

特集 3 / 基礎自治体レベルでの低炭素化政策検討支援ツールの開発と社会実装に関する研究

技術システムオプションの検討と必要なデータ整備

東京大学
藤井祥万¹、五十嵐悠²、兼松祐一郎³、
山木亜由美⁴、佐孝成寿⁴、菊池康紀⁵

はじめに

サブテーマ2では、地域に賦存する低炭素化に応用可能な未利用資源（再生可能資源、社会・産業インフラなど）と技術システムオプションを組合わせた「低炭素化技術システムオプションデータベース」を開発することを到達目標としている。特に、地域ごとの電力系統連系上の課題や基幹産業の有無といった状況に合わせ、オフグリッド化など、最先端研究成果を含めた将来の地域技術システムの性能を格納し、導入シナリオをその性能とともに分析できるようなシミュレータを同時に開発することで、頑健な低炭素化技術システムオプションの導入シナリオを提示すること、そのプロトタイプを実装し、ユーザとなる自治体等がアクセス可能な形で共有することが期待されている。本年度は特にエネルギーの需給ギャップを埋める技術として期待されるストレージ技術に着目し、その技術システムオプションの確立を目指した。

¹ 東京大学総括プロジェクト機構「プラチナ社会」総括寄付講座 特任研究員

² 東京大学総括プロジェクト機構「プラチナ社会」総括寄付講座学術支援専門職員

³ 東京大学総括プロジェクト機構「プラチナ社会」総括寄付講座 特任助教

⁴ 東京大学大学院工学系研究科博士課程

⁵ 東京大学未来ビジョン研究センター准教授、総括プロジェクト機構「プラチナ社会」総括寄付講座（代表・兼務）

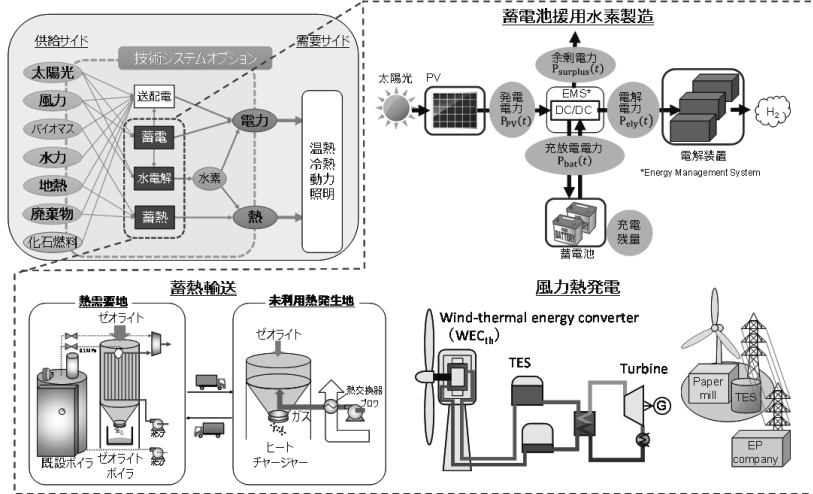
需給ギャップを埋める技術への対応

脱炭素シミュレーションに組み込む技術システムオプションを検討する上で、特に重要となるのが需給ギャップを埋める技術への対応である。供給側の資源は各種再生可能エネルギーや廃棄物、化石燃料などがあり、それらを必要に応じて水素などへの変換も介しながら電力や熱を生成する。供給側と需要側では時空間的なミスマッチや、資源ポテンシャルと導入予測値とのミスマッチなどが存在し、それらを解消する蓄エネルギー技術も含めたシミュレーション基盤を整備する必要がある。本年度は図1に示すように太陽光、風力、バイオマスに着目し、太陽光については水を電気分解する電解装置と蓄電池を組み合わせた水素製造システム、風力については蓄熱材として広く用いられている熔融塩を用いた風力熱発電システム、バイオマスについては乾燥剤としても用いられる蓄熱材ゼオライトを用いた蓄熱輸送システムについてそれぞれ検討した。

太陽光発電は現在固定価格買取制度（FIT）により導入が進んでいる。しかし九州電力では出力抑制が実施される⁶など、系統接続における障壁から導入速度が鈍化している地域がではじめている。そこで過去のFITによる導入容量および導入速度をパターンに応じて回帰し、2050年における導入容量を予測、環境省の再生可能エネルギー情報提供システム REPOS で公開されている各基礎自治体レベルの導入ポテンシャルと比較した。その結果、2050年における導入予測値は、ポテンシャルに到達しない自治体がほとんどであることがわかった。そこで、当該自治体における、このままいくと導入できずに2050年を迎える未導入資源ポテンシャルを、水素に変換する技術システムオプションを検討した。そのオプションとして、日射量により変動する太陽光発電を安定的に

⁶ 九州エリアにおける太陽光・風力発電の出力抑制に関する分析結果と出力抑制電力量506率の低減策（2020年版）入手先 自然エネルギー財団ホームページ、〈<https://www.re507newable-ei.org/activities/column/REupdate/20200722.php>〉、（参照 2021-01-12）

図1 技術システムオプションに組み込むストレージ技術



供給するために、太陽光発電と蓄電池、電解装置を組み合わせることでEMS（Energy Management System）で制御し、安定的に水素を供給する蓄電池採用の水素製造システム⁷を取り上げた。2030年の電力単価、蓄電池コスト、電解コストとして、各種技術ロードマップに基づく将来の達成可能な幅を用い、水素製造コストを最小化するようにPV（太陽光発電）容量と蓄電池容量、電解容量の組み合わせ最適化を行い、到達可能な水素製造コストを探索した。その結果、他の機器のコストよりも、PV由来の電力単価が最終結果に大きく寄与すること、適切な技術規模の組み合わせにより現在の技術ロードマップが達成できれば2030年の水素製造コストが30 JPY/Nm³-H₂を達成できること、などが分かった⁸。

次に風力発電について、系統に直接接続するのではなく、熔融塩蓄熱を介し

⁷ Yamaki, A., Kanematsu, Y., & Kikuchi, Y. (2020). "Lifecycle greenhouse gas emissions o. thermal energy storage implemented in a paper mill for wind energy utilization". Energy, 205, 118056.

⁸ Kikuchi, Y., Ichikawa, T., Sugiyama, M., & Koyama M. (2019). "Battery-assisted low-cost hydrogen production from solar energy: Rational target setting for future technology systems", International Journal of Hydrogen Energy, 44, 1451-1465.

て安定的に発電する風力熱発電システムを検討した。また、各地域の基幹産業で、既にエネルギー設備を所有している工場がある場合にはそれらがエネルギー供給の拠点となる可能性がある。そこで本検討では、全国各地に点在している製紙工場に着目した。風力により発生した熱と、製紙工場で従来から燃料として焚いていた黒液などの燃焼熱を溶融塩の温度を上げることで蓄熱し、高温の溶融塩と水を熱交換することにより蒸気を生成、既設のコージェネレーション設備で発電、製紙プロセスへ熱供給するシステムを考案した。製紙プロセスの生産スケジュールと風況データから1時間ごとのエネルギー収支をシミュレーションし、一定の売電により系統の石炭火力を代替することが可能であること、GHG(温室効果ガス)が最小化となる蓄熱の規模が存在することがわかった⁹。

また、季節性バイオマスの検討として南西諸島、先島諸島の基幹産業であるサトウキビに着目した。サトウキビの製糖工場はサトウキビの圧搾残渣であるバガスを燃料として、製糖に必要な熱電需要を供給している。しかしバガスは必要以上に発生するため、200℃程度の未利用熱が大量に発生している。一方、近隣産業ではサトウキビの輪作体系にある芋を加工するデンプン工場や焼酎工場などの食品加工業を中心とした100~120℃程度の熱需要がある。この時空間的なギャップを解消して熱融通するために、熱を半永久的に保存できるゼオライトの水蒸気吸脱着サイクルを用いた蓄熱輸送システムを考案した。製糖工場での蓄熱過程では、煙道ガスと熱交換した温風を、連続的な運転を可能にする移動床直接接触式を採用した蓄熱装置(ヒートチャージャー)に導入し、蓄熱する。蓄熱したゼオライトは保管し、需要に合わせて熱需要に出荷する。熱需要地では移動床・間接熱交換式を採用することで加圧蒸気の連続生成が可能となった蒸気発生装置(ゼオライトボイラ)を用いて、重油ボイラの燃料を削減する¹⁰。これら装置の性能を数値解析により予測し、システム規模により線形回帰することで、複雑な数値解析を経ずとも、システムのコストやGHG排出

⁹ Yamaki, A., Kanematsu, Y., & Kikuchi, Y. (2020). "Lifecycle greenhouse gas emissions o. thermal energy storage implemented in a paper mill for wind energy utilization". *Energy*, 205, 118056.

量の評価が可能となった。

今後の課題——地域特性に合わせた技術システムオプション

以上の技術システムオプションの検討は、個別のケーススタディを基にした試算である。各自治体には固有の地域特性があるため、これらの個別の検討ケースを一律に全基礎自治体に適応することは困難であり、それぞれの地域特性に合わせた技術システムオプションの提案が必要である。既に情報が集まっている地域については個別の検討が可能であり、上記の技術システムオプションの解析が進んでいる地域もある。しかしすべての基礎自治体において個別にデータを収集し、導入シナリオを検討・策定していくことは、時間、労力の観点で現実的ではない。そこでそれぞれの技術システムオプションの性能予測に必要なデータ項目とその構造を抽出・整理する必要がある。また、それらの必要データ項目のうち、オープンデータから取得できるデータについては統合化を進め、取得不可能なデータはデータベースに登録するための取得支援の枠組みを作る必要がある。技術システムオプションを導出するために必要なデータ構造を、統一モデリング言語（UML）クラス図を用いて整理し、検討に必要なデータ項目とそれらデータ間の連関を整理した¹¹。また、オープンデータについては、FIT、REPOS など、データの公開は進んでいるものの、複数のウェブサイトへの分散、データ構造の不統一といった問題があり、統合化・整理する必要がある。例えばFIT 導入・認定容量や件数は、全資源データの月ごとの実績値は同じシートにあるものの、資源別のデータや推移は個別にデータを整備する必要があった。そこで資源別、年月で整理、統合することにより各基礎自治体の導入容量、件数などを整理し、REPOS のデータや他の統計データと、自治体コードを介しての突き合わせが可能となるように整備した。

¹⁰ Fujii, S., Horie, N., Nakaibayashi, K., Kanematsu, Y., Kikuchi, Y., & Nakagaki, T. (2019). "Design of zeolite boiler in thermochemical energy storage and transport system utilizing unused heat from sugar mill". *Applied Energy*, 238, 561-571.

¹¹ 兼松祐一郎、大久保達也、菊池康紀（2017）「農林業地域における産業共生の計画プロセスのアクティビティモデルとデータモデル」『化学工学論文集』、43（5）

これらの技術情報の整理と統計情報等のオープンデータとの突合により、任意の地域に賦存する地域資源を組み合わせたエネルギーシステムオプション案を生成することができることが分かった。ただし、ここで検討するものは中長期的視点に基づく技術システムオプションの提案であり、エネルギーの生産者コストや購入者価格、地域における経済の循環、地域外への流出の増減といった、社会経済的なコストの変化までを解析するためには、拡張型の地域産業連関表を構築して分析する¹²など、さらなる技術評価が必須となる。

今後は現在プロトタイプを開発中の、上記のようなオープンデータ等の情報を取得し、ポテンシャルとの差から今後の導入可能性を可視化する情報基盤や、需要サイドのデータ整備と可視化、その需給ギャップを埋める技術システムオプションの提案と情報基盤への組み込みを目指す。

(ふじい しょうま) (いがらし ゆう) (かねまつ ゆういちろう)
(やまき あゆみ) (さこう なりひさ) (きくち やすのり)

¹² 尾下優子、兵法彩、大内田弘太朗、兼松祐一郎、福島康裕、菊池康紀 (2019) 「技術導入による社会経済的影響の評価：種子島地域エネルギーシステムにおける産業連関分析の例」『日本 LCA 学会誌』、15 (4)