

需給調整市場システムにおける 複合約定ロジックの検討状況について (プロト検証最終報告)

2023年3月28日

送配電網技術・運用委員会

- 第32回(2022.9.26)ならびに第34回(2022.12.14)の本委員会で、現在開発中の複合約定ロジックに係る3rdプロトまでの検証結果を報告し、今後の対応方針等について確認した。
- プロトタイプによる検証は、全4回中、4thプロトまで完了。本日は、3rdプロトまでの残課題となった最適化計算の処理時間等について報告する。

	項 目	今後の対応方針	報告状況
①	入札時刻優先ルール の扱いについて	同一価値の札があった場合でも入札時刻優先ルールを複合約定ロジックに適用しないことを確認	第32回
②	一次調整力オフライン枠の柔軟な約定の実現の見通しについて	一次調整力オフライン枠における柔軟な約定の適用は、3 rd ,4 th プロト検証結果を踏まえ、引き続き実現性を確認 → 本日も報告	第32回 第37回
③	商品間の重複量を考慮したロジックの見直しについて	商品間の重複量も考慮した個別商品の適切な配置を実現するため定式化を一部見直す	第34回
④	最適化計算の処理時間に係る検討	4 th プロトの検証と並列して対策案を検討していく 本日も報告	第34回 第37回

1. 4thプロトの検証数と発生課題

2. 4thプロト性能検証結果(④最適化計算の処理時間に係る検討)

2-1. 4th プロト性能検証ケースの概要

2-2. 4th プロト性能検証結果

3. 4th プロト検証結果を踏まえた追加対策の検討(④最適化計算の処理時間に係る検討)

3-1. さらなる求解向上に向けた検討

3-2. #5並列処理化

3-3. #2柔軟性を持たせたオフライン枠の約定ロジック

3-4. #7準最適解の採用

3-5. 追加ハードウェアの取替え

3-6. さらなる求解向上に向けた検討結果

3-7. 想定入札数

3-8. 計算打ち切り時間と約定時間

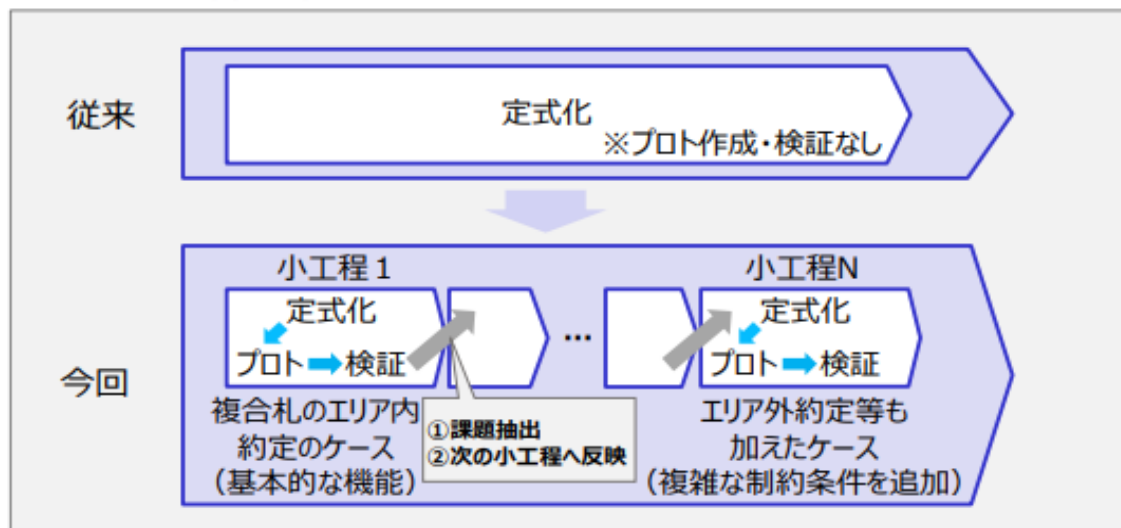
4. まとめ

- 複合約定ロジックは、世界に類を見ない約定ロジックであることから、プロトタイプを作成・検証を繰り返すアジャイル的※手法を採用。

※計画→設計→実装→テストといった開発工程を、機能単位の小さいサイクルで繰り返す手法で、一般的に仕様変更にも強く、プロダクトの価値を最大化することに重点を置いた開発手法

- 開発期間が限られる中、可能な限り早期に課題を抽出可能にし、定式化と検証を効果的に行う観点から、開発方法は従来とは異なる「プロトタイプを用いての評価・改善を繰り返しながらシステム設計を行う手法」※を採用。
- 2021年度の個別検討に携わった専従チームを引き続き確保・増強し、最大限の開発体制を構築。
- 今後、検討・開発の進捗状況は都度、広域機関、国に報告させていただく予定。また、課題が生じた場合には、速やかに報告させていただき、対応方針等について相談しつつ開発を進めてまいりたい。

※システム設計での開発手法のイメージ



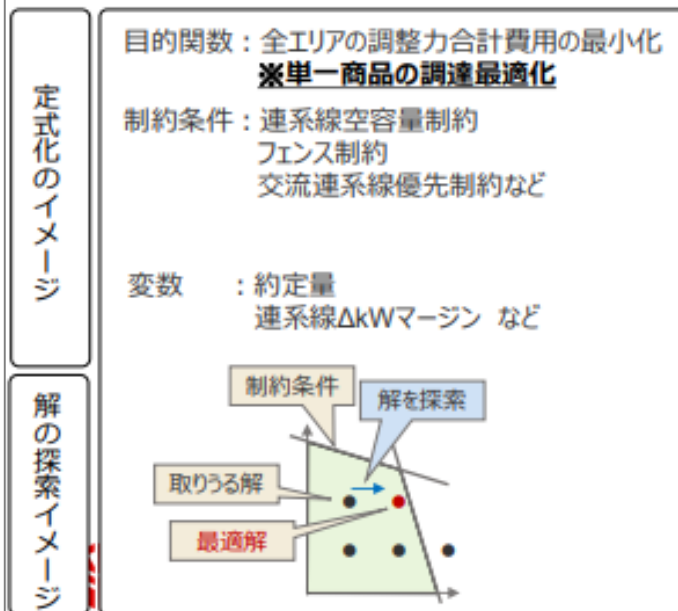
送配電網協議会

©Transmission & Distribution Grid Council

2 検討結果

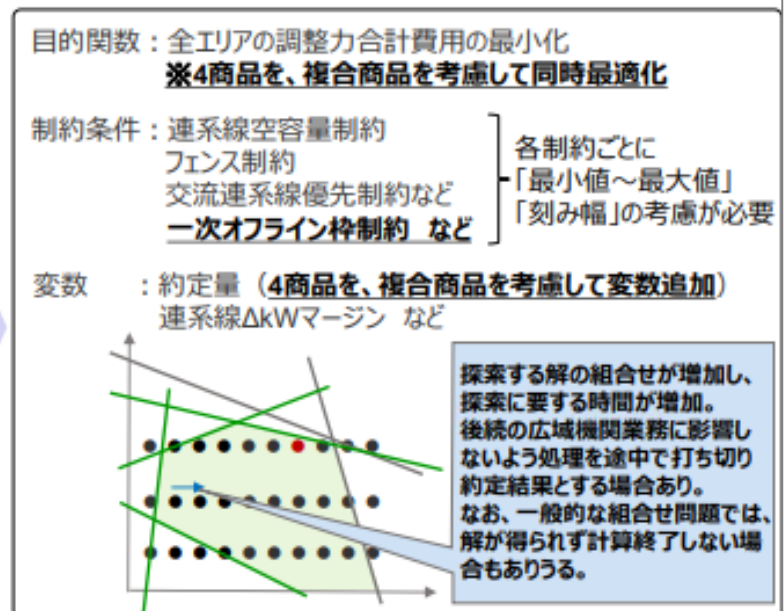
- 約定処理では、複数の制約条件を同時に満たし、かつ最経済となる組合せを商用ソルバを用いて探索する。
 - 複合約定は、商品や制約条件（変数）の組み合わせが多くなり、**計算量が指数関数的に増加**。
 - 所定時間内の約定処理を実現するため、システム設計期間中は「**定式化の改善**」が必要。
 - **多様なケースの検証**を通じて定式化の再検討・再構築が必要となる見込み。
 - **複合札のエリア外約定**については、**商品の域外調達可否や ΔkW マージンの確保方法の条件も加わり、更に定式化が複雑**となる。

＜現行のMMSの約定処理＞



制約条件、
変数が増加

＜2024年度向け対応後＞



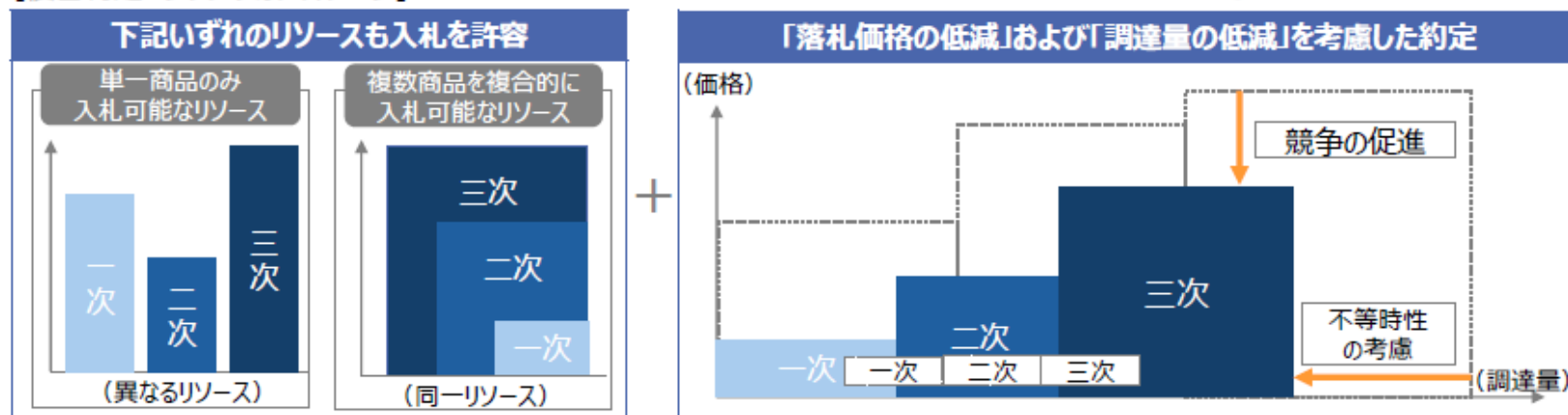
調達コストの低減を目的とした複合約定ロジックの導入について

10

- 前述の通り、単一のリソースで複数商品に入札可能なリソースについては、複合的な入札を許容することで、不等時性を考慮した調達が可能となり、調達量合計の低減、ひいては調達コストの低減に寄与することが考えられる。
- 他方、単一商品にのみ入札可能なリソースは、当該商品のみの落札となり商品の合成による調達量合計の低減とはならないが、商品毎の競争がより一層促進されることから、商品の細分化に関する考え方とも合致する。
- このことから、商品毎の必要量および不等時性を考慮した必要量を充足させることを前提に、**単一商品での入札および複数商品の複合入札の双方を許容し、落札価格が最も安価となるように、それら入札を最適に組み合わせる**考え方を「**複合約定ロジック**」として整理し、これを前提とした調達を実施することとしてはどうか。

【複合約定ロジックの導入イメージ】

※簡略化のため、二次①と二次②を「二次」、三次①を「三次」と表記



上記を最適化した考え方（複合約定ロジック）を導入した調達手法によりコスト最小化を実現

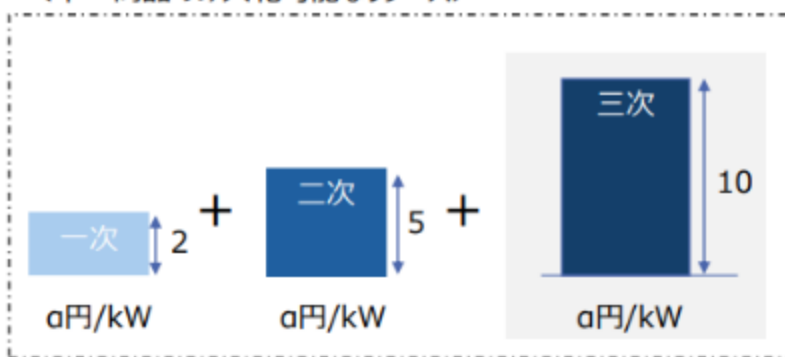
複合約定ロジックを導入することに伴う留意事項

13

- 前述の通り、複合約定ロジックにおいては、複数商品に入札可能なリソースと単一商品のみ入札可能なリソースの入札単価が同額の場合、調達量の低減によりさらなる調達コストの低減が図れることから、前者が約定される可能性が高くなるものと考えられる。
- そのため、一次～三次①の全ての機能を有する電源がより約定されやすくなることとなり、例えば、一次のみへの参入を希望するリソースについては、その場合、相対的に約定されにくい可能性があることから、今後の一次～三次①の必要量等の検討に合わせた複合約定ロジックの詳細評価の結果等も確認しつつ、必要に応じて国とも連携をして、検討を進めることとしたい。

※簡略化のため、二次①と二次②を「二次」、三次①を「三次」と表記

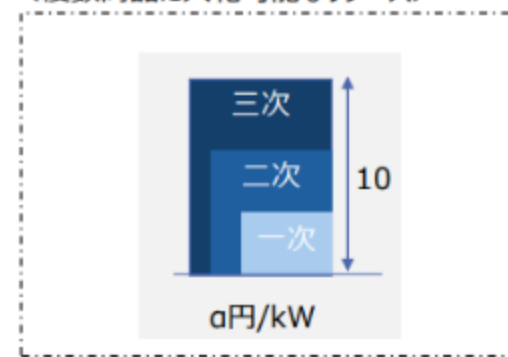
<単一商品のみ入札可能なリソース>



調達コスト： $a \times 17$

※入札単価が同額の場合の例

<複数商品に入札可能なリソース>



調達コスト： $a \times 10$

優先的に
約定される

【参考】不等時性を考慮した複合約定時の必要量

不等時性を考慮した複合約定時の考え方

37

- 各商品の必要量の考え方では、それぞれ別のリソースで対応できる必要量を算定した。各商品の必要量において、不等時性を考慮した必要量の合成値は、各商品の必要量の合計値より小さい値となる。そのため複数の機能を持つ調整力を複合して約定する場合の必要量は、不等時性を考慮した合成値で算定することとしてはどうか。

✓ 複合約定時の必要量： { 残余需要元データ※1 - (BG計画 - GC時点の再エネ予測値) } の3σ相当値※3
+ 単機最大ユニット容量の系統容量按分値※2

※1 残余需要1分計測データ

当該月の前後1か月を含めた3か月実績データを使用して月毎、商品ブロック毎に算定

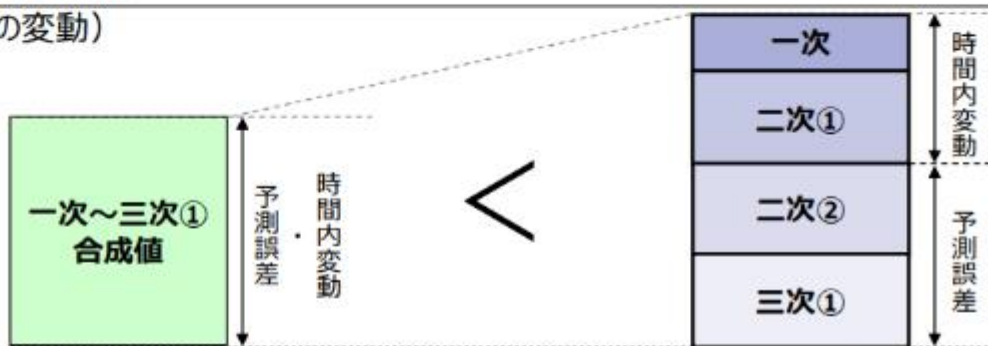
※2 当該週の50Hz及び60Hzにおける同一周波数連系系統の単機最大ユニット容量を系統容量をもとに按分

※3 「3σ相当値」：いわゆる、統計的処理を行った最大値。過去実績相当の誤差に対応できるように、過去実績をもとに統計処理した値。具体的には、99.87パーセンタイル値（全体10000個のデータの場合、小さい方から数えて9987番目の値）を使用。

- 複合約定時についても、一次から三次②と同様に、平常時の必要量は、各月別・商品ブロック別に必要量を算定してはどうか。事故時の電源脱落に対応する必要量は、当該週に稼働できる単機最大ユニット容量の系統容量按分値を、週を通して調達してはどうか。

(平常時の変動)

複数の機能を持つ調整力は同じ振幅を共用することができる。



①不等時性を考慮した必要量

②商品毎必要量の合計値

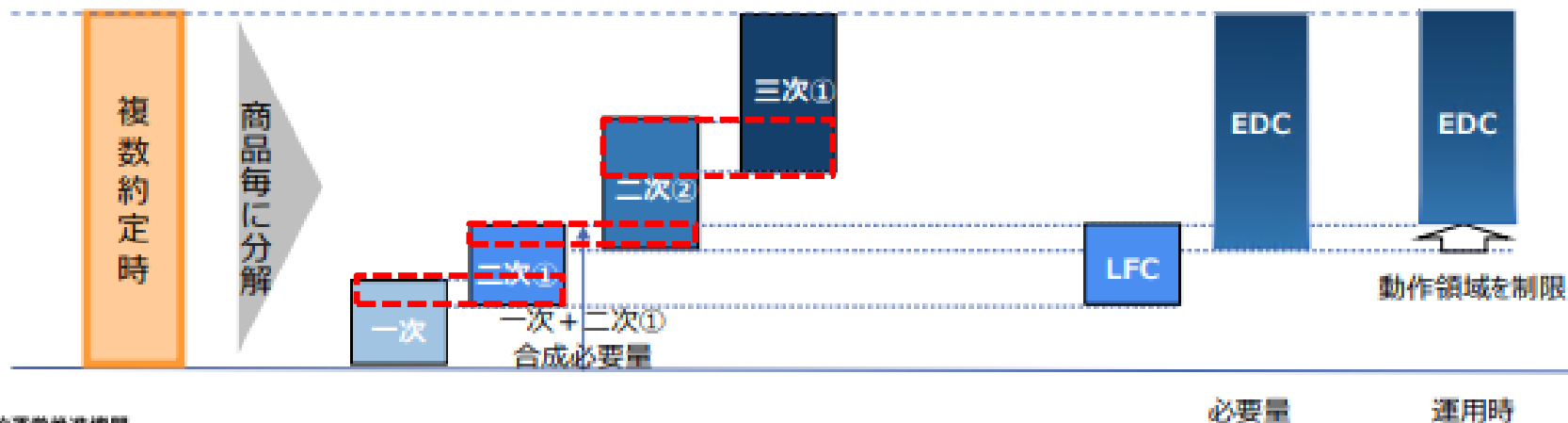
【参考】不等時性を考慮した複合必要量と商品別必要量の関係

- 商品間の重複量は、商品別の必要量と合成必要量の差分から算出。イメージは下の赤点線枠のとおり。

商品間の重複量は、商品別の必要量と合成必要量の差分から算出

(例) 一次と二次①の重複量

$(\text{一次必要量} + \text{二次①必要量}) - \text{一次・二次①合成必要量}$

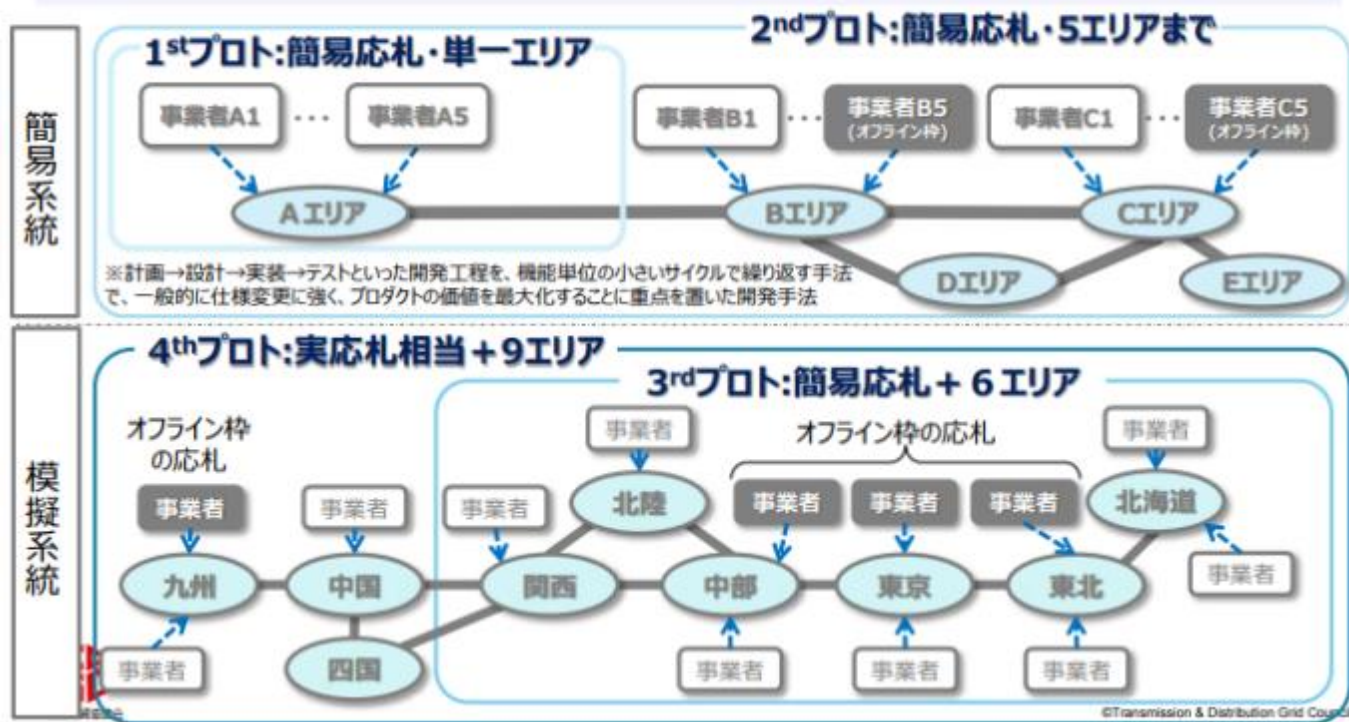


- 4thプロトでは9エリアを模擬し、より実態に近い環境下での課題の有無について、検証を実施した。

1. アジャイル的手法※を用いたプロトタイプ検証の進め方

11

- 1stや2ndプロトでは簡易的な応札ならびにシステムを用いたシンプルなケースから開始し、ロジックの根本に関わる大きな課題の有無について検証を実施しつつプロトの評価・改善を実施。
- 3rd, 4thプロトでは実システムを模擬し、より実態に近い環境下での課題の有無について、検証ケース数を増やして検証予定。

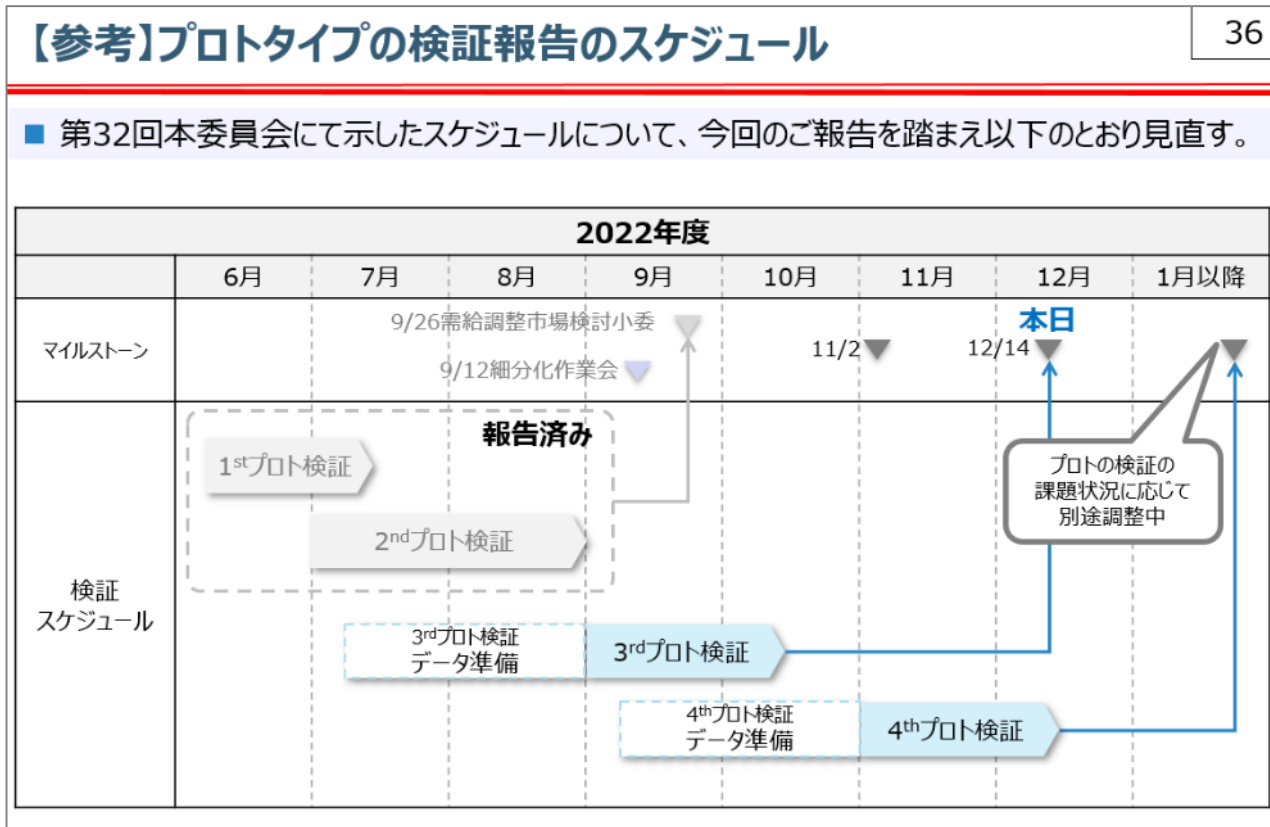


出所) 第32回需給調整市場検討小委員会 (2022.9.26) 資料5

https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/jukyuchousei/2022/files/jukyu_shijyo_32_05.pdf

【参考】プロトタイプ検証のスケジュール

- 第34回本委員会では、1月以降に4thプロト後に検証結果を報告する予定であった。
- 本日は、4thプロトならびに計算性能面の追加検証が完了していたことから、その結果について報告させていただく。



出所) 第34回需給調整市場検討小委員会 (2022.12.14) 資料5

https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/jukyuchousei/2022/files/jukyu_shijyo_34_05.pdf

【参考】複数商品へ複合入札する場合の考え方

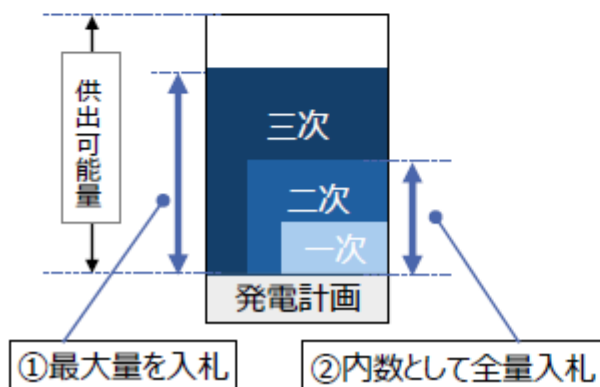
複数商品へ複合入札する場合の考え方について

11

- 単一のリソースで複数商品に入札することが可能なリソースについては、発電計画として発電することが確定している領域を除いた ΔkW として供出可能な範囲において、各商品を入札することになる。
- その際、複数商品への複合入札を実施する方法としては、当該リソースにおける応札可能量が最も大きな商品を入札したうえで、他の商品はそれぞれを内数として全量入札する（例：三次①の内数として、二次・一次を入札する等）ことを基本としてはどうか。
- なお、複合約定ロジックの導入を前提とした入札ケースを想定すると、単一リソースで複数商品に入札可能なリソースは「複数商品への複合入札」または「単一商品への入札」の2つの入札方法から選択することが可能となるが、複数商品への複合入札単価と、単一商品への入札単価が同額の場合は、調達量の低減によりさらなる調達コスト低減が図れることから、前者が優先して約定される可能性が高くなる。

※簡略化のため、二次①と二次②を「二次」、三次①を「三次」と表記

複数商品への複合入札の方法（例）



複合約定ロジック導入時における約定の考え方

<複数商品への複合入札>



<単一商品として入札>



同一価格の場合、複数商品への複合入札が優先される可能性大

■ 複合約定ロジックのイメージは以下のとおり。

【参考】複合約定ロジックのイメージ(1/2)

16

■ 次ページ以降の複合約定ロジックのイメージに係る凡例は以下のとおり。

	個別商品の必要量				不等時性を考慮した必要量	
必要量※1	一次	二次①	二次②	三次①	複合	
Aエリア	10	20	30	40	50	
必要量が充足するように最適化計算で売札を約定						
売札※2	一次	二次①	二次②	三次①	複合	最小約定 単価
(1)リソースA	10	10	20		20	10 1
(2)リソースB	10	10	30		30	30 3
(3)アグリC				40	40	40 3
(4)アグリD		10	20		10 20	10 4
(5)アグリE			10		10	10 4
約定量合計	10	20	30	40	80	合計コスト：220 (1)20+(3)120+(4)40+(5)40

商品別の調達コスト最小化

複合約定により

合計調達コスト最小化

最小約定希望量
以上で部分約定

80円

凡例(以降のスライドも同様)

緑字：Aエリアの必要量と紐づいた札、青字：Bエリアの必要量と紐づいた札

橙字：Cエリアの必要量と紐づいた札

複合：複合充足量の略で、不等時性を考慮した必要量

最小約定：最小約定希望量の略で、事業者が入札時に設定する約定量の最小値

複合札：複数商品に複合的に入札されたリソースの札

単一商品札：単一商品のみ入札されたリソースの札

※1 複合必要量の考え方は
本書8スライドのとおり

※2 複合入札の考え方は
本書15スライドのとおり


©Transmission & Distribution Grid Council

【参考】①入札時刻優先ルールの扱いについて

- 第32回本委員会で、同一価値の札があった場合の入札時刻優先ルールについては、複合約定ロジックに適用しないことを確認した。

3-2. ①入札時刻優先ルールの扱いについて(2/2)

23

- 現時点においては、複合約定ロジックにロジック上や計算性能面での大きな課題は発生していないものの、世界で類を見ない約定ロジックであり、制約式が多数存在し、複雑なロジックとなっているため、制約式の削減の検討も必要なところ。
- ここで、仮に、入札時刻優先ルールを適用しない場合でも、同一価値の入札は汎用ソルバがランダム約定させるため、透明性や公平性の観点から問題はないと考えられる。
- これらから、複合約定ロジックでは、ロジックの複雑性の軽減や現行の入札時刻優先ルールの踏襲により生じ得る約定結果の透明性や公平性の問題に鑑み、同一価値の札があった場合の入札時刻優先を適用しないこととしてはどうか。



出所) 第32回需給調整市場検討小委員会 (2022.9.26) 資料5

https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/jukyuchousei/2022/files/jukyu_shijyo_32_05.pdf

【参考】②一次調整力オフライン枠における柔軟な約定の実現

- 第32回本委員会で、一次調整力オフライン枠における柔軟な約定の適用は、3rd, 4thプロト検証結果を踏まえ、引き続き実現性を確認していくこととした。

3-3. ②一次調整力オフライン枠における柔軟な約定の実現_(2/2) 27

- オフライン枠の約定方法も含め、模擬システムを用いた2ndプロトで検証結果を確認したところ、最終札においては、エリアの**オフライン枠上限を超過して約定できる検証結果が現時点では得られた**。
- 一方、今後、実システムを模擬した3rd, 4thプロトでより現実的な検証を行うことで、“オフライン枠上限を超過して約定させるための制約条件(変数)”を追加したことによる**処理性能上の問題※が顕在化する虞も考えられる**。このため、引き続き、3rd, 4thの検証にて実現性を確認していく。

※ 規定時間内に終了しない、解が収束しない等の問題

約定札	非約定札	オフライン枠を厳密に遵守した約定							柔軟性を持たせたオフライン枠の約定						
必要量		一次	二次①	二次②	三次①	複合	オフライン枠		一次	二次①	二次②	三次①	複合	オフライン枠	
		30	40	50	60	60	10		同左					10	
売札		一次	二次①	二次②	三次①	複合	最小約定	単価	一次	二次①	二次②	三次①	複合	最小約定	単価
(1)複合札		20	20	30	40	40	1	1	20	20	30	40	40	1	1
(2)オフライン札		8	非約定札			8	8	1	8				8	8	1
(3)オフライン札		5				5	3	1	5				5	3	1
(4)オンライン		5				5	5	4	5	非約定札			5	5	4
(5)複合札			20	20	20	20	1	4		20	20	20	20	1	4
オフライン枠約定量		5 / 10							11 / 10						
調達コスト		145円 = (1)40 + (3)5 + (4)20 + (5)80							131円 = (1)40 + (2)8 + (3)3 + (5)80						

出所) 第32回需給調整市場検討小委員会 (2022.9.26) 資料5

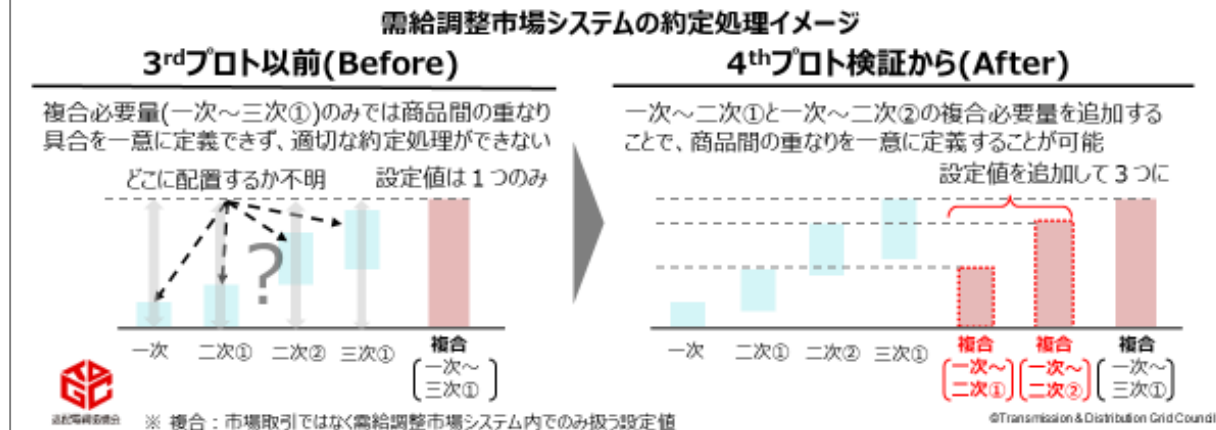
https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/jukyuchousei/2022/files/jukyu_shijyo_32_05.pdf

【参考】③商品間の重複量を考慮したロジックの見直しについて

- 第34回本委員会で、商品間の重複量も考慮した個別商品の適切な配置を実現するため、約定処理に用いる複合必要量の諸元に“一次～二次①”ならびに“一次～二次②”を追加し、定式化を一部見直すこととした。

1-2. ③商品間の重複量を考慮したロジックの見直しについて(2/2) 22

- 本課題への対応として、商品間の重なり具合を一意に定義するため、複合必要量の設定値に“一次～二次①”ならびに“一次～二次②”を追加することで、商品間の重複量が正しく認識可能となることを確認。本定式化は4thプロトから実装し、検証を進めているところ。
- プロト検証を採用したことによって開発の早い段階で問題点を把握できたものであり、従来のウォーターフォールモデルによる開発では、見直しのための期間を十分に確保できなかった虞あり。
- 本見直しへの対応に当たっては、ベンダと一般送配電事業者で協力して開発要員や体制を既に強化済。これにより、現時点でプロト検証自体のスケジュールに遅れは発生していない状況。
- 但し、本見直しに伴い、試験ケースが増加するとともに、試験ケースの評価が複雑になるため、試験期間不足に対する開発遅延へのリスクヘッジが必要（具体的な対策は32スライド）。



出所) 第34回需給調整市場検討小委員会(2022.12.14)資料5

https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/jukyuchousei/2022/files/jukyu_shijyo_34_05.pdf

1. 4thプロトの検証数と発生課題

2. 4thプロト性能検証結果(④最適化計算の処理時間に係る検討)

2-1. 4thプロト性能検証ケースの概要

2-2. 4thプロト性能検証結果

3. 4thプロト検証結果を踏まえた追加対策の検討(④最適化計算の処理時間に係る検討)

3-1. さらなる求解向上に向けた検討

3-2. #5並列処理化

3-3. #2柔軟性を持たせたオフライン枠の約定ロジック

3-4. #7準最適解の採用

3-5. 追加ハードウェアの取替え

3-6. さらなる求解向上に向けた検討結果

3-7. 想定入札数

3-8. 計算打ち切り時間と約定時間

4. まとめ

- 4thプロトでは北海道から九州まで9エリアを模擬し、より実態に近い環境下において実運用では起こる蓋然性が低いケースも含め66ケースの検証を実施した。
- その結果、④最適化計算の処理時間に長時間を要するケース※¹等について知見が得られたことから報告する。

プロト検証	状況	検証ケース数	検証からの気づき
1 st プロトタイプ	検証済み	43件	2件
2 nd プロトタイプ	検証済み	81件	3件
3 rd プロトタイプ	検証済み	102件	2件
4 th プロトタイプ	実施中	66件	2件※ ²

※1 「一次調整力オフライン枠の柔軟な約定の実現の見通し」を含む

※2 2件の内訳 ・④最適化計算の処理時間に長時間を要するケース(21～40スライド)
・複合札の内訳が正しく算出できないケース(41スライド)

- 4thプロトでは、第32回、第34回本委員会にて整理した「入札時刻優先の取りやめ」・「③商品間の重複量を考慮したロジックの見直し」について適用した上で検証を実施。

#	分類	検証項目	効果予想	4 th プロト適用状況
1	制約式	入札時刻優先の取りやめ 参考スライド:P14	—	適用済み
2		柔軟性を持たせた オフライン枠の約定ロジック 参考スライド:P15	中	適用済み※
3		③商品間の重複量を考慮した ロジックの見直しについて 参考スライド:P16	大	適用済み
4	システム 処理方法	最適化計算の一部をロジック外で実施	小	未適用
5		計算処理の並列処理化	小～大	未適用
6	その他	計算開始時刻の前倒し または、約定結果の公表の後ろ倒し	—	—
7		準最適解を採用	—	—

※4thプロト検証までの結果を踏まえて適用可否を判断(29スライドに適用可否の結果を記載)

1. 4thプロトの検証数と発生課題
2. 4thプロト性能検証結果(④最適化計算の処理時間に係る検討)
 - 2-1. 4thプロト性能検証ケースの概要
 - 2-2. 4thプロト性能検証結果
3. 4thプロト検証結果を踏まえた追加対策の検討(④最適化計算の処理時間に係る検討)
 - 3-1. さらなる求解向上に向けた検討
 - 3-2. #5並列処理化
 - 3-3. #2柔軟性を持たせたオフライン枠の約定ロジック
 - 3-4. #7準最適解の採用
 - 3-5. 追加ハードウェアの取替え
 - 3-6. さらなる求解向上に向けた検討結果
 - 3-7. 想定入札数
 - 3-8. 計算打ち切り時間と約定時間
4. まとめ

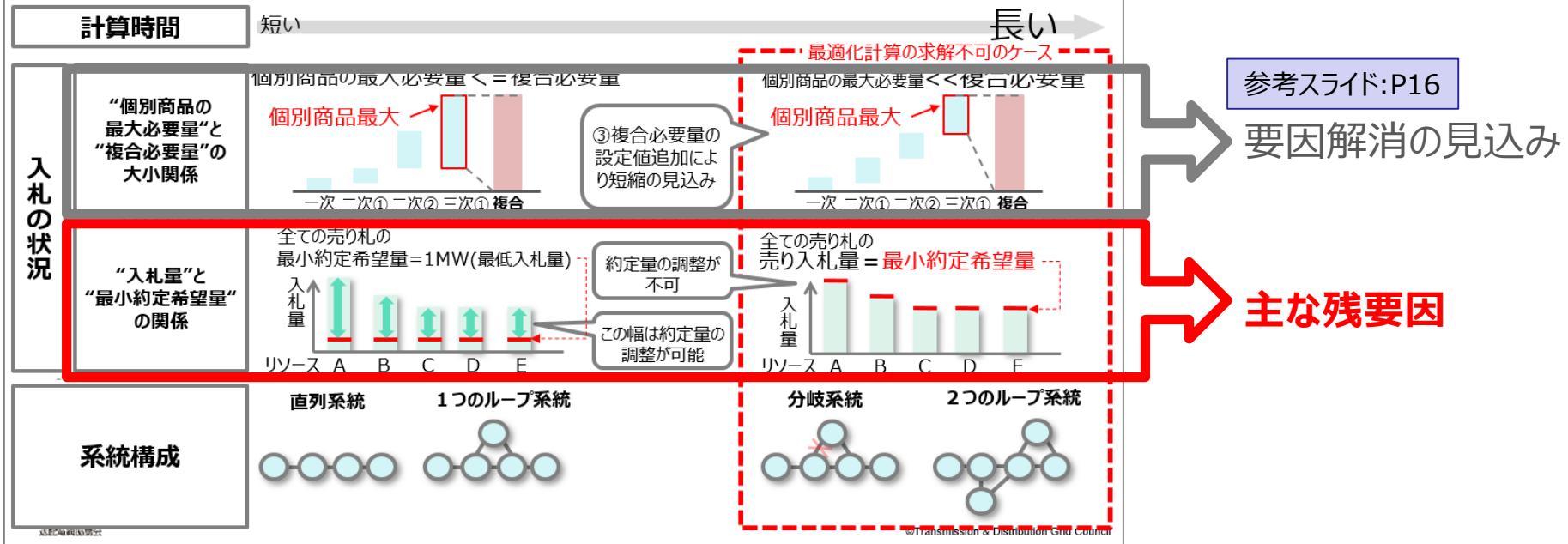
【参考】3rdプロトで長時間を要したケース

- 3rdプロト検証において、すべての札が「入札量」=「最小約定希望量」の札（以降、全量約定札）の場合に最適解の求解不可となるケースを確認。

1-3. ④最適化計算の処理に長時間を要するケース(2/4)

24

- 実系統に近い複雑な系統による検証を行った結果、現時点における最適化計算の打ち切り時間である600秒/ブロックまで演算が継続し、最適解の求解不可となったケースが存在した。
- 具体的には、“個別商品の最大必要量<<複合必要量のケース”、“入札量=最小約定希望量のケース”、“ループ系統が2つもしくは分岐系統のケース”であった。
- なお、“個別商品の必要量<<複合必要量のケース”は、前述の③複合必要量の設定値を追加することで、探索範囲が限定されるため、計算時間が短縮される見込み(4thプロトで検証中)。



出所) 第34回需給調整市場検討小委員会 (2022.12.14) 資料5をもとに作成

https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/jukyuchousei/2022/files/jukyu_shijyo_34_05.pdf

2-1. 4thプロト性能検証ケースの概要

22

- 4thプロトの検証では9エリアを模擬し、入札量を段階的に増やすとともに、3rdプロトで最適化計算に影響を与える全量約定札※1についても、その比率を段階的に増やし、計算性能面に与える影響を確認。

		必要量の重なり	
		ケース1 重なりが狭い※2 <需要変動が大きく各商品の最大必要量が同時発生>	ケース2 重なりが広い※3 <需要変動が小さく不等時性が発生>
全量約定札の割合	0%	入札数 (一次ワライ札数) ↑ 入札数 	同 左
	10~30%	入札数 (一次ワライ札数) ↑ 入札数 	同 左
	60~70%	入札数 (一次ワライ札数) ↑ 入札数 	同 左

※1 全量約定札とは「入札量」=「最小約定希望量」の札

※2 必要量の重なりが狭いケース：12月9:00-12:00ブロックの必要量の試算値一例

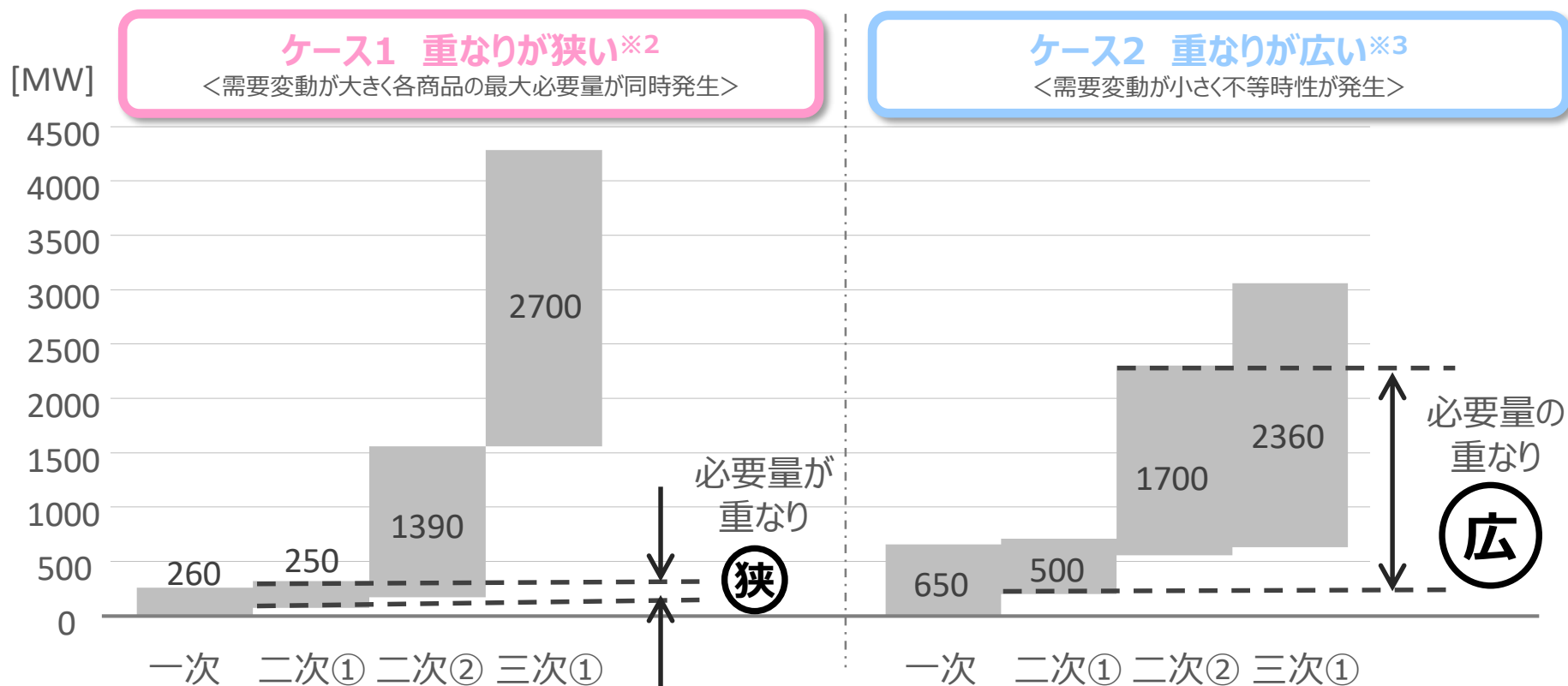
※3 必要量の重なりが広いケース：7月3:00-6:00ブロックの必要量の試算値一例

■ : 入札数 ■ : 全量約定札

【参考】必要量の重なりと処理時間

- 高速商品と低速商品の重なりが狭い(下図ケース1)場合、最適化計算の探索範囲も狭まり、計算時間が比較的かからなかったと推測される。
- 一方、高速商品と低速商品の必要量の重なりが広い(下図ケース2)場合、最適化計算の探索範囲が広がり、計算時間が比較的かかるものと推測される。

ケース別必要量の重なりイメージ

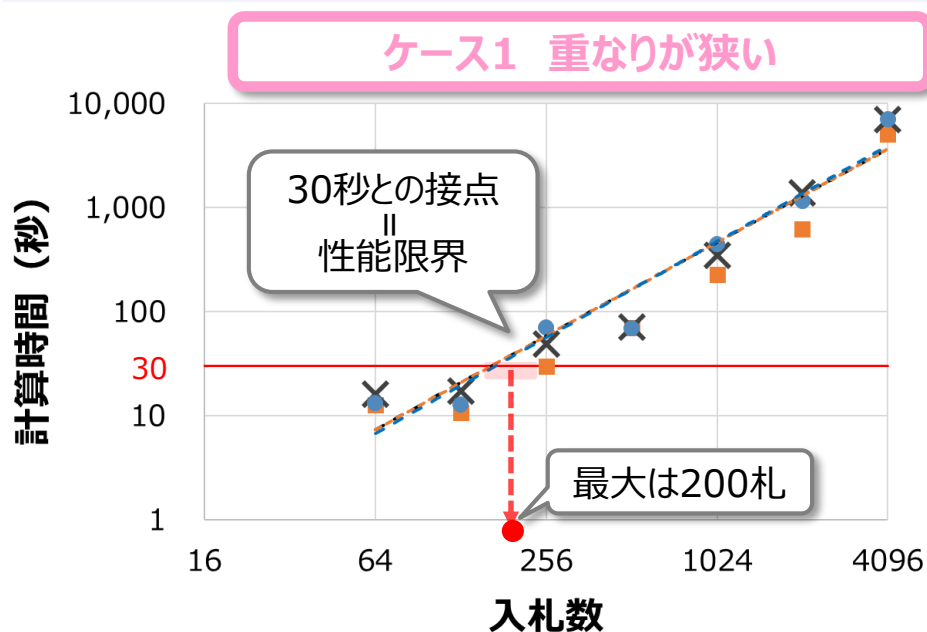


※2 必要量の重なりが狭いケース：12月9:00-12:00ブロックの必要量の試算値一例

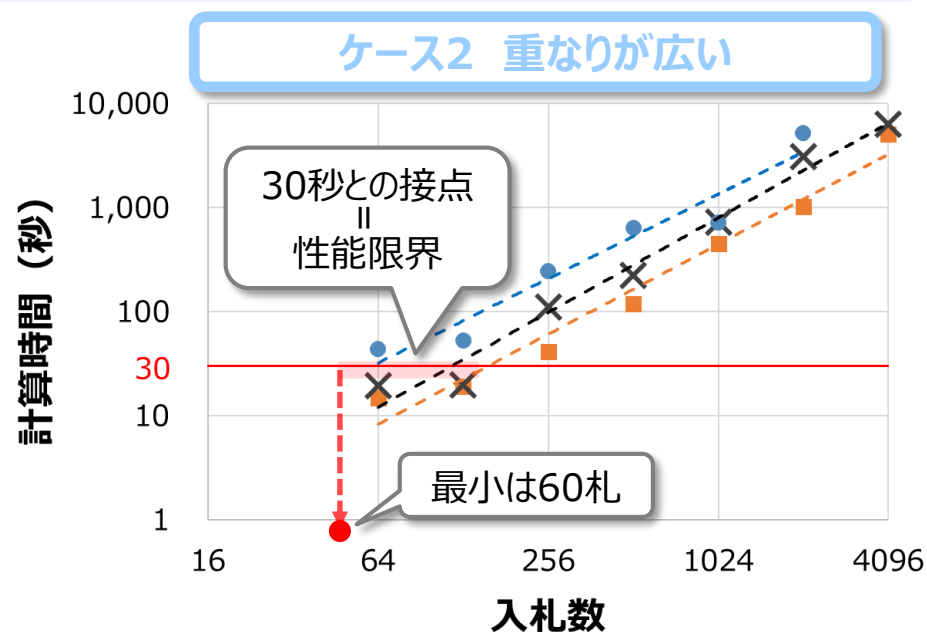
※3 必要量の重なりが広いケース：7月3:00-6:00ブロックの必要量の試算値一例

2-2. 4thプロト性能検証結果

- 約定処理を1時間以内に終了させるには、前後の処理15分を加味し、**30分以内(30秒/ブロック×8ブロック×7日)**に最適化計算を終了させる必要がある。
- 4thプロトの結果、**1ブロック30秒**で計算完了できる入札数は約**60~200札**であった。
- 高速商品と低速商品の**必要量の重なりが広く**(下図ケース2：重なりが広い)、**全量約定札の割合が大きくなるほど**、1ブロック30秒で計算完了できる入札数は**少なくなる**ことを確認。
- 今回の検証において最もシビアなケースは、**ケース2の全量約定札の割合が60~70%**で**約60札**となった。



■ ケース1(0%) × ケース1(10~30%)
 ● ケース1(60~70%) — 30秒ライン



■ ケース2(0%) × ケース2(10~30%)
 ● ケース2(60~70%) — 30秒ライン

1. 4thプロトの検証数と発生課題
2. 4thプロト性能検証結果(④最適化計算の処理時間に係る検討)
 - 2-1. 4thプロト性能検証ケースの概要
 - 2-2. 4thプロト性能検証結果
- 3. 4thプロト検証結果を踏まえた追加対策の検討(④最適化計算の処理時間に係る検討)**
 - 3-1. さらなる求解向上に向けた検討
 - 3-2. #5並列処理化
 - 3-3. #2柔軟性を持たせたオフライン枠の約定ロジック
 - 3-4. #7準最適解の採用
 - 3-5. 追加ハードウェアの取替え
 - 3-6. さらなる求解向上に向けた検討結果
 - 3-7. 想定入札数
 - 3-8. 計算打ち切り時間と約定時間
4. ⑤複合札の内訳が正しく算出できないケース
4. まとめ

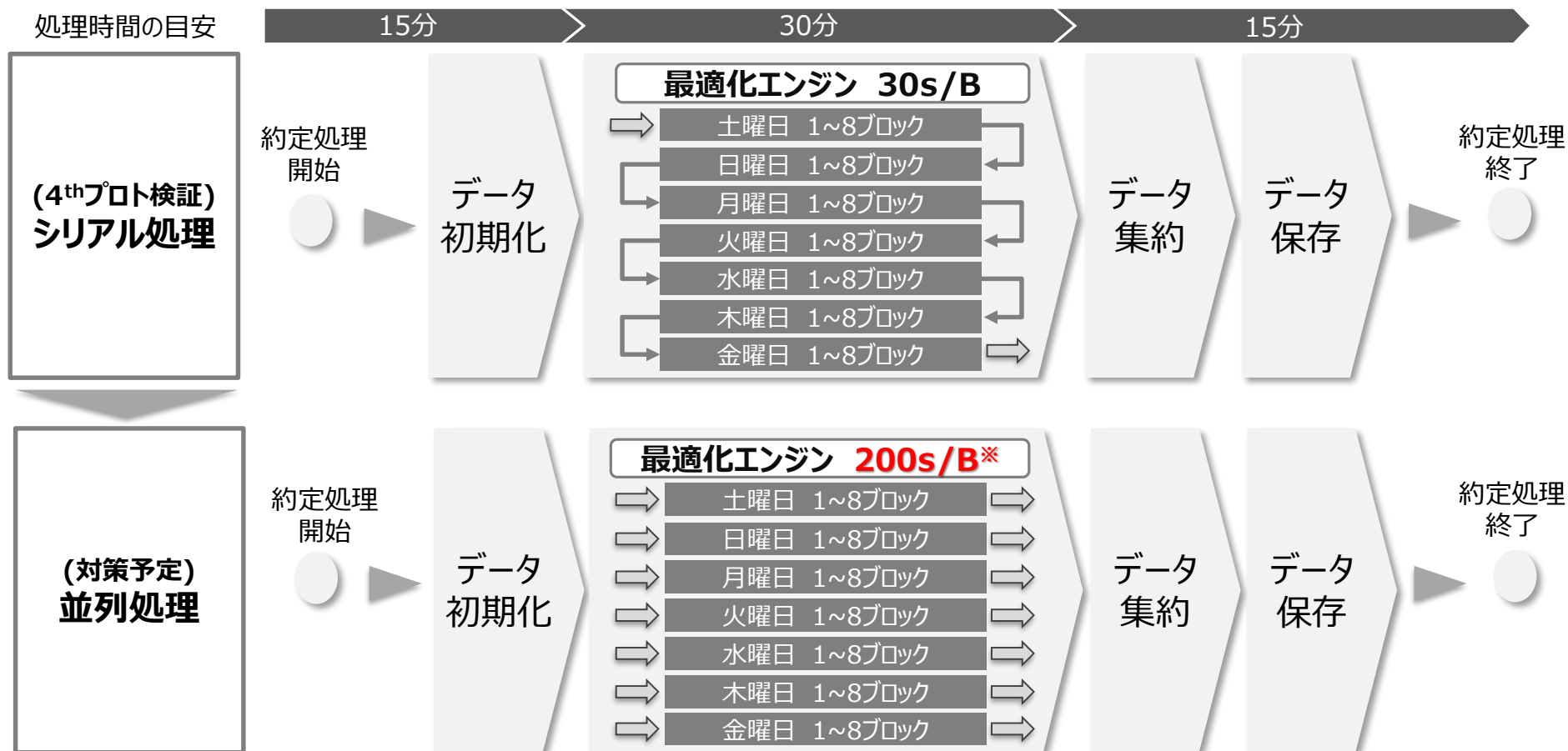
3-1. さらなる求解向上に向けた検討

- 4thプロト検証の結果を踏まえ、第34回本委員会で示した下表#2,#5,#7の対策に加え、「定式化改善」、「ハードウェアの取替え」についても、追加でその効果や実現性を検討。
- 「最適化計算の一部をロジック外で実施する対策」については、深掘り検討の結果、構築に時間を要する割に効果が小さいことが分かったことから、検討対象から除外する。

#	分類	施策	効果予想	対策の検討
1		入札時刻優先の取りやめ	—	適用済み
2	制約式	柔軟性を持たせた オフライン枠の約定ロジック → 3-3	中	追加検討
3		③商品間の重複量を考慮したロジックの見直しについて	大	適用済み
追加		定式化の改善	小	追加検討
4	システム 処理 方法	最適化計算の一部をロジック外で実施	小	対象外
5		計算処理の並列処理化 → 3-2	小~大	追加検討
6	その他	計算開始時刻の前倒し または、約定結果の公表の後ろ倒し	—	39スライドで整理
7		準最適解を採用 → 3-4	—	追加検討
追加		ハードウェアの取替え → 3-5	?	追加検討

3-2. #5並列化処理(1/2)

- 並列化処理には多種多様な方法があるものの、製作工程の期間に限りがあるため、2024年度4月からの取引に影響を与えないことを前提に方法を選定した。
- 4thプロトでは56ブロックの最適化計算をシリアル処理していたが、『約定日』単位に処理を分割し、7並列で処理することに変更する。これにより、**1ブロックあたりの計算時間は、30秒から約200秒に理論上延伸できる見込み**。



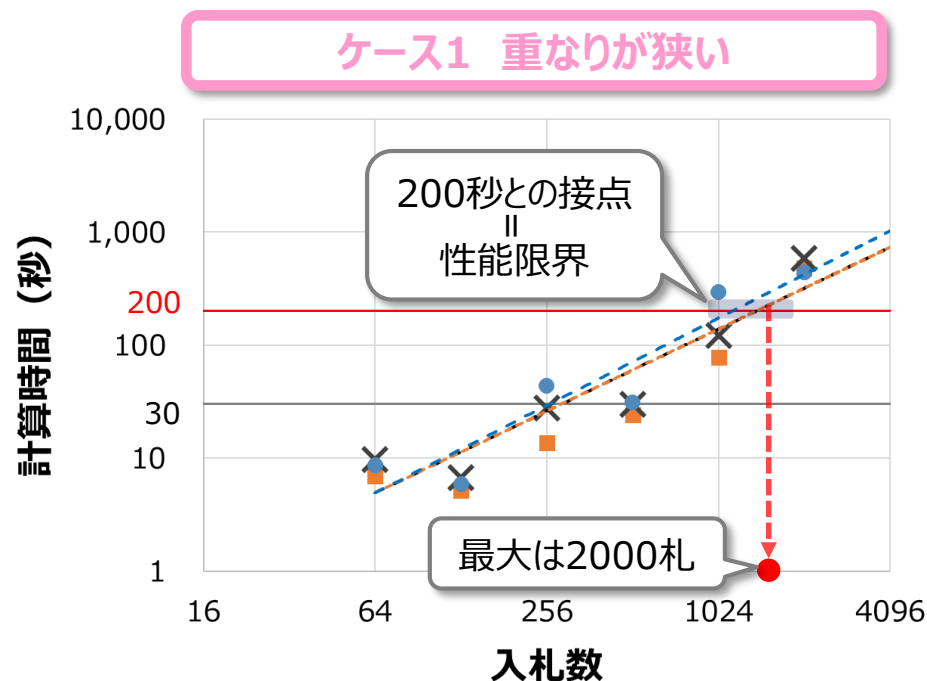
※ 30分(1800秒)/8ブロック=225秒≒200秒

目的外利用禁止

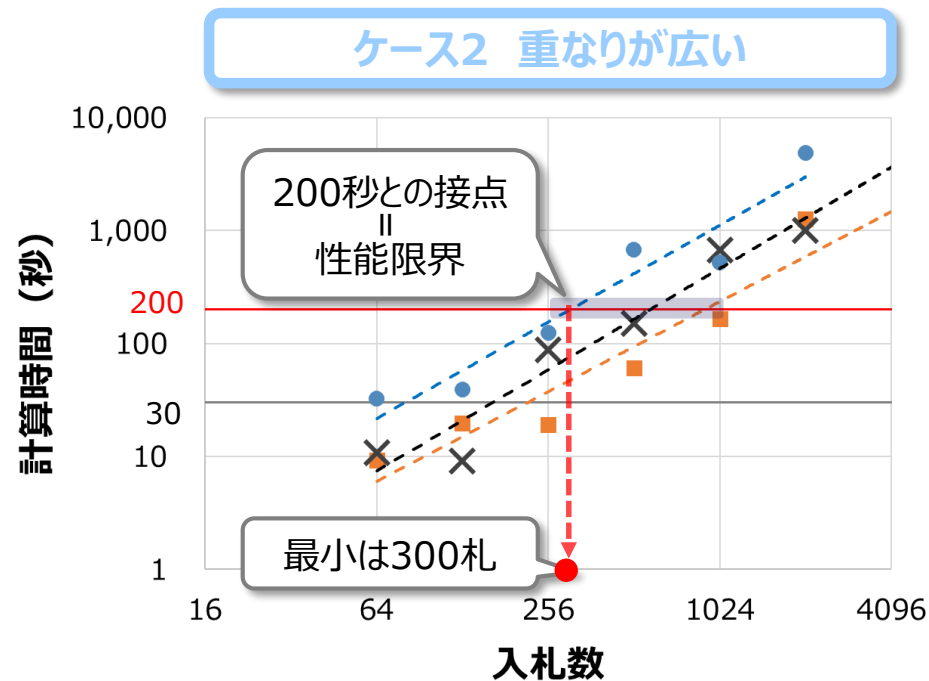
送配電網技術・運用委員会

©Transmission & Distribution Grid Council

- 並列化処理の検討に加えて、一部定式化の改善も図ったことで、**1ブロックあたり約200秒で計算完了できる入札数は約300~2000札**となり、大幅な計算性能の改善が図れる見込み。
- ただし、並列化処理は製作工程により実装するため、上記の値は、『定式化の改善』に係る検討結果の200秒値を参照した計算値となっている。**具体的な並列化処理の効果は、製作・試験工程にて改めて確認**する必要がある。



■ ケース1(0%) × ケース1(10~30%) ● ケース1(60~70%)
— 30秒ライン — 200秒ライン

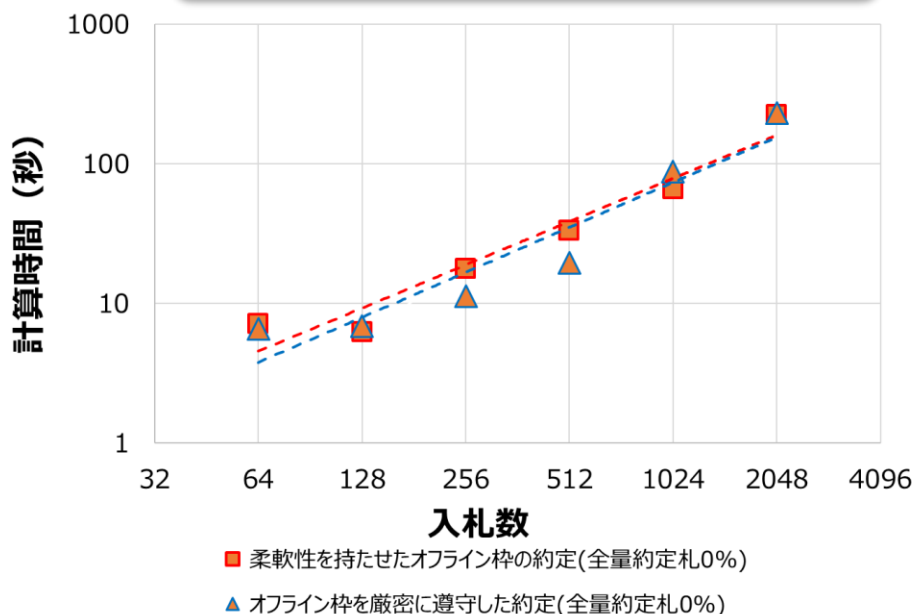


■ ケース2(0%) × ケース2(10~30%) ● ケース2(60~70%)
— 30秒ライン — 200秒ライン

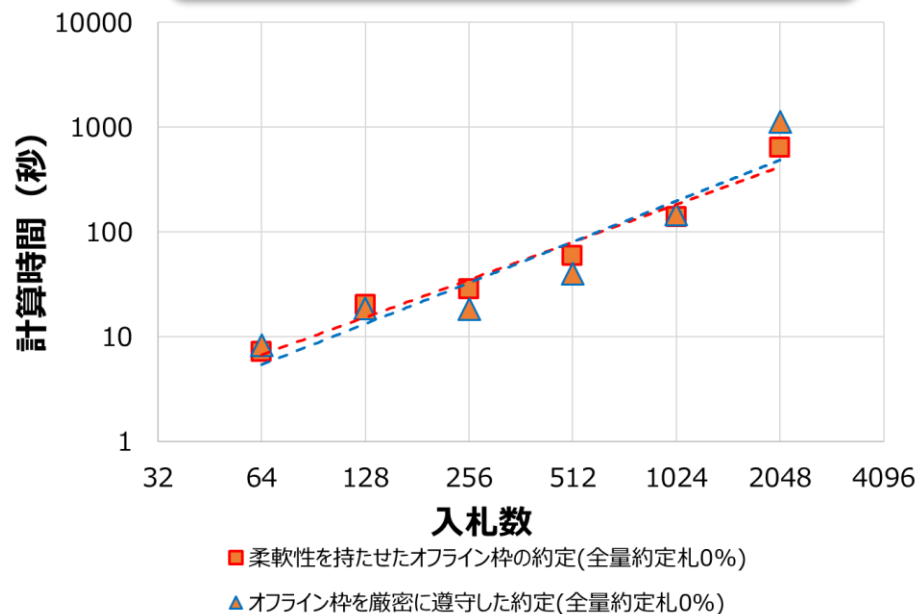
3-3. #2柔軟性を持たせたオフライン枠の約定ロジック

- オフライン枠の上限を超えてもコスト最小となる場合、オフライン枠の上限を超えた約定が定式化で実現可能であることを、2ndプロット検証にて確認したところ。
- 4thプロットの検証結果から、改めてオフライン枠の実現方法の変更による影響を確認した結果、性能面に顕著な差はなかった。
- このため、市場の活性化ならびに社会コスト低減も踏まえ、オフライン枠の約定は上限値を超えて約定する柔軟なロジックで実装していくことでどうか。

ケース1 重なりが狭い



ケース2 重なりが広い



- 計算時間ごとの求解状況および最適解に対するコストの倍率

	30s	45s	60s	120s	200s	300s	600s	1800s	3600s
4,096札									取引中止
2,048札						取引中止	取引中止		1.0倍
1,024札					取引中止	取引中止	1.0倍		
512札			取引中止	取引中止	1.002倍	1.002倍	1.0倍		
256札	取引中止	取引中止	17.6倍	1.005倍	1.0倍				
128札	25倍	1.006倍	1.0倍						
64札	1.0倍								

取引中止 = 初期解も定まっていない等の解

最適解にならなかった解

最適解※1

計算時間

※2 計算打ち切り時点で求めた解が一定の許容範囲に入った場合、準最適解

【参考】ケース別の200秒断面のコスト倍率

- プロト検証中で最もシビアなシナリオ(ケース2/全量約定札60~70%)以外も計算断面ごとの算出コストを確認した結果、200秒断面で準最適解は算出されず、1024札以上の多くのケースで、初期解すら求められていない取引中止となっていた。

各ケースにおける200s断面のコスト倍率

: 求解
 : 求解不可(取引中止)
 } 最適解にならなかった解

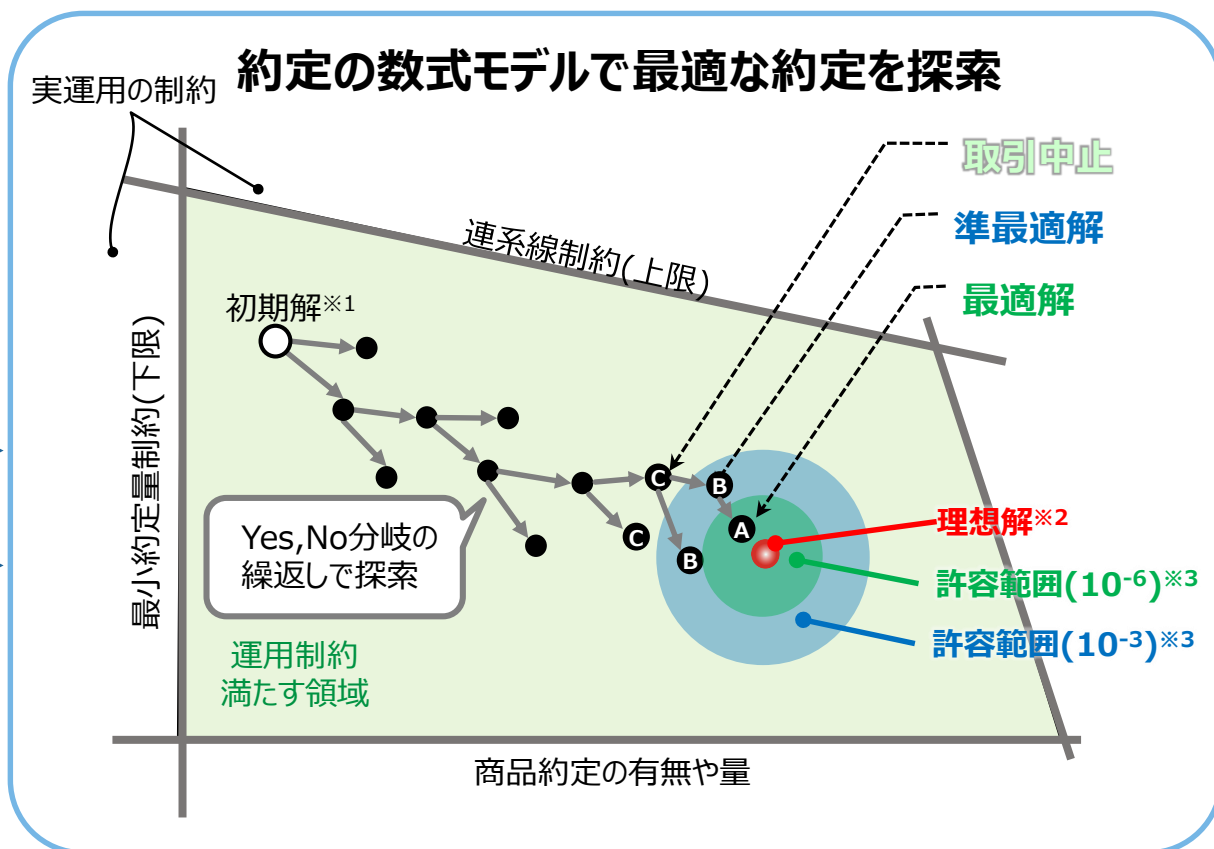
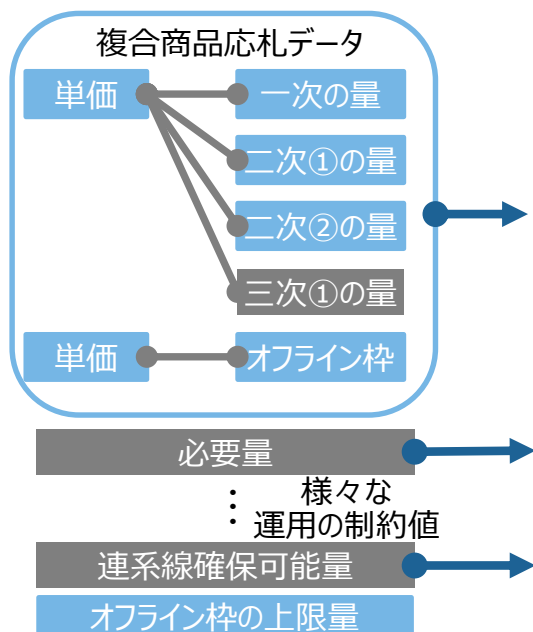
	ケース1 重なりが狭い			ケース2 重なりが広い		
全量約定札%	0%	10~30%	60~70%	0%	10~30%	60~70%
4,096札						
2,048札	取引中止					
1,024札	1.0倍	取引中止	取引中止	取引中止	取引中止	取引中止
512札		1.0倍	1.0倍	1.0倍	1.0倍	1.002倍
256札	最適解			最適解にならなかった解		1.0倍
128札						
64札						
計算断面	200s	200s	200s	200s	200s	200s

【参考】最適解と準最適解のイメージ

- 最適解には許容範囲があり、計算打ち切り時間までに許容範囲に入ったものが最適解となる。
- 計算打ち切り時点で求めた解が一定の許容範囲に入った場合、準最適解となる。

INPUT

最適化計算の制約条件と解探索のイメージ



※1 初期解とは、整数条件等の制約を緩和して求めた解。

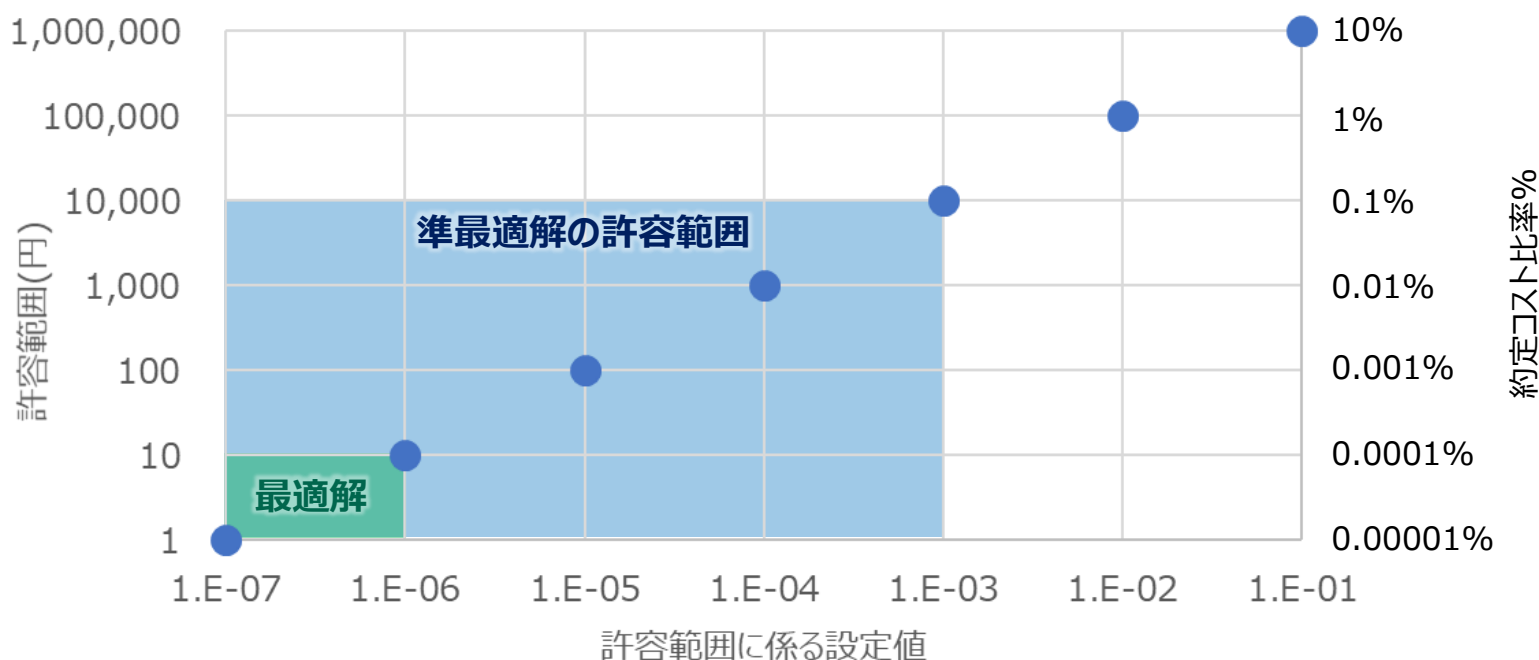
※2 理想解とは、計算初期の断面では自然数ではないことや運用制約を満たさないこともあり約定結果としては使えない解である場合もあるが、探索過程の中で運用制約を満たした理想的な解となっていく解。

※3 許容範囲は諸外国の事例等を踏まえて今後検討予定。

【参考】最適解と準最適解の許容範囲について

- 最適化計算の許容範囲とは、「理想解」に設定値(下図、 10^{-6} , 10^{-3})を乗じた値。
- 下のグラフは、30分あたりの約定結果が1,000万円の場合の設定値と許容範囲を示したものの。
- 具体的な準最適解の許容範囲は製作・試験工程で改めて検証していく。

30分あたりの約定結果が1,000万円の場合の誤差イメージ



計算時間 長 短

計算精度 高 低

- 計算処理の向上には、ハード取り替えによるスペックの向上も有効な手段であるが、2024年4月の取引開始まで1年程度に迫っており、**ハード面の対策実施は困難**な状況。
- また、現時点においては入札数や全量約定札の割合等の実績もないことから、現時点で判断することは過剰な設備投資になる可能性もあるため、実績を踏まえた上でサーバ取り替え等を含め性能向上方策を検討していくことかどうか。

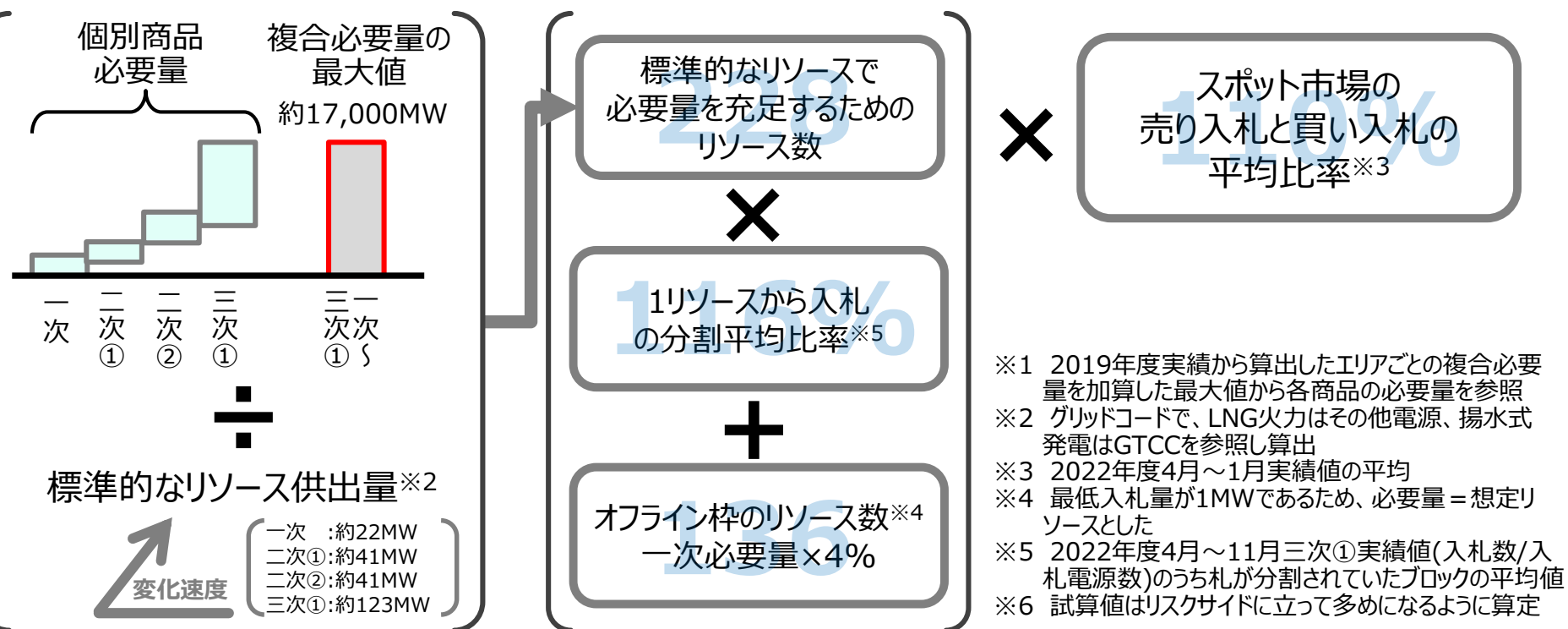
3-6. さらなる求解向上に向けた検討結果

- 計算時間に係る追加対策とその効果について検討の結果、**計算処理の並列化で大幅な改善が図れる見込み**となった。

#	分類	施策	効果予想	検討結果
1	制約式	入札時刻優先の取りやめ	—	適用済み
2		柔軟性を持たせたオフライン枠の約定ロジック	中→小	適用済み
3		③商品間の重複量を考慮したロジックの見直しについて	大	適用済み
追加		定式化の改善	小	適用
4	システム 処理 方法	最適化計算の一部をロジック外で実施	小	対象外
5		計算処理の並列処理化	小 → 中	適用
6	その他	計算開始時刻の前倒し または、約定結果の公表の後ろ倒し	—	39スライドで整理
7		準最適解を採用	—	並列化処理を 前提で適用
追加		ハードウェアの取替え	—	2024年度断面は 非適用

3-7. 想定入札数

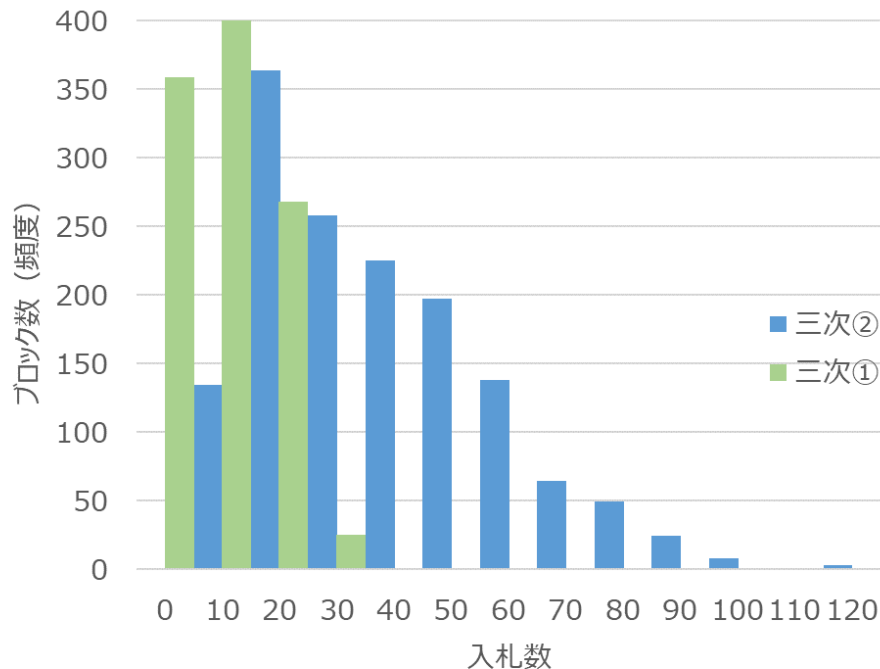
- 前述のとおり、並列化対策と準最適解を採用することで、1ブロックあたり200秒で約500札まで算出が可能となる見込み。
- 一方、2024年度以降の入札数は、事業者の行動によるため、現時点で正確に想定することは困難であるものの、現実的な想定入札数がない場合、運用開始の判断も難しいため、条件等で一定の仮定を置いた上で想定入札数を試算した。
- **試算の結果、想定入札数は450札程度^{※6}であった。**このため、プロト検証での条件下ではあるものの、**1ブロックあたり200秒で準最適解を得られるものと思料。**



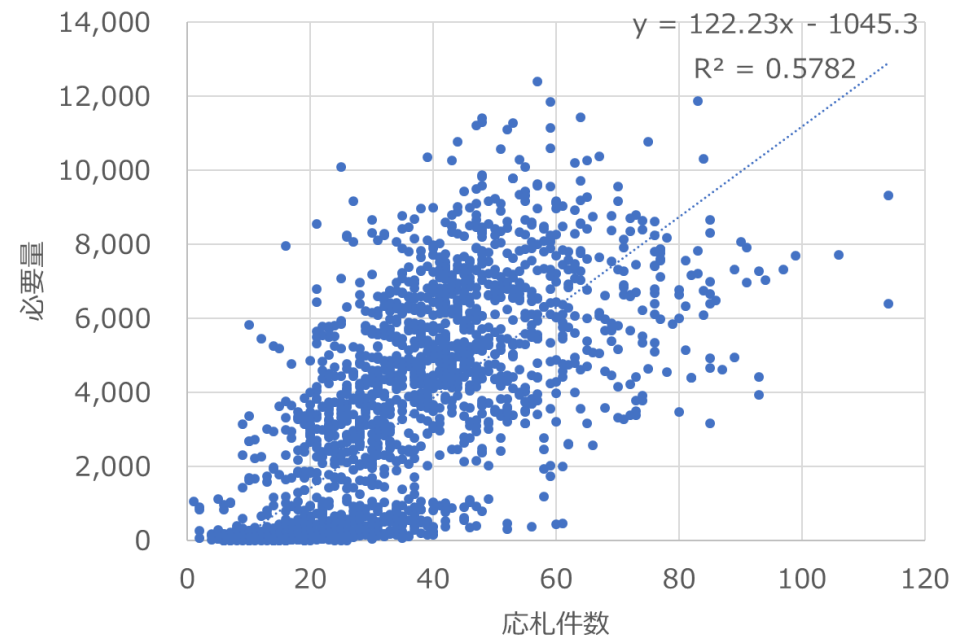
3-8. 計算打ち切り時間と約定時間(1/3)

- ただし、現時点では『全量約定札がどの程度の割合となるのか事業者の入札行動を正確に想定するのは困難であること』、『今回想定の450札を上回る可能性があること』を鑑みると、**打ち切り時間が200秒では足りないブロックが存在した場合には約定処理を中止（＝取引中止）**してしまうことから打ち切り時間は可能な限り長めに設定しておくことが肝要。
- 一方、三次②や三次①の入札実績では、1日通してすべてのブロックで入札量が多いことはないため、複合約定においても殆どのブロックが打ち切り時間よりも早く解を求められると想定され、仮に一部のブロックが時間を要したとしても、**8ブロックの合計で30分以下となる蓋然性が高い**と考える。

三次①・三次②入札数発生頻度



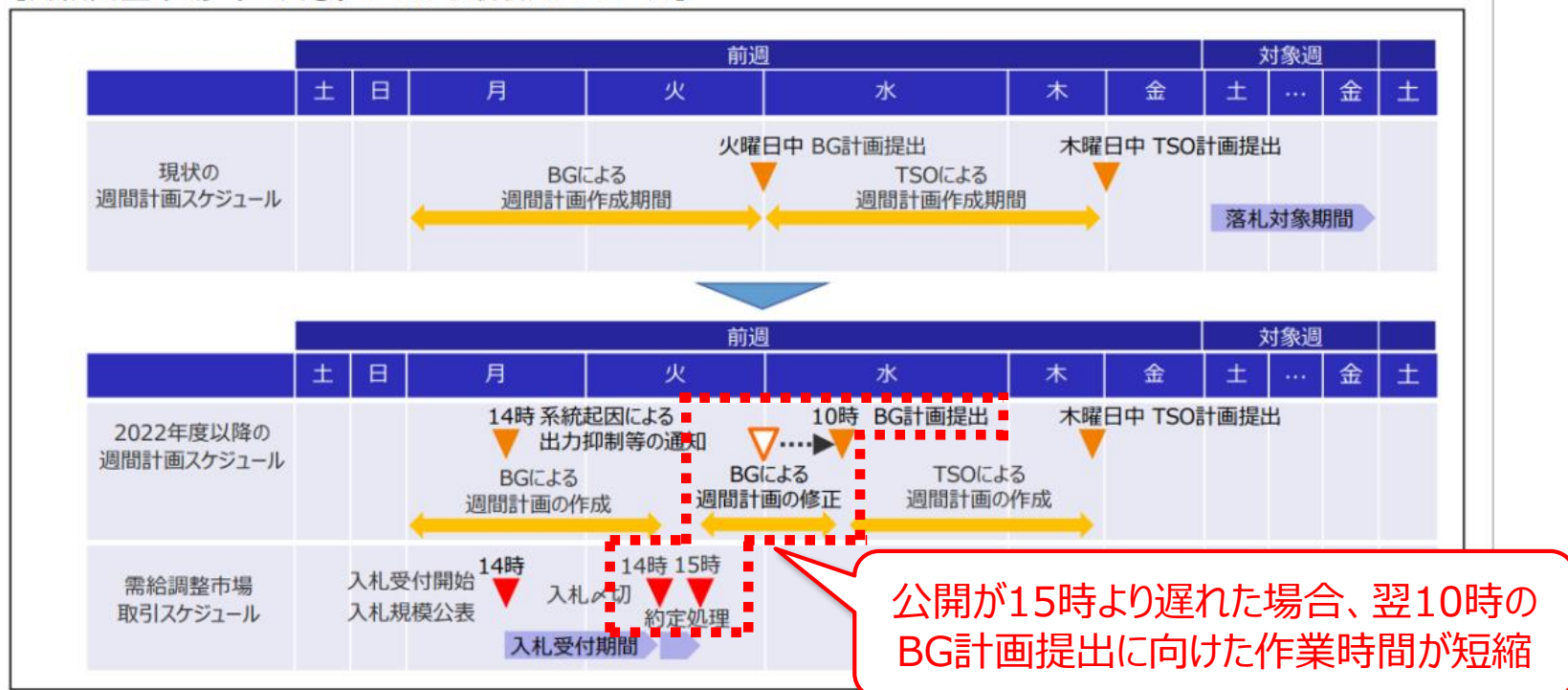
三次②必要量と入札数の相関



3-8. 計算打ち切り時間と約定時間(2/3)

- 並列化対策により56ブロック合計で30分以内に終了する蓋然性が高い中で、リスクを踏まえ常時、『約定結果の公開時間後ろ倒し』や『約定処理の開始時間前倒し』を行った場合、供出事業者の週間計画策定時間や入札検討時間に毎回影響を与えることになる。
- 他方、計算が長時間となった際に15時で約定処理を終了させ、約定処理を中止した場合は、広域調達が行われず、事業者の収益を阻害する虞もある。

【需給調整市場（三次①）における取引スケジュール】



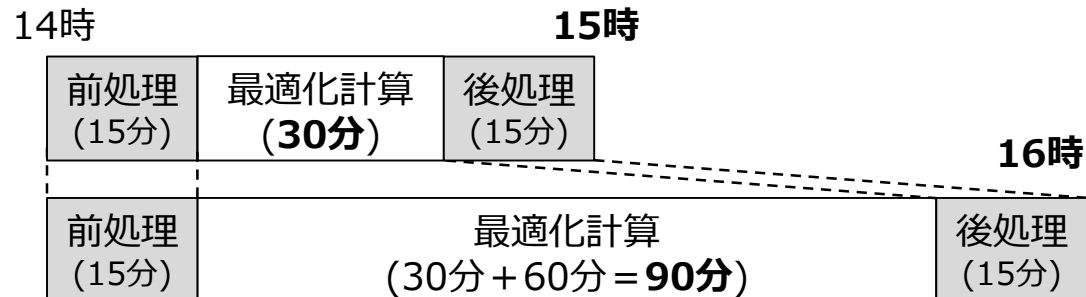
出所) 第17回需給調整市場検討小委員会 (2020.6.12) 資料2-3をもとに朱書き点線枠と朱書き吹き出しを追加
https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/jukyuchousei/2020/files/jukyu_shijyo_17_02_03.pdf

3-8. 計算打ち切り時間と約定時間(3/3)

- このため、約定処理の時間(14時～15時)は原則変更せずに、万一、計算結果の出力が15時以降となったとしても、正式な約定結果として公開する等、可能な限り約定処理を中止しない(＝取引中止としない)打ち切り時間としたい。
- ブロック単位の具体的な打ち切り時間は並列化による実績時間を製作・試験工程で確認した上で決定することとしたい。
- また、市場の活性化や事業者行動の変化等により、約定結果の公開が常態的に15時以降となるような傾向があった場合には、国や広域機関と相談の上、対応方法を検討していく。

約定処理が 最長ケースでの 公開時間※	最適化計算に 用いられる時間	1ブロック あたりの 打ち切り時間	入札数による約定結果の差異 (30スライドの検証結果より)	
			512札	1,024札
15時頃	約30分	約200秒	準最適解の許容範囲の設定 次第で取引中止は回避可能	取引中止
16時頃	約90分	約600秒	最適解	最適解

※ すべてのブロックが打ち切り時間まで計算していた場合の公開時間。
最適解が求まれば打ち切り時間を待つことなく次のブロックの計算に着手するため、600秒に設定した場合でも通常は15時までに公開できるものと思料。
なお、本公開時間は、複数の処理の積み重ねになるため、あくまでも目安。



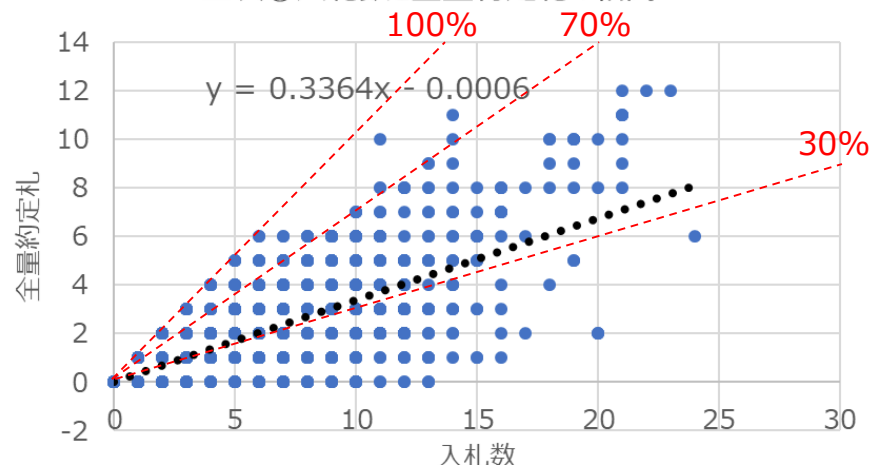
- 全量約定札の実績比率は、三次①で平均34%、三次②で平均17%であった。

三次①

三次①全量約定札数(2022年4月~11月)

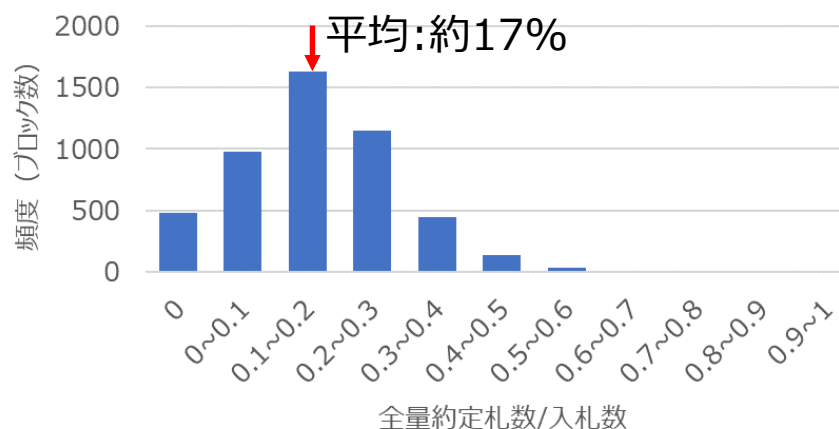


三次①入札数と全量約定札の相関

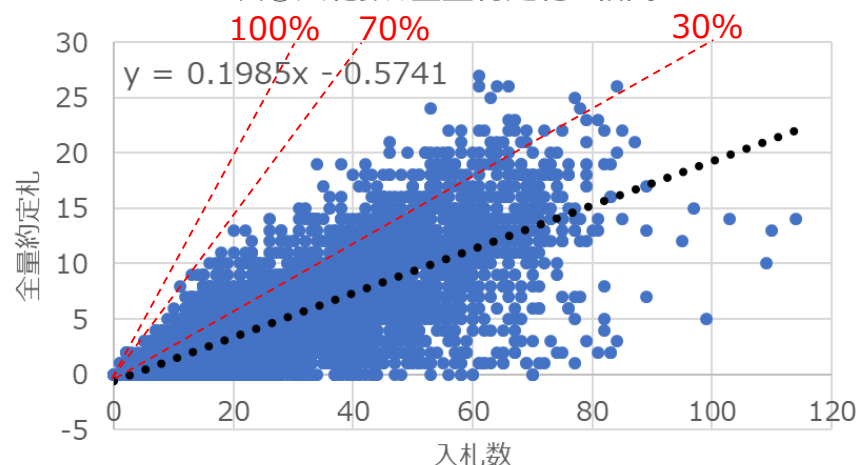


三次②

三次②全量約定札数(2021年4月~2022年11月)



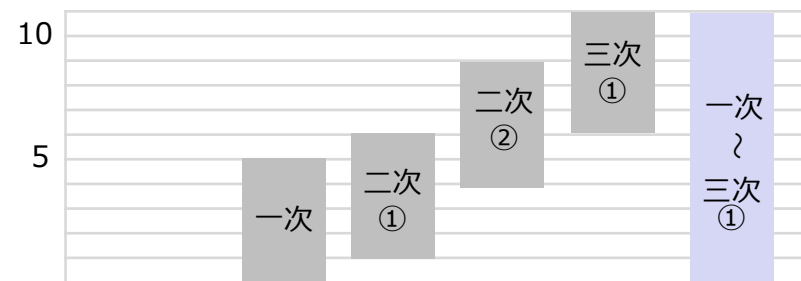
三次②入札数と全量約定札の相関



【参考】複合札の内訳が正しく算出できないケース

- 4thプロト検証において、複合札の内訳が正しく算出できないケースを確認。
- 本事象に確実に対応するためには、より複雑な定式化が必要になるが、その場合、2024年度の取引開始には間に合わないことから、2024年度は開発期間中に各種パラメータをチューニング※1することに対応する。
- この場合、域内で約定した個別商品の調達量（複合札の内訳）が個別商品の必要量よりも多くなる場合※2があるが、事業者との精算は個別商品の必要量ではなく複合約定量で行うため、デメリットはないと考えている。

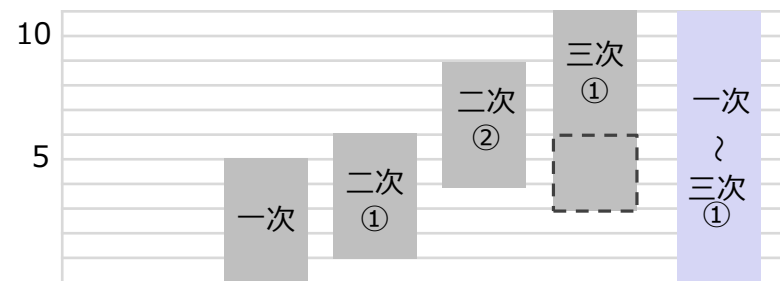
調整力必要量



	(複合札の内訳)				複合
	一次	二次①	二次②	三次①	
必要量	5	5	5	5	11

必要量 < 調達量

公開される約定結果(調達量)



	(複合札の内訳)				複合
	一次	二次①	二次②	三次①	
約定結果	5	5	5	8	11

事業者とは複合約定量で精算

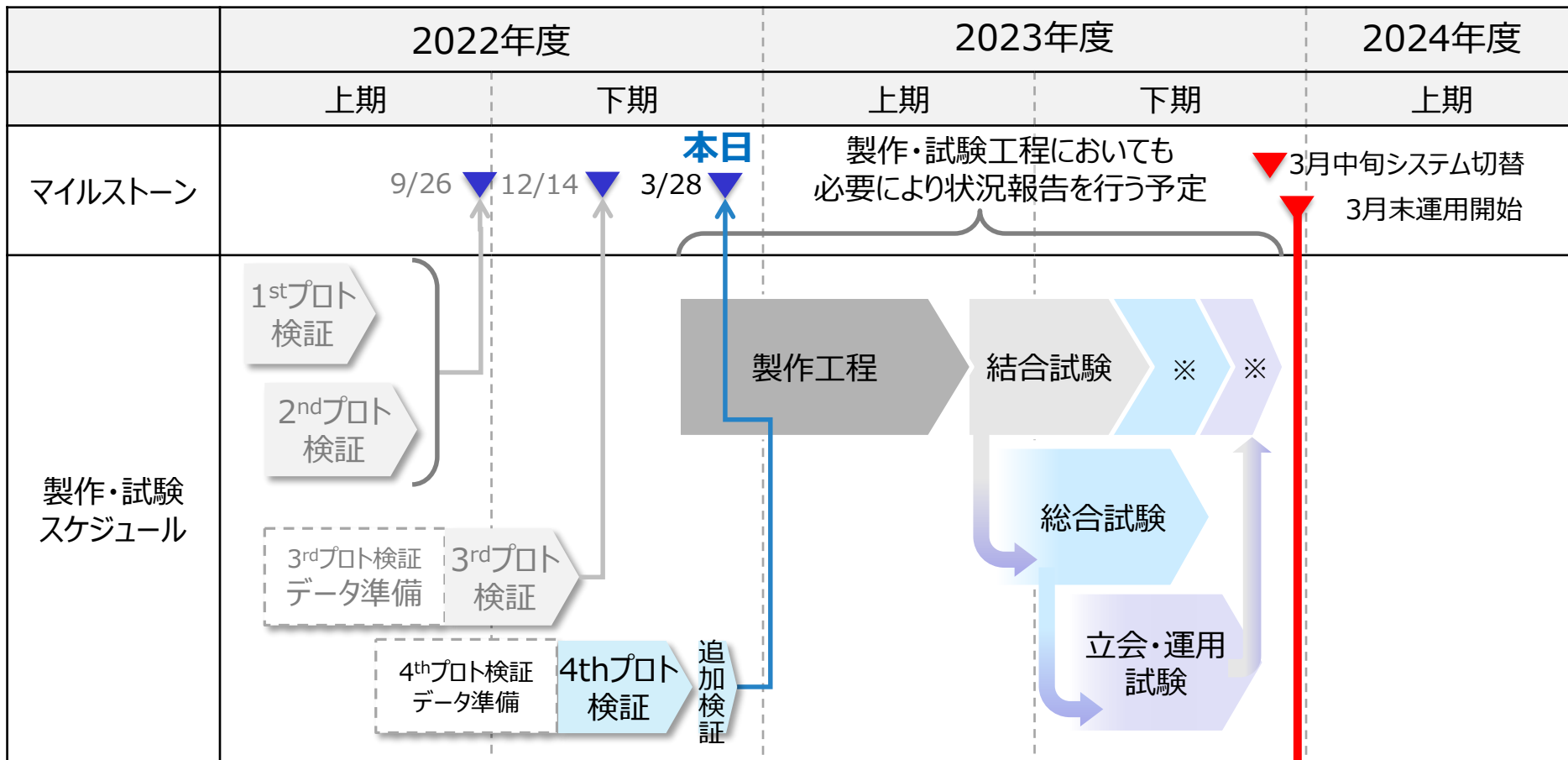
※1 最適化計算では、複数あるパラメータの設定値によっては他のパラメータが意図した通りに機能しなくなる(= 誤った算出結果となる)ことがあり、開発の中で検証を繰り返しながら各種パラメータのチューニングを行っている

※2 送配電網協議会のホームページ等で公開される約定結果において、複合商品の内訳が「必要量 < 調達量」となる場合があることに留意

1. 4thプロトの検証数と発生課題
2. 4thプロト性能検証結果(④最適化計算の処理時間に係る検討)
 - 2-1. 4thプロト性能検証ケースの概要
 - 2-2. 4thプロト性能検証結果
3. 4thプロト検証結果を踏まえた追加対策と効果検討(④最適化計算の処理時間に係る検討)
 - 3-1. 効果検討を行う対策
 - 3-2. #5並列処理化
 - 3-3. #2柔軟性を持たせたオフライン枠の約定ロジック
 - 3-4. #7準最適解の採用
 - 3-5. 追加ハードウェアの取替え
 - 3-6. さらなる求解向上に向けた検討結果
 - 3-7. 想定入札数
 - 3-8. 計算打ち切り時間と約定時間
4. まとめ

- 最適化計算による処理は、並列化処理や準最適解等の対策をすることにより、プロト検証中で最もシビアなシナリオにおいて、1ブロックあたり200秒で約500札まで算出が可能となる見込み。
- 想定入札数を一定の仮定のもとで試算した結果、一次～三次①で450札程度となったが、現時点では事業者の入札行動を正確に想定するのは困難であり、想定を上回る可能性があるため、最適化計算の打ち切り時間は可能な限り長めに設定しておくことが肝要。
- 仮に打ち切り時間を長く設定した場合でも、三次②や三次①の入札実績から1日通してすべてのブロックで入札量が多いことはなく、複合約定においても、8ブロック合計の約定処理時間は14～15時までで完了する蓋然性が高いため、15時までには公開できると思料。
- 万一、すべてのブロックにおいて打ち切り時間の上限まで掛かるような状況が発生した場合、公開が15時を超えることになるが、15時までの公開を制約事項として約定処理を中止することで取引中止となることを回避すべく、15時以降となったとしても正式な約定結果として公開することとしたい。（仮に打ち切り時間を600秒とした場合は最長16時頃となる見込み）
- なお、オフライン枠の約定ロジックは、厳密な約定と柔軟な約定で計算性能に対する有意な差がなかったことから、上限値を超えて約定可能な柔軟なロジックで実装していくこととしたい。

- 並列化処理ならびに製作・試験の状況については、適宜本委員会にて報告する予定。



凡例：需給調整市場検討小委員会 ▼

※ 他所とのデータ連携等がなく試験可能な複合約定結果等の検証については、結合試験・総合試験に対して試験環境を増設し、試験が完了した項目から順次、次の試験を実施することで対応