

# プロセス制御のさらなる適応視点と人材育成

【トレンド】

## これからのエネルギー最適管理における連携制御の役割

電子情報技術産業協会 (JEITA)  
制御・エネルギー管理専門委員会 WG1

### 1. はじめに

世界的な温室効果ガス削減の取り組みの中で2016年11月に発効された「パリ協定」では、世界共通の長期目標として平均気温上昇を2℃未満に保つことを追及することが合意された。日本政府も「2030年度に2013年度比26%温暖化ガス削減」を宣言した。

JEITA 制御・エネルギー管理専門委員会では、機器単体の省エネから、複数の機器や設備を連携させた運用や制御により、全体最適を行うことができる考え方を「連携制御」という概念にまとめ上げ、提唱してきた。具体的には、事例収集、連携制御のカテゴリ分け、他の省エネ施策との投資対効果の比較、導入効果指標の標準化などに取り組みを進め、これらの検討結果をまとめた集大成として「連携制御ガイドブック」を2012年に刊行した。その成果は、当委員会のWebページ<sup>\*1)</sup>に公開されている。

その後、さらにCEATECなど各種セミナーでの講演、雑誌への寄稿、IEC TR 62837への"RENKEI control"の提案などの活動を継続してきた結果、国内のみならず海外にも「連携制御」が認知され、徐々に普及しつつある。

そこで今回、この先20年程度は通用するものとなるように連携制御の定義をよりわかりやすく、より適用可能性を広げるための見直しを行った。それに加えて、既設設備に連携制御を導入する「連携制御リノベーション」の概念の追加や事例の拡充などに取り組み、これらの成果を「連携制御ガイドブック」改訂版として取りまとめ、3月末に発行する予定である。

本稿では、新しい「連携制御」の考え方を、ガイドブックの改良点を紹介するとともに解説する。

### 2. 連携制御の定義改訂

前述のように、当委員会ではエネルギー供給設備とエネルギー需要設備を互いに連携し、システム全体のエネルギー最適利用を実現することを特長とした「連携制御」という概念を作り、その普及促進活動を展開してきた。そもそも、これまで連携制御が対象としてきたエネルギー需要設備は、空調設備のように適切な空調環境となるように制御したり、各種の製造プラントなどのように一定の品質を保った製品を作り出すなど、エネルギーを使用してさまざまな効用をもたらすものである。

当委員会で議論を進める中で、連携制御の全体最適の概念をエネルギー以外にも拡張することにより、省エネ以外の品質、納期、総コスト、環境負荷、安全性などの指標も含めた最適化にまで適用できることが見えてきた。また、今まで工場内に限定されていた適用範囲を再生可能エネルギー利用、スマートグリッドといった広範囲のエネルギー最適化にも適用できることもわかってきた。このような取り組みの中で検討してきた新たな連携制御の定義について、次章で紹介する。

### 3. 新たな連携制御の定義

当委員会では連携制御の範囲を拡大すると共に、連携制御と一般的な制御を識別するため、以下に示す定義を新たに定めた。

【定義：連携制御】

『エネルギーを効用に変換する機能を持つ複数の要素から構成される、任意の定義されたバウンダリ内において、エネルギー使用量に関連する指標を含む、1つ以上の評価指標を最も適した状態に導くために、構成要素同士を連携して動作させる制御方法』

ここで、各語句の意味は以下の通りである。

- この定義内の「エネルギーを効用に変換する機能」とは、エネルギーを用いて製品(あるいは半製品)を製造する生産設備のような機能や、あるエネルギーから別のエネルギーに変換するボイラ(燃料→熱)や照明(電気→光)などのエネルギー変換設備のような機能を示している。
- また、「バウンダリ」とは境界の意味であるが、たとえば、ある設備単体のように小さなものから、生産ライン、テナントスペース、フロア、蒸気生成および供給システム、冷水搬送システム、原油精製プラント、建屋、敷地、さらに地域まで、任意の形状(非連続でも良い)のバウンダリを設定することになる。
- 「1つ以上の評価指標」には必ず「エネルギー使用量に関連する指標」が含まれなければならない。たとえば「エネルギー使用量」や「用途別エネルギー使用量」、「エネルギー効率」、「エネルギー原単位」などである。このほかに、含まれる評価指標としては、「CO<sub>2</sub>排出量」、「生産性」、「品質」、「納期」、「収益率」などが挙げられる。
- 1つ以上の評価指標を「最も適した状態」に導くとは、いくつかの評価指標を最も適した値の組合せに導くことである。たとえば、エネルギー使用量を減らすと品質が低下するというように、エネルギー使用量と品質の2つの指標が相反する場合があるが、品質の下限値を満たす最小のエネルギー使用量が、最も適した値の組合せになる。
- 「連携して動作する」の意味は、ある1つの構成要素から別の構成要素に情報を伝えることにより、別の構成要素の動作が変化することを言う。情報の伝達は片方向でも双方向でも良いが自動的に行われるものとする。

ここでの制御は、自動制御のみならず「ガイダンスシステム」のように人間を介した制御も含む。

## 4. 連携制御ガイドブックの主な改良点

### 4.1 主な改良点

今回の改訂では、2012年のガイドブック初版発行から4年間の間に議論してきた内容を反映して、下記に示した多岐に亘る改良を行った。

- 他の省エネ手法と対比した投資対効果の定量的な説明

- ISO50006に準拠した省エネ効果の検証
- 既設設備に連携制御を導入する「連携制御リノベーション」の概念の追加
- 適用事例の充実
- Appendixの充実
- 用語集の見直し、など

本稿では、この中でISO50006に準拠した省エネ効果の検証について紹介する。

### 4.2 新しい効果検証の考え方

連携制御の効果を具体的な数値として確認する行為を効果検証と呼ぶ。検証は導入前と導入後の状態を比較することで、対策やその投資の有効性を確認するのが第一目的であるが、導入時だけでなく、継続的に効果を検証し続けることによって、連携制御の有効性を常に最良の状態に保つという目的もある。検証は、その目的によって方法や値の精度が大きく異なる。たとえば、社内報告用に簡易的に値を求める場合と、排出権取引の根拠として用いる場合では方法が異なる。

本章では、各種の検証方法と、その留意点について解説する。

### 4.3 効果検証の方法

#### (1) エネルギーパフォーマンス指標 (EnPI)

検証のための「ものさし」は従来からさまざまな手法が用いられてきたが、近年は国際標準化が急速に進んでいる。国際標準化されている代表的な「ものさし」としては、エネルギーに関するマネジメント規格であるISO50001の規定する各種の「エネルギーパフォーマンス指標 (EnPI)」や、その代表的なEnPIの一つでありISO50047やISO17741で算定方法を規定する「エネルギー削減量 (energy savings)」がある。他の代表的なEnPIとしては、日本では省エネ法(エネルギーの使用の合理化等に関する法律)に規定されている「エネルギー消費原単位」がある。

エネルギー消費量は外気温や生産量などさまざまな要因で変動する。この要因を影響因子と呼ぶ。エネルギー消費量の変動から「対策による効果」だけを抜き出して評価することが望ましい。このため、影響因子の変動による影響をできるだけ取り除く機能を持つのが良いEnPIと言える。また対策の導入前後の対象領域のさまざまな変化(例:建屋の増設、製品構成の変動など)に対処する手法をはじめとして、継続性があることが求められる。

一方で、EnPIの精度や厳密さを求めるには検証の

表1 効果検証に用いる指標(EnPI)の例

EnPI	概要	効果検証の方法
①エネルギー消費原単位	エネルギー総消費量 / (生産数量, 売上高など)	導入前後の原単位を比較
②エネルギーコスト原単位	エネルギーコスト / (生産数量, 売上高など)	導入前後の原単位を比較
③エネルギー総消費量(エネルギーベースラインモデル法)	エネルギー消費量と影響因子の関係をモデル化	導入後の影響因子を導入前のエネルギーベースラインモデルにあてはめて、導入前のエネルギー消費量を推定し、これと実際のエネルギー消費量の差分をとる

ためのコストがそれらに応じてかかることに留意する必要があります。目的に応じた精度を得られるEnPIを選ぶべきである。

なお、JEITAエネルギーマネジメント標準化専門委員会では「EnPI導入ガイド」を発行・公開している。Webページ<sup>2)</sup>を参照頂きたい。

検証精度を高めるための原則は、「同等の条件」で比較することである。連携制御の効果検証のためには、適切なバウンダリと適切な期間でEnPIを比較すると良い。一般的なEnPIとしては、単純比較法としてエネルギー総消費量やエネルギーコストもあるが、連携制御導入前後でエネルギー消費への影響因子の変化に対する補正処理が行えないため、連携制御の効果検証には適さない。

表1に連携制御の効果検証に適用できる主なEnPIの概要と効果検証の方法を解説する。

①エネルギー消費原単位

適切に設定したバウンダリ・期間のエネルギー総消費量(エネルギー消費量から外販したエネルギー量を差し引いた量)を、生産数量, 売上高, 入場者数などエネルギーの消費量と密接な関係を持つ値で除した値である。使用エネルギーが電気・燃料ガスなど多様な場合は各々を原単位換算して総量を求める。原単位を比較することにより、導入前後での生産数量などの変化の影響を除くことができる。

ただし、原単位方式では、エネルギー消費量への影響因子が複数ある場合や、影響因子とエネルギー消費量が単純な比例関係ではない場合(たとえば、生産数量に依存しない固定的なエネルギー消費量がある場合)には精度が低くなる。また、生産数量といっても、生産品目の違いにより、同一生産数量でもエネルギー消費に違いが生ずる場合があり、多品種を生産する設備では換算生産量を用いるなどの注意を要する。したがって、原単位の分母に何を採るかは重要であり、適切に設定する必要がある。

②エネルギーコスト原単位

①における分子をエネルギーコストで置き換えたものであり、注意点は①と同等である。

③エネルギー総消費量(エネルギーベースラインモデル法)

エネルギー消費量の影響因子(気象条件などの外的な要因や生産数量などの内的な要因)が導入前後で変動する場合、上記の①(コストで見る場合は②)では必ずしも、導入効果が正しく得られない。そこで、導入前のエネルギー消費量と影響因子の関係をモデル化し、これをエネルギーベースラインとする。導入後の影響因子をこのモデルにあてはめて、「元のままだったら、どれだけエネルギーを消費していたか」というエネルギー消費量の推定値を算出し、これと実際に使用されたエネルギー消費量を比較することにより、導入効果を算出する。

モデルは、その精度に応じてさまざまなものがあり、精度が良いモデルとしては重回帰モデルや状態別モデルなどがある。一例として、エネルギー消費量を生産数量の一次式で表す例を図1に示す。導入後の検証により、生産数量 $x_1$ でエネルギー消費量 $y_1$ であったとする。導入前のエネルギーベースラインが図の直線で表され、生産数量 $x_1$ に対応するエネルギー消費量は $y_0$ と推定し、 $y_0$ と $y_1$ との差異が導入効果となる。

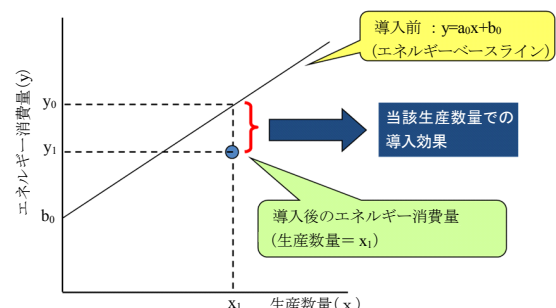


図1 導入前のエネルギーベースラインとの比較の例

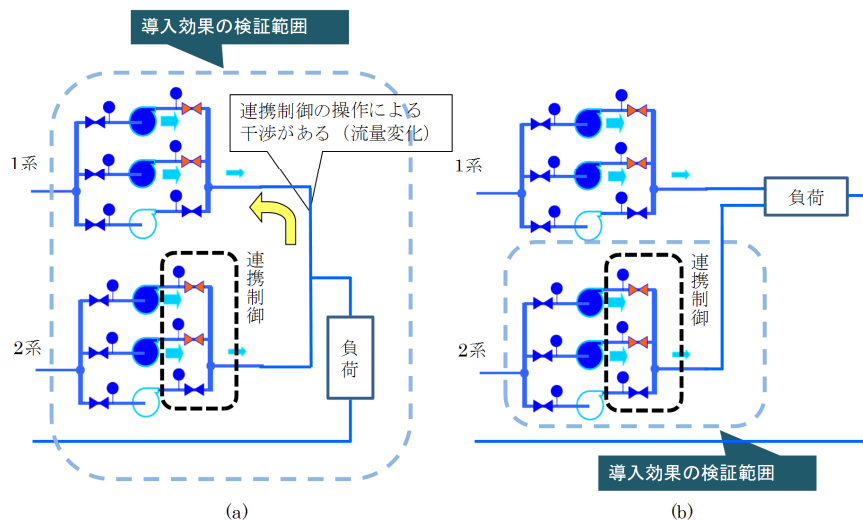


図2 導入効果の検証バウンダリの例

## (2) バウンダリ

同等条件での比較の原則の元、検証の目的に応じて、EnPIを算出する検証バウンダリ(機器/設備/施設)を適切に設定する必要がある。また、バウンダリをどのように設定したのかをその考え方とともに明確にするのが望ましい。連携制御の効果検証のためには、連携制御の導入により影響が及ぶ領域を、検証のバウンダリに含めるべきである。また、影響しない部分をできるだけ除くと、導入効果がより明確になる。以下にバウンダリ設定の例を示す。

図2において、2種類の設備系統に連携制御を導入したとする。(a)の場合、導入していない1系にも流量変化等の干渉(影響)があるため、1系と2系を含めたバウンダリで導入前後のEnPIを比較する必要がある。一方、(b)の場合は、1系に影響がなく、この場合のバウンダリは2系のみでよいことになる。このように、同じような設備に導入したとしても、設備形態により導入効果検証のバウンダリは異なる場合がある。

## (3) 期間

同等条件での比較のため、導入前のEnPIを計測する期間と、導入後のEnPIを計測して検証する期間は、同等とすることが望ましい。連携制御の導入領域のエネルギー消費に影響を与えるさまざまな外的要因(気象条件、設備稼働・運転パターン、製造品目など)の影響を、できるだけ相殺できるような期間をとることが望ましいからである。対象領域が広い場合など、影響因子が多いときには、一般的に

1年間の検証期間を取ると良いと言われている。しかし、検証のためのデータ収集や分析には相応のコストと期間がかかるので、効果の大きさや必要度(影響因子の数と影響の複雑さ)に応じて、以下に例示するような期間から合理的に選択する。

- ①典型的なパターンの1日間
- ②連続する1週間
- ③季節ごとの代表日
- ④1年間
- ⑤数年間(必ずしも連続である必要はなく、上記①～④を数年間にわたり追跡)

導入時点から短期間での運用による効果検証が必要となる場合には、①や②のデータを元に算出したEnPIを求め、1年間にわたる影響因子を考慮した補正を行い、期間による加重平均などを行うことで、1年間に対するみなし効果として評価することができる。

図3にエネルギーベースラインモデル法での評価イメージを示す。影響因子を横軸に、エネルギー消費量(費用)を縦軸にしてベースラインを図示し、導入後の実績値をそれにプロットすることにより、導入効果が視覚的に明確になる。

## 5. おわりに

2017年3月に発行予定の「連携制御ガイドブック」の改訂版では、ISOやIEC等の国際規格における用語定義のルールに準拠し、連携制御の定義を改訂した。さらに「適用事例」を多く示し、一般的な制御



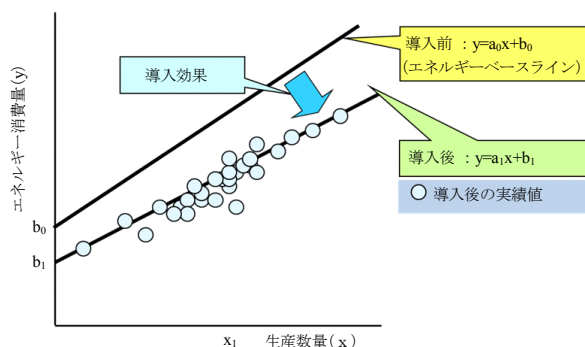


図3 検証結果の表現例(導入前のエネルギーベースラインとの比較)

との違いを明確にすることで、「連携制御」をわかりやすく解説することに注力した。本稿ではその一部を紹介したが、ガイドブックには詳細な説明が記載されており、より深くご理解頂くために是非ご覧頂きたい。

今後、IoTの普及により、発電量の予測や平滑化が難しい太陽光発電や風力発電等の再生可能エネルギーと蓄電池や水素製造等を活用した電力貯蔵技術を連携し地産地消をコンセプトとしたスマートグリッド化が加速され、さらにその中で各需要家のデマンドレスポンスとも連携していくことが予想される。

また、デマンドレスポンスにより生まれた各需要家のネガワットを活用するネガワット取引も2017年4月より開始される予定であり、今後ますます高度に広範囲なエネルギー最適化がなされていくであろう。

エネルギー利用の全体最適を実現する手法として「連携制御」の役割がますます重要になっていくと思われる。

注)

- \* 1) 制御・エネルギー管理専門委員会 WG1 ホームページ  
<http://home.jeita.or.jp/cgi-bin/page/detail.cgi?n=461&ca=1>
- \* 2) EnPI導入ガイド  
<http://home.jeita.or.jp/cgi-bin/page/detail.cgi?n=674&ca=1>

(一社)電子情報技術産業協会(JEITA)制御・エネルギー管理専門委員会WG1  
 松井哲郎(主査:富士電機), 鎌田健一(副主査: 横河電機), 鈴木康央(委員:アズビル), 植木和夫(委員:アズビル), 笹木誠(委員:荏原電産), 下江政義(委員:三菱電機), 井上賢一(委員:横河電機), 池山智之(委員:横河電機), 福沢充孝(委員:横河電機), 宇野達朗(委員:横河ソリューションサービス), 花形将司(オブザーバ:省エネルギーセンター)