

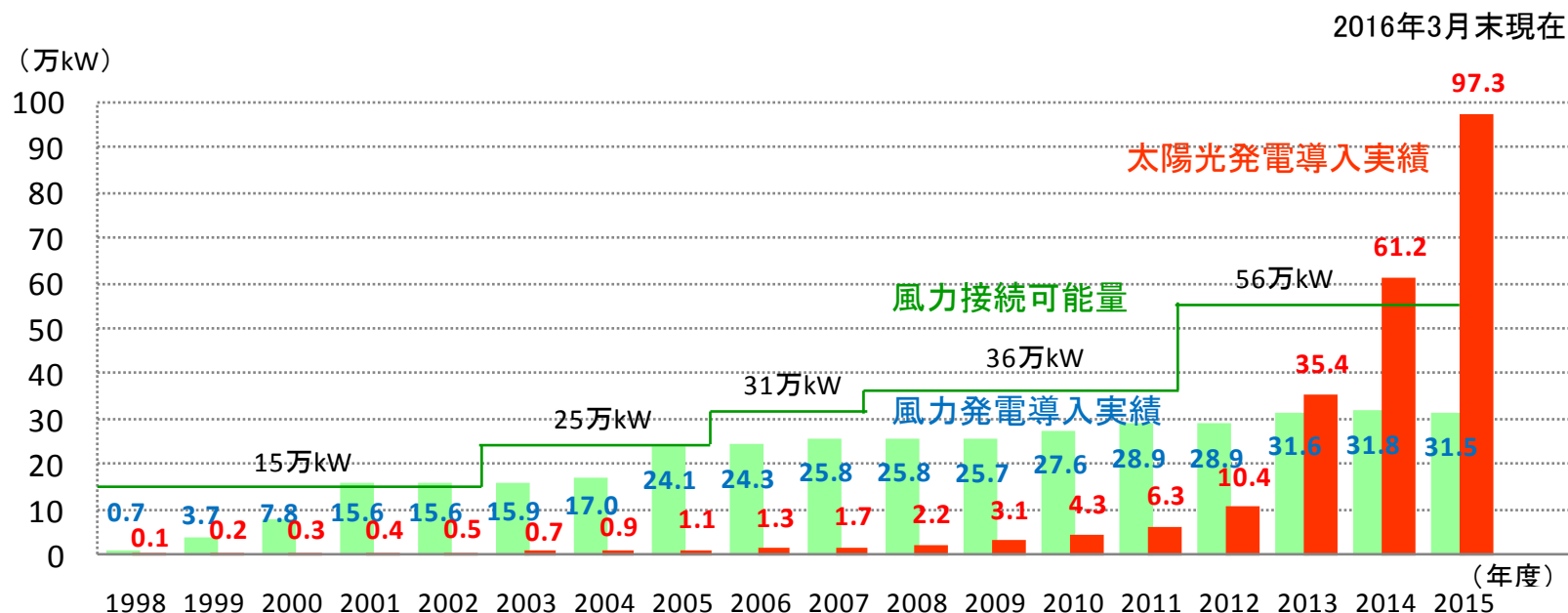
# 電力系統への再生可能エネルギー導入拡大に伴う 出力変動対策について

2016年12月12日  
北海道電力株式会社

# 1. 北海道における再エネの導入状況

## (1) 風力・太陽光発電導入量の推移

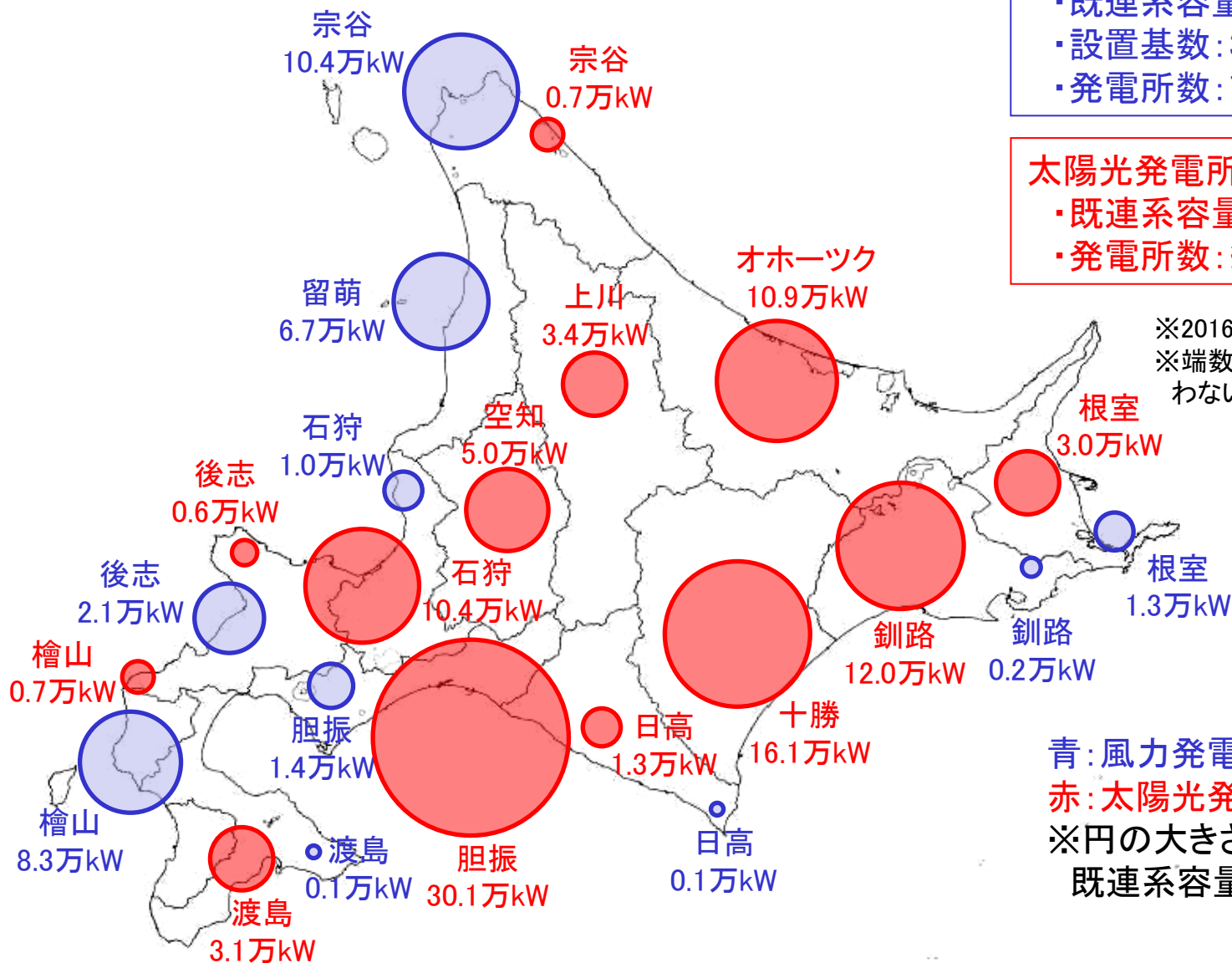
- 風力発電は、電力品質に与える影響を確認しながら、段階的に連系量を拡大し、連系量は約32万kW、都道府県別で全国第2位です。(2016年3月末現在)
- 太陽光発電は、これまで家庭用を中心に導入が進んできました。再生可能エネルギーの固定価格買取制度の開始(2012年7月)により、大規模メガソーラーを中心に導入量が急速に拡大しております。



# 1. 北海道における再エネの導入状況

## (2) 風力・太陽光発電の導入状況

【振興局(行政エリア)別導入状況】



**風力発電所**

- ・既連系容量: 31.5万kW
- ・設置基数: 320基
- ・発電所数: 70箇所

**太陽光発電所**

- ・既連系容量: 97.3万kW
- ・発電所数: 約3万箇所

※2016年3月31日現在  
 ※端数処理の関係で合計が合わない場合があります

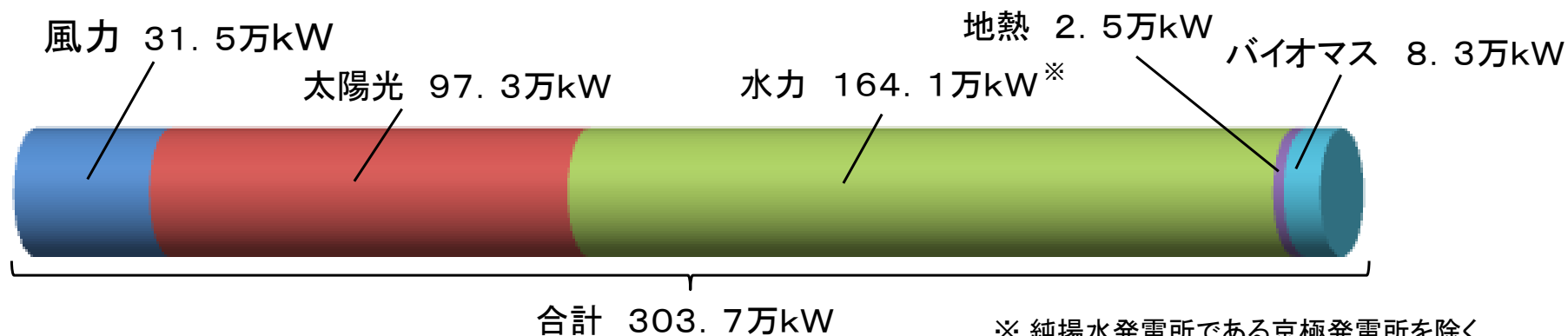
青: 風力発電  
 赤: 太陽光発電  
 ※円の大きさは既連系容量の規模を表す

# 1. 北海道における再エネの導入状況

## (3) 再生可能エネルギーの導入状況と今後の取組み

- 水力などを含めた北海道の再エネ導入量は約300万kWです（2016年3月末時点）。
- このうち、導入量の拡大が著しい太陽光（約97万kW）と風力（約32万kW）の導入量合計は約130万kWであり、これは当社の年平均電力（約370万kW）の3割以上に相当する量です。
- 再生可能エネルギーの比率が高まっている状況から、当社では、電力の安定供給と再生可能エネルギーのさらなる導入拡大を両立させるため、風力発電の導入拡大に向けた実証試験の他にも、新たな取組みを進めているところです。

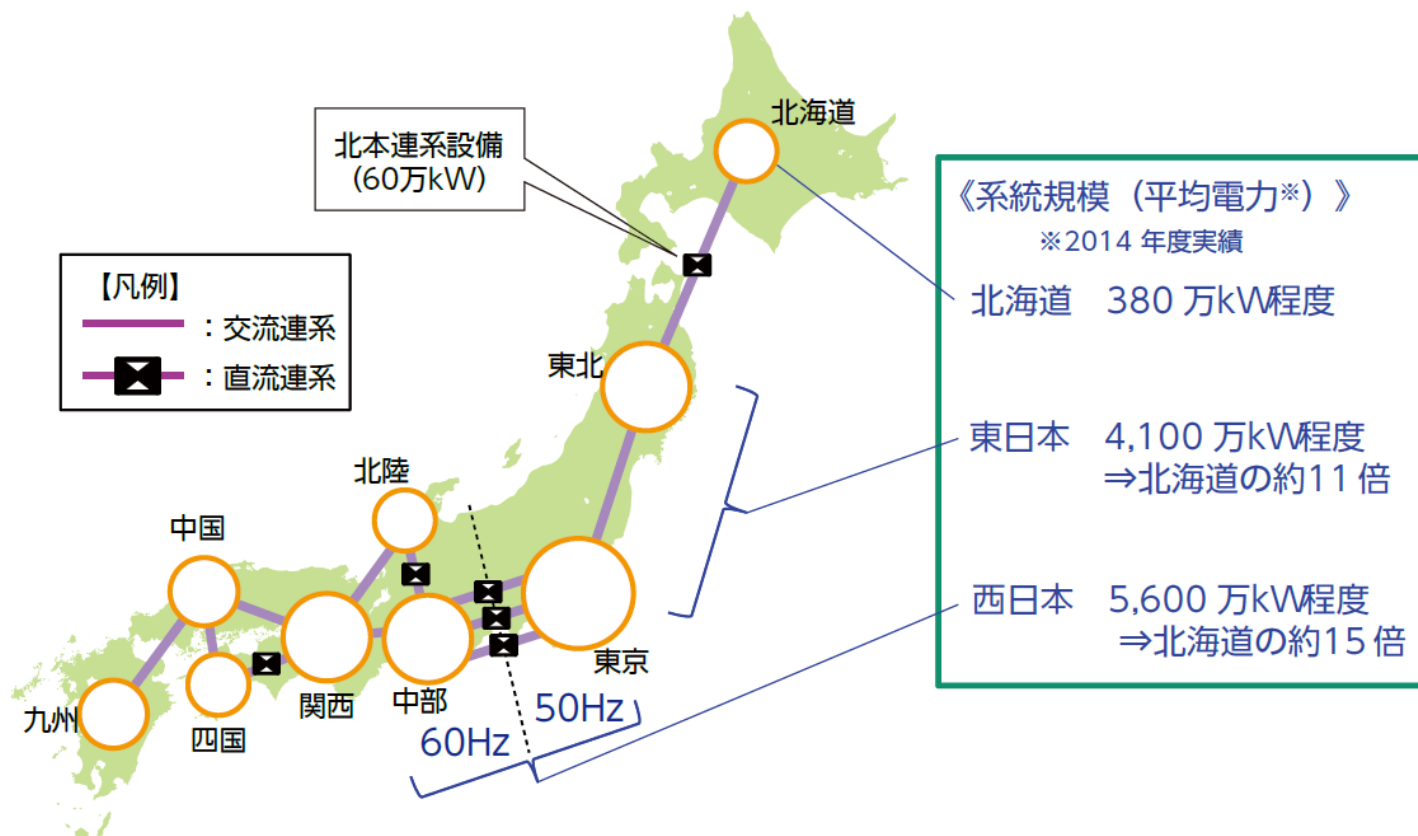
再生可能エネルギーの導入量(2016年3月末)



## 2. 北海道の電力系統の特徴と再エネ導入に係る課題

### (1) 北海道の電力系統の特徴(1/2)

- 北海道の系統規模は、他の電力会社と比べて小容量です。
- 北海道と本州とは、北本連系設備の1箇所でのみ連系され、その容量は60万kWに限られています。
- したがって、他の電力会社と比べて、風力・太陽光発電のような出力変動が大きな電源が系統に与える影響は、相対的に大きくなります。



## 2. 北海道の電力系統の特徴と再エネ導入に係る課題

### (1) 北海道の電力系統の特徴(2/2)

- 北海道エリアの安定供給を確保※する観点から、北海道本州間連系設備（北本連系設備）の30万kW増強を計画しています。

※電源脱落時の周波数低下抑制

#### <概要>

送電巨長：約122km

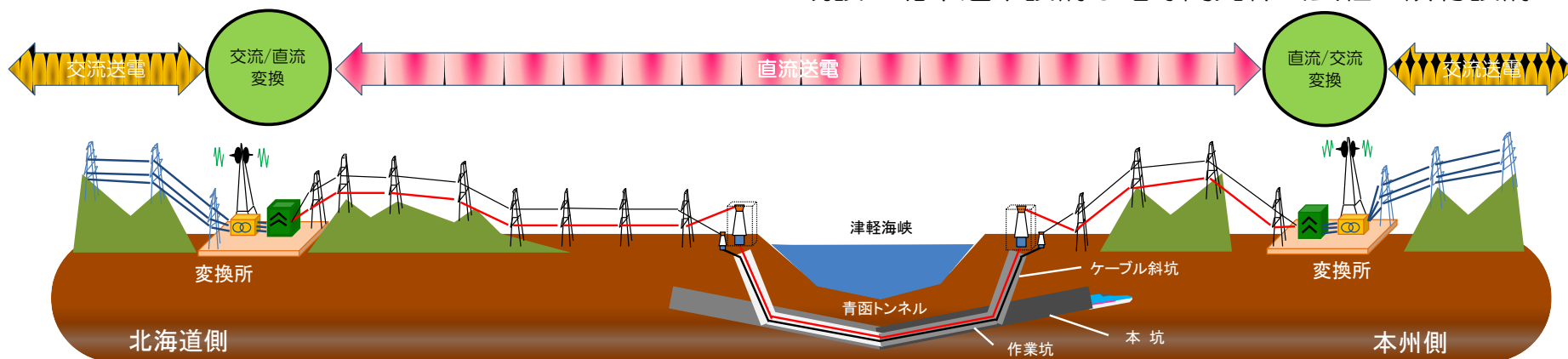
- ・ 架空送電線 北海道側77km程度  
                  本州側 21km程度
- ・ 地中ケーブル 24km程度

着工：2014年4月

運転開始：2019年3月

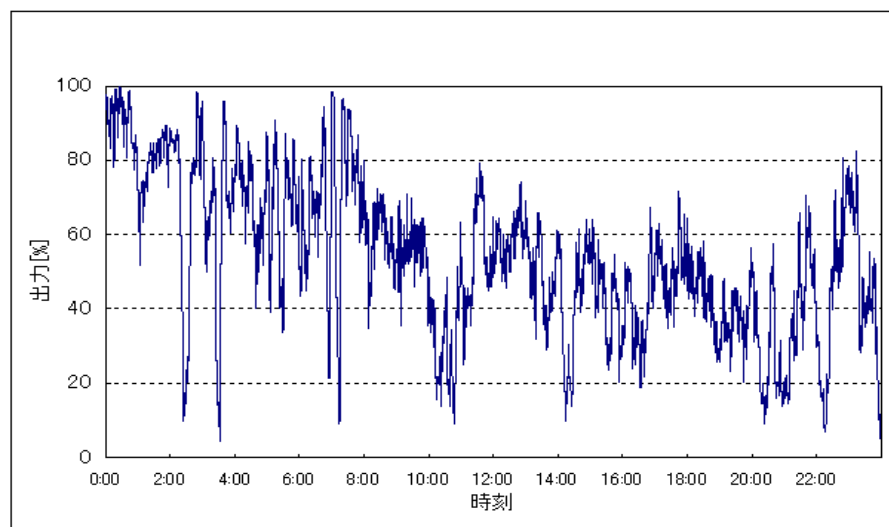


※既設の北本連系設備は電源開発株式会社の所有設備

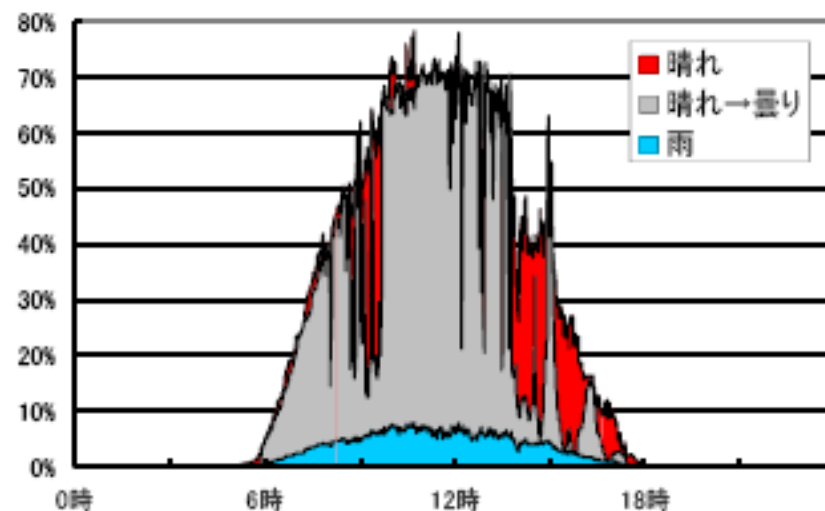


### (2) 再エネ電源の連系に係る主な課題(1/4)

- 風力発電と太陽光発電の出力は、気象条件によって大きく変動します。



【風力発電の出力変動例】



【太陽発電の出力変動例】

### (2) 再エネ電源の連系に係る主な課題(2/4)

- 電力系統への影響範囲（北海道全体か発電所周辺か）別に、主な検討項目は、以下の4つに区分されます。

	対象	北海道全体の電力系統	発電所周辺の送変電設備
発電量の 変動	風力・ 太陽光	<p>①周波数調整面</p> <p>再エネ発電の出力変動によって発生する周波数変動を基準内に調整できるか</p>	<p>③電圧変動面</p> <p>再エネ発電の出力変動によって発生する電圧変動を基準内に調整できるか</p>
発電量の 大きさ	全ての 電源	<p>②需給調整 (下げ代) 面</p> <p>需要に対して供給が過剰とならないか</p>	<p>④設備容量面</p> <p>送電線や変電所の変圧器を流れる電力が、設備の容量を超えないか</p>

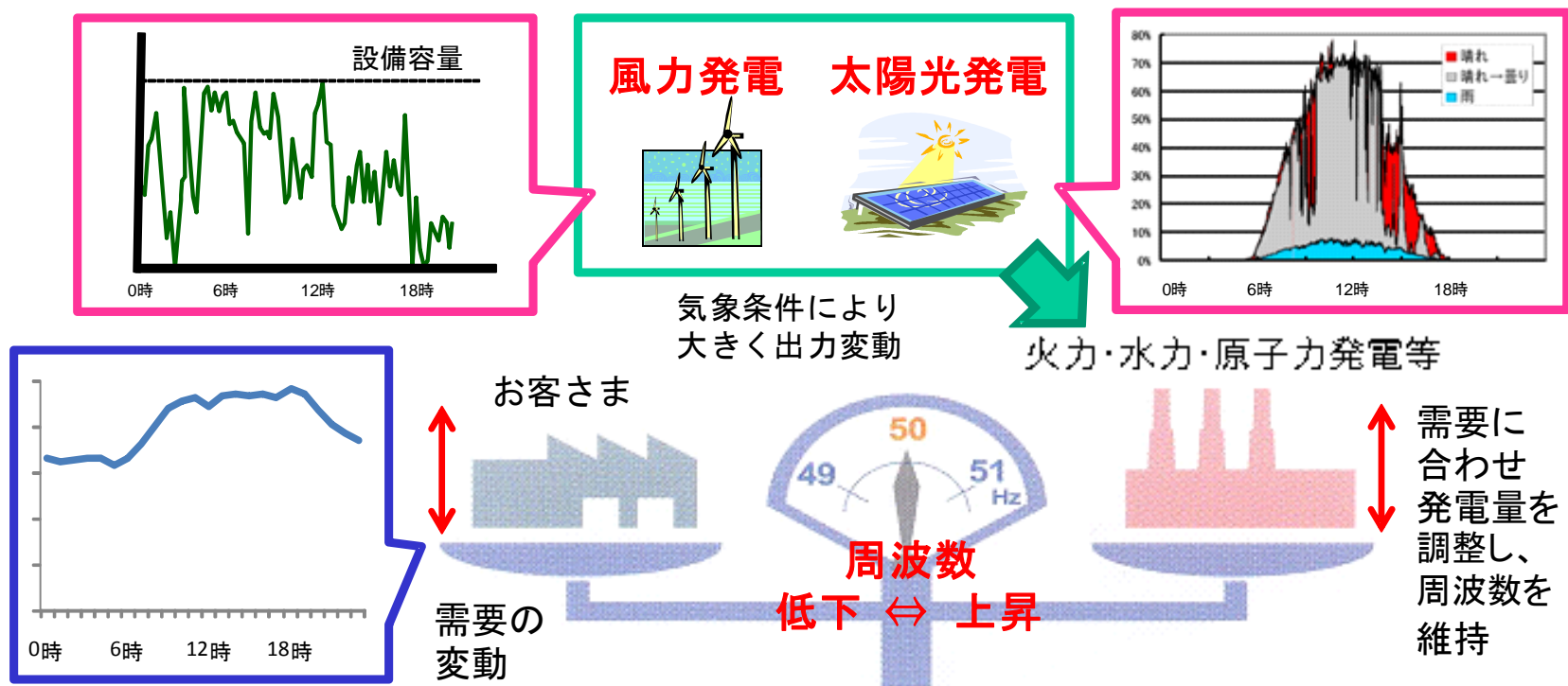
#### ※下げ代

- 火力発電機は、運転を継続するためには発電出力を一定値以下にすることができないため、抑制できる範囲は限られており、その範囲を下げ代と呼んでいます。
- 風力・太陽光発電の出力が下げ代以上となる場合、需要に対し供給が過剰となるため、電力品質を維持することができません。



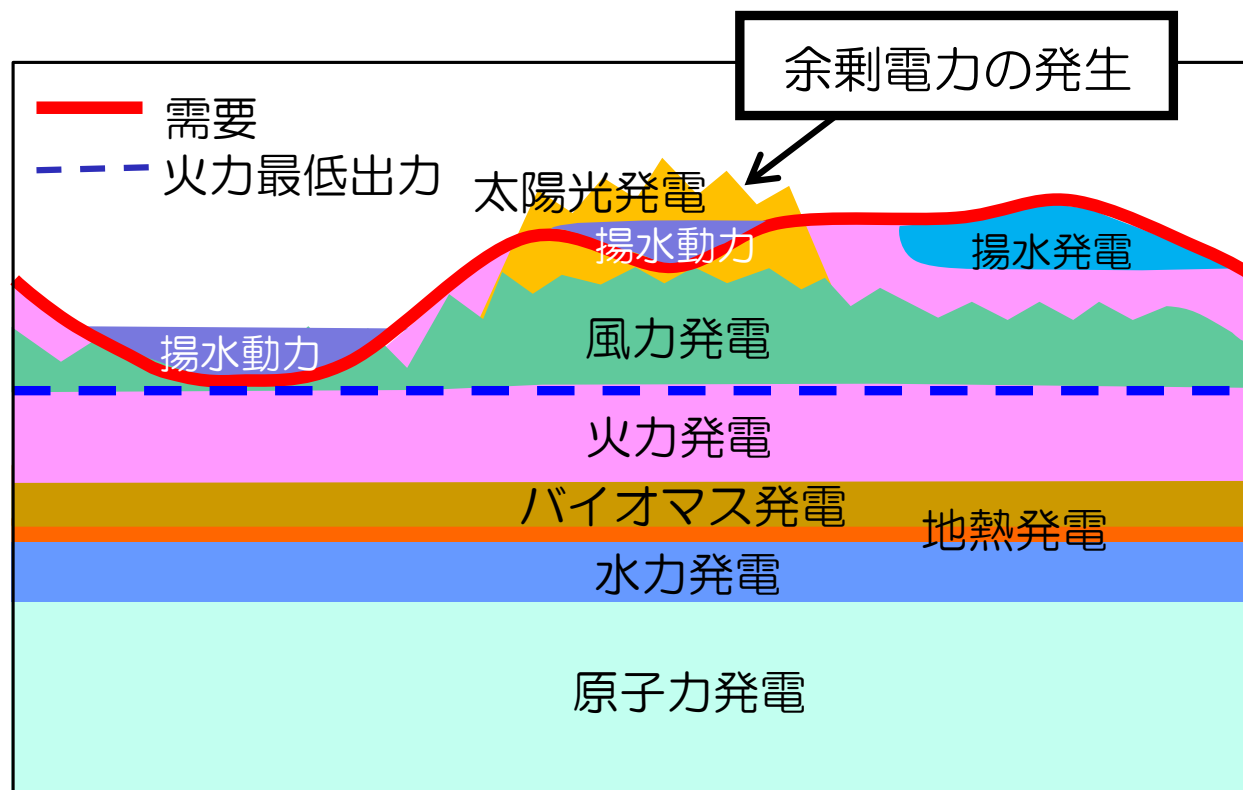
### (2) 再エネ電源の連系に係る主な課題(3/4)

- 時々刻々と変化する需要の変動に加えて、気象条件によって変動する風力発電や太陽光発電の出力変動にも対応するよう、火力発電所などの出力を調整し、周波数を一定に維持しています。



### (2) 再エネ電源の連系に係る主な課題(4/4)

- 風力・太陽光発電が大量に導入された場合、休日などの需要が少ない時期には、火力発電所の出力を可能な限り減少させても余剰電力が発生し、需要と供給のバランスが維持できない状況となるおそれがあります。



### (3) 接続可能量評価(1 / 3)

#### 【自然変動電源の接続可能量評価】

- 電力を安定に供給するためには、常に需要と総発電出力のバランスを保つ必要があります。
- 風力発電、太陽光発電は、気象状況により出力が変動する電源であり、需要と総発電出力をバランスさせるためには、「需要変動」に加えて、「自然変動電源の出力変動」に対応するための発電機の調整能力が必要となります。
- 自然変動電源の接続可能量評価においては、これらの変動に対応するための発電機の調整能力が充分であるかを、以下の3つの検討により判断しています。

#### ①短周期変動 調整面

- ・ 短い周期（20分以下）の変動に対応できるか

#### ②長周期変動 調整面

- ・ 長い周期（20分以上）の変動に対応できるか

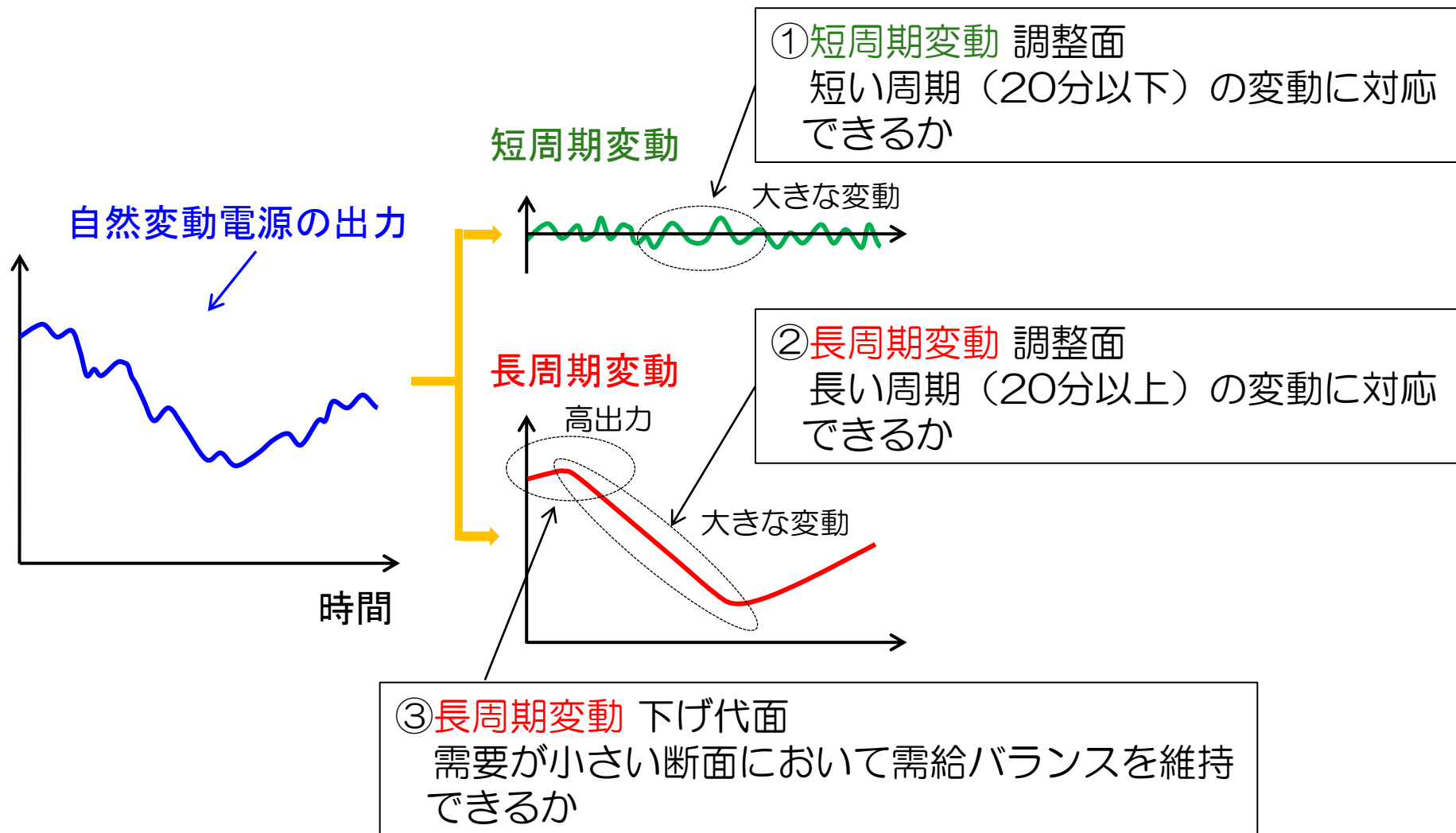
#### ③長周期変動 下げ代面

- ・ 需要が小さい断面において需給バランスを維持できるか

### (3) 接続可能量評価(2/3)

【自然変動電源の接続可能量評価のイメージ】

- 自然変動電源の出力変動を短周期変動と長周期変動に分けて考えます。



### (3) 接続可能量評価(3/3)

- 「短周期変動 調整面」、「長周期変動 調整面」については、需要＋自然変動電源の変動に対して、発電機出力調整幅および発電機出力変化速度が対応できるかを評価しております。
  - ・ 発電機出力調整幅  
需要＋自然変動電源の出力変動の大きさに発電機の調整幅で対応できるか（出力の上下限の制約から調整不足とならないか）。
  - ・ 発電機出力変化速度  
需要＋自然変動電源の出力変動の速さに発電機の出力変化速度が追従できるか。
- 「長周期変動 下げ代面」については、自然変動電源を含めた総発電出力が需要を上回らないかを評価しております。

⇒自然変動電源の連系にあたっては、3つの評価を全て満足する必要がありますが、下げ代面は時間断面毎の評価であり、周波数調整面は時間変化を考慮した評価となります。このため、下げ代面では問題がなくても、発電機の出力調整幅や出力変化速度の制約により変動に追従できない場合には、周波数調整面からの連系制約が必要となります。

### (4) 当社における風力発電への対応状況

- 段階的な連系量拡大

風力発電の出力は気象条件により大きく変化するため、電力品質に与える影響を評価しながら、段階的に連系量を拡大してきました。

- 東京電力との実証試験（後述）

北本連系設備を利用し、東京電力(株)と共同で風力発電を20万kW導入拡大する実証試験を実施します。

年度	対応内容	[ ]内：接続可能量
1992年度	・ 風力発電事業者からの電力購入を開始	
1999年度	・ 当面は <u>受入量を15万kW</u> とし、技術検証の実施を公表	[15万kW]
2002年度	・ 実績データを用いた15万kWの技術検証結果を公表 ⇒ <u>接続可能量を25万kW</u> と公表	[25万kW]
2006年度	・ 風力小委の報告書に基づいて <u>解列枠5万kW</u> を募集	[25+5万kW]
2007年度	・ 25万kWの実績データから接続可能量を再評価 ⇒ <u>接続可能量を31万kW</u> と公表	[31+5万kW]
2011年度	・ さらなる風力導入拡大方策として、東京電力と共同で地域間連系線を活用した <u>実証試験として20万kW</u> を募集	[31+5+20万kW]
2015年11月	・ 国の系統WGにおいて、需給調整（下げ代）面での <u>接続可能量（30日等出力制御枠）を36万kW</u> 、周波数調整面での <u>接続可能量を36万kW</u> （実証試験分20万kWを除く）と報告し、承認	
2015年12月	・ 風力発電の指定電気事業者へ指定（経済産業省告示）により、出力制御無補償での受入れ	

### (5) 当社における太陽光発電への対応状況

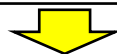
年月	対応内容
2012年7月	<ul style="list-style-type: none"> <li>固定価格買取制度（FIT）開始</li> </ul>
2013年4月	<ul style="list-style-type: none"> <li>固定価格買取制度の施行後、北海道は、広い土地の確保が容易であることなどから、太陽光発電の導入が全国の3割弱まで集中（当時）                     <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ 需給調整（下げ代）面の制約から500kW以上の発電設備の接続可能量を70万kWと公表</li> <li>⇒ 周波数調整面の制約から2,000kW以上の発電設備の接続可能量を40万kW程度と公表</li> </ul> </li> </ul>
2014年12月	<ul style="list-style-type: none"> <li>国の系統WGにおいて、当社は北海道における太陽光発電の需給調整（下げ代）面での接続可能量を117万kW（うち、周波数調整面の制約から、2,000kW以上の発電設備は接続可能量を37万kW）を報告し、新エネルギー小委員会において承認</li> </ul>
2015年1月	<ul style="list-style-type: none"> <li>省令改正による出力制御ルール等の変更にに基づき、太陽光発電について、指定電気事業者制度の下、出力制御無補償での受入れ</li> </ul>
2015年3月	<ul style="list-style-type: none"> <li>発電事業者様の予見性を確保する観点から、指定電気事業者制度の下、連系いただく場合の太陽光発電の出力制御見通し（時間数）を公表</li> </ul>
2015年11月	<ul style="list-style-type: none"> <li>国の系統WGにおいて、最新の需要状況等に基づき、需給調整（下げ代）面での接続可能量（30日等出力制御枠）を117万kW（変更なし）と報告し、承認</li> </ul>

赤：需給調整（下げ代）面、青：周波数調整面

### (6) 風力発電設備の出力変動緩和対策 (1/3)

- 風力発電の長周期変動 下げ代面では指定電気事業者制度の下、出力制御無補償が連系の条件となります。
- 下げ代面での対策に加え、更なる連系拡大には、蓄電池併設等による短周期変動、長周期変動 調整面の対策が必要となります。

	①短周期変動 調整力面	②長周期変動 調整力面	③長周期変動 下げ代面
一般枠	北海道の調整力で対応可能な連系量 (平滑化効果込み) 〔56万kW〕	火力3台時の調整力により対応可能な連系量 〔31万kW〕	30日等出力制御枠 〔36万kW〕
解列枠		火力4台時の調整力により対応可能な連系量 〔36万kW (+5万kW) 〕	
実証試験	—	北本により風力変動相当分を送電 〔56万kW (+20万kW) 〕	—



更なる連系拡大	蓄電池併設等による出力変動緩和対策が必要	指定ルール
---------	----------------------	-------

<参考>

太陽光発電	〔37万kW〕	—	〔117万kW〕
-------	---------	---	----------



### (6) 風力発電設備の出力変動緩和対策 (2/3)

#### 【風力発電の出力変動緩和対策の考え方】

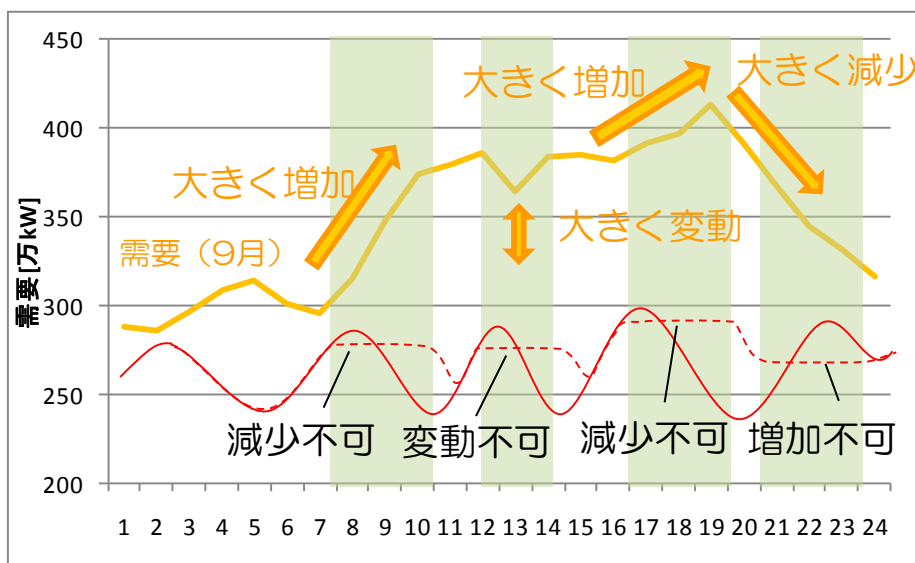
風力発電の更なる連系拡大に向け、当社では以下のとおり考えております。

- 今後の風力発電の更なる連系拡大には、短周期変動、長周期変動 調整面で対策が必要となります。
- 現時点で、早期の連系を希望する事業者様に対しては、蓄電池等の設置による出力変動緩和対策の実施を条件に連系協議を進めてまいります。
- さらに、実証事業として系統蓄電池を南早来変電所に設置し、昨年12月より各種検証を開始したところであり、実証試験の定量的な評価を踏まえ、更なる連系拡大の検討を進めてまいります。
- 一方、現状で蓄電池による対策は高コストとなること、また北海道エリアにおいては、下げ代面で出力制御が無補償となっている状況も踏まえると、本来は連系線等による広域的な調整に期待することが望ましいと考えます。
- 今後は、東京電力との風力実証試験、系統蓄電池の実証試験等を踏まえ、更なる連系拡大の検討を進めていきます。

### (6) 風力発電設備の出力変動緩和対策 (3/3)

【長周期変動対策 (H28年4月公表の技術要件)】

- 長周期変動対策は、長周期変動を緩和した一定運転が要件となり、一定にする時間が長時間となるほど、大容量の蓄電池が必要となる。
- 長周期変動の周波数調整面における影響は需要変動と風力発電の出力変動の重畳により大きくなるが、需要変動は規則性があることから、制約を設ける時間帯を限定することとし、必要な蓄電池容量の低減を図る。
- 蓄電池により、需要変動が大きい昼間帯や点灯帯等に、発電所合成出力が需要変動と逆方向の変動とならないよう制御していただく。



— 風力発電出力    - - - 発電所合成出力

指定時間帯において、発電所合成出力の変動方向を制御

7:00~10:00 : 制約①

11:30~13:30 : 制約②

16:00~19:00 : 制約①

20:00~23:00 : 制約③

制約① : 蓄電池の放電等により合成出力を減少させない

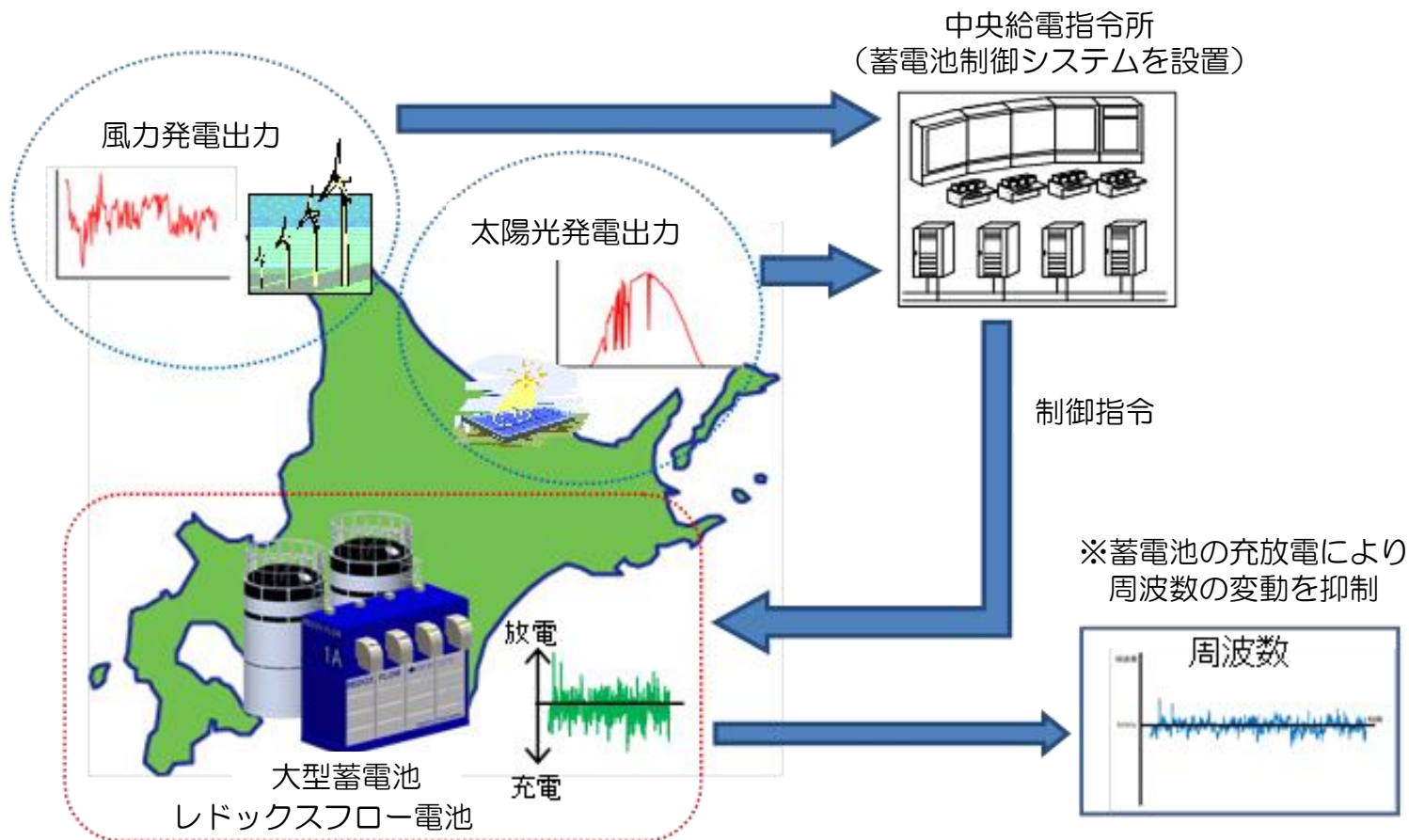
制約② : 蓄電池の充放電等により合成出力を増減させない

制約③ : 蓄電池の充電等により合成出力を増加させない

### 3. 再エネの導入拡大に向けた取り組み

#### (1) 大型蓄電システム実証試験 (1/3)

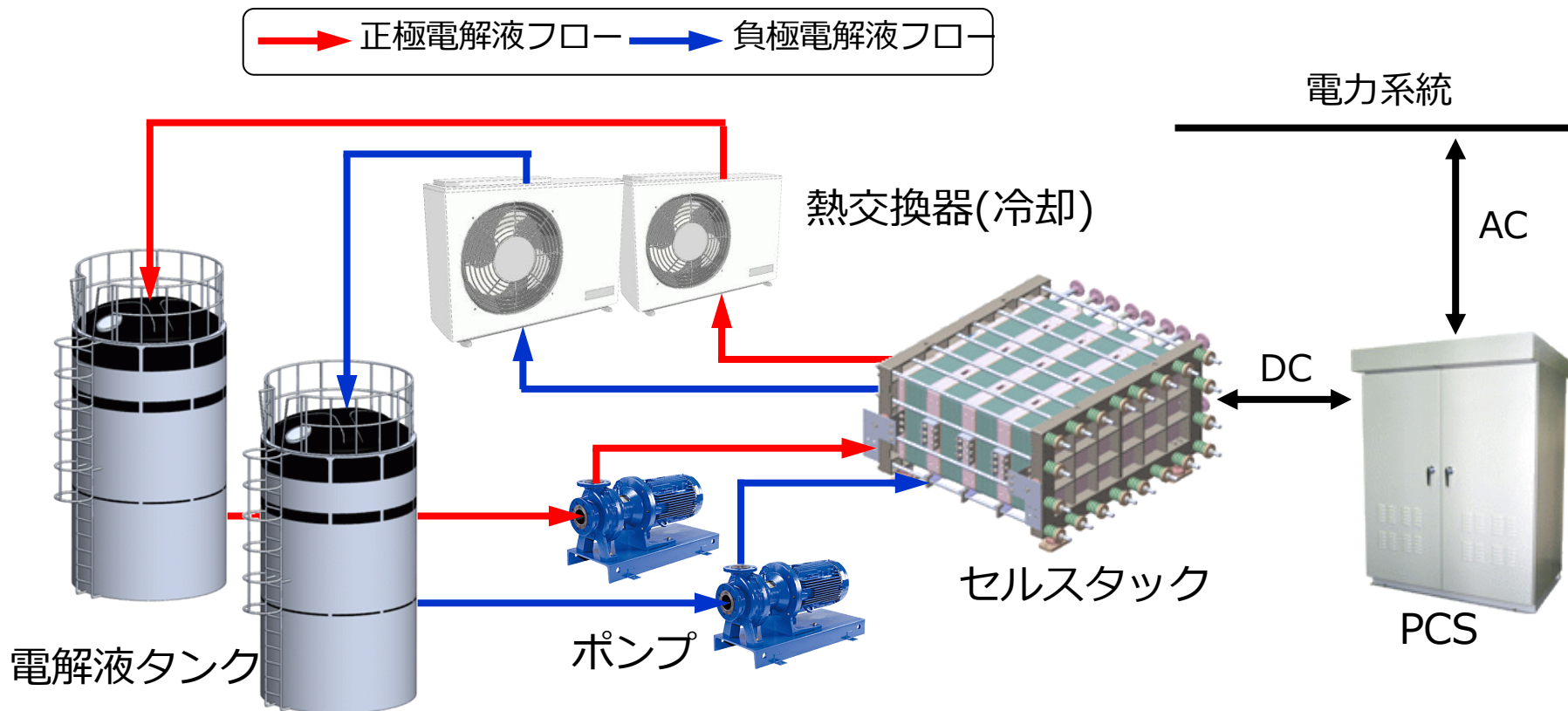
- 経済産業省の「大型蓄電システム緊急実証事業」に応募し、採択されました。
- 住友電気工業（株）と当社が共同で275kV基幹系統の南早来変電所にレドックスフロー電池（15MW×4時間容量）を設置します。
- 再生可能エネルギーの出力変動に対する調整力としての性能実証および最適な制御技術を開発します。



### 3. 再エネの導入拡大に向けた取り組み

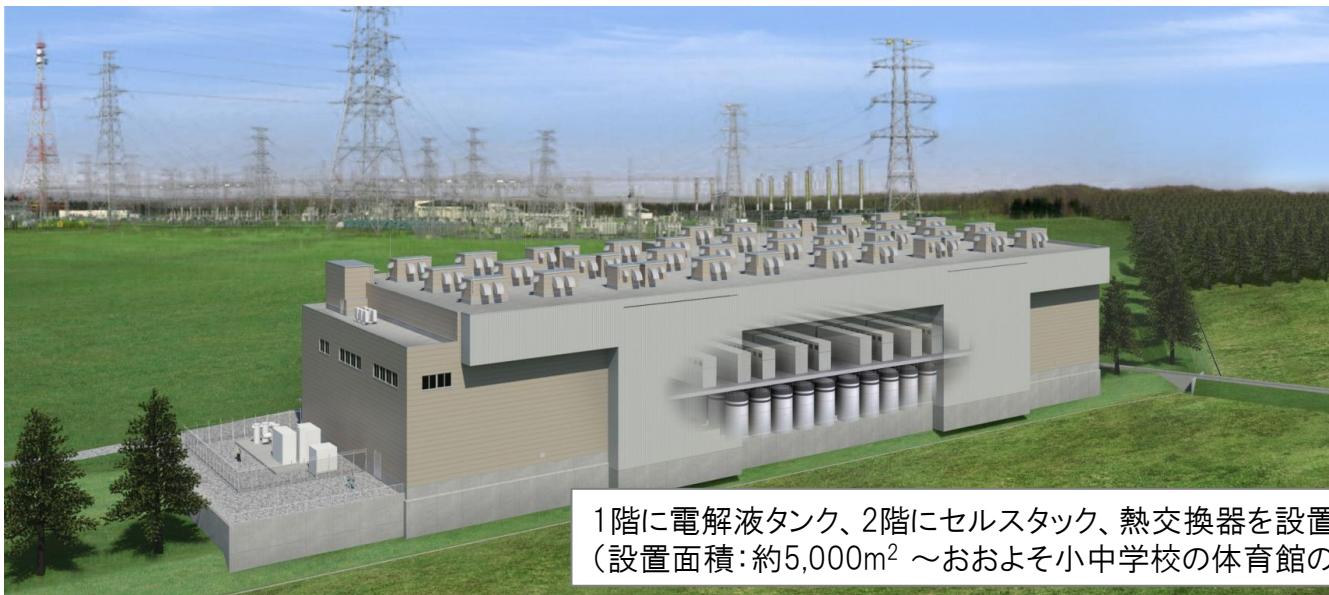
#### (1) 大型蓄電システム実証試験 (2/3)

- レドックスフロー電池は、下図に示すように電池反応を行うセル、電解液を貯蔵する正負極のタンク、さらに電解液をタンクからセルへと循環するためのポンプ、配管などから構成されています。



# 3. 再エネの導入拡大に向けた取り組み

## (1) 大型蓄電システム実証試験 (3/3)



1階に電解液タンク、2階にセルスタック、熱交換器を設置  
(設置面積:約5,000m<sup>2</sup> ~おおよそ小中学校の体育館の4倍程度に相当)

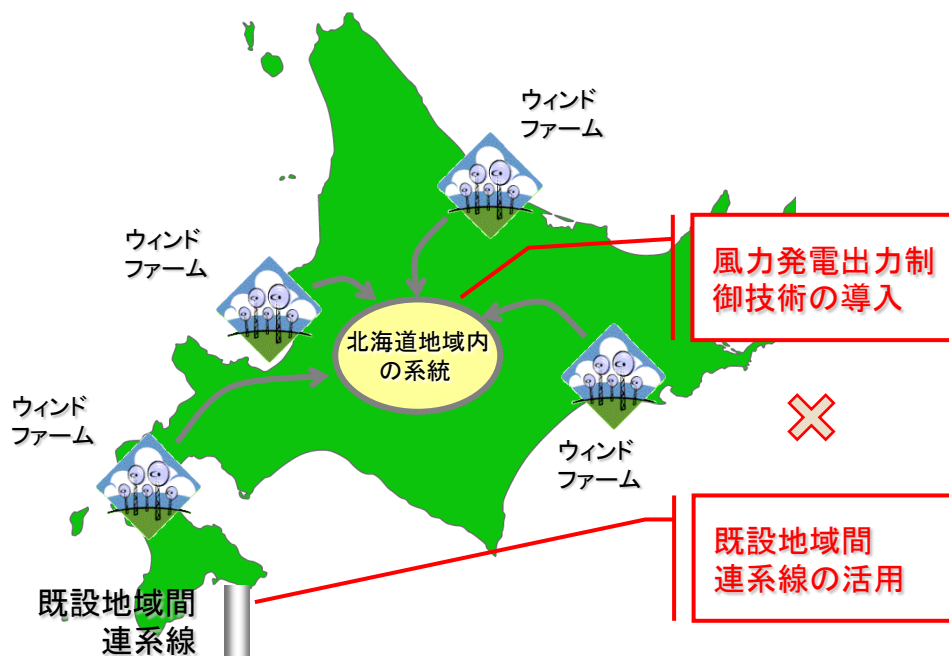
事業工程表 (計画)

区分	実施内容	設備構築期間			実証試験期間		
		2013	2014	2015	2016	2017	2018
住友電工	・蓄電池設計、製造	→			運転開始		
	・蓄電池建屋設計、建設	→					
	・蓄電池設備設置、調整試験			→			
	・蓄電池性能評価、保守					→	
北海道電力	・蓄電池制御システムの開発 (仕様検討・詳細設計、設備構築)	→					
	・風力・太陽光発電出力予測システムの開発 (手法開発・設計・設備構築)	→					
	・両システムの実証、分析、評価 および改良				→		

### 3. 再エネの導入拡大に向けた取り組み

#### (2) 風力発電の導入拡大に向けた実証試験

- 風力発電の導入拡大に向けた新たな取り組み（需給調整面の課題への対応）として、東京電力(株)と共同で、既設地域間連系線を利用した実証試験を実施します。
- 本実証試験では、風力発電出力予測にもとづいて、既設地域間連系線を通じて東京電力(株)に電気を送電することにより、東京電力(株)の調整力を活用します。
- 2017年度から実証試験を開始する予定です。

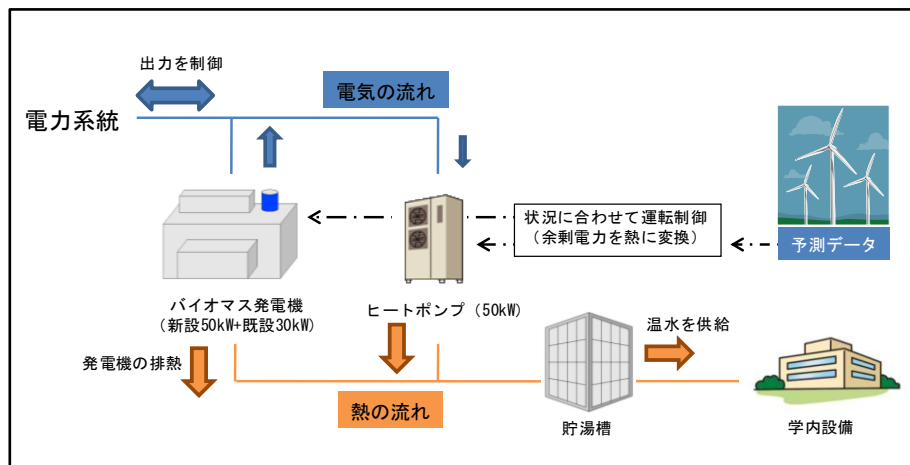


### 3. 再エネの導入拡大に向けた取り組み

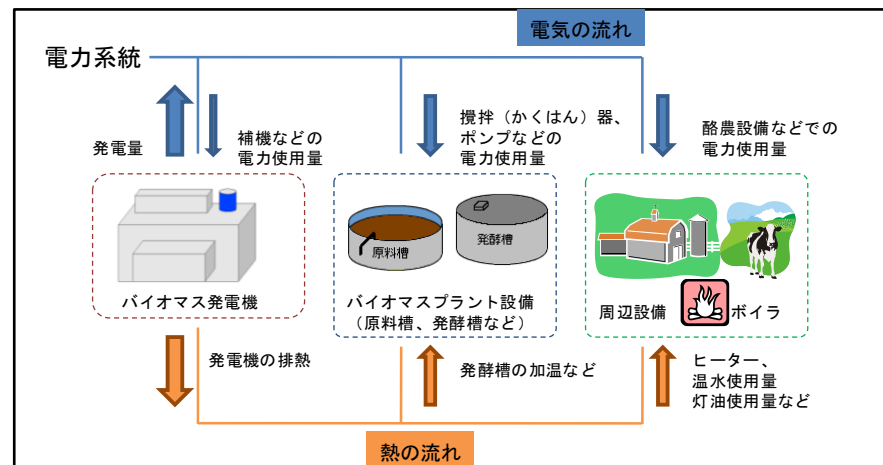
#### (3) 家畜系バイオマス発電に係る研究開発事業 (1/2)

- 北海道の基幹産業である畜産業とも密接に関係し、地域に根ざしたエネルギーである家畜系バイオマス発電の出力制御に係る研究開発に取り組みます。
- 家畜系バイオマス発電は、現在まで連系実績が少なく、出力の特性を把握し、電力系統への影響を評価していく必要があります。
- 家畜系バイオマス発電は、電気と熱の併給により熱も含めた蓄エネルギーが可能です。本研究開発では、電気と熱を効率的に制御することで、出力制御技術の開発とエネルギーの有効利用方策の検討を進めます。

#### 実証プラントでの研究開発 (酪農学園大学構内)



#### 大規模プラントでの研究開発 (鹿追町、別海町)



※本研究開発は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合 開発機構 (NEDO) の「電力系統出力変動対応 技術研究開発事業」の一つとして、当社と北海道大学が共同で実施します。

### 3. 再エネの導入拡大に向けた取り組み

#### (3) 家畜系バイオマス発電に係る研究開発事業 (2/2)

- 本研究開発で得られる知見を活用し、系統影響の評価や対応策の検討などを行い、今後の再生可能エネルギーの連系拡大に向けた取り組みを進めていきます。

#### 研究開発の実施スケジュール

(年度)

	担当	2014	2015	2016	2017	2018
実証プラント設備の設置	北海道大学		→			
実証プラントを用いた出力制御技術の開発	北海道大学	→	→	→	→	→
大規模プラントデータの収集・分析	北海道電力		→	→	→	→
大規模プラントでの出力制御技術の開発・エネルギーの有効利用方策の検討	北海道電力		→	→	→	→
実証プラントおよび大規模プラントでの研究成果に基づく出力制御技術の有効性評価	北海道大学 北海道電力				→	→

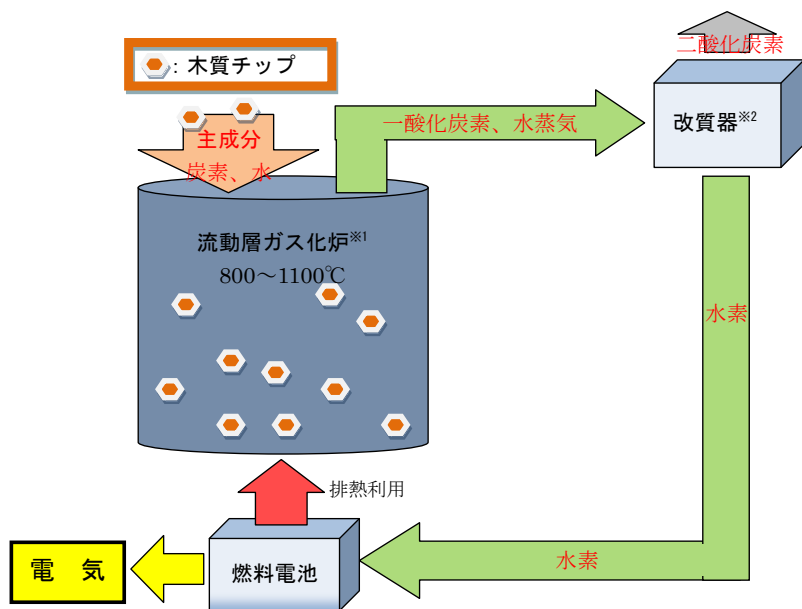


### 3. 再エネ導入拡大に向けた取り組み

#### (4) 小規模木質バイオマス発電実証事業

- 地域に根ざした再生可能エネルギーの導入拡大に向けて、水素を活用した新たな技術の開発を目指す「小規模木質バイオマス発電実証事業」に取り組みます。
- 従来の木質バイオマス発電の多くは、蒸気タービン式の発電システムを採用しておりますが、小規模では発電効率が低下するため、導入にあたっての課題となっています。
- 本実証事業では、木質バイオマスをガス化および改質することで「水素」を生成し、燃料電池で発電する“高効率発電システム”の構築を目指していきます。加えて、燃料電池から発生する廃熱を全量回収・活用することで、全体のエネルギー効率向上を目指してまいります。

#### 実証システムの概要（倶知安町）



実施内容		2016	2017	2018	2019(年度)
装置設置	流動層ガス化炉	→			
	改質器		→		
	燃料電池			→	
試験等項目	・流動層ガス化炉の設計・製作、設置、試運転	→			
	・流動層ガス化炉の試運転データの収集、整理、解析	→			
	・タール処理方法に関する解析、生成ガスのデータ解析		→		
	・流動層ガス化炉での熱効率向上試験		→		
	・改質器等の設計・製作、設置、試運転		→		
	・発電試験		→		
	・流動層ガス化炉連続運転		→		
	・連続発電試験		→		
	・発電容量検討、試作、設置		→		
	・全体システム動作検証			→	
・経済性評価			→		
・森林バイオマス資源の賦存量調査など	→	→	→	→	

- ※1：流動層ガス化炉 木質チップを熱分解し、一酸化炭素と水蒸気を発生する炉
- ※2：改質器 一酸化炭素と水蒸気を触媒で反応させ、水素と二酸化炭素に改質する装置

- 北海道の電力系統は、本州系統と比べて規模が小さく、風力・太陽光発電の出力変動に伴う周波数変動などの影響を受けやすいため、連系に制約が生じやすいのが実態です。
- 「風力発電」については、北海道は気象環境面で適地であり、当社では電力品質に与える影響を評価しながら、段階的に連系量を拡大してきました。新たな取り組みとして、北本連系設備を通じて東京電力に送電する実証試験を進め、さらなる導入拡大に努めていきます。
- 「太陽光発電」については、2012年7月の固定価格買取制度の開始以降、大規模メガソーラーを中心に導入拡大が進んでおり、技術的な検証を行いながら、受入れを進めています。
- 経済産業省の「大型蓄電システム緊急実証事業」やNEDOの「家畜用バイオマス発電に係る研究開発事業」に参画する等、各種技術検証に取り組んでまいります。
- 北海道の電力系統への再生可能エネルギーの受け入れにあたっては、周波数変動対策が必要となります。経済産業省による系統WGにおいて、更なる拡大方策の1つとして系統蓄電池による対策が議論されました。
- 今後も再生可能エネルギーの導入拡大に向けて、引き続き系統影響評価を行いながら検討を進めてまいります。

## 【参 考】

- 発電電力量に対する再生可能エネルギー発電電力量の占める割合を国別に比較すると、下表のとおりです
- 水力を含めた再生可能エネルギーの割合は、日本は11%であり、イギリス、アメリカと同程度となっています。  
（日本は、山岳地帯が多く、水力発電の比率が高くなっています。）
- 北海道は、水力を含めた再生可能エネルギーの割合が20%であり、欧米と比較しても遜色ないレベルにあります。

発電電力量に占める再生可能エネルギーの割合の国際比較  
〔発電電力量に占める割合：海外は2012年、日本は2013年度〕

	ドイツ	スペイン	イギリス	フランス	アメリカ	日本	北海道
再生可能エネルギー (水力除き)	18.9%	22.5%	10.0%	4.5%	5.6%	2.2%	3.0%
再生可能エネルギー (水力含み)	22%	30%	11%	15%	12%	11%	20%

※新エネルギー小委員会 第1回（2014年6月17日）資料をもとに作成

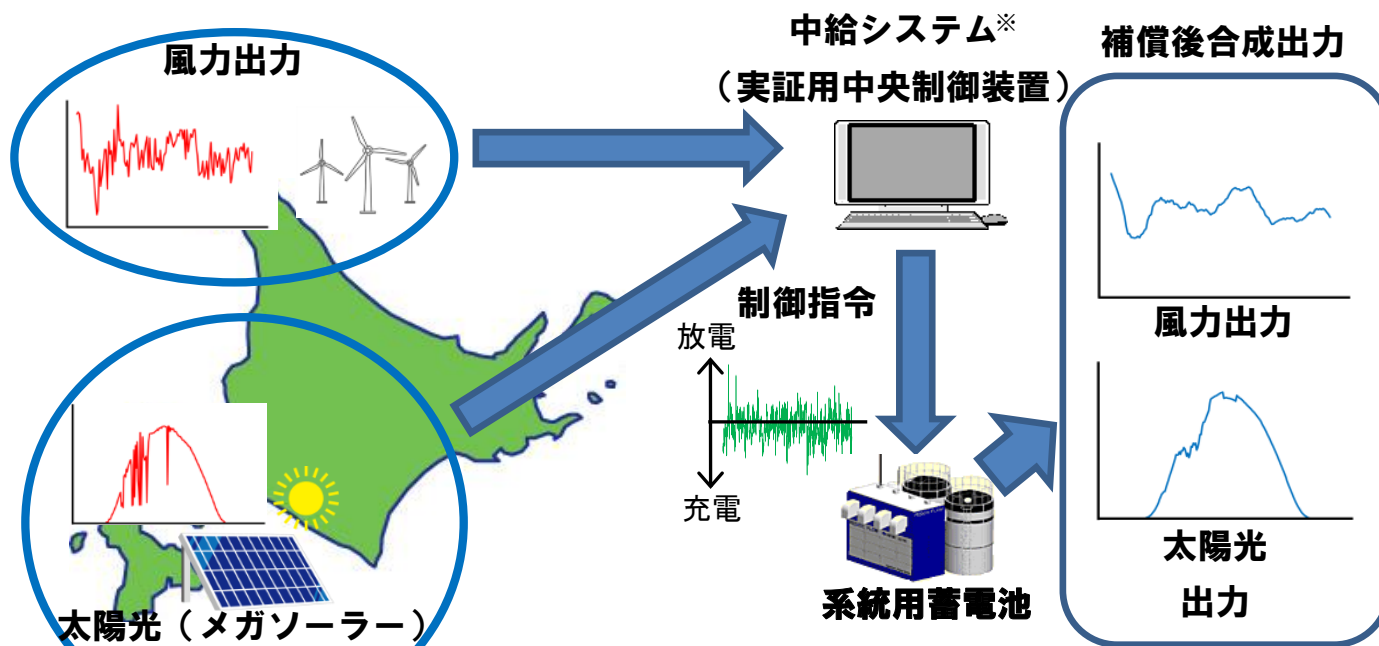
## ○蓄電池制御システムの開発

- 本事業では、「短周期変動抑制制御」「長周期変動抑制制御」および「下げ代不足対策運転」の各制御手法について、実証試験を行うことを計画しています。

制御手法		概要
短周期変動抑制制御	風力・太陽光発電の変動補償制御 <制御1>	複数の風力・太陽光の発電出力データを収集し、それらの合計出力の短周期変動分を補償する制御
	ガバナフリー相当制御 <制御2>	蓄電池側で周波数を検出し、周波数偏差に応じて制御（自律制御）
	負荷周波数制御（LFC） <制御3>	周波数偏差に応じて、系統全体の出力調整量を決定し、各水力発電所・蓄電池に配分する制御
長周期変動抑制制御 <制御4>		風力・太陽光発電の出力予測に基づき、これらの発電による長周期出力変動を緩和する制御
下げ代不足対策運転 <制御5>		風力・太陽光発電の出力予測と需給計画に基づき、余剰電力の発生を回避するよう運転を計画

## ＜制御1＞風力・太陽光発電の変動補償制御

- 複数サイトの風力・太陽光の発電出力データを収集し、それらの合計出力の短周期変動分を補償する系統用蓄電池の制御方法



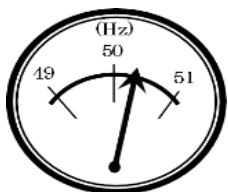
対象発電機出力の短周期変動を検出し、それを打ち消すよう蓄電池に指令

※中給システム：中央給電指令所 自動給電システム

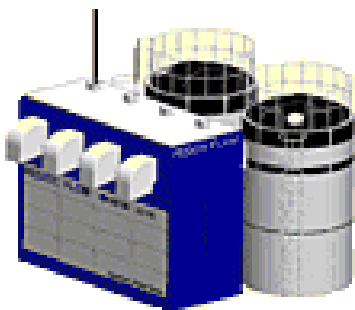
## ＜制御2＞ガバナフリー相当制御

- 系統用蓄電池を周波数調整用電源とみなし、蓄電池側で周波数を検出し、周波数偏差に応じて蓄電池を制御する方法（自律制御）

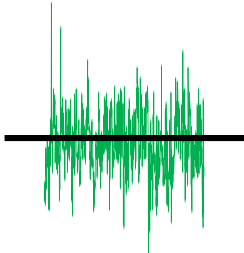
### 周波数検出



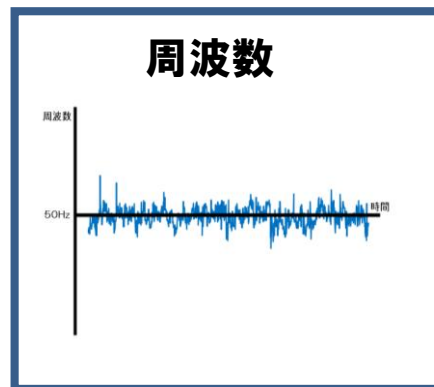
### 系統用蓄電池



### 充放電制御 （自律制御）



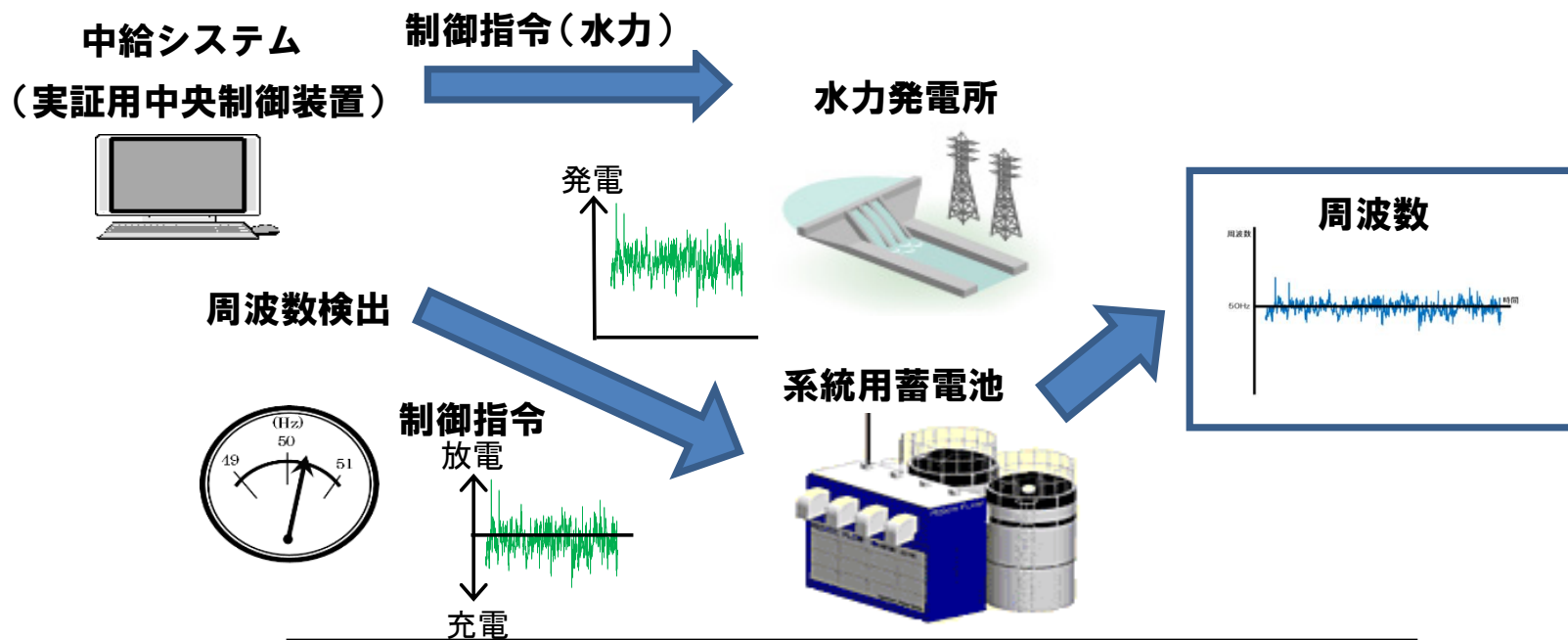
### 周波数



周波数を検出し、基準周波数からの偏差に応じて基準周波数に引き戻すように蓄電池を制御（自律制御）

## ＜制御3＞負荷周波数制御（LFC）

- 蓄電池を周波数調整用電源とみなし、負荷周波数制御（LFC）対象の発電所と同じように扱い、中給システムで周波数を検出し、周波数偏差に応じて必要な出力調整量を決定し、各発電所・系統用蓄電池に配分する制御方法を開発

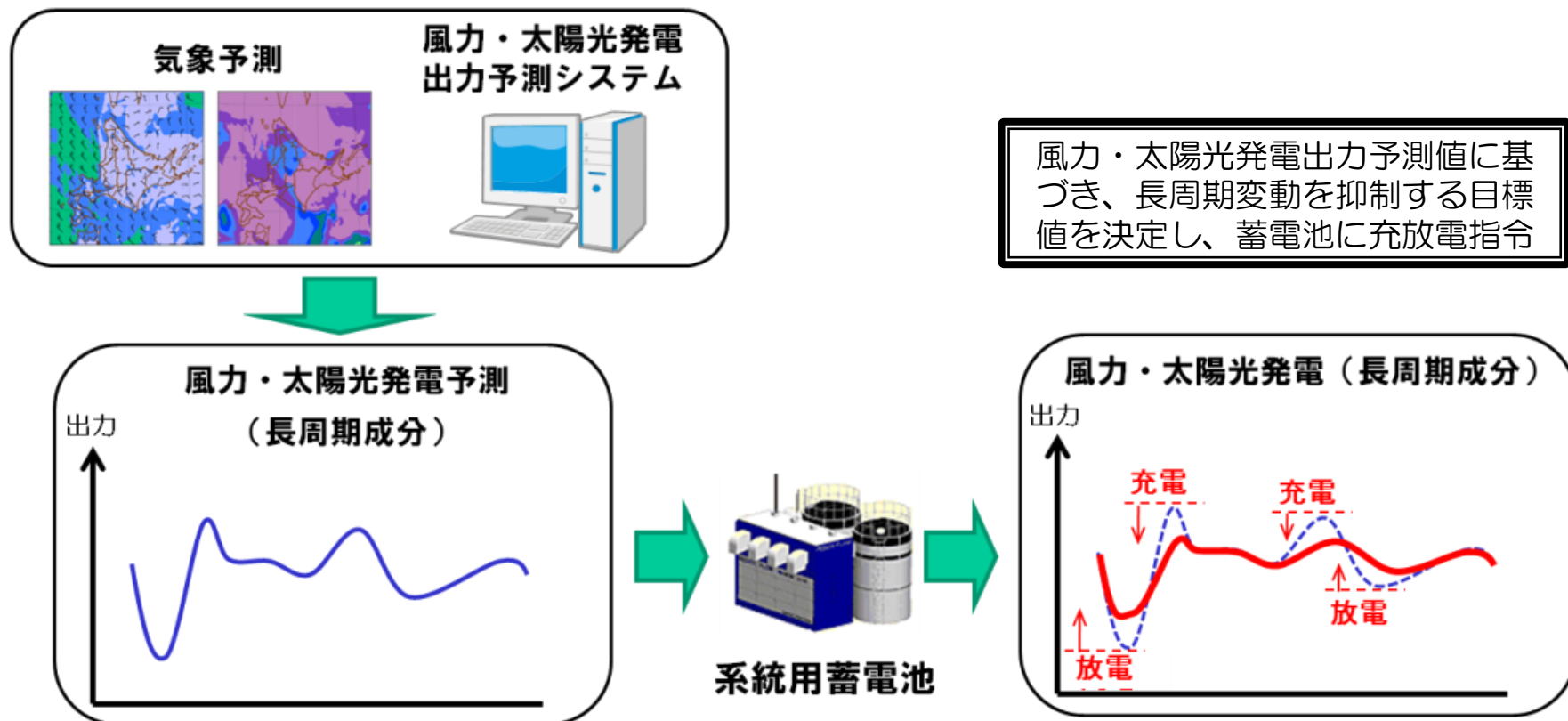


中央給電指令所で周波数変動抑制に必要な出力調整量と各水力発電所と系統用蓄電池への最適な配分量を計算して指令



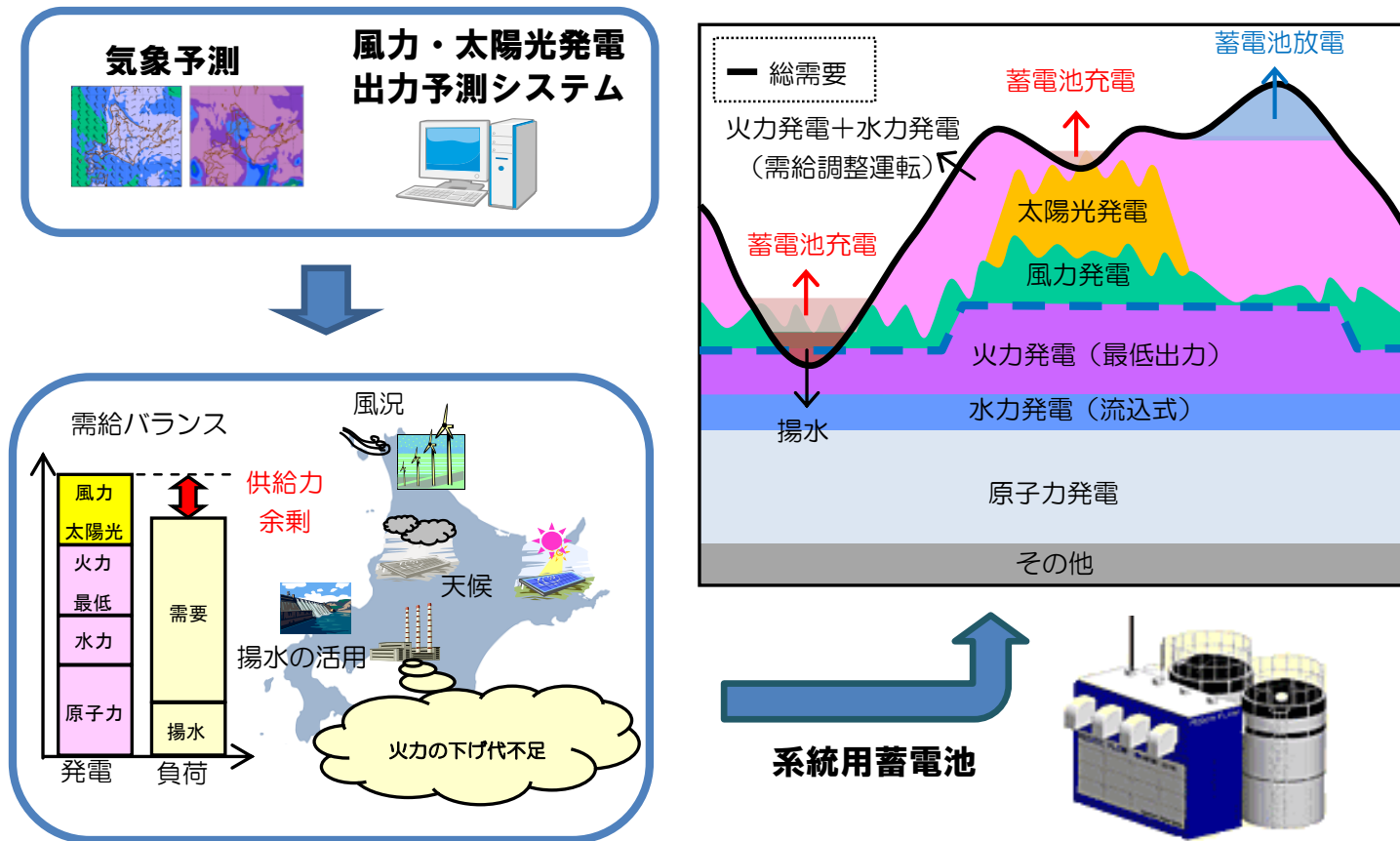
## ＜制御4＞長周期変動抑制制御

- 風力・太陽光発電の出力予測に基づき、これらの発電による長周期出力変動が緩和するよう蓄電池の充放電を制御する方法



## <制御5> 下げ代不足対策運転手法

- 風力・太陽光発電の出力予測と需給計画に基づき、余剰電力発生を予測して、充電に必要な空き容量の確保や、充放電計画を策定する手法



風力・太陽光発電出力予測（翌日予測）に基づき、  
余剰電力発生を予測して翌日の充放電計画を策定（計画運転）