

JEITA

連携制御ガイドブック

RENKEI Control Guidebook

2017年3月

一般社団法人 電子情報技術産業協会

制御・エネルギー管理専門委員会 WG1(省エネルギー)

Japan Electronics Information Technology Industries Association

目次

1	はじめに.....	3
2	連携制御.....	5
2-1	連携制御とは.....	5
2-2	連携制御のカテゴリ.....	9
(1)	供給連携.....	9
(2)	需給連携.....	10
(3)	需給双方向連携.....	11
(4)	需需連携.....	12
2-3	連携制御の事例.....	13
2-4	連携制御の効果.....	15
(1)	連携制御の費用対効果.....	15
(2)	効果の例.....	17
2-5	連携制御の導入と検証の概略.....	18
3	連携制御導入ガイドライン.....	19
3-1	導入の手順.....	19
(1)	ステップ1 プロジェクト立ち上げ.....	20
(2)	ステップ2 効果見通し.....	20
(3)	ステップ3 導入効果試算(FS).....	20
(4)	ステップ4 システム導入.....	20
(5)	ステップ5 運用・保守.....	21
3-2	導入効果の試算.....	21
4	検証ガイドライン.....	23
4-1	検証の目的.....	23
4-2	検証の方法.....	23
4-2-1	エネルギーパフォーマンス指標(EnPI).....	23
4-2-2	検証バウンダリ.....	26
4-2-3	期間.....	27
4-2-4	データ収集.....	28
4-2-5	収集データの誤差対応.....	29
4-2-6	検証結果の表現方法.....	29
4-3	オンライン自動制御システムとガイダンスシステム.....	30
5	エネルギー最適化の考え方.....	31
5-1	エネルギー利用方法の施設別特性とエネルギー管理方法.....	31
(1)	商業ビル.....	31
(2)	工場.....	32

5-2 エネルギー利用の最適化(連携制御導入)の着眼点	36
5-2-1 最適化の着眼点(共通事項)	36
5-2-2 連続系プロセスを含む系における最適化	38
5-2-3 バッチ系プロセスを含む系における最適化	38
5-3 最適化のものさし	40
5-3-1 基本となる EMU 内の評価指標	41
(1) 連続プロセスを含む系	41
(2) バッチプロセスを含む系	41
5-3-2 連携の効果を示す評価指標	42
(1) 原単位法(相対比較)の例	42
(2) エネルギー総消費量(エネルギーベースラインモデル法)(絶対値比較)の例	43
6 今後の展望	44
7 おわりに	45
Appendix 1 導入事例の解説	46
Appendix 2 エネルギー管理ユニットのモデル EMU	48
Appendix 3 EMU のステータスの定義	51
Appendix 4 EMU のステータス適用例	54
Appendix 5 省エネ効果の見積と検証の実用知識	57
Appendix 6 原単位管理の注意点	62
Appendix 7 FS(Feasibility Study)に関する費用と精度のバランス	63
Appendix 8 省エネ法における定期報告書との関係	64
参考文献	65
用語集	66

1 はじめに

我々はエネルギーを消費してさまざまな社会活動を行っている。例えば、製造業であれば事業所で消費されるエネルギーは製造原価の一部であるため、エネルギー消費量の低減は利益の創出と等価であり、事業活動において非常に重要かつ必須の取組みである。また、世界的な温室効果ガス削減の取組みの中で、企業の社会的責任としての環境負荷低減という側面からもより一層の省エネルギーの推進が求められている。

日本では 1951 年施行の熱管理法に始まり、1970 年代の2度のオイルショックでのエネルギーの節約、1979 年の施行以来、何度も改正されてきている省エネ法によるエネルギー使用効率の向上に取り組んできた。特に省エネルギー法ではトップランナー制度により 2016 年 11 月現在で 31 品目が特定機器に指定され、機器単体の高効率化が図られてきている。多くの工場や業務用施設では機器単体の高効率機器への更新の次のステップとして、新たな省エネ方策が模索されている。

そのような中、2015 年 12 月に世界 197 の国と地域が参加する COP21 で採択された、温室効果ガスの削減に取り組む新しい国際的な枠組みは、2016 年 11 月に発効した。この中で、日本は国際公約として 2030 年度に 2013 年度比 26% 温暖化ガス削減を宣言した。これは、徹底した省エネルギー対策によって、原油換算で 5,030 万 kl 程度エネルギー需要を削減することを見込んだものであり、オイルショック以降と同水準のエネルギー効率改善が必要となる非常にハードルが高いものである。

機器単体の高効率化とは異なる省エネのアプローチとして、複数の機器や設備を連携させた運用や制御により、システム全体のエネルギー効率を向上させることができる「連携制御」がある。連携制御は、既存設備を活用しながら、制御技術によってエネルギー効率の全体最適を実現するものであり、投資対効果の高い省エネソリューションである。

これまでに、JEITA の制御・エネルギー管理専門委員会 WG1 では、2012 年に連携制御の概念や導入のステップ、事例などをまとめた連携制御ガイドブックを発行し、その普及促進活動を進めてきた。その活動の中で、連携制御の全体最適の概念は、製造品質などエネルギー以外の指標にも拡張していくことで、その適用範囲を拡大でき、スマートシティなどの将来的な社会システムの変化にも適応できる大きな可能性を持った概念であることが見えてきた。そこで、今回、連携制御の定義をより分かりやすく、より適用可能性を広げる形に見直しを行った。

本書は 2012 年に発行した連携制御ガイドブックをもとに、新しい連携制御の定義、新たに取組みられたさまざまな適用事例、連携制御の投資対効果などについて改訂したものである。

本書は、省エネの専門家のみならず、エネルギーの統括管理を担当する方にも読んでいただくことを目的に、できるだけ平易な言葉で編集した。

2章では、連携制御とは何か、どのような背景で生まれ、どのような利点があるかを解説し、さらに需給連携、供給連携など連携制御の機能別分類とそれぞれの仕組み、事例を示した。また、その効果について事例を含めて解説するとともに、導入と効果検証のあらましを述べた。

3章では、連携制御の導入ガイドラインとして、具体的な導入手順を各ステップのポイントとともに示した。重要なステップである実現可能性調査(Feasibility Study :FS)における導入効果の試算と必要な情報を示し、具体的な導入事例でのFS検討結果や実績について述べた。

4章では、導入効果の検証ガイドラインを示した。効果は具体的な数値で表現する必要があるため、ISO 50006に準拠した各種の検証方法を解説し、重要なポイントとして、検証範囲(バウンダリ)の決め方、検証期間の考え方、データ収集の注意点や誤差の扱い、検証結果の表現方法、運転員の習熟度の扱いなどを具体的に解説した。

5章では、エネルギーの最適化の考え方として、商業ビルから工場までのエネルギー利用方法と管理方法の観点で基本的な考え方を述べたのち、連携制御の導入対象の見い出し方について具体的な最適化の着眼点、最適化のものさし・評価指標の考え方を述べた。

また、6章では今後の展望について、Appendixでは、検証方法やエネルギー管理・効果検証に関する最新の技術動向を踏まえた、より詳しい技術的な解説を行っている。

2 連携制御

これまでの省エネルギー(省エネ)は、個別の設備・装置単位での対応が主体であった。これに対して、昨今のように温暖化対策が強く求められる時代には、工場や事業所における「全体としての省エネ」が主眼となり、システム全体としてのエネルギー最適利用が求められる。さらに工場の省エネは、さまざまな生産形態に対応することが求められる。

また、近年の技術進歩により、特に工場においては、省エネだけでなく品質、納期、総コスト、環境負荷、安全性などのさまざまな指標を、ダイナミックに変化する周囲状況に合わせて同時に最適な状況にするニーズが生まれている。

本章では、さらなる省エネの実現や、広範囲な指標の最適化に必要な連携制御について具体的に解説するとともに、実現への道筋を示した。

2-1 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供給されたエネルギーだけでなく、これらを変換して蒸気や冷温水、圧縮空気などのエネルギーを作り、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(個別対策)。また、「見える化」によりエネルギー消費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絞る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。これは設備や装置が定格の需要(負荷)で動作していないことが一因である。各設備は定格負荷の条件で最高のエネルギー効率を発揮するが、現実にはほとんどの場合このような条件になることはない。例えば空調設備群が全て定格運転するのは夏場の数時間程度であろう。また工場の多くの生産設備も最大負荷で常時運転されることはほとんどないであろう。さらに工場や事業所では、複数の設備や装置が組み合わされて運用されるが、最も制約の大きな設備の動作に周囲の設備の能力を合わせる必要がある。このため、設備の能力を絞る(例:間欠動作、可変速動作、燃焼調節、調節弁による調整など)が、このときエネルギー効率が悪化しやすい。このように定格負荷条件で想定した省エネ効果は現実にはなかなか達成できないのである。

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・熱源設備等の供給側を、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。連携制御にはさまざまな形態があり、需要に合わせた供給設備の運転を行うことで無駄を省く需給連携、供給設備内の機器や負荷配分を最適に組合せることで無駄を省く供給連携などが実施されている。また生産計画や気象予報などに基づいた需要予測に基づく供給設備の運転、供給設備の能力を超える需要があった場合の操業調整や生産計画変更を行うこともある。連携制御の進め方としては、供給設備、需要設備を段階的に連携させることにより、一步一步省エネを進めることが可能である。このように連携制御は既存の供給設備、需要設備を有効に使う省エネを実現する先進的な制御技術である。

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。

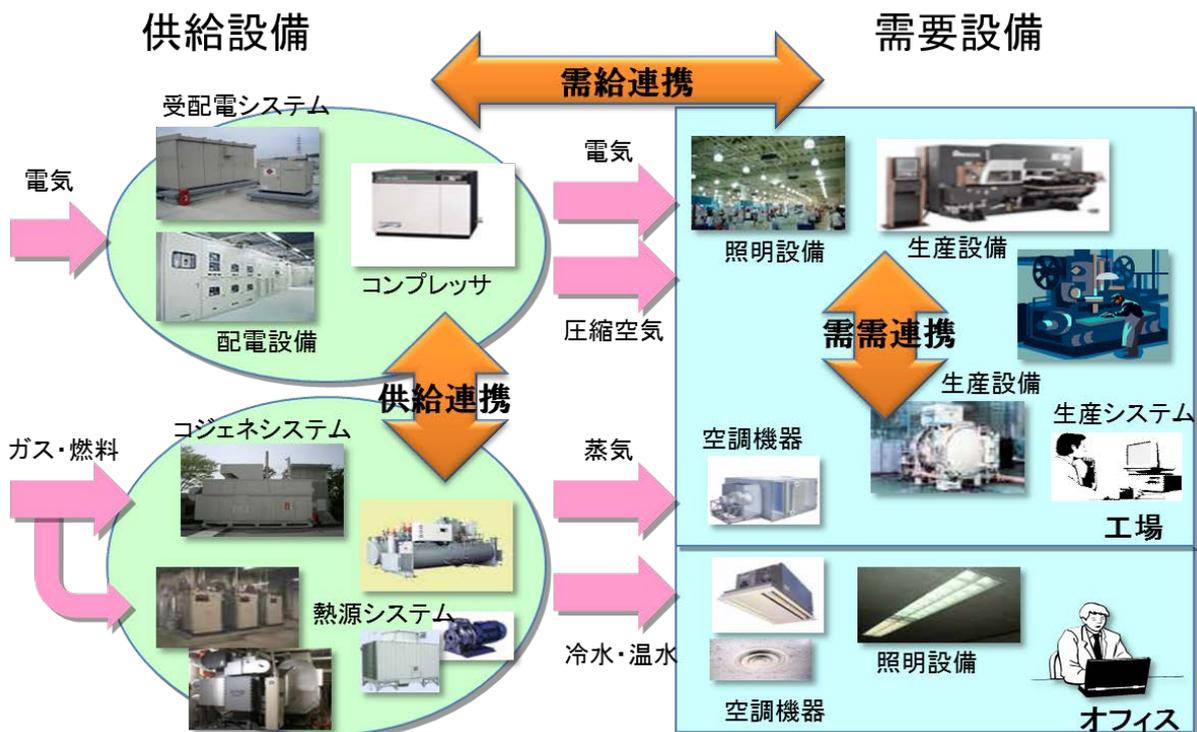


図2-1 連携制御の概念図

図2-1に連携制御の概念図を示す。連携制御には、供給側の設備群を連携する供給連携、需要側と供給側を連携する需給連携、需要側同士を連携する需需連携などの基本的な分類がある。次節ではこれらをさらに詳しく述べていく。なお、連携制御には自動制御だけでは

なく、ガイダンスシステムによる手動制御も対象に含まれる。自動制御システム導入では費用がかかりすぎる場合や、自動的な判断ではリスクが大きい場合などには、ガイダンスシステムが用いられている。

これまで述べたように、連携制御はエネルギーの有効活用という観点で大きなポテンシャルを持っている。しかしその概念を拡張することにより、さらに大きなポテンシャルを持つことになる。例えば、近年工場においては、省エネだけでなく品質、納期、総コスト、環境負荷、安全性などのさまざまな指標を、ダイナミックに変化する周囲状況に合わせて同時に最適な状況にするニーズが生まれており、このような複合的な課題を解決する手法として連携制御を用いることができる。また、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーやデマンドレスポンスなどの技術を用いてエネルギーの地産地消を指向するスマートシティなど、より広範囲のエネルギー需給を最適化する手法として連携制御を用いることができる。

JEITA では、このような連携制御の将来的な発展を見据え、新たな連携制御の定義を定めた。これを次ページに示す。

連携制御の定義

JEITA では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、エネルギー消費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

注記 1: 評価指標の例: エネルギー消費量、エネルギー消費原単位、エネルギーコスト、CO2 排出量、生産性、品質、納期、収益率

注記 2: 連携して動作するとは、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。

注記 3: 制御は、自動制御および人間を介した制御を含む。

解説

- ・この定義は、ISO や IEC などの国際規格における用語定義のルールに準拠して作成した。すなわち、定義は「一文」とし、定義内の記述について「定義」と一体となっている「注記」や「例」で説明することで曖昧さを排除するという方法である。上記の定義では3つの「注記」を規定している。
- ・定義内の「エネルギーを効用に変換する機能」とは、生産設備のようなエネルギーを用いて製品(あるいは中間製品)を製造する機能や、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。
- ・「バウンダリ」とは境界の意味であるが、例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、サイト(事業所)、さらに地域まで、任意の形状(非連続でも良い)で設定された境界を指す。
- ・「1つ以上の評価指標」には必ず「エネルギー消費量に関連する指標」が含まれなければならない。例えば「エネルギー消費量」や「用途別エネルギー消費量」、「エネルギー効率」、「エネルギー消費原単位」などである。このほかに、含まれる評価指標が注記 1 に示されている。
- ・「1つ以上の評価指標を最も適した状態に導く」とは、注記 1 に示された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。例えばエネルギー消費量を減らすと品質が低下するというように、エネルギー消費量と品質の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消費量が、最も適した値の組合せになる。
- ・「連携して動作する」の意味は注記 2 に書かれたとおりである。情報の伝達手段は自由であるが、自動的な伝達が求められている。
- ・注記 3 では「制御」の意味を特定している。自動制御だけでなく、ガイダンスシステムのように人間に操作の最終判断をゆだねるタイプの制御も含まれる。

定義: 連携制御リノベーション

より高度な連携制御の状態に改修(リノベーション)すること

解説

- ・高度な連携制御の状態とは、構成要素の数、バウンダリの広さ、評価指標の数、評価指標の最も適した状態の程度を、増加し広げた状態を指す。
- ・例えば新たに連携制御を導入する場合や、すでに導入した連携制御の範囲(バウンダリ)を拡大しサイト全体に拡大する場合などがある。

2-2 連携制御のカテゴリ

連携制御にはさまざまな形態がある。例えば、実際の需要量や生産計画・気象予報などに基づいた需要予測値に基づき、供給機器の負荷を最適配分した上で、各供給設備を運転する形態がある。小規模施設での事例としては、生産設備側の運転状態に応じて冷却水の流量を制御することなどが該当する。大規模施設での事例としては、工場のエネルギーセンターや地域冷暖房プラントにおいて実施される、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ある。

連携制御をカテゴリ分類した結果を以下に示す。ここでは現実に例のある4種類のカテゴリを紹介する。

(1) 供給連携

エネルギー消費量やコスト、CO2 排出量などの評価指標が最適な状態になるように、供給側の各設備や機器の個々の特性(効率や運用コストなど)を考慮して、これらの運転状態(出力など)を制御する手法である。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、設備や機器個々の特性(例:大型/小型、旧式/最新などの組合せ)を考慮した負荷の最適配分を行う。

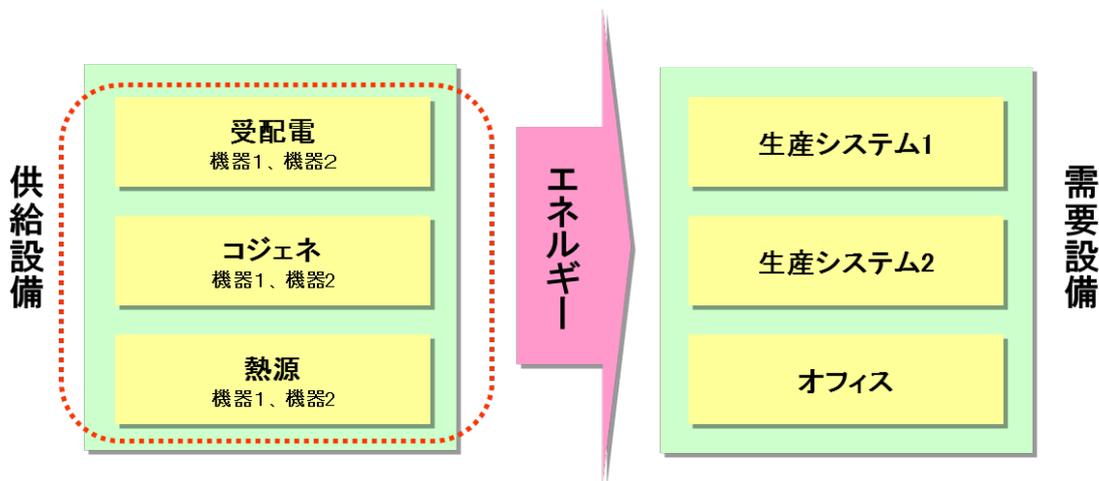


図2-2 供給連携

また、図2-3のように、近隣の供給設備(ユーティリティ設備)を統合して一つの供給設備とみなし、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も、供給連携に分類される。

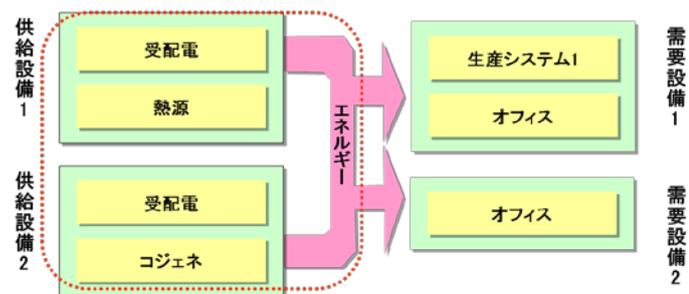


図2-3 供給設備連携

(2) 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。需要量の実測値あるいは予測値に基づき、供給設備(群)の能力を調整する。この能力の調整は単一の供給設備の蒸気ヘッダー圧、コンプレッサヘッダー圧、冷水差圧などの設定値の自動変更や、複数の供給設備群における個々の設備の供給量(あるいは蓄積量)の最適配分調整が含まれる。例えば、小さな規模では、設備側運転状態に応じた設備冷却水の流量の制御などが該当する。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ある。

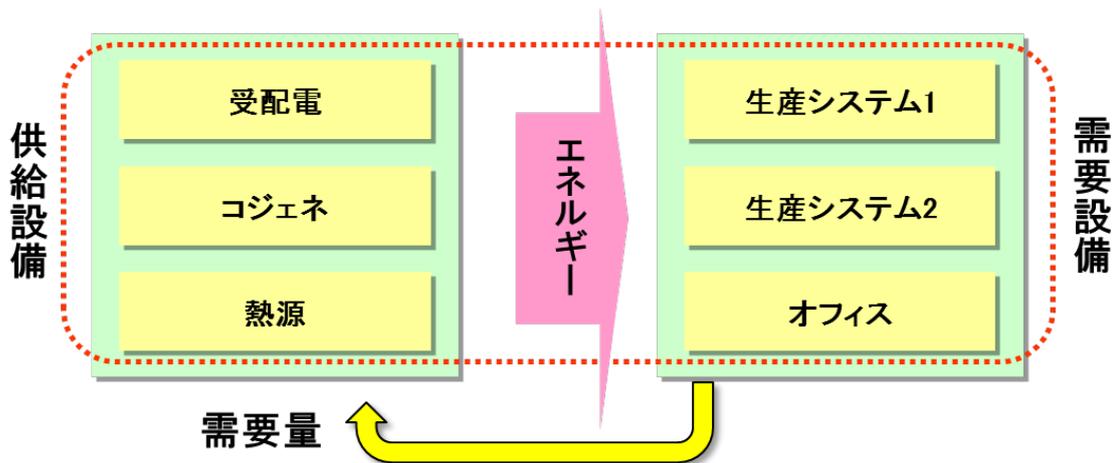


図2-4 需給連携

(3) 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連携制御し、さらに供給設備の能力を超える需要がある場合、需要側設備の連携制御も行う手法である。需要側の調整としては、操業調整(例:減産)を行う場合と、生産計画の変更(例:時間シフト、再計画)を行う場合がある。前者は製品の納期に影響が及ぶ場合もありえるが、後者は一般に、最終製品の納期を確保する条件で、中間工程の加工時間帯をシフトするなどの手法で実現されている。

電力自由化の時代を迎え、供給側の余剰エネルギーを外販することにより利益を最大化するように需給を調整する手法も登場している。さらにデマンドレスポンスに対応する場合には、エネルギーの売買価格の変動に応じて、生産スケジュールそのものを組み替えるなどの事例も登場すると考えられる。

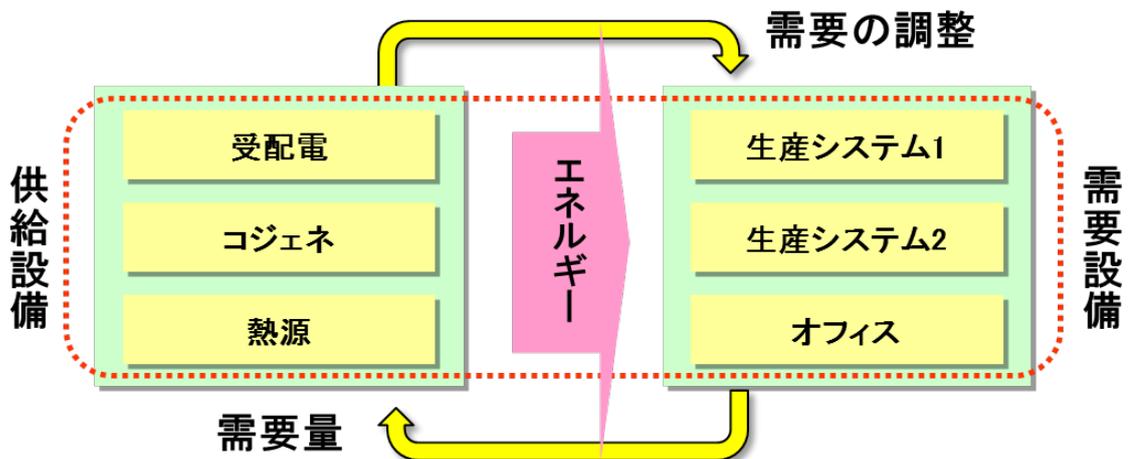


図2-5 需給双方向連携

(4) 需需連携

需要設備の生産システム同士あるいは設備同士が連携し、需要側の設備の運転状態を調整する手法である。需要側の調整方法は、(3)で述べた手法が知られており、制御方式の高度化が進んできている。

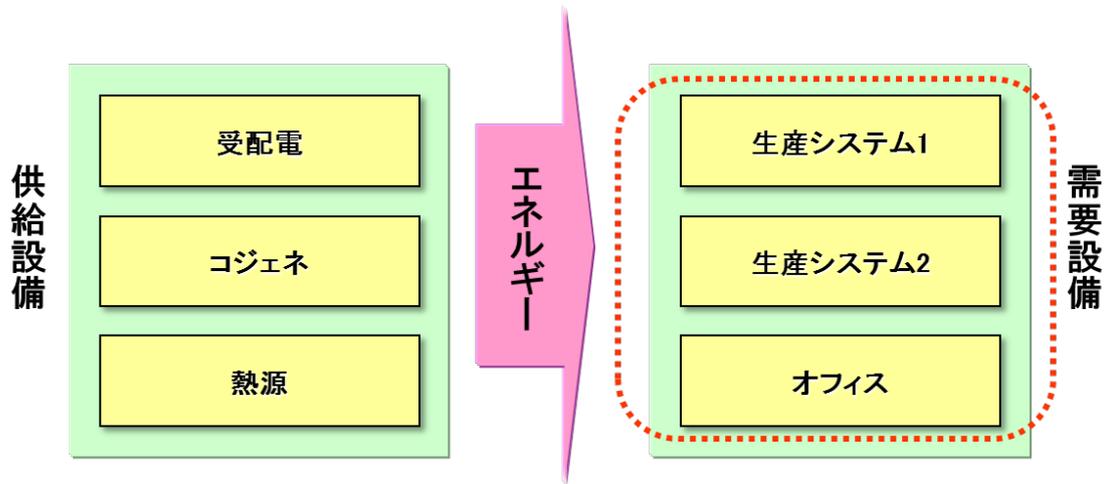


図2-6 需需連携

2-3 連携制御の事例

表2-1に連携制御の代表的な事例を示す。

表2-1 連携制御の事例

	カテゴリ	主な事例
1	供給連携	<ul style="list-style-type: none"> ・熱源機器の負荷配分の最適化 ・ユーティリティ機器の負荷配分の最適化 ・熱源/圧縮機/搬送機器(ポンプ)の最適化台数制御* *:能力の異なる機器の連携のみを対象とする ・補機連動制御(コンプレッサ+冷却水ポンプなど) ・複数コンプレッサ室の統合制御など
2	需給連携	<ul style="list-style-type: none"> ・地域冷暖房、圧縮空気系、冷却装置系など
3	需給双方向連携	<ul style="list-style-type: none"> ・電力大量消費プラント夜間操業 ・高炉を持つ製鉄所の副生ガス利用 ・生産計画とユーティリティ設備(原動力設備)の連動
4	需需連携	<ul style="list-style-type: none"> ・生産ライン調整 ・デマンドサイドマネジメント/デマンドレスポンス

連携制御の典型的な事例の一つに地域冷暖房がある。図2-7は、地域冷暖房の熱供給設備の需給連携の例である。気象情報などを利用した需要予測が行われている。

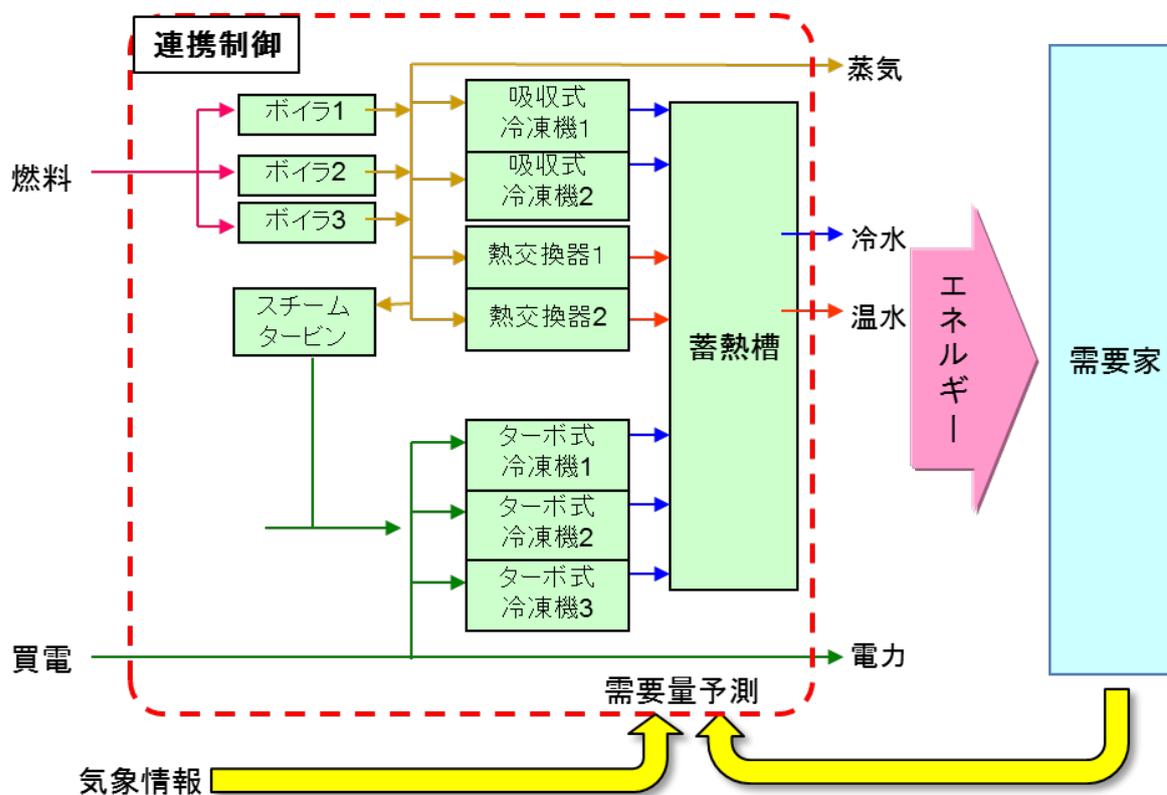


図2-7 需給連携の事例(地域冷暖房)

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により、供給側の熱源機器を適切に運用することが可能となっている。

需需連携の一例であるデマンドサイドマネジメント(デマンドレスポンス)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。需需連携では、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2-8に示す。工場ごとの生産管理情報を共有し、生産スケジュール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。

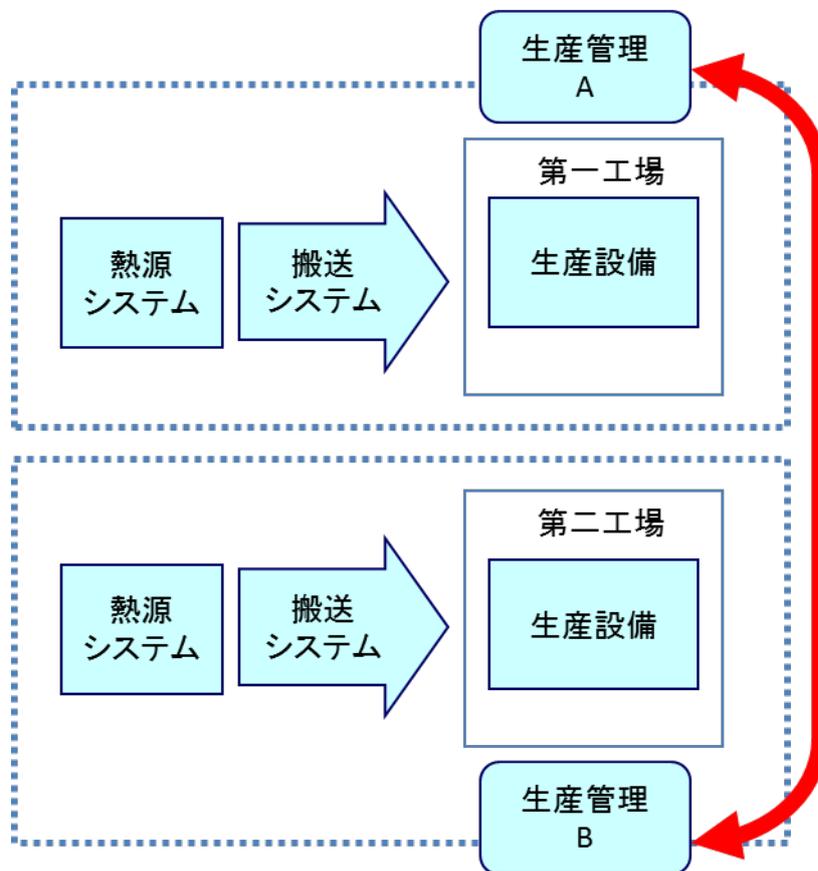


図2-8 需需連携(デマンドサイドマネジメント)

2-4 連携制御の効果

(1) 連携制御の費用対効果

連携制御は、新たに高価な機器・設備を導入することなく、制御技術によって既存の設備同士の連携、運用最適化を図り、大幅な省エネルギー・CO2 削減を実現するものであり、費用対効果の優れた省エネ方策である。そこで、連携制御導入の費用対効果がどの程度すぐれているかをみるために、省エネ型機器単体の導入の費用対効果と比較してみる。費用対効果の比較尺度として、次式の投資金額あたりのエネルギー削減量(原油換算 kl)を使用する。

費用対効果(kl/億円)

$$= \{ \text{年間省エネ効果(kl:原油換算)} \times \text{法定耐用年数(年)} \} / \text{初期投資額(億円)}$$

図2-9に省エネ型機器単体の導入と連携制御導入の費用対効果の比較結果を示す。

ここで、「省エネ型機器単体」のカテゴリは、「BE 建築設備」2005年12月号、2006年1月号に記載されたデータから次をとりあげている。

- HID用高効率照明器具
- 業務用HP給湯機器
- インバータ実装ポンプ
- 全熱交換型換気機器

「連携制御」のカテゴリは、委員会メンバーの代表的な連携制御の実施事例をとりあげている。

事例1は送水ポンプの連携制御

事例2は自動車工場原動カプラントの最適運用システム

事例3はコンプレッサの連携制御

事例4はショーケース・冷凍機連携制御

事例5および事例6は地域冷暖房プラント最適運用システム

* 連携制御の法定耐用年数は5年(サーバ)または10年(コントローラ)として計算。

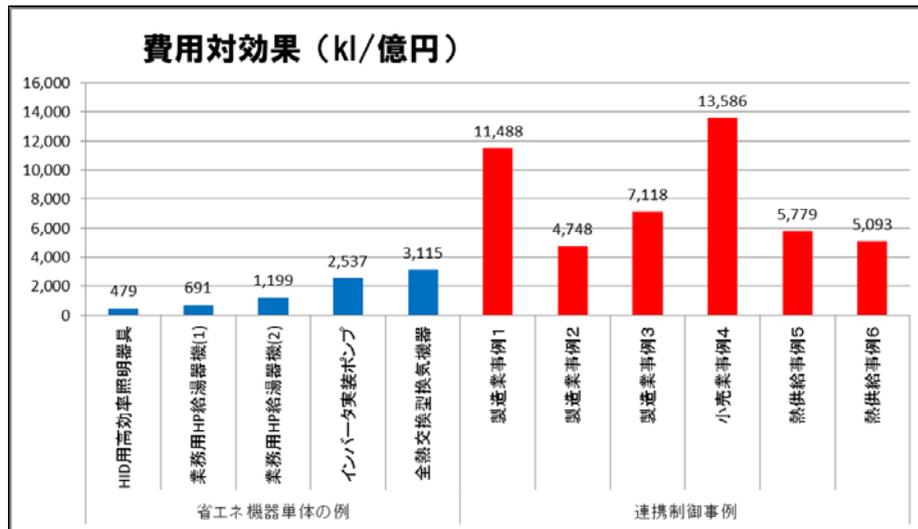


図2-9 連携制御導入と省エネ型機器単体導入の費用対効果比較

次に、炭酸ガス排出量を1t削減するために、いくら投資すれば良いかを計算した炭酸ガス削減単価 という指標を用いて投資効果を比較したものを図2-10に示す。

$$\text{年間削減 CO}_2 \text{ 対費用 (千円/t-CO}_2\text{)} = \text{投資額 (千円)} / \text{年間削減 CO}_2 \text{ (t-CO}_2\text{)}$$

縦軸の炭酸ガス削減単価は小さいほど、優秀な省エネ手段ということになる。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。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、「省エネ型機器単体」の導入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、エネルギー消費の全体最適化をはかることが可能な点に特徴がある。

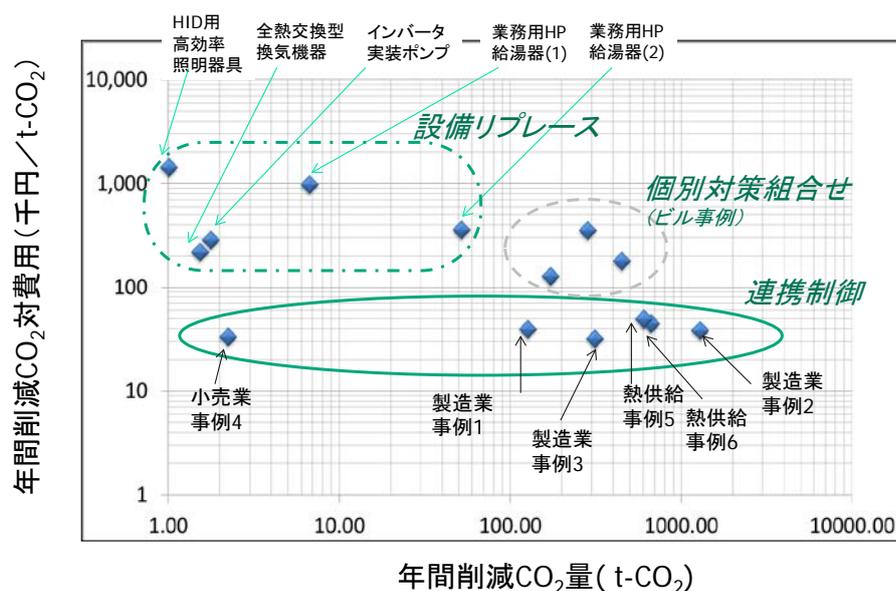


図2-10 年間削減 CO₂ 対費用の比較

(2) 効果の例

連携制御の効果の簡単な一例として、次図に示す「反応槽の加熱用蒸気を製造するボイラ2基から構成される設備」を考える。ボイラは、A重油を燃料としている。

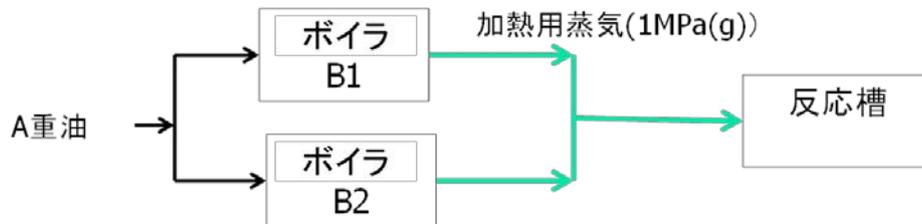


図2-11 ボイラ2基の構成例

ここで、反応槽は、1日に1バッチを処理しており、そのバッチの時間あたりの蒸気需要が次の通りであるとする。

	1時間目	2時間目	3時間目	4時間目
蒸気需要 t/h	140	160	120	100

また、2基のボイラの負荷範囲およびボイラ効率を下表のとおりとする。

	負荷範囲	ボイラ効率	
		%	t/kl
B1[t/kl]	30-100 t/h	92%	12.74
B2[t/kl]	30-100 t/h	87%	12.05

このシステムの運用最適化の命題は、いかに燃料コスト最小でバッチ処理に必要な蒸気を2台のボイラで製造するかである。最適化導入前は、2台のボイラを同一負荷で運転していた。この例では、明らかにB1のボイラ効率が高いので、できるだけB1を高負荷で運転するのが有利である。しかし、各ボイラの最大、最小負荷制約があるために、必ずしもB1を最大負荷で連続運転できない。蒸気負荷が低い時には、B2の最低負荷を確保するために、B1の負荷を最大負荷より低い負荷にする必要がある。

各ボイラの最大、最小負荷を考慮すると、最適運転は次のようになる。グレーの背景の欄は、機器制約にあたっているところである。

		1時間目	2時間目	3時間目	4時間目
蒸気需要データ[t/h]		140	160	120	100
現状運転	B1負荷[t]	70	80	60	50
	B2負荷[t]	70	80	60	50
最適運転	B1負荷[t]	100	100	90	70
	B2負荷[t]	40	60	30	30

ここで、エネルギーコストは次式で計算される。

エネルギーコスト(k円/h)

$$= \{B1 \text{ 負荷}(t/h) / B1 \text{ 効率}(kl/t) + B2 \text{ 負荷}(t/h) / B2 \text{ 効率}(kl/t)\} \\ \times \text{燃料単価}(k円/kl)$$

B1 のボイラ効率 12.7t/kl、B2 のボイラ効率 12.05t/kl および重油単価 85k 円/kl として、現状運転および連携制御導入後のエネルギーコストを比較すると次のようになる。

	1時間目	2時間目	3時間目	4時間目	
エネルギーコスト	エネルギーコスト = {B1負荷/B1効率 + B2負荷/B2効率} × 燃料単価コスト				計
現状運転[k円]	961	1,098	824	686	3,569
連携制御導入後[k円]	949	1,090	812	679	3,531
連携制御利益ポテンシャル					38

導入効果試算の結果、連携制御で期待される利益は 38 千円/日となる。年間稼働日を 200 日/年とすると

連携制御導入による年間利益は 38 千円/日 × 200 日 = 7,600 千円となる。

この例は、非常に簡単な機器構成で、最適運用は、運転員で十分判断でき、効果も少ないが、機器の台数や種類が複雑になると、運転員が判断するのは困難になり、「連携制御システム」が必要となる。また、複雑な系ほど、最適化の自由度が増える分、大きな効果が期待される。

2-5 連携制御の導入と検証の概略

連携制御を実現するためには複雑なエンジニアリングを低コストで実現するという技術的課題のほか、特に需給連携の場合には、エネルギー供給側と需要側の社内協力体制、さらに省エネソリューションベンダーとのチームワークが必要になる。連携制御の範囲を広げることにより、例えば品質管理部門や営業部門などとのチームワークや、社外のステークホルダーとのチームワークも重要になるであろう。

3 連携制御導入ガイドライン

3-1 導入の手順

連携制御導入にあたっては、既に導入事例があり容易にその導入効果が試算できる場合を除いて、実現可能性調査(Feasibility Study :FS)を実施し、導入した場合の効果を試算して、十分な投資効果があると判断できた場合に、はじめてシステム導入をするのが一般的である。連携制御の導入の手順(ステップ)を図3-1に示す。

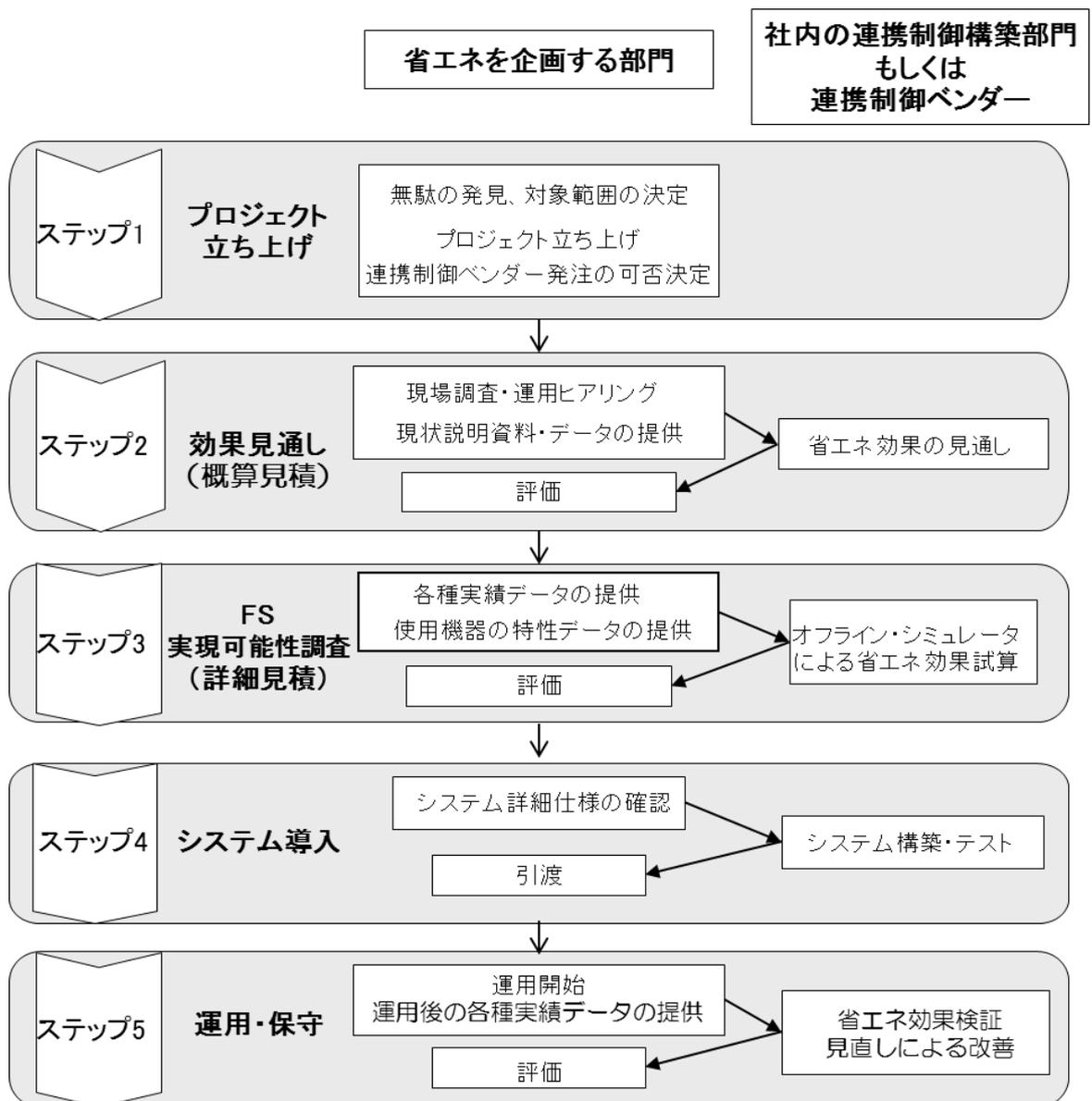


図3-1 導入手順

(1) ステップ1 プロジェクト立ち上げ

エネルギー使用データや運転データを解析し、機器や設備間の連携不足によるエネルギーの使用効率の悪い箇所を探す。効率を改善するために連携制御を導入する設備や機器の範囲を決め、適用する連携制御を決める。導入する連携制御に関連する部署が複数にわたる場合には、それら関連部署を巻き込んだプロジェクトチームを立ち上げる。連携制御を自社で構築するか省エネソリューションベンダー（以下連携制御ベンダーと称す）に発注するかを自社の資源を勘案して決める。

(2) ステップ2 効果見直し

連携制御の対象となる設備や機器の構成や容量などの仕様を確認し、現状の運用状況や問題点を設備担当部門や関連部門からヒヤリングし、適切な連携制御のあり方、それにより得られる省エネ効果をおおまかに推定する。これを概算見積と呼ぶ。対象設備が複雑な場合などは連携制御ベンダーに対象工場を調査（例：半日程度より）してもらいアドバイスを受けることも考慮する。

(3) ステップ3 実現可能性調査（FS）

ステップ2の検討で投資効果が見込まれる場合は、実現可能性調査（FS）を実施する。FSでは効果試算の精度を上げるために、詳細な機器・運転データを用いてよりきめ細かい効果試算を実施する。この試算結果を詳細な投資見積もり（機器やシステムの追加、改修、最適化調整の費用など）を含め詳細見積と呼ぶ。詳細な運転データが無い場合は、仮設で計測器を取り付け必要なデータを収集する場合もある。

ステップ2で連携制御ベンダーに効果見直し（概算見積）を依頼した場合、ステップ3も連携制御ベンダーに依頼することになる。一般的にステップ3は工数がかかる作業となるため、連携制御ベンダーは有償で請けることになる。効果試算に使用するデータの期間、解析精度によりその費用が異なるので、費用と精度とのバランス¹を考慮して連携制御ベンダーに依頼することが重要である。

(4) ステップ4 システム導入

ステップ3での詳細な効果試算で十分な導入効果が得られると判断したならば、システム導入に向けてのアクションとなる。現状のシステムを確認の上、連携制御システム構築の仕様をまとめ、外製する場合は連携制御ベンダーに見積もりを依頼する。連携制御ベンダーからの見積書を基に投資効果を十分に吟味し、導入の可否を決定する。ステップ3の導入効果試算に必要なデータが不足していた場合、もしくは仮設で計測器を取り付けた場合は、計測器の設置、データの自動収集化を検討すると良い。導入効果試算に用いるデータは、エネルギーの使用効率を計算するためのデータであるため、ステップ5の効果検証や今後の省エネ検討に

¹ 費用と効果のバランスについては Appendix 7 を参照

必要となるためである。導入決定後は、発注し、次の通常のプロジェクト実施の手順でシステムを導入する。

- ・ 基本仕様書作成
- ・ 詳細仕様書作成
- ・ システム設計
- ・ システム構築
- ・ システム立会いテスト
- ・ 試運転

(5) ステップ5 運用・保守

システムの運用を開始したら省エネの効果検証に必要な各種データを収集、記録する。収集したデータを元に省エネの効果検証を行う。検証の詳細については、4章 検証ガイドラインを参照していただきたい。連携制御システムの構築を外部の連携制御ベンダーに発注した場合は、効果検証も連携制御ベンダーに依頼する。また導入後のアフターサービスとして、保守契約を結ぶ。対象設備や運用の変更などがあった場合の、制御ロジックやモデルの見直し、連携制御の効果を維持するためのチューニングなどのメンテナンスを実施する。連携制御の効果を維持し、最大限に得るためには、導入後の保守が重要となる。

3-2 導入効果の試算

導入手順で<ステップ3>の導入効果試算のためのFSの実施が、連携制御導入の手順で特徴となる場所である。FSの実施にあたっては、対象設備について次のような資料を揃える必要がある。

- ・ 対象設備のプロセスフロー図
- ・ 機器仕様、特性データ
- ・ 機器制約および運用制約
- ・ 運用実績データ
(対象設備の運転実績、生産量の変化、気温、生産品目の変化などのエネルギー使用量への影響因子を含む、エネルギー使用量のシミュレーションモデルの計算に必要なデータ)
- ・ 評価のための電力・燃料単価、契約形態

FSは一般に図3-2に示すように実施する。基本的に、過去の運転データをベースに、連携制御を導入した場合のKPI²(Key Performance Indicator)の値と過去の実績データでのKPIの値を比較して、その差異を導入効果として評価する。KPIにはエネルギー消費量、エネルギー効率指標(エネルギー消費原単位など)、エネルギーコストなどのEnPI(4-2-1参照)やCO₂排出量などがある。

² KPIの詳細については4章を参照

代表日ごとの実際の運転データと入力データを用いてKPIを計算・比較

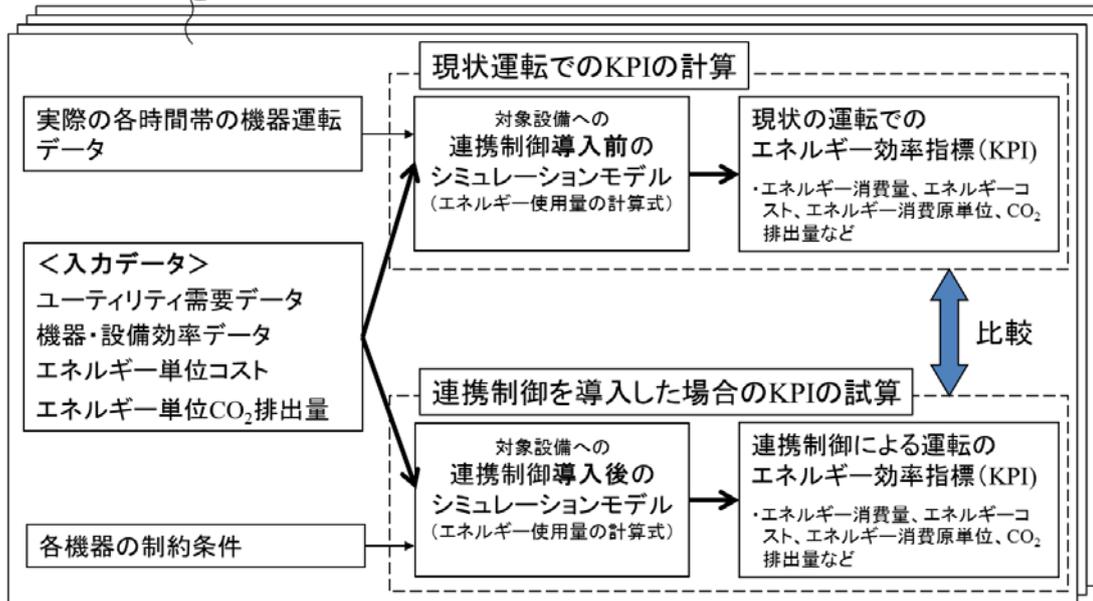


図3-2 FSの実施

FS で用いる KPI は、4 章「導入後の効果検証」で使用する KPI と同一の手法を適用しなければならない。KPI の計算方法は、適用する連携制御および対象とする設備の複雑さにより、単純な Excel シートによる計算から、より複雑なシミュレーションモデルを使った計算まで幅広い手法が適用される。現状運転と連携制御による運用改善を比較する上で KPI に影響を与える影響因子を見定め、それに応じた評価期間を決める。一般的な影響因子として、以下などがあげられる。

- ・ 生産負荷
- ・ 気象条件
- ・ 製品(銘柄)種類
- ・ 操業形態(平日、休日、月曜など)

ステップ 3 の FS では、4 章「導入後の効果検証」で説明する KPI 以外にも、投資検討のための投資回収、ROI も計算しなくてはならない。そのため、エネルギー消費原単位などの KPI を元に、FS で採用した影響因子に対して、ある値を仮定してエネルギー使用量やエネルギーコストを計算する必要がある。

それぞれの影響因子による影響の程度が異なる代表日(例えば、影響因子が気温の場合は、夏期平日、夏期休日、冬期平日……など)を定めて、年間の日数に割当、年間効果を試算する必要がある。需需連携や需給双方向連携など生産設備を含む連携制御の場合は、生産設備がバッチ系、ディスクリート系であっても操業形態の取り方をバッチごとに変えることにより、連続系と同様に扱うことができる。

4 検証ガイドライン

4-1 検証の目的

対策(連携制御)の効果を具体的な数値として確認する行為を検証と呼ぶ。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。例えば、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。

なお、ここではエネルギー効率あるいは省エネ効果の検証に絞って解説したが、例えば環境負荷の低減効果、コスト削減効果や品質向上効果などのさまざまな評価指標の検証方法についても、ここで述べる手法を利用することができるであろう。

4-2 検証の方法

4-2-1 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」³としては、エネルギーに関するマネジメント規格であるISO 50001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ISO 50047 やISO 17741 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⁴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、目的に応じた精度を得られるEnPIを選ぶべきである。

³ ISO 50001 ではエネルギーパフォーマンスという概念を定め、その指標 EnPIs の計測を求めている。さらに ISO 50006 ではその多様性を解説するとともに計測方法を規定している。IEC 62837 ではこのエネルギーパフォーマンスの一つの重要な要素である「エネルギー効率」に着目して各種のエネルギー効率指標を整理している。

⁴ 「影響因子」のうち、日常的に変動する気温や生産量などの因子を国際規格では「関連変数」と呼ぶ。一方、運用(営業)時間や生産シフト数など日常的に変動しない因子を「静的要因」と呼ぶ。

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。右記を参照いただきたい。 <http://home.jeita.or.jp/cgi-bin/page/detail.cgi?n=674&ca=1>

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(4-2-2参照)と、適切な期間(4-2-3参照)で EnPI を比較すると良い。

主な EnPI について、表4-1を用いて概要と効果検証の方法を解説する。

表4-1 エネルギーパフォーマンス指標(EnPI)

EnPI	連携制御 適用可否	概要	効果検証の方法
①エネルギー 総消費量 (単純比較法)	×	電気、ガス、燃料などの エネルギー総消費量	導入前後の差分をとる
②エネルギーコスト (単純比較法)	×	電気、ガス、燃料などの購入費用	導入前後の差分をとる
③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
④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
⑤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

① エネルギー総消費量⁵(単純比較法)

4-2-2、4-2-3に述べるバウンダリ・期間にて、連携制御導入前後のエネルギー総消費量を比較する。使用エネルギーが電気だけの場合は総電力量でみるが、電気以外に燃料ガスなど多種の場合は各々を原油や熱量などに統一換算して総量を求める。導入前後の差分が導入効果となる。ただし、導入前後でエネルギー消費への影響因子に変化がある場合は、その影響を補正するなどの処理を行わないと、正しい導入効果が得られないため、連携制御の検証には適さない。

⁵ 本書ではエネルギー消費量という一般的な表記方法を用いている。一方、エネルギーマネジメントシステムの国際規格を翻訳した JIS Q 50001 では energy consumption をエネルギー使用量と翻訳している。エネルギー保存則により消費という概念はないという議論を反映した翻訳である。

② エネルギーコスト(単純比較法)

電気、ガス、燃料などの購入費用を導入前後で比較する。ただし、売電などによりエネルギーを外販している場合はエネルギー購入費用からエネルギー販売収入を差し引いた費用を導入前後で比較する。エネルギー源により、エネルギー単価は異なり、電気は時間帯により電力量単価が異なるので、①の結果に必ずしも比例しない。また①と同様の理由で連携制御の検証には適さない。

③ 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・燃料ガスなど多種の場合は各々を原油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(例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⁶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(Appendix 4 参照)。

④ エネルギーコスト原単位

③における分子を②におけるエネルギーコストで置き換えたものであり、注意点は③と同等である。

⑤ 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①③(費用で見る場合は②④)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。

⁶ 「省エネ法の解説」、資源エネルギー庁省エネルギー対策課監修、省エネルギーセンター発行 を参照

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式モデルや状態別モデルなどがあり、最も簡単なモデルとしては上記のエネルギー消費原単位が位置付けられる。Appendix 5 に、これらのモデルに関する解説を示す。

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4-1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。

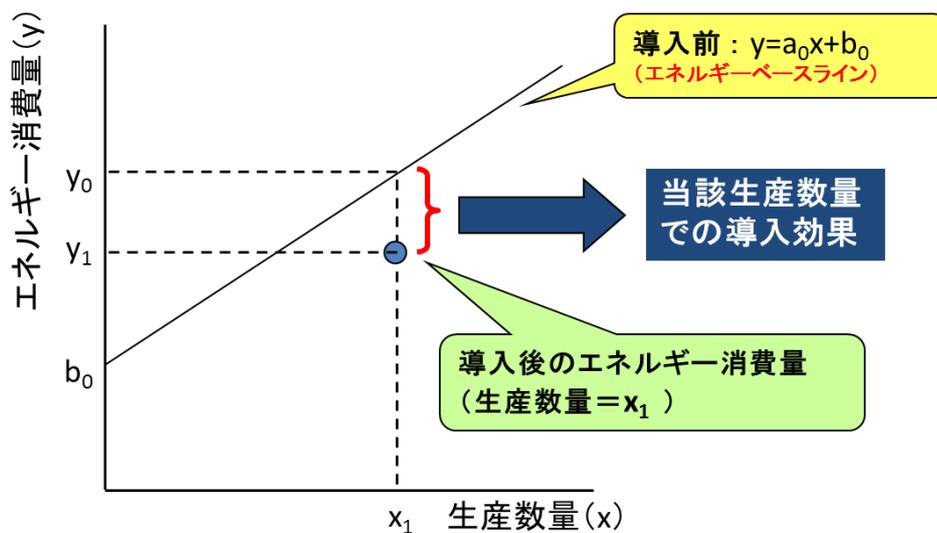


図4-1 導入前のエネルギーベースラインとの比較の例

4-2-2 検証バウンダリ

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4-2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系にも流量変化などの干渉(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。

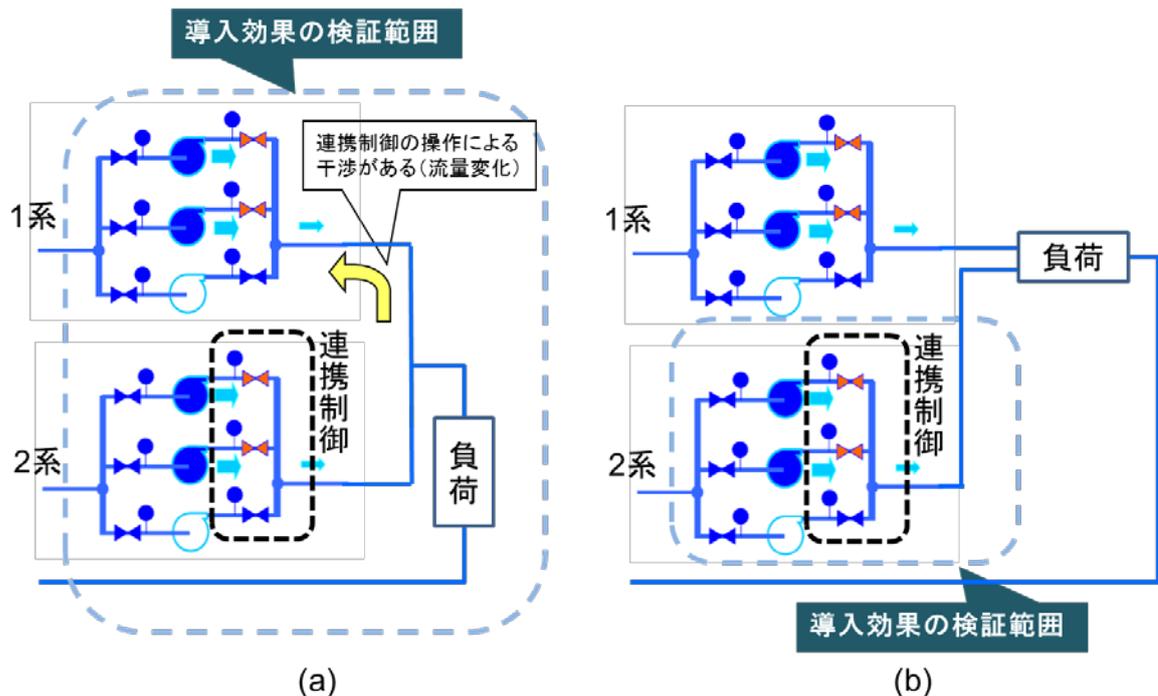


図4-2 導入効果の検証バウンダリの例

4-2-3 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。バウンダリが広い場合など、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 季節ごと代表日
- ④ 1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。

4-2-4 データ収集

連携制御の対象とする設備について、電気、燃料、熱源などの投入(消費)エネルギーを、可能な限り、設備単位に分離して計測する。影響因子である気象データや製造品目、生産量などのデータも同時に収集する。データ収集は自動で行うことが望ましいが、自動化できない場合は必要な期間、計器の目視や帳票などにより人手で行う。データ収集の時間間隔は連続運転の設備ならば、1時間単位の積算量または平均値とする。設備によっては1時間単位ではなく、1分単位あるいは1日単位など、適切な時間単位とする。バッチ運転の場合は1バッチの積算量または平均値を基本とするが、1バッチが長時間の場合はその間を1時間単位など、適切な時間間隔でデータ収集を行う。

また、Appendix 3、Appendix4 で紹介するステータス(状態)ごとの EnPI を比較することにより、よりきめ細かな導入効果が示せるとともに、さらなる省エネの可能性やその限界なども明らかにする。

連携制御の導入効果算出のためには、導入以前のデータについても、あらかじめ取得しておく必要がある。これらの過去データが十分でない場合は、導入前に従来制御でのデータ収集の期間を別途確保する必要がある。それもできない場合⁷には、連携制御導入後に連携制御と従来制御を比較運転してデータ収集を行う。ただし、連携制御と同時に設備の更新やインバータの導入などを行い、その総合的な評価を行う場合には、導入後では連携制御の寄与分しか、評価できないことに注意を要する。図4-3は連携制御の導入効果を設備更新による効果と連携制御による効果に切り分けた例である。

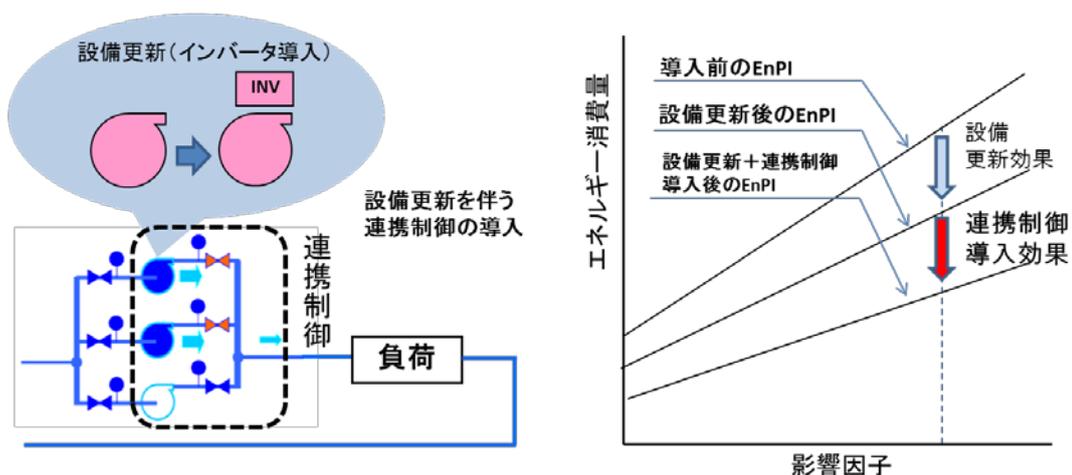


図4-3 連携制御の導入効果を設備更新による効果と切り分けた例

⁷ ISO 50047(組織のエネルギー削減量の定量化)には、現在のモデルに過去の影響因子を入力して過去のエネルギー使用量を推定する「バックキャスト法」が規定されており、この手法も利用できる。

収集データには異常値(はずれ値)や欠測値が生ずる場合⁸がある。通常はこのような値を含む一連(1日間など)のデータは除外するが、やむを得ない場合はその前後のデータから補間するなどにより、データを補正する。この場合でも、補正はごく一部のデータに限るべきである。

4-2-5 収集データの誤差対応

収集したデータには計器による誤差が少なからず存在する。電力量の場合、検定済みの取引用計器では500kW未満の普通電力量計で±2%、500kW以上の精密電力量計で±1%、10,000kW以上の特別精密電力量計で±0.5%の精度が保障されている。取引用以外の一般的なエネルギー管理のための検定なしの電力量計では精度はこれらより劣り、誤差はこれら以上とみななければならない。また、電力以外のガス流量その他のデータについてもそれぞれに相応の誤差が存在する。誤差がランダムなばらつきの場合は、多数の期間のデータをとることにより平均誤差は低減する。また、ゼロドリフトのようなバイアス的誤差の場合は、連携制御導入前後の差分をとることにより、誤差は相殺される。誤差にはこのほかにも直線性やヒステリシス、温度特性などもあるが、導入効果算出のために特別な補正などは行わないのが一般的である。収集データについて、収集方法や使用した計器の精度を明らかにする必要がある。また、導入効果を精度良く検証するためには、計器のキャリブレーションを行うことが望ましい。

4-2-6 検証結果の表現方法

検証結果はさまざまな形で表現できる。一般的な表現法としては、「削減率(%)」や「エネルギー削減量」などが用いられる。例えば、「連携制御の導入によるエネルギー削減率は3.7%」、「年間のエネルギー削減量は780MWh」などである。このほかに、必要に応じて、1時間ごと1日、1日ごと1週間、1月ごと1年間などの時間的変動を表形式ならびにグラフ化して示すことにより、どういう場合に効果がでるのが明確になる。図4-4は導入前後のエネルギー消費原単位と削減率を日ごとにグラフで表示した例である。これにより、平日の削減率が大きいことが分かる。

⁸ 設備の異常や点検などによる場合が多い。Appendix 3 のステータスの項を参照し、生産時のみのデータを対象とするなどの対応を行うと良い。

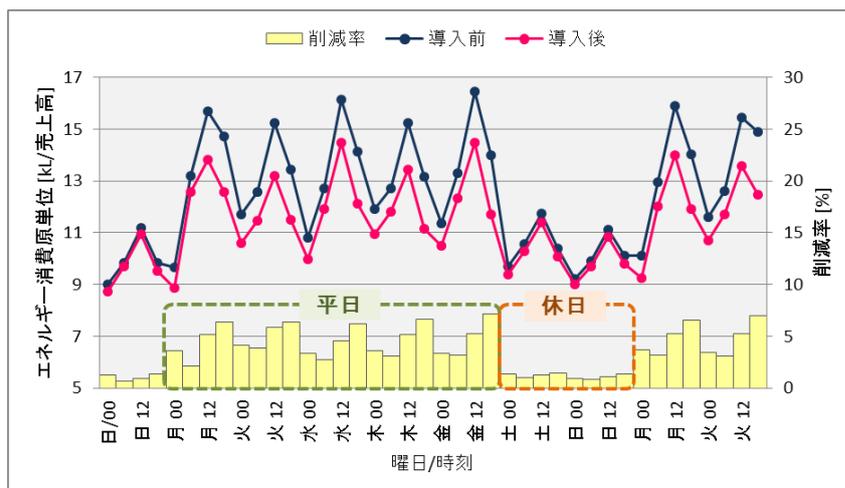


図4-4 検証結果の表現例(導入前後の EnPI の時間変動)

また、エネルギーベースラインとの比較では影響因子を横軸に、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。図4-5はその例である。

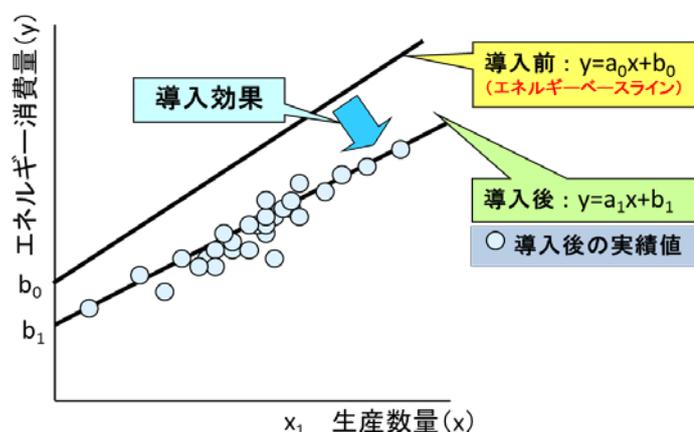


図4-5 検証結果の表現例(導入前のエネルギーベースラインとの比較)

4-3 オンライン自動制御システムとガイダンスシステム

連携制御の実装ならびに運用形態として、オンライン自動制御で行う場合とシステムよりガイダンス表示し、それに基づいて運転員が自らの判断も加味して操作する形態がある。ガイダンスシステムの場合は運転員のカラ(熟練度)が省エネ効果に影響する。連携制御の効果をより正しく評価するためには、運転員の操作による実績値だけでなく、システムによる指示値も記録して、分析することが望ましい。

5 エネルギー最適化の考え方

エネルギーの利用方法は、商業ビルと工場のように施設の目的によって大きく異なる。本章では、連携制御の最適な導入領域を定めるための評価方法と、導入領域のエネルギーの使用状況の特性に適したエネルギー最適化のヒントを示す。さらに、連携制御の導入に適した評価指標(EnPI)の考え方を示す。

5-1 エネルギー利用方法の施設別特性とエネルギー管理方法

連携制御は商業ビルから、工場など多くのエネルギー利用施設に適用可能で、個別制御に比べ、より大きな効果を発揮することが期待できる。以下にこれらの導入例におけるエネルギーの利用方法とエネルギー管理方法を概観する。

(1) 商業ビル

事務所やショッピングセンター、ホテル、病院などの商業ビルの場合、気温や湿度などの外部環境と、人数や曜日などのビル内の活動量によってエネルギー消費量の変動する。商業ビルでのエネルギーの利用方法(供給方式)には、自ビル内のユーティリティ設備で2次加工したエネルギーを自ビル内で利用する場合や、地域冷暖房システムで加工・搬送された熱エネルギーと自ビル内で加工したエネルギーとのハイブリッドを構成するケースなど種々のパターンがある。基本的な概念フローは図5-1のモデルで考えられる。商業ビルに必要な電力や燃料などのエネルギーは、ユーティリティ設備に導かれ、需要側のビルテナント部分で必要とされる冷水や温水、電力などが、ユーティリティ設備で生産(エネルギー変換)され、供給される。

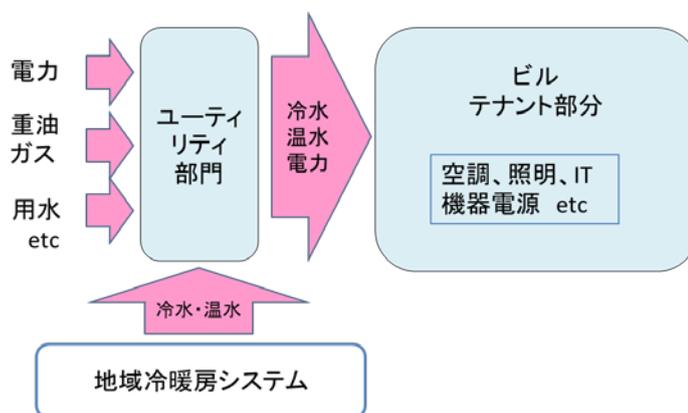


図5-1 基本的なフロー(商業ビル)

商業ビルにおける代表的な連携制御として、変動する負荷状況にあわせて図5-2に示すように複数の冷暖房用の熱源設備を連携運転する供給連携があげられる。また、人感センサを用いて需要側情報を照明や空調の制御に用いる需給連携も普及してきている。

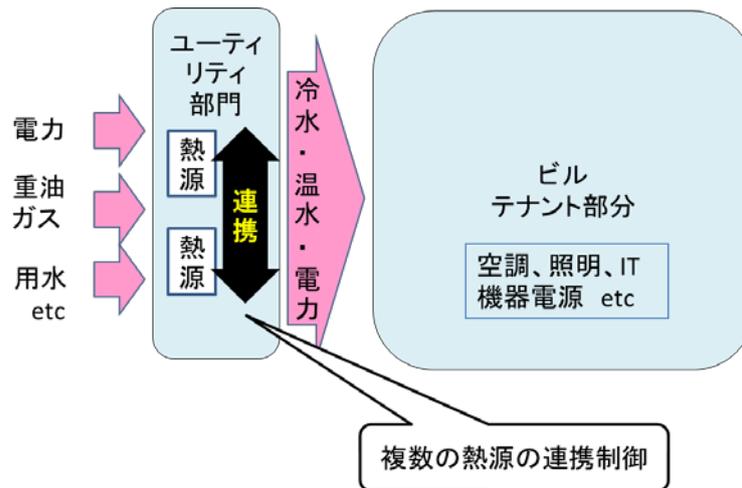


図5-2 連携制御導入例(商業ビル)

(2) 工場

一般的に工場では複数の製品が需要(受注量、納期)に合わせて生産されている。複数の工程が連鎖して接続され、原材料が加工されていき最終製品が完成する。エネルギーを多量に消費する複数の設備の動作状態によってエネルギー消費量がダイナミックに変動することが特徴と言える。一般的に、工場の生産方式は、連続プロセス(石油精製などのように、原材料が連続的に供給加工され製品となる)とバッチプロセス⁹(組立工場、食薬品工場などのように、原材料が間欠的に供給加工され製品となる)に分類される。ところが、実際の工場は非常に複雑で、工程ごとに連続プロセス、バッチプロセス、両者のハイブリッドプロセスなど多種多様な工程の組み合わせで構成されていることが多い。

■製紙工場

例として図5-3の製紙工場の例をとりあげる。

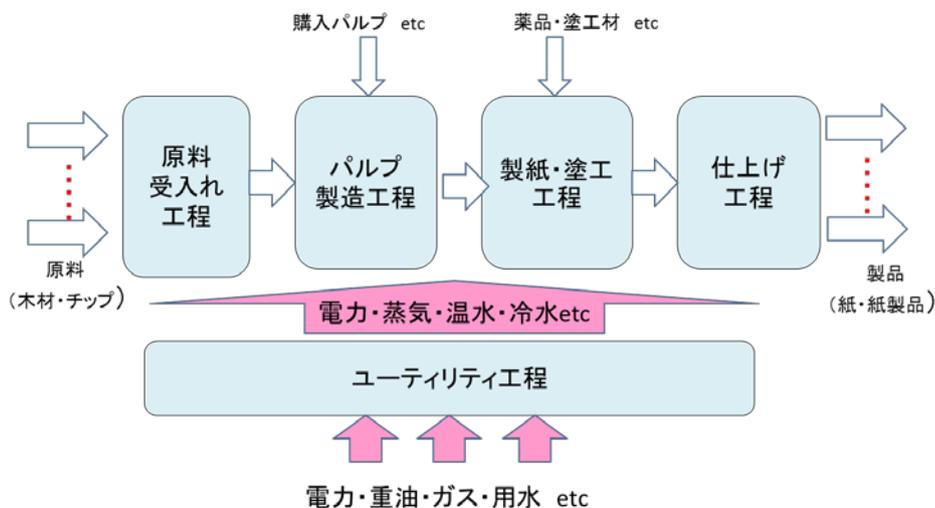


図5-3 製紙工場のモデル

⁹ 本ガイドブックではディスクリートプロセスはバッチプロセスの一種として分類している。

原料受入れ工程後のパルプ製造工程は、連続蒸解釜の工程に着目すれば名称通り連続工程であるが、受入れ原料に対応して投入する各種薬品の投入工程はバッチプロセスである。また抄紙・塗工工程も同様に抄紙機自体の運転は連続であるが、塗工工程、薬品投入工程は製品レシピに対応するためバッチプロセスに分類される。しかも、抄紙工程でのアウトプットである紙は、“リール”と称される巻の単位でバッチ的に次工程の仕上げ工程に供給される。各工程や設備は、常に連続稼働しているわけではなく、間欠的に動作するため、それらのエネルギー消費量も時々刻々と変動する。

製紙工場では、図5-4に示すように、前工程と後工程の間で情報を伝達することで需要量の変動や銘柄の変更に伴う無駄なエネルギーを削減する連携制御や、抄紙機・塗工工程内で完結する紙切れ時(蒸気余剰発生)の連携制御、変動する生産側のエネルギー消費量に合わせて電力や蒸気などをタイムリーかつ効率的に供給する需給連携、自家発電機を含む供給設備同士を連携させる供給連携など、いろいろなタイプの連携制御が導入されてきている。

各工程のエネルギー消費量は時々刻々と変動するため無駄が発生しやすく、連携制御の導入効果を期待しやすいと言える。ただし、連携制御の導入効果を予測したり、導入結果を評価したりするには、対象工程のエネルギー消費量の時間的変動など、プロセスの特性を考慮した手法が必要になる。(Appendix 3 参照)

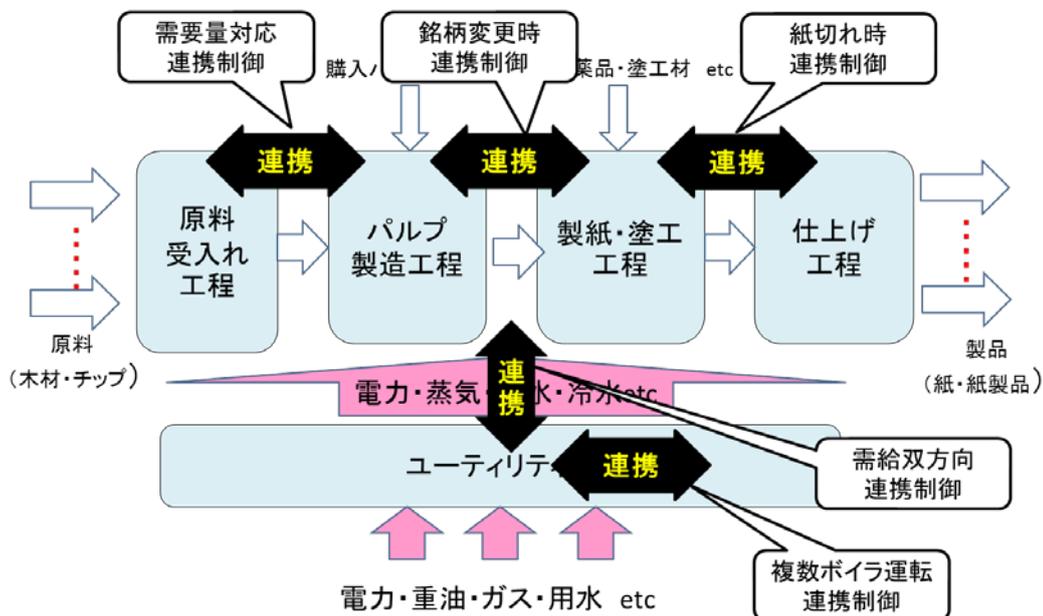


図5-4 製紙工場への連携制御導入事例

■自動車工場

図5-5に示す自動車工場は部品加工・塗装工程をはじめ、混合車種が次々と生産される組み立てラインなど大多数がバッチプロセスで構成されている。

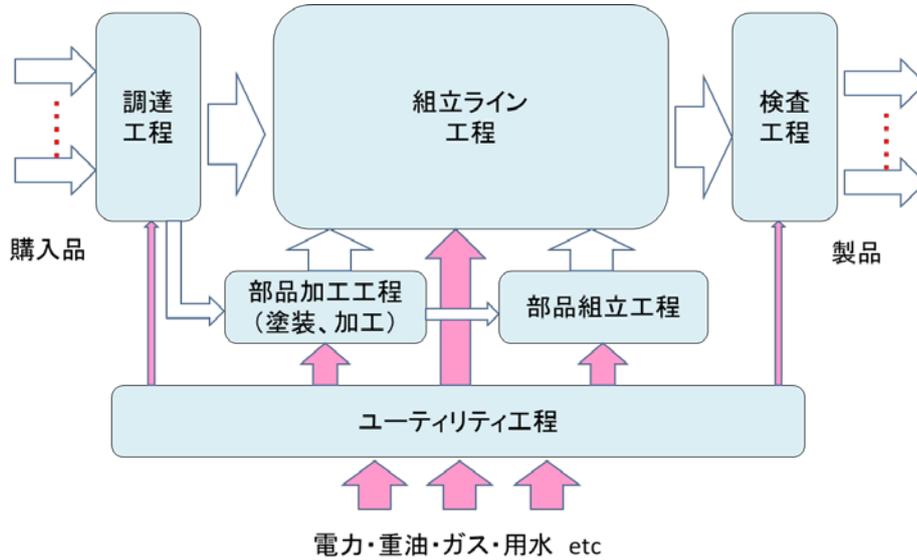


図5-5 自動車工場

図5-6に自動車工場の連携制御導入事例を示す。製紙工場のケースと同様に、工程間にまたがるもの、一つの工程内で完結するものなど、さまざまな種類がある。しかしバッチプロセスに分類される自動車工場の各工程も、数秒単位のバッチで生産される工程から、時間単位のバッチで処理が進む工程など1バッチの時間が異なるため、単純に同一のバッチプロセスとして取り扱うことはできず、連携制御の導入時の効果予測や導入後の評価にあたっては、いくつかの要素に分け、それらに適切な時間軸を用いた導入評価が不可欠になってくる。

(Appendix 3 参照)

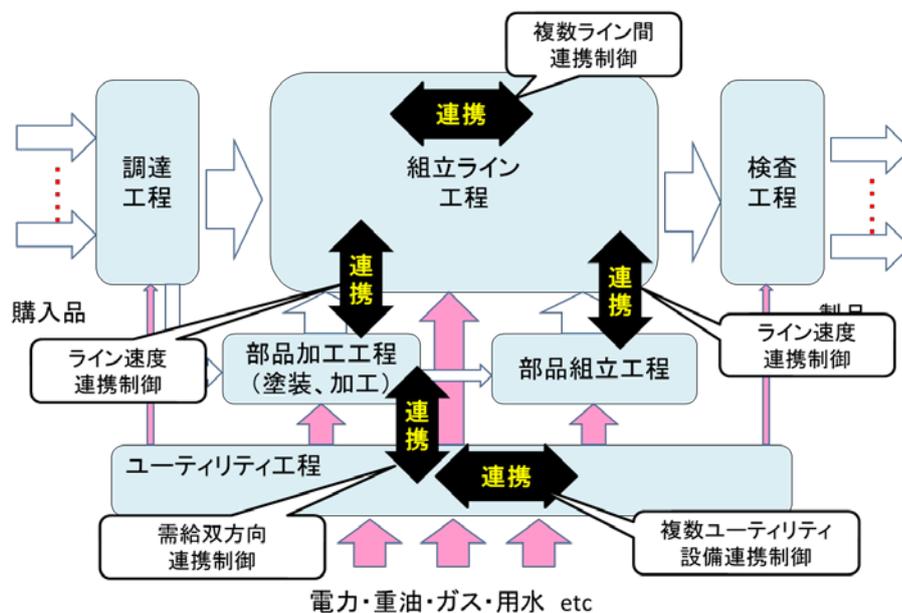


図5-6 自動車工場への連携制御導入事例

■導入対象のエネルギー効率の評価・管理と時間軸

このような多種多様な工程および工程間に導入された連携制御を統一的に扱うためには、実際に適用される連携制御の範囲をバウンダリと定義し、この範囲の施設や設備群のエネルギー効率をまとめて評価・管理する方法を推奨する。この方式では、バウンダリのエネルギー消費量と、エネルギーの消費量に密接な関係のある変数との関連を観察し、適切なエネルギー使用効率でバウンダリが動作しているか、どの程度の効果がでているのかを確認するのである。実際にエネルギー管理を円滑に行うためには、エネルギー使用ポイントおよび削減対策の領域を、エネルギー管理のバウンダリと設定し、Appendix 2 で示すようなエネルギー管理ユニット(EMU: Energy Managed Unit)に置き換えて統一管理することが望ましい。

EMU は入力を各種のエネルギーを使用して加工・製造し出力を次工程に送り出す単純化されたモデルで仮定し、入力・出力および両者の差、その間に使用されたエネルギー量を定量化し管理する方法である。さらに定量化の精度を向上させるために EMU の入出力を操業・運転状況のステータスごとに定義する方法(Appendix 3 参照)がある。工場内の各種の設備は、運転準備中、運転中、停止中などの操業ステータスで、入力量、出力量および使用エネルギー量は大きく異なる場合が多く、これらの設備群が独立に動作するため、エネルギーと最終生産品の生産量との相関性が低いことが多い。このため、各 EMU の操業ステータスごとにエネルギー消費量と生産量などの関連を評価すると、一見複雑な生産量とエネルギー消費量の関係もシンプルなモデルで記述でき、予測が可能になる。このように、得られたデータをどのような時間軸で評価・検討していくかが重要になってくる。

長い時間軸、たとえば月単位、年単位でみれば連続プロセス、バッチプロセスのなどの工程の違いを超えたデータが得られ、長期的なエネルギー使用傾向の把握は可能だが、具体的なエネルギー改善個所の特定には、より短時間での評価データの方が適切な場合が多い。これまで述べたように、エネルギー管理の目的・目標に最適な時間軸の選択が重要である。

連携制御は、その最適化のバウンダリを拡大していくことにより、その効果が飛躍的に大きくなるという特長を持っている。対象領域が狭い場合には単一の EMU で評価・管理することができるが、一連の工程やサイト全体の評価・管理の場合には、この領域を複数の EMU に分割する手法、すなわち EMU を階層化して、その特性を把握するのが望ましい。

5-2 エネルギー利用の最適化(連携制御導入)の着眼点

前節では、連携制御の導入領域を、施設別およびエネルギーの利用方法別に概観し、EMUという評価・管理手法とともに、エネルギー消費量の変動がポイントであることを述べた。本節では、この変動するエネルギー利用の最適化(連携制御の導入)の着眼点を解説する。最初に共通的な着眼点を示し、次に連続系とバッチ系という時間軸の異なる系における着眼点を解説した。

5-2-1 最適化の着眼点(共通事項)

最適化の最初の着眼点は、エネルギー使用の大きな設備や工程を特定し、その部分が需要(あるいは生産量)に応じてエネルギー消費量が適切になるようにすることである。まず対象領域(バウンダリ)の主要な構成要素のエネルギー消費量を比較する。例えば図5-7に示すように施設全体、建屋、工程などの対象領域の構成要素(F1~F4)ごとのエネルギー消費量を集計し、ターゲット候補を特定する。

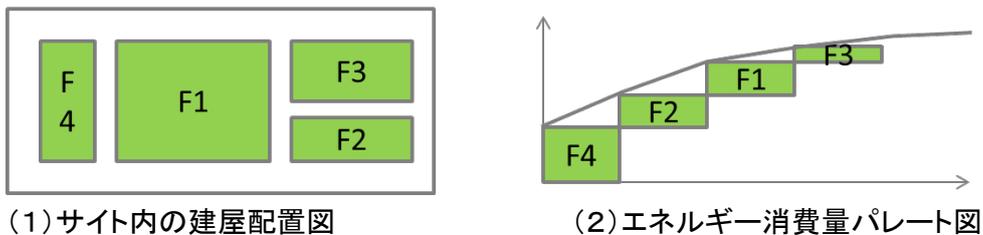


図5-7 エネルギー消費量の大きな設備や工程の特定

次にこの部分が「需要に応じた」エネルギー消費量になっているかを調べる。例えば、ここで図5-7の「F4」が特定された場合、図5-8に示すように需要すなわち生産量とエネルギー消費量の関係を、散布図などを用いて調べるのである。商業ビルでは外気温や人数などが「需要」に相当する。

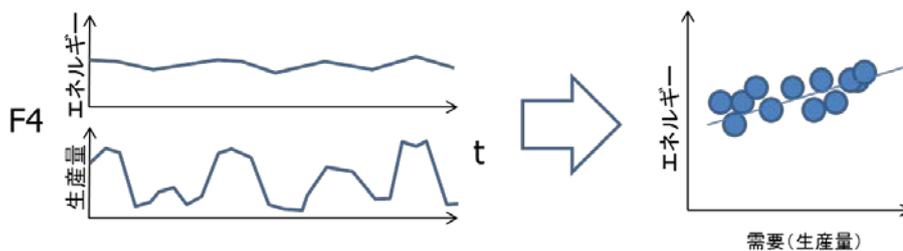


図5-8 需要とエネルギー消費量の関係

次に、生産量に依存しない固定的なエネルギー使用があれば、これを削減すること、あるいは固定分を生産量に依存させることを検討する。例えば、図5-9に示すように、複数の加工機に生産量に依存しない一定量の生産冷却水が供給されている場合、稼働中の場合のみ冷却水を流すように各加工機への配管を改修し、さらに送水量(需要)に合わせて冷却水の供

給源や搬送ポンプの運転を需給連携する対策(固定エネルギー分の変動エネルギー化)が良く知られている。

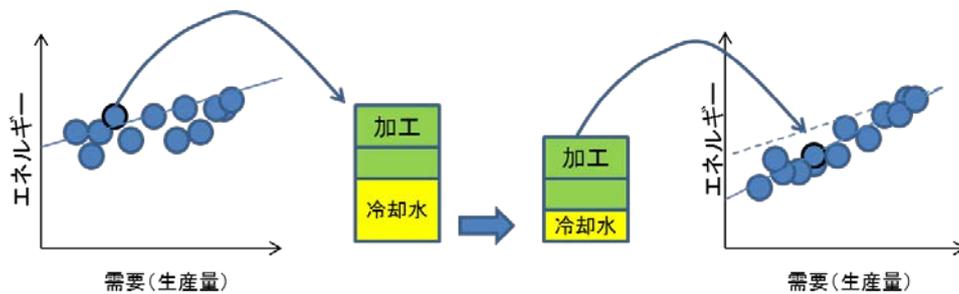


図5-9 固定的なエネルギー使用の特定と対策の検討

次に、エネルギーを需要側に供給するユーティリティ設備などでは、エネルギー需要量(または予測量)に合わせて「リアルタイム」かつ「自動的に」供給側のエネルギーを最適に連動させることができないかを検討する。自動化にあたっては、図5-10に示すようにさまざまな課題がありえるため、各種のリスクを特定したうえで、ベンダーと関係者で知恵を出し合い、またユーティリティ側と需要側(生産側やテナント側など)と連携協力してすすめることで、連携制御の効果を確実なものにできる。

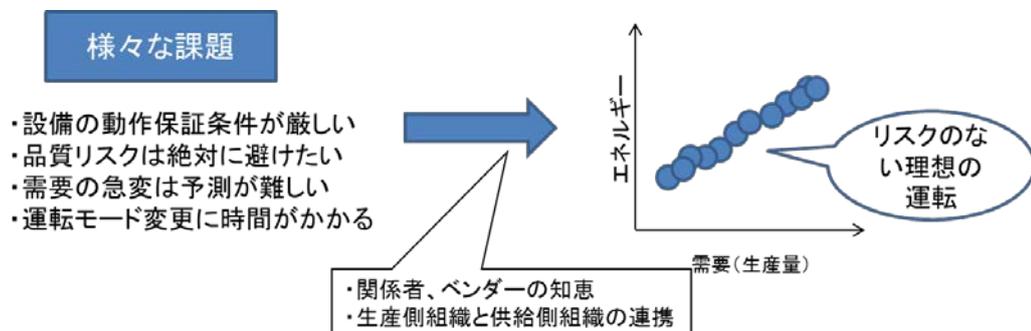


図5-10 自動化におけるさまざまな課題とその解決

少ない投資で大きな改善結果を生み出す有力な対策方法が連携制御である。正確な測定情報をもとに操業ノウハウ、予測機能などを組み込んだ制御アルゴリズムで制御することで、需要側の運転状況に最適な設備・装置の運転が行えるようになり、さらに需要に応じた供給量制御も可能になり、エネルギーの無駄が大幅に削減できる。

5-2-2 連続系プロセスを含む系における最適化

ビルや工場の冷暖房熱源や蒸気などのユーティリティ設備や、石油・化学プラントなどが代表的な連続系プロセスである。これらの施設は連続稼働することが多いため、以下のような観点から最適化を検討すると改善策を見つけることができる。

・需要に合わせた運転

連続プロセスの設備は、需要が減少しても設備の能力を一定値以下には絞れない場合が多い。あるいは一つの設備を絞っても全体のエネルギー使用の減少につながらない場合もある。また能力を絞ると所定のアウトプット品質が確保できない場合もある。このため、関連する設備の中間負荷時のエネルギー消費量の特性を把握し、要求品質を確保したうえで需要に応じてエネルギー使用効率が最適になるように運転する方法を検討する。

・設備の有効利用率の向上

設備の稼働率の向上、すなわち有効利用率の向上を行うとエネルギー使用効率が高まる。連続プロセスの設備は、運転準備や停止準備に時間がかかることが多い。このため、設備の立ち上げ／立ち下げ回数やこれに要する時間など、生産(需要)に用いないエネルギー使用を見つけ、これを減少させる運転方法改良などの対策を検討すべきである。また、予知保全の導入など、設備の適切な保守によりエネルギー使用効率を維持できる点にも注意をはらうことが望ましい。

・原料や材料の妥当性の検討

原料(原材料や燃料)や材料の差がエネルギー消費量や使用効率に大きな影響を及ぼす場合があり、代替策の検討は有効である。

5-2-3 バッチ系プロセスを含む系における最適化

食品や薬品、化学製品の製造や、自動車や電子機器の部品や完成組み立ての製造工程などが代表的なバッチ系プロセスである。連続系プロセスに比べ、ひとつの設備の連続稼働時間が短いこと、比較的短い期間に製造するものが変わることなどが特徴である。このため、最適化の検討には以下のような観点でのアプローチが有益である。

・各設備のエネルギー消費量の把握と部分停止の検討

設備の運転状態によってエネルギー消費量が大きく異なる場合が多い。このため、設備の立ち上げ／運転／立ち下げ／待機／搬入／搬出／洗浄／停止などの運転状態によって、どのようにエネルギー消費量が増減するかを把握する。この際、各運転状態のエネルギー消費量だけでなく、運転状態の変更にかかる時間や手間、関連する設備への影響や制約などを整理し、停止や待機状態を作ることができないかを検討すると最適化のヒントが得られる。

- ・設備能力の可変性の検討

需要より能力の大きな設備を用いている場合、その能力を絞ることができないかを検討すると良い。能力を絞れない場合には、複数の小型設備に置き換えると生産量の変化に追随しやすくなる。

- ・生產品目とエネルギー消費量の関連の把握

設備群は、生産する品目(レシピ)によってダイナミックに処理内容が変わる場合がある。この処理内容の変化に応じて、エネルギー消費量も大きく変化することが多い。品目ごとにエネルギー消費量を把握(理論計算でも良い)できるようであれば、実績との差を分析し生産スケジュールの改良による最適化につなげることができる。また、ピークデマンドの抑制(電気料金削減)につなげることができる。

5-3 最適化のものさし

省エネ対策(連携制御の導入や設備のリプレース)を導入する際には、適切なものさし、すなわち評価指標(EnPI)を定め、その効果を事前に予測し導入後に評価すると、継続的な改善をしていくことができる。EnPIには、いろいろなものがあるが、連携制御の導入に適したEnPIの考え方を紹介する。

5-1章ではサイト全体をEMUに分割して対策や管理する手法を示したが、連携制御の導入に際しては、基本となるEMU内のEnPIと、全体最適に向けた連携の効果を示す評価指標の双方を評価すると良い。

基本となるEnPIの考え方としては、生産量(需要)に対して使用したエネルギー(エネルギー消費原単位:エネルギーを生産量などで除した値)をベースとすると良い。例えば、生産冷却水1トンの製造および送出的のために、どれだけのエネルギーを使用するかを過去の実績から算出してベースのエネルギー消費原単位を定め、需給連携などの導入後に、省エネ施策の効果を原単位の低減によって確認する手法があげられる。(図5-11参照)

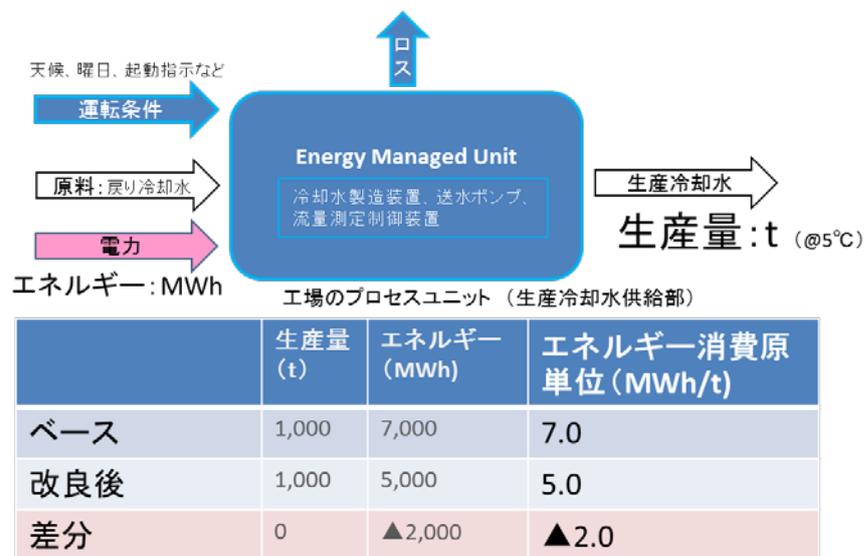


図5-11 エネルギー消費原単位を用いた施策効果の確認

ただし、EMUによっては、生産量がゼロでもエネルギーを消費するタイプのものがある。このような場合には、エネルギー消費量の推定計算式として、定常分+生産量連動の形に修正する。(Appendix 5 参照)

また、EMUは動作を停止する場合があるが、停止中や起動中などの状態は生産量ゼロとなる。このような状態が頻繁に起きたり、比率が大きかったりすると、エネルギー消費量の推定計算の精度が悪化する。このため、このような期間を区別して集計し、この期間を省いて評

価するか、この期間ごとのエネルギー消費量の算定式を別途特定して評価すると精度よく把握することができる。(Appendix 3 参照)

5-3-1 基本となる EMU 内の評価指標

以下に、連続プロセスを含む系、バッチプロセスを含む系の EMU の評価指標の例を示す。これらが組み合わされた複雑な EMU の場合は、これら 2 種類に分割してそれぞれの指標を組み合わせた指標を定義するとエネルギー消費の状況を正しく把握できるようになる。

(1) 連続プロセスを含む系

連続プロセスでは材料や生産品目の変更頻度が少ないのが特徴である。EMU 全体をマクロにとらえ、生産量に対するエネルギー消費量によるエネルギー消費原単位や、エネルギー消費量の大きな設備に着目した設備のエネルギー効率を EnPI とすると良い。この際、運転停止中や立ち上げ中などのエネルギー消費量を除外するか別枠で評価すると、より正確な評価が行えるようになる。

(2) バッチプロセスを含む系

バッチプロセスでは、複数の種類(銘柄)の生産物を作ることが多い。バッチプロセスのなかでも、ディスクリートプロセス¹⁰の場合は、生産品目の新規追加(新製品)や廃止の頻度が高くなる。銘柄によるエネルギー消費量に大きな差がある場合には、エネルギー使用の大きな設備について、1 回のバッチの単位で、エネルギー消費原単位を求め、EnPI とすると良い。一方、銘柄によるエネルギー消費量に大きな差がない場合には、EMU 全体をマクロにとらえ、統計的手法で原単位を求め EnPI とするのが簡便である。ただし、中間在庫の量がエネルギー消費原単位に影響する場合があるので注意する必要がある。このような場合、長期間の移動平均など統計的な手法で影響を軽減することができる。リアルタイムでの正確な把握のためには、エネルギートラッキングを行う必要がある。なお、ディスクリートプロセスの場合は、生産物 1 個あたりの EnPI を設定することも可能である。

¹⁰ 本ガイドブックではディスクリートプロセスはバッチプロセスの一種として分類している

5-3-2 連携の効果を示す評価指標

以下に需給連携の効果を示す評価指標の例を示す。基本的には2章で示す連携制御の4種のタイプにかかわらず評価指標は共通である。

需給連携では、需要側の要求に合わせて供給量を最適に制御することが要件である。例えば、生産冷却水の需給連携の効果は以下のように評価指標を定めることができる。

(1) 原単位法(相対比較)の例

冷却水1トンの製造および搬送に必要なエネルギーを冷却水原単位と定め、この原単位を連携制御導入前と導入後で比較するものである。

- ・導入前冷却水原単位 $I_{base} = \text{冷却水エネルギー消費量 } E_{base} / \text{冷却水搬送量 } Q_{base}$
- ・導入後冷却水原単位 $I_{rep} = E_{rep} / Q_{rep}$
- ・改善率 $R = (I_{base} - I_{rep}) / I_{rep} \times 100 (\%)$

ただし、添え字 base はベースライン期間の結果数値を示し、同 rep はレポート期間の結果数値を示す。なお、ベースライン期間とは EnPI の評価の基準とするデータの期間を言い、レポート期間とは効果を評価するデータの期間をいう。

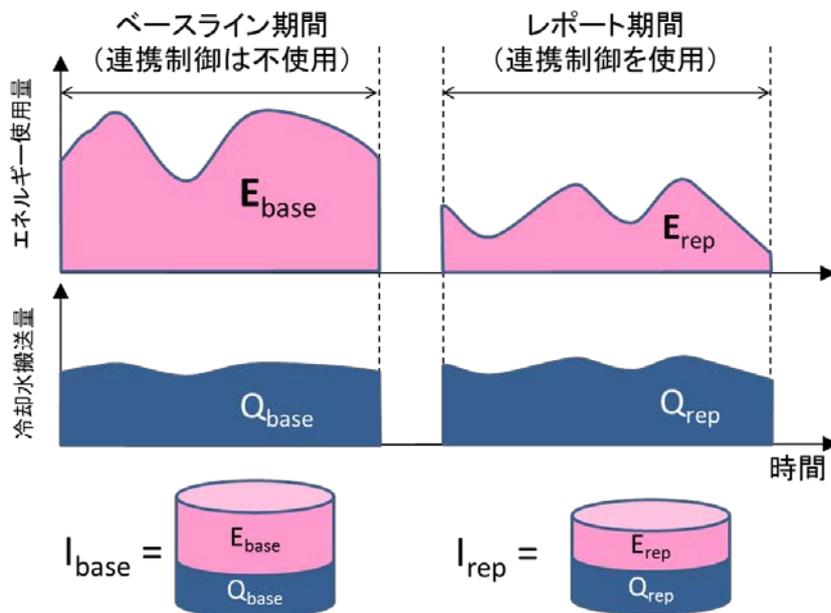


図5-12 原単位法 (レポート期間とベースライン期間)

(2) エネルギー総消費量(エネルギーベースラインモデル法)(絶対値比較)の例

連携制御導入前の冷却水生産量と所要エネルギーのエネルギーベースラインモデルを作成し、このモデルに導入後の実績生産量を与えて算出されるエネルギー推定値から導入後の実績エネルギーを差し引き、削減量を算出するものである。

- ・導入前モデル(例): エネルギー消費量 $E = I_{\text{base}} \times \text{冷却水搬送量 } Q$
- ・エネルギー推定値 $E_{\text{rep_est}} = I_{\text{base}} \times \text{実績冷却水搬送量 } Q_{\text{rep}}$
- ・削減量 $\Delta E = E_{\text{rep_est}} - E_{\text{rep_act}}$

ただし、添え字 base はベースライン期間の結果数値、同 rep はレポート期間の結果数値、同 est は推定値、同 act は実績値を言う。また I_{base} は導入前の冷却水原単位。

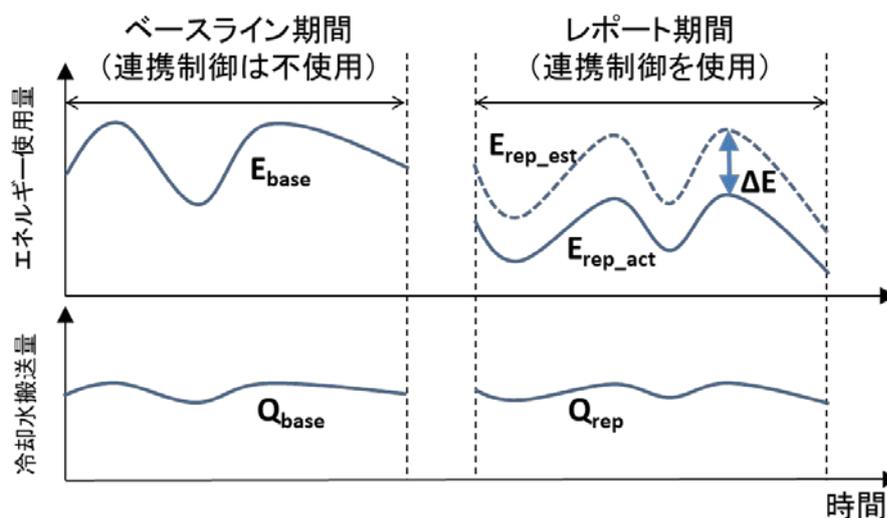


図5-13 エネルギーベースラインモデル法

この指標は、絶対値で導入効果がわかり、効果を金額換算すれば投資効果がわかりやすくなる。また、二酸化炭素の排出量規制や取引などに使用できるメリットがある。しかし、上記のモデル(ベースラインモデル)に適切な精度が必要である。ここで示した単純な系では適用しやすいが、バッチプロセスを含む系など複雑な系に適用する場合は、Appendix3 に示した手法を用い精度の良いモデルを作る必要がある。このモデルの作成や維持¹¹⁾にはデータの解析などの手間がかかるため、導入に当たっては費用がかかることに留意する必要がある。

¹¹⁾ エネルギーベースラインの予測精度が評価の精度を決めるため、レポート期間中に対象バウンダリの構成要素に予期せぬ変化(例:設備の停止、交換、稼働時間の変更など)が発生した場合には、その変化分を補正するか、あるいはベースラインモデルを作り直すなどの対応が必要になる。上記の例で、停止していた冷却水需要設備を稼働させた場合には、ベースライン期間のときから稼働していたものとして導入前のエネルギー使用量を補正する。

6 今後の展望

東日本大震災および原子力発電所の事故後、石油、天然ガスなどの化石燃料への依存度が増加し、エネルギー需給率の悪化、エネルギーコストの増大、二酸化炭素排出量の増大などさまざまな問題に直面している。2015年パリで開催されたCOP21では先進国だけでなく、発展途上国を含むすべての国が協調して温室効果ガスの削減に取り組み、地球の平均気温上昇を産業革命前に比べて2.0°C未満にするため、今世紀後半までに世界全体の温室効果ガスの排出を実質ゼロにすることを目指すとしている。このような高い目標を達成するためには革新的なエネルギー関連技術の開発と導入は不可欠であり、エネルギー供給設備の有効活用や需要側のデマンドコントロールは今後ますます進むと思われる。供給側、需要側の設備同士を互いに連携させ、全体最適による省エネを実現する先進的な連携制御はその適用範囲を拡大していくであろう。

また、IoT (Internet of Things) の活用により、これまでは実現できなかったデジタルデータの収集／蓄積、AI (Artificial Intelligence) 技術による価値創造と完全自律・自動化への進展が見込まれ、工場の全体最適化、エネルギーの更なる効率的使用の可能性が高まってきている。一方でビル分野においても、米国エネルギー省 (DOE) 主導の元、多種多様な設備をグリッドや BEMS (Building Energy Management System) と接続するための Connected equipment のコンセプトが発表されており、設備の標準化も進んできている。

このような背景の元、エネルギー需給を安定させ、効率性改善に寄与する連携制御の適用可能性も飛躍的に高まってきており、政府が進めている電力ピーク対策、スマートグリッド／スマートコミュニティ、再生可能エネルギー・蓄電池の有効活用、デマンドレスポンスなどに貢献できる方式を検討していきたい。

7 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ためである。

現在活況を見せているIoT化の進展に伴って、「連携」させていくためのインフラが整っていくにつれて、連携制御の導入が活発化してくることが期待される。また、本書で述べたようなさまざまな指標の最適化が加速していくであろう。昨今のIoT技術の進歩や人工知能などの新しい技術が活用しやすい環境が整ってきており、連携制御の普及に一層の弾みがつくものと期待される。

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。その中で、品質、納期、総コスト、環境負荷、安全性など企業活動の価値を向上させていくことが求められる。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。本書がその対策の一助となれば幸いである。

■複数コンプレッサ室への連携制御導入事例

コンプレッサ室 2 室、その他に単独で運転しているコンプレッサが 2 台ある設備に対して、全体を統合する連携制御の導入事例を紹介する。コンプレッサは全てスクリーュー式のロード／アンロードタイプである。(図3-3参照)

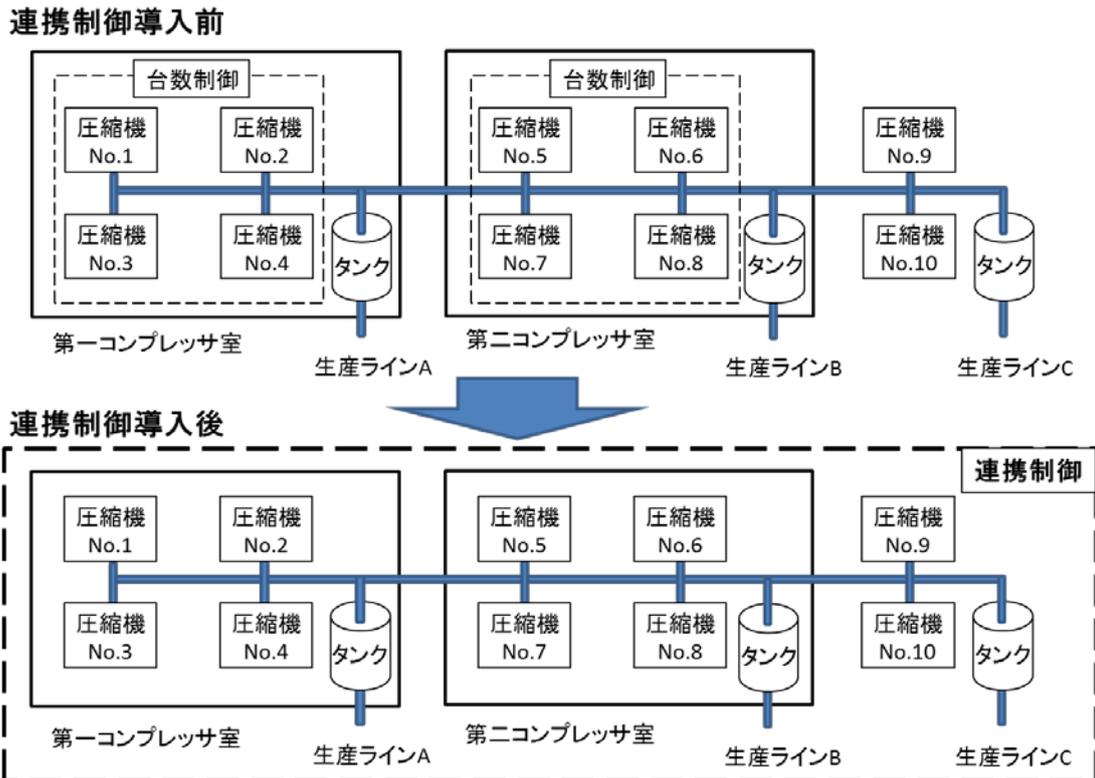


図 A1-1 複数コンプレッサ室への連携制御導入事例

ユーザーから連携制御ベンダーにコンプレッサの設備リスト、圧縮空気の配管図を提供し、連携制御ベンダーによる検討を行った。個別のコンプレッサの運転状況と圧縮空気の使用量が解析できるデータは無かった。そのため、連携制御ベンダーによる現地調査を行った結果、各コンプレッサ室は個別に台数制御を行っていたが、アンロードのコンプレッサが複数台あったため連携制御(供給設備連携)により省エネ可能と言う結果が得られた。

詳細な省エネ効果の試算を行うためステップ 3 の FS と、そのためのデータ収集を連携制御ベンダーが実施した。データ収集は、各コンプレッサの消費電力とヘッダータンクの圧力を仮設センサによりデータ収集した。収集したデータより、休日と前後各一日、通常稼働日のデータを解析し省エネ効果を推定した。

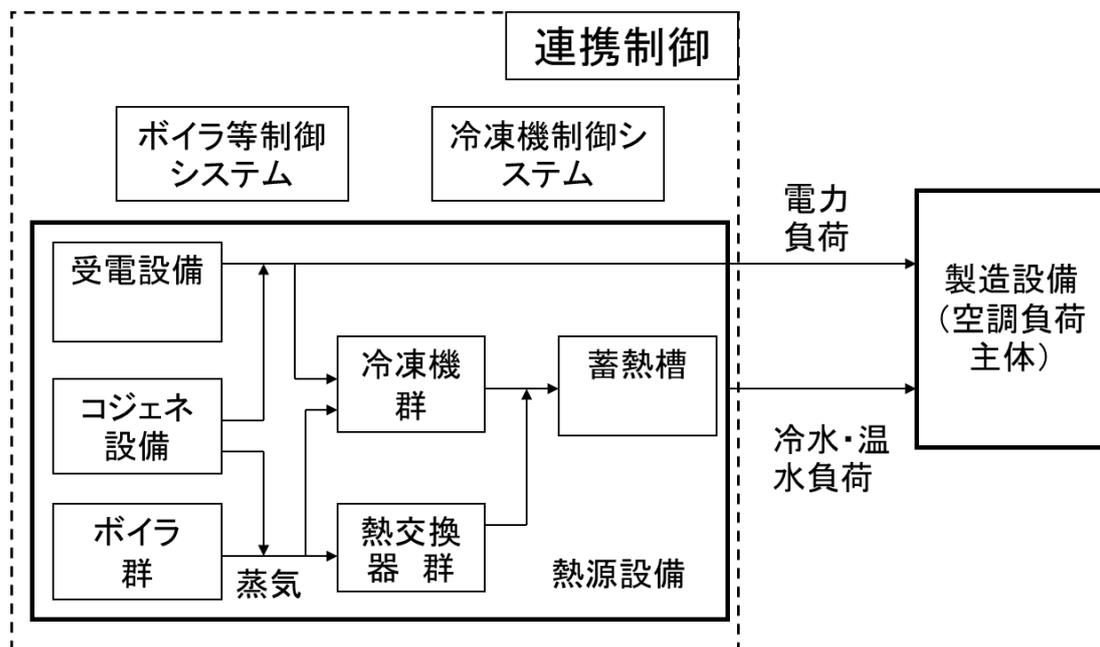
FS 結果として 10%のエネルギー削減の効果が得られたため、連携制御が導入された。導入後の 1 年間の運転実績を検証した結果、試算と同等の結果が得られた。

■工場の原動力設備への運用最適化システム導入の FS の実施例

本工場のエネルギー負荷は空調が主体であり、空調用の冷温水を製造側に供給している原動力設備の FS を実施した。原動力設備はボイラ、コジェネ設備、吸収式冷凍機、ターボ冷凍機、蒸気・温水熱交換器、温冷水蓄熱槽などからなる。(図3-4 参照)

空調負荷が主体ということで、エネルギー需要は気温・湿度といった気象条件に大きく影響を受けるので、1 年の効果を計算するのに、春期、夏期、秋期、冬期の各代表日である 1 週間の実績データを使用して、効果試算を実施した。

FS 結果として連携制御(需給連携および供給機器連携)により 3%のエネルギー削減の試算結果が得られ、導入後の検証運転でも試算と同等の結果が得られた。



図A1-2 原動力設備への運用最適化システム導入事例

Appendix 2 エネルギー管理ユニットのモデル EMU

統一的なエネルギー管理と評価方法の概念として、図A2-1のようにモデルと関係するステータスを組み合わせて定義する方式¹²がある。このモデルはバウンダリで区切られた範囲の設備や機器のエネルギーの消費量と、エネルギー消費量に密接に関連する変数の関係を調べ、このモデルが適切なエネルギー効率で動作しているかを調べるのが目的である。さらに、モデルの稼働に伴うエネルギーの消費をできるだけ正確に予測し、省エネ対策導入後の効果を算定するためにも用いられる。このモデルをエネルギー管理ユニット(EMU: Energy Managed Unit)と呼ぶ。

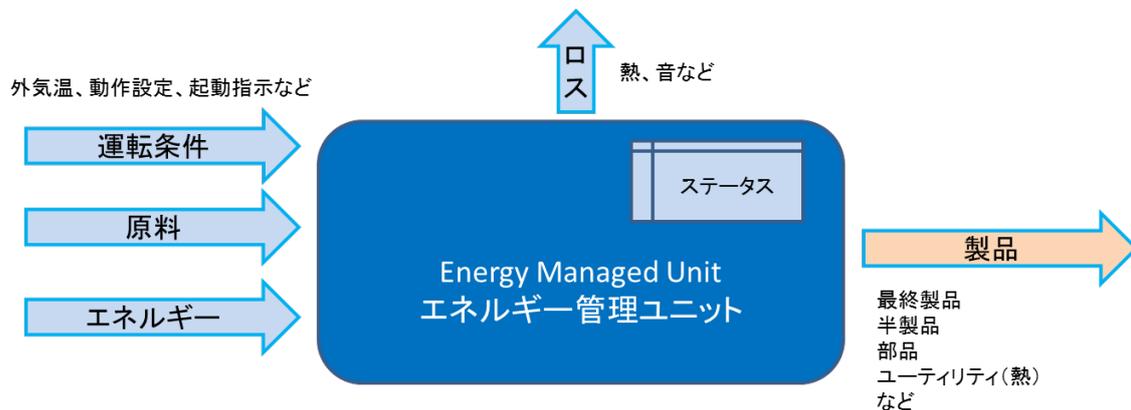


図 A2-1 エネルギー管理ユニット

エネルギーの管理の単位となるモデル部分は入力と出力より定義され、その差分はロスとして扱われる。入力の基本はモデルのバウンダリに投入されるエネルギーや原料である。原料には製品を製造するための原料、前工程の出力(部品や中間製品など)などを定義する。出力はこのモデルのアウトプットであり、最終製品、中間製品(半製品)や、蒸気/温冷水などのユーティリティ出力が相当する。

入力として扱う運転条件は、省エネ対策の導入前と導入後を、できるだけ同一条件で比較評価できるようにするために、モデルに大きく影響を与える要因を定義する。たとえば、季節・気象条件、対象モデルの動作設定としての生産条件やロット名、主要装置・設備の運転/停止などがあげられる。

以下に5-1で例として挙げた商業ビル、製紙工場の連携制御で定義されたバウンダリをこのEMUの概念に転換してみる。

¹² IEC 62837 "energy efficiency through automation systems" (Annex C) における概念。

■商業ビルの事例

図 A2-2にあるように商業ビルの冷却水供給プロセスでは出力は冷却水となり、入力はこのプロセスの入力冷却水を製造するための電気と用水となる。



図 A2-2 商業ビルの EMU(対象:熱源系統)

電気は照明用、IT 機器用、その他と多様に使用されているが、この場合は熱源系統に関連する部分だけを対象とすることが重要である。また運転条件としては商業ビルの場合、外気温、各装置の運転/停止の時間的条件や曜日などを考慮する必要がある。

■工場の事例

図 A2-3は製紙工場での銘柄変更時の連携制御を EMU の概念で表現したものである。銘柄変更時の連携制御は抄紙機でのレシピ変更に伴い時間遅れも考慮し、最適なパルプ流量比率、染料、薬品供給を目的とした制御である。

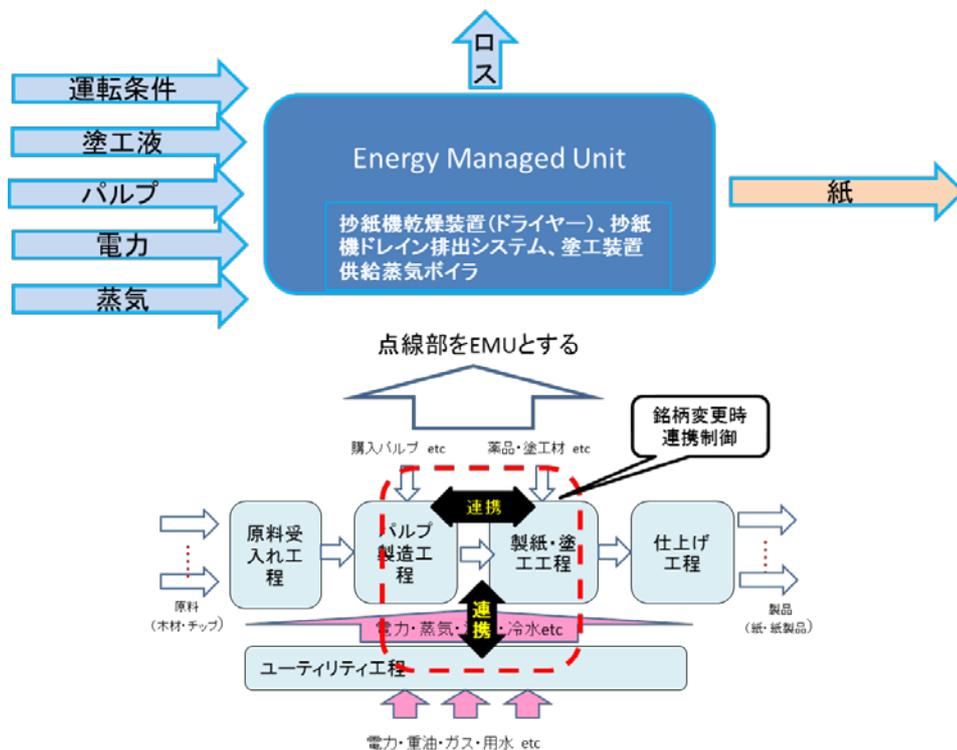


図 A2-3 製紙工場の EMU(対象:銘柄変更時の連携制御)

この場合、入力として複数のパルプ流量、染料、薬品、希釈用の水が原料に相当する。またこれらの装置を稼働させるためのエネルギーとして電気・圧縮空気が挙げられる。出力は上記の原料がブレンドされ抄紙機で生産される紙である。運転条件としては対象装置・設備の運転／停止およびレシピ変更の有無が考えられる。

このように目的に応じて設定されたバウンダリは、統一的な EMU の概念に置き替えることが可能である。

Appendix 3 EMU のステータスの定義

連携制御によるエネルギー使用効率の改善を、より公正・正確に評価し、さらに効果を高めるにはステータスという考え方を導入すると良い。EMU は通常運転状態以外に、停止中や立ち上げ中、スタンバイ中などの動作状態を持ち、これらの状態によりエネルギーの使用特性が変わる場合が多いためである。たとえば通常運転状態以外の測定結果を評価結果から省くことで、評価の正確性が向上する場合がある。また、需給連携制御の動作条件として需要側設備群のステータスを用いると、効果をさらに高めたり、制御を安定させたりすることができる。

Appendix 2 では EMU に大きな影響を与える要因として運転条件を定義した。しかし製紙工場や自動車工場の場合で見ると一日の生産時間内であっても、生産の準備段階、故障発生、レシピ変更など安定生産以外のいろいろな操業ステータスがあり、そのステータスでのエネルギー消費パターンは大きく異なることが多い。しかもそれぞれの操業ステータスが一日の生産時間に占める割合はまちまちであり、厳密に言えば日々の操業パターンは異なる。

また商業ビルの場合でも従業員勤務時間、テナント営業時間、昼食時間、閉館時間などのステータスでエネルギー消費量は大きく異なる。外気温、曜日、営業条件などの運転条件が同じでも各ステータスの占める割合でエネルギー消費量、エネルギー消費原単位などのエネルギーパフォーマンス指標 (EnPI) は大きく異なる。

仮にステータスを考慮せずに現在の EnPI の値を、過去の EnPI の値 (比較の基準とする値をエネルギーベースラインと呼ぶ) と比較して改善活動を行なうとすれば、ステータスの変化により EnPI の値は大きな影響を受けて変化するため、そもそも過去の EnPI の値との比較自体の意義が少なくなり、改善点の抽出が困難になるだけでなく、誤った方向の改善活動が進む危険性がある。エネルギー効率の改善を目的とした EnPI を設定するうえでは、継続的に正確な評価が重要になる。このためステータス定義を明確にした EnPI の設定が必要である。

EMU のステータスの概念は、ISO 22400 に基づいている。ISO 22400 は、産業における各種の KPI を定めるもので、このなかで、生産に関わる設備などの各種の状態 (Time model) を定義している。この状態をここでは、「ステータス」と表現しており、IEC 62837 でも同様に表現されている。

図 A3-1 を用いて EMU のステータスの代表例とそれに対応する消費エネルギーパターンの変化を、ロット単位の組み立てを行っている一般的な工場を例に説明する。なお、本図は実際の操業で行われる通常の時系列の操業パターンとは無関係に、各種ステータスと消費エネルギーパターンの関係を、比率として説明していることに注意していただきたい。

【定義】

- ・計画生産時間 POT(Planned order time): あらかじめ生産計画で設定する生産時間
- ・実働生産時間 AOET(Actual order execution time): 生産開始から終了までの生産活動を行っている時間。
- ・実働装置生産時間 AUBT(Actual unit busy time): 1回(ロット)の生産運転に費やされた時間
- ・実働装置稼働時間 AUPT(Actual unit processing time): アウトプットにかかわらず生産に使用する装置の稼働時間
- ・実働生産寄与時間 APT(Actual Production time): 製品となるアウトプットを生産した時間
- ・実働セットアップ時間 AUST(Actual unit setup time): 生産のために装置をセットアップする時間
- ・実働搬送時間 ATT(Actual transportation time): 装置間の搬送あるいは倉庫からの搬送時間
- ・実働待機時間 AQT(Actual queueing time): 脇置き時間、次工程搬送待ち時間
- ・実働遅延時間 ADET(Actual delay time): 故障、欠陥により装置を止めた時間

【相互関係】

- ・実働生産時間 AOET = Σ (実働装置生産時間 AUBT + 実働搬送時間 ATT + 実働待機時間 AQT)
- ・実働装置生産時間 AUBT = 実働装置稼働時間 AUPT + 実働遅延時間 ADET
- ・実働装置稼働時間 AUPT = 実働生産寄与時間 APT + 実働セットアップ時間 AUST

The status defined by ISO22400-2

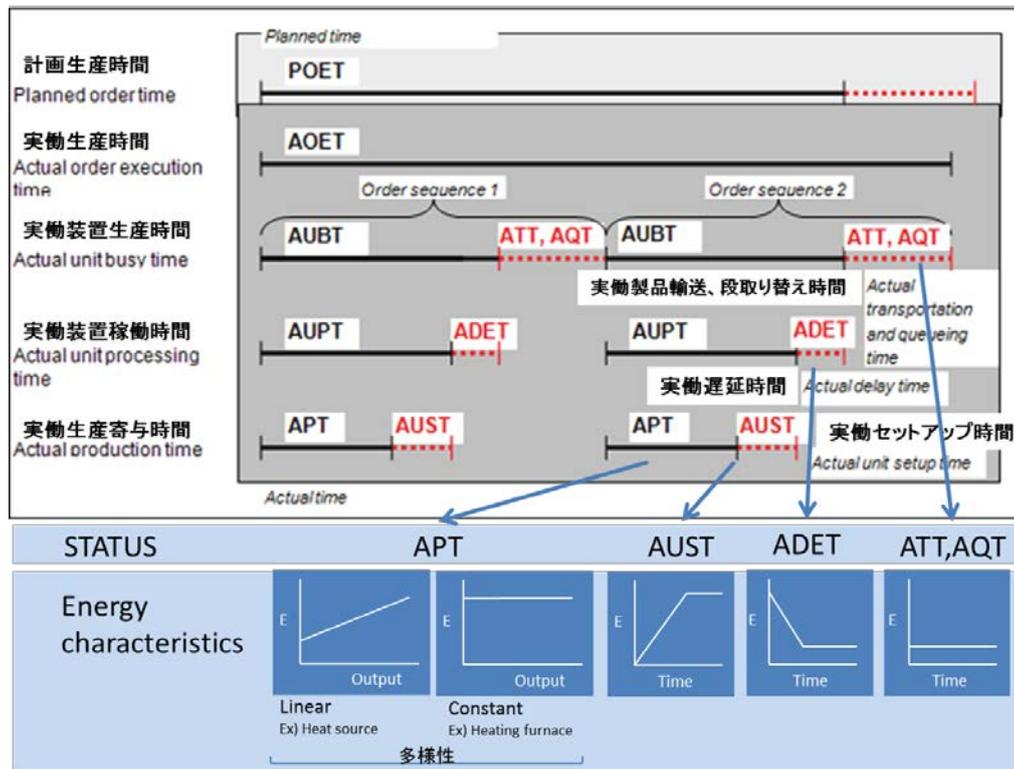


図 A3-1 EMU のステータスとエネルギー特性

EMU のステータスとエネルギー消費量の関係を図 A3-1に基づき考えてみる。

実働生産寄与時間 APT 中は、生産量に応じてエネルギー消費量が比例的に増加する場合(熱源装置など)や一定の場合(加熱炉など)があり EMU の特性に応じてケースバイケースである。実働セットアップ時間 AUST は設備(群)を完全停止状態から立ち上げているステータスであり、時間の経過とともにエネルギー消費量が増加する例を示している。実働遅延時間 ADET は、故障、欠陥により装置を止めたステータスであり、時間の経過とともにエネルギー消費量が減少し、最終的に待機状態のエネルギー消費量になっている。実働搬送時間 ATT、実

働待機時間 AQT は別のロットに生産変更するための準備作業のステータスであり、待機状態のエネルギー消費量が継続するケースを示している。

このようにステータスの違いによって、消費エネルギーのパターンは、生産量に関連したり経過時間に関連したりと、大きく変化することが理解できる。

実際にステータス管理を使用する場合、各ステータスは図A3-1のように一義的ではなく、それぞれ連携制御対象範囲として設定されたバウンダリに最適なものを独自に定義¹³して使用すると効果的である。簡便で有益な手法としては、設備(群)の実働生産寄与時間APTとそれ以外に大きく2分するだけでも、5章に述べたベースラインモデルの精度向上に効果がある。

¹³ 実際の設備(群)では、故障時に全設備を停止してから順次復旧する場合、銘柄変更時に順々に設備を停止して設備の動作を変更する場合などがある。これらのケースをすべて定義すると際限がなくなるため、個々の設備のエネルギー消費量の最大値を考慮してステータスを定義すると良い。

■EMU のステータスと消費エネルギー

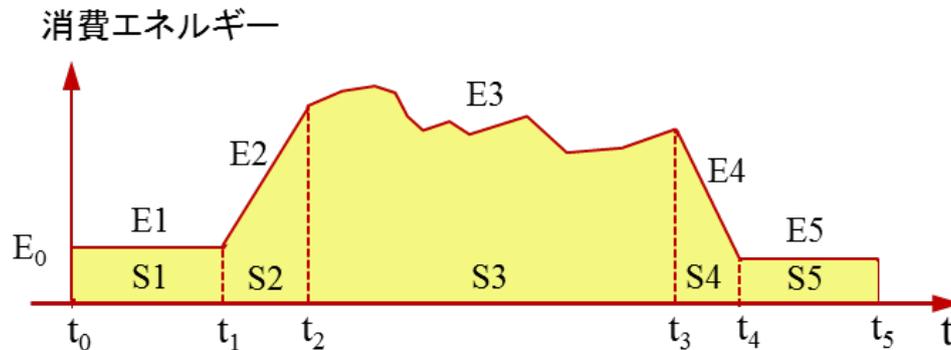


図 A4-1 EMU のステータスと消費エネルギー

図 A4-1 は、EMU ステータスと消費エネルギーとの関係を示したものである。S1～S5 のステータスが定義されていて、それぞれのステータスで E1～E5 のエネルギー消費があることを示している。

”ステータス”として、停止(S1)、立上(S2)、運転(S3)、立下(S4)、停止(S5)が定義される。それぞれのステータスは固有のエネルギー消費特性を有している。これらはプロセスによって異なるが、それぞれの操業状態にあわせて細分化して定義する。

工程全体のエネルギー消費の総量は、これらの E_i の積分で与えられるので、エネルギー効率を高めるためには、各ステータスにおける E_i を下げることに併せて、時間軸の要素も検討することが重要である。

「立上げ」や「停止」中にもエネルギー消費を伴うが、これは生産に直接寄与しないエネルギーである。操業上の計画的な停止以外に、故障など予期しない停止もあり、エネルギーの無駄につながる。高信頼で生産性の高い生産ラインを構築し、エネルギーのムダをなくすことが重要である。

EMU に大きな影響を与える要因として運転条件があるが、製紙工場や自動車工場の場合で見ると一日の生産時間内であっても、生産の準備段階、故障発生、レンピ変更など安定生産以外のいろいろな操業ステータスがあり、そのステータスでのエネルギー消費パターンは大きく異なることが多い。しかも、それぞれのステータスが一日の生産時間に占める割合はまちまちである。操業の実態に見合った EMU ステータスを定義して管理することの重要性を示す例である。

■EMU のステータスとエネルギー消費特性

図 A4-1 に対応した EMU ステータスとそれぞれにおけるエネルギー消費特性の例を表 A4-1 に示す。これにそってステータスごとに管理指標(KPI)が設定される。

表 A4-1 EMU のステータスとエネルギー消費特性

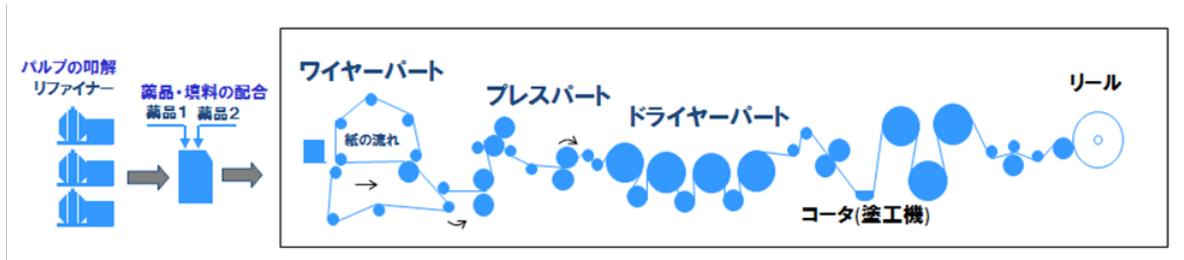
EMU ステータス	変数 の数	変数1	変数2	エネルギー 消費特性
		名称 (単位)	名称 (単位)	
S1: 停止	0	-	-	$E1 = E_0$
S2: 立上	1	T: Time (min)		$0 < T < 10$ $E2 = K1 \times T + E_0$
S3: 運転	2	Q: flow (m^3/h)	P: pressure (Mpa)	$E3 = K_0 \times Q \times P + E_0$
S4: 立下	1	T: Time (min)		$0 < T < 5$ $E4 = K2 \times T + E_2$
S5: 停止	0	-	-	$E5 = E_0$

■バウンダリとステータスの事例(紙パルプ工場)

製紙工場の抄紙・塗工工程に使われる抄紙機のステータスには次の 5 種類がある。これらは抄紙機運転時の信号 1~6 をもとに下表のロジックによって生成される。

- 操業中 : 抄紙機に動力が供給され運転稼働中
- 抄替中 : ロット変更中の中間製品(規格外品)を生産している状態
- 紙切中 : トラブルなどにより紙切れが発生し、抄紙機は運転稼働しているが、紙を生産していない状態
- 損紙生産中 : 規格内の紙を生産しているが次工程への作業手順上で廃棄される部分を生産している状態
- 製品生産中 : 製品として次工程に送る紙を生産している状態





信号名	1:抄紙機稼働中	2:試運転中	3:紙切中	4:製品カウント中	5:銘柄変更中	6:塗工中
ステータス	パルプ原料輸送ポンプ稼働中	オペレータ指令信号	各パート間の紙切れ検出信号(紙切中ON)	製品生産長積算カウンタ稼働中	自動銘柄変更指令(銘柄変更中指令ON)	塗工装置着脱指令(塗工装置着脱信号ON)
S1: 操業中	Yes	No				
S2: 抄替中	Yes	No			Yes	
S3: 紙切中	Yes	No	Yes		No	
S4: 損紙生産中	Yes	No	No	No	No	
S5: 製品生産中	Yes	No	No	Yes	No	Yes

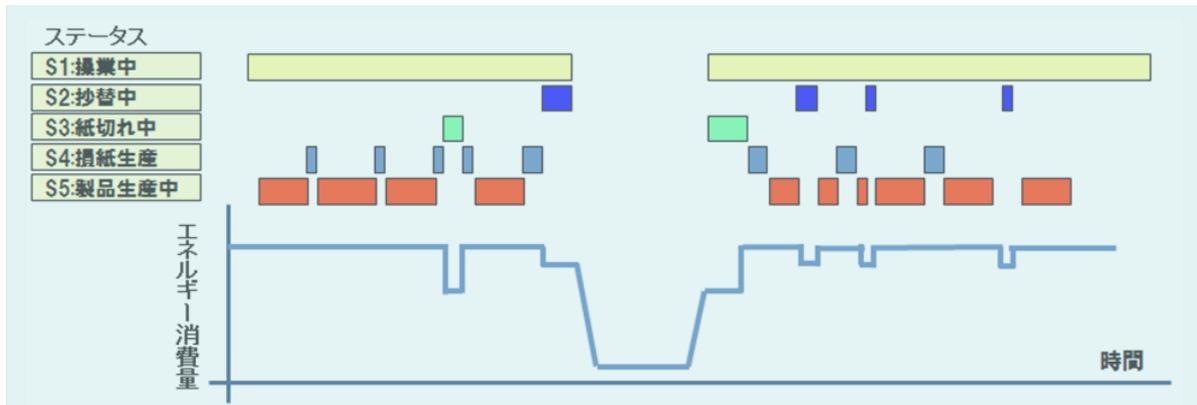


図 A4-2 抄紙工程のステータス

Appendix 5 省エネ効果の見積と検証の実用知識

省エネ対策の効果は一般的に直接測定できない。生産量や外気温などの影響因子の変化によってエネルギー消費量が変動するが、同じ条件で比較することが困難だからである。すなわち、対策の導入後には対策前にどれだけエネルギーを使用していたかを測定できないためであるとも言える。そこで、導入前なら今どれだけエネルギーを消費したであろうかという値を推定して実績値と比較する方法が編み出された。この手法のポイントは、導入前の状態を推定する方法である。推定には「過去の経験値」という方法もありえるが精度が低いため、一般的には「モデル」が用いられる。モデルには必要な予測精度に応じて各種のものがあるが、基本的な概念は図 A5-1に示すように対策前のエネルギー消費量を予測して推定値を算出する機能として捉えることができる。図A5-1の報告期間の右上の曲線がモデルから推定された値であり、これを「調整されたエネルギーベースライン」¹⁴と呼ぶ。

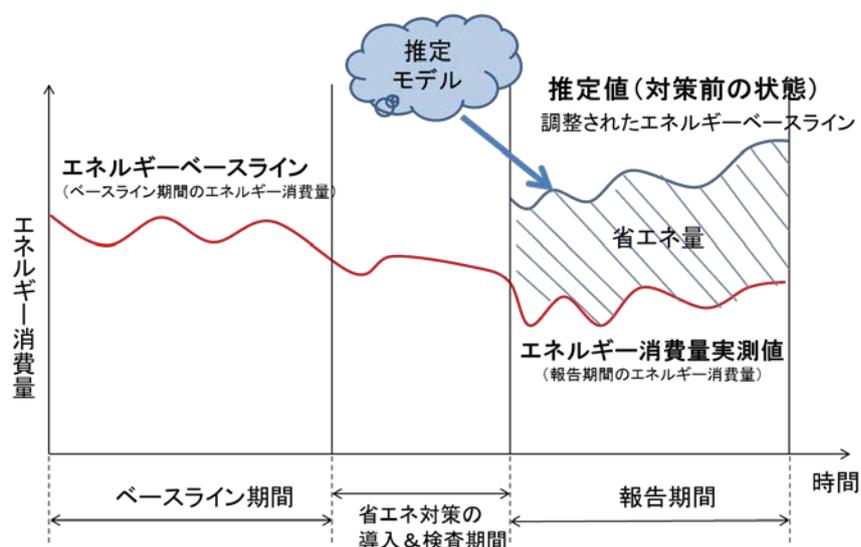


図 A5-1 モデルの基本概念

対象領域の挙動を調べ、モデルを作ることモデル化と呼ぶ。モデル化とは「エネルギー消費量」と、「エネルギー消費量の影響因子」との関係を示した数式モデルを作ることである。この数式モデルはエネルギー消費量の「対策前の推定値(予測値)」を算出することができる。図 A5-2 にモデル化の対象領域とエネルギーを含む入出力と運転条件の関係を示す。

¹⁴ 調整されたエネルギーベースラインとは、後述する「関連変数」の「報告期間の値」を推定モデルに代入して得られたエネルギー消費量(実績値と比較できるように調整されたベースライン)である。

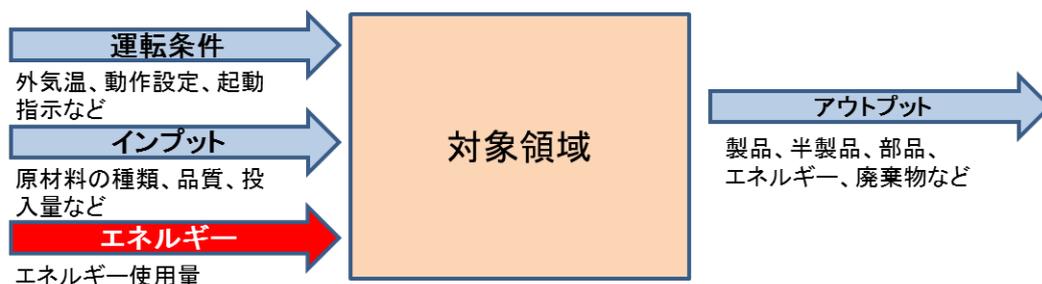


図 A5-2 モデルの対象領域と入出力や動作条件

一般的にモデル化は以下のようなステップで行われる。

ステップ1: エネルギー消費に影響する関連変数の特定

エネルギー消費に影響する影響因子のうち、日常的に変化する因子は、国際規格では「関連変数」と呼ばれている。関連変数とは、日常的に変化する外気温や生産量などを指し、営業時間や工場の操業時間など日常的に変化しない因子とは区別されている。エネルギー消費に対する関連変数の影響を調べるには、エネルギー消費量と関連変数のデータを時系列で収集し、スプレッドシートの散布図機能などで解析する手法が知られている。

① 個々の対象領域のトレンド情報の入手

エネルギー消費量および関連変数候補(生産量、温度など)のトレンド情報を収集する。エネルギー消費量の変動が観測された場合、その変動時間に見合う頻度でデータを収集すると良い。例えば1時間程度でエネルギー消費量が増減している場合、10分から1分程度の頻度でデータを収集すると良い。

② スプレッドシートを使った対象領域の簡易分析(散布図の作成)

関連変数の候補とエネルギー消費量の関係をスプレッドシートの散布図で簡易的に解析する。図A5-3は解析の事例である。関連性が強いかわ弱いかを簡易的に識別することができる。

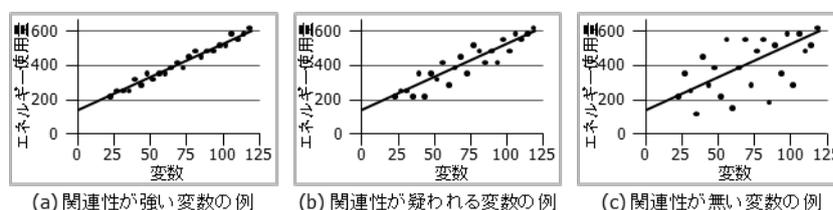


図 A5-3 散布図を用いた関連変数候補の識別

図A5-4はエクセルを用いた解析事例である。生産量とエネルギーの一時間ごとの時系列データを散布図で解析し、右図のように近似曲線および決定係数 R^2 を特定している。

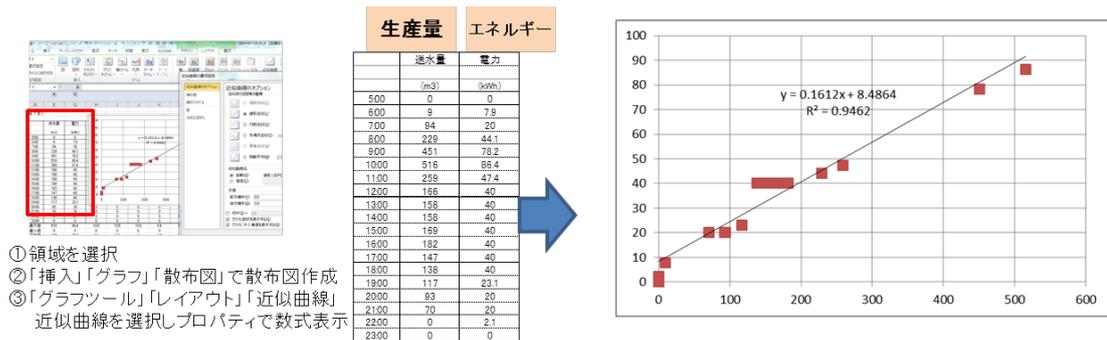


図 A5-4 エクセルを用いた解析事例

③ 対象領域の分割(必要時)

関連性の強い変数が見つからず、②の散布図で相関が見えない場合には、対象領域の分割を行い、分割した対象ごとに関連変数を見つけると良い。分割の方法には、例えば、空調熱源をターボ冷凍機+冷温水発生器+空調ポンプ+冷却塔に分割するような物理的な分割や、生産設備の稼働状態を生産品種ごとに時間軸で分割する方法がある。

(Appendix 3, 4 参照)

ステップ 2: モデルの特定とテスト

モデルは必要とされる精度にあわせて適切なものを選択すると良い。代表的なモデルの例を以下に示す。

① Y=AX+B モデル

基本のモデルである。関連変数によらず固定的なエネルギー消費量 B が存在し、関連変数 X に正比例してエネルギー消費量が増加するという関係を示している。前頁の事例のようにエクセルで相関を取ると簡単に作成できる。決定係数(R²)が小さいときは、他のモデルを用いたほうが良い。しかし領域を分割すればこのモデルが使える場合が多い。(例:施設全体ではなくボイラや冷凍機などに絞る)

② 原単位モデル

上記数式 Y=AX+B の固定分 B が小さいとき実用的なモデルである。

③ 重回帰モデル

2 種類以上の関連変数がある場合に採用すべきモデルである。統計の教科書に従って作成することが推奨される。

④ 状態別モデル

運転状態ごとに上記モデルを作成するイメージである。運転状態によって関連変数が異なる場合や、関連変数とエネルギー消費量の特性が異なる場合、運転状態ごとにモデルを作成すると高精度なモデルができる。ただしほとんどの時間、特定の運転状態のみであるならば状態別モデルは不要である。

上記のような方法で作成したモデルは、モデルの変数部に関連変数の実績値を入力し、エネルギー消費量の実績値と比較して、その精度と妥当性をテストすると良い。

参考1：国際規格におけるモデルの例(ISO 50047 より引用)

1) 最も簡単なモデル:

$$\text{Energy} = bx \quad (x: \text{関連変数、} b: \text{定数。例えばエネルギー消費原単位})$$

2) 直線回帰モデル:

$$\text{Energy} = E_{b0} + b_1x_1 + \dots + b_nx_n \quad (x_1, x_2, x_n: \text{関連変数、} E_{b0}: \text{ベース負荷})$$

注: 最も一般的なモデル: $\text{Energy} = E_{b0} + b_1x$

3) 複雑モデル: 下記は関連変数3つの多項式モデルの例

$$\text{Energy} = E_{b0} + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_1^2 + b_5x_2^2 + b_6x_3^2 + b_7x_1x_2 + b_8x_2x_3 + b_9x_3x_1$$

4) 汎用非線形モデル: 下記は関連変数3つの関数が、変数 v の値で切り替わる例

$$\text{Energy} = f(v, \theta, a) \text{ ----- if } v > N$$

$$\text{Energy} = g(v, \theta, a) \text{ ----- if } v \leq N$$

参考2：モデルを使った予測例(生産量から予測)

	原単位モデル	Y=AX+B モデル
モデル	予測エネルギー = bX	予測エネルギー = $E_{b0} + b_1X$
例	$200\text{GJ} = 100(\text{GJ}/\text{t}) \times 2(\text{t})$	$200\text{GJ} = 60(\text{GJ}) + 70(\text{GJ}/\text{t}) \times 2(\text{t})$
解説	製品 A を 1t 作るのに 100GJ のエネルギーが必要。エネルギー消費原単位は 100GJ/t。この製品 A を 2t 生産すると、上記数式で 200GJ 必要とわかる。	製品 B は生産量 1t あたり 70GJ の設備で作られるが、生産に依存しないエネルギー 60GJ が常に使われている。この製品 B を 2t 生産すると、上記数式で 200GJ 必要とわかる。

参考3: モデルと省エネ量 ΔE 計算のイメージ

図 A5-5 にベースライン期間のエネルギー消費量と関連変数のモデルと、このモデルに報告期間の関連変数の実績値を入力して得た「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」を示す推定値(予測値)の関係を示す。報告期間における、この推定値とエネルギー消費量の実績値の差分が ΔE すなわちエネルギー削減量(省エネ量)となる。

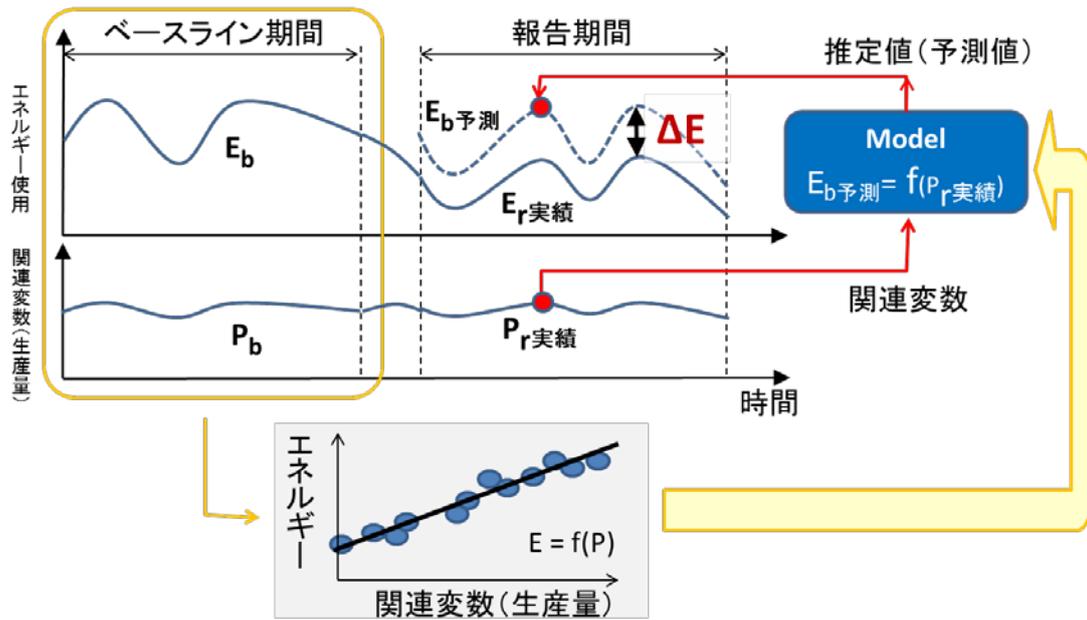


図 A5-5 モデルと省エネ量算出イメージ

Appendix 6 原単位管理の注意点

一般的な製造設備、ライン、工場においては、生産量がゼロの場合でもベースエネルギーが消費されるため、エネルギー消費原単位による管理には制約があることを理解して使う必要がある。エネルギー消費原単位は使用エネルギーを生産量などで割った値である。このため、ベースエネルギーがあると、工場のエネルギー効率に変化がない場合でも、生産量が減少すると原単位が悪化して見える。この特性に注意し、エネルギー効率改善の相対管理の指標にすることが望ましい。ベースエネルギー分を考慮し、 $y = ax + b$ の形に修正して使用するのが実用的である。

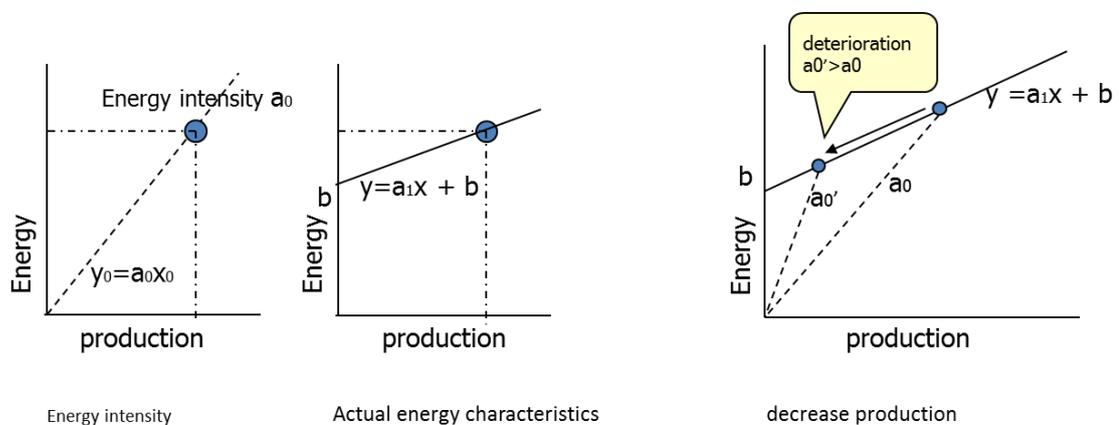


図 A6-1 原単位管理の注意点

Appendix 7 FS(Feasibility Study)に関する費用と精度のバランス

FSのコストは使用するモデルの精度とケーススタディの実施件数に影響される。モデルの精度を上げるためには、モデル構築の工数が余分にかかり、かつ一般に省エネ効果を計算する1件あたりの計算時間や評価にかかる工数が増える。FSコストは以下のように表現できる。

$$\text{FSコスト} = \text{「モデル構築コスト」} \\ + \text{「ケーススタディ1件あたりの作業工数」} \times \text{「ケーススタディ実施件数」}$$

モデルが適切な精度を持っているかどうかの評価は一般的に難しい。モデル精度に影響を与えるものとしては、例えば、非線形特性を持つ機器に対して線形モデルを使用した場合の「モデル誤差」、現実の運転にある「制約条件」を必要十分に取り入れているか、使用する実績データの「測定誤差」などが考えられる。

「モデル誤差」に関しては、実運転データを使用してモデルによるシミュレーション結果と実績値を比較することで、ある程度定量的に評価することができる。「制約条件」については、対象プラントの運転側からヒヤリングをしっかりと行い、できるだけ実運転の制約に近い形かどうかを評価する必要がある。また、実績データの「測定精度」に関しては、疑いのあるデータに対しては、その計測器のキャリブレーションを実施し、どの程度誤差があるデータなのかを確認する必要がある。

次に「ケーススタディの実施件数」であるが、年間の効果を評価するために365日のシミュレーションを実施するのでは、件数が増えて経済的でない。一般的に代表日を選択(気候に影響されるのであれば、夏期、中間期、冬期のそれぞれの代表日)し、それから1年の効果を類推するのが一般的であり、効果評価にはそれで十分である。

Appendix 8 省エネ法における定期報告書との関係

省エネ法では4-2-1のEnPIで述べたエネルギー消費原単位を用いて報告することとなっている。しかし、省エネ法ではあくまでも、化石燃料由来のエネルギー消費総量を設備・運用・制御などさまざまな手段により抑えることを基本としており、設備の連携制御による省エネ効果という観点からは必ずしも適切な指標とはなっていないので注意を要する。以下に具体的な留意すべき点を述べる。

- (1) エネルギー消費量のうち、廃棄物からの回収エネルギー、風力・太陽光などの自然エネルギーは対象外となっている。このため、需要側設備だけで効果をみる場合には、全てのエネルギーを把握する必要があるため、これらの使用エネルギーも考慮する必要がある。
- (2) エネルギー消費原単位の分子として、改正省エネ法以前は自らの生産に寄与しないエネルギー量は差し引くことができたが、改正後はできなくなった。このエネルギー量が4-2-2で述べた適切なバウンダリの設定により、除いた場合は省エネ法での定期報告書記載のものとは異なることになる。

参考文献

1. 省エネルギー制御技術に関する調査報告書 ―連携制御技術の最適活用、2009年6月、
JEITA 制御システム専門委員会 省エネルギーWG 編
2. ISO 22400-2:2014 Automation systems and integration -- Key performance indicators (KPIs) for
manufacturing operations management -- Part 2: Definitions and descriptions、2014-01-06
3. IEC TR 62837:2013 Energy Efficiency through Automation Systems、2013-09-25
4. ISO 50001-2011 Energy Management System – Requirements with guidance for use
(JIS Q 50001:2011 エネルギーマネジメントシステム -要求事項および利用の手引き)
- 5 ISO 50006:2014 Energy management systems -- Measuring energy performance using energy
baselines (EnB) and energy performance indicators (EnPI) -- General principles and guidance、
2014-12-15
6. ISO 50047:2016 Energy savings -- Determination of energy savings in organizations、
2016-10-27
7. 国際標準のエネルギー管理手法 ～エネルギー性能指標(EnPI)導入ガイド～ 実践編[ISO 準
拠版]、2016年10月1日、(社)電子情報技術産業協会

用語集

No.	用語／略語	用語の説明	章
1	COP21	気候変動枠組条約第 21 回締約国会議	1
2	EnPI Energy performance indicator	エネルギーの使用量、効率などに関する KPI。エネルギーパフォーマンス指標の略語。 例えば、エネルギー消費原単位、エネルギー削減量など	4-2
3	HID	high-Intensity discharge ランプ(高圧水銀ランプ、メタルハライドランプ、高圧ナトリウムランプ)の総称	2-2
4	ISO 22400	生産管理の KPI を定めた国際規格 Automation systems and integration - Key performance indicators (KPIs) for manufacturing operations management -	A2
5	KPI key performance indicator	目標達成に向かってプロセスが適切に実行されているかどうか計測する指標	3-2
6	ROI return on investment	投資した金額に対して得られる効果の割合	3-2
7	影響因子 influencing factor	エネルギー消費量の変化を引き起こす因子 注記 1: 日常的に変化する因子を関連変数と呼び、日常的には変動しない因子を静的要因と呼ぶ。	3-2
8	エネルギー管理ユニット (EMU) energy managed unit	エネルギー管理を行う単位	5-2
9	エネルギー効率指標 energy efficiency indicator	エネルギー効率に関する KPI 例えば、エネルギー消費原単位、発電効率など	3-2
10	エネルギー消費原単位 1) energy intensity 2) specific energy consumption	「エネルギー消費量(分子)」を、「エネルギーの消費量と密接な関係を持つ値(分母)」で割った値。一般的に「原単位」あるいは「エネルギー原単位」と呼ぶ。	4-2
11	エネルギートラッキング energy tracking	製品の構成要素ごとに、それぞれの生産工程で何時どれだけエネルギーが使われたかを紐づけして加算する評価手法	5-3
12	エネルギーベースライン energy baseline	エネルギー効率の比較の根拠を提供する定量的な基準。数値やモデルなどがある。比較対象のエネルギー使用に影響する因子との関係をモデル化(数式化など)したものをエネルギーベースラインモデルと言う。	4-2
13	吸収式冷凍機 absorption chiller	蒸気や燃焼熱を用いる冷凍機	2-3
14	供給されたエネルギー delivered energy	バウンダリに到達したエネルギー 例: 電気、燃料、地冷プラントから送られた熱エネルギーなど 注記: 供給されたエネルギーにはオンサイト(バウンダリ内)で生成された再生可能エネルギーや原油などが含まれる。 【ISO 50047 を参考に JEITA で定義】	2-1
15	供給連携 supply side RENKEI	エネルギー供給設備を構成する設備や機器の個々の特性(効率や運用コストなど)を考慮して、供給設備全体を最適な状態(コストや CO ₂ など)に導くために、これらの運転状態(出力など)を制御する連携制御	2-2
16	決定係数 R ² coefficient of determination	変数間の相関の強さを表す指標が相関係数 R。その相関係数の二乗 R ² が決定係数と呼ばれる	A5
17	効果検証 verification	連携制御導入後の効果を具体的な数値として検証すること	4-1
18	コージェネ cogeneration	コージェネレーション(熱電併給)の略 熱と電力の両方を供給できる発電システム	2-2
19	重回帰式 multiple regression model	ある変数の動きが、別のいくつかの変数の動きによって左右されているとき、その関係を数式で表したものを。一般に線形式で表される。	4-2

20	需給双方向連携 demand and supply bidirectional RENKEI	エネルギー需要設備の需要量に適合させるように供給設備の 運転を制御するとともに、需要側の調整を行うことで需要設備 と供給設備全体の最適化を図る連携制御	2-2
21	需給連携 demand and supply RENKEI	エネルギー需要設備の需要量に適合させるようにエネルギー 供給設備の運転を制御する連携制御	2-2
22	需需連携 demand side RENKEI	エネルギー需要設備同士が連携し、需要側の設備の運転状 態を最適に調整する連携制御	2-2
23	省エネソリューションベンダー energy saving solution vendor	省エネソリューションを提供するベンダー。このうち、連携制御 を提供するものを連携制御ベンダーという。	2-5
24	抄紙機 paper machine	紙をすく(抄紙)を行う機械。紙料液から水をこして紙層を形成 する抄紙部、紙層をロールの間を通して圧搾脱水する圧搾部、 この紙層を乾燥シリンダーに押し当てて紙に仕上げる乾燥部 からなる。	5-1
25	スクルーコンプレッサ screw compressor	コンプレッサの動作方式の1種。他に、レシプロ式、ターボ式、 スクロール式などがある。	A1
26	スマートグリッド smart grid	電力の流れを供給側・需要側両者の情報を統合・活用して制 御し、最適化できる送電網(次世代送電網)	2-2
27	設備の中間負荷 intermediate load	設備の定格以下の負荷状態	5-2
28	全体最適化 total optimization	機器単体の効率化ではなく、バウンダリ内全体の効率を向上さ せること	2-1
29	ゼロドリフト zero drift	測定器の最小目盛り、またはゼロ点に対する比較的長時間 での指示の変化。温度・経年劣化・電圧変動などによりゼ ロ点変動が一定方向に少しずつ蓄積していく状態	4-2
30	ターボ冷凍機 centrifugal chiller	電気を用いる冷凍機	2-3
31	地域冷暖房 district heating and cooling (DHC)	ひとつまとまりの地域の複数の建物に、ひとつ(あるいは複数の) 熱供給設備から温水、蒸気、冷水などの熱媒体を、配管を通し て供給するシステム。	2-3
32	デマンドサイドマネジメント demand side management	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	2-3
33	デマンドレスポンス demand response	供給側の要請に応じて、電気料金価格の設定またはインセ ンティブの支払いによって需要家側が電力の使用を抑制する よう電力消費パターンを変化させること	2-1
34	導入効果試算 (FS) feasibility study	投資効果を判断するため、連携制御導入前に導入効果を予測 すること	3-1
35	塗工工程 coater process	紙に塗料を塗布する工程で塗料のブレンドなどを含む場合も ある	5-1
36	熱源設備 heat source facilities	冷水、温水、蒸気を製造(熱媒体の水を設定温度まで冷却/ 加熱)する設備	5-1
37	排出権取引 emissions trading	各国家や企業ごとに温室効果ガスの排出枠(キャップ)を定 め、排出枠が余った国や企業と、排出枠を超えて排出してしま った国や企業との間で取引(トレード)する制度	4-1
38	バウンダリ(境界) boundary	連携制御の構成要素を含む物理的な範囲。 注記: 連携制御の効果の検証における検証バウンダリ(4-2-2)は連携制御 のバウンダリより広がる場合がある。	1
39	バッチプロセス batch process	組立工場、食薬品工場などのように、ある単位の量の原材料 が間欠的に供給され加工され取り出され、製品あるいは半製 品となる製造プロセス	5-1
40	ピークデマンド peak demand	最大電力需要	5-2
41	ヒートポンプ (HP) heat pump	熱媒体を用いて低温部分から高温部分へ熱を移動させる技術 例えば、空気中などから熱を集めて、大きな熱エネルギーとし て利用する技術	2-2
42	ベースライン期間 baseline period	EnPI の評価の基準とする期間	5-3

43	見える化 visualization	エネルギー効率の向上を目的にエネルギー消費量を含むエネルギーパフォーマンス指標(4-2-1)および関連変数(Appendix 5)およびこれらの関係を可視化すること。 注記1:エネルギー消費量のみを可視化を見える化と呼ぶ場合もある。 注記2:可視化される内容は目的に応じたものが選択される。例えば経営者、施設責任者、設備運転員、エンジニア。	2-1
44	ユーティリティ設備 utility facilities	電気、蒸気、圧縮空気、冷水、温水などのエネルギーを供給する施設	5-1
45	連携制御 RENKEI Control	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、エネルギー消費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 注記1: 評価指標の例: エネルギー消費量、エネルギー消費原単位、エネルギーコスト、CO2 排出量、生産性、品質、納期、収益率 注記2: 連携して動作するとは、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。 注記3: 制御は、自動制御および人間を介した制御を含む。	2-1
46	連携制御リノベーション RENKEI Control renovation	より高度な連携制御の状態に改修(リノベーション)すること	2-1
47	連続蒸解釜 continuous digester	チップを縦に細長い円筒容器の頂部から仕込み、薬液とともに加熱しながら煮て底部からパルプを連続的に取り出す釜	5-1
48	連続プロセス continuous process	石油精製などのように、原材料が連続的に供給され加工され、製品あるいは半製品となる製造プロセス	5-1
49	レポート期間 reporting period	効果を評価する期間	5-3
50	ロード／アンロード load/unload	コンプレッサの負荷状態／無負荷状態	A1

JEITA 制御・エネルギー管理専門委員会 WG1(省エネルギー)

メンバー(2016 年度)

松井哲郎	主査	富士電機株式会社
鎌田健一	副主査	横河電機株式会社
鈴木康央	委員	アズビル株式会社
植木和夫	委員	アズビル株式会社
笹木 誠	委員	株式会社荏原電産
下江政義	委員	三菱電機株式会社
井上賢一	委員	横河電機株式会社
池山智之	委員	横河電機株式会社
福沢充孝	委員	横河電機株式会社
宇野達朗	委員	横河ソリューションサービス株式会社
花形将司	オブザーバ	一財)省エネルギーセンター

————— 禁無断転載 —————

連携制御ハンドブック

初版発行:2012年1月

第二版:2013年10月

第三版:2017年3月

発行 一般社団法人 電子情報技術産業協会(JEITA)

<http://www.jeita.or.jp>

制御・エネルギー管理専門委員会

〒101-0004 東京都千代田区大手町 1-1-3

大手センタービル