

東京大学大学院工学系研究科 社会連携・産学協創推進室ワークショップ:

# エネルギー

2018年3月30日(金)

電気系工学専攻 松橋隆治

# エネルギーシステム関連研究の裾野の広さ

- ① 建物内、地域社会から全国、世界全体でのエネルギーシステムを設計する広範な視点が必要
- ② 材料科学、反応化学、機械工学、電気工学、建築学、システム工学、エネルギー経済学、法学など広範な専門知識が必要
- ③ したがって、単一の企業や単一の専攻内の研究だけでは、エネルギーシステムにイノベーションを起こすことは難しい。
- ④ イノベーション推進のためには、数多くの専攻と多くの事業者が集まる組織が望ましい。

⇒ 本ワークショップの趣旨と合致

# エネルギーシステムのバックキャスト

日本一国のエネルギー・経済モデルの開発

➡ COP21の日本の目標からのバックキャスト

各地域でのIIMA産業連関モデルの開発

➡ 温対法に基づく地方自治体の目標からのバックキャスト

➡ 地球温暖化対策計画による日本の目標値(閣議決定済み)

2030年に26%削減(2013年度比で)

2050年に80%削減を目指す

➡ 温対法に基づく文京区の温室効果ガス削減目標

2019年度に14%削減(2005年度比で)

➡ 日本の電源構成目標値(閣議決定済み)

2030年に22%から24%(再生可能電源の比率)

2050年には、電源構成からのCO<sub>2</sub>をほぼ0にする必要か?

# 電力システム改革と系統安定性の問題

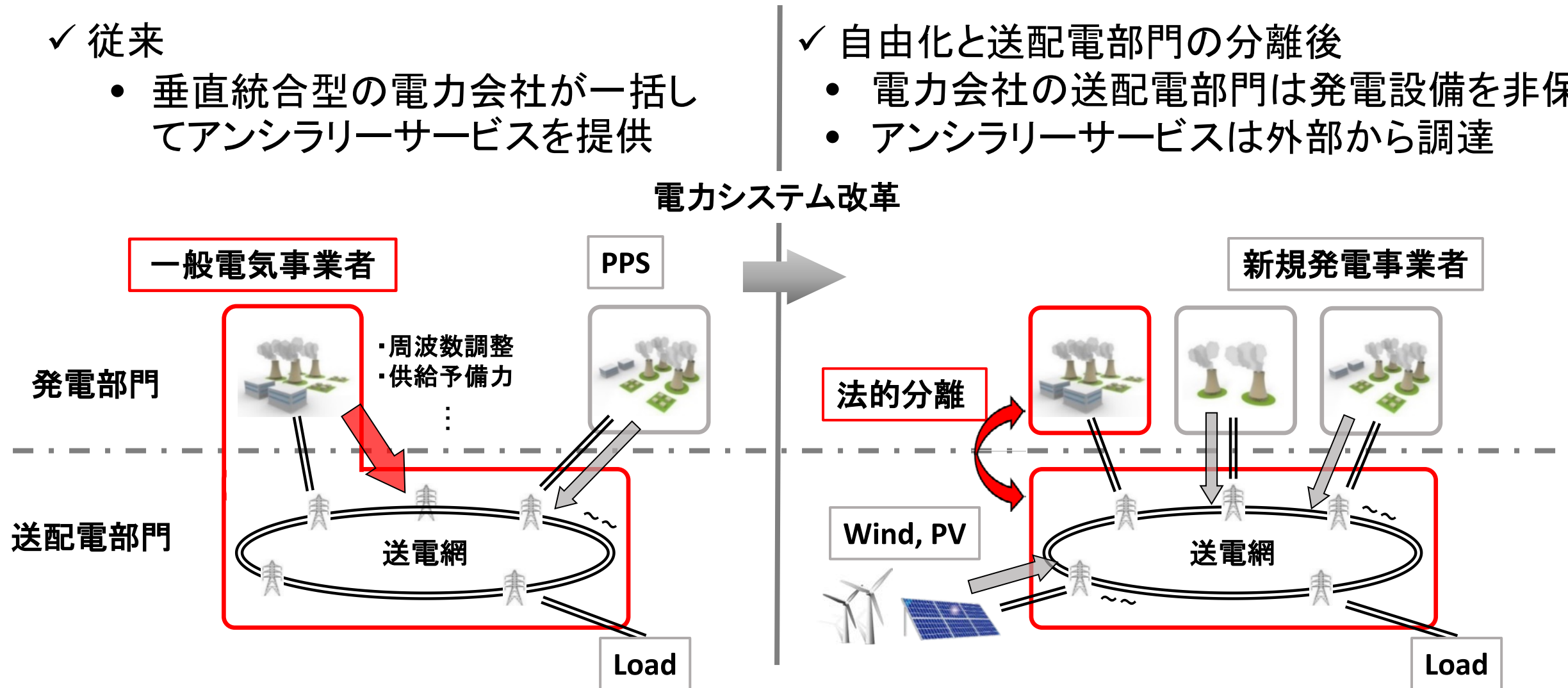
## □ 電力システム改革と再生可能電源急増による系統安定性への影響

### ✓ 従来

- 垂直統合型の電力会社が一括してアンシラリーサービスを提供

### ✓ 自由化と送配電部門の分離後

- 電力会社の送配電部門は発電設備を非保有
- アンシラリーサービスは外部から調達



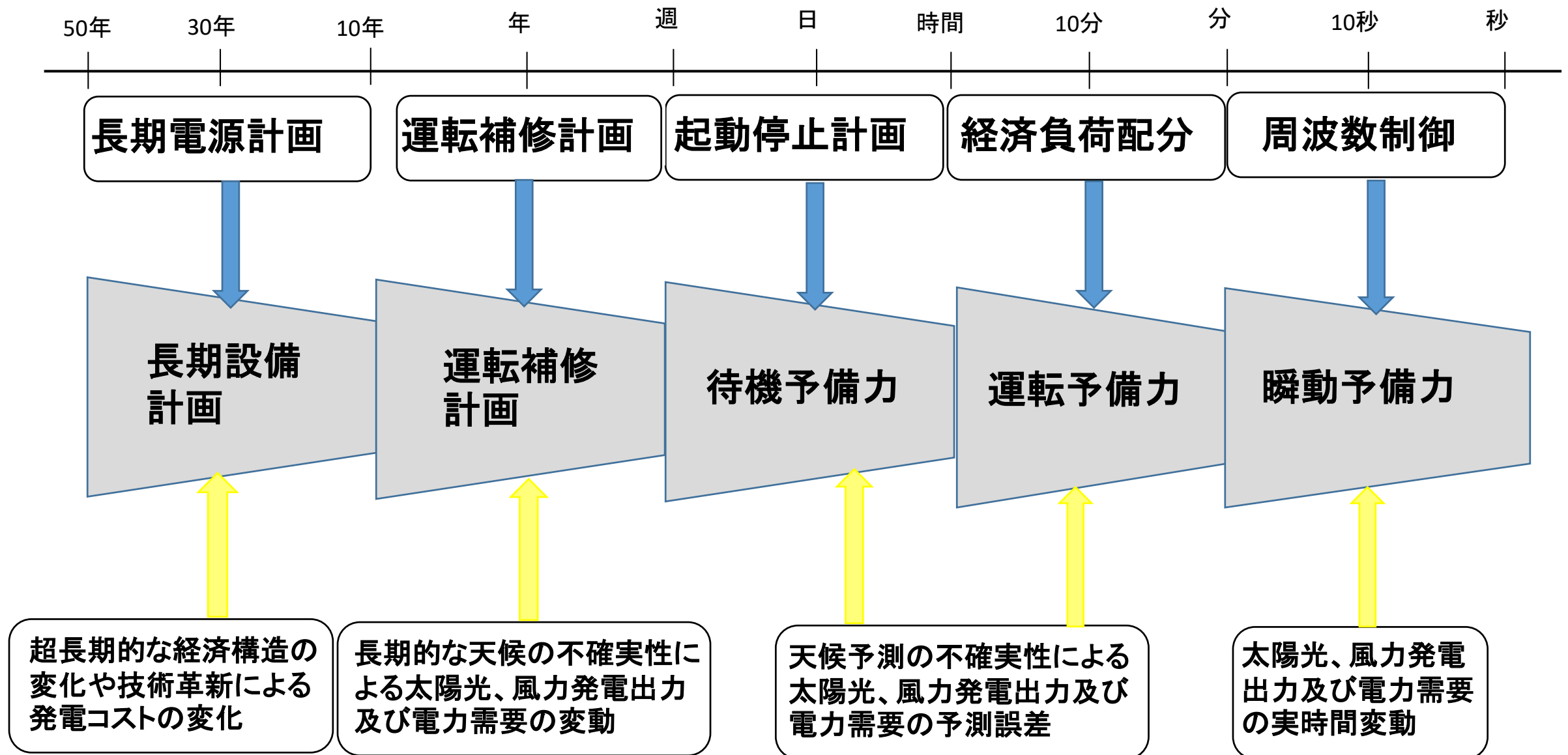
固定価格買取制度による太陽光発電の爆発的増加

→全国認定量 8454万kW 全国導入量 3847万kW (2017年3月末時点)

→九州認定量 1694万kW 九州導入量 747万kW (2017年8月時点)

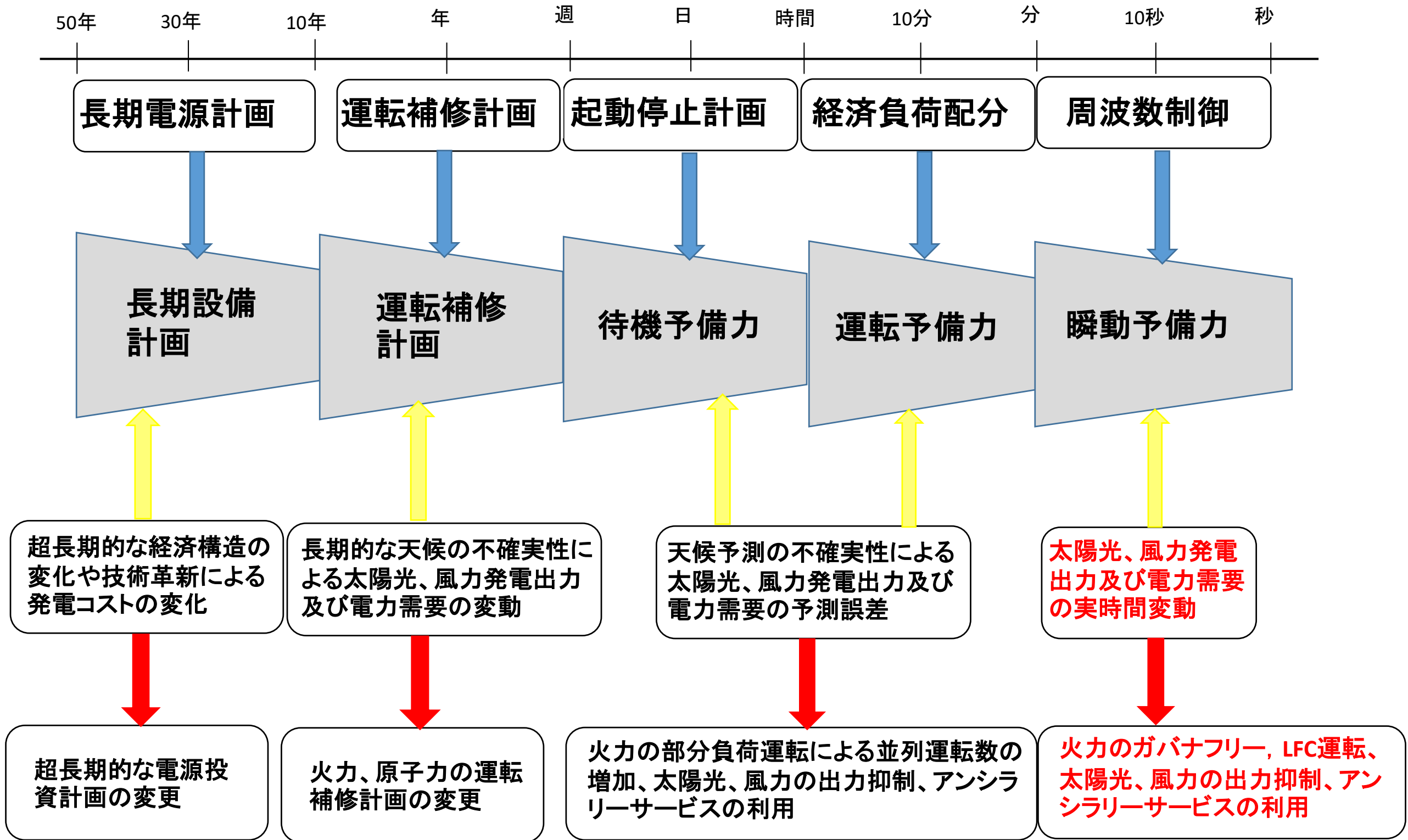
# 電力系統計画・運用における需給調整

過去の電力系統の運用では、各時間帯での電力需要の不確実性に対応した需給調整を行ってきたが、再生可能電源大量導入と電力システム改革に伴い、従来とは異なる需給調整の技術・制度が必要となる。



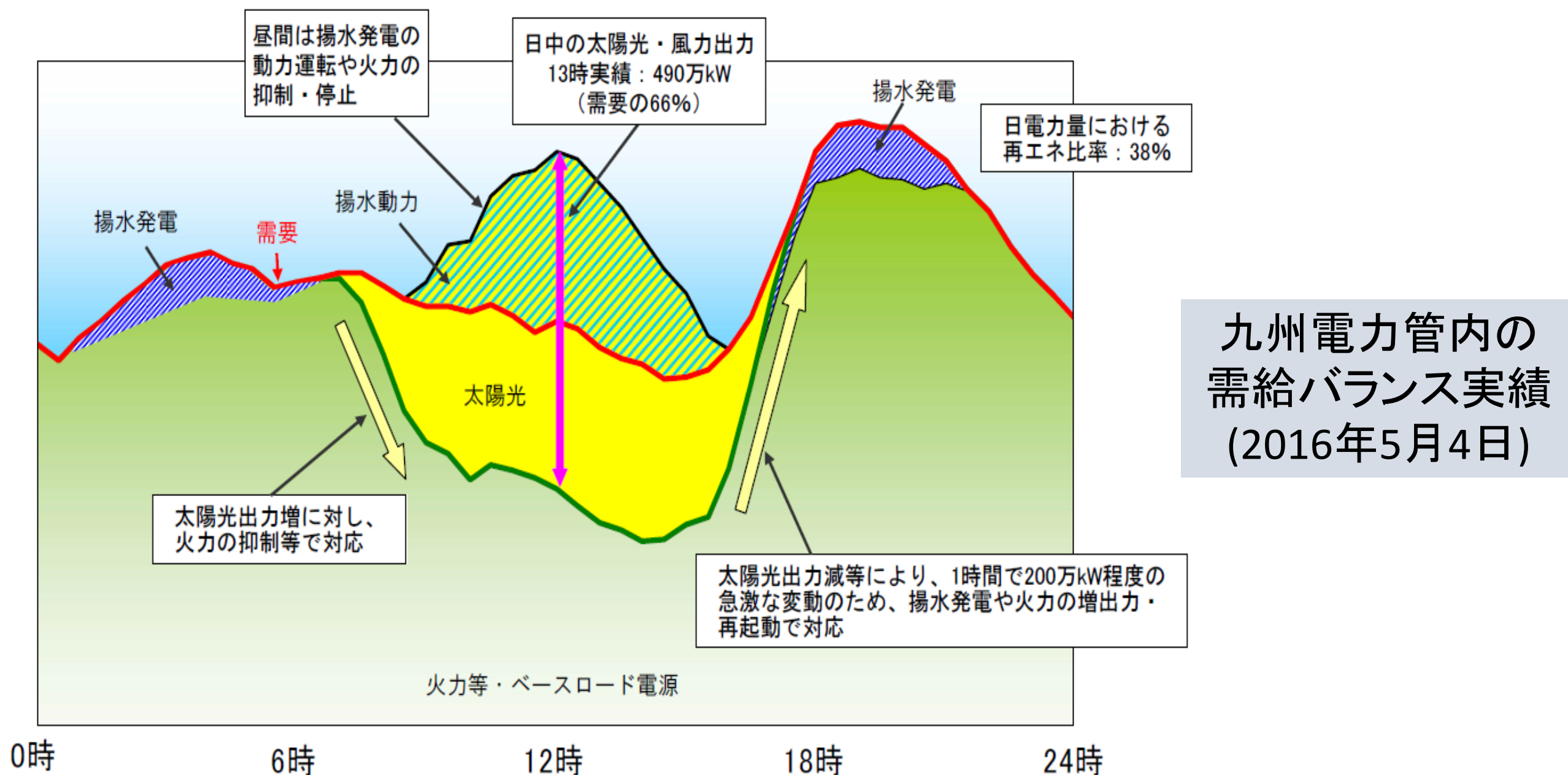
# 電力系統計画・運用における需給調整

新たな需給調整の技術・制度は、特に周波数制御、経済負荷配分、起動停止計画において必要である。ここでは、電気自動車等の需要側の機器を系統運用につなげる技術と制度の革新が求められている。



# 再生可能電源の大量導入と系統安定性

- 再エネ電源が大量連系した電力供給エリアでは、系統運用上の課題が顕在化している。



# 電気自動車（EV）の普及と周波数制御

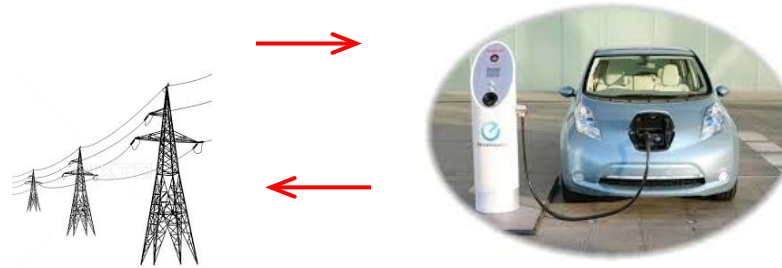
## □ EVの普及目標（現在の自動車保有台数 約8200万台）

- ✓ 次世代自動車戦略2010（経済産業省）
  - 販売：15～20%（2020年）  
20～30%（2030年）
- ✓ 次世代自動車振興センター
  - 保有：3%（2020年）、9%（2030年）

### ✓ 現状

- 販売：0.19%（2013年時）
- 保有：0.19%（2014年時）

## □ 需要家側資源としてのEV Vehicle to Grid（V2G）



制御指令に対する応答が速い  
一方向制御はSOCへの影響が大きく不向き

} 周波数制御に適  
性有

EV所有による市場からの報酬



EV普及のインセンティブとなる可能性



# EVによる周波数制御実験とシミュレーション

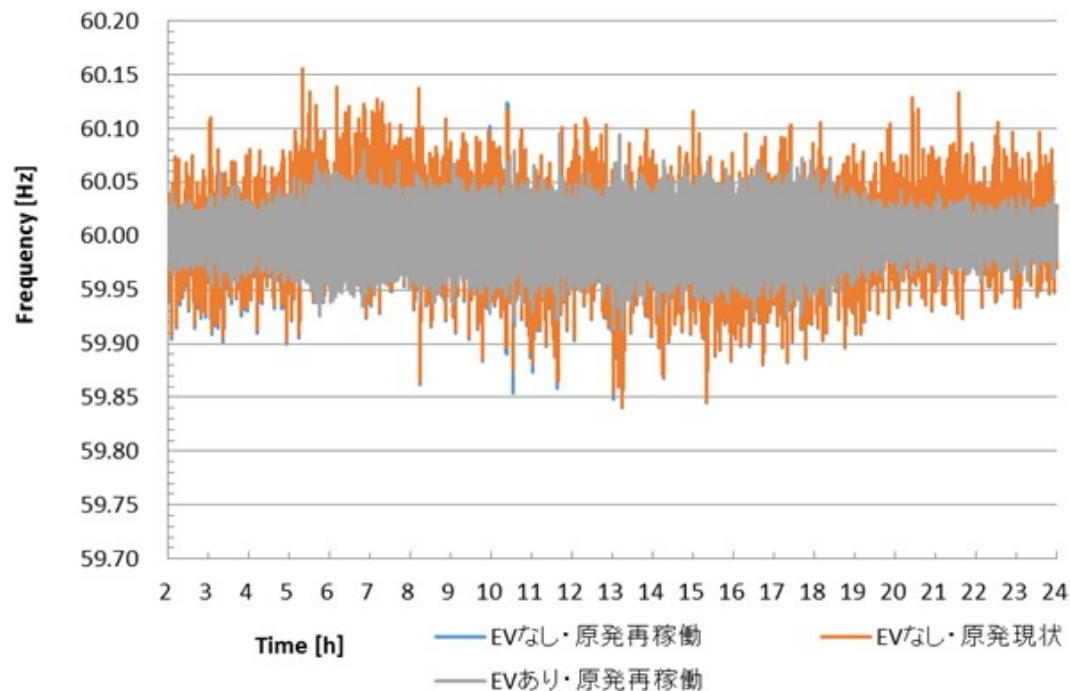
## □ 実験場所

EVおよびLFCの実験場所：  
 横浜国大敷地内の建物及び駐車スペース  
 シミュレータ設置箇所：東京大学

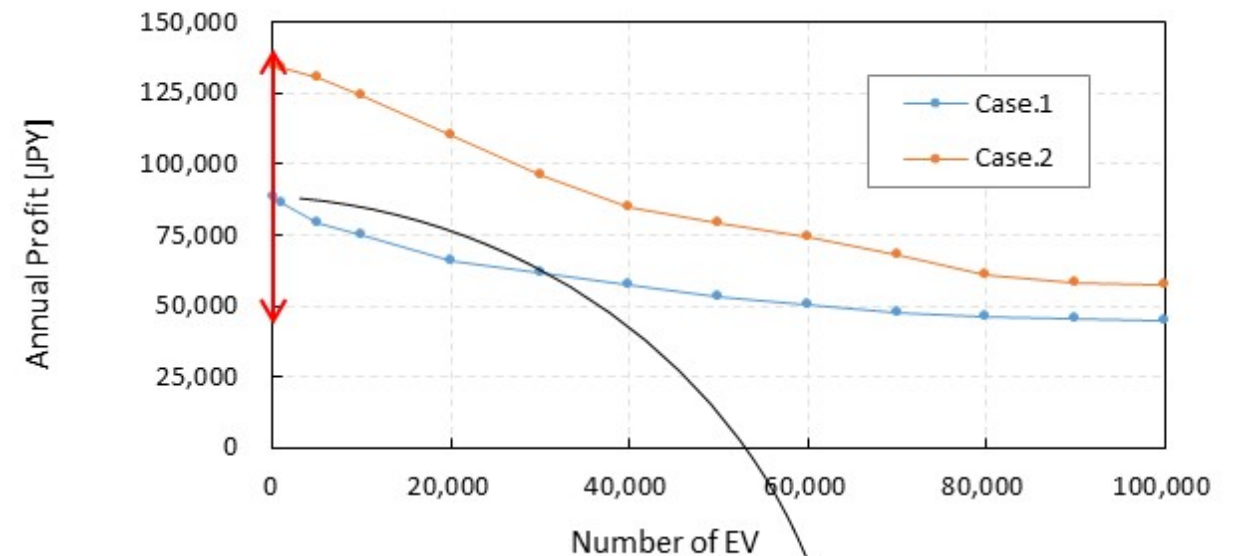


## □ 実験装置

- ・電気自動車
- ・リアルタイムシミュレータ Opal-RT
- ・パワーアンプ
- ・EV用リアルタイムコントローラ
- ・EV用パワーコンディショナ



EVによる周波数調整シミュレーション

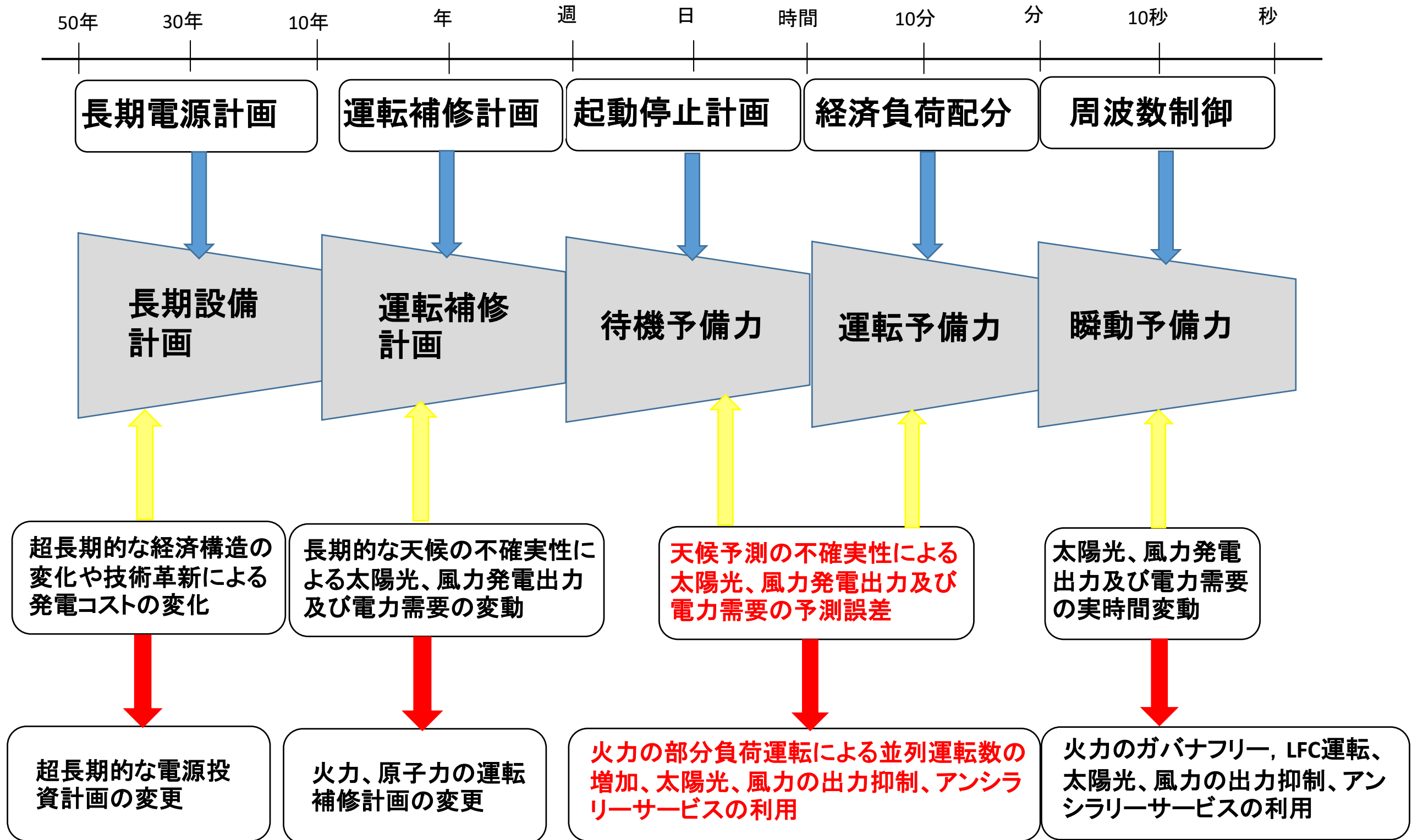


年間獲得報酬：約5万～13万円

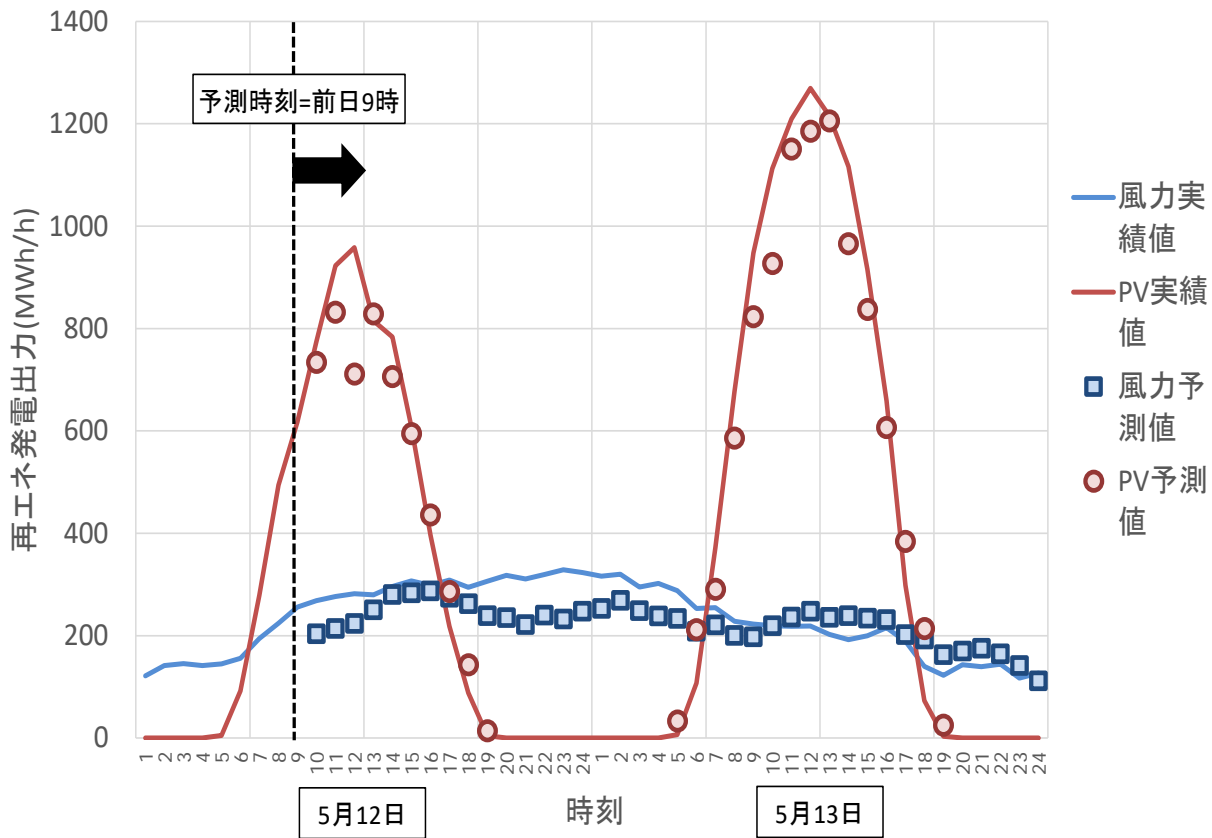
EVによる市場報酬シミュレーション

# 電力系統計画・運用における需給調整

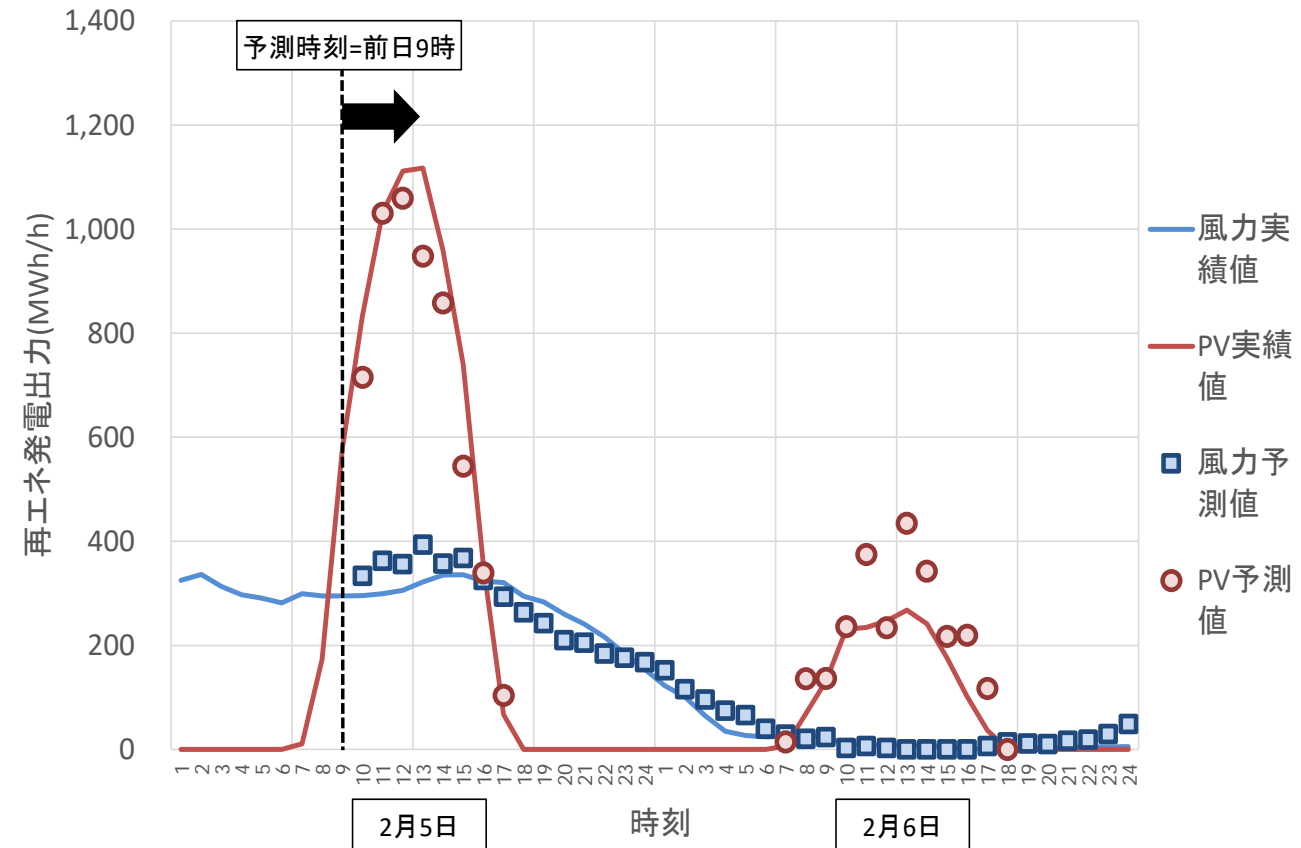
新たな需給調整の技術・制度は、特に周波数制御、経済負荷配分、起動停止計画において必要である。ここでは、電気自動車等の需要側の機器を系統運用につなげる技術と制度の革新が求められている。



# 予測値と実績値の比較

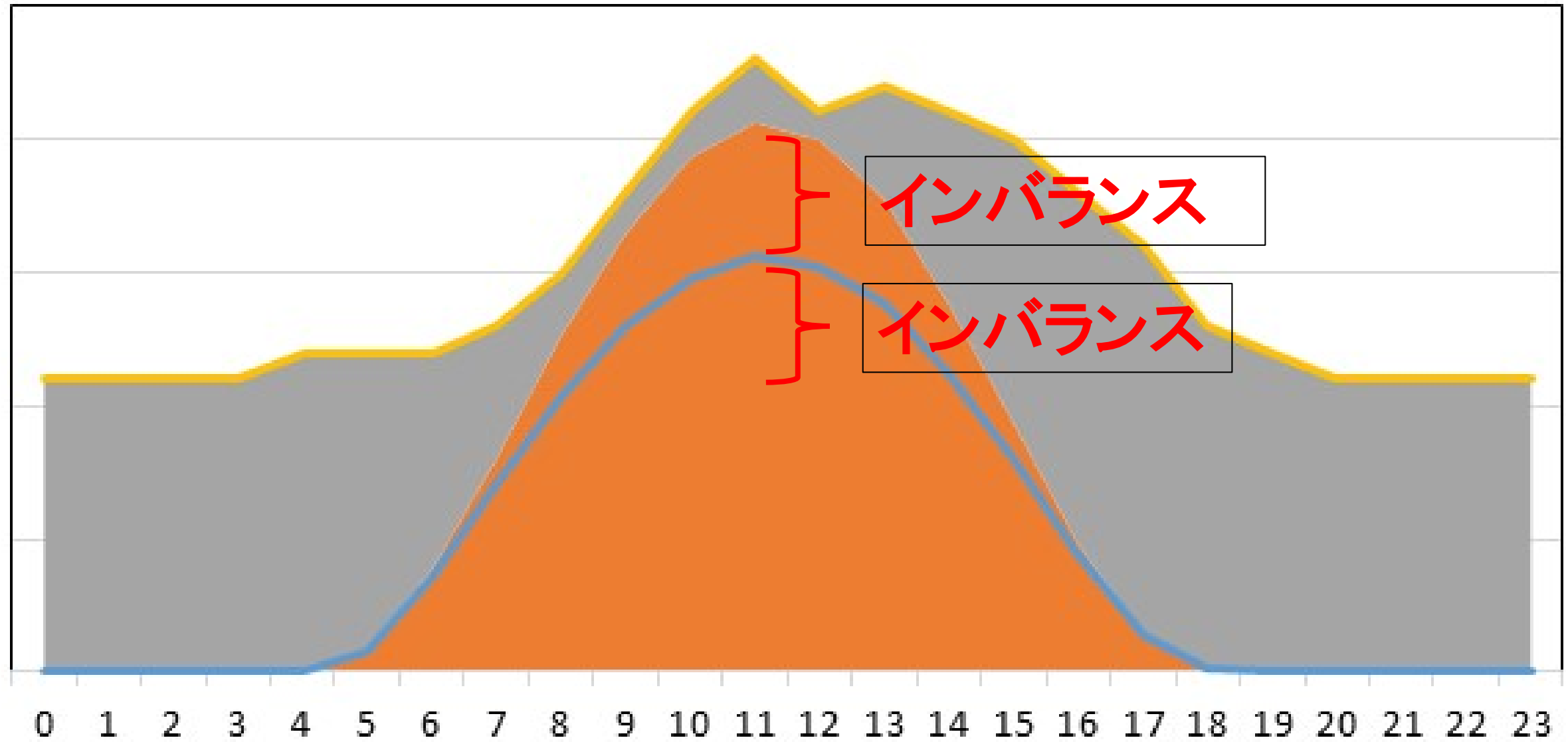


再エネ比率高い, 2012年5月12-13日



再エネ比率低い, 2013年2月5-6日

# 再生可能電源の不確実性と地域電力会社のインバランス



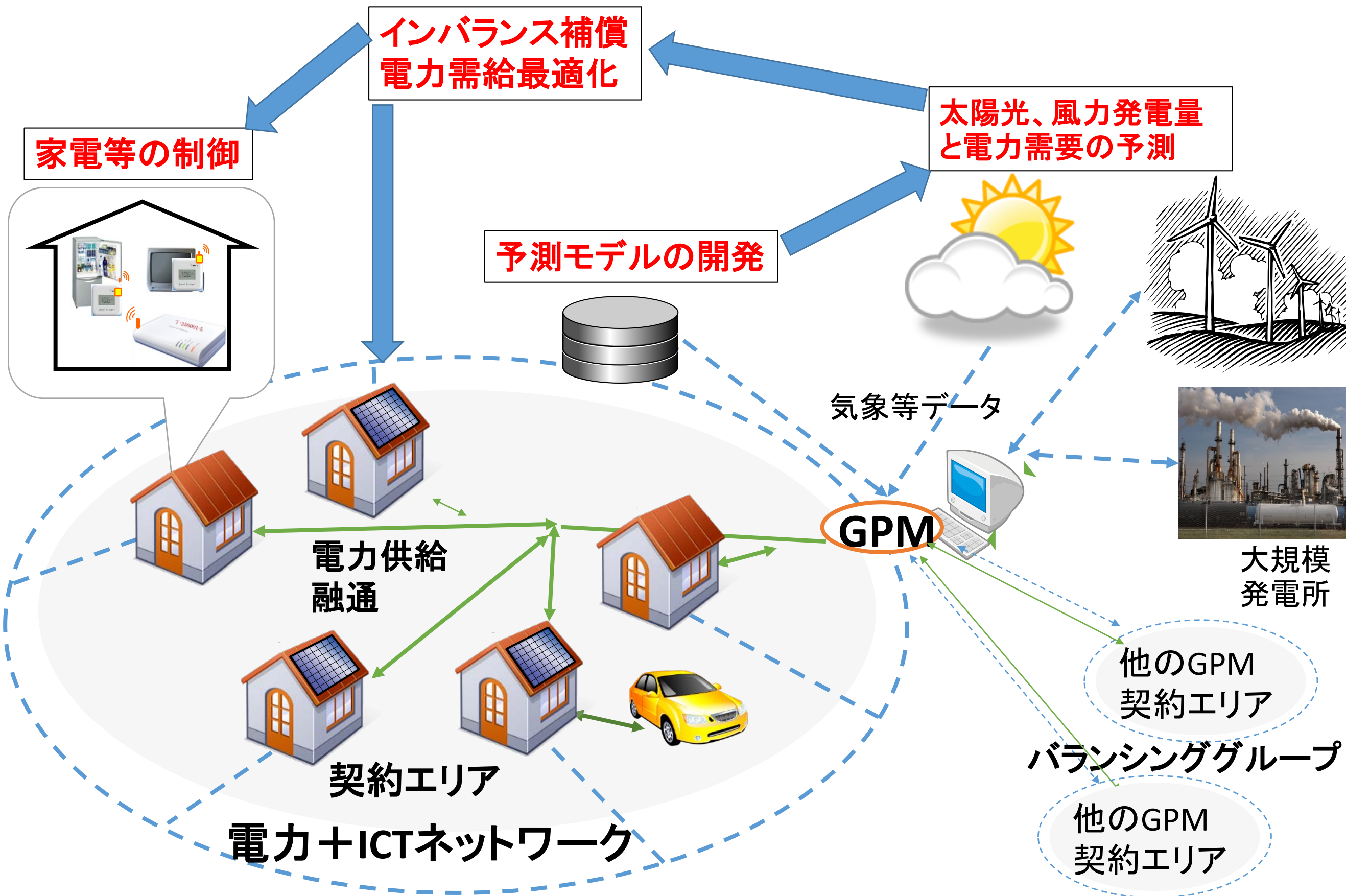
■ 太陽光実際の発電量

■ 大手電力常時バックアップ

— 太陽光予測発電量

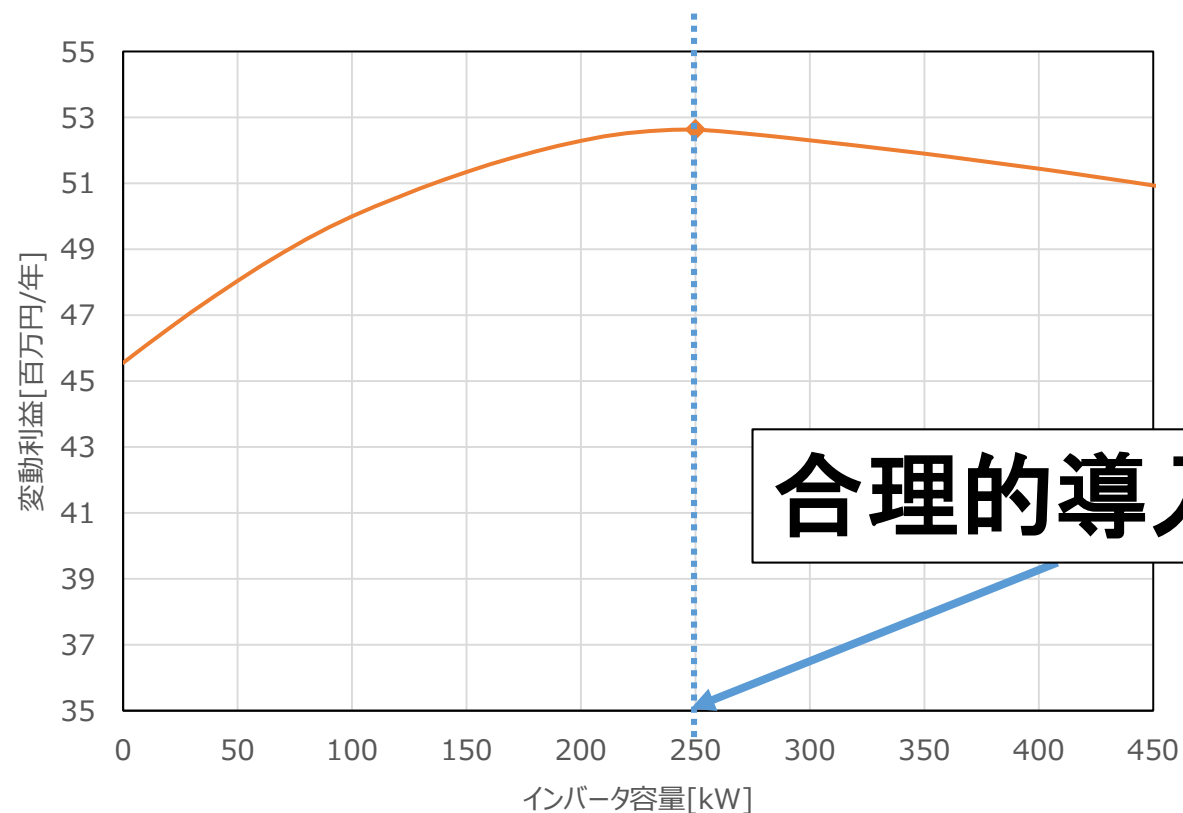
— 地域電力全需要

# GPM概念図

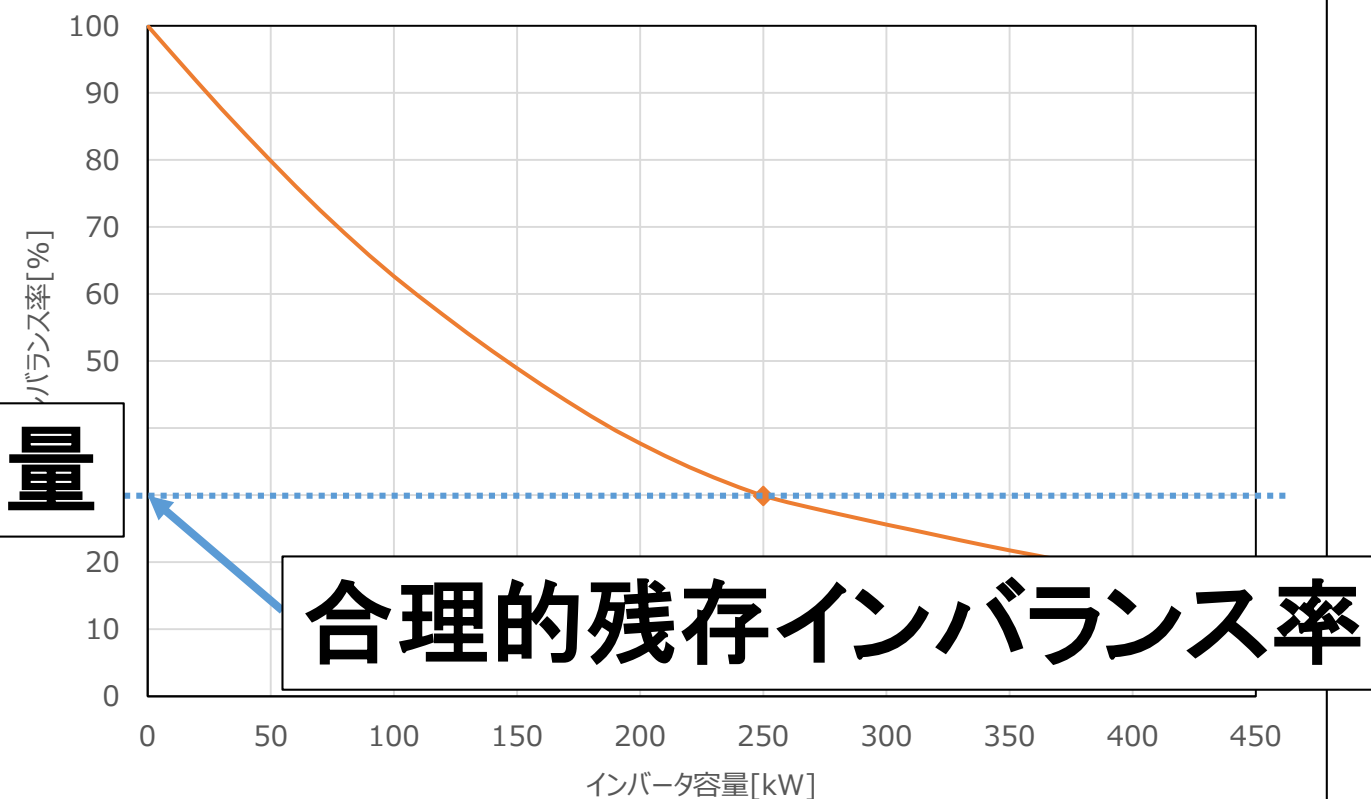


# 蓄電池の最適導入量とインバランス削減効果

## 蓄電池導入量と利益の関係



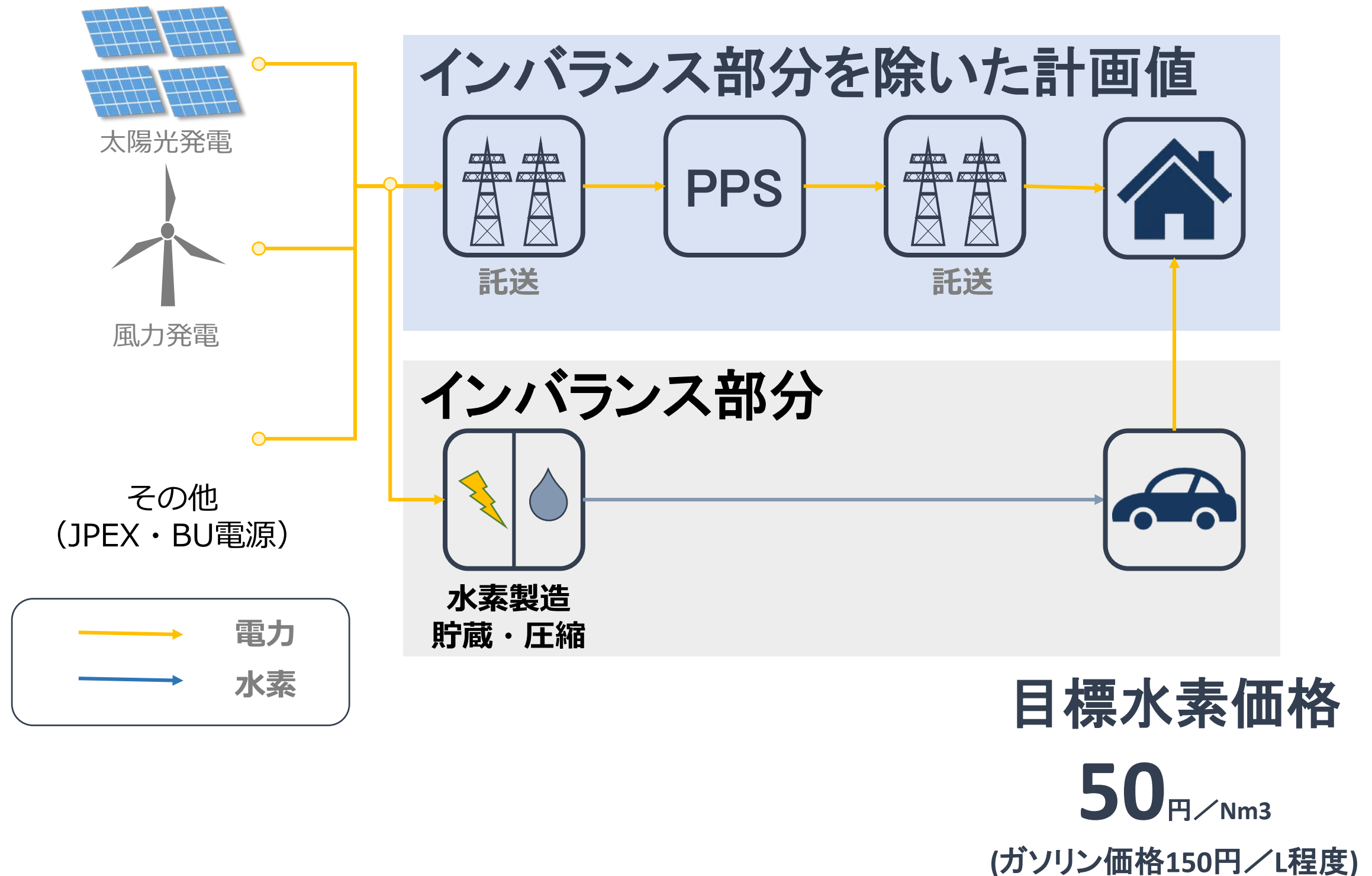
## 蓄電池導入量と残存インバランス率の関係



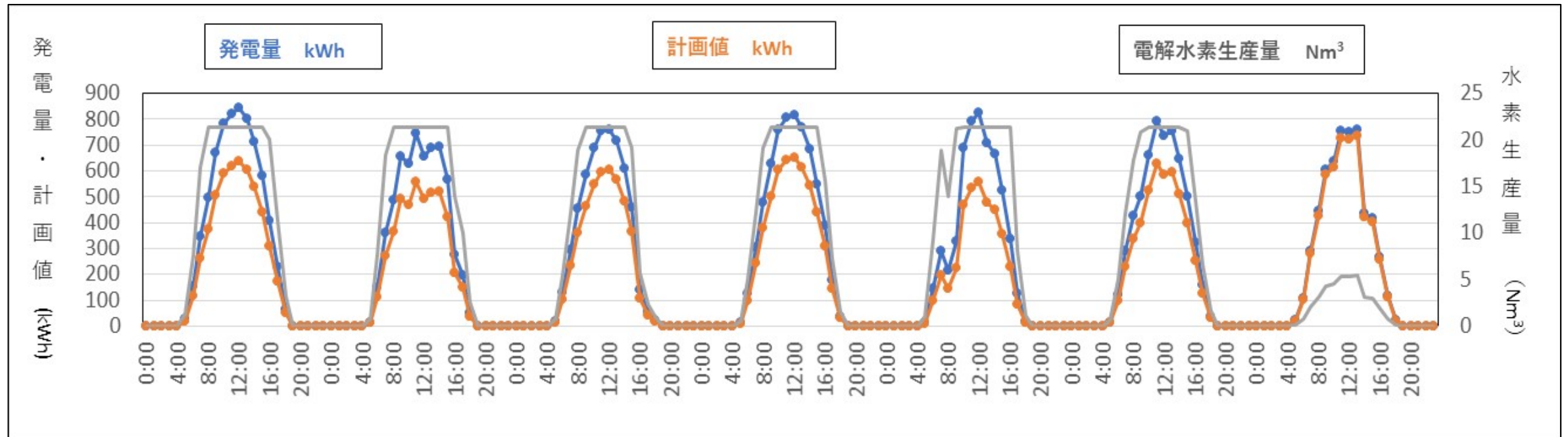
- 経済性を考慮すると合理的な事業者は導入利益が最大になる点まで蓄電池を導入する(◆の点)
- この点における導入量を各条件における**合理的導入量**と呼ぶ

- 合理的導入量の定置型蓄電池を導入した際の残存インバランス率(◆の点)を小さくすることが本研究の目的である。
- 以後、省略して各条件における**合理的残存インバランス率**と呼ぶ

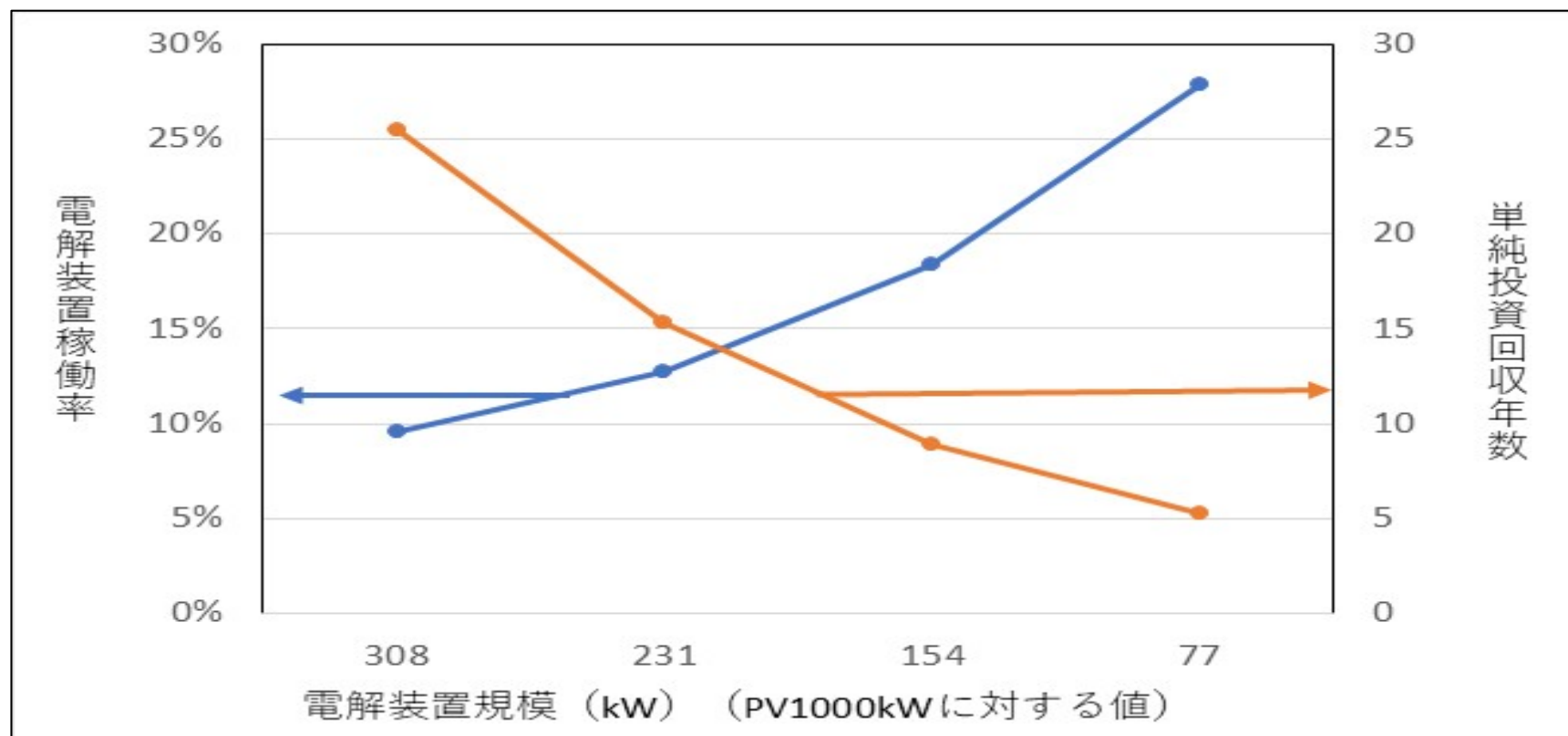
# 電力／水素コプロダクションによるインバランス補償 (蓄電池・EVとは異なるコンセプト)



# 電力／水素コプロダクションシステムの経済性



電気／水素複合GPMIにおける8月初週のPV実発電量、前日計画値と水素貯蔵量の推移



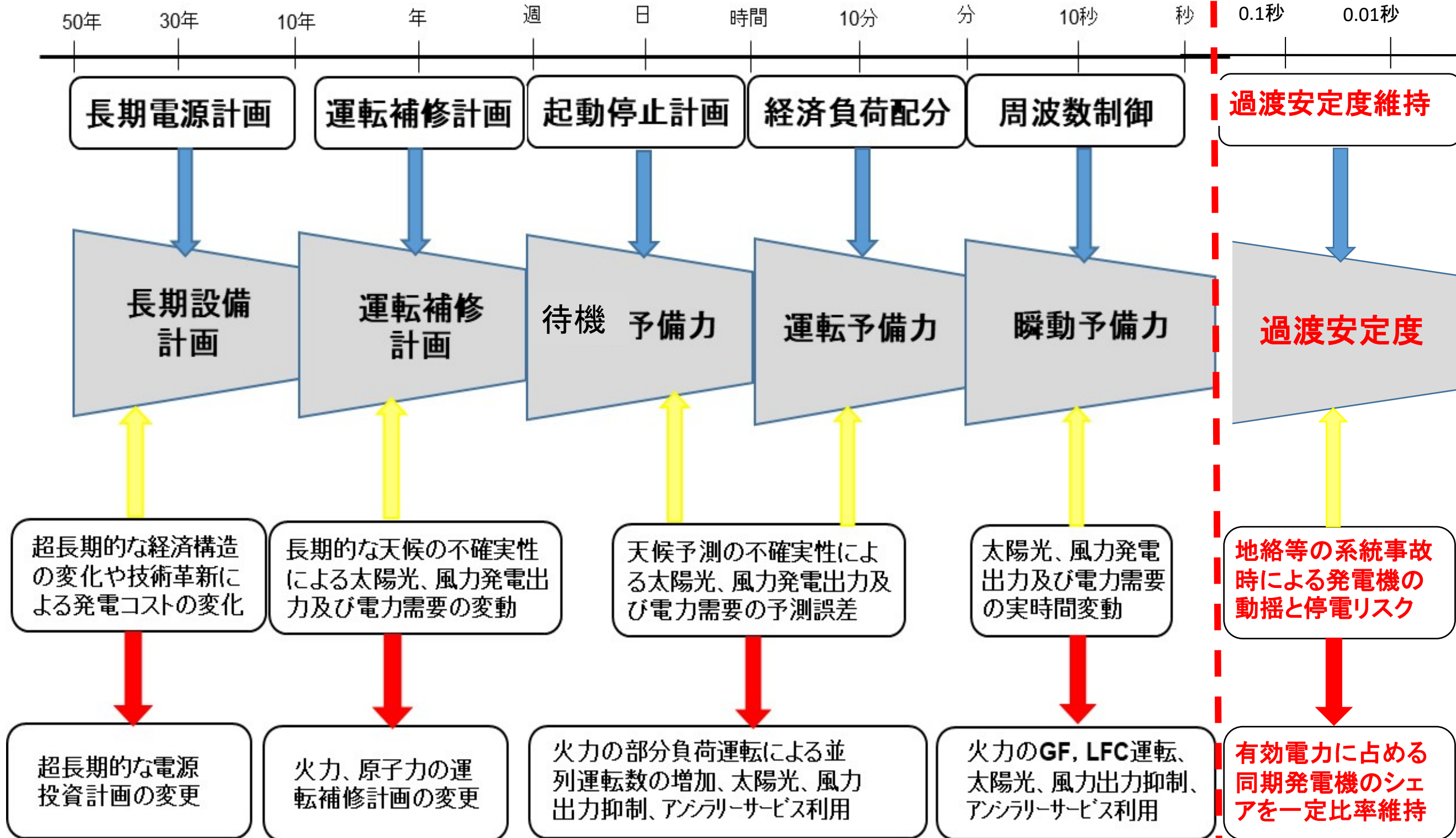
PV発電量の予測誤差⇒インバランス⇒電解水素⇒電気と水素の複合生産システム＝コプロダクション⇒  
 電気と水素の生産比率を調整⇒投資回収年数5.4年



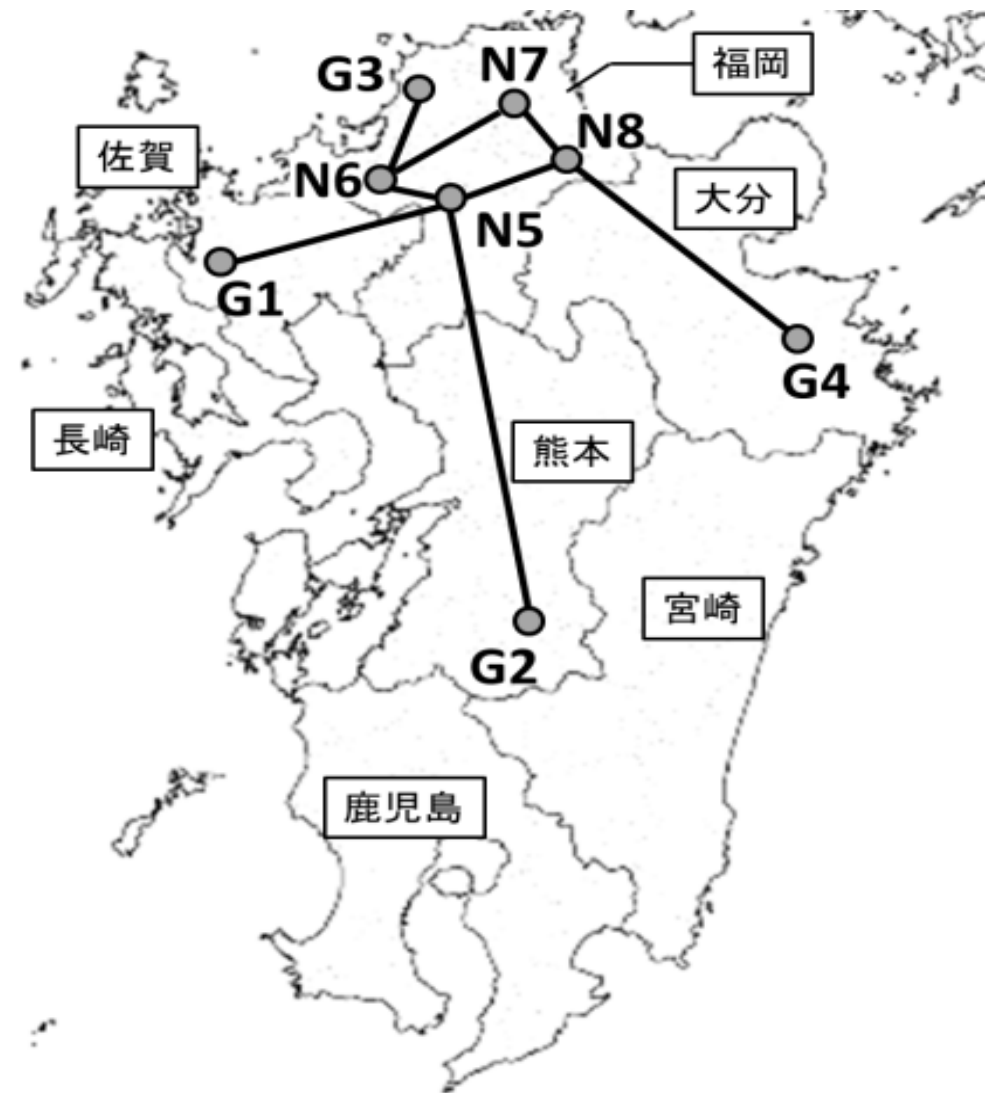
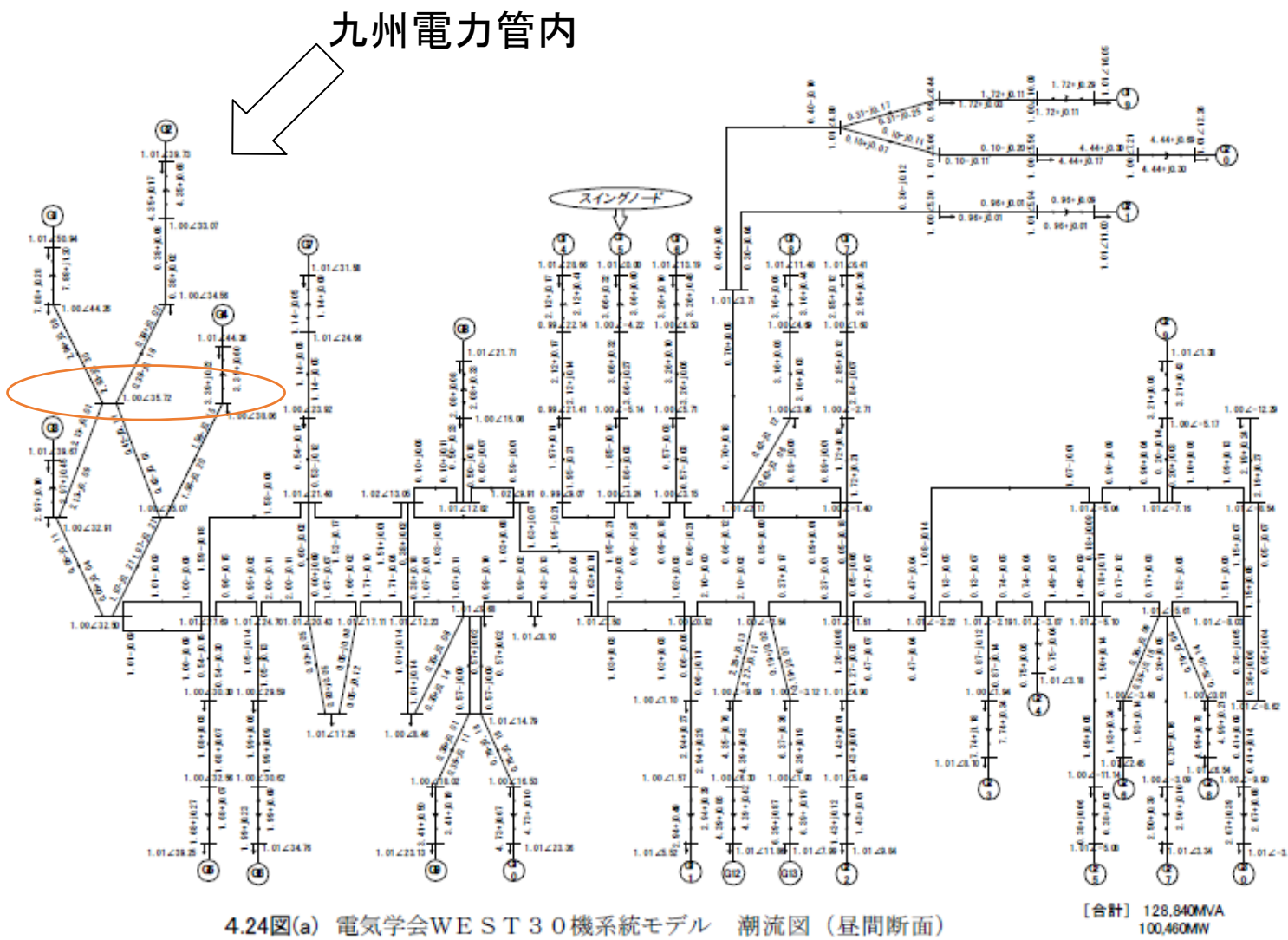
# 電力系統運用における過渡安定度の問題

再生可能電源大量導入と電力システム改革に伴い、変革を迫られている  
下記の計画・運用は、各時間帯での需給調整の技術・制度の問題である。

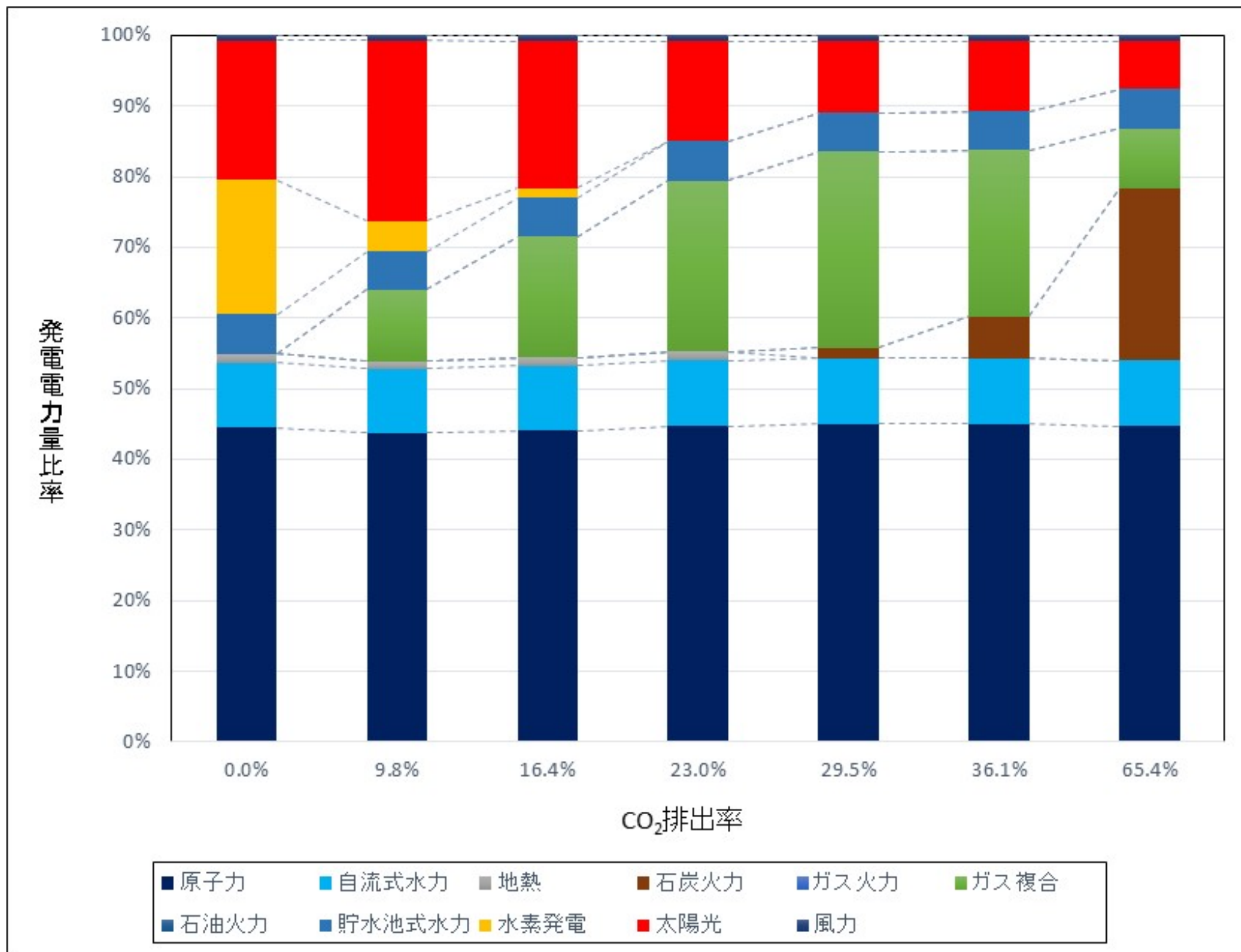
需給調整とは異質であるが重要な問題である。



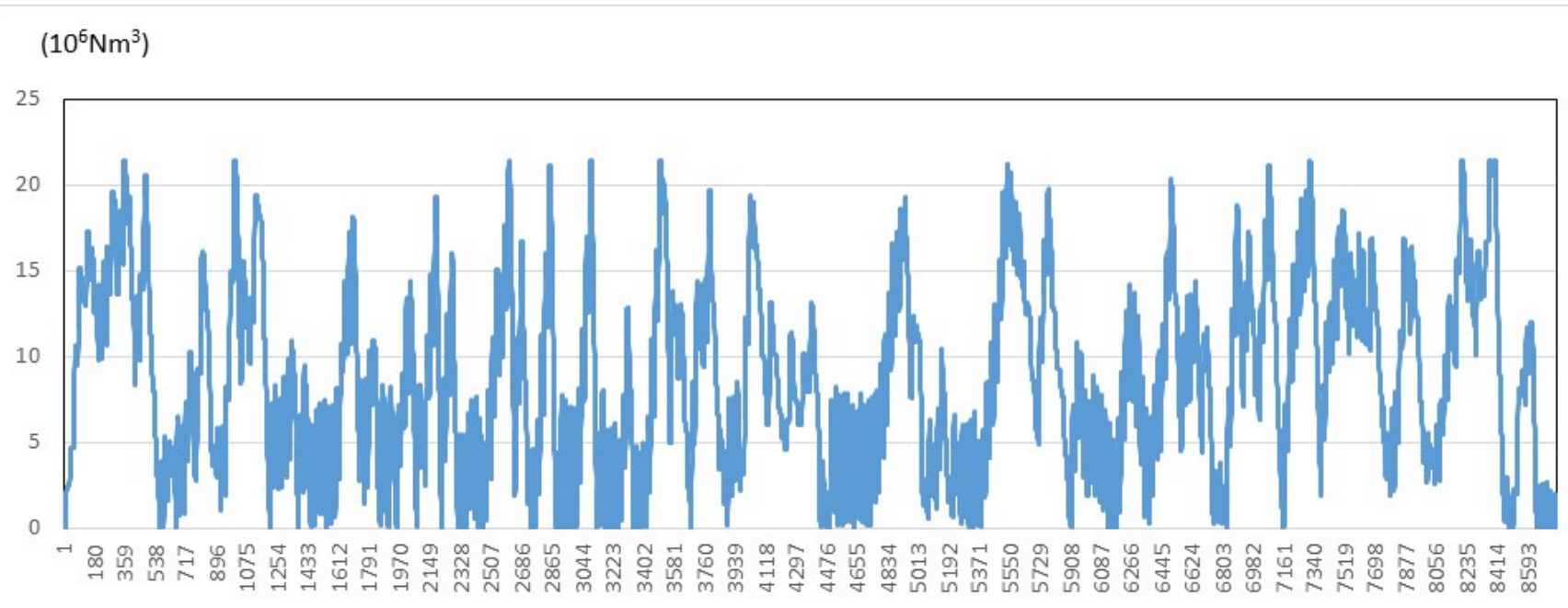
# WEST30機系統モデルと九州地域の電力システム



# 電力システムの脱炭素化と水素利用の可能性



# 電力システムの脱炭素化と水素利用の可能性

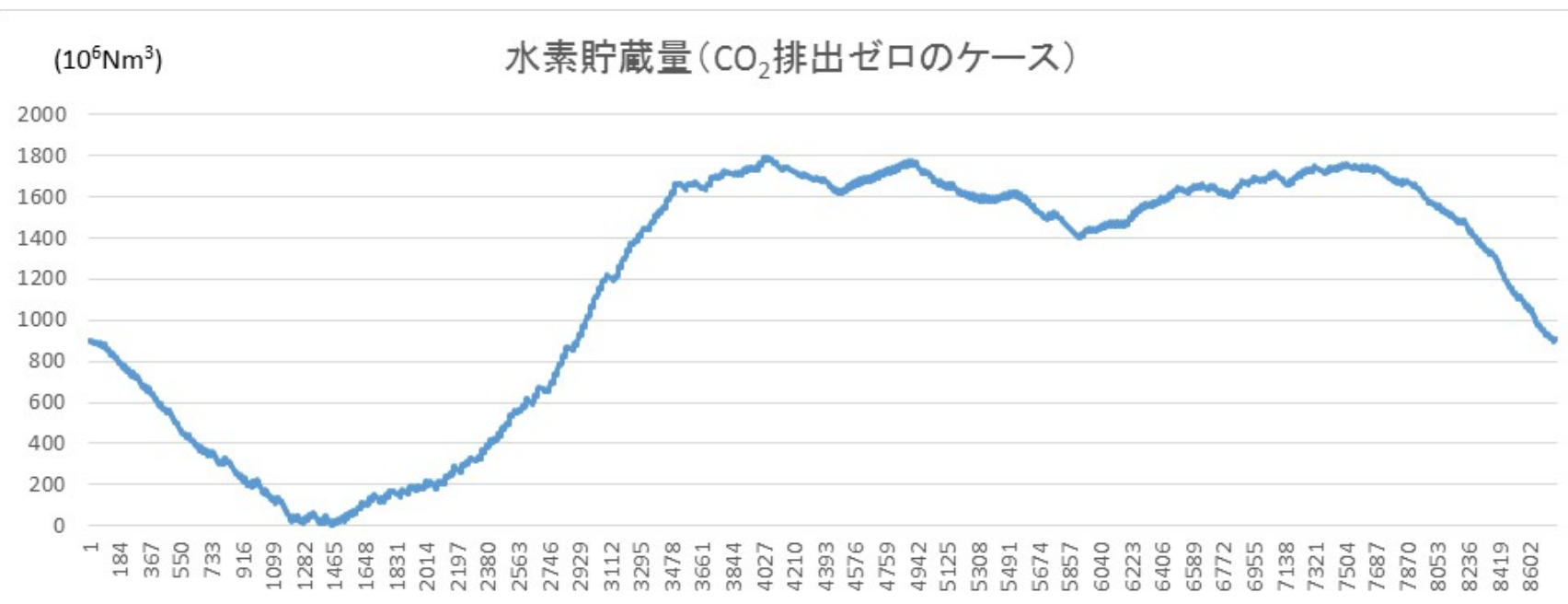


(長期的技術開発戦略)

水素の貯蔵

➡ 90%削減では2140万Nm<sup>3</sup>  
主にPV出力の週間変動を吸収

図. 1年間の水素貯蔵量の推移 (CO<sub>2</sub>排出量90%削減のケース)



➡ 100%削減では17.9億Nm<sup>3</sup>  
主にPV出力の季節変動を吸収  
90%削減の100倍近い貯蔵容量が必要

➡ 大量の水素を経済的に貯蔵できる技術と経済的な電気分解技術の確立が急務

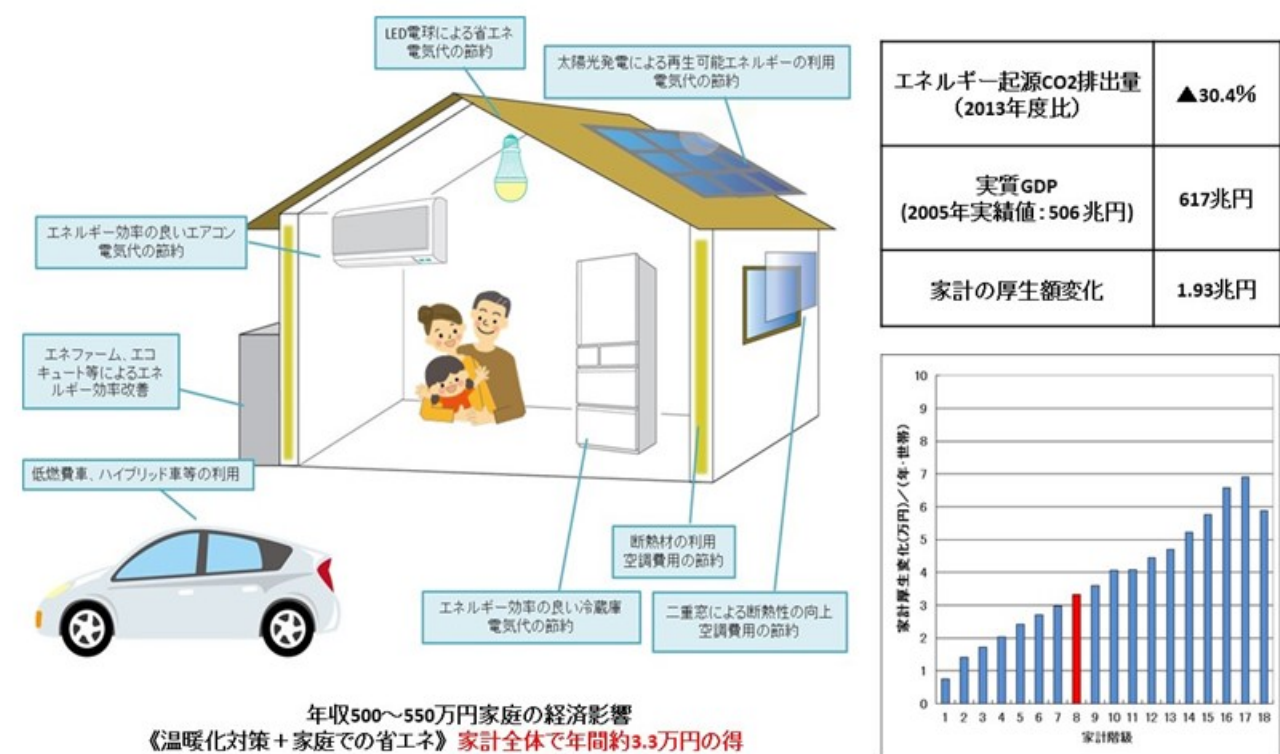
図. 1年間の水素貯蔵量の推移 (CO<sub>2</sub>排出量100%削減のケース)

# 国家レベルでのエネルギー・経済モデルの開発と社会実装

目標：パリ協定が国民生活に与える影響の定量化

## 【脱炭素と国民生活安定化・現状の進捗】

● パリ協定が国内経済・国民生活に与える影響の定量化

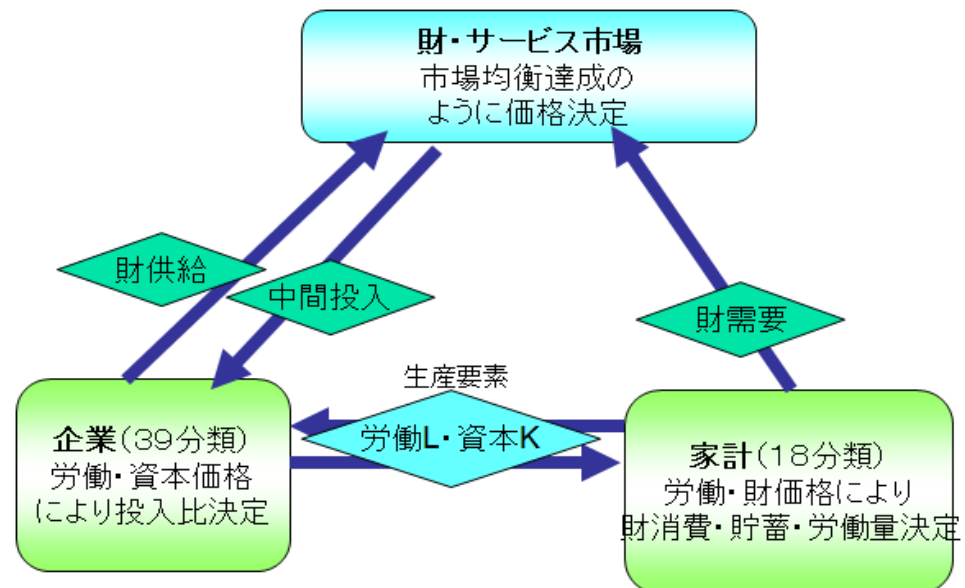


## 【今後の課題、達成への道筋】

● 2050年の80%温室効果ガス削減が国民生活に与える影響の定量化と豊かな脱炭素社会の設計

## 【新たに創出される価値】

● 2030年、2050年の豊かな脱炭素社会のシナリオ開発による社会の活性化とイノベーションの推進



## 応用一般均衡モデル—部門—

		年間所得別階層	
		1	18
食料	1		1 -200
住居	2		2 200-250
電気代	3		3 250-300
ガス代	4		4 300-350
他の光熱	5		5 350-400
上下水道料	6		6 400-450
家事用耐久財	7		7 450-500
冷暖房機器	8		8 500-550
一般家具	9		9 550-600
その他家具等	10		10 600-650
被服及び履物	11		11 650-700
保健医療	12		12 700-750
交通	13		13 750-800
自動車等購入	14		14 800-900
自動車等維持	15		15 900-1000
通信	16		16 1000-1250
教育	17		17 1250-1500
教養娯楽	18		18 1500-
その他の消費支出	19		

1 農林水産業	20 一般機械
2 石灰石	21 電気機械
3 石炭	22 自動車
4 原油	23 輸送機械
5 天然ガス	24 精密機械
6 その他鉱業	25 その他の製造工業製品
7 食料品	26 建設
8 繊維製品	27 電力
9 木製品	28 都市ガス
10 紙・パルプ	29 熱供給業
11 印刷	30 上下水道
12 化学	31 廃棄物処理
13 石油製品	32 商業
14 石炭製品	33 金融・保険
15 窯業・土石製品	34 不動産
16 セメント	35 運輸
17 鉄鋼	36 通信・放送
18 非鉄金属	37 サービス業
19 金属製品	38 政府サービス
	39 対家計民間非営利サービス

家計消費財19部門 ← 変換行列(消費財に対する各生産財合成比) → 生産財39部門

エネルギー経済モデルの開発と日本のGHG削減目標の影響評価(松橋, 高瀬他)

# 結論

- (1) エネルギー問題の解決には、工学系の深い専門知識と幅広い学問分野を網羅し、更に社会科学を加えた総合的なアプローチが必要である。
- (2) エネルギー分野のイノベーションを活性化するには、技術革新と制度革新の双方が必要である。具体的には、**エネルギー工学上の技術革新とアンシラリーサービスやCO<sub>2</sub>削減価値の取引制度の設計など、制度革新**である。
- (3) 我々は、工学系の一員として協創的に、更に大きく協創の範囲を広げて、技術開発、制度設計を推進し、**実証実験、社会実装から全国にイノベーションを展開**すべく、検討を進める。