

ICTの進展で変わる エネルギー管理・制御システム

工場全体でのエネルギー管理の重要性が増している中、ICTの進展によりエネルギー管理・制御システムの導入が増えている。そこで、現在のエネルギー管理・制御システムの現状と応用について、需給の連携制御を中心に解説する。
(編集部)

一般社団法人電子情報技術産業協会 (JEITA) 制御システム専門委員会

1. はじめに

一般社団法人 電子情報技術産業協会 (JEITA) 産業システム事業委員会の制御・エネルギー管理専門委員会では工場やビルを中心に産業・業務部門のエネルギー需給の管理・制御を最適に行う連携制御の普及に取り組んでいる。普及を図るために、2012年1月に連携制御の導入検討から効果の検証方法までを網羅した「連携制御ガイドブック」を刊行するとともに、JEITAのホームページにて公開している (<http://Home.jeita.or.jp/cgi-bin/about/detail.cgi?ca=1&ca2=123>)。

連携制御は需給のミスマッチによる無駄を省くものであり、導入による省エネ効果は非常に高い。しかし、導入のためにはコスト面ならびに技術面、管理面でのハードルが高く、これまでは大規模な工場などでの導入にとどまっていた。ところが、2011年の東日本大震災による福島第一原子力発電所の事故とその影響から国内の原子力発電所の稼働が停止となり、その結果、電力供給が逼迫し、さらに、エネルギー価格が高騰した。そのため、需要側、生産側で従来よりもさらに踏み込んだ対策が必要になってきた。一方で、PC (パソコン) に代表される情報技術、ならびに現場機器とコントローラ、PCを結ぶ通信技術、これらを合わせた情報通信技術 (ICT) の進展により、低コストで、

現場サイドの技術者でも連携制御を実現するシステムを構築できるようになってきた。その結果、中小規模の工場や事業所においても導入の機運が高まっている。

本稿では、連携制御の特長と課題について紹介する。

2. 需給連携の必要性と課題

工場や事業所のエネルギー供給設備は一般に最大の需要に合わせて計画されている。ところが、需要は変動し、また、近年は国内経済が構造的に低迷しているため、生産設備においては設備容量に対し低レベルの稼働 (エネルギー需要) となっている場合が多く、エネルギー供給設備の効率を高く保つことが難しくなっている。一方、エネルギーは輸送や保存が難しいため、エネルギーを無駄にしないためには、需要にあわせた供給 (需給連携) を行うことが重要である。

連携制御の適用については、製鉄所や石油化学工場では、エネルギーコストの比率が大きいいため、以前からプラント全体でエネルギー効率を最大化するように各設備が設計され、運用されている。特に、製鉄所などのエネルギーセンターでは副生成物のエネルギーも含めて、供給側と生産側の設備を連携し最適に制御することが行われている。また、大規模な自動車工場などのユーティリティ設備では、需給を連携したエネルギー最適運用システムを導入し、大きな省エネ効果を上げている。ただし、こうしたシステムの構築には、

コンピュータや制御の専門家集団と、高信頼で高性能な情報制御システムが必要であった。このため、中小規模の工場、事業所では投資回収が難しく、一般に広く普及するにはいたらなかった。

さらに、一般に普及しなかった要因として、コスト面のほかに、技術面ならびに管理面での課題があげられる。技術面では、一般的にエネルギー供給設備と生産設備はメーカーやベンダーが異なっており、これらの設備用の制御装置や制御システム同士を連携させることが技術的に難しく、これを実現できる技術・専門家を擁すメーカーあるいはベンダーでしか実施できなかった。管理面では、需給連携のためには、エネルギーの供給管理を行う組織部門と需要側の組織部門が協力して取り組むことが不可欠であるが、組織間の壁があり、実施が難しいケースが多かったものと思われる。

3. ICT進化の省エネ管理および全体最適化導入への貢献

省エネ管理を考えた場合、その進め方は、省エネルギーセンターが推奨しているように一般に次の手順となる。省エネ管理におけるICT技術の貢献を簡単に述べる。

(1) 省エネルギーの目標設定

省エネ活動の目標を経営層が取り組み方針として設定する。この取り組み方針を受け、各部署は作業内容や設備状況を考慮して省エネ目標を具体化し省エネ活動計画を立案する。

(2) エネルギー使用状況の把握

省エネ管理の重要項目の一つに、エネルギー使用状況の把握がある。エネルギー種別に応じて、エネルギーの生成、輸送、および消費までの一連の流れや時間変化を定量的に把握するとともに、操業条件、環境条件を併せて把握する必要がある。事業者は計測手段の選定、計測設備の設置位置を決定し、熱や電力について、事業所において、工程など操業条件に応じてどのように送られ、消費や損失となるかなど、エネルギーバランスを定量的に把握することも求められる。こうした計測作業の高度化に加え、エネルギー管理者、省エネ活動推進者は、操業条件とエネルギー使用量の関

係分析や、「見える化」を求められている。

(3) エネルギー原単位の管理

事業者がかかえる工場や事業所などの省エネ活動の比較、改善の余地を評価する尺度には、エネルギー原単位を用いるのが一般的である。

平成20年度の改正省エネ法により、エネルギー管理の単位は従来の工場や事業所ごとに加え、事業者単位も加わり、管理対象範囲が一気に拡大した。これまで自部署を対象としてきた省エネ活動は、企業としての生産活動を維持しつつ、全部署を巻き込みながらの管理が求められるようになった。同法での「事業所として設置している工場等を俯瞰してエネルギーの使用の合理化に努めること」という記載が示すとおり、省エネ活動として個別管理から全体管理、さらには個別最適化から全体最適化が求められている。

それでは、ICTの進化が上記省エネ管理にどのような役立ってきたかを考察する。90年代後半にセンサや発信器のデータをシステムに通信するための国際規格であるフィールドバスのプロセス制御向け仕様が統一され、アナログ伝送のデジタル化が加速した。これにより、いわゆるSCADA（産業制御システムの一つで、コンピュータによるシステム監視とプロセス制御を行う）では、現場情報をデジタルデータとして取り扱うことが可能となった。

制御装置、システム間の通信方式には、TCP/IPなど、オープンな通信プロトコルの適用が進み、専用線を用いた時代に比べ、接続コストは圧倒的に下がってきている。オープンな通信仕様の採用により、異なる制御ベンダーとの通信接続に要する技術的／コスト的な課題は解消され、制御システムにおけるマルチベンダー化が現実となった。エネルギー管理データは、これまで専用のデータベースに蓄えられてきたが、オープンな環境が普及し、複数の制御システムデータを統合し汎用的なデータベースに蓄えることが可能となった。また、見える化技術開発には制御ベンダー以外からの開発者が参入し、Web技術を活用して経営トップからオペレータまで、誰でもいつでもエネルギー状況を把握することを可能とする開発が加速した。

さらに従来中央操作室、運転管理室で監視してきた

プロセス状態、運転管理情報を、Web技術を用いてイントラネット経由で現場情報をエンジニアの机上で見る事が可能となった。現場監視情報が、イントラネット/インターネット経由で容易に得られるようになった結果、工場全体、コンビナート全体、さらには各拠点のエネルギー管理データの閲覧評価が可能となっている。エネルギー管理情報のこのような見える化浸透は、経営層に対してエネルギーコストの多面的かつリアルタイム性の高い判断を可能とし、組織（工場、拠点）間の省エネルギー活動を活性化させることにつながっている。異なるシステムの連携のみならず、例えば、エネルギー供給側と需要側の協体制の重要性を再認識できるようになったと考える。

その結果、エネルギーの全体管理、そして全体最適化への意識が高まり、ここで取り上げている連携制御はそういったニーズを満足させるための一手法として注目されている。連携制御は、機器同士の連携から、設備同士の連携へと段階的に拡大していくのが一般的である。事業者は工場や事業所など各拠点に存在するこれら連携制御の対象機器や設備を、さらに部門を超えて相互に連携することで、省エネを実現できる。ただし、この実現のためには、高性能な制御用計算機とネットワーク技術が必要不可欠となる。

近年のコンピュータ・ハードウェアの低価格化、高機能化は、ムーアの法則（1995年から比べるとトランジスタの集積度は、約100倍となっている。）による予想を超えた勢いで進んでいる。その恩恵は最適化アルゴリズムの面にもおよび、ICT進化により、連携制御で要求される制御周期において最適化で取り扱える変数の数を劇的に増加し、大規模問題の最適化の制御への適用も実用レベルとなった。またソフトウェア構築についても、使いやすさの進化により、コンピュータの専門家に限らず、誰もがICT環境を使いこなせる時代となってきている。これによりハードウェアおよびエンジニアリングコストの低減が図られ、連携制御実現のハードルはますます低くなってきている。

4. 連携制御とは

ビルや工場などでは、電気やガスや燃料などの一次

エネルギーだけでなく、蒸気や冷温水、圧縮空気などの二次エネルギーを作り、冷暖房や製造設備の運転に使っている。近年は、性能の優れた個々の設備や装置の導入による省エネ対策が進んでいる。また、「見える化」によりエネルギー使用量の実態把握を行い、省エネ活動を推進することも行われている。しかし、エネルギーは貯蔵や移動が難しいため、需要と供給のミスマッチによる無駄が発生しやすく、また、ビルや工場などでは最大需要に合わせて供給設備を設計しているため、需要が少ないときに単純に供給を減らすだけでは効率が悪化するなど、改善の余地が大きい。

民間製造業や輸送部門の省エネ対策では、単体として優秀な省エネ性能を持つ設備や装置の導入が進んでいるが、期待した効果が出ない場合も散見される。これは工場や事業所が、複数の設備や装置を組み合わせで運用するため、それぞれが部分負荷で運転され、最高のエネルギー効率が得られないことに起因する。このように、定格負荷条件などを元にした設備単位での部分最適では、多くの無駄が発生しがちである。工場や事業所のエネルギー効率を高めるためには、エネルギー供給源を担う動力・熱源設備などの供給側を、ダイナミックに変動する需要にあわせて最適に運用すること、すなわち全体最適のアプローチが必要になる。

連携制御とは、需要と供給のミスマッチによる無駄や、複数の供給設備間で生じる無駄を削減するため、需要側、供給側の設備同士を互いに連携させ、全体を最適に制御するコンセプトである（図-1参照）。供給設備、需要設備を段階的に連携させることにより、一歩一歩省エネを進めることが可能である。連携制御は、既存の供給設備、需要設備を有効に使って省エネを実現する先進的な制御技術でもある。連携制御を導入することにより、生産側のエネルギー需要と供給側の供給のミスマッチによる無駄や、複数の供給設備間で生じる無駄を削減するため、生産側、供給側の設備同士を互いに連携させ、全体を最適に制御するシステムが構築できる。連携制御にはさまざまな形態があり、ここでは実例のある5種類のカテゴリを紹介する。

(1) 供給機器連携

供給設備内での各機器の個々の特性を考慮した運転

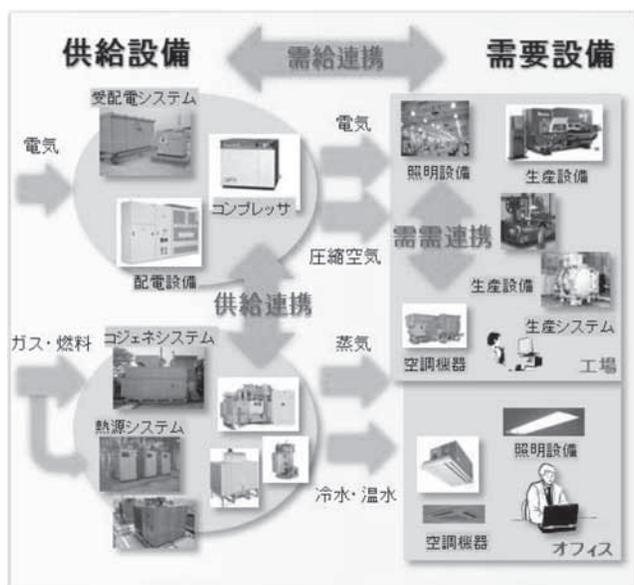


図-1 連携制御

を制御する手法である。機器の組み合わせや設定を最適配分してコストあるいはCO₂排出量を最小化する。例えば、電気を使う熱源と燃料・ガスを使う熱源の負荷の最適配分や、ボイラ、ポンプ、コンプレッサなどの複数の機器の最適運転制御など、機器個々の特性（例：大型/小型、旧式/最新などの組み合わせ）を考慮した負荷の最適配分を行う。

(2) 供給設備連携

近隣の供給設備間の連携運転を制御する手法である。例えば、隣接工場の供給設備を一つの供給設備とみなした負荷の最適配分や、工場内の複数供給設備を一つの供給設備とみなした負荷の最適配分など、供給設備間の負荷を最適に配分するものである。

(3) 需給連携

需要設備の需要量に応じて供給設備の運転を制御する手法である。現在の需要量あるいは需要量の予測値に基づいた供給機器の負荷の最適配分を行うものである。例えば、小さな規模では設備冷却水の設備側運転状態に応じた流量の制御などが、大きな規模では工場のエネルギーセンターや地域冷暖房プラントにおける気象情報などを用いた熱源と蓄熱槽の最適運転制御などが該当する

(4) 需給双方向連携

需要設備の需要量に応じて供給設備の運転を制御し、

さらに供給設備の能力を超える需要がある場合、需要側の調整を行う手法である。需要側の調整としては、操業調整を行う場合、生産計画の変更を行う場合がある。電力デマンドの制約量に合わせた操業調整などが電力を大量に消費するプラントで行われてきたが、今後さらに双方の連携が進み、生産スケジュールの組み換えなどへ適用範囲が広がると考えられる。

(5) 需要設備連携

需要設備の生産システム同士が連携し、需要側の調整を行う手法である。需要側の調整としては、操業調整を行う場合、生産計画の変更を行う場合がある。すでに節電対策のように、電力デマンドの制約量に合わせた操業調整などが電力を大量に消費するプラントで行われている。現状は生産ラインの同時停止がほとんどだが、今後、生産スケジュールをもとに、生産システムの順次停止起動など、制御方式の高度化が進むと予想される。

6. 連携制御の事例

6-1 連携制御の事例（需給連携）

連携制御の典型的な事例の一つに地域冷暖房がある。図-2は、地域冷暖房の熱供給設備の需給連携の例である。

近年、地域冷暖房の需要家（ビル、テナントなど）に対するエネルギー需要予測精度の向上、情報通信技術の活用、最適化技術の活用により、エネルギーコスト/CO₂排出量を抑制し、電力契約をできる限り超えないよう、供給側の熱源機器を適切に運用すること

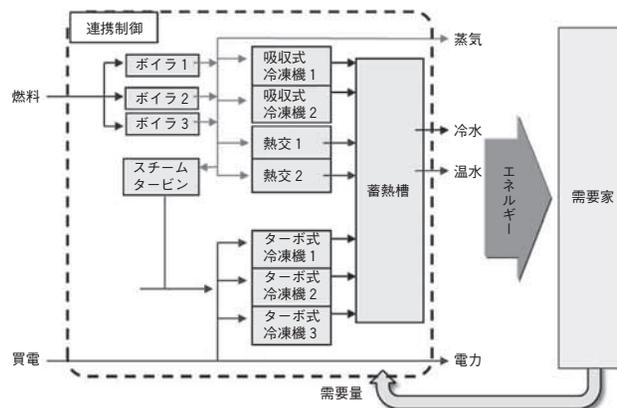


図-2 需給連携の事例（地域冷暖房）

が可能となっている。例えば24時間先までのエネルギー需要を予測し、どの時間帯にどの機器を使用し、蓄熱槽への蓄熱量、放熱量を算出し、ガイダンスする。

図-3は、都市ガスを用いる吸収冷凍機と電気を用いるターボ冷凍機を併用し、

CO₂の排出量を抑えるとともに、冷房需要が高い場合でも契約電力量の上限を超過しないように制御を行うものである。

この例では、吸収冷凍機とターボ冷凍機のCOP (coefficient of performance 成績係数：冷凍能力／消費動力を示す) の違いと、同じ冷水出力でのCO₂排出量の違いを勘案した運用が必要となる。

図-4 (1) に冷房需要の例を示す。正午過ぎの冷房需要が最大100GJとなっている。また、朝7時より冷房需要が急増し、20時を過ぎると漸減しており、1日のなかでも需要変化が大きい。

このシステムは、CO₂排出量の低減の観点から、電

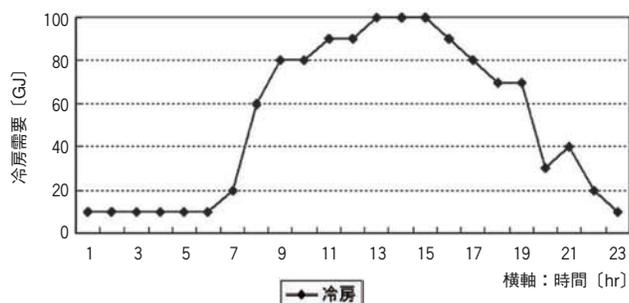


図-4 (1) 冷房需要の例

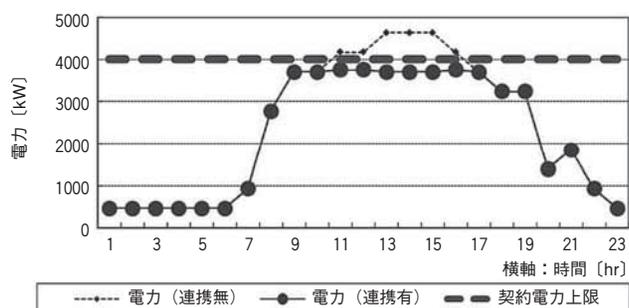


図-4 (2) 電力変化

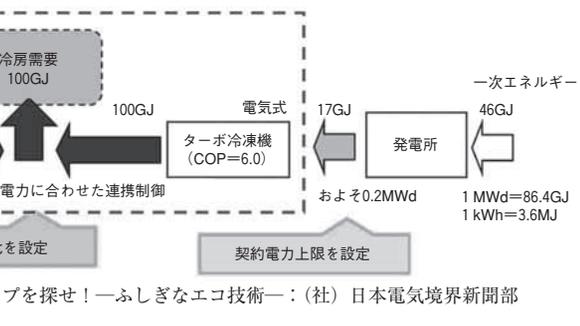


図-3 吸収冷凍機とターボ冷凍機の併用による連携制御の例

気を用いるターボ冷凍機をベースに運用されている。一方、契約電力による電力制限がある。これを図-4 (2) では太い点線で示す。冷房需要が86GJを超えると、ターボ冷凍機のみでは、電力制限4000kWを超過する可能性が高まる。そこで、連携制御では、図-4 (1) に示した冷房需要の過去統計による実績を予測情報として用い、日中11時から16時の間に、電力消費量の小さい吸収冷凍機を併用する。

連携制御を行った場合の電力量は図-4 (2) の丸点で示すとおりであり、破線の4000kWの電力制限以下で冷房運転が行われている。

一方、図-4 (3) に示すとおり、「連携有」でのCO₂排出量は、ターボ冷凍機のみを運用する「連携無」に比べ、吸収式冷凍機を併用した期間分だけ増加するが、その増加量は連携制御により最小限に抑えられていることがわかる。

このように需要側の冷房需要の予測情報を用いた連携制御を導入することで、供給側の設備である吸収冷凍機、ターボ冷凍機を適切に運用し、近年、特に重要視される電力制限の遵守と、環境側面から重要視されるCO₂排出量の最小化を同時に満たす運用が可能にな

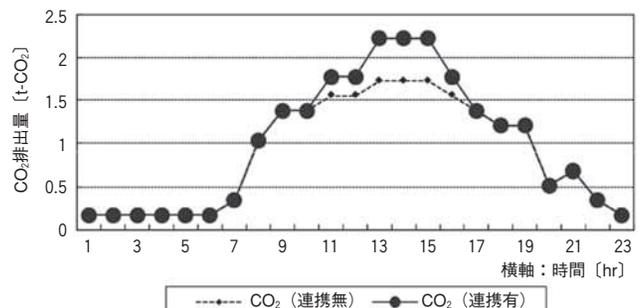


図-4 (3) CO₂ 排出量の変化

る。

6-2 連携制御の事例（需要設備連携）

需要設備連携の一例であるデマンドサイドマネジメントは、近年、スマートグリッドへの社会的関心の高まりとともに、盛んに検討されている技術である。デマンドサイドマネジメントは、従来電力会社が行っていた電力システムの計画運用に、需要家も参画し、全体として最も経済的な電力供給体制を実現することである。需要設備連携では、エネルギーを電力に限定せず、蒸気や冷温水なども含む。需要家参画の方法はさまざまだが、その一例として、生産管理情報の連携を図-5に示す。工場ごとの生産管理情報を共有し、生産スケジューリングに反映することにより、熱源システム運用の効率化やピーク需要の低減をはかっている。

7. 連携制御のコスト効果

図-6は、各種の省エネ機器や省エネソリューション

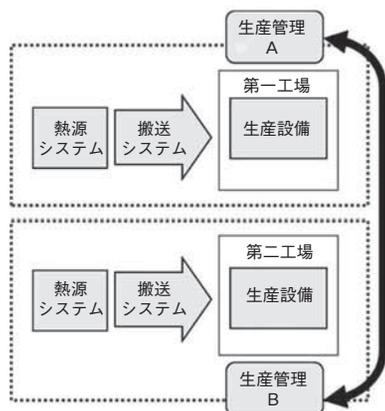


図-5 需要設備連携（デマンドサイドマネジメント）

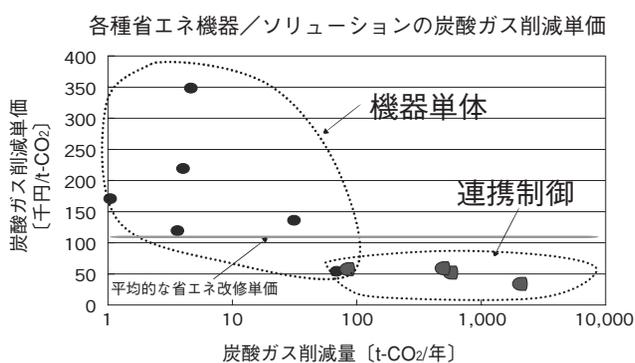


図-6 連携制御の投資効果

について、炭酸ガス削減単価という指標を用いて投資効果を比較したものである。縦軸の炭酸ガス削減単価とは、炭酸ガスを1トン削減するための投資を計算したものである。値が小さいほど、優秀な省エネ手段である。横軸は、炭酸ガス削減量を示す。右側に行くほど大きな削減量を得ることができる。「機器単体」のカテゴリは、変圧器や熱源装置など、省エネ効果を高めたタイプと標準タイプとの価格差を分子に、削減量を分母においた計算事例である。「連携制御」のカテゴリは、代表的な連携制御の事例において導入費用を分子として同様の計算をしたものである。国内の炭酸ガス削減単価の平均は約110千円 (/t-CO₂) と言われているが、連携制御はこの平均値に比べて大幅に安価なソリューションであり、「機器単体」の導入時に比べても大幅に安価であることがわかる。また、連携制御は、必ずしも大型の設備更新を必要とせず、既存設備同士の連携をはかることで、エネルギー消費の削減が可能な点に特徴がある。

8. 今後の展望

日本だけでなく諸外国においても、温暖化問題、コスト競争力、一次エネルギー費用の増加から、環境配慮、費用削減、エネルギー安定確保を目的に、今後、自施設への再生可能エネルギーやコジェネ設備、エネルギー貯蔵設備の導入が進んでいくと考えられる。このようなエネルギー源を有効に活用するには、それらの設備を上手く連携させて運用する必要があり、連携制御の重要性はますます増大していくと思われる。

また、連携制御は広域の地域冷暖房施設や、地域冷暖房を複数統合した形の大型地域冷暖房施設などへの適用が進み、さらに現在実証が進められているスマートシティでは、企業のサイトも、一つの需要者として、また供給者として位置付けられ、今後連携制御の適用対象となることが予想される。現在の連携制御は、自社の設備群の制御が主体であるが、CEMS（Cluster Energy Management System）との連携（省エネへのインセンティブやエネルギー需要に対する制約）を考慮した連携制御も今後発展していくことが予想される。

また、わが国においては2011年の東日本大震災と原子力事故を契機とした電力需給の逼迫が続いており、電力負荷の平準化が重要課題となっている。これを踏まえて、省エネ法にも「ピーク対策」の積極的な評価の観点を取り込む検討がなされている。連携制御では、最適化項目としてこのような観点を取り込むのは比較的容易であり、需要予測やデマンドコントロールなど「ピーク対策」を積極的に取り込んだ方式の連携制御も今後の主流となっていくだろう。

現在は、増産中心のアジア諸国においても、省エネ法の普及により、すでに環境問題への取り組みが開始されており、大型の設備投資を必要とせず、省エネを短期間で効率よく実施する手法として連携制御は期待されている。実際にいくつかのフィジビリティスタディーにより、日本よりも省エネ改善の余地が高いという結果が出ている。

日本国政府が進めているポスト京都議定書でCO₂排出クレジットを取得する新たな仕組みである二国間オフセット・クレジットメカニズムでは、二国間の取り決めにより、CO₂削減量を計測し、クレジット化を可能とする。この二国間クレジット構想が現実のものとなると、クレジットをインセンティブとしてさらに海外で連携制御を始めとする日本の技術による省エネ活動は加速するであろう。

本稿のなかに記載されているICT技術の進化により、連携制御技術導入のハードルは、低くなってきている。ネットワーク技術の普及、オープンシステム・インタフェースや、リアルタイムデータベースの普及が進んだ結果、異なるベンダーの別々のシステムで制御されている各種の設備から、運転情報やエネルギー情報を集め、これらの動作を最適化するように、各設備やシステムに指示をすることが楽になってきている。また、複雑な演算が必要とされる予測演算を伴う需給連携においても、コンピュータの性能向上と最適化アルゴリズムの進化により、以前は大きな問題であった最適化演算の収束性などの問題が大きく解消されている。

一方、連携制御導入のためのエンジニアリング作業は、今後改善の余地が大きい。どのような設備を、ど

の程度連携させ、どのように動作させると、どれだけ効果が得られるかを試算したり、前述の異機種システム間の通信を設定したり、導入後の効果検証も重要なエンジニアリング項目である。連携する設備の種類が多く、動作が複雑な場合、効果の試算や効果の検証には多くの労力を要しており、改善が望まれる。この部分の改善により、導入コストをさらに低減できるようになり、比較的小さな規模の施設・設備でも連携制御を導入することが可能となるであろう。

連携制御では、設備の一部を部分負荷で運用することも考慮し、最適な制御を実施する。このためには、各種設備の部分負荷特性が開示されていると、実績データが不足している場合でも部分負荷運転の有効性が検証可能である。このような開示方法について、今後国際規格化が進むことを期待している。

9. おわりに

連携制御は、需要と供給のギャップに着目して無駄なエネルギー使用を削減する技術として、素材産業などエネルギー多消費型産業では古くから導入されていた。近年、ICT技術の進化により導入が容易になったことで注目され、普及期を迎えようとしている。新たな機械設備など大型の投資を伴わないため、投資効果が高く、また小さな範囲で導入し、徐々に全体的な最適化を行っていく段階的な投資も可能な、優れた省エネ手法である。エネルギー需要側の組織（例：生産部）と供給側の組織（例：原動力部）が協力し合い、全体最適の視点で取り組むことができれば、連携制御の導入や段階的成長は比較的容易である。今後、エネルギー価格は確実に上昇していき、各企業はますますエネルギー削減を進めていく必要があるだろう。このためには、これまでより一歩踏み込んだ対策が必要になってくる。

「RENKEI CONTROL」という言葉が、IEC（国際電機標準会議）のエネルギー効率テクニカル・レポートにも紹介されようとしている状況のなか、日本発の技術として今後国際的にも認知され、さまざまな国で効率の良い省エネ手法として、積極的に検討される日がくることを願っている。