

学位論文題名

空調・衛生設備の保全に関する研究

学位論文内容の要旨

最近、設備依存型の建物が増加し、設備が故障したときの影響の大きさが懸念されている。加えて、建物運用時のコストが建物のライフサイクルコストの大きな割合を占め、地球温暖化抑制のために資源の有効利用や製品の長寿命化が強く要請されている。また、経営的な側面では、機器の保全コストが不動産の証券化やPFIでは重要視されている。このような背景から、空調・衛生設備保全の合理化が急務となっている。

設備の信頼性は、故障しない性質を表す耐久性(狭義の信頼性)と、故障する場合にいかに容易に修理するかを表す保全性から主に構成される。電動機などの稼働部を持つものが多い空調・衛生設備機器は、修理を繰り返しながら使用されるので保全性が特に重要である。しかしながら、故障などの保全事象を信頼性工学等の手法を適用して定量的に評価することに関しては、これまでほとんど議論されず、空調・衛生設備機器の保全の多くは、製造あるいは販売元から提示される保全資料に沿って行われてきた。保全資料には機器の部位・部品ごとに点検・調整・洗浄などの整備内容が示され、その周期は暦年数や運転時間などで示される。しかしその保全周期の設定等の根拠が、信頼性工学等の手法によって定量的に説明されているものは極めて少ないのが現状である。

本研究は、このような状況を改善するために、空調・衛生設備機器の保全に信頼性工学を適用するための具体的方法を提示しようと試みたものである。実際に使用されている設備機器の約10年間の故障等の保全履歴のフィールドデータを整理し、信頼性工学の手法を用いて解析し、ワイブル分布の形状パラメータや平均故障間隔等を算出した。これらの定量的特性値を信頼性の尺度として提示し、予防保全・事後保全という保全方策の選択や保全周期の見直しに反映させようとするものである。そのために、従来の保全を見直し、「故障」などの用語を信頼性工学の立場から再定義するとともに、フィールドデータを信頼性工学の手法で解析可能なデータに層別すること、動作状態図の併用の重要性、初期故障期間の推定方法、などの新たな考え方を導入した。

本論文は、9章より構成される。

第1章「序論」では、まず、建築設備の信頼性の重要性を指摘した。また、製造あるいは販売元から提示される保全資料に基づいて行われている保全の現状について述べ、改善すべき点を明らかにした。さらに本研究で対象とする空調・衛生設備の保全に信頼性工学の手法を適用する際の重要用語「アイテム」・「故障」・「保全」などについて考察・整理し、「機能故障」、「性能故障」という新たな概念を導入し、本研究では「機能故障」を対象とすることを述べた。次いで、現状の各種保全支援システムと保全との関係を考察し、保全を合理化する上での本研究の課題を明らかにした。

第2章「既往の研究と本研究の目的」では、空調・衛生設備機器の保全に関する既往の研究を整理し、課題を明らかにするとともに、本研究の目的を述べた。

第3章「フィールドデータの収集と解析方法」では、本研究で解析の対象とした建物と設備の概要、保全記録簿に記録された故障等の保全履歴に関するフィールドデータの概要、これらの紙面データの電子化、について説明し、次いで空調・衛生設備のフィールドデータを層別して信頼性工学の手法で解析可能にデータ化する方法、累積ハザード解析手法、指数分布を仮定した解析の手法を整理した。また今後フィールドデータをコンピュータ支援施設管理システム等に記録させる際に含めるべき保全内容について論じた。

第4章「雑排水ポンプシステムの信頼性解析」では、まず、雑排水ポンプシステムを構成する要素を電流計・リレー・槽外管・圧力計・ケーブル・電極・吐出し管・ポンプの8要素に層別し、各要素について故障の発生状況とその特徴を整理した。次いで、ワイブル型累積ハザード解析を行い故障パターンと平均故障間隔を明らかにし、その結果、時間計画保全の対象となる要素がないことを確認した。

第5章「吸収式冷凍機の信頼性解析」では、吸収式冷凍機（常用出力 1400 kW）とその周辺機器を取り上げ、蒸発器本体・再生器本体・再生器蒸気弁・凝縮器スクリーンパッキン・溶液ポンプ・抽気ポンプ・マノメータ・機外蒸気配管・制御などの22要素に層別し、故障が記録された14要素の故障発生状況とその特徴を整理し、累積ハザード解析などを用いた信頼性解析を行った。その結果、再生器蒸気弁など6要素が設計や選定機器の性能、施工・保全方法に関わる初期故障パターンを示すことを明らかにした。

第6章「炉筒煙管ボイラーの信頼性解析」では、炉筒煙管ボイラー（常用出力 5000 kg/h）の信頼性解析を行った。まず、燃焼制御装置・押込みファン・ガス圧力計・エアダンパー給水ポンプ・ブルドン管・給水管・給水メータ・水面計・水位検出器・水処理装置・水処理装置電磁弁の19要素に層別し、故障の発生状況とその特徴を整理し、累積ハザード解析などを行った。燃焼系の給気ファンが摩耗故障パターンを示すことを明らかにし、時間計画保全の可能性について論じた。

第7章「冷却塔・冷却水ポンプの信頼性解析」では、冷却塔と冷却水ポンプを22要素に層別し、上部水槽・下部水槽・ベアリング・Vベルト・プーリなどの故障履歴のある13要素に対して、故障発生状況について整理するとともに、指数分布を仮定した解析を行い、各要素の故障率を明らかにした。

第8章「信頼性解析結果の保全への適用」では、5～7章で信頼性解析した機器あるいはサブシステムから重大故障要素を抽出し、それぞれの信頼性を評価し、信頼性を強化すべき要素を明らかにするとともに、それらを統合した吸収式冷凍機システムの信頼度を算出した。さらに、故障パターン等に関する解析結果から設計段階へのフィードバック、保全周期の推定などの保全の合理化のための利用方法を論じた。

第9章では、本論文を総括し、今後の課題を明らかにした。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 窪 田 英 樹
副 査 教 授 横 山 真 太 郎
副 査 教 授 繪 内 正 道
副 査 校 長 堀 籠 教 夫 (広島商船高等専門学校)
副 査 助 教 授 濱 田 靖 弘

学 位 論 文 題 名

空調・衛生設備の保全に関する研究

近年、設備依存型の建物が増加し、設備が故障したときの影響の大きさが懸念されている。設備の保全コストも建物のライフサイクルコストにおいて大きな割合を占め、また、地球温暖化抑制の観点からは資源の有効利用や製品の長寿命化、経営的な側面（不動産の証券化や PFI）では保全コストが重要視されており、設備保全の合理化が急務となっている。

本研究は、空調・衛生設備の保全に信頼性工学を適用するための具体的方法を論じたものである。実際に使用されている設備機器の約 10 年間の保全に関するフィールドデータを主な対象として、各設備の故障履歴を信頼性工学の手法を用いて解析しワイブル分布の形状パラメータや平均故障間隔等、つまり信頼性特性値を算出している。これらの特性値を尺度として、保全の方策や保全周期の合理的設定に反映させる新しい手法を提案している。そのために、「故障」などの内容を信頼性工学の立場から再検討するとともに、フィールドデータを信頼性工学の手法で解析可能なデータに整理する方法、初期故障期間の推定方法、などに新たな考え方を導入している。

本論文は、9 章より構成される。

第 1 章では、まず、建築設備の信頼性の重要性を指摘している。また、保全が製造元などから提示される保全資料に基づいて行われている現状について述べ、改善すべき点を明らかにしている。さらに本研究における重要用語「アイテム」・「故障」・「保全」などについて考察・整理し、「機能故障」、「性能故障」という新たな概念を導入し、本研究では「機能故障」を主な対象とすることを述べている。次いで、現状の各種保全支援システムと保全との関係を考察し、本研究の位置づけを明確にしている。

第 2 章では、空調・衛生設備機器の保全に関する既往の研究を整理し、課題を明らかにするとともに、本研究の目的を述べている。

第 3 章では、本研究で解析の対象とした建物と設備と保全記録簿に記録された故障等の保全履歴に関するフィールドデータの概要について説明し、これらの紙面データ

の電子化への工夫を述べている。また、累積ハザード解析法などの手法を整理すると共に、フィールドデータに関する解析結果を保全に結びつけるためには各設備のデータを層別する必要のあること、今後フィールドデータをコンピュータ支援施設管理システム等に記録させる際に含めるべき保全内容について論じている。

第4章では、まず、雑排水ポンプシステムを対象として、構成要素を電流計・リレー・槽外管・圧力計・ケーブル・電極・吐出し管・ポンプの8要素に層別し、各要素について故障の発生状況とその特徴を整理している。次いで、ワイブル型累積ハザード解析を行い故障パターンと平均故障間隔を明らかにし、その結果、時間計画保全の対象となる要素がないことを確認している。

第5章では、吸収式冷凍機とその周辺機器を取り上げ、蒸発器本体・再生器本体・再生器蒸気弁・凝縮器スクリーンパッキン・溶液ポンプ・抽気ポンプ・マノメータ・機外蒸気配管・制御などの22要素に層別し、故障が記録された14要素の故障発生状況とその特徴を整理し、累積ハザード解析などを用いた信頼性解析を行っている。その結果、再生器蒸気弁など6要素が設計や施工・保全方法に関わる初期故障パターンを示すことを明らかにしている。

第6章では、炉筒煙管ボイラーに関して、まず構成要素を燃焼制御装置・押込みファン・ガス圧力計・給水ポンプ・給水メータ・水処理装置電磁弁などの19要素に層別し、故障の発生状況とその特徴を整理し、累積ハザード解析などを行っている。燃焼系の押込みファンが摩耗故障パターンを示すことを明らかにし、時間計画保全(予防保全)の可能性について論じている。

第7章では、冷却塔と冷却水ポンプ系に着目し、22要素に層別し、上部水槽・下部水槽・ベアリング・Vベルト・プーリなどの故障履歴のある13要素に対して、故障発生状況について整理するとともに、各要素の故障率を明らかにしている。

第8章では、5～7章で信頼性解析した機器あるいはサブシステムから重大故障要素を抽出し、それぞれの信頼性を評価し、信頼性を強化すべき要素を明らかにするとともに、それらを統合した吸収式冷凍機システムの信頼度を算出している。さらに、故障パターン等に関する解析結果から設計段階へのフィードバック、保全周期の推定などの保全の合理化のための利用方法を論じている。

第9章は、本論文の総括である。

これを要するに、著者は、空調・衛生設備の保全を合理化・最適化することを目的として、保全に信頼性工学を適用するための具体的な方法を論じたものであり、建築設備工学、建築環境工学、信頼性工学に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。