

電力小売自由化と再生可能エネルギー普及の CO₂ 排出量への影響評価

2016年3月修了 環境システム学専攻
指導教員：吉田 好邦 教授
47-146670 小林 勇介

キーワード：石炭火力増設，CO₂ 排出量削減，再生可能エネルギー，電源計画モデル

1. 序論

2016年に低圧受電需要家向けの電力小売市場の自由化が予定され、安く電力を調達するため、新電力による石炭火力の新設計画が日本国内で相次いでいる。また、2011年以降の原発停止やLNG価格の上昇の影響で、一般電力についても石炭火力発電の新設を積極的に進めている状況であり、文献^{1),2)}によると2025年までに約17GWの新設計画がある。(図1)しかし、石炭火力はCO₂排出量が大きく、国内のCO₂排出量上昇への影響が懸念されている。

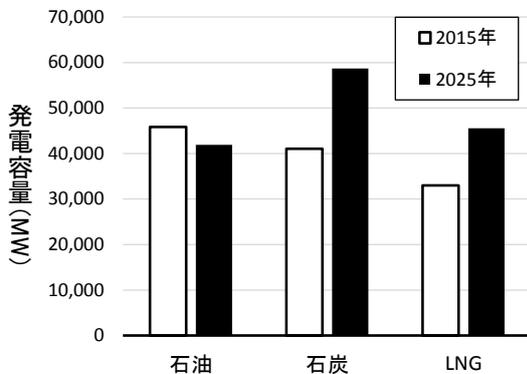


図1 2025年までの国内発電容量の変化

このようなCO₂排出量増加を緩和するためには、再生可能エネルギー(再エネ)の大量導入が急がれる状況であるが、再エネの導入ポテンシャルは北海道や東北、九州という特定の地域に集中しており、現状のインフラでは出力抑制が頻繁に発生する可能性が高い。再エネによって発電された電力を効率的に、関東・関西といった需要の大きい地域で使用するには、地域間連系線と蓄

電池を考慮した複合的なインフラ拡張は必須であると言えるが、それを検討している研究はほとんどなく、文献³⁾のように連系線の拡張などを外性的に与えるものが多い。

以上の背景より、本研究では以下の検証を、日本の電力需給を再現した電源計画モデルを用いたシミュレーションをもとに行うことを目的とする。

検証①：自由化後の国内発電部門のCO₂排出増加量の推定

検証②：再エネ大量導入によりCO₂排出量削減を行う際の最適なインフラ拡張の検証

2. 使用した電源計画モデル

電源計画モデルでは、各地域の電力需要や発電容量、各発電種別の性能、地域間送電容量などを入力とし、全国の実発電コストの最小化を目的関数として、各地域・時間・発電種別の発電量などを最適化する。(図2)最適化は線形計画法によって行い、計算ソフトはGAMSを用いた。

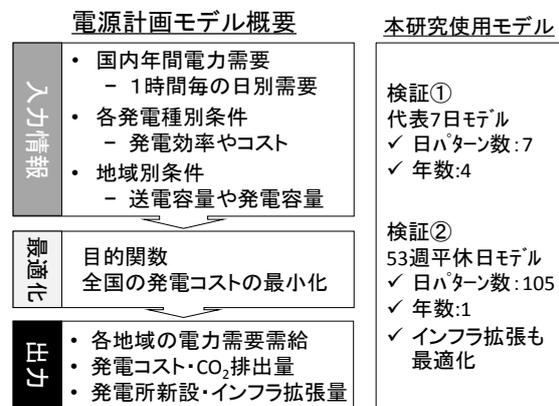


図2 電源計画モデル概要と使用モデル

使用するモデルは2つあり、検証①には、複数年の検証のため、代表7日の最適化を4年分行う「代表7日モデル」を作成した。また、検証②には、再エネの変動を現実に近い形で再現しつつ、実施可能な計算量内に収めるため、1年間53週の平・休日を再現した105日について最適化を行う「53週平休日モデル」を作成した。

2.1 代表7日モデル

検証①（自由化後の国内発電部門のCO₂排出増加量の推定）に使用する代表7日モデルの基本設定を以下の図3に示す。

最小時間単位	・ 1時間
対象地域	・ 10地域
発電源種	・ 石炭、石油、LNG、LNGC、IGCC、原子力、水力、揚水、太陽光
日パターン数	・ 代表7日の7パターン - 「夏季 or 冬季 or 中間期」×「平日 or 休日」+ 夏季ピーク日
対象年	・ 2015年、2020年、2025年、2030年の4パターン
一般電力と新電力	・ 全ての需要家を一般電力と新電力に分類
再エネ導入量	・ 全国で25GW(2015年現状値)

図3 代表7日モデルの基本設定

以下で、特筆すべき事項について述べる。

(1) 一般電力と新電力の電力需要

新電力の想定シェア(5%, 10%)に応じて、2020年以降の電力需要を一般電力のものと新電力のものに割り振る。2015年の新電力のシェアは、現状値から4%とした。本モデルではすべての発電設備量を、文献¹⁾等をもとに一般電力または新電力に分類し、同時同量の原則に基づいて、それぞれは割り振られた需要に対してのみ電力を供給するものとした。また、一般電力・新電力間の電力の融通に関しては、後述のように可変条件とした。

(2) 発電所の新設・廃棄

地域ごとの一般電力・新電力の既存発電容量と新設容量を最新の計画より定めた。

2.2 53週平休日モデル

検証②（再エネ大量導入によりCO₂排出量削減を行う際の最適なインフラ拡張の検証）に使用する53週平休日モデルの基本設定を以下の図4に示す。

発電源種	・ 石炭、石油、LNG、LNGC、IGCC、水力、揚水、太陽光、風力
日パターン数	・ 53週平・休日の合計105パターン
対象年	・ 2030年を想定した1パターン
再エネ導入量	・ 再エネ大量導入を仮定 - 太陽光・風力発電協会の2030年導入目標値より
インフラ拡張	・ 地域間連系線の拡張と蓄電池の導入を、最適化の範囲内に
その他	・ 代表7日モデルと同じ

図4 53週平休日モデルの基本設定

以下で、特筆すべき事項について述べる。

(1) 再エネの大量導入を想定

風力と太陽光の導入量を図5のように想定した。風力に関しては、風力発電協会の2030年の導入目標値を各地域の導入ポテンシャル比で分配した。太陽光に関しては、太陽光発電協会の2030年導入目標値を、FITの地域別認定量の比で各地域に分配した値を想定した。日ごとの稼働率パターンについては、文献⁴⁾を元に設定した。

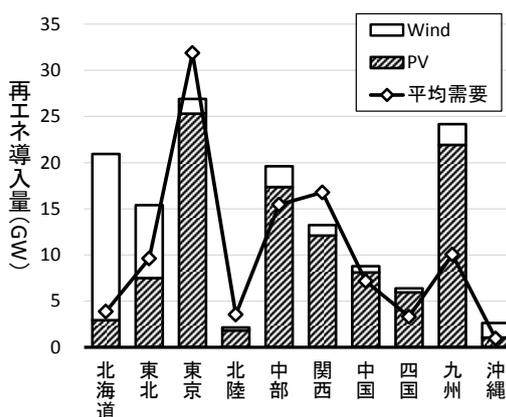


図5 風力・太陽光の想定導入量

(2) インフラ拡張の最適化

連系線拡張と蓄電池導入について、以下のようにコストを設定し、最適化

の範囲内に含めた。文献⁵⁾等より連系線拡張は、直交流または周波数変換施設のある連系線を20万円/kW(双方向)、それ以外の連系線は2.6万円/kW(単方向)で償却年数を40年とした。蓄電池については、蓄電容量/最大出力比が3/1(kWh/kW)、最大充放電サイクル数を3,500回、償却年数を6年とした。

3. 自由化後のCO₂排出増加量の推定

3.1 検証の前提

代表7日モデルを用いて今回の検証では、全ての原発の停止を前提とし、2020年以降の新電力シェアは、5%、10%の2通り(一般電力と新電力間の電力融通なし)を考慮する。また、一般電力と新電力間の電力融通を全て認めた全体最適のパターンも考慮する。

3.2 結果

以下、図6に結果として得られたCO₂排出量の推移を示す。新電力のシェアを10%とした場合の推定結果では、2020年に約220万t(2015年比約4.8%)、2025年に約600万t(2015年比約12.9%)のCO₂排出量の増加が見込まれるという結果が得られた。(新電力のシェアが大きいくほど、CO₂排出量は大きくなる)さらに、全体最適のパターンでも同じようにCO₂排出量の上昇傾向が確認でき、他のケースとの大きな差はないため、一般電力と新電力間の電力融通によるCO₂排出量への影響は小さいといえる。

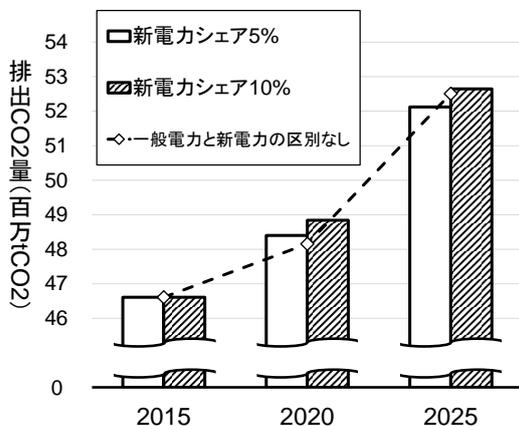


図6 CO₂排出量推移の推定結果

4. 再エネ大量導入時の最適インフラ拡張

4.1 検証ケース

53週平休日モデルを用いて、再エネの大量導入時の最適インフラ拡張と排出CO₂量について、以下のケースでの検証を行う。

(1) インフラ拡張なしケース

連系線や蓄電池等のインフラ拡張を一切行わずに、再エネの大量導入を行う。

(2) 連系線拡張ケース

連系線の拡張のみ最適化の対象とする。(蓄電池の導入はないものとする。)

(3) 連系線拡張+蓄電池導入ケース

連系線に加え、蓄電池導入を最適化の対象とし、蓄電池の将来価格(2, 4, 6万円/kWh)に応じた最適インフラ拡張を検証。

4.2 結果

(1) インフラ拡張なしケース

ここでは、2015年の再エネ現状導入量を想定した場合の結果と、本ケースの結果を比較する。年間CO₂排出量は再エネの大量導入により、4431万tから4013万tへ減少して410万tほどの削減が確認できたほか、再エネの電源構成比率も12%から24%に増加した。しかし、再エネの発電ポテンシャルの約38%が出力抑制で発電されないという結果となった。

(2) 連系線拡張ケース

図7に本ケースでの最適化の結果、拡張された連系線と拡張量、その他の最適化結果を示す。再エネ導入が集中する東北・九州・中部から関東・関西への送電線が拡張される結果が得られた。しかし、直交変換のある連系線の拡張コストを高く設定したため、北本連系線(北海道⇄東北)の拡張は見られなかった。CO₂排出量や再エネ比率に大きな変化はない。

(3) 連系線拡張+蓄電池導入ケース

蓄電池の将来的な価格下落を想定し、2, 4, 6万円/kWhの3つの条件でそれぞれ最適化を行った。

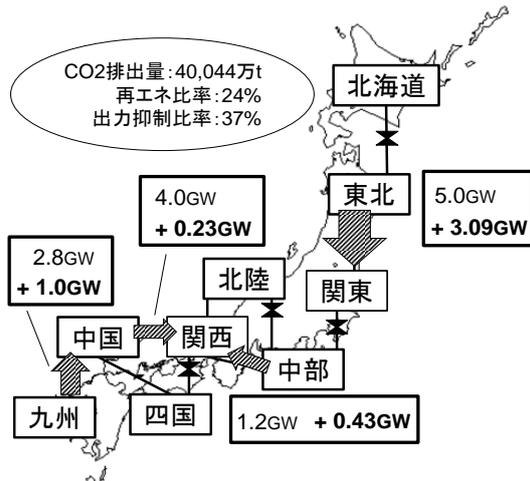


図7 連系線拡張ケースでの最適化結果

蓄電池価格を2, 4, 6万円/kWhとした場合の、最適化の結果を表1と表2に示す。連系線の行は、連系線拡張量、地域のは、蓄電池導入量を示す。空欄は拡張なし。

表1 連系線&蓄電池ケースのインフラ拡張

地域	蓄電池導入(GWh)or連系線拡張(GW)			
	連系線のみ	蓄電池 6万円	蓄電池 4万円	蓄電池 2万円
北海道			12.6	94.4
↓ 連系線				6.62
東北			2.7	28.5
↓ 連系線	3.09	3.09	2.98	8.17
東京				0.4
中部				1.6
↓ 連系線	0.43	0.43	0.38	0.38
関西				
↑ 連系線	0.23	0.25	0.77	0.46
中国				0.2
↑ 連系線	1	1.02	1.82	1.49
九州			0.2	3.3
				13.2

表2 連系線&蓄電池ケースのCO₂削減量

	現状	拡張なし	連系線のみ	蓄電池 6万円	蓄電池 4万円	蓄電池 2万円
CO ₂ 排出量(万t)	44,306	40,179	40,044	40,039	39,595	37,772
CO ₂ 削減率		-9%	-10%	-10%	-11%	-15%
再エネ比率	12%	12%	24%	24%	25%	28%
出力抑制比率	0%	38%	37%	37%	33%	16%

蓄電池価格が6万円/kWhのときは、インフラの拡張状況やCO₂排出量など、ほとん

ど連系線拡張ケースと結果が変化はない。

蓄電池価格が4万円/kWhのときは、再エネ大量導入地で蓄電池の導入が進むとともに、西日本の連系線拡張は6万円の時よりも増加し、東日本のそれは減少する。

蓄電池価格が2万円/kWhのときは、他のケースと大きく異なり、北海道・東北への大量の蓄電池導入と共に、拡張コストの高い北本連系線が大幅に増強され、北日本の再エネを関東に送る傾向が顕著になった。出力抑制も約半分となり、CO₂排出量削減や再エネ比率向上にも大幅な改善がみられる。

5. 結論

本研究では、電源計画モデルを用いて自由化後の発電部門のCO₂排出量の増加を定量的に推定した。さらに、CO₂排出量増加を抑えるために大量の再生可能エネルギーを導入した際のCO₂排出の減少量の評価と、再エネの効率的な利用のための連系線拡張と蓄電池導入を複合的に考慮した最適なインフラ拡張に関する検証を行い、蓄電池価格の下落が再エネ大量導入時の系統インフラ拡張に与える影響を明らかにした。

参考文献

- 1) 電気事業便覧(平成26年度版), 電気事業連合会統計委員会編
- 2) 国内石炭火力発電所 建設・入札・廃止予定リスト, NPO 法人気候ネットワーク
- 3) 小宮山涼一, 柴田紗英子, 藤井康正; 太陽光, 風力発電の出力変動と地域間電力融通を考慮した最適電源構成に関する研究, 電気論 B, 133-3 (2012)
- 4) 山本博巳, 坂東茂, 杉山昌広; 火力発電の複数の運転モードと需給調整力を考慮した電源構成モデルの開発, 263-270 (Y12030), 電力中央研究所
- 5) 井上智弘; 自然変動電源・蓄電池のコスト低減見通しと大規模普及に伴う系統安定技術課題, エネルギー・資源, Vol. 36 No. 5 (2015), 32-36
- 6) 地域間連系線等の強化に関するマスタープラン中間報告書, 経済産業省 電力システム改革専門委員会 (2012)