

(論文内容の要旨)

近年、環境問題と資源問題の両方の観点から、エネルギーの効率的な利用に対する関心が高まっている。これらの問題への対策の一つとして、エンジン、タービン、燃料電池などの発電装置をエネルギーの需要地の近くに設置し、発電した電力とともに、発電にともなって発生する熱エネルギーも有効に利用するシステムであるコージェネレーションシステム (CoGeneration System: CGS) が注目されており、その優れた設計や効率的な運用は実際上きわめて重要な課題とされている。本論文は、CGSの設計と運用に関するいくつかの問題に対して、数理計画法を適用した手法を提案するとともに、数値実験によって提案した方法の妥当性を示したものであり、全5章から成っている。

第1章は序論であり、本論文の研究課題であるエネルギー問題の社会的背景を簡潔に説明するとともに、CGSにおける基本的な概念やCGSを設計するための一般的な考え方、および大規模CGSと家庭用CGSの運用を考える際の留意点を述べ、さらに論文全体の構成を説明している。

第2章ではCGS設計問題を1段目が原動機、2段目が排熱利用機器という2段階でエネルギーを生産する生産設備の最適配置問題と捉え、数理計画法によるアプローチを提案している。ある配置の評価値は、配置から直ちに導かれる配置コストと、時間ごとに変化する電力需要、冷房需要、暖房需要、給湯需要などに対応したCGSの運用コストの和となることから、CGS最適設計問題は、最適配置問題と最適運用問題が複合した問題となる。本章では、特にCGS設計問題の部分問題である運用問題の定式化に工夫を施すことにより、CGS設計問題を混合整数計画問題として扱う手法を提案し、数値実験によりその有効性を検証している。

第3章ではCGSの一種である家庭用燃料電池の運転計画問題を考察している。家庭のエネルギー需要は1分以下の短い間隔で変動するが、家庭用燃料電池は、任意の時間において発電出力の上限、すなわち計画発電出力を設定した上で、電力需要に追従する運転が可能である。一般に計画発電出力は、ある幅を持った時間ステップに対して、各時間ステップ内では計画発電出力が一定となるように定める。しかし、家庭のエネルギー需要の予測値を短い時間間隔で得ることは困難であり、また、時間ステップの数が多いと運転計画を立てるための計算負荷は膨大になるので、時間ステップは1時間程度にとられるのが普通である。一方、電力需要変動は1分以下の間隔で起こり、計画発電出力が発電出力の上限であることから、計画発電出力を積算した電力量と実際の発電量の間には無視できない差異が生じる。この問題を解決するため、本章では、時間ステップ毎に電力需要の確率分布を計算し、計算した確率分布から短い時間間隔でのエネルギー需要の変動を考慮するための制約条件を求め、それを元の運転計画問題に加えて解く手法を提案している。さらに、計算実験により、提案した方法により、単純な電力需要追従運転や従来の大型CGSの運転最適化手法を適用した運転に比べて、エネルギー消費量が削減できることを確認している。

氏 名	田中 洋一
-----	-------

第4章では、不確実なエネルギー需要のもとでの運転計画策定を取り扱っている。現状のCGSの運用計画においては、電力需要や熱需要などのエネルギー需要は確定値と見なし、確定的なエネルギー需要に対する最適な運転計画を策定しているが、現実にはエネルギー需要は不確定であり、運転計画策定時に前提としたエネルギー需要が運転時に出現するとは限らない。エネルギー需要がCGSから発生する電力と排熱を超える場合、エネルギー需要の不足分は買電とバックアップボイラにより賄われるが、本章では、このコストを制約条件が満たされない場合の補償コストと考えるとともに、CGSの運転計画で実用上問題となる契約受電量による買電量の制限については、買電量が契約受電量以下となる確率を一定以上とする機会制約条件として与えることにより、CGSの運転計画問題をリコースと機会制約条件の両方を含む問題として扱うことを提案している。数値実験により、本章で提案した手法が、電力需要、給湯需要の平均値に対して運転計画を策定する従来手法に比べてランニングコストを削減でき、さらに契約電力が守られる確率レベルを変化させたとき、運転計画と契約電力が連動して最適化されていることを確認している。

第5章は結論であり、本論文のまとめと今後の展望を述べている。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、コージェネレーションシステム（CGS）の設計と運用に関連するいくつかの問題に対して、数理計画法を適用した手法を提案するとともに、現実の具体的な問題に提案手法を適用することによりそれらの有効性を確かめたものであり、得られた成果は以下のとおりである。

1. CGS設計問題を1段目が原動機、2段目が排熱利用機器という2段階でエネルギーを生産する生産設備の最適配置問題として定式化した。この問題は最適配置問題と最適運用問題が複合した難しい問題となるが、特にCGS設計問題の部分問題である運用問題の定式化手法に工夫を施すことにより、CGS設計問題を通常の混合整数計画問題として扱う手法を提案し、数値実験によりその有効性を検証した。

2. CGS の一種である家庭用燃料電池の運転計画問題においては、家庭のエネルギー需要が短時間で変動するという特性と、家庭用燃料電池の計画発電出力は比較的長い時間ステップで設定されることから、発電量に無視できない差異が生じる。これを解消するため、電力需要の確率分布に基づいて、短時間でのエネルギー需要の変動に関する制約条件を導き、元の運転計画問題に加えて解く手法を提案した。さらに、提案した方法を用いて運転計画を定めることにより、単純な電力需要追従運転や大型CGSの運転最適化手法を適用した場合に比べて、エネルギー消費量が削減できることを計算実験で確認した。

3. 電力需要、熱需要などが不確実な状況のもとでの運転計画策定を確率計画法の考え方をを用いて取り扱った。特に、エネルギー需要がCGSから発生する電力と排熱を超える場合に発生するコストを制約条件が満たされない場合の補償コストと考えるとともに、買電量が契約受電量以下となる確率を一定以上とする機会制約条件として与えることにより、CGSの運転計画問題をリコースと機会制約条件の両方を含む確率計画問題として扱う新しい定式化を提案した。さらに、提案した手法を用いることにより、従来手法に比べて望ましい運転計画が策定できることを数値実験で確認した。

以上のように、本論文は、CGSの設計と運用に関する新しい数理最適化手法を提案し、その実用性を確認したものであり、得られた成果は学術上および応用上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成21年2月23日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。