

# 博士論文（要約）

再生可能エネルギー発電の大量導入時の  
蓄電池の負荷周波数制御への適用の効果評価に関する研究

荻本 和彦

## 1. 序論

太陽光発電や風力発電など、変動する再生可能エネルギー発電の増加は日本を含め世界の多くの国々での共通の方向性であり、今後、電力システムの柔軟性（flexibility）の向上が大きな課題となる。この柔軟性の課題に対しては、従来の考え方である既存の供給側の発電機全体の調整力を最大活用することに加え、変動する再生可能エネルギー発電の抑制などの調整、需要反応、蓄電池など新しい貯蔵技術の導入、電力システム間連系線の活用、電力システムの運用の高度化など様々な需給調整力を向上する対策を組み合わせることが有効と考えられている。(1.1)

「既往の検討、研究」では、以下の点が明らかとなった(1.2)：

- 再生可能エネルギーの多くは発電により利用され、その大きな割合を占める風力発電、太陽光発電の出力変動は、電力システムの経済性、安定供給に大きな影響を与える。各国では、様々な導入目標のもとで、電力システムへの再生可能エネルギー発電の大量導入の検討が行われ、再生可能エネルギー発電の変動性、不確定性による電力需給の経済性、安定性への影響の評価と対策が重要であることが共通の認識となっている。
- 新しい要素である再生可能エネルギー発電の出力変動モデル、それに対する諸対策技術、マーケットを含めた電力システム運用などの新しいモデルを含め、様々な手法が研究・開発され、目的に応じて使われている。
- エネルギー貯蔵技術のうち、蓄電池は、立地条件などによる容量制約がなく技術的な成熟度の向上にあわせて経済性も向上しつつある。蓄電池の電力システム運用への適用は、蓄電池設置に当たっての設備費、運用費と導入効果の経済性により、具体的に検討する段階にあると考えられる。
- 太陽光発電や風力発電など、再生可能エネルギー発電の出力予測技術は、段階的に電力システムの運用に取り入れられており、今後、より柔軟で高品質な電力需給の実現に貢献すると考えられる。
- 再生可能エネルギー発電大量導入による出力変動を低減し、電力システムが持つ様々な需給調整力を最大活用し柔軟性を向上することが、今後の電力システムの運用、設備形成の検討、対策の選定における重要な視点となる。

この状況において、本研究では、再生可能エネルギーの大量導入のもとで需給調整力を増加し、柔軟性を向上する対策として蓄電池の短時間領域の需給変動の緩和に特化した使用による電力システムの需給運用の経済性、安定性の向上に資する「再生可能エネルギー発電の大量導入時の蓄電池の活用による柔軟性向上に関する研究」を行うこととした。(1.3)

## 2. 再生可能エネルギー発電出力と残余需要の特性

電力システム別の毎時の需要と風力・太陽光発電のモデルを作成し、電力システムの元負荷から風力、太陽光の出力を控除した残余需要を算出し、年間の負荷持続曲線により風力発電と太陽光

発電の kW 値を試算し、残余需要の変動の大きさについても分析を行った。(2.2)

さらに、風力発電の短時間変動特性として、東北電力システムの風力発電について 2005 年の域内合計の発電出力の 10 秒データにより 20 分窓による最大変動幅解析を行い、太陽光発電については既往検討による短時間変動特性を整理した。さらに、2005 年の風力発電データと同年度の需要の試算値に基づき、風力発電出力 (図 2.2-3)、および残余需要について、ランプ変動分析 (図 2.5-5) を行った。

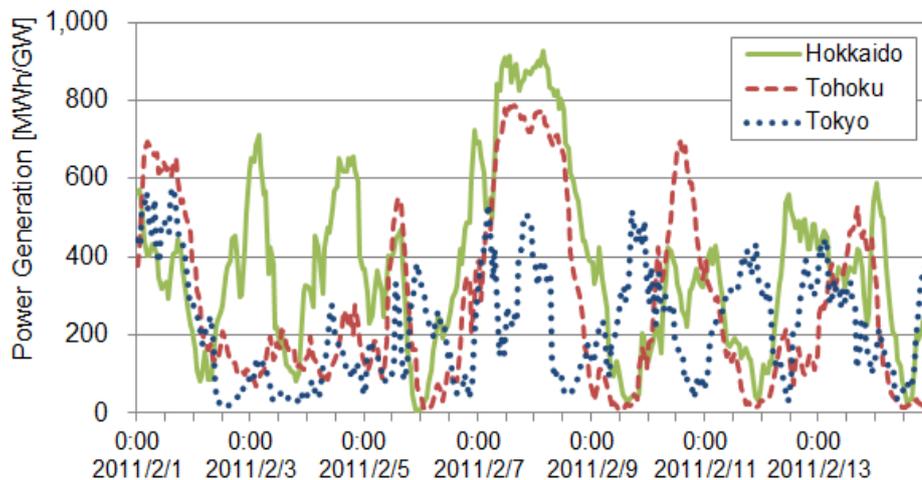


図 2.2-3 風力発電の毎時の平均発電量の例

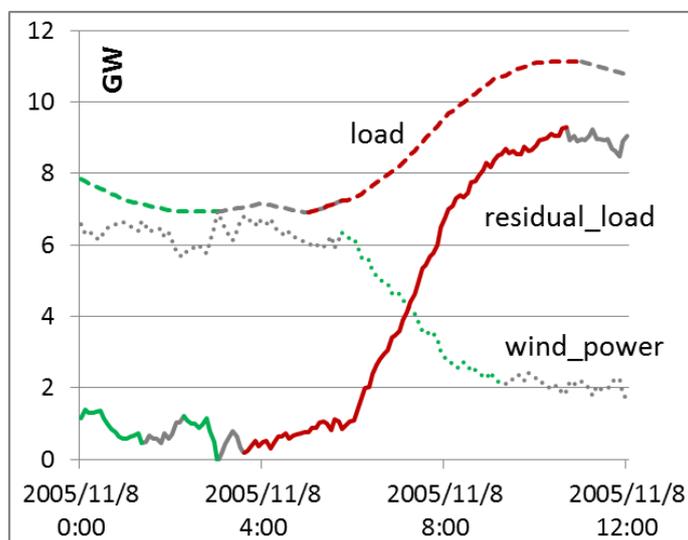


図 2.5-5 残余需要の最大の ramp up

本節で検討した毎時の電力需要モデル、太陽光発電出力モデル、風力発電毎時モデル等は、本検討の電力需給解析において需要、太陽光発電、風力発電の毎時データ、短時間変動特性として使用された。

### 3. 電力システムの需給調整力の向上対策と検討方法

風力発電や太陽光発電などの大量導入による発電量の変動の増加と、これに伴う従来電力システムの需給調整を担ってきた火力発電などの運転量の低下による需給調整力の減少により、柔軟性の向上は今後の将来の電力システムの大きな課題となる。

この柔軟性向上の対策として、本章では、火力発電を始めとする系統発電機（3.1）、変動する再生可能エネルギー発電の出力抑制を含む各種制御（3.2）、集中分散のエネルギーマネジメントの協調による需要の能動化（3.3）、分散型の電力貯蔵装置である蓄電池の活用（3.4）、それらの個別技術を活かすための太陽光発電、風力発電の出力予測を含めた電力システム運用の高度化（3.5）による需給調整力向上の可能性を検討し、本研究では、電力システムの柔軟性向上による再生可能エネルギー発電の大量導入時の課題解決として、電力システムを構成する電源の個別の特性を反映した実規模のモデルを作成・解析し、経済負荷配分より速い需給調整のうち負荷周波数制御（LFC：Load Frequency Control）領域の需給調整力確保のための蓄電池の適用についての検討を行う方針を決定した。

### 4. 再生可能エネルギー大量導入時の電力需給の解析方法

電力需給解析ツールである ESPRIT に、太陽光発電と風力発電の毎時出力変動から残余需要を算出し、需要の能動化としてヒートポンプ給湯機と電気自動車充電需要、定置用バッテリーによる需要曲線への影響と、パラメータ設定により短時間需給調整力のうち LFC 領域の需給調整力の評価を含めた、電力需給解析を行う機能を開発した。

### 5. 電力システムの実規模モデルによる解析・評価

2030 年の 9 電力システムのモデルとして、需要、原子力発電、火力発電、太陽光発電、風力発電、その他の再生可能エネルギー発電、熱併給発電、連系線などの個別モデルとシナリオを作成した（5.1）。

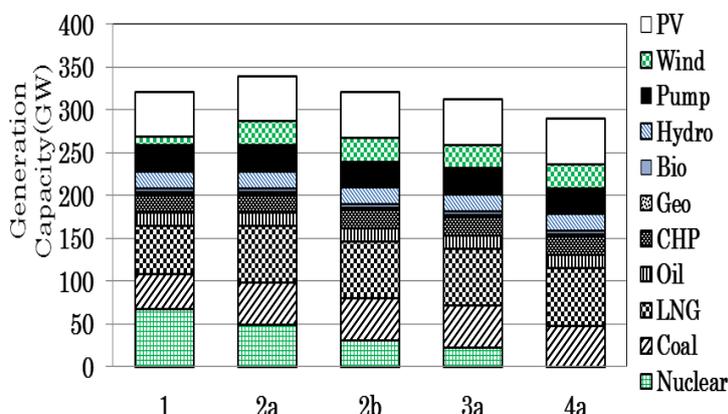


図 5.2-1 2030 年の電源構成の比較

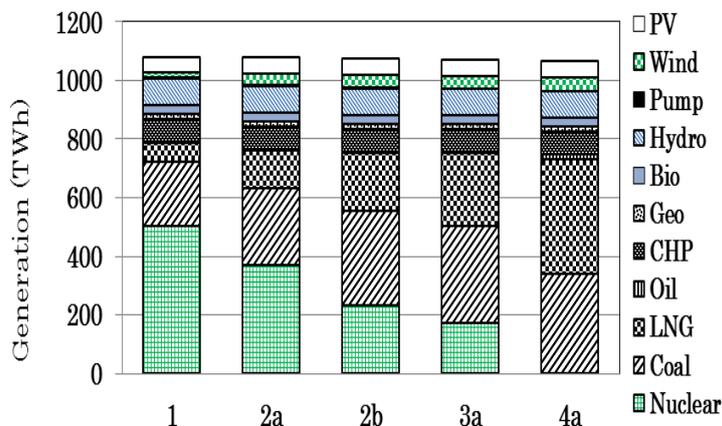


図 5.2-2 2030 年の発電電力量の比較

次に、原子力発電の利用を中心とした複数の需給シナリオについて図 5.2-1, 5.2-2 に示すように設備容量、発電電力量を算出し、安定供給として発電の一次エネルギー自給率、経済性として燃料費と燃料費と設備費の合計、環境性として CO2 排出量によりそれぞれの特徴を分析した。

(5.2) さらに LFC 調整力と制御用蓄電池の適用効果を詳細評価するためのシナリオを選択し、蓄電池の条件、LFC 領域の需要、太陽光発電、風力発電の変動性と、発電機などの柔軟性としての LFC 調整力などの検討条件を設定した上で (5.3)、9つの電力システムにおいて電力システムの運用費と、需給調整力向上対策として導入する蓄電池の年経費の合計を最小化する蓄電池の最適設備量を探索し、多様な需給条件における蓄電池の導入効果を評価した。(5.4)

この結果、表 5.4-1 に示すように、蓄電池なしの場合と比較して、最適容量である全国 3.09GW の蓄電池の設置により火力発電のメリットオーダーに即した運用を確保し、それぞれの部分負荷運転による効率低下を緩和し、再生可能エネルギー発電の抑制をほぼ解消することにより、燃料費と蓄電池の設備費 310 億円/年を含めても燃料費との合計費用を 35,680 億円/年から 33,330 億円/年に 2,350 億円/年削減でき、CO2 排出量に大きな影響を与えないことが分かった。また、風力発電の導入量が減少した場合は蓄電池の必要量が減少すること、電力システムの需給条件の違いにより蓄電池の必要性、効果が異なることが分かった。

表 5.4-1 LFC 調整力評価による年費用等の比較 (ベースケース)

Case	Simple ELD				LFC capacity eval. w/o Battery			LFC capacity evaluation with optimum Battery					
	Annual Csst	Gen. Share		Fuel Cost	Annual Cost	Cost Increase		Battery	Annual cost			Cost Increase	
Item	Fuel*a	PV	Wind	Reduction*b	Fuel*c	c-a	(c-a)/b	Capacity	CAPEX	Fuel	Total*d	d-a	(d-a)/b
Area	BYen/year.	(%)	(%)	BYen/year.	BYen/year.	BYen/year	(%)	(GW)	BYen/y	BYen/y	BYen/y	BYen/y	(%)
Hokkaido	63	5.1	7.3	45	72	9	20.0	0.15	1	63	65	2	3.7
Tohoku	207	4.7	13.9	165	297	90	54.8	1.20	12	205	216	10	6.0
Tokyo	1,271	5.9	0.6	158	1,288	17	10.8	0.45	4	1,272	1,276	6	3.5
Chubu	542	5.4	1.1	77	552	10	13.4	0.22	2	542	545	3	3.9
Hokuriku	79	4.1	7.1	43	88	10	22.5	0.16	2	79	80	2	4.2
Kansai	587	5.4	3.3	111	596	9	8.5	0.22	2	587	589	2	2.2
Chugoku	176	5.2	5.7	65	197	21	32.1	0.16	2	176	178	2	2.8
Shikoku	84	2.6	6.4	27	95	11	39.5	0.08	1	84	85	1	3.4
Kyushu	294	4.6	9.3	122	383	90	73.3	0.45	4	294	299	5	4.0
Total	3,301	5.2	4.5	813	3,568	267	32.9	3.09	31	3,302	3,333	32	3.9

## 6. 結論

- 1) 太陽光発電と風力発電の導入による variability の増加と、それらの優先給電による系統発電機の運用量の低下による flexibility の低下により、部分負荷運転の増加による効率低下、効率が低く燃料費の高い発電機の追加運用による燃料費の増加ならびに、優先給電のもとでも避けられない変動する再生可能エネルギー発電の出力抑制により、電力システム全体で大きな運用費（燃料費）の増加が起ころうる。
- 2) これに対し、今回設定した 2030 年の電力需給シナリオのうち原子力の新規開発がなく全国で太陽光発電 53GW と風力発電 28GW を導入するベースシナリオにおいては、全国で 3.09GW の LFC 調整用蓄電池の導入により、火力発電のメリットオーダーに即した運用を確保し、それぞれの部分負荷運転による効率低下を緩和し、再生可能エネルギー発電の抑制をほぼ解消することにより、蓄電池の設備費 310 億円/年を含めても燃料費との合計費用を 2,350 億円/年削減することで経済性を大きく改善し、CO<sub>2</sub> 排出量に大きな影響を与えないことが分かった。
- 3) LFC 調整力に着目した検討においては、風力発電、太陽光発電の導入量およびそれらの LFC 領域の変動量が結果に大きな影響を与える。このため、風力発電、太陽光発電の電力システム別の導入量とそれらの地域分布を含めならし効果を反映したより精度の高い変動量の推定が重要である。
- 4) 本研究では個別に評価しなかったが、今後の電力システムの需給解析においては、従来の集中電源、家庭用・業務用熱併給発電などの分散電源の出力調整、需要の能動化による自動需要反応、定置式蓄電池などによる負荷平準化運用、電力システム間連系統線の運用、太陽光発電や風力発電の出力予測を含む電力システム運用の高度化の総合的な評価が必要である。