

「生産」に踏み込んだ 工場エネルギー最適化

工場の電力ピークシフトを実現する 生産設備群の自動スケジューリング技術

IHI グループでは、工場のエネルギーコストの低減・抑制に貢献するエネルギーマネジメント技術を開発している。「生産」と「エネルギー」の連携により、生産量を維持・向上させながら、省エネ・コスト低減を実現できるのが特長である。



IHI が目指す「生産」と「エネルギー」の協働したエネルギーマネジメント技術

IHI が目指すエネルギーマネジメント技術

製造業において、自社工場のエネルギーコストの低減・抑制は大きな課題である。IHI グループは、エネルギー貯蔵システムや非常用ガスタービン、圧縮機や熱・表面処理設備などを製品として提供しており、お客様の工場のエネルギー需給に大きく影響を与える立場にある。それを踏まえ、IHI では、冒頭に挙げた課題の解決に貢献していくためのさまざまな研究開発を行っている。

エネルギーコストの低減・抑制を実現する手段とし

て、近年、エネルギーマネジメントシステム (EMS) に注目が集まっている。EMS とは、省エネや省コストなどの目的に対して、電気やガス、熱などのエネルギーの最適な運用を支援するシステムであり、例えば利用状況の可視化や、エネルギー関連設備の最適な運用の提案や制御を担うものである。

工場のエネルギーマネジメントにおいて重要となるのは、「生産量の維持向上」と「省エネ・省コスト」を両立させることである。一般的に、工場におけるエネルギー消費の大部分は生産設備によるものであるが、省エネ・省コストのための安易な生産設備の停止

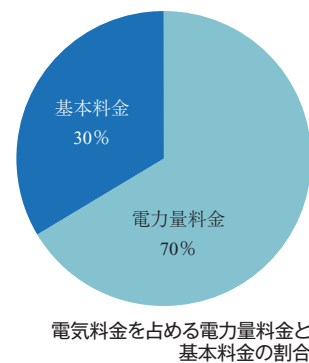
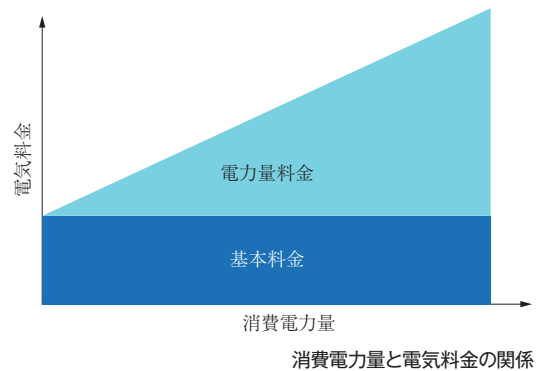
や遊休は、工場の生産量の低下を招きかねない。これに対して、IHI では、さまざまな生産設備の特性や工場の操業など生産に関するノウハウを多数有しているという強みを活かし、「生産」と「エネルギー」が両立し、また、互いに協働するようなエネルギーマネジメント技術の確立を目指し研究開発を進めている。

本稿では、IHI の工場向けエネルギーマネジメント技術のうち、生産の工夫で大きな省コスト効果が得られるもののひとつとして、電力ピークシフトを実現する生産設備群の自動スケジューリング技術を紹介する。また、本技術を支える基盤技術である数理最適化技術に対する IHI の研究開発の取り組みも併せて紹介する。

工場における「電力ピークシフト」の重要性

工場のエネルギーコストのうち代表的なものとして、電力料金が挙げられる。電力料金は、最大需要電力（ピーク電力）に比例する基本料金と、消費電力量（kW・h）に比例する電力量料金から主に構成される。このうち基本料金に関しては、同じ生産設備で同じ量の生産を行う場合でも、ピーク電力を抑えることにより低減できる可能性がある。工場が所有する生産設備の種類や運用形態にもよるが、基本料金は電気料金のうちおおむね 30% 程度を占めており、ピーク電力抑制による電気料金低減効果は大きいといえる。なお一般的に、基本料金を決定する契約電力は、過去 1 年間の工場のピーク電力で定まるため、契約電力を下げるには、ピーク電力を下げる継続的な工夫が求められる。

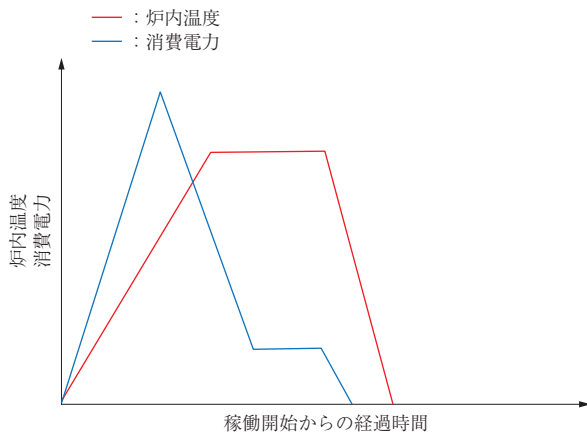
ピーク電力の抑制の手法としては、例えば太陽光発電システムや蓄電池を導入し運用するといった方法が提案されている。また、こういった設備投資を必要とせず実践可能な方法として、工場内において消費電力の大きい生産設備の運転スケジュールを調整し電力需要のピークを抑える、いわゆる「ピークシフト」とよばれる操業方式もよく行われている。しかしながら、ピークシフトの実践に際しては生産とエネルギーの両方を考慮したスケジューリングが必要であり、生産量を維持したままピーク電力を抑制することは容易ではなかった。そこで IHI では、生産量を維持しつつ電力ピークを抑制可能な設備運転スケジュールを自動的に作成する技術を開発した。



生産設備群の自動スケジューリング

今回開発した技術は、「どの製品に対するどの処理を、どの設備で、いつから開始するか」といったスケジュールを自動的に作成するアルゴリズムである。具体的には、一定の計画期間（1 週間）で、所定の製品処理をすべて完了させつつ、処理の順序や製品納期、勤務シフト、生産設備のメンテナンス計画、特急品対応可能性などを考慮したうえで、全生産設備の合計消費電力ピークを最小とするスケジュールを得る技術である。なお、本技術は消費電力量自体の最小化を図ったものではないため、電力量料金の削減には直接はつながらないが、ピーク電力を抑えることにより、契約電力の抑制、それによる基本料金の低減が期待できる。

本技術は、バッチ式真空熱処理炉など、消費電力の大きい生産設備群がある工場において特に有効である。真空熱処理炉は、鋼部品などを高温（約 500 ～ 1 000℃ 以上）で加熱処理する設備であり、稼働開始後、炉内温度を所定の温度まで上昇させる際、大きな消費電力ピークを形成する。バッチ式炉では、いったん処理を開始すると、完了するまで部品の取り入れや



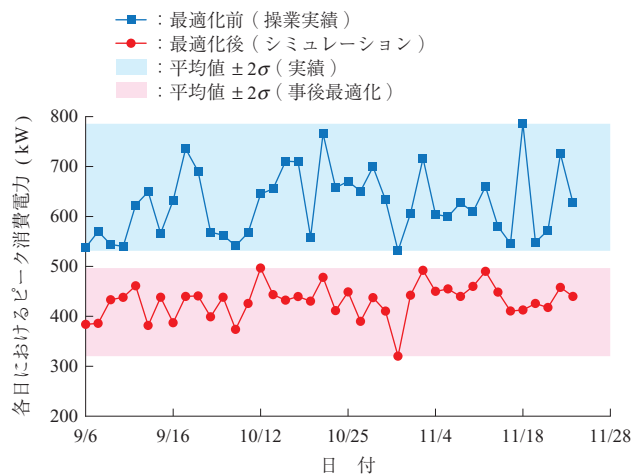
真空熱処理炉稼働中の炉内温度と消費電力推移の概形

取り出しはできないため、変更が利かないという意味で炉の運転スケジュールは、生産・エネルギーの両面において非常に重要な位置を占める。複数のバッチ式真空熱処理炉を有する工場やラインにおいて、ピーク電力を抑制するには、各炉のピークの重なりを回避した運転スケジュールを組む必要がある。前述したとおり、人手により、生産量を維持したままそのようなスケジュールを組むのは容易ではなかったが、本技術を用いれば、これを短時間で、かつ自動的に得ることができる。

現在、開発したアルゴリズムを基に、IHI 相馬第二工場（福島県）の熱処理炉（8 台）などを対象にシミュレーションや実炉運転試験を行い、ピークシフト効果の検証や本技術を実運用するうえでの課題抽出を進めている。最終的には、工場における ERP（生産管理システム）や MES（製造実行システム）、センサー、また、IHI グループがすでに提供・展開しているリモートメンテナンス共通プラットフォーム「ILIPS」などと連携したシステムとして本技術を提供していく計画である。

お客さま工場のエネルギー最適化のために

本技術によって、真空熱処理炉など、電力消費の大きい生産設備を多く設置するお客さま工場のエネルギー最適化に貢献できると考えている。前述したように、ピークシフトを実現するためには生産とエネルギーの両方を考慮したスケジューリングが必要であり、従来はピーク電力を抑制しようとする、生産へ



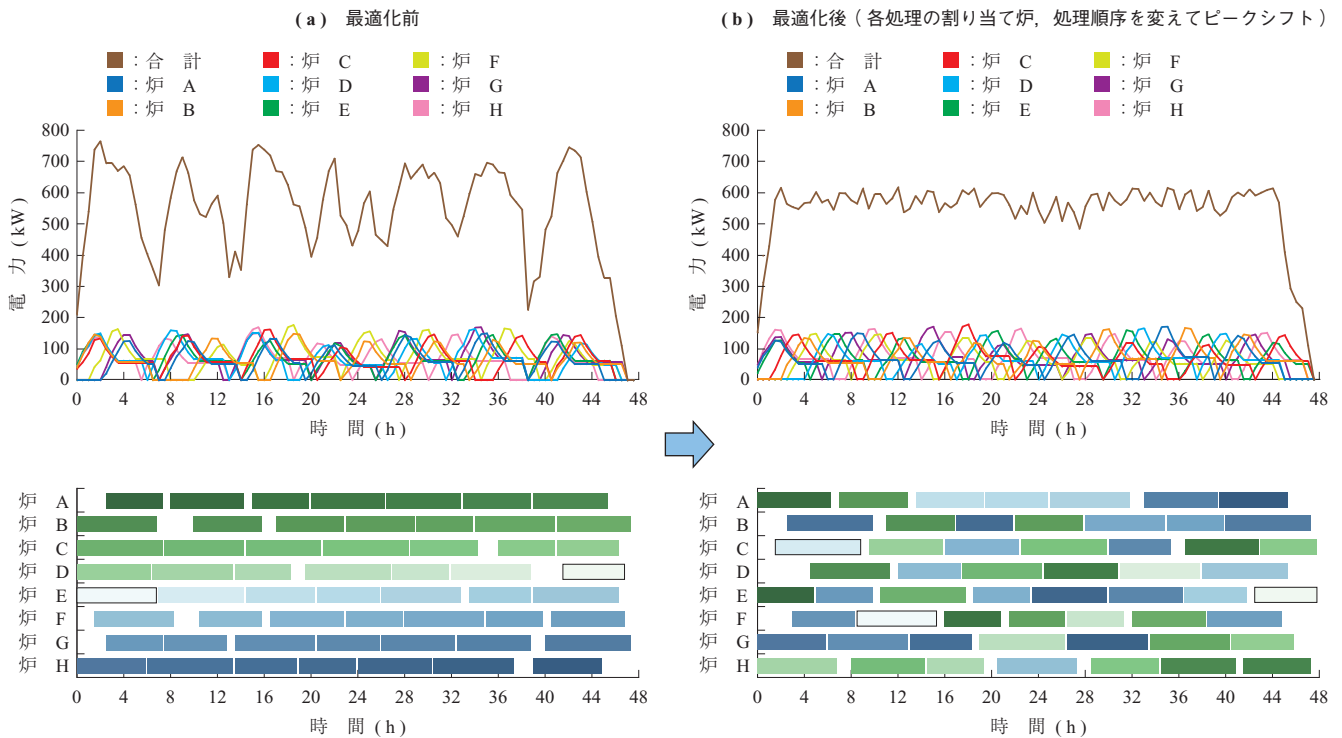
シミュレーションによるピークシフト効果検証

の影響が大きかった。これに対して、本技術を導入することで、生産量を維持しつつピーク電力抑制が可能となり、生産量を維持したままの契約電力の引き下げや、それによる基本料金の低減が期待できる。もしくは、契約電力の増加なしに生産規模を拡大させる、といったことも考えられる。

自動スケジューリングを支える「数理最適化」

この自動スケジューリングを支えるのは「数理最適化」、特にそのなかでも「組合せ最適化」とよばれる技術である。数理最適化とは、さまざまな制約を満足させつつ、最適な「解」（特に組合せ最適化の場合「組合せ」）を、計算機を使って求めるアルゴリズム技術である。なお、本技術は、スケジューリングのみならず、生産計画の最適化や設備の配置、人に対する作業の割り当ての最適化など、工場の至るところで応用できる。

ただし、数理最適化はどんな問題でも簡単に解決できる、という銀の弾丸のような技術ではなく、「何を最適化するか」を明確に定義し、問題の構造や性質を利用したアルゴリズム設計を行うことで初めて実用的な技術となる。例えばアルゴリズム設計に関して、ピーク電力をなるべく抑えた生産設備群の運転スケジュールを求める問題は、相当の難問であり、真に最適な解を求めようとする、途方もなく長い計算時間を要する。しかし、実用上、真に最適なスケジュールは必ずしも必要なく、短時間で「そこそこ」良いスケジュールが得られることの方が重要である。また、



生産設備群の自動スケジューリングによる電力ピークシフトの概念図

スケジューリングにおいて考慮すべき制約条件の種類や数は現場によって異なるため、高い拡張性も求められる。このほか、アルゴリズムが出力するスケジューリングの案も一つではなく、ある程度良い案が複数あった方が意思決定の材料として有用である。

IHI が開発したアルゴリズムは、このような検討に基づいており、例えば、20 台以上の生産設備の 1 週間のスケジュールという大規模なケースであっても、ピーク電力を大きく抑えた複数のスケジュール案を数秒～数分で得ることができる。また、複雑な制約条件の追加にも対応可能であり、現場に応じたカスタマイズも容易にできるようになっている。一連の検討においては、例えば現場の運用ルールに起因する制約条件など、IHI の「ものづくり」の知見が広く活かされている。

IHI では、上述のように、製品の最適な運転や制御を実現する数理最適化技術についても活発な研究開発を行っており、製品・サービスの付加価値向上のカギとなる技術として、今後さらなる高度化を進めていく予定である。

生産・エネルギー両方を最適化する「スマート工場」の実現に向けて

工場におけるエネルギーマネジメント技術として、電力需要の源となる生産部分に着目し、生産設備群の自動スケジューリングのみにより電力ピークシフトを実現する技術を開発した。本技術は単独でも大きな効果が得られるが、例えば蓄電池や太陽光発電システムを導入し、最適に制御することでさらなるピークシフト効果が期待でき、そのような研究も現在進めている。

近年、エネルギーマネジメントに限らず、ICT（情報通信技術）を活用した工場の生産効率向上にも注目が集まっている。本記事で挙げた電力ピークシフトに限らず、エネルギー・生産双方において操業が最適化されたスマート工場の実現に向けて、今後研究開発・実証を加速していく。

問い合わせ先

株式会社 IHI

技術開発本部 制御技術開発部

電話（045）759 - 2865

<https://www.ihi.co.jp/>