

AI 技術適用により蒸気利用設備の CO₂ 排出量削減に 貢献する熱 EMS ソリューション

AI-Based Thermal EMS Solution that Contributes to the Reduction of CO₂ Emissions from Steam Powered Facilities

山口 貴久 YAMAGUCHI, Takahisa

竜田 尚登 TATTA, Naoto

近年、CO₂ 排出量削減の社会的要求が強まり、工場における熱エネルギーの省エネルギー（省エネ）が必須となっている。富士電機では、工場の熱エネルギーを対象とした熱 EMS（エネルギーマネジメントシステム）ソリューションを推進しており、蒸気利用設備の熱収支を定量的に把握可能な熱収支分析システムを開発した。本システムでは設備の熱効率を常時監視し、熱効率が悪化した場合には AI 技術を応用した分析によりその要因を絞り込むことができる。これにより、人による管理では気付かないムダな熱消費を抑制できる。また、データ活用による省エネ設備導入により大幅な CO₂ 排出量削減につながる。

In recent years, thermal energy saving in factories has become necessary due to the increasing social demand to reduce CO₂ emissions. Fuji Electric has been promoting thermal energy management system (EMS) solutions for factories and has developed a heat balance analysis system that can quantitatively grasp the heat balance of steam-powered facilities. This analysis system constantly monitors the thermal efficiency of facilities, and if it detects deterioration in thermal efficiency, it can narrow down the causes using AI analysis. This enables it to reduce thermal waste that would otherwise go unnoticed by manual management. The introduction of energy saving facilities, based on such data utilization, help reduce CO₂ emissions significantly.

1 まえがき

近年の環境意識の高まりの中で、国内の大手製造業では、2030 年度に向けて CO₂ 排出量の大幅な削減目標を掲げている。

国内のエネルギー起源の CO₂ 排出量の約 27%（2019 年度時点⁽¹⁾）は、産業部門における非電力起源の CO₂ である。その主な発生源である化石燃料消費を抑えることが必要不可欠である。

例えば、工場で消費される主な化石燃料である都市ガスや A 重油は、その大部分が生産設備で使用する蒸気を生成するために消費されている。したがって、生産設備ごとの使用量や熱効率（エネルギー原単位）を定量的に把握することにより、蒸気使用量を削減して省エネルギー（省エネ）が進展することが期待されている。

富士電機は、工場の電力を主体とした EMS（エネルギーマネジメントシステム：Energy Management System）を推進してきた。それに加えて、工場では電力に比べて省エネが進んでいない熱エネルギーにも対象を広げた熱 EMS ソリューションを現在推進している。

IoT (Internet of Things) や AI (Artificial Intelligence) 技術を適用した富士電機の DX (デジタルトランスフォーメーション：Digital Transformation) 製品である熱収支分析システムを中心に、熱 EMS ソリューションについて述べる。

2 蒸気利用設備の省エネルギーに向けた従来の検討手法と課題

工場の洗浄設備や殺菌設備、乾燥設備などの蒸気を利用する設備において、図 1 に示す設備に入る蒸気熱量（設備

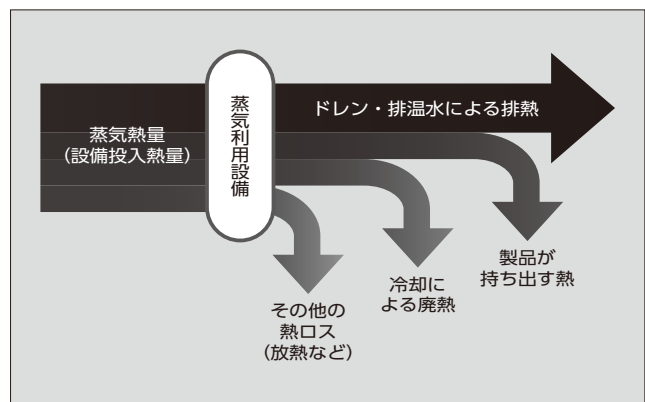


図 1 蒸気利用設備の熱収支関係

投入熱量) と、設備から出る排熱量の合計とが等しくなるという熱収支が成り立つ。しかし、同じ構造や仕様の設備であっても、設備に入る熱量 (= 設備から出る熱量) は、設備の状態や運転状態、生産の状態などのさまざまな要因によって変動する。

蒸気利用設備を省エネ化するために、単純に蒸気熱量を絞ってしまうと必要量が供給できなくなり、製品の品質に問題が発生してしまうことがある。そのため、正常な生産で生じる排熱量を低減させる施策によって当該設備の蒸気利用量を低減させる、あるいは排熱を回収し、他の生産工程で再利用することで工場全体としての蒸気利用量を低減する、などの方法が必要になる。

排熱量を低減させる施策の例を次に示す。

- (a) 設備のメンテナンスによる熱効率改善
- (b) 設備の部分更新や改造による熱効率改善
- (c) 設備管理者による設備の運用方式の改善によるムダな熱消費の抑制
- (d) 設備の自動制御プログラムの改造によるムダな熱消

費の防止

(e) 排熱の回収と有効利用

これらの施策を行うためには、蒸気利用量だけではなく、排熱量なども含めた熱収支を定量的に把握することが重要である。しかし、従来は蒸気利用設備単体の蒸気流量や排水流量などは計測していない場合が多く、また、対象設備を熟知した上で熱エネルギーの分析スキルが必要であることから、熱収支の定量的な把握が容易には実施できないという問題があった。

③ 熱収支分析システム

富士電機は、②章で述べた課題を解決するため、蒸気利用設備の熱収支を自動計算し、定量化できる熱収支分析システムを開発した。熱収支分析システムのシステム構成を次に示す(図2)。

(1) 熱 EMS-BOX 盤

現場の蒸気利用設備の近くに設置し、盤に取り付けた「MONITOUCH V9」を使ってデータを収集し、盤内の PLC (Programmable Logic Controller) を使って熱収支を計算する。また、熱 EMS-BOX 盤画面に各種の表示を行う。

(2) 熱ロス要因分析ソフトウェア

顧客の監視室や事務所などに設置した PC にインストールし、熱 EMS-BOX 盤にて収集・計算したデータを蓄積し、省エネのための各種分析を行う。

(3) クランプオン式蒸気用超音波流量計

配管を加工することなく、その周囲に取り付けて、蒸気利用設備入口における蒸気流量を計測する。

(4) ポータブル形超音波流量計

蒸気利用設備出口における排水の流量を計測する。

3.1 データ収集とリアルタイム熱収支計算

熱 EMS-BOX 盤では、盤に取り付けた MONITOUCH

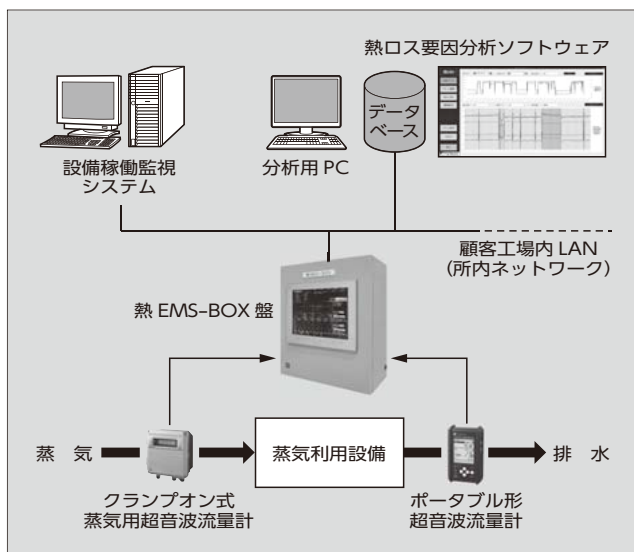


図2 熱収支分析システムのシステム構成

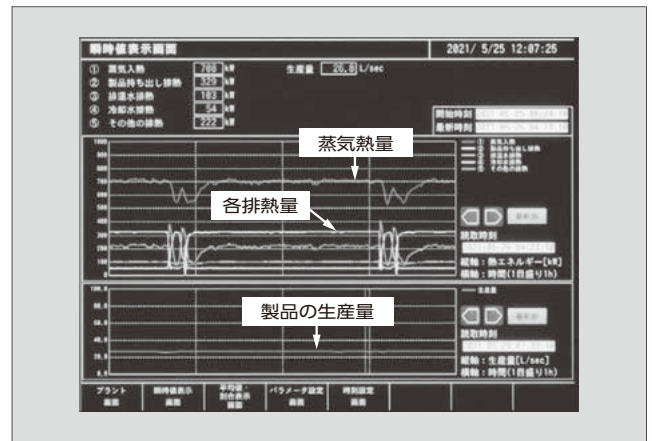


図3 リアルタイム熱収支トレンドグラフ画面

V9を使って、顧客の蒸気利用設備およびそれと関連する上流と下流の工程設備の稼働監視システムから運転データや生産データを収集する。なお、MONITOUCH V9は多数のメーカーのPLCとの通信に標準で対応しているため、顧客システムからリアルタイムで運転データや生産データを容易に収集できる。

蒸気利用設備の熱収支計算に必要なデータが不足する場合には、新たに計測器を設置して熱EMS-BOX盤内のPLCにデータを取り込む。設備入口の蒸気流量や設備から出る排水流量は、計測されていない場合が多い。このような場合は、富士電機のクランプオン式蒸気用超音波流量計やポータブル形超音波流量計を使用することにより、顧客の配管に加工を施すことなく計測できる。

収集したデータを用いて、熱EMS-BOX盤にてリアルタイム熱収支計算を行う。熱EMS-BOX盤内の熱収支演算プログラムは、蒸気や水の熱力学データをテーブルで保有している。蒸気や水の温度計測値に対応した比エンタルピーや密度などの値をテーブルから読み出し、熱収支を計算する。熱収支は1分間隔で計算し、熱EMS-BOX盤の画面にトレンドグラフとして表示する(図3)。

3.2 “いつもの熱収支状態”(熱効率正常状態)を過去データから自動抽出

熱エネルギーの使用実態の把握には、“いつもの熱収支状態”(熱収支が正常運転時の状態にあること)を把握しておくことが重要である。

熱EMS-BOX盤が計算した熱収支は、他の収集データとともに、熱ロス要因分析ソフトウェアをインストールしたPCの専用のデータベースに取り込まれる。熱収支は生産する製品の種類や運転中、停止中、待機中などの設備の運転条件によって変化するため、これらの条件に応じて、このデータベースからいつもの熱収支状態を抽出する必要がある。

いつもの熱収支状態を抽出する際には、いつもの熱収支状態抽出画面にて、製品の品種、運転モードおよび期間を指定する(図4)。例えば、製品A、運転中、昨年の夏季7~9月のように指定し、抽出する(図5)。対象期間を指

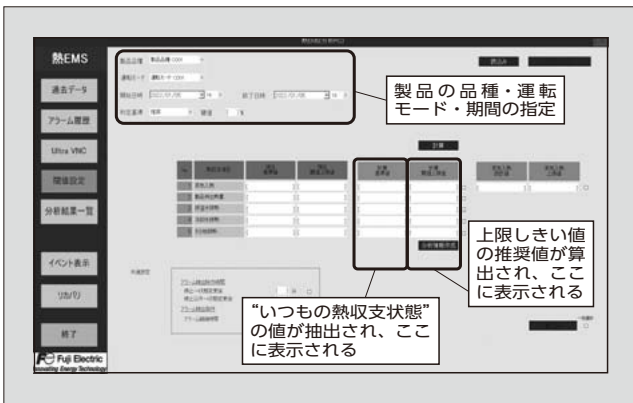


図4 “いつもの熱収支状態” および上限しきい値抽出画面

製品 A 夏季 7月～9月

1	蒸気入熱	〇〇 kw
2	製品持出し熱	〇〇 kw
3	排水排熱	〇〇 kw
4	冷却排熱	〇〇 kw
5	その他排熱	〇〇 kw

図5 “いつもの熱収支状態” 抽出イメージ

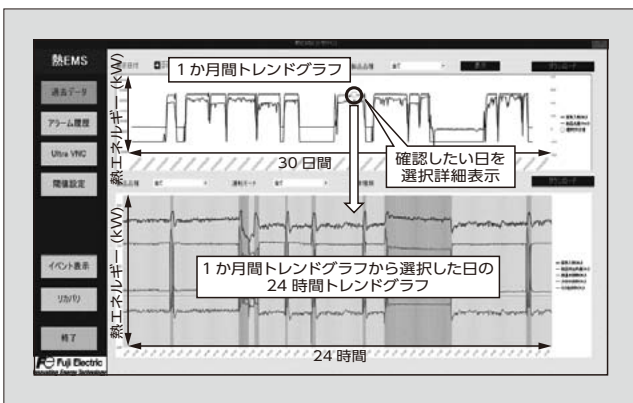


図6 過去データ検索画面

定する際には、過去データ検索画面で過去の熱収支トレンドグラフを検索し、表示する(図6)。この過去データ検索結果を参考に指定する期間を決定する。

いつもの熱収支状態抽出画面で設定した条件に合致するデータの中央値を、いつもの熱収支状態として抽出する。これにより、熱エネルギー効率の季節ごとの変動の把握や、1年前の同時期との比較などが可能である。

このいつもの熱収支状態の抽出機能により蒸気利用設備の現状の熱収支を定量的に把握できるため、2章で述べたような具体的省エネ対策の立案と対策の投資対効果の試算が可能となる。

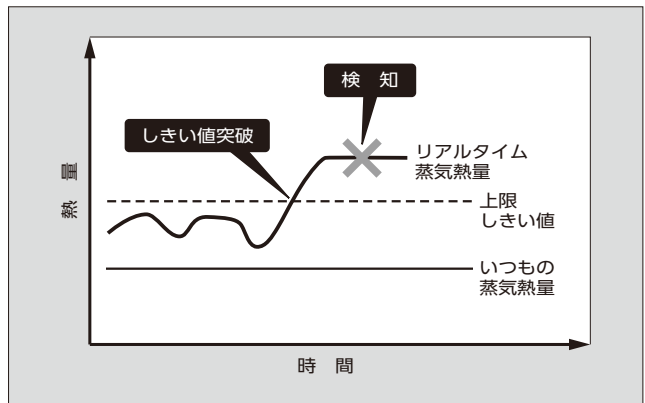


図7 熱蒸気量の計測による“いつもと違う熱収支状態”の検知

3.3 “いつもと違う熱収支状態”(熱効率悪化状態)を検知

いつもの熱収支状態の熱収支を熱EMS-BOX盤に転送し、熱EMS-BOX盤にて算出されるリアルタイムの熱収支と比較することにより、“いつもと違う熱収支状態”(熱効率悪化状態)を検知することができる。

図4に示すように、いつもと違う熱収支状態を検知するために必要となる上限しきい値の推奨値は、熱ロス要因分析ソフトウェアにより、3.2節で述べたいつもの熱収支状態の抽出と同時に自動算出される。その算出された推奨値、もしくは推奨値を参考にユーザーがカスタマイズした値を設定し、いつもの熱収支状態のデータとともに熱EMS-BOX盤に転送される。

リアルタイム熱収支計算によって求めた蒸気熱量および各排熱量のいずれかが上限しきい値を超過し、その状態が、ユーザーが設定した期間を越えて継続すると、いつもと違う熱収支状態に遷移したと判定する(図7)。いつもと違うと判定された状態の熱収支の計算結果や全収集データにフラグを付加してデータベースに取り込む。

3.4 AI技術による熱収支の変動・差異の要因分析

熱ロス要因分析ソフトウェアでは、富士電機のAI技術を応用し開発した、エネルギー効率の悪化要因を自動で診断するアナリティクスエンジンを使用し、3.3節で述べたいつもと違う熱収支状態、すなわち熱効率が悪化した状態に移行した要因を分析する。

熱ロス要因分析ソフトウェアは、分析対象とする蒸気利用設備のデータや、熱EMS-BOX盤にて収集した上流や下流の工程の関連する設備などの全てのデータを熱収支に影響を与える関連変数として扱う。

要因分析を行うために、熱効率正常状態のデータと熱効率悪化状態のデータとの差異を生じさせる因子を抽出する。そのために、図8に示すように、熱エネルギー効率正常または熱エネルギー効率悪化のラベルを付与したデータ群をアナリティクスエンジンに入力する。正常ラベルは3.2節で述べた熱効率正常状態のデータ群、悪化ラベルは3.3節で述べた熱効率悪化状態のデータ群に付与する。アナリティクスエンジンはラベル付きデータを教師データとして

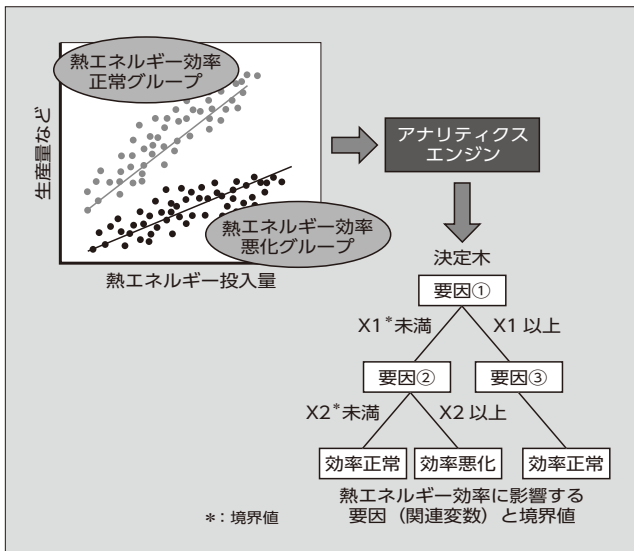


図8 AI 技術による熱効率悪化要因の関連データ抽出

学習し、ラベルを予測するモデルを自動生成する。この予測モデルから予測因子を抽出することで、各ラベルへの関連強度が大きい関連変数が分かる。また、決定木によりラベル予測の境界値も抽出できるので、どの関連変数がどの値となった場合に、熱効率に影響するのかを分析することができる。

さらに、関連強度が大きい順に関連変数を抽出する機能を設けることにより、従来人手による分析では実施困難であった熱効率悪化要因の絞り込みを自動で実施可能とした。

このようにして絞り込んだ関連変数が、それぞれ設備のどの場所で計測されたものであるか確認するなどの検討により熱効率悪化の真因を特定し、対策を講じることでムダな熱消費を抑制し蒸気利用量を削減できる。

4 AI 技術による熱収支変動要因分析機能の応用例

3.4 節で述べた AI 技術による熱収支の変動・差異の要因分析機能について、応用例と効果について述べる。

(1) 生産ロットごとの熱エネルギー原単位のばらつき要因の分析

単位生産量当たりのエネルギー消費量であるエネルギー原単位は、生産日や生産ロットによってばらつきが発生することがある。その要因は設備の運用方法の違いによることが多い。熱エネルギー原単位が多い生産ロットは、少ない生産ロットに比べて排熱が大きく熱収支に差異が生じる。その差異に関連が強い変数を関連強度順に抽出することにより、熱エネルギー原単位を悪化させる要因を把握し、省エネになるように設備の運用の改善に結び付ける。

熱エネルギー原単位を悪化させる要因が、対象とする設備の上流工程や下流工程の他の関連設備の運用状態の影響によるものである場合もある。熱ロス要因分析ソフトウェアには、関連する他設備の運転データもデータベースに取り込んで、他設備も含めた AI 分析が可能である。関連強度が大きいものに他設備のデータが多く含まれる場合は、

他設備の運用が要因である可能性が高い。

同様の AI 分析エンジンを搭載した最新の EMS パッケージソフトウェアである「Main GATE/PPA with DD」を導入した工場では、エネルギー原単位悪化の要因分析から、実際に運用改善による省エネの実績を挙げている⁽²⁾。

(2) 熱収支の変動要因分析による故障リスク回避

いつもの熱収支状態を基準にして設定したしきい値を超える変動があり、排熱が悪化した場合に、その要因を分析し対策することによりムダな熱消費を抑制できる。

いつもと違う熱収支状態に短期間で遷移した場合には、少量の蒸気漏れや水漏れや制御機器（スチームトラップ、バルブなど）に軽微な故障のように何らかの問題が発生している可能性が高い。これらを放置すると生産や品質に影響する異常に発展することがある。熱収支変動の分析から早期に発見し、対策することにより、設備全体の故障停止リスク回避につながる。

(3) 熱収支の経時変化の分析

設備の定期点検直後などの熱エネルギー効率が最も良いと考えられる期間の熱収支を基準に熱収支を監視することにより、蒸気利用量や排熱の経時的な増加などの長期的な熱収支の悪化を捉えることも可能である。

長期的な熱収支の変化を分析し、変化への関連が強い変数を関連強度順に抽出することにより、例えば、内部に汚れが蓄積して経時劣化が大きいと推定される熱交換器や配管系統を抽出することができる。経時劣化が大きい機器や配管が判明した場合には、早期にメンテナンスを行ってムダな熱消費の抑制や故障リスクの回避にもつながる。

(4) 設備異常発生時の真因調査への応用

蒸気を使用する生産設備は、複数の熱交換器や制御機器、多くの配管などで構成された複雑な構造である場合が多い。この設備から発出された異常アラームに対して発生原因を早期に明確化する必要があるが、そのためには、多くの人員を動員し、現地調査やデータ分析を行うなど、多くの工数が掛かる。

設備異常の発生前後で熱収支に差異が発生していれば、要因分析によって差異への関連が強い変数を関連強度順に抽出して、設備内部の異常の範囲や原因候補となる機器がある程度絞り込むことができる。

5 熱 EMS ソリューションとしての展開

熱収支分析システムにより得られたデータベースやエネルギー分析結果を用いることにより、大幅な省エネおよび CO₂ 排出量の削減を達成できる設備の導入につながる事ができる。

富士電機の蒸気発生ヒートポンプのような排熱回収型ヒートポンプや熱交換器などを用いた排熱回収システムを構築する場合、熱収支分析システムを活用することにより、導入に先立って精度の高い投資対効果を計算することができる。

また、データの蓄積と省エネに向けた分析を継続するこ

とにより、蒸気利用設備やそれと連携する排熱利用設備の運用と制御の最適化や自動化にもつながる。

このような取組みを工場全体に拡張することにより、エネルギー供給設備・生産設備および排熱利用などの省エネを目的とした設備が連携したトータルでの省エネソリューションに発展させることも可能である。

6 あとがき

AI 技術適用により蒸気利用設備の CO₂ 排出量削減に貢献する熱 EMS ソリューションについて述べた。

工場における生産設備のエネルギー効率改善は、これまではその多くを人手に頼ってきたが、IoT 技術や AI 技術を活用した DX により、自動化および効率化を行うことができる余地が大きい。

産業分野における CO₂ 排出量削減のニーズは国内だけでなく海外においても非常に高まってきている。今後も、CO₂ 排出量の削減に貢献する技術開発や製品開発に取り組み、富士電機の DX の推進に貢献していく所存である。

参考文献

- (1) 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略. 経済産業省. 2021-06.
- (2) 竜田尚登ほか. 国際規格に準拠したエネルギー運用効率の改善—アナリティクス・AIを活用したEMSアドオン機能—. 富士電機技報. 2018, vol.91, no.3, p.130-134.



山口 貴久

データセンター用空調システムや産業用ヒートポンプの開発に従事。現在、富士電機株式会社パワーエレクトロニクス事業本部情報ソリューション事業部情報制御システム第一部主任。



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・開発に従事。現在、富士電機株式会社パワーエレクトロニクス事業本部情報ソリューション事業部情報制御システム第一部主査。エネルギー管理士。





*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。