

論文の内容の要旨

論文題目 エネルギーキャリア導入に向けた地産地消シミュレーションに基づく地域別エネルギーシステムの計画支援

氏名 清水 輝之

1. 序論

持続可能なエネルギー利用のために、再生可能エネルギーの利用拡大とともに水素等のエネルギーキャリアの利用が検討されている[1]。エネルギーキャリアの導入方針は多くの地域で示されているものの、構築すべきシステムやその結果として得られる導入効果が不明確なまま導入が進められているケースも見受けられる。エネルギーキャリア導入に関して、国全体の分析や単位導入量での分析が多いが[2]、エネルギー資源やエネルギー利用形態、既存インフラは地域によって条件が異なるため、地域に適した地域別のエネルギーシステムの計画が必要となる。そのために地域別でのエネルギーキャリア導入効果を分析する手法が必要である。また、導入において地域に及ぼす局所的な環境影響の評価は十分にされておらず、気候変動等のグローバルな環境影響との違いは明らかになっていない[3]。また、技術導入は技術だけでなく、社会全体に関わる問題である[4]ため、導入効果だけでなく、導入に関わる地域の社会経済因子を合わせて分析する必要がある。本研究では、これらの分析手法について検討し、エネルギーキャリア導入に資する地域別エネルギーシステムの計画方法を提示することを目的とする。

本論文の構成を図1に示す。第2章では、地域別エネルギーキャリア地産地消シミュレーションモデルを構築して地域特性と導入効果の関係を定量化する地域別導入分析を行う。第3章では、第2章での分析を基にした地域別エネルギーシステムの計画がエネルギーキャリア導入で果たす役割を分析する。

第4章では、モデルを拡張し、ライフサイクルアセスメント(LCA)との統合を試みる。第5章では、導入効果と地域の社会経済因子を突合させた分析手法の開発を試みる。第6章では、ワークショップ形式で地域スケールでのエネルギーシステムの計画のスキームを議論し、計画と導入にお

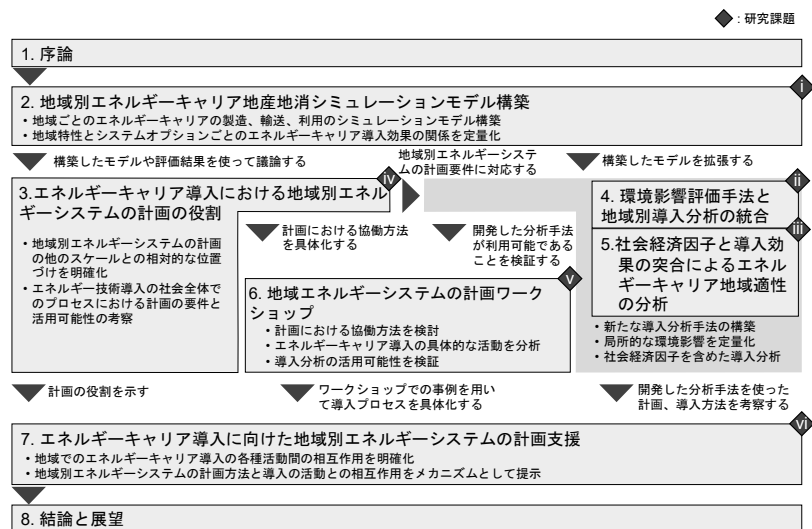


図1 本論文の構成

るアクター候補と活動の具体化を図る。第7章では、地域別エネルギーシステムの計画によるエネルギーキャリア導入の多様な活動への相互作用をメカニズムとして示す。

2. 地域別エネルギーキャリア地産地消シミュレーションモデルの構築

地域特性をパラメータとして、地産地消を前提としてエネルギーキャリアを導入した際の地域別でのエネルギー

キャリア製造、輸送、利用をシミュレーションできるモデルを構築する。新たな技術導入により既存システムが代替されることを想定し、構成する設備の容量・数量に応じた、技術導入前後でのライフサイクル温室効果ガス (LC-GHG) の変化量を評価する。モデルを検証するために、図2に示すエネルギーシステム構成におけるケーススタディを行った。結果として、地域の資源量や需要量、需要パターン、既存の系統電力の排出係数の影響を定量的に示した。

3. エネルギーキャリア導入における地域別エネルギーシステムの計画の役割

第2章で構築したモデルを用いて地域別エネルギーシステムの計画を立案できると考えられるが、この計画のエネルギーキャリア導入における役割について、マクロ・ミクロなスケールとの違いや関連付けを整理する。関連するエネルギーシステム分析研究のレビューでは、スケールの違いによって分析目的や使用されるデータに違いがあることを明らかにした。地域別エネルギーシステムの計画があることで、地域性や具体性を国スケールでのシステムの分析に反映させるとともに、全体としての導入効果や目標との比較・対策検討を行うことで、具体的な区画スケールでの個別のプロジェクト等の導入活動を方向付けることで両スケールの計画や設計を結び付ける役割を担う (図3)。また、エネルギーに関連する技術導入プロセスの社会学モデル[5]を基

に、エネルギーキャリア導入の社会全体での活動と地域別エネルギーシステムの計画の活用可能性を整理し、分析に必要な要件を示した。

4. 環境影響評価手法と地域別導入分析の統合

地域別エネルギーシステムモデルを拡張し、LCAとの統合を図る。都市域大気汚染および光

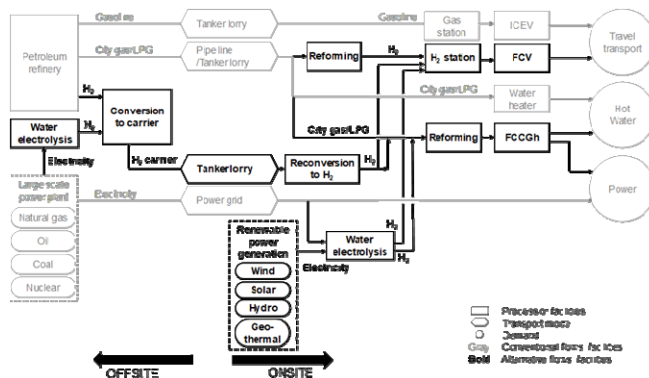


図2 ケーススタディでのエネルギーシステム構成

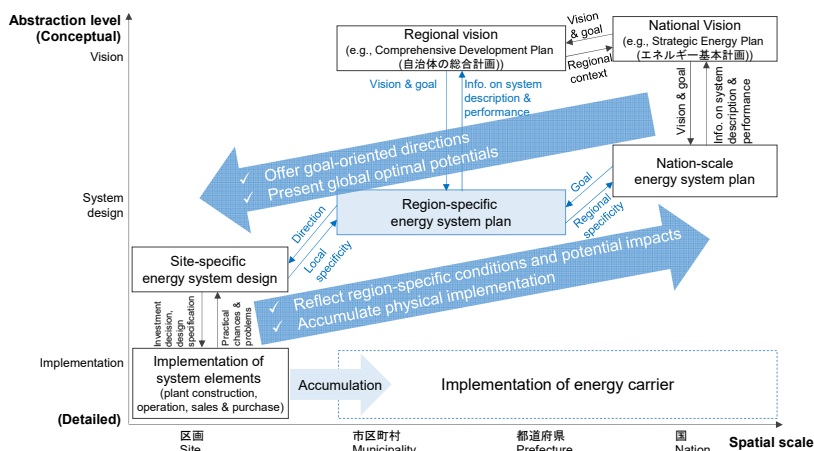


図3 エネルギーキャリア導入における地域別エネルギーシステムの計画の位置づけ

化学オキシダント生成といった影響領域に対して、地域別のインパクト係数を用いて評価し、気候変動との違いを分析できるようにした。結果として、燃料電池自動車の導入は線源 NOx 排出削減に効果的である一方で、設備やその材料の製造地における局所的な環境影響悪化の可能性といった、グローバルな気候変動以外の観点からの価値や課題を定量的に示すことができた。

5. 社会経済因子と導入効果の突合によるエネルギーキャリア地域適性の分析

地域スケール、社会経済的導入力、単位導入効果という 3 つの基準で地域の評価を行って分析する。それぞれの基準を複数のカテゴリに分けて指標を検討した。単位導入効果としての単位 LC-GHG 削減量が同等の地域であっても社会経済的導入力および地域スケールにおいて差異があることが示された。この分析を行うことで、国や大企業等の国スケールで活動するアクターがエネルギーキャリアを優先的に導入する地域を選定する支援につながる。また、特定の地域で主に活動するアクターがエネルギーキャリア導入のために自治体や特定の産業のアクターと連携する等の戦略を立案する支援にもつながる。そして、3 つの基準から地域を分類することで、その分類に応じた知識やノウハウの蓄積、共有につなげられる。

6. 地域エネルギーシステムの計画ワークショップ

複数のアクターの協働による計画方法について、地域やエネルギーに関連する実務経験者によるワークショップで導入に結びつけるための計画スキームを議論することで実現性のある効果的な方法を検討する。ワークショップでは、自治体や企業、大学から合計 13 名が参加し、3 グループに分かれて議論した。水素を用いたエネルギーシステムについて、地域内外で協力しながら導入に結びつけるためのエネルギーシステムの計画スキームを検討し、計画および導入におけるアクター間の情報やもののやり取りを可視化し、具体的な活動を議論した。ワークショップでは、3 つのグループでそれぞれの参加者の経験に基づき異なる計画スキームが示された。地域別エネルギーシステムの計画に基づいてエネルギーキャリアを導入する際の各種活動について、その種類ごとに具体的な活動内容とアクターを整理した。

7. エネルギーキャリア導入に向けた地域別エネルギーシステムの計画支援

前章までに得られた結果を統合し、特定地域でエネルギーシステムを計画してエネルギーキャリアを導入する際の多様な活動間の相互作用を整理した。導入分析に基づいてエネルギーシステムを計画することで、社会環境の変化および個別の区画スケールの活動を直接支援するだけでなく、社会環境の変化を通じて間接的に個別の区画スケールの活動を支援できることを示した。また、社会環境の変化と個別の区画スケールの活動が導入分析へのフィードバックとしてはたらき、分析の改善につながることを示した。

図 4 に地域別エネルギーシステムの計画に基づくエネルギーキャリア導入メカニズムを示す。地域別エネルギーキャリア導入分析に基づくエネルギーシステムの計画における活動を明確にした。第 2 章で構築したモデルでのシミュレーションを実行し、第 4, 5 章で行った LCA や社会経済的導入力と組み合わせた地域別エネルギーキャリア導入分析を行い、第 6 章で議論した計画スキームによって計画を立案する。国スケールも含めてエネルギーキャリア導入全体の活動の中での地域別エネルギーシステムの計画の機能・役割を明確にした。このような地域別エネルギー

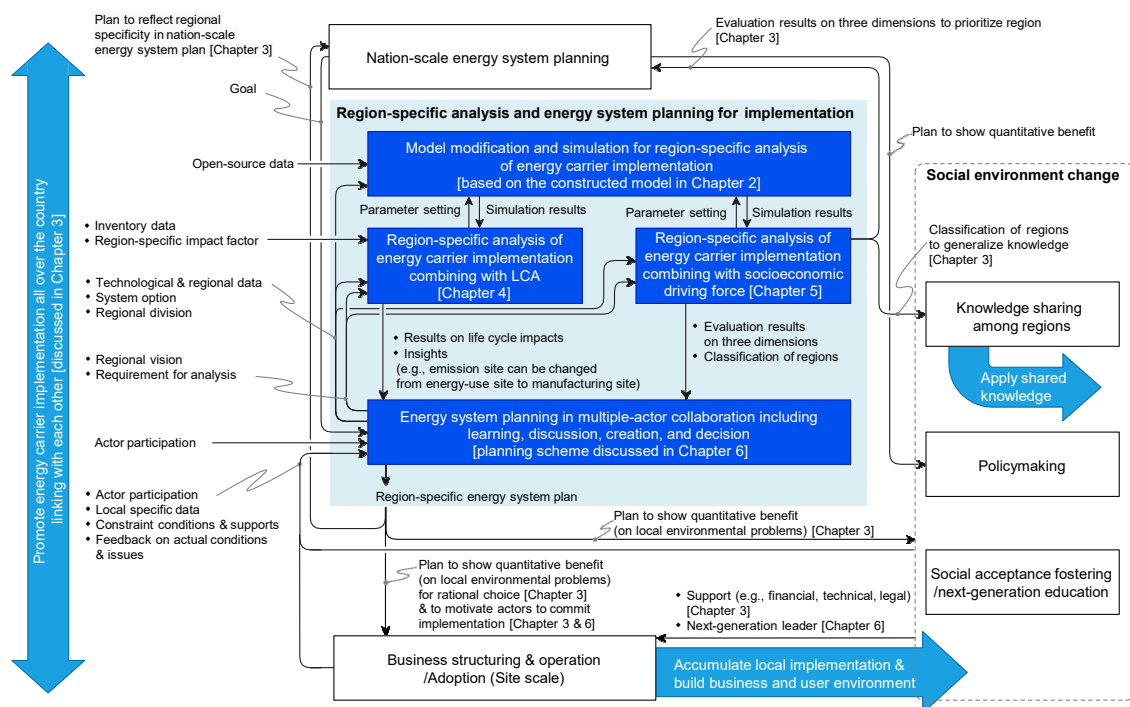


図4 地域別エネルギーシステムの計画に基づくエネルギーキャリア導入メカニズム

ギーシステムの計画手法およびそれに基づく導入メカニズムを提示することにより、計画が多層的に導入を支援し得ることを明確化した。そして、導入に関与する多様なアクターが全体的な動きを理解することで、アクター同士で連携してエネルギーキャリアの導入ができる。

8. 結論と展望

結論として、地域別エネルギーキャリア導入分析手法を開発し、分析に基づくエネルギーシステムの計画により、エネルギーキャリア導入の全体像を理解して、多様な活動を効果的に進めることができるようになった。地域別エネルギーキャリア導入分析として、エネルギーキャリア地産地消シミュレーションにより地域別での多様な環境影響や社会経済的導入力と合わせて地域を評価する手法を開発し、計画ための協働スキームを具体化した。また、地域別エネルギーシステムの計画は、システムを構成する設備を詳細化して要求を明確化していく目的だけでなく、社会環境を変えることにより、社会全体としてエネルギーキャリア導入を方向付けていく役割を担うことを明確にした。このような全体像を各アクターが理解することで、エネルギーキャリア導入に関わるそれぞれの多様な活動の意義を理解し、強く動機づけられることや目的に沿って効果的な活動を実施することが期待される。

今後、実現性のある計画に結びつけるために、分析における指標の拡充や意思決定手法の組み込み、シナリオ分析、エネルギーシステム以外の地域計画の統合といった発展が望まれる。

参考文献

- [1] IPCC, Special report on the impacts of global warming of 1.5°C. (2018)
- [2] IEA, Energy technology perspectives. (2017)
- [3] Valente, A., et al., Int. J. Life Cycle Assess., 22, 346–363 (2017)
- [4] Geels, F.W., Res. Policy, 31, 1257–1274 (2002)
- [5] Geels, F.W. and Johnson, V., Energy Res. Soc. Sci. 38, 138–153 (2018)