D1-1

建築設備の保全計画の最適化に関する研究
-建築設備の稼働状況と故障履歴についての分析-

A study on the optimization of building equipment's maintenance programs

-The analysis of building equipment's operational status and failure history-

○中島章 [1]　野口あかり [2]　井口雅登 [3]
西谷早百合 [4]　久保井大輔 [4]　池田耕一 [3]　蜂巣浩生 [3]
Sho NAKAJIMA[1]　Akari NOGUCHI[2]　Masato IGUCHI[3]
Sayuri NISHIYA[4]　Daisuke KUBOI[4]　Koichi IKEDA[3]　Hiroo HACHISU[3]

In this paper, to construct the maintenance program reflecting the operational status, the recorded value of the daily inspections and the failure history of the chilling unit were analyzed. In the analysis, the comparison between the failure history and outlying degree of the recorded value calculated by four different methods was carried out. As the result, the method using the Euclidean distance that integrates three compressors was most suitable to find out the failure signs.

1. はじめに

我が国における建築物ストックは年々上昇傾向にある. それに伴い建築設備に関する補修･更新への需要は増加していくと考えられるため, 合理的な保全計画を策定することが急務である. 本研究では, 保全計画の最適化を目指すため Figure 1 に示すようなフローチャートを作成した. 保全計画を最適化するために必要な項目である故障間隔と信頼度は, 建築設備の故障履歴を統計学的に分析し算出するのが一般的である[1]が, 機器ごとの稼動状況や劣化特性についても考慮する必要があると考える.

そこで本報では, 故障間隔と信頼度に空調設備の稼働状況を反映させる手法を構築するため, 1 台の冷凍機を例としての稼動状況を記録した管理日報と故障履歴を突き合せ, 故障との関係性を分析した.

次報では, 機器ごとの劣化特性を把握するため, 数多くの空調設備を対象とした点検結果を用いて確率論的な劣化に関する分析を行った.

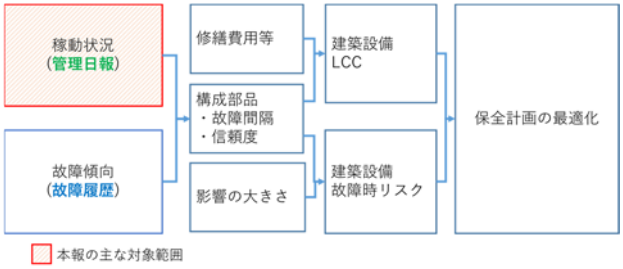

Figure 1 保全計画の最適化へのフローチャート

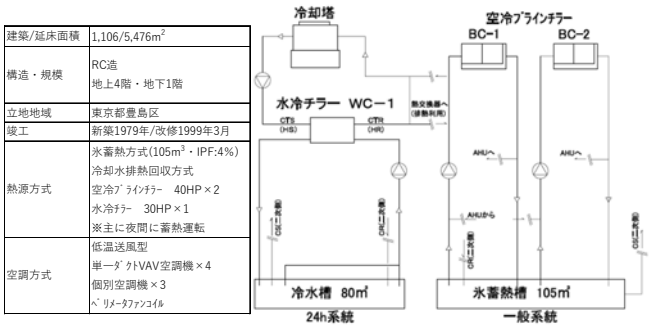

Figure 2 建物概要と設備系統図(1 次側)

2. 対象の建物及び建築設備

Figure 2 に建物概要と一次側設備系統図を示す. 建物は 1979 年の竣工であるが, 空調設備は 1999 年 3 月に全面的に更新されている. よって、主な空調設備は分析を行った時点（平成 27 年）まで, 稼働開始から 17 年経過しており, 稼働時間は法定耐用年数より 2 年程度長くなっている. 本建物の空調システムは蓄熱槽を利用した空調方式であり, 3 台の熱源機と複数の空調機で構築されている.

水冷ﾁﾗｰは, 圧縮機を 3 台(以後、圧縮機 No. 1, 2, 3) 有しており, 年間冷房を必要とする 24 h 系統の蓄熱運転を行うとともに, 排熱を利用し一般系統の暖房を行っている.

3. 対象の稼動状況と故障履歴

今回は, 水冷ﾁﾗｰが有している 3 台の圧縮機を対象として分析を行った. 稼動状況は, Table 1 に示す管理日報 (H18. 1～H27. 6) に記録された値から把握した.

故障履歴は次に示す資料を用いて抽出を行った.

①管理日報(コメント)

②改修履歴(改修時期や改修項目が記載されている)

1: 日大理工・院（前）・建築　2: 日大理工・学部・建築　3: 日大理工・教員・建築　4. 東京電力ﾎｰﾙﾃﾞｨﾝｸﾞｽ株式会社

③定期点検(年に数回)

また, 故障時期が明確に特定できないものは, 記載が確認された一番早い日付を故障日としている.

Table 2 は水冷ﾁﾗｰの故障履歴を示す.

Table 1 管理日報に記録された値及びコメント

	電圧	電流値	高圧側（冷媒）	低圧側（冷媒）	コメント（日常巡回点検）
水冷ﾁﾗｰ	○	○	○	○	○

※毎日午前10時に得られたものである

Table 2 水冷ﾁﾗｰの故障履歴

故障日	内容
H18.6.1～6.30	進相コンデンサ液漏れ
H19.10.17	冷水凍結異常
H21.7.13	不調
H21.8.5	圧力ｽｲｯﾁ不良
H22.3.2	圧力SWNo.2交換
H25.8.9～8.11	温水異常有
H26.4.2	No1.コンプレッサ-冷媒高で停止

4. 分析方法

高圧側(冷媒)の圧力値の時系列データは, Figure 3 に示すような季節による周期的な変動を示した. 次のような近似式を想定し, 最小二乗法により未定係数（a, b, c）を同定した.

$$x = a\ sin\ \left\{\left(\frac{t}{365}\times 2\pi\right)+b\right\}+c$$

近似式から求められる予測値と高圧側(冷媒)の圧力値を用いて, Table 3 に示す 4 つの手法の指標値の確率分布を求めておき, 指標値の確率値が閾値(3%)以下となった場合, 圧力値が外れ値であると判定した. それをもとに故障日と突き合せた.

Table 3 各指標による閾値による検知手法

対象	手法	指標	算出方法	閾値
圧縮機1台ごと（1変量）	A	一次元ユークリッド距離	$\sqrt{(x'-x)^2}$	確率値3%以下
	B	マハラノビス距離	$((x''-\mu)/\sigma)^2$	確率値3%以下
圧縮機全体（3変量）	C	三次元ユークリッド距離	$\sqrt{(x_1'-x_1)^2+(x_2'-x_2)^2+(x_3'-x_3)^2}$	確率値3%以下
	D	3変量マハラノビス距離	$(x''-\mu)^T\Sigma^{-1}(x''-\mu)$	確率値3%以下

x'：記録された値　x：予測値　x''：$x'-x$　μ：標本平均(x'')　σ：標本分散(x'')　Σ：分散共分散行列(x'')

外れ値の判定方法が適切であるか評価するため, 以下の評価値を計算した.

$$評価値(故障) = \frac{故障日前後30\ 日以内に圧力値に外れ値があった故障の数}{故障の総数}$$

$$評価値(外れ値) = \frac{外れ値のあった日から前後30\ 日以内に故障がある圧力値の数}{外れ値であった圧力値の数}$$

今回用いた故障履歴では, 実際に異常が発生した時点が必ずしも明確ではないため, 故障日と外れ値に関係があったとする両者の時間差を 30 日以内と定めた.

5.分析結果

Figure 3 は水冷ﾁﾗｰの圧縮機(No. 1, 2, 3)における高圧側(冷媒)圧力値の時系列データと手法 A～D で圧力値が外れ値となった日を示したものである. Table 4 に各圧縮機の近似式の未定係数を示す.

また, Table 5 に各手法による評価値の計算結果を示す. 手法 A は, 評価値(故障)が最も高く, 評価値(外れ値)は二番目に高い値を示した. 手法 C は, 評価値(外れ値)が最も高い値を示した. マハラノビス距離よりユークリッド距離の指標を用いた手法の評価値が今回の検知手法の中で比較的高い結果となった. 今後, 現時点での評価値がどこまで信頼できるデータかを検証していく必要がある.

また, 稼動状況を反映させた保全計画を行うためには故障箇所や発生原因を細かく調べていく必要があり, さらなるデータ収集により分析を深めていくことが重要である.

Table 4 未定係数

	No.1	No.2	No.3
a	0.217	0.223	0.211
b	-2.027	-2.059	-2.075
c	1.554	1.561	1.582

Table 5 評価値の計算結果

	A	B	C	D
評価値(故障)	71.4%	57.1%	42.9%	28.6%
評価値(外れ値)	41.1%	30.0%	60.0%	23.3%

6.まとめ

水冷ﾁﾗｰにおいて圧縮機の高圧側(冷媒)の圧力値が, ユークリッド距離を用いた指標値による外れ値となるときに, 故障の影響が見られる有用な知見が得られた. しかし, 高圧側(冷媒)圧力の故障への影響に関する因果関係や不調な稼動運転を管理日報から掴むことが難しい. 今後は, 別の建物での稼動状況分析, 比較を行い故障に関する共通性を掴むとともに, 故障ごとの特徴を調査していくことが必要である.

参考文献

[1]高草木,「大規模事務所建築における保全記録データに基づく空調・衛生設備の信頼性に関する研究」,空気調和・衛生工学会論文集,第 155 号,pp.1-10,2010 年 2 月
[2]井手,杉山,「異常検知と変化検知」,講談社

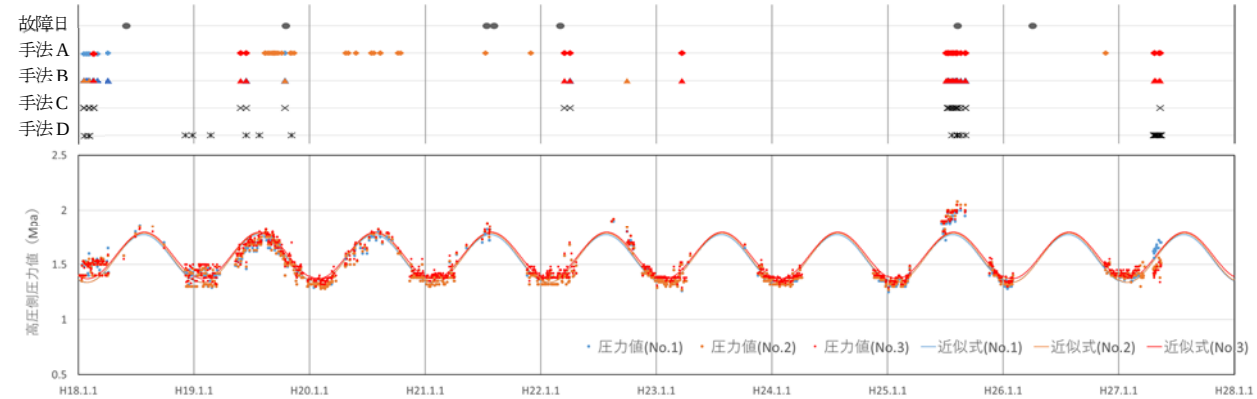

Figure 3 水冷ﾁﾗｰの圧縮機(No.1,2,3)における高圧側冷媒圧力値の時系列データ及び各手法で圧力値が外れ値となった日