

■ 研究要旨 ■

建物の運用・保全におけるエネルギー及びコストのうち、多くは空調や照明等の建物付帯設備で消費されるが、設備機器は鉄骨や鉄筋コンクリート等の建物躯体に比べて耐用年数が相対的に短く、建物のライフサイクルの中で複数回の更新が必要となるという特徴がある。

そこで本研究は、建物付帯設備のうち多額のコストとエネルギーを消費する空調設備に注目し、空調設備の保全計画において重要な要素といえる経年に伴う機器の劣化の進展や故障が発生する様子(以下、不具合発生傾向という)を定量的に評価すること、また、その情報を用いて空調設備の更新周期を最適化する方法の構築を目指した。

第1章では、空調設備に関する保全・更新・故障及び耐用年数に関して、国内の既往研究や文献を中心に調査を行い、研究を進める上で参考となる情報や知見を整理した。その結果を踏まえて、本研究を構成する主要な検討テーマの新規性・独自性を確認した。

第2章では、本研究で活用する定期点検データを基にした機器の不具合発生傾向を定量的に捉えるために、機器・システムの品質や信頼性の管理技術である信頼性工学における非修理系と修理系の理論を整理した。本研究の骨子となる修理系の理論モデルであるワイブルプロセスについて詳述すると共に、具体的なデータ解析方法を明らかにした。

第3章では、空調設備機器を対象とした定期点検データから経年による不具合発生傾向を捉えるために、限られた期間の定期点検結果を長期観測データとするための定期点検データ処理方法を提案した。

本研究では、長期観測体制が整備されていなくても事後から空調設備機器の不具合発生傾向を捉える手段の一つとして、空調設備機器に対する定期点検結果に着目した。限られた期間の定期点検データを基に、機器の使用開始時点を揃えて点検件数及び故障件数の推移を合成し1つの観測データとすることで、長期に及ぶ機器の故障件数の増大を観測することが可能となり、経年に伴う物理的劣化による機器の耐用寿命を評価できると考えた。



2021年度 博士論文 修理系モデル による 空調設備 保全計画 に関する研究

STUDY ON MAINTENANCE
PLANNING OF
AIR-CONDITIONING
SYSTEM USING REPIERABLE
SYSTEM MODEL

久保井 大輔

東京都立大学大学院
都市環境科学研究科 都市環境科学専攻
建築学域 (博士後期課程)
一ノ瀬研究室

現所属

東京電力ホールディングス株式会社
土木・建築統括室

そして同データを信頼性工学における修理系データとして扱い、第 2 章で述べたワイブルプロセスモデルによる信頼性解析を行い、空調設備機器の信頼性特性値である故障強度 $h(t)$ 及び期待累積故障数 $H(t)$ の推定値を求めた。

次に、ライフサイクルコスト(LCC)¹の観点を取り入れた空調設備の最適な更新周期を求める方法として、建物寿命を有限の 50 年から 75 年とし、機器の更新周期を 15 年から 30 年で変化させた場合の建物寿命毎の LCC を算出し、最も安価となる更新周期を本研究では LCC 耐用年数と定義した。LCC 耐用年数を求めるにあたり、修理費用に実際の機器の不具合発生傾向を反映するため経過年数毎の故障強度 $h(t)$ の推定値を活用して計算を行い、機器の更新周期を LCC 耐用年数で設定した場合の LCC 削減効果を明らかにした。

LCC 耐用年数の課題として建物寿命を有限としていること、また、長期間の機器の不具合発生傾向が既知であることを前提とすることが挙げられる。そこで、信頼性理論を用いて建物寿命に依らない解析的な方法により最適更新周期を求める新たな理論モデルの検討を行った。

第 4 章では、ワイブルプロセスモデルを用いて定期点検データを基にした修理系データに対する解析を行い、空調設備機器の各部位について信頼性特性値である形状パラメータ β 及び尺度パラメータ θ の推定値を明らかにした。また、修理系データはワイブルプロセスモデルへの当てはまりが良く、同モデルによる解析が有効であることを併せて示した。

続いて、機器の使用環境条件による影響評価を可能とするワイブル回帰プロセスモデルを新たに提案した。実データを基に、塩害に影響する海岸線からの距離と点検結果に関する回帰モデルの解析結果を示し、故障の発生予測と予防保全に有効であることを示した。

最後に、修理系モデルによるフィールドデータの解析から空調設備機器の不具合発生傾向に関する信頼性特性値を取得し、関係する修理費用や運転費用等のコスト情報を組み合わせることで、機器単体及び空調システムとして経済合理性の高い最適更新周期を定量的に得るための費用最適化モデルを提案した。

¹ 本研究では、空調設備の建設・更新(機器費用)及び使用期間中に要する運用・保全(運転費用・修理費用・点検費用)のコスト総計を LCC の対象範囲とする。設計や解体処分等のコストは含めない。

第5章では、本研究の各章で検討した内容を総括し、結論を述べた。

本研究では、空調設備保全計画の最適化を目指して、信頼性工学の修理系モデルによる空調設備機器の不具合発生傾向を定量的に評価する理論と解析方法を明らかにし、使用環境条件の影響を評価できる回帰モデルを提案した。併せて、空調設備の更新周期に関して、LCC 計算による最適更新周期の試算結果を示すと共に、その課題を踏まえて、機器の信頼性特性値及び関係する費用情報を用いて空調設備の最適更新周期を求める理論モデルとして費用最適化モデルを提案した。

これらの研究成果は、保全データを活用して理論的かつ定量的に空調設備の更新周期を予測する汎用的な方法として、空調設備保全計画の進歩に貢献できると考える。

以上

関連論文(査読あり)

- 1) 久保井大輔, 佐藤久明, 鶴見隆太, 河野匡志, 一ノ瀬雅之, 鈴木和幸
修理系モデルによる空調設備保全計画に関する研究,
日本建築学会環境系論文集, 第 86 巻, 第 790 号, 909-919, 2021. 12
DOI <https://doi.org/10.3130/aije.86.909>
- 2) 久保井大輔, 西谷早百合, 小池万理, 河野匡志, 一ノ瀬雅之, 鈴木和幸
ワイブルプロセスモデルによる空調設備機器の故障傾向に関する信頼性解析,
日本建築学会環境系論文集, 第 86 巻, 第 781 号, 301-310, 2021. 3
DOI <https://doi.org/10.3130/aije.86.301>