

## 3-4. 電力需給調整システムについての検討

# 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。

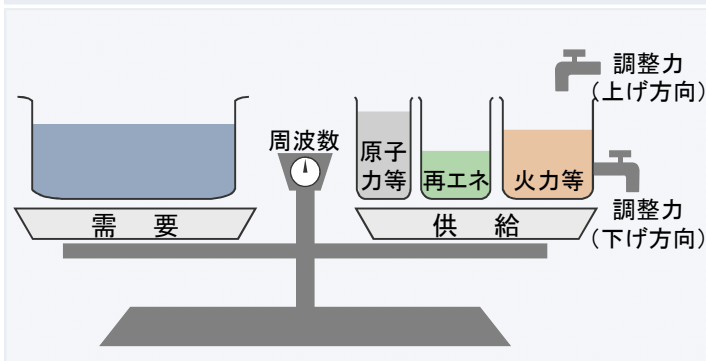
# 1. はじめに:再生可能電源の大量導入に伴う課題(2/2)

## <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。

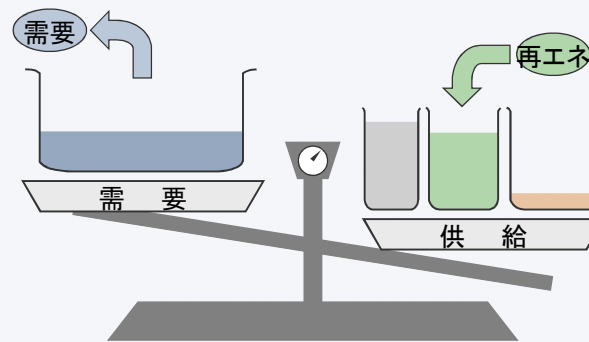
⇒1時間レベルでの需給バランスおよび短周期変動に対する調整力の両者を確保する必要がある。

### 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。

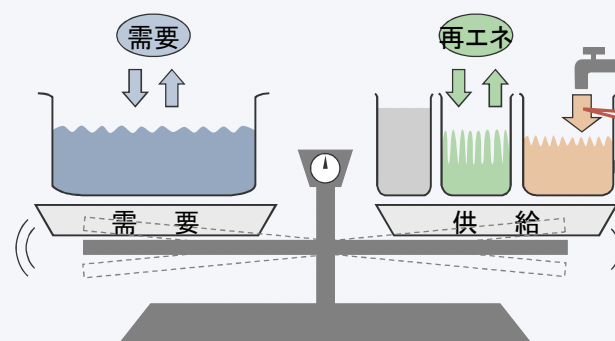
### 軽負荷時(需要:少、再生可能電源出力:大)時間帯における課題



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



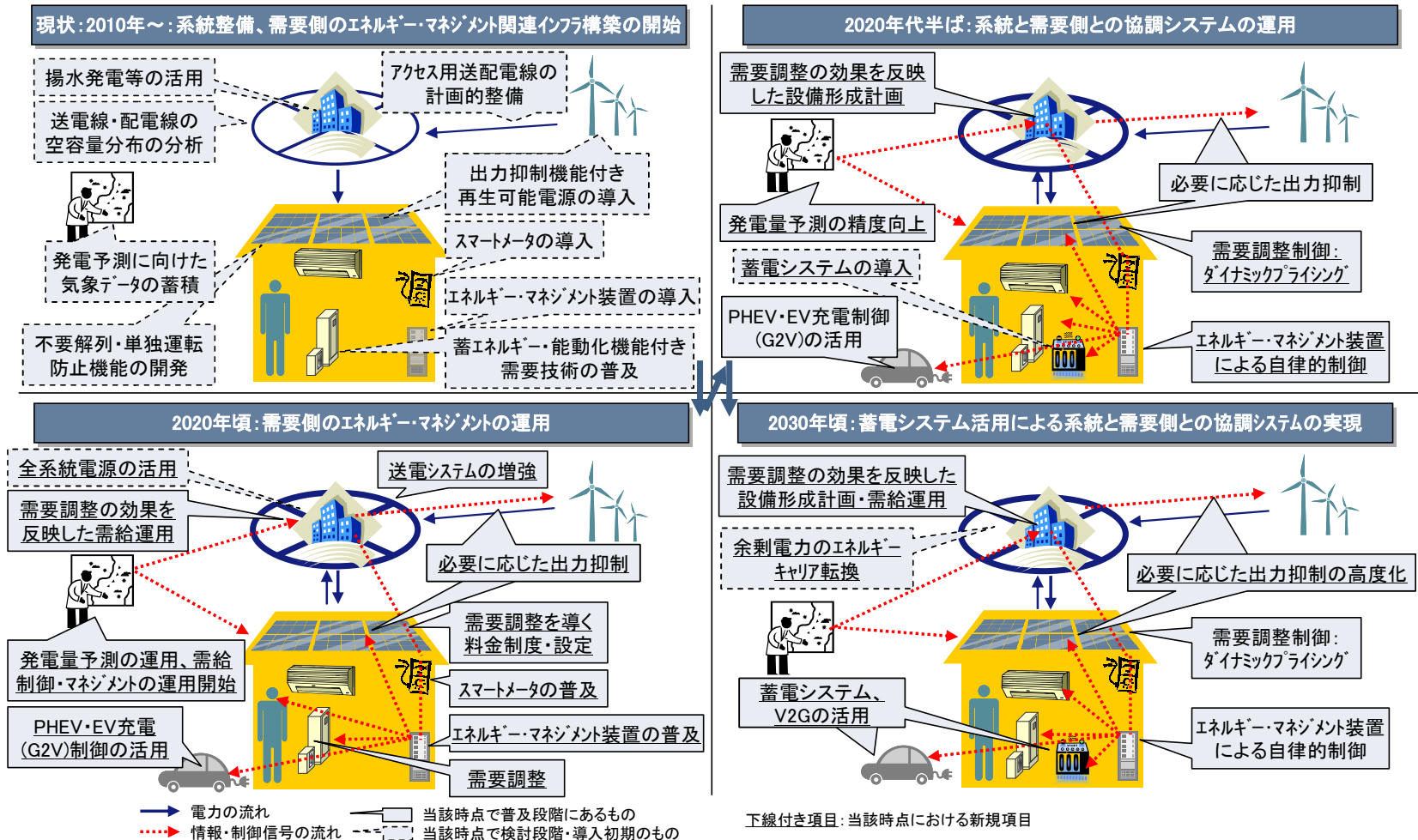
需要・再エネ出力  
の変動に対する  
調整力の不足

⇒周波数変動

# 1. はじめに: 昨年度検討概要(1/2)

## 次世代送配電ネットワークの実現工程

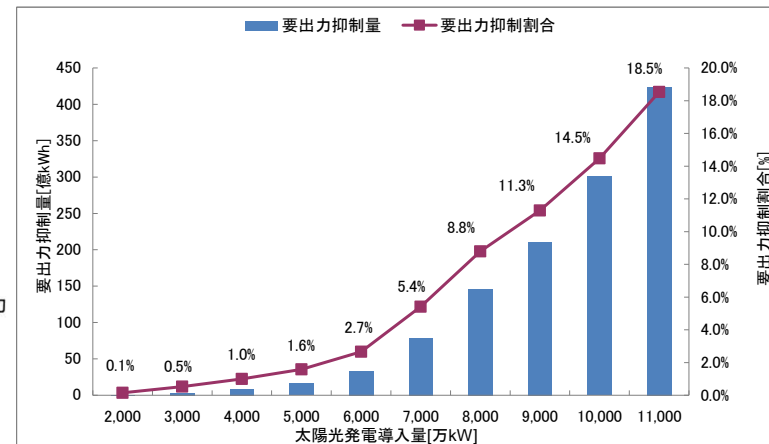
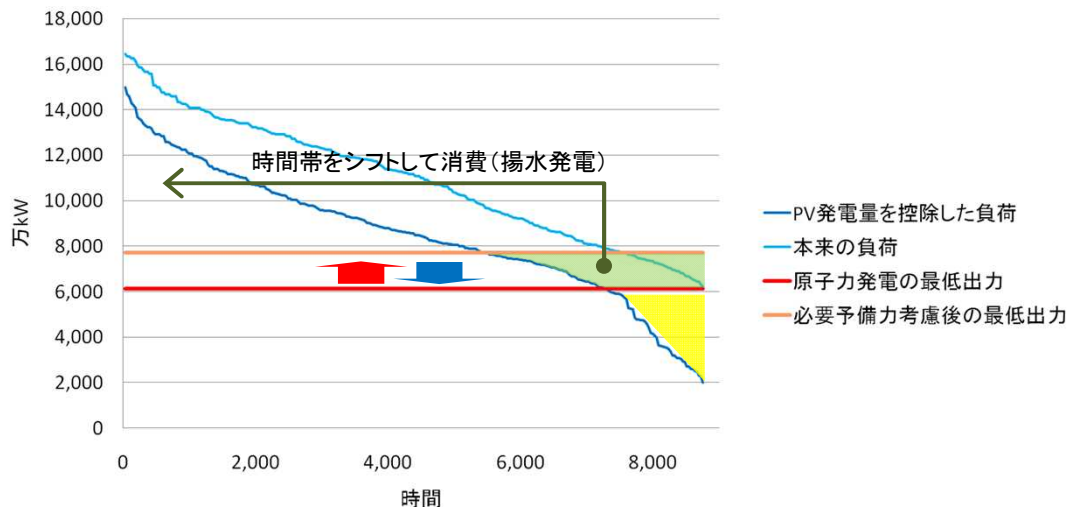
- 電力システムの安定化と社会費用最小化の両立を図りながら再生可能エネルギーの普及拡大を推進するための次世代送配電ネットワークの実現イメージおよび工程を提示。**システムと需要家・再生可能電源との協調システム**の実現のために必要となる各種技術およびその展開イメージを整理。



# 1. はじめに: 昨年度検討概要 (2/2)

## 需給バランスの課題に関する簡易的定量評価分析

- 太陽光発電の大量導入における電力系統への影響のうち、負荷周波数制御より緩やかな変動に対する電力システム全体の需給バランスの課題に関する簡易的な評価を実施。
- 一定の想定の下で、需要曲線および太陽光発電出力曲線を想定し、電源構成に照らし合わせて必要となる出力抑制量を評価。主な特徴は以下のとおり。
  - ① 太陽光発電が大規模に導入された状況を想定。
  - ② 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、系統制約を全国大で分析。
  - ③ 系統安定化対策として、電力需要の少ない日に太陽光発電の出力抑制の実施を想定し、必要となる対策量を試算。
- 系統電源の調整力の考え方については異なる見解があり、その他の検討課題(再生可能電力の変動特性、需要の能動化の考慮等)とともに継続検討が必要。



## 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。

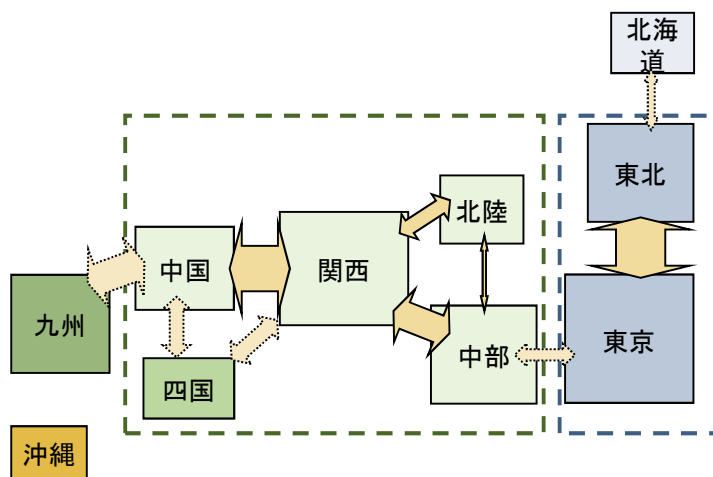


図 地域ブロック

※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。

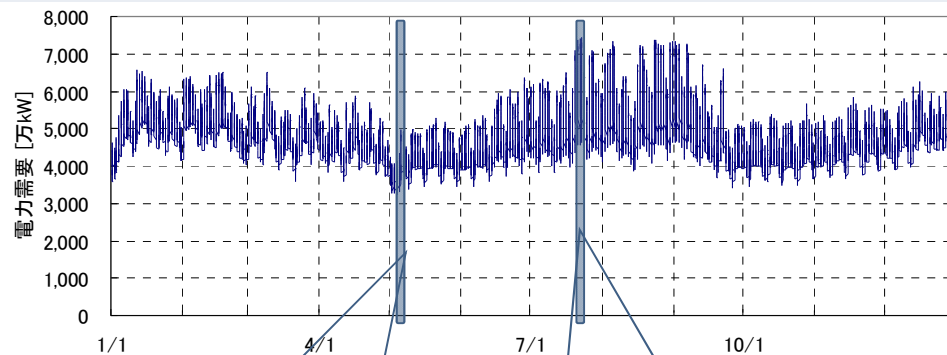
### 対策必要量の検証

- 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。

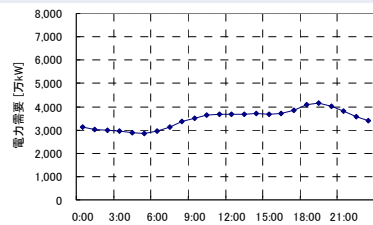
図 分析フローの概要

### 3. 電力需要の見通し

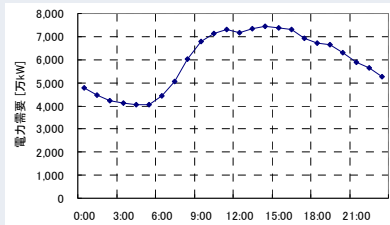
- 直近の電力需要に対して、需要能動化設備の需要見通しを加算することにより、将来の電力需要を想定。
- 直近の電力需要: 各電力会社の24時間365日の実績データを設定。
- 能動化設備の需要見通し: 能動化対象設備として、電気自動車やヒートポンプ給湯機等を想定。これらの通常時使用パターンおよび導入見通しを設定することにより、能動化設備の需要見通しを推計。



需要ボトム時期(5/4)

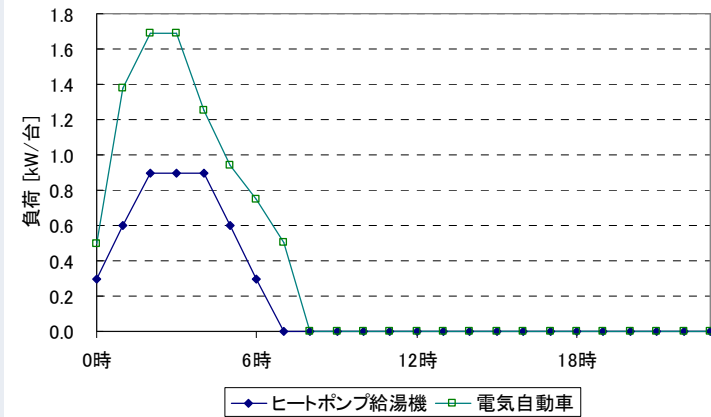


需要ピーク時期(7/23)



現状の電力需要カーブ (例: 東京電力+東北電力 2010年)

出典) 東京電力、東北電力 電気よほう「過去の電力使用実績データ」



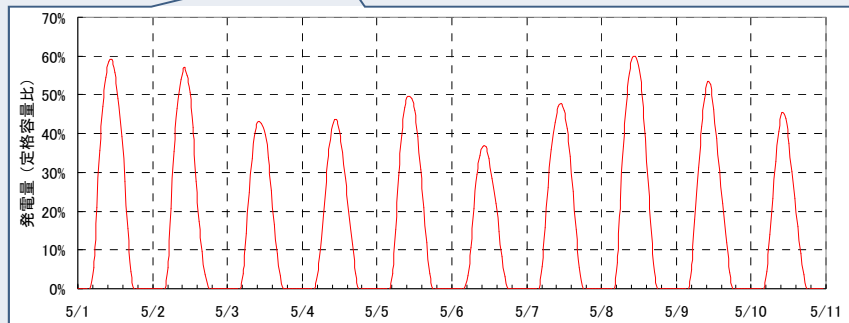
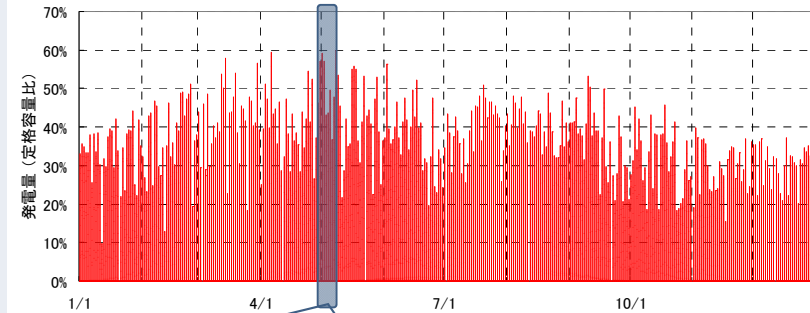
能動化機器の負荷カーブ

出典)「低炭素電力供給システムに関する研究会 新エネルギー大量導入に伴う系統安定化対策・コスト負担検討小委員会」(第2回)より作成

将来の時刻別電力需要カーブを推計

## 4. 再生可能電源の発電量の見通し

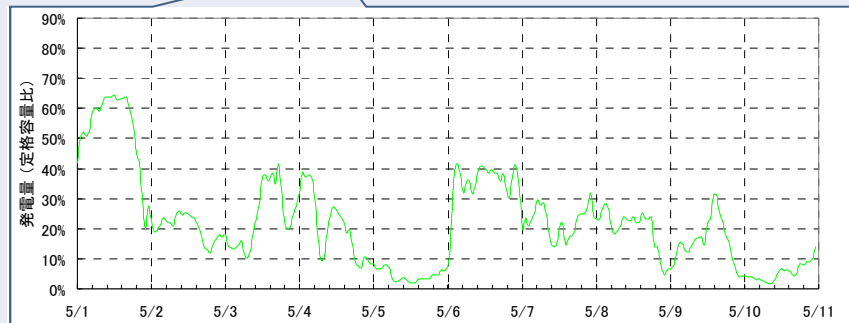
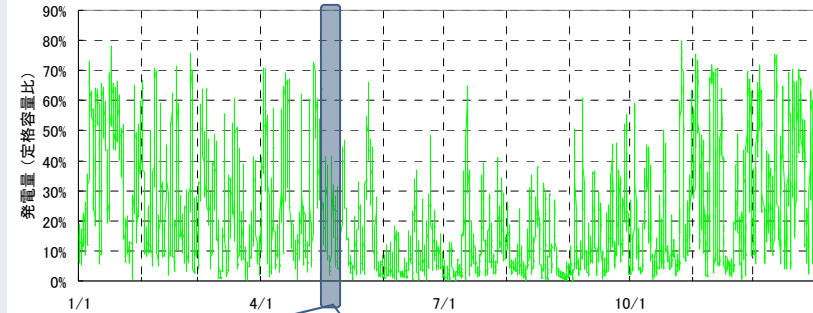
- 太陽光発電、風力発電のそれぞれについて、多地点分散設置による出力のならし効果を考慮し、**24時間365日**の出力パターンを設定。



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、斉藤哲夫「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)

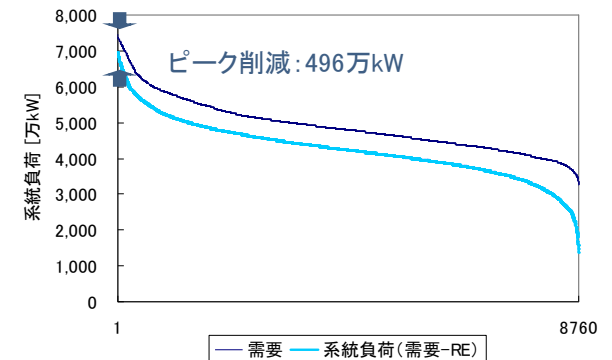
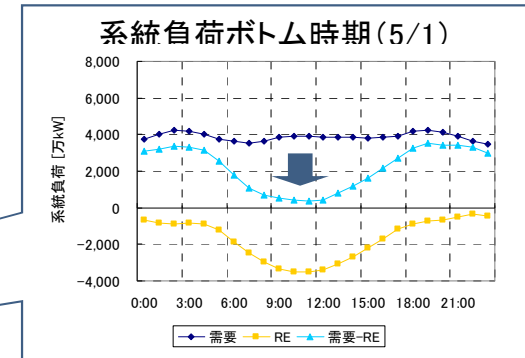
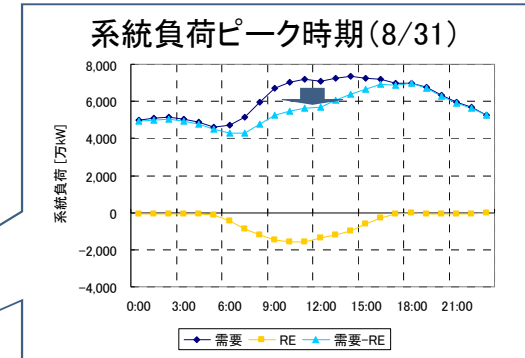
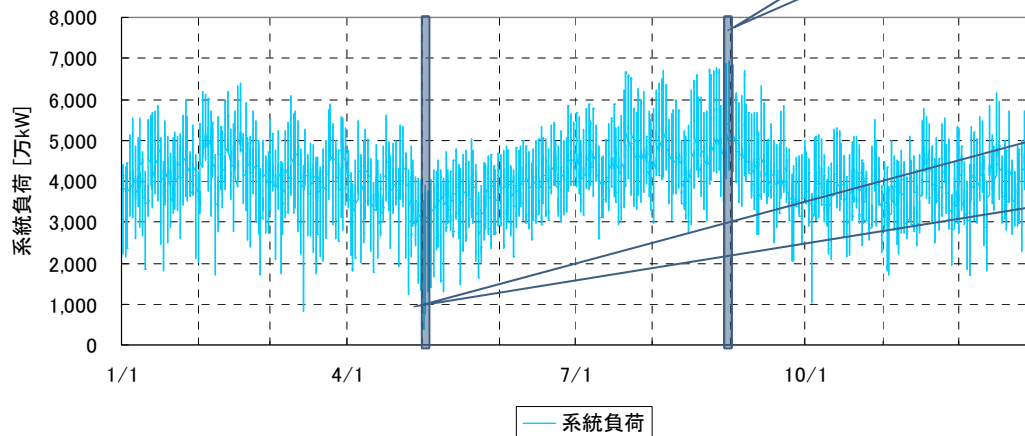
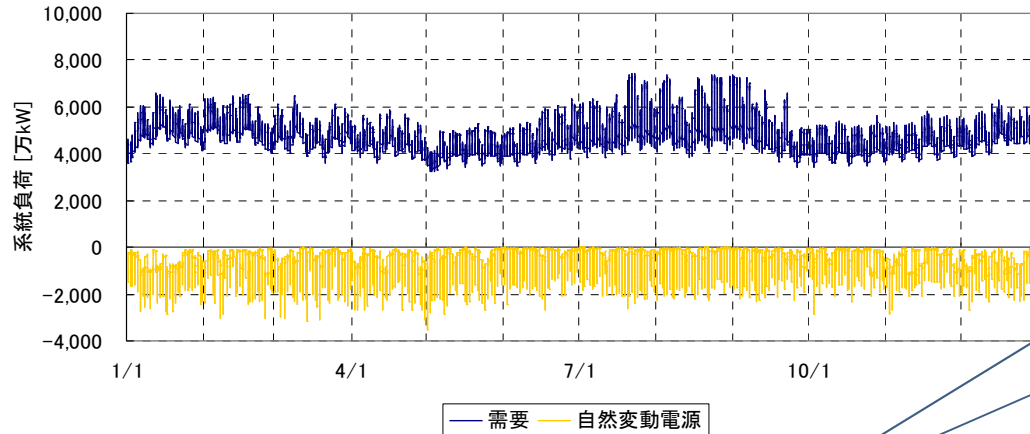


導入量見通しを設定し、将来の時刻別出力カーブを推計



# 5. 系統から見た負荷の見通し

■ 電力需要から自然変動電源出力を控除することにより、系統側から見た負荷の時刻別パターンを推計。

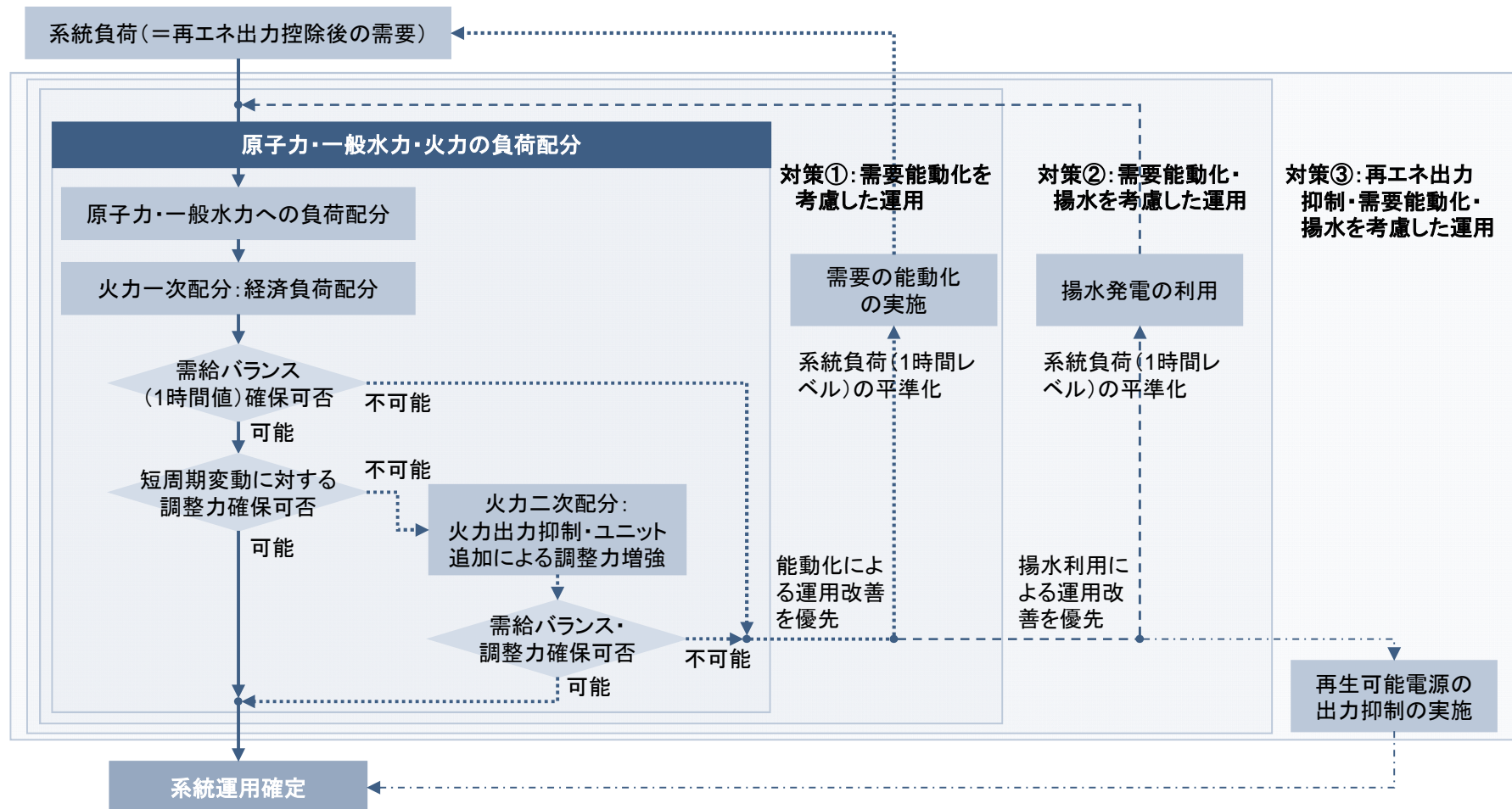


例) 一般需要: 東京電力・東北電力2010年実績  
 能動化機器需要: HP給湯機591万台、電気自動車: 248万台  
 太陽光: 4,174万kW 風力: 1,657万kW

系統負荷の時刻別パターン

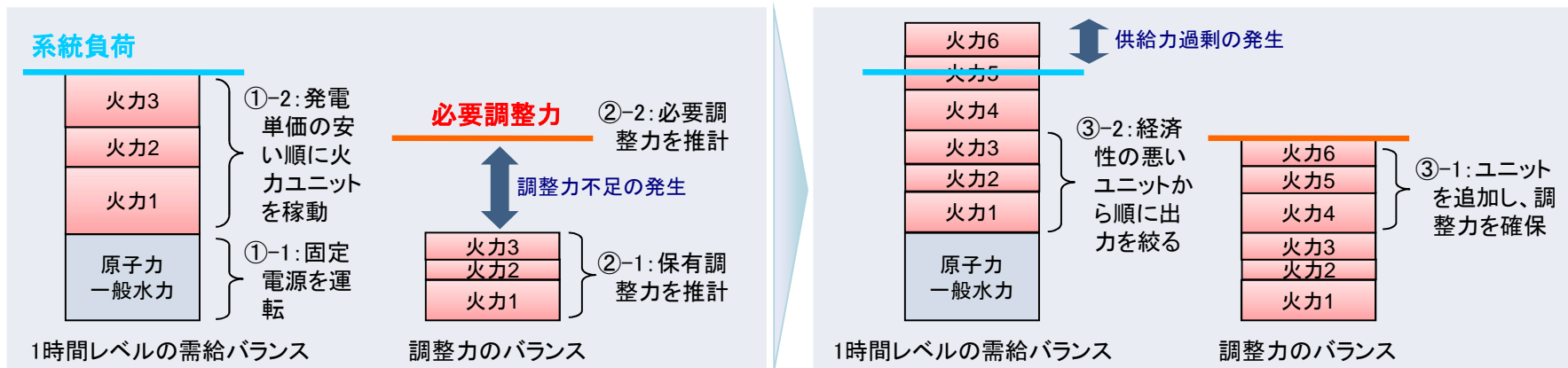
## 6. 需給バランス・調整力バランスの検証フロー

- 再生可能電源出力控除後の系統負荷に対して、まずは原子力、一般水力、火力による負荷配分を実施。
  - 1時間レベルでの需給バランス、短周期変動に対する調整力の確保状況を検証。
- 火力の運用改善のみでは需給バランス・調整力が確保できない場合、**需要能動化、揚水発電の利用、再生可能電源出力抑制の順**に対策を実施。



# 7. 原子力・一般水力・火力の負荷配分の考え方

- ①各時刻について、原子力、一般水力に負荷配分。  
⇒原発への依存度低減が見込まれる中で、下げ代不足の課題が顕在化するか否かを検証。  
次に、**発電単価の安い順に**火力を稼働させ、1時間レベルで需給バランスが確保できるか否かを確認。(火力一次配分)
- ②各時刻における系統電源の保有調整力、必要調整力を推計。
- ③調整力不足時には、**新たに火力ユニットを稼働**することにより調整力確保を目指す。その際、経済性が最下位のユニットから順に出力を絞り、供給力過剰の回避を図る。(火力二次配分)
- ④調整力不足、供給力過剰が回避できない場合には、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実施し、需給バランス・調整力が確保できるか否かを確認。



注) ②-1: 保有調整力: 各電源ユニットの持つ調整力の総和

$$(\text{保有調整力} = \sum_{\text{電源}} \text{ユニット容量}_{\text{電源}} \times \alpha_{\text{電源}})$$

②-2: 必要調整力: 自然変動電源の出力変動と需要変動とのベクトル合成

$$(\text{必要調整力} = \sqrt{\text{需要変動}^2 + \text{太陽光出力変動}^2 + \text{風力出力変動}^2})$$

※需要変動と再エネ変動は短周期としては独立成分であると仮定

④-1: 需要の能動化、揚水発電利用の実施により  
系統負荷を変化させ、改めて負荷配分を実施

④-2: 供給力過剰が解消されない場合、再エネ抑制の実施:  
出力抑制、風力への(出力抑制を伴わない)出力上限指令の2通り

## 8. 分析モデルの前提条件(1/2)

- **2030年を想定**し、北海道、東日本(東京+東北)、中日本(中部+北陸+関西+中国+四国)、九州、沖縄の5地域ごとに需給状況を検証。**東日本及び中日本**では、地域内での**広域融通による一体運用**を想定。
- 需要、再生可能電源に関する主な設定条件は下表のとおり。再生可能電源の導入量は**高位ケース**を想定。
- なお、太陽光・風力の短周期変動率、能動化機器の制御対象割合については、現時点では不確実性を伴う。

### 需要、再生可能電源に関する設定

項目		設定値	
需要	1時間別カーブ	北海道、中日本、九州、沖縄:2010年4月~2011年3月実績データ(出典:経済産業省) 東日本:2010年1月~2010年12月実績データ(出典:東京電力、東北電力)	
	能動化機器	種類、台数	ヒートポンプ給湯機、電気自動車 <sup>を想定</sup> 。普及台数は下表参照。
		制御対象	全機器のうち <b>3割</b> を能動化対象と想定。
	短周期変動	当該時刻需要比 <b>3%</b>	
太陽光	容量	下表参照	
	1時間別カーブ	2010年の都道府県別×1時間別の利用率推計値の加重平均(都道府県別の補助金累積交付容量に基づき加重平均) 出典)都道府県別出力推計値:大関他「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)	
	短周期変動	当該時刻 <b>出力比10%</b>	
風力	容量	下表参照	
	1時間別カーブ	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)荻本他「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)	
	短周期変動	設備 <b>容量比15%</b>	

### 能動化機器、再生可能電源の2030年普及見通しに関する設定

		全国	北海道	東日本	中日本	九州	沖縄	備考
能動化機器 [万台]	HP給湯機	1,430	53	591	637	138	12	「長期エネルギー需給見通し」における家庭用ヒートポンプ給湯機の2030年全国値を、2010年度の地域別電力需要量で按分。
	電気自動車	600	22	248	267	58	5	「次世代自動車普及戦略」における2030年全国値(590万台)を参考に全国値を設定し、2010年度の地域別電力需要量で按分。
再生可能電源 [万kW]	太陽光発電	10,060	359	4,174	4,473	971	83	高位ケースの2030年全国値を、地域別の電力需要量(2010年度)で按分。
	風力発電*	3,252	204	1,657	857	493	41	高位ケースの2030年全国値を、JWPA資料に基づき事務局にて地域按分。

\*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。

## 8. 分析モデルの前提条件(2/2)

- 系統電源に関する主な設定条件は下表のとおり。
- 火力発電、揚水発電は、それぞれ運転中ユニットの**容量比5%、20%の調整力**を持つものと想定。

### 系統電源に関する設定

項目		設定値
一般 水力	出力	月別平均出力×(1-所内率) ただし、月別平均出力:2010年度の月別発電量実績データの単純平均、所内率:0.5%
	発電機容量	下表参照
揚水	蓄電容量	最大発電量:発電機容量×10時間分、最大揚水負荷量:発電機容量×14時間分
	調整力	出力比20% (可変速機は揚水時も調整力考慮)
	容量	ユニット別の許可出力 一定の設備増強を考慮(供給予備率5%を確保)
火力	所内率	石炭:6.2%、LNG:2.0%、石油:4.5%
	最低部分負荷率	石炭:50%、LNG:33%、石油:33%
	調整力	石炭:定格容量比5%、LNG:定格容量比5%、石油:定格容量比5%
	容量	ユニット別の許可出力 一定の設備増強を考慮(供給予備率5%を確保)

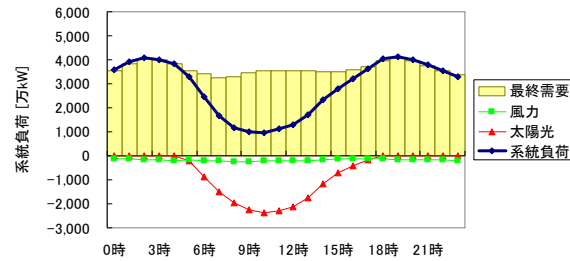
### 揚水発電の容量に関する設定

		全国	北海道	東日本	中日本	九州	沖縄	備考
揚水発電		2,999	100	1,440	1,230	230	0	現状設備+建設中発電所
[万kW]	可変速	265	30	148	64	120	0	

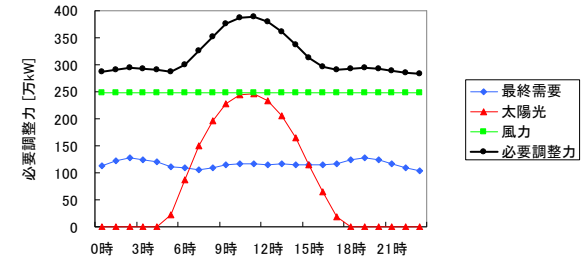
# 8. 分析1: 東日本 ボトム日(5月1日) 対策前

需要、自然変動  
電源出力カーブ

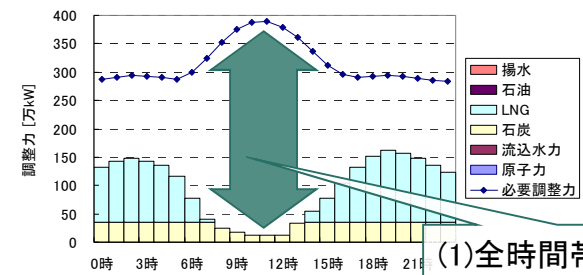
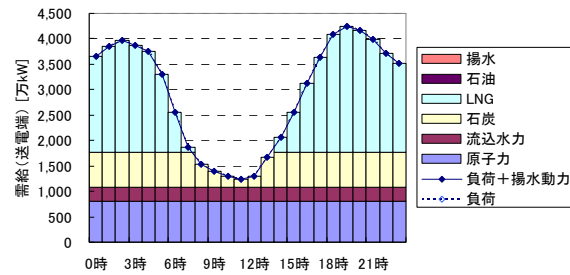
1時間レベルの需給バランス



調整力のバランス



一次配分:  
経済配分  
による需給  
バランス調  
整

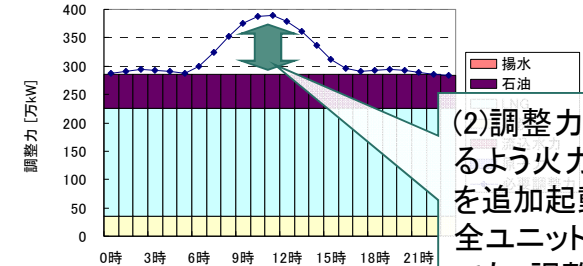
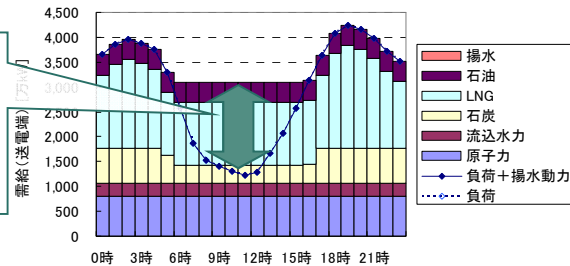


(1)全時間帯において  
調整力不足が発生

火力運用

二次配分:  
電源追加  
による調整  
力の増強

(3)火力ユニット  
の追加により、  
需給ギャップ  
が発生



(2)調整力を確保す  
るよう火力ユニ  
ットを追加起  
動。ただし全  
ユニットを運  
転しても、調  
整力不足は  
残る。

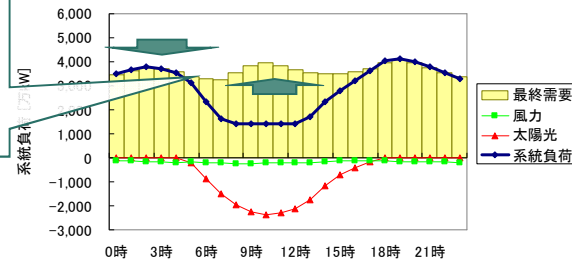
対策①「需要の能動化」へ

# 8. 分析1: 東日本 ボトム日(5月1日) 対策①需要能動化

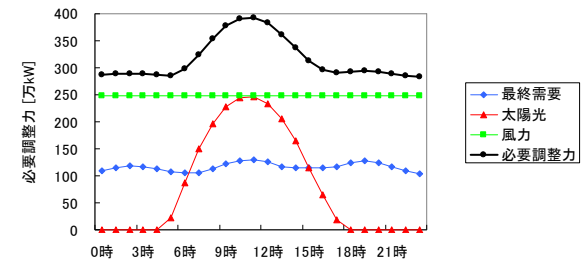
需要、自然変動  
電源出力カーブ

(1) 需要の能動化の実施により系統負荷を平準化

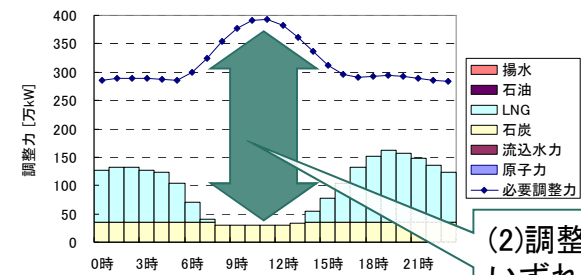
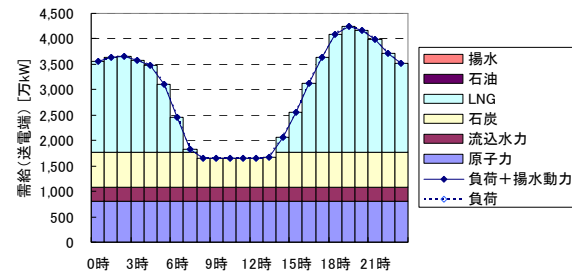
1時間レベルの需給バランス



調整力のバランス



一次配分:  
経済配分  
による需給  
バランス調  
整

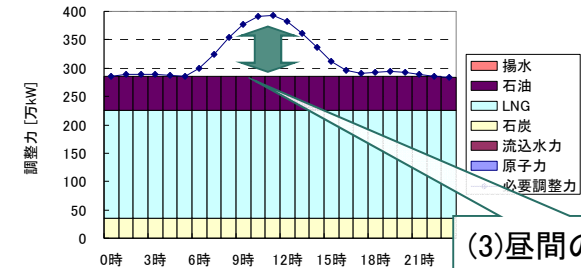
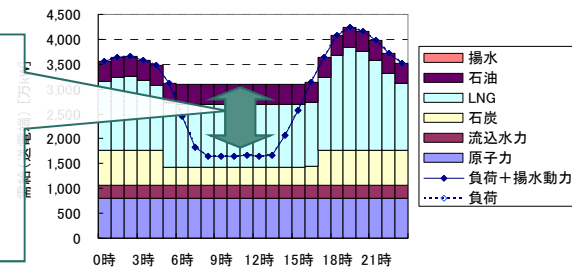


(2) 調整力不足は  
いずれの時間帯  
においても残る

火力運用

二次配分:  
電源追加  
による調整  
力の増強

(4) 対策①実施  
前と比べ需給  
ギャップは改善  
されるものの、  
依然として残る



(3) 昼間の調整力  
不足は残る

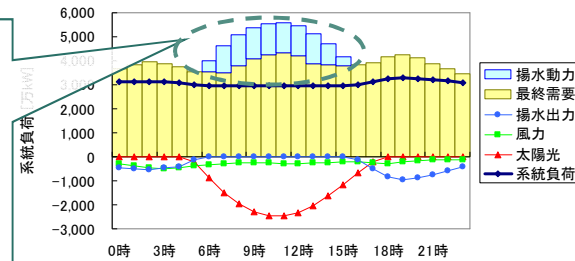
対策②「揚水の活用」へ

# 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

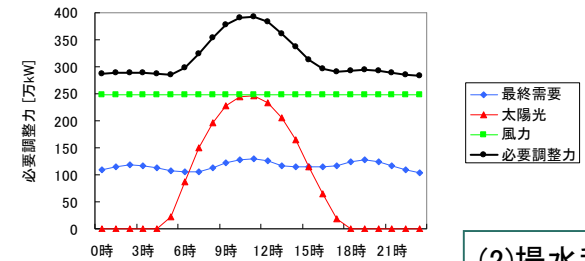
需要、自然変動  
電源出力カーブ

(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

1時間レベルの需給バランス

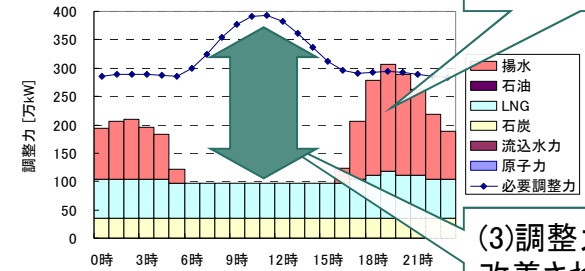
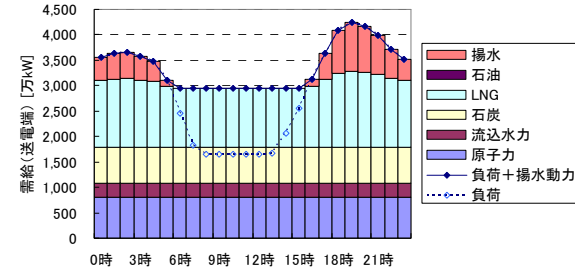


調整力のバランス



(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

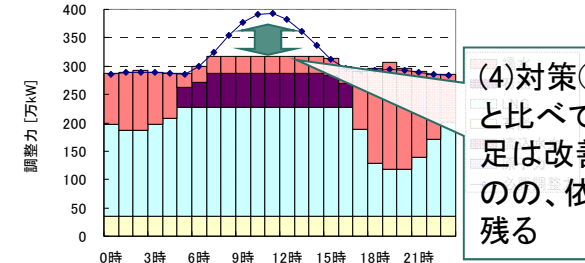
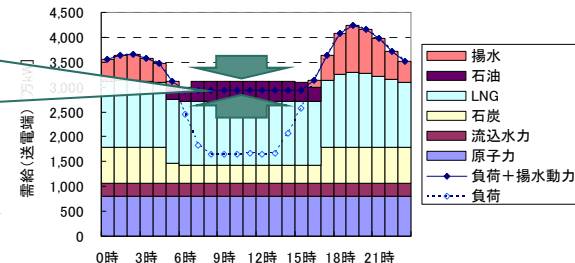


(3)調整力不足は改善されるものの、依然として残る

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



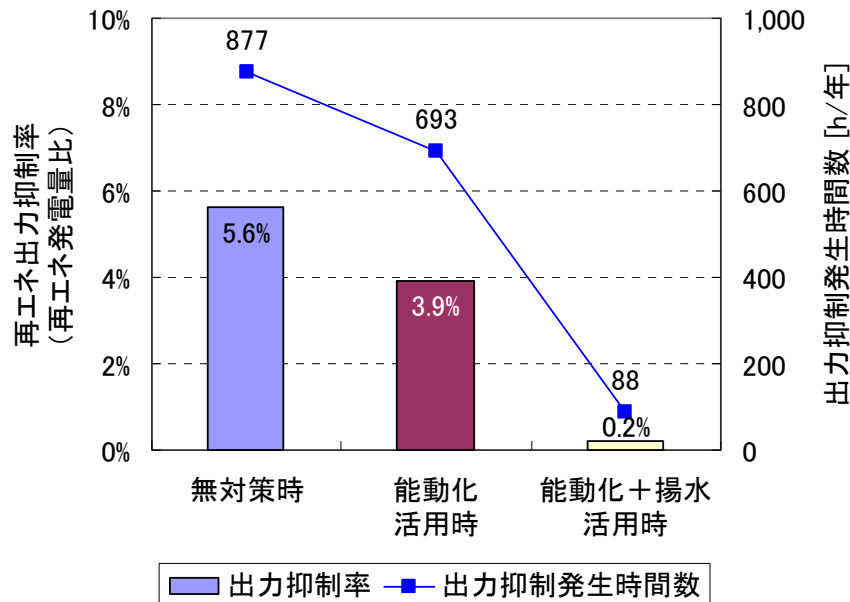
(4)対策③実施前と比べて調整力不足は改善されるものの、依然として残る

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)

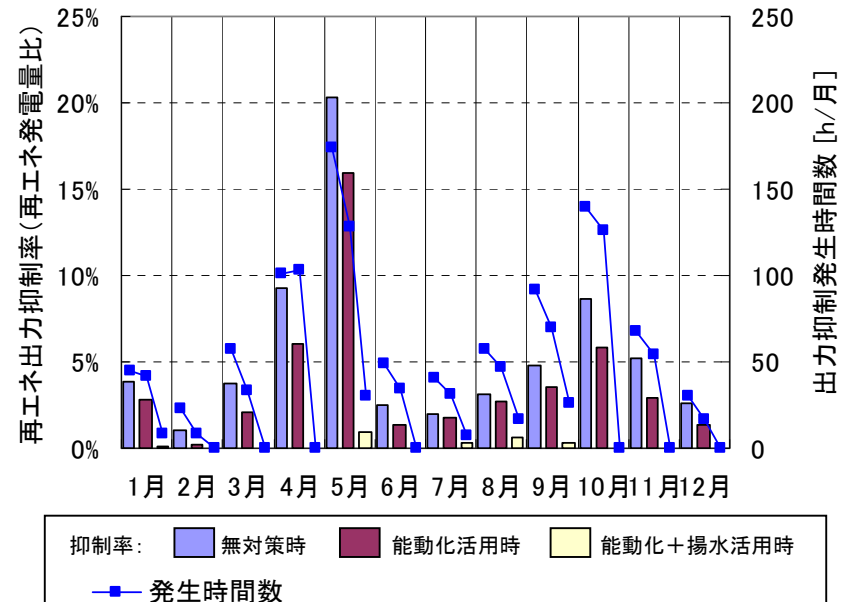


## 8. 分析1: 東日本 年間分析結果まとめ

- 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。



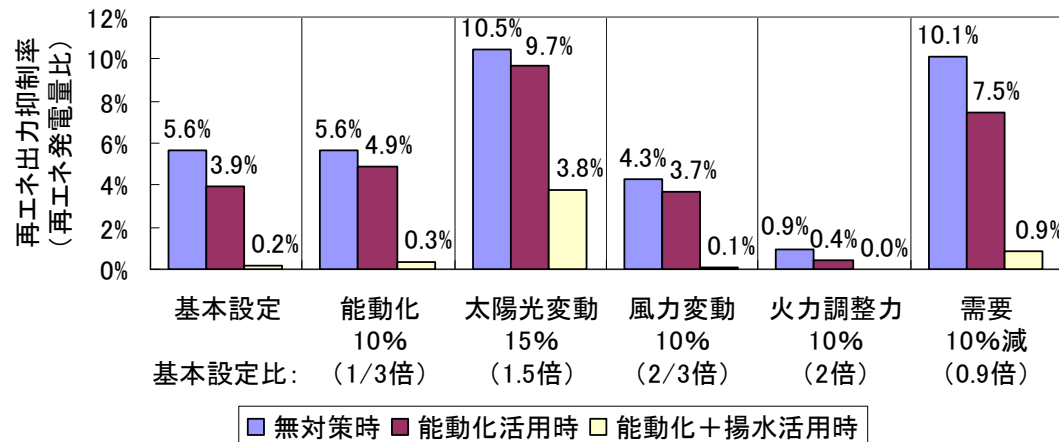
出力抑制の発生状況: 東日本・年間計  
(再生可能電源導入量: 高位ケース)



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)

## 9. 分析1: 東日本 各種感度分析(1/2)

- 前提条件のうち、特に太陽光・風力の短周期変動率、能動化機器の制御対象割合等の将来特性は、現時点では不確実性を伴う。そこで、これらの設定値を変化させた感度分析を実施。
  - 能動化対象が全機器の10%へと減少した場合(基本設定比1/3倍):これを補う形で揚水を積極活用。最終的な再生可能電源の出力抑制率は微増。
  - 太陽光発電の変動率が出力比15%の場合(基本設定比1.5倍):能動化、揚水活用だけでは十分に対応しきれず、最終的な再生可能電源の出力抑制率は3.8%へと拡大。
  - 風力発電の変動率が容量比10%の場合(基本設定比2/3倍):最終的な再生可能電源の出力抑制率は0.1%へと減少。
- また、その他の不確定要因のうち、火力調整力、電力需要の影響は以下のとおり。
  - 火力調整力が定格比10%へと拡大した場合(基本設定比2倍):調整力不足の発生局面が減少し、無対策時においても出力抑制の必要量はごくわずかに。能動化、揚水活用により、再生可能電源の出力抑制は不要に。
  - 需要が現状比10%減少した場合(基本設定比0.9倍):再生可能電源の相対量の増加に伴い、系統運用において能動化、揚水活用を積極的に活用する局面が増加。

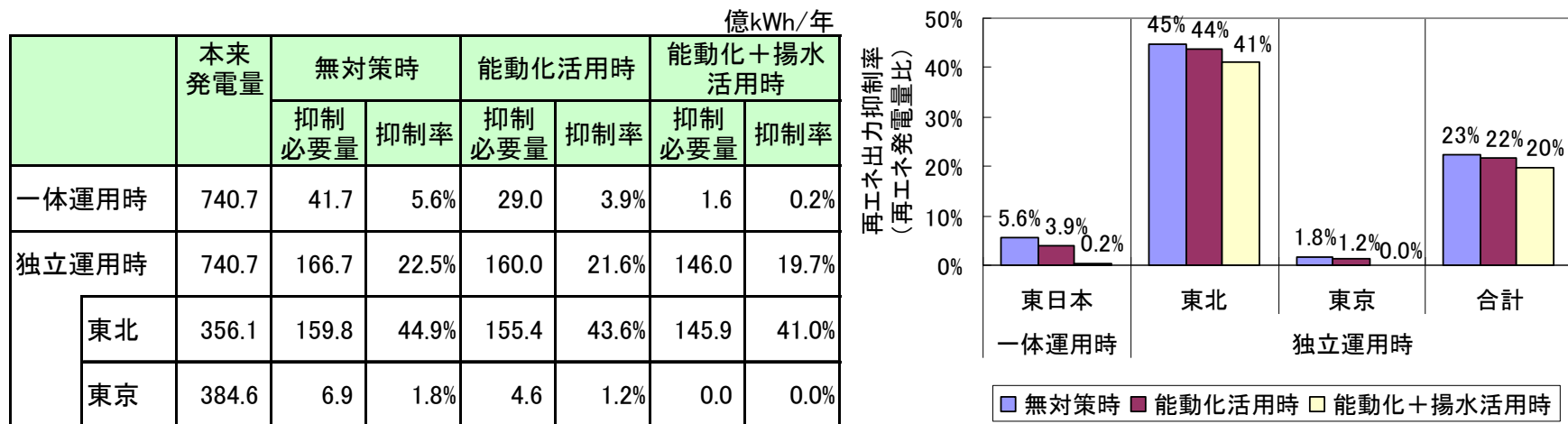


前提条件の違いに応じた出力抑制必要量: 東日本  
(再生可能電源導入量: 高位ケース)

## 9. 分析1: 東日本 各種感度分析(2/2)

- 基本設定では、東北・東京の一体運用を前提としたが、現状では各社がそれぞれに需給運用を行っている。そこで一体運用の効果を検証するため、東北、東京がそれぞれ運用を行う場合を想定した分析を実施。
  - 東北地域単独では、系統運用は困難。特段の対策を講じない場合、必要となる再生可能電源の出力抑制率は年間発電量の約45%。需要の能動化、揚水発電の積極活用を行った場合においても、必要となる出力抑制率は約41%となる。
  - 一方、東京地域では、無対策時においても出力抑制の必要量は僅かであり、能動化、揚水活用により、再生可能電源の出力抑制はほぼ不要化できる。
  - 東北、東京の分離系統ケースの場合、両地域における再生可能電源の出力抑制の総量は、再生可能電源の年間発電量の20%程度の水準。

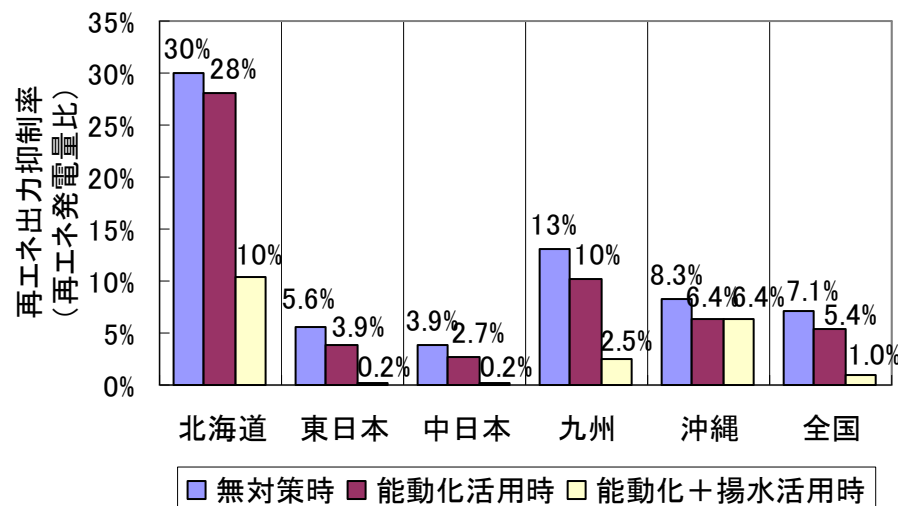
⇒ **広域融通による一体的運用は、需給バランスおよび調整力の確保対策として大きなポテンシャルを有する。**



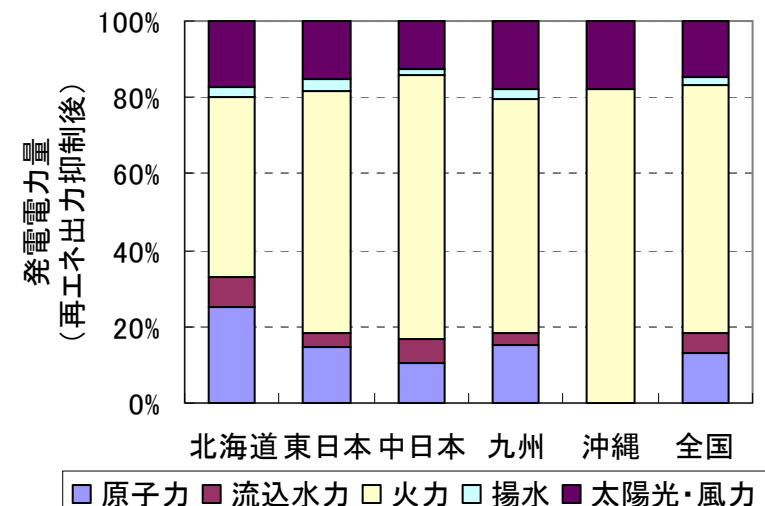
系統運用条件の違いに応じた出力抑制必要量: 東日本  
(再生可能電源導入量: 高位ケース)

## 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。



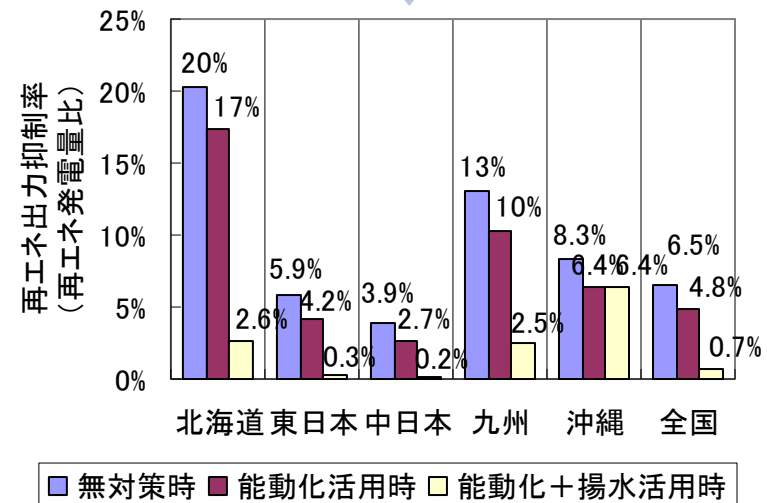
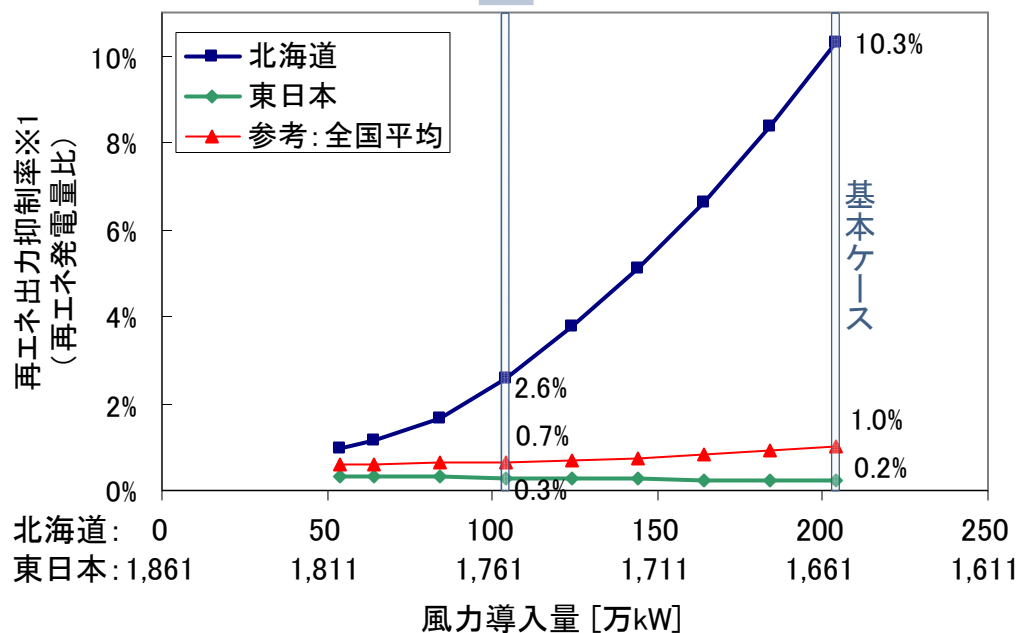
再生可能電源の出力抑制必要量  
(再生可能電源導入量:高位ケース)



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)

# 11. まとめ

- 本試算では一定の仮定に基づき、再生可能電源の大量導入が系統の需給運用に与える影響を分析するとともに、対策として需要の能動化、揚水発電の積極活用、再生可能電源の出力抑制を想定し、これらの必要量を試算した。
- モデルの考え方、パラメータ設定等、引き続き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。
- ① 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。
- ② 需給バランスおよび調整力の確保対策として、**広域融通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上では、地域間連系線の容量制約、事故時の影響波及等をはじめとする各種課題への対応が必要。
- ③ **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。

	対策メニュー	必要技術	関連制度
再生可能電源の出力抑制	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 太陽光発電の出力抑制</li> <li>■ 風力発電の出力抑制</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 出力抑制機能付パワーコンディショナ</li> <li>■ 風力発電ピッチ制御</li> <li>■ 出力予測技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 電力の送り手と受け手の間での出力抑制に関するルール作成</li> <li>■ 卸電力取引市場の活用・拡充</li> <li>■ ダイナミックプライシング等、需要調整を導く料金制度の創設</li> </ul>
需要の能動化	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 蓄電システムの活用</li> <li>■ ヒートポンプ給湯機の活用</li> </ul> <p>※制御方法としては、間接制御、直接制御の両者が想定される</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 蓄電池（PHV車、電気自動車等を含む）および制御システム</li> <li>■ ヒートポンプ給湯機の運転制御システム</li> <li>■ スマートメータ</li> </ul>	

- ④ 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。