

## エネルギー供給WG(補足説明資料2)

地球温暖化対策は、中長期的な気候変動被害を防ぐという観点から、全ての再生可能エネルギー等(風力、地熱、中小水力利用、バイオマス利用、コジェネなど)について、最大限の取組を講ずる必要があるが、ここでは質問・議論があった系統の安定性の検証を中心に補足説明を行う。

## 【指摘事項①】

再生可能エネルギーが大量に普及した際の系統への影響について、分析がされていないのではないか。

## 【ポイント】

○ 再生可能エネルギーが大量に普及した際の系統への影響については、2030年時点までに想定される影響についての分析を定量的に行った。

[系統安定についての考え方]

○ 太陽光を導入した場合の系統安定についての課題としては、

- ・電力会社単位での課題として「周波数調整力の不足、余剰電力の発生」、
- ・地区レベルの課題として「末端の配電網での電圧上昇」が挙げられる。

○ 前者の課題については、2030年に太陽光発電を約1億kW、風力を約3,000万KW導入した際の系統への影響について定量的にモデル分析により評価を行い、大量の蓄電池を設置しなくても

- ・ ブロック単位での一体運用（必要に応じ連系線を強化）、
- ・ 既存の揚水発電の活用
- ・ 電気自動車やヒートポンプ式給湯等の活用による需要の能動化（電力需要を電力供給の多い時間にシフト）、
- ・ 必要に応じた再生可能エネルギーの出力抑制

により対応可能と考えられることを分析している。

○ 後者の課題については、太陽光発電と風力発電を合わせた導入量に応じて2012年から2030年までに3～5兆円の系統対策費用が見込まれることを分析している。

# 電力需給調整⑤ 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携線の技術開発**を実施することが必要。**供給力のある地域に工場、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。

# 1. はじめに:再生可能電源の大量導入に伴う課題(1/2)

## 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**出力が自然条件に依存**しており、これらが既存の電力系統に**大規模に導入された場合、電力安定供給に影響が生じる可能性**が指摘されている。
- 主に風力を中心とした再生可能電源の大規模導入が進む欧州(ドイツ、スペイン等)においても、需給バランスを調整するための対応が徐々に必要となってきた。
  - ドイツでは、風力余剰出力の地域間融通、出力抑制等、スペインでは、再生可能エネルギーの出力常時把握・出力抑制等により対応の方向。

事象		概要	
局所的課題	平常時	電圧上昇	太陽光発電から配電系統への逆潮流の増大に伴い、配電電圧の管理(低圧101±6Vの調整)が困難となる。
		潮流変動	自然変動電源の出力変動により、潮流変動や潮流過負荷が生じる。
	事故時	単独運転	現行の単独運転検出方式では、複数の単独運転検出信号が相互干渉することにより、系統停電時の検出機能の動作遅れや不作動が発生する恐れがある。
大局的課題	平常時	周波数調整力の不足	自然変動電源の出力変動幅の拡大に伴うLFC容量不足(数分~20分程度の短周期変動に対する調整力の不足)が発生し、周波数変動量が拡大する。
		余剰電力の発生	火力発電の最低出力制約等により、下げ代不足(軽負荷時に計画的に供給力を絞る際の下げ方向の調整力の不足)が発生し、発電量が需要を上回り、周波数変動量が拡大する。
	事故時	系統擾乱の影響拡大	系統事故による瞬低発生時に分散型電源が一斉解列し、周波数低下幅が拡大する。
		系統安定度の低下	火力発電の稼働容量の低下に伴い、同期化力(他の発電機と同じ速度で回転し、状態を維持しようとする力)が低下する。

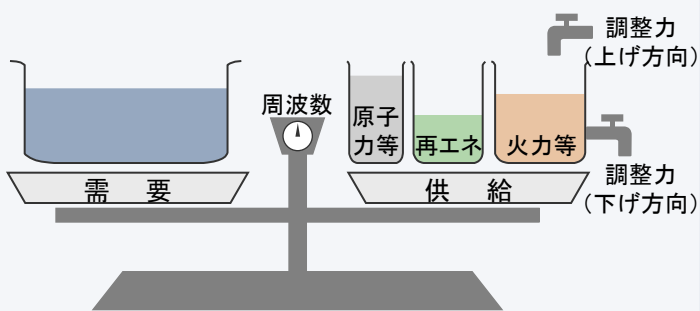
# 1. はじめに:再生可能電源の大量導入に伴う課題(2/2)

## <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に変化する。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恐れがある。

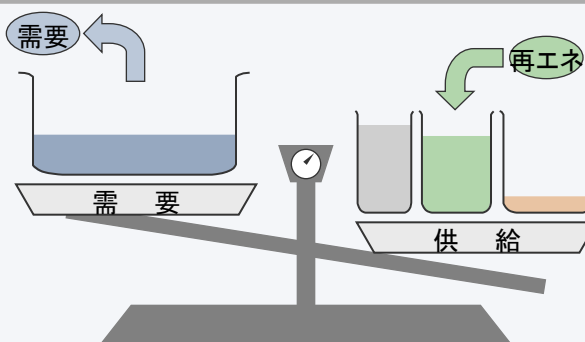
⇒1時間レベルでの需給バランスおよび短周期変動に対する調整力の両者を確保する必要がある。

## 需給バランス確保に基づく周波数調整



注) 調整力: 周波数調整を行うことのできる発電所の持つ、調整可能な容量。

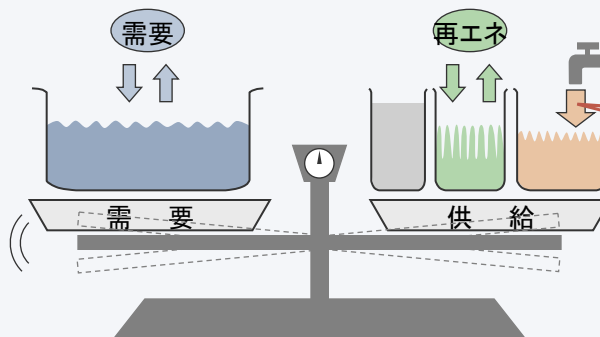
## 軽負荷時(需要:少、再生可能電源出力:大)時間帯における課題



供給力を絞る際の  
下げ方向の  
調整力の不足

⇒周波数上昇

## 需要および再生可能電源出力の短周期(数分～20分程度)変動に関する課題



需要・再エネ出力  
の変動に対する  
調整力の不足

⇒周波数変動

## 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。

- 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**のいずれか一方ではなく、**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**の観点から、系統制約を分析。  
(電圧上昇、潮流変動、系統安定度等の系統制約は検討の対象外)
- ④ 系統運用が困難な局面では、PHV車、電気自動車等の充放電機能の活用やヒートポンプ給湯機等のマネジメントによる**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。

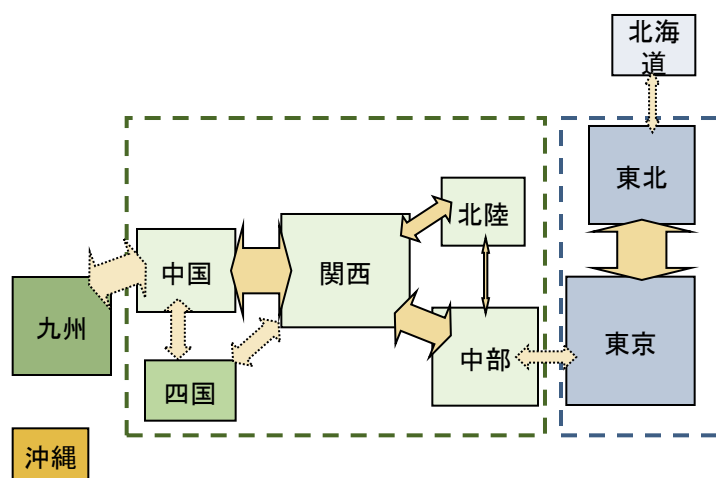


図 地域ブロック

※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)

### 電力需要、再生可能電源の発電量の見通し

- 電力需要・自然変動電源(太陽光、風力)出力の時刻パターンを想定
- 系統側から見た負荷(=自然変動電源出力を控除した需要)を推計

### 系統電源の運用: 火力発電の運用分析

- 一次配分: 1時間レベルでの需給バランス確保の観点から、火力発電の運用をモデル化(経済負荷配分)。
- 二次配分: 時々刻々の変動に対する調整力の確保状況を検証。必要に応じて、火力発電の出力抑制、ユニット追加により調整力を増強。

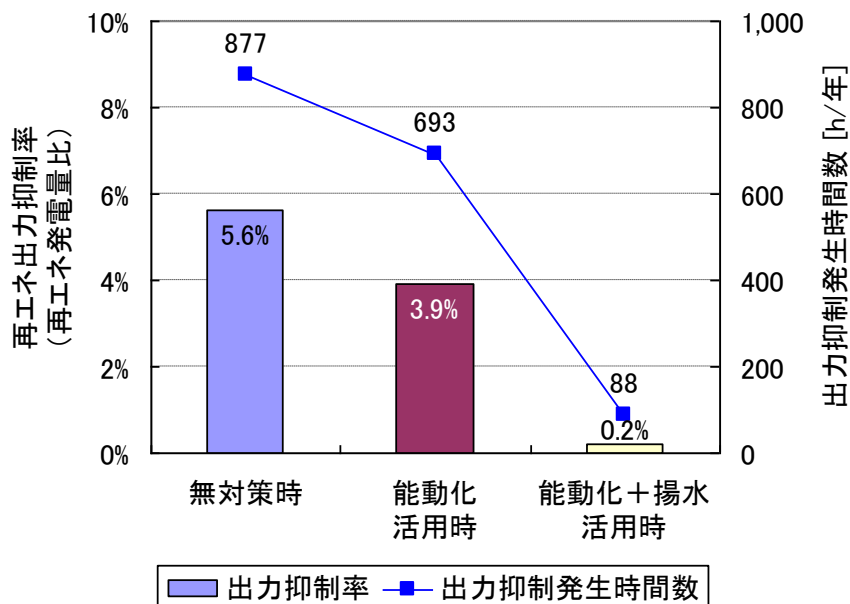
### 対策必要量の検証

- 火力発電の運用だけでは需給バランスおよび調整力が確保できない場合、系統負荷の平準化によりバランスを確保することを想定。
- 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必要量を試算。

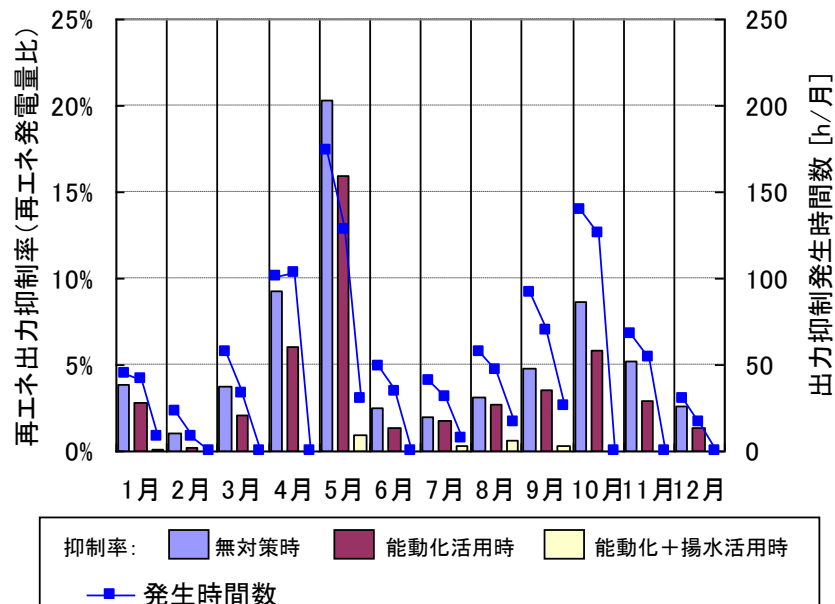
図 分析フローの概要

## 8. 分析1: 東日本 年間分析結果まとめ

- 本試算条件においては、系統運用が困難な局面が発生。
  - 特段の対策を講じない場合、再生可能電源の出力抑制が必要となるのは年間に900時間弱。出力抑制の必要量は、再生可能電源の年間発電量の約6%に相当。
  - これに対して、**需要の能動化、揚水発電の積極活用**を行うことにより、再生可能電源の**出力抑制率は約0.2%へと低減**。
- ⇒ 需要の能動化、揚水発電の積極活用は、需給バランスおよび調整力の確保対策として大きなポテンシャルを有する。



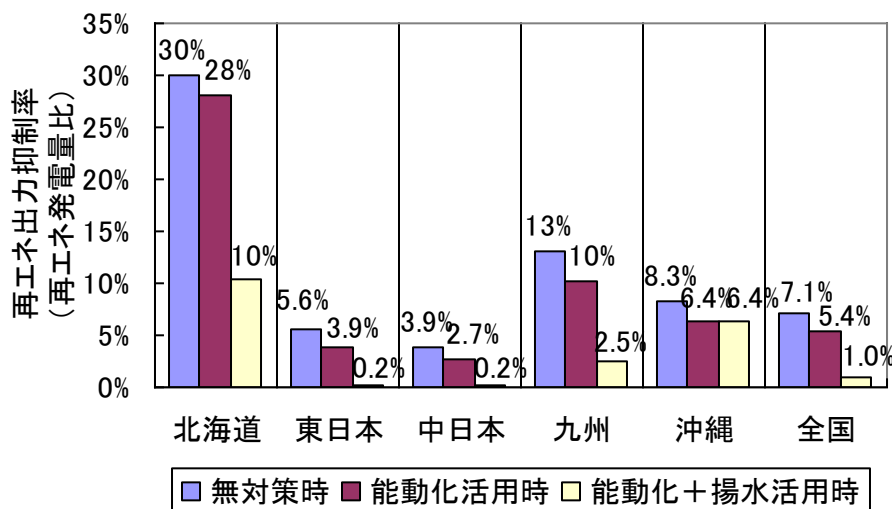
出力抑制の発生状況: 東日本・年間計  
(再生可能電源導入量: 高位ケース)



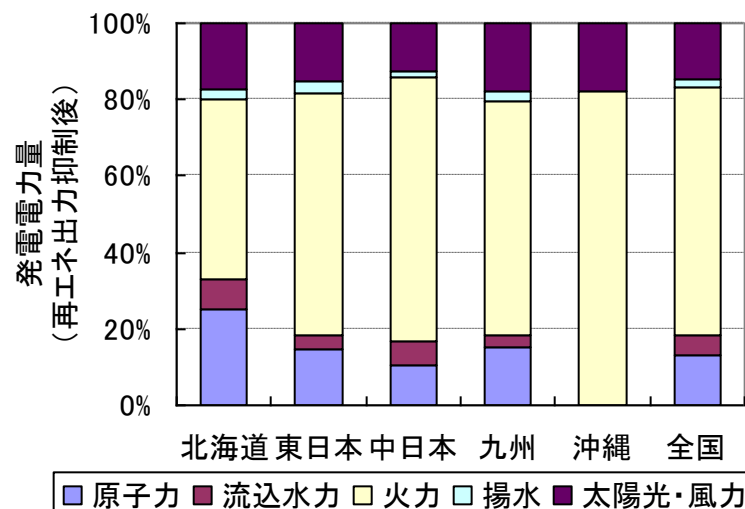
出力抑制の発生状況: 東日本・月別  
(再生可能電源導入量: 高位ケース)

# 10. 分析2:地域別分析 基本ケース

- 全5地域(北海道、東日本、中日本、九州、沖縄)について分析を行い、全国大での系統影響を把握。
    - 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、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、九州では、特段の対策を講じない場合には再生可能電源の出力をそれぞれ約30%、13%抑制する必要がある。対策実施により、九州では抑制量は約2%へと軽減されるが、北海道では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**または**他地域での風力発電の優先的な整備**等が必要と見込まれた。
    - 一方、東日本、中日本では、対策実施後の出力抑制必要量は1%未満にとどまる見込み。
- なお、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したものであり、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。



再生可能電源の出力抑制必要量  
(再生可能電源導入量:高位ケース)

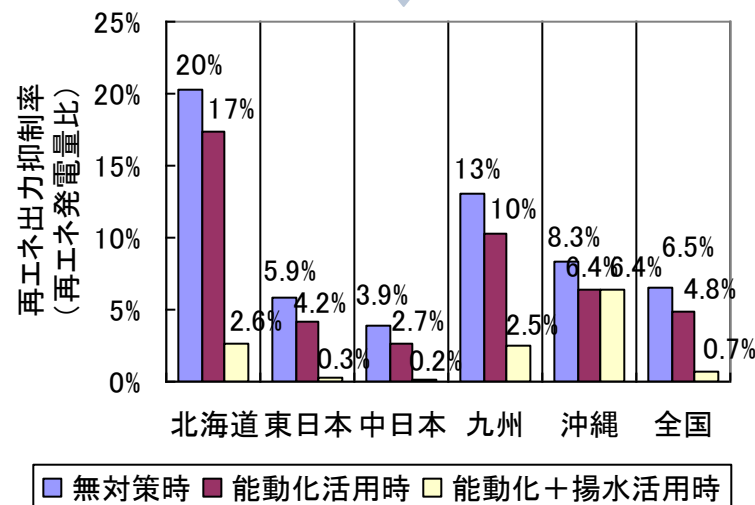
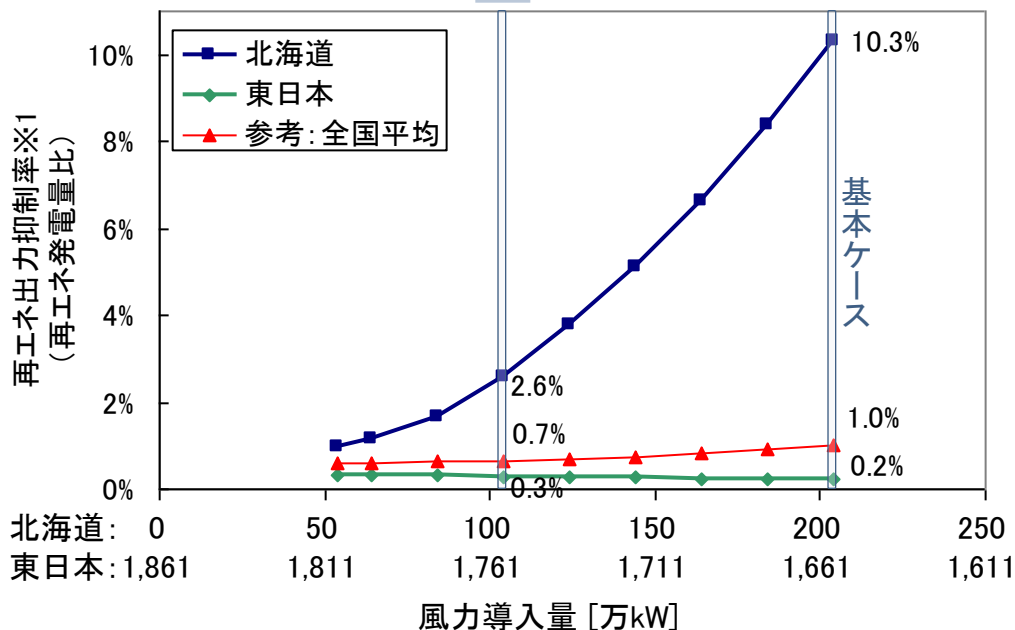


各種対策実施後における発電電力量構成  
(再生可能電源導入量:高位ケース)



# 10. 分析2: 地域別分析 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、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。
  - 北海道の導入量が約100万kW(東北約1,760万kW)の場合、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。



※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⑥ 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。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。
- **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	■ <b>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</b> 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 <b>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</b> 。
費用項目	太陽光	■ 配電対策(柱上変圧器、配電系統用SVC)、 <b>蓄電池</b> 、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、 <b>送電系統用SVC</b> 、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: <b>蓄電池</b> 、地域間連系線、 <b>揚水発電新規建設</b> 、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(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	9.1兆円(4,800億円/年) うち蓄電池5.7兆円(3,010億円/年)	3.0兆円(1,600億円/年)
中位	17.2兆円(9,050億円/年) うち蓄電池11.9兆円(6,270億円/年)	4.5兆円(2,350億円/年)
高位	19.3兆円(10,170億円/年) うち蓄電池13.0兆円(6,850億円/年)	5.1兆円(2,690億円/年)

## 【指摘事項②】

太陽光発電や風力発電の変動を十分考慮した分析になっていないのではないか。

### 【ポイント】

- 太陽光発電についても、風力発電についても現時点で得られる1時間単位の変動データを用いて分析を行っている。

[太陽光発電の変動データについて]

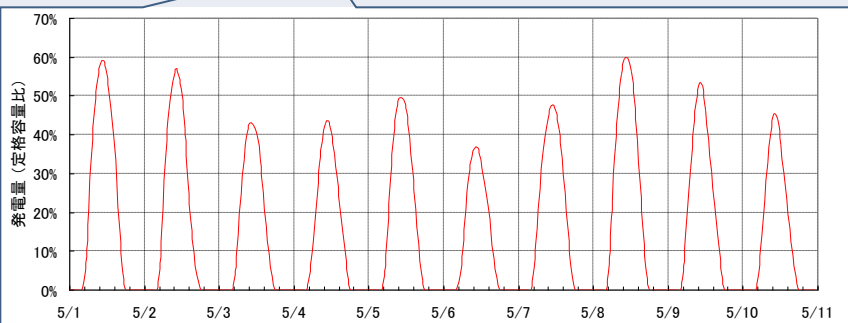
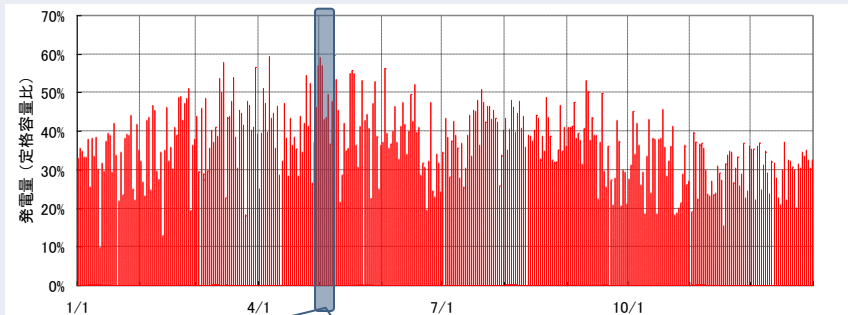
- 約1,000地点の気象データ(実績値)から地域ブロック別の太陽光発電の変動データ(1時間単位で8,760時間)を作成しており、太陽光発電の変動を考慮したデータを用いて分析を行っている。

[風力発電の変動データについて]

- **2010年全国43ウィンドファームの実績発電量にもとづき**、地域ブロック別の風力発電の変動データ(1時間単位で8,760時間)を作成しており、風力発電の変動を考慮したデータを用いて分析を行っている。

# 4. 再生可能電源の発電量の見通し

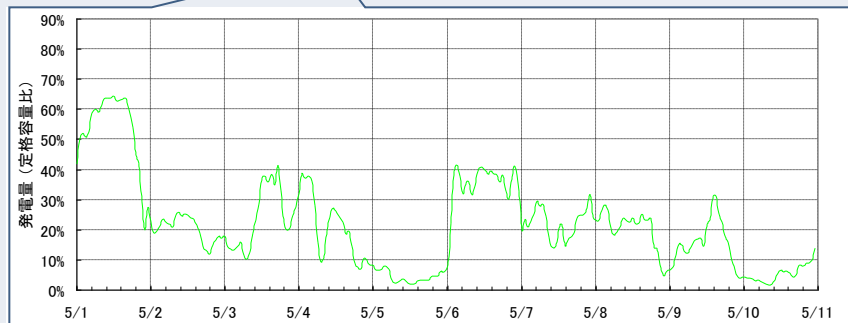
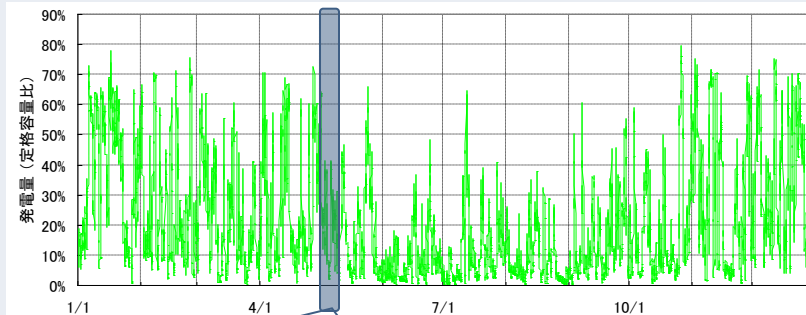
- 太陽光発電、風力発電のそれぞれについて、多地点分散設置による出力のならし効果を考慮し、**24時間365日**の出力パターンを設定。



注) 都道府県別出力推計値の加重平均(都道府県別の補助金累積交付容量ベース)

出典) 都道府県別出力推計値: 大関崇、Joao Fonseca、高島工、荻本和彦「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)

出力パターン: 太陽光発電(東日本)



注) 2010年全国43ウィンドファームの実績発電量にもとづき、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

出典) 荻本和彦、池上貴志、片岡和人、齊藤哲夫「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)

出力パターン: 風力発電(東日本)



導入量見通しを設定し、将来の時刻別出力カーブを推計

### 【指摘事項③】

2030年の1日の需要カーブを十分に想定した分析になっていないのではないか。

#### 【ポイント】

- 電気自動車やヒートポンプ式給湯等の活用による需要の能動化、  
既存の揚水発電の活用

を想定し、2030年の需要カーブを想定した分析を行っている。

[電気自動車やヒートポンプ給湯について]

- 2030年時点の普及量の約3割(電気自動車は600万台の3割、ヒートポンプ給湯は1,430万台の3割)について、2010年時点の通常の運転パターン(夜間での使用)から、必要に応じ電力供給が電力需要を上回る時には運転されて電力需要が発生すると想定。

[既存の揚水発電について]

- 2010年時点で建設済み又は建設中の揚水発電所が必要に応じ電力供給が電力需要を上回る時には水がくみ上げられて電力需要が発生し、電力需要が電力供給を上回る時には発電がされる状態を想定。

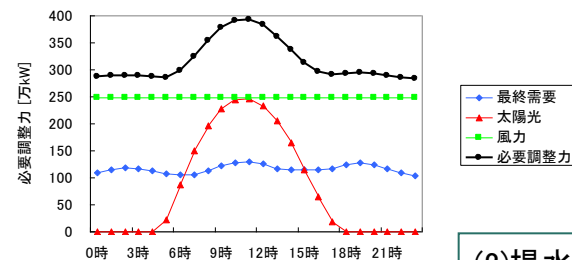
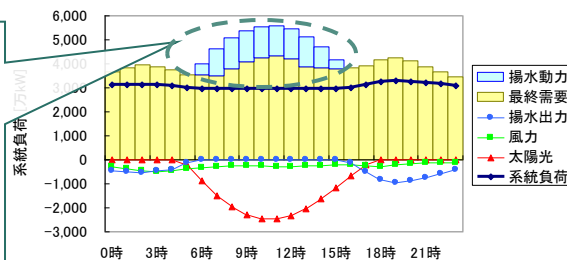
# 8. 分析1: 東日本 ボトム日(5月1日) 対策②揚水、対策③再エネ出力抑制

1時間レベルの需給バランス

調整力のバランス

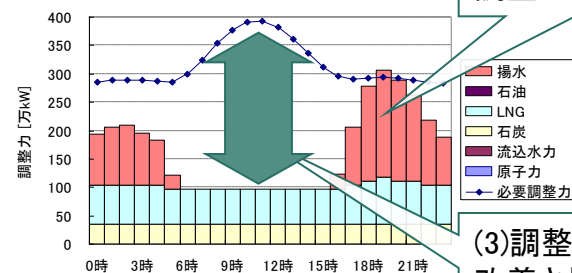
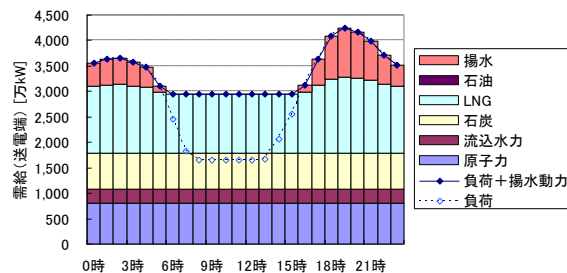
需要、自然変動  
電源出力カーブ

(1)揚水の活用により、火力・原子力・一般水力への配分負荷を平準化



(2)揚水利用により、火力に求められる調整力は減少

一次配分:  
経済配分  
による需給  
バランス調  
整

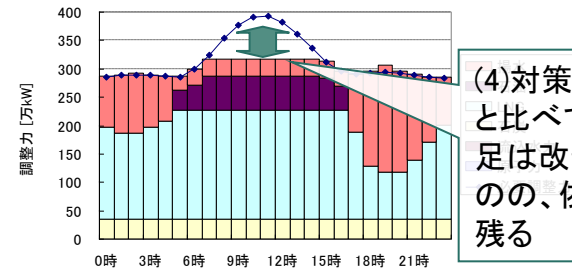
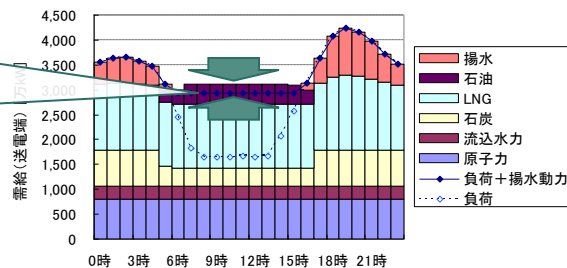


(3)調整力不足は改善されるものの、依然として残る

火力運用

二次配分:  
電源追加  
による調整  
力の増強

(5)需給ギャップは改善されるものの、依然として残る



(4)対策③実施前と比べて調整力不足は改善されるものの、依然として残る

対策③「再生可能電源の出力抑制」: 需給ギャップを解消するように再生可能電源の出力を抑制 (5月1日の場合、出力抑制に伴い調整力不足も解消)

#### 【指摘事項④】

地域間連系線の増強を十分考慮した分析になっていないのではないか。

#### 【ポイント】

○ 地域間連系線については、必要に応じて増強するための費用について試算を行っている。

[地域間連系線について]

○ 地域間連系線の増強については、2030年までに1.9兆円の整備費用を見込んでいる。

# 電力需給調整⑦ 【参考】系統対策費用の内訳

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)	0.3兆円 (150億円/年)	0.5兆円 (250億円/年)	0.5兆円 (260億円/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)	1.2兆円 (620億円/年)	1.4兆円 (740億円/年)	1.9兆円 (1,020億円/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)	3.0兆円 (1,600億円/年)	4.5兆円 (2,350億円/年)	5.1兆円 (2,690億円/年)

注)四捨五入の関係で必ずしも合計値と一致しない