汚泥、無機性汚泥)
- 廃油  
(一般廃油、廃溶剤、その他)
- 廃酸
- 廃アルカリ
- 廃プラスチック類  
(廃プラスチック、廃タイヤ)
- 紙くず
- 木くず
- 繊維くず
- 動植物性残さ
- 動物系固形不要物
- ゴムくず
- 金属くず
- ガラスくず、コンクリートくず  
及び陶磁器くず
- 鋳さい
- がれき類  
(コンクリート片、廃アスファルト、その他)
- ばいじん
- 動物のふん尿
- 動物の死体
- 上記に該当しないもの  
(汚泥のコンクリート固化物など)

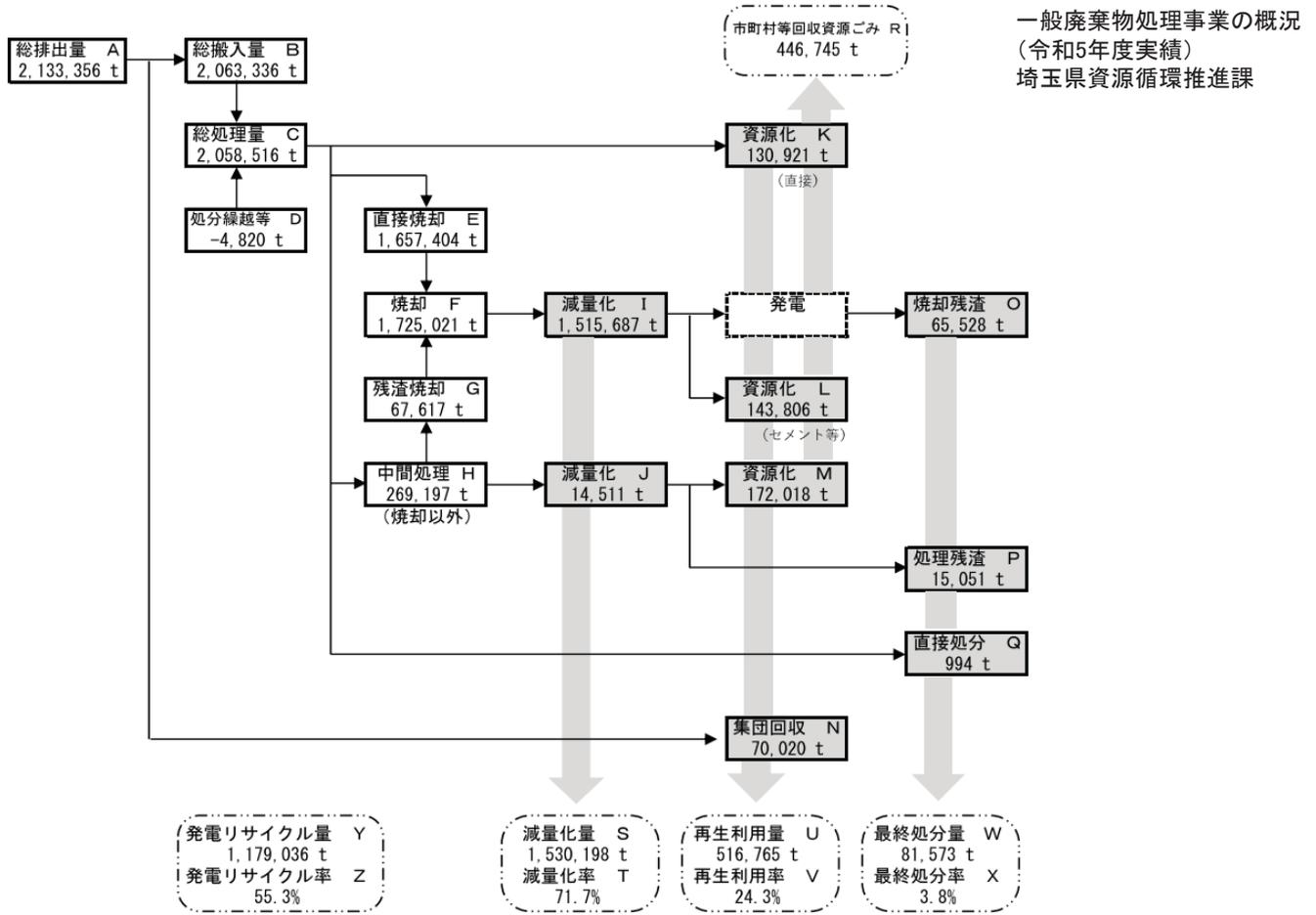
## 2. 廃棄物の処理処分の流れ



## 2. 一般廃棄物の処理処分概況



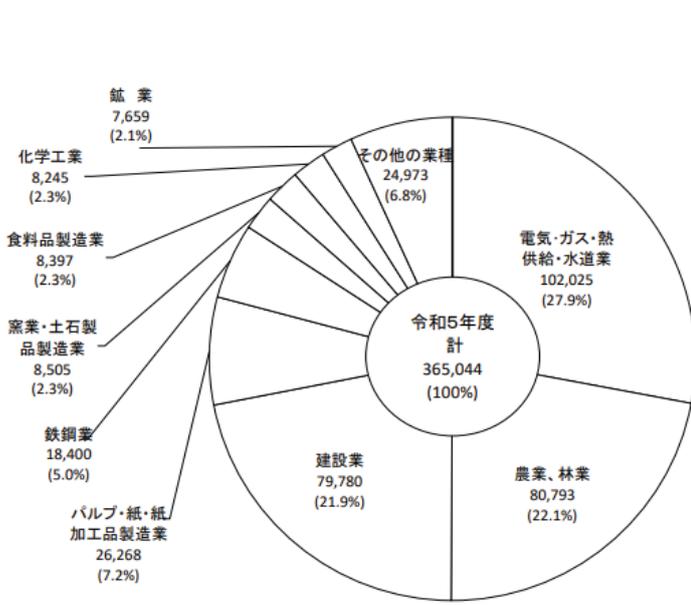
# 2. 一般廃棄物の処理処分概況



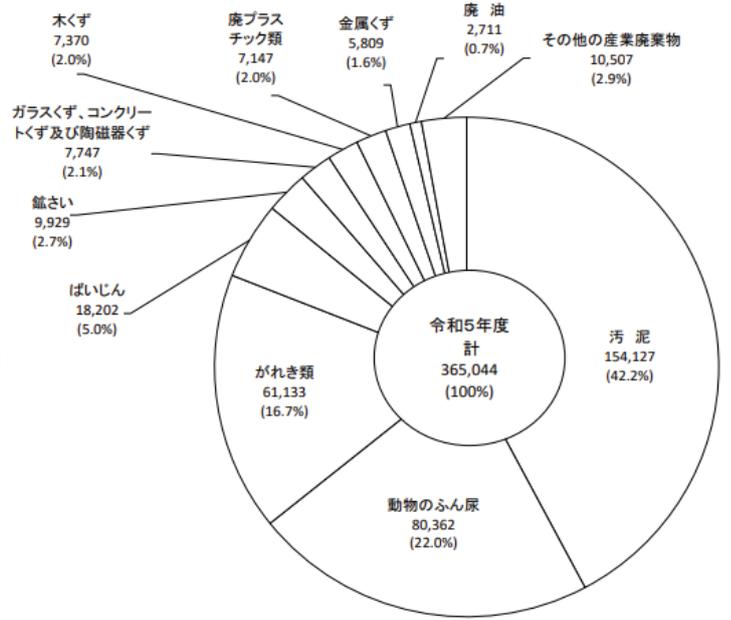
# 2. 産業廃棄物の処理処分概況



# 2. 産業廃棄物の処理処分概況



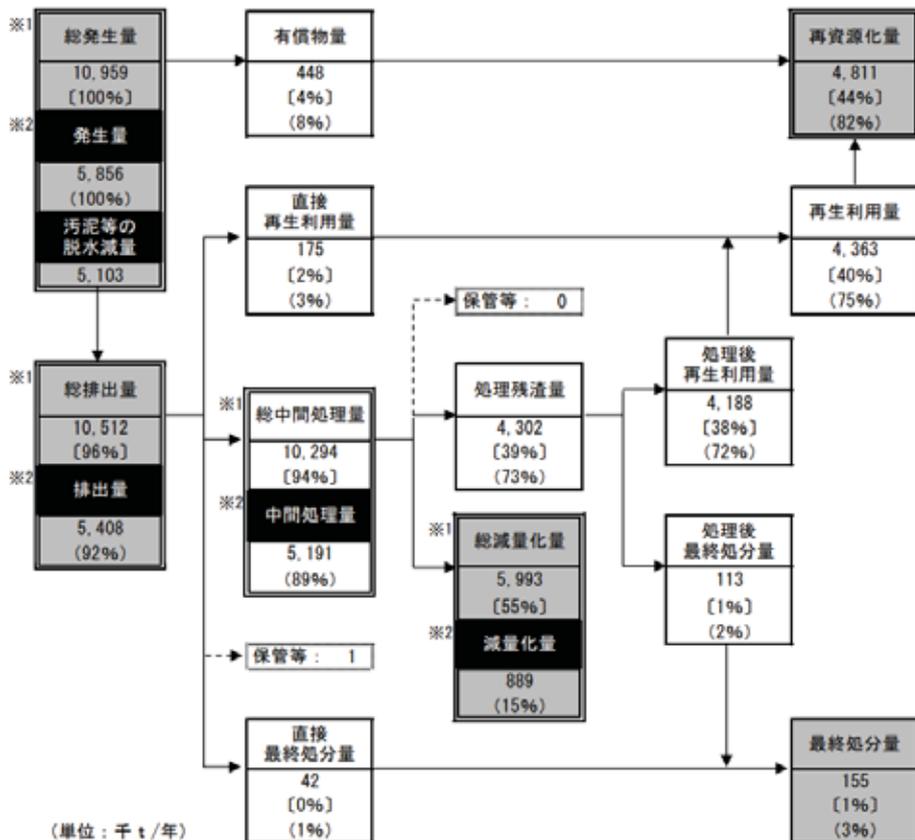
産業廃棄物の業種別排出量[千t/年]



産業廃棄物の種類別排出量[千t/年]

産業廃棄物排出・処理状況調査報告書(令和5年度速報値)  
環境省環境再生・資源循環局廃棄物規制課

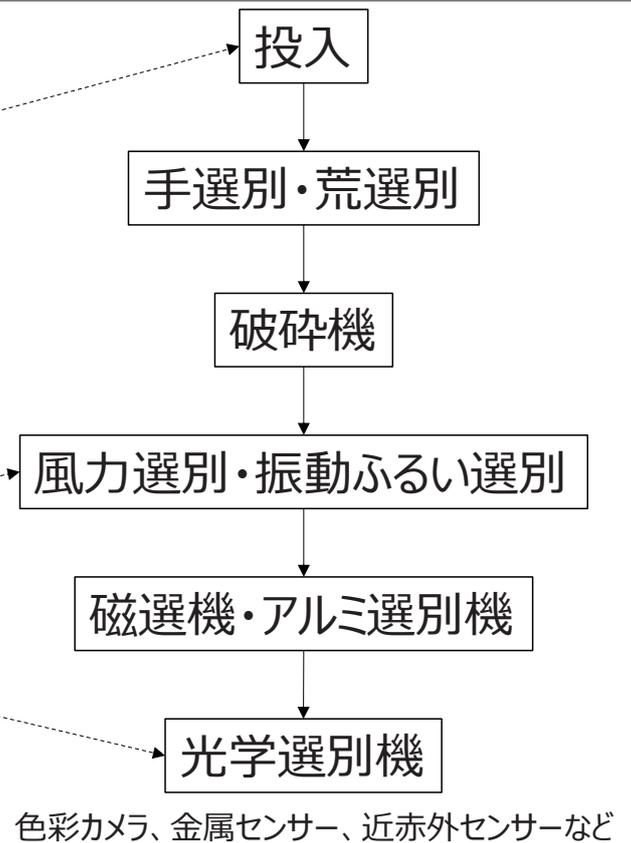
# 2. 産業廃棄物の処理処分概況



埼玉県産業廃棄物処理実態調査報告書(令和5年度実績)  
埼玉県産業廃棄物指導課

※1 [ ] : 排出事業所内での汚泥等の脱水処理による減量を含めたもの。  
※2 ( ) : 排出事業所内での汚泥等の脱水処理による減量を除いたもの。

## 2. 産業廃棄物の処理フロー例



## 3. 石綿含有建材の簡易判別手法の検討(2011)

建設リサイクル法に基づき建築物の分別解体が必要であり、現場で迅速に石綿含有建材を判別する手法を検討した。

検討課題：

1. 判定の正確さ 判定困難物の抽出
2. 個人差、環境要因の検討
3. 処理速度



表面・断面を目視観察

汚れている時！

判断が難しい時！



顕微鏡で拡大・観察



石綿含有建材判定のポイント

- 1) 繊維が有る！
- 2) 繊維束が有る！
- 3) 極細繊維！
- 4) 不均質！
- 5) 燃えない！

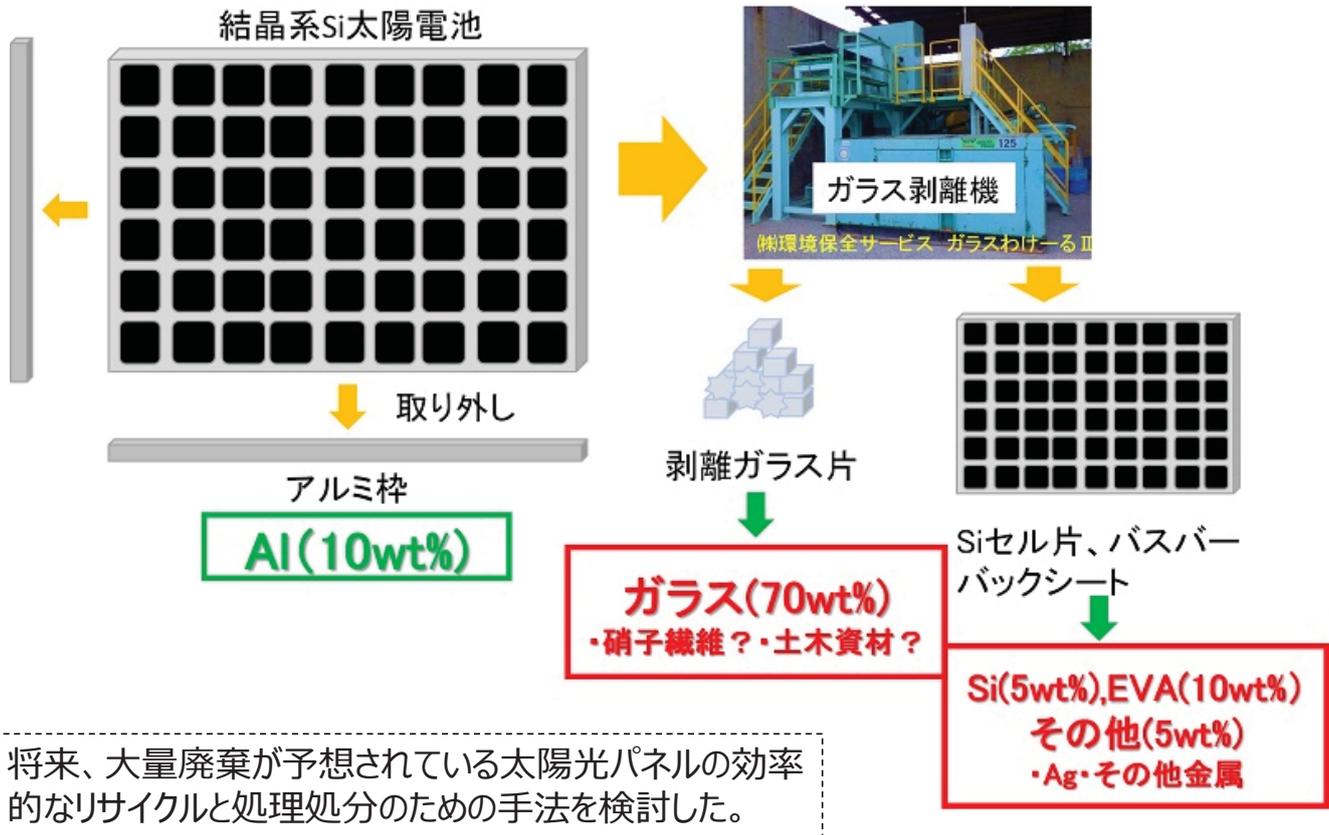


新しい断面を出す！

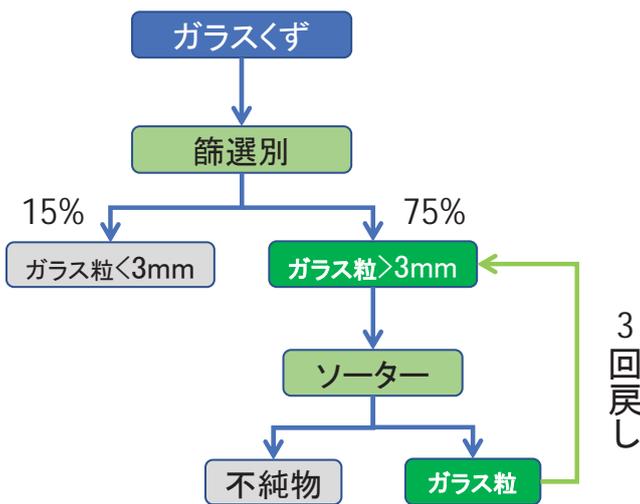


ライターで繊維を燃やす！

# 3. 太陽光パネルのリサイクル推進の検討(2021)



# 3. 太陽光パネルのリサイクル推進の検討(2021)



検討課題：  
色彩選別機による剥離  
ガラスの選別には限界が  
ある



## 4. AIやロボットによる廃棄物選別装置の導入



石坂産業株式会社ウェブサイトより



株式会社シタラ興産ウェブサイトより

- 埼玉県内の産業廃棄物処理事業者様には、AIやロボット技術による先進的な選別装置の導入が進んでいる。
- 将来の廃棄物処理に備えた装置の導入（太陽光パネルなど）も進んでいる。

## 5. ハイパースペクトルカメラに期待すること

### 【ハイパースペクトルカメラの技術導入に向けて期待すること】

- 様々な種類の廃棄物への対応力  
→日々、搬入される廃棄物は異なる
- 既存の選別技術からどのような高度化ができるのか  
→色彩選別装置を導入しても限界がある  
→導入により収益があがるか（サーキュラーエコノミー含む）
- 既存の選別技術との調和  
→HSC通過のエアバルブ機能との連携
- 既存設備への導入のしやすさ  
→処理ラインは複雑で設置スペースに余裕がない場合あり
- 導入価格

# 廃棄物分別作業者への支援技術が拓く 廃棄物処理の未来

環境資源・生物多様性研究科 研究員 落合 知

2026年3月6日(金)  
明治大学先端数理科学インスティテュート  
「現象数理学研究拠点」共同研究集会

 公益財団法人 東京都環境公社  
東京都環境科学研究所

## 目次

2

0. 自己紹介
1. 人の手による廃棄物選別
2. バイオマスに関する研究
3. 産官学連携プラットフォーム

 公益財団法人 東京都環境公社  
東京都環境科学研究所

## 落合 知 (Ochiai Satoru)

<経歴>

山梨大学大学院 博士課程修了 博士(工学)

<職歴>

千葉県 県土整備部 葛南土木事務所 技師

↓

国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター 特別研究員

↓

北海道大学大学院工学研究院 寄附分野 特任助教

↓

東京都環境科学研究所 環境資源・生物多様性研究科 研究員

### 【研究テーマ・キーワード】

- ・廃棄物処理(バイオマス、生分解性プラスチック、好気発酵、嫌気発酵、微生物処理)
- ・手選別(人間工学)
- ・脱炭素(地域コミュニティ、施策・計画)

0. 自己紹介

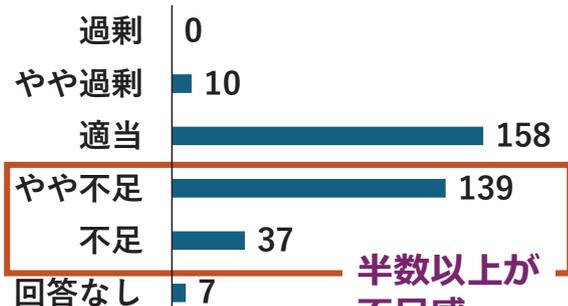
1. 人の手による廃棄物選別

2. バイオマスに関する研究

3. 産官学連携プラットフォーム



廃棄物手選別作業の様子



人材の過不足感(産廃処理業全体)<sup>1)</sup>

## 手選別

- 異物除去・資源回収に用いられる
- 機械選別に比べて低コスト、維持管理が容易
- 雇用場所としての役割

## 課題

- 人手が少ない
- 作業員の高齢化

疲労の少ない作業環境が求められる

1) 令和2年度産業廃棄物処理業における多様な人材の確保に関する調査結果概要,  
<https://www.env.go.jp/content/900533334.pdf>



## 災害廃棄物の再生利用の際にも活躍



廃棄物分別作業者への支援技術が拓く  
廃棄物処理の未来

技術と人の融合

	Strength	Weakness
ひと	柔軟 高い選別の目	非力 体力に限界
技術 (HSC,ロボティクス)	人の目を越えた目 強力な力 疲れ知らず	移動が大変 高価

- A) 人でできること
  - B) 技術でできること
  - C) 人+技術でできること
- } 適材適所につかう  
システム構築が必要

廃棄物手選別の研究目的

大目的:選別量や精度を落とすことなく  
作業者負担が少ない作業環境の整備

✓ 手選別作業に及ぼす環境因子の解明

<モノ>

- ①重さ
- ②大きさ
- ③質
- ④色(周りとの差)
- ⑤個数割合

<環境>

- ①明るさ
- ②高さ
- ③幅(奥行)
- ④速さ(ベルトコンベア使用時)

✓ 手選別作業の定量化

身体的負荷を測定(自覚疲労と無自覚疲労)

# 研究事例1 手選別作業の作業環境と作業効率

## 研究事例1: 研究目的と概要

【目的】「作業台の高さ」「コンベアの速さ」「作業台の幅」が手選別結果、作業者への影響を明らかにする。

プレス ← 磁選 ← トロンメル

手選別工程

展開場



○ゴミの流れ

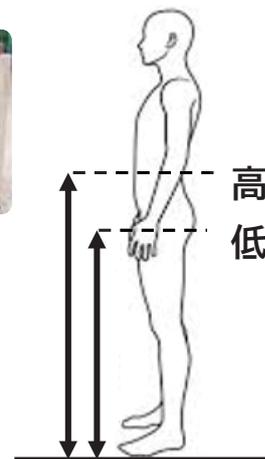


### ①作業台の高さ(2パターン)

通常作業時の高さ(1.0m)(高)  
 作業者の手首の高さ(約0.8m)(低)



高さ調整に用いた台

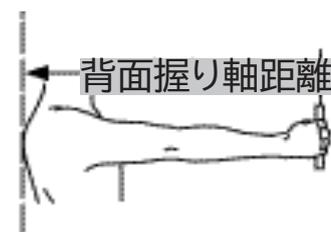


### ②コンベアの速さ(2パターン)

6.0[m/min](速)  
 3.0[m/min](遅)  
 (通常作業時の速さは4.5[m/min])

### ③作業台の幅(2パターン)

通常作業時の幅 (広)	背面握り軸距離 (狭)
<p>0.72(m)</p>	<p>約0.5(m)</p>



木製の仕切り



被験者の動きと実験試料を撮影



視線中心視点と作業者中心との距離を測定

A

作業条件	スピード	幅	高さ	選別率
高遅狭	×	×	△	99.83
高速狭	○	△	△	99.51
低遅狭	×	×	×	99.71
低速狭	○	○	×	100
高遅広	×	×	×	99.28
高速広	○	×	×	99.11
低遅広	×	○	○	99.81
低速広	○	○	○	100

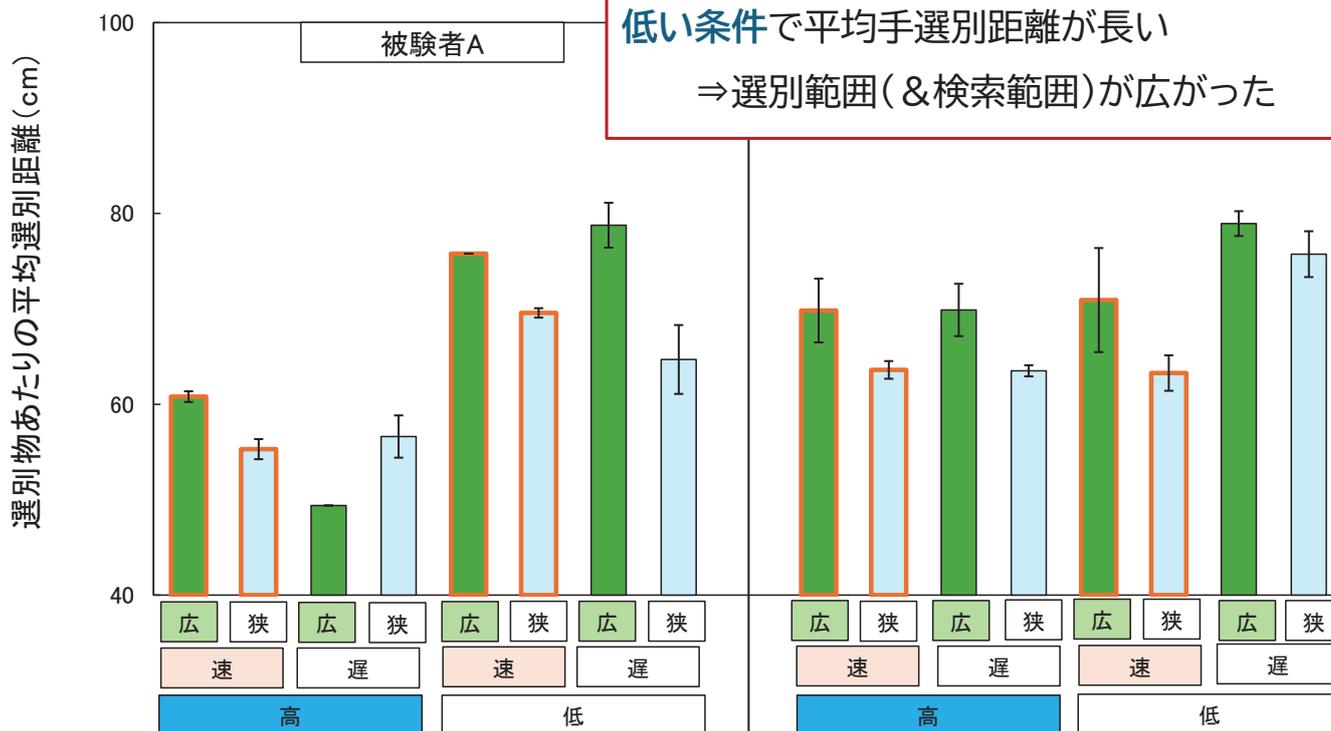
B

作業条件	スピード	幅	高さ	選別率
高遅狭	×	△	×	100
高速狭	○	○	×	100
低遅狭	△	△	○	100
低速狭	○	○	○	100
高遅広	△	×	×	100
高速広	○	×	×	99.6
低遅広	△	△	○	100
低速広	○	△	○	100

- ・Aは低速広、Bは低速狭の条件が作業しやすいと感じる条件であった
- ・コンベアが速い時は全条件で作業しやすい環境であった
- ・作業台は低い時がやりやすいといった回答が多かった

○選別物あたりの平均手選別距離 ※視線結果も同様

同じ速さの時では  
**低い条件**で平均手選別距離が長い  
 ⇒選別範囲(&検索範囲)が広がった



# 研究事例2

## 手選別作業の身体負荷の定量化

【目的】手選別作業の労働負荷と疲労を定量的に評価するとともに、その手法の可能性を探る。

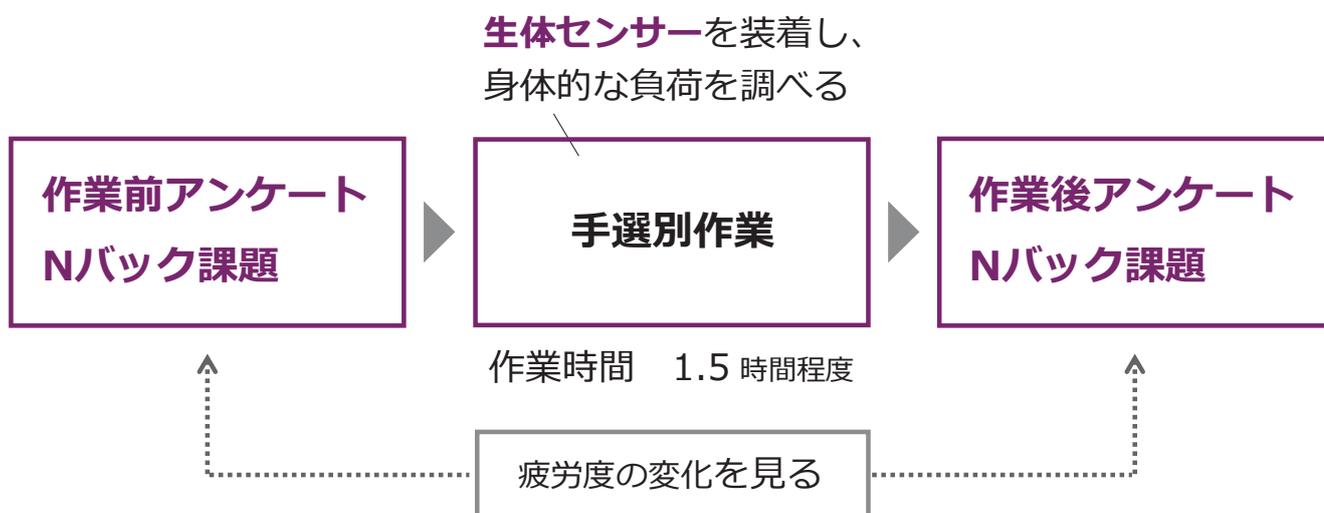
現場の様子



使用した手選別ラインの通常業務

- ビン3種類、缶2種類、ペットボトルの選別
- ルスツ村、ルスツリゾート、南部後志の廃棄物
- 1.5時間の作業を、1日に4～5回
- コンベア 高さ 1.0m、幅 0.72m、速さ 4.5m/分

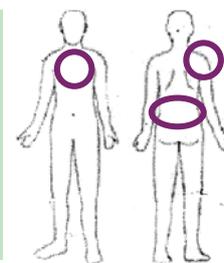
通常業務と同様の作業条件において、実験を実施  
ペットボトルを選別する作業者を対象





**biosignalsplux<sup>2)</sup>**

生体センサー  
測定したデータをPCに転送  
リアルタイムでの計測が可能



① 労働強度<sup>1)</sup>

心電位→心拍数→労働強度

$$\%HRR = \frac{HR_{working} - HR_{resting}}{HR_{maximum} - HR_{resting}} \times 100$$

② 身体活動量<sup>1)</sup>

加速度→身体活動量

$$\text{身体活動量} = \sqrt{(A_{x_n} - A_{x_{n-1}})^2 + (A_{y_n} - A_{y_{n-1}})^2 + (A_{z_n} - A_{z_{n-1}})^2}$$

③ 筋負荷<sup>2,3)</sup>

筋電位→筋負荷



1) 蔭山ら：廃棄物処理施設作業者の生体情報を用いたヒューマンリソースマネジメント(HRM), 環境科学会誌,35(5), 2022

2) <https://www.sakaimed.co.jp/knowledge/surface-electromyogram/measurement/measurement03/>

3) 今村ら：廃棄物手選別作業における作業環境の最適化に向けた人間工学的検討,北海道大学工学部2022年度卒業論文,2023年

**疲労度のアンケート**

(自覚疲労)

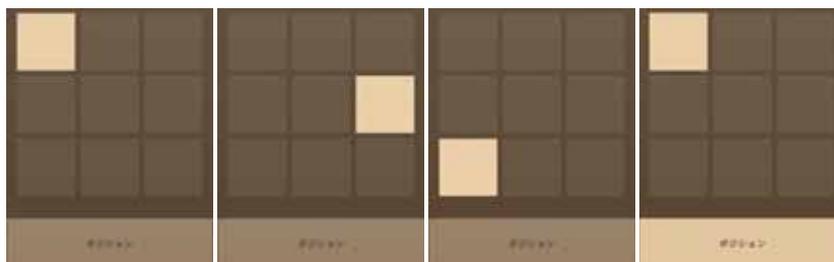
- Samn-Perelli<sup>1)</sup>の疲労尺度による
- 7段階で疲労度を申告

1.	元気いっぱい、活力にあふれている。最高の状態。	非疲労
2.	元気。集中できている。	
3.	元気であるが、集中力は落ちてきている。	
4.	少し疲れを感じるが、作業に支障はない。	軽度の疲労
5.	中程度の疲れで、集中力を維持できない。	
6.	深刻な疲れで、集中できない。作業を止めたいと感じる。	疲労
7.	疲労困憊で、作業を続けることができない。	

**Nバック課題<sup>2)</sup>**

(無自覚の疲労)

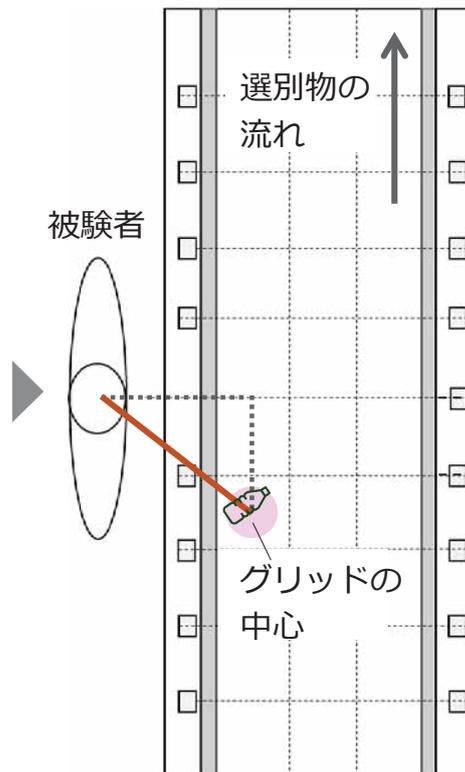
- 認知能力の低下を調べる
- N個前と同じ位置が表示されれば応答する
- 2バック課題を実施



ランダムに表示される →

1) Sherwood W. Samnら：Estimating aircrew fatigue: A technique with application to airlift operations, SAM-TR-82-21, Dec 1

2) Fengら：Predicting physical fatigue in athletes in rope skipping training using ECG signals, Biomedical Signal Processing and Control 83 (2023) 104663



**選別数**

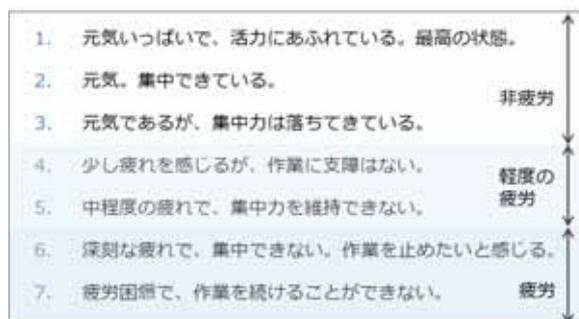
実験中動画をもとに、手に取った位置と合わせて5分間ごとに計測

**平均選別距離**

選別物1個当たりの平均距離  
5分間ごとに算出

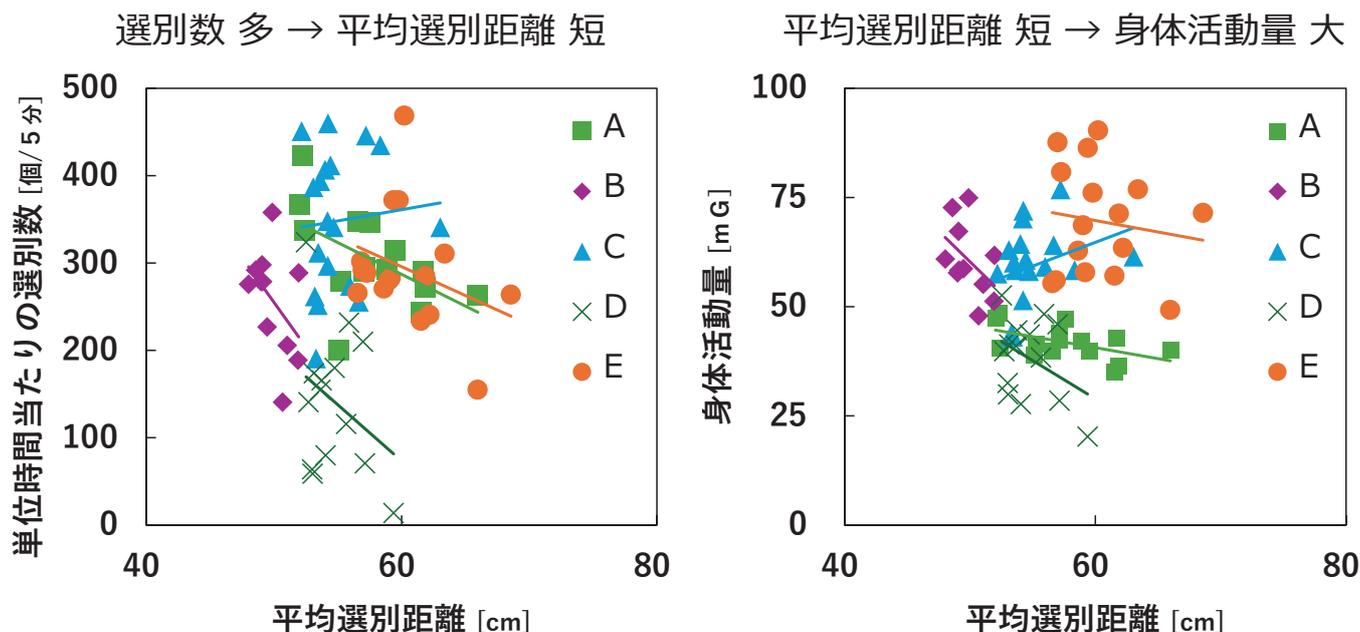
表 疲労度のアンケートとNバック課題の結果

被験者	アンケート	Nバック課題 正答率
A	2 → 3(+1)	*
B	*	*
C	2 → 2(+0)	60 → 60%
D	4 → 4(+0)	90 → 90%
E	2 → 2(+0)	60 → 90%



疲労度、Nバック課題の正答率ともに、ほとんど変化が見られない  
→ **今回測定された負荷の程度は、作業者に明確な疲労を与えるものではない**  
過度な作業は強いられていない

\* データに不備あり



選別数が増えると、作業者は近くの距離から選別するようになるとともに、身体活動量が増加する傾向にある

0. 自己紹介

1. 人の手による廃棄物選別

2. バイオマスに関する研究

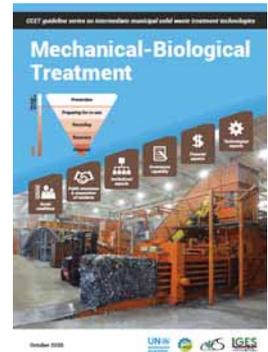
3. 産官学連携プラットフォーム

捕獲鳥獣の好気発酵処理による減容化



有害鳥獣軟化処理(浪江町)

アジア・東南アジアにおける廃棄物MBT処理技術の最適化



機械選別・生物処理(MBT)ガイドライン

放射性物質に汚染されたイノシシ等の軟化処理施設について  
[http://shiteihaiki.env.go.jp/initiatives/fukushima/waste\\_disposal/wild\\_boar.html](http://shiteihaiki.env.go.jp/initiatives/fukushima/waste_disposal/wild_boar.html)  
 途上国におけるごみ処理の改善に向けた「機械選別・生物処理(MBT)ガイドライン」  
[https://www-cycle.nies.go.jp/jp/report/MBT\\_guideline.html](https://www-cycle.nies.go.jp/jp/report/MBT_guideline.html)

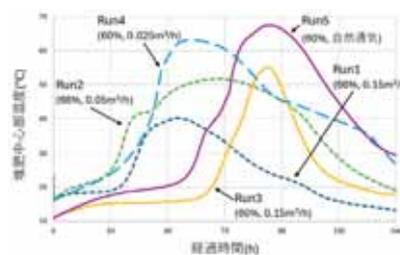
メタン発酵消化液(バイオ液肥)の利用拡大のための社会調査

日本有機資源協会と協働。北海道内のメタン発酵バイオガスプラントと消化液を利用している農家へのヒアリングを通して、バイオガスプラントの課題、消化液利用の課題を整理&発信

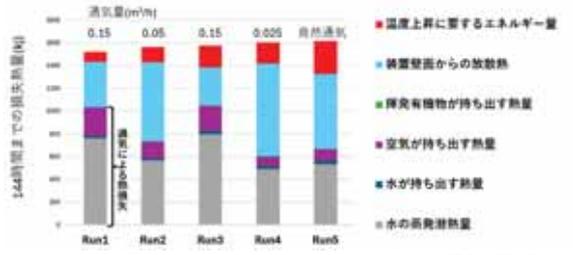


【アウトカム】  
 ・バイオマス資源のメタン発酵処理の出口の対策

下水汚泥の堆肥化処理における通気が熱収支および微生物反応に及ぼす影響



実験による現象把握



熱収支シミュレーションの作成と熱損失解析

【アウトカム】  
 ・最適な設備導入と運転のための基礎的知見を提供

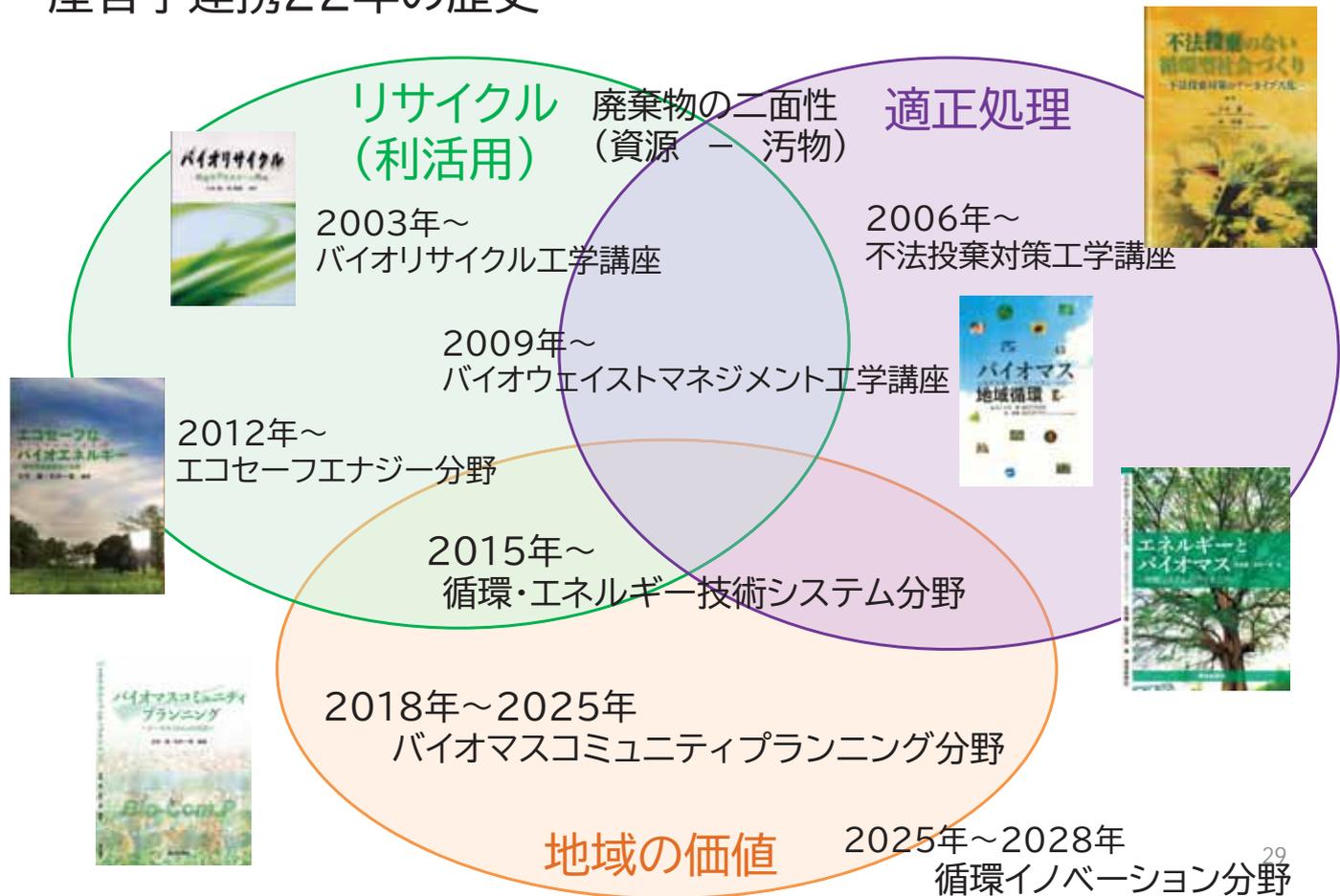
0. 自己紹介
1. 人の手による廃棄物選別
2. バイオマスに関する研究
3. 産官学連携プラットフォーム

# 産官学連携プラットフォーム構築

## 北海道大学寄附分野

寄附講座(きふこうざ)とは、企業や団体からの寄附金を財源として、大学内に一定期間(通常2～5年)設置される教育・研究組織です。外部の資金と人材を活用し、社会的に重要性の高い特定の専門分野について、実践的な研究や教育を推進する産学官連携の仕組みです。wikipediaより

## 産官学連携22年の歴史



## 産官学連携：バイオマスコミュニティプランニングの理念

バイオマスコミュニティプランニング分野では、廃棄物等およびバイオマス資源の循環・エネルギー利用を通じて、**持続可能な地域コミュニティを計画するための技術・社会システムを、産官学の連携で開発し提案する。**

## 「社会実装」

- **地域の悩みの解決の手助け**を地域と連携しFSや実証試験などを行う(国家プロジェクトなどの獲得も含む)
- **将来に向けた土台**になるような、基礎研究や実証研究の実施
- 研究発表、論文、セミナー、書籍、SNSなどの**アウトプットの充実**

客員教授 古市 徹 特任助教 落合 知

**寄附会社 計16社**

岩田地崎建設株式会社、応用地質株式会社、株式会社大原鉄工所、  
 鹿島建設株式会社、株式会社コーンズ・エージー、  
 三友プラントサービス株式会社、大成建設株式会社、  
 株式会社土谷特殊農機具製作所、株式会社ドーコン、ニセコ環境株式会社、  
 パシフィックコンサルタンツ株式会社、日立セメント株式会社、  
 北海道電力株式会社、株式会社鈴木商会、栗田工業株式会社、  
 よつ葉乳業株式会社

**オブザーバー**

北海道庁、南幌町、当別町、興部町、大樹町、石狩市、札幌市  
 合同会社マイクロキャタリシス、北海道立総合研究機構、産業技術総合研究所、  
 NPOバイオマス北海道、北海道開発局、北海道土地改良事業団体連合会

**世話役**

北海道大学大学院工学研究院 循環共生システム研究室  
 教授 石井一英 助教 HAM Geun-Yong

セミナー&シンポジウム



寄附企業

研究会  
 (参加者全員で勉強会)

・寄附金の提供  
 ・研究会などでの  
 人的資源の提供

・リカレント教育の場  
 ・他団体との交流  
 ・共同研究の芽

北海道大学寄附分野



施設見学会

個別研究PJミーティング

産官学の協働・連携の実践

## 【書籍】バイオマスコミュニティプランニング ～ローカルSDGsの実践～

<内容>

はじめに

2018年10月～2021年9月

第1章 バイオマスコミュニティプランニングとは

第2章 生活系バイオマスコミュニティプランニング:

将来の廃棄物の広域・集約処理を見据えた時の廃棄物処理委託地域の採るべき道を示すケーススタディ(収集運搬・適正処理・利用まで)

第3章 農業系バイオマスコミュニティプランニング:

家畜ふん尿、農業残渣、資源作物などの地域バイオマスが地域へもたらす効果・事業性・物質循環について検討+新たにバイオガスプラントを導入する地域に対する導入までの流れを整理・提案



著者：古市徹、石井一英  
(環境新聞社)

資料編



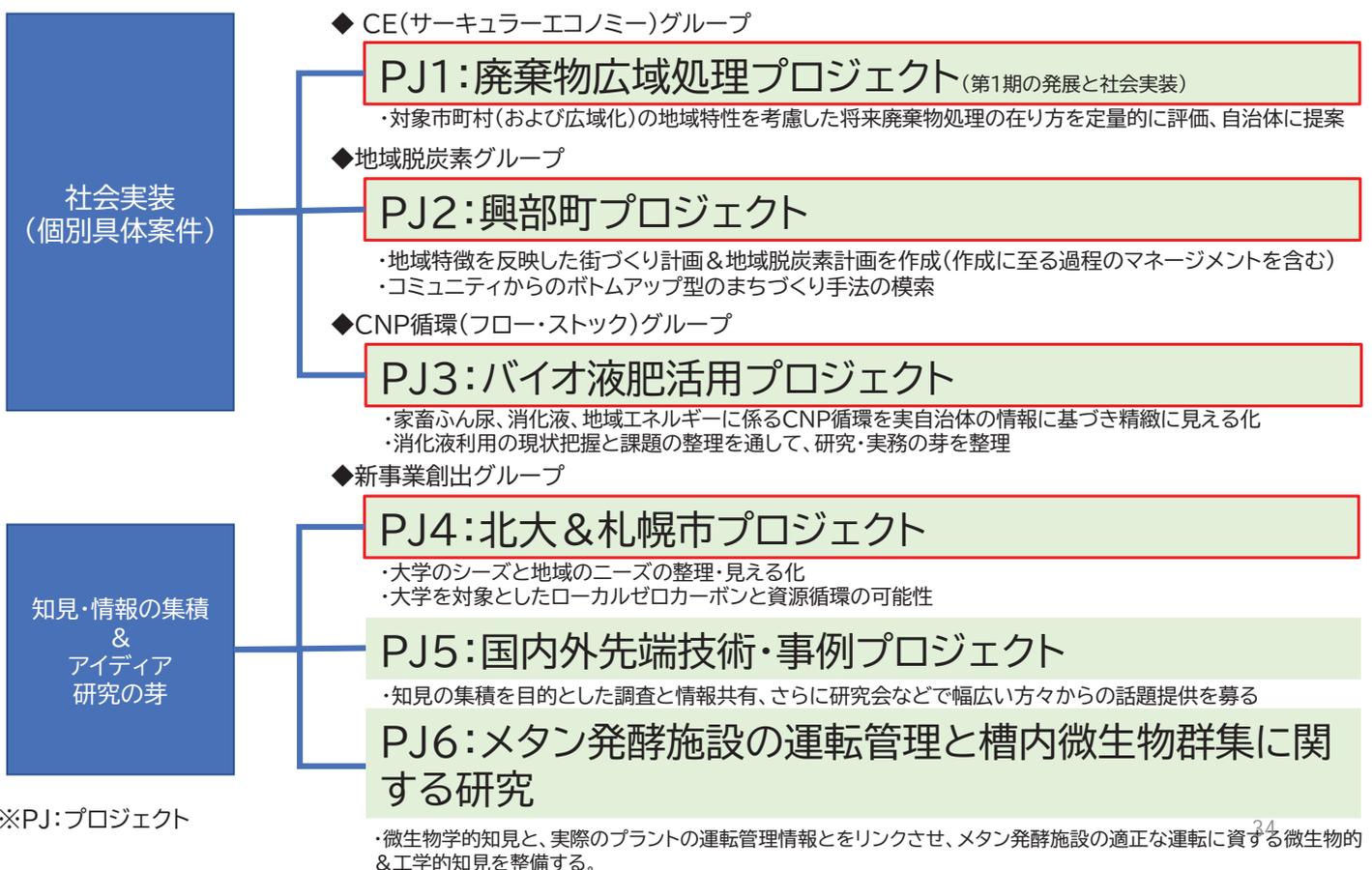
2021～2024年度

より地域の実情を踏まえた  
「持続可能な地域づくり(ローカルSDGs)」

引用:1)古市徹, 石井一英:バイオマスコミュニティプランニング～ローカルSDGsの実践, 環境新聞社, 2022年

公益財団法人 東京都環境公社  
東京都環境科学研究所

## 産官学連携：2021～2023年度の寄附分野プロジェクト



地域の**中長期的**なまちづくりの観点から、地域特性に応じたバイオマスの利活用を、地域の多様な人々の協議(場)により、**フィージビリティスタディ(情報)によるエビデンス**に基づき、地域独自の事業として立ち上げていくための計画づくり

ローカルSDGs

環境省 第五次環境基本計画の基本的方向性

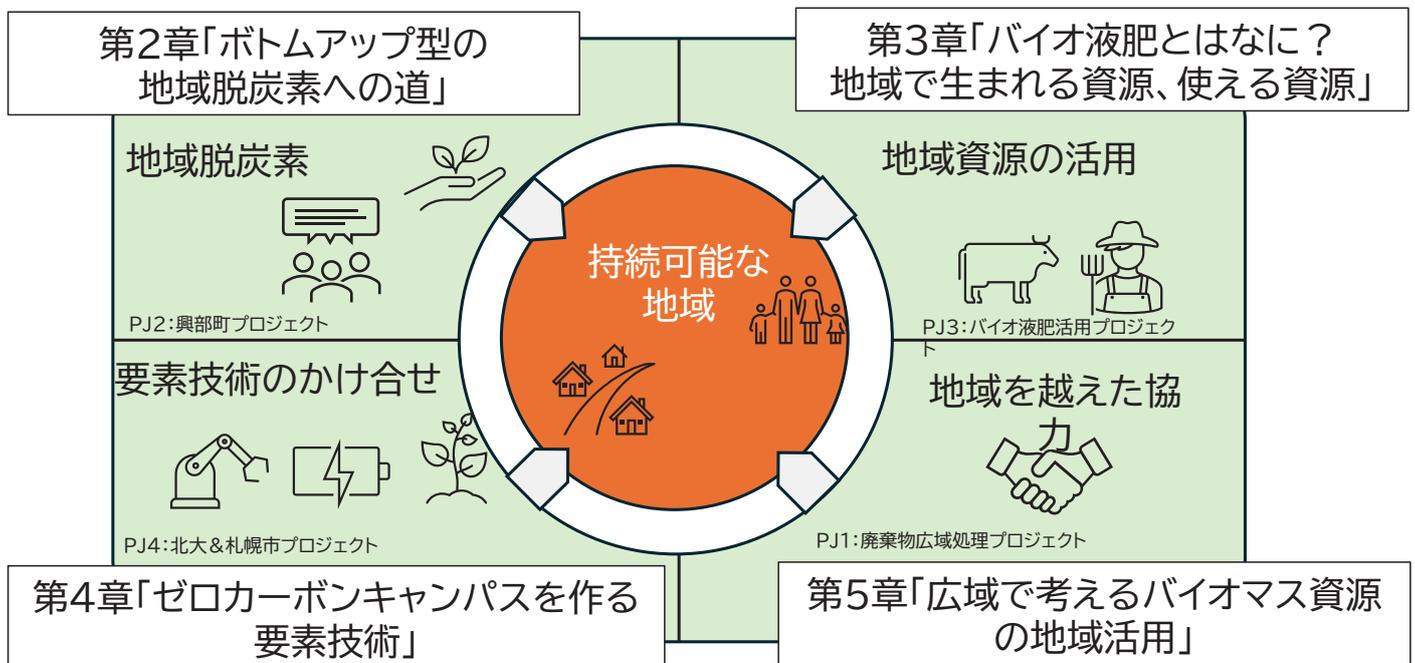
目指すべき社会の姿

1. 『地域循環共生圏』の創造。
2. 『世界の範となる日本』の確立。
  - ① 公害を克服した歴史
  - ② 優れた産業技術
  - ③ 「もったいない」など循環の精神や自然と共生する伝統を有する我が国だからこそできることがある。
3. これらを通じた、持続可能な循環共生型の社会（『環境・生態文明社会』）の実現。

地域循環共生圏

本計画のアプローチ

1. SDGsの考え方も活用し、環境・経済・社会の統合的向上を具体化。
  - 環境政策を契機に、あらゆる観点からイノベーションを創出
  - 経済、地域、国際などに関する課題の同時解決を図る。
  - 本来にわたって暮らしたい生活をもたらす「新たな成果」につなげていく。
2. 地域資源を持続可能な形で最大限活用し、経済・社会活動をも向上。
  - 地方部の維持・発展にもフォーカス → 課題で地方を元気に！
3. より幅広い関係者と連携。
  - 幅広い関係者とのパートナーシップを充実・強化



出版準備中

バイオマスコミュニティプランニング  
～持続可能な地域のための4つのプロジェクト～

著者：古市徹、石井一英、落合知 (環境新聞社)



※太字は各章のリーダー

## 第1章「持続可能な地域のための4つのプロジェクト」

北海道大学

## 第2章「ボトムアップ型の地域脱炭素への道」

岩田地崎建設株式会社、大成建設株式会社、パシフィックコンサルタンツ株式会社、北海道電力株式会社、NPO法人バイオマス北海道、興部町、北海道立総合研究機構、北海道大学

## 第3章「バイオ液肥とはなに？地域で生まれる資源、使える資源」

岩田地崎建設株式会社、栗田工業株式会社、(株)土谷特殊農機具製作所、北海道電力株式会社、よつ葉乳業株式会社、北海道立総合研究機構、北海道大学

## 第4章「ゼロカーボンキャンパスを作る要素技術」

応用地質株式会社、鹿島建設株式会社、(株)コーンズ・エージー、三友プラントサービス株式会社、(株)ドーコン、北海道電力株式会社、NPO法人バイオマス北海道、札幌市、北海道開発局、北海道大学

## 第5章「広域で考えるバイオマス資源の地域活用」

岩田地崎建設株式会社、(株)大原鉄工所、三友プラントサービス株式会社、日立セメント株式会社、北海道庁、NPO法人バイオマス北海道、北海道大学

## 産官学連携：寄附分野研究の「社会実装」

## 第2章「ボトムアップ型の地域脱炭素への道」

【目的】 地域特徴を反映した街づくり計画&amp;地域脱炭素計画を作成(作成に至る過程のマネジメントを含む)

座学&amp;グループワークを通し、「自ら計画を作る」を実践

興部町、地域事業者、自治会などと共同宣言の形の提案と実施



第2次興部町役場地球温暖化対策実行計画(事務事業編)の中で、策定までのプロセスを明記



## ③ 地球温暖化対策実行計画(区域施策編)の策定

町内全戸を対象としたエネルギー消費に関するアンケート実施  
地域特性を反映した排出特性を把握し、区域施策編を作成※2025年3月末に完成予定

その他:関連査読付き論文1報

第3章「バイオ液肥とはなに？地域で生まれる資源、使える資源」

【目的】家畜ふん尿や生ごみなどのメタン発酵処理で生産される**バイオ液肥**の生産～利用の実態の把握と、バイオ液肥の価値、将来の利用拡大のあり方を検討する



写真：バイオ液肥貯留槽



写真：農家へのヒアリング

消化液＝**バイオ液肥**の利用実態の調査

- どのように利用されているのか
- バイオ液肥を作る側(BGPなど)、使う側、原料を送る側のそれぞれの課題
- バイオ液肥の性状のばらつきは
- バイオ液肥利用拡大のためのボトルネックとは …

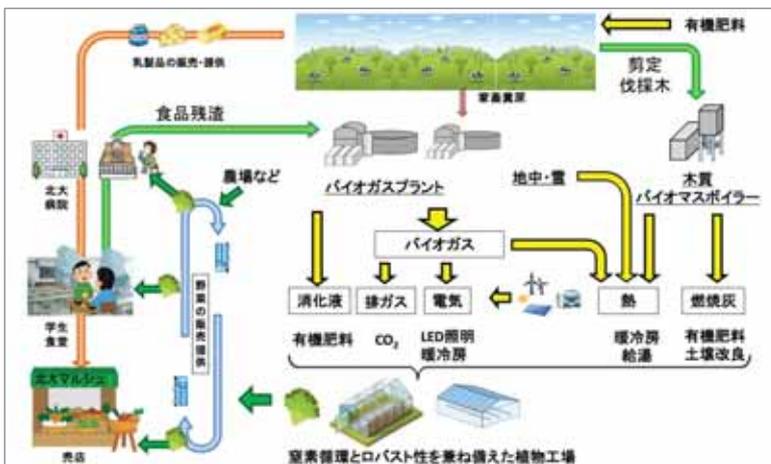


農林水産省、日本有機資源協会と協働し、「バイオ液肥活用先進事例集」を作成(R5年度、R6年度)

引用：国内肥料資源流通促進資源事業(一般社団法人 日本有機資源協会ホームページ)

第4章「ゼロカーボンキャンパスを作る要素技術」

【目的】地域の企業が、自身での**資源循環**＆**脱炭素**を達成するための**アイデアの考え方**を示す。同時に、**地域への効果・貢献**という視点で、資源循環の価値を示す。



北海道大学を対象サイトとした、事業所内資源循環と地域への貢献

**資源の賦存量**

(事業所内&地域を含め)

<要素技術>

- 資源収集システム
- 電気供給システム
- 熱供給システム
- 植物生産システム
- 残渣処理システム

<規制や許可等の課題>

- 廃棄物処理に関する事項
- 肥料に関する事項

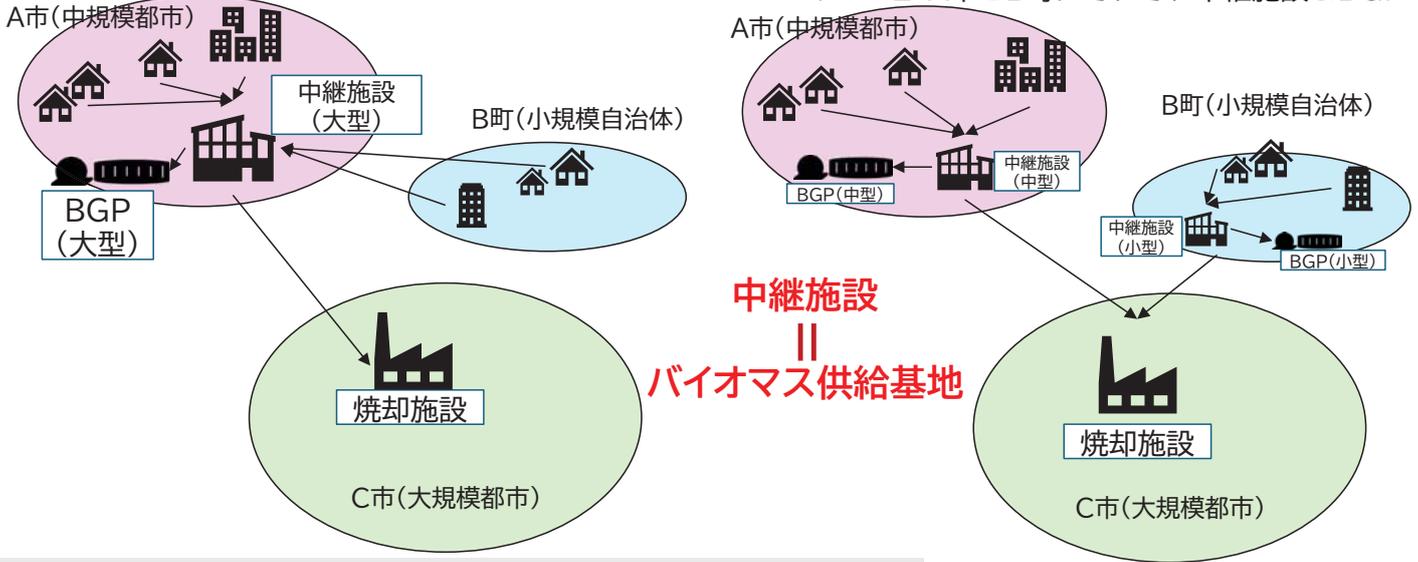
**北海道大学を対象としたFS**

第5章「広域で考えるバイオマス資源の地域活用」

【目的】 対象市町村(および広域化)の将来廃棄物処理の在り方を定量的に、自治体に提案する。

ケース1:A市の中継施設&BGPに集約

ケース2:A市とB町にそれぞれ中継施設&BGP



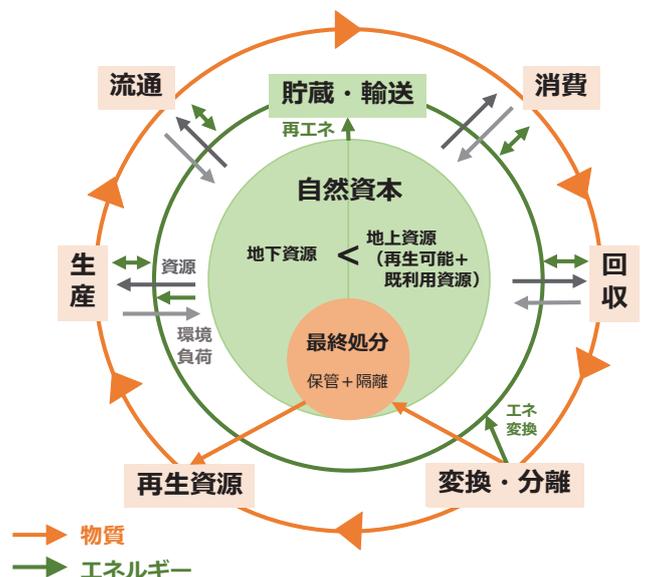
中継施設とバイオガスプラント(BGP)の導入ケーススタディを通して、  
 ① コスト、環境影響(GHG)の評価  
 ② 導入のための課題の抽出  
 ⇒ **バイオマス資源を活用しつつ、廃棄物広域化**を達成するためのモデルを作成

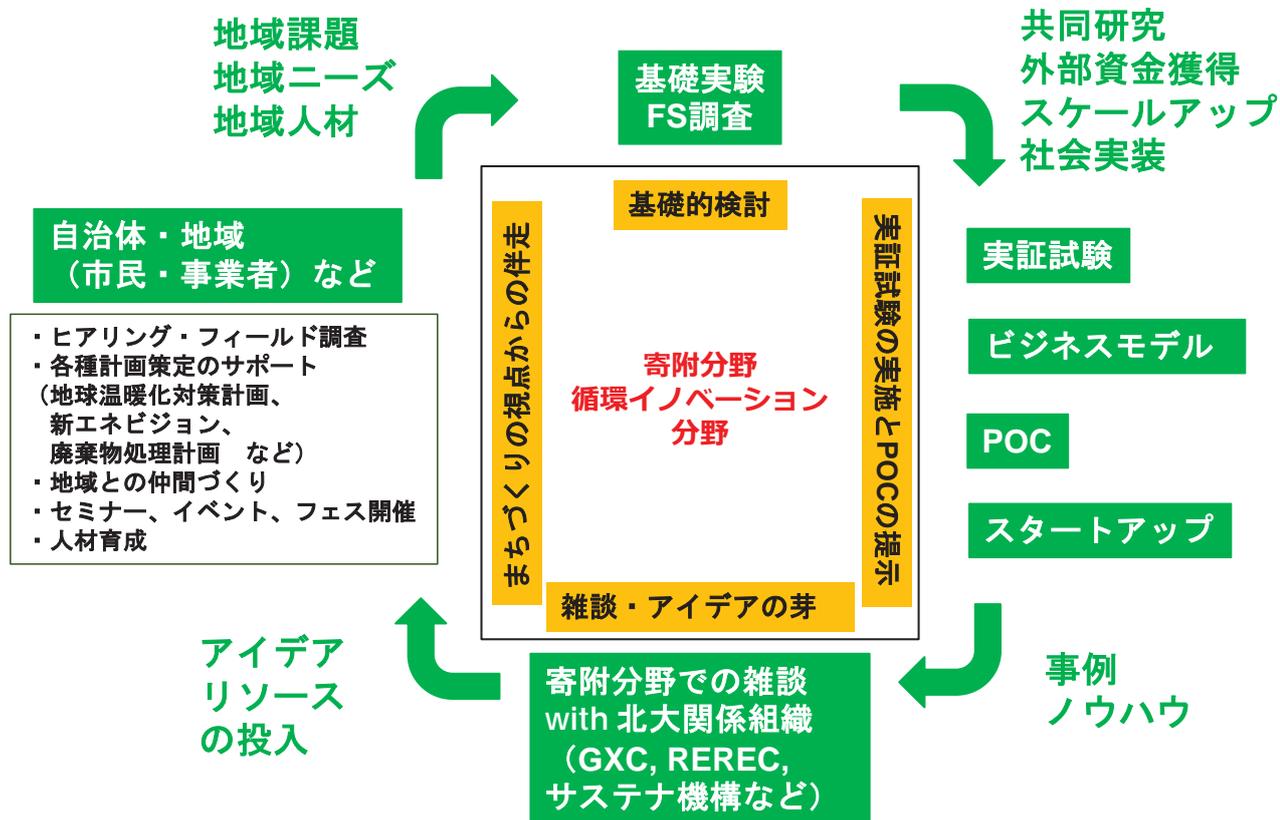
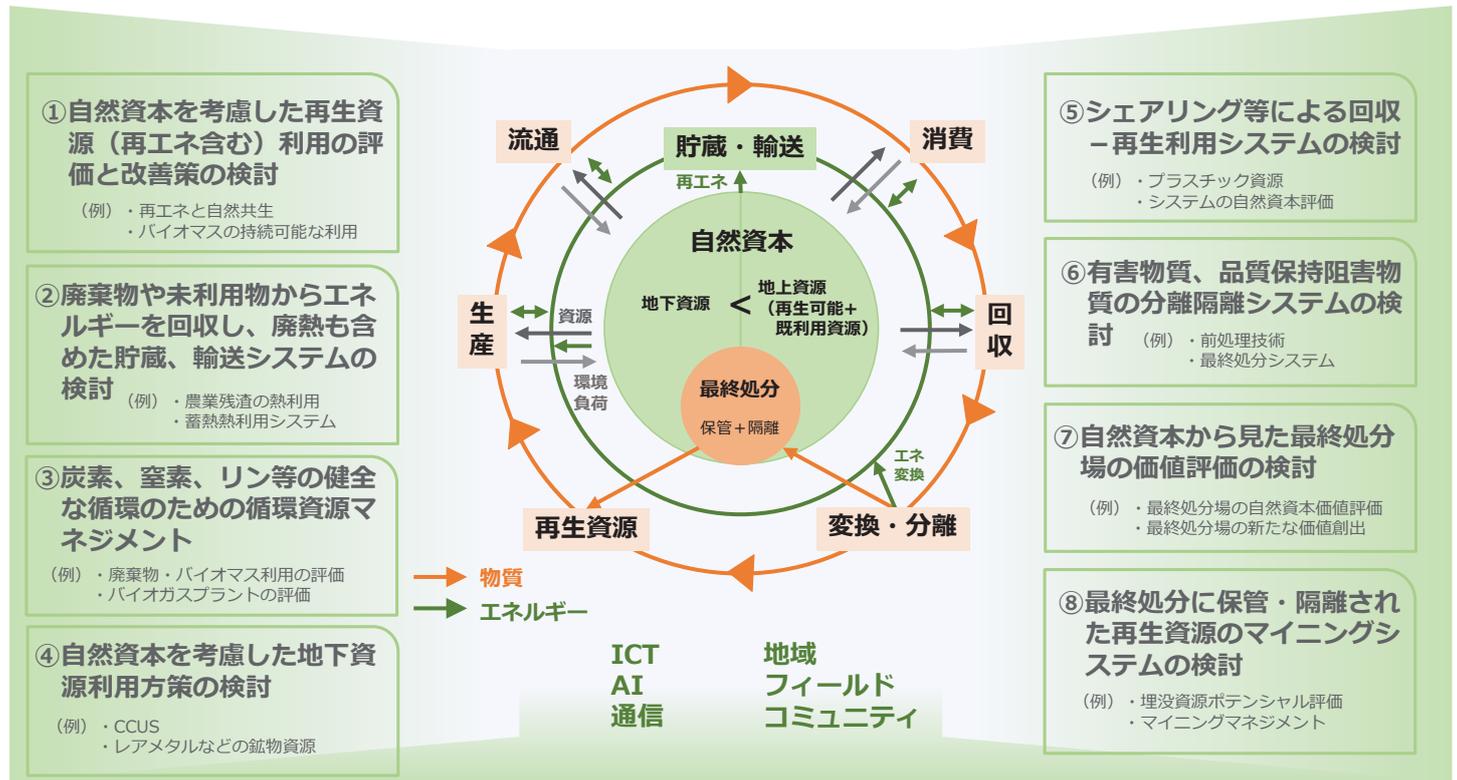
【アウトカム】  
 廃棄物広域処理の自治体間の合意形成のための、考え方として活用

寄附分野循環イノベーション分野

iReC.HU (Innovation for Resource Circulation in Hokkaido University)

自然資本を中心に考えた持続可能な社会を達成するために、産官学民金+学生が協働して、モノとエネルギーが循環する技術社会システムを創造し、さらにそれを社会に実装するための基礎・応用技術の開発及び実証試験、実行可能性調査、概念実証を行う。





2025年4月～2028年3月

客員教授 古市 徹 特任助教 田中悠平 招聘教員 落合 知

**寄附会社 計19社**

岩田地崎建設株式会社、応用地質株式会社、株式会社大原鉄工所、  
 株式会社コーズ・エージー、株式会社鈴木商会、  
 株式会社地圏総合コンサルタント、株式会社土谷特殊農機具製作所、  
 株式会社TMEIC、株式会社ドーコン、ニセコ環境株式会社、  
 北海道電力株式会社、パシフィックコンサルタンツ株式会社、  
 よつ葉乳業株式会社、プランテック株式会社、三菱商事株式会社、大成建設株式会社、  
 基礎地盤コンサルタンツ株式会社、栗田工業株式会社、健康・環境デザイン研究所

**札幌市企業版ふるさと納税枠 計2社**

株式会社三友環境総合研究所、大日本ダイヤコンサルタント株式会社

**オブザーバー 計8団体(追加予定)**

北海道、当別町、興部町、大樹町、札幌市、他  
 北海道立総合研究機構、産業技術総合研究所、NPOバイオマス北海道

**兼任教員**

北海道大学大学院工学研究院 循環共生システム研究室  
 教授 石井一英 助教 HAM Geun-Yong

公益財団法人 東京都環境公社  
 東京都環境科学研究所

廃棄物分別作業者への支援技術が拓く  
 廃棄物処理の未来

**技術と人の融合**

	Strength	Weakness
ひと	柔軟 高い選別の目	非力 体力に限界
技術 (HSC,ロボティクス)	人の目を越えた目 強力な力 疲れ知らず	移動が大変 高価

- A) 人でできること  
 B) 技術でできること  
 C) 人+技術でできること
- } 適材適所につかう  
 システム構築が必要

廃棄物現場 + HSC + 解析技術 + 社会システム + プロセス工学 +  
 ロボティクス...

 **産官学の連携**

公益財団法人 東京都環境公社  
 東京都環境科学研究所

ご清聴ありがとうございました！



# 超高齢化社会と循環経済を見据えた 中間処理の高度化

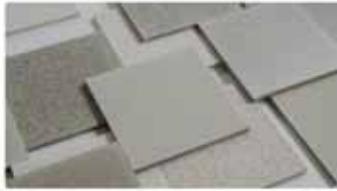
石坂産業株式会社 杉本 竜一

©2024 ISHIZAKA INC. Proprietary and Confidential

## 会社紹介：石坂産業株式会社



当社の会社概要	生産拠点と特徴
<p><b>【ミッション】</b> 「自然と美しく生きる、つぎの暮らしをつくる」</p> <p><b>【ビジョン】</b> 「ZERO WASTE DESIGN」の実現</p> <p>→ゴミをゴミとしない社会を目指し、<b>廃棄物埋め立てのない日本をつくる！</b></p> <p>■創業：昭和42年 ■資本金：5,000万円 ■売上高：70億円          ■従業員数：約200名 ■国内工場：再資源化プラント（埼玉県）          ■営業拠点：本社（埼玉県）          ■事業内容：          建設系産業廃棄物の収集・中間処理、高度、分別・分級・再資源化</p>	<p><b>【業界TOP水準の再資源化率を実現する、全天候型プラント】</b></p>  <p>粉塵や騒音を封じ込め、電動重機・大型集塵機を備えた先進設計</p> <p>隣接する里山を再生</p>  <p><b>■処理設備の特徴</b></p>
<p><b>当社の沿革及び受賞歴</b></p> <p><b>【沿革】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■1967年：土砂処理業 石坂組開始</li> <li>■1999年：ダイオキシン騒動を機に焼却事業から再資源化事業へ転換</li> <li>■2002年：石坂典子が社長に就任、全天候型プラント建設実施</li> <li>■2003年：ISO14001/9001/OHSAS18001取得（業界初）</li> <li>■2008年：「見える経営」で工場見学の受入を開始</li> <li>■2013年：環境省「体験の場の場」認定施設</li> <li>■2014年：7種統合マネジメントシステム運用開始・JHEP AAA 認証取得</li> <li>■2020年：日本経営品質賞 中小企業部門受賞</li> <li>■2022年：健康経営優良法人認定</li> <li>■2022年：第17回ニッポン新事業創出 グローバル部門最優秀賞受賞</li> </ul>   <p>日本経営品質賞 JHEP</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 施設構造面（環境制御） →全天候型屋内施設で騒音や粉塵を抑制</li> <li>2. 環境面 →工場使用電力は100%再生</li> <li>3. 処理性能・成果（再資源化効率） →多段階別で再資源化率98%※を達成</li> <li>4. 安全・労働環境面 →作業者にやさしい静音・無排気環境</li> <li>5. 社会・教育的機能（地域共生） →見学施設併設で環境教育にも活用</li> </ol> <p>※業界平均 約70%</p> <p>当社の挑戦と実績は、各種メディアや業界誌で多数取り上げられ、高い注目を集めている。また、日本経営品質賞など数々の表彰を通じて、その先進性と社会的意義が認められ、<b>業界の地位向上に貢献</b>している</p>  <p><b>「ZERO WASTE DESIGN」の実現に向け邁進</b></p>



**資源再生**  
産業物をリサイクル素材に変え、再び社会へ。  
ものづくりの段階から企業活動を支援し、資源循環を生み出す。



**環境教育**  
環境問題に真正面から取り組む企業としての挑戦。  
人々の意識を変え、自然と共生する社会の担い手を育む。



**三富今昔村**  
荒廃した雑木林を、かつての美しい里山へと再生。  
この地で、自然と生きる知恵と文化を受け継いでいく。



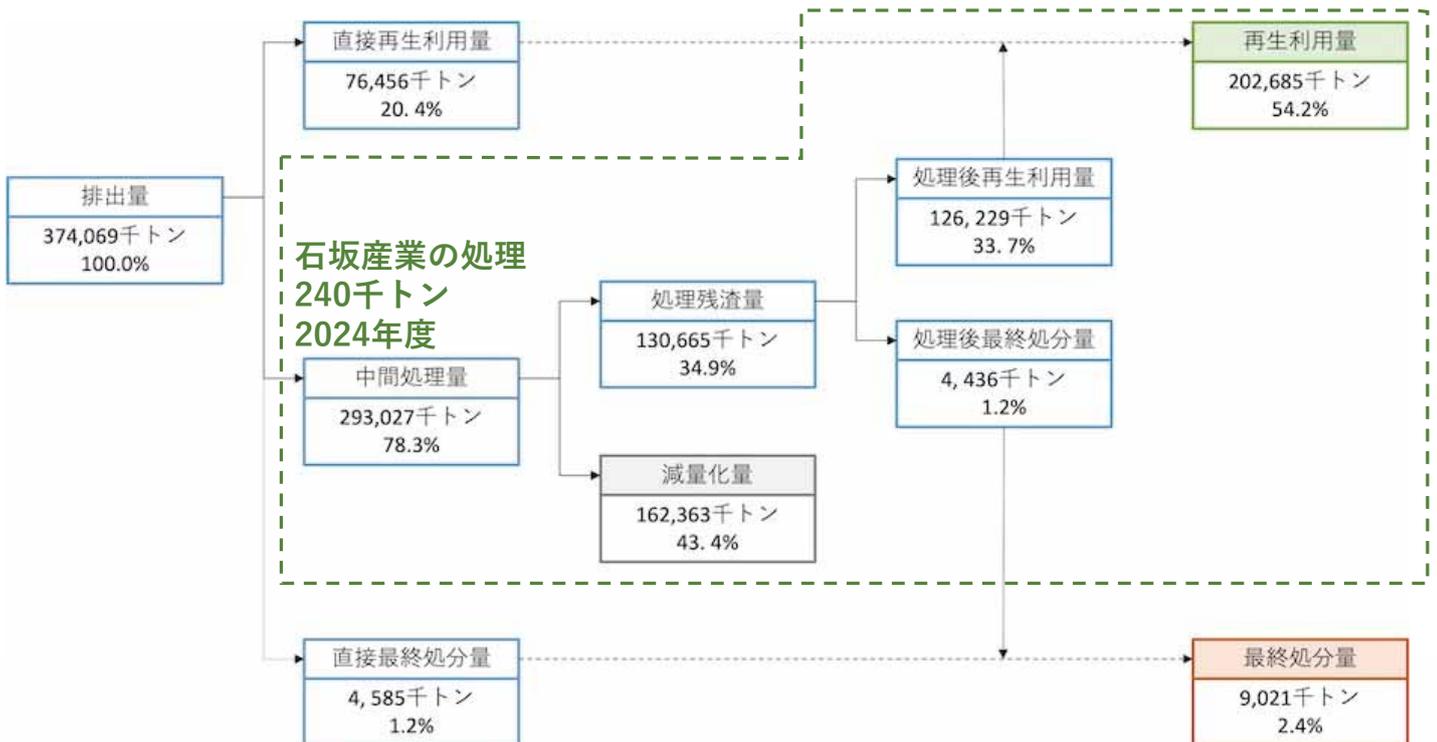
**石坂オーガニックファーム**  
自社農園で、地域伝統の栽培農法を継承。  
地表をゴミで汚すのではなく、生物多様性に富む土壌を再生させていく。



©2024 ISHIZAKA INC. Proprietary and Confidential

## 産業廃棄物の処理状況（処理フロー）

日本の処理フロー（令和4年度実績）は下図のとおり。



## 中間処理の主な目的

- 減量化（体積・重量を減らす）
- 無害化（有害物質を除去・安定化）
- 再資源化（再利用できる形に加工）
- 安定化（腐敗・発火・流出などを防ぐ）

埋立に送られるものを少なくする。選別されないものは、ごみとなる。

## 石坂産業での中間処理

- 粗選別：重機や人力により、品目ごとに選別
- 破碎：処理しやすいサイズに分解
- 篩選別：サイズの均一化
- 風力（比重）選別：軽量物と重量物に選別
- 磁力選別：鉄属を選別
- 手選別：各種品目に選別
- AI、画像、光学式選別：素材別に選別

# 会社紹介：石坂産業株式会社



## 産業廃棄物中間処理

独自の装置設計と手選別で、徹底的に分別分級。  
特に処理が困難といわれる領域に挑み、減量化・再資源化率98%を実現。



受け入れ可能品目



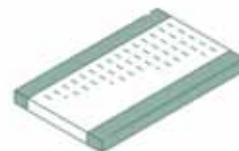
紙くず



木くず



ガラスくず、  
コンクリートくず及び陶磁器くず  
石棉含有産業廃棄物（積替保管）



繊維くず（廃量に限る）



がれき類  
石棉含有産業廃棄物（積替保管）



金属くず



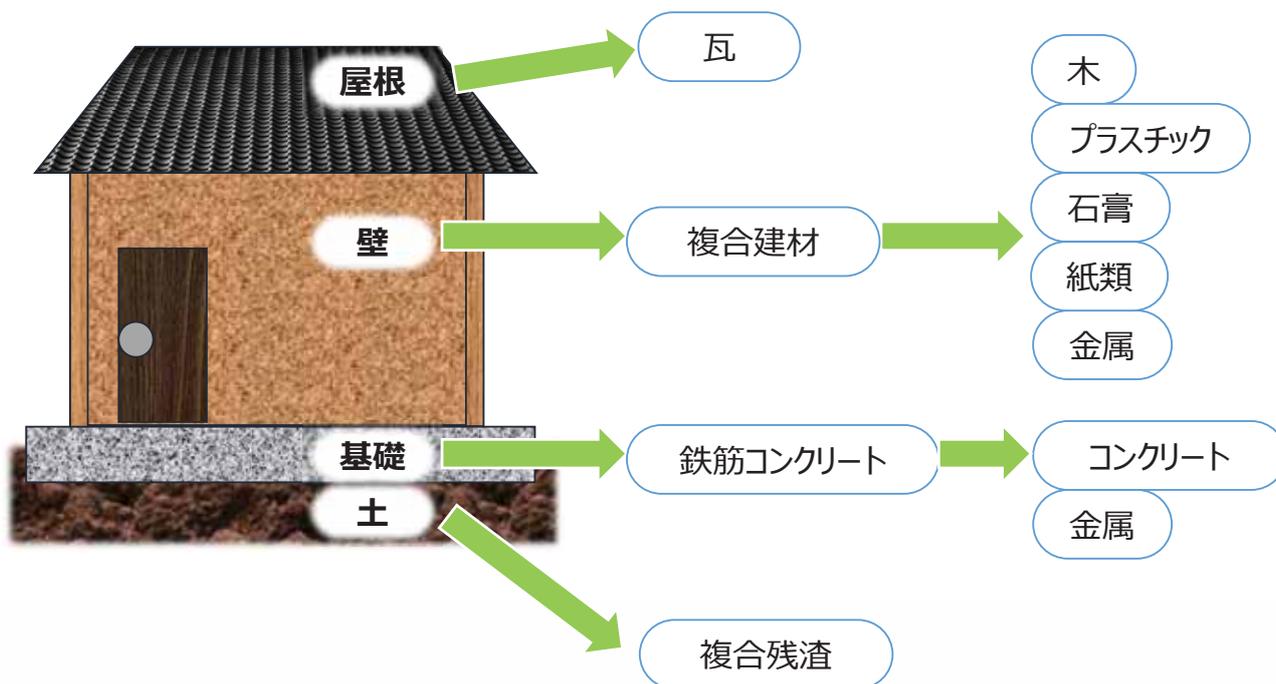
廃プラスチック類  
石棉含有産業廃棄物（積替保管）

使用済み太陽光パネルの再資源化



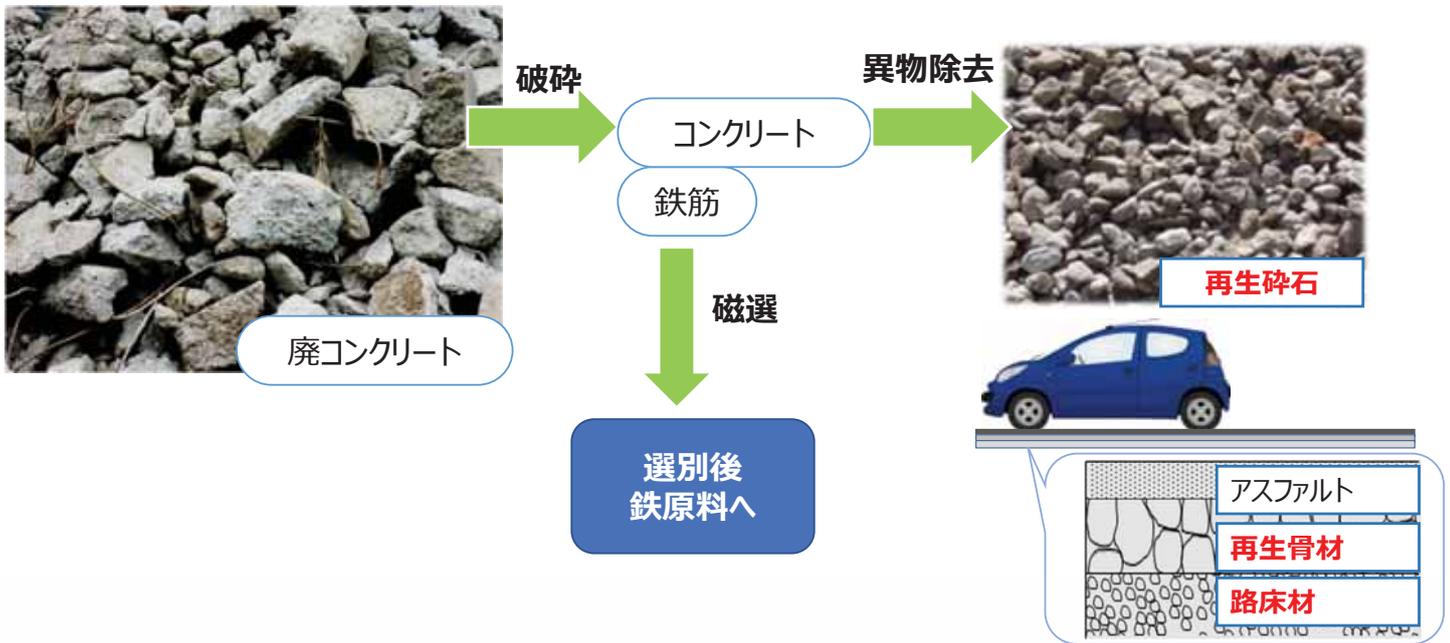
太陽光パネル

建設系廃棄物の種類

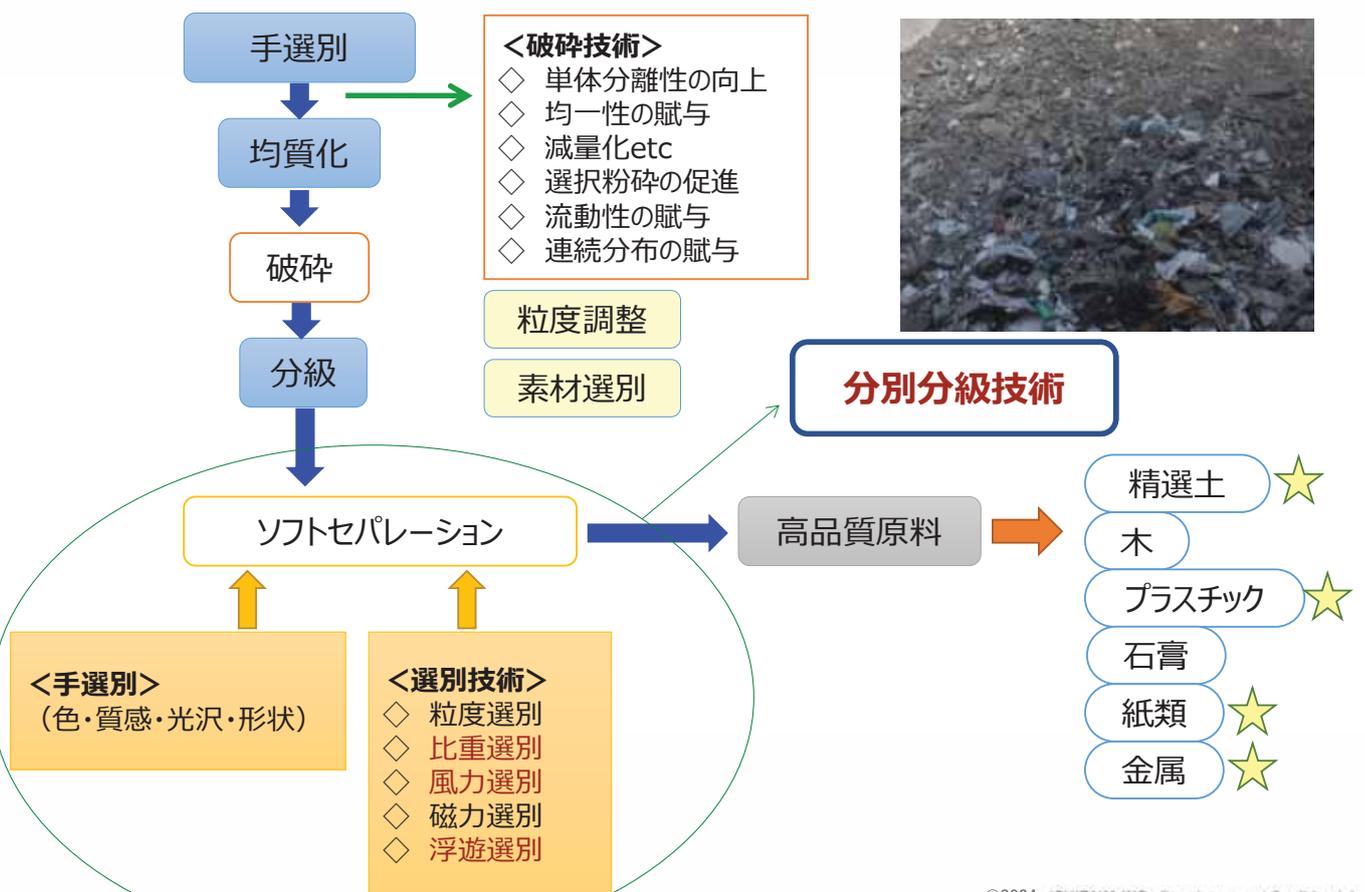


- 破碎処理を行い敷材を生産
- さらにブロック状に固めインターロッキング材へ



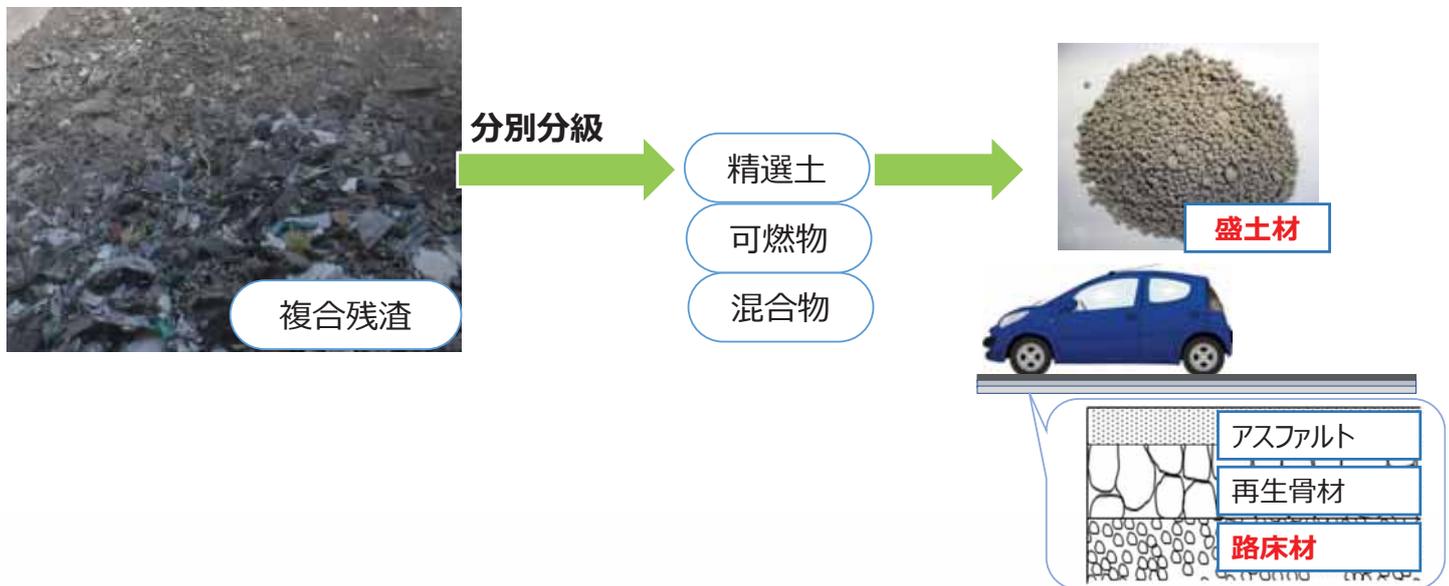


建設混合廃棄物の複合物から資源化



篩いにかけてられた複合残渣より分別分級

固化剤・不溶化剤で粒状の盛土材へ成形



廃プラスチック、紙類を混合しRPF燃料へ成形



部品ごとに分解し、それぞれの金属を原料として循環させる

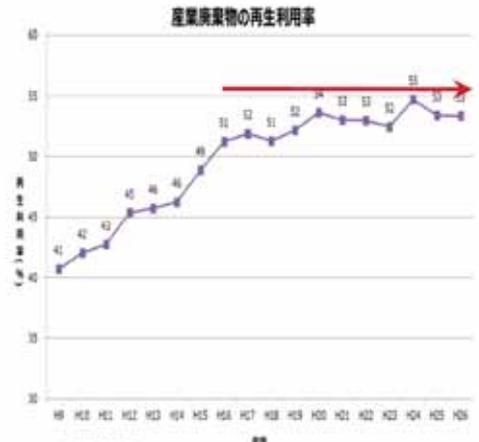
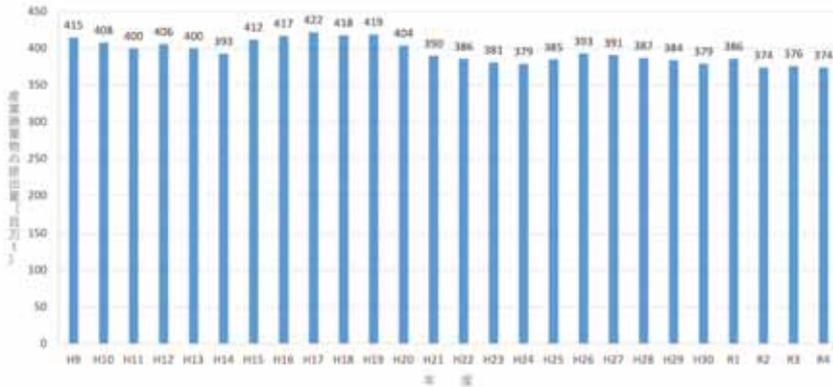


リサイクル製品の開発・販売

<p><b>RC40-0</b> 受け入れた廃コンクリートを破砕・選別したリサイクル材で、駐車場・道路工事で利用されます。</p>	<p><b>RC10-0</b> 受け入れた廃コンクリートを破砕・選別したリサイクル材で、インフラ工事の埋め戻し材として利用されます。</p>	<p><b>RM40-0※</b> 受け入れた廃コンクリートを破砕・選別したリサイクル材で、駐車場・道路工事で利用されます。</p>	<p><b>マテリアル原料（製紙用）</b> 梁（はり）や柱材を破砕・選別したリサイクル材で、製紙原料となる木材パルプです。</p>	<p><b>マテリアル原料（ボード用）</b> 廃木材を破砕・選別したリサイクル材で、パーティクルボードやMDF（中密度繊維板）の原料となる木材チップです。</p>
<p><b>NS-10※</b> 建設系混合廃棄物に含まれる土砂を再資源化して作られた盛土材です。</p>	<p><b>NS-Tail※</b> NS-10を用いた建設部材です。床舗装・床材などに利用されます。</p>	<p><b>エコセラサンド※</b> 廃瓦を破砕し粒度調整したリサイクル材で、ガーデンング材や防犯対策として利用されます。</p>	<p><b>エコモアチップ</b> リサイクルの過程で出てくる木材を細かく破砕。吸水性・保温性に優れ、家庭やイチゴ農家等の敷料として利用されます。</p>	<p><b>サーマル原料（燃料用）</b> 再生可能エネルギー燃料（木質系バイオマス）として、バイオマス発電所等で利用されます。</p>
<p><b>RPF</b> 廃プラスチック類、古紙、繊維くずを主原料とした固形燃料で、工業生産用の化石代替燃料として利用されます。</p>				

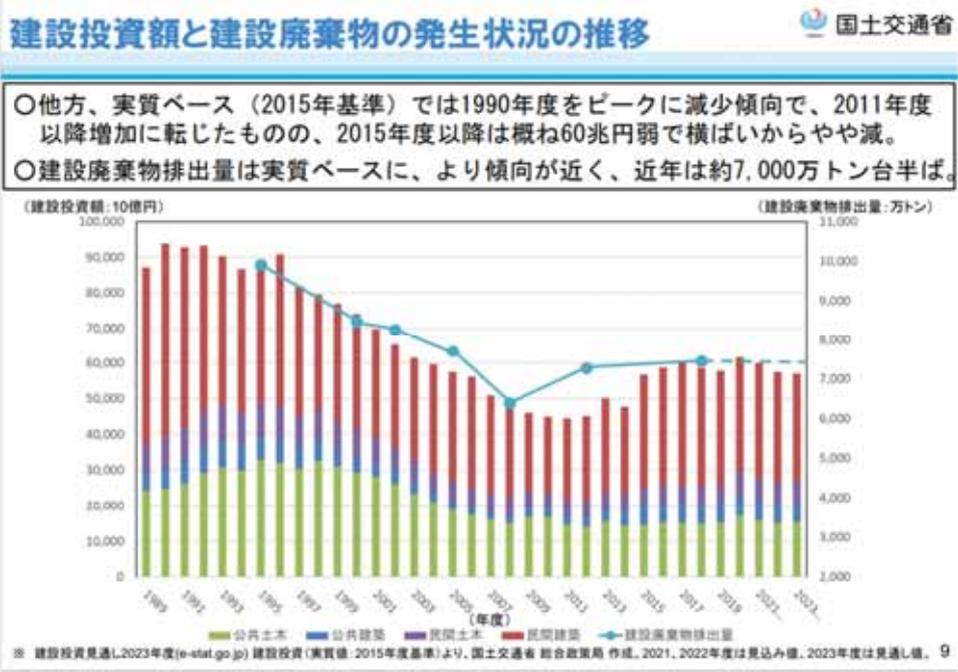
令和4年度における全国の産業廃棄物の総排出量は3億7,407万トンであり、前年度（令和3年度実績：3億7,592万トン）に比べ、約185万トン（約0.5%）減少。

平成9年度以降の各年度の総排出量の推移は、下図のとおり。



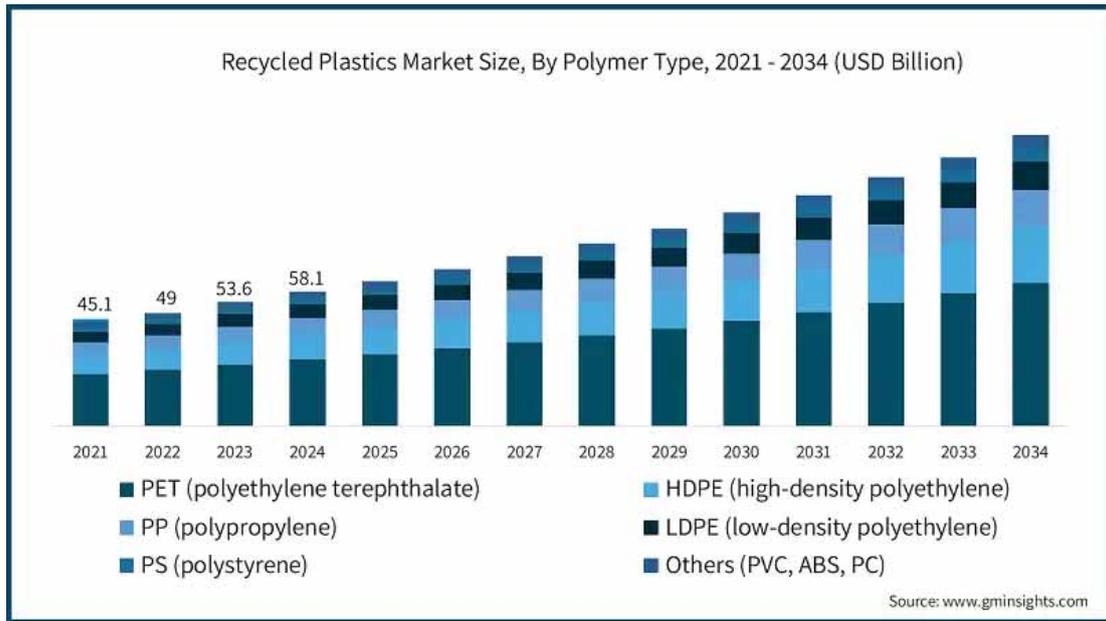
出典: 国土交通省 産業廃棄物処理事業振興財団

- 建設業が生み出す廃棄物の種類と量



建築系の産業廃棄物処理のみでは、事業拡大は見込めない。

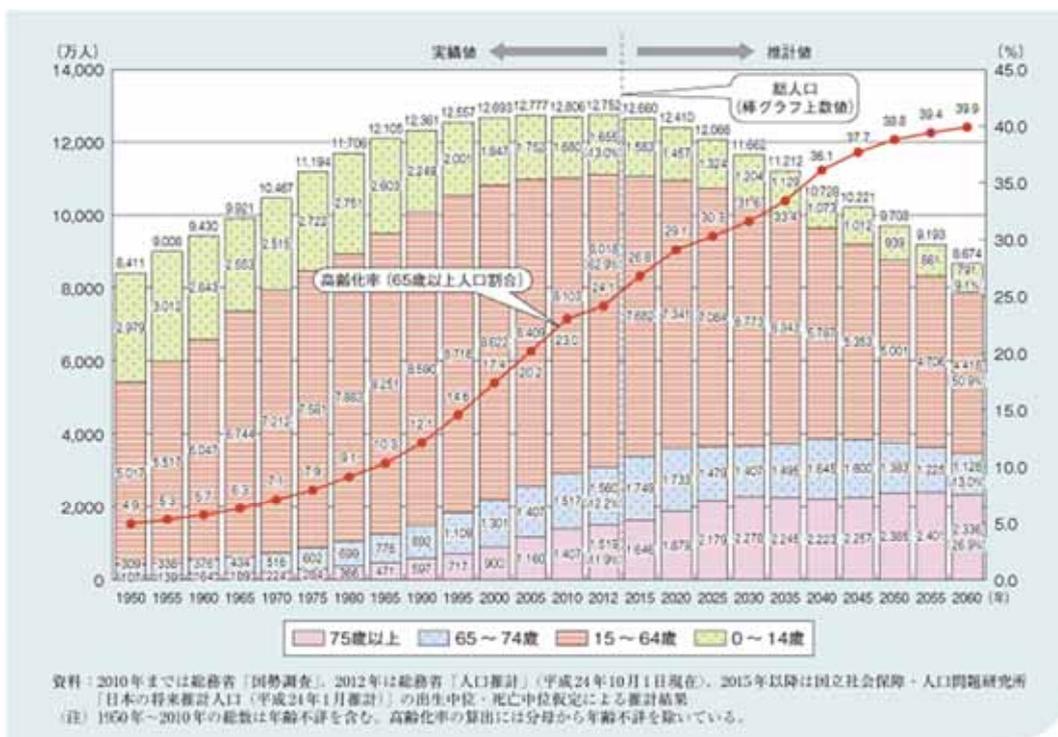
レアメタルやプラスチックのリサイクルの推進が企業存続に必要と考えられる。



ポリマー別では、市場はPET（ポリエチレンテレフタレート）、HDPE（高密度ポリエチレン）、PP（ポリプロピレン）、LDPE（低密度ポリエチレン）、PS（ポリスチレン）、その他（PVC、ABS、PC）に分類されています。PETセグメントは2024年に290億ドルの価値があり、2025-2034年に7.9%のCAGRで成長すると予測されています。

## 我々を取り巻く環境：少子高齢化

従業員の年齢構成も少子高齢化の影響を受ける



- 全国の猛暑日の年間日数は増加。統計期間1910～2025年で100年あたり2.9日の増加、信頼水準99%で統計的に有意。
- 最近30年間（1996～2025年）は、（1910～1939年）の平均年間日数（約0.8日）と比べて約4.2倍に増加。

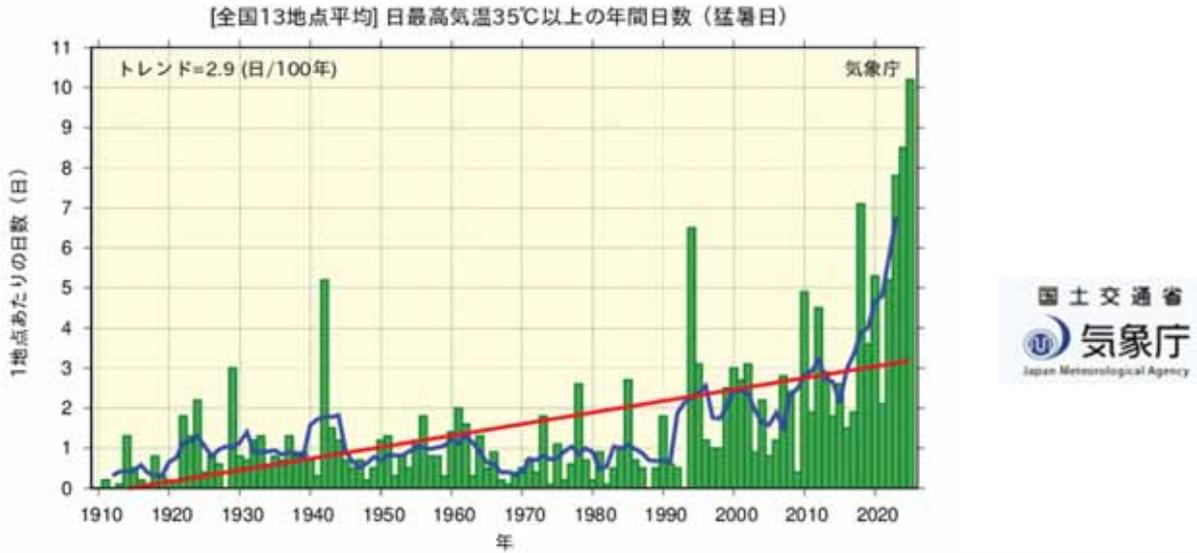


図 全国の日最高気温35℃以上（猛暑日）の年間日数の経年変化（1910～2025年）  
棒グラフ（緑）は各年の年間日数を示す（全国13地点における平均で1地点あたりの値）。折れ線（青）は5年移動平均値、直線（赤）は長期変化傾向（この期間の平均的な変化傾向）を示す。

20

©2024 ISHIZAKA INC. Proprietary and Confidential

リチウムイオン電池は、小型で軽量、エネルギー効率が高く、経済性に優れていることから様々な身の回りの製品に普及しています。  
一方で、リチウムイオン電池等に起因する火災事故等の発生件数も増加しています



発火の発生品目としては、小型で安価なものや、表面がプラスチックのものが多い傾向にあり、ユーザーが見た目から危険性や適切な分別区分を把握しにくいこと等がその原因として挙げられます。

**意図せずリチウムイオン電池が混入するケースがあり、対策が必要です。**

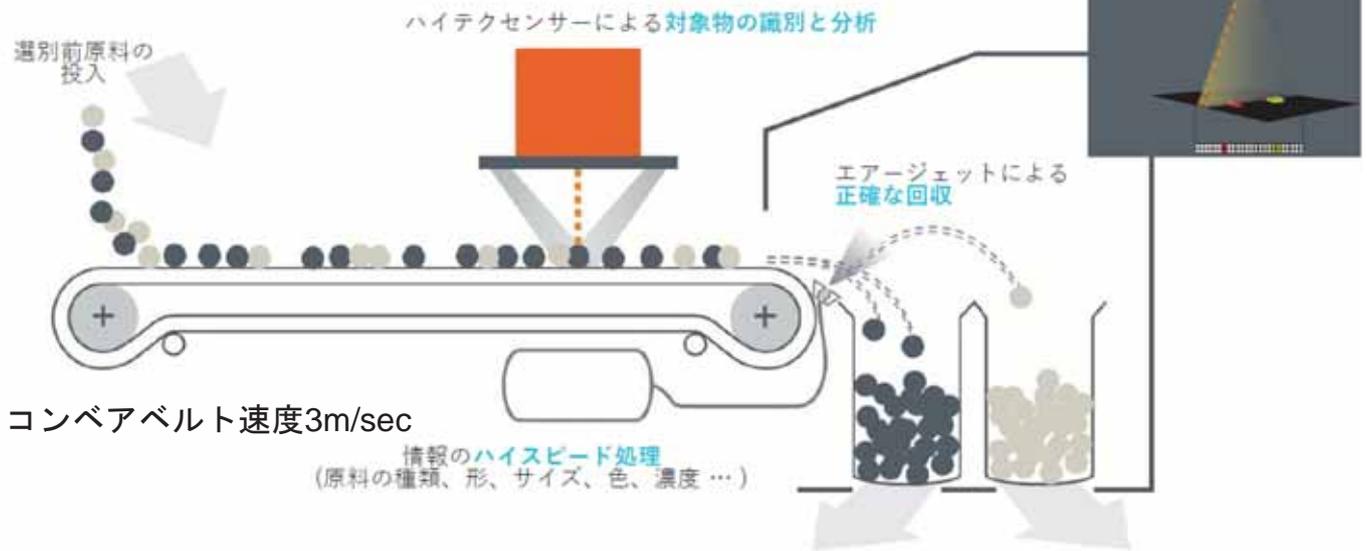
21

©2024 ISHIZAKA INC. Proprietary and Confidential



# 取組み：光学式選別機

## SENSOR-BASED SORTING – 光学選別機



- FLYING BEAM® 光源がスキャナーに内蔵
- 1mあたり、必要最低限の2つの光源 (55W\*2)
- 帯状の狭い検知エリアのみへ光照射
- 均一的な光照射により均一的な反射

# 取組み：光学式選別機

### AUTOSORT®

光学式選別機「AUTOSORT®」は様々なハイテクセンサーを組み合わせて、お客様のご要望に応じた最適な選別を実現します。材質、色、形状等を瞬時に解析し、エアによって高精度に選別します。

H2,500mm	D8,400mm	W2,100mm	W2,800mm	W3,500mm
(1ヶ所)幅:200mm	(1ヶ所)幅:400mm	(1ヶ所)幅:100mm	(1ヶ所)幅:200mm	(1ヶ所)幅:300mm

※別途トランス(変圧器)が付属 (H2740mm W600mm D350mm)

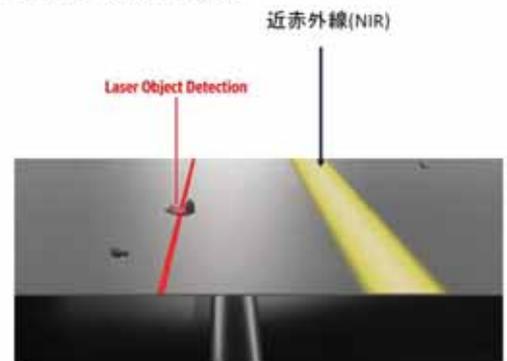
### AUTOSORT® SPEEDAIR

従来複数台の導入が必要であった処理量を、エア循環システムを用いることで圧倒的な処理量を1台で可能にしました。従来、高速ベルトコンベヤを最速に設定すると、材料は不安定になりますが、循環式のエアを送り出すことで、材料を上から押し上げ選別を可能にします。

H2,800mm	D9,300mm	W3,150mm
(1ヶ所)幅:240mm	(1ヶ所)幅:540mm	(1ヶ所)幅:140mm

※寸法はAUTOSORT® SPEEDAIR 14000場合

近赤外線 (NIR) で検知出来ない黒色などの物質をベルトからの高さで検知



### Items 選別可能材料(例)

### Variation センサーバリエーション

包装材	一般廃棄物	事業系廃棄物	家電	建設系廃棄物
フラフ燃料 (燃費除去)	有機廃棄物	ウッドチップ (異物除去)	トレー	マテリアルリサイクル

センサー名	タイプ	機能	活用例
NIR 1	近赤外線	プラスチック選別	PET/PVC/木/紙
NIR 2	近赤外線	ウッドチップ・紙/石除去	ウッドチップ選別(石除去)
VIS	可視光線	色選別	クリアPETボトル回収
EM	金属検知	金属・非金属の選別	RPF回収(金属除去)
DLA	レーザー	形状認知	黒プラスチック除去



## 自治体 固形廃棄物

硬プラ | プラスチックフィルム | 混合紙 | RDF | 金属 |  
オーガニック/バイオマス



## プラスチック リサイクル

混合 PE/PP | 混合 PET |  
プラスチックフレーク



## 家電製品 廃棄物

プリント基板 | 非鉄金属濃縮物 | 被覆銅線 | 銅 | 真鍮 |  
ステンレス | プラスチック



## シュレッダー後処理

非鉄金属 | ステンレス |  
被覆銅線 | 銅 | 真鍮 | アルミ



## 包装材

プラスチック | プラスチックフィルム | 段ボール | 混合紙 |  
脱インク紙 | 鉄



## 紙類

脱インク | 段ボール |



## 追加分野

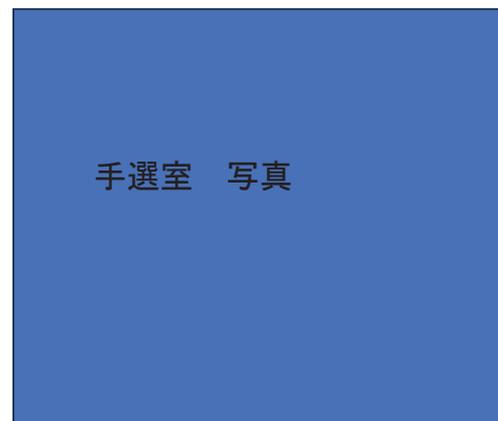
アルミ製罐 | 焼却灰 |  
シングルストリーム | C&I |  
C&D | RDF オンライン分析 |  
木くず

# 我々の現状

我々の環境がどの様にハイパースペクトルカメラの結果にどの様な影響を与えるか？

## 産業廃棄物の現場

- 汚れ
- 水分
- 劣化
- 複合材（プラ＋金属＋塗装）
- 原料の重なり



フロアカーペットは表面と裏面で材質が異なる等

- 少子高齢化（労働力低下）、猛暑日日数の急増（熱中症リスク増）、リチウムイオン電池急増（火災リスク増）という背景がある中、中間処理を行う職場環境は、年々厳しさを増している。それぞれの課題への対応が必要であり、並行して自動化を推進する事が急務である。
- 現時点では、IoTの推進とAIの活用を始めているところ。
- 画像認識による選別を行うという試みをしている会社はあり、共に開発していくパートナー候補は見つかるものの、ハイパースペクトルカメラを用いた処理を行うパートナーは見つけれられていない。我々の環境に特化したシステムが未だ見つけれられていない。
- ハイパースペクトルカメラの原理を理解出来ていない為、これを理解し、ハイパースペクトルカメラの優位性を理解するべきと考えている。製品品質向上の為には、この他の設備も準備を進める必要があるのでは？と考えている。

- 現在の処理速度で、光学式選別機では選別はある程度は行える。
- 原料は重なり合いながらコンベヤを流れる可能性や複合材である可能性があるので、画像認識も持ったシステムでないと処理できないのでは？
- 現状ハイパースペクトルカメラは高価で、コストダウンや優位性を理解した上で、付加価値の高い取り組みが必要では？
- 船底コンベヤベルトの場合、ベルトの上下振動や流れ方向の振動、原料のくずれなどもあるので、ロボットアーム利用の場合、原料をつかむまで、アームの動きは原料の動きに合わせたフィードバック制御でなければ正確ではないのではないのか？  
場画像処理速度とアームの制御速度で処理時間が足りないのでは？



循環をデザインする  
**ISHIZAKA**



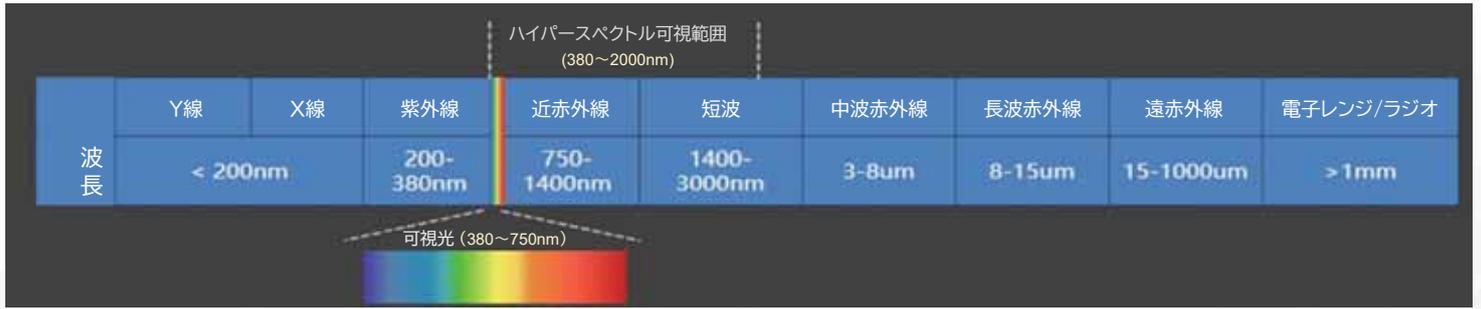
## ハイパースペクトルカメラ技術原理 及び廃棄物分野への応用展開

## 内 容

1. ハイパースペクトルの技術原理
2. 廃棄物分野への応用展開

# 1. ハイパースペクトルの技術原理

イメージング分光は物質を識別するための「指紋」であり、可視化にとどまらず、より多くの分光情報を取得できるため、「自律的」な判断が可能となる。



波長 (400-1000nm)

反射率

420nm, 480nm, 720nm

**「より多くを見る」**

分光イメージングは可視光をはるかに超える範囲の光反射を捉え、通常の光学機器では見えない物体情報を観測できる。

**「より正確に認識する」**

分光イメージングは物体の画像情報とスペクトル情報を同時に取得し、前者で外部特徴(形状・寸法・テクスチャなど)を、後者で物理構造・化学成分などを得ることで、対象の認識精度を大幅に高める。

**「より速く測定する」**

分光イメージングは物体を非接触・連続で観測でき、膨大なデータを取得し、専門モデルやAIと組み合わせて分析することで、必要な情報を正確かつ迅速に得られる。観測対象も少量サンプルから多数の物体へと拡張され、より正確で実用的となる。

# 1. ハイパースペクトルの技術原理

## 【フォトリック結晶分光チップ】

フォトリック結晶とは、波長オーダーの周期的な屈折率変化を有する構造体であり、「光の半導体」とも呼ばれています。

### 2.1 物理原理

半導体が電子に対してエネルギーバンドギャップを持つと同様に、フォトリック結晶は光に対して「フォトリックバンドギャップ」を有します。

特定波長の光は遮断され、他の波長の光は透過、または特定の経路に沿って伝搬し、これにより、小型チップ上で高精度な分光およびイメージングが可能となります。

### 2.2 分光メカニズム

ナノ孔の直径、周期(間隔)、または誘電体層の厚みを調整することで、1枚のチップ表面上に数百もの異なる分光チャンネル(ピクセルレベル分光)を実現できます。

### 【ピクセルレベル分光】

CMOSセンサー上に、周期や穴径の異なるフォトリック結晶構造を形成することで、各ピクセルが超小型分光器として機能し、高分解能・多チャンネルの分光イメージングを実現します。

## 【ピクセルレベル分光と従来方式の比較】

### ◆ 従来方式 (Bayer Filter)

多くのカメラは「バイヤーフィルタ」を使用しており、ピクセルの上に赤・緑・青のフィルタを被せている。この方式は入射光の約3分の2を吸収または遮断してしまうため(例:赤色フィルタは緑と青を遮断)、光の利用効率が低く、ノイズも多くなる。

### ◆ ピクセルレベル分光

その目標は光を「遮断」することではなく、プリズムに近い原理を利用して光を「分流」させることにある。赤色の光を赤色ピクセルへ、緑色の光を緑色ピクセルへと導くため、光がほとんど無駄にならない。

### ◆ ピクセルレベル分光の強み

**極めて高い感度:** 光がほぼすべて利用されるため、センサの**入光量は理論上2~3倍**に向上する。これにより、暗所での撮影効果が大幅に改善される。

**低ノイズ:** 高い信号対雑音比(SN比)により、よりクリアな画像が得られる。

**精緻な色彩:** 従来のフィルタで発生していた色の混色(クロストーク)を回避できる。

## 【スペクトル技術革新による産業化の加速化】

**神話打破:** 2022年Q2-2024年 スペクトルカメラを2000万円から50万円に  
2022Q3- 2024Q2: 量産スペクトルモジュールのコストを <10万円  
2024Q3- 2025Q2: 量産スペクトルモジュールのコストを <7万円

**価値:** “同クラスのイメージング分光チップにおいては、分光精度、コスト、生産効率の面でまだ競合相手は存在していない”

### フォトリソグラフィプロセス(低価格実現薄膜コーティング技術):

屈折率の異なる媒質を周期的に配列して形成される人工的な微細構造です。その最も基本的な特長は**フォトリソグラフィギャップ**にあり、光がこの周期構造内を伝搬する際、干渉散乱の作用により、特定の周波数(波長400~1000nmに対応)の光は伝搬が抑制され、フォトリソグラフィギャップが形成されます。この特性を利用してフォトリソグラフィ分光チップを設計することで、異なる波長の光に対して選択的な応答を実現し、透過光または反射光を解析することにより、400~1000nmの分光範囲における物体情報を取得することが可能となります。

# 内 容

1. ハイパースペクトルの技術原理
2. 廃棄物分野への応用展開

## 2. 廃棄物分野への応用展開



### AI自律的な意思決定は、次世代の(OS)



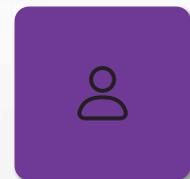
#### 基盤ロジックの再構築

AIは従来のオペレーティングシステムに代わり、タスク配分・リソース制御・プロセスのループを担う**【スーパー・ブレイン】**となり、その市場規模はクラウドコンピューティングの10倍に達すると予測されています。  
従来のソフトウェアサービス(SaaS、ITアウトソーシング)は再構築され、価値は「**成果提供型AI**」へと集中します。すなわち、ユーザーが要件を提示 → AIが全プロセスを自動実行 → 成果(作業の無人化など)、というモデルです。



#### 分光チップの戦略的意義

物質認識(廃プラ、金属のリサイクル、有害物質の検出)およびシーン認識(環境・ユーザー状態)を通じて、AIオペレーティングシステムに**物理世界のリアルタイムデータ入口**を提供します。分光チップは、産業廃棄物(廃プラ、金属など)、物質成分を高精度に検出でき、AIに信頼性の高いデータを供給します。



#### コア目標

「タスク → 結果」のループシステムを構築し、ユーザーの指示(例:目標である廃プラの検出)に対して、AIが分光チップ+アルゴリズムを用いて**検出 → 解析 → ロボットに伝達⇒ロボットによる自動選別**までを自動で完結させます。さらに、業界標準のインターフェースを整備し、分光データ形式およびAIタスクプロトコルを定義することで、ハードウェア・アルゴリズム・サービスが連携する**オープンエコシステム**を形成します。

## 2. 廃棄物分野への応用展開



### 自立意思決定AI=センサー+OS



#### データレイヤー

動的ナレッジグラフにより、分光データと物質属性（例：産業廃棄物中の再資源化可能物、有害物質、無害廃棄物）をリアルタイムで関連付け、グラフニューラルネットワーク(GNN)と因果推論モデルを組み合わせて活用します。  
この動的ナレッジグラフを基盤として、AIは産業廃棄物中に含まれる再資源化可能物質（各種貴金属、PP/PEなどのプラスチック）を迅速に識別し、分類回収を実現します。



#### 意思決定レイヤー

AIタスクエンジンがユーザー要求を解析し、サブタスクへ分解した上で、ハードウェア/アルゴリズム資源を呼び出します。本プロセスでは、マルチエージェント協調フレームワーク(MADDPG)を採用します。  
ユーザーが「産業廃プラスチックの検出」タスクを起動すると、AIタスクエンジンが自動的にタスクを分解し、分光チップを呼び出して検出処理を実行します。



#### 実行レイヤー

エッジとクラウドが連携するシステムにより、プライバシーに配慮が必要なタスクはローカルで軽量処理を行い、高負荷な演算はクラウド側で実行します。本構成では、フェデレーテッドラーニングおよびエッジコンテナ化によるデプロイを採用します。  
唾液の分光解析など、プライバシー性の高い健康検査タスクについては、ユーザーデータを保護するため、ローカル環境での軽量処理を優先的に実施します。

#### 物理層

スペクトルセンサーアレイにより物質成分や環境パラメータを取得し、スナップショット型CMOS超スペクトルイメージング(0.4-1 μm帯域)およびSERS増強技術を採用。  
高精度スペクトルセンサーアレイを通じて、対象成分のリアルタイム検出を実現し、後続のAI解析の基礎データを提供する。

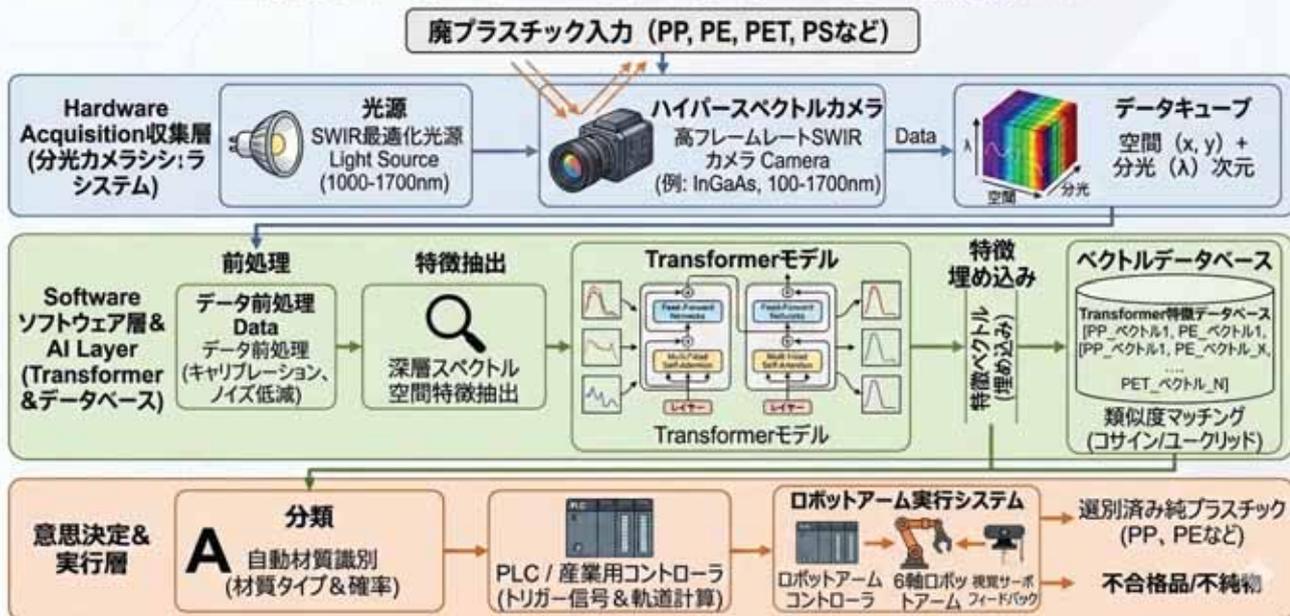
株式会社 グローバル・アクシス

## 2. 廃棄物分野への応用展開

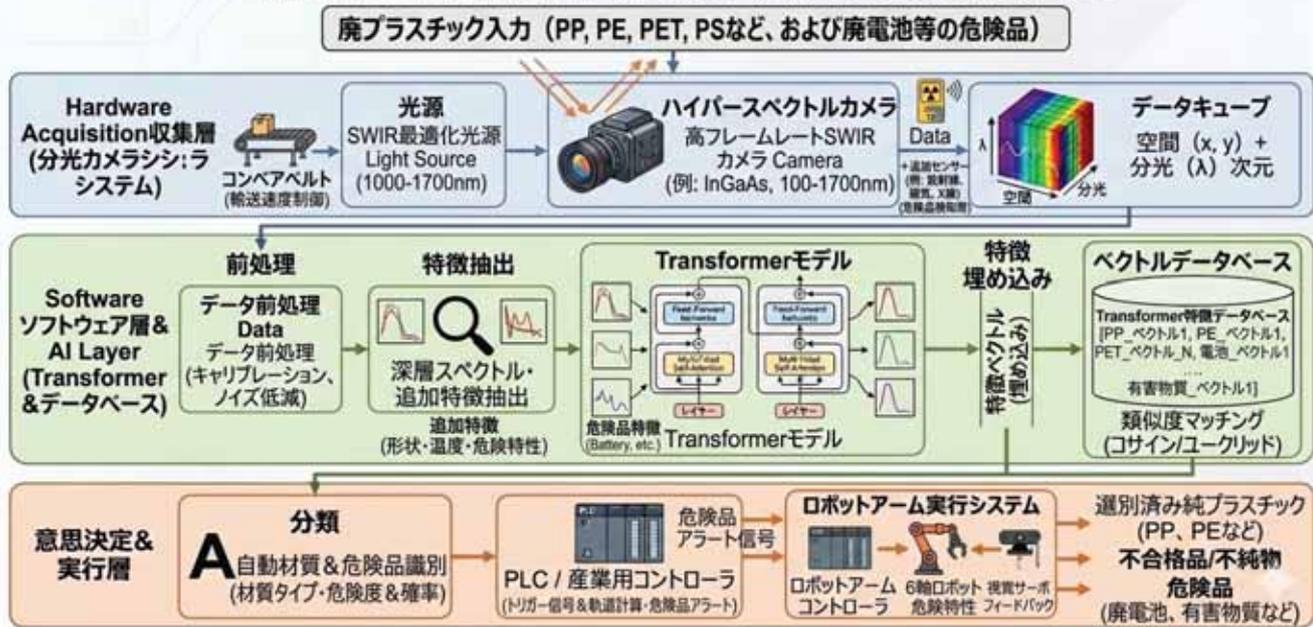
株式会社 グローバル・アクシス

### 論理トポロジー図：ハイパースペクトルに基づく廃プラスチック自動識別システム

#### 論理トポロジー図：ハイパースペクトルに基づくアームに基づく自動選別システム



論理トポロジー図：ハイパースペクトルに基づく廃プラスチック（含廃電池等危険品）自動識別システム  
 論理トポロジー図：ハイパースペクトルに基づく廃プラスチック(自動識別システム)



≡ 2. 廃棄物分野への応用展開



事例：顧客ニーズ

- 廃棄プラスチックの処理量  
 1施設で、約5～8万トン/年が目安です。1日当たりに換算すると200トン/日程度。
- 廃棄プラスチックの有効利用  
 A) サーマルリサイクル(焼却時の助燃材)として用いる場合分別せずに、様々な種類のプラスチックが混合した状態で出荷されます。  
 B) マテリアルリサイクル(材料)として用いる場合最大で、PE・PP・PS・PETの4種類にまで分別している事例あり。
- 有効利用できない残渣(不純物)  
 搬入廃棄物量の約2%程度。これは埋立地で処分されます。
- 廃棄プラスチック中のリチウムイオン電池の事故
  - ・ 令和2年度@埼玉県内(プラスチック破砕時に電池が混入) → 10か月停止、復旧に50億円
  - ・ 令和2年度@東京都内(同上) → 被害状況は不明
  - ・ 令和4年度@栃木県内(同上) → 復旧に55億円
  - ・ 他にも3件ほどあったと思いますが、すぐに出てきていません。

## 課題整理

### 1. マテリアルリサイクルのための高度な分別

リチウムイオン電池(LiB)混入による高額な火災被害

### 2. 処理量が多い

⇒ スペクトルカメラによる自動識別システムの構築+ロボットによる自動選別は非常に強力な解決策となります。

## ≡ 2. 廃棄物分野への応用展開



### 課題1の対応

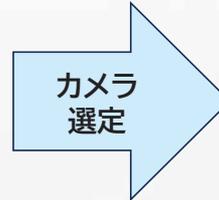
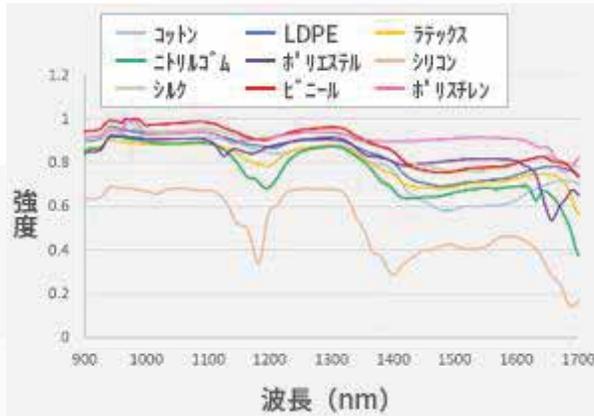
#### 2.1 主な対象物の特徴波長

樹脂種類	特徴的な波長領域(nm)	識別のポイント
PE (ポリエチレン)	1,210	CH <sub>2</sub> 基の強い吸収。PPと似ているがピーク位置が微妙に異なる。
	1,420	
	1,730	
PP (ポリプロピレン)	1,210	CH <sub>3</sub> 基に由来する独自の鋭いピークが見られる。
	1,390	
	1,700~1,760	
PS (ポリスチレン)	1,140	芳香族(ベンゼン環)由来の吸収があり、他と明確に区別しやすい。
	1,680	
	2,150	
PET (ポリエステル)	1,130	エステル結合(C=O)に由来する特徴的な吸収波長を持つ。
	1,660	
	1,900~2,150	

## ≡ 2. 廃棄物分野への応用展開

### 課題1の対応 1.2 識別対象に合わせたハイパースペクトルカメラの選定

▶ プラスチックスペクトルデータ 例



波長範囲選定:  
1,000nm ~ 1,700nm

## ≡ 2. 廃棄物分野への応用展開

### 課題2の対策

課題: 処理量が多い

#### 3.1 現状

- ① 処理量: 200トン/日
- ② 手動コンベアライン幅(推定): 600~900mm(人が手を伸して届く範囲)
- ③ 廃プラが重なる状態
- ④ 現場従業員: 10人
- ⑤ シフト数: 1シフト

#### 3.2 提案

- ① 処理量: 200t/日(現状維持)
- ② 自動コンベアライン幅(推奨): 1,500mm ~ 2,000mm (変更点①)  
(ハイパースペクトルカメラで識別する場合、樹脂が重なると下の物が隠れてしまうため、あえて幅広のコンベアを使い、薄く広く展開して流します。)
- ③ 廃プラが定量供給機により、プラスチックを重なりがないようにコンベアへ広げる。(変更点②)
- ④ メインライン: ハイパースペクトルカメラ1台+パラレルリンク型ロボット2~4台;(変更点③)
- ⑤ 現場従業員: 3人(1人×3シフト)(変更点④)
- ⑥ シフト数: 3シフト(24時間)可能(変更点⑤)

詳細はシステム構成及び経済効果計算をご参考。

### 自動選別システム設計: 全体構成案

#### 1. 高速樹脂選別(処理量:8.3トン/時)

- ◆ 識別ユニット: SWIRハイパースペクトルカメラ(1,000nm~2,500nm)
  - ベルトコンベア(幅2,000mm、速度3.0m/s以上)で流れるプラスチックをスキャン。
  - AIが「PE・PP・PS・PET」を瞬時に識別。
- ◆ 選別ユニット: 高速エアジェットアレイ(128~256ノズル)
  - カメラのデータに基づき、4種の樹脂をそれぞれの回収コンテナへ吹き飛ばします。
  - LiB(リチウムイオン電池)の疑いがある「黒色物体」や「高密度物体」は、コンベア末端のトラップゲートからサブラインへ排出します。

#### 2. 残渣(不純物)収集ユニット(約2%の最終処理)

- 全工程(エア選別、ロボット選別)を通過した最終的な非該当物(不純物)を収集。
- 自動箱詰めシステム: ロードセル(重量計)付きのスクリュウコンベアにより、不純物を指定の収集箱へ充填。
- 満杯検知: 収集箱が満杯(200トン×2%=約4トン/日)になると、自律搬送ロボット(AGV)が箱を自動交換し、埋立地への発送待機場所へ運びます。

### ラインの概略図



## 1. 経済効果の試算(年間ベース)

### 1.1 売上の増加: 廃プラの有価物化(+約4.3億円)

現在は「混合プラ(サーマル用)」として安価、あるいは逆ざやで処理されているものを、高純度の単一樹脂(PE・PP・PS・PET)に分離することで、売却単価を大幅に向上させます。

- 処理量 : 200トン/日 × 300日 = 60,000トン/年
- 有価物回収率 : 98%(残渣2%を除く) = 58,800トン/年
- 単価上昇メリット: +8円/kg(混合物 2円 → 選別品 10円と仮定)  
⇒ 効果額: 58,800,000kg × 8円 ≒ **4億6,400万円/年**

### 1.2 支出の削減: 人件費と処分費(+約1.2億円)

24時間稼働の過酷な手選別を自動化し、埋め立て処分量を最小化します。

- 人件費削減: 手選別10名体制 → システム監視3名体制へ削減  
⇒ 効果額: 7名 × 年収500万円 = 3500万円/年
- 残渣処分費の削減: 残渣を2%に抑えることで、埋立コストを抑制  
現在10%が残渣と仮定した場合の削減分: 4,800トン/年削減  
⇒ 効果額: 4,800トン × 処分費2.0万円/トン = **9,600万円/年**

## 2. 収支シミュレーションまとめ

項目	経済効果(年間)	備考
① 売却収益の向上	46,400万円	マテリアルリサイクルによる付加価値
② 人件費・処分費削減	13,100万円	自動化と歩留まり改善
合計(年間メリット)	約 5億9500万円	

## 投資回収(ROI)の考え方

システムの導入コスト(ハイパーカメラ、ロボット4台、AI開発)を仮に6億~10億円と見積もった場合:

⇒ 投資回収期間: 約1.5年 ~ 2.1年

株式会社 グローバル・アクシス

Thank you for your attention.

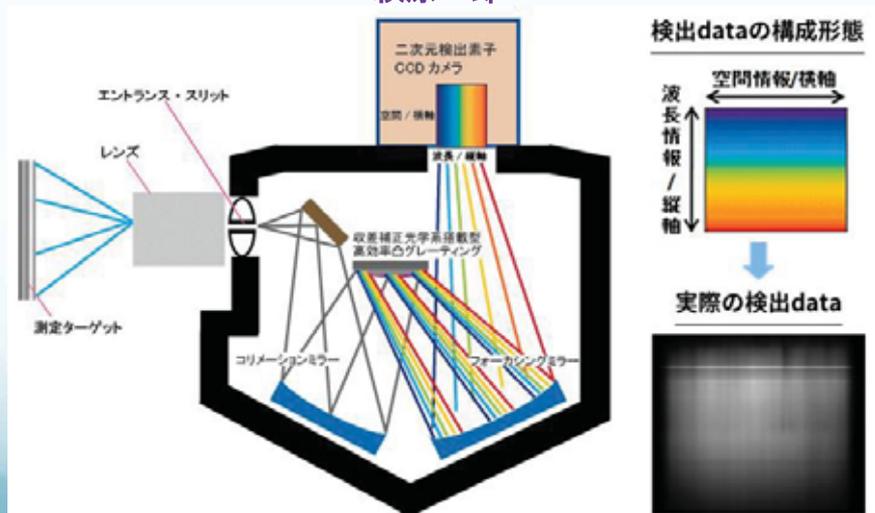
Global Axis Co.,Ltd



# ハイパースペクトルカメラの社会実装を加速する大学の役割

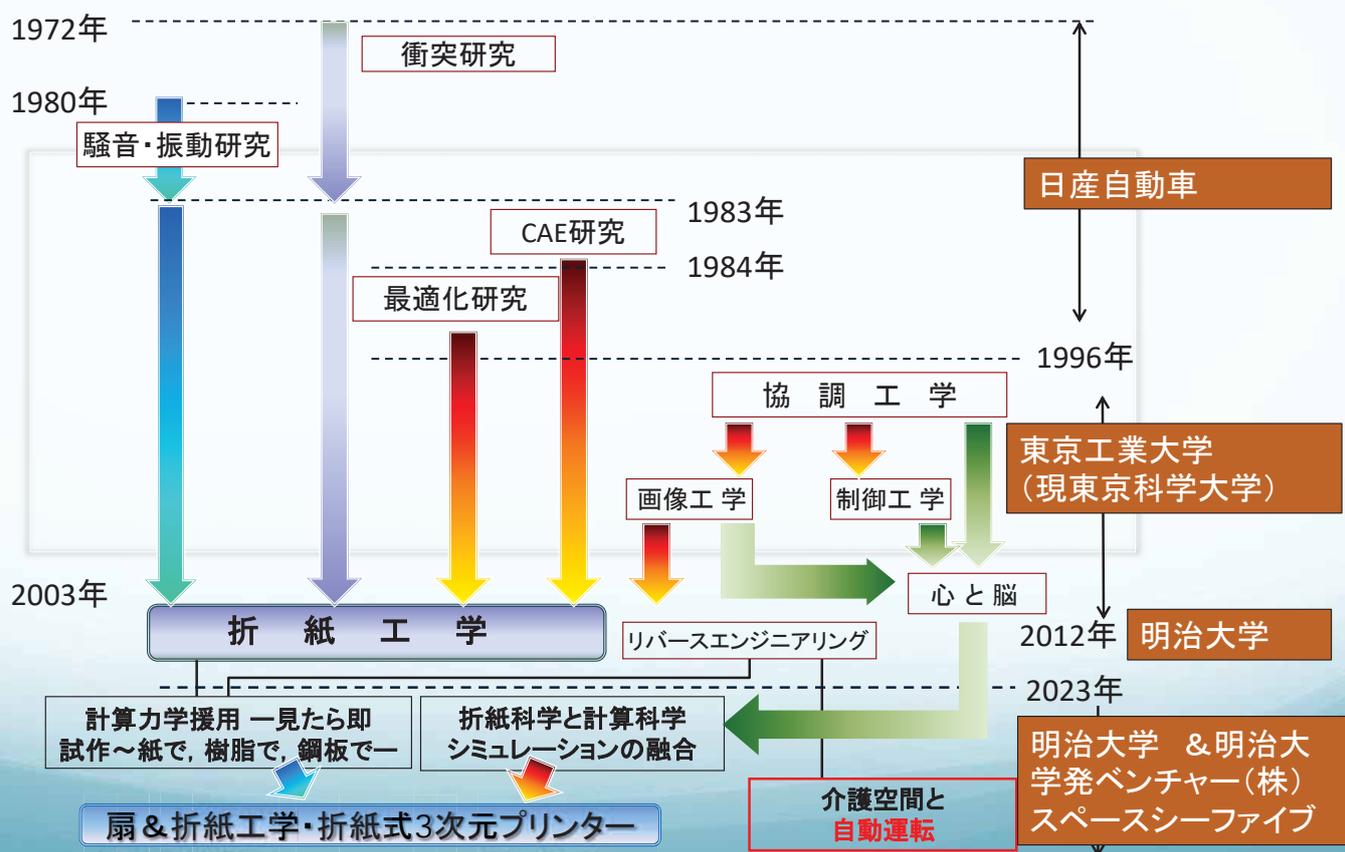
明治大学 研究知財戦略機構研究特別教授  
先端数理科学インスティテュート&先端科学ELSI研究所

萩原一郎



## 本日の発表内容

1. 簡単な自己紹介
2. 我が国発のE2E自動運転技術の廃棄物処理への利用
- 3 折紙工学の廃棄物処理への利用
- 4 ハイスペクトルカメラについて  
原理、課題、コスト低減の具体策、特長、主な用途
- 5 必要な人材を育成するための学会活動、寄附講座
- 6 まとめ



## 講演要旨

- ① ハイパースペクトルカメラの研究成果を社会実装へと結び付けるためには、産学官の連携に加え、人材育成と技術基盤の強化が不可欠である。
- ② 本講演では、大学の機能を活かした寄付講座の立ち上げなどを希望したい。
- ③ 研究開発のみならず、低価格化を目指した国内生産体制の検討、目的別ビッグデータを解析するAI技術の開発、さらにスペクトル情報の数理的解釈とモデリング手法を理解し使いこなせる若手人材の育成について考えを示す。

# E2E自動運転の要素技術

## 1. 画像処理技術(現在主流のCSRBF

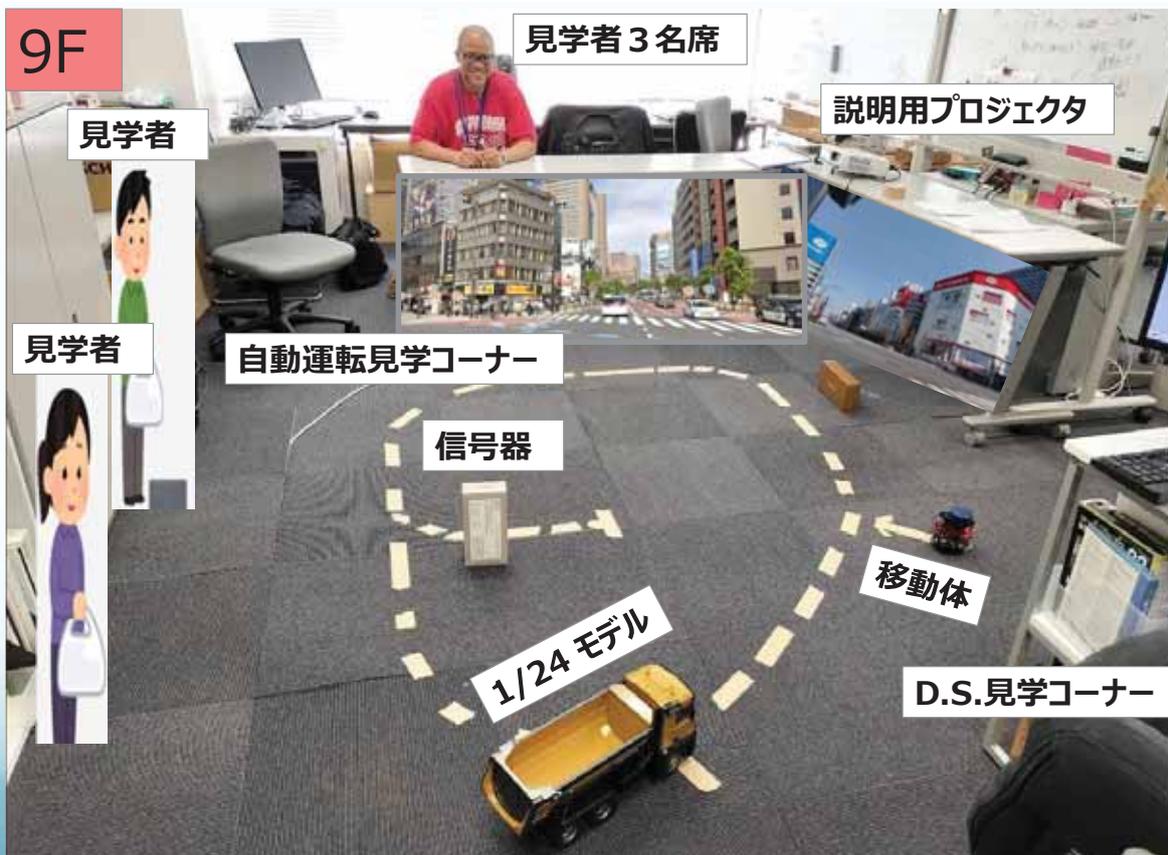
(*Compactly Supported Radial Basis Function*) を最初に開発

## 2. 唯一、リアルタイム処理可能な最適制御技術EOC(*Energy Optimal Control*)を開発

## 3 因果のわかる機械学習技術FQHNN(*Fuzzy Quantifiers aided Holographic Neural Network*)の開発

### 註] E2E自動運転技術とは :

入力(センサーデータ)から出力(車両の制御)までのすべてをAI(学習ベース)で実現する自動運転のアプローチである。





## 明治大学の E to E は何故、世界を凌駕できるポテンシャルを有するのか

- ① 現在、主流のHintonらの機械学習（2024年度ノーベル物理学賞受賞）技術に比し、圧倒的に精度が優れ、計算速度も圧倒的に早いFQHNN は最高の機械学習技術。「自動運転システムとドライバーの協調制御を目指したリアルタイム集中度計測のための一考察、日本機械学会論文集（2025年）」などに発表。  
右図は、Hinton を一躍有名にしたコンテストであり、このコンテストの問題に対しても十分な勝算あり。



- ② 唯一リアルタイム最適制御が可能で、唯一、安心感を与える最適制御EOCも世界を凌駕するものである。本田F1などに採用。文部科学省からも評価

文部科学省研究振興局ホームページ「2030年に向けた数理科学の展開－数理科学への期待と重要課題－」で、

（2006年～2021年）間の産学連携の六つの代表例として、

[https://www.mext.go.jp/content/20220722-mxt\\_kiso-000184889\\_1.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20220722-mxt_kiso-000184889_1.pdf)

の頁10に記述

自動走行車では、安全と分かっても、安心できない。現在の自動走行車の障害物に当たらない、だけでなく、不安感を与える不連続な加速度(C1不連続)、大きな加速度を避けることのできるのは、我々のEOCだけである。

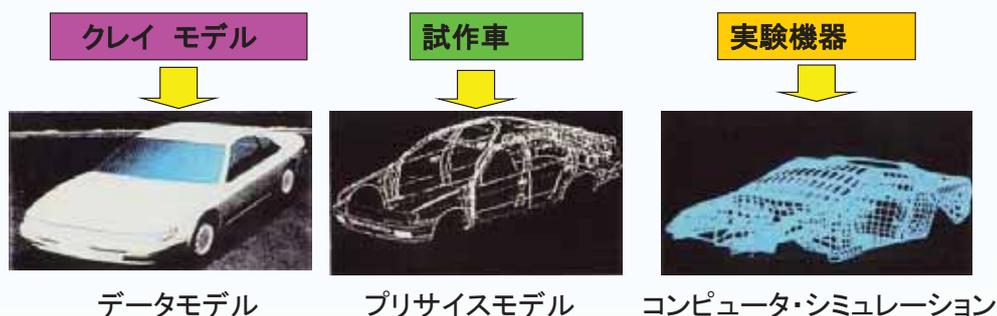
- ③ 高速・高精度の画像処理技術とFQHNN, EOCの組合せで、認知、判断、制御 で圧倒的な優位性を有す画像処理技術も、現在主流のCSRBF (Compactly Supported Radial Basis Function)も我々が始めた。

## 日産が開発したグラウンド・トゥルース・パーセプション (Ground truth perception) 技術(2022年4月26日)



強力な視力を自動走行車に付与するもの  
ホンダも類似のコンセプト最近発表

## 衝突シミュレーションの成功により 計算科学(シミュレーション)による開発スタイルの変革



### 自動車開発スタイルの変革

開発期間：40～60ヶ月→12～20ヶ月と大幅に短縮

ソフトハードの時代：計算科学シミュレーションなしでは

新しいハードも誕生しない

→日本メーカーが最も上手に使用

→その結果、新しいハード70～80%は日本の自動車メーカーから誕生

→残された課題：乗り心地、操縦安定性、音質、など心に関する特性

# ドライバーの満足度を表情で測るコンセプトの提唱（萩原一郎、計測と制御、1996年） 新しい感性工学からのアプローチ：運転者の表情でドライバーの満足度把握

自動車自身が人間の感情を読みとる！

機械はどうやって人間の感情を見知できるのだろうか？

画像データ  
音声データ  
サーモデータ

知ってましたか？

人間はコミュニケーションで

言語：7%

表情：55%

だったなんてこと

まずは表情の認識！

機械はどうやって人間の感情を見知できるのだろうか？

画像データ → 表情認識

音声データ

サーモデータ

使えそうなデータは全部つかっちゃえ

センターフュージョン



## 心理学面での表情認識：6基本表情の認識

- ・ 怒り， 嫌悪， 恐怖， 悲しみ， 幸福， 驚きの6つの基本的な表情.
- ・ 人種や， 文化， 性別などに関係なく万国共通.



6基本表情

## FAU(Facial Action Unit) の種類

AU No.	AU 名	AU No.	AU 名
1	眉の内側を上げる	20	唇両端を横に引く
2	眉の外側を上げる	23	唇を固く閉じる
4	眉を下げる	24	唇を押えつける
5	上脛を上げる	25	顎を下げずに唇を開く
6	頬を持ち上げる	26	顎を下げて唇を開く
7	脛を緊張させる	27	口を大きく開く
8	唇を互いに接近させる	28	唇を吸い込む
9	鼻にしわを寄せる	29	下顎を突き出す
10	上唇を上げる	30	顎を左右にずらす
11	鼻唇溝を深める	32	唇を噛む
12	唇両端を引き上げる	35	頬を吸い込む
13	唇を鋭く引き上げる(頬を膨らませる)	41	上脛を(力なく)下げる
14	えくぼを作る	42	薄目
15	唇両端を下げる	43	閉眼
16	下唇を下げる	44	細眼にする
17	下顎(おとがい)を上げる	45	まばたく
18	唇をすぼめる	46	ウィンクする
			眼球の回転

(AU は全体で 44 個あるが、番号は途中が抜けているので 46 までである)

### オーソライズされているFAUのリスト

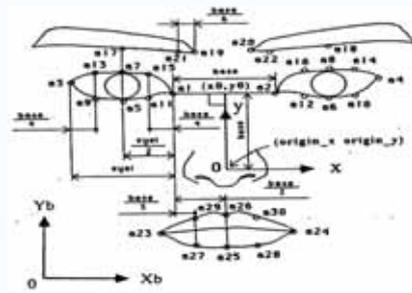
## FAUにより表現した6基本表情

Expression	Facial Action Unites
Surprise(驚き)	1+2+5+26
Fear(恐怖)	1+2+4+5+7+20+26
Disgust(嫌悪)	4+9+17
Anger(怒り)	4+5+7+10+26
Happiness(幸福)	6+12(+26)
Sadness(悲しみ)	1+4+15

# 階層型NNによる6基本表情認識(小林ら)

## ● 手順

1. AUに対応する30特徴点を指定し  
中立の顔表情からの移動量を計算
2. ニューラルネットワーク (NN) へ  
移動量を入力, 6基本表情を出力
3. NN による学習と表情認識



顔の特徴点

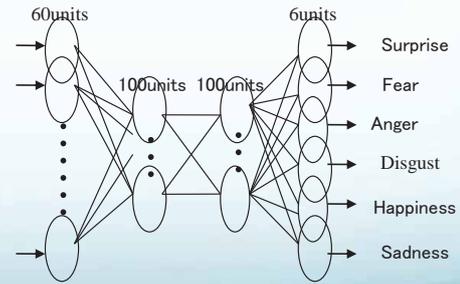
シグモイド関数  $sig(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$

$$w_{k,j}^{(n+1)} \leftarrow w_{k,j}^{(n+1)} - \eta \frac{\partial R(W)}{\partial w_{k,j}^{(n+1)}}$$

$R(W)$ が二乗誤差  $\frac{1}{2} \sum_j (t_j - y_j^{(N)})^2$  であるとき

$$w_{k,j}^{(n+1)} \leftarrow w_{k,j}^{(n+1)} - \eta \delta_j^{(n+1)} y_k^{(n)}$$

$y_k^{(n)}$ は第n層の第kノードの出力



6基本表情認識用BNN

(バックプロパゲーションニューラルネットワーク)

# HNNの入カデータ

## ◆正規化した17の顔パラメータ

Face parameters		
Area parameters: p <sub>1</sub> (right eye), p <sub>2</sub> (left eye), p <sub>3</sub> (nose), p <sub>4</sub> (mouth), p <sub>5</sub> (face), p <sub>6</sub> (right eyebrow), p <sub>7</sub> (left eyebrow).		
Distance/size parameters: p <sub>8</sub> (face height), p <sub>9</sub> (face width), p <sub>10</sub> (forehead height), p <sub>11</sub> (forehead width), p <sub>12</sub> (eye-eye), p <sub>13</sub> (left eye-eyebrow), p <sub>14</sub> (right eye-eyebrow), p <sub>15</sub> (eye-nose), p <sub>16</sub> (nose height), p <sub>17</sub> (nose width), p <sub>18</sub> (eye-mouth), p <sub>19</sub> (mouth height), p <sub>20</sub> (mouth width)		
Normalization		
x <sub>1</sub> = p <sub>1</sub> /p <sub>5</sub>	x <sub>7</sub> = p <sub>12</sub> /p <sub>9</sub>	x <sub>13</sub> = p <sub>14</sub> /p <sub>8</sub>
x <sub>2</sub> = p <sub>2</sub> /p <sub>5</sub>	x <sub>8</sub> = p <sub>15</sub> /p <sub>8</sub>	x <sub>14</sub> = p <sub>19</sub> /p <sub>8</sub>
x <sub>3</sub> = p <sub>3</sub> /p <sub>5</sub>	x <sub>9</sub> = p <sub>18</sub> /p <sub>8</sub>	x <sub>15</sub> = p <sub>20</sub> /p <sub>9</sub>
x <sub>4</sub> = p <sub>4</sub> /p <sub>5</sub>	x <sub>10</sub> = p <sub>10</sub> /p <sub>8</sub>	x <sub>16</sub> = p <sub>16</sub> /p <sub>8</sub>
x <sub>5</sub> = p <sub>6</sub> /p <sub>5</sub>	x <sub>11</sub> = p <sub>11</sub> /p <sub>9</sub>	x <sub>17</sub> = p <sub>17</sub> /p <sub>9</sub>
x <sub>6</sub> = p <sub>7</sub> /p <sub>5</sub>	x <sub>12</sub> = p <sub>13</sub> /p <sub>8</sub>	

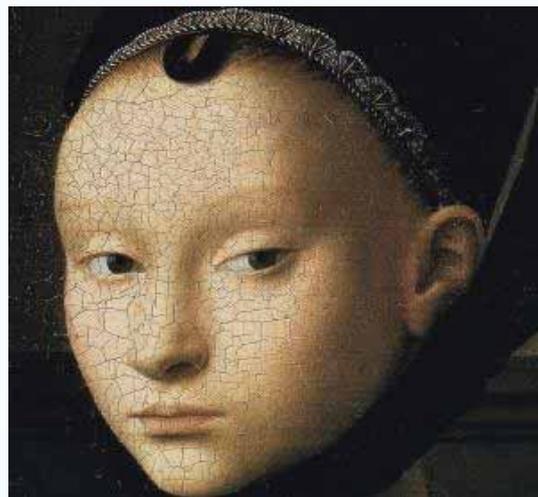


被験者114人の癒し構造

15歳-70歳 (日本人102人, 外国人12人, 女性47人, 男性67人)



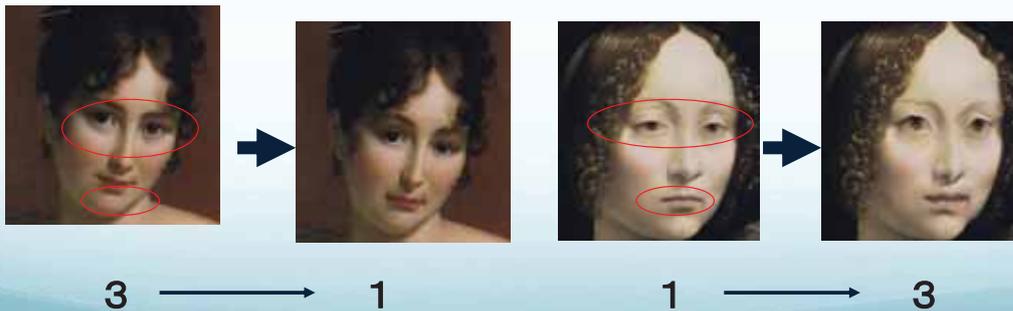
- 1  
No Iyashi
- 2  
A little
- 3  
Iyashi



- 1  
No Iyashi
- 2  
A little
- 3  
Iyashi

HNNではどこで癒されたか分かる。  
この被験者は口元と目元が重要らしい

- 印象は主観的・質的
- HNN 分析は物理的パラメータにより癒しを定量的に表現可能に
- 絵画の表情をパラメータを用いて変形させた



19

画像認識：複数人の顔表情のリアルタイム抽出と脳波比較

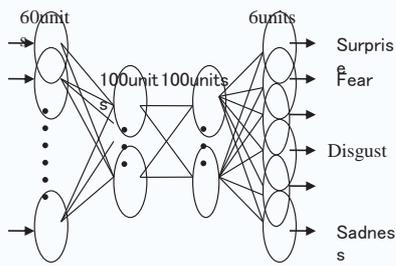


深層学習を用いて、6基本表情から負の表情を抽出し、疲労度や散漫度を測定する

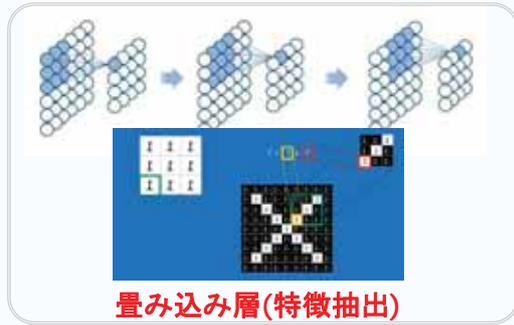


顔の6基本表情から快・不快状態の抽出

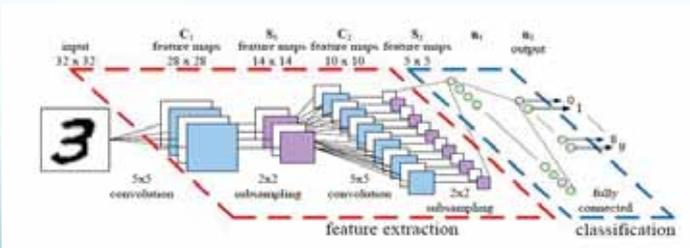
# 第3世代AIを牽引する畳み込みニューラルネットワーク(CNN): ネオコグニロン+BNN



逆伝播ニューラルネットワーク (BNN)  
前後の層に含まれるニューロン同士網羅的に結線



畳み込み層(特徴抽出)



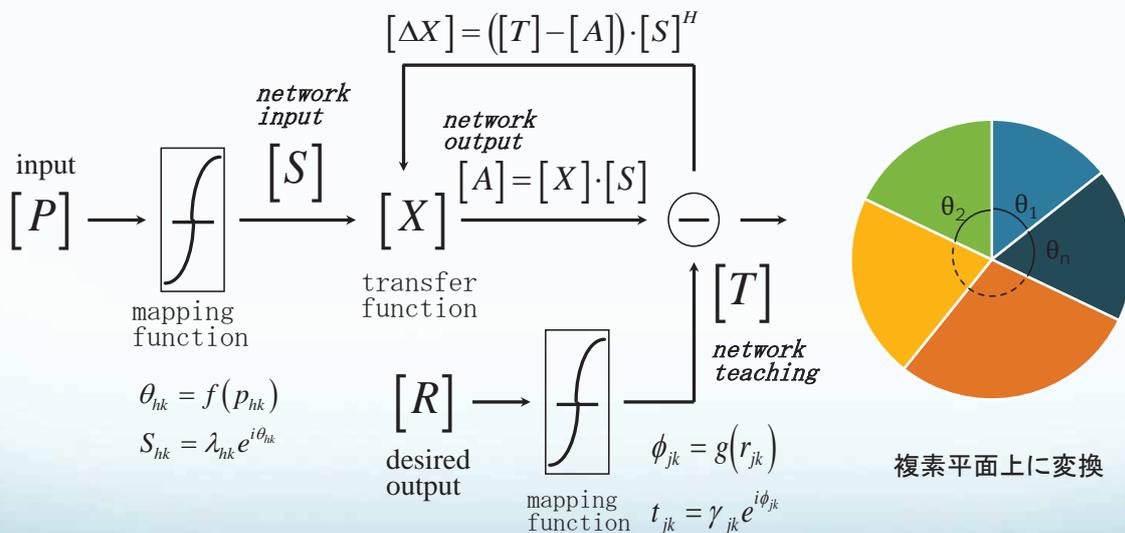
畳み込みニューラルネットワーク (CNN)  
(畳み込み層とプーリング層のペアの繰り返し)



プーリング層(ロバスト性)

CNN: ニューロン同士の結合適切に制限、  
結合強さ共通

HNNは、入出力データの複素平面への写像により、入出力関係が線形に表せる事を利用したニューラルネットワークである。例えば、非線形関数： $r=f(p)$  を近似する。

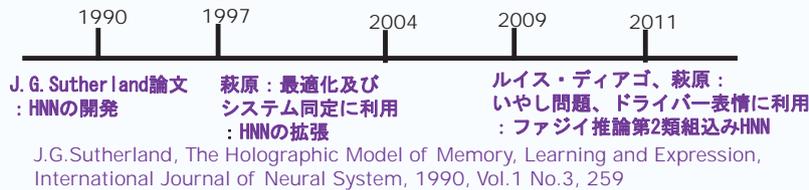


## ホログラフィックニューラルネットワーク(HNN)

# 因果の分かる機械学習とはどういうものか

それは、ホログラフィックニューラルネットワークをベースとするもの

(複素領域に写像された出力ベクトル) = (複素領域に写像された入力ベクトル) [システムの伝達関数]



HNNの歴史 第2次ブームの代表的な逆伝播法にFQHNN (ファジィ推論第2類組込みHNN) は優ることを確信していた。  
カナダのJ.G.Sutherlandが始める / 1990年

萩原 伝達関数の逆行列の求め方検討 / ムーアベンローズからの脱却 & 新しい応用開拓 / 1998年以降

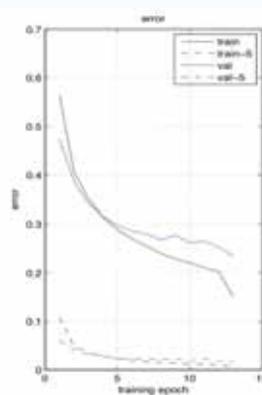
Khan: 写像関数の検討 / 1998年

23

ルイス & 萩原: ファジィ推論第II類で得られる重みを入力の重みとするFQHNNIによって問題に応じて重み係数が正しく求められるようになった / 2011年

CNN HNN Test Error = 9.147%  
10分程度

Here are the classes in the dataset, as well as 10 random images from each:



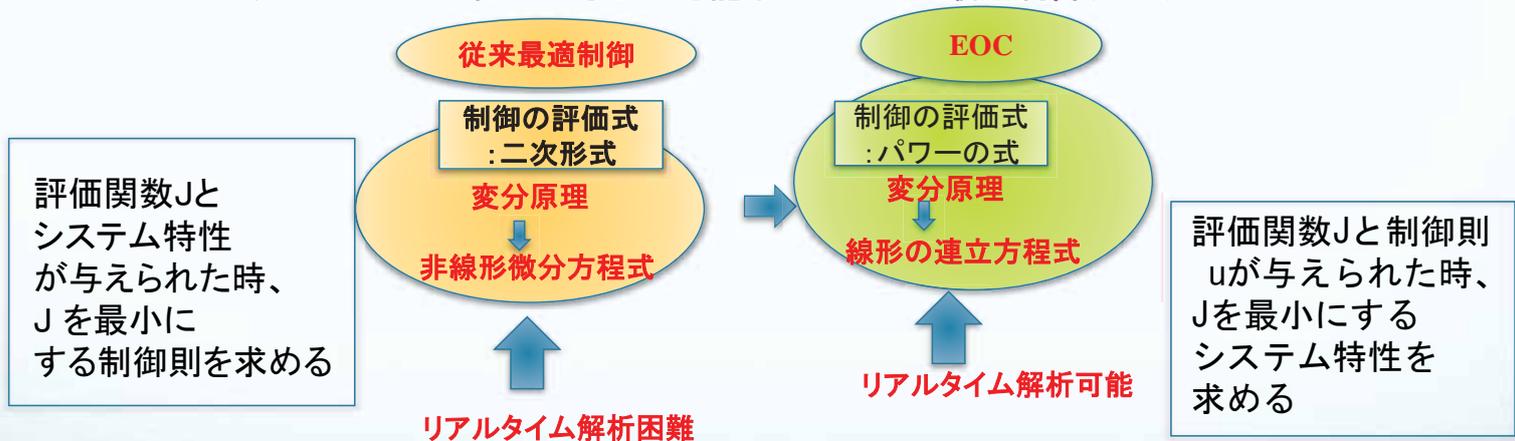
Field	Value	Min	Max
l	<50000x3072 single>	<Too many elements>	<Too many elements>
l1	<50000x1 single>	1	10
map	<3x2 cell>		
S	<50000x3072 single>	<Too many elements>	<Too many elements>
b	<50000x1 single>	-0.5878 + 0.8090i	-0.0000 + 1.0000i
l	<3072x1 single>	-8.8167e-05 + 4.1639e-05i	0.0207 - 0.0152i
p	30000	30000	30000
n	3072	3072	3072
LF	16.2760	16.2760	16.2760
trainmethod	'brent'		
time	5.1472	5.1472	5.1472

10時間発散

CNNを有名にした学習画像 (左)、CNN10時間で発散 (中)、FQHNN : 10分程度で収束。エラー率9.147% (CNNを有名にした2012年のエラー率 : 12%程度) (右)。

# 10年前に成功した「最適制御の枠組み」の変更

新しい最適制御理論位置付け：  
リアルタイムで唯一つ対応が可能なエネルギー最適制御(EOC)



文部科学省が選ぶ「2006年から2021年の間になされた産学連携の模範例6件の中に選ばれる。」

## 数理学：研究成果－異分野融合・産学連携の代表例－（2006年～2021年）

● 数理学では、これまでのボトムアップ型研究に加えて、異分野融合・産学連携研究の成果も見え始めている。

<p style="text-align: center;"><b>数理学×材料科学×企業</b> 東北大学</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> <span>企業 (タケノコ、素材メーカー)</span> <span>数理学 (離散幾何解析)</span> <span>材料科学</span> </div> <p><b>従来法の課題</b> 材料の(局所)構造と特性の関係が未解明であり、設計に時間やコストがかかる。</p> <p><b>数理学の成果</b> 離散幾何解析により、材料の直感(暗黙知)を取り入れた数理モデルを構築。シミュレーションより10億倍速い計算時間で材料設計に成功(論文)。産業応用に着手。</p> <p><b>【将来的なイノベーションへの期待】</b> 革新的環境イノベーション(炭素吸着の新素材)によるカーボンニュートルへの貢献</p>	<p style="text-align: center;"><b>数理学×企業×自治体</b> 九州大学IMI</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> <span>企業 (富士通、富士通研)</span> <span>数理学 (離散最適化)</span> <span>自治体 (さいたま市)</span> </div> <p><b>従来法の課題</b> 自治体における保育所入所マッチングは、全国的課題(人手による試行錯誤の調整)。</p> <p><b>数理学の成果</b> 離散最適化によって、保育所入所を自動化するアルゴリズムの開発に成功(論文、特許取得)。自治体での実用化(さいたま市)他。</p> <p><b>【将来的なイノベーションへの期待】</b> 幅広い社会課題(マッチング)解決への応用</p>	<p style="text-align: center;"><b>数理学×生物学×企業×医師</b> 京都大学</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> <span>企業 (777コア企業)</span> <span>数理学 (流体力学、数理解析等)</span> <span>生物学</span> <span>医師</span> </div> <p><b>従来法の課題</b> 受精メカニズム(精子の流体现象等)の解明は、解析が困難(生物学者に認識された問題)。</p> <p><b>数理学の成果</b> 数理解析手法等により、受精メカニズムを説明出来る方程式を発見(論文)。精子診断システム構築に向けた産業応用に着手。</p> <p><b>【将来的なイノベーションへの期待】</b> 新たな不妊治療法確立</p>
<p style="text-align: center;"><b>数理学×医学×企業</b> 東北大学</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> <span>企業 (医療機器メーカー)</span> <span>数理学 (AI、数理モデル)</span> <span>医学</span> </div> <p><b>従来法の課題</b> 透析患者に対応できる医師が不足する中、診断技術が熟練医の暗黙知として、一般化が進んでいなかった</p> <p><b>数理学の成果</b> 暗黙知をAI、数理モデルによってアルゴリズム化し、医師の意思決定支援が可能なAIを実現(論文、特許取得)。</p> <p><b>【将来的なイノベーションへの期待】</b> 未来社会対応の医療、医療費減、患者負担減</p>	<p style="text-align: center;"><b>数理学×企業、数理学×自治体</b> 明治大学</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> <span>企業 (日産、本田)</span> <span>数理学 (機械学習、逆問題)</span> <span>自治体 (対馬市)</span> </div> <p><b>従来法の課題</b> 自動運転の緊急回避などの最適制御が困難(非線形微分方程式はリアルタイムで解くことが困難)</p> <p><b>数理学の成果</b> 逆問題(発想の転換)により、リアルタイムでの最適制御が実現(論文、特許出願)。本田F1などで好結果(最高制御)。自治体での実証(自動運転)。</p> <p><b>【将来的なイノベーションへの期待】</b> 日本独自技術の自動運転(レベル4)、地方創生</p>	<p style="text-align: center;"><b>数理学×分子生物学</b> 北海道大学</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> <span>数理学 (数理モデル、積分核)</span> <span>医学 (分子生物学)</span> </div> <p><b>従来法の課題</b> 生物組織のマクロなふるまいは、従来モデル(離散的)では、解析や現実への応用が困難</p> <p><b>数理学の成果</b> 積分核による数理モデルによって、生物のミクロ(体の一部)から、全体の形態の再現に成功(論文)。実証(人の食道の症例への応用)。</p> <p><b>【将来的なイノベーションへの期待】</b> 生物をデザイン、病気の解明、新たな治療法確立</p>

## ヒヤリハット対策を学習させた知能自動走行車の実現

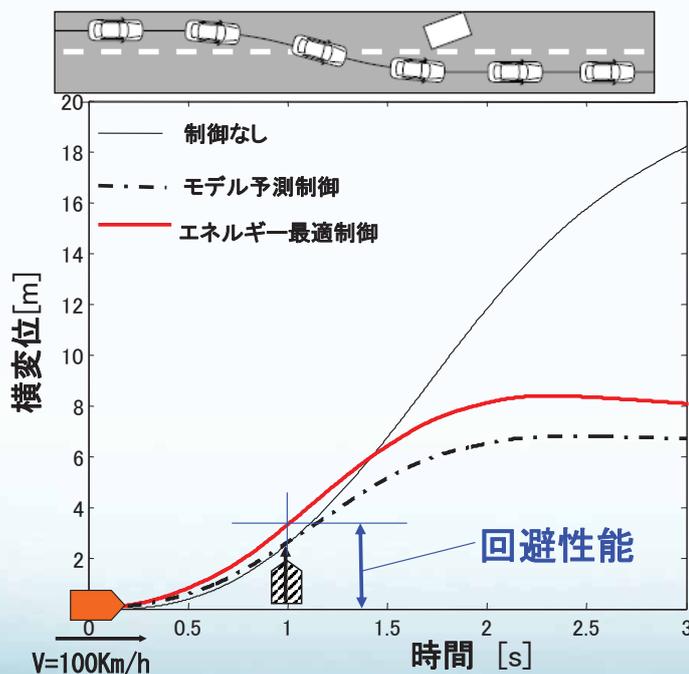
回避経路を決めその通りに走行させる👉 (ドライバーとの協調制御)



研究者 萩原 一郎

明治大学 先端数理科学インスティテュート(MIMS) &  
自動運転社会総合研究所(MIAD)数学アドバンスイノベーションプラットフォーム(AIMaP)』  
全国13の数理科学分野で業績を挙げている研究機関

## 緊急回避性能シミュレーション結果(横変位)



- 前方(到着時間1秒)に障害物を発見  
⇒ドライバーが、急激なハンドル操作によって障害物を回避するという状況を想定しシミュレーション
- 車速100[km/h]の直進状態から振幅120[deg]の正弦波状の操舵を2秒間再び直進状態に戻す
- 制御なしの場合:横すべり大  
⇒ヨー角ゼロの状態に戻っていない。
- エネルギー最適制御:  
目標値以上のヨーレートが発生⇒回避性能の目安となる1sec時の横変位が大きく発生⇒緊急回避性能が高い。

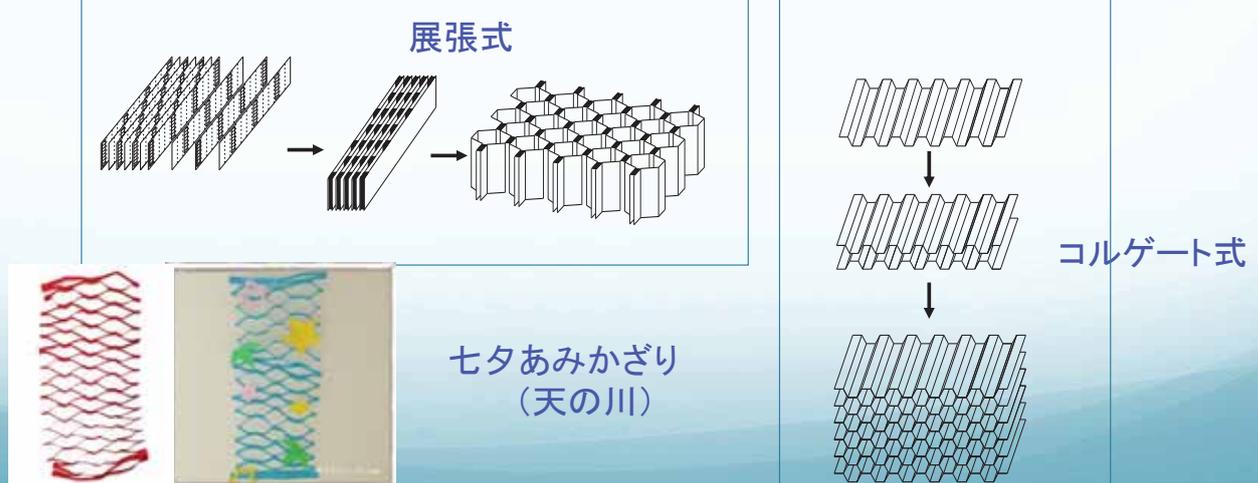
# EOCの廃棄物処理への適用想定図



## 野島武敏先生、数理折紙による構造モデル —折紙工学の提案— : 京都大学IIC (京都大学 国際融合創造センター) フェア2002年11月

第二次大戦中、英国のエンジニアが、日本の七夕あみかざりをヒントに、展張式、コルゲート式によるハニカムの大量生産方式を発明☛数兆円産業に

折り紙は尊い芸術であり産業応用すべきでないと考えていた日本人に火をつけることとなった



野島先生3次元折紙ハニカムコア発明 野島武敏 2002年  
 斉藤一哉氏(博士課程:萩原研究室) 製造法発明 2016年

Paper modeling

等厚ハニカム

翼型ハニカム

庇型ハニカム

連続自動製造法

周期的なスリットを入れた1枚の平板を折り曲げることでハニカムコアを立体化する。スリット、折線のパターンを変えるだけで翼型ハニカム、庇(ひさし)型ハニカムとなる。

切り紙ハニカム:メタマテリアル創生の宝庫:既に世界の二大拠点:  
 MIT/ハーバード大学連合、ブリストル大学(英国):斉藤一哉氏の技術がベース



自動車内装品の一例

新技術(明治大学MIMS折紙グループ2022年)



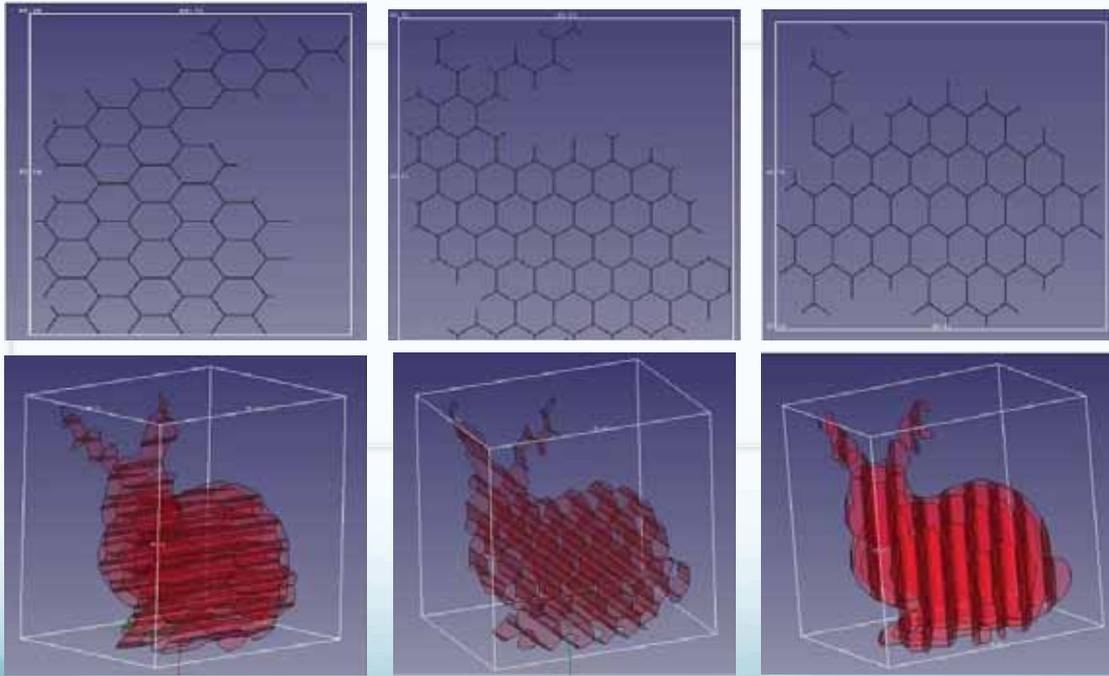
切り紙ハニカムで部品が完全にしかも一続きで再現できている様子

二大拠点の技術

複雑な箇所再現できず、できた箇所も一続きでの再現は困難



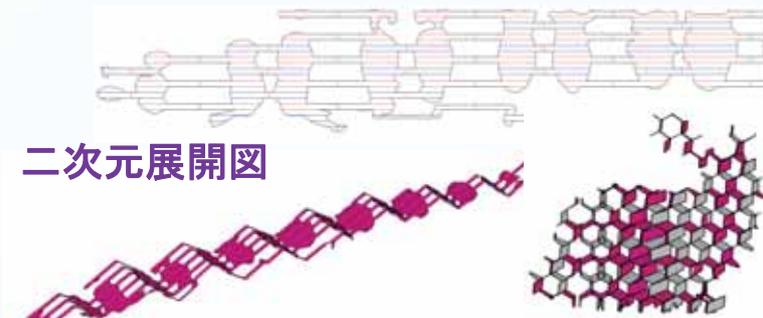
## 明治大学MIMS折紙グループ世界初(任意のCAD,STLデータに対して)



33

## 明治大学MIMS折紙グループ世界初(スタンフォードバニー)

二次元展開図



二次元展開図から三次元起こし30%／デジタル

ディアゴ・ルイス、篠田淳一、山崎桂子、萩原一郎、エルゼビア2023年4月、5月材料部門download数No.1

様々な角度からの実物モデル



様々な角度からの実物モデル

## 想定される用途

- 伸縮する筒状構造物

### 用途に合わせて形状設計された工業用ジャバラ



トーヨージャバラ株式会社HPより

従来のジャバラ構造の撓曲は素材の柔軟性によるものであり、設計上は“真っ直ぐ”である。外力によって曲げた状態で使用している。新技術を用いると、曲がった折り畳み筒を設計することができ、余計な力を受けずに使用できる。

### 大きく展開収縮する ロボットハンド



介護用ロボット、人が入れない環境下で働く作業ロボットなどの形状設計の多様性、制御の簡略化。

## ハイパースペクトルカメラの原理

- ① ハイパースペクトルカメラは、人の目では捉えきれない光の波長を詳細に分析し、物質の特性や状態を識別できるカメラ。人間の目が赤・緑・青の3色で光を認識するのに対し、ハイパースペクトルカメラは100から200バンド以上の非常に多くの波長情報を取得可能。
- ② ハイパースペクトルカメラは、紫外線・可視光・近赤外線領域において、光を非常に多くの波長帯に細かく分け、それぞれの波長における情報を同時に取得できるカメラ。

これにより、人間の目では区別できない物質の特性や状態を詳細に分析することが可能。

## ハイパースペクトルカメラの課題

★ ハイパースペクトルカメラの主な課題は、コストの高さ、撮影時間の長さ、データ解析の複雑さ。

### 💰 コストの課題

従来のハイパースペクトルカメラは研究用途が中心だったため、普及範囲が限られており、コストが課題。専用の解析ソフトウェアが必要な場合、初期投資がさらに大きくなる可能性も。

### 🕒 撮影時間の課題

ハイパースペクトルカメラは波長ごとに細かく計測するため、撮影に時間がかかる。特に、従来のラインスキャン方式は高い解像度が得られる一方で、撮影時間の長さが課題。

### 📊 データ解析の課題

ハイパースペクトルカメラは、膨大な量の波長情報を持つデータを取得可能。しかし、そこから必要なデータを見極めて解析するには、専門知識や高度な分析スキルが必要となり、この点が導入のハードルを高めている。

## ハイパースペクトルカメラの課題

### 💡 認知度の低さ

- まだ導入事例が少なく、一般の認知度が低いことがボトルネックとなっている。
- 具体的に何ができるのか、どこまで可能なのかといった理解を促進する必要がある。

## コスト削減の具体策

ハイパースペクトルカメラのコスト削減には、主に製造プロセスの革新と導入方法の見直しが主な対策か。

### 製造プロセスの革新

**部品の専用設計:** 汎用品の組み合わせからハイパースペクトルカメラ専用光学部品を設計することで、無駄をなくしコストを削減。

**製造工程の自動化:** 精密な手作業が必要な製造工程を自動化したり、単純化したりすることで、大量生産によるコスト削減が可能。

**チップの集積化:** 使いやすく低コストでコンパクトな産業用ソリューションとして、チップの集積化がハイパースペクトルイメージングの可能性を最大限に引き出すと期待

## コスト削減の具体策

**長期的な人件費削減:** 目視検査をハイパースペクトルカメラが代替することで、長期的に見て大きなコストダウンにつながり、人手不足への対策に。

**レンタル活用:** 研究段階や開発目的の場合、購入せずにレンタルを活用することで、初期費用を抑えることが可能。

**問題対策費用の削減:** ハイパースペクトルカメラを導入することで、問題発生後の対策にかかる費用を削減。

**生産性向上と収益改善:** 検査精度の向上や効率化により、生産性の向上と収益改善が期待できる。

**レンタル活用:** 研究段階や開発目的の場合、購入せずにレンタルを活用することで、初期費用を抑えることができる。

最終的に専用のマルチスペクトルカメラや単波長カメラを導入するケースが多いため、研究フェーズでの購入は不要か。

### その他のコスト削減への貢献:

**問題対策費用の削減:** ハイパースペクトルカメラを導入することで、問題発生後の対策にかかる費用を削減。**生産性向上と収益改善:** 検査精度の向上や効率化により、生産性の向上と収益改善が期待できる。

## ハイパースペクトルカメラの主な用途

ハイパースペクトルカメラは、人の目や通常のカメラでは捉えられない物質の詳細な特性や状態を分析できる特殊なカメラ。これにより、目に見えない情報を「見える化」し、様々な分野で活用されている。

分野	具体的な活用例
産業	異物検知、品質管理、材料判別、キズ・汚れの高精度検出
食品	鮮度や糖度などの内部状態、成分の可視化、異物検出
農業	植物の健康状態や成長、病気や害虫の早期発見と最適化
医療	生体組織や身体情報の特徴抽出、病気の早期診断、治療効果の評価
インフラ	コンクリートや道路の劣化状態を非破壊で評価
研究開発	物質の材質や状態の詳細な分析、成分分析
地球観測	土壌・植生分析などの環境調査 (リモートセンシング)

## ハイパースペクトルカメラの特長

**豊富な情報:** 赤・緑・青の3色で画像を記録する通常のカメラに対し、数十から数百もの波長帯の情報を記録。

**非破壊検査:** 物質の材質や状態を、対象物を傷つけずに分析可能。

**スペクトル情報:** 各画素について波長ごとの光の反射強度を示すスペクトル情報を記録。これにより、物体の位置情報と光学特性を同時に把握できる「データキューブ」という情報が得られる。

**高感度・高解像度:** 低照度下でも鮮明な撮影が可能で、4Kの高解像度撮影にも対応している場合がある。

**多様な撮影方式:** ラインスキャン型、エリアスキャン型など、用途に応じて様々なタイプがある。ドローンに搭載して上空から撮影する用途も増えている。

# ハイパースペクトルカメラの特徴

**豊富な情報:** 赤・緑・青の3色で画像を記録する通常のカメラに対し、数十から数百もの波長帯の情報を記録。

**スペクトル情報:** 各画素について波長ごとの光の反射強度を示すスペクトル情報を記録。これにより、物体の位置情報と光学特性を同時に把握できる「データキューブ」という情報が得られる。

**高感度・高解像度:** 低照度下でも鮮明な撮影が可能で、4Kの高解像度撮影にも対応している場合がある。

**多様な撮影方式:** ラインスキャン型、エリアスキャン型など、用途に応じて様々なタイプがある。ドローンに搭載して上空から撮影する用途も増えている。

## 成功の鍵となる要素

- 1) 膨大なスペクトルデータを迅速に精度よく分析する機械学習技術
- 2) 小型化と低価格化
- 3) 海底、宇宙での資源探査のためのロボット技術
- 4) データの収集、解析、クラウドでの管理、ユーザーへのフィードバックまでを一貫したプラットフォームとして提供する総合ソリューション技術

## スペクトルデータ活用上での課題

- 複雑なデータ解析
  - 1) ノイズの除去
  - 2) 高度な統計的手法や機械学習を用いた解析技術
- 環境要因の影響
  - 1) 温度、湿度などのスペクトルデータの補正

## 必要な人材

- データサイエンスと応用分野の深い知識

## 本日のまとめ

1. 現在進めているE2E自動運転技術、折紙工学の、廃棄物処理への利用の有効性について述べた。
2. ハイパースペクトルカメラの廃棄物処理への有効性について述べた。
3. ハイパースペクトルカメラの特長と課題について述べた。
4. ハイパースペクトルカメラの多岐に亘る応用分野を同時並行で進めることにより、多くのユーザーを育成することで安価にするものの有効性について述べた。
5. 多くのユーザーの育成には、関連学会に関連研究会や関係する寄附講座などを設けて多くの関連する課題の解決が重要であることを述べた。
6. まとめ