

スマートコミュニティの実現に向けた環境配慮エネルギー・循環システムの 構築に関する研究

研究代表者 小野田 弘士
(環境・エネルギー研究科 教授)

1. 研究課題

環境配慮型社会の実現に向けて、自立・分散型エネルギーシステム、資源循環システム、次世代モビリティシステム等を導入したスマートコミュニティの構築が国内外で注目されている。本研究では、地域・産学官等との強固なネットワークを活用し、新たな社会システムを提示することを目的とした実証研究を展開している。本報では、2019 年度に注力した 3 件のプロジェクトの概要について報告する。

2. 主な研究成果

(1) 温暖化防止に向けた廃棄物エネルギーの産業利用の可能性調査 ―蒸気供給・熱利用による高効率エネルギー利用―

わが国ではこれまで主に発電による廃棄物のエネルギー化が推進されてきたが、発電効率が 20% 程度と低く、エネルギー利用率という面で改善の余地が残されている。また、電力会社の系統連系空き容量の関係上、実際に発電を行っても電力を買い取ってもらえない廃棄物焼却施設も顕在化しつつある。一方、海外では発電と共に蒸気を利用した熱供給による廃棄物のエネルギー化が普及している。熱供給というと地域暖房が連想されるが、石油製油所や製紙工場等へ蒸気を供給する産業利用も盛んに行われており、日本よりエネルギー利用率が高い。日本には一部の地域を除き地域暖房のインフラが存在しないが、太平洋ベルトを中心とした工業地帯が全国に展開されているため、石油製油所等へ蒸気を供給する産業利用による廃棄物のエネルギー化の可能性が大いに残されている。そこで、本研究では、石油・化学産業等が集積している京葉臨海工業地帯に焦点を当て、わが国において、実現されていない廃棄物エネルギーに産業利用の実現に向けた調査研究を行うものである（図 1）。2019 年度は、3 年計画の 1 年目と位置づけ、調査研究の推進母体となる協議会の設立およびアンケート・ヒアリングによる熱需要の調査、海外事例の調査を行った。

成果の一例として、熱需要に関する検討結果を述べる。協議会メンバーである千葉県環境保全協議会の協力を得て、保有するボイラ、熱需要、発生する産業廃棄物等に関するアンケート調査を実施した（有効回答数：81 件）。得られた結果を GIS（地図情報）によって、可視化した結果を図 2 に示した。これより、当初の仮説どおり、京葉臨海工業地帯における熱需要が集中していることが確認できた。また、廃棄物エネルギーによる蒸気供給を受ける場合の希望単価やアンケート回答事業所からの廃棄物発生量も把握することができた。

*一般財団法人環境対策推進財団。温暖化防止に向けた廃棄物エネルギーの産業利用の可能性調査―蒸気供給・熱利用による高効率エネルギー利用―。

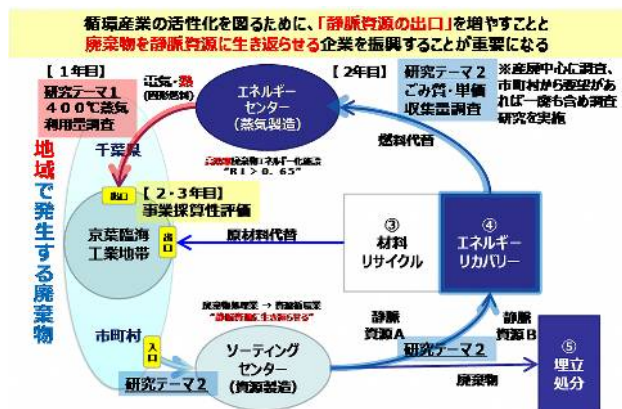


図1 廃棄物エネルギーの産業利用システムの全体像

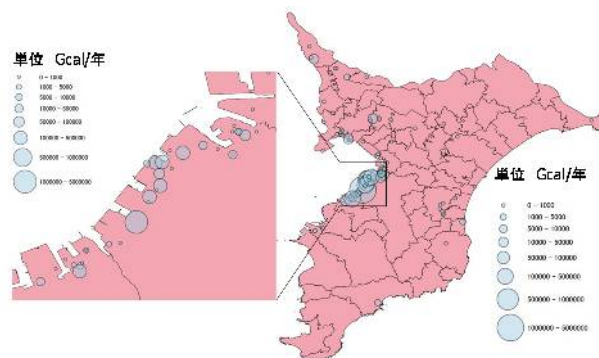


図2 京葉臨海工業地帯における熱需要の調査結果

(2) 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

本研究では、小規模な医療機関から排出される感染性廃棄物に着目し、医療廃棄物の適正処理推進と小口回収業務の効率化を図るため、IoTを活用したシステムの構築を目的としている（3年計画の1年目）。具体的には、電話による集荷依頼を代替するボタン式集荷指示システムの利用、活動記録管理システムをベースとしたトレーサビリティシステムを導入および複数の収集・運搬事業者の連携を前提とした配車システムを構築する。システム構築の前段階として、医療機関における感染性廃棄物の適正処理、感染性廃棄物の排出実態と収集運搬の実態把握を行った。3社の収集運搬事業者とI市の小規模な260件（有効回答数：85件）の医療機関を対象にアンケート調査を実施した。また、IoTを活用した実証試験の前準備として、3つのソリューションの機能検証試験を行った。検討の結果、提案した実証モデルの概要を図3に示した。

*環境研究総合推進費資源循環領域。 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(3-1905)。

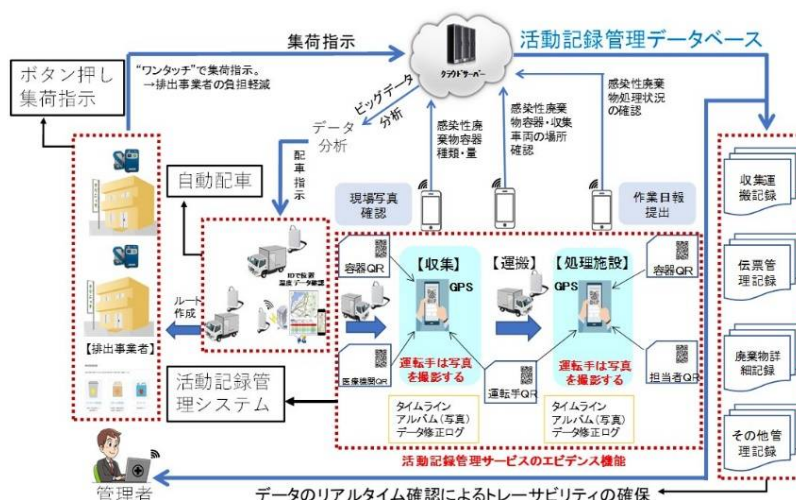


図3 医療廃棄物の小口回収システムへのAI・IoT活用モデルの提案

地域コミュニティ活性化などにつながる再生可能エネルギー導入の布石とするため、奈良県内における具体的な候補地や具体的な地域活性化の方策を検討する。なお、対象とする再生可能エネルギーは、木質バイオマス、水力と設定した。地域住民が主体となった再生可能エネルギーの導入などにより、地域コミュニティの活性化につなげた全国の事例を収集した。地域コミュニティ活性化の可能性が高いと思われる奈良県内の集落をピックアップし、それぞれの集落の活性化の方策を検討し、提案した。

②小規模水力発電：奈良県内では、コミュニティ主体の水力発電の取り組みが進められていることがわかった。とりわけ、自動車部品のリユース品を用いた五條市大塔支所での取り組みは、国内でも先駆的な取り組みと位置付けられる。水力発電の取り組みに、次世代型のモビリティシステムを組み合わせる提案を行った（図5）。

北部 北部は焼却施設が多い

- 吉野木質バイオマス発電所に連係
- こみ焼却施設に連係し、発電・熱利用
- ごみと混焼するバイオマス発電所

東部 東部は焼却施設がなく焼く量も多い

- 吉野木質バイオマス発電所に連係
- 五條市のチップ工場に連係

南部 南部は焼却施設がなく焼く量も多い

- 吉野木質バイオマス発電所に連係
- 五條市のチップ工場に連係

西部 西部は焼却施設がなく焼く量も多い

- 吉野木質バイオマス発電所に連係
- 五條市のチップ工場に連係

県内の木質バイオマス利用の増加

五條市・宇陀市 熱需要が高い

○地域熱供給の展開

燃料1,000tで得られる熱量(推定)
→6359.7GJ/Y

1件で3,000GJ/Y以上の施設に導入

五條市：食品工場(推定値定：16,705 GJ/Y)
宇陀市：宇陀市立病院(推定値定：21,637 GJ/Y)

燃料1,000tで得られるCO₂削減効果(推定)
→362.5 tCO₂/Y



図5 地域連携型マイクロ水力発電システムの提案

南川秀樹 環境総合研究センター・客員上級研究員（研究院客員教授）
内藤克彦 環境総合研究センター・客員上級研究員
村元康 商学学術院・客員教授
永井祐二 環境総合研究センター・主任研究員（研究院准教授）

4. 研究業績

4.1 学術論文

(査読付)

- (1) (Scopus)Pandyaswargo, A. H., Pang, D., Ihara, I., & Onoda, H. (2020). Japan-Supported Biomass Energy Projects Technology Readiness and Distribution in the Emerging Southeast Asian Countries: Exercising the J-TRA Methodology and GIS. *International Journal of Environmental Science and Development*, 11(1).
- (2) (Scopus)Pandyaswargo, A. H., Jagath Dickella Gamaralalage, P., Liu, C., Knaus, M., Onoda, H., Mahichi, F., & Guo, Y. (2019). Challenges and an Implementation Framework for Sustainable Municipal Organic Waste Management Using Biogas Technology in Emerging Asian Countries. *Sustainability*, 11(22), 6331.
- (3) 中野健太郎, 永井祐二, 小野田弘士, & 永田勝也. (2019). 住民と行政の関係構築における P2M 手法の適用分析. *国際 P2M 学会誌*, 14 (1), 35-50.
- (4) 中野健太郎, 永井祐二, 小野田弘士, & 永田勝也. (2019, November). 豊島廃棄物等処理事業の環境性・経済性評価. In *環境情報科学論文集 Vol. 33 (2019 年度 環境情報科学研究発表大会)* (pp. 235-240). 一般社団法人 環境情報科学センター.
(査読なし)
- (5) 小川聡久, 渡邊大智, 胡浩, 小野田弘士, 渡邊洋一, & 山口純二. (2019). ごみ処理施設と下水処理施設の連携システムの環境性・経済性評価. In *環境工学総合シンポジウム講演論文集 2019.29* (p. J205). 一般社団法人 日本機械学会.
- (6) 菊池亮, 吉留大樹, & 小野田弘士. (2019). 飲食店街区における太陽熱・地中熱ハイブリッド熱源システムの実測評価と改善提案. In *環境工学総合シンポジウム講演論文集 2019.29* (p. J411). 一般社団法人 日本機械学会.
- (7) 吉留大樹, 菊池亮, & 小野田弘士. (2019). 業務施設における再生可能エネルギー熱利用システムの実測評価. In *環境工学総合シンポジウム講演論文集 2019.29* (p. J412). 一般社団法人 日本機械学会.
- (8) 岡村優樹, 友成一暉, & 小野田弘士. (2019). 圧縮空気エンジン搭載小型モビリティの開発とその性能評価. In *環境工学総合シンポジウム講演論文集 2019.29* (p. J413). 一般社団法人 日本機械学会.
- (9) G. Ogawa, S. Wu, A.H. Pandyaswargo, H.ONODA. Experimental Study on Rice Husks Torrefaction: Technology Development Potential in Myanmar's Unelectrified Area. In *Proceedings of the International Workshop on Environmental Engineering 2019* (p.E209). The Japan Society of Mechanical Engineers.
- (10) I. Ihara, A.H. Pandyaswargo, D. Pang, H.Onoda. Technology Readiness Assessment of Biomass Energy Projects using J-TRA method: Application on Southeast Asian Countries. In *Proceedings of the International Workshop on Environmental Engineering 2019* (p.E209). The Japan Society of Mechanical Engineers.
- (11) 喻幸如, 吉留大樹, 小野田弘士, & 石井靖彦. (2019, July). P-8-1 戸建住宅における夏季の空調消費電力量の増加要因の分析. In *日本エネルギー学会大会講演要旨集 第 28 回日本エネルギー学会大会*

ギー学会大会 (pp. 292-293). 一般社団法人 日本エネルギー学会.

- (12) 井口琢朗, 鄒亮星, & 小野田弘士. (2019). 清掃工場の労働安全におけるナッジの活用に関する検討. In 廃棄物資源循環学会研究発表会講演集 (p. 111). 一般社団法人 廃棄物資源循環学会.
- (13) 清水道悦, 楊文博, & 小野田弘士. (2019). アジア圏における中古車・リサイクル部品の市場動向の現状分析. In 廃棄物資源循環学会研究発表会講演集 (p. 199). 一般社団法人 廃棄物資源循環学会.
- (14) 吳渺, 清水道悦, & 小野田弘士. (2019). 次世代自動車用リチウムイオンバッテリーのリユース・リサイクルシステムの構築. In 廃棄物資源循環学会研究発表会講演集 (p. 201). 一般社団法人 廃棄物資源循環学会.
- (15) 阮梦依, Pandyaswargo Andante Hadi, 小野田弘士, Htwe Ei ei. (2019). ミャンマーの無電化地域におけるエネルギー需要の予測手法の構築, In 環境科学会 2019 年会講演要旨集 (p. 108). 公益社団法人 環境科学会.
- (16) 吉留大樹, 菊池亮, 本田亮太, 小野田弘士. (2019). 飲食店街区における太陽熱・地中熱ハイブリッド熱源システムの実測評価, In 環境科学会 2019 年会講演要旨集 (p. 108). 公益社団法人 環境科学会.

4.2 総説・著書

- (1) 小野田弘士. (2019). 廃棄物エネルギーの利活用に向けたアプローチ (特集 廃棄物エネルギーの地産地消と新たな価値の創出). 都市清掃 = *Journal of Japan Waste Management Association*, 72 (350), 316-321.
- (2) 小野田弘士. (2019). インタビュー企画 環境・エネルギー分野の動向から次の一手を考える: 早稲田大学大学院環境・エネルギー研究科教授 小野田弘士氏に聞く. 環境施設 = *Journal of water & solid waste management*, (157), 2-8.
- (3) 小野田弘士. (2019). ごみ処理システムにおける AI・IoT の導入可能性 (特集 ごみ焼却施設における AI/IoT 活用の進展). 環境浄化技術, 18 (6), 1-6.
- (4) 小野田弘士. (2019). 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 (特集 VR/AR が秘める可能性とビジネスチャンス, 企業の取組み). 研究開発リーダー, 16 (7), 19-24.
- (5) 小野田弘士. (2019). 廃棄物・リサイクル分野の政策動向と事業者に求められる役割. タクマ技報, 27 (2), 73-80.

4.3 招待講演

以下, 研究代表者 (小野田弘士) の主たるものうち公開可能なものを抜粋する.

- (1) 循環型社会の高度化に向けて～地域循環共生圏の実現に向けてのアプローチ～. ひょうごエコタウン推進会議 令和元年度定期総会・記念講演会. ひょうごエコタウン推進会議. (2019, June 16).
- (2) 分散型エネルギーシステムへの取組み～現状と課題、そして事例～. 分散型エネルギーシステム普及啓発フォーラム. 四国経済産業局, 愛媛県. (2019, September 3, 4).
- (3) エネルギー問題に関する動向と地域に求められる対応. 荒川区職員ビジネスカレッジ. 荒川区. (2019, September 26).

- (4) バイオマスの環境施策とビジネス事情について. 地球環境技術推進懇談会 2019 年度第 2 回講演会. (一財) 大阪科学技術センター 地球環境技術推進懇談会. (2019, October 17).
- (5) 地域循環共生圏による地域産業の活性化に向けて. 令和元年度たからの環ワークショップ～地域循環共生圏の形成に向けて～in 秋田. 環境省環境再生・資源循環局総務課リサイクル推進室. (2019, November 13).
- (6) 廃棄物エネルギーの産業利用の可能性について～廃プラスチックの有効利用方策のアプローチとして～. 令和元年度廃棄物のリサイクル推進マッチングセミナー. 千葉県. (2020, February 3).
- (7) 地域エネルギービジネスの現状と方向性～各地域の取り組み事例を中心として～. 唐津市版脱炭素イノベーションによる地域循環共生圏を考える地域エネルギーセミナー. 唐津市. (2020, February 19).
- (8) 廃棄物エネルギーの利活用に係る推進の意義等について. 低炭素・省 CO2 型廃棄物処理システムに係る廃棄物エネルギーの利活用に関する説明会 (東京). 環境省. (2020, March 5).

4.4 受賞・表彰

- (1) 早稲田大学. (2019, June 27). 一般社団法人日本機械学会環境工学部門 環境工学総合シンポジウム功労表彰. *小野田研究室としての受賞.

4.5 学会および社会的活動

以下, 研究代表者 (小野田弘士) の主たるもののうち公開可能なものを抜粋する.

- (1) 一般社団法人日本機械学会環境工学部門 部門学術誌編集委員会 (副委員長)
- (2) IET Smart Cities (Associate Editor)
- (3) 廃棄物処理・リサイクル IoT 導入促進協議会 (副会長)
- (4) 内閣府 (地域活性化伝道師)
- (5) 公益財団法人本庄早稲田国際リサーチパーク (参与)
- (6) 特定非営利活動法人全日本自動車リサイクル事業連合 (理事)
- (7) 一般財団法人大阪科学技術センター. 球環境技術推進懇談会 (委員)
- (8) 環境省. 中央環境審議会 (臨時委員)
- (9) 経済産業省. 総合資源エネルギー調査会 (臨時委員)
- (10) 環境省. CO2 削減ポテンシャル診断推進事業に係る検証評価委員会 (委員)
- (11) 環境省. 先進対策の効率的実施による二酸化炭素排出量大幅削減設備補助事業に係る検証評価委員会 (委員)
- (12) 環境省. 運輸分野の低炭素化推進事業に係る検証評価委員会 (委員)
- (13) 環境省. 住宅等の低炭素化推進事業に係る検証評価委員会 (委員)
- (14) 環境省. 金融的支援による低炭素化推進事業に係る検証評価委員会 (委員)
- (15) 環境省. 地域内での再エネ・省エネ・畜エネによる低炭素化推進事業に係る検証評価委員会 (委員)
- (16) 環境省. 業務部門における再エネ・省エネ・畜エネによる低炭素化推進事業に係る検証評価委員会 (委員)
- (17) 環境省. 低炭素型資源循環システム評価検証ワーキンググループ (座長)
- (18) 環境省. 廃棄物・リサイクルの低炭素化推進事業の検証評価委員会 (委員長)

- (19) 環境省. 地域循環共生圏の高度化に向けた取組に関する有識者会合（座長）
- (20) 環境省. 平成 31 年度水素利活用 CO2 排出削減効果等評価・検証業務に係る有識者会合（委員）
- (21) 環境省. 革新的資源循環の実現に向けた社会システム基盤に関する検討会（委員）
- (22) 環境省. 令和元年度先端的な情報通信技術等を活用した廃棄物処理システムによる低炭素化資源事業検討会（委員）
- (23) 環境省. 令和元年度廃棄物処理システムにおける低炭素・省 CO2 対策普及促進方策調査検討会（座長）
- (24) 環境省. 令和元年度一般廃棄物処理システムにおける中長期ビジョン等策定検討委員会（委員）
- (25) 環境省. 令和元年度地域に多面的価値を創出する廃棄物処理施設整備促進検討委員会（委員）
- (26) 環境省. 令和元年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報等の整備・公開等に関する委託業務（外部アドバイザー）
- (27) 環境省. 地域の多様な課題に応える脱炭素型地域づくり形成事業に係る有識者会議（委員）
- (28) 環境省. 令和元年度「脱炭素社会を構築する情報通信ネットワークシステム評価検証事業委託業務」検討会（委員）
- (29) 一般財団法人日本総合研究所. ジェロントロジーに関する体系的研究会（研究会メンバー）
- (30) 経済産業省. 循環経済ビジョン研究会（委員）
- (31) 石狩市. 石狩市における再エネ地産地消による域内循環創出・地域づくりイノベーション事業検討研究会（座長）
- (32) 公益財団法人廃棄物・3R 研究財団. MBT（メタン発酵+SRF 製造）システムの中小廃棄物処理施設におけるエネルギー回収に関する調査」検討会（委員）
- (33) 宮城県. 再生可能エネルギー等・省エネルギー促進審議会委員（委員）
- (34) 岡崎市（市政アドバイザー）
- (35) 荒川区. 荒川区清掃審議会（委員）
- (36) 新宿区. リサイクル清掃審議会（副会長）
- (37) 中央区. 環境行動計画推進委員会（委員長）
- (38) 台東区. 環境基本計画策定懇談会（委員）
- (39) 横浜市. 廃棄物減量化・資源化等推進審議会（委員）
- (40) 一般社団法人企業環境リスク解決機構. 産業廃棄物適正管理能力検定検討委員会（委員）

5. 研究活動の課題と展望

これまでのプロジェクトの継続案件に加え、下記の点に注力したアプローチを行う。

(1) 廃棄物・リサイクル分野における AI・IoT の活用

本報で述べた「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」で得られた知見は、他の廃棄物、循環資源に応用可能であることがわかっている。特定の対象物に限定せず、汎用的なプラットフォームとして構築することを念頭に、社会実装につながる実証事業を企画・立案する。

(2) マルチベネフィットに対応したモジュール式小型モビリティの開発と実証

当研究グループで開発してきた超軽量小型モビリティ ULV (Ultra Light-weight Vehicle) のコ

ンセプトを拡張し、マルチベネフィットに対応したモジュール式小型モビリティのプロトタイプを開発した（図．これは、シャーシを共通化し、さまざまな用途（ヒト、モノ）に応用できる自動運転 EV である．現在、各地のスマートシティプロジェクトとの連携を念頭においた実証事業の検討に着手しており、大型プロジェクトへの展開が期待できる．



図 6 マルチベネフィットに対応したモジュール式小型モビリティの概要