



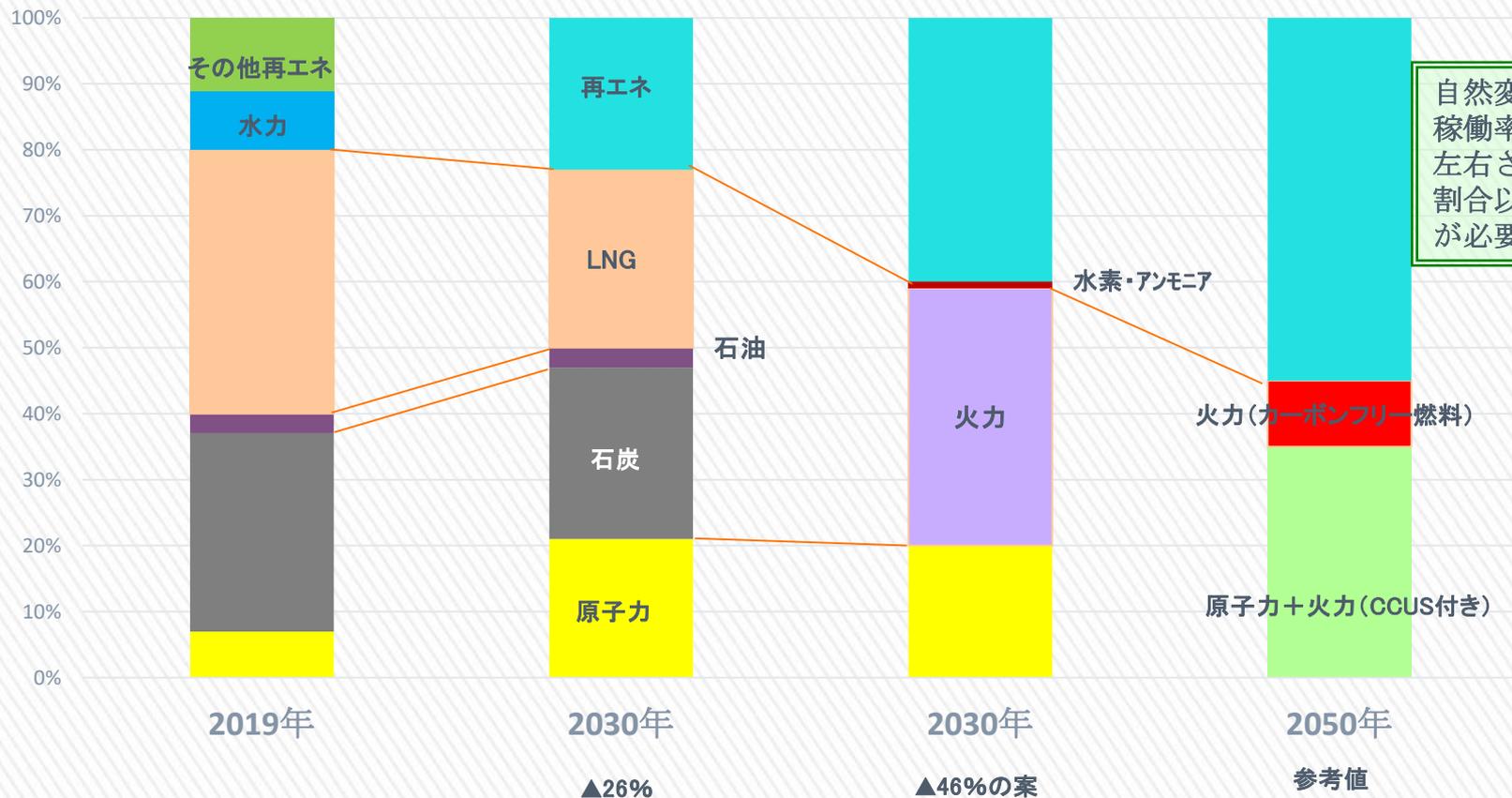
短時間から長期間， 需給バランス維持の難しさ

2021年5月27日

エネルギーミックス(発電電力量ベース)

Point! 発電電力量 = 設備量 × 年間稼働率

発電電力量の割合



自然変動電源の稼働率は天候に左右され電力量の割合以上に設備量が必要となる

再生可能エネルギー

- 太陽や地球のエネルギーを起源とする人間の時間スケールにおいて持続可能なエネルギー源
水力、風力、太陽光、地熱、バイオマス、波力、潮力、空気熱、地中熱、etc.

拡大に当たっての課題

水力：開発の限界

地熱：温泉・自然環境との折り合い

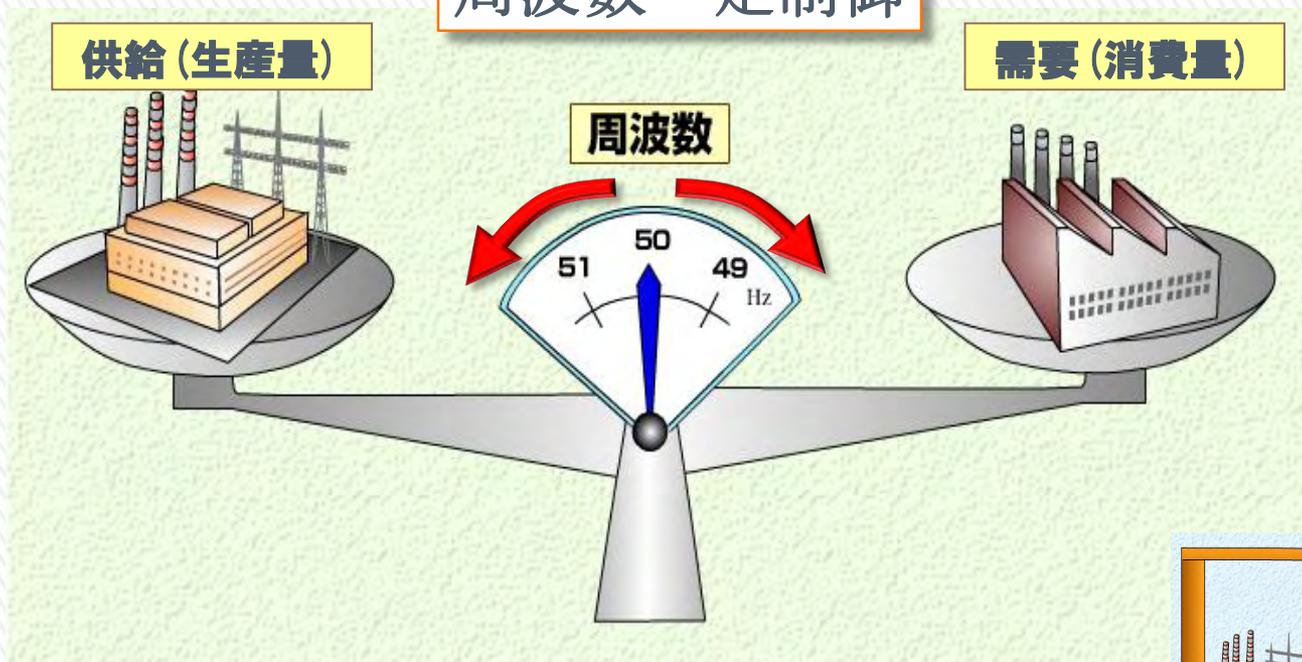
バイオマス：バイオマス燃料の安定確保

→ 拡大が期待されるのは、太陽光と風力だが
これらは自然変動電源である

電力系統の運用

☆ 瞬時の需要と供給を一致させる必要がある

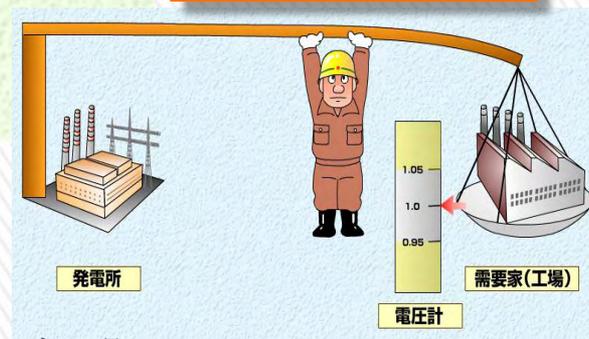
周波数一定制御



需要 = 供給力
→ 周波数一定

周波数が乱れると
最悪停電!

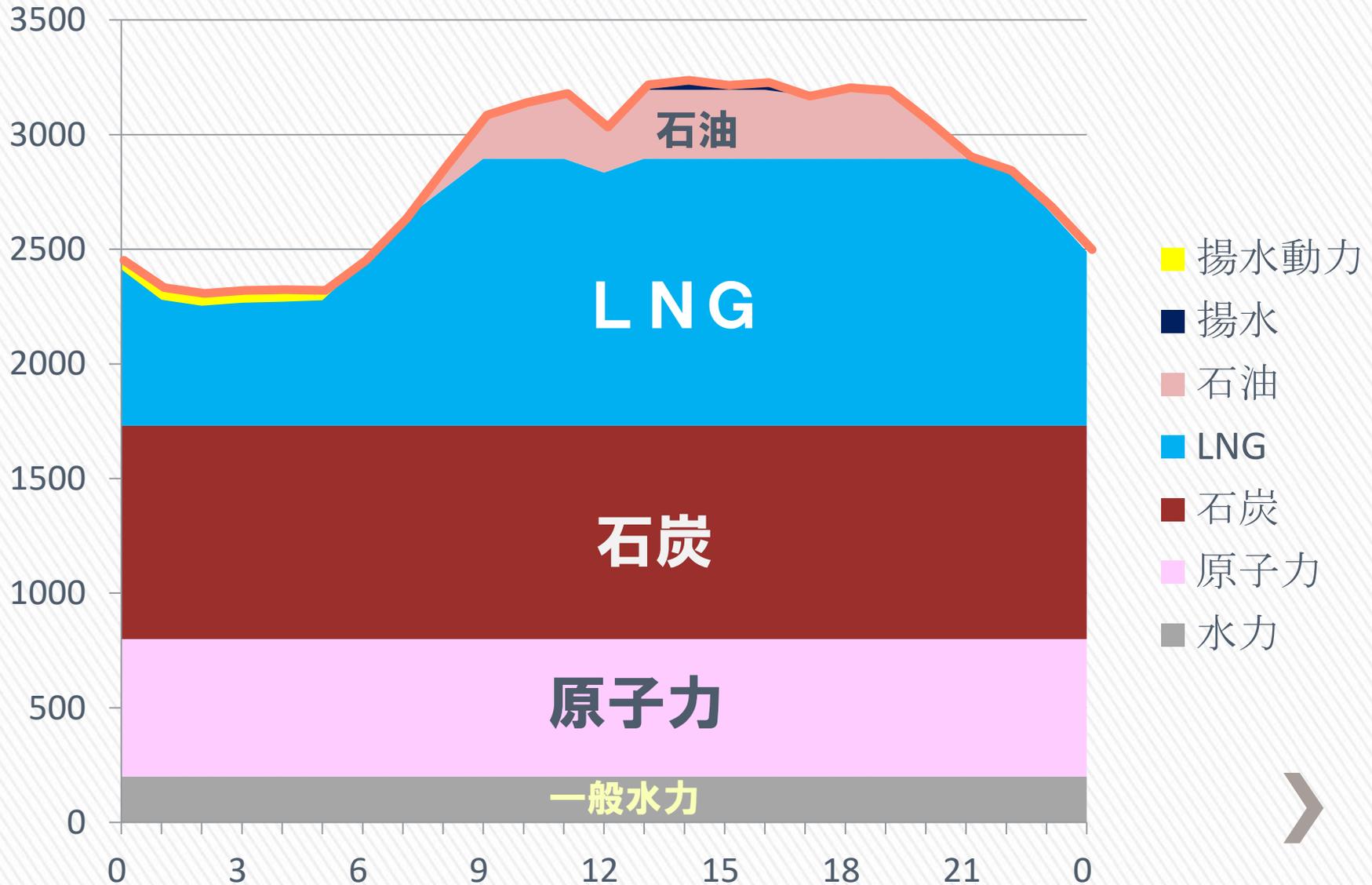
電圧維持制御



需要予測と周波数偏差を見ながら、必要な供給量となるよう発電設備(供給側)に給電指令を出す。

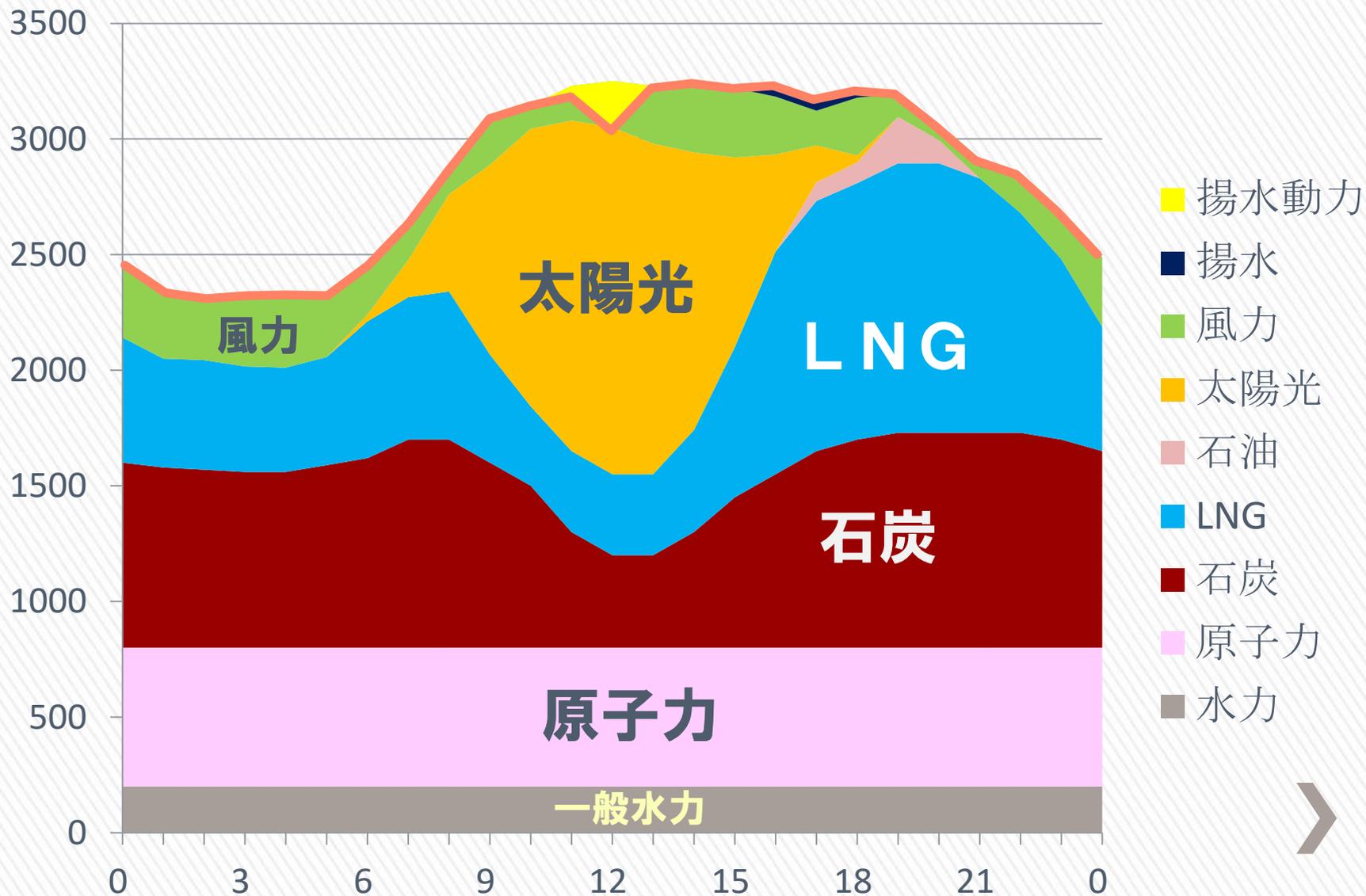
需要：万kW

一日の電気の使われ方（再エネ導入前、初夏の例）



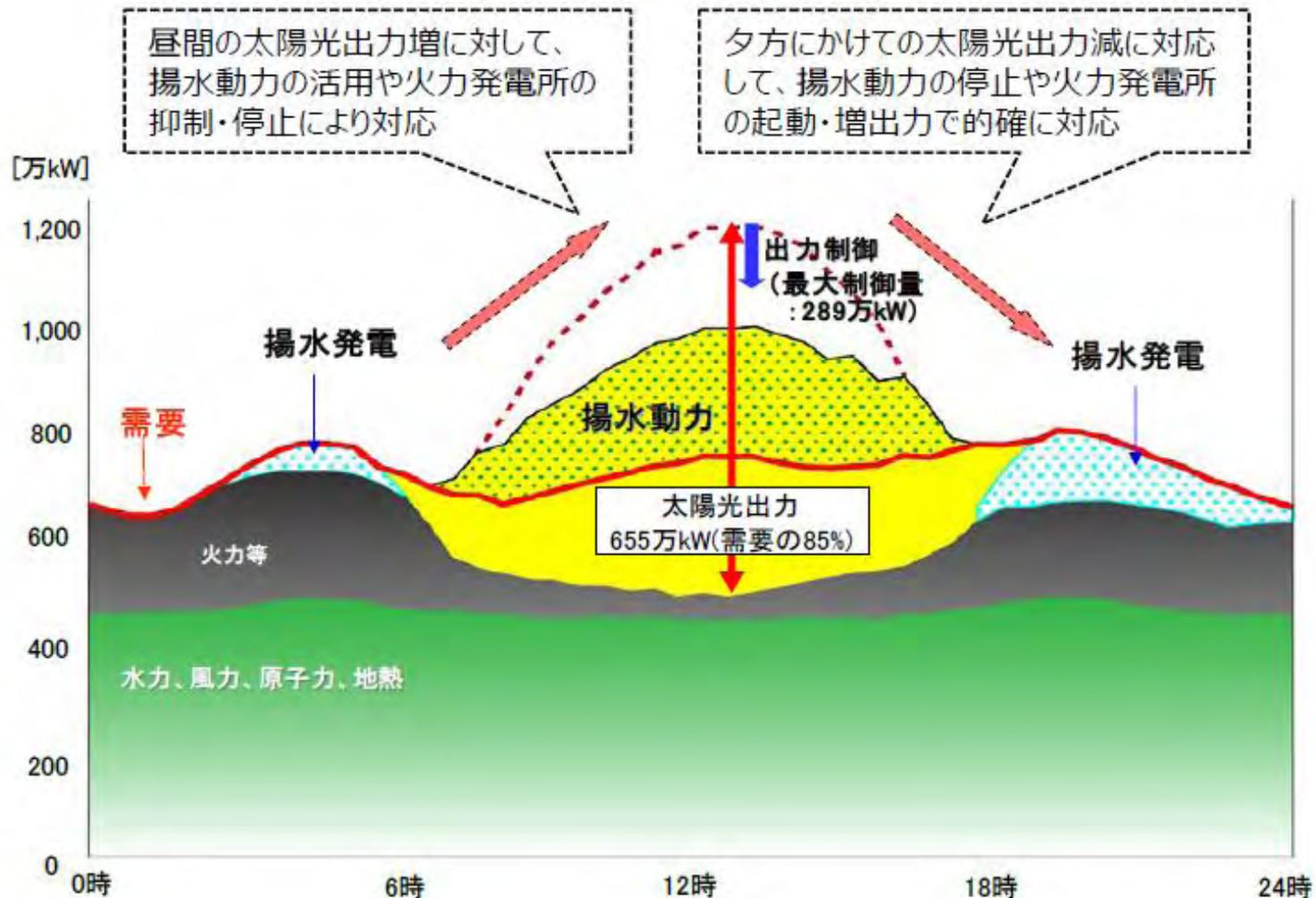
一日の電気の使われ方（初夏の例、晴天）

需要：万kW



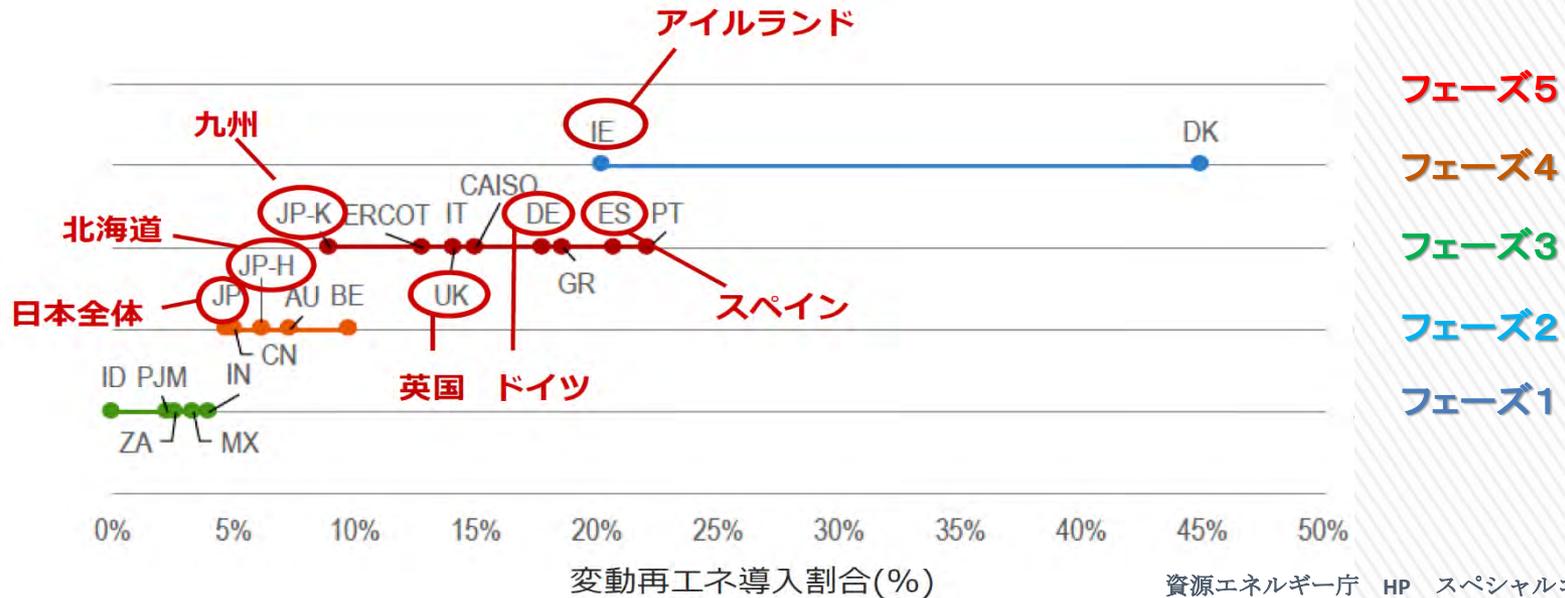
一日の電気の使われ方 (自然変動電源拡大の影響)

<2020年3月8日の九州の電力需給イメージ>



再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会 (第18回) より抜粋

変動再エネの比率と系統運用のフェーズ

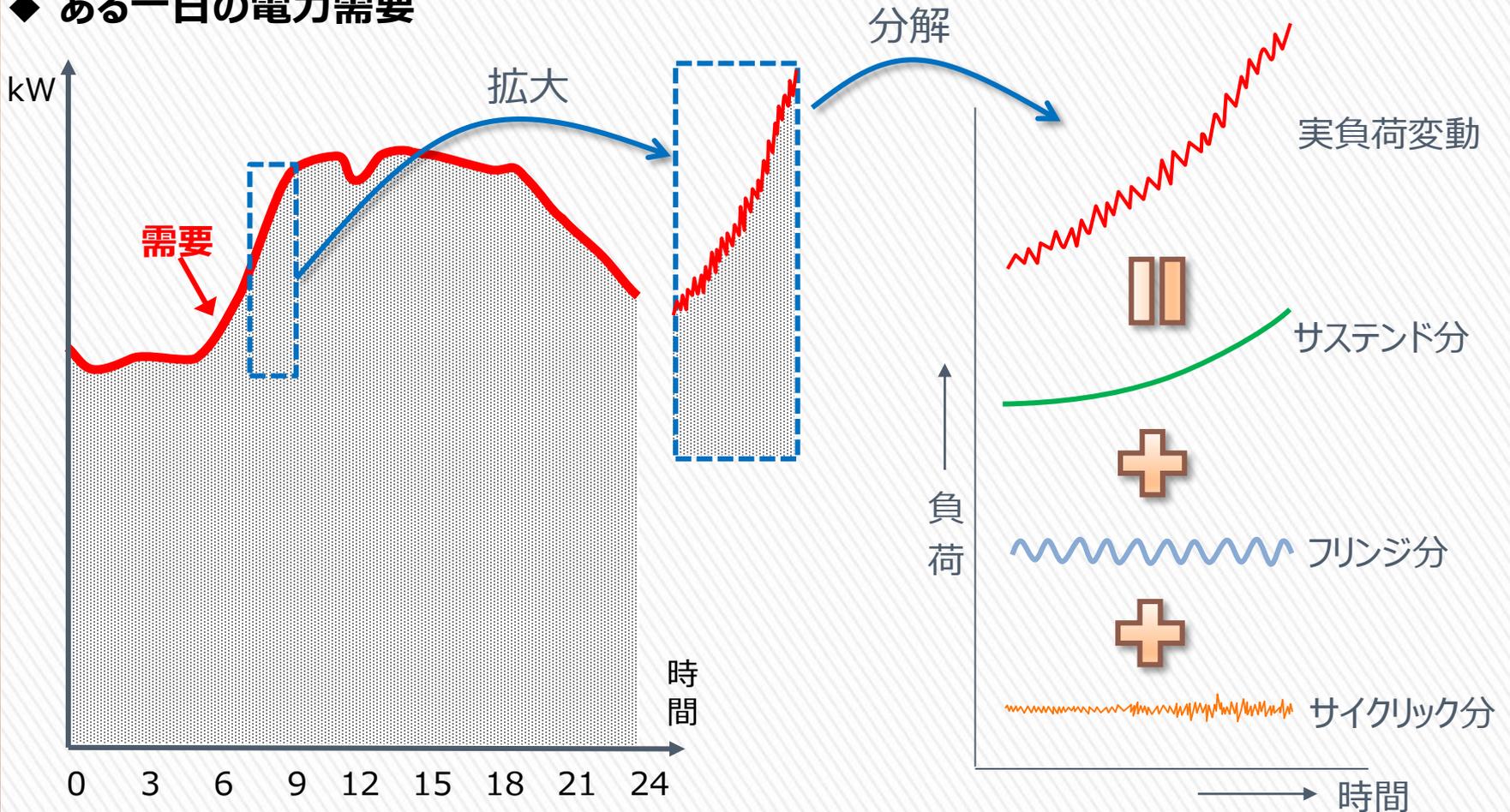


| | |
|-------|--|
| フェーズ1 | ローカル系統での調整が必要となる。 |
| フェーズ2 | 系統混雑が現れ始め、需要と変動再エネのバランスが必要となる。 |
| フェーズ3 | 出力制御が起こり、柔軟な調整力や大規模なシステム変更が必要となる。 |
| フェーズ4 | 変動再エネを大前提とした系統と発電機能が必要となる。 |
| フェーズ5 | 変動再エネの供給が頻繁に需要を上回り、交通や熱の電化による柔軟性確保が必要になる。 |
| フェーズ6 | 変動再エネの余剰・不足がより長い時間軸で発生し、合成燃料や水素等による季節貯蔵が必要になる。 |

「IEA World Energy Outlook 2018」を基に作成

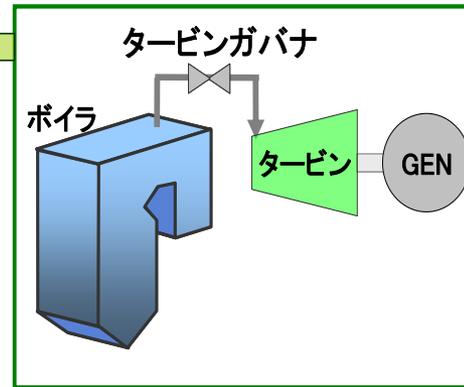
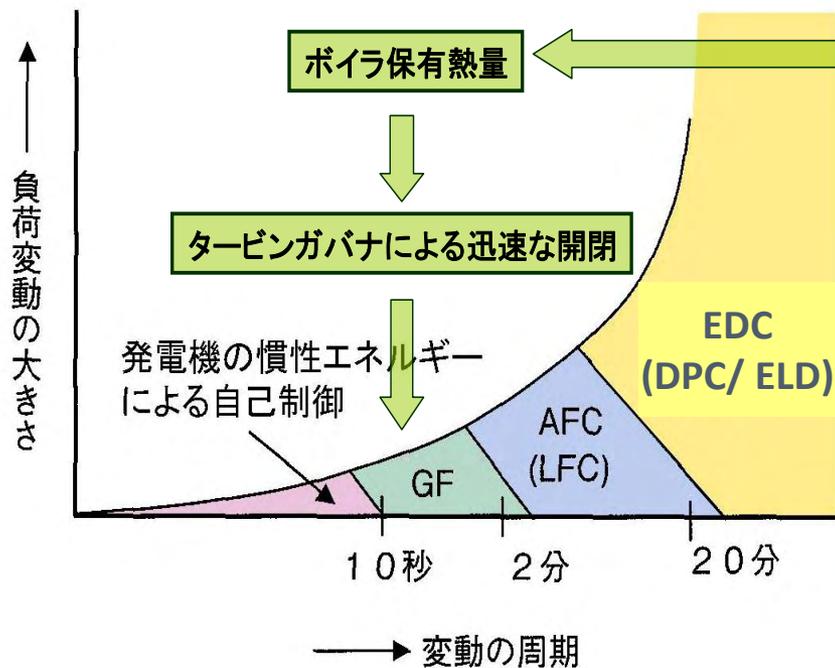
刻々変化する電力需要について

◆ ある一日の電力需要

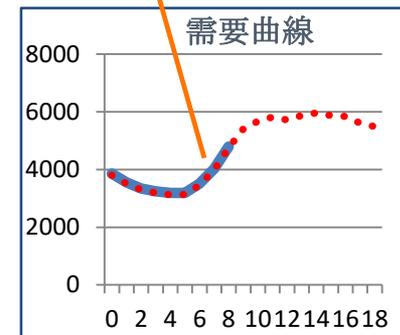
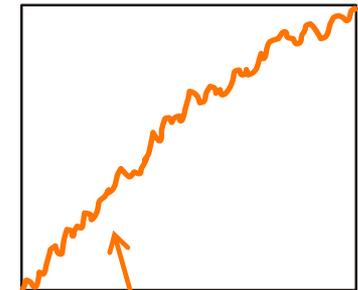


- 電力需要は時々刻々と変化しており、分解すると秒単位、分単位の細やかな変動成分とダイナミックな変動成分に分けることができる。

火力プラントの需給調整機能



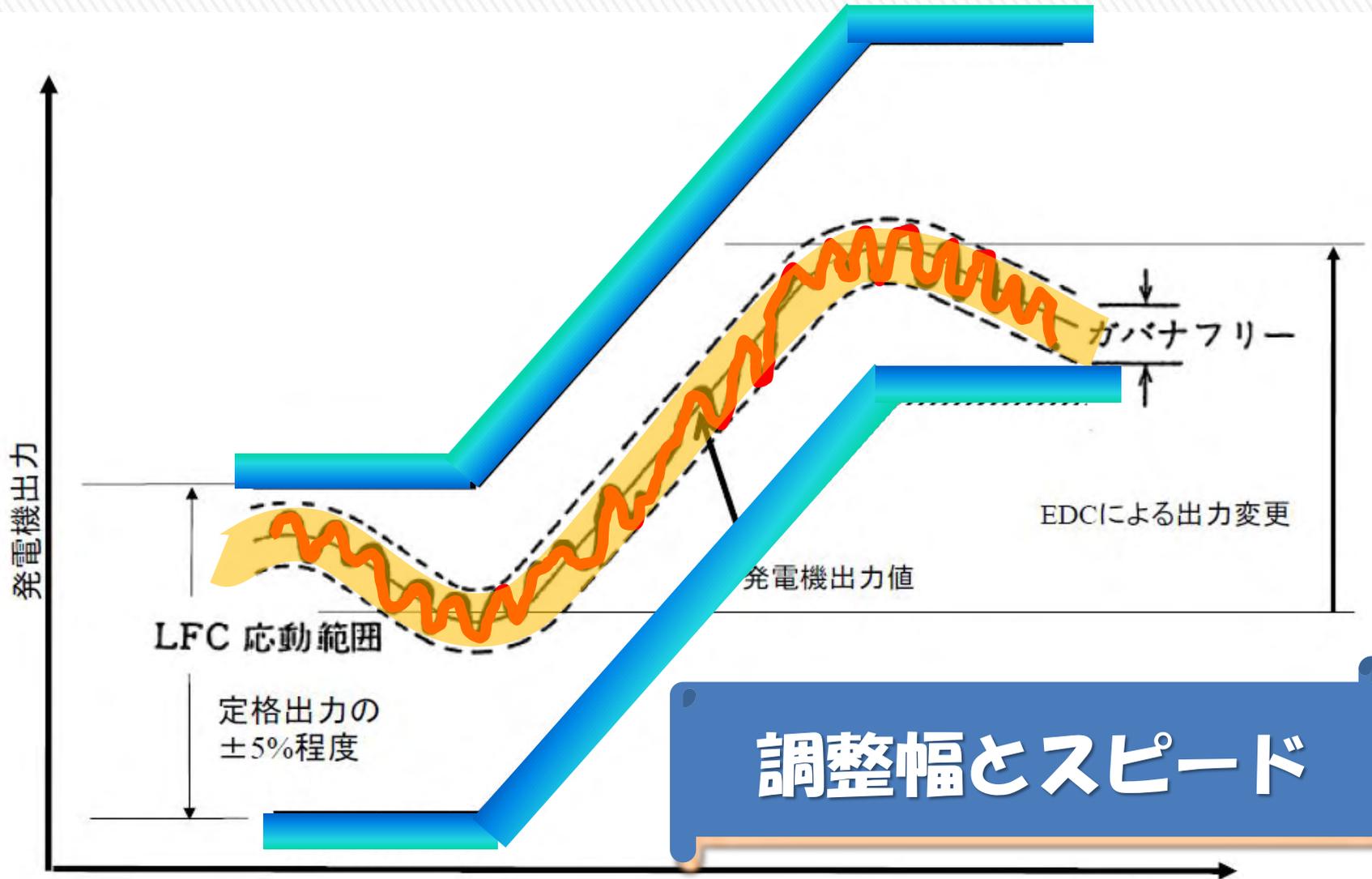
火力プラントの需給調整機能は、系統需要の変動周期により4段階の機能がある



| | |
|-------|-----------------------------|
| 10秒以下 | 発電機の慣性エネルギーによる自己制御 |
| ～数分程度 | 火力プラント保有エネルギーによるTbガバナーフリー制御 |
| ～10数分 | プラント制御による周波数制御 (LFC/AFC) |
| それ以上 | 出力指令に基づく出力制御 (EDC) |

瞬動予備力

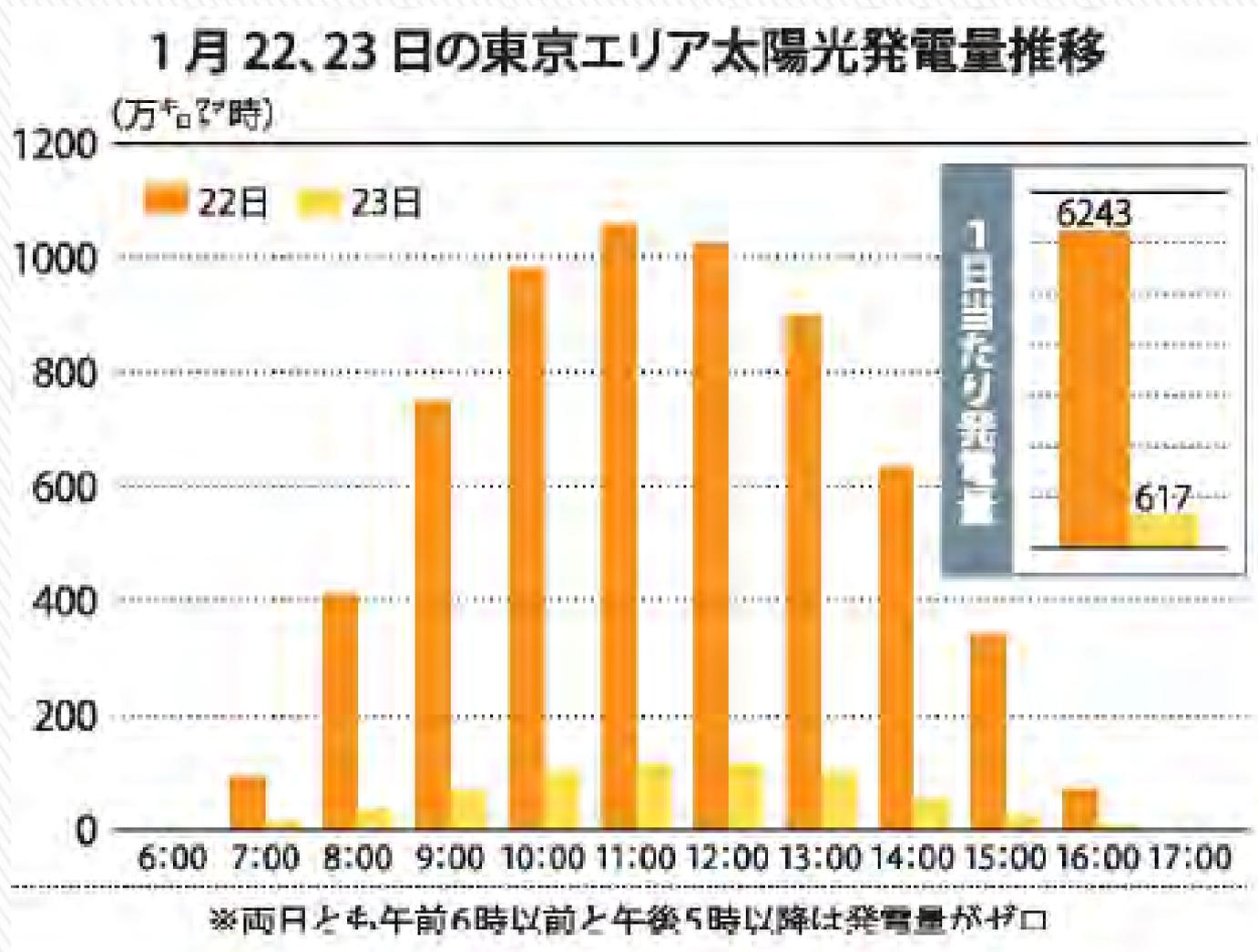
需給調整も組み合わせ



調整幅とスピード

基準出力1ステップ (5~10%) の上昇に1~数分程度

太陽光発電は気象状況によって出力が変動

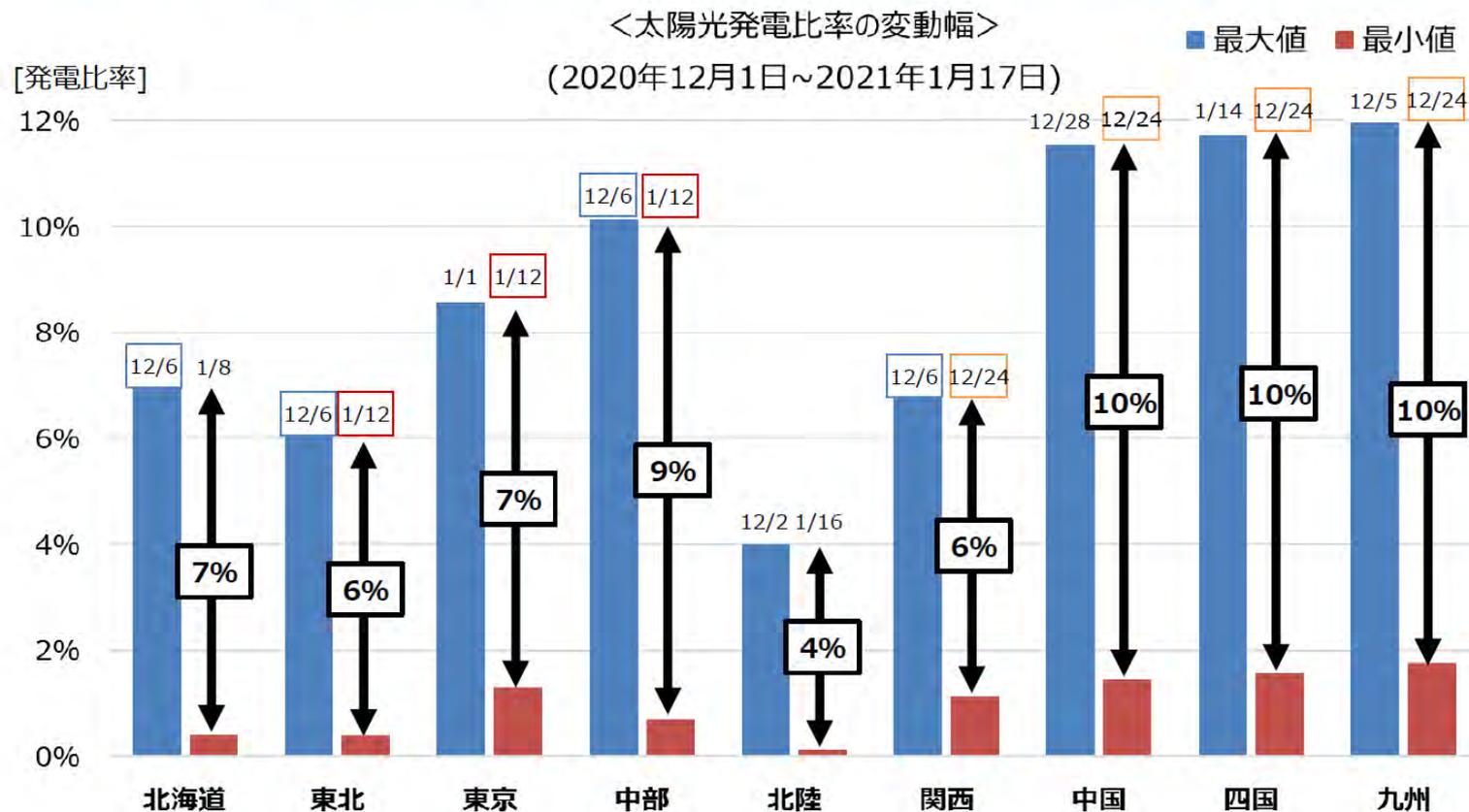


電気新聞2021年2月16日の記事より

太陽光発電は気象状況によって出力が変動

【参考】太陽光発電比率の変動幅（2020年12月1日～2021年1月17日）

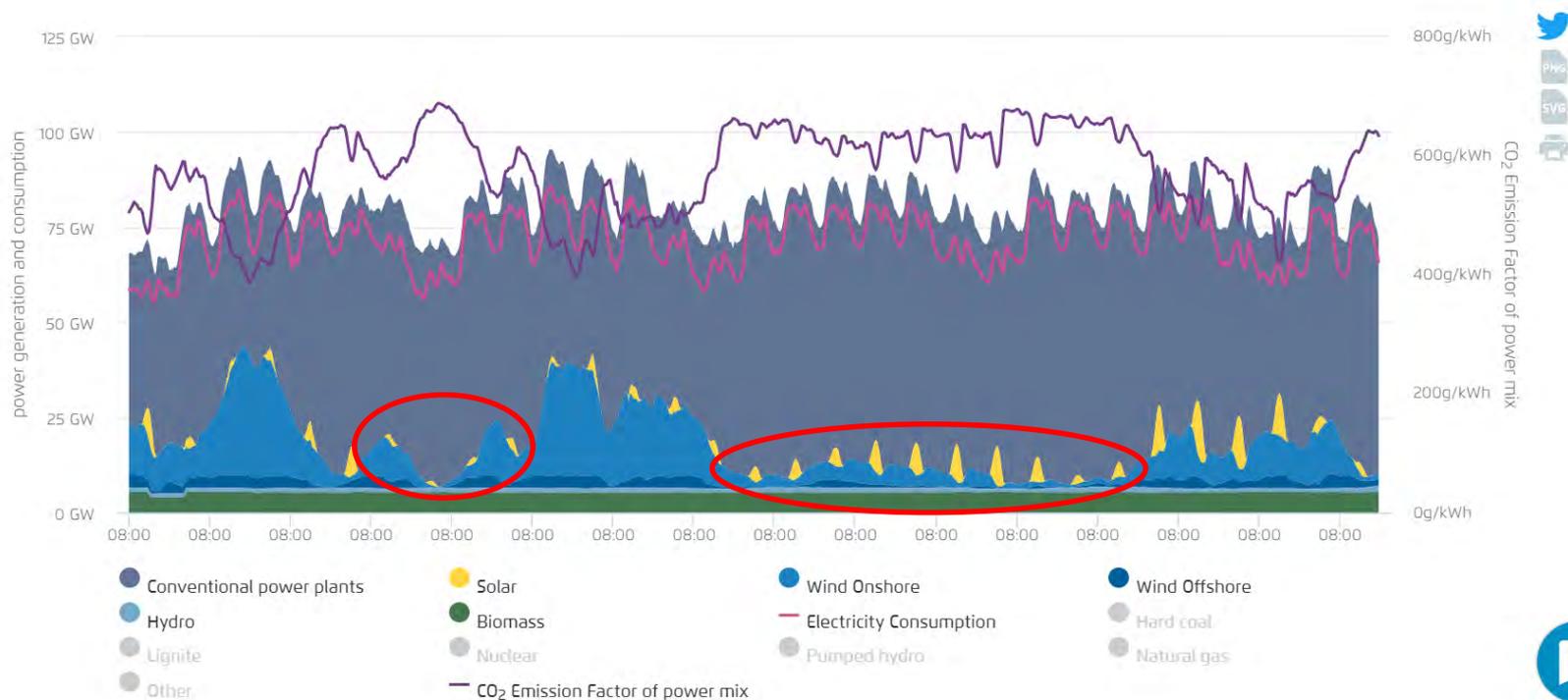
- 2020年12月1日～2021年1月17日の期間において、発電量全体に占める太陽光の発電量比率の変動幅（最大値と最小値の差）は、各エリアの総発電量の約4%～約10%分となっている。



※事業者ヒアリングに基づき、資源エネルギー庁作成。棒グラフ上に最大値、最小値を記録した日付を記載。12

「暗い低迷 (Dark doldrums)」の到来は避けることができない

Power Generation and Consumption

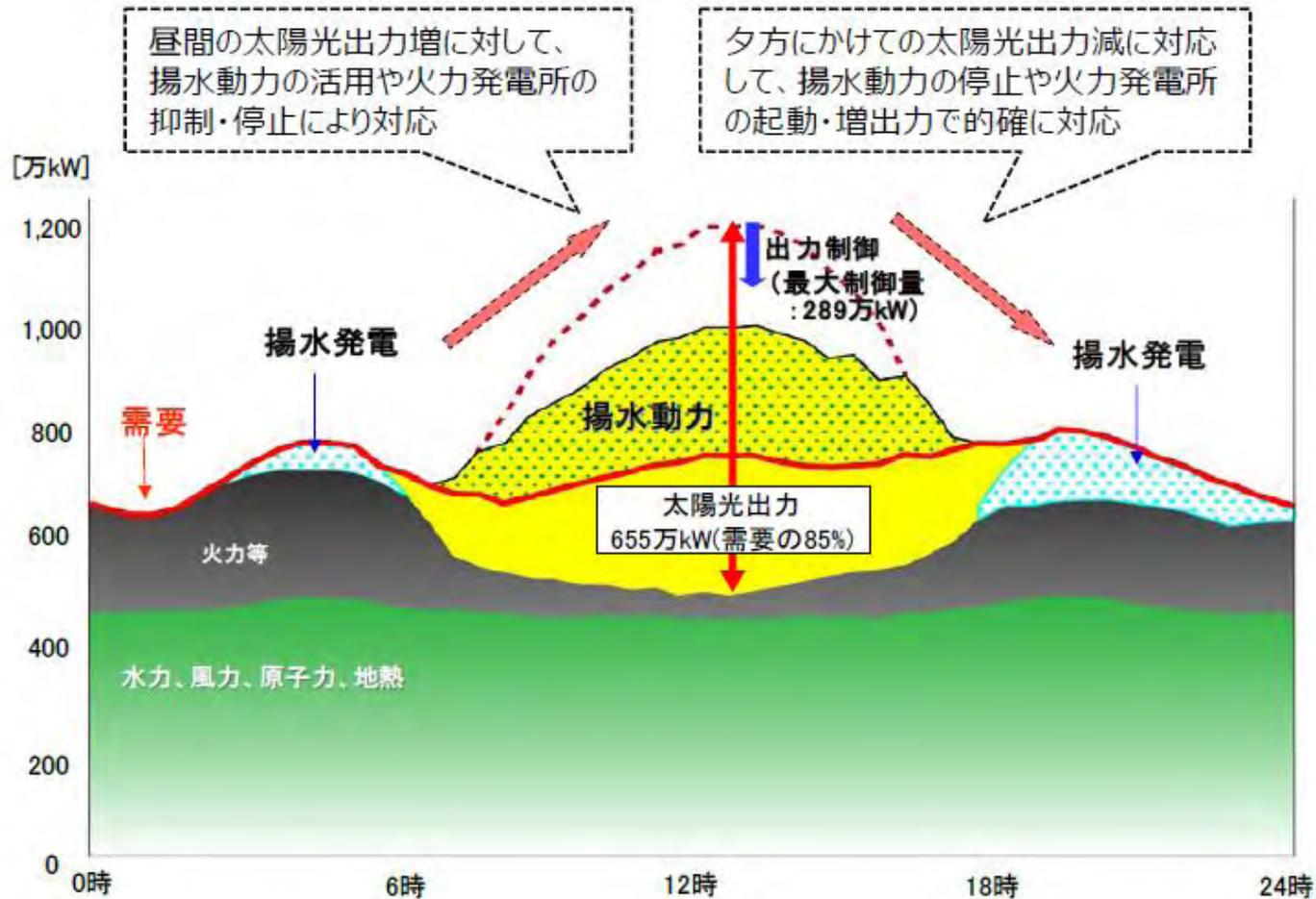


2017年1月のドイツの需給状況

Agora Energiewende Recent Electricity Data

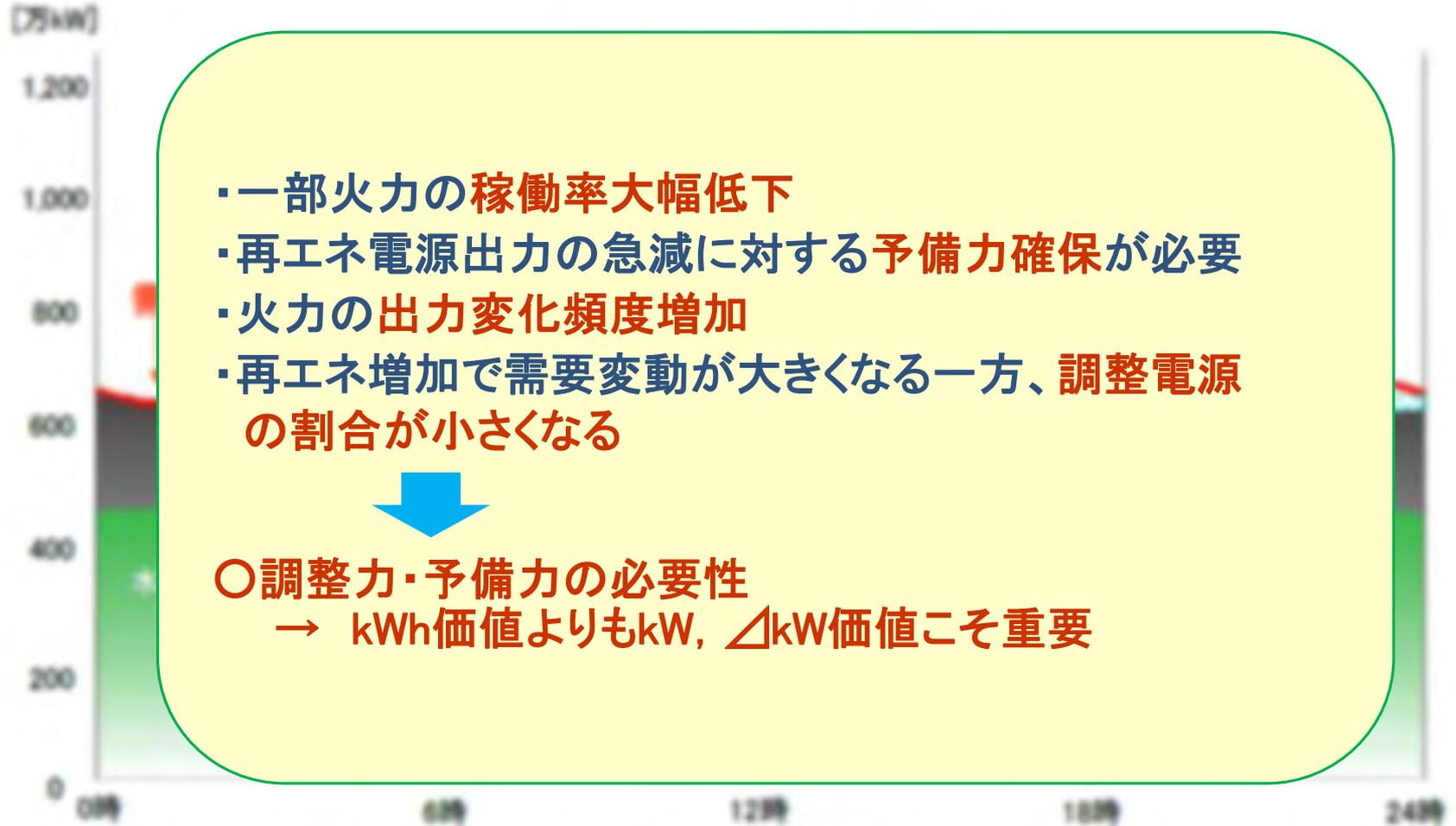
一日の電気の使われ方 (自然変動電源拡大の影響)

<2020年3月8日の九州の電力需給イメージ>



2020年7月22日 再エネ大量・次世代電力NW小委・再エネ主力電源化制度改革小委(合同会合)資料2より抜粋

再エネ比率増大に伴う影響



再生可能エネルギーの電力系統への影響

Case1:再生可能エネルギーによる電力余剰

Case2:再生可能エネルギー出力減による供給力不足

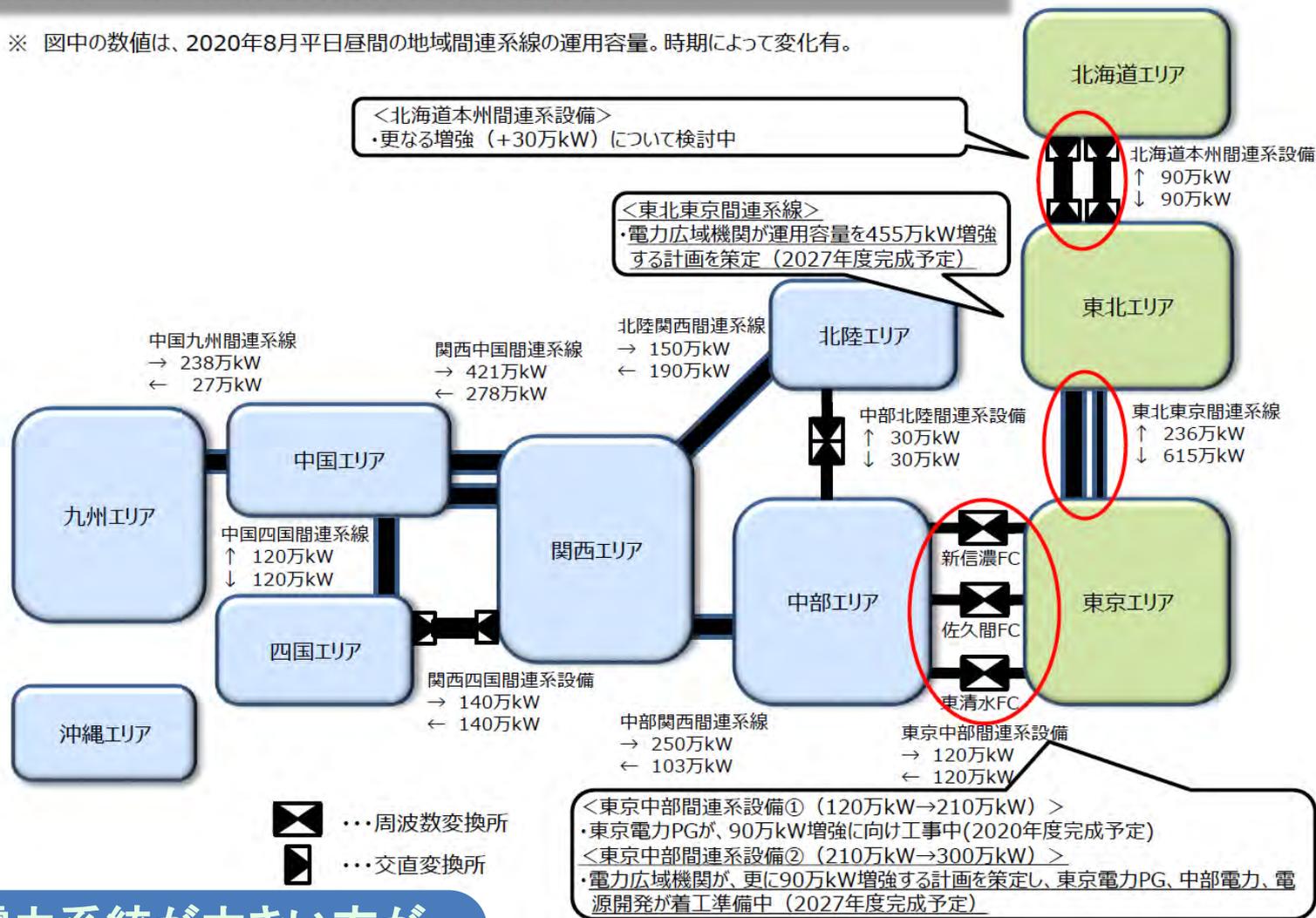
Case3: 不安定な出力変動に対応する系統周波数の調整力不足



系統側の対策だけでは不十分

日本のパワープール

※ 図中の数値は、2020年8月平日昼間の地域間連系線の運用容量。時期によって変化有。



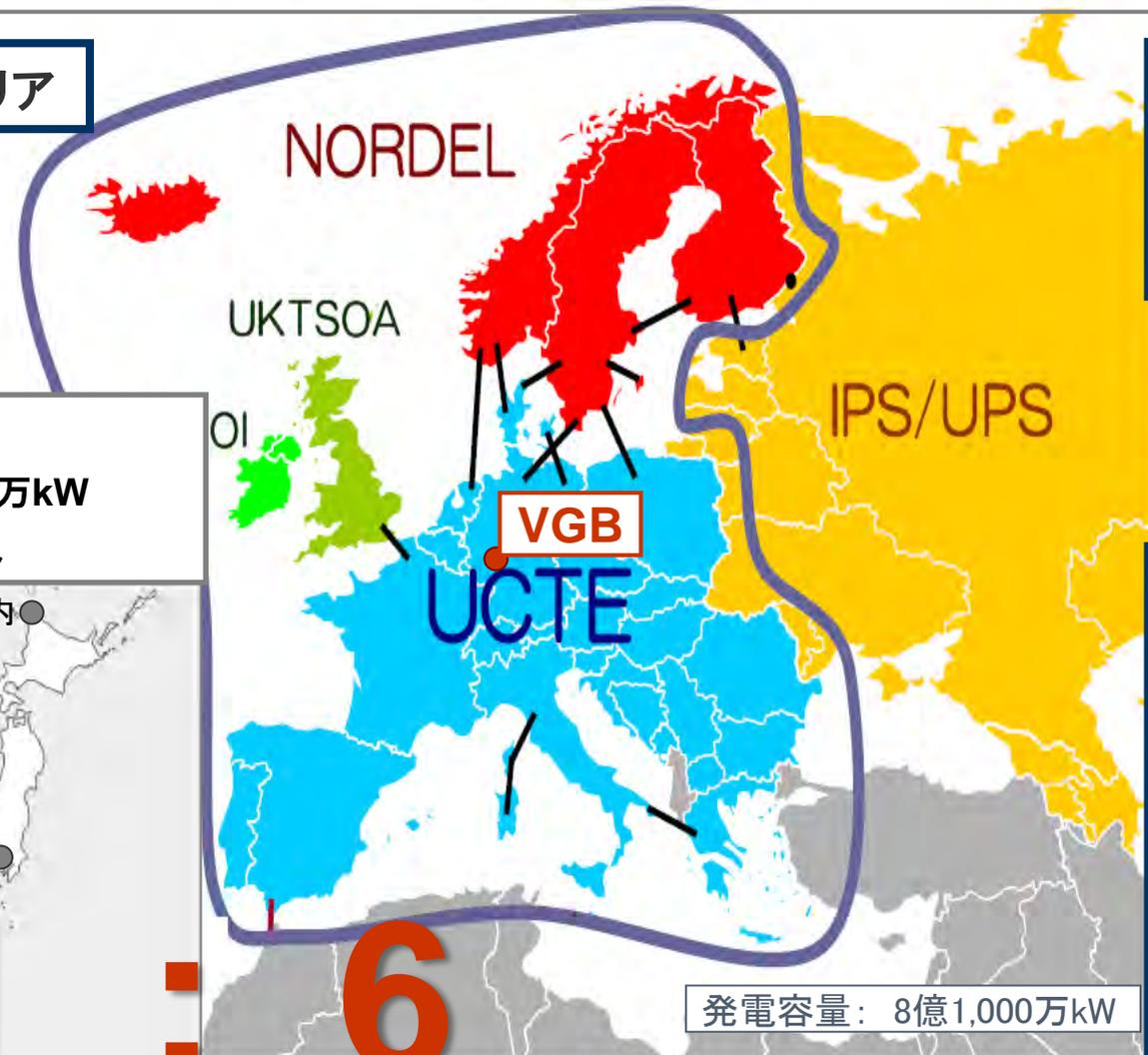
**電力系統が大きい方が
周波数は変動しにくい**



欧州の電力系統



VGBカバーエリア



日本
発電容量 2億4100万kW
人口:1億2,700万人



UCTE
発電容量:6億3,100万kW
最大電力:3億9,000万kW
消費電力量:2兆5,300億kWh
人口:4億5,000万人

IPS / UPS
発電容量:3億3,700万kW
最大電力:2億1,500万kW
消費電力量:1兆2,850億kWh
人口:2億8,000万人

NORDEL
発電容量:9,400万kW
最大電力:6,600万kW
消費電力量:4,050億kWh
人口:2,400万人

ATSOI / UKTSOA
発電容量:8,500万kW
最大電力:6,600万kW
消費電力量:4,000億kWh
人口:6,500万人

発電容量: 8億1,000万kW

1 : 6

VGBカバーエリア最大電力 : 5億2,200万kW

火力発電の性能はさらに向上する



火力設備の調整力一覧

系統維持対応

出力変化率 : 1分間当たりの出力変化速度 (%/min)

Case1,2,3

LFC幅 : LFC信号に基づき変化できる出力の幅 (%)

(Load Frequency Control:負荷周波数制御) (定格出力に対する割合)

Case3

最低出力 : 安定運転が可能な最低出力 (%)

(定格までの出力が調整力となる。停止した場合と異なり、需要の変化に即応できる)

Case1,2

起動時間 : ユニット起動から最大出力までの時間 (分)

Case2

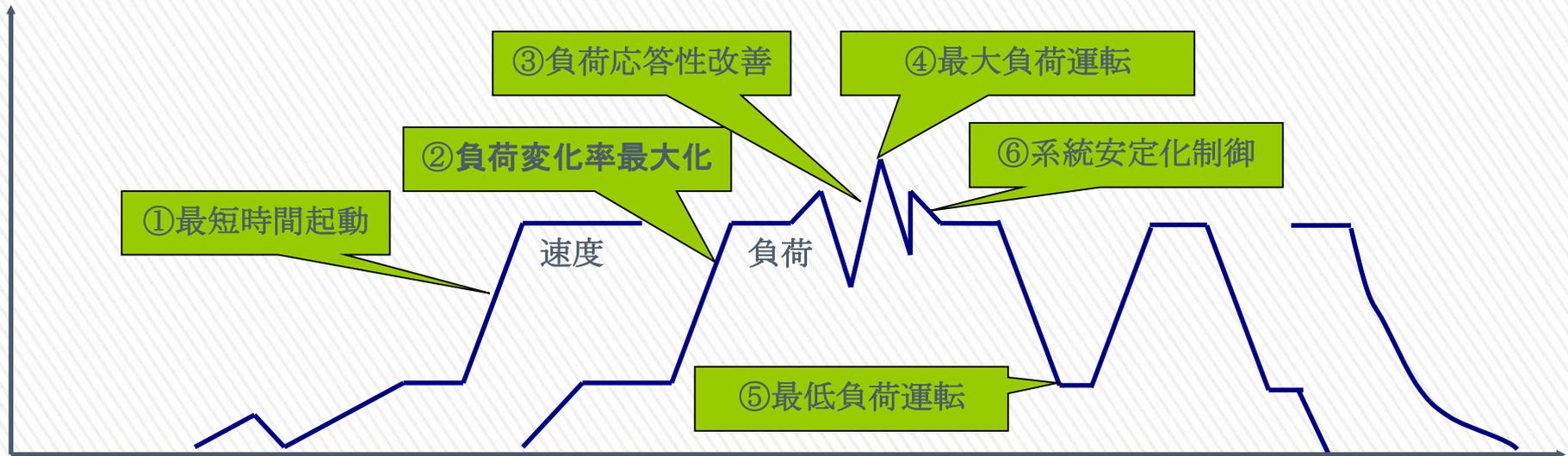
DSS : 日間起動停止(短時間での停止起動に対応)

Case1,2

(Daily Start Stop)

- ・ 既存の設備を活用
- ・ エネルギーを自ら生み出すのは火力発電のみ (Case2対応)

火力設備の調整力の解説



| VOC | 運用性向上/運転範囲拡大 | 負荷応答性向上 | 系統安定化 |
|------|---|---------------------------|---|
| 向上内容 | ①最短時間起動 ④最大負荷運転 ⑤最低負荷運転 | ②負荷変化率最大 ③負荷（周波数）応答性改善 | ⑥系統安定化制御 |
| 技術要件 | ①熱応力予測最適化演算 ④主蒸気温度制御改善 ⑤変圧化、BFP切替自動化 | ②加熱器変圧運転 ③LFC/GF能力向上 | ⑥パワエレ高速応答による 回転体慣性の活用 ⑥FRT:Fault Ride Through |
| 備考 | 海外新設火力：変圧+OLV /ヒーターカット 既設火力：変圧化、BFPT-EHC化 | 欧州火力：復水調整運転 欧州風力：デルタ制御 | 水力：可変速揚水 風力、太陽光：FRT |

火力設備の一般的な調整機能

| プラントタイプ | 出力変化率 | 最低出力 | 起動時間 |
|--------------------------------|-------------|--------------|--------|
| USC (石炭) 600~1,000MW | 1 ~ 3 % / 分 | 15 ~ 30 % 程度 | 4 時間程度 |
| GTCC (1軸,多軸) 1,100~1,600°C級 | ~ 5 % / 分 | 50 % 程度 | 1 時間程度 |

■ LFC (AFC) : 出力の±5%程度 (調整幅)

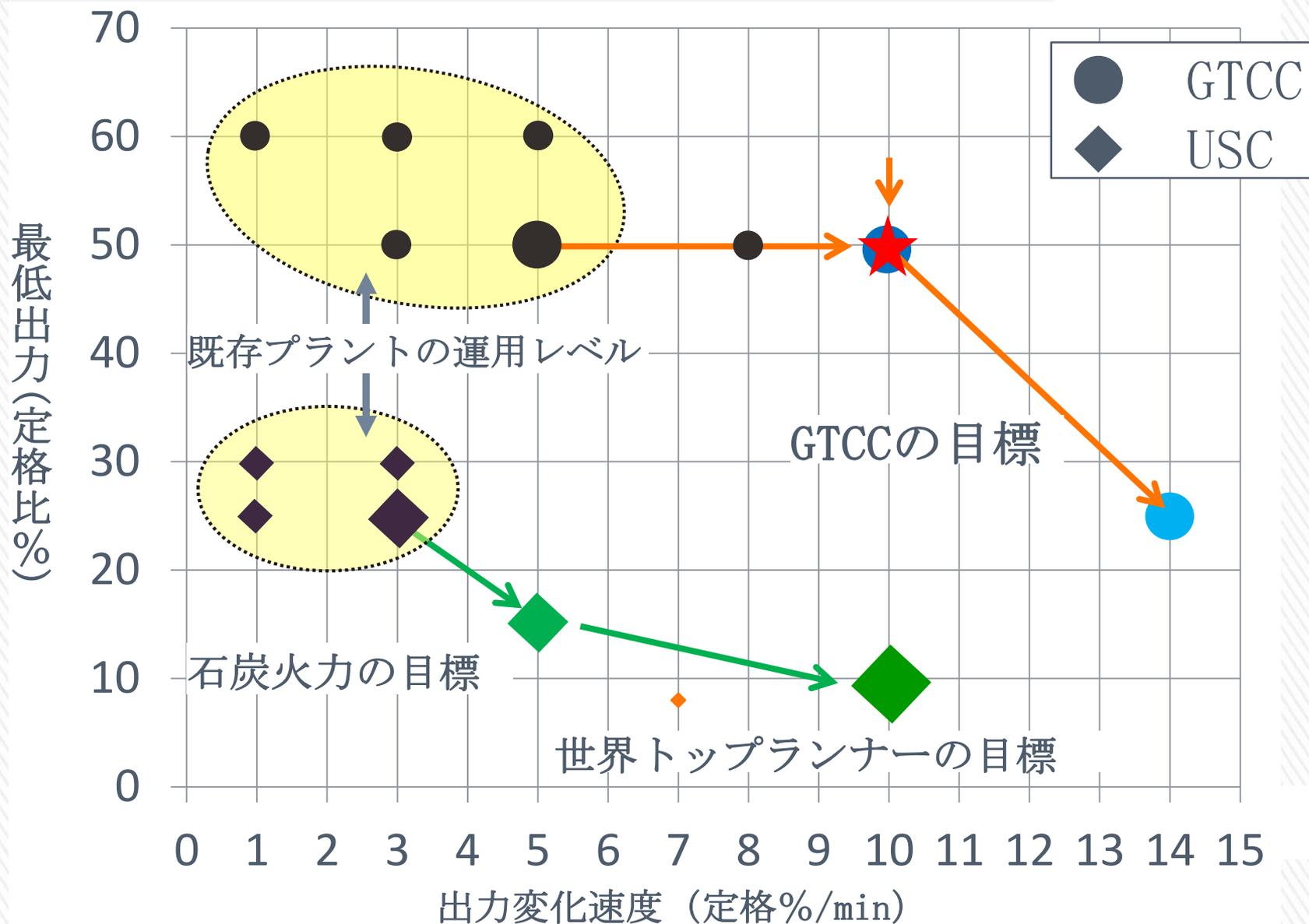
■ DSS (日間起動停止) : GTCCや中小容量機が中心

・ 火力調整力のさらなる性能向上は可能か！？

火力設備の調整力一覧

| | | 貫流石炭ボイラ (600～1,000MW級) | GTCC(1軸、多軸) (1,100～1,600°C級) |
|------|------|---------------------------|---------------------------------|
| 変化速度 | 現 状 | 1～3% | 1～5% |
| | 潜在能力 | 3～5% | 8% |
| | 目 標 | 5%(低出力帯) 10%(高出力帯) | 14% (中間負荷帯) |
| 最低出力 | 現 状 | 30%程度 | 50～60% |
| | 目 標 | 15%以下 | 25% |
| 起動時間 | 現 状 | 4時間 | 60分 |
| | 目 標 | より短く | 30分 |

火力設備の調整力 現状と目標



火力機調整力拡大のための技術的課題

前提: 高い熱効率と柔軟な調整力の同時達成



その1: 負荷の変動に対応して、安定した運用の実現

その2: 部分負荷運用による熱効率低下の抑制

需給調整機能の価値評価

【追加費用】 - 機能向上のための追加設備費用

過酷な出力変動、過度の起動停止による設備の疲労劣化によるメンテナンス費用の増加

【効率低下】 - 部分出力・起動停止といった非経済運用の増加

【機会の逸失】 - 需給調整による稼働率低下、売上減少

対価が得られなければ、誰も需給調整をやらない！

需給調整機能の強化なくして再エネの大量導入はできない



- ・様々な技術的可能性
- ・需給調整の発揮に対し、適切な対価を得られる仕組みが必要

再エネ大量導入の影響（九電の実績）

九電の実績からわかること

- ・再エネの優先給電を実現するため、既存の電源は、 merit order による運用となっていない。
 - エネルギーの有効活用の点から問題
- ・揚水の最大限活用等、調整力確保のコストは、九電の持ち出しとなっている。



柔軟性には、技術と実効的な制度／市場の両方が必要

脱炭素化に向けた方策と課題

方 策

非化石電源
(自然変動電源の拡充)



課 題

調整力・予備力の確保

カーボンリサイクル・CCS



CCS→適地・コスト
CCU→コスト・エネルギー

カーボンフリー燃料
(水素・アンモニア等)



カーボンフリー燃料の製造
(大量の脱炭素エネルギー)

**段階ごとに火力発電を賢く活用することがゴールへの近道
調整力・予備力の確保が第一歩！**

火力発電は減少する傾向

既設設備の経年化進行

非効率石炭火力のフェードアウト

CO₂削減を考慮しないまま整備された市場制度

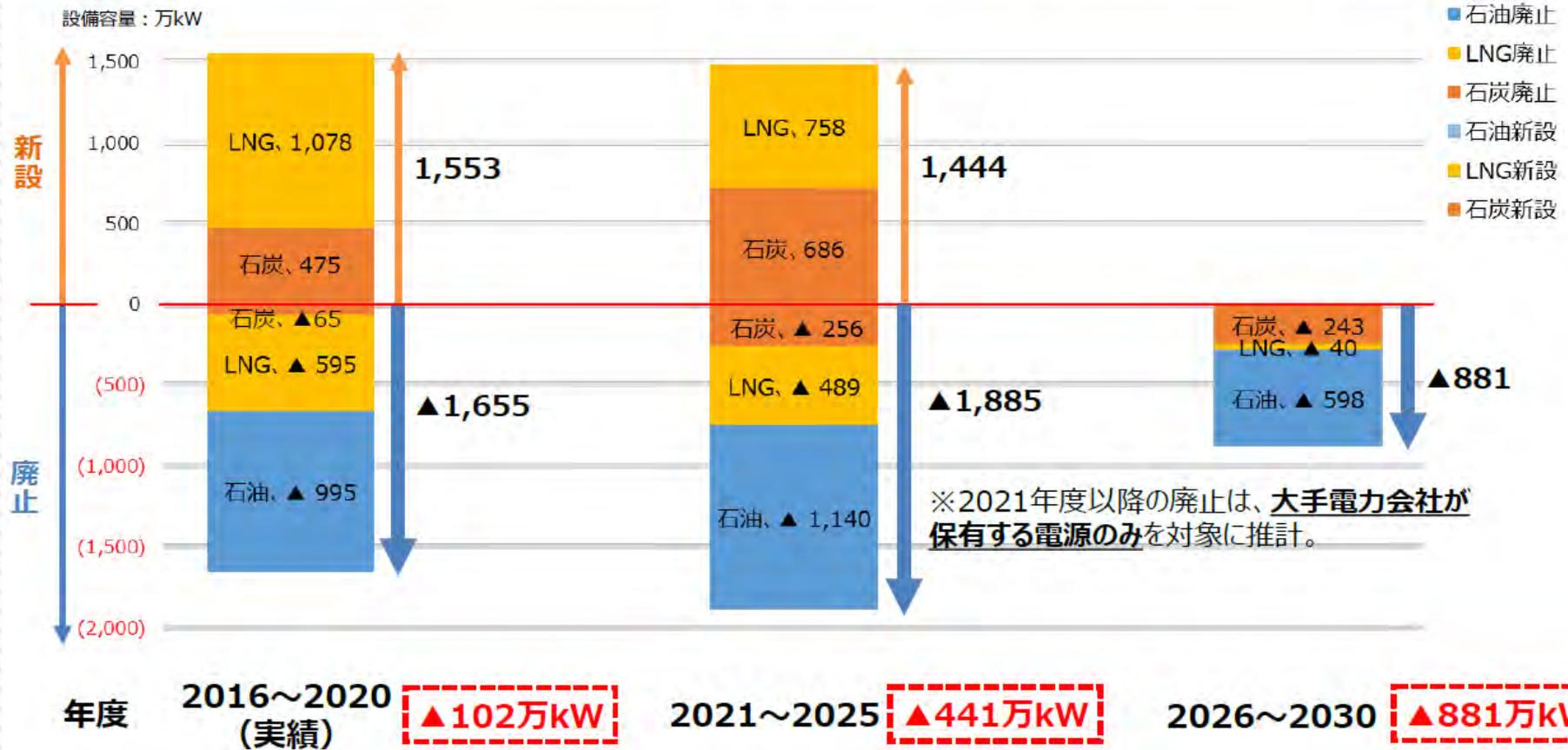
供給責任のあり方の問題

予備力・調整力の必要性への認識不足



課題① 安定供給の確保：今後10年間の火力供給力（調整力）の増減見通し

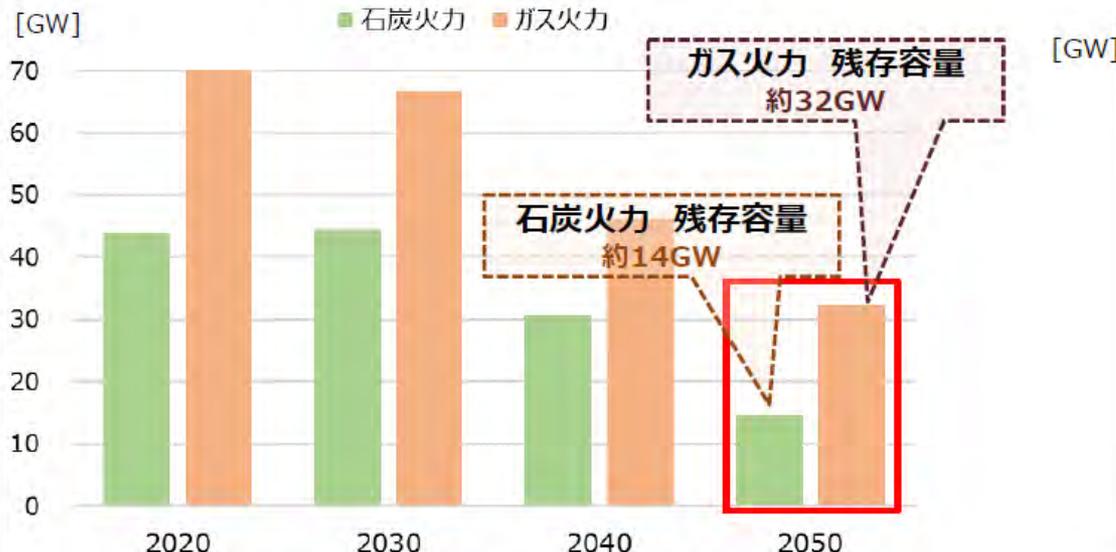
- 今後も、主に緊急時に活用されていた石油火力発電設備の廃止が継続する見込み。
- 当面は火力の新設計画も予定されている一方、供給力全体としては減少傾向にある。



注1. 2016~2020年度：新設実績は資源エネルギー庁「石炭火力発電所一覧」および電気事業便覧（2019年版）、廃止実績は各年度供給計画より。
 注2. 2021年度以降（新設）：2020年度供給計画とりまとめにおける、2029年度までの火力新設計画より（大手を含む全事業者）
 注3. 2021年度以降（廃止）：大手電力が保有する電源のうち、運転開始から45年経過した電源＝廃止と仮定。

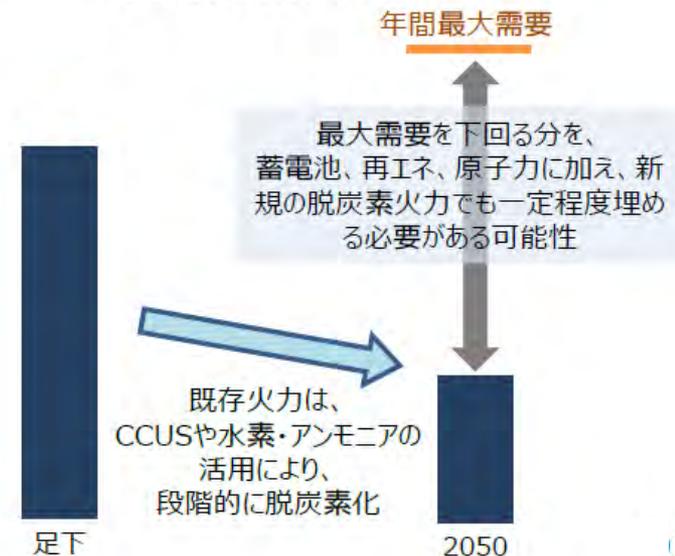
- 現在建設中の設備及び既運転の設備を対象とし、寿命を40年と想定すると、**今後の新規の新設案件がないという仮定の下でも、2050年時点でガス火力は約32GW、石炭火力発電は約14GWとなる。**
- また、**再エネの導入が拡大**する状況の中、火力発電は、
 - － 太陽光や風力の出力変動を吸収し、**需給バランスを調整を行う調整力**や、
 - － 急激な電源脱落などにおける周波数の急減を緩和し、**ブラックアウトの可能性を低減する慣性力**といった機能により、**電力の安定供給に貢献**してきた。
- 2050年に向けて再エネの更なる導入拡大が見込まれる中では、こうした機能をもつ**火力を代替する技術・脱炭素化する技術（水素・蓄電池・CCUS等）の技術開発・普及**や**新規投資の活性化**を促進していくことで、**脱炭素化を加速度的に進めていく**ことが必要ではないか。

火力発電の容量推移（寿命を40年と想定）



* 既設・建設中の火力発電設備を対象に、設備寿命を40年として算出

2050年における火力発電の設備容量と年間最大需要のイメージ



2050年カーボンニュートラルと火力発電

脱炭素化の潮流の中で、フェードアウトだけが火力発電の未来ではない。

短期的

- ・ 非化石電源拡大に資する調整力・予備力の発揮

中・長期的

- ・ カーボンフリー燃料(水素・アンモニア等)活用による火力発電の脱炭素化
- ・ CCUS(二酸化炭素回収・貯留・利用)付き火力発電
→<そのための技術開発・設備更新>



Thank you very much

