

# 電源起動・出力配分ロジックの技術検証 (検証A) の進捗報告について

2025年4月22日

資源エネルギー庁・電力広域的運営推進機関

- 第2回本検討会（2023年9月20日）において、「同時市場における電源起動・出力配分ロジックの技術検証会（以下「技術検証会」という。）」を設置したこと、また、同時市場に関するロジック技術検証（検証A）の進め方、ならびに具体的な技術検証項目（アウトプットの評価方法やロジックのカスタマイズ等）について、報告を行った。
- その後、複数回に亘って検証状況の進捗報告を行い、第11回本検討会（2024年8月19日）にて、それまでの検討状況について、中間取りまとめを行い、残る深掘り項目については、引き続き、技術検証会を継続開催して、議論を深めることとしていた。
- その後、第7回技術検証会（2024年9月26日）、第8回技術検証会（2024年11月27日）、第9回技術検証会（2025年1月15日）、ならびに第10回技術検証会（2025年3月14日）を開催して、残った深掘り項目に関する議論を進めてきたところ、本日はそのうち、以下の内容について進捗報告を行う。
  - 「①基本ロジックの構築」の検証
  - 「②週間運用を可能にするSCUC・SCEDロジック」の検証
- また、当初設定した検証項目については、今回で概ね完了することから、これまでの検証内容について取りまとめるとともに、今後の検証内容についても議論を行ったため、それらの内容についても報告を行う。

1. 検討状況の概要について
2. 「①基本ロジックの構築」の検証
3. 「②週間運用を可能にするSCUC・SCEDロジック」の検証
4. まとめと今後の検証の進め方について

1. 検討状況の概要について
2. 「①基本ロジックの構築」の検証
3. 「②週間運用を可能にするSCUC・SCEDロジック」の検証
4. まとめと今後の検証の進め方について

- 検証A（同時市場に関するロジック技術検証）における検証項目と、各検討状況については下表のとおり。
- 本日は、検討に進捗があった項目の内、①および②の検討状況（下表の太字）について報告する。

検証項目	検討状況
①基本ロジックの構築	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ロジックを構築・実装し、動作検証済み</li> <li>・<b>収束性向上策の検討、火力応動特性をモデル化して動作検証済み</b></li> </ul>
①買い入札を考慮したSCUC・SCEDロジック	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ロジック構築の上、エリア単位のモデルでの動作検証済み</li> <li>・需要曲線の簡略化手法について検討を実施</li> <li>・需要側入札の海外動向を調査し、ノード単位の動作検証済 <b>（完了）</b></li> </ul>
②週間運用（電源起動の意思決定、揚水最適化）を可能にするSCUC・SCEDロジック	<ul style="list-style-type: none"> <li>・週間計画の実態調査の上、週間計画の取り扱いを整理</li> <li>・<b>具体的なロジックを構築・実装し、動作検証済み</b></li> </ul>
③調整力の定義も踏まえたkWh・ΔkW同時最適ロジック（変動性再エネの出力変動への対応含む）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現時点の調整力の定義見直しの議論を踏まえたロジック・ΔkW入札価格を考慮したロジック、三次インセンティブのロジックを構築・実装し、動作確認済（後者は今後、細分化作業会で深掘予定） <b>（完了）</b></li> </ul>
④セルフスケジュールとSCUC・SCEDロジックとの関係性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電源差替を小規模システムモデルで模擬し、動作検証を実施 <b>（完了）</b></li> </ul>
⑤システム制約の取扱い	<ul style="list-style-type: none"> <li>・厳密なロジック（制約条件）による対応は困難な見込み <b>（完了）</b></li> <li>・適切なフリンジ（マージン）を設定すれば、発動制限ΔkWに対応可能な示唆を得た（今後、運用容量等作業会で深掘り予定）</li> </ul>
⑥起動費等が回収可能な価格算定ロジックの検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>・海外調査および数種の手法の技術的特徴を整理 <b>（一旦完了）</b></li> <li>（今後、制度論として将来の日本での導入要否を深掘予定）</li> </ul>
⑦前日同時市場後のSCUC・SCEDロジック	<ul style="list-style-type: none"> <li>・前日、当日の時間前同時市場のロジック構築・検証を実施 <b>（完了）</b></li> <li>・時間前同時市場に関する更なる検証（一部固定化等）も今後精査</li> </ul>

## （参考）Aの検証の具体的なイメージ（全体像）

- 全国の需給・系統データの模擬（2030年頃の将来想定）を行い、長期に亘り活用が見込まれる同時市場の最適化ロジックとしての実現性・妥当性を検証。

### 入力データの整備

- 全国基幹系統データ（2030年頃想定）
  - ・上位2電圧の縮約系統
- 全国需給データ（2030年頃想定）
  - ・需要実績の時系列データ
  - ・再エネ、固定供給力の時系列データ
  - ・調整電源データ（価格情報含む）

①基本ロジックの構築

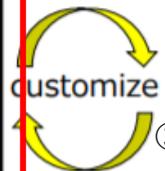
### ロジックの構築

- SCUC・SCEDのための
- ・目的関数の定式化（燃料費や起動費等の最小化）
  - ・制約条件（調整力確保制約、送電容量制約等）の設定

### ソルバー（求解）

目的関数を最適化する解の探索

- <ソルバー例>
- フリー・ソルバー（GLPK、CBC、SCIP）
  - 商用（CPLEX、Xpress、Gurobi）



### ロジックの改修

同時市場のためのロジックのカスタマイズ

- ① 買い入札を考慮したSCUC・SCEDロジック (完了)
  - ② 週間運用（電源起動の意思決定、揚水最適化）を可能にするSCUC・SCEDロジック
  - ③ ΔkWも目的関数に含めたSCUC・SCEDロジック
  - ④ 調整力の定義（細分化の程度）や取扱い（確保タイミング等）
  - ⑤ 変動性再エネの出力変動への対応
  - ⑥ セルフスケジュールとSCUC・SCEDロジックとの関係性 (完了)
  - ⑦ 系統制約の取扱い (完了)
- ⑥ 起動費等が回収可能な価格算定ロジックの検討 (一旦完了)
- ⑦ 前日同時市場後のSCUC・SCEDロジックの検討 (完了)

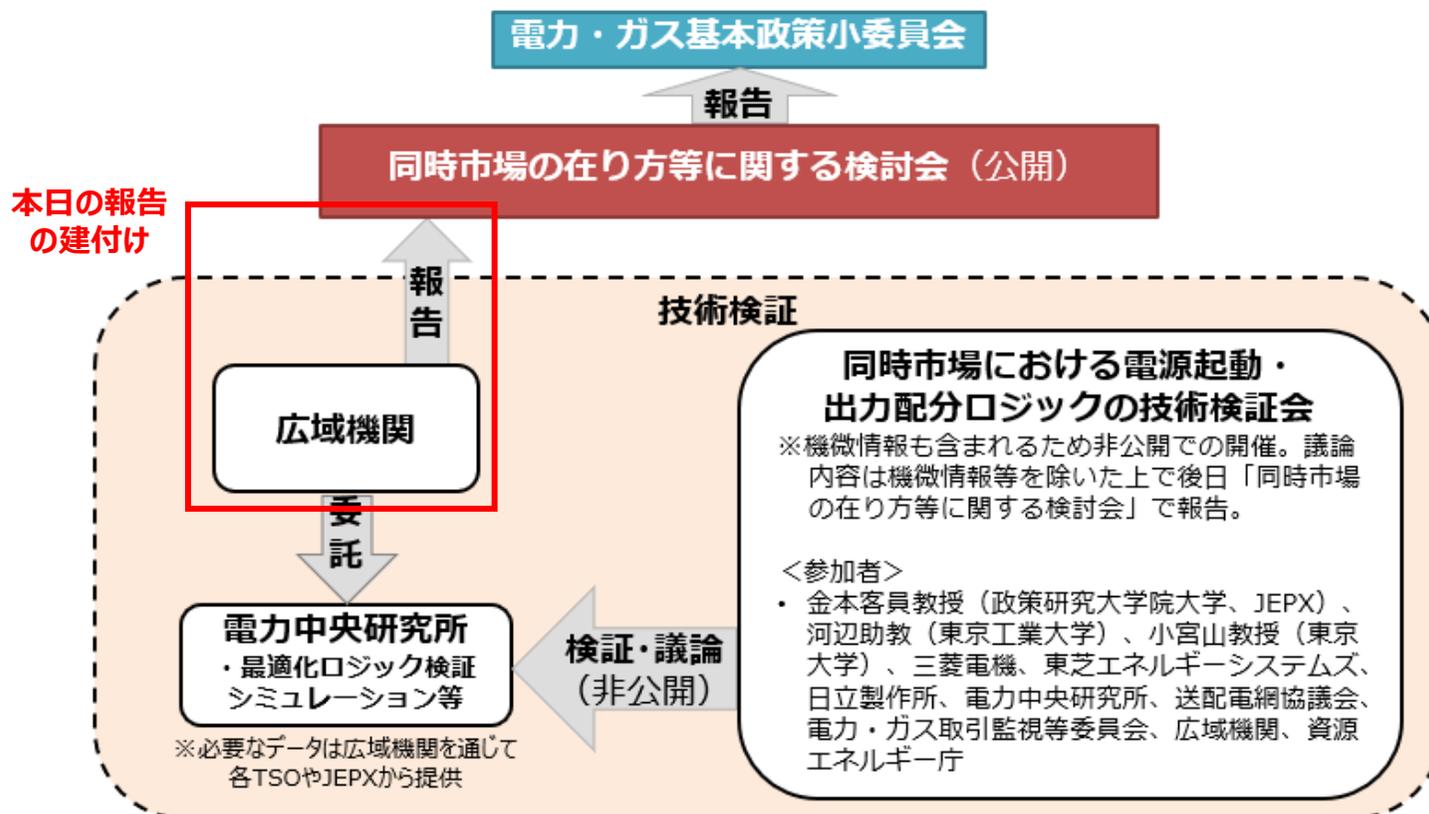
### アウトプット

- ・解の収束性（計算時間等）
- ・算出された電源ラインナップ、出力配分量

第三者検証体制（同時市場における電源起動・出力配分ロジックの技術検証会）の設置

8

A) 電源起動・出力配分（SCUC・SCED）ロジックの検証にかかる第三者検証体制の構築



1. 検討状況の概要について
2. 「①基本ロジックの構築」の検証
  - － 1. 収束性を高める工夫
  - － 2. 火力機の応動特性のモデル化
  - － 3. 今後の進め方（技術検証会での議論内容）
3. 「②週間運用を可能にするSCUC・SCEDロジック」の検証
4. まとめと今後の検証の進め方について

- 「③基本ロジックの構築」については、第11回本検討会（2024年8月19日）における検証Aの中間取りまとめにおいて、2030年頃を想定した日本全国大の入力データを整備し、基本ロジックが年間を通じて、最低限必要な実行可能解を現実的な時間内で得られること、ならびに運用上妥当な電源ラインナップ・出力配分が得られることを確認した。
- その後、継続検討としていた「収束性を高める工夫」および「火力機の代表的な応動特性のモデル化」について検討を行ったため、今回報告する。

## 基本ロジックの検証について（2 / 2）

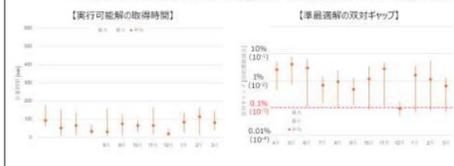
17

- 検証結果として、双対ギャップが目標精度まで未達であることから、引き続き、数理計画モデルの改良やソルバのパラメータ調整等により収束性を向上させることが課題といえるが、**現状のロジックにおいても、年間通じて、最低限必要な実行可能解を現実的な時間内で得られることは確認**できた。
- また、全体の需給バランス（電源ラインナップや出力配分量）についても確認を行い、**現状のロジックにおいても、年間通じて、運用上妥当な結果が得られることは確認**できた。

### 多断面検証の結果評価（1 / 2）

14

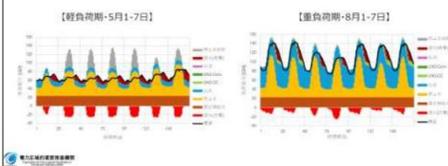
- 前回の期間に対して行ったシミュレーション結果（収束性）については下記の通り。  
 ● どの断面においても、実行可能解（各種制約を満足して、運用自体は可能な発電機出力）は、200秒以内の概ね短時間で得られている  
 ● 計算時間（7,200秒）内に得られた単最適解の双対ギャップは平均1%（10<sup>-2</sup>）程度となった  
 ● 双対ギャップ目標精度まで未達であることが、引き続き、数理計画モデルの改良やソルバのパラメータ調整等に必要となる可能性があるが、**現状のロジックにおいても、年間通じて、最低限必要な実行可能解を現実的な時間内で得られることは確認**できた。



### 多断面検証の結果評価（2 / 2）

16

- 続いて、全体の需給バランス（電源ラインナップや出力配分量）についても確認を行い、**現状のロジックにおいても、年間通じて、運用上妥当な結果が得られることは確認**できた。  
 ● 電源の出力配分量は概ね想定したシナリオの通りであった  
 ● 固定電力（送電・受電）> 再生（PV・風力・水力・地熱）> 火力（MCC・ACC・LNGC）> 石炭  
 ● 電力は経済運用を行い、内出力を吸収し、需要ピークを発電  
 ● PV出力増強で生じる余剰電力（軽負荷時）および系統送電に対し、調整電源・再生等の出力を制御することで解消を実現



出所) 第8回同時市場の在り方等に関する検討会（2024年4月19日）資料5より抜粋  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/doji\\_shijo\\_kento/pdf/008\\_05\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/doji_shijo_kento/pdf/008_05_00.pdf)

## 今後の検証について

22

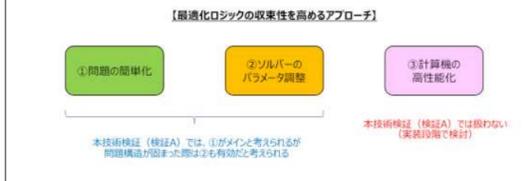
- 基本ロジックの構築については、引き続き、**収束性を高める工夫**（例えば、問題の簡単化やソルバのパラメータ調整）が重要となるため、これまで頂いた指摘等を踏まえ、それらに関する更なる検討（工夫の効果確認）を進めていく。
- また、電源運用制約に関しては、現行モデル化できていない火力機の代表的な応動特性（「出力帯毎の出力変化速度」「出力帯毎のキープタイム」）についても、**SCUCロジックでのモデル化（運転パラメータモデル化）**が可能かどうかを検討していく。

### （参考）最適化ロジックの収束性を高める工夫

19

- 最適化ロジックの収束性を高める工夫としては、例えば、以下のようなアプローチが考えられる。  
 ① 解く問題（定式化・制約条件）を簡単にする  
 ② 商用ソルバのパラメータを調整する  
 ③ 計算機自体を高性能にする  
 ■ 今回はロジック技術検証のため、「①問題の簡単化」がメインと考えられるが、問題構造が固まった際は「②ソルバのパラメータ調整」も有効だと考えられる。（「③計算機の高性能化」は、実装段階で検討を行う）

※ソルバのパラメータ調整とは、解を探索するアプローチ（解法）を変えたり、例えば「全ての解空間を一に探索」する比較的時間的コストの高い探索方式から、探索し得る解を絞り込む。（注：一定の計算時間内に解が得られなくなる問題も可能）



出所) 第8回同時市場の在り方等に関する検討会（2024年4月19日）資料5より抜粋  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/doji\\_shijo\\_kento/pdf/008\\_05\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/doji_shijo_kento/pdf/008_05_00.pdf)

1. 検討状況の概要について
2. 「①基本ロジックの構築」の検証
  - － 1. 収束性を高める工夫
  - － 2. 火力機の応動特性のモデル化
  - － 3. 今後の進め方（技術検証会での議論内容）
3. 「②週間運用を可能にするSCUC・SCEDロジック」の検証
4. まとめと今後の検証の進め方について

■ 第4回本検討会（2023年11月27日）において、最適化ロジックの「収束性を高める工夫」として、例としてお示した以下の3つのアプローチについて今回検証したため、報告する。

- ① 解く問題（定式化・制約条件）を簡単にする
- ② 商用ソルバーのパラメータを調整する
- ③ 計算機自体を高性能にする

## 【最適化ロジックの収束性を高めるアプローチ】

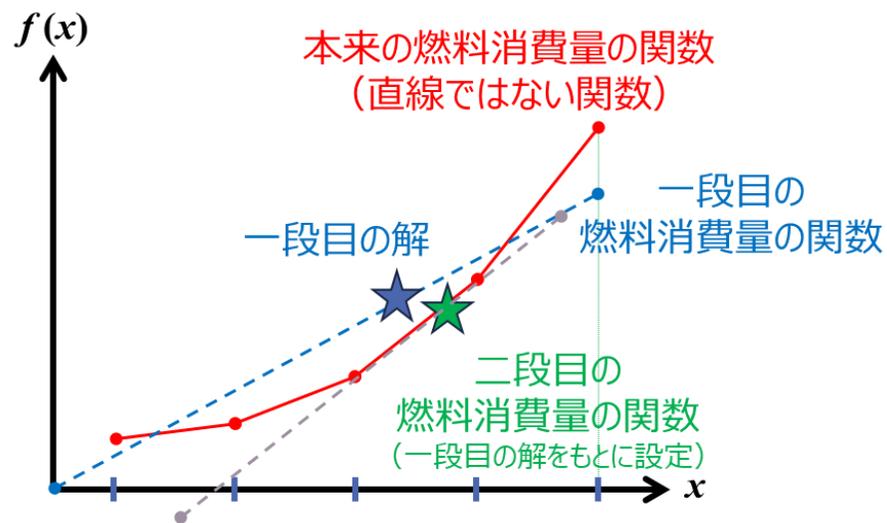
①問題の簡単化

②ソルバーの  
パラメータ調整

③計算機の  
高性能化

- 最適化計算においては、一般的に、非線形（直線的ではない）な特性よりも、線形（直線的）な特性を持つ問題（定式化・制約条件）の方が、解空間の探索が簡単になり、収束性が高い傾向がある。
- この点、電源起動・出力配分ロジック（SCUC・SCED）においては、火力機の燃料費特性や起動停止状態など様々な非線形な特性を持っている。
- このため、収束性を高める工夫の一つとして、一旦、線形的な特性を持つように、問題を簡単化した最適化計算を行ったうえで、その結果をもとに詳細な特性を模擬した最適化計算を行う、二段階最適化を行う方法が考えられる。

## 【二段階最適化のイメージ】



**一段目の最適化計算**  
例：電源運用特性を簡略化した  
電源起動停止計画問題

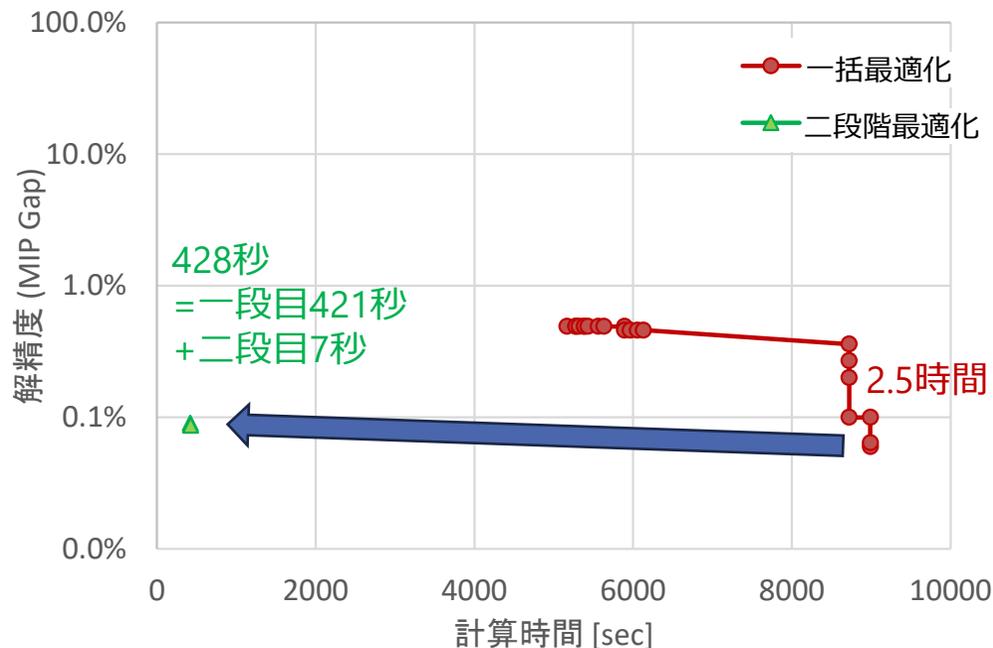
起動停止の組合せの探索に計算時間を要する場合、起動停止への影響が小さいと想定される変数の最適性を犠牲にした問題を解く

**二段階目の最適化計算**  
例：電源起動停止を固定した  
経済負荷配分問題

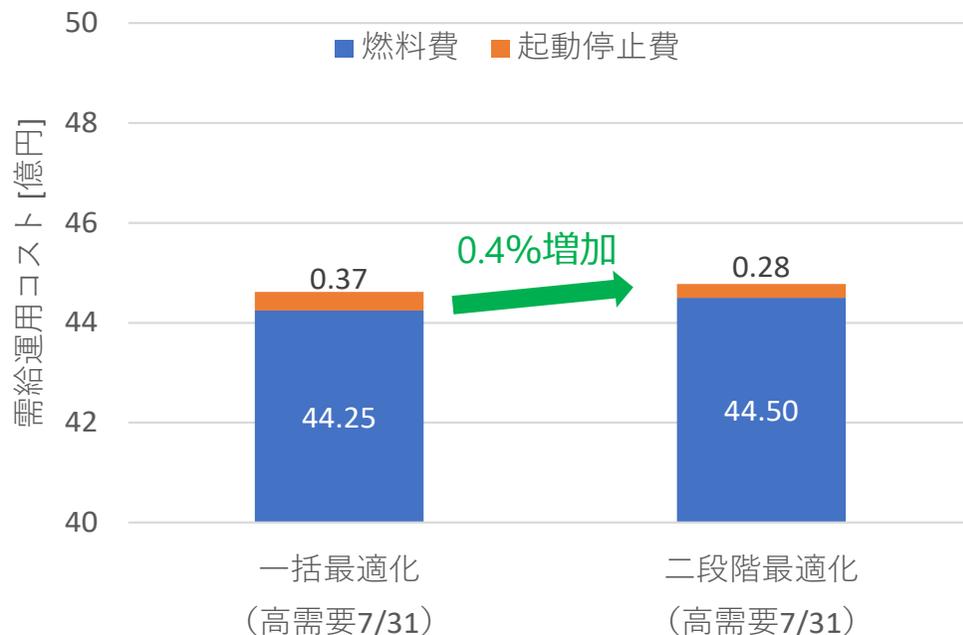
計算結果の精度を維持するため、簡略化した変数および制約条件を詳細に模擬した問題を解く

- 二段階最適化の一例として、広域連系系統モデル（ノード単位）を対象に、一段階目では燃料費特性を線形に簡略化して解き、二段階目では精緻な燃料費特性のもと、起動停止状態を固定して解いた結果を検証した。
- 収束性については、一括して最適化した場合に比べ、二段階最適化を行うことで、計算時間が短縮することが確認できた一方、需給運用コストは微少に増加する等、問題の簡単化により、最適解を取りこぼす特徴も見受けられた。
- 上記の特徴から、二段階最適化はそもそも一括最適化困難（解が求まらない、計算が所定時間に収まらない等）な場合などに適用を考える手法になると考えられる。

【収束過程】

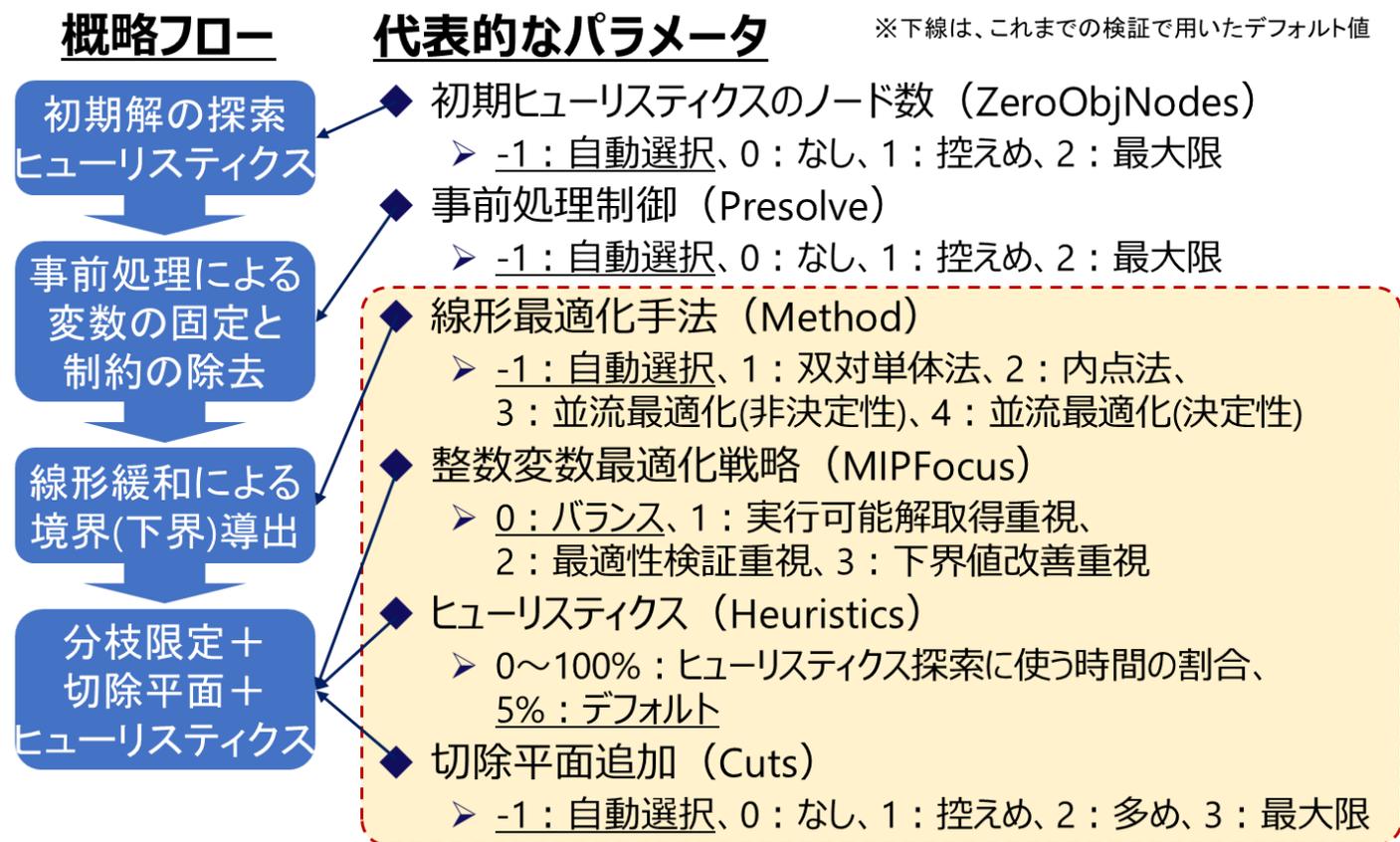


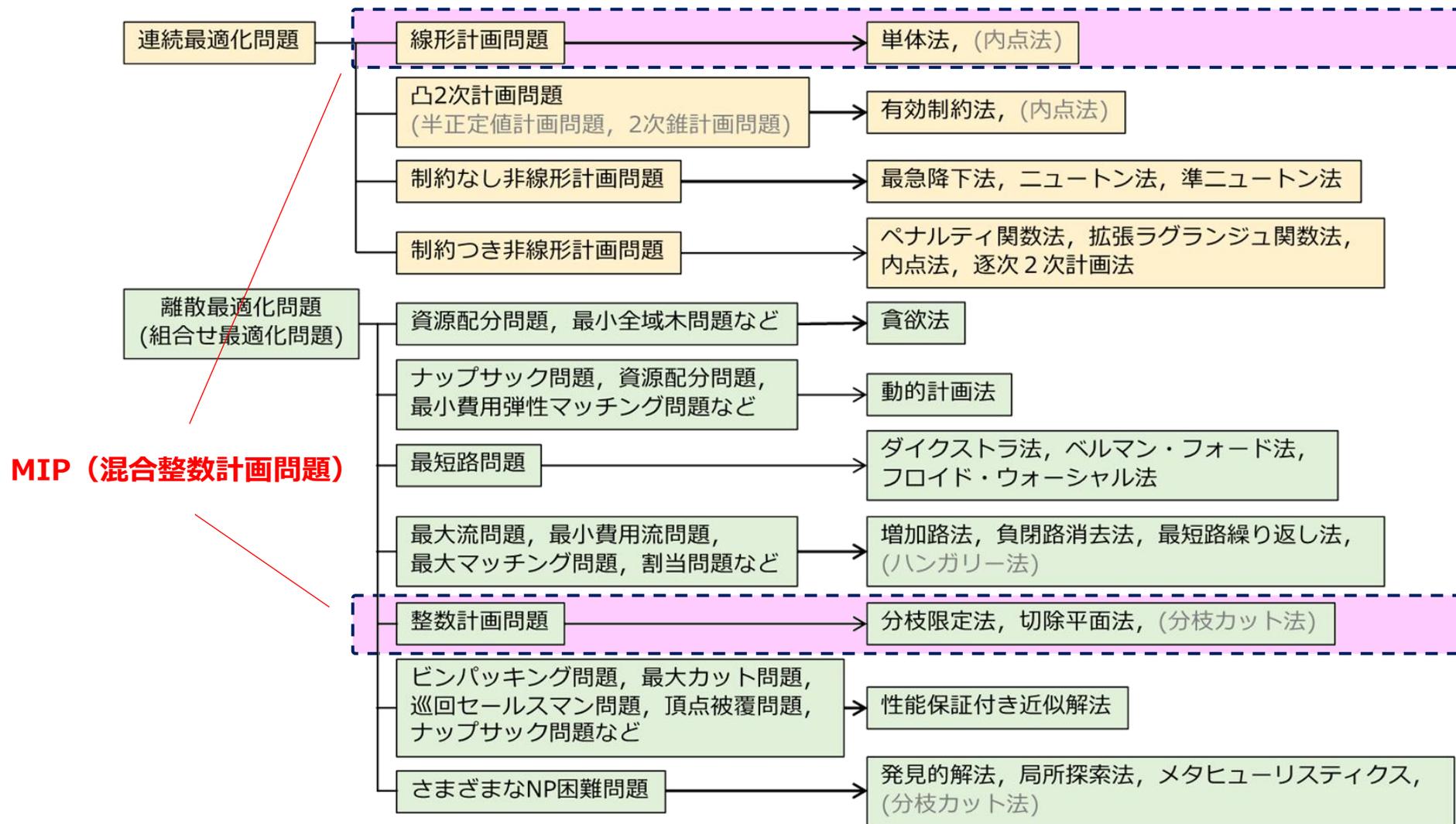
【需給運用コスト】



- 次に、商用ソルバー（Gurobi）のパラメータを調整することで、収束性を向上させる工夫について検討した。
- Gurobiにおける代表的なパラメータは下図のとおりであり、このうち、「線形最適化手法」「整数変数最適化戦略」「ヒューリスティクス（探索に使う時間の割合）」「切除平面追加（の多さ）」の4つについて、感度分析を行った。

**【Gurobiにおける代表的なパラメータ】**

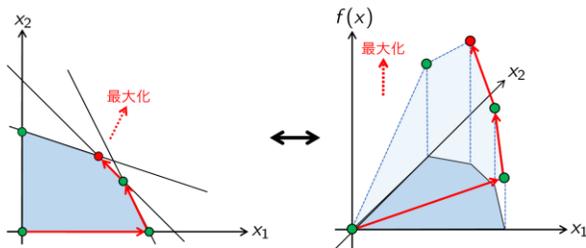




### 【線形計画問題に関する解法】

#### 単体法 Simplex法

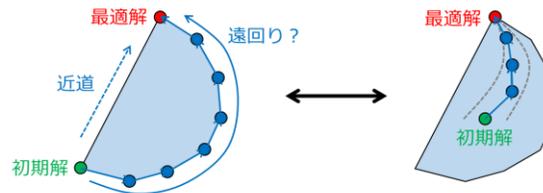
- 凸多面体のある頂点(実行可能解)から出発し、目的関数の値が改善する隣接頂点への移動を繰り返す。
- 各頂点では  $n$  枚の超平面が交差しているので、 $n$ 本の線形式からなる連立1次方程式を解けば対応する実行可能解が得られる\*。



\*単体法の実装では、連立1次方程式を一から解き直さなくても済むように工夫されている。

#### 内点法

- 単体法：実行可能領域の境界を通り最適解にたどり着く。  
✓実用的には高速だが、理論的には最悪で指数時間かかる例も知られている。
- 内点法：実行可能領域の内部を通り最適解にたどり着く。  
✓実用的に高速で、理論的にも最悪で多項式時間に抑えられる。
- 大規模な問題例を1回だけ解くなら内点法が効率的。
- 入力データを変更して解き直す際に、変更前の最適解を出発点として変更後の最適解を求める再最適化では単体法が効率的。



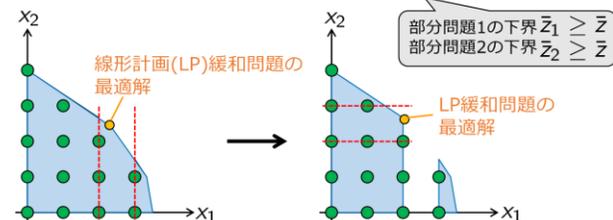
### 【整数計画問題に関する解法】

#### 分枝限定法

- 最適化問題に対する汎用的な厳密解法。
- 分枝操作：実行可能領域を分割して部分問題を生成する。  
(緩和解が実数値を取る変数  $x_t$  を選んで、 $x_t \leq \lfloor \bar{x}_t \rfloor$  を追加した問題と、 $x_t \geq \lceil \bar{x}_t \rceil$  を追加した問題に分割する)
- 限定操作：緩和問題から得られる下界値を用いて最適解が得られる見込みのない部分問題を省く。

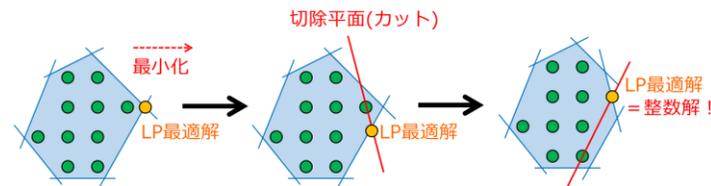
緩和解  $\bar{x}$   
緩和解の目的関数値  $\bar{z}$

(分枝前の下界値  $\bar{z} \leq$  分枝後の下界値  $\min\{\bar{z}_1, \bar{z}_2\}$ )



#### 切除平面法

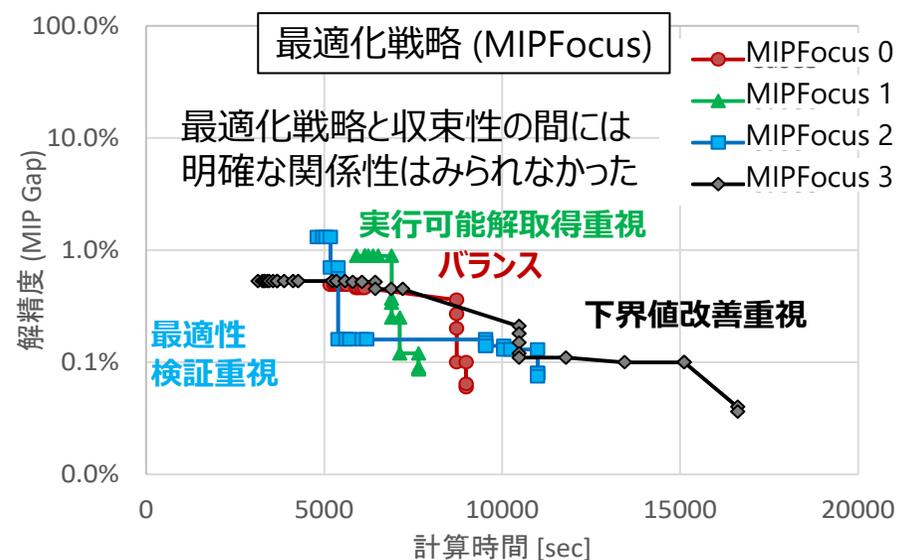
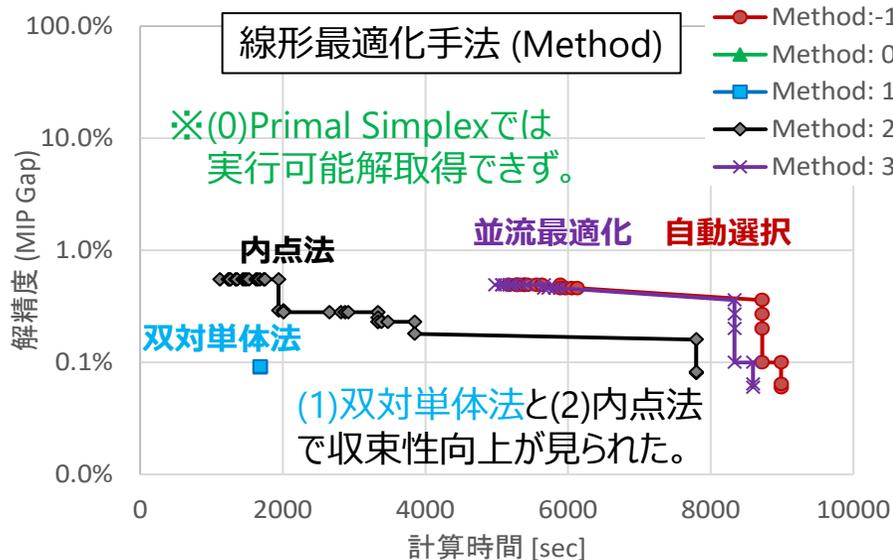
- 全ての実行可能な整数解を含む凸包は凸多面体 → 線形計画問題
- 前もって凸包の不等式表現を知るのは困難だしその数も膨大。
- 線形計画問題の最適解  $\bar{x}$  が整数解でないとき、 $\bar{x}$  を切除する制約式を追加する (ただし、整数計画問題の実行可能解は切除しない)。
- 切除平面を追加するに従って最適解に近づく。



整数計画ソルバーは分枝限定法と切除平面法を組み合わせた分枝切除平面法を用いている

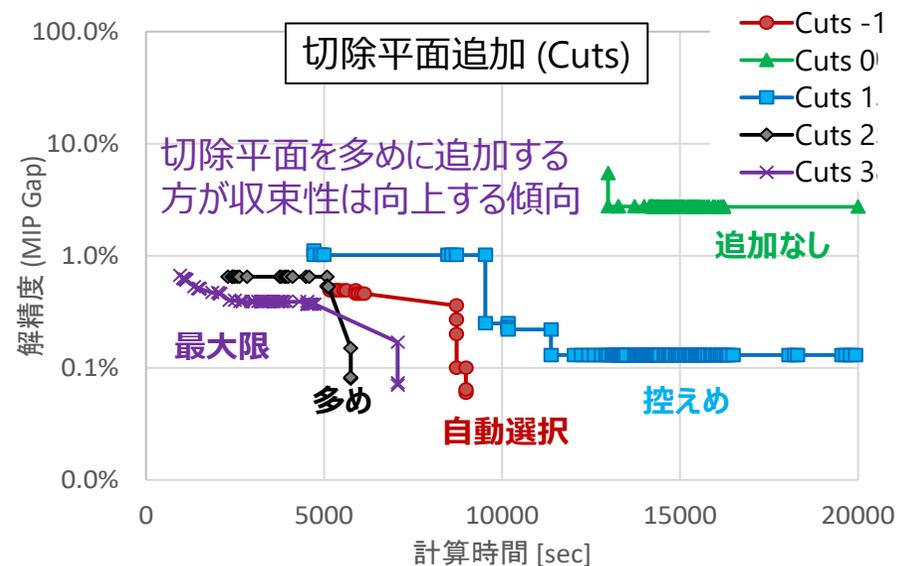
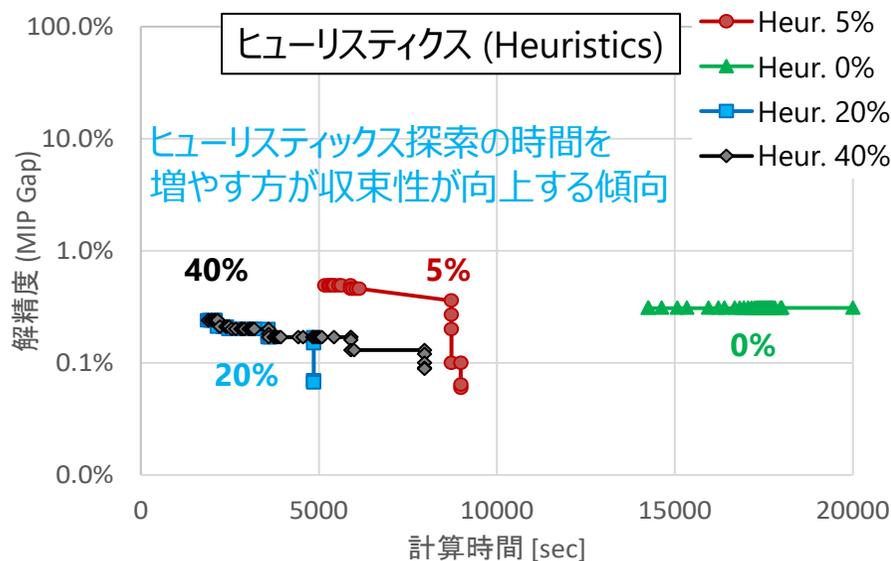
- まず、「線形最適化手法」については、自動選択（デフォルト）とするよりも、双対単体法や内点法に変更することで収束性の向上が見られた。
- 一方で「最適化戦略」については、バランス（デフォルト）から変化させても、明らかに収束性が向上するような戦略は見られなかった。

### 【ソルバーのパラメータ調整による効果（線形最適化手法・最適化戦略）】



- 「ヒューリスティクス (探索に使う時間の割合)」については、5% (デフォルト) とするよりも、ヒューリスティクス探索の時間を増やす方が収束性が向上する傾向が見られた。
- また、「切除平面追加 (の多さ)」については、自動選択 (デフォルト) とするよりも、切除平面を多めに追加する方が収束性が向上する傾向が見られた。

【ソルバーのパラメータ調整による効果 (ヒューリスティクス・切除平面追加)】



- 今回の前提条件で、Gurobiにおける代表的な4つのパラメータの感度分析を行った結果は、下記のとおり。
  - 線形最適化手法：双対単体法、内点法で収束性向上が見られた
  - 最適化戦略：収束性との間に、明確な関係性は見られなかった
  - ヒューリスティック：ヒューリスティクス探索の時間を増やす方が収束性が向上する傾向が見られた
  - 切除平面追加：切除平面を多めに追加する方が収束性が向上する傾向が見られた
- 他方で、需給・系統状況等の解く問題の前提条件によっても上記傾向が変わりうることや、パラメータ同士が影響を与え合うことにも留意が必要となる。
- このように、実際の実装にあたっては問題に合わせたチューニングが必要となるものの、パラメータ調整により収束性が向上する可能性について、一定程度確認できた。

- 最後に、計算機自体を高性能化する工夫に関して、第8回技術検証会（2024年11月27日）において、小宮山委員から、ご示唆をいただいた。
- 具体的には、高速な計算環境において、更に双対ギャップ（MIP Gap）の目標精度を高く変更（0.1~0.3% → 0.01%）しても、これまでの検証と同程度の時間で同様の最適化結果（電源ラインナップ・出力配分結果）が得られることが確認され、一定程度、収束性向上の見込みが得られた。

## 最適電源構成モデル(概要)

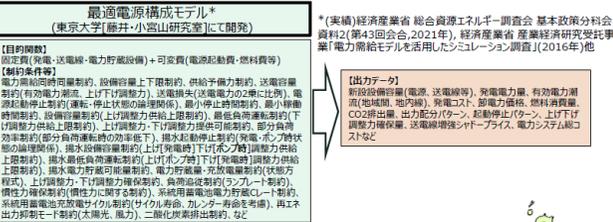
※入力データは本検証会検証用データを利用

- 【入力データ】
- 火力・原子力：起動費、最低出力、燃料費、設備容量、所内率、定格熱効率(Mcal/KWh)、最低負荷運転熱効率(Mcal/KWh)、最小停止時間、最小運転時間、定格日稼、負荷追従率、建設コスト、耐用年数、運転維持費、CO2排出(CO2回収設備無し)、CO2回収設備耐用年数、CO2回収効率、調整力提供可能量、慣性力供給量、燃料熱量、CO2原単位
  - 揚水式水力：設備容量(出力、池容量)、充電効率、発電時最低負荷率、水力発電効率率、慣性力供給量、建設コスト、耐用年数、運転維持費、貯風口、最大年平均稼働率
  - 系統用蓄電池(長周期用電池、短周期用電池)：設備コスト(充電容量[yen/KWh]、パワー容量[yen/KWh])、サイクル効率、自己放電率、最大年平均稼働率、リチウム寿命、サイクル寿命、時間容量、Cレート
  - 太陽光・風力(陸上・洋上)：設備利用率(時期別)、建設コスト、耐用年数、運転維持費、出力調整モード
  - 一級水力、地熱等：設備容量、稼働率、建設コスト、耐用年数、運転維持費、調整力提供可能量、慣性力供給量
  - 送電線：送電線建設コスト、送電線制約/アクセス、送電線容量上下限制約、送電線費用上限制約、送電損失率
  - 電力日負荷曲線

- 地点数 1,191地点
- 基幹送電線 1,384本
- 時間解像度：1時間値、年間8,760時間
- 火力・原子力：647基、揚水式水力：39基
  - 起動停止状態を考慮
- 目的関数[電力システム総コスト]
  - ベナルティ項は調整力必要量制約にて考慮

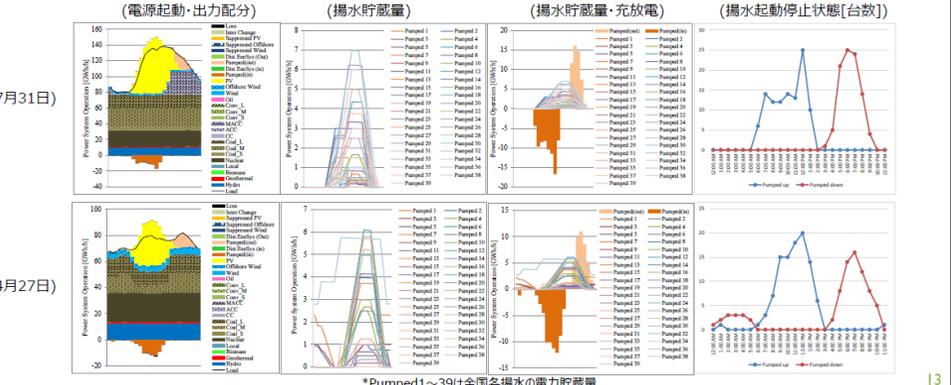
- 電力需要固定(価格弾力性ゼロ)
- 計算条件：MIP GAPの許容範囲→10<sup>-4</sup>(0.01%) [CPLEXデフォルト値]

投資(設備容量)、出力配分、起動停止、調整力、電力潮流(地内・地域間、直流法)  
→日本全国の電力システム総コスト最小化を通じて決定(混合整数計画法)[線形緩和も可能]



## 系統ネットワーク制約を考慮した最適電源構成モデルによる試算(全国)

- 計算機性能(CPU:2.9GHz×2,コア:48,メモリ:768GB)
- MIP計算方針：“balance optimality and feasibility”(最適性と整数許容性のバランスをとる)
- 計算時間：(7月31日)約2時間40分、(4月27日)約4時間22分 ※計算時間は計算機性能や使用状況等に依存し変化する点に留意  
(参考)計算時間(線形緩和の場合)：(7月31日)約26秒、(4月27日)約35秒 ※調整力必要量制約のベナルティ項無し



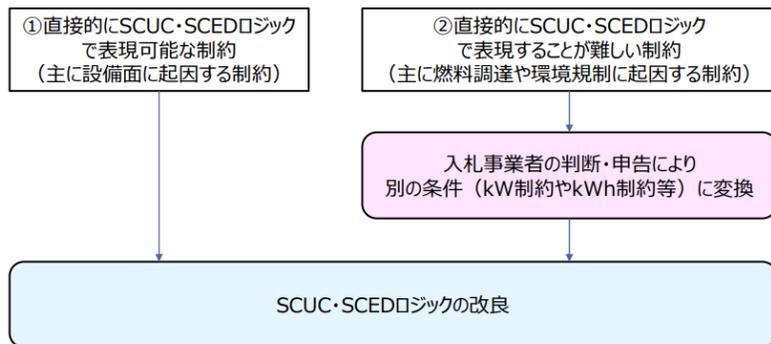
1. 検討状況の概要について
2. 「①基本ロジックの構築」の検証
  - － 1. 収束性を高める工夫
  - － 2. 火力機の応動特性のモデル化
  - － 3. 今後の進め方（技術検証会での議論内容）
3. 「②週間運用を可能にするSCUC・SCEDロジック」の検証
4. まとめと今後の検証の進め方について

- 第6回本検討会（2024年2月5日）において、電源起動・出力配分（SCUC・SCED）ロジックに係る電源運用制約への対応としては、「①制約を直接的にロジックに組み込む方法」と、直接的にロジックに組み込むことが難しい場合（個別性が強い制約で事業者により制約がケースバイケースである場合等）には、「②入札事業者の判断・申告により、制約を別の条件（kW制約やkWh制約等）に変換した上で、その条件をロジックに組み込むといった間接的な方法」をお示した。
- このうち、「①制約を直接的にロジックに組み込むという方法」については、現行の電中研SCUCツールにおいても既に、米PJMの事例等を踏まえても遜色ないレベルであるものの、まだモデル化できていない火力機の代表的な応動特性の実現性を検討していくこととしており、今回、「起動停止カーブ」および「出力帯毎の特性」のモデル化を検討した。

## 電源運用制約への対応

12

- 電源運用制約には、一例として、下記のような制約が存在している。  
設備面に起因する制約：出力・運転方法の制約、起動停止の回数、運用時間帯・負荷率の制限、機器の点検・不具合 等々  
燃料調達に起因する制約：燃料の消費量、BOG制約、騒音・排水・排気等の環境影響、燃料搬入船の接岸時期・回数 等々
- 電源起動・出力配分（SCUC・SCED）ロジックとの関係では、①制約を直接的にロジックに組み込むという方法（設備面に起因する制約に多いと考えられる。）と、②燃料調達や環境規制など個別性が強い制約で事業者により制約がケースバイケースであり、直接的にロジックに組み込むことが難しい場合、入札事業者の判断・申告により、制約を別の条件（kW制約やkWh制約等）に変換した上で、その条件をロジックに組み込むといった 間接的な方法が考えられる。



## 追加的に検討する運転パラメータのモデル化について

17

- その他、火力機の代表的な応動特性として「出力帯毎の出力変化速度」「出力帯毎のキープタイム」といった制約も存在するが、これらについて、現行はモデル化できていないため、今後、SCUCロジックでのモデル化（運転パラメータモデル化）が可能かどうか検討していくこととしたい。

（3-1）EDC・LFC 運転 EDCやLFCを分担する火力機の出力応動特性として出力上下限制約の他に留意すべき主な点は、設備として可能な出力変化速度、出力レベルに応じた補機の切替時間である。  
●出力変化速度<sup>(2)</sup>：ボイラ種別（貫流、ドラム）、燃料種別（石炭、原重油、LNGなど）、出力帯に依存する。例

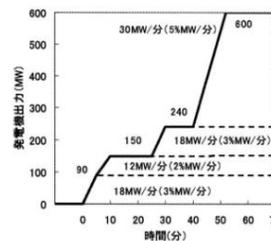


図3 DSS 火力機 (LNG, 600 MW) の出力上昇パターン例<sup>(2)</sup>  
Fig. 3. Example of start-up pattern of DSS thermal power plant (LNG, 600 MW).

例えば、石炭貫流では1~2%MW/分程度、LNG貫流では3~5%MW/分程度である。また、低出力帯では変化速度が小さく、高出力帯では大きい。

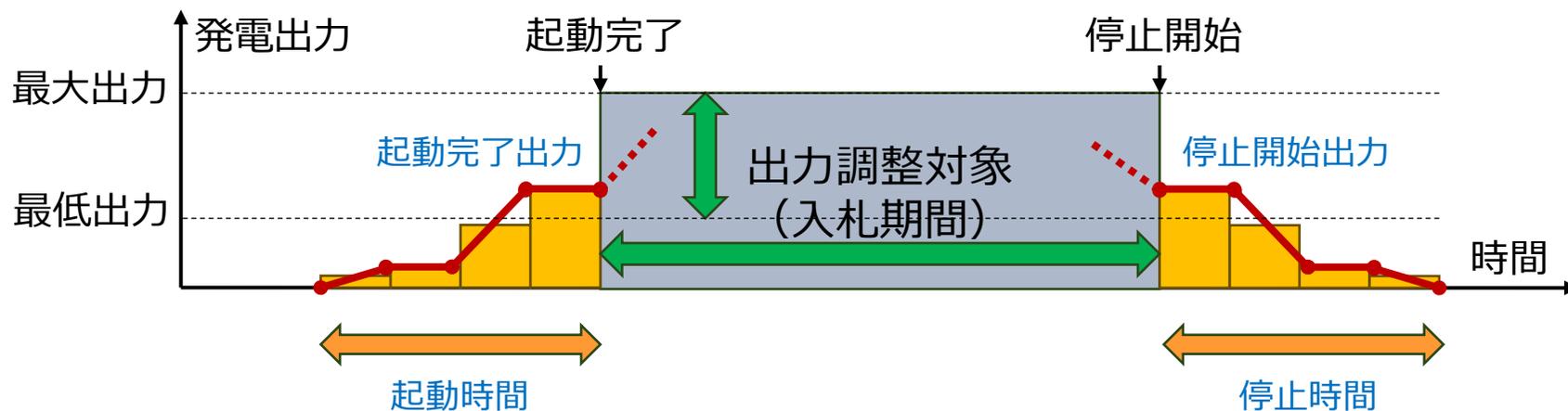
- 補機の切替時間<sup>(2)</sup>：出力レベルに応じてバーナ本数、石炭ミル（微粉炭機）台数、給水ポンプ台数など補機の変更が必要である。また、補機の変更中は出力変更ができず、変更時間も10数分~数十分と長い。これらの出力応動特性はDSS (Daily Start Stop) 運用のLNG火力機(600 MW)の出力上昇パターン例(図3)からも見てとれる。これは設備として可能な最速の出力上昇パターンであり、特にEDCではこのような出力上昇特性(制約)は重要な留意点である。

項目	内容
出力帯毎の出力変化速度	出力帯ごとの出力変化速度
出力帯毎のキープタイム	給水ポンプの起動停止や石炭ミル切替に伴う、出力変化速度の制限

出所) 電気学会論文誌B「電力系統の周波数制御から見た火力機の出力応動特性」(2004年) 124巻3号をもとに作成  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/ieejpes/124/3/124\\_3\\_343/article/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/ieejpes/124/3/124_3_343/article/-char/ja)

- まずは、起動停止カーブを考慮したロジック構築ならびに検証を行った。
- 具体的には、起動前の時間コマにおける起動カーブ、および停止後の時間コマにおける停止カーブに相当する電力量（下図オレンジ領域）を設定できるようにし、その上で各起動・停止時間コマにおける需給バランスが一致する制約となるようにロジックを構築（改修）した。

### 【起動カーブおよび停止カーブのイメージ】



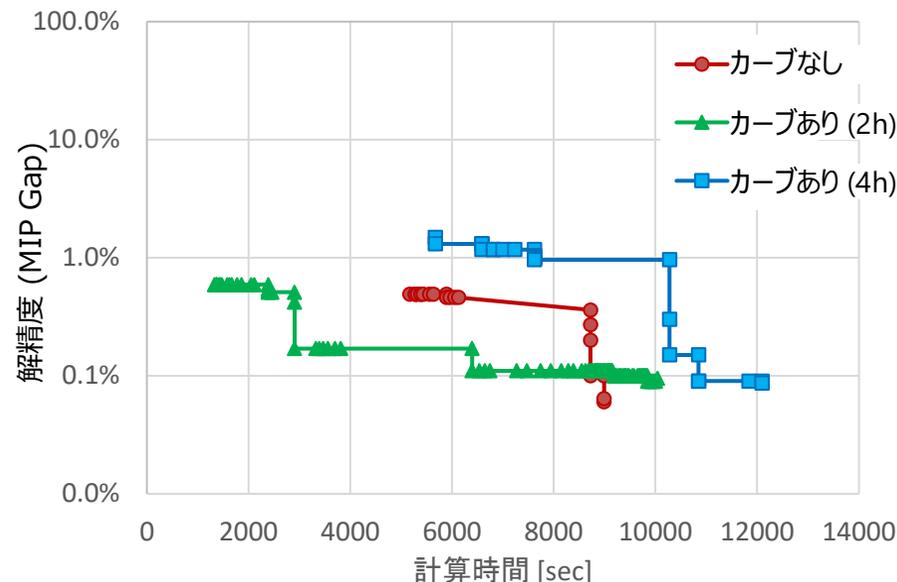
- 続いて、構築したロジックについて、石炭機に2時間あるいは4時間でランプ（一定速）変化する起動カーブおよび停止カーブを設定※して、挙動を確認した。
- まず、収束性については、複数断面の需給バランス制約に影響を与えることから、起動停止カーブを考慮しなかった場合に比べて、計算時間が増加するものの、大きくは収束性を悪化させていないことを確認した。

※ ロジックとしてランプ（一定速）変化しか設定できない訳ではなく、機器に応じた任意のカーブを設定することも可能。

## 【収束性の評価】

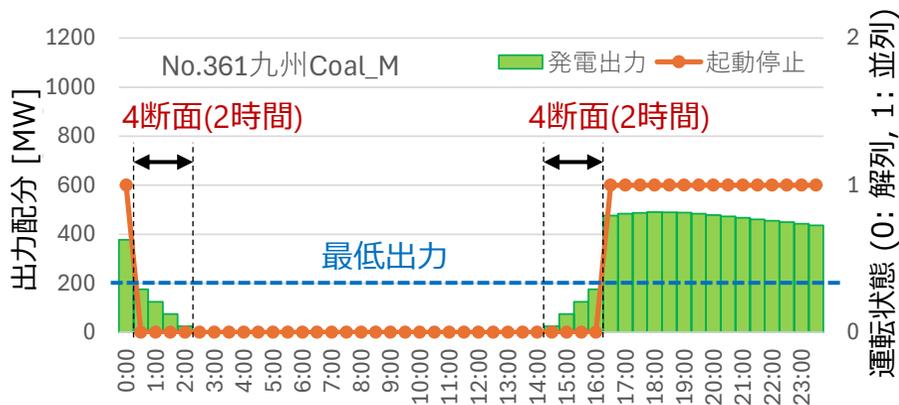
ケース	起動停止カーブの考慮	対象電源	起動停止時間	MIP Gap	計算時間
1	なし	なし	0.0 時間	0.064%	2.5 時間
2	ゼロ～最低出力、ランプ変化	石炭機	2.0 時間	0.091%	2.9 時間
3	ゼロ～最低出力、ランプ変化	石炭機	4.0 時間	0.087%	3.1 時間

## 【収束性過程】

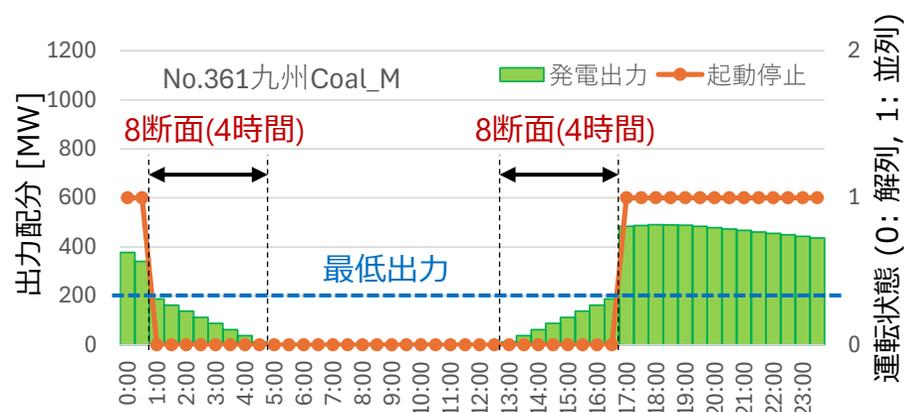


■ 次に、出力配分については、設定したとおりの起動カーブおよび停止カーブが反映された出力配分結果となっており、想定通りの挙動となることが確認された。

### 【発電機の発電出力と起動停止 (2時間)】



### 【発電機の発電出力と起動停止 (4時間)】

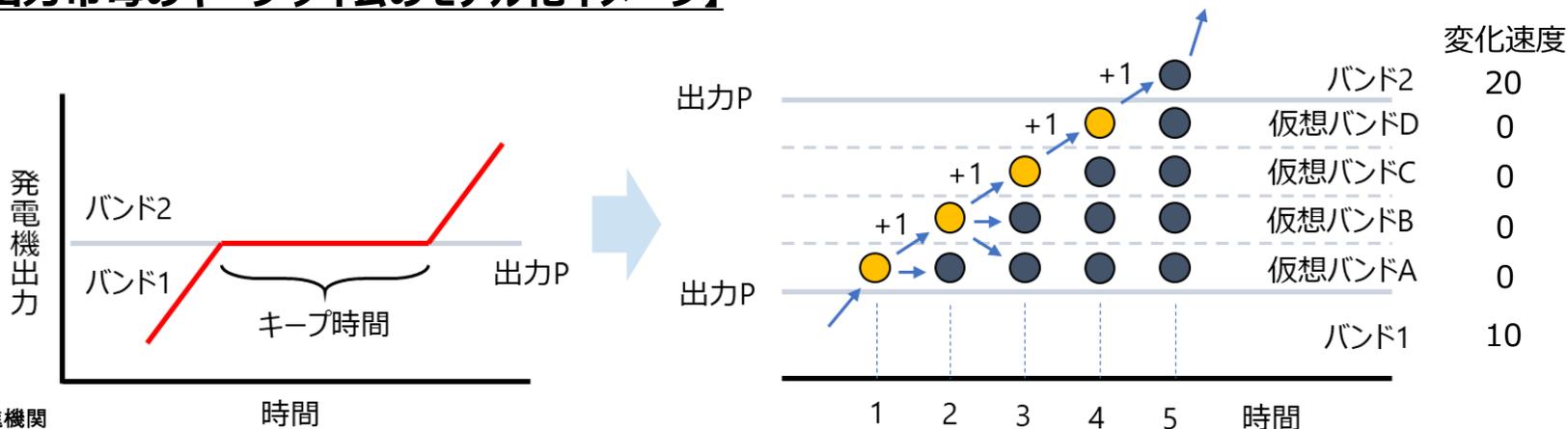


- 次に、出力帯毎の特性として、「出力帯毎の出力変化速度」および「出力帯毎のキープタイム」を考慮したロジックを構築した。
- 具体的には、出力帯（バンド）毎に出力変化を設定できるようにしたうえで、バンドが切り替わる出力になった際に、出力変化0の仮想的なバンドを複数遷移させることで、必要時間以上のキープタイムを模擬できるように改修した。

**【出力帯毎の特性】**

項目	内容
出力帯毎の出力変化速度	出力帯ごとの出力変化速度
出力帯毎のキープタイム	給水ポンプの起動停止や石炭ミル切替等に伴う、出力変化速度の制限

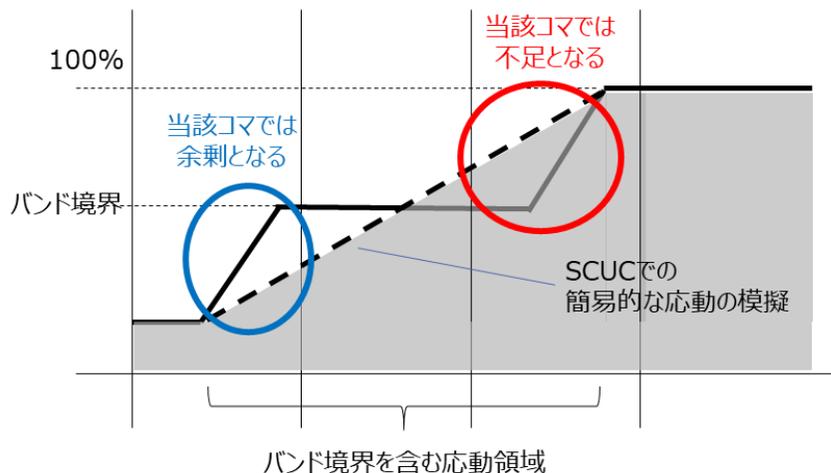
**【出力帯毎のキープタイムのモデル化イメージ】**



- 他方で、出力帯毎の特性を考慮したロジックは、出力帯毎の特性を表す変数および制約条件が増加することから、一度（一括）の最適化計算で解を得ることが難しいことが想定される。
- そのため、前述の通り、最初に応動特性を簡易化した最適化を行い、その結果から一部の起動停止状態を固定化して、元の応動特性を模擬した最適化を行う、二段階最適化についてもロジック構築を行った。

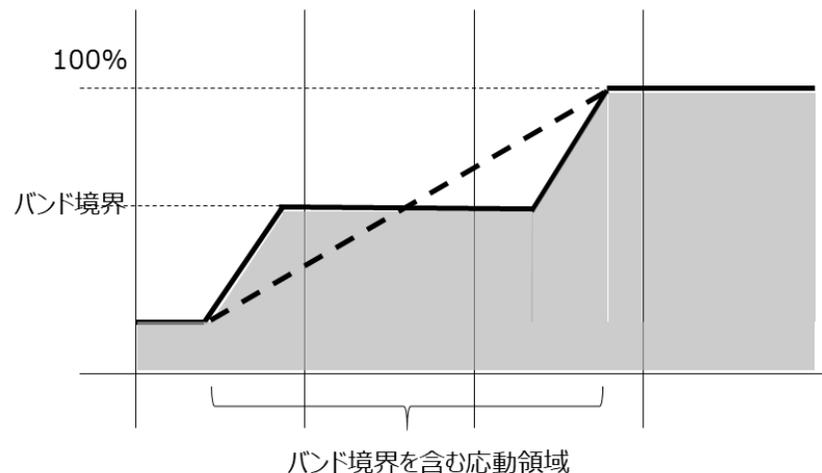
### 【出力帯毎の特性を考慮したロジックにおける二段階最適化のイメージ】

【応動特性を簡易化（直線化）した一段階目の最適化】



一部の  
起動停止を  
固定

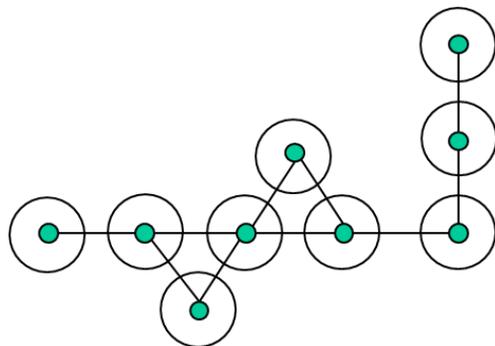
【元の（複雑な）応動特性を模擬した二段階目の最適化】



- 続いて、広域連系システムモデルに対して、構築したロジックの挙動検証を行った。
- 出力帯毎の特性のモデル化により収束性の課題が生じる可能性があることを踏まえ、まずもってはエリア単位に集約（連系線のみシステム制約を考慮）したモデルで、収束性ならびに想定通りの挙動となるかを確認したうえで、ノード単位のモデルにおいて、収束性を中心に確認を行った。

【広域連系システムモデル  
（エリア単位）での検証イメージ】

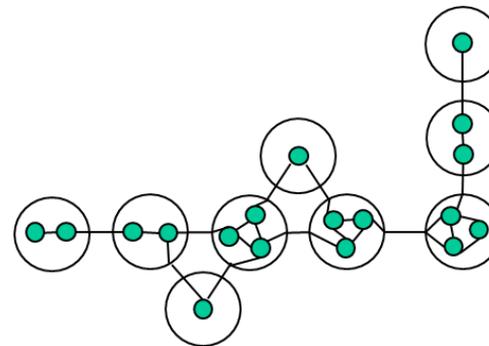
※連系線制約あり・地内制約なし



エリア単位の検証

【広域連系システムモデル  
（ノード単位）での検証イメージ】

※連系線・地内制約あり



ノード単位の検証

- ◆ 系統モデル：広域連系系統モデル（エリア単位およびノード単位）
  - 重負荷期（7/31）の日間48断面
  - 所要調整力はエリア需要2%相当とし、上げ・下げ方向に対して容量確保
  - 連系線のブランチ潮流制約およびフェンス潮流制約を考慮
- ◆ 火力電源のバンド設定
  - 石炭火力（Coal\_S/M/L）と従来LNG火力（Conv\_S/M/L）に設定
- ◆ 最適化計算の設定
  - 計算打ち切り時間：36,000秒（10時間）
  - MIP-Gap：0.1%

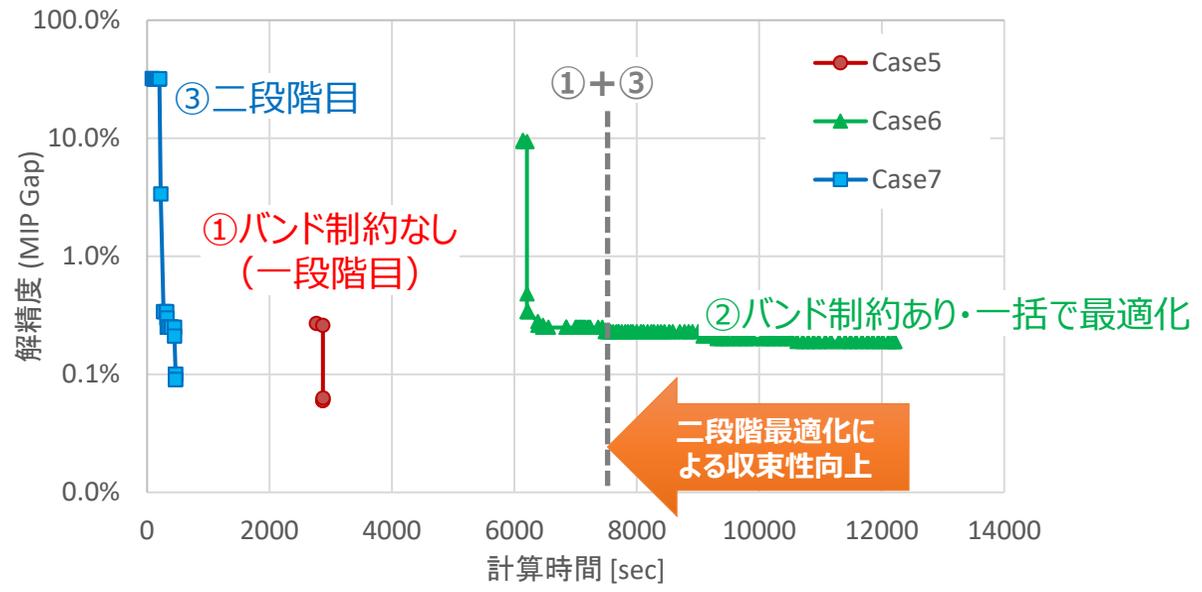
電源種別	最大出力 (MW)	最低出力 (MW)	バンド1 (MW)	バンド2 (MW)	バンド3 (MW)	切替時間 (min)
石炭 Coal_L	1,000	350	350～500	500～700	700～1,000	60
石炭 Coal_M	600	200	200～300	300～420	420～600	60
石炭 Coal_S	100	50	50～70	70～100	—	60
LNG Conv_L	1,000	350	350～500	500～700	700～1,000	60
LNG Conv_M	600	200	200～300	300～420	420～600	60
LNG Conv_S	100	50	50～70	70～100	—	60

- まず、広域連系系統モデル（エリア単位）の収束性について、「出力帯毎の特性を考慮しない場合」、「考慮して一括で最適化する場合」、および、「考慮して二段階で最適化する場合」の比較を行った。
- 出力帯毎の特性の考慮により（「出力帯毎の特性を考慮しない場合」に比べて、「考慮して一括で最適化した場合」の）計算時間は長くなるが、二段階最適化により（「考慮して一括で最適化した場合」に比べて、「考慮して二段階で最適化する場合」の）計算時間が短縮できることを確認した。

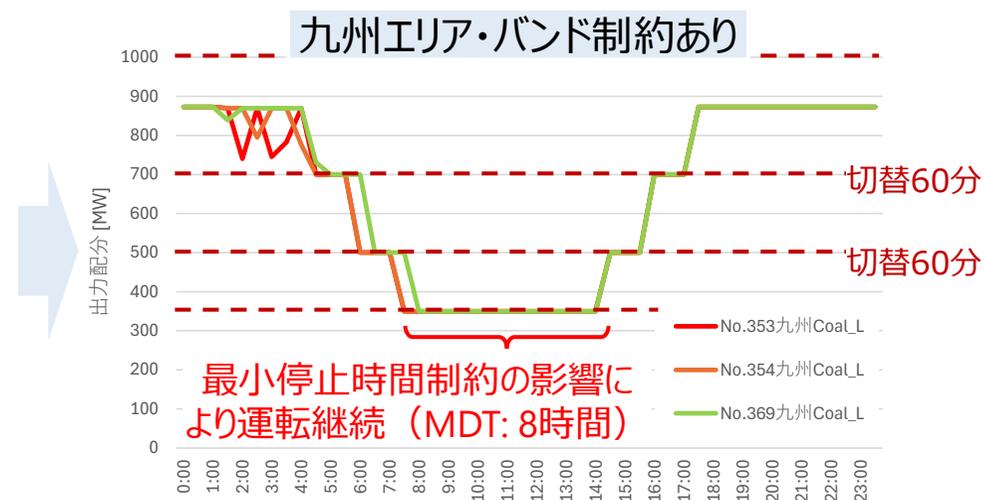
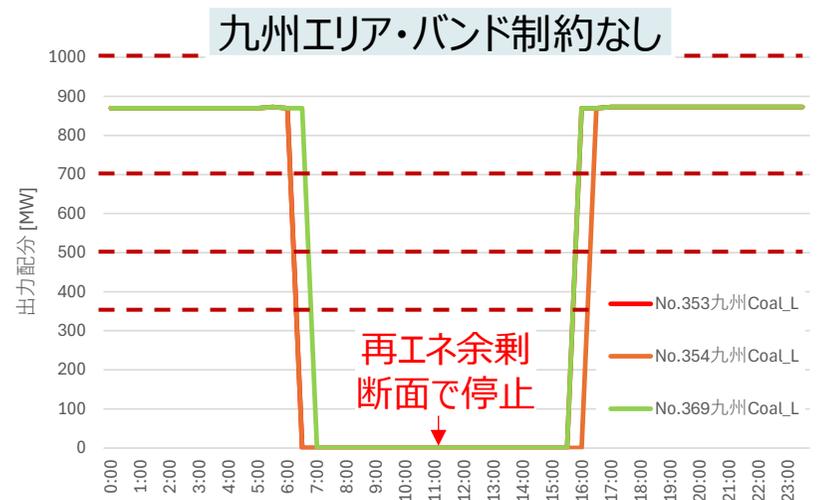
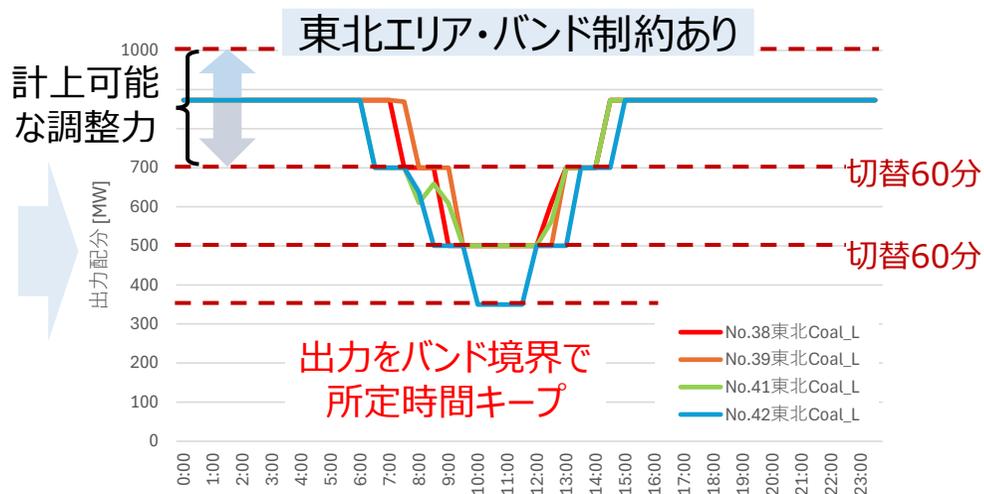
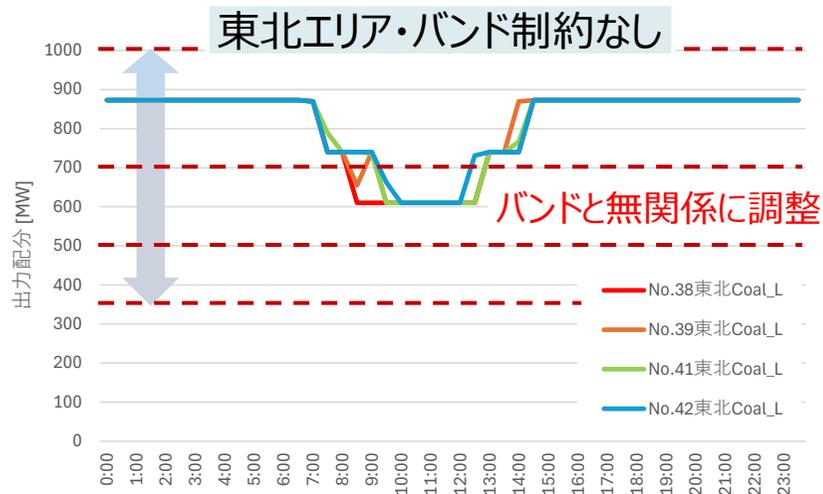
ケース	バンド制約	切替時間 (min)	連続変数 (※1)	離散変数 (※1)	計算時間 (sec)	計算精度MIP-Gap (%)
1	なし	なし	280,058 (176,123)	60,227 (57,110)	2,871	0.0629%
2	一括で考慮	60 (2コマ)	280,058 (103,364)	116822 (54,164)	4,041	0.1895%
3	二段階で考慮 (起動のみ※2)	60 (2コマ)	280,058 (166,087)	100,652 (47,875)	464 (計3,335)	0.0902%

※1 括弧内はソルバーの前処理（問題縮小処理）後の数

※2 ケース1の計算結果の起動・停止の両方を固定すると実行可能解が得られないため、起動のみを固定した

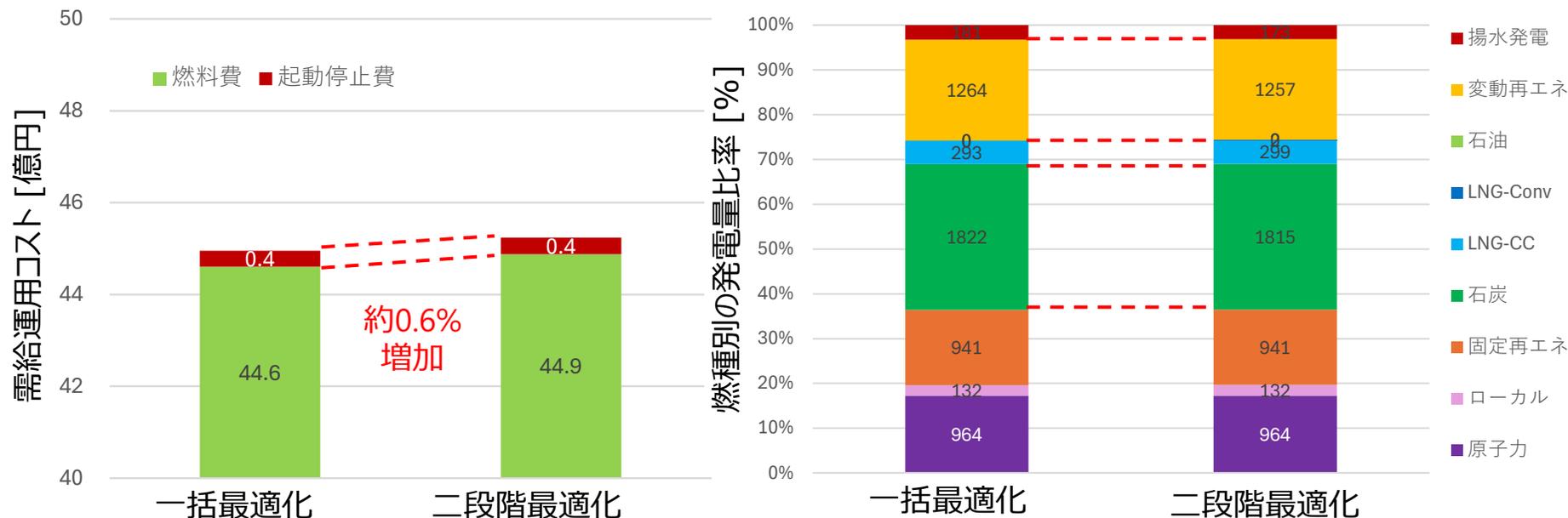


■ 次に、電源の出力配分については、出力帯毎の特性を考慮することで、出力帯の切り替えにおいて、所定のキープタイムが確保されており、想定通りの挙動となることが確認された。



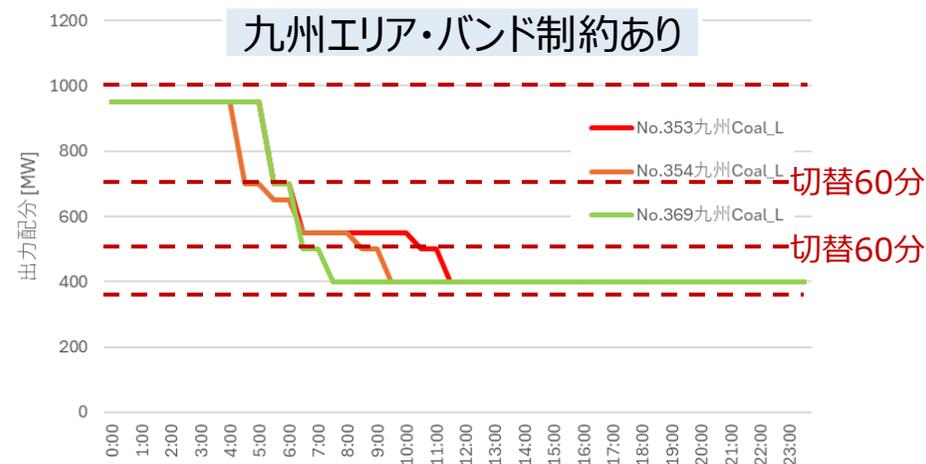
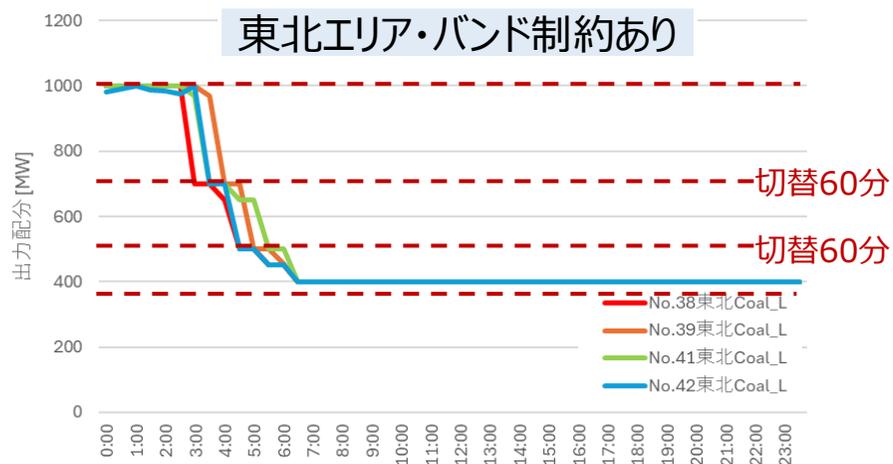
■ 「一括で最適化する場合」と「二段階で最適化する場合」の比較においては、需給運用コストについては約0.6%と僅かに増加している一方、出力配分の結果としてはほとんど違いが見られなかった。（前述のとおり、二段階最適化はそもそも一括最適化困難な場合などに適用を考える手法であるため、本比較はあくまで二段階最適化がそこまで一括最適化と乖離した結果とならないことを示しているもの）

**【需給運用コスト・出力配分の比較（一括最適化・二段階最適化）】**



- 続いて、広域連系系統モデル（ノード単位）に対して、ロジックの挙動確認を行った。
- 収束性については、「出力帯毎の特性を考慮して一括で最適化する場合」には、制約条件を満たすことができる実行可能解を得ることができなかつたが、「（出力帯毎の特性を考慮して）二段階で最適化する場合」には、解を得ることができた（ロジックとして実現可能な目途がたった）。
- また、電源の出力配分については、出力帯毎の特性を考慮することで、出力帯の切り替えにおいて、所定のキープタイムが確保されており、広域連系系統モデル（エリア単位）と同様に、想定通りの挙動となることが確認された。

ケース	断面	バンド制約	最適化手法	実行可能解	MIP-Gap	計算時間
1-1	高需要 7/31	なし	バンド制約なしで最適化	○ あり	1.05%	10.0 時間
1-2		あり	バンド制約ありで一括最適化	× 時間切れ	-	-
1-3		〃	二段階最適化（起動のみ固定）	○ あり	1.23%	17.6 時間



- 電中研SCUCツールで、まだモデル化できていない火力機の代表的な応動特性の追加検討として、今回、「起動停止カーブ」および「出力帯毎の特性」を考慮したロジックを構築し、想定通りの挙動となることが確認できた。
- **電源運用制約については**、既に海外事例と比較しても高度なレベルで織り込むことが出来ており、今回検証により、概ね火力機の代表的な応動特性も考慮できたことから、**対応の見込みが一定程度確認できた**と考えられるか。

## 追加的に検討する運転パラメータのモデル化について

17

- その他、火力機の代表的な応動特性として「出力帯毎の出力変化速度」「出力帯毎のキープタイム」といった制約も存在するが、これらについて、現行はモデル化できていないため、今後、SCUCロジックでのモデル化（運転パラメータモデル化）が可能かどうか検討していくこととしたい。

〈3-1〉EDC・LFC 運転 EDCやLFCを分担する火力機の出力応動特性として出力上下限制約の他に留意すべき主な点は、設備として可能な出力変化速度、出力レベルに応じた補機の切替時間である。

- 出力変化速度<sup>(2)</sup>：ボイラ種別（貫流、ドラム）、燃料種別（石炭、原重油、LNGなど）、出力帯に依存する。例

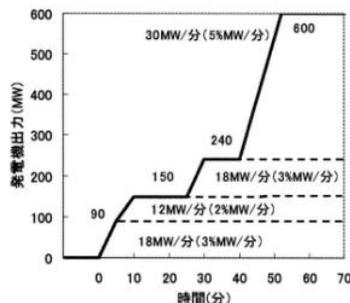


図3 DSS火力機(LNG, 600MW)の出力上昇パターン例<sup>(2)</sup>

Fig. 3. Example of start-up pattern of DSS thermal power plant (LNG, 600 MW).

例えば、石炭貫流では1~2%MW/分程度、LNG貫流では3~5%MW/分程度である。また、低出力帯では変化速度が小さく、高出力帯では大きい。

- 補機の切替時間<sup>(2)</sup>：出力レベルに応じてバーナ本数、石炭ミル（微粉炭機）台数、給水ポンプ台数など補機の変更が必要である。また、補機の変更中は出力変更ができず、変更時間も10数分~数十分と長い。

これらの出力応動特性はDSS (Daily Start Stop) 運用のLNG火力機(600MW)の出力上昇パターン例(図3)からも見てとれる。これは設備として可能な最速の出力上昇パターンであり、特にEDCではこのような出力上昇特性(制約)は重要な留意点である。

項目	内容
出力帯毎の出力変化速度	出力帯ごとの出力変化速度
出力帯毎のキープタイム	給水ポンプの起動停止や石炭ミル切替等に伴う、出力変化速度の制限

出所) 電気学会論文誌B「電力系統の周波数制御から見た火力機の出力応動特性」(2004年)124巻3号をもとに作成  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/ieejpes/124/3/124\\_3\\_343/article/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/ieejpes/124/3/124_3_343/article/-char/ja)

1. 検討状況の概要について
2. 「①基本ロジックの構築」の検証
  - － 1. 収束性を高める工夫
  - － 2. 火力機の応動特性のモデル化
  - － 3. 今後の進め方（技術検証会での議論内容）
3. 「②週間運用を可能にするSCUC・SCEDロジック」の検証
4. まとめと今後の検証の進め方について

- 第8回技術検証会および第10回技術検証会において、収束性を高めるためのパラメータ調整にあたっては、複数台の計算機により並列計算を行う工夫が考えられる等、様々なご示唆をいただいた。
- 今回の検証で、パラメータ調整等の工夫による収束性向上や、火力機の代表的な応動特性のモデル化による電源運用制約への対応について、一定程度の見通しを得られたと考えられる。（**検証Aとしては完了**）
- また、今後の実装等に関する様々なご示唆を頂いたことを踏まえ、詳細検討の中で深掘りしていくこととしたい。

### 【⑩基本ロジックの構築に関する議論概要】

- 二段階最適化については良い方策だと思う。二段階の色々な方策や多段階にすることも考えられ、経験的にMIPGapを粗くしても結果がそれほど変わらないため、一段目はMIPGapを粗くし、二段目で精緻に解くことも考えられる
- 非線形の要素に対して、一段階と二段階の両方で線形化するのか、それとも二段階で非線形のまま、いわゆるOPFのような形で解くといったことまで考えているのか？  
⇒特段決まったものではなく、少なくとも一段階目では線形化が必要となるが、二段階目でも二次関数であれば、高級なソルバーであれば解くことができる。それ以外の難しい特性であれば、区分線形などの工夫が必要になる。また、様々な非線形な要素を、優先順位を決めて、一つずつ定式化していくという考え方もある
- 基本パラメータの調整は、将来的に自動化していないと実務で使えないと思うが、自動化の見込みはあるのか？  
⇒商用ソルバーなら自動化の機能はついている。ただ、自動化が実用時間内にできるかも問題になる。試行錯誤を人がやるか、機械がやるかなので、機械的な学習を入れる等が必要になる
- 色々な手法のいいところも考えられると思うが、結論がよく分からなかった  
⇒今回は結論を出すものではなく、3つの収束性向上の方向性について効果が出る可能性をお示したもので、今後、色々な方の知見を出して深掘りしていけるような基礎検討を行ったという位置付けである
- どの断面で検証したのか？ 趣旨としては、解空間によるところもあり、例えば系統構成さえ決まってしまうと、ある程度考え方を絞れるのか、あるいはやはりチューニングが必要なのか、そのあたりのお考えを伺いたい  
⇒今回は重負荷期で検証をしており、おっしゃる通り、重負荷期と軽負荷期では傾向は異なる。適する方法を何パターンか作らないといけない感触であるが、今回は検証の時間的制約もあるので、比較的解の得やすかった重負荷期で傾向を確認した

**【①基本ロジックの構築に関する議論概要】**

- 米国では複数の計算機をつかって、並行して異なる戦略やプログラムを回す例もあり、どの戦略・パラメータがベストを検討するのは、それほど重要ではない。  
米国では市販ソフトのパラメータ調整だけではなく、たとえばMISOではDOEからの補助金をもらって改善策を検討して、いくつか特許も出しているような状況である。実装するにはシステムベンダーなどにそういった状況を調査していただいて、ベストなものを選ぶ必要がある
- パラメータ調整については、例えば線形最適化手法で双対単体法が著しく計算時間が短くなっているのは、私も経験があり、理由は分からないが、はまると計算時間を大幅に縮約できるということは多分にある。そのため、先ほど意見のあった、複数の計算機で様々な方針で解くことはありうると思った  
⇒パラメータ調整については、色々やったが、特徴はありつつ、分からない部分もあるため、力業で行う方法もよいかと考える
- 価格について、現実のように、かなり高い価格となることはないのか？  
⇒インプットデータによるところで、ほぼ燃料費の限界費用で決まる水準になっている  
⇒実際のシステムでは、より多様な電源があると思うが、今回用意したデータの限界費用と同程度と考えている。検証Bでも同様のデータで検証をしており、ベースケースでは同程度の水準であり、別途行った燃料費高騰ケースでは、さらに高い水準にもなっており、引用するデータに依存すると考えている
- 電中研よりも高いスペックの計算機を用い、同様の傾向が得られていることで大変参考になった  
⇒今回は、計算時間短縮化の工夫はせずに行った。許容度は分からないが、MIPGapを少し緩めるだけでも、速くなることは間違いない。また、調整力のところは、ペナルティ項とするか否かで計算時間が大幅に変わり、厳密に解くことがベストではあるが、他の制約含めて、緩められるところは緩める方策を取ることが正しい方針かと考える  
⇒MIPGapについては、過去に米国で、0.1%を目標にすると書かれていて、常に0.1%を求めてはいないと考える。欧州はMIPGapの目標でなく、計算時間を17分以内とするように、時間で管理していると聞いている
- 価格を算定するときの火力は、二次関数と7区分のどちらで扱っているのか？  
⇒7区分で扱っている。燃料費の非線形を残したままの厳しい条件で計算しており、線形化した方が計算時間は短くなると考えている

**【①基本ロジックの構築に関する議論概要】**

○バンド制約については、米国で様々なランプ制約を考慮できるようにしているが、今回のモデルとの違いは？

⇒メーカー含めて様々な方策が検討されており、恐らく、変化速度自体を変えられるような複雑な作りこみがなされ、計算時間も速いものと思う。それに対して、今回のモデルは、シンプルな作りをしており、バンド切り替え時に調整力を出せない等の様々なカスタマイズが加味できるようにしているが、変数が増えてしまうため、計算速度が劣る傾向がある

○今回は一段階目の起動停止を固定して二段階目の最適化が行われているが、起動停止をフリーにする工夫も考えられる。バンド制約では、（停止は固定せず、）起動のみ固定する工夫もあり、さらに、起動までも固定しない工夫も考えられるのではないか？

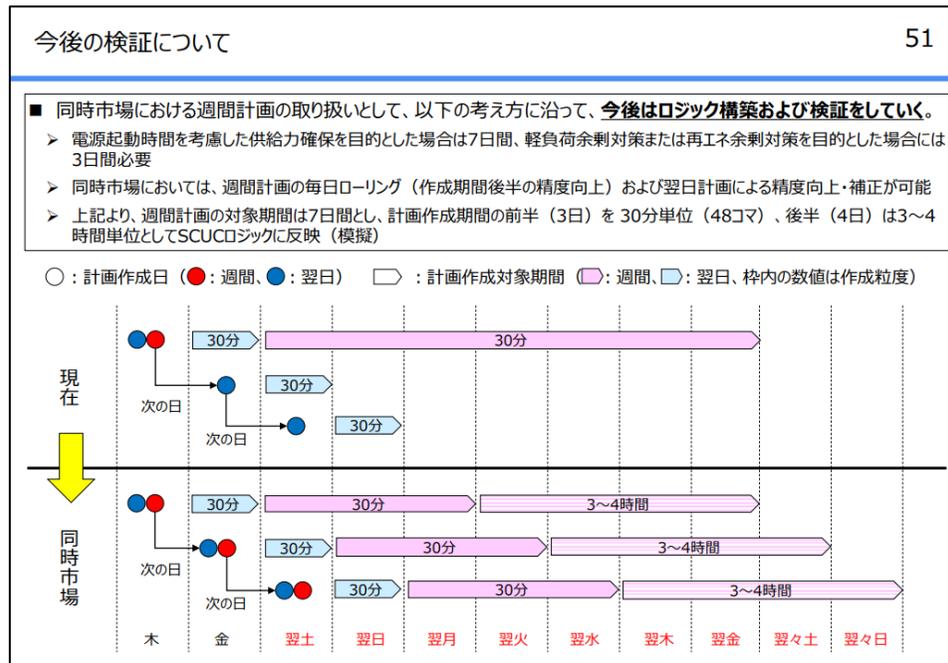
⇒燃料費特性の場合は、一段階目の結果が二段階目の実行可能解になるため、起動停止を固定しない方法も考えられるが、バンド制約の場合は、実行可能解にならないことから、固定をしないと解を得にくくなる

○バンド制約について、kWhでは考慮されているが、 $\Delta kW$ でも考慮しているのか？

⇒ $\Delta kW$  供出量にも制限を設けている。他方で、変数が多くなることから、計算時間は長くなるデメリットがある

1. 検討状況の概要について
2. 「①基本ロジックの構築」の検証
3. 「②週間運用を可能にするSCUC・SCEDロジック」の検証
  - － 1. 週間運用を可能にするロジックの構築・検証
  - － 2. 今後の進め方（技術検証会での議論内容）
4. まとめと今後の検証の進め方について

- 週間運用に関しては、1日以上起動時間がかかる電源も存在し、また、揚水・蓄電池は1週間の期間で運用することが効率的な場合もあることから、貯蔵容量制約等を追加するとともに、計算対象期間も長時間（1週間程度）に亘るロジックを構築・検証することとしていた。
- この点、第2回技術検証会のご意見も踏まえ、そもそも再エネが大量導入された世界において、週間運用の何に重きを置くのか（どのような運用を目指すのか）といった制度・運用面との平仄をとり、運用実態反映と計算負荷低減の両立を図る方向性（同時市場における週間計画の対象期間は7日間とし、計画作成期間の前半（3日）を30分単位（48コマ）、後半（4日）を3～4時間単位としてSCUCロジックに反映（模擬））をお示した。
- 今回、上記の方向性に基づき、具体的なロジック構築および挙動確認を行った。



週間運用を可能にするSCUCロジック (詳細) 41

■ 週間運用に関しては、1日以上起動時間がかかる電源も存在し、また、揚水・蓄電池は1週間の期間で運用することが効率的な場合もあることから、これらを考慮する場合、貯蔵容量制約等を追加するとともに、計算対象期間も長時間(1週間程度)に亘るロジックとする必要がある。

■ この場合、新たな制約追加もするため、計算対象期間が1日の場合と比較し、遥かに長い計算時間(収束性)になる等の課題が考えられる。

**【揚水・蓄電池運用を考慮したSCUCロジック(オペレーション・リサーチでの例)】**

**目的関数(総電源エネルギー費用最小化)**

$$obj = \sum_{t=1}^{24} \sum_{u=1}^{n_u} \{ (a_u + x_u) \cdot GTP_{t,u} + (b_u + y_u) \cdot UTP_{t,u} + s_u \cdot UON_{t,u} \}$$

**制約条件(揚水の出力変化制約・上池容量制約)**

$$STO_{t,u} - STO_{t-1,u} = PMS_{t,u} - \frac{1.0}{eff_{fu}} \cdot PMG_{t,u}$$

**制約条件(需給バランス制約)**

$$dmand_t = \sum_{j=1}^{n_j} (1 - aux_{p,j}) \cdot GTP_{t,u} + \sum_{u=1}^{n_u} (PMG_{t,u} - PMS_{t,u}) + pht_{t,u} - CPV_{t,u} + wind_t - CWP_{t,u} + hydr_t - flow_t$$

その他、調整力確保制約など、通常のSCUCロジックの制約は割愛

上池の貯水量 バランス  
上池の上限制約  
発電 or ポンプ 制約  
初期・最終の上池量制約

再エネ等 出力

出所) オペレーション・リサーチ(発電機起動停止計画モデルを用いた電力システム運用の経済性・環境性の評価手法)より抜粋  
[https://orl.or.jp/wp-content/uploads/2019/03/11\\_09.pdf](https://orl.or.jp/wp-content/uploads/2019/03/11_09.pdf)

(参考) 週間計画に関する本検討会での議論 46

■ 技術検証会の参加者からは、簡易的に(計算粒度を粗くした)週間計画を作成する案や、そもその週間計画の必要性(また、その精緻性)についても指摘を頂いているところ。

(第2回 同時市場における電源起動・出力配分ロジックの技術検証会 議事抜粋)

■ 金本座長

(中略)あと、これに関しては、一日ごとに割と精緻な最適化をしているんですが、それを3日後、4日後、5日後に全部、明日と同じ精度でやる必要は全くないですね、もう一回、3日後って、もう一回最適化をするので。ですから、1週間とか2週間を考えるんですけど、それは明日のことを考えるためには、後ろも考えなきゃいけないと、そういうことなんで、その辺の戦略、ちょっと考えておいたほうがいいと思います。だいぶ前にPJMの人たちが、PJMにMIPを入れたときにどんな戦略で何が起きて、何が困ったとか、いろんなことを書いているんですが、そのときに彼らがやったのは、1週間とかは前日市場ではやらない。前日市場の後に、セキュリティが保てるかというので、もう一回、直し直す。そのときには価格セキュリティ価格はリアルタイムでつけるということだったんですが、セキュリティのためのシミュレーションは1週間とか10日とか、それぐらいでやっているようなんですね。今やっているかどうか知りませんが、十数年前はそうだった。それがなかなか収束しないので何を考えたかという、24時間で2週間やる必要はないんで、今日、明日、明後日は24時間でやるけども、その後は3時間ごとにするとか6時間ごとにするとか、この区間・期間を粗くして、それで解いたというふうなことを書いてますね。そういう意味で、いろんな工夫があり得て、見るアメリカでははい、既にトライされているんですね。かなりの部分がI E E Eとかに出ていますので、それを早くレビューをしないといけないというのが私の感想です。

揚水や蓄電池の運用については、技術的なことよりは、市場設計というか、実際の運用として、週間運用の計画を立てる必要があるかどうかというところを議論すべきかなとは思っています。日々、再エネが入ってきた時点で、やはりそもそも予測の精度が悪くなって、不確実性が高くなっている中で、週間の計画がどこまで有効性があるのかというところは大きな問題だとは思って、私も課題意識は持っていて、揚水を週間で立てたときに、その運用のとおりいきましかつたときに、そんな運用が使われないのであれば、日々、まあ2日、3日に限定した運用計画を立てたりとか、そういう市場設計をしたほうがいいんじゃないかなとは、私は個人的には思いますが、その辺の合意形成とか、そういう制度の話と、あとは揚水の事業者がどういう運用をしたいのかとか、そちら側に裁量を出して、得られた情報で最適化をしていくということが必要なかなとは思っています。

同時市場における週間計画の取り扱い(2/3) 49

■ アンケート結果から、現在における週間計画作成タイムチャートおよび粒度をまとめると、以下のとおり。

■ 基本的には、週間計画および翌日計画の作成粒度は、30分単位(1日当たり48コマ)で作成しているものの、週間計画は一度作成すれば、基本的には見直しを行わず(大規模電源脱落等、状況変化が大きい場合を除く)、翌日計画において、予測精度向上(補正)を図っている。

**【現在における週間計画作成タイムチャートおよび粒度(イメージ)】**

○ : 計画作成日 (● : 週間、● : 翌日)  
□ : 計画作成対象期間 (□ : 週間、□ : 翌日、枠内の数値は作成粒度)

※ 実際には広域機関提出用には日々週間計画も作成しているが、あくまで2点計画のため、省略

同時市場における週間計画の取り扱い(3/3) 50

■ 現在の週間計画は基本的に週1回の作成のみであり、計画期間の後半については、計画時点からの時間的乖離もあり、その精度は週前半に比べると、低くなるものと考えられる(翌日計画により精度向上・補正がなされる)。

■ 他方、同時市場においては、週間計画を日々作成(ローリング)していくため、元の週間計画の作成期間後半の精度については日々向上していくことになる。

■ これらを踏まえると、同時市場における週間計画の対象期間は7日間とし、計画作成期間の前半(3日)を30分単位(48コマ)、後半(4日)を3~4時間単位としてSCUCロジックに反映(模擬)することで、**運用実態反映と計算負荷簡略化の両立を図る方向性**が考えられる。

**【同時市場における週間計画作成タイムチャートおよび粒度(イメージ)】**

○ : 計画作成日 (● : 週間、● : 翌日)  
□ : 計画作成対象期間 (□ : 週間、□ : 翌日、枠内の数値は作成粒度)

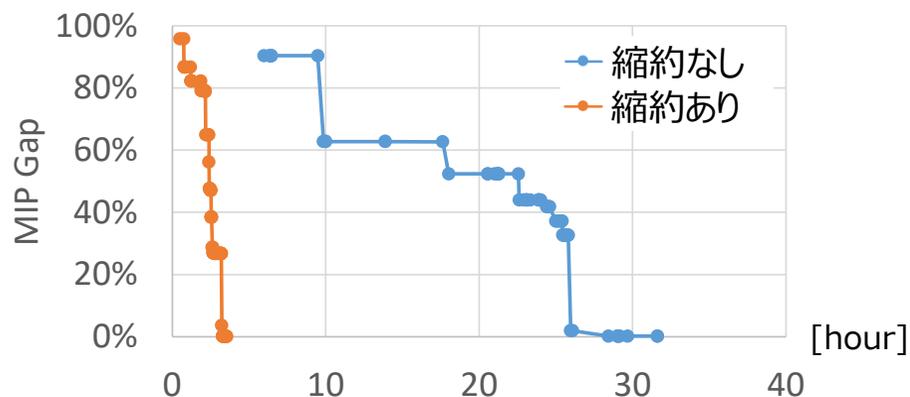
1. 検討状況の概要について
2. 「①基本ロジックの構築」の検証
3. 「②週間運用を可能にするSCUC・SCEDロジック」の検証
  - － 1. 週間運用を可能にするロジックの構築・検証
  - － 2. 今後の進め方（技術検証会での議論内容）
4. まとめと今後の検証の進め方について

- 先述の方向性に基づき構築したロジックについて、挙動確認を行った。
- まず、広域連系系統モデル（エリア単位）の収束性について、後半（4日）を縮約しなかった（30分単位とした）場合に比べ、縮約した（4時間単位とした）場合は計算時間は大幅に短くなった。

【収束性の評価】

ケース	需要断面	時間コマ設定	MIP Gap	計算時間
1-1	高需要 07/31	縮約なし (30分/コマ×48コマ×7日間)	0.175% (計算打ち切り)	31.6 時間
1-2	～ 08/06	後半4日間を縮約 (30分/コマ×48コマ×前半3日間 + 4時間/コマ×6コマ×後半4日間)	<b>0.084%</b>	<b>3.5 時間</b>

【収束性過程】

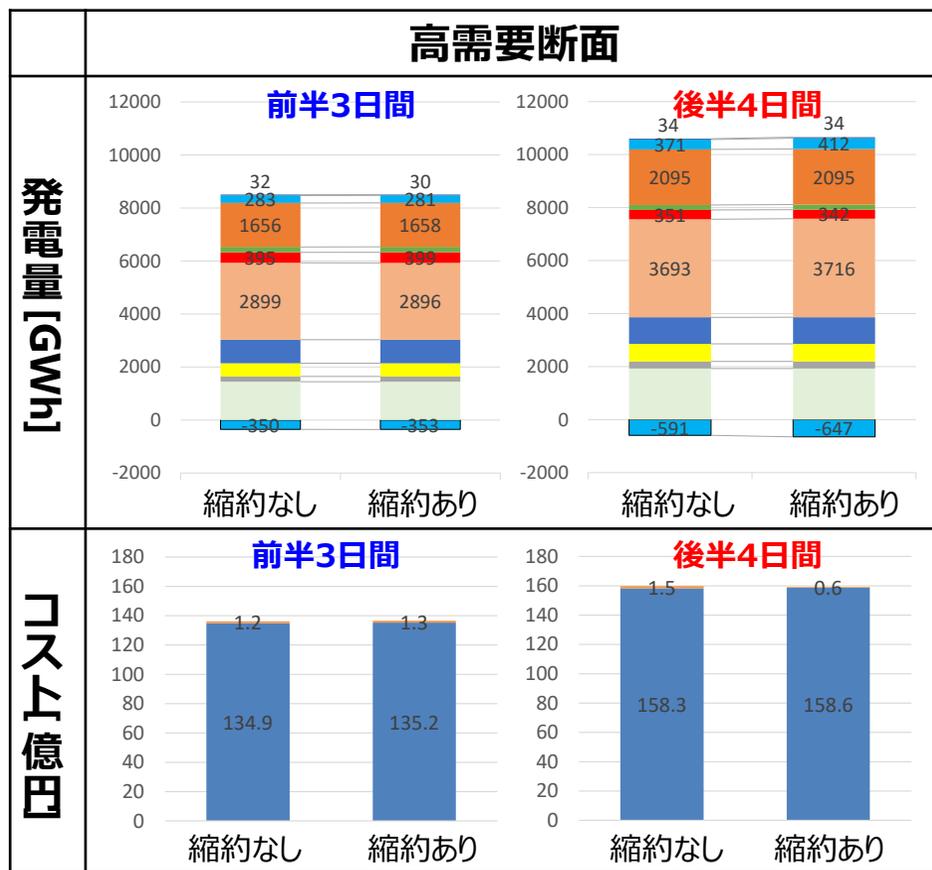
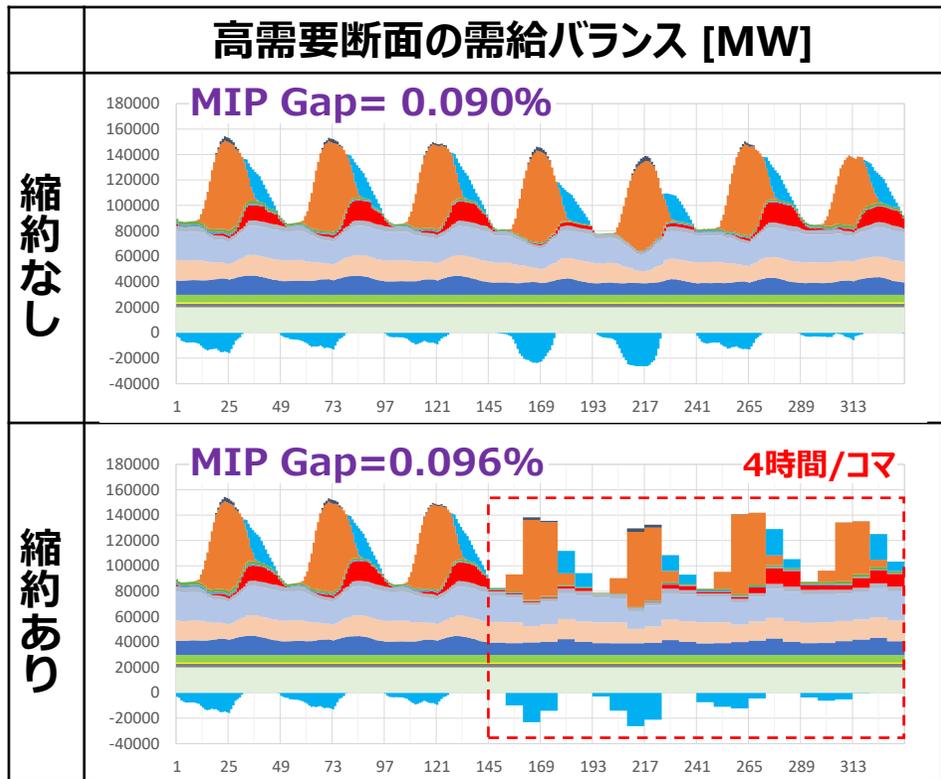


- ◆ 系統モデル：広域連系系統モデル（エリア単位）
  - 重負荷期（7/31～8/6）の各週間336断面
  - 調整力はエリア需要2%相当とし、上げ・下げ方向に対して容量確保
  - 連系線のブランチ潮流制約およびフェンス潮流制約を考慮
- ◆ 需要モデル
  - 価格弾力性なし
- ◆ 電源モデル
  - 火力燃料費関数：二次関数を区分線形化（abc定数を基に7区分）
  - 電源運用制約：起動停止に関わる制約（MUT、MDT、起動停止回数）
  - 起動停止指定：なし（初期値も指定なし）
- ◆ 最適化計算条件
  - 計算精度目標 MIP Gap：0.1%以下
  - 計算打ち切り時間：難収束となったら適宜打ち切り

■ 次に、出力配分および需給運用コストについては、後半（4日）は平均化されるものの、縮約の有無で、前半（3日）および後半（4日）ともに大きな違いは見られなかった。



(縦軸：有効電力[MW]、横軸：時間コマ)

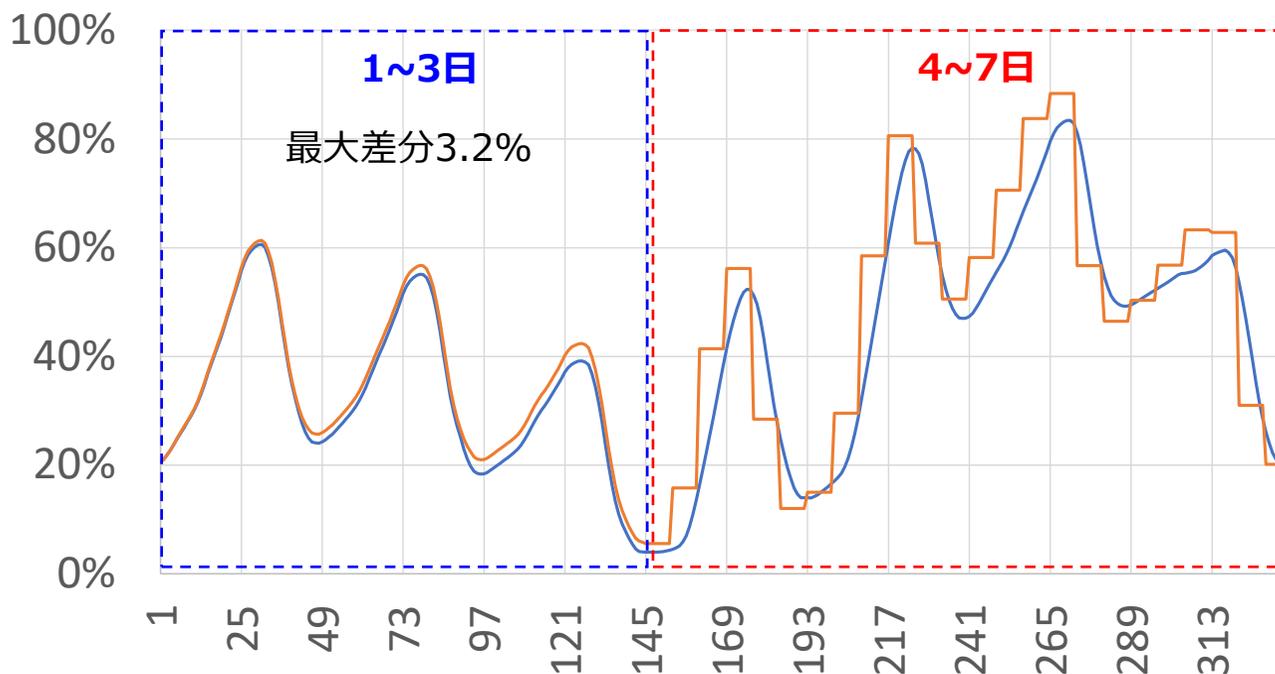


- また、揚水の上池水位についても、後半（4日）は平均化されるものの、前半（3日）・後半（4日）ともに概ね一致している。
- 週間をとおして概ね上池水位が一致しており、同時市場においては週間計画を日々作成（ローリング）していくことを考えると、揚水池運用の目的（揚水水位のおおよその管理）に十分対応できると考えられるか。

**【揚水の上池水位】**

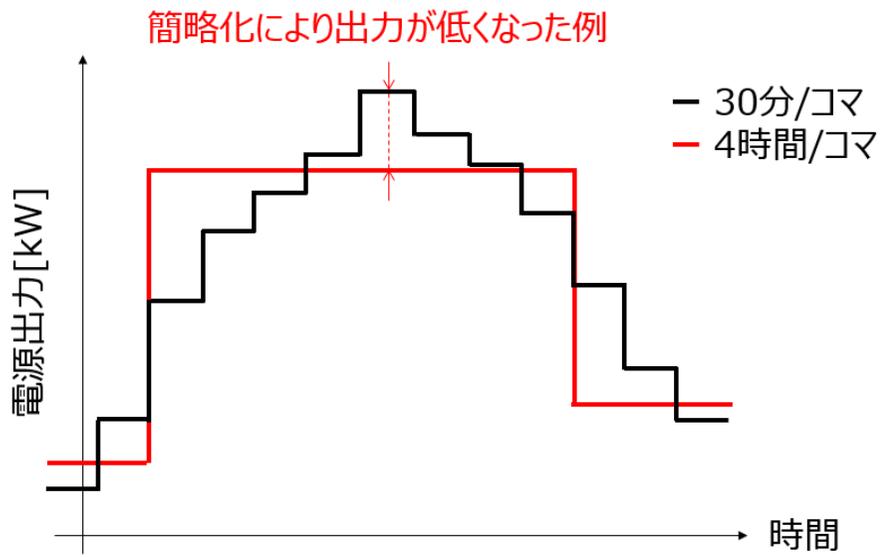
（縦軸：上池水位、横軸：時間コマ）

● 縮約なし      ● 縮約あり

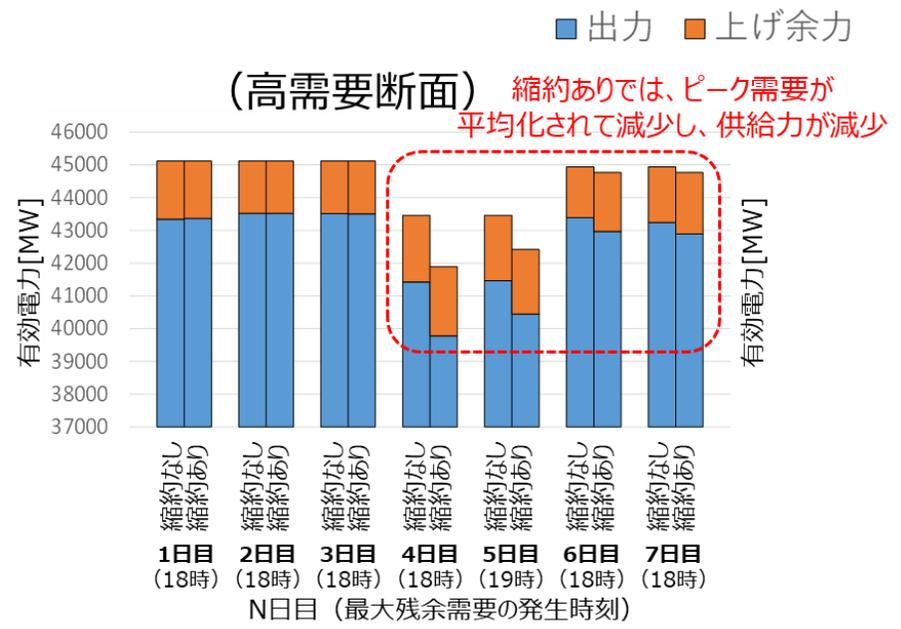


- 一方、火力機の運転台数については、後半（4日）は縮約（4時間単位）化により、ピーク需要が平均化されることから、発電機供給力（kW）が相対的に減少するといった課題も見受けられた。
- この点、同時市場においては、週間計画の日々作成（ローリング）により、比較的（24時間以上）起動時間を要するが数日（2～3日）で起動できる電源でも都度補正を行えることを考えれば、十分対応可能とも考えられる。
- また、ロジック上の工夫としては、kW確保が必要なピーク時間帯の粒度は細かくし、それ以外の時間帯の粒度を荒くするといった方法も考えられるといった示唆も得られたところ。

**【時間コマ縮約によって生じるkWの差のイメージ】**



**【残余需要最大時の石炭機の出力・上げ調整力の合計】**



- また、現行の運用においても、週間計画作成対象期間の後半は、前半に比べて予測精度は低く、翌日計画で補完される参考的な扱いとされているところ。

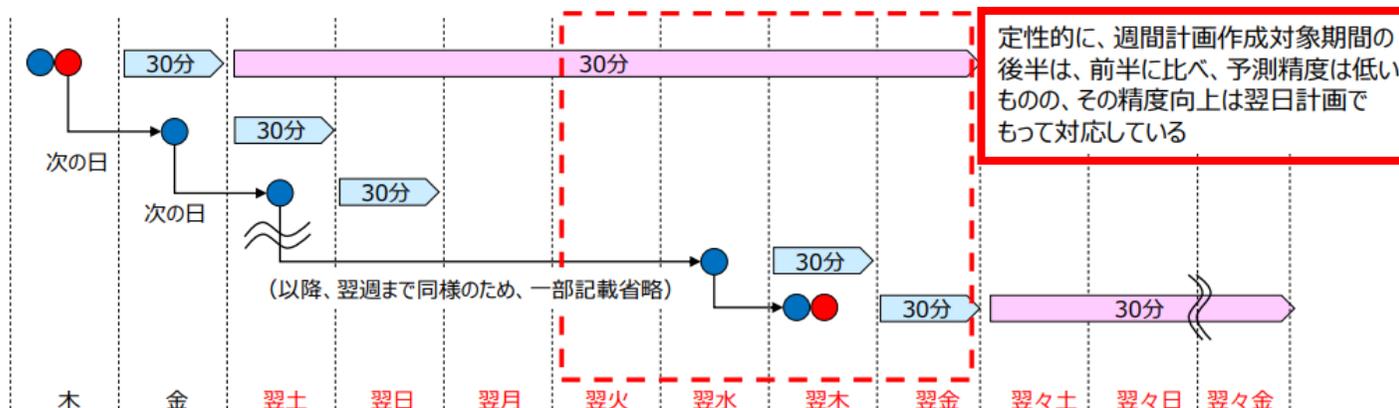
現在における週間計画作成タイムチャートおよび粒度

67

- 現在における週間計画作成タイムチャートおよび粒度をまとめると、以下のとおり。
- 基本的には、週間計画および翌日計画の作成粒度は、30分単位（1日当たり48コマ）で作成しているものの、週間計画は一度作成すれば、基本的には見直しを行わず（大規模電源脱落等、状況変化が大きい場合除く）、翌日計画において、予測精度向上（補正）を図っている。

【現在における週間計画作成タイムチャートおよび粒度（イメージ）】

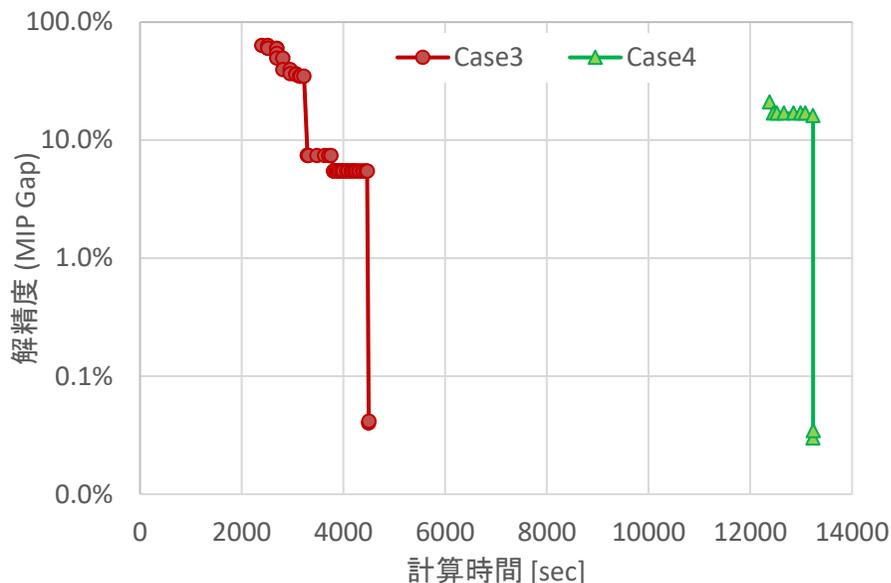
○：計画作成日（●：週間、●：翌日）  
 ◻：計画作成対象期間（◻：週間、◻：翌日、枠内の数値は作成粒度）



※ 実際には広域機関提出用に翌々週計画も作成しているが、あくまで2点計画のため、省略

- 続いて、ノード単位の大規模システムモデル※に対して、挙動確認を行った。
- 広域連系システムモデル（エリア単位）同様、収束性について、後半（4日）を縮約しなかった（30分単位とした）場合に比べ、縮約した（4時間単位とした）場合は計算時間が短くなることが確認できた。

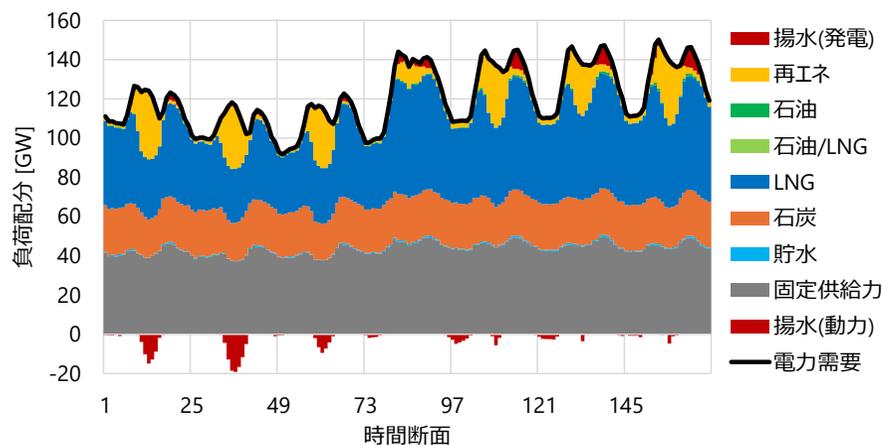
ケース	需要断面	時間コマ設定	MIP Gap	計算時間
1-1	高需要 07/24	縮約なし (24コマ×7日間)	0.035%	3.7 時間
1-2	～ 07/30	後半4日間を縮約 (24コマ×前半3日間 + 24コマ÷4時間×後半4日間)	<b>0.042%</b>	<b>1.5 時間</b>



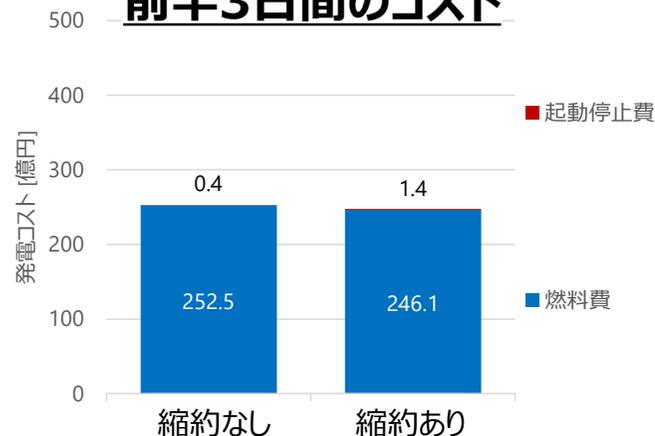
- ※ 過去のSCUC検討で用いたモデル
- 国内9エリア、上位2電圧を縮約模擬した基幹システムモデル
  - ブランチ数：464、ノード数：369
  - 発電機ユニット：907台（324.4GW）  
揚水ユニット：115台（26.3GW）

■ また、出力配分・需給運用コストについても、広域連系系統モデル（エリア単位）同様、後半は平均化されるものの縮約の有無で、前半（3日）および後半（4日）ともに大きな違いは見られなかった。

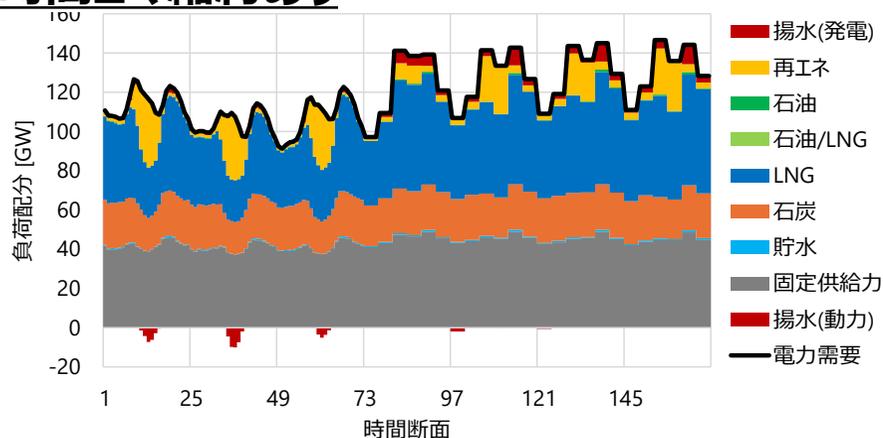
### 時間コマ縮約なし



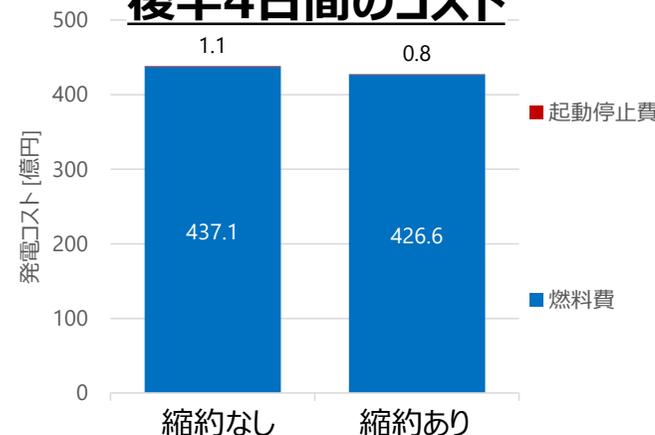
### 前半3日間のコスト



### 時間コマ縮約あり



### 後半4日間のコスト



1. 検討状況の概要について
2. 「①基本ロジックの構築」の検証
3. 「②週間運用を可能にするSCUC・SCEDロジック」の検証
  - － 1. 週間運用を可能にするロジックの構築・検証
  - － 2. 今後の進め方（技術検証会での議論内容）
4. まとめと今後の検証の進め方について

- 第10回技術検証会においては、ピーク需要に合わせて供給力を確保する工夫など、様々なご示唆を頂いた。
- 今回構築したロジックで、計算時間が短縮されることに加え、週間運用目的（揚水水位の管理・ロング機の起動）も一定程度満たせることが確認できたことから、ロジックの見通しは得られたと考えられる。（**検証Aとしては完了**）
- また、今後の実装等に関する様々なご示唆を頂いたことを踏まえ、詳細検討の中で深掘りしていくこととしたい。

## 【②週間運用を可能にするSCUC・SCEDロジックに関する議論概要】

- システムベンダーのワークショップで、2日ずつローリングする手法により計算が速くなることが紹介されていた。期間同士のつなぎをどうするかが難しいように思うが、このような手法の有効性は？
  - ⇒基本ロジックでは、1日分重複させてローテーションしていくロジックにはなっているが、やはり週間で揚水の池水位を決めたり、起動の準備に数日を要するものへの対応としては、2日のローテーションでは、起動が繰り延べになって、ずっと起動しない結果になりうる。また、それに伴って揚水も不経済な運用になりうる。そのため、ざっくりでもよいので、長期で起動停止の判断を行えるような計算が必要である
- 毎日再計算するので、4日目以降とかは多少の誤差はよいという考え方も可能である。そのことが問題ないとするためには、起動に4日程度もかかるような電源の起動停止に悪影響がないかといったことについても評価が必要と思う。どのような評価指標とすべきかが難しいが
  - ⇒4日目以降の供給力が目減りするデメリットについては、起動に1週間程度要する電源は基本的に安いので問題ない気がしている。ただ、できるだけ供給力の目減りを減らすことが望ましく、ピーク需要に合わせて供給力を確保する制約を加えるような工夫も考えられる
- 池容量の推移を見通すという意味では、もともと週間計画にどの程度の精度を求めるとのことなので、このレベルであれば、精度もある程度あるという感触である。また、多くの電源は3日以内に起動することなので、週後半の粒度を粗くしても、基本的な運用目的は果たせると考える。先ほど、起動に時間を要する電源は安いという発言の補足で、普段動かない石油等のコンベンショナルな電源が、夏場前に急に稼働が必要となることもあるが、レアケースと考える
- 供給力が過少評価される点は、kW評価を、最適化ロジックの外で計算する方法もありうる。あるいは経済性よりも、kW価値を明確にして簡略化するなど最適化ロジックの工夫という方法もありえる。いずれにしても時間の短縮化はできているので、実装の際に目的に応じて決めていけばよいと考えている
- 今後、地内も精緻に考慮すると解くことが難しくなってくる。粒度を粗くする方法も、1コマ4時間単位だけでなく、6時間単位など、より粗くする方法を分析することも大切になってくる
  - ⇒粒度をより粗くする工夫については、残余需要のダックカーブを埋めるような簡略化になることが悩ましい。コマ数よりも、残余需要を見たうえで決める必要があると考えている
- 粒度を粗くすることによって、再エネの影響が大きくなり、おそらく調整力必要量が少なくなるため、その点にも留意が必要である

1. 検討状況の概要について
2. 「①基本ロジックの構築」の検証
3. 「②週間運用を可能にするSCUC・SCEDロジック」の検証
4. まとめと今後の検証の進め方について

■ 今回、「①基本ロジックの構築」「②週間運用を可能にするSCUC・SCEDロジック」の検証結果をお示し、これまでに設定した検証事項については、概ね議論を完了した。

検証項目	検討状況
①基本ロジックの構築 <span style="float: right;">今回整理</span>	・ロジックを構築・実装し、動作検証済み <span style="float: right;">(完了)</span> ・収束性向上策の検討、火力応動特性をモデル化して動作検証済み
①買い入札を考慮したSCUC・SCEDロジック	・ロジック構築の上、エリア単位のモデルでの動作検証済み ・需要曲線の簡略化手法について検討を実施 ・需要側入札の海外動向を調査し、ノード単位の動作検証済 <span style="float: right;">(完了)</span>
②週間運用（電源起動の意思決定、揚水最適化）を可能にするSCUC・SCEDロジック <span style="float: right;">今回整理</span>	・週間計画の実態調査の上、週間計画の取り扱いを整理 ・具体的なロジックを構築・実装し、動作検証済み <span style="float: right;">(完了)</span>
③調整力の定義も踏まえたkWh・ΔkW同時最適ロジック（変動性再エネの出力変動への対応含む）	・現時点の調整力の定義見直しの議論を踏まえたロジック・ΔkW入札価格を考慮したロジック、三次インセンティブのロジックを構築・実装し、動作確認済（後者は今後、細分化作業会で深掘り予定） <span style="float: right;">(完了)</span>
④セルフスケジュールとSCUC・SCEDロジックとの関係性	・電源差替を小規模システムモデルで模擬し、動作検証を実施 <span style="float: right;">(完了)</span>
⑤システム制約の取扱い	・厳密なロジック（制約条件）による対応は困難な見込み <span style="float: right;">(完了)</span> ・適切なフリンジ（マージン）を設定すれば、発動制限ΔkWに対応可能な示唆を得た（今後、運用容量等作業会で深掘り予定）
⑥起動費等が回収可能な価格算定ロジックの検討	・海外調査および数種の手法の技術的特徴を整理 <span style="float: right;">(一旦完了)</span> （今後、制度論として将来の日本での導入要否を深掘り予定）
⑦前日同時市場後のSCUC・SCEDロジック	・前日、当日の時間前同時市場のロジック構築・検証を実施 <span style="float: right;">(完了)</span> ・時間前同時市場に関する更なる検証（一部固定化等）も今後精査

- 一方で、第13回本検討会（2025年2月19日）において、今後、同時市場の導入に向けた検討を本格的に行っていくこととされ、これに伴い、「同時市場の導入に向けた検討に資する検証」や「検討会の議論を踏まえた追加検証」等が、今後より一層重要になっていくことが考えられる。

## 本日の議論

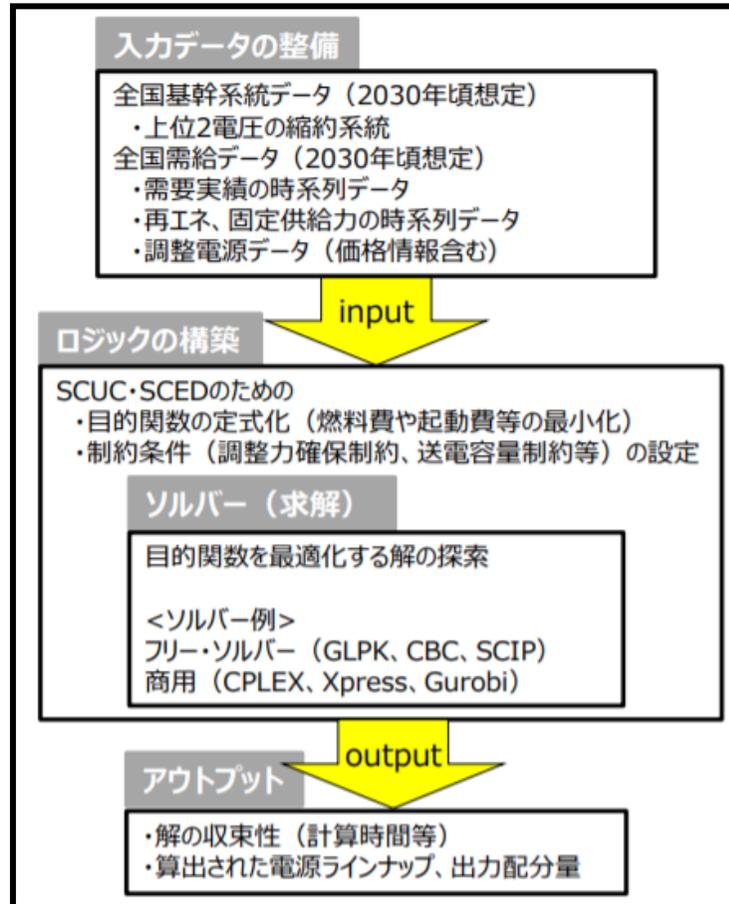
- 本検討会では、2023年2月以降、これまで12回にわたり、同時市場の在り方等についての議論を行い、2024年11月に中間取りまとめを公表した。
- この同時市場については、2025年2月18日に閣議決定された第7次エネルギー基本計画において、その導入に向けて本格的に検討を深めていくとの政府方針が示された。また、現在、電力・ガス基本政策小委員会で行われている電力システム改革の検証においても、同様の方針が示される方向である。
- 以上を踏まえ、本検討会においても、議論を再開し、同時市場の導入に向けた検討を本格的に行っていくこととしたい。
- 本日は、本検討会における検討を再開するにあたり、今後の検討の方向性や、制度設計に関する論点、導入準備の進め方について、幅広く御議論をいただきたい。

- そのため、技術検証会についても、引き続き、継続開催して検証を進めていくこととしたい。
- まずもっての今後の検証項目としては、同時市場の導入に向けた検討に資する、「①自己計画電源等に一定の制約を課すロジック」および「②送電ロスを考慮したSCUCロジック」等を検証していくこととしたい。
- また、今後の本検討会での議論も踏まえ、適宜、必要な検証事項についても、追加検証していくこととしたい。

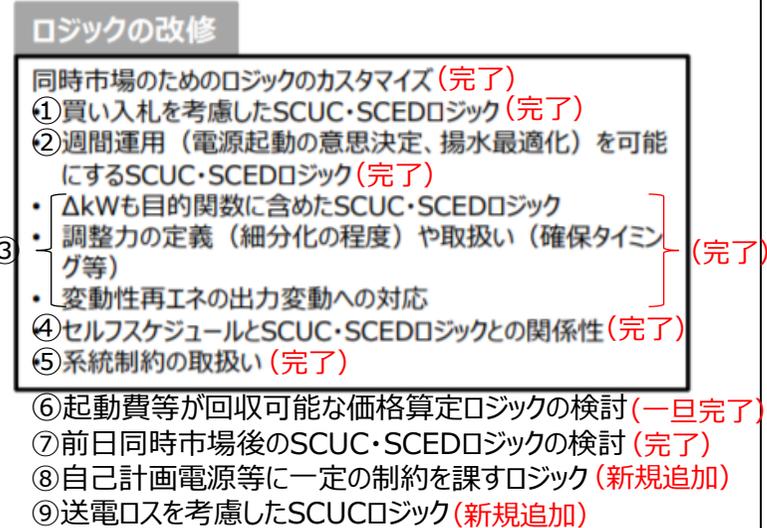
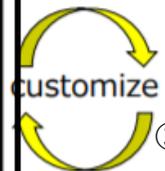
項目	検証内容
⑧ 自己計画電源等に一定の制約を課すロジック	<ul style="list-style-type: none"> <li>・混雑・非混雑系統の特定ロジックの精緻化</li> <li>・自己計画電源等に一定の制約を課すロジックの構築・検証</li> </ul>
⑨ 送電ロスを考慮したSCUCロジック	<ul style="list-style-type: none"> <li>・送電ロスを考慮したSCUCロジックの構築・検証</li> </ul>

## （参考）Aの検証の具体的なイメージ（全体像）

- 全国の需給・系統データの模擬（2030年頃の将来想定）を行い、長期に亘り活用が見込まれる同時市場の最適化ロジックとしての実現性・妥当性を検証。



①基本ロジックの構築（完了）



- 第13回本検討会（2025年2月19日）において、自己計画電源等が安定供給（系統混雑、再エネ余剰等）の観点から例外的に制限する必要がある場合の考え方について、議論を深めることとされた。

## 検討事項①（売り入札の義務の在り方・入札方法）

- 売り入札の義務の在り方や入札方法については、中間取りまとめでは、主に以下の論点について、引き続き議論が必要とされており、検討を進めることとしてはどうか。また、以下のほかに検討すべき事項はあるか。
  - **自己計画電源の入札方法**：売り入札の義務・入札方法に関し、中間取りまとめにおいて未整理の論点として、自己計画電源の入札方法（自己計画電源として電源を運用する場合に、同時市場への入札を必須とするかどうか）がある。自己計画電源については、入札と登録のいずれがされても電源態勢は結果として同じになるが、市場入札を行う場合、市場との間で対価のやり取りが発生し、市場外の相対契約が通常は差金決済取引となるため、法律・会計上の扱いも踏まえて検討が必要。
  - **自己計画電源入札が制限される場合の考え方**：自己計画電源としての入札（又は情報登録）を選択することは原則として自由であるが、相場操縦の防止や安定供給の観点から、例外的に、自己計画電源入札や出力容量上下限の設定を制限する必要がある場合について、引き続き議論が必要。
  - **運転パラメータの設定の考え方**：SCUC・SCEDにより電源の起動停止・出力配分を行うためには、Three-Part情報に加え、電源の起動時間、出力容量上下限、起動回数制約、運転時間制約等の運転パラメータを登録する必要がある。この運転パラメータについては、原則としては、電源の仕様・性能に基づいて設定を行うことになると考えられるものの、時間前断面（特に夜間や実需給直前等）での発電事業者の対応負担等の観点から、運転パラメータの設定に一定の裁量を認める必要はないか。
  - **火力電源以外の入札方法等**：再エネ電源等火力以外の電源の入札方法や、相対契約を締結している場合の電源差替の方法についても検討が必要と考えられる。
  - **小売事業者の売り入札の方法**：小売事業者が相対契約で調達した電力を売り入札する場合の入札方法等についても検討が必要。

40

- この点、第14回本検討会（2024年3月24日）において、安定供給上必要な「一定の制約」の考え方について、整理の方向性をお示しし、それらの実現のためには「一定の制約」が必要になる地点や時間をSCUCロジックで特定できるようにする必要があることから、今後、技術検証（検証A）において、実現目的を検討することとしていた。
- また、SCUCロジックで特定すべき事象（抑制・焚増対応が必要になる地点・時間など）は、「⑦前日同時市場後のSCUC・SCEDロジック」の検証において取り組んだ、混雑・非混雑システムを特定するロジックと共通的なところもあるため、技術検証（検証A）においては、それらのロジックの高度化（深掘り）と合わせて検証を行うこととしたい。

まとめと今後の進め方

26

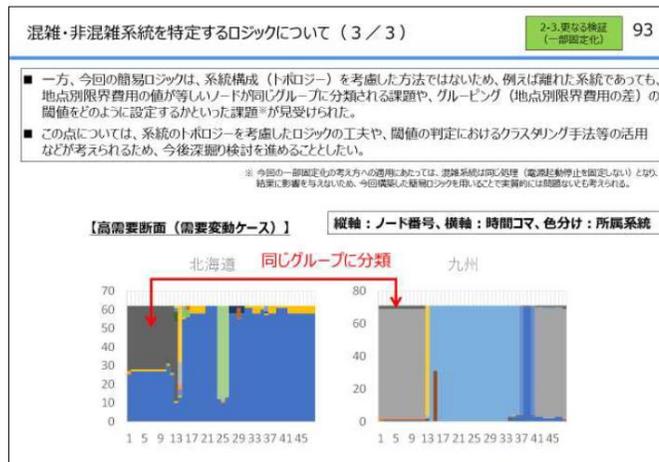
- 今回、安定供給上必要な「一定の制約」の考え方について以下の通り整理を行った。
  - 安定供給上必要な「一定の制約」とは、出力制御や混雑処理といった「抑制側」の制約が発生する際には、調整不可な入札制約を除き、自己計画電源（≠絶対出力容量）としての出力確定が認められず、市場計画電源として起動停止・出力配分を市場に委ねることを指し、また、需給ひっ迫等の「焚増側」の制約が発生する際にも、調整不可な入札制約（控除分）を除き、出力容量上限を定格出力相当に見直すことを指す
  - これらの「一定の制約」は、抑制ならびに焚増対応が必要になる地点・時間に対して必要
  - 同時市場において抑制・焚増側の「一定の制約」が発生する状況としては、現行の調整電源や電源Ⅲ等に対し、抑制・焚増を行う場合（状況）に準ずる（あるいはこれを参考に簡略化する）ことが考えられる
- その上で、「一定の制約」が発生する状況を特定し、市場取引に反映する方法として、以下の方向性が考えられる。
  - 同時市場における約定（計算）の都度、協議するのは非現実的であることから、自己計画電源においても予め、任意領域か絶対領域か（任意の場合はThree-Part情報も）登録※しておく
  - 「一定の制約」について、「抑制側」はSCUC計算で「再エネ抑制」または「下げ代（下げ調整力）不足」・「運用容量超過」に至っている系統（エリア・地内系統）を、「焚増側」はSCUC計算で「上げ代不足（≠広域予備率不足）」に至っている系統（エリア・地内系統）を対象とする
  - 「一定の制約」要否特定については直前のSCUC計算（前日同時市場の場合、週間SCUC結果）を元に行い、次の市場取引を行う（SCUCデータを引き継ぐ）際、「一定の制約」を反映する
- また、上記については、「一定の制約」が必要になる地点や時間をSCUCロジックで特定できるようにする必要があることから、今後、技術検証（検証A）において、その実現目的について検討していくこととしたい。

※ 絶対領域（絶対セル電源）に該当するための要件については今後検討。

(参考) 技術検証(検証A)における検証事項

27

- 今回検討を行った、SCUCロジックで特定すべき事象（抑制・焚増対応が必要になる地点・時間など）は、以前に取り組んだ「混雑・非混雑を特定するロジック」と共通的なところもあるため、技術検証（検証A）において、それらのロジックの高度化（深掘り）と合わせて検証していくことが考えられる。



出所) 第13回 同時市場の在り方等に関する検討会 (2025年2月19日) 資料4より抜粋 [https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/doji\\_shijo\\_kento/pdf/013\\_04\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/doji_shijo_kento/pdf/013_04_00.pdf)

- 第4回技術検証会（2024年3月25日）において、送電ロスの取り扱いについてご意見・ご示唆をいただいた。
- この点、将来の同時市場の導入に向けて、送電ロスを考慮したロジックの実現性（あるいは、そもそもSCUC・SCEDロジックにおいて送電ロスをどのように考慮するのか）について検討しておくことは意義があるため、海外事例も参考に、送電ロスを考慮したSCUC・SCEDロジックの構築を進め、挙動について検証を行うこととしたい。

第4回技術検証会での議論と今後の進め方について

33

- 第4回技術検証会においては、結果の分析方法や潮流計算の工夫等について、様々なご指摘・ご示唆を頂いたが、買入札を考慮したロジックが、系統制約（広域連系システムモデルでは連系線のみ）を考慮した際に、想定通りの挙動となっていることは確認いただいた。
- 引き続き、最終的な広域連系システムモデル（ノード単位）での検証に向けて、更なる検討を進めていく。

【①買入札を考慮したSCUC・SCEDロジックに関する議論概要】

- 可能なら北海道くらいのノード数の少ないシステムでシミュレーションしていただけないか  
⇒買入札の実績はエリア毎にしかないために、エリア内の各地点へ、どのように配分するかが難しい点だが、その点を何らかしだで想定できれば、ノードモデルでも検証が可能
- 目的関数がfGとfDで構成されるが、どちらか重み付けの大きい方に最適化結果が引きずられる構造となっていると思うので、確認が必要  
⇒比較的fGの方がボリュームが大きいはあるが、約定点がずれたときに目的関数の値がどれだけ変わる、つまりカーブの傾きが重要である  
⇒買入札の考慮は重み付けというよりも、供給と需要のマージナルなところで均衡価格が決まると考える
- 広域連系システムモデルの結果を見ると、中部-北陸間で余分な潮流が回り込むループフローになっていて、実運用上の解でない。最適化計算後に再度、潮流計算が必要と考える  
⇒潮流に対してコストがかかっておらず、ループフローの相殺の有無で目的関数値が変わらないためである。解消のためには、2段階で計算する他、送電コストや送電ロスを考慮するなどの工夫が必要である
- ロスの考慮は実運用では行いが、市場で扱うかも論点である

- 米PJMにおけるSCUC・SCEDロジックでは、ノード毎に設定された送電ロス率（LS）分の送電ロスを、PJMの系統に流入する電力量（発電所の発電量、PJM外との連系線潮流量、および需要抑制負荷量）から差し引いて、需給を一致させている。

【米PJMの最適化計算における需給バランス制約】

### A. Power Balance Constraint

The power balance constraint in SCED ensures that all energy injected into the PJM system during the dispatch interval balances with all energy withdrawal including losses in the system.

$$\sum_{i=1}^n (1 - \underline{LS(i)}) * Energy_{MW(i)} + \sum_{i=1}^{importTran.} (1 - \underline{LS(i)}) * Import_{Transaction_{MW(i)}} - \sum_{i=1}^{ExportTran.} (1 - \underline{LS(i)}) * Export_{Transaction_{MW(i)}} - \sum_{i=1}^{PRD} (1 - \underline{LS(i)}) * PRD_{MW(i)} = Load\ Forecast$$

送電ロスに関する係数

(参考)  
技術検証会での議論 (全体)

## 【⑩最適電源構成モデルによる同時最適分析】

- 価格について、現実のように、かなり高い価格となることはないのか？
- インプットデータによるところで、ほぼ燃料費の限界費用で決まる水準になっている。
- 実際の系統では、より多様な電源があると思うが、今回用意したデータの限界費用と同程度と考えている。検証Bでも同様のデータで検証しており、ベースケースでは同程度の水準であり、別途行った燃料費高騰ケースでは、さらに高い水準にもなっており、引用するデータに依存している。
- 電中研よりも高いスペックの計算機を用い、同様の傾向が得られていることで大変参考になった。
- 今回は、計算時間短縮化の工夫はせずに行った。許容度は分からないが、MIPGapを少し緩めるだけでも、速くなることは間違いない。また、調整力のところは、ペナルティ項とするか否かで計算時間が大幅に変わり、厳密に解くことがベストではあるが、他の制約含めて、緩められるところは緩める方策を取ることが正しい方針かと考える。
- MIPGapについては、過去に米国で、0.1%を目標にすると書かれていて、常に0.1%を求めてはいないと考える。欧州はMIPGapの目標でなく、計算時間を17分以内とするように、時間で管理していると聞いている。
- 価格を算定するときの火力は、二次関数と7区分のどちらで扱っているのか？
- 7区分で扱っている。燃料費の非線形を残したままの厳しい条件で計算しており、線形化した方が計算時間は短くなると考えている。

## 【⑩基本ロジックの構築】

- 基本パラメータの調整は、将来的に自動化していないと実務で使えないと思うが、自動化の見込みはあるのか？
- 商用ソルバーなら自動化の機能はついている。ただ、自動化が実行時間内にできるかも問題になる。試行錯誤を人がやるか、機械がやるかなので、機械的な学習を入れるなどが必要になる。
- 色々な手法のいいところ取りも考えられると思うが、結論がよく分からなかった。
- 今回は結論を出すものではなく、3つの収束性向上の方向性について効果が出る可能性をお示したもので、今後、色々な方の知見を出して深掘りしていけるような基礎検討を行ったという位置付けである。
- どの断面で検証したものか？趣旨としては、解空間によるところもあり、例えば系統構成さえ決まってしまうと、ある程度考え方を絞れるのか、あるいはやはりチューニングが必要なのか、そのあたりのお考えを伺いたい。
- 今回は重負荷期で検証しており、おっしゃる通り、重負荷期と軽負荷期では傾向は異なる。適する方法を何パターンか作らないといけない感触であるが、今回は検証の時間的制約もあるので、比較的解の得やすかった重負荷期で傾向を確認した。
- 米国では複数の計算機をつかって、並行して異なる戦略やプログラムを回す例もあり、どの戦略・パラメータがベストを検討するのは、それほど重要ではない。米国では市販ソフトのパラメータ調整だけではなく、たとえばMISOではDOEからの補助金をもらって改善策を検討して、いくつか特許も出しているような状況である。実装する際にはシステムベンダーなどにそういった状況を調査していただいて、ベストなものを選ぶ必要がある。
- バンド制約については、米国で様々なランプ制約を考慮できるようにしているが、今回のモデルとの違いは？
- メーカー含めて様々な方策が検討されており、恐らく、変化速度自体を変えられるような複雑な作りこみがなされ、計算時間も速いものと思う。それに対し、今回のモデルは、シンプルな作りをしており、バンド切り替え時に調整力を出せないなどの様々なカスタマイズが加味ができるようにしているが、変数が増えてしまうため、計算速度が劣る傾向がある。
- 二段階最適化については良い方策だと思う。二段階の色々な方策や多段階にすることも考えられる。経験的にMIPGapを粗くしても、結果がそれほど変わらないため、一段目はMIPGapを粗くし、二段目で精緻に解くことも考えられる。
- パラメータ調整については、例えば線形最適化手法が双対単体法が著しく計算時間が短くなっているのは、私も経験があり、理由は分からないが、はまと計算時間を大幅に縮約できるということは多分にある。そのため、先ほど意見のあった、複数の計算機で様々な方針で解くことはありうらと思った。
- パラメータ調整については、色々やったが、特徴はありつつ、分からない部分もあるため、力業で行う方法もよいかと考える。
- 今回は一段階目の起動停止を固定して二段階目の最適化が行われているが、起動停止をフリーにする工夫も考えられる。バンド制約では、(停止は固定せず、) 起動のみ固定する工夫もあり、さらに、起動までも固定しない工夫も考えられるのではないかと？
- 燃料費特性の場合は、一段階目の結果が二段階目の実行可能解になるため、起動停止を固定しない方法も考えられるが、バンド制約の場合は、実行可能解にならないことから、固定をしないと解を得にくくなる。
- バンド制約について、kWhでは考慮されているが、 $\Delta kW$ でも考慮しているのか？
- $\Delta kW$  供出量にも制限を設けている。他方で、変数が多くなることから、計算時間は長くなるデメリットがある。
- 非線形の要素に対して、一段階と二段階の両方で線形化するのか、それとも二段階で非線形のまま、いわゆるOPFのような形で解くといったことまで考えているのか？
- 特段決まったものではなく、少なくとも一段階目では線形化が必要となるが、二段階目でも二次関数であれば、高級なソルバーであれば解くことができる。それ以外の難しい特性であれば、区分線形などの工夫が必要になる。また、様々な非線形な要素を、優先順位を決めて、一つずつ定式化していくという考え方もある。

## 【②週間運用を可能にするSCUC・SCEDロジック】

- システムベンダーのワークショップで、2日ずつローリングする手法により計算が速くなることが紹介されていた。期間同士のつながりをどうするかが難しいように思うが、このような手法の有効性は？
- 基本ロジックでは、1日分重複させてローテーションしていくロジックにはなっているが、やはり週間で揚水の池水位を決めたり、起動の準備に数日を要するものへの対応としては、2日のローテーションでは、起動が繰り延べにならずと起動しない結果になりうる。また、それにもなって揚水も不経済な運用になりうる。そのため、ざっくりでもよいので、長期で起動停止の判断を行えるような計算が必要である。
- 毎日再計算するので、4日目以降とかは多少の誤差はよいという考え方も可能である。そのことが問題ないとするためには、起動に4日程度もかかるような電源起動停止に悪影響がないかといったことについても評価が必要と思う。どのような評価指標とすべきかが難しいが。
- 4日目以降の供給力が目減りするデメリットについては、起動に1週間程度を要する電源は基本的に安いので問題ない気がしている。ただ、できるだけ供給力の目減りを減らすことが望ましく、ピーク需要に合わせて供給力を確保する制約を加えるような工夫も考えられる。
- 池容量の推移を見通すという意味では、もともと週間計画にどの程度の精度を求めるといことなので、このレベルであれば、精度もある程度あるという感触である。また、多くの電源は3日以内に起動することなので、週後半の粒度を粗くしても、基本的な運用目的は果たせると考える。先ほど、起動に時間を要する電源は安いという発言の補足で、普段動かない石油機等のコンベンショナルな電源が、夏場の前に急に稼働が必要となることもあるが、レアケースと考える。
- 供給力が過少評価される点は、kW評価を、最適化ロジックの外で計算する方法もありうる。あるいは経済性よりも、kW価値を明確にして簡略化するなど最適化ロジックの工夫という方法もありえる。いずれにしても時間の短縮化はできているので、実装の際に目的に応じて決めていけばよいと考えている。

- 今後、地内も精緻に考慮すると解くことが難しくなってくる。粒度を粗くする方法も、1コマ4時間単位だけでなく、6時間単位など、より粗くする方法を分析することも大切になってくる。
- 粒度をより粗くする工夫については、残余需要のダックカーブを埋めるような簡略化になることが悩ましい。コマ数よりも、残余需要を見たうえで決める必要があると考えている。
- 粒度を粗くすることによって、再エネの影響が大きくなり、おそらく調整力必要量が少なくなるため、その点にも留意が必要である。

## 【これまでの検証内容の取りまとめと今後の検証内容について】

- 需要側入札の検証について、ノード単位の検証は解が得られなかったように記憶しているが、どのような結論としたのか？
- 検証としては、ノード単位も行っており、ノード単位だと解は出ないものの、元の需要曲線からなるべく乖離しないような簡略化の工夫により、多少の誤差は出るものの解が得られる見込みを得た。そのうえで、需要曲線の簡略化により誤差は生じるので、なるべく簡略化をしないよう、制度的な工夫として、ノードを特定可能なものは、ノード単位の入札を促していく方向性をお示しすることで、対応可能な用途を立てた。
- 起動費等が回収可能な価格算定ロジックについて、海外調査中心で終わられたが、今後は制度論として議論していくということか？
- 仰る通りで、PJMでもFast-Start電源など一部の電源に適用している例はあるが、全体として市場そのものに適用した例はみられず、Upliftの規模感にも関わってくる。そのため、まずはベーシックで実現可能なシャドウプライスをベースに、Upliftの規模感の観点も含めて、制度論の中で次のステップとしてあらためて議論していくものと考えている。
- コメントだが、ゾーン制である欧州では、各時間帯ごとの通常の入札はゾーン単位に集計した需要曲線を使って約定計算が行われている。また、米国でも需要の入札は変電所ごとではなく、ゾーンごとに行われていることがほとんどである。これらを踏まえると、需要の買入札を地点ごとに考える必要性は考えずらいと思う。
- おっしゃるように、出来れば簡略化しないで回るように制度の工夫をしていきたいし、万一の場合も簡略化により回るロジックを組んできたので、両輪でやっていきたい。