

用役プラント運転最適化システム PowerOptimizer/PowerPlanner

Utility Plant Operation Optimizing System "PowerOptimizer/PowerPlanner"

大村 憲一^{*1} 木村 勉^{*1}
OHMURA Kenichi KIMURA Tutomu

PowerOptimizerおよびPowerPlannerは、株式会社オメガシミュレーションが開発した用役系プラント運転支援システムOmegaPowerにおける最適化システムの構築ツールである。用役プラントを構成するボイラー・タービン系統のシミュレータを、実プラント運転データに基づくパラメータを使用した精緻な非線形モデルで表現し、最適計算手法には方程式解法機能と制約条件付き逐次2次計画法(SQP)を採用している。本システムは、用役プラントのオンライン運転最適化およびオフライン運転計画策定に使用することができ、プラント全体での蒸気・電力・燃料系のエネルギーコスト最小化を達成することができる。

PowerOptimizer and PowerPlanner are the build-up tools for optimization in utility plant operation supporting system "OmegaPower" that Omega Simulation Co. has developed. Precise nonlinear models represent simulation models of boiler and turbine systems in a utility plant with parameters based on actual plant data. For optimal calculation methods, equation solver functions and Constrained Sequential Quadratic Programming (SQP) are employed. This system is available for optimization of on-line operation and annual operation planning in utility plant. Therefore, total energy cost in such as steam, electric power, and fuel can be saved.

1. はじめに

エネルギーコストの最小化は、蒸気および電力を多量に使用するプロセス産業(石油、石油化学、鉄鋼、紙など)では重要な課題である。

この課題に対し、各ユーザーサイドでは用役プラントの安全かつ効率的な運転計画策定・運転最適化に関して種々の工夫を行い対応している。

用役プラントは、図1に示すように工場内のプラント群に、電力および蒸気を供給している。不足電力は電力会社から購入しているが、最近は電力自由化により電力会社あるいは周辺企業への余剰電力の販売も行っている。

用役プラントは燃料を使用して蒸気を発生するボイラー(BL)と、発生した高圧蒸気を使用してプラント(ユーザープラントおよび用役プラント内)で使用する低圧蒸気および電力を発生するタービン・発電機(TG)で構成される。

燃料は購入燃料(重油、LNGなど)とプラント群から発生する廃ガスおよび廃油を使用している。

用役プラント運転最適化システムは、この蒸気・電

力・燃料バランスを、各プラントの運転状況(停止を含む)および電力・燃料単価の変化に対応させた最適な運転計画を策定すること、および実際の運転データに基づく日常の運転最適化を行うことを目的としている。

本稿では、ボイラー・タービン・発電機・燃料系(BT系)の物理モデルに基づく詳細シミュレータ(BTシミュレータ)を共通に使用した用役運用計画システムPowerPlanner、用役運転最適化システムPowerOptimizer

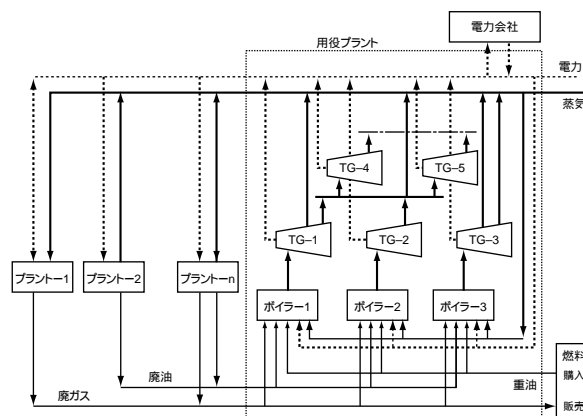


図1 用役プラントの概略図

*1 株式会社オメガシミュレーション

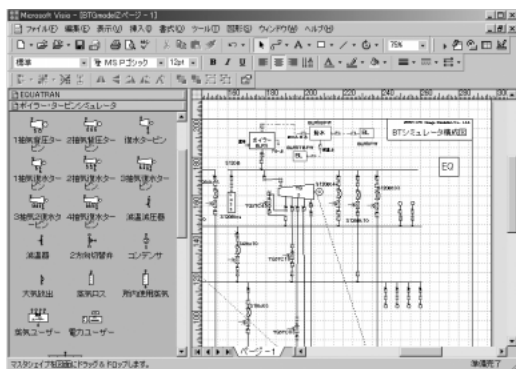


図2 BTシミュレータ構築ツール

```

MACRO TURBIC /* 抽気復水タービン */
/* 物質収支 */
F1 = F01 + F02
/* 蒸気バスの量 */
FS1 = F1
FS2 = FS1 - F01
/* 抽気部発電 */
PW1 = FS1*(Hi - Ho1)*1000*KJtoKWh
Eta1*SW = (Hi - Ho1)/(hi - His1)*100
CalHisv( Pi, Hi, Po1, His1 ) /* 乾き蒸気等エントロピー変化 */
dfo1 = 1
To1 = TcalV( Po1, Ho1) /* 温度計算 */
/* 復水部発電 */
PW2 = FS2*(Ho1 - Ho2)*1000*KJtoKWh
Eta2*SW = (Ho1 - Ho2)/(ho1 - His2)*100
CalHisx( Po1, To1, Ho1, Po2, To2, His2, His2, Hisv2, dfo2s )
dfo2 = Dfcal( Po2, Ho2) /* 湿り蒸気等エントロピー変化 */
/* 発電量 */
PW = (PW1 + PW2 - PWloss)*SW
/* 圧力バランス */
FS1 = KV1/SQRT( (Ti + 273.16)*SQRT( Pi^2 - Po1^2 ) )
FS2 = KV2/SQRT( (To1 + 273.16)*SQRT( Po1^2 - Po2^2 ) )
END TURBIC
    
```

図3 BTシミュレータのユニットモデル例

について、その機能と特長について述べる。なお、PowerPlannerを使用したユーザー事例については、参考文献「用役プラント最適運転へのシミュレータの活用」で紹介しているので参照されたい。

2. BTシミュレータの機能と特長

BTシミュレータは、モデル記述および実行機能、(株)オメガシミュレーション製品である方程式解法ソフトEQUATRANを使用した方程式型シミュレータである。図2に示すように、市販ソフトVisioで組み込みステップを配置・接続してプロセスフロー図面を描画することで基本モデルを作成する。ここで作成される基本モデルは、蒸気表をベースとした水・蒸気物性計算およびボイラー、タービン、減温減圧器(PRDH), スチームヘッダー、ユーザープラントなどのユニット計算(マクロライブラリ)が組み込まれたEQUATRANモデルである。BTシミュレーションモデルは、この基本モデルを対象プラントの固有な部分をカスタマイズモデルとして、EQUATRANコードで追加している。BT最適計算モデルは、BTシミュレーションモデルに最適計算のために必要な制約条件式、評価関数計算、最適化計算指定などのEQUATRANコードを追加して構成している。ボイラーおよびタービンモデルは、それぞれ蒸気量の3次式近似的効率計算(燃焼効率等エントロピー効率)を組み込んでおり、そのパラメータは運転実績から決めているので、精度の高い計算ができる。図3に、EQUATRANで記述されたモデルの一例(抽気復水タービン)を示す。

BTシミュレータは、次の2種の計算モデルを用意している。

(1) BTシミュレーションモデル

BT系運転状況(運転・停止), BT系負荷(タービン抽気量, 背気量, 復水量, PRDH量, 大気放出量)およびプラント送気量を指定し、蒸気系バランスおよび

発電量, ボイラー・タービンの効率, 発電コスト, 蒸気コストを算出する。

(2) BT最適計算モデル

BT系の運転状況, プラント送気量を指定し、運転コスト最小の最適計算により最適なBT系負荷を求め、蒸気系バランスおよび発電量, ボイラー・タービンの効率, 発電コスト, 蒸気コストを算出する。BT最適計算モデルでは、BTシミュレーションモデルを非線型連立方程式として解いた燃料使用量, 受電量に基づく次式を、評価関数として最適計算(SQP法)を行う。

評価関数=燃料単価×燃料使用量+買電単価×受電量
ここで制約条件としては、

- ・ 各ボイラー発生蒸気量の最大・最小値
 - ・ 各タービンの蒸気流量 (入口量, 通過量, 抽気量, 復水量)の最大・最小値
 - ・ 各PRDH量の最大・最小値
 - ・ 各大気放出量の最大・最小値
- などを与えている。

ここで使用している最適計算手法の特長は、以下の2点である。

従来の最適化手法では、方程式を等号制約条件として取り扱っているため、制約条件式が数千のオーダーとなり、計算時間が膨大になっていた。ここでは、方程式解法とSQP法を併用することで、安定かつ高速に解を求めることができる。

従来は、タービンの運転・停止の取り扱いが整数計画問題を解く手法で解決していたが、整数計画問題の制約で限られたモデルにしか適用できなかった。ここでは、タービンの運転・停止の取り扱いを場合分けしてモデル化することにより、整数計画問題としての取り扱いを行わない方式としている。

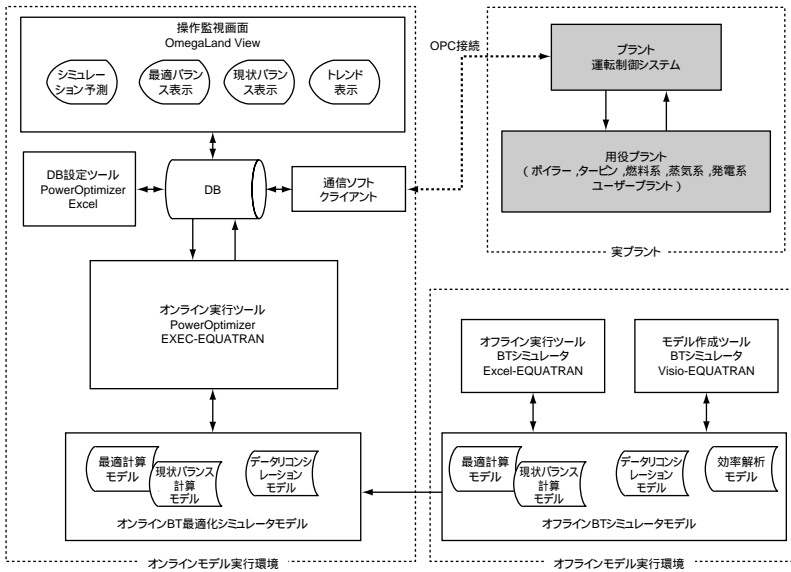


図4 PowerOptimizer機能構成図

この最適計算モデルは、大量のケーススタディを短時間で行う必要のある年間計画策定のためのシミュレータ、およびオンラインで用役プラントの運転データを使用した高速シミュレーションを行う必要のある最適化運転のシミュレータとして、PowerPlannerおよびPowerOptimizerに共通に組み込まれる。

3. PowerOptimizerの機能と特長

PowerOptimizerは実運転状態に対応して、その時点で最適なBT系のバランスおよび運転操作目標値を求め、下位のプラント制御システムに目標値を設定し、最適運転をオンラインで実行することを目的としている。図4に、PowerOptimizerの機能ブロック図を示す。

(1) オフラインモデル実行環境

BTシミュレータの開発・実行環境であり、機器データの効率解析モデル、データリコンシレーションモデル、現状バランス計算モデル、最適計算モデルを開発・実行できる。モデル開発のためのVisio-EQUATRANリンクツールおよびオフラインモデル実行のためのExcel-EQUATRANリンクツールが用意されている。ここで開発・テストされたモデルは次に述べるオンラインモデル実行環境でそのまま使用できる。

(2) オンラインモデル実行環境

開発された最適計算モデルをオンラインで周期実行する環境であり、オメガシミュレーション社製品である統合ダイナミックシミュレーション環境OmegaLandを使用している。

通信ソフトクライアント
 実プラントの運転制御システムとの送受信をOPC接続で行う。リアルタイムデータベース(DB) PowerOptimizerで使用するすべてのデータ(プロセスデータ、計算データ、定数データ、トレンドデータ、アラームデータなど)が格納されている。
DB設定ツール
 PowerOptimizerに必要なデータ設定はExcel表で作成し、DBに設定することができる。
操作監視画面
 DBに格納されているデータをグラフィック画面で表示する。トレンドグラフ表示、アラーム表示が標準で用意されている。

オンライン実行ツール

実プラントからの運転生データを整合性のある運転ベースデータに調整した(データリコンシレーション)後で、モデルの変数と関連付けて最適計算を行う。モデルは256モデルを、最小周期10秒で同時実行できる。

4. PowerPlannerの機能と特長

PowerPlannerはプラントの年間運転計画から、毎日の蒸気使用量(高圧、中圧、低圧の圧力レベル別)、電力使用量、燃料発生量(廃油、廃ガス)および燃料購入量(重

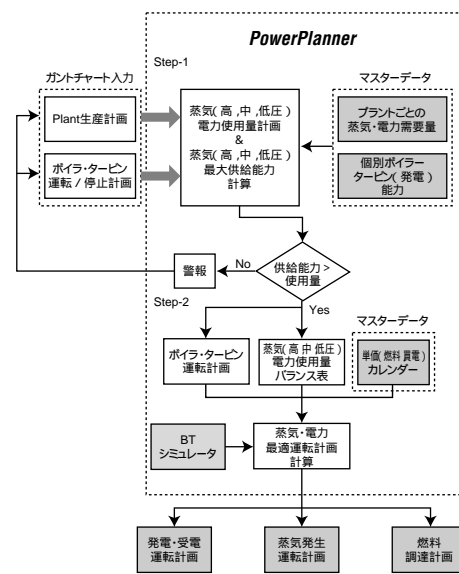


図5 PowerPlanner機能構成図

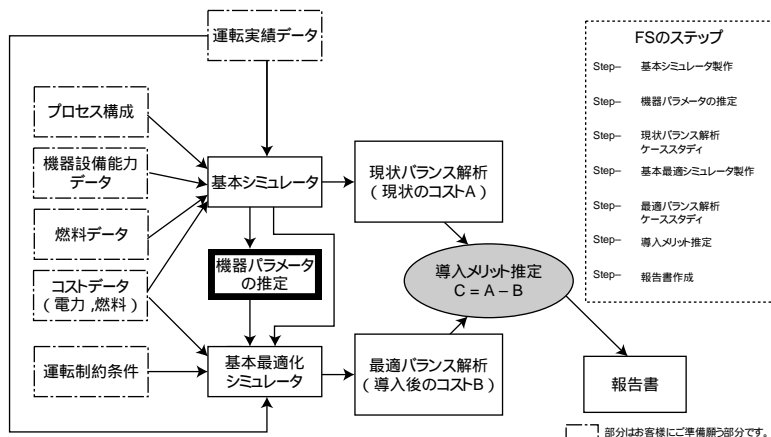


図6 最適化システム構築のフェージビリティスタディ

油、石炭)を求め、最適なボイラー、タービン運転計画を策定することを目的としている。図5に、PowerPlannerの機能ブロック図を示す。

(1) Step - 1

年間の生産計画およびボイラー・タービンの運転・停止計画を入力し、それに対応した蒸気・電力使用量計画を次の手順で策定する。

プラントの年間生産計画をガントチャートで入力する。

ボイラー・タービンの運転・停止計画をガントチャートで入力する。

プラントごとの蒸気・電力使用量マスターデータをベースに、日ごとの使用量バランス表を作成する。個別ボイラー・タービン能力マスターデータをベースに、日ごとの供給量能力表を作成する。

使用量が供給能力を上回る日にマークをつけて知らせる。大幅に不足している場合は、プラントの生産計画あるいはボイラー・タービン運転・停止計画を見直す。

使用量が許容できる状態であることを判断し、蒸気・電力使用量バランス、およびボイラー・タービンの運転・停止計画を確定する。

(2) Step - 2

蒸気・電力使用量バランス表、ボイラー・タービン運転・停止計画、およびカレンダーに基づく燃料・電力の単価マスターを入力として、BT最適計算モデルを使用してBT最適運転計画を策定する。日ごとの使用量に対する最適運転計算を行い、ボイラー・タービン系の蒸気発生運転計画、発電・受電運転計画および燃料調達計画を作成する。さらに、発電・受電運転計画から契約電力量決定のためのベースデータを作成できる。

5. 最適化システム構築のフェージビリティスタディ

本システムを実際に構築する際には、導入による推定メリットの事前評価のために、2ヶ月程度のフェージビリティスタディ(FS)を行うことをユーザーに提案している。

図6に、FSの概略を示している。FSではプロセス構成、機器設備能力データ、燃料データ、およびコストデータに基づき、基本シミュレータ(簡易型)を製作する。この基本シミュレータを用いて、運転実績データに合う機器パラメータの推定を行う。さらに、現状バランス解析を行うにより、現状の運転実績のコスト(A)を推定する。

基本シミュレータに運転制約条件および最適化計算を組み込み、基本最適化シミュレータを作成する。このシミュレータを使用して、最適バランス解析を行い、最適化した場合のコスト(B)を推定する。このコスト差(A-B)を本システム導入による最大期待メリットと考えて、投資効果計算のベースとして使用する。

6. おわりに

本稿で紹介したPowerOptimizerおよびPowerPlannerはWindows2000/NT パソコンで動作し、市販ソフトであるVisio, Excelおよび当社パッケージ製品EQUATRAN, OmegaLandで構成されている。これにより、従来のシステムにはない使い勝手の良さ、保守性の良さおよび他ソフトとの連携の良さを提供している。今後、用役プラントにおいて、計画から運転までの最適化のニーズはさらに高まっていくが、本システムは広いユーザーに最適なソリューションを提供するツールといえる。

参考文献

(1) 藤田薫, 江本源一, 竹下聡彦, 他, “石油化学工場における発電プラントのエネルギー最適化制御”, vol. 43, no. 5, 2000, p. 34-37
 (2) 喜多洋一, 飯野穰, 他, “自家発電設備の省エネルギー運用を支える最適化技術”, 東芝レビュー, vol. 53, no. 4, 1998, p. 59-62
 (3) 横山克巳, “方程式解法ソフトEQUATRAN-Gとその応用”, 化学装置, vol. 46, no. 8, 1994, p. 38-42
 (4) 大村憲一, 木村勉, 他, “用役プラント最適運転へのシミュレータの活用”, 計装, vol. 44, no. 5, 2001, p. 53-59

* EQUATRANは三井化学株式会社の登録商標です。
 * Windows, Visioは米国Microsoft Corporationの登録商標です。その他、本文中の製品名, 名称は, 各社の商標, 或いは登録商標です。