

# 電力システム改革に対応した火力発電計画作成システムの最適化計算手法の開発

前田 達郎<sup>†</sup> 松本 尚之<sup>†</sup> 須藤 昌吉<sup>†</sup> 中原 良樹<sup>†</sup>  
 上野 邦明<sup>‡</sup> 中山 英<sup>‡</sup> 森田 啓介<sup>‡</sup> 丹羽 雄紀<sup>‡</sup>  
 株式会社 東芝<sup>†</sup> 東京電力フュエル&パワー株式会社<sup>‡</sup>

## 1. はじめに

電力システム改革に対応して、発電事業者は、小売事業者から提示される予測需要に対応した発電計画作成する。今回、最大 100 台の発電機群の運転状態を決める大規模な最適化計算を実用的な時間で解くことのできるハイブリッド最適化手法を開発した。

## 2. 発電計画とは

発電計画とは、予測需要に対して、各発電ユニットの運用制約を満たした上で、経済性が高い運転状態と発電出力を求める問題である。

図 1 に発電計画の概念を示す。各ユニットの運転 1、停止 0 等の運転状態を決める整数問題と、発電電力量の 2 次式で与えられる燃料費を最小化する二次計画問題とが複合する「混合整数二次計画問題 (MIQP)」である。

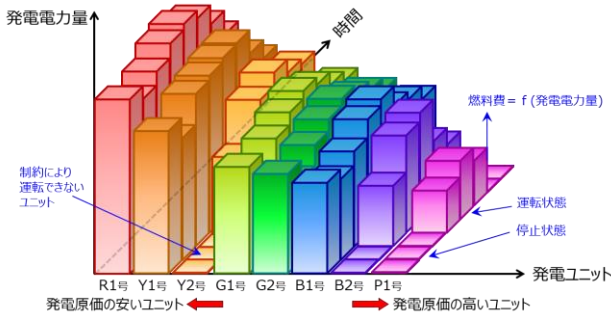


図 1. 発電計画の概念

実際に各発電ユニットに運用されている制約を表 1 に示す。

表 1. 運用制約の例

【主な基本条件】		【主な制約条件】	
熱効率	基準熱効率 補正係数 (温度[大気、海水]、真空度)	起動停止制限	定検・作業停止・WES-DSS 起動停止回避、マストラン、最低運転
出力	定格・最低・基準出力・増出力 起動停止・出力変化カーブ、所内率	出力制限	出力指定、試運転カーブ、変化率 OP-ピークモード適用、ユニット群制約
負荷変化率	AFC変化幅、瞬動予備力 負荷キープ時間	燃料制約	石炭・LNG基地消費目標、燃料切替 ガス事業消費量 (分岐単位)
コスト	燃料単価、その他可変費単価	利用率	暦日利用率・除停止利用率
環境	起動停止損失、NOx、SOx係数	環境制約	NOx、SOx排出量
LNG	LNG基地在庫量、導管流量、BOG	調整力	上げ代、下げ代、AFC・瞬動予備力 気温補正出力 (補正式選択)
その他	同時起動、補助蒸気、起動モード		

Optimum calculation method for economical power generation scheduling system

<sup>†</sup>Tatsuro Maeda <sup>†</sup>Naoyuki Matsumoto <sup>†</sup>Akiyoshi Sudo

<sup>†</sup>Yoshiki Nakahara

<sup>‡</sup>Kuniaki Ueno <sup>‡</sup>Suguru Nakayama

<sup>‡</sup>Keisuke Morita <sup>‡</sup>Takenori Niwa

<sup>†</sup>Toshiba Corporation <sup>‡</sup>TEPCO Fuel & Power, Incorporated

恒常的な基本条件 100 項目と一時的な期間にかかる制約条件 60 項目があり、これらを数理計画法で解ける形にする必要がある。また、これらの運用制約は運転状態決定に強く影響するものと、発電電力量を決める際に影響するもの、その双方に影響するものがある。

## 3. 発電計画作成における課題

発電計画作成する手法として、ヒューリスティックにプログラムロジックを作成する方法と、数理最適化ソルバーを用いてオプティマイザに作成させる方法が考えられる。前者は制約が多くなるとプログラムの難易度が高くなり、後者の場合にはソルバーの計算に時間がかかりすぎる欠点がある。

たとえば、1 ユニットのとる状態量  $S$ 、ユニット数  $N$ 、計画期間  $D$ 、1 メッシュ時間  $T$ 、運転時発電電力量の計算量  $M$  とすると、総計算量  $C$  は

$$C = S^{(N \times \frac{D}{T})} \times M \dots (1)$$

で求められるが、状態量 6、ユニット数 100、30 分メッシュ、1 日計画の場合、 $C$  は 6 の 4,800 乗と  $M$  の積になり、実用的な時間での解が得られない。制約を緩和することで問題の規模を縮小させる方法もあるが、発電計画はユニットの実運用を満たしておく必要があるために、緻密な計画が作成できることが求められた。

## 4. 本システムの特徴

本システムのソフトウェア機能構成を図 2 に示す。

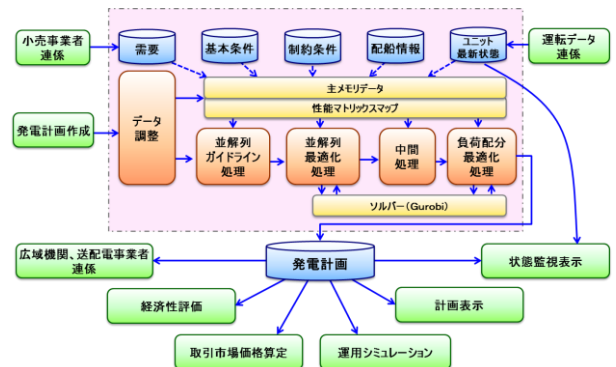


図 2. ソフトウェア機能構成

最適化計算をユニットの運転状態を決める並解列最適化処理と発電電力量を決める負荷配分最適化処理とに分け、並解列ガイドライン処理や中間処理というヒューリスティックな処理とを組み合わせたハイブリッド処理系とした。なお、最適化にはソルバー(“Gurobi”)を使用した。

最適解の探索方法の比較を図3に示す。各処理系では制約条件の範囲を区切り順次中間解を生成し接続する。この方法を用いると全探索した場合より探索範囲を狭くすることができ、所要時間が短縮できる効果がある。この際、制約の分割、オーラップと中間解の目標点の設定に配慮を行った。

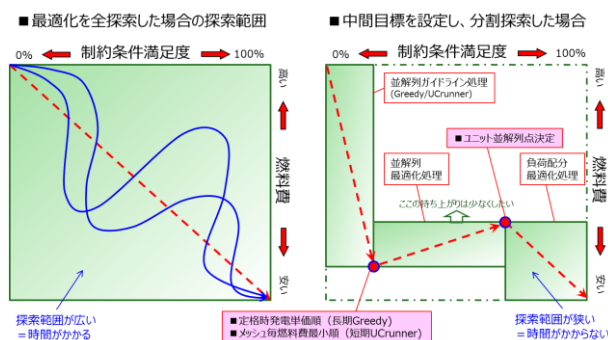


図3. 最適解の探索方法比較

#### 4. 1 並解列ガイドライン処理

並解列ガイドライン処理は起動停止損失や運転状態に影響する制約に限定し、定格出力時単価をパラメータとして需要を最低限満たすユニット運転状態を仮決めする。

#### 4. 2 並解列最適化処理

並解列最適化処理では、仮決めされた運転状態をガイドラインとして、より詳細な制約を考慮した運転状態の最適化を行う。この処理を図4に示す。

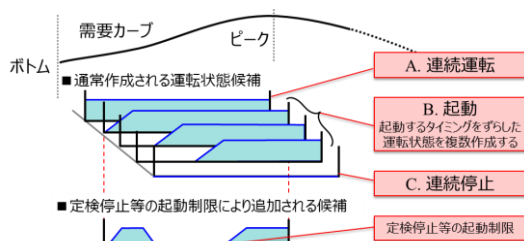


図4. 並解列最適化での運転状態処理

需要のピークとボトム間をバケットと定義し、ユニット毎に各バケットの運転状態の候補群を作成する。この候補群は需要の上り/下りやユニットにかかる制約により運転状態の追加、削除、変形を行う。各運転状態の重みづけをガイドラインとの位置関係で行うことにより、実効個数を見かけ個数より絞り込むことができるよ

うにした。この方式を用いると並解列の計算量  $H$  は式(2)となる

$$H = Va^{(K \times B)} + Vb^{((N-K) \times B)} \dots (2)$$

ここで、 $K$ は仮決めした運転状態が制約を満たしたユニット、 $Va$ は仮決めによる運転状態、 $Vb$ は制約を考慮した仮決め以外の運転状態、 $B$ はバケット数である。 $Va$ と $Vb$ の実際の関係は目的関数の重みを変えることで実現している。ガイドライン処理と並解列処理で見る制約を調整した結果、1バケットあたり10ユニット程度の並解列での修正変更とすることができた。これにより、 $Vb=6, K=10, B=60$ (1ヵ月)の時の計算量は6の60乗程度とすることができ、実用的な時間で解が得られるようになった。

#### 4. 3 中間処理

並解列の運転状態で表わしきれなかった起動カーブ、停止時間のシフト処理等の割り当てを行い解列、並列時刻を確定する。

#### 4. 4 負荷配分最適化処理

運転状態が確定された発電ユニットに対してすべての制約条件下で発電電力量を最も経済的になるように割付けていく。この処理を図5に示す。

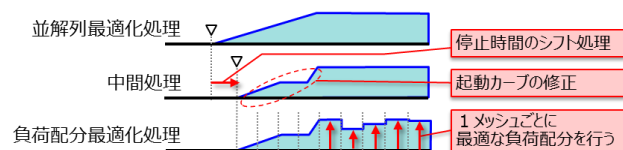


図5. 中間処理と負荷配分方法

90ユニットの1ヵ月計画で最適化計算規模を表2に示す。

表2. 最適化ソルバー計算規模

	定式数 (rows)	変数個数 (columns)
並解列	512,000	317,000
負荷配分	832,000	398,000

#### 5. まとめ

本システムにより、大規模な発電ユニット構成で緻密で実運用に即した最経済な運転計画を実用的な時間で作成可能となった。従来システムと比較して、燃料費ベースで0.48%経済性の高い発電計画が作成可能となった。

尚、本システムは東京電力FPにて、2016年4月より24時間体制で実運用を行っている。

#### 参考文献

- [1] 丹羽雄紀・森井善隆・上野邦明・大谷圭子・渡邊経夫・山根翔太郎：平28火力原子力発電大会 No. 1-15