

スマートファクトリーオートメーション専門委員会

(FAOP-SFA 委員会)

成果報告書

平成28年3月

FAオープン推進協議会

一般財団法人 製造科学技術センター

目次

1. 事業概要	1
1.1 目的	1
1.2 運営体制	2
1.2.1 委員名簿	2
1.3 専門委員会の活動内容	4
1.3.1 スタート当初の活動	4
1.3.2 委員会開催状況	9
1.3.3 講演会	10
1.3.4 展示会	13
1.3.5 見学会	16
2. はじめに	19
2.1 序論	19
2.1.1 FAの変遷	19
2.1.2 インターネット導入によるFAの変革	20
2.1.3 エネルギーを巡るFAパラダイムの変化	21
2.1.4 FAの目指す持続可能な生産システム	22
2.2 サステナブル生産に向けたスマートファクトリーオートメーション(SFA) 構想	23
2.2.1 はじめに	23
2.2.2 SFA持続可能なものづくりを支援するFAの実現に向けて	24
2.2.3 FEMS導入の現状例	25
2.2.4 FAシステムにおける生産およびエネルギー管理	26
2.2.5 クラウドベース生産・エネルギー管理	27
2.2.6 まとめ	30
3. FEMSの最前線	31
3.1 はじめに	31
3.2 従来の省エネとエネルギー管理	31
3.3 生産性と品質向上による省エネ	31
3.4 生産現場のエネルギー消費の最適化を支援するe-F@ctory	32
3.5 原単位管理による無駄エネルギーと要因の発見	33
3.6 チョコ停改善による省エネ	34
3.7 サイクルタイム改善による生産性向上と省エネ	34
3.8 まとめ	36
4. FEMSからスマートCEMSへ	37

4. 1	工場エネルギーマネジメントの現状と課題	37
4. 2	富士電機が目指す FEMS コンセプトについて	38
4. 3	FEMS 機能概要／導入 STEP 及び プラットフォーム	39
4. 4	富士電機の進める「工場スマート化」の取り組み及び実証事業	43
5.	エネルギー自立への SFA	48
5. 1	はじめに	48
5. 2	工場に求められる持続可能性	48
5. 3	様々なエネルギー源の活用	48
5. 4	ファクトリでのエネルギー運用	51
5. 5	エネルギーの自立によるファクトリの持続可能性	54
6.	SFA への面的アプローチ	55
6. 1	はじめに	55
6. 2	事業概要	55
6. 3	実際の FEMS 設置例	59
6. 4	おわりに	61
7.	SFA と分散型エネルギー	62
7. 1	はじめに	62
7. 2	複数の発電・蓄電設備のネットワーク化によるエネルギー最適制御	64
7. 3	エネルギー供給機器の最適化によるエネルギー利用効率の向上	67
7. 4	エネルギー見える化システム “K-SMILE”	71
7. 5	まとめ	72
8.	見える化によるエネルギー削減	73
8. 1	はじめに	73
8. 2	電力量「見える化」の取り組み	73
8. 3	拾う省エネの取り組み	76
8. 4	SFA へのステップアップ	77
9.	中小企業における FEMS とその課題	78
9. 1	はじめに	78
9. 2	弊社の FEMS 事業の基本的取り組み	78
9. 3	エネルギーの見える化ツールを活用したエネルギー高効率化事例	79
9. 4	考察	83
10.	FEMS から SFA へ	84
11.	終わりに	85

1. 事業概要

1. 1 目的

日本の産業界は、軽、薄、短、小で、高性能かつ高品質な製品を開発・製造し世界をリードして来た。近年はさらに「地球温暖化抑制の意識」の高まりと共に「CO2 排出量少なさ」でも世界的な評価を得、リーダーシップを取るに至っている。しかしながら、3・11 の東日本大災害により状況は一変し、世界の先頭を走る省エネルギー製品をもってしても電力不足が推測されているのが現状である。省エネルギー意識が非常に高まり、日本国民の総意として省エネルギー活動が実践されつつあるが、電力不足不安を解消するには至っていない。電力不足を解消し安定的に電力を得るためには、生活の便利さの後退や生産・製造量の抑制、あるいは CO2 排出増による発電量の増加を余儀なる等が想定される。

こうした問題に対処するため、様々な技術開発が進められるとともにライフスタイルそのものの見直しも活発に議論がなされているが、まだ緒についたばかりと言える。

このような状況の一打開策として、社会・地域においては、エネルギーをもっと効率的に使用する社会活動「スマートコミュニティ」や地域全体で効率的かつ安定した電力を発電・供給する「スマートグリッド」、賢いエネルギー利用を目指す住宅「スマートハウス」などの技術開発が、それぞれ連携した形で進んでいる。この結果、社会・地域の構成要素でありその一員である工場にも、自身の省エネルギーだけではなく、スマートコミュニティやスマートグリッドと連携し社会・地域の安定的電力供給と省エネルギーへ協力することが求められている。

日本の工場には世界に先駆けエネルギー消費の少ない設備やエネルギー監視装置が多く導入されている。しかしながらそれらの仕様、特に他の設備や機器と接続・関係するための通信（ネットワーク）の統一化は遅々として進んでいない。この統一化の遅れ（仕様の違い等による）がファクトリーオートメーションの設計やスマートコミュニティやスマートグリッドとの接続・関係を煩雑にし、またそれらを実行するコンピュータ処理を肥大化させていると言える。

今、国内産業が直面している未曾有の危機を乗り越え国際的な主導権を維持するためには、ファクトリーオートメーション関連・通信関連・建設関連・サービスなどの企業、大学などの研究機関、行政機関が集結し、ファクトリーオートメーション内だけでなく公共施設・交通・住宅でも使用可能な共通的な通信（ネットワーク）仕様の確立と、工場内の消費エネルギー効率を最大限としつつ社会・地域の省エネルギー活動を助力するシステム（スマートファクトリーオートメーション）の早期確立が必要と考えられる。以上のことから、本委員会は以下の活動目的を持って進めていくこととする。

- (1) 工場内/地域内/広域でのエネルギー消費/生成の最適化
(分散/抑制/電力負荷平準化)
- (2) 工場の省エネルギーと ICT 化の推進による生産コストの削減
- (3) 工場（企業）の地域/社会への貢献度向上

1. 2 運営体制

1. 2. 1 委員名簿

(1) 委員会

委員長

※ 柿崎 隆夫 日本大学

幹事

※ 吉本 康浩 三菱電機株式会社

委員

岩田 一明 大阪大学・FA オープン推進協議会会長

松田 三知子 神奈川工科大学

谷岡 雄一 一般財団法人製造科学技術センター

※ 大山 俊雄 清水建設株式会社

久保田 益史 オムロン株式会社

※ 竜田 尚登 富士電機株式会社

※ 祖田 龍一 株式会社安川電機

久恒 正希 株式会社安川電機

平林 和也 株式会社安川電機

※ 本多 文博 川崎重工業株式会社

山本 裕治 清水建設株式会社

事務局

町田 泰亮 一般財団法人製造科学技術センター

※ 報告書の執筆者

(2) ワーキンググループ (情報会員も含む)

主査

谷岡 雄一 一般財団法人製造科学技術センター

吉本 康浩 三菱電機株式会社

委員

柿崎 隆夫 委員会委員長

岩田 一明 大阪大学・FA オープン推進協議会会長

松田 三知子 神奈川工科大学

阿部 純 大崎電気工業株式会社

石橋 正和 村田機械株式会社

※ 島田 博之 高津伝動精機株式会社

※ 植田 憲介 高津伝動精機株式会社

※ 江口 一海 株式会社イーエムイニシアティブ (元：高津伝動精機株式会社)

大山 俊雄 清水建設株式会社

※ 小勝 俊亘 日本電気株式会社

久保田 益史 オムロン株式会社

竜田 尚登 富士電機株式会社

久恒 正希 株式会社安川電機

平林 和也 株式会社安川電機

本多 文博 川崎重工業株式会社
山本 裕治 清水建設株式会社
事務局
町田 泰亮
※ 報告書の執筆者

1. 3 専門委員会の活動内容

1. 3. 1 スタート当初の活動

平成 23 年 2011 年 09 月 20 日、FA オープン推進協議会は、運営委員会の審議を経て新専門委員会「スマートファクトリーオートメーション (SFA) 専門委員会」を設立した。東日本震災からわずか半年、原発事故による計画停電という事態もあったことから、FA における生産活動とそのための重要な資源でもあるエネルギーの利用を統合して、次世代の FA を考えるというコンセプトは大きな注目を浴びた。このこともあって、同門委員会 (SFA) の記事が日刊工業新聞一面に大きく掲載された。同年 12 月 12 日には、第 1 回スマートファクトリーオートメーション (SFA) セミナを機械振興会館にて開催、多くの参加者によって成功裏に終了した。

年明け、平成 24 年 2 月 20 日には第 1 回 SFA 専門委員会を開催し、今後のおおまかな方針案を決定した。主な研究テーマと進め方は以下の通りである。

まず 1) 工場内機器・設備などのエネルギー活用効率の最大化を図るネットワーク IF 仕様については、特にエネルギー消費・生成の評価単位に着目していくこと、2) 従来のデバイスレベルではなくむしろ SLCA などのシステムレベル評価を主に考えていくこととした。

また、効率の良い委員会活動とするため、以下のような WG 構成を取ることにした。

1) WG1 は、機器・設備レベルでの EMS モニタリング、エネルギー収支最適化評価指標、エネルギー供給、蓄エネおよび負荷としてのユーティリティ、FA 設備機器による負荷などを考慮した EM 共通評価指標などを研究調査する。さらに工場外のスマートグリッドやクラウドサービスと連携する通信ネットワーク仕様、経営サービス志向に関しては FGW 導入による ERP 等 SFA サービスクラスと SLA、クラウド志向に関しては XEMS 共通なクラウド連携ネットワーク IF などを対象とする。2) WG2 ではアプリケーションレベルでの EM を中心に、ERP との連携およびクラウドでの処理を前提としたインタフェースの規定など、生産管理と連携したエネルギー平準化に関する EM などを対象とする。なお、3) WG 共通テーマとしては、FA 機器・設備ベンダ、およびクラウドベンダ、さらにインフラ事業者での連携を前提とした、インタフェース標準化に関する調査、検討、提案作業 (TC2, SC22G, TC65, M2M-Cloud, inter-cloud の IF については別途)、現場からクライドまでの統合パフォーマンスのシームレスな評価手法および最適化手法の調査、評価、提案などが議論となった。

ロードマップについては、1) 現状把握と課題の抽出、2) 先進企業による FEMS 取組みの例、主要産業分野、中小工場における EMS の実態調査などを通じての SFA に向けた課題の抽出、3) システム事業者、インフラ事業者との情報交換を通じて SFA に関連する課題を抽出する、4) インタフェース参照モデルの提案、FA-GW からの上位層への FEMS インタフェース仕様、システムから FEMS クラウドへのインタフェース仕様、それに基づく参照モデルの提案などが議論となった。

このほか WG1,2 および合同での実証実験による提案検証があげられ、具体的には 1) V1: サブシステムによる検証として、部分参照モデル (WG1, WG2) によるベンチマーク実験、委員各社が機器、サブシステム持ち寄りでの実験を想定。2) V2: 実工場での検証、検証現場は SFA 参加企業とする (国内、国外)、3) 国際標準化への提案などが議論となった。

平成 24 年度の主なマイルストーン案としては以下があげられた。1) SFA ビジョン第一版リリース (4 月)、2) スマートグリッド展への参加: デバイスからクラウドへのアプローチ (5 月)、3) SFA 実証実験モデルの検討開始 (6 月)、4) JEMA ほか他団体との連携検討 (9 月)

同年 3 月 19 日 第 2 回 SFA 専門委員会 (合同 WG) では以下のような議論があった。1) SFA の方向として、FA の 3 層モデルからクラウドの単純な垂直統合は現実的とは言えない。2)

SFA の果たす機能はあくまで MES ベースとして、MES の機能定義に環境・エネルギーを導入していくのがよい。3) MES からクラウドへ上がるデータは様々であるが、メッセージ部を重視した形でのフォーマット統一は図る。4) “制御”と“モニタリング”それぞれのデータハンドリング周期は原則異なることに注意すべき。5) SFA の連携する SFA クラウドとは、まずは MES クラウド（仮称）とする。6) MES と ERP の連携は、対向するクラウド間の連携により実現するモデルとする。7) SFA については対象サービスではなく、まずはねらうべき効果を明確にする。

スマートグリッド展における講演については以下の議論がなされた。

- 1) タイトル案として「SFA、スマートファクトリーオートメーションは何を目指すか」
- 2) 省エネを徹底しつくした感がある我が国製造業だが、エネルギー覇権をめぐる製造コスト高騰、世界的な安全安心希求による環境影響の低減要請などから、事業サステナビリティを意図した) をさらなるエネルギー重視型経営が必須。
- 3) 大企業では省エネ型機械やシステムによる見える化など一通りの設備投資はなされ一定の成果を得ている。一方で、東日本大震災、タイにおける大洪水、そして急激な円高やエネルギー価格の向上などにより、BCP 的ないしはリアルタイム経営という意味では必ずしも十分な体制でないことも露呈。こうした厳しい経営環境におけるものづくりにおいては、従来型の「見える化」や「生産管理」だけでは不十分で、「データ活用に依存しない柔軟なフォーマット規定」、「情報の高分解能化」、「ビッグデータのハンドリング」、[クラウド機能の活用]、さらには「ストレス耐性」などを組み込んだ新しい仕組みが必要となる。

講演に際し、キーワードおよび関連事項について確認が議論された。

- 1) 今後のものづくりを取り巻く環境、誰の言葉が本当かを吟味する必要がある、2) ものづくりにおける生産・環境・エネルギーの現状を各社は見えているのか、3) 近い将来、取り巻く環境、条件の劇的な変動が来るはず。それを見通しているか、4) デバイス、バッテリー、システム連携、系統連携の見直しはあるはず、5) 海外ベンダの囲い込みと同じ手法では必ず早晚後手に回る、6) 際標準化動向はきっちり見ていく必要があるが、同時に攻め方も考えていかないとならない、7) 生産管理とエネルギー管理連携、見本はない。我が国が作る気概が必要である、8) 製造と経営とをつなぐ緩いクラウド連携の可能性を考える必要がある。9) クラウド化による新たな改善と BCP 強化、これは一石二鳥なのか、10) SFA ゲートウェイとクラウドインタフェースとはどんなものか、早めに例示してほしい、11) クラウド側の課題と今後の見通し。うまい言葉だけで信用するなというのが業界の見方である、12) 実験モデルの提案と実証試験。生きた工場での試験に挑戦すべきである、13) 現状打破には SFA に「ストレステスト」が必要なのではないか。必要であるが方法はこれから。14) SFA の目指すものは新しいスタイルによる持続可能な日本？ 世界発のクラウド直結型 FA なのか。その具体例はどんなものか。

【H24 年度の活動概要】

前年の 9 月には、日本機械学会年次大会において、「サステナブル生産に向けたスマートファクトリーオートメーション構想」として講演し、続く 12 月には芝の機械振興会館にて FAOP 主催でスマートファクトリーオートメーション (SFA) セミナを開催し、企業を中心に 100 名近くの参加者があり関心の高さを示していた。H24 年度は上記に引き続き、5 月に東京ビッグサイトで開催された生産革新セミナーにおいて「スマートファクトリーオートメーションは何を目指すか」と題して講演を行った。

委員会では、このほか「MES ソリューション MES の現状と本格的 FEMS への期待：クラウドコンピューティングの活用に向けて（操業改善への MES の運用評価とこれからの役割）」と題して、雑誌「計装」56(1)、14-17、2013-01、(工業技術社)へ投稿掲載された。

テーマ推進活動として以下を実施した。製造全般を俯瞰する生産管理とエネルギー管理の両者を考慮した新しいものづくりには、i) 再生可能エネルギーなどの新しい手段を導入した仕組みが存在しその適切な管理制御が可能、ii) 新しい仕組みへ投資することによって企業活動へ具体的なメリットが得られるという仮説設定が可能、といったロジックが必須となる。このような視点を探索しつつ以下のような課題検証を進めることとした。

1) 工場現場での課題検証試験(案)－エネルギーストレスを克服する新しいものづくりへの挑戦－をまとめた。詳細は別途資料に譲るが、課題検証のねらいは以下の通りである。

まず、新エネルギー大量導入、化石燃料エネルギーの再導入を含めたエネルギーインフラ革新の状況調査を踏まえた、新しい工場エネルギー供給モデルが必要である。具体的には製品供給の顧客満足とそのための資源有効活用を満す統合管理法、その上での競争可能な工場モデルを提案していく必要がある。このため工場現場における課題検証とその解決に向けた開発技術を明確化していくこととした。これには工程連結長が長いと計画停電時に対応苦慮した例が多いこともヒントになる。

具体的な工場での実施項目としては、まず導入エネルギー設備のモデルとエネルギー価格を仮定することから始める。その上で例えば機械加工工場での生産工程でエネルギー効率を把握していく。ここではその選定が重要なポイントとなる。次に対象工程で基本となるエネルギー消費原単位を既定し、それを MES の要素として導入する。さらに上記 MES とスケジューラとの連携パスを新たに構築する。上記に基づき、生産管理とエネルギー管理で共用される消費エネルギー原単位ベースの統合管理の効果を検証する。

2) 合同 WG 活動(情報交換会)

必要生産量を確保した省エネ推進に必要なスケジューラ、MES、BEMS の現状、エネルギーに関する活動、業界実情などを確認し、標準プラットフォーム連携を構築するための手法を模索していくため、エネルギー管理を含むスケジューラの最新動向について調査を開始した。まずケイティシステムズおよびアスプローバの 2 社による技術および製品のレクチャ、ならびにそれについての意見交換を行った。スケジューラ上での使用エネルギーの定義が定まっていないこと、そのため生産管理と異なり、エネルギーについては費用対策効果が明らかでないことなど課題が確認された。このほかまずは工程ごとの使用エネルギー量のマスタ化が必要などの具体案も提言された。

【H25 年度の活動概要】

前年の運営委員会にて、SFA 委員会の基本方針は踏襲しつつも当面は以下の方向で進めることとし、H26 年度末までの委員会活動延長について運営委員会にて了承を得た。

1) 現在の先進的なスマートファクトリーを取り上げ、現状の技術ではどこまで到達し、残された課題は何かを実証的に検証する。

2) そのうえで、委員企業の保有する技術、製品を検証することの可否を検討していく。

3) 実証について、実際にオペレーションしている企業の現場をそのまま活用ということは簡単ではないと予想されることから、先進的な FEMS における蓄積データを基に可能な検証を進めることも視野におく。

委員会構成は以下の通りとした。

1) 専門委員会：FA オープン推進協議会の一般会員（新規入会の企業も含む）。

企業名一覧：三菱電機(株)、富士電機(株)、NTT アドバンステクノロジー(株)、(株)ジェイテクト、清水建設(株)、日本電気(株)、オムロン(株)、(株)安川電機、川崎重工業(株) 順不同

2) 情報交換会：FA オープン推進協議会の一般会員および情報会員（新規入会の企業も含む）。

企業名一覧（オブザーバ含む）：三菱電機(株)、大崎電気工業(株)、村田機械(株)、高津伝動精機(株)、NTT アドバンステクノロジー(株)、(株)ジェイテクト、清水建設(株)、日本電気(株)、オムロン(株)、(株)安川電機、富士電機機器制御(株)、トライシステムズ(株)、川崎重工業(株)、清水建設(株) 順不同

なお、他団体・組織との連携については、本委員会の当面の目的は課題検証であることから、検証課題以外のモデルおよびインターフェース等は MSTC および他の標準化団体と連携した形で導入活用することとした。具体的には、既存の MES（生産実行システム）、BEMS、スケジューラを標準プラットフォームで連携／標準プラットフォーム開発（仕様定義）は、ISO TC184（*1）とコラボ（情報共有強化）などである。

H25 年度は、SFA の前段である FEMS へ精力的に取り組む先進工場として三菱電機名古屋製作所（以下 M 社）を調査した。同所ではかねてからフロア単位でのデータ取得に着手し、これを設備毎へと進化させてきた。委員各社の現状、あるいは委員の抱える顧客でも、M 社における FEMS レベルまで進めているところはほとんどないようである。その理由は単に技術の問題に集約されるものではない。しかしその M 社としても、現在の FEMS を次のステップへ展開するためにはまだまだ多くの課題があるとしている。このような例も受け、委員会としては以下について検討していくこととした。

1) 開発と提供の進む蓄電池だがまだまだ高価である。しかし再エネの活用と相まってバッテリーの普及が加速する可能性もある。そこで関連委員（N 社、K 社）を中心に、普及をにらんだ活用法を検討し提案することとする。

2) モデル工場における対象工程のエネルギー系統図に関する情報を委員から提供する（M 社）

3) 同じく製造工程のフローについて、差支えない範囲で、ないしは検討できる無次元化した形で提供する（同上）

4) 上記と関連するが、現在収集されている原単位の時間推移（原単位軌道）（出来れば最初から最後まで）。エネルギー供給および工程との突合について各委員の立場で課題検討をする。

5) そのほか、関連する委員からの提案を進める。要望とアイデアを出してもらう。例えば工場内の需給双方向連携制御の有無（工場内グリッド適用の有無）、バッテリー連携については N 社、K 社から提案する。また委員各社のケースと比較して、（比較可否も含めて）、具体的な検討結果を提示する。

そのほか H25 年度は、昨年度に引き続き FEMS（Factory Energy Management System）の最新動向と課題 ～SFA（Smart Factory Automation）アプローチから見えてきたもの～ と題して、雑誌「計装」56(12), 18-23, 2013-12、（工業技術社）へ投稿掲載された。

【H26 年度の活動概要】

H26 年度末までの委員会活動延長について運営委員会承認に基づいて活動を進めた。概要は以下の通りである。1) SFA に関連する事業所の見学などを通じて委員主体での調査を進めた。2) SFA の報告書をまとめることとし、その分担を決め、作業を進めた。3) 委員は SFA に関連する各種標準化動向、さらには Industrie4.0 などの情報収集を進めた。

今年度は最終年度でもあることから、コアメンバー主体の会合において報告書まとめを念頭に

課題検証について検討した。この中で自社工場への FEMS 導入で先導する M 社には、省エネ、原単位管理の導入含む活動の中で、現在の FEMS の活用限界、今後解決すべき課題について検討を進めてもらうこととした。一方全国で広く実証事業を進める FD 社には、FEMS から CEMS への連携、特に同社の PF 機能が地域との連携でどう機能していくのかの検討を進めてもらうこととした。

一方、工場への再生可能エネルギーの導入も重要な課題であることから、産総研福島再生可能エネルギー研究所〈FREIA〉を訪問し、同研究所の系統接続関連技術、メガソーラ技術を見学するとともに、関連研究者と FEMS と再エネの展開について意見交換した。このほか委員のご厚意により NEC プラットフォームシステムズほかの見学と意見交換会を実施した。SFA の活動報告書については、全体構成を決めた上で現在とりまとめ作業を行っており、早期の脱稿を目指している。

SFA 委員会の活動は当初予定通り、今回の報告書提出を以て完了とすることとした。我が国の製造業では、Industrie4.0 に代表される内外の動きにやや翻弄されているところであるが、関連省庁においては対応した動きも出てきている。SFA において活動された委員や各企業が新たな形で今後も活躍されることを期待している。

1. 3. 2 委員会開催状況

スマートファクトリーオートメーション専門委員会の開催状況は、以下の通りである。

平成 23 年 02 月 09 日 「スマートファクトリーオートメーション専門委員会」を設立
平成 23 年 08 月 22 日 (月) MSTC 会議室 準備委員会
平成 23 年 09 月 26 日 (月) MSTC 会議室 準備委員会
平成 23 年 10 月 17 日 (月) MSTC 会議室 コアメンバー打合せ
平成 23 年 12 月 14 日 スマートファクトリーオートメーション (SFA) セミナー、成功裏
に終了。機械振興会館 (12 月 12 日(月)) 機械振興会館。
平成 24 年 01 月 24 日 (火) MSTC コアメンバー打合せ
平成 24 年 02 月 20 日 (月) MSTC 会議室 第 1 回 SFA 専門委員会
平成 24 年 03 月 19 日 (月) MSTC 会議室 第 1 回合同 SFA/WG ワーキンググループ
平成 24 年 04 月 25 日 (水) MSTC 会議室 第 1 回合同 WG
平成 24 年 07 月 30 日 (月) MSTC 会議室 第 2 回合同 WG
平成 24 年 09 月 24 日 (月) フォレスト虎ノ門オフィス コアメンバー打合せ
平成 24 年 10 月 31 日 (水) MSTC 会議室 コアメンバー打合せ
平成 24 年 11 月 28 日 (水) MSTC 会議室 コアメンバー打合せ
平成 24 年 12 月 19 日 (水) MSTC 会議室 第 3 回合同 WG
平成 25 年 01 月 24 日 (木) MSTC 会議室 第 4 回合同 WG
平成 25 年 03 月 04 日 (月) 機械振興会館 コアメンバー打合せ
平成 25 年 03 月 18 日 (月) MSTC 会議室 第 5 回合同 WG
平成 25 年 05 月 09 日 (木) MSTC 会議室 第 1 回合同 WG
平成 25 年 08 月 21 日 (水) MSTC 会議室 コアメンバー打合せ
平成 25 年 09 月 18 日 (水) 三菱電機名古屋製作所 コアメンバー打合せ
平成 25 年 09 月 25 日 (金) MSTC 会議室 第 2 回合同 WG
平成 25 年 11 月 27 日 (水) MSTC 会議室 合同 WG
平成 26 年 02 月 05 日 (水) 三菱電機名古屋製作所 第 3 回合同 WG
平成 26 年 05 月 19 日 (月) 機械振興会館 第 1 回合同 WG
平成 26 年 06 月 09 日 (月) MSTC 会議室 コアメンバー打合せ
平成 26 年 07 月 19 日 (土) 清稜館 第 2 回合同 WG
平成 26 年 10 月 01 日 (水) MSTC 会議室 第 3 回合同 WG
平成 27 年 02 月 12 日 (木) 機械振興会館 第 4 回合同 WG
平成 27 年 06 月 24 日 (水) MSTC 会議室 第 1 回報告書作成検討会
平成 27 年 10 月 14 日 (水) MSTC 分室会議室 第 2 回報告書作成検討会
平成 27 年 11 月 09 日 (月) MSTC 会議室 第 1 回報告書検討打合せ
平成 27 年 12 月 02 日 (水) MSTC 分室会議室 第 2 回報告書検討打合せ
平成 28 年 01 月 27 日 (水) MSTC 会議室 第 3 回報告書検討打合せ
平成 28 年 04 月 23 日 (土) MSTC 会議室 報告書検討打合せ

1. 3. 3 講演会

SFA セミナー 平成 23 年 12 月 12 日 (月) 機械振興会館

- スマート社会の到来に向けて -

(株)三菱総合研究所 平田 直次

- マイクログリッド・スマートグリッド実現への展開 -

清水建設(株) 大山 俊雄

- 高性能蓄電池ギガセルのスマートファクトリーにおけるエネルギーマネジメントシステムへの応用 -

川崎重工業(株) 徳田 則昭

- エネルギー「KAIZEN」を支える生産現場の情報連携 -

三菱電機(株) 岩井 文雄

- クラウドとビッグデータ -

「スマートファクトリーオートメーションを実現する ICT 技術」

NTT アドバンステクノロジー(株) 遠藤 公誉

まとめ

スマートファクトリーオートメーション専門委員会 委員長 柿崎 隆夫



「生産革新フォーラム」 平成 24 年 5 月 31 日 (木) 東京ビックサイト

(日本機械学会生産システム部門主催)

ースマートファクトリーオートメーションはなにを目指すか?ー

スマートファクトリーオートメーション専門委員会 委員長 柿崎 隆夫



生産とエネルギーを連携させるスケジューリング 平成 25 年 1 月 24 日 (木)
製造科学技術センター 会議室

- ・ケー・ティール・システム 「スケジューリングと MES について」
- ・アスプローバ 「スケジューリングと MES について」

インダストリー4.0 セミナー (全体編) 平成 27 年 4 月 28 日 (火) 機械振興会館
参加者 : 74 名

「ドイツが取り組むモノづくりの新潮流 第4次産業革命 Industrie4.0 とは」
永野 博 独立行政法人 科学技術振興機構
「IoT によるものづくりの変革」

西垣 淳子 経済産業省 製造産業局



インダストリー4.0 セミナー (メーカー編) 平成 27 年 7 月 30 日 (木)
機械振興会館 参加者 : 58 名

「製造ライン装置の稼働とエネルギー消費の自動制御」
川井 若浩 オムロン株式会社

「Industrie4.0 と安川電機の取り組み」
久恒 正希 株式会社安川電機

「ものづくりの将来像とFA統合ソリューション e-F@ctory」
楠 和浩 三菱電機株式会社 名古屋製作所
e-F@ctory 推進 プロジェクトグループマネージャ

「IoT を活用した次世代ものづくりソリューション NEC Industrial IoT」
～お客さまと共に創る～

北川 泰平 日本電気株式会社 グローバルプロダクト
・サービス本部 Industrial IOT 推進グループ マネージャ



インダストリー4.0 セミナー（ユーザ編） 平成 28 年 3 月 23 日（水）

機械振興会館 参加者：77 名

「Flexible Factory 実現に向けて」

板谷 聡子 国立研究開発法人 情報通信研究機構

「I4.0 と国際標準化について」

小倉 信之 株式会社日立製作所

「多様な製品群のものづくりを支える ICT 技術」～顧客志向のものづくりを目指して～

中野 信一 川崎重工業株式会社

「IoT つながる工場立証実験の提案」～ISO22400 KPI の活用方法について

米田 尚登 村田機械株式会社



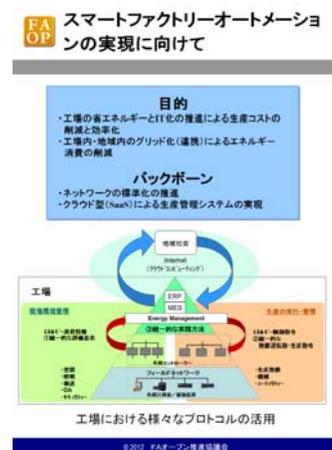
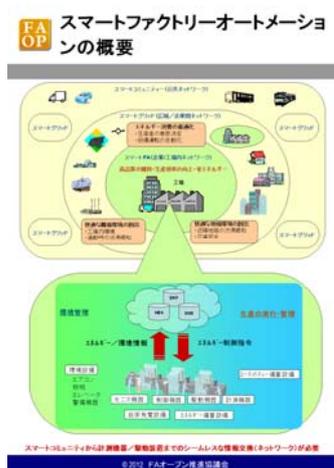
1. 3. 4 展示会

スマートグリッド展 平成24年5月30日(水)～6月1日(金)

東京ビックサイト



展示会パネル



ものづくり NEXT2014 生産システム見える化展

平成26年11月12日(水)～14日(金) 東京ビックサイト



展示会パネル

FAOP スマートファクトリーオートメーション (SFA) 専門委員会

委員長 松嶋 隆人 (日本大学)

● 目的

- 工場での省エネルギーとIT化の推進による生産コストの削減と効率化
- 工場内・地域内のグリッド化 (連携) によるエネルギー消費の削減

「工場における様々なプロトコルの活用」

地域社会 (クラウド・インターネット)

工場 (Energy Management)

FAOP デジタルエコファクトリー (DEcoF) 専門委員会

委員長 野田 三知子 (神奈川工科大学)

● 目的

- 製造/生産設備とICTとの連携によって、生産性や工場内のエネルギー消費/供給を最適化する技術の確立を目指します。更に、周辺地域とのグリッド連携による地域全体のエネルギー削減を推進します。

「デジタルエコファクトリー (DEcoF) の地域連携のモデル」

FAOP FAオープン推進協議会

委員長 岩田一明 (東京大学)

● 活動目的

- 製造/生産設備とICTとの連携によって、生産性や工場内のエネルギー消費/供給を最適化する技術の確立を目指します。更に、周辺地域とのグリッド連携による地域全体のエネルギー削減を推進します。

● 参加企業

三菱電機 NEC YASKAWA 山崎製パン株式会社
OMRON DENSO YASKAWA 日立電機 川崎重工業
富士電機 清水建設 リンテック オートメーション株式会社 nutech

展示会説明資料

FAOP FAオープン推進協議会

「ICT連携が、工場の省エネを加速する！」

System (生産設備) / Network (インターネット) / Controller (エネルギー管理)

FAOP FAオープン推進協議会

FAOP FAオープン推進協議会

■FAOオープン推進協議会について

「製造技術科学センター (NSTC) 内に設置される「FAオープン推進協議会 (FAOP)」は、業界一に於ける日本の製造業の異なる業界を考慮する為、生産・製造に必要となる技術プロセス (設計・製造・物流・サービス) と日本企業の製造技術と、新ICT連携と連携するオープンな連携推進技術を開発することで、日本のづくりを支援します。

■活動中の委員会

- スマートファクトリーオートメーション専門委員会 (SFA)
- デジタルエコファクトリーオートメーション専門委員会 (DEcoF)

FAOP FAオープン推進協議会

■活動中の委員会

- スマートファクトリーオートメーション専門委員会 (SFA)
 - 製造/生産設備とICTとの連携によって、生産性や工場内のエネルギー消費/供給を最適化する技術の確立を目指します。更に、周辺地域とのグリッド連携による地域全体のエネルギー削減を推進します。
- デジタルエコファクトリーオートメーション専門委員会 (DEcoF)
 - 少ないIT投資で広く一般の製造業に於いて利用可能なデジタルシミュレーションの技術開発を推進しています。
 - 具体的には、生産ライン構成を最適化するデジタルシミュレーションに対して仮想シミュレーションを実施し、様々な視点から生産性とともに連携影響も求めた事前検討を可能とするデジタルエコファクトリーを開発します。

FAOP FAオープン推進協議会

■参加企業

三菱電機 NEC YASKAWA 山崎製パン株式会社
OMRON DENSO YASKAWA 日立電機 川崎重工業
富士電機 清水建設 リンテック オートメーション株式会社 nutech

ジェイテック 東芝 日立製作所 大崎電気
三洋電機 高津伝動機構 秋エンジニアリング

FAOP FAオープン推進協議会

スマートファクトリーオートメーション専門委員会 (SFA)

FAOP FAオープン推進協議会

スマートファクトリーオートメーション専門委員会 (SFA)

■活動テーマ

製造/生産設備とICTとの連携によって、生産性や工場内のエネルギー消費/供給を最適化する技術の確立を目指します。更に、周辺地域とのグリッド連携による地域全体のエネルギー削減を推進します。

■活動目的

- ICT連携による生産性向上とエネルギー削減
- 工場内/地域内のグリッド化 (連携) によるエネルギーの最適利用

FAOP FAオープン推進協議会

スマートファクトリーオートメーション専門委員会 (SFA)

「ICT連携による生産性向上とエネルギー削減」

企業における工場 (省エネ・省コスト削減) / 社会における工場 (社会の共生)

TCO削減 (生産費削減・利益の向上) / 環境・社会との共生 (CSR (企業の社会的責任))

FAOP FAオープン推進協議会

スマートファクトリーオートメーション専門委員会 (SFA)

■工場における省エネ推進の課題

- 空機による設備の省エネは限界。
- 空機・照明等エネルギー系の高エネルギー機器導入は一進一退だが、異なる施策が見えない (解群ができていない)
- 生産現場は、納期・品質優先で、エネルギー削減の為の負担はかけられない。
- 省エネの為の設備投資は、回収期間が長いので優先度が低い。

FAOP FAオープン推進協議会

スマートファクトリーオートメーション専門委員会 (SFA)

■工場における省エネを目標として (新しいICT技術活用)

- 日本産コスト削減活動による生産性・品質向上と省エネ活動 (社会的な利益)
 - 活用できる生産設備の稼働率向上 (稼働率向上)
 - IoT活用 (生産設備、IT活用) による省エネ・省コスト削減
 - 設備メンテナンスの自動化による省エネ
- 工場内/地域内のエネルギー供給・消費の最適化
 - 本館内に於いて、IT等の省エネと省エネ電力 (省エネ電力) 供給との連携による省エネ/省コスト削減 (省エネ電力供給)
 - 省エネ電力供給の最適化による省エネ/省コスト削減
 - 省エネ電力供給の最適化による省エネ/省コスト削減

FAOP FAオープン推進協議会

■FEMSの構成要素とシステム連携

生産管理 (MES) / 設備管理 (EAM) / 電力管理 (EMS) / 環境管理 (EMS) / 安全管理 (EHS) / 労務管理 (HRM) / 財務管理 (FMS) / 顧客管理 (CRM) / 物流管理 (SCM) / 調達管理 (SRM) / 品質管理 (QMS) / 生産管理 (MES) / 設備管理 (EAM) / 電力管理 (EMS) / 環境管理 (EMS) / 安全管理 (EHS) / 労務管理 (HRM) / 財務管理 (FMS) / 顧客管理 (CRM) / 物流管理 (SCM) / 調達管理 (SRM) / 品質管理 (QMS)

FAOP FAオープン推進協議会

スマートファクトリーオートメーション専門委員会 (SFA)

■工場と地域のグリッド連携

工場 (FEMS) / 地域 (DEcoF) / 電力 (電力) / 環境 (環境) / 安全 (安全) / 労務 (労務) / 財務 (財務) / 顧客 (顧客) / 物流 (物流) / 調達 (調達) / 品質 (品質)

FAOP FAオープン推進協議会

スマートファクトリーオートメーション専門委員会 (SFA)

■生産設備とICTシステムの連携

工場 (Energy Management) / 地域社会 (インターネット)

FAOP FAオープン推進協議会
スマートファクトリーオートメーション専門委員会 (SFA)

CO2削減
ICT
日本流のモノづくり

FAOP FAオープン推進協議会

「日本のモノづくり」を支援する活動*に参加しませんか?
*日本流の製造技術と新しいIT技術を融合させるオープンな共通基盤技術を開発

FAOP
FAオープン推進協議会
スマートファクトリーオートメーション専門委員会 (SFA)

FAOP FAオープン推進協議会

デジタルエコファクトリー (DEcoF)
専門委員会

WG1 (DEcoFアイデア創出)
WG2 (実証研究)

WG1 委員: 山崎 隆夫 (NEC), 山崎 隆夫 (NEC), 山崎 隆夫 (NEC)
WG2 委員: 山崎 隆夫 (NEC), 山崎 隆夫 (NEC), 山崎 隆夫 (NEC)

FAOP FAオープン推進協議会

製造科学技術センター
アイデアファクトリー 探検チーム6
グリーンプロダクション基盤としての
デジタルエコファクトリー構築のための調査研究
(実施期間 2010年9月~2012年3月)

【アイデアファクトリーでの活動成果】

- デジタルエコファクトリーの要求仕様書案の完成
- 特定するデジタルエコファクトリーの要求仕様書案の検討と詳案
- デジタルエコファクトリーの概念設計案作成
- ケーススタディによる検討
- デジタルエコファクトリーの設計案の検討

FAOP FAオープン推進協議会

- 取組の製造現場では、製品ライフサイクル全体を視野にいたしたものづくりが重要になっており、材料や製造設備のライフサイクルの考慮を必要とする点に注目。根本的に製造現場の仕組みを見直し効果的な方法を提案する必要がある。
- ライフサイクルマネジメントの手法については、国際規格化された方法論が確立されつつあり、製造現場では、従来どおり生産性を意識しつつも環境に配慮したモノづくりが要求されている。
- 従来の生産コストの観点からの評価に加えて、リデュース・リユース・リサイクルの観点からの評価を取り入れる。エネルギー消費や生産性評価の指標や、生産性と環境性の両方を考慮した生産コストの算定手法の開発。少ない投資で利用可能な製品への提供が望まれている。

2012年秋 デジタルエコファクトリー研究会活動開始
2013年秋 デジタルエコファクトリー専門委員会設置

FAOP FAオープン推進協議会

- 生産性と環境性の両方を考慮した生産コストのより詳細な事前評価のためのソフトウェア、デジタルエコファクトリーの構築を目指す。
- 本ツールを用いたドローイングなどを基にDEcoF (Software as a Service) として配信することで、少ない投資で広く一層の製造業において利用可能なグリーンプロダクションのための基盤技術を提供する。
- 具体的には、ユーザーが作成した仮想製造ラインと、生産性と消費エネルギーについてシミュレーションすることで、様々な観点からの事前検討が可能となる。また、実証実験により、デジタルエコファクトリーの実用手法についても検討する。
- 以上より、製造のライフサイクルシミュレーションに、分析、評価も兼ねた製造現場に関する、生産性、環境性の両面からの事前検討を支援することを可能とし、生産性を向上させることも生産性の向上に貢献するものづくりリソースとそれを活用する製造システムの構築を支援できるようにする。

FAOP FAオープン推進協議会

デジタルエコファクトリーの構築、設計支援ツールなどを利用して製品のプロダクトモデルとその製品の製造シナリオ (仮想製造ライン) を構築する。このシナリオを基に、仮想製造ラインの構築、評価、最適化を行う。仮想製造ラインの構築、評価、最適化を行う。仮想製造ラインの構築、評価、最適化を行う。

- 仮想製造ライン構築のための設計
- 仮想製造ライン構築のための設計
- 仮想製造ライン構築のための設計
- 仮想製造ライン構築のための設計
- 仮想製造ライン構築のための設計

FAOP FAオープン推進協議会

3つの主なDEcoF利用シナリオ

FAOP FAオープン推進協議会

期待する成果と受益者

対象	期待する成果の内容
製造システム開発者	<ul style="list-style-type: none"> 製造ラインのコストと環境の両面から事前評価 製造ラインの構成技術の事前検討 (導入前検討) 製造シナリオの作成と評価の両面から事前検討 ソフトウェアによる仮想での生産設備の提供 シミュレーション自体の自由な設定・変更
工場棟/製造装置メーカー/システムインテグレーター	<ul style="list-style-type: none"> 機種/装置マージョントによるモデル化取組製造ライン上での動作の事前検討 機種/装置マージョントによる仮想でのシミュレーションによる高効率
製造業/企業 (企業)	<ul style="list-style-type: none"> グリーンプロダクションの推進 ICT投資コストの削減

FAOP FAオープン推進協議会

デジタルエコファクトリーの設計に向けて

- マルチエージェントシステムとして構築したデジタルエコファクトリーを構築
- ソフトウェアエージェントとして作る生産システム (部品供給、部品供給など) に環境指標の計算機能を付加
- 環境指標と、個別最適化に対して効率的に設計するエージェントを全体最適化を図るための導入
- システム全体、製品ごと、設備ごと、プロセスごとなど様々な粒度で時系列的に実行させる設計
- 製品、プロセス、環境、設備指標などのモデルのシミュレーションを、ユーザーがリアルタイムで実行可能

FAOP FAオープン推進協議会

デジタルエコファクトリーの構成イメージ

- 製造ラインを構成する製造設備、製造作業対象である部品や部品などソフトウェアエージェントとしてモデル化し、ソフトウェアエージェントを構築する。
- プロダクトバリエーション、プラットフォーム、インフラを設計し、それらで構成する。製造シナリオや製造ラインの設定、ソフトウェアエージェント上で実行する仮想生産のコストや環境パフォーマンスをモニタリングする。

FAOP FAオープン推進協議会

エネルギー効率向上のためのデジタルエコファクトリー

エネルギー効率	削減 (仮想シミュレーション)
エネルギー効率向上のためのデジタルエコファクトリー	仮想電力消費量の削減 (エネルギー消費量の削減)
エネルギー効率向上のためのデジタルエコファクトリー	仮想電力消費量の削減 (エネルギー消費量の削減)
エネルギー効率向上のためのデジタルエコファクトリー	仮想電力消費量の削減 (エネルギー消費量の削減)

FAOP FAオープン推進協議会

マルチエージェントシステムを用いた仮想製造環境 (Virtual Factory) を構築

- マルチエージェントシステム開発環境 (Virtual Factory) を構築
- 仮想製造環境 (Virtual Factory) を構築

FAOP FAオープン推進協議会

今後の活動計画

- 活動内容計画: 2014年度~2016年度、基本計画策定と実証実験のための準備
2015年度: 実証実験 (デジタルエコファクトリーの構築) と評価および検証
- 委員会開催予定: 2014年11月14日(金)
2015年12月9日(水)
2016年3月4日(木)
以降、隔月で開催予定。

FAOP FAオープン推進協議会

「日本のモノづくり」を支援する活動*に参加しませんか?
*日本流の製造技術と新しいIT技術を融合させるオープンな共通基盤技術を開発

FAOP
FAオープン推進協議会

1. 3. 5 見学会

- 産業技術総合研究所福島再生可能エネルギー研究所見学会
平成 26 年 7 月 18 日（金）産業技術総合研究所福島再生可能エネルギー研究所



研究所ゲート（撮影 FAOP）

- 制御システムセキュリティセンター特別見学会
平成 26 年 8 月 7 日（木）制御システムセキュリティセンター（CSSC）



センター入り口（撮影 FAOP）

- 株式会社安川電機 特別見学会
平成 26 年 10 月 22 日（水）株式会社安川電機 行橋事業所



建物外観（Web ページより）

- 三菱電機株式会社 名古屋製作所 新生産棟 特別見学会
平成 26 年 12 月 17 日（水）



建物外観（Web ページより）

- NECプラットフォームズ株式会社 掛川事業所 特別見学会
平成27年3月27日（金）NECプラットフォームズ株式会社 掛川事業所



建物入り口（撮影 FAOP）

2. はじめに

2. 1 序論

FEMS が導入されている今日、なぜ SFA というコンセプトが必要なのか。内外の状況からどのような理由で委員会活動をスタートさせたのか。各メンバーはどのような姿勢で参加したのか、以下の報告書の概要について述べる。なお、そこから見えてきた課題、内外の動向についてはあとがきにてまとめることとしたい。

ほぼ 3 年間にわたり進めてきた SFA 委員会であるが、FEMS の現状から演繹的に SFA の姿が浮かび上がってくるとの予想とは異なり、FEMS における新しい試み、課題をまず理解するところからのスタートとなった。インターネットの世界ではかつて Web2.0 という流れがあり、ネットサービスが大きく変容すると期待された。結果は WebAPI 公開による google マッシュアップをはじめとするサービス構造が進化したことであり、これには技術の進展もあるが（巨大データセンタ、光化、無線の普及、DB 公開、セキュリティポテンシャルの向上など）、結果としてインターネットと端末が web プラットフォームとして大衆化したことが大きい。その影響は陰陽があるが、世の中の ICT 環境は格段に進化したことには間違いがない。

現在喧伝されている FA における Industry4.0 にも、実はそうした流れとのアナロジーを感じる。Web2.0 と異なるのは実世界とのより密な関係であり、膨大なエネルギーと資源の消費、さらに物流や環境への影響といった物理的な世界での変革が俎上に上がっており、その流れの中に FEMS も見え隠れしている。一方で我が国では失われた 10 年という言葉が流行り、現在はリフレという言葉で円安そしてデフレ脱却へと国策の舵が切られている。自動車を始めとする輸出産業は好況を呈しているが、国内では思うように需要が伸びないこともあり、市場の先行きについて懸念する企業は少なくない。各企業は従来と変わらず競争力をアップするための施策を打っているはずであるが、それでも Industrie4.0 と聞くと心中穏やかではないようである。大衆が駆動するインターネットそして一部のクラウドサービスと異なり、我々が FEMS から SFA を創成していくためには、やはり現場で企業が主導してその方向性を提示していく必要がある。

本報告で上記のような意図で進めてきた SFA 委員会の活動をとりまとめたものであり、今後我が国のものづくりにおける新しい流れのために幾ばくかの参考になれば幸いである。

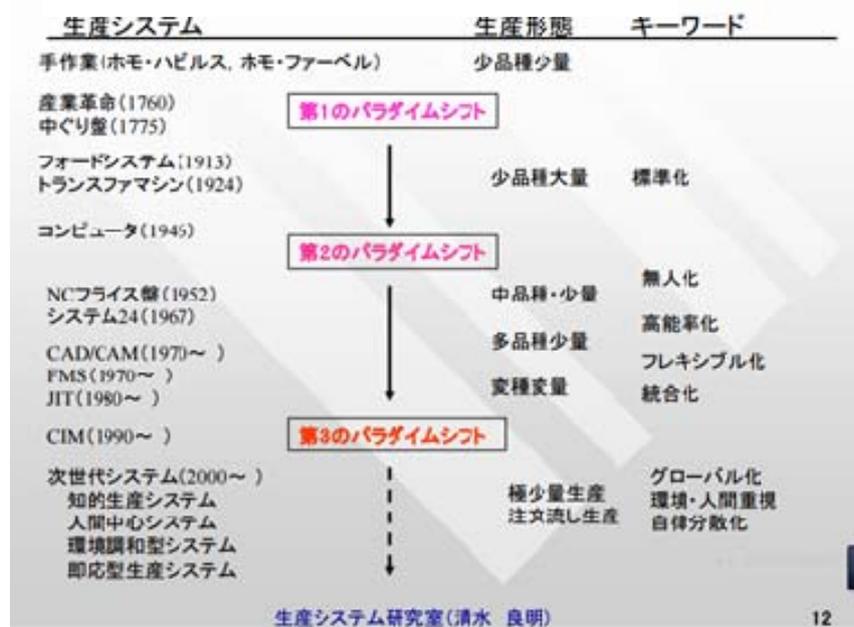
2. 1. 1 FA の変遷

図 1 (a)および(b)に生産システムの変遷をまとめる。ここでは SFA に至る背景を、製造業を支える生産システムを中心におおまかに整理してみたい。まずは 80 年代から導入が始まり、90 年代に本格化した FMS があげられる。ここでは DNC を始めとする要素が導入され、その後の多品種少量生産システムへとつながった。90 年代になると CIM が導入された。欧州発の CIM はコンピュータとネットワークの進化によるものと言っても過言ではなく、そこには IBM や HP などの IT ベンダそしてコンサルティングファームもこぞって参入した。狭義の CIM は、製造と販売との間での情報を共有化し、製造から販売までの効率化を図ることを目的とした。FA におけるネットワーク機能については FAOP が主導した MAP が提唱され、現在も多くベンダやユーザが導入している。その後 CIM は、製造のさらに上流側にあたる調達部門、開発部門、さらに製造と販売の中間に当たる流通部門をも巻き込むことで、企業活動における上流から下流までの全業務プロセスを管理ならびに情報の共有化による各部門間の連携を行うようなシステムとして機能してきた。この過程では、設計効率と生産性の向上を同時に進めることをねらったコンカレントエ

エンジニアリングが提唱され、ネットワーク機能を重視して国内外の事業所間でのコンカレントエンジニアリングをねらった大規模なシステムも開発された。90年代半ばから我が国が提案した国際共同研究としてIMS（Intelligent Manufacturing Systems）がスタートした。

年代	1980	1985	1990	1995
目的	FMS 生産自動化 生産無人化	FA 多品種少量生産 多品種中量生産	CIM 個別大量生産 変種変量生産	IMS 個別受注生産 個別変量生産
対象	1工程	1ライン 1工場	工場全体 全社	会社全体 グローバル
システム構成要素	<ul style="list-style-type: none"> ■NC工作機械 ■DNC ■FMC ■産業用ロボット ■群管理システム ■AI 	<ul style="list-style-type: none"> ■CNC ■自動搬送装置 ■CAD/CAM ■LAN ■制御用コンピュータ ■エンジニアリング 	<ul style="list-style-type: none"> ■コンピュータ技術 ■ネットワーク技術 (MAP) ■エンジニアリング技術 ■コンカレントエンジニアリング 	<ul style="list-style-type: none"> ■インターネット ■IMS ■CALS ■自律分散型CIM

(a)



(b)

図1 生産システムのうつりかわり

2. 1. 2 インターネット導入によるFAの変革

そしていまはIndustry4.0 が話題である。このことは、狭義にはFAの世界で、広義には新し

い製造業全体の在り方を既定するコンセプトと考えられているようだ。しかしその実態はまさにこれからであり、その評価も様々である、おおざっぱに言えば、世界のものづくりのヘゲモニーの争いを示す姿の一つでもあり、欧米が主導してきた標準化の進化したステップを指すものともいえる。ただ、確かに急速な ICT 技術とサービスの進化がこの流れに点火したのは間違いないであろう。15 年ほど前に、製造業とりわけ FA 現場へのインターネット導入が喧伝された。当時はまだ光化が十分ではなく、ISDN や ADSL がその主たるインフラであった。そのような中で個人ユーザが先導役となり各種パーソナルサービスが伸長し、ついで低廉な ISDN を束ねて企業が導入するオフィス需要が増大した。製造業の現場への IP 技術導入も加速されたが、工場内部に比して、外の世界とのやりとりにおける M2M や現在でいう IoT の世界までは残念ながら進んだとは言えない。これは我が国のクローズドな商習慣が所詮オープンなインターネットへは馴染まないせい、生産データのオープン化には時期尚早でセキュリティも不安、なにより大規模以外ではコスト高であるなどと、結論する人々も多い。しかしその中でやはり個人ユーザ、すなわちコンシューマは光化、そしてデータセンタ、さらにはクラウドサービスをいとも簡単に活用するようになった。またも製造業の現場は後追いする形になった。

この原因は何なのだろうか？ コンシューマサービスと異なり、製造業で扱うデータはあくまでセキュアなものでなくてはならないが、残念ながら現時点でもそれは絶対的な担保はされない、日々環境の変わる競争原理下ではインフラだけが整備されても情報の共有は進まない等、ネガティブな理由は幾万でも出てくる。もちろん欧米主導ではあるが、合理的な解を求めての標準化活動は継続されてきた。こうした中で、ドイツが国力維持を前面に打ち出して勝負をかけてきたように思えるのが Industry4.0 であり、もやもやとしていた我が国の製造業界や監督官庁にはそれなりのインパクトがあったのである。

Industry4.0 の何がそれほどのインパクトを与えたのか。提唱されている概念自体に驚愕した人々は少ないだろう。しかしどうもドイツが産学官金あげて勝負をかけてきたように思えること、一国の宰相がその先頭に立っているかのようであること、我が国では実現しえないスクラムではないか、などの憶測もあるものと思う。Industry4.0 の雄叫びを聞いて、世界とりわけ我が国の製造業では、電車に乗り遅れてはならないと、官民挙げて 4.0 フィーバー（古い表現で恐縮だが）状態にある。学はどうもそうではないのが興味深い。既に多くの有力な企業はこの学習に乗り出しており、既にたくさんのテキストや講習会が花盛りとなっている。

2. 1. 3 エネルギーを巡る FA パラダイムの変化

図 2 に生産システムにおける各種評価指標の例を示す。従来からものづくりにはまず生産効率であり、現場からみればまずは納期であり、仕掛りはある意味無駄の代名詞でもあった。すなわち FA においても、重要なことはいかに無駄なく、効率よく、顧客満足を満たすかが至上命題であった。一方、近年我が国が経験した最大の転換点は 3.11 東日本大震災である。地震そして津波の被害は想像を絶するものであった。加えてこの震災は我が国のエネルギー供給体制の脆弱さを明解に浮彫にした。第一は原発事故に端を発する電力エネルギーのひっ迫である。大がかりな計画停電の導入を余儀なくされ、一般市民生活はもとより、地震で被害を受けた製造業を直撃した。パンデミックや火災、地震といったこれまで想定した災害を大きく超えた被害のため、我が国のものづくりはストップし、その影響は輸出への影響という形で結果的には広く世界がその被害を蒙る結果になった。その中で BCP を準備していた企業ではその仕組みが奏功し、比較的早い時期に事業再開にこぎつけたケースもあった。しかしエネルギー問題は有効な代替手段がなく、震災以降は高額なスポット燃料を導入するなど、その後も我が国製造業を苦しめた。

1.1.1 生産システムの評価

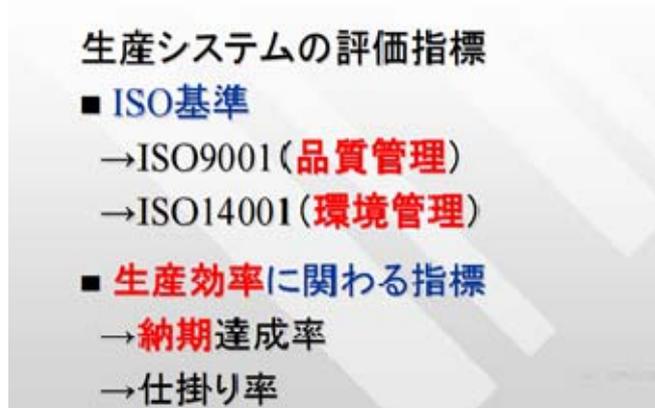


図2 生産システムにおける指標の例

製造業においてエネルギーはもっとも重要な資源であるが、震災以前はそのような認識が十分であったとはいえない。オイルショックにより、原油価格は紛争や市場の思惑で大きな影響を受けることは理解したが、我が国ではそれも優れた省エネ技術の開発や原発の稼働で乗り切ったとの思いがある。このような影響は繰り返すということが刷り込まれただけでも業界の理解は深まったといえよう。しかし震災における深刻なエネルギー危機を前にして、さすがに従来のままでは早晚我が国の製造業は立ちいかなくなるのではとの考えが出てきた。

2. 1. 4 FAの目指す持続可能な生産システム

一方で以前から加速していた中国やタイなど海外への工場展開も、最近の円安動向や各国の労働環境の変化を受けて一定の見直しが出つつある。

ものづくりは中国や他国に任せて、我が国はサービス作りに徹すればいいという論調も一時よりは小さくなったようである。この論の本質は、言ってみれば付加価値の高い製品や商品を、しかもオリジナルで世界へ普及するものを開発すべし、ということになるだろう。「もの」作りから、「こと」作りへ、といった意味不明な用語も一時は流行ったが、あくまでマスコミ用語である。携帯電話の勝負ではガラパゴス化が喧伝された。一方、最近の中国人観光客による「爆買い」を見て、やはり家電はじめ我が国製品の品質は素晴らしくそれは目が肥えたユーザに耐え得る品質であるから、との声も大きい。それでも、米国にはベンチャー育成環境があり、そこの若者はチャレンジ精神がある、ドイツは国をあげてひとつのベクトルを目指す、それに比較して我が国は、といった論は後を絶たない。

実はドイツが提唱する、Industrie4.0のプラットフォームにおいてもエネルギー効率は重点項目となっている。すなわち製造業における原材料とエネルギーの大量消費は環境および資源の安定供給の脅威となるとしている。このため、資源生産性と効率性を向上させるには、製造業のスマート化に必要な追加投資とそれにより生み出される節約効果を計算し、比較する必要があるとしている。これはまさしくサステナブルな生産システムをどう実現するかという問題であるが、

このための評価をどのようにすべきかは未だオープンな問題のままである。

スマートファクトリーオートメーション（SFA）委員会も、当初は対処療法的なアイデアを模索してきたところがある。FAOP ではそもそも従来から FA はじめものづくりにおける標準化がスコープにあり、そのための委員会や諸活動が推進されてきた。SFA はそこで出てきた知見を具体的に取り込んで実践検証するための仕組みやアイデアを生み出すことができると考えられていた。しかし活動を継続する中で、いま改めて SFA は「スマート」という曖昧な理念ではなく、私見ではあるが「サステナブルな」ファクトリーオートメーションとして再定義すべきではないかとも思うようになった。これはあの震災を経験し、企業が今後も存続し得るか否かの瀬戸際に立たされた我が国企業であればこそ、実感できることであろう。

サステナビリティの定義についてあとで議論することとしたいが、SFA では生産システムとエネルギーの関係を重視してスタートした。その理由は、前述のようにエネルギーは生産システムの生き死を決めることがあること、我が国では原発ベースロード議論や再エネ戦略を含め未だ議論は未だ混沌とし、将来を見据えたエネルギーの安定供給基盤が見えないこと、したがってエネルギー供給とそのコストを一段厳しく考慮した生産システムの構築が不可避なこと、加えて、国内での製造業が地域に入り込んで持続可能な生産体制を持つには地域のエネルギー問題と不可分な形で事業を展開する必要があること、などである。

改めて SFA スタート当初のテーマを振り返ってみたい。

2. 2 サステナブル生産に向けたスマートファクトリーオートメーション(SFA) 構想

2. 2. 1 はじめに

今日我が国ではエネルギーをもっと効率的に活用するための社会活動「スマートコミュニティ」や地域全体で高効率かつ安定した電力を発電・供給する「スマートグリッド」、さらには賢いエネルギー利用を目指す住宅「スマートハウス」などの技術開発が、互いに連携しつつ進められている。これらは BEMS、HEMS さらには CEMS などの言葉でやや理念先行で動き出している。

一方、エネルギー安定供給神話が崩れた今日、産業界においてもコスト負担比率が増大しつつあり、従来からの生産管理と同レベルでエネルギー管理が重要となりつつある。生産管理を追求してきた工場ではこれまでもいわゆる「見える化」が強力に推進されてきた。しかしエネルギーについては安定供給神話を前提に、また他に比してコスト比率が顕在化してなかったなどの理由で後回しになってきたことは否めない。むしろ、LCA などの環境影響の側面からエネルギーは大きな関心事ではあったが、リアルタイムでの見える化について言えばエネルギー情報の比重は大きなものではなかった。このため近年多くのベンダから電力、ガスさらには冷温水などの EMS システムが提案提供されているが、それらはいまだ個別最適化のレベルにある。一方グローバル競争の視点では、我が国が得意としてきた FA 機器や要素技術の強みだけでは勝負が困難となりつつある。欧米のベンダはシステム統合戦略をもとに事業および標準で攻勢をかけてきており、我が国の機器ベンダや標準化団体にとっても事態は予断を許さない。しかしこうした状況を打開するような動きは未だ十分とは言えない。

3.11 以降、計画停電などにより日々の工場オペレーションにおけるエネルギーの重要性や供給の脆弱性が再認識され、しかも需要者としてだけでなく供給者としての工場の役割も改めて注目された。このことは工場の EMS が工場だけには閉じず、スマートグリッドの要素として組み込まれていくことが不可避であることを示している。しかし、このような動きに現在の工場や FA

システムは十分に対応できていない。ものづくり工場でのエネルギー管理は家庭での省エネとは異なり、BCPの観点で持続可能なFEMSとして成立しなければならない。したがって現場レベルから経営層までの見える化および最適化が必要となり、しかも事業所間でのシームレスな連携、さらには地域とのエネルギー連携も必須となりつつある。我が国は、世界に先立って次世代ネットワークをはじめとする通信インフラ整備を進めている。ものづくりは我が国内に閉じるものではないが、上下および水平でのシームレスなFEMSにとっては課題と検証を先取りできる環境にある。いまこそこうしたリソースを生かしてFEMSにおける世界のイニシアチブをとることが肝要である。

上記の背景のもと提案するのがSFAであり、そこではものづくりにおける生産管理とエネルギー管理の両者をともに重視する新しいパラダイムのもと、新しいFAの仕組みを提案し、その考え方を普及させていこうとするものである。その目的は、必ずしも十分ではなかったものづくりにおけるエネルギー情報に関するインタフェースを重視し、現場情報と経営情報とのシームレスな統合スキームを提案し、これを標準化していくことにある。

2. 2. 2 SFA 持続可能なものづくりを支援するFAの実現にむけて

今後重要となるのは、工場内の消費エネルギー効率を最大限としつつ地域社会のエネルギー有効活用を助力するシステムの確立である。具体的には、以下のようなことがポイントとなる。

- 1) エネルギー消費生成の最適化 分散／抑制／負荷平準化、
- 2) 省エネとICT化による生産コスト削減と新たな競争力の獲得、
- 3) 災害に強い頑健な生産体制およびそれを支える仕組みの実現、

これらが従来のFEMSと呼ばれるものと一線を画すとすれば、それは工場内のみならず広く地域社会への貢献度向上が必須であること、その実現するためには工場と外の社会との間でエネルギー活用標準が明確となっていること、そしてそれをコミュニティと連携できるようにするための共通的な通信ネットワーク仕様の確立が不可欠であることがあげられる。

1) については、工場におけるエネルギーの導入・生成、とりわけ自立化に向けた再生可能エネルギーの導入が一つのポイントとなる。3.11で改めて注目された自家発電装置の整備もその一環となるが、サステナビリティという意味では再エネの比重が増すのは間違いない。システムをベースにした場合、再エネの導入は、リスクおよびリソースの分散と言う意味でも重要である。さらにいわゆる「見える化」の実現が最低限必要である。以下では見える化そして省エネ（抑制）がセットとなって導入されている例が紹介される。デマンドレスポンス、ピークカットといった手法は、既に工場では当たり前となりつつある。サステナビリティの関連からは、平準化という考えが重要であり、そのためにはハードの仕組みとして、バッテリーを含む蓄エネは負荷平準化として重要である。ただしバッテリーを介したエネルギーのコストについては未だ妥当な計算式はない。

2) については、これまた説明は不要と思われる。問題は省エネ、さらには創エネなどの工夫によって生産効率すなわちコストダウンへ与える効果の定量化、基準化が未だ未整備であることから、エネルギーをコストとして捉えるインセンティブが十分に働いてないことである。この問題の認識度合いは工場規模にもよる。例えば少品種で中小規模であれば、生産と見合った省エネの対策効果が比較的わかりやすい。しかし規模が大きく多品種となると、省エネ効果を実感することが簡単ではない場合がある。仮に見える化の仕組みがあってもおおよそなものであれば、月一回の評価となり、正しい評価となっているかに疑問が残る。これについては原単位の考え方をIoTの考え方により、もう一步前進させる必要がある。この点の進展があれば、エネルギーの

高効率化＝生産効率の向上という方程式が納得感あるものとして現場にも浸透できると思われる。さらに重要なことは、現場と経営層との密な連携である。システム上はMESとERPと連携が十分でないこと、さらにSFAでいうFEMSとの連携不足である。SFAではこのためMESへのFEMS-indexのインプリメントも議論となってきた。なお海外へ進出した日系企業の工場では、こうした問題はさらに遅れており、国情にもよるが現地での信頼性獲得のために、まずは環境影響の低減が重要な指標となっている例があることを付記しておく。ICT化については、別掲するクラウド活用がある。これは分散した設備の効率良い運用、セキュリティ確保への投資負担減、さらにエネルギーと情報を併用する進化型スマートグリッドという視点からも妥当な方向である。しかし現状はまったくFEMSに導入されるレベルには至っていない。

3)については、地域コミュニティとの連携なしには成立しない。災害があれば、地元の従業員の多くも被災することになる。したがって、災害に強い頑健な生産体制を支えるには、地域とともに復旧できる、あるいは地域とともに予め減災計画を立案しておくような仕組みが必要である。これについてはCEMSというキーワードで幾つかの実証実験が進められてきた。最小限の生活基盤であるエネルギー、水、そして交通は、工場にとっても生命線であり、これをまずは確保することはまさに地域共通の課題となっている。山村地域でのエネルギー自立を視野に、工場へバイオマス・コージェネシステムを導入し、地域とともに活用するなどの試みも国内では出てきている。一方、災害時を想定したBCPは初期の復旧には重要であるが、その後の生産へのスムーズな以降にはまだまだ検討すべき課題が多い。こうした中で、いわゆるスケジューラは中期、長期の生産計画に資する形で利用されているが、さらにエネルギー資源を考慮するとともに、災害による設備トラブルや他工場代替を想定した再計画などの立案にも活用する知恵が必要となっている。工場が地域と一体になっていくことを想定すると、原発のストレステストと同様に工場のストレステストも早晚検討していく時代が来ているのである。

2. 2. 3 FEMS導入の現状例

図3は川崎重工業(株)西神戸工場におけるFEMS導入例の一部である(2)。大型蓄電池であるギガセルを用いて再生可能エネルギーを有効活用し、工場内負荷の平準化およびピークカットを実現している。停電発生時にはエネルギー自立運転により事務機能継続を可能としている。図4は三菱電機名古屋製作所におけるFEMS導入例の一部である(3)。ここでは3つのステップすなわち、1)計測によるエネルギーに見える化、2)高効率機器による省エネ、3)原単位管理によるムダの発見と解消というプロセスでFEMSを実施している。こうした仕組みで実稼働中、アイドル中、さらにアラーム停止中の生産システム消費電力量を捕捉する。このほか、国内では見える化を中心としたFEMSが導入されてきているが、アプローチは様々であり、その効果と課題の整理は緒についたばかりと言える。

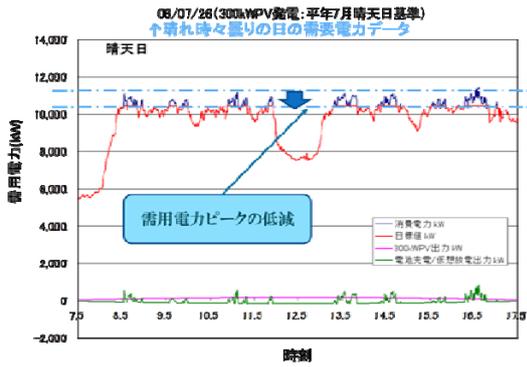


図3 FEMSの実装例(川崎重工業)

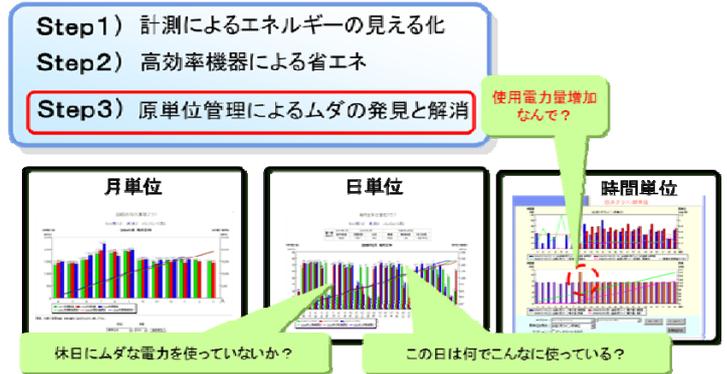


図4 FEMSの実装例(三菱電機)

2. 2. 4 FA システムにおける生産およびエネルギー管理

図5にFAシステムの構造と課題例を示す。生産管理の要としてのMES（製造実行システム）は、ERPとFAコントローラを接続し、業務計画指示を生産現場に伝え、生産現場情報を集約して上位へフィードバックする。一方エネルギー管理の要としてのFEMSは、工場に数多く導入されている省エネルギー設備やエネルギー監視装置を管理し、省エネを実現するために活用される。しかしここには共通の課題があり(図6)、それは相互の設備や機器と接続・関係するための通信ネットワークの統一がなされていないことである。このためエネルギーに配慮したFA設計やマイクログリッドとの接続・関係は煩雑なままで、取って挑戦する場合、付随する工場の情報処理はますます肥大化せざるをえないという問題がある。

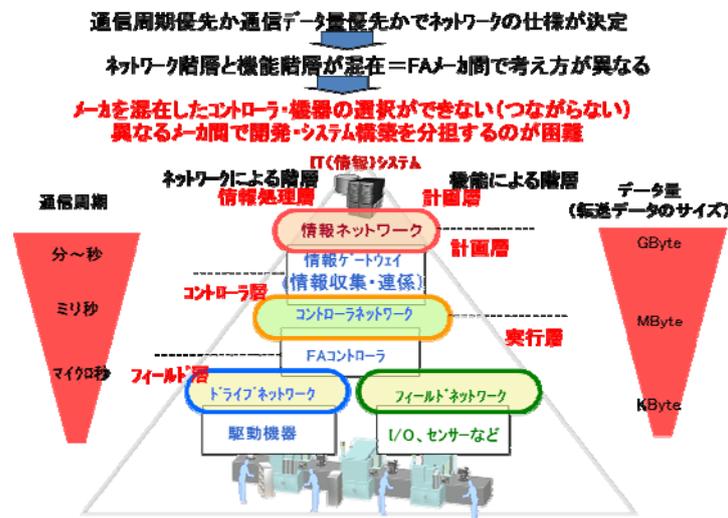


図5 これまでのFAシステム構成例

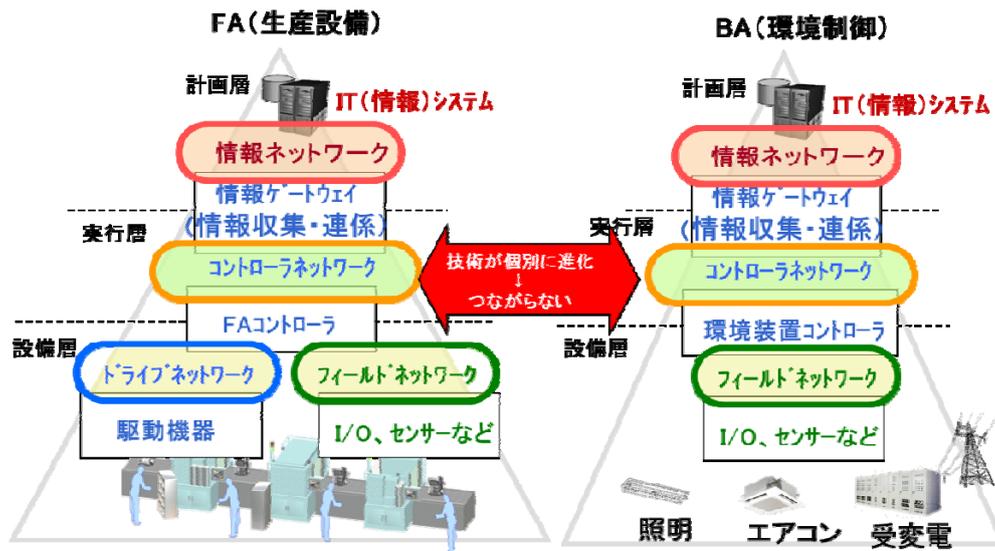


図6 生産管理とエネルギー管理との関係

2. 2. 5 クラウドベース生産・エネルギー管理

図7に生産およびエネルギー管理ネットワークの構造とその機能概略を示す。生産・環境管理・制御モデルの課題は、まずERP、MESおよびEMSなどのシステム間でのデータ交換方式・データ形式が統一されていないことにある。この結果、原単位計算元データの同期が取れないという問題がある。MES-FA 機器間データとBAS-環境装置間データについてデータ形式・構造が異なること、つまりこれもデータ統一の問題である。さらに言えば現在推進されているスマートメーターにはFEMSとのオープンな通信機能無いことから、工場ではデータを読み取る以上のインタラクティブな措置は不可能であり、この解決には法整備が不可欠と言える。以上のことは、システム全体の国際的標準化の重要性を示すもので、実際システム毎の標準化はISOやIECで進行中である。ただしここでも使いやすいFEMS構築の足かせ、あるいは中小企業への導入障壁とならないかなど、工場オペレーションの立場で検討していく必要がある。

一方、こうした動きの中で、最新のICT基盤を活用する意図で、一気に新しいデータベース形式、ビッグデータへの対応、データマイニングの活用さらにBCP/BCMへの対応を進めるという考えがある(4)。それはクラウドの活用である(図8)。仮に1台の機械から毎秒1Kバイトのデータ生成、1工場に1000台の機械・装置、それが1年間稼働すると、100工場だけで $3,153,600,000,000,000\text{bytes}=3.15\text{Pbytes}$ というまさにビッグデータが出現する。将来的に扱うデータはテキスト以外の音声、動画、センサデータと多岐に渡り、しかもリアルタイムかつ高頻度になることは、スマートフォンで扱われる爆発的な情報量から見ても確実である。

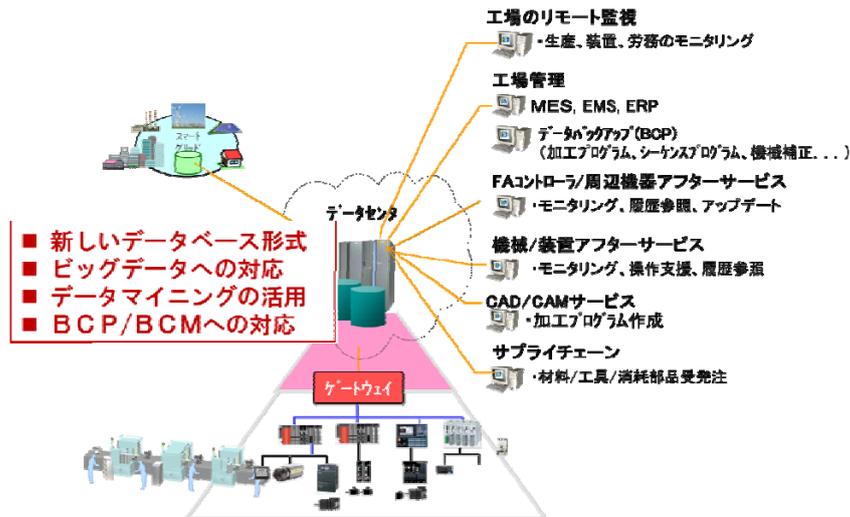


図 7 生産管理システムのためのネットワーク

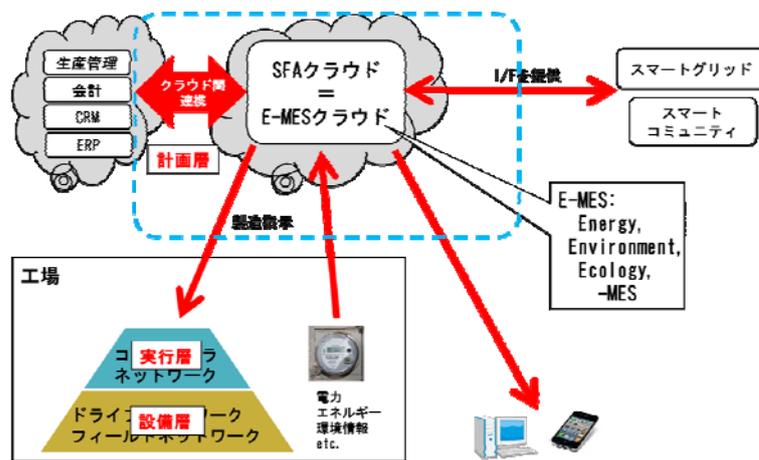


図 8 クラウド指向型の生産管理システム

SFAでは、E-MES（Energy, Environment and Ecology - MES）といった仕組みを考察してきた。具体的な方法論は議論の途上にあるが、例えばアプローチ A として MES 機能にエネルギー管理を入れクラウド化へ移行する方法は、既存の枠組みを拡張する形で自然と言える。一方、アプローチ B として、当初からクラウドにエネルギー管理をインプリメントして、グリッド連携への障壁を下げ将来のビッグデータ対応に先鞭つける方法も考えられる。この両者、あるいは第 3 の方法も含め、我々は実証データを基に調査研究を進めていく予定である(図 9)。

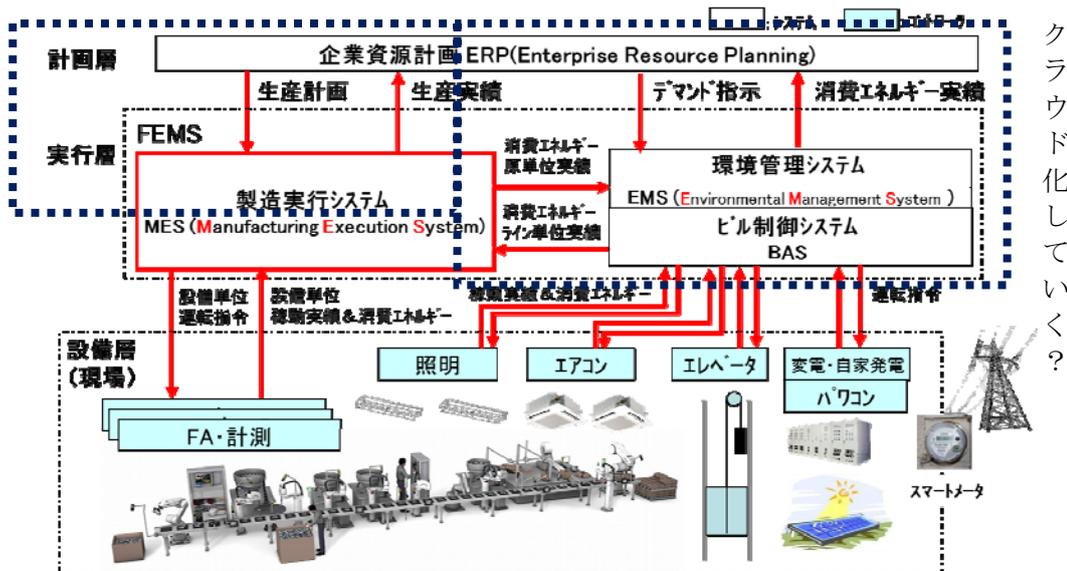


図 9 クラウドベースの SFA システム構成例

2. 2. 6 まとめ

本論文では、スマートファクトリーオートメーション(SFA)について概説した。多くの産業分野で標準化の取り組み進展する中、欧州勢はむろん、中国なども海外技術の蓄積と習得を強化、いずれ国内市場の飽和をトリガとして FA 分野でも規格主導をねらうであろう。我が国でも ISO20140、そこへ準拠した EMS 機能の国際規格、MES と EMS のデータ交換の国際規格の制定など積極的なアクションが必須とされる。今後はクラウドベースでの実工場実験を通じて、SFA のコンセプトを実現していくこととしたい。

参考文献

- 1) 田中邦明、生産システムとインテグレーション、計測自動制御学会誌、第 44 巻第 6 号、2005.
- 2) 清水良明、生産システム工学講義、<http://ise.me.tut.ac.jp/lectures/pse-basis/chap1.pdf>

次章以降では、SFA 委員会における活動内容について述べる。

3. FEMS の最前線

3.1 はじめに

2011年の東日本大震災を発端とした電力供給危機により、全国民が緊急避難的な我慢の省エネを強いられ、特に工場も生産に支障をきたすなど経済への多大な影響を及ぼした。その後、省エネ機器への転換と火力発電等の増強や再生エネルギーの導入が進んだことで、電力の需給バランスが保たれているため、省エネに対する緊迫感は緩和されてきた。しかし、国内全体のエネルギー消費量の約半分を占める産業界においては、電力使用量の抑制やピーク電力のシフトが継続的に求められている。また、火力発電量の増加や太陽光発電等の再生可能エネルギーの全量買取制度や化石エネルギーの消費拡大に伴い、為替変動による電力料金が値上げされる傾向であり、景気回復とグローバルでの競争激化に直面している日本の産業界にとっては、生産時に使用するエネルギーコストの削減は重要な課題となっている。更に、地球温暖化防止の観点で企業の社会的な責任としてのエネルギー使用量の最適化や消費エネルギー削減が求められている。

本章では、生産性向上と品質向上による省エネを実現する FA 統合ソリューション e-F@ctory の活用事例について述べる。

3.2 従来の省エネとエネルギー管理

空調・照明などのユーティリティ設備の高効率機器への積極的な更新や空調温度の一時的な設定見直し等で省エネを進めてきたが、作業現場の環境悪化を伴う運用は生産活動そのものにも影響を与えるものであり定常的な対応としては受け入れ難かった。また、工場は、エネルギーを大量消費する需要家としていわゆる改正省エネルギー法においても、事業者単位でのエネルギー管理が必要とされるなど法令の強化が行われた結果、エネルギー管理システムである FEMS(Factory Energy Management System)の導入が進んだ。初期の FEMS の殆どは、契約電力を超える恐れがある場合に警告を発するデマンド監視と部門毎の月次でのエネルギー消費の見える化が中心となっているのが実情であり、物作りを優先し日々状況が変化する生産現場ではエネルギー削減の観点だけでは更なる省エネが進んでいない。

3.3 生産性と品質向上による省エネ

生産現場では、従来から設備稼働率の改善等による生産性向上や製品品質の維持向上活動が実施されてきたが、エネルギー使用量の観点から生産性向上の活動を行うことで、より効果的なエネルギー削減が実現できることを図 3-1 に示す。例えば、生産設備のチョコ停改善は、チョコ停中の無駄な電力削減に貢献する。また、不良品を無くすことで、不良品生産時に要した無駄な電力発生を削減できる。このように、生産現場で最も要望のある生産性向上や品質向上を実施することで、省エネをも実現する。更には企業活動として重要なコスト削減にも結び付く。

「生産性向上」 = 「省エネ」

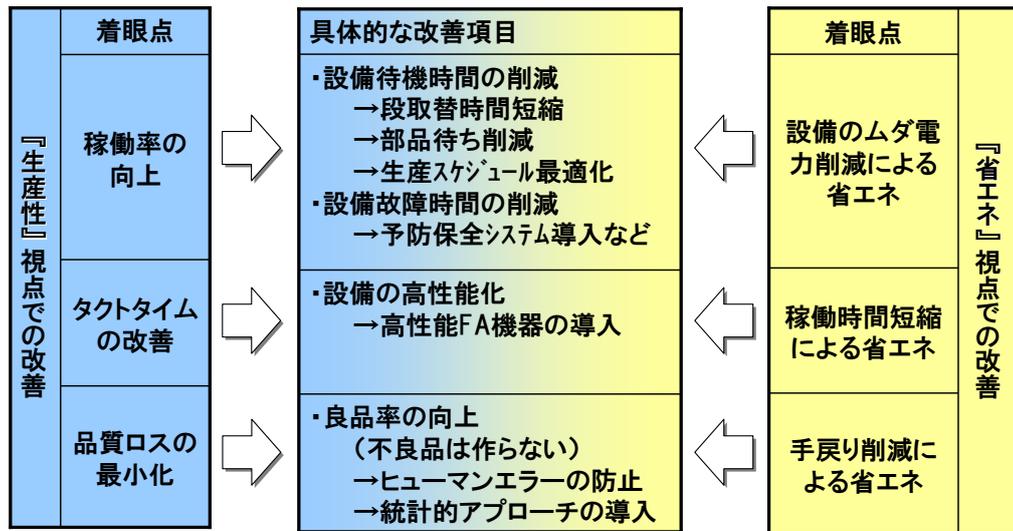


図 3-1 生産性向上による省エネ

3.4 生産現場のエネルギー消費の最適化を支援する e-F@ctory

生産現場の生産性を向上するには、各生産設備の稼働情報や品質情報に加え、設備毎の電力使用量をリアルタイムに「見える化」することで、生産過程の課題や無駄を発見し、その原因を早期に改善することが必要となる。しかし、まだ多くの生産現場では、手書きメモによる情報収集に頼っているのが現状であり、真の無駄要因や課題をタイムリーに抽出できていなかった。

図 3-2 は、生産設備と生産管理システム等の情報システムをダイレクトに情報連携する e-F@ctory の概念図を示す。生産設備に組み込まれたシーケンサは、装置内の各種センサやデバイス等の FA(Factory Automation)製品から FA ネットワーク CC-Link などを経由して収集した情報を元に、設備を制御することで部品の加工や組立を自動で行う。シーケンサ内には、生産実績・設備稼働情報・品質情報や設備毎の電力使用量など今まで活用できていなかった様々な現場の情報が多数存在する。これらシーケンサの内部情報は、シーケンサ制御システムの一部に組み込まれた MES インタフェースユニットなどの情報連携製品が SQL 文を直接発信することで、セキュリティー面で課題のあるパソコンを経由せずデータベースへ蓄積される。生産管理システムなどの情報システムは、このデータベースを参照することにより現場の設備の状況をリアルタイムにモニタ・管理・解析することができる。e-F@ctory を活用することで、現場設備と情報システムが双方向で直接情報連携する FEMS が簡単かつ低コストで実現可能となった。

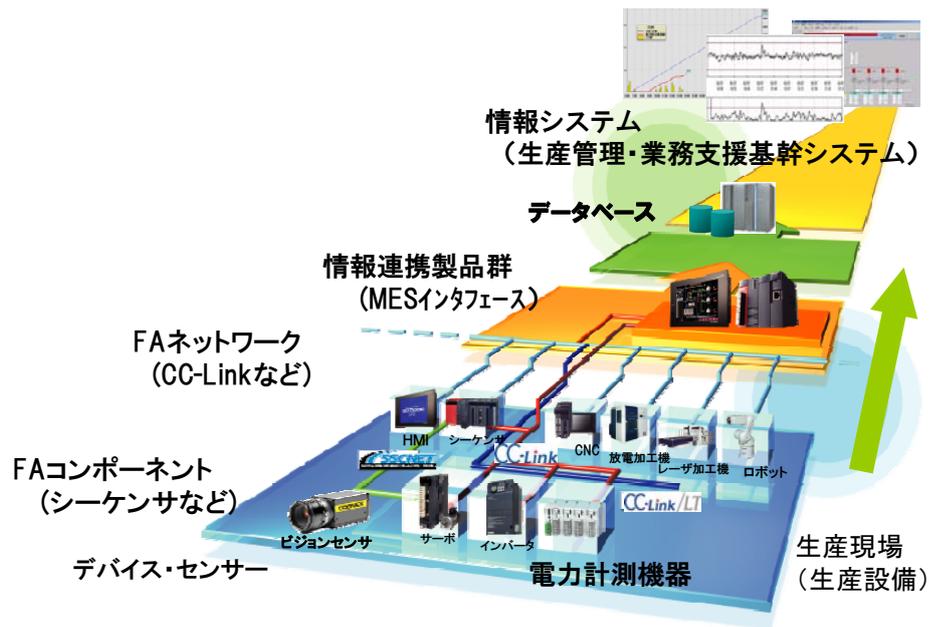


図 3-2 e-F@ctory の概念

3.5 原単位管理による無駄エネルギーと要因の発見

生産情報とエネルギー情報を結びつけて省エネ改善に繋げるには、リアルタイムに設備・装置の電力原単位の監視を行うことが重要である。電力原単位とは、製品1個を生産するために消費した電力エネルギーである。図3-3は、1時間毎の電力原単位と設備稼働履歴を示す画面例である。電力原単位を指標とすることで、電力使用量の監視だけでは分からないエネルギー消費効率の悪化を発見することができる。更に、設備稼働履歴と紐付けることで、悪化原因が容易に判明。その発生原因を改善することで、エネルギーの消費効率の向上を図り、省エネに結びつけることが可能となった。

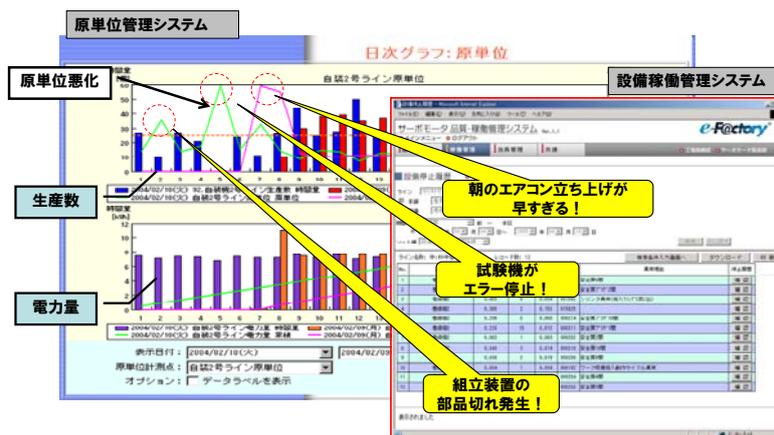


図 3-3 原単位管理による無駄電力の発見

3.6 チョコ停改善による省エネ

短時間の設備停止であるチョコ停の改善による設備稼働率向上と省エネを実現した事例を図3-4に示す。従来、チョコ停は現場で対応していたため、改善課題の「見える化」は難しかったが、生産設備から自動的に情報システムに要因情報を蓄積することで、その要因と停止時間が容易に把握できた。停止要因を改善することで、設備稼働率が向上、更に設備停止時間を短縮したことでその期間中に浪費していた電力を削減できた。

また、リアルタイムに情報収集し見える化したことで、短時間に改善のPDCAサイクルを回すことが可能となった為、様々な改善を実施できるようになった。

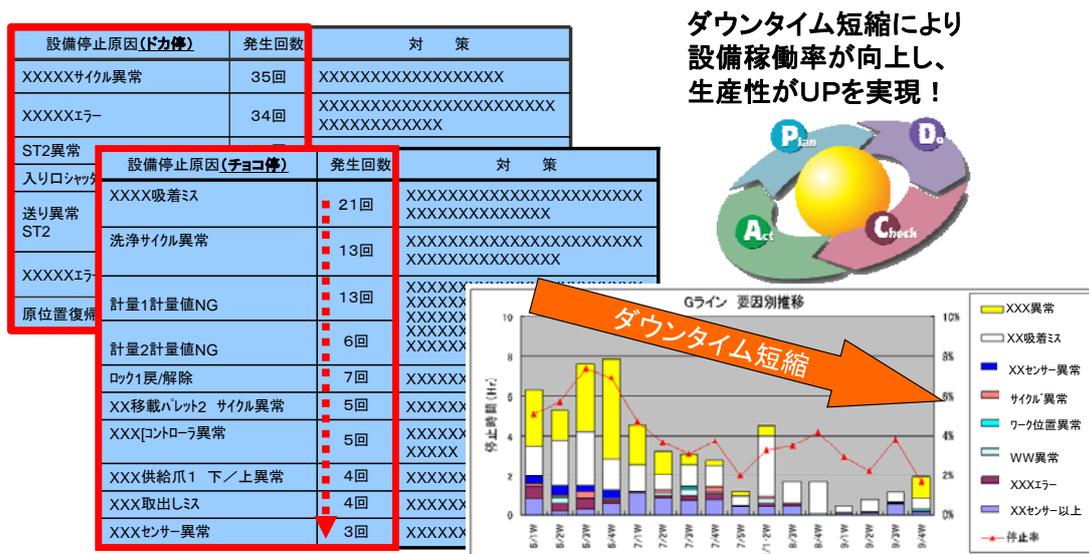


図3-4 チョコ停改善による生産性向上

3.7 サイクルタイム改善による生産性向上と省エネ

生産ラインは、複数の設備で構成されているため、すべての設備が同じサイクルタイムで稼働する場合に、最も効率的な生産が可能である。しかし、一つの設備でもサイクルタイムが長いと、その設備がネックとなり、ライン全体のサイクルタイムを悪化させる。

生産工程ごとに電力原単位とサイクルタイムを「見える化」した例を図3-5に示す。生産品種変更等に伴って工程⑤の電力原単位(折線グラフ)が悪化した例であり、エネルギー消費の観点から注目されるポイントである。生産情報として収集したサイクルタイム(棒グラフ)を重ね合わせると、工程⑤のサイクルタイムが長くなり、生産ライン全体のバランスを乱していることが分かる。この場合、工程⑤の設備改善によってサイクルタイムを短縮したことで、生産ライン全体の生産性が12%向上、更に生産ライン全体のエネルギー消費量が8%削減できた。

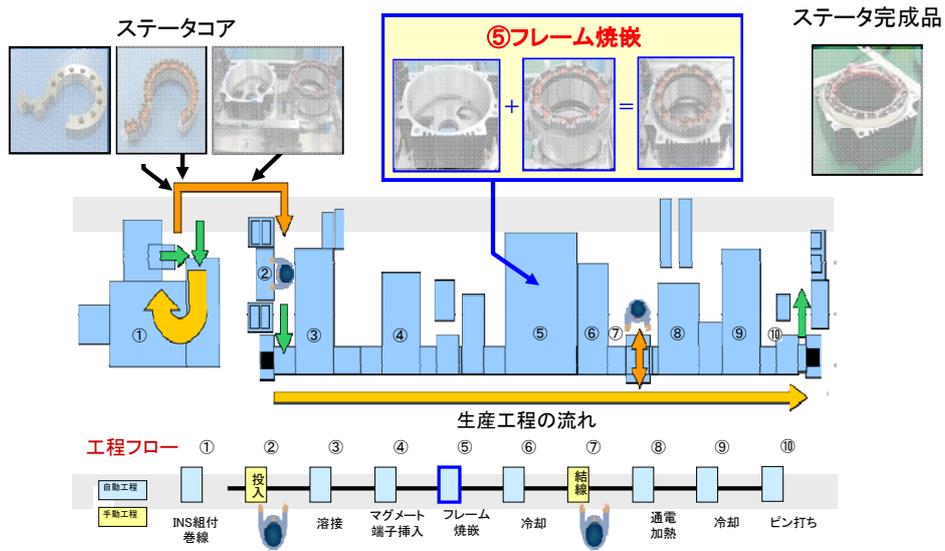


図3-5 サーボモータのステータ生産ライン構成

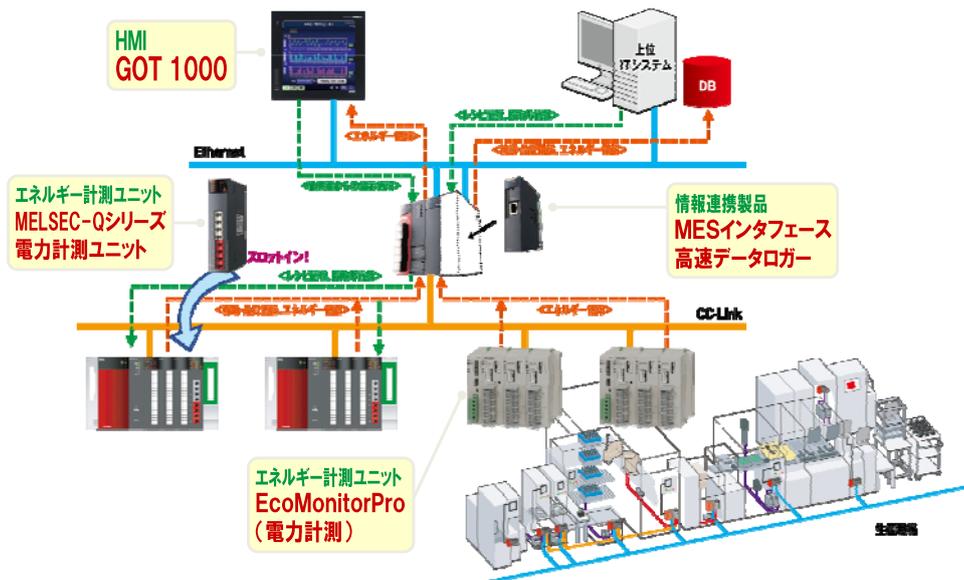


図3-6 ステータ組立ラインのエネルギー収集管理システム

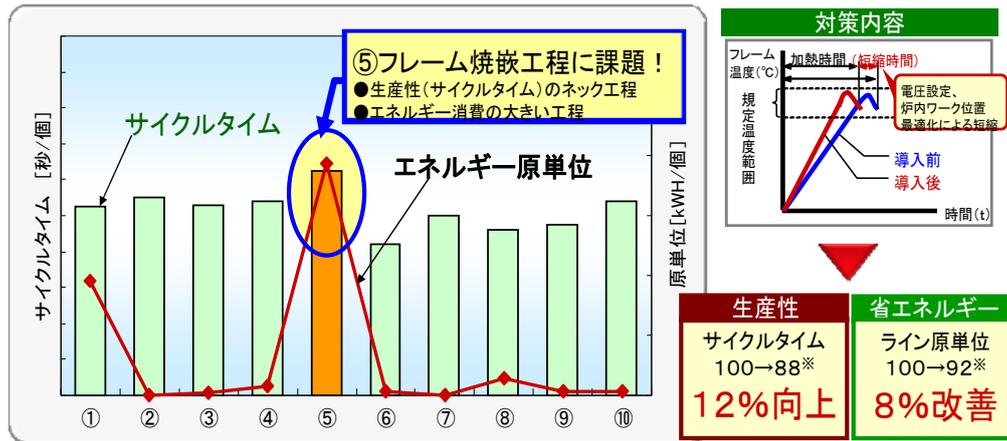


図3-7 ラインのサイクルタイム改善

3.8 まとめ

従来個別に管理されていたエネルギー情報と生産・設備稼働情報を紐付けて分析することで、生産現場における無駄なエネルギー消費の削減やエネルギーの最適利用が可能となる。

本項では、生産設備での消費エネルギー削減について述べたが、スマートファクトリーオートメーション (SFA) が目指したのは、空調やコンプレッサーなどのユーティリティ系設備も含めた工場全体のエネルギー利用最適化である。その為には、蓄電池活用を含めたエネルギー供給元との需給バランスを実現するピークカット/ピークシフトやデマンドレスポンスによるエネルギー最適化利用が求められる。一部で実証試験などの取組が実施されているが、普及には生産や品質への影響度に加え投資対効果の課題が残る。

4. FEMS からスマート CEMS へ

4. 1 工場エネルギーマネジメントの現状と課題

製造業をとりまく競争環境は、近年急激に変化している。工場における Q (Quality)、C (Cost)、D (Delivery) は製造業の競争力の源泉であり、その QCD を最適化することで企業としての競争力を維持している。中でも、工場に供給されるエネルギーはこの全てに大きく影響するため、資源を十分に持たない工業立国である我が国は、国策的に供給エネルギーの安定化・高品質化に努めてきた。その中では、安定性および品質は所与の条件として、エネルギーコストの低減のみに注力し、工場の原動部門（供給サイド）、製造部門（消費サイド）各々の役割において「量と効率の省エネ」を追求することで世界最高水準のエネルギー効率を達成してきた。（図 4-1）

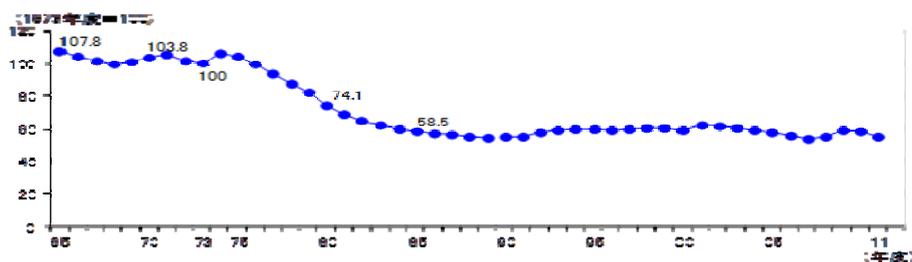


図 4-1 製造業のエネルギー消費原単位の推移
(出典 エネルギー白書 2013 年)

しかしながら、環境起因の大量自然エネルギー導入拡大や、化石燃料の輸入価格の乱降下、さらには、東日本大震災に起因する原発停止、再稼働の見直し等が議論される環境下においては、低廉で安定・高品質な電力はもはや所与の条件とは言い難い状況となっている。加えて、議論が進む電力改革やガス小売自由化等が実現する社会においては電力だけではなく電力と熱を一体に捉え、これまでの量だけを意識したコントロールだけでは最適化出来ず、「いつ」「どこで」「どれだけ」自家発電（熱）し、蓄電（熱）、購入するかを判断・実行することが求められるため、上位 CEMS 等と連携しながらこれらを支援する FEMS（グリッド側との連携）のニーズはますます高まってくると想定される。

また、エネルギーマネジメントの国際規格である ISO 50001（エネルギー性能指標：EnPI）の導入、エネルギーマネジメントレベル標準化等も加速している。そこでは規格の要求事項の特徴のひとつに PDCA を掲げ、エネルギー性能指標（EnPI）の継続的改善を重視している。このような流れの一方で、現在かなり先進的な取り組みをしている工場の場合でも、その実際はエネルギー管理システム導入による消費実績管理までである。しかも設備の計測対象は建屋/フロア/空調レベルまでで、個別の生産ライン・設備のエネルギーを捕捉している例は数少ない。その結果、エネルギーの浪費箇所が不明なままで、月別の実績レポートでは後手に回り、エネルギー効率悪化の要因もはっきりしないことになる。これにはいくつもの理由があると思われるが、その一つは多くの場合、省エネ推進役が製造現場と距離のあるスタッフ部門・原動部門等であること、一方いままでの生産現場は QCD が優先であり省エネの優先度はどうしても下がるためなどである。加えて生産性とエネルギー消費がうまく紐付されてないことから、EnPI 等を意識しない原単

位管理を導入しても有効な改善になかなか結実しない。

本稿では、富士電機が展開するものづくりを支える技術と位置付ける工場のエネルギーマネジメントシステム（以下 FEMS）コンセプト及び FEMS 機能概要について述べる。またコミュニティ持続可能性を支えるための、CEMS 連携を考慮した FEMS の将来拡張機能概要について自社の導入事例、実証事例を基に紹介する。

4. 2 富士電機が目指す FEMS コンセプトについて

富士電機は、生産活動に密接に連動する製造拠点のエネルギー・環境負荷に着目し、環境負荷低減活動をより戦略的な製造コスト低減活動として捉え、日常的、継続的な“改善活動”が行える、エネルギー・環境ソリューションを以下の 3 つのものづくり改善活動を切り口として、工場トータルの環境負荷低減を提案している。

（1）ユーティリティ設備の運用効率改善

生産需要に合わせ、ユーティリティ設備の最適運用を行なうことによりエネルギー効率の向上を図る需要予測、運転制御技術を提供する。

また、太陽光発電などの再生可能エネルギーや燃料電池・自家発電設備（コージェネ）の導入・有効利用により環境負荷低減を実現しつつ、蓄電池を活用した発電エネルギーの効率的な運用、ピークカットを実現する。

更には、高効率の電源や受変電設備、高効率な熱供給設備、需給最適制御技術等により、工場ユーティリティ設備のエネルギー負荷低減を徹底的に支援する。

（2）生産設備の生産効率改善

生産ラインの稼働率向上により、供給エネルギーを無駄なく使う環境作りを目指す。

このため、モータ、インバータ等高効率機器の導入によるエネルギー効率改善のみならず、製造管理システムや保安全管理システム、設備総合効率分析と連携することで、生産ライン全体での運用改善による一層の効率化推進を支援する。

（3）製造製品の歩留向上

製造製品の不具合発生をエネルギー及び廃棄ロスと捉え、徹底的な品質改善による効率化を支援する。

製造工程における品質トレーサビリティ、品質傾向監視、不具合要因解析等のシステムや、画像検査装置などの導入により、製品の歩留向上に寄与し、ロスエネルギーの低減、廃棄低減を実現する。

上記のエネルギー・環境ソリューションの 3 要素を進めていくためのコンセプトを図 4-2 に示す。お客様の用途、課題に合わせて最適なソリューションを提供するためには、監視・計測 (Plan)、分析 (Do)、評価 (Check)、対策・改善 (Action) の PDCA を継続的に行っていくことが重要である。P ではエネルギーの「見える化」し、D・C では分析・評価によって省エネ着眼点の「分かる化」、A では着眼点に応じたソリューションパッケージの提供による「最適化」を実現する。

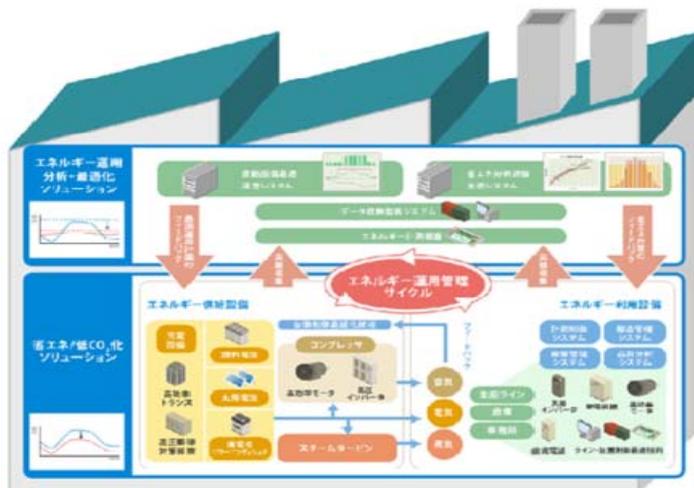


図4-2 FEMSを用いたエネルギー管理のコンセプト概念図

4. 3 FEMS 機能概要/導入STEP 及び プラットフォーム

FEMSに求められる機能は単なるエネルギーデータの見える化や単体の高効率機器の採用、部門単位の省エネ活動の支援に留まらず、エネルギー消費実績データを多角的に分析することで総合的なエネルギー利用効率の向上やエネルギーコストの低減、部門横断的で継続的な省エネ活動の活性化に寄与することである。更には、気象条件や生産計画等の条件から近未来のエネルギー需要量を精度良く予測することにより操業にマッチしたエネルギー供給の動的な最適化の仕組みを提供することにより継続的で高効率な仕組みを実現出来る。

また、従来のオンサイト型のFEMSの導入はそれなりに投資も必要となり、またシステムを運用する現場スタッフも必要になることから特に規模が小さい工場、海外工場にとっては負担となり、その結果システムの導入がなかなか進まない側面がある。この場合にはクラウド技術を活用した共同利用型エネルギー管理支援サービス(クラウド型FEMS)(図4-3)を利用することで初期投資およびランニングコストの低減化が図れると共に、エネルギー支援サービスを受けることでシステム運用のスタッフが必要となることからFEMS導入が促進される。



図4-3 クラウド型FEMS例

次に具体的な FEMS の導入 STEP を図 4-4 に示す。機能ブロックとしてはエネルギーデータの収集および可視化 (STEP1: 見える化)、収集実績データの多角的な分析 (STEP2: 分かる化)、分析結果を元に再生可能エネルギーやコージェネレーション、蓄電池の利用も加味した最適運用支援機能 (STEP: 最適化) となり、以下各 STEP について詳述する。

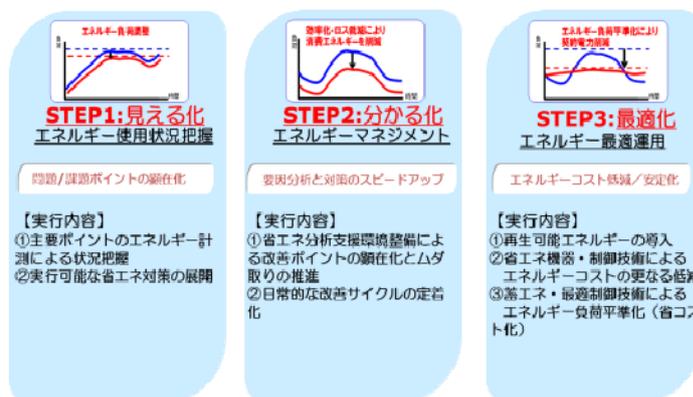


図 4-4 FEMS の導入 STEP 例

(1) 見える化

FEMS の基本はまずデータの「見える化」から始まる。エネルギーをマネジメントするために必要なデータを計測・蓄積し、運用者に適切な行動を促す基盤となる。また対象はユーティリティから生産設備、共通部門全般に渡り、電力、熱（冷熱、温熱）、エア等のみならず、工場の生産情報や気象情報等まで一元的に管理することでより効果的な仕組みの構築可能となる。この仕組みを実現する上での最大のポイントは、最終的に工場全体のエネルギーを最適化するために必要最低限の計測ポイントに絞り込んでまず整備していくことにある。特に電力系は比較的容易に計測システムを構築可能であるが、熱系（冷水、温水、蒸気等）の計測は時間もコストもかかるため最適な計測ポイントの設計が必要となる。計測データは、出来るだけ運用者に見やすく表示し、時系列でのエネルギー使用実績は元より、カテゴリ別内訳（工場別、建屋別、工程別等）や過去との比較、更には生産実績と連携することで原単位管理を行うことが可能となる。

(2) 分かる化

日常の管理やマネジメントに必要な計測データが収集、蓄積され「見える化」によりエネルギーデータの可視化が可能になれば、次はこれらのデータを用いて多角的に分析することにより工場におけるエネルギー使用量の無駄や改善ポイントの焙り出しが可能となる。また、最適なエネルギー管理を実現するためには、エネルギーの需給が一体となった課題（結果に対する要因分析）が見えるエネルギー管理と、省エネ改善活動プロセスのPDCA が重要である。最適なエネルギー管理基盤を構築することにより、“打ち手が読める仕組み” “活動できる仕組み” を提供することが可能になる。最適なエネルギー管理の仕組みづくりにより、省エネ課題および対策着眼点の“課題の見える化”につながり、課題に応じたエネルギー運用改善や省エネにつながる生産活動の是正、省エネ機器・制御技術の導入など、効果的で有効な評価・是正が可能となり、日常的・定常的に回る省エネ活動に結び付けることができる。また、工場の場合は、エネルギー計測データだけでなく、ユーティリティ設備・生産設備の稼動情報、生産出来高などの製造情報を有機的に結合したエネルギー分析が必要である。

～エネルギー分析コンセプト及びテンプレート（図4-5）～

エネルギー分析テンプレートは、省エネ活動をスパイラルアップしていくための三つの観点、すなわち“消費エネルギー分析”“設備システム制御分析”“設備システム性能分析”をサポートするものである。管理する上での作業手順や見るべきポイントを体系化し、エネルギー管理業務のプロセスを定型化したものである。

(a) 消費エネルギー分析

各種階層でのエネルギー集計、用途（エリア、工程、設備）別集計など、さまざまな切り口でエネルギー管理フロー図を整理し、各負荷パターンや各負荷時間でのエネルギー占有率を分析し、改善効果が大いに見込まれる重点ターゲットを見いだすことができる。このためのテンプレートを提供している。

(b) 設備システム制御/運用分析

重点ターゲットのエネルギー状況と個々の運転状態を比較分析することで、重点ターゲットの改善につなげることができる。個別最適化から全体最適を実現するための負荷に応じた運転制御の見直しや、最適な運用方式などの検討を行うことが可能なテンプレートを提供している。

(c) 設備システム性能分析

エネルギー供給設備の単体運転効率、群制御設備などのシステム効率などの各種KPI（Key Performance Indicator）の見える化を実施し、負荷状況に応じて単体運転効率の高い設備を優先的に動かすことで全体システム効率の向上につなげることが可能になる。また、エネルギー利用側の原単位管理による生産出来高の変動とエネルギー消費量の連続性分析を行うことが可能なテンプレートを提供している。

これらの三つの観点によるエネルギー分析テンプレートは、相互に関連付けており、エネルギーマネジメントシステム（FEMS）に取り入れ、“消費エネルギー分析”では課題箇所の絞込みを行い、“設備システム制御/運用分析”では課題となる要因を見つけ、“設備システム性能分析”にて改善に直結した運用の評価が可能である。

これらの観点に基づく活動を通じて、省エネ活動をスパイラルアップしていくことができる。図4-5に、エネルギー分析テンプレートの例、分析画面例を示す。

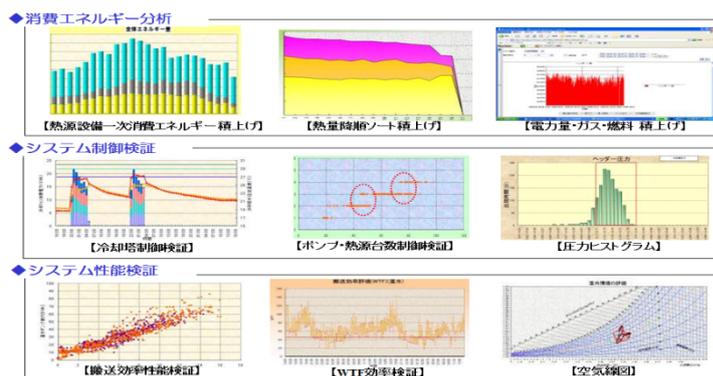


図4-5 エネルギー分析テンプレート

また、上記テンプレートを活用したFEMSでは、EUC（End User Computing）の思想に基き、ユーザ自身によるコンテンツの追加やメンテナンスが容易に行え、継続的な省エネ活動を継続的にサポートできる。

(3) 最適化

多角的な分析結果に基づく各設備の特性や効率に基づき、工場におけるエネルギー需給の最適化を支援する機能である。ここでの最適化における目的関数はエネルギーコストの最小化、CO₂の最小化、メンテナンスコストの最小化等が考えられる。

昨今では省エネルギーやBCPの観点から、再生可能エネルギーや蓄電池、蓄熱装置、コージェネレーション等の導入も盛んであるため、それに伴い工場におけるユーティリティのシステム構成も複雑化している。過去の実績データに基づき、エネルギー消費に大きく影響を与える外部要因（気象データ、生産計画等）から近未来（24～48時間程度）のエネルギー消費量（需要量）を精度良く予測し、その結果に基づいたエネルギー供給設備（ユーティリティ）の最適な運用支援機能が必要になる。予測の際には需要量のみならず、不安定な再生可能エネルギー発電（太陽光発電等）やフリークーリング等の外気熱を利用した冷熱設備等の供給側の複雑な予測も考慮する必要がある。また、ユーティリティの最適計画の段階では各供給設備の効率や特性は元より、運転に関する制約条件（入/切の時間間隔、頻度、優先運転等）や運用上の制約（受電電力の制約等）を考慮した最適計画の立案支援機能が必要になる。最適化の概念図を図4-6に示す。

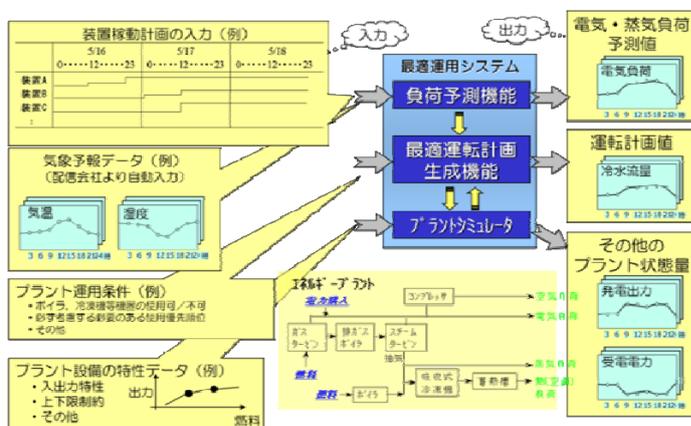


図4-6 最適化の概念図

(a) 予測技術

電気、熱などの負荷は工場の操業予定に影響される負荷や、気象条件に影響される負荷、毎日ほぼ一定の傾向を示す負荷など様々な特性を有している。また、線形モデルで精度良く予測できる場合もあれば、非線形モデルによる予測が必要な場合もある。

ニューラルネットワークはこれらの非線形のモデル化能力および学習能力を有しており、パターン認識、診断、予測などの多くの分野で適用されてきている。しかし、最適なネットワーク構造が事前に得られないため試行錯誤的に学習しなければならないこと、内部がブラックボックスのため出力理由の説明が困難であることが安全性や信頼性が重要視される分野においては適用が困難とされてきた。この点を改善した構造化ニューラルネットワークを適用することで、出力理由の明確化や学習過程での不要な素子や結合を削除することで構造を最適化することが可能となる。

(b) 非線形最適化技術

最適制御は、冷凍機などの起動・停止（離散量）と発電機などの出力（連続量）を同時に決定する必要があり、従来は、機器の特性を線形関数で近似した上で混合整数計画問題として定式化する方法が一般的であったが、この方法では機器の台数制御などのローカル制御や現場の運用ル

ールなどを考慮することが困難である。このような場合には数式化出来ないような制約条件の取扱が容易なメタヒューリスティック手法（MH）を用いることで解決可能となる。主な MH 手法の一覧を図 4-7 に示す。

	GA	SA	TS	PSO	非線形システムの安定性理論を用いた最新の最適化手法
開発時期	1970年代	1983年	1989年	1995年	2003年
対象問題	組合せ最適化問題	組合せ最適化問題	組合せ最適化問題	連続型最適化問題 混合整数非線形最適化問題	組合せ最適化問題 連続型最適化問題 混合整数非線形最適化問題
状態変数	離散変数	離散変数	離散変数	連続変数, 離散変数	連続変数, 離散変数
探索点数	多点探索	一点探索	一点探索	多点探索	一点探索
解の保証	解全体が良い方向に行くことは保証されている。	大域最適解が得られることが保証されている。	数学的な保証はない。	探索の振る舞いを数学的に解析する試みが始められている。	数学的な理論に基づいた探索方式で保証可能（理論を構築中）
実行時間	○	△	◎	◎	○
特徴	近年は、多目的最適化問題への適用有効性が検討されている。	長時間をかければ良質な解が得られる。	組合せ最適化問題に対し、一般的にGA, SAより短時間で良質な解が得られる。	従来法では解を求めることが困難であった混合整数非線形最適化問題に対し、短時間で良質な解が得られる。	大規模な問題に対して、最も効果的かつ確実に良い解が得られる。

〔注〕実行時間は相対的に◎, ○, △の順番に短い。

図 4-7 主なメタヒューリスティック手法

(c) 非干渉制御技術

最適化を実行すると、非線形最適化計算機能からの複数の設定値変更が同時に行われる。しかしながら干渉の強いプラントや運転上の制約の多いプラントでは、複数の設定値変更を同時に行うことが困難な場合が多い。このような場合には、複数の操作量を同時に動かし、かつ制約を考慮した制御を実現する多変数モデル予測技術が有効となる。モデル予測制御は、内部モデルを用いて仮想する操作量に対する未来のプラントの振る舞いをシミュレートし、目的の制御軌道（参照軌道）との差や、操作量および制御量を最小化するような制御則について、制約条件を満たした状態で求める制御方式である。この制御は、最適化問題に帰着出来ることから内部的には線形計画法、二次計画法、非線形計画法などの数理計画法を用いて制御則を求める。

4. 4 富士電機の進める「工場スマート化」の取り組み及び実証事業

富士電機は、地球温暖化防止、循環型社会形成、企業の社会的責任を柱とする「環境ビジョン 2020」を掲げ、省エネ・創エネに関わる製品・技術の提供を通じて地球環境保護に貢献するとともに、自らの生産活動における環境負荷低減にも積極的に取り組み、「環境経営」を推進している。

エネルギー費の高騰と電力事情の変化に対応して2012年度からスタートした「工場のスマート化」では、従来の高効率機器の導入や省エネ意識の向上等による省エネ活動に加えて、エネルギー自給率の向上、ピーク電力の抑制、生産活動へのエネルギー供給のJIT（Just In Time）化を図って、エネルギー効率の最大化を目指している。2013年度は、モデル工場（山梨製作所等）で電気・熱エネルギーの見える化、分かる化、最適化のためのシステム開発を推進した。今後は、お客様に、弊社で実証したエネルギーマネジメントシステムの成果を直接現場で確認していただき、これらの省エネ技術を「工場スマート化システム」として提案を実施していく。当社は、電気・熱エネルギー技術の革新の追及により、省エネ・創エネ製品を創り出し、グローバルに展開することで、持続可能な社会の実現を目指している。

(1) 山梨製作所 FEMS 導入事例

当社の山梨製作所は南アルプス市に位置し、元来 PC のハードディスクの磁気記録媒体を生産する半導体工場であったが、2011 年の東日本大震災による大規模停電を機に生産ラインを海外に移転集約し、2011～2012 年の改修の際に FEMS を用いたスマート化の概念を最大限取り入れて、新たにパワー半導体工場へと生まれ変わった工場である。(図 4-8)

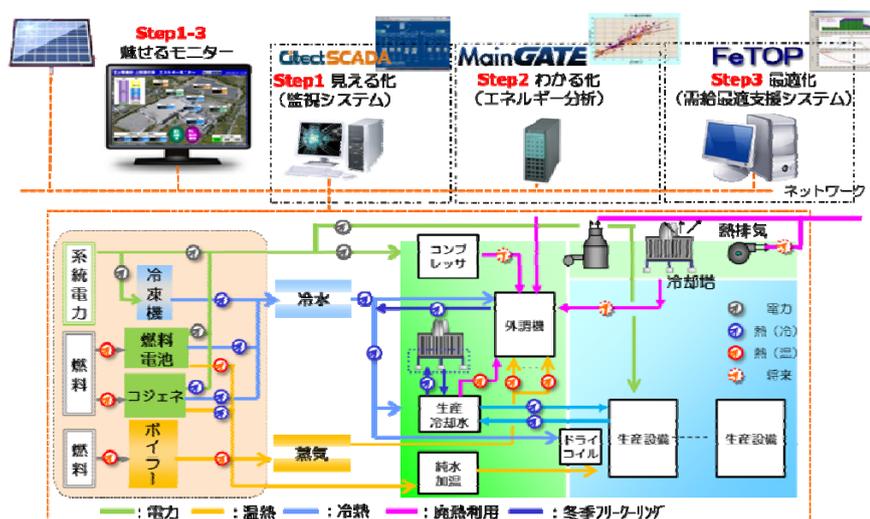


図 4-8 当社山梨製作所のスマート化構成

本工場に代表される半導体工場はクリーンルーム内の環境(温度、湿度、クリーン度)を維持するために常時多量の空調(冷熱、温熱)エネルギーを使用し、かつ生産量の増減に対するエネルギーの増減の感度が鈍いのが特徴である。

また気候面では夏は暑く冬は寒い内陸性盆地気候であり、南アルプス山脈由来の豊富な地下水に恵まれている。日本屈指の多雨地域である反面、日照時間も長いのが特徴である。

南アルプス特有の外気熱由来のフリークーリングによる冷熱を最大限取り込んでいる。またコージェネレーションの導入に合わせて、電気と熱の需要を 1 時間単位で直近 48 時間分を予測し、最適な機器の運転計画を立案することで工場トータルの省エネルギー化を実現している。

上記のエネルギー特性や気候、地域性を最大限考慮してスマート化のコンセプトと主な施策は下記通りである。

- (a) **FEMS による電気と熱のベストバランス** ～エネルギー供給の予測最適化～
 - ・電気+熱の見える化の充実
 - ・エネルギーの統計分析や機器単体/総合効率分析
 - ・自然エネルギー+電気+熱の高度なトータル需給最適制御 (2014 年導入)
 - ・FEMS モニターの設置 (外来者向け)
- (b) **省エネルギー化** ～高効率機器、日々の見える化・分析による生産効率改善～
 - ・自然エネルギーの利用 (全温度帯フリークーリングの導入)
 - ・排気量の低減 (熱排気の再利用)
 - ・廃熱回収、利用
 - ・DC-FFU (ファンユニット) のゾーン別風量制御
 - ・インバータ、熱源最適制御の導入
 - ・地下水利用

(c) 瞬時電圧低下・地震対策 ～電力品質改善、生産リスク回避による歩留り改善～

- ・ 高圧 UPS (2000kVA×2 秒) の採用
- ・ 最重要負荷へのりん酸型燃料電池の採用 (100kW×4 台)
- ・ コージェネレーション (2,550kW) の導入 (2014 年度導入)
- ・ 免震床構造の採用

(2) 北九州市における次世代 FEMS 実証事業

～生産計画調整によるエネルギー需給最適化の実証～

従来は、工場の生産計画立案に当たっては、在庫、納期、出荷量など生産に関する情報に基づいて行われるのが一般的である。近年、エネルギーコストの増加、電力需要集中による電力供給のひっ迫などの事情から、エネルギー使用量を考慮した生産計画を立案することが重要となってきた。 (出典：北九州スマートコミュニティポータルサイト)

(a) 次世代 FEMS の概要

図4-9に次世代 FEMS の概要を示す。生産設備毎に現場操作端末、電力量計を設置し、設備毎の品種別消費電力を把握する。FEMS サーバはこれらの情報と CEMS から受信した電気料金情報 (DP)、必要生産量から最適な生産計画を立案する。立案された生産計画は現場操作端末へ表示し、表示された生産計画に基づき生産を行うことで、コスト最小となる生産を実現する。表4-1に主要機能一覧を示す。これらの機能によりピークシフト、省エネ、業務効率化を実現する。

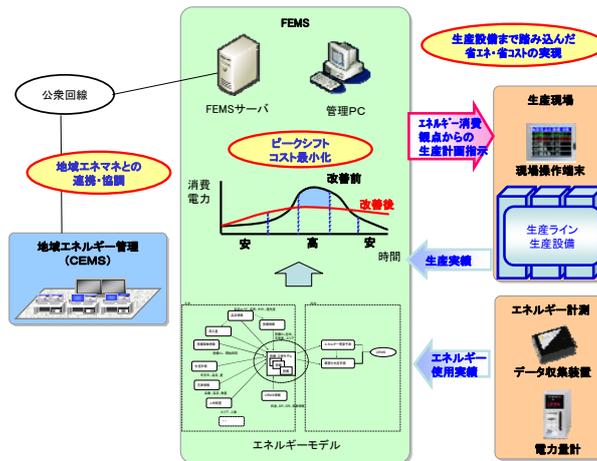


図4-9 次世代 FEMS の概要 (北九州)

表4-1 主要機能一覧

分類	機能
生産計画	生産計画立案機能
	生産計画表示機能
生産実績管理	生産実績登録機能
	生産実績集計機能
	帳票出力機能
エネルギー使用量計測・集計	エネルギー使用量計測機能
	エネルギー使用量集計機能
C EMS連携	C EMS連携機能
メンテナンス	運用設定機能

(b) 機能概要

図4-10、4-11に次世代FEMSの運用画面例を示す。

・生産計画の立案

電気料金が安い時間帯は消費電力の大きい品種、電気料が高い時間帯は消費電力の小さい品種を生産するよう生産順序の見直しをすることで、生産量を落とすことなくピークシフトを実現している。

・生産実績管理機能による業務効率化

生産開始時、終了時に需要家で登録するデータを有効活用し、生産実績を集計した日報、月報の作成を行うことで業務効率化を実現している。

・エネルギー使用量の見える化による省エネ

生産設備毎の電力使用量の計測、集計機能を実装し、工場内の各設備のエネルギー使用量の無駄を見つけることでエネルギー使用量削減を図っている。

・CEMS連携機能

上位のCEMSサーバと情報連携することでDR（デマンドレスポンス）に対応した生産計画の立案によるピークシフト制御を実現している。



図4-10 次世代FEMS画面（CEMS・生産計画連携）



図4-11 次世代FEMS現場操作端末

(3) インドネシア共和国・ジャワ島工業団地におけるスマートコミュニティ実証事業

高い経済成長が続くインドネシアではエネルギー需要の伸びも著しく、さらなる発展が期待される同国が経済と環境を両立した「持続可能な社会」を構築するためには「スマートコミュニティ技術」の導入による高度なエネルギー利用方法の確立が喫緊の課題となっている。中でも同国のエネルギー消費量の約1/3を占める産業分野が多く集積する工業団地は、エネルギー消費の伸びが著しく、NEDOとMEMRは2010年から日尼両国政府が共同して工業団地地域におけるスマートコミュニティ技術の導入可能性や、持続可能なビジネスモデルを検討してきました。その結果、「スマート&エコ工業団地モデル」の必要性を認識し、実現性を実証する上で最適であると判断したスルヤチプタ工業団地において、日尼政府共同でスマートコミュニティ実証事業を開始することで合意した。

本実証事業では、「スマート&エコ工業団地モデル」をキーワードに、主に以下の3技術について、日本側はNEDO、住友商事株式会社、富士電機株式会社、三菱電機株式会社、NTTコミュニケーションズ株式会社の4社が、インドネシア国側はPLN(国有電力会社)、スルヤチプタ工業団地、そして当該工業団地内の複数の入居民間企業が一体となって協力して2016年までの実証事業を実施予定である。

(a) 電力品質の安定化技術（担当：富士電機）

配電自動化システムおよび電圧安定化装置を導入し、停電時間短縮、電圧安定化等の導入効果等を検証する。また、大容量UPSによる高品質電力供給システムを導入し、停電・瞬低被害の低減等の導入効果を検証する（図4-12）。

(b) エネルギーマネジメントシステム導入による省エネ（担当：三菱電機・富士電機）

ICT技術を利用して動的な制御を行うDSMシステムを導入して、その電力需要抑制効果を検証する。また、需要家側にてDSM要求の需要抑制を支援し、省エネを推進するツールとしてFEMSを導入し、その効果を検証する。

(c) 上記1～2の基盤となるICTプラットフォーム（担当：NTTコミュニケーションズ）

高品質な通信インフラ、クラウド基盤を提供する。

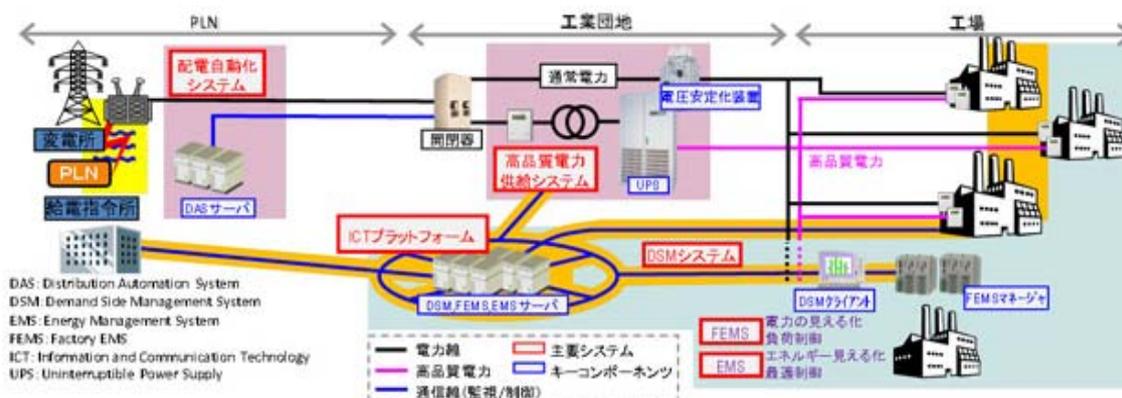


図4-12 実証のイメージ（出典：NEDO ホームページ）

参考文献

- 1) 工場の省エネルギーガイドブック. 財団法人省エネルギーセンター. 2008.
- 2) 東谷直紀ほか. 需要家向けエネルギー・環境ソリューション. クリーンエネルギー. 2011-6, p.26-29.
- 3) 東谷直紀ほか. 省エネルギー活動を支援するエネルギーマネジメントソリューション. 富士時報.2011.vol.84,no.4,p.234-238.
- 4) 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.
- 5) 他、関連URL（エネルギー白書、NEDO、北九州等）

5. エネルギー自立への SFA

5. 1 はじめに

東日本大震災では津波による福島原子力発電所を喪失だけでなく、火力発電所の被災、都市ガスの供給停止、製油所の火災など広範囲に亘りエネルギー供給に影響が出て、首都圏でも停電が発生するなど、混乱した状態となった。建屋などファシリティが震災によって直接影響を受けなくても、あるいは影響が軽微であっても、エネルギーインフラが損壊、寸断されてしまうと、工場が事業を継続することは難しくなる。また工場の操業停止はその企業の経営悪化に直結するし、さらに影響はサプライチェーン全体に及ぶ。世界規模でのネットワーク化が広がる中、工場が操業を続けることは非常に重要な課題といえる。

5. 2 工場に求められる持続可能性

図5-1は震災後、操業を停止した会社の数を示している。東北では2011年3月末の時点で37%の企業しか生産を再開できず、その後1年をかけて操業を再開している。

原子力発電所の停止、火力発電所の火災により、その後長期間に亘り電力が不足する事態となり、これらの緊急措置として首都圏では計画停電が行われた。表5-1は計画停電により、被害を受けた事業所の損害額の聞き取り調査の結果を示している。1回の計画停電により多大な損害を受けており、取り分け製造業は一般事業所と比べて金額が大きいことが分かる。

工場の操業停止は裾野の産業に影響を与える。このような広範囲に亘る製造業の混乱はサプライチェーンにも大きな影響を与え、その影響は海外の工場にも及んだ。災害発生後に工場が操業を継続することはそれそのものが社会への貢献であり、事業継続の確保が企業の信頼に繋がるともいえる。

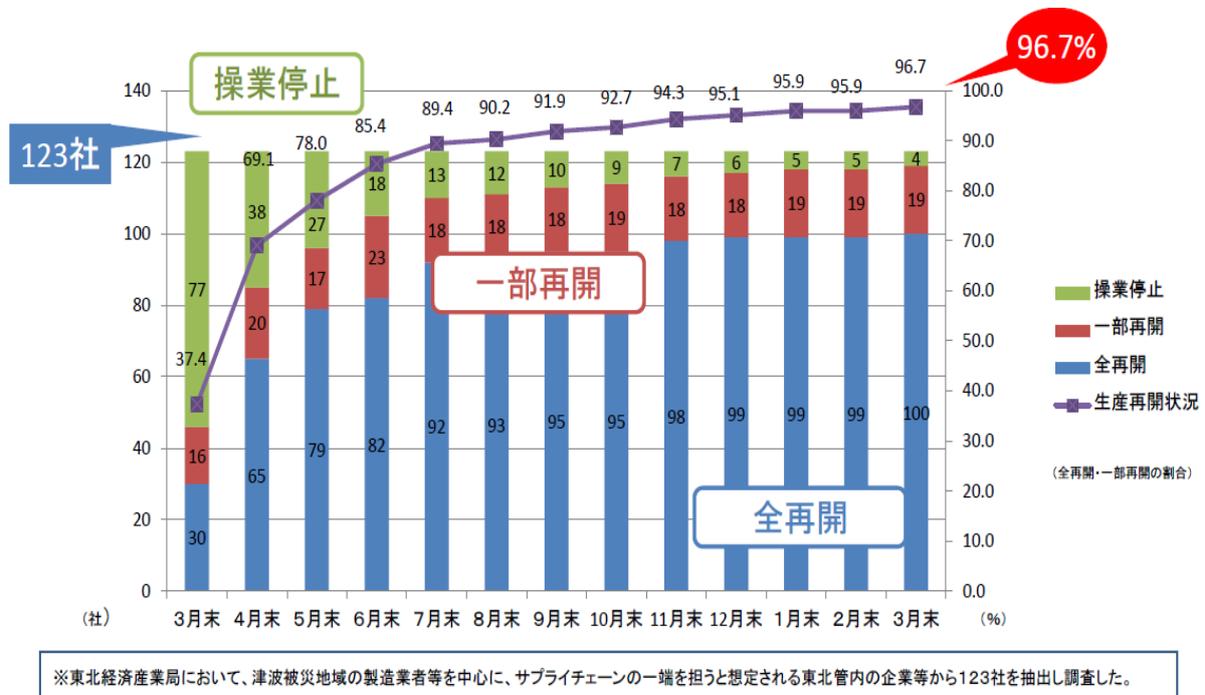
これらの対策として、エネルギー源の多様化、自立化が挙げられる。自立的にエネルギーを使用できる地産地消型のエネルギーシステムを構築し、ファシリティの災害対策を施すことで災害に強い、高い持続可能性を保有することが、次世代のスマートファクトリーのあるべき姿と言える。自立し、堅牢性の高いスマートファクトリーは、大規模災害時にのみならず、電力系統を狙ったテロや、石油や原油の輸入ルートに起因する安全保障リスクの回避、エネルギー価格の乱高下に対するリスク回避などエネルギーを取り巻く諸問題に対して、強靱性を確保するためにも有効である。

一方でこれらの施策の普及を促進するためには、導入のためのコスト、ランニングコスト、導入がもたらす新たなリスク回避、といった課題をクリアする必要がある。

5. 3 様々なエネルギー源の活用

図5-2は工場における、光熱費の構成割合を示している。金額ベースでは2/3を電気が占めており、その他が燃料代、ガス、上下水道、となっている。ガスの場合には熱源としての役割と、電力と熱を同時に活用するコージェネレーションシステムも含まれるため、利用時には一部は電力に変換されていると考えられる。このような状況を考慮すると工場でのエネルギーの自立化を進める上ではやはり電力の確保が重要といえる。震災や事故などによって系統からの電力供給が途絶した場合に備えて、一部の工場では既に自家発電設備を用意している場合がある。ただ自家発電を動作させるための燃料が必要であることには変わりなく、備蓄したとしても数日程度が限界であり、大規模な震災が発生した場合の備えとしては十分とは言えない。この問題をさら

に解決していくためには、地産地消型のエネルギー源を活用することが考えられる。再生可能エネルギーとして括られている、太陽光発電や風力発電、地熱発電、小水力発電などは工場など消費地に隣接して設置することが可能で、系統電力からの給電に問題が生じた場合にも自立的に電力を供給できるメリットがある。これらのエネルギーは化石系のエネルギー消費とは異なり二酸化炭素を発生しないため環境にも優しく、さらに海外からの調達リスクも回避できる。



(東北経済産業局発行「東日本大震災から復旧・復興の現状と東北経済再偉業局の取組」より)

図5-1 東日本大震災による、東北製造業の操業停止状況

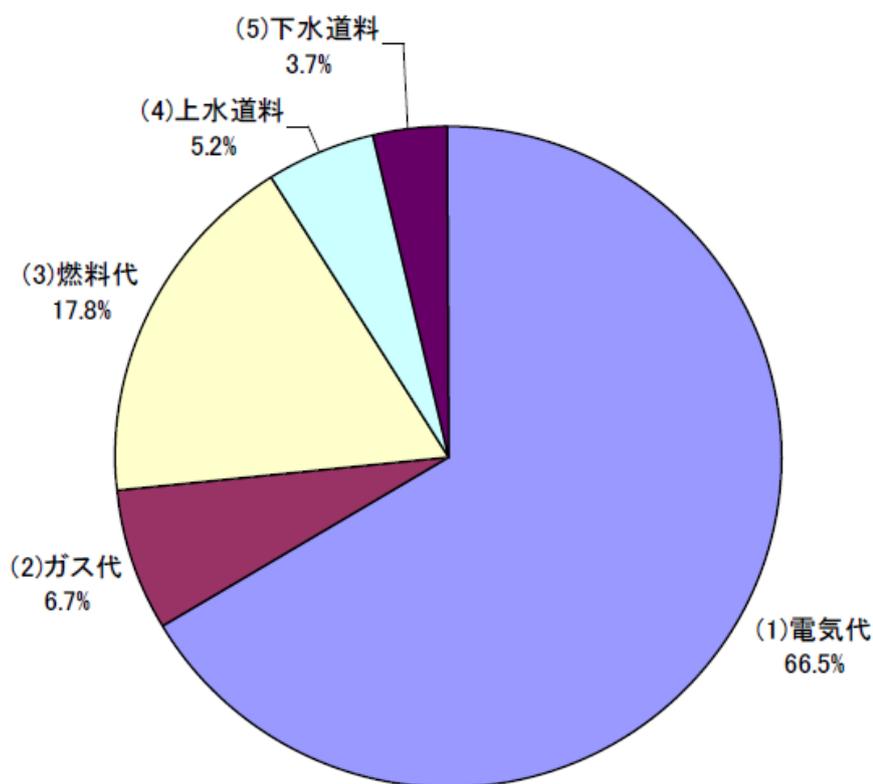
表5-1 東日本大震災に伴う計画停電の損害額

	計画停電1回あたりの損害額※1 (千円)
大口事業所	19,588
大口事業所のうち製造業のみを抜粋	30,107
中小事業所	1,322
中小事業所のうち製造業のみを抜粋	1,630
個人	2.35

※1：計画停電経験者の実際の損害額を平均経験回数で除した値

※2：計画停電1回あたりの使用電力量を当該回答者のケース

(一般社団法人 電力系統利用協議会発行 「停電コストに関する調査報告書」より抜粋)



神奈川県環境農政部環境計画課

「神奈川県内製造事業所におけるエネルギー消費実態調査結果報告書」より

図5-2 工場における光熱費の構成割合

(1) 再生可能エネルギーの活用

表5-4に太陽光発電、風力発電、小水力発電、バイオマス発電、地熱発電の再生可能エネルギーを使用した場合の発電コストを示す。実際に電力を購入する場合の価格はこれとは異なるため、場合によってはコスト面でも有利となる場合が発生する。また必ずしもコスト面で有利とならなくても、持続可能性の観点も含めて導入するケースが多いと考える。太陽光発電は、太陽光さえ当たれば場所を選ばず、メンテナンス性も高いことから再生可能エネルギーの中では最も普及が進んでいる。デメリットは夜間稼働しないことから設備稼働率が10%と悪く、また時間帯、天候によって発電量が大きく変動する点があるが、工場の場合屋根上に設置できれば比較的大きな電力を確保可能である。また日中に発電量が最大化するため、消費との乖離が比較的少ない点もメリットの一つである。一方、風力発電、小水力発電、地熱発電は場所によって土地によって向き不向きあり、導入に当たっては綿密な事前調査が必要となる。

(2) 廃熱エネルギーの活用

工場でのエネルギー利用の大半が熱として消費されていることから、地中熱や廃熱などを活用することで、エネルギー消費の削減が可能な場合がある。一般的には熱から電気を取り出す場合の効率は40%程度が限界とされており、熱源をそのまま熱として利用できれば効率が上がる場合が多い。このため、発電時に発生する熱を利用するコージェネレーションシス

テムを活用してエネルギー全体の利用効率を高める取組が広がっている。さらに、60℃～80℃の低温排熱を回収し、100℃～120℃の飽和蒸気を生成する「蒸気発生ヒートポンプ」など、工場で排出される比較的低温の排熱を再利用する取組も始まっている。

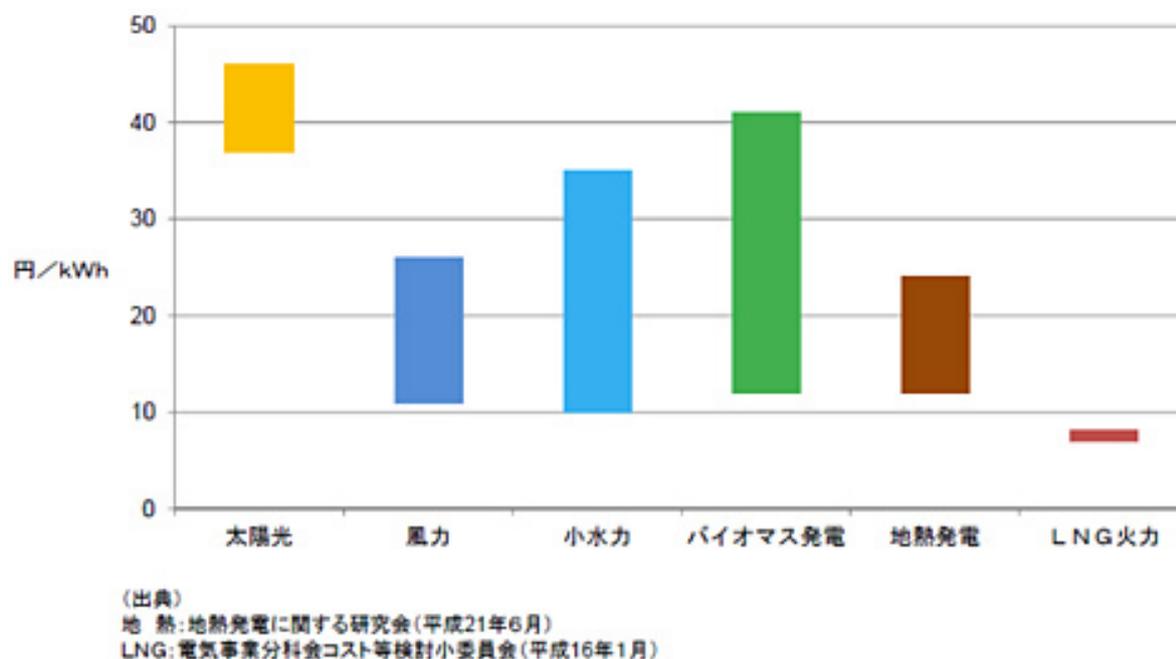


図5-3 再生可能エネルギーによる発電のコスト

5.4 ファクトリでのエネルギー運用

これらの多様なエネルギーを工場で運用する場合、問題となるのは需要（工場での消費）と供給のバランスである。電力システムでは非常に大きなネットワークで、工場、事務所、商業施設から一般家庭まで、多様な顧客によって消費が生み出され、これらに相応する電力が作られている。規模、多様性の観点から全体としてののならし効果が大きく働く。一方、工場で自立的な運用を行うためには、工場内、もしくは連携する工場群内でこれらの需給バランスを一致させるシステムを保有する必要がある。

(1) エネルギー消費の変動

工場ではほとんどの場合人が介在するため、稼働時間が人の活動時間に合わせている場合が多い。このため稼働時間は平日の昼間が中心となる。また、年間、月間など季節変動、消費動向による変動などに柔軟に対応することから、実際のエネルギー消費は大きく変動していることが想像できる（表5-5）。業種、製造物の差だけでなく、同じ工場であっても需要変動は新製品の投入など様々な要因で大きく変動することが考えられる一方で、生産量に関わりなく消費する電力も一定量必要となっている。

(2) 再生可能エネルギーの発電変動

太陽光、風力など自然エネルギー由来の再生可能エネルギーは気候などの環境変化を受けやすく、発電そのものが安定しないという課題を抱えている。表5-6は一日の太陽光発電

の変動を示している。太陽光発電の発電量は日射量に連動するが、晴天時であっても雲がかかると一時的に大きく発電量が低下する。降雨時にはほとんど発電しなくなるため、夕立などでは大きな出力変動を伴うことになる。夜間は全く発電できないため、冬場の夕暮れ時など、暖房需要が高まるタイミングでの発電が期待できない。また風力発電はイナーシャがあるため太陽光発電ほど急激な変化には至らないものの、国内では安定的に風が吹いている好立地が少なく、安定的な電力供給を期待するのが難しい場合が多い。

(3) エネルギーの貯蔵

電力の消費側、供給側双方の変動に対応するため、一時的なエネルギー貯蔵の仕組みが必要になる。電力であれば電力のまま貯めることができる蓄電池が最も適している。この他、冷温熱を水などの媒体を用いて断熱槽に熱源として保存する方法がとられる場合が多い。このような蓄熱の方法は比較的安価に対応できるが、断熱を行ったとしても劣化（熱の拡散）の問題と、そもそも熱源としての需要があることが前提となることから効果が得られる工場はある程度限定されると考えられる。

蓄電池による貯蔵の場合、瞬間的に流せる最大出力（W）と貯蔵できる容量（Wh）の二つの観点で考える必要がある。先に述べた太陽光発電の急激な変化に対応するためには最大出力（W）が必要で、蓄電池で電力を賄いたい総量（機器の消費電力×時間）から必要な容量（Wh）を算出する、ということになる。蓄電池自体の化学的な特性から最大出力と容量の選定に制限があるため、目的に応じ蓄電池の種類を含めて検討する必要がある。さらにこれらの性能は蓄電池だけでなく電力の実際のやり取りを行うパワーコンディショナの性能にも左右する。また蓄電池の利用方法として、安価な夜間電力を有効に活用してコストを下げする方法や、契約電力のピーク値を抑えるためにピークカット/ピークシフト運転を行う方法、電力会社の要請に従って電力の使用を抑制するデマンドレスポンスなど、電力運用上の施策に従うサービスの提供も可能である。これらを総合的に判断することが必要となる。

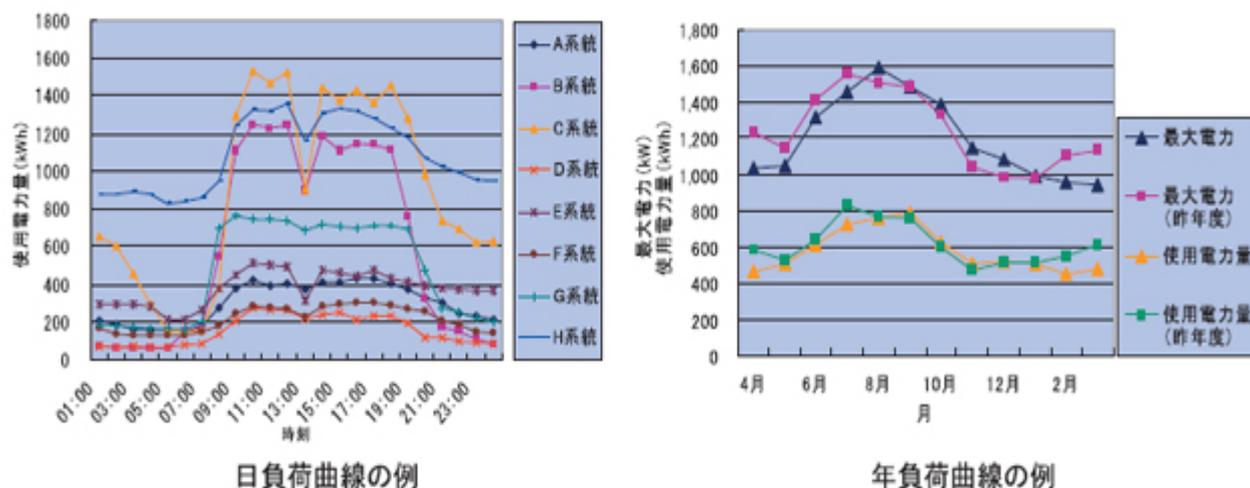
この他、余剰電力から電気分解により水素を造り、水素でエネルギーを保存する試みも始まっている。

(4) 工場における需給バランスの安定化

これらのエネルギー源のみでの自立運転は成り立たず、安定化する手段が必要となる。先に述べたように工場でのエネルギー消費には偏りがある場合が多い。まずはこれらの状況を把握するため、エネルギー消費の見える化手段が必要となる。ライン毎のエネルギー消費、製品の違いによるエネルギー商品の違いなど、詳細に把握することで、生産計画からエネルギー消費を類推していく手段を有することが考えられる。生産計画の立案と同時にエネルギー消費の変化が予測できれば、電力の供給計画へ反映させることができる。一方で発電力が不安定である場合、単独では需要に合わせた発電ができない。このため、安定化の方法として、変動を吸収できるエネルギー源との併用か、先に示した変動吸収のためのエネルギー貯蔵手段の保有の何れか、または双方を検討する必要がある。前者はコージェネレーション、バイオマス発電など燃焼系システムとの併用、後者は、蓄電池や蓄熱材によるエネルギーの貯蔵である。

前者の燃焼系システムとの併用の場合、再生可能エネルギーを無駄なく使い切るというCO2削減の観点からの一定の効果があるものの、エネルギー供給源の問題が発生するため、本来の目的である自立による持続可能性の実現、という観点からは、不十分であると言える。

一方、蓄電池、蓄熱材など、エネルギー貯蔵手段の保有では、必要な容量の算出や、制御方法など目的に応じた検討が必要だが、立地や費用対効果など総合的に判断する必要があり、必要量の算出は容易ではない。蓄電池を用いた変動吸収では、一日の中での需要と供給のアンバランスへの対応と、太陽光の発電量などの瞬間的な変動へ対応するリアルタイム性の高い制御と、大きく二つある。この抑制需要・発電量の変動に対してリアルタイムな制御を行う入出力制御装置（パワーコンディショナ）、充放電制御技術が必要になる。立地、コスト面での制約などから保存容量が制限され、必ずしも十分な持続可能性を確保できなくなる場合が生じてしまう。



出所東京商工会議所ホームページより抜粋 (<http://eco-hint.tokyo-cci.or.jp/practicalguide/g2-6>)

図 5 - 4 工場のエネルギー消費の変動

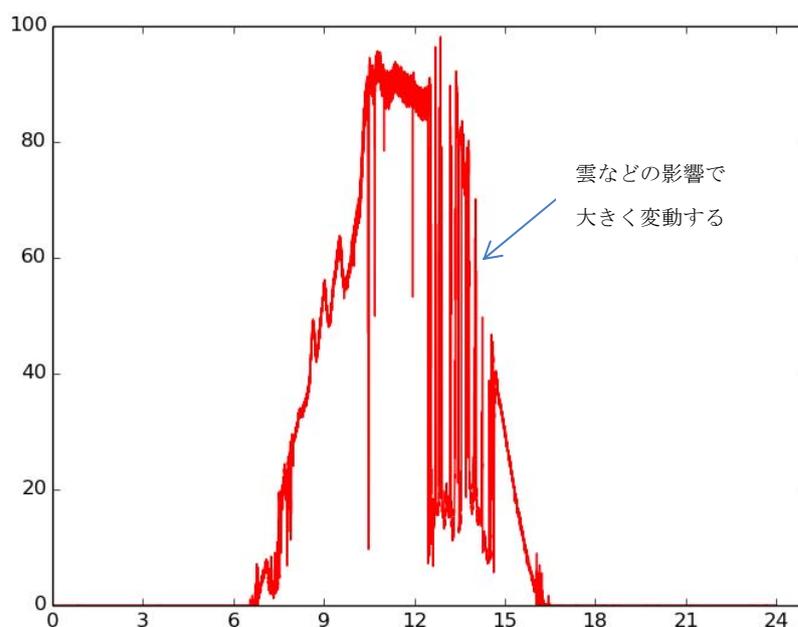
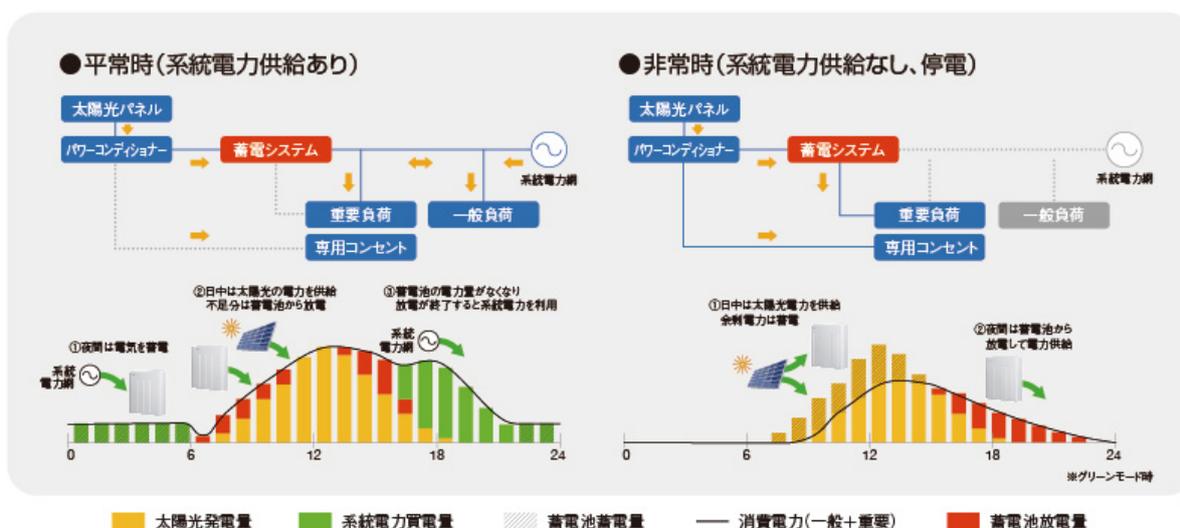


図 5 - 5 太陽光発電の発電量の時間変化

5. 5 エネルギーの自立によるファクトリの持続可能性

これらの問題に対処するため、想定される事態にどこまで対応するのか、立地、規模などによりベストミックスを判断する必要がある。エネルギーの主体が電力であり、再生可能エネルギーなど様々なエネルギー源をミックスした運用を考える上で、蓄電池の導入が鍵となると考えられるが、最小の投資コストで効果を最大限となる構成を検討する必要がある。(図5-6)

工場でのエネルギー需給バランスの安定化は、自立運転を行う上で大きなファクターである。エネルギー需要が生産計画に基づく点に着目すれば、生産計画そのものをエネルギーの観点から最適化することも視野に入れる必要がある。たとえば週の後半に電力消費の大きな工程の生産を行い、蓄電池を極力放電した状態で週末を迎え週末に太陽光発電でフルに蓄電する、太陽光の発電が大きい梅雨前に生産を前倒しで行う、などが考えられるが、このような大きな変動だけでなく、細かく管理することで効果を最大化していくことが可能になる。このような発想はある程度の規模の工場であれば単独で実現することが可能だが、中小工場の場合には地域内での工場間連携により、エリアでの持続可能性を実現していくことも検討が必要である。工場の持続可能性の実現は次世代工場に求められるサプライチェーンとしての信頼性や、サプライチェーンをとともにする企業の経営安定化にも恩恵をもたらすため、川上、川下を含めた大きな取組の中で実現していくことが望ましいといえる。



NEC ホームページより

図5-6 蓄電池の運用方法

6. SFA への面的アプローチ

6. 1 はじめに

建設会社と生産施設の関係は、一般に建物の施工が中心であると思われがちである。しかしながら弊社では、1980年代よりエンジニアリング事業の強化を進め、食品工場や化学工場、医薬品工場における生産設備を含めた生産施設の施工や、搬送設備や立体自動倉庫などの物流設備を含めた流通施設の「ターンキー」による施工を展開してきた。このような一連の活動に資するため、生産機器の連携制御シミュレーションや施設環境シミュレーションなどの数多くのエンジニアリングツールも開発してきている。

また一方で、「BECSS (ベックス)」「ESMART (エスマート)」の名称で、弊社開発の中央監視設備を市場に提供し、既に600件以上の実績がある。これらの中央監視設備は、施設環境の自動制御を行うもので、当初は、施設運用コストの削減や生産環境の安定化を目的に生産施設にも多く導入されてきた。しかしながら最近では、SFAに見られる通り、エネルギーの見える化や省エネルギー、再生可能エネルギーの制御や、非常時(停電時)の継続的な電力供給といった目的が加わり、計測するデータの取得や制御の対象や方法も変化してきている。特に生産施設のエネルギー消費情報は生産機器のエネルギー消費情報と同様に生產品のコストに密接につながるものであり、空間的にも、時間的にも生産活動とリンクしたエネルギー消費情報の取得が重要となってきた。

また、電力自由化時代を迎え、既存電力会社以外による複数需要家への面的な電力供給を行う事業者の出現により、電力のマネジメントは個別需要家のための状態把握や制御だけではなく、面的需要家全体の状態把握や制御が必要になってきた。

本稿は、面的な使用電力量の状態把握とデマンド制御の一例として、一般社団法人新エネルギー導入促進協議会が実施窓口となった、経済産業省による『スマートコミュニティ導入促進事業』の補助により2014年3月に完成した宮城県気仙沼市第一赤岩水産加工団地における地域FEMS導入について報告する。

当該事業では、弊社による施工物件もない既存施設に対して、他社クラウドサービスを活用して構築した地域FEMSである。

6. 2 事業概要

本事業は、当該団地に立地する水産加工及び関連工場施設13棟について、電力供給事業を行う特定規模電気事業者を誘致し電力供給を行うと同時に、各施設にはFEMSを設置し、地域で連携制御させることで地域全体をスマート化したものである。

対象となった工場及び所在地は以下の通り(図6-1)。

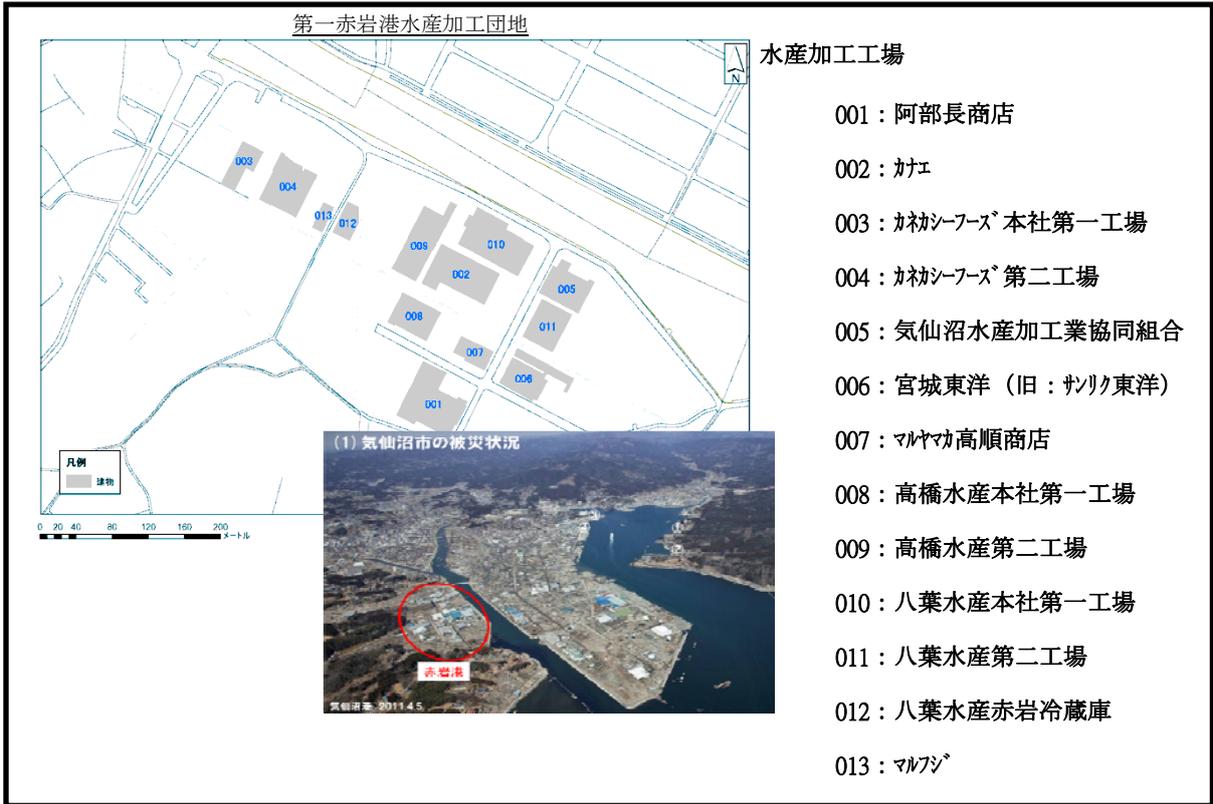


図 6-1 対象となった工場及び所在地

個別工場のシステム構成例は以下となっている。(図 6-2)

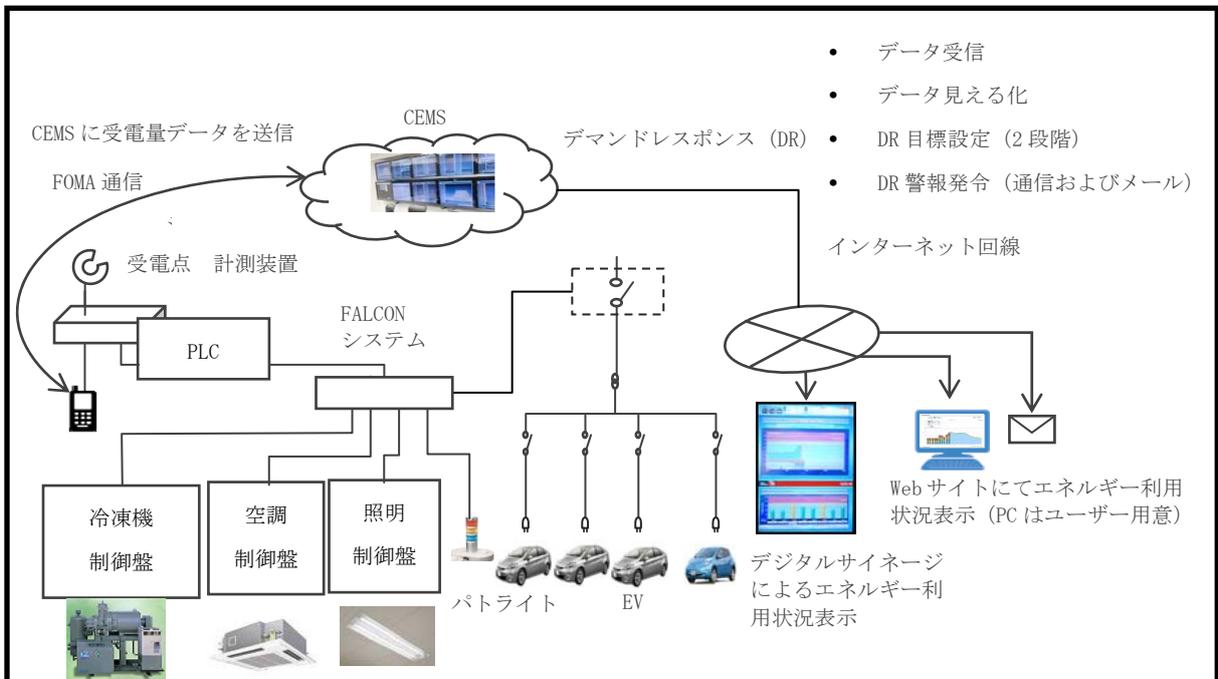


図 6-2 工場内システム構成例

全体のシステム構成は以下の通りとなっている。

(1) クラウド上に設置された CEMS センター

各施設の電力使用状況を把握すると同時に、需要量の予測を行い、WEB で表示する。地域及び各施設で設定された需用電力量の上限に近付いた場合には、警報を発令する機能を持つ。

(2) 各施設の基本装備

各施設では PC 及びパトライトを設置し、現在の電力使用状況を把握すると同時に警報を受信する仕組みを持つ。この警報は、メールによる受信も可能とした。警報があった場合は、予め定められた手順によって手動による設備制御を行う。また、自動制御を導入した施設においては、警報と連動して、自動で急速冷凍機の投入制限や空調の外調機の運転の停止、照明の減灯や消灯などの制御を実施する。

(3) プラグインハイブリッド車及び電気自動車の導入

更に一部の施設では、プラグインハイブリッド車及び電気自動車を導入した。これらの自動車設備は、施設における蓄電池として利用する。

プラグインハイブリッド車は放電機能のあるものを選定することによって、停電時には自立的に電力供給をすることを可能とした。また、電気自動車は、停電時のみならず、平常時においても放電をすることを可能とし、警報発令時の需要電力の低減にも寄与している。



図6-3 見える化画面例：複数施設データの合算値表示

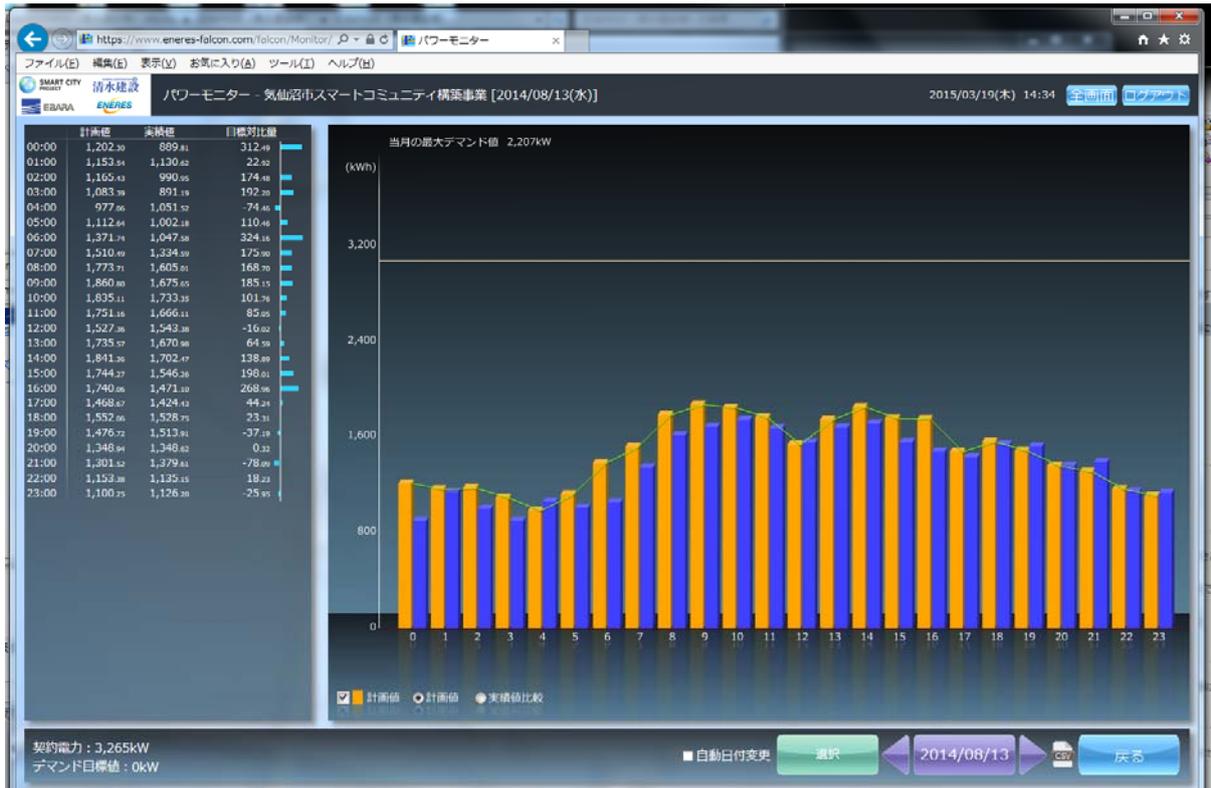


図 6—4 見える化画面例：予測値（黄）と実績（青）比較表示



図 6—5 見える化画面例：単独施設の計測点合算値表示

6. 3 実際の FEMS 設置例

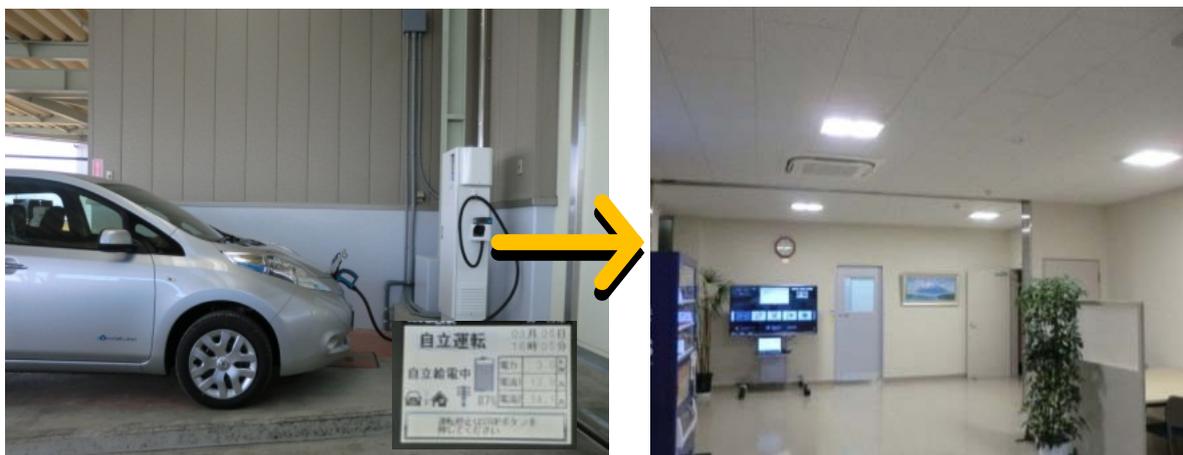
地域内の 1 工場では、連続的に運転している排水処理を行う曝気ポンプ、断続的に稼働する冷凍機について、自動デマンド制御を実施する機能を設置し、運転している。



- ・デマンドレスポンスにより最大約 350kW の契約電力削減が可能となる
曝気ポンプ（左：50kW×4）と冷凍機類（右：75kW×2）

図 6—6 デマンドレスポンス対象機器

更に、EV の蓄電池の充放電を可能することで、デマンドレスポンス時には、EV からの放電によるピークカットも可能とした。また、このシステムを利用することによって、系統停電時には、建物内オフィスエリアを系統から切り離し、EV からの放電によって電力供給を可能とする構成とした。これによって、停電時でも必要最小限の通信機器や照明への電力供給の継続が可能となっている。



- ・電力警報発令時に最大 5kW のピークカット放電が可能となる EV の接続
停電時は EV 蓄電池から建物内に非常電力供給（4kW×5h）

図 6—7 EV 連携システム

実際のピークカットの状況を図6—8に示す。曝気ポンプの運転を間欠制御することにより、需要電力の削減に寄与していることが分かる。なお、曝気ポンプの長時間の停止は排水処理機能に影響を及ぼすため、システム管理者との打合を受けて、短時間の間欠運転としている。また、ピークカット指令発令時には、オフィス内のパトライトを点灯させることによって従業員に周知させ、自主的な節電を促進している。

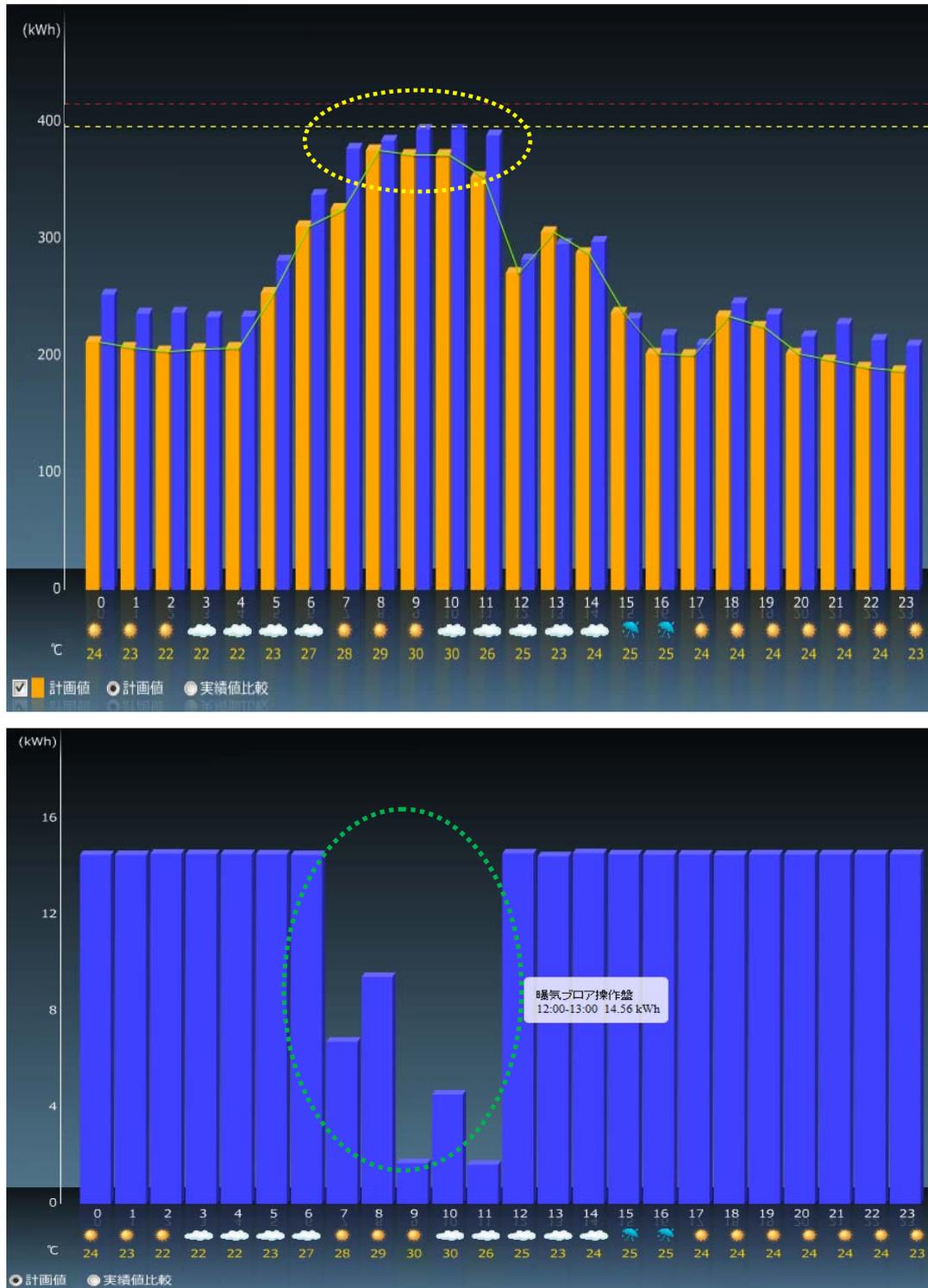


図6—8 ピークカット制御例

6.4 おわりに

本稿では、水産加工団地に集積する、面的に管理・制御される複数の中小工場に導入された統合型の FEMS を紹介した。個別の施設における電力利用管理とエリアにおける電力利用管理を両立させながら、デマンドリスポンスを可能とし、かつなるべくインシヤルコストを低減する工夫により実現したものである。

一部の工場では、生産プロセスによる使用電力量を把握し、曝気装置などの付帯装置と分離することで、効率的なデマンドリスポンスとその効果の把握を可能とした。また急速冷凍装置の投入の制御などを装置した。しかしながら本件では、工程毎の使用電力量の分析による作業タイミングの見直しなどの抜本的な生産スケジュールの見直しは、計測点が少ない、使用機器の定格出力はあってもインバータなどにより実際の消費電力量を推定することは出来ない等の理由で見送られた。

このような課題解決には、各種機器メーカーの協力による、稼働状況による消費エネルギー量も含めた機器仕様書の標準化やデータ化が必須であり、シミュレーターの開発も含め S F A の活動に大きく期待するところである。

今後も弊社では、生産設備構築及び建屋の施工能力と中央監視システムを保有することによる設備制御のノウハウを基に、生産活動と連動した施設全体のエネルギー管理や制御を可能とする生産施設の実現を進めていく所存である。

7. SFA と分散型エネルギー

7. 1 はじめに

ものづくり企業にとって、生産現場のQCD（品質・コスト・納期）は重要なテーマである。近年、これに環境のEが加えられ（QCD+E）、CO2削減のためのエネルギー消費の効率化やリサイクル、ゼロエミッションといった工場廃棄物の削減活動に注意が向けられるようになって久しい。

一方、東日本大震災と福島第一原発事故を機に、エネルギー利用のあり方を見直す機運が急速に高まっている。原子力発電所の運転休止が長引き、電力会社から電力不足による節電要請が出されてきた。一方、原発の代わりとして、旧来の火力・水力発電が見直され、また、新しいエネルギーとして太陽光発電や風力発電などの自然エネルギーも注目されるようになり、電力源の多様化が進展している。

このような背景の中、各企業では自家発電設備の導入、作業時間のシフト、エアコン・照明の電力使用の低減などの取組みが行われている。一方で、電力自由化への動きに対応して、エネルギー供給地域内に複数の小型分散型電源や電力貯蔵装置を設置し、IT 関連技術を用いて効果的な系統運用・制御を行い、経済性向上や供給信頼度向上を図る分散型エネルギーシステムである“マイクログリッド”が注目されるようになった（図7-1）。これは、太陽光発電等の自然エネルギーを含む複数の発電・蓄電設備をネットワーク化し、電力需要にあわせて最適制御することで需給バランスを調整し、安定的に電力を供給するものである。ただし、太陽光や風力などは、その発電量が天候や気候に左右され非常に不安定である。電力需要と発電出力の不均衡が生じると系統電圧や周波数の変動が発生し、工場内の機械類の運転に不具合を生じて故障の原因となる等の問題がある。このため、電力系統運用者は、需要と供給のバランス調整を行うとともに、電力の品質を維持するために周波数制御などの系統運用サービス（アンシラリーサービス）を行う必要がある。発送電分離が先行している米国では、すでにアンシラリーサービスが市場として確立しており、デマンドレスポンス（ピーク時の電力利用抑制）や蓄電池の導入などによる系統安定化のためのサービスを電力系統運用者に提供するビジネスが成立しつつある。今後は日本でも電力自由化の進展、マイクログリッドの増加に伴い、大型の蓄電池を設置することで電力をプールする方法による系統安定化の必要性が高まると予想される。

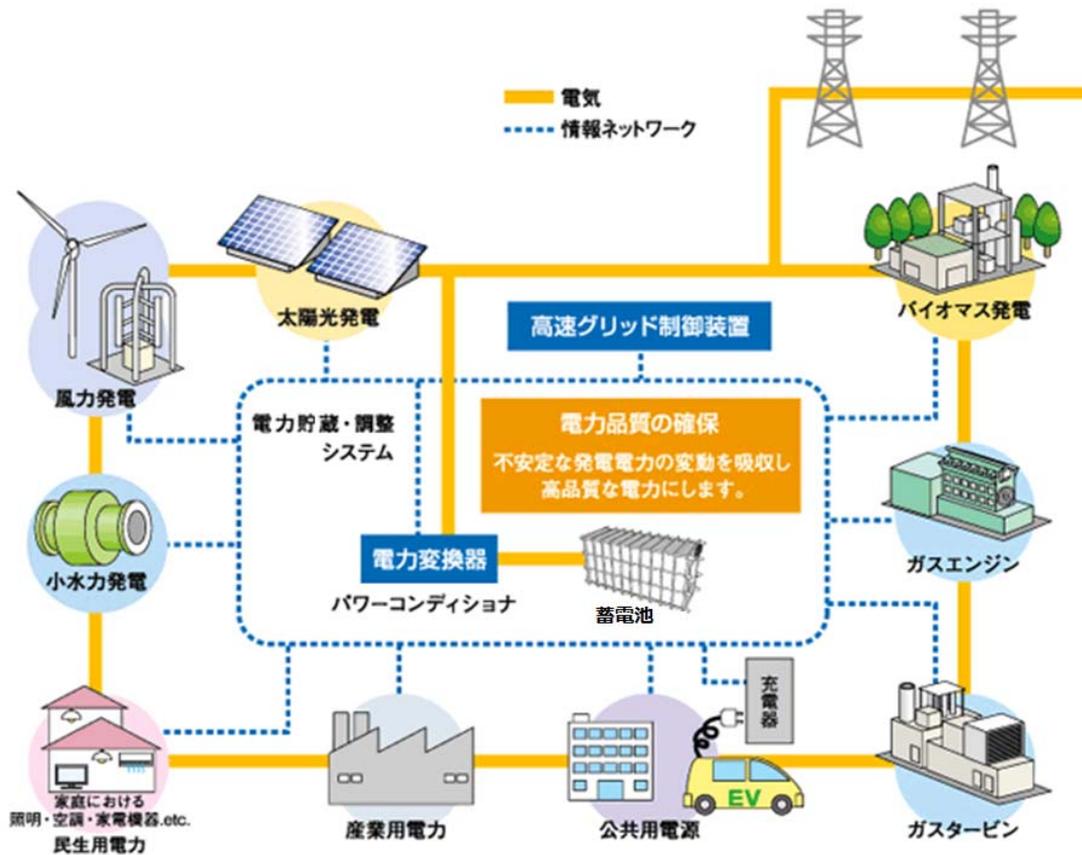


図7-1 マイクログリッド

さて、エネルギー供給機器メーカーである川崎重工業株式会社（以下、川崎重工）では、太陽光や風力・バイオマスなど地球にやさしいクリーンエネルギーを有効利用する技術の開発と普及に取り組んでいる（図7-2）。川崎重工における消費エネルギー削減の取組みは、①マイクログリッドを構築するためのキーコンポーネントであるエネルギー供給装置や電力貯蔵装置“ギガセル”の製品開発、②製品として納入したエネルギー供給機器が顧客企業で利用される時のエネルギーの削減技術の開発、および③自社工場での生産活動で消費されるエネルギーの削減、に分類される。

本稿では、川崎重工神戸工場で実現されているマイクログリッドの例について述べるとともに、コージェネレーションシステムを対象として、川崎重工製品であるエネルギー供給機器が利用される際のエネルギー削減の取組み、および、自社工場での消費エネルギー削減の取組みの実現手段として川崎重工に導入されているエネルギー見える化システム“K-SMILE”を紹介する。

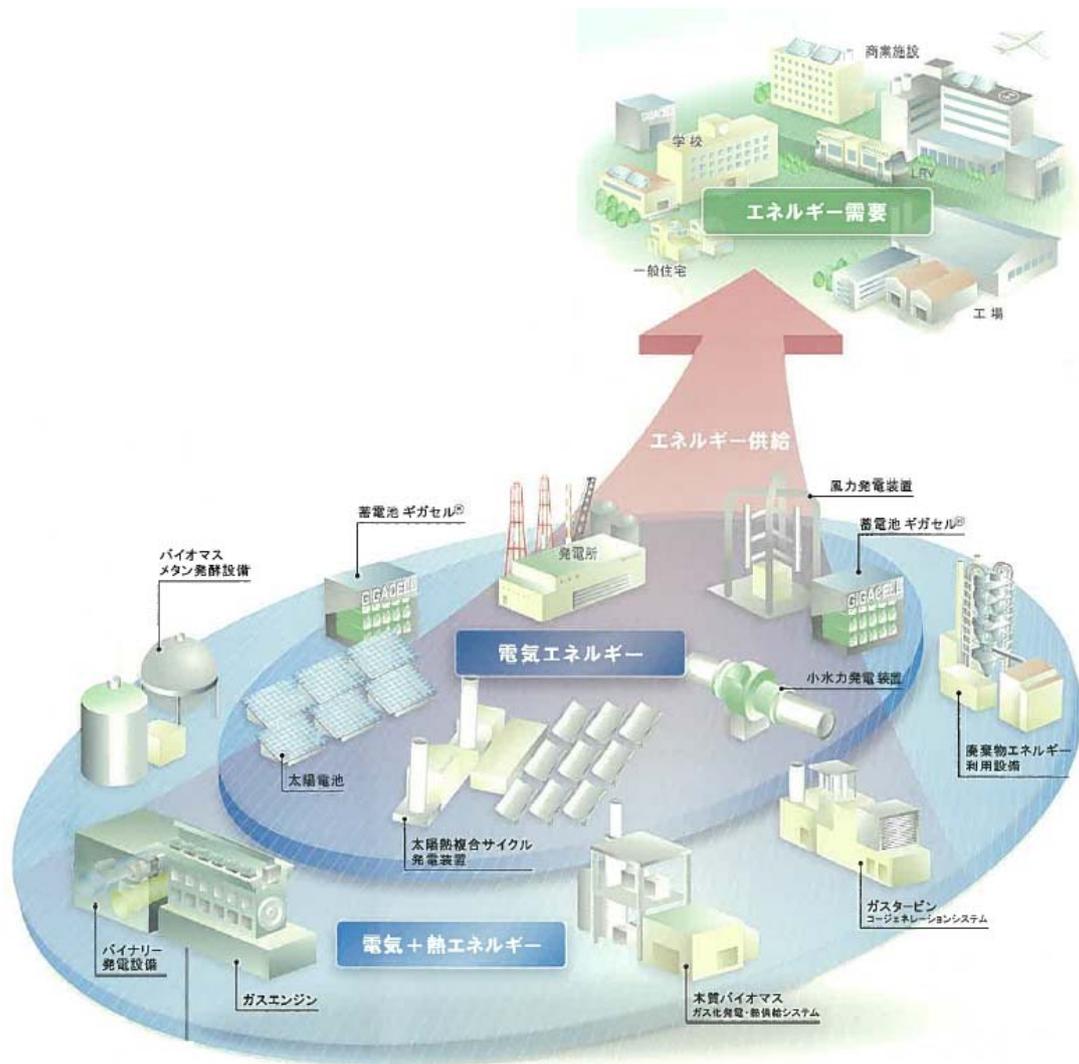


図7-2 川崎重工が考える分散型エネルギーシステム

7. 2 複数の発電・蓄電設備のネットワーク化によるエネルギー最適制御

川崎重工では、太陽光・風力などの自然エネルギーを利用した分散電源やマイクログリッドシステムの実用化に取り組んでいる。この中で、電力貯蔵装置として大容量ニッケル水素電池“ギガセル”や、連系インバータであるパワーコンディショナも開発している。これらの適用事例として、川崎重工の神戸工場において、太陽光発電と風力発電を有効活用しているシステム事例について述べる。

本システムは、2012年に運用を開始し、縦軸型風力発電装置（出力：5kW、交流発電で、周波数を調整する電力変換器を内蔵）と太陽光発電装置（出力：20.4kW）、それに大容量ニッケル水素電池“ギガセル”（電池容量：54kWh）で構成されている（図7-3）。風力発電による電力はそのままオフィスビルに供給され、風力発電と太陽光発電の発電状況と、ビル内の電力会社からの受電電力量の情報をもとに複合発電システムコントローラが発信する指令に基づき、パワーコンディショナが蓄電池の充放電を行う。これにより、変動しやすい自然エネルギーによる発電出力を安定化させ、ビル内の受電電力のピークカットや電力需要の平滑化、さらには災害による停電時などの電力供給を可能にしている。

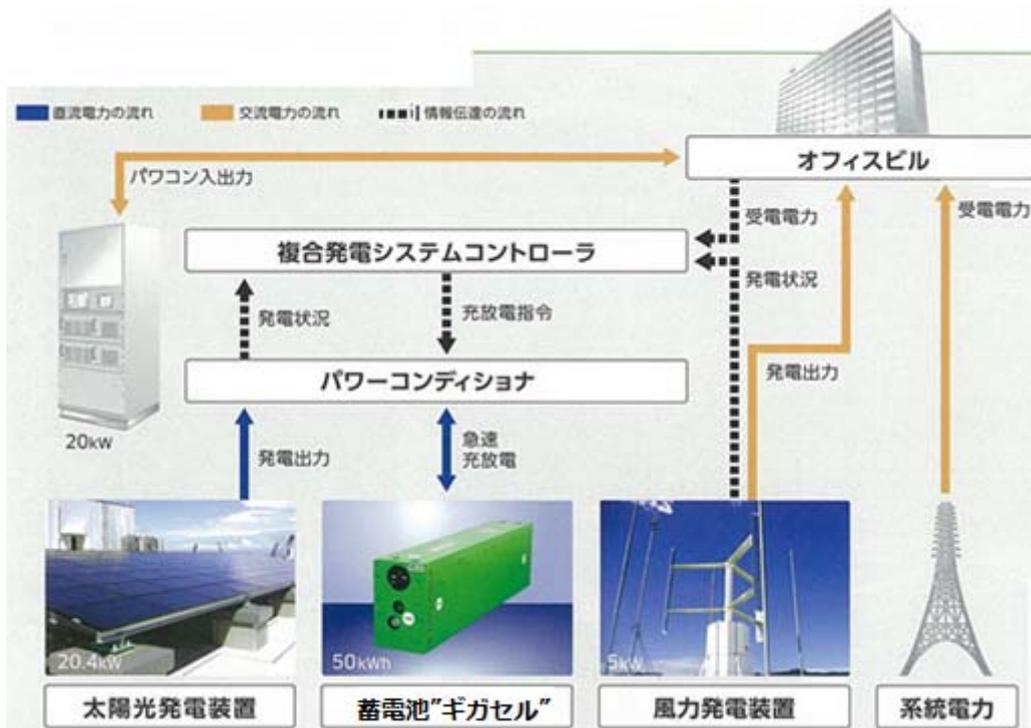


図7-3 複数の発電・蓄電設備のネットワーク化の事例

太陽光と風力発電の複合電力を蓄電池“ギガセル”で平滑化した例を図7-4に示す。太陽光発電出力と風力発電出力をあわせた複合電力の激しい揺れを蓄電池の急速充放電を行うことで平滑化できている。平滑化した際の余分な電力は蓄電池に蓄え、不足する電力は蓄電池から補充される。こうして電力の変動を抑制し、実用的な電力が得られている。

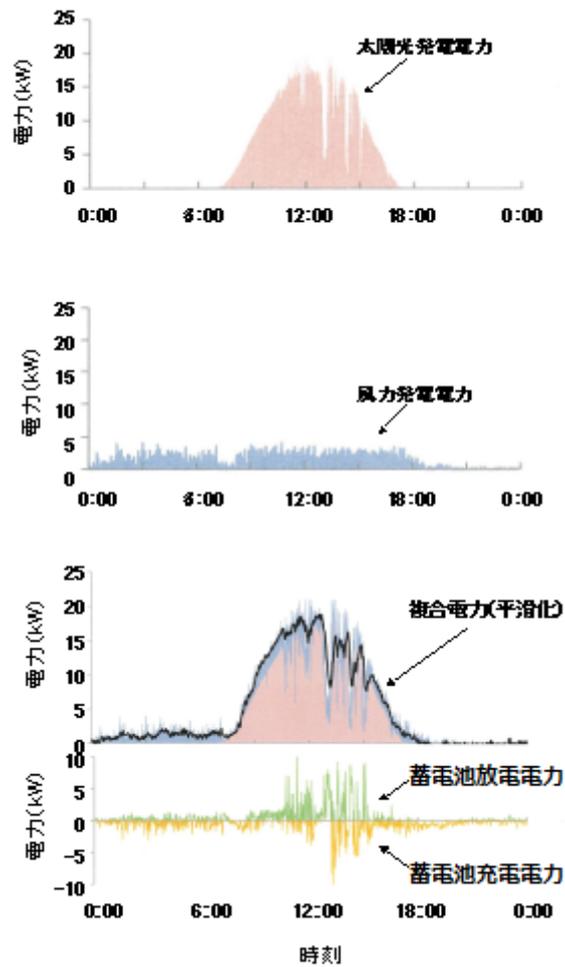


図7-4 太陽光と風力の複合発電の平滑化運転例

図7-5は、使用電力の少ない時間帯で余った電力を蓄電池“ギガセル”に蓄えておき、使用電力の多い時間帯ではあらかじめ蓄電池に蓄えた電力を使用することにより、契約電力のピークを抑えることによって、設備容量の低減、契約電気料金の低減を図っている状況を示している。

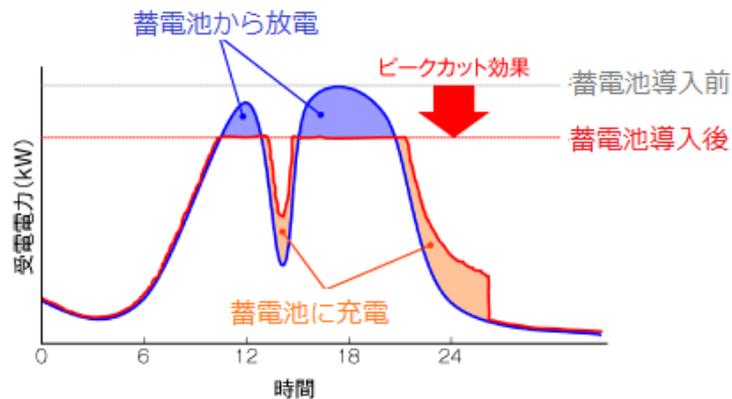
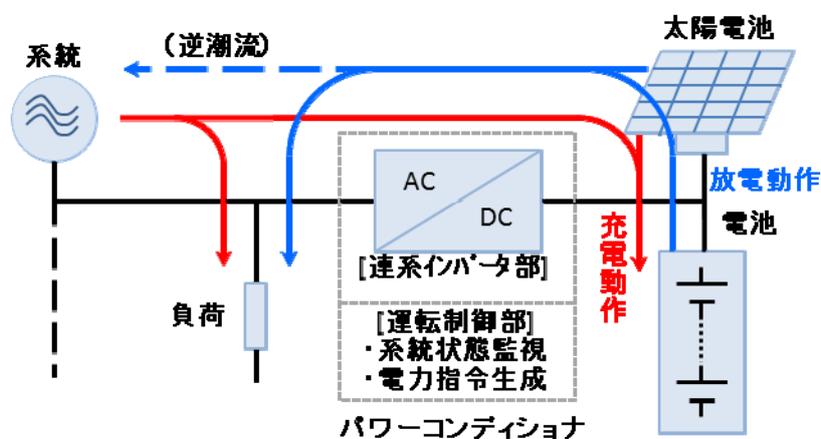
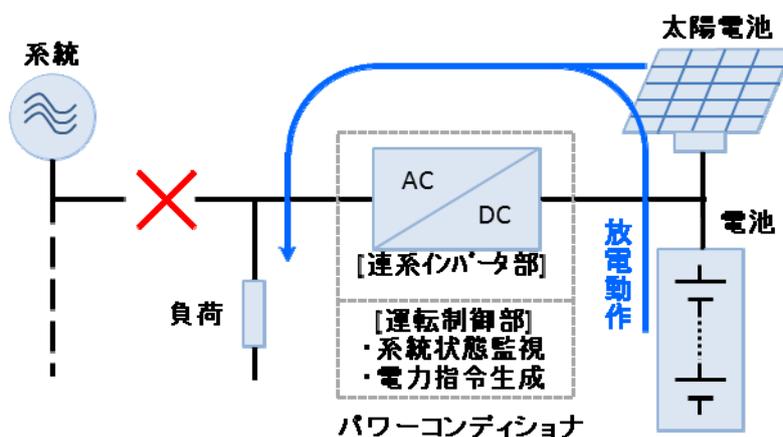


図7-5 蓄電池“ギガセル”利用によるピーク電力のカット

図7-6は、災害による停電時などに通常の方法と分散電源による連携運転から系統電源を切り離した自立運転へ切り替わり、電力供給を継続する状況を示している。



(a) 連携運転



(b) 自立運転

図7-6 太陽光と風力の複合発電の平滑化運転例

7.3 エネルギー供給機器の最適化によるエネルギー利用効率の向上⁽¹⁾

図7-7に示すような多種多様なエネルギー供給機器を用いたコージェネレーションシステムは、これまで、省エネルギー、エネルギーコスト削減、温室効果ガス排出量削減の目的で主に導入されてきた。しかし、東日本大震災後の電力不足、停電リスクにより電源セキュリティの向上などの新しいニーズが生まれている。

川崎重工では、自社製品であるガスタービン、ガスエンジン、ボイラ、吸収冷凍機などを用いたコージェネレーションシステムを導入する顧客に対して、設備メンテナンス費や燃料費の低減などのライフサイクルメリットが最大となるシステムの構成の提案を行っている(図7-8)。この提案において、計算機上でシステムを構成する機器を組み合わせることで全体システムをシミュレートする熱サイクルCAE(Computer Aided Engineering)技術を用いて、出力・効率といったシステムの基本性能はもちろんのこと、システム導入による省エネルギー効果・経済性などの最適なシステム仕様を決定している。

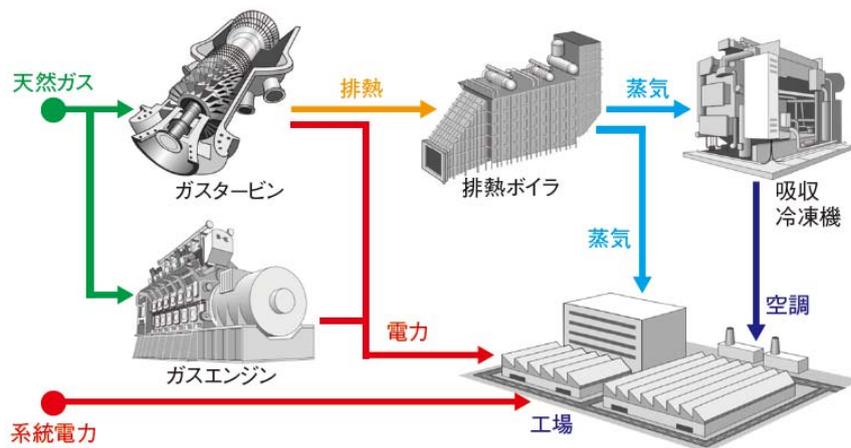


図 7-7 コージェネレーションシステム

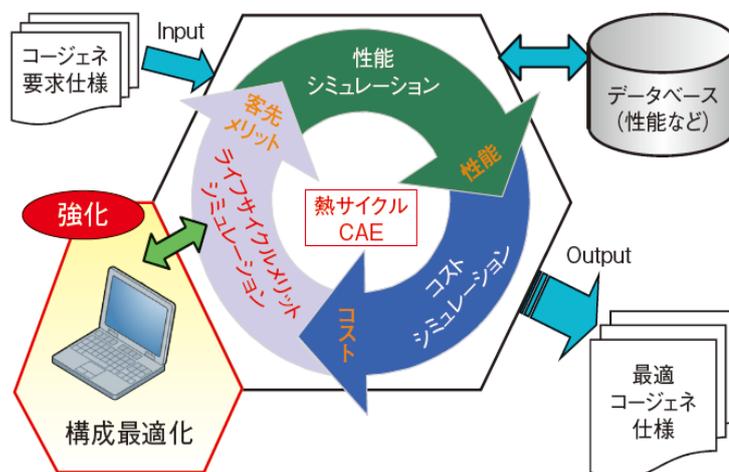


図 7-8 コージェネレーションシステム構成の提案

構成最適化による燃費検討例を図 7-9 に示す。この例は、工場の需要パターン A、B を対象に二つのシステム構成①②による燃料消費量をシミュレーションし、1 日の積算量を比較したものである。熱需要が大きいパターン A では、発電と熱（蒸気）を含めた総合効率が高いガスタービンコージェネの台数の多い構成①の方が燃料消費量を低減でき、電力需要は同じでも熱需要が少ないパターン B では、発電効率の高いガスエンジンの台数の多い構成②の方が燃料消費量を低減できることが分かる。

構成	ガスタービン コージェネ	ガスエンジン	ガス焼きボイラ
①「ガスタービン」主体	3基	1基	1基
②「ガスエンジン」主体	1基	3基	3基

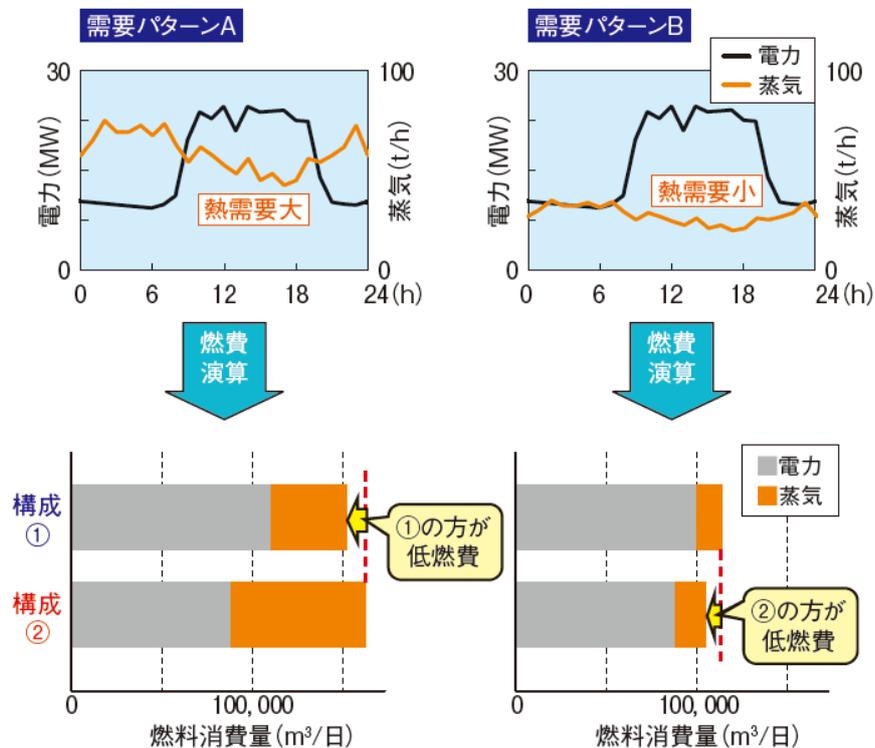


図 7-9 構成最適化技術による燃費検討

また、川崎重工では、顧客の電力・熱などの需要変動に応じて、コージェネ運用を最適化するエネルギーマネジメントシステム（EMS）を開発している。EMSは、燃料コストやCO₂排出量などを最小化しつつ、需要に応じたエネルギー配分計画を立案・実行するシステムである。

図 7-10 は、ガスタービンコージェネ2基、ガスエンジン2基、ガス焼きボイラ1基から成るコージェネレーションシステムである。本構成例において、EMSで最適運用した場合のシミュレーション結果を図 7-11 に示す。従来の運用では、電力・蒸気の需要が変動しても各機器の出力分担比率を固定しているのが一般的である。これに対し、EMSによる最適運用では、燃料コストを最小化するように、分担比率を逐次変えている。つまり、電力・蒸気の需要が高い昼の時間帯に、ガスタービンコージェネの分担を増やして、電力と熱（蒸気）の総合効率を高めることで燃料消費量を少なくすることができる。このように、従来運用に比べて、EMSによる最適運用の方が、燃料消費量を低減でき、顧客のライフサイクルコストを最小化できる。

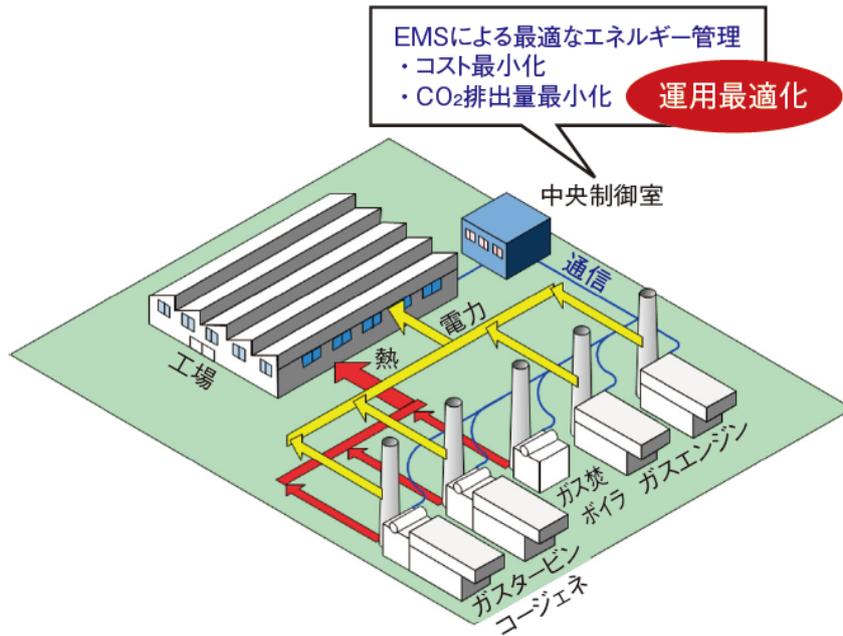


図7-10 コージェネレーションシステム構成例

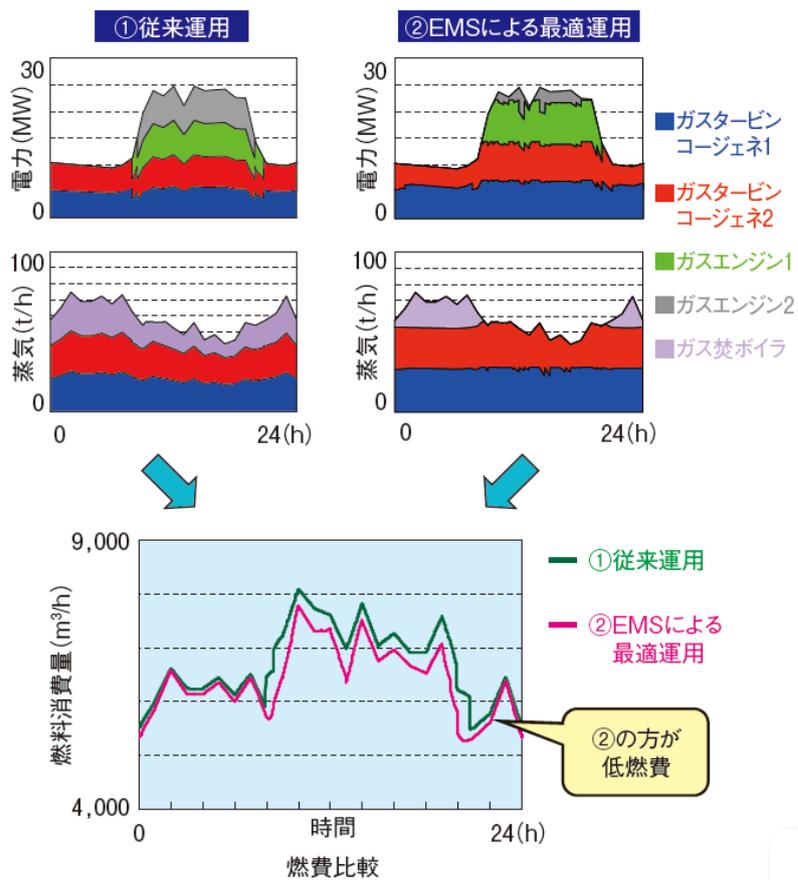


図7-11 EMSによる最適運用

7. 4 エネルギー見える化システム“K-SMILE”

川崎重工の従来の省エネ活動は、工場の受配電・変圧設備、空気圧縮機、空調設備、照明などのユーティリティ機器を管理しているエネルギー部門を中心に、すでに相当なレベルまで省エネ改善活動が進んできており、より一層の削減は難しい状況にあった。一方、全社エネルギー使用量の70~80%を占める生産設備は、各工場に数百~数千もの台数がある上、非常に種類が多く特性や使用方法も様々であり、これらの設備の省エネは限られた人数のエネルギー管理者では到底対応しきれなかった。そこで、これらの設備を普段使用している生産現場のメンバー自身が設備のエネルギー使用状況がどのようなものかを見て、各自で省エネを進めてもらうことにしている。そのためには、どこにムダがありそうかを一目で分かるようにする必要があり、これを実現するためにエネルギー見える化システム“K-SMILE”を導入している（図7-12）。エネルギー見える化システム“K-SMILE”は工場で使用される様々なエネルギーの使用状況を“見える化”するもので、どこで、いつ、どのくらいのエネルギーが使用されているかといった情報をリアルタイムで見ることができ、エネルギー使用のムダ・ムラを発見して、エネルギー使用量を計画的に削減することができる（図7-13）。

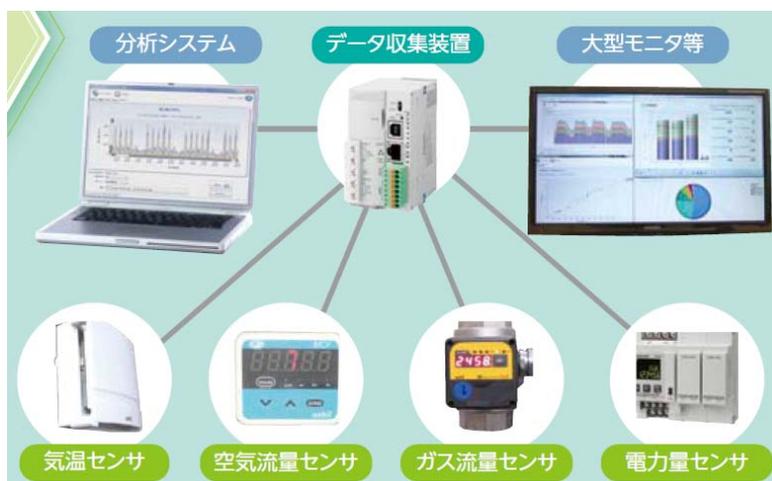


図7-12 エネルギー見える化システム“K-SMILE”

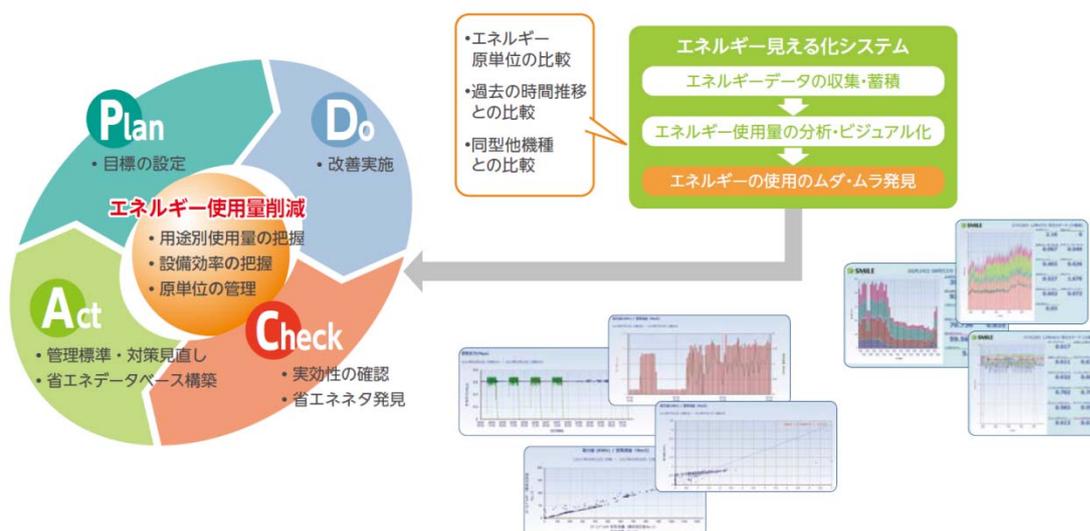


図7-13 省エネ改善活動とPDCA

7.5 まとめ

川崎重工は、CO₂排出削減という環境保護の観点から、太陽光発電、風力発電などの複数の分散型電源を組み合わせたエネルギー供給システムを構築し、電力需要にあわせて最適制御することで需給バランスを調整し、安定的に電力を供給するシステムの開発に努めている。さらに、エネルギー供給機器メーカーの立場から、顧客がエネルギー供給機器を効率的に導入・運用するための技術の開発にも取り組んでいるところである。もちろん、各工場においてエネルギー消費状況を見える化し、ムダ・ムラを見つけて改善を図ることにより、ものづくり企業としての日々の生産活動におけるエネルギー使用の削減に努めていることは言うまでもない。

以上のような総合的な活動を通じて、川崎重工はエネルギー供給機器メーカーとして、SFAの実現を目指している。

参考文献

- 1) 村上、中安、稲田、杉本、山崎、小谷野、黒坂、田中、杉本：“エネルギーニーズに応える分散型発電システム—コージェネ・システムソリューション—”、川崎重工技報、No.173、pp.6-9 (2013)

8. 見える化によるエネルギー削減

8. 1 はじめに

安川電機では、サーボ・インバータ製品をはじめ、当社サーボを利用した産業用ロボット製品の生産・販売を行っている。

当社は、2025年ビジョンとして、先進国の少子高齢化社会や環境エネルギーに関する問題などに対し、当社のコア技術を活かして問題解決に取り組むことを掲げている。その中でも、環境エネルギー問題については、インバータ技術の応用による省エネ、および自然エネルギーの有効利用を目的とした電力変換装置に注力することを明言している。

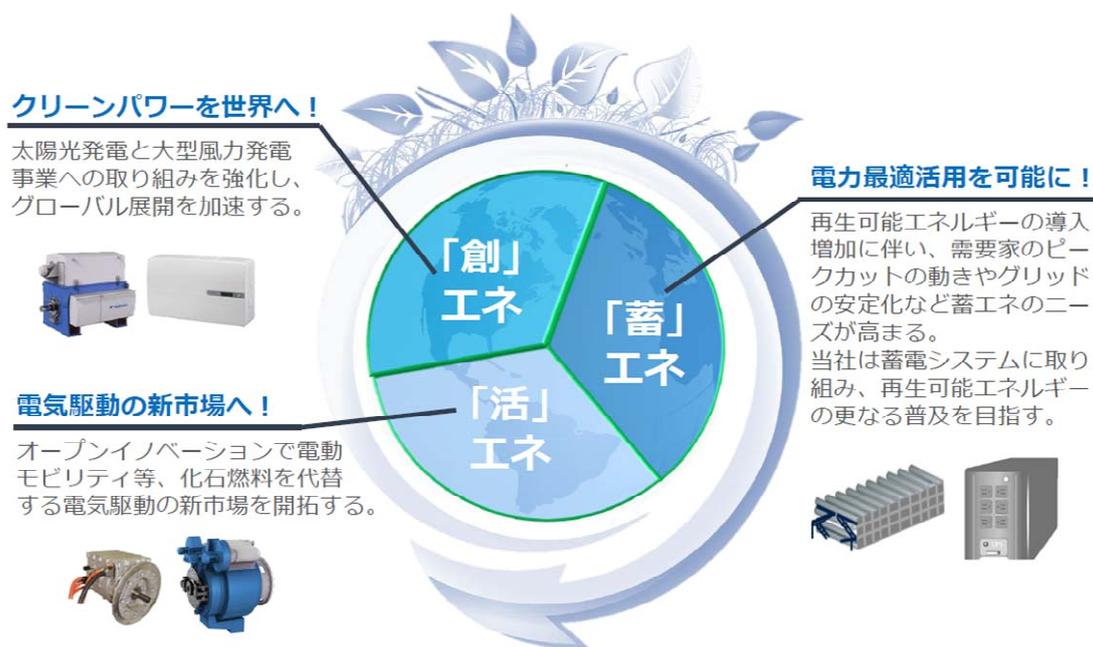


図8-1 2025年ビジョン（環境エネルギー対応）

東日本大震災の発生以降、日本全国の各企業では環境エネルギーに対する取り組みが強化されており、当社においても各事業所において使用電力量の「見える化」による省エネ活動に取り組んでおり、その内容について以下に示す。

8. 2 電力量「見える化」の取り組み

当社は、図8-2に示すように日本全国に6箇所の事業所を配置しており、その他営業拠点など6箇所を合わせ計12箇所におけるエネルギー使用量の約80%が電力消費となっている。その他エネルギーとしてはスチーム、ガス、重油・灯油・軽油などがある。

このような状況の中、電力の「見える化」主体のエネルギー・マネージメント・システム(EMS)としてEneSight(安川情報システム㈱のエネルギー管理支援システム)導入を2011年7月より開始した。これにより、“ムダの気づき”と削減効果の実感により、省エネ活動が活性化されてきている。

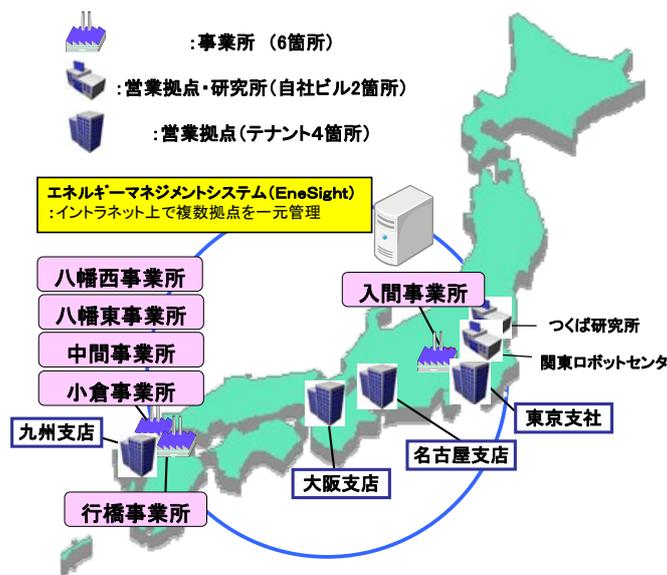


図 8 - 2 当社の事業所・営業拠点

当社 EMS のシステム構成について以下に示す。社内イントラネットを利用して各事業所・営業拠点などを接続し、使用電力量と再生可能エネルギーによる発電量の「見える化」を行っている（図 8 - 3）。本 EMS では、各事業所で設定された電力使用ピーク値を超えると「自動警報メール」や「自動警報放送」が従業員に通知され、ムダな電力使用を抑制している。また、事業所の人通りの多い通路・食堂などでは、電力使用量をリアルタイム（3 分更新）でデジタルサイネージにて「見える化」にもつなげている。

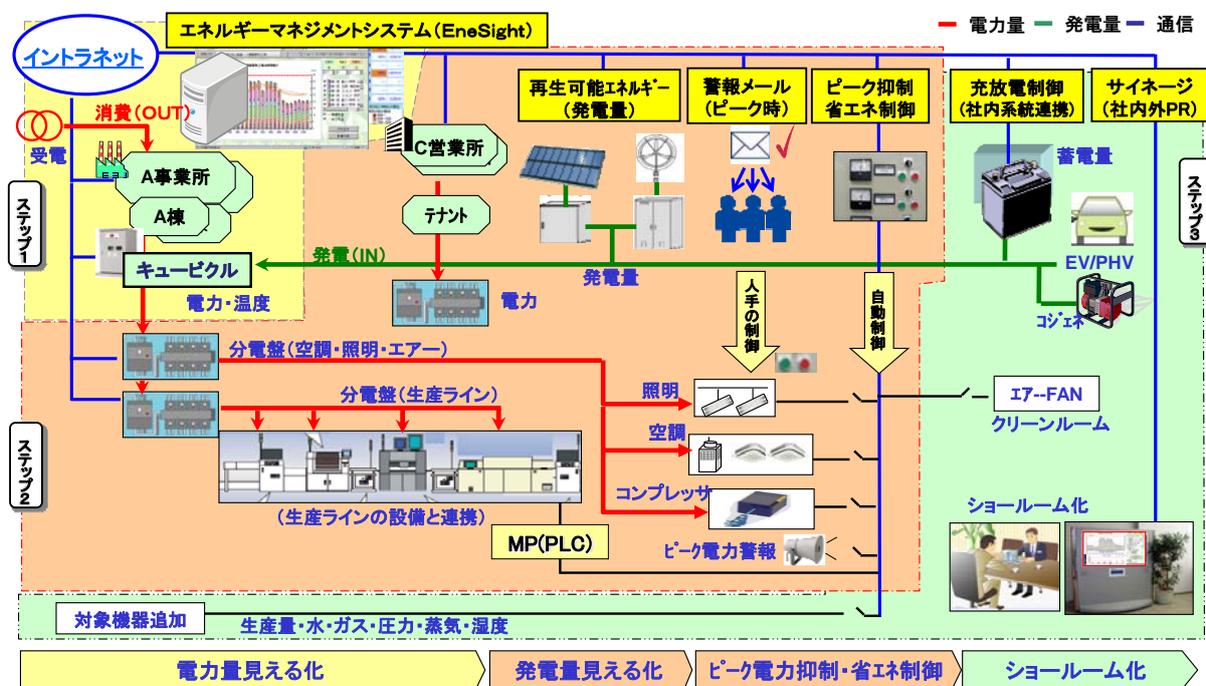


図 8 - 3 当社の EMS システム構成

図8-4に、当社のある事業所の厚生棟におけるデジタルサイネージ画面例を示す。
各ブロックにおける電力使用量をデータ連係して、興味を引く画面で「見せる化」している。
これにより、全社員参加による省エネ活動の取り組みと、省エネ投資への理解にもつなげている。

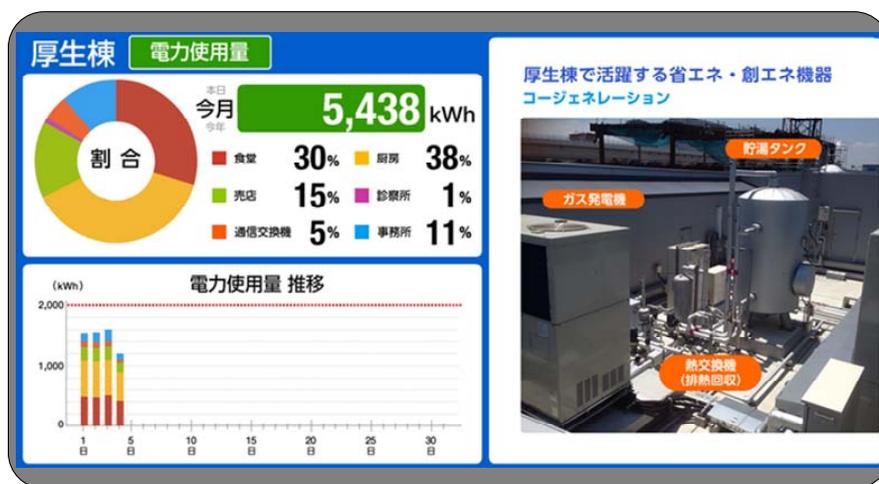


図8-4 デジタルサイネージ画面例

当社のEMSにおける夏季のピーク電力抑制例について、以下に示す。当社では、EMS導入により、ピーク電力抑制15%低減（2010年度基準）を目標としている。

図8-5では、ピーク電力を越えた際に、空調室外機を80~40%運転に変更したり、除湿機や窒素発生器を時間制限付きで停止したり、また「自動警報メール」や「自動警報放送」による従業員への通知などにより、電力使用量を低減（抑制）している結果である。警報の頻度としては、2013年夏季の情報としては、40日のうち約250回程度の警報が発生している。2013年の結果として、ピーク電力抑制19%OFFにつなげており目標を達成している。

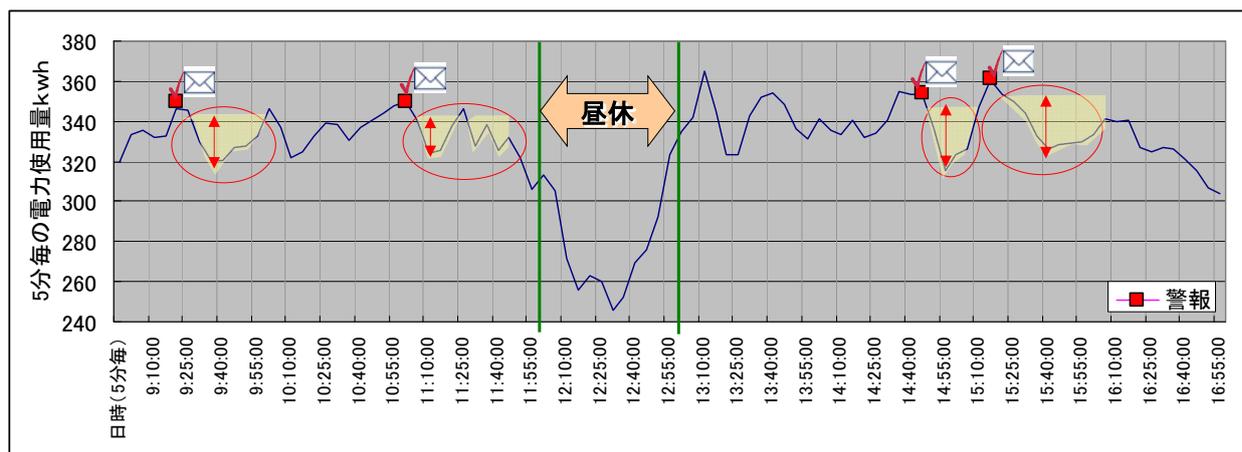


図8-5 ピーク電力抑制例（1日の電力推移）

図8-6は、2012年～2014年における、A事業所の夏季電力使用量の変化について示している。本データでは、空調方式見直し（蒸気⇒ガス）、太陽光発電導入、コンプレッサー・変圧器交換、デマンド制御、各種の省エネチューニングなど、EMSに関連する様々な活動の結果として、電力使用量を徐々に低減していることを示している。今後も継続的な省エネ活動を続けていくものである。

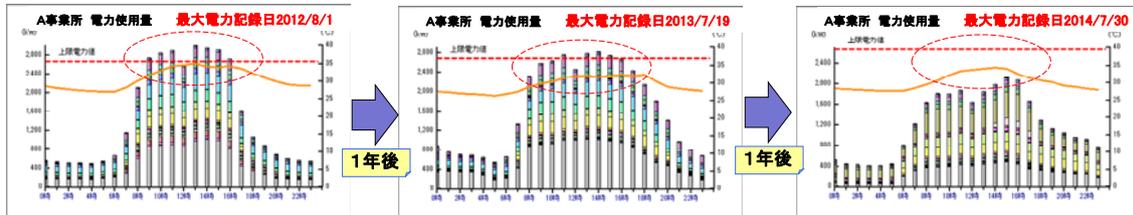
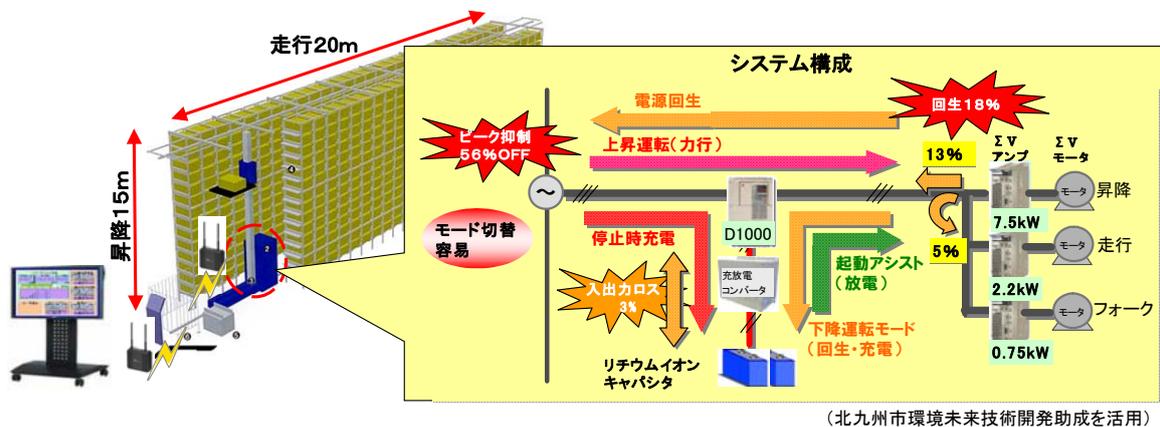


図8-6 電力使用量の変化（2012年～2014年）

8.3 拾う省エネの取組み

最近では、再生可能エネルギーによる発電や消費電力量の抑制以外に、拾う省エネという新しい取り組みを行っている。これは、倉庫の昇降装置において電力の回生エネルギーを有効活用するものである。

図8-7は、既存の電機品を変換ロスの少ない直流（DC）で繋ぐシステムである。モータの回生発電エネルギーや太陽光発電エネルギーなどを直接蓄電池に充電し、直流（DC）のまま非常電源やピークシフト・ピークカット、ピーク電力アシストに使うことで節電効果を高めるものである。



（北九州市環境未来技術開発助成を活用）

図8-7 回生エネルギーの有効活用例

8. 4 SFA へのステップアップ

FA オープン推進協議会のスマートファクトリーオートメーション (SFA) 専門委員会では、E-MES (Energy/Environment/Ecology-MES) が提案されている。これは、EMS と ERP、MES を連携させクラウド対応化することにより、中小企業でも容易に省エネへの活用が可能となる標準化の取り組みである。

当社では、前述のとおり EMS 導入により電力使用量のデータを収集し、分析してムダを抑制する取り組みを行っている。しかし、当社 EMS では、ERP や MES との十分な連携に至っておらず、まだシステムの開発途上といえる。今後、収集したデータを分析・解析するノウハウを蓄積し、ERP や MES との密な連携につなげていくことが課題といえる。

また、日本版 Industry4.0 の取り組みが各企業にて開始されており、SFA 専門委員会が提案している E-MES とのつながりなどについて検討が必要と考えている。

参考文献

1) 安川電機 2025 年ビジョン

<https://www.yaskawa.co.jp/wp-content/uploads/2015/04/Vision2025.pdf>

9. 中小企業における FEMS とその課題

9. 1 はじめに

弊社は大田区東蒲田に本社を構え油空圧・ベアリング・歯車・モーター・ボールねじ等々を卸している会社である。場所柄中小企業との取引先様が多く電力の高騰による利益圧縮の現状を目の当たりにしてきた。一例を上げると電力料金 17%の値上げと燃料調整費で約 40%もの高騰分を商品に転嫁できず、また円安による材料の高騰と相まって従業員の削減を余儀なくされる先も出ている。

弊社としては、EMS を主体に見えない電力の可視化により単なる電力の削減、デマンドだけではなく、生産工程を改善するという所に焦点を当て、不良品の削減、材料の効率化を目指し中小企業の利益化にお役に立てるものとの思いからこの事業をスタートした。

9. 2 弊社の FEMS 事業の基本的取組み

2012 年 7 月から東京電力の値上げを受けて、実際に電力費が利益を圧迫している。特に、エネルギー多消費設備となる電気炉の省エネルギーは極めて重要な取り組みとなる。一般に、方式及び改善水準により異なるが、電気炉を含めて熱炉の正味エネルギーは、20%~30%と言われている。

大半がエネルギーロスとして排出されているが具体的には、ロスの計測及び数値化が困難、熱解析が面倒、対象ワークの組織変化等の品質要件を優先しなければならない事のために、改善メスが入りにくいのが実情である。

弊社は、この問題と改善要求に応える為に、エネルギー関連並びに製造コスト低減と品質向上を専門とするコンサルタントを中心に据えたチームを結成して、現在電気炉を対象とする企業での省エネ改善推進をモデル活動として行っている。

(1) 具体的行動指針（生産プロセスの見える化）

EMS ツールを活用して、エネルギーの見える化に止らず温度その他の 生産状況を積極的にモニタリングして生産改善に役立てていく。

省エネの問題は、品質及び生産性の問題と表裏一体なので、省エネに限定することなく現場の改善活動につなげていく。

常に、データ取得して蓄積することにより、現場の改善に役立つ情報管理の仕組みを作ることを基本に置いている。

(2) コンセプト（中小企業の場合）

追加投資も設備のリース契約、補助金等の組み合わせで負担軽減を狙う。

初期投資コストの負担を極力「0」を目指して、電力削減に取り組む。

電力削減 20%を目標に診断し、削減手段の合意が得られた段階で契約書を取り交わし、相互の協力の元、削減を実現させる。

9. 3 エネルギーの見える化ツールを活用したエネルギー高効率化事例

(1) 導入会社概要

所在・業種：東京都京浜工業地域 アルミダイカスト製造業「A工業」
従業員：約40名
年商：約5億円
年間電力使用量：2,500万円（年商の約約5%・・・2012年時点）

(2) 導入目的

“エネルギーの診断・解析・課題構築・改善成果検証までの活動サイクルを通して”EMSから始めるエネルギー効率化”の取組みを検証し確立するものである。

EMSを設置して電力および操業因子(温度、ショットサイクル等)の見える化及びそのデータの解析を行う。

データを基にエネルギー効率化更に品質・歩留・生産性向上の改善課題の設定を行う。
順次、設備投資がかからない改善から取組み成果を検証する。

(3) 目標

投資を最小限にして電力の投入方法を見直し操業方法を最適化することにより20%のエネルギー効率化を目指す。

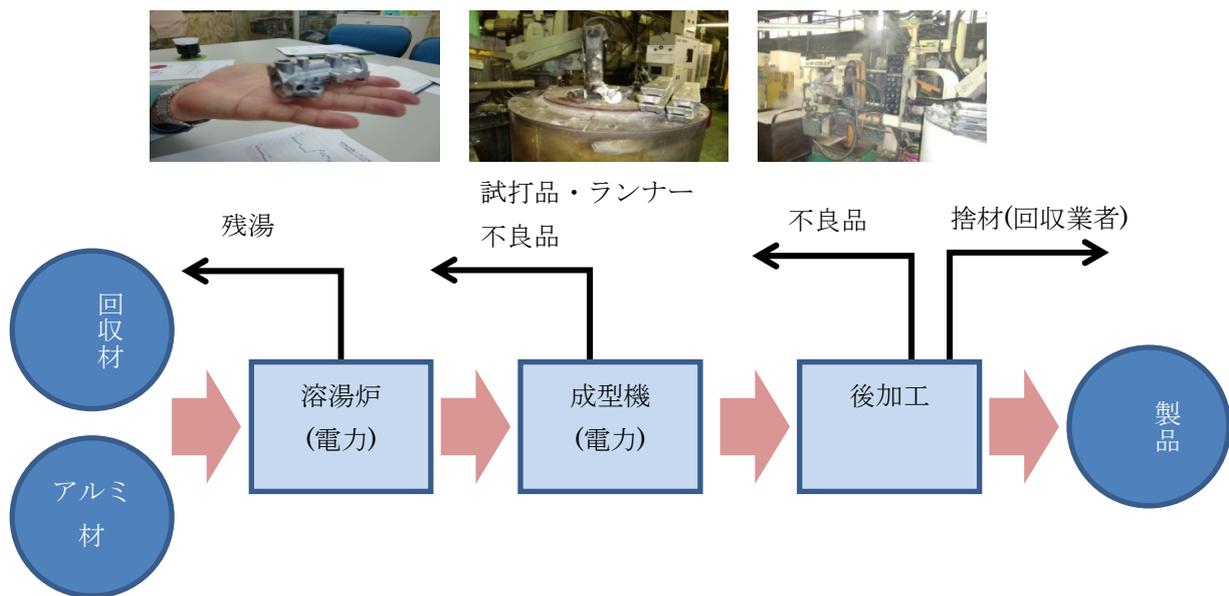


図9-1 「A工業」における製造工程と材料の流れ

(4) 改善手順

- ・エネルギー使用量を数値化して、エネルギー使用の挙動特性を把握する
 - エネルギーの使用の挙動傾向から生産特性とムダを把握する
- ・エネルギー使用量の消費構造を明確化し消費構造区分に合わせた問題を定義する
 - 損失ロスと管理ロスは優先的目の付け所
- ・改善案を導出して、具体的な施策を練る
 - 現場と一緒に改善しなければモノづくり改善につながらない

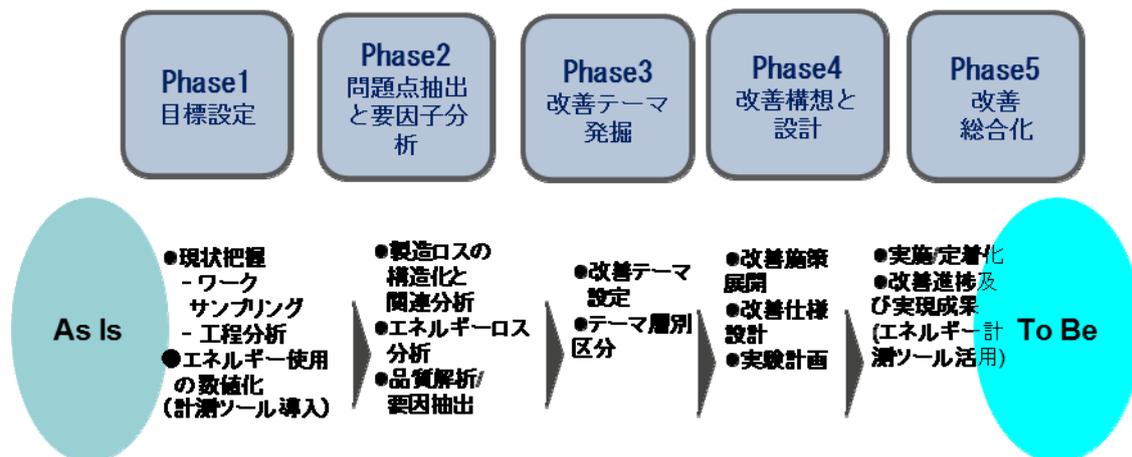


図9-2 改善手順

(5) システム構成概要 (N社製)

本ダイキャストメーカーのシステムは上位 SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition)サーバーとして Web Access を搭載した監視サーバーが配置され、本社工場および第二工場を監視している。

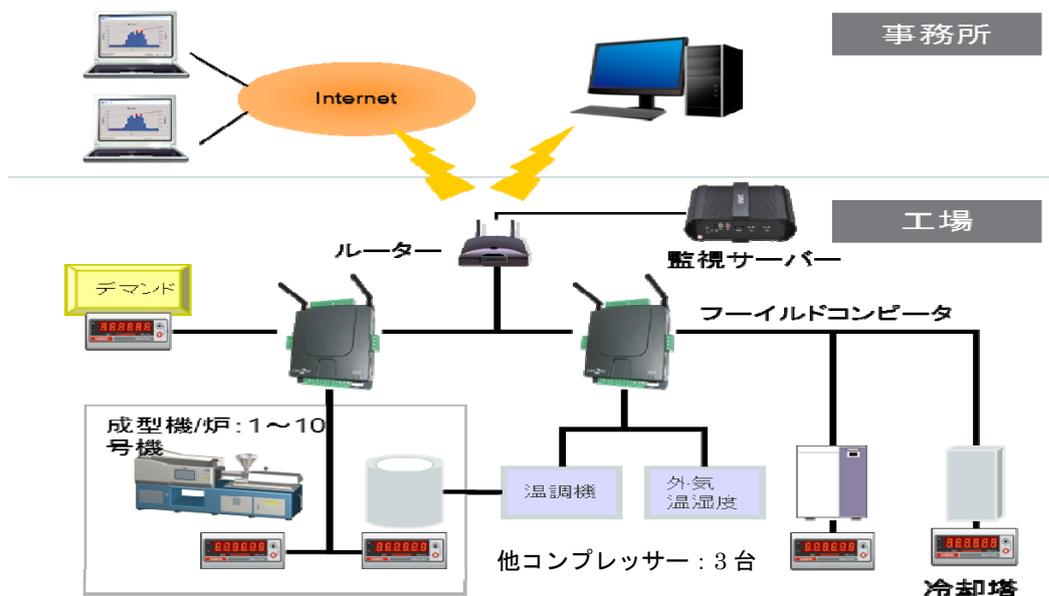


図9-3 システムの概要

(6) 実行ステップ

本ダイキャストメーカーにおいては、EMS から取得されたエネルギーデータをもとに改善活動を進めている。EMS は、エネルギーの計測ツールなので、このデータをもとにどのような改善計画を立てるかはユーザーがしっかり進めていく課題になる。EMS を入れたから改善ができるわけではないことを肝に銘じる。

(7) 「A 工業」の経営課題

- ・品質不良の低減
 - 発生原因の 90%は、鑄造工程
- ・多頻度の金型交換による時間ロス(30 分～120 分)の解消
 - 上記全てがエネルギーロスに帰結し、かつエネルギー消費の 90%が鑄造工程
- ・鑄造工程のヒト、モノ、設備の最適管理
 - 鑄造工程でコストの 90%が決まる

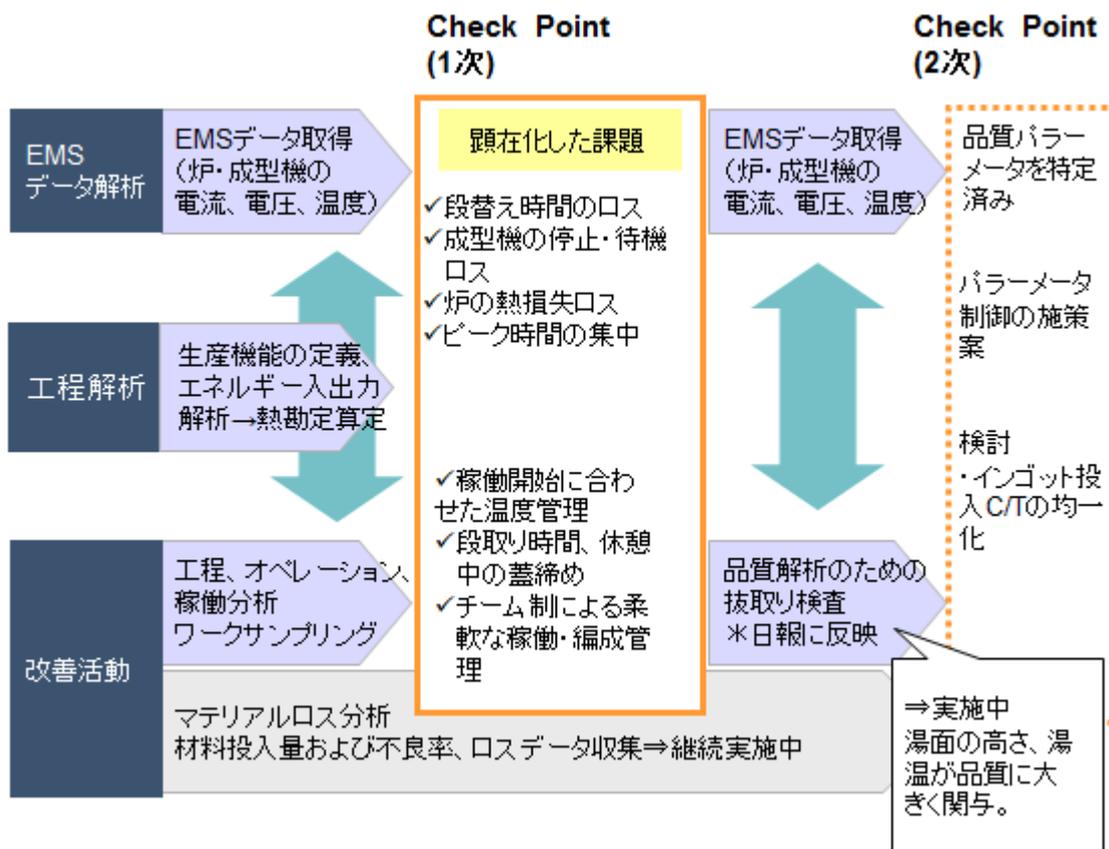


図 9 - 4 経営課題

(8) 省エネ活動成果の状況と課題

(a) 第一工場

省エネ活動のモデルとなった第一工場は前年と売上・生産量が変わらないことを考えると、明らかに前年度対で約 15%の電力削減となっている。(図9-5) 主に段取り時間の削減が省エネに大きく寄与している。これは生産性向上にも繋がっている。しかし前年度対 20%以上の電気料金の値上げがあり、この分に届く削減は出来ていない。

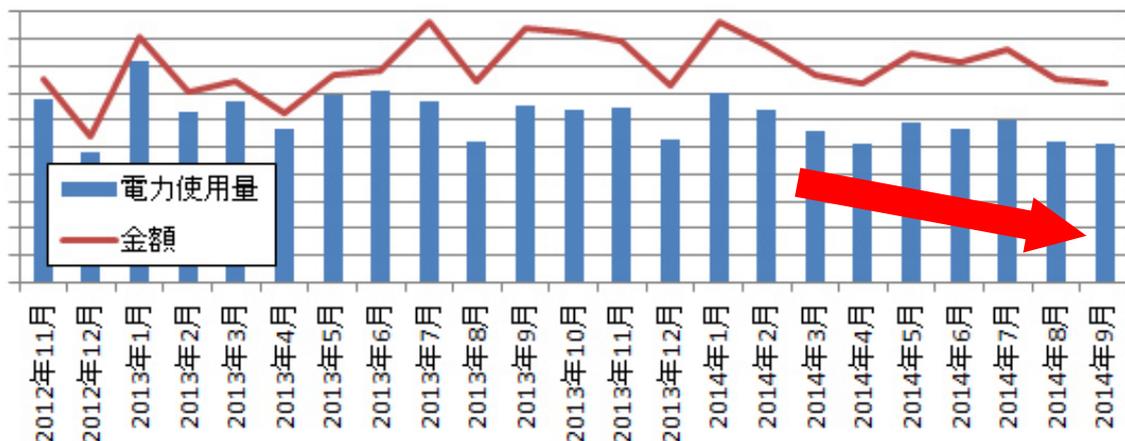


図9-5 第一工場電力推移

(b) 第二工場

活動展開されていない第二工場では使用電力が前年比で明らかに増えている。

(図9-6) 生産量に変化は無くここでの省エネ活動の展開がされていない事が大きなプロフィットロスに成っている。

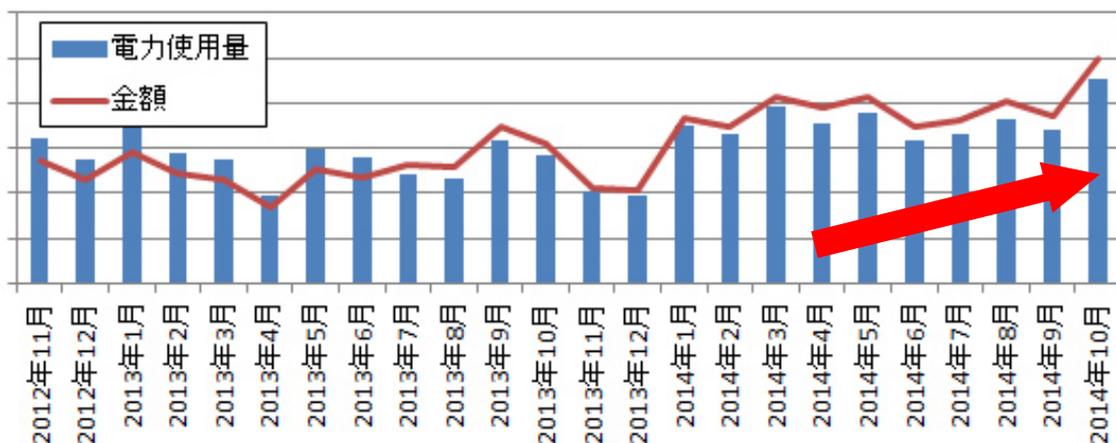


図9-6 第二工場電力推移

まだ道半ばであるが、省エネ改善の取り組み路線は出来あがった。これからの重点課題は品質向上である。品質問題の 90%は鑄造起因であり、エネルギー削減は不良を造らない鑄造方法の最適化であるとも言える。

9. 4 考察

中小企業の会社数で見ると全企業数に占める 99.7%（事業所・企業統計調査による）が中小企業であり電力の使用割合は全体の約 15%（数字の正確性はない）を中小企業が占めているとも聞いている。

国内の電力の削減を行うには、削減対策ができていない中小企業が重要なポイントになると考えている。また中小企業に於いては出来る範囲で我慢の節電や照明の間引き等々削減努力をしておきそれ以上はどうやっていいのか？手法が分らない、分っても対策を講じる予算がない等々問題がある。予算がないという面では補助金を利用することで対応出来る先もあるがそれ以前の問題も多く出てきている。生産数量、不良数量、原材料の使用量等々が不明である、またデータの分析ができない、その日の生産量が受注状況により変動するために節電対策がしづらい、対策をしても現場担当者は自分の仕事のし易さ（従来通りのやり方）の為いつの間にか元に戻っている、等々の諸問題が多く FEMS による改善にたどり着くまでに相当な時間と労力を要することになり、まだまだ成果を評価する段階までに到っていないと言うのが現状であり、中小企業に対しての FEMS での解決・対策には多くの困難が伴い、従って大手で FEMS を導入した時と同じ成果・効果を得る事には、高い障壁がある事を再確認した。

以下に改めて課題・問題を列記する。

- ①資金面の問題の解決 ～ エネルギー効果の良い新たな設備の投資を行うにしても、まずは資金面での課題の解決が立ちはだかる
- ②補助金の問題 ～ 現在の補助金の制度が本当の意味で中小・中堅企業の支援に役立っているとは言えず、この面での行政の抜本的な改善が望まれる
- ③人材の不足 ～ 課題を解決するにも、人材の人数的・質的（技量面）な不足が有る。
最後まで支援できる現場を熟知しているコンサルタント等の支援が必要である

最後に高津伝動精機株式会社 FEMS 事業にご指導とご協力を頂いている技術士 江口一海氏（株式会社イーエムイニシアティブ）に感謝申し上げます。

10. FEMSからSFAへ

地球温暖化を抑制する京都議定書や東日本大震災を契機としてエネルギー問題が注目されてきた。我が国においては消費面で省エネ機器への入れ替えや FEMS の導入が、供給面では原油安を背景として化石エネルギーを利用した発電能力の増強と太陽光発電を中心とした再生エネルギーの導入が進んだ。これにより国内のエネルギーの需給バランスが安定化したこともあり、震災から 5 年が経過した現在では企業のエネルギー消費削減に関する生産活動の取組みが以前に比べて停滞しているように思われる。

その一方でグローバル化を受けた昨今の動きは急激であり、Industry 4.0 を代表とする IoT を活用した新たなモノづくりの仕組み作りや京都議定書に続く新たな地球温暖化防止の取組が気候変動枠組条約締約国会議 (COP) によって進められている。この結果、世界市場を相手に活動する日系企業にとってはその対応が喫緊の課題となっている。

Industry 4.0 は、IoT を活用した Cyber Physical System(CPS)により状況に応じて必要な生産リソースを自動で割り当て、生産工程を最適化させることをコンセプトの 1 つとしている。すなわち、ICT を駆使することで製造コストを大幅に削減し、企業競争力を強化することが目的である。加えて特筆すべきは、この動きはドイツ企業や政府が指定した組織が中心となり、ドイツ企業優位となるよう技術や仕様を国際標準化に盛り込んだデジュールスタンダードをねらっていることである。こうした動きに危機感を持った米国、中国、韓国および日本なども、ドイツとの協調を進めつつ、同様のコンセプトを推進する各国独自のプロジェクトを立ち上げて自国が不利益を被らないような施策を取り始めた。

米国では、GE やシスコなど米大手 5 社が中心となって「Industrial Internet Consortium (IIC)」を立ち上げ、民間主導のデファクトスタンダードを狙って活動を進めている。日本においても政府主導による「ロボット革命イニシアティブ協議会(RRI)」が立ち上がり、そこが中心となって IoT による製造ビジネス変革やロボットの活用を推進しており、今正に参加組織が一枚岩となった成果が期待されている。一方、民間組織としても動きが出てきた。例えば様々なアプリケーション間のデータ連携による企業間の協調と競争を組合せた企業間の緩やかな連携で「つながる工場」を目指した「Industrial Valuechain Initiative(IVI)」が一般財団法人として組織され、具体的なユースケースとその実証を先行実施している。

標準化の観点では、各国のプロジェクト間で何を共通化し何を競争領域とするかの駆け引きが当面続く。技術面では、IoT や AI 等の技術進歩によって属人的な現場ノウハウや匠の技をデジタルの世界に置き換えることや、デジタルのモデルを現実の物として実現することも現実味を帯びてきた。また、実ビジネスとして成功している例はまだ少ないものの新たなビジネスモデルも創出され始めている。このように産業界にとって IoT 活用による生産革新の期待は大きいですが、まだ話題先行でありユースケースや実証段階であり投資対効果の面ではまだまだ解決すべき課題が多い。

地球温暖化防止の観点では、京都議定書に続いて参加国には温暖化防止が義務付けられる予定であり、企業はその責任として CO2 排出量を削減することは不可避である。本専門委員会が目指したのは「SFA」すなわち、生産性向上とともにエネルギー活用の最適化を実現する Smart Factory Automation による Manufacturing である。委員会を終えるにあたり、改めてものづくりとエネルギーの高効率な活用は不可分であるという委員会の初志を忘れずに、委員会の活動成果を我が国のものづくりへフィードバックされることを期待している。

1 1. 終わりに

スマートファクトリーオートメーション専門委員会という名称で、このような長きにわたり委員会を継続するとは当初は考えていなかった。現在スマートという用語がさまざまな分野で使われるようになり当初の斬新な響きはなくなったが、その分だけ概念は一般化したともいえる。

本委員会が発足したのは東日本大震災から約半年後のことであり、当時は福島第一原発事故の影響による計画停電が、一般市民のみならず国内の製造業へ与えた深刻な影響の記憶が生々しく残っていた。このため委員会発足にあたっての趣意書では生産効率だけでなくエネルギーの高効率な利用、そこから製造におけるエネルギー原単位を新しいものづくりの指標にしていくという理念が掲げられた。加えて、これからの FA を導入する工場は、単なるものづくりのファンクションだけでなく、災害時にはコミュニティのエネルギーエンジンとなること、これはすなわち普段から工場はコミュニティの一員として機能すべきであることが議論された。この中では、従来から言われていた企業の BCP が震災時に機能した例も数多く報告された。一方、類似のコンテキストで語られる言葉として持続可能性 (Sustainability) がある。現在国内大手企業の多くが「持続可能な」成長ないしは発展というキーワードを掲げている。サステナビリティについては、「持続可能な開発」(Sustainable Development) に関連して古くは国際機関によるレポート(2)、我が国では製造業分野での「持続可能なものづくり技術分野の技術戦略マップ」(6)と、国内外で膨大かつ多様な研究の歴史があるが、これを裏返せば持続可能性と開発との調和が簡単ではないことを示している。委員会発足から現在までを振り返れば、スマートファクトリーとはサステナブルなものづくりを実現するための様々な手法の集合体として実現されるべきものであることが理解できる。しかし持続可能なものづくりを標榜し高度な自動化システムを集積させた我が国の先進工場のオペレーションでも、実は生産活動とエネルギー利用のトレードオフについて未だ試行錯誤が続いている(8)。

委員会ではこの分野に関心を寄せる主要企業の取り組みを通じて、スマートファクトリーの現状を理解することができた。生産効率とエネルギー利用とのトレードオフについては今なお議論があるが、エネルギー原単位を FA の指標とする方法論は既の実現可能となっている。ただしその最適化について未解決である。現場では従来のスケジューラを拡張し、エネルギー原単位を考慮した形でスマート FA に適合させていく動きはある。しかし最適化の指標と尺度はあくまでそれぞれの企業の経営方針に関わる問題である。すなわち生産現場とシステムと経営管理システムとの統合的運用があって初めて意味ある最適化が実現すると思われる。そこへの道のりは先進大手企業といえども道半ばである。

今日、先進的な FA 工場では生産に係るほぼすべての情報がセンサとネットワークを介して比較的容易にやりとりすることが可能になっている。ただしそれに基づいて工場の経営を最適化していくことは、現実的には大変に面倒なコンセンサスを得ることが必要になる。一方で世界的には IoT という仕組みとツールが、社会のそこかしこに新しいパラダイムを生み出すと期待されている。加えて Arduino のようなオープンソースハードウェアがきわめて安価にしかも世界中どこでも入手できるようになっている。こうした新しいデバイス、3D プリンタによるメーカーズムーブメントなどの台頭は、ゆくゆくは従来の FA にも大きな影響を及ぼすのではないかと思われる。今日の FA ではいかに多品種少量とはいえ、低廉な価格で市場へ製品を提供するのは一定量の大量生産が前提である。したがって工場にはやはり広大な土地と集中制御された設備が必須となっている。しかし将来ライフスタイルが大きく変化し、真の意味で多品種少量、顧客ニーズにあったカスタマイズという流れが加速した場合、オープンソースのハードとソフトによる新しいもの

づくりスタイルが生まれ、それはスマートファクトリーのもう一つの姿になる可能性もある。そうした未来も含め、次世代の工場ならびに FA の姿を探求していくために本報告が幾ばくかの参考になれば幸いである。

謝辞

本委員会の活動を終始支援してくださった、岩田 一明氏 (FAOP 会長) 尼崎 新一氏 (前々 FAOP 運営委員長)、加知 光康氏 (前現 FAOP 運営委員長)、楠 和浩氏 (現 FAOP 運営委員長)、本委員会設立に当たって多大なるご尽力を頂いた岩井 文雄氏 (SFA/WG 主査) に感謝申し上げます。

最後に、本委員会の起案者でもあり立ち上げ時から常に我々をリードしてくださった須藤 文雄氏 (故人) に心から感謝申し上げます。

付録：

キーワードと説明：

SFA：Smart Factory Automation

FEMS：Factory Energy Management System

DNC：Direct Numerical Control

媒体掲載関連一覧：

平成 23 年 9 月 30 日（金） 日刊工業新聞 掲載

平成 24 年 12 月 10 日（月） 雑誌計装 掲載

平成 25 年 11 月 11 日（月） 雑誌計装 掲載

本報告書の無断転載・複製を禁じます。

スマートファクトリーオートメーション専門委員会
(FAOP - SFA 委員会) 成果報告書

発 行 平成 28 年 3 月

発行者 FA オープン推進協議会
東京都港区虎ノ門 1 - 1 7 - 1
一般財団法人製造科学技術センター内
電話 (03) 3500-4891