再生可能エネルギーの統合拡大に向けた需給調整力（フレクシビリティ）確保への取り組みの方向性と課題

2015年5月11日

東京電力株式会社　常務執行役　経営技術戦略研究所長
兼 経営企画本部系統広域連系推進室長
岡本　浩

無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

内容

1. 電気事業と電力システム
2. 再生可能エネルギーの電力システムへの統合
3. フレクシビリティ向上への取り組み
4. 今後の方向性と課題

無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

１．電気事業と電力システム

無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

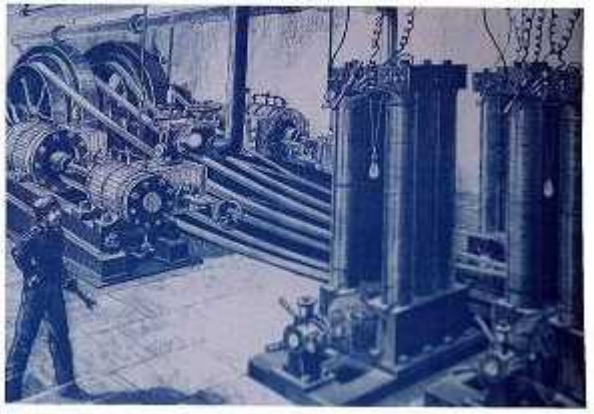
電気事業のはじまり（最初の電力システム）

■1892年9月4日にトマス・エジソン[Edison Thomas Alva] (1847～1931)
がニューヨーク市のパールストリートに直流配電系統を構築

【事業内容】

- 中央ステーション（発電所）に火力発電機を設置[6台/出力540ｋW]
- 100,000フィート（約30km）におよぶ配電網
- ウオール街の半径 1kmにある白熱電灯千個強に供給

図．ﾊﾟｰﾙｽﾄﾘｰﾄの中央ｽﾃｰｼｮﾝ



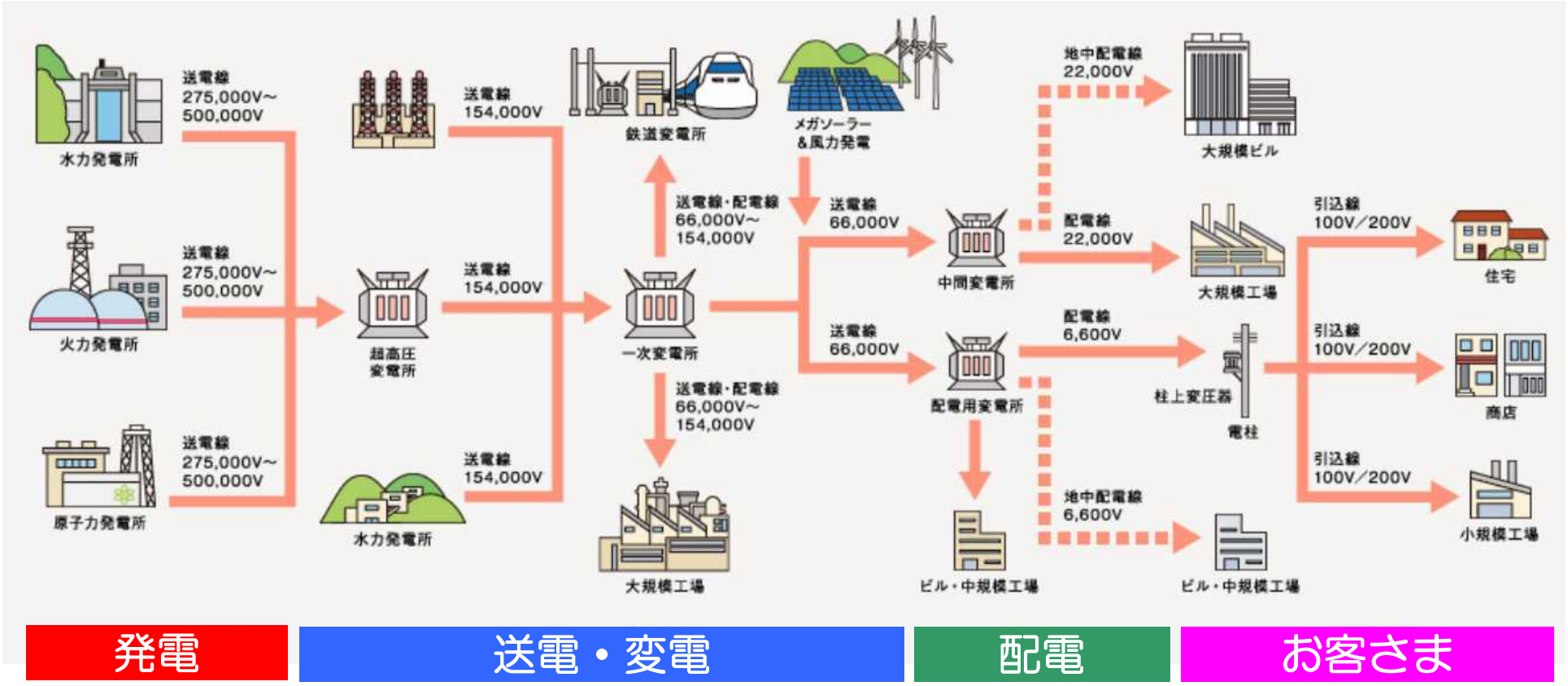
図．ｴｼﾞｿﾝの発電機ｼｽﾃﾑ

無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

電力システムの構成

■超高圧（50万ボルト）から100ボルトまで一貫した設備運用

■発電所群と変電所群を高位の電圧で結ぶ「送電系統」と，配電用変電所から消費者までを低位の電圧で結ぶ「配電系統」とで構成。



無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

需給バランス　～パワープールと周波数～

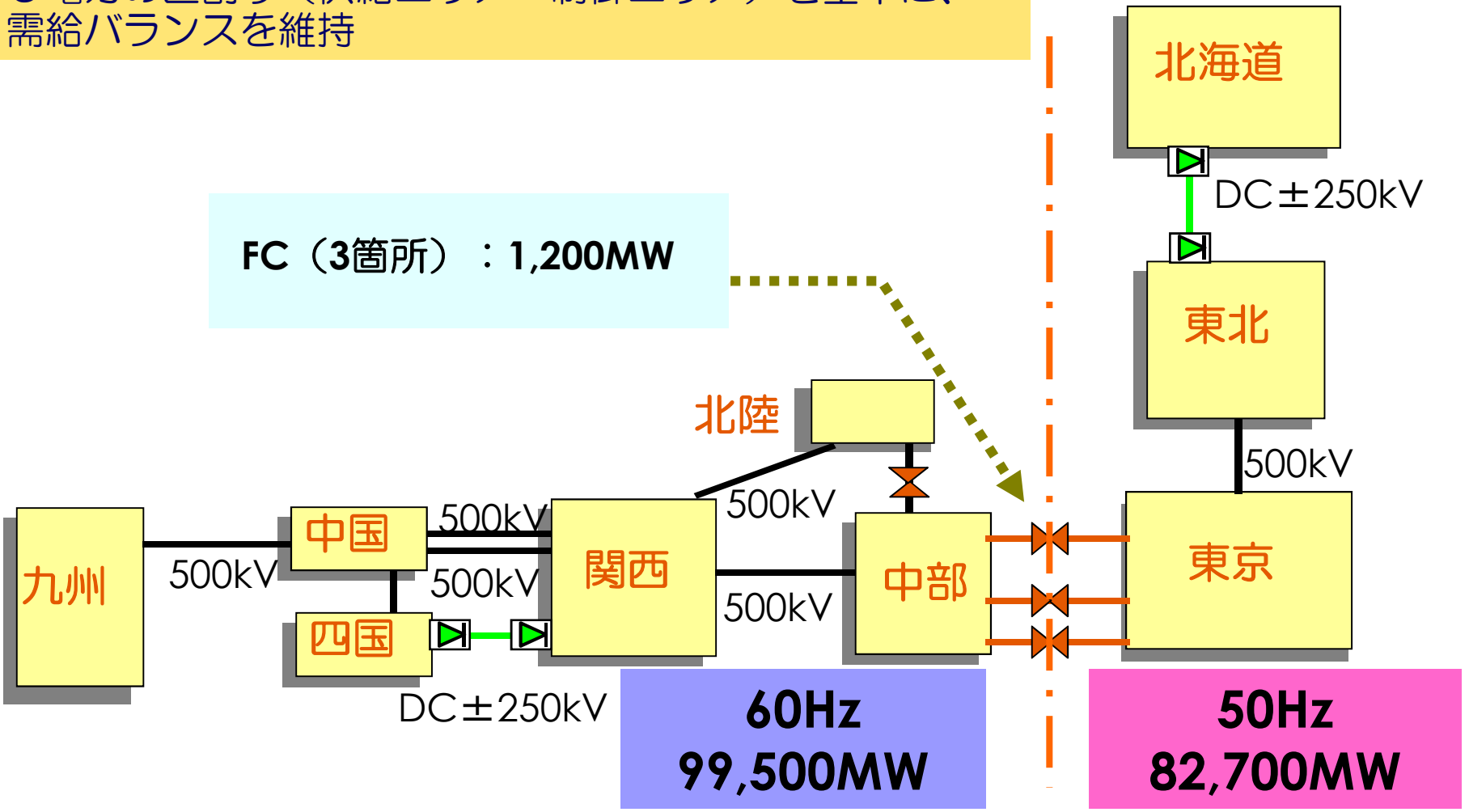
■交流でつながっている範囲では、巨大な貯水池のように水位（周波数）はどこも同じ。

■需要側（取水口）から電気が流れていくが、同量を発電して、水位を厳密に一定に保つ必要がある。

無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

現状の日本の電力システム

９電力の区割り（供給エリア・制御エリア）を基本に、
需給バランスを維持



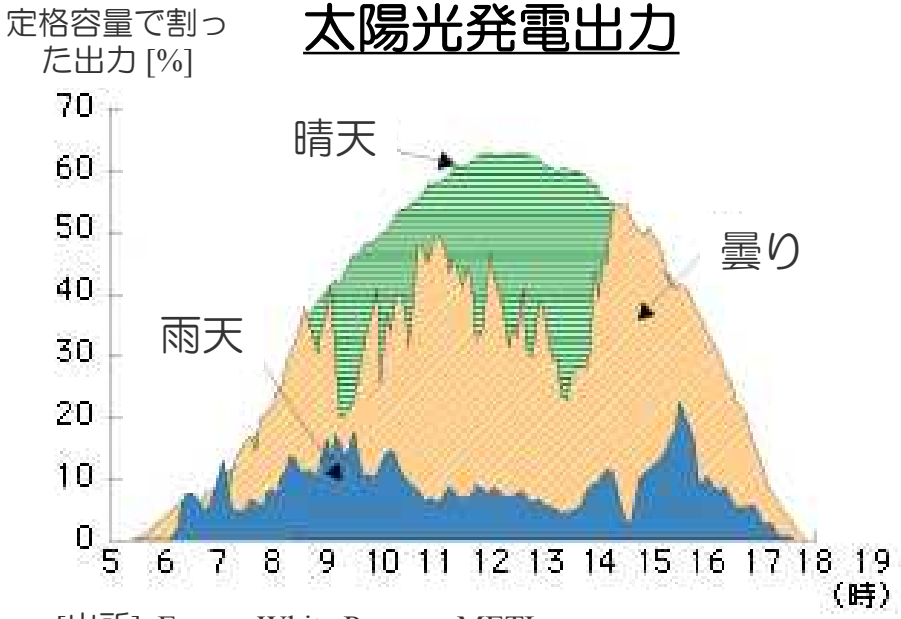
無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

2．再生可能エネルギーの電力システムへの統合 (Grid Integration of Variable Renewables)

無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

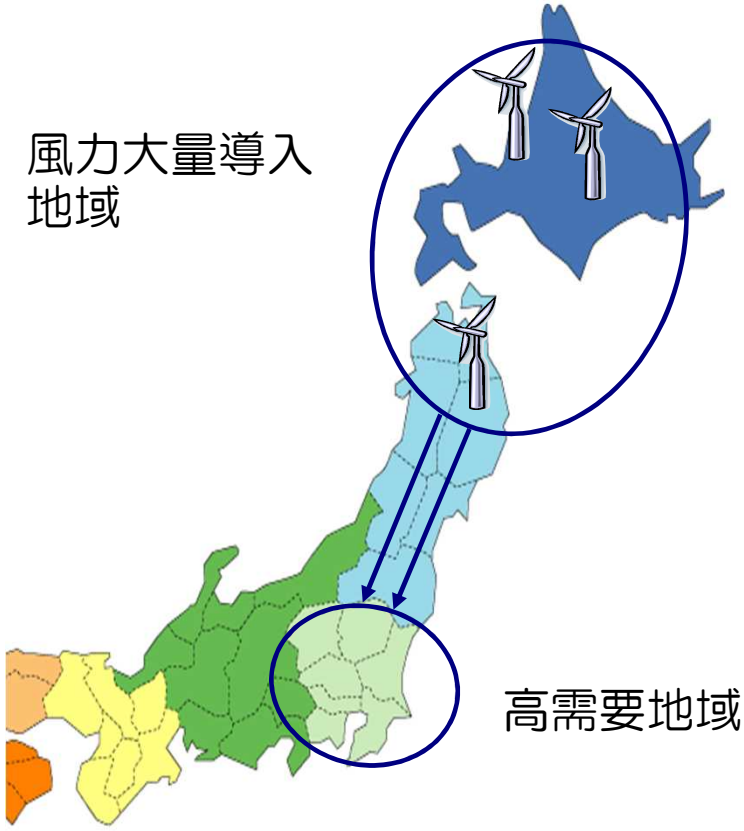
再生可能エネルギーの特徴と課題（技術的側面）

①出力が変動する



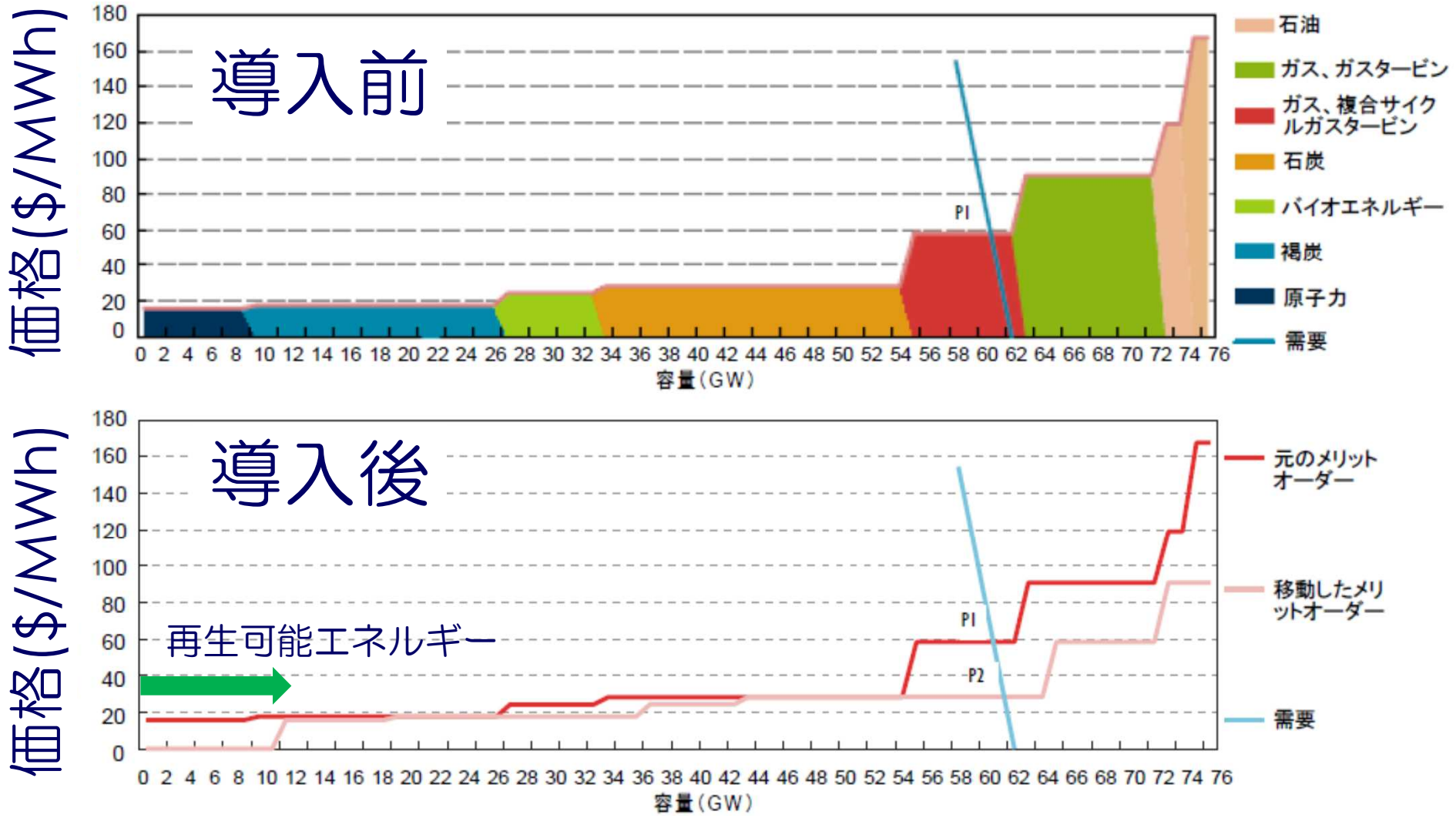
[出所] Energy White Paper、 METI

②遠隔立地のため送電増強が必要



無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

電力市場への影響（メリットオーダー効果）



容量（GW）

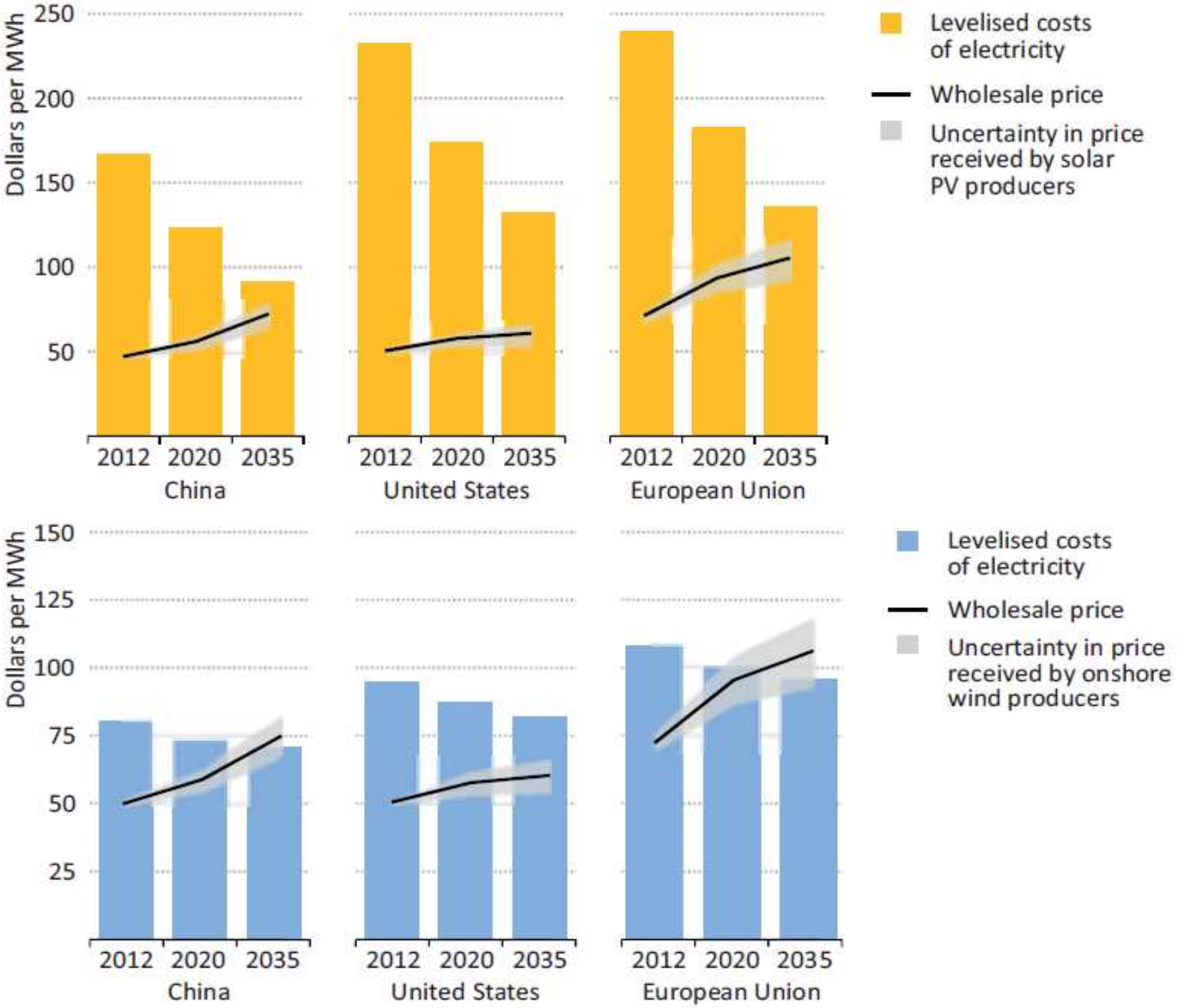
（出典）GIVAR報告書 図2.1

無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

電力卸市場価格と再生エネルギー発電コスト見通し

大規模PV

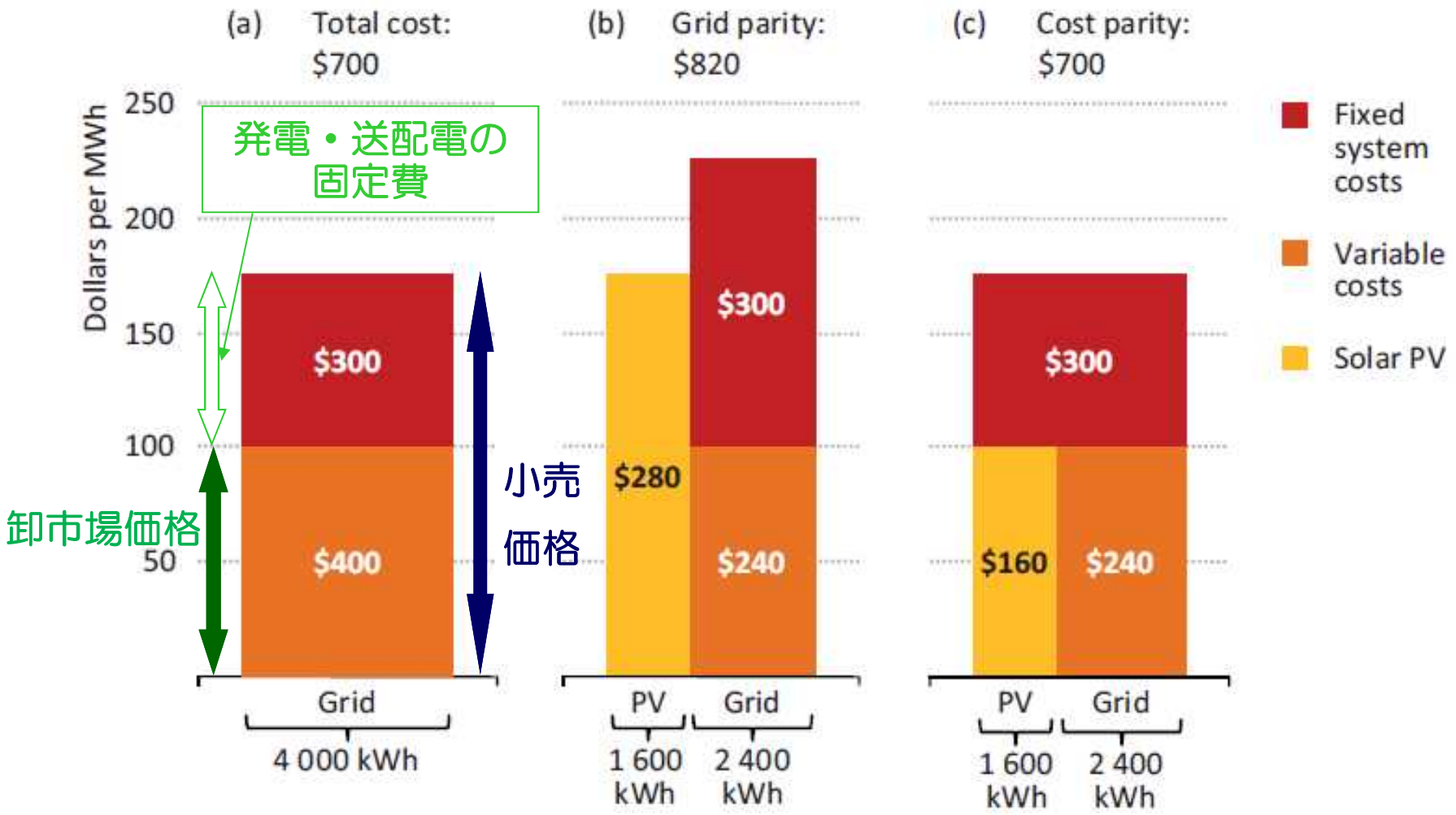
風力



（出典）IEA World Energy Outlook

無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

再生可能エネルギーの経済性; 住宅用PVのケース



（出典）IEA World Energy Outlook

無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

3. フレクシビリティ向上への取り組み

無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

フレクシビリティ向上の選択肢（GIVAR報告書 6, 7章）

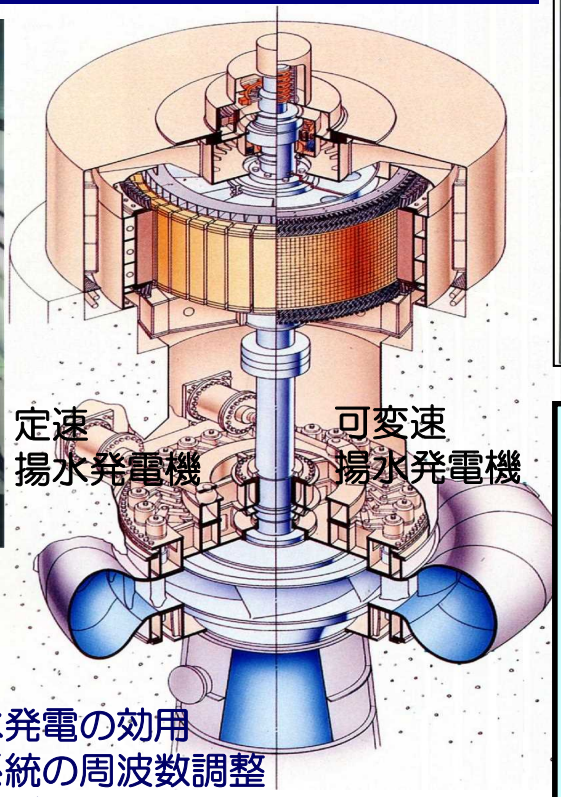
① 負荷配分可能(dispatchable)な電源の運用性拡大
② 需給調整エリア間の協力と統合
③ 再エネの予測・制御
④ エネルギー貯蔵
⑤ 需要のアクティブ化

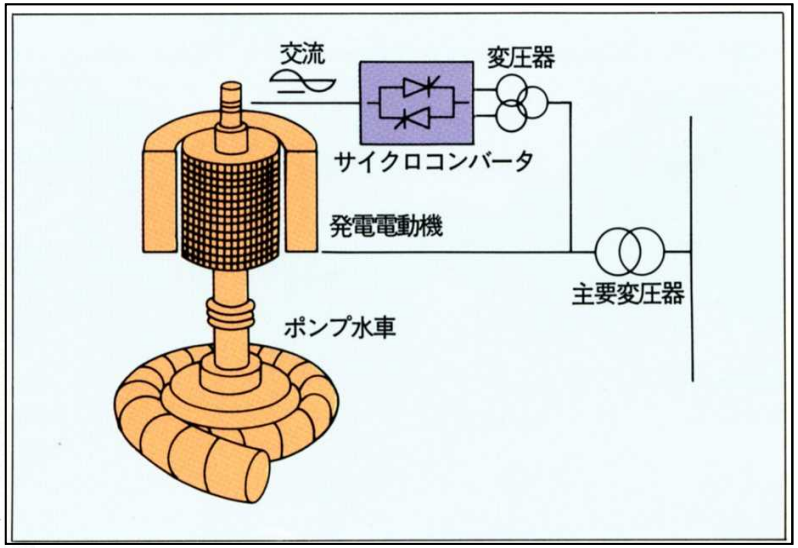
無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

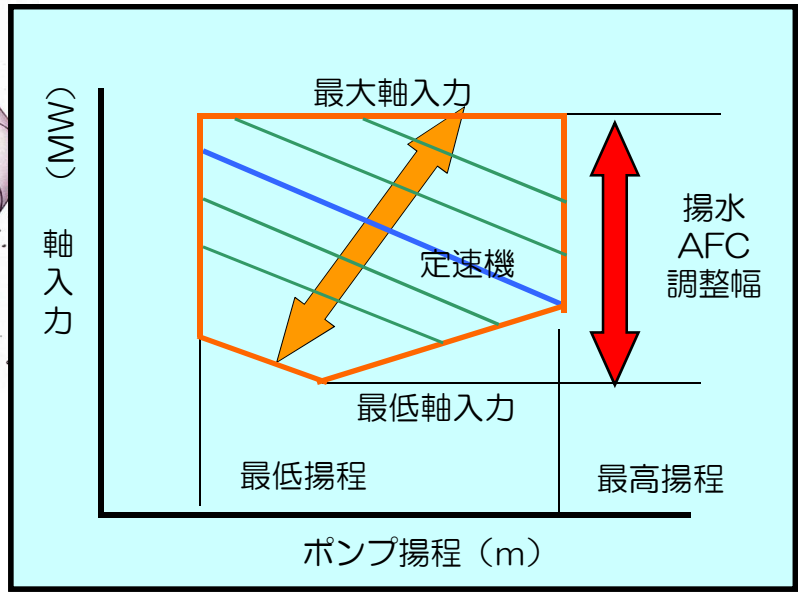
水力発電分野における取り組み（可変速揚水発電）

軽負荷時の周波数調整、火力焚き減らしに貢献
発電運転の効率向上・運転範囲の拡大
系統安定度向上に貢献・地点選定自由度の拡大

可変速揚水発電
設備の外観







可変速揚水発電の効用

- ○揚水運転時における電力系統の周波数調整
- ○発電運転時の効率向上ならびに運転領域の拡大
- ○系統安定度の向上
- ○系統電圧安定性の向上
- ○落差変動比（最高揚程／最低落差）の拡大
- ○揚水機の並列・解列時の系統動揺緩和　など。

無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

火力発電技術の方向性

これまで重視されてきた
- ◆熱効率の更なる向上

に加えて、系統安定化に資する性能
- ◆柔軟な起動停止への対応
- ◆最低出力の低減
- ◆出力調整機能の向上（変化速度・幅）

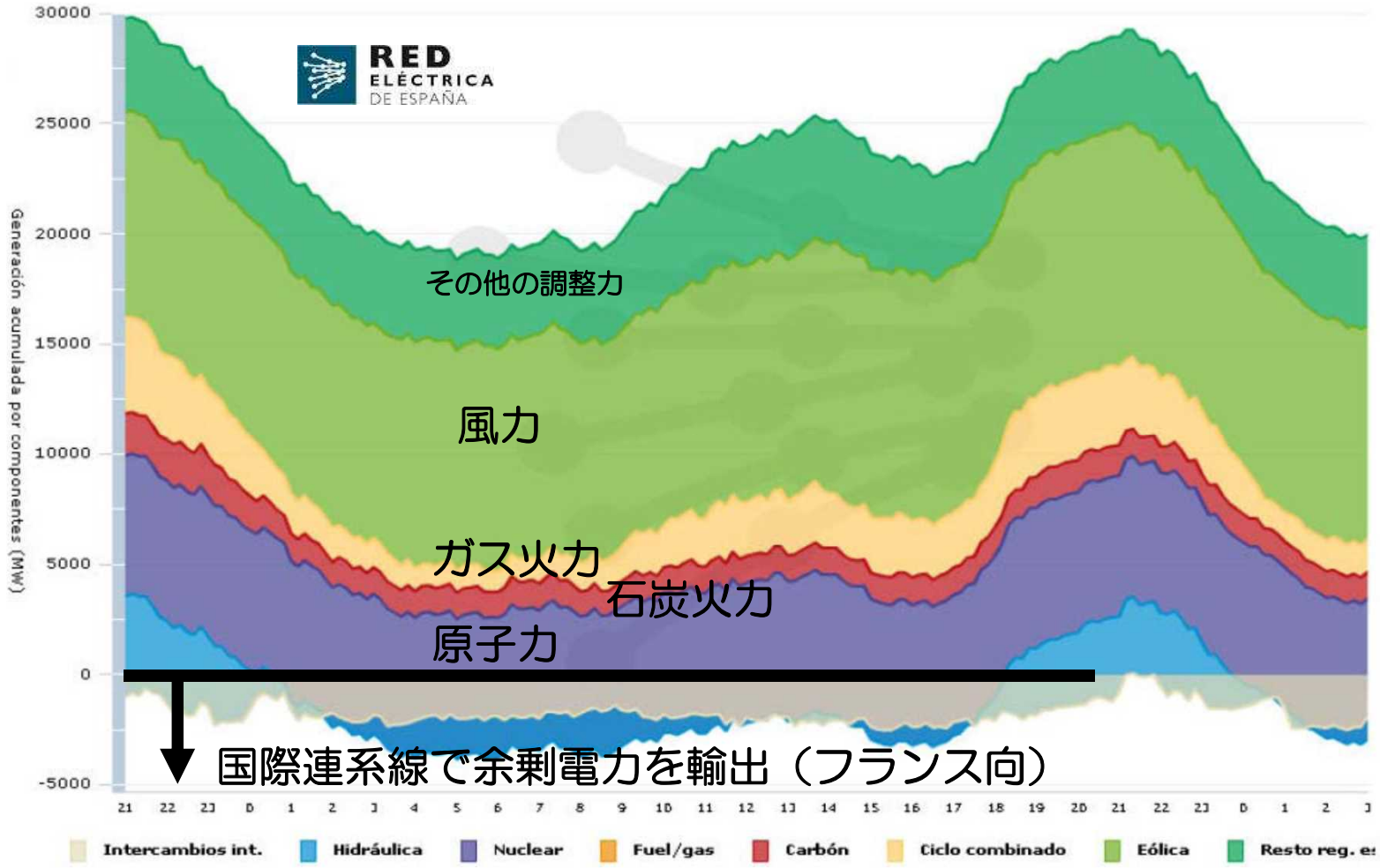
へのニーズが高まると考えられる。

当社では今後の電力卸供給入札募集にあたり、再生可能エネルギー大量導入への対応などを踏まえ、周波数調整力確保の観点から、発電設備出力10万kW以上のGTCCについては、基本仕様である周波数調整機能を要件化

無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

スペイン（需給バランス）における連系線活用状況

■軽負荷時に供給力が国内需要を上回り，一カ国では需給バランスの維持が困難となっている。スペインでは，フランスとの連系線を活用して輸出。



無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

東地域での広域制御への取り組み

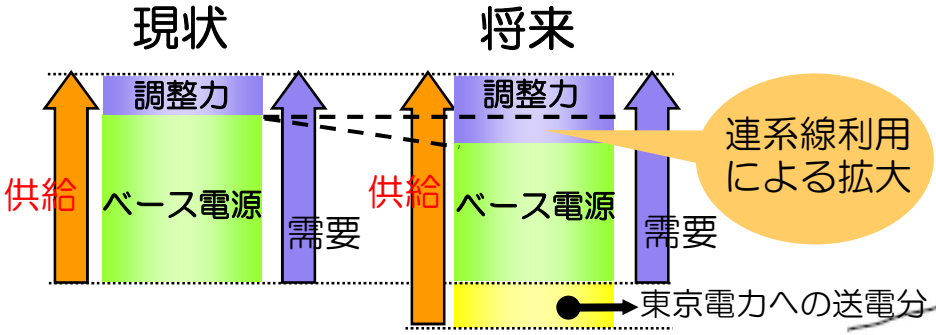
■課題

- ●北海道，東北：風力発電の適地が多いが，系統容量が小さく，連系可能量に制約
- ●東京電力: 系統容量が大きいが風力発電の適地が少ない

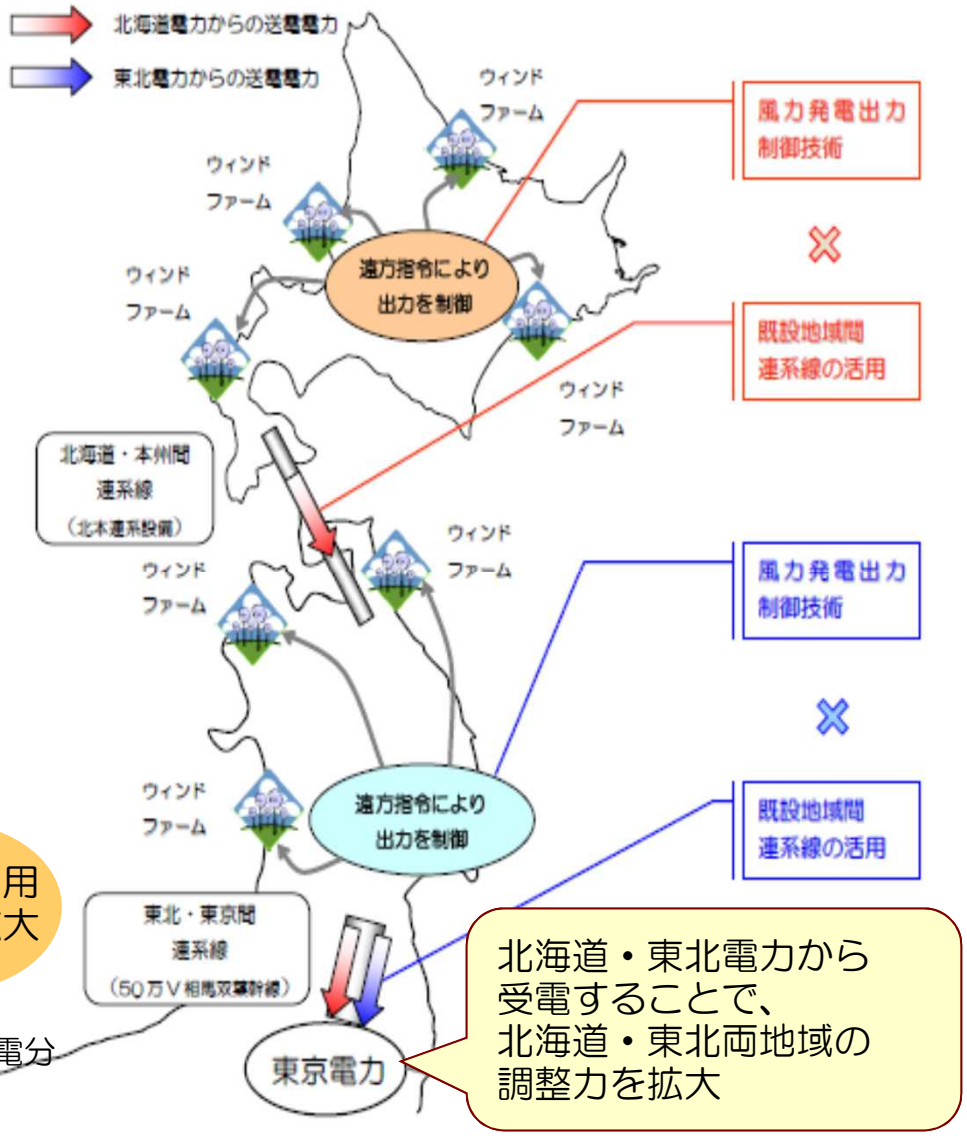
■実証試験

- ●地域間連系線を使用。系統規模の大きい東京の調整力を活用

[出所]東京電力プレス(2011)



・調整力の不足時には，風力発電所の出力を制御



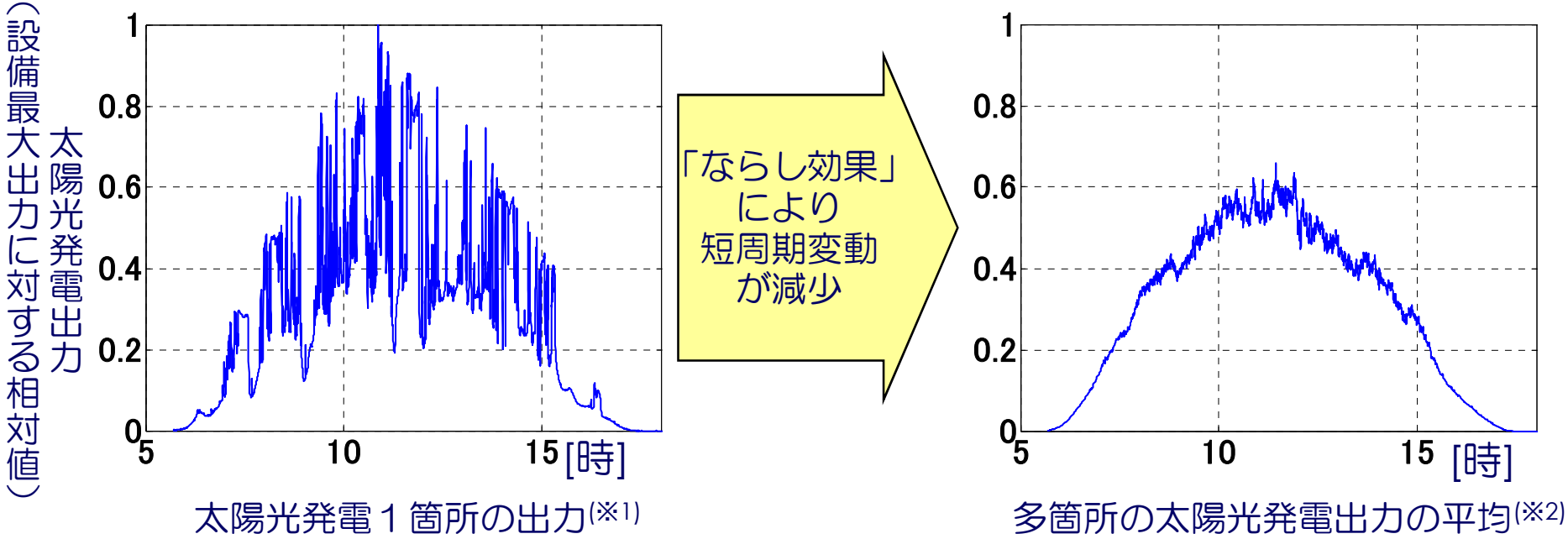
風力発電の出力制御

地域間連系線の活用

無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

広域的分散による変動のならし効果

■太陽光や風力の出力は，互いに地点が離れるほど異なった動きをする。
■離れた地点の再エネ出力が合計されることで，合計出力中の変動量の割合が小さくなる（ならし効果）。当該効果は短周期成分において顕著。
■下図は太陽光発電におけるならし効果の例。

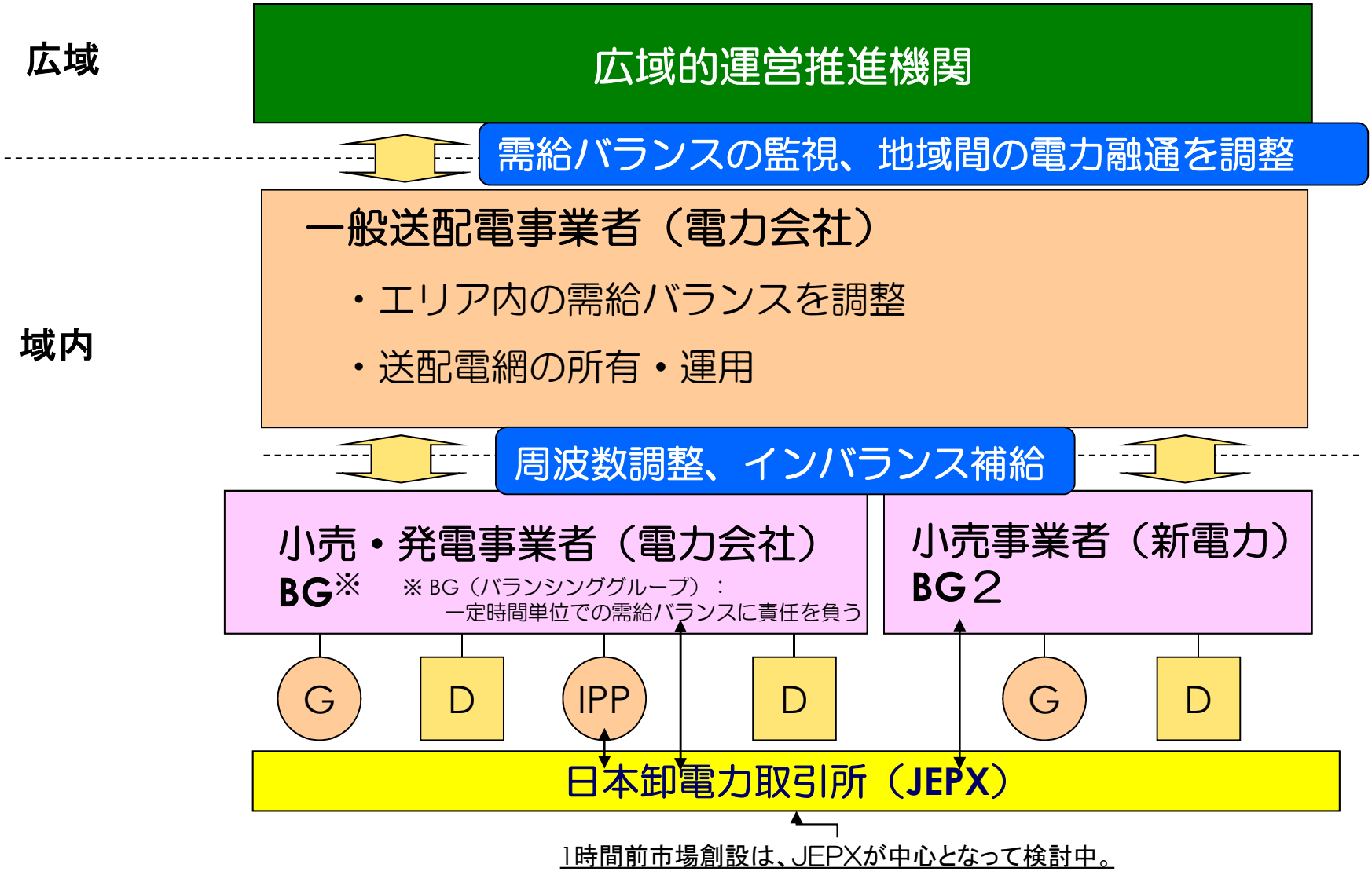


太陽光発電１箇所の出力(※1)　　多箇所の太陽光発電出力の平均(※2)

(※1)「分散型新エネルギー大量導入促進系統安定対策事業」にて実測した日射強度データを使用。
エリア全域で比較的変動の大きかった日（2010/10/7）を選定し計算。
(※2)　同日の関東エリア61箇所の日射強度実測値を利用。

無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

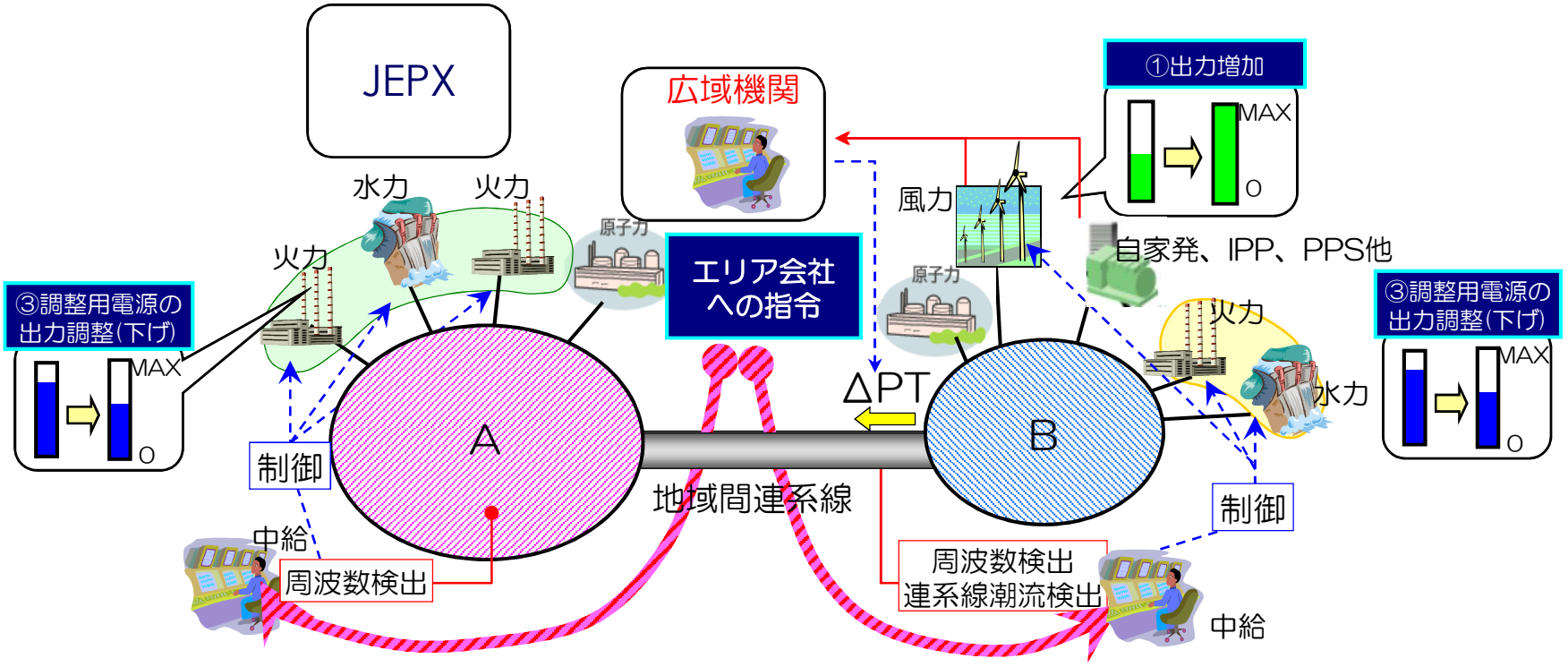
電力システム改革（第２段階以降）の電力需給バランスの仕組み



無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

広域機関における広域周波数調整

- 電力広域的運営推進機関が送配電事業者間の連系線潮流をリアルタイムで監視・制御する仕組みの構築により、広域系統の需給調整力を最大限に活用。
- エリアを跨ぐ系統利用の円滑化や、再生可能エネルギーの出力変動の広域調整に活用。

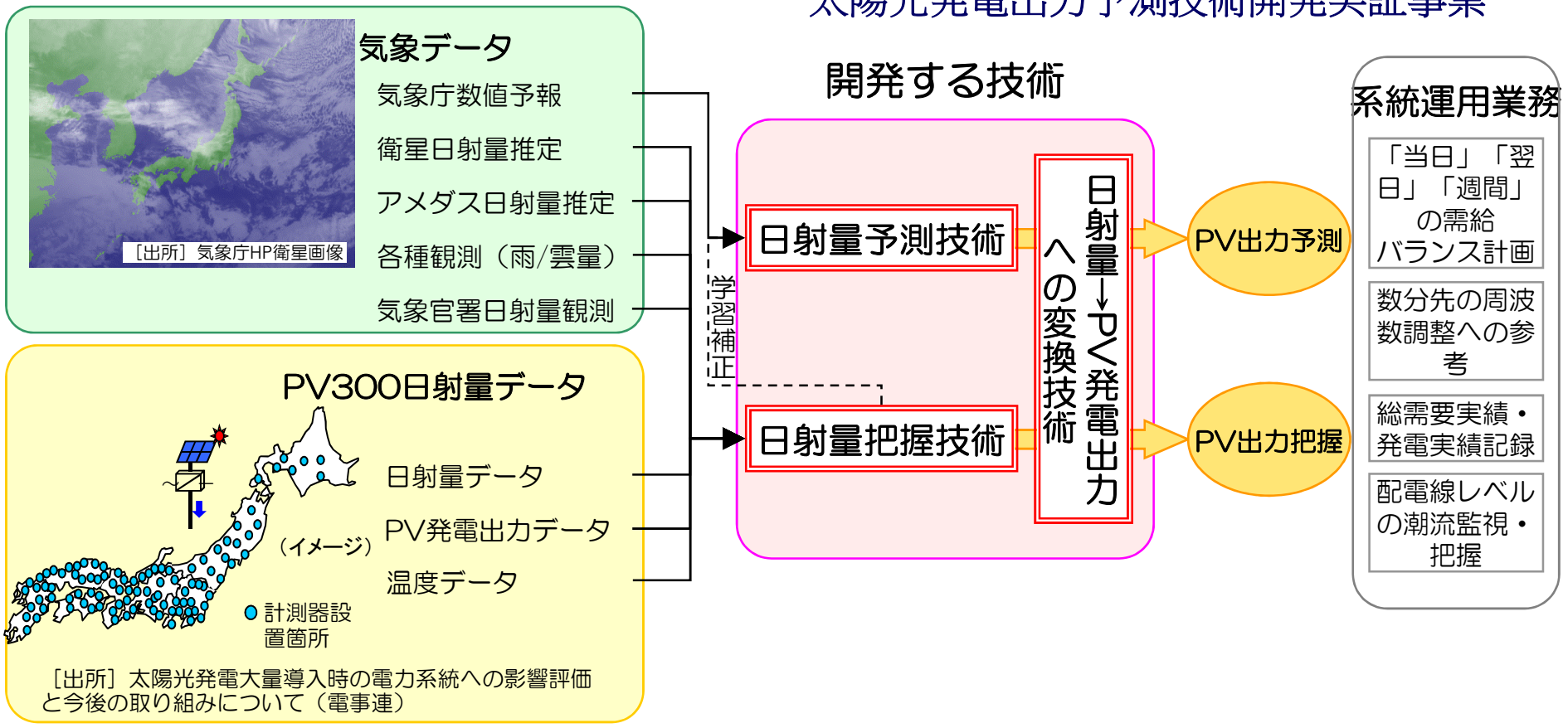


無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

再生可能エネルギーの予測と制御（予測技術開発）

■PVの出力変動を考慮した需給計画・運用を行うことを目的に，開発担当の各法人が保有するノウハウ・知見等を活用し，PVの出力予測・出力把握を行う手法を各法人が個別に開発中。

太陽光発電出力予測技術開発実証事業

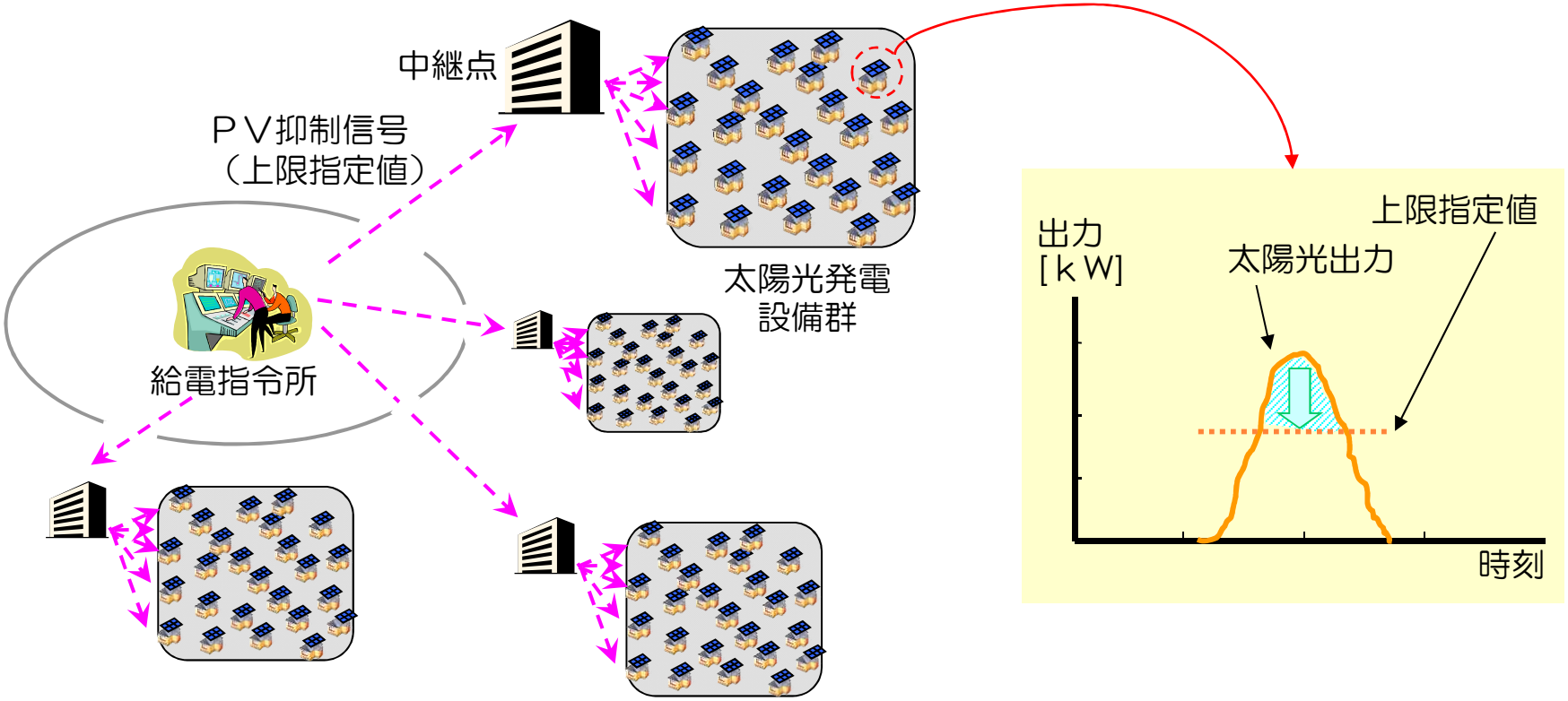


［出所］太陽光発電大量導入時の電力系統への影響評価と今後の取り組みについて（電事連）

無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

再生可能エネルギーの予測と制御（出力抑制）

■再エネ「出力抑制」は再エネ普及拡大に有効な方策のひとつ。
■「揚水発電上池満」「火力出力下限制約」に際し有効。
■下図は太陽光発電出力抑制のイメージ。



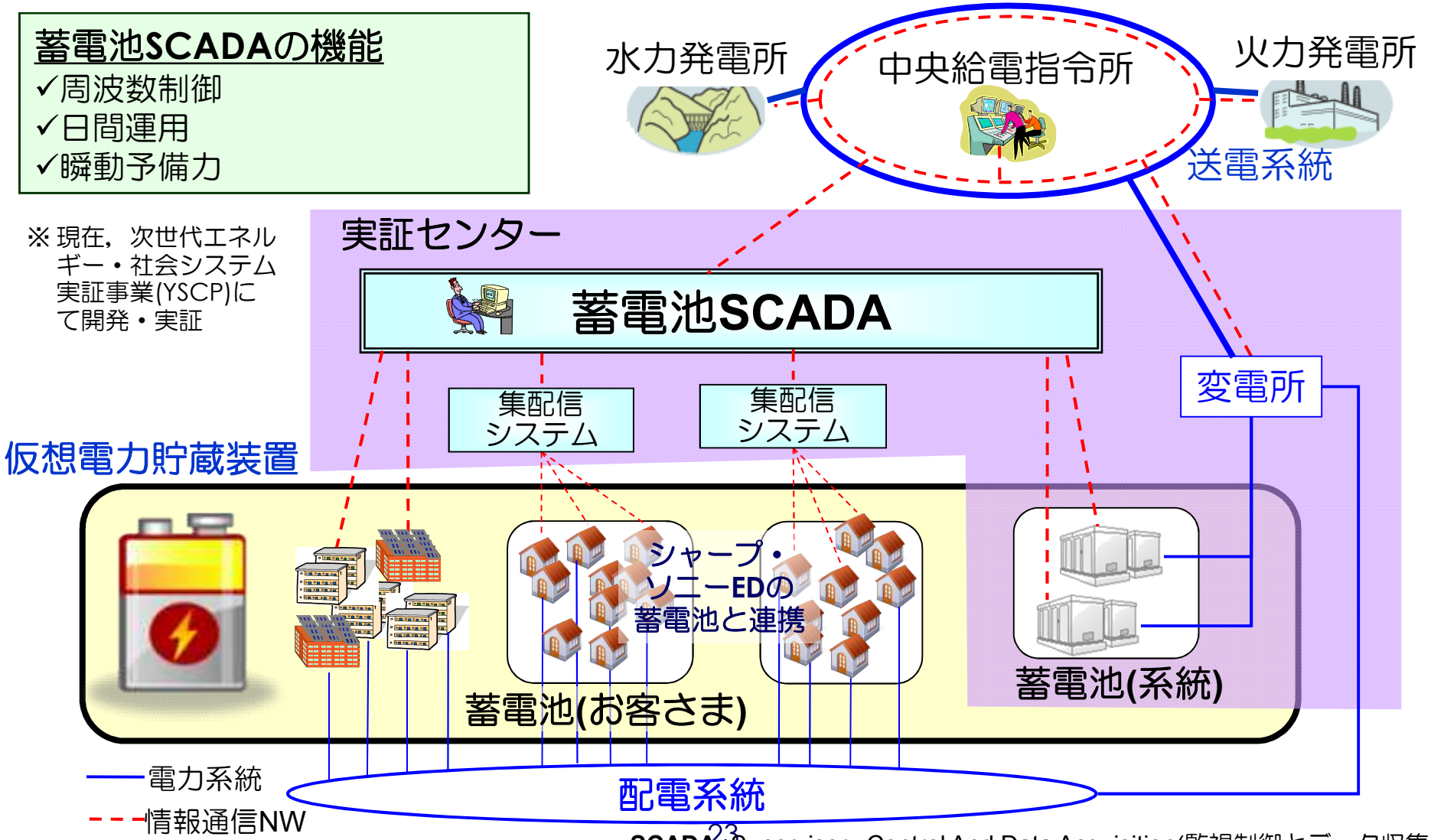
無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

電力貯蔵設備による調整

■分散配置の蓄電池を仮想的な一つの巨大な蓄電池として制御

蓄電池SCADAの機能
- ✓周波数制御
- ✓日間運用
- ✓瞬動予備力

※現在，次世代エネルギー・社会システム実証事業(YSCP)にて開発・実証

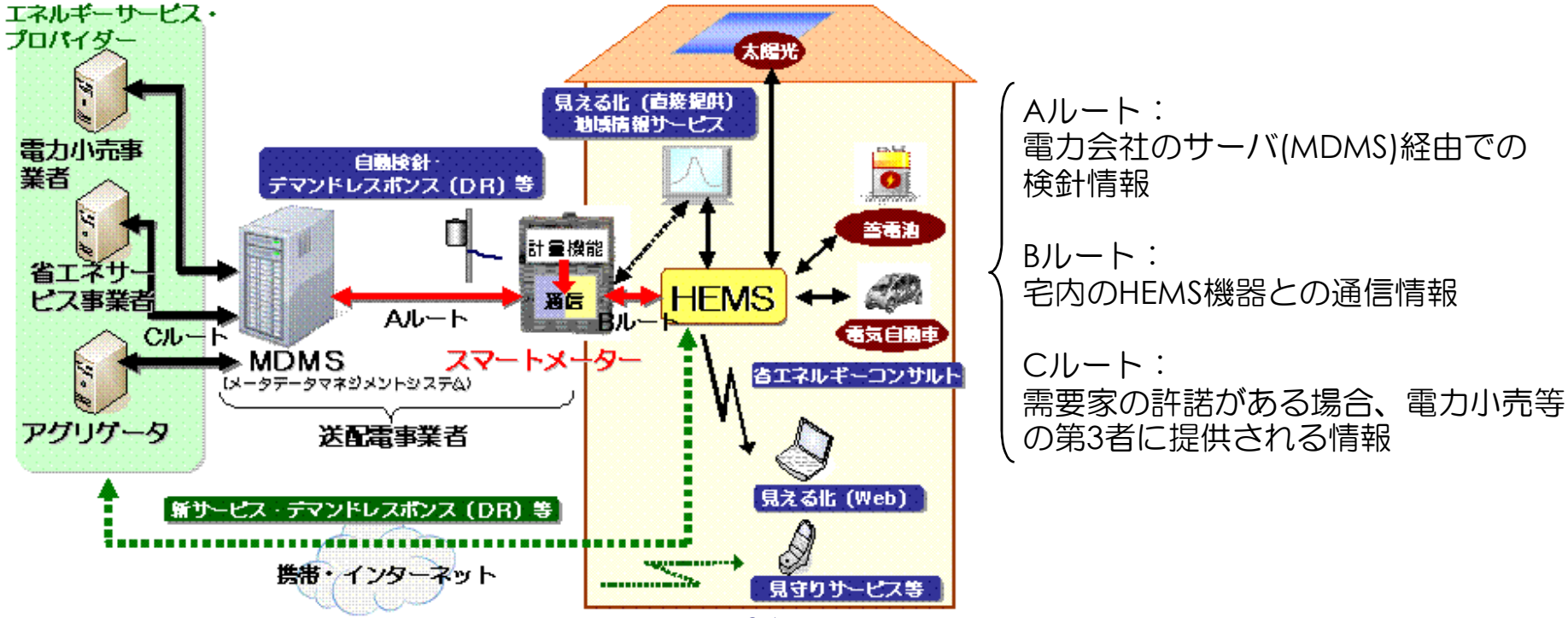


SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition(監視制御とデータ収集)

無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

スマートメーターの展開（機能とネットワーク）

■送配電事業者が設置・管理するスマートメーターとこれらによる計量情報により、多様な事業者が新サービスを展開することが可能に。
■期待される効果：
- 自分に合った料金メニューの選択等、能動的な行動
- 検針や契約変更、設備管理の効率化、ピークカットによる電源削減
- 計画停電（輪番停電）の代替措置としての電流制限　等



Aルート：
電力会社のサーバ(MDMS)経由での検針情報

Bルート：
宅内のHEMS機器との通信情報

Cルート：
需要家の許諾がある場合、電力小売等の第3者に提供される情報

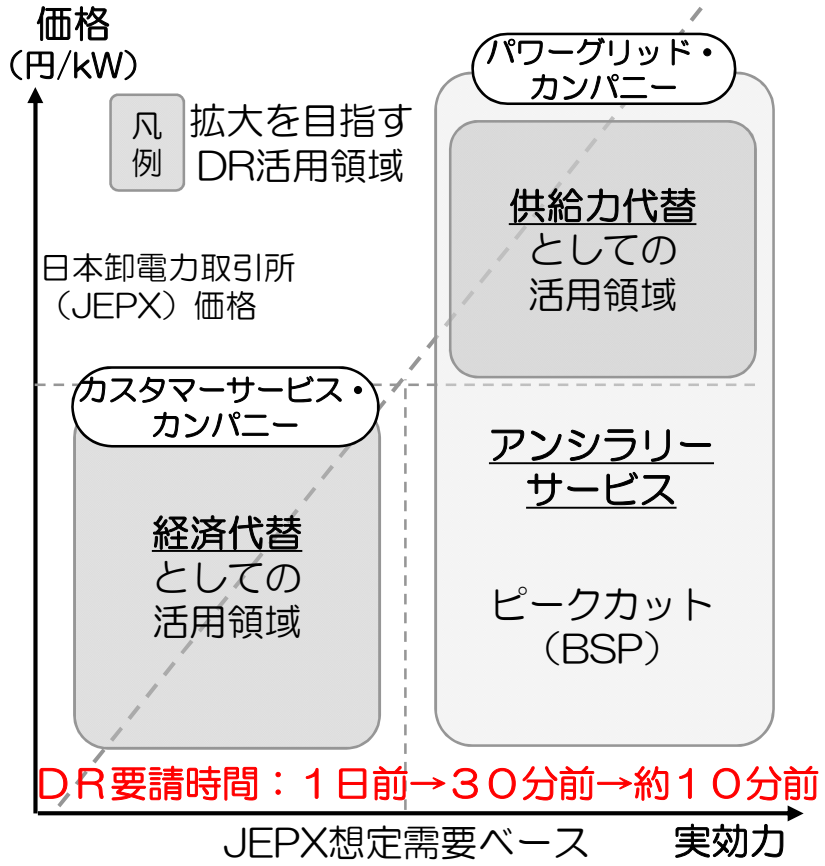
スマートメーターを活用した新サービスの実現イメージ

無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

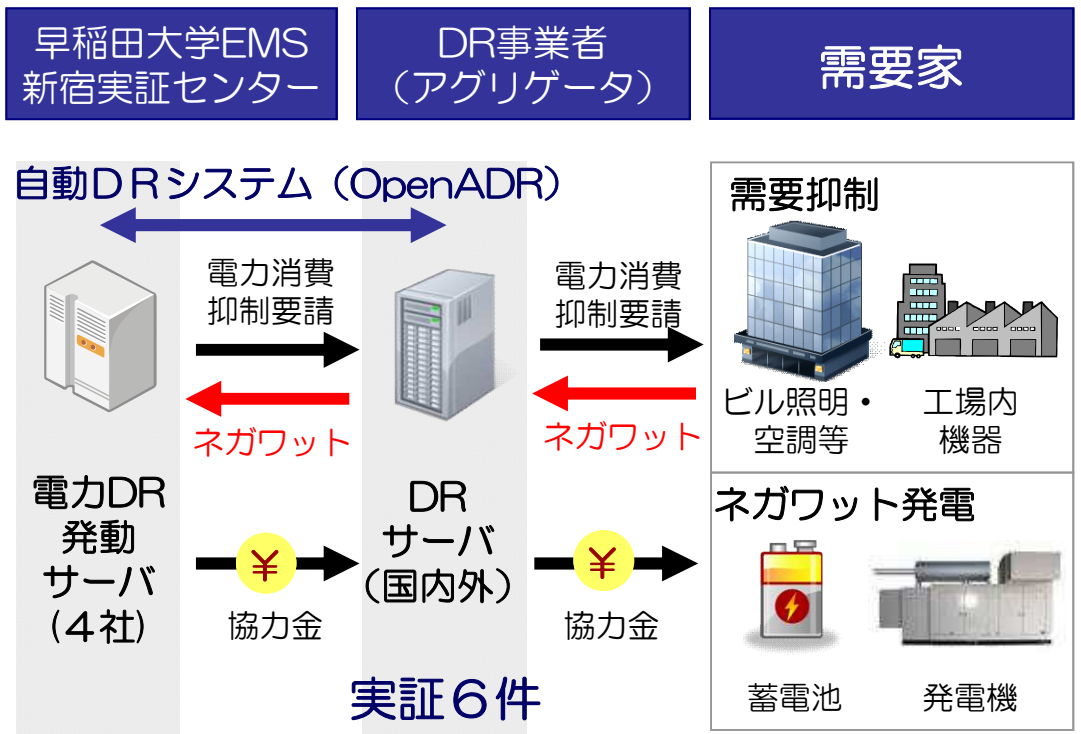
インセンティブ型DR実証

■DRの活用領域を従前の夏季ピークカットだけでなく、アンシラリーや経済代替活用まで拡大することを念頭に、経済産業省および国内外のDR事業者とインセンティブ型DR実証を実施中（2013年12月～2015年3月）

■発動から実負荷抑制までの時間や削減量、ベースライン等を把握しDRの価値を評価



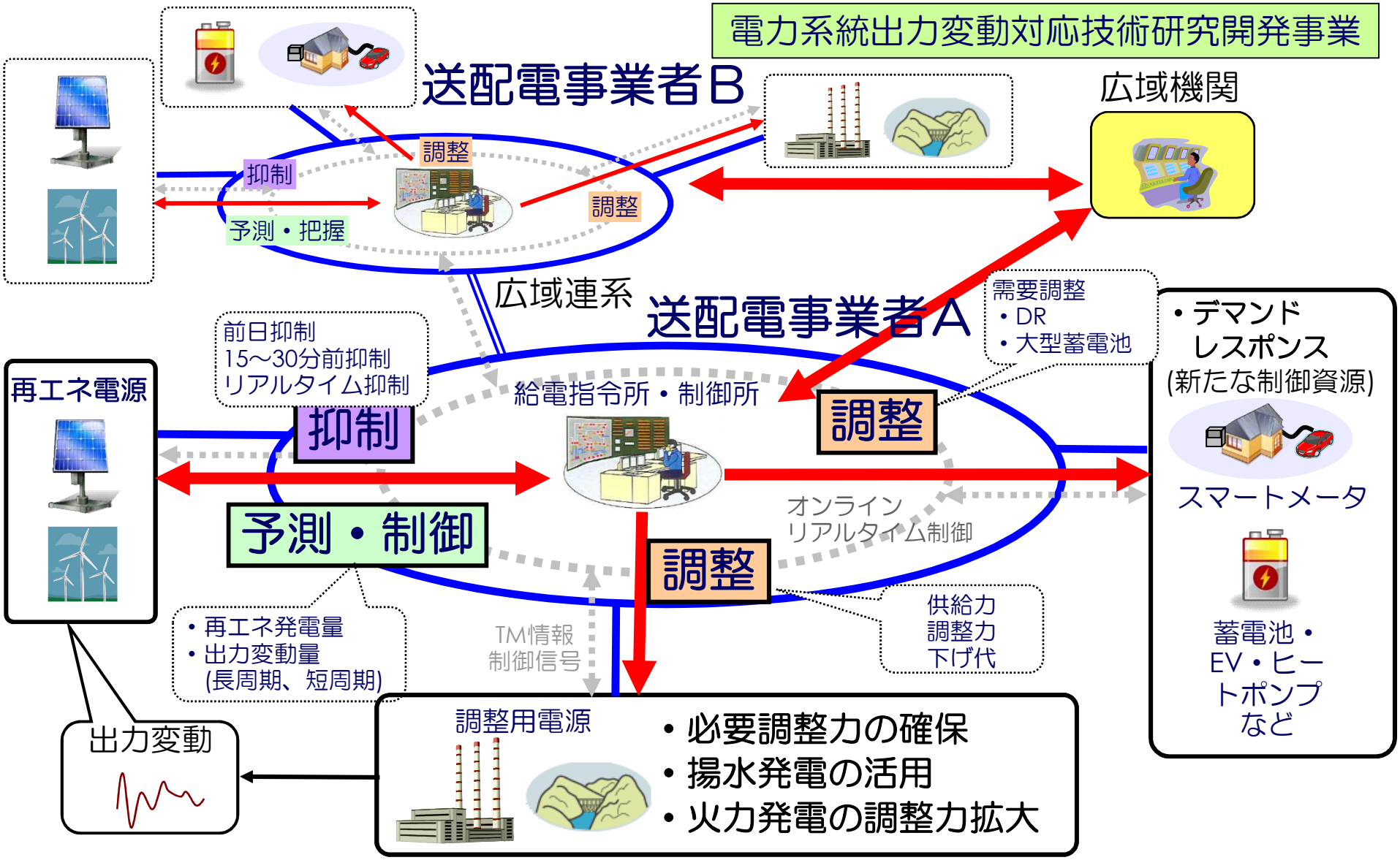
インセンティブ型のDR実証の概要



DR調整容量：約9万kW(約1,100件)

無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

NEDOプロにおけるフレクシビリティ向上への技術開発



無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

４．今後の方向性と課題

無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

今後の方向性と課題

1. フレクシビリティ向上と地域間連系線利用ルール
2. 送配電インフラ整備スキーム
3. バックアップ電源へのインセンティブ確保

無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

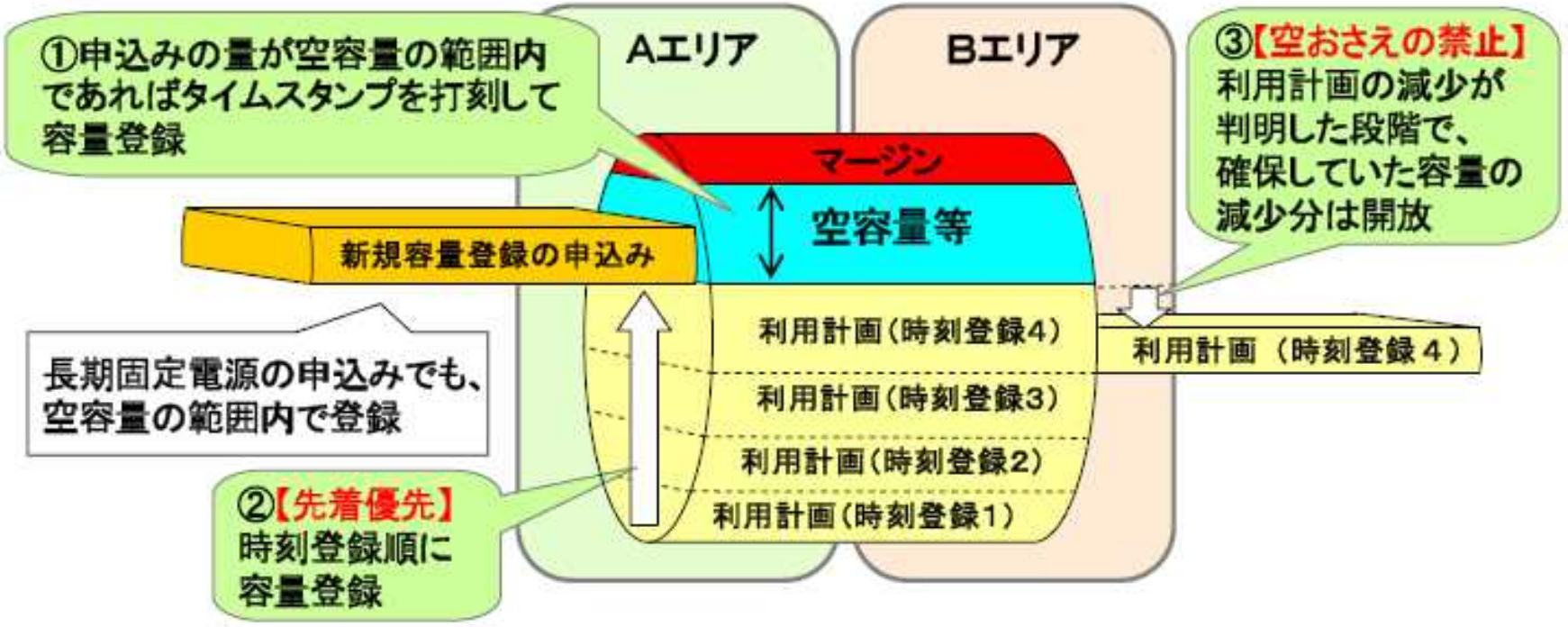
現状の連系線利用ルール

■ 連系線等を利用する場合の原則

連系線等の利用にあたっては、公平性・透明性の観点から、以下を原則とする。

○登録時刻が先であるものを連系線の利用順位の上位とする「先着優先（first-come-first-served）」。

○他事業者の連系線等の利用が阻害されないよう「空おさえの禁止（use-it-or-lose-it）」。



無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

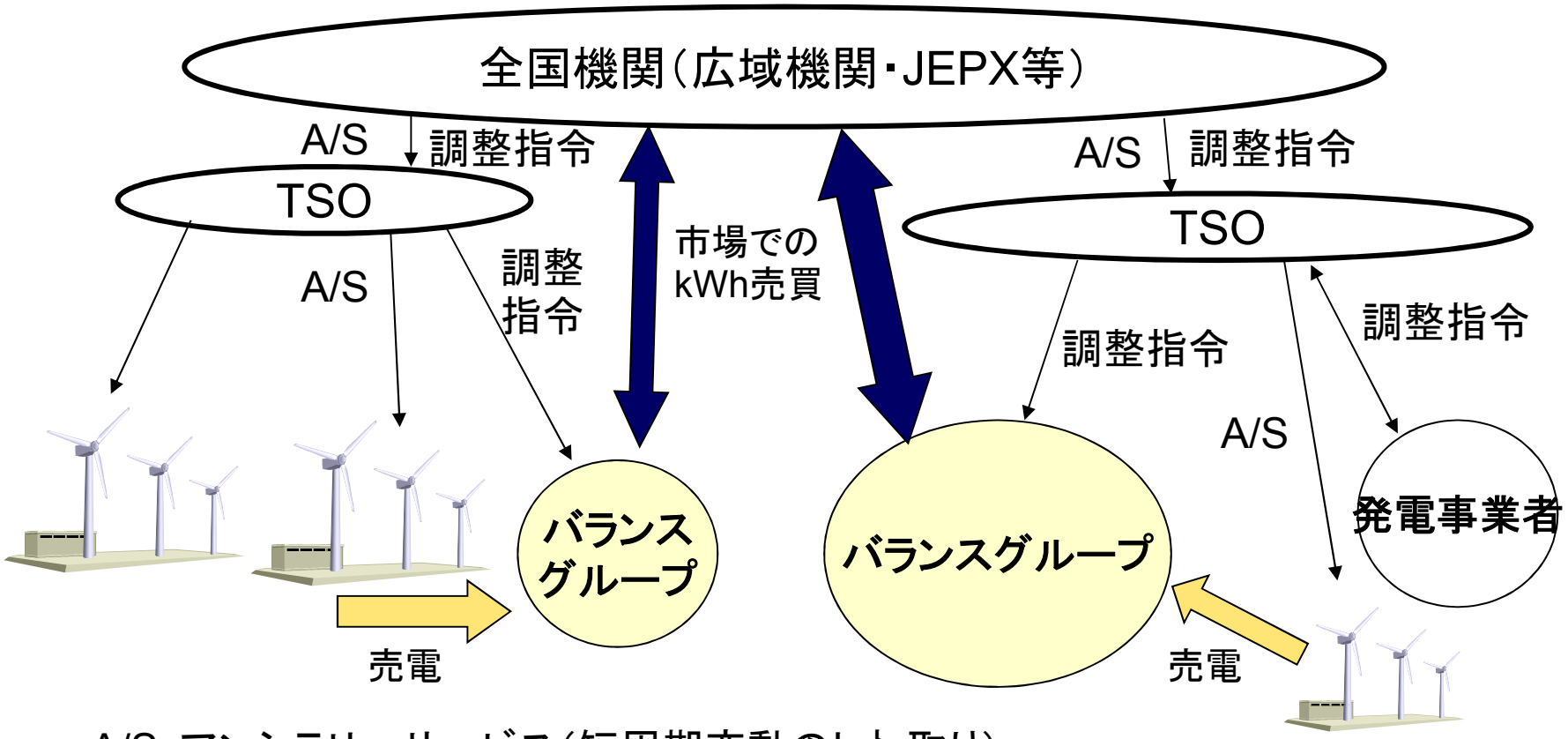
送電容量の割り当て方法

特徴	種類	概要
経済性に基づかない混雑管理方式	先着優先方式 （First come first served）	• 利用申込み順に無償で利用送電容量を割当て • 混雑費用は発生せず
	比例配分方式 （Pro-rata）	• 希望容量の合計が送電容量を超えた場合、希望送電容量の割合に比例して無償で送電容量を割当て • 混雑費用は発生せず
経済性に基づく混雑管理方式	直接オークション方式 （Explicit Auction）	• 託送可能容量の物理的送電権をオークションで割当て • 混雑費用発生せず • 容量市場と電力取引市場が分離されるため、市場構造が異なる地域間でも容量配分が可能
	間接オークション方式 （Implicit Auction）	• 電力取引市場を通じて送電容量を割り当て • 混雑費用が発生 • 物理的送電権と電力取引が同時に実施（安価な電力から容量を割付け）
	再給電式/逆潮流取引 方式 （Re-dispatching/ Counter Trading）	• 系統運用者が、発電コストや市場応札価格に基づき、　発電事業者と電力売買を行い混雑を解消 • 主として運用段階で発生する混雑の解消手段

無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

再エネを考慮した全国大での需給調整のイメージ例

- 再エネも含めた電気のkWhについては、30分毎のkWhで全国単位で卸市場取引（再エネの出力予測要）
- ゲートクローズ以降のずれ分（短周期変動分）は、TSO間でアンシラリーサービスを最適に調達・提供



A/S：アンシラリーサービス（短周期変動のしわ取り）

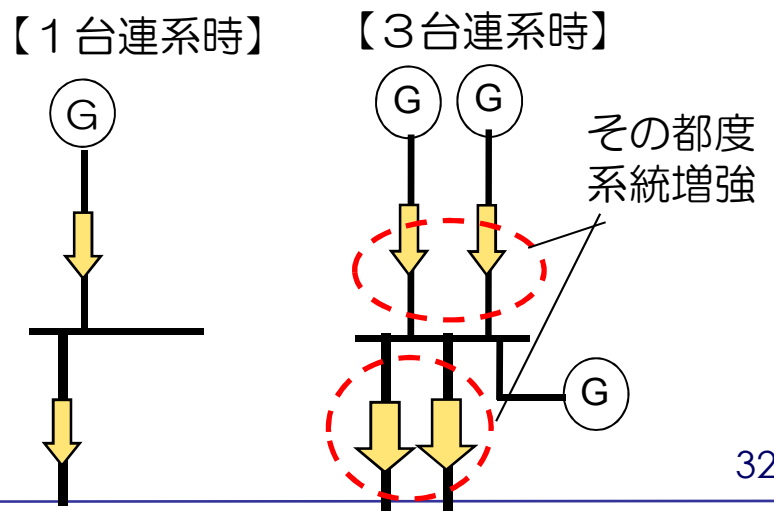
無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

再生可能エネルギーによる系統利用スキーム

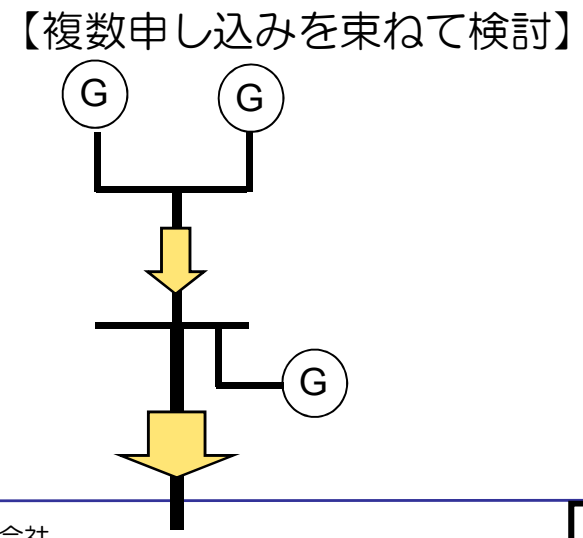
現状	■お申込み順に工事費（負担金）最小となる対策案を検討・提示。 ■増強の最初の起因者が負担金を全額負担。同一設備を共用する別電源が工事後３年間以内に連系する場合に精算を実施。
課題	■初期の起因者の負担が大きく、負担額の予見性が低い。 ■同一エリアに複数の電源が連系を希望する場合、全体として最適な設備増強とならない可能性。

複数申し込みを束ねて扱うことでスケールメリットを生かした合理的な設備増強を行い、　系統増強費用を複数電源で負担するスキームを検討。

現状スキームのイメージ



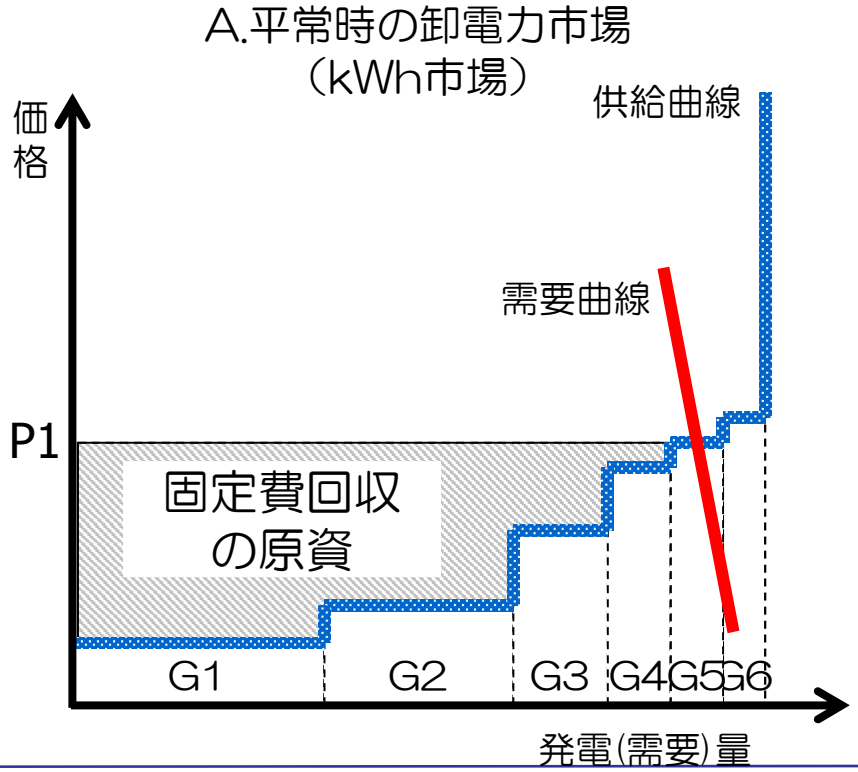
今回検討したスキーム

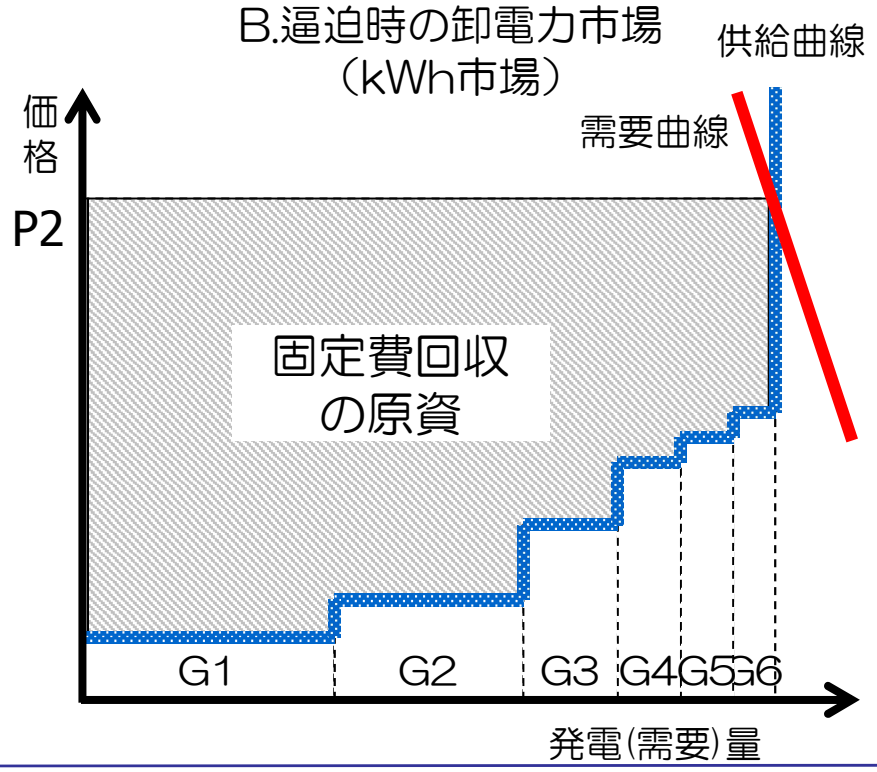


無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

ミッシングマネーと容量メカニズム

- 売り入札価格が限界費用の場合、平常時の卸電力市場(下図A)の価格ではピーク電源(G4～G6)はほとんど固定費回収ができない。
- 下図Bのときは、限界費用以上に市場価格が高騰し、固定費回収の原資が得られる。欧米ではBの発生頻度もその際の価格も十分でなく固定費回収不足が起こっているとの報告多数。再エネ導入時のメリットオーダー効果で、さらに顕著に。→容量メカニズムの必要性





無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

ドイツE.ON社の選択

急激な再生可能エネルギー導入拡大により、原子力・火力など系統電源の収益悪化

↓

2014年12月、原子力・火力・ガス部門を切り離して別会社化。新生E.ONは再エネ、配電、顧客サービスに特化

↓

2015年3月、イルシング発電所の最新鋭ガスコンバインド発電2ユニットの廃止申請

↓

無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社

まとめ

- 再生可能エネルギーの電力システムへの統合の鍵は、電力システムのフレクシビリティの向上。**GIVAR**報告書の内容は、わが国での議論にも有益。
  - 現状、国際連系線がないなどの違いは考慮する必要。

- 広域機関が設立されたため、より広域的視点で問題解決を行うための方策が推進されることを期待。当社も積極的に実証・実務を推進。

- 技術的な側面だけでなく、①エネルギーミックス全体の中での国民負担のあり方、②事業を担う事業者の経営のサステナビリティに目を向けた制度設計が不可欠。

無断複製・転載禁止　2015.5.11 東京電力株式会社