

図 3-17 期別の温湿度環境プロット
(2号館ラウンジ)

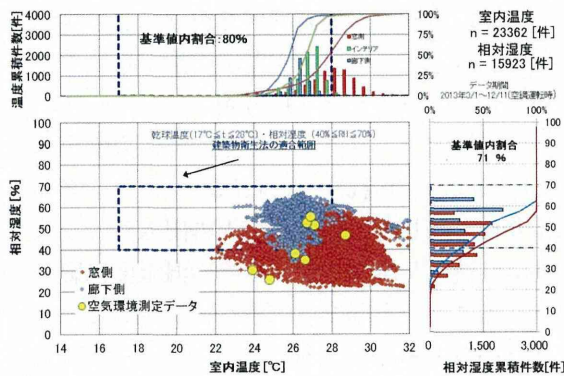


図 3-18 計測エリア毎の温湿度環境プロット(1号館4階執務室)

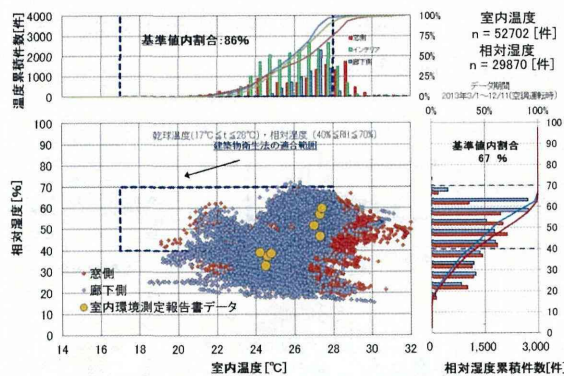


図 3-19 計測エリア毎の温湿度環境プロット(1号館5階執務室)

(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

※2013/9/20 11:00 計測

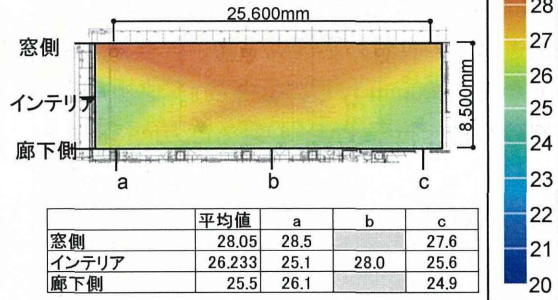


図 3-20 平面温度分布(1号館5階執務室)

※2013/8/7 11:00 計測

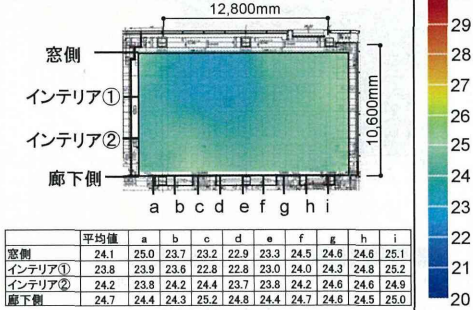


図 3-21 平面温度分布(2号館7階教室)

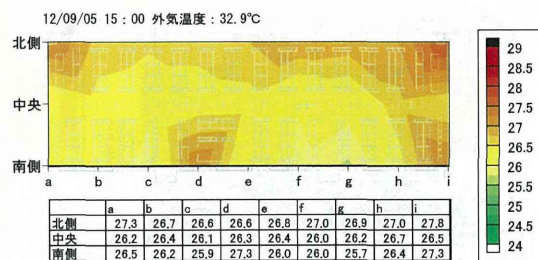


図 3-22 平面温度分布(NTビル)

(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、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。

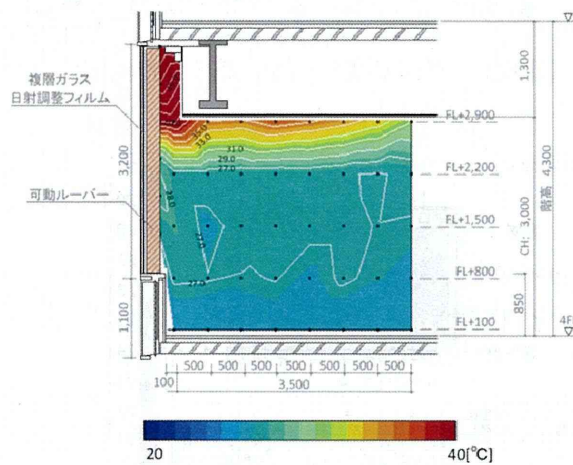


図 3-23 ペリメータ断面温度分布
(1号館4階執務室)

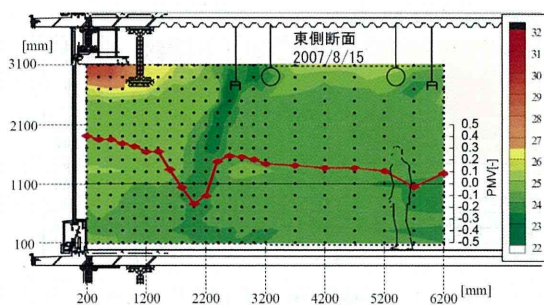


図 3-24 ペリメータ断面温度分布
(NTビル基準階)

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。

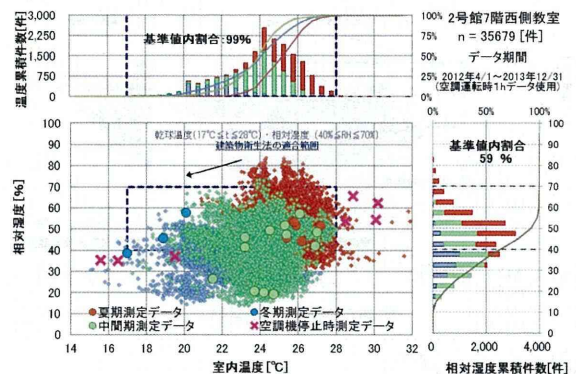


図 3-25 期別の室内環境実態と測定データ比較(1号館7階西側教室)

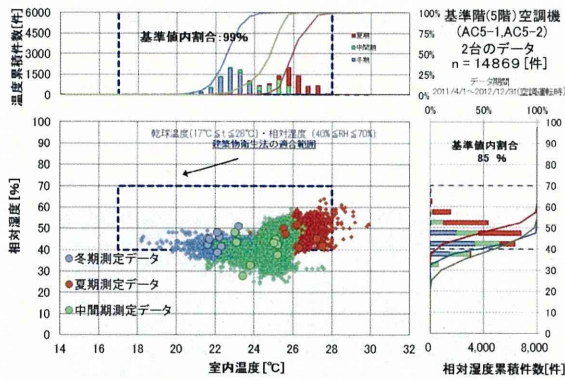


図 3-26 期別の室内環境実態と測定データ比較 (NTビル基準階)

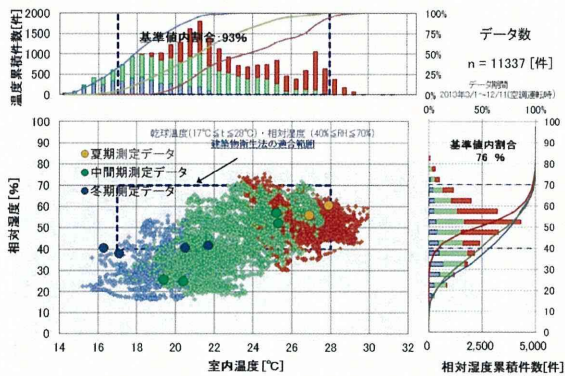


図 3-27 期別の室内環境実態と測定データ比較(1号館エントランス)

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

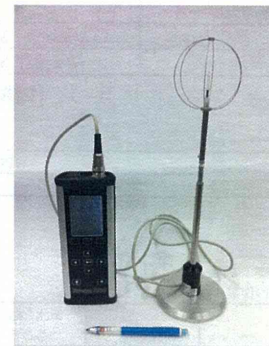


写真 3-2 微風速計

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 (㎡)
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。

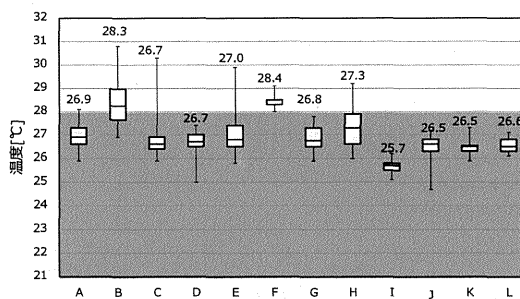


図 3-28 夏期の業務時間における温度（値は平均値）

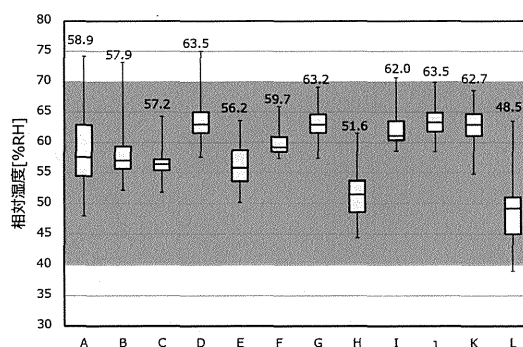


図 3-29 夏期の業務時間における相対湿度（値は平均値）

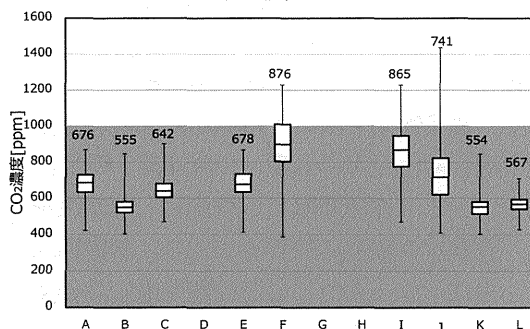


図 3-30 夏期の業務時間における CO₂濃度（値は平均値）

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。

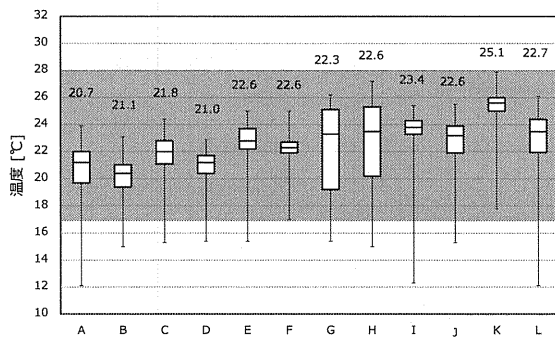


図 3-31 冬期の業務時間における温度 (値は平均値)

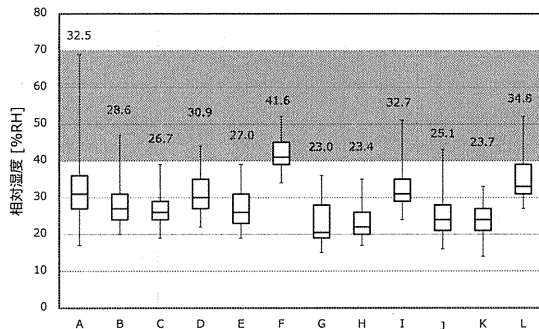


図 3-32 冬期の業務時間における相対湿度 (値は平均値)

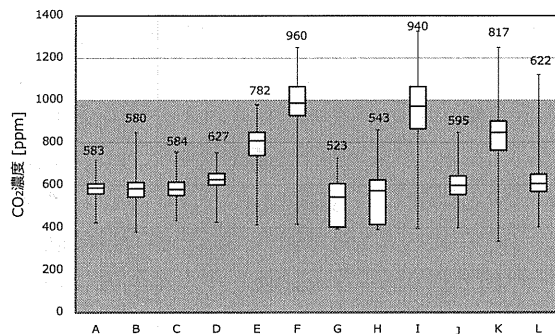


図 3-33 冬期の業務時間における CO₂ 濃度 (値は平均値)

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 3-34 ~ 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。

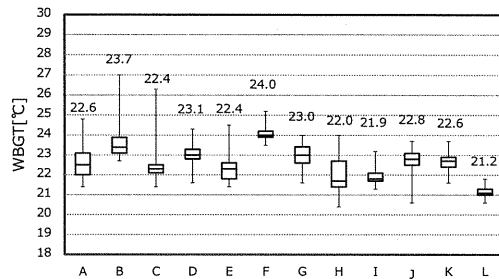


図 3-34 業務時間における WBGT(値は平均値)

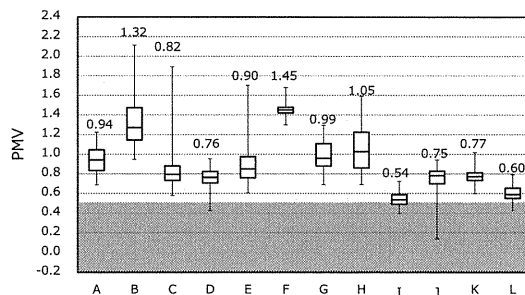


図 3-35 業務時間における PMV (値は平均値)
※グレーの範囲が ISO 推奨範囲⁷⁾
(PPD:不快者率 10%以下)

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。

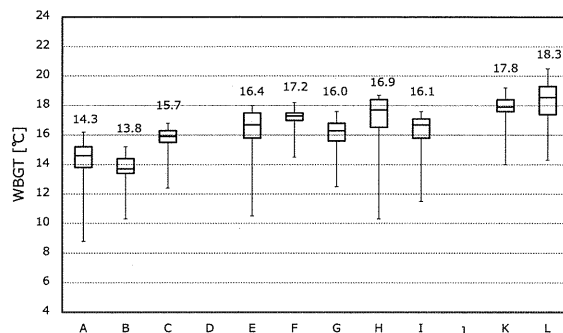


図 3-36 業務時間における WBGT (値は平均値)

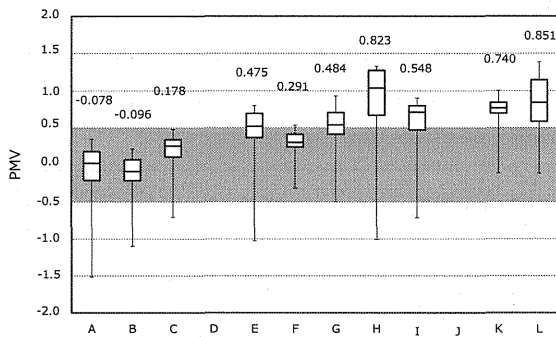


図 3-37 業務時間における PMV (値は平均値)

※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⁾⁾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 ⁹⁾	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 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。

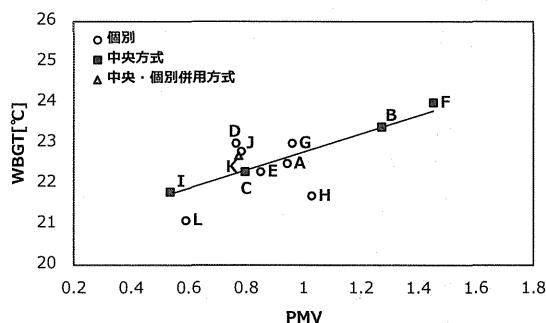


図 3-38 各測定箇所の WBGT, PMV 相関図

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%)		

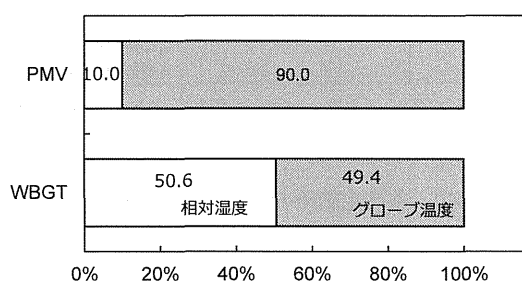


図 3-39 WBGT および PMV の各説明変数の標準偏回帰係数の比率

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う結果となった。

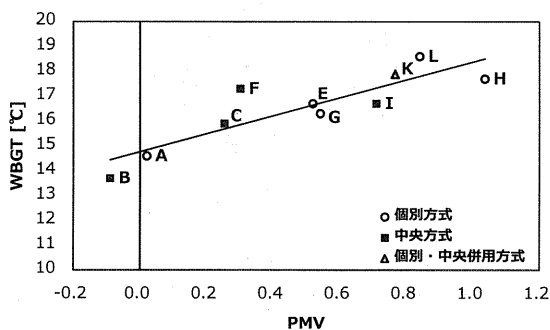


図3-40 各測定箇所のWBGT,PMV相関図

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	

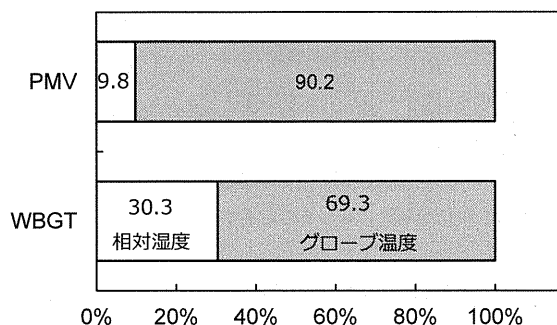


図3-41 WBGTおよびPMVの各説明変数の標準偏回帰係数の比率

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。節電対策で空調設備の

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・12011・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_houdoushiryoku.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>

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

電子写真方式の事務機器から稼働時に排出されるエミッションによる室内空気汚染の問題について、粒径が小さく吸入された場合に呼吸器の末梢部まで到達し得る微小粒子 (FP), 超微小粒子 (UFP) を中心に、Medline を主たる対象とした文献検索を引き続き探索的に行い、昨年度以降の新たな報告として7編の論文を収集した。またこれまで検索から漏れていた重要論文2編を追加収集した。昨年度から生体影響に焦点を当てた研究報告が散見されるようになったことはすでに報告したが、今年度の新たな文献においても、ヒト由来培養細胞を用いた遺伝毒性を含む種々の評価項目を検討した報告や、印刷用トナー粒子を取り扱う作業者を対象とした大規模な前向きコホート研究の報告など、生体影響にかかわる研究が進展していることをうかがわせる報告が見られた。しかし今後の建築物環境衛生管理に役立てるためのリスク評価のためには、ハザード評価としての情報はいまだ十分とは言えず、更なる研究の促進が必要であると考えられる。

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

本分担研究では、これまで建築物空気環境の重要な要素として、微小粒子 (PM_{2.5}, FP) などの空気中の粒径の小さな粒子状物質に着目し、中でも近年オフィスや家庭に急速に普及した電子写真方式の複写機/レーザープリンタからエミッションとして室内空气中に放出される FP 及び超微小粒子 (UFP) に焦点をあて、文献検索により情報の収集を行い、科学的知見の整理を行ってきた。

本年度は最終年度であることから、上記の観点からの文献検索による情報収集を継続するとともに、3年間で得られた情報の整理を行い、科学的知見のまとめを行った。とくに将来の建築物衛生管理に役立てる上で適切なリスク評価が必要であり、そのためには、ハザード評価が最も重要であることから、印刷用トナー粒子を含む、これら事務機器の使用に関連して生じる可能性がある粒子状物質曝露の生体影響についても文献の検索を行った。

B. 研究方法

過去2年度と同様に、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。文献の範囲はレビューシステムを有する学術誌に掲載された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特定の対象に対する業務報告書、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。

昨年度収集した文献以降のものを原則とし、とくに下記の点を中心に、種々のキーワードを組み合わせて検索を行った。

- ・ 複写機/レーザープリンタからの FP, UFP の排出とそれに伴う空気汚染
- ・ 上記エミッションへの曝露に伴う生体反応、健康影響の可能性

また本年度が研究の最終年度であることから、昨年度までの検索で漏れていた重要文献や、事務機器の使用に関連して生じる可能性のある粒子状物質の空気汚染に関連する重要な文献についても収集を行った。

検索された文献については、内容を吟味して、文献リストを作成した。

C.研究結果

これまでの2年間に報告した文献以降の抽出文献として本年度は7件を収載し(2013年4件, 2012年3件), PDFファイルまたは印刷体のフルペーパーを入手した。昨年度から生体影響に関する研究報告が散見されるようになっていたが, 本年の検索でも, 培養細胞を用いて細胞毒性や遺伝毒性を検討した *in vitro* 実験研究の報告や, 複写機/レーザープリンタのトナー粒子曝露による生体影響を検討した疫学的前向きコホート研究の報告などがあった。

このほか, 培養細胞を用いて遺伝毒性を含む一連の毒性評価を行っているドイツの研究グループの報告, および複写機稼働時のUFP排出を初めて示したオーストラリアの研究グループの報告でこれまでの検索で抽出されなかった2008年の論文など, 重要論文2件を追加収集した。

以下に文献の書誌情報と著者抄録を文献リストとして示した。

1. 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.

Abstract :

Reports on adverse health effects related to occupational exposure to toner powder are still inconclusive. Therefore, we have previously conducted an *in vitro*-study to characterize the genotoxic potential of three commercially available black printer toner powders in A549 lung cells. In these cell-based assays it was clearly demonstrated that the tested toner powders damage DNA and induce micronucleus (MN) formation. Here, we have studied the cytotoxic and proinflammatory potential of these three types of printer toner particles and the influence of ROS and NF- κ B induction in order to unravel the underlying mechanisms. A549 cells were exposed to various concentrations of printer toner particle suspensions for 24 h. The toner particles were observed to exert significant cytotoxic

effects in the WST-1 and neutral red (NR)-assays, although to a varying extent. Caspase 3/7 activity increased, while the mitochondrial membrane potential (MMP) was not affected. Particles of all three printer toner powders induced concentration-dependent formation of reactive oxygen species (ROS), as measured in the DCFH-DA assay. Furthermore, toner particle exposure enhanced interleukin-6 and interleukin-8 production, which is in agreement with activation of the transcription factor NF- κ B in A549 cells shown by the electrophoretic mobility shift assay (EMSA). Therefore, it can be concluded that exposure of A549 lung cells to three selected printer toner powders caused oxidative stress through induction of ROS. Increased ROS formation may trigger genotoxic effects and activate proinflammatory pathways.

2. 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.

Abstract:

Several reports link printing and photocopying with genotoxicity, immunologic and respiratory diseases. Photocopiers and printers emit nanoparticles, which may be involved in these diseases. The physicochemical and morphological composition of these emitted nanoparticles, which is poorly understood and is critical for toxicological evaluations, was assessed in this study using both real-time instrumentation and analytical methods. Tests included elemental composition (40 metals), semi-volatile organics (100 compounds) and single particle analysis, using multiple high-sensitivity/resolution techniques. Identical analyses were performed on the toners and dust collected from copier's exhaust filter. Engineered nanoparticles, including titanium dioxide, iron oxide and fumed silica, and several metals were found in toners and airborne nanoscale fraction. Chemical

composition of airborne nanoscale fraction was complex and reflected toner chemistry. These findings are important in understanding the origin and toxicology of such nanoparticles. Further investigation of their chemistry, larger scale exposure studies and thorough toxicological characterisation of emitted nanoparticles is needed.

3. 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.

Abstract:

BACKGROUND:

Interleukins, interferons and oxidative DNA products are important biomarkers assessing the inflammations and tissue damages caused by toxic materials in the body. We tried to evaluate distributions, reference values and age related changes of blood levels of inflammatory cytokines, C-reactive protein (CRP), IgE and urine levels of 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine (8-OHdG) among workers in a cohort study evaluating the health influences of toner particles.

METHODS:

A total of 1366 male workers under age 50 years (age 19-49 years; 718 exposed and 648 not exposed to toner particles) in a cross sectional study of 1614 (categorized as 809 exposed and 805 not exposed, age 19-59 years) workers in a photocopier company has been followed prospectively as the cohort. Blood levels of interleukin (IL)-4, IL-6, IL-8, interferon- γ (IFN- γ), CRP, IgE and urine 8-OHdG were measured annually for 5 years.

RESULTS:

Reference values of the biomarkers are; CRP: 0.01-0.63 \times 10⁽⁻²⁾ g/L, IgE: 6-1480 IU/mL, IL-4: 2.6-76.1 pg/mL, IL-6: 0.4-4.9 pg/mL and 8-OHdG: 1.5-8.2 ng/mgCr. We could not evaluate reference

values for IL-8 and IFN- γ because most of the values were below the sensitivity limits (2.0 pg/mL and 0.1 IU/mL, respectively). There were no differences of the biomarker levels between the toner exposed and the control workers. We observed a statistically significant age related decrease of serum IL-4 levels.

CONCLUSIONS:

This is the first report assessing the distributions and reference values of inflammatory biomarker levels in a large scaled cohort. We observed age related changes of some of the biomarkers. We could not detect any differences of the studied biomarker values between the toner exposed and the control workers.

4. 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]

Abstract:

Objectives: The aim of this study was to ascertain the actual state of toner exposure of workers who handle toner. **Methods:** Personal exposure measurements were conducted on workers handling toner in which the respirable dust (RD) concentration by work type was determined. Targeted work types consisted of "machine recycling," "toner manufacturing," "toner research/development," "machine design/development" and "servicing." The implementation period lasted from April 2003 to March 2011, and measurements were conducted annually. The measurement method conformed to the Japanese Working Environment Measurement Standards (new standards adopted starting in 2005). **Results:** Comparing the RD concentrations for fiscal year 2003 by work, significant differences were found between machine recycling and the other four work types, as well as in toner manufacturing and the other four work types. Similarly, based on the new legislative standards applied in Japan from fiscal year 2005, significant differences were found between machine recycling and the other four work types, as well as in toner manufacturing and the other

four work types. Discussion: It is clear that workers engaged in machine recycling and toner manufacturing are exposed to toner, and that a certain level of exposure is continuing. Although it cannot be said that workers involved in toner research/development, machine design/development and servicing have no toner exposure, the concentration is of an extremely low level. Conclusion: At present, toner exposure levels by work type can be divided into two groups?one consisting of machine recycling and toner manufacturing, and the other consisting of toner research/development, machine design/development and servicing.

5. 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.

Abstract :

The aim of this work was the study, by a multiparametric approach, of emissions from a laser printer in an experimental box-chamber, with particular attention to nanoparticles release. The experimental design included number concentration measurements by Fast Mobility Particle Sizer (FMPS) and chemical characterizations (elements) of size segregated samples collected by Nanomoudi cascade impactor. Volatile Organic Compounds (VOCs) were also sampled by charcoal sorbent tubes by personal sampling pumps. Monitoring of ozone, total volatile organic compounds concentrations and of temperature and humidity values inside the experimental box during the printing processes were also performed by automatic analyzers. The performed monitoring allowed to evidence different ways for particles emissions by laser printers, in particular showing that nanoparticles, characterised by high concentrations of Ba, Zn, B, K, Sr and Na, are set free at the beginning of the printing process. This emission seems to be directly ascribable to the use of toner powder, as all these elements are present in it. The emission of larger particles (ca. 100-320

nm) was observed in subsequent phases of the print process, probably due to the condensation of vapours released during the progressive heating of the fuser roller. This contribution was proved by both the FMPS measurements and the cascade impactor results. Also, a low emission of particles in higher size ranges was evidenced, mainly due to paper related particles. A very high concentration of VOCs was detected inside the chamber and the chemical speciation shows that the major contribution is associated to toner components, even if some species are released from other printer components. Although the formation of secondary species by reaction of VOCs with ozone cannot be excluded, these species were present inside the chamber at concentrations lower than the detection limit.

6. 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.

Abstract:

We report on the development and application of an integrated set of analytical tools that enable accurate measurement of total, extractable, and, importantly, the oxidation state of vanadium in sub-milligram masses of environmental aerosols and solids. Through rigorous control of blanks, application of magnetic-sector-ICPMS, and miniaturization of the extraction/separation methods we have substantially improved upon published quantification limits. The study focused on the application of these methods to particulate matter (PM) emissions from diesel vehicles, both in baseline configuration without after-treatment and also equipped with advanced PM and NO(x) emission controls. Particle size-resolved vanadium speciation data were obtained from dynamometer samples containing total vanadium pools of only 0.2-2 ng and provide some of the first measurements of the oxidation state of vanadium in diesel vehicle PM emissions. The emission rates and the measured fraction of V(V) in PM from diesel

engines running without exhaust after-treatment were both low (2-3 ng/mile and 13-16%, respectively). The V(IV) species was measured as the dominant vanadium species in diesel PM emissions. A significantly greater fraction of V(V) (76%) was measured in PM from the engine fitted with a prototype vanadium-based selective catalytic reducers (V-SCR) retrofit. The emission rate of V(V) determined for the V-SCR equipped vehicle (103 ng/mile) was 40-fold greater than that from the baseline vehicle. A clear contrast between the PM size-distributions of V(V) and V(IV) emissions was apparent, with the V(V) distribution characterized by a major single mode in the ultrafine (<0.25 μm) size range and the V(IV) size distribution either flat or with a small maxima in the accumulation mode (0.5-2 μm). The V(V) content of the V-SCR PM (6.6 $\mu\text{g/g}$) was 400-fold greater than that in PM from baseline (0.016 $\mu\text{g/g}$) vehicles, and among the highest of all environmental samples examined. Synchrotron based V 1s XANES spectroscopy of vanadium-containing fine-particle PM from the V-SCR identified V(2)O(5) as the dominant vanadium species.

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.

Abstract:

This study monitored indoor and outdoor particle concentrations in 37 small and medium commercial buildings (SMCBs) in California with three buildings sampled on two occasions, resulting in 40 sampling days. Sampled buildings included offices, retail establishments, restaurants, dental offices, and hair salons, among others. Continuous measurements were made for both ultrafine and fine particulate matter as well as black carbon inside and outside of the building. Integrated PM(2.5), PM(2.5-10), and PM(10) samples were also collected inside and outside the building. The majority of the buildings had indoor/outdoor (I/O)

particle concentration ratios less than 1.0, indicating that contributions from indoor sources are less than removal of outdoor particles. However, some of the buildings had I/O ratios greater than 1, indicating significant indoor particle sources. This was particularly true of restaurants, hair salons, and dental offices. The infiltration factor was estimated from a regression analysis of indoor and outdoor concentrations for each particle size fraction, finding lower values for ultrafine and coarse particles than for submicrometer particles, as expected. The I/O ratio of black carbon was used as a relative measure of the infiltration factor of particles among buildings, with a geometric mean of 0.62. The contribution of indoor sources to indoor particle levels was estimated for each building.

8. 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.

Abstract:

Until now, the adverse effects of toner powders on humans have been considered to be minimal. However, several recent reports have suggested possible significant adverse health effects from toner dust inhalation. The aim of this study was to evaluate the genotoxic potential of black toner powders in vitro. For the study of DNA damage, A549 cells were exposed to toner-powder suspensions and to their DMSO extracts, and then subjected to the comet assay and to the in-vitro cytokinesis block micronucleus test (CB-MNvit). Cytotoxic effects of the toner samples were assessed by the erythrosin B assay. Furthermore, size, shape, and composition of the toner powders were investigated. None of the three toner powders or their DMSO extracts reduced cell viability; however, they did induce DNA damage and formed micronuclei at concentrations from 80 to 400 $\mu\text{g cm}^{-2}$, although to a varying

extent. All toner powders contain considerable amounts of the pigments carbon black and magnetite (Fe₃O₄) as well as small amounts of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). The overall results of our in-vitro study suggest that the investigated toner-powder samples are not cytotoxic but genotoxic. From the results of the physical and chemical characterization, we conclude that metals and metalloids as components of magnetite, or PAHs as components of the carbon-bearing material, are responsible for the genotoxic effects. Further research is necessary to determine the relevance of these in-vitro observations for private and occupational toner powder exposure.

9. 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.

Abstract:

It has now been recognized that some hardcopy devices emit ultrafine particles ($d(p) < 100$ nm) during their operation. As a consequence, the time-dependent characterization of particle release from laser printers is of high interest in order to evaluate the exposure of office workers to such emissions. The emission profiles of different printers can be compared in test chambers using a standardized test protocol and measuring devices with high time resolution. The extraction of meaningful and comparable data from the obtained data set is a complex procedure due to the different emission behavior patterns of the printers. The calculation of the unit specific emission rate (SER_u) is of limited use because the emission profiles during the printing process ranged between short-term bursts and constant particle release. Therefore, other parameters such as the particle loss-rate coefficient, beta, which provides information about the testing conditions, and the area below the time vs concentration curve, F, which characterizes the particle release, allow for a comparison of the

different printer tests. Variations in the emission behavior could not be associated with specific manufacturers or product lines. In addition, when performing several print jobs on the same device, with only short pauses between jobs, the emission rate was reduced in some cases. This further complicates the ability to determine the influence of printer construction and consumables, such as toner and paper, on the concentration of particles emitted.

D.考察

これまで2年間に実施した文献検索の結果、複写機などの事務機器が稼働時にFP, UFPを排出することは多くの研究報告で明らかとなっており、さらにその排出に影響を及ぼす機器の種類や稼働の条件、また排出されるFP, UFPの粒径分布や成分組成などについてもいくつかの研究報告が行われていた。

一方建築物内における実際の使用状況下で生じる曝露の状況や、これらのFP, UFPが吸入されたときに起こる生体反応や健康影響に関する報告はごく限られていた。しかし実際のオフィスに市販の複写機等を持ち込んで稼働させ、室内空气中濃度の状況を検討した報告や、ヒトの志願者曝露実験により急性の生体反応を検討した報告、また培養細胞を用いて変異原性を検討した報告などが散見されるようになり、生体影響に関する研究が加速していることが推察された。

本年度の検索でも生体影響に関連する報告で興味深いものが見られた。文献1はドイツのSundermannらのグループによる培養細胞を用いた一連のin vitro実験研究の報告で、文献8として追加収集したように、複写機/レーザープリンタで使用されるトナー粒子が炎症反応や、小核試験で示唆される遺伝毒性を示すとし、そのメカニズムの可能性として、トナー粒子曝露により酸化敵ストレス負荷が生じることを指摘したものである。

また文献3および4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。

また文献7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る。

このほか、文献2、文献5はエミッション粒子の組成などの詳細に関する研究で、有害性のメカニズムの理解に重要であると考えられる。また文献6は自動車排ガス粒子の組成等に関する文献で本研究課題に直接関連する文献ではないが、環境中の人為的粒子状物質の代表で、生体影響についても比較的理解が進んでいるものであることから、事務機器エミッション粒子のリファレンスとして採用したものである。

E.結論

複写機やレーザープリンタなどの事務機器からエミッションとして粒径の小さな粒子状物質（FP, UFP）が排出されることについては多くの研究報告から明らかであり、その発生に関連する稼働時の条件なども明らかにされつつあり、制御技術は進歩している。一方エミッションを吸入した際の生体影響については、種々の研究デザイン、種々のアウトカムを用いた報告が散見されるが、まだハザードとしての評価を行うだけの科学的知見は集積されておらず、今後の研究の進展が期待される。また実際の事務機器使用条件下における粒子状物質曝露に関する情報も限られており、今後のリスク評価のために、曝露評価に役立つデータの集積が必要であると考えられる。

F.研究発表
該当なし

