

氏名	ワン 王	フー 福	リン 林
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)		
学位記番号	工 博 第 2410 号		
学位授与の日付	平成 16 年 7 月 23 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
研究科・専攻	工学研究科環境地球工学専攻		
学位論文題目	Design Scheme Decision-making and On-going Commissioning for HVAC Systems (空調システムの設計案選択法と継続的性能検証に関する研究)		
論文調査委員	(主 査) 教授 吉田 治典 教授 加藤 直樹 助教授 上谷 芳昭		

論 文 内 容 の 要 旨

本研究の目的は、設計段階、運用段階における空調システムの特性を解明し、省エネルギー的、かつ快適な室内環境を実現する空調システムの設計、運用手法を提案し、それが現実のシステムに適用できることを示すことにある。具体的には、第 1 部では設計段階において、快適な室内環境を達成し、かつ省エネルギー的な空調システムを選定する手法を、第 2 部では運用段階において、空調システムの各コンポーネントを性能検証するための適切なシミュレーションモデルの作成とそれを利用した不具合検知・診断手法を示す。

第 1 部は第 1 章から第 3 章で構成されており、設計段階における最適な空調システムの選択問題を、ライフサイクルコストの推定値を最小にするという最適化問題として扱う手法の研究成果について述べている。現在、設計時に多数の空調システムの中から最も省エネルギー的、かつ快適な室内環境を達成する空調システムを選定するための手法は多々提案されているが、その多くは定格値を用いた分析である。しかし、実空調システムはほとんどの時間が部分負荷で運転されているため、部分負荷効率を考慮したライフサイクルコストの推定手法を提案し、その推定値を用いた最適システム選択手法を示した。

まず第 1 章では、設計過程を企画段階、計画段階、基本設計段階、実施設計段階の 4 段階に分け、各段階に異なるシミュレーション手法を適用し、そこから得られるデータを基にインシヤルコスト、ランニングコストを推定し、ライフサイクルコストを計算する手法を構成する。つまり、各段階では、ライフサイクルコストに影響を及ぼす因子に対する感度解析を行って重要な影響因子を決定し、これらの重要影響因子を入力として、ライフサイクルコストを出力するモデルの作成手法を示した。

第 2 章では、企画段階におけるライフサイクルコストの推定手法を述べる。この段階では空調システムに関して得られる情報は少ないが、感度解析によりライフサイクルコストは建物の延床面積や営業時間等と線形関係があることを見出した。そこで、線形ニューラルネットワークモデル ADLINE (Adaptive Linear Element) を用いて、これらの要因からライフサイクルコストを推定する方法を示した。

第 3 章では、計画段階、基本設計段階、実施設計段階におけるライフサイクルコストの推定手法を提案する。これらの段階では、実際の空調プロジェクトで得られたデータを基にして、空調熱負荷、機器容量、機器台数などがライフサイクルコストに与える影響を経験式として見出し、その関係式を用いてライフサイクルコストを推定する方法を示した。

第 2 部は第 4 章から第 7 章で構成され、運用段階において、空調システムの運転を監視し、不具合を検知・診断する継続的な性能検証手法の研究成果について述べる。運用段階における継続的な性能検証(コミッションング)は、省エネルギー性や快適性を維持する手法として重要視され始めており、実用的な手法の開発が求められている。

第 4 章では正常運転比較法について説明する。正常運転データとは、設計性能を反映するモデルを用いたシステムシミュレーションによって算出したデータ、または正常運転時に得たデータをいう。本章では、正常データと実際の運転データと

比較して、実システムに不具合があるかどうかを判定したり、診断したりする方法を示した。

第5章では、給気ファンサブシステムのエネルギー消費量を算出するモデルを用いた性能検証手法を示す。現在ファンのモデルはファンのみが消費するエネルギー量を算出するものしか提案されていない。しかし、この値は実システムでの測定が困難であり、このモデルを性能検証業務に用いることは現実的ではない。そこで、給気ファン、ファンベルト、モータ、インバータの効率を考慮して、ファンサブシステム全体のエネルギー消費量を算出するモデルを作成し、このモデルによってファンの性能を検証する手法を開発した。そしてその実システムに意図的に不具合を与えた際の運転データを用いて、不具合が適切に検知できることを示した。

第6章では、実VAV空調システムを用いて行った継続的な性能検証の実験結果について述べる。実システムに、給気ファンの効率低下、温度センサーの故障、外気冷房制御ダンパの固定、冷水バルブの固定という4種類の不具合を意図的に与え、不具合運転時のデータと正常運転時のデータを比較し、不具合の有無が判断できることを示した。

第7章では、空調機フィルターの圧力損失を推定するモデルを提案し、このモデルにより継続的な性能検証を行う手法を提案する。このモデルは空調機内の種々の状態量、または室内機ファンの消費電力を入力として、フィルターの抵抗を推定するモデルである。実システムにおいて収集したマルチ蒸発器型ガスヒートポンプの運転データを用いて、このモデルの精度を検証し、性能検証に利用できることを示した。

第8章では本論文の結論を要約して述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、設計段階、運用段階における空調システムの特性を解明し、省エネルギー的かつ快適な室内環境を実現する空調システムの設計や運用手法に関する研究成果をとりまとめたものであり、得られた主な成果は以下のとおりである。

(1)設計段階において、快適な室内環境を達成し、かつ省エネルギー的な最適空調システムをライフサイクルコストを指標にして選定する手法を提案し、設計案の選定を容易にする手法を開発した。設計段階を4段階に分け、企画段階においてはADLINEニューラルネットワークモデルを用いたライフサイクルコスト推定手法を、他の段階では実空調システムにより得られる推定式を用いる手法を開発した。

(2)正常運転比較法を用いて、省エネルギー的かつ快適な室内環境を維持するための空調システムの継続的性能検証手法を分析し、シミュレーションで、あるいは正常運転時に得られた正常データと実際の運転データとを比較し、その差が大きければ実システムに不具合があると判定する方法を示し、それが実システムで有効に利用できることを確認した。

(3)ファンサブシステムの総エネルギー消費量推定モデルを作成し、このモデルを用いた性能検証手法を開発し、これによってファンサブシステムの不具合の有無が簡易に判断できることを示した。

(4)空調機フィルターの目詰まりで生ずる圧力損失を推定するモデルを作成し、これを用いたフィルターの継続的性能検証手法を提案し、圧力センサーがない場合でもフィルターの目詰まりレベルを検証できることを示した。

以上、要するに、本論文は、空調システムの設計段階における設計案選定及び運用段階における継続的性能検証に関して、シミュレーション、実験、実証試験などによる幅広い検討を行い、その結果を、設計ツール、設計法、省エネルギー的かつ快適な室内環境の維持・検証手法としてまとめると共に、その成果を実際の空調システムに適用して実用性を確認したものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成16年6月15日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。