

系統影響について(補足資料)

【再生可能エネルギー電力を導入する場合の系統対策費用や需給調整への影響】(概要)

○将来の電力需給システムにおいて、再生可能エネルギー電力の大量導入に伴い、数分から20分程度の短周期の変動に対する周波数調整力の不足、ゴールデンウィークなどの軽負荷時に余剰電力の発生による火力発電の調整力不足などの懸念に対応し、電力需給バランス維持を図るために必要な系統対策費用は、
対策・施策中位ケースで約4.9兆円、
対策・施策高位ケースで約5.0兆円
と試算される。

○また、原子力の比率に応じて、電力需給バランスの維持のために、需要の能動化(電気自動車やヒートポンプの活用)、揚水発電の活用、必要に応じた太陽光発電や風力発電の出力抑制を考慮した上で定置型蓄電池が必要か否かを定量的に検証したところ、

原発0%、対策・施策高位ケース 及び 原発15%、対策・施策高位ケース
→不要

原発20%、対策・施策高位ケース
→2030年までに8,000億円程度の定置型蓄電池整備が必要

原発25%、対策・施策高位ケース
→2030年までに2.8兆円程度の定置型蓄電池整備が必要

と試算された。

○以上より、電力需給バランス維持を図るために必要な系統対策費用の概算は以下のとおり、

原発0%、高位・・・約5.0兆円
原発15%、高位・・・約5.0兆円
原発15%、中位・・・約4.9兆円
原発20%、中位・・・約5.7兆円(=4.9+0.8)
原発25%、中位・・・約7.7兆円(=4.9+2.8)

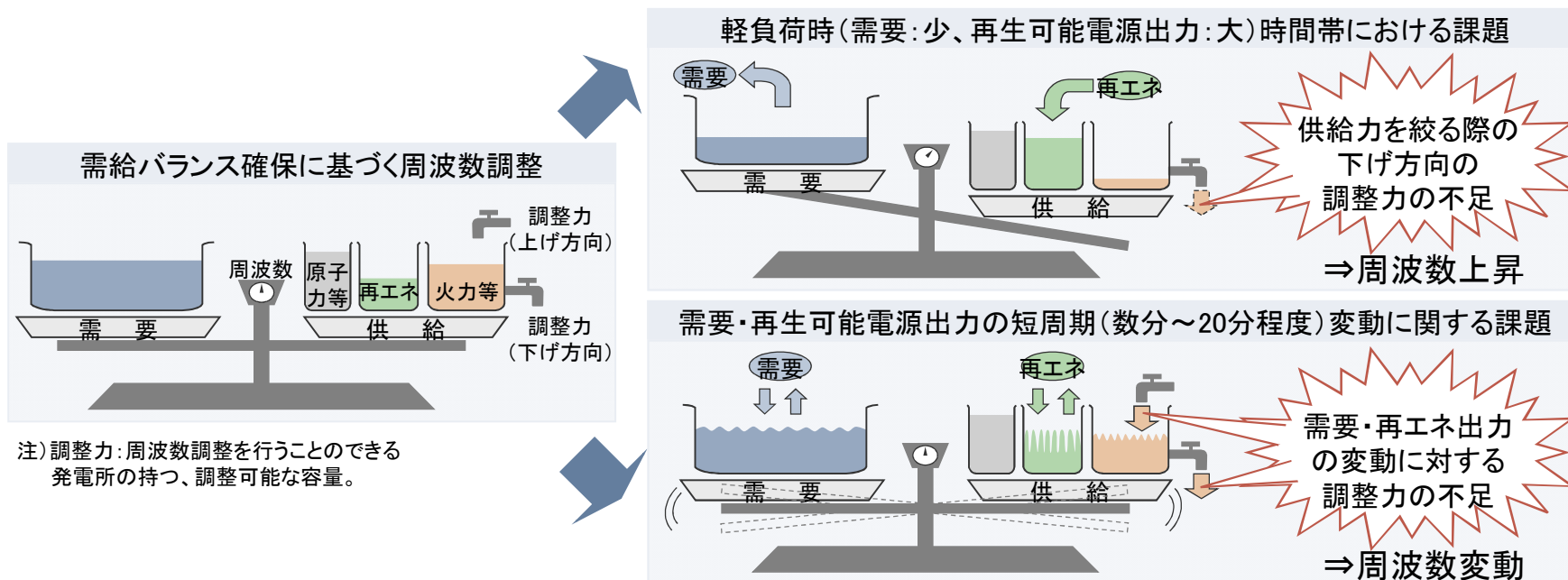
電力需給調整① 再生可能電源の大量導入に伴う課題

- 再生可能電源のうち、特に太陽光発電や風力発電は天候や時刻によって出力が変動し、これらが既存の電力系統に大規模に導入された場合、平常時・事故時、局所・系統全体といった各場面で**電力安定供給に影響**が生じる可能性が指摘されている。

	平常時	事故時
局所的課題	■ 電圧上昇、潮流変動	■ 単独運転
大局的課題	■ 周波数調整力の不足、余剰電力の発生	■ 系統擾乱の影響拡大、系統安定度の低下

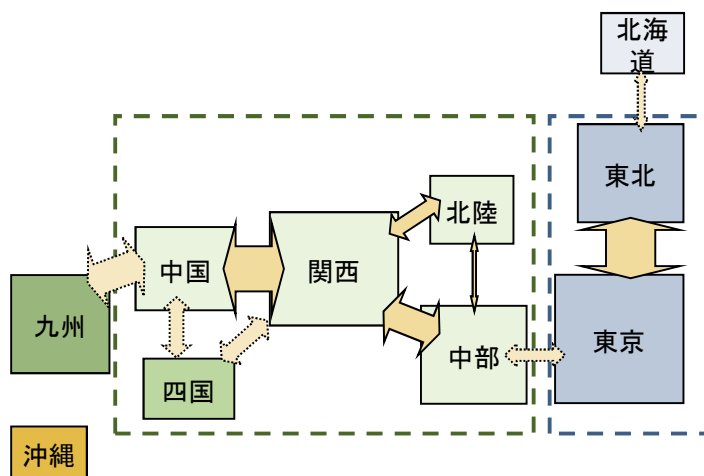
<平常時の大局的課題>

- 電力系統では、需要と供給のバランスが崩れると周波数が変化する。このため、常に需要と供給のバランスを維持するように系統は運用されている。
- 再生可能エネルギー電源の大量導入に伴い、数分～20分程度の短周期の変動に対する調整力不足、軽負荷時に供給力を絞る際の調整力不足といった、需給バランス維持の困難化が顕在化するおそれがある。
⇒**1時間レベルでの需給バランス**および**短周期変動に対する調整力**の両者を確保する必要がある。



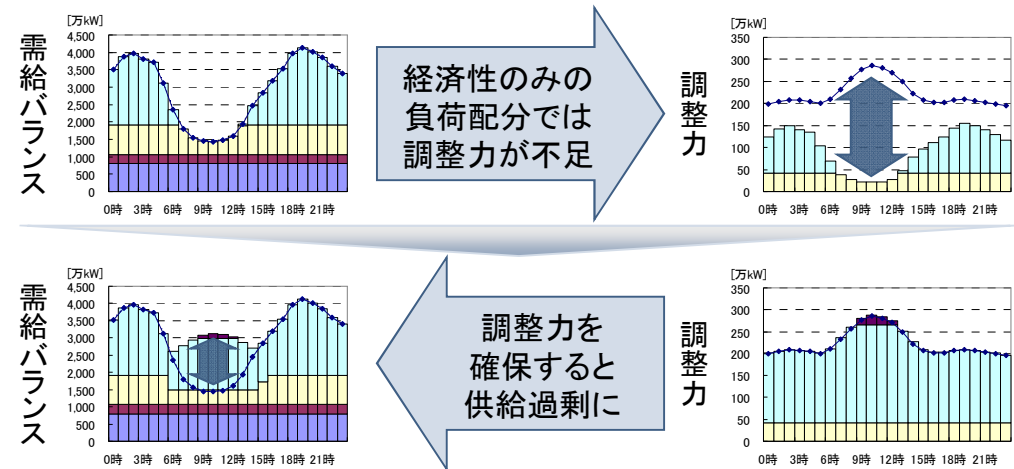
電力需給調整② 系統シナリオ定量分析の全体像

- 再生可能エネルギーの導入に応じた電力系統の将来見通しを検討。再生可能エネルギーの導入制約および対策シナリオを、以下の点から定量的に評価した。
 - 1) 系統対策なしで太陽光と風力がどこまで入るか
 - 2) 系統対策が必要となった場合、いかに安価な対策費用で導入を進められるか
- 主な特徴は以下のとおり。
 - ① **太陽光発電と風力発電の両者**が大規模に導入された状況を想定。
 - ② 再生可能エネルギー導入や電源構成等の地域差を考慮するため、全国大ではなく**地域ブロック別**に分析。
 - ③ 1時間レベルでの**需給バランス**および時々刻々の変動に対する**調整力**の制約を考慮し、系統運用を模擬。
(電圧上昇、潮流変動、系統安定度等の系統制約は対象外)
 - ④ 系統運用が困難な局面では、**需要の能動化、揚水発電の利用、再生可能電源の出力抑制の順**に対策を実施することを想定し、必要となる対策量を試算。



※同一ブロック内では、**連系線を活用した一体的運用**を想定(ただし地域間連系線の容量制約は考慮しない)

図 地域ブロック



需要の能動化、揚水発電の利用、再生可能電源の出力抑制

出典) 荻本和彦, 池田裕一, 片岡和人, 池上貴志, 野中俊介, 東仁「長期の電力需給計画における再生可能エネルギー大量導入の課題解決の可能性検討」エネルギー・資源学会エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス(2012年)の手法に基づき系統運用を模擬

図 系統運用計画の考え方(イメージ)

電力需給調整③ 分析条件・結果

- 太陽光発電および風力発電の地域別導入量、出力特性等の一定の前提条件に基づき、太陽光発電および風力発電の導入量 **高位ケースにおける2030年の系統運用** を分析した。
 - 全国平均では、特段の対策を講じない場合には再生可能電源の出力を約7%抑制する必要があるが、需要の能動化（EV,HPの活用）、揚水発電の積極活用により、**出力抑制量を5%以下に軽減** できる見込み。
 - 北海道では、需要能動化および揚水発電の活用時においても、再生可能電源の出力抑制必要量は約10%となる見込みであり、域内での需要拡大、系統の増強又は他地域での風力発電の優先的な整備が必要と見込まれた。他方で、東日本、中日本では、出力抑制必要量は5%程度又はそれ以下と見込まれ、風力発電を更に普及させる余地があることが見込まれた。

表 前提条件

分析年、地域単位	■ 2030年時点、全国5地域ブロック	
需要	地域・時刻別需要	■ 現状実績＋能動化機器分
	能動化機器	■ ヒートポンプ給湯機1,430万台、電気自動車600万台 ■ うち能動化対象3割
	短周期変動	■ 当該時刻需要比3%
再生可能電源	導入量	■ 太陽光: 10,060万kW(高位ケース)、地域別の電力需要量で地域配分 ■ 風力: 3,252万kW(高位ケース)、導入ポテンシャル等を基に地域配分注)
	地域・時刻別出力	■ 太陽光: 2010年の都道府県別×1時間別の利用率推計値の加重平均 ※利用率推計値の出典: 大関, Joao, 高島, 荻本「太陽光発電システムの代表的な発電量データセットに関する検討」電気学会新エネルギー・環境メタボリズム社会・環境システム合同研究会(2011年) ■ 風力: 将来の大規模導入時を想定した地域別×1時間別の利用率推計値 ※出典: 荻本, 池上, 片岡, 斉藤「電力需給解析のための全国風力発電量データの収集と分析」電気学会全国大会(2012年) ※2010年全国43ウインドファームの実績発電量に基づき、将来の大規模導入時における均し効果を含めた電力システム別の風力合計発電量の想定
	短周期変動	■ 太陽光: 当該時刻出力比10% ■ 風力: 設備容量比15%
従来電源	設備容量	■ 火力: 現状設備＋一定の設備増強を考慮(供給予備率5%の確保) ■ 流込水力: 現状設備 ■ 揚水: 現状設備＋建設中発電所
	調整力	■ 火力: 定格容量比5% ■ 揚水: 発電時出力比20%(可変速機は揚水時にも調整力あり)

注) 需給調整の検証のための風力発電の地域別想定導入量は、導入ポテンシャル等を基に機械的な計算で設定。実際には地域の導入ポテンシャル及び系統設備容量を考慮して、より導入に有利な地点から導入が進むことが想定されることに留意が必要。

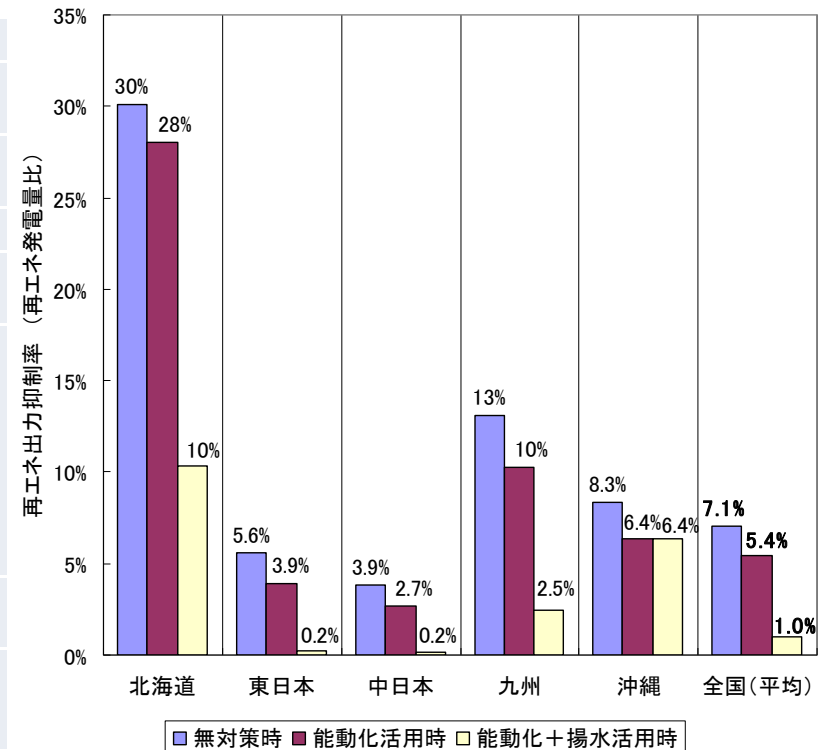


図 再生可能電源の出力抑制量 (再生可能電源導入量: 高位ケース)

電力需給調整④ 分析から得られる示唆・留意点

- モデルの考え方、パラメータ設定等、引き続きの検証が必要であるが、現時点で得られる示唆は以下のとおり。
 - 太陽光、風力の大量導入時の出力特性は、現時点では不確実性を伴う。
 - 系統影響評価および対策検討の精緻化のためには、**太陽光、風力の出力データ計測・解析**の進展が求められる。
 - 需給バランスおよび調整力の確保対策として、**連系線の活用による複数系統の一体運用は大きなポテンシャル**を有する。
 - ただしこれを実現するためには、地域間連系線の容量制約、事故時の影響波及等の各種課題への対応が必要。
 - **需要の能動化、揚水発電の積極活用**により、**再生可能電源の出力抑制**の必要量を低減することが可能。
 - 能動化、出力抑制を実運用に活かすためには、需要家等の**受容性**を高めるとともに対策の**実効性**を高めることが重要。
 - そのためには、能動化や出力抑制のための必要技術や、需給制御に留まらない新サービスを付加した製品の開発・普及、関連制度の整備を進めることが求められる。
 - 系統側の対策として、**火力の調整力増強に向けた技術開発やより安価な系統連系線の技術開発**を実施することが必要。**系統安定化対策の必要のある地域に工場、データセンター等の立地を促すような誘導施策の検討も必要。**
- なお、本分析の留意点は以下のとおり。
 - 調整力確保のために低出力で運転する火力発電機が増加すると、発電効率が低下し、燃料費やCO2排出は増加することとなる。これらの影響評価については今後の検討課題。
 - 揚水発電の積極活用を想定したが、実際には定期点検や貯水池容量、週間運用等を考慮する必要がある。
 - これらを考慮すると、揚水活用による需要創出量は下振れするため、再エネ出力抑制量は大きくなる可能性。
 - 系統制約として需給バランスおよび調整力に注目したが、実運用においては、電圧上昇、潮流変動、系統安定度等の制約も存在。
 - これらを考慮すると、再生可能電源の出力抑制の必要量は大きくなる可能性があり、制約を解消するためには系統対策が必要となる可能性。

電力需給調整⑤ 系統対策費用の試算結果

- 太陽光発電および風力発電の大量導入の実現に必要な系統対策費用を簡易試算した。対策オプションの違いによる負担影響を把握するため、本需給調整分析の想定に基づくケースと、既往検討に基づくケースを設定し比較した。
- **同一ブロック内での系統一体運用の実施、需要能動化、出力抑制の必要に応じた実施**を通じ、定置用蓄電池等の導入時期を更に導入が進んだ段階まで遅らせることにより、**系統対策費用を大幅に抑制**することが可能。

系統対策費用の試算条件

		既往検討に基づくケース	本分析に基づくケース
コンセプト		■ 太陽光、風力のそれぞれ一方のみの大規模導入を想定した2つの独立したシナリオ	■ 太陽光、風力の両者の大規模導入を想定し、対策の相乗効果等を考慮したシナリオ
シナリオ	太陽光	■ 次世代送配電ネットワーク研究会(資源エネルギー庁、2009年度)による「出力抑制+需要創出・活用+系統側蓄電池シナリオ」に対して、シナリオの継続延長、年次展開を想定	■ 同一ブロック内での系統一体運用の実施、需要能動化、出力抑制の必要に応じた実施 を通じ、定置用蓄電池の導入時期を後ろ倒し (自動車用市場の先行等による蓄電池価格の低減により、定置用蓄電池の導入に要する社会費用の抑制が期待される)
	風力	■ 日本風力発電協会・風力発電事業者懇話会による投資額試算(2009年)の既設連系線利用シナリオに対して、同シナリオの年次展開を想定	■ 系統シナリオ定量分析結果に基づき、2030年時点においては、左記ケースに対して 蓄電池、揚水新設を不要化する一方、電圧変動対策としてSVCを増強 。
費用項目	太陽光	■ 配電対策(柱上変圧器、配電系統用SVC)、 蓄電池 、太陽光発電・需要制御装置、火力調整運転	■ 配電対策(柱上変圧器、配電系統用SVC)、太陽光発電・需要制御装置、火力調整運転、 送電系統用SVC 、地域間連系線、気象予測等活用系統運用システム
	風力	■ 風力関連: 蓄電池 、地域間連系線、 揚水発電新規建設 、気象予測等活用系統運用システム	

系統対策費用の試算結果

	既往検討に基づくケース		本分析に基づくケース	
	2012~2030年	2012~2030年	2012~2020年	2012~2030年
低位	1.5兆円(1,660億円/年) うち蓄電池0.8兆円(880億円/年)	9.1兆円(4,800億円/年) うち蓄電池5.7兆円(3,010億円/年)	1.6兆円(1,770億円/年)	3.1兆円(1,640億円/年)
中位	2.7兆円(3,000億円/年) うち蓄電池1.6兆円(1,800億円/年)	17.2兆円(9,050億円/年) うち蓄電池11.9兆円(6,270億円/年)	1.9兆円(2,130億円/年)	4.9兆円(2,560億円/年)
高位	5.6兆円(6,200億円/年) うち蓄電池4.1兆円(4,520億円/年)	19.3兆円(10,170億円/年) うち蓄電池13.0兆円(6,850億円/年)	2.3兆円(2,530億円/年)	5.0兆円(2,650億円/年)

電力需給調整⑥ 【参考】系統対策費用の内訳(1)

系統対策費用の試算結果(2012～2020年)

		既往検討に基づくケース			本分析に基づくケース		
		低位	中位	高位	低位	中位	高位
太陽光	配電対策 (柱上変圧器、 配電系統用SVC)	0.2兆円 (260億円/年)	0.4兆円 (400億円/年)	0.5兆円 (570億円/年)	0.2兆円 (260億円/年)	0.4兆円 (400億円/年)	0.5兆円 (570億円/年)
	太陽光発電・ 需要制御装置	0.3兆円 (360億円/年)	0.5兆円 (550億円/年)	0.7兆円 (770億円/年)	0.3兆円 (360億円/年)	0.5兆円 (550億円/年)	0.7兆円 (770億円/年)
風力	送電系統用SVC	—	—	—	0.03兆円 (32億円/年)	0.04兆円 (40億円/年)	0.04兆円 (42億円/年)
共通	蓄電池	0.8兆円 (880億円/年)	1.6兆円 (1,800億円/年)	4.1兆円 (4,520億円/年)	—	—	—
	火力調整運転	0.1兆円 (120億円/年)	0.2兆円 (190億円/年)	0.2兆円 (260億円/年)	0.02兆円 (24億円/年)	0.03兆円 (36億円/年)	0.05兆円 (51億円/年)
	揚水発電 新設	0.02兆円 (18億円/年)	0.04兆円 (40億円/年)	0.04兆円 (45億円/年)	—	—	—
	地域間連系線・ 地域内系統増強	—	0.004兆円 (4億円/年)	0.004兆円 (5億円/年)	0.9兆円 (1,080億円/年)	0.9兆円 (1,080億円/年)	0.9兆円 (1,080億円/年)
	気象予測等活用 系統運用システム	0.02兆円 (18億円/年)	0.02兆円 (20億円/年)	0.02兆円 (20億円/年)	0.02兆円 (18億円/年)	0.02兆円 (20億円/年)	0.02兆円 (20億円/年)
合計		1.5兆円 (1,660億円/年)	2.7兆円 (3,000億円/年)	5.6兆円 (6,200億円/年)	1.6兆円 (1,740億円/年)	1.8兆円 (2,040億円/年)	2.1兆円 (2,350億円/年)

注)四捨五入の関係で必ずしも合計値と一致しない

電力需給調整⑦ 【参考】系統対策費用の内訳(2)

系統対策費用の試算結果(2012～2030年)

		既往検討に基づくケース			本分析に基づくケース		
		低位	中位	高位	低位	中位	高位
太陽光	配電対策 (柱上変圧器、 配電系統用SVC)	0.6兆円 (320億円/年)	1.0兆円 (540億円/年)	1.1兆円 (560億円/年)	0.6兆円 (320億円/年)	1.0兆円 (540億円/年)	1.1兆円 (560億円/年)
	太陽光発電・ 需要制御装置	0.8兆円 (450億円/年)	1.4兆円 (750億円/年)	1.5兆円 (760億円/年)	0.8兆円 (450億円/年)	1.4兆円 (750億円/年)	1.5兆円 (760億円/年)
風力	送電系統用SVC	—	—	—	0.1兆円 (44億円/年)	0.1兆円 (61億円/年)	0.1兆円 (69億円/年)
共通	蓄電池	5.7兆円 (3,010億円/年)	11.9兆円 (6,270億円/年)	13.0兆円 (6,850億円/年)	—	—	—
	火力調整運転	0.3兆円 (150億円/年)	0.5兆円 (250億円/年)	0.5兆円 (260億円/年)	0.1兆円 (29億円/年)	0.1兆円 (49億円/年)	0.1兆円 (51億円/年)
	揚水発電 新設	0.4兆円 (230億円/年)	0.9兆円 (490億円/年)	1.3兆円 (710億円/年)	—	—	—
	地域間連系線・ 地域内系統増強	1.2兆円 (620億円/年)	1.4兆円 (740億円/年)	1.9兆円 (1,020億円/年)	1.5兆円 (780億円/年)	2.2兆円 (1,140億円/年)	2.3兆円 (1,180億円/年)
	気象予測等活用 系統運用システム	0.03兆円 (16億円/年)	0.04兆円 (19億円/年)	0.04兆円 (21億円/年)	0.03兆円 (16億円/年)	0.04兆円 (19億円/年)	0.04兆円 (21億円/年)
合計		9.1兆円 (4,800億円/年)	17.2兆円 (9,050億円/年)	19.3兆円 (10,170億円/年)	3.1兆円 (1,640億円/年)	4.9兆円 (2,560億円/年)	5.0兆円 (2,650億円/年)

注)四捨五入の関係で必ずしも合計値と一致しない

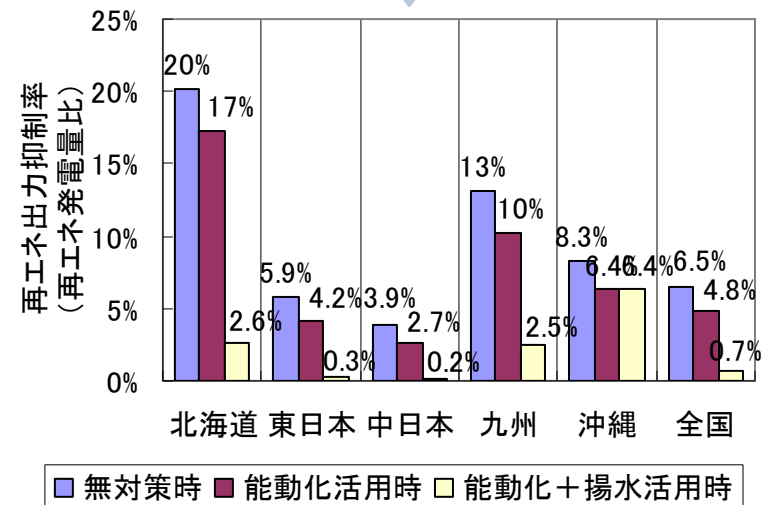
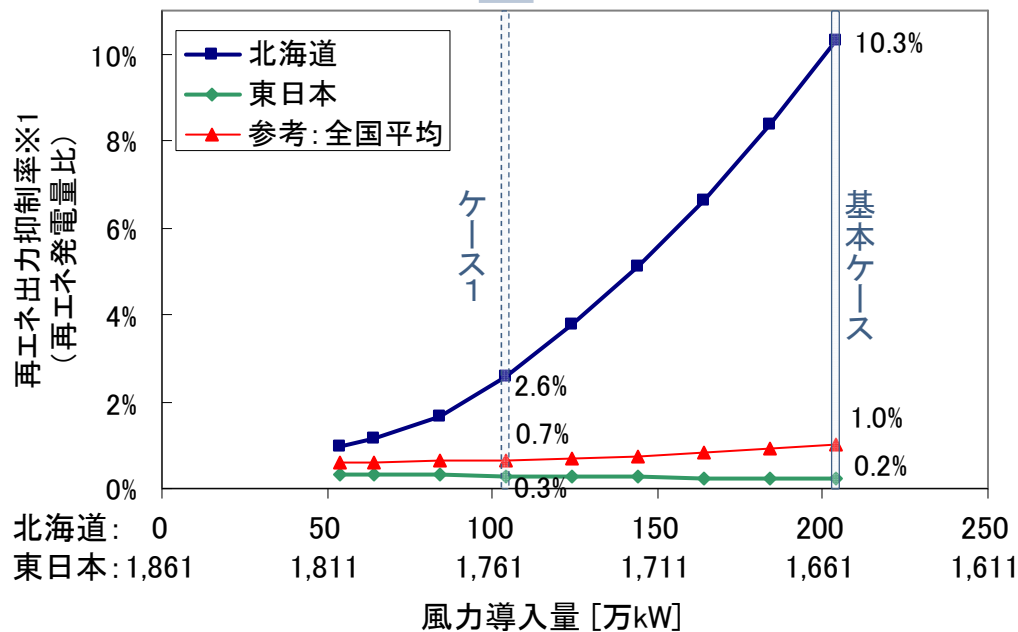
電力需給調整⑧ 【参考】系統対策費用の試算の前提

		既往検討に基づくケース	本分析に基づくケース
太陽光	配電対策 (柱上変圧器、 配電系統用SVC)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 柱上変圧器(20万円/台)を住宅用太陽光発電5~8軒ごとに設置。 ■ SVC(1,500万円/台)をバンクあたり1台設置。 	■ 同左
	太陽光発電・ 需要制御装置	<ul style="list-style-type: none"> ■ 太陽光1,000万kW導入時点から出力抑制機能付パワーコンディショナ(コスト増分0.5万円/台)を設置。 ■ 自律制御用インターフェース(3万円/台)を太陽光導入住宅の約6割に設置。 ■ 制御システムを構築。必要対策量は太陽光の導入量に比例すると仮定。単価(1.1万円/kW)は既往検討より簡易推計(太陽光2,800万kW導入時0.30兆円)。 	■ 同左
風力	送電系統用SVC	—	<ul style="list-style-type: none"> ■ 対策量は風力の導入量に比例すると仮定。風力容量あたり対策費(4.5百万円/MW)は新エネ部会資料より簡易推計(風力300万kW導入時135億円)。
共通	蓄電池	<ul style="list-style-type: none"> ■ 太陽光1,000万kW導入時点からLFC容量対策用としての蓄電池を導入開始(必要対策量:0.8kWh/kW)。2,900万kW導入時点から余剰電力対策用として蓄電池の追加導入を開始(必要対策量:3,350万kW以前は0.4kWh/kW、3,350万kW以降は4kWh/kW)。PV追加容量あたり電池必要追加量は既往検討より簡易推計。蓄電池単価は4万円/kWhで一定。 ■ 風力に蓄電池(出力容量:風力容量の20%、蓄電容量:1時間分)を併設。風車容量あたり対策費は50百万円/MW。 	—
	火力調整運転	<ul style="list-style-type: none"> ■ 対策量は太陽光の導入量に比例すると仮定。太陽光容量あたり対策費(0.53万円/kW)は既往検討より簡易推計(太陽光2,800万kW導入時0.15兆円) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 対策量は太陽光の導入量に比例すると仮定。太陽光容量あたり対策費(0.10万円/kW)はコスト等検証委員会より設定。
	揚水発電 新設	<ul style="list-style-type: none"> ■ 揚水(200百万円/MW)を風力の導入量に応じて新設。対策量は既往検討(系統設備容量に対する比率等による推計)を踏襲。 	—
	地域間連系線・ 地域内系統増強	<ul style="list-style-type: none"> ■ 地域間連系線(直流300百万円/MW、交流400百万円/MW)を風力の導入量に応じて増強。対策量は既往検討(系統設備容量に対する比率等による推計)を踏襲。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 地域間連系線を風力の地域間潮流に応じて増強。地域間潮流は、風力の地域別導入量と、系統容量比から仮定した風力の地域別受電量との差より推計。ただし東西周波数変換所を跨いだ融通は想定せず。 ■ 地内送電線を風力の導入量に応じて増強。 ■ いずれも、単価は地域間連系線等の強化に関するマスタープラン研究会より設定。
	気象予測等活用 系統運用システム	<ul style="list-style-type: none"> ■ 対策費用は風力の導入量に関係すると仮定。風力容量あたり対策費は既往検討(100百万円/MW)を踏襲。 	■ 同左

電力需給調整⑨ 風力導入地域に関する感度分析

- 需給調整の検証のための風力の地域別想定導入量は、導入ポテンシャル等を基に機械的な計算で設定したものである。そこで、風力の導入地域の違いによる影響を検証するため、基本ケースに対して、風力導入量の全国計は一定として、北海道と東日本との地域按分を変化させた分析を実施した。
 - 北海道の導入量が約100万kW、東日本の導入量が約1,760万kWの場合(ケース1)、北海道の出力抑制率は約2.6%へと低減するのに対して、東日本の出力抑制率は約0.3%と微増に留まる。その結果、全国平均の出力抑制率は約0.7%へと低減する見込み。

ケース1 (北海道:約100万kW、東日本:約1,760万kW)の場合



※1) 需要の能動化、揚水発電の積極活用を実施した上で必要となる、当該地域における出力抑制率

※2) 全国および他地域の風力導入量は基本設定と同値と設定(全国:3,252万kW、中日本:857万、九州:493万kW、沖縄:41万kW)

風力発電の導入地域の違いに応じた出力抑制必要量(再生可能電源導入量:高位ケース)

電力需給調整⑩ エネルギーミックスに関する感度分析：前提

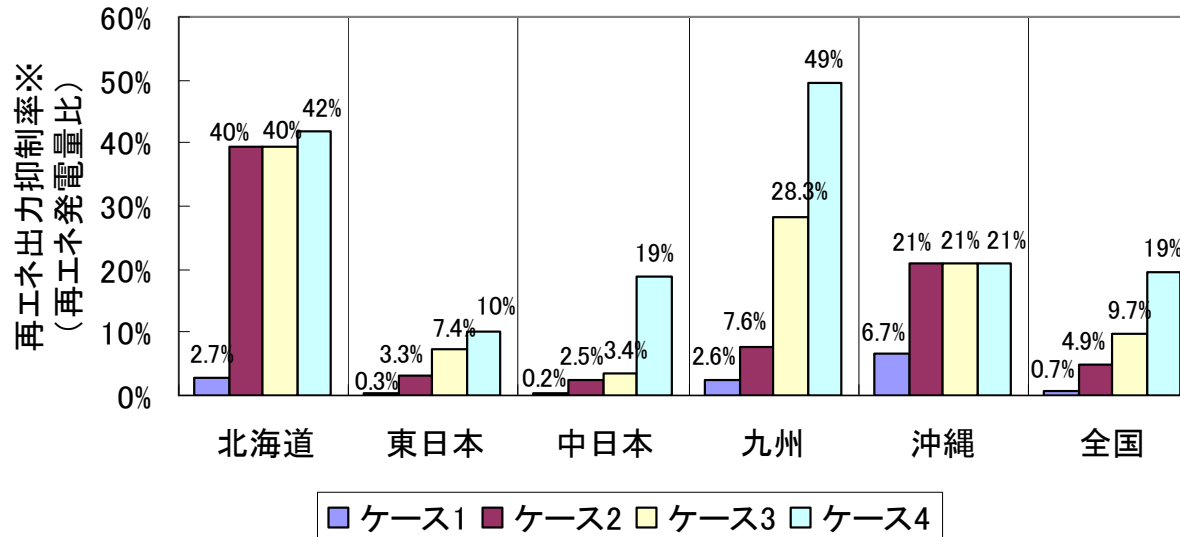
- エネルギーミックスの違いによる影響を検証するため、前頁の風力の地域按分を変化させたケース(ケース1)に対して、自家発電および原子力の見通しの異なるケース(ケース2~4)を設定し、分析を実施した。

主な前提条件

		基本ケース	エネルギーミックスに関する感度分析用ケース			
			ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
電力需要		■ 現状実績+能動化機器分(ヒートポンプ給湯機1,430万台、電気自動車600万台) ⇒約1兆kWh				
発電設備	自家発	■ 現状実績	■ 需要量比15%(発電量ベース)			
	原子力	■ 需要量比15%	■ 需要量比20%	■ 需要量比25%	■ 需要量比35%	
	火力	■ 火力:現状設備+一定の設備増強を考慮(供給予備率5%の確保)				
	水力	■ 流込水力:現状設備 ■ 揚水:現状設備+建設中発電所				
	再エネ	容量	■ 太陽光:10,060万kW(高位ケース) ■ 風力:3,252万kW(高位ケース)			
風力地域配分		■ ポテンシャル等による機械的配分	■ 全国計は基本ケースと同値として、北海道と東日本との地域配分を見直し(北海道:約100万kW、東日本:約1,760万kW)			
需給調整対策		■ 現行の運用手法では需給調整が困難な局面において、需要の能動化、揚水発電の利用、再生可能電源の出力抑制の順に対策を実施				

電力需給調整⑪ エネルギーミックスに関する感度分析:結果

- 原子力比率が高まるほど、調整力を有する各種火力発電の運用が低下するため、需給調整対策が必要となる。
- 需要の能動化、揚水発電の積極活用を実施した上で必要となる再生可能電源の出力抑制率は、ケース4では全国平均で約2割の見込み。



※需要の能動化、揚水発電の積極活用を実施した上で必要となる、当該地域における出力抑制率

エネルギーミックスの違いに応じた出力抑制必要量(再生可能電源導入量:高位ケース)

ケース2~4では、北海道等において出力抑制必要量が5%を超過

需給調整対策としての蓄電池利用オプションの影響を評価

電力需給調整⑫ 需給調整対策としての蓄電池オプションの検討

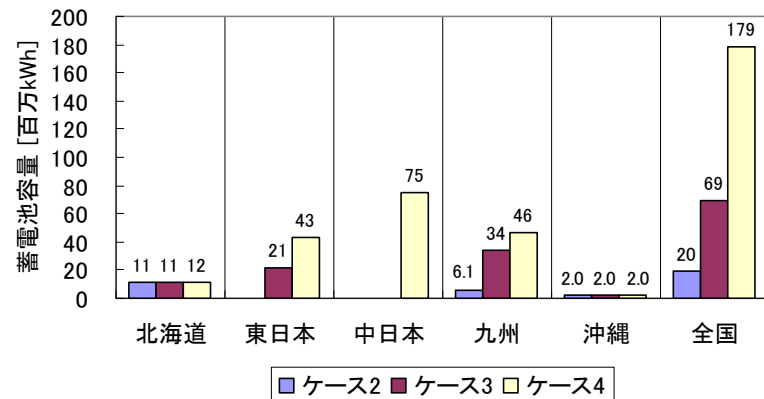
- ケース2～4に対して、追加的対策として蓄電池利用を想定した。再生可能電源の出力抑制の受忍限度を5%（年平均）とし、超過分を蓄電池で対応するものとした。
- 必要となる蓄電池容量は0.2～1.8億kWh程度の見込みであり、蓄電池費用は0.8～7.1兆円程度の見込み。

現行運用手法において需給調整困難な局面の発生

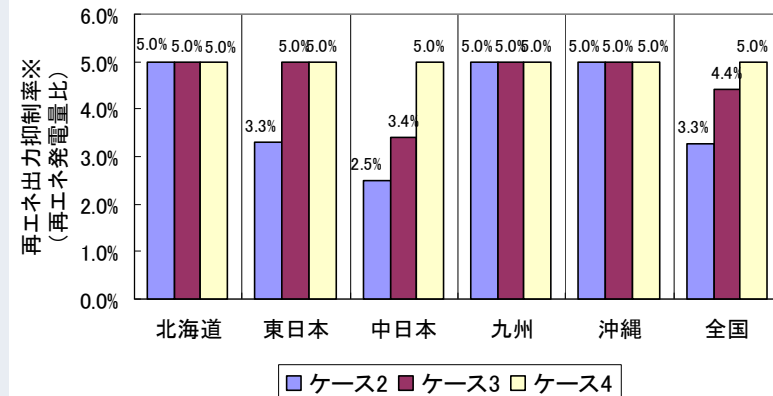
需要の能動化、揚水発電の利用による対応

再生可能電源の出力抑制
(受忍限度:年平均5%)

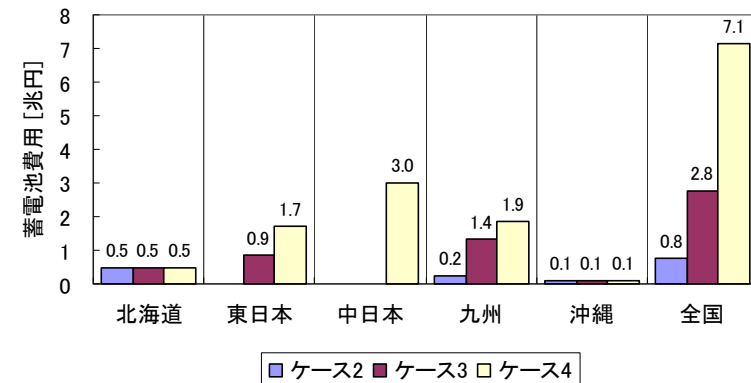
蓄電池の利用
(出力抑制の受忍限度超過分への対応)



蓄電池導入量



蓄電池導入時における出力抑制必要量



※蓄電池単価は4万円/kWh(コスト等検証委員会報告書におけるNaS電池試算価格)を設定

蓄電池導入費用