

3. 建築物の空気調和設備の維持管理及び運用のあり方に関する研究

分担研究者 射場本 忠彦 東京電機大学 教授

研究要旨

建築物においては、エネルギー消費に係る機器・構造の性能確保や適正保全措置の徹底が省エネルギー法に盛り込まれるなど、官民を挙げて多様な対策が進められている。しかしながら、社会に普及しつつある省エネルギー手法の中には、建築物衛生法の主旨とは相容れない衛生上の問題や、かつての法制定・改正時には想定されていなかったものなどが散見される。

先の厚労省科研費調査では、特に冬季相対湿度の基準値不適合が、特定の空気調和設備の維持管理及び運用方法に起因していることが指摘された。これらは、特に事務所用途において普及が進み、相対湿度の不適合率上昇の原因とも考えられる。そこで、本課題では当該空気調和設備について、環境衛生データの収集と解析を実施し、基準適合範囲に収まる、省エネルギーと環境衛生の両立に資する適切な維持管理手法・監視方法の提案を行うことを目的としている。

平成24年度においては、建築物衛生法の衛生管理基準値に対して不適合となる場合の、原因や詳細な課題抽出を目的として省エネルギーに関心の高いビルオーナーが所有する事務所ビルについて、従来から実施している首都圏に建設された7件の事務所ビルと、新たに地方の事例として蒸暑地域に建設された4件の事務所ビルを加え、室内環境データの連続的時間データの収集・取得および解析を行った。

研究協力者

百田 真史	東京電機大学
田島 昌樹	高知工科大学
大澤 元毅	国立保健医療科学院
鍵 直樹	東京工業大学
池田 耕一	日本大学
柳 宇	工学院大学
松村 拓哉	東京電機大学学生
松川 修	東京電機大学学生
橋田 智一	高知工科大学学生
大澤 秀作	高知工科大学学生
長田 竜弥	高知工科大学学生

社会に普及しつつある省エネルギー手法の中には、建築物衛生法の主旨とは相容れない衛生上の問題や、かつての法制定・改正時には想定されていなかったものなどが散見される。

先の厚労省科研費調査では、特に冬期相対湿度の基準値不適合が、特定の空気調和設備の維持管理及び運用方法に起因していることが指摘された。これらは、特に事務所用途において普及が進み、相対湿度の不適合率上昇の原因とも考えられる。

そこで、本課題では当該空気調和設備について、複数の事務所空間を対象とした室内環境の連続的時間データを収集・取得および解析し、基準適合範囲に収まる、省エネルギーと環境衛生の両立に資する適切な維持管理手法・監視方法の提案を行うことを目的としている。

A. 研究目的

A.1 研究背景

建築物においては、エネルギー消費に係る機器・構造の性能確保や適正保全措置の徹底が省エネルギー法に盛り込まれるなど、官民を挙げて多様な対策が進められている。しかしながら、

A.2 研究概要

本研究においては、新技術を用いた建物構造、空調設備による維持管理・監視について、適切な環境衛生に資する維持管理手法・監視方法の

提案を行うことを目的としている。具体的な項目を以下に示す。

- 1) 建築構造・空調設備と環境衛生の現状把握
 建築構造・空調設備と環境衛生の現状の課題を抽出し、環境衛生との両立に資する適切な運用、維持管理手法・監視方法・基準について検討する。
- 2) 環境と空調機器運用の実態調査
 実際の建築物における温湿度などの測定と共に建築物で管理されている BEMS データを用いた環境衛生管理の活用の可能性を検討し、環境の質の向上に寄与する新たな提案を行う。
- 3) 新技術に対応した適切な運用方法の提案
 以上の検討を基に、新技術に対応した設備における適正な環境衛生のための運用・維持管理手法、監視方法などの基礎資料を提案する。

B 研究手法

本研究の手法・検討範囲・検討期間を図 3-1 に示す。H23～24 年度にかけて実態調査を通して課題を整理し、最終年度の H25 年度において維持管理についての検討を実施した。

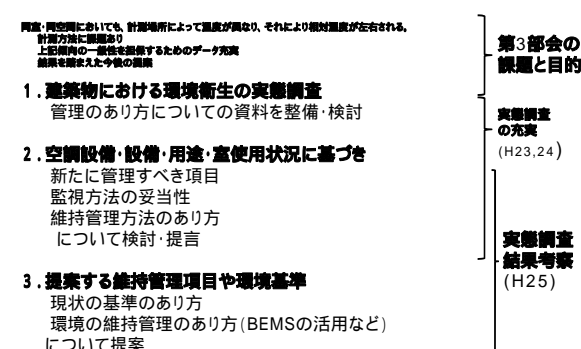


図 3-1 本研究の手法・検討範囲・検討期間

C. 研究結果

C.1 研究対象と取得データ概要

C.1.1 事務所ビル実測データについて

対象事務所ビルの概要を表 3-1 に示す。規模や空調方法の異なる 8 件の事務所空間を対象とした。なお平成 25 度からは、NT ビルを追加している。全てのビルは継続的に解析を実施したが、本報告においては、NT ビルでの解析結果

を中心に報告する。

表 3-1 検討対象事務所ビル概要(全 8 件)

対象事務所ビル	空調方式	加湿器	竣工	データ期間	計測機器	延床面積	構造	規模
Tビル	中央方式		1960年	2010/1/27～2012/12/31	BEMS 温湿度計・15個 CO ₂ ・3台	9,400㎡	SRC造	地上9階 地下2階
Kビル	中央方式		1931年 2006年改修	2010/1/1～2011/11/30	温湿度計・5個 CO ₂ ・2台	7,900㎡	RC造	地上8階 地下1階 塔屋3階
Sビル	中央方式		1988年	2008/1/1～2011/11/30	BEMS+ (測定データ)	54,000㎡	SRC造	地上9階 地下1階 塔屋1階
NTビル	中央方式		2003年	2006/10/1～2013/5/31	BEMS+ (測定データ)	20,600㎡	S+SRC造	地上14階 地下1階
Iビル	個別方式(狭)	×	1986年	2011/7/27～2012/12/31	温湿度計・4個 CO ₂ ・3台	2,200㎡	SRC造	地上7階 地下1階
Nビル	個別方式(広)		1984年	2011/10/14～2012/2/29	温湿度計・9個 CO ₂ ・2台	7,400㎡	SRC造	地上8階 地下1階
Aビル	個別方式	×	1991年	2011/10/9～2012/2/29	温湿度計・1個 CO ₂ ・1台	1,700㎡	S造 (一部RC造)	地上6階 地下1階
Hビル	個別方式+換気	×	1993年	2011/8/5～2012/2/29	温湿度計・5個 CO ₂ ・2台	3,000㎡	SRC造	地上9階 地下1階

C.1.2 大学施設実測データについて

表 3-2 に検討対象とした大学施設の概要を示す。大学施設には各種用途が混在するが、主に事務用と空間と教室と共用部について検討を行った。詳細な室内環境の実態把握及び時系列データ取得を目的として、大学施設内に計測器を設置した。計測は 5 ヶ所で行い計測器及び BEMS よりデータの取得を行った。

また計測対象室に設置されている設備の概要を表 3-3 に示す。検討対象室は、使用用途ごとに空調設備及び窓システムが異なるようにした。

表 3-2 検討対象大学施設概要

詳細計測データ概要(大学施設)			
計測室	用途区分	計測方法	データ期間
1号館 エントランス	共用部	温湿度・CO ₂ 濃度計(1台)	2013/3/1～2013/12/11
2号館 ラウンジ		温湿度・CO ₂ 濃度計(1台)	2013/3/1～2013/12/11
1号館 4階南側執務室	事務用途	温湿度計(4台)温度計(3台)	2013/3/1～2013/12/11
1号館 5階東側執務室		温湿度計(4台)温度計(3台)	2013/3/1～2013/12/11
2号館 西側教室	教室	温湿度センサー (BEMSよりデータ取得)	2012/4/1～2013/12/31

表 3-3 計測室設備概要(大学施設)

計測室設備概要(大学施設)			
使用用途	共用部	教室	事務用途
空調設備	AHU	ペリメータレス AHU+低温送風	外調機+FCU
窓システム	FL(フロートガラス)	AFW(エアフローウィンドウ)	縦ルーバ +日射調整フィルム

さらに施設管理会社の協力を得て空気環境測定結果報告書データ（以下測定データ）を取得した概要を表 3-4 に示す。大学施設においては毎月 1 回、規定の器具を用いて各館 1 フロアごとに東西 1 ヶ所ずつ、午前（10 時）と午後（2 時）に測定が実施された。なお、計測が実施された大学施設は、1 号館～ 4 号館、4 つの棟で構成されているが、3 号館は、食堂や部室棟など厚生棟として利用されているため、本検討対象からは除外した。オフィスビルにおいては、2 ヶ月に 1 回、1 フロアごとに 1 ヶ所午前（10 時）と午後（2 時）に測定が実施されている。

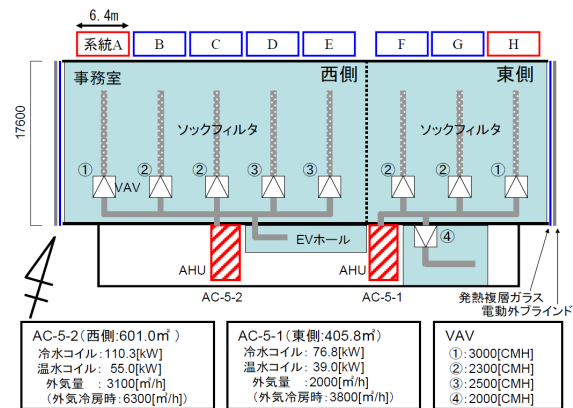


図 3-2 基準階空調設備概要

表 3-4 空気環境測定結果報告書データ概要

空気環境測定結果報告書概要			
対象施設	計測箇所	データ期間	データ数
大学施設	66	2012/4/1～2012/12/31	1644
NTビル	15	2006年10月～2013年6月	1231
Sビル	9	2008年1月～2010年10月	432

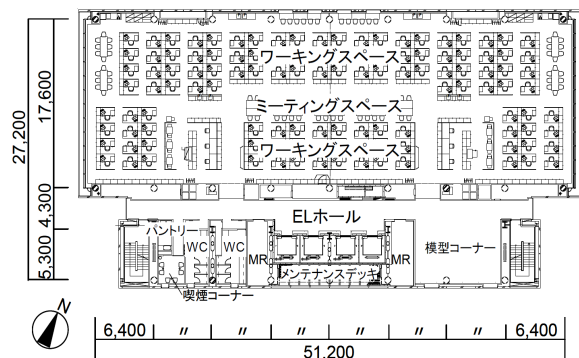


図 3-3 基準階平面図

C.2 研究対象の概要

C.2.1 NTビルについて

平成 25 年度に追加した NT ビルの建物概要と測定概要を以降に記す。

(1) NTビル概要建物概要

所在地：東京都千代田区

主要用途：事務所

施工年月：2003 年

延床面積：20,580 m²

空調面積：13,000 m²

階数：地上 14 階，地下 1 階

(2) 計測室設備概要

NTビルにおける基準階設備概要，基準階平面図を図 3-2、図 3-3 に示す。オフィスにおける設備は、基本的に中央熱源方式であり、窓まわりを外ブラインドとすることでペリメータレス化を図り、インテリアを VAV + AHU で構成されていた。また BEMS より AHU 還り温湿度データの取得を実施した。なお、用いたデータの計測間隔は 60 分とした。

C.2.2 検討対象大学施設について

検討対象の大学施設は、室内環境の時系列データを取得出来るのに加え BEMS により空調機の運用データが取得でき、より詳細な空気環境の実態把握が可能である。検討対象とした大学施設は、1～4 号館の 4 つの棟で構成されている。

(1) 1号館について

建物名称：1 号館

所在地：東京都足立区

主要用途：研究室，教員室

施工年月：2012 年

延床面積：30,900 m²

空調面積：19,758 m²

階数：地上 14 階，地下 1 階

(2) 2号館について

建物名称：2 号館

主要用途：研究室，教員室

延床面積：18,444 m²

空調面積：11,258 m²

階数：地上10階，地下1階

(3) 3号館について

建物名称：3号館
主要用途：厚生棟
延床面積：5,210 m²
空調面積：3,762 m²
階数：地上5階

(4) 4号館について

建物名称：4号館
主要用途：研究室，教員室
延床面積：14,144 m²
空調面積：9,717 m²
階数：地上10階

に示す。温湿度・CO₂濃度計を1点設置した。
なお，計測間隔は15分とした。

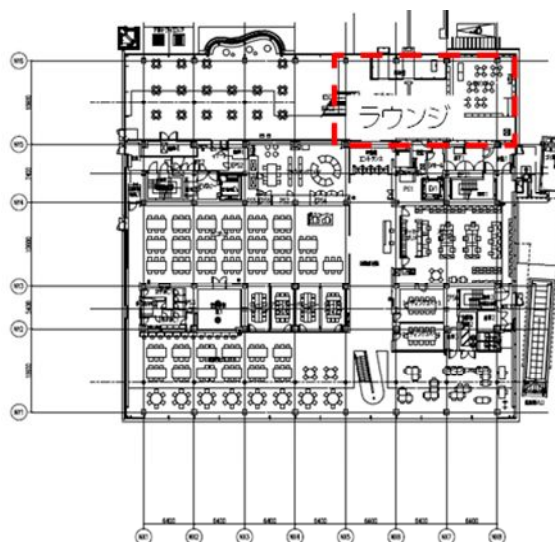


図3-6 2号館1階平面図

C.2.2.1 1号館エントランスについて

1号館エントランスの計測箇所を以下の平面図上に示す。温湿度・CO₂濃度計を1点設置した。なお，計測間隔は15分とした。

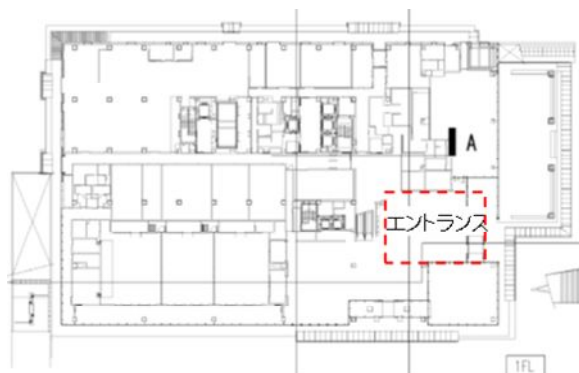


図3-4 1号館1階平面図

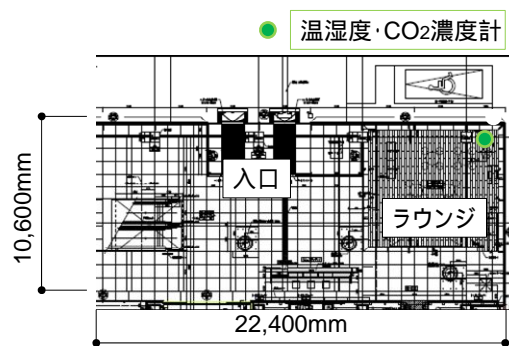


図3-7 2号館ラウンジ平面図

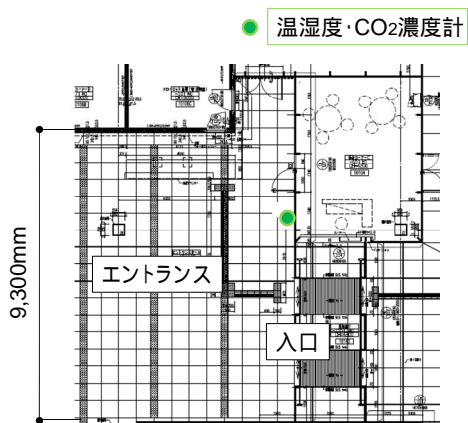


図3-5 1号館エントランス平面図

C.2.2.3 1号館4階南側執務室について

1号館4階南側執務室の計測箇所を以下の平面図上に示す。温湿度・CO₂濃度計を一点，温度計を2点，温湿度計を2点設置した。なお，計測間隔は15分とした。

C.2.2.2 2号館エントランスについて

2号館ラウンジの計測箇所を以下の平面図上に



図 3-8 1号館4階平面図

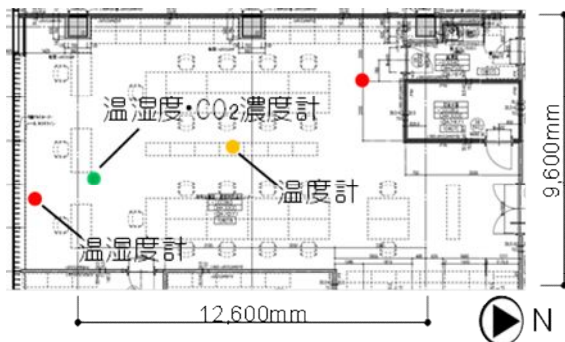


図 3-9 1号館4階執務室平面図

C.2.2.4 1号館5階東側執務室について

1号館4階南側執務室の計測箇所を以下の平面図上に示す。温湿度・CO2濃度計を一点、温度計を3点、温湿度計を4点設置した。なお、計測間隔は15分とした。

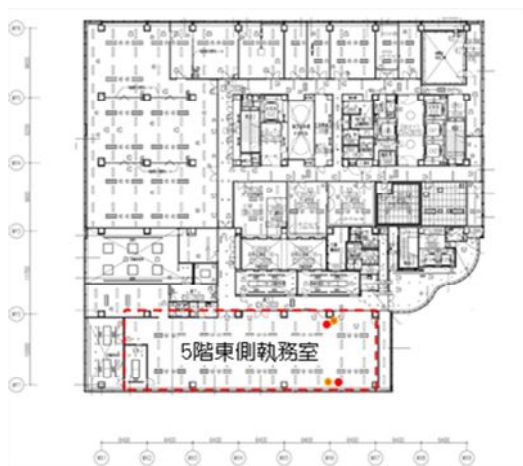


図 3-10 1号館5階平面図

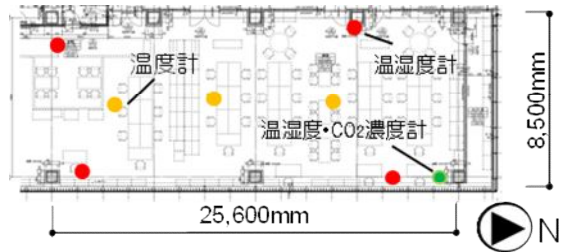


図 3-11 1号館5階執務室平面図

C.2.2.5 2号館7階西側執務室について

2号館7階西側執務室の計測箇所を以下の平面図上に示す。BEMSより温湿度センサーのデータの取得を実施した。なお、用いたデータの計測間隔は15分とした。

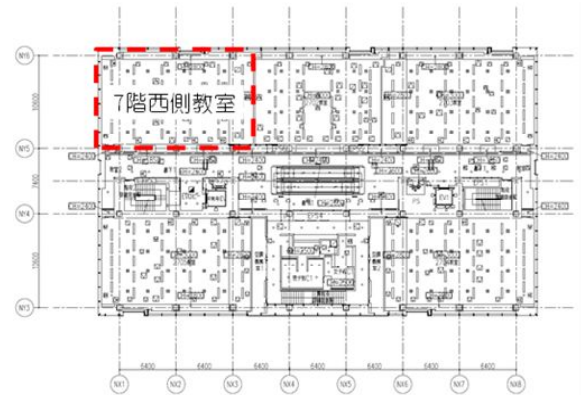


図 3-12 2号館7階平面図

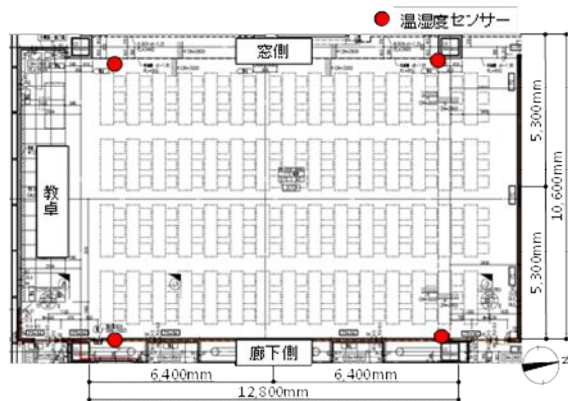


図 3-13 2号館7階平面図

C.3 解析結果

C.3.1 空気環境を形成する影響因子に着目した検討

C.3.1.1 空気環境測定を用いた検討

空気環境測定結果報告書データを用いて、それぞれの項目ごとの、建築物衛生法の基準値範

困を満たしていた割合(以下適合割合)と空気環境測定時における空調機運転状況について大学施設を図 3-14 に、NTビルを図 3-15 に示す。またSビルにおける温湿度の空気環境測定結果を散布図及び累積頻度図で図 3-16 に示す。

大学施設、NTどちらにおいても、温度、相対湿度及びCO₂濃度において基準範囲を逸脱する状況を確認した。特に相対湿度は適合割合が低い傾向を示した。また、大学施設において空気環境測定時における空調機の運転状況(図中右)より、空調機停止時に空気環境測定が実施されていたことを確認した。空調機停止時には、室内が使用されていないと想定されるため、適切な空気環境測定結果を得られない可能性が考えられる。そのため、空調機の運用をふまえた空気環境測定方法が求められる。

Sビルにおいては、温湿度共に多くの状況で基準値範囲であったことが確認された。また、相対湿度において基準値の下限値である40%付近の値が多く見受けられた。

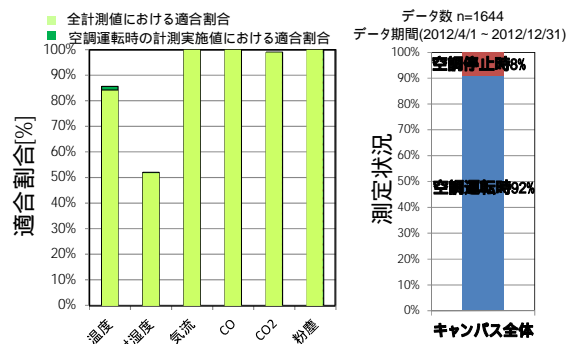


図 3-14 空気環境測定結果における解析 (大学施設)

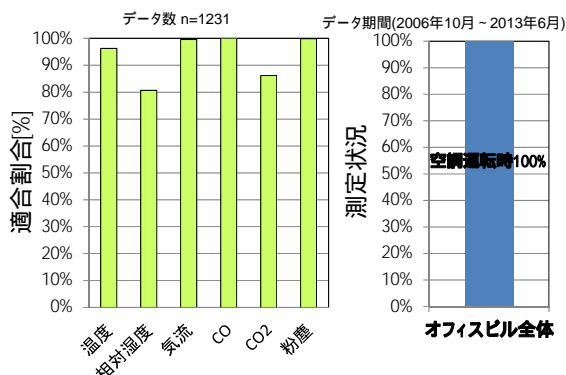


図 3-15 空気環境測定結果における解析 (NTビル)

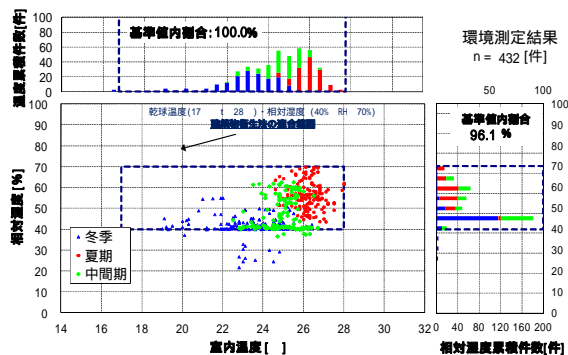


図 3-16 空気環境測定結果における解析 (Sビル)

C.3.3.2 空気環境測定結果と実測データを用いた検討

(1)室内環境プロット

2号館ラウンジにおける室内温度、相対湿度の計測値および、各計測値に対する発生頻度と累積頻度を図 3-17 に示す。なお、年間のデータに対して、冬期(1月,2月,3月,12月)夏期(6月~9月)中間期(4月,5月,10月,11月)それぞれの区別で解析を行った。

1号館4階,5階執務室における室内温度,相対湿度の計測値および、測定データの解析結果を図 3-18,図 3-19 に示す。なお、窓側,インテリア,廊下側の区別で室内をエリア分けしそれぞれの区別で解析を行った。

2号館ラウンジでは、室内温度、相対湿度共にすべての期間で基準値を逸脱する状況がみられた。これは、ラウンジが出入りに面しているため人の出入りによって、外気が流入したことの影響が考えられる。また、ラウンジは二面をガラス面で囲われているため、日射等外乱の影響も受けていると考えられる。

1号館4階,5階執務室においては、どちらに関しても、窓側と廊下側の温度に差異が生じている事が確認できる。これは、窓側が廊下側と比べ日射等外乱の影響を強く受けて室内温度が変動したためだと考えられる。

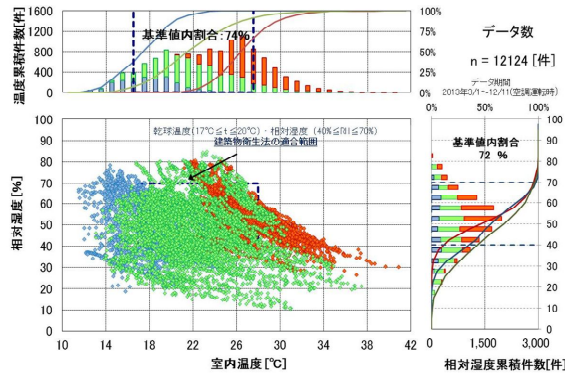


図 3-17 期別の温湿度環境プロット
(2号館ラウンジ)

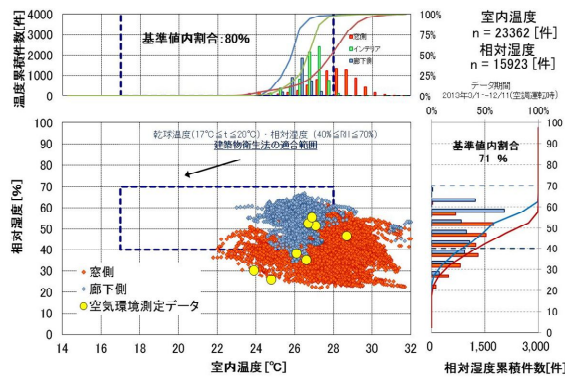


図 3-18 計測エリア毎の温湿度環境プロット(1号館4階執務室)

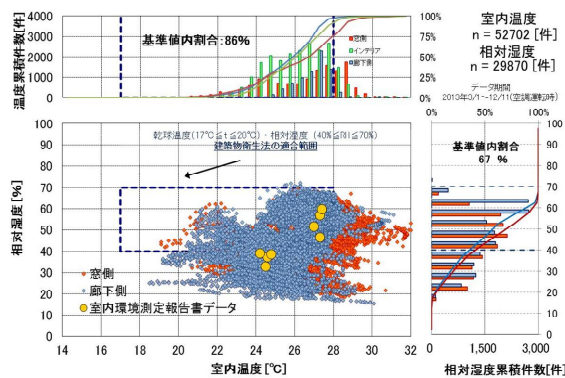


図 3-19 計測エリア毎の温湿度環境プロット(1号館5階執務室)

(2)平面温度分布

夏期平日代表日における,大学施設(1号館5階執務室,2号館7階教室)及びNTビル(基準階)の机上面高さ(約1,100mm)の平面温度分布を図3-20~図3-22に示す。

教室とNTビルの,窓側温度と廊下側温度の平均値に差異はあまりみられなかったが,執務室においては,平均値の温度差が約2.5℃と差異

がみられた。これは,教室とNTビルではペリメータ負荷をAFWで適切に処理しているが,執務室においては,ペリメータ負荷を適切に処理できなかったためだと考えられる

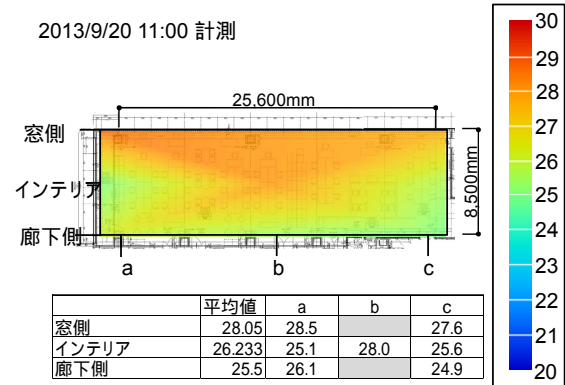


図 3-20 平面温度分布(1号館5階執務室)

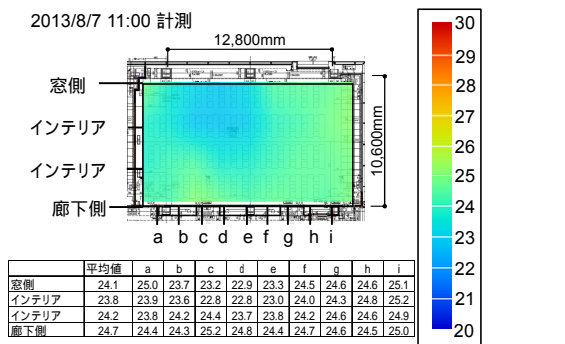


図 3-21 平面温度分布(2号館7階教室)

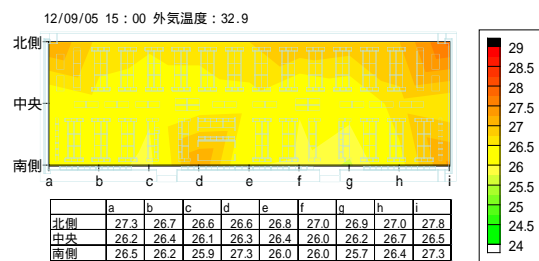


図 3-22 平面温度分布(NTビル)

(3)断面温度分布

1号館5階執務室とNTビル(基準階)における窓面に直達光が照射する時間帯における,ペリメータ断面温度分布の実測結果を図3-23,図3-24に示す。

1号館5階執務室では,床面から2,200mm以

下ではほぼ温度分布が一様であるが、天井面付近では、過度の熱だまりが生じていることが確認できる。特に窓面付近上部では、50□付近まで温度が上昇していた。そのため1号館5階執務室の窓面近傍は、日射の影響を多く受けていたと考えられる。

NTビル(基準階)に関しては、床面から2,500mm以下ではほぼ温度分布が一様であり、窓面近傍での日射の影響は少ない。なお、図中窓面から2,200mm付近の低温は、ダクトからの冷風の影響である。PMVの値も窓方向に向かって上昇するが、窓面からの放射の影響は少ないと考えられる。

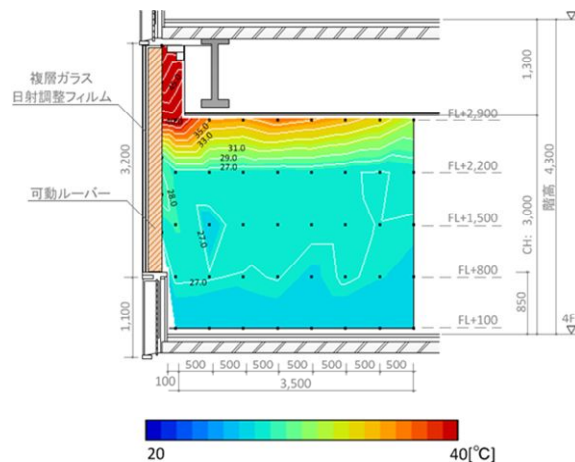


図 3-23 ペリメータ断面温度分布
(1号館4階執務室)

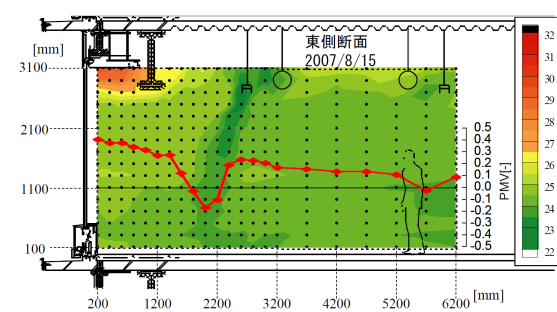


図 3-24 ペリメータ断面温度分布
(NTビル基準階)

C.3.3.3 BEMSによる空気環境測定の可能性に関する検討

1号館7階西側教室、オフィスビル基準階、1号館エントランスにおける室内温度、相対湿度

の計測値および、測定データの解析結果を図3-25～図3-27に示す。なお対象室における室内温度、相対湿度の計測値を室内環境実態とし測定データとの比較を行った。

NTビルにおいて測定データは、室内温度、相対湿度どちらにおいても、概ね室内環境実態をとらえていたが、教室においては、やや室内環境実態から外れる傾向がみられた。これは、空気環境測定時教室では授業等が行われていたため、室内部への立ち入りが困難であり、適切な箇所での測定が行えなかった事が要因として想定される。また、教室では空調機停止時において空気環境測定が実施されており、この状況下では、測定データは室内環境実態から大きく外れる傾向がみられた。1号館エントランスにおいても測定データは、やや室内環境実態から外れる傾向がみられた。これはエントランスが出入り口と面しているため、人の出入りによって外気が流入しエントランス内の温湿度に影響を与えることで温湿度にばらつきが生じてしまったためだと考えられる

そのため空調機の運用状況及び、立ち入りが困難な室においても比較的容易に室内環境の計測値及び時系列データを取得できるBEMSを用いることで、適切な空気環境測定を実施できる可能性が示唆される。

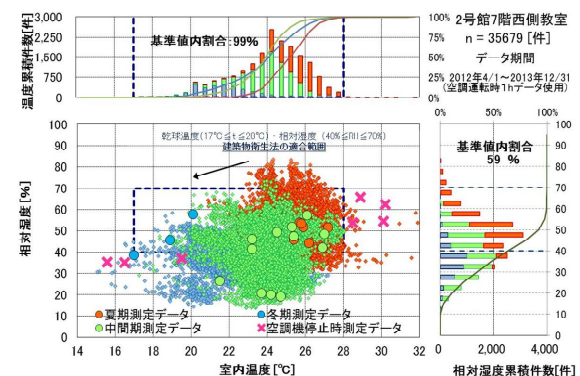


図 3-25 期別の室内環境実態と測定データ比較(1号館7階西側教室)

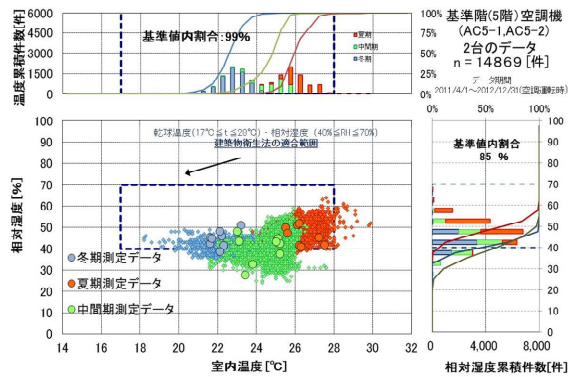


図 3-26 期別の室内環境実態と測定データ比較 (NTビル基準階)

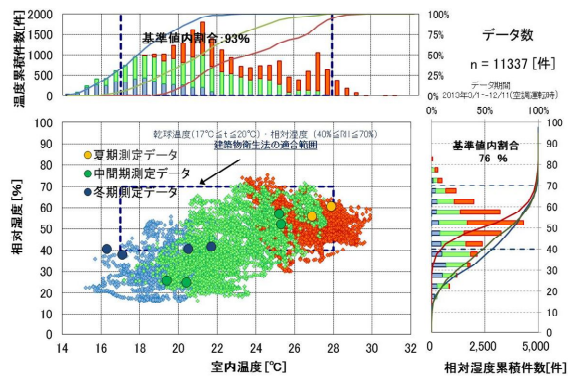


図 3-27 期別の室内環境実態と測定データ比較(1号館エントランス)

C.4 事務用途室における衛生環境測定

本節では空調制御方式として中央方式と個別方式を対象とし、室内環境の現状把握を目的として、建築物衛生法の定期測定において全国的に不適合割合が高い温度、相対湿度、CO₂濃度^[3]について、15分間隔で連続測定した結果を示す。各測定対象室の概要を表 3-5、測定期間を表 3-6 に示す。また、温熱的衛生性を評価するため、WBGT (熱中症指数)、グローブ温度、湿球温度を5分間隔で連続測定した。(写真 3-1)

ここでは測定したWBGTとWBGT指数に基づく作業者の熱ストレスの評価^[13](表 3-8)と照らし合わせることで、熱中症(温熱的衛生性)の危険度を評価する。対象は事務用途室であるため、代謝率区分は「1 低代謝率」となる。WBGTは湿球黒球温度(Wet Bulb Globe Temperature)とも呼ばれ、室内での値は以下の式で求められる。

$$WBGT = 0.7t_{nwb} + 0.3t_g$$

ここに

WBGT : WBGT 指数[°C]

t_g : グローブ温度[°C]

t_a : 空気温度[°C]

t_{nwb} : 自然換気状態の湿球温度[°C]

熱的快適性を評価する指標として PMV (予測平均温冷感) を算定した。ISO の標準では、PMV が ±0.5 以内、不快者率 10% 以下となるような温熱環境を推奨^[7]している。PMV を計算するにあたり、上記の測定項目の他、測定器設置時に風速を 10 分間測定した。また文献^[15]を参考とし、PMV 算定に必要な clo 値(着衣量)を 0.7、met 値(代謝量)を 1.2 と設定した。また風速の測定には微風速計(写真 3-2)を使用した。使用した機器の測定項目、測定箇所を表 5 に示す。



写真 3-1 WBGT 計



写真 3-2 微風速計

表 3-5 対象室の概要

名称	所在地	省エネルギー地域区分	空調制御方式	対象室床面積(m ²)
A	高知県	6	個別方式	300
B	高知県	7	中央方式	275
C	愛媛県	6	中央方式	100
D	愛媛県	5	個別方式	190
E	愛媛県	6	個別方式	200
F	香川県	6	中央方式	230
G	高知県	6	個別方式	15
H	高知県	6	個別方式	15
I	高知県	6	中央方式	400
J	高知県	6	個別方式	80
K	東京都	6	中央・個別併用方式	350
L	神奈川県	6	個別方式	130

*換気のみ個別方式

表 3-6 測定期間

名称	測定期間(夏期)	測定期間(冬期)
A	8/4～8/31	11/25～1/22
B	8/2～9/3	12/17～1/22
C	8/8～9/4	12/12～1/15
D	8/8～9/4	12/12～1/15
E	8/8～9/4	12/12～1/15
F	8/18～9/5	12/18～1/14
G	9/11～9/19	1/23～1/30
H	9/11～9/19	1/23～1/30
I	7/7～8/3	1/23～1/30
J	7/7～8/3	1/23～1/30
K	8/20～9/3	12/18～12/26
L	9/12～9/26	12/18～12/26

表 3-7 各測定項目・箇所

測定項目	測定器	測定箇所
WBGT [°C]	データロガー熱中症計 HI-2000SD	机上
温度 [°C]		
相対湿度 [%RH]		
グローブ温度 [°C]		
湿球温度 [°C]		
CO ₂ 濃度 [ppm]	CO ₂ センサ KNS-CO2S	同上
風速 [m/s]	微風速計 SWA-03	同上

表 3-8 WBGT に基づく作業者の熱ストレスの評価¹³⁾

代謝率区分	WBGT 基準値 [°C]			
	熱に順化している人		熱に順化していない人	
0 安静	33		32	
1 低代謝率	30		29	
2 中程度の代謝率：中程度の作業	28		26	
	気流を感じない時	気流を感じるとき	気流を感じない時	気流を感じるとき
3 高代謝率：激しい作業	25	26	22	23
4 極高代謝率：極激しい作業	23	25	18	20

*本研究では代謝率区分1を対象としている。

C.4.1 測定結果

取得データのうち、業務時間（8:00～18:00）のものを抽出して整理を行った。

C.4.1.1 温湿度、CO₂濃度の測定結果（夏期）

夏期の各対象室における温度、相対湿度、CO₂濃度をそれぞれ図 3-28～3-30 に示す。これら図中には衛生管理基準値の範囲をグレーで示し、箱ひげ図上の数字は各室の平均値を表している。温度について中央値は基準値外となっている B と F は中央方式であるため、管理者が空調の設定温度を高めに行っている可能性がある。相対湿度についてはほとんどが基準値内となっている。CO₂濃度については F が高く、中央方式の暖冷房であるが換気のみ個別方式の I、および間歇

的に換気設備を停止していた J に課題がみられる結果となった。

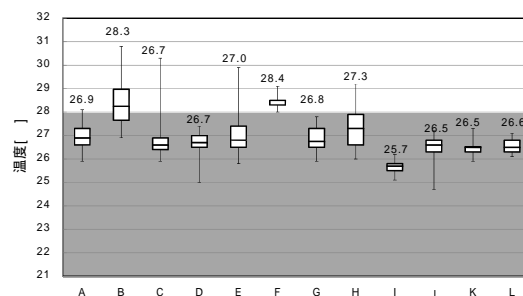


図 3-28 夏期の業務時間における温度（値は平均値）

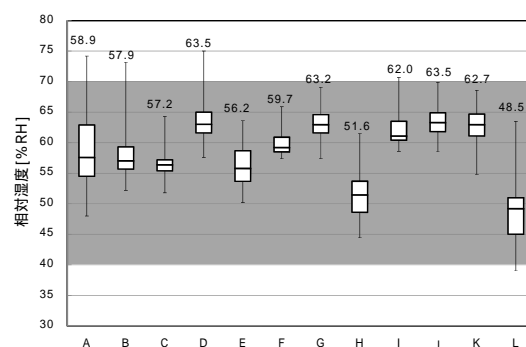


図 3-29 夏期の業務時間における相対湿度（値は平均値）

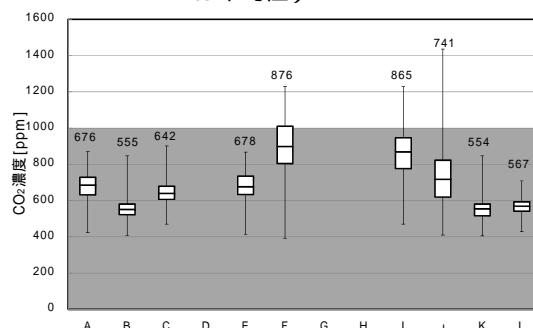


図 3-30 夏期の業務時間における CO₂濃度（値は平均値）

C.4.1.2 温湿度、CO₂濃度の測定結果（冬期）

冬期の各対象室における温度、相対湿度、CO₂濃度をそれぞれ夏期測定結果と同様に図 3-31～3-33 に示す。温度について全箇所、中央値は基準値の範囲内となっている。相対湿度について F 以外の箇所の中央値は基準値外となっており対策が必要である。CO₂濃度については夏期の測定と同様に F と I が高く、K も高い結果となった。

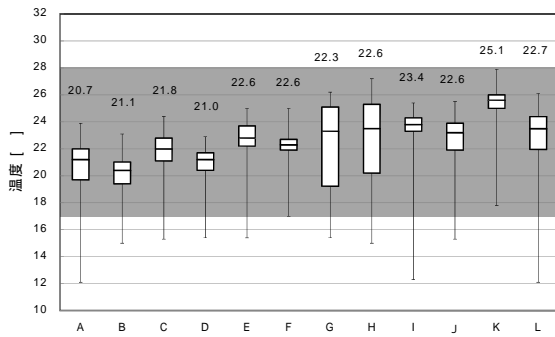


図 3-31 冬の業務時間における温度（値は平均値）

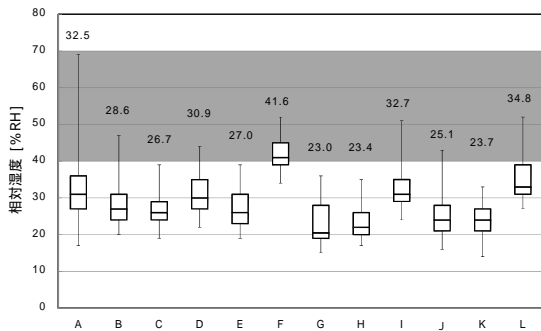


図 3-32 冬の業務時間における相対湿度（値は平均値）

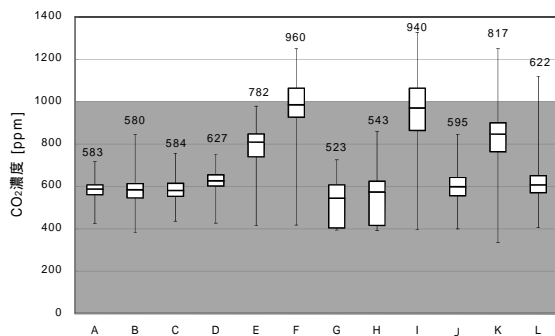


図 3-33 冬の業務時間における CO₂ 濃度（値は平均値）

C.4.1.3 WBGT、PMV の測定結果（夏期）

WBGT と PMV については測定期間中、外気温度の条件が同等のデータを抽出することで外気温度の差による影響のない分析を行った。WBGT および PMV について各室の値を図 3-34 ~ 3-35 に示す。WBGT について中央値付近は熱中症の危険はないが、最大値付近は、代謝率区分が「2 中程度の代謝率」の範囲内の数値で

あるため留意が必要であった。とくに節電のため設定温度が高く、且つ蒸暑地域の B は 27℃まで達した。PMV についても中央方式の B と F が高くなっている。

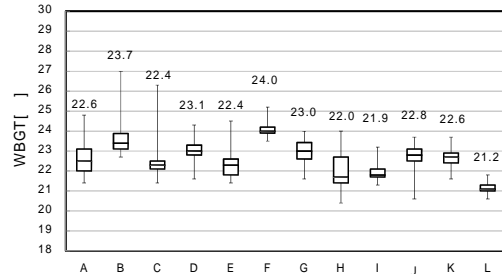


図 3-34 業務時間における WBGT(値は平均値)

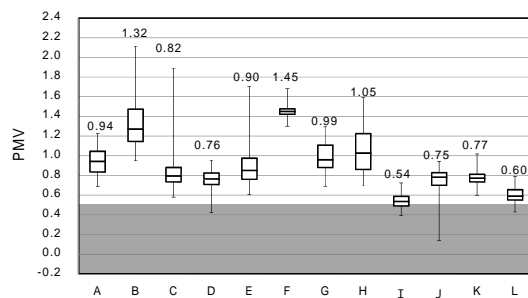


図 3-35 業務時間における PMV（値は平均値）
グレーの範囲が ISO 推奨範囲⁷⁾
(PPD:不快者率 10%以下)

C.4.1.4 WBGT,PMV の測定結果（冬期）

WBGT および PMV について夏期と同様の分析を行った。各室の値を図 3-36 ~ 3-37 に示す。WBGT について K と L は関東であるにも関わらず四国の箇所より高い結果となった。PMV については夏期に比べると中央値が ISO 推奨範囲内である箇所が数カ所見られ、マイナスを示すものはほとんどなかった。

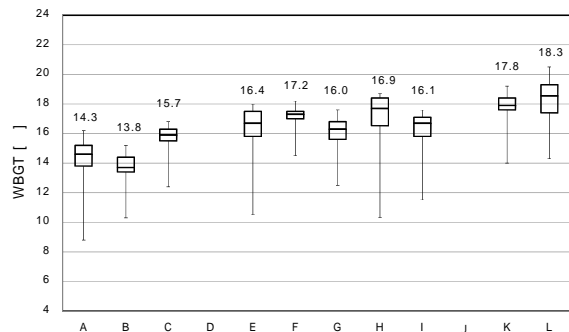


図 3-36 業務時間における WBGT（値は平均値）

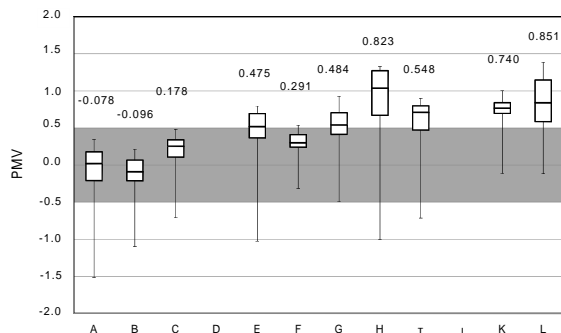


図 3-37 業務時間における PMV (値は平均値)
グレイの範囲が ISO 推奨範囲⁷⁾
(PPD:不快者率 10%以下)

C.4.1.5 全国データとの比較 (夏期)

上記の業務時間における夏期の測定値の中央値(以下、中央値)を既報告⁸⁾⁹⁾による全国ビルメンテナンス協会を通じて取得した室内環境の測定値(以下、全国データ)と比較を行った。全国データは 2011 年 3 月 11 日以前且つ今般の節電要請前に取得されたデータである。表 3-9 に測定項目と本研究による中央値を全国データに当てはめた場合の百分位(夏期)、表 3-10 に全国データにおいて衛生管理基準値の範囲を百分位の範囲(夏期)として示した。それぞれの項目の百分位は全国データの最小値を 0、最大値を 100 と設定し、測定結果の中央値を全国データの累積頻度にて当てはめた場合の数字となっている。

温度については建築物衛生法の衛生管理基準値内であるが B と F の値は大きい。相対湿度について値が大きいものはあるが測定値は基準値内であるため、問題はない。CO₂ 濃度について F と I は値が大きい。F は CO₂ 濃度制御があったため基準値を超えていないが全国的には高い順位となる。I の換気は個別方式であったことが原因と考えられる。本研究で測定対象とした事務用途室の測定値のほとんどが全国データと比べ、順位が高かった。

表 3-9 各室の測定値の中央値を全国データに当てはめた場合の百分位(夏期)

名称	温度[℃]	相対湿度[%RH]	CO ₂ 濃度[ppm]
A	75.3	62.4	65.6
B	85.9	50.0	40.2
C	77.5	45.4	57.1
D	67.0	70.1	-
E	79.0	32.5	64.2
F	88.3	62.4	90.9
G	61.8	41.1	40.6
H	56.7	25.5	46.0
I	56.7	67.0	89.4
J	50.2	73.4	72.2
K	61.8	54.2	40.6
L	44.8	22.1	42.0

*グレイのセルにて 50 位を超えているものを示す。

表 3-10 衛生管理基準値の全国データの百分位の比較(夏期)

項目	衛生管理基準値 ²⁾	百分位
温度[℃]	17.0~26.0~28.0	0.0~50.2~94.2
相対湿度[%RH]	40.0~55.0~70.0	3.7~50.0~95.8
CO ₂ 濃度[ppm]	400~601~1000	3.9~51.5~96.6

C.4.1.6 全国データとの比較(冬期)

冬期の測定値についても夏期と同様に全国データとの比較を行った。表 3-11 に測定項目と本研究による中央値を全国データに当てはめた場合の百分位(冬期)、表 3-12 に全国データにおいて衛生管理基準値の範囲を百分位の範囲(冬期)として示した。

温度について建築物衛生法の衛生管理基準値内であるため問題はないが、全国データと比較すると低いものが数カ所見られる。相対湿度については F 以外の箇所は基準値外であり、全国データと比較しても低いものが多い。CO₂ 濃度について中央値は基準値内であるが、夏期同様、F と I は全国データと比較してとても高い順位となっている。

表 3-11 衛生管理基準値の全国データの百分位の比較(冬期)

項目	衛生管理基準値 ²⁾	百分位
温度[℃]	17.0~22.7~28.0	3.4~50.0~99.9
相対湿度[%RH]	40.0~40.1~70.0	46.5~50.1~99.9
CO ₂ 濃度[ppm]	400~624~1000	3.4~50.0~92.2

表 3-12 各室の測定値の中央値を全国データに当てはめた場合の百分位（冬期）

名称	温度 [℃]	相対湿度 [%RH]	CO ₂ 濃度 [ppm]
A	27.1	17.3	40.1
B	19.4	9.7	39.8
C	36.2	8.0	39.5
D	27.1	15.1	50.4
E	51.2	8.0	78.7
F	42.5	53.3	91.5
G	60.7	2.8	31.2
H	63.8	3.6	38.0
I	69.5	17.3	91.0
J	58.9	5.6	41.7
K	95.9	5.6	81.8
L	63.8	22.4	47.2

*グレーのセルにて温度、相対湿度が 50 位を下回っているもの、CO₂濃度は 50 位を超えているものを示す。

C.4.1.7 WBGT、PMV の相関についての分析（夏期）

全測定箇所の WBGT、算定した PMV の値を業務時間内かつ外気温度の条件が同等の日のデータ抽出し、WBGT、PMV の中央値をプロットしたものを図 3-38 に示す。近似式に乗っている点（B、C、F、I）は空調制御方式が中央式のもので C と I、B と F の二つのグループに分かれている。C と I のグループは WBGT、PMV が低く、B と F のグループはともに高い。節電のため設定温度の違いが生じてしまい、同じ中央式であっても分布に差ができた。図 3-38 のプロットには WBGT、PMV の近似式を外れる点が見られる。そこで各箇所のデータ（温度、相対湿度、外気温度、CO₂濃度等、以下、室内外環境データ）と比較し分析することで原因を探った。

PMV が同等、WBGT に差がある組み合わせの例として G と H がある。G と H は同じビルの北側室（G）と南側室（H）であるが PMV は南側室が若干高い。WBGT 温度は G より H の方が少し高い結果となっており、相対湿度について明らかに G は高い。これら室内外環境データと比較すると G と H には温度の中間値に大きな変化はない。温度の最大最小値の幅に違いが見られた。北側は顕熱負荷が小さく除湿ができていないため WB に感度の高い WBGT 値が高く出た結果と考えられる。逆の条件のもので分析したが室内外環境データと関係性は見られなかった。そこで、WBGT と PMV それぞれに温度、湿度、輻射、気流（以下、温熱四要素）がどの程度影響があるか重回帰分析を行った。

WBGT および PMV について環境側の温熱四要素の内、どの要素が影響を与えているかについて統計的な分析を行った。測定項目である相対湿度とグローブ温度を説明変数として分析を行い、データは全測定箇所、業務時間内のもある。相対湿度は湿度の影響を表し、グローブ温度は温度、気流、輻射の影響を代表している。相対湿度とグローブ温度を標準偏回帰係数に変換し、比率に算定したものを表 3-13、図 3-39 に示す。

WBGT は PMV に比べ、湿度に大きく影響を受け、温度、輻射、気流の影響は小さいという結果であった。実際、調査対象である事務用途室内において輻射、気流の測定値は衛生管理基準と比較しても小さい値であり、事務用途室において温熱的衛生性に重点を置く項目は温度、湿度である。また、快適性について重点を置く項目は温度である結果となった。

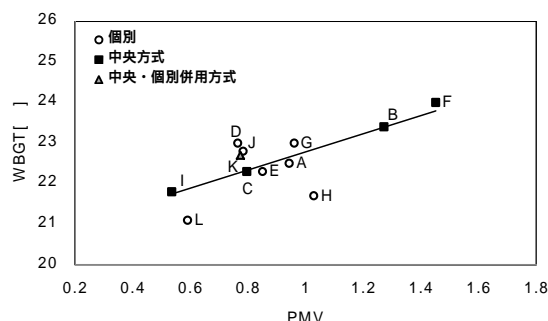


図 3-38 各測定箇所の WBGT, PMV 相関図

表 3-13 WBGT および PMV の各説明変数の標準偏回帰係数

	相対湿度	グローブ温度	R ²	n
WBGT	0.682 (50.6%)	0.667 (49.4%)	0.984	12,907
PMV	0.095 (10.0%)	0.849 (90.0%)	0.744	

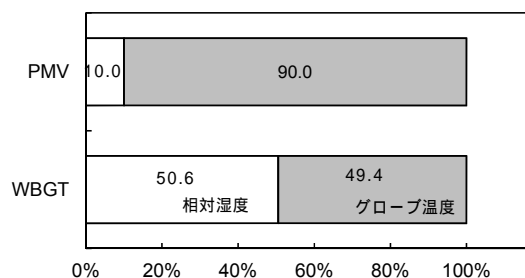


図 3-39 WBGT および PMV の各説明変数の標準偏回帰係数の比率

C.4.1.8 WBGT、PMVの相関について（冬期）

全測定箇所のWBGT、算定したPMVの値を夏期結果と同様にプロットしたものを図3-40に示す。冬期のデータではばらつきが見られず、プロットのほとんどが近似式に沿って散布しているため、夏期のものより相関が強いことがわかる。Fについては近似式から少し上方に離れているが、相対湿度が高い箇所がFだけであったことから、湿度と影響の大きいWBGTが高くなったためと考えられる。また図3-40においても、KとL（関東の室）はWBGT、PMVが他の箇所（四国の室）より高いことがわかるため、北の地域ほど室内を暖かくしており、南の地域の室内は寒いという結果であった。冬期のWBGT、PMVについても温熱四要素との影響を調査するため、重回帰分析を行った。

分析の方法は夏期結果と同様に、グローブ温度と相対湿度を説明変数とし、データは全測定箇所、業務時間内のものである。相対湿度は湿度の影響を表し、グローブ温度は温度、気流、輻射の影響を代表している。相対湿度とグローブ温度を標準偏回帰係数に変換し、比率に算定したものを表3-14、図3-41に示す。

夏期と同様、PMVに比べWBGTの方が湿度の影響する割合は多いが、夏期よりは影響が小さいものとなっている。冬期においては、温度、輻射によって温熱的衛生性、快適性が決まるといった結果となった。

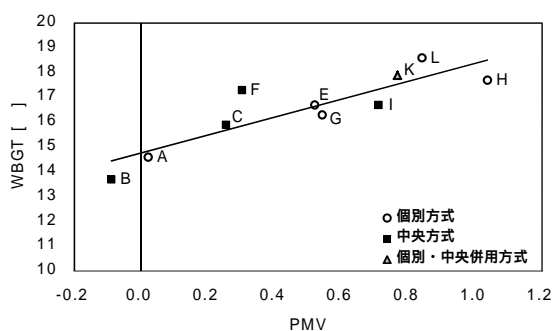


図3-40 各測定箇所のWBGT,PMV相関図

表3-14 WBGTおよびPMVの各説明変数の標準偏回帰係数

	回帰係数		R ²	n
	相対湿度	グローブ温度		
WBGT	0.431 (30.3%)	0.993 (69.3%)	0.996	16372
PMV	0.110 (9.8%)	1.01 (90.2%)	0.992	

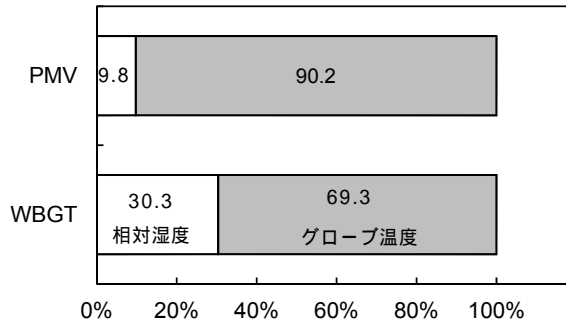


図3-41 WBGTおよびPMVの各説明変数の標準偏回帰係数の比率

C.4.2 本節のまとめ

本節では、事務用途室について室内環境調査を行い、温度、湿度、CO₂濃度を全国データと比較、WBGTとPMVの測定・算定結果から空調制御方式の違いで室内環境に課題があることを示した。

夏期において、WBGTとPMVには一定の相関はあるが一部に偏差が生じており、原因として相対湿度が大きく影響していることが判明した。

湿度は温熱的衛生性に大きな影響を及ぼし、熱的な安全性を守る上で湿度が重要であるという認識を見直す必要がある。本研究の範囲で温熱的快適性を考える場合には温度、輻射、気流の影響が強いことが結果となった。

冬期において、全体的に相対湿度が低いことから、WBGTとPMVの相関は夏期より強いものであり、温熱的衛生性と快適性は輻射の影響で決まることがわかった。

また、北側の地域ほど室内は暖かく、南側の地域ほど室内は寒いという結果であったため、今後は意識調査を絡めて室内環境調査を行う必要がある。

WBGTは現在の建築物衛生法による空気環境測定の項目にグローブ温度を追加するだけで算出が可能である。節電対策で空気調和設備の

設定温度が高い場合などの温熱衛生的な安全性確認のため追加測定項目とすることも考えられる。

D 考察

D.1 事務所空間の室内環境について

首都圏の対象建築では同室内・同建物内の同時刻において温度分布が異なり、相対湿度に影響することを示した。諸要因が測定値に影響することが事例として確認されたことから、これらが今後の建築物衛生法に係る測定の課題となると考えられる。

CO₂濃度に換気装置の管理運営方法が室内環境を大きく左右すること、また管理運営によって室内環境を保持できる空調性能を有していると考えられる。

D.2 あらたな管理基準・方法について

日射の影響を受けやすい窓仕様の場合には、室内においても、廊下側と比べ窓側の方が、温度、相対湿度とともに、基準適合範囲から逸脱する傾向を示すことを確認した。そのため WBGB など放射の影響も含んだ簡易な測定方法が望まれる。

一方、建築物の外皮性能（外乱除去）を向上させることで、窓側における温度環境の制御がより容易になり基準値割合が高くなる可能性が示唆されたことから、外乱の影響を受けない建築物の場合には、BEMS を用いた室内環境測定も視野に入れる可能があると考えられる。

E. 結論

首都圏、および蒸暑地域を含む地方における事務所ビルを対象として空調方式が中央方式、個別方式どちらの建築物においても測定を実施した。建築物規模は大規模から小規模、竣工年数も様々な建築物の検討を行うため 12 件の建築物の実測、解析を実施した。また、室内温度、相対湿度、二酸化炭素濃度を連続的に測定し解析、検討を行い、データの充実を図った。また、既往研究で得られた全国アンケート調査の結果を用いて、冬期（1月、2月、3月、12月）における室内温度、相対湿度、二酸化炭素濃度の解

析、検討を行った。

さらに、あらたな管理基準・管理方法に関する検討を目的に、室内環境測定データと室内温度分布データと BEMS データを用いた検討を行い、BEMS による室内環境測定の可能性について検討を行った。

今後も建築物衛生法の測定方法を継続的に検討していく必要があると考えられ、公衆衛生の視点に立脚した室内環境の維持管理方法の確立が望まれる。

参考文献

- 1) 中原信生：「新版 ビル・建築設備の省エネルギー」, (財)省エネルギーセンター, 2001年7月
- 2) (社)日本ビルヂング協会連合会：「ビルエネルギー運用管理ガイドライン(オフィスビルにおける地球温暖化対策のより一層の推進に向けて)」, (社)日本ビルヂング協会連合会 2008年6月
- 3) 建築物の環境衛生管理編集委員会：「第2版 第3刷建築物の環境衛生管理 上巻」, (財)ビル管理教育センター 2007年3月
- 4) 建築物の環境衛生管理編集委員会：「第2版 第3刷建築物の環境衛生管理 下巻」, (財)ビル管理教育センター 2007年3月
- 5) 橋戸幹彦：「建築設備」, 株式会社建築技術, 2010年2月
- 6) 内田治：「すぐわかる SPSS によるアンケート調査・集計・解析[第3版]」, 東京図書株式会社 2008年10月
- 7) 内田治：「すぐわかる SPSS によるアンケートの多変量解析 [第2版]」, 東京図書株式会社 2007年6月
- 8) 射場本 百田他：特定建築物における室内環境と省エネルギーに関する研究(第1報～第8報), 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集(2010・2011・2012・2013)
- 9) 射場本 百田他：建築物の環境衛生と省エネルギーのあり方に関する研究(その1)～(その8), 日本建築学会大会学術講演(2010・2011・2012)
- 10) 総務省消防庁：平成25年9月30日～10

月 6 日全国の熱中症による救急搬送状況
(速報値), <http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/heatstroke/pdf/sokuhouti.pdf>

- 11) 平成 24 年夏期(7 月~9 月)の熱中症による救急搬送の状況, http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/houdou/h24/2410/241016_1houdou/01_houdoushiryou.pdf
- 12) 国土交通省 気象庁：気象統計情報, <http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>
- 13) JIS Z8504^{:1999} 人間工学-WBGT (湿球黒球温度) 指数に基づく作業者の熱ストレスの評価-暑熱環境
- 14) ISO 7730^{:1994} :Moderate thermal environment s-Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for the thermal comfort
- 15) 社団法人 空気調和・衛生工学会：空気調和・衛生工学便覧<第 14 版>, 1 基礎編, P 330, 2010.2
- 16) 一般財団法人 建築環境・省エネルギー機構.省エネルギー地域区分, <http://www.jjj-design.org/area/index.html>