

平成 26 年 6 月 4 日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2012～2013

課題番号：24860026

研究課題名(和文) 不確実性を考慮した電力系統ネットワークモデルの開発

研究課題名(英文) Development of Power Grid Model under Uncertainty using Network Analysis

研究代表者

桐山 恵理子 (Kiriya, Eriko)

東京大学・政策ビジョン研究センター・客員研究員

研究者番号：70636266

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円、(間接経費) 570,000円

研究成果の概要(和文)：日本の電力系統ネットワークの脆弱性評価を可能とするエネルギーモデルを開発するために、電力供給計画の概要における連系系統概要マップに、発電所、主要変電・開閉所、周波数・交直変換設備、需要地をノードとし、送配電網をリンクとした日本の電力系統ネットワークモデルの設計を行った。電力系統ネットワークの「脆弱性」を測る適切な指標とは何か、日本の電力系統ネットワークはどの程度脆弱性を有しているか、特に脆弱な箇所はどこか、脆弱性を効果的に低減する方策と何か、検討を行った。

研究成果の概要(英文)：The Electric power supply network model has been designed for energy security should be stable and durable in long term for future generations under uncertainty. Thus, the sustainable energy system requires two important properties that are robustness and resilience when hazards become a real event, in order to minimize the impact from shock and/ or stress for energy security.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：エネルギー学

キーワード：電力系統 ネットワーク 不確実性 エネルギー政策 エネルギー・セキュリティ シナリオ分析

1. 研究開始当初の背景

文部科学省は、戦略的創造研究推進事業の平成 24 年度戦略目標として「再生可能エネルギーをはじめとした多様なエネルギーの需給の最適化を可能とする、分散協調型エネルギー管理システム構築のための理論、数理モデル及び基盤技術の創出」を掲げており、そのアプローチ例の一つとして「停電が波及しにくく、自己修復を可能にするための電力ネットワークのトポロジー制御研究」を挙げている。

また、欧州では、EU(2012)の European Technology Platform Smart Grids が「Strategic Research Agenda 2035」において、スマートグリッドのソフトウェアとして、電力ネットワークのトポロジーの最適化を重要な研究開発課題であると位置づけ研究を推進している。

海外における電力システムのトポロジーを考慮した研究として、Holmgren(2006)が、グラフ理論を北欧と米国西部の電力システムに応用したネットワーク分析と脆弱性の分析を行った。Zio et al. (2010) は、現実の電力システムネットワークに応用できるように、2 つのノード間のすべてのリンクをランダムに流れるパスを計算する拡張された中心性の指標の定義と計算を示した。Poljansek et al. (2012) は、欧州の天然ガスパイプラインと電力システムのネットワーク分析を地理情報システムと組み合わせ、地震リスクに対して脆弱な地域を明らかにするための研究を行った。

さらに、米国のエネルギー省(DOE)(2011)はクリーンエネルギーの先端研究プロジェクトとして、「大停電リスクを低減するためのトポロジー制御による頑健な電力システム研究」や「レジリアンスを考慮した電力インフラのための送電トポロジー制御に関する研究」を推進している。日本における既往の研究には、電力システムの周波数が東西で異なるため、本土全体を一つのネットワークとして分析する研究が存在しない。

加えて、日本では電力中央研究所や経済産業研究所において、基幹システムの最適潮流計算や電源・送電系統立地に関する空間経済モデルに関する研究は行われているものの、電力システムネットワークのトポロジーを考慮した研究に関しては、ほとんど行われていないため、日本における本研究の位置づけは重要なものとなると考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、日本の電力システムネットワークの脆弱性評価を行うための電力システムネットワークモデルを開発することである。既存のエネルギーシステムにかかる制約等の前提をゼロベースとし、次世代の理想的なエネルギーシステムを検討するためのアプローチとして、本土全体の電力システムを一つのネットワークとして考えたモデルを開発する。

そのために、次の二つの手法を開発する。第一にリンクの重み付けを考慮したネットワーク分析の手法を開発することで、送電線の運用容量を制約条件とすることを可能とする。第二にノードの重み付けを考慮したネットワーク分析の手法を開発することで、電力需要と供給の不確実性をネットワーク分析に取り入れる。

以上により、開発したモデルでシナリオ分析を行うことで、不確実性を考慮した電力システムネットワークの脆弱性評価を行う。

3. 研究の方法

(1) データの収集と分析

電力供給計画の概要における連系系統概要マップの系統図と ESCJ から購入予定のデータ(送電線名とその概略系統図)を付加し、より詳細な最新の日本の電力システムネットワークモデルを構築する。

(2) モデルの設計と開発

発電所、主要変電・開閉所、周波数・交直変換設備、需要地をノードとし、送配電網をリンクとした日本の電力システムネットワークモデルの設計と開発を行う。

(3) モデルのテストシミュレーションと感度解析およびモデルの評価

モデルのテストシミュレーションと、感度解析を行う。感度解析の結果から、開発したプログラムが設計どおりにモデルを正しく表現しているか、妥当性等について研究協力者を交えて検証する。問題点が見つかった場合、モデルのパラメータと構造を更新する。

4. 研究成果

日本の発電所、主要変電・開閉所、周波数・交直変換設備、需要地等をノードとし、送配電網をリンクとした電力システムネットワークモデルを地図情報システムのデータと組み合わせることでモデルの構築を行い、下記の研究を行った。

電力システムネットワークの脆弱性を測る適切な指標とは何か。

日本の電力システムネットワークはどの程度脆弱性を有しているか。

特に脆弱な箇所はどこか。

脆弱性を効果的に低減する方策とは何か。

本研究代表者は、日本の大学の研究者として初めて ESCJ から電力システムデータを手に入れるための審査を通過し、データベースを構築した。しかしながらデータに電力設備の機微情報が含まれるため、本研究の分析結果を研究論文として公表するためには、ESCJ 理事会の承認を得てから公表しなくてはならないという制約条件が課せられた。

以上のこと制約から、ESCJ データベースとモデルの構築と同時進行で、パイロット・ケースとして、ESCJ のオープンデータのみをリソースとした北海道の電力システムネットワー

クモデルと CCS（発電所などから排出される CO₂ を地中に埋める技術：carbon capture and storage）の位置情報を組み合わせた分析を行った〔学会発表〕。IPCC（2005）の CCS にかかる特別報告書によると、圧入された CO₂ は、そのまま貯留層にとどまり、貯留層に溶け込み長期的には、鉱物と反応して沈殿することによって安定的に貯留層に定着する可能性が高いことが報告されている。CCS については、いまだ商用化されておらず、火力発電所からの輸送ルートおよび地質学的条件、地理的条件等様々な条件を考慮した地点の検証が重要視されている。国家予算として、研究開発予算の投資は日本では 2006 年から開始している。

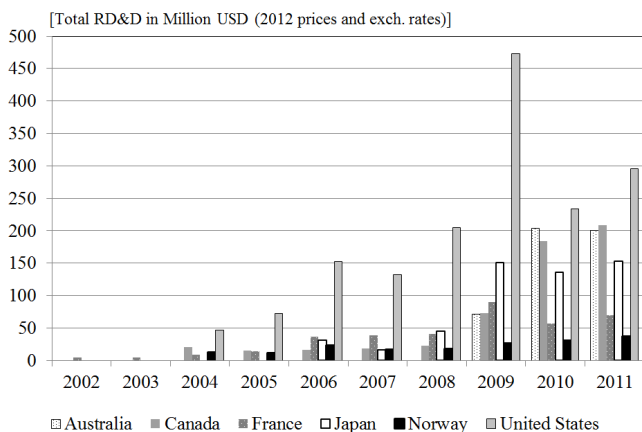


図 1 CCS への国家の研究開発費 (RD&D) の推移
(Note: Figure was created using data collected from the OECD iLibrary)

図 1 の縦軸は、米国、ノルウェー、日本、フランス、カナダ、オーストラリアが国家予算から CCS のために投資している研究開発費 (RD&D) 百万 US\$ であり、横軸は時間軸である。総じて米国の RD&D が最も高く、日本は中程度にランクしている。

さらに、研究データのサーベイによって、エネルギーシステムの全体像 (図 2) を構造化することができた〔雑誌論文〕。

エネルギーのサプライチェーンにおけるサービス・イノベーションとエネルギー事業の統合・融合、電力・ガス (天然ガス、バイオガス、水素) などの二次エネルギーを組み合わせることによりレジエントなエネルギーシステムが開発され、将来社会に導入される可能性があることを示唆することができた。

電力系統ネットワークを利用する消費者サイド (需要側) においても、消費者の身の回りの生活機器の電化、モバイル化、ワイヤレス化が進展することにより、バッテリー残量を自動で充電する機能を備えた生活機器や、無線給電システムが研究開発され、将来の消費者サイドのライフスタイル・イノベ

ションのポテンシャルが高い。以上のことから、ライフスタイル・イノベーションの実現によって、例えばエネルギー貯蔵とネットワーク接続機能を有した機器が、消費者の選択によって急速かつ大幅に社会に普及し、エネルギー需給調整が可能なレジエントなエネルギーシステムが実装されることが期待されるという示唆も得られた。

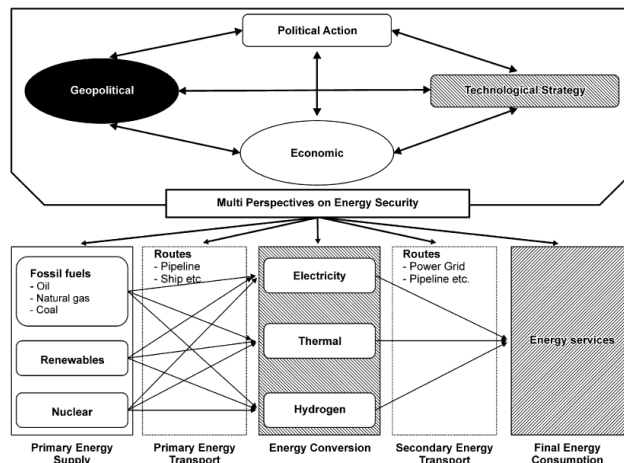


図 2 エネルギーシステムの構造化

今後の展望としては、日本のエネルギー政策の策定・立案について、特に将来の電力システムの在り方とスマートグリッドや再生可能エネルギー導入といった多様な選択肢を検討するための科学的知見を提供し貢献することである。例えば、発電所をノードとして電力系統ネットワークモデルに任意に埋め込むことで、再生可能エネルギー等の分散電源の導入シナリオや、大規模電源 (原子力) 脱落時において供給柔軟性のある火力へのシフトシナリオの有効性を検証し、将来の電力供給の多様化を考慮した下記のシナリオ分析を行う。

- 基本シナリオ (BAU シナリオ)
- 大規模電源 (原子力) 脱落シナリオ (電力供給の不確実性を考慮したシナリオ)
- 事故・災害リスク等による送配電網分断シナリオ
- 周波数変換設備 (FC) 増設シナリオ
- 需要地における蓄電システム導入シナリオ (電力需要の不確実性を考慮したシナリオ)
- 再生可能エネルギー等の分散電源導入シナリオ (電力供給の不確実性を考慮したシナリオ)

以上のシナリオ分析から、電力需給の不確実性を考慮した電力系統ネットワーク分析を行い、スマートグリッドや蓄電システム等の導入に適した地点を推定することができる。さらに、様々なエネルギー源 (太陽光、風力、コージェネレーション、蓄電等) や、制御システムの規模 (家庭内、工場内、小規

模コミュニティ内等)に柔軟に対応できる電力システムモデルとして地域性による制約(気象条件、地理的条件等)を組み合わせた評価への応用が可能となる。また将来的には、海底ケーブルによるアジア電力システムネットワークの有用性の評価や広域な電力取引の活性化方策に関する分析といった政策意思決定に資する科学的知見を提供することも可能である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1件)

Eriko Kiriya, Yuya Kajikawa (2014)
“A Multilayer Analysis of Energy Security Research and the Energy Supply Process,”
Applied Energy (IF = 4.8) 123, pp. 415-423

[学会発表](計 1件)

Eriko Kiriya,
“Assessing carbon capture and storage as a means toward a resilient ecosystem under uncertainty,”
Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, 2014年9月20日,イスタンブール

[その他]

ホームページ

<http://kiriya-eriko.jimdo.com/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

桐山 恵理子 (KIRIYAMA Eriko)

東京大学・政策ビジョン研究センター・客員
研究員

研究者番号：70636266

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし