

>>>> 特別寄稿

廃棄物処理システムの中長期的な展望 ～脱炭素社会とデジタル化への対応を中心として～

早稲田大学大学院環境・エネルギー研究科

教授 小野田弘士



1. はじめに

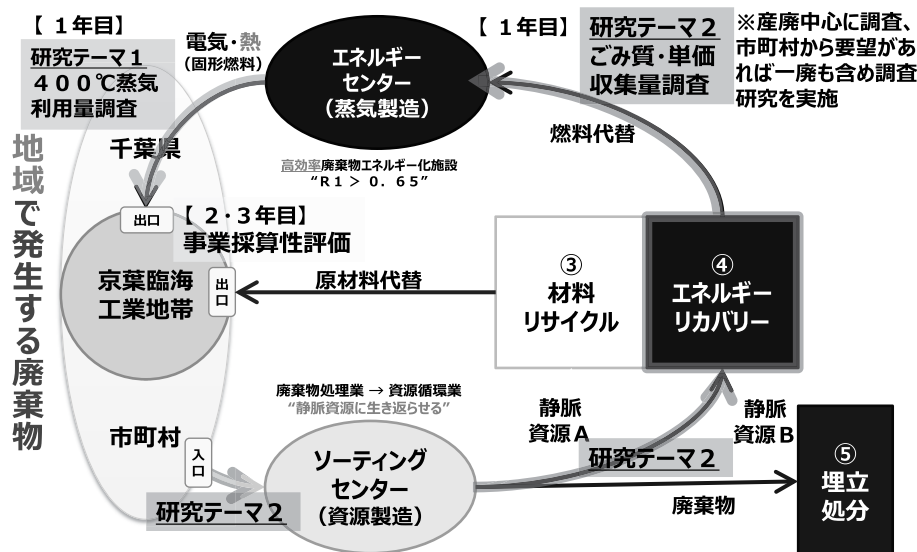
地域循環共生圏や脱炭素社会、Society 5.0 等の中長期的な展望に基づく、社会イノベーションに向けた社会的な要請がさまざまな分野で高まっている。とりわけ、コロナ禍を通じて、社会全体でデジタル化への動きが加速化している。「コロナショック」以前より、人口減少、労働力不足等への対応の必要性が指摘されていた廃棄物処理分野においてもその対応が急務となっている。

本稿では、「脱炭素社会」と「デジタル化」の2つの側面から、政策的な動向等を整理したうえで廃棄物処理システムの中長期的な展望を述べる。

2. 地域循環共生圏・脱炭素社会に向けた展望

廃棄物処理分野の地域循環共生圏・脱炭素社会に関する方向性に関しては、2020年9月8日に開催された中央環境審議会循環型社会部会で報告された「地域循環共生圏を踏まえた将来の一般廃棄物処理のあり方について¹⁾」が参考になる。このなかで、「資源循環分野からの地域循環共生圏モデルのイメージ」が提示されており、脱炭素社会に向けて地域産業と連携した

廃棄物処理システムの在り方が提案されている。非常に野心的・意欲的な提案であるが、こうした取り組みを自治体等が主導する廃棄物処理政策にどのように取り込んでいくのか、その推進・コーディネートを誰が担っていくのか等を時間軸も含めて具体的に検討していく必要がある。例えば、筆者が取り組んでいるプロジェクトの一例として、京葉臨海工業地帯における廃棄物エネルギーの産業利用に関する取り組みを紹介する(図1)²⁾。同プロジェクトでは、産業廃棄物由来の廃プラの処理と一般廃棄物の広域化に向けた検討を一体的に行い、化学工場等の蒸気を供給することを構想しているものである。「資源循環分野からの地域循環共生圏モデルのイメージ」にも同様の取り組みが記載されている(地域製造業連携モデル)。現在、行政、産業界等と協議会を組成し、筆者らが「バウンダリー・ワーカー」として、議論を積み上げているが、動脈産業(地域産業)に廃棄物エネルギーの特徴・特性の理解を得るには、相当な努力が必要と認識している。同プロジェクトの詳細は、別の機会に報告するが、動脈産業側の脱炭素社会への取り組みの方向性と整合性を図りながら、プロジェクトの構想・計画を立案して



いくプロセスが不可欠となる。

また、もうひとつ注目されているキーワードとして、「炭素循環」というキーワードが挙げられる。CCUS³⁾、カーボンリサイクルとも言われ、2020年12月25に経済産業省から公表された「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略⁴⁾」のなかでも、14分野のひとつに「カーボンリサイクル産業」が掲げられている。この間、プラントメーカー各社ともこの件について意見交換をした。現段階では、技術が十分に成熟していない、脱炭素社会に向けた大きな方向性は示されているものの具体的な推進策が明確となっていない等の理由で、どのようなスタンスで「炭素循環」に取り組むべきかを逡巡している傾向が明らかであった。これに対して、筆者自身が明確な答えを持ち合わせているわけではないが、現時点での認識として、以下の点を共有したい。

- 脱炭素社会に向けた文脈のなかで、ごみ焼却施設から CO2 を回収することの社会的意義・意味を明確化・共有すること。ゼロカーボンシティを宣言する自治体は増えていても、ごみ焼却施設からの CO2 回収ま

で視野に入れている自治体は少ないのが現実であろう。

- 現時点では、CCUS に関する技術熟度が低い状況であるが、技術開発・評価と普及戦略を同時並行で検討すること。技術開発に関しては、プラントメーカーがその中心的な役割を担うことは間違いない。その過程で、LCC (Life Cycle Cost) や LCCO2 (Life Cycle CO2) を共有し、社会実装に向けた課題の共有、政策提言等を行っていくことが肝要である。

3. 廃棄物処理分野の「デジタル化」に関する展望⁵⁾

3. 1 廃棄物処理・リサイクル分野の「デジタル化」に関連した政策動向

2020年5月により、経済産業省より「循環経済ビジョン 2020⁶⁾」が公表された。同ビジョンは、1R（リサイクル）からの3R（Reduce, Reuse, Recycle）の総合的な推進の転換をポイントとした「1999年循環経済ビジョン」の後継のビジョンと位置付けられている。このなかで、線形経済モデルの限界、デジタル技術の発

展、Society 5.0 への転換等を背景とし、いわゆる CE (Circular Economy) に対応した循環経済へ転換することの重要性を指摘している。循環性の高いビジネスモデルの例のなかで、デジタル化に関連するキーワードとして「IoT 等を活用し、需要に応じた供給を徹底することによる販売ロスの削減」、「IoT によるサービス化を通じた資産の運転効率や稼働率の向上、長期利用の実現 (PaaS/MaaS)」等が挙げられている。動脈産業と静脈産業の連携を図りながら、いかに循環経済へシフトを誘導していくかの議論を積み重ねていく必要がある。

2020 年 7 月 28 日に、環境省より「「資源循環×デジタル」プロジェクト 資源循環における情報プラットフォームの活用 検討結果取りまとめ⁷⁾」が公表された。同資料では、情報活用によるトレーサビリティ付与やコミュニケーション促進機能に着目した、資源循環に関する情報プラットフォームの構築の可能性について検討されたものである。具体的なビジネスモデルの例として、FIT 終了に伴い、2030 年代に大量排出が見込まれる太陽光パネルを想定した「特定製品に関するリユース・リサイクルの一体的運営」および複数の工場からの排出物（端材、包装材、廃棄となった製品、更新に伴う廃棄設備等を含む。）を対象として、情報プラットフォームによる排出物管理データの一元化を想定した「工場排出物の管理合理化」の構築イメージが提示されている。情報プラットフォームの構築の必要性は、筆者らも提言⁸⁾してきたが、どの範囲で情報をオープン化するかという点が課題となる。より具体的な実証モデルを積み上げて、イメージを具現化していくことが期待される。

先に示した「地域循環共生圏を踏まえた将来の一般廃棄物処理のあり方について¹⁾」のなかでも「IoT、AI によるごみ焼却のスケジュール・制御の最適化」、「IoT、AI を活用した収

集作業の効率化」等の表現が含まれている。とりわけ、コロナ禍におけるテレワーク等の普及による廃棄物の発生場所のシフトも発生しており、廃棄物の質・量の変化に対する対応も必要である。さらには、「新しい生活様式」に対応した非接触型のごみ収集システムの構築も重要な課題となる。

以上のように、廃棄物処理・リサイクルに関連する政策に AI・IoT 等のデジタル化が取り込まれることが必然の状況となりつつある。

3. 2 「廃棄物処理・リサイクル IoT 導入促進協議会」による提言

以上のように、筆者が副会長を務めている「廃棄物処理・リサイクル IoT 導入促進協議会⁹⁾」の発足当初（2016 年 8 月）と比較すれば、廃棄物処理・リサイクル分野においても AI・IoT という言葉がさまざまな場面で聞かれるようになってきた。しかしながら、いくつかの実例はでてきているものの概念的なイメージの提示にとどまっているものも多く、より社会実装に向けた動きを加速化するアプローチが必要である。図 2 に、令和元年度の提言書「「官民連携 DX¹⁰⁾」が生み出す新たな価値」の骨子を示した。提言 3 に示しているように、廃棄物・リサイクル分野に限らず、地域循環共生圏やスマートシティ等と連携した分野横断的な地域単位での「ユースケース」を構築し、そのなかで、官民連携の在り方を提示していくことの重要性を述べている。一例を述べると、国土交通省が推奨するスマートシティや内閣府が提唱するスーパーシティの議論のなかで、廃棄物・資源循環分野の取り組みは明確に位置付けられているとは言い難い（スーパーシティ構想のなかでは、「自動ゴミ収集」というキーワードが掲げられている）。

提言1. 「官民連携DX」の推進に向けた体制整備

「地域循環共生圏」の創造や「スマートシティ」の整備・発展を見据えた場合、行政側も住民サービスの向上等に資する公開を前提としたDXを推進した上で、民間事業者等との情報連携を図りながら社会課題解決を目指すための体制整備を行なうこと。この場合の体制整備には、オープン データ+ α の情報開示のみならず、データ 連携が容易なプログラムの相互運用を含む。

提言2. 官民データの連携とマッシュアップのあり方に係る「協議の場」の設置

「官民連携DX」の実現には、行政データの開示のみならず「データ利活用の方方向性」に係る民間との調整」「開示フォーマットの標準化」「API接続に伴うプロトコルのすり合せ」等が必要となることから、どのような目的と手段でデータ連携を図るかの意識合わせや調整を行なうための「協議の場」を設置していただくこと。

提言3. 地域単位での「ユースケース」確立のための実証事業や補助事業への支援

「官民連携DX」の推進を前提に入れて協議会所属機関が検討中の各種モデルケースについて、自治体と民間事業者が連携を図ることで社会課題解決を目指す「ユースケース」を確立するための実証事業や補助事業に必要な関連予算メニューを整備した上で、一定の規制緩和等も視野に入れた支援を行なうこと。規制緩和の範囲には、行政の情報管理・開示範囲の見直しを含む。

図2 令和元年度提言書「官民連携 DX」が生み出す新たな価値
(廃棄物処理・リサイクルIoT 導入促進協議会)

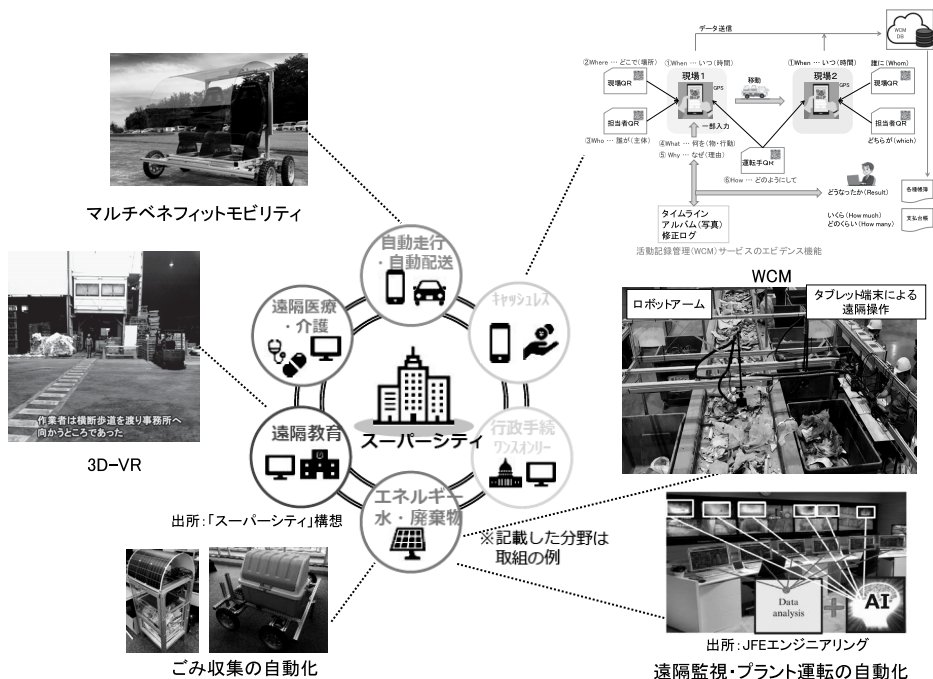


図3 ポストコロナを見据えた廃棄物処理・リサイクルシステムの方向性

3.3 ポストコロナを見据えた廃棄物処理・リサイクルシステムに向けた展望^{11) 12)}

今後、「オンライン化」、「非接触」を前提としたアプローチの重要性が増してくることが予想される。筆者は、スマートシティやスーパーシティへのアプローチとの連携を視野に入れな

がら、図3のような提案をしている。そこで取り上げている具体的なソリューション・アプローチを要約して述べることにしたい。

(1) VR (Virtual Reality)

教育現場は、オンラインへ大きくシフトしているものの実験・実習型の教育をどうするかと

いう点に関しては、有効な方法論が確立されていない。VRは、有効はソリューションとなりうる可能性を有している。筆者らは、労働安全の分野で3D-VRを活用したコンテンツを作成し、その有効性を確認してきた¹³⁾。これらを教育の現場や熟練者の技術伝承に応用する試みを進めている。あるいは、Drone等を組み合わせて、「現場へ行く頻度」を極力低減することの要請が高まっていくことが予想される。

(2) ごみ収集の自動化・非接触化

「新しい生活様式」は、宅配の増加による物流業者の業務負担や家庭からのごみ排出量増加を招く。こうした問題に対応するソリューションとして、筆者らが開発に着手したマルチベネフィット型モビリティのコンセプトをごみ収集の自動化への応用を提案している。このモビリティは、シャーシのみを共通化し、乗車用、物流用等の用途を自由に組み替えることができる。例えば、日中は、乗車用や物流用途に活用し、夜間はごみ収集に活用する等の方法が考えられる。また、同車両は、自動運転が可能な仕様となっており、同図に示すスマートごみ箱やロボットアームと組み合わせることにより、ごみ収集の自動化に向けた知見を積み重ねていくことを計画している。

また、筆者が提唱しているWCM（Work Chain Management）システムは、QRコードとスマートフォンをベースに、現場の情報をIoT化し、「伝票レス」を実現する新しいトレーサビリティシステムである¹⁴⁾。決済機能と組み合わせることにより、キャッシュレス・非接触を実現することも可能であり、業務効率化にも貢献する。

(3) 遠隔監視・プラント運転の自動化

プラントの運転を遠隔で行うことは、結果として移動の回避、非接触化に貢献する。プラントメーカーを中心に取り組みが進んでいる焼却炉の遠隔監視・運転の自動化はそれに貢献する

ものである¹⁵⁾。また、産業廃棄物処理等の現場でもロボット導入に向けた動きが活発化している。同図には、ある事業者で試験的に導入された例である。ステレオカメラによって、画像・距離を認識し、ロボットアームによって選別を行っている。この写真では、作業者がタブレットにより、ロボットアームを遠隔操作している。廃棄物処理・リサイクルの分野では、投入物の種類や形状が多様であることから、こうしたロボットアームが十分な性能を発揮しているとはいえない。しかしながら、廃棄物処理・リサイクルの現場は、運転員が感染性の医療廃棄物が封入された容器を手作業で投入するなど衛生面での課題も従来から指摘されてきた。今後、さらなる技術開発・成熟を期待したい。

4. おわりに

脱炭素社会、プラスチック資源循環、Society5.0等中長期的な視点でのアプローチが求められている。残念ながら、中長期的な視点で議論し、計画等を立案することのノウハウが蓄積されていないことを感じている。その結果、従来の延長線上での議論に終始してしまい、中長期的な「絵姿」からは乖離した結論に陥ってしまうことが多い。廃棄物処理分野では、冒頭に述べたように、労働力不足の問題など従前から抱えてきた課題が山積している。脱炭素社会、ポストコロナ等を新しいことにチャレンジしていくきっかけとすべきと考えている。新たな取り組みを積極的に行うことによって、この分野に関心を持つ人材も増えていくのではないだろうか。官民連携、産学連携等の必要性が謳われているが、その具体的なアクションを各々の立場でとっていくことが重要である。

【参考文献】

- 1) 環境省, 中央環境審議会循環型社会部会（第35回）：

- <https://www.env.go.jp/council/03recycle/yoshi03.html>
- 2) 吉留大樹, 唐澤匠, 小野田弘士, 瀬戸俊之:
廃棄物エネルギーの産業利用に関する検討:
(第1報: 工業地帯における熱需要の把握),
環境工学総合シンポジウム講演論文集,
2020. 30 (0), 214, 2020.
 - 3) 環境省, CCUS の早期社会実装会議 (第2回)
～現在の到達点と今後の実用化展開に向けて～:
<https://www.env.go.jp/earth/ccs/ccus-kaigi/ccus.html>
 - 4) 経済産業省, 2050 年カーボンニュートラル
に伴うグリーン成長戦略:
<https://www.meti.go.jp/press/2020/12/20201225012/20201225012.html>
 - 5) 小野田弘士, 廃棄物・リサイクル分野にお
けるデジタル化に向けた展望, 環境新聞,
2020 年 11 月 25 日.
 - 6) 経済産業省, 循環経済ビジョン研究会:
[https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/junkai_keizai/index.html)
[environment/junkai_keizai/index.html](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/junkai_keizai/index.html)
 - 7) 環境省, 「資源循環×デジタル」プロジェク
ト 資源循環における情報プラットフォーム
の活用 検討結果取りまとめ:
<https://www.env.go.jp/press/108265.html>
 - 8) 土井麻記子, 中石一弘, 小野田弘士: 廃棄
物処理・リサイクル分野における情報技術活
用—プラットフォーム構築について—, 廃棄
物資源循環学会誌, Vol. 29, No. 3, pp. 209-
213 (2018)
 - 9) 廃棄物処理・リサイクル IoT 導入促進協議会:
<http://iot-recycle.com/>
 - 10) 松岡浩史: 廃棄物処理・リサイクル IoT
導入促進協議会の取り組み～「官民連携 DX」
による新たな価値創出に向けて～, 都市清掃,
Vol.73 No.356, pp.391-397 (2020)
 - 11) Onoda, H: Smart approaches to waste
management for post-COVID-19 smart cities
in Japan, IET Smart Cities, Volume 2, Issue
2, pp.89-94 (2020)
 - 12) 小野田弘士: 廃棄物処理・資源循環におけ
る AI・IoT を活用したソリューション開発,
都市清掃, Vol.73 No.357, pp.465-472 (2020)
 - 13) 小野田弘士: VR を活用した安全教育コン
テンツ・リスクコミュニケーションへの活用,
研究開発リーダー, Vol. 16, No.7, pp. 19-24
(2019)
 - 14) 鄒亮星, 吉留大樹, キンショウセツ, 小野
田弘士: IoT 活用による医療廃棄物の小口回
収システムの効率化: (第1報: 廃棄物管理
の実態把握およびトレーサビリティシステム
の構築), 環境工学総合シンポジウム講演論
文集, 2020. 30 (0), 221, 2020.
 - 15) 特別レポート: 焼却炉の完全自動運転は本
当か? 早大小野田教授が実地視察—誰も操作
しないが何も起きない中央制御室を実感—,
環境施設 160, pp.2-8 (2020)