

需給調整市場とインバランス 料金

金本良嗣

日本卸電力取引所理事長

政策研究大学院大学客員教授，東京大学名誉教授

アウトライン

1. 電力システム改革における供給信頼性確保の仕組み
2. 逼迫時プライシング Scarcity Pricing
3. 需給調整市場
4. その他アンシラリーサービスの調達

参考文献

電力ネットワーク政策2024年度講義資料：

240610_東京大学講義「調整力（セキュリティ）確保」r0.pdf

240617_インバランス料金制度について_電取委三浦.pdf

電力ネットワーク政策2025年度講義資料：

250609_東京大学講義「調整力（セキュリティ）確保」r2.pdf

250616_インバランス料金制度について.pdf

1. 電力システム改革における供給信頼性確保の仕組み

ライセンス制と安定供給確保のための責任分担

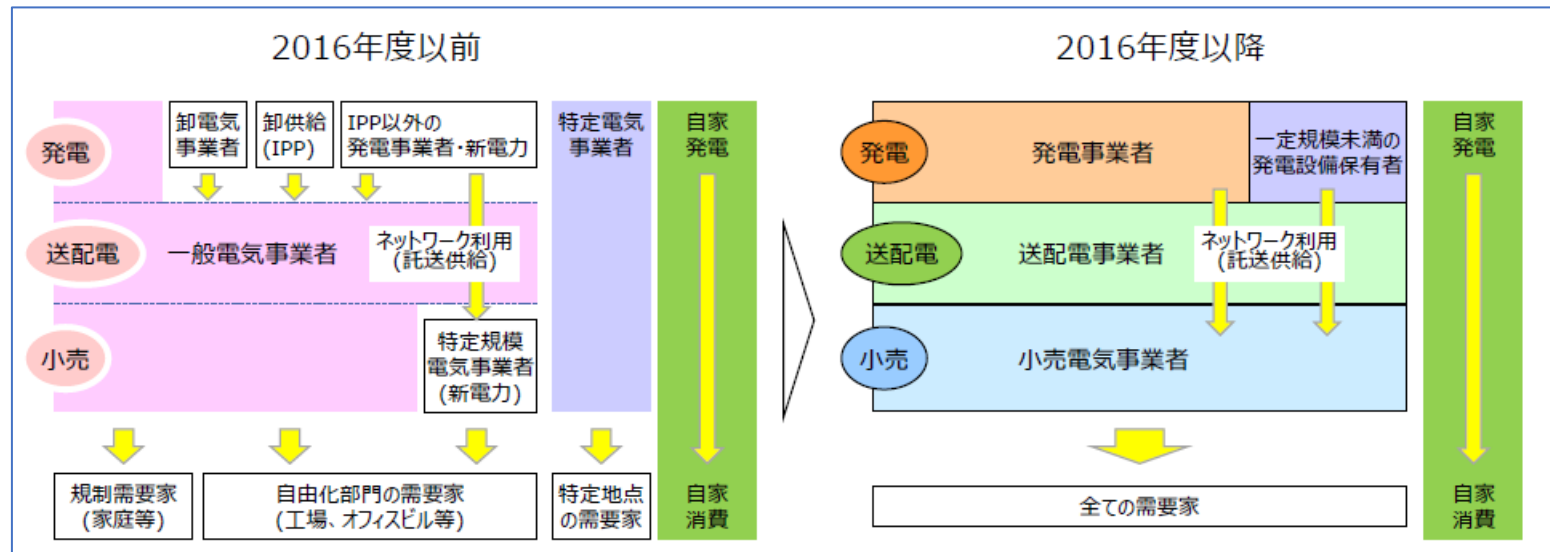
計画値同時同量制度

インバランス料金制度

FITインバランス特例制度

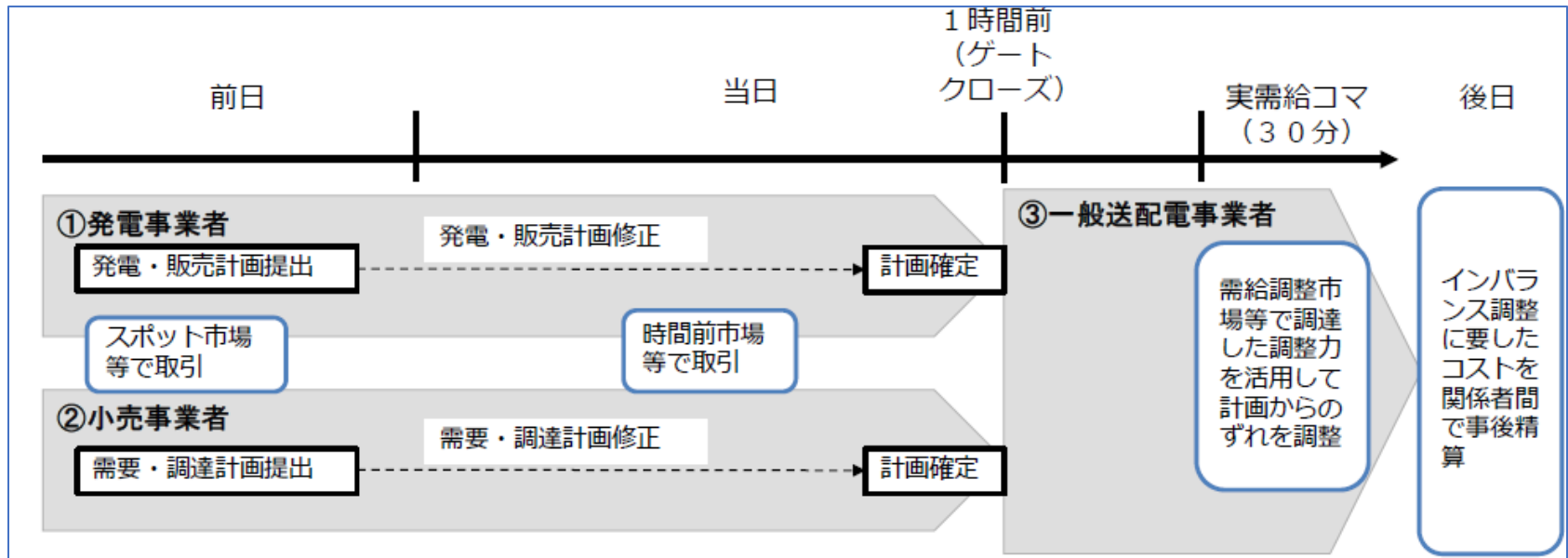
ライセンス制と安定供給確保のための責任分担

- ライセンス制：「発電事業者」「送配電事業者」「小売電気事業者」に分類し、カテゴリー毎に規制。
- 安定供給確保のための責任
 - 小売電気事業者：自社需要に見合った供給力の確保義務 → **容量市場を通じた確保**（今後の電力システムの新たな課題について中間取りまとめ，2022年2月）
 - 一般送配電事業者：周波数調整維持義務。自らが確保した調整力を活用して域内の需給調整。
 - 発電事業者：一般送配電事業者の確保する調整力について発電義務を負う。



計画値同時同量制度

- 計画値同時同量制度：
 - 実需給の1時間前がゲートクローズ（GC）。
 - 小売電気事業者は自らが契約している需要家の需要と同量の供給力を確保し，1時間前計画として広域機関へ提出。発電事業者も発電計画値を提出。
 - 計画需要と供給力の差分は一般送配電事業者が調整力により穴埋め。



インバランス料金制度

- 計画値と実績値の差をインバランス料金で精算：
 - 小売電気事業者が想定した需要計画値と実績の差分，及び発電事業者が想定した発電計画値と実績の差分.
- インバランス料金の設定：
 - 以前はスポット市場等の価格を参照していた.
 - 2022年度以降は，実需給の電気の価値（需給調整市場で調達した調整力のkWh価格）で設定.

インバランス料金の基本的考え方

- ① インバランス料金が、実需給の電気の価値を表していること
- ② 系統利用者に対して需給調整の円滑化に向けた適切なインセンティブとなること
- ③ 一般送配電事業者が調整力コストを適切に回収できるものであること

新たな制度見直しの方向性

- ① インバランス料金はエリアごとに算定（調整力の広域運用の結果は考慮）
- ② 各コマごとに稼働した調整力の限界的な調整力kWh価格をインバランス料金とする
 - 当面は最新の需給状況が調整力kWh価格に反映されない可能性があること等を踏まえ、補助的施策として卸電力市場価格を参照する補正を行う。
 - 需給ひっ迫時にインバランス料金が上昇する仕組みも検討
- ③ 適切なインセンティブ付与と公平性の確保の観点から、関連情報をタイムリーに提供

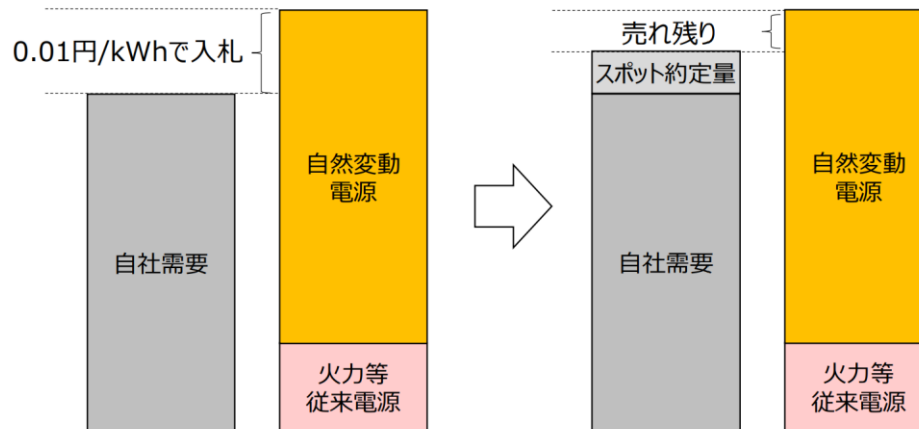
FITインバランス特例制度

- FITインバランス特例①・③では、送配電事業者*が計画発電量を設定し、実際の発電量との誤差は送配電事業者が調整する。
- 送配電事業者がFIT電源の想定発電電力量を各BGに販売電力量に応じて配分。各BGは余剰電力をスポット市場に0.01円/kWhで投入する。

*一般送配電事業者，又は送配電事業者。

FITインバランス特例①の運用方法

- 小売電気事業者は、前日6時のステータス2のFIT特例①の自然変動電源の発電計画を元に、発電計画を作成してください。
- 需要計画を上回るFIT特例①の自然変動電源の発電計画については、スポット市場に0.01円/kWhで入札してください。



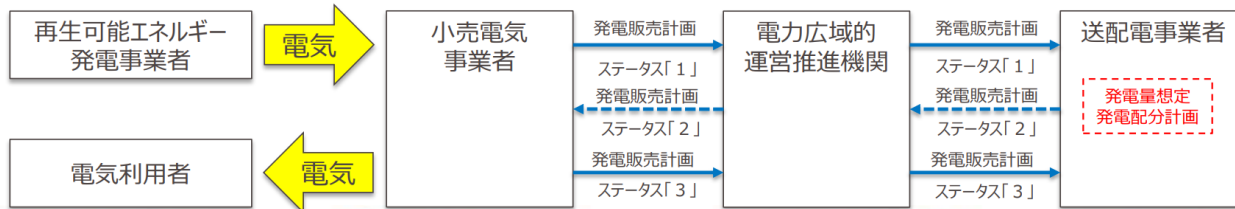
FITインバランス特例制度①の運用方法の変更について、2019年12月、電力広域的運営推進機関ほか
https://www.occto.or.jp/oshirase/sonotaoshirase/2019/files/191220_FIT1unyohenko.pdf.pdf

(参考) FIT特例制度

- FIT特例制度①：小売電気事業者が買い取るが、インバランリスクを負わず、回避可能費用で調達。
- FIT特例制度②：小売電気事業者が買い取り、インバランリスクを負う。
- FIT特例制度③：送配電事業者が買い取る。卸電力市場（前日スポット）で売却するか、卸供給契約に基づき小売電気事業者に供給。

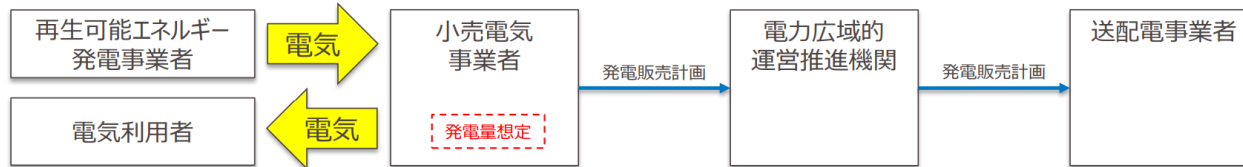
【FIT特例制度①】

小売電気事業者はインバランリスクを負うことなく、送配電事業者の発電配分計画値である電気を回避可能費用で調達することが可能。

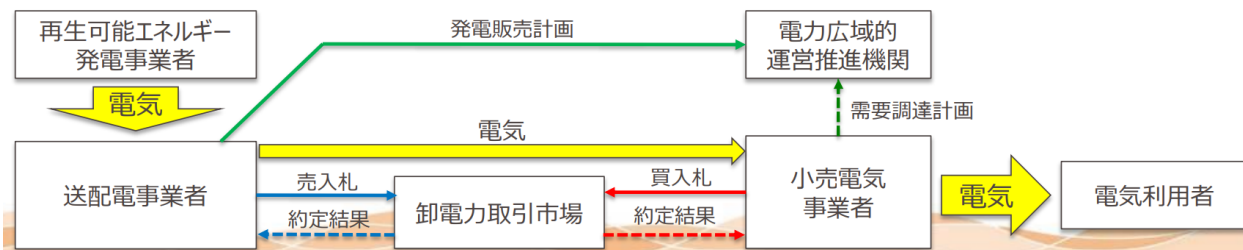


【FIT特例制度②】

小売電気事業者は、各自において発電予測を行い、発電予測値と発電実績差におけるインバランリスクが発生する。



【FIT特例制度③】



(参考) FITインバランス特例

<特例措置の類型>

	特例措置の 類 型	計画発電量の設定	インバランス精算主体	インバランス精算の 適 用 料 金
小売買取	特例①	一般送配電事業者	小売電気事業者 (リスクなし)	回避可能費用※1 (スポット市場価格+時間前市場価格 の加重平均)
	特例②	小売電気事業者	小売電気事業者 (リスクあり)	通常のインバランス料金
送配電買取	特例①	一般送配電事業者	小売電気事業者 (リスクなし)	回避可能費用 (スポット市場価格)
	特例②	小売電気事業者	小売電気事業者 (リスクあり)	通常のインバランス料金
	特例③	送配電事業者	送配電事業者	(インバランス対象外)※2

※1 2016年度認定分のみ。2012年度～2015年度認定分については、一定の条件を満たせば、異なる回避可能費用単価の算定方法が2020年度末まで維持可能な激変緩和措置あり。

※2 買取義務者が特定送配電事業者の場合には、インバランス精算の対象となる。

※3 2017年3月資源エネルギー庁公表資料より電力・ガス取引監視等委員会事務局作成

2. 逼迫時プライシング Scarcity Pricing

日本のScarcity Pricing：補正インバランス料金

Scarcity Pricingの理論（Hogan）

米国ISOにおけるScarcity Pricing: (1) LOLP × VOLL曲線

米国ISOにおけるScarcity Pricing: (2) 階段状予備力需要曲線

欧州におけるScarcity Pricingの検討

日本のScarcity Pricing：需給ひっ迫時補正インバランス料金

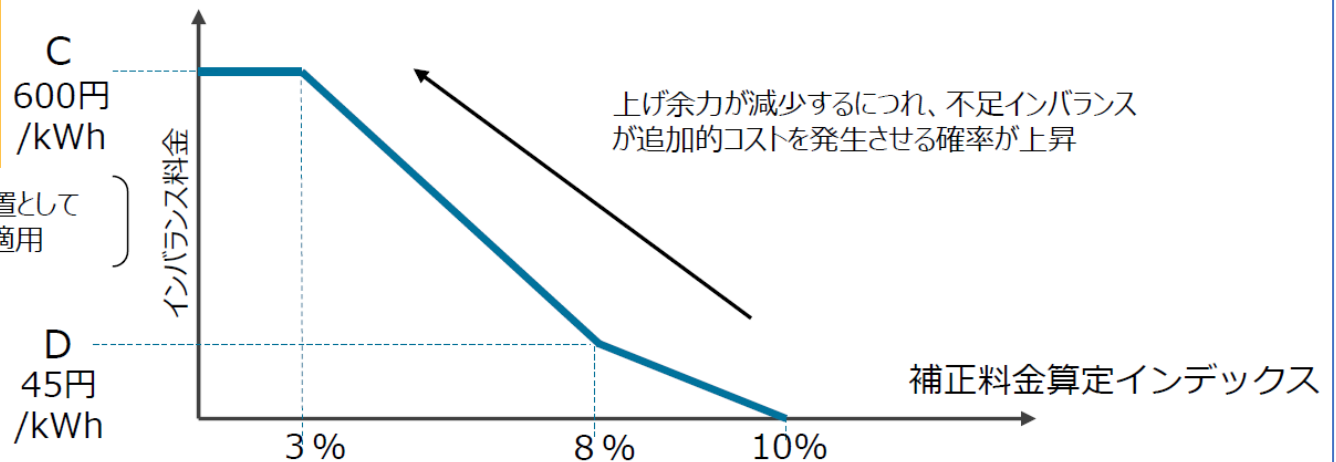
- 需給ひっ迫時には、補正インバランス料金が適用される。
- 「補正インバランス料金算定インデックス」が3%を下回る時点で200円/kWh（暫定措置）となる。
 - 2026年10月から当面の間はC値を300円/kWhにD値を50円/kWhに見直す。

需給ひっ迫時の補正インバランス料金

緊急的に供給力を1kWh追加確保するコストとして、市場に出ていない供給力を新たに1kWh確保するために十分な価格として、新たにDRを追加的に確保するのに必要な価格。

（現在は、暫定的措置として200円/kWhを適用）

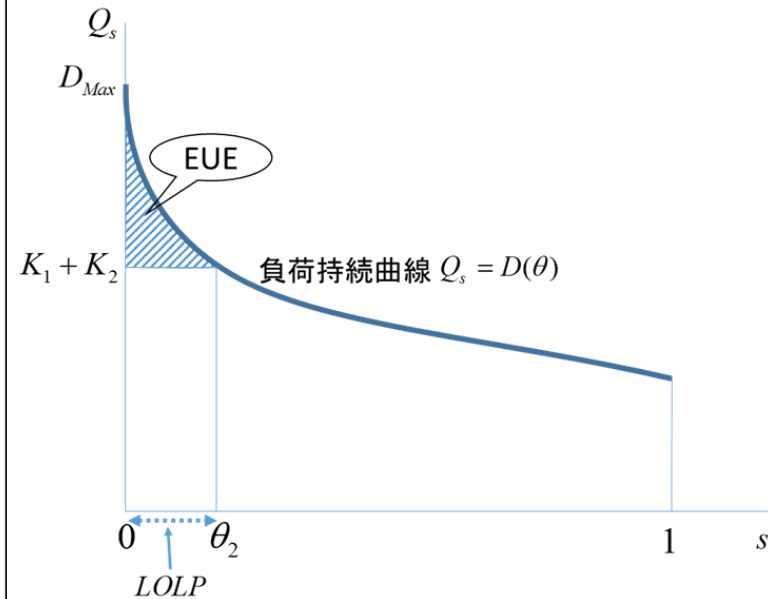
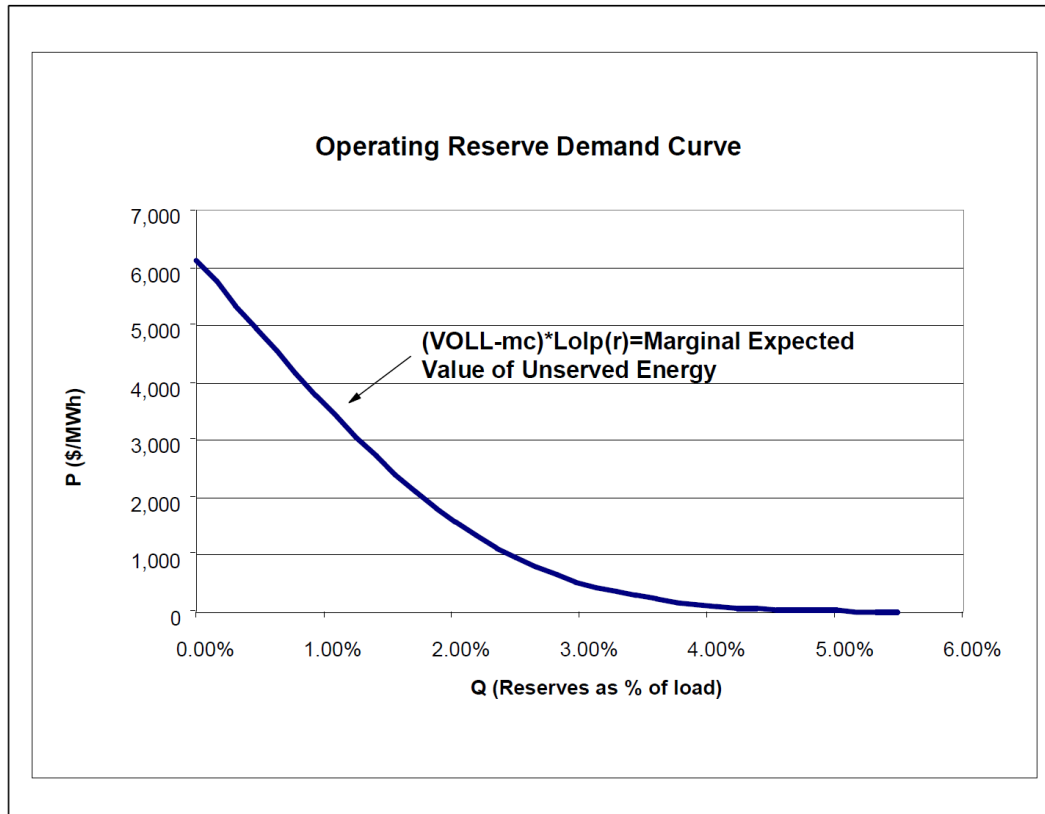
確保済みの電源I'のkWh価格を参考に決定。



Scarcity Pricingの理論 (Hogan)

- 予備力の価値 = (停電コスト - 発電の限界費用) × 予備力追加による停電量の限界的削減 (の期待値) = $(VoLL - MC) * LOLP$
PJM Reserve Markets: Operating Reserve Demand Curve Enhancements, William W. Hogan and Susan L. Pope, 2019

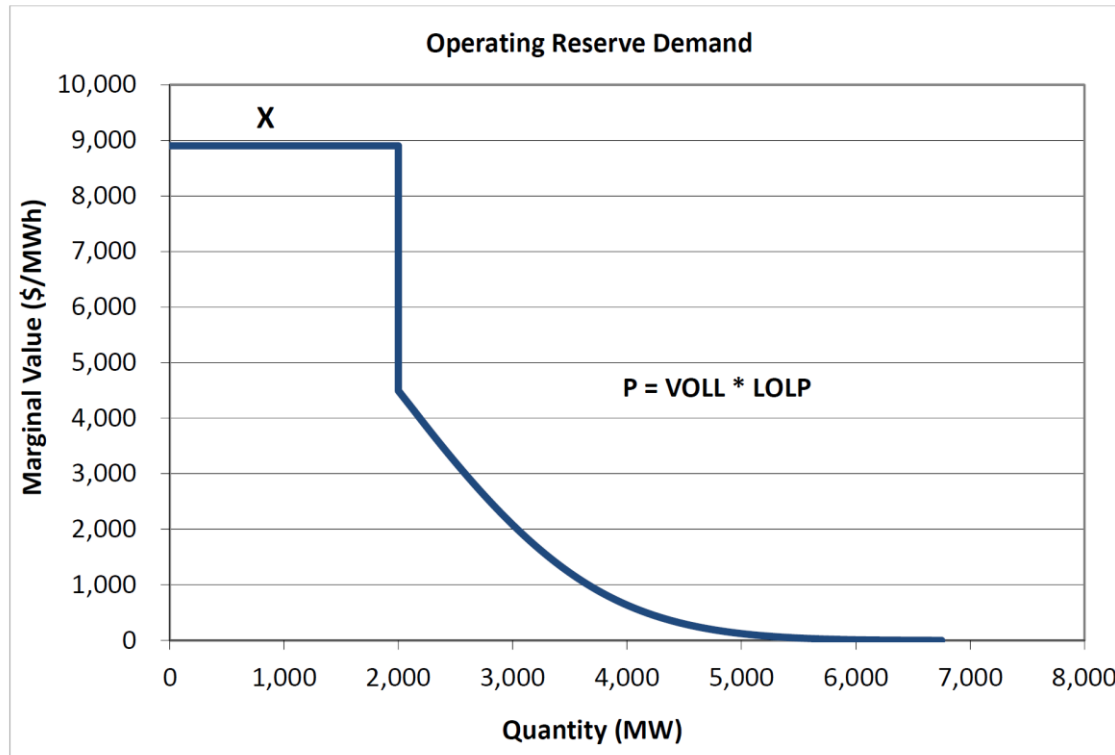
Figure 2



米国ISOにおける Scarcity Pricing: (1) LOLP × VOLL 曲線

- 運転予備力需要曲線：運転予備力の価値 = LOLP × VOLL

Figure 2



Hogan, W. W. and Pope, S. L. (2017) [Priorities for the Evolution of an Energy-Only Electricity Market Design in ERCOT.](#)

- PJMにおける Reserve Demand Curve [PJM Manual 11](#), 2024
 - Synchronized Reserve, Primary Reserve, 30-minute Reserveの3層構造。上位が下位を兼ねる。
 - SRとPRそれぞれの階段状予備力需要曲線：最高850ドル/MWh
 - 逼迫時のLMP価格上限（混雑と送電ロスを除く）：\$2,000/MWh（上限エネルギー価格） + \$1,700/MWh（予備力ペナルティーファクター×2）

MISOのORDC改定案、2024年

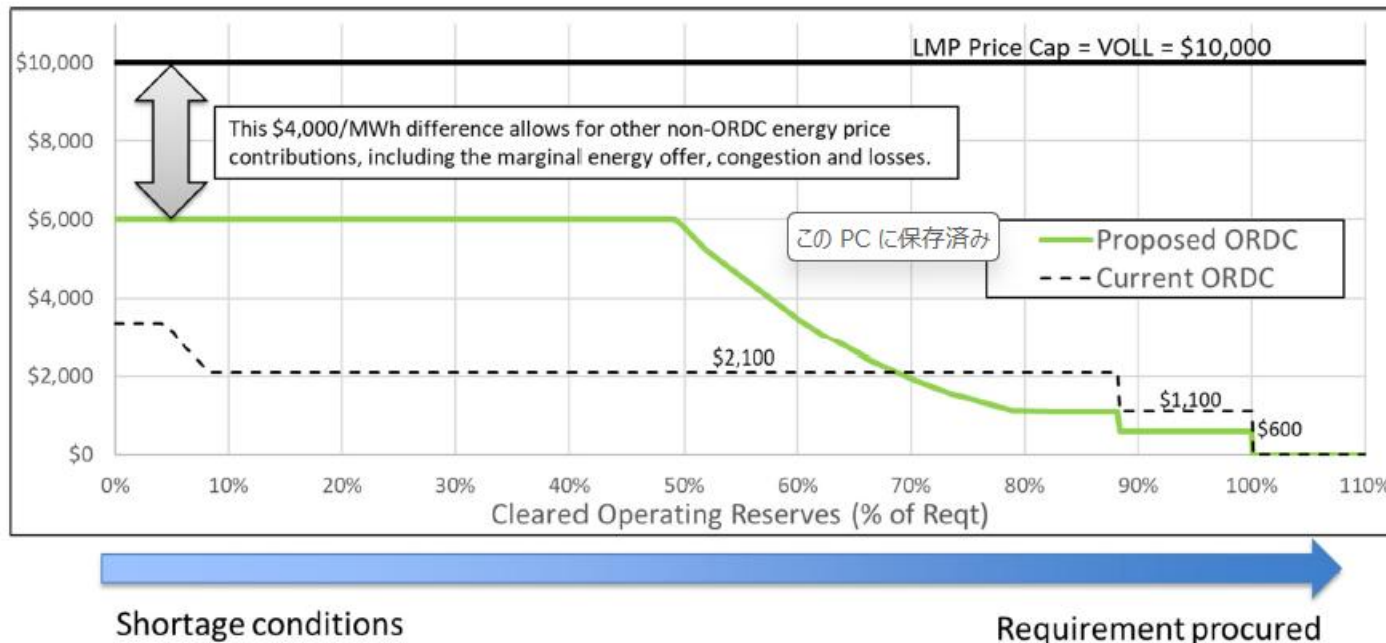


Figure 3: Current and proposed Operating Reserve Demand Curve

欧州における Scarcity Pricing の検討

- ベルギー規制当局がリアルタイムの予備力市場（調整力 Δ kW 市場）がないことの影響を試算。
 - 欧州では予備力のうちで実際に給電した分についてはインバランス料金による支払いを受けるが、給電されなかった分についてはインバランス料金の支払いがない。
 - 米国ISOでは前日市場とリアルタイム市場の双方に逼迫時プライシングが導入されており、エネルギー市場と予備力市場が同時最適化されている。逼迫時には双方の価格が上昇する。
 - 実需給時の逼迫が予想されると、それが当日市場や前日市場の価格に反映されて、逼迫回避行動が起きるという Back Propagation（逆伝播）が十分に機能しない。
 - シミュレーション分析によると、予備力にリアルタイムの逼迫時プライシングを導入することによってコンバインドガス火力の採算性が大きく改善する（[Papavasiliou, et al. ; 2021](#)）。
- 英国では LOLP \times VoLL 曲線ベースの逼迫時プライシング。

https://www.ofgem.gov.uk/sites/default/files/docs/2014/05/electricity_balancing_significant_code_review_-_final_policy_decision.pdf

A. Papavasiliou, et al., "Implementation of scarcity pricing without co-optimization in European energy-only balancing markets," Utilities Policy 2023.

CREG, 2021. [Study on the implementation of a scarcity pricing mechanism in Belgium](#)

3. 需給調整市場

3-1 セキュリティー確保のための調整力

太陽光発電導入量の増加による影響

3-2 需給調整市場の創設

需給調整市場で取り扱う商品と導入スケジュール

3-3 需給調整市場の市場設計

3-4 需給調整市場の課題

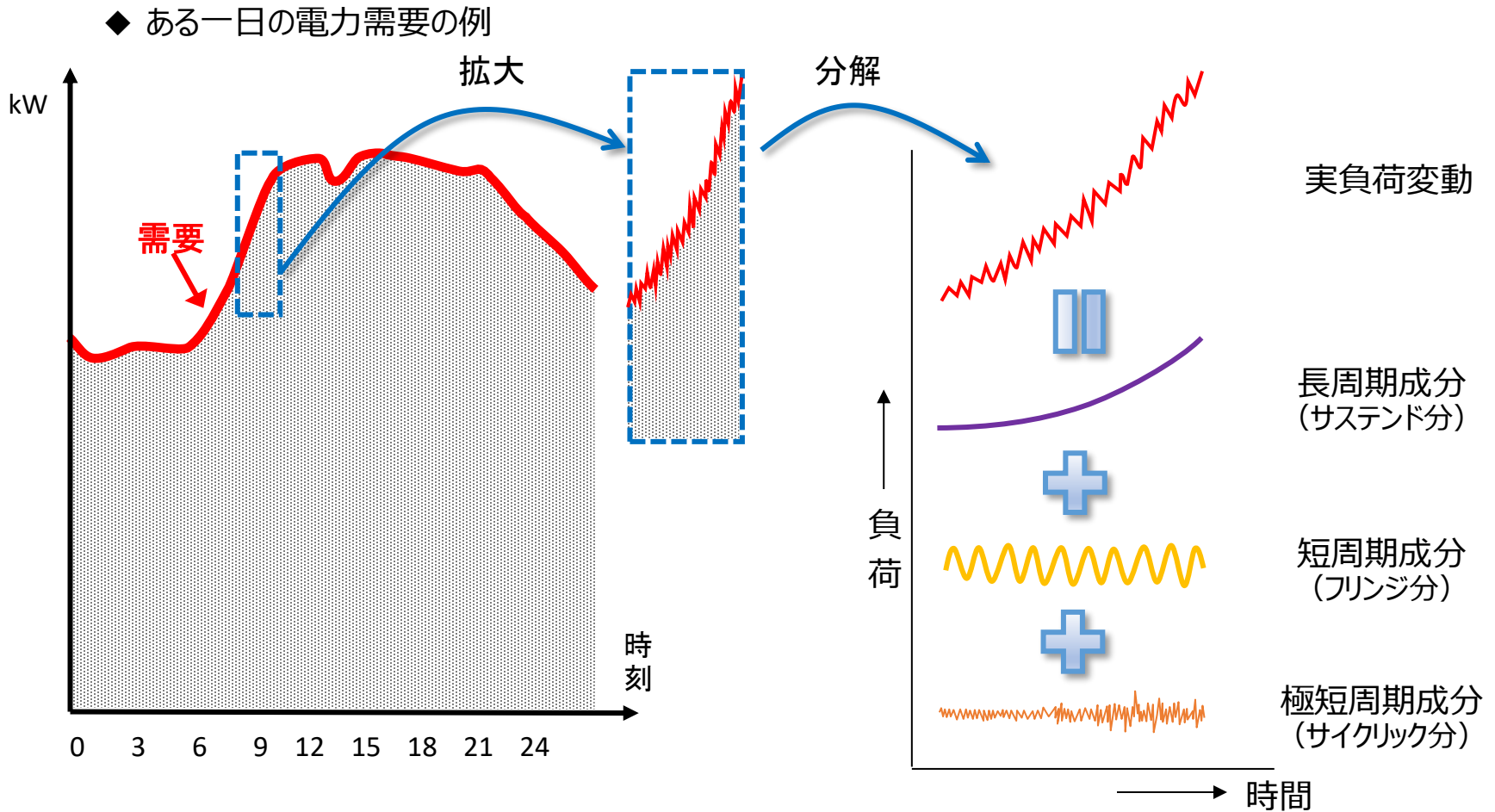
3-1 セキュリティー確保のための調整力

- 周波数が一定の幅の中に維持できなくなると、システム全体が崩壊
- 周波数を維持するためには、需要と供給量を合わせることが必要
- 送配電事業者は出力調整可能な電源（調整力）を細かく出力を調整することで需要と供給量を一致させ周波数を維持

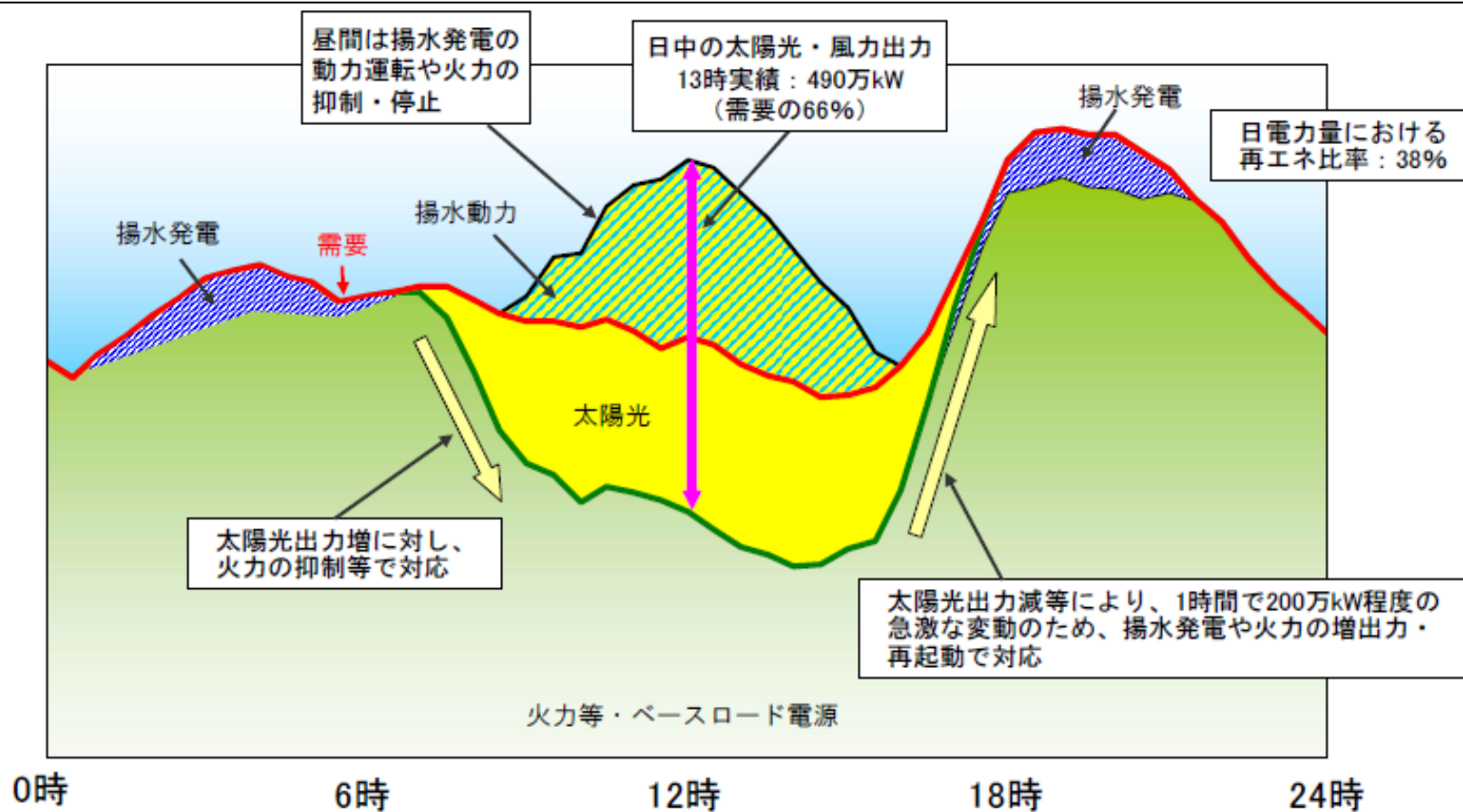


(参考) 時々刻々と変化する電力需要

- 工場の操業状態や家庭の照明入切など電気の使用状況に伴い、電力需要は時々刻々と変化している。その変化の細かさは様々である。



- 太陽光発電導入量の増加に伴い、調整電源で調整する量の大きさ、その調整変化の速度は大きくなっている
- 太陽光出力の予測からの下振れは調整力で補う必要があり、そのために必要となる調整力（上げ調整力）の量は年々増加している



(参考) 発電機の調整機能

- 発電機には変動の細かさに対応した様々な調整機能が備えられており、これらの機能を使い分けて、需要や再エネの変動を調整
- 需給調整市場では、これらの機能に応じて商品を細分化

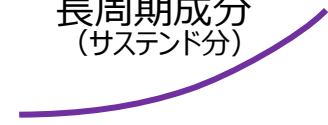
極短周期成分
(サイクリック分)



短周期成分
(フリンジ分)

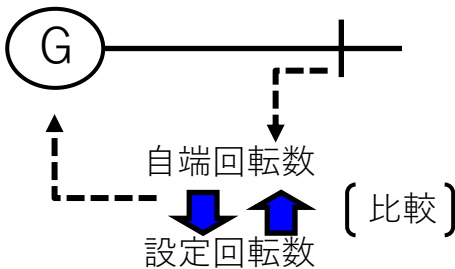


長周期成分
(サステンド分)



ガバナフリー(GF)
(Governor Free : GF)

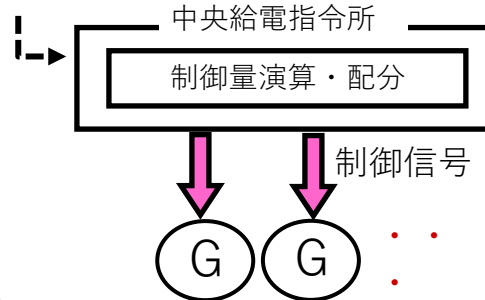
発電機が自ら回転数を検出し、設定回転数と比較して発電機出力を制御する。



負荷周波数制御(LFC)
(Load Frequency Control : LFC)

中央給電指令所で系統周波数から基準周波数に戻すために必要となる制御信号を一斉送信することにより発電機出力を自動制御する。

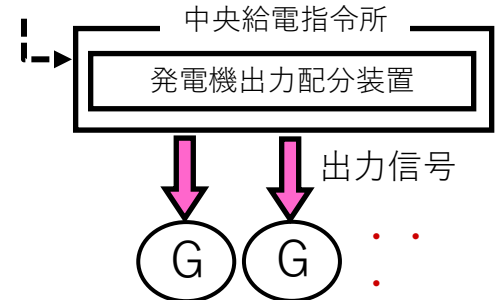
系統周波数



経済負荷配分(EDC)
(Economic Dispatch Control : EDC)

中央給電指令所で需要予測に対する最適な運転出力を計算し、各発電機に出力信号を個別に自動送信する。

需要予測



需給調整市場の商品

一次

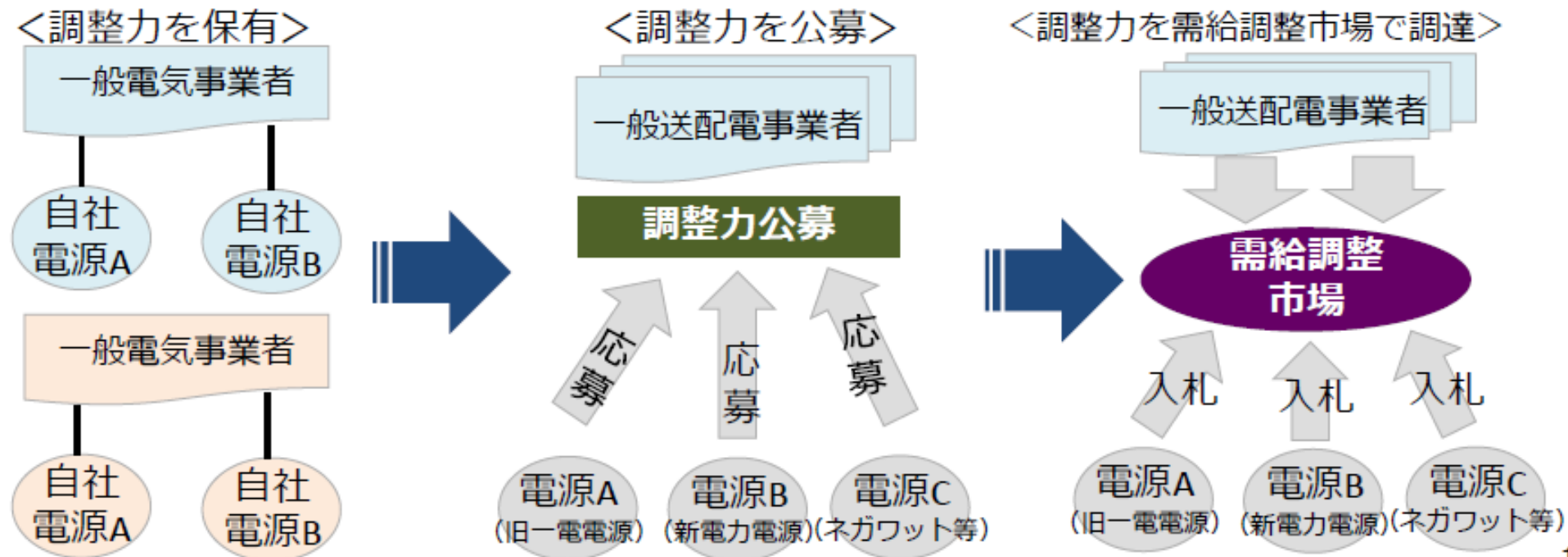
二次①

二次②・三次①②

3 - 2 需給調整市場の創設

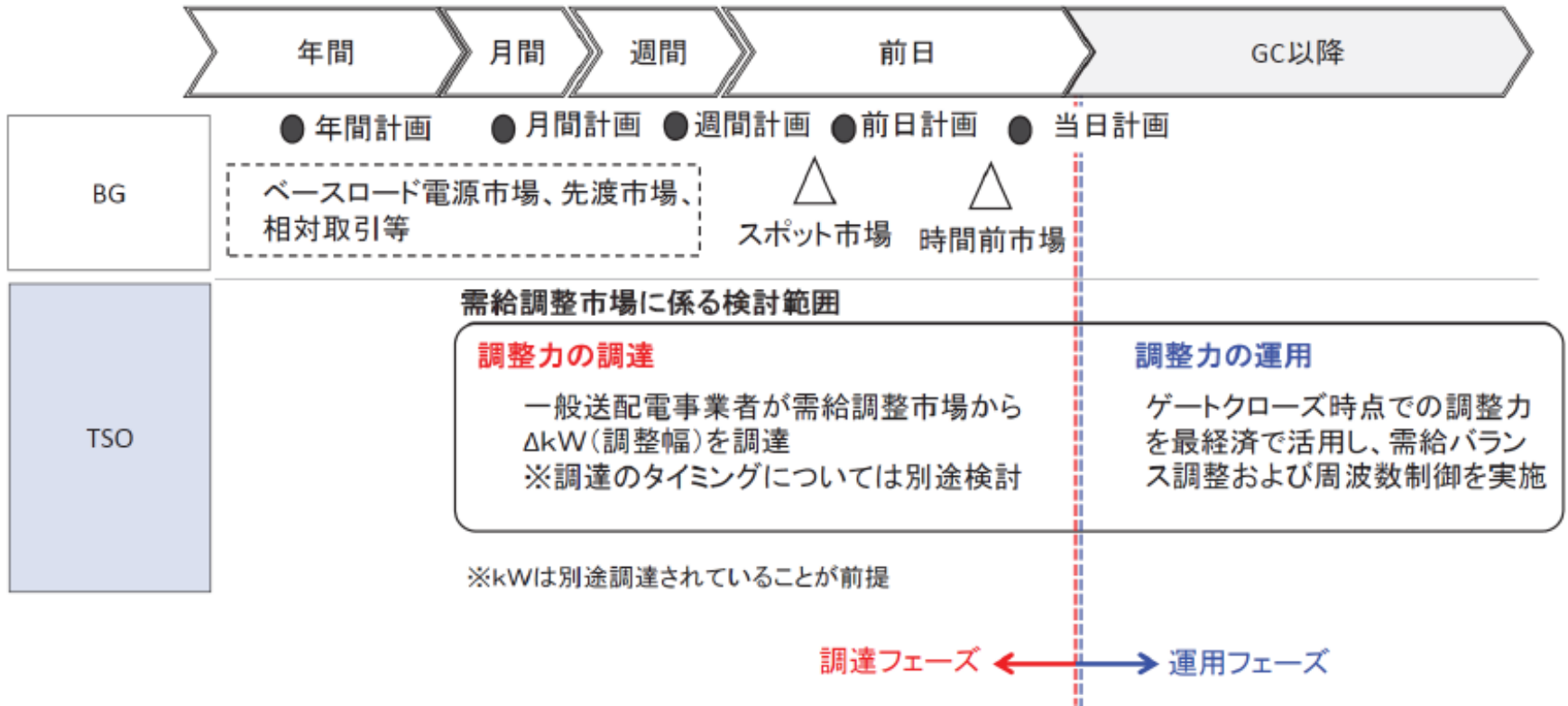
- 公募調達から需給調整市場へ
- 年間公募から日々の調達に
- 特定の機能をもった新たなリソースの参入を可能に（商品細分化）
- 連系線をまたいだ広域的調達を可能に

【調整力の調達手法のイメージ】

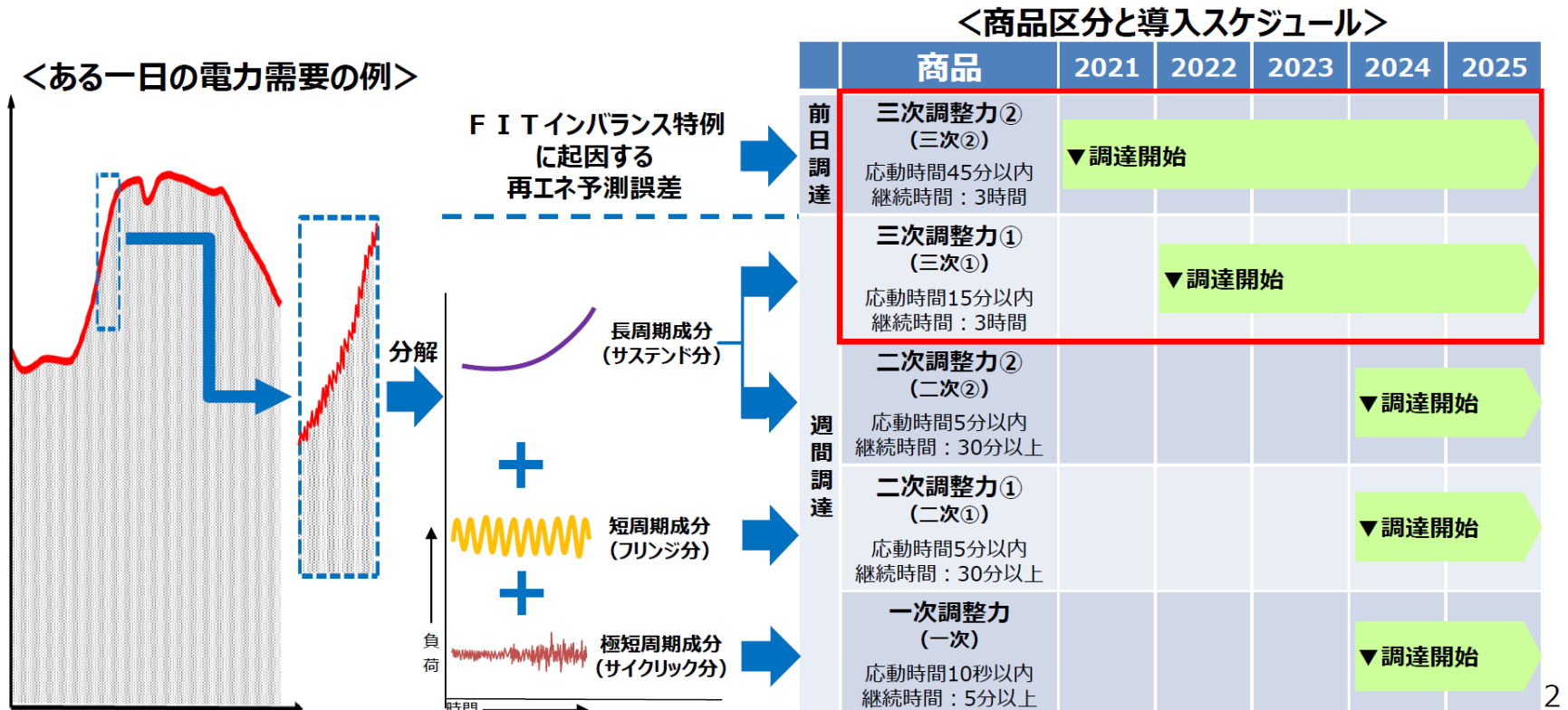


(参考) 需給調整市場における調達と運用の二つのフェーズ

- 調整が必要な量（発生する変動）はあらかじめ分からない。需給調整市場は二つのフェーズに分かれ、それぞれ精算
- 調達：出力を調整できる状態であらかじめ確保（ ΔkW ）
- 運用：GC後の細かな指令に応じて発動（ kWh ）



需給調整市場で取り扱う商品と導入スケジュール



出典：「需給調整市場について」制度検討作業部会第83回，資料3，2023年7月31日

(参考) 需給調整市場における商品の要件

	一次調整力	二次調整力①	二次調整力②	三次調整力①	三次調整力②
英呼称	Frequency Containment Reserve (FCR)	Synchronized Frequency Restoration Reserve (S-FRR)	Frequency Restoration Reserve (FRR)	Replacement Reserve (RR)	Replacement Reserve-for FIT (RR-FIT)
指令・制御	オフライン (自端制御)	オンライン (LFC信号)	オンライン (EDC信号)	オンライン (EDC信号)	オンライン
監視	オンライン (一部オフラインも可※2)	オンライン	オンライン	オンライン	専用線：オンライン 簡易指令システム：オフライン
回線	専用線※1 (監視がオフラインの場合は不要)	専用線※1	専用線※1	専用線※1	専用線 または 簡易指令システム
応動時間	10秒以内	5分以内	5分以内	15分以内※3	45分以内
継続時間	5分以上※3	30分以上	30分以上	商品ブロック時間(3時間)	商品ブロック時間(3時間)
並列要否	必須	必須	任意	任意	任意
指令間隔	－ (自端制御)	0.5～数十秒※4	1～数分※4	1～数分※4	30分
監視間隔	1～数秒※2	1～5秒程度※4	1～5秒程度※4	1～5秒程度※4	1～30分※5
供出可能量 (入札量上限)	10秒以内に 出力変化可能な量 (機器性能上のGF幅 を上限)	5分以内に 出力変化可能な量 (機器性能上のLFC幅 を上限)	5分以内に 出力変化可能な量 (オンラインで調整可能 な幅を上限)	15分以内に 出力変化可能な量 (オンラインで調整可能 な幅を上限)	45分以内に 出力変化可能な量 (オンライン(簡易指令 システムも含む)で調整 可能な幅を上限)
最低入札量	5MW (監視がオフラインの場合は1MW)	5MW※1,4	5MW※1,4	5MW※1,4	専用線：5MW 簡易指令システム：1MW
刻み幅 (入札単位)	1kW	1kW	1kW	1kW	1kW
上げ下げ区分	上げ/下げ	上げ/下げ	上げ/下げ	上げ/下げ	上げ/下げ

※1 簡易指令システムと中給システムの接続可否について、サイバーセキュリティの観点から国で検討中のため、これを踏まえて改めて検討。

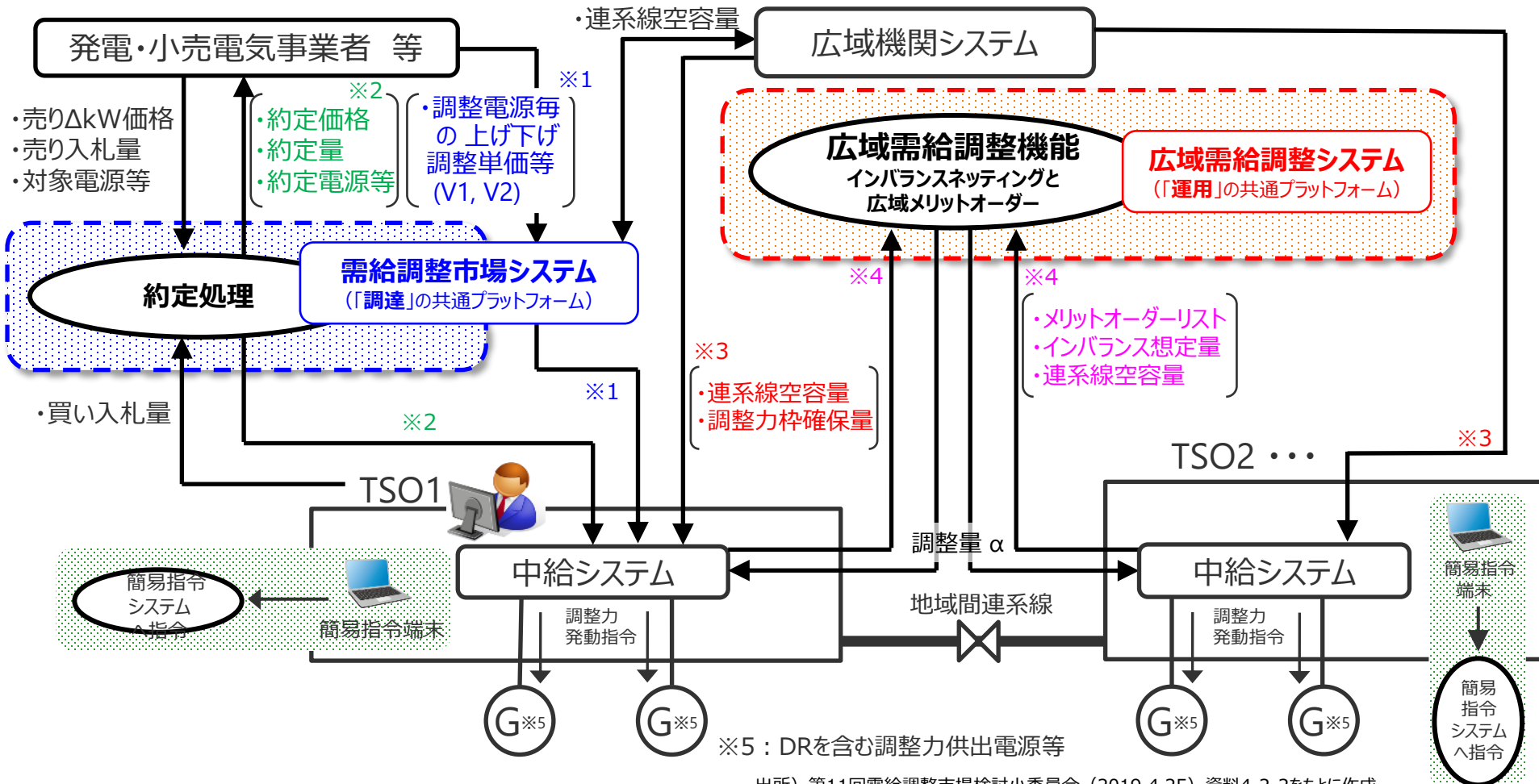
※2 事後に数値データを提供する必要あり(データの取得方法、提供方法等については今後検討)。

※3 沖縄エリアはエリア固有事情を踏まえて個別に設定。

※4 中給システムと簡易指令システムの接続が可能となった場合においても、監視の通信プロトコルや監視間隔等については、別途検討が必要。

※5 30分を最大として、事業者が収集している周期と合わせることも許容。

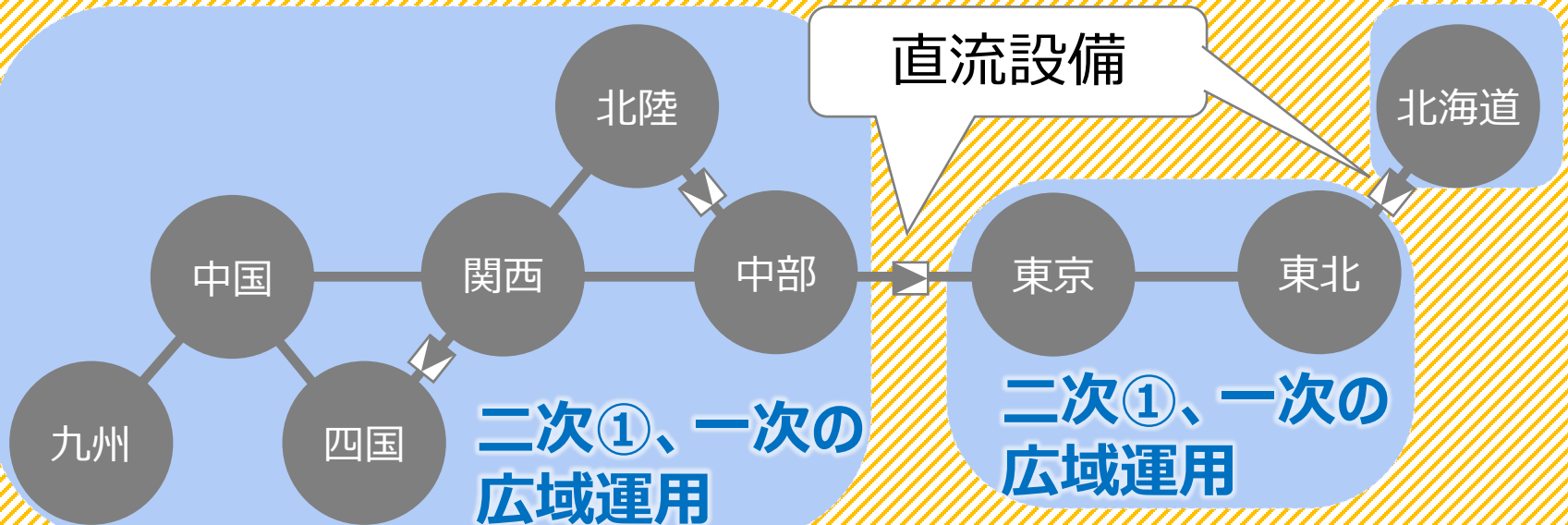
- 需給調整市場での調達、および、調整力の広域的な運用ため、「調達」と「運用」の二つのプラットフォームを設置する。



(参考) 広域運用の範囲

- 地域間連系線が直流設備の場合、両端のエリアの調整力発動量を調整するだけでは調整力を広域運用することができない
- 運転制約事項を踏まえて直流設備に潮流を配分、指令する必要がある、調整力の機能によって広域運用が可能な範囲に制約がある。

三次②、三次①、二次②の広域運用



3 - 3 需給調整市場の市場設計

- マルチプライスオークション
- 取引タイミング：需給調整市場一次，二次①，②，三次①は一週間前．三次②は前日（時間前市場の前）．
- 行為規制（需給取引市場ガイドライン）：市場支配力対策
 - 調整力kWh 市場
 - 予約電源以外（余力活用電源）：上げ調整のkWh 価格 \leq 当該電源等の限界費用 + 一定額，下げ調整のkWh 価格 \geq 当該電源等の限界費用 - 一定額，
 - 一定額 = 当該電源等の固定費回収のための合理的な額（当年度分の固定費回収が済んだ電源等については、一定額 = 限界費用 \times 一定割合）
 - 予約電源：「限界費用又は市場価格」以下
 - 調整力 Δ kW 市場
 - Δ kW 電源： Δ kW 価格 \leq 当該電源等の逸失利益（機会費用） + 一定額等
 - 一定額 = 当該電源等の固定費回収のための合理的な額（当年度分の固定費回収が済んだ電源等については、一定額 = 限界費用 \times 一定割合）とし、等は売買手数料とする。

3 - 4 需給調整市場の課題

- 調整力の調達不足

- 2024年4月より、需給調整市場の全商品の取引が開始されたものの、全商品において募集量に対する応札量の未達が発生した。またそれに伴う前日取引である三次②調達費用の高騰も大きな課題となった。また、特に一次、二次①においては依然として募集量と応札量の乖離が大きい。

250609_東京大学講義「調整力（セキュリティ）確保」r2.pdf

- 市場設計の課題

- 電力エネルギー市場（前日市場とインバランス料金）との関係での売り惜しみを避ける市場設計が必要。同時市場の検討が行われている。
- 調整力kWh市場価格とリアルタイム価格（インバランス料金）の整合性確保。
- 逼迫時プライシングの設計：市場支配力対策との整合性確保。バックプロパゲーションの確保（リアルタイムの調整力 Δ kW市場）

4. その他アンシラリーサービスの調達

ブラックスタートの調達

無効電力の調達

ブラックスタートの調達

- ブラックスタート Black Start

- ブラックスタート電源は停電時に外部からの電気がなくても発電を開始できる電源.
- 発電機が発電をスタートさせるためには電力系統からの電気を使ってタービン発電機を回し始めなければならない。
ブラックアウト（全域停電）の場合には電力系統からの電気がないので、これができないために、ブラックスタート電源が必要.
- ブラックスタート電源の調達：従来は調整力公募による調達。2024年分からは容量市場における容量調達時期（実需給の4年前）と同年度に、年間公募により調達されるようになった（2020年調達・2024年度運用）。

<https://energy-shift.com/news/1abb6e93-8a56-43fb-a441-e9c41e456e9b>

無効電力の調達

- 無効電力 Reactive Power

- 電力 = 電流 × 電圧なので、電流と電圧がなるべく同期している必要。
- 様々な電力消費（エアコン等の中にあるモーター）は電流と電圧の位相をずらす。位相のズレを修正するために必要なのが無効電力。

- 無効電力は発電所で供給できるが有効電力を減らさなければならないので、機会費用が存在。また、変電所に設置してあるコンデンサや変圧器の中のコイルで無効電力を調整できる。

<https://criepi.denken.or.jp/koho/denki/index05.html>

- 無効電力を供給する電圧調整電源の確保が必要な場合には公募によって調達。北海道では実際に公募が行われている。

https://www.egc.meti.go.jp/activity/emsc_system/pdf/071_04_00.pdf

https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/2022/files/chousei_73_05_besshi.pdf

- 競争性の確保：無効電力は送電による損失が大きいため長距離は送れない。したがって、競争性の確保が難しいことがある。

[Principles for Efficient and Reliable Reactive Power Supply and Consumption](#), FERC 2005

“Reactive power does not travel over long distances at high line loadings due to significant losses on the wires”