

特集2 / 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

地域における脱炭素化技術システムオプションの導入計画支援

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

五十嵐悠

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
兼松祐一郎

東京大学 未来ビジョン研究センター 准教授
菊池康紀

はじめに：資源・エネルギー技術の課題

環境エネルギー分野において、地方自治体を取り巻く状況は刻一刻と変化している。2012年7月より施行された再生可能エネルギー固定価格買取制度により、国内における再生可能エネルギー、特に太陽光発電の導入が加速した。しかし、2014年に全国の電力会社で再生可能エネルギーの接続保留が公表され、2015年から離島地域において、さらには2018年からは九州電力管内全体において、太陽光発電・風力発電等の出力制御が実施されている¹。発生してしまった未利用な余剰電力を活用するためには、蓄電池や水素変換などの蓄エネルギー（蓄エネ）が一つの対策である²が、蓄エネによるロスを伴う。可能な限り再生可能資源由来のエネルギーを活用するためには、需給のバランスを変化させる必要がある。エネルギー関連法案の改革の一環として、2020年4月から法的に発送電分離が開始される³。電力市場の構造が変化することにより新規参入の

¹ 九州電力「再エネ出力制御について知りたい」（確認日：2020/03/08）http://www.kyuden.co.jp/rate_purchase_control.html

² JST-CRDS (Japan Science and Technology Agency- Center for Research and Development Strategy、科学技術振興機構「2019年3月（研究開発の俯瞰報告書）環境・エネルギー分野（2019年）／CRDS-FY2018-FR-01」（確認日：2020/03/08）<https://www.jst.go.jp/crds/report/report02/CRDS-FY2018-FR-01.html>

増加や市場の活性化、料金体系の変更による需給構造の変化などが期待されるが、これまでの電力システムから大幅な改編が行われることもあり、効果的な対策がどこまで実施され普及するかは、未だ不透明といえる。

地域で活用できる再生可能資源としては、太陽光や風力といった自然エネルギー以外にも、農林業などから得られるバイオマスがありうる。しかし、ここでも、人口減少に伴う担い手不足の深刻化に加え、農業由来の環境影響⁴、持続可能な森林管理⁵等、課題は山積みである。同時に、課題への対策も乱立しており、個々の関係者が独自に全体像を把握することは困難といえる。そのような中で、地方自治体は地域ごとに置かれている状況や資源を把握し、地域の風土に合致した政策を考えることができるプレイヤーであり、その役割は大きい。

本稿では、脱炭素化に応用可能な地域の未利用資源（再生可能資源、社会・産業インフラなど）を有効に活用するために必要となる、技術システムのオプション群を生成する仕組みについて議論する。地域においてシステム改革を主体的に担うべきプレイヤーとして、地方自治体を想定し、新規な技術やシステムを新たに導入することを検討する際に必要となる情報や作業を明らかにする。具体的な地方自治体として北海道士幌町、岩手県、山形県置賜地域、新潟県佐渡市、鹿児島県種子島1市2町（西之表市、中種子町、南種子町）を対象とし、多様化する脱炭素化技術システムオプションを、地方自治体が総合的に取り扱い、システムの変革を実現するために必要となる方法について、考察する。

³ 経済産業省資源エネルギー庁「2020年、送配電部門の分社化で電気がさらに変わる」(確認日:2020/03/08) https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/tokushu/denryoku_gaskaikaku/souhaidenbu_nshaka.html

⁴ Schnoor, J.L. (2014) Agriculture: The last unregulated source, *Environ. Sci. Technol.*, 48 (9)

⁵ Kazutake Oosawa, Yuichiro Kanematsu, Yasunori Kikuchi (2016), Forestry and Wood Industry, DOI: 10.1007/978-4-431-55951_26, in "Energy Technology Roadmaps of Japan; Future Energy Systems Based on Feasible Technologies Beyond 2030", Springer

特定地域におけるエネルギーシステムに関する現状調査

再生可能資源の地域偏在性・遍在性を考慮した技術システムのオプションを生成させるために、まず、状況が異なるいくつかの地方自治体について、エネルギーシステムに関する現状を調査する。

北海道上士幌町は、畜産廃棄物由来のメタン生産による発電プラントを複数有しており、既にエネルギー自給率が100%を越える、実質的にエネルギー供給地域となっている⁶。畜産廃棄物は、堆肥等の生産にも用いられているが、それに必要な量は地域にて管理されており、堆肥用・メタン発酵用の廃棄物が競合しない形となっている。メタン発酵に活用できる畜産廃棄物はまだ存在しているが、送配電網の限界から、接続回答保留となり、固定価格買取制度の枠組みの中ではこれ以上のメタン発電が実施できず、未利用の余剰資源が存在している。実質エネルギー供給地域であったとしても、暖房や給湯、運輸などには依然として化石資源が必要であり、これを代替するための新たな技術システムの検討が必要といえる。

岩手県は広大な面積を有する県であり、地域資源も豊富に得られる自治体であり、北いわてをはじめとし、県内にてシステム改革を目指している。一方、需要が集中している県の南北中央地域以外の地域では、再生可能資源由来電源の系統接続について回答保留となっている地域もあり、固定価格買取制度の枠組みの中で、県内に賦存する再生可能資源を最大限に利用することは困難になっている。岩手県として水素利用構想⁷を立ち上げるなど、対策を検討しており、新たな技術システムの導入について、多様なオプションを必要とする状況にある。

山形県置賜地域は山形県南部に位置する3市5町（米沢市、長井市、南陽市、高畠町、川西町、白鷹町、飯豊町、小国町）で構成された地域である。また、東

⁶ 経済産業省北海道経済産業局「北海道における新エネルギー導入拡大の取組」（確認日：2020/03/08）<https://www.hkd.meti.go.jp/hokni/20190328/data2-2.pdf>

⁷ 岩手県「岩手県水素利活用構想の策定について」（確認日：2020/03/08）<https://www.pref.iwate.jp/kurashikankyou/kankyou/seisaku/1022259/1017605.html>

日本大震災において仙台市内のガス供給を1か月以内に多くの地域で再開させる^{8,9}ことに貢献した新潟-仙台間天然ガスパイプライン¹⁰が通る地域であり、人口と産業が集中する地域を除くと、国内で数少ない天然ガスパイプラインへアクセス可能な地域¹¹ともいえる。固定価格買取制度により複数のバイオマス発電所が建設される中、一部地域では系統接続について回答保留となっている。

新潟県佐渡市は佐渡島にあり、島には唯一の自治体であるため、島全体のシステム改革に介入できるプレイヤーである。佐渡島は本土と系統が接続しておらず、独立したマイクログリッドとなっている。太陽光を中心とした地域新エネルギー導入促進計画が策定されていた¹²が、独立したグリッドであるため、需要とのバランスで導入に限界がくる可能性がある。現在、洋上風力をはじめとした自然エネルギーを水素変換等の技術により活用する取り組みが始まっている¹³。

鹿児島県種子島には1市2町（西之表市、中種子町、南種子町）があり、国内で最初の出力制御が実施されるほど、需要に対する太陽光発電の割合がすでに飽和した独立マイクログリッドを有している。島内資源を用いたエネルギーシステムの提案がなされており¹⁴、市場の形成とともに技術導入の計画が必要となっている。

⁸ 仙台市ガス局「東日本大震災における都市ガスの復旧状況等について」（確認日：2020/03/08）<https://www.gas.city.sendai.jp/top/info/2013/05/001936.php>

⁹ 仙台市ガス局「東日本大震災 復旧の記録 第4章 仙台市ガス事業震災復興プラン」（確認日：2020/03/08）https://www.gas.city.sendai.jp/top/info/uploads/kirokusi_4_1.pdf

¹⁰ 江川堯（1997）「新潟・仙台間天然ガスパイプラインの建設」『石油技術協会誌』第62巻第2号

¹¹ 国土技術研究センター「高速道路における天然ガスパイプラインガスパイプライン設置に関する技術的課題検討委員会（第1回）天然ガスインフラの現況について」（確認日：2020/03/08）<http://www.jice.or.jp/cms/kokudo/pdf/reports/autonomy/roads/02/siryo1-4.pdf>

¹² 佐渡市「地域新エネルギー導入促進計画」（確認日：2020/03/08）https://www.city.sado.niigata.jp/admin/vision/n_ene12/pdf.shtml

¹³ 新潟県産業振興課「自然エネルギーの島構想、洋上風力発電や水素エネルギー関連の取り組みについて」（確認日：2020/03/08）https://www.city.sado.niigata.jp/info/data/2019img/0930_2/app_03.pdf

地域資源を用いたエネルギーシステム計画に関するセミナー・ワークショップ

実際に計画段階やフェーズによって、どのような情報・オプションが求められるか、様々な専門家やステークホルダーを集めたセミナー・ワークショップをこれまでに実施してきた。地域としては、北海道上士幌町¹⁵、岩手県¹⁶、山形県置賜地域¹⁷、鹿児島県種子島¹⁸である。それぞれの地域におけるエネルギー計画を前提とした新規技術やシステムの導入に関する講演会や、必要な要素を互いに列挙しあうワークショップを実施し、地方自治体の内外の協創を促すために必要となる役割分担とミッションを具体的に示し、議論した。参加者は地方自治体、地域で活動するNPO、民間企業、シンクタンク、国立教育政策研究所、国公立大・私大、さらには中高生など、様々な参加者が集まるセミナー・ワークショップを展開してきた。

各地域の関係者らへのヒアリング調査に基づく、地方自治体側が求めている情報として共通していたものは、「適用可能な技術システムオプションの提案とその導入効果」、「広域で連携を促すためのコンセプトやインセンティブの論理補強・検証」、「住民との将来シナリオの共有方法」、「導入に関する条件（順序、規模、適用する補助、巻き込むべきプレイヤー）に関するシナリオプランニング」などが挙げられた。地域の状況に合ったどのような技術システムオプ

¹⁴ 菊池康紀（2017）「サトウキビ・バイオマスエネルギーで地域産業を活性化」『地域づくり』2017（1）：26-27

¹⁵ 生涯活躍のまち しみほろ 「「地方の未来を創るイノベーション」生涯活躍かみしほろ塾「総合講座」第Ⅱ期を開催！」（確認日：2020/03/08）http://kamishihoro-town.com/tp_detail.php?id=54

¹⁶ 産学官の道しるべ「北いわての地域資源の活用に関するワークショップ」（確認日：2020/03/08）https://sangakukan.jst.go.jp/event/right_contents/event/detail.php?eid=10455

¹⁷ 置賜自給圏構想推進機構「置賜におけるランドデザインに関する意見交換会を開催」置賜自給圏トピックス 2018年12月20日（確認日：2020/03/08）<https://www.okitama-jikyuken.com/>

¹⁸ 環境省環境研究総合推進機構「社会経済性分析を用いた地域エネルギーシステムの低炭素化シナリオの策定（1RF-1503）平成27年度～平成28年度」（確認日：2020/03/08）https://www.erca.go.jp/suishinhi/seika/pdf/seika_1_h29/1RF-1503_2.pdf

ションが現在、あるいは将来適用可能になるのかについて、地方自治体が独自に調査できる範囲に限界があり、専門家等によるサポートが必要となる。例えば、どの程度の化石資源を削減し、温室効果ガス（GHG）排出削減が見込めるのか、コスト負担や利益分配がどのように実施されうるか、実際の生活に影響がでるのか、など、エネルギーのユーザである住民が気にすることなども地域が欲する情報として含まれていた。また、再生可能資源の分布は必ずしも行政区分を想定して賦存しているわけではなく、個別の基礎自治体が独自に環境政策に取り組むことは必ずしも効率的ではない。例えば鹿児島県種子島のように1つの島に3つの自治体が存在している場合などは、地理的な側面やスケールメリットを考慮しても、広域の自治体で取り組んだ方が高効率なエネルギー事業につながることは多い。こうした広域連携による事例は増加傾向にある¹⁹が、そのインセンティブを確かなものとして実際に実施することは容易ではない。広域化することによるメリットの分析と可視化が不可欠であり、そうした情報が地方自治体にとってアクセス可能なものとなっている必要がある。

地方自治体における計画を支援する技術システム情報の詳細度

地方自治体における計画を支援する技術システム情報の詳細度は、策定する計画や年次、プロジェクトの具体性によって、要求される仕様が異なっている。具体的には、基礎自治体の最上位計画である基本構想や長期振興計画は、約8年から10年の期間で考えられる。この際に検討されるべき項目は、ビジョンや再生可能資源のポテンシャルなどだ。この先地域が何をしていくか、どこへ向かって行けば良いかを定める上で必要な情報が求められる。例えば、岩手県では、長期ビジョンのいわて県民計画（2019—2028）の中で、北いわて地域を「北いわて産業・社会革新ゾーンプロジェクト」と名付け、再生可能エネルギー資源の産業分野、生活分野での利用促進を目指している²⁰。計画を進める

¹⁹ 第5回プラチナ大賞 優秀賞「もりもりバイオマス株式会社、株式会社アルファフォーラム、地域で自立する民間木質バイオマス熱供給事業」（確認日：2020/03/08）<http://www.platinum-network.jp/pt-taishou2017/doc/shinrin.pdf>

ため、初年度は地域未利用資源や全国の先行事例の調査を行ってきた。

約4年から5年の期間で検討される計画には、基本計画や2014年から始まった「まち・ひと・しごと（地方）創生法」の地方版総合戦略がある。これら計画は、基本構想や長期振興計画に比べ、期間が短い分、より計画に具体性が求められる。基本構想や長期振興計画の段階では、利用可能な地域資源や地域内のエネルギー需要がどれくらいあるかのデータが必要である。再生可能エネルギーについては、賦存量などの調査が行われることは多い。一方で、それらを地域内のどこで使うかといった需要についての議論が抜け落ちていることが少なくない。

事業計画や実施計画は1年から3年のプロジェクトであり、より実行に必要な情報が求められる。例えば鹿児島県種子島ではサトウキビ農業および製糖業が基幹産業であるが、サトウキビ製糖工場を電力、排熱などのエネルギー利用等の多面的な利用を目指すプロジェクトが開始されている¹⁴。この段階では、既に何をやるかは決められているため、プロジェクトを動かすために必要となるヒト、モノ、カネの情報がより必要となる。

計画を支援する技術システムオプション案に関する情報の要件

以上より、アウトプットとしての技術システムオプションの要件として、大きく以下の3点を満たさなければならないと考える。

1点目が、生成される技術システム候補案の粒度を、自治体における計画に合わせて調整する仕組みである。10年後に到達していきたいエネルギーシステムの議論において、個別のボイラーやバイオマス利用技術に関する分析では粒度が細かすぎる。一方、1年～3年の事業計画において、漠とした水素社会システムや脱化石システムの議論では具体性に欠け、行動を開始できない。計画期間の範囲によって、技術システム候補案に関する情報の粒度を変え、提供できる必要がある。分析に用いる手法や指標は、技術システムの特徴を表すだけで

²⁰ 岩手県「いわて県民計画（2019-2028）」（確認日：2020/03/08）https://www.pref.iwate.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/019/685/010long-term-vision.pdf

なく、地方自治体が事業に対する評価を行う際に用いる評価指標についても、可視化される必要がある。当該指標では改善が見られない場合にはさらなる代替案の生成が必要となる。

2点目が、地方自治体以外の主体との協働に関する候補案を盛り込み、新規技術・システムの導入に関するシナリオを組むことである。特に環境エネルギー分野においては、自治体が単独で計画・設計・運用などまでを担当することは容易ではない。既存のエネルギー事業体を含め、産学公を含めた様々なステークホルダーが連携して事業に取り組む必要がある²¹。導入を具体的に検討する技術やシステムを特定できると、科学的な分析手法や関連するステークホルダー、解決すべき課題などを挙げることは可能である。各ステークホルダーの役割とアクション候補を案として整理することが事前に可能であれば、より実践的な技術システムオプションの導入シナリオ策定となりうる。

3点目が、過去の事例を蓄積させることにより得られる、地域エネルギーシステムの導入検討事例の体系的整理とオープンデータ化である。地域における取組は既に多様化しており、内閣府をはじめとする各種省庁から多様な事業が公募されプロジェクト化されている²²。これらの補助事業の計画や状況、個別成果については、必ずしも容易にアクセスできる形で共有化されておらず、Good practiceの水平展開が阻害されている。事業の共有に加え、各種技術開発とも紐づけることで、デジタルトランスフォーメーションをはじめとする最新の取り組みや可能性をいち早く地域で試すことが可能となりうる。

地域において適用可能な技術システムオプションのオープンデータ化

地方自治体が脱炭素化技術システムオプションの検討を行う上で、大きな課題となるのが、データ収集と整理といえる。データ収集の作業では、必要なデー

²¹ 中井美和、栗島英明、倉阪秀史、菊池康紀 (2018) 「産学公の協創による柔軟な地域づくりへの挑戦」『環境経済・政策研究』第11巻第2号

²² 内閣府地方創生推進事務局「地方創生に資するSDGs関連予算」(確認日:2020/03/08) https://www.kantei.go.jp/jp/singi/tiiki/kankyo/teian/sdgs_kanrenyosan/sdgs_kanrenyosan.html

タを見つけられない場合や、見つけれられるとしてもかなりの時間を要する場合があります。データを整理する作業においては、データ同士の統合ができないケースもある。データを公開、非公開なものと同様に分類して現状の課題を見ると、公開されているデータに関して言えば、アクセスできるデータ件数は増加している。従来、技術システムは専門家による科学的・実務的な議論をベースとして適用可能なオプションを検討し、これを適用するための手続きとして、概念実証や Feasibility study、実地実証、実用化に向けた市場調査、本格導入といった手続きを経て地域へ導入されてきた。こうした過去の事例から得られた知見は、学術俯瞰報告書²³や府省の計画²⁴などに反映され、ここから、適用を検討すべき技術システムオプションを調べることができる。

一方、こうした公開されているデータであっても情報源が多様化・分散化しており、結局データ収集や整理に要する専門的知識や時間が増加傾向にある。一見同様な統計と思われるものでも、年度の違いや統計元となっている府省が異なるなどの理由で、様式が異なり、突合などを行うことができないデータが存在している。過去の地域における活動報告書なども、Word ソフトウェアで作成されたものが PDF 化されて Web に掲載されるなど、コンピュータ上でデータとして再利用不可能な形式で存在していることがほとんどであり、人手による作業を介入させない限り、過去の事例の一括解析や、それらを用いたシミュレーション、さらには技術システムオプションの提示まで行うことはできない状態にある。

非公開データについては、特定地域において現地収集でしか得られないデータをここでは指すが、基本的に整理されていること自体が少ない。またアナログのデータも多い。この結果、起こる問題として、過去のデータ蓄積がないゆえにデータ収集や調査の度に一からデータ収集をやり直さなければならないこ

²³ JST-CRDS (Japan Science and Technology Agency- Center for Research and Development Strategy、科学技術振興機構「研究開発の俯瞰報告書」(確認日：2020/03/08) <https://www.jst.go.jp/crds/report/report02/index.html>

²⁴ 環境省「地域循環共生圏」(確認日：2020/03/08) <https://www.env.go.jp/seisaku/list/kyoseiken/index.html>

とが挙げられる。データは集めること以上に分析を行うことが重要である。しかし、データ収集に時間を費やしてしまい、分析の作業を十分に行えないことが技術システムオプションを検討する上での大きな課題といえる。データの収集と整理が、政策検討者の時間的・予算的リソースなどを大きく奪っている。

LOD (Linked Open Data) 応用の試み

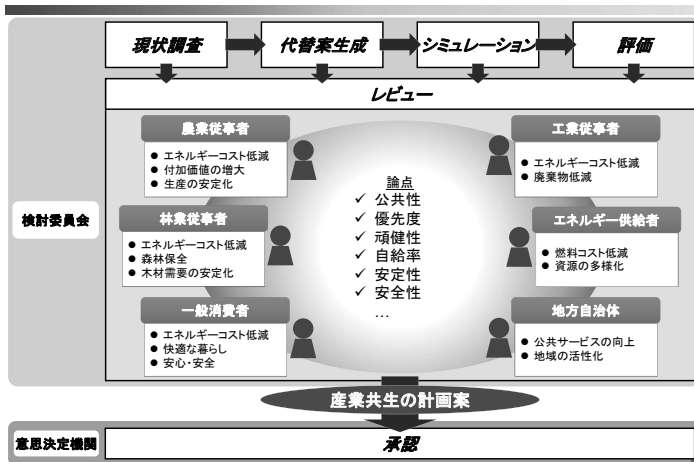
今後目指していくべき姿としては、上述のような情報群を再利用・水平展開可能なデータ構造へ変換し、分散したデータを一つのデータベースのように活用できるようにすることで、地域エネルギーシステムの計画・導入・運用という経験をデータとして蓄積・再利用できるようなデジタルトランスフォーメーションを起こすことといえる。これができるば、技術システムオプションを検討する際、一からデータを収集し直す必要や、データ様式の変換とデータ同士の統合に時間をかけずに済み、データの分析、代替案作成、シミュレーション、評価作業の生産性を上げることができる (図1)。

地方自治体や政府の統計を LOD (Linked Open Data) としてウェブ上で機械処理に適したデータに加工・共有できるようにすることで、データ同士を構造化し、相互リンクさせ、ウェブ空間全体をデータベースのように利用可能とすることにより、新規な技術システムとも結合させたシミュレーションと地域における計画支援が可能となりうる。既に政府・自治体関連でも LOD 活用を志向したオープンデータ化が進んでいる。例えば、政府統計のポータルサイトである e-Stat の「e-Stat 統計 LOD²⁵」や、総務省行政管理局が運用する「DATA GO.JP²⁶」など、国内において今後ますますオープンデータ化の動きが加速しうることを意味している。現在、PDF 化された文書でしか残存していない府省補助事業の報告書であっても、こうしたオープンデータ化の動きに合わせて報告の形式を変えることにより、再利用可能な形で事業を次の展開へつなげてい

²⁵ e-Stat 統計 LOD (確認日: 2020/03/08) <http://data.e-stat.go.jp/lodw/>

²⁶ DATA GO.JP データカタログサイト (確認日: 2020/03/08) <https://www.data.go.jp/>

図1 導入シナリオ検討・策定の目指すべき姿



(出典) 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』第43巻第5号より著者作成

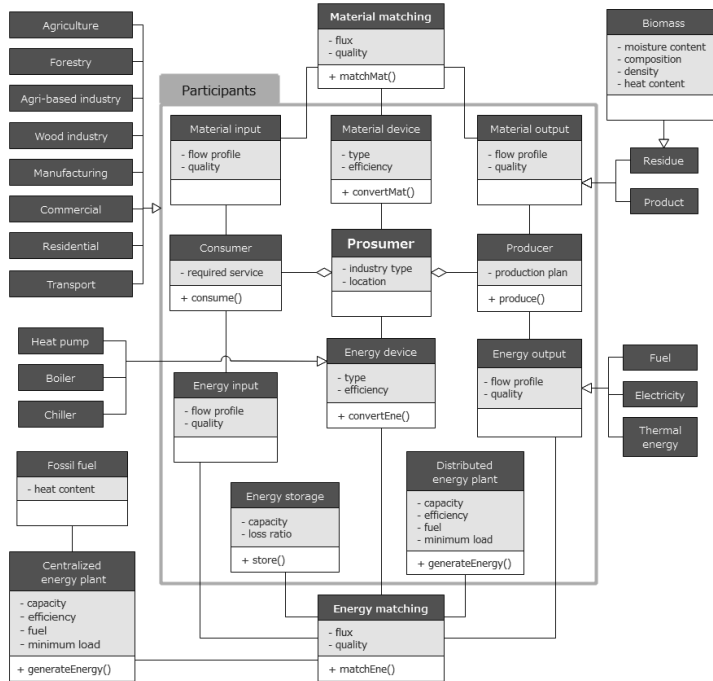
きうる。

おわりに：地方自治体における地域システム計画支援に向けて

地方自治体がエネルギーシステムのような多様な技術システムオプションが適用可能な仕組みを設計・分析し、計画していく際に、その支援となるための情報基盤が必要といえる。この基盤構築のために、以下の取り組みが必要であることが、具体的な地域へのヒアリング等を通じて明らかとなった。

まず、地方自治体にとって適用可能な技術システムのオプションを列挙し、その特徴を体系的に整理していくことが必要である。例えば、交通・モビリティという観点から技術システムオプションを列挙する場合、要素技術としての電気自動車の導入計画といった案から、Vehicle-to-Grid (V2G) といったシステム的な変革が必要となるような案など、異なるスケールのオプションが地方自

図2 データ項目および構造の抽出と整理



(出典) 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』第43巻第5号

治体にとって検討すべきオプションとなる。これらの技術システムオプションを集約して体系的に整理し、導入条件等を精査して比較可能とすることが必須である。同時に、個々の技術導入による効果を定量化・可視化するためのシミュレータ開発も必要となる。こうした技術システム案とシミュレータ等にあるデータの構造を整理することが必要であり、例えば統一モデリング言語 (UML) などによって整理できる可能性がある。(図2)。

データ構造を合わせて整理できれば、特定の地域だけでなく水平展開が可能となる。このときに必要となる LOD 化であるが、これは地方自治体や政府統

計のオープンデータ化も合わせて推進されていくことが不可欠である。より科学と社会が協創できる仕掛けとして、デジタルトランスフォーメーションによる地方自治体の地域システム計画支援が脱炭素化技術の導入促進へとつながりうる。

(謝辞)

本稿では科学研究費補助金(16H06126)と環境研究総合推進費(2-1910)における成果を含んでいる。

(いがらし ゆう)

(かねまつ ゆういちろう)

(きくち やすのり)