

学校における温熱・空気環境に関する 現状の問題点と対策

—子供たちが健康で快適に学習できる環境づくりのために—

2015年3月

日本建築学会

環境工学委員会 空気環境運営委員会 換気・通風小委員会

日本建築学会 環境工学委員会 空気環境運営委員会
換気・通風小委員会 委員（2015年3月現在）

－（五十音順・敬称略）－

主査	甲谷 寿史		
幹事	後藤 伴延		
委員	赤林 伸一	飯野 由香利	遠藤 智行
	大場 正昭	清田 誠良	倉渕 隆
	竹林 英樹	長谷川 麻子	桃井 良尚
	山本 佳嗣	吉野 博	

日本建築学会 環境工学委員会 空気環境運営委員会 換気・通風小委員会
学校空気環境改善WG 委員（2015年3月現在）

－（五十音順・敬称略）－

主査	倉渕 隆		
幹事	長谷川 麻子		
委員	飯野 由香利	岩下 剛	北山 広樹
	後藤 伴延	近藤 靖史	長澤 悟
	永田 明寛	村松 學	吉野 博

学校の温熱・空気環境に関する現状の問題点と対策
—子供たちが健康で快適に学習できる環境づくりのために—

目次

1. なぜいま「学校空気環境」なのか	1-1
2. 日本の各地の学校における設備機器設置状況や関東圏域の冷房機器設置状況	
2.1 はじめに	2-1
2.2 学校建築の現状	2-1
2.2.1 校舎の断熱・気密性、教室形状	
2.2.2 暖冷房設備や換気設備の整備状況	
2.3 普通教室における各設備の種類別にみた整備状況	2-3
2.4 換気設備の季節別使用時間	2-7
3. 学校空気環境・換気の基準—日本の基準、海外の基準—	
3.1 日本の基準	3-1
3.1.1 建築基準法	
3.1.2 建築物環境衛生管理基準（建築物衛生法）	
3.1.3 学校環境衛生基準（学校保健安全法）	
3.2 海外の基準	3-6
4. 学校における温熱・空気環境の実測結果から学ぶもの	
4.1 寒冷地域の学校における空気環境の実測例	4-1
4.2 関東地域の冷房設備を有する教室内温熱・空気環境と環境調節	4-6
4.3 温暖地域の小学校における空気・温熱環境	4-13
4.4 蒸暑地域の小学校における空気汚染の実測例	4-19
4.5 関東地域の高校における空気環境の実測と換気・空調方式の考察	4-25
5. 学校における温熱・空気環境の管理の手引き	
5.1 暖冷房・換気設備の方式と特徴	5-1
5.1.1 暖冷房設備	
5.1.2 換気設備	
5.1.3 加湿設備	
5.2 暖冷房・換気設備の運用の要点	5-7
5.2.1 通年	
5.2.2 夏期	

5.2.3 冬期	
5.3 暖冷房・換気設備の保守方法	5-16
5.3.1 暖冷房設備の保守	
5.3.2 換気設備の保守	
5.3.3 加湿設備の保守	

<付録>学校における温熱・空気環境の実測例

1 寒冷地域の学校における空気環境の実測例	付-1
1.1 はじめに	
1.2 小学校における温熱空気環境の測定例	
1.3 大学の教室における温度とCO ₂ 濃度分布の測定	
1.4 教室の換気量の測定と課題	
1.5 宮城県の学校における化学物質濃度	
1.6 まとめ	
2 関東地域の冷房設備を有する教室内温熱・空気環境と環境調節	付-8
2.1 はじめに	
2.2 調査対象校の概要	
2.3 冷暖房時の室温と設備使用の実態	
2.4 クラスによる冷房設備の調節の相違	
2.5 窓扉の開閉の実態	
2.6 教室内空気環境の実態	
2.7 児童の温冷感	
3 温暖地域の小学校における空気・温熱環境	付-21
3.1 はじめに	
3.2 福岡市における学校建築	
3.3 小学校の教室環境に関する実態調査	
3.4 空調導入校における室内環境と空調利用の状況	
3.5 簡易日除けによる教室の空気温熱環境の改善と冷房負荷軽減	
3.6 おわりに	
4 蒸暑地域の小学校における空気汚染の実測例	付-43
4.1 はじめに	
4.2 実測概要	
4.3 実測結果および考察	
4.4 まとめ	
4.5 学校空気環境の計画手法、管理手法—実測結果から学ぶもの	
5 関東地域の高校における空気環境の実測と換気・空調方式の考察	付-57
5.1 冷房導入による教室内の温熱環境改善と空気環境悪化の懸念	
5.2 冬期暖房期の教室内絶対湿度とインフルエンザ感染	

5.3 冬期の教室内換気・暖房方式と加湿方法に関する数値シミュレーション

5.4 空調機の時間割発停制御の有効性

1. なぜいま「学校空気環境」なのか

学校施設は、児童・生徒などの学習・生活の場であり、それにふさわしい環境を確保することが求められている。しかしながら我が国における学校の教室は、温熱的な環境や空気質の面から見て、決して満足できる状況にはない。場合によってはかなり問題であるといえる状況もこれまでの調査で明らかになってきている。また、大都市の学校におけるエアコンの急激な普及にみられるように、快適な環境や知的生産性の高い環境への要求が高まってきている。

一方、地球温暖化防止の観点から建築物における省エネルギーに対する要請がますます強まってきている。また、建物が長寿命であること、周辺環境に対して配慮されていることなど様々な性能が求められている。これらの要求を満足するものとしてサステナブル建築という表現も広まりつつあり、学校建築もそのような要請に答えていく必要がある。

ここでは、温熱・空気環境における問題点を指摘し、特に空気環境について設計者・管理者、教職員らが対応すべき課題を掲げる。

1) 暖房時における温熱・空気環境の問題

九州の南の地域を除けば、ほとんどの学校の教室では暖房設備が完備されており、その多くはFF式、半密閉式、あるいは開放式の温風暖房機である。また、北海道や北東北を除くと大部分の学校建築は断熱・気密性能が十分ではないので、暖房時は室内における温度の分布が大きいことが問題となっている。特に、吹出し温度の高い温風暖房機を使用している教室では、暖房機の近くが暑く、離れた場所では寒いことや、頭の方が暑くて足元が寒いことが明らかになっている。床上 1m の高さで足元の温度差は場合によっては 10℃を超えている。この問題を解決するためには、建物の断熱・気密性能を向上させる、あるいは放射タイプの放熱器を導入することで解決できると推察されるが、これらの問題は一向に改善されていない。

また、暖房時は窓を開ける機会が少なくなるので、室内における空気環境は極めて悪くなる。CO₂濃度の測定によれば、学校環境衛生基準で示された基準濃度 1500ppmに対して 3000ppmを越える状況が多く報告されている。この問題に関しては、換気を行うことによって解決される。学校環境衛生基準では基準濃度 1500ppmを越えないように換気回数が定められており、例えば小学校では、2.2 回/hとなっている。実際、授業中に窓を開けることは寒さの点から難しいので、休み時間に窓を開けて空気を入れ替えるということが行われている。

一方、シックハウス症候群が社会的な問題となり、住宅においてはホルムアルデヒドの室内汚染濃度が厚生労働省のガイドライン値を超える例が 27.3%と多かったこと、学校においてもシックハウス症候群が顕在化したことなどを受けて、ホルムアルデヒド対策等のために建築基準法が改正され、新築、あるいは改修する学校の教室においては機械換気設

備の設置が義務付けられた。その場合の換気量は、例えば小学校の場合には、換気回数にして0.3回/hである。教室の換気は建築基準法と学校環境衛生基準と2つの基準に縛られており、運用上は機械換気を常時運転して建築基準法を満たし、休み時間に窓を開けて学校環境衛生基準を満たすといった方法が取られているようである。

しかしながら、実測によれば機械換気設備が設置され運転されていても、設計どおりの風量が確保されていない状況が明らかになっている。その理由は、メンテナンス不足によるフィルターの目詰まりである。学校によっては、メンテナンスが出来ない場所にフィルターが設置されているケースもある。これらのことも空気環境を清浄に維持するための大きな障害となっている。

2) 冷房時の空気環境問題

エアコンの設置率は2005年現在、関東以西では23～30%であったが、大都市を中心として、夏期の教室の環境改善を図るために、冷房設備の導入が進んでいる。東京都区部では2010年度までに全ての小中学校にエアコンが完備された。冷房時においても暖房時と同様に、室内環境を衛生的に維持するように換気が必要であるが、実際には行われていない場合が多いようである。これは、エアコンを運転していれば換気も同時にされているという誤解や暖房の場合に比べて空気の汚れが感じにくいこと、もともと換気の必要性に対する意識が低いことなどがその理由である。

また、同じ学校の中でも冷房の運転方法、換気の方法などが教室によって、すなわち教師の考え方によって大きく異なることが報告されている。これは、エアコンが導入されてから時間が経っておらず考え方が統一されていないこと、運転管理に関する適切なマニュアルがないこと、教師の判断に任されていること、などが原因と考えられる。冷房時は、室内と外部との温度差が少なくすき間を通しての換気を起こす浮力が小さいため、暖房時と比べて自然換気量が少ない。従って、室内が汚染する可能性は暖房時よりも高いという環境条件にある。従って、暖房時よりも更に換気に対する注意が必要であり、エアコンや換気設備の運転方法に関する適切なマニュアルが早急に必要である。

以上のように、学校の教室における室内環境問題は暖房時のみならず冷房時においても顕在化しつつある。近年のエアコンの導入は急な動きであり、学校側にとって体制が十分に出来ておらず、現場での対応が混乱している状況にある。

そこで、本書は特に室内の空気環境に関する問題に焦点を当てて、健康で快適な学校の教室環境を整備していくための一助となることを願ってまとめたものである。

なお、サステナブル建築への要求に対応するものとして、学校施設における総合的な環境性能評価手法である「CASBEE 学校」が、文部科学省でまとめられた。これは、建築物の総合的な環境性能を評価し格付けするシステムとして(財)建築環境・省エネルギー機構(IBEK)で開発された「CASBEE (建築物環境総合性能評価システム)」をベースに、小・中・

高の学校特性を考慮するとともに、学校設置者等の担当者が学校施設の環境性能について比較的簡易に評価できるよう再構築したものであり、参考とすべきシステムである。

2. 日本の各地の学校における設備機器設置の実態

2.1 はじめに

学校には照明・給排水などの多くの設備があるが、その中でも暖冷房・換気設備は室内の温熱・空気環境と密接に関連し、児童や教師の健康、温冷感と快適性に大きく影響する。

1990年代後半頃からシックスクール問題に高い社会的関心が集まり、清浄な空気環境の確保の必要性が認められ、建築基準法の改正により学校の居室部分で0.3回/hの換気回数を満たす機械換気設備の設置が義務付けられ、さらに家庭での冷房普及率が高くなったこともあり、冷房設備を設置する学校が増加している。このような換気設備や冷房設備などの新たな動向を把握するために、全国各地の公立小学校の暖房・冷房・換気設備の整備状況や使用実態について把握するために、2005年に日本建築学会学校空気環境調査WGがインターネットでアンケート調査¹⁾を実施した。回収率は60%で、568校を対象に表2-1および表2-2に示す6つの地域区分(拡張デグリーデーの地域区分を2地域区分ずつまとめた区分)と5つの築年数範囲別に解析した。

表 2-1 調査対象校数

調査対象校 (568校)	地域別	地域1(27校、5%)、地域2(62校、11%)、地域3(111校、19%)、地域4(134校、24%)、地域5(212校、37%)、地域6(22校、4%)
	築年数範囲別	築4年以内(108校、19%)、築5~9年(102校、18%)、築10~14年(96校、17%)、築15~19年(112校、20%)、築20年以上(150校、26%)

2.2 学校建築の現状

2.2.1 校舎の断熱・気密性、教室形状

図2-1から、ほとんどの校舎の構造はRC造で、北海道や東北部(地域1と2)より南方地域の校舎の40~60%には断熱材が設けられておらず、ほとんどの窓は単板ガラスであることから、断熱・気密性能は十分に整備されているとは言い難い。校舎の形状の中で、図2-2に示すように、オープンスクールの占める割合は新しい学校ほど高いが、十分な暖房環境が確保できないことから、北海道(地域1)では存在しない。

表 2-2 地域区分と該当地域別にみた学校数

地域区分	拡張デグリーデーに基づく地域区分	該当地域
地域1	A,B	北海道(27)
	C	青森県(10)、岩手県(16)、秋田県(7)
地域2	D	宮城県(9)、山形県(12)、福島県西部(8)
	E	群馬県(16)、栃木県(13)、茨城県(12)、福島県東部(9)
地域3	F	新潟県(26)、富山県(12)、石川県(5)、福井県(8)、長野県北部(3)、岐阜県北部(7)、京都府北部(0)、兵庫県北部(0)、島根県隠岐郡(0)
	G	千葉県(18)、埼玉県(24)、東京都(伊豆諸島・小笠原諸島を除く)(45)、神奈川県(13)、山梨県(5)、長野県南部(4)
地域4	H	静岡県(25)、東京都(大島支庁、三宅支庁)(0)
	I	愛知県(19)、岐阜県南部(13)、滋賀県(4)、三重県北部(6)、奈良県(5)、京都府南部(6)、兵庫県南部(淡路島を除く)(15)、岡山県(10)、広島県(14)、山口県(3)、島根県(隠岐郡を除く)(5)、鳥取県(8)、長崎県対馬支庁(0)
地域5	J	三重県南部(6)、奈良県吉野郡(0)、大阪府(24)、和歌山県(4)、兵庫県淡路島(0)、香川県(6)、徳島県(3)、高知県(5)、愛媛県(7)、福岡県(14)、佐賀県(7)、長崎県(対馬支庁を除く)(17)、大分県(6)、熊本県(天草諸島と除く)(5)
	K	宮崎県(9)、鹿児島県(屋久島、種子島以北)(8)、熊本県天草諸島(0)、東京都八丈支庁(0)
地域6	L	沖縄県(5)、鹿児島県(トカラ列島・奄美諸島)(0)、東京都小笠原支庁(0)

※括弧内の数値：学校数

※参考資料：財団法人 建築環境・省エネルギー機構編集、「改訂 拡張デグリーデー表」、第2刷

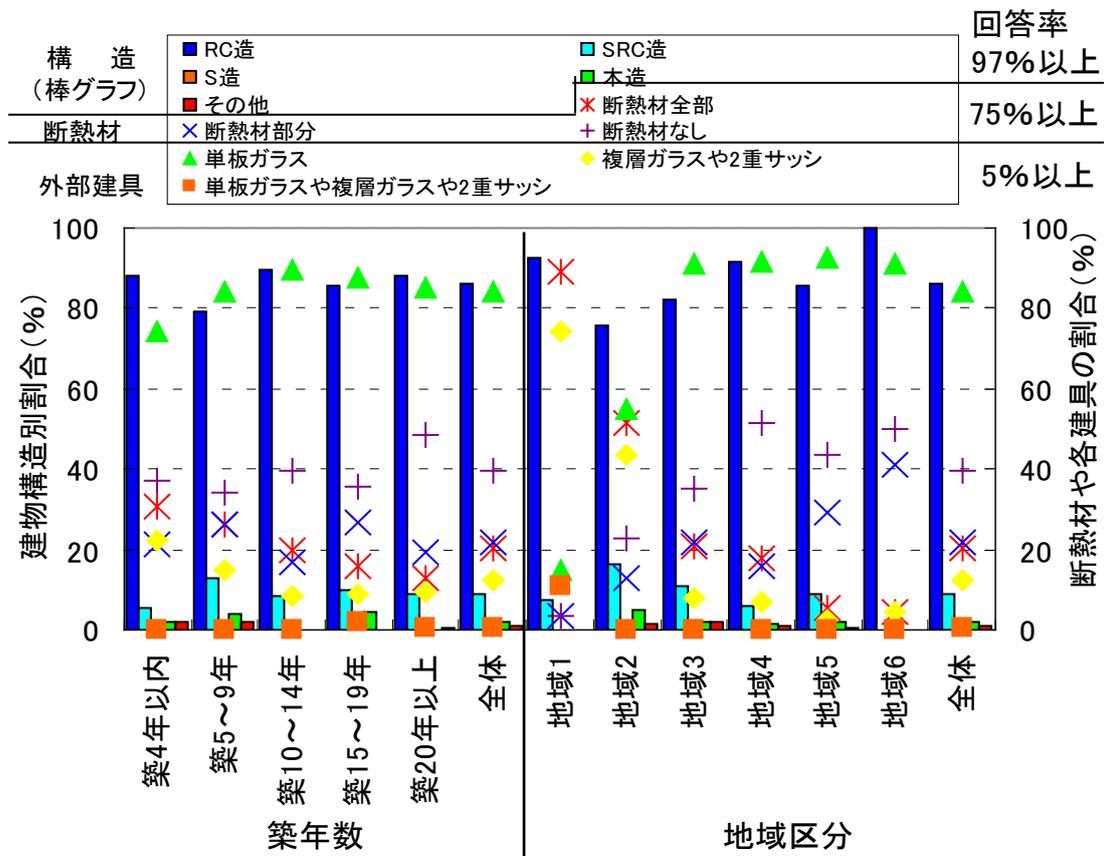


図 2-1 築年数と地域区別にみた校舎の構造と断熱の設置状況および外部建具の種類

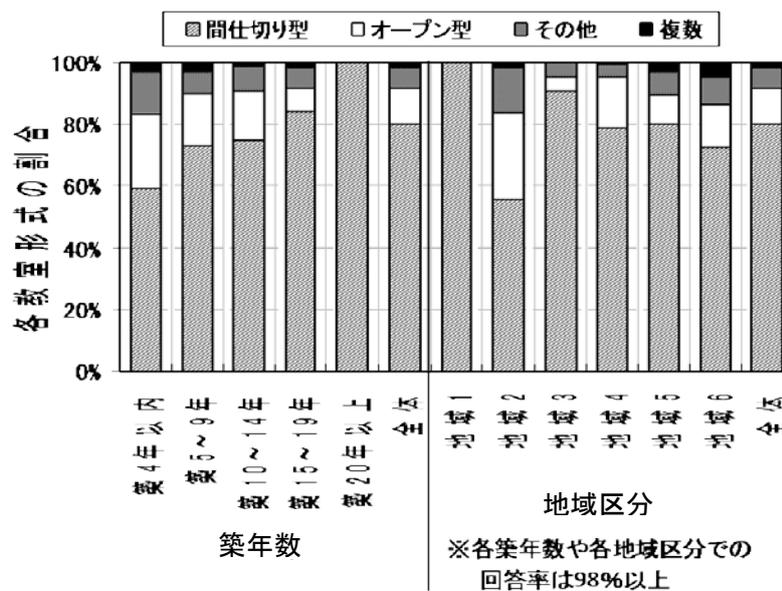


図 2-2 築年数や地域区別にみた教室形式の割合

2.2.2 暖冷房設備や換気設備の整備状況

暖房・冷房・換気設備別にみた築年数および地域区分毎の各居室での設置割合を示す図 2-3 を見ると、暖房設備の設置割合は、築年数による相違はほとんどない。北海道(地域 1)の 90%以上の学校や宮崎・鹿児島県以南地域(地域 6)以外の地域における学校の視聴覚室や多目的スペース以外の居室の半数以上に整備されている。普通教室における暖房設備の設置割合は、地域 1～3 で 100%、地域 4 と 5 では 84%と 73%で、地域 6 では 0%である。

冷房設備は新しい学校で設置されており、地域 3～6 における職員室やコンピュータ室および保健室での設置が多いが、他の居室での設置割合は低い。普通教室での設置割合は、地域 1 と 2 では設置されておらず、地域 3 と 5 では 5%や 13%と低く、東京都を含む地域 4 で 25%、地域 6 で 36%である。地域 4 における冷房の設置割合が高いのは、外部環境の悪化や近年のヒートアイランド現象などに伴う都心部の暑熱化等によると考えられる。

各居室での換気設備の設置割合は南方地域ほど低い傾向が見られ、理科室と職員室および保健室での設置割合は地域 6 以外の地域で 77%以上と高い。一方、普通教室での設置割合は 21～33%で、他居室より顕著に低い。管理諸室や理科室以外の居室における換気設備の設置割合は、築 20 年未満の学校で築年数の少ないほど高く、築 20 年以上の学校ではいずれの居室でも設置割合は全体的にやや低い。

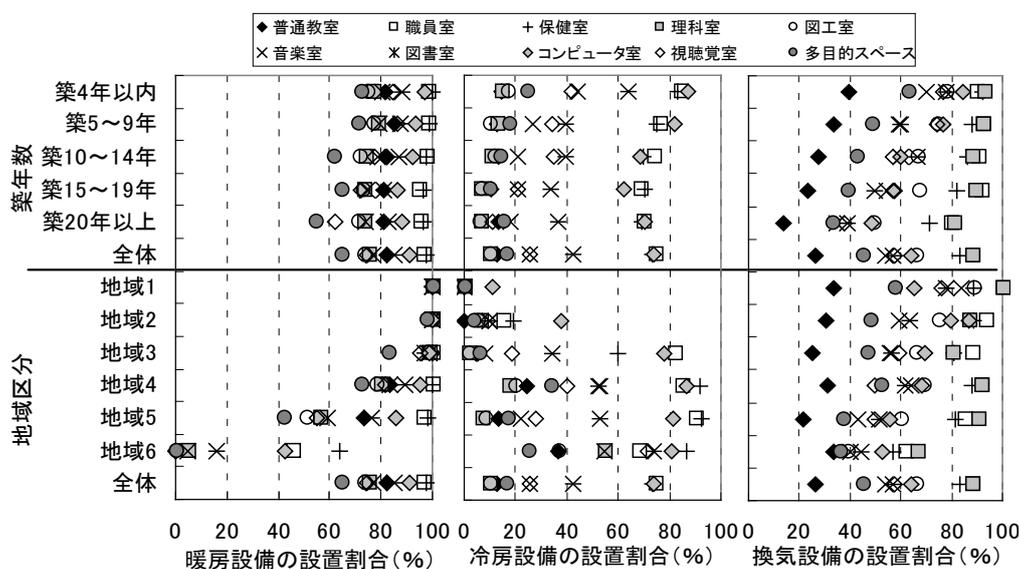


図 2-3 築年数や地域区分別にみた居室毎における各設備の設置割合

2.3 普通教室における各設備の種類別にみた整備状況

各地域の普通教室における暖冷房・換気設備の種類別設置割合を図 2-4～6 に示す。北海道の普通教室における暖房設備は個別の FF 式ストーブや中央式ヒータが多いのに対して、地域 2～4 では 50～60%の割合で個別 FF 式ストーブを使用している。冷房設備の種類別にみた普通教室での設置割合は、地域 4～6 でのエアコンが 25～33%で、地域 5 における扇風機は 37%、地域 6 での天井扇は 75%、地域 3 では天井扇が 100%である。また、換気設備

のうち、排気型はいずれの地域においても 59%以上の割合で最も多いのに対して、全熱交換型換気設備は地域 4 で 30%以上の割合で設置されている。

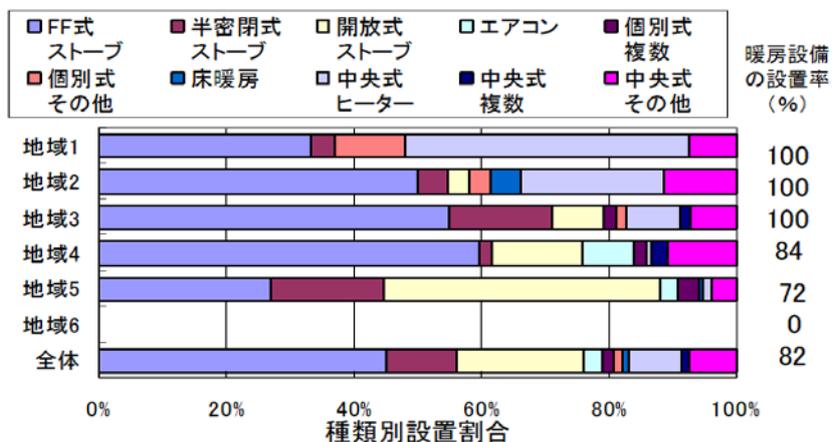


図 2-4 各地域の普通教室における暖房設備の種類別割合

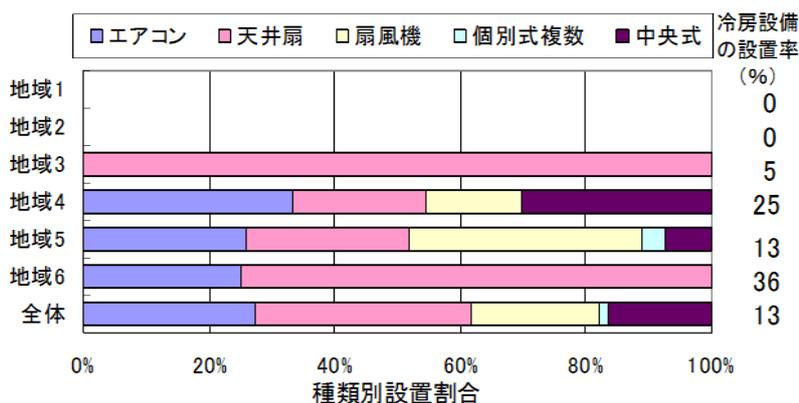


図 2-5 各地域の普通教室における冷房設備の種類別割合

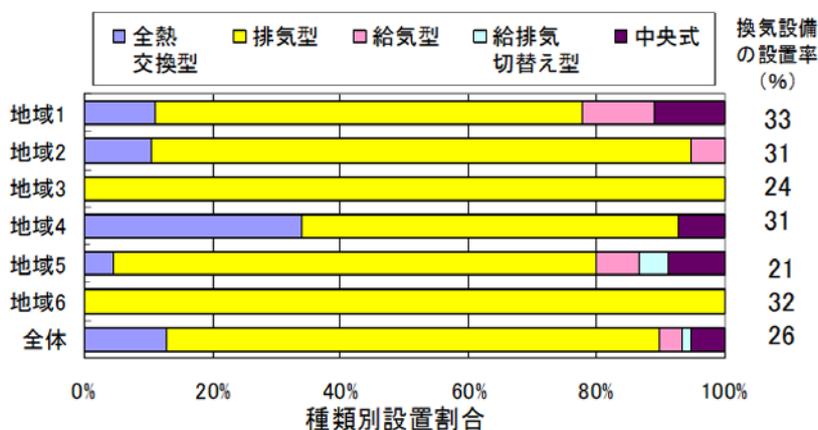


図 2-6 各地域の普通教室における換気設備の種類別割合

各地域で区分した暖冷房設備の使用期間のうち、学校数の多い上位 3 期間における学校数と各地域でのその割合を暖房と冷房別に図 2-7 に示す。地域 1 では概ね 11～4 月まで暖房を使用しており、半年間以上暖房している学校が多い。地域 2 と 3 では 12～3 月に使用している学校がほとんどで、4・5 ヶ月間使用している。地域 4～6 では主に 12～2 月における使用がほとんどで、3・4 ヶ月間暖房している。冷房使用期間は、いずれの地域も 7・8 月を中心とする 2・3 ヶ月間で、暖房使用期間より短い。6 月から冷房を使用する学校もあり、地域 3～6 では 9 月においても半数以上の学校で使用している。

地域別に見た各居室の暖房設備の 1 日の平均的な使用時間は図 2-8 に示すように、地域 1 ではいずれの居室でも 5 時間以上の暖房しているのに対して、地域 6 では管理諸室で 5～8 時間暖房をしているものの、他居室ではほとんど使用しない。

暖房使用時間について居室毎に見ると、職員室や保健室などの管理諸室での暖房時間は圧倒的に長く、8 時間以上の割合が地域 1 と 2 で 80%以上と最も高く、地域 3 で 70%程度、地域 4 と 5 で 40～55%である。普通教室で 5～8 時間の暖房使用割合は地域 1 と 3 で 70%前後、地域 2・4・5 では 50～60%である。地域 3 における普通教室での暖房使用時間が地域 2 より長い理由として、校舎の断熱・気密性が十分に整備されていないことから、快適な室内温熱環境を維持するために長時間暖房する必要があることが挙げられる。なお、多目的スペースの場合、利用頻度が少なく、使用時間が比較的短いために、地域 4～6 で暖房をほとんど使用しない。

図 2-9 に示すように、冷房設備の使用時間は暖房使用時間と比べると全般的に短い。冷房を最も長く使用しているのは職員室などの管理諸室で、地域 3～6 では 5～8 時間冷房を使用している割合が 40%前後である。地域 4 の普通教室で 5～8 時間冷房を使用する割合は 65%と顕著に高く、他地域での使用時間と比べて長時間使用している。また、地域 2～6 での冷房を使用しない割合は多目的スペースで 70%以上、特別教室で 20～50%である。居室の利用頻度などにより使用時間が大きく異なる。

地域区分	暖房使用期間(月)					学校数	地域別割合(%)	地域区分	冷房使用期間(月)						学校数	地域別割合(%)
	10	11	12	1	2				3	4	5	5	6	7		
地域1						10	37.0	地域1							1	3.7
						6	22.2								1	3.7
						6	22.2									
地域2						24	38.7	地域2							11	17.7
						17	27.4								11	17.7
						11	17.7								6	9.7
地域3						58	52.3	地域3							64	57.7
						34	30.6								24	21.6
						9	8.1								14	12.6
地域4						96	71.6	地域4							65	48.5
						21	15.7								48	35.8
						4	3.0								7	5.2
地域5						160	75.5	地域5							121	57.1
						20	9.4								55	25.9
						18	8.5								19	9.0
地域6						9	40.9	地域6							8	36.4
						4	18.2								6	27.3
						3	13.6								4	18.2

図 2-7 暖房設備と冷房設備の使用期間と期間別学校数や割合

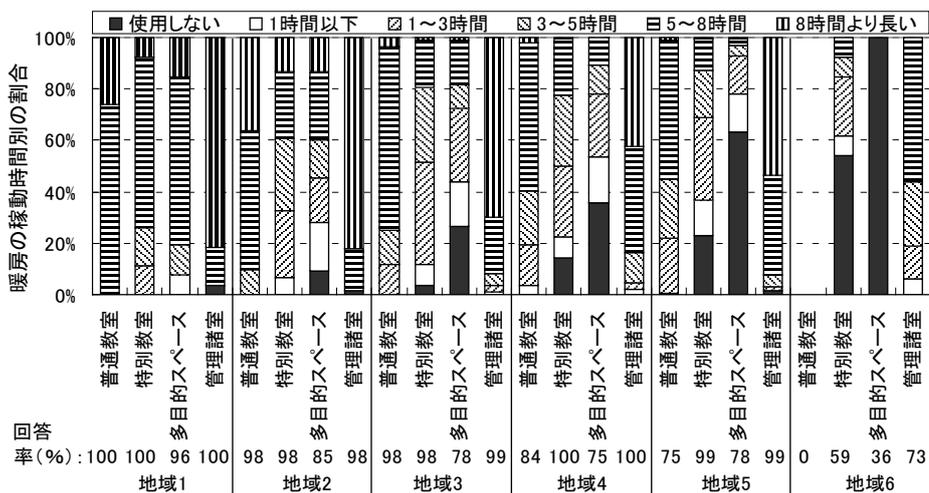


図 2-8 暖房設備の使用時間

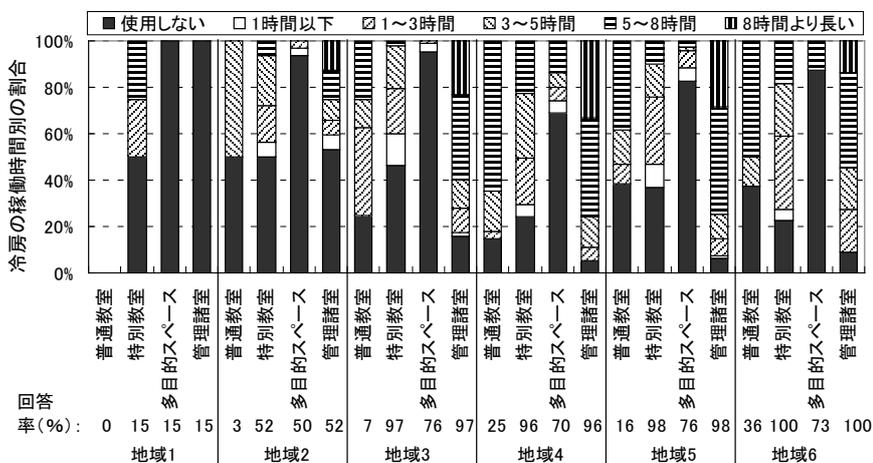


図 2-9 冷房設備の使用時間

2.4 換気設備の季節別使用時間

各地域の1日における各居室での平均的な換気設備の使用時間を暖房・冷房期間と中間期別に示す図2-10を見ると、暖房期間での換気設備使用割合が最も高く、冷房期間中の使用割合が最も低い。暖房期間中には換気の励行が慣習化されているために機械換気の使用が多いのに対して、冷房時における換気の必要性の認識が低いと言える。冷房時の換気は暖房時に比べてさほど行われていないことがわかる。冷房期間中の換気使用の割合は、南方地域に行く(地域1→6)ほど高くなる傾向があり、特に地域6の特別教室や管理諸室と地域4で高い。地域4では、外部環境の暑熱化や悪化により窓開け換気が難しいことから、機械により換気することが多いと推測される。地域6の普通教室における換気の使用割合が低いのは窓開け換気が主であるためと考えられる。中間期には地域による使用時間の相違が小さい。地域6のいずれの居室での換気使用の割合が他地域での割合より高いのは、台風などの悪天候により窓開け換気ができ難いことによると考えられる。

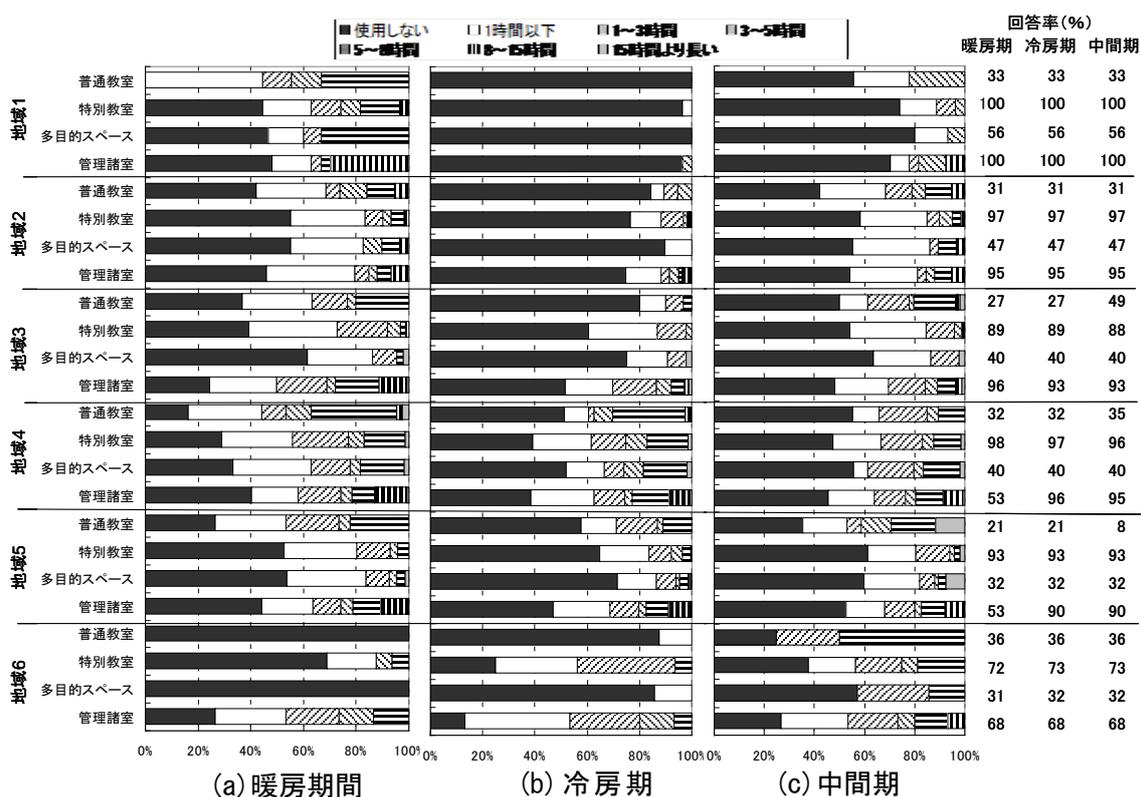


図 2-10 換気設備の季節別にみた使用時間

参考文献

- 1) 吉野博、飯野由香利、瀧澤のりえ、他7名：公立小学校における暖冷房・換気設備の地域別整備状況および使用実態、日本建築学会環境系論文集、Vol.74、No.639、pp.643-650、2009.5.

3. 学校空気環境・換気の基準 —日本の基準、海外の基準—

3.1 日本の基準

学校空気環境に関する日本の基準としては、文部科学省所管の「学校保健安全法」に基づく「学校環境衛生基準（文部科学省告示第 60 号）」が存在する。その他にも、学校を含む建築物全般に対する空気環境および換気に関する基準として、国土交通省所管の「建築基準法」と、厚生労働省所管の「建築物における衛生的環境の確保に関する法律（建築物衛生法）」に基づく「建築物環境衛生管理基準」が存在する。ここでは、建築基準法、建築物環境衛生管理基準、学校環境衛生基準の順に説明する。

3.1.1 建築基準法

建築基準法およびその施行令では、居室には換気のために有効な開口部を床面積の 1/20 以上設けること（注：採光のために有効な開口部は床面積の 1/5 以上必要）、もしくは、換気設備を設けることが義務付けられており、さらに平成 15 年の改正により、シックハウス対策として、化学物質を発散する建材の使用制限と、化学物質を排出するための換気設備の設置が義務付けられるようになった。施行令から空気環境および換気に関する基準で主なものを抜き出し、まとめたものを表 3-1-1 に示す。クロルピリホス・ホルムアルデヒド・換気回数が、平成 15 年の改正で追加されたものである。

表 3-1-1 建築基準法施行令

項目	基準	備考
換気量	20m ³ /(h・人)以上	建築基準法施行令 20 条の 2 開口部を確保できない場合の機械換気設備について
浮遊粉じん	0.15mg/m ³ 以下	建築基準法施行令 129 条の 2 の 6・3 項 中央管理方式の空調設備について
一酸化炭素	10ppm 以下	
炭酸ガス	1000ppm 以下	
温度	17℃ 以上、28℃ 以下 居室における温度を外気の温度より低くする場合は、その差を著しくしないこと	
相対湿度	40%以上、70%以下	
気流	0.5m/s 以下	
クロルピリホス	使用禁止	建築基準法施行令 20 条の 5
ホルムアルデヒド	0.1mg/m ³ 以下	建築基準法施行令 20 条の 7
換気回数	住宅等の居室では 0.5 回/h 以上、その他の居室（学校教室含む）では 0.3 回/h 以上の機械換気設備を設けること	建築基準法施行令 20 条の 6

3.1.2 建築物環境衛生管理基準（建築物衛生法）

建築物衛生法については、その施行令において「建築物環境衛生管理基準」を表 3-1-2 の

ように定めている。基準値は、建築基準法で定められたものとほぼ同様である。学校の場合は、1棟当たりの延べ床面積が8000m²以上の校舎がこの法律の対象となり（専修学校の場合は3000m²以上）、その場合は建築物環境衛生管理技術者を選任し、維持管理が環境衛生上適正に行われるよう監督させなければならない。

なお、厚生労働省では、その他にもシックハウス問題への対応として、平成9年にホルムアルデヒドの濃度指針値を提案したのをはじめに、平成12年からシックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会を開催し、これまで13種類の揮発性有機化合物とTVOCについて、表3-1-3のように「室内空気汚染に係るガイドライン」を策定している。

表 3-1-2 建築物環境衛生管理基準

項目	基準	検査	備考
(1) 浮遊粉じん	0.15mg/m ³ 以下	2ヶ月以内ごとに1回、定期的に行う。 通常の使用時間中に各階にて、居室の中央部の床上75cm以上150cm以下の位置で測定する。 (1)～(3)は、1日の使用時間中の平均値をもって基準と比較する。	延べ面積が3000m ² 以上（学校は8000m ² 以上）の建築物が対象。 空気調和設備を設けている場合は全ての項目が適用される。 機械換気設備を設けている場合は(1)～(3)と(6)、(7)が適用される。 室内外の温度差は7℃以下とする。
(2) 一酸化炭素	10ppm以下		
(3) 二酸化炭素	1000ppm以下		
(4) 温度	17℃以上、28℃以下 居室における温度を外気の温度より低くする場合は、その差を著しくしないこと		
(5) 相対湿度	40%以上、70%以下		
(6) 気流	0.5m/s以下		
(7) ホルムアルデヒド	0.1mg/m ³ 以下	新築、増築、大規模の修繕又は大規模の模様替えを完了し、その使用を開始した時点から直近の6月1日から9月30日までの間に1回測定する。	

表 3-1-3 室内空気汚染に係るガイドライン

揮発性有機化合物	室内濃度指針値*	設定日
ホルムアルデヒド	100μg/m ³ (0.08ppm)	1997.6.13
アセトアルデヒド	48μg/m ³ (0.03ppm)	2002.1.22
トルエン	260μg/m ³ (0.07ppm)	2000.6.26
キシレン	870μg/m ³ (0.20ppm)	2000.6.26
エチルベンゼン	3800μg/m ³ (0.88ppm)	2000.12.15
スチレン	220μg/m ³ (0.05ppm)	2000.12.15
パラジクロロベンゼン	240μg/m ³ (0.04ppm)	2000.6.26
テトラデカン	330μg/m ³ (0.04ppm)	2001.7.5
クロルピリホス	1μg/m ³ (0.07ppb) 小児の場合 0.1μg/m ³ (0.007ppb)	2000.12.15
フェノブカルブ	33μg/m ³ (3.8ppb)	2002.1.22
ダイアジノン	0.29μg/m ³ (0.02ppb)	2001.7.5
フタル酸ジ-n-ブチル	220μg/m ³ (0.02ppm)	2000.12.15
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	120μg/m ³ (7.6ppb)	2001.7.5
総揮発性有機化合物量(TVOC)	暫定目標値 400μg/m ³	2000.12.15

* 両単位の換算は、25℃の場合による。

3.1.3 学校環境衛生基準（学校保健安全法）

従来、文部科学省は、体育局長裁定により「学校環境衛生の基準」をガイドラインとして示していたが、平成 20 年 6 月に「学校保健法」が学校保健安全法へ改正（平成 21 年 4 月施行）されたことにより、学校環境衛生基準を文部科学大臣が定めることが明文化され、『基準』の法律上の位置付けが明確になった。この基準は、学校教育法第 1 条に規定する学校等（幼稚園、小学校、中学校、高等学校、中等教育学校、特別支援学校、大学及び高等専門学校）に適用され、専修学校にも準用される。

学校環境衛生基準は、主に①教室等の環境に係る基準、②飲料水等の水質及び施設・設備に係る基準、③学校の清潔、ネズミ、衛生害虫等及び教室等の備品の管理に係る基準、④水泳プールに係る基準の 4 つで構成され、さらに、①教室等の環境に係る基準は、「換気及び保温等」「採光及び照明」「騒音」に分類されている。空気環境と換気に関する項目は、「換気及び保温等」に含まれており、その内容は表 3-1-4 の通りである。

学校の設置者は、この基準に照らしてその設置する学校の適切な環境の維持に努めなければならない。また、校長は、この基準に照らして適正を欠く事項があると認めた場合には遅滞なく改善に必要な措置を講じ、その措置を講ずることができないときは、学校の設置者に対してその旨を申し出ることになっている。

本基準には、「定期検査」のほか「日常点検」、「臨時検査」についても定めがある。定期検査は、学校薬剤師または学校薬剤師の指導の下で教職員が行う。一部を外部の検査機関に依頼することもできる。日常点検は授業があるとき教職員が感覚的に環境を点検し、事後措置を行う。臨時検査は感染症や食中毒の発生など非常時に必要があるとき定期検査に準じた方法で行うことになっている。

内容については、従来の「学校環境衛生の基準」に概ね沿ったものであるが、従来は検査項目であった換気回数・落下細菌・実効輻射温度を検査項目としていない点、教室等において燃焼器具を使用していない場合に一酸化炭素・二酸化窒素の検査を省略できるとした点、揮発性有機化合物について次回からの検査を省略できる測定方法を限定・明確化した点において異なっている。これらの点は、測定器や測定技術等に関する各学校および地域の実情に応じて柔軟に対応できるように変更されたものである。

また、建築基準法や建築物環境衛生管理基準と比較すると、換気（炭酸ガスまたは二酸化炭素）・温度・相対湿度の基準が低いレベルに設定されているが、学校で中央管理方式の空調設備が導入されている場合には、より厳しい建築基準法の基準が適用され、1 棟当たりの延べ床面積が 8000m²以上かつ空調設備がある場合には、建築物環境衛生管理基準が適用されることとなる。

なお、本基準に関する点検の円滑な実施のため、「[[改訂版] 学校環境衛生管理マニュアル『学校環境衛生基準』の理論と実践」（http://www.mext.go.jp/a_menu/kenko/hoken/1292482.htm）が作成されている。

表 3-1-4 学校環境衛生基準

検査項目	基準	方法 (ここに示す方法と同等以上の方法で代えることができる)
(1) 換気	換気の基準として、二酸化炭素は1500 ppm 以下であることが望ましい。	二酸化炭素は、検知管法により測定する。
(2) 温度	10°C 以上、30°C 以下であることが望ましい。	アスマン通風乾湿計を用いて測定する。
(3) 相対湿度	30%以上、80%以下であることが望ましい。	アスマン通風乾湿計を用いて測定する。
(4) 浮遊粉じん	0.10 mg/m ³ 以下であること。	相対沈降径 10 μm 以下の浮遊粉じんをろ紙に捕集し、その質量による方法(Low-Volume Air Sampler法) または質量濃度変換係数(K)を求めて質量濃度を算出する相対濃度計を用いて測定する。
(5) 気流	0.5 m/s 以下であることが望ましい。	カタ温度計または微風速計を用いて測定する。
(6) 一酸化炭素	10 ppm 以下であること。	検知管法により測定する。
(7) 二酸化窒素	0.06 ppm 以下であることが望ましい。	ザルトマン法により測定する。
(8) 揮発性有機化合物		揮発性有機化合物の採取は、教室等内の温度が高い時期に行い、吸引方式では30分間で2回以上、拡散方式では8時間以上行う。
ア. ホルムアルデヒド	100 μg/m ³ 以下であること。	ジニトロフェニルヒドラジン誘導体固相吸着/溶媒抽出法により採取し、高速液体クロマトグラフ法により測定する。
イ. トルエン	260 μg/m ³ 以下であること。	
ウ. キシレン	870 μg/m ³ 以下であること。	
エ. パラジクロロベンゼン	240 μg/m ³ 以下であること。	
オ. エチルベンゼン	3800 μg/m ³ 以下であること。	
カ. スチレン	220 μg/m ³ 以下であること。	固相吸着/溶媒抽出法、固相吸着/加熱脱着法、容器採取法のいずれかの方法により採取し、ガスクロマトグラフ-質量分析法により測定する。
(9) ダニ又はダニアレルゲン	100 匹/m ² 以下又はこれと同等のアレルゲン量以下であること。	温度及び湿度が高い時期に、ダニの発生しやすい場所において1 m ² を電気掃除機で1分間吸引し、ダニを捕集する。捕集したダニは、顕微鏡で計数するか、アレルゲンを抽出し、酵素免疫測定法によりアレルゲン量を測定する。
備考		
<p>一 検査項目(1)~(7)については、学校の授業中等に、各階1以上の教室等を選び、適当な場所1か所以上の机上の高さにおいて検査を行う。</p> <p>検査項目(4)及び(5)については、空気の温度、湿度又は流量を調節する設備を使用している教室等以外の教室等においては、必要と認める場合に検査を行う。</p> <p>検査項目(6)及び(7)については、教室等において燃焼器具を使用していない場合に限り、検査を省略することができる。</p> <p>二 検査項目(8)については、普通教室、音楽室、図工室、コンピュータ教室、体育館等必要と認める教室において検査を行う。</p> <p>検査項目(8)ウ~カについては、必要と認める場合に検査を行う。</p> <p>検査項目(8)については、児童生徒等がいない教室等において、30分以上換気の後5時間以上密閉してから採取し、ホルムアルデヒドにあつては高速液体クロマトグラフ法により、トルエン、キシレン、パラジクロロベンゼン、エチルベンゼン、スチレンにあつてはガスクロマトグラフ-質量分析法により測定した場合に限り、その結果が著しく基準値を下回る場合には、以後教室等の環境に変化が認められない限り、次回からの検査を省略することができる。</p> <p>三 検査項目(9)については、保健室の寝具、カーペット敷の教室等において検査を行う。</p>		

参考

空気環境に関わる基準としては、省庁が定めたもの以外に、学会が策定したものも存在する。日本建築学会の基準と空気調和・衛生工学会の基準を参考として示す。

付表1 日本建築学会 (AIJES-A001-2014, A004~A005-2010)

汚染質	設計基準濃度	備考
ホルムアルデヒド	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (80 ppb)	30分平均値 WHO 欧州のガイドラインを採用
アセトアルデヒド	48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (30 ppb)	厚生労働省の指針値を参考とした
トルエン	260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (70 ppb)	WHO および厚生労働省の指針値を参考とした

付表2 空気調和・衛生工学会 (SHASE-S 102-2003)

(a) 室内空気汚染の総合的指標としての汚染質と設計基準濃度

汚染質	設計基準濃度	備考
二酸化炭素	1000 ppm	ビル管理法の基準を参考とした

(b) 単独指標としての汚染質と設計基準濃度

汚染質	設計基準濃度	備考
二酸化炭素	3500 ppm	カナダの基準を参考とした
一酸化炭素	10 ppm	ビル管理法の基準を参考とした
浮遊粉じん	0.15 mg/m^3	ビル管理法の基準を参考とした
二酸化窒素	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (210 ppb)	WHO の1時間基準値を参考とした
二酸化硫黄	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (130 ppb)	WHO の1時間基準値を参考とした
ホルムアルデヒド	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (80 ppb)	厚生労働省の30分基準値を参考とした

3.2 海外の基準

表 3-2-1～3 に、海外の学校空気環境に対する基準を、日本のそれと対比して示す。

海外における関係法令・基準のすべてを網羅することはできなかったが、明確な文献・資料を確保できた国について、ヨーロッパ、北米、アジア各圏ごとにまとめた。ただし、原典の言語を正確に和訳することは難しく、また法的強制力はそれぞれ異なるので、規制値を単純比較することはできないことに注意を要する。

(1) EU の基準

EU 圏では、European Committee for Standardization (Comité Européen de Normalisation; CEN) による EU 基準(EN)が広く採用されており、この法体系により、EU 圏内で流通する建築材料類を一定水準に維持しようとしており、各国・州では建築法規により最低限度の品質を確保したうえで、特定国の学校においても EU 全体のレベルと見合わせ、現実的な需要に応じた品質向上を可能にしようとしている。ドイツやオランダの建築法規および EU 基準では、空気環境の各要素について規制あるいは目標とする値を目的別に複数のレベル分けをしており、「一律制御」ではなく「段階制御」している点が特徴的である。この「段階制御」は、設備設計・施工・管理の実務上、在室者の健康維持・管理と、設備の運転効率やエネルギー消費とのバランスを考慮するのに大変有用である。

CENによる基準のうち、エネルギー性能を考慮した建物の室内環境のあり方については EN 15251¹⁾が詳しく、非住宅における換気設計方法については EN 13779²⁾に示されている。ENはEU各国共通の基準であるものの、これをもとに、あるいはそれぞれの国の事情に応じて、別の基準が設けられている場合が多い。たとえば、換気回数について、フランスでは幼稚園・小学校の教室 $15\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{人})$ 、講堂 $18\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{人})$ 、フィンランド・デンマークでは $21.6\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{人})$ ³⁾と、ENのカテゴリ II より低い値となっているが、ポルトガルでは $30\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{人})$ ⁴⁾と高い値を採用しており、各国の気象条件によって温熱環境に考慮した外気導入量が適用されているものと考えられる。

(2) ドイツの基準

ドイツの建築法規“Bauregelliste”⁵⁾では、建築物物理的な要素として気密性能はできるだけ確保しながら、機械換気を設置する場合は室内外気圧差 50Paにおいて換気回数 1 回/h、自然換気の場合は 1.5～3 回/hとなるようにする⁶⁾。住宅以外の換気についてはドイツ工業規格 (Deutsches Institut für Normung; DIN)⁷⁾が定められているが、内容の確認はできていない。

通常の労働環境として⁸⁾室温 18～24°C、相対湿度 40～70%、気流 0.2m/sになるようにし、居住者の健康管理上CO₂濃度は 1500ppm以下にすることが、現実には別として「目標」になっている。これは学校建築に対しても適用されるが、建築法規を管轄するドイツ建築技術省 (DIBt)のほか、室内空気質の指針値を公表しているドイツ連邦環境庁 (Umwelt Bundes Amt; UBA)⁹⁾、各種建築材料・資材等の標準化を担う DIN、German Social Accident Insurance (Deutsche

Gesetzliche Unfallversicherung Spitzenverband; DGUV)など、省庁・組織と各州による法体系が複雑に絡み合っている。

一方、2008年にUBAのIndoor Air Hygiene Commission (IRK)が手引書¹⁰⁾を発行し、学校建築の設計・施工・管理者、教職員、保護者などに向けて具体的な室内空気環境の維持管理方法を指南している。このような手引書は、2001年にISIAQ Task Forceが北欧でも作成しており¹¹⁾、児童や生徒の健康を損ねることなく学習環境を整えるため、具体的な換気の仕方や現実的な快適性の維持方法について、学校関係者の利用を前提とした現場対応の手引きが必要とされていることがわかる。

(3) オランダの基準

オランダでは、学校の必要換気量は $20 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{人})$ で、主に窓開けなどの自然換気と、補助的に機械排気を用いることになっているが、不快感や外からの騒音などが原因でうまくいっていないのが実情である。

そこで、ISSO (Institute for Study and Stimulation of Research) 89 Indoor climate in schools¹²⁾が施行され、今では既存学校の大規模改修や学校新設の際に実用的な指針として大いに受け入れられている。まず、この基準は上位から下位へA、B、Cと3段階のクオリティレベルを設定しており(CEN CR 1752¹³⁾などと同様)、空調・換気設備の組合せや設置状況、稼働状態に応じて選択する。室内空気環境の改善に主眼が置かれているが、維持管理と省エネルギーにも配慮されたもので、新設・既存のいずれにも適用する。3段階に分けられた各指針値は、稼働時間の少なくとも90%がそれに見合うことが要求される。

なお、オランダの建築法規は2011年度に改定される予定になっており、上述クオリティレベルBに該当する要求内容になる。また、必要最小限の新鮮空気量は $30 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{人})$ 、室内CO₂濃度は1200ppm以下が要求されることになる。参考までに、建築法規では教育施設における在室者密度を $1.3 \sim 3.3 \text{ m}^2/\text{人}$ としている。

(4) イギリスの基準

イギリスでは、大枠としてThe Building Regulationsが建築法規として定められており、具体的には学校の換気基準として国の法令(SPR)¹⁴⁾およびBuilding Bulletin 101¹⁵⁾に従うことになっている。換気のパフォーマンス基準としては、頭の位置で計測したCO₂の平均濃度が授業時間中1500ppmを超えないこと、設計指針としては、すべての学習環境について1) 最低限 $3 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{人})$ 、2) 最少日平均 $5 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{人})$ 、3) 滞在時間中 $8 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{人})$ 以上、つまり、 $10.8 \sim 28.8 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{人})$ を満たす換気設備を設置することが求められる。温熱環境のパフォーマンス基準としては、夏季に1) 教室内で 28°C 以上になることが120hを超えないこと、2) 平均の室内外温度差が 5°C を超えないこと、3) 滞在している室内温度が 32°C を超えないこと、が求められており、Building Bulletin 87 では快適性が得られる温熱環境について具体的に示されている¹⁶⁾。

一方、2009年にはCommunities and Local Government (CLG)プロジェクトが、BB101を実

現するための具体的な換気設計・施工方法やシミュレーション例を示したレポート¹⁷⁾を発行しており、学校現場に即した手引書が必要とされていることがわかる。

(5) 北米の基準

北米(アメリカ・カナダ)では、一般的な居室の温熱環境についてはASHRAE Standard 55¹⁸⁾、室内空気質を考慮した換気基準として同 62.1¹⁹⁾がよく引用されるが、これらは空調・換気の実務において参照する「技術資料」にあたるようである。学校環境の維持管理方法については、1995 年来、環境保護庁(Environmental Protection Agency; EPA)がインターネット上で注意喚起をするほかソフトウェアを発行している²⁰⁾。

アメリカの場合、一般的にはカリフォルニア州等の先導的な基準やASHRAE Standardが他州においても引用され、学校に関しては学区ごとに基準が定められている。特にカリフォルニア州では 58 郡のすべてがそれぞれ基準を設けており、さらにサンフランシスコ市等では市独自の基準を有している。室内化学物質濃度基準については、カリフォルニア州の場合は約 200 物質の気中Reference Exposure Levels (REL)濃度²¹⁾が採用されているが、現実的には難しいためRisk management levelを独自に採用している場合もある。

カナダでは、Health Canadaが室内濃度指針値を公表している²²⁾が強制力はなく、ビル管理上はASHRAE Standard 55 および 62.1 が適用されるが、学校環境に特化した法規制はない。アメリカEPAと同様にHealth Canadaも、2003 年学校向けに室内空気質の維持管理方法に関する手引きを公表している²³⁾。

(6) シンガポールの基準

日本の気候は寒冷地など一部を除くと欧米と比較して湿度が高いため、類似した気候地域の事例としてシンガポールの学校環境に関する基準を調査した。

シンガポールでは、1996 年に環境省が一般的な室内空気質のガイドライン²⁴⁾を策定し、建築法規²⁵⁾と空調換気設備に関する基準CP 13²⁶⁾を補完するものとして利用されてきた。その後 2009 年にCP 13 はシンガポール基準SS 553²⁷⁾として施行されて温熱環境と換気量を定め、室内空気質についてはSS 554²⁸⁾が基準となった。これらの基準によれば、室内温熱環境の目標値は日本と大きく相違ないことがわかる。

(7) 韓国の基準

日本で建築基準法がシックハウス対策の改正が施行されたころから、韓国でも室内空気質などの生活環境改善に対する関心が急速に高くなり次々に法整備が行われ、特に 2006 年、シックハウス対策として新築集合住宅について室内化学物質濃度の公表を義務付けたことは、日本でもよく知られている。

学校空気環境に関しては、日本の文部科学省にあたる教育人的資源部が 2006 年に「学校校舎内環境衛生および食品衛生管理マニュアル」を公布し、シックスクール対策を行って

いる²⁹⁾。保健室や食堂における微生物汚染の基準値が設定されていること、また、石綿を使う学校に対してその室内基準値を示していることが特徴的である。

(8) まとめ

各国がめざす教室内の温熱・空気環境に関する基準値として、図 3-2-1 および 2 には必要換気量とCO₂濃度、図 3-2-3 に温湿度について、同じ単位に換算できる限りを示す。ただし、図 3-2-1 のCO₂濃度は、外気濃度を基準に室内濃度の規定がある場合(EU、シンガポール)は外気濃度として 400ppmを代入し、必要換気量は、日本の学校環境衛生基準の場合「学校環境衛生管理マニュアル」(前出)の<参考>に従い 180m³の教室に 40 人の児童が在室しているものとして算出している。

人の呼気によるCO₂呼出量について、「学校環境衛生管理マニュアル」では、小学校低学年の場合 11 L/h/人、小学校高学年および中学生の場合 16 L/h/人、高校生および大人の場合 22 L/h/人を採用しているが、たとえばオランダでは 5 歳児(体重約 20kg) = 7.2 L/h、8 歳児(約 25kg) = 8.7 L/h、12 歳児(約 43kg) = 13.7 L/h、大人=19 L/hといったように、欧米では異なる値を採用している。また、必要換気量とCO₂の室内濃度基準値とはおおむね負の相関が認められた(図 3-2-2)。

学校におけるの室内温熱・空気環境については、児童・生徒が健康に学習を継続してゆくために法的な規制が必要不可欠であり、今回調査したほとんどの国においては、基準値等の違いはあっても法整備がなされていた。さらに、学校の現場において具体的にどう維持管理すべきかについては、教職員が学術的根拠を理解したうえで行動できるようなガイドブック(あるいはマニュアル)が必要とされており、ドイツ、イギリス、アメリカ等では研究者らによって編集・出版されていた。

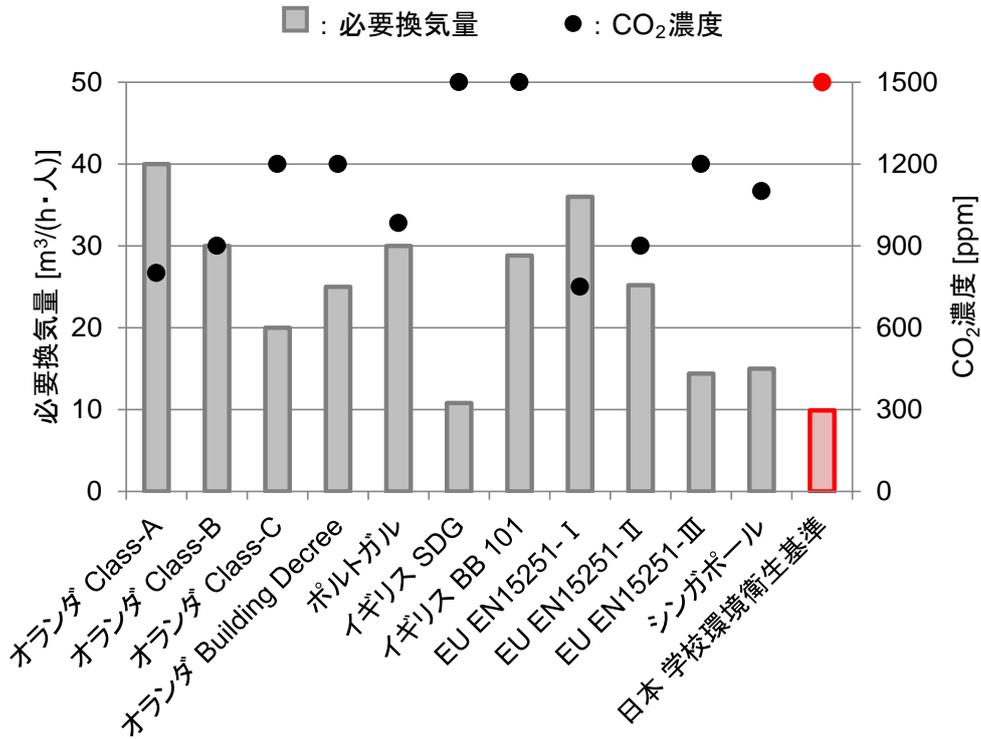


図 3-2-1 必要換気量およびCO₂濃度の各国基準値

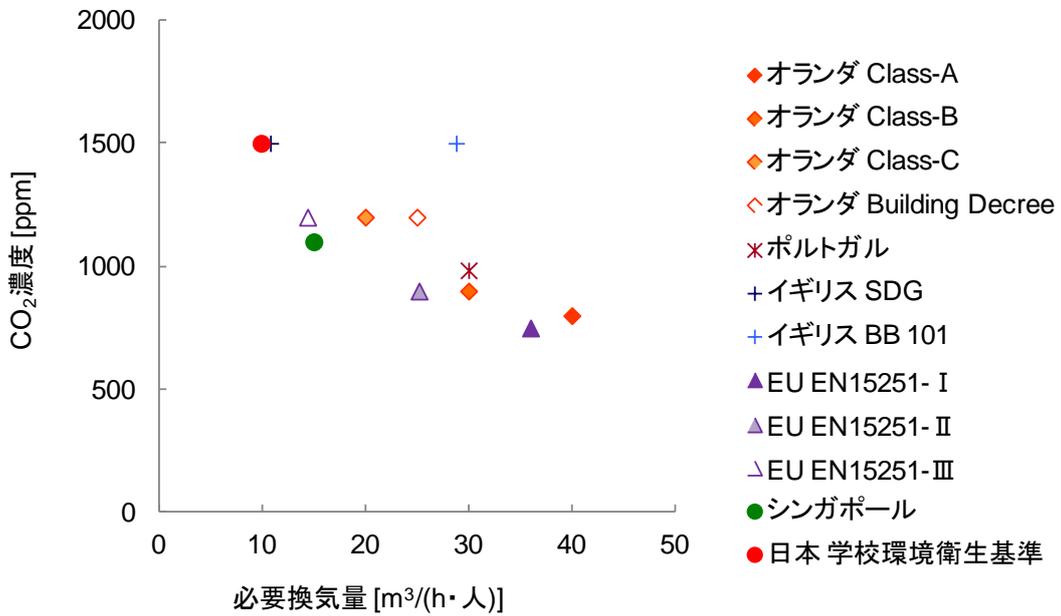


図 3-2-2 必要換気量とCO₂基準値との関係

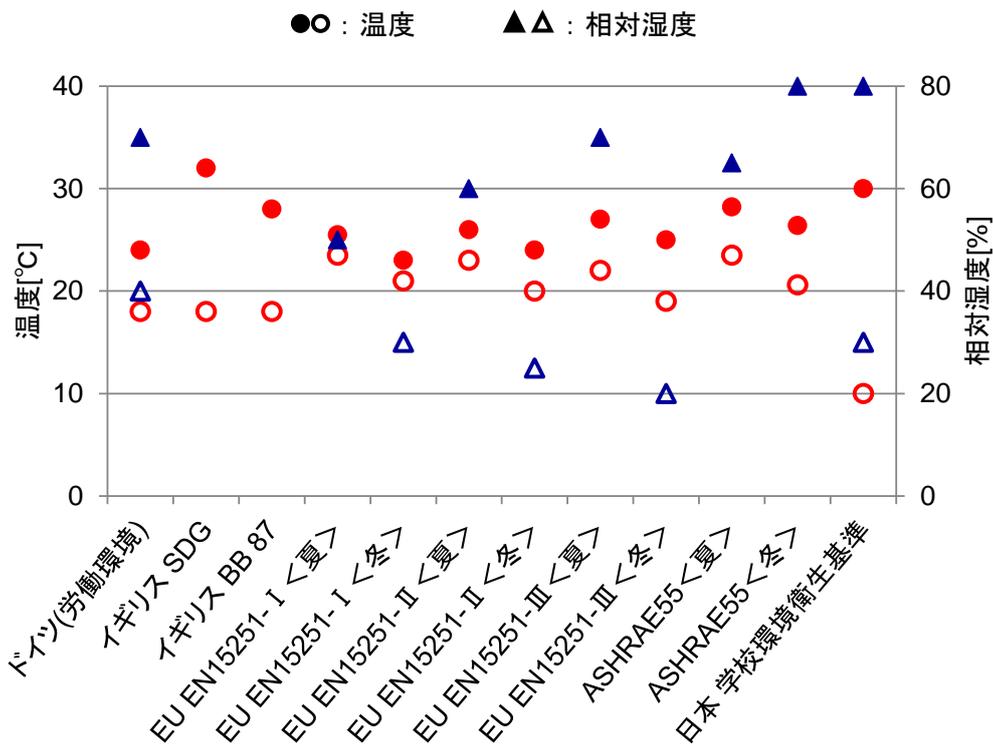


図 3-2-3 温・湿度環境の各国基準値

参考文献

- 1) CEN: EN 15251 Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics, 2007.9.
- 2) CEN: EN 13779 Ventilation for non-residential buildings - Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems, 2008.7
- 3) Francesca R. d'Ambrosio Alfano et.al: Indoor Environment and Energy Efficiency in schools Part 1 Principles, REHVA Guidebook, No.13, 2010.
- 4) Maria Dias, João Ramos and Moisés Egido: Contributions for the evaluation of indoor environmental quality in Portuguese school buildings, Roomvent 2011.
- 5) Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Bauregelliste A, Bauregelliste B und Liste C, 2010.6.
- 6) DIN 4108-7; Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs - und Ausführungsempfehlungen sowie - beispiele (Thermal insulation and energy economy in buildings - Part 7: Air tightness of buildings, requirements, recommendations and examples for planning and performance), 2009.1.
- 7) DIN EN 13779: Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlage (Ventilation for non-residential buildings - Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems), 2007.9.

- 8) AStV - Arbeitsstättenverordnung: Verordnung, mit der Anforderungen an Arbeitsstätten und an Gebäuden auf Baustellen festgelegt werden, 1998.5.
- 9) <http://www.umweltbundesamt.de/gesundheit-e/innenraumhygiene/richtwerte-irluft.htm>
- 10) Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes: Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden (Guidelines for indoor air hygiene in school buildings), 2008.8.
- 11) ISIAQ Task Force on schools - A Nordic approach: Creation of healthy indoor environment in schools, National Institute of Public Health, Sweden, 2001.6.
- 12) ISSO Publicatie 89; Binnenklimaat scholen. Rotterdam: Stichting ISSO, 2008.
- 13) DS (Danish Standard) DS/CEN/CR 1752: Ventilation for buildings - Design criteria for the indoor environment, 2001.12.
- 14) Statutory Instruments; Education, England and Wales: The Education (School Premises) Regulations No.2, 1999.
- 15) Department for Education: Building Bulletin 101 Ventilation of School Buildings, 2006.7.
- 16) Department for Education and skills: Building Bulletin 87 Guidelines for Environmental Design in Schools, 2nd Edition Version 1, 2003.5.
- 17) CLG project "Ventilation in Schools": Deliverable 13: Schools Design Guidance - Integrating Ventilation, Thermal Comfort and Daylight in Support of Building Bulletin 101, Version 1.0, 2009.3.
- 18) American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; ANSI/ASHRAE Standard 55-2010 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, 2011.6.
- 19) American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; ANSI/ASHRAE Standard 62.1 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, 2010.
- 20) United States Environmental Protection Agency: IAQ Tools for Schools (<http://www.epa.gov/iaq/schools/index.html>)
- 21) Office of Environmental Health Hazard Assessment: OEHHA Acute, 8-hour and Chronic Reference Exposure Levels (chRELEs), 2008 (<http://www.oehha.ca.gov/air/allrels.html>)
- 22) Health Canada: Exposure Guidelines for Residential Indoor Air Quality (<http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/air/exposure-exposition/index-eng.php>)
- 23) Health Canada: Indoor Air Quality - Tools for Schools Action Kit for Canadian Schools (<http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/air/in/index-eng.php>)
- 24) Ministry of the Environment: Guidelines for Good Indoor Air Quality in Office Premises, 1996.10.
- 25) Minister for National Development: Building Control Regulations, 2003.
- 26) SS CP 13: 1999 Code of practice for mechanical ventilation and air-conditioning in buildings, SPRING Singapore, 2000.2.

- 27) SS 553: 2009 Code of practice for Air-conditioning and mechanical ventilation in buildings, SPRING Singapore, 2009.10.
- 28) SS 554: 2009 Code of practice for Indoor air quality for air-conditioned buildings, SPRING Singapore, 2009.10.
- 29) 金永煥、村松學：韓国の室内環境の基準と実態、設備と管理、Vol.41、No.5、pp.97-102、2007.5.

表 3-2-1 学校内空気環境に関する法令・基準等<ヨーロッパ各国>(2011年9月現在)

国名	ドイツ			オランダ			ポルトガル
規制の名称	Bundesgesundheitsblatt			ISSO 89 Indoor climate in schools			Regulation of Energy Systems and Air Conditioning in Buildings
				Class-A	Class-B	Class-C	
浮遊粉じん	PM _{2.5} : 25 µg/m ³						PM ₁₀ : 0.15 mg/m ³
CO	RW II 30分値 : 60 mg/m ³ 8時間値 : 15 mg/m ³	RW I 30分値 : 6 mg/m ³ 8時間値 : 1.5 mg/m ³					12.5 mg/m ³ (10.7ppm)
CO ₂	Level 1 (無害) 1000ppm 未満	Level 2 (高い) 1000-2000ppm	Level 3 (受入不可) 2000ppm 超	800ppm 未満	900ppm 未満	1,200ppm 未満	1800 mg/m ³ (984ppm)
NO ₂	RW II 30分値 : 0.35 mg/m ³ 7日値 : 0.06 mg/m ³		—				
温度				作用温度(OT) : 20℃以上 上下温度差 : 2 K 床面温度 : 19~26℃(床に座る場合>22℃)	OT : 20℃以上 上下温度差 : 3 K 床面温度 : 19~26℃(床に座る場合>22℃)	OT : 19℃以上 上下温度差 : 4 K 床面温度 : 17~29℃	
相対湿度							
気流				冬期 : 0.13 m/s 未満 夏期 : 0.16 m/s 未満	冬期 : 0.16 m/s 未満 夏期 : 0.20 m/s 未満	冬期 : 0.19 m/s 未満 夏期 : 0.23 m/s 未満	
HCHO	RW II アルデヒド類(C4-C11, 飽和非環式脂肪族) : 2 mg/m ³	RW I アルデヒド類(C4-C11, 飽和非環式脂肪族) : 0.2 mg/m ³					0.1 mg/m ³ (0.08ppm)
VOCs	RW II トルエン : 3 mg/m ³ スチレン : 0.3 mg/m ³	RW I トルエン : 0.3 mg/m ³ スチレン : 0.03 mg/m ³					0.6 mg/m ³ (イソブチレン換算 : 0.26ppm、トルエン換算 0.16ppm) (オゾン : 0.2 mg/m ³ (0.10ppm)、ラドン : 400 Bq/m ³)
	TVOC Level 1 (問題なし): ≤0.3 mg/m ³ Level 2 (特異に高濃度物質がなければ問題なし): >0.3-1 mg/m ³ Level 3 (衛生的に問題): >1-3 mg/m ³ Level 4 (重要な問題): >3-10 mg/m ³ Level 5 (受入不可): >10 mg/m ³						
微生物							カビ : 500 UFC/m ³ バクテリア : 500 UFC/m ³ レジオネラ : 100 UFC/L H ₂ O
必要換気量				屋外CO ₂ =360ppmの場合 : 40 m ³ /(h・人) 屋外CO ₂ =500ppmの場合 : 55 m ³ /(h・人) 新鮮外気量 : 20 m ³ /h/m ²	屋外CO ₂ =360ppmの場合 : 30 m ³ /(h・人) 屋外CO ₂ =500ppmの場合 : 40 m ³ /(h・人) 新鮮外気量 : 15 m ³ /h/m ²	屋外CO ₂ =360ppmの場合 : 20 m ³ /(h・人) 屋外CO ₂ =500ppmの場合 : 25 m ³ /(h・人) 新鮮外気量 : 10 m ³ /h/m ²	30 m ³ /(h・人)
備考	Guideline value(RW) II : 影響を加味した値、RW I : 予防のための値			*Building Decree (2003) : 必要換気量= 25 m ³ /(h・人)、CO ₂ 濃度=1200ppm			Ministério da Economia e da Inovação, 2006

表 3-2-2 学校内空気環境に関する法令・基準等<イギリス・EU>(2011年9月現在)

国名	イギリス				EU		
	The Education (School Premises) Regulations (SPR)	Building Bulletin 87 v1-2nd	Building Bulletin 101 v1.4-5th	Schools Design Guidance	EN15251		
規制の名称					I	II	III
浮遊粉じん							
CO							
CO ₂			1500ppm 以下	1500ppm 以下			
NO ₂							
温度	床上 0.5m の位置で <冬期>(外気温度= -1℃) 通常の活動空間：18℃ 通常以下の活動空間：21℃ 通常以上の活動空間：15℃ <夏期> 推奨値：24±4℃ 28℃を超えないようにし、 高温時間帯は 80h まで	床上 0.5m の位置で <冬期>(外気温度= -1℃) 通常の活動空間：18℃ 通常以下の活動空間：21℃ 通常以上の活動空間：15℃ <夏期> 推奨値：24±4℃ 28℃を超えないようにし、 高温時間帯は 80h まで	a) 教室の気温が 28℃以上 となることが 120h を超え てはならない b) 平均の内外温度差は 5℃ 以内 c) 居室は 32℃を超えては ならない	1) 18℃以上 2) 28℃以上となることが 120h を超えてはならない 3) 内外温度差は 5℃以内 4) 居室は 32℃を超えては ならない	PPD<6% -0.2<PMV<+0.2 OT：21℃(冬)、25℃(夏) 暖房時：21～23℃ 冷房時：23.5～25.5℃	PPD<10% -0.5<PMV<+0.5 OT：20℃(冬)、26℃(夏) 暖房時：20～24℃ 冷房時：23～26℃	PPD<15% -0.7<PMV<+0.7 OT：19℃(冬)、27℃(夏) 暖房時：19～25℃ 冷房時：22～27℃
相対湿度					除湿用：50% 加湿用：30%	除湿用：60% 加湿用：25%	除湿用：70% 加湿用：20%
気流							
HCHO							
VOCs							
微生物							
必要換気量	1) すべての居住域(廊下な ど)の最少新鮮外気量 = 3 L/(sec・人) 2) 教室や保健室など = 8 L/(sec・人) 3) トイレ = 6 回/h 以上	1) すべての居住域(廊下な ど)の最少新鮮外気量 = 3 L/(sec・人) 2) 教室や保健室など = 8 L/(sec・人) 3) トイレ = 6 回/h 以上	自然換気の場合： 1) 3 L/(sec・人)以上 2) 5 L/(日・人)以上 3) 8 L/(滞在時間・人)以上 機械換気の場合：5 L/(日・ 人)以上 8 L/(滞在時間・人)以上達成 可能な設備であること。	1) 3 L/(sec・人)以上 2) 5 L/(日・人)以上 3) 8 L/(滞在時間・人)以上	36 m ³ /(h・人) 1.8 m ³ /(h・m ²) (外気CO ₂ 濃度=350ppm)	25.2 m ³ /(h・人) 1.3 m ³ /(h・m ²) (外気CO ₂ 濃度=500ppm)	14.4 m ³ /(h・人) 1.1 m ³ /(h・m ²) (外気CO ₂ 濃度=800ppm)
備考	1999	2003	2006	2009	2007 カテゴリー I：最高水準(弱者対応)、II：標準(新築・改築時)、III：許容水準(既築)、 IV：許容範囲外		

表 3-2-3 学校内空気環境に関する法令・基準等<北米・アジア>(2011年9月現在)

国名	アメリカ		シンガポール		韓国	日本	
	ASHRAE Standard 55	ASHRAE Standard 62.1	SS 553	SS 554	学校保健法	建築基準法施行令 建築物環境衛生管理基準	学校環境衛生基準
浮遊粉じん				50 µg/m ³ (φ ≤ 10µm)	PM ₁₀ : 100 µg/m ³ 石綿 : 0.01 個/cc	0.15 mg/m ³ 以下 (φ ≤ 10µm)	0.10 mg/m ³ 以下
CO				9ppm	10ppm	10ppm 以下	10ppm 以下
CO ₂				外気濃度 + 700ppm	1000ppm 以下 (機械換気の場合 : 1500ppm)	1000ppm 以下	1500ppm 以下*
NO ₂					0.05ppm		0.06ppm 以下
温度	-0.5 < PMV < +0.5 等*		作用温度(OT) : 24~26°C	OT : 24~26°C		17~28°C*	10~30°C
相対湿度	0.012 kg _{H2O} /kg _{DA} 以下	65% 以下	新築 : 65% 以下 既築 : 70% 以下	新築 : 65% 以下 既築 : 70% 以下		40~70%*	30~80%
気流	0.25 m/s 以下		0.3 m/s 以下	0.1~0.3 m/s		0.5 m/s 以下*	0.5 m/s 以下
HCHO				0.1ppm (120µg/m ³)	100µg/m ³	0.08ppm 以下 (0.1 mg/m ³ 以下)	100 µg/m ³ 以下
VOCs				TVOC : 3000ppb	TVOC : 400 µg/m ³ (ラドン : 4.0 pCi、 オゾン : 0.06ppm)		トルエン : 260 µg/m ³ 以下 キシレン : 870 µg/m ³ 以下 パラジクロロベンゼン : 240 µg/m ³ 以下 エチルベンゼン : 3800 µg/m ³ 以下 スチレン : 220 µg/m ³ 以下
微生物				細菌 : 500 cfm カビ : 主な菌種が <i>Cladosporium</i> の場合 500 cfm	総浮遊真菌 : 800 CFU/m ² 落下細菌 : 10 CFU/m ² ダニ : 100 匹/m ²		ダニ/ダニアレルゲン : 100 匹/m ² 以下
必要換気量		呼吸域最少換気量 教室 : 10 cfm/人 講堂 : 7.5 cfm/人	空調設備有の場合 : 2.8 L/(sec・m ²) 以上 [× 1.5 m ² /人 = 4.2 L/(sec・人)] 10 m ³ /(h・m ²) 以上 [× 1.5 m ² /人 = 15 m ³ /(h・人)] 4.2 L/(sec・人) 以上 空調設備無(換気のみ) の場合 : 8 回/h			0.5 回/h	(「学校環境衛生管理マニュアル」<参考>によれば、幼稚園・小学校 : 2.2 回/h 以上、中学校 : 3.2 回/h 以上、高等学校等 : 4.4 回/h 以上)
備考	2010 *快適範囲は図 5.2.1.1 (OT)、5.2.3.2 (OT、SET、PMV) に図示	2010			3 条第 1 項第 3 号 2、 教育人的資源部、2006	基準法改正 : 2003 衛生法改正 : 2002	2009 *濃度基準ではなく、「換気」の検査項目としての規定

4. 学校における温熱・空気環境の実測結果から学ぶもの

4.1 寒冷地域の学校における空気環境の実測例

4.1.1 はじめに

学校の教室における熱空気環境の特徴としてあげられることは、先に述べたように暖房時において室内の温度分布が大きいことである。特に、吹き出し温度の高い温風暖房機を使用している教室では、暖房機の近くが暑く、離れた場所では寒いことや、頭の方が暑くて足元が寒いという問題が指摘されている。また、暖房時は窓を開ける機会が少なくなるので、室内における空気環境は極めて悪くなる。

本節では、暖房設備の種類が異なる 3 つの教室における熱・空気環境の実測例、天井埋め込み型の空調設備が設置された大学の教室における室内温度と二酸化炭素濃度の垂直分布の測定例を紹介する。

次に、空気環境が問題であることの大きな原因は換気量が少ないことである。維持管理が適切に実施されずフィルターなどにゴミが詰まってしまい所期の風量が確保されない例を示し今後の課題について述べる。

最後に、シックハウスに関連して新設の学校で化学物質濃度を測定した結果を示し、問題点を明らかにする。

4.1.2 小学校における温熱空気環境の測定例

吉野・石川¹⁾は 1986 年に、宮城県の小学校 3 校の教室における熱空気環境の測定を行っている。3 つの教室の暖房設備は、中央式蒸気暖房 (A 小学校)、密閉式石油ストーブ (B 小学校)、電気温水暖房 (C 小学校) である。密閉式石油ストーブは現在でも多くの学校で使用されており、建物の性能も大きな違いはないと推定されるので、現在でも同様な環境が形成されていると推測される。教室は何れも南面採光の片廊下型である。

測定の位置は教室の廊下側前方と、窓側後方で、垂直方向に床上 5cm、50cm、110cm、天井下 10cm の 4 か所で実施した。密閉式石油ストーブを使用している教室の測定結果を図 4-1-1 に示す。廊下側前方では、8 時半頃に暖房を開始すると温度が上昇し、9 時半頃に 22℃ に達する。床上 110cm の温度は、窓を閉じている状態では最高で 24.5℃まで上昇する。また、窓を開けると外気が導入され 20℃まで下降する。ただし、床上 5cm の温度は 10℃で殆ど変化がない。一方、窓側後方の 110cm の温度は、廊下側前方に比べて大きく変わらないが、床上 50cm の温度は 1～2℃、床上 5cm の温度は 1～4℃高い。

図 4-1-2 に午前 11 時前後の上下温度分布を示す。温風暖房器を用いている B 小学校が最も大きく、床上 110cm と床上 5cm の温度差は 15℃にも達しており、他の 2 校の 2 倍となっている。

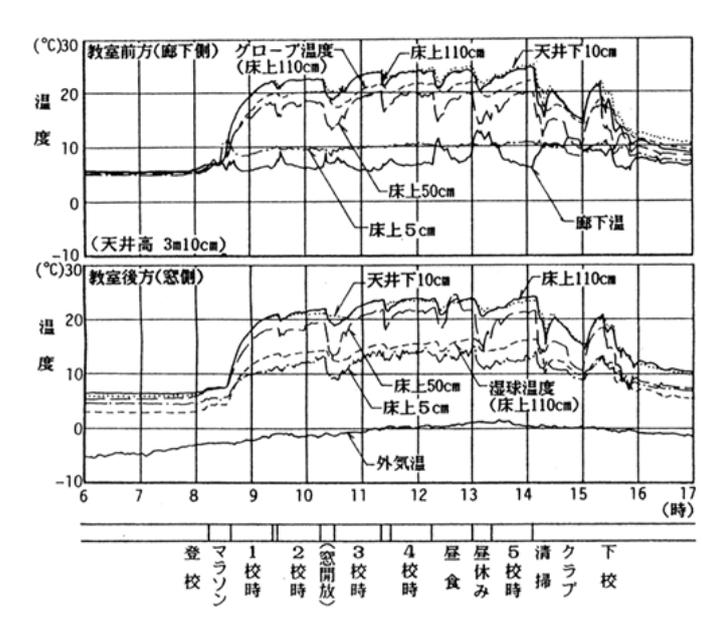


図 4-1-1 教室の温度変化(B 校)

図 4-1-3 に、C 小学校における CO₂ 濃度と粉塵量の測定結果を示す。朝、教室に生徒が入ってくると濃度が上昇し、最高で約 4000ppm に達する。昼休みの時間などに窓を開けると濃度が低下するが、1500ppm よりは下がらない。粉塵量は昼休みに急上昇し 0.52 mg に達している。これは生徒が一斉に動いたからである。

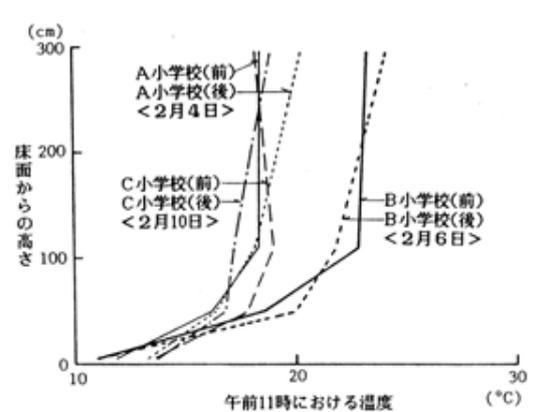


図 4-1-2 教室の上下温度分布

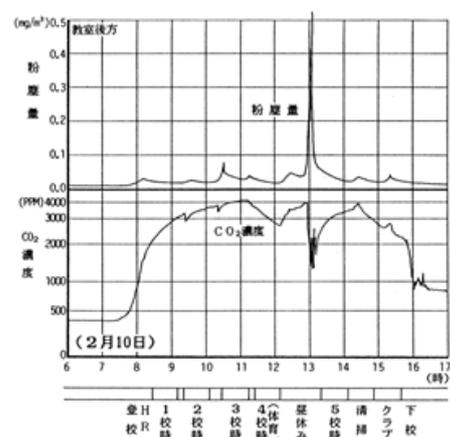


図 4-1-3 CO₂ 濃度と粉塵量の時間変化

4.1.3 大学の教室における温度と CO₂ 濃度分布の測定

劉・吉野ら²⁾は大学の改修後の教室において、暖房時の温度分布と CO₂ の分布を測定した。教室は幅 7.9m、奥行き 9.1m、高さ 3.0m であり、天井埋め込み型の空調設備が 2 台設置され、窓側に 2 台の熱交換器付き換気扇が設置されている。教員、学生 35 人が 3 時間連続し

て在室したが、測定は前後を含めて 10 時間行った。図 4-1-4 に上下の温度、濃度分布を示す。図 4-1-4 の値は、退出前の 1 時間の平均値である。CO₂ 濃度は、入室後 30 分すると 1500ppm を超え、1 時間半後には呼吸域の高さで 2500ppm に達する。図 4-1-4 から垂直の温度分布が大きく、床と天井の間では 10℃にも達していることが分かる。大学の校舎は改修され、窓は二重ガラスとなったが、それでも断熱性能は十分でなく、天井から温風が吹き出されるためにこのような大きな分布となっている。また、CO₂ 濃度の分布には大きな特徴が見られ、座っている時の頭の高さあたりが最も濃度が高くなっている。なお、退室後の CO₂ 濃度の減衰特性から推定された教室の換気量は 0.82 回/h であった。

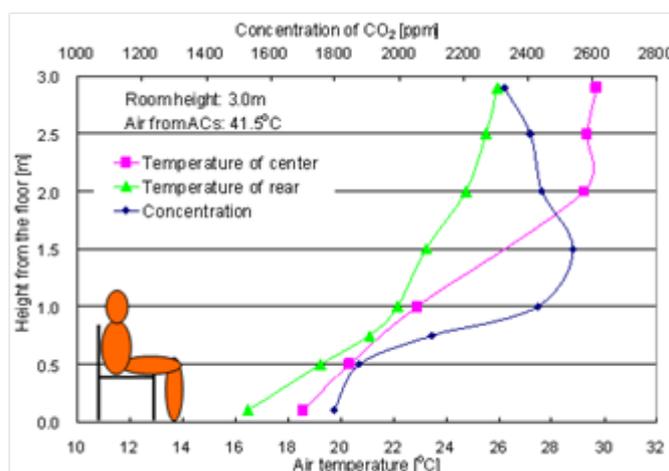


図 4-1-4 教室の CO₂ 濃度と温度の鉛直分布

4.1.4 教室の換気量の測定と課題

吉野・三原ら³⁾は小学校を対象として換気量の測定を行った。調査した小学校は 2 校である。風量測定器によって測定した結果を図 4-1-5 に示す。一般教室の設計風量はおよそ 500 ~ 600 m³/h であり、音楽室、PC 室の半分近くである。測定された風量は、いずれの教室でも設計風量に比較してはるかに少ない。特に学校 b の二つの教室の換気量は極めて少ない。その理由を探るために、学校 a の教室における排気口を調べてみたところ排気口の防虫網に埃が全面的に付着している状況が確認された。埃を除去して再度測定したところ、500 m³/h となった。

メンテナンスを定期的を実施する必要があることは言うまでもないが、排気口がアクセスしにくい場所に設けられている場合もあり、メンテナンスを考慮して設置位置を決めることが重要である。

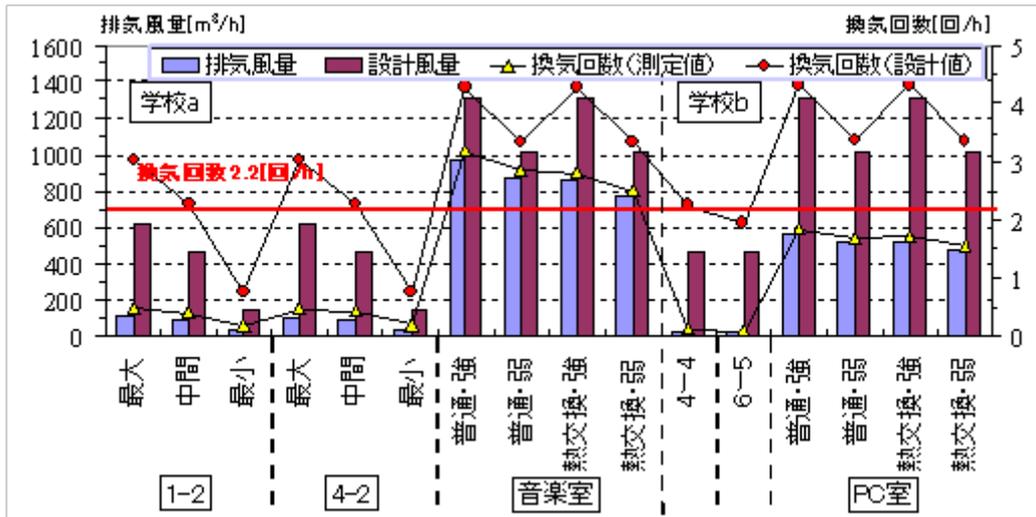


図 4-1-5 機械排気口からの排気風量

4.1.5 宮城県の学校における化学物質濃度

瀧澤・吉野ら^{4),5)}は学校の室内環境と児童生徒の健康の関係を明らかにするため、2つの新築校舎の教室等において化学物質濃度の測定を実施した。新築してから備品の搬入前と搬入後、その年の夏休みの3回、ホルムアルデヒド・アセトアルデヒド・VOC（トルエン・キシレン・スチレン・エチルベンゼン）の濃度を測定した。いずれの学校においてもホルムアルデヒドとエチルベンゼンの濃度は指針値以下であったが、残りの4物質は基準を超えた。そのうち、トルエンについては2校とも、3回の測定ですべて基準値を超えていた。施工時の接着剤に含有されたVOCの影響が大きいことが原因と推測された。

化学物質濃度と児童生徒の健康との関係については、東北地方の既存11校を対象に、アンケート調査と合わせて6つの化学物質を測定した。アセトアルデヒドとエチルベンゼン濃度は問題がなかったが、残りの4物質に関しては基準濃度を超える学校が見られた。分析の結果、ホルムアルデヒドに関してみると基準濃度以下でも、濃度と「喉の痛み」、「風邪のような症状」の指摘率との間で高い相関が見られた。また、トルエン濃度が極端に高い新築の学校では、「便秘や下痢」、「お腹が痛い」、「頭が痛い」、「疲れやすい」、「喉が痛い」、「イライラする」、「体がだるい」といった症状の有症率が高いことがわかった。

4.1.6 まとめ

- 1) 教室内の暖房時における温度の分布、特に垂直温度分布は大きく快適性の観点から問題であるといえる。密閉式石油ストーブや天井埋め込み型空調の場合は、温度の分布が生じやすい。これらの温度分布を解消するためには建物の断熱を十分行うことが基本的に必要である。
- 2) 教室内のCO₂濃度は4000 ppmに達するケースがみられ、全般的に換気が不十分である。
- 3) 換気に関しては設備の維持管理が極めて重要である。学校によっては、維持管理ができ

にくい場所に排気口が設置されており、設計の段階でアクセスのしやすい場所に設けるなどの配慮が必要である。

参考文献

- 1) 吉野博、石川善美：宮城県の小学校における暖房時の教室の温熱空気環境に関する実態調査、空気調和・衛生工学会学術論文集、1986.10.
- 2) 劉述照、吉野博、持田灯：天井空調暖房が設置された教室内の温度・CO₂濃度分布の測定、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学Ⅱ、pp.367-368、2010.9.
- 3) 吉野博、三原邦彰、瀧澤のりえ 他：東北地方における小学校を対象とした熱・空気環境調査、日本建築学会技術報告集、No.22、pp.295-300、2005.12.
- 4) 瀧澤のりえ、吉野博、高田美紀 他：学校における室内環境と児童生徒の健康に関する調査研究 その3 新築校舎の各教室等における化学物質濃度と使用材料との関係、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学Ⅱ、pp.911-912、2003.9.
- 5) 瀧澤のりえ、吉野博、高田美紀：学校における室内環境と児童生徒の健康に関する調査研究 その4 11校の化学物質濃度と児童生徒の健康との関係、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学Ⅱ、pp.914-914、2003.9.

4.2 関東地域の冷房設備を有する教室内温熱・空気環境と環境調節

4.2.1 はじめに

近年、児童の家庭での冷房設備の普及及びヒートアイランド現象等による外気温の上昇に伴う室温上昇への対策として、小学校の普通教室に冷房設備を導入する学校が増えている。2014 年において東京都 23 区の公立小学校普通教室に冷房設備がほぼ 100%設置された。

既往研究では、冷房設備の導入後における教室内の空気汚染やエネルギー消費量の増加などの問題が指摘されているが、導入後における設備の使用状況や窓扉開閉などの環境調節行為や児童の温冷感の相違に関する研究はほとんどない。そこで、我々は数年間にわたり、東京都内にある冷房設備が設置された公立小学校の普通教室における温熱・空気環境と環境調節行為および児童の温冷感の相違を明らかにしてきたので報告する。

4.2.2 調査対象校の概要

関東地域に位置し、冷房設備が設置されている 2 小学校において温熱・空気環境の実測調査とアンケート調査を行った。調査対象校の概要を以下に示す。①東京都 S 区立 T 小学校の 2 階中廊下型の 2・3 年教室と 3 階片廊下型の 4・5・6 年教室において 2006 年の夏期・中間期・冬期に実測調査とアンケート調査^{1), 2)}を実施した。②東京都 N 区立 H 小学校の普通教室に天井付け扇風機 6 台があり冷房設備がなかった 2006 年と、外気側前方に天井吊り冷房設備 1 台が設置された後の 2009 年に 3 階 3 教室で実測・アンケート調査^{3), 4)}を行った。

4.2.3 冷暖房時の室温と設備使用の実態

T 小学校における 2006 年度の夏期と冬期における教室・廊下・外部の温度、教室内 CO₂ 濃度、冷暖房使用時間帯、窓扉の開放面積等の経時変化の例を図 4-2-1 に示す。夏期 1 のクラスでは午前中の非冷房時に窓開放を積極的に行っていたが、冷房を開始すると外気側窓を閉め、廊下側窓扉は開放したままであった。夏期 1 のクラスにおける CO₂ 濃度は学校環境衛生基準で定める 1500ppm を超えたのに対して、1 日中冷房し、両側窓扉を閉め切っていた夏期 2 のクラスでは、長時間 1500ppm を超え、長い休み時間をはさまないで授業を行った際には CO₂ 濃度が蓄積され 3000ppm を越えていた。冬期のクラスでは、夏期よりも両側の開放面積が小さいために CO₂ 濃度は夏期より高い。暖房時の窓開放面積がさらに小さい冬期 2 のクラスには、CO₂ 濃度が上昇するものの、休み時間中に積極的に窓扉を開放していたことから CO₂ が蓄積されず、冷房時に比べて濃度が極端に上がらない。

エアコンの有無の違いがある H 小学校の場合における室温と各設備使用率（各設備使用の平均割合）を表す図 4-2-2 から、冷房設備が設置されていない教室（非設置教室と称する）における扇風機使用率は室温 28℃でほぼ 55%と急増し、室温 30℃以上で 90%以上になるのに対して、冷房設置教室では室温 27℃で冷房と扇風機を併用する教室が 20%前後現れ、28℃で併用運転が 40%と急増している。

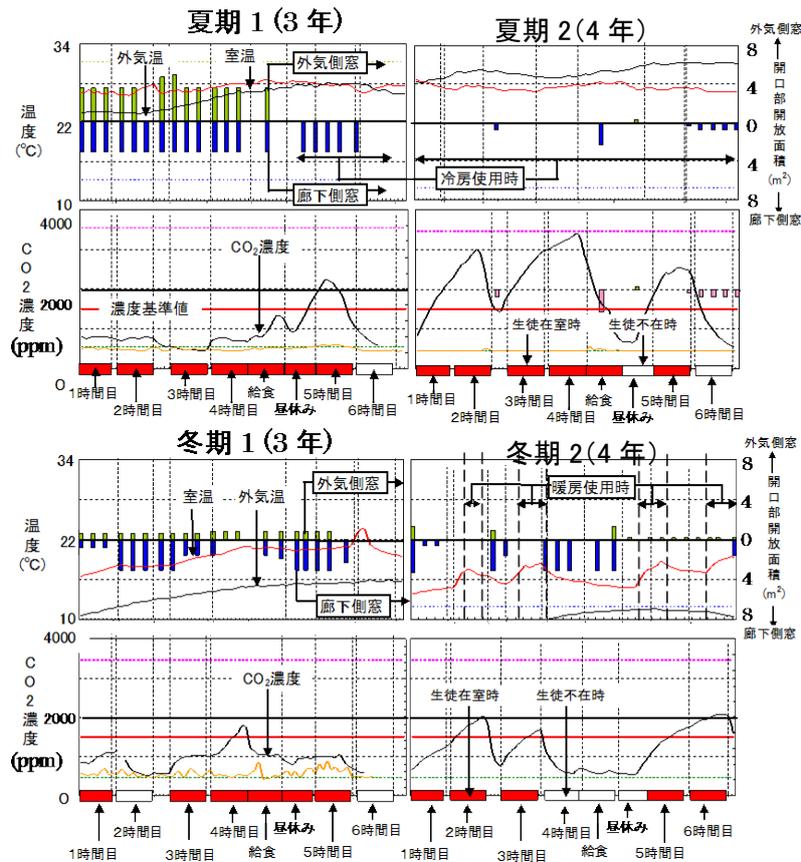


図 4-2-1 T 小学校での冷暖房時・非冷暖房時の 2 クラスにおける
 温湿度、CO₂ 濃度、開放面積の 1 日の経時変化

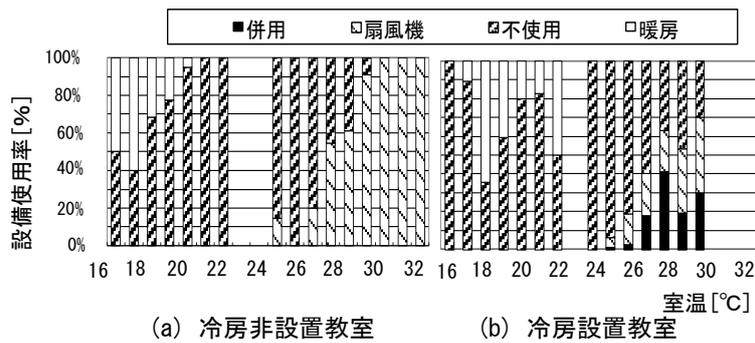


図 4-2-2 平均室温別にみた各設備の使用率 (H 小学校)

4.2.4 クラスによる冷房設備の調節の相違

表 4-2-1 と図 4-2-3 は T 小学校の担任教師の概要 (冷房の好みを含む) と各クラスの冷房使用率を示す。冷房を好まない教師の場合には、冷房使用率が他クラスに比べて極端に低い。ほとんどのクラスの児童は冷房設備で調節することが認められていない。その理由として、極端な温度や風量の設定、不在時における電源の切り忘れ、およびクラスの統制が取り難いことなどが挙げられている。

表 4-2-1 T 小学校の児童と先生の概要

在室者		教室		3階(片廊下型)			
		2階(中廊下型)	3年	4年	5年	6年	
児童	構成	男	15人(54%)	18人(60%)	15人(60%)	16人(73%)	7人(28%)
		女	13人(46%)	12人(40%)	10人(40%)	6人(27%)	18人(72%)
	体質	暑がり	63%	58%	42%	47%	25%
		中立	25%	32%	42%	13%	50%
		寒がり	12%	11%	16%	40%	25%
担任先生	性別、体質	女、暑がり	女、暑がり	女、寒がり	男、一	男、暑がり	
	冷房の好み	やや好む	やや好む	やや嫌う	とても好む	やや好む	
	暖房の好み	やや好む	—	やや嫌う	どちらでもなし	どちらでもない	

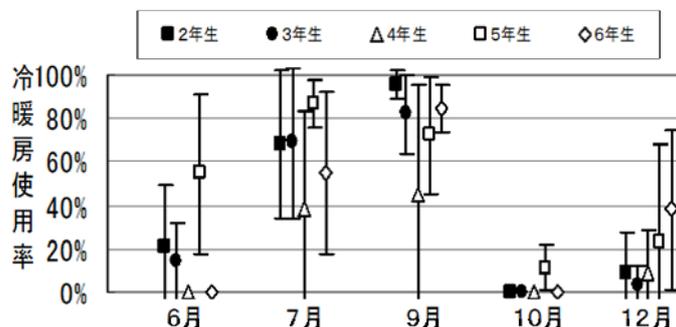


図 4-2-3 T 小学校におけるクラス別にみた冷暖房使用率の経時変化

4.2.5 窓扉の開閉の実態

図 4-2-4 は夏期・中間期・冬期での外気側窓と廊下側窓扉の開放率を冷房設置教室と冷房非設置教室別に示す。夏期の場合、人や照明器具からの発熱により教室内の室温が外気温より高くなることが多いことから、外側の窓を閉める傾向が見られ、廊下側の窓扉はある程度の換気のために開放する傾向がある。また、冷房時には冷房効率を上げて省エネになるように開放率が低くなり、特に外側窓を完全に閉めることが多い。冷房非設置教室には通風や扇風機を動かして採風による涼感を期待することから、窓扉の開放率が高くなる傾向がある。

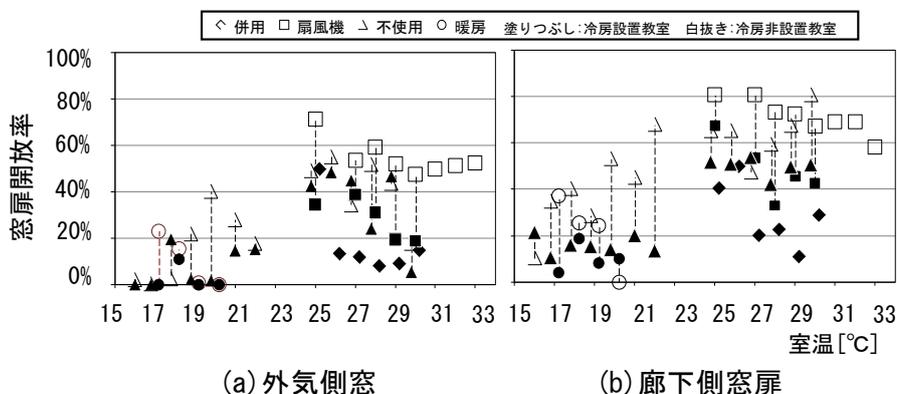


図 4-2-4 設備使用別にみた各室温での外気側と廊下側の窓扉開放率

4.2.6 教室内空気環境の実態

図4-2-5は時限毎のT小学校の各クラスの窓扉開放率とCO₂濃度との関係を設備使用別にプロットしたものである。窓開放率が10%以下になると、CO₂濃度が学校環境衛生基準法で規定している1500ppmを超えることが生じる。冷房時の窓開放率は、廊下タイプにかかわらず低くなることから、CO₂濃度が1500ppmを超えることが多くなる。図4-2-6に見られるように、2・3階教室で同時計測していたにもかかわらず、3階の片廊下型教室での換気量は同一校舎の2階の中廊下型教室での換気量の約2倍である。

次いで必要開放面積を求めるために、図4-2-7で求めた回帰式を用いて必要換気量を算出した結果を表4-2-2に示す。図4-2-8では、必要換気量を満たすことの意義を示している。同図は授業45分間の平均CO₂濃度を求め、500ppmずつの濃度範囲に区分し、相対開放面積（必要開放面積に対する実開放面積の割合）0.25・0.5・1毎にみたCO₂濃度範囲別割合を示す。相対開放面積が1前後（必要換気量相当）の場合、CO₂濃度平均値が基準値以上になることは少ない。相対開放面積が0.75以下になるとCO₂濃度の基準値超過割合が高くなり、0では約70%の割合で基準値を超過した。このことから、必要開放面積以上の面積を開放することが重要であることがわかる。

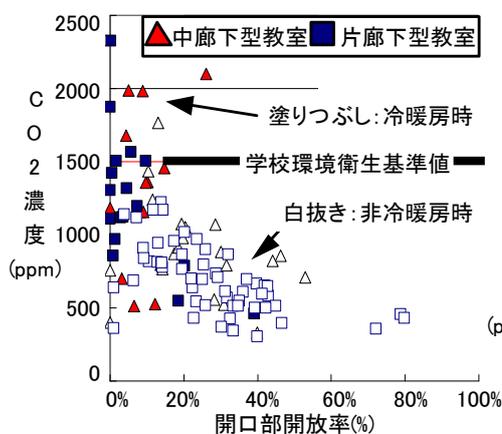


図4-2-5 冷暖房使用や廊下タイプ別にみた開放率とCO₂濃度

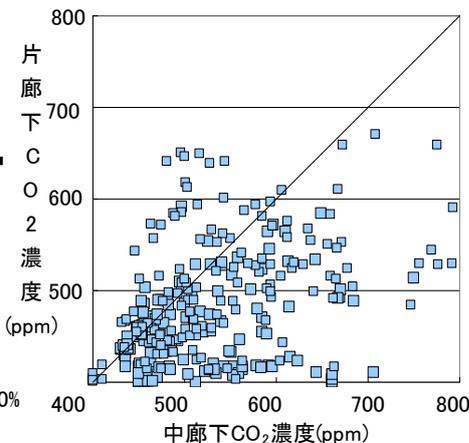


図4-2-6 廊下タイプ別にみた廊下のCO₂濃度

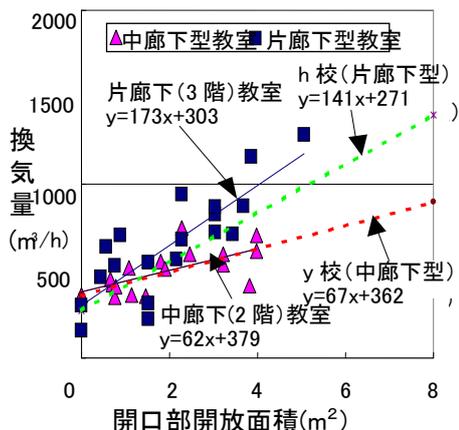


図 4-2-7 廊下タイプ別の開放面積と換気量

表 4-2-2 必要開放面積

高学年教室(31名)の場合	
1人あたりの必要換気量は	
・児童	: $(0.016 \times 100) \div^3/h \cdot 人$
・教師	: $(0.022 \times 100) \div^3/h \cdot 人$
クラスの必要換気量 $15 \times 30 + 20 \times^3/h$	
必要開放面積	
・中廊下型教室 (換気量: $2x+379$)	1.46m ² ⇒ 廊下扉を 48%開放
・片廊下型教室 (換気量: $3x+303$)	0.97m ² ⇒ 廊下扉を 32%開放

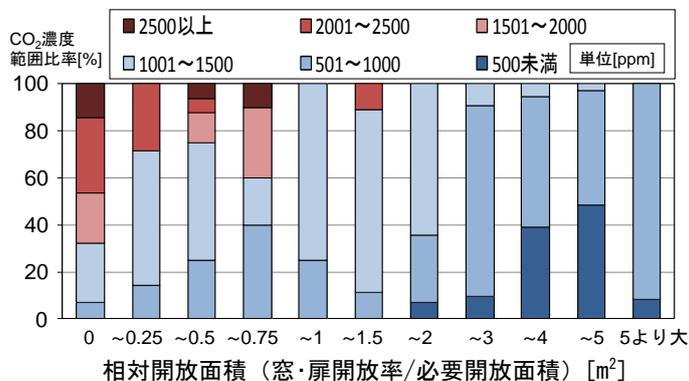


図4-2-8 相対開放面積別に見た授業時の平均CO₂濃度 (H小学校)

4.2.7 児童の温冷感

図 4-2-9 は T 小学校における 9・10・12 月の平均室温と温冷感や PMV 理論値 (着衣・代謝量・放射温度は想定値) との関係、および各月の温冷感及び PMV 理論値の回帰直線と温冷感=0 や PMV=0 との交点である中立温度 (温冷感) や中立温度 (PMV 理論値) を示す。PMV 理論値の回帰直線の勾配は月に関係なくほぼ一定で、中立温度 (PMV 理論値) の季節による差が小さい。温冷感の回帰直線の勾配は季節により異なり、盛夏に向かうに伴って勾配が小さくなることから、暑熱環境への順応が認められる。

温冷感での暑い側評価 (やや暑い・暑い・非常に暑い) の累計割合、どちらでもない評価 (0) の割合、寒い側評価 (やや寒い・寒い・非常に寒い) の累計割合別に最小二乗法を用いて \arctan 関数で求めた室温と評価別との回帰曲線を、設備使用状況別に表した結果を図 4-2-10 に示す。不使用では約 26℃まで、扇風機でも 27℃まで暑さに耐えられるが、28℃以上では冷房による環境調節が必要となることが明らかである。

居住者の快適範囲を 3 種類の熱順応 (行動の程度・生理学上・心理学上) を加味して外気温の関数として示す Adaptive model⁵⁾ の許容温度領域上に冷暖房・非冷暖房時および冷暖房開始時の室温と中立温度を図 4-2-11 にプロットした。夏期の非冷暖房時には許容域 80%を超えるこ

ともあるが、冷房開始時や冷房時の室温は許容温度領域内に収まる。一方、冬期における室温は、いくつかの非暖房時やほとんどの暖房開始時に許容温度領域より低い側に外れ、暖房時には許容温度領域内に収まる。冬期における児童の中立温度(温冷感) (図中の実線) は、Adaptive model の中立温度より 2℃程度低い。これは児童の基礎代謝量が大いことや寒冷順応によると考えられる。

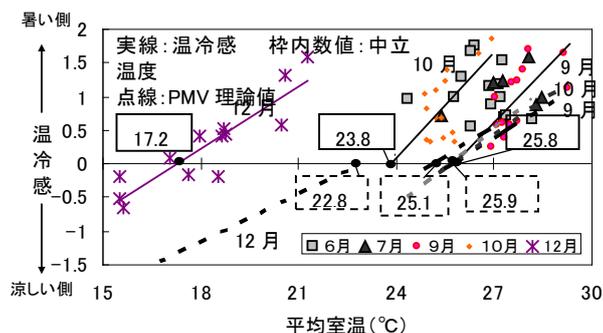


図 4-2-9 月別にみた室温と温冷感や PMV 理論値から求めた回帰直線や中立温度(T小)

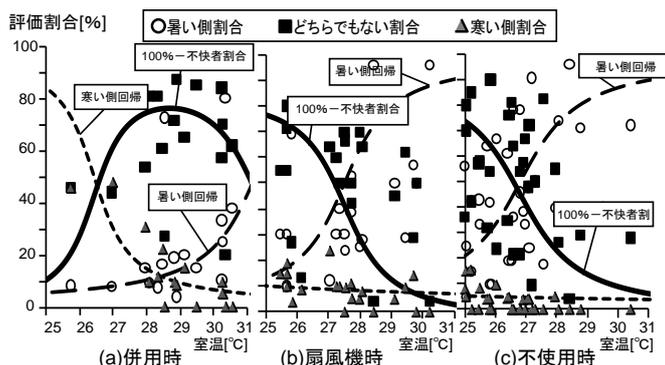


図 4-2-10 設備使用別にみた温冷感評価尺別割合 (H 小学校)

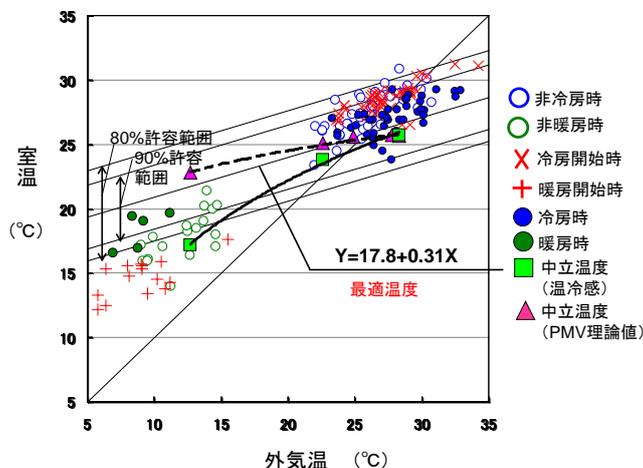


図 4-2-11 Adaptive model における室温の許容範囲(T 小学校)

参考文献

- 1) 倉渕隆、飯野由香利、川瀬智文：温暖地域における冷房機器のある小学校普通教室の空気・温熱環境と温熱環境評価、日本建築学会環境系論文集、Vol.74, No.641、pp.893-899、2009.7.
- 2) 飯野由香利、倉渕隆：ヒートポンプ冷暖房設備が設置された小学校教室における温熱・空気環境、空気調和・衛生工学会大会学術講演会論文集、pp.2043-2046、2009.9.
- 3) 飯野由香利、倉渕隆、鶴田久美子、野田圭弘：冷房設備と扇風機が設置された小学校教室における室内環境と環境調節行為およびに関する研究 その1 環境調節行為と室内物理環境の実態、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.735-736、2010.9.
- 4) 野田圭弘、倉渕隆、飯野由香利、鶴田久美子：冷房設備と扇風機が設置された小学校教室における室内環境と環境調節行為およびに関する研究 その2 温熱環境の実態と温冷感の特性、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.737-738、2010.9.
- 5) R.J. de Dear and G.S. Brager: Developing and adaptive model of thermal comfort and preference, ASHRAE Transactions, Vol.104, Part 1, pp.145-167, 1998.1.

4.3 温暖地域の小学校における空気・温熱環境

4.3.1 はじめに

日本海に面する福岡市は、冬季の外気温は氷点下近くまで低下し、夏季には 30℃を超える日も多いが、公立の小学校では冷房や暖房の設備がない状況で授業が行われてきた。児童が 1 日の大半を過ごす教室と、エアコンが普及した家庭との環境格差への疑問もあり、1990 年代中頃より教室環境の実態調査を開始し、現在に至っている。図 4-3-1 は調査結果の一例で、年間（平日と土曜日の授業日・授業時間帯のみ）の教室内気温の累積日数分布を示している。年間授業日数の 60～70%は「学校環境衛生の基準」で最も望ましいとされる温度範囲から外れる時間帯を含むことがわかる。

すでに暖房設備を導入している自治体は多いが、近年では冷房機器を導入、あるいは導入を決定した自治体もある。福岡市の場合、特別教室や職員室には冷暖房設備が設置されているが、普通教室には航空機等の騒音対策や山間部の寒さ対策を除けば、原則、設置されず、最近では最上階普通教室に扇風機（天井付）が設置された。しかし、平成 25 年度に普通教室への冷房導入（PFI 方式による）が決定され、平成 26 年度に事業募集、平成 27 年度に小学校へ、平成 28 年度に中学校への導入を完了する計画が進められている。

教室への冷暖房導入は学習効率の点で望ましいが、一方で、適切な学習環境の調節と維持が必要不可欠である。そこで、福岡市立小学校の調査事例（詳細は付録を参照）から、冷暖房や換気の利用する際の問題、環境調節を図るうえでの留意点などを示す。今後の管理運営上の参考となれば幸いである。

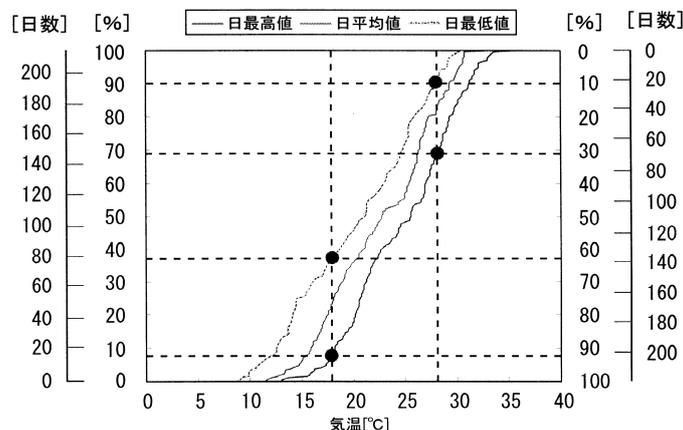


図 4-3-1 教室気温の累積日数分布 (WH 小学校)

4.3.2 冷暖房の使用実態と室内環境

2000 年春に竣工した HT 小学校では、冷暖房切り替えのエアコンが各教室に設置され、個別に運転制御が可能となった。そこで、冷暖房の使用実態、使用時の教室環境に関する年間調査を実施した。ここでは、その一部を紹介する。

(1) 冷暖房の使用期間と時間数

図 4-3-2 は、3 階のエアコン（全 9 台）の 1 日ごとの使用時間数を合計し、これを 2002 年 7 月～2003 年 9 月で示している。冷房は 5 月下旬頃～ほぼ 9 月末まで、暖房は 11 月中旬～3 月末まで使用が続き、1 月が最も多くなる。夏休みや冬休みにも冷房や暖房は使用され、長時間にわたる場合もある（2002 年 7 月末では 140 時間に及ぶ）。授業時間帯のみの場合と比較すると、授業時間帯での使用時間数は全使用時間数の約 2/3 に相当し、1/3 が授業時間帯以外での使用時間となった。児童不在の時間帯でも冷暖房使用が多いことを示唆する。

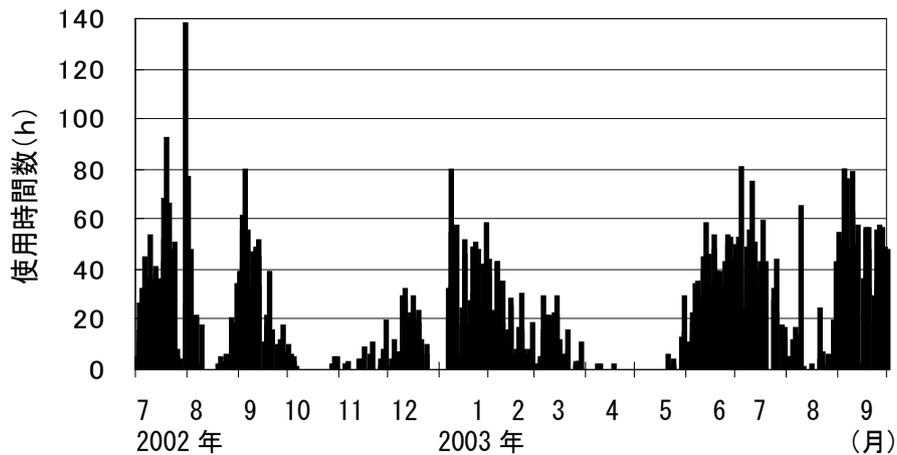


図 4-3-2 冷暖房の一日あたりのべ使用時間数（全日）

(2) 外気温と冷暖房使用の関係

図 4-3-3 は、エアコン使用率（全授業時間数に対する冷暖房使用時間数の割合）と外気温度（授業時間帯の平均値）の関係を示している。外気温度が 15℃～20℃で冷暖房は使用されず、15℃より低いと暖房が使用され、10℃より低いと使用率は 20%を超え、5℃では 40～60%と高い。冷房の場合は、使用率のばらつきが暖房に比べて大きく、外気温が 25℃で使用率は 20%～60%、30℃になると 60%～80%と高くなる。特に、各教室での冷房使用の状況が異なるためか、外気温度が 25℃～28℃でエアコン使用率のばらつきが大きくなる。

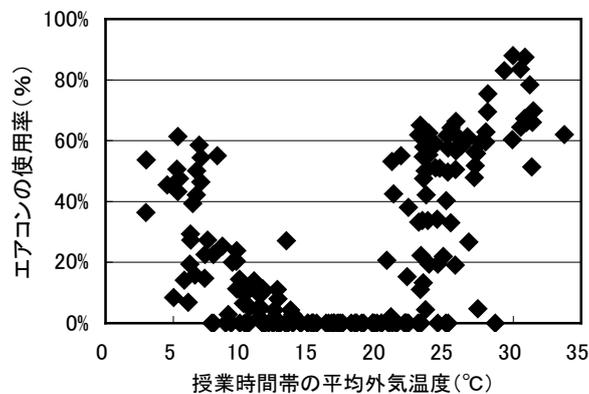


図 4-3-3 エアコン使用率と外気温との関係

(3) 冷暖房使用時の教室環境

授業時間帯での3階フロア気温と外気温の平均値を求め、その年変動を示したのが図4-3-4である。3階フロア気温は、冷房の使用頻度が高い6月、7月、9月で概ね25℃～30℃となり、外気温度が30℃を超える場合でも、フロア内は30℃以下となる。一方で、暖房の使用が多い12月、1月、2月でのフロア気温は大きく変動しており、平均で20℃前後となる。外気温が5℃前後の場合でも、フロア内は15℃～20℃に維持されている。

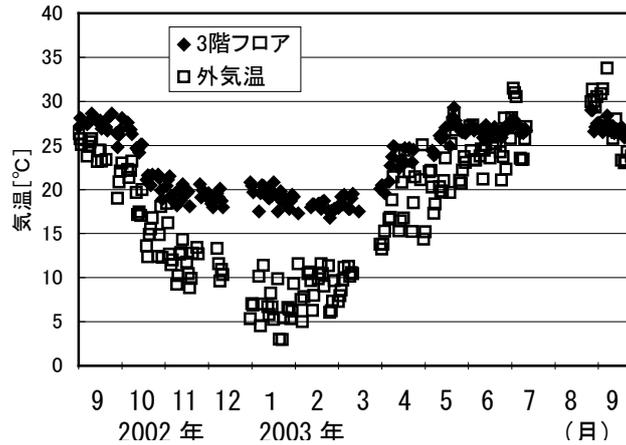


図 4-3-4 授業時間帯における3階フロアと外気の平均気温

同様に、3階フロアのCO₂濃度を図4-3-5に示す。暖房が多い12月、1月中旬～3月上旬にかけてCO₂濃度が高くなる傾向がみられ、最大で1500ppmを超える日も少なくない。また、冷房を使用する6月下旬～夏休み前、夏休み後の9月にかけて濃度が高くなるが、いずれも1500ppmより小さな値となる。冷暖房を使わない時期は1000ppmより小さな値となることから、冷暖房使用時の換気不足が懸念される。音楽室での測定では、同じ授業時間帯での濃度が3階フロアより高く、授業がないときでも1000ppmを超え、授業時には2000～3000ppmと上昇する場合も多い。

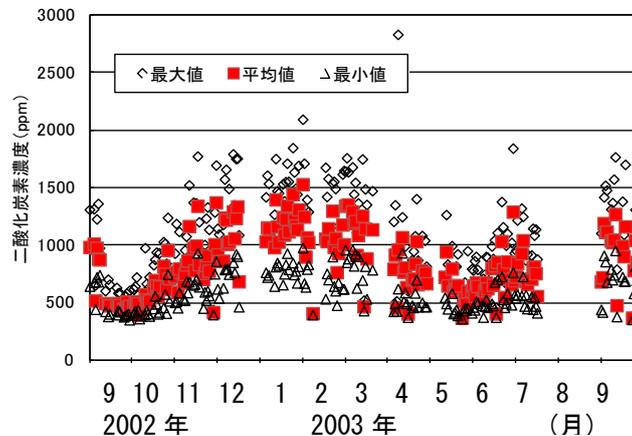


図 4-3-5 授業時間帯における3階フロアのCO₂濃度

4.3.3 日射遮蔽による教室環境改善と冷房負荷軽減

福岡市立小学校の教室にはバルコニーや庇等の日除けは設置されない。近年、これらを設置した校舎もみられるが、大半は、ほぼフラットな立面と直方体の外観の校舎である。アンケート調査等でも冷暖房の必要性を指摘する教師は少なくないが、ストックされる学校建築と省エネルギーや健康的な生活環境を考えれば、建築的工夫による現状緩和の方策も重要である。そこで小庇併用ルーバーに着目し、放射環境の緩和、窓開放による通風の確保、光環境の均一化などを実測調査で検証した。ここでは、その一例を紹介する。

(1) 教室内の温度分布

教室（窓は全閉、カーテンは全開）の窓側と廊下側での温度を比較して図 4-3-6 に示す。窓側と廊下側で差が生じ、ルーバーが設置されていない B 教室の窓側で 40℃ 近くまで上昇する。室内へ日射が入る 9 時過ぎから B 教室では室温が上昇し、ルーバー設置の A 教室の室温上昇は緩和され、B 教室との差が大きくなる。図 4-3-7 にグローブ温度の分布を示す。南面窓側での垂直分布と教室中央における水平分布を示しており、ルーバー設置の A 教室の方が B 教室に比べてグローブ温度が低く、教室内の温度差も小さい。測定期間中の両教室のグローブ温度差は日中で約 2℃ となった。ルーバー設置による放射環境の緩和に加え、窓際のグレアの改善によりカーテンと窓の開放が容易になることから、通風による温熱環境改善も期待される。

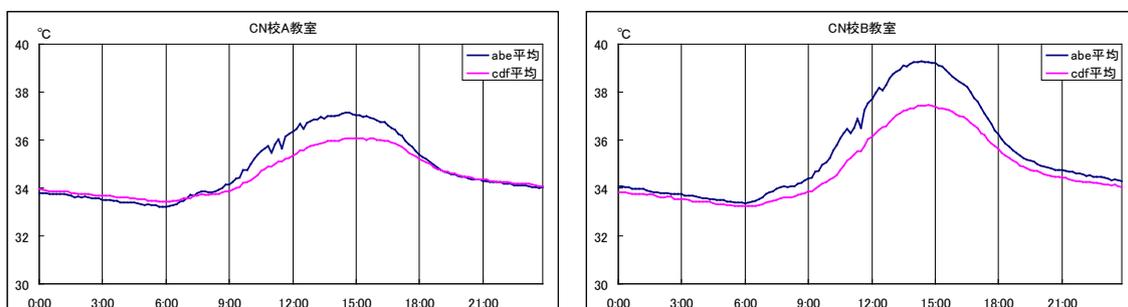


図 4-3-6 廊下側と窓側の室温の比較 (2007 年 8 月 26 日 : CN 校)

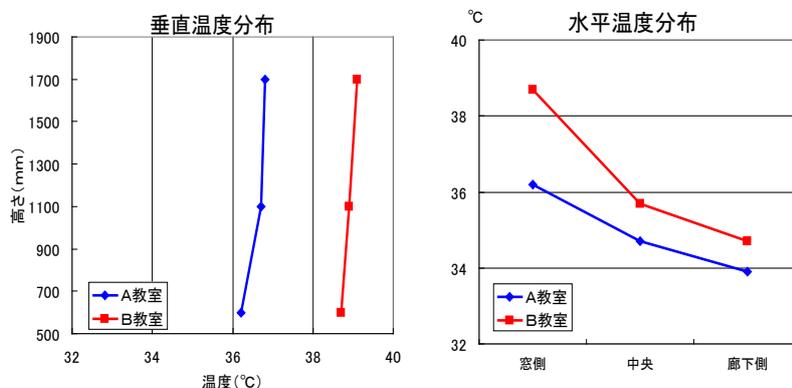


図 4-3-7 グローブ温度の垂直分布と水平分布 (2006 年 8 月 23 日 13 時 : CN 校)

(2) 窓・カーテンの使用状況

夏季晴天日の実測結果より、日中に窓を全開のルーバー設置 A 教室に対し、B 教室ではカーテンの使用開始と同時に窓の開放率が低下し、B 教室の室温が A 教室に比べ 2℃程度高くなっていた。写真 4-3-1 は、2007 年 9 月 20 日の 10 時と 15 時に撮影した画像を比較したもので、ルーバー設置の教室では窓が開放されカーテンも開いている。上階の教室でもパラペット庇により同様な状況となる。これらの周囲の教室では、カーテンは閉じられ、窓も一部しか開放されていない。冷房設置校での同様な調査では、ルーバー設置教室とその上階教室で窓やカーテンが開いている日中に、周辺教室では窓やカーテンを閉じて冷房を使用している様子も確認された。教師へのヒアリングでは、ルーバーの設置により窓やカーテンの使用方法が変わったとの回答はなかったが、撮影画像からは明らかに使い方に差異が生じている。



(a)10:00

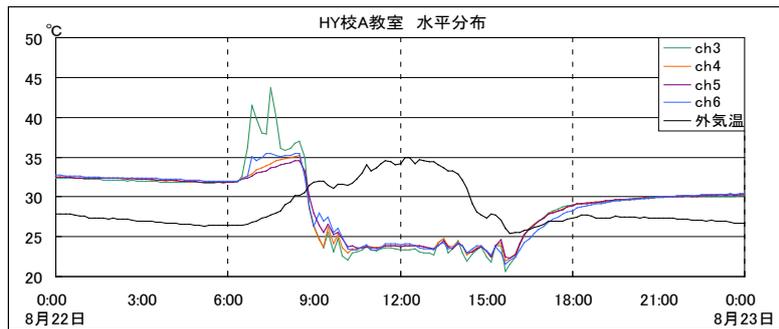


(b)15:00

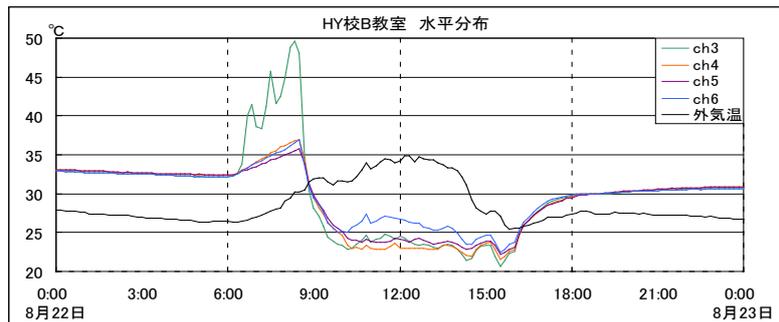
写真 4-3-1 窓とカーテンの使用状況 (2007 年 9 月 20 日 : CN 校)

(3) 冷房使用と室内環境および電力消費量

児童不在の夏季休暇中を利用して、冷房使用時の室内環境と消費電力量を実測した。図 4-3-8 にグローブ温度の水平分布を示す。当日は日中の外気温が 30℃をこえていたが、日射量は夏季としてはやや少なく、午後は雲もかかり 15 時前後には降雨によって外気温も低下した。朝 8:00 に両教室で冷房運転 (設定温度 25℃) を開始し、16 時まで継続している。冷房開始前に B 教室の南窓側 (図中の ch3) で急激な温度の上昇がみられ、ルーバー設置の A 教室との差が顕著となる。冷房開始後に教室内のグローブ温度は急激に低下するが、B 教室でのグローブ温度の変動は大きく、南側に位置するグローブ温度 (図中の ch6) が高くなる。これに比べ A 教室での変動は小さく、グローブ温度も同様となる。同時に測定した時刻別電力消費量とその積算値は、B 教室の方が大きくなった。また、同年の 7 月における両教室での冷房使用時間の分析結果から、児童が教室にいる時間帯 (授業時間帯) においても、常に B 教室での冷房使用時間が長いことも確認した。



(a)A 教室 : HY 校



(b)B 教室 : HY 校

図 4-3-8 グローブ温度の水平分布 (2007 年 8 月 22 日 : HY 校)

4.3.4 調査からみえてきたこと

夏季授業中の教室内は、窓を開放した状態であればほぼ外気と同じ状態で非常に暑く、授業への影響も大きいと思われる。この暑さの要因のひとつは大きな開口をもつ外壁面からの厳しい放射環境であり、これを調節することで暑さが軽減できることを示唆している。また、冷暖房により教室内ではある程度適正な温度環境が維持されているが、児童のなかには冷暖房の使用を好まない、あるいは使用時に暑さや寒さのむらを感じるケースも少なくない。一方で、冷暖房の利用は、直接、エネルギー消費量の増大となることから、適正な室内熱負荷の処理や対策を講じたうえで、現場に応じた冷暖房時の教室環境の調節方法や運用方法などの検討と周知が前提となる。

冷房や暖房が設置された教室では、外気温度や担任教師が児童の様子をみながら運転・停止を行う場合が多く、一度、運転を始めるとそのまま窓を閉め切った状態で継続することもあり、室内の空気質に対してあまり意識されていない。締め切った教室では CO₂ 濃度でみても基準値の 1500ppm をこえることも多く、3000ppm をこえる値も測定されている。したがって、計画的に空気の状態を調節できるような判断も必要で、換気扇等の換気設備がある場合は、その原理や使い方などを周知することが大切である。特別教室等の常時利用のない教室では、使用前に換気を徹底するなどの対応も必要である。

今後の冷暖房普及に対して、教室での様々な環境の実態と問題点等を把握し、適切な対応を講じることが重要であり、そのためのガイドライン等の整備が急務であろう。

4.4 蒸暑地域の小学校における空気汚染の実測例

4.4.1 はじめに

学校は居住密度がオフィス等に比べて高いことや、窓開放などの行為が教師や児童・生徒らの主体性に任されていることも多いことから、冬季には実質自然換気程度の換気となり、暖房を行っていない場合でも RC 造の校舎では室内空気汚染が高くなっていることは考えられ得る。また、冷房が導入された教室では、夏季においても換気不足となり、シックビルディングシンドロームの諸症状を引き起こすといわれているホルムアルデヒド（以下 HCHO）や揮発性有機化合物（以下 VOCs）等の化学物質濃度の上昇が考えられる。

児童の日常の生活行動（居住行動）に伴って行われる窓開放などの行為の相違による換気量と、それに伴って変動する教室空気汚染度を季節毎に把握することが有用であると考え、鹿児島市内にある 3 つの小学校において、通常の授業が行われている状況下で、窓開放状況や換気扇使用状況を観察すると同時に空気質の測定を行うことを計画した。児童登校前から放課後にかけて学校内の数カ所で VOCs 濃度や二酸化炭素濃度等の空気質の実測を行う一方、教室内の換気回数をトレーサーガス法にて計測した。また、児童と担任教師を対象とした空気環境に関するアンケート調査を行い、児童らの意識を把握することを試みた。ここでは、夏季、秋季、冬季に行った VOCs 濃度、HCHO 濃度測定及び換気回数測定の結果について報告する^{1),2)}。

4.4.2 実測概要－実測対象校

表 4-4-1 に、実測を行った 3 つの小学校の実測日、築年数、改修の有無及び測定対象教室の児童数を示す。

Y 小学校は、鹿児島市の中心部に建つ RC 造三階建て（一部四階）の小学校である。測定対象の 6 年 A 組教室は、三階にあり、校舎の前には交通量の多い幹線道路及びガソリンスタンドがある。校舎は 1998 年 3 月に大規模改造工事が終了している。

なお、実測を行った 3 小学校の普通教室には、冷暖房設備は設置されていなかった。また、3 小学校では、教室の外気に面した窓には前後に 1 つずつ換気扇が設置されていた。

表 4-4-1 実測時期、対象校築年数及び対象教室児童数

	夏季実測	秋季実測	冬季実測	築年数	改修工事	工事終了後経過年
F小学校	6/23 (44*)	11/9 (39)	2/1 (41)	41年	未	0~1年
T小学校	7/3 (36) (40)	11/20 (37) (37)	1/30 (35) (39)	33年	済 未	
Y小学校	7/11 (33)	11/15 (38)	2/14 (35)	33年	済	2~3年

夏季、秋季実測は2000年、冬季実測は2001年

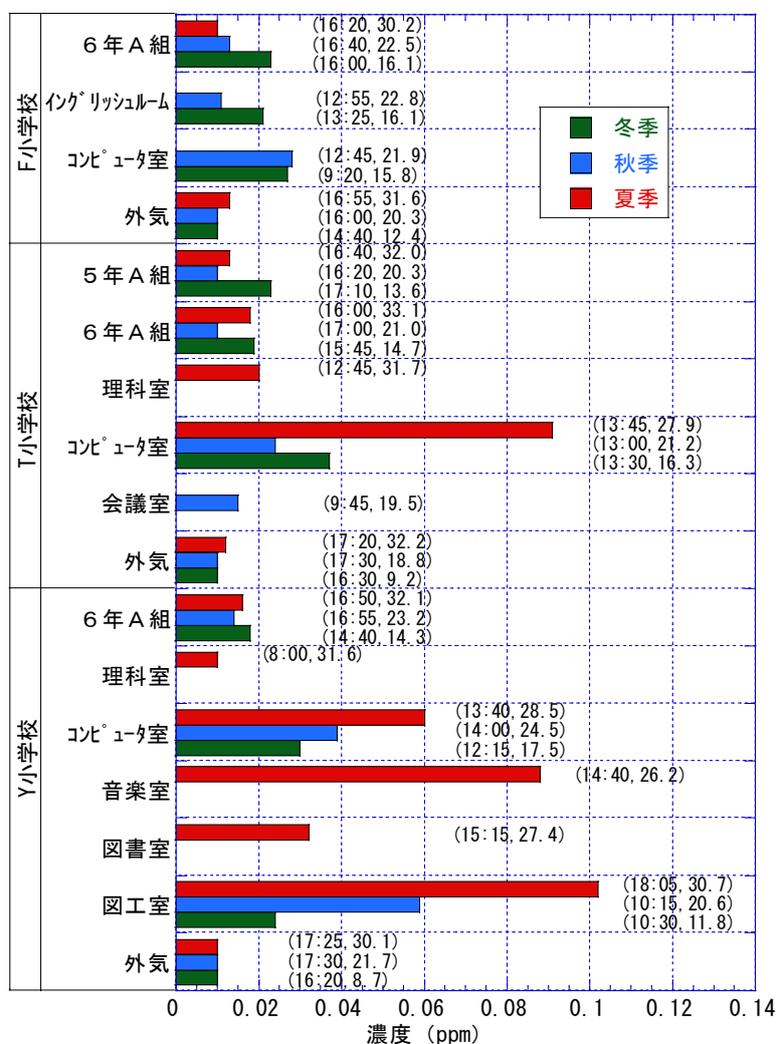
* ()内の数字は測定普通教室の在室児童数を示す。

但し、T小学校では、上段が6年A組、下段が5年A組の児童数

4.4.3 実測結果及び考察

(1) HCHO 濃度

図 4-4-1 に各教室における HCHO 濃度簡易測定結果を示す。測定値は各室において 30 分にわたる測定を 1 回行った測定の結果である。普通教室における HCHO 濃度測定は放課後の換気回数測定と同じ時間に行ったため、教室に児童は不在であり、換気回数は夏季・秋季が約 18 回/時、冬季は約 1 回/時の状態での測定値である。ほとんど、どの教室においても HCHO 濃度は、厚生労働省の住宅における HCHO 濃度ガイドライン値である 0.08ppm を下回っていたが、夏季は、一部の特別教室において、HCHO 濃度が 0.08ppm を超えている。これらは主に、冷房のために窓及び戸を閉鎖している教室である。Y 小学校の図工室で HCHO 濃度が高くなっているが、これは木製品である椅子、作業台からの発生ではないかと推測される。なお、絵の具等の画材は置かれていなかった。



図中 () 内は (時刻, 温度 (°C)) を示す。
 時刻: HCHO濃度測定に要した時間は30分間である。
 図中には測定開始後15分経過時の時刻を示す。
 温度: HCHO濃度測定時間帯の各教室及び外気における平均気温を示

図 4-4-1 各教室における季節ごとの HCHO 濃度測定結果

(2) 普通教室における VOCs 濃度

各室において捕集した空気は GC/MS 法を用いて約 20 種類の VOCs に関して同定及び定量を行った。この内、トルエン、キシレン、パラジクロロベンゼン、エチルベンゼン、スチレン、テトラデカン、ノナルの 7 種類と発癌性物質であるベンゼンを含む 12 種類の VOC 濃度について検討した。TVOC 濃度は同定及び定量を行った各 VOCs 濃度の合計値であり、上述した VOCs 以外の VOCs も含んでいる。

1) 3 つの小学校の比較

図 4-4-2 に 3 小学校の普通教室における、夏季の児童登校前の開口部が閉鎖された状態での VOCs 濃度と授業時の開口部が開放された状態での VOCs 濃度を示す。図 4-4-3 に各測定日の外気の VOCs 濃度を示す。前日から閉めきった状態である教室の VOCs 濃度は、児童登校後の、窓を開け換気がされた状態と比べると各 VOC 濃度においてやや高い傾向がみられる。F 小学校においては特にパラジクロロベンゼンが高い値を示しているが、これは I/O 比 (室内濃度と外気濃度との比) が 170.5 と高く、校舎内発生 of VOC であると考えられる。図 4-4-4 に F 小学校のトイレ及びイングリッシュルームにおける VOCs 濃度を示す。秋季実測における結果であるが、トイレで高濃度のパラジクロロベンゼンが検出されていることから、発生源はトイレの防臭剤ではないかと推測できる。夏季の教室は教室と廊下の中の窓を取り外しており、トイレも近いため、トイレ内で発生したパラジクロロベンゼンが教室内に流入し、濃度が高くなったものと思われる。冬季のイングリッシュルームにおいてもパラジクロロベンゼンの濃度がかなり高いが、これは、当室がトイレに隣接しているため同様に影響を受けているものと考えられる。



図 4-4-2 3 小学校の対象普通教室における夏季の児童登校前及び授業時の VOCs 濃度

図 4-4-2 をみると Y 小学校では授業時にベンゼン濃度が高いが、これは本小学校が交通量の多い道路に面し、ガソリンスタンドも近いため、外気のベンゼン濃度が高くなる時がみられるためである。しかしその他の VOCs に関しては濃度はいずれの場合も低い。厚生労働省のガイドラインでは、トルエン濃度 $260\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、キシレン濃度 $870\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、パラジクロロベンゼン濃度 $240\mu\text{g}/\text{m}^3$ という値が示されているが、普通教室でこのガイドライン値を超える箇所はなかった。

図 4-4-5 に各小学校普通教室における各季節の午後のトルエン濃度を示す。F 小学校と T 小学校においては、夏季の濃度が他の季節よりも相対的に高く、秋季は夏季と比較するとかなり低くなっている。夏季と秋季は開口部が全て開放されており換気回数は共に平均値

で 18 回/h 程度であった。よって秋季にトルエン濃度が低いのは気温の低下が主な原因であると考えられる。冬季にはさらに気温は低下するが、夏季や秋季と異なり開口部を閉鎖している。そのため換気回数は 1 回/h と少なく、その結果、冬季のトルエン濃度は秋季とほぼ同じレベルである。また、パラジクロロベンゼンは、換気回数が多い夏季・秋季の児童在室時には低い濃度であるが、冬季の授業時は換気回数が少ないため濃度が高くなる傾向がみられ、夏季の 4~5 倍近い値であった。

図 4-4-6 に各小学校の普通教室における各季節の TVOC 濃度を示す。(閉) は開口部を全て閉鎖している状態における測定値で、(開) は開口部を全て開放した状態における測定値である。T 小学校 6 年 A 組教室の夏季測定は改修後 3 ヶ月経過時の測定であるが開口部閉鎖時に TVOC 濃度が約 1862 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と高い。他の 3 教室では開口部閉鎖時においては 160 ~ 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ である。また同じく開口部を閉鎖している冬季の TVOC 濃度は夏季と比較するとかなり低いが、気温の低下が主な原因と考えられる。T 小学校 6 年 A 組の冬季の TVOC 濃度は、改修後 10 ヶ月経過時の測定値であるが、他の教室と濃度は同レベルであり低い。

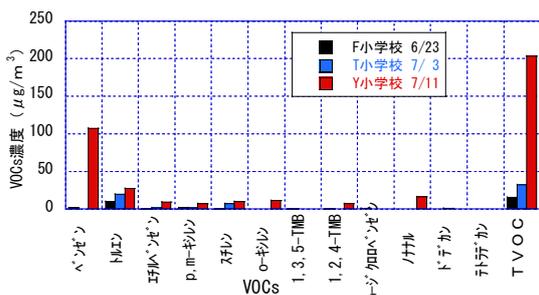


図 4-4-3 夏季の外気 VOCs 濃度及び TVOC 濃度

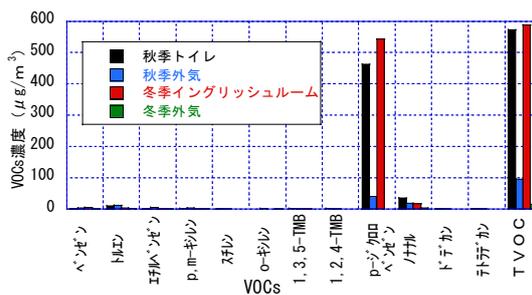


図 4-4-4 F 小学校トイレ及びイングリッシュルームの VOCs 濃度



図 4-4-5 各小学校の対象普通教室におけるトルエン濃度

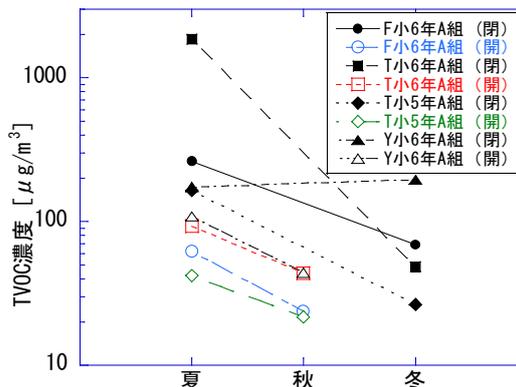


図 4-4-6 各小学校の普通教室における各季節の TVOC 濃度

4.4.4 まとめ

- 1) 1年以内に改修された教室では、夏季において塗料由来と考えられる VOCs の濃度が高かった。
- 2) TVOC 濃度は換気量がほぼ等しい夏季と秋季を比較すると夏季が高く、温度の低下する秋季には低くなる傾向がある。冬季は窓や戸を閉じた状態となり換気回数が減るため、TVOC 濃度は秋季の濃度よりも高く、夏季と同程度であった。
- 3) 生活行為によって防臭剤が持ち込まれたり、ペンキ等が使用されることがあるが、窓や戸を閉め切っている場合、高い濃度の VOCs に曝されることになるので注意が必要である。
- 4) 校舎が立地する周囲環境に VOCs の発生源がある場合、教室内にその影響が及ぶ可能性がある。また、トイレ内から発生するパラジクロロベンゼンは周囲の教室に影響を及ぼす傾向がみられるので注意が必要である。

4.4.5 学校空気環境の計画手法、管理手法—実測結果から学ぶもの

(1) 学校教室の使われ方の特殊性

学校は、理科、音楽など特別教室への一斉移動があり、いきなり在室者率が 0%になってしまう一方、普通教室での授業においては、在室密度が高い。教室ごとを断熱境界と考えた場合、冷暖房計画を、オフィスのように 8:00~17:00 のように連続運転することはなじまず、一斉移動時には冷暖房運転を停止することが省エネルギーの観点からは勧められる。一方、換気設備の運転は 24 時間運転が基本である。しかし、普通教室に 40 人の児童がいた場合、0.5 回/h の換気回数では CO₂ 濃度を 1500ppm 以下にすることは困難であり、在室率 100% の場合、2.2 回/h 程度の換気回数が要求される。よって、普通教室授業時には 2.2 回/h の換気回数、一斉移動時には 0.5 回/h の換気回数、といった切り替えが省エネルギーの観点からは重要となろう。

(2) 休み時間の在室状況

5~10 分程度の短い休み時間、15~30 分程度の長い休み時間は、普通教室における在室者率を想定しにくい。トイレへ行く児童、校庭へ出て遊ぶ児童、教室で読書をする児童、など様々である。しかし、休み時間に窓をすべて開放し、換気量を増大させることは、CO₂ をはじめとする汚染物質の教室への蓄積を減少させるために必要なことである。

(4) 換気基準と冷暖房

上でも述べたが、0.5 回/h 換気で CO₂ 濃度を 1500ppm 以下にすることは容易ではない。今後、冷暖房運転が前提となるのであれば、冷暖房をしながら 2.2 回/h の換気を行うことが必須となろう。新築学校の計画にあたっては、0.5 回/h 換気ではなく、2.2 回/h 換気あるいは児童一人当たりの換気量という認識で設計する必要がある。

一方、既設教室に冷暖房設備のみを付けた場合、換気設備装置が十分でないケースが想定される。その場合、廊下との境界にある窓・扉を常時開放したり、休み時間に窓を完全開放したりなどして対応する必要がある。

(5) モニタリングの必要

学校環境衛生の基準で示された項目は学校薬剤師によって定期的に測定されている。しかし、そのフィードバックは十分でない。市民が活用しやすいデータの公開が望まれる。一方で、環境学習を行う際には、自分たちが生活している環境、すなわち教室の環境を測定することを第一の学習として取り上げていただきたい。これは自分達の安全、健康を考える上で第一にしなくてはならないものであり、測定結果をどう評価し、どう対策するかが、総合学習の基礎と考えるからである。

(6) 省エネと健康リスクのトレードオフ

換気回数 2.2 回/h という値 (の大きさ) や、冷房しながらの窓開け換気が受け入れ難いのは、それが省エネに反するという事に起因する。空気質による不平・不満は、実際の調査ではそれほど多くはなく、一般的な在室者の感覚では、温熱快適性や省エネに比べれば優先度が低いのが実態である。空気質の問題の多くは、(シックスクール問題を除き) 在室者に知覚されていない問題である。知覚されていないが、健康リスクもしくは作業性に影響を与えることも考えられる。「在室者が不快に感じていないから、空気質問題は二の次」という考えは、その意味で危険である。そのためにも CO₂ のように (居住環境レベルでは) 間接的な指標ではなく、実際に人体にリスクのある教室空間由来の化学物質の検討が必要であろう。

参考文献

- 1) 合原妙美、岩下剛：鹿児島市内の小学校における室内空気環境実測 (その1 小学校教室における揮発性有機化合物の濃度)、日本建築学会計画系論文集、No.553、pp.63-70、2002.3.
- 2) 合原妙美、岩下剛：鹿児島市内の小学校における室内空気環境実測 (その2 小学校高学年教室における二酸化炭素濃度と開口部開閉状況)、日本建築学会計画系論文集、No.559、pp.29-36、2002.9.

4.5 関東地域の高校における空気環境の実測と換気・空調方式の考察

4.5.1 冷房導入による教室内の温熱環境改善と空気環境悪化の懸念

夏期の教室内温熱環境を改善し、学習効率を高めるために、東京都は2008年度に全ての都立高校に冷房設備および換気設備の導入を行った。このような冷房設備の導入により教室内温熱環境の改善が期待されるが、冷房時には窓開閉行為による換気が期待できないため、機械換気設備の適切な運用が行われなければ、空気環境の悪化が懸念される。

都立T高校とS高校の教室(表4-5-1参照)において教室内空気環境に関する実測を行った¹⁾。T高校における2009年5月からのデータを用いて、CO₂濃度の測定値が「学校環境衛生基準」の基準値である1500ppmを超えた日数を集計した結果、冷房期である7月、9月は約10日となり、中間期の5月、6月、10月の約2倍であった。これは中間期では窓開放による自然換気が積極的に行われているためである。また、暖房期である11月と12月には1500ppmを超える日はさらに多く、1カ月の半分近い日数であり、暖房時の教室内空気環境の悪化が懸念される。なお、東京都では都立高校一般教室の換気量は20 m³/(h・人)としており、換気扇が稼働している状況では冷房時も暖房時もCO₂濃度は1500ppm以下に維持されている。

表 4-5-1 実測対象教室の概要

	T 高校	S 高校
教室寸法	59.5 m ² ×3.0 m=178.5 m ³	67.9 m ² ×3.0 m=203.7 m ³
窓面積	6.4 m ²	4.3 m ²
空調方式	FCU(中央空調方式、天井カセット型) 教室ごとに個別管理(強・中・弱)	GHP(個別空調方式、露出型) 事務室で集中管理
換気方式	全熱交換器付き換気扇(天井埋設型) 教室ごとに個別管理(強・弱)	全熱交換器付き換気扇(露出型) 教室ごとに個別管理(強・弱)

T高校の測定結果に基づいて考察する。全熱交換器付換気扇(以降、換気扇と記す)のon-offを在室者に任せた場合をCase T-1とし、換気扇を強運転(800 m³/h)とした場合をCase T-2とする。冷房期と暖房期の結果を図4-5-1に示す。換気扇の運転を在室者の判断に任せたCase T-1では実測期間中、冷房期、暖房期ともに換気扇が稼働したことはなく、測定代表日には窓が開放されることもなかった。

図4-5-1(a)より、在室者の判断によるCase T-1では窓・扉を閉め切った状態が続いていたので、9時35分の授業を終了した時点で室内CO₂濃度は基準値の1500ppmを上回る約2300ppmにまで上昇し、2限目が終わった頃には最高約3500ppmまで達している。図4-5-1(b)より、暖房期も同様に室内CO₂濃度が1500ppmを超えた時間帯が多くみられた。

図4-5-1(c)のCase T-2(冷房期)より、換気扇を強運転としたCase T-2では扉が開放された時間がわずかであったにも関わらず、終日1000ppm程度であった。図4-5-1(d)のCase T-2(暖房期)においても室内CO₂濃度は1500ppm以下に維持されており、換気設備の適切な運用が行われれば基準を満たす。また、換気扇稼働時の室内風速を測定した結果、T高校では換気

用給気口の真下の風速が 0.9m/s であった。学校環境衛生の基準では風速は 0.5m/s 以下としており、給気口からのドラフトが換気扇の使用が避けられる原因の一つとして考えられる。

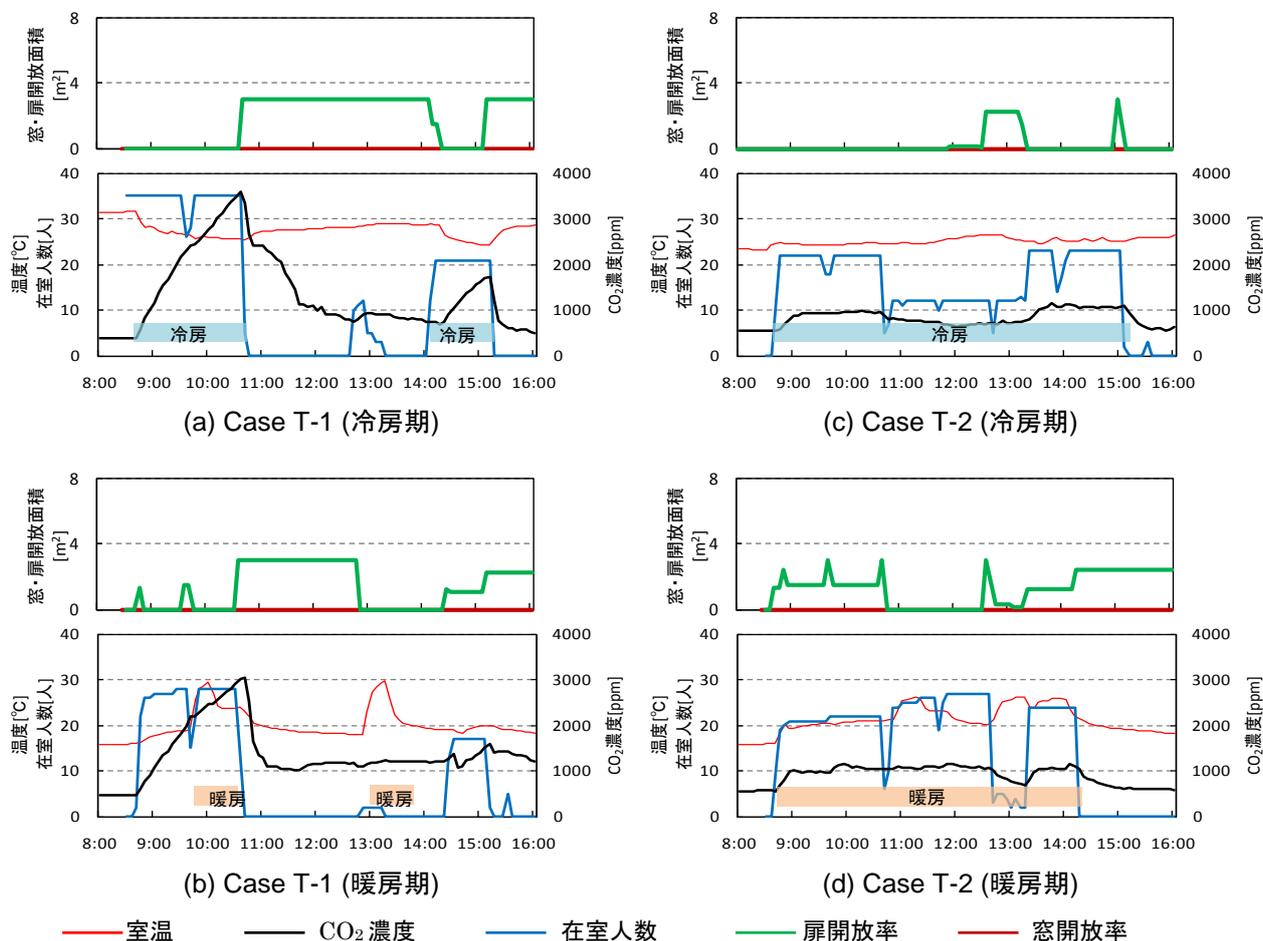


図 4-5-1 教室内空気環境の実測結果

4.5.2 冬期暖房期の教室内絶対湿度とインフルエンザ感染

近年、新型インフルエンザの感染・流行が社会問題となっているが、インフルエンザ流行と室内湿度に関連があることが指摘されており^{2),3)}、低湿度環境ではウイルスの生存率が高まるため、感染予防のためには室内湿度を高く保つことが重要である。学校環境衛生の基準では、室内における望ましい相対湿度を 30~80%としているが、加湿設備が備わっていないことが多く、冬期において生徒は低湿度環境で過ごすこととなる。冬期に加湿がなされていない場合、換気を行えば室内湿度は下がる。すなわち、室内空気質の維持と室内湿度を高く保つことは相反する要件となる。これらの相反する要件を満たすためには、加湿設備と換気設備の両方が必要である。

国立感染症研究所感染症情報センターにより公開されているインフルエンザ様疾患発生報告(学校欠席者数)、および気象庁により報告されている気象データを用いて、東京都内の

学校施設におけるインフルエンザ感染と湿度の関係について分析を行った。ここでは、平成19年1月14日～平成21年10月31日の東京都のデータを使用した。週により在籍人数等が異なるため、在籍人数に対する欠席者数の割合を求め、湿度に関しては対応する週の東京(大手町)における気象データから1週間の平均値を算出し、相関関係を調べた。図4-5-2より、相対湿度に比べ絶対湿度の方が病欠数の割合との相関が比較的高く、絶対湿度が低くなるほどインフルエンザ感染者数が多くなる傾向がある。

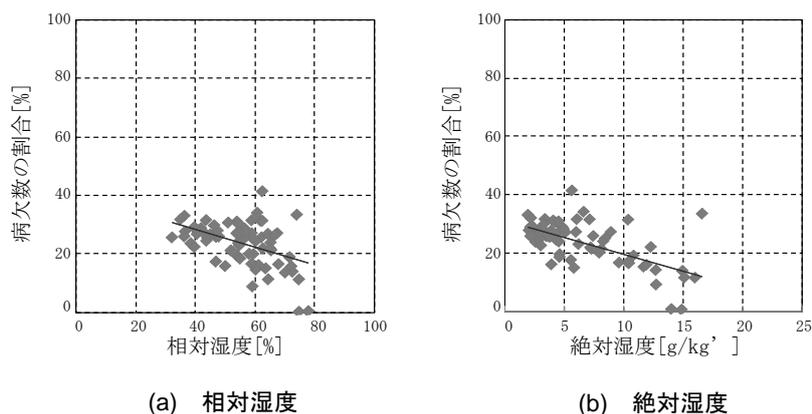


図 4-5-2 湿度とインフルエンザ感染の相関

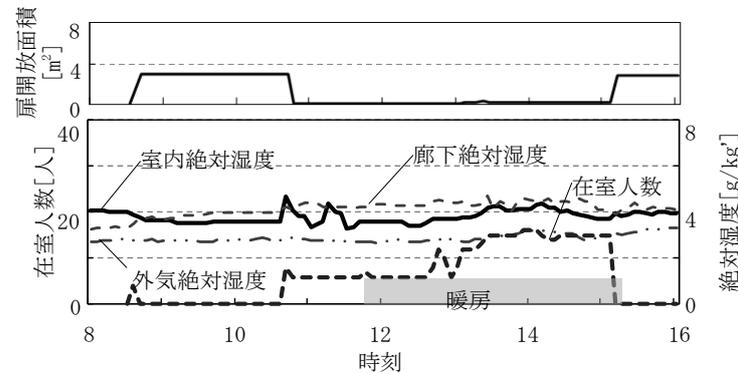
冬期の外気絶対湿度が比較的低い日について、換気扇を稼働させたT高校(Case T-2)とS高校(Case S-2)における教室内絶対湿度を図4-5-3に示す。図4-5-3(a)より、T高校では換気扇を運転し始めた8:30頃から授業が終了する15時頃までのほとんどの時間帯で教室内絶対湿度が4.0g/kg'を下回っている。Harper⁴⁾の実験に基づいた既往研究では、学校施設のような人が密集する場所では室内水蒸気圧が9～10mb(約5.6～6.2g/kg')以下でインフルエンザが流行しようと指摘している。しかし、T高校の絶対湿度の測定値はこの値を下回っている。S高校では、在室人数増加と加湿器の運転により、室内絶対湿度は最大で5.0g/kg'程度まで上昇している。しかし、冬期の乾燥時において800m³/hの換気を行った状況では、400g/hの加湿を行った場合であっても室内の絶対湿度が5.6g/kg'を上回ることはなかった。

4.5.3 空調機の時間割発停制御の有効性

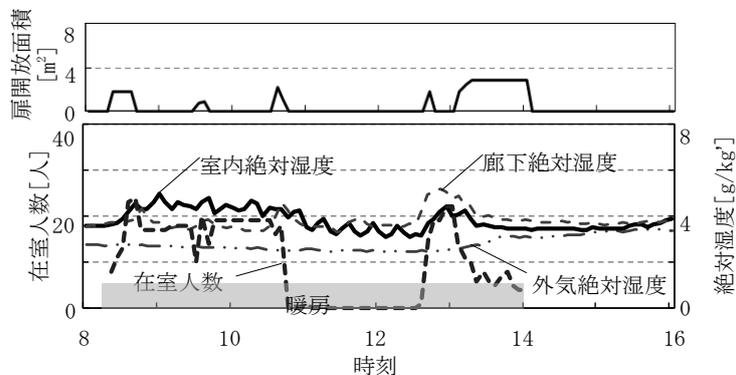
文献5)では、高校で空調機運転状況の実態調査を行った結果、授業の無い時間帯や休日などにおける無駄な運転があることを示した。これに対し、学習環境の快適性を確保した上での省エネ対策として、教室ごとに決められた時間割に対応して空調機の発停を行うシステム(時間割発停制御)が有効であると考えられる。この時間割発停制御では、インターネット環境上にスケジュール管理を行うサーバを設置し、Webブラウザを用いてスケジュールを登録し、空調機の発停制御を行うことを想定している。

文献5)では、時間割発停制御を適用できれば授業時間以外の無駄な運転がなくなり、効

率的な運用がなされることを示し、その省エネルギー効果を試算している。



(a) Case T-2



(b) Case S-2

図 4-5-3 教室内絶対湿度の実測結果

参考文献

- 1) 蓬田央、岩瀬友紀、近藤靖史、藤原孝行：都立高校教室における室内空気環境の実測と CFD 解析による換気・空調方式の検討、日本建築学会技術報告集、Vol.17、No.36、pp.583-587、2011.6.
- 2) 庄司真：気象と感染症流行の相関に関する研究第二報、抗酸菌病研究所雑誌、Vol.40、No.2、pp.95-105、1988.10.
- 3) 倉淵隆、小笠原岳、熊谷一清、浅利雄太郎：インフルエンザの感染に影響するインフルエンザウィルス生存率と絶対湿度の関係について、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.1339-1342、2009.9.
- 4) Harper, G. J.: Airborne micro-organisms: survival tests with four viruses, J. Hyg. 59, pp.479-486, 1961.
- 5) 藤澤隆広、寺脇正文、飯嶋和明、藤原孝行、近藤靖史、河村佳彦：都立高校における空調機運転状況の実態調査および学校空調向け時間割発停制御の開発、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.2211-2214、2009.9.

5. 学校における温熱・空気環境の管理の手引き

5.1 暖冷房・換気設備の方式と特徴

良好な室内環境を確保するためには、使用している空調設備の特徴を理解し、適切に運用および保守管理を行うことが重要である。

5.1.1 暖冷房設備

ここでは、暖房と冷房に分けて解説する。また、暖冷房設備ではないが、体感温度の低下や暖冷房効率向上に効果のある扇風機・攪拌用ファンについても本項で取り上げる。

(1) 暖房

学校で使用される暖房設備としては、石油・ガスだき暖房機、自然対流・放射型放熱器、強制対流型放熱器、床暖房などがある。

石油だき暖房機やガスだき暖房機は、燃焼用空気を取り込みと排気ガスの放出の方法によって開放型・半密閉型・密閉型に分けられる。燃焼用空気を取り込みと排気ガスの放出の両方を室内で行う開放型は、学校環境衛生基準の二酸化窒素濃度や一酸化炭素、二酸化炭素の基準値を超える恐れが大きいため、使用の際は十分に注意する。排気ガスは屋外へ放出するものの燃焼用空気を室内から取り込む半密閉型についても、第3種機械換気と併用する場合や屋外の風の影響を受けた場合には、排気ガスが逆流する危険性がある。一方、密閉式は、燃焼用空気を取り込みと排気ガスの放出の両方を屋外で行うため、空気汚染の心配が少ない。密閉式の一種であるFF式温風暖房機は学校でも良く用いられる。石油・ガスだき暖房機は、水平方向・鉛直方向に温度差が生じやすい。

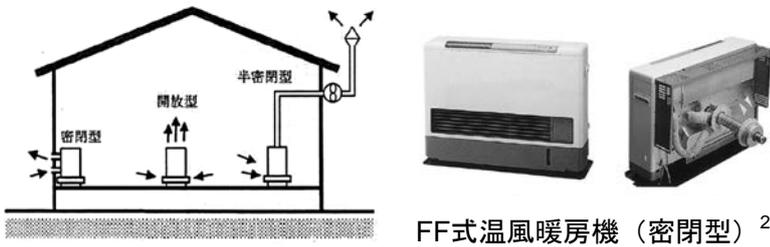
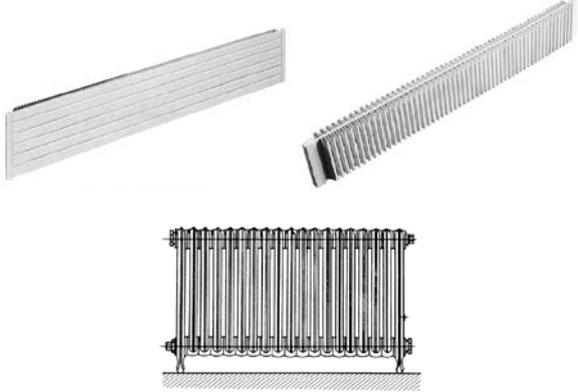
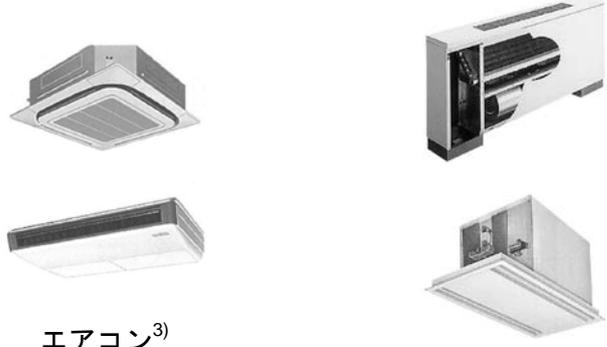
自然対流・放射型放熱器は、内部に温水や蒸気を通した放熱面により、自然対流で室内空気を昇温するとともに、放射熱（赤外線）により人体や周壁面を暖めるものである。窓下などの適切な場所に分散配置されれば、教室の水平方向や鉛直方向の温度分布が少ない環境が実現できる。温水式または蒸気式のパネルヒーターや放熱器などがこれにあたる。

強制対流型放熱器は、送風機を用いて室内空気を吸い込み、加熱して室内に送風するものである。自然対流・放射型放熱器に比べて高出力なため小型にできるが、そのぶん放熱が狭い領域に集中しやすく、高气密・高断熱である場合を除き、水平方向・鉛直方向に温度差が生じやすい。エアコンやファンコイルユニットがこれにあたる。

床暖房は、自然対流と放射によって室内をまんべんなく加温する方法である。また、接触による熱伝導も期待できる。

上述の暖房設備は全て、基本的に室内を加温するだけのものであり、換気を行う機能は備えていないので、別途適切に換気設備を運転する必要がある。

表 5-1-1 暖冷房方式

<p>燃焼器具 (石油・ガスだき暖房)</p>	 <p>密閉型・半密閉型・開放型¹⁾</p> <p>FF式温風暖房機 (密閉型)²⁾</p>	<p>密閉型以外は空気汚染を招く 半密閉型は第3種機械換気との併用や屋外風の影響により排気ガスが逆流する危険性がある</p>
<p>燃焼器具でないもの 自然対流・放射型放熱器</p>	 <p>パネルヒータ・放熱器²⁾</p>	<p>適切に配置されていれば、教室の水平方向や鉛直方向の温度分布が少ない</p>
<p>強制対流型放熱器</p>	 <p>エアコン³⁾</p> <p>ファンコイルユニット²⁾</p>	<p>小型かつ高出力だが、高気密・高断熱である場合を除き、水平方向・鉛直方向に温度差が生じやすい</p>

(2) 冷房

学校で使用される冷房設備としては、強制対流型のエアコンやファンコイルユニットが一般的である。

強制対流型の冷房は、暖房と違って鉛直方向の温度分布はあまり大きくならないが、暑くなりやすい窓際ではなく、廊下側などに冷風の吹き出し口がある場合は、室内の水平方向の温度分布が大きくなることがある。

暖房設備と同様に、冷房設備も室内を冷却するだけのものであり、基本的に換気機能は備えていない。従って、別途適切に換気設備を運転する必要がある。

(3) 扇風機、攪拌用ファン

扇風機は冷房設備ではないが、気流を人体に当てることにより効果的に体感温度を低下させることができる。従って、単独で使用したり冷房と併用したりすることで、冷房用消費エネルギーの削減につながる。

また、冬期において扇風機や攪拌用のファンを利用することは、暖房使用による鉛直方向、水平方向の温度差を解消する上で効果的であり、暖房により暖められた空気が天井付近に溜まって無駄になることが防げるので省エネにもつながる。ただし、気流が直接人体に当たると体感温度が低下してしまうので、注意が必要である。

5.1.2 換気設備

換気方式には、大きく分けると自然換気と機械換気の 2 種類がある。自然換気は、気候条件が良ければ大きな換気量を得られるが、確実性が低い。建築基準法ではシックハウス・シックスクール対策として、教室の場合に換気回数 0.3 回/h 以上（規制対象のホルムアルデヒドの許容濃度を $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ にすることに基づく）が必要とされているが、確実性を理由に機械換気設備の設置が原則義務付けられている。一方で、学校環境衛生基準では二酸化炭素濃度を 1500ppm 以下とすることが望ましいとされており、そのためには児童・生徒一人当たり $10\sim 20\text{ m}^3/\text{h}$ 以上の換気量が必要となる。この要求を満たすには、換気回数 0.3 回/h の数倍～十数倍もの換気量が必要となるが、これに見合う十分な性能の機械換気設備が学校教室に導入されていないことも多く、その場合には自然換気の利用が必要となる。

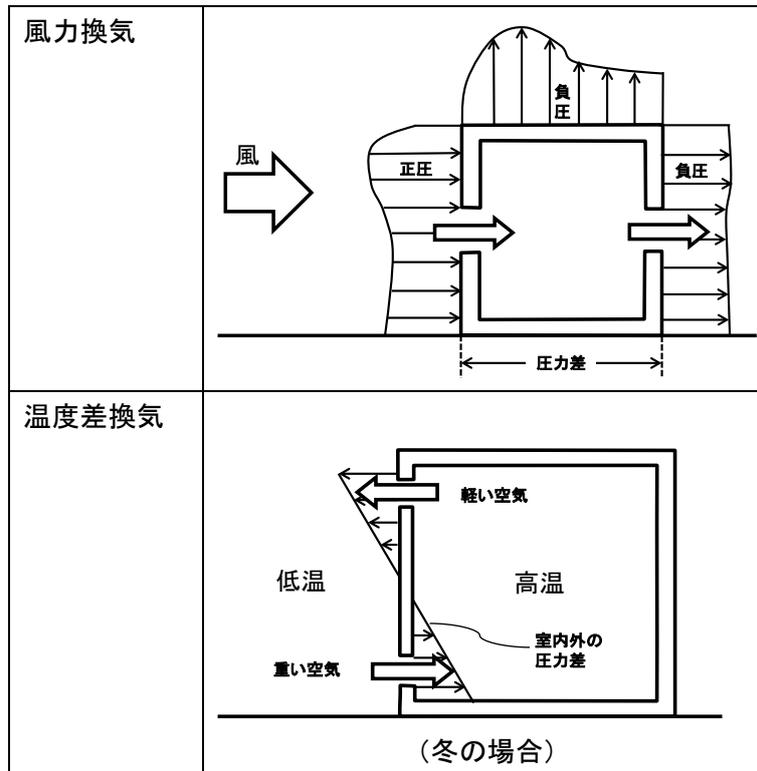
(1) 自然換気

自然換気方式には、風力換気と温度差換気の 2 種類がある。

風力換気は、屋外の風の力で換気を行うもので、一般的にいう通風のことである。屋外の風が強くなるほど換気量が多くなるが、無風の時には効果が無い。

温度差換気は、建物内外の温度差によって生じる換気のことである。室内空気の温度が外気よりも高い場合、室内空気が外気よりも軽くなるため浮力により建物上部から排出され、逆に、外気は建物下部から入ってくる。一方、室内が冷房されている等により室内空気の温度が外気より低い場合は、建物下部から室内空気が排出され、建物上部から外気が入ってくることになる。温度差換気は、建物内外の温度差が大きいほど換気量が多くなるので、一般的に、夏季よりも冬季の方が温度差換気の換気量は多くなる。

表 5-1-2 自然換気方式



(2) 機械換気

機械換気方式には、給気・排気ともに送風機を用いる第 1 種機械換気、給気に送風機を用いて排気を自然排気口から自然に排出する第 2 種機械換気、排気にファンを用いて給気は自然給気口から取り入れる第 3 種機械換気の 3 種類に分類される。

これらの 3 種類にはそれぞれ特徴があり、使う場所や目的によって選択される。

第 1 種機械換気は、給気ファン・排気ファンの両方が設置されるため、最も確実に換気を行うことができる方式である。給気ファンと排気ファンの出力のバランスにより、室内の圧力を外気や他の部屋より高くも低くもできる。また、近年では、全熱交換器と給気ファン・排気ファンが一体となった熱交換形換気設備（図 5-1-1）が多く用いられるようになっている。この設備を用いることにより、排気される空気から給気される空気に熱を移すこと（熱回収）ができ、省エネ性や快適性が向上する。第 1 種機械換気は、部屋単体で換気を完結したい場合に適しており、コンピュータ教室など空調設備が設置されていて窓を開放することが困難な部屋や、廊下などを換気経路としないで教室単位で換気を完結したい場合などに使用される。

第 2 種機械換気は、給気ファンが設置されるため、室内の圧力が外気や他の部屋より高くなる。そのため、仮に隣接する他の部屋との間にすきまがあっても、すきまを通り抜ける空気は必ず室内から流出することになるので、隣接する他の部屋からの汚染の流入を防

止したい場合などに用いられる。ただし、外気を直接室内へ取入れる方式のため、寒冷地では給気を予熱する等の配慮が必要となる。

第3種機械換気は、排気ファンを設置するため、室内の圧力が外気や他の部屋より低くなる。そのため、仮に隣接する他の部屋との間にすきまがあっても、すきまを通り抜ける空気は必ず室外から流入することになるので、トイレ・理科室・調理室など汚染質が発生しやすく、外に漏出させたくない部屋によく用いられる。

なお、学校では、換気扇が教室ごとに設置されていることが多いが、機械室に大きな換気ファンを設置し、ダクトを通じて複数室の換気をまとめて行うこともある。

表 5-1-3 機械換気方式²⁾

第1種機械換気	
第2種機械換気	
第3種機械換気	

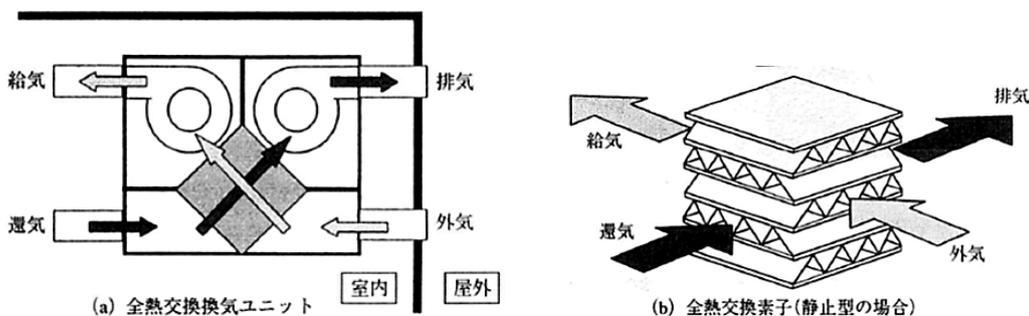


図 5-1-1 熱交換形換気設備¹⁾

5.1.3 加湿設備

加湿方式としては、蒸気式、気化式、噴霧式などがある。

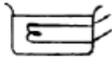
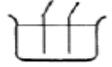
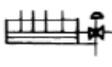
蒸気式は、加熱により水を蒸発させて空気中へ放出するため、無菌でクリーンな加湿が可能である。

気化式は、水で濡らした表面（加湿素子）に空気を接触させて水を気化させる方式であり、省エネルギー性に優れているが、加湿能力に限界がある。噴霧式は、噴霧圧力・遠心力・超音波などで水を微細化して空気中に放出する方式であり、気化式と同様に省エネルギー性に優れている。気化式と噴霧式は、加湿装置内で繁殖した微生物が空気中に飛散する可能性があるため、加湿素子や水槽の清掃を日常的に行う必要がある。

また近年では、吸湿剤を用いて加湿・除湿を行う、デシカント式というものもある。

今のところ、加湿設備が設けられている学校は少ない状況にあるが、冬季の過乾燥によるインフルエンザ感染などの防止に有効である。

表 5-1-4 加湿方式²⁾

蒸気式	 電熱式	 電極式	 過熱蒸気式
気化式	 滴下式	 回転式	
噴霧式	 スプレー ノズル式	 遠心式	

参考文献

- 1) 倉淵隆：初学者の建築講座 建築環境工学、市ヶ谷出版社
- 2) 空気調和・衛生工学会編：空気調和・衛生工学便覧 第13版
- 3) 大塚雅之：初学者の建築講座 建築設備、市ヶ谷出版社

5.2 暖冷房・換気設備の運用の要点

暖冷房・換気設備の運用の要点について、通年・夏期・冬期に分けて解説する。また、本項末尾に要点を列挙した表を示す。

5.2.1 通年

(1) 暖冷房設備の運用

暖冷房設備が設置されている学校においては、設定温度が問題になることが多い^(4章4.1)。学校環境衛生基準では、10℃以上、30℃以下であることが望ましい^(3章3.1)とされているが、この基準は暖冷房設備の無い学校においても実現可能なレベルを示したものと考えられ、一般的に言えば、冬期の10℃は寒すぎるし、夏季の30℃は暑すぎる。文科省発刊の〔改訂版〕学校環境衛生管理マニュアル¹⁾においても、最も学習に望ましい条件を冬期18～20℃、夏期25～28℃程度としており、この水準を目標とすべきである。ただし、後述するように、人間の暑さ寒さや健康は気温だけで決まるわけではないので、これは体感温度の目標水準と理解すると良い。

温度設定の方法としては、各教室で制御できる個別方式と職員室などで各教室群を一括制御する集中制御方式がある。個別方式においては温度設定が担任に一任される場合が多く^(4章4.2, 4.3)、集中管理方式では教育委員会の指針に基づいて設定している場合が多い。

設定温度が教員に一任されている場合、立っている教員と座っている児童・生徒では活動量が違うこと、上下温度差があるときには児童・生徒の方が低い温度に曝されていることなどを認識し、児童・生徒の意見を取り入れながら設定温度を調節する必要がある。

一方で、教育委員会などによって設定温度の指針が示されていたとしても、教室が最上階にあたり、角部屋であったりすれば、天井面や壁面が屋外環境によって低温・高温になり易く、天井面や壁面からの放射熱の影響を受けることになるため、体感温度は変わってくる。このように、同じ設定温度であったとしても教室の配置や方位が異なれば体感温度は違ってくるので、一律な温度で制御することは適当ではない。

表5-2-1に、活動量・着衣・風速・湿度・放射熱と体感温度とのおおよその関係を示す。温度設定に際しては、このように人間の暑さ寒さや健康が、気温のみに影響を受けるわけではないことに留意する必要がある。

また、同じ教室内であっても、窓際と廊下側や暖冷房からの距離などによって温度ムラがあつたりするので、攪拌用のファンを用いたり、暖冷房の吹き出し風向を調整したりすることによって、これを低減させるよう努めるべきである。

(2) 換気設備の運用

平成15年以前に建てられた学校の場合、換気設備が設置されていないこともある。一方、平成15年以降に建てられた学校では、シックハウス対策のため必ず換気設備が導入されているが、室内で発生する化学物質の排出に必要最低限の換気量(0.3回/h)が確保されてい

るにすぎないことが多い。学校環境衛生基準では、二酸化炭素が 1500ppm以下であることが望ましいとされており^(3章 3.1)、この基準を満たすためにはその数倍～十数倍もの換気量が必要である。従って、換気設備が設置されていない、もしくは、シックハウス対策としての換気設備しか設置されていない場合には、窓開け換気を行う必要がある。

また、暖冷房運転時に暖冷房効率や省エネ性を優先して、窓開けはもとより、換気設備の運転を止めてしまう実態がよく見られるが、換気設備は常時運転しておく必要がある。もし停止させるとすれば、窓を開けて通風をするときだけで良い。

なお、暖冷房時の窓開けの方法としては、授業中には窓を閉めて換気設備だけを運転し、休み時間に窓開けを励行する方法、もしくは、図 5-2-1 から開口部の必要開放面積を求め、開口部をこの面積分だけ常時開放しておく方法^(4章 4.2)が考えられる。ただし、この図は関東地方におけるある特定の学校の測定データから作成されている。気象条件や教室の換気特性はそれぞれの学校で異なるので、図 5-2-1 はあくまでも目安として考え、定期的に二酸化炭素濃度を確認しながら開放面積を調節すると良い。

学校環境衛生基準では、揮発性有機化合物に関する基準値も設けられているが、二酸化炭素濃度に基づく換気量が確保されていれば、基本的に問題になることは少ない。それでも定期検査で濃度超過が認められた場合は、校長および学校の設置者が、しかるべき措置を講じる必要がある。

表 5-2-1 活動量・着衣・風速・湿度・放射熱と体感温度の変化

活動量	椅子に座った状態に比べて、立位では約 1℃上昇
着衣	セーターやジャケットを着ると約 1.5℃上昇
風速	風速 0.1 m/s に比べて、0.3 m/s では約 1℃低下 風速 0.3 m/s に比べて、0.5 m/s では約 0.5℃低下
湿度	相対湿度 20%の上昇（低下）で約 0.5℃上昇（低下）
放射熱	教室内に露出している壁・窓・暖房器具・什器などの表面の温度が、気温より高ければ（低ければ）、体感温度の上昇（低下）要因となる 体感温度は、室内に露出している全ての表面の面積加重平均温度（各表面の面積比率で重み付けした表面温度の平均値）と気温との中間くらい ただし、暖房器具や冬の冷たい窓面など、高温または低温の面からの距離が近い場所では、その面積比率以上の影響を受ける

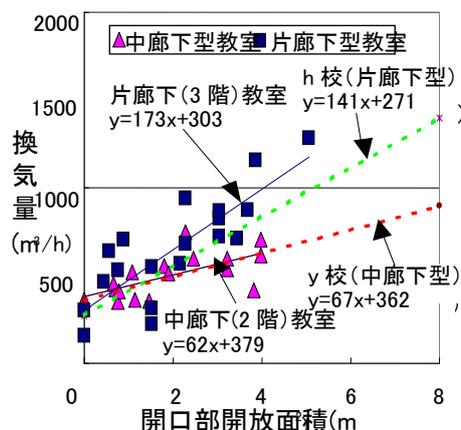


図 5-2-1 廊下タイプ別の開放面積と換気量 (4章 図 4-2-14 再掲)

5.2.2 夏期

室内には多くの児童・生徒からの熱と湿気の発生、照明器具からの発熱があるため、室内の空気は室外より高温多湿になる。その結果、学習効率や健康への悪影響が生じる場合があるので、窓開放を行ったり、冷房がある場合には冷房運転を行ったりすることが必要である。

冷房の設定温度については、省エネや節電を考慮して 28℃が推奨されていることが多いが、設定温度が 28℃であっても実際の室温が 28℃になっているとは限らない。また、前述したように、体感温度は気温だけでなく、活動量・着衣・風速・湿度・放射熱の影響を受ける。従って、設定温度と体感温度が一致しないことも多いので、状況に応じて設定温度を下げることも必要である。

扇風機や天井扇がある場合は、これを使用することで風速が上昇するので、体感温度は低下する。冷房設備が無い場合は、窓開放による通風と併せて使用すると良い。また、冷房設備がある場合には、風速上昇による体感温度低下だけでなく、温度ムラの低減とそれに伴う冷房効率の向上が見込まれるので、冷房設備との併用も効果的である。

冷房時においては、暖房時に比べて空気の汚染が感知されにくく、換気が行われていないことが良くある^(4章 4.2)。これは大いに問題であり、冷房時においても暖房時と同じように換気を行う必要がある。

5.2.3 冬期

日本の一部の地域を除けば、冬期の暖房は必須である。学校の教室では、石油・ガスだきの FF 式暖房機や、エアコン・ファンコイルユニットなどの強制対流式放熱器が用いられることが多く、高气密・高断熱の校舎を除いて、水平方向や垂直方向の温度分布が大きくなりがちである。扇風機や天井扇、攪拌用ファンがある場合には、これらを用いて室内の

空気を攪拌し、温度ムラを低減すると良い。ただし、気流の増加は体感温度の低下を招くので、弱運転としたり、風が直接人間にあたらないようにしたりなどの注意が必要である。

また、冬期には窓が冷やされることによって下降気流（コールドドラフト）が生じるため、窓付近に座っている児童・生徒の不快感が増したり、健康を害したりする恐れがある。暖房設備が窓際に設置されていればコールドドラフトは緩和されるが、そうでない場合には、児童・生徒の席を窓際から多少離すことで、コールドドラフトが直接身体に当たることを防ぐことができる。

近年用いられることは少なくなっているが、開放型の石油・ガスだき暖房機を教室で用いる場合は、学校環境衛生基準の二酸化窒素濃度の基準値を超える恐れが大きいので、使用しないことを強く推奨する。もしも使用する場合は、二酸化窒素や燃焼ガス（二酸化炭素）の排出のため、通常よりも更に大きな換気量とし、これらの濃度を定期的に確認すべきである。また、半密閉型の暖房機を用いる場合には、不完全燃焼や排気の逆流を起こさないようにするため、室外から室内へと空気を導入する給気経路の確実な確保が必要である。

集団生活を行う学校では風邪やインフルエンザの感染機会が多く、冬期の低湿度環境においては危険度が高まる。手洗いうがいの励行はもちろん重要であるが、絶対湿度が低いとインフルエンザウイルスの生存率が上昇する⁵⁾、^(4章4.5) ことから、教室内の絶対湿度を高く保つことが重要であり、そのためには加湿器の使用も検討すべきである^(4章4.5)。一方で、窓の断熱性能が低いと、加湿器の使用で窓面の結露が助長され、カビの繁殖につながる可能性がある。これを防ぐためには窓を複層ガラスにするなどの対策が重要^(4章4.5) であるが、現実的に困難な場合には、窓面のこまめな清掃を行う必要がある。また、蒸気式でない加湿器を使用する場合には、加湿器内で菌類が繁殖する危険があり、各機器の説明書にある通りに洗浄などを行わなければならない。

表 5-2-2 暖冷房・換気設備の運用に関する実態・問題点・対策

No.	暖冷房設備<通年>		
	実態	問題点	対策
1	設定温度や風量を制御する方法としては、各教室などで制御する個別方式と職員室などで各教室群を一括制御する集中管理方式がある。		各制御方式において、操作マニュアルの理解や操作方法の指導などにより、制御方法について積極的に習得することが望まれる。
2	a. 個別方式：担任の教師に一任されることが多い ^(4章4.2, 4.3) 。児童・生徒が制御できる学校は少ない。	設定温度や暖冷房使用時間が担任教師の暖冷房の好みに依存する傾向も見られる等のいくつかの問題が指摘されている ^(4章4.2) 。	教師は自分の体感だけではなく、児童・生徒の要望に配慮し、様子を観察して、設定温度や風量などの調節をする必要がある。
3	b. 集中管理方式：職員室などで管理職の教員などが制御する方式で、教育委員会からの設備調節指針等に基づいて制御していることが多い。	教室の配置や方位により教室内に形成される放射や気流環境等が異なることから、一律な温度で制御することは適当ではない。	教室の配置や方位により教室内に形成される放射や気流環境等が異なることを考慮して、設定温度や風量などを教室ごとに調節する必要がある。
4	教育委員会によっては、暖冷房運転に関する設定温度や期間などの指針を示しており、それによる設定温度や室温は冷房時に 28℃、暖房時に 19℃や 20℃が多い ²⁾ 。	教室の配置や方位により教室内に形成される温熱環境等が異なることから、全教室を一律な温度で制御することは適当ではない。	最上階と最下階で異なる温度設定にするなどの工夫が必要である。
5	暖冷房を設定温度でしか管理していない。	教室内に水平温度分布や垂直温度分布が生じている場合がある。	攪拌ファンの利用や空調の吹出風向の調整などによって低減させる。
6	始業時まで教室の室温調整が行われない。	断熱が悪い教室 ^(4章4.1) や大きい教室では、昇温（冬期）や降温（夏期）に時間がかかる。	児童・生徒の登校前に、冬期には暖房による予熱を、夏期には窓扉開放による排熱または冷房による予冷をしておく。
7	生徒不在時の暖冷房設備の停止忘れがある ^(4章4.5) 。	エネルギーの浪費になる。	暖冷房設備の停止忘れ等がない方法の 1 つとして、機器発停の集中管理システムや、時間割発停制御を行う自動制御システムなどの導入が考えられる ^(4章4.5) 。

No.	換気設備＜通年＞		
	実態	問題点	対策
8	換気設備がない学校がある ^(2章) 。	換気不足による室内空気汚染と、その健康影響が懸念される。	休み時間の窓開けを励行する、もしくは、開口部の必要開放面積（必要換気量を確保するために必要な最低限の開放面積）を求め、開放する ^(4章4.2) 。
9	換気設備として、簡易的な換気扇が設置されている学校がある。	簡易的な換気扇の使用だけではCO ₂ 濃度基準（1500ppm以下）を満たせないことが多い。	必要換気量を確保した換気設備に置き換える、もしくは、休み時間の窓開けを励行する必要がある。
10	暖冷房運転時において、暖冷房効率や省エネ性を優先させて窓や扉を全閉し、換気設備の運転を停止する傾向がある。	多くの児童・生徒がいる教室では、呼気の二酸化炭素などにより室内空気が汚染され、学習効率の低下 ^{3), 4)} や健康影響が懸念される。また、臭気や湿気の滞留なども懸念される。	中間期の通風時以外は、換気設備を停止しない。また、換気設備だけで必要換気量を確保できない場合は、休み時間の窓開けを励行する。
11	学校における空気汚染源として、トイレの防臭剤やホワイトボードの油性マジックペン、体臭などがある。さらに、改修工事をする、塗料由来のVOCs（トルエン、キシレン、スチレン、エチルベンゼン）などが検出されることが多い ^(4章4.4) 。	化学物質により、児童・生徒および教師らの健康を害する場合や気分が悪くなることが懸念される。	パラジクロロベンゼンを使用禁止にする。十分に換気する。汚染超過の場合は、校長および学校の設置者に措置を要求する。
12	ウェザーカバーが無い軸流換気扇や、消音装置の無い換気設備が設置されていることがある。	風雨の吹き込みや、騒音の問題により使用されなくなる。	ウェザーカバーや消音装置を設置する。
13	換気設備の制御方法として、担任教師が制御する個別方式と、職員室などで集中的に管理する方式がある。	担任教師が制御する場合、換気設備を使用していないことが多い ⁰⁾ 。	教室内の空気汚染に関する知識を周知する必要がある。
14	近年では、熱交換形換気設備を採用する学校が増え、暖冷房設備と連動する換気方式やに	換気設備を正しく運用せず、室内空気が汚染されている場合がある ^(4章4.2) 。一方で、換	設置されている換気設備の機能を十分に理解して使用する。必要換気量を満たす熱交換

	おいセンサやCO ₂ 濃度センサと連動した換気方式を設置する学校もある ²⁾ 、(4章4.2)。	気設備の使用時に窓や扉を開放して、暖冷房効率を悪化させている場合がある ^(4章4.2) 。	形換気設備の場合、暖冷房時には窓扉を閉め切った方が良い。
15	メンテナンス不足で機械排気口の防虫網に埃が堆積している ^(4章4.1) 。	換気不足による室内空気汚染と、その健康影響が懸念される。	機械換気設備を定期的にメンテナンスする。
16	薬品等を使用する理科室、塗料や接着剤等を使用する図工室・美術室、調理臭や煙等が発生する調理室などには、第3種機械換気設備を外気側の壁面に設置することが多い。	廊下側から給気することになるので、廊下の空気汚染の影響を受ける恐れがある。	廊下の空気が清浄になるように、廊下の窓の開放などを行う。
No.	夏期における設備の運用		
	実態	問題点	対策
17	多くの児童・生徒からの熱や湿気の発生、照明器具などからの発熱により、室内が室外より高温多湿になる傾向にある ^(4章4.2) 。	学習効率の低下 ³⁾ 、 ⁴⁾ や健康影響が懸念される。	教室内の熱や湿気の排出のために、適宜、換気運転や窓扉開放、冷房運転などを行うことが必要である。
18	省エネや節電などのために、設定温度 28℃が推奨されていることが多い。	実際の室温が 28℃になっているとは限らない。また、人間は温度の他に放射や気流の影響も受けることから、冷房の設定温度と体感温度は必ずしも一致しない場合が多い。	状況に応じて設定温度を下げることも必要である。
19	扇風機または天井扇が設置されている学校がある。		冷房設備が無い場合、扇風機または天井扇を運転することにより、窓扉の開放による通風とともに、人体からの放熱促進をもたらして涼感が得られる。冷房設備がある場合、扇風機または天井扇と併用することにより、冷房設備の設定温度が高くても、冷気の攪拌や対流による放熱促進により、快適性の向上が期待できる。
20	冷房時に換気が行われていないことがある ^(4章4.2) 。	冷房時には、暖房時に比べて空気の汚染が感知されにくいですが、二酸化炭素や VOC	換気の必要性を認識し、冷房時においても暖房時と同じように換気を行う

No.	冬期における設備の運用		
	実態	問題点	対策
		の濃度は高くなっている。	
21	FF 式暖房設備や、エアコン・ファンコイルユニットなどの強制対流型放熱器の場合には、温風の吹出し付近の温度が高くなる。	水平方向や垂直方向の温度分布が大きくなる傾向があり、暑すぎたり寒すぎたりする場所が生じる。	扇風機や天井扇が設置されている場合は、天井付近の比較的温度の高い空気を攪拌するために「弱」運転で併用するとよい。
22	換気設備に熱交換器が付いていないことが多い。	温度が低いまま給気が室内に入ってくるため、不快を招いて使用されなくなることがある。	給気口の吹き出し風向の調節や、熱交換器を備えた換気設備への置き換えを行う。
23	窓面で冷されて下降する気流（コールドドラフト）の直下に、児童・生徒の席がある。	児童・生徒が健康を害する恐れがある。	暖房設備を窓付近に設置することにより、コールドドラフトを緩和できる。また、児童・生徒の座席位置を、窓面から少し離す。
24	開放型、あるいは半密閉型の暖房設備が設置されている。	室内空気が汚染される可能性が高い。	開放型暖房設備は窒素酸化物を多く排出するため、学校では使用しないことを強く勧めるが、設置されている場合には十分に換気を行う必要がある。半密閉型暖房設備の場合には、十分な給気が必要である。
25	冬期は低湿度になり易い。	集団生活において、風邪やインフルエンザの流行は主に飛沫感染であり、湿度が低すぎると感染しやすくなる ⁵⁾ 、 ^(4章4.5) 。	手洗いやうがい等の励行とともに、湿度を30%以上に保つことが重要であり、乾燥への対処には加湿器が有効である ^(4章4.5) 。
26	加湿を行うと結露する。	結露が発生するとカビの繁殖に繋がる可能性がある。	窓を複層ガラスにして断熱性能を向上させる ^(4章4.5) 。それが不可能な場合は、窓面のこまめな清掃を行う。
27	加湿器のフィルタなどの部品において、菌類が繁殖することがある。	これらの菌類による空気汚染が原因で、児童・生徒が体調不良を訴える可能性がある。	加湿器の使用後や使用前には、フィルタなどの部品等をよく洗浄・消毒する。

参考文献

- 1) 文部科学省：[改訂版] 学校環境衛生管理マニュアル「学校環境衛生基準の理論と実践」、2010.3.
- 2) 倉渕隆、飯野由香利：様々な冷暖房・換気設備が導入された公立学校における環境調節の実態と環境教育の効果、空気調和・衛生工学会大会学術論文集、pp.65-68、2013.9.
- 3) 金子隆昌、村上周三、伊藤一秀、深尾仁：現地実測による温熱・空気環境の質が学習効率に及ぼす影響の検討：学習環境におけるプロダクティビティ向上に関する研究(その1)、日本建築学会環境系論文集、No.606、pp.43-50、2006.8.
- 4) 金子 隆昌、村上周三、伊藤一秀、深尾仁、樋渡潔、亀田健一：実験室実験による温熱・空気環境の質が学習効率に及ぼす影響の検討：学習環境におけるプロダクティビティ向上に関する研究(その2)、日本建築学会環境系論文集、No.611、pp.45-52、2007.1.
- 5) 庄司眞、片山弘毅：季節性インフルエンザの流行と絶対湿度、臨床と研究、Vol.86、No.11、pp.1517-1527、2009.11.

5.3 暖冷房・換気設備の保守方法

5.3.1 暖冷房設備の保守

暖冷房設備の性能を活かして効率よく運転し、快適な室内温熱環境を確保するためには、使用するシーズン前後の定期的な点検や清掃が必要である。

具体的な点検や清掃の方法は、暖冷房設備のタイプや機種により異なるので、設置されている各設備機器類の取扱説明書に基づき行う必要がある。一般的には、送風機能がある暖冷房設備(各種エアコン、ファンコイルユニット、温風暖房機)の場合、空気の入入口およびそこに装備されたフィルタ部分の清掃を週1回～月1回、設備外表面や吹出口、通電がない内部部品表面の清掃は半年1回、設備機器下部の露受け皿(ドレンパン)は年1回清掃するとよい¹⁾。

その他、普段と違う騒音や振動、動作異常、水漏れなど、取扱説明書に従って対処しても解決できない異常を発見した場合は、各設備機器の取扱説明書に記載されているメーカー問合せ先か、施工会社や専門業者に依頼する。

なお、機械室にある空調機などからダクトを通じて各室へ温風や冷風を送る「中央式」の暖冷房設備を備えている場合は、設備機器類の保守・点検を施工会社や専門の建物管理業者(メンテナンス業者)に委託することが望ましい。特に、長期停止後に暖房設備を再稼働する際には、建物内部が外気温度に近い環境になっているため暖房設備の立ち上がり時間に時間を要すること、設備機器類の水配管が凍結して漏水事故が発生する可能性があることに注意する必要がある。暖冷房設備の冷温水・冷却水配管系統は、オフシーズン中は管内水を完全に抜いて、空にしておく¹⁾。

図 5-3-1～6 に、代表的な空調機の清掃方法を示す。

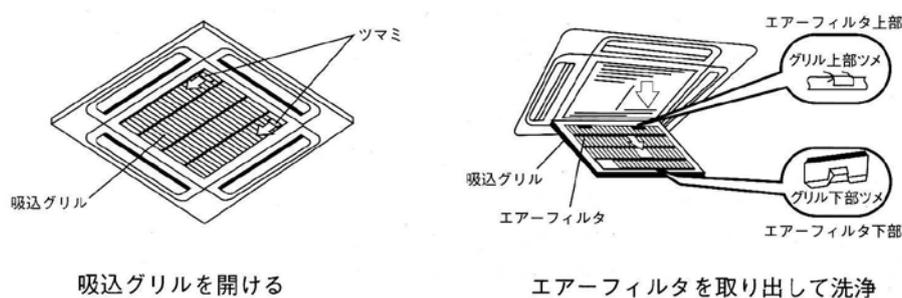


図 5-3-1 天井カセット型空調機の場合²⁾

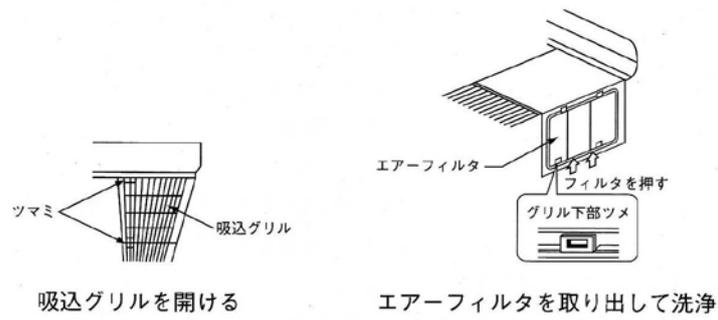


図 5-3-2 天井吊型空調機の場合²⁾

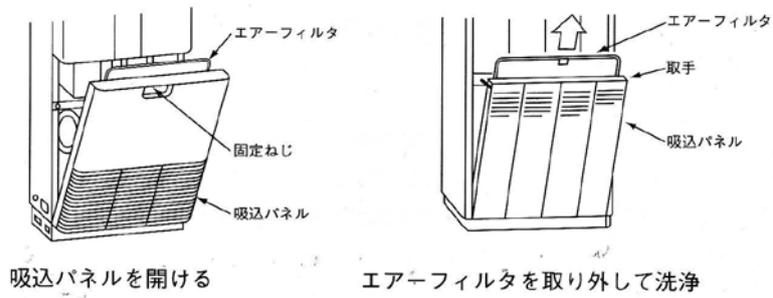


図 5-3-3 床置型空調機の場合²⁾

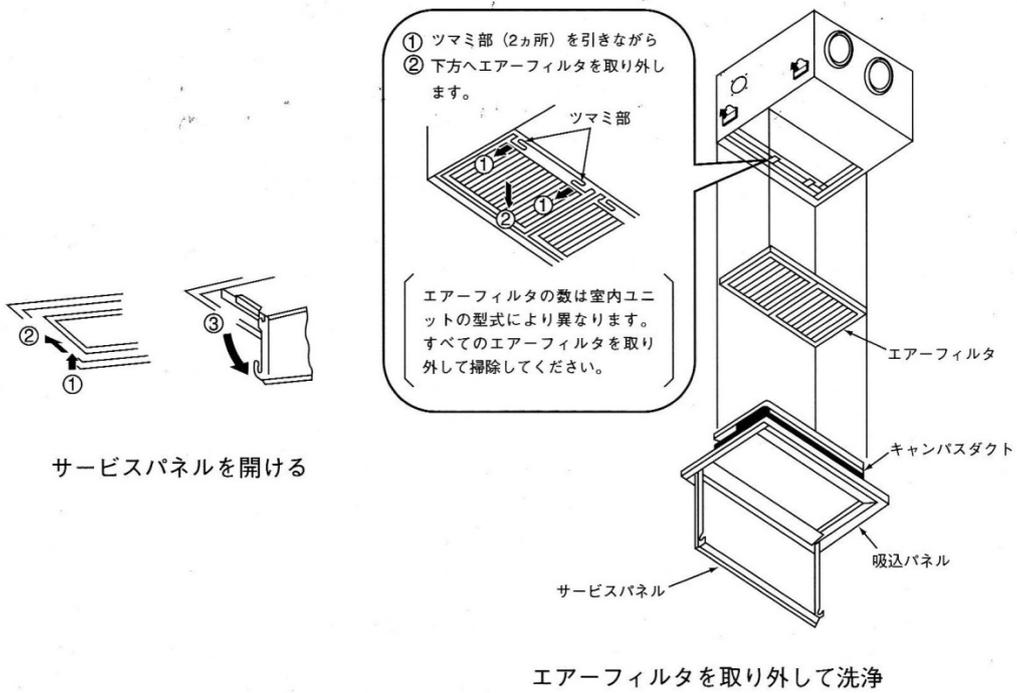
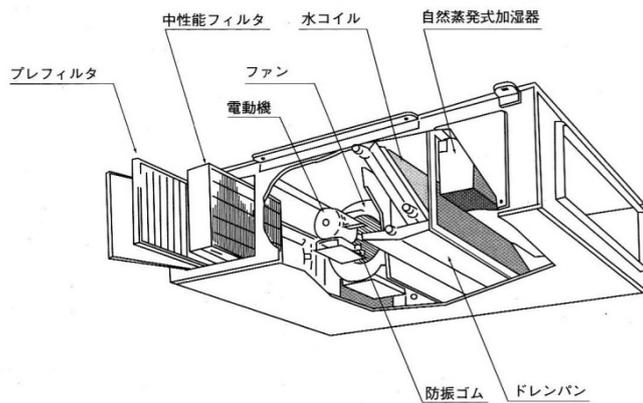


図 5-3-4 天井隠ぺい型空調機の場合²⁾



- 各階ごとや部屋ごとに個別に設置されている。
- 冷却・加熱・加湿によって、外気を処理する。
- 直膨方式により、冷却配管で室内機と室外機が接続されるものがある。
- 室内機のタイプとしては、天井埋込型や機械室設置の床置ビルトイン型などがある。

図 5-3-5 外気処理機(外調機)の場合²⁾

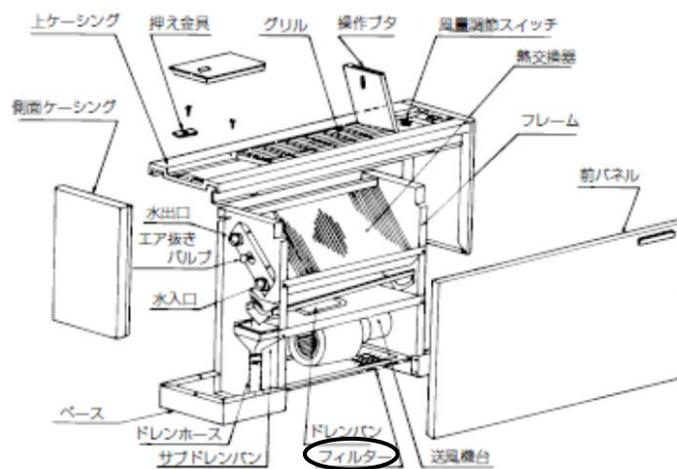


図 5-3-6 床置型ファンコイルユニットの場合
(1回/2週間、フィルタを外して清掃)

5.3.2 換気設備の保守

一般に、機械換気設備は、動力部分であるファンが内蔵され、室内あるいは屋外との境界部分にはホコリや虫などを除去するための網やフィルタが装備されている。近年は、室内側の給気口や屋外側の排気口と動力部分とをダクトで接続しているタイプもある。常に必要換気量を維持するためには、各部分の定期的な点検や清掃が必要である。



図 5-3-7 壁取付けタイプ換気設備の例(パイプファン、熱交換形換気扇、プロペラ形換気扇)



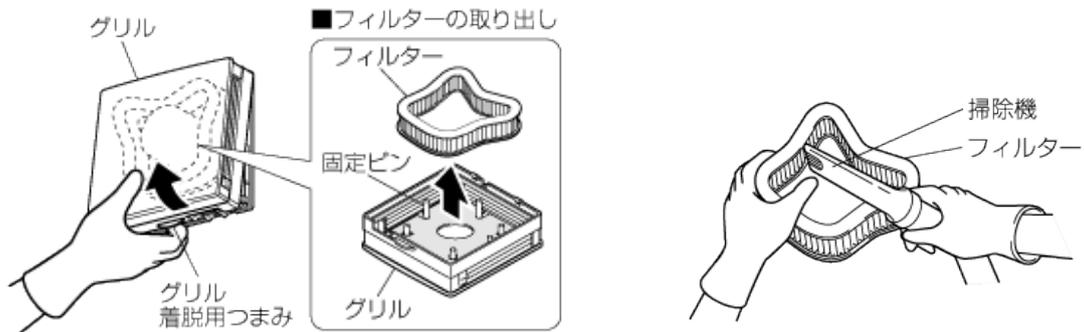
図 5-3-8 天井取付け形換気設備の例(天井埋込形換気扇、熱交換形ユニット)

換気設備の定期点検として実施することが望ましい項目について、表 5-3-1 にまとめる。なお、具体的な点検方法については、設置されている各換気設備の取扱説明書に基づき行う必要がある。

表 5-3-1 換気設備の点検方法

点検周期	日常 (1回/月程度)		定期点検 (1回/6ヶ月)				
	教職員等		専門家、教育委員会の学校管理者等				
点検部位	外観		外観		ファン モーター		熱交換素子 フィルタ等
点検内容	汚れ 具合	運転音	汚れ 具合	異常な 騒音	異常な 発熱	異常な 振動	汚れ具合
判定方法	目視	聴感	目視	聴感	触手	触手	目視

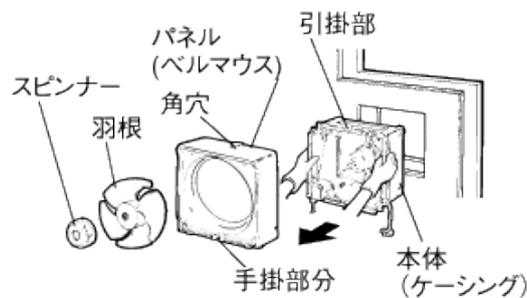
主な換気設備の取り付けタイプ別に、清掃部位、部品の取外し・取付け方法や清掃方法例を、図 5-3-9～13 にまとめて示す。安全のため、清掃時は電源を切って行わなければならない。なお、詳細な清掃方法についてはメーカーや型番によって異なるので、それぞれの換気設備の取扱説明書に従って行う必要がある。不明な場合は、メーカーや施工業者に問い合わせるか、専門の清掃業者に委託するとよい。



(1) グリルの汚れは拭き取り、フィルタを取り出す

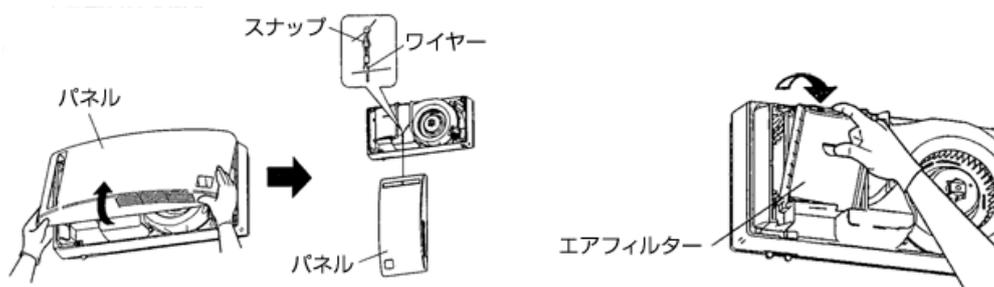
(2) フィルタの汚れは掃除機で清掃

図 5-3-9 壁付けタイプ(パイプファン)の場合の清掃方法例³⁾

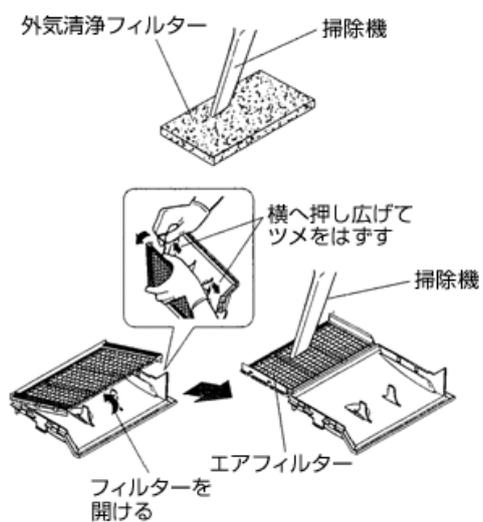


羽根とパネルを取り外し、中性洗剤で清掃

図 5-3-10 壁付けタイプ(プロペラ形換気扇)の場合の清掃方法例³⁾

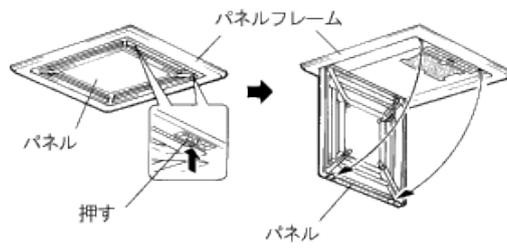


(1) パネルを開けて、フィルタや熱交換エレメント等の汚れた部位を取り外す

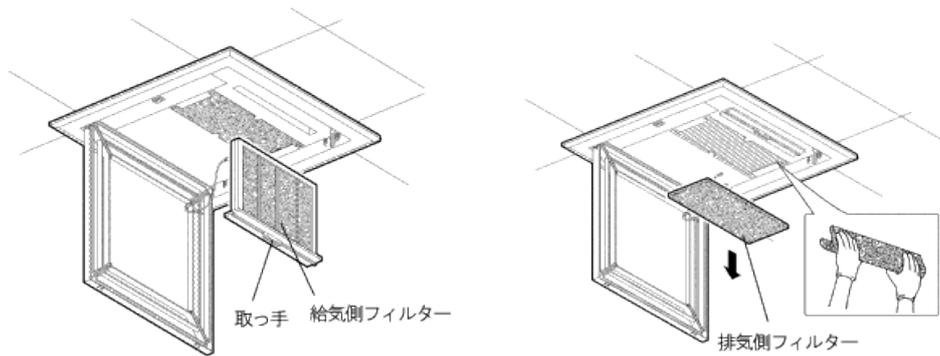


(2) フィルタや熱交換エレメントを掃除機で清掃する

図 5-3-11 壁付けタイプ(熱交換形換気扇)の場合の清掃方法例³⁾

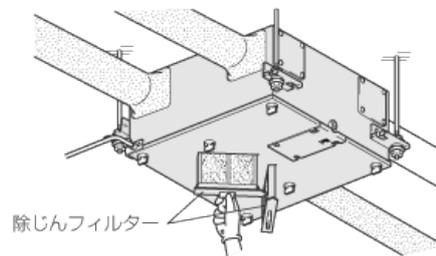


(1) パネルを開ける



(2) 給気側と排気側のフィルタを取り出し、掃除機か水洗いで清掃する

図 5-3-12 天井取付けタイプ(天井埋込形換気扇、熱交換形換気扇等)の場合の清掃方法例³⁾



汚れたフィルタ類を取り外し、掃除機か水洗いで清掃する

図 5-3-13 天井取付けタイプ(熱交換形ユニット)の場合の清掃方法例³⁾

換気設備が第3種機械換気で、外気取入れ口(給気口、換気口、換気框(かまち)、ガラリなど)がある場合は、その部位(特に屋外側)の清掃を怠ると目詰まりによって適正な換気量が得られなくなってしまうため、少なくとも半年に1回程度、外気取入れ口を清掃すべきである。取り外し方法や清掃方法が不明の場合は、施工業者や専門業者に委託するとよい。



(a) 給気口の例 (左：室内側の外観、右：屋外側の外観)



(b) ガラリの例 (左：屋外側外観、右：室内側外観)

図 5-3-14 外気取入れ口の例

5.3.3 加湿設備の保守

冬期の過乾燥によるウイルス感染等を予防する対策として加湿器など加湿装置の利用が有効であるが、シーズン後には加湿エレメント部分を十分に乾燥させて水分除去を行うなど、年 1 回以上の定期的な保守管理を行わなければ、室内の微生物汚染の要因になりかねないので注意が必要である。また、ファンが内蔵されている加湿器の場合は、吸気口部分の清掃をこまめに行う必要がある。

蒸気式・噴霧式の場合は、使用する水の汚れを取り除く部分（フィルタ、ストレーナ）の清掃と、水を蒸気に加熱するヒーター、霧状にする噴霧ノズル部分や水槽内部の掃除が肝要であり、水をタンクで補給するタイプの場合はタンク内も十分に洗浄する必要がある。使用期間中は月 1 回点検し、汚れている場合は清掃する。特にシーズン後は、給水管から水槽にかけて加湿エレメント部分を水抜きし、清掃後は十分に乾燥させる。清掃時は、洗剤類が異臭の発生や故障の原因になるため使用しないようにする。また、使用する水質によって汚れの度合いやタイプは異なる。たとえば、市販のミネラルウォーターのような硬水だけではなく水道水を使用する場合でも、水中のカルシウムやマグネシウム、シリカなどの成分が析出してスケールが発生・付着し、加熱部分に異常をきたしたりノズルが目詰まりしやすくなり、加湿能力が低下する。このようなスケールは水洗浄で除去することが難しいため、一般に、暖冷房設備に内蔵される加湿器には、水処理装置を用いてろ過された軟水と呼ばれるミネラル分が少ない水が供給される。

気化式の場合は、水分が浸透するフィルタ状などの加湿モジュール(加湿材)部分の清掃が肝要である。使用期間中は月 1 回点検し、汚れている場合は清掃することが基本であるが、水での洗浄が効果的でない場合は交換する必要がある。

詳細な清掃・メンテナンス方法については、各加湿器の方式のみならずメーカーや型番によって異なるためそれぞれの取扱説明書に従い、暖冷房設備に内蔵されている加湿装置の場合は施工会社あるいは専門のメンテナンス業者に委託するとよい。

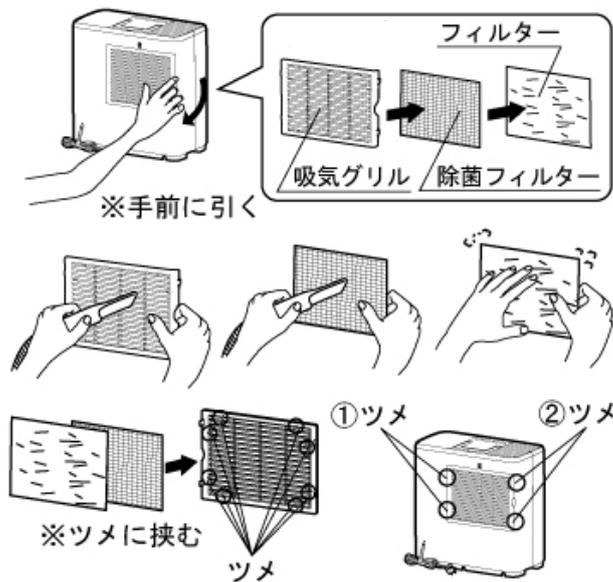


図 5-15 吸気口の清掃方法例⁴⁾

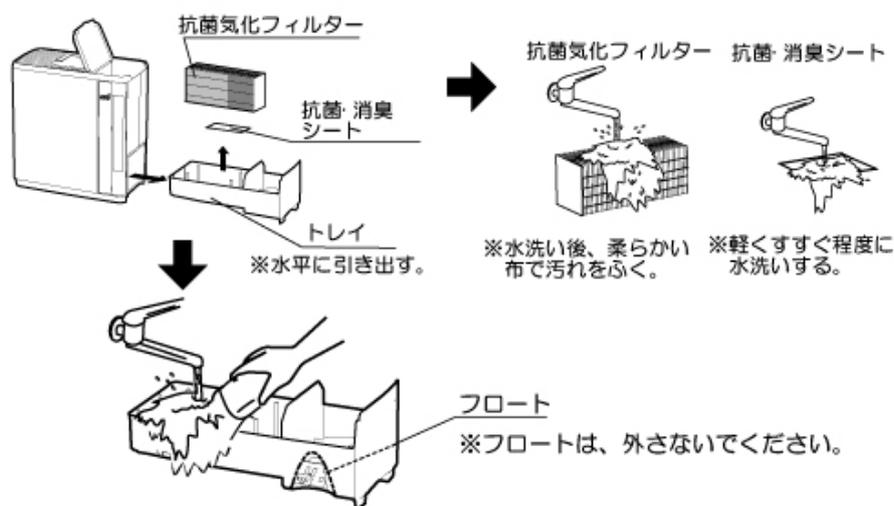


図 5-3-16 トレイ等の清掃方法例⁴⁾

参考文献

- 1) 空気調和・衛生工学会：空気調和衛生工学便覧(第 14 版) 5.計画・施工・維持管理編、2010
- 2) 厚生労働省健康局生活衛生課編：建築物における維持管理マニュアル、厚生労働省、2008
- 3) 三菱電機：http://www.mitsubishielectric.co.jp/home/kankisen/oteire/index_b.html
- 4) ダイニチ：<http://www.dainichi-net.co.jp/support/mainte/hd.htm>

<付録>学校における温熱・空気環境の実測例

1 寒冷地域の学校における空気環境の実測例

1.1 はじめに

学校の教室における熱空気環境の特徴としてあげられることは、既に述べたように暖房時において室内の温度分布が大きいことである。特に、吹き出し温度の高い温風暖房機を使用している教室では、暖房機の近くが暑く、離れた場所では寒いことや、頭の方が暑くて足元が寒いという問題が指摘されている。また、暖房時は窓を開ける機会が少なくなるので、室内における空気環境は極めて悪くなる。ここでは、調査時期がやや古い暖房設備の種類が異なる3つの教室における熱・空気環境の実測例を示す。関連して天井埋め込み型の空調設備が設置された大学の教室において、室内温度と二酸化炭素濃度の垂直分布を測定した例を紹介する。

また、空気環境が問題であることの大きな原因は換気量が少ないことである。多くの学校では換気設備が設けられているが問題は風量である。設置した後に維持管理が適切に実施されない場合にはフィルターなどにゴミが詰まってしまい、所期の風量が確保されない。実測によってこの問題を明らかにした例を示し、今後の課題について述べる。

最後に、シックハウスに関連して新設の学校で化学物質濃度を測定したが、その結果を示し、問題点を明らかにする。

1.2 小学校における温熱空気環境の測定例

吉野・石川¹⁾は1986年に、宮城県の小学校3校の教室における熱空気環境の測定を行っている。3つの教室の暖房設備は、中央式蒸気暖房(A小学校)、密閉式石油ストーブ(B小学校)、電気温水暖房(C小学校)である。密閉式石油ストーブは現在でも多くの学校で使用されており、建物の性能も大きな違いはないと推定されるので、現在でも同様な環境が形成されていると推測される。教室は何れも南面採光の片廊下型である。

測定の位置は教室の廊下側前方と、窓側後方で、垂直方向に床上5cm、50cm、110cm、天井下10cmの4か所で実施した。密閉式石油ストーブを使用している教室の測定結果を図1-1に示す。廊下側前方では、8時半頃に暖房を開始すると温度が上昇し、9時半頃に22℃に達する。床上110cmの温度は、窓を閉じている状態では最高で24.5℃まで上昇する。また、窓を開けると外気が導入され20℃まで下降する。ただし、床上5cmの温度は10℃でほとんど変化がない。一方、窓側後方の110cmの温度は、廊下側前方に比べて大きく変わらないが、床上50cmの温度は1~2℃、床上5cmの温度は1~4℃高い。

代表的な日の日平均および授業時間平均(登校時から下校時まで)の温度、湿度の平均値について述べる。この時の外気温は0℃±0.5℃で3校の差は小さい。乾球温度は温風暖房のB小学校が最も高く19.6℃、C小学校が17.3℃、A小学校が16.9℃である。しかし、床上5cmの温度は逆にB小学校が最も低い。また、相対湿度に関しては、C小学校が51%、

A 小学校が 46%、B 小学校が 45%となっている。B 小学校では加湿器を使用し、A 小学校では水をいれた皿を放熱器の上に乗せている。C 小学校では特に加湿は行っていない。

図 1-2 に午前 11 時前後の上下温度分布を示す。温風暖房器を用いている B 小学校が最も大きく、床上 110cm と床上 5cm の温度差は 15℃にも達しており、他の 2 校の 2 倍となっている。

図 1-3 に、C 小学校における CO₂ 濃度と粉塵量の測定結果を示す。朝、教室に生徒が入ってくると濃度が上昇し、最高で約 4000 ppm に達する。昼休みの時間などに窓を開けると濃度が低下するが、1500 ppm よりは下らない。粉塵量は昼休みに急上昇し 0.52 mg に達している。これは生徒が一斉に動いたからである。

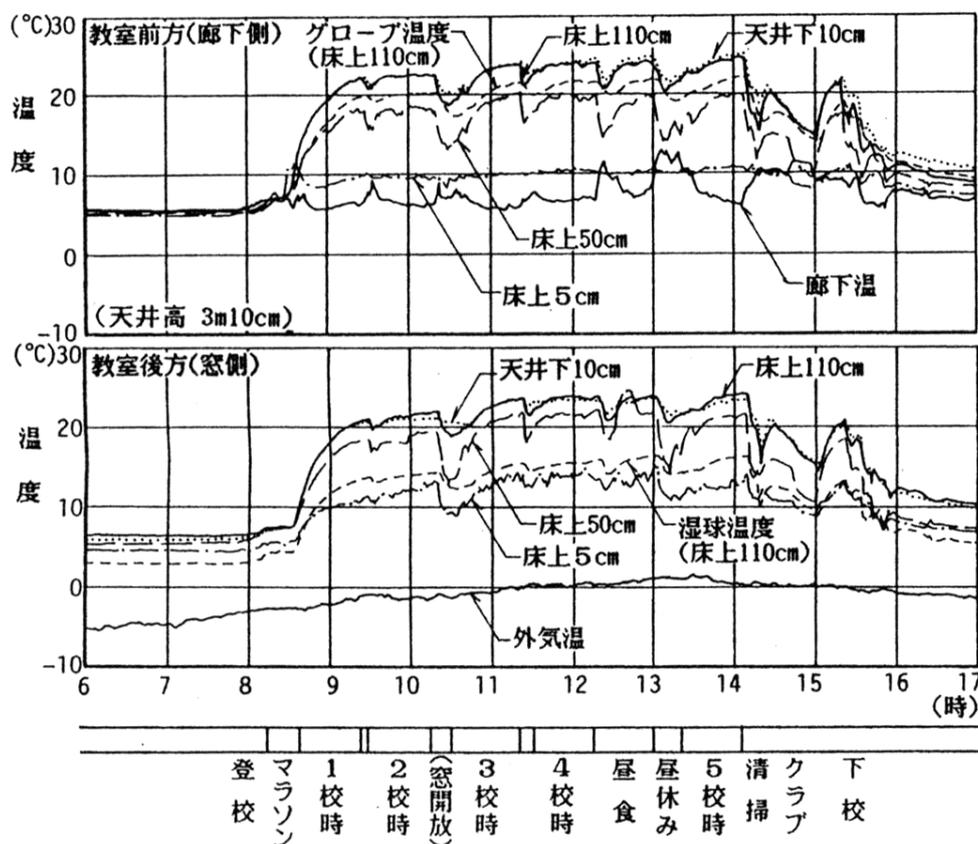


図 1-1 B 校教室の温度変化

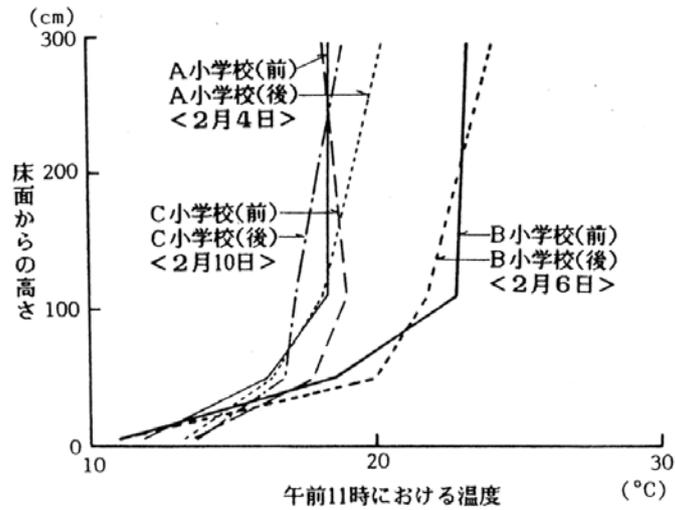


図 1-2 教室の上下温度分布

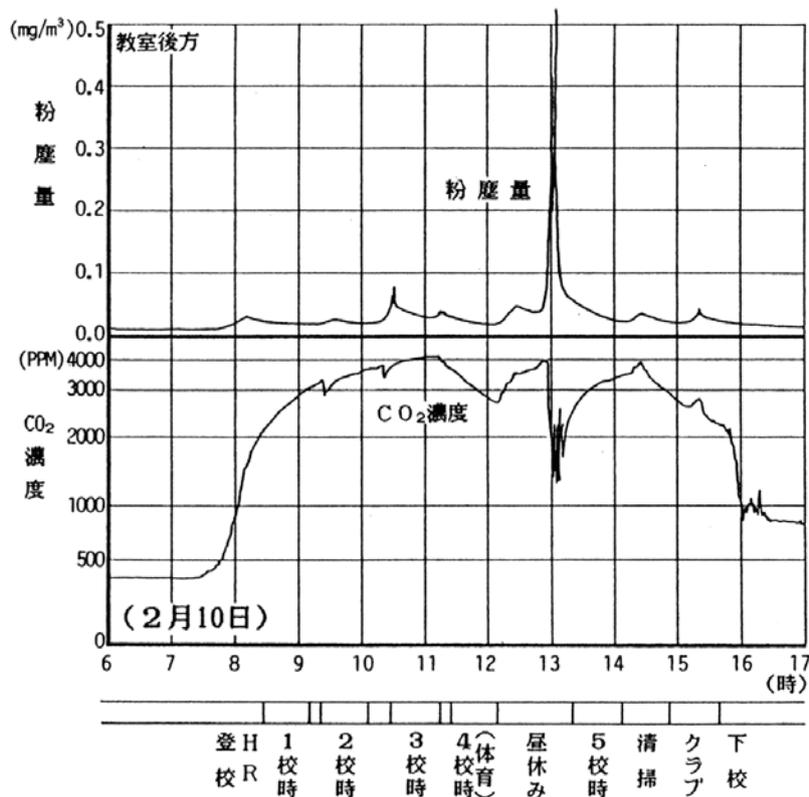


図 1-3 CO₂ 濃度と粉じん量の時間変化

1.3 大学の教室における温度と CO₂ 濃度分布の測定

劉・吉野ら²⁾は大学の改修後の教室において、暖房時の温度分布と CO₂ の分布を測定した。教室は幅 7.9m、奥行き 9.1m、高さ 3.0m であり、天井埋め込み型の空調設備が 2 台設置され、窓側に 2 台の熱交換器付き換気扇が設置されている。教員、学生 35 人が 3 時間連続し

て在室したが、測定は前後を含めて 10 時間行った。図 1-4 に濃度の変化を、図 1-5 に上下の温度、濃度分布を示す。図 1-5 の値は、退出前の 1 時間の平均値である。CO₂ 濃度は、入室後 30 分すると 1500 ppm を超え、1 時間半後には呼吸域の高さで 2500 ppm に達する。図 1-5 からは垂直の温度分布が大きく、床と天井の間では 10°C にも達していることが分かる。大学の校舎は改修され、窓は二重ガラスとなったが断熱性能は十分でなく、天井から温風が吹き出されるためにこのような大きな分布となっている。また、CO₂ 濃度の分布には大きな特徴が見られ、座っている時の頭の高さあたりが最も濃度が高くなっている。なお、退室後の CO₂ 濃度の減衰特性から推定された教室の換気量は 0.82 回/h であった。

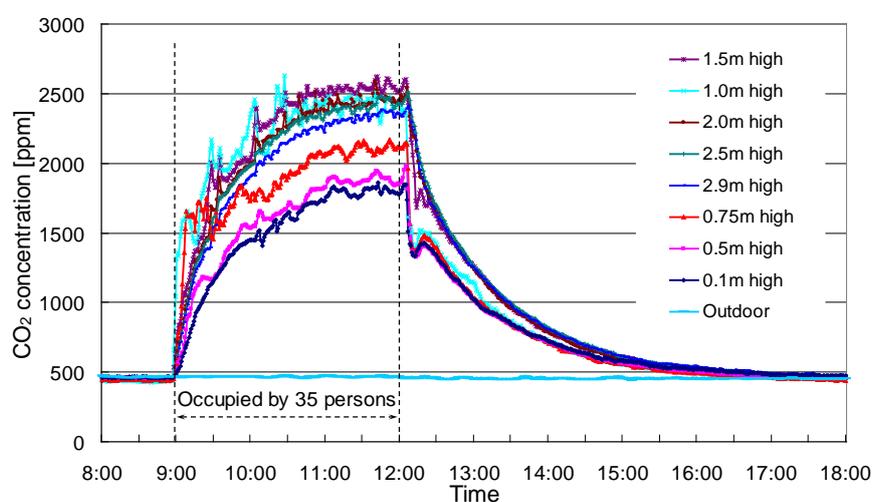


図 1-4 教室の CO₂ 濃度の時間変化

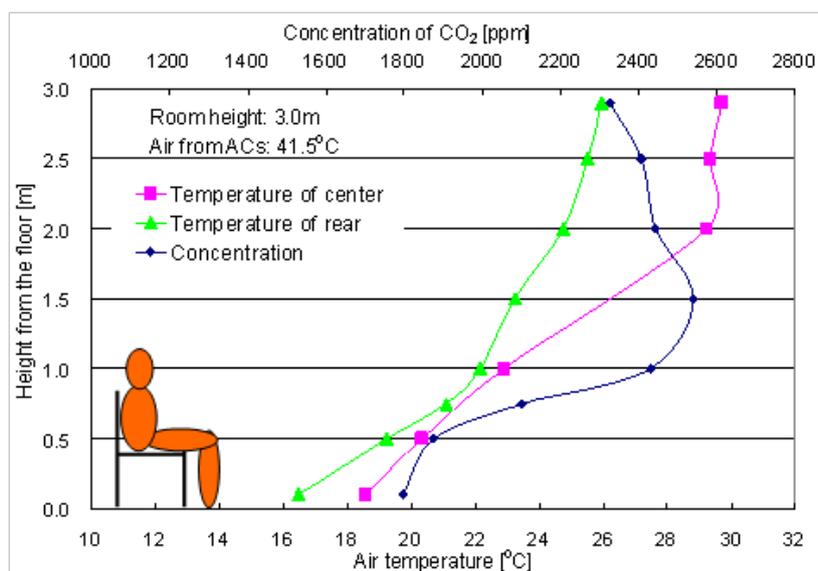


図 1-5 教室の CO₂ 濃度と温度の鉛直分布

1.4 教室の換気量の測定と課題

吉野・三原ら³⁾は小学校を対象として換気量の測定を行った。調査した小学校は2校である。風量測定器によって測定した結果を図1-6に示す。一般教室の設計風量はおよそ500～600 m³/hであり、音楽室、PC室の半分近くである。測定された風量は、いずれの教室でも設計風量に比較してはるかに少ない。特に学校bの二つの教室の換気量は極めて少ない。その理由を探るために、学校aの教室における排気口を調べてみたところ、図1-7に示したように、排気口の防虫網に埃が全面的に付着している状況が確認された。埃を除去して再度測定したところ、500 m³/hとなった。

メンテナンスを定期的に行う必要があることは言うまでもないが、排気口がアクセスしにくい場所に設けられている場合もあり、メンテナンスを考慮して設置位置を決めることが重要である。

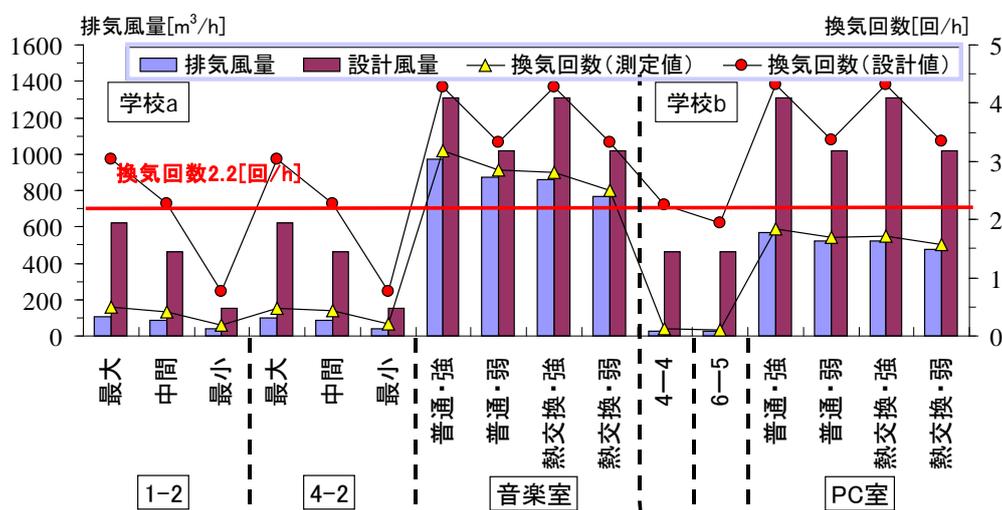


図 1-6 機械排気口からの排気風量



図 1-7 排気口防虫網に埃の堆積（左：表面、右：裏面）

1.5 宮城県の学校における化学物質濃度

瀧澤・吉野ら^{4), 5)}は学校の室内環境と児童生徒の健康の関係を明らかにするため、2つの

新築校舎の教室等において化学物質濃度の測定を実施した。新築してから備品の搬入前と搬入後、その年の夏休みの3回、ホルムアルデヒド・アセトアルデヒド・VOC（トルエン・キシレン・スチレン・エチルベンゼン）の濃度を測定した。いずれの学校においてもホルムアルデヒドとエチルベンゼンの濃度は指針値以下であったが、残りの4物質は基準を超えた。そのうち、トルエンについては2校とも、3回の測定ですべて基準値を超えていた。施工時の接着剤に含有されたVOCの影響が大きいことが原因と推測された。

図1-8は図書室の測定結果である。3回の測定で濃度は時間の経過とともに減少しており、放散されていく様子がわかるが、TVOC濃度は、3回目でも400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えている。

化学物質濃度と児童生徒の健康との関係については、東北地方の既存11校を対象に、アンケート調査と合わせて6つの化学物質を測定した。アセトアルデヒドとエチルベンゼン濃度は問題がなかったが、残りの4物質に関しては基準濃度を超える学校が見られた。分析の結果、ホルムアルデヒドに関してみると基準濃度以下でも、濃度と「喉の痛み」、「風邪のような症状」の指摘率との間で高い相関が見られた。また、トルエン濃度が極端に高い新築の学校では、「便秘や下痢」、「お腹が痛い」、「頭が痛い」、「疲れやすい」、「喉が痛い」、「イライラする」、「体がだるい」といった症状の有症率が高いことがわかった。

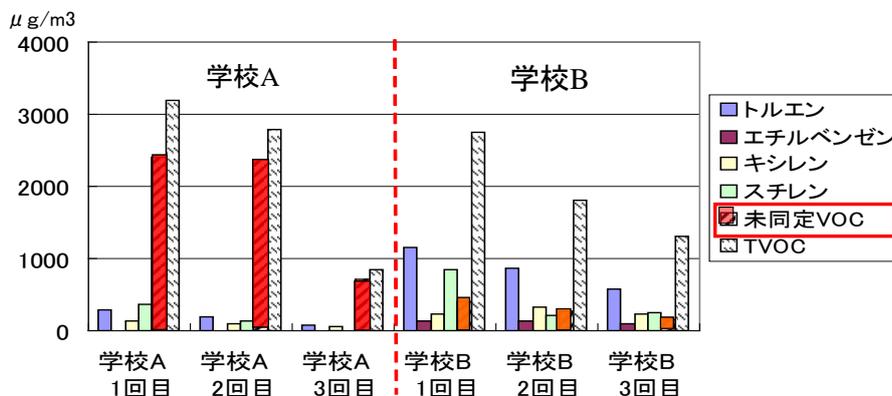


図 1-8 図書室の VOC 濃度

1.6 まとめ

- 1) 教室内の暖房時における温度の分布、特に垂直温度分布は大きく快適性の観点から問題であるといえる。密閉式石油ストーブや天井埋め込み型空調の場合は、温度の分布が生じやすい。これらの温度分布を解消するためには建物の断熱を十分行うことが基本的に必要である。
- 2) 教室内の CO_2 濃度は 4000 ppm に達するケースがみられ、全般的に換気が不十分である。
- 3) 換気に関しては設備の維持管理が極めて重要である。学校によっては、維持管理ができない場所に排気口が設置されており、設計の段階でアクセスのしやすい場所に設けるなどの配慮が必要である。

参考文献

- 1) 吉野博、石川善美：宮城県の小学校における暖房時の教室の温熱空気環境に関する実態調査、空気調和・衛生工学会学術論文集、1986.10.
- 2) 劉述照、吉野博、持田灯：天井空調暖房が設置された教室内の温度・CO₂濃度分布の測定、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学 II、pp.367-368、2010.9.
- 3) 吉野博、三原邦彰、瀧澤のりえ 他：東北地方における小学校を対象とした熱・空気環境調査、日本建築学会技術報告集、No.22、pp.295-300、2005.12.
- 4) 瀧澤のりえ、吉野博、高田美紀 他：学校における室内環境と児童生徒の健康に関する調査研究 その 3 新築校舎の各教室等における化学物質濃度と使用材料との関係、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学 II、pp.911-912、2003.9.
- 5) 瀧澤のりえ、吉野博、高田美紀：学校における室内環境と児童生徒の健康に関する調査研究 その 4 11校の化学物質濃度と児童生徒の健康との関係、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学 II、pp.914-914、2003.9.

2 関東地域の冷房設備を有する教室内温熱・空気環境と環境調節

2.1 はじめに

近年、夏季の授業日数の増加や児童の家庭での冷房設備の普及及びヒートアイランド現象等による外気温の上昇に伴う室温上昇への対策として、小学校の普通教室に冷房設備を導入する学校が増えている。2014年において東京都23区の公立小学校普通教室に冷房設備がほぼ100%設置された。

既往研究では、冷房設備の導入後における教室内の空気汚染やエネルギー消費量の増加などの問題が指摘されているが、導入後における設備の使用状況や窓扉開閉などの環境調節行為や児童の温冷感の相違に関する研究はほとんどない。そこで、我々は数年間にわたり、東京都内にある冷房設備が設置された公立小学校の普通教室における温熱・空気環境と環境調節行為および児童の温冷感の相違を明らかにしてきたので報告する。

2.2 調査対象校の概要

関東地域に位置し、冷房設備が設置されている4小学校において温熱・空気環境の実測調査とアンケート調査を行った。調査対象校の概要を以下に示す。①東京都S区立T小学校の2階中廊下型の2・3年教室と3階片廊下型の4・5・6年教室において2006年の夏季・中間期・冬季に実測調査とアンケート調査^{1), 2)}を実施した。②東京都N区立H小学校の普通教室に扇風機6台(天井付け)があり冷房設備がなかった2006年と冷房設備1台(外気側前方に天井吊り)が設置された後の2009年において同位置の3階3教室で実測・アンケート調査^{3), 4)}を行った。③都心の狭小地で周辺環境は良好とはいえない地域に建っており、2階建・中廊下型の南棟(屋上は運動場)や3階建・片廊下型の北棟(屋上はプール、最上階には2mの庇)、および両棟間には管理棟や体育館がある東京都S区立K小学校で2010年に実測とアンケート調査^{5), 6)}を実施した。④2011年には南と東向きのL字の3階建て校舎で、冷暖房設備と全熱交換型換気設備、および冬季にはこれらの設備に加湿器が併用して運転できる東京都M市立M小学校で、実測・アンケート調査^{7), 8)}を行った。

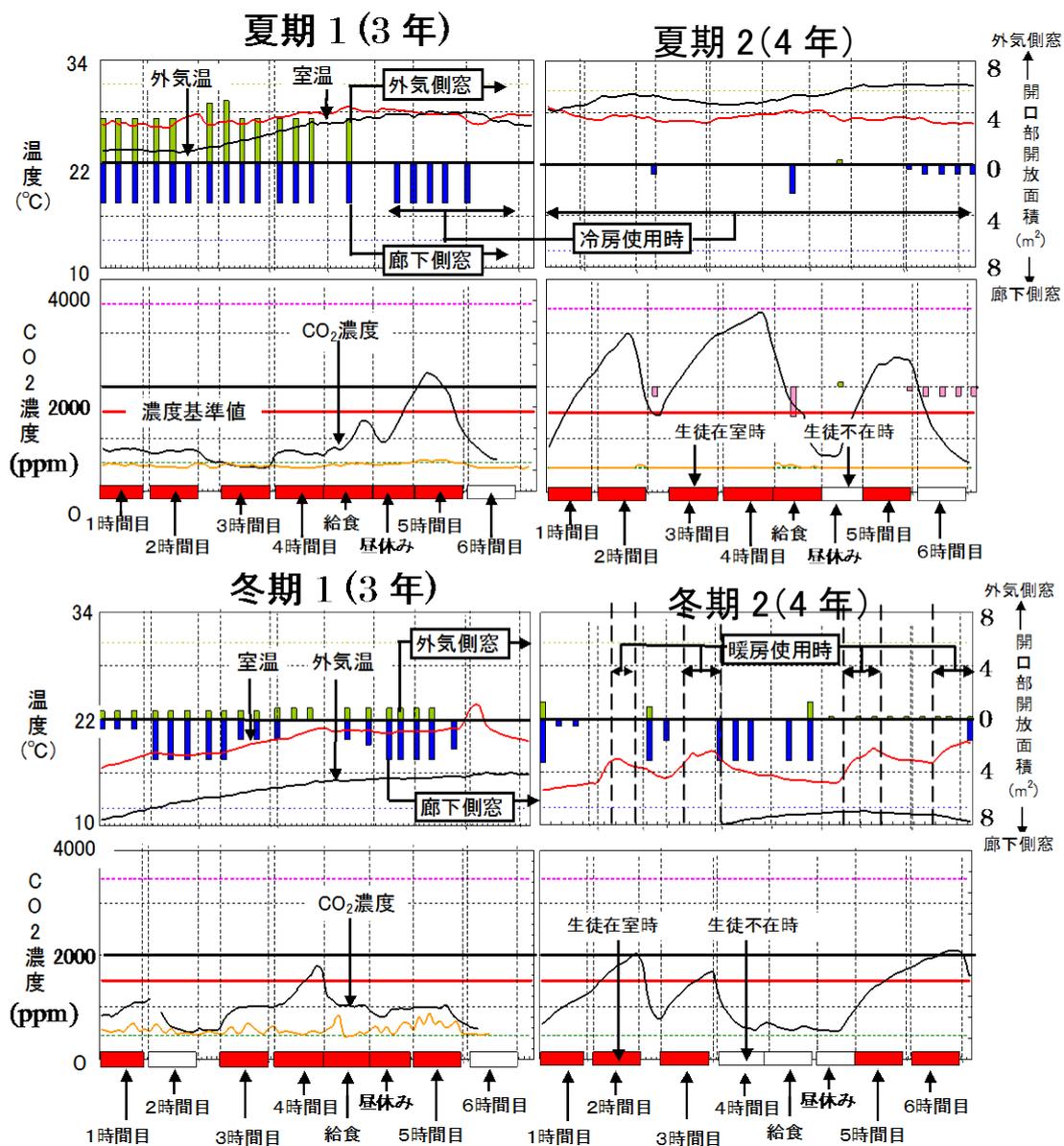


図 2-1 T 小学校での冷暖房時・非冷暖房時の 2 クラスにおける
 温湿度、CO₂ 濃度、開放面積の 1 日の経時変化

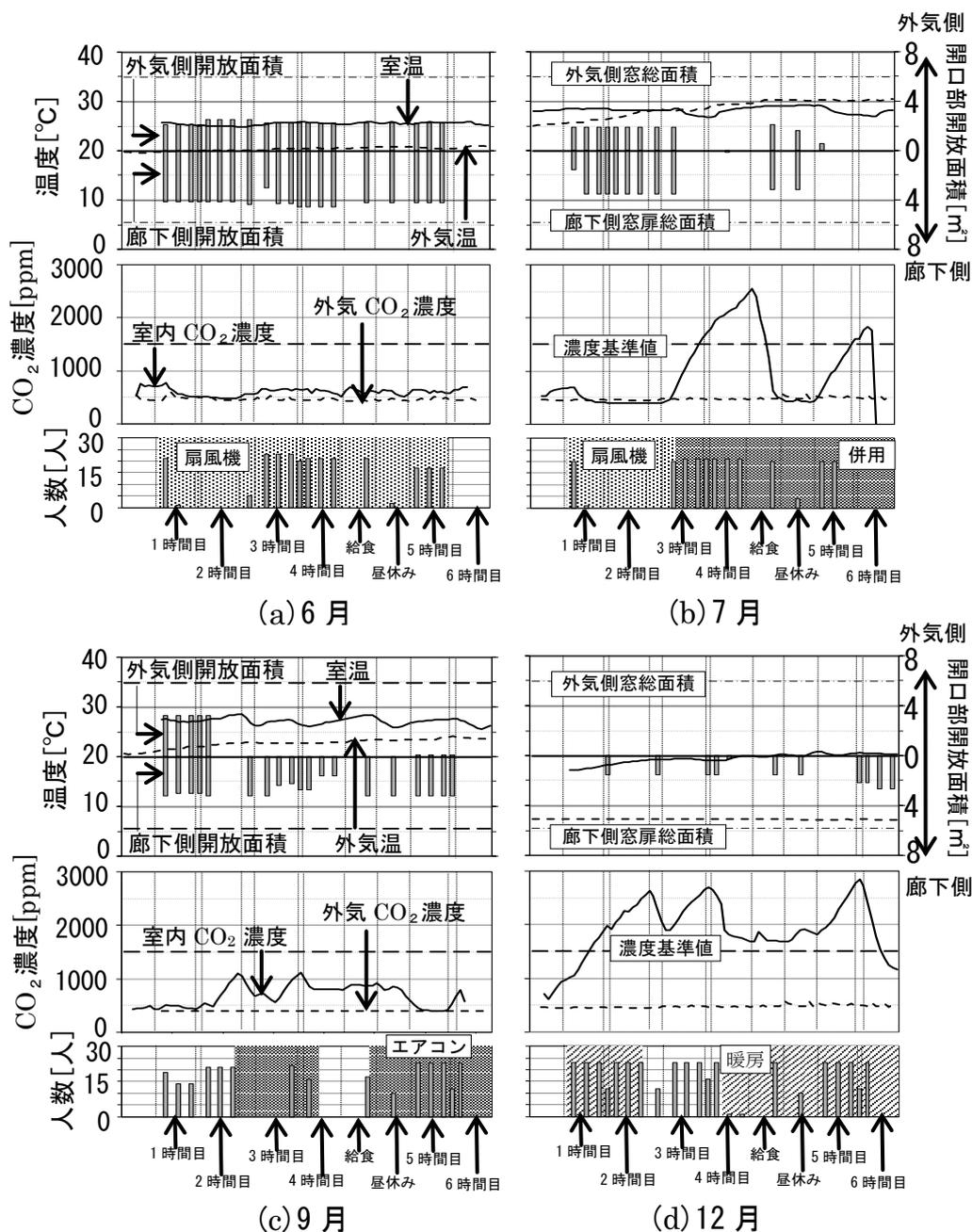


図 2-2 H 小学校での月別にみた温湿度、CO₂ 濃度、開放面積の 1 日の経時変化

2.3 冷暖房時の室温と設備使用の実態

T 小学校と H 小学校における 2009 年度の夏期と冬期における教室・廊下・外部の温度、教室内 CO₂ 濃度、冷暖房使用時間帯、窓扉の開放面積等の経時変化の例を図 2-1 および 2-2 に示す。T 小学校における夏期 1 午前中の非冷房時に窓開放を積極的に行っていたが、冷房を開始すると外気側窓を閉め廊下側窓扉は開放したままであった。夏期 1 の場合における CO₂ 濃度は学校環境衛生基準で定める 1500ppm を超えたのに対して、1 日中冷房し、両側窓

扉を閉め切っていた夏期2では、長時間1500ppmを超え、長い休み時間をはさまないで授業を行う際にはCO₂濃度が蓄積され3000ppmを越えていた。冬期の場合、夏期よりも両側の開放面積が小さいためにCO₂濃度は夏期より高い。暖房時の窓開放面積がさらに小さい冬期2の場合には、CO₂濃度が上昇するものの、休み時間中に積極的に窓扉を開放することからCO₂が蓄積されず、冷房時に比べて濃度が極端に上がらない。

一方、図2-2に示すH小学校における月別にみた教室内環境を見ると、6月には外気・廊下側窓扉共に開口部の開閉（開放率30～60%）により温熱環境を調整しているのに対して、7月にはほぼ一日中扇風機を使用しているクラスが多く、暑さに耐えられなくなるとエアコンを使用し、窓・扉の開放率が低下するために室内CO₂濃度が上昇している。9月の外気温が7月より低かったこともあり、教室に設置された扇風機やエアコンの使用も少なくなった。また、(c)の給食時のように、エアコン使用後に窓扉を開放せずに室温が高いにも関わらず過ごしている例もあった。12月には暖房使用の有無に関わらず、1日中窓・扉を閉め切ることが多いことから、CO₂濃度が基準値を超える頻度も高くなった。

エアコンの有無の違いがあるH小学校の場合における室温と各設備使用率（各設備使用の平均割合）を表す図2-3から、冷房設備が設置されていない教室（非設置教室と称する）における扇風機使用率は室温28℃でほぼ55%と急増し、室温30℃以上で90%以上になるのに対して、冷房設置教室では室温27℃で冷房と扇風機を併用する教室が20%前後現れ、28℃で併用運転が40%と急増している。これらの実態を踏まえると、室温28℃が環境調節の目安となる数値と言える。

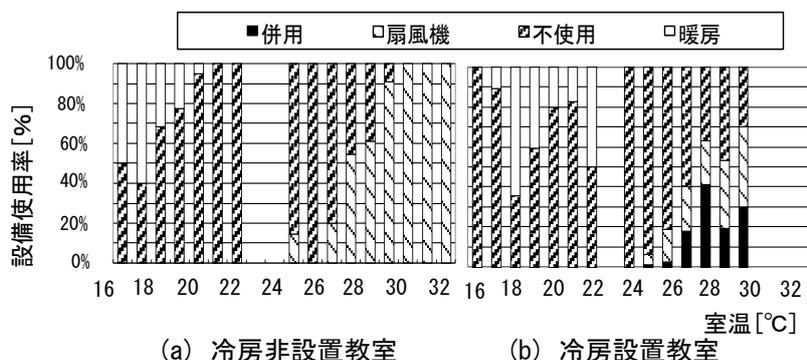


図 2-3 平均室温別にみた各設備の使用率

2.4 クラスによる冷房設備の調節の相違

表2-1と図2-4(T小学校)および表2-2と図2-5(K小学校)は担任教師の概要(冷房の好みを含む)と各クラスの冷房使用率を示す。冷房を好まない教師の場合には、冷房使用率が他クラスに比べて極端に低い。ほとんどのクラスの児童は冷房設備で調節することが認められていない。その理由として、極端な温度設定や風量、不在時において電源を切る、およびクラスの統制が取り難いことなどが挙げられている。

また、図 2-6 に見られるように、時間の経過に伴い冷房設備の調節がクラスにより異なるが、全体的傾向としては、1 度冷房をつけると長時間継続して使用する傾向が見られる。図 2-7 で示す冷房設定温度はクラスにより大きく異なり、1 時限中での変更温度の割合を見ると 6 年生の 2 クラスのみがやや変更するが、ほとんどのクラスでは 1 限中で温度を変更しない。

表 2-1 T 小学校の児童と先生の概要

教室		2階(中廊下型)		3階(片廊下型)			
		2年	3年	4年	5年	6年	
児童	構成	男	15人(54%)	18人(60%)	15人(60%)	16人(73%)	7人(28%)
		女	13人(46%)	12人(40%)	10人(40%)	6人(27%)	18人(72%)
	体質	暑がり	63%	58%	42%	47%	25%
		中立	25%	32%	42%	13%	50%
寒がり		12%	11%	16%	40%	25%	
担任先生	性別、体質	女、暑がり	女、暑がり	女、寒がり	男、—	男、暑がり	
	冷房の好み	やや好む	やや好む	やや嫌う	とても好む	やや好む	
	暖房の好み	やや好む	—	やや嫌う	どちらでもない	どちらでもない	

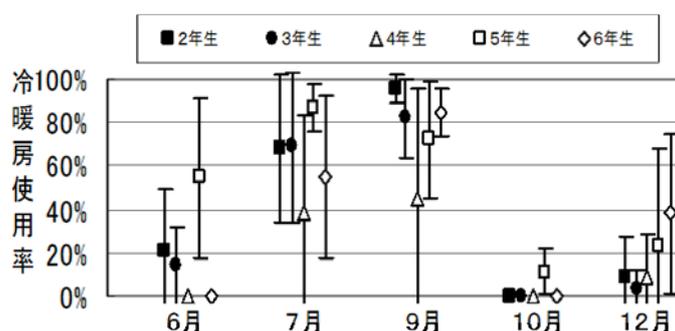


図 2-4 T 小学校におけるクラス別にみた冷暖房使用率の経時変化

表 2-2 K 小学校の児童と先生の概要

基本事項	2-1	3-1	4-1	5-1	6-1	6-2
性別	女	男	女	女	女	男
年齢	30代	30代	—	50代	50代	20代
体質	どちらでもない	暑がり 寒がり	暑がり 寒がり	暑がり 寒がり	暑がり	どちらでもない
冷房の好み	やや好む	やや好まない	やや好まない	やや好む	やや好む	やや好む

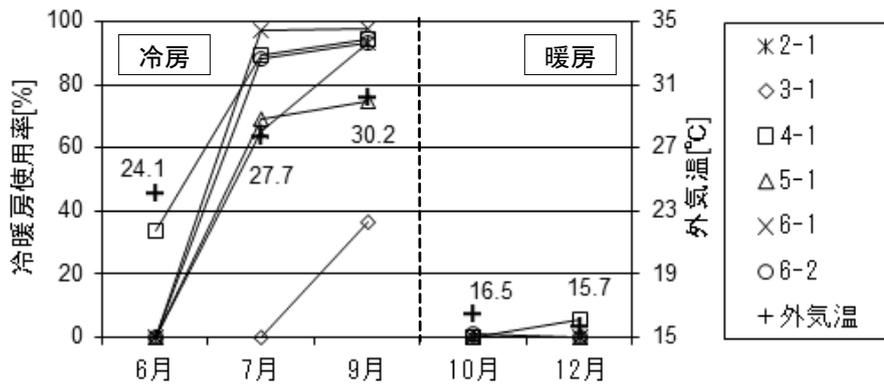


図 2-5 月別に見た K 小学校のクラス別冷房使用率と外気温

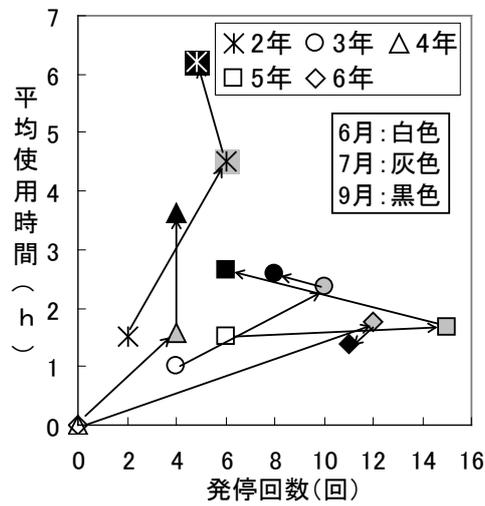


図 2-6 クラス別にみた K 小学校での冷房発停回数と 1 回平均使用時間

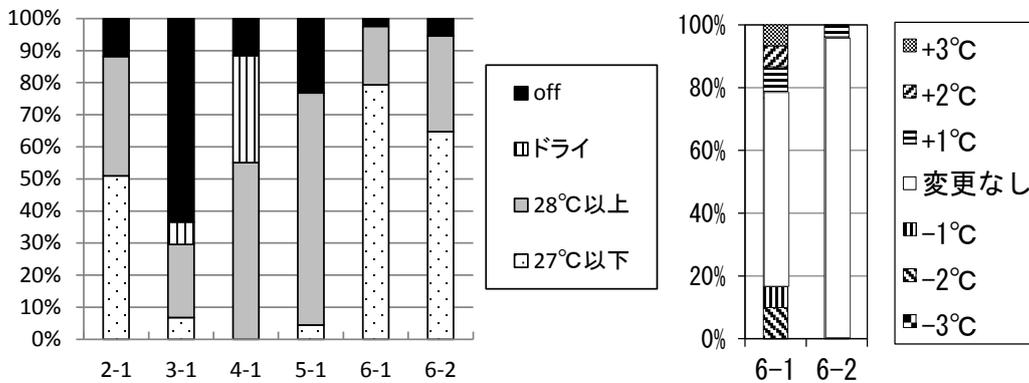


図 2-7 9 月における K 小学校での冷房設定温度と変更温度

2.5 窓扉の開閉の実態

夏季の場合、人や照明器具からの発熱により教室内の室温が外気温より高くなることから、外側の窓が閉める傾向が見られ、廊下側の窓扉はある程度の換気のために開放する傾向がある。また、冷房時には冷房効率を上げることにより省エネになるために開放率が低くなり、特に外側窓を完全に閉めることが多い。非冷房時には通風や扇風機を動かして採風による涼感を期待することから、窓扉の開放率が高くなる傾向がある。

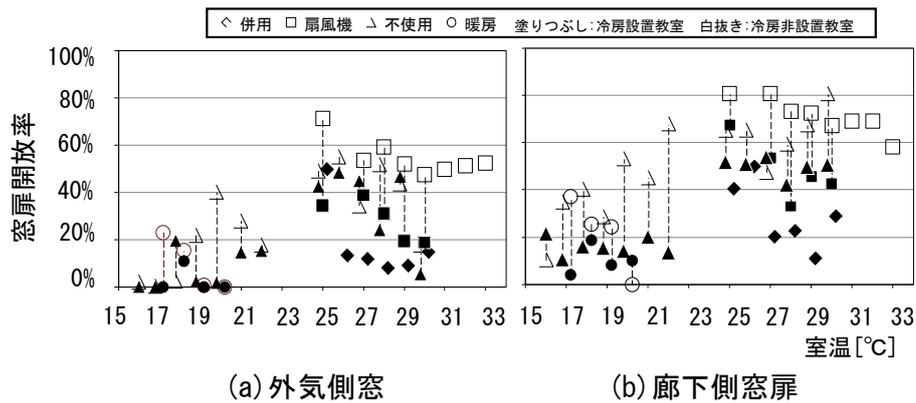


図 2-8 設備使用別に見た各室温での外気側と廊下側の窓扉開放率

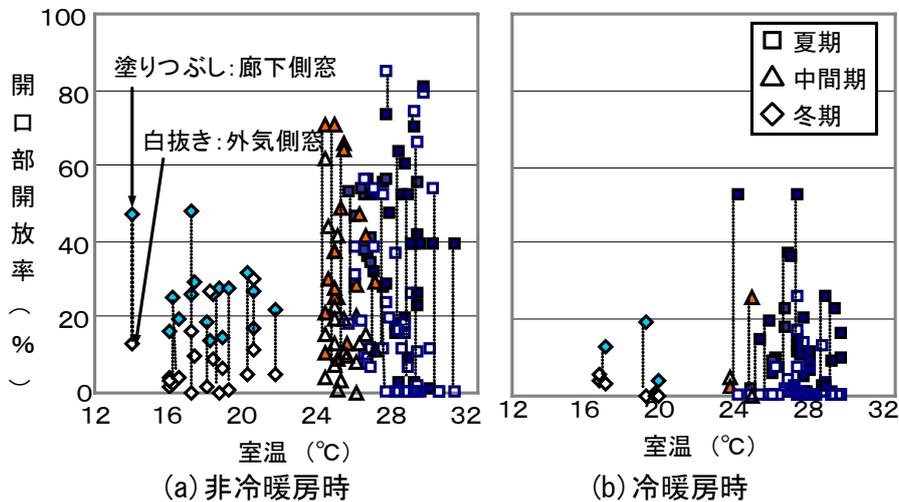


図 2-9 季節や冷暖房使用別に見た外気側や廊下側の開口部開放率

2.6 教室空気環境の実態

時限毎の窓扉開放率と CO₂ 濃度との関係を設備使用別にプロットした結果として図 2-10 で窓開放率が 10%以下になると、CO₂ 濃度が学校環境衛生基準法で規定している 1500ppm を超えることが生じる。冷房時には窓開放率が低くなることから、CO₂ 濃度が 1500ppm を

超えることが多くなる。

一方、M小学校では、図2-11で見られるように、CO₂濃度が1500ppmを超えることはない。これは全熱交換型換気設備が併用して運転されるようになっているためである。強風時や雨などの悪天候時や冷房効率の配慮から窓を開放しなくてもある程度の空気清浄を保てる機械換気設備の設置の有効性が示されたと言える。図2-12と図2-13（同一時間帯に2・3階で計測）に見られるように、T小学校での3階の片廊下型教室での換気量は同一校舎の2階の中廊下型教室での換気量の約2倍であることが図2-14から見て取れる。

次いで、表2-3に必要な換気量を示すように計算して求めた結果を示す。授業45分間の平均CO₂濃度を求め、500ppmずつの濃度範囲に区分し、相対開放面積（必要開放面積に対する実開放面積の割合）0.25・0.5・1毎にみたCO₂濃度範囲別割合を図2-15に示す。相対開放面積が1前後でCO₂濃度平均値が基準値以上になることは少ない。相対開放面積が0.75以下になるとCO₂濃度の基準値超過割合が高くなり、0では約70%の割合で基準値を超過した。必要開放面積以上の面積を開放することが重要であることがわかる。

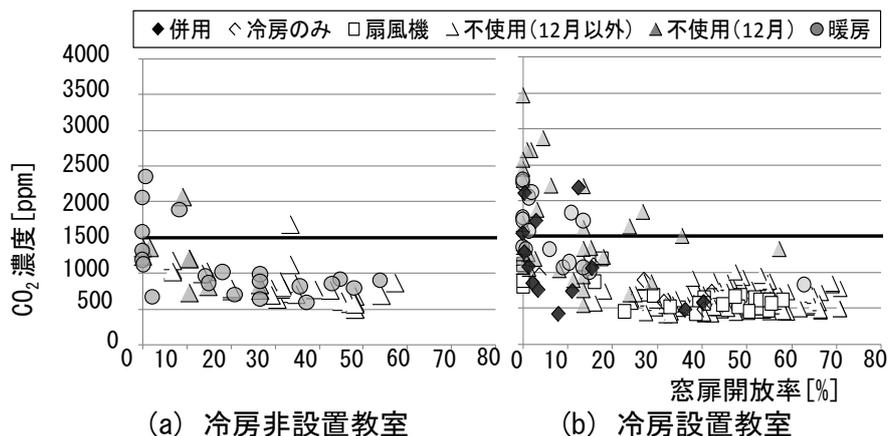


図2-10 K小学校における窓扉開放率とCO₂濃度との関係

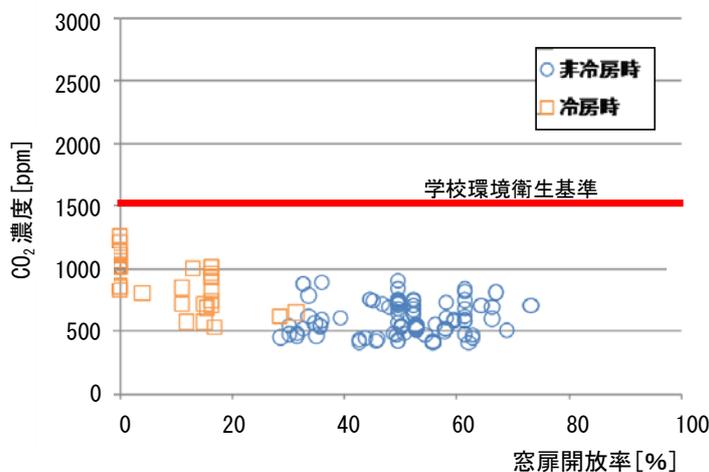


図2-11 M小学校でのCO₂濃度

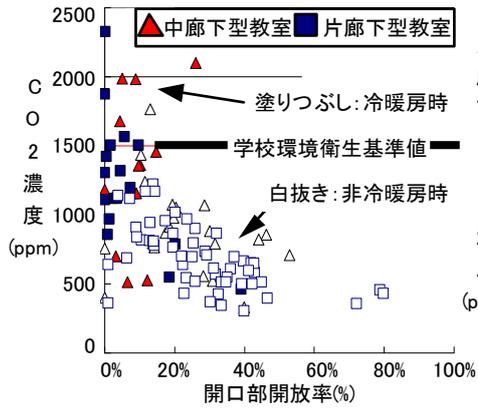


図 2-12 冷暖房使用や廊下タイプ別にみた開放率と CO₂ 濃度

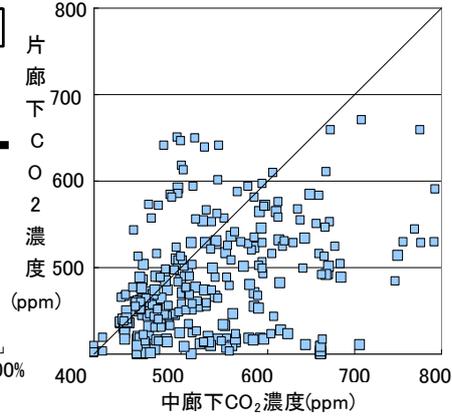


図 2-13 廊下タイプ別にみた廊下の CO₂ 濃度

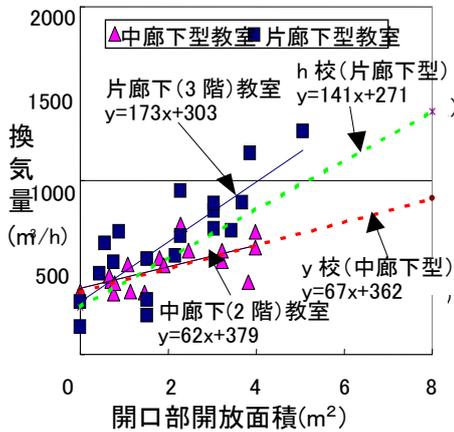


図 2-14 廊下タイプ別の開放面積と換気量

表 2-3 必要開放面積

高学年教室(31名)の場合
1人あたりの必要換気量は

- ・ 児童 : $(0.016 \times 100) \div 3 / \text{h} \cdot \text{人}$
- ・ 教師 : $(0.022 \times 100) \div 3 / \text{h} \cdot \text{人}$

クラスの必要換気量 $15 \times 30 + 20 \times 3 / \text{h}$

必要開放面積

- ・ 中廊下型教室 (換気量 : $2x+379$)
 $1.46\text{m}^2 \Rightarrow$ 廊下扉を 48% 開放
- ・ 片廊下型教室 (換気量 : $3x+303$)
 $0.97\text{m}^2 \Rightarrow$ 廊下扉を 32% 開放

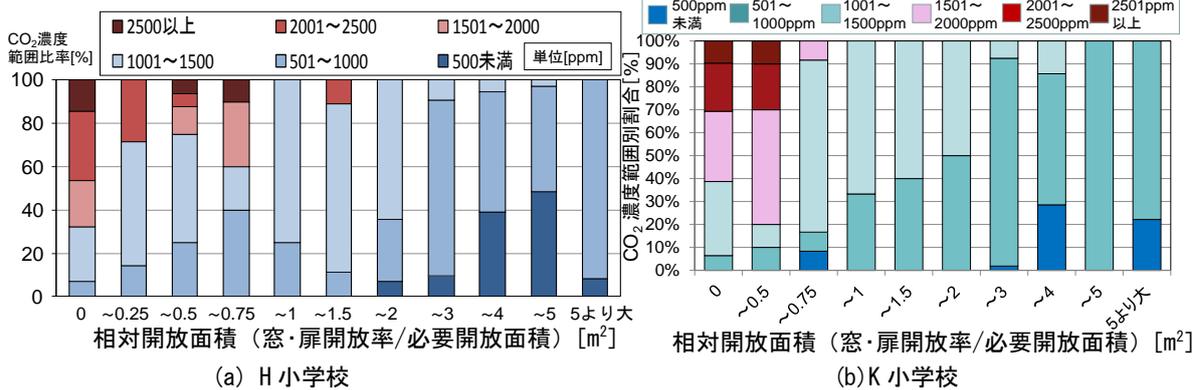


図 2-15 相対開放面積別にみた授業時の平均 CO₂ 濃度

2.7 児童の温冷感

図 2-16 は T 小学校における 9 月と 10 月および 12 月の平均室温と温冷感や PMV 理論値 (着衣・代謝量・放射温度は想定値) との関係、および各月の温冷感及び PMV 理論値の回帰直線と温冷感=0 や PMV=0 との交点である中立温度 (温冷感) や中立温度 (PMV 理論

値)を示す。図 2-17 に K 小学校を示す。PMV 理論値の回帰直線の勾配は月に関係なくほぼ一定で、中立温度 (PMV 理論値) の季節による差が小さい。温冷感の回帰直線の勾配は季節により異なり、盛夏に向かうに伴って勾配が小さくなることから、暑熱環境への順応が認められる。中立温度 (温冷感) と中立温度 (PMV 理論値) および外気温の変化を示す図 2-18 を見ると、中立温度 (PMV 理論値) は clo 値で変わるためにその変化は小さいが、中立温度 (温冷感) は夏期・冬期ともに外気温の変化に追隨して変化する。このことから順応の影響が大きい。

温冷感における暑い側評価(やや暑い・暑い・非常に暑い)の累計割合、どちらでもない評価(0)の割合、寒い側評価(やや寒い・寒い・非常に寒い)の累計割合(最小二乗法を用いて arctan 関数で回帰)と室温の関係を、設備使用状況別に表した結果を図 4-2-19 に示す。不使用では 26°C程度まで、扇風機でも 27°Cまで暑さに耐えられるが、28°C以上においては冷房による環境調節が必要となる。

居住者の快適範囲を 3 種類の熱順応(行動の程度・生理学上・心理学上)を加味して外気温の関数として示す Adaptive model⁹⁾の許容温度領域上に冷暖房・非冷暖房時および冷暖房開始時の室温と中立温度を図 2-20 にプロットした。夏期の非冷房時には許容域 80%を超えることもあるが、冷房開始時や冷房時の室温は許容温度領域内に収まる。一方、冬期における室温は、いくつかの非暖房時やほとんどの暖房開始時に許容温度領域より低い側に外れる。暖房時には許容温度領域内に収まる。児童の中立温度 (温冷感) (図中の実線) は、Adaptive model の中立温度より 2°C程度低い。これは児童の基礎代謝量が多いことや寒冷順応によると考えられる。図 2-21 に示すように、併用と扇風機で 1.6°C、扇風機と不使用の間でも 0.4°Cの順応による影響が考えられる。また、併用時は室温よりも外気温が高く、扇風機時や不使用時は室温のほうが高い。室温よりも外気温が高くなると冷房使用を開始する傾向が見られる。

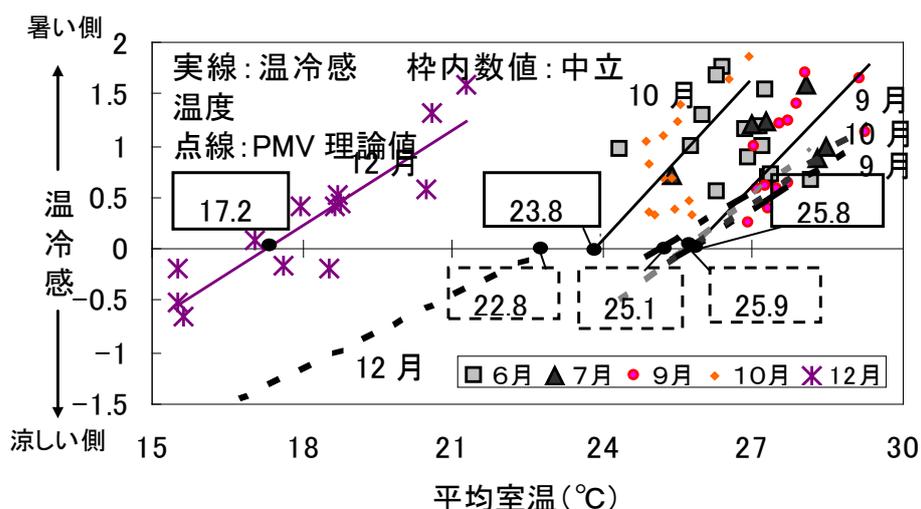


図 2-16 T 小学校での季節別にみた室温と温冷感や PMV 理論値から求めた回帰直線や中立温度

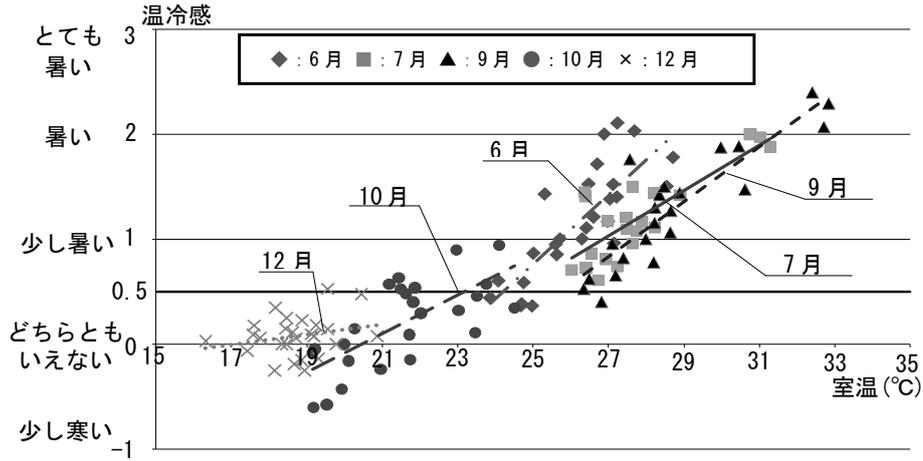


図 2-17 K 小学校での季節別にみた室温と温冷感や PMV 理論値から求めた回帰直線

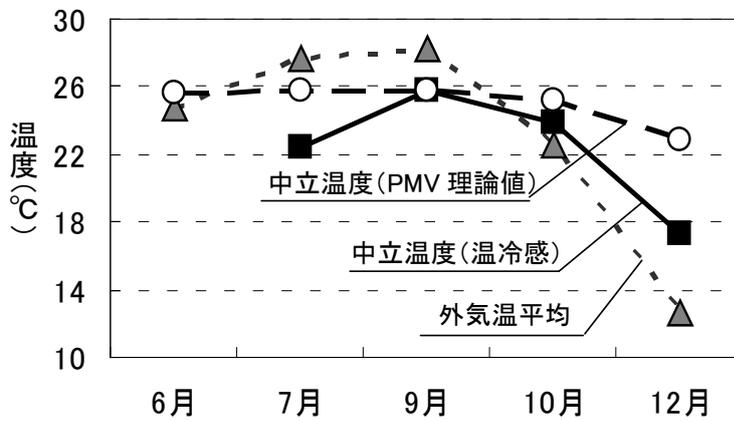


図 2-18 T 小学校における各中立温度と外気温の経時変化

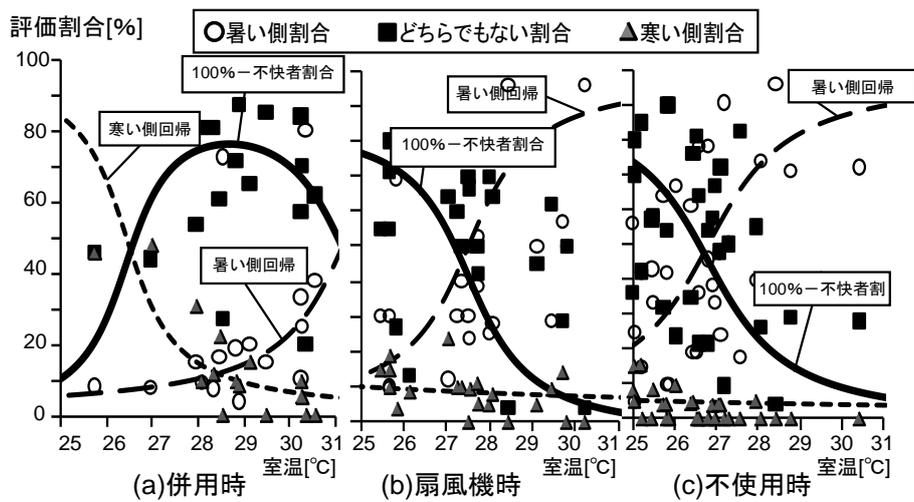


図 2-19 設備使用別にみた温冷感評価尺別割合

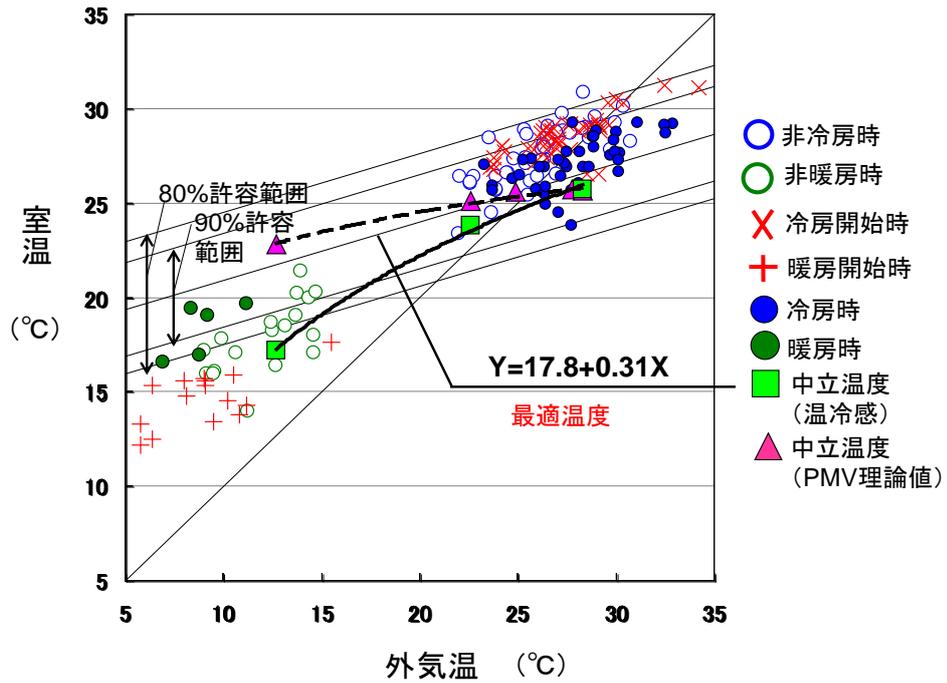


図 2-20 Adaptive model における室温の許容範囲 (T 小学校)

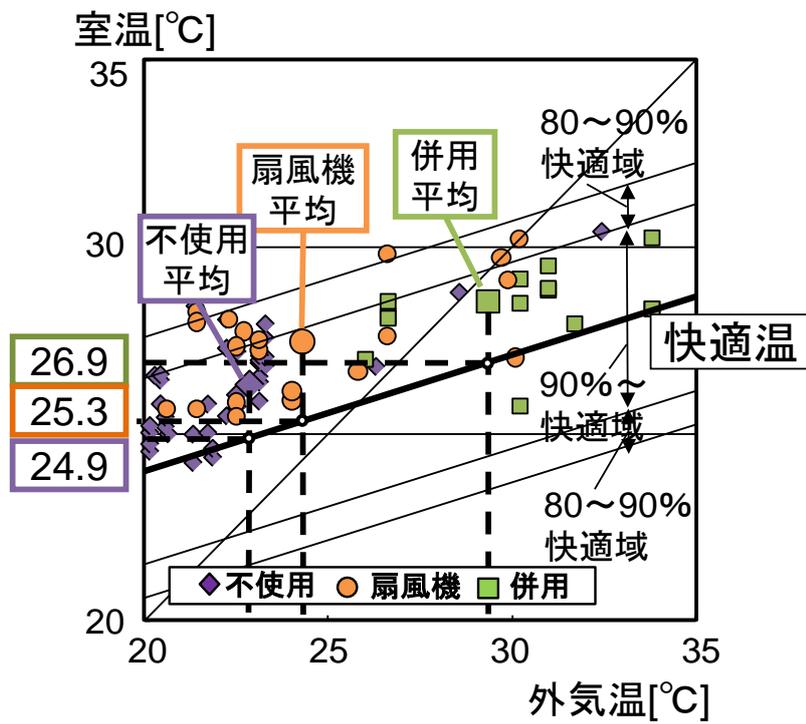


図 2-21 Adaptive model での室温(H 小学校)

参考文献

- 1) 倉渕隆、飯野由香利、川瀬智文：温暖地域における冷房機器のある小学校普通教室の空気・温熱環境と温熱環境評価、日本建築学会環境系論文集、Vol.74, No.641、pp.893-899、2009.7.
- 2) 飯野由香利、倉渕隆：ヒートポンプ冷暖房設備が設置された小学校教室における温熱・空気環境、空気調和・衛生工学会大会学術講演会論文集、pp.2043-2046、2009.9.
- 3) 飯野由香利、倉渕隆、鶴田久美子、野田圭弘：冷房設備と扇風機が設置された小学校教室における室内環境と環境調節行為およびに関する研究 その1 環境調節行為と室内物理環境の実態、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.735-736、2010.9.
- 4) 野田圭弘、倉渕隆、飯野由香利、鶴田久美子：冷房設備と扇風機が設置された小学校教室における室内環境と環境調節行為およびに関する研究 その2 温熱環境の実態と温冷感の特性、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.737-738、2010.9.
- 5) 飯野由香利、倉渕隆、湯浅梢、鶴田久美子：冷暖房設備が設置された都心の小学校教室における温熱・空気環境の調査研究 その1 建築要素や環境調節行為による温熱・空気環境の相違、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.771-772、2011.8.
- 6) 湯浅梢、倉渕隆、飯野由香利、鶴田久美子：冷暖房設備が設置された都心の小学校教室における温熱・空気環境の調査研究 その2 空気環境と児童の温熱環境評価、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.773-774、2011.8.
- 7) 飯野由香利、倉渕隆、湯浅梢：冷暖房・換気設備のある公立学校における設備に関する教師の認識と環境調節の実態に関する研究 その1 環境調節行為による教室内温熱環境の相違、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.715-716、2012.9.
- 8) 湯浅梢、倉渕隆、飯野由香利：冷暖房・換気設備のある公立学校における設備に関する教師の認識と環境調節の実態に関する研究 その2 環境調節設備と教室内空気環境、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.717-718、2012.9.
- 9) R.J. de Dear and G.S. Brager: Developing and adaptive model of thermal comfort and preference, ASHRAE Transactions, Vol.104, Part 1, pp.145-167, 1998.1.

3 温暖地域の小学校における空気・温熱環境

3.1 はじめに

九州地域は比較的温暖な気候と思われているが、日本海に面する福岡地区では冬季の外気温が氷点下近くまで低下するなか、公立の小学校では暖房もないなかで授業が行われている。一方で、夏季には外気温度が 30℃を超える状況で授業が行われてきた。冷暖房を備えた家庭が普通となった現状で、児童・生徒が 1 日の大半を過ごす教室との環境の格差は、以前より指摘されてきた。このような視点から、1990 年代中頃より教室環境の実態把握に関する調査を開始し、その後も環境改善の方策、さらには暖冷房の導入と課題に関する調査を継続し、現在に至っている。その間に、冬季の暖房設備導入を決定した自治体もみられ、近年では冷房機器を導入、あるいは導入を決定した自治体も出てきている。学習効率を高めるうえでは望ましい傾向であるが、そのためには適切な学習環境の整備が必要不可欠である。そこで、福岡市立小学校での実測調査事例を紹介するとともに、冷暖房や換気の設備を導入する際に考えられる問題や環境調節を図るうえでの留意点などを示す。今後の管理運営上の参考となれば幸いである。

3.2 福岡市における学校建築

九州北部に位置する福岡市は北に日本海を臨み、二つの山地に囲まれた平野に市街地を形成する都市であり、居住人口は今もなお増加している。福岡市立小学校は、現在、144 校となっており、近年の新設、統廃合などがあつたものの総数はこの 10 数年来維持されている。福岡市立小中学校施設設計指針によれば、昭和 43 年以降に新設校校舎を RC 造で建設し、現在すべての校舎が RC 造となっている。昭和 46 年から新設校外部建具をアルミサッシ化、昭和 48 年から既存校舎の増改築部外部建具をアルミサッシ化し、昭和 56 年頃まで主に標準設計を用いた施設整備が進められてきたが、都市化の進展でグランド面積の確保等が困難になってきたため、校舎面積を優先する標準設計から、個別設計を用いた施設整備へと移行した。昭和 58 年以降に従来の片廊下型に加えて、中廊下型を新設校で本格的に導入しているが、普通教室等は優先して南面させることとなっている。南面する窓にはバルコニー等は設置されず、外観は直方体のほぼフラットな立面となっていたが、近年の立て替えや新設校では、個別設計によりバルコニーや庇などが設置された校舎もみられるようになった。

冷暖房は、特別教室や職員室へは導入されているが、普通教室については航空機や道路交通の騒音対策のための冷房設置、山間部等の寒さ対策のための暖房設置を除けば、設置しないのが基本となっていた。冷房設置校では中央式ダクト空調が導入されていたが、更新時期を迎えて個別化が進められている。立て替えや新設校においては、個別空調の導入例もみられる。また、近年では暑さ対策として、最上階普通教室への扇風機（天井付）導入が進められ、その整備も完了している。このように、冷房設備の導入については消極的であったが、平成 25 年に市立小中学校の普通教室へ冷房設備の導入（PFI 方式による）が

決定され、平成 26 年度に事業募集、平成 27 年度に小学校へ導入を完了、平成 28 年度に津学校への導入を完了する計画が進められている。

3.3 小学校の教室環境に関する実態調査

(1) 担任教師に対するアンケート

1995 年～1996 年にかけて福岡市教育委員会の協力の下、小学校の担任教師すべてを対象に、夏季と冬季における教室の物理的環境（熱・空気・光・音環境）や水環境・衛生環境、教室の雰囲気、冷暖房の必要性、学校周辺の環境等に関するアンケート調査を実施した。

これらの結果から、夏季の教室では日射の有無にかかわらず教室全体が暑いこと、日射を遮ることに加えて通風により暑さが和らぐこと、雨や強風時に窓が開放できないという問題、カーテンは日射を防ぐ意味では有効だが、風通しや明るさの面で問題があること、教室の窓側と廊下側で温度や明るさ等に相当の差が生じていることなどが指摘されている。また、冷房の必要性についても賛否両論あり、必要とする意見は多いものの授業への影響や健康上の問題等を懸念する意見もあった。

一方で、冬季の場合は足下や手足が冷えるなど大半が寒いと感じていること、日射のある窓側では暖かいという意見もあるが、廊下側の寒さを考慮すれば教室内の極端な温熱環境の違いは、児童の座席移動ではなく別の対応も必要であること、教室内の換気は休み時間に集中して行われており、授業中に行われるケースが少ないことから空気の汚れや臭いが一層気になる傾向がみられること等が指摘されている。また、暖房を必要とする意見が多いが、冷房の場合と同様に健康上や教育上の理由から必要ないとの意見もあった。

(2) タイプの異なる教室における夏季と冬季の環境比較

1995 年～1997 年には、多目的スペースを併設した中廊下型と片廊下型の教室を併設した小学校(福岡市南区郊外に立地)において、夏季と冬季の集中測定を行った。上述のアンケート調査より想定された教室環境の実態として次のことを明らかにしている。

夏季の授業中で窓を開放すれば教室内の気温は外気温とほぼ等しいが、窓を閉鎖すると児童がいない状態でも室温は外気温度より 2～3℃高くなる（この場合、水平方向の分布はみられない）。しかし、グローブ温度でみた場合は窓側が最も高く、室中央、廊下側の順に低いことから放射温度の分布が大きく、SET*や PMV での評価から夏季の教室がかなり暑いことが指摘された。また、教室が片廊下型の方が中廊下型の場合に比べて風速が大きく風通しが良いことから、暑いと感じる児童の割合も少なくなる。

冬季の授業中では、夏季と同様に教室内気温の分布は小さいが、グローブ温度でみれば窓側が最も高くなること、窓を閉めた状態では天気に影響されるが室温が外気温度に比べて 6～9℃高くなること、窓を閉めた状態での教室の空気質は悪くなり、授業開始とともに CO₂ 濃度が急上昇し、窓の開放により一時的な減衰がみられるものの、授業時間中はほぼ 1500ppm を超える濃度で推移し、最大 3000ppm に達する時間帯もあること、夏季と同様に

SET*やPMVでの評価から教室がかなり寒いことが指摘された。なお、教室の明るさや騒音に関して、特に問題になるような点は指摘されていない。

(3) 年間実測調査に基づく教室環境の実態

1998年～1999年にかけて福岡市内の小学校5校を対象に長期実測調査を行った。対象の5校は気象条件等を合わせるため等から近接する学校で、RC造、教室面積約64m²、天井高3mの片廊下型の教室とした。なお、教室外側の窓面の方位の異なる複数の教室にて測定を行い、併せて季節ごとに教室の使用状況調査を行い、両者の関連について分析した。

夏季（1999年7月8日）における教室の使用状況と空気温熱環境の対応について、WH小学校の教室の例を図3-1に示す。同図の上段には標準的な時間割と教室にあるすべての窓と扉のそれぞれの開放状況を示しており、白い帯の部分が窓の開放、黒い部分が窓を閉めていることを意味する。その下に教室在室人数、教室気温および外気温とCO₂濃度、さらに教室内外での絶対湿度を示している。児童が登校する8時過ぎにはほとんどの窓が開放され、その状況は夕刻まで続いている。また、教室の出入り口の扉も開放されるケースが多い。教室の気温は、児童が登校してきた後は外気温とほぼ同じような変動を示し、絶対湿度に関しても児童の登校後は室内の絶対湿度が低下して室内外の差は小さくなる。教室のCO₂濃度は終日500ppm程度になっており、外気のそれとほぼ等しいと考えられる。このように、雨や風の強い日を除けば、窓の開放率が高い夏季では気温や湿度、CO₂濃度ともにほぼ外気に等しい値をとることがわかる。

同様に冬季（1999年11月26日）での対応を図3-2に示す。夏季とは反対に窓は閉め切った状態が多く、児童が登校をはじめの8時頃に一部の窓が開放され、これにともない教室の気温は若干低下するが、その後は上昇して外気温との差も大きくなっている。また、休み時間等で在室人数が減少する場合や窓の一部が開放されることで教室内の気温は低下するが、その後も上昇している。教室内の絶対湿度やCO₂濃度についても、教室気温と同様の変動傾向を示しており、特に在室人数が多く長時間窓を閉め切った状態である11時から12時にかけてCO₂濃度は1500ppmを超える値となっている。その後、窓が一部開放されたことで減衰するものの、窓を締め切った教室内では1000ppmを超える値となっている。このように窓を閉じることが多い冬季では、在室人数や窓の開放状態によって教室内の環境も大きく変動する。

年間を通じた評価の一例として、授業日・授業時間帯（平日は9時～15時、土曜日は9時～11時）における教室気温（日最高値、日最低値、日平均値）の1年間の累積日数分布を図4-3-3に示す。これは図3-1および図3-2と同様のWH小学校の教室における結果である。年間の授業日数の60～70%は「学校環境衛生の基準」で最も望ましいとされる温度範囲から外れる時間帯を含むことがわかる。特に、最も暑い時期に長期休暇となる夏季に比べて、冬季休暇は最も寒い時期からずれており期間も短いことから、冬季での温熱的な問題が指摘されている。

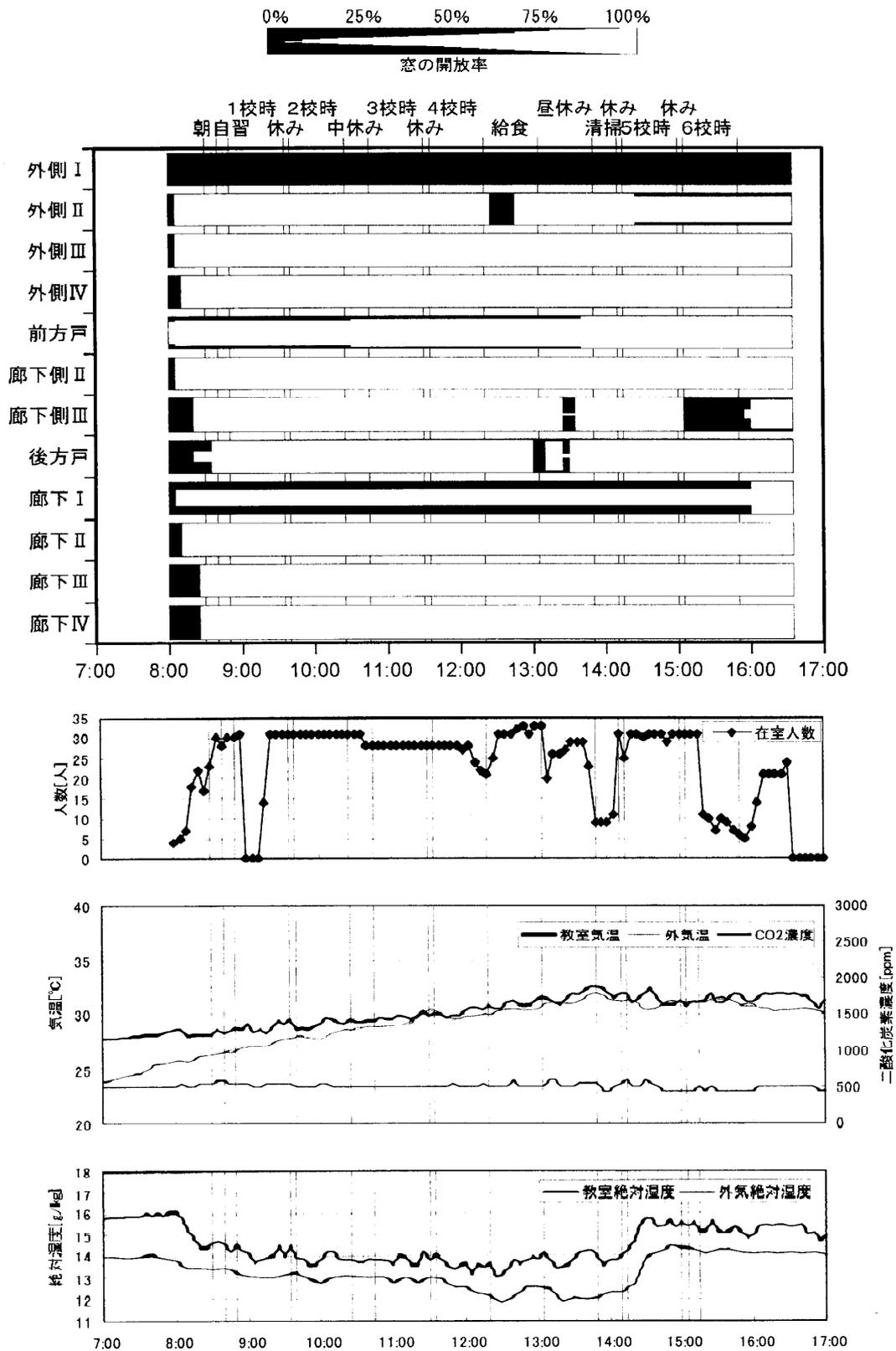


図 3-1 夏季における教室使用状況・気温・絶対湿度・CO₂濃度の経時変化
(1999年7月8日、WH小学校)

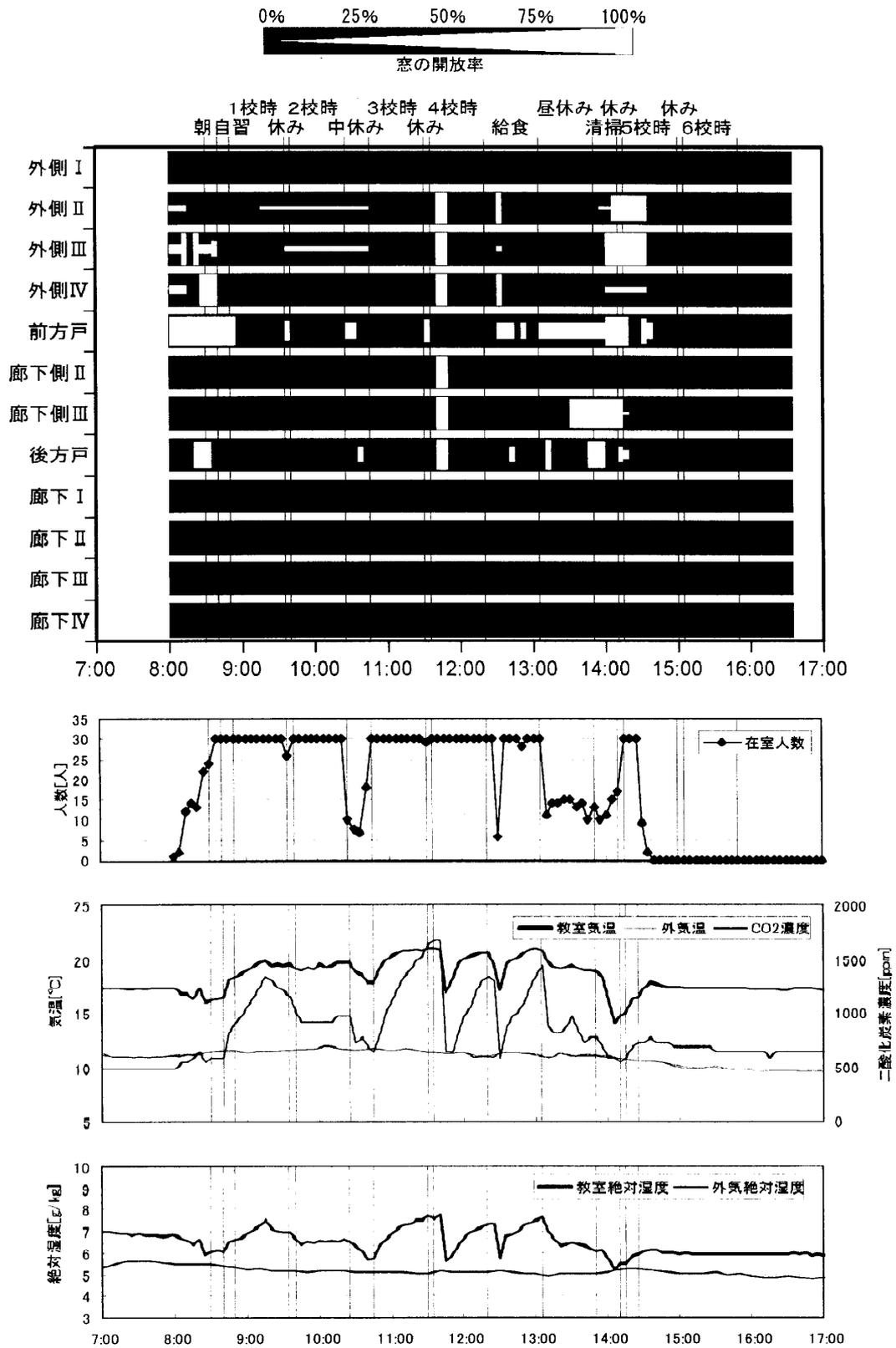


図 3-2 冬季における教室使用状況・気温・絶対湿度・CO₂濃度の経時変化
(1999年11月26日、WH小学校)

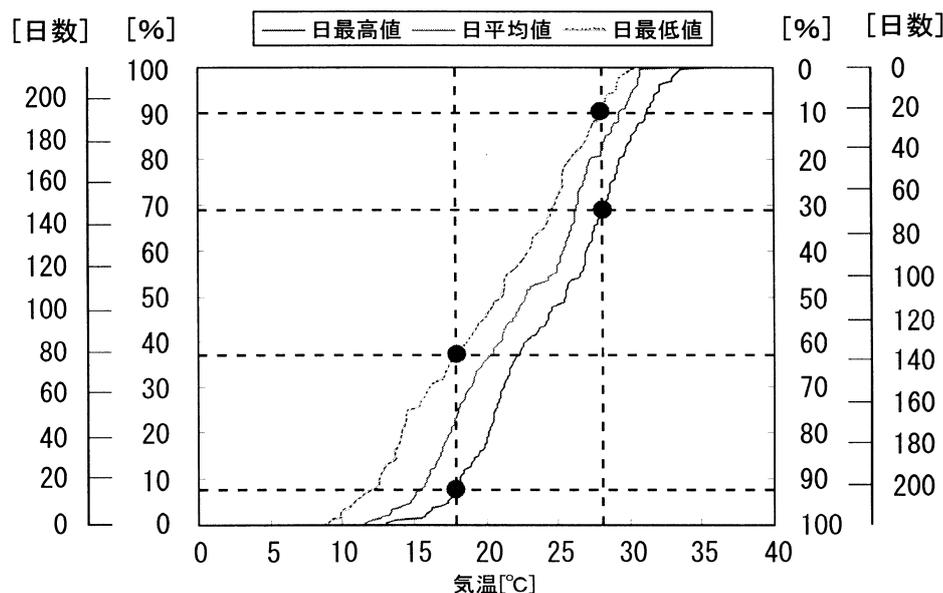


図 3-3 教室気温の累積日数分布 (WH 小学校)

3.4 空調導入校における室内環境と空調利用の状況

福岡市では 2000 年春に、教室と廊下が空間的に一体化したオーブンプラン型小学校（以後、HT 小学校とする）が竣工した。この HT 小学校では、冷暖房切り替えのエアコンが各教室に設置され、それぞれで個別に運転制御が可能となっている。そこで、冷暖房の使用実態、使用時の教室環境に関する年間調査（2002 年夏季～2003 年夏季）を実施した。

(1) 調査の概要

調査対象の HT 小学校は 5 階建て校舎で、2～4 階を教室として、1 階を主に教職員用スペース、5 階を調理室やランチルーム等に利用している。図 3-4 が 3 階フロアの平面図である。教室はオーブンプランの採用で廊下との間に壁はなく、全体が空間的につながっている。図中の N3 は「教師コーナー」と呼ばれ、そのフロアの担任教師の作業スペースであり、通常の職員室に相当するスペースはない。3 階フロアの場合、N1 および S1～S4 は普通教室として、N2、N4 および N5 はフリースペースとして利用されており、すべての教室の天井には冷暖房用の天井カセットが設置されている。また、音楽室等の一部の特別教室は、従来どおり壁に囲まれた教室となっており、これらの教室には熱交換機能付きの換気扇も設置されている。

長期測定は図 3-4 に示す★の位置において実施されている。各フロアでは、図 3-4 と同様の中央部でフロア全体の気温、相対湿度および CO₂ 濃度を 5 分間隔で測定・収録している。音楽室でも同様の測定を行っている。特に 3 階フロアでは、N1～N5 および S1～S4 の各教室の天井吹き出し口付近の温度も 5 分間隔で収録しており、同一敷地内の南側に位置する建物屋上では、外界気象要素の測定も同時に行っている。

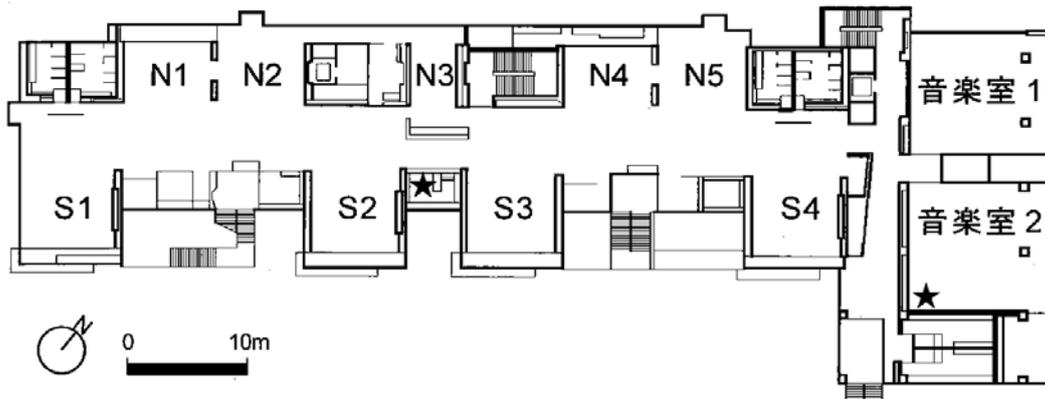


図 3-4 教室棟平面図 (3階)

(2) 冷暖房の使用状況

各教室の天井にある2カ所の吹き出し口付近の、どちらか一方にボタン型温度ロガー（日置電機 3650）を取り付け、吹き出し空気の温度変化を測定・収録し、データを回収後にその温度変化よりエアコン使用の有無を判断している。一例として、図 3-5 に示すように吹き出し口付近温度が急激に低下し、その後変化が安定する時間帯（図中の ON と記載される時間帯）において、冷房が使用されたと判断する。暖房の場合は、冷房とは逆に温度の上昇により判断している。このようにして、のべ9教室の冷暖房の使用時間を1日ごとに求めた。

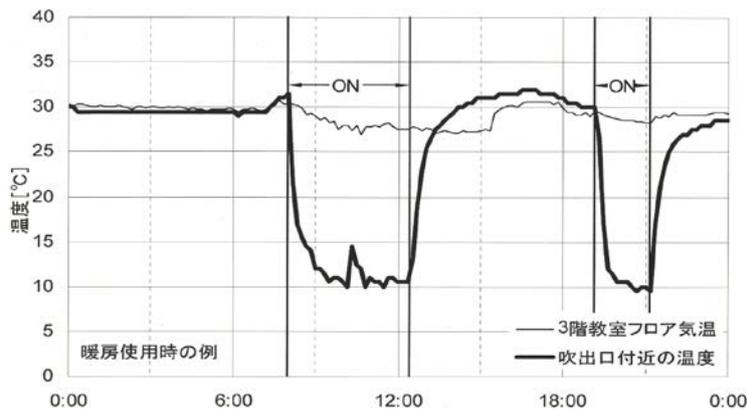


図 4-3-5 冷房の ON・OFF の判断例

(3) 冷暖房の使用期間と時間数

3階フロアの全9台のエアコンについて、1日ごとの使用時間をすべて合計してフロア全体での使用時間数を求め、これを2002年7月から2003年9月までの全日について示したのが図 3-6 である。年度による寒暖の違いはあるが、全体的にみて外気温が上昇し暑くなる

とともに冷房の使用時間数が増加し、冬季は逆に寒くなるにしたがい暖房の使用時間数が多くなる傾向がわかる。冷房は5月下旬頃から徐々に使用時間数が多くなり、ほぼ9月末まで使用が続く。一方、暖房は11月中旬から徐々に使用時間数が多くなり、1月で最も多くその後3月末まで使用が続く。冷房、暖房ともに前述の期間中には、いずれかの教室において常に使用されている。

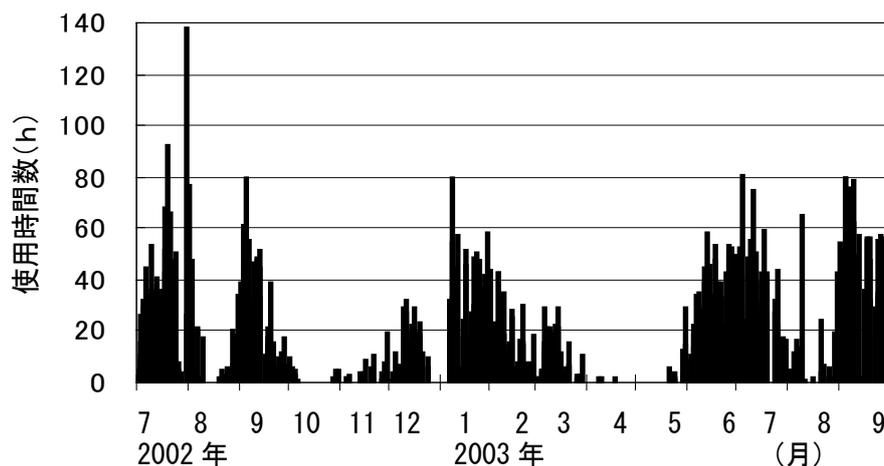


図 3-6 冷暖房の一日あたりのべ使用時間数（全日）

日祭日や土曜日、夏休み等を除き、平日の授業時間帯（9時～15時）におけるのべ時間数を示したのが図 3-7 である。図 3-6 と比較すると、授業がない夏休みや冬休み中であっても冷房や暖房が使用されており、日によっては長時間にわたる使用もみられる。これらの中には、明らかに在室者がいない時間帯の使用もみられることから、冷暖房の切り忘れと思われる場合も含まれている。図 3-6 の7月末にみられる 140 時間に及ぶ日などは、フロア全体のエアコンがすべて使用状態（on のまま）であったと思われる。このようなケースは、10日に一度のデータ回収に訪れた際にも確認されている。

図 3-6 および図 3-7 を比較すると、授業時間帯での使用時間数は全日の使用時間数の約 2/3 に相当し、1/3 が授業時間帯以外での使用時間となる。授業時間帯を 9:00～15:00 としており、この時間帯以外にも児童が在室するケースも考えられるが、児童がいない時間帯での冷暖房使用も多いことが伺える。教室でのエアコンは教師の判断により運転・停止が行われていること、また室ごとの使用状況によれば、N3（教師コーナー）および S3 での使用頻度が比較的高いことから推察される。

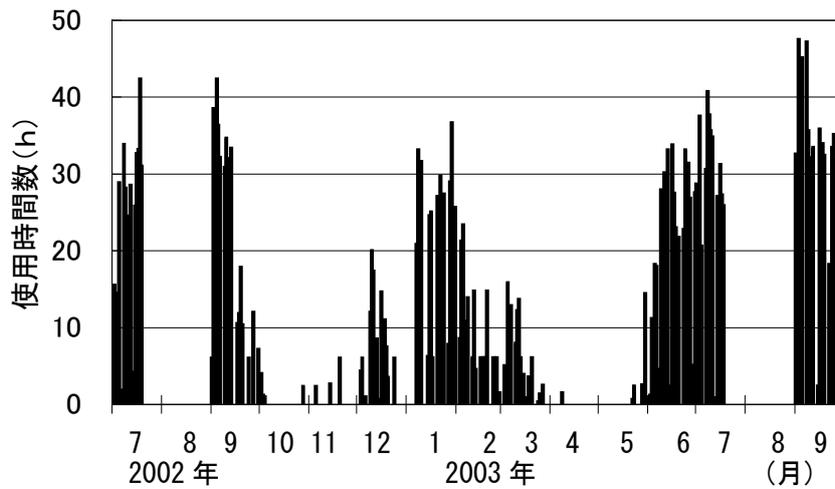


図 3-7 冷暖房の1日あたりのべ使用時間（授業時間帯）

(4) 外気温と冷暖房使用の関係

夏休み等を除く授業時間帯において、3階フロア全教室で冷暖房が使用された場合の使用時間数（9台×6時間）と、実際の使用時間数との割合をエアコン使用率として求める。同様に、夏休みを除く授業時間帯における外気温の平均値を求め、これと先に求めたエアコン使用率との関係を図 3-8 に示す。同図より、授業時間帯において平均外気温度が 15℃～20℃のときには冷暖房が使用されていない。15℃より低くなると暖房が使用され、10℃より低くなると使用率は20%を超え、5℃では40～60%と高くなる。

一方、冷房の場合では暖房に比べて使用率の分布に幅があり、平均外気温が 25℃の場合に使用率は20%～60%にあるが、30℃になると使用率は60%～80%と高くなりその分布幅も小さくなる。概ね 28℃以下では、暖房時に比べ窓の開放などによる対応が容易なためか、同じ外気温であっても冷房の使用状況にはかなり違いがみられる。

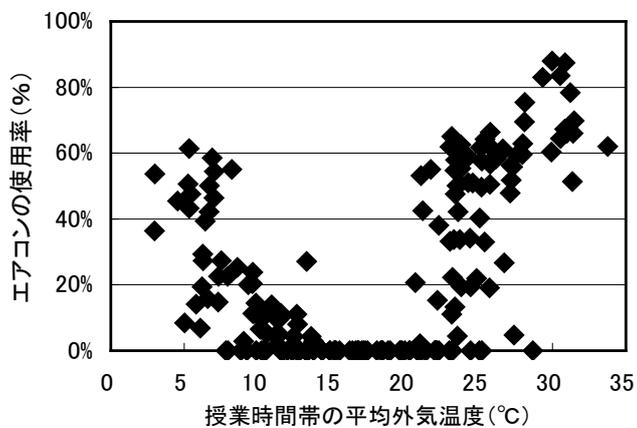


図 3-8 エアコン稼働率と外気温との関係

(5) 冷暖房の使用と教室環境

2002年9月から2003年9月までの冷暖房使用時を含む3階フロアの温湿度、CO₂濃度の測定結果と「学校環境衛生の基準」に示された値とを授業時間帯について比較する。授業時間帯における3階フロア気温および外気温の平均値の年変動を図3-9に示す。また同様の期間について、3階フロアでの授業時間帯における最高気温および最低気温を図3-10に示す。両図においてプロットがない部分は夏休み等の期間である。3階フロア平均気温は、冷房の使用頻度が高い6月、7月、9月において概ね25℃～30℃となっている。また、図3-9および図3-10からフロア気温の変動幅は小さく、外気温が30℃を超えるような場合でもフロア内は30℃以下となっているなど、冷房使用による効果とみられる。

一方、冬季の暖房では、最も使用が多い12月、1月、2月においては授業時間帯のフロア気温は大きく変動しているが、平均気温は20℃前後となっている。特に外気温が5℃前後の低い場合でも、フロア内の気温は15℃程度で維持されており、フロア平均でも15℃～20℃に維持されている。

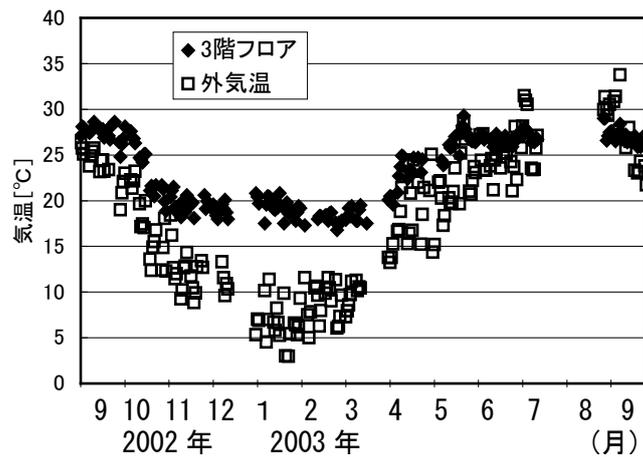


図3-9 授業時間帯における3階フロアと外気の平均気温

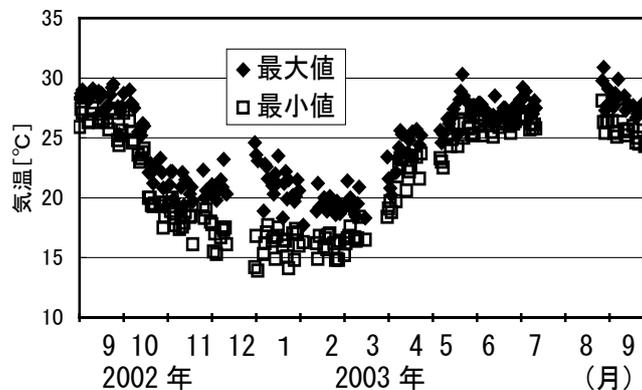


図3-10 授業時間帯における3階フロアの最大・最低気温

(6) 教室フロアの相対湿度

気温同様に授業時間帯における3階フロアでの相対湿度平均値の変化を、2002年9月から2003年7月までについて図3-11に示す。期間を通して相対湿度は30%~70%の範囲で推移するが、冬季には30%を下回る日も多く発生している。教師へのヒヤリングによれば、空気の乾燥を問題とする声も多く、エアコンによる暖房で空気の乾燥も助長されることから、濡れ雑巾をかける等の日常的工夫や、加湿器等の設置を指摘する教師もいた。

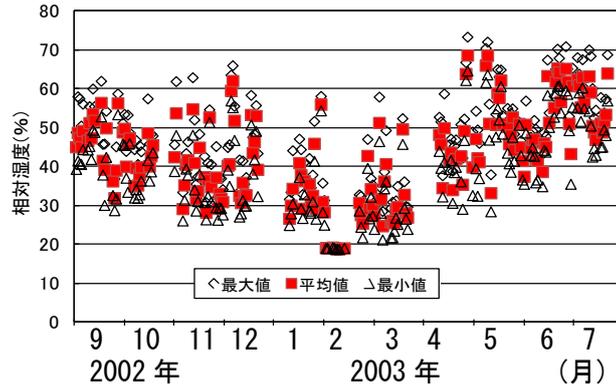


図 3-11 授業時間帯における3階フロアの相対湿度

(7) 教室フロアのCO₂濃度

授業時間帯における3階フロアでのCO₂濃度の測定結果を図3-12に示す。暖房使用が多くなる12月、1月中旬から3月上旬にかけてCO₂濃度が高くなる傾向がみられ、最大で1500ppmを超える日も少なくない。また、冷房使用が多くなる6月下旬頃から夏休み前、夏休み後の9月にかけて濃度が高くなるが、いずれも1500ppmより小さな値となっている。冷暖房を使わない時期は1000ppmより小さな値となり、前述のとおり窓開閉の頻度等が影響してくることから冷暖房使用時の換気不足が懸念される。なお、音楽室での測定結果によれば、同じ授業時間帯での濃度は3階フロアに比べかなり高く、授業がないときでも1000ppmを超えており、授業時には2000~3000ppmと上昇する場合も多い。

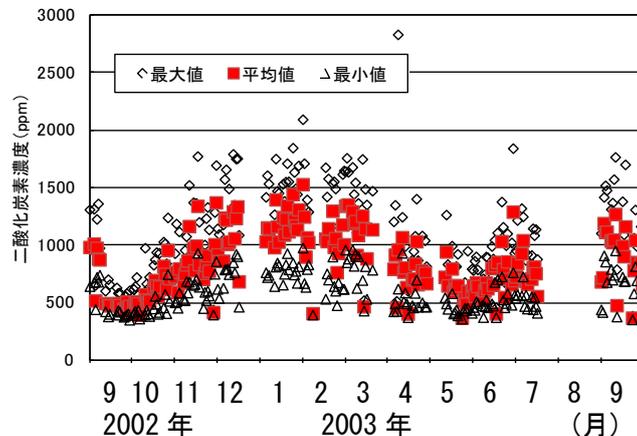


図 3-12 授業時間帯における3階フロアのCO₂濃度

(8) 冷暖房使用に関する児童の意識

2001年10月と2002年3月に児童へのアンケート調査を実施している。調査は、当時の3年生以上の児童を対象として、おもに冷暖房の使用頻度や使用時の暑さや寒さについて尋ねたものである。教室での冷暖房使用は担任教師に一任されており、学校全体での使用に関するガイドライン等は設けられていない。そこで、実際に児童がどのように感じたかを、夏季および冬季の終わりに調査している。

教室での冷暖房使用の回数や長さに関する回答をまとめたものが図3-13である。暖房で全体の70%、冷房では全体の60%が「もっと使ってほしかった」、「ちょうどよい使い方があった」と回答しており、「とくに何も思わなかった」を含めると、ほとんどの児童が使い方に不満を感じなかったという結果であった。また、冷暖房時の暑さや寒さの垂直分布について、児童の回答をまとめたものが図3-14である。暖房時および冷房時ともに「よく感じた」、「ときどき感じた」とする児童が全体の40%程度みられ、このように回答した児童とその担任教師の感じ方を比較したところ暑さや寒さに対する感じ方にも違いがみられ、さらに教室内の座席位置や天井からの空気の吹き出し具合も影響するものと推察される。

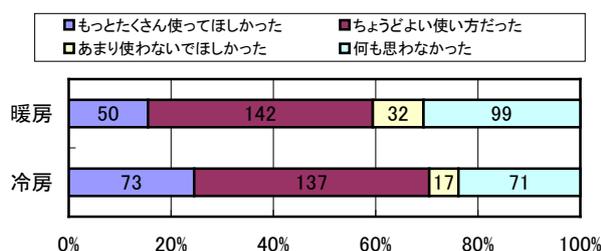


図 3-13 冷暖房を使う回数や長さ

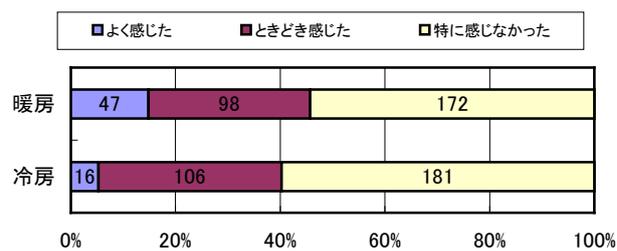


図 3-14 冷暖房時の温度の垂直分布

以上、冷暖房が導入されたオーブンランタイプ教室を対象とした実測結果を紹介した。この調査から、冷暖房により教室内ではある程度適正な温度環境が維持されているものと考えられるが、児童のなかには冷暖房の使用を好まない、あるいは使用時に暑さや寒さのむらを感じるケースも少なくないこと。また、冷暖房の利用にともない教室内の空気質の維持と換気の重要性がより明確になっている。一方で、エネルギー消費量の増大も問題として指摘されており、冷暖房時の教室の環境、それを改善するための教室運営の方法など、現場での具体的な対応を検討することが必要である。当調査の結果は、学校で開催された説明会を通じて、現場の先生方へも伝えられた。

3.5 簡易日除けによる教室の空気温熱環境の改善と冷房負荷軽減

先述の夏季教室の例では、暑さによる授業への集中力低下等の問題、カーテンやブラインド使用時の風によるばたつき、通風環境の阻害などが指摘される。冷房の必要性を感じている教師も少なくないが、ストックとしての学校建築の現状と省エネルギー、健康的な生活環境を考えた場合、建築的工夫により現状を緩和できる方策を検討することも重要である。

そこで、教室内の劣悪で不均一な温熱環境を緩和するひとつとして、後付け可能な日除け材である既製の小庇併用ルーバーに着目し、実際の教室に設置して実使用下での教室環境の実測調査を2006年～2010年に行い、その有効性や問題点について検証した。このルーバー設置により放射環境が緩和され、カーテンを使用せずに窓開放が可能となることから通風環境の確保と光環境の均一化などが期待された。

(1) 調査の概要

1) 常時測定と集中測定

実測対象の小学校は、福岡市東区のCN校と福岡市博多区のHT校の2校で、HY校には航空機騒音対策として冷房が導入されている。両小学校とも3階建てのRC造校舎である。この2校において、ほぼ南面する校舎2階の隣接する2教室を対象とし、南面窓にルーバーを設置した教室(A教室)と設置していない教室(B教室)での結果を比較する。CN校におけるルーバーの設置状況を写真3-1に示す。

実測調査は、年間を通じた長期的な常時測定と、夏季や冬季の休暇中に実施する集中測定の2つに分けて行っている。常時測定では、教室内の温湿度とグローブ温度を10分間隔で計測、記録した(T&Dおんどりを使用)。これに加え、冷房を有するHY校の教室では、冷房の吹き出し口温度も10分間隔で計測、記録した。

CN校における常時測定の測定点を図3-15に示す。両教室とも8000mm×8000mmで天井高は3000mmである。図に示す間隔で器具を設置した。なお、測定高さは授業の妨げにならないように、温度・湿度ともに床上2500mm、グローブ温度は床上2000mmの位置とした。HY校の2教室は9000mm×7000mmで天井高は3000mmであり、測定位置および測定高さはCN校と同様であるが、教室北側の上部にある吹き出し口(2ヶ所)の中央で冷房吹き出し温度も測定した。

長期休暇中に実施する集中測定では、ルーバーの有無による2つの教室の違いを把握するために、常時測定項目に加えて教室分布の詳細や照度等の測定を行った。特に、集中測定では児童の座席高さにおけるグローブ温度の水平分布(窓側、教室中央、廊下側)、南側窓面に床から600mm、1100mm、1700mmの3点でグローブ温度の垂直分布を測定した。

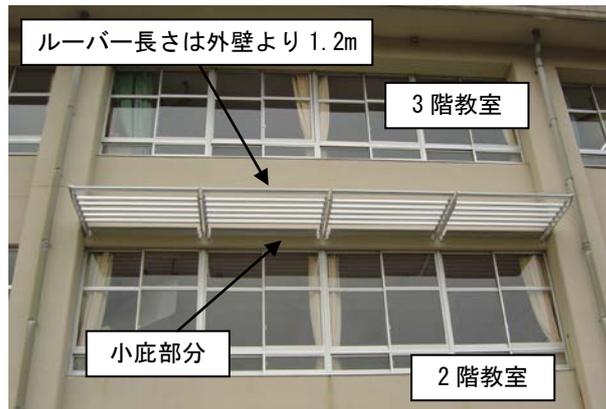


写真 3-1 ルーバーの設置状況 (CN 校)

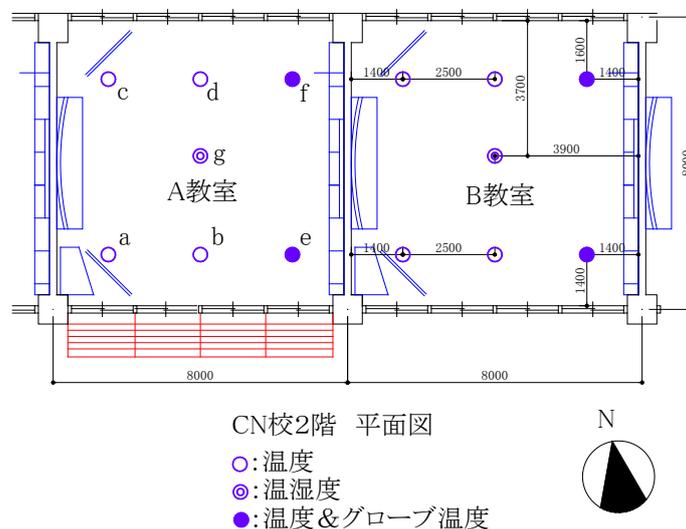


図 3-15 CN 校における常時測定の測定点

2) 冷房による電力消費量

2007 年夏季に HY 校に設置された電力計により、対象教室の冷房使用時の電力消費量を測定した。冷房は 2 教室を 1 台の屋外機で受け持つマルチタイプであり、対象教室はそれぞれの隣接する非対象教室とのセットで冷房運転されている。電力消費量の実測は夏期休暇中に実測対象教室のみで冷房運転を行い、隣接する教室では基本的に窓を閉鎖して冷房運転しない状態とし、実測対象教室の冷房負荷による影響のみが電力消費量に關係するよう、両教室の設定温度等の条件をできるだけ同じにした。

3) 窓開閉とカーテン使用状況に関する調査

屋外に設置した観察カメラにより、対象教室の画像を撮影して窓やカーテンの開閉などの状況を分析・比較した。隣接する教室も併せて、午前 7 時から午後 5 時まで 10 分間隔で撮影した。画像データをもとに窓の開閉率を定義し、これにより開閉状況を分類した。

(2) 常時測定における各種温度の状況

2006年11月～2007年10月までの1年間の実測データをもとに、授業時間帯（9時～16時）における全データから、室温（教室内中央）およびグローブ温度（教室後方の2点）の出現度数を求めた結果、両温度の出現傾向は類似するが出現度数が高い温度はルーバーが設置されていないB教室で高くなることを確認した。これらを月別にして、1月と7月で示したものが図3-16～3-19である。年間での結果と同様に気温の出現傾向は類似するが、全体的にA教室で気温が低くなっていることがわかる。なお、天候別のグローブ温度を比較したところ、晴天日と雨天日における時間別の平均値によれば、晴天時ではA教室南窓側のグローブ温度がB教室のそれよりも2～3℃低くなること、雨天時にはその差がほとんどみられないことが確認されている。教室の後方で床上2000mmに設置されたグローブ温度ではあるが、晴天時でのルーバーによる日射遮蔽の効果がうかがえる結果である。

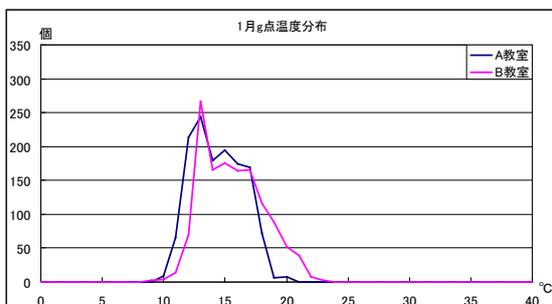


図 3-16 教室中央気温（CN校1月）

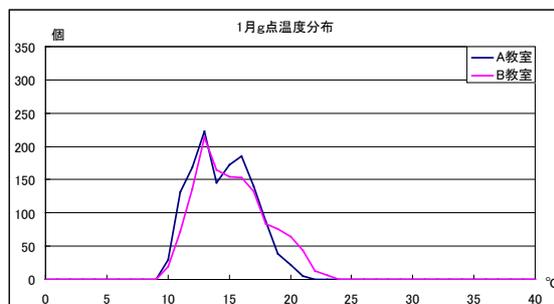


図 3-17 教室中央気温（HY校1月）

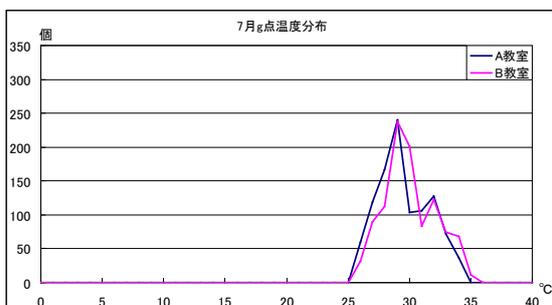


図 3-18 教室中央気温（CN校7月）

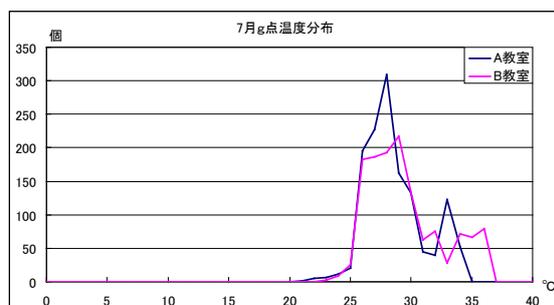


図 3-19 教室中央気温（HY校7月）

(3) 集中測定における温度分布

教室の窓側と廊下側での温度差をみるために、それぞれの測定点3点の平均値を求めて時間変化に示したものを図3-20に示す。同図は2007年8月26日（CN校）における実測値であり、当日は夏期休暇中で教室の窓は閉鎖されている。窓側（a,b,e点の平均値）と廊下側（c,d,f点の平均値）の室温には差が生じており、ルーバーが設置されていないB教室では窓側で40℃近くまで上昇している。教室の窓は閉鎖されており、日射の影響が出る9時

過ぎから B 教室では室温の上昇がみられ、ルーバーを設置した A 教室との温度差が大きくなる。A 教室では室温の上昇が緩和されている。窓を締め切った状態では、ルーバーの有無による室内への日射熱取得の違いが、両教室の室温の差に影響したものと推察される。

次に、夏季（2006年8月23日13時：CN校）におけるグローブ温度の分布を図3-21に示す。当日はルーバーの放射温度への影響を明確にするために、教室の窓は全閉、カーテンは全開としている。南面窓側での垂直分布と教室中央における水平分布を示したもので、いずれもルーバー設置 A 教室の方が B 教室に比べてグローブ温度が低く、教室内での温度差も小さい。この集中測定期間中における両教室のグローブ温度差は、図3-21に示すように日中で約2℃となることがわかった。このように放射環境の緩和に加え、ルーバーの設置により窓開放の容易さやカーテン使用状況が改善されれば、通風による効果も相乗的に期待できるものと考えられる。

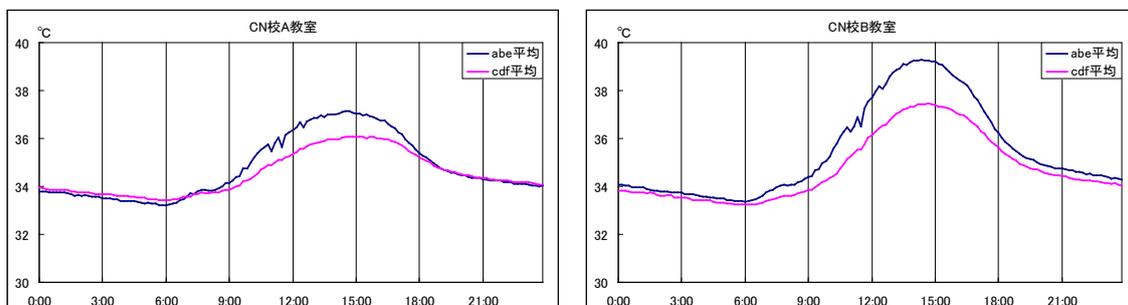


図 3-20 廊下側と窓側の室温の比較（2007年8月26日：CN校）

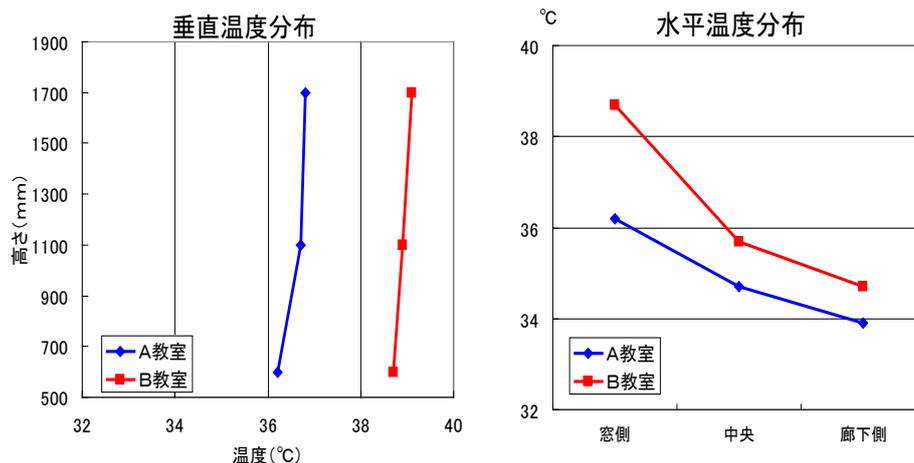


図 3-21 グローブ温度の垂直分布と水平分布（2006年8月23日13時：CN校）

(4) 集中測定における窓・カーテンの使用状況

屋外カメラによる撮影画像を用いて、教室での窓やカーテンの開閉状況について分析し、教室での実測結果との対応を試みた。季節ごとに1週間ほどで設定した期間にカメラを設置して午前7時～午後5時までに10分間隔で画像を記録した。窓やカーテンの開閉状況を開放率で表し、窓ガラス面積に対する開放部の面積比率より25%、50%、75%、100%の4段階として、各教室の状況を撮影後に画像から10分間隔で読み取った。

2007年9月20日にCN校において行った結果を以下に示す。福岡管区気象台における観測結果から、当日は最高気温も30℃をこえる夏季の晴天日であった。窓開閉率およびカーテン使用率を図3-22に、当日の室温の変動を図3-23に示す。A教室では日中に窓を全開にしているのに対し、B教室ではカーテンを使用し始めると同時に、窓の開放率が低下している。図3-23に示した室温をみれば、9時頃から両教室では差がみられ、B教室に比べA教室が約2℃低くなっている。ルーバーにより窓からの日差しを防ぐことにより、窓側でのカーテン使用が少なくなり、同時に窓の開放が可能となり、適度な通風環境が確保されているためと推察される。

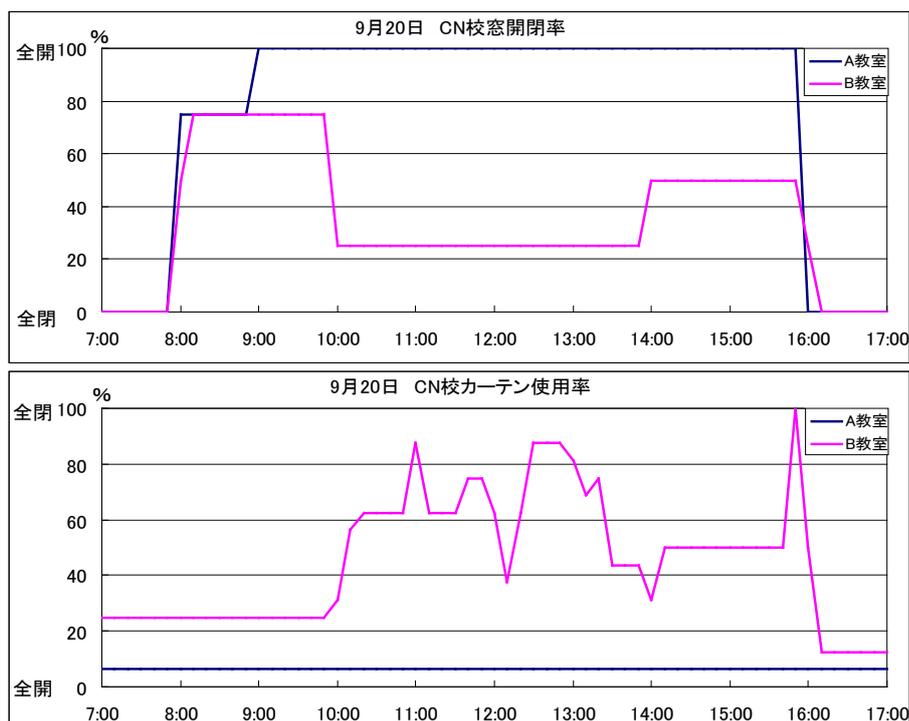


図 3-22 窓とカーテンの使用率の時間変化 (2007年9月20日: CN校)

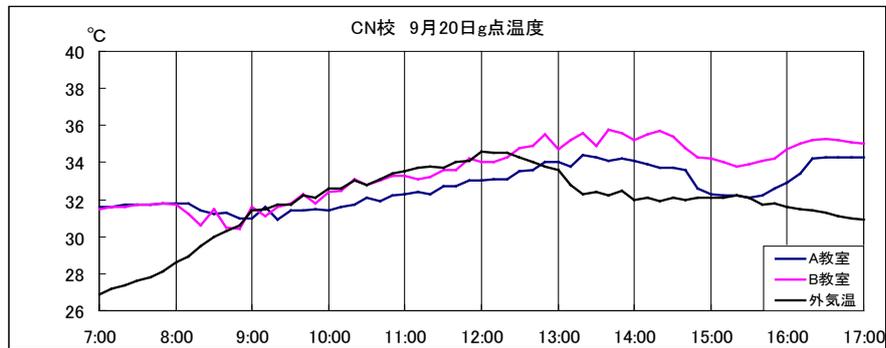


図 3-23 教室中央の室温の時間変化 (2007年9月20日: CN校)

写真 3-2 は、9月20日の10時と15時に撮影したCN校の画像を比較したものである。ルーバーを設置した教室ではいずれの時間も窓が開放され、カーテンは開いた状態であり、上階の教室でもパラペット庇により同様な状況となっている。しかし、これらの周囲の教室では、カーテンは閉じられ、窓も一部しか開放されていない。さらにHY校での撮影画像の比較では、ルーバー設置教室とその上階の教室では窓やカーテンが開けられている日中に、その周辺の教室では窓やカーテンを閉じて冷房を使用している様子も確認されている。調査のなかで実施した教師へのヒアリングによれば、ルーバーの設置により窓やカーテンの使用方法が変わったと意識した回答はなかったが、このように撮影した画像からはルーバーの有無によって使い方に顕著な差異が生じている。



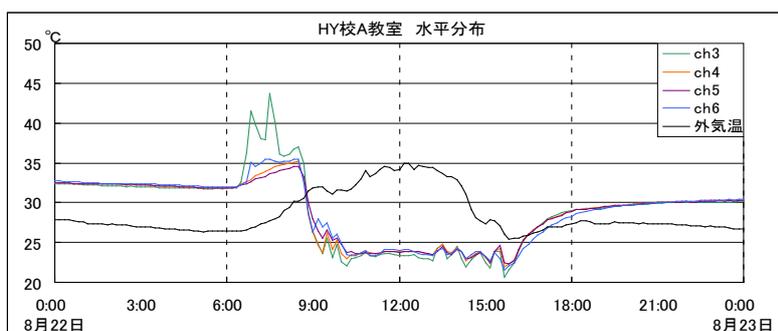
(a)10:00

(b)15:00

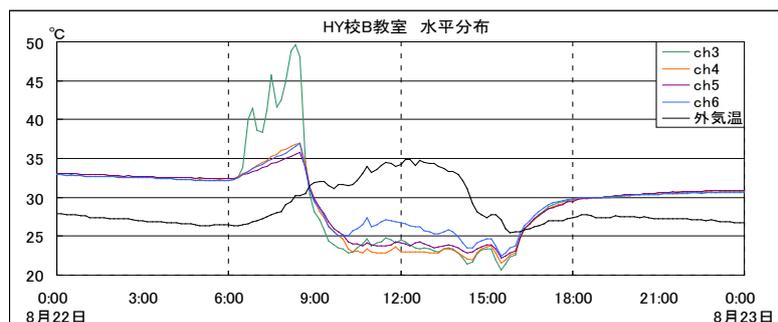
写真 3-2 窓とカーテンの使用状況 (2007年9月20日: CN校)

(5) 冷房使用時の室内環境と電力消費

HY 校を対象に夏季休暇中に冷房使用時の教室内環境および消費電力量の比較を行った。2007 年 8 月 22 日に測定したグローブ温度の水平分布を図 3-24 に示す。当日の福岡管区気象台における観測結果によれば、気温は日中に 30℃をこえるものの夏季の日射量としてはやや少なく、午後には雲もかかり 15 時前後には降雨もあって外気温も低下する状況である。8 月 22 日は、朝 8:00 に両教室で冷房運転（設定温度 25℃）を開始し、16 時まで継続して運転した。冷房停止前に降雨があったが、それまでは概ね晴天であり、この前日も同様に晴天であった。図 3-24 のグローブ温度を両教室で比較すると、冷房開始前に B 教室の南窓側（図中の ch3）で急激な温度の上昇がみられ、A 教室のそれとの差が顕著である。冷房開始後に教室内のグローブ温度は急激に低下するが、B 教室では日中に教室でのグローブ温度の変動が大きく、特に南側に位置するグローブ温度（図中の ch6）が高くなる。これに比べて A 教室での変動は比較的小さく、いずれの場所のグローブ温度も一様となっている。



(a) A 教室 : HY 校



(b) B 教室 : HY 校

図 3-24 グローブ温度の水平分布（2007 年 8 月 22 日 : HY 校）

当日の冷房開始時から停止までの時刻別電力消費量とその積算値の推移を図 3-25 に示す。冷房開始後は同程度であるが、日中から停止時間までをみると、B 教室での電力消費量が大きくなっており、両教室の積算値も時間とともにその差が大きくなる。このことから、A 教室に比べて B 教室での室内熱負荷が大きくなっているものと推察される。

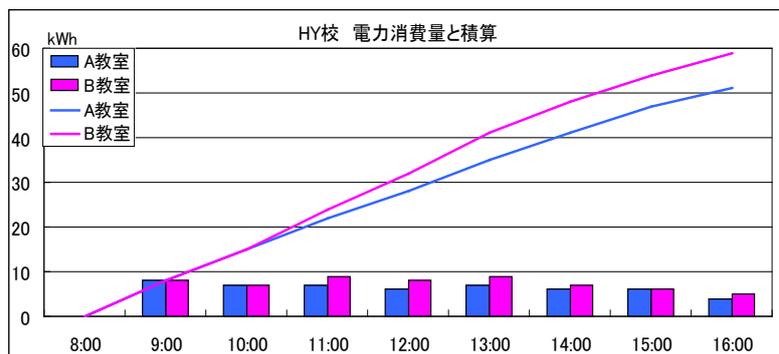


図 3-25 時刻別電力消費量と積算値 (2007 年 8 月 22 日)

(6) 夏季における冷房の使用状況

冷房の吹き出し口で測定した温度から、各教室での冷房使用時間を求め、これらを冷房使用期間の月ごとに集計した時間数(分)で示したものを表 3-1 に示す。9 月においては、両教室で大きな差はみられないが、他の月では A 教室での使用時間が少ないことがわかる。また、2007 年 7 月における時刻別の冷房使用時間を図 3-26 に示す。7 月では、児童が教室にいる時間帯で常に B 教室での冷房使用が多い結果となっている。

表 3-1 月別冷房使用時間数の合計(分)

	6 月	7 月	9 月	計
A 教室	60	700	3410	4170
B 教室	340	1120	3330	4790

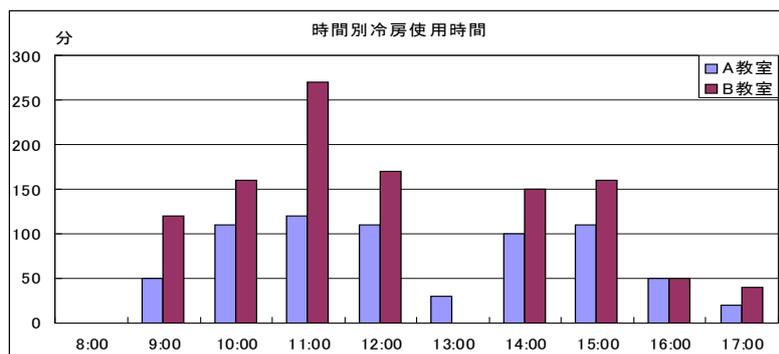


図 3-26 時間帯別の冷房使用時間数 (2007 年 7 月)

以上、小学校普通教室の南側窓上面に小庇併用ルーバーを設置した場合の教室環境改善効果に関する調査より、おもには放射環境、冷房負荷についてルーバー設置の場合と従来の隣接する 2 教室において比較検討した。その結果を要約すれば以下ようになる。

- 1) 夏期晴天日、小庇併用ルーバーを設置することで教室の放射環境は改善される。特に、

教室の南窓側での効果は顕著であり、グローブ温度は測定結果より最大 3℃低下する。

- 2) 小庇併用ルーバーの設置により直射を遮蔽できるため、教室でのカーテン使用頻度が減少し、従来教室に比べて通風が確保されることを示した。また、小雨であれば、窓を開けたままでの授業も可能である。
- 3) 冷房機器が設置されている HY 校では、小庇併用ルーバーによって窓面入射日射が抑制されるため、従来の教室に比べて電力消費量が約 15%低減されること、また、冷房使用時間数が従来教室に比べて約 15%少なくなる。

3.6 おわりに

温暖地域である福岡市での測定例を中心に、小学校教室での空気温熱環境の実態、空調設備の使用状況と室内環境への影響、現状の暑熱緩和に有効な手法の提案などについて紹介した。夏季日中の授業中の教室は、窓を開放した状態であればほぼ外気と同じ状態で非常に暑く、授業への影響も大きいと思われる。この暑さの要因のひとつは大きな開口をもつ外壁面からの厳しい放射環境であり、これを調節することで暑さが軽減できることを示唆している。

一方で、冷房や暖房が設置された教室では、外気温度や担任教師が児童の様子をみながら運転・停止を行う場合が多く、一度、運転を始めるとそのまま窓を閉め切った状態で継続することもあり、室内の空気質に対してあまり意識されていない。締め切った教室では CO₂ 濃度でみても基準値の 1500ppm をこえることも多く、3000ppm をこえる値も測定されている。したがって、換気を心がけ計画的に空気の状態を調節できるような判断も必要だと思われる。換気扇等の換気設備がある場合も、その原理や使い方なども周知の必要があるように感じる。特に、特別教室等の常時利用されない教室では、使用前に換気を行うなどの対応も必要であろう。

以上、本稿で紹介した事例を含め、これらの結果から認識すべき問題を現場の教師が認識して、対応が可能なガイドライン等を整備することが必要である。

参考文献

- 1) 塩月義隆：福岡市における学校建築の室内温熱環境に関する調査研究、科学研究費補助金一般研究(C)研究成果報告書(研究課題番号：06650658、代表者：塩月義隆)、1995.3.
- 2) 塩月義隆：学校建築の教室環境改善に関する総合的研究、科学研究費補助金基盤研究(B)研究成果報告書(研究課題番号：09450221、研究代表者：塩月義隆)、2000.3.
- 3) 北山広樹ほか 4 名：オーブンプラン型小学校の快適性に関する研究—教師および児童へのアンケート調査、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学 I、pp.1007-1008、2002.8.
- 4) 北山ほか：オーブンプラン型小学校の快適性に関する研究—暖冷房の使用状況と教室環境について、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学 I、pp.941-942、2003.9.
- 5) 北山ほか：小学校普通教室への冷房導入に関する基礎調査(その 1)福岡市立小学校の施設

- 概要とエネルギー消費の実態、日本建築学会九州支部研究報告、No.44-2、pp.301-304、2005.3.
- 6) 前田ほか：小学校普通教室への冷房導入に関する基礎調査(その2)冷房導入教室の実測調査、日本建築学会九州支部研究報告、No.44-2、pp.305-308、2005.3.
 - 7) 北山ほか：小学校における冷房使用とエネルギー消費に関する調査研究(その1)福岡市立小学校の年間電力消費、日本建築学会学術講演梗概集、環境工学 I、pp.933-934、2005.9.
 - 8) 前田ほか：小学校における冷房使用とエネルギー消費に関する調査研究(その2)教室における冷房使用の実態、日本建築学会学術講演梗概集、環境工学 I、pp.935-936、2005.9.
 - 9) 前田ほか：小学校における冷房使用とエネルギー消費に関する調査研究(その3)教室における冷房使用の実態、日本建築学会学術講演梗概集、環境工学 I、pp.871-872、2006.9.
 - 10) 北山ほか：小庇併用ルーバーを設置した小学校教室の環境調査(調査概要と実測結果)、日本建築学会九州支部研究報告、No.46-2、pp.425-428、2007.3.
 - 11) 前田ほか：小学校の教室環境における小庇併用ルーバーの効果(その1)調査概要と集中測定結果、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学 I、pp.951-952、2007.3.
 - 12) 学校環境研究会：小庇併用ルーバーを設置した小学校における教室環境の比較調査報告書、2008.6.
 - 13) 前田ほか：小学校の教室環境における小庇併用ルーバーの効果(その2)窓・カーテンの使用と教室環境、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学 I、pp.1245-1246、2008.9.
 - 14) 北山ほか：小学校の教室環境における小庇併用ルーバーの効果(その3)光環境と冷房使用時の教室環境の比較、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学 I、pp.1247-1248、2008.9.
 - 15) 前田ほか：小庇併用ルーバーを設置した小学校教室の環境調査(窓・カーテンおよび冷房の使用状況の比較)、日本建築学会九州支部研究報告、No.48-2、pp.465-468、2009.3.

4 蒸暑地域の小学校における空気汚染の実測例

4.1 はじめに

学校は居住密度がオフィス等に比べて高いことや、窓開放などの行為が教師や児童・生徒らの主体性に任されていることも多いことから、冬季には実質自然換気程度の換気となり、暖房を行っていない場合でも RC 造の校舎では室内空気汚染が高くなっていることは考えられ得る。また、冷房が導入された教室では、夏季においても換気不足となり、シックビルディングシンドロームの諸症状を引き起こすといわれているホルムアルデヒド（以下 HCHO）や揮発性有機化合物（以下 VOCs）等の化学物質濃度の上昇が考えられる。

HCHO 濃度や VOCs 濃度の室内空気質研究に関しては、住宅やオフィスにおいては進められつつあるが、学校に関しては研究例も少ない。児童にとっては住まいと同様に一日の中で多くの時間を過ごす生活の場であり、教師にとっては職場である、学校においてその実態を把握し、よりよい空気環境を形成するための資料を得ることは特に心身の発育の途上にある児童・生徒らの健康面や学習の面で重要であると考えられる。

児童の日常の生活行動（居住行動）に伴って行われる窓開放などの行為の相違による換気量と、それに伴って変動する教室内空気汚染度を季節毎に把握することが有用であると考え、鹿児島市内にある 3 つの小学校において、通常の授業が行われている状況下で、窓開放状況や換気扇使用状況を観察すると同時に空気質の測定を行うことを計画した。児童登校前から放課後にかけて学校内の数カ所で VOCs 濃度や二酸化炭素濃度等の空気質の実測を行う一方、教室内の換気回数をトレーサーガス法にて計測した。また、児童と担任教師を対象とした空気環境に関するアンケート調査を行い、児童らの意識を把握することを試みた。ここでは、夏季、秋季、冬季に行った VOCs 濃度、HCHO 濃度測定及び換気回数測定の結果について報告する^{1),2)}。

4.2 実測概要

(1) 実測対象校

表 4-1 に、実測を行った 3 つの小学校の実測日、築年数、改修の有無及び測定対象教室の児童数、表 4-2 に各対象校における測定箇所の窓面方位及び教室の階数を示す。F 小学校は周囲に学校が多い地区に位置している。RC 造三階建ての校舎は築 41 年である。F 小学校では、全ての普通教室および音楽室等の教室と廊下の中の窓(音楽室は戸も)を、暑さ対策等の事情から、夏季の間は常時とりはずした状態であり開放的であった。秋季及び冬季測定の時期には窓（音楽室は戸も）が取り付けられていた。

T 小学校は、比較的大規模の RC 造三階建ての小学校である。3 棟の校舎があり、その内の 1 つの校舎では 2000 年 3 月に大規模改修工事が完了したところであった。普通教室では改修後間もない新校舎に位置する 6 年 A 組教室と、旧校舎に位置する 5 年 A 組教室の 2 教室を対象とした。夏季測定時の 5 年 A 組教室は廊下側窓及び教室出入り口戸を外していたが、6 年 A 組教室では取り付けたままであった。秋季及び冬季の測定の時期には、両教室共

窓及び戸は取り付けられていた。

表 4-1 実測時期、対象校築年数及び対象教室児童数

	夏季実測	秋季実測	冬季実測	築年数	改修工事	工事終了後経過年
F小学校	6/23 (44*)	11/9 (39)	2/1 (41)	41年	未	0~1年
T小学校	7/3 (36) (40)	11/20 (37) (37)	1/30 (35) (39)	33年	済 未	
Y小学校	7/11 (33)	11/15 (38)	2/14 (35)	33年	済	2~3年

夏季、秋季実測は2000年、冬季実測は2001年

* ()内の数字は測定普通教室の在室児童数を示す。

但し、T小学校では、上段が6年A組、下段が5年A組の児童数

表 4-2 測定箇所の窓面方位及び教室の階数

測定箇所	窓面方位	階数
F小学校		
6年A組教室	SW	3/3
コンピューター室	SW	3/3
音楽室	SW	3/3
イングリッシュルーム	SW	1/3*
T小学校		
6年A組教室	W	3/3
5年A組教室	W	3/3
理科室	E, W	1/3
音楽室	E, W	3/3
コンピューター室	W	2/3
Y小学校		
6年A組教室	SSE	3/3
理科室	SSE	3/4
音楽室	SSE	4/4
コンピューター室	SSE	4/4
図書室	SSE	3/4
図工室	WSW	1/3

* 3階建校舎の1階に
位置する教室の意

Y小学校は、鹿児島市の中心部に建つRC造三階建て（一部四階）の小学校である。測定対象の6年A組教室は、三階にあり、校舎の前には交通量の多い幹線道路及びガソリンスタンドがある。校舎は1998年3月に大規模改造工事が終了している。Y小学校では、夏季の間は、窓と教室出入り口戸は取り外した状態であったが、秋季及び冬季の測定の時期には取り付けられていた。

なお、実測を行った3小学校の普通教室には、冷暖房設備は設置されていなかった。一方、コンピューター室はコンピューター保守等の理由から3小学校全てに冷房設備が設置されており、在室の際は冷房を行っており窓および戸は常時閉めたままであった。さらに、T小学校とY小学校の音楽室、Y小学校の図書室には冷房設備が設置されており、気温28℃以上あるいは相対湿度80%以上の場合、冷房を行っていた。また、3小学校の普通教室の床

材は木質系タイルであったが、F 小学校のコンピュータ室、音楽室、イングリッシュルーム、T 小学校のコンピュータ室、音楽室、Y 小学校の図書室はカーペットが床全面に敷かれていた。なお、T 小学校に関しては理科室と音楽室は 6 年 A 組と同じ時期に、コンピュータ室はその実測の前年 3 月に改修工事が完了していた。また、3 小学校では、教室の外気に面した窓には前後に 1 つずつ換気扇が設置されていた。実測に先駆けて行った各学校管理者（代表者）へのヒアリング調査の結果、構内では除草剤、防虫剤（樹木を含めて）等は使用しておらず、一部の学校では年に 1～2 回床にワックスがけを行っているとのことであったが、実測を行った前後にはワックスは使用されていない。

(2) 測定方法

測定項目は空気温度、相対湿度、CO₂ 濃度、ホルムアルデヒド（HCHO）濃度（AHMT 比色法）、VOCs 濃度（GC/MS 法）、換気回数（SF₆ 濃度減衰法）である。表 4-3 に夏季測定における典型的な実測スケジュールを示すが、各対象校ごとに、詳細な測定スケジュールや測定箇所、測定項目、測定頻度は異なっている。

表 4-3 夏季測定の典型的な実測スケジュール（F 小学校の例）

時間	時間割	6年A組児童在室状況	実測スケジュール	温・湿度は教室及び外気で連続測定	教室内CO ₂ 濃度連続測定*	窓・戸開閉及び換気扇使用状況の記録
7:00			実測開始			
			VOC測定			
	児童登校	一部の児童在室	児童が窓を開ける			
8:20～8:35	朝の活動	同				
8:35～8:45	朝の活動	全児童在室	アンケート調査実施			
8:45～9:50	1校時	同	VOC測定、換気回数測定			
9:55～10:35	2校時	同				
10:50～11:30	3校時	全児童在室	VOC測定、外気VOC測定			
11:40～12:20	4校時	同				
12:20～13:00	給食	同				
13:40～13:55	掃除	一部の児童在室	VOC測定			
14:00～14:40	5校時	全児童音楽室に在室	音楽室VOC測定 コンピュータ室VOC測定			
15:30～17:20	放課後	児童下校後不在	HCHO濃度測定 VOC測定、外気VOC測定 換気回数測定			
17:30			実測終了			

* F小学校のみ測定

秋季及び冬季測定は主に、普通教室においては午前中に 1 回、午後には 1 回、VOCs 濃度測定を行った。VOCs 濃度測定に際し、空気はサンプリングポンプを用いてテナックス管に約 1 リットルを通過させることによって VOC 成分を吸着させた後、ガスクロマトグラフ/質量分析装置（GC/MS）で分析を行った。CO 濃度、CO₂ 濃度は、F 小学校についてのみ、日中連続測定を行った。HCHO 濃度及び換気回数は放課後に測定を行ったが、F 小学校については授業中においても換気回数測定を行った。窓や戸の開閉や換気扇の使用については児童や

教師に普段通りに行ってもらい開閉状況及び使用状況について一日を通して観察・記録を行った。気温、相対湿度は登校前から放課後にかけて連続測定を行った。

4.3 実測結果および考察

(1) 空気温湿度

夏季・秋季・冬季の各1日における各小学校普通教室の気温及び相対湿度の平均値を図4-1~3に示す。図中の気温、相対湿度の値は、実測日における9:00~15:00の測定データの平均値であり、プロットに付属している縦線は教室内気温の標準偏差を示している。夏季のF小学校6年A組教室の気温平均値は30℃を超え、相対湿度は65%~70%（絶対湿度18g/kg'）で推移した。「学校環境衛生基準」は、夏期において温度は30℃以下であることが望ましく、最も望ましい温度は25~28℃、相対湿度は30~80%、としている。温度と相対湿度をそれぞれ別に評価すると、この基準を大幅には超えていないが、気温が30℃を超え、高湿度で静穏気流の室内では極めて不快に感じる。実際に、多くの児童が授業時（着席状態で代謝量は低い）に発汗した汗をタオルでふきとっていた。また、T小学校の夏季教室気温平均値は31℃を越え、Y小学校においては32℃を超えており、夏季の熱環境はかなり厳しい。なお、特別教室あるいは体育館（運動場、プール）で授業が行われた時間帯は教室に児童は不在であり、昼休み時間にもほとんどの児童が不在である。不在時間は教室によって多少異なったが、2時間前後であった。F小学校を例にとると、表4-3に示すように5校時（14:00~14:40）は音楽室で授業が行われたため6年A組教室に児童は不在であった。この時間帯においては教室内気温は外気温よりも平均値で1.5℃低い状態であった。このことは、全ての授業が教室で行われる場合、図4-1~3に示した夏季の教室内気温平均値がさらに高い値を示すことを意味している。

一方、冬季においては授業時の教室内気温平均値は外気温平均値よりも平均して5℃程度高い。授業が始まり児童が全員着席し窓や戸を全て閉じると気温は徐々に上昇し、休憩時に戸を開放すると温度が下がるという変動を繰り返していた。

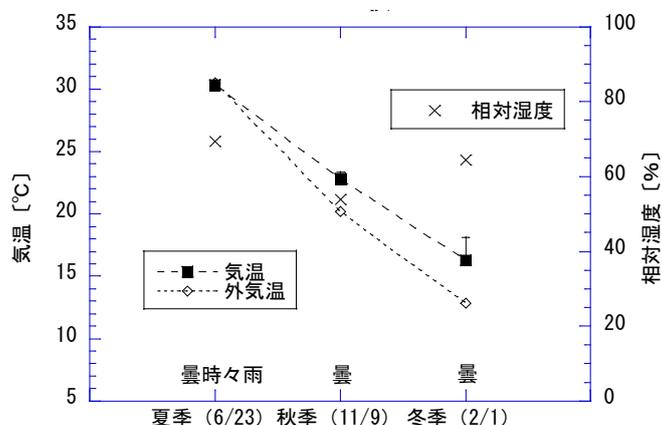


図 4-1 F 小学校 6 年 A 組教室の各季節における気温・湿度

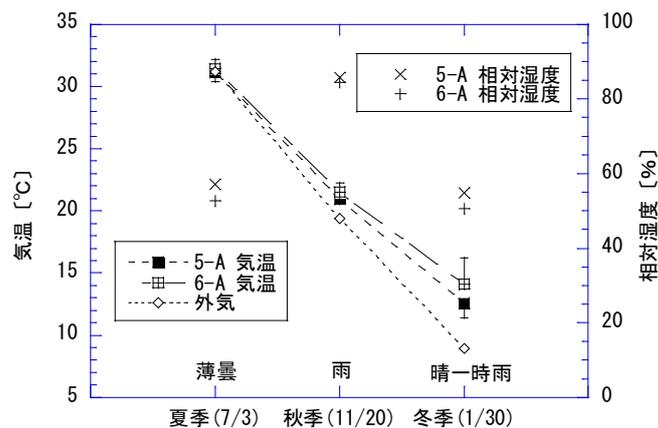


図 4-2 T 小学校 6 年 A 組及び 5 年 A 組教室の各季節における気温・湿度

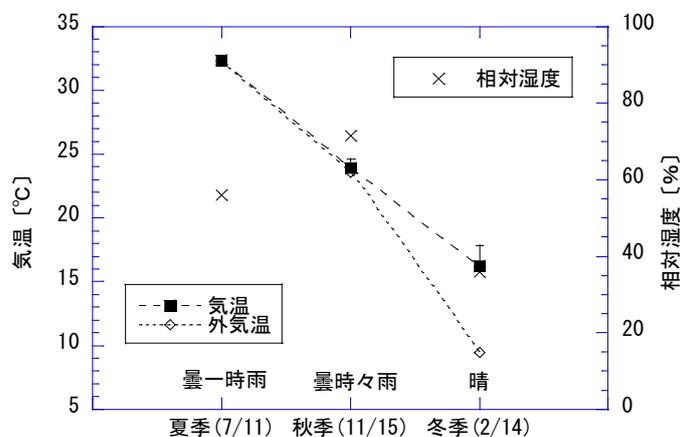


図 4-3 Y 小学校 6 年 A 組教室の各季節における気温・湿度

「学校環境衛生基準」は、冬期において温度は 10℃以上であることが望ましく、最も望ましい温度は 18～20℃としている。冬季の実測日(1/30、2/1、2/14)は外気温平均値がおおよそ 10℃程度であったため、教室内気温平均値は 10℃以上という基準を満たしていた。しかし、T 小学校の 5 年 A 組教室内の気温は児童が揃った状態である朝の会の時間帯であっても 10℃を下回っており、その後の授業時気温は 10℃から 14℃の範囲で推移していた。授業中においても外出用の防寒着を着ている児童がみられるなど着衣で調節している様子が観察されたことから、着席した状態の児童にとっては快適な周囲気温ではないことが窺える。

(2) 換気回数

F 小学校 6 年 A 組の授業中における各季節ごとの換気回数経時変化を図 4-4 に示す。換気回数は、トレーサーガス濃度の減衰データをザイデルの式にあてはめ最小二乗法により統計的に求めた。トレーサーガス濃度減衰時間は 15～30 分であり、図 4-4 中の換気回数のデータは、その減衰時間の中間の時間にプロットされている。F 小学校 6 年 A 組教室の南南西の外気に面した窓は上下 2 段であり壁全面に設けられているが、上段の窓は年間を通し

て開けられることはなかった。よってこの教室の開口部全開とは、上段の窓を除いた他の開口部が全開になっている状態である。図 4-4 をみると、開口部開閉状況の相違により換気回数が変動している。また、授業中における換気回数測定は、前述したようにトレーサーガスの攪拌を行っていなかったため、通風輪道が生じていた可能性も考えられる。開口部の開閉状況が 1 日を通して全開の状態、比較的、値が安定している夏季をみると、換気回数は約 10 回/h であり、開口部を全て開放している期間の換気回数が非常に多いことがわかる。

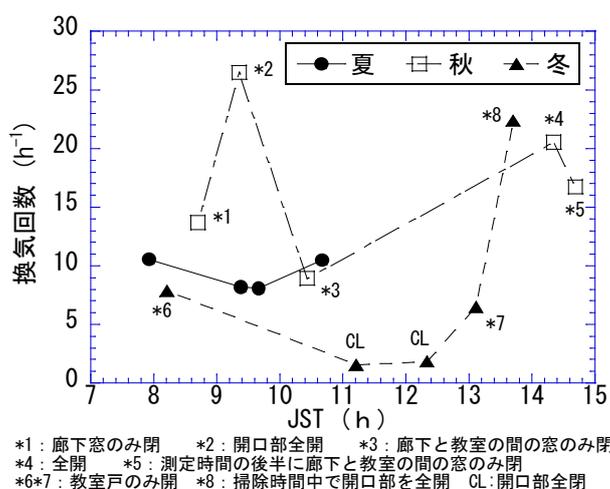


図 4-4 F 小学校 6 年 A 組の授業中における各季節ごとの換気回数

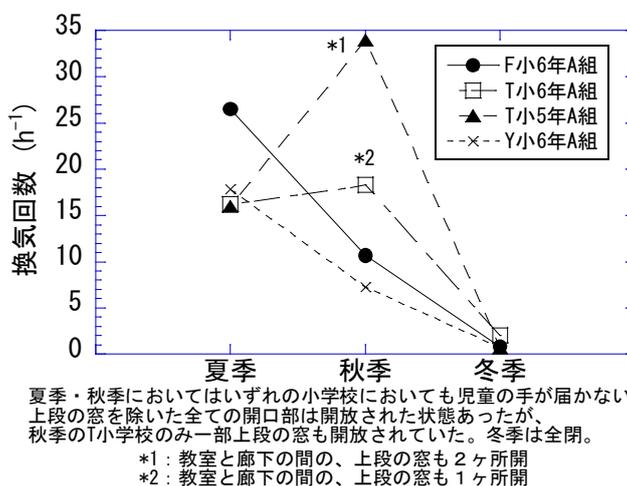
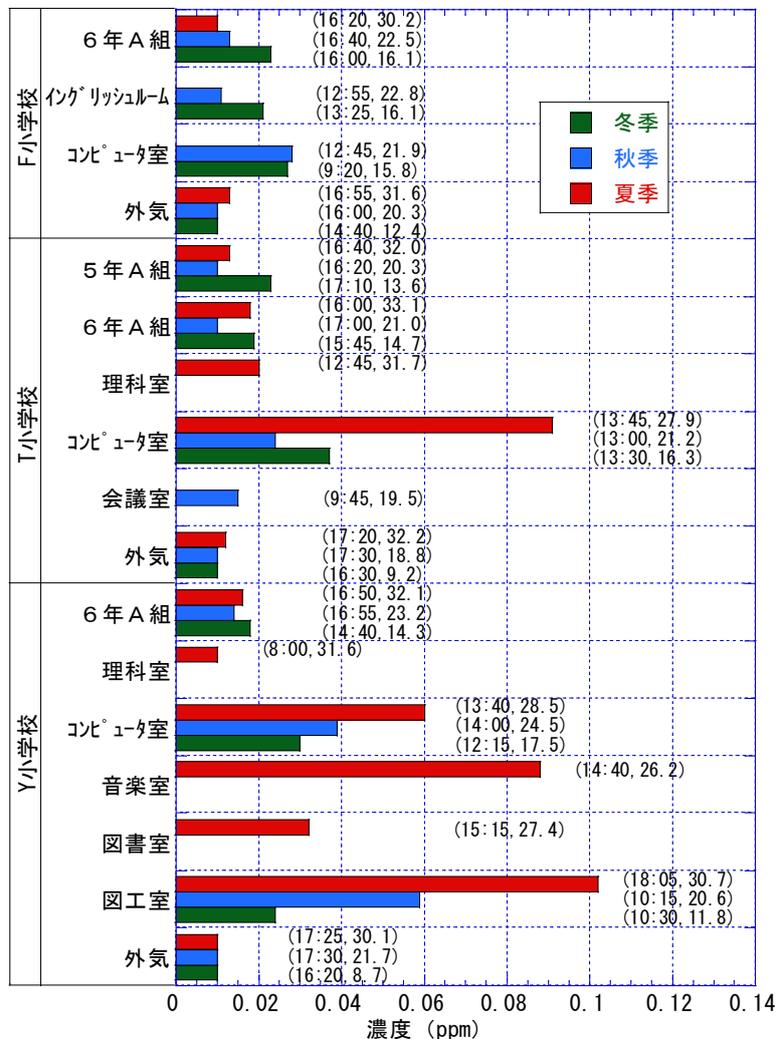


図 4-5 各小学校普通教室の放課後における換気回数

各学校の対象普通教室の放課後における換気回数の季節変化を図 4-5 に示す。冬季の値のみ、開口部閉鎖状態での測定結果である。4 教室の換気回数平均値は、夏季が 19 回/h、秋季が 18 回/h、冬季が 1 回/h である。冬季に得られた窓・戸閉鎖時の値は「学校環境衛生基準」で示された換気回数の 2.2 回/h という基準値を下回る結果となった。

(3) HCHO 濃度

図 4-6 に各教室における HCHO 濃度簡易測定結果を示す。測定値は各室において 30 分にわたる測定を 1 回行った測定の結果である。普通教室における HCHO 濃度測定は放課後の換気回数測定と同じ時間に行ったため、教室に児童は不在であり、換気回数は夏季・秋季が約 18 回/時、冬季は約 1 回/時の状態での測定値である。ほとんど、どの教室においても HCHO 濃度は、厚生労働省の住宅における HCHO 濃度ガイドライン値である 0.08ppm を下回っていたが、夏季は、一部の特別教室において、HCHO 濃度が 0.08ppm を超えている。これらは主に、冷房のために窓及び戸を閉鎖している教室である。Y 小学校の図工室で HCHO 濃度が高くなっているが、これは木製品である椅子、作業台からの発生ではないかと推測される。なお、絵の具等の画材は置かれていなかった。



図中 () 内は (時刻, 温度 (°C)) を示す。
 時刻: HCHO濃度測定に要した時間は30分間である。
 図中には測定開始後15分経過時の時刻を示す。
 温度: HCHO濃度測定時間帯の各教室及び外気における平均気温を示

図 4-6 各教室における季節ごとの HCHO 濃度測定結果

(4) 普通教室における VOCs 濃度

各室において捕集した空気は GC/MS 法を用いて約 20 種類の VOCs に関して同定及び定量を行った。この内、トルエン、キシレン、パラジクロロベンゼン、エチルベンゼン、スチレン、テトラデカン、ノナルの 7 種類と発癌性物質であるベンゼンを含む 12 種類の VOC 濃度について検討した。TVOC 濃度は同定及び定量を行った各 VOCs 濃度の合計値であり、上述した VOCs 以外の VOCs も含んでいる。各小学校の普通教室においては、夏季のみ児童が登校する前の開口部を閉鎖した状態で測定を行っている。なお、T 小学校の夏季(7/3)測定日は月曜日であり、前前日の土曜日は授業が行われていることから、測定時において開口部は二晩閉鎖された状態であった。夏季の他の 2 小学校に関しては、前日に授業が行われており一晩閉鎖された状態であった。T 小学校のみ閉鎖時間がやや長い、空気質レベルはいずれの小学校の場合も児童登校前にはほぼ定常に達しているものとみなした。

1) 3 つの小学校の比較

図 3-7 に 3 小学校の普通教室における、夏季の児童登校前の開口部が閉鎖された状態での VOCs 濃度と授業時の開口部が開放された状態での VOCs 濃度を示す。図 4-8 に各測定日の外気の VOCs 濃度を示す。図 4-7 に示している教室はいずれも築 30 年以上が経過している教室である。前日から閉めきった状態である教室の VOCs 濃度は、児童登校後の、窓を開け換気がされた状態と比べると各 VOC 濃度においてやや高い傾向がみられる。F 小学校においては特にパラジクロロベンゼンが高い値を示しているが、これは I/O 比(室内濃度と外気濃度との比)が 170.5 と高く、校舎内発生の VOC であると考えられる。図 4-9 に F 小学校のトイレ及びイングリッシュルームにおける VOCs 濃度を示す。秋季実測における結果であるが、トイレで高濃度のパラジクロロベンゼンが検出されていることから、発生源はトイレの防臭剤ではないかと推測できる。夏季の教室は教室と廊下の間の窓を取り外しており、トイレも近いため、トイレ内で発生したパラジクロロベンゼンが教室内に流入し、濃度が高くなったものと思われる。冬季のイングリッシュルームにおいてもパラジクロロベンゼンの濃度がかなり高いが、これは、当室がトイレに隣接しているため同様に影響を受けているものと考えられる。



図 4-7 3 小学校の対象普通教室における夏季の児童登校前及び授業時の VOCs 濃度

T 小学校の 5 年 A 組(外気中には検出なし、トイレとの位置関係は F 小と同じ)でも同様である。また、図 4-7 をみると Y 小学校では授業時にベンゼン濃度が高いが、これは本小学

校が交通量の多い道路に面し、ガソリンスタンドも近い為、外気のベンゼン濃度が高くなる時がみられるためである。しかしその他の VOCs に関しては濃度はいずれの場合も低い。厚生労働省のガイドラインでは、トルエン濃度 $260\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、キシレン濃度 $870\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、パラジクロロベンゼン濃度 $240\mu\text{g}/\text{m}^3$ という値が示されているが、普通教室でこのガイドライン値を超える箇所はなかった。

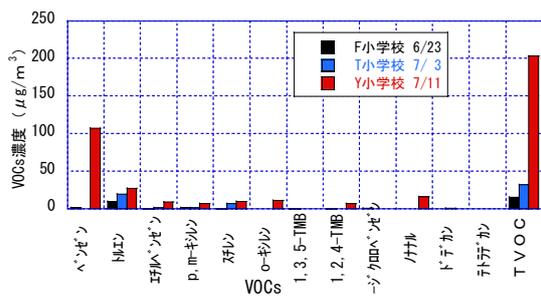


図 4-8 夏季の外気 VOCs 濃度及び TVOC 濃度

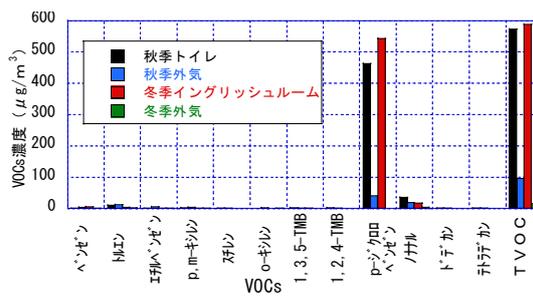


図 4-9 F 小学校トイレ及びイングリッシュルームの VOCs 濃度

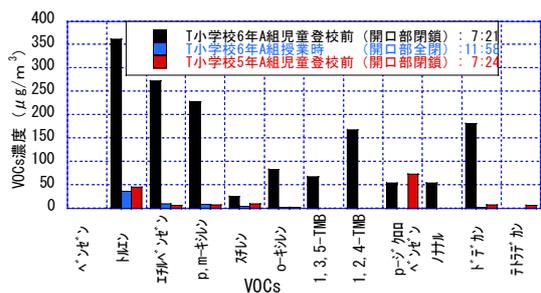


図 4-10 T 小学校夏季児童登校前及び授業時の VOCs 濃度

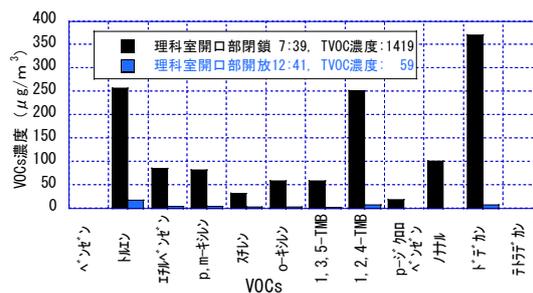


図 4-11 T 小学校夏季の理科室における VOCs 濃度

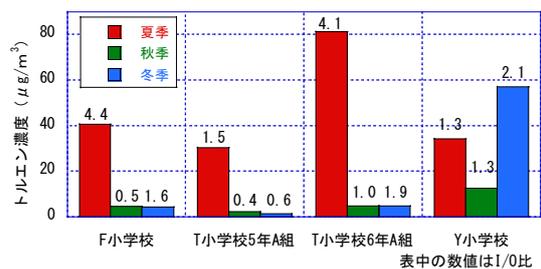


図 4-12 各小学校の対象普通教室におけるトルエン濃度

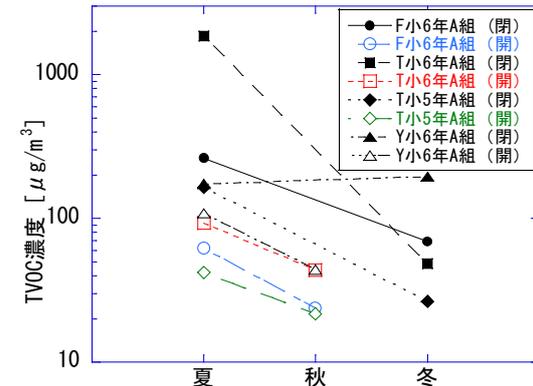


図 4-13 各小学校の普通教室における各季節の TVOC 濃度

2) 改修工事による影響

図 4-10 に T 小学校の 6 年 A 組と 5 年 A 組における児童登校前の開口部を閉め切った状態での VOCs 濃度を示す。児童登校前の 6 年 A 組の濃度と 5 年 A 組の濃度には大きな違いがあることがわかる。例えば、トルエンでは 6 年 A 組の値の方が濃度が 8 倍高い。これは、6 年 A 組教室が、改修された新校舎に位置し、5 年 A 組が旧校舎にあるために生じる差であり、6 年 A 組では、塗料由来のトルエン、キシレン、トリメチルベンゼン (TMB)、ドデカン等の濃度が高い。しかし、児童が登校し、窓を開けると、10 回/h 以上の多い換気回数のため、VOCs 濃度は急激に低減される。児童在室時には、上記のガイドライン値を越えることはない。図 4-11 に T 小学校理科室の VOCs 濃度を示す。改修の施された新校舎に位置するため、夏季測定の窓閉鎖時には、塗料由来と思われる VOCs (トルエン、キシレン、トリメチルベンゼン、ドデカン等) の濃度が 6 年 A 組と同様に高くなっている。しかし、理科室の場合も、窓を開けた換気状態では濃度が大きく低減し、非常に低い値となった。

3) 季節変動

図 4-12 に各小学校普通教室における各季節の午後のトルエン濃度を示す。F 小学校と T 小学校においては、夏季の濃度が他の季節よりも相対的に高く、秋季は夏季と比較するとかなり低くなっている。夏季と秋季は開口部が全て開放されており換気回数は共に平均値で 18 回/h 程度であった。よって秋季にトルエン濃度が低いのは気温の低下が主な原因であると考えられる。冬季にはさらに気温は低下するが、夏季や秋季と異なり開口部を閉鎖している。そのため換気回数は 1 回/h と少なく、その結果、冬季のトルエン濃度は秋季とほぼ同じレベルである。また、パラジクロロベンゼンは、換気回数が多い夏季・秋季の児童在室時には低い濃度であるが、冬季の授業時は換気回数が少ないため濃度が高くなる傾向がみられ、夏季の 4~5 倍近い値であった。

図 4-13 に各小学校の普通教室における各季節の TVOC 濃度を示す。(閉) は開口部を全て閉鎖している状態における測定値で、(開) は開口部を全て開放した状態における測定値である。T 小学校 6 年 A 組教室の夏季測定は改修後 3 ヶ月経過時の測定であるが開口部閉鎖時に TVOC 濃度が約 $1862 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と高い。他の 3 教室では開口部閉鎖時には $160 \sim 260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ である。また同じく開口部を閉鎖している冬季の TVOC 濃度は夏季と比較するとかなり低いが、気温の低下が主な原因と考えられる。T 小学校 6 年 A 組の冬季の TVOC 濃度は、改修後 10 ヶ月経過時の測定値であるが、他の教室と濃度は同レベルであり低い。

4.4 まとめ

- 1) 夏季、秋季は窓を開け放ち、開放的な居住状態であったため、教室の換気回数は夏季、秋季とも平均して約 18 回/h であった。冬季の窓・戸を閉じた状態では、平均して 1 回/h の換気回数であった。
- 2) 1 年以内に改修された教室では、夏季において塗料由来と考えられる VOCs の濃度が高か

った。

- 3) TVOC 濃度は換気量がほぼ等しい夏季と秋季を比較すると夏季が高く、温度の低下する秋季には低くなる傾向がある。冬季は窓や戸を閉じた状態となり換気回数が減るため、TVOC 濃度は秋季の濃度よりも高く、夏季と同程度であった。
- 4) 改修初期の教室で、窓や戸を閉じたまま使用し換気量の少ない教室では、VOCs 濃度が高濃度になると考えられたため、注意を払う必要がある。
- 5) 生活行為によって防臭剤が持ち込まれたり、ペンキ等が使用されることがあるが、窓や戸を閉め切っている場合、高い濃度の VOCs に曝されることになるので注意が必要である。
- 6) 校舎が立地する周囲環境に VOCs の発生源がある場合、教室内にその影響が及ぶ可能性がある。また、トイレ内から発生するパラジクロロベンゼンは周囲の教室に影響を及ぼす傾向がみられるので注意が必要である。

4.5 学校空気環境の計画手法、管理手法—実測結果から学ぶもの

(1) 学校教室の使われ方の特殊性

学校は、理科、音楽など特別教室への一斉移動があり、いきなり在室者率が 0%になってしまう一方、普通教室での授業においては、在室密度が高い。教室ごとを断熱境界と考えた場合、冷暖房計画を、オフィスのように 8:00～17:00 のように連続運転することはなじまず、一斉移動時には冷暖房運転を停止することが省エネルギーの観点からは勧められる。一方、換気設備の運転は 24 時間運転が基本である。しかし、普通教室に 40 人の児童がいた場合、0.5 回/h の換気回数では CO₂ 濃度を 1500ppm 以下にすることは困難であり、在室率 100% の場合、2.2 回/h 程度の換気回数が要求される。よって、普通教室授業時には 2.2 回/h の換気回数、一斉移動時には 0.5 回/h の換気回数、といった切り替えが省エネルギーの観点からは重要となろう。

(2) 休み時間の在室状況

5～10 分程度の短い休み時間、15～30 分程度の長い休み時間は、普通教室における在室者率を想定しにくい。トイレへ行く児童、校庭へ出て遊ぶ児童、教室で読書をする児童、など様々である。しかし、休み時間に窓をすべて開放し、換気量を増大させることは、CO₂ をはじめとする汚染物質の教室への蓄積を減少させるために必要なことである。

現在、暖房時においても、休み時間に窓を開ける事が（省エネルギーには反したとしても）励行されることが多い。この場合、窓開け時にこれは冬季にインフルエンザなどの感染が懸念されるからである。今後、教室における冷房が前提となった場合、休み時間の窓開けは励行されるであろうか？暖房をしながらの休み時間窓開けに比べ、冷房しながらの窓開けは賛同が得られにくいことが予想される。

(3) 学校における空気汚染の特徴

筆者が 2001 年夏季に 9 つの鹿児島市内小学校における 22 教室で実施した TVOC 濃度の測定結果³⁾を図 4-14 に示す。これは縦軸に TVOC 濃度を横軸に実測時の当該教室の竣工年

からの経時年数を示してある。図 4-14 をみると竣工からの時間が短いほど VOC 濃度が高くなる傾向が明確であるが、そのような経時減衰に沿わないデータもある。たとえば図 4-14 中で○で囲ったデータは、当該教室の向かいにあるトイレにカビが発生しておりカビ由来の MVOC により TVOC 濃度が高くなっていた。また、ホワイトボードを設置し油性マジックペンでの板書を行っていた教室では高濃度のメチルイソブチルケトンが検出された¹⁾。このように学校ゆえの特殊な VOC 発生源がある。

小学校児童に教室で気になるにおいを聞いたアンケート調査⁴⁾では、「あせのにおい（体臭）」を挙げる申告が多かった（図 4-15）。代謝量の大きい児童が高い在室密度でいる教室では、体臭が主な空気汚染源として米国では考えられてきた⁵⁾。筆者らは小学校における VOC 濃度実測結果から体臭由来の VOC として 2-Ethyl-1-Hexanol（以下 2E1H）を挙げている⁶⁾。教室内空気汚染が学習効率の低下につながる可能性もあり⁷⁾、学校環境の空気質については十分な配慮が望まれる。

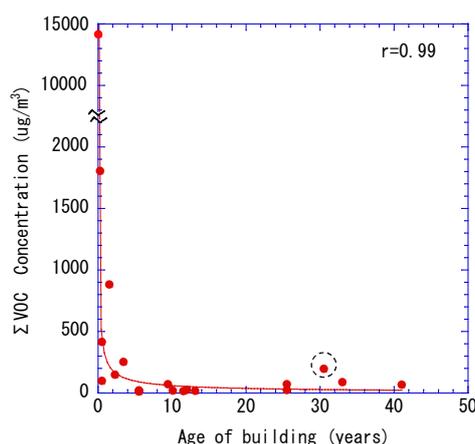


図 4-14 22 の小学校教室内 VOC 濃度と竣工年数

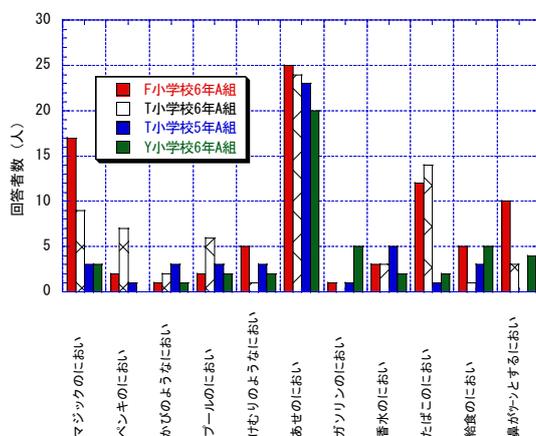


図 4-15 児童によるいやなにおいの回答

(4) 換気基準と冷暖房

上でも述べたが、0.5回/h換気でCO₂濃度を1500ppm以下にすることは困難である。今後、冷暖房運転が前提となるのであれば、冷暖房をしながら2.2回/hの換気を行うことが必須となる。新築学校の計画にあたっては、0.5回/h換気ではなく、2.2回/h換気あるいは児童一人当たりの換気量という認識で設計する必要がある。

一方、既設教室に冷暖房設備のみを付けた場合、換気設備装置が十分でないケースが想定される。その場合、廊下との境界にある窓・扉を常時開放したり、休み時間に窓を完全開放したりなどして対応する必要がある。

(5) モニタリングの必要

学校環境衛生の基準で示された項目は学校薬剤師によって定期的に測定されている。しかし、そのフィードバックは十分でない。ぜひデータを構築し、国民に公開していただきたい。一方で、環境学習を行う際には、まず第一に、自分たちが生活している環境、すなわち教室の環境を測定することを第一の学習として取り上げていただきたい。これは自分達の安全、健康を考える上で第一にしなくてはならないものであり、測定結果をどう評価し、どう対策するかが、総合学習の基礎と考えるからである。その点、温度、湿度、CO₂濃度、照度など簡易基本キットが販売されており、その活用が望まれる。

(6) 省エネと健康リスクのトレードオフ

換気回数2.2回/hという値（の大きさ）や、冷房しながらの窓開け換気が受け入れ難いのは、それが省エネに反するという事に起因する。空気質による不平・不満は、実際の調査ではそれほど多くはなく、一般的な市民の目線からみれば、温熱快適性や省エネに比べれば優先度が低いのが実態である。空気質の問題の多くは、（シックスクール問題を除き）在室者に知覚されていない問題である。知覚されていない問題の健康リスクもしくは作業性の低下は、はたして優先度の低い問題なのであろうか？この問題の意味を明確にしない限り、「在室者が不快に感じていないから、空気質問題は二の次」という考えは払拭できないように思う。そのためにもCO₂のように間接的な指標ではなく、実際に人体にリスクのある教室空間由来の化学物質の検討が必要であろう。

参考文献

- 1) 合原妙美、岩下剛：鹿児島市内の小学校における室内空気環境実測（その1 小学校教室における揮発性有機化合物の濃度）、日本建築学会計画系論文集、No.553、pp.63-70、2002.3.
- 2) 合原妙美、岩下剛：鹿児島市内の小学校における室内空気環境実測（その2 小学校高学年教室における二酸化炭素濃度と開口部開閉状況）、日本建築学会計画系論文集、No.559、pp.29-36、2002.9.
- 3) 岩下剛、森田智洋、合原妙美：鹿児島市内の小学校における夏季VOC濃度実測、第26回人間-生活環境系シンポジウム報告書、pp.25-28、2002.12.

- 4) 上野公紀、尾山秀平、合原妙美、岩下剛：鹿児島市内の三つの小学校における室内空気環境に関する研究（その1、実測概要及びアンケート調査結果）、日本建築学会九州支部研究報告、No.40-2、pp.409-412、2001.3.
- 5) Yaglou, C.P., Riley, E.C., and Coggins, D.I., Ventilation Requirements, H.P. & A.C., Jan., pp.65-76, 1936
- 6) 岩下剛、得永尚樹：VOC濃度を用いた教室における体臭空気汚染指標の検討 体臭による知覚空気汚染に関する研究（その3）、日本建築学会環境系論文集、Vol.77、No.672、pp.65-70、2012.2.
- 7) 村上周三、伊藤一秀、P.ワルゴッキ：教室の環境と学習効率、建築資料研究社、2007.

5 関東地域の高校における空気環境の実測と換気・空調方式の考察

5.1 冷房導入による教室内の温熱環境改善と空気環境悪化の懸念

夏期の教室内温熱環境を改善し、学習効率を高めるために、東京都は2008年度に全ての都立高校に冷房設備および換気設備の導入を行った。このような冷房設備の導入により教室内温熱環境の改善が期待されるが、冷房時には窓開閉行為による換気が期待できないため、機械換気設備の適切な運用が行われなければ、空気環境の悪化が懸念される。

都立T高校とS高校の教室(表5-1参照)において教室内空気環境に関する実測を行った¹⁾。T高校における2009年5月からのデータを用いて、CO₂濃度の測定値が「学校環境衛生基準」の基準値である1500ppmを超えた日数を集計した結果、冷房期である7月、9月は約10日となり、中間期の5月、6月、10月の約2倍であった。これは中間期では窓開放による自然換気が積極的に行われているためと考えられる。また、暖房期である11月と12月には1500ppmを超える日はさらに多く、1カ月の半分近い日数であり、暖房時の教室内空気環境の悪化が懸念される。なお、東京都では都立高校一般教室の換気量は20 m³/(h・人)としており、換気扇が稼働している状況では冷房時も暖房時もCO₂濃度は1500ppm以下に維持されている。

表 5-1 実測対象教室の概要

	T 高校	S 高校
教室寸法	59.5 m ² ×3.0 m=178.5 m ³	67.9 m ² ×3.0 m=203.7 m ³
窓面積	6.4 m ²	4.3 m ²
扉面積	3.0 m ²	3.6 m ²
空調方式	FCU(中央空調方式) (天井カセット型) 教室ごとに個別管理(強・中・弱)	GHP(個別空調方式) (露出型) 事務室で集中管理
換気方式	全熱交換器付き換気扇 (天井埋設型) 教室ごとに個別管理(強・弱)	全熱交換器付き換気扇(露出型) 教室ごとに個別管理(強・弱)

T高校の測定結果に基づいて考察する。全熱交換器付換気扇(以降、換気扇と記す)のon-offを在室者に任せた場合をCase T-1とし、換気扇を強運転(800 m³/h)とした場合をCase T-2とする。冷房期と暖房期の結果を図4-5-1に示す。換気扇の運転を在室者の判断に任せたCase T-1では実測期間中、冷房期、暖房期ともに換気扇が稼働したことはなく、測定代表日には窓が開放されることもなかった。

図5-1(a)より、在室者の判断によるCase T-1では窓・扉を閉め切った状態が続いていたので、9時35分の授業を終了した時点で室内CO₂濃度は基準値の1500ppmを上回る約2300ppmにまで上昇し、2限目が終わった頃には最高約3500ppmまで達している。図5-1(b)より、暖房期も同様に室内CO₂濃度が1500ppmを超えた時間帯が多くみられた。

図 5-1(c) の Case T-2(冷房期)より、換気扇を強運転とした Case T-2 では扉が開放された時間がわずかであったにもかかわらず、終日 1000ppm 程度であった。図 5-1(d)の Case T-2(暖房期)においても室内 CO₂濃度は 1500ppm 以下に維持されており、換気設備の適切な運用が行われれば基準を満たす。また、換気扇稼働時の室内風速と室内騒音を測定した結果、T 高校では換気用給気口の真下の風速が 0.9m/s であった。学校環境衛生の基準では風速は 0.5m/s 以下としており、給気口からのドラフトが換気扇の使用が避けられる原因の一つとして考えられる。一方、換気扇稼働時の等価騒音レベルは 50dB であり、基準値の 50dB を満足していた。

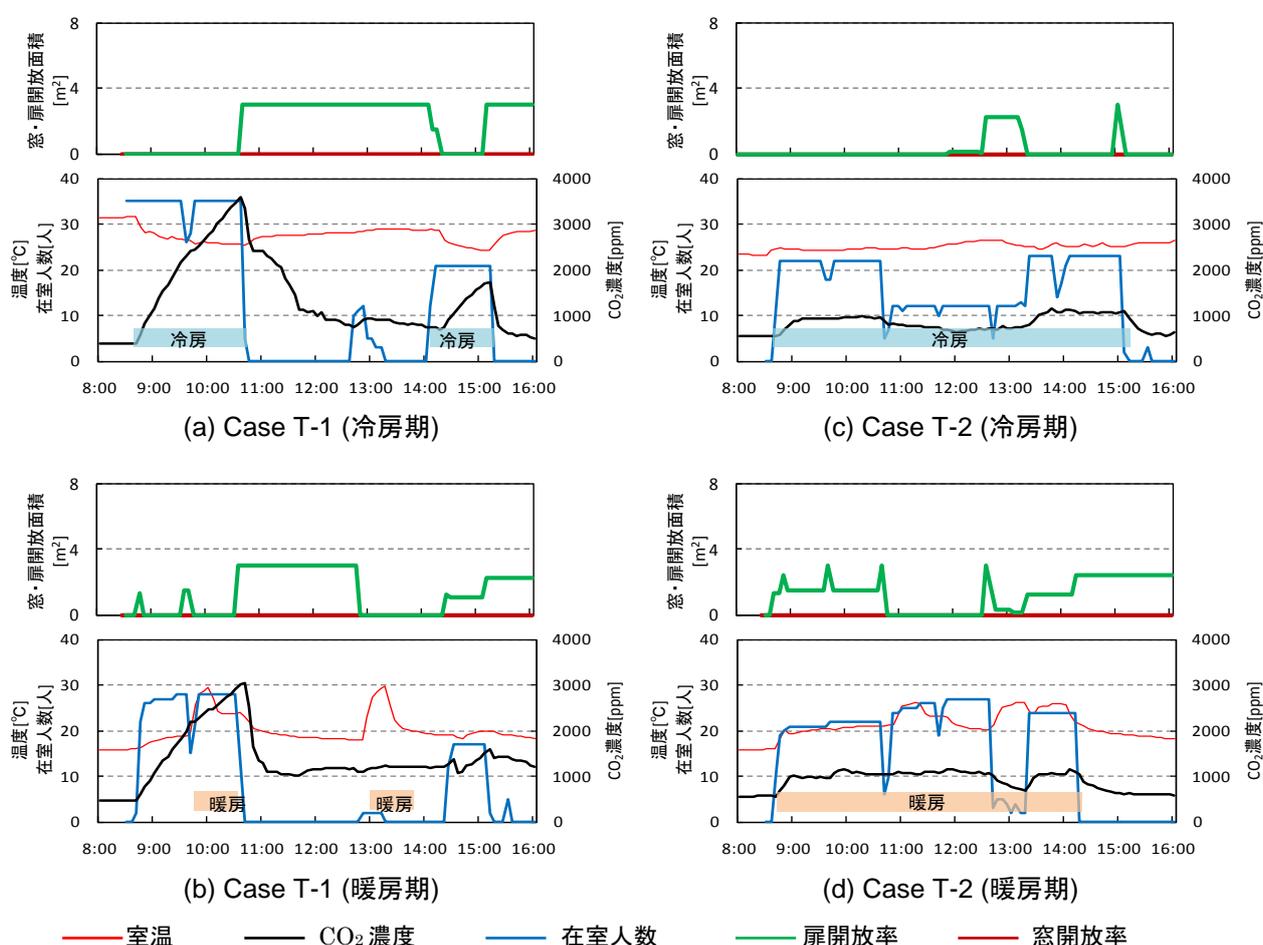


図 5-1 教室内空気環境の実測結果

5.2 冬期暖房期の教室内絶対湿度とインフルエンザ感染

近年、新型インフルエンザの感染・流行が社会問題となっているが、インフルエンザ流行と室内湿度に関連があることが指摘されており^{2),3)}、低湿度環境ではウイルスの生存率が高まるため、感染予防のためには室内湿度を高く保つことが重要である。学校環境衛生の基準では、室内における望ましい相対湿度を30~80%としているが、加湿設備が備わっていないことが多く、冬期において生徒は低湿度環境で過ごすこととなる。冬期に加湿がなされていない場合、換気を行えば室内湿度は下がる。すなわち、室内空気質の維持と室内湿度を高く保つことは相反する要件となる。これらの相反する要件を満たすためには、加湿設備と換気設備の両方が必要である。

国立感染症研究所感染症情報センターにより公開されているインフルエンザ様疾患発生報告(学校欠席者数)、および気象庁により報告されている気象データを用いて、東京都内の学校施設におけるインフルエンザ感染と湿度の関係について分析を行った。インフルエンザ様疾患発生報告は、学級閉鎖等の措置が取られた場合に直前の病欠数、在籍者数等各都道府県、一週間毎に報告されるものである。ここでは、平成19年1月14日~平成21年10月31日の東京都のデータを使用した。週により在籍人数等が異なるため、在籍人数に対する欠席者数の割合を求め、湿度に関しては対応する週の東京(大手町)における気象データから1週間の平均値を算出し、相関関係を調べた。図5-2より、相対湿度に比べ絶対湿度の方が病欠数の割合との相関が比較的高く、絶対湿度が低くなるほどインフルエンザ感染者数が増える傾向がある。

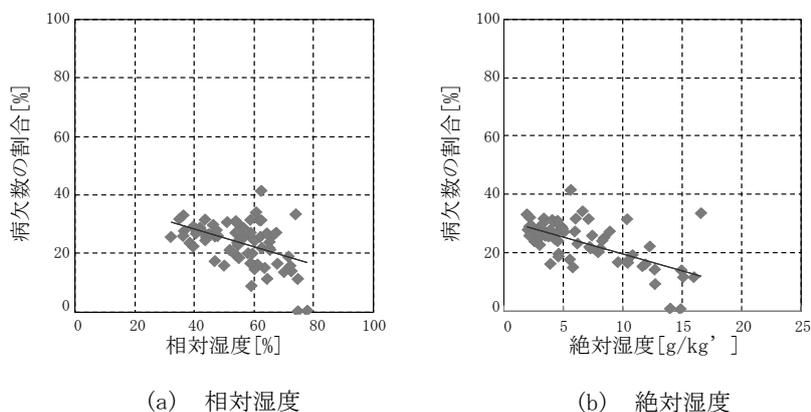
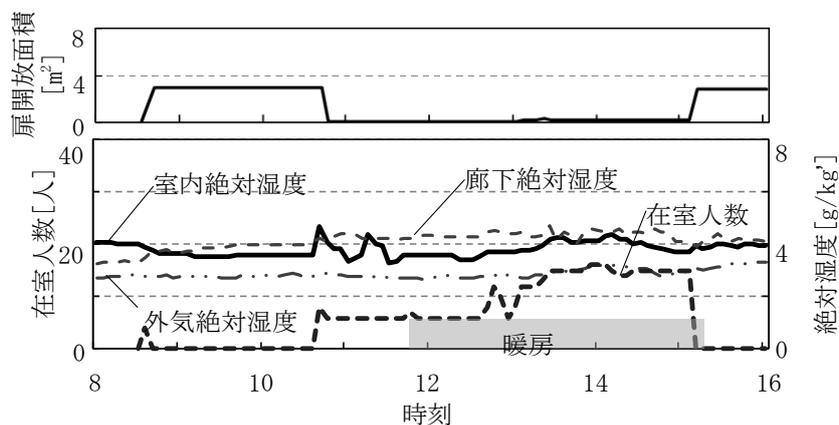


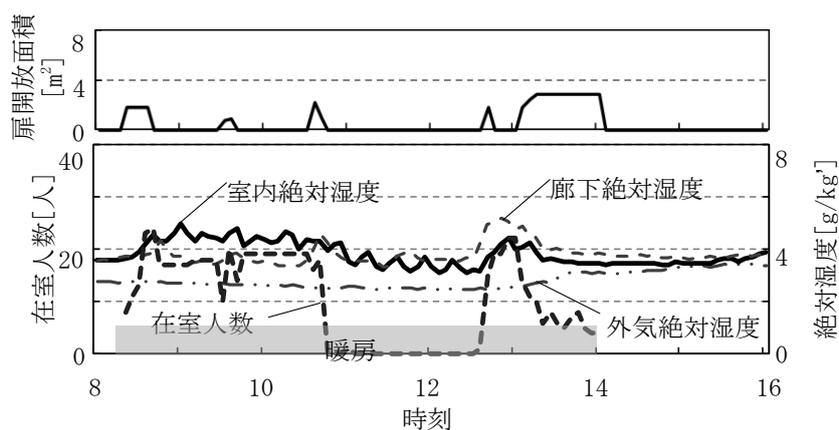
図 5-2 湿度とインフルエンザ感染の相関

冬期の外気絶対湿度が比較的低い日について、換気扇を稼働させた T 高校(Case T-2)と S 高校(Case S-2)における教室内絶対湿度を図 5-3 に示す。図 5-3(a)より、T 高校では換気扇を運転し始めた 8:30 頃から授業が終了する 15 時頃までのほとんどの時間帯で教室内絶対湿度が 4.0 g/kg' を下回っている。Harper⁴⁾の実験に基づいた既往研究では、学校施設のような人が密集する場所では室内水蒸気圧が 9~10 mb(約 5.6~6.2 g/kg')以下でインフルエンザが流

行しうると指摘している。しかし、T 高校の絶対湿度の測定値はこの値を下回っている。S 高校では、在室人数増加と加湿器の運転により、室内絶対湿度は最大で 5.0 g/kg'程度まで上昇している。しかし、冬期の乾燥時において 800 m³/h の換気を行った状況では、400 g/h の加湿を行った場合であっても室内の絶対湿度が 5.6 g/kg'を上回ることはなかった。



(a) Case T-2



(b) Case S-2

図 5-3 教室内絶対湿度の実測結果

5.3 冬期の教室内換気・暖房方式と加湿方法に関する数値シミュレーション

学校教室では換気設備が使用されない場合があり、使用されない原因の一つとして給気口からのドラフトの影響が考えられる。ここでは、ドラフトの影響が顕著となる冬期を想定し、良好な温熱・空気環境を形成する空調・換気方式を数値シミュレーションで検討した例を紹介する。また、冬期の教室内の加湿方法の検討結果も示す。

数値シミュレーションのモデルを図 5-4 に示す。新築時を想定し、ファンコイルユニット(以降、FCU と記す)による暖房と全熱交換器付換気扇(以降、換気扇と記す)あるいは外気調和機(以降、外調機と記す)による換気を想定した。T 高校の普通教室の寸法・形状等を参考に解析モデルを設定している。

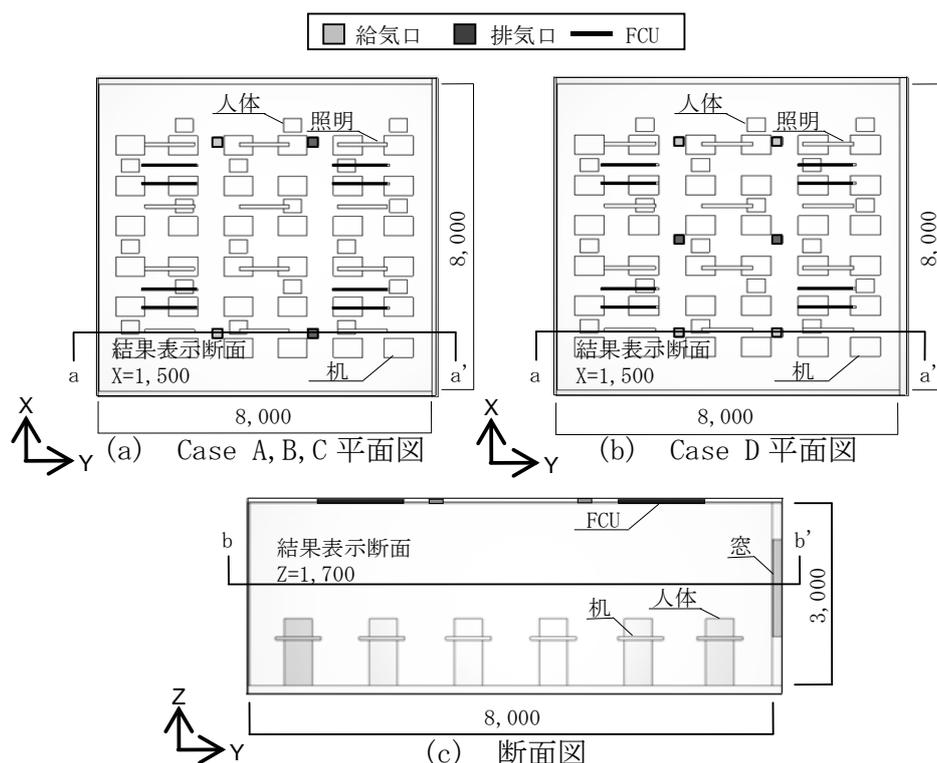


図 5-4 数値シミュレーションモデル

解析ケースを表 5-2 に示す。Case A～Case C の空調・換気方式は FCU+換気扇とし、換気扇に加湿器が組み込まれていると想定した。実測結果から換気用給気口からのドラフトが懸念されたため、Case D では外調機により外気を設定室温と同じ温度にした上で換気を行った場合とし、加湿器は外調機に組み込まれているものとした。また、冬期に加湿を行った場合、窓面で結露が発生することが予想されたため、Case A～Case C では外壁・窓面の断熱性能が加湿に与える影響を検討する。シミュレーションの結果を図 5-5 に示す。

表 5-2 解析ケース

ケース	換気・空調方式	FCU の暖房熱負荷[W]	断熱部位
Case A	FCU+加湿・全熱交換器付換気扇	3,740	-
Case B	FCU+加湿・全熱交換器付換気扇	3,240	外壁
Case C	FCU+加湿・全熱交換器付換気扇	2,540	外壁+窓
Case D	FCU+外調機	640	外壁+窓

図 5-5(a-1)より、Case A では換気用給気口からの低温空気と窓面近傍でのコールドドラフトにより足元の温度が低くなっている。図 5-5(d-1)、(e-1)より、1000 g/h の加湿を行ったことで、800 m³/h の換気を行った場合においても絶対湿度が 8.0 g/kg'程度に保たれている。しかし、窓面の断熱性能が低いため結露が生じ、窓付近の絶対湿度が低くなっている。外壁面のみの断熱性能を高めた Case B は Case A との差が顕著でない。図 5-5(a-3)より、外壁・

窓面の断熱性能を高めた Case C は窓面でのコールドドラフトの影響がなくなり、Case A と比較して居住域の温度が約 2°C 高い。しかし、図 5-5(c-1)、(c-3)より、Case A と同様に換気用給気口の直下では有効ドラフト温度(以降 EDT) ^{注 1)}が-1.7°C 以下となる領域が大きく、不快感が生じると考えられる。図 5-5(d-3)、(e-3)より、窓面の断熱性能を高めたことで結露が生じなくなったため、Case A と比較すると 0.4 g/kg' 程度絶対湿度が高い。このことから、加湿設備を設ける場合、窓面の断熱性能を向上させることが重要であると考えられる。図 5-5(a-4)より、給気を外調機を通して行う Case D は、窓付近で隙間風の影響が若干見られるものの、ほぼ一様に室温が 20°C となっている。また、図 5-5(c-4)より、Case D では居住域に EDT が適正範囲外である領域はほとんどなく、ドラフトの影響が少ない。絶対湿度分布に関しては、Case C と同様に良好な湿度環境が形成されている。

以上のことから暖房時に良好な温熱環境、および空気質を維持するためには、外調機等により温湿度を調整した外気を室内へ導入するような換気・空調方式が適切であると考えられる。

注 1) コールドドラフトの指標として次式で定義される有効ドラフト温度 EDT がある。

$$EDT = (t_x - t_c) - 8 (V_x - 0.15)$$

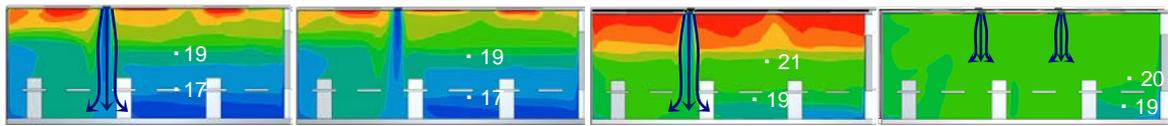
t_x : 局所気温[°C]、 t_c : 室内平均気温[°C]、 V_x : 局所風速[m/s]

EDT が -1.7°C ~ 1.1°C、かつ風速 0.35 m/s 以下の範囲が快適域とされている。

5.4 空調機の時間割発停制御の有効性

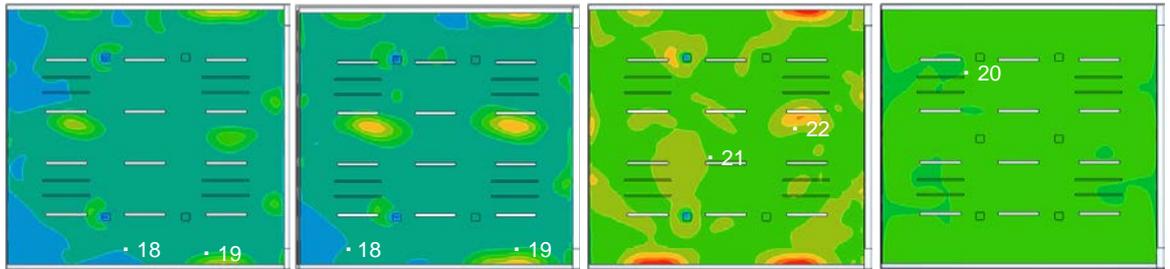
文献 5)では、高校で空調機運転状況の実態調査を行った結果、授業の無い時間帯や休日などにおける無駄な運転があることを示した。これに対し、学習環境の快適性を確保した上での省エネ対策として、教室ごとに決められた時間割に対応して空調機の発停を行うシステム(時間割発停制御)が有効であると考えられる。この時間割発停制御では、インターネット環境上にスケジュール管理を行うサーバを設置し、Web ブラウザを用いてスケジュールを登録し、空調機の発停制御を行うことを想定している。

文献 5)では、時間割発停制御を適用できれば授業時間以外の無駄な運転がなくなり、効率的な運用がなされることを示し、その省エネルギー効果を試算している。



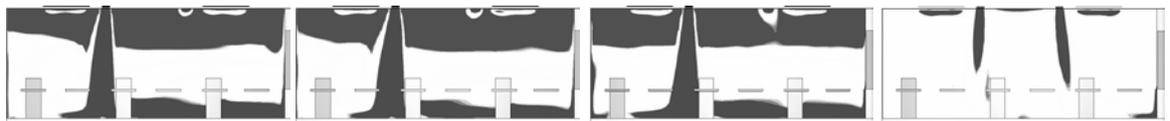
(a-1) Case A (断熱なし) (a-2) Case B (外壁断熱) (a-3) Case C (外壁・窓断熱) (a-4) Case D (外調機)

(a) 温度 (鉛直断面、図 5-4 中の a-a'断面)



(b-1) Case A (断熱なし) (b-2) Case B (外壁断熱) (b-3) Case C (外壁・窓断熱) (b-4) Case D (外調機)

(b) 温度 (水平断面、図 5-4 中の b-b'断面)



(c-1) Case A (断熱なし) (c-2) Case B (外壁断熱) (c-3) Case C (外壁・窓断熱) (c-4) Case D (外調機)

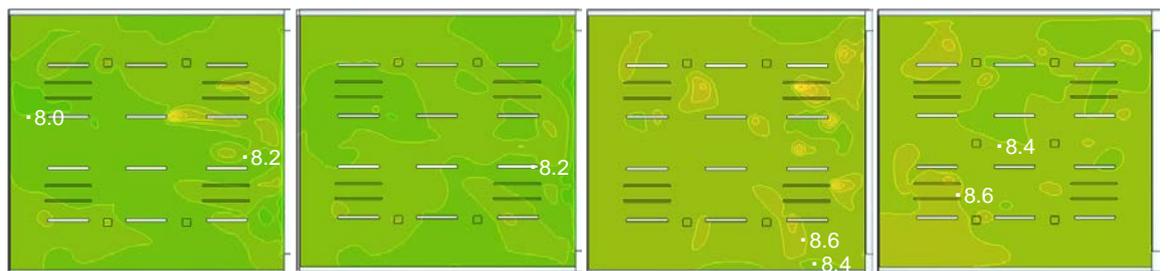
(c) 有効ドラフト温度 (鉛直断面、図 5-4 中の a-a'断面)

(有効ドラフト温度が $-1.7\sim 1.1^{\circ}\text{C}$ の範囲に入らない領域を黒く示した)



(d-1) Case A (断熱なし) (d-2) Case B (外壁断熱) (d-3) Case C (外壁・窓断熱) (d-4) Case D (外調機)

(d) 絶対湿度 (鉛直断面、図 5-4 中の a-a'断面)



(e-1) Case A (断熱なし) (e-2) Case B (外壁断熱) (e-3) Case C (外壁・窓断熱) (e-4) Case D (外調機)

(e) 絶対湿度 (水平断面、図 5-4 中の b-b'断面)

図 5-5 数値シミュレーションの結果(温度単位： $^{\circ}\text{C}$ 、絶対湿度単位： g/kg)

参考文献

- 1) 蓬田央、岩瀬友紀、近藤靖史、藤原孝行：都立高校教室における室内空気環境の実測とCFD解析による換気・空調方式の検討、日本建築学会技術報告集、Vol.17、No.36、pp.583-587、2011.6.
- 2) 庄司真：気象と感染症流行の相関に関する研究第二報、抗酸菌病研究所雑誌、Vol.40、No.2、pp.95-105、1988.10.
- 3) 倉渕隆、小笠原岳、熊谷一清、浅利雄太郎：インフルエンザの感染に影響するインフルエンザウィルス生存率と絶対湿度の関係について、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.1339-1342、2009.9.
- 4) Harper, G. J.: Airborne micro-organisms: survival tests with four viruses, J. Hyg. 59, pp.479-486, 1961.
- 5) 藤澤隆広、寺脇正文、飯嶋和明、藤原孝行、近藤靖史、河村佳彦：都立高校における空調機運転状況の実態調査および学校空調向け時間割発停制御の開発、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.2211-2214、2009.9.