

D-5

熱源機の性能低下率算出精度向上のための新たな重回帰式の検討

Consider the New Multiple Regression Equation for Improvement of the Calculation Accuracy about the Performance Degradation Rate of Heat Source Equipment

○藤本浩太¹, 井口雅登², 蜂巢浩生²

*Kota Fujimoto¹, Masato Iguchi², Hiroo Hachisu²

In this study, the authors have investigated calculation method of performance degradation rate of heat source equipment using multivariate analysis. In this paper, considering the improvement of calculation accuracy of multivariate analysis by reviewing it. The improved multivariate analysis showed the high accuracy about calculating of performance degradation rate. The degradation rates estimated from BEMS data were 7.4-8.8%.

1. はじめに

建築設備の耐用年数は建物よりも短く、また、経年とともに性能が低下していくことが一般的であり、適切な建築設備の修繕・更新にあたっては故障や経年による性能低下を予測する必要がある。本研究では、これまで重回帰式を用いた熱源機の性能低下率の算出手法について検討を行ってきた^[1]。本報では、既往研究^[2]を参考に重回帰式を見直し、算出精度の向上を試みた。

2. 分析対象

分析対象は夜間蓄熱方式の事務所建築（地上4階、地下1階）に設置された一般システムの2台のブラインチラー（以降BC-1-1、BC-1-2）である。建物概要および空調システム図を図-1に示す。BCは建物改修時の1997年に設置され、現在まで大きな運用変更は行われることなく使用されている。BCに関連するデータは設置当初からの日報記録（手書きにより平日10:00に記録）と2015年より本建物に導入されたBEMSに蓄積された1時間おきの記録があり、本研究における分析にはBEMSデータを使用した。

3. 分析方法

既報^[1]では、メーカーカタログ^[3]に記載された能力表を用い、入力電力[kW]を目的変数、冷却能力[kW]・ブライン出口温度[°C]・外気温度[°C]を説明変数として経年劣化のない新設時の稼働特性を表す重回帰式を求め、重回帰式により算出した入力電力（以降、計算値）とBEMSの電力量記録値（以降、実測値）の比から熱源機の性能低下率を試算した。しかし、ここで用いた重回帰式は一次式であったため、説明変数に対して入力電力が曲線的に変化する場合に算出値に誤差が生じる。

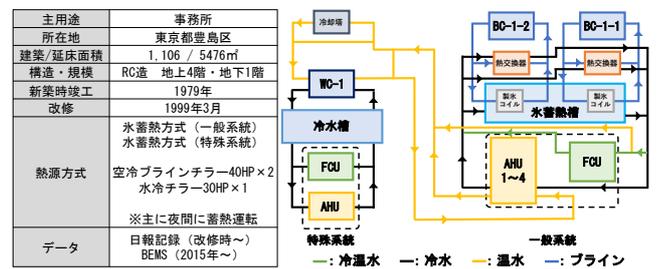


図-1 建物概要および空調システム図

そこで既往研究^[2]を参考に、説明変数の二乗項および交差項を追加した重回帰式を求め、その算出精度を検証した。重回帰式の導出に当たっては、P値によって判断する変数増減法と変数減増法を用い、説明変数の取舍選択を行った。また、ブラインチラーは出口温度が氷点下になる場合があるため、出口温度を絶対温度[K]とした場合の検討も行った。

$$E = \alpha_1 Q + \alpha_2 t + \alpha_3 t_{bo} + \alpha_4 Q^2 + \alpha_5 t^2 + \alpha_6 t_{bo}^2 + \alpha_7 Q t + \alpha_8 Q t_{bo} + \alpha_9 t t_{bo} + \alpha_{10} \dots (1)$$

E: 入力電力[kW] Q: 冷却能力[kW] t: 外気温度[°C]
t_{bo}: ブライン出口温度[°C または K]

4. 分析結果

4-1 重回帰式の導出と妥当性の確認

説明変数の取舍選択の結果、採用した説明変数を表-1、求めた重回帰式を表-2に示す。さらに、求めた重回帰式が初期性能値を表す式として妥当であるかを判定するため、既報と同様に試験成績書記載の数値を代入し、計算値と試験成績書記載の数値との誤差を算出した。算出結果を表-3に示す。試験成績書の数値と計算

1: 日大理工・修士・建築 2: 日大理工・教員・建築

値の誤差は、出口温度を摂氏温度とした変数増減法の場合 0.01~0.40kW、変数減増法の場合 0.23~0.44kW、出口温度を絶対温度とした変数増減法の場合 0.08~0.30kW、変数減増法の場合 0.31~0.53kW となり、いずれも既報で示した重回帰式の誤差 1.8kW を下回ったことより、算出精度の向上が図れたと考えられる。また、出口温度を摂氏温度とした場合、絶対温度とした場合ともに、変数増減法を用いた手法の方が誤差は小さくなった。

表-1 採用した説明変数

		Q	t	t _{bo}	Q ²	t ²	t ² _{bo}	Q・t	Q・t _{bo}	t・t _{bo}
摂氏温度 [°C]	増減法			○				○	○	
	減増法	○	○	○		○		○		
絶対温度 [K]	増減法		○				○	○		
	減増法		○				○	○	○	○

表-2 導出した重回帰式

摂氏温度 [°C]	増減法	$E = 0.27 t_{bo} + 0.004832 Q t_{bo} - 0.00176 Q t + 20.26705$
	減増法	$E = -0.14546 Q + 0.61899 t_{bo} - 0.17232 t + 0.00143 t^2 + 0.004188 Q t + 37.4011$
絶対温度 [K]	増減法	$E = 2.958929 t_{bo} - 0.00518 t_{bo}^2 + 0.004819 Q t - 401.261$
	減増法	$E = -1.11902 t + 0.000974 t_{bo}^2 + 0.002592 Q t - 0.00037 Q t_{bo} + 0.004244 t t_{bo} - 40.0332$

表-3 試験成績書記載の入力電力と計算値

	試験成績書	摂氏温度 [°C]		絶対温度 [K]		
		増減法	減増法	増減法	減増法	
		BC-1-1	昼間[kW]	34.2	33.97	34.64
	夜間[kW]	26.5	26.51	26.79	26.72	26.82
BC-1-2	昼間[kW]	34.4	34.00	34.63	34.15	34.71
	夜間[kW]	26.4	26.49	26.79	26.70	26.82

4-2 計算値と実測値の比較と性能低下率の算出

新たに求めた回帰式に BEMS データより説明変数項目を代入し、計算値と実測値の比較をするとともに性能低下率の算出を行った。最も誤差の小さかった出口温度を絶対温度として変数増減法を用いた場合の重回帰式の計算値と実測値を比較した結果を図-2 に示す。なお、既報と同様に 2016~2018 年における電力 25kW 以上・出入口温度差 3°C 以上・昼夜間運転の切り替え時 (7:00、8:00、21:00、22:00) 以外のデータを使用した。既報と比較すると、プロットの集合の傾きはわずかに緩やかになっており、既報で見られた外れ値は少なくなっている。さらに、式(2)より性能低下率を算出した結果の年ごとの平均値を表-4 に示す。2016~2018 年の性能低下率の平均値は 7.4~8.8%程度となった。

$$\eta = \left(1 - \frac{P_0}{P}\right) \times 100 \dots (2)$$

η : 性能低下率 [%] P_0 : 計算値 [kW・h/h] P : 実測値 [kW・h/h]

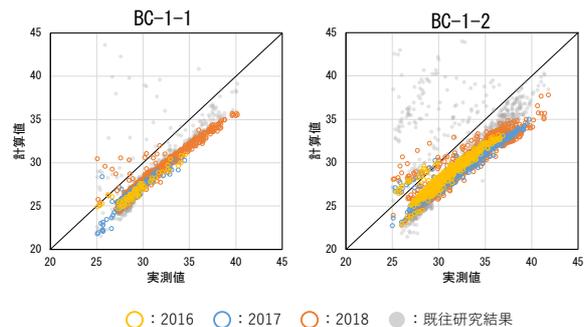


図-2 計算値と実測値の比較 (出口温度[K]: 変数増減法)

表-4 初期性能からの性能低下率の年ごとの平均値

	2016年	2017年	2018年
BC-1-1	8.73%	8.51%	7.62%
BC-1-2	7.45%	8.78%	8.53%

5. まとめ

本報では、重回帰式を用いた性能低下率の算出について、以下の結果を得た。

- 二乗項・交差項の追加および変数の取捨選択を行うことで、試験成績書の記録値と計算値の誤差は小さくなり、外れ値も少なくなる。
- 2016~2018 年の性能低下率は初期性能に対し 7.4~8.8%程度となる。

ただし、ここでの性能低下率の算出は BEMS 設置後の 2016~2018 年のみであり、熱源機の設置から BEMS が導入されるまでの性能低下については日報を分析する必要がある。しかし、日報の記録項目は BEMS よりも少ない。そこで今後は、日報記録に本報と同様の重回帰式の適用可否や欠損項目の補完が可能であるかなどの検討とともに、機械学習等の別手法による性能低下率の算出や欠損項目の補完方法についても検討を進めていきたい。

6. 参考文献

- [1] 藤本浩太:「高経年化空調機器の稼働状況の分析と熱源機の性能低下率の試算」, 空気調和・衛生工学会論文集掲載予定
- [2] 高橋 他:「電動式熱源機の長期運用実態に基づく経年変化に関する研究」, 空気調和・衛生工学会論文集, No. 286, pp.11-19, 2021.1
- [3] 三菱電機, 「冷熱ハンドブック空調機器編チリングユニット」
(https://dl.mitsubishielectric.co.jp/dl/ldg/wink/ssl/wink_dosc/m_contents/reihd/1997K_1.pdf#page=1) (2021 年 5 月 4 日)