

最大熱負荷 シミュレーション 寄与度
 危険率 感度解析 機器発熱

1. はじめに

空気調和設備の容量設計を行う際には冷房負荷・暖房負荷を求め、最大負荷を算出することが必要となる。一般に、熱負荷計算では定常計算法、周期定常計算法、非定常計算法などが目的によって使い分けられており、定常計算法は最大暖房負荷計算、周期定常計算法は最大冷房負荷計算、非定常計算法は熱負荷シミュレーションに適用される。熱負荷計算の条件は建物の設定条件、気象データ、器具発熱量などによって構成されているが、「これまで用いられてきた気象データは過酷な気象観測値を選んで作成されているため現実にはないような気象の特徴をもち、過剰に厳しい条件であるおそれがある。」^[1]気象データに危険率^[2]が見込まれていることが一因である。

このことは既往の研究^{[3][4]}でも実測データの最大熱負荷とシミュレーションソフトより算出した最大熱負荷の差について検討を行っており、一般的に使用されているシミュレーションソフトが余裕(文献^[2]による危険率、本研究では以降、危険率と記す)をみた設計条件となっていることを確認している。

内部負荷は人体発熱や換気負荷などの要素で構成されているが、測定や検証のために内部負荷の変動を除くことが望まれる。そこで本研究では内部変動や外気の影響が少ない重要機器室を対象とし、検証する目的としている。本研究での重要機器室とは電力供給設備における電算室やデータセンタなどの室内負荷のほとんどを機器発熱が占める室を指す。

2. 研究概要

2.1 使用するシミュレーションソフトの概要

本研究では冷房機器容量の設計手法の確立を最終的な目的として、複数のシミュレーションソフトおよび設計に使用されている気象データの比較を行った。熱回路網を用いて理論計算を行い、放射熱の計算を精度よく行うことができる CADIEE、日周期定常計算を行う MICRO-PEAK/2000(以下 MICRO-PEAK)および設計用最大熱負荷計算の一連の手順をパソコンで実装した空気調和・衛生工学会による HASPEE を使用して、重要機器室をモデルとした対象室について最大熱負荷計算を行った。各最大熱負荷計算手法の概要を表 2.1 に示す。

2.2 対象建物の概要

最大熱負荷計算を行うにあたって採用した対象建物の概要図を図 2.1、平面図を図 2.2、概要を表 2.2 に示す。

2.3 計算パラメータ

気象データの危険率などの検討をするにあたり設定した地域や気象データ、機器発熱量、断熱性能、窓ガラスの有無、隣室温の計算パラメータを表 2.3 に示す。屋根および外壁の断熱性能は<1>無断熱<2>断熱<3>高断熱の 3 水準としている。断熱性能の水準で使用している屋根および外壁の層構成は「住宅・建築物の省エネルギー基準及び低炭素建築物の認定基準に関する技術情報」の非住宅建築物の事務所モデル^[5]を参考に決定しており、表 2.4、2.5、図 2.3、2.4 は水準の<2>断熱を示す。なお<3>高断熱では断熱材の厚さを<2>の条件の 2 倍に設定した。屋根および外壁の仕様を表 2.4、表 2.5、屋根および外壁の面積と熱貫流率を表 2.6、その他の内壁・天井・床の仕様を表 2.7、屋根および外壁の断面図を図 2.3、図 2.4 に示す。

表 2.3 に示す水準の気象データを除いた条件で 108 条件あり、CADIEE および MICRO-PEAK の気象データは変更可能なので 2 倍の 216 ケース、HASPEE は気象データを変更することが出来ないで 108 ケースの計算を行った。

本研究では CADIEE の計算値を『基準値』として、他の計算手法との『差』を検討した。

表 2.1 各最大熱負荷計算手法の概要

名称	計算方法	気象データ	危険率等
CADIEE	非定常計算法	拡張アメダス(1981-1995)	—
MICRO-PEAK/2000	日周期定常計算法	設計用	TAC(危険率) 5, 10, 20%
HASPEE	周期定常計算法	拡張アメダス設計用(1981-2000)	年基準危険率 0.5, 1, 2%

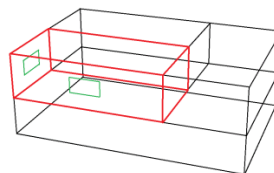


図 2.1 対象建物の概要図

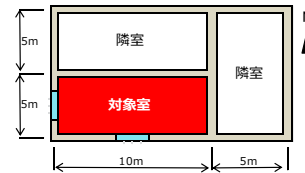


図 2.2 対象階(2階)の平面図

表 2.2 対象建物の概要

・階数	: 2階	・対象室位置	: 2階南西
・対象室面積	: 50m ²	・基礎±土台	: 0.5m
・延床面積	: 300m ²	・天井高(1階)	: 2.5m
・1階面積	: 150m ²	・天井高(2階)	: 3m
・2階面積	: 150m ²		

3. 各計算手法の計算結果の比較

本研究では、計算結果の比較により以下の項目について計算手法や気象データの含む危険率などについて検討を行った。

- ・標準偏回帰係数による全計算パラメータの最大熱負荷に対する寄与度の検討
- ・各計算パラメータが与える最大熱負荷への影響の検討

3.1 標準偏回帰係数による全計算パラメータの検討

本節における検討の手順を以下に示す。

- ①各入力項目を決定し、重回帰分析を行う
- ②最大熱負荷の計算値と回帰値の相関関係を確認
- ③各説明変数の寄与度を把握

(1) 目的変数と説明変数

各計算手法により算出した最大熱負荷を目的変数とし、地域、機器発熱量、断熱性能、窓ガラス、隣室温度条件を説明変数とし、重回帰分析を行った。線形重回帰式を式(3.1) [6]に示す。

$$Y = b_1 \times X_1 + b_2 \times X_2 + \dots + b_i \times X_i + c \quad (i=1,2,\dots,n) \quad \dots(3.1)$$

ここで

X_1, X_2, X_i : 説明変数 Y : 目的変数
 b_1, b_2, b_i : 偏回帰係数 c : 定数項

ここで 4 つの説明変数を便宜上、地域を冷房デグリーデー^{註2)}、断熱性能を外皮平均熱貫流率^{註3)}、窓ガラスの有無を「無: 0, 有: 1」、隣室温度条件を「同室温(26℃): 0, 対象室温+2℃(28℃): 2」とした。

ここでは冷房デグリーデーを日平均外気温から設定室温(26℃)を差し引いた値とし、外皮平均熱貫流率は窓ガラスの有無と区別するため、ここでは窓ガラス以外の外皮に関して算出した。

(2) 最大熱負荷の計算値と回帰値の関係

各計算手法を用いて算出した最大熱負荷の計算値と回帰値の関係を図 3.1 に示す。各計算手法のプロットは機器発熱量の違いで 3 つの群を形成している。3 手法とも近似式上に集まっており相関関係が確認できた。

(3) 各計算手法の計算パラメータの寄与度

標準偏回帰係数を算出することで寄与度を評価することができるので、重回帰分析により算出した偏回帰係数から、単位に依存しない標準偏回帰係数を算出する計算式を式(3.2) [6]に示す。各計算手法における各説明変数の標準偏回帰係数の割合を図 3.2 に示す。3 種類の手法の機器発熱量の割合を比較すると、CADIEE では他の 2 手法が 7 割程度にも関わらず 8 割程度となっており、CADIEE では機器発熱量の寄与度が高い結果となった。

以降計算パラメータ毎に計算結果への影響を検証する。

$$\beta_j^n = \beta_j \sqrt{\frac{s_{jj}}{s_{yy}}} \quad \dots(3.2)$$

β_j^n : 標準偏回帰係数 β_j : 偏回帰係数

s_{jj} : 各説明変数の分散 s_{yy} : 目的変数の分散

表 2.3 感度解析に使用した計算パラメータ

項目※()内は水準の数	水準
地域(3)	⑤宇都宮, ⑥広島, ⑦鹿児島
気象データ(2)	標準年気象データ(1981-1995), TAC5% ^[註1]
機器発熱量(3)	100[W/m ²], 200[W/m ²], 300[W/m ²]
断熱性能(3)	<1>無断熱, <2>断熱, <3>高断熱
窓ガラス(2)	透明フロートガラス 3mm, 窓無し
隣室温度条件(2)	同室温(26℃), 対象室温+2℃(28℃)

※⑤, ⑥, ⑦等の数字は省エネ基準の地域区分
 ※断熱性能では断熱材の厚さを<1>外壁: 0mm, 屋根: 0mm,
 <2>外壁: 25mm, 屋根: 50mm <3>外壁: 50mm, 屋根: 100mm
 ※窓ガラスは厚さ 3mm、熱貫流率 6.4 [W/(m²・K)]

表 2.4 外装仕様(屋根)

屋根	建材名称	熱伝導率 [W/(m・K)]	容積比熱 [kJ/(m ³ ・K)]	厚さ [mm]
	室外側			
①	コンクリート	1.6	2000	60
②	押出法ポリスチレンフォーム保温版 1種	0.04	33	50
③	セメント・モルタル	1.5	1600	15
④	FRP	0.26	1900	5
⑤	セメント・モルタル	1.5	1600	15
⑥	コンクリート	1.6	2000	150
⑦	非密閉空気層	R=0.07 [(m ² ・K)/W]		
⑧	せっこうボード	0.22	830	10
⑨	ロックウール化粧吸音板	0.064	294	12
	室内側			

※②は断熱材を示し 3 種類の厚さ<1>0mm <2>50mm <3>100mm に関して検討する

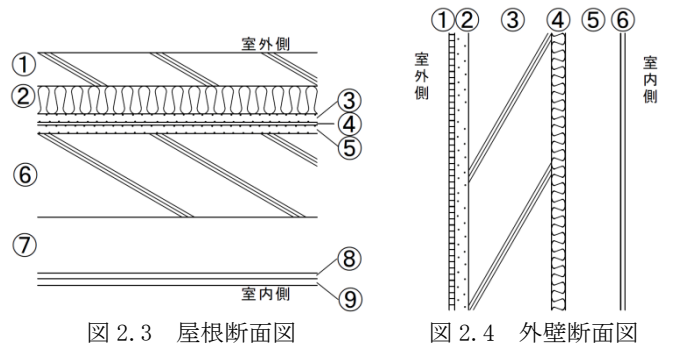


表 2.5 外装仕様(外壁)

外壁	建材名称	熱伝導率 [W/(m・K)]	容積比熱 [kJ/(m ³ ・K)]	厚さ [mm]
	室外側			
①	タイル	1.3	2000	10
②	セメント・モルタル	1.5	1600	25
③	コンクリート	1.6	2000	150
④	押出法ポリスチレンフォーム保温板 1種	0.04	33	25
⑤	非密閉空気層	R=0.07 [(m ² ・K)/W]		
⑥	せっこうボード	0.22	830	8
	室内側			

※④は断熱材を示し 3 種類の厚さ<1>0mm <2>25mm <3>50mm に関して検討する

3.2 地域差および機器発熱量による最大熱負荷への影響の検討

MICRO-PEAK および HASPEE で算出した最大熱負荷が地域差および機器発熱量によって受ける影響に関して相対差で比較した。図 3.3 では CADIEE に対する MICRO-PEAK の相対差、図 3.4 では CADIEE に対する HASPEE の相対差を比較した。相対差とは、CADIEE とその他の計算手法による最大熱負荷の差を、CADIEE より算出した最大熱負荷で割ったものを指す。

CADIEE に対する MICRO-PEAK の相対差は⑤宇都宮、⑥広島、⑦鹿児島島の順で大きく、他の計算パラメータについてはどの地域も同一傾向となった。機器発熱量が増加するにつれ、相対差が小さくなっており、CADIEE との差が小さくなっている。また無断熱では相対差が大きい。同様に CADIEE に対する HASPEE の相対差も機器発熱量の増加にともない小さくなり、無断熱では大きくなっている。寄与度が高い機器発熱が増加すると、相対差が小さくなる結果となった。

3.3 気象データ・計算手法による最大熱負荷への影響の検討

(1) 検討概要

CADIEE および MICRO-PEAK の気象データを同一にした条件、気象データを変更した条件で検討し、計算手法の違いや気象データの違いによる最大熱負荷への影響を把握する。計算手法として CADIEE を用いた場合を $F_C(W)$ 、MICRO-PEAK を用いた場合を $F_M(W)$ 、気象データとして拡張アメダス気象データを W_A 、設計用気象データを W_T とし、表 3.2 に示す計 4 種の組み合わせについて検討を行った。本節では地域を⑥広島、機器発熱量を $200[W/m^2]$ に固定した結果について例示する。本節の (2), (3) で用いた式を表 3.3 に示す。

表 3.1 各計算手法の各説明変数の標準偏回帰係数

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	R^2	n
CADIEE	0.026 (2.1%)	0.987 (79.7%)	0.133 (10.7%)	0.053 (4.3%)	0.040 (3.2%)	0.999	108
MICRO-PEAK	0.011 (0.8%)	0.958 (68.6%)	0.259 (18.5%)	0.106 (7.6%)	0.063 (4.5%)	0.999	
HASPEE	0.021 (1.5%)	0.967 (69.6%)	0.217 (15.6%)	0.116 (8.4%)	0.068 (4.9%)	0.999	

※ X_1 : 冷房デグリーデー, X_2 : 機器発熱量, X_3 : 外皮平均熱貫流率, X_4 : 窓ガラス, X_5 : 隣室温,

R^2 : 決定係数, n: 標本数

(2) MICRO-PEAK の差に関する検討

気象データが拡張アメダス気象データの時に MICRO-PEAK と CADIEE で算出した最大熱負荷の差の計算式を式 (3.3)、気象データが設計用気象データの時に MICRO-PEAK と CADIEE で算出した最大熱負荷の差の計算式を式 (3.4)、それぞれを図 3.5 に示す。それぞれの計算手法の特徴として、無断熱の時は差が大きくなっており、断熱・高断熱では差が小さくなっている。これは CADIEE より MICRO-PEAK の方が外皮熱貫流率の寄与度が高いためであると考え

えられる。また断熱性能や日射遮蔽性能が高いと差が小さくなった。

表 2.6 屋根および外壁の面積と熱貫流率

	面積[m ²]		熱貫流率 [W/(m ² ・K)]		
	窓あり	窓なし	①無断熱	②断熱	③高断熱
屋根	50	50	1.592	0.532	0.320
外壁	41	45	2.638	0.996	0.614

表 2.7 内装仕様

	建材名称	熱伝導率 [W/(m・K)]	容積比熱 [kJ/(m ³ ・K)]	厚さ [mm]	熱貫流率 [W/(m ² ・K)]
床・天井	コンクリート	1.6	2000	200	2.880
内装	コンクリート	1.6	2000	150	3.165

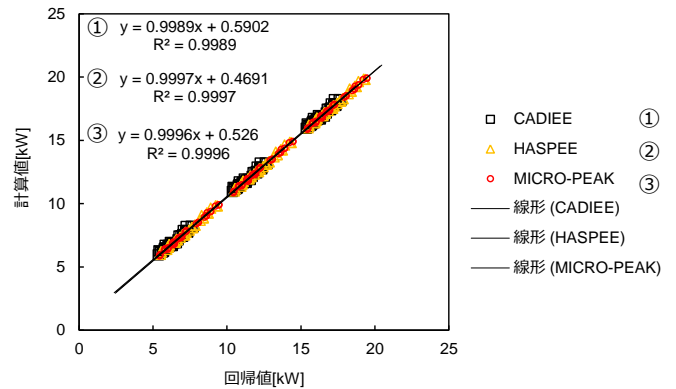


図 3.1 各計算手法の最大熱負荷の計算値と回帰値の関係

表 3.2 計算手法および気象データの組み合わせ

	拡張アメダス気象データ	設計用気象データ
CADIEE	$F_C(W_A)$	$F_C(W_T)$
MICRO-PEAK	$F_M(W_A)$	$F_M(W_T)$

表 3.3 検討に用いた計算式

・MICRO-PEAK の差に関する検討

拡張アメダス気象データを用いた場合: $F_M(W_A) - F_C(W_A)$ [kW] ... (3.3)

設計用気象データを用いた場合: $F_M(W_T) - F_C(W_T)$ [kW] ... (3.4)

・危険率に関する検討

CADIEE を用いた場合: $F_C(W_T) - F_C(W_A)$ [kW] ... (3.5)

MICRO-PEAK を用いた場合: $F_M(W_T) - F_M(W_A)$ [kW] ... (3.6)

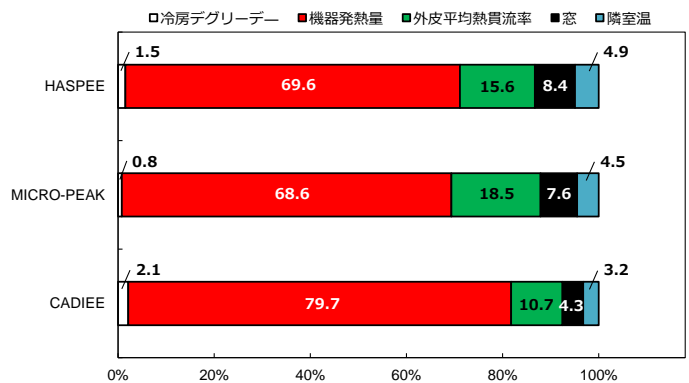


図 3.2 各種計算手法の各説明変数の標準偏回帰係数の割合

(3) 設計用気象データの危険率に関する検討

危険率による最大熱負荷への影響を把握するため、CADIEE を用いた場合の計算式を式(3.5)、MICRO-PEAK を用いた場合の計算式を式(3.6)、結果を図 3.6 に示す。無断熱の場合 MICRO-PEAK が大きく、断熱・高断熱の場合は CADIEE が大きくなっている。CADIEE より MICRO-PEAK の断熱性能の寄与度が高くなっているためと考えられる。

本節で検討した条件では、差が 0 より大きくなっていることから気象データの危険率の差があらわれていると考える。

4. まとめ

本研究では最大熱負荷計算手法の CADIEE、MICRO-PEAK および HASPEE に関して、重回帰分析を行うことで、MICRO-PEAK および HASPEE の寄与度が同一傾向であること、CADIEE の外皮(断熱性能・窓)の寄与度が他の計算手法に比べ低く、危険率が含まれていない差となった。また気象データを計算手法ごとに同一にした条件や気象データを変更した場合を確認した。CADIEE では理論計算を精度よく行っている点、危険率を含まない拡張アメダス気象データを用いていることから、他の計算手法と比較すると差が生じる結果となった。

以上のことから MICRO-PEAK や HASPEE には、本来設計手法(気象データや計算手法)に含まれている危険率を確認した。

5. おわりに

今後は適切な計算手法および適切な外気温条件の選択が望まれる。複数の重要機器室における空調負荷の実測データの解析を踏まえることで、実際の空調機の容量設計として設計手法が確立できると考える。本研究では機器発熱量の推定を目的として複数の重要機器室で空気調和設備の空調負荷などを測定しており、実測データの解析とともに、より実条件に即した設計手法を確立したい。

註1) TAC法: 冷房・暖房期間中にその温度を超過する確率で、気象データとして危険率を2.5~10%見込んだ値^[2]
 註2) 冷房デグリーデー: 日平均外気温が冷房設計温度以上になった日の両者の差を加算した値^[1]
 註3) 外皮平均熱貫流率: 単位温度差当たりの外皮熱損失量を外皮等面積で割って求めた値^[5]
 <参考文献><本論文に関する既発表論文>
 [1] 空気調和・衛生工学会2010:第14版 空気調和・衛生工学便覧 1 基礎編, (社)社団法人 空気調和・衛生工学会, pp. 383-441, pp. 443-445, 2010. 2 [2] 空気調和設備計画設計の実務の知識 改訂3版 空気調和・衛生工学会編, (社)オーム社, pp. 89-129 [3] 堅田・天野・安岡・堀岡・田島・橋田: 中規模事務所建物における空調機熱源容量の最適化に関する研究 その3 暖房期の実測にもとづくエネルギー評価、日本建築学会大会(近畿)、2014. 9 [4] 南部・天野・安岡・堀岡・田島・橋田: 中規模事務所建物における空調機熱源容量の最適化に関する研究 その4 冷房期の実測にもとづくエネルギー評価、日本建築学会大会(近畿)、2014. 9 [5] 独立行政法人建築研究所: 住宅・建築物の省エネルギー基準及び低炭素建築物の認定基準に関する技術情報, <http://www.kenken.go.jp/becc/> [6] 田中豊・垂水共之編: Windows版統計解析ハンドブック 多変量解析, 共立出版(株), 1995. 7, pp. 19-22 [7] 田中俊六・武田仁・岩田利枝・土屋喬雄・寺尾道仁: 最新建築環境工学[改訂3版], p. 28, p. 32, p. 100, 2012. 2 [8] 全国木造住宅生産体制推進協議会, 平成25年省エネルギー基準対応住宅省エネルギー 施工技術者講習 テキスト-基本編-, p. 88 [9] 電力中央研究所: CADIEE住宅用室内温熱環境設計ツール データインターフェース ユーザーマニュアルVersion2.5 [10] 建築設備技術者協会: MICRO-PEAK/2000 利用者マニュアル [11] 公益社団法人空気調和・衛生工学会: 試して学ぶ熱負荷HASPEE~最大熱負荷計算法~ [12] 建築設備技術者協会: MICRO-PEAK/2010 利用者マニュアル, 2010. 12

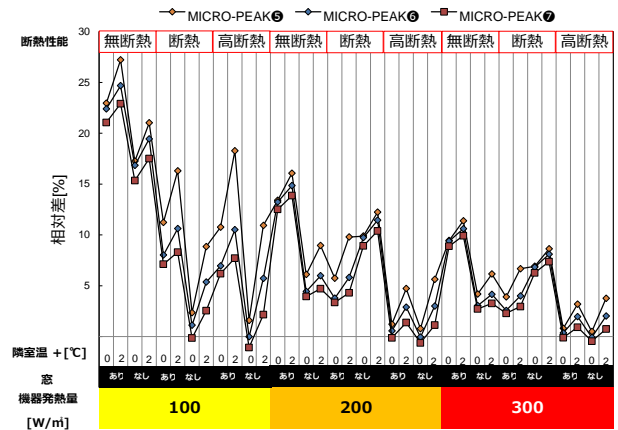


図 3.3 各条件における相対差(MICRO-PEAK)

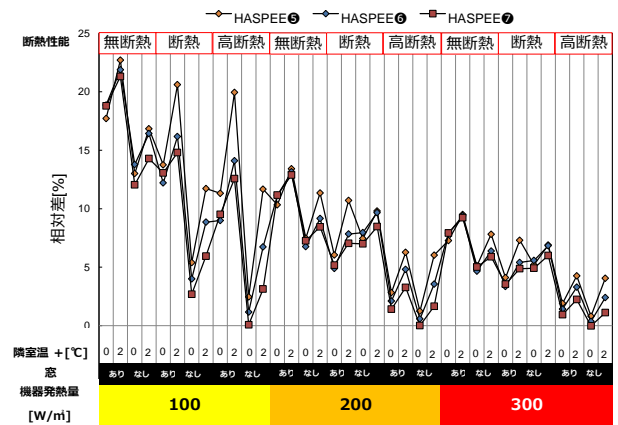


図 3.4 各条件における相対差(HASPEE)

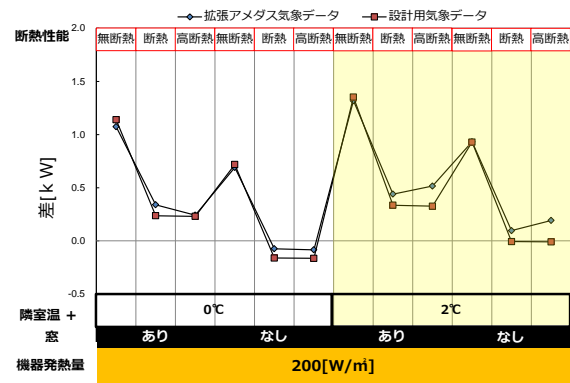


図 3.5 MICRO-PEAK の差

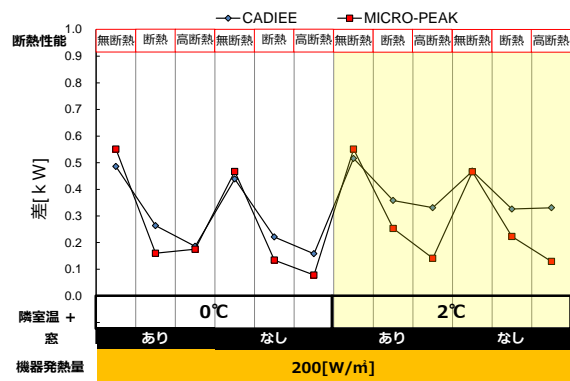


図 3.6 設計用気象データの検討