

フィジカル領域の強みを生かした 自家発電設備の最適運転支援システム

Optimal Operation Support System for Private Power Generation Facilities

村山 大 MURAYAMA Dai 中原 良樹 NAKAHARA Yoshiki

国内の工場やコンビナートに設置されている自家発電設備は、増設や部分更新を重ねた複雑な構成であることが多い。製造プロセスで必要な電力や蒸気の需要変動に応じて、柔軟かつ効率的に運転する必要があり、熟練した専門オペレーターによる確かな操作が欠かせなかった。

東芝エネルギーシステムズ(株)は、火力発電向けエンジニアリングを通して培ってきたフィジカル領域の強みを活用したデータ分析により、自家発電設備の挙動を把握する技術を開発した。この技術を生かして、需要変動時にも安定した高効率な運転をサポートする最適運転支援システムを、エネルギーシステム向けIoT (Internet of Things) プラットフォーム上に構築して、顧客の環境やニーズに合わせたサービスを提供する。

The majority of private power generation facilities at factories and industrial complexes have been expanded or partially renewed during long-term operation. As a result, they have complex structures and require skillful operators who can optimally control facility equipment so as to satisfy the fluctuating power and steam demand of manufacturing processes.

Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation has developed techniques to estimate the behavior and condition of equipment in private power generation facilities utilizing its experience and knowledge of engineering work. We are providing new services to match the needs of customers and the condition of their facilities by constructing an optimal operation support system built on an Internet of Things (IoT) platform for energy systems using techniques grasping the plant's behavior, in order to realize stable and efficient operation capable of handling fluctuations in demand for power and steam.

1. まえがき

国内の工場やコンビナートなどに設置された自家発電設備は、製造プロセスに対して電力と蒸気を供給する役割を担う。長期にわたって利用され、その間に増設や部分更新を重ねた結果、複雑な構成になっていることが多い(図1)。この構成例では、ボイラーや、複数台かつ複数種類の蒸気タービン(背圧蒸気タービン、復水蒸気タービン)、ガスエンジンなどの機器や配管を含んでおり、圧力の異なる蒸気を供給する複数のヘッダーや、外部から受電した電力と発電した電力とを併せて供給する機能を持つ。

このような自家発電設備は、電力と蒸気の需要変動に応じて、柔軟かつ効率的に運転する必要がある。構成が複雑であるため、熟練度の高いオペレーターが的確に操作することで、安定した運転が行われてきた。

一方で、フィジカル領域にあるプラントや装置からデータを取得して、サイバー領域でより高度に分析し、新たな価値としてフィジカル領域にフィードバックする仕組みであるCPS(サイバーフィジカルシステム)の導入が進んでいる。この仕組みを最大限活用するためには、単なるデータの統計

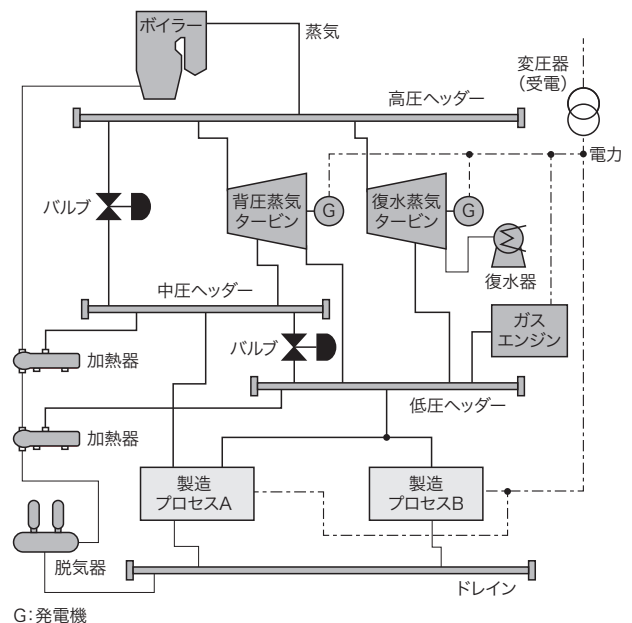


図1. 自家発電設備の機器構成の例

自家発電設備は、ボイラーや、複数種類の蒸気タービン、ガスエンジンなどから構成され、発電した電力や異なる圧力ヘッダーからの蒸気を製造プロセスへ供給する。

Example of configuration of private power generation facility

分析にとどまらず、東芝エネルギーシステムズ(株)が火力発電プラント建設などで培ってきたフィジカル領域の強みを生かしたデータ分析を行うことが必要である。

ここでは、自家発電設備の状態を、蓄積したフィジカル領域の知識と経験を生かして分析・定量化する技術と、これを利用して、オペレーターの作業をサポートする最適運転支援システムとして提供するための取り組みについて述べる。

2. フィジカル領域の強みを生かしたデータ分析

当社は、これまでに様々な発電設備や機器を供給してきた。また、機器の供給に加え、各機器を効率的に組み合わせることで、高効率の火力発電プラントを数多く供給してきた実績もある。このように機器の特性を把握して適切に組み合わせる技術は、フィジカル領域の知識と経験として蓄積されており、自家発電設備向けに、この知識と経験を生かしたデータ分析を進めている。ここでは、蒸気タービン・発電機特性の把握、配管の圧力損失の推定、及びデマンドマップの活用を例に示す。

2.1 蒸気タービン特性の把握

自家発電設備向けの蒸気タービンは、電力だけでなく工場の製造プロセスで使用する蒸気を供給することが特徴である。このために用いられる蒸気タービンの運転状態量には、タービン入り口の蒸気量、製造プロセスで使用するために取り分けた蒸気(抽気)量、及び発電機出力などがあり、相互に関連している。加えて、タービンの出力により、抽気量が制限される。更に、製造プロセスによっては、抽気圧力が一定範囲となるように運転する必要があるなど、運用上の制約が多い。また、設置から長期間にわたって使用されていることも多く、その間に特性が変化する場合もある。

実際の特性を取得するため、実データから蒸気タービンの特性を算出した例を示す。図2は、蒸気タービンの運転データを基に、縦軸にタービン入り口の蒸気流量、横軸に発電機出力を取り、抽気量範囲でプロットを色分けして表示したものである。重ねて表示した実線は、プロットしたデータから計算される、実データ取得時点での特性である。これを、破線で示した設置時と比較することで、発電特性の変化を確認できる。

このように、長期間使用した蒸気タービンも、実際の運転時点における発電特性を定量化できるようになった。この結果、蒸気タービンの運転状態が、規定されている制約条件範囲内であることを、精度良く確認することが可能になった。

2.2 配管の圧力損失の推定

自家発電設備から、製造プロセスで使用する蒸気を供給するとき、配管が長距離だと、圧力損失や、配管表面を通

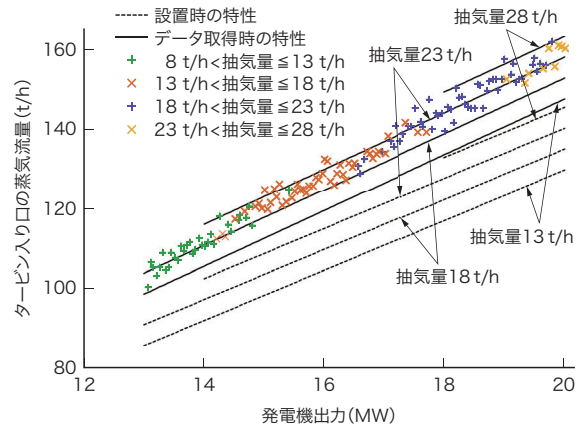


図2. 蒸気タービン・発電機の特性例

運転データから、蒸気タービン・発電機の特性を算出する。

Examples of power generation characteristics of steam turbine

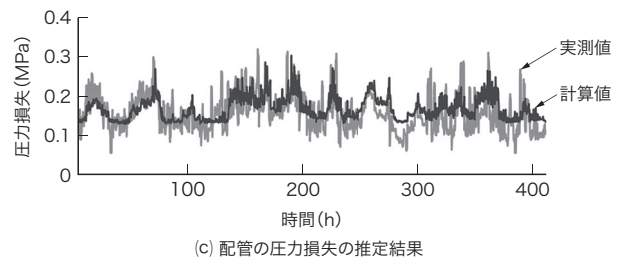
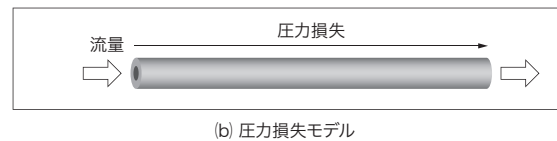
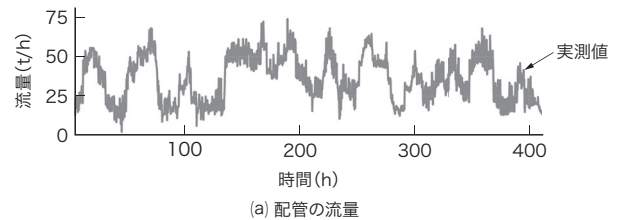


図3. 配管の圧力損失とそのモデル化

圧力損失を、配管の長さや、直径、表面粗さなどを考慮してモデル化する。

Simulation model of pressure loss in steam pipe

した放熱による温度低下が発生することがある。

配管を流れる蒸気の圧力損失は、流れる蒸気量に比例する。これは、蒸気を使う製造プロセス側から見ると、蒸気を多く使うほど圧力が低下することを意味しており、製造プロセスでの品質低下につながる。

製造プロセスの蒸気圧力を一定に保つには、蒸気流量に応じて配管上流入り口の蒸気圧力を調整する必要がある。配管での圧力損失は、配管の長さや、直径、表面粗さなど

を考慮することでモデル化できる。このため、配管出口の圧力に圧力損失を加えた圧力を、入り口の蒸気圧力として設定することで、配管出口の圧力を一定に保つことができる。

モデルに基づいて計算した圧力損失と、実際の圧力損失の比較を図3に示す。両者が良く一致していることが確認できる。このように、運転中に変化する配管の圧力損失を推定することが可能になった。

2.3 デマンドマップの活用

自家発電設備が、製造プロセスによる電力と蒸気の需要を満たすための、蒸気タービンやボイラーなどの機器の組み合わせは、複数存在することが多い。電力や蒸気の需要は、製造プロセスの稼働状況によって変化するので、その都度、使用する機器を変更すると、機器を頻繁に起動・停止させることにつながる。蒸気タービンやボイラーは、起動時や停止時にロスを伴うので、使用機器の頻繁な変更を避けて、効率的に運転することが重要である。

図4は、電力と蒸気の需要の組み合わせをプロットしたものである。ある時間範囲における、複数の需要の組み合わせは、その時間範囲の需要の分布を示すため、これをデマンドマップと呼ぶことにする。一方、タービンやボイラーなどの機器は、ある時間範囲の複数の需要を満たすように運転することで、頻繁な起動・停止を防げる。図4に、復水蒸気タービンの運転範囲、及び背圧蒸気タービンとガスエンジンを組み合わせた運転範囲を、デマンドマップに重ねて示した。ある時間範囲の複数の需要を満たすためには、全ての需要を含む運転範囲になるように、機器を選択することで、頻繁な起動・停止を抑制できる。また、複数の機器の組み合わせが重複する部分に需要がある場合は、効率の良い機器を選択すればよい。

このように、デマンドマップを用いることで、効率的な運転計画を容易に立てることができる。

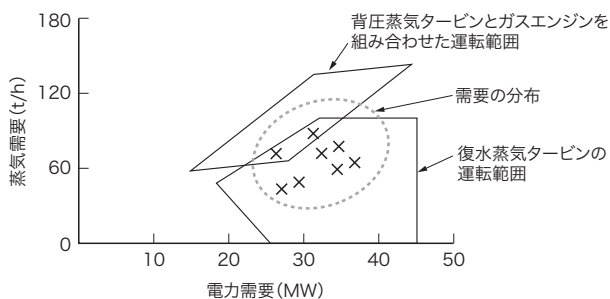


図4. 運転計画の立案を支援するデマンドマップ

蒸気需要と電力需要をグラフ上にプロットし、機器の運転範囲と重ねて表示することで、最適な機器の選択を容易にして、運転計画の立案を支援する。

Scatter diagram of steam and power demand for development of operation plan

3. 最適な運転を行う統括制御方式

自家発電設備は、複雑な構成のプラントを熟練度の高いオペレーターが的確に操作することで、安定した運転を行っている。これを自動化するための統括制御方式と、その検証方法について述べる。

3.1 統括制御方式

自家発電設備では、オペレーターの操作対象は多岐にわたり、操作にあたっては様々な要因を考慮している。例えば、電力と蒸気の両方の需要に応じて、運転する機器を決定している。このとき、需要を満足する条件を満たしながら、最小のコストとなる機器の組み合わせを選択するように配慮している。

このようなオペレーターの運転操作に加えて、2.2節に述べたように、配管の圧力損失を考慮した蒸気タービンの抽気圧を設定したり、2.3節に述べたように、数時間先までの製造プロセスの需要の推定と変動を考慮して、最適な機器の組み合わせを決めたりすることで、プラント全体の最適化を行うのが統括制御方式である。

統括制御は、最適な運転条件の算出と、最適な運転条件をスムーズに接続する制御ロジックを含む。そのロジックは、自家発電設備ごとに異なるため、統括制御の安定性などは、シミュレーションで検証する必要がある。

3.2 動的シミュレーションによる検証

統括制御の安定性は、動的シミュレーションで検証する。動的シミュレーションの実施前に、自家発電設備のプラントをモデル化する必要がある(図5)。ボイラーやヘッダーは圧力要素、配管やタービンは抵抗を示す要素としてモデル化

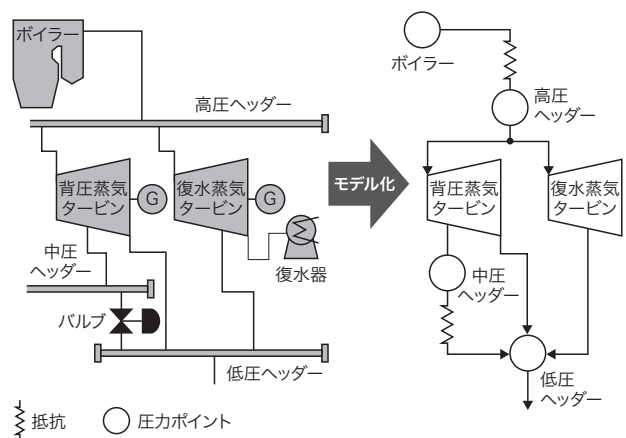


図5. 動的シミュレーションのためのモデル化

プラント全体の最適化を行う統括制御には、動的シミュレーションによる制御ロジックの検証が欠かせない。

Dynamic simulation model

する。また、それぞれの要素では、エンタルピーの変化なども模擬している。このプラントモデルと統括制御方式を検証するシミュレーターには、火力発電所建設時の制御システム検証に実績のある手法を採用した。

このシミュレーション技術を適用することで、実際の運転データに基づきプラントの挙動を把握して、統括制御方式の検証が実施可能になった。また、需要変動時に高効率かつ安定して運転できる方法に変更する場合なども、事前の検討・検証ができる。

4. エネルギーシステム向けIoTプラットフォームを活用した最適運転支援システム

自家発電設備の安定で効率的な運転をサポートする最適運転支援システムを開発している。このシステムは、2章で述べたデータ分析の結果提示や、3章で述べた統括制御方式の実現などを行い、継続的な運転改善を可能にする。

このようなシステムは、自家発電設備ごとに構成を見直す必要があり、作業を迅速化するために、プラットフォーム上に構築することが効果的である。

当社が開発したエネルギーシステム向けIoTプラットフォーム(この特集のp.7-11参照)は、サービス単位での機能提供や分散データベースによる既存システムの活用が可能なマ

イクロサービスアーキテクチャーを採用している。また、異なるシステムとの連携で、外部のデータや分析技術も活用できる。

自家発電設備では、データセキュリティの観点から、自社外に重要なデータを保存することに抵抗がある企業も多い。エネルギーシステム向けIoTプラットフォームは、ハイブリッド環境を実現しているため、プライベートクラウド型、オンプレミス型、パブリッククラウド型のいずれの構成でも最適運転支援システムを構築できる。

図6にパブリッククラウド上に最適運転支援システムを構成した例を示す。運転データは、パブリッククラウド上の最適運転支援システムに蓄積される。この通信は、物理的に一方だけの通信ができる伝送装置⁽¹⁾を経由することで、外部からの通信が自家発電設備に影響を与えないようにできる。

このように、エネルギーシステム向けIoTプラットフォーム上に最適運転支援システムを構築することで、顧客の環境やニーズに応じた柔軟なサービスを提供できる。

5. あとがき

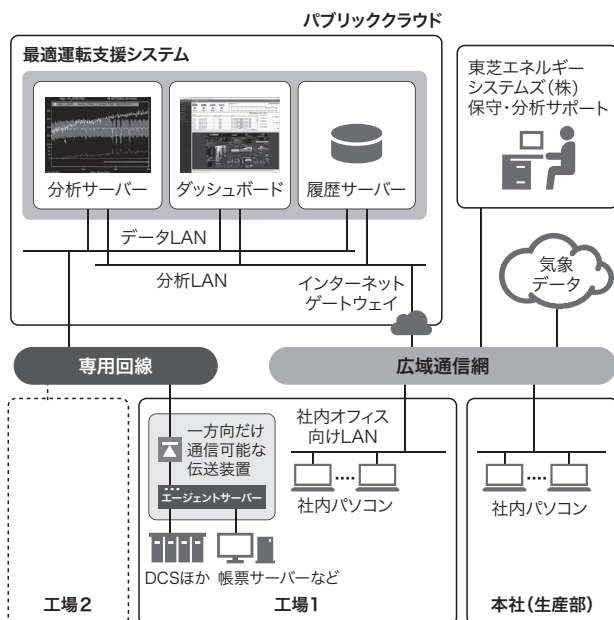
自家発電設備の継続的な最適運転を支援するための技術やシステムへの、当社の取り組みを述べた。

まず、フィジカル領域の知識と経験から得た強みを生かすデータ分析の具体例を示した。次に、運転を高度化するための統括制御方式と動的シミュレーションによる検証について示し、最後に、これらの技術を実装しサービスとして提供する最適運転支援システムと、これを実現するエネルギーシステム向けIoTプラットフォームについて述べた。

これらの取り組みを進めることで、自家発電設備の運用性向上や効率改善に貢献していく。

文献

- (1) 林祐介, 由上秀樹. 火力発電プラントの運用高度化とセキュリティ強化に対応した監視制御システム TOSMAP-DS™/LX. 東芝レビュー. 2019, 74, 3, p.30-34. <https://www.toshiba.co.jp/tech/review/2019/03/74_03pdf/a08.pdf>, (参照 2020-01-10).



DCS:分散制御システム

図6. 最適運転支援システムの構成

エネルギーシステム向けIoTプラットフォームを利用することで、パブリッククラウド型だけでなく、プライベートクラウド型やオンプレミス型でも、最適運転支援システムを構築できる。

Configuration of optimal operation support system



村山 大 MURAYAMA Dai
東芝エネルギーシステムズ(株) エネルギーシステム技術開発センター エネルギーソリューション開発部
電気学会・計測自動制御学会会員
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



中原 良樹 NAKAHARA Yoshiki
東芝エネルギーシステムズ(株)
DX 統括部 プラントDX推進部
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.