

早稲田大学大学院アジア太平洋研究科

博士論文審査報告書

論 文 題 目

原題名 Original Title	再生可能型エネルギーミックスに向けた電力ネットワーク柔軟性の役割と効果：デンマークから日本とアジア諸国への示唆
英訳 In Japanese	The Role and Effects of Power Network Flexibility toward Achieving Renewable-based Energy Mix: Implications of Denmark to Japan and Asia

申 請 者

氏 名 Name	姓 Last Name	Middle Name	名 First Name
	谷口		晋一
学籍番号 Student ID	4015S009-8		

2020年 6月

1. 本論文の主旨

風力発電や太陽光発電などの変動再生可能エネルギーは、限界費用がゼロで地域の制約も少なく、化石燃料の代替として国のエネルギーセキュリティに資する優れた電源である。その導入は、持続可能な開発目標 (SDGs) の一つである『エネルギーをみんなにそしてクリーンに』の達成に貢献することが期待されている。すなわち、「すべての人に手ごろで信頼でき、持続可能かつ近代的なエネルギーへのアクセスを確保する」ことが求められており、そのために変動再生可能エネルギーの活用は喫緊の課題となっている。しかし、日本においてその導入が十分に進んでいるとは言えず、また他の多くの国においても同様の傾向がみられる。

さらに、地球温暖化対策として、CO₂ 排出量を抑制することが求められており、その対策として、化石燃料に代わり、再生可能エネルギーと電力ネットワークの柔軟性をセットで普及させることが有効な手段となるとの認識が本研究の出発点である。柔軟性とは、「発電と需要の双方における変動性や不確実性に、異なる時間単位にわたって、妥当なコストで十分な信頼度レベルを維持しながら、対応する能力」(Ma et al., 2013)であり、電気の発生と消費の同時性と等量性を担保するもので、電気の性質そのものと捉えることもできる。

本論文の目的は、変動再生可能エネルギーを広く普及させる手段として、電力ネットワーク柔軟性の役割と効果を明らかにすることにある。風力発電や太陽光発電などの変動再生可能エネルギーを活用することは、同時に、エネルギーミックスを多様化し、エネルギー供給の分散化が促進され、日本のエネルギー供給の強靱化にも貢献する。化石燃料への過度の依存から脱却し、変動再生可能エネルギーと経済性を両立させ、エネルギーセキュリティを強化することを目指すべきとの問題意識から本論文は執筆された。さらに、アジア諸国にも見本となるような、持続可能なエネルギー供給システムの実現に貢献することをも目指している。

そのために、本研究では、既存の電力システムに変動再生可能エネルギーを導入することにおいて成功した国の一つであるデンマークの事例を参考に、日本のエネルギーミックスを変動再生可能エネルギー主導型とするために、電力ネットワークの柔軟性を導入するための具体的な処方箋とその効果を分析している。

その過程として、まず①電力ネットワークの柔軟性とは何かを明らかにし、先進国の中でも遅れている日本のエネルギーミックスと先進例デンマークを比較することにより、柔軟性の正体を明らかにする。次に、②変動再生可能エネルギーと電力ネットワーク柔軟性の組み合わせは、経済性と両立することを明らかにし、日本のエネルギーミックスを再生可能型に転換することの可能性を検証する。さらに、③電力ネットワークが未発達な場合に柔軟性を与えるにはどうすべきかを検討し、未達成の国や地域への示唆を与える。最後に、④得られた分析結果から、具体的に発展途上国に展開するための方法を提案している。

2. 本論文の構成と概要

第1章「背景と目的:世界的なトレンドと日本」では、研究の目的、エネルギー多様化の重要性、世界のトレンド、日本のエネルギーミックスの変遷、論文の構成について述べている。

第2章「先行研究」では、関連する先行研究を体系的に説明し、その限界と克

服すべき点について述べている。日本の電力システムの問題点、変動再生可能エネルギーと電力ネットワークの柔軟性、電力ネットワークの経済分析、エネルギー貯蔵の経済効果などに関して、既存の研究を概括している。

第3章「日本の電力システムの問題点とリサーチクエスション」では、日本の電力システムの問題点を変動再生可能エネルギーの視点から洗い出し、欧州との違いを論じている。これをもとに、リサーチクエスションを提示している。

第4章「日本とデンマークにおける再生可能エネルギー導入にかかる柔軟性の構造と役割」では、変動再生可能エネルギーの導入が進んでいるデンマークを取り上げ、デンマークの2時点および日本の3地域(デンマーク-ドイツ(2018年および2006年)、東京-東北、九州-中国、北海道-東北)における電力ネットワーク柔軟性の違いを、4段階に分けて構造的に明らかにしている。すなわち、第1段階では歴史的経緯など定性的分析から柔軟性要素を抽出している。第2段階では、地理的な位置関係を考慮した構造的モデルを策定している。第3段階では、上記の5つの電力システムの地域的な組み合わせに関して主成分分析を行い、柔軟性要素の効果発現の形態を分析している。第4段階では、分析結果に基づき、柔軟性の大分類と役割について論じている。

第5章「電力ネットワークと再生可能エネルギーの経済効果」では、電力取引による経済効果について、総余剰から評価する方法を提案し、前述の5つの電力システムの地域的な組み合わせについて分析を行っている。その結果、デンマークでは、変動再生可能エネルギーの総余剰が、電力システム維持に必要なとされる容量コストを十分に上回っているものの、日本では、十分な経済効果が形成される状況に至っていないことを見出している。

第6章「エネルギー貯蔵による電力ネットワークと経済効果」では、エネルギー貯蔵による分散型ネットワークの意義について述べ、電力ネットワークが十分でない場合、変動再生可能エネルギーを活用するための柔軟性を補完する手段として、既存ネットワークの拡張とエネルギー貯蔵のどちらが優れているかを分析している。柔軟な需要の経済効果について、総余剰に基づいて評価する方法を提案し、上記の5つの電力システムの地域的な組み合わせについて分析を行い、応用への示唆を得ている。

第7章「アジア諸国の持続可能なエネルギー供給に向けた示唆」では、未成熟な電力システムの例としてフィリピンを取り上げ、電力システムのセキュリティの状況について現状を評価するとともに、再生可能エネルギー中心型に移行することの効果进行分析している。

第8章「結論」では、分析結果の要約に基づき、設定したリサーチクエスションに対する回答とこれら分析結果に関する解釈を提示した。研究の意義を述べるとともに、研究の限界と今後の研究課題を述べている。

3. 口述試験での質疑応答

本論文審査委員会は、申請者から提出された学位請求論文を査読し、2020年4月28日に2時間余にわたり口述試験を実施した。主たる質問および修正意見は以下の通りである。

- ・ タイトルが長く、また日本語と英語で内容が一致しない。

- ・ 研究目的の記述が、実際に行ったことを十分に反映していない。
- ・ 全体の論理構成において、第4章の内容が第5章及び第6章にどのようにつながっているのか明確でない。
- ・ 第4章において、主成分分析の結果の処理が適切ではないのではないかと。また、historical volatilityを用いる理由が明らかでない。一部の計算式に誤りがあると思われる。
- ・ 第5章において、供給曲線の形成、需給均衡および価格決定のメカニズムに関する説明が十分とは言えず、理解しにくい。電力市場の最適状態が成立するためには、相応の仮定が必要ではないか。さらに、総余剰の計算式において、修正すべき点がある。
- ・ 第5章において、ケース設定に関し、丁寧な説明が必要である。
- ・ 第6章において、計算式における定数の根拠が不明である。また、計算のプロセスにおいて、説明と修正が必要な点がある。分析結果から結論を導く道筋を説明すること。
- ・ 全体的に説明不足であり、丁寧な説明を心がけること。論理の流れがわかるよう、記述を充実させること。

口述試験では、指摘や質問に関して適切に回答が示され、修正すべき点については、最終提出までに適切に修正することとなった。審査委員会は修正意見に対する対応表とともに、修正が適切になされていることを確認した。

4. 評価と審査結果

本論文では、変動再生可能エネルギーの普及によりエネルギーミックスの多様化を進め、地球温暖化防止とエネルギーセキュリティ強化に貢献することを目的に、その方向性と効果について、柔軟性の役割と経済効果の観点から緻密な分析を行った。デンマークの先進事例の分析から得られる示唆をもとに、日本およびアジア諸国に向けて従来の化石燃料から再生可能型エネルギーミックスへの移行を提案した点で、斬新な研究といえる。日本をはじめ、世界でも変動再生可能エネルギーへの抵抗感がいまだ根強いなかで、電力システムの柔軟性の役割と経済効果を明らかにすることにより、合理的な変動再生可能エネルギーの統合に向けた示唆を与えた。

以上要するに、変動再生可能エネルギー普及の鍵となる、電力ネットワーク柔軟性の要素として、①従来型の中央発電、②電力取引、③柔軟な需要を電力システムの具体的事例から検討し、構造的な役割を明らかにした。変動再生可能エネルギーは、限界費用がゼロで地域の制約も少ない。本研究は、この普及によりエネルギーミックスの多様化を進め、地球温暖化防止とエネルギーセキュリティの強化に貢献し、さらに、発展途上国への応用として、フィリピンの電力システムを事例に、その適用可能性を示したことは、本論文の独創的な点であり、困難な研究を成し遂げた貴重な成果が盛られている。

口述試験の内容を踏まえ、論文に関して慎重かつ総合的に審査を行なった結果、博士学位請求論文としての水準を十分満たしているものと判断し、これを受理することに全委員が合意した。

申請者名: 谷口 晋一

博士論文審査委員会

主査 Chief Examiner:

氏名 Name: 三友 仁志 (印)(Signature)
所属 Affiliation: 早稲田大学国際学術院大学院アジア太平洋研究科
職位 Title: 教授
学位 Degree: 博士(工学) 取得大学 Conferred by: 豊橋技術科学大学
専門分野 Specialty: 情報通信経済・政策

副査 Head Deputy Examiner:

氏名 Name: 山岡 道男 (印)(Signature)
所属 Affiliation: 早稲田大学国際学術院大学院アジア太平洋研究科
職位 Title: 名誉教授
学位 Degree: 博士(学術) 取得大学 Conferred by: 早稲田大学
専門分野 Specialty: 国際交流論、経済学教育論、ニュージーランド研究

副査 Deputy Examiner:

氏名 Name: 加藤 篤史 (印)(Signature)
所属 Affiliation: 早稲田大学国際学術院大学院アジア太平洋研究科
職位 Title: 教授
学位 Degree: Ph.D. (経済学) 取得大学 Conferred by: University of Michigan
専門分野 Specialty: 経済発展の政治経済学

副査 Deputy Examiner:

氏名 Name: 藤澤 美恵子 (印)(Signature)
所属 Affiliation: 金沢大学人間社会研究域 経済学経営学系
職位 Title: 教授
学位 Degree: 博士(工学) 取得大学 Conferred by: 東京工業大学
専門分野 Specialty: 経済政策、理論経済学

2020年 6月 22日