

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)	氏名	小比賀 理延
学位授与の要件	学位規則第4条第1・2項該当		
<p>論 文 題 目</p> <p>プロセス産業における省エネルギー化のための実用的な高度制御に関する研究 (A Study on Practical Advanced Control Technologies for Energy Conservation in Industrial Processes)</p>			
<p>論文審査担当者</p> <p>主 査 教 授 山本 透 印</p> <p>審査委員 教 授 西崎 一郎 印</p> <p>審査委員 教 授 辻 敏夫 印</p>			
<p>〔論文審査の要旨〕</p> <p>国内装置産業においては、改正省エネ法やISO50001においても明示されているように、地球環境保全の観点から省エネルギー化が強く推進されている。とりわけ、石油精製や石油化学における産業界では、エコカーの普及や脱石油製品の社会背景から、石油製品自体の需要が縮小傾向にある。国の施行するエネルギー供給構造高度化法では、これらの社会背景に対応すべく、企業の設備統廃合を促す側面もある。しかしながら、企業における収益性確保の観点においては、設備統廃合のみでは不十分であり、それらの統廃合された設備をどのように有効活用できるかが焦点となっている。特に近年では、上述の通り需要の縮小から、最大負荷一定生産の運転方針から市況対応への運転方針に転換が図られている。一方、市況運転においては、生産量を増やすことによる収益確保ではなく、より一層のコスト削減による収益確保が主体となる。石油・石油化学におけるコストは、大部分が蒸気や化石燃料である。これらのエネルギーコストは1工場だけでも、大規模な工場においては、年間数百億円を超える規模となり、その削減は地球環境保護の観点のみならず企業経営においても重要であることがわかる。</p> <p>本研究においては、上述の現状に鑑み装置産業における省エネルギーを達成するための、制御技術について考察している。</p> <p>第1章では、上記の研究背景を説明している。具体的には、装置産業のおかれている現状、及びそれらに対する制御の役割、重要性について述べている。省エネルギー化のための方策は、設備自体の高効率化によるハードウェアの側面と、制御や運転方法の高度化によるソフトウェアの側面の2つに大別できる。前者の方法は、既存設備との置換や改造を前提とするもので、ROI (Return on Investment) の効果も薄い。後者の方法は、既存設備の改造や置換が不要なため費用対効果が高く、今後の装置産業の省エネルギー化においては、幅広く普及できる後者の技術拡充が必要であることも記述し、本論文の視点が、社会的にも大きな意義をもつことを説明している。</p>			

第2章では、環境試験機に対する省エネルギー化のための制御設計について考察する。環境試験機は、化学品や自動車、プリンタ、精密機器等の環境変動性能を検証するもので、大型なものは上記の通り自動車を入れる程度のものである。試験機内部（槽内）では、加熱器・冷凍器・加湿器を操作することで所望の温度と湿度を作り出すことができる。従来の市販されている普及品においては、3つある操作端（加湿，加熱，冷凍）に対して、制御量が2つ（温度，湿度）であったため、制御に冗長性が生まれることによるエネルギーロスが生じていた。これを解消し省エネルギー化を実現すると同時に、制御性能も改善するための新しい省エネルギー型多変数制御系を提案し、実用例を示しその有効性を検証している。

第3章では、多重効用缶濃縮設備に対する省エネルギー化の考え方、及びその制御系設計について述べている。多重効用缶は、複数の効用缶が直列に接続されており、それらの缶に別の缶からのペーパーが熱源となり濃縮を順次進める。濃縮の進行度合いは、各缶におけるヒートバランス/マテリアルバランスの均衡度合に加えて、各缶での滞留時間によってほぼ決定される。ある缶の滞留時間安定化は、他方の滞留時間の変動を助長する干渉系であることから、プラントワイドな制御設計が必要となる。この解決策として、各制御ループの制御の強度を最終製品濃度が安定化するように、デジタルツインを用いて最適化する新しい手法を提案している。さらに、実運用を通してその有効性について考察している。

第4章では、産業界で最もエネルギーを消費する装置の一つである加熱炉に対する省エネルギー化制御について考察している。加熱炉制御の省エネルギー化に際しては、排ガス熱損失を最小化することが重要であり、これは同時にNO_xやSO_xといった環境負荷にも関連する。これを実現するためには、排ガス残酸素濃度を極力低減することが重要であるが、下げすぎると不完全燃焼からCOが発生し、場合によって黒煙を生じ、爆発等の危険性もある。したがって、高安定な酸素濃度制御系を実現し、不完全燃焼が生じない程度に空気比を低減することが重要となる。酸素濃度安定化のためには、酸素の分析・検出遅れを短縮することが重要であるため、この機能を物理モデルと統計的手法の組み合わせによって実現することで推定性能と安全性の両方を改善する方法を新しく提案している。これに加えて、COT (Coil Outlet Temperature) 制御の分散低減による省エネルギー化についても、実用化の過程において新たな知見が得られたため、これについても言及している。上記の酸素濃度制御とCOT制御による省エネルギー化について述べると共に、実用例を通してその有用性を検証している。

第5章では、本研究を総括するとともに、その社会的意義、ならびに今後の展望についてまとめている。

このように、本論文では、省エネルギー化という視点からの実用性の高い制御手法を新たに提案し、実運用を通じた様々な結果から、その有用性を評価している。省エネルギー化に着目した制御系設計法は、学界のみならず産業界において特に注目されており、今後のさらなる展開が大きく期待される場所である。

以上、審査の結果、本論文の著者は博士（工学）の学位を授与される十分な資格があるものと認められる。

備考：審査の要旨は、1,500字以内とする。