

系統運用制約付き電源起動停止計画に基づく電力需給・潮流最適化プログラム

電力中央研究所 グリッドイノベーション研究本部

第2回 同時市場の在り方等に関する検討会

2023年9月20日

 電力中央研究所

研究開発の背景

◆ 系統計画画面でのニーズ

- カーボンニュートラル実現に向けて、電力系統への再エネ最大限導入が掲げられ、電力系統の将来像を見直す機運が高まった。
- 国内の長期エネルギー需給シナリオに基づいた電力需給・潮流分布の評価が必要となった。(⇒ **広域マスプラ検討への対応**)

◆ 系統運用面でのニーズ

- 平常時の系統混雑を前提として電源アクセスを行う「コネクト＆マネージ」の適用により、エリア間連系線・地内系統の混雑が将来的に増加することが考えられる。
- 系統運用者には、系統混雑を管理しつつ供給力・調整力を確保できるように、系統運用制約付き電源起動停止計画 (SCUC) の策定機能が必要となった。(⇒ **次期中給SCUCへの対応**)

目的：どのような課題に対応するものか？

◆ 系統運用者による需給運用計画や系統増強計画の支援

- ① 供給力と調整力を確保した電源起動停止計画の策定 ※緊急時対応
 - 市場約定された電源による運用可否の判断
 - 系統運用 (供給信頼性) の面から見た電源起動停止計画の見直し検討
- ② 再エネ大量導入時の電力潮流の想定
 - 電源の偏在に伴う広域的な電力潮流の様相、送変電設備の運用容量を超過するリスクの把握
 - 需給運用における送電ネットワークのボトルネックの特定
- ③ 系統増強計画の費用便益評価
 - 系統増強前後の電源運用コストの比較、系統増強に伴う電源の出力制御の解消による便益の定量評価
 - 系統混雑費用やノードルプライスの分析

プログラムの概要

どのようなプログラムか？

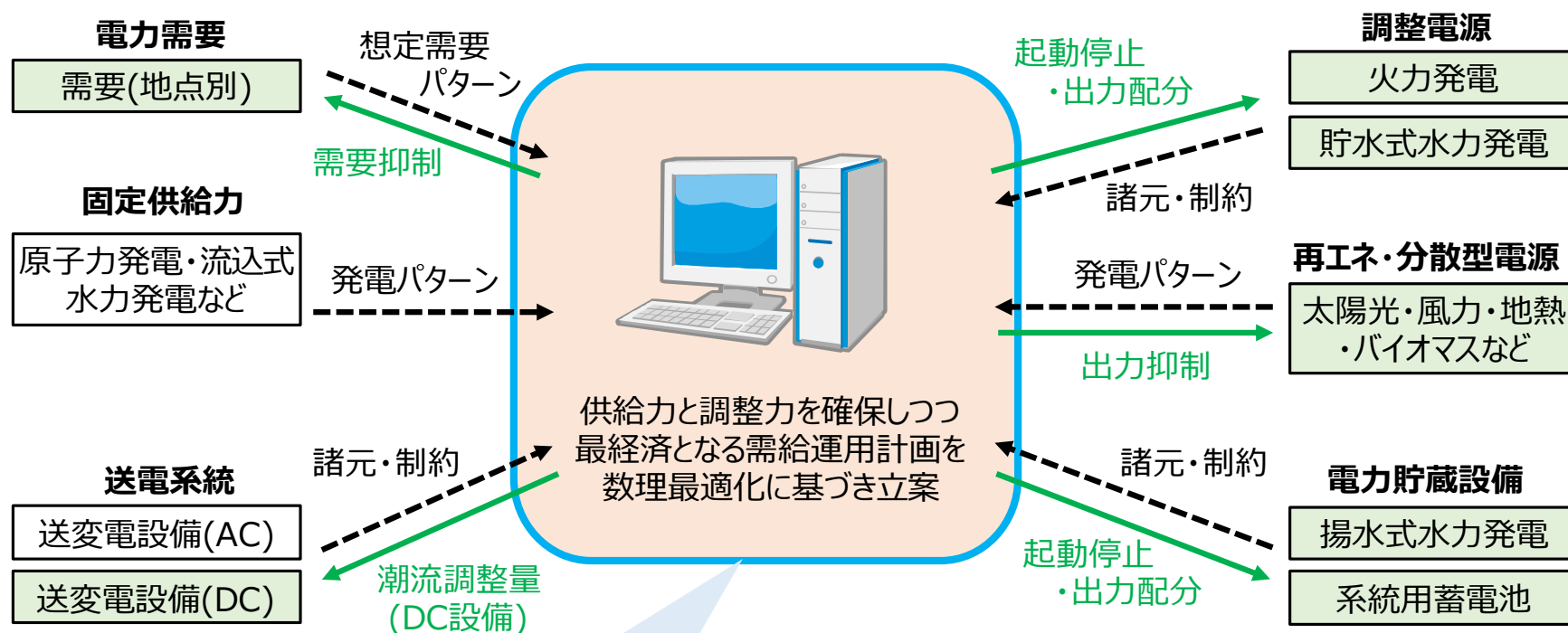
- ◆ 電源運用と系統運用 (送電容量) に関する制約を考慮し、供給力と調整力に対する需要に見合った、最も経済的な需給運用計画 (≡ 電源運用スケジュール) を立案

SCUC: Security Constrained Unit Commitment

- 数理最適化、オペレーションズ・リサーチの技術を活用
- 発電設備の燃料消費特性、最低出力、出力変化速度、ダウンタイム、慣性エネルギーなどの運用スペックを考慮
- 需給バランスの維持を前提に、予備力・調整力の確保、送変電設備の運用容量を考慮
- 対象期間内における燃料費、起動停止費、CO₂排出費、系統運用制約に関するペナルティ費用の総和を最小化

開発プログラムの概要

---> 入力データ → 出力(制御)データ □ 制御対象



① 電源起動停止計画(UC)

電源運用の制約を考慮し, 対象期間での系統全体の発電コストが最小となる電源運用を算出

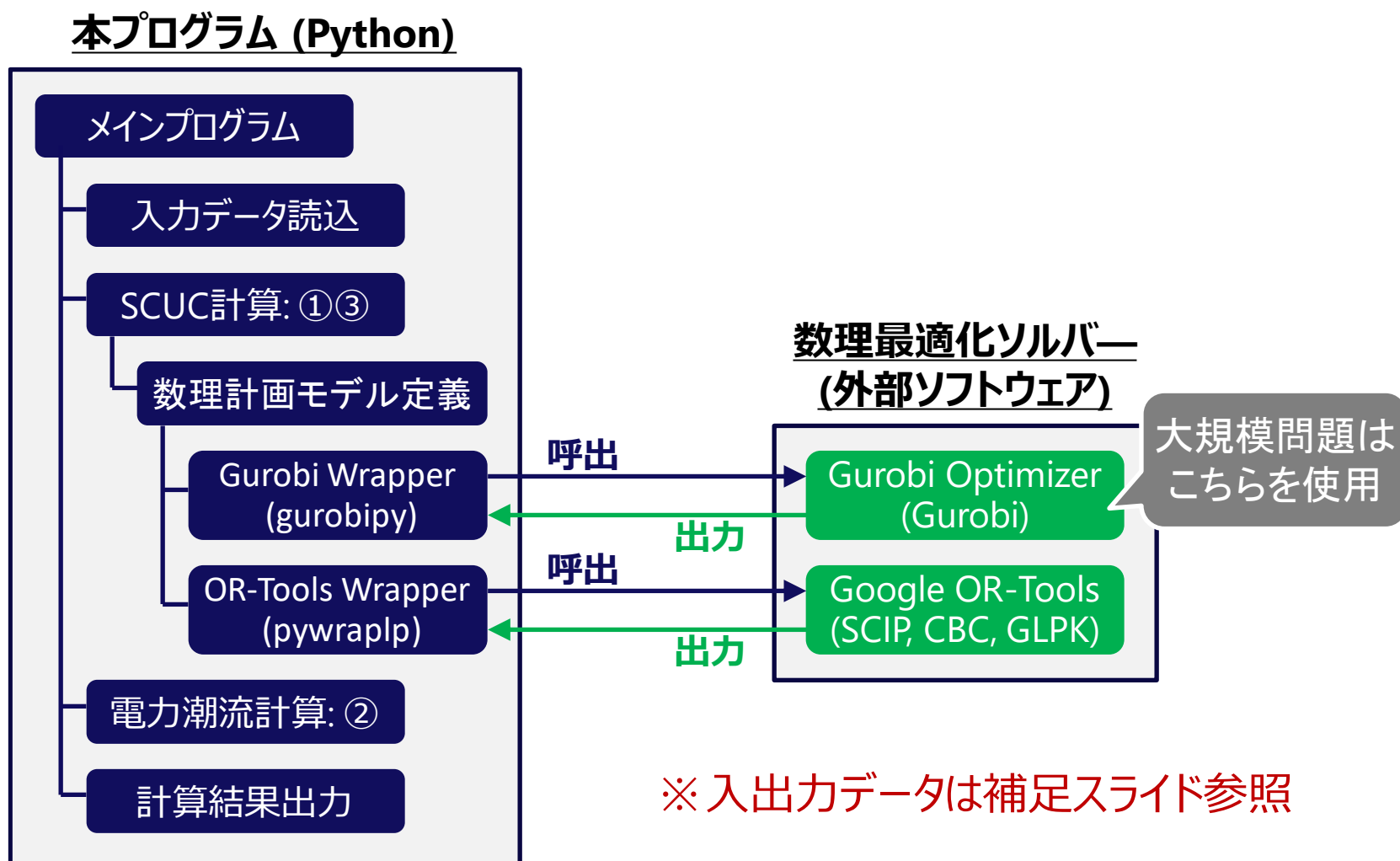
② 電力潮流計算

①の需給データを用いて, 送変電設備 (AC・DC) の有効電力潮流・過負荷量を算出

③ 系統運用制約付きUC

①に系統運用の制約とペナルティコストを加味し, 電源運用・有効電力潮流・過負荷量を算出

開発プログラムの構成



主な制約条件

項目		内容
電源運用制約	出力上下限制約	電源出力 (発電, 充放電) を指定範囲に制限
	出力変化速度制約	直前 (t-1) の時間断面からの出力変化量を指定値以下に制限
	運転継続時間制約	運転継続時間 (MUT) と停止継続時間 (MDT) を指定断面数以上に制限
	日間起動回数制約	日間の起動回数を指定値以下に制限
	サイト運用制約	指定の電源グループに対し、並解列台数・合計出力を指定範囲に制限
	蓄電量上下限制約	充電設備 (揚水, 蓄電池) の電力貯蔵量を指定範囲内に制限
系統運用制約	需給バランス制約	各エリア・各ノードにおいて電力需要と「電源出力合計 + 流入電力」が一致
	予備力制約	各エリアの運転予備力が指定値以上となるように対象電源の上げ代を確保
	調整力制約	各エリアの調整力が指定値以上となるように対象電源の上げ代・下げ代を確保
	ネットワーク潮流制約	各ブランチ (地域間連系線・地内送電線等) の潮流および各フェンス潮流を運用容量の範囲に制限
	系統慣性制約	系統容量に対する系統全体の慣性エネルギーを指定値以上に制限

目的関数の概要

◆ 目的関数（評価項目）

- 電源運用コストの最小化をベースに、ペナルティコスト（制約違反量のコスト換算）の最小化を図る

$$\text{Minimize: } f = \text{電源運用コスト} + \text{ペナルティコスト}$$

➤ 電源運用コスト (f_G)

- 燃料費
- CO2対策費
- 起動停止費

➤ ペナルティコスト (f_P)

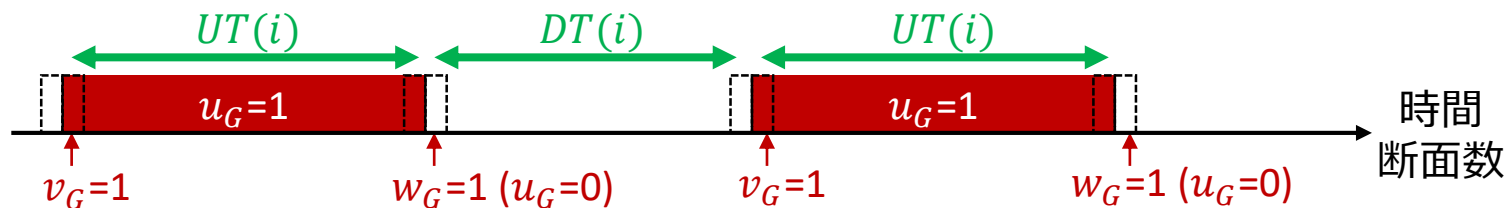
- 系統混雑量に対するコスト換算 (f_C)
- 供給力不足量 (需要抑制量) に対するコスト換算 (f_D)
- 予備力・調整力不足量に対するコスト換算 (f_R)

起動停止の変数と費用

◆ 並解列および起動停止の変数を整数変数 (Bool) で定義

- 並解列状態の変数、起動フラグ、停止フラグ

$$\begin{cases} v_G(i, t) + w_G(i, t) \leq 1 \\ v_G(i, t) - w_G(i, t) \leq u_G(i, t) - u_G(i, t - 1) \end{cases} \quad \forall i \in \mathbf{G}, \forall t \in \mathbf{T}$$



◆ 起動費 (SUC) と停止費 (SDC)

- 発電ユニット毎に停止費、DSS/WSS/CSSの起動費をそれぞれ設定
- 起動費には切替時間 (T_{WSS} , T_{CSS}) を設定し、停止継続時間に応じて変化

$$SUC(i, t) \geq SUC_{DSS}(i) \cdot v_G(i, t), \quad SDC(i, t) = SDC_G(i) \cdot w_G(i, t),$$

$$SUC(i, t) \geq SUC_{WSS}(i) \cdot \left\{ v_G(i, t) - \sum_{r=t-T_{WSS}(i)}^t w_G(i, r) \right\} \quad \forall i \in \mathbf{G}, \forall t \in \mathbf{T}$$

※ CSS起動費の不等式制約もWSSと同様

燃料費・CO2対策費について

◆燃料費、CO2対策費について

- 発電ユニットの燃料消費量は、発電出力の二次関数で定義
- 燃料費は燃料費換算係数 (K_F) を、CO2対策費はCO2換算係数 (K_{CO2}) とCO2排出単価 (K_C) をかけて評価

$$q(i, t) = a(i) \cdot p_G^2(i, t) + b(i) \cdot p_G(i, t) + c(i) \cdot u_G(i, t)$$

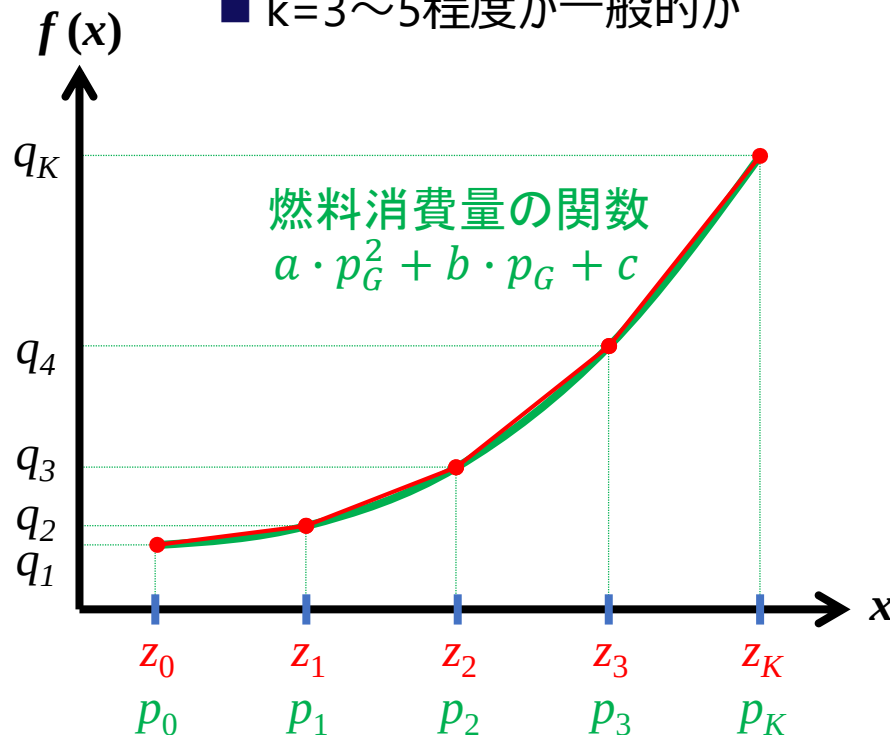
$$\forall i \in \mathbf{G}, \forall t \in \mathbf{T}$$

$$f_G = \sum_t \sum_{i \in \mathbf{G}} \{K_F(i) \cdot q(i, t) + K_C(i) \cdot K_{CO2}(i) \cdot q(i, t)\} \\ + \sum_t \sum_{i \in \mathbf{G}} \{SUC(i, t) + SDC(i, t)\}$$

区分線形化に基づく燃料消費量の計算

◆ 区分線形関数 (凸関数) による計算高速化

- 区間 k に対する発電出力 $p(k)$ と燃料消費量 $q(k)$ を予め定義
- どの区分で発電するかを示す補助変数 $z(k)$ (正の実数) を導入
 - 区分数に対し、計算精度と計算時間はトレードオフ。
 - $k=3\sim 5$ 程度が一般的か



$$f(x) \approx \sum_{k=0}^K q(k) \cdot z(k)$$

$$p_G = \sum_{k=0}^K p(k) \cdot z(k)$$

$$\sum_{k=0}^K z(k) = 1$$

$$0 \leq z(k) \leq 1 \quad \forall k = 0, 1, \dots, K$$

↑ どの区間に存在するかを示す

ペナルティコストについて

◆適用目的

- 制約条件の一部緩和による求解性の改善。制約条件の違反が不可避な条件でも、制約違反量が最小となる解を得る。
- ただし、重み係数のチューニングが複雑で、収束性悪化の懸念もある。重み付けの項目・時間帯を適切に検討する必要がある。

◆現プログラムで主に考慮されるペナルティ項 (≠制約条件)

- 系統混雑量に対するペナルティコスト (f_C)
- 供給力不足量 (需要抑制量) に対するペナルティコスト (f_D)
- 予備力・調整力不足量に対するペナルティコスト (f_R)

系統混雑量を抑制するための定式化※

- ◆ ノードの電圧位相、線路の潮流および潮流超過量を変数で定義し、潮流超過量の重み付け和をペナルティコストとして定式化

$$\text{Minimize: } f_G + f_P \leftarrow f_C = \sum_{t \in \mathbf{T}} \sum_{k \in \mathbf{B}} w_C(k, t) \cdot \{\varepsilon_C^+(k, t) + \varepsilon_C^-(k, t)\}$$

[t: 時間断面番号, k: ブランチ番号]

線路潮流 $p_{Flow}(k, t) = Y_{Bus}(i, j) \cdot \{\delta(i, t) - \delta(j, t) + \alpha_{DC}(k, t)\}$

**ノード需給
バランス** $p_{Gen}(i, t) - P_{Dem}(i, t) = \sum_{k \in \{k | Fr(k) = i\}} p_{Flow}(k, t) - \sum_{k \in \{k | To(k) = i\}} p_{Flow}(k, t)$

**運用容量
制約** $P_{Flow}^{min}(k, t) - \varepsilon_C^-(k, t) \leq p_{Flow}(k, t) \leq P_{Flow}^{max}(k, t) + \varepsilon_C^+(k, t)$

潮流超過量 $\varepsilon_C^+(k, t) \geq 0, \varepsilon_C^-(k, t) \geq 0$

**DC設備の
潮流調整量** $\alpha_{DC}^{min} \leq \alpha_{DC}(k, t) \leq \alpha_{DC}^{max}$

※ 記号の定義は後述

供給力不足量を抑制するための定式化※

- ◆ ノード毎（またはエリア毎）に需要抑制量を変数で定義し、それらの重み付け和をペナルティコストとして定式化

- ノード需要抑制量の変数 ε_D^- を定義

$$\varepsilon_D^-(i, t) \geq 0$$

(t: 時間断面番号
i: ノード番号
k: ブランチ番号)

- ノード需給バランス制約に反映

ノード需給
バランス

$$p_{Gen}(i, t) - P_{Dem}(i, t) + \varepsilon_D^-(i, t) = \sum_{k \in \{k | Fr(k) = i\}} p_{Flow}(k, t) - \sum_{k \in \{k | To(k) = i\}} p_{Flow}(k, t)$$

- 重み付け和で目的関数のペナルティ項へ加算

$$\text{Minimize: } f_G + f_P \leftarrow f_D = \sum_{t \in T} \sum_{i \in N_D} w_D(i, t) \cdot \varepsilon_D^-(i, t)$$

※ 記号の定義は後述

調整力不足量を抑制するための定式化※

- ◆ ゾーン (エリア) 毎に調整力 (上げ・下げ) 不足量の変数を定義し、それらの重み付け和をペナルティコストとして定式化

- LFC調整力不足量の変数 $\varepsilon_R^+, \varepsilon_R^-$ を定義

$$\varepsilon_R^+(i, t) \geq 0, \varepsilon_R^-(i, t) \geq 0$$

(t: 時間断面番号
i: ゾーン番号
n: ノード番号)

- 調整力確保制約に反映

上げ調整力 $\sum_{n \in N_M} \{P_{Gen}^{max}(n, t) - p_{Gen}(n, t)\} \geq R_{up}^{Req}(i, t) - \varepsilon_R^+(i, t)$

下げ調整力 $\sum_{n \in N_M} \{p_{Gen}(n, t) - P_{Gen}^{min}(n, t)\} \geq R_{dn}^{Req}(i, t) - \varepsilon_R^-(i, t)$

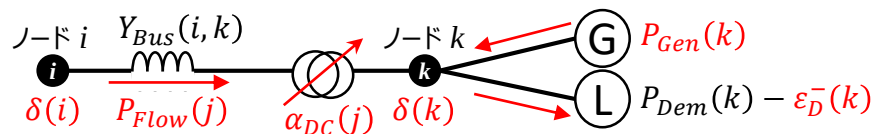
- 重み付け和で目的関数のペナルティ項へ加算

Minimize: $f_G + f_P \leftarrow f_R = \sum_{i \in M} w_R(i, t) \cdot \{\varepsilon_R^+(i, t) + \varepsilon_R^-(i, t)\}$

※ 記号の定義は後述

【参考】

記号の定義



○ノードの変数・パラメータ

$P_{Dem}(i, t)$: ノード i , 時間 t の電力需要

$p_{Gen}(i, t)$: ノード i , 時間 t の発電出力

$P_{Gen}^{max}(i, t)$: ノード i , 時間 t の発電出力上限

$P_{Gen}^{min}(i, t)$: ノード i , 時間 t の発電出力下限

$\delta(i, t)$: ノード i , 時間 t の電圧位相

$Y_{Bus}(i, k)$: ノード間 (i, k) のアドミタンス

○線路の変数・パラメータ

$p_{Flow}(j, t)$: 線路 j , 時間 t の電力潮流

$P_{Flow}^{max}(j, t)$: 線路 j , 時間 t の発電出力上限

$P_{Flow}^{min}(j, t)$: 線路 j , 時間 t の発電出力下限

$\alpha_{DC}(j, t)$: DC線路 j , 時間 t の位相調整量
(単位はrad, $2\text{rad}=360^\circ$)

○ゾーンの変数・パラメータ

$R_{up}^{Req}(i, t)$: ゾーン i , 時間 t の所要上げ調整力

$R_{dn}^{Req}(i, t)$: ゾーン i , 時間 t の所要下げ調整力

○ペナルティの変数・パラメータ

$\varepsilon_C^+(i, t)$: 線路 i , 時間 t の順方向混雑量

$\varepsilon_C^-(i, t)$: 線路 i , 時間 t の逆方向混雑量

$\varepsilon_D^-(i, t)$: ノード i , 時間 t の需要抑制量

$\varepsilon_R^+(i, t)$: ゾーン i , 時間 t の上げ調整力不足量

$\varepsilon_R^-(i, t)$: ゾーン i , 時間 t の下げ調整力不足量

$w_C(i, t)$: 線路 i , 時間 t の系統混雑量に対する
重み係数

$w_D(i, t)$: ノード i , 時間 t の需要抑制量に対す
る重み係数

$w_R(i, t)$: ゾーン i , 時間 t の調整力不足量に対
する重み係数

試算例

全国基幹系統モデルでの試算例

◆全国基幹系統のノーダルモデルを構築

- 広域機関のマスタープラン検討 (基本シナリオ・系統増強前) を基に、需給データおよび系統データ (上位2電圧) を整備

◆全国大のシミュレーションを実施

- 試算条件の概要は後述 (詳細は補足スライド参照)
- ペナルティ変数は以下を想定

需要抑制量	予備力不足量	調整力不足量	潮流超過量	フェンス超過量
0 (定数扱い)	0 (定数扱い)	0 (定数扱い)	変数	変数

◆検討ケース

- ① **Case 1** : 運用容量制約を無視
- ② **Case 2** : エリア間連系線の運用容量のみを考慮
- ③ **Case 3** : 地内送電線の運用容量を追加で考慮

試算条件の概要

項 目		設定内容（詳細は次スライド以降を参照）
需 要		■ GDPやエネルギー消費見通し、カーボンニュートラルに向けた国の政策による電力需要の増加を反映して推定。 ①従来需要:8,050億kWh(各ノード需要は2019年度実績で按分、需要カーブは2019年度実績をベースに基本シナリオの従来需要に合うよう補正) ②電化需要の増加:2,607億kWh(各ノード需要は政策議論から引用、用途毎に個別に需要カーブに加算) ③脱炭素、エネルギー転換技術に伴う需要増加:1,828億kWh(各ノード需要は政策議論から引用、用途毎に個別に需要カーブに加算) ➢ 蓄電池モデル:1.2億kWh(各ノード需要は国の政策議論から引用、揚水と同様に経済運用)
電 源 構 成	再エネ	■ エネルギー基本計画や国の審議会における政策議論を参考に、2050年の設備量を想定。 ➢ 太陽光：約260GW（各ノード配賦は導入実績比率で按分） ➢ 陸上風力：約41GW（各ノード配賦は導入実績比率で按分） ➢ 洋上風力：約45GW（各ノード配賦は官民協議会ベース） ➢ 水力・バイオマス・地熱：約60GW（それぞれ約50GW・7GW・2GW） ■ 利用率については、2019年度供給実績に基づき設定※¹
	火 力 (化石+CCUS)	■ 2021年度供給計画最終年度の年度末設備量に、一般送配電事業者へ契約申込済の電源を加えたものを各ノードに割り当て ■ 所内率※²、各月の最大出力、起動停止時間、最低出力を考慮 ■ 既存火力は、45年運転で廃止後、水素・アンモニア発電またはCCS付火力へリプレースと仮定
	原子力	■ 既存もしくは建設中の設備が全て60年運転すると仮定し、利用率は30年平均値72.8%に設定
	水素・アンモニア	■ 既設火力が45年運転で廃止後、その一部がリプレースされると仮定し、2050年度のkWh比率10%となるように調整
	揚 水	■ 2021年度供給計画最終年度の年度末設備量で設定（1週間単位で上池水量4割に戻す経済運用）
調整力		■ 調整力として、各時間断面でエリア需要の8%分の上げ代/下げ代を揚水・火力・水素・アンモニアで確保※³
連系線		■ 2021年度長期計画の運用容量を基本とする。（北本、FCはマージン確保） ※ 北海道本州間連系設備増強、東北東京間連系線増強、東京中部間連系設備増強は反映 ■ 系統増強やそれに伴う電源構成の変化による運用容量・マージンは、個別に検討して設定

※¹ 洋上風力は、2019年度NASA風況データから出力特性を模擬

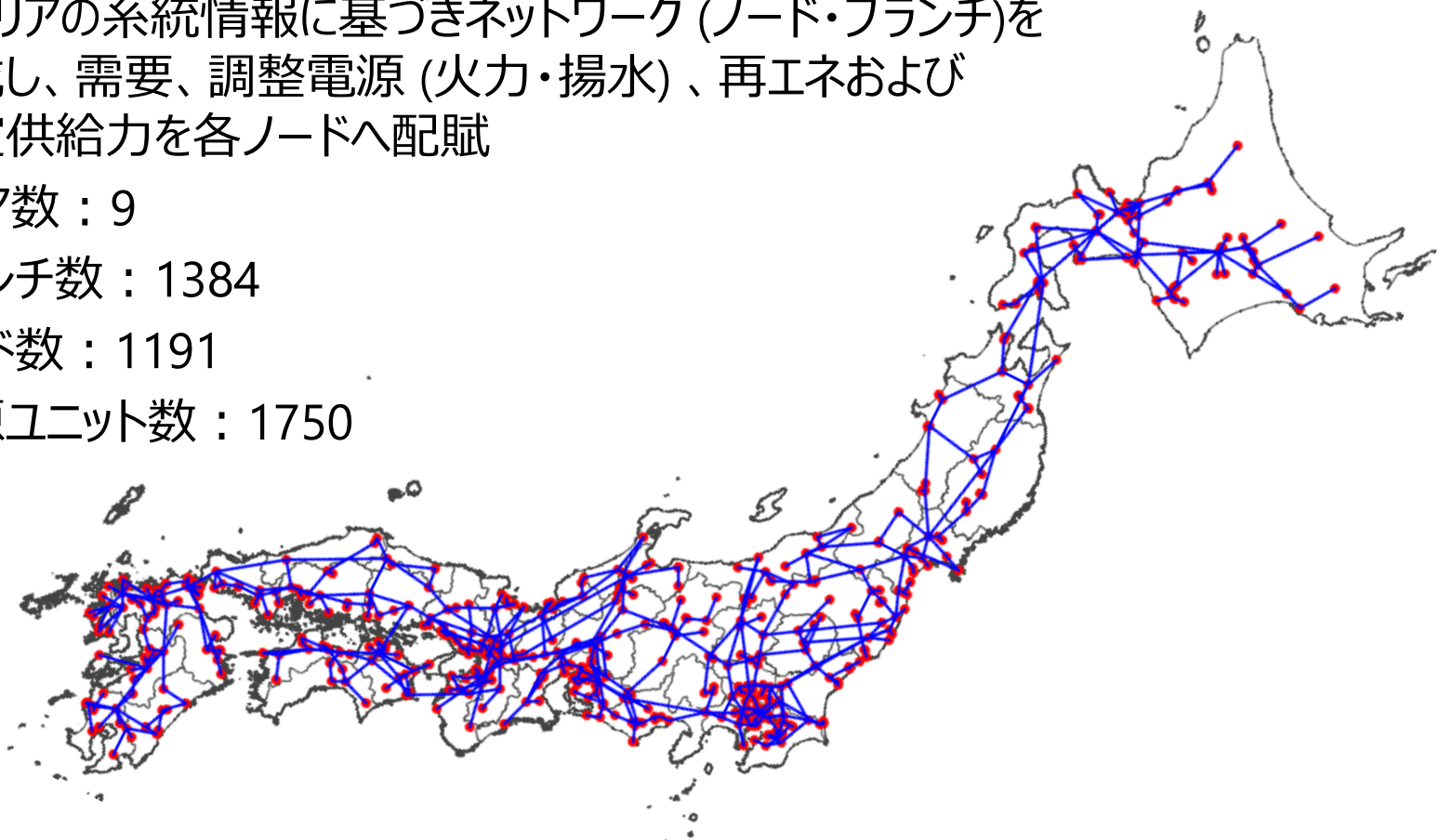
※² 稼働中の火力発電所には、CCSが併設されるものと仮定し、CO₂回収に必要な消費電力は所内率として考慮

※³ 将来の調整力必要量は議論中のため、現行と同等の数値を用いる。調整力等委における議論状況を踏まえ、適宜反映。

対象系統

◆ 2030年頃の全国基幹系統を縮約模擬し、地域間連系線および地内主要送電線の運用容量を考慮

- 各エリアの系統情報に基づきネットワーク (ノード・ブランチ) を構成し、需要、調整電源 (火力・揚水)、再エネおよび固定供給力を各ノードへ配賦
- エリア数 : 9
- ブランチ数 : 1384
- ノード数 : 1191
- 電源ユニット数 : 1750



結果概要：系統混雑の発生について

◆ Case 1：運用容量制約なし

- 多数のブランチで潮流超過が発生
 - とりわけ、エリア間連系線で大きな潮流超過が発生

◆ Case 2：エリア間連系線の運用容量のみを考慮

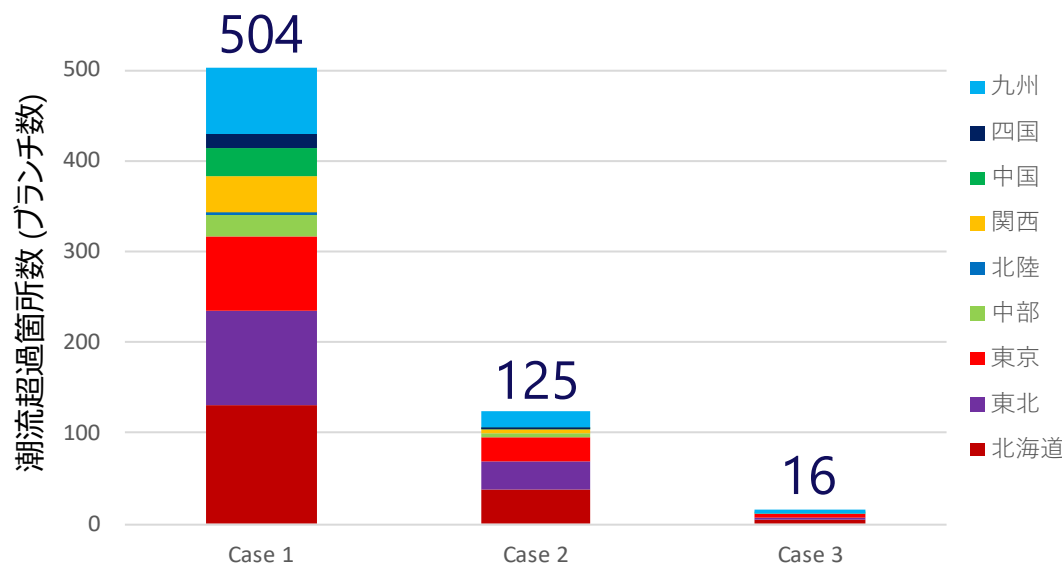
- 連系線の潮流超過はすべて解消されたが、地内系統では残存
- 再エネ出力抑制・火力出力増加により運用コストは増大

◆ Case 3：地内送電線の運用容量を追加で考慮

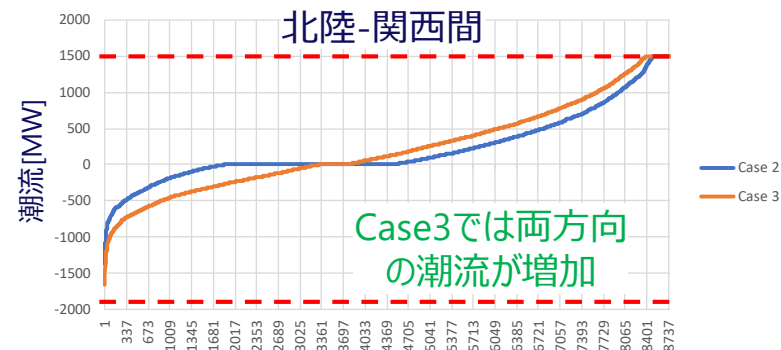
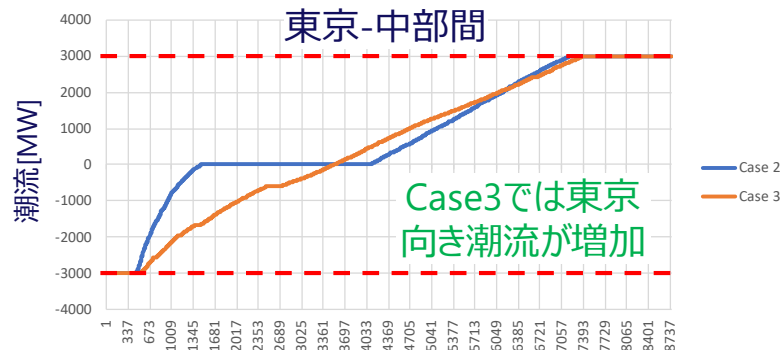
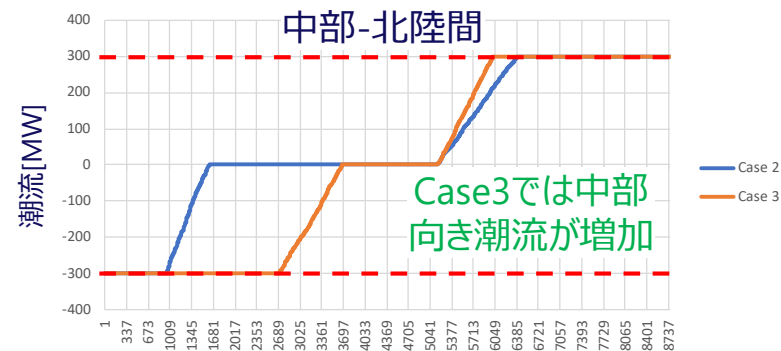
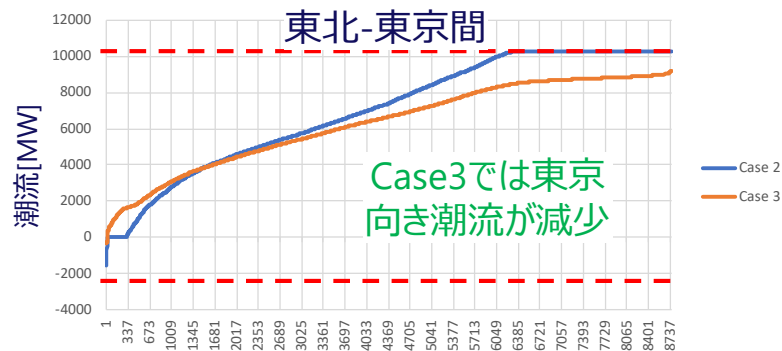
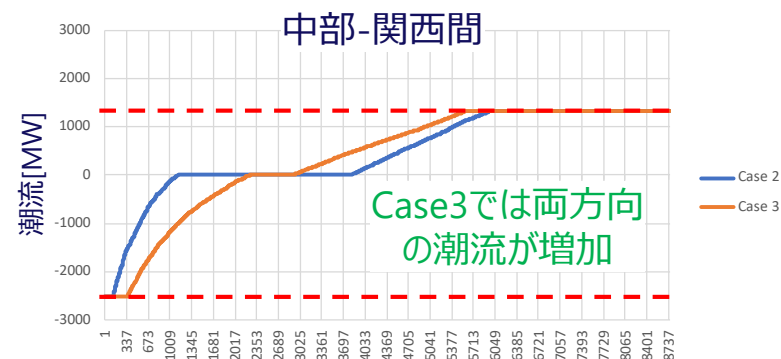
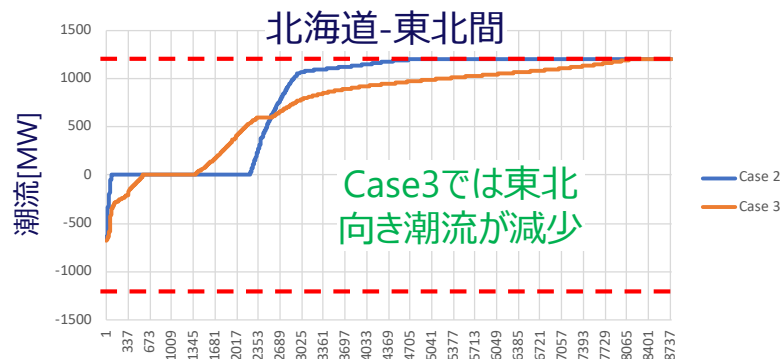
- 地内系統の潮流超過は大幅に減少
 - 系統混雑を解消できない条件では、潮流超過量または需要抑制量をペナルティ変数として設定することで、実行可能解が得られる。
- 再エネ出力抑制・火力出力増加により運用コストは増大

送変電設備の潮流超過

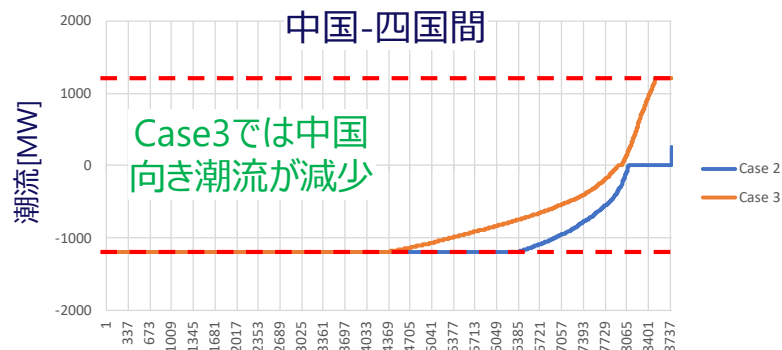
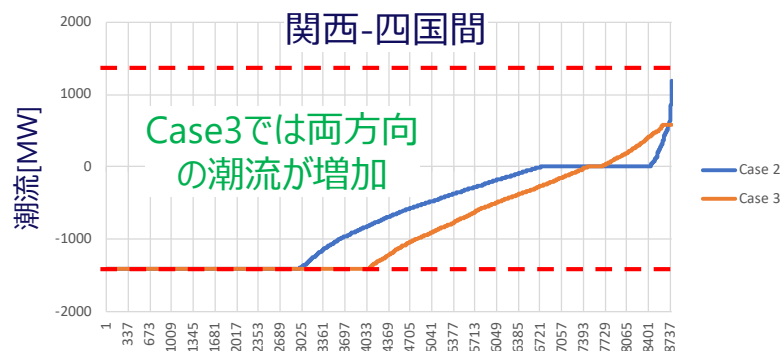
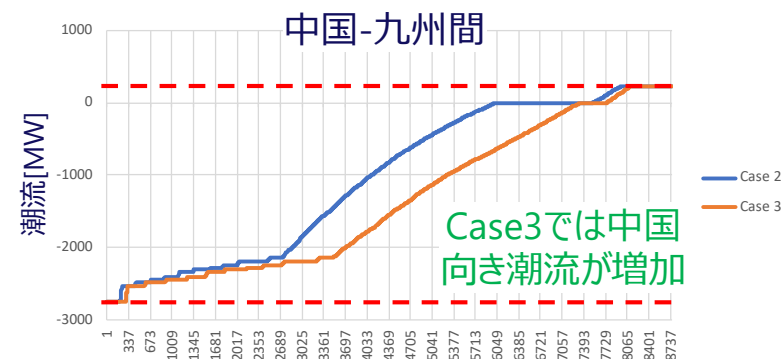
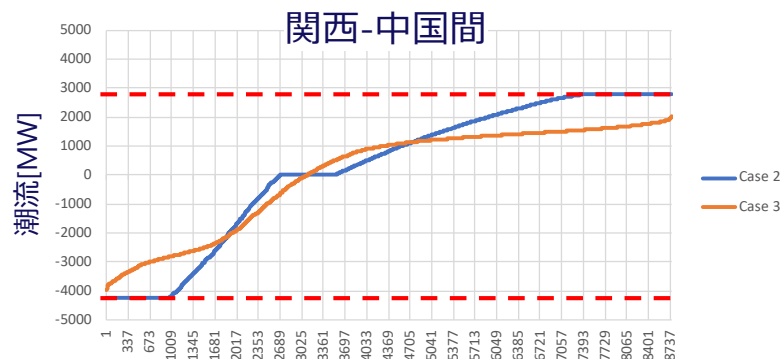
- ◆ 地内系統を考慮したSCUCにより、潮流超過は大幅減少
 - 連系線のみの考慮では、地内系統の潮流超過は解消できない
 - 潮流超過を許容しない場合は、実行可能解なし (Infeasible)
 - 潮流超過量をペナルティ変数とする場合、需要・固定出力電源が起因の潮流超過は残るものの、潮流超過量は最小限に抑制される。
 - 解を得るために、需要抑制量をペナルティ変数とする対応も考えられる。



エリア間連系線の潮流 (デューレーション)



<続き>



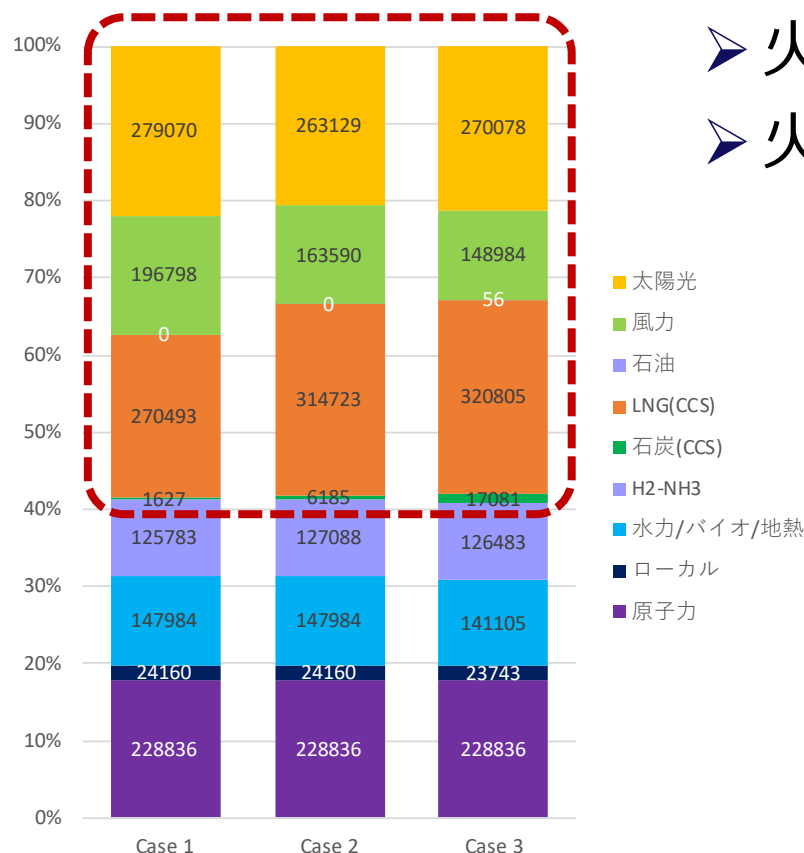
◆ Case 2, 3の連系線潮流は、すべて運用容量の範囲内に収まっている

全体の発電量比率と電源運用コスト

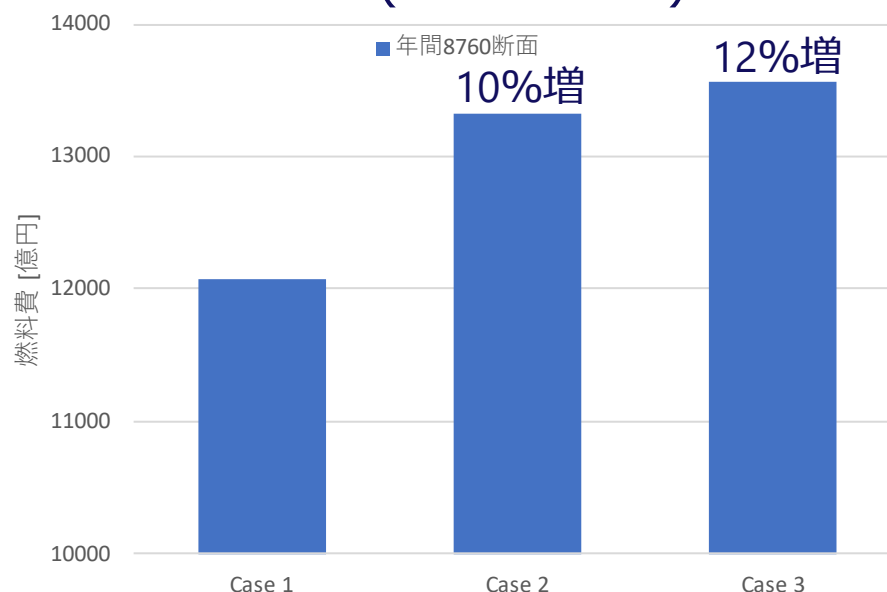
◆ Case 3 (SCUC) では、再エネの抑制と火力の増加により、運用コストは増加

- 火力は24%増加、再エネは10%減少
- 火力燃料費は12%増加

【タイプ別の発電量比率】

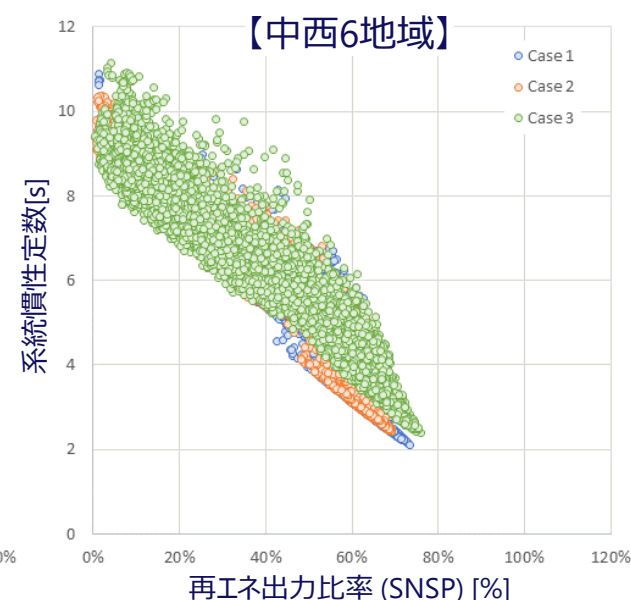
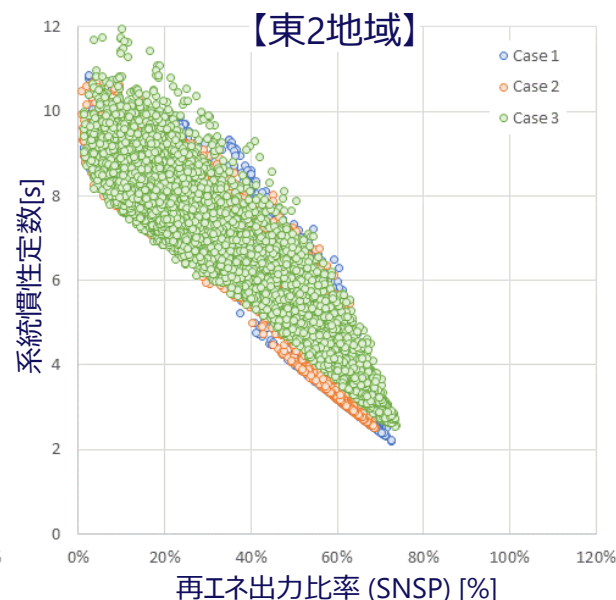
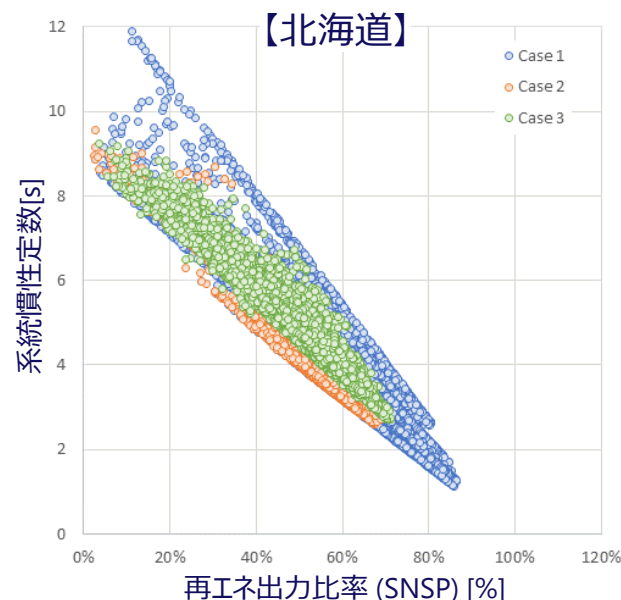
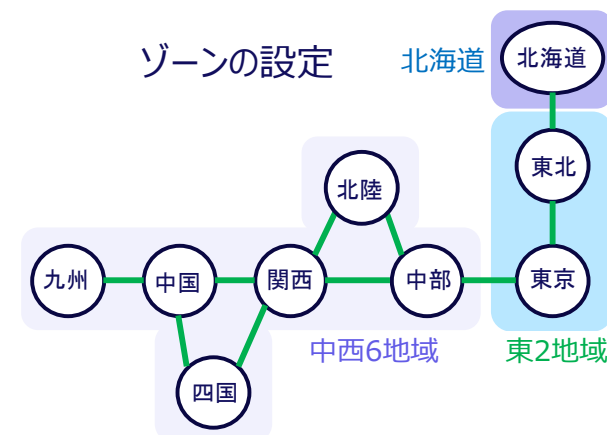


【電源運用コスト(火力燃料費)】



(参考) 系統慣性の評価例

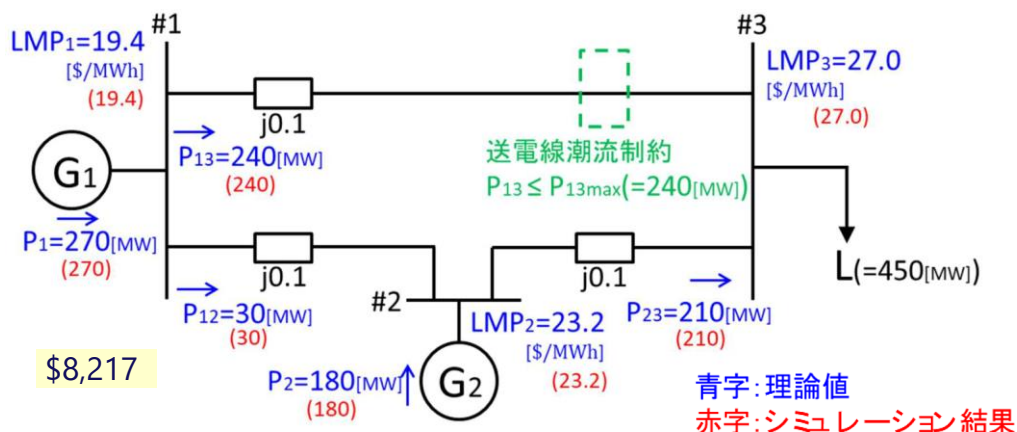
- ◆ 再エネ (太陽光・風力) 出力増加に伴い、同期機の並列容量が減少し、系統全体の慣性定数も減少
- ◆ 混雑処理によって火力の並列容量は増加するため、系統慣性は増加傾向
 - 北海道エリアで顕著な変化
 - 所要量が既知であれば、制約条件により確保が可能



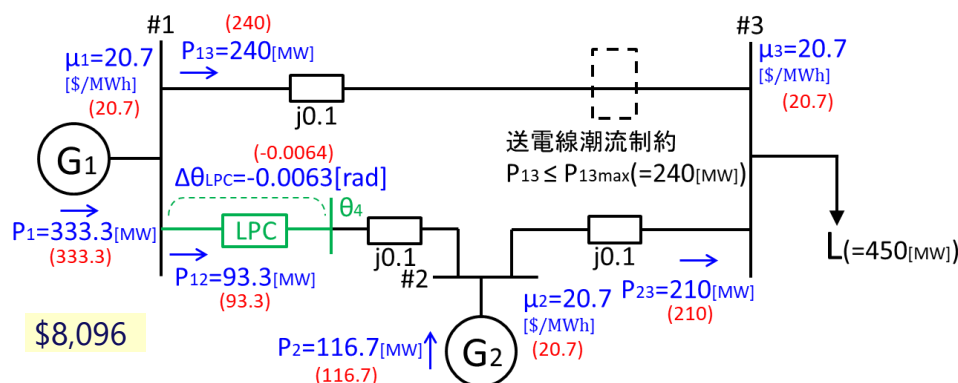
(参考) LMPの計算例

【簡易モデルでのLMP計算】

・電源出力調整 (再給電) による混雑解消



・ループ潮流制御装置 (LPC) による混雑解消



◆ SCUCを解いた後、電源の起動停止 (離散変数) を固定してLP問題を解き、需給バランス制約に対する Dual Value から各ノードの限界費用を導出

➤ 最適化ソルバはGurobiを使用

◆ 簡易な系統モデルを用い、電中研プログラムによる最適化計算の結果と理論値 (手計算の結果) を比較

$$\text{➤ } f_{G1} = 0.01P_1^2 + 14P_1 + 100$$

$$\text{➤ } f_{G2} = 0.02P_2^2 + 16P_2 + 80$$

まとめ

◆電力需給・潮流最適化プログラムの開発

- 系統運用制約付きユニットコミットメント (SCUC) :
数理最適化技術を活用して、送変電設備の運用容量を考慮した電源起動停止計画を立案
- 有効電力に特化したモデリングと強力な最適化ソルバーの適用により、大規模系統の電力潮流シミュレーションに対応

◆全国基幹系統の運用を想定したシミュレーションを実施

- 電源運用コストの最小化を基本に、連系線・地内送電線の潮流超過量を可能な限り低減した電源起動停止計画を導出
- 系統混雑解消に伴う電源の持ち替え、電源運用コストの増加、系統慣性の変化などを定量的に分析できることを確認

以下、補足資料

*Would you like to know
about us for details?
Please visit our website.*



<https://criepi.denken.or.jp/en/>

CRIEPI

search

入出力データ

計算条件データ

	項目	変数	データ型	定数/変数	初期値	内容	ファイル名	
計算条件	開始時間	TimeMin	整数	定数	0	開始する時間断面番号	Input_param.csv	
	終了時間	TimeMax	整数	定数	0	終了する時間断面番号	Input_param.csv	
	時間間隔	TimeInterval	整数	定数	60	時間刻み幅	Input_param.csv	
	途中経過出力	FlagInterimResult	整数	定数	0	各週間/各日間の計算結果をファイルに出力	Input_param.csv	
	線形化区分数	Segmentation	整数	定数	0	線形化区分数	Input_param.csv	
	調整力メニュー	NumCR	整数	定数	0	調整力メニュー数	Input_param.csv	
	最適化サイクル	OptCycle	整数	定数	0	最適化対象期間の最大区間	Input_param.csv	
	二段階最適化	FlagMultiOpt	整数	定数	0	定格発電単価で起動停止計画の後に負荷配分	Input_param.csv	
	FIX電源ランク	TypeRank	整数	定数	0	UC計算時の出力抑制を配分する電源種別	Input_param.csv	
	UC蓄電設備統合	IntegStorage	整数	定数	0	充電ユニットを統合するフラグ	Input_param.csv	
	CO2排出単価	PriceCO2	整数	定数	0	CO2排出量に対するコスト	Input_param.csv	
	FIX電源抑制単価	PriceVRE	整数	定数	0	UC計算用: 固定出力(FIX)電源の出力抑制に対するコスト	Input_param.csv	
	送電単価	PriceFlow	整数	定数	0	ループフロー抑制用、ブランチ潮流に対するコスト	Input_param.csv	
	供給力不足ペナルティ	VOLL	整数	定数	0	需要抑制量に対するペナルティコスト	Input_param.csv	
	予備力不足ペナルティ	VOLR	整数	定数	0	予備力不足量に対するペナルティコスト	Input_param.csv	
	調整力不足ペナルティ	VOLF	整数	定数	0	調整力不足量に対するペナルティコスト	Input_param.csv	
	系統混雑ペナルティ	VONC	整数	定数	0	潮流超過量に対するペナルティコスト	Input_param.csv	
	ペナルティ	Penalty	整数	定数	0	ペナルティフラグ	Input_param.csv	
	ペナルティ変数: ノード負荷	OptPenalty[ノード負荷]	整数	定数	0	需要抑制量のペナルティフラグ	Input_param.csv	
	ペナルティ変数: 交流ブランチ潮流	OptPenalty[交流ブランチ潮流]	整数	定数	0	交流ブランチ潮流超過量のペナルティフラグ	Input_param.csv	
ペナルティ変数: 直流ブランチ潮流	OptPenalty[直流ブランチ潮流]	整数	定数	0	直流ブランチ潮流超過量のペナルティフラグ	Input_param.csv		
ペナルティ変数: フェンス潮流	OptPenalty[フェンス潮流]	整数	定数	0	フェンス潮流超過量のペナルティフラグ	Input_param.csv		
ペナルティ変数: 予備力	OptPenalty[予備力]	整数	定数	0	予備力不足量のペナルティフラグ	Input_param.csv		
ペナルティ変数: 調整力	OptPenalty[調整力]	整数	定数	0	調整力不足量のペナルティフラグ	Input_param.csv		
	(空き)					-	-	
	(空き)					-	-	
制約条件 フラグ	出力指定	OptConstr[出力指定]	整数	整数	0	起動停止指定・出力指定	Input_param.csv	
	出力変化速度	OptConstr[出力変化速度]	整数	整数	0	出力変化速度制約の考慮	Input_param.csv	
	最小運転時間	OptConstr[最小運転時間]	整数	整数	0	MUT制約の考慮	Input_param.csv	
	最小停止時間	OptConstr[最小停止時間]	整数	整数	0	MDT制約の考慮	Input_param.csv	
	最大起動回数	OptConstr[最大起動回数]	整数	整数	0	最大起動回数制約の考慮	Input_param.csv	
	予備力	OptConstr[予備力]	整数	整数	0	予備力制約の考慮	Input_param.csv	
	調整力	OptConstr[調整力]	整数	整数	0	調整力制約の考慮	Input_param.csv	
	FIX電源抑制	OptConstr[FIX電源抑制]	整数	整数	0	固定電源の出力調整の可否	Input_param.csv	
	火力優先起動	OptConstr[火力優先起動]	整数	整数	0	発電ユニットの起動順位の考慮	Input_param.csv	
	揚水優先起動	OptConstr[揚水優先起動]	整数	整数	0	充電ユニットの起動順位の考慮	Input_param.csv	
	電力貯蔵量	OptConstr[電力貯蔵量]	整数	整数	1	蓄電サイトの運用制約の考慮	Input_param.csv	
	燃料貯蔵量	OptConstr[燃料貯蔵量]	整数	整数	0	燃料サイトの運用制約の考慮	Input_param.csv	
	電源グループ制約	OptConstr[電源グループ制約]	整数	整数	0	サイト内の起動停止ユニット数制約の考慮	Input_param.csv	
	連系統潮流	OptConstr[連系統潮流]	整数	整数	0	UC計算時のエリア間潮流制約の考慮	Input_param.csv	
	ブランチ潮流	OptConstr[ブランチ潮流]	整数	整数	0	SCUC計算時のブランチ潮流制約の考慮	Input_param.csv	
	フェンス潮流	OptConstr[フェンス潮流]	整数	整数	0	フェンス潮流制約の考慮	Input_param.csv	
	系統慣性エネルギー	OptConstr[系統慣性エネルギー]	整数	整数	0	フェンス潮流制約の考慮	Input_param.csv	
		(空き)					-	-
		(空き)					-	-
	最適化ソルバ パラメータ	最適化ソルバ	OptSolver	文字列	文字列	"SCIP"	最適化ソルバ	Input_param.csv
最適化ログ出力		OutputFlag	整数	整数	0	結果出力レベル	Input_param.csv	
最適化ログファイル		OptLogFile	文字列	文字列	"opt.log"	ログファイル名	Input_param.csv	
計算精度目標		MIPGap	実数	実数	0.0001	最大許容誤差	Input_param.csv	
計算時間制限		TimeLimit	実数	実数	3600	計算打ち切り時間[sec]	Input_param.csv	
最適化戦略		OptStrategy	整数	整数	-1	最適化戦略	Input_param.csv	
対称性制約		Symmetry	実数	実数	-1	対称性検出の制御パラメータ	Input_param.csv	
事前スパース削減処理		PreSparsify	実数	実数	-1	制約行列の非ゼロ値の数の削減処理	Input_param.csv	
開始ノード改善		ImproveStartNodes	実数	実数	0	ギャップ改善へ移行する閾値	Input_param.csv	
		(空き)					-	-
		(空き)					-	-

系統データ：ゾーン

項目	変数	データ型	定数/変数	初期値	内容	ファイル名
ID番号	ID	整数	定数	-1	ゾーンのID番号	Input_系統データ.csv
名称	Name	文字列	定数	""	ゾーンの名称	Input_系統データ.csv
エリアメンバー	AreaList[x]	文字列	定数	""	ゾーンに所属するエリアのリスト	Input_系統データ.csv
基準ノードID	RefNode	整数	定数	-1	電圧位相をゼロとする基準ノードのID番号	Input_系統データ.csv
基準周波数[Hz]	RefHz	実数	定数	0	基準周波数[Hz]	Input_系統データ.csv
AC連系フラグ	LinkAC	実数	定数	0	ゾーン間での交流連系の有無を示すフラグ	Input_系統データ.csv
予備力(需要比)	RegRSVup[t]	実数	定数	0	ゾーン需要に対する所要予備力	Input_系統データ.csv
1次調整力(需要比)	RegCRup[0][t], RegCRdn[0][t]	実数	定数	0	ゾーン需要に対する所要1次調整力	Input_系統データ.csv
2次調整力(需要比)	RegCRup[1][t], RegCRdn[1][t]	実数	定数	0	ゾーン需要に対する所要2次調整力	Input_系統データ.csv
最小予備力	RegRSVup[t]	実数	定数	0	ゾーン需要に対する所要予備力	Input_系統ゾーン制約データ.csv
最小1次上げ調整力	RegCRup[0][t]	実数	定数	0	ゾーン需要に対する所要1次調整力(上げ方向)	Input_系統ゾーン制約データ.csv
最小1次下げ調整力	RegCRdn[0][t]	実数	定数	0	ゾーン需要に対する所要1次調整力(下げ方向)	Input_系統ゾーン制約データ.csv
最小2次上げ調整力	RegCRup[1][t]	実数	定数	0	ゾーン需要に対する所要2次調整力(上げ方向)	Input_系統ゾーン制約データ.csv
最小2次下げ調整力	RegCRdn[1][t]	実数	定数	0	ゾーン需要に対する所要2次調整力(下げ方向)	Input_系統ゾーン制約データ.csv
最小3次上げ調整力	RegCRup[2][t]	実数	定数	0	ゾーン需要に対する所要3次調整力(上げ方向)	Input_系統ゾーン制約データ.csv
最小3次下げ調整力	RegCRdn[2][t]	実数	定数	0	ゾーン需要に対する所要3次調整力(下げ方向)	Input_系統ゾーン制約データ.csv
最小4次上げ調整力	RegCRup[3][t]	実数	定数	0	ゾーン需要に対する所要4次調整力(上げ方向)	Input_系統ゾーン制約データ.csv
最小4次下げ調整力	RegCRdn[3][t]	実数	定数	0	ゾーン需要に対する所要4次調整力(下げ方向)	Input_系統ゾーン制約データ.csv
最小5次上げ調整力	RegCRup[4][t]	実数	定数	0	ゾーン需要に対する所要5次調整力(上げ方向)	Input_系統ゾーン制約データ.csv
最小5次下げ調整力	RegCRdn[4][t]	実数	定数	0	ゾーン需要に対する所要5次調整力(下げ方向)	Input_系統ゾーン制約データ.csv
最大非同期機出力比率	RegSNSP[t]	実数	定数	0	総発電量に対する非同期電源の出力比率の上限	Input_系統ゾーン制約データ.csv
最小同期機容量比率	RegSYNC[t]	実数	定数	0	系統容量に対する同期電源の並列容量の下限	Input_系統ゾーン制約データ.csv
最小系統慣性エネルギー	RegPSIE[t]	実数	定数	0	ゾーン全体の慣性エネルギーの下限	Input_系統ゾーン制約データ.csv
予備力	RSVup[t]	実数	変数	0	予備力(時系列)[MW]	Result_系統指標データ.csv
1次上げ調整力	CRup[0][t]	実数	変数	0	1次上げ調整力(時系列)[MW]	Result_系統指標データ.csv
1次下げ調整力	CRdn[0][t]	実数	変数	0	1次下げ調整力(時系列)[MW]	Result_系統指標データ.csv
2次上げ調整力	CRup[1][t]	実数	変数	0	2次上げ調整力(時系列)[MW]	Result_系統指標データ.csv
2次下げ調整力	CRdn[1][t]	実数	変数	0	2次下げ調整力(時系列)[MW]	Result_系統指標データ.csv
3次上げ調整力	CRup[2][t]	実数	変数	0	3次上げ調整力(時系列)[MW]	Result_系統指標データ.csv
3次下げ調整力	CRdn[2][t]	実数	変数	0	3次下げ調整力(時系列)[MW]	Result_系統指標データ.csv
4次上げ調整力	CRup[3][t]	実数	変数	0	4次上げ調整力(時系列)[MW]	Result_系統指標データ.csv
4次下げ調整力	CRdn[3][t]	実数	変数	0	4次下げ調整力(時系列)[MW]	Result_系統指標データ.csv
5次上げ調整力	CRup[4][t]	実数	変数	0	5次上げ調整力(時系列)[MW]	Result_系統指標データ.csv
5次下げ調整力	CRdn[4][t]	実数	変数	0	5次下げ調整力(時系列)[MW]	Result_系統指標データ.csv
非同期機出力比率	SNSP[t]	実数	変数	0	非同期機出力比率(時系列)	Result_系統指標データ.csv
同期機容量比率	SYNC[t]	実数	変数	0	同期機容量比率(時系列)	Result_系統指標データ.csv
系統慣性エネルギー (空き)	PSIE[t]	実数	変数	0	系統慣性エネルギー(時系列)[MWsec]	Result_系統指標データ.csv
(空き)						-
(空き)						-

ゾーン

系統データ：ノード・ブランチ

項目		変数	データ型	定数/変数	初期値	内容	ファイル名
送電線/変圧器	ID番号	ID	整数	定数	-1	ブランチのID番号	Input_系統データ.csv
	名称	Name	文字列	定数	""	ブランチの名称	Input_系統データ.csv
	Fromノード番号	FromNodeID	整数	定数	-1	From側のノードID番号	Input_系統データ.csv
	Toノード番号	ToNodeID	整数	定数	-1	To側のノードID番号	Input_系統データ.csv
	設備容量	Capacity	実数	定数	0	設備容量	Input_系統データ.csv
	運用容量(順)	FlowMax[t]	実数	定数	0	順方向潮流の上限	Input_系統データ.csv
	運用容量(逆)	FlowMin[t]	実数	定数	0	逆方向潮流の上限	Input_系統データ.csv
	回線数/バンク数	Route	整数	定数	0	回線数/バンク数	Input_系統データ.csv
	正相R	Resistance	実数	定数	0	正相抵抗の値[pu]	Input_系統データ.csv
	正相X	Reactance	実数	定数	0	正相リアクタンスの値[pu]	Input_系統データ.csv
	正相C	Capacitance	実数	定数	0	正相キャパシタンスの値[pu]	Input_系統データ.csv
	同相分タップ比	TapRate	実数	定数	0	同相分タップ比	Input_系統データ.csv
	直角分タップ比	TapRateQ	実数	定数	0	直角分タップ比	Input_系統データ.csv
	出力フラグ	FlagOutput	実数	定数	0	出力フラグ	Input_系統データ.csv
	タイプ	Type	実数	定数	0	タイプ	Input_系統データ.csv
	Fromエリア	FromArea	実数	定数	0	Fromエリア	Input_系統データ.csv
	Toエリア	ToArea	実数	定数	0	Toエリア	Input_系統データ.csv
	DC設備	FlagDCLine	実数	定数	0	DC設備	Input_系統データ.csv
	潮流制御フラグ	FlagControl	実数	定数	0	潮流制御フラグ(1:運用範囲内 2:EPSS確保)	Input_系統データ.csv
	N-1フラグ	FlagN1Check	実数	定数	0	N-1フラグ	Input_系統データ.csv
	送電料金単価	TNUoS	実数	定数	0	ブランチ潮流に対するコスト	Input_系統データ.csv
	位相上限	AngleMax	実数	定数	0	DC設備の電圧位相調整量の上限[deg]	Input_系統データ.csv
	位相下限	AngleMin	実数	定数	0	DC設備の電圧位相調整量の下限[deg]	Input_系統データ.csv
	電力潮流	Flow[t]	実数	変数	0	電力潮流(時系列)[MW]	Result_ブランチ潮流データ.csv
	潮流調整量	ShiftAngle[t]	実数	変数	0	DC設備の電圧位相調整量(時系列)[deg]	Result_ブランチ潮流データ.csv
	送電ロス	Loss[t]	実数	変数	0	送電ロス	Result_ブランチ潮流データ.csv
	(空)						-
	(空)						-
ノード	ID番号	ID	整数	定数	-1	ノードのID番号	Input_系統データ.csv
	名称	Name	文字列	定数	""	ノードの名称	Input_系統データ.csv
	タイプ	Type	実数	定数	0	タイプ	Input_系統データ.csv
	エリア	FromArea	実数	定数	0	接続エリア	Input_系統データ.csv
	電圧指定値	CommandVoltage	整数	定数	-1	電圧指定値	Input_系統データ.csv
	電圧上限	UpperVoltLimit	整数	定数	-1	電圧上限	Input_系統データ.csv
	電圧下限	LowerVoltLimit	整数	定数	0	電圧下限	Input_系統データ.csv
	調相設備量	QCMax	実数	定数	0	調相設備量	Input_系統データ.csv
	調相進相限界	QCL	実数	定数	0	調相進相限界	Input_系統データ.csv
	調相遅相限界	QCD	整数	定数	0	調相遅相限界	Input_系統データ.csv
	有効電力出力	PG	実数	定数	0	有効電力出力PG	Input_系統データ.csv
	無効電力出力	QG	実数	定数	0	無効電力出力QG	Input_系統データ.csv
	有効電力負荷	PL	実数	定数	0	有効電力負荷PL	Input_系統データ.csv
	無効電力負荷	QL	実数	定数	0	無効電力負荷QL	Input_系統データ.csv
	調相投入量	QC	実数	定数	0	調相投入量	Input_系統データ.csv
	出力フラグ	FlagOutput	実数	定数	0	結果出力対象かどうかのフラグ	Input_系統データ.csv
	緯度情報	Longitude	実数	定数	0	緯度情報	Input_系統データ.csv
	経度情報	Latitude	実数	定数	0	経度情報	Input_系統データ.csv
	注入電力	Power[t]	実数	変数	0	ノード注入電力	-
	限界費用	NodeLMP[t]	実数	変数	0	ノード限界費用	Result_ノード別限界費用データ.csv
	電圧位相	Angle[t]	実数	変数	0	ノード電圧の位相角	Result_ノード電圧位相データ.csv
	電圧	Voltage[t]	実数	変数	0	ノード電圧の大きさ	-
	(空)						-
	(空)						-

需要データ

項目		変数名	データ型	定数/変数	初期値	内容	ファイル名
需要ユニット	ID番号	ID	整数	定数	-1	需要ユニットのID番号	Input_需要データ.csv
	名称	Name	文字列	定数	""	需要ユニットの名称	Input_需要データ.csv
	ノード番号	Node	整数	定数	-1	接続ノードのID番号	Input_需要データ.csv
	種別	Type	文字列	定数	""	需要タイプ	Input_需要データ.csv
	定格容量	Capacity	実数	定数	0	定格容量	Input_需要データ.csv
	需要電力	Power[t]	実数	定数	0	需要電力[MW]	Input_需要データ.csv
	調整単価	UnitCost	実数	定数	0	調整単価[万円/MW]	Input_需要データ.csv
	CO2単価	UnitCO2	実数	定数	0	CO2換算係数[tCO2/MW]	Input_需要データ.csv
	単位慣性定数	Inertia	実数	定数	0	単位慣性定数[sec]	Input_需要データ.csv
	需要抑制電力 (空き)	PowerShed[t]	実数	変数	0	需要抑制電力[MW]	Result_需要制御計画データ.csv
	(空き)						-
	(空き)						-

電源データ：発電ユニット

項目名		変数名	データ型	定数/変数	初期値	内容	ファイル名
発電ユニット	ID番号	ID	整数	定数	-1	ID番号	Input_電源データ.csv
	名称	Name	文字列	定数	""	ユニット名	Input_電源データ.csv
	ノード番号	Node	整数	定数	-1	ノード番号	Input_電源データ.csv
	サイト名	Site	文字列	定数	""	サイト名	Input_電源データ.csv
	エリア名	Area	文字列	定数	""	エリア名	Input_電源データ.csv
	種別	Type	文字列	定数	""	燃種等(COAL/OIL/LNG/LNG CC, etc)	Input_電源データ.csv
	運用形態	Role	文字列	定数	""	運用タイプ(ELD/STR/FIX)	Input_電源データ.csv
	定格容量	Capacity	実数	定数	0	定格容量	Input_電源データ.csv
	最大出力	PowerMax	実数	定数	0	最大出力	Input_電源データ.csv
	最低出力	PowerMin	実数	定数	0	最低出力	Input_電源データ.csv
	所内率	InLoad	実数	定数	0	所内率	Input_電源データ.csv
	上げ速度	RampUp	実数	定数	0	上げ方向の最大出力変化速度[MW/min]	Input_電源データ.csv
	下げ速度	RampDown	実数	定数	0	下げ方向の最大出力変化速度[MW/min]	Input_電源データ.csv
	MUT	MUT	実数	定数	0	最小起動時間[hour]	Input_電源データ.csv
	MDT	MDT	実数	定数	0	最小停止時間[hour]	Input_電源データ.csv
	慣性定数	Inertia	実数	定数	0	単位慣性定数M[sec]	Input_電源データ.csv
	サイト内起動順位	Rank	整数	定数	0	サイト内起動順位	Input_電源データ.csv
	日間最大起動回数	MaxDSS	整数	定数	0	日間最大起動回数(DSS回数)	Input_電源データ.csv
	燃料費換算	CostFactor	実数	定数	0	燃費換算係数	Input_電源データ.csv
	CO2換算	CO2Factor	実数	定数	0	燃費換算係数	Input_電源データ.csv
	燃料消費特性a	FuelCoef.a	実数	定数	0	燃料消費特性係数(2次項)	Input_電源データ.csv
	燃料消費特性b	FuelCoef.b	実数	定数	0	燃料消費特性係数(1次項)	Input_電源データ.csv
	燃料消費特性c	FuelCoef.c	実数	定数	0	燃料消費特性係数(定数項)	Input_電源データ.csv
	停止費	CostShut	実数	定数	0	停止費	Input_電源データ.csv
	DSS起動費	CostDSS	実数	定数	0	起動費(DSS)	Input_電源データ.csv
	WSS起動費	CostWSS	実数	定数	0	起動費(WSS)	Input_電源データ.csv
	CSS起動費	CostCSS	実数	定数	0	起動費(CSS)	Input_電源データ.csv
	WSS時間	TimeWSS	実数	定数	0	DSS起動費とWSS起動費の切替時間の閾値	Input_電源データ.csv
	CSS時間	TimeCSS	実数	定数	0	WSS起動費とCSS起動費の切替時間の閾値	Input_電源データ.csv
	最大調整力1	UnitCRmax[0]	実数	定数	0	調整力1の供出量上限(上げ下げ共通)	Input_電源データ.csv
	最大調整力2	UnitCRmax[1]	実数	定数	0	調整力2の供出量上限(上げ下げ共通)	Input_電源データ.csv
	最大調整力3	UnitCRmax[2]	実数	定数	0	調整力3の供出量上限(上げ下げ共通)	Input_電源データ.csv
	最大調整力4	UnitCRmax[3]	実数	定数	0	調整力4の供出量上限(上げ下げ共通)	Input_電源データ.csv
	最大調整力5	UnitCRmax[4]	実数	定数	0	調整力5の供出量上限(上げ下げ共通)	Input_電源データ.csv
	発電出力指定	PowerFix[t]	実数	定数	0	発電ユニットの発電出力指定[MW]	Input_電源出力指定データ.csv
	並列状態指定	StateFix[t]	実数	定数	0	発電ユニットの並列状態指定[MW]	Input_電源並列指定データ.csv
	発電出力	Power[t]	実数	変数	0	発電出力[MW]	Result_電源運用計画データ.csv
	並列状態	State[t]	整数	変数	0	並列状態(0:on,1:off)	-
	(空き)						-
	(空き)						-

電源データ：充電ユニット・蓄電サイト

項目名		変数名	データ型	定数/変数	初期値	内容	ファイル名
充電 ユニット	ID番号	ID	整数	定数	-1	ID番号	Input_電源データ.csv
	名称	Name	文字列	定数	""	ユニット名	Input_電源データ.csv
	ノード番号	Node	整数	定数	-1	ノード番号	Input_電源データ.csv
	サイト名	Site	文字列	定数	""	サイト名	Input_電源データ.csv
	エリア名	Area	文字列	定数	""	エリア名	Input_電源データ.csv
	種別	Type	文字列	定数	""	燃種等 (COAL/OIL/LNG/LNG,CC, etc)	Input_電源データ.csv
	運用形態	Mode	実数	定数	0	運用タイプ(ELD/STR/FIX)	Input_電源データ.csv
	定格容量	Capacity	実数	定数	0	定格容量	Input_電源データ.csv
	最大出力	ChargeMax	実数	定数	0	負荷(充電)運転時の最大出力	Input_電源データ.csv
	最低出力	ChargeMin	実数	定数	0	負荷(充電)運転時の最低出力	Input_電源データ.csv
	充放電効率	Cdeff	実数	定数	0	充放電サイクル効率	Input_電源データ.csv
	上げ速度	RampUp	実数	定数	0	上げ方向の最大出力変化速度[MW/min]	Input_電源データ.csv
	下げ速度	RampDown	実数	定数	0	下げ方向の最大出力変化速度[MW/min]	Input_電源データ.csv
	MUT	MUT	実数	定数	0	最小起動時間[hour]	Input_電源データ.csv
	MDT	MDT	実数	定数	0	最小停止時間[hour]	Input_電源データ.csv
	慣性定数 (空)	Inertia	実数	定数	0	単位慣性定数M[sec]	Input_電源データ.csv
	(空)						-
蓄電サイト	ID番号	ID	整数	定数	-1	ID番号	Input_電源データ.csv
	サイト名	Name	文字列	定数	""	サイト名	Input_電源データ.csv
	種別	Type	文字列	定数	""	種別(揚水/蓄電池, etc)	Input_電源データ.csv
	定格容量	Capacity	実数	定数	0	蓄電容量[MWh]	Input_電源データ.csv
	最大蓄電量	EnergyMax	実数	定数	0	最大蓄電量[MWh]	Input_電源データ.csv
	最低蓄電量	EnergyMin	実数	定数	0	最低蓄電量[MWh]	Input_電源データ.csv
	初期蓄電量	EnergyInit	実数	定数	0	初期蓄電量[MWh]	Input_電源データ.csv
	最終蓄電量	EnergyEnd	実数	定数	0	最終蓄電量[MWh]	Input_電源データ.csv
	蓄電量運用上限	EnergyMaxT[t]	実数	定数	0	蓄電量の運用上限[MWh]	Input_蓄電量上限データ.csv
	蓄電量運用下限	EnergyMinT[t]	実数	定数	0	蓄電量の運用下限[MWh]	Input_蓄電量下限データ.csv
	蓄電量流入出量	EnergyAdd[t]	実数	定数	0	蓄電量の流入出量[MWh]	Input_蓄電量注入データ.csv
	電力貯蔵量	Energy[t]	実数	変数	0	蓄電量[MWh]	Result_電力貯蔵計画データ.csv
	(空)						-
	(空)						-

調整力に関する入力データ

- ◆ 電源データ.csv : ユニット別の最大供出量の設定
- ◆ 系統データ.csv : ゾーン別の調整力必要量の設定
 - 時系列の制約は系統ゾーン制約データ.csv において追加可能

#識別	ユニットID番号	ノード番号/サイト名	接続エリア種別	運用形態 (ELD/STR)	最大調整力1 (MW)	最大調整力2 (MW)	最大調整力3 (MW)	最大調整力4 (MW)	最大調整力5 (MW)
1	G	1001	371	北海道 石炭	ELD	16.35	9.81		
2	G	1002	371	北海道 石炭	ELD	28.1	16.86		
3	G	1003	371	北海道 石炭	ELD	33.25	19.95		
4	G	1004	372	北海道 LNG	ELD	27.55	27.55		
5	G	1005	13	北海道 石油	ELD	12.1	12.1		
6	G			ELD	16.8	16.8			
7	G			ELD	16.95	16.95			
8	G			ELD	16.9	16.9			
9	G	1009	377	北海道 石油	ELD	16.65	16.65		
10	G	1010	26	北海道 石炭	ELD				
11	G	1011	26	北海道 石炭	ELD				
12	G	1012	13	北海道 石油	ELD				
13	G	1013	400	北海道 貯水	FIX				
14	G	1014	25	北海道 貯水	FIX				
15	G	1015	25	北海道 貯水	FIX				
16	G	1016	25	北海道 貯水	FIX				
17	G	1017	2	北海道 貯水	FIX	2.6	5.2		
18	G	1018	397	北海道 貯水	FIX	2	4		
19	G	1019	37	北海道 貯水	FIX	2.2	4.4		
20	G	1020	37	北海道 貯水	FIX	5	10		
21	G	1021	37	北海道 貯水	FIX	5	10		
22	G	1022	37	北海道 貯水	FIX	1	2		
23	G	1023	387	北海道 貯水	FIX	1.15	2.3		
24	G	1024	387	北海道 貯水	FIX	1.2	2.4		
25	G	1025	399	北海道 貯水	FIX	5	10		
26	G	1026	399	北海道 貯水	FIX	5	10		
27	G	1027	388	北海道 貯水	FIX	1.05	2.1		
28	G	1028	370	北海道 揚水	STR	9.95	19.9		
29	G	1029	370	北海道 揚水	STR	9.95	19.9		

電源データ.csv

最大供出量の設定
(この例では燃種毎に
定格X%で一律設定)

#識別	ゾーン 名称	ゾーン ID	基準ノ ドID	基準周波 数[Hz]	AC連系 フラグ	予備力 (需要比)	一次調整力 (需要比)	二次調整力 (需要比)	Area1	Area2	Area3	Area4
1	Z 北海道	1	1	50	0	0.08	0.03	0.02	北海道			
2	Z 東北	2	57	50	1				東北			
3	Z 東京	3	522	50	1				東京			
4	Z 中部								中部			
5	Z 北陸								北陸			
6	Z 関西								関西			
7	Z 中国	7	7301050	60	1				中国			
8	Z 四国	8	8400160	60	1				四国			
9	Z 九州	9	9150060	60	1				九州			
10	#Z 全国	10	3004871	50	0	0.08	0.03	0.02	北海道	東北	東京	中部
11	Z 東50Hz	11	3004871	50	0	0.08	0.03	0.02	北海道	東北	東京	
12	Z 西60Hz	12	6350060	60	0	0.08	0.03	0.02	中部	北陸	関西	中国

系統データ.csv

系統ゾーン制約データ.csv

SCUCの最適化問題における課題

SCUCとは

◆ ユニットコミットメント (UC) とは

- 時間帯毎の電力需要を満たすように、各電源の運用スケジュール（起動停止および出力配分の組み合わせ）を決めること

◆ SCUC とは

- 発電設備と送電設備の運用限界を考慮したUC
 - 米国FERCの定義^[1]: **"The operation of generation facilities to produce energy at the lowest cost to reliably serve consumers, recognizing any operational limits of generation and transmission facilities"**, Sept. 30, 2005 order, p14

◆ SCUCで考慮される追加の運用制約

- 調整力制約
- 潮流制約（運用容量制約）
- その他、電圧・無効電力制約など
 - 現状、電圧や安定度を直接的に考慮したSCUCの大規模系統への適用は技術的に困難

SCUCを解くことの難しさ①

◆電源の数が増えると、組み合わせ数は爆発する

- 起動停止は離散変数（整数：起動=1, 停止=0）で定義、発電出力は連続変数（実数）で定義される
- 500ユニットの電源起動停止の組み合わせ数は、

$$2^{500} = 3.3 \times 10^{150} \text{通り}$$

- 1日24時間を最適化する場合は、

$$2^{500 \times 24} = 1.03 \times 10^{3612} \text{通り}$$

■ ちなみに、漢数字の最大は「無量大数」で、一般に 10^{68} である

- 実用的な時間で計算できるように工夫が必要

■ 高速な計算機、強力な数理最適化ソルバーの活用

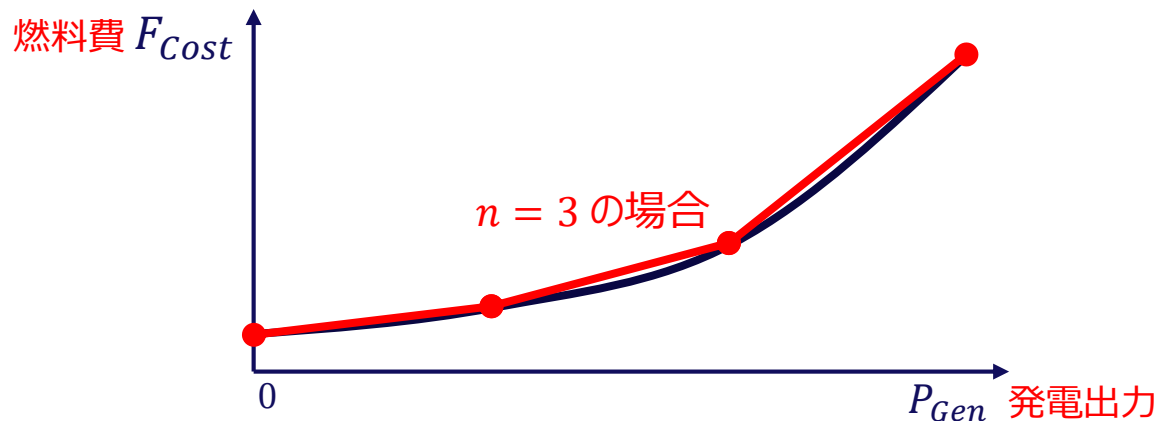
■ 多段階の最適化：簡単化した問題で電源運用範囲を事前に限定, など

SCUCを解くことの難しさ②

◆最適化すべき変数の単純な足し算・引き算では表現できない「非線形性」を有する問題

➤ 計算時間と精度を考慮し、問題の線形化などの工夫が必要
例えば、

- 燃料費は、発電出力の二次関数で一般に表現 ⇒ 区分線形関数
- 電力潮流は、系統電圧を変数とした三角関数（潮流方程式）で表現
⇒ 電圧の大きさと位相の変化は小さいと仮定して線形化

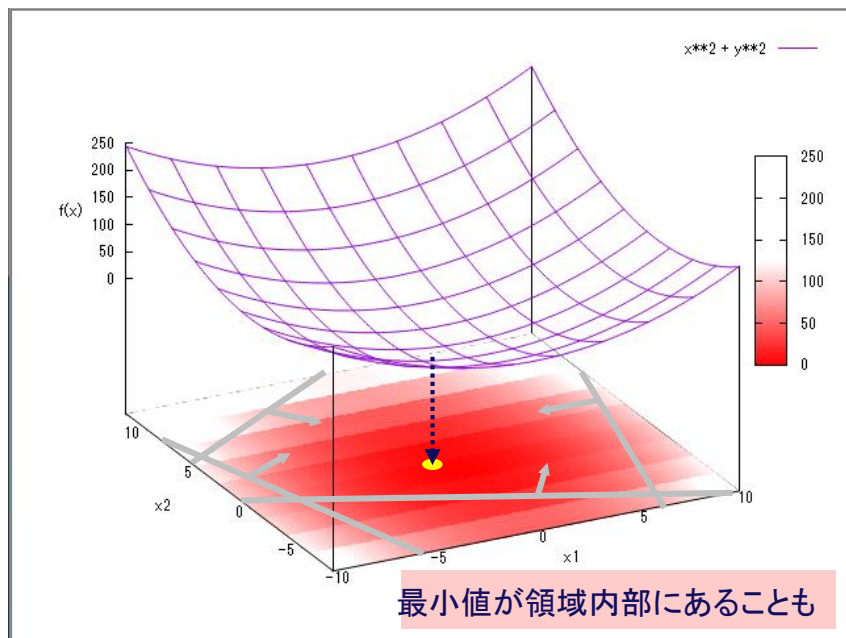


LPとQPの違い（イメージ）

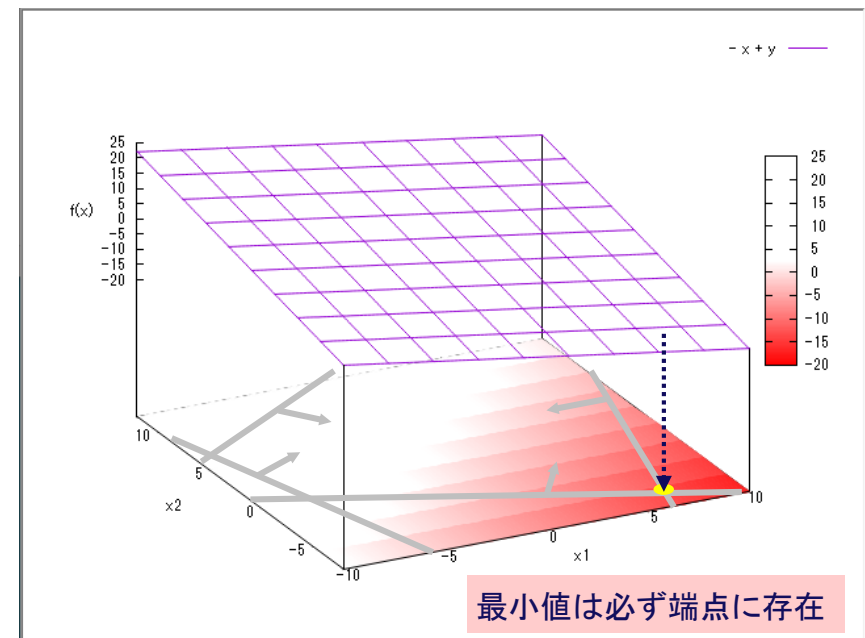
◆ 制約領域（運用可能範囲）と目的関数（発電コスト）の関係

- 制約領域：各ユニットの並解列状態、出力、……
- 目的関数：燃料費（2次関数）＋起動費

2次計画問題（非線形計画問題）

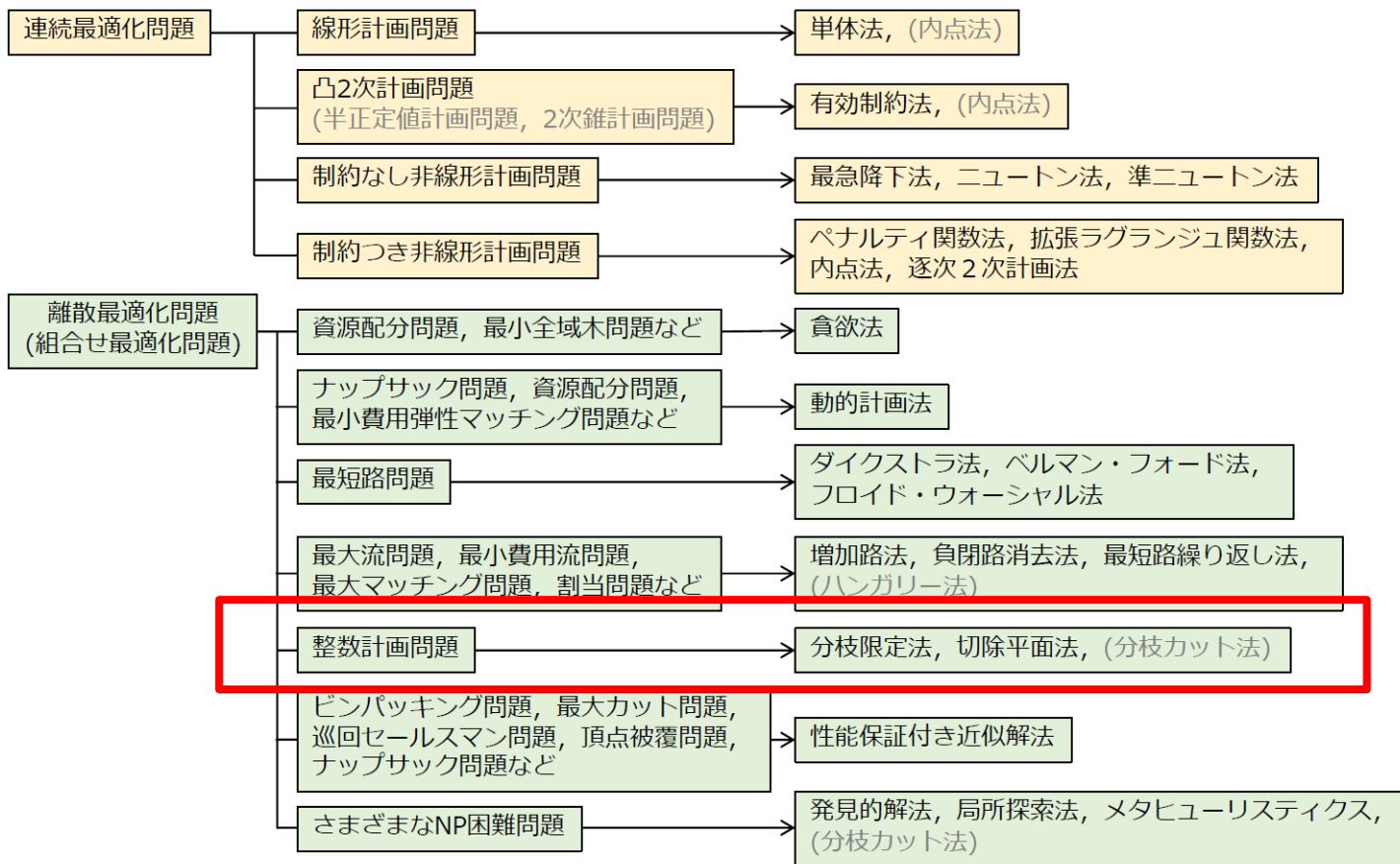


線形計画問題



組合せ最適化問題の主なアルゴリズム

代表的な最適化問題とアルゴリズム*



*本スライドで紹介する主な最適化問題とアルゴリズムであってチートシート(虎の巻)ではありません。¹³

全国基幹系統のデータ設定

試算条件：電源構成

◆ 広域機関のマスタープラン検討

➤ 基本シナリオ

	北海道	東北	東京	中部	北陸	関西	中国	四国	九州	沖縄	種別合計
風力（陸上）	629	1,825	389	122	179	240	214	195	304	3	4,100
風力（洋上）	1,434	882	365	203	128	115	50	165	1,163	0	4,505
太陽光	831	3,378	6,023	3,900	497	2,310	2,629	1,350	4,940	143	26,000
水力	138	357	429	444	298	338	103	93	197	0	2,396
バイオマス	47	208	142	72	32	63	75	55	100	8	800
地熱	21	59	14	10	0	0	1	0	46	0	150
揚水	80	46	1,165	410	11	458	212	62	230	0	2,674
エリア計	3,179	6,754	8,526	5,160	1,145	3,524	3,283	1,920	6,980	154	40,624

試算条件：燃種毎の出力設定

	発電種別	出力計算式	所内率 ^{※1}	出力範囲
再エネ	太陽光	時間毎の固定値（+出力抑制分 該当断面）	—	—
	風力	時間毎の固定値（+出力抑制分 該当断面）	—	—
	地熱	エリア毎設備量 * （1-所内率）	11.0%	—
	バイオマス	エリア毎設備量 * （1-所内率）	16.0%	—
	一般水力	時間毎の固定値（+出力抑制分 該当断面）	—	—
蓄電設備	揚水・蓄電池	エリア毎設備量 * （1-所内率） * 出力範囲	0.4%	【範囲】 -100%（充電）～100%（放電） ※充放電効率（揚水）：70% ※充放電効率（蓄電池）：90%
水素・アンモニア		ユニット毎設備量 * （1-所内率） * 稼働率 * 出力範囲	2.3%	0,70～100% ^{※2}
原子力		ユニット毎設備量 * （1-所内率） * 稼働率 * 出力範囲	4.0%	0,100%
火力	石炭⇒CO2分離回収型へ	ユニット毎設備量 * （1-所内率） * 稼働率 * 出力範囲	9.0%	0,30～100% ^{※3}
	MACC		4.6%	0,20～100% ^{※3}
	ACC		4.7%	
	CC		5.2%	
	Conv		8.9%	
	石油		4.8%	0,30～100% ^{※3}

※1 発電コスト検証ワーキンググループの「各電源の諸元一覧」

※2 年間発電量が2050年kWh比率で1割程度となるように調整

※3 「再生可能エネルギー技術報告書（第2版）」（NEDO）

試算条件：火力の運転条件

燃 種	燃料費単価※ ¹ (円/kWh)	変化率制約		調整力抛出能力			起動費※ ²		起動停止時間※ ³		一日あたりの 起動回数上限※ ³	
石炭 (CCS)	7.7	制約なし		(稼働時出力－最低出力) を下げ代, (最大出力－稼働時出力) を上げ代として それぞれ抛出可能とする	1.6～15百万円 (20～100万kW)		8時間		1回			
MACC (CCS)	7.9				1.0～1.8百万円 (10～85万kW)		4時間		2回			
ACC (CCS)	8.0						4時間		2回			
CC (CCS)	9.3						4時間		2回			
Conv (CCS)	10.9				0.7～5.0百万円 (20～100万kW)		8時間		1回			
石油	16.6				8.0～16.4百万円 (25～70万kW)		8時間		1回			

最大稼働率※ ⁴	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
石炭	74.4%	72.4%	79.9%	93.0%	96.3%	91.6%	83.3%	84.8%	91.0%	96.1%	96.0%	88.3%
MACC	85.5%	82.3%	87.5%	95.2%	98.0%	94.0%	86.1%	88.3%	94.0%	97.7%	98.6%	94.3%
ACC	85.2%	82.9%	88.4%	96.0%	96.8%	92.6%	88.5%	91.0%	95.0%	97.3%	96.7%	90.8%
CC	77.9%	75.5%	87.4%	95.3%	97.3%	89.3%	78.0%	81.0%	89.8%	90.3%	90.5%	85.5%
Conv	81.7%	77.9%	83.1%	94.6%	97.1%	89.1%	81.5%	83.7%	91.2%	93.0%	93.1%	87.7%
石油	84.6%	81.9%	81.1%	92.0%	92.4%	87.7%	79.5%	85.0%	92.6%	96.5%	96.7%	91.2%

※¹ 発電コスト検証ワーキンググループにおける発電コストレビューシートの2030年に熱効率及び所内率を入力して算出

※² 「長期エネルギー需給見通しを前提としたアデカシー確保に関する定量的評価」から設定（2016，電力中央研究所）

※³ 第38回調整力等委員会 資料3-2

※⁴ 最大稼働率=100%－過去五カ年平均補修率。

試算条件：燃料費・CO2対策費

- ◆ 燃料費、CO2対策コストについては、国の審議会である発電コスト検証ワーキンググループ（2021年9月）の値を基本としている

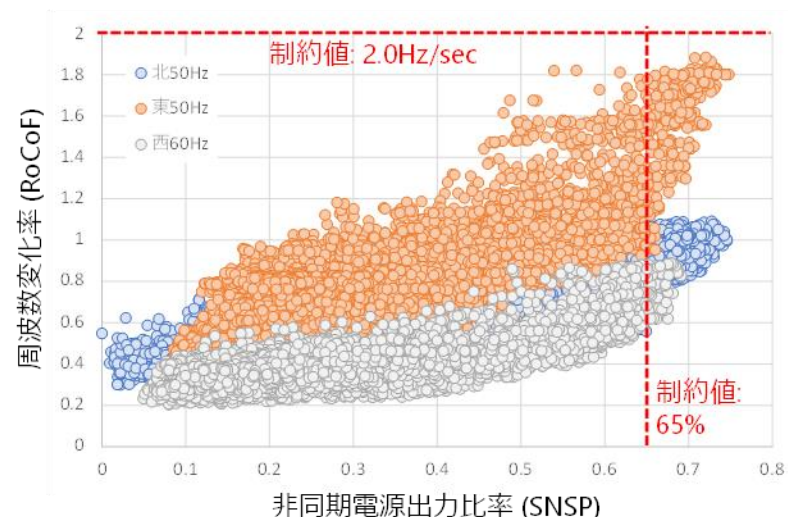
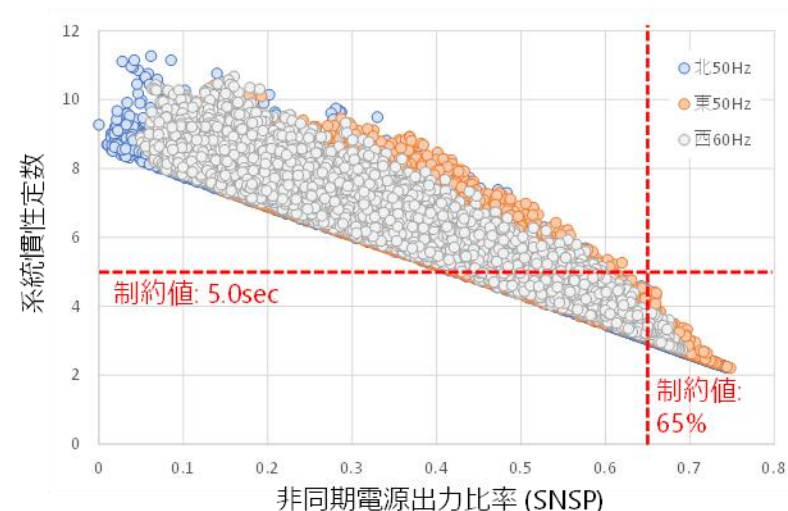
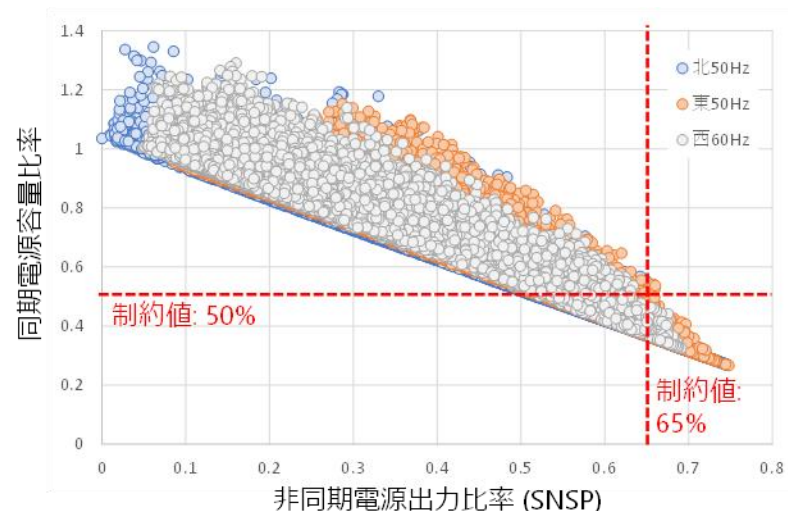
[円/kWh]

		石炭 (CCS)	LNG MACC 1500℃級 (CCS)	LNG ACC 1350℃級 (CCS)	水素 (混焼)	LNG CC 1100℃級 (CCS)	LNG CT コンベンショナル (CCS)	石油
燃料費 + CO2対策コスト		7.7	7.9	8.0	9.0	9.3	10.9	16.6
燃料費（再掲）		4.9	6.7	6.8	7.3	7.9	9.2	12.9
CO2対策コスト （再掲）	CO2対策費用	0.7	0.3	0.3	1.7	0.3	0.4	3.7
	CO2輸送 & 貯留費用	2.1	0.9	0.9	—	1.0	1.2	—

発電コスト検証ワーキンググループ（2021年9月）における発電コストレビューシートの2030年に熱効率及び所内率を入力して算出
 （既設をCCU付火力へ改造すると仮定したLNG火力については、CO2分離回収型LNG火力にそれぞれの熱効率および所内率を入力して算出）

その他

系統の慣性エネルギー確保の例

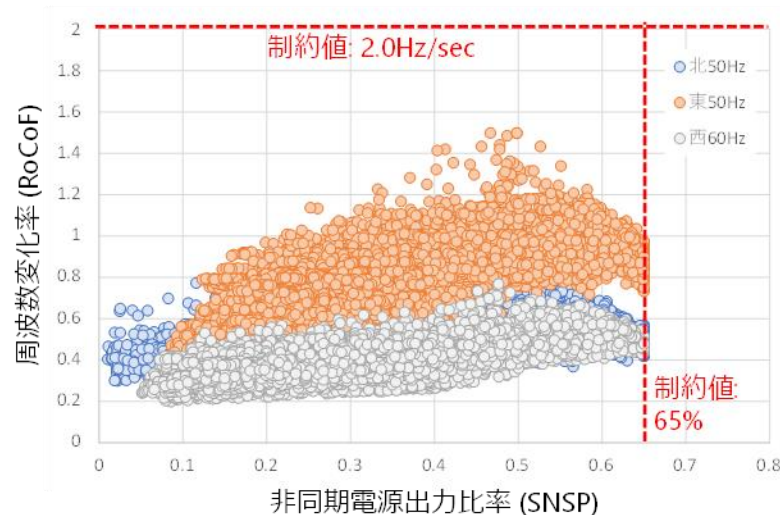
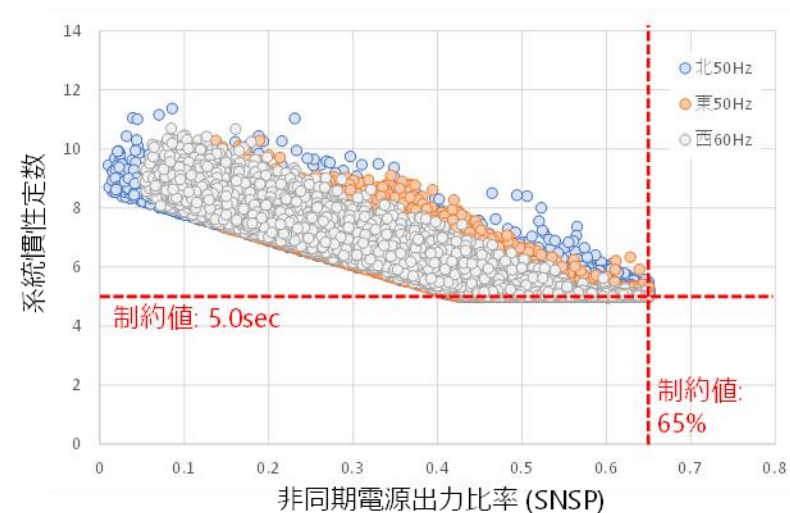
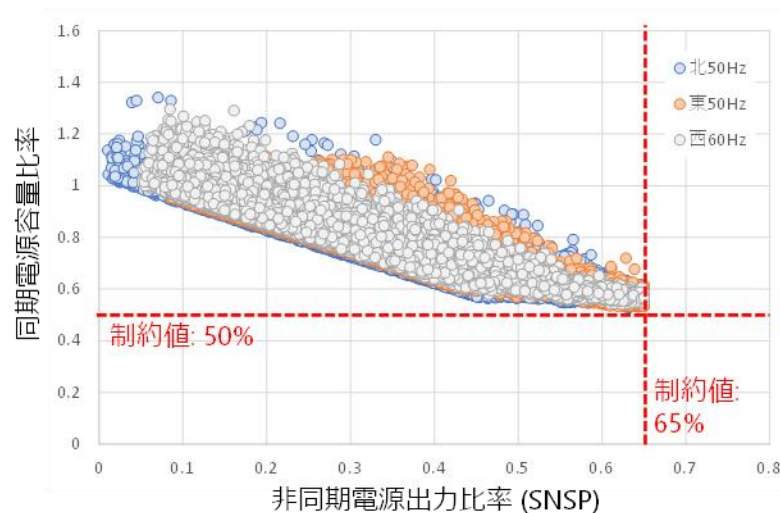


◆ 再エネ (太陽光・風力) 増加
≡ SNSPの増加

- 同期電源容量の減少
- 系統慣性定数の減少
- 周波数変化率の増加

◆ 余剰電力による抑制は幾分
上記の影響を緩和させている

<続き>



- ◆ 系統慣性に関する制約条件が機能
- ◆ 他の指標をも改善させる方向に作用影響
 - 制約値を設定できるのであれば、可能な限り直接的な指標の適用が望ましい

ペナルティ法を用いたSCUCロジック

◆ 目的関数

➤ 評価関数：燃料費 + 起動停止費 + ペナルティコスト ⇒ 最小化

➤ ペナルティコスト

停電ペナルティに相当

= w_D × 需要抑制量

+ w_R × 予備力不足量（上げ）

+ w_F × 調整力不足量（各メニュー、上げ・下げ）

+ w_C × 系統混雑量

◆ ペナルティ法による効果と課題

➤ 効果：制約違反が不可避でも不足量が最小となる解を得る

➤ 課題：重み係数をどのように設定すべきか不明、優先項目や箇所を検討して適切に設定する必要あり。収束性悪化の懸念あり

ペナルティ項に関する動作確認

◆ 需要増加に対する各ペナルティ項の変化を確認

➤ 特定エリアの需給データを用いて、平易な条件でSCUCを実施

- ある6週間分の需要を降順に並替え
- 計画停止や出力制限は除外
- 火力以外の出力を全てゼロに

➤ ペナルティ項の重み係数 (基準)

- 需要抑制：5,900円/kWh
- 予備力不足：1,000円/kWh
- 調整力不足：1,000円/kWh

➤ 評価項目

- 需要抑制量
- 供給予備力(上げ)：制約8%
- 二次調整力(上げ)：制約2%

＜基準ケースの計算結果＞

