

高発熱通信機室用空調システムの信頼度の検討
その2 装置および建物の熱容量を考慮した信頼度計算法

正会員 ○羽山 広文*
同 木下 学*
同 中尾 正喜*

信頼度、空調設備、熱容量

1. はじめに

マルチメディアサービスなど高度情報化社会の発展に伴い、情報通信ネットワークを構築する通信装置や情報処理装置などの導入が進んでいる。これらの装置は高密度実装化・高発熱化が進み、設置される機械室では床面積当たりの発熱量は増加する傾向にある。このため、空調電源の停止および空調システムの故障により、室温は短時間で上昇し、装置の誤動作や破壊をまねき大きな被害をもたらす恐れがあり、空調システムの信頼度設計が重要である。前報^{文献1)}では、空調電源を含めた空調システムを構成する機器の故障パターンを考慮し、許容温度を超過する確率(不稼働率)を求める方法について示したが、室内に設置される装置の熱容量および建物躯体の熱容量を適正に考慮していなかったため、得られた結果に誤差が多かった。そこで、本報では、空調システムの信頼度の計算精度向上を目的に、装置および建物躯体の熱容量を考慮した簡易計算法について報告する。

2. 空調システムの信頼度

通信および情報処理装置を設置した機械室の発熱密度は増加する傾向にある(図1)。空調システムが機器の故障や停電などで停止すると、室温は時間の経過とともに上昇する。空調システムの観点では機器が停止した時点で故障と見なすが、装置の動作保証を担う室温の観点では、故障により室温が許容値を逸脱した時点でシステムの故障と見なせる。したがって、空調システムの信頼度(不稼働率 U_c)は次式で表される^{文献1)}。

$$U_c = P_c \lambda_c \text{MTTR}_c \dots (1)$$

すなわち、故障による許容温度の逸脱確率(P_c)を機器の不稼働率($\lambda_c \text{MTTR}_c$)に乗ずることにより、単なる機器の故障よりも空調システムの不稼働率を小さくすることができ、設備投資の軽減が可能となる。ここでは建物、気象、発熱などの条件を考慮し、許容温度の逸脱確率を用いた計算方法について示す。

【記号】

λ : 故障率	W : 熱コンダクタンス($W/^\circ C$)
MTTR: 平均故障修理時間(h)	N : 機器の台数
H : 室内発熱量(W)	g : 外気条件の確率密度
U : 不稼働率	c : 故障パターンのインデックス
P : 許容室温の逸脱率	cs : 空調電源のインデックス
T_o : 外気条件($^\circ C$)	r : 室内を示すインデックス
Q : 熱容量($wh/^\circ C$)	A : 空調機のインデックス

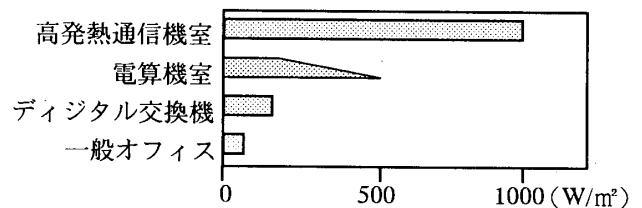


図-1 室内発熱密度の推移(推定)

3. 空調システム不稼働率の計算方法

3-1. 故障率と平均修理時間

故障パターンは(a)空調電源の故障、(b)空調機 N 台のうち i 台の同時故障に分類でき、各故障パターンにおけるシステムの故障率、平均修理時間、故障規模(室内発熱量)は図2に示す方法で求めることができる。

- a) 空調電源が故障した場合
 - ・故障率: $\lambda_c = \lambda_{cs}$
 - ・平均修理時間: $\text{MTTR}_c = \text{MTTR}_{cs}$
 - ・故障規模: $H_c = H_r$
- b) 空調機 N 台のうち i 台が同時に故障した場合
 - ・故障率: $\lambda_c(i) = \lambda_A \frac{N!}{(N-i)! i!} (\lambda_A \text{MTTR}_A)^{i-1}$
 - ・平均修理時間: $\text{MTTR}_c = \text{MTTR}_A / i$
 - ・故障規模: $H_c(i) = H_r - H_A(N-i)$

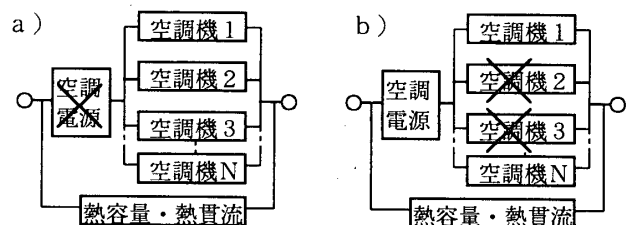


図-2 各故障パターンの故障率・平均修理時間・故障規模

Reliability analysis of airconditioning system for telecommunications equipment rooms .

Part 2 Reliability calculation method considering building and equipment thermal mass HAYAMA Hirohumi et al.

3-2. 許容室温逸脱までの時間と外気条件の関係

故障後の外気条件を一定とすると、図3に示すモデルの各点の熱平衡は以下の連立微分方程式で表される。

$$Q_1 \frac{dT_1}{dt} + W_1(T_1 - T_2) - H = 0$$

$$Q_2 \frac{dT_2}{dt} + W_1(T_2 - T_1) + W_2(T_2 - T_3) = 0 \quad \dots (2)$$

$$Q_n \frac{dT_n}{dt} + W_{n-1}(T_n - T_{n-1}) + W_n(T_n - T_0) = 0$$

$T_n(t) = y_n(t) + \Delta_n$ として T_0 、 H の定常項を消去し行列で表現すると(3)式となる。 Δ_n は $T_n(\infty)$ での値に対応しており定常項である。(3)式の一般解は(4)式で表される文献3)、4)。

$$\frac{dy}{dt} = Ay \quad \dots (3) \quad y(t) = \sum_{j=1}^n (C_j a_j e^{\beta_j t}) \quad \dots (4)$$

β は行列 A の固有値、 a は行列 A に対する固有ベクトル、 C は初期値から決定される定数である。固有値および固有ベクトルはヤコビ法⁶⁾などを用い求められる。各部の室温は指数関数の多項式の形となり、許容室温に達するまでの時間はニュートン法などにより求めることができる。なお、外気条件は標準年気象データの毎正時データから、建物の形状、日射吸収率を考慮した日平均相当外気温度を求め外気条件の確率密度関数 $g(T_0)$ の形にした。

3-3. 許容温度の超過確率分布と不稼働率

故障後室温が変化し t 時間後に許容室温を逸脱する確率は、故障がランダムに発生するものと考えたと次式で表される。文献1)

$$P_c = \int_{T_{\min}}^{T_{\max}} \left[g(T_0) \exp \left\{ \frac{-t(T_0)}{MTTR_c} \right\} \right] dT_0 \quad \dots (5)$$

したがって、システム全体の不稼働率 U は m 個の故障パターン毎の不稼働率の総和で求められる。

$$U = \sum_{c=1}^m P_c \lambda_c MTTR_c \quad \dots (6)$$

4. 計算精度の検討

上記の計算法(簡易法1)、前報文献1)の計算法(簡易法2)、精算法で求めた不稼働率を図4に示す。空調機1台の構成とし、平均修理時間をパラメータに表1の条件で計算を行った。精算法は差分法を用い、年間3時間毎(2920回)の故障発生を想定し、故障後100時間までの毎時刻の室温を求め、許容室温の逸脱確率を算出した。この結果、簡易法1は簡易法2より計算精度が向上して

いることがわかる。また、簡易法は気象データを日平均相当外気温度を利用しているにも係わらず良好な精度で空調システムの稼働率を求めることがわかった。

5. まとめ

空調システムの信頼度を建物の躯体や室内に設置される装置の熱容量を考慮し容易に求める計算法を示した。精算法と比較した結果、良好な精度で計算できることを確認した。

表1 計算条件

床面積: 216m ²	室内容積: 1296m ³
外壁面積: 456m ²	室内発熱密度: 100W/m ²
外壁の熱伝導率: 1.63w/m ² °C	室外側熱伝達率: 23.3W/m ² °C
外壁比重: 0.29w/kg	室内側熱伝達率: 9.3W/m ² °C
外壁比重量: 2200kg/m ²	日射吸収率: 0.7
外壁の厚さ: 150mm	外気条件: 標準年気象データ(新東京)
室内の熱容量: 11.6wh/m ²	温度上昇: 10°C

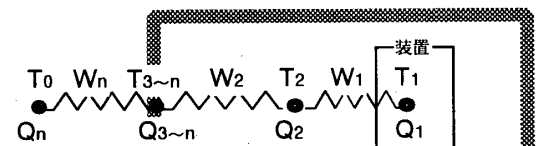


図-3 検討モデル

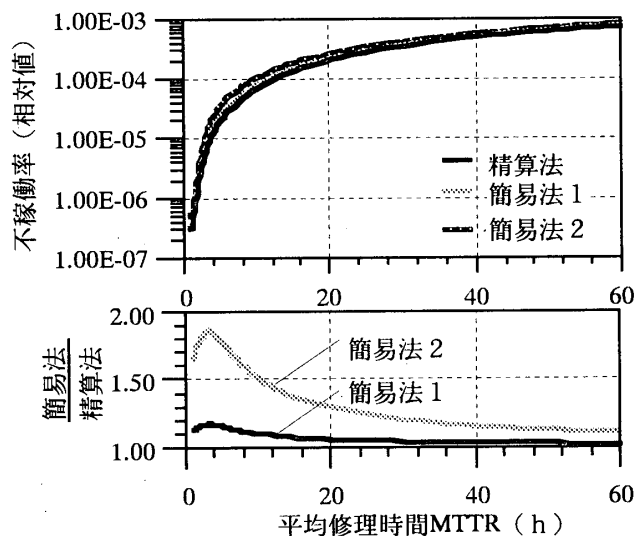


図-4 平均修理時間と不稼働率

【参考文献】

- 1) 羽山他: 「高発熱通信機室用空調システムの信頼度の検討(その1)空調システム信頼度の簡易計算方法」日本建築学会、大会学術講演梗概集、1991.9、pp.1093
- 2) 羽山: 「空冷パッケージ型空調機によるコンピュータ室空調」建築設備と配管工事、1992.11、pp.84~89
- 3) 奥山: 「建築物の熱回路モデルに関する理論的研究」早稲田大学建築環境工学博士学位論文、1987.12
- 4) 浅野・和達: 「常微分方程式」講談社、pp.57
- 5) 渡辺・佐々木: 「パーソナルコンピュータによる工学解析入門」オーム社、pp.48

* (株)NTTファシリティーズ研究開発部

*NTT Power and Building Facilities Inc.