

エネルギー利用の安定化のためのICT利活用 —見える化で工場全体を総合的に最適化—

三菱電機株式会社 福山製作所 配制・省エネソリューション課

ほかはら 外原
はるたか 晴隆



1. はじめに

世界的にも地球温暖化対策への関心が高まっており、各国で2050年カーボンニュートラルを目指す動きが相次いでいる。日本も、2020年10月に、2050年カーボンニュートラルの実現を目指すことを宣言。2050年目標と中期的な目標として、2030年度に、温室効果ガスを2013年度から46%削減することを目指し、更に50%の高みに向けて挑戦することを表明した。また、日本の一次エネルギー供給状況として約9割を石油・石炭・天然ガス等の化石燃料が占めており（2020年時点）、原材料である鉱物資源についても、その供給のほとんどを海外に頼っている（経済産業省 資源エネルギー庁 エネルギー白書2022より）。カーボンニュートラルの実現やエネルギー利用の安定化のために、今後もより一層の省エネ推進が必要であり、また昨今においては、従来からのエネルギー使用合理化のみならず、電力需給バランスを意識したエネルギー管理や、IoT（モノのインターネット化）も活用したエネルギー管理システム（FEMS）による更なる省エネの推進が必要不可欠である。

福山製作所では、FEMSとして、一部e-F@ctory（当社IoT技術）の概念も盛り込んだシステムを展開し、工場のエネルギー管理を実践している。本稿では、福山製作所が取り組んできたFEMSを活用した工場全体を総合的に最適化した省エネの取り組みについて紹介する。

2. 三菱FA統合ソリューション e-F@ctory

三菱FA統合ソリューション e-F@ctoryとは、FA技術とIT技術の連携によりセンシングしたデータの見える化を実現し、PDCAサイクルを回転させることでTCO（Total Cost of Ownership）の削減を実現する三菱FA統合ソリューションである。福山製作所では、特に省エネや生産性向上でe-F@ctoryの活用を行っている（図1）。

アーキテクチャとして、大きく3つの構造（生産現場・ITシステム・それらを連携する中間層）に分けている。

生産現場の層では、生産設備の頭脳となるシーケンサや各種デバイス、センサなどのFA（Factory Automation）製品はFAネットワークにより接続され、様々なデータを「リアルタイム」に収集される。そのデータをITシステムに「シ-

ムレス」に連携し分析し、そこで得られた結果を生産現場に活用するために「フィードバック」させる。ただし、生産現場で得られたデータは特殊なノウハウや状況などの因果関係が含まれるため、ITシステムにダイレクトに送っても理解できず、十分な解析は不可能である。そこで、データに因果関係を関連付けし、情報化するための一次処理「エッジコンピューティング」が必要である。FA-IT間の中間層はシームレスな連携だけでなく、システム全体の最適化の役割を担っており、この中間層がe-F@ctoryの大きな特長の一つである。



図1. e-F@ctory概念図

3. 福山製作所の省エネの取り組み

3.1 省エネ活動の背景

従来より「エネルギーの使用の合理化等に関する法律」（省エネ法）を順守するため、省エネ活動を推進している中、昨今、地球規模の環境課題の解決に向け、更に長期的な取り組みを継続していくことが企業に求められている。当社も環境貢献を重要な経営課題と位置付け、環境課題の解決に率先して取り組むために「環境ビジョン2050」を策定した。

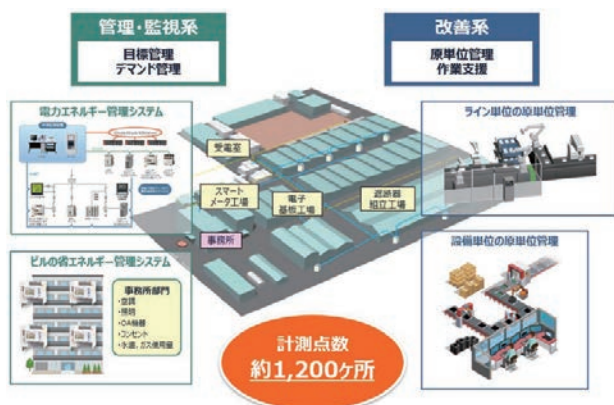
この中で脱炭素社会の実現に向けた国際的な流れを尊重し、設計・開発から原材料の調達、製造、販売、流通、使用、廃棄に至るまで、バリューチェーン全体で温室効果

ガス排出の削減を推進し、2050年のCO₂排出量実質ゼロを目指す。福山製作所では目標の実現に向けて、老朽化設備を高効率機器に更新したり、太陽光発電等の再生可能エネルギーの利用、FEMSを活用して、生産活動におけるエネルギーロスを発見して改善を行うEM（エネルギーロスミニマム）活動を実施して省エネを推進している。

3.2 省エネの概要

福山製作所では、生産設備分野での制御技術と受配電分野で培ってきた計測技術を活用することにより、生産性向上と省エネの両立を目指している。

生産品目は、配線用遮断器・計器・スマートメータ・UPS・省エネ支援機器であり、省エネ支援機器を製作所内の各所に設置、見える化を行い省エネ活動で活用している（図2）。



■図2. 福山製作所のエネルギー管理システム全体図

省エネ活動としては、計測したエネルギー使用量を活用し、目標値を設定して管理を行う目標管理（デマンド管理）と生産ラインでは、省エネモデルラインを構築して、ラインのエネルギー使用量の計測及び生産数の収集を行い、これに関連付けした指標である原単位で管理を行っている。また、遮断器自動組立ラインでは個別の設備ごとにエネルギー使用量の計測と生産数の収集及び製品の品質データやエラーデータ、結果データなど生産にまつわるデータの関連付けを行い、原単位管理を実践。原単位管理による省エネの進め方は、エネルギーを「計測する」・「見える化する」・「削減する」・「管理する」の4つのステップで行っている。エネルギーを「計測する」ときには、単に生産現場のエネルギー使用量を収集するだけでなく、生産数などの生産情報と関連付けてデータ収集することが重要である。

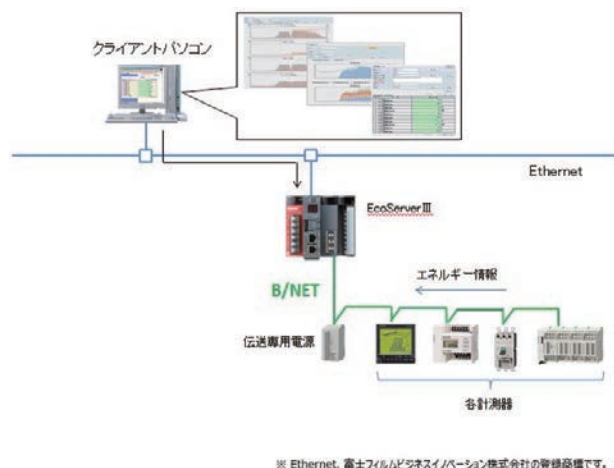
「見える化する」ステップでは、計測したエネルギー情報と生産情報をIT技術により「見える化」を行い、そのデータを分析し、エネルギーロスになっているポイントを発見し、「削減する」のステップにつなげるのが重要である。「削減する」ためには、省エネ対策機器であるインバータや高効率モータなどの駆動製品群を活用したり、設備の待機中などのアイドル運転の停止や設備の立上げ、立下げの適正化を図る運用改善が挙げられる。

「管理する」ステップにおいて、リアルタイムにラインや設備のエネルギー使用量や生産原単位の監視を行い、実績値が目標値を超過しないように管理を行うことが重要である。エネルギーを「計測する」・「見える化する」・「削減する」・「管理する」の4つのステップを継続的にPDCAサイクルで回転させることにより改善を図り、生産性向上と省エネを同時に実現することを可能としている。

最近では、当社のAI技術「Maisart（マイサート）」を搭載した「省エネ分析・診断アプリケーションEcoAdviser」を活用して変成器生産ラインで計測収集した電力量と生産数のデータから、省エネ重点5視点（①設備立上時間ロス②設備立下時間ロス③ユーティリティ時間ロス④原単位⑤生産ロス時間割合）に着目し、エネルギーロスの気付きを自動抽出。そこから得られた気付きから省エネ改善につなげている。

3.3 目標管理（デマンド管理）による省エネ

福山製作所ではISO14001「環境マネジメントシステム」を1997年認証取得し、そこから省エネ活動をスタートしている。ISO14001の組織体制を活用して、部門ごとに電気使用量の目標管理を行い、実績値が目標値をオーバーしな

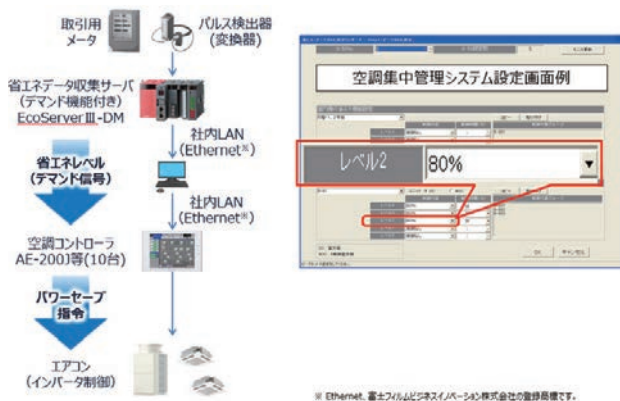


※ Ethernet、富士フイルムビジネスイノベーション株式会社の登録商標です。

■図3. エネルギー管理システム

ように管理を行っている。各所の電気使用量は、各計測器で計測を行い、これらの計測情報をB/NET伝送（配電制御機器フィールドネットワーク）で省エネデータ収集サーバEcoServerⅢへ伝送し、データ収集を行っている。省エネデータ収集サーバEcoServerⅢのWebサーバ機能により、構内LANに接続し、Webサーバ上でこれらの収集したデータを公開。従業員がエネルギーの使用状況を把握できる環境を構築している（図3）。

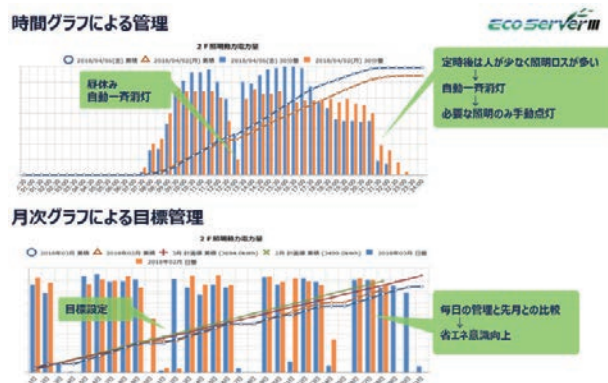
受電デマンド管理については、電力会社の取引用電力量計から供給されるパルスを使用して、そのパルス数を省エネデータ収集サーバEcoServerⅢデマンド監視機能付品に取り込んでデマンド監視を行っている。デマンドが省エネレベルになると空調集中コントローラAE-200Jへ省エネレベル（デマンド信号）を送り、そこから工場や事務所に設置しているインバータ式エアコンへパワーセーブ運転の信号を送り、自動的に省エネ運転を図っている（図4）。



■ 図4. 省エネレベルに応じたエアコン省エネ制御

総務・営業・設計スタッフが就業している5階建てのオフィスビル（総合管理棟）では、各フロアの空調・照明・OA・コンセント回路の電気使用量の計測を行っている。これらの計測情報を省エネデータ収集サーバEcoServerⅢで収集し、Webで確認できるようにして計測データを基に目標管理を行っている。省エネ対策は、照明と空調の対策を行っており、照明については始業前や昼休み時の消灯を行っている。空調については、スケジュール管理（始業前、終業後の運転停止等）や温度管理（冷房28℃、暖房20℃）の徹底を図っている。

対策運用の順守状況は、省エネデータ収集サーバEcoServerⅢで収集している計測データで確認を行い、後戻りしないようにしている（図5）。



■ 図5. オフィスビルのエネルギー管理

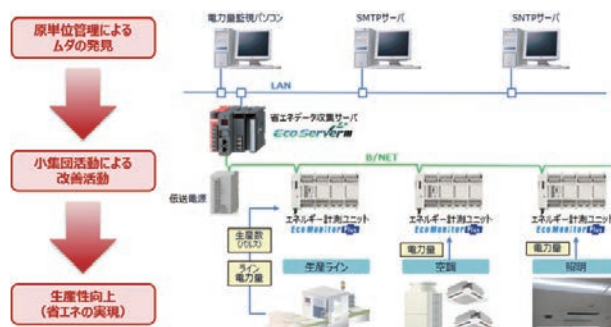
3.4 原単位管理による省エネ

生産ラインのエネルギー使用量は生産量に比例して増加していく。エネルギー使用量のみの管理では、効率的にエネルギーを使用できているのかの管理が不十分であり、生産情報と比較しながらエネルギー使用量の推移を管理する必要がある。福山製作所では、生産数とエネルギー使用量を紐付けし、原単位管理を実践している。原単位管理を行うに当たり、エネルギー消費の大きいラインや改善を行った後に横展開が期待できるライン、生産の品種替え等で生産量の変動が大きいライン等、改善を行った際に効果が見込めそうなラインをターゲットに省エネモデルラインを構築している。

省エネモデルラインの一つである電子モジュール工場プリント基板製造ラインの事例を紹介する。

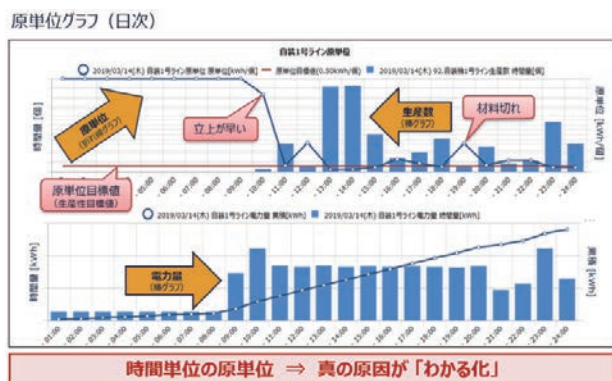
当ラインでは省エネデータ収集サーバEcoServerⅢを導入し、生産ラインの配電盤に計測器を設置してライン全体の電気使用量の計測と生産ラインにはセンサを設置して、生産数を収集し、原単位の見える化を図っている（図6）。

ラインの電気使用量と生産数を関連付けして、製品1個を生産するために消費した電気使用量「kWh/個」を指標として、原単位管理を行っている。生産現場で行っている改



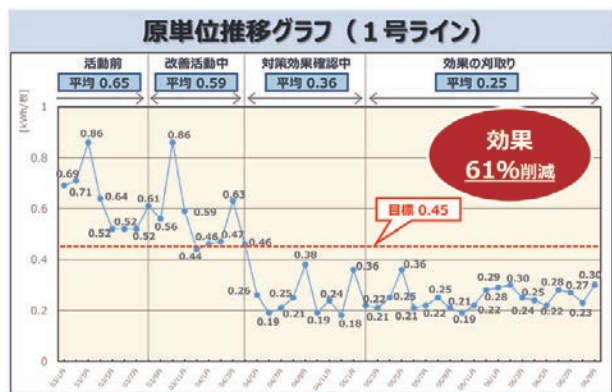
■ 図6. 電子モジュール工場 エネルギー管理システム

善活動である小集団活動の中で、原単位の時間変動をチェックして原単位が目標値を超えたときのポイントの悪化要因を分析して原単位の改善ポイントを発見する活動を実施している。原単位が目標値を超えたポイントには改善アイテムが潜んでおり、小集団活動で改善を行った(図7)。



■図7. 原単位グラフによる分析例

原単位の改善には、エネルギー使用量削減とともに生産性の改善・向上が有効であり、生産現場の改善活動と結び付けて推進することで、製造ラインの効率化が実現できる。発見された改善ポイントに対策する改善活動を積み重ねることで、原単位が小集団活動前に対して61%の削減効果を得た(図8)。



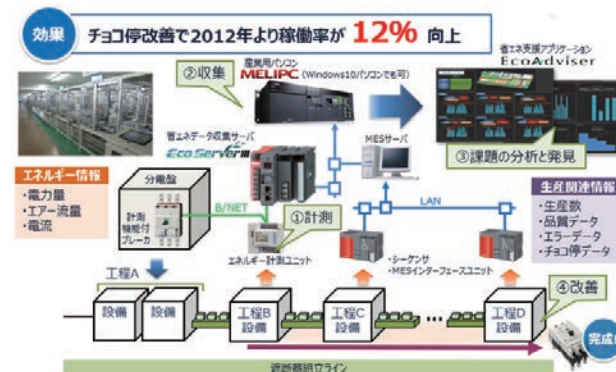
■図8. 原単位管理による改善効果

また、製造設備ごとのエネルギーと生産情報の見える化システムを構築することで、より詳細な原単位の改善、生産性の向上を図ることができ、エネルギーの最適利用を実現することができた。

前述した事例では、生産ライン単位で原単位管理を実施し、小集団活動の中で原単位悪化要因・改善策の洗い出しを行ってきたが、ラインごとの原単位管理では、おま

かにしか生産情報とエネルギー情報が存在しなかったため、原単位悪化要因の分析に膨大な時間と労力を要している。また、ラインのどの設備が原単位を悪く(増加)しているのか把握しづらい。そこで2010年、遮断器の自動組立てライン更新時には、ラインを構成する設備ごとに原単位管理を導入することで、原単位悪化要因となっている設備を即座に把握するとともに、設備の制御で使用しているシーケンサから生産・品質・設備エラー(チョコ停)情報の収集を行い、原単位データと突き合わせることで、効果的な原単位悪化の要因分析を可能としている。

本システムの特長としては、生産ラインを構成している設備ごとにエネルギー計測及び生産情報の計測を行い、エネルギー使用量については省エネデータ収集サーバEcoServerⅢ経由で、生産情報についてはシーケンサ経由で、各々、MELIPC(当社産業用PC)にインストールされた省エネ支援アプリケーションEcoAdviserでデータ収集・統合を図っている。



■図9. 遮断器自動組立ラインのエネルギー・生産情報収集システム

収集したデータについては、大型モニターにエネルギー情報と生産情報をダッシュボード化し、生産現場へ展開。生産現場スタッフへ情報共有を図っている。

生産性を管理するため、工程別の直行率ランキングや各工程ごとのOK/NG数の表示を行い、容易にボトルネック工程を抽出することが可能となる。また設備エラー回数・サイクルタイムも管理を行い、改善すべき工程の気付きから改善アクションへつなぐことが容易となる。日々の改善活動の結果、エネルギー原単位(kW/個)を約30%減(2012年度比)することができた。

最近の取組みとして、変成器生産ラインでは当社のAI技術Maisart(マイサート)を搭載した省エネ分析・診断アプリケーションEcoAdviserを活用して、生産ラインの設備ご



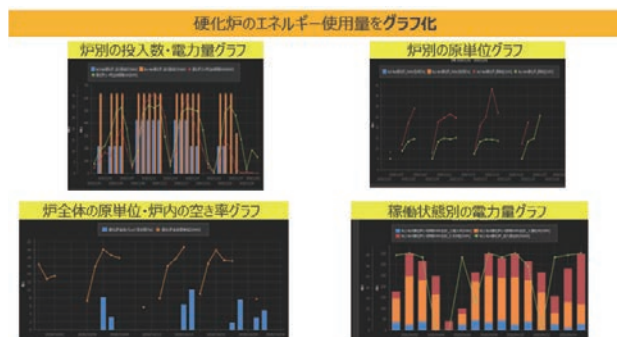
■図10. 遮断器自動組立ライン ダッシュボード

ごとの電気使用量と生産数の計測収集を行い、エネルギーロス自動診断を行い、そこから得られた気づきから改善につなげている。



■図11. 変成器生産ライン エネルギー管理システム

まず、ライン内の予熱炉、注型装置、硬化炉から、電気使用量が多い硬化炉をターゲットに選定。改善のステップとして、省エネ分析・診断アプリケーションEcoAdviserのグラフ機能を用いて、様々なグラフ①炉別の投入数・電力量②炉別の原単位③炉全体の原単位・炉内の空き率④稼働状態別の電力量）から炉の電気使用量を把握。

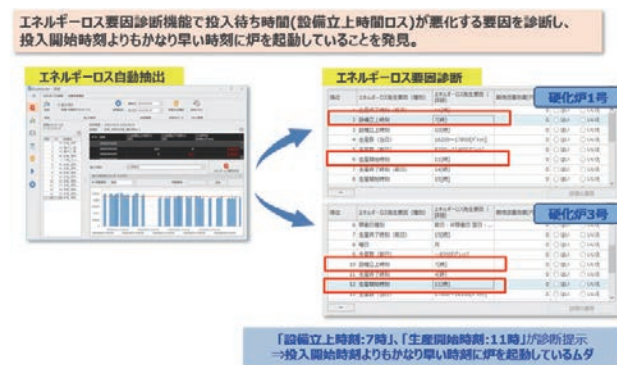


■図12. 硬化炉の各グラフ

グラフから得られた情報を分析し、①号機により炉内効率（空き率大）が悪い炉、②ワークの投入待ちによる電力ロスを発見し、改善につなげることができた。そこから更

に省エネ分析・診断アプリケーションEcoAdviserの省エネ重点5視点（①設備立上時間ロス、②設備立下時間ロス、③ユーティリティ時間ロス、④原単位、⑤生産ロス時間割合）に着目したエネルギーロス自動診断機能を活用して、硬化炉の電力量と生産数からエネルギーロスの気づきを自動抽出。エネルギーロスの多い「設備立上時間ロス」、「原単位」に着目し、現状把握を進めた。

「設備立上時間ロス」に対しては、生産開始時刻より硬化炉の立上時刻が早いことが分かり、対策として生産開始に合わせて硬化炉の立上げを行うようにした。「原単位」については複数台ある硬化炉の中で特定の硬化炉で原単位が定常的に約3倍高いことが分かった。現場硬化炉の確認を行ったところ製品投入扉から熱風漏れがあることが分かり改善を行った。結果、年間約50t-CO₂の削減につなげることができた。



■図13. エネルギーロス診断画面

4. おわりに

本稿では、工場全体のエネルギー使用を総合的に最適化するためにFEMSを活用し「ユーティリティ系」・「生産系」のエネルギー使用量の削減に取り組んだ事例を中心に紹介した。引き続き2050年カーボンニュートラルの目標達成に向け、取り組んでいく所存である。