

図 3-20 期別の温湿度環境プロット

(Iビル)

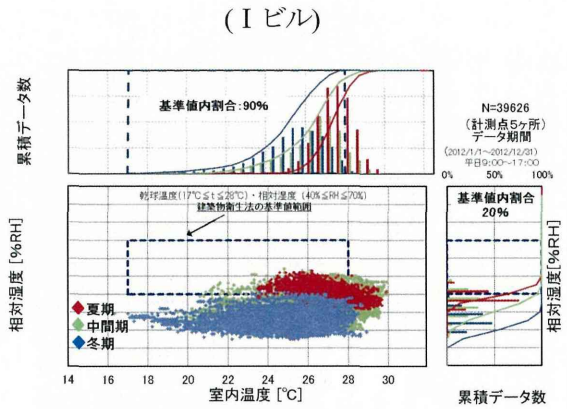


図 3-24 期別の温湿度環境プロット

(Aビル)

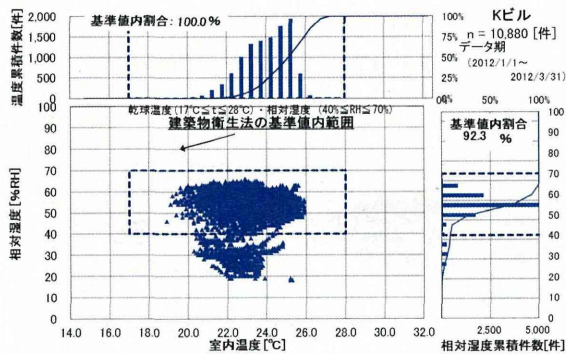


図 3-21 冬期の温湿度環境プロット

(Kビル)

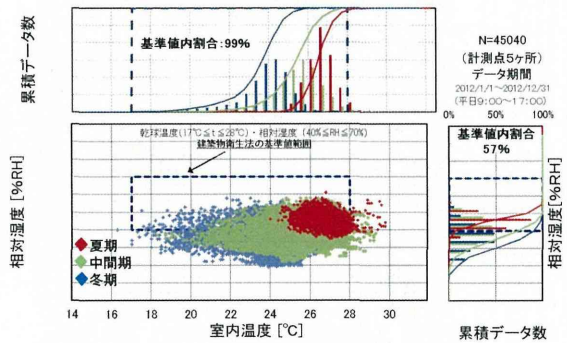


図 3-25 期別の温湿度環境プロット

(Hビル)

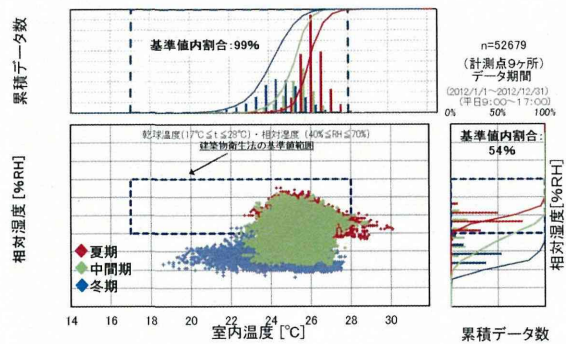


図 3-22 期別の温湿度環境プロット

(Nビル)

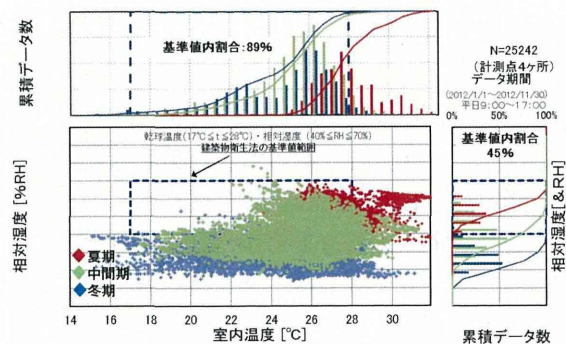


図 3-23 期別の温湿度環境プロット

全国規模のアンケート調査結果においても同様の解析を行った結果を図 3-26 に示す。

全国的な傾向としては、空調方式の違いによる差異はあまり見られなかったが、検討対象事務所ビルに着目すると中央方式が個別方式と比べ温度の振れ幅が大きいことが確認できる。これは、間仕切りなど建物固有の条件に大きく影響を受けていると推察できる。

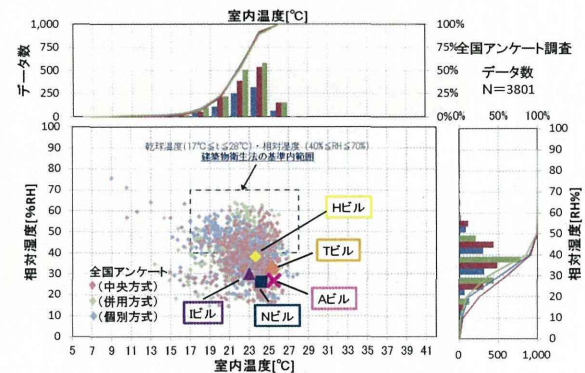


図 3-26 冬期の温湿度環境プロット (全国アンケート)

C.3.1.2 CO₂濃度・絶対湿度環境

先と同様の解析をCO₂濃度・絶対湿度においても行った結果を図3-27～図3-32に示す。

全国的な傾向として空調方式の違いがCO₂濃度に影響を及ぼすことを確認した。

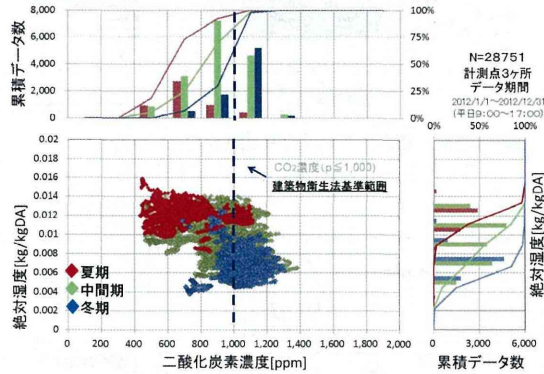


図3-27 期別のCO₂濃度，絶対湿度プロット (Tビル)

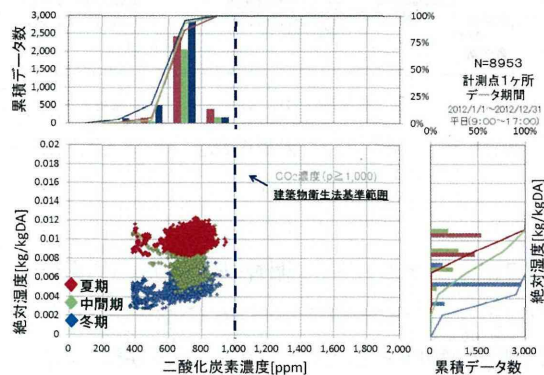


図3-28 期別のCO₂濃度，絶対湿度プロット (Nビル)

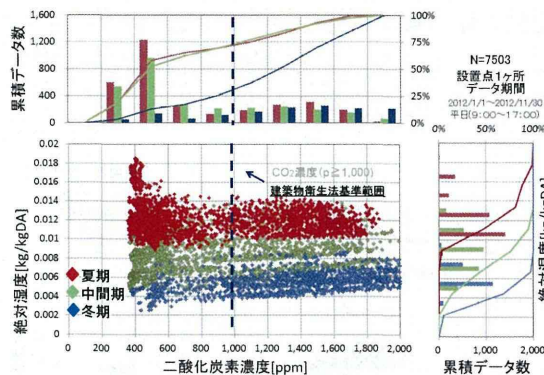


図3-29 期別のCO₂濃度，絶対湿度プロット (Iビル)

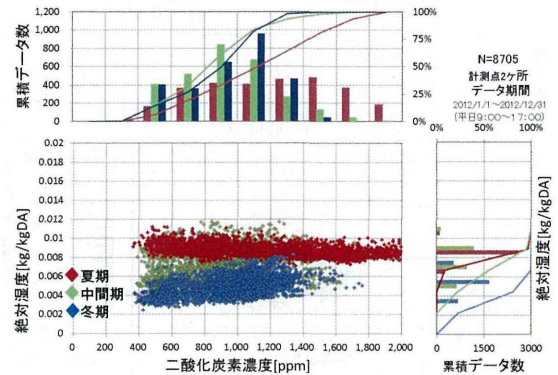


図3-30 期別のCO₂濃度，絶対湿度プロット (Aビル)

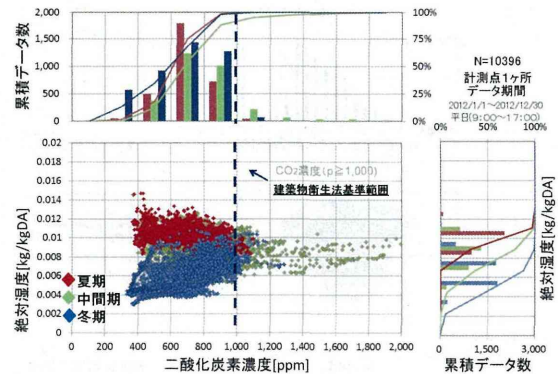


図3-31 期別のCO₂濃度，絶対湿度プロット (Nビル)

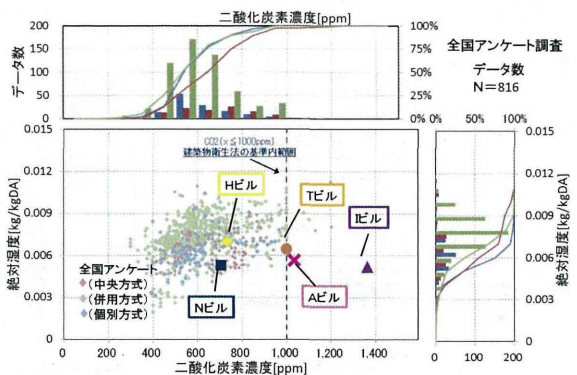


図3-32 冬季の温湿度環境プロット (全国アンケート)

C.3.2 首都圏事務所ビル代表温湿度2測定点比較

それぞれのビルにおける同一空間，同一時間における，温度差の一番おおい測定点2点を代表測定点として選出し比較を行う。

代表2測定点比較をTビル・図3-33，Iビル・図3-34，Nビル・図3-35，Aビル・図3-36，Hビル・図3-37に示す。

Tビルにおいては，図左に着目すると，室内

温度はインテリア側が高い傾向が見られ、窓近傍の冷放射の影響が見られる。相対湿度は概ね一様であるが、相対湿度はほぼ全ての時間帯で基準値(40%RH)以下であった。また同図右に示すように、同空間内において、絶対湿度にばらつきが見られた。これは対象ビルが古いために隙間風が影響している可能性が高いと思われる。

その他のビルにおいては、同図左に着目すると、室内温度が全体的に高くなっている計測点では、相対湿度が低下する傾向にあることが確認できる。同図右に示すように、同空間内において、絶対湿度にばらつきが見られないことから、換気や隙間風の影響はないと考えられないため、室内の温度が純粋に相対湿度に影響していることが分かる。

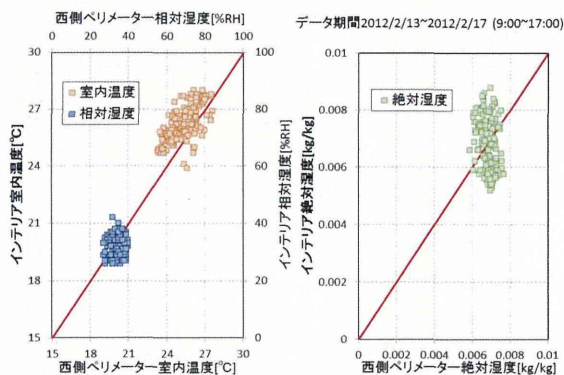


図 3-33 T ビル代表 2 測定点比較

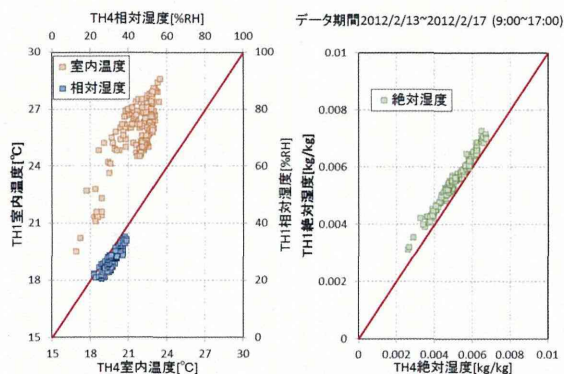


図 3-34 I ビル代表 2 測定点比較

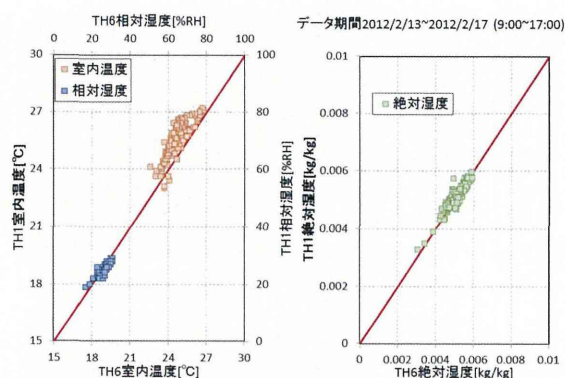


図 3-35 N ビル代表 2 測定点比較

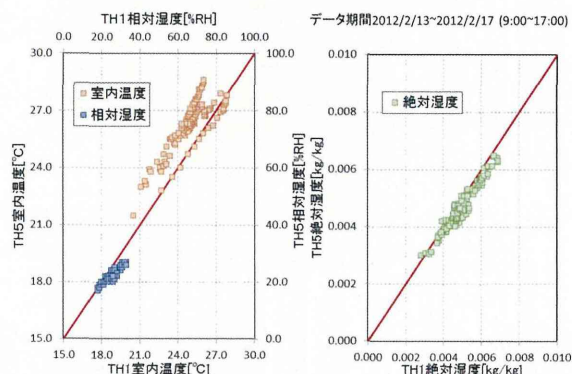


図 3-36 A ビル代表 2 測定点比較

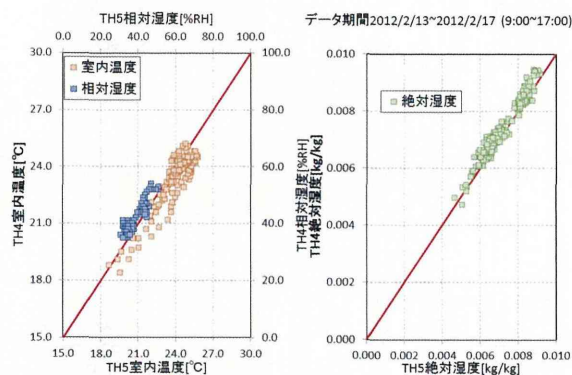


図 3-37 H ビル代表 2 測定点比較

C.3.3 空気環境を形成する影響因子に着目した検討

C.3.3.1 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囲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 3-38 に、NTビルを図 3-39 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 3-40 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。

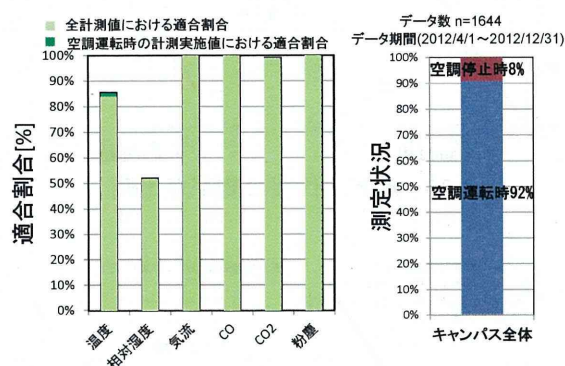


図 3-38 空気環境測定結果における解析 (大学施設)

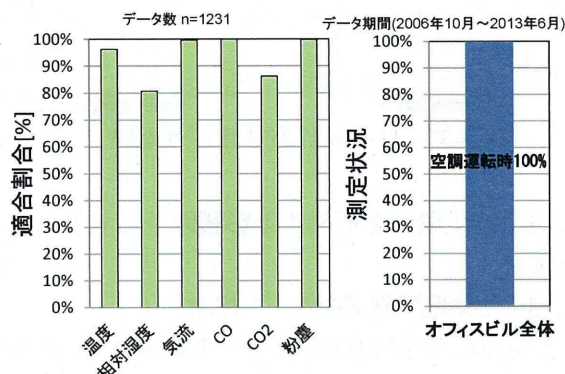


図 3-39 空気環境測定結果における解析 (NTビル)

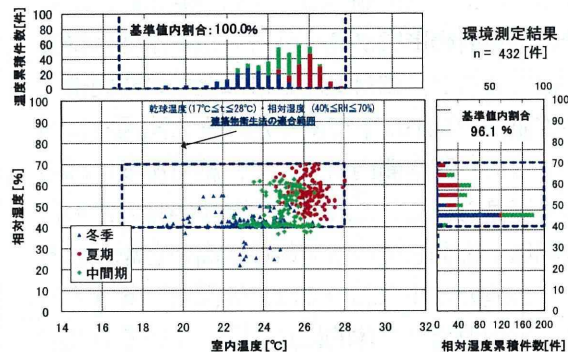


図 3-40 空気環境測定結果における解析 (Sビル)

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3-41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3-42、図3-43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、どちらに關しても、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。

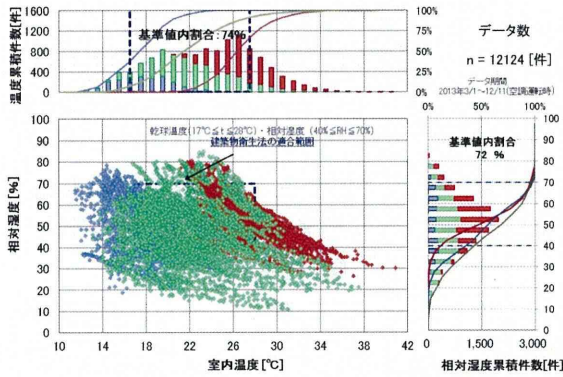


図 3-41 期別の温湿度環境プロット
(2号館ラウンジ)

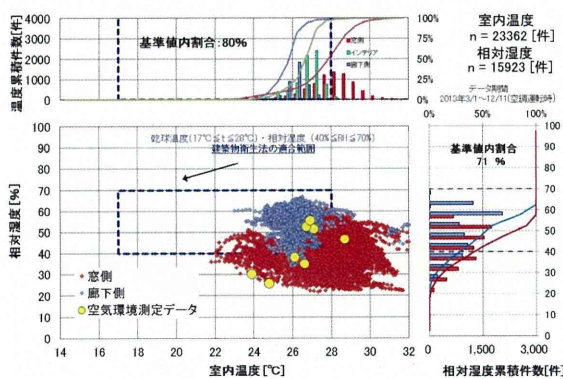


図 3-42 計測エリア毎の温湿度環境プロット(1号館4階執務室)

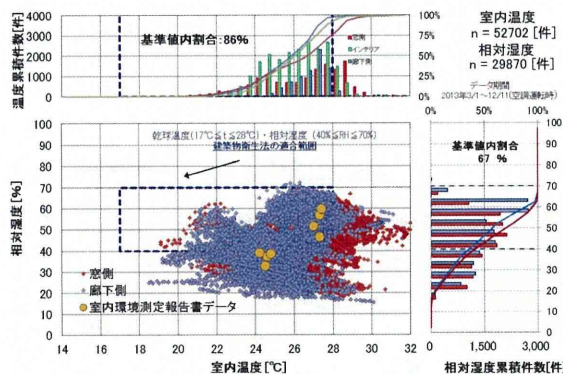


図 3-43 計測エリア毎の温湿度環境プロット(1号館5階執務室)

(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3-44～図3-46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

※2013/9/20 11:00 計測

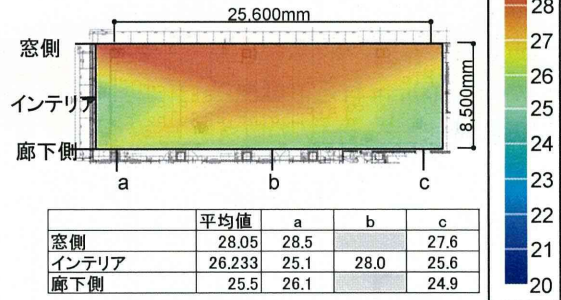


図 3-44 平面温度分布(1号館5階執務室)

※2013/8/7 11:00 計測

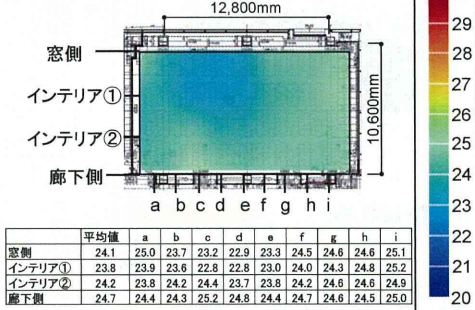


図 3-45 平面温度分布(2号館7階教室)

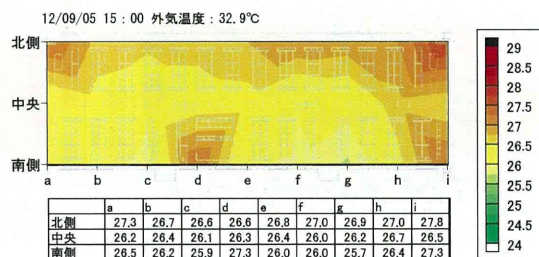


図 3-46 平面温度分布(NTビル)

(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3-47、図3-48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、500mm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。

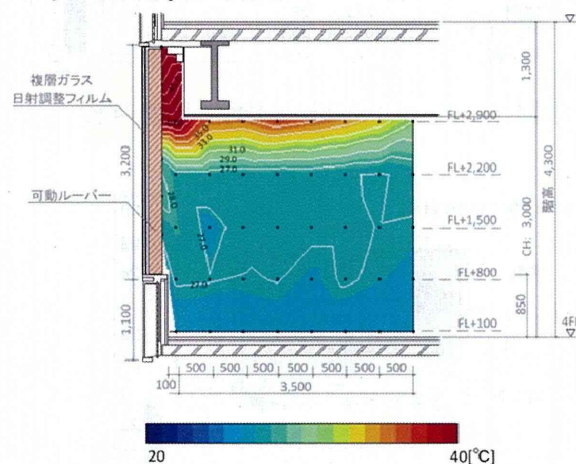


図 3-47 ペリメータ断面温度分布
(1号館4階執務室)

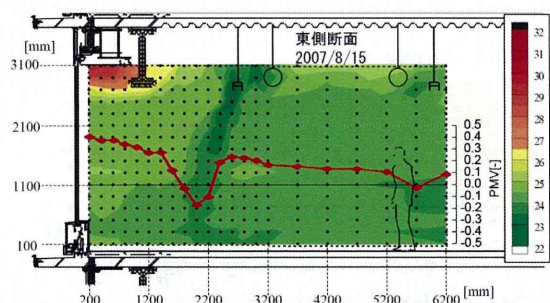


図 3-48 ペリメータ断面温度分布
(NTビル基準階)

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

3-49～図 3-51 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。

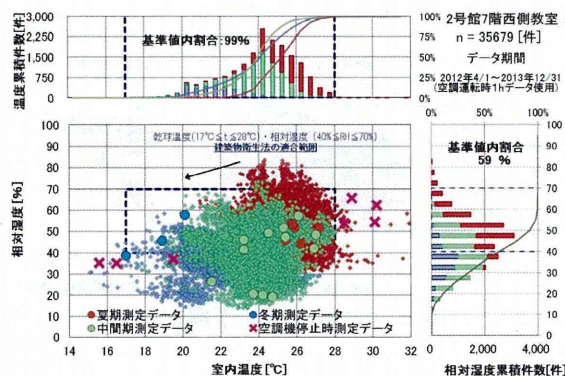


図 3-49 期別の室内環境実態と測定データ比較(1号館7階西側教室)

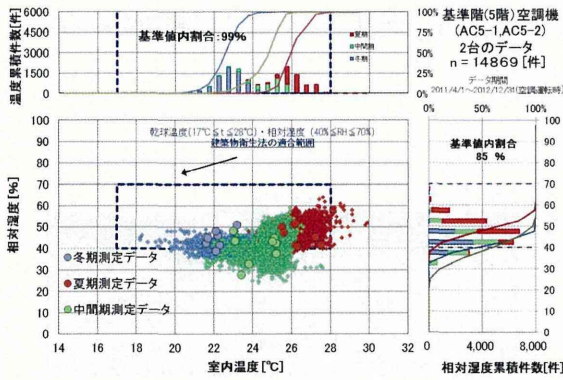


図 3-50 期別の室内環境実態と測定データ比較 (NTビル基準階)

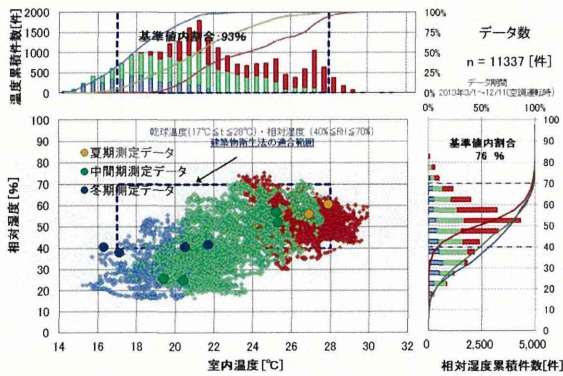


図 3-51 期別の室内環境実態と測定データ比較(1号館エントランス)

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^[5]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 [□]	データロガー熱中症計 HI-2000SD	机上
温度 [□]		
相対湿度 [%RH]		
グローブ温度 [□]		
湿球温度 [□]		
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□			
	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3-52~3-54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。

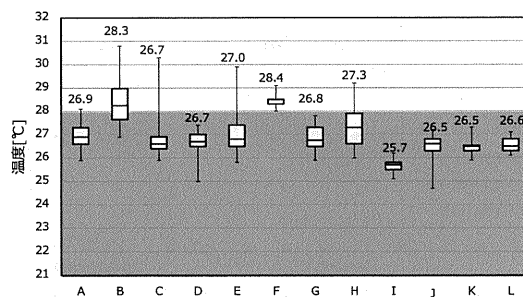


図 3-52 夏期の業務時間における温度（値は平均値）

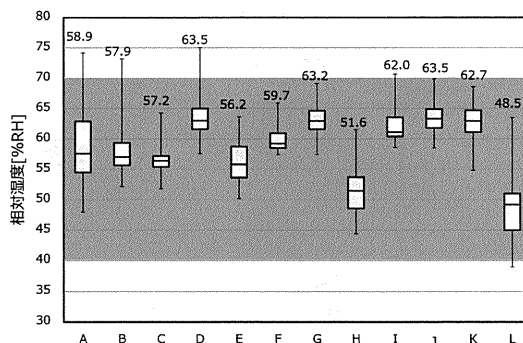


図 3-53 夏期の業務時間における相対湿度（値は平均値）

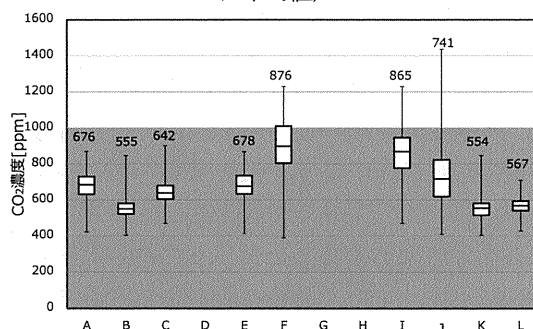


図 3-54 夏期の業務時間におけるCO₂濃度（値は平均値）

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3-55~3-57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。

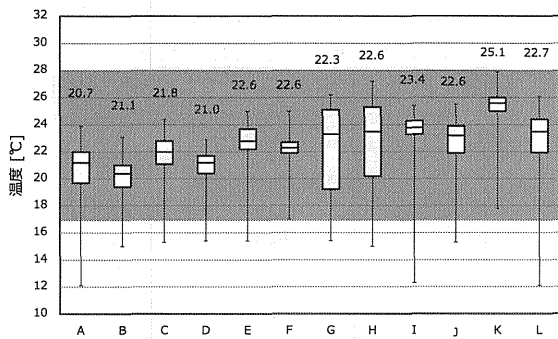


図 3-55 冬期の業務時間における温度 (値は平均値)

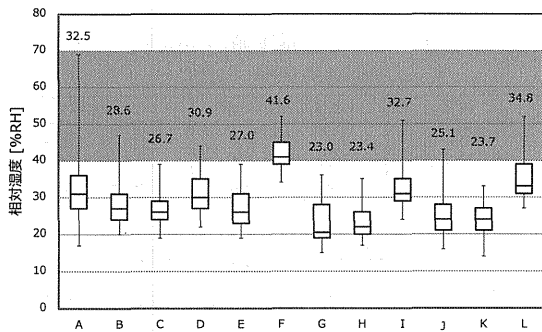


図 3-56 冬期の業務時間における相対湿度 (値は平均値)

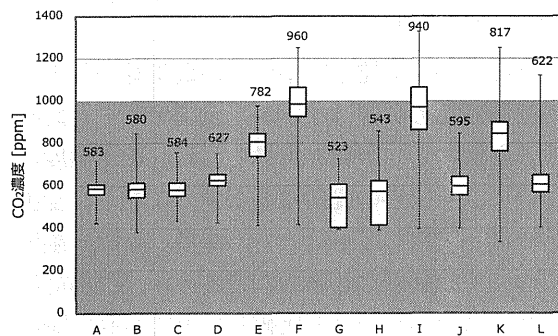


図 3-57 冬期の業務時間における CO₂ 濃度 (値は平均値)

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 3-58 ~ 3-59 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。

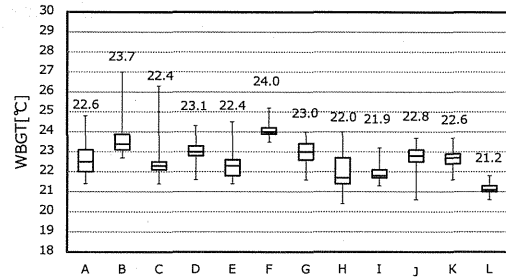


図 3-58 業務時間における WBGT(値は平均値)

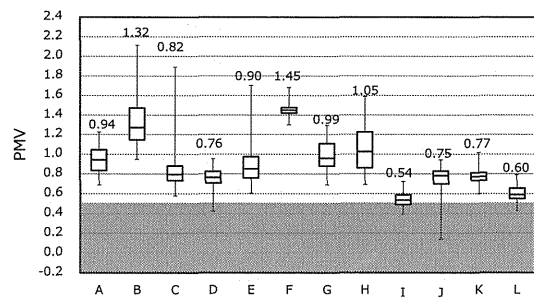


図 3-59 業務時間における PMV (値は平均値)

※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 3-60 ~ 3-61 に示す。WBGT について K と L は関東であるにもかか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。

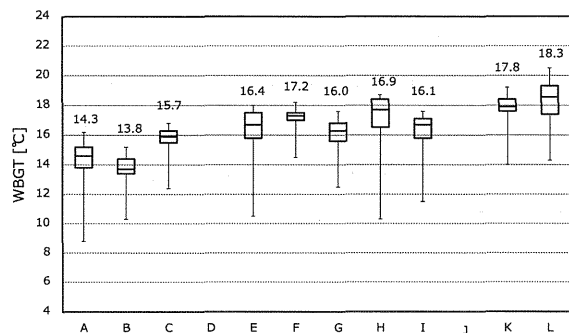


図 3-60 業務時間における WBGT (値は平均値)

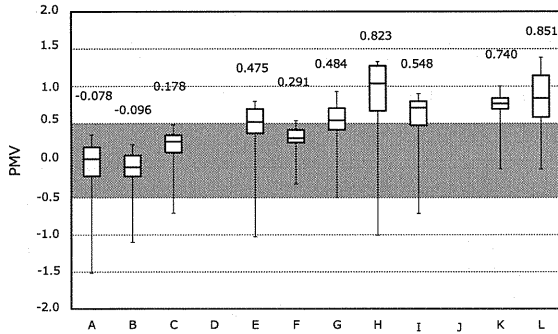


図 3-61 業務時間における PMV (値は平均値)
 ※グレーの範囲が ISO 推奨範囲⁷⁾
 (PPD:不快者率 10%以下)

C.4.1.5 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

*グレーのセルにて 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 [°C]	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 3-62 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 3-62 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 3-63 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。

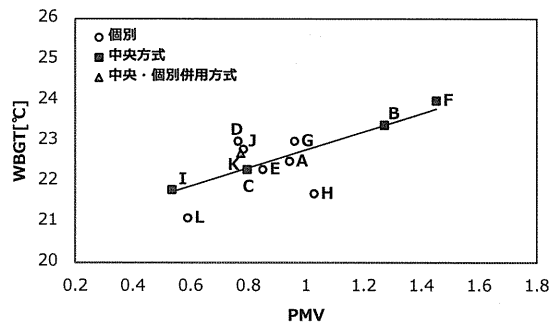


図 3-62 各測定箇所の WBGT, PMV 相関図

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%)		

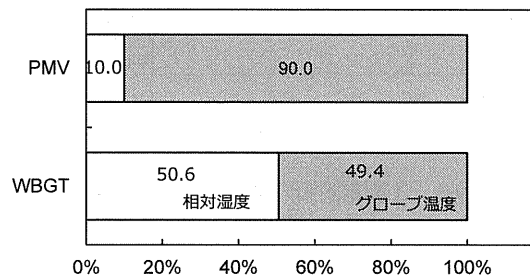


図 3-63 WBGT および PMV の各説明変数の標準偏回帰係数の比率

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 3-64 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 3-65 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。

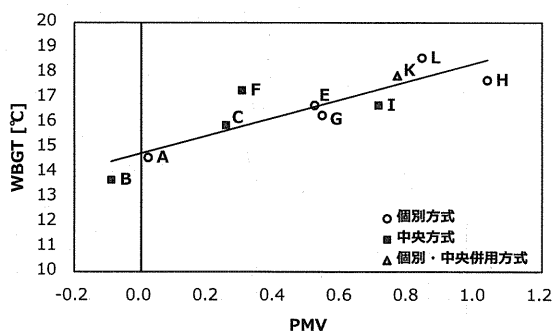


図 3-64 各測定箇所の WBGT, PMV 相関図

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
WBGT	0.431 (30.3%)	0.993 (69.3%)	0.996	16372
PMV	0.110 (9.8%)	1.01 (90.2%)	0.992	

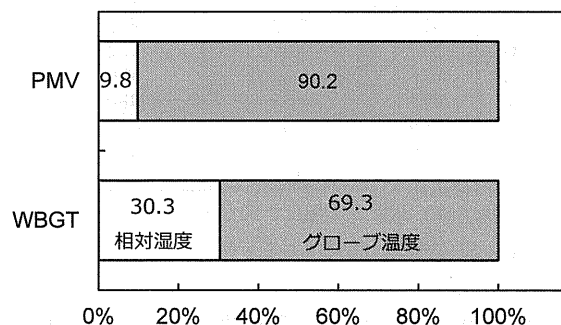


図 3-65 WBGT および PMV の各説明変数の標準偏回帰係数の比率

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

各ビルにより様相に違いはあるが、温湿度に関して基準値外が生じることを確認した。特に、冬期に基準値外割合が多い傾向にあることを確認した。

また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 濃度については年間を通して中央値にあまり変化が見られないことから、外気温湿度の影響はあまり受けないと考えられる。そのため、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)日本ビルディング協会連合会：「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)日本ビルディング協会連合会 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/heastroke/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_houdoushiryuu.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.ijj-design.org/area/index.html>

4. 健康影響と管理基準のあり方に関する研究

分担研究者 中館 俊夫 昭和大学医学部 教授

研究要旨

近年オフィスや家庭に急速に普及した電子複写方式の複写機，レーザープリンタから稼働時に排出されるエミッション中に含まれる微細な粒子状物質（微小粒子／FP，超微小粒子／UFP）による建築物内空気汚染の問題について，英文および和文の文献データベースに対する文献検索を行い，現時点での知見の整理を行った。その結果，これらの機器の稼働時にFP，UFPが周囲の空气中に排出されることは明らかであり，その制御のための知見も集積しつつあったが，それにより生じる現実的な環境汚染レベルや曝露レベル，また曝露を受けた場合に起こり得る生体反応や健康影響に関する研究報告は，急速に増加しつつあるもののまだ不十分であった。今後のリスク評価のために，ハザード評価，曝露評価に資するデータの蓄積が必要である。

研究協力者

畑 春実 昭和大学医学部助教
羽場 亮太 昭和大学医学部助教

A. 研究目的

建築物内の空気質はそこで活動する人間の健康や快適性に強く関連することから，その維持管理は建築物環境衛生管理の最も重要な要素の一つである。建築物内には空気質の劣化をもたらす種々の汚染物質発生源が存在し，シックビルディング症候群（以下，SBS）やシックハウス症候群（以下，SHS）などの健康問題との関連が示唆されている。

一方近年室内空気汚染物質の新たな発生源として，オフィスや家庭内に急速に普及した電子複写方式の事務機器（複写機，レーザープリンタ，およびその複合機）が注目されている。これらの機器は文字や画像の印刷のために粉体トナーを使用することから，従来から室内の粒子状物質汚染の可能性が指摘されていたが，最近になって，その稼働時に粒径がごく小さい粒子状物質（微小粒子[以下，FP]，超微小粒子[以下，UFP]）が放出されることがわかってきた。

そこで本分担研究では，将来の建築物環境衛生管理における潜在的な管理項目として，これら事務機器から発生する粒子状物質について，現在の知見を文献的に整理することを目的とする。

B. 研究方法

データベースを利用した文献検索により文献を収集し，整理した。文献の範囲は原著論文

を原則とすることとして，一般誌の解説記事的な文献や会議録，報道記録は除外した。国内（和文）文献は医学中央雑誌のデータベースを，海外を含む英文文献のデータベースにはMedlineを用いた。"エミッション"，"複写機"，"レーザープリンタ"，"シックビル症候群"などのキーワード（日本語，英語）により探索的に検索を行った。検索された文献の内容を確認し，本調査の趣旨に合致する文献を適宜収集した。発表年については，初年次は最近6年（2006～2011年）として，2年目以降はその後の新規発表の文献を検索した。なお収集された文献に関連する重要な文献は発表年に関わらず収集した。

C. 研究結果

初年度はSBSと事務機器稼働に伴う粒子状物質汚染に関連する用語をキーワードにして，できるだけ幅広く探索的に英文および和文の医学文献データベースを検索した。事務機器からその稼働時に粒子状物質が周囲に放出されることを実証的に示した研究が見られたが，SBSを含め生体影響との関連を論じた報告は認められなかった。一方SBS，SHSに関する文献は多数認められ，合計で18編の文献を収集した（事務機器稼働時の粒子状物質排出に関する文献5編，SBS・SHSに関する文献13編）。

初年度の検索で，SBSについて事務危機からのエミッションによる空気汚染と関連付けて論じた報告は認められなかったことから，2年目はSBSから焦点を切り替え，事務機やレーザープリンタからの粒子状物質汚染について，特に生体影響などの限定を行わずに幅広くフォーカスを置いて検索を行った。その結果，実際のオフィス環境に複写機等を持ち込み，実際

的な稼働条件下でボランティアにエミッションの曝露を行った研究や、ヒト由来の培養細胞を用いた *in vitro* のエミッション曝露実験などが報告されており、種々のアウトカムを用いた生体影響研究が進展し始めたことが推察され、新たな文献として5編を収集した。

最終年度は以上のような結果を踏まえて、今後の建築物環境衛生管理を念頭にリスク管理という観点から、本研究課題のテーマである事務機器稼働時のエミッション排出の問題をハザード評価と曝露評価という観点から評価するための文献収集を行った。その結果ハザードとしての生体影響に関する研究、実際のオフィスにおける粒子状物質濃度に関する報告など、合計7件の新規文献を収集し、合わせてこれまでの検索で漏れていた2件を追加収集した。

さらに本最終報告書を作成するに当たり関連する文献を整理し、そのリストを以下に示した。

Armbruster C, Dekan G, Hovorka A. Granulomatous pneumonitis and mediastinal lymphadenopathy due to photocopier toner dust. *Lancet*. 1996 Sep 7;348(9028):690.

Barthel M, Pedan V, Hahn O, Rothhardt M, Bresch H, Jann O, Seeger S. XRF-analysis of fine and ultrafine particles emitted from laser printing devices. *Environ Sci Technol*. 2011 Sep 15;45(18):7819-25.

Bello D, Martin J, Santeufemio C, Sun Q, Lee Bunker K, Shafer M, Demokritou P. Physicochemical and morphological characterisation of nanoparticles from photocopiers: implications for environmental health. *Nanotoxicology*. 2013 Aug;7(5):989-1003.

Castellano P, Canepari S, Ferrante R, L'Episcopo N. Multiparametric approach for an exemplary study of laser printer emissions. *J Environ Monit*. 2012 Feb;14(2):446-54.

Gminski R, Decker K, Heinz C, Seidel A, Konczol M, Goldenberg E, Grobety B, Ebner W, Giere R, Mersch-Sundermann V. Genotoxic effects of three selected black toner powders and their dimethyl sulfoxide extracts in cultured human epithelial A549 lung cells *in vitro*. *Environ Mol Mutagen*. 2011 May;52(4):296-309.

He C, Morawska L, Taplin L. Particle emission characteristics of office printers. *Environ Sci*

Technol. 2007 Sep 1;41(17):6039-45.

Helmis, C. G.;Assimakopoulos, V. D.;Flocas, H. A.;Stathopoulou, O. I.;Sgouros, G.;Hatzaki, M. Indoor air quality assessment in the air traffic control tower of the Athens Airport, Greece. *Environ Monit Assess* 2009; 148(1-4): 47-60.

Khatri M, Bello D, Gaines P, Martin J, Pal AK, Gore R, Woskie S. Nanoparticles from photocopiers induce oxidative stress and upper respiratory tract inflammation in healthy volunteers. *Nanotoxicology*. 2012 Jun 14. [Epub ahead of print]

Konczol M, Weis A, Gminski R, Merfort I, Mersch-Sundermann V. Oxidative stress and inflammatory response to printer toner particles in human epithelial A549 lung cells. *Toxicol Lett*. 2013 Feb 4;216(2-3):171-80.

Lan L, Wargocki P, Wyon DP, Lian Z. Effects of thermal discomfort in an office on perceived air quality, SBS symptoms, physiological responses, and human performance. *Indoor Air* 2011; 21(5): 376-90.

Lee CW, Dai YT, Chien CH, Hsu DJ. Characteristics and health impacts of volatile organic compounds in photocopy centers. *Environ Res*. 2006 Feb;100(2):139-49. Epub 2005 Jul 19.

Matsuda Y, Harada Y, Tanno Y. State of Toner Exposure of Workers Who Handle Toners. *J Occup Health*. 2013 May 23. [Epub ahead of print]

McGarry P, Morawska L, He C, Jayaratne R, Falk M, Tran Q, Wang H. Exposure to particles from laser printers operating within office workplaces. *Environ Sci Technol*. 2011 Aug 1;45(15):6444-52.

Mendell, M. J.;Lei-Gomez, Q.;Mirer, A. G.;Seppanen, O.;Brunner, G. Risk factors in heating, ventilating, and air-conditioning systems for occupant symptoms in US office buildings: the US EPA BASE study. *Indoor Air* 2008; 18(4): 301-16.

Mendell, M. J.;Mirer, A. G. Indoor thermal factors and symptoms in office workers: findings from the US EPA BASE study. *Indoor Air* 2009; 19(4): 291-302.

Morawska L, He C, Johnson G, Jayaratne R, Salthammer T, Wang H, Uhde E, Bostrom T, Modini R, Ayoko G, McGarry P, Wensing M. An

investigation into the characteristics and formation mechanisms of particles originating from the operation of laser printers. *Environ Sci Technol.* 2009 Feb 15;43(4):1015-22.

Murase T, Kitamura H, Kochi T, Terunuma N, Kurosaki S, Hata K, Yanagi N, Uchino B, Kitahara K, Morimoto Y, Kasai H, Sasaki T, Ogami A, Higashi T. Distributions and ranges of values of blood and urinary biomarker of inflammation and oxidative stress in the workers engaged in office machine manufactures: evaluation of reference values. *Clin Chem Lab Med.* 2013 Feb;51(2):421-8.

Nakadate T, Yamano Y, Adachi C, Kikuchi Y, Nishiwaki Y, Nohara M, Satoh T, Omae K. A cross sectional study of the respiratory health of workers handling printing toner dust. *Occup Environ Med.* 2006 Apr;63(4):244-9.

野崎淳夫;橋本康弘;成田泰章;早坂友規;吉川彩;山下祐希. 室内化学物質発生源と室内空気汚染対策製品の測定評価システムの性能に関する研究. *臨床環境医学* 2007; 16(1): 21-29.

Rios, J. L.;Boechat, J. L.;Gioda, A.;dos Santos, C. Y.;de Aquino Neto, F. R.;Lapa e Silva, J. R. Symptoms prevalence among office workers of a sealed versus a non-sealed building: associations to indoor air quality. *Environ Int* 2009; 35(8): 1136-41.

Sahlberg, B.;Wieslander, G.;Norback, D. Sick building syndrome in relation to domestic exposure in Sweden--a cohort study from 1991 to 2001 *Scand J Public Health* 2010; 38(3): 232-8

Saijo Y; Nakagi Y; Ito T; Sugioka Y; Endo H; Yoshida T. 日本の公共共同住宅におけるシックビル症候群と湿気との関係 (Relation of dampness to sick building syndrome in Japanese public apartment houses). *Environmental Health and Preventive Medicine* 2009; 14(1): 26-35.

Schripp T, Wensing M, Uhde E, Salthammer T, He C, Morawska L. Evaluation of ultrafine particle emissions from laser printers using emission test chambers. *Environ Sci Technol.* 2008 Jun 15;42(12):4338-43.

Shafer MM, Toner BM, Overdier JT, Schauer JJ, Fakra SC, Hu S, Herner JD, Ayala A. Chemical speciation of vanadium in particulate matter emitted from diesel vehicles and urban atmospheric aerosols. *Environ Sci Technol.* 2012

Jan 3;46(1):189-95.

Takeda, M.;Saijo, Y.;Yuasa, M.;Kanazawa, A.;Araki, A.;Kishi, R. Relationship between sick building syndrome and indoor environmental factors in newly built Japanese dwellings. *Int Arch Occup Environ Health* 2009; 82(5): 583-93.

瀧川智子;汪達紘;荻野景規. シックハウス症候群とその予防策. *日本予防医学会雑誌* 2009; 4(2): 3-7.

2011-(1)-1.Tang T, Hurras J, Gminski R, Mersch-Sundermann V. Fine and ultrafine particles emitted from laser printers as indoor air contaminants in German offices. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2011 Nov 18. [Epub ahead of print]

Tang T, Gminski R, Konczol M, Modest C, Armbruster B, Mersch-Sundermann V. Investigations on cytotoxic and genotoxic effects of laser printer emissions in human epithelial A549 lung cells using an air/liquid exposure system. *Environ Mol Mutagen.* 2012 Mar;53(2):125-35.

Wensing M, Schripp T, Uhde E, Salthammer T. Ultra-fine particles release from hardcopy devices: sources, real-room measurements and efficiency of filter accessories. *Sci Total Environ.* 2008 Dec 15;407(1):418-27.

Wallace L, Ott W. Personal exposure to ultrafine particles. *J Expo Sci Environ Epidemiol.* 2011 Jan-Feb;21(1):20-30.

Wolkoff, P.;Wilkins, C. K.;Clausen, P. A.;Nielsen, G. D. Organic compounds in office environments - sensory irritation, odor, measurements and the role of reactive chemistry. *Indoor Air* 2006; 16(1): 7-19.

Wolkoff, P.;Kjaergaard, S. K. The dichotomy of relative humidity on indoor air quality. *Environ Int* 2007; 33(6): 850-7.

Wu XM, Apte MG, Bennett DH. Indoor particle levels in small- and medium-sized commercial buildings in California. *Environ Sci Technol.* 2012 Nov 20;46(22):12355-63.

吉田辰夫(関西労災病院 環境医学研究センター), 小川真規, 後藤浩之, 大下歩, 黒瀬直子, 横沢册子, 平田衛, 圓藤陽子. シックビル症候群患者の臨床所見並びに環境測定結果について. *産業衛生学雑誌* 2011; 53(2): 25-32.

D.考察

・事務機器からの粒子状物質の発生

電子写真方式の複写機やレーザープリンタは文字や画像の印刷のために粉体トナーを用いることから、従来よりその使用下でトナーを中心とした粒子状物質による空気汚染が生じる可能性が指摘されてきた。とくに近年、印字や画質の向上を図るため粉体トナーの粒径が小さくなる傾向にあり、その結果吸入された場合に呼吸器の深部まで到達し、生体反応、健康影響を惹起する可能性が懸念されていた (Armbruster C. et al, Nakadate T. et al)。

さらに最近になって、トナー粒子の直接的な飛散ではなく、これら機事務器の稼働時にエミッションとして粒径が $2.5\mu\text{m}$ 以下の FP が排出され、その中には粒径がナノメートルオーダーの UFP も含まれることが、2007 年に Morawska らのグループにより報告されている (He C. et al)。彼らは市販されているオフィス用の機器を実際に稼働させ、その際に放出されるエミッションを測定しているが、機種により差はあるものの、稼働後短時間で粒子の排出がおこり、その粒径は数十~100 ナノメートルにモードを持つ UFP であり、その排出が室内空気の粒子濃度に影響を与えうるものであることが示されている。その後もいくつかの同様な研究結果が報告されていることから (Barthel M. et al, McGarry P, et al)、これら電子写真方式の事務機器の稼働時に、FP、UFP を中心とする微細な粒子が放出されることは明らかである。

一方このような粒子の発生について、機器の稼働の条件、たとえば運転の時間的条件や定着の温度との関連や、発生する粒子の粒径分布、さらにはその成分・組成などについても情報が集積しつつある。Morawska らのグループはエミッションに関する最初の報告を発展させた次報 (Morawska L. et al) で、粒子の生成が稼働時に生成される揮発性化合物蒸気 (VOC 等) の凝縮により生じる可能性が高いこと、またその生成には機器内部の温度条件が関与し、温度の制御によって粒子生成を制御できる可能性を示唆している。また前出の Barthel らは、1 立方メートルのチャンバー内でレーザープリンタを種々の条件で稼働させ、粒子の発生を確認するとともに、その粒径分布や時間的変動、また蛍光 X 線分析による粒子の成分分析結果を報告している。また Bello ら (Bello D. et al) はコピーセンター内で採取された粒子状物質

の元素組成を分析し、その 50-70% が炭素であり、その比率がトナー粒子における炭素の比率よりも低いこと、また UFP において、炭素以外にケイ素、チタン、亜鉛などの比率が大きいことを報告している。

このように粒子の発生を制御しようとする試みが進められる一方、生成される粒子の由来や組成については、印刷用トナーの構成成分に由来するところが多く成分は百を超えるとする推察もあるものの (Bello D. et al, Castellano P. et al)、その詳細にはなお不明の点が多い。しかし粒子の物理化学的性状は生体影響の発言に直結する要素であり、今後生体影響を評価する際に、メカニズムを推察するためにはこれらの組成に関する知見が重要であり、今後の研究の進展が期待される。

・生体影響

[ヒトを対象とした研究]

建築物内の空気質の劣化に関連する代表的な健康影響として SBS が知られている。SBS は特定の空気汚染物質によるものではなく、一般的な空気質の悪化によるものと考えられ、通常外気の取り込み不足により起こるとされている。ドイツでは SBS に類似した身体的不調、不定愁訴が複写機などの事務機器の使用によって生じているとする報道もなされていることから、事務機器から稼働時に放出される粒子状物質と SBS の関連はまず検討すべき生体影響の一つである。

今回の検討では、SBS と事務機器による空気汚染に直接フォーカスした研究は検索されなかったが (平成 23 年度報告書)、関連した研究として、Khatri ら (Khatri M) は複写機が使用されている実際のオフィスにおいて、健常者ボランティア 9 名に連続する 2~3 日間、1 日に 6 時間コピーセンターの室内に滞在してもらい、その間の室内空気中 UFP 曝露状況と被験者の体内に生じる急性期反応を、経時的な鼻腔洗浄液および尿試料の分析により測定し、関連性を評価したものである。その結果、30~40nm にモードを持つ UFP 濃度はバックグラウンド濃度の 5 倍以上に増加し、その上昇に対応して鼻腔洗浄液中のサイトカイン類 (INF α , GCSF など) や尿中 8-ヒドロキシエオキシグアノシン (8-oHDG) の増加が認められ、機器の稼働終了による UFP 濃度低下とともに、これらの濃度も低下していた。これらの結果はエミッション、とくに微細な粒子状物質曝露によって生じる空気汚染がヒトに対して急性の生

体反応を引き起こす可能性があることを示すもので、ドイツの報道などに見られるコピー作業に伴う身体不調などとも関連する可能性があり、今後の研究の重要な焦点の一つであろう。

また Murase ら (Murase T. et al), Matsuda ら (Matsuda Y. et al) の研究は、いずれもわが国で行われた疫学研究の報告で、複写機やレーザープリンタ稼働時のエミッションを直接扱っているものではないが、これらの機器で使用される印刷用トナー粒子の取扱いやそれに伴う曝露によって生じる可能性のある健康影響について報告したものである。前向きコホート研究の一部として報告されたもので、長期曝露による健康影響を評価する本格的な疫学研究であり、これまでのところでは有意な有害影響は示されていないが、今後のデータの集積による精密な解析結果が期待される。

[in vitro 実験]

有害物質の生体影響を研究する上で、とくにそのメカニズムを明らかにするために in vitro 研究は欠かせない手段である。印刷用トナー粒子やエミッションの生体影響についても、種々の研究がおこなわれている。その中でも最も注目されるのが、Sundermann らの研究グループによる一連の報告である (Gminski R. et al, Tang T. et al [2012], Konczol M. et al)。

これらの研究は、ヒト呼吸器の上皮細胞由来する培養細胞を用いた in vitro 実験研究で、印刷用トナー粒子や、稼働中の事務機器から排出された UFP を気相および液相で曝露するための実験系を作製し、そのシステムを用いておもに細胞毒性と遺伝毒性 (変異原性) を検討している。細胞毒性は WST-1 アッセイによって評価し、変異原性の指標として小核試験を用い、5 機種 of レーザープリンタを稼働させて検討している。機器がスタンバイ時の平均 UFP 濃度は 1 立法センチメートル当たり 9~26 個であったが、機器の稼働により濃度は増加し、2 つの機種では濃度が 90~16,000 倍に増加した。稼働中のエミッション曝露により、WST-1 アッセイによる細胞毒性、および小核試験による変異原性のいずれにおいても曝露に対応した変化が観察されている。このような影響が UFP のいかなる性質や成分によるものかはまだ未解明であるが、本研究の結果は一定以上の曝露が呼吸器の細胞に生じる環境であれば何らかの有害な生体影響を起こす可能性を示唆するものである。とくに変異原性は発がん性と相関することが知られていることから重要な知見である。またそのメカニズムとして、細胞毒性

試験の結果から推察される炎症反応による酸化ストレス負荷と、それに伴って生じる遺伝子障害の可能性が述べられている。

これらの結果は直ちにヒトでの影響を示唆するものではないが、今後 in vivo での同様な実験や、動物実験などによる検証が必要である。とくに遺伝毒性については、環境リスク評価におけるハザードとしての評価において最も重要なアウトカムであり、その有無はヒトでの発がん性にも関連し得ることから、十分な検証が今後必要であると考えられる。

・建築物内における曝露

実際的なオフィスにおける稼働条件下で、事務機器からのエミッションによってどの程度の空気汚染、曝露が生じるかについても研究が進みつつある。McGarry ら (McGarry P. et al) は、オーストラリアのオフィスで実際の機器の稼働と環境中 FP, UFP 濃度との関連を検討し、平均的には大きな影響とは言えないが、ピーク濃度として、特に UFP 濃度が稼働に関連して増加することを示している。また Tang ら (Tang T. et al [2011]) はドイツにおける 63 か所の一般的なオフィスにおける室内粒子状物質濃度を、事務機器の稼働前、稼働中、稼働後にそれぞれ測定し、稼働に伴う FP, UFP 濃度の増加の程度を報告している。また Wu ら (Wu XM. et al) は、カリフォルニアの 37 の建築物について、その内外で粒子状物質の濃度を測定した研究報告で、室内の発生源や室内外差などについて検討されている。事務機器のエミッションだけを扱っている研究ではないが、実際の建築物における環境濃度が測定されており、曝露の推定などに貴重な報告であり、今後実際のオフィス等の環境で、これら事務機器からの粒子状物質排出が、他の排出源由来の粒子状物質との比較の上で、どの程度の寄与を持っているかを評価することが必要になる。

このようにいくつかの報告は見られるものの、通常の使用条件下で、建築物内でどの程度環境濃度に影響を与えるのか、また室内にいる人間の個人曝露量がどの程度になるかについては研究がまだ少なく、また種々の条件下で変わり得ることから、情報が不十分であり、特にリスク評価における曝露評価という観点から、今後の研究の進展が必要である。

E. 結論

建築物内空気環境に対する新たな汚染源として、近年オフィスや家庭に急速に普及した電

子複写方式の複写機, レーザープリンタから稼働時に排出されるエミッション中の微細な粒子状物質 (FP, UFP) について現時点での知見の整理を試みた。その結果, 機器の稼働時に FP, UFP が排出されることは明らかであり, その制御のための知見も集積しつつあることがわかった。一方その曝露に伴う生体反応, 健康影響については, ごく最近になって研究結果が報告され始め, この分野の研究が急速に進展していることがうかがわれた。またこれに合わせて粒子状物質の成分組成に関する報告や実際の建築物環境における空気環境, 曝露濃度などの報告も増加しており, これらの機器の現実的な使用条件下における生体影響の可能性の評価のための情報が集積しつつある。

今後建築物環境衛生管理におけるリスク評価のため, ハザード評価, 曝露評価に役立つ研究結果のさらなる進展が期待される。

F.研究発表

該当なし