

製紙工場におけるコージェネレーション設備のエネルギー最適運転システム

Energy Optimization System for Cogeneration Plant of Paper Factory

竜田 尚登 TATTA Naoto

金平 芳司 KANEHIRA Yoshiji

コージェネレーション設備は、製紙工場の操業に必要な蒸気や電力を供給するものである。富士電機は、製紙工場におけるコージェネレーション設備のエネルギー最適運転システムを開発し、納入した。変動が大きい工場の電力負荷や蒸気負荷、廃熱回収ボイラの発生蒸気量など設備の状態を監視し、電力・蒸気の需給バランスに応じてリアルタイムで最適運転を行う。蒸気余剰時には契約受電電力の上限を超えないように、また、蒸気不足時には逆潮流しないようにぎりぎりの負荷で自動運転を行うことで、システム導入費用を1年で回収できることを確認した。

A cogeneration plant provides steam and electric power required for paper factories. Fuji Electric has developed and delivered an energy optimization system for the cogeneration plant of a paper factory. The system is capable of monitoring the state of various facilities, including power/steam loads and the amount of steam produced by an exhaust-heat recovery boiler, which fluctuate greatly in the factory. The system can thus optimize the operation in real time according to the supply-demand balance of power and steam. Since the system automatically optimizes loads so that contracted electricity limits are never exceeded at times of excessive steam loads, while also ensuring that there is no inverse power flow during times of steam shortages, the cost of installing the system can be confirmed to be recovered in one year.

1 まえがき

コージェネレーション設備は、1980年代に普及が始まった。電力需要が伸びる中で、省エネルギー（省エネ）・省コストを図る設備として、ボイラなどの設備更新や、重油から天然ガスへのエネルギー転換のタイミングで導入され、工場や業務用施設などで幅広く利用されている。近年、原油価格の高騰などにより、コージェネレーション設備の導入は伸び悩んでいたが、東日本大震災以降、需要家自らが電力を確保することを重視して、コージェネレーション設備を導入するケースも増えている。

本稿では、製紙工場のコージェネレーション設備の省エネ運用をより最適に運転するシステムを提案し、受注、開発、納入したので、その概要について述べる。

2 コージェネレーション設備

2.1 コージェネレーション設備の概要

エネルギー最適運転システムを納入した製紙工場におけるコージェネレーション設備の概要を、図1に示す。この設備は、ガスタービン、発電機、排ガスボイラ、蒸気タービン、発電機、廃熱回収ボイラ、補助ボイラなどから構成されている。排ガスボイラは追いだきが可能な構造になっている。

工場で消費する電力（工場電力負荷）は、電力会社からの受電電力と、工場に設置されたガスタービン・発電機および蒸気タービン・発電機による発電電力とで賄われている。工場で消費する蒸気（工場蒸気負荷）は、蒸気タービンからの排気蒸気、廃熱回収ボイラの蒸気および補助ボイラの蒸気で賄われている。

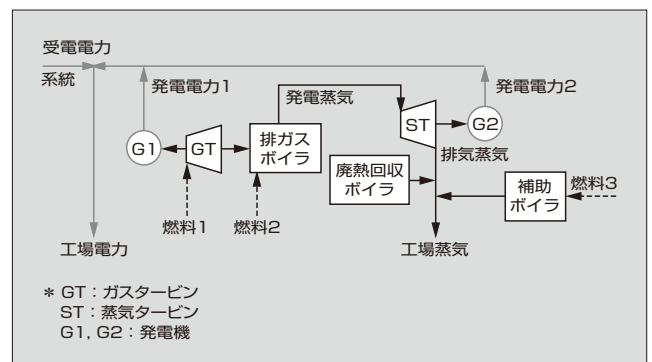


図1 コージェネレーション設備の概要

2.2 コージェネレーション設備の運用

工場電力負荷や工場蒸気負荷は、工場の操業状態や季節により大きく変動する。同様に、廃熱回収ボイラの発生蒸気量も変動する。工場で大きく変動する電力・蒸気の需要に対し、遅滞なく過不足なく供給することが設備の運用の最優先事項となる。

工場蒸気負荷と蒸気の供給の状態により、次に示すように大きく三つのパターンで設備を運転し、運用している。

(1) 通常運転時

工場操業レベルが通常るときは、供給電力と発生蒸気量のそれぞれが、工場側の電力負荷や蒸気負荷とバランスしており、ガスタービンを最大負荷で運転し、蒸気タービンを背圧運転モードにして蒸気供給を自動調整する。

工場電力負荷がやや小さくなると受電電力を監視し、できるだけ逆潮流しないようにして無駄な発電を避けている。

(2) 蒸気余剰時

工場操業レベルがやや低いときは、工場蒸気負荷が下がり、廃熱回収ボイラが稼動すると蒸気が余剰になる。この

ようなときには、やむを得ず余剰蒸気を放出（放蒸）する。放蒸する量を少なくするため、蒸気タービンの排気蒸気量を一定にする出力運転モードとし、放蒸弁で圧力制御を行って運転している。発電量は減少するので、デマンドオーバー^(注)にならないように監視している。

(3) 蒸気不足時

工場操業レベルが通常でも廃熱回収ボイラが停止し、短時間ではあるが工場蒸気が不足することがある。このようなときは補助ボイラを稼働させ、不足蒸気を補って運転している。蒸気タービンは背圧運転モードで運転している。発電量が増加するので逆潮流しないように監視している。

3 エネルギー最適運転システム

3.1 エネルギー最適運転システムの構成

今回導入したエネルギー最適運転システムの構成を図2に、機能を表1に示す。

本システムは、コージェネレーション設備の稼働状況のデータを既設のデータ収集PLCを介して収集している。データの蓄積・解析には富士電機の製造・エネルギー分析支援パッケージ「MainGATE⁽¹⁾」を導入し、使用している。

エネルギー最適運転システム操作盤には3種類の最適運転モード（通常運転時の最適化、蒸気余剰時の最適化、蒸気不足時の最適化）スイッチがあり、いつでも入り切りができる。操作盤の画面にはコージェネレーション設備の状態や現在値などを表示し、本システムの運転状態が一目で分かる。また、チューニング用パラメータは全て画面から設定、変更でき、調整が容易にできる。本システムからの出力を、既設のガスタービンと蒸気タービンの各遠方制御盤および補助ボイラ流量調節計に直接入力している。

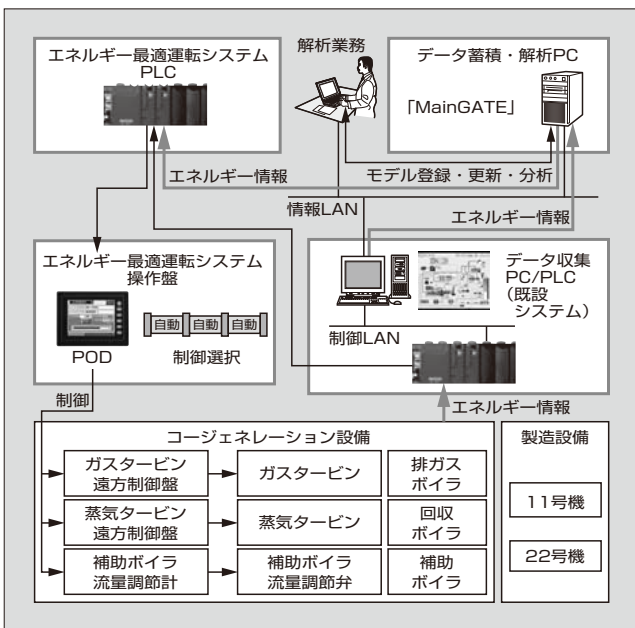


図2 エネルギー最適運転システムの構成

〈注〉 デマンドオーバー：契約受電電力量上限を超えること

表1 エネルギー最適運転システムの機能

装置	機能
データ蓄積・解析PC	収集したデータを蓄積・表示し、見える化を促進する。
	収集したデータからボイラ、タービン特性を推定する。
エネルギー最適運転システムPLC	通常運転時の最適化 (既設ガスタービン遠方制御盤に、 負荷の上げ・下げ信号などを入力する。)
	蒸気余剰時の最適化 (既設蒸気タービン遠方制御盤に、 負荷の上げ・下げ信号などを入力する。)
	蒸気不足時の最適化 (補助ボイラ流量調節計に、設定値などを入力する。)
エネルギー最適運転システム操作盤	自動運転の入り切りを操作する。 自動制御の場合、必要な情報をPODに表示する。 定数やパラメータの設定値をPODで入力する。

3.2 エネルギー最適運転システムの特徴

最適運転とは、デマンドオーバーや逆潮流をさせず、放蒸量をなくし、安価な燃料を選択し、かつ燃料使用量を削減することである。ただし、実際に運用しようとする、常時監視が必要になったり、運転員の個人差が出たりして簡単には実現できない。エネルギー最適運転システムにより、自動運転を行うことで、大きな省エネ効果と運用効果が期待できる。

本システムには、次に示すソフトウェアとハードウェアの機能上の特徴がある。最適運転をリアルタイムで行う、安全性にも十分配慮したシステムであり、また、既設のガスタービン、蒸気タービンの計装制御装置を活用した最適運転を実現している。

(1) ソフトウェアにおける機能上の特徴

既設のガスタービン、蒸気タービンおよび排ガスボイラには、それぞれの制御をつかさどる既設の制御系がある。

本システムは、これらの系に対して設定値を与える設定制御（SPC：Set Point Control）システムとして位置付けた。既設の計測制御装置を活用するという観点と安全性の観点から、下位制御系に設定値そのものを与える位置形のSPCではなく、現在の設定値からの差分を与える速度形のSPCとした。このことから、本システムに異常が発生した場合、本システムを切り離すことにより、安全にコージェネレーション設備の運転継続ができる。

アルゴリズムにはヒューリスティクス手法を用い、既設計測制御装置からの該当するプロセス値によって最適値に近づけていくことを実現している。エネルギー最適運用支援パッケージ「FeTOP」などを用いたシミュレーションを実施しながらアルゴリズムの有効性を確認している。

(2) ハードウェアにおける機能上の特徴

既設のガスタービンと蒸気タービンには、専用の制御装置に付加してオペレータが運転しやすいように遠方制御盤が設置されている。この盤を本システムからのパルス信号を受けられるように変更することで、活用できるようにした。また、既設システムと併用できるため、本システムを使用しない場合は、既設の制御装置と遠方制御盤により、

従来の運転と運用が継続できる。本システムは省エネルギーを実現するシステムであり、緊急時などには機能を停止させ、直ちにオペレータによる運転に切り替えられるようにしている。

4 導入効果

導入効果の試算を行うことにより、システムの規模や回収期間が推定できる。導入可否の判断などに大きな影響を与えるため、本システムのような最適運転システムでは導入前の効果試算が非常に重要である。同様に、導入後の効果の実績の検証も必要である。

4.1 導入効果の試算

富士電機では、FeTOP を用いる際に、導入効果を試算する手順を標準化しており、今回もこの方法を活用した(図3)。

顧客からコージェネレーション設備の運転状態を表す時系列データの提供を受け、コージェネレーション設備の最適化モデルを使って最適化計算を行い、さまざまな条件で効果試算を行った。このコージェネレーション設備では、富士電機のデータ収集システム「BEST」により時系列データの採取が容易であった。これにより比較的短期間で効果的、効率的に効果試算を行うことができた。

これを基に、次に示す三つの運転パターンにおいてそれぞれの問題点と解決策を明らかにした。

(1) 通常運転時

工場電力負荷の減少時、ガスタービンを最大負荷で運転すると逆潮流が発生する。逆潮流を避けるためガスタービンの負荷を下げるが、受電電力を常時監視しながら設定し、運転することは難しい。このため、ガスタービン負荷を下げて、結果的に受電電力を必要以上に増加させて運転していた。

電力負荷をリアルタイムに予測し、ガスタービンを逆潮流しないぎりぎりの負荷で自動運転を行うことにより、受電電量を削減できる。

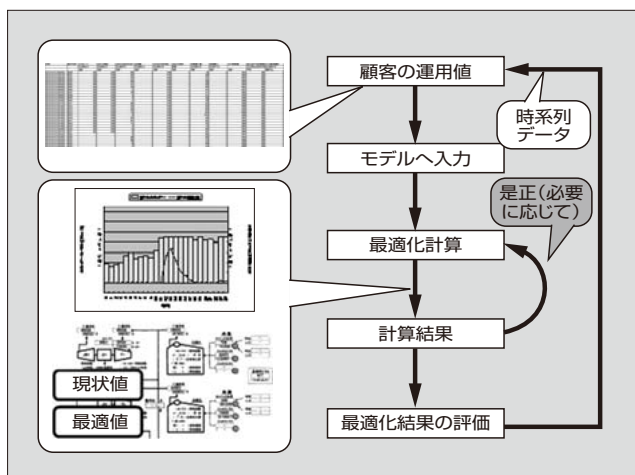


図3 導入効果試算の手順

(2) 蒸気余剰時

放熱量を減らすためには排ガスボイラの負荷を最小にして運転したい。このためには出力運転モードになっている蒸気タービンの出力設定値を、排ガスボイラの圧力変動などを監視しながら設定し、運転しなければならない。

しかし、常時監視しながら運転することは困難なため出力設定値が少し高めとなり、放熱量を減らすことができない運転をしていた。

排ガスボイラの負荷を安全に最小負荷近辺で自動運転を行い、放熱量を減らすことにより、排ガスボイラの燃料費用を削減できる。

(3) 蒸気不足時

省エネの観点からは補助ボイラの蒸気量を最少としたい。そのためには排ガスボイラの負荷を最大としたいが、蒸気タービンは背圧制御モードに入っているため排ガスボイラは流量変動を常に受けている。この状態で排ガスボイラの負荷を最大とするのはリスクも大きく、常時監視も必要となる。常時監視運転が困難なため、補助ボイラの負荷を多めにして運転していた。

排ガスボイラを安全に最大負荷近辺で自動運転を行うことにより、補助ボイラの燃料費用を削減できる。

これらの各運転パターンを基に解決策からそれぞれのロス金額に換算し、年間節約可能な金額を算出した。

効果試算の結果を合算すると、LNG換算原単位を年間平均1.5Nm³/t紙程度減少できる見通しを得た。これは、システム導入費用を2年で回収できるほどの効果になる。

4.2 導入効果の実績

本システムによる導入効果は、全パターンを合算するとLNG換算原単位が年間平均3.0Nm³/t紙以上減少することを確認している。これは導入前の効果試算の約2倍の効果である。システム導入費用を1年で回収することに相当する。この理由として、次の3点が挙げられる。

(a) 蒸気余剰時は蒸気の発生を抑えるため、発電量も減少し結果的にデマンドオーバーになりやすい。従来は、これを避けるため発電量を必要以上に上げて運転していた。本システムでは、通常運転時の機能を拡張し、ガスタービンをデマンドオーバーにならないぎりぎりの負荷で自動運転することにより、燃料費用を削減した。この効果は、本システム導入後の調整運転により見出した。

(b) 蒸気不足時には蒸気の発生を増やすため、発電量は増加し結果的に逆潮流になりやすい。従来は、これを避けるため発電量を必要以上に上げて運転していた。本システムでは、通常運転時の機能をそのまま用いてガスタービンを逆潮流にならないぎりぎりの負荷で自動運転することにより、受電電力量を削減した。この効果も、本システム導入後の調整運転により見出した。

(c) エネルギー最適運転システムのエネルギーデータ解析機能により、早く安全に最適運転状態に近づけるパ

ラメータチューニングが可能となり、最適運転時間をより長く、効果幅をより大きくすることができた。

⑤ あとがき

製紙工場におけるコージェネレーション設備のエネルギー最適運転システムについて述べた。本システムは2012年11月に調整引渡しを行い、順調に稼動している。

電力・蒸気を多量に消費する他業種の生産工場のコージェネレーション設備においても、台数、容量の違いはあるものの、タービン、発電機、ボイラからなる構成および負荷パターンはほぼ共通である。したがって、本稿で述べた内容は、さまざまな業種の生産工場のコージェネレーション設備へ適用できる。

今後、スマートコミュニティのコンセプトが実現されていく中で、コージェネレーション設備を持った工場もコミュニティの一員として、周囲との協調やエネルギーのピークカットなど、より高度なエネルギー管理が求められていくと思われる。今後とも、本システムを活用したさらなる省エネルギー操業、運転の検討を進めるとともに、新しいエネルギー管理システムの検討も進

めていく所存である。

参考文献

- (1) 東谷直紀ほか. 省エネルギー活動を支援するエネルギー管理ソリューション. 富士時報. 2011, vol.84, no.4, p.234-238.
- (2) 小出哲也ほか. エネルギープラントの最適運用システム. 富士時報. 2008, vol.81, no.2, p.130-134.



竜田 尚登

製造管理・エネルギー管理・監視制御システムの企画・開発・技術に従事。現在、富士電機株式会社産業インフラ事業本部機電システム事業部FEMS技術部課長補佐。エネルギー管理士。



金平 芳司

地方拠点において産業・社会インフラプラント向けサービスソリューション業務に従事。現在、富士電機株式会社営業本部中国支社課長補佐。





*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。