

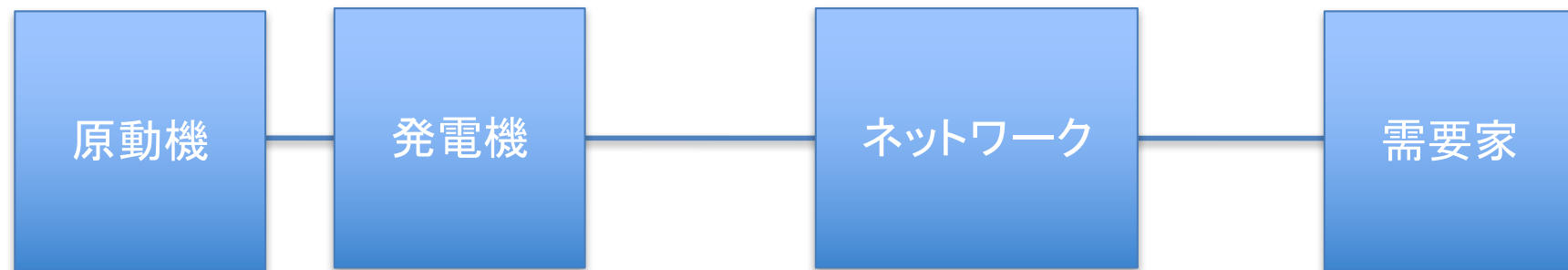
京都大学再生可能エネルギー経済学講座

# 電力システムの需給調整と連系線利用

2016.12.6

横浜国立大学大学院工学研究院  
大山 力

## 一定電圧、一定周波数での電力供給



一定周波数に制御

一定電圧に制御

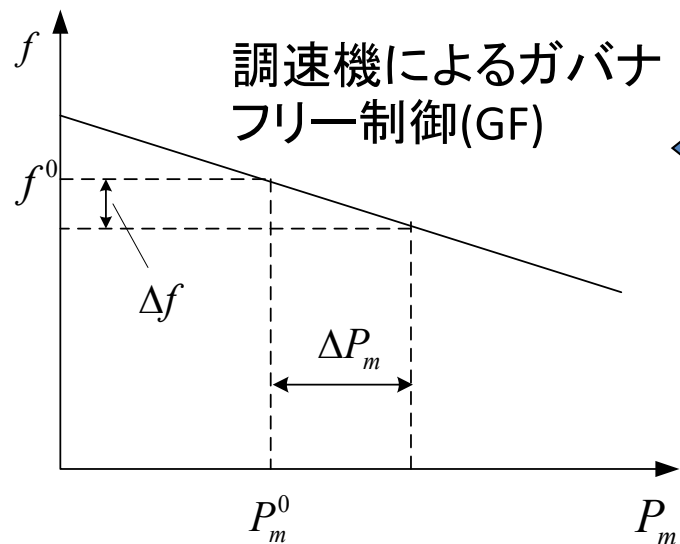
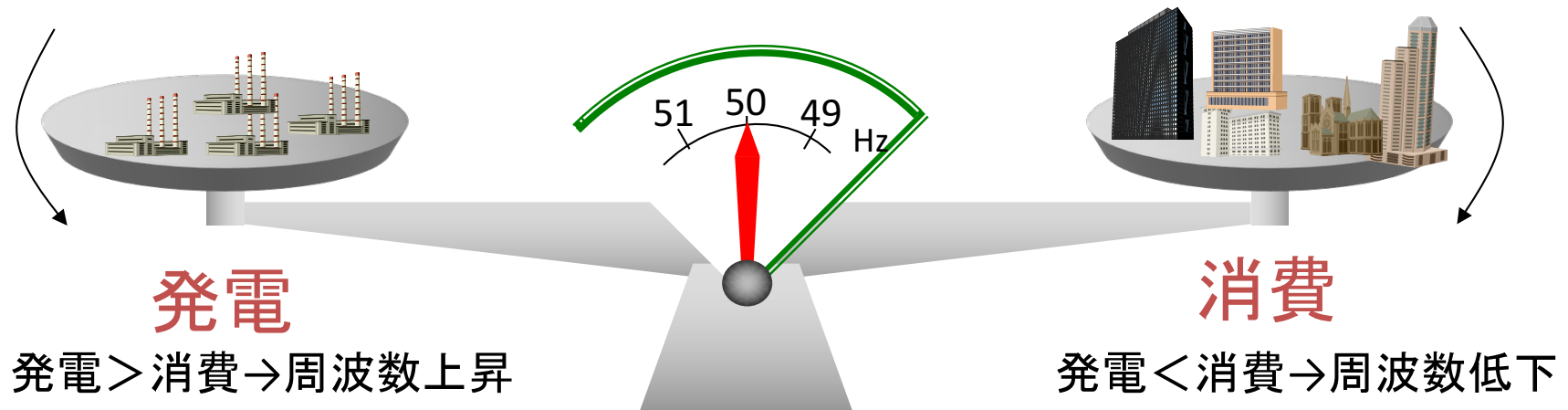
アンシラリーサービス

需要家側の消費電力は瞬時に変動  
→発電機の実出力は瞬時に変動

しかし、原動機から発電機への機械的入力は瞬時に変動できない。

アンバランスは発電機に回転エネルギーとして蓄積される。  
→回転数変動し、周波数変動が起きる。

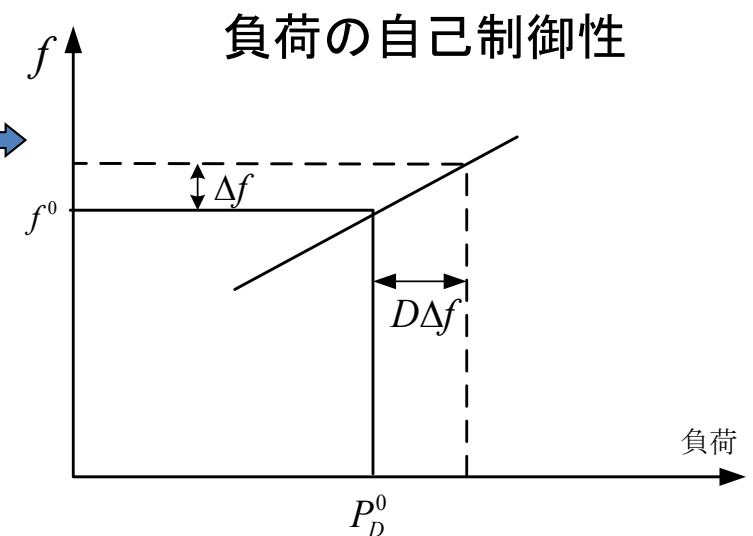
# 周波数変動のメカニズム



周波数変動  
が起こると

周波数の定常偏差

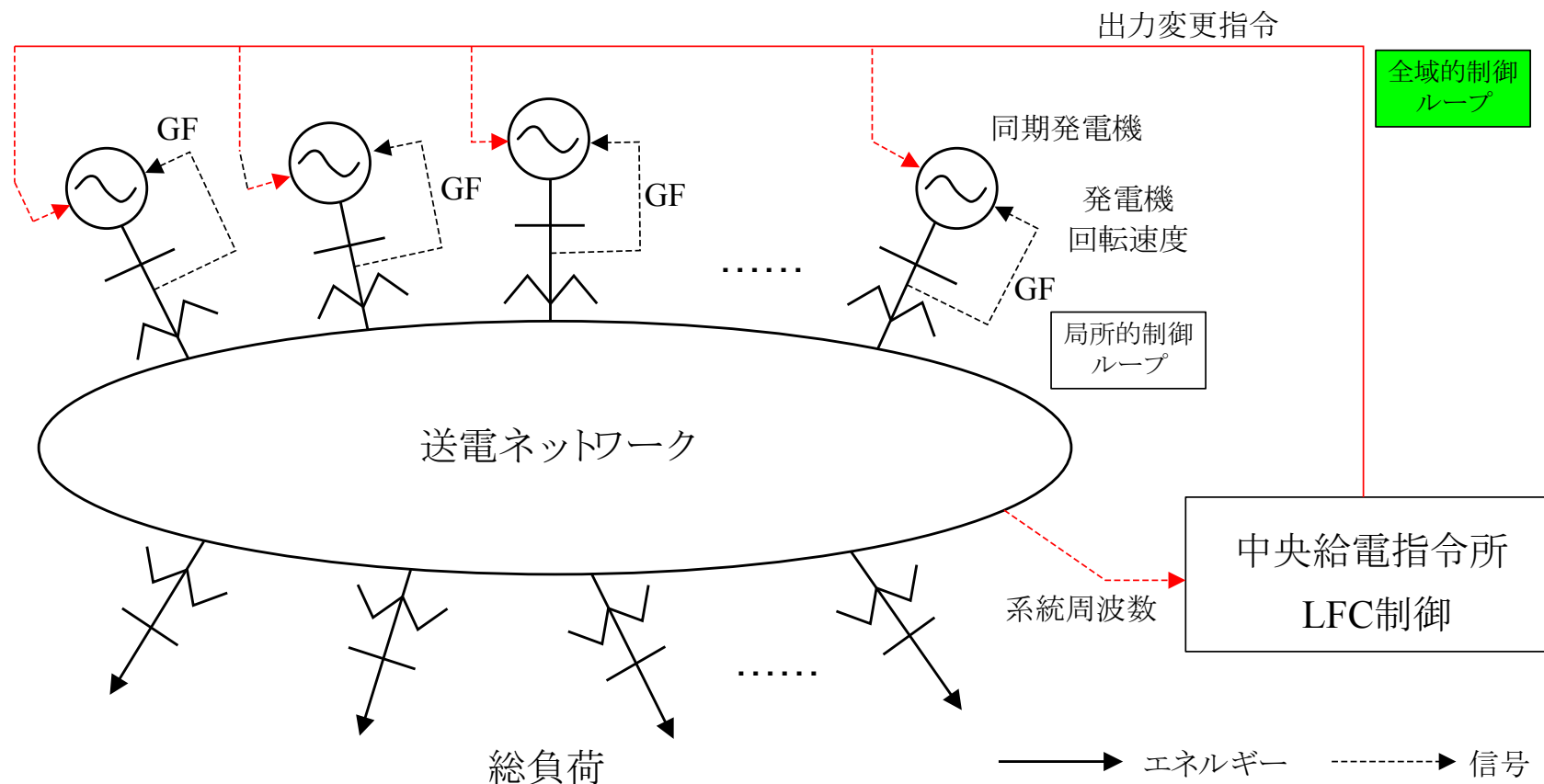
$$\Delta f = -\frac{\Delta P}{K}$$





# 負荷周波数制御(LFC)

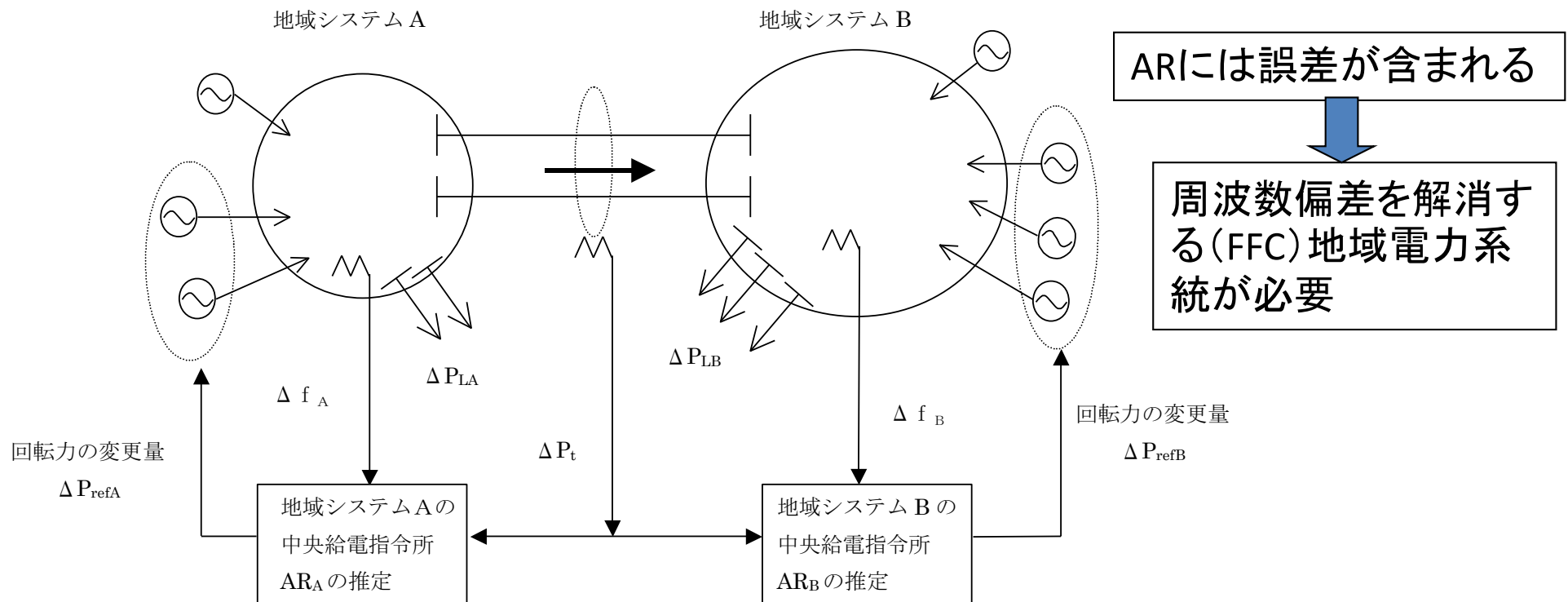
- ・負荷周波数制御(LFC): 周波数の定常偏差を解消. グローバル制御. 積分制御.



## 連系系統における周波数制御

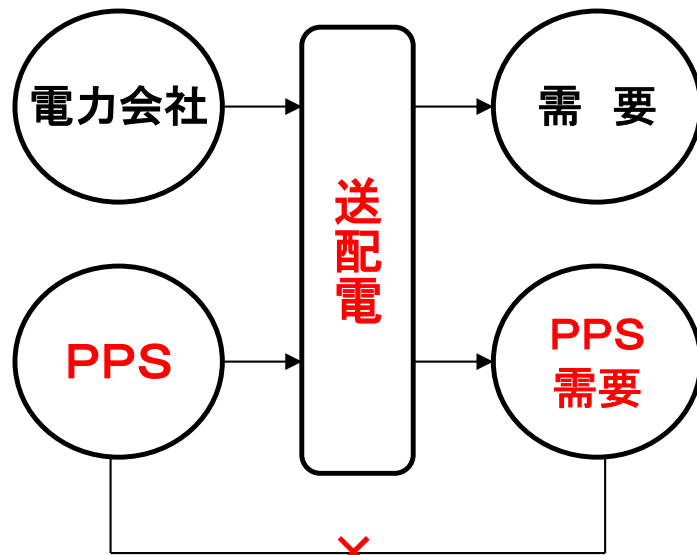
地域電力系統の供給責任範囲(自地域で発生した負荷変化には自地域内の発電機出力調整で対応する)に基づいたLFC → TBC(Tie-line Bias Control)

地域要求電力(AR, 正味の負荷変化)を周波数偏差と連系線潮流偏差から検出



# 自由化後の周波数制御

## ◎電力自由化に伴い新規参入業者の増加



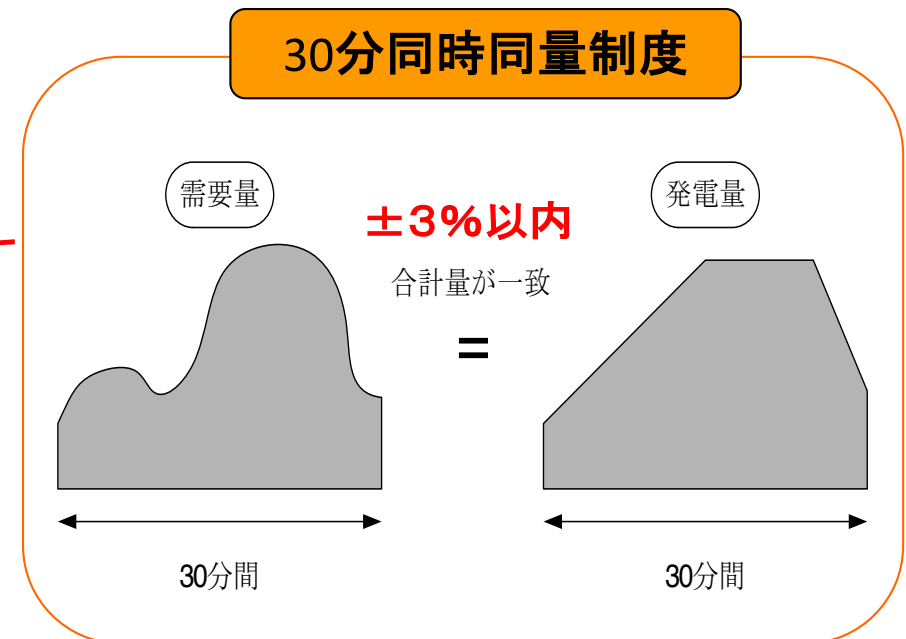
瞬時で一致させることは困難



インバランス分は  
一般電気事業者が負担

- ・実需同時同量:  $\text{インバランス} = \text{実発電量} - \text{実消費量}$
- ・計画同時同量:  
 $\text{インバランス} = \text{実発電量} - \text{発電計画値}$   
 $(\text{実消費量} - \text{消費計画値})$

PPSにも  
義務を課す



# アンシラリーサービスによる負荷周波数制御

周波数制御に関連したアンシラリーサービス: 北米電力信頼度評議会(NERC)の定義

- レギュレーションサービス:

ガバナフリー制御に相当する需給バランス。系統に連系され調速機を装備している発電機を, 調整用電源として用いる。

- ロードフォロ잉サービス:

LFCに相当する周波数制御であり, 系統に連系されており比較的ゆっくりした負荷変動に応答できる能力を持つ発電機群を用いて行われる。

- エネルギーバランスサービス:

制御地域の境界内における受電点または需給点における計画値と実測値の差分を補償するサービス

## アンシラリーサービスの調達

### (1)ネットワーク利用者から強制的に提供させる方法

利点: 公平かつ全体として十分な電源を獲得可能

欠点: 不要な投資や必要以上の調整用電源を調達する可能性

需給バランスを効率的に行うための技術革新を生みづらい

### (2)相対契約を通して調達する方法

利点: 必要な量だけ購入可能. より安い事業者とのみ契約可能

欠点: 透明性に欠ける. 価格や量が契約時の値に長期間固定

### (3)スポット市場を創設し調達する方法

利点: 透明性が確保. 柔軟かつ経済的に需給バランスを行える

欠点: 市場支配力の問題. 競争に基づく調達を阻害する可能性

## アンシラリーサービスコストの考え方

### (1)設備費:

サービスを提供するのに必要な設備にかかわる増分費用

例) 石炭火力機: ガス循環ファン, 脱硫ファン, 吸引ファンなどの補機設備のコスト

### (2)運転保守費用:

全運転保守費用 × サービス提供に必要な増分設備費用の比率

### (3)燃料費用:

出力変動に伴い発生する燃料増分

### (4)機会費用:

LFCのための出力抑制に伴い, 売電の機会を逸する. →機会損失の費用

# 供給予備力



適正予備力(8-10%) = 偶発的需給変動対応(7%) + 持続的需要変動対応(1-3%)

- ・偶発的需給変動: 短期的かつ偶発的に発生する需給変動(計画外停止、出水変動、需要変動)

予想外の需給上のリスク(連系線マージン(3%) + 適正予備力外の自社電源で対応)

- ・需要変動リスク: 地域経済動向などにより、短期的(概ね1、2年以内)な需要が想定値を上回るケース(4%)

- ・供給力変動リスク: 同型機器等の対策や定期検査延長などにより、ある時期、ある1社に集中して電源が停止する等のリスク(5%)

## 分散電源

### 小規模、短リードタイム

- : 新規事業者の参入が容易（規制緩和）
- : 低成長対応、資金リスク対応

### 自然エネルギー

- : 環境
- : 低密度
- : 出力変動

### コジェネレーション

- : 環境



## 分散電源への対応

分散電源の導入量が増大

特に自然エネルギーは出力が不安定  
配電網からの電力の逆流

出力変動の吸収

需給バランス(大量導入時)

配電網の適切な制御

順逆潮流の補正

電圧分布

単独運転

上記は既存系統との整合性の問題点

⇒ポジティブな要素は？

# 分散電源への対応



## 供給側への効果

多数の分散電源を集めると信頼できる電源としてふるまう？

## 需要家側への効果

分散電源を利用した品質改善？

自然エネルギーの場合は？？？

供給側へのメリット

需要家側へのメリット

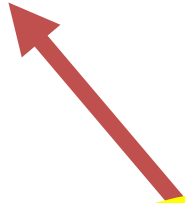
供給力の活用

品質向上

分散電源の導入

接続方法

既存の系統からの要求



# 分散電源供給力の活用



分散電源は中央から集中的に制御できないのでどのような運転をするかわからない。

⇒何とか系統の供給力に寄与するようにできないか

分散電源は信頼度が低い

⇒単機容量が小さく、多数あることはメリット

## バーチャルパワープラントVPP

- ・複数の非常用電源を通信ネットワークとソフトウェアを使って仮想的に一括制御するシステム

## マイクログリッド

- ・複数の小さな電源、電力貯蔵システム、電力負荷設備の集合体であり、系統に対しては一つの「良い市民」としてふるまうもの
- ・独立運用も可能
- ・需要家のさまざまなニーズに基づき設計、設置、制御

## スマートグリッド???



## スマートグリッドとは

### <スマートグリッドの定義>

従来からの集中型電源と送電系統との一体運用に加え、情報通信ネットワークにより分散電源やエンドユーザーの情報を統合・活用して、高効率、高品質、高信頼度の電力供給システムの実現を目指すもの

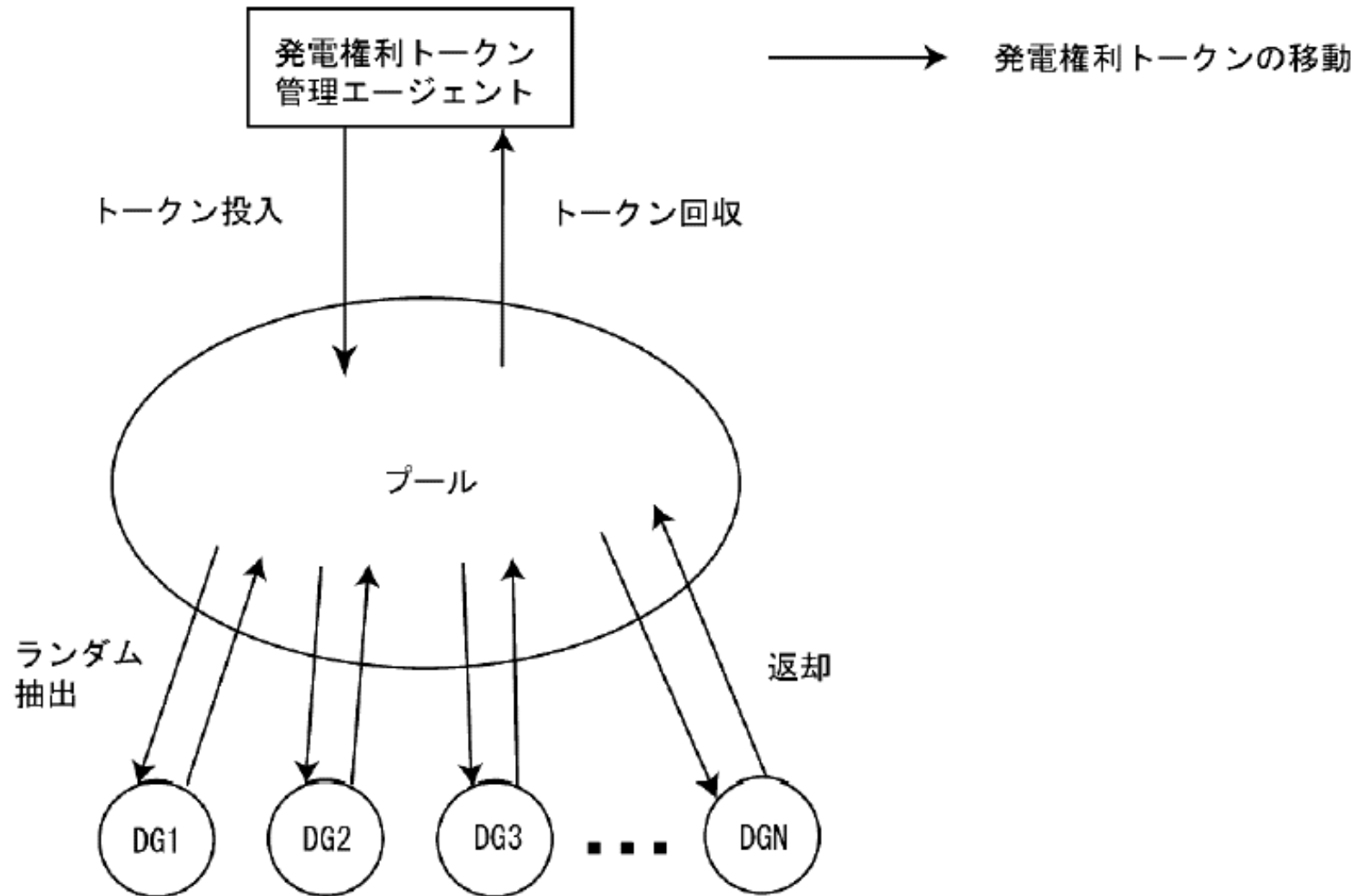
## スマートグリッドとは

### <スマートグリッドの定義>

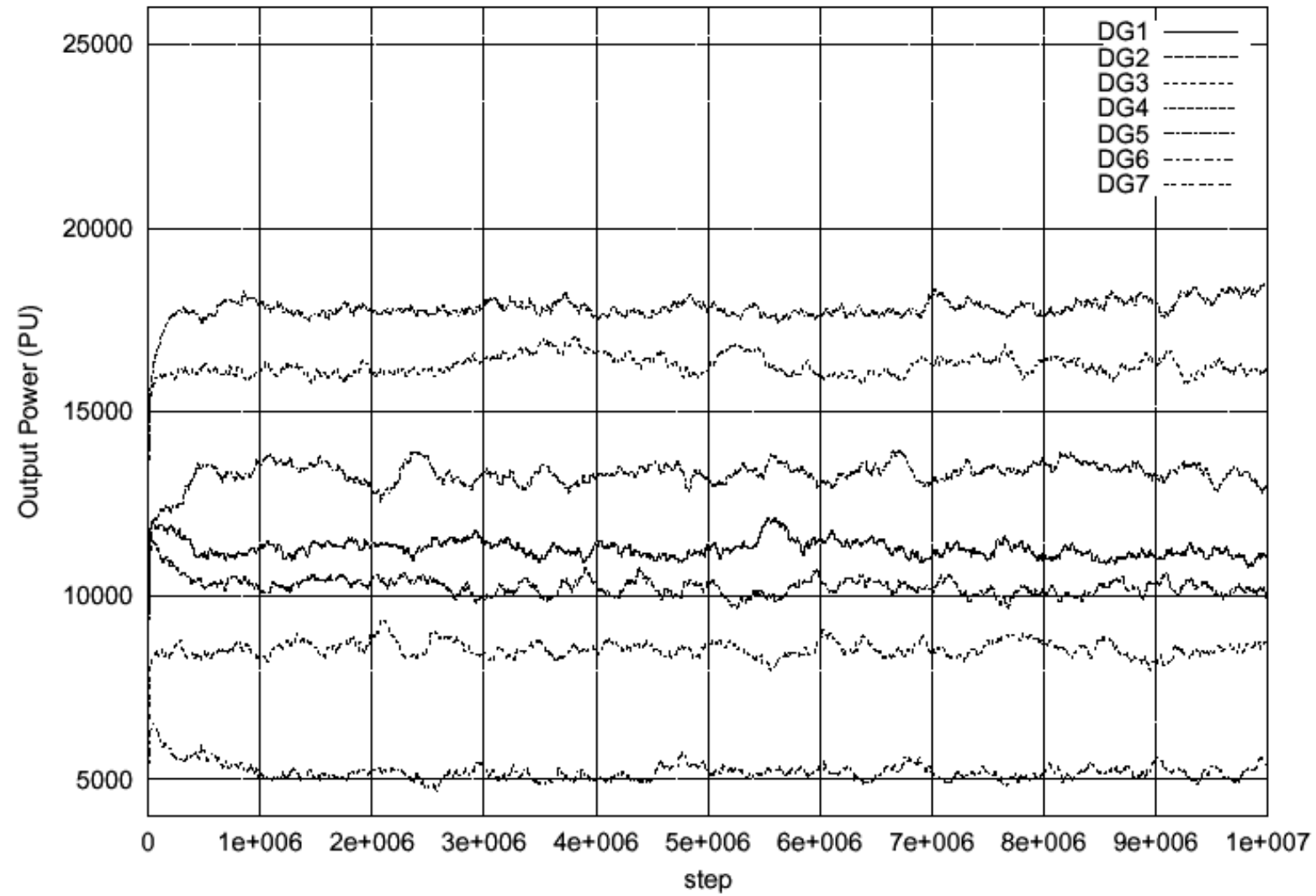
従来からの集中型電源と送電系統との一体運用に加え、情報通信ネットワークにより分散電源やエンドユーザーの情報を統合・活用して、高効率、高品質、高信頼度の電力供給システムの実現を目指すもの

アメリカの予算獲得のための用語

## 研究課題：分散制御が実現できないか？







複数DGの発電量推移の例

# 再生可能エネルギーと電力ネットワーク





## 再生可能エネルギー電源

自然エネルギーなので...

: 環境にやさしい

: 純国産エネルギー

: 低密度

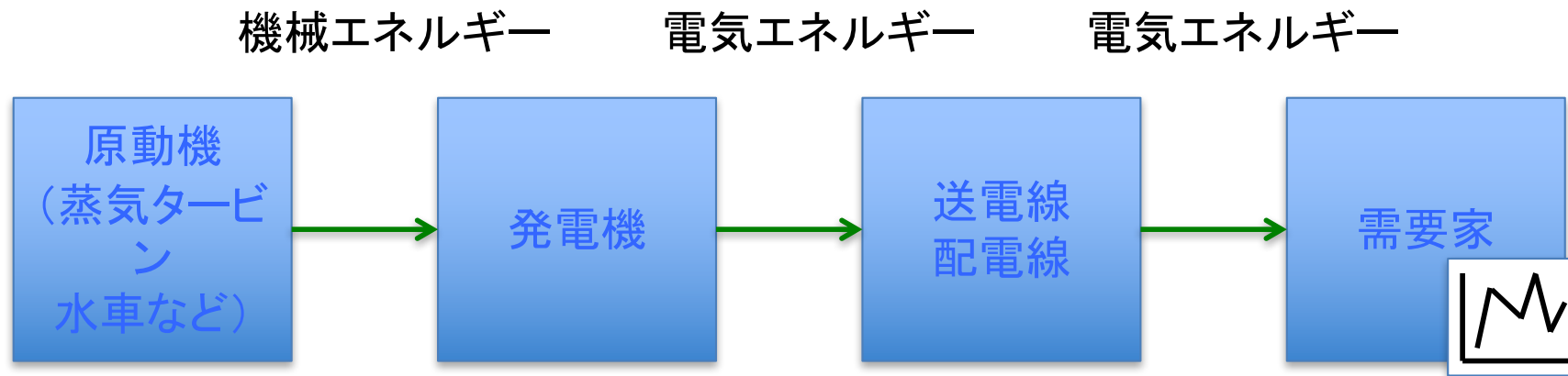
容量の小さい発電システムが多数導入  
配電線、低電圧送電線への連系  
(コストをかけずに対応可能か?)

: 出力変動

供給力としてどれだけあてにできるか  
大量導入時の需給バランス

# 再生可能エネルギー発電大量導入時の周波数問題

## 電力システム内のエネルギーの流れ



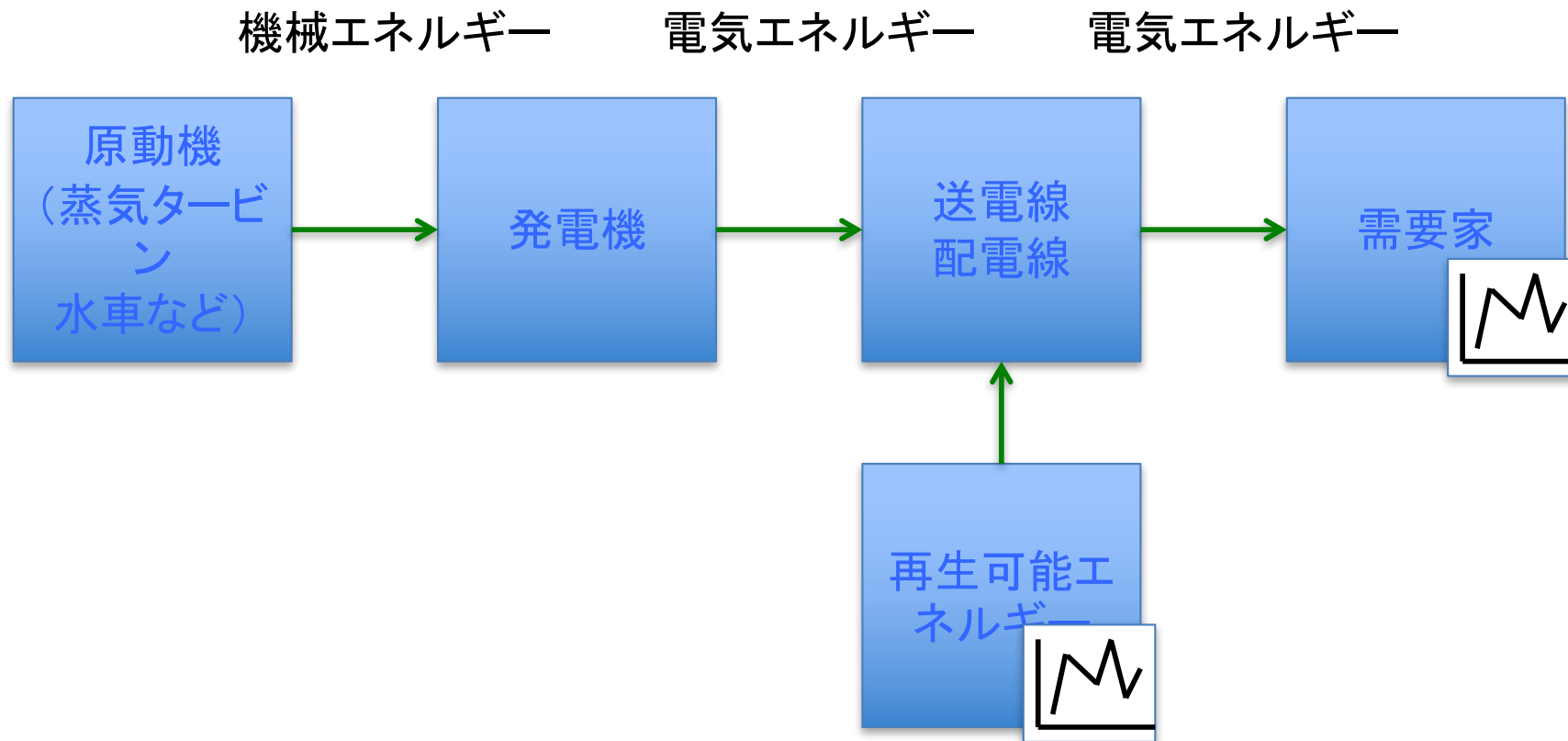
電気エネルギーは貯められない(貯めるのが難しい)ので、需要家が使う量を常に作らなければならない

しかし、原動機出力を追従させることは難しい

原動機出力と需要家が消費する電力の差は発電機の回転エネルギーでまかなう(周波数変動)



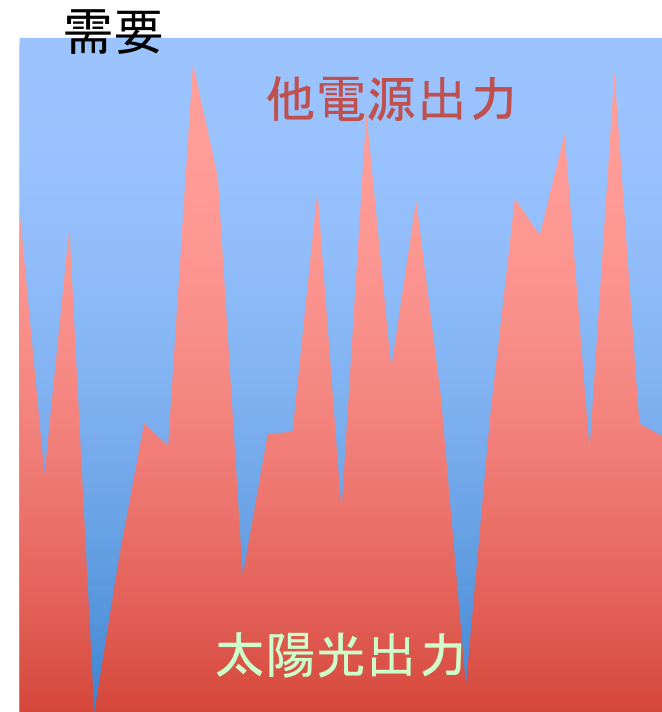
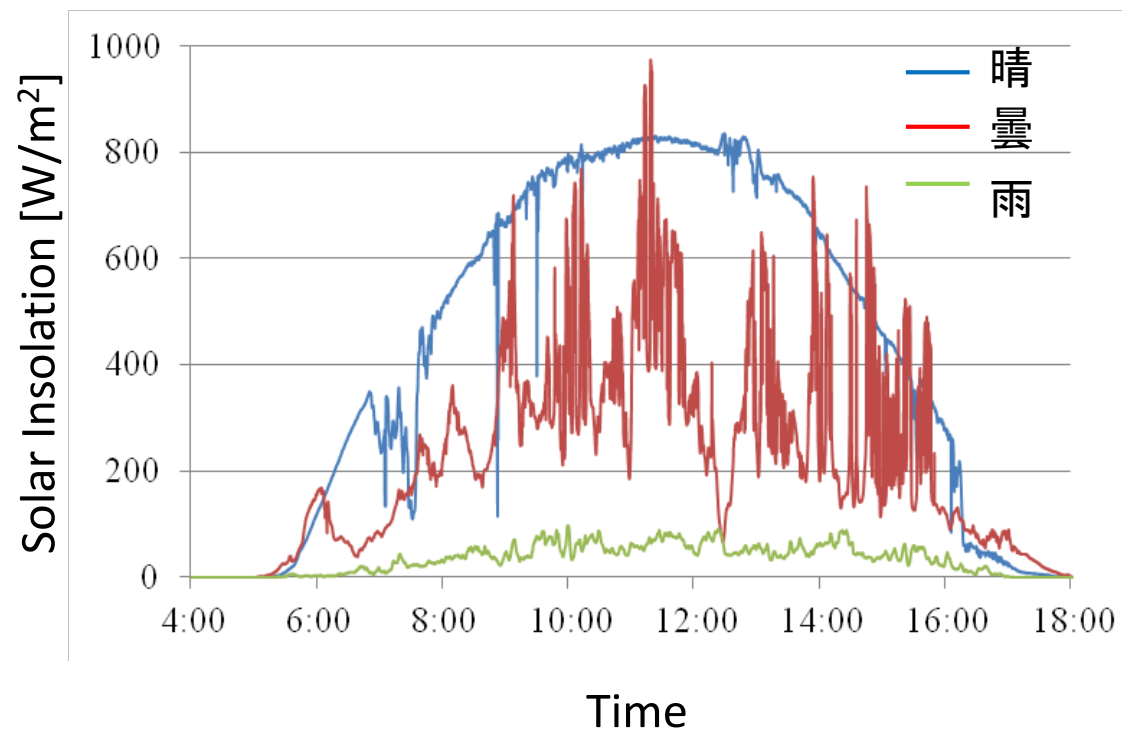
# 電力システム内のエネルギーの流れ



太陽光や風力などの再生可能エネルギー電源が導入されると変動はより大きくなる



## 太陽光発電の出力変動



「ダンスパートナー」が必要  
CIGRE IEEE PES 2009 Calgary



## 再生可能エネルギー電源のダンスパートナーは誰か？

水力で調整可能なら良いが、火力に頼らざるを得ない？

火力の調整力を増加

火力の発電量を全体として増加

中間負荷運転→効率低下

→CO2排出

(原子力に頼らないとすればこれが現実的か)

蓄電池をパートナーに

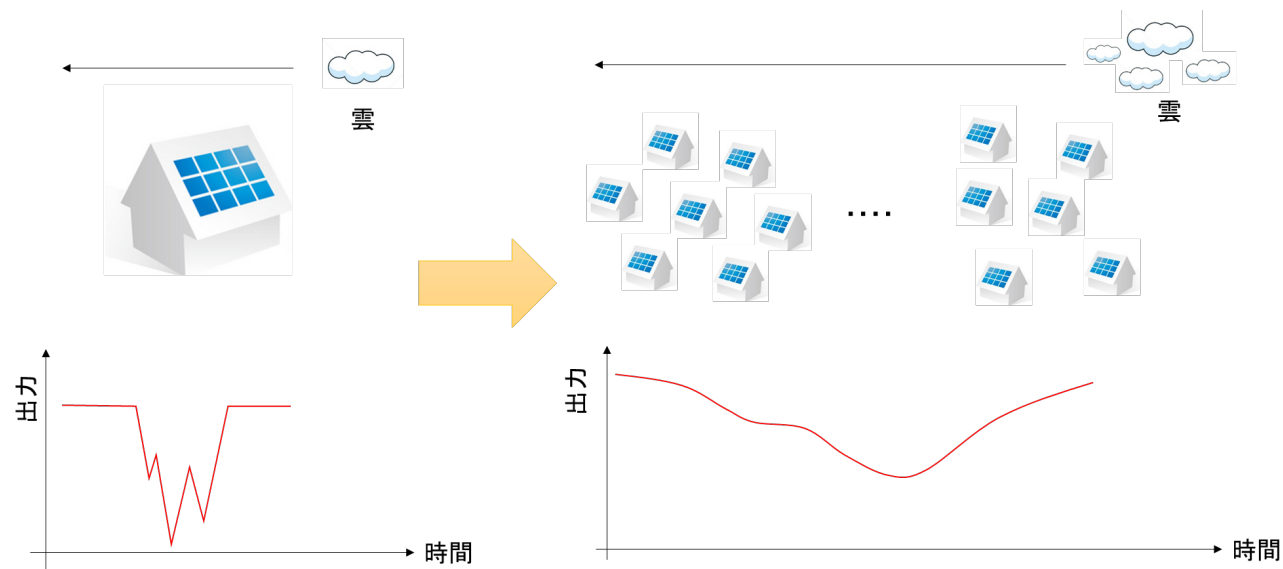
蓄電池は高コスト

ならし効果（広く分布した太陽電池の出力変動が互いに打ち消し合う効果）があればダンスパートナーは楽になる

# ならし効果について

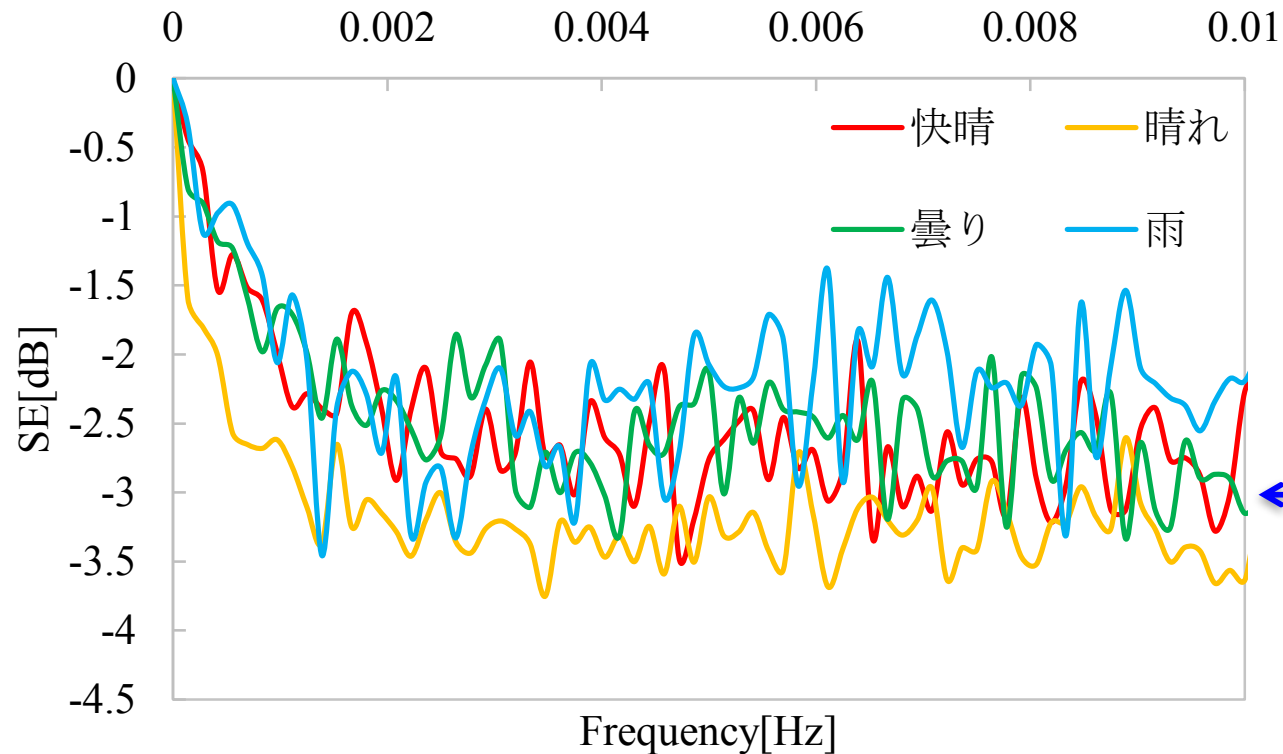
## ならし効果

PV出力の短周期変動は主に時間的に移動する雲によって引き起こされる  
広い範囲で分散的に設置されることで、出力変動に時間的なずれが生じ出力を平均すると変動は抑制されることが考えられる



# 天候ごとでのFFT分析の評価

評価期間：2010年10月1日～2011年9月31日

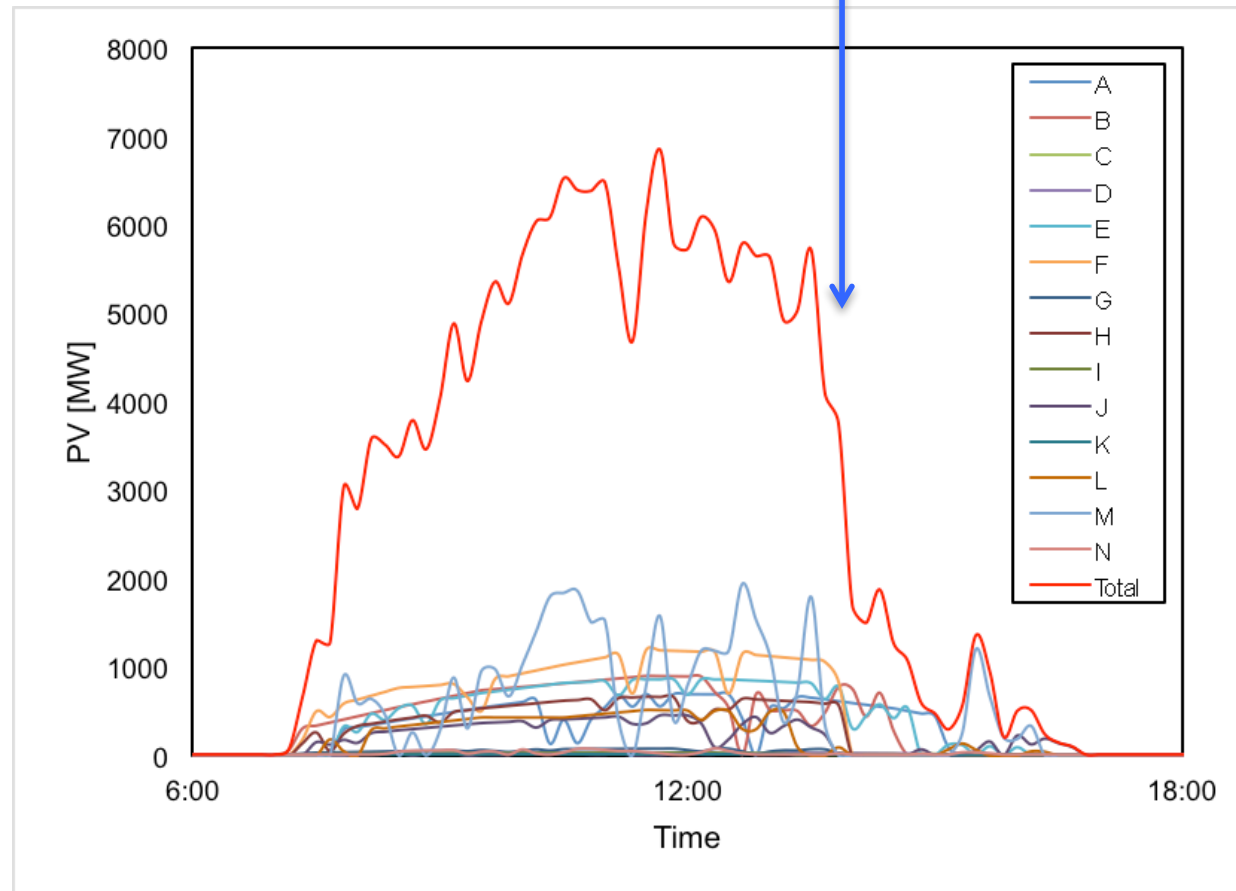


**晴れ(雲量2-8)のならし効果が強い**

多数の太陽光発電設備が設置された場合は  
「ならし効果」にかなり期待できる。

疑問は、「**本当にいつでも期待して良いの  
か？」**

# 全体として出力急変

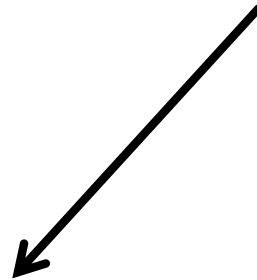


ある日の各地の日射と総量

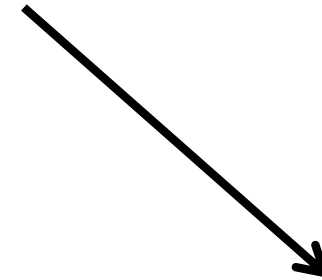
停電させてはならないという考えで電力システムを運用する



いつ再生可能エネルギー電源の出力が小さくなくても大丈夫のように  
火力発電所を多数起動させ、出力を絞って運転する



逆に再生可能エネルギー電源がたくさん  
発電すると電気が余ってしまう  
(電気が余っても供給支障)



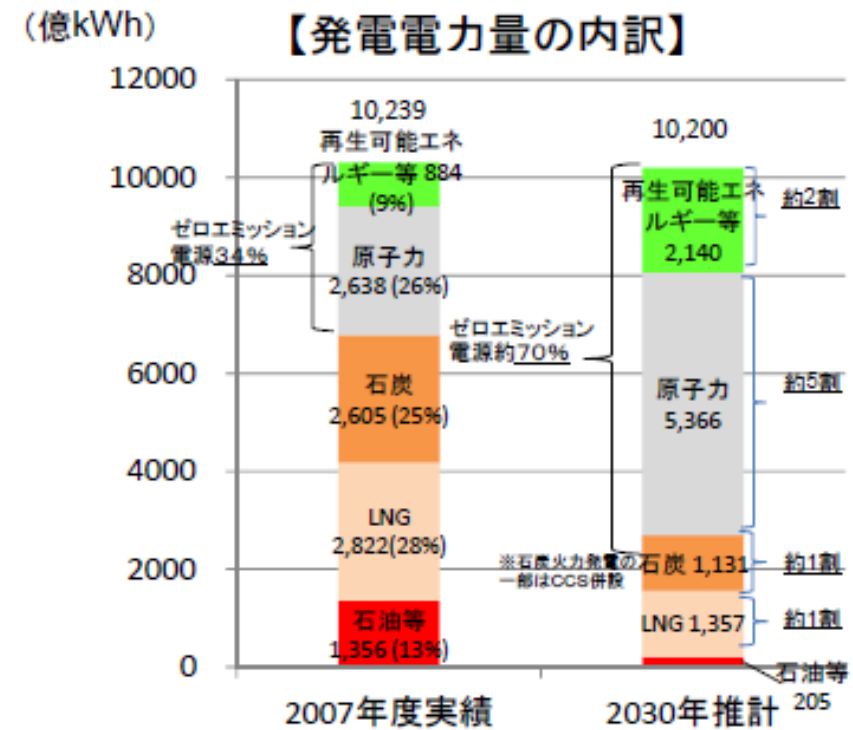
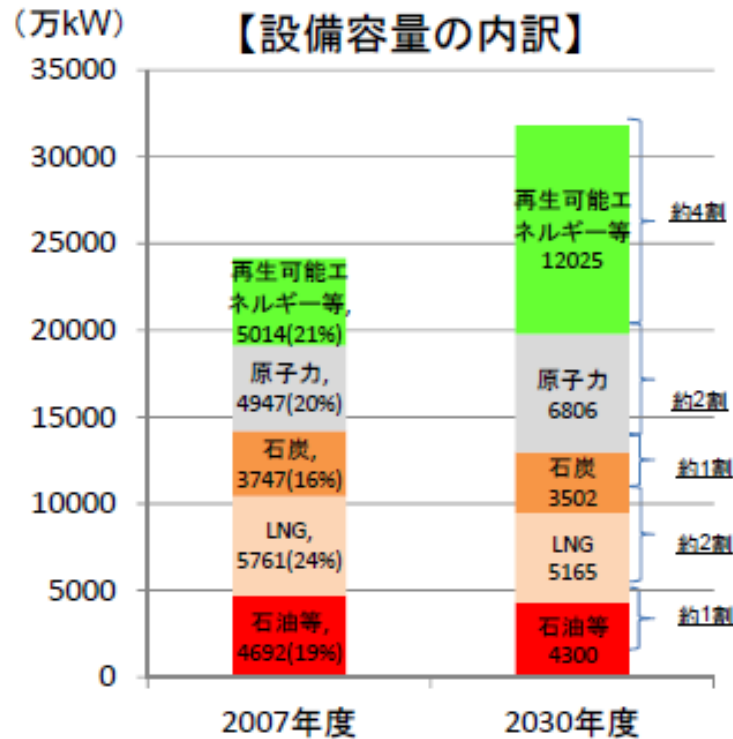
発電所を廃止することができない  
燃料費が余分にかかる  
(再生可能エネルギー発電促進  
賦課金以外にもお金がかかる)

これが導入可能量を決めている

# 再生可能エネルギー電源の供給力

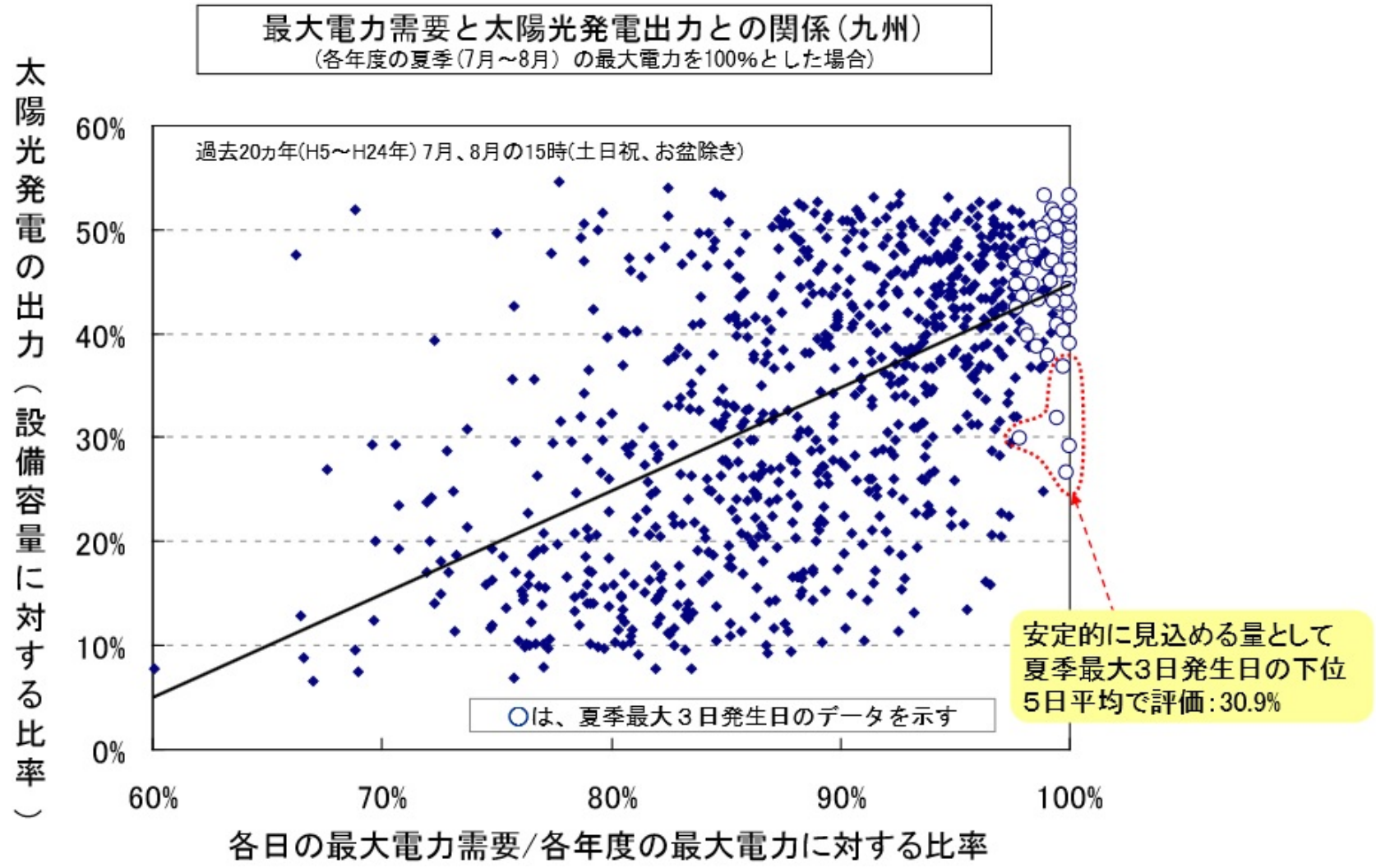


※2030年の「再生可能エネルギー等」には、家庭等での発電量も含む



設備容量は大きくても発生できるエネルギーは少ない

# 供給側への貢献度: ピーク需要をどれだけ減らすことができるか?

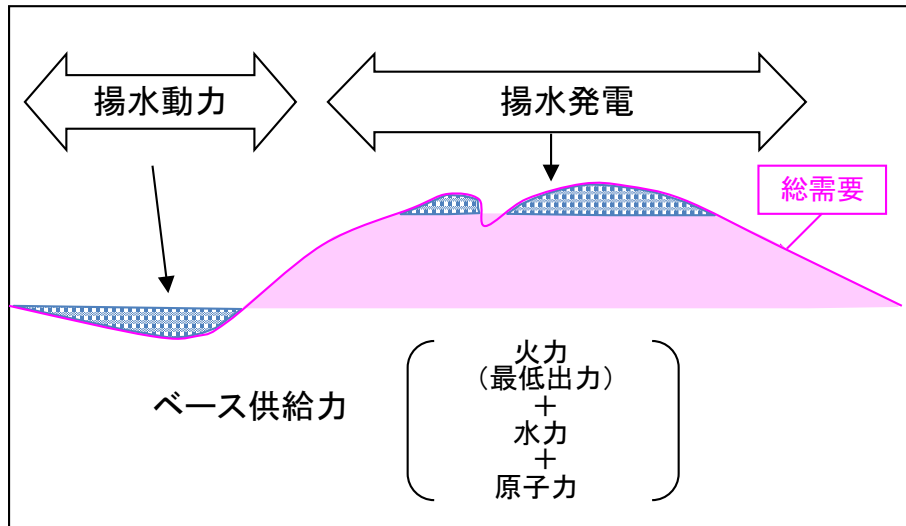


# 太陽光発電大量導入時の余剰対策

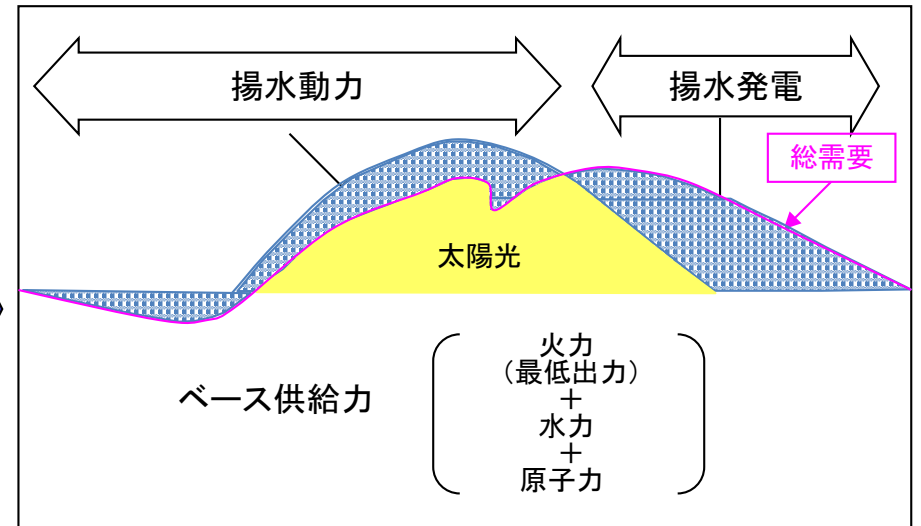
# 大量導入時の一日の需給



## 太陽光なしの場合の需給運用(端境期)



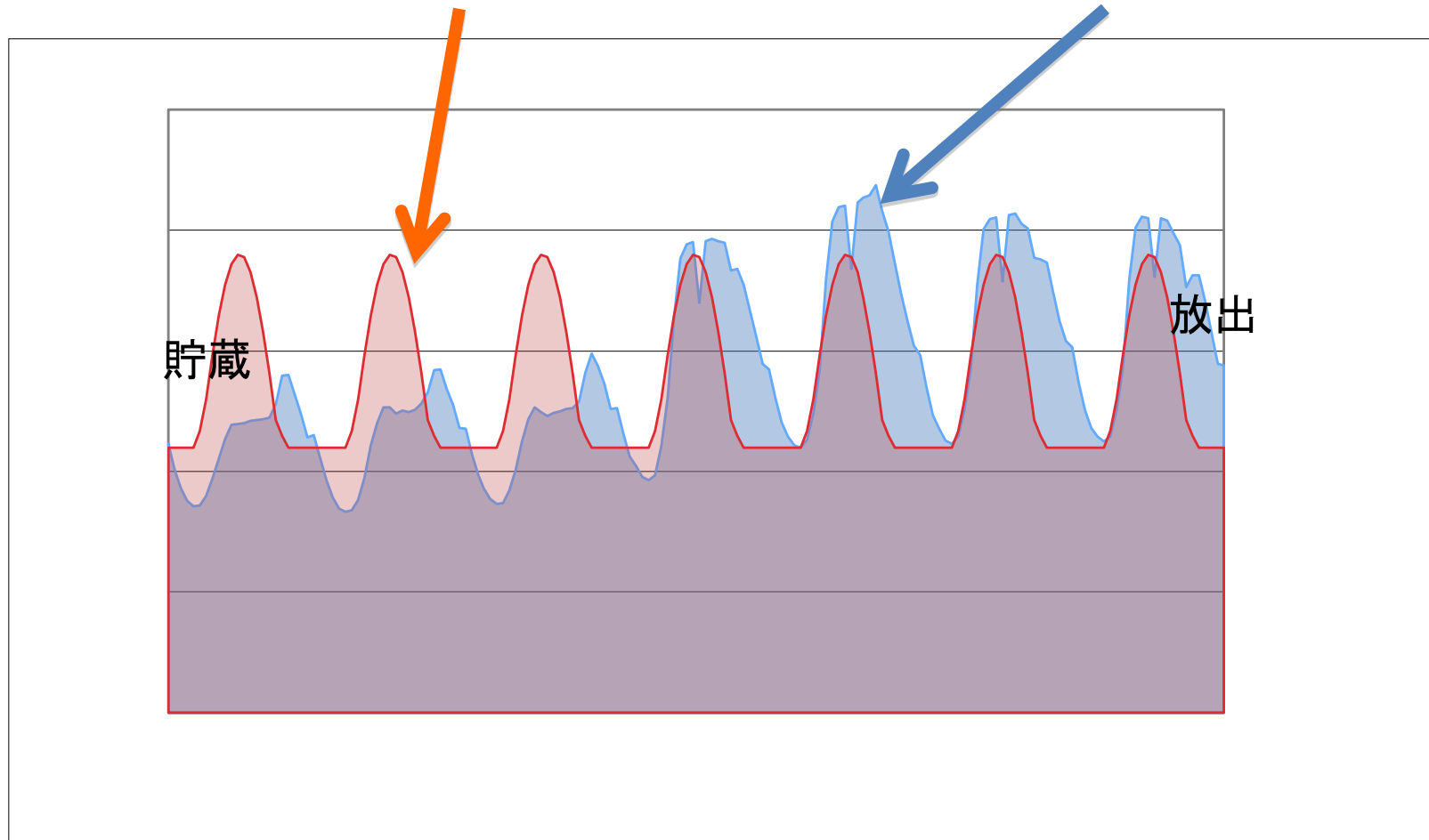
## 太陽光大量導入後(晴天日)



# 大量導入時の週間需給運用(GW)

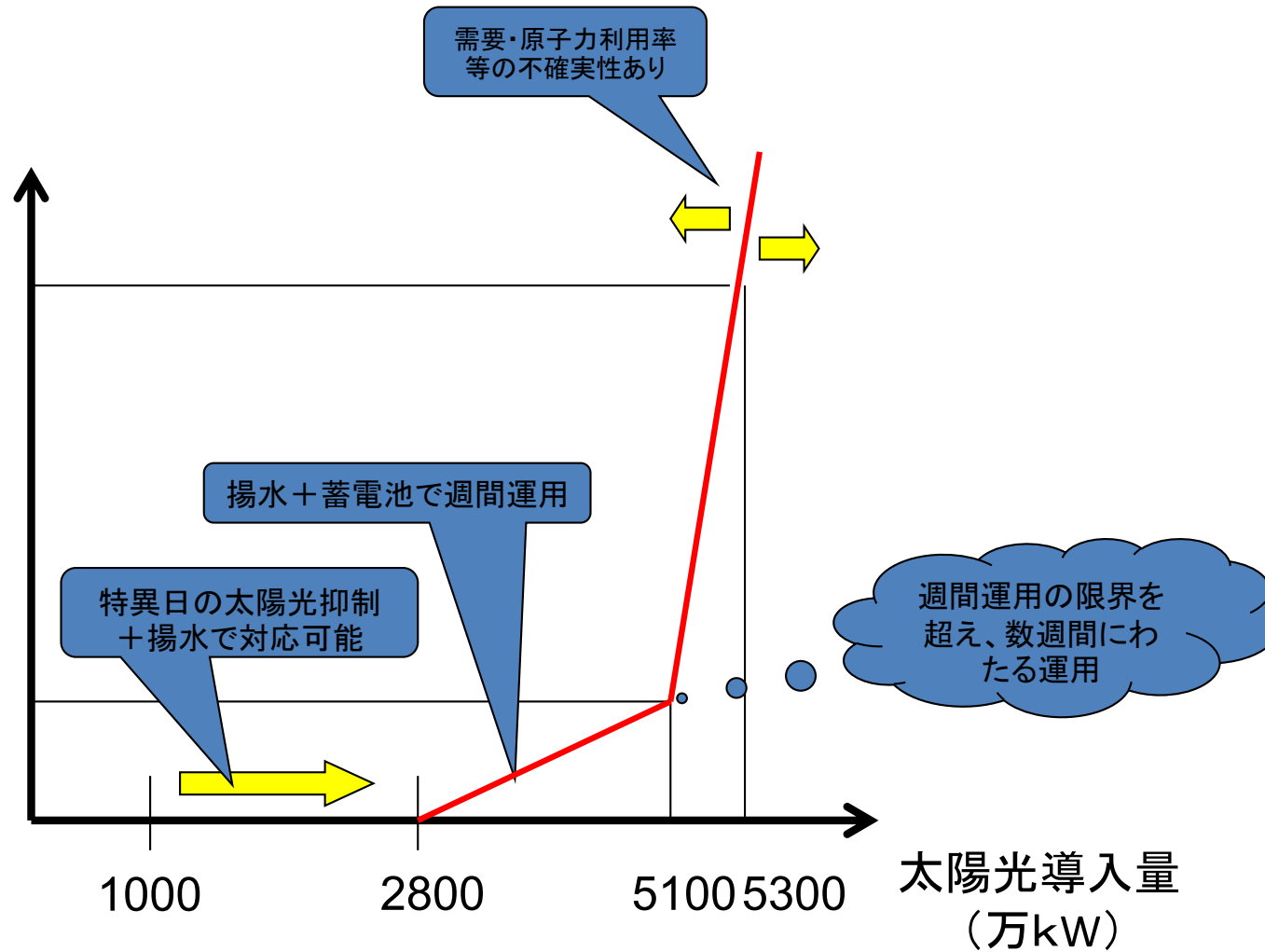
供給力(原子力+水力+火力最低出力+太陽光)

需要



$\Sigma$ 貯蔵  $>$   $\Sigma$ 放出  $\rightarrow$  週間運用で吸収できない余剰

# 蓄電池対策費用



(\*) 2020度断面ではA点は1300万kW程度

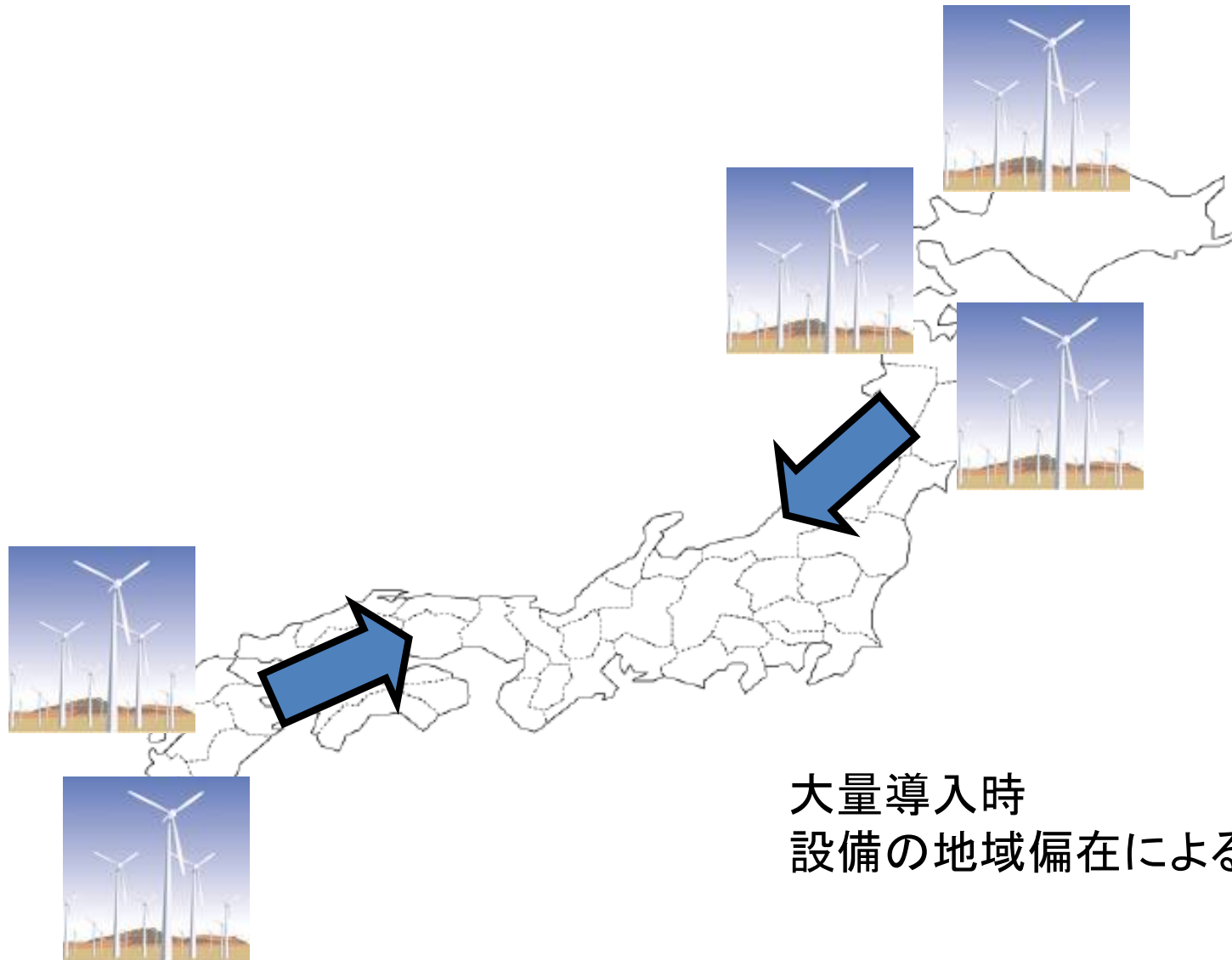
今後のさらなる接続可能量増加のために

- ・天候の予測精度向上と予測の活用方法の高度化
- ・通信を利用したPV出力抑制のさらなる活用
- ・デマンドレスポンスなどの確実な活用方法の開発

# 新エネ発電の地域偏在と連系線

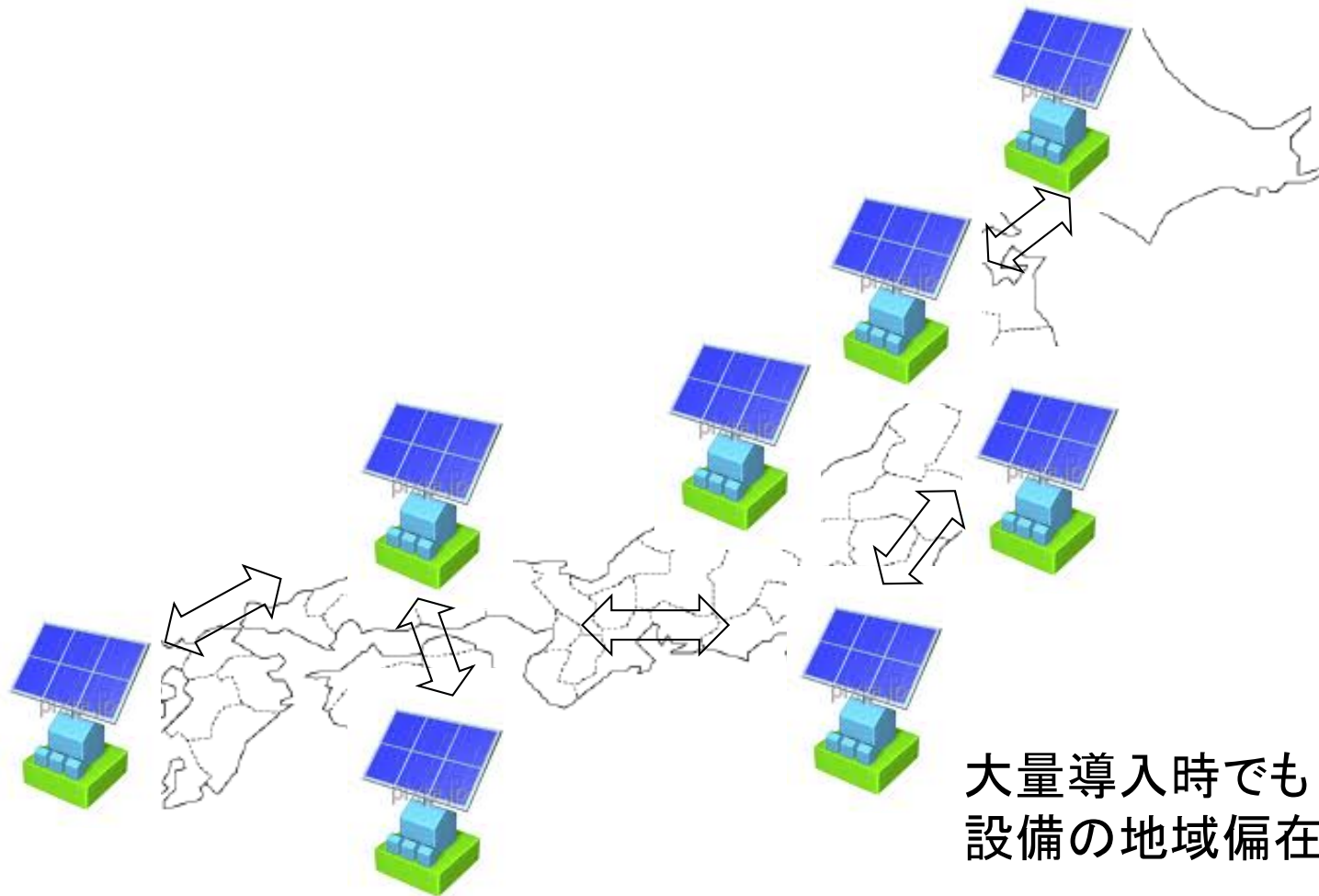


# 風力

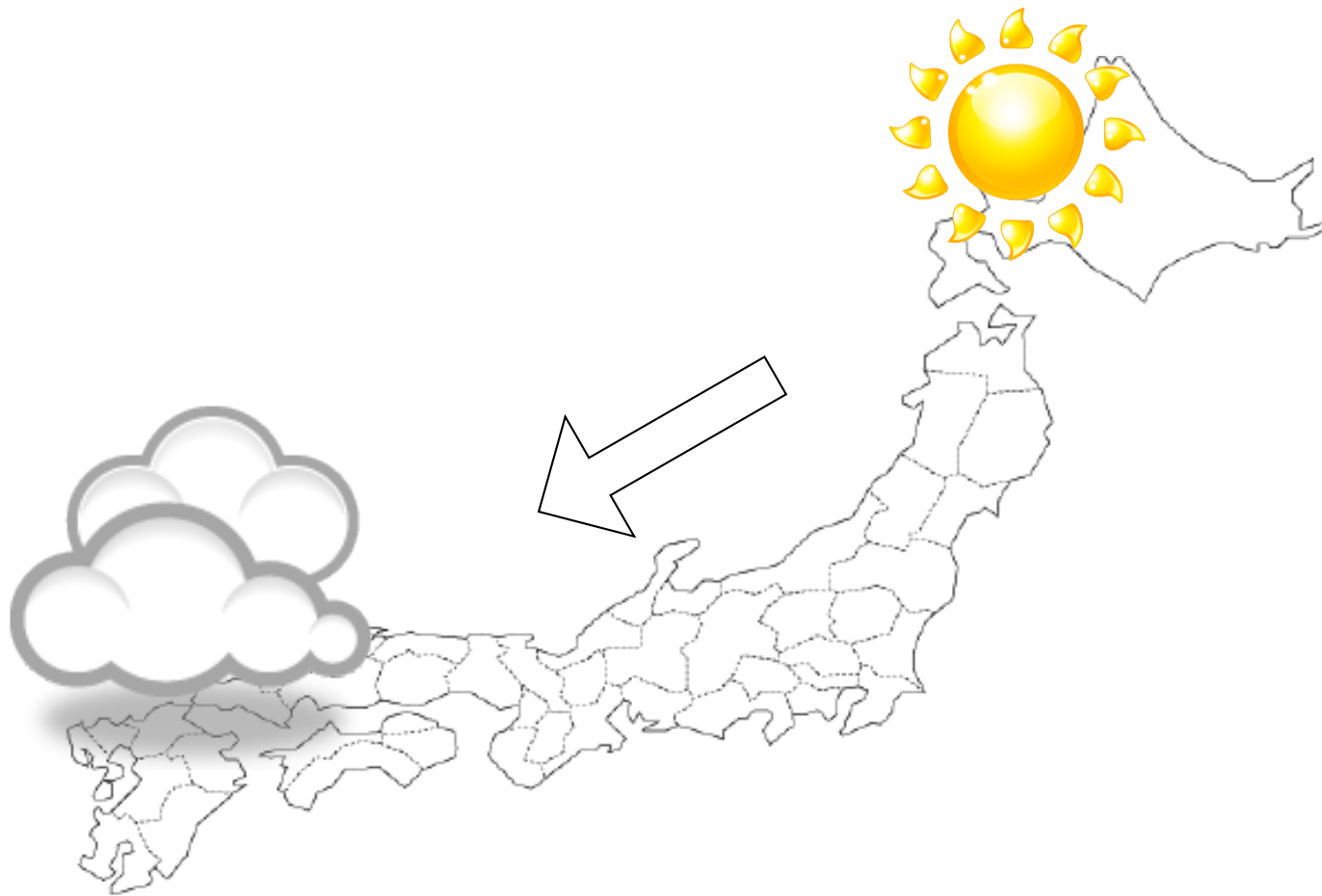


大量導入時  
設備の地域偏在による連系線潮流

# 太陽光



大量導入時でも  
設備の地域偏在はあまりない



晴れの地域から曇り・雨の地域への潮流？

風力による連系線潮流：特定電源？

太陽光による連系線潮流：不特定電源？



連系線増強と利用法は？

OCCTO(電力広域的運営推進機関)  
地域間連系線利用ルール等に関する勉強会中間とりまとめ  
平成28年8月

電力システム改革貫徹のための政策小委員会  
第2回市場整備WG(平成28年10月31日)資料4-1  
地域間連系線利用ルールについて  
(電力広域的運営推進機関提出資料)



- FTRの取引価格は？
- 連系線増強費用は？
- 連系線の調整力としての活用は？