

競争的な Δ kW市場とkWh市場における 需要予測誤差の影響に関する 簡易モデル分析

2023/9/5

電気学会 電力・エネルギー部門大会（第34回）

小川 祐貴・山下 英俊

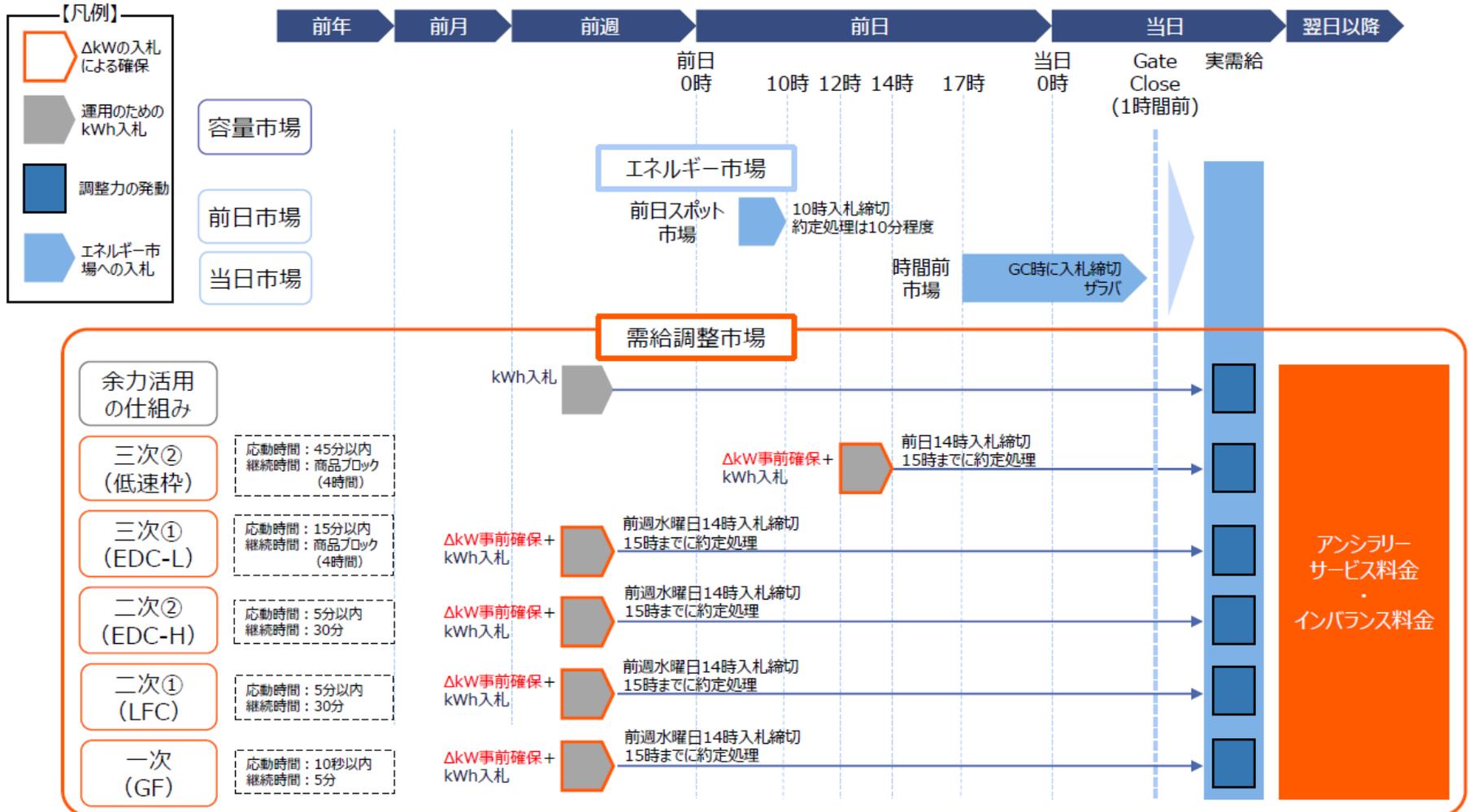
yuki.ogawa@e-konzal.co.jp

※本研究はJSPS科研費 JP20H00649の助成を受けたものです



- 系統運用に必要な柔軟性調達の市場化進展
= 需給調整市場の整備
- 国内では実需給の1週間前に需給調整市場を実施
 - 海外では前日～リアルタイムに実施するケースも
- 実需に近い時点での需要・VRE供給量予測は
予測誤差がより小さい=より精度が高い
- より精度が高い予測に基づいて柔軟性を調達することにより経済合理的に柔軟性を確保できる
のではないか

国内電力市場の取引スケジュール



制度検討中

市場開設済

	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	オンライン
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 または 簡易指令システム	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	45分以内
継続時間	5分以上	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※3	数秒~数分※3	専用線：数秒~数分 簡易指令システム：5分※5	30分
監視間隔	1~数秒※2	1~5秒程度※3	1~5秒程度※3	専用線：1~5秒程度 簡易指令システム：1分	1~30分※4
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※1,3	5MW※1,3	専用線：5 MW 簡易指令システム：1 MW	専用線：5 MW 簡易指令システム：1 MW
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有り (データの取得方法、提供方法等については今後検討)。

※3 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。

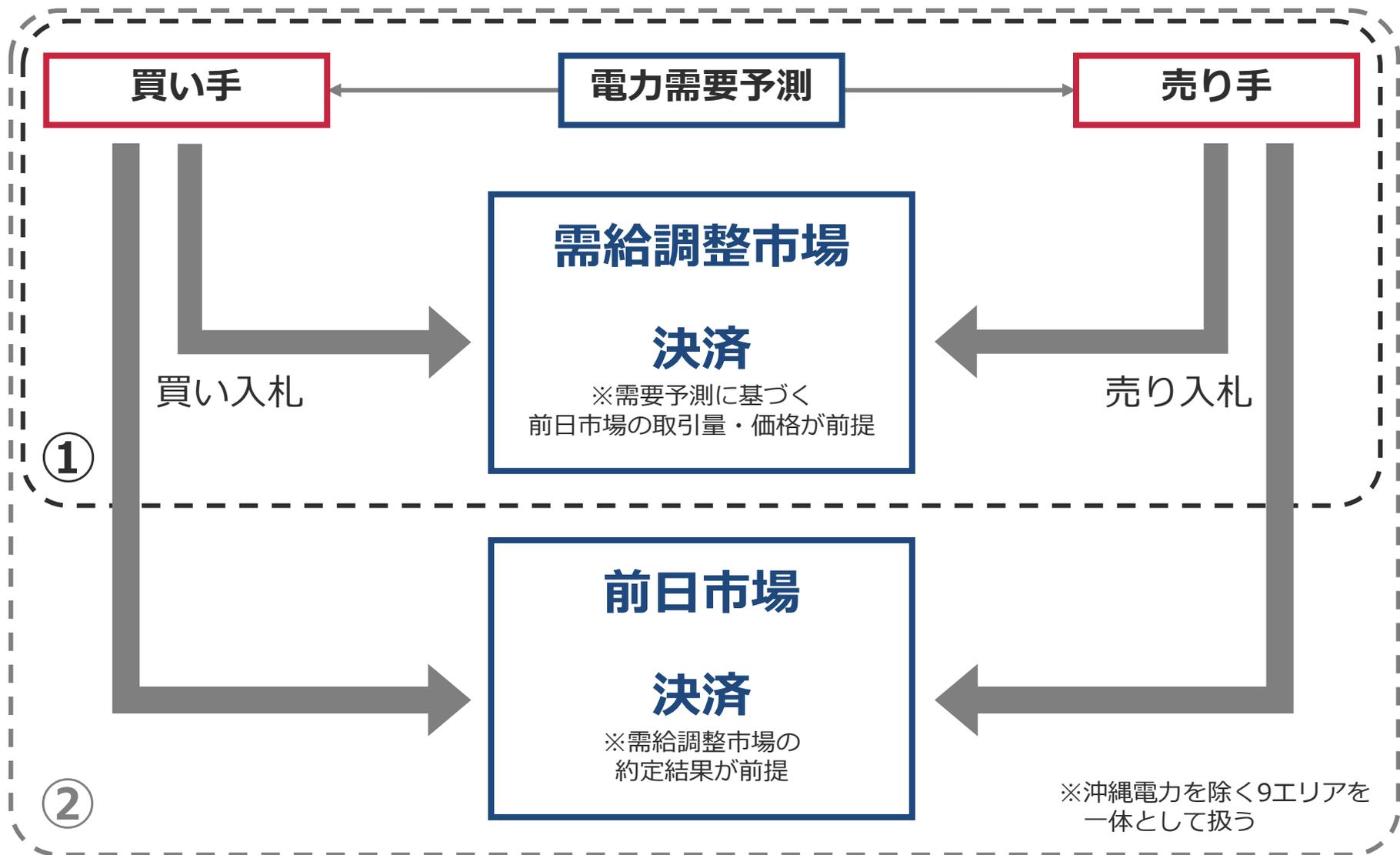
※4 30分を最大として、事業者が収集している周期と合わせることも許容。

※5 簡易指令システムの指令間隔は広域需給調整システムの計算周期となるため当面は15分。

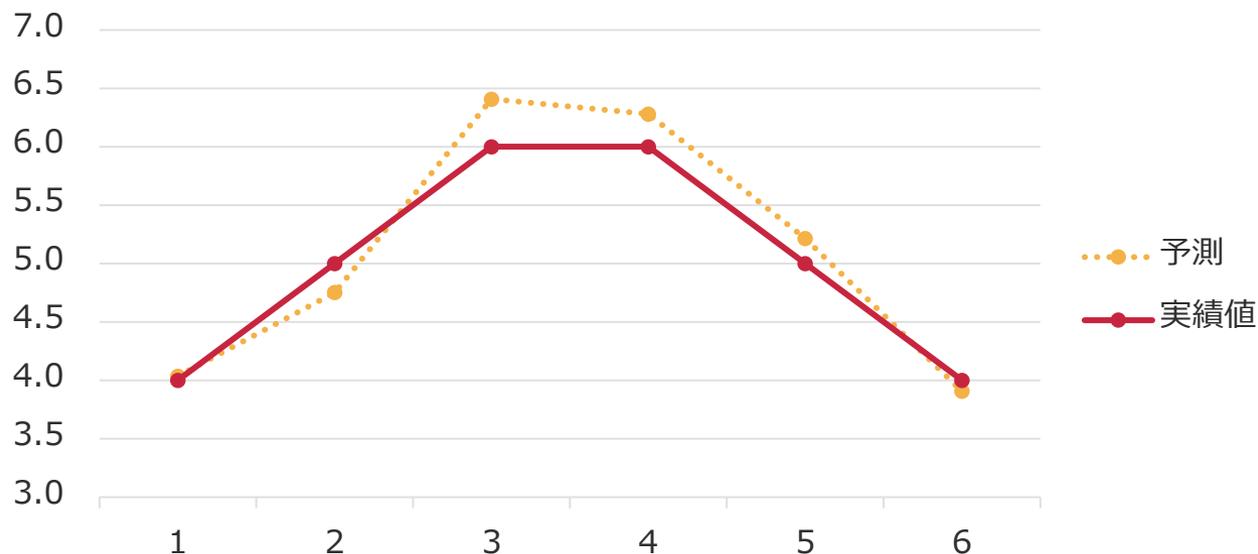
注) 全ての商品において、商品ブロック単位 (3時間/ブロック) で取引される。

出所：第24回需給調整市場検討小委員会資料2 (2021)

https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/jukyuchousei/2021/2021_jukyuchousei_24_haifu.html



- 実需時点の前日市場には実績データ（2021年）を与える
↔ 需給調整市場取引時の前日市場に誤差があるデータを与える
 - 実績データは1時間単位／前日市場は30分単位のため、1時間単位の実績データを2分したものを30分単位の需要として処理
- 誤差は「平均絶対誤差率」で与え、正負はランダム
 - 誤差率の分布：正規分布
- **予測誤差の与え方：コマごとに異なる誤差率**



■ 行動原理：利潤中立

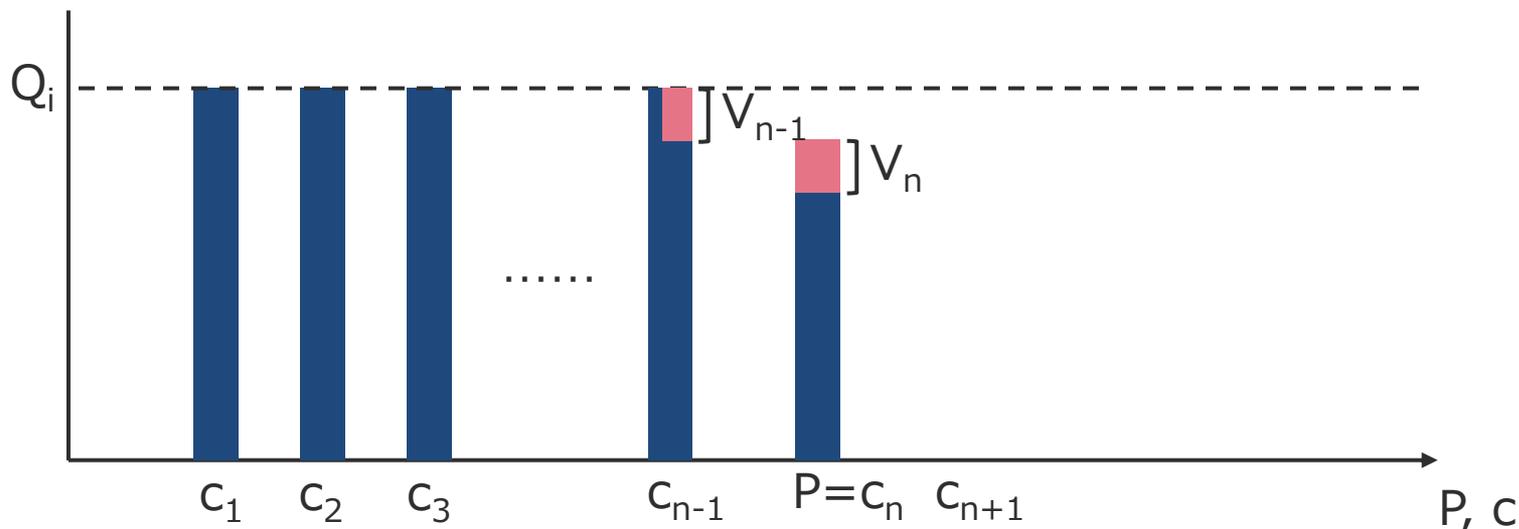
■ 需給調整市場の入札関数：

$$AB_{iu}(P_{et}, P_{bu}, c_i, Q_i, V_i, q_{it})$$

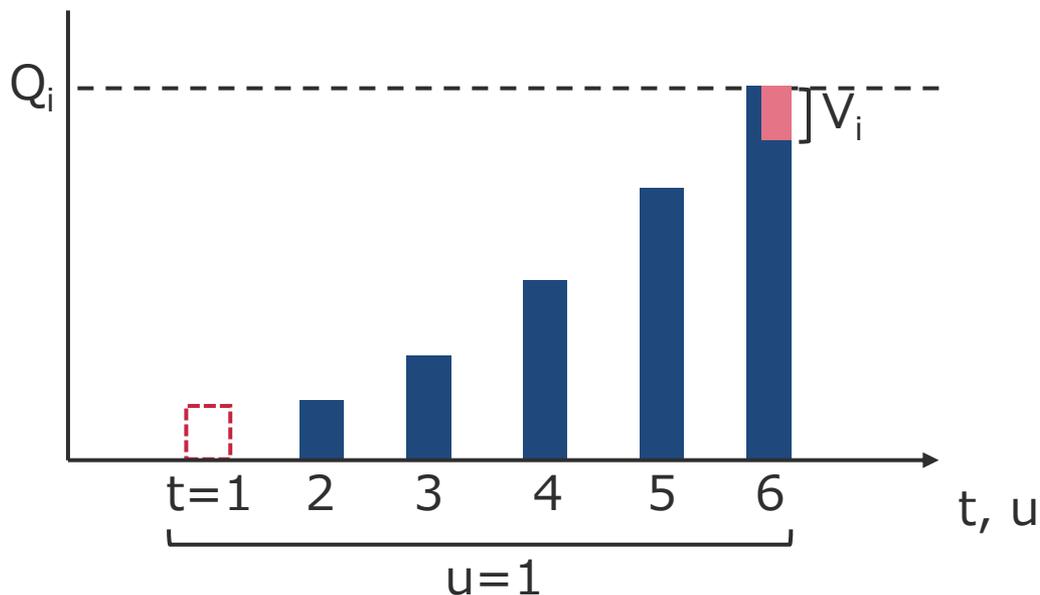
- 上げ下げ一体での入札 = 対象時間帯における前日市場の供給量が下げの制約条件
- 前日市場での供給量 = 最大出力：前日市場約定価格 - 限界費用 = 機会損失と考え、機会損失と等しい価格で供給
- **0 < 前日市場での供給量 < 最大出力**：落札されればどのような価格でも追加的な収入になる
- 前日市場での供給量 = 0：対象時間帯において最低出力で運転した場合に、需給調整市場約定価格 + 前日市場約定価格 - 限界費用 = 0となる価格で入札
- 対象時間帯における供給量、前日市場約定量によって制約
- 指令を受けて発動する場合は限界費用で補償されると想定し、本分析では考慮せず（利潤中立を仮定）

変数等	内容
t	前日市場の時間コマ
u	需給調整市場の時間コマ
i	発電ユニットID
e	前日 (kWh) 市場
b	需給調整 (Δ kW) 市場
$AB_{iu}()$	発電ユニットの入札関数 (需給調整市場)
V_i	発電ユニットの Δ kW供給可能量
q_{it}	発電ユニットの供給量
Q_i	発電ユニットの最大出力
c_i	発電ユニットの限界費用
P_{et}	前日市場の約定価格
P_{bu}	需給調整市場の約定価格

- kWh/ Δ kWの需要量を提示し、売り入札のうち価格の安いものから約定 = プライステーカー
- 前日市場：単一価格 = Pay as Cleared
- 需給調整市場：マルチプライス = Pay as Bid



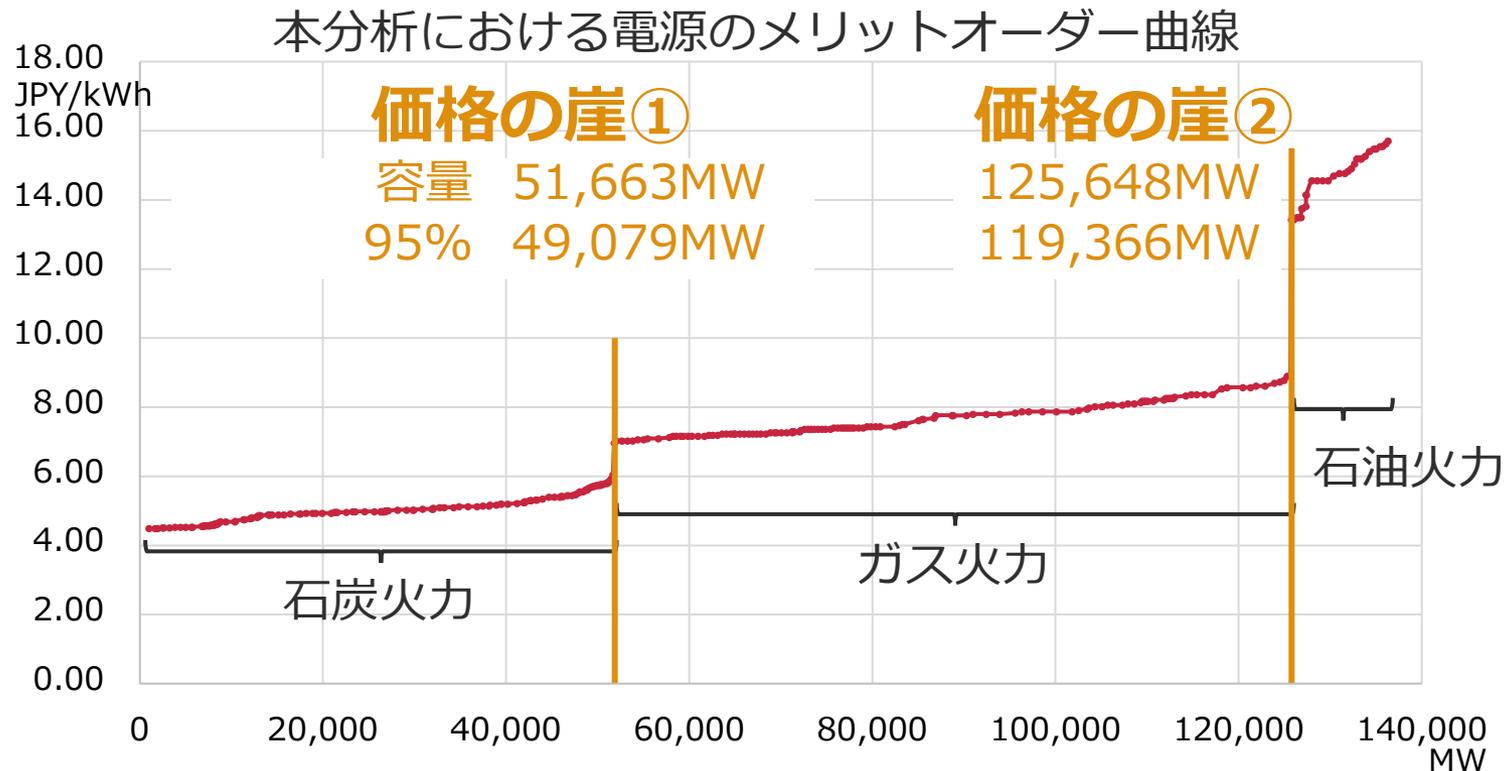
- V_n だけでは需給調整市場の需要を満たさない
 - ユニットn-1から ΔkW を供出：価格 $P - c_{n-1}$
 - 不足するとさらに安い電源から ΔkW を供出
- ΔkW 供出によりユニットn-1等は前日市場への供出量減少
 - ユニットnの出力増だけで対応できなければn+1を起動
 - n+1起動により需給調整市場における約定結果も変化する可能性



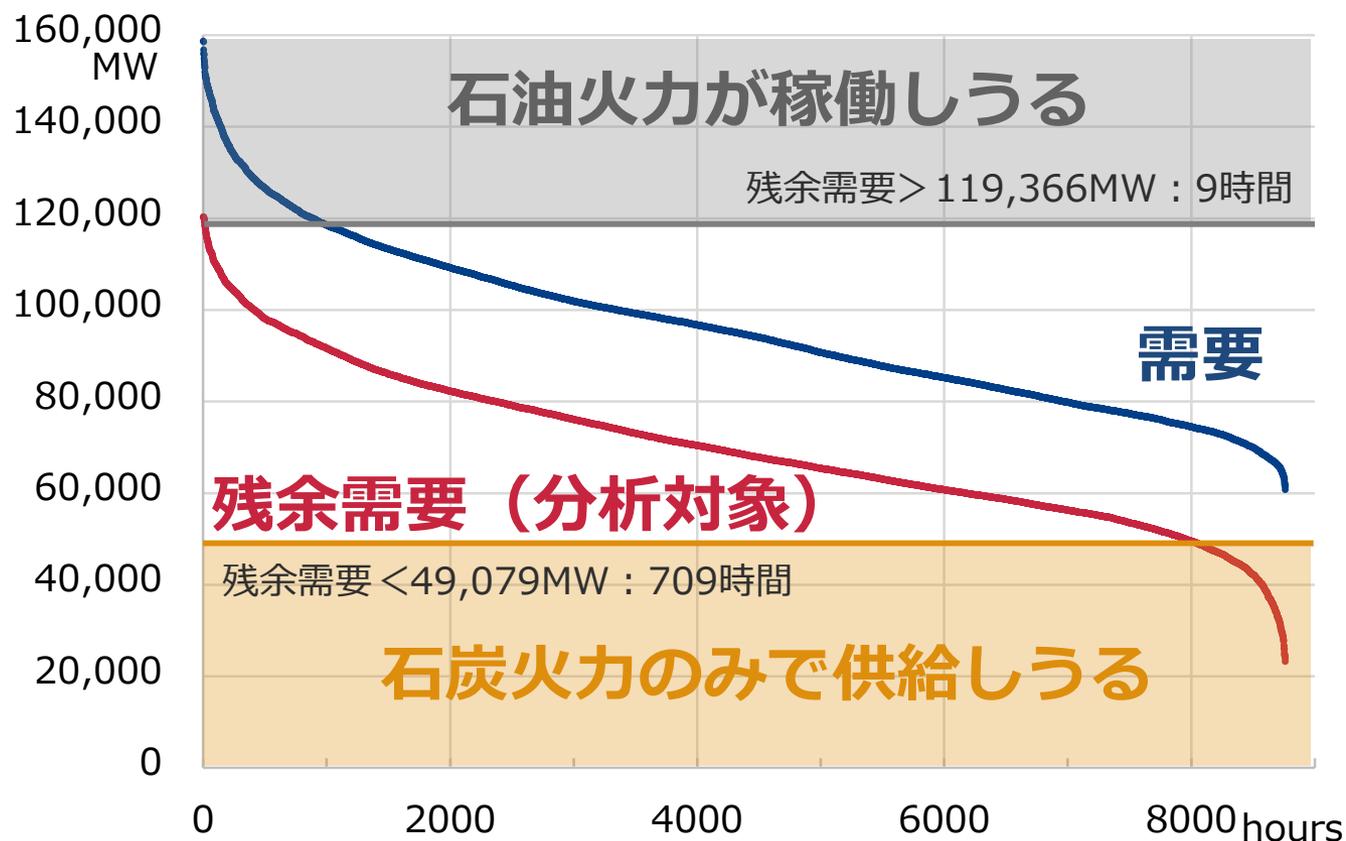
- $t=2\sim 6$ では V_i 供出可能、 $t=1$ では $q=0$ なのでそのままでは供出不可
 - $u=1$ に対する入札価格は $\{(c_i - P_{e_1}) \times (q_i=0 \text{ のコマ数}) + P_{e_6} - c_i \times (q_i=Q_i \text{ のコマ数})\} / 3$ とし、需給調整市場で約定したら $t=1$ (前日市場) では価格0、供給量 V_i で入札

- 国内の火力発電所をリストアップし、個別にモデル化
 - 需給調整市場への供出可能量は設備容量の10%（一律）

燃料種	ユニット数	設備容量合計 (GW)	平均限界費用 (JPY/kWh)
石炭	149	51.7	5.04
ガス	131	74.0	7.67
石油	32	10.9	14.59



- 送配電事業者による需給実績データ（2021年度・1時間単位）から、火力以外の供給分を除いた残余需要を9社合算
 - 前日市場（DA）は30分単位：1時間単位の実績データを等分
 - 需給調整市場（BM）は3時間単位：30分×6コマの予測需要のうち**最大値に対し5%**の容量を調達



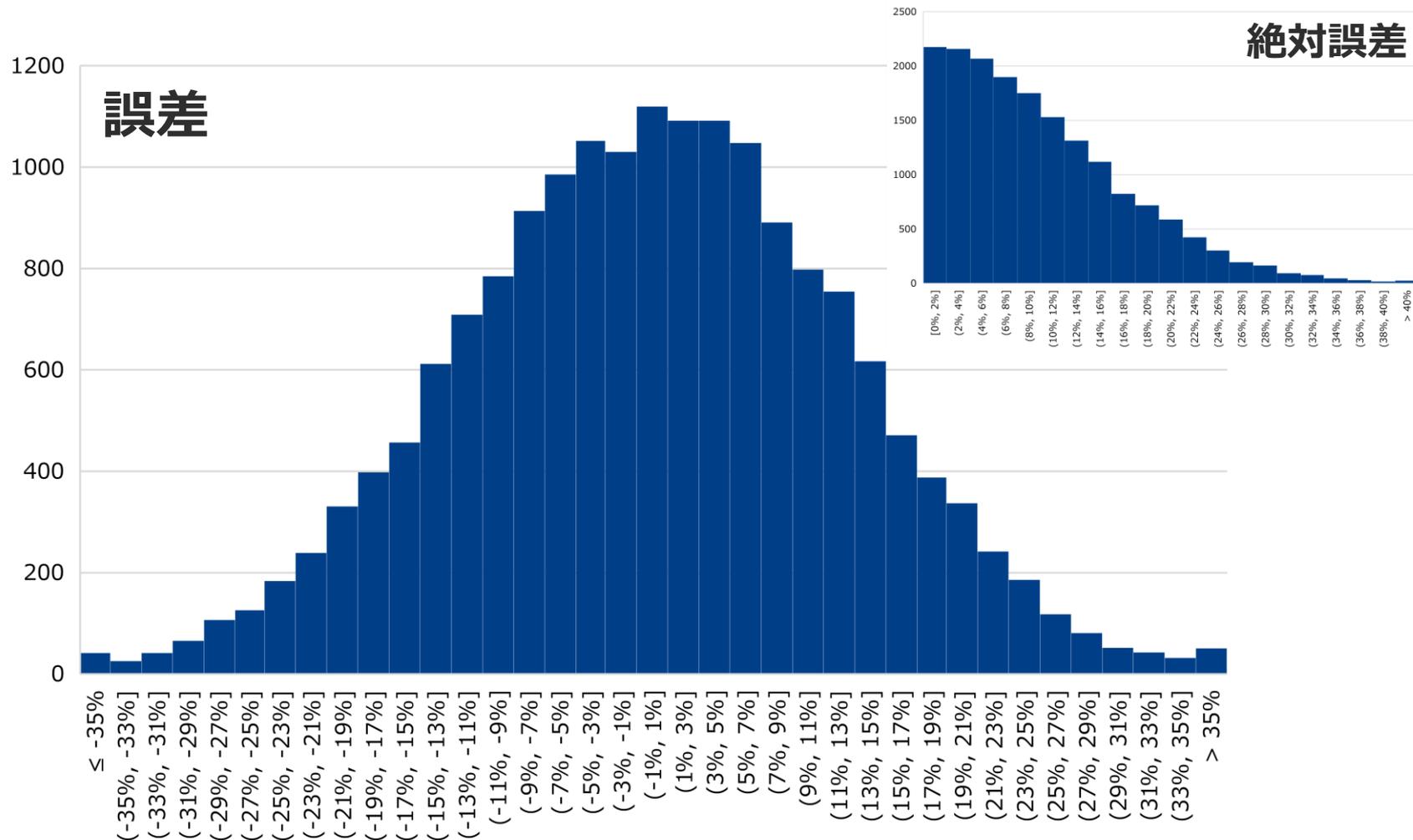
前日市場取引
年間**615**TWh

↑↓

2021年JEPX実績
年間**399**TWh
(約65%)

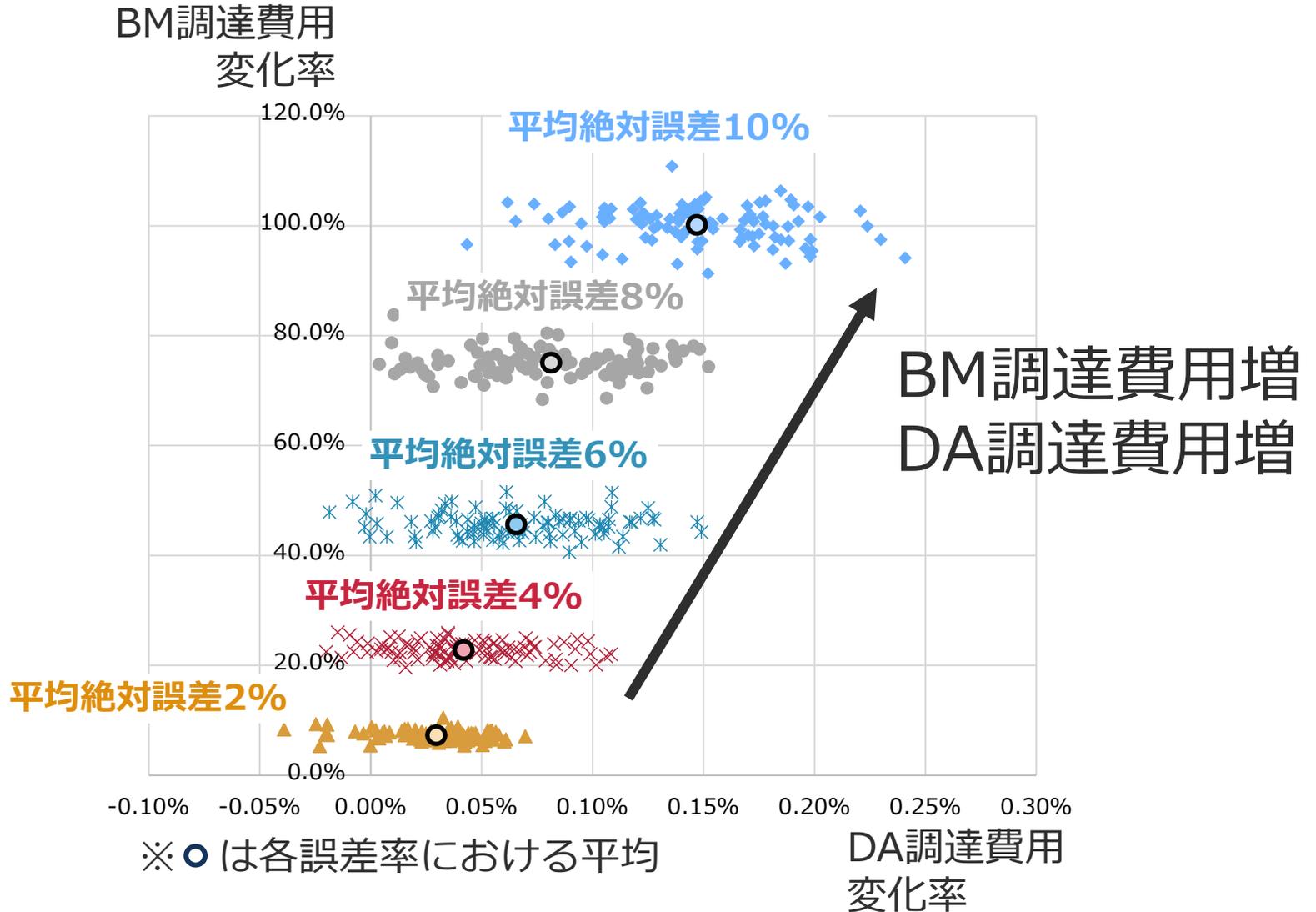
予測誤差の分布 (例)

※平均絶対誤差10%・正規分布・年間17,520コマ

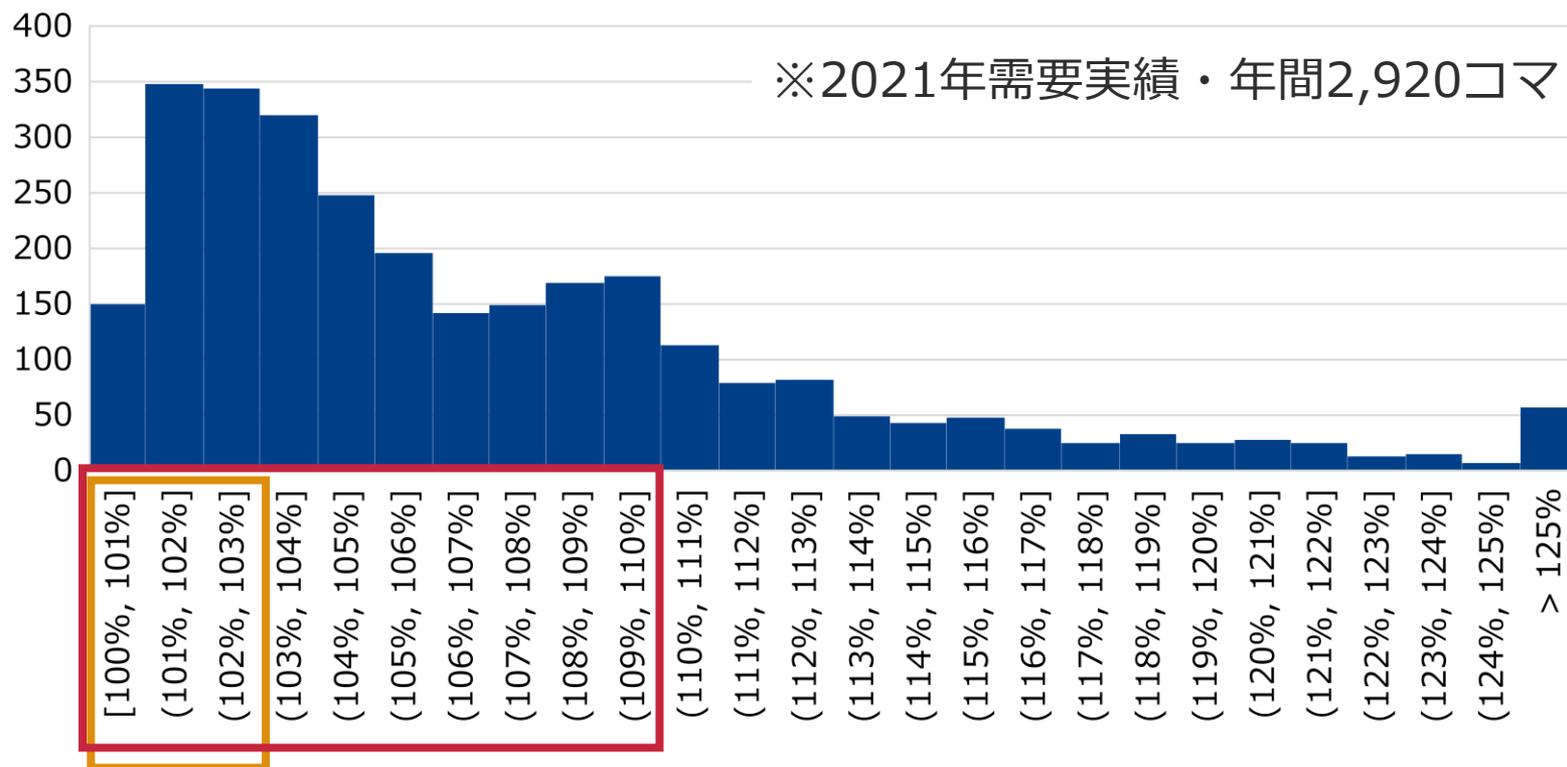


※平均絶対誤差2-10%のそれぞれについて誤差パターンを100通り検証

誤差率の差異による取引結果の変化



3時間毎の最大需要／最小需要の分布



差分割合3%未満 : 28.8% 10%未満 : 76.7%

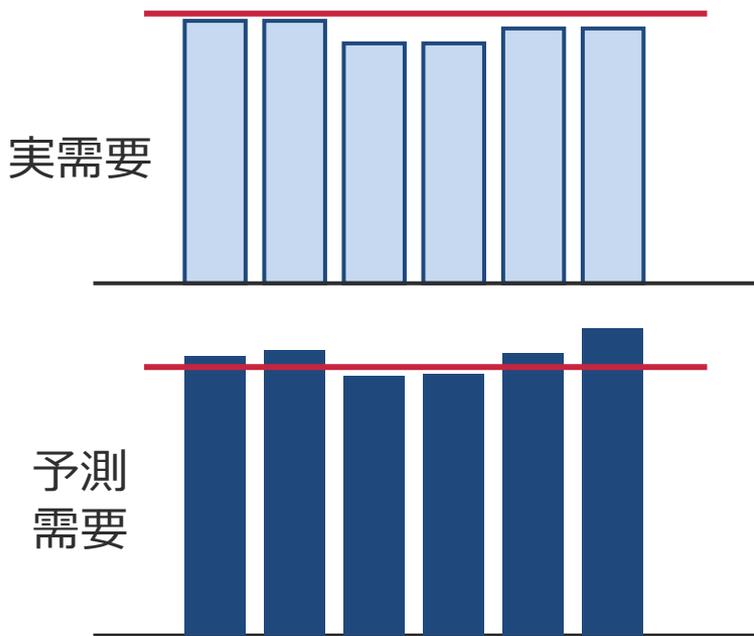
一定のプラス誤差で最大需要 = BM調達量が増加
相対的に小さなプラス誤差～マイナス誤差が6コマ揃った場合のみBM調達量減

予測誤差によりBM調達量が増加する傾向 (3時間毎の最大需要を参照するため)

BM調達量が増加したコマの割合例…平均絶対誤差3% : 87.7% 10% : 94.7%

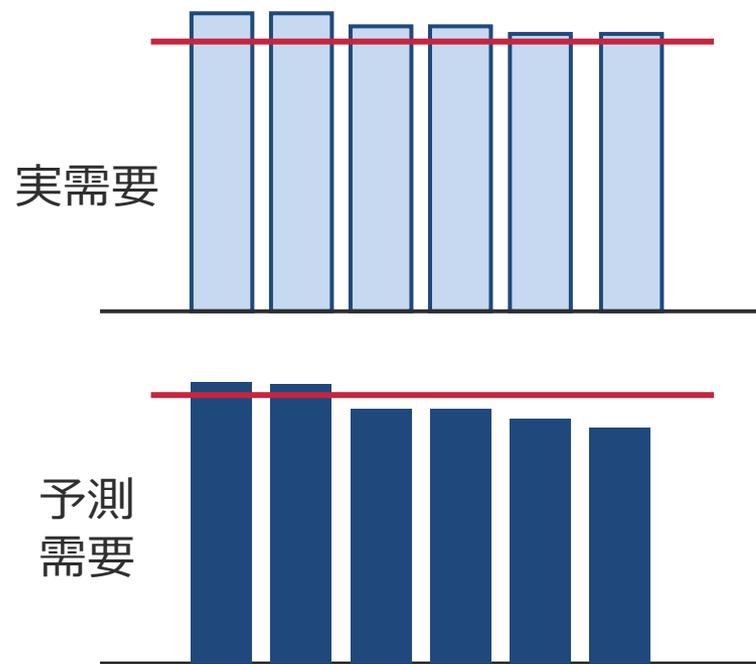
予測誤差が...

プラス傾向のケース



DA価格（予測）：↑
機会費用としてのBM価格：↑

マイナス傾向のケース



DA価格（予測）：↓
機会費用としてのBM価格：↓

BM市場で1コマとして扱われる3時間（30分×6）でより強い効果を反映した価格に

[実需要と価格の崖][予測需要と価格の崖]の大小関係が異なると価格変化大

■ 予測誤差によりBM調達量が過剰

- BM落札分は上げ調整力確保：前日市場への供出量↓（最大10%）
- 予測誤差なしのケースと比較して、より限界費用が高い電源が落札され、前日市場価格 ↑
- BM落札分は価格0でDAに入札
- 予測誤差なしのケースと比較して、メリットオーダー曲線が右に移動し、前日市場価格 ↓
- 価格上げ要因と下げ要因のいずれが支配的となるかは「価格の崖」との関係性に異存
 - 特に崖②を前後する場合に予測誤差の影響大
 - 予測時点でDAに石油落札見込み→崖②上DA価格前提のためBM価格↑・DAに価格ゼロで入札→実需DAではBM落札分価格ゼロの石油入札・限界費用の石油落札されずで崖②下DA価格に
 - 予測時点でDAは石油落札なし見込み→崖②下DA価格前提のためBM価格↓→実需DAで予測より需要増・DAで石油落札あり・崖②上DA価格に

■ BM調達量が過小：上記と逆の影響経路

- より精度の高い予測を用いることで費用効率的に ΔkW を調達できる
 - 対象時間帯における最大需要を基準に ΔkW を調達する場合、予測誤差が大きくなるほど ΔkW の過剰調達に繋がる
- より精度の高い予測を用いることでkWhの調達もより費用効率的に
 - ΔkW を効率的に調達することで前日市場に投入される電源が増加、より限界費用が高い電源が約定しないことでkWh価格も低減
- より精度の高い予測に基づいた費用効率的な需給調整市場運用のため、需給調整市場での約定処理をより実需に近づけることが有効となる可能性