

2018年度～2020年度成果報告書

戦略的省エネルギー技術革新プログラム
／公立学校の ZEB 実現に向けた実態調査及び課題の整理
報告書

2020年4月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
(委託先) 佐藤エネルギーリサーチ 株式会社

要約

(1) 目的

全国概略調査、詳細調査を実施し、得られたデータを適切に整理し、以下をまとめることを目的とする。

①地域性を考慮した上での教室内環境の質の実態、エネルギー消費特性、設備機器の運用実態を明らかにする。

②学校の ZEB 化実現に向けた設備機器の運用の最適化、建築パッシブ性能強化による省エネルギー効果の整理、運用実態に即した省エネルギー機器の開発課題の整理、教職員が適切に運用できる設備機器の開発課題の整理を行う。

(2) 公立小中学校の設備の使われ方の特徴

公立小中学校は、建築物省エネ法で非住宅建築物に分類されるが、設備の使われ方が下記の通りの特徴を有する。公立小中学校の ZEB 化を進めるには、これら特徴を考慮する必要がある。

- ①稼働時間が短い
- ②教室ごとの運用時間が異なる
- ③施設や設備を運用管理する専属の人がいない
- ④教職員の定期的な異動がある

(3) 全国概略調査

調査対象は、平成 28 年省エネルギー基準における地域区分 1～8 より 12 自治体を選定し、各自治体から検針票に基づく月積算エネルギー消費量、分析に必要な基本データを収集した。

年間 1 次エネルギー消費量と用途別 1 次エネルギーの決定係数を調査したところ、寒冷地は暖房用途、蒸暑地は冷房用途の一次エネルギーと相関が強いのにに対し、温暖地は冷暖房を行っている場合であってもその他用途の 1 次エネルギーとの相関が強い。このため、温暖地の学校の ZEB 化を進めるためには、優先して配慮されがちな暖冷房のエネルギーだけでなくその他エネルギーにも着目した検討が必要である。

(4) 詳細調査

詳細調査の対象校は、全国概略調査対象のうち、それぞれ寒冷地、温暖地、蒸暑地、新規冷房導入校の計 4 校を選定した。全校において、暖房、冷房、コンセント・照明、換気のエネルギー消費量を分離できるようなエネルギー計測ポイントとした。ほかに、室内温熱環境と空気環境を測定した。

暖房・冷房をほとんど行わない中間期の 1 日あたりの一次エネルギー消費量は、地域特性よりも普通教室の換気設備設置状況や運用によるところが大きいことが分かった。

寒冷地では、凍結防止ヒータの運用方法、新規冷房導入校は導入設備を暖房には使用しないことから、待機時消費電力を削減することの重要性が分かった。

(5) 地域特性に着目した ZEB 化の課題

地域に関わらず共通事項

- 教職員が適切に運用可能な空調・換気設備の開発。

寒冷地

- 冬期の凍結防止に対する対策の適正化。

温暖地

- 空調設備非稼働時の待機時消費電力を削減する手法の開発。

(1) Objectives

The purpose of this survey is to summarize following objectives by conducting nation-wide and detailed surveys and organizing the obtained data appropriately.

- 1) In consideration of regional characteristics, clarify the actual condition of the quality of environment in the classroom, characteristics of energy consumption, and the operation of facilities and equipment.
- 2) In order to realize of Zero Energy Buildings(ZEB) in schools, carry out the optimization of the operation of facilities and equipment, organizing of energy saving effects by strengthening the passive abilities of buildings, arranging development problems of energy saving equipment according to actual operation, organizing development problems of facility equipment which the teaching staff can operate properly.

(2) Characteristics of the Use of Equipment in Public Elementary and Junior High Schools

Public elementary and junior high schools are classified as commercial buildings under the Building Energy Conservation Act, however, the use of facilities have varying characteristics as described below. In order to promote Zero Energy Building in elementary and junior high schools, it is necessary to consider these special characteristics.

- 1) The hours of operation are short.
- 2) Each classroom has different operating hours.
- 3) No dedicated personnel in charge of management and operation of facilities or equipment.
- 4) The teaching staff change periodically.

(3) Nationwide outline survey

This survey targeted 12 municipalities selected from the 1-8 regional categories in the 2016 Energy Conservation Standards, and collected monthly energy usage based on the meter reading slips, and basic information necessary for analysis from each municipality.

As investigating the coefficient of determination of annual primary energy and primary energy by use, it was found that annual primary energy has a strong correlation between primary energy for heating in cold regions and cooling in hot and humid regions. However, it was also found that there is a strong correlation with primary energy for other uses in warm regions even in heating and cooling are under operation. Therefore, in order to promote Zero Energy Buildings in schools in warm regions, it is necessary to consider not only heating and cooling energy which tend to be given high priority, but also other energy uses.

(4) Detailed Survey

As the targets of detailed survey, 4 schools were chosen from the targets of the general survey. Three schools were chosen from each climate region, which were cold regions, warm regions and hot and humid regions. In addition to them, one school in warm region, which introduced new cooling equipment was selected. At every school, energy measurement points were selected to enable to separate energy consumption for heating, cooling, electrical outlets, lighting and ventilation. In addition, indoor thermal environment and air environment was measured.

It was found that primary energy consumption per day in the midterm period, when heating and cooling were rarely used, was more due to the installation and operation of ventilation equipment in regular classrooms than regional characteristics.

It was proved that the usage of freezing prevention heater is important in cold regions. In the school where new cooling equipment had been installed, it was essential to reduce the standby power consumption since the cooling equipment was not used in heating period.

(5) The Problems to Implementing Zero Energy Buildings Based on Regional Characteristics

Common Problems Regardless of Region

- Development of air conditioning and ventilation equipment that can be operated effectively by teaching staff.

Cold Regions

- Optimization of freezing prevention measures during winter.

Warm Regions

- Development of methods to reduce standby power consumption when air conditioning equipment are not in operation.

目次

1.	はじめに	1
2.	調査概要	2
2.1	目的	2
2.2	背景	2
2.2.1	エネルギー消費量の実態	2
2.2.2	公立小中学校の設備の使われ方の特徴	4
2.2.3	学校環境衛生基準・ビル管法	5
2.3	調査フロー	6
2.4	調査体制	7
2.5	スケジュール	8
2.6	一次エネルギー換算係数	8
3.	全国概略調査	8
3.1	調査概要	8
3.1.1	調査内容	8
3.1.2	調査対象校	9
3.2	検針値の用途分解の方法	10
3.2.1	エネルギー種ごとの用途分解対象用途の調整	10
3.2.2	プールろ過ポンプ運転設定	12
3.2.3	給食用エネルギー消費量	14
3.2.4	その他用(電力)	19
3.2.5	太陽光発電システムの月間システム発電電力量	19
3.2.6	用途分解の精度	20
3.3	結果	21
3.3.1	施設・設備の状況	21
3.3.2	エネルギー消費量	28
4.	詳細調査	36
4.1	調査概要	36
4.1.1	調査対象校の概要	36
4.1.2	調査対象校の気象条件	37
4.1.3	測定項目	37
4.2	2Hの小学校	40
4.2.1	調査概要	40
4.2.2	エネルギー消費量・温熱空気環境調査結果	42

4.3	6HC の小学校	47
4.3.1	調査概要	47
4.3.2	エネルギー消費量・温熱空気環境調査結果	48
4.4	6N-b の小学校	52
4.4.1	調査概要	52
4.4.2	エネルギー消費量・温熱空気環境調査結果	53
4.5	8C の小学校	55
4.5.1	調査概要	55
4.5.2	エネルギー消費量・温熱空気環境調査結果	57
4.6	全校の比較	59
4.6.1	エネルギー消費量	59
4.6.2	温熱空気環境	61
4.6.3	学校の運用についてのヒアリング結果	65
4.7	地域特性に着目した ZEB 化の課題	67
5.	適切運用を実施した場合の ZEB の可能性の試算	68
5.1	概要	68
5.1.1	検討方法	68
5.1.2	BEST を用いた適切運用による削減率の試算方法	68
5.1.3	詳細調査結果からの年間エネルギー消費量の推定方法	69
5.1.4	適切運用による年間エネルギー消費量の試算と ZEB の評価方法	69
5.2	2H の小学校	70
5.2.1	詳細調査で把握した運用実態	70
5.2.2	BEST によるシミュレーション	70
5.2.3	適切運用を実施した場合のエネルギー消費量の試算	72
5.3	6HC の小学校	73
5.3.1	詳細調査で把握した運用実態	73
5.3.2	BEST によるシミュレーション	73
5.3.3	適切運用を実施した場合のエネルギー消費量の試算	75
5.4	8C の小学校	77
5.4.1	詳細調査で把握した運用実態	77
5.4.2	BEST によるシミュレーション	77
5.4.3	適切運用を実施した場合のエネルギー消費量の試算	79
5.5	換気設備に関して	80
6.	公立学校の ZEB 実現のための機器開発の課題	81
7.	まとめと課題	83
7.1	全国概略調査	83

7.2	詳細調査.....	84
7.3	適切運用を実施した場合の ZEB の可能性の試算.....	85
7.4	公立学校の ZEB 実現のための機器開発.....	85
7.5	調査事業としての課題.....	87
資料 1	各地域における公立小学校の詳細調査(寒冷地).....	資料 1-1
資料 2	温暖地域における公立学校の ZEB 実現に向けた実態調査及び課題の整理.....	資料 2-1
資料 3	各地域における公立小学校の詳細調査(新規冷房導入校).....	資料 3-1
資料 4	蒸暑地域における公立学校の ZEB 実現に向けた実態調査及び課題の整理.....	資料 4-1

1. はじめに

エネルギー基本計画では、「2020年までに国を含めた新築公共建築物等で、2030年までに新築建築物の平均でZEBを実現することを目指す」ことが示されている。これを受けて、2015年に経済産業省資源エネルギー庁ではZEBロードマップ委員会、ZEBロードマップフォローアップ委員会で「ZEBの定義・評価法」、「ZEBの実現可能性」、「ZEBの普及方策」を整理した。一方、文部科学省は2012年より公立学校のゼロエネルギー化を推進するための「スーパーエコスクール実証事業」を全国7校に対して行ってきた。国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構では、2015年に「学校のZEB化を促進する技術開発に関する検討」を行い、テーマ設定型プロジェクトを新設するにあたっての取り組むべき技術開発テーマや開発体制の在り方について検討し、学校のエネルギー消費実態を網羅的に調査するような事業を行うことの必要性を述べている。また、近年の猛暑の影響で小中学校の冷房化率の上昇が予想され、猛暑日の室内温熱環境の改善が期待される一方で、室内空気環境の悪化や冷房用エネルギー消費量の増加、ピーク時間帯に対する電力供給能力不足が懸念される。

学校建築は、単位面積当たりのエネルギー消費量が小さい一方で、低層建築が多いことから比較的ZEBを達成しやすい建物用途といわれているが、日本全国に広く分布しており、気候特性を十分に配慮した計画が必要である。

これらを受けて、本調査では全国の公立小中学校の実運用を想定したZEB実現に向けた実態調査を行い、既存の設備機器を選定するための注意点や学校の教職員が適切に運用できるような設備機器の改善課題・開発課題を整理することを目的とする。調査に当たっては、有識者、関係省庁で構成される「公立学校のZEB実現検討委員会」(委員長:早稲田大学 田辺新一教授)を組織し2019年2月から2020年4月にわたって実態調査を行った。これまでの全国の学校建築に関する調査事業では、室内環境(温熱・光・音・空気)に着目した調査はあるが、本調査のように全国を対象に用途別エネルギー、室内環境に着目した実態調査はなく、大変貴重なデータが集まった。調査に当たっては調査対象の自治体、調査対象校の教職員に多大なご協力をいただいた。ここに謝意を表す。

なお、経済産業省資源エネルギー庁・ZEBロードマップ委員会、ZEBロードマップフォローアップ委員会におけるZEBは、国土交通省が定める方法(現在はWEBプログラムのみ)で求めた設計段階による計画値として定義されていることから、本調査での定義とは異なる。本調査によって、運用データを収集することによって、計画時に効率的にエネルギー消費を削減できる手法にフィードバック出来る。

最後に、本調査を進めるにあたり、公立学校のZEB実現検討委員会にご参加いただいた有識者、経済産業省資源エネルギー庁、文部科学省の方々には貴重なご意見を頂戴した。各自治体教育委員会および調査対象校に謝意を表す。

2020年4月

佐藤エネルギーリサーチ株式会社

2. 調査概要

2.1 目的

全国概略調査、詳細調査で得られたデータを適切に整理し、以下をまとめることを目的とする。

①地域性を考慮した上での教室環境の質の実態、エネルギー消費特性、設備機器の運用実態を明らかにする。

②学校の ZEB 化実現に向けた設備機器の運用の最適化、建築パッシブ性能強化による省エネルギー効果の整理、運用実態に即した省エネルギー機器の開発課題の整理、教職員が適切に運用できる設備機器の開発課題の整理を行う。

2.2 背景

2.2.1 エネルギー消費量の実態

2014 年 4 月閣議決定したエネルギー基本計画では、2020 年までに公共建築の平均で ZEB を実現することを目指している。公立小中学校は低層建築が多く、図 2-1 に示すように単位床面積当たりの 1 次エネルギー消費量は小さいことから、比較的 ZEB を達成しやすい建物用途といわれている。また、図 2-2 に示すように、非住宅建築物の合計床面積に対して学校の床面積は 17%を占めており、効果がわずかな省エネルギー技術であっても広く普及することで我が国全体での省エネルギーへのインパクトは大きい。

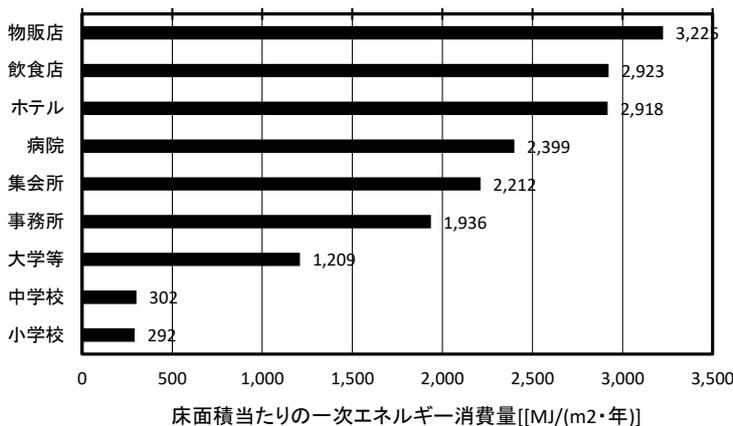


図 2-1 床面積当たりの建物用途別年間 1 次エネルギー消費量¹

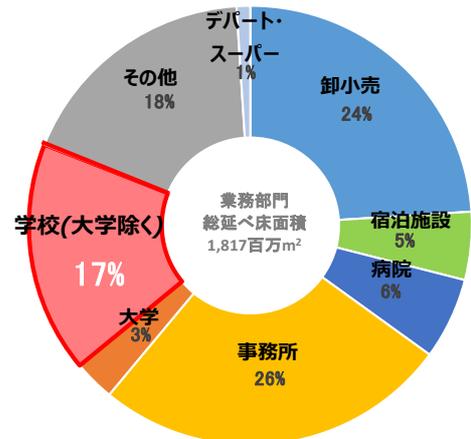


図 2-2 建物用途別の延床面積割合²

公立学校は、省エネルギー基準における地域区分 1～8 地域に広く分布して建設されており地域特性を考慮した上で様々な省エネルギー技術を検討する必要がある。図 2-3 に示すように、国立教育政策研究所で実施されたエネルギー消費量アンケートの集計結果が示されているが、地域ごとのエネルギー消費量の差異の要因やエネルギー消費量の季節性などに着目した分析は行われていない。

¹ 文部科学省ウェブサイト、環境を考慮した学校施設(エコスクール)づくりの今日的課題 より作成
http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/20/07/08072807/001/002.htm

² 日本エネルギー経済研究所 EDMC エネルギー・経済統計要覧(2010 年版)、総務省統計局 平成 20 年度学校基本調査 より作成

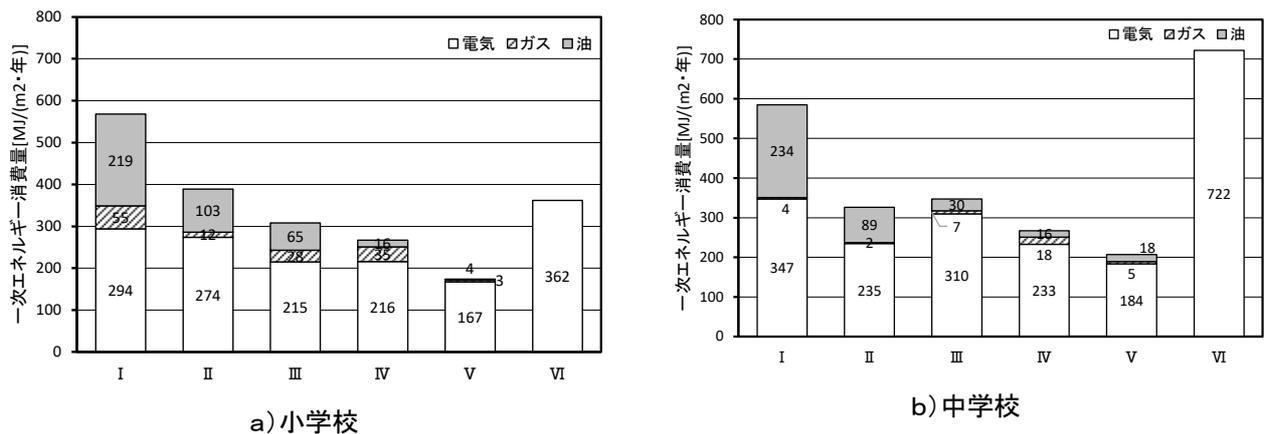


図 2-3 既往の学校エネルギー消費量調査結果³

一方、公立小中学校の冷房化は図 2-4 に示すように、平成 30 年度の猛暑の影響により冷房の設置率は急増し、令和元年度には普通教室の設置率は 78.4%となっており、エネルギーの増大が懸念される。図 2-5 に示すように、冷房化された小中学校のエネルギー消費原単位は S 区が含まれる 6 地域(関東)の結果に比べて 5 割ほど大きく、今後の冷房化率急増に際し何らかの対策を講じる必要がある。また、盛夏冷房負荷ピーク時間帯には多くの学校の電力デマンドが大きくなり、電力供給能力不足が懸念される。

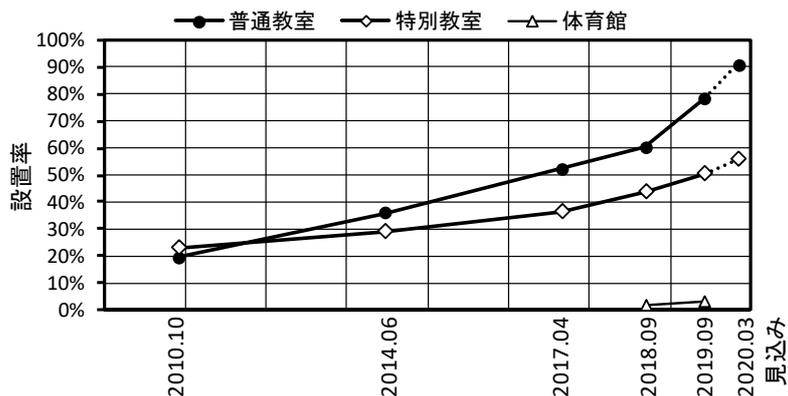


図 2-4 公立小中学校等の空調(冷房)設備設置状況の推移⁴

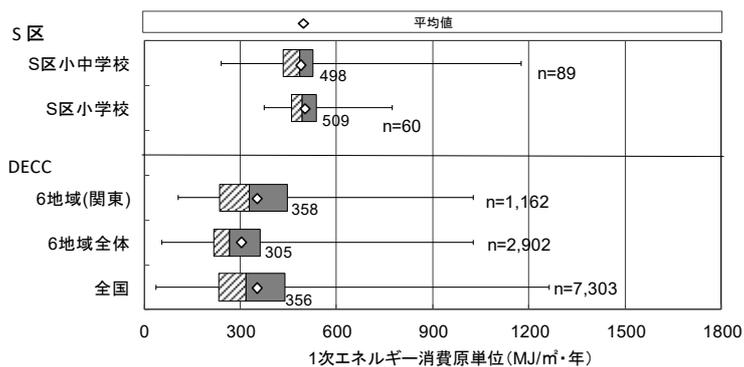


図 2-5 S 区と DECC での小中学校の 1 次エネルギー消費原単位⁵

³ 「環境を考慮した学校づくりアンケート」平成 19 年度 国立教育政策研究所文教施設研究センター

⁴ 文部科学省、公立学校施設の空調(冷房)設備の設置状況について、
https://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/31/09/_icsFiles/afieldfile/2019/09/19/1421285_1.pdf

⁵ 石川ら、空調設備を導入した都市部の公立小学校におけるエネルギー消費の実態、日本建築学会環境系論文集、第 83 巻、第 746 号、385-391、2018.4

2.2.2 公立小中学校の設備の使われ方の特徴

公立小中学校は事務所ビルや大学と同様に非住宅建築物(住宅以外の用途のみに供する建築物)に分類されている。しかしながら、公立小中学校の施設運用の実態は以下の特徴があり、事務所ビルや大学とは異なる点が多い。そのため、学校施設の運用の特徴を反映した設備機器が必要である。

(1) 稼働時間が短い

児童・生徒が学校を使用する時間は主に平日の 8:00～16:00 の 8 時間と短く、盛夏期、厳冬期に夏休み、冬休みなどの長期休業期間がある。また、冷暖房は中間期には使用しない。そのため、使用時の省エネルギーだけでなく、非稼働時の待機電力等への配慮も必要である。

(2) 教室の運用時間が異なる

普通教室の使用時間は一般に平日の 8:00～16:00 であるが、学年によって下校時間が異なり一律ではない。また、特別教室や体育館、校庭などの使用もありこの時間帯に普通教室を常時使用しているわけでもない。更に、職員室や地域開放を行う体育館などは夜間や休日も使用される。公立小中学校とはいえ室用途によって使用時間がまちまちであり、建物全体を一括で制御するという運用は困難である。

(3) 施設や設備を運用管理する専属の人がいない

冷暖房の切り替えや設定温度の管理等は、建築設備管理の専門ではない教職員が行っており、設定等の簡易化への配慮が必要である。また、自治体による設備機器のメンテナンス体制が必ずしも確立しているわけではなく、教職員に委ねられている自治体もある。

(4) 教職員の入れ替わりがある

教職員は定期的な異動があるため、操作が特殊な設備等の運用方法を適切に引き継ぐことが難しい。

2.2.3 学校環境衛生基準・ビル管法

表 2-1 に学校環境衛生基準を示す。2018 年 4 月に改訂され、温度基準については「10℃以上、30℃以下であることが望ましい。」が「17℃以上、28℃以下であることが望ましい」に変更され、「建築物における衛生的環境の確保に関する法律」(通称、ビル管法)と同等となった。また、延床面積が 8000m² 以上の学校は、「建築物における衛生的環境の確保に関する法律」が適応され、二酸化炭素濃度は 1,000ppm 以下とする必要がある。

表 2-1 学校環境衛生基準⁶

検査項目		基準
換気 及 び 保 温 等	(1) 換気	換気の基準として、二酸化炭素は、1500ppm 以下であることが望ましい。
	(2) 温度	17℃以上、28℃以下であることが望ましい。
	(3) 相対湿度	30%以上、80%以下であることが望ましい。
	(4) 浮遊粉じん	0.10mg/m ³ 以下であること。
	(5) 気流	0.5m/秒以下であることが望ましい。
	(6) 一酸化炭素	10ppm 以下であること。
	(7) 二酸化窒素	0.06ppm 以下であることが望ましい。
	(8) 揮発性有機化合物	
	ア. ホルムアルデヒド	100 μg/m ³ 以下であること。
	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。	
(9) ダニ又はダニアレルゲン	100匹/m ³ 以下又はこれと同等のアレルゲン量以下であること。	
採 光 及 び 照 明	(10) 照度	(ア) 教室及びそれに準ずる場所の照度の下限値は、300 lx (ルクス) とする。また、教室及び黒板の照度は、500 lx 以上であることが望ましい。 (イ) 教室及び黒板のそれぞれの最大照度と最小照度の比は、20:1 を超えないこと。また、10:1 を超えないことが望ましい。 (ウ) コンピュータを使用する教室等の机上の照度は、500 ~1000 lx 程度が望ましい。 (エ) テレビやコンピュータ等の画面の垂直面照度は、100 ~500 lx 程度が望ましい。 (オ) その他の場所における照度は、工業標準化法 (昭和24年法律第185号) に基づく日本工業規格 (以下「日本工業規格」という。) Z9110に規定する学校施設の人工照明の照度基準に適合すること。
	(11) まぶしさ	(ア) 児童生徒等から見て、黒板の外側 15° 以内の範囲に輝きの強い光源 (昼光の場合は窓) がいないこと。 (イ) 見え方を妨害するような光沢が、黒板面及び机上面にないこと。 (ウ) 見え方を妨害するような電灯や明るい窓等が、テレビ及びコンピュータ等の画面に映じていないこと。
騒 音	(12) 騒音レベル	教室内の等価騒音レベルは、窓を閉じているときはLAeq 50dB (デシベル) 以下、窓を開けているときはLAeq 55dB 以下であることが望ましい。

⁶ 文部科学省ホームページ
https://www.mext.go.jp/a_menu/kenko/hoken/_icsFiles/afieldfile/2018/05/28/1403737_02_1.pdf

表 2-2 「建築物における衛生的環境の確保に関する法律」の「建築物環境衛生管理基準」における空気環境の基準⁷

2 空気環境の調整	
(1) 空調設備を設けている場合の空気環境の基準	
建築物衛生法において、空調設備とは、「エア・フィルター、電気集じん等を用いて外から取り入れた空気等を浄化し、その温度、湿度及び流量を調節して供給(排出を含む。)ことができる機器及び附属設備の総体」をいいます。すなわち、浄化、温度、湿度、流量の調節の4つの機能を備えた設備のことです。	
空調設備を設けている場合は、居室において、下表の基準におおむね適合するように、厚生労働大臣が定める「 空調設備等の維持管理及び清掃等に係る技術上の基準 」に従い、空調設備の維持管理に努めなくてはなりません。	
ア 浮遊粉じんの量	0.15 mg/m3以下
イ 一酸化炭素の含有率	100万分の10以下(=10 ppm以下) ※特例として外気がすでに10ppm以上ある場合には20ppm以下
ウ 二酸化炭素の含有率	100万分の1000以下(=1000 ppm以下)
エ 温度	(1) 17℃以上28℃以下 (2) 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。
オ 相対湿度	40%以上70%以下
カ 気流	0.5 m/秒以下
キ ホルムアルデヒドの量	0.1 mg/m3以下(=0.08 ppm以下)
(2) 機械換気設備を設けている場合の空気環境の基準	
建築物衛生法において、機械換気設備とは、「外から取り入れた空気等を浄化し、その流量を調節して供給することができる設備」をいいます。すなわち、空調設備のうち、温度調節及び湿度調節の機能を欠く設備のことです。	
機械換気設備を設けている場合は、居室において、下表の基準におおむね適合するように、厚生労働大臣が定める「 空調設備等の維持管理及び清掃等に係る技術上の基準 」に従い、機械換気設備の維持管理に努めなくてはなりません。	
ア 浮遊粉じんの量	0.15 mg/m3以下
イ 一酸化炭素の含有率	100万分の10以下(=10 ppm以下) ※特例として外気がすでに10ppm以上ある場合には20ppm以下
ウ 二酸化炭素の含有率	100万分の1000以下(=1000 ppm以下)
エ 気流	0.5 m/秒以下
オ ホルムアルデヒドの量	0.1 mg/m3以下(=0.08 ppm以下)
<ul style="list-style-type: none"> ● 「居室」とは、建築基準法第2条第4号の定義と同義であり、居住、執務、作業、集会、娯楽その他これらに類する目的のために使用する室をいいます。 ● 空調設備及び機械換気設備が備える機能の一つである「浄化」とは、外気導入ができるものを前提としています。 ● 空調設備は、浄化、温度調節、湿度調節、流量調節の機能のうち、一つでも欠ければ、当該設備に該当しないこととなりますが、この4つの機能を「複数の設備」で満足している場合にも、これらを一体的に捉え、空調設備とみなすことが適当と判断されます。 	

2.3 調査フロー

本調査では以上の背景を踏まえ、図 2-6 に示すように 2 種類の実態調査を行ったうえで、ZEB 化実現のために現行販売されている設備機器選定の注意点、ZEB 化を実現するための設備機器の運用改善点、運用実態に即した設備機器開発の課題を整理する。本調査の成果は、今後、学校の冷房化が促進すると考えらえるアジア諸国の蒸暑地域への展開が可能と考えられ、調査することの意義は大きい。

上記の設備機器の提案を行うに当たっては、全国概略調査と詳細調査を受けて、数値シミュレーションなどを駆使して地域性を考慮した省エネルギー効果を試算する。

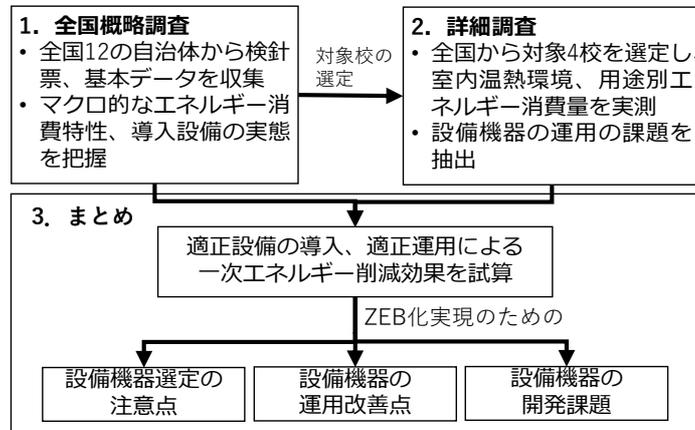


図 2-6 提案する調査フロー

⁷ 厚生労働省ホームページ <https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seikatsu-eisei10/index.html>

2.4 調査体制

(1) 調査体制スキーム

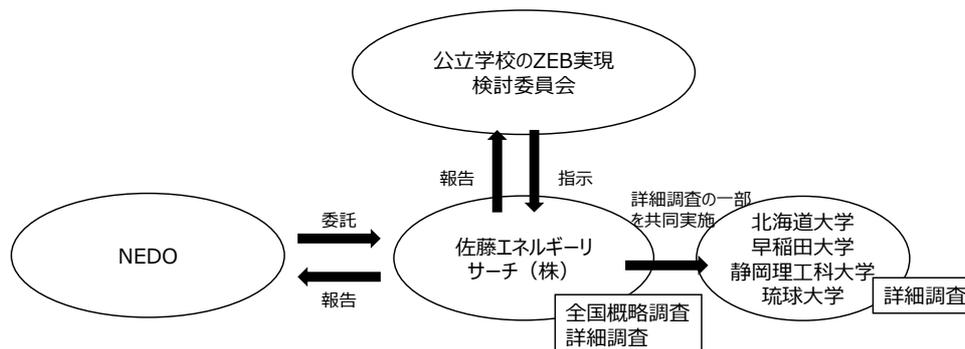


図 2-7 調査体制スキーム

(2) 公立学校の ZEB 実現検討委員会

表 2-3 公立学校の ZEB 実現検討委員会の委員

委員会役職	氏名	所属
委員長	田辺 新一	早稲田大学創造理工学部教授
委員	高口 洋人	早稲田大学創造理工学部教授
委員	石川 春乃	静岡理科大学理工学部准教授
委員	菊田 弘輝	北海道大学工学研究院准教授
委員	中島 祐輔	工学院大学建築学部教授
委員	富樫 英介	工学院大学建築学部准教授
委員	對馬 聖菜	早稲田大学創造理工学部講師
オブザーバ	堤 純一郎	琉球大学工学部教授
オブザーバ	渡邊 恭令 ^{※1}	文部科学省大臣官房
オブザーバ	木村 吉宏 ^{※2}	文教施設企画・防災部施設企画課
オブザーバ	中村 仁 ^{※3}	
オブザーバ	田中 宏和	経済産業省資源エネルギー庁省エネルギー課
オブザーバ	田村 順一	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
オブザーバ	柳田 晃輔 ^{※4}	省エネルギー部開発グループ
オブザーバ	福島 真緒 ^{※5}	
オブザーバ	高橋 ひとみ ^{※6}	
事務局	佐藤 誠	佐藤エネルギーリサーチ
事務局	小田桐 直子	

※1 ~2019年3月 ※2 2019年4月~2019年12月 ※3 2020年1月~ ※4 ~2019年7月

※5~2019年10月 ※6 2019年8月~ ※7 所属は委員会への着任時点

2.5 スケジュール

表 2-4 に調査スケジュールを示す。

表 2-4 スケジュール

事業項目	2018 年度		2019 年度			2020 年度
	第 4 四半期	第 1 四半期	第 2 四半期	第 3 四半期	第 4 四半期	第 1 四半期
①全国概略調査						
①-1 教育委員会に対してのヒアリング	→					
①-2 小中学校の検針票データ集計		→				
①-3 各地域における小中学校のエネルギー消費特性分析			→			
②詳細調査						
②-1 調査全体計画			→			
②-2 各地域の小学校の詳細調査 (担当:北海道大学、早稲田大学、静岡理工科大学、琉球大)			→	→	→	
②-3 ZEB 実現のための課題の抽出				→	→	
③ZEB 実現に向けた検討						→
④機器揮発へ向けた課題の整理・まとめ						→
⑤公立学校の ZEB 実現検討委員会	■	■		■	■	■※

※新型コロナウイルス感染防止のためメール審議に振り替えた

2.6 一次エネルギー換算係数

表 2-5 に示す一次エネルギー換算係数を用いた。

表 2-5 一次エネルギー換算係数

	換算係数
電力	9.76MJ/kWh
都市ガス	45MJ/m ³
LP ガス	100.46MJ/m ³
灯油	36.7MJ/リットル

3. 全国概略調査

3.1 調査概要

3.1.1 調査内容

調査対象は、平成 28 年省エネ基準における地域区分 1～8 の中核都市より 12 自治体を選定した。各自治体に下記の情報を提供してもらうとともに、ヒアリングを行った。各学校の資料が揃っていないものについては、ヒアリングによって確認した。これらの収集データからエネルギー消費量の用途分解を行い「冷房・暖房・給食・プールろ過ポンプ・温水プール加熱・その他(照明・換気・コンセント)」にエネルギー消費量を分離し、各地域のエネルギー消費特性の把握を行った。

表 3-1 各自治体から収集したデータ

検針票に基づく月積算エネルギー消費量調査	電力	昼間・夜間、売電
	ガス	一般、給食、空調 (GHP の場合)
	灯油・重油	—
エネルギー消費特性分析に必要な対象校の基本データの収集	校舎・体育館	竣工年、延床面積、断熱性能、構造、階数、棟数
	規模	学級数、児童・生徒・教職員数
	設備※	暖房・冷房の有無・方式・メンテナンス方法
		換気設備の有無・方式・メンテナンス方法
		照明設備の種類
自校式給食室の有無・方式		
	浄化槽・プールの有無	

※全学校に対するデータがそろっていない場合は、教育委員会に対するヒアリングで補完する

3.1.2 調査対象校

調査対象校を表 3-2 に示す。5 地域、6 地域は自治体によって普通教室への冷暖房導入状況が異なるため、複数自治体を選定した。なお、6N-a、6N-b は 2020 年度に普通教室の冷房化が完了した自治体であり、本報の調査時点においては冷暖房が行われていない。

表 3-2 全国概略調査対象校自治体の小中学校

自治体名 ^{※1}		1H	2H	3H	4H	5H	5HC	6H	6HC	6N-a	6N-b	7HC	8C	計
小学校	分析対象校数	54	192	39	119	106	102	105	113	82	12	139	36	1,099
	平均児童数	279	452	338	441	371	657	435	646	389	440	567	552	481
	平均学級数	10.4	15.6	11.8	14.4	13.6	19.9	14.8	20.0	13.4	13.5	18.1	18.3	15.9
	平均建築年 ^{※2}	1985	1983	1986	1986	1985	1979	1978	1988	1979	1979	1978	1991	1983
	平均校舎面積[m ²]	4,076	5,777	4,657	5,481	4,722	6,185	5,385	5,974	4,761	4,406	5,373	6,022	5,407
	平均体育館面積[m ²]	907	1,151	993	939	1,100	896	840	814	835	915	828	1,066	948
	PV 設置比率	11%	54%	23%	100%	9%	100%	11%	46%	16%	33%	37%	44%	45%
	平均設置容量[kW] ^{※3}	6.2	12.2	14.4	10.0	9.8	19.1	15.8	11.8	15.0	6.3	10.1	10.0	12.8
中学校	分析対象校数	23	96	20	60	56	56	54	52	42	4	66	17	546
	平均生徒数	323	456	359	386	342	556	427	563	358	619	541	531	451
	平均学級数	9.5	14.1	10.7	11.8	11.0	15.3	12.4	15.4	11.6	16.3	15.0	15.1	13.2
	平均建築年	1987	1985	1986	1984	1987	1980	1979	1988	1980	1976	1979	1993	1984
	平均校舎面積[m ²]	5,713	6,896	5,373	5,972	5,463	6,754	6,102	6,647	5,558	6,530	6,080	6,834	6,219
	平均体育館面積[m ²]	1,188	1,299	1,190	1,143	1,416	1,173	1,065	1,055	1,029	1,369	1,049	1,211	1,173
	PV 設置比率	13%	43%	20%	100%	16%	100%	20%	33%	12%	25%	33%	18%	42%
	平均設置容量[kW]	20.1	12.6	15.0	10.0	10.4	19.4	14.5	9.4	18.0	20.0	10.0	10.0	13.4

※1)自治体名は、平成 28 年省エネ基準の地域区分＋普通教室の暖冷房状況で表す。H:暖房、C:冷房、N:冷暖房なし

※2)平均建築年は、校舎で保有面積が最大の棟の建築年とした ※3)太陽光発電設置校の平均設置容量[kW]

3.2 検針値の用途分解の方法

自治体より提供された公立小中学校のエネルギー種別ごとの検針値、学校情報を基に、以下の 6 用途に分離する方法について述べる。

- ①冷房用
- ②暖房用
- ③給食用
- ④プールろ過ポンプ用
- ⑤温水プール加熱用
- ⑥その他用(照明、コンセント、換気)

3.2.1 エネルギー種ごとの用途分解対象用途の調整

自治体より提供された学校ごとの検針値は、最も詳細な区分で表 3-3 に示す 22 分類の月ごとの値である。ただし、自治体によっては大分類で集計済の数値となっている。エネルギー種に対し、同表の「分解用途」列にある用途に分類することとした。

表 3-3 エネルギー種ごとの発熱量と分解用途

エネルギー種		単位	発熱量 [MJ/@]	分解用途					
大分類	小分類			冷房	暖房	給食	プールろ過	プール加温	その他
電力	冷房	kWh	9.76	○					
電力	暖房等	kWh	9.76		○				
電力	通年	kWh	9.76	○	○	○	○		○
都市ガス	冷房	m ³	45	○					
都市ガス	暖房	m ³	45		○				
都市ガス	空調	m ³	45	○	○				
都市ガス	一般	m ³	45	○	○	○			○
都市ガス	給食	m ³	45			○			
都市ガス	体育館	m ³	45		○				
都市ガス	その他	m ³	45						○
プロパンガス	冷房	m ³	103.9	○					
プロパンガス	暖房	m ³	103.9		○				
プロパンガス	空調	m ³	103.9	○	○				
プロパンガス	一般	m ³	103.9	○	○	○			○
プロパンガス	給食	m ³	103.9			○			
プロパンガス	体育館	m ³	103.9		○				
プロパンガス	その他	m ³	103.9						○
灯油	暖房	L	36.7		○				
重油	暖房	L	39.1		○				
重油	給食	L	39.1			○			
重油	その他	L	39.1		○			○	
温水	温水	MJ	1.36		○				

例えば、センター方式の給食を提供している学校においては、給食用への用途分解は行ってはいけないため、全ての学校に対する用途から表 3-4 示す学校情報を基に図 3-1 に示すフローで用途分解対象用途を調整する。

自治体 6H、6N-a は、調査対象期間である 2017 年 4 月に電力小売事業者の変更を行った。変更に伴い、検針日が一律 1 日となったため、4 月分の集計日数が学校によってことなり、季節変動から用途分離する本手法にはそぐわない。そのため、ここでは 4 月の値は 5 月と同じ値を用いることとした。

表 3-4 検針値からの用途分解に必要な学校情報

項目	用途分解への影響内容
小中学校フラグ	給食調理エネルギーに影響
分析対象フラグ	分校などを対象外とする場合 True
給食方式	給食調理エネルギーの用途分解要否
給食用独立計量メータ有無	給食調理エネルギーの用途分解要否
給食調理食数	給食調理エネルギーに影響
月平均給水温度	給食調理エネルギーに影響
冷暖房期間	冷暖房用、その他用エネルギーの用途分解に影響
温水プール有無	プール加温用エネルギーの用途分解要否
プール開始日	プールろ過ポンプ用エネルギーに影響
プール終了日	プールろ過ポンプ用エネルギーに影響
プールろ過ポンプ有無	プールろ過ポンプ用エネルギーに影響
プールろ過ポンプ消費電力	プールろ過ポンプ用エネルギーに影響
プールろ過ポンプ日運転時間	プールろ過ポンプ用エネルギーに影響
月稼働日数比率	その他エネルギーの用途分解に影響
全エネルギー種の月消費量	エネルギー消費量全般に影響

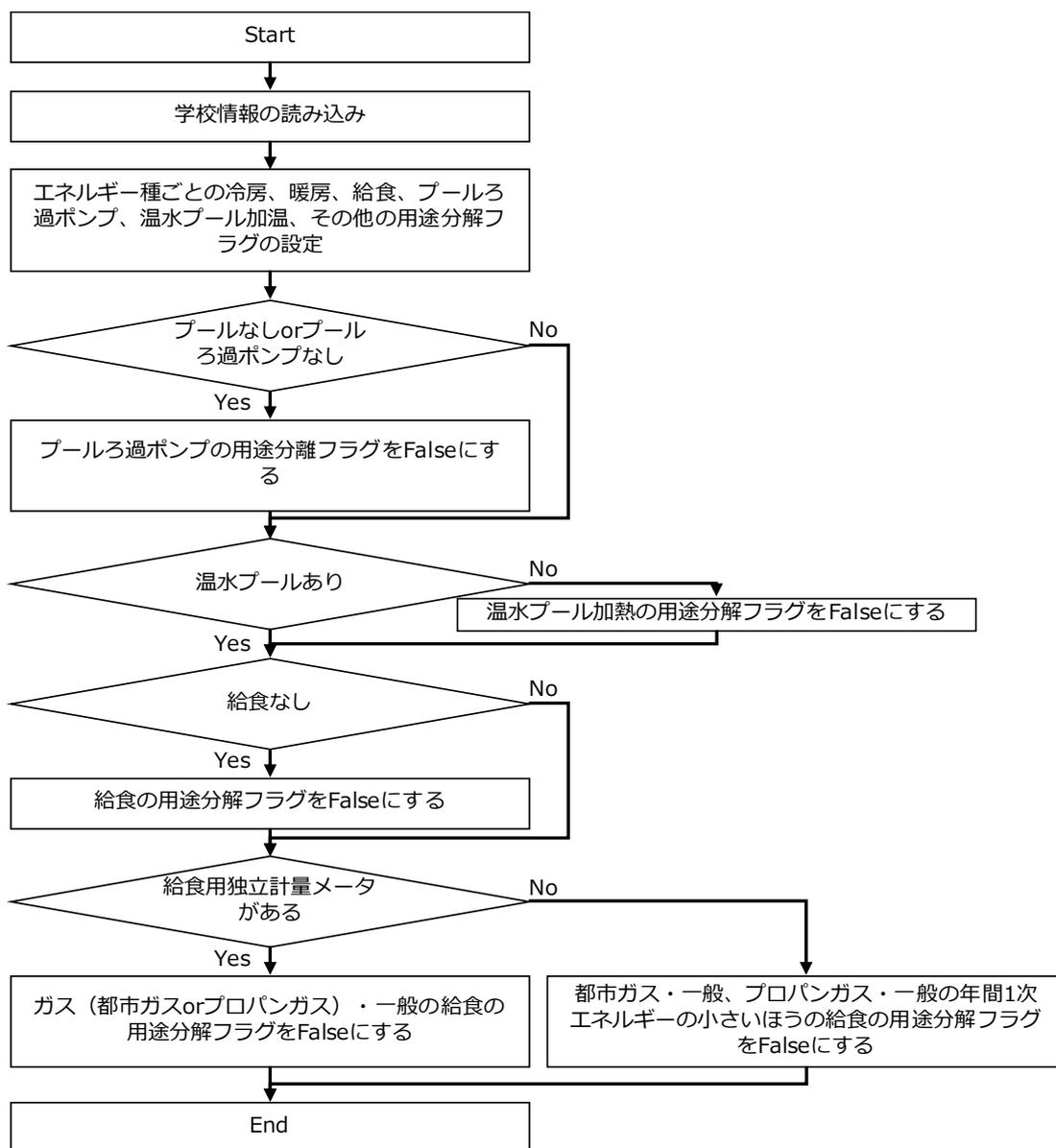


図 3-1 検針値の用途分解の対象用途調整のフロー

検針値の用途分解の概念を図 3-2 に示す。検針値を学校の特性や季節変動から案分する方法である。検針値は維持することから、学校単位の 1 次エネルギーは担保される。エネルギー残差がゼロとなるまで案分を繰り返す。

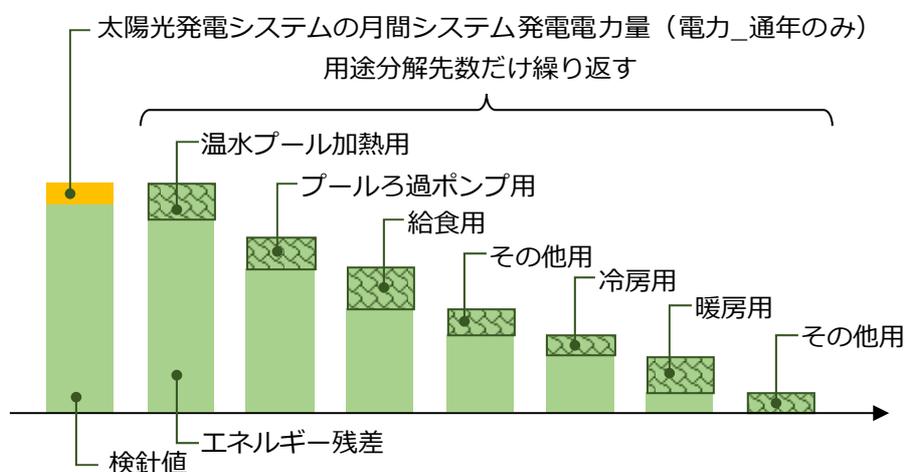


図 3-2 用途分解の概念

用途別エネルギーの推定法を表 3-5 に示す。同表の順序で用途を分解する。

表 3-5 用途別エネルギーの推定方法

用途分解順序	用途別エネルギーの推定方法
①温水プール加熱用	冷房を実施する期間のエネルギー残差
②プールろ過ポンプ用	プール日数×プールろ過ポンプ日運転時間×プールろ過ポンプ消費電力 プール日数、プールろ過ポンプ日運転時間:自治体へのヒアリング・詳細調査結果(表 3-6) プールろ過ポンプ消費電力:プール面積(プール面積が得られない場合は延床面積)より推定(表 3-8、表 3-9)
③給食用	表 3-11 に示す
④その他用	中間期(暖冷房を実施しない月)の中で最小となるエネルギー残差(ただし、8月を除く)に月稼働日数比率を乗じる
⑤冷房用	冷房を実施する期間のエネルギー残差
⑥暖房用	暖房を実施する期間のエネルギー残差
⑦その他用	エネルギー残差

3.2.2 プールろ過ポンプ運転設定

(1) プールろ過ポンプの稼働時間

プールろ過ポンプの稼働時間は、自治体へのヒアリングで得られたプール運用期間とプール日運転時間から求める。詳細調査を実施している4校の測定結果を見ると、24時間/日もしくは14時間/日であった。ここでは、24時間稼働で設定した時のプールろ過ポンプ消費電力量が検針値を超える場合には14時間稼働に校別に設定することとした。また、普通教室に冷房を導入していない1H、2H、3H、4Hについては、7月の電力検針値からプールろ過ポンプの電力量を差し引いた残差が、9月の検針値よりも極端に小さくなる学校が多かったため、稼働時間を14時間/日とした。

表 3-6 設定したプール期間とプールろ過ポンプ日運転時間

自治体略称	プール開始日	プール終了日	プールろ過ポンプ日運転時間[h/日]
1H	6月20日	8月15日	14
2H	6月20日	8月15日	14
3H	6月20日	8月15日	14
4H	6月20日	8月15日	14
5H	6月20日	8月15日	24
5HC	6月20日	8月15日	24
6HC	6月20日	8月15日	24
6H	6月20日	8月15日	24
6N-a	6月20日	8月15日	24
6N-b	6月20日	8月15日	14
7HC	6月20日	8月31日	24
8C	6月20日	8月15日	24

(2) プールろ過ポンプ消費電力

プールろ過ポンプの稼働時消費電力は、5H より入手したプールろ過ポンプの型番から調査した。メーカーへのヒアリングで得られた効率 90%とモートルより消費電力を決定した。2 社のカタログを表 3-7 にまとめる。

表 3-7 モートルと消費電力の関係

	型式	ろ過能力[m ³ /h]	モートル[kW]	消費電力[kW](効率 90%で計算)
S 社	FP-80	40	3.7	4.1
	FP-150	75	5.5	6.1
	FP-200	100	7.5	8.3
	FP-300	150	11.0	12.2
T 社	TS-1	40	3.7	4.1
	TS-2	60	5.5	6.1
	TS-3	90	7.5	8.3
	TS-4	120	11.0	12.2

5Hについては、同時にプール面積、校舎・体育館等延床面積の情報も入手できたため、5H以外の自治体については、プール面積または校舎延床面積からプールろ過ポンプ消費電力を推定することとした。図 3-3 に 5H で調査したプール面積とプールろ過ポンプ消費電力の関係、図 3-4 に校舎・体育館等延床面積とプールろ過ポンプ消費電力の関係を示す。これらグラフから表 3-8、表 3-9 に示す方法でプールろ過ポンプの消費電力を推定した。

表 3-8 プール面積とろ過ポンプ消費電力の関係

プール面積	ろ過ポンプ消費電力
プール面積 < 300m ²	4.1kW
300m ² =< プール面積 <= 400m ²	6.1kW
400m ² =< プール面積	8.3kW

表 3-9 延床面積ろ過ポンプ消費電力の関係

延床面積(校舎・体育館等)	ろ過ポンプ消費電力
延床面積 < 5,000m ²	4.1kW
5,000m ² =< 延床面積 <= 7,000m ²	6.1kW
5,000m ² =< 延床面積 <= 7,000m ²	8.3kW

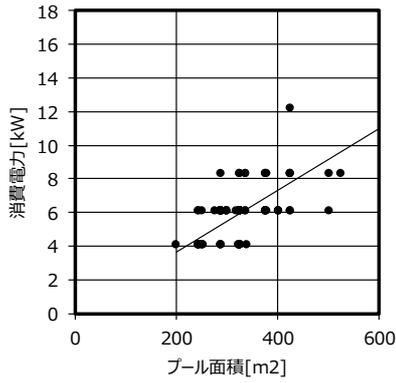


図 3-3 プール面積とろ過ポンプ消費電力の関係

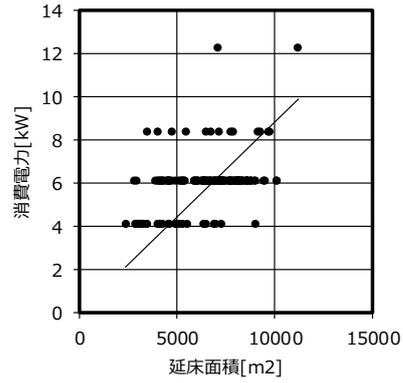


図 3-4 延床面積とろ過ポンプ消費電力の関係

表 3-10 に各自治体から得られているプールろ過ポンプ用消費電力推定のための情報を示す。5H は入手したプールろ過ポンプの型番から推定した消費電力、4H は表 3-8 のプール面積から推定したプールろ過ポンプ消費電力、それ以外は表 3-9 の校舎・体育館等延床面積から推定したプールろ過ポンプ消費電力を用いることとした。

表 3-10 各自治体から得られているプールろ過ポンプ用消費電力推定のための情報

自治体略称	プールろ過ポンプ消費電力	プール面積	校舎・体育館等延床面積
1H			○
2H			○
3H			○
4H		○	○
5H	○	○	○
5HC			○
6HC			○
6H			○
6N-a			○
6N-b			○
7HC			○
8C			○

3.2.3 給食用エネルギー消費量

(1) 給食用のガス消費量の推定方法

表 3-11 に給食用のガス消費量の用途分解方法の分類を示す。

表 3-11 給食用ガス消費量の用途分解方法の分類

分類	独立計量メータ	給食用エネルギー消費量	備考
給食なし	—	ゼロ	センター方式、親子方式(近隣の学校の給食室で調理した食事を輸送する方式)の子
給食あり	独立計量メータ設置 独立計量メータ非設置	給食用ガスメータの検針値 小学校: $E_{cooking} = \max((60 - T_{cw}) \cdot (3.5719 \cdot \log N_{meals} - 12.898), 0.0)$ 中学校: $E_{cooking} = \max((60 - T_{cw}) \cdot (7.0085 \cdot \log N_{meals} - 30.522), 0.0)$ $E_{cooking}$: 給食用年間1次エネルギー消費量[GJ/年]、 T_{cw} : 年平均給水温度[°C]、 N_{meals} : 調理食数(親子方式の親の場合は子の食数も加算する)一般のガスメータ検針値から案分する。上記から求めた年間給食用エネルギーに月別比率(図 3-7)を乗じる。計算式の詳細は①に示す。	

① 独立計量メータ非設置の年間給食用ガス消費量の推定方法

給食調理用のガス消費量は、給食用独立計量メータが設置されていれば当該メータの計量値で把握できるが、一般のメータに計上されている場合は用途分解する必要がある。ここでは、独立計量メータ設置されている学校の中から下記条件の学校を選定(表 3-12)し、独立軽量メータ非接地の学校の給食用ガス消費量を推定するモデルを構築する。

- 給食用独立計量メータの検針値を入手
- 給食用ガス検針値が 12 か月分計上されている

表 3-12 給食用エネルギー消費量推定モデル構築のためのサンプル数

自治体略称	小	中	小計
1H	24	2	26
2H	43	27	70
3H	0	0	0
4H	60	12	72
5H	58	8	66
5HC	85	49	134
6HC	102	0	102
6H	0	0	0
6N-a	0	0	0
6N-b	0	0	0
7HC	0	0	0
8C	16	1	17
小計	388	99	487

表 3-12 に示すように、モデル構築に利用可能なサンプル数が限られていることから地域特性を含んだモデルとすることを考える。ここでは、地域によってメニューの偏りがないと仮定し、給水温度のみによって変化すると考える。具体的には、使用する水温を 60℃と仮定し、(1)式のように給水温度との温度差で除して原単位化してモデルを構築した。

$$e_{\text{cooking}} = \frac{E_{\text{cooking}}}{60 - T_{\text{cw}}} \quad (1)$$

自治体ごとの給水温度は、平成 28 年省エネ基準における日平均給水温度の推定方法を年平均給水温度に読み替えている。(2)式に年平均給水温度の計算法を、各自治体の推定係数を表 3-13、推定結果を表 3-14 に示す。

$$T_{\text{cw}} = a_w \cdot T_o + b_w \quad (2)$$

- ここで、 T_{cw} : 年平均給水温度[℃]
 T_o : 年平均外気温度[℃]
 a_w, b_w : 給水温度推定のための係数

表 3-13 給水温度計算のための傾きと切片⁸

	H28 省エネ基準地域区分							
	1 地域	2 地域	3 地域	4 地域	5 地域	6 地域	7 地域	8 地域
a_w	0.664	0.664	0.605	0.605	0.866	0.852	0.922	0.692
b_w	3.466	3.466	4.515	4.515	1.665	2.473	2.097	7.167
対象自治体	1H	2H	3H	4H	5H, 5HC	6HC, 6H-a, 6N-a, 6N-b	7HC	8C

⁸ 建築物省エネ法の給水温度における日平均外気温度、日平均給水温度を月平均外気温度、月平均給水温度に読み替えた

表 3-14 対象自治体ごとの月平均給水温度推定値

自治体	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均	備考
1H	0.5	0.5	3.4	7.5	12.6	13.6	18.5	16.9	13.7	9.0	4.9	0.5	8.5	
2H	1.7	0.7	5.1	8.6	13.0	14.1	18.7	17.9	15.2	11.0	6.3	2.1	9.5	
3H	3.4	2.9	6.9	10.1	14.3	15.3	19.2	18.0	15.6	11.8	8.1	4.3	10.9	
4H	5.4	5.4	9.1	11.5	14.8	15.8	19.7	18.4	17.3	13.5	10.0	6.6	12.3	
5H	3.1	2.9	8.2	11.7	17.0	18.1	24.1	24.4	20.5	15.9	9.5	5.0	13.4	
5HC	4.3	5.5	10.9	14.0	18.9	21.0	25.6	24.4	21.3	16.1	10.8	6.1	14.9	
6HC	7.2	7.6	12.6	15.2	19.5	21.2	25.6	25.1	22.2	17.2	13.5	9.0	16.3	近隣観測地で代用
6H	7.2	7.4	12.6	15.1	19.4	21.3	25.8	25.2	22.3	17.4	13.6	9.1	16.4	
6N-a	7.7	8.2	13.2	15.4	19.5	21.2	25.9	26.2	23.0	18.7	14.3	9.0	16.9	
6N-b	7.7	8.2	13.2	15.4	19.5	21.2	25.9	26.2	23.0	18.7	14.3	9.0	16.9	近隣観測地で代用
7HC	7.4	7.8	13.1	17.3	21.5	23.4	29.2	29.3	24.5	20.4	14.6	8.9	18.1	
8C	19.1	18.9	20.9	22.1	23.9	25.6	27.9	28.2	27.2	25.9	22.9	19.6	23.5	

図 3-5 に原単位化した給食用エネルギー消費量と調理する食数の関係を示す。給食用エネルギー消費量の特性としては、2H だけが外れる傾向にあること、小学校と中学校では1人当たりの食す量が異なることから傾向が異なることが確認できた。2H が外れる要因として、加熱調理に蒸気ボイラで製造された蒸気を使用しており、蒸気配管からの熱損失などの影響によりやや大きめのエネルギー消費量になっていると推測できる。

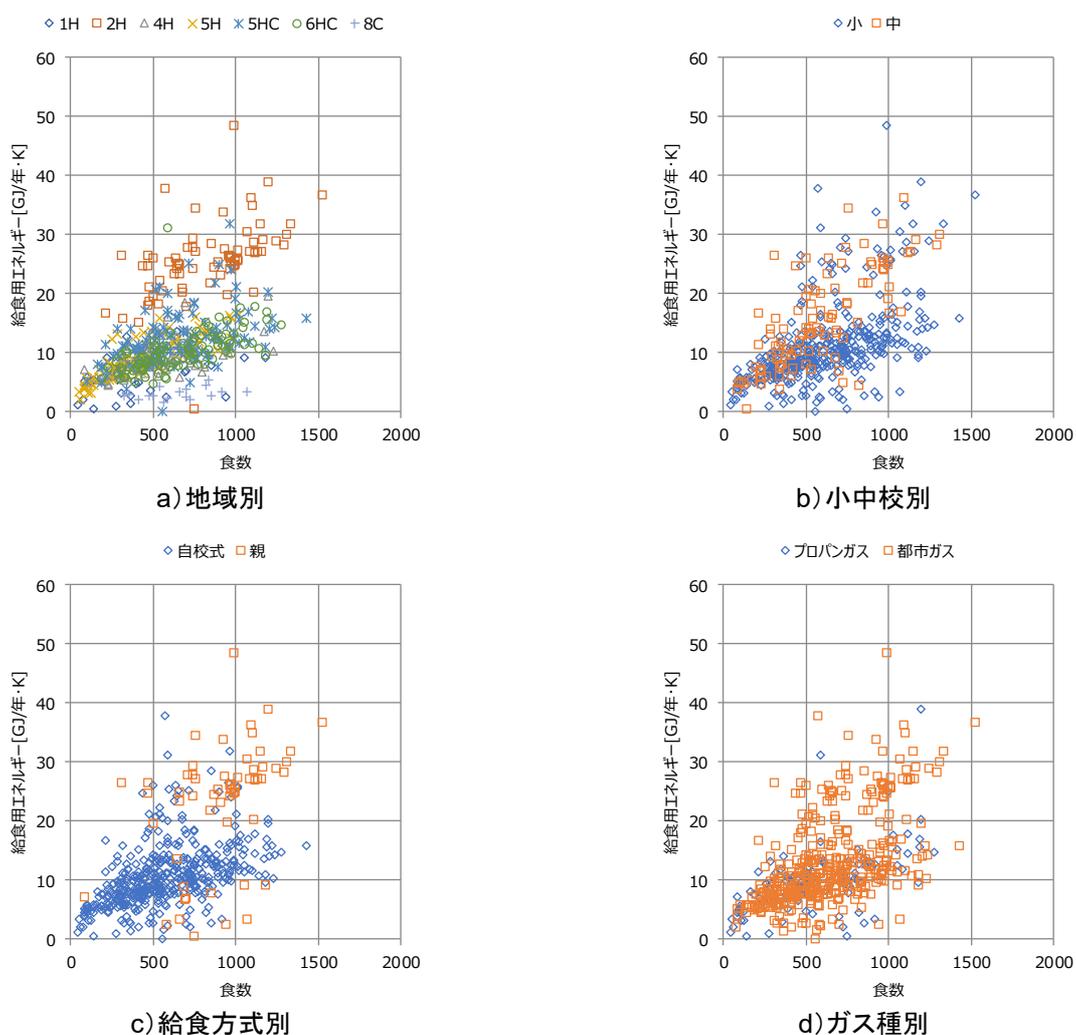


図 3-5 給食用エネルギー消費量の特性

図 3-5 で特性の異なる 2H を除いて、小中学校別に食数と給食用エネルギー消費量の関係を図 3-6 に示す。決定係数がやや小さいが、全体的な傾向をよくとらえている。ここでは、2H 自治体も含めて図 3-6 のモデルを適用することとする。

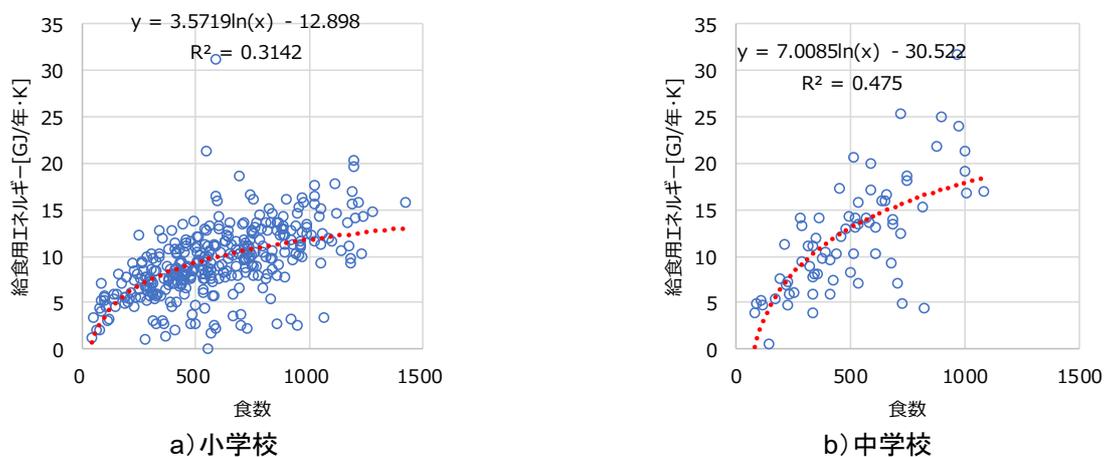


図 3-6 給食用エネルギー消費量の推定モデル

② 独立計量メータ非設置の月積算給食用ガス消費量の推定方法

月積算給食用ガス消費量は、ここでは、表 3-12 に示した全サンプルの年間給食用エネルギー消費量に対する各月の比の平均値(図 3-7)を乗じる方法を採用する。

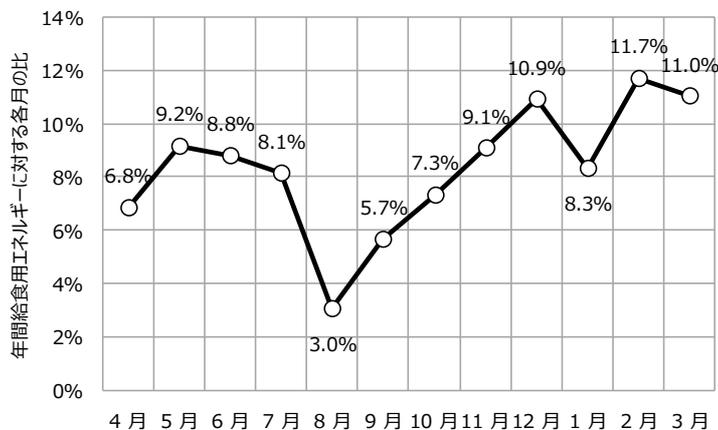


図 3-7 年間給食用エネルギー消費量に対する各月の比

(2) 給食用電力消費量の推定法

電力に関しては、給食用と他の用途でメータが分かれていない。ここでは、本調査の詳細調査で給食用の電力を測定した 2H、6HC、8C の小学校および既往⁹の矢吹小・金閣小の給食用電力を用いて推定した。2H、6HC、8C の学校の食数は 871 食、871 食、1564 食と食数が多いため、食数が少ない既往調査の結果も用いた。矢吹小は 254 食、金閣小は 566 食である。

図 3-8 に月別の給食用電力エネルギー消費量を示すように、学校の電力エネルギー消費量は大きく異なるが、月別の変動は小さい。8C の学校がまた、5 校の 1 年間の月別の電力エネルギー消費量が把握できていないことから、それぞれの学校の測定期間より平日と休日における食数と 1 日当たりの給食用電力エネルギー消費量の関係より給食用電力エネルギー消費量を推定した。結果を図 3-9 に示す。

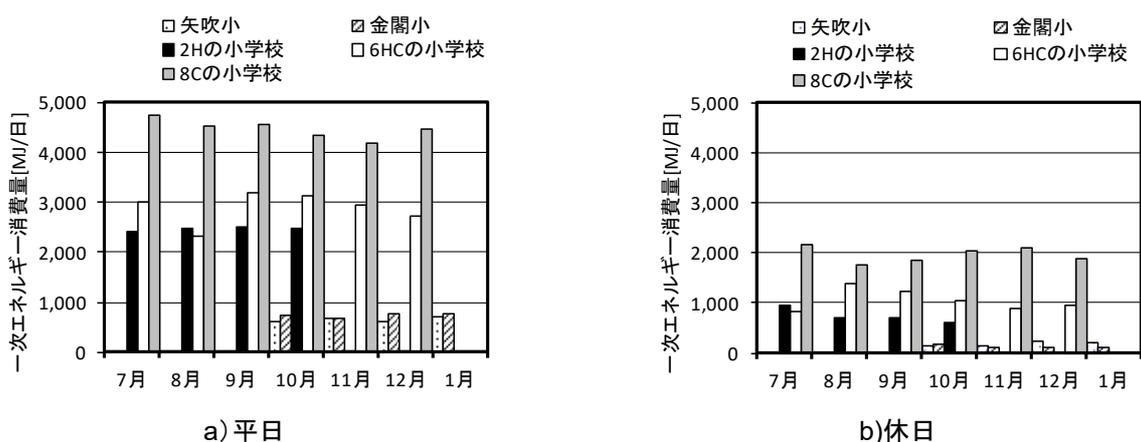


図 3-8 月別の給食用電力エネルギー消費量

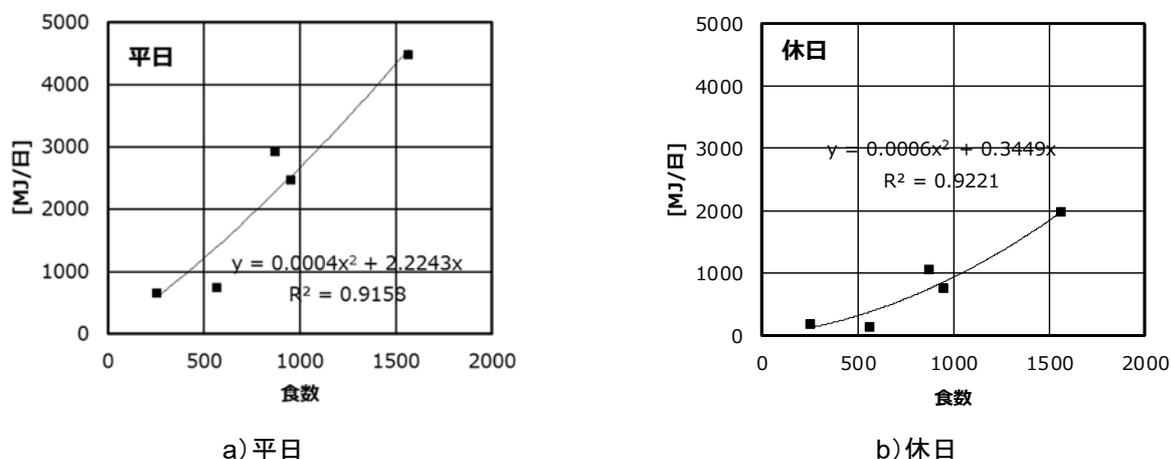


図 3-9 給食用電力エネルギー消費量の推定モデル

⁹ スーパーエコスクール実証事業における学校施設のエネルギー使用実態等調査— 学校施設の環境に関する基礎的調査 研究報告書 — (平成 24 年度とりまとめ)

3.2.4 その他用(電力)

月稼働日数比率は、表 3-15 の通りに設定した。夏休みについては詳細調査の結果を元に比率を低く設定した。詳細調査の「その他電力」の9月に対する8月の割合は、2Hの小学校で81%、その他の6HCで73%、6N-bで71%、8Cで59%であった。

中学校に関しては、8月と9月において、電力消費量がほぼ同じであったため8月も他の月と同様に100%とした。部活動等で体育館や教室を使用しているためと考えられる。

表 3-15 月稼働日数比率

	自治体	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
小学校	1H～3H	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	80%	100%	100%	100%	100%
	4H～7HC	同上	70%	同上	同上	同上	同上						
	8C	同上	60%	同上	同上	同上	同上						
中学校	すべて	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

3.2.5 太陽光発電システムの月間システム発電電力量

太陽光発電量の計算は、「JIS C8907:2005 太陽光発電システムの発電電力量推定方法」に準じる。以下に好いて方法を述べる。

JIS C8907 によると、月間システム発電電力量 E_{Pm} は(3)式で求められる。

$$E_{Pm} = \frac{K' \cdot K_{PT} \cdot P_{AS} \cdot H_{Am}}{G_S} \quad (3)$$

ここで、 E_{Pm} : 月間システム発電電力量[kWh/月]
 K' : 基本設計係数
 K_{PT} : 温度補正係数
 P_{AS} : 標準太陽電池アレイ出力[kW]
 H_{Am} : 月積算傾斜面日射量[kWh/(m²・月)]
 G_S : 標準試験条件における日射強度[kW/m²] (=1.0)

月積算傾斜面日射量 H_{Am} は、(4)式に示すように、NEDO の公開する年間月別日射量データベース(MONSOLA-11)に収録される月平均日積算斜面日射量 H_S にその月の日数 d を乗じて求められる。

$$H_{Am} = d \cdot H_S \quad (4)$$

ここで、 d : その月の日数
 H_S : 月平均日積算斜面日射量[kWh/(m²・日)]

(3)式における基本設計基準 K' は季節によらない補正係数であり、(5)式に示すように5つの補正係数の積である。

$$K' = K_{HD} \cdot K_{PD} \cdot K_{PM} \cdot K_{PA} \cdot \eta_{INO} \quad (5)$$

ここで、 K_{HD} : 日射量年変動補正係数
 K_{PD} : 経時変化補正係数
 K_{PM} : アレイ負荷整合補正係数
 K_{PA} : アレイ回路補正係数
 η_{INO} : 連系形インバータエネルギー効率

(3)式における温度補正係数 K_{PT} は加重平均太陽電池モジュール温度 T_{CR} に応じて、(6)式より求められる。

$$K_{PT} = 1 + \alpha_{Pmax} \cdot \frac{T_{CR} - 25}{100} \quad (6)$$

ここで、 α_{Pmax} : 最大出力温度係数
 T_{CR} : 加重平均太陽電池モジュール温度[°C]
25: 標準試験条件における外気温度[°C]

(6)式で使用する加重平均太陽電池モジュール温度 T_{CR} は、月平均気温に加重平均太陽電池モジュール温度上昇を加算する(7)式より求める。

$$T_{CR} = T_{AV} + \Delta T \quad (7)$$

ここで、 T_{AV} : 月平均気温[°C]
 ΔT : 加重平均太陽電池モジュール温度上昇[°C]

月間システム発電電力量を計算するための条件は、表 3-16 による。基本的には JIS C8907 に準じる。太陽光発電システムの設置角度は、設置している学校ごとに異なるが、情報が得られなかったため、一律方位角は南面、傾斜角は 20 度とした。

表 3-16 太陽光発電システムの発電量計算条件

項目	内容
月平均日積算斜面日射量 H_S 、月平均外気温度 T_{AV}	NEDO 年間月別日射量データベース(MONSOLA-11)
日射量年変動補正係数 K_{HD}	0.97
経時変化補正係数 K_{PD}	結晶系 0.95
アレイ回路補正係数 K_{PA}	0.97
アレイ負荷整合補正係数 K_{PM}	連系形 0.94
連系形インバータエネルギー効率 η_{INO}	0.90
加重平均太陽電池モジュール温度上昇 ΔT [°C]	裏面開放形(架台設置形) 18.4
最大出力温度係数 α_{Pmax} [%/°C]	結晶系 -0.40

3.2.6 用途分解の精度

図 3-10～図 3-13 に用途分解の結果と「4. 詳細調査」で実施した 4 校の実測値の比較を示す。用途分解は 2017 年の検針値、実測値は 2019 年度の 7～1 月ため、外気温や運用状況がことなるため、用途分解の結果と実測値の差異はあるが、傾向はほぼあっている。

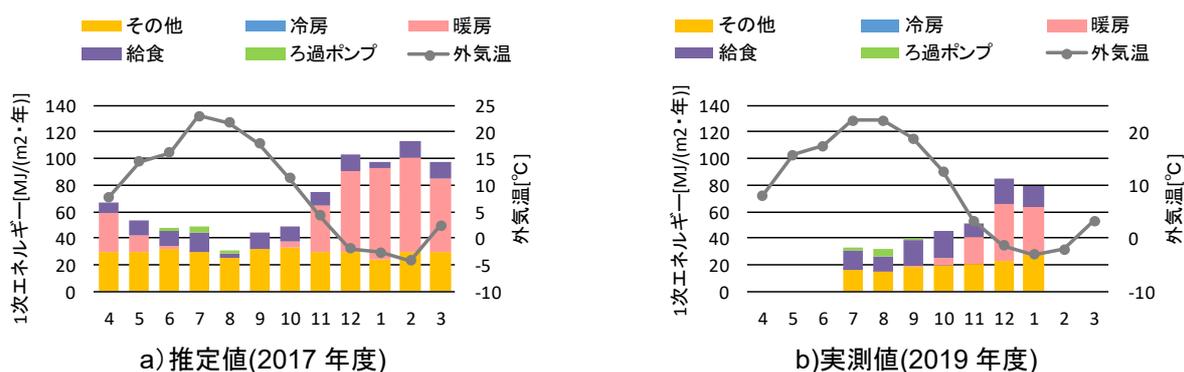


図 3-10 推定値と実測値の比較(2H の小学校)

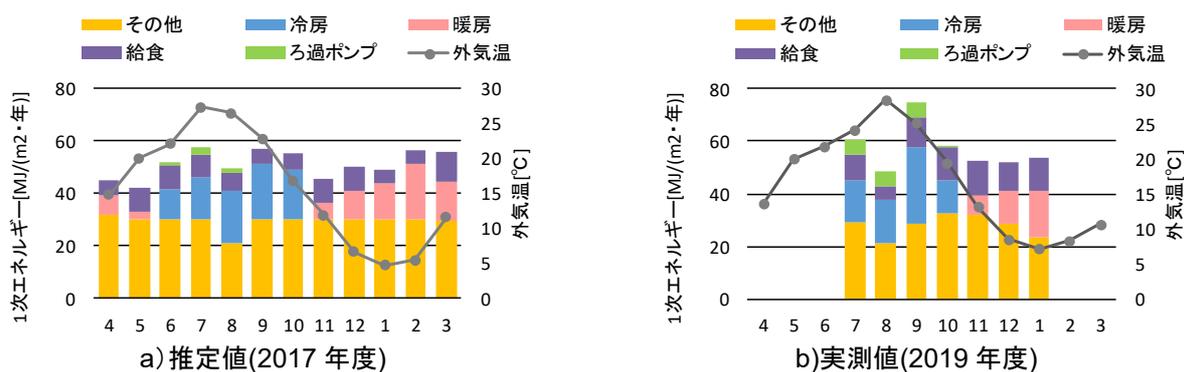


図 3-11 推定値と実測値の比較(6HC の小学校)

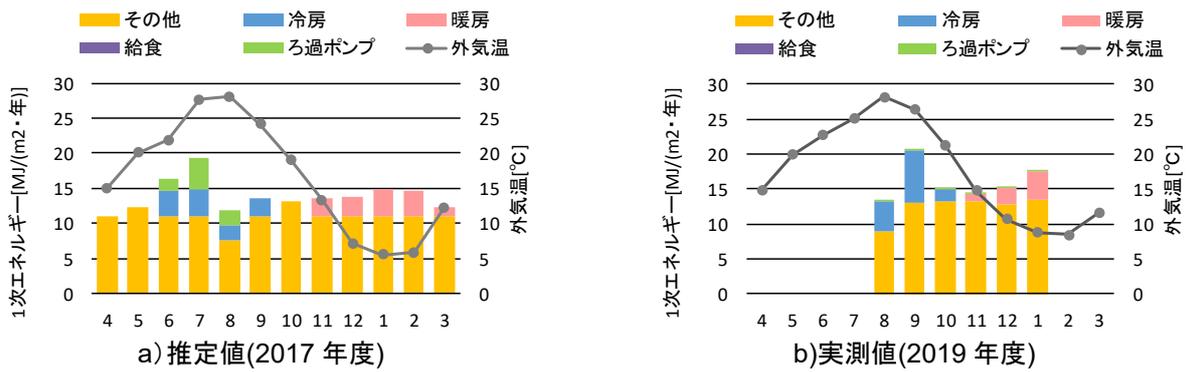


図 3-12 推定値と実測値の比較(6N-b の小学校)

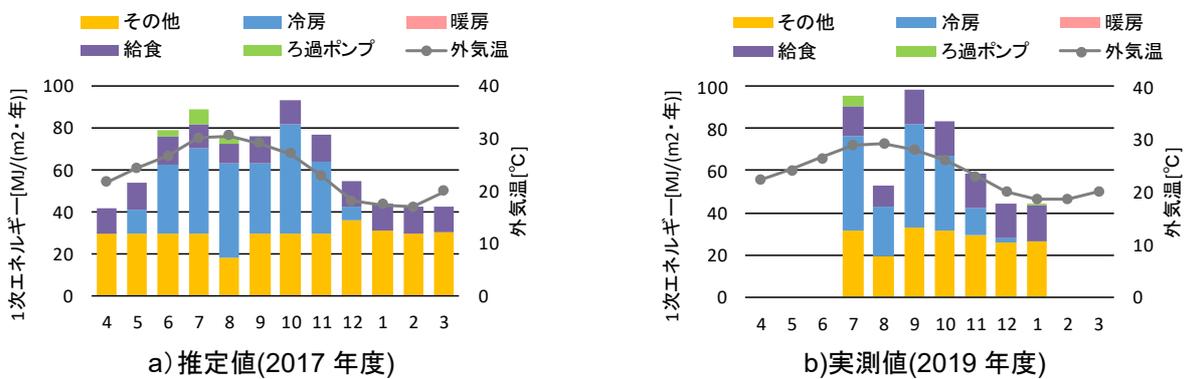


図 3-13 推定値と実測値の比較(9HC の小学校)

3.3 結果

3.3.1 施設・設備の状況

各自治体から提供された、施設台帳、設備機器リスト、ヒアリング等より、各自治体の施設・設備概要を表 3-17、表 3-18 に示す。主な特徴は下記の通りである。

- 1、2 地域以外は 2019 年までに普通教室に冷房を導入している。しかし、2019 年度に冷房を新規導入する学校で同時に換気設備を設置する自治体はない。
- 近年竣工した学校には、地域によらず躯体に断熱を施す自治体が多い。
- 1～4 地域においては、トイレに凍結防止用のパネルヒータを設置している。また、雨水排水のドレイン管にも凍結防止のため、テープヒータを設置している。
- 冷暖房設備のメンテナンスは外部委託している自治体が多いが、換気に関しては学校に一任している自治体が多い。

表 3-17 各自治体の公立学校の設備等の仕様・運用状況

自治体略称		1H	2H	3H	4H	5H	5HC
暖房	普通教室	ガス FF 灯油 FF	電気暖房器 ガス FF	灯油 FF 中央式(重油 ボイラ)	ガス FF 灯油 FF 中央式(熱源 不明)	灯油 FF	GHP 氷蓄熱 EHP
	特別教室	中央式(重油 ボイラ)	灯油 FF			GHP	
	管理諸室					GHP	
	体育館			一部に導入	なし	一部に導入	なし
	全館	全校全館	一部全館	一部全館	一部全館	一部全館	なし
冷房	普通教室	なし	なし	2019年導入	2019年導入	2019年導入	GHP 氷蓄熱 EHP
	PC室	EHP	不明	GHP(都市ガス エリア) EHP	EHP	GHP	
	音楽室	なし	不明	なし	EHP	GHP	
	その他特別 教室	なし	なし	2019年導入	2019年導入	GHP	
	管理諸室	なし	なし	2019年導入	2019年導入	GHP (保健室)	
	全館	なし	なし	なし	なし	なし	なし
換気	普通教室	3種	不明	3種	3種	3種	3種
	PC室	1種	不明	3種	3種	3種	3種
	音楽室	3種	不明	3種	一部1種	一部1種	3種
	その他特別 教室	3種	不明	3種	3種	3種	3種
	管理諸室	3種	不明	1種	3種	3種	3種
照明	LED照明	全面LEDは1 校	不明	なし	調査中	LED採用校あ り	なし
凍結防 止ヒータ	トイレ	パネルヒータ	パネルヒータ	パネルヒータ	パネルヒータ	なし	なし
	ドレイン管	テープヒータ	不明	テープヒータ	なし	なし	なし
暖房便 座	洋式化後	あり	不明	あり(温水洗浄 もあり)	あり	あり	なし
建物の 断熱性 能※1	屋根断熱	あり	あり	なし	あり	あり	あり
	外壁断熱	あり	あり	なし	なし	あり	あり
	サッシ	Low-E 複層	Low-E 複層	単板	単板	複層(一部 Low-E 複層)	単板
暖冷房メンテナ ンス	外部委託	不明	外部委託	外部委託	外部委託	外部委託	外部委託
換気メンテナ ンス	学校に一任	不明	学校に一任	学校に一任	学校に一任	学校に一任	不明
暖冷房ルー ル	学校に一任	学校に一任	学校に一任	学校に一任	学校に一任	学校に一任	学校に一任
換気ルー ル	学校に一任・ 窓開け換気が 多い	学校に一任	学校に一任	学校に一任	学校に一任	学校に一任・ 窓開け換気を 奨励している	学校に一任
備考		凍結防止のた めに夜間に暖 房する学校も ある		冷房化の際に 換気設備設置 しない	冷房化の際に 換気設備設 置しない 新築校は24 時間換気と外 気導入換気を 併設している	冷房化の際に 換気設備設 置しない	

※1)2015年以降に竣工した学校の性能

表 3-18 各自治体の公立学校の設備等の仕様・運用状況

自治体略称		6H	6HC	6N-a	6N-b	7HC	8C
暖房	普通教室	ガス FF 灯油 FF	GHP 氷蓄熱 EHP 中央式(空冷 HP・冷温水 発生機)	なし	なし	GHP EHP	なし
	特別教室			EHP	なし		
	管理諸室			EHP	灯油 FF		
	体育館	なし	なし	なし	なし	なし	なし
	全館	なし	中央式校は 全館	なし	なし	なし	なし
冷房	普通教室	2019年導入	GHP 氷蓄熱 EHP 中央式(空冷 HP・冷温水 発生機)	2019年導入	2019年導入	GHP EHP	GHP 氷蓄熱 EHP 中央式(ター ボ冷凍機・空 冷 HP)
	PC室			EHP	EHP 1校のみ GHP		
	音楽室			EHP			
	その他特別 教室			2019年導入	2019年導入		
	管理諸室			EHP	2019年導入		
	全館	なし	中央式校は 全館	なし	なし	なし	一部全館
換気	普通教室	3種	1種	3種	3種	不明	1種
	PC室	3種	1種	3種	3種	不明	1種
	音楽室	3種	1種	3種	3種	不明	1種
	その他特別 教室	3種	1種・3種	3種	3種	不明	1種
	管理諸室	3種	1種	3種	3種	不明	1種
照明	LED照明	なし	新築・改修校 はLED	部分的には ある	部分的には ある	全面LEDは 2校	全面LEDは 3校
凍結防止ヒ ータ	トイレ	なし	なし	なし	なし	なし	なし
	ドレイン管	なし	なし	なし	なし	なし	なし
暖房便座	洋式化後	なし	なし	なし	なし	なし	なし
建物の断熱 性能※1	屋根断熱	不明	あり	なし	なし	不明	あり
	外壁断熱	不明	あり	なし	なし		なし
	サッシ	単板	複層	単板	単板	単板	単板
暖冷房メンテ ナンス		不明	外部委託	なし	なし	PFI事業に含 む	
換気メンテナンス		不明	外部委託	学校に一任	学校に一任	学校に一任	学校に一任
暖冷房ルール		不明	学校に一任	学校に一任	学校に一任	学校に一任	5~10月
換気ルール		不明	新築:常時運 転、既築:学 校に一任	学校に一任	学校に一任	学校に一任	学校に一任
備考			体育館に太 陽熱暖房、ア ースチューブ 導入校あり	冷房化の際 に換気設備 設置しない	冷房化の際 に換気設備 設置しない	水不足対応 のため雨水 浄化槽がある 学校がある 体育館にク ールヒートレ ンチ採用校 あり	小学校はす べて幼稚園と 併設 全校ベランダ あり 新築校は24 時間換気と 外気導入換 気を併設して いる

※1)2015年以降に竣工した学校の性能

(1) 施設、児童・生徒人数

図 3-14 に各地域の平均延べ床面積を示す。延べ床面積には、校舎・体育館・武道場が含まれる。また、校舎には給食室も含まれる。自治体に関わらず小学校は 4000~8000m²が、中学校は 6000~9000m²が多い傾向がある。

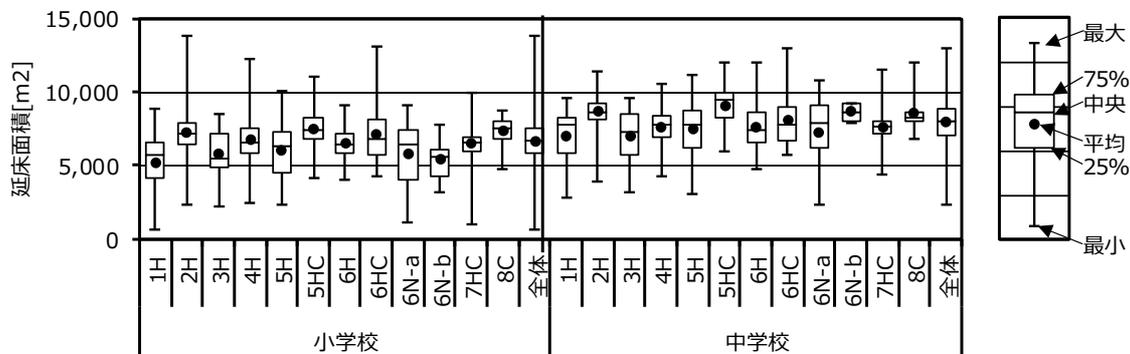


図 3-14 延床面積

図 3-15 に児童・生徒数を示す。温暖地、蒸暑地に比べ、寒冷地の児童・生徒数が少ない傾向がある。

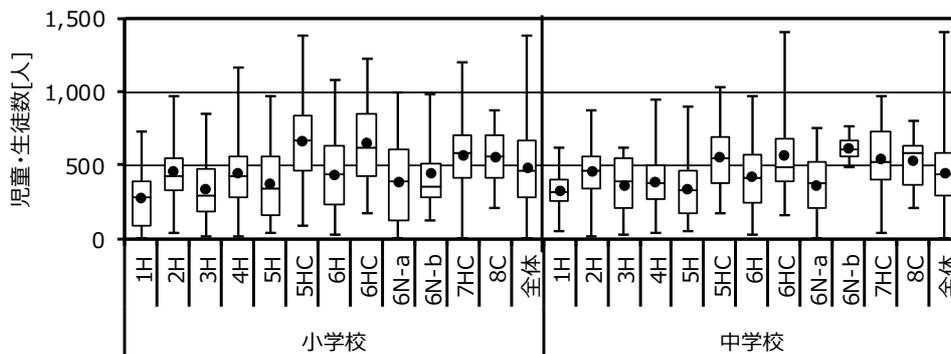


図 3-15 児童・生徒数

図 3-16 に建築年を示す。1975~1990 年に建築された校舎が多い。8C は 1980 年以降に建設された学校が多い。

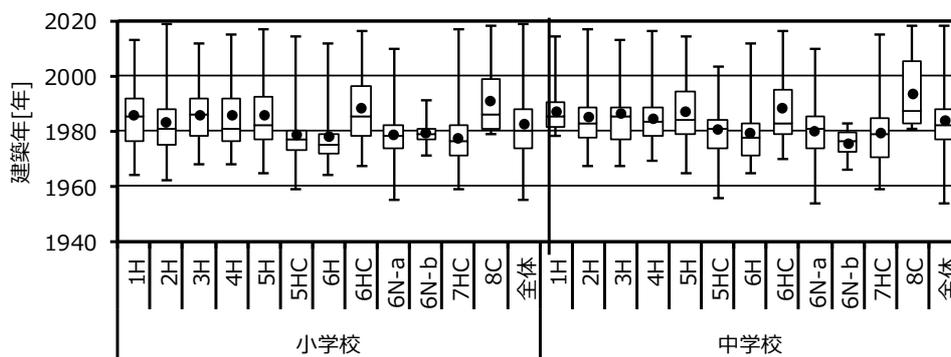


図 3-16 建築年

※校舎が複数ある場合は、最も面積の大きい校舎の建築年とした。

図 3-17、図 3-18 に児童・生徒数と延べ床面積の関係、児童・生徒数と学級数(普通教室)の関係を示す。延べ床面積よりも学級数の方が、児童・生徒数との相関が高い。

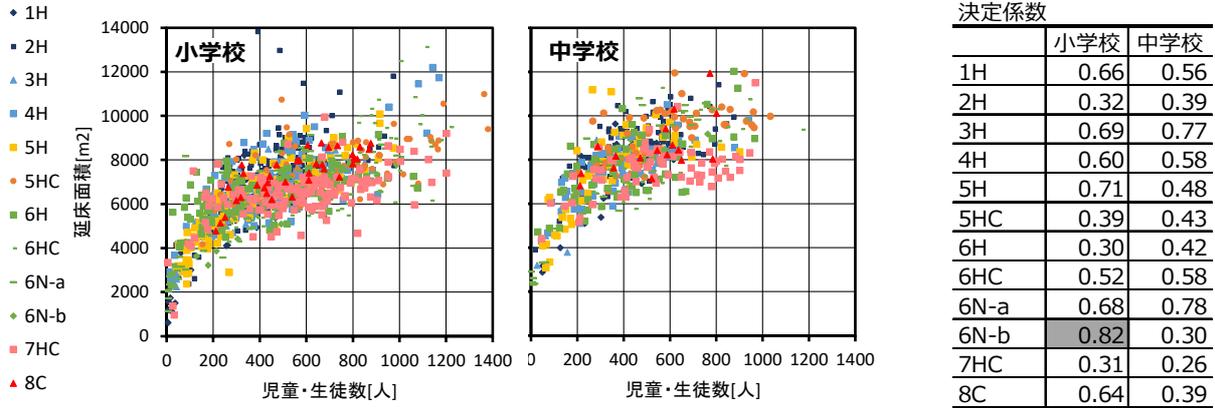


図 3-17 自治体ごとの児童・生徒数と延べ床面積の関係

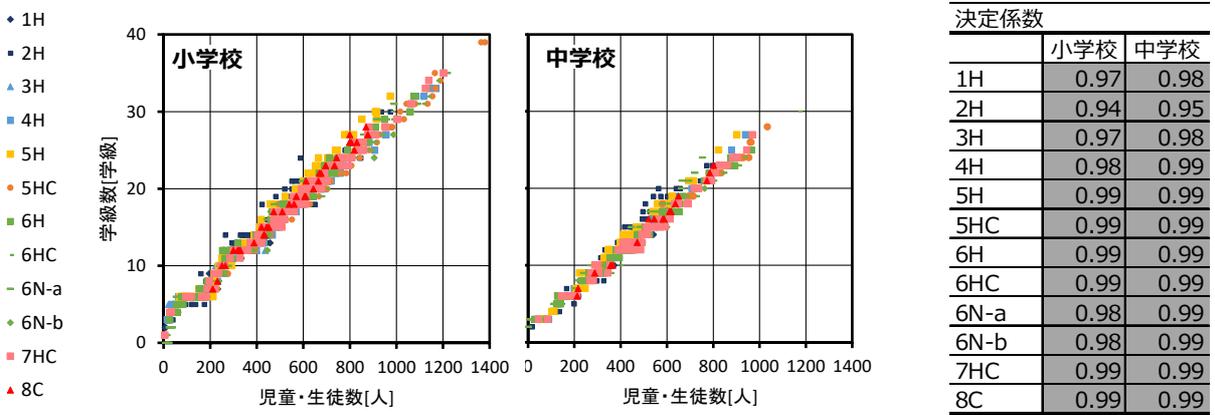


図 3-18 自治体ごとの児童・生徒数と学級数(普通教室)の関係

(2) 教室・設備の概要

図 3-19 に教室形式を示す。中学校はほとんどがホームルーム型(教室と廊下の間に壁がある教室)である。小学校において寒冷地はオープン型(教室と廊下の間に壁を設けず連続的・一体的に使う教室)が 20%程度、温暖地は、自治体によってバラツキがあるが 10%以下が多い。8C はオープン型教室が 50%と多い。

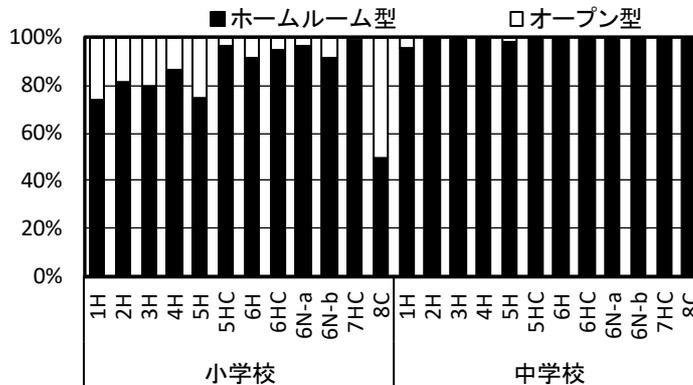


図 3-19 小学校の教室形式

図 3-20 に自治体ごとの普通教室の冷暖房方式を示す。暖房のみの自治体はガス FF、石油 FF が多い。2H 電気ヒータが多い傾向がある。冷暖房を導入している場合は、EHP と GHP の割合が自治体によって異なる。EHP を導入している自治体は氷蓄熱タイプを採用している学校が多い。

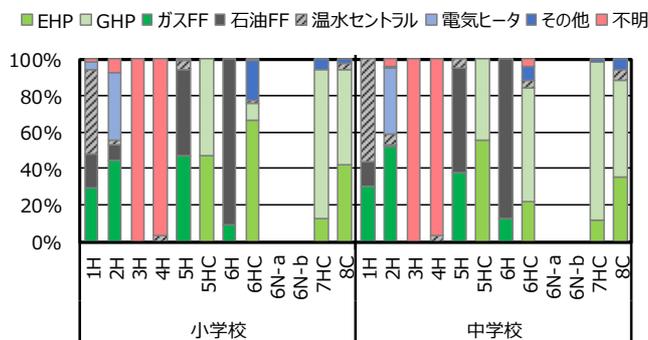


図 3-20 自治体ごとの普通教室の冷暖房方式

図 3-21、図 3-22 に普通教室、体育館の照明機器を示す。ヒアリングでは、LED は近年建設した新築校では学校全体に設置し、トイレ改修の際にも導入しているとの回答を得た。

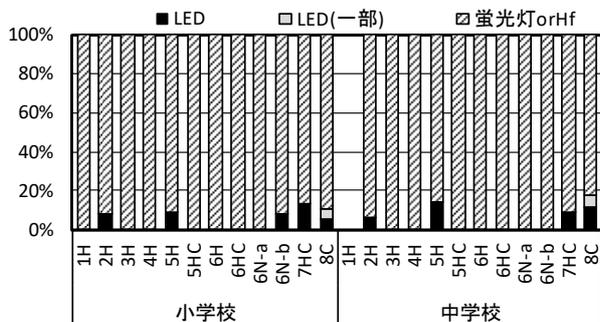


図 3-21 普通教室の照明機器

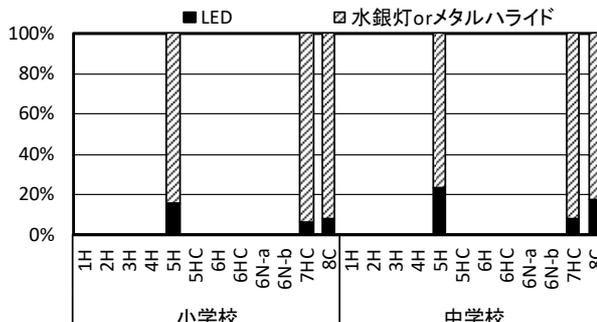


図 3-22 体育館の照明機器

※照明のデータベース化を行っていない自治体は掲載していない。

図 3-23、図 3-24 に太陽光発電の導入割合、太陽光発電容量を示す。自治体によってバラツキが大きい。設置している場合は、10kW 程度が最も多い。

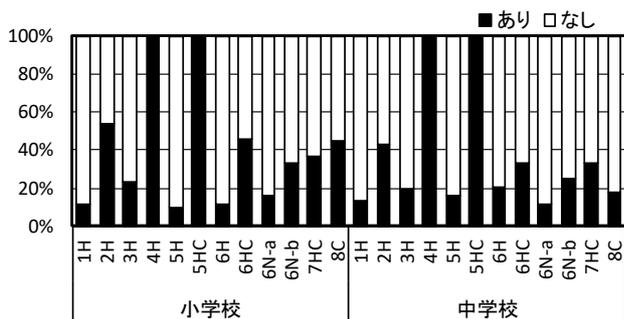


図 3-23 太陽光発電の導入割合

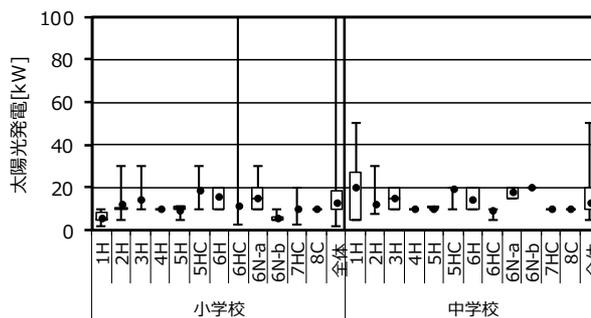


図 3-24 太陽光発電容量

図 3-25 にプール設置の割合を示す。小学校はほとんどの自治体において導入されているが、中学校は寒冷地における設置は少ない。

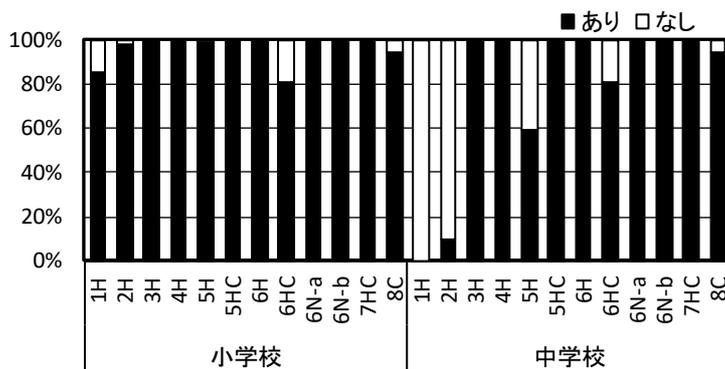


図 3-25 プールの有無

図 3-26 に浄化槽の設置状況を示す。

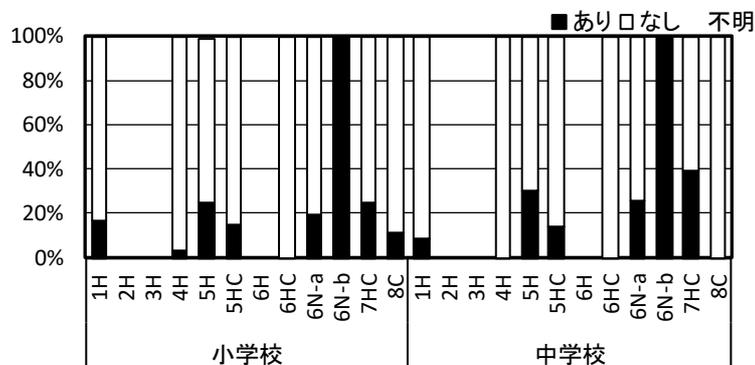


図 3-26 浄化槽の設置状況

図 3-27 に給食方式を示す。

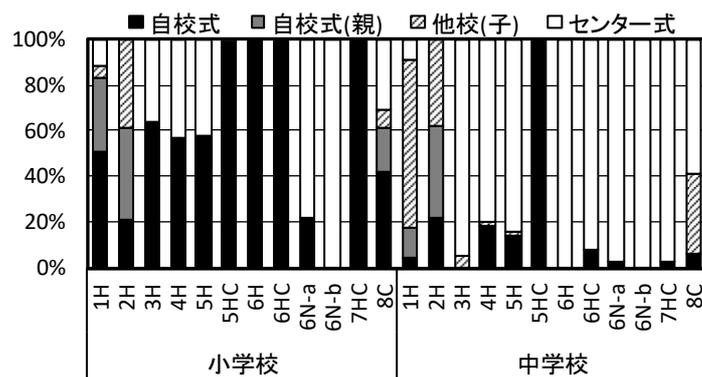


図 3-27 給食方式

※自校式(親)とは自校以外の2校以上の給食を調理している学校、他校(子)とは、自校式(親)が調理している学校である。

3.3.2 エネルギー消費量

エネルギー消費量の分析には、3.2 検針値の用途分解の方法に示した方法で用途分解した結果を用いている。また、分析の際には、給食用のエネルギー消費量は除いている。

図 3-28、図 3-29 に小学校・中学校の一次エネルギー消費量を示す。棒グラフの1本が1校のエネルギー消費量であり、自治体ごとに大きい順にソートしている。各自自治体ともに数校が突出してエネルギー消費量が大きく、バラツキが大きいことが確認できる。寒冷地は暖房、温暖地はその他、蒸暑地は冷房の割合が大きい。

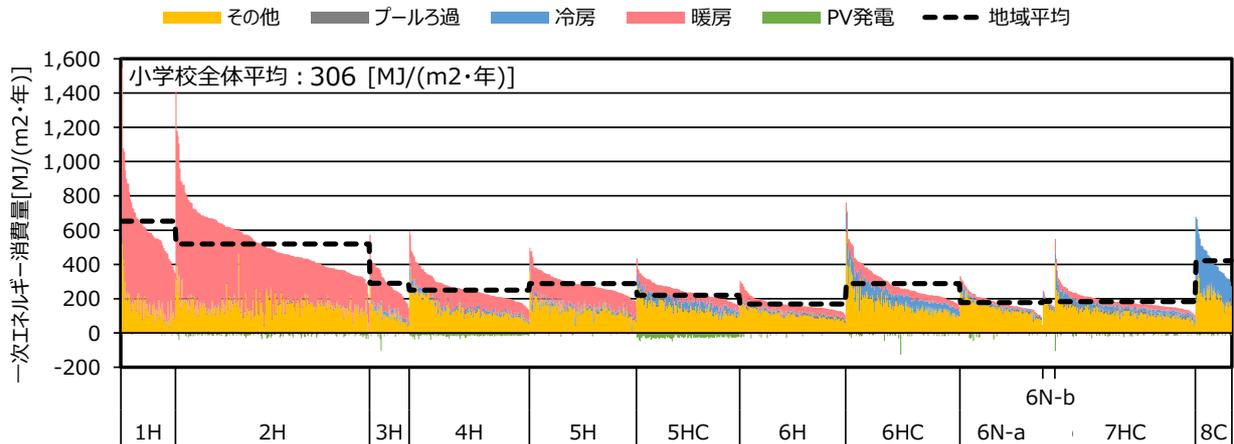


図 3-28 小学校の床面積当たりの一次エネルギー消費量

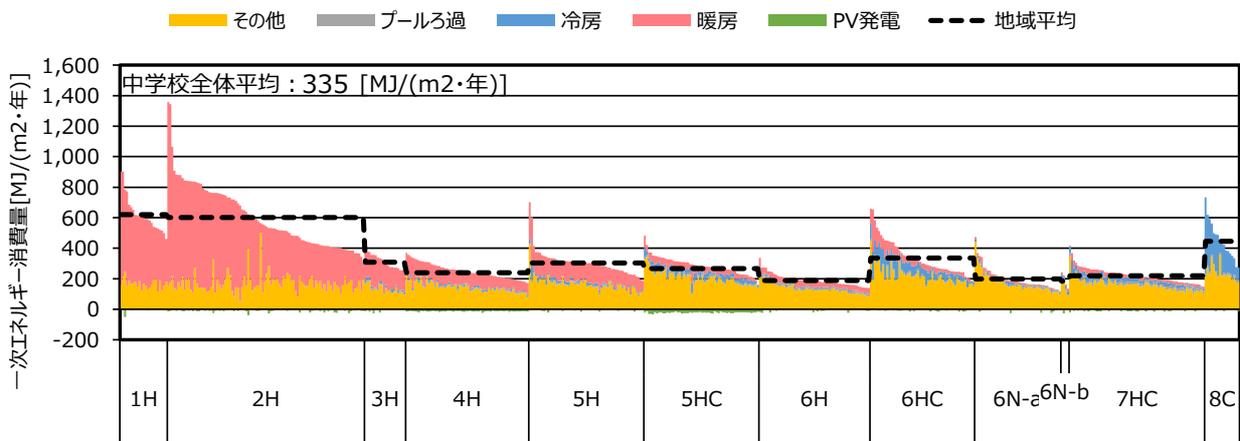


図 3-29 中学校の床面積当たりの一次エネルギー消費量

図 3-30、床面積当たりの一次エネルギー消費量の各自治体平均値を示す。各自治体において「暖房」・「冷房」のエネルギー消費量は大きく異なるが、「その他」は自治体によって大きな違いはない。

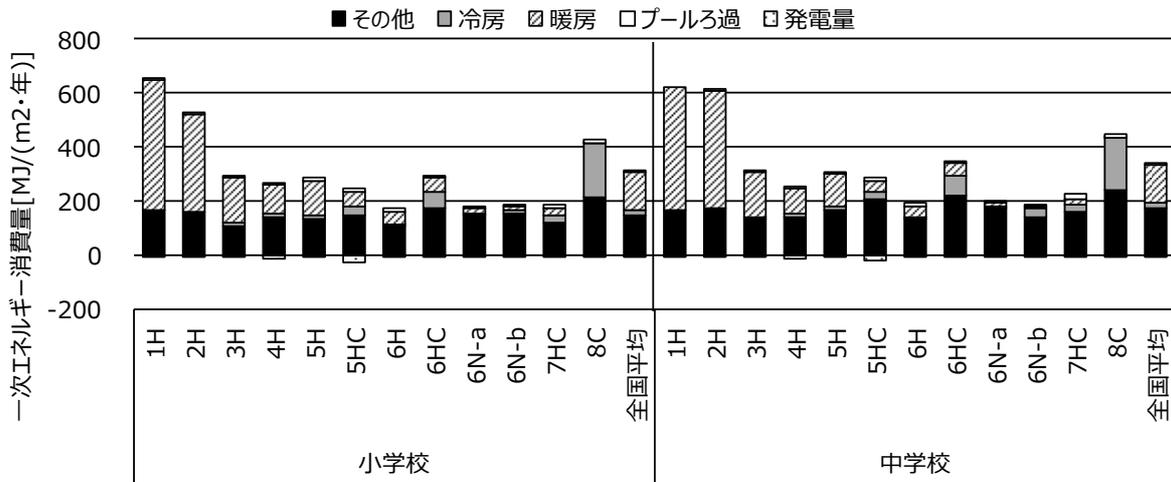


図 3-30 床面積当たりの一次エネルギー消費量

図 3-31 一次エネルギー消費量の内訳を示す。1H～3Hは暖房、5HC～7HCは「その他」が大きい。4H、5H、8Cは「その他」が50%程度である。

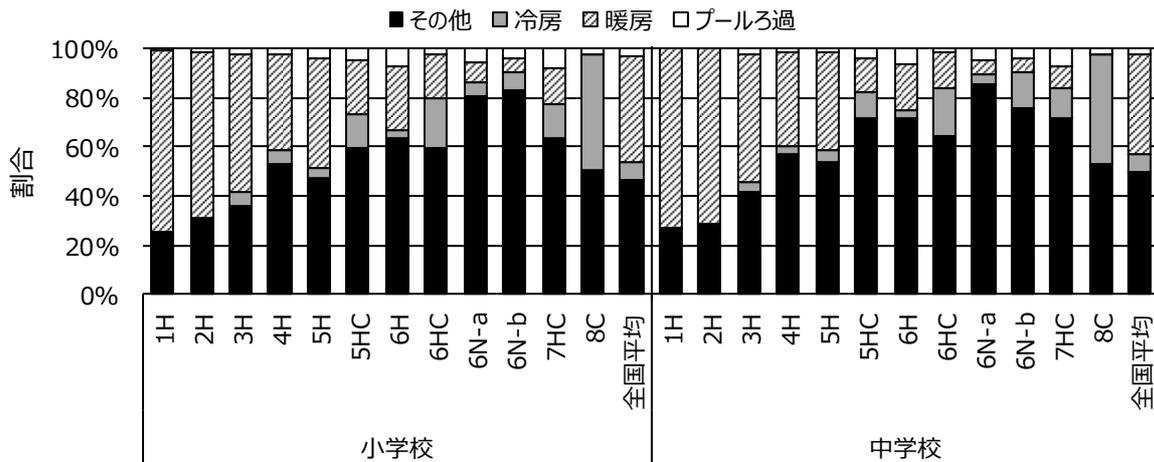


図 3-31 一次エネルギー消費量の消費量

(1) 相関関係

図 3-32、図 3-33 に延床面積と一次エネルギー消費量、学級数と一次エネルギー消費量の関係を示す。一次エネルギー消費量は、学級数よりも延床面積の方が決定係数はやや高い傾向がある。このことより、床面積当たりで分析を行う。

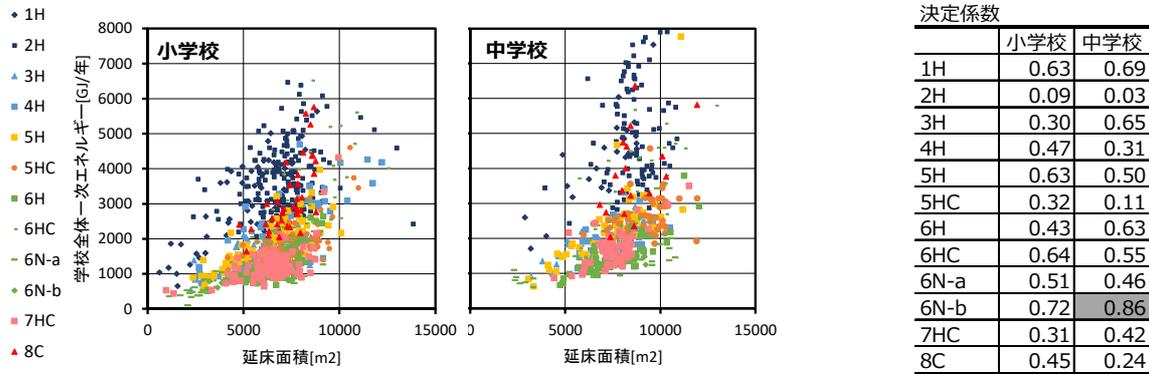


図 3-32 延床面積と学校全体一次エネルギー消費量の関係

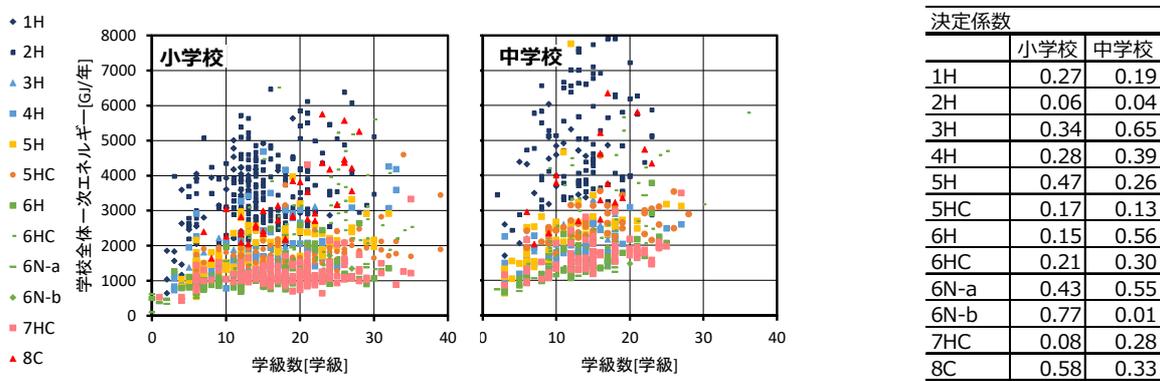


図 3-33 学級数と学校全体一次エネルギー消費量の関係

図 3-34～図 3-36 に「暖房」「冷房」「その他」の一次エネルギー消費量と学校全体の一次エネルギー消費量の関係を示す。学校全体のエネルギー消費量は、各地域において以下の特徴がある。寒冷地である 1H、2H は「暖房」、8C は「冷房」、6H～7HC は「その他」との相関が高い。

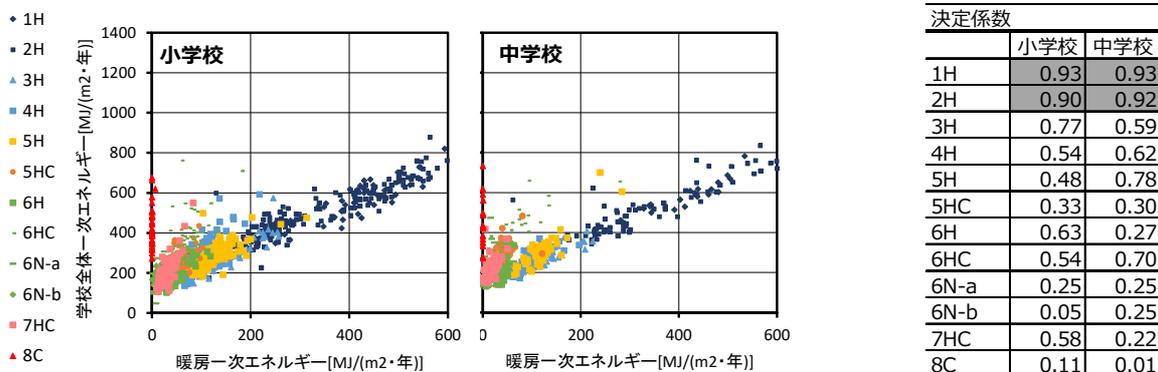


図 3-34 暖房と学校全体一次エネルギー消費量の関係

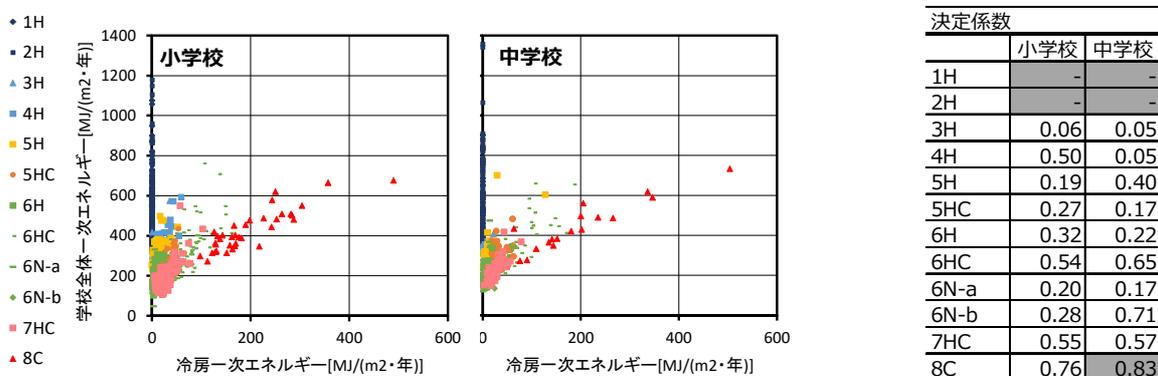


図 3-35 冷房と学校全体一次エネルギー消費量の関係

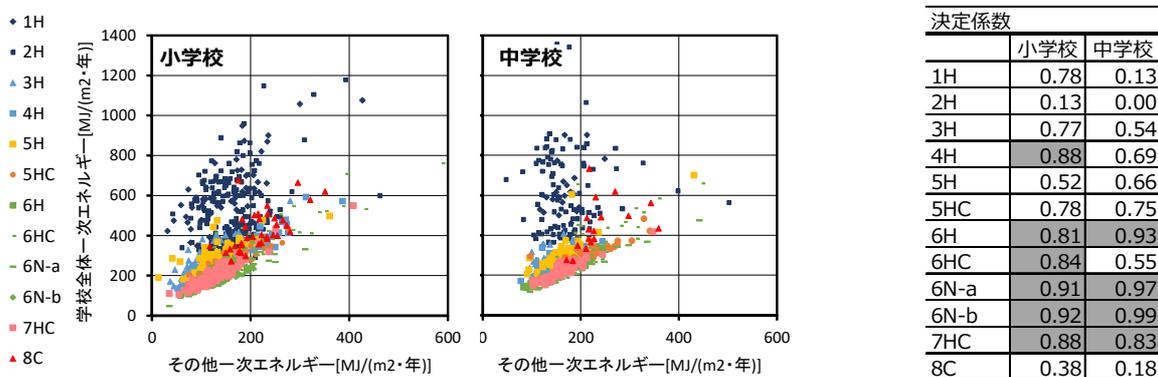


図 3-36 その他と学校全体一次エネルギー消費量の関係

※ その他:暖房・冷房・プールの過ポンプ以外の用途

(2) 建築年とエネルギー消費量の関係

図 3-37 に築年数と学校全体一次エネルギーの関係を示す。決定係数の値が低く、相関性が低い。また、自治体によって特徴が大きく異なるため、建築年を 10 年単位でまとめたものを図 3-38 に示す。自治体によって傾向が異なるが、建築年が小学校では 2001～2010 年、中学校では 2011-2017 年の学校のエネルギー消費量が大きい傾向がある。

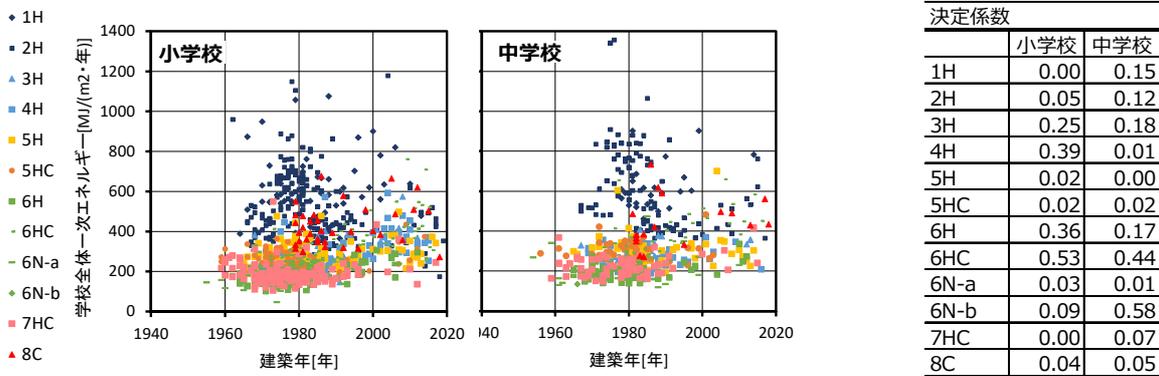


図 3-37 建築年と学校全体一次エネルギー消費量の関係

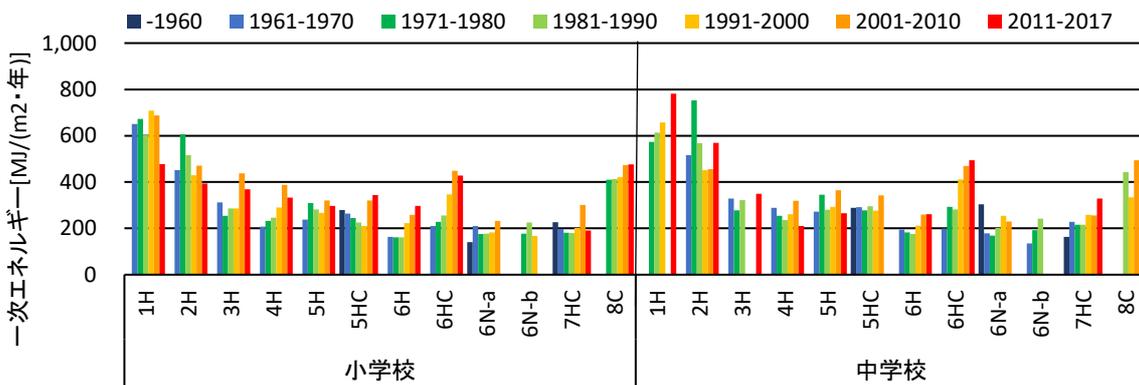


図 3-38 建築年と学校全体一次エネルギー消費量の関係

図 3-39 に建築年と暖房の一次エネルギー消費量の関係を示す。1H、2H の小学校 2H の中学校は建築年が新しい程エネルギー消費量が小さい。断熱性能や暖房機器の効率化(電気ヒータ暖房の不採用)が考えられる。6H、6HC では新しい学校ほど暖房エネルギー消費量が増加している。小学校はオープン型により暖房面積の増加、2003 年の換気設備の設定の義務化による外気負荷の増大が要因として考えられるが、要因を突き止めるにはさらなる調査が必要である。

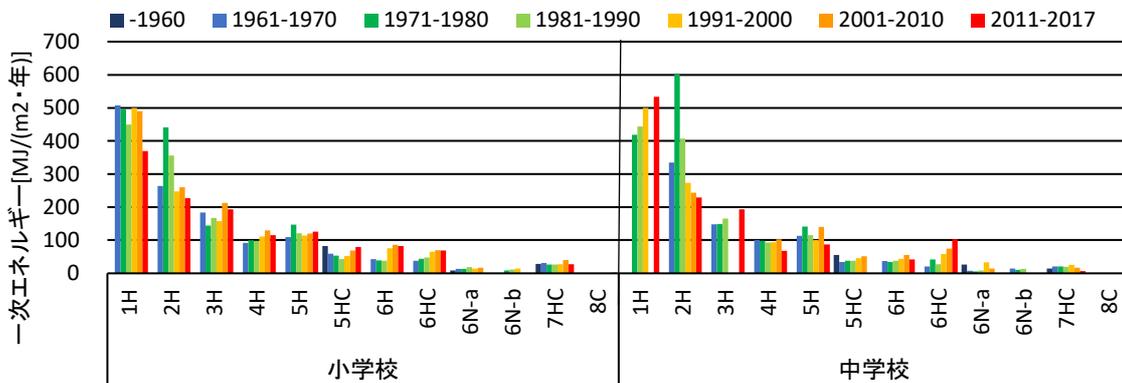


図 3-39 建築年と暖房一次エネルギー消費量の関係

図 3-40 に建築年と冷房一次エネルギー消費量の関係を示す。冷房を導入している自治体は、新しい学校程冷房エネルギー消費量が多い傾向がある。断熱・気密性能の向上や教室のオープン化(小学校)による冷房面積の増加が要因としてあげられる。

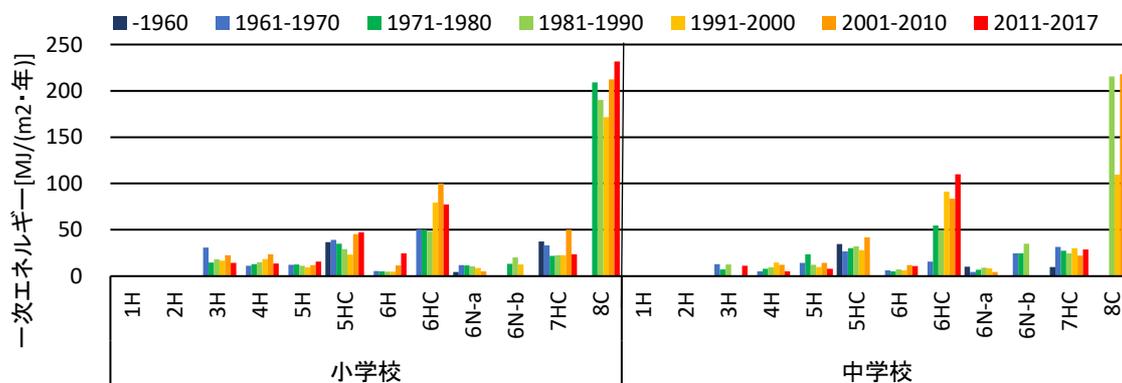


図 3-40 建築年と冷房一次エネルギー消費量の関係

図 3-41 に建築年とその他一次エネルギー消費量の関係を示す。2001-2010 年もしくは 2011-2017 年の建築年のその他エネルギー消費量が多い傾向がある。特に小学校その傾向が大きい。2003 年に換気設備の設置の義務化や図 3-42 に示すように 1991 年以降にオープン型教室の普及等が要因にあげられる。

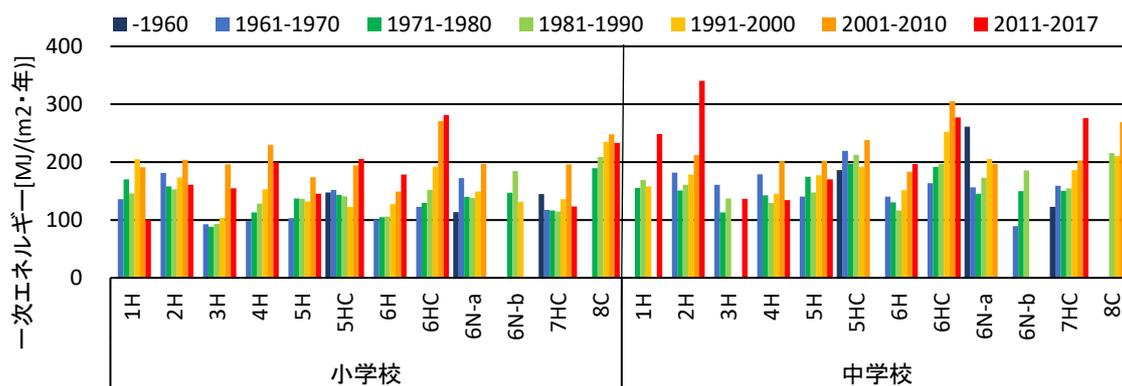


図 3-41 建築年とその他一次エネルギー消費量の関係

※ その他:暖房・冷房・プールの過ポンプ以外の用途

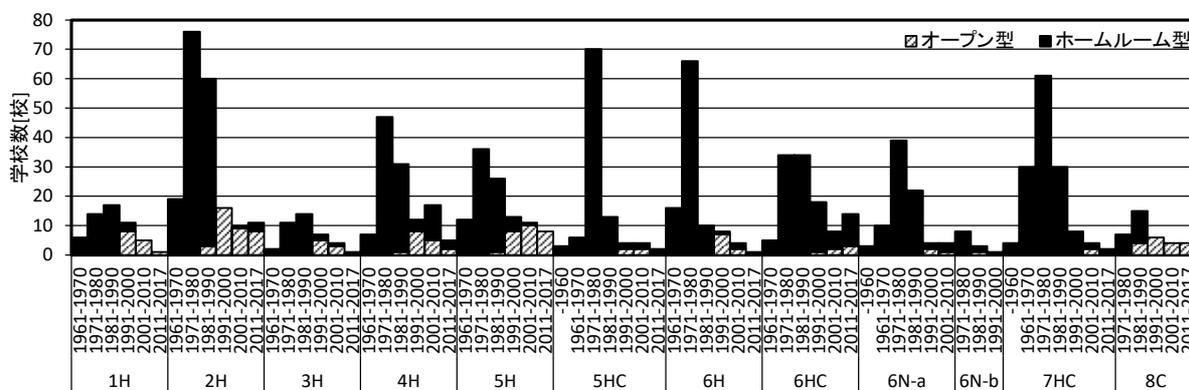


図 3-42 建築年と教室形式(小学校)

(3) 仕様・設備とエネルギー消費量の関係

図 3-43 にエコスクール¹⁰と一般校のエネルギー消費量の関係を示す。2H 以外は一般校よりもエコスクールの方がエネルギー消費量は多い傾向がある。

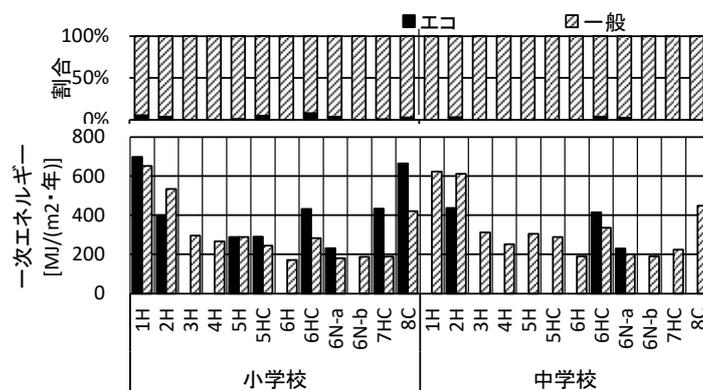


図 3-43 エコスクールと一般校のエネルギー消費量の関係

図 3-44 に教室形式と学校全体エネルギー消費量の関係を示す。小学校においては、2H 以外はオープン型教室の方がエネルギー消費量は大きい傾向がある。

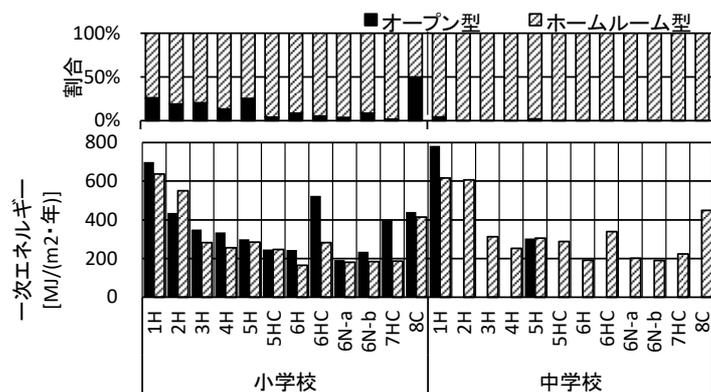


図 3-44 教室形式と学校全体エネルギー消費量の関係

図 3-45 に普通教室の照明方式とその他一次エネルギー消費量を示す。普通教室にすべて LED を採用している学校は少ないことも関係していると考えられるが、LED を導入している学校の優位性は現在のデータだけでは確認できない。

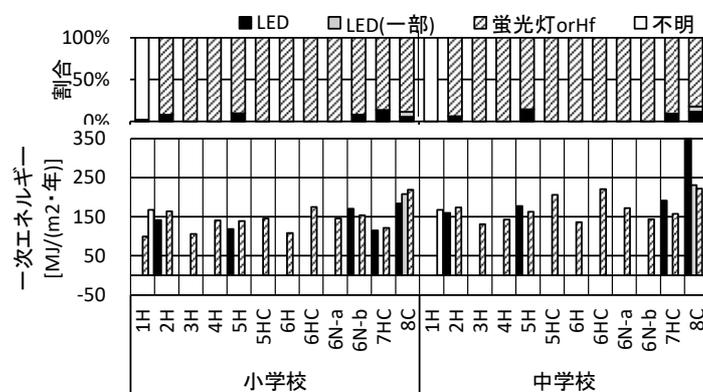


図 3-45 普通教室の照明方式とその他一次エネルギー消費量の関係

※ その他:暖房・冷房・プールの過ポンプ以外の用途

¹⁰ 文部科学省が認定したエコスクール認定校 https://www.mext.go.jp/a_menu/shisetu/ecoschool/detail/1289509.htm

図 3-46 に普通教室の暖房方式と暖房一次エネルギー消費量の関係を示す。1H、2H では電気ヒータ、その他では温水セントラルを採用している学校のエネルギー消費量が大きい傾向がある。

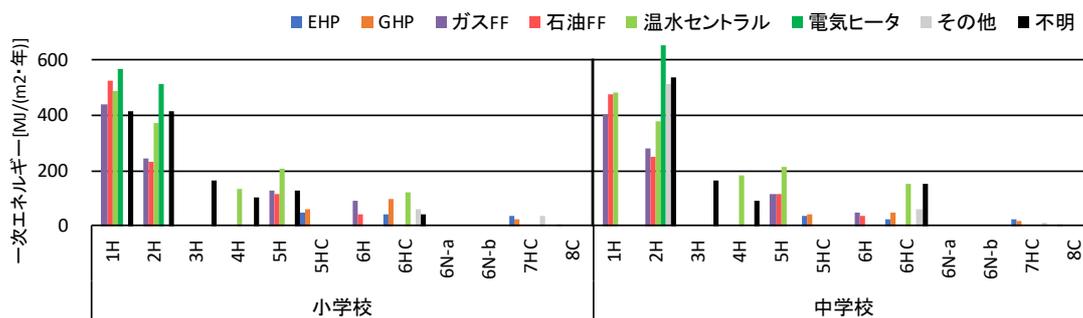


図 3-46 普通教室の暖房方式と暖房一次エネルギー消費量の関係

図 3-47 に普通教室の冷房方式と冷房一次エネルギー消費量の関係を示す。中央式を採用している学校のエネルギー消費量が多い傾向がある。

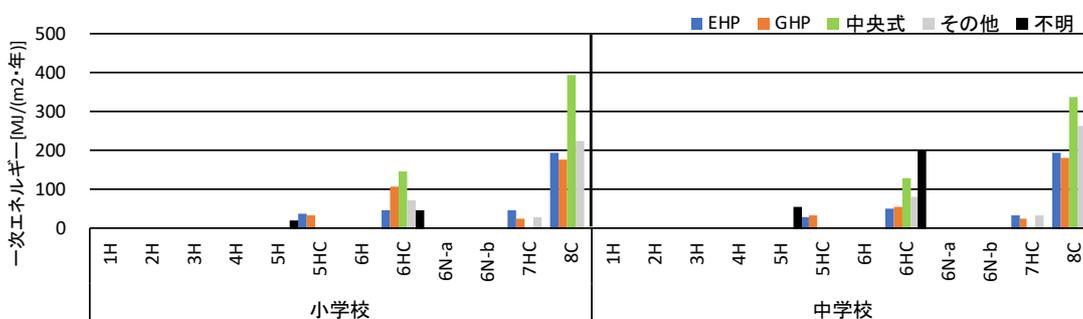


図 3-47 普通教室の冷房方式と冷房一次エネルギー消費量の関係

図 3-48 に地域開放の有無と学校全体エネルギー消費量の関係を示す。多くの学校で地域開放を行っている。地域開放の有無とエネルギー消費量の相関性は確認できない。

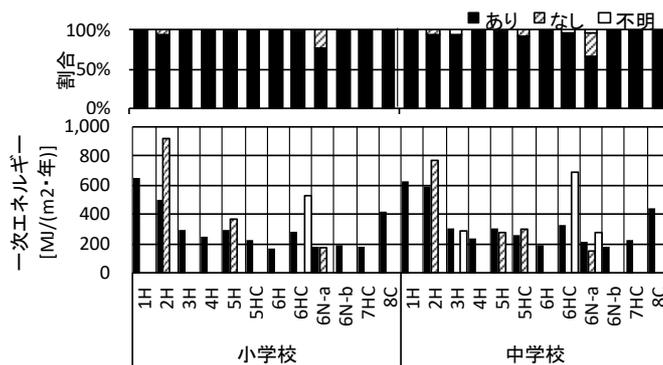


図 3-48 地域開放の有無と学校全体エネルギー消費量の関係

4. 詳細調査

4.1 調査概要

4.1.1 調査対象校の概要

詳細調査の対象校は、3. 全国概略調査の対象自治体のうち、寒冷地、温暖地、蒸暑地、新規冷房導入校(2019年6月にEHPエアコンを設置)から各1校の計5校を選定した。選定にあたっては、自治体内で単位床面積当たりの1次エネルギーが大きい学校とした。2Hは寒冷地で暖房エネルギーが大きく、断熱性能がエネルギー消費量に影響を与えると考えられ、断熱性能の高い2Hの比較対象として断熱性能の低い2H(参考)も調査した。調査対象校の仕様を表4-1に示す。集計には、給食用のエネルギー消費量は除く。

表 4-1 調査対象校の概要

自治体名称	2H※1	2H(参考)	6HC※1	6N-b※1	8C※1	
外観写真						
竣工年	2010年	1970年	2015年	1991年	2012年	
床面積	校舎:6,687m ²	校舎:4,753 m ²	校舎:9,245 m ² ※2	校舎:4,613 m ²	校舎:7,518 m ²	
	体育館:1,268 m ²	体育館:1,288 m ²	体育館:747 m ²	体育館:1,008 m ²	体育館:1,215 m ²	
学級数	15	17	17	12	25	
普通教室暖房方式	FF式ガスストーブ*	FF式ガスストーブ*	GHP マルチ(以下、GHP)	なし	なし	
その他暖房方式	廊下:温水ボイラ+FCU 体育館:温風暖房 トイレ:パネルヒータ※3	体育館:温風暖房 トイレ:パネルヒータ※3	—	—	—	
普通教室冷房方式	なし	なし	GHP マルチ	EHP エアコン(以下、EHP)	GHP マルチ	
暖冷房操作(実運用)	一括制御	一括制御	各教室	各教室	一括制御	
普通教室換気方式	第1種※4 常時稼働	第1種(一部)不設置の教室もあり	第1種※4 常時稼働	なし(窓開け)	第1種※ 冷房と連動※5	
普通教室照明方式	Hf 蛍光灯 640W/教室※6	Hf 蛍光灯 448W/教室※6	Hf 蛍光灯 576W/教室※6	Hf 蛍光灯 448W/教室※6	Hf 蛍光灯 640W/教室※6	
教室の形式	オープン型	ホームルーム型	ホームルーム型(オープンスペースあり)	ホームルーム型	オープン型	
給食室	自校式(親:2校分)	給食室なし	自校式	給食室なし	自校式(親:2校分)	
断熱仕様	屋根	XPS150mm	ウレタン吹付 25mm	XPS 50mm	なし	XPS50mm
	壁	XPS100mm	ウレタン吹付 25mm	ウレタン吹付 25mm	なし	なし
	窓	Low-E 複層	二重サッシ	普通複層	単板	単板

※1 自治体名は、平成28年省エネ基準の地域区分+普通教室の暖冷房状況で表す。H:暖房、C:冷房、N:冷暖房なし。6N-bは冷房新規導入校

※2 建築物における衛生的環境の確保に関する法律の対象校、他の学校は対象外

※3 電気式

※4 第1種全熱交換器

※5 外気取り入れ用と24時間換気用の2台設置、外気取り入れ用は冷房と連動

※6 安定器の損失は除く、詳細は表4-17

4.1.2 調査対象校の気象条件

図 4-1、図 4-2 に全国概略調査を行った 2017 年度と詳細調査を行った 2019 年度のクリモグラフを示す。どの自治体も 2019 年度の方が湿度・温度ともに高い傾向がある。

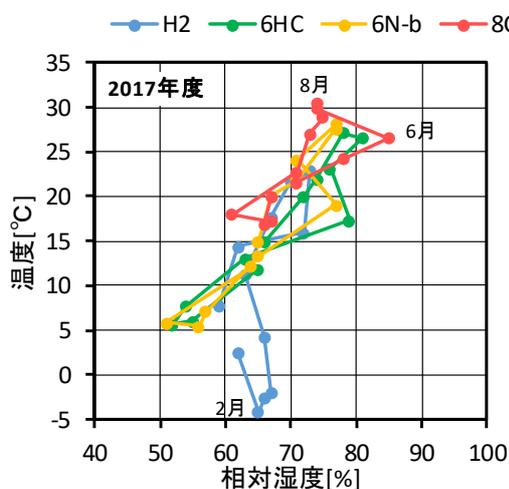


図 4-1 クリモグラフ(2017 年度)

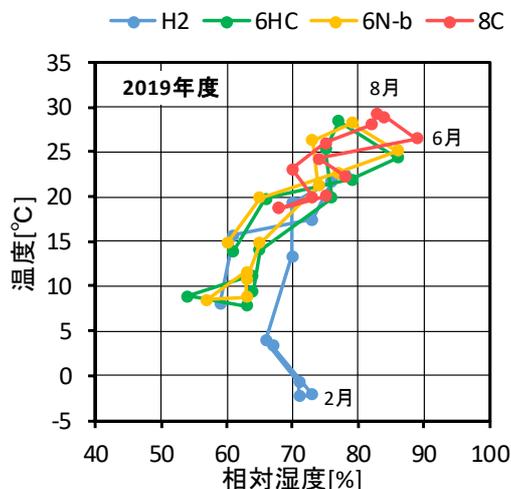


図 4-2 クリモグラフ(2019 年度)

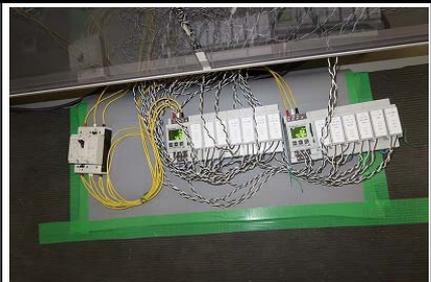
4.1.3 測定項目

表 4-2 に測定項目を、表 4-3 に測定風景を示す。4 校において共通の測定ポイントとした。電力、ガスに関しては、暖房・冷房・プールろ過ポンプ・その他を分離できるように測定項目を決定した。また、2 教室において照明、換気、冷暖房の稼働状況が把握できるように校舎内の分電盤にて電力を測定した。温熱環境については、最上階と中間階の教室・廊下の温湿度・CO₂濃度を測定した。測定は 10 分インターバルで実施した。

表 4-2 測定項目

大項目	分類	測定内容
電力	取引メータ主幹、太陽光発電	
	【動力盤各回路】	空調用 揚水ポンプ プールろ過ポンプ 給食用
	【電灯盤各回路】	棟単位の電灯回路 給食用
	【電灯盤】	代表普通教室(最上階・中間階)の照明 代表普通教室(最上階・中間階)のコンセント 代表普通教室(最上階・中間階)の換気
ガス	各取引メータ、主要暖房回路	
温熱環境	【最上階普通教室】	床上 100mm 温度 床上 1100mm 温湿度 天井表面温度
	【最上階廊下】	温湿度
	【中間階普通教室】	床上 1100mm 温湿度
	【中間階廊下】	温湿度
	【体育館】	温湿度
	【昇降口】	温湿度
	【最上階普通教室暖冷房稼働状況】	吹出温度
【中間階普通教室暖冷房稼働状況】	吹出温度	
空気環境	【最上階普通教室】	CO ₂ 濃度
	【中間階普通教室】	CO ₂ 濃度

表 4-3 計測機器設置風景

		
<p>電力量測定用 CT(2H)</p>	<p>電力ロガー(2H)</p>	<p>電力取引メータパルスロガー(6N-b)</p>
		
<p>電力ロガー(6N-b)</p>	<p>普通教室床上 1100mm 温度(6N-b)</p>	<p>普通教室床上 1100mm 温度(8C)</p>
		
<p>普通教室床上 1100mm 温度(2H)</p>	<p>最上階天井表面温度(2H)</p>	<p>普通教室 CO2 濃度(2H)</p>
		
<p>普通教室 FF 暖房器吹出温度(2H)</p>	<p>多目的スペースファンコイルユニット 吹出温度(2H)</p>	<p>ガスメータ(ガス流量検出器・2H)</p>

測定機器を表 4-4 に、測定期間を表 4-5 に示す。

表 4-4 計測機器

項目	測定機器	型番	メーカー	写真	
電力	学校全体の消費量	パルスセンサー	HPC-3.5m-PF-L	豊光社	
	用途ごとの消費量	エコパワーメータ(パルス)	AKW2020G (基本ユニット)	パナソニック	
		エコパワーメータ(電力)	AKW2020G (基本ユニット) AKW2110G (増設ユニット)	パナソニック	
	電流センサ	AKW4801C AKW4802C AKW4803C	パナソニック		
ガス	ガスメータごとの消費量	ガス流量検出器※	GAM-01	東洋計器	
		パルスロガー	LR5061	日置電機	
温湿度	温熱空気環境	温湿度ロガー		日置電機	
温度		温度ロガー		日置電機	
CO2 濃度		CO2 濃度ロガー		ティアンドデイ	

※都市ガスメータのカウンターの最小値の文字車は、単位流量のガスが流れると一回転する。文字車の「0」と「1」の間にある銀線を光センサにより検出する(文字車部に LED を照射し、そこを銀線が通過して反射した際にパルスを出力する)仕組みである。

表 4-5 計測期間

学校	期間
2H の小学校 a	2019 年 7 月 10 日～2020 年 2 月 16 日
2H の小学校 b	2019 年 7 月 10 日～2020 年 2 月 16 日
6HC の小学校	2019 年 6 月 29 日～2020 年 2 月 25 日
6N-b の小学校	2019 年 7 月 13 日～2020 年 2 月 20 日
8C の小学校	2019 年 6 月 28 日～2020 年 2 月 6 日

4.2 2Hの小学校

4.2.1 調査概要

表 4-6、表 4-7、表 4-8、図 4-3 に測定ポイントを示す。

表 4-6 温熱空気環境の測定ポイント(2H)

No.	測定場所	内容	No.	測定場所	内容
1	外気	空気温湿度	9	4F 普通教室床上 100mm	空気温度
2	1F 昇降口 床上 1100mm	空気温湿度	10	4F 普通教室	天井表面温度
3	3F 普通教室	空気温湿度	11	4F 普通教室	吹出温湿度
4	3F 普通教室	吹出温度	12	4F ワークスペース	吹出温湿度
5	3F ワークスペース	吹出温湿度	13	4F 普通教室	CO2 濃度
6	3F 普通教室	CO2 濃度	14	4F 廊下	空気温湿度
7	3F 廊下	空気温湿度	15	体育館アリーナ	空気温湿度
8	4F 普通教室床上 1100mm	空気温湿度			

表 4-7 ガス消費量測定ポイント(2H)

No.	測定場所	内容
1	ガスメーター一般	理科室・家庭科室等のガス消費量
2	ガスメーター(校舎暖房)	教室等の FF 式ガスストーブのガス消費量
3	ガスメーター(給食)	給食室のガス消費量
4	ガスメーター(体育館暖房)	体育館暖房および校舎のワークスペース(真空式温水発生器)の暖房消費量
5	真空式温水発生器	体育館暖房とワークスペース(真空式温水発生器)の暖房を分離するために設置

表 4-8 電力消費量測定ポイント(2H)

		図面 No.	名称
電気室キ ュービ クル	取引メータ		
	動力盤 3φ3W 150kVA	P-2	圧力給水ポンプ
		P-3	給食室 動力盤 1
		P-4	給食室 動力盤 2
		P-5	給食室 動力盤 3
		P-6	給食室 動力盤 4
		P-7	エレベーター
		P-8	コンピューター室
		P-9	電気炉
		P-10	電気暖房機
		P-11	エコキュート
		P-12	ロードヒーティング
		P-13	プールろ過ポンプ
		P-14	室内運動ボイラ
		P-15	予備
		電灯盤 No.2 1φ3W 150kVA	L-1
	L-2		2L-1
	L-3		3L-1
	L-4		4L-1
	L-5		1階 東側系統
	L-6		1階 職員室
	L-7		1階 給食室電灯盤 太陽光発電
	L-9		2階 家庭科室
	L-10		2階 理科室
	L-11		3階 特別教室(図工室他)
	L-12		3階 コンピューター室 電灯盤
	L-13		4階 特別教室(音楽室他)
	L-16		プール 電灯盤
L-17	屋内運動場		
L-8	1階 ガス暖房分電盤		

		図面 No.	名称	
校舎 内盤	3L-1	③	天井 T/U (5)(6)	
		A	便所(B)パネルヒータ	
		⑦	普通教室 9 コンセント	
		⑰	天井 T/U (14)	
	4L-1	②	天井 T/U (34)(35)	
		⑤	エコキュートヒータ	
		A	パネルヒータ	
		④	普通教室 14	
		⑪	天井 T/U(41)	
		⑫	天井 T/U(42)	
		3階普通教室		CH61・CH62
		4階普通教室		CH83・CH84

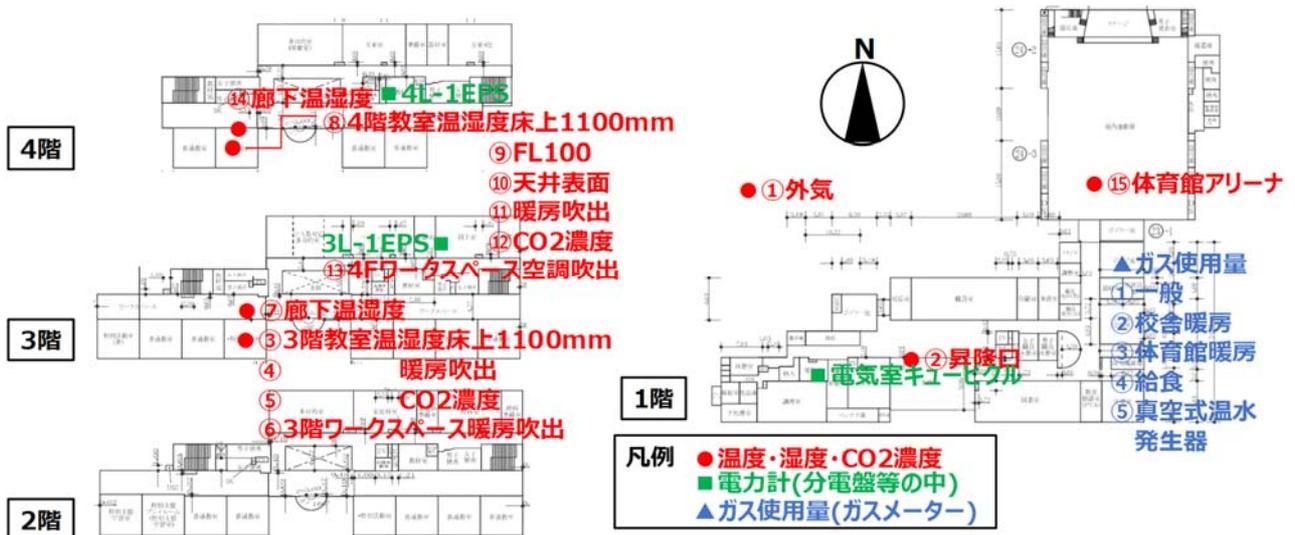


図 4-3 測定ポイント(2H)

4.2.2 エネルギー消費量・温熱空気環境調査結果

(1) 夏期・冬期の変動

図 4-4～図 4-7 に 2H と 2H(参考)の夏期・冬期のエネルギー、温熱空気環境の変動を示す。

夏期のエネルギー消費量は 2H と 2H(参考)では大きな差がない。冬期においては、2H の方が大きい傾向がある。

最上階教室温度は、暖房時は 2H の方が 2H(参考)よりも、2～3℃高い傾向が、明け方は 2H(参考)の方が高い傾向がある。CO₂ 濃度は、2H は 1500ppm 以下であるが、2H(参考)は 2000ppm を超えている日がある。2H(参考)の測定対象室には、換気設備が設置されていないためと考えられる。

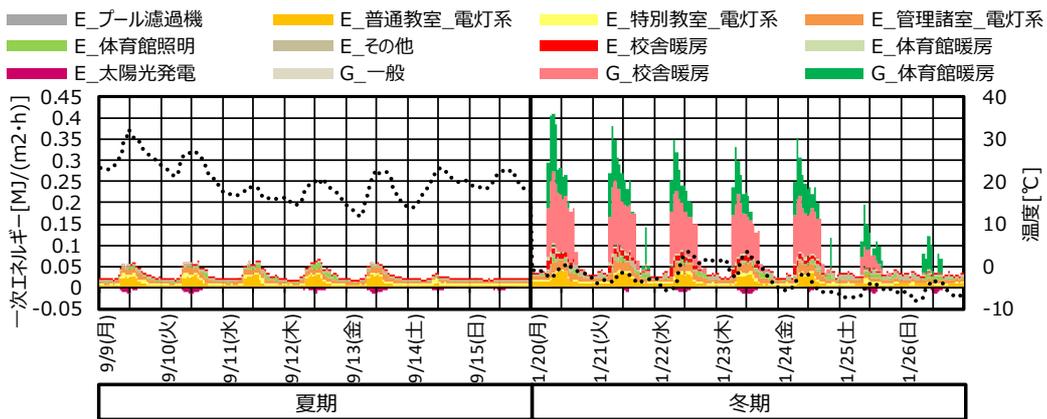


図 4-4 エネルギー消費量の変動(2H)

※ 凡例の E は電力、G はガスを示す。

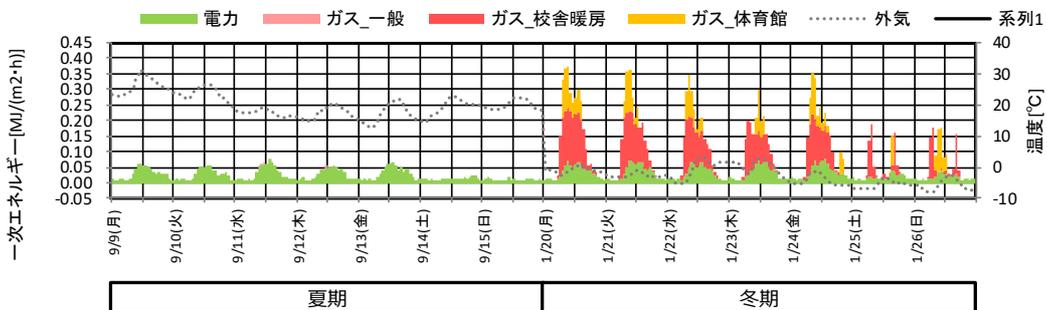


図 4-5 エネルギー消費量の変動(2H 参考)

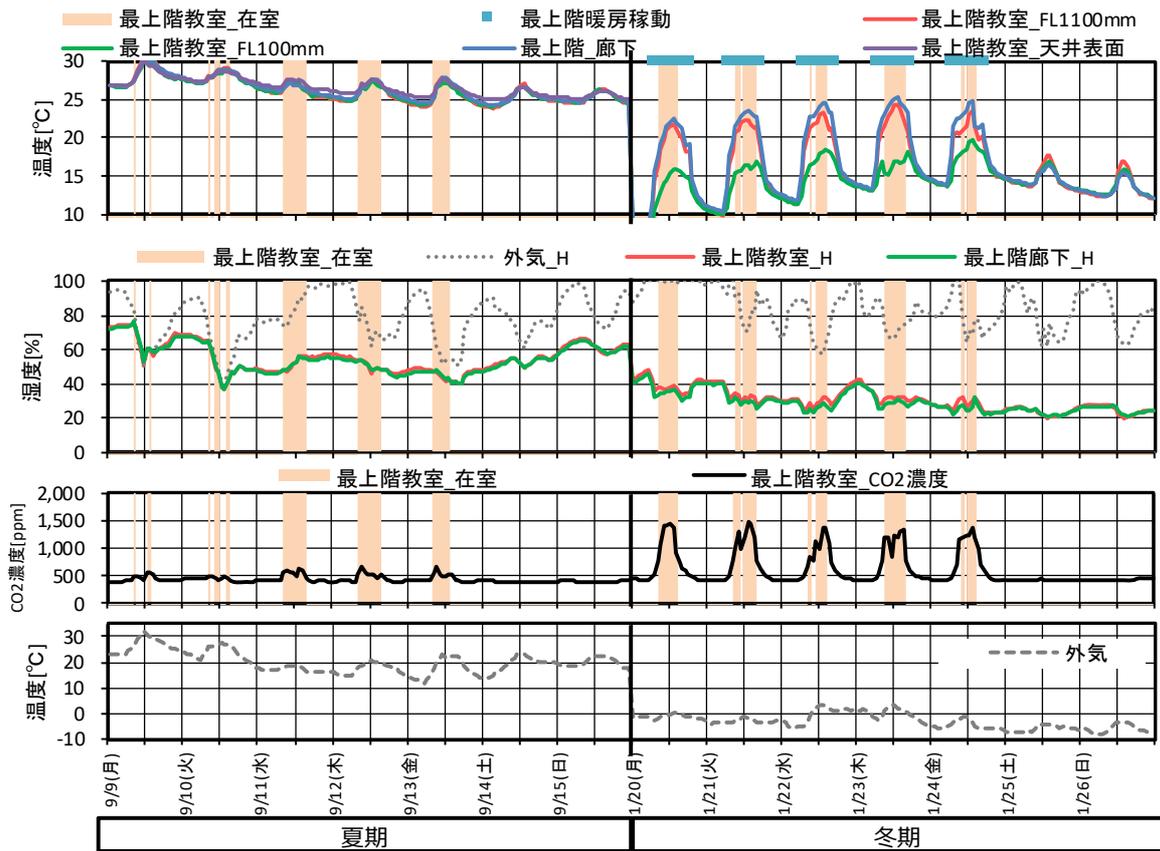


図 4-6 最上階教室の温湿度・CO₂ 濃度(2H)

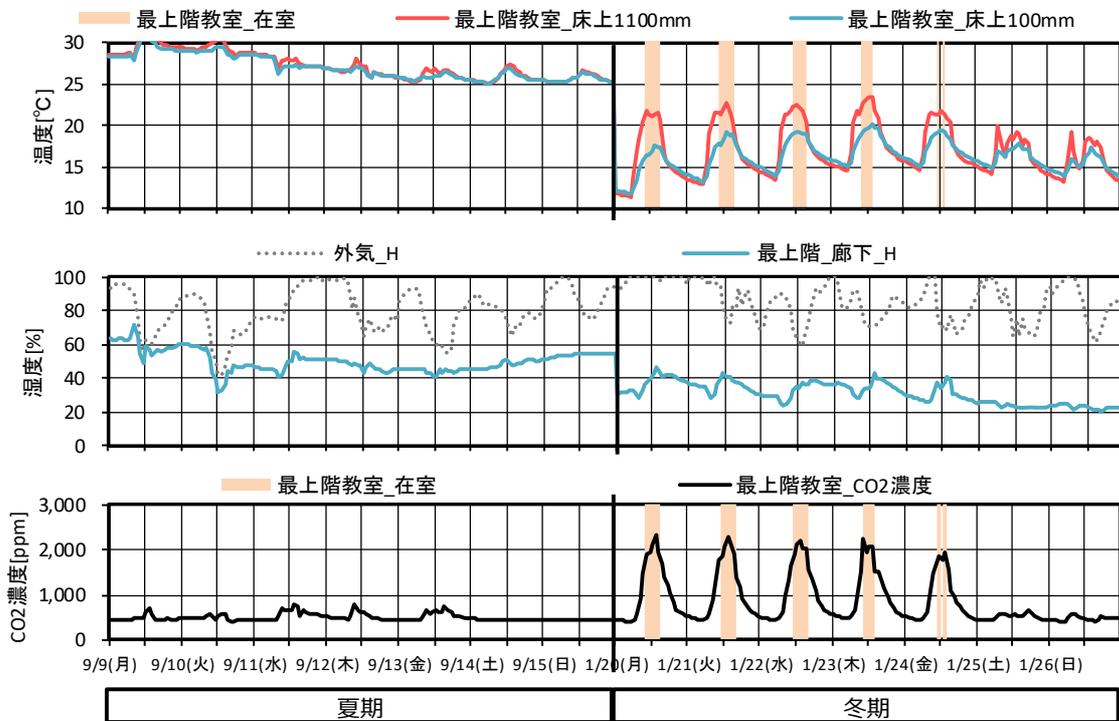


図 4-7 最上階教室の温湿度・CO₂ 濃度(2H 参考)

図 4-8、図 4-9 に月平均日積算一次エネルギー消費量を示す。暖房を行っていない 9 月の平日は 2H と 2H(参考)でほぼ同じであるが、休日は 2H の方が多い。平日の 12 月の校舎暖房は 2H と 2H(参考)でほぼ同じであるが、1 月の平日は断熱性能のよい 2H の方が大きい。

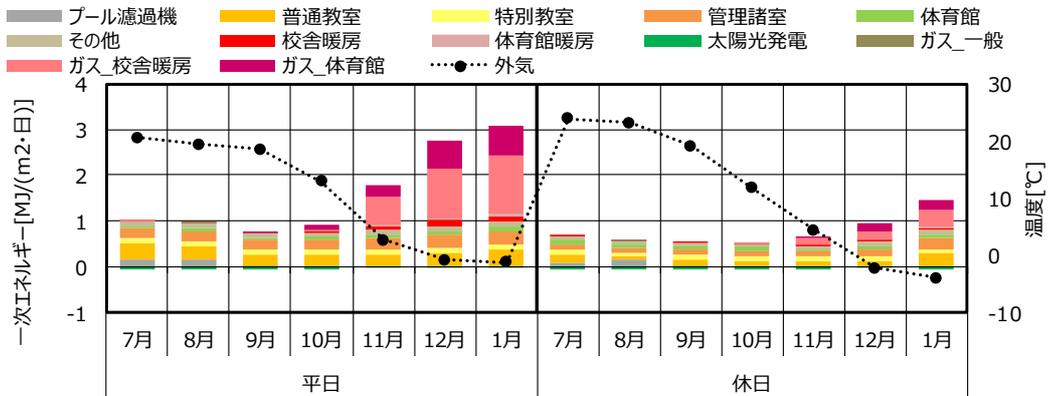


図 4-8 月平均日積算一次エネルギー消費量(2H)

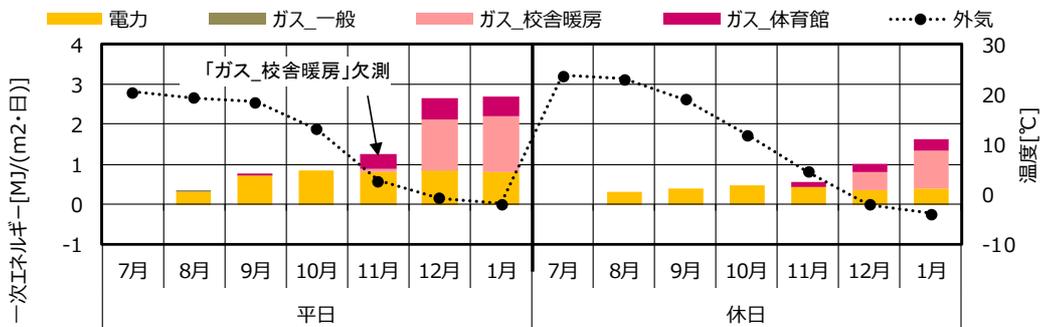


図 4-9 月平均日積算一次エネルギー消費量(2H 参考)

(2) 運用の特徴

図 4-10 に教室の電力変動を示す。2H の小学校には、冷房が設置されていないため、窓開け換気をしていると考えられるが、全熱交換器が常時稼働している。また、全熱交換器の運用に意識はあまりないと考えられ、一度稼働すると、そのまま放置されている様子が分かる。図 4-11 は教室の全熱交換器の吹出の気流よけである。冬期に全熱交換器の気流が直接人体にあたるため、寒いとのことである。

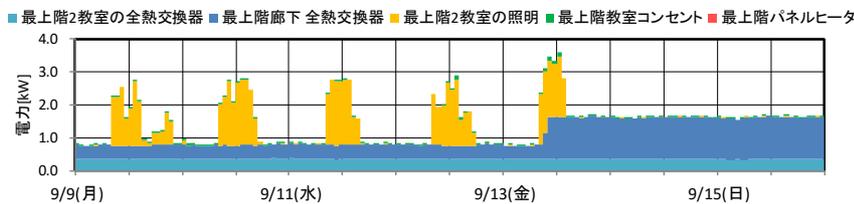


図 4-10 中間階・最上階教室の電力変動(夏期・2H)



図 4-11 全熱交換器吹出

図 4-12 に 12 月 24 日～冬休みにおける教室の電力変動を示す。凍結防止対策で設置されているトイレのパネルヒータは、12 月 26 日の冬休みに入るとトイレの温度が低下して、パネルヒータの電力が増加している。トイレの温度は測定していないため、参考に廊下の温度を示すが、廊下の温度は 10℃を満たしており、過剰にパネルヒータが稼働していると考えられる。パネルヒータの設定温度は 12～15℃であった。

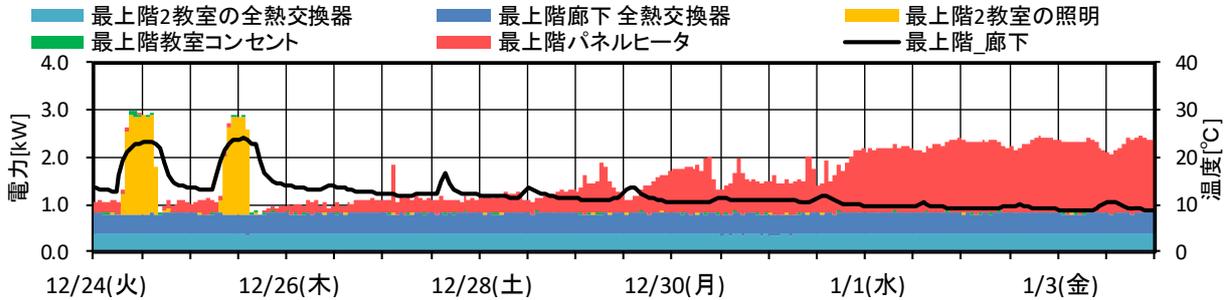


図 4-12 中間階・最上階教室等の電力変動(冬休み・2H)

図 4-13 に休日における電力(体育館除く)の変動を示す。いずれも、職員室も使用していない日を選定した。8/14 と 8/18 を比較すると、8/18 の方が学校全体で 6kW 増加しているが、この差は全熱交換器によるものである。また、8 月にはプール濾過機も常時 6kW で稼働し大きいことが分かる。12/22 と 1/1 を比較すると電灯系(普通教室・特別教室・管理諸室)の合計は 1/1 の方が 5.5kW 程度多く、これはトイレの凍結防止用パネルヒータの電力である。

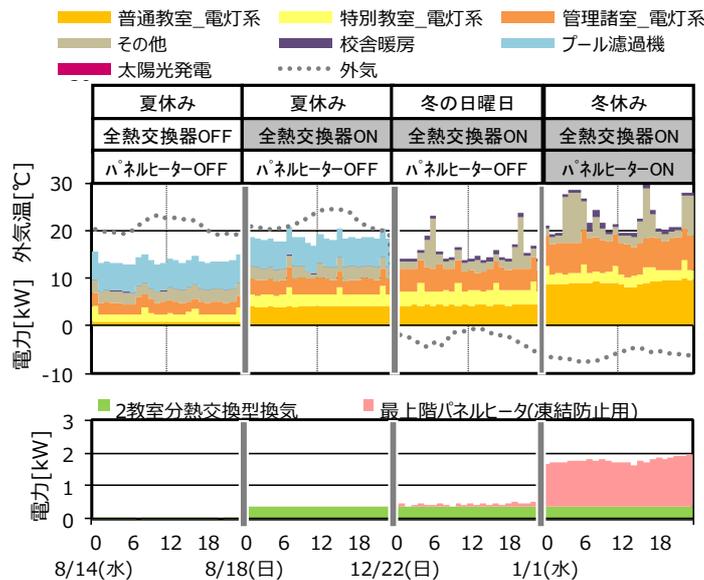


図 4-13 休日の電力変動(体育館除く・2H)

図 4-14 に冬期の体育館の暖房エネルギー消費量・照明電力の変動を示す。暖房は教頭が手動で入り切りしており、6:15 に立ち上げ、14:30 に停止している。

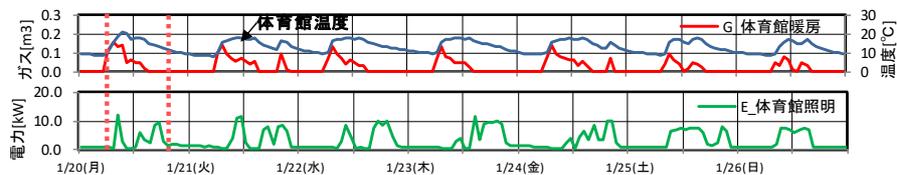


図 4-14 体育館の暖房エネルギー消費量・照明電力の変動(2H)

図 4-15、図 4-16 に冬休みの一次エネルギー消費量の変動を示す(12月25日は登校日)。凍結防止のため、2H、2H(参考)ともにタイマー制御により暖房を稼働させている。特に断熱性能の低い 2H(参考)は、最上階教室温度が不在時に 20℃まで上昇しており、過剰に暖房しているように見える。

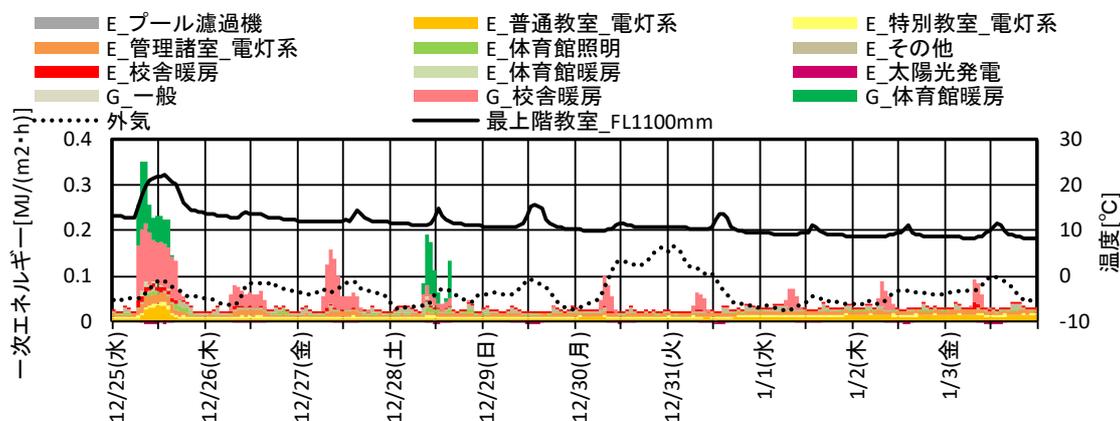


図 4-15 冬休みの一次エネルギー消費量変動(2H)

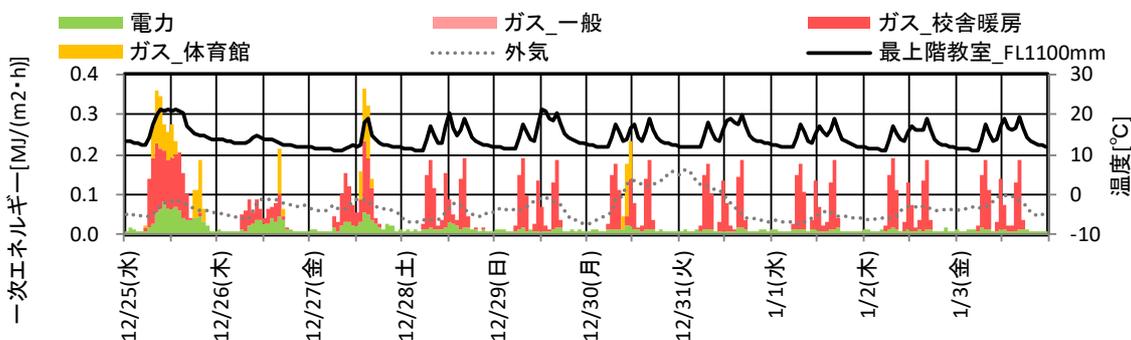


図 4-16 冬休みの一次エネルギー消費量変動(2H(参考))

図 4-17 図 4-18 に、11～1月における平日 4:00 における外気温と最上階教室と中間階教室の温度の関係を示す。休日は夜間に凍結防止のために暖房を行う日があるため除外した。2H と 2H(参考)で大きな差はない。特に中間階においては差が小さく、断熱性能の差が確認できない。2H は全熱交換器を夜間も稼働しているため、温度が低下していると考えられる。

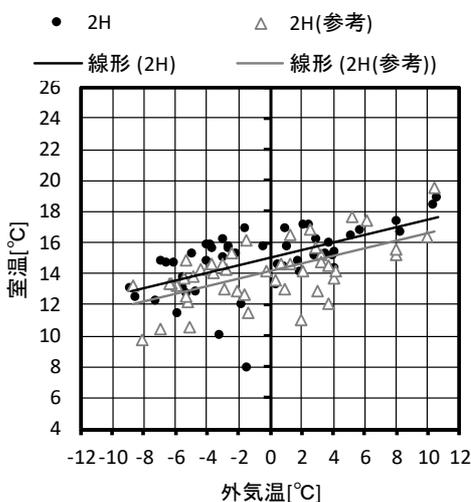


図 4-17 4:00 の外気温と教室室温の関係(最上階)

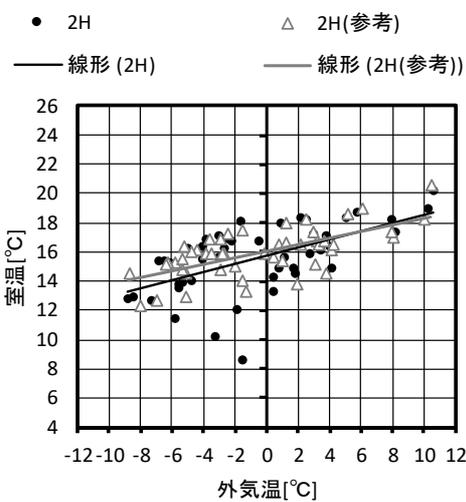


図 4-18 4:00 の外気温と教室室温の関係(中間階)

4.3 6HC の小学校

4.3.1 調査概要

表 4-9、表 4-10、表 4-11、図 4-19 に測定ポイントを示す。

表 4-9 温熱空気環境の測定ポイント(6HC)

No.	測定場所	内容	No.	測定場所	内容
1	外気	空気温湿度	10	4F 普通教室床上 1100mm	空気温度
2	1F 昇降口 床上 1100mm	空気温湿度	11	4F 普通教室床上 100mm	表面温度
3	3F 普通教室	空気温湿度	12	4F 普通教室天井表面	空気温度
4	3F 普通教室吹出	空気温度	13	4F 普通教室空調	吹出温度
5	3F 普通教室床上 1100mm	空気温湿度	14	4F 普通教室	CO ₂ 濃度
6	3F 普通教室床上	天井表面	15	4F 廊下	温湿度
7	3F 普通教室	CO ₂ 濃度	16	4F 廊下	CO ₂ 濃度
8	3F 廊下	空気温湿度	17	体育館アリーナ	
9	3F 廊下	CO ₂ 濃度			

表 4-10 ガス消費量測定ポイント(6HC)

No.	測定場所	内容
1	ガスメータ一般	理科室・家庭科室等のガス消費量
2	ガスメータ空調	GHP のガス消費量
3	ガスメータ(給食)	給食室のガス消費量

表 4-11 電力消費量測定ポイント(6HC)

項目		備考		項目		備考	
キュービクル	低圧電灯盤 No.1 1φ3W 150kVA	取引メータ		分電盤	PR-1	UPS	1L-3 へ・職員室 UPS
		1L-1	1F 照明・コンセント・空調室内機・換気			FE3	トイレ排気ファン
		1L-2(1)	1F 照明・コンセント・空調室内機・換気			FE4	トイレ排気ファン
		1L-2(2)	1F 照明・コンセント・空調室内機・換気			FE5	トイレ排気ファン
		1L-4	家庭科室の調理台・コンセント			FE6	トイレ排気ファン
		床暖房	給食室の床暖房			FE7	トイレ排気ファン
	低圧電灯盤 No.2 1φ3W	1LP-1	給食			FE8	トイレ排気ファン
		体育館	体育館の照明:・コンセント		FE9	トイレ排気ファン	
		2L-1	2F 照明・コンセント・空調室内機・換気		3L-2	FE10	トイレ排気ファン
		2L-2	2F 照明・コンセント・空調室内機・換気			5	3-4・3-3 照明 電灯
	2L-3	コンピューター室・図書室のコンセント	6			普通教室 3-3 電灯	
	低圧電灯盤 No.3 1φ3W 150kVA	2L-4	理科室コンセント			②	普通教室 3-4・3-3 空調
		3L-1	3F 照明・コンセント・空調室内機・換気			②	普通教室 3-4・3-3 換気
	3L-2	3F 照明・コンセント・空調室内機・換気	5			普通教室 3-4 コンセント 1	
	4L-1	4F 照明・コンセント・空調室内機・換気	6			普通教室 3-4 コンセント 2	
	4L-2	4F 照明・コンセント・空調室内機・換気	7			普通教室 3-3 コンセント 1	
	低圧動力盤 No.1 3φ3W 100kVA	EV 制御	EV 制御			8	普通教室 3-3 コンセント 2
		増圧ポンプ	増圧ポンプ			4L-2	5
		排水ポンプ	雨水排水ポンプ		6		普通教室 5-3 電灯
		プール制御	プール制御		②		普通教室 5-4・5-3 空調
		プール濾過	プール濾過		②		普通教室 5-4・5-3 換気
	RP-2	GHP 室外機	5		普通教室 5-4 コンセント 1		
	低圧動力盤 No.2 3φ3W 100kVA	1LP-1(1)	冷蔵庫・冷凍庫		6		普通教室 5-4 コンセント 2
		RP-1	給食室の給排気ファン		7		普通教室 5-3 コンセント 1
		1LP-1(2)	器具消毒保管機		8		普通教室 5-3 コンセント 2
		1LP-1(3)	スチームコンベクション他				
		1LP-1(4)	スチームコンベクション他				
		1LP-1(5)	消毒保管庫・食器食缶トレイ洗浄機				
RP-1		GHP 室外機、排気ファン					
UPS		1L-3 へ・職員室					

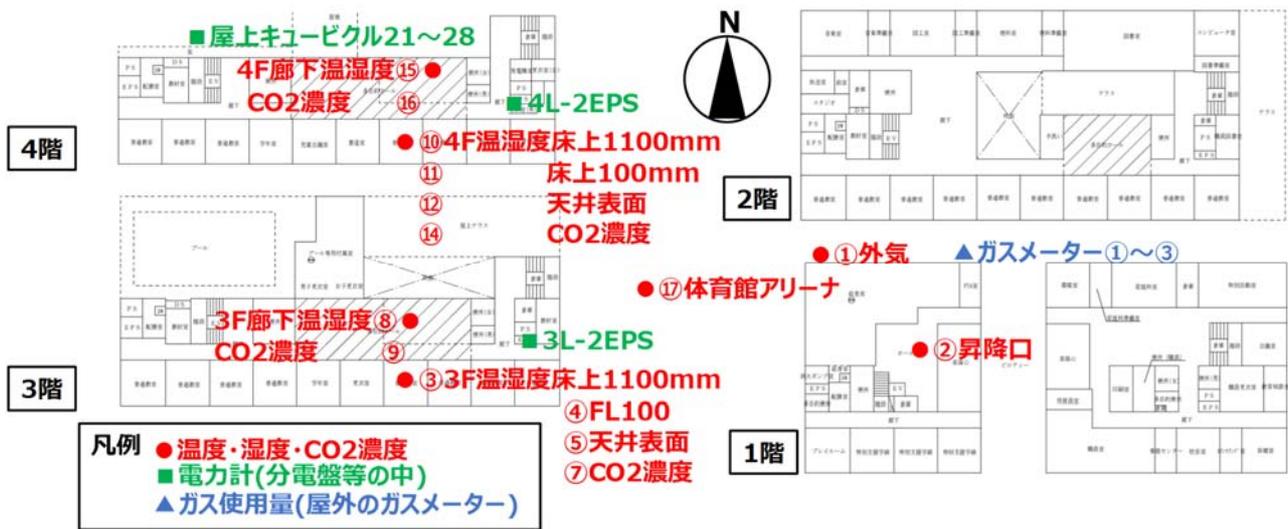


図 4-19 測定ポイント(6HC)

4.3.2 エネルギー消費量・温熱空気環境調査結果

(1) 夏期・冬期の変動

図 4-20、図 4-21 に夏期・冬期のエネルギー、温熱空気環境の変動を図 4-22 に月平均日積算一次エネルギー消費量を示す。GHP のエネルギー消費量の変動は、暖房に比べて冷房の方が大きい傾向がある。

1月のCO₂濃度が高いが、全熱交換器が停止していたためである。

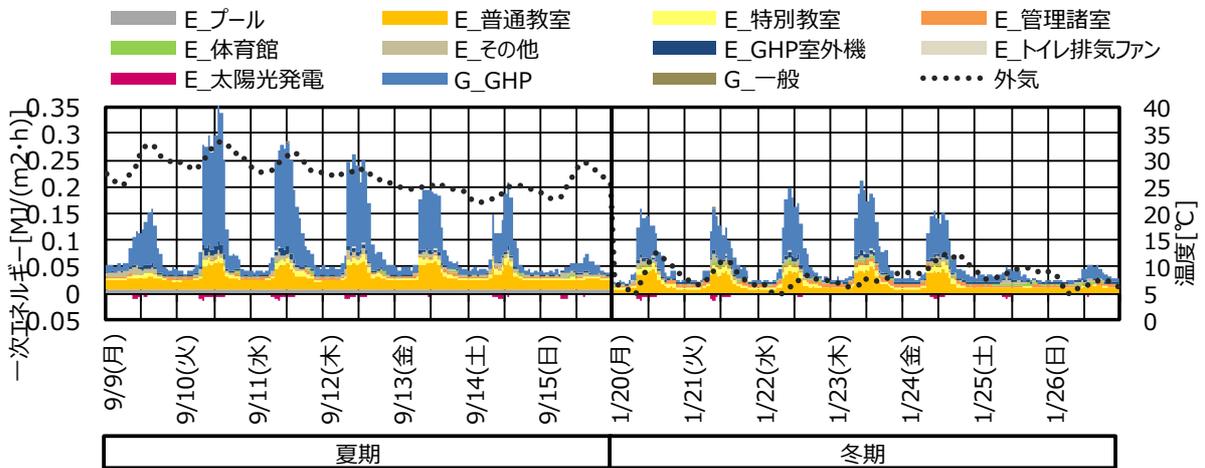


図 4-20 エネルギー消費量の変動(6HC)

※ 凡例の E は電力、G はガスを示す。

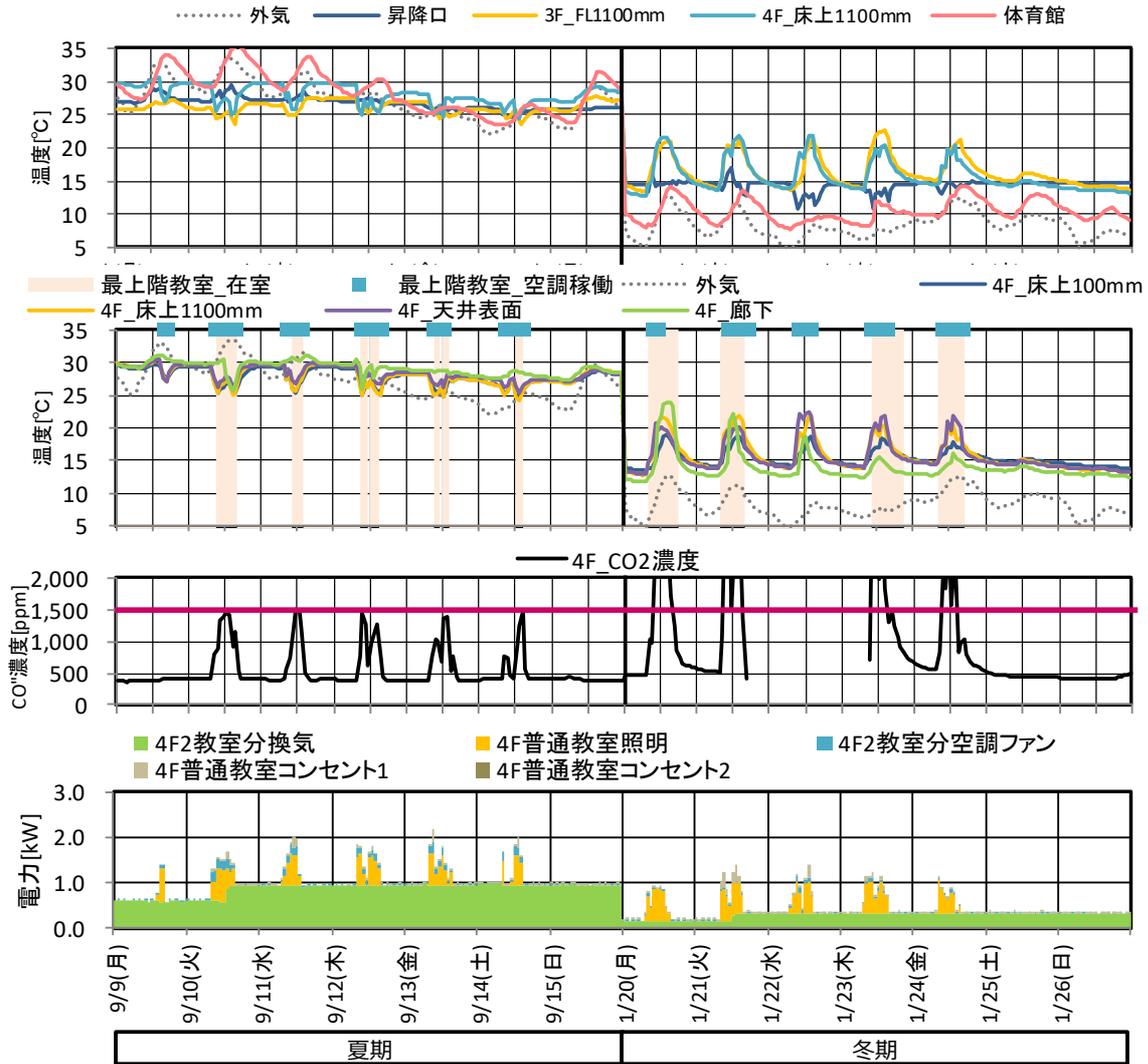


図 4-21 最上階教室の温湿度・CO₂濃度(6HC)

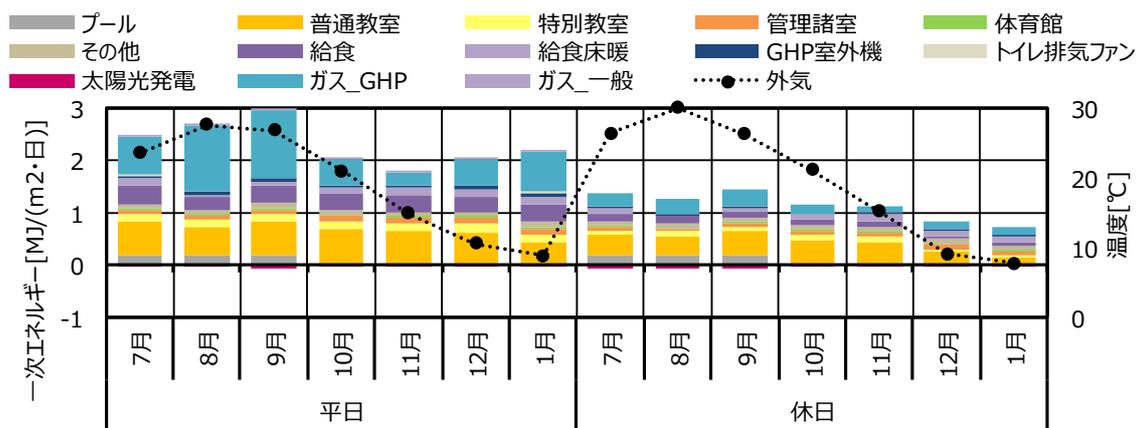


図 4-22 月平均日積算一次エネルギー消費量(6HC)

(2) 運用の特徴

図 4-23 に学校全体の 5:00 における電力を示す。5:00 における電力は、ベース電力を意味する。12/26 に停電があり、冬休み期間であるため、12/27～1/7 の間は最低限の機器のみ稼働している状態で 10kW である。12/26 以前と 12/27 の差が全熱交換器の電力 16kW と推察される。1/9 から徐々に電力が増加しているが、これは、インフルエンザなどの感染症予防対策で全熱交換器を 24 時間稼働している教室が増加しているためである。GHP 室外機の電力は待機電力に加え、環境室で飼育している生き物のために常時空調を行っているためである。

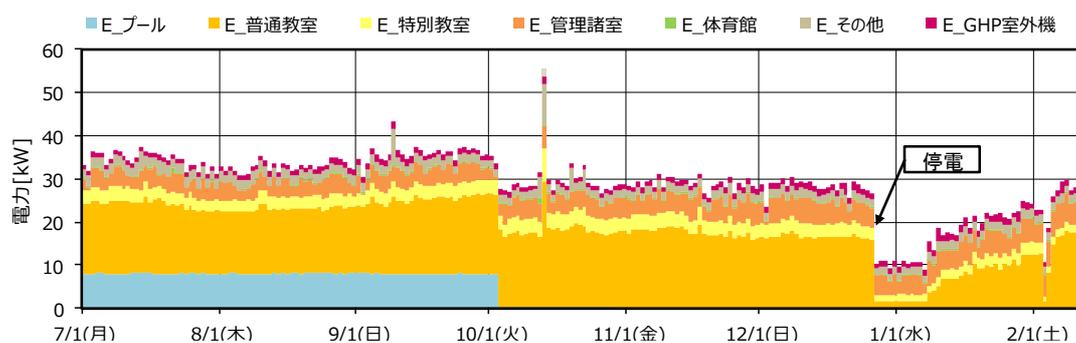


図 4-23 学校全体の 5:00 の電力(6HC)

図 4-24 に外気温と空調使用率の関係を示す。校舎の断熱性能が高いこと、近隣の鉄道が運行しており騒音のため、窓開けをほとんどできないことや、転落防止のために窓の開放面積が限られていることから、十分な通風が行えずほぼ年間空調になっている。暖房の使用率は比較的低い。

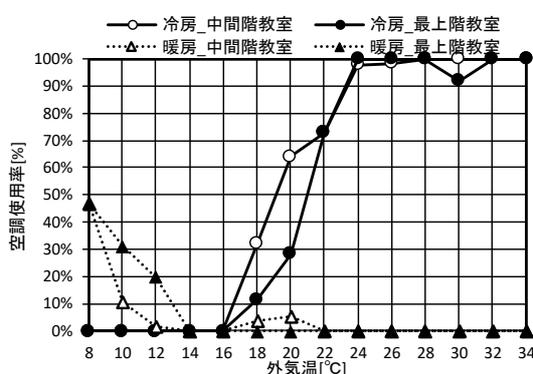


図 4-24 外気温と計測対象教室の空調使用率の関係(6HC)

図 4-25 に全熱交換器フィルタ清掃前後の CO₂ 濃度を示す。全熱交換器のメンテナンスを行っていなかったため、1/7 に 1 教室においてフィルタの清掃を行った。簡易風量測定を行った結果 8%風量が増加した。清掃前に比べて、清掃後は CO₂ 濃度が 200ppm 程度低下しているが、リモコンの設定を前後で異なる可能性があるため、効果は確認できなかった。また、停電によって、換気ファンが停止になった後に 1/8～1/13 まで全熱交換器の付け忘れがあった。全熱交換を稼働しないと 3000ppm 以上となった。

図 4-26 に示すように、天井裏のフィルタやエレメントを取り出して清掃するのは、高所作業で教職員が実施するのは、難しいと思われる。

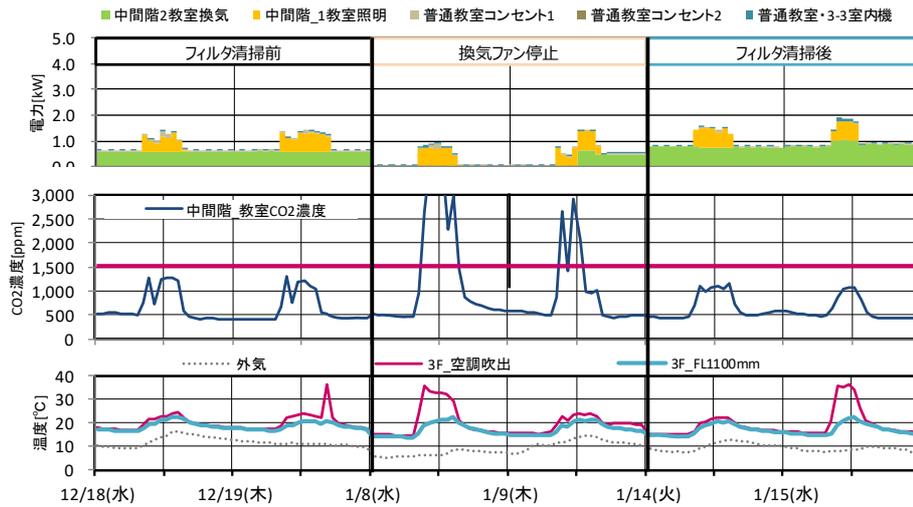


図 4-25 全熱交換器フィルタ清掃前後の CO₂ 濃度(6HC)



図 4-26 全熱交換器のフィルタ・エレメント清掃(6HC)

図 4-27 に中間階教室の照度分布を示す。電灯照明なし・カーテン閉においても窓側は 400lx 以上あり、窓側の照明機器だけでも明るさ制御をすることにより、省エネルギーが図れると考えられる。

測定日時 2019/6/28 15:30
 天候 薄曇り

電灯照明 点灯状況 カーテン 開閉状況	電灯照明なし	電灯照明なし	電灯照明あり	電灯照明あり
	カーテン開	カーテン閉	カーテン開	カーテン閉
屋外南側 照度	15,000 lx	15,000 lx	15,000 lx	15,000 lx

照度[lx]

窓側	中央	廊下側	窓側	中央	廊下側	窓側	中央	廊下側	窓側	中央	廊下側
1,710	291	147	409	83	72	2,152	959	779	985	873	819
2,000	346	207	475	103	75	2,366	1,197	910	1,033	967	867
1,920	307	164	445	110	78	2,062	1,042	895	982	905	820

図 4-27 照度分布(6HC)

4.4 6N-bの小学校

4.4.1 調査概要

表 4-12、表 4-13、図 4-28 に測定ポイントを示す。

表 4-12 温熱空気環境の測定ポイント(6N-b)

No.	測定場所	内容	No.	測定場所	内容
1	外気	空気温湿度	8	3F 普通教室床上 100mm	空気温度
2	1F 昇降口 床上 1100mm	空気温湿度	9	3F 普通教室	天井表面温度
3	2F 普通教室	空気温湿度	10	3F 普通教室	吹出温度
4	2F 普通教室	吹出温度	11	3F 普通教室	CO ₂ 濃度
5	2F 普通教室	CO ₂ 濃度	12	3F 廊下	空気温湿度
6	2F 廊下	空気温湿度	13	体育館アリーナ	空気温湿度
7	3F 普通教室床上 1100mm	空気温湿度			

表 4-13 電力消費量測定ポイント(6N-b)

場所	No.	名称	備考	場所	No.	名称	備考	
		取引メータ	おんどとり					
屋外キュービクル	電灯盤 1φ3W 75kVA	2A	L-S1	1F 南棟照明・コンセント	校舎分電盤	2F 盤	③	2F 教室照明
		2B	L-S2	2F 南棟照明・コンセント			④	2F 多目的スペース照明
		2C	LP-N1(L)	1F 北棟照明・コンセント			⑦	2F 教室コンセント
		2D	L-S(体育館)	体育館照明			⑰	2F 給茶機
		2E	L-P	L-P	3F 盤	②	3F 教室照明	
		2F	プール付棟 LP-PO	プール附属棟		⑤	3F 多目的スペース照明	
	1C	LP-N1(P)	北棟動力	④		3F 教室コンセント		
	動力盤 3φ3W 300kVA	1D	加圧給水装置	加圧給水装置				
		1E	浄化槽制御盤	浄化槽制御盤				
		1F	プール付棟 LP-PO	プール付棟 LP-PO				
		1G	北校舎 2F 動力盤	北校舎 2F 空調				
		1H	北校舎 3F 動力盤	北校舎 3F 空調				
		1I	空調機盤	空調機盤				
		1J	南校舎動力盤	南校舎動力盤				
1K	北校舎 1F 動力盤	北校舎 1F 空調						

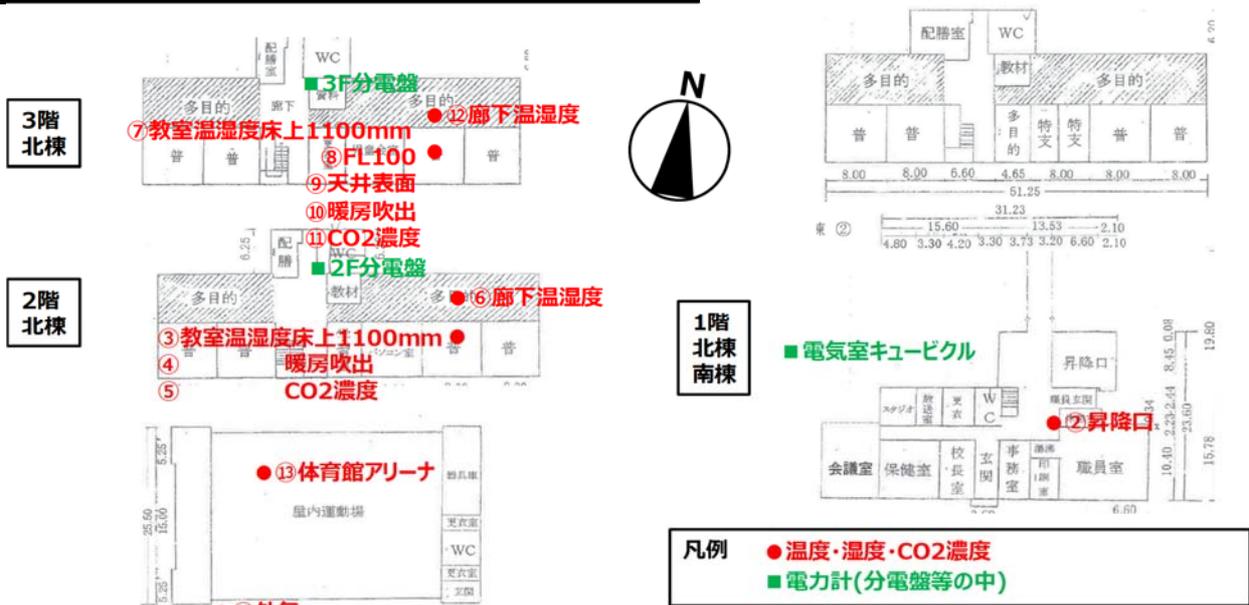


図 4-28 測定ポイント(6N-b)

4.4.2 エネルギー消費量・温熱空気環境調査結果

(1) 夏期・冬期の変動

図 4-29、図 4-30 に夏期・冬期のエネルギー、温熱空気環境の変動を示す。普通教室において、冷房は使用しているが、暖房は使用していない。9/13 は、外気温が 25℃程度であり、外気温の低い日は冷房を使用せず、窓開けて授業を行っている。換気が設置されていないため、冷房を行っている際に CO₂ 濃度が 1500ppm を超えている場合がある。

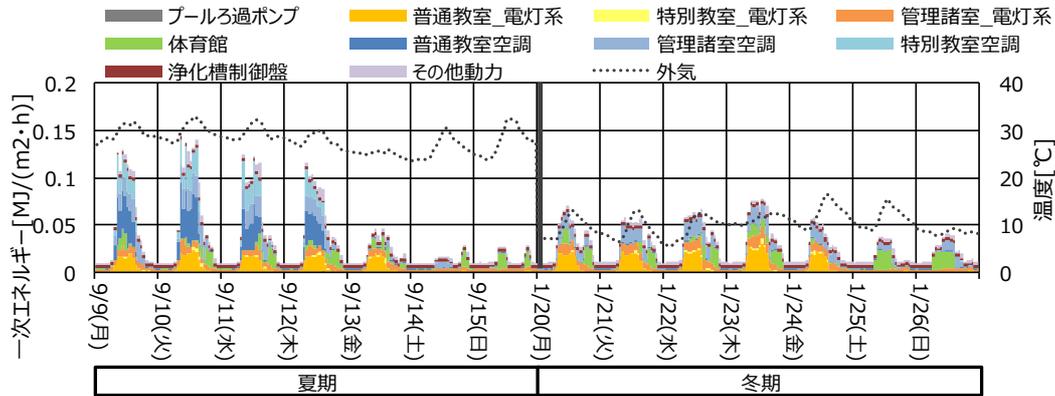


図 4-29 エネルギー消費量の変動(6N-b)

※ 凡例の E は電力、G はガスを示す。

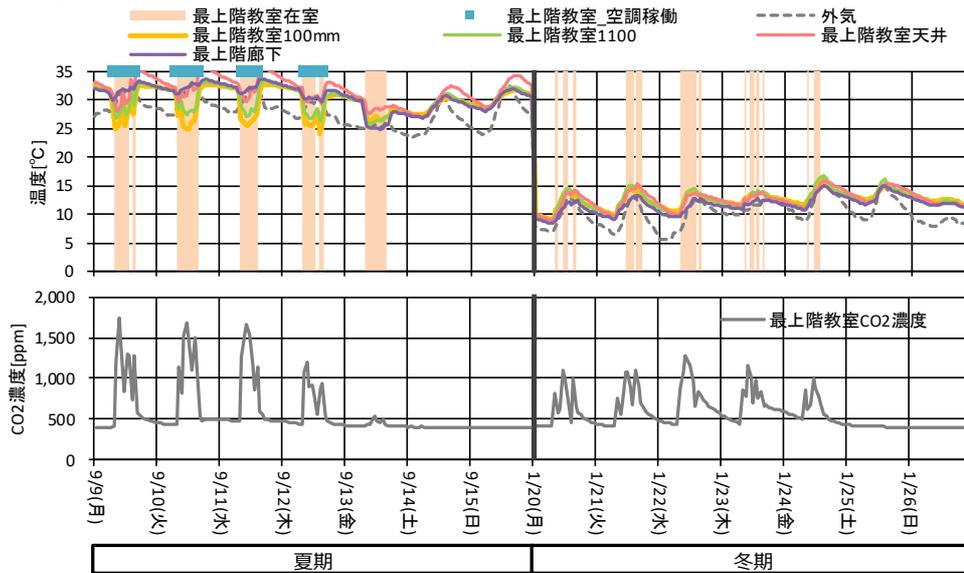


図 4-30 最上階教室の温湿度・CO₂ 濃度(6N-b)

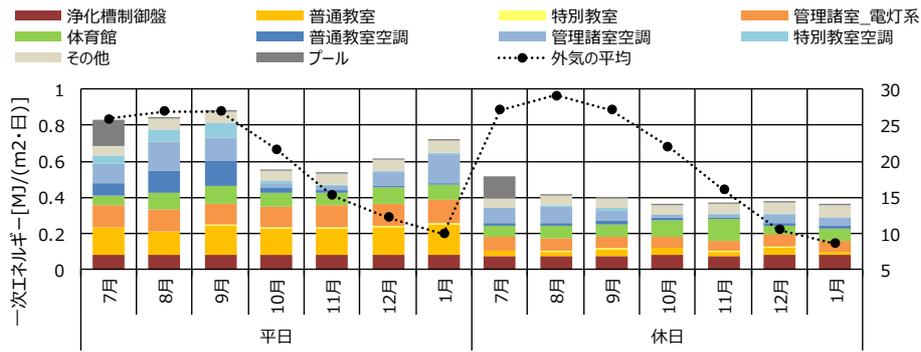


図 4-31 月平均日積算一次エネルギー消費量(6N-b)

(2) 運用の特徴

6N-b の小学校は、調査を行った2019 年6 月にEHP を設置し、冷房のみに使用している。図 4-30 にEHP の導入前(2017 年の検針値)・後(2019 年の実測値)の学校全体の月積算電力量を示す。EHP を使用していない11 月、12 月の電力量も増加の傾向があるが、これは EHP の待機電力と EHP 設置に伴う変圧器容量の増大によるトランスの損失の増大によるものと考えられる。図 4-33 に示す日平均外気温と EHP 電力量の関係より、冷房時と待機時の年間 EHP 電力量を推定した(図 4-34)。暖房の使用がないことから、EHP を使用しない期間は夏休みを含め 9 ヶ月になり、待機時の年間電力量は冷房時に対して、80%と大きい。主電源を切るためのスイッチを設けるなどの対応が効果的である。

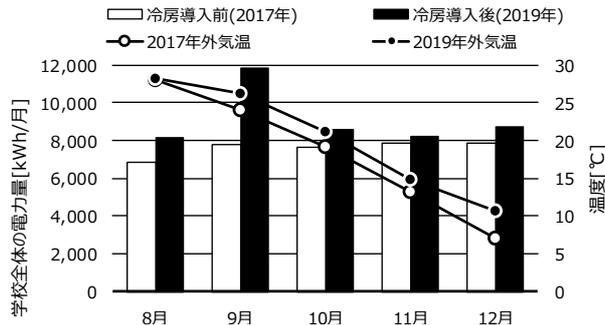


図 4-32 冷房導入前・後の学校全体の月積算電力量(6N-b)

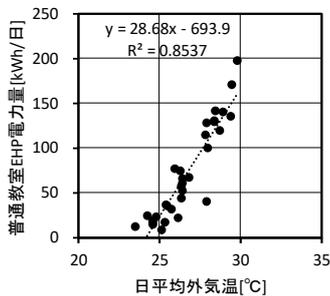


図 4-33 日平均外気温と普通教室 EHP の電力量
の関係(稼働日のみ・6N-b)

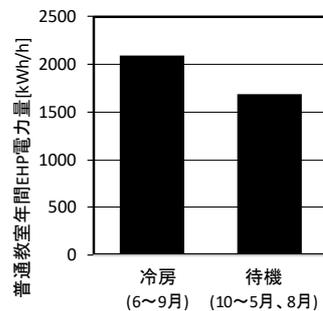


図 4-34 冷房時と待機時の年間電力量の推定値(6N-b)

※待機時電力=0.26[kW], 0.26[kW] × 24[h] × 270[日]=1684kWh/年

4.5 8Cの小学校

4.5.1 調査概要

表 4-14、表 4-15 表 4-13、図 4-35 に測定ポイントを示す。

表 4-14 温熱空気環境の測定ポイント(8C)

No.	測定場所	内容	No.	測定場所	内容
1	外気	空気温湿度	8	3F 普通教室床上 100mm	空気温度
2	1F 昇降口 床上 1100mm	空気温湿度	9	3F 普通教室	天井表面温度
3	2F 普通教室	空気温湿度	10	3F 普通教室	吹出温湿度
4	2F 普通教室	吹出温度	11	3F 普通教室	CO ₂ 濃度
5	2F 普通教室	CO ₂ 濃度	12	3F 廊下	空気温湿度
6	2F 廊下	空気温湿度	13	体育館アリーナ	空気温湿度
7	3F 普通教室床上 1100mm	空気温湿度			

表 4-15 ガス消費量測定ポイント(8C)

No.	測定場所	内容
1	ガスメーター一般	理科室・家庭科室等のガス消費量
2	ガスメーター空調	GHPのガス消費量
3	ガスメーター(給食)	給食室のガス消費量

表 4-16 電力消費量測定ポイント(8C)

		名称	備考			名称	備考
電力取引メータ							
キュービクル	低圧電灯盤 No.1 1φ3W 150kVA	1L-1	東棟_南側 1F 電灯系	キュービクル	低圧動力盤 No.1 3φ3W 100kV A	1P-1	1P-1
		2L-1	東棟_南側 2F 電灯系			1P-4	1P-4
		3L-1	東棟_南側 3F 電灯系			1P-2	1P-2(給食)
		2L-2	東棟_北側 2F 電灯系			RP-2A	RP-2A
		3L-2	東棟_北側 3F 電灯系			RP-1	職員室・理科・家庭科・音楽・図工室等 GHP
		3L-3	南棟_3F 電灯系			RP-2	普通教室・図書室等 GHP
	低圧電灯盤 No.2 1φ3W 150kVA	1L-4	幼保棟_1F			RP-3	普通教室・音楽室等 GHP
		2L-4	幼保棟_2F			RP-4	普通教室等 GHP
		1L-5	給食室			RP-5	幼保棟 GHP
		2L-5	体育館				
		太陽光発電 1	太陽光発電 1		低圧動力盤 No.2 3φ3W 100kV A	1P-2(1)	1P-2(給食室)(1)
		太陽光発電 2	太陽光発電 2			1P-2(2)	1P-2(給食室)(2)
		1L-2	東棟_北側 1F 電灯系			1P-2(3)	1P-2(給食室)(3)
						1P-2(4)	1P-2(給食室)(4)
校舎内分電盤	2L-2	2F 教室照明/2F24 時間換気		1P-4A	1P-4A(幼・保)		
		2F 教室コンセント/2F 教室空調・換気					
	3L-2	3F 教室照明/3F24 時間換気					
		3F 教室コンセント/3F 教室空調・換気					

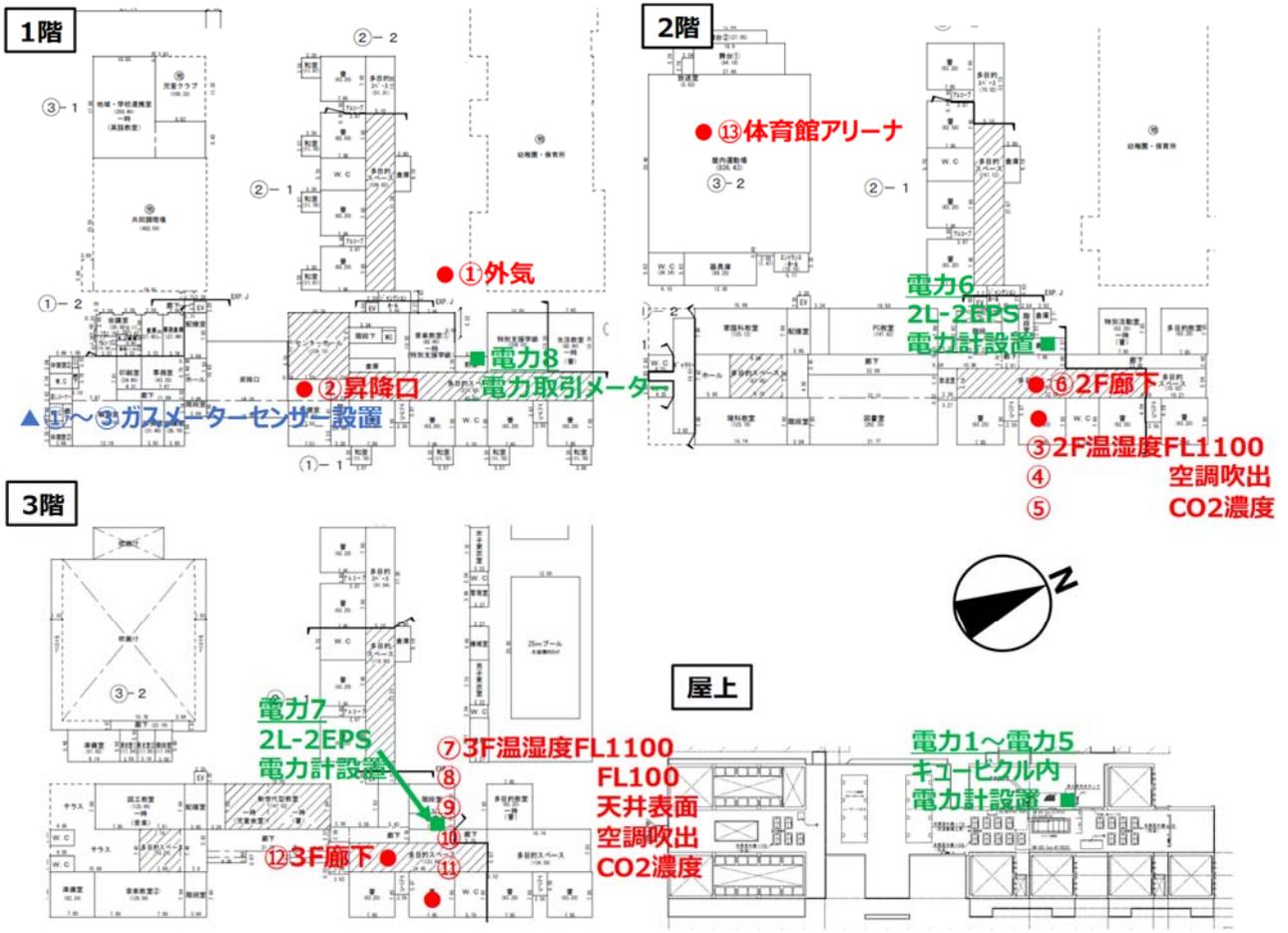


図 4-35 測定ポイント(8C)

4.5.2 エネルギー消費量・温熱空気環境調査結果

(1) 夏期・冬期の変動

図 4-36、図 4-37 に夏期・冬期のエネルギー、温熱空気環境の変動を示す。夏期の 1 週間に 9/9、9/11 の夜間に GHP の消し忘れが確認できる。夏期の日中は、学校のエネルギー消費量の半分以上を冷房が占める。在室時の教室の温度は26~27°C程度と安定している。冬期は冷暖房をしていないため、全熱交換器も停止しており、CO₂濃度は下記に比べて高いが、1000ppm 以下であった。

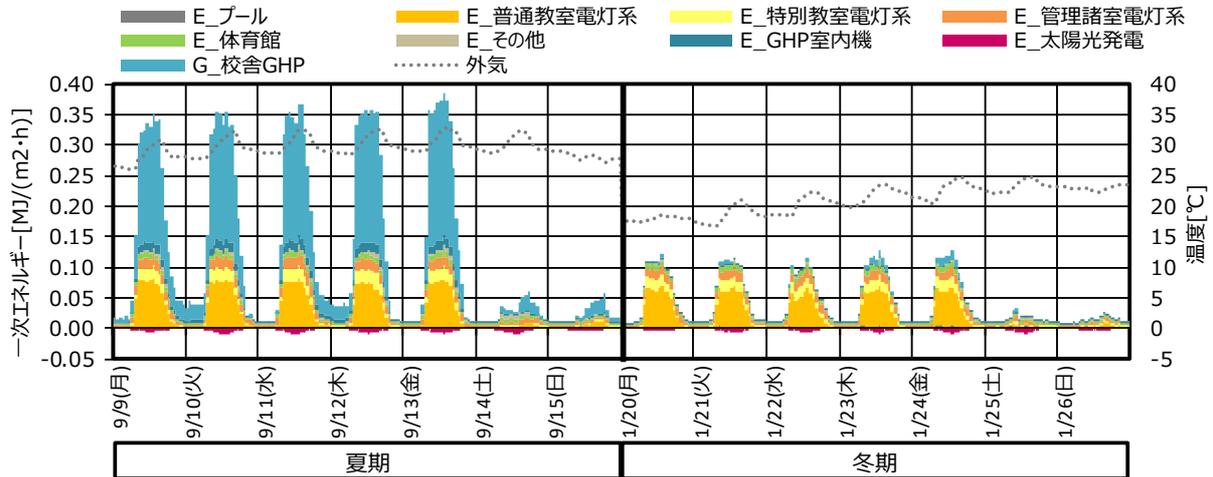


図 4-36 エネルギー消費量の変動(8C)

※ 凡例の E は電力、G はガスを示す。

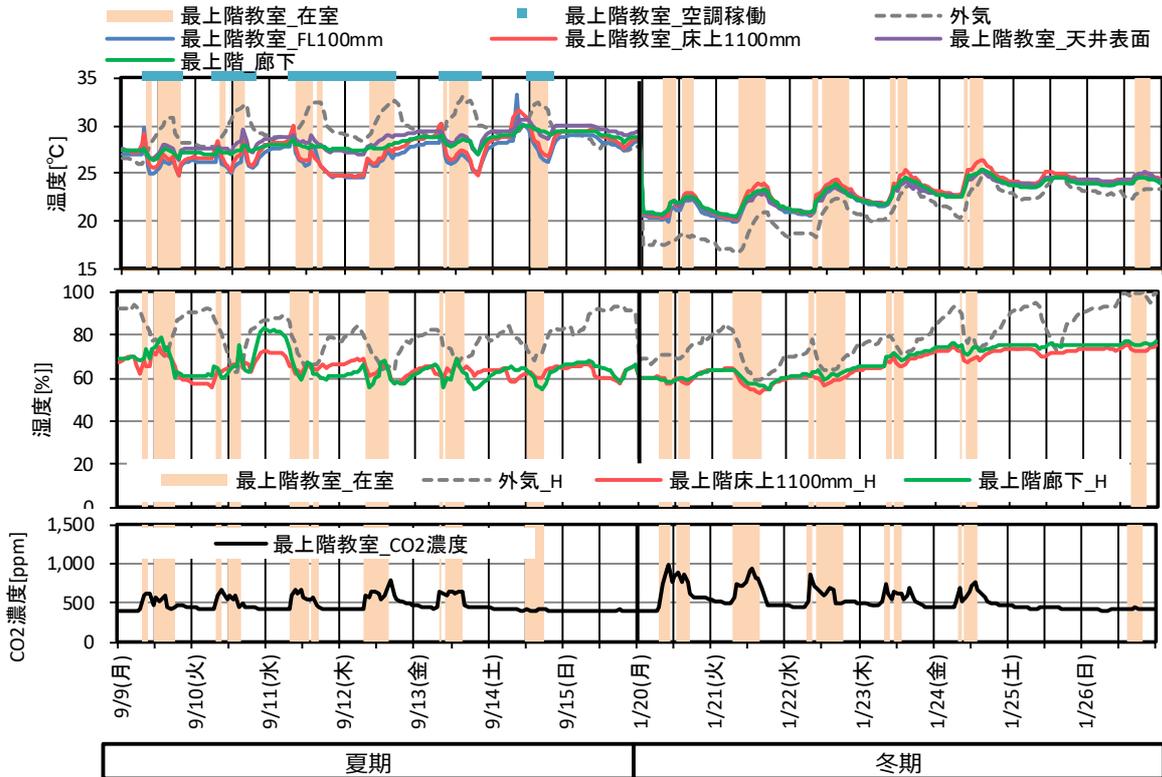


図 4-37 最上階教室の温湿度・CO₂濃度(8C)

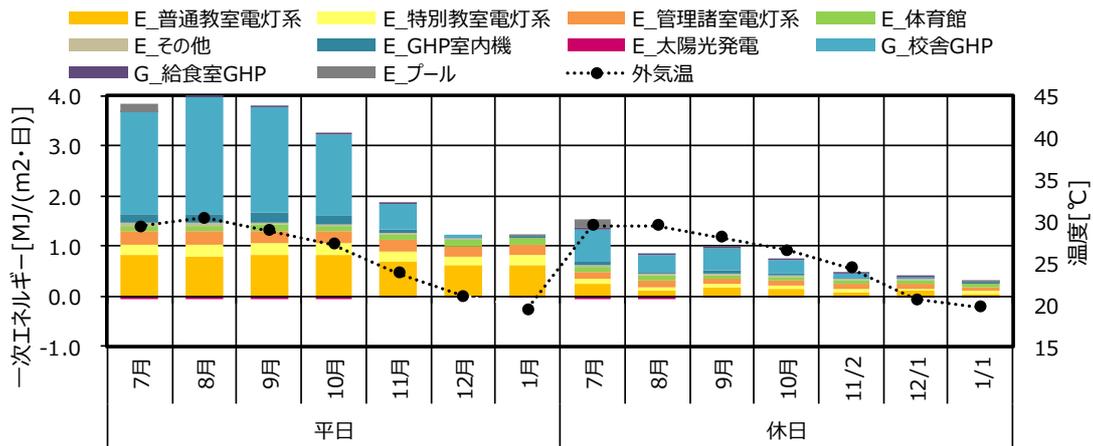


図 4-38 月平均日積算一次エネルギー消費量(8C)

(2) 運用の特徴

図 4-39 に 8C の小学校の一次エネルギー消費量、教室の CO₂ 濃度・空調・換気の電力変動を示す。9/11 は空調の消し忘れが確認できる。また、9/12 においても教室の照明点灯時間よりも、空調の稼働時間の方が長く、不在時にも空調が稼働している。図 4-40 に最上階教室の 1 日当たりの在室時間と空調時間を示す。1 日当たりの平均在室時間は 5.3 時間、空調時間は 11.6 時間で、空調時間は在室時間の 2 倍以上と長い。管理職へのヒアリングでは、空調リモコンの空調のタイマーは使い方が分からず、使用していないとのことであった。

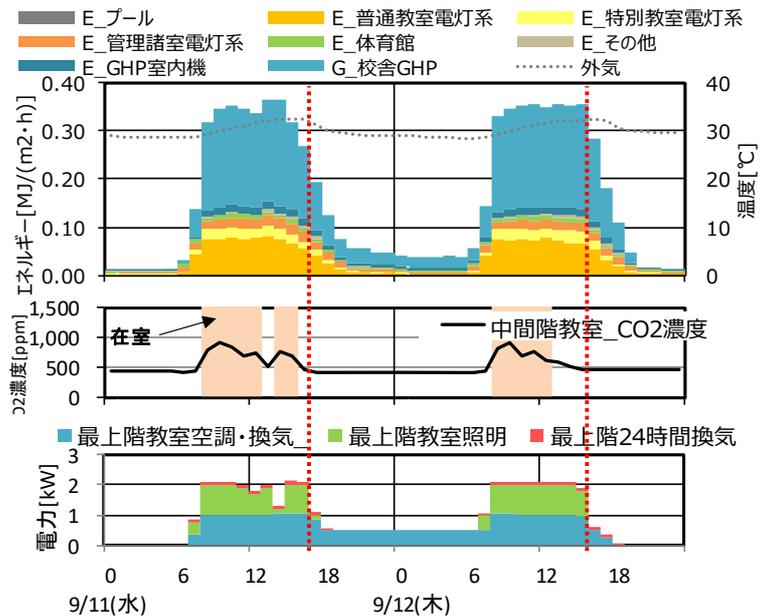


図 4-39 一次エネルギー消費量等の 2 日間の変動(8C)

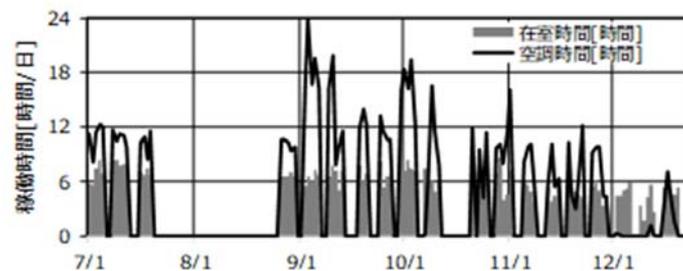


図 4-40 普通教室における 1 日当たりの在室時間と空調時間(8C)

4.6 全校の比較

4.6.1 エネルギー消費量

(1) 日積算エネルギー消費量

図 4-41 に各学校の7～1月における日積算エネルギー消費量を示す。6N-bのエネルギー消費量が最も少ない。冷暖房用エネルギーも小さいが、普通教室・特別教室・管理諸室の電灯系電力(以下、電灯系電力)が小さい。これは、他の小学校は全熱交換器が導入されているが、6N-bの普通教室には換気ファンが導入されていないため換気の電力が小さいためと考えられる。電灯系電力に注目すると、2Hと6HCは、ほぼ一定であるが、8Cは平日に比べ土・日曜日は20%程度である。これは、2Hと6HCは全熱交換器が24時間稼働しているが、8Cは空調と連動しているためである。

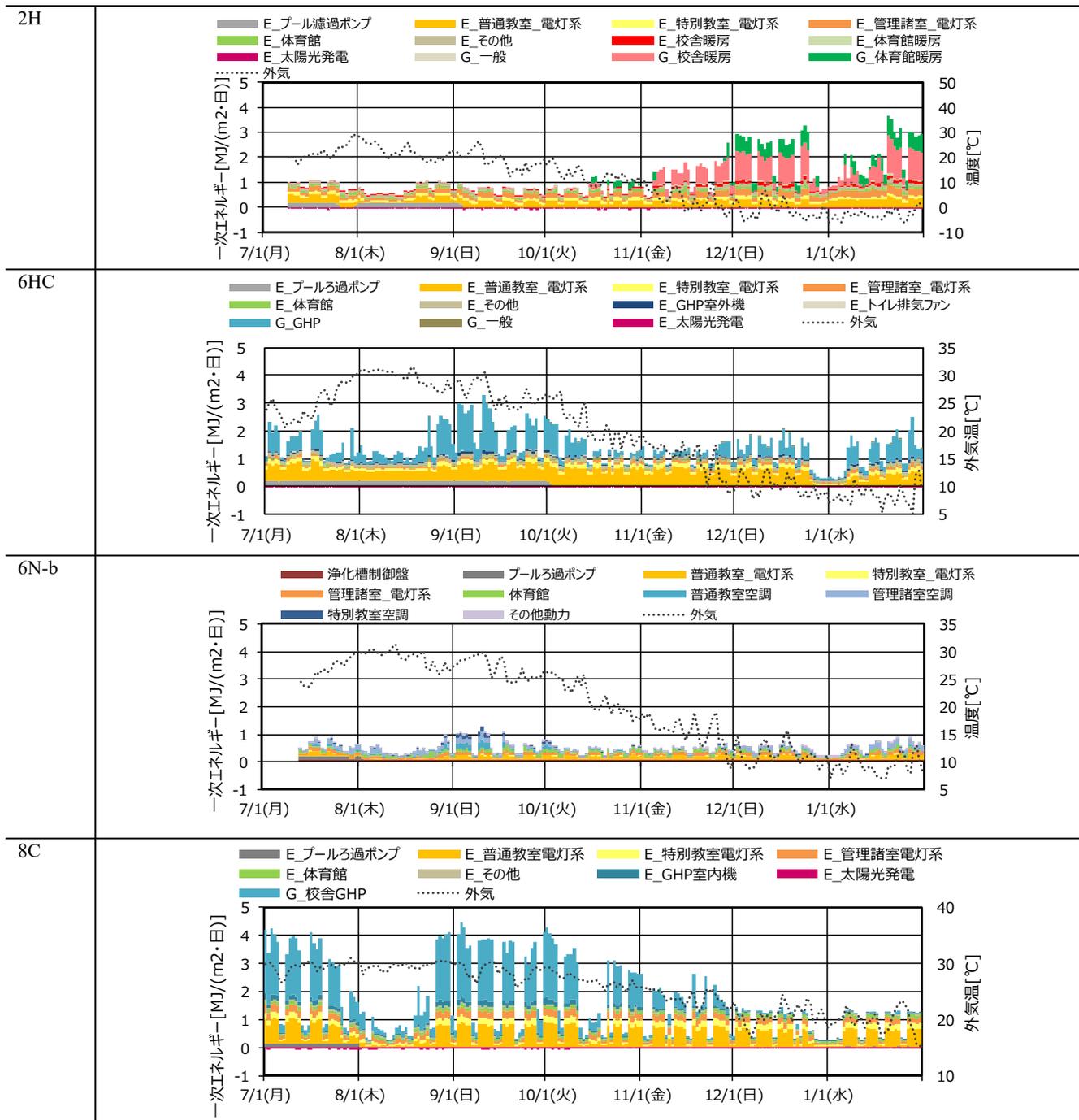


図 4-41 日積算エネルギー消費量

図 4-42 に夏期・中間期・冬期の平日・休日における日平均一次エネルギー消費量を示す。夏期の平日においては、6HC と 8C は冷房が半分以上を占める。最小月(最もエネルギー消費量が少ない月の平均)においては、2H と 6HC は平日に対する休日のエネルギー消費量が 70%程度であり平日と休日の差が小さい。これは、休日にも全熱交換器が稼働しているためである。平日において 8C は 6N-b の 2.3 倍であるが、休日はほぼ同じである。これは、8C の全熱交換器は冷房と連動し、休日は停止しており、最低限必要な設備のみが稼働しているためである。冬期においては、2H は 70%を校舎・体育館の暖房が占めている。8C の普通教室_換気以外が他に比べて大きい傾向があるが、これは図 4-43 に示すように教室の照明点灯時間が長いこと、表 4-17 に示すように 1 教室あたりの照明容量が大きいことが要因としてあげられる。

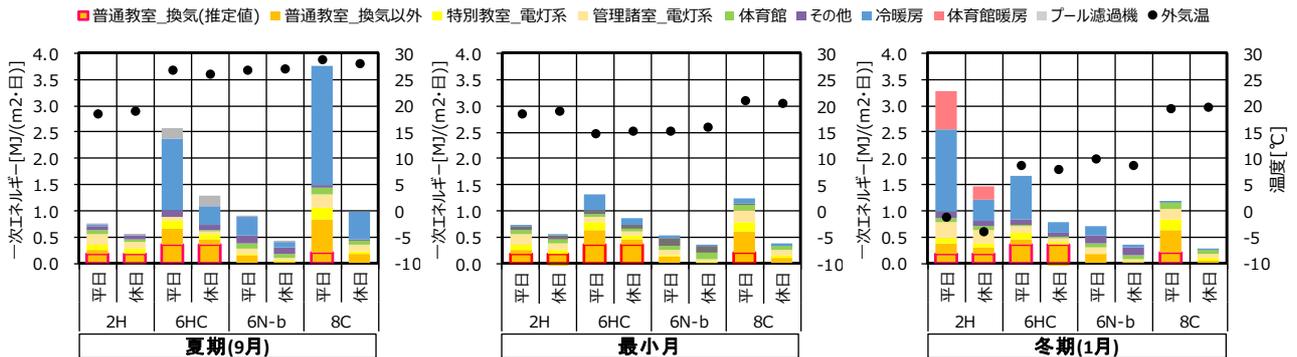


図 4-42 夏期・中間期(最小月)・冬期の日平均エネルギー消費量

(2) 照明の使われ方

図 4-43 に 9~1 月の平日における普通教室の時刻別照明の点灯率を示す。点灯率が 20%以下になる時刻は 2H、6HC、6N-b で 15:00 であるが、8C は 19:00 と点灯時間が長い。

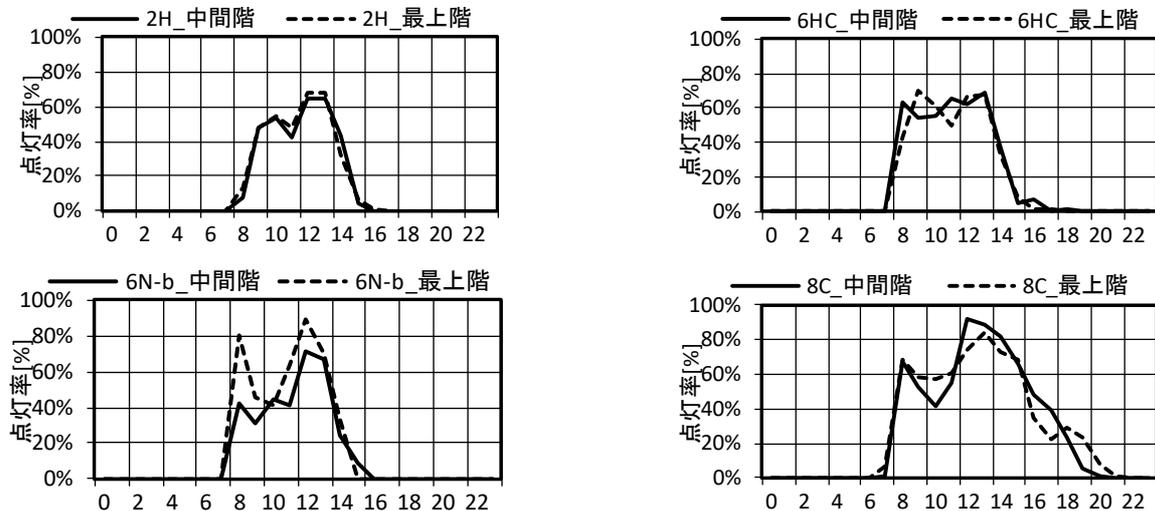


図 4-43 平日における普通教室の時刻別照明の点灯率

表 4-17 照明設置容量

小学校名	種類	1 灯あたりの容量[W]	台数	小計[W]	教室当たりの容量[W]
2H	天井面	64	9	576	640
	黒板灯	32	2	64	
6HC	天井面	64	9	576	576
6N-b	天井面	64	6	384	448
	黒板灯	32	2	64	
8C の小学校	天井面	64	9	576	640
	黒板灯	32	2	64	

4.6.2 温熱空気環境

(1) 夏期

図 4-44 に夏期における平日在室時の温度、図 4-45 に外気温と教室温度の関係を示す。すべての学校において 24~28℃で適切な学習環境である。2H は冷房を設置していないが 28℃以下を保っている。ただし、外気温は平均 22℃であるが、教室温度は 26℃と 4℃高い。転落防止のため、窓が 10cm 程度しか開けられないこと、中廊下形式であることから、風通しが悪いと考えられる。

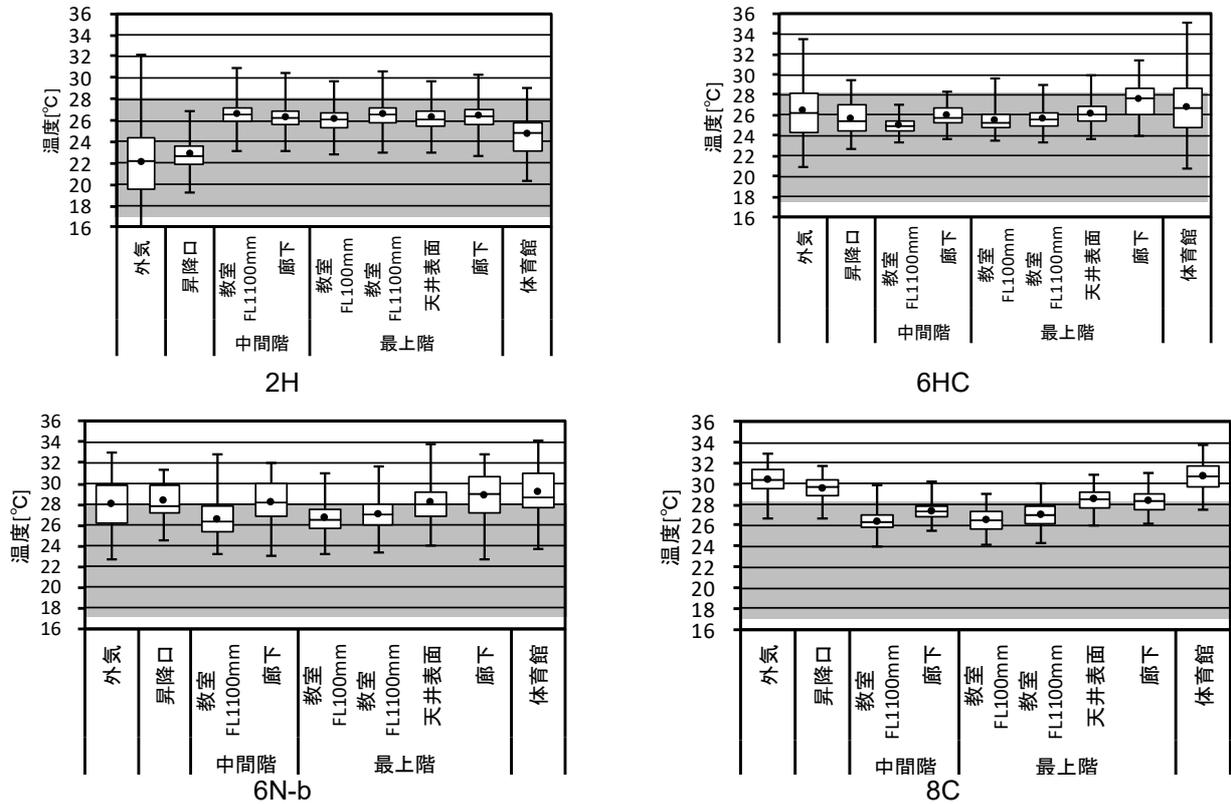


図 4-44 夏期(7~9月)の平日在室時の温度

※図の網掛け部分は、学校環境衛生基準の範囲である

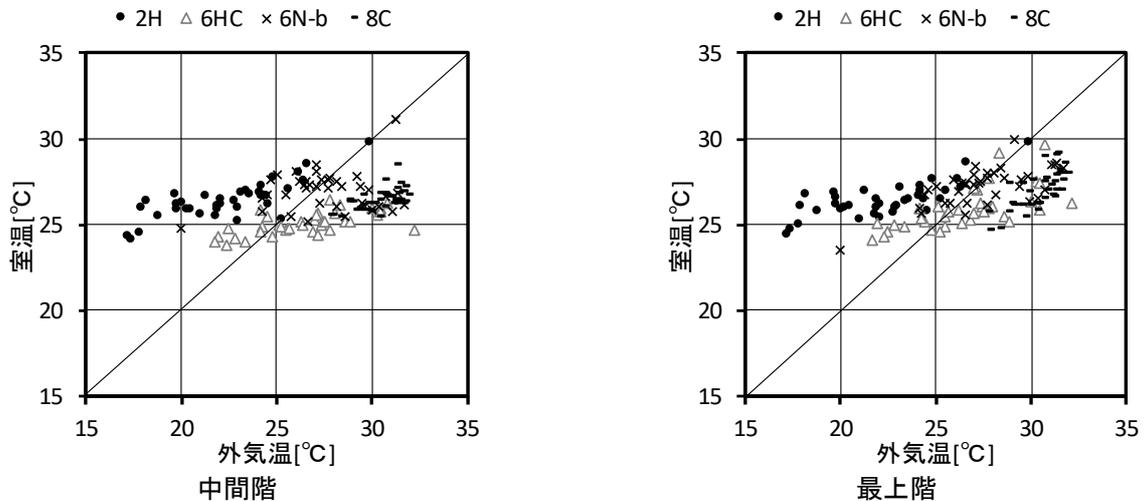


図 4-45 平日日中(8:00~15:00)の日平均外気温と日平均教室室温の関係(7~9月)

図 4-46 に夏期における平日在室時の湿度を示す。2H は教室の温度が外気より高いため、湿度が比較的低い。6HC、6N-b、8C の平均湿度はほぼ同じである。

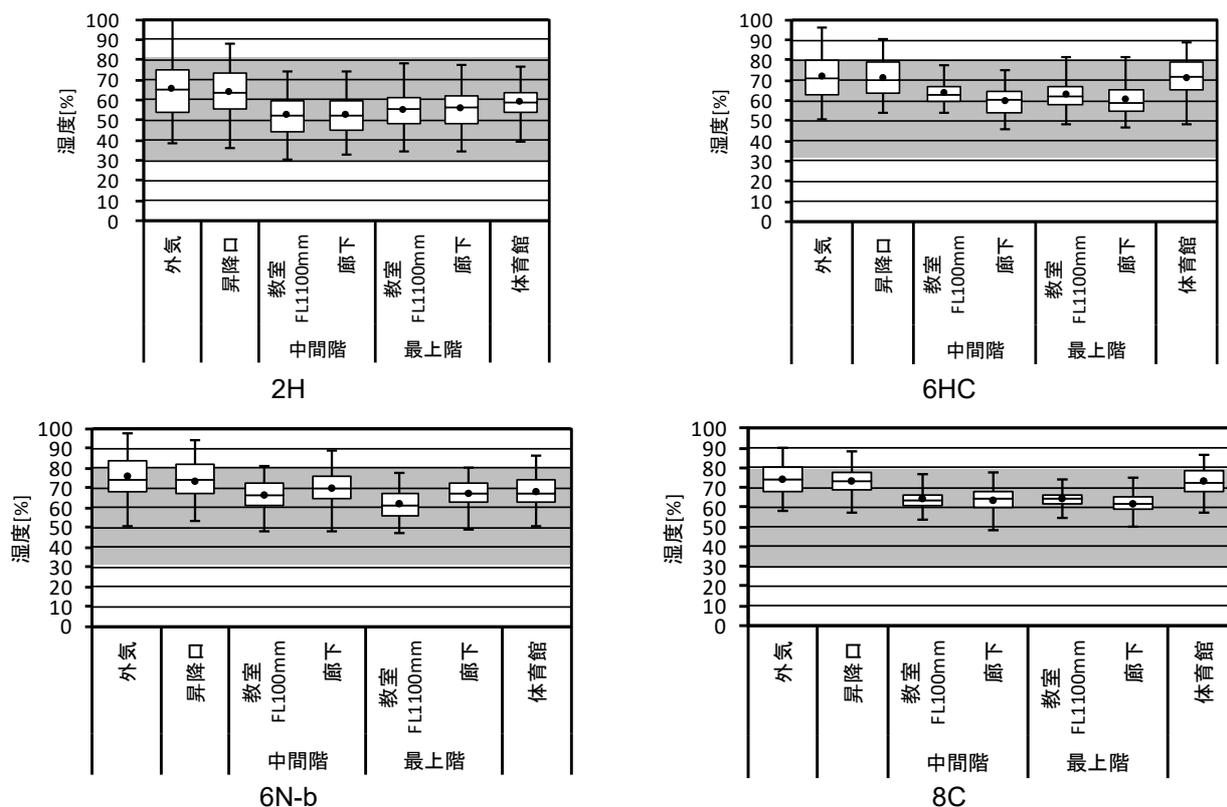


図 4-46 夏期(7~9月)の平日在室時の湿度

※図の網掛け部分は、学校環境衛生基準の範囲である

図 4-47 に夏期における平日在室時の CO₂ 濃度を示す。すべての学校において在室時の 75%は 1500ppm 以下に抑えられている。2H は窓開け換気および全熱交換器稼働しているため CO₂ 濃度が低い。6HC は、全熱交換器が稼働しているが、風量が不足している。6N-b は換気ファンがないため 1000ppm を超えている時間がある。8C は、全熱交換器が冷房と連動しているため、適切に換気されている。

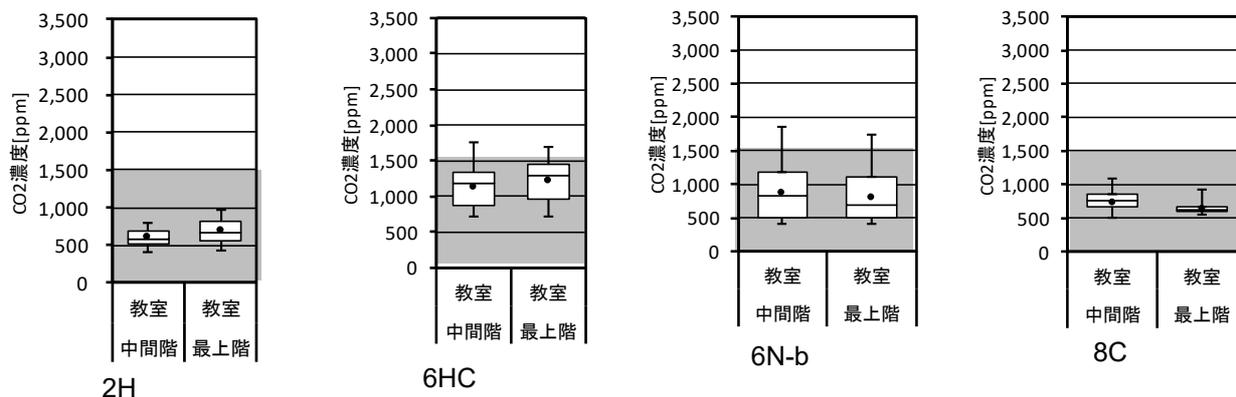


図 4-47 夏期(7~9月)の平日在室時の CO₂ 濃度

※図の網掛け部分は、学校環境衛生基準の範囲である

(2) 冬期

図 4-48 に冬期における平日在室時の温度を示す。暖房を稼働している 2H,6HC の教室の床上 1100mm 温度平均値は 20~21℃、床上 100mm 温度は 18℃であった。断熱性能はよい校舎であるが、上下温度差が 3℃程度ある。6N-b は暖房を行っていないため、教室の温度が低く学校環境衛生基準を満たしていない。

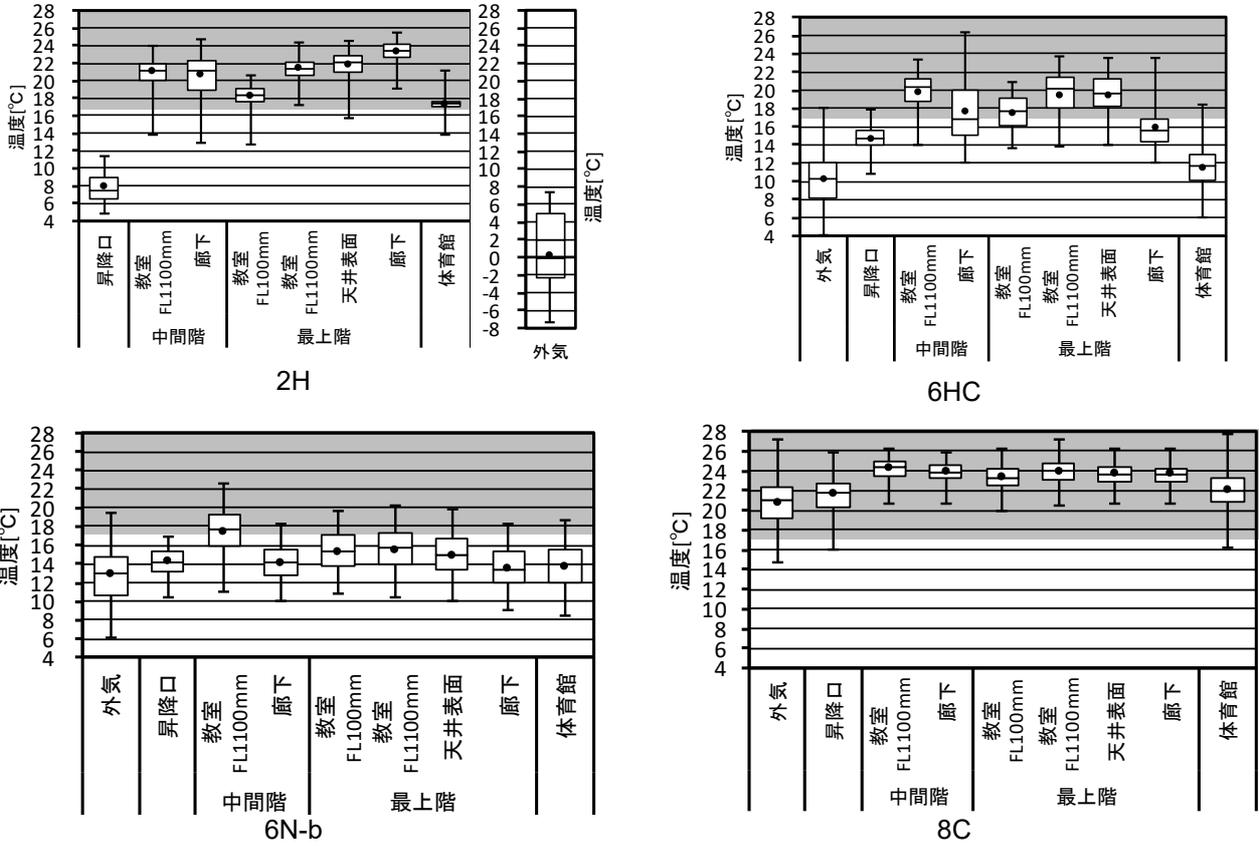


図 4-48 冬期(12~1月)の平日在室時の温度

※図の網掛け部分は、学校環境衛生基準の範囲である

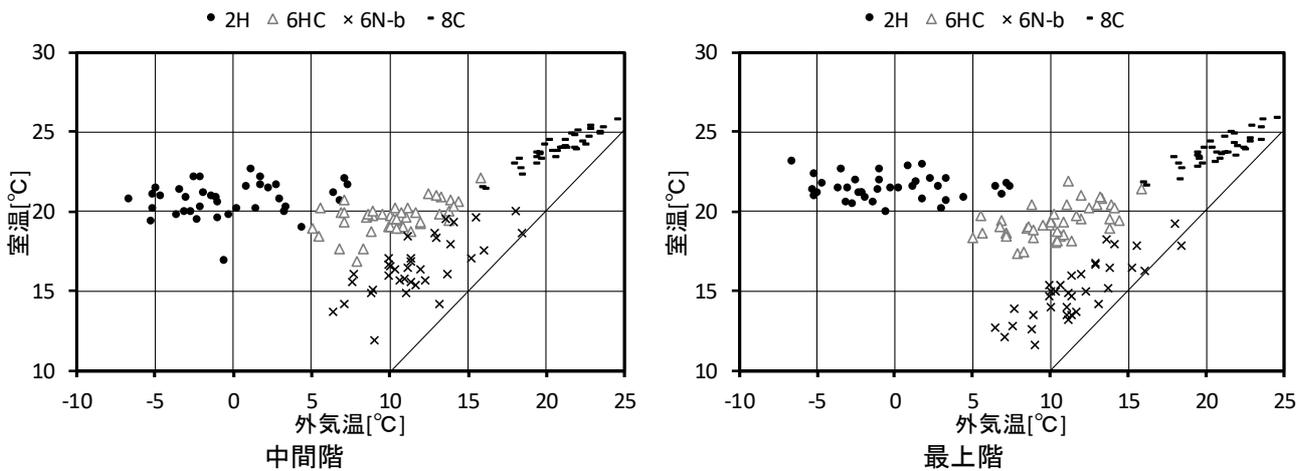


図 4-49 平日日中(8:00~15:00)の日平均外気温と日平均教室温度の関係(12~1月)

図 4-50 に冬期における平日在室時の湿度を示す。2H の教室は、75%の時間帯で 40%以下と低い。その他は、平均 40%以上である。

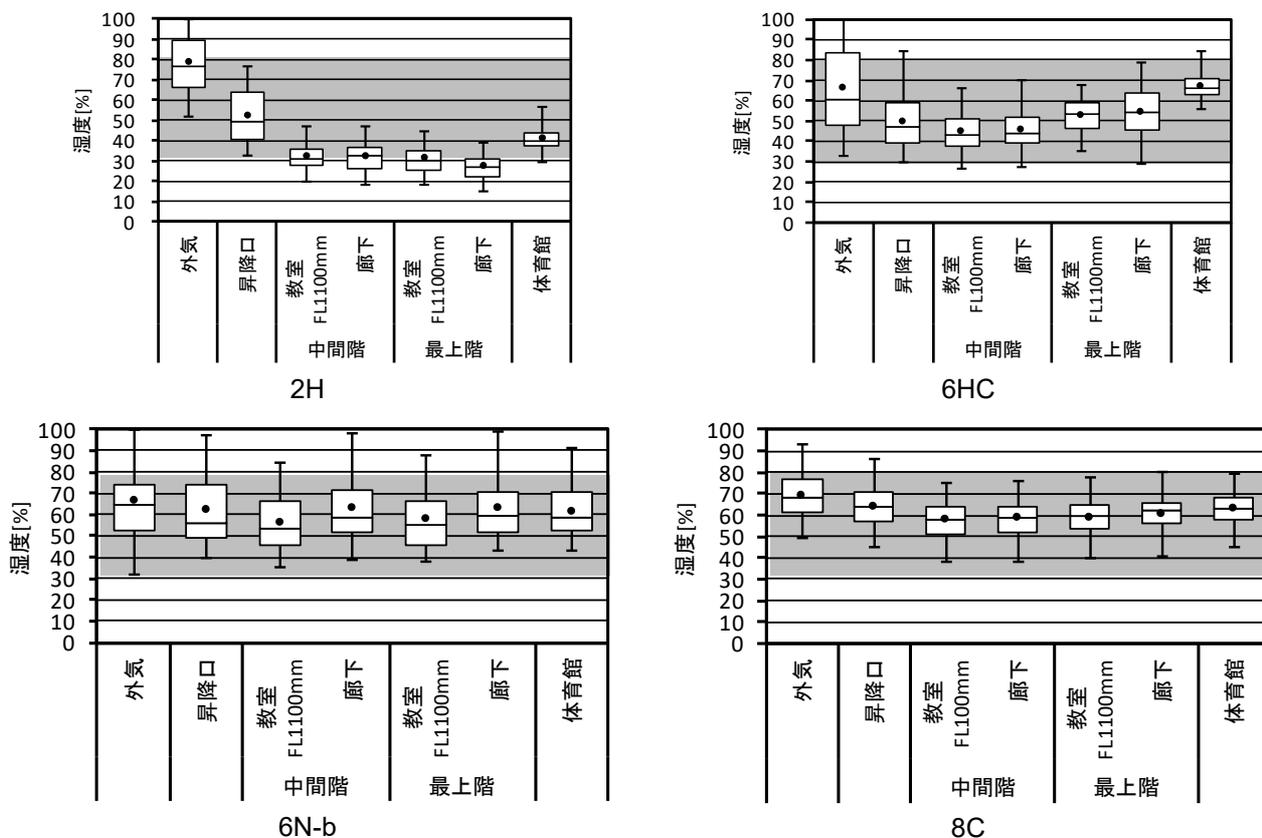


図 4-50 冬期(12~1月)の平日在室時の湿度

※図の網掛け部分は、学校環境衛生基準の範囲である

図 4-51 に冬期における平日在室時の CO₂ 濃度を示す。6HC 以外は 1500ppm 以下となっている。6HC は 12 月末に停電により全熱交換器が停止し、その後、全熱交換器が稼働していなかった。

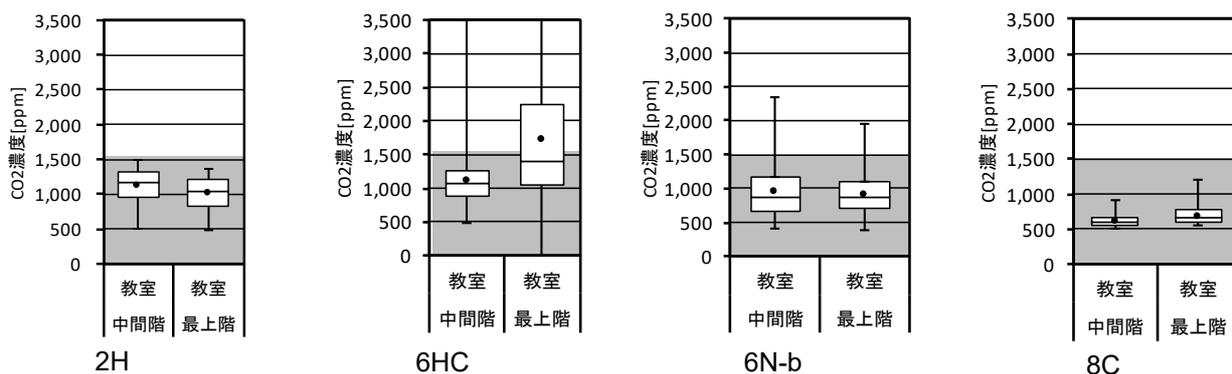


図 4-51 冬期(12~1月)の平日在室時の CO₂ 濃度

※図の網掛け部分は、学校環境衛生基準の範囲である

4.6.3 学校の運用についてのヒアリング結果

表 4-18、表 4-19 にヒアリング結果を示す。ヒアリングは 2020 年 2 月の計測機器撤去の際に、それぞれの学校の教頭に 1 時間程度行った。

表 4-18 ヒアリング結果(1)

	2H	2H(参考)	6HC	6N-b	8C	
放課後のクラブ活動	体育館 16:00～18:00	児童の活動はない	児童の活動はない	—	夏 18:30 まで 冬 18:00 まで	
体育館の地域開放	ほぼ毎日 18:00～22:00	—	ほぼ毎日 18:00～21:00	ほぼ毎日 18:00～21:00	6 日/週 19:30～21:00	
夏休みの児童登校	7 下旬～8 月中旬活動(スクールバンド)	なし	なし	なし	補講、水泳指導	
教室のおよその稼働率	体育館	80%	50%	50%	40%	100%
	理科室	20%	50%	30%	50%	100%
	図工室	20%	50%以下	30%	20%	100%(第二音楽室としても使用)
	音楽室	60%	50%以上	80%	20%	100%
	家庭科室	20%	あまり使用しない	20%	あまり使用しない	(第二理科室としても使用)
	図書室 コンピュータ室	70% 40%	3 回/週 50%以下	— 20%	毎日昼休みのみ —	100% 50%
給食を食べる場所	教室	教室	教室	教室	教室	
換気設備・窓開けのルール	担任に一任	担任に一任、掃除の時間	担任に一任 冬期にはインフルエンザ対策で休み時間に窓開け	冬期にはインフルエンザ対策で休み時間に窓開け	担任に一任	
暖房の期間	10 月 1 日～4 月末	10 月 1 日～4 月末	決めていない	—	—	
暖房の設定温度	不明(設定項目がない)	不明(設定項目がない)	担任に一任	—	—	
特別教室で授業する際に普通教室の冷暖房の稼働状況	稼働のまま	稼働のまま	停止	停止	稼働のまま	
冷房の期間	—	—	決めていない	決めていない	5 月～10 月末	
冷房の設定温度	—	—	担任に一任	28℃	担任に一任	
集中リモコンの使い勝手 暖冷房設備の困った点	スケジュール設定などはメンテナンス会社が行うので問題ない	スケジュール設定などはメンテナンス会社が行うので問題ない	集中リモコンが使いにくい	消し忘れ防止のため集中制御盤を使用	集中リモコンにて手動で一括入り切りをしている。タイマーなどは複雑なので使用していない。 GHP が故障し、部品調達の関係で 2 ヶ月冷房が出来ず、困った。	
暖冷房機器のメンテナンス	教室:担任 全体:業者に委託	教室:担任 全体:業者に委託	業者に委託	校務員が実施	業者に委託	
換気設備のメンテナンス	行っていない	行っていない	行っていない	—	分からない	
児童の給湯の使用	冬期に掃除に使用	冬期に掃除に使用	なし	なし	なし	

表 4-19 ヒアリング結果(2)

	2H	2H(参考)	6HC	6N-b	8C
冬期の温冷感	換気の気流が冷たく寒い。気流感がある。オープン型のため、階段室に近いところは寒い。暖房区画ドアを閉めるが教育活動としては開放したい。	換気の気流が冷たいストーブの前は暑い。廊下はトイレに行きたくないほどとても寒い。	問題ない	冬期は暖房を使用しないルールなので寒い日がある。暖房としても使用したい。	問題ない
夏期の温冷感	暑い。転落防止のために窓が10cm程度しか開かず風通りが悪い。	とても暑い	問題ない	冷房が導入されて児童が落ち着いた。階段の天窓からの日射が暑い。	冷房の効きが悪い教室がある。
光環境	問題ない	問題ない	問題ない	問題ない	天窓がある教室の照度が高すぎる。和紙を貼り対応している
臭気	問題ない	問題ない	問題ない	問題ない	問題ない
音環境	問題ない	問題ない	問題ない	問題ない	問題ない オープン型でも運用で工夫しているので問題ない。低学年の音楽は図工室で音楽を行っている。

4.7 地域特性に着目した ZEB 化の課題

詳細調査により、把握した課題を表 4-20 に示す。

表 4-20 地域特性を考慮した公立小学校の ZEB 化の課題

地域に関わらず共通	<ul style="list-style-type: none"> 換気に関しては、学校の管理者が在室時と不在時における必要換気量を理解して運用ができるような設備となっていない。また、メンテナンスが行われていないことが課題である。教職員でも簡単にメンテナンスが可能な機器、もしくはメンテナンス体制を整える必要がある。 暖房・冷房に関しては、タイマー制御等のシステムが導入されているものの専属の施設管理者の在籍する事務所ビルと同様のシステムが導入されており、学校管理者には操作が難しい。簡便に設定できる学校用のリモコンシステム等の開発や仕組みが必要である。また、故障への計画的な対応も必要である。 照明に関しては、放課後に 3～4 時間照明が点灯したままになっている実態が見受けられた。放課後に教師が教室で作業をする場合もあるが、不在の教室も点灯している状況も見受けられた、人感センサーやタイマーを活用する必要がある。
寒冷地域	<ul style="list-style-type: none"> 寒冷地では、普通教室などの適切な温熱環境を形成するための暖房の他に、トイレなどに凍結防止用の電気式パネルヒータが使用されている。凍結防止用ヒータは特性上、学校の非稼働時間帯にも稼働しているが高い設定温度で運用されていた。目的を明確化して、設定温度を見直すなどの必要がある。 全熱交換器がほぼ 24 時間稼働しており、夜間に稼働によって室温が低下し、暖房負荷を増大していると考えられる。 全熱交換器による給気の気流が児童にあたり、寒いため、手作りで気流よけが設置されており、吹出の形状の工夫が必要と考えられる。
温暖地域	<ul style="list-style-type: none"> 温暖地は、暖冷房を行わない期間が 4、5、6、10、11 月と 5 ヶ月程度ある。この期間の待機電力は決して小さい値ではないことが確認された。 冷房導入時に換気設備を設置する自治体は少なく、2003 年以前に建設された学校の教室には換気設備が設置されていない。冷房導入時に換気設備を設置することが望ましい。
蒸暑地域	<ul style="list-style-type: none"> 蒸暑地とは限らないが、全熱交換器の空調連動は、省エネルギーへの寄与率が高いことが確認された。ただし、空調稼働および窓開けをしない際の換気については、配慮が必要である。 冷房・照明の稼働時間が他の学校に比べて長いことが確認された。蒸暑地において、オープン型教室の普及率が高く、空調・照明面積が広いだけでなく、稼働時間が長いことによるエネルギー消費量増加が懸念される。

5. 適切運用を実施した場合の ZEB の可能性の試算

5.1 概要

5.1.1 検討方法

「4. 詳細調査」より、4 校の設備機器の運用方法の課題が明確となった。これらの適切運用した場合の省エネルギー効果を試算し、その際の ZEB の可能性を評価する。図 5-1 に検討の流れを示す。①の削減率の計算には、モデルプランを設定し、暖房・パネルヒータ・冷房・照明・換気についてシミュレーションした。建物の断熱性能や機器効率だけでなく、冷暖房・換気・照明等の運用のスケジュールを変更できる BEST 設計ツール (Ver.3.0.1)¹¹ (以下、BEST)を用いた。ここでは、2H、6HC、8C について検討した。

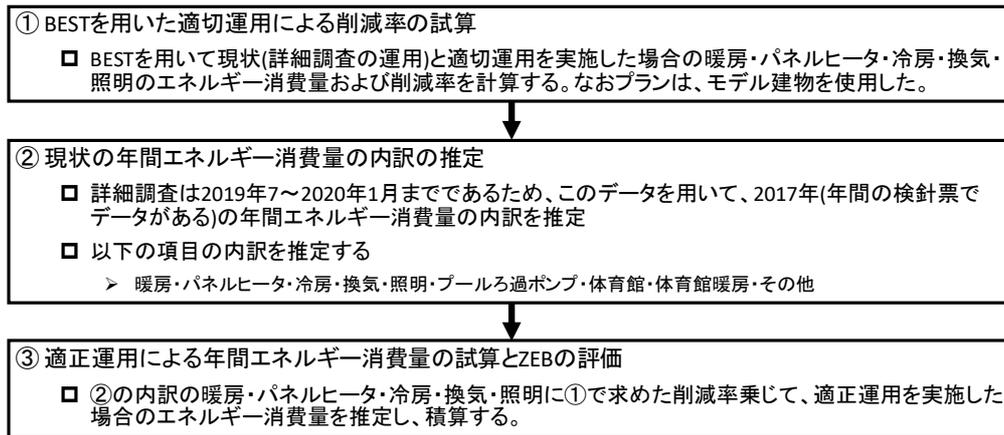


図 5-1 検討の流れ

5.1.2 BEST を用いた適切運用による削減率の試算方法

暖房・パネルヒータ・冷房・換気・照明について、「4. 詳細調査」の調査結果の運用実態を現状(ケース 1)に対して、適切運用を実施した場合の削減率を試算する。表 5-1 に検討モデルの概要を、図 5-2 に検討モデルの平面プランを示す。

表 5-1 検討モデルの概要

床面積	595.2m ²
開口率※1	教室:53%、廊下 39%
日射遮蔽	明色・ブラインド・標準、庇 600mm
断熱性能	それぞれの学校の通り
教室形式	ホームルーム型・オープン型はそれぞれの学校の通り
階	中間階

※1)(外壁面積+窓面積)に対する窓面積の比率

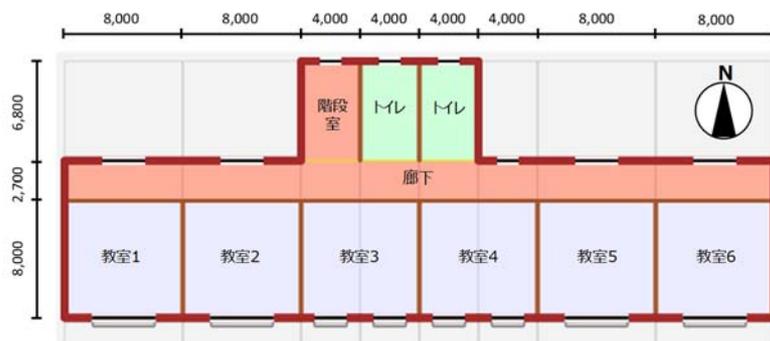


図 5-2 平面プラン

¹¹ <http://www.ibec.or.jp/best/about/index.html>

表 5-2 各校の建物・設備概要

		2H	6HC	8C
断熱性能	壁	XPS100mm	発泡ウレタン 35mm	無断熱
	窓	Low-E 複層ガラス	複層ガラス	単板ガラス
暖房 冷房	種類	FF 式ガスストーブ	GHP	GHP
	設定温度	暖房:22℃ 冷房:なし	暖房:22℃ 冷房:26℃・50%	暖房:なし 冷房:26℃
	期間	暖房:11月1日～4月30日 冷房:なし	暖房:12月1日～3月31日 冷房:6月1日～9月30日	暖房:なし 冷房:5月1日～10月31日
教室形式*		オープン型	ホームルーム型	オープン型
換気		第1種全熱交換器 熱交換率 71%	第1種全熱交換器 熱交換率 71%	第1種全熱交換器 熱交換率 71%

※オープン型の場合は、廊下も教室と同条件で冷暖房を稼働した。

5.1.3 詳細調査結果からの年間エネルギー消費量の推定方法

「4. 詳細調査」では、2019年7～2020年1月の実測を行ったが、1年間のデータを取得できていないため、全国概略調査で収集した2017年度の1年間のエネルギー消費量の内訳を推定する。各用途の推定方法を表5-3に示す。表中の(実測値)は2019年度の詳細調査の値である。詳細調査では、校舎の照明のエネルギー消費量は測定していないため、電灯系(換気除く)の電力の80%を照明と仮定する。

表 5-3 2017年度のエネルギー消費量の内訳の推定方法

用途	算定方法
①暖房 ②冷房 ③凍結防止パネルヒータ	平日の月積算エネルギー消費量＝平日の平均日積算エネルギー消費量(実測値)×平日日数 休日の月積算エネルギー消費量＝休日の平均日積算エネルギー消費量(実測値)×休日日数 ※外気温と電力消費量の関係を求め、補正を行った
④校舎の換気 ⑤校舎の照明 ⑥体育館の照明 ⑦その他	平日の月積算エネルギー消費量＝平日の平均日積算エネルギー消費量(実測値)×平日日数 休日の月積算エネルギー消費量＝休日の平均日積算エネルギー消費量(実測値)×休日日数
⑧プールの過ポンプ	月積算エネルギー消費量＝月積算エネルギー消費量(実測値) ※対象月のみ

5.1.4 適切運用による年間エネルギー消費量の試算とZEBの評価方法

「5.1.3 詳細調査結果からの年間エネルギー消費量の推定方法」で推定した年間エネルギー消費量に「5.1.2 BESTを用いた適切運用による削減率の試算方法」で求めた削減率を乗じて暖房・パネルヒータ・冷房・換気・照明のエネルギー消費量を計算する。太陽光発電の発電量は、BESTによって容量1kWあたりの発電量を計算し、太陽光発電敷設可能面積より発電量を推定した。敷設面積は、校舎最上階の面積と体育館面積の合計値の70%とした。

5.2 2Hの小学校

5.2.1 詳細調査で把握した運用実態

実際の運用の特徴を下記に示す。

- 全熱交換器が24時間稼働していた。ただし、停電等で強制的に停止したときは、付け忘れもあった。
- 教室の暖房はタイマー制御され、5:30から稼働していた。
- トイレに凍結防止用のパネルヒータが設置され、12～18℃設定であった。そのため、冬休みにおける不在時のパネルヒータ電力が大きい。

5.2.2 BESTによるシミュレーション

(1) 概要

表5-4に検討パターンを示す。ケース1は「5.2.1 詳細調査で把握した運用実態」に示した内容である。

表5-4 検討パターン(2H)

		ケース1 (詳細調査で 把握した条件)	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
空調	方式	FF式ガス	FF式ガス	FF式ガス	FF式ガス	FF式ガス	FF式ガス
	時間	予熱:3時間※1	予熱:3時間※1	予熱:3時間※1	予熱:2時間※1	予熱:1時間※2	予熱:1時間※2
換気	方式	全熱交換器	全熱交換器	第3種	全熱交換器	全熱交換器	全熱交換器
	時間 風量	24時間 515m ³ /h※3	在 515m ³ /h※3 不 90m ³ /h※4	在 515m ³ /h 不 90m ³ /h			
トイレパネルヒータ		15℃	15℃	5℃	5℃	5℃	5℃
照明		Hf	Hf	Hf	Hf	Hf	LED

※1)暖房時間:5:30～16:00 ※2)月:5:30～16:00 火～金:7:30～16:00 ※3)在室時の風量(設計風量) ※4)不在時の風量で換気回数0.3回/h

※ 太文字は、ケース1から変更した項目

表5-5、表5-6に空調機器の性能、換気設備の性能を示す。

表5-5 空調機器の性能(2H)

場所	機器	暖房		
		能力[kW/室]	ガス・電力消費量[kW/室]	送風電力[kW/室]
教室	FFガスストーブ	9.21	11.2	0.11
廊下	FFガスストーブ※	17.3	20.9	0.26
トイレ	電気パネルヒータ	0.75	0.75	—

※実際は、「温水ボイラ+FCU」であるが、シミュレーション上ではFFガスストーブとした。

表5-6 換気設備の性能(2H)

場所	機器	暖房			備考
		風量 [m ³ /(h・室)]	消費電力 [kW/室]	熱交換率 [%]	
教室	全熱交換器1(在室時用)	350	0.17	71	全熱交換器1と全熱交換器2の合計が在室時の風量515m ³ /h
	全熱交換器2(24時間換気用)	165	0.1	71	
トイレ	第3種換気ファン	90	0.03	0	

(2) 結果

図 5-3～図 5-5 に試算結果を示す。各ケースの効果を以下に示す。

- ケース 2: 24 時間換気 515m³/h であるものを不在時の風量を抑えることによって、換気動力および外気負荷が低減することによる暖房エネルギーが削減でき、32%もの削減が可能で効果が最も大きい。図 5-5 に示すように、不在時に 0.3 回/h の適切な風量にすることによって、明け方の教室温度は 2℃ 上昇する。
- ケース 3: 断熱性能が高いためトイレパネルヒータを 5℃ 設定にするとほとんど稼働しない。
- ケース 4: 第 3 種換気は外気負荷が大きくなるため、暖房エネルギー消費量が増大し、換気ファン動力が大きく削減できても、全体では省エネルギーにならない。
- ケース 5: 2 時間の予熱をやめることによる省エネルギー効果は 3% 程度(ケース 2 と比較)と小さい。
- ケース 6: LED 照明の導入により、暖房エネルギーはやや増加するが、照明電力が約 50% 抑えられ効果が大きい。

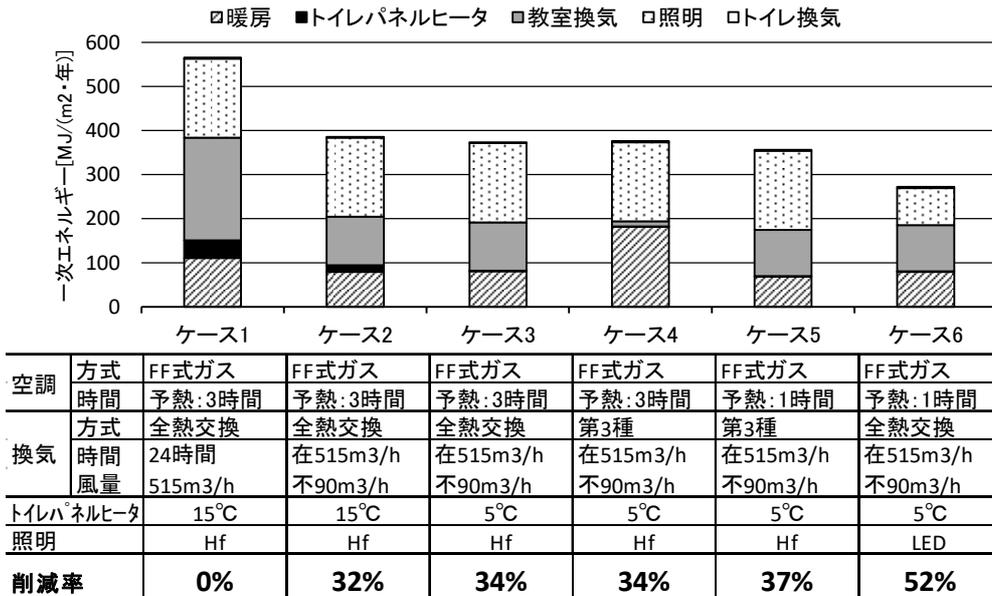


図 5-3 一次エネルギー消費量(暖房・トイレパネルヒータ・換気・照明・2H)

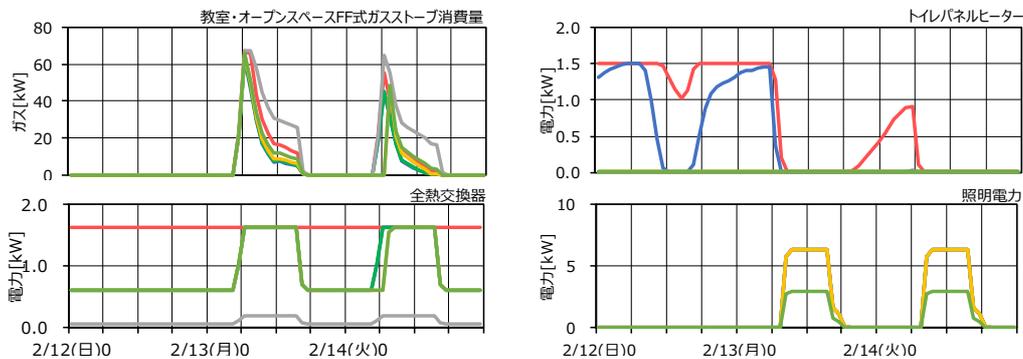


図 5-4 暖房・トイレパネルヒータ・全熱交換器・照明の変動(2H)

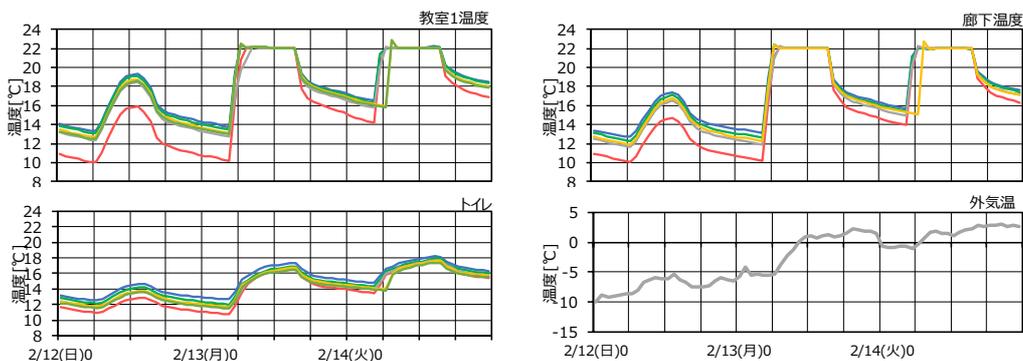


図 5-5 教室・廊下・トイレ・外気温温度の変動(2H)

5.2.3 適切運用を実施した場合のエネルギー消費量の試算

(1) 年間エネルギー消費量の推定結果

図 5-6 に 2019 年 7 月～2020 年 1 月の測定結果より 2017 年度のエネルギー消費量の内訳推定値を示す。誤差は 2% で精度よく推定できている。

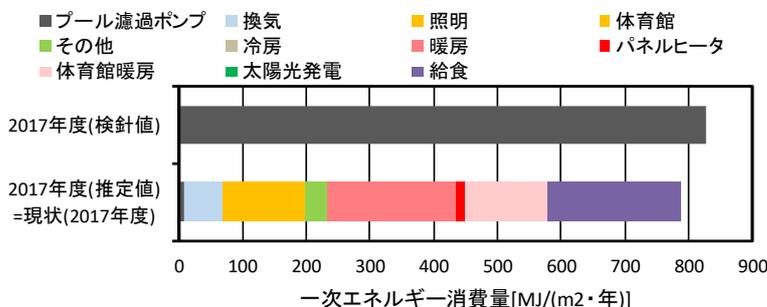


図 5-6 2017 年のエネルギー消費量の内訳推定値(2H)

※電力の検針データには給食の電力も含まれているため、給食についても試算した。

(2) 適切運用を実施した場合のエネルギー消費量の試算結果

表 5-7 に現状と適切運用の内容および適切運用によるエネルギー消費量削減効果を、図 5-6 に適切運用によるエネルギー消費量削減効果を示す。適切運用は表 5-4 のケース 6 である。適切運用によりエネルギー消費量は 29%削減と試算された。今回のシミュレーションでは体育館の検討は実施しなかったが、体育館暖房のエネルギーも大きいため、検討が必要である。適切運用においても、ゼロエネルギーを満すためには 340kW 程度の太陽光発電の設置が必要となる。

表 5-7 現状と適切運用の内容および適切運用によるエネルギー消費量削減効果(2H)

用途	場所	現状(2017年度)	適切運用	削減率
暖房	校舎 体育館	予熱 3 時間 —	予熱 1 時間 —	28% ^{※1} —
換気	校舎(教室)	全熱交換器は 風量 515m ³ /h で 24 時間運転	全熱交換器は、在室時 2.2 回/h、 不在時 0.3 回/h の風量で稼働	55%
照明	校舎 体育館	Hf 蛍光ランプ メタルハライドランプ	LED LED	53% 64% ^{※2} 2)12
凍結防止パネルヒータ	校舎(トイレ)	15℃設定	5℃設定	97%
太陽光発電	屋上	15kW	257kW 体育館・校舎 4 階面積の 70%	—

※1) 予熱時間短縮よりも換気の稼働時間変更による外気負荷削減効果の方が大きい

※2) 体育館照明のシミュレーションは行わず 12 の資料の値を用いた

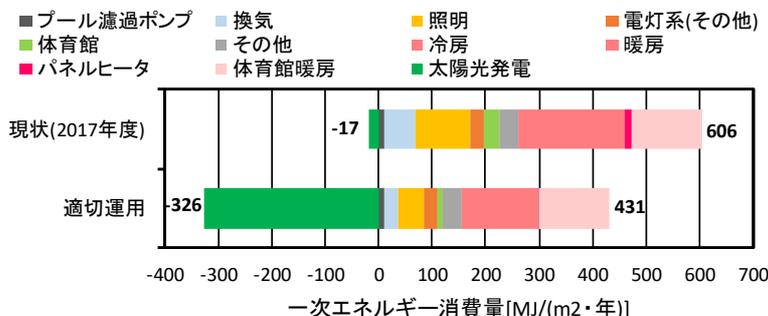


図 5-7 適切運用によるエネルギー消費量削減効果(2H)

¹² 日本照明工業会 学校・体育館の省エネ手法 https://www.jlma.or.jp/shisetsu_renew/syoene/syoene2.html

5.3 6HCの小学校

5.3.1 詳細調査で把握した運用実態

実際の運用の特徴を下記に示す。

- 全熱交換器が24時間稼働していた。ただし、停電等で強制的に停止したときは、付け忘れもあった。
- 冷暖房は、在室時のみの稼働で、各教室のリモコンで入り切りしていた。

5.3.2 BESTによるシミュレーション

(1) 概要

表 5-8 に検討パターンを示す。ケース1は「5.2.1 詳細調査で把握した運用実態」に示した内容である。

表 5-8 検討パターン(6HC)

		ケース1 (詳細調査で把握した条件)	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
空調	方式	GHP	GHP	GHP	GHP	GHP
換気	方式	全熱交換器 バイパスなし	全熱交換器 バイパスあり	全熱交換器 バイパスあり	第3種	第3種
	時間 風量	24時間 570m ³ /h	24時間 570m ³ /h	在室 570m ³ /h 不在 60m ³ /h	在室 430m ³ /h 不在 60m ³ /h	在室 430m ³ /h 不在 60m ³ /h
照明		Hf	Hf	Hf	Hf	LED

※ 太文字は、ケース1から変更した項目

表 5-9、表 5-10 に空調機器の性能、換気設備の性能を示す。

表 5-9 空調機器の性能(6HC)

場所	機器	暖房					冷房				
		室外機			室内機		室外機			室内機	
		能力 [kW]	消費電力 [kW]	消費量 [kW]	能力 [kW]	電力 [kW]	能力 [kW]	消費電力 [kW]	消費量 [kW]	能力 [kW]	電力 [kW]
教室	GHP	63	0.64	42.5	9	0.04	56	1.02	39.1	8	0.04

※全ケース共通、廊下・トイレは空調なし

表 5-10 換気設備の性能(6HC)

場所	稼働	ケース1~3(教室は全熱交換器)			ケース4・5		
		風量 [m ³ /(h・室)]	消費電力 [kW/室]	熱交換率 ^{※1} [%]	風量 [m ³ /(h・室)]	消費電力 [kW/室]	熱交換率 ^{※1} [%]
教室	在室時	570	0.30	71	430 ^{※2}	0.03	0
	不在時	60	0.03	71	60	0.01	0
トイレ	第3種	500	0.03	0	500	0.03	0

※1)熱交換率=0%は第3種換気 ※2)2.2回/hの風量

(2) 結果

図 5-8～図 5-12 に試算結果を示す。各ケースの効果を以下に示す。

- ケース2: 全熱交換器をバイパス運転ありにしても、4%の削減であった。
- ケース3: 24時間換気570m³/hであるものを不在時の風量を抑えることによって、換気動力および外気負荷が低減することによる暖房エネルギーが削減でき、41%もの削減が可能で効果が最も大きかった。
- ケース4: 第3種換気は外気負荷が大きくなり、暖房・冷房エネルギー共に増加するが、第3種換気ファンの動力が小さいため、全体のエネルギー消費量は削減できた。
- ケース5: LED照明の導入により、暖房エネルギーは多少増加、冷房エネルギーは多少削減される。照明電力が約50%抑えられ効果が大きい。

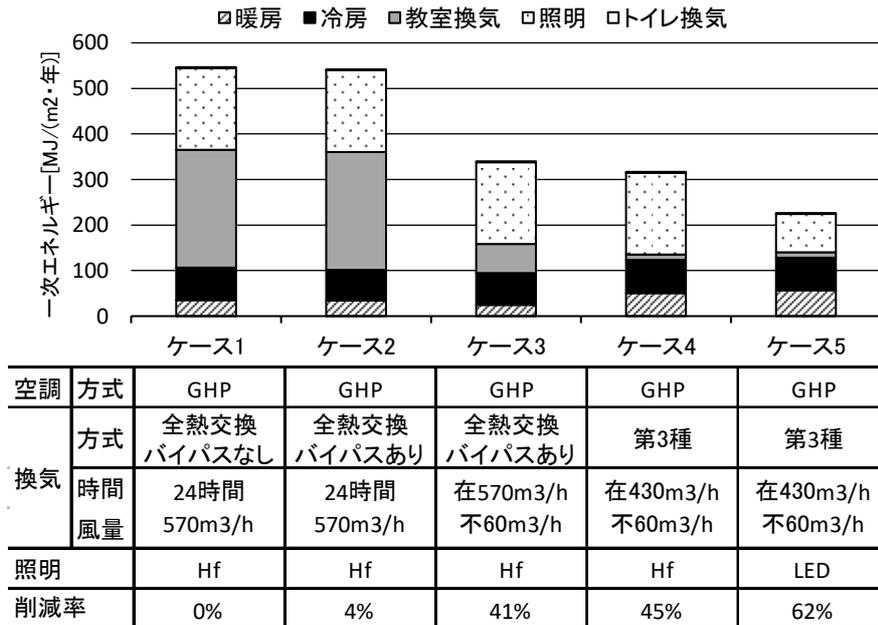


図 5-8 一次エネルギー消費量(暖房・冷房・照明、6HC)

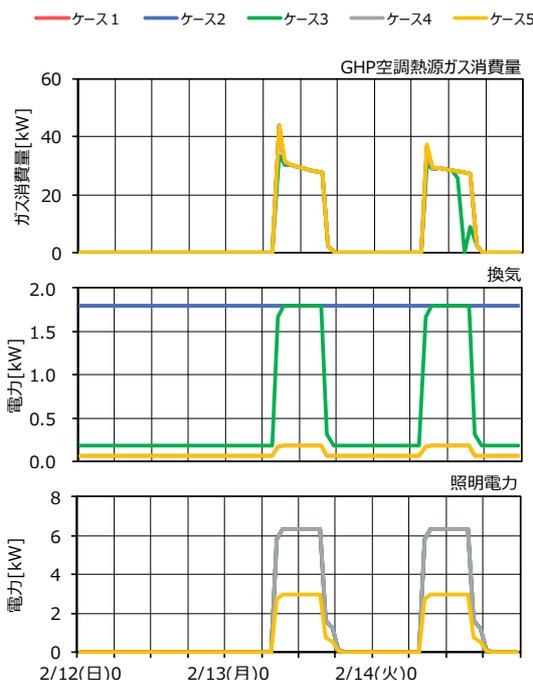


図 5-9 暖房・換気・照明の変動(冬期、6HC)

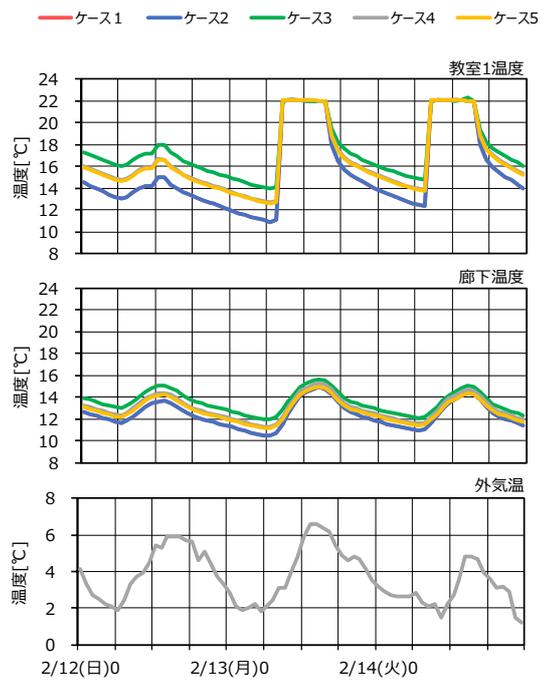


図 5-10 教室・廊下・外気温度の変動(冬期、6HC)

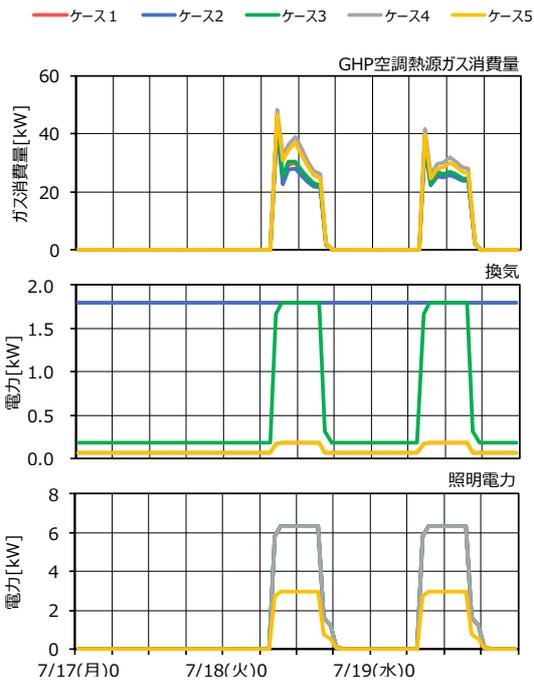


図 5-11 暖房・換気・照明の変動(夏期、6HC)

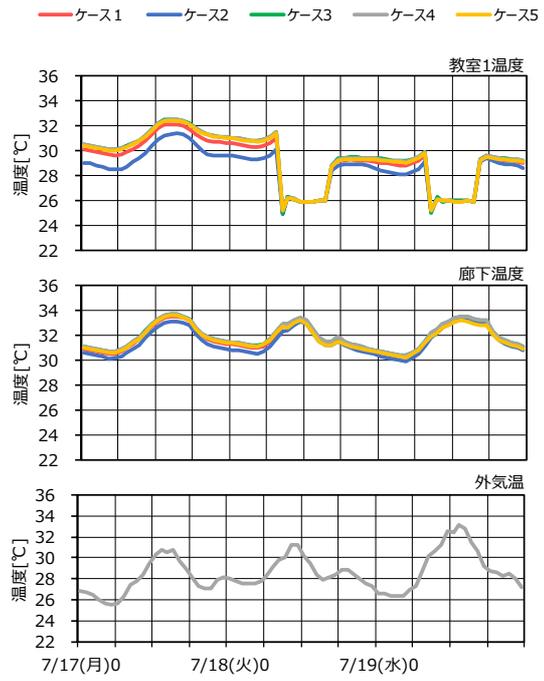


図 5-12 教室・廊下・外気温度の変動(夏期、6HC)

5.3.3 適切運用を実施した場合のエネルギー消費量の試算

(1) 年間エネルギー消費量の推定結果

図 5-13 に 2019 年 7 月～2020 年 1 月の測定結果より 2017 年度のエネルギー消費量の内訳推定値を示す。誤差は 5%である。

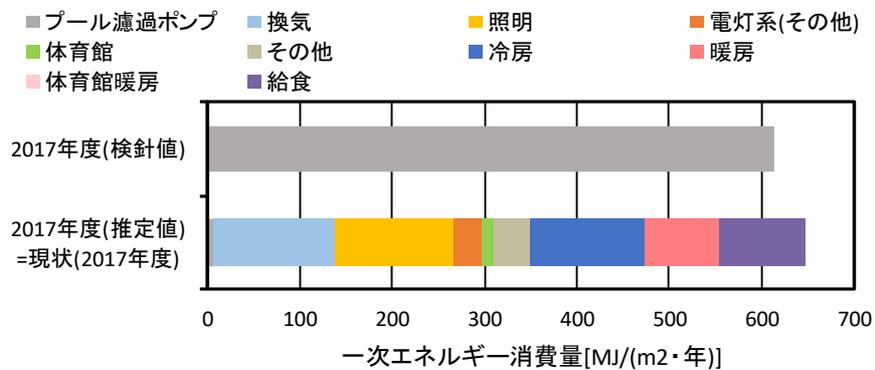


図 5-13 2017 年のエネルギー消費量の内訳推定値(6HC)

※電力の検針データには給食の電力も含まれているため、給食についても試算した。

(2) 適切運用を実施した場合のエネルギー消費量の試算結果

表 5-11 に現状と適切運用の内容および適切運用によるエネルギー消費量削減効果を、図 5-14 に適切運用によるエネルギー消費量削減効果を示す。適切運用は表 5-8 のケース 5 である。適切運用によりエネルギー消費量は 27%削減と試算された。全熱交換器の動力が大きいいため、第 3 種換気を導入した方が、全体の省エネルギーは図れるが、暖房エネルギーは増大している。適切運用においても、ゼロエネルギーを満たすためには 327kW 程度の太陽光発電の設置が必要となる。

表 5-11 現状と適切運用の内容および適切運用によるエネルギー消費量削減効果(6HC)

用途	場所	現状	適切運用	削減率	備考
暖房	校舎	—	—	-62%	換気を第 3 種換気にすることによる外気負荷の増大
冷房	校舎	—	—	0%	
換気	校舎	全熱交換器 24 時間運転	第 3 種換気 在室時 2.2 回/h、不在時 0.3 回/h の風量で稼働	95%	
照明	校舎 体育館	Hf 蛍光ランプ メタルハライドランプ	LED LED	53% 64%*1)	
太陽光発電	屋上	30kW	225kW 体育館、校舎 4 階面積の 70%	—	

※1)体育館照明のシミュレーションは行わず 12 の資料の値を用いた

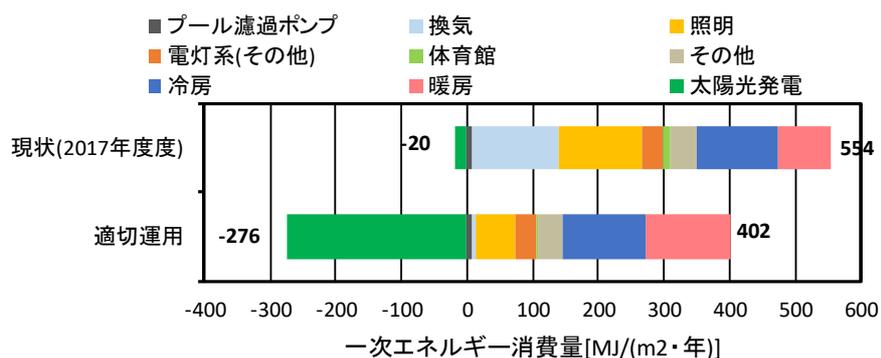


図 5-14 適切運用によるエネルギー消費量削減効果(6HC)

5.4 8Cの小学校

5.4.1 詳細調査で把握した運用実態

実際の運用の特徴を下記に示す。

- 全熱交換器が24時間稼働していた。ただし、停電等で強制的に停止したときは、付け忘れもあった。
- 冷暖房は、在室時のみの稼働で、各教室のリモコンで入り切りしていた。

5.4.2 BESTによるシミュレーション

(1) 概要

図 5-13 に検討パターンを示す。ケース1は「5.2.1 詳細調査で把握した運用実態」に示した内容である。

表 5-12 検討パターン(8C)

		ケース1 (詳細調査で把握した条件)	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
空調	方式	GHP	GHP	GHP	GHP	GHP
	時間	放課後2時間	放課後2時間	放課後停止	放課後停止	放課後停止
換気	方式	全熱交換 バイパスなし	全熱交換 バイパスあり	全熱交換 バイパスあり	第3種	第3種
	時間 風量	在 800m ³ /h 不 60m ³ /h	在 800m ³ /h 不 60m ³ /h	在 430m ³ /h 不 60m ³ /h	在 430m ³ /h 不 60m ³ /h	在 430m ³ /h 不 60m ³ /h
照明		Hf	Hf	Hf	Hf	LED

※ 太文字は、ケース1から変更した項目

表 5-9、表 5-10 に空調機器の性能、換気設備の性能を示す。

表 5-13 空調機器の性能(8C)

場所	機器	暖房					冷房				
		室外機			室内機		室外機			室内機	
		能力 [kW]	消費電力 [kW]	消費量 [kW]	能力 [kW]	電力 [kW]	能力 [kW]	消費電力 [kW]	消費量 [kW]	能力 [kW]	電力 [kW]
教室 廊下	GHP	—	—	—	—	—	56	0.87	43.3	7.1	0.08
										7.1	0.08

※全ケース共通、トイレは空調なし

表 5-14 換気設備の性能(8C)

場所	稼働	ケース1~3(教室は全熱交換器)			ケース4・5		
		風量 [m ³ /(h・室)]	消費電力 [kW/室]	熱交換率 ^{※1} [%]	風量 [m ³ /(h・室)]	消費電力 [kW/室]	熱交換率 ^{※1} [%]
教室	在室時	800	0.3	71	430 ^{※2}	0.03	0
	不在時	60	0.03	71	60	0.01	0
トイレ	第3種	500	0.03	0	500	0.03	0

※1)熱交換率=0%は第3種換気 ※2)2.2回/hの風量

(2) 結果

図 5-15～図 5-17 に試算結果を示す。各ケースの効果を以下に示す。

- ケース2: 全熱交換器をバイパスありにしても効果はなかった。冷房期間において、夜間も外気温が高いためと考えらえる。
- ケース3: 放課後の冷房時間を2時間減らすことまた、換気風量を適切(2.2回/h)にすることにより、冷房が14%削減され、全体で8%の削減となる。
- ケース4: 第3種換気は外気負荷が大きくなり、冷房エネルギーは7%増加するが、第3種換気ファンの動力が小さいため、全体のエネルギー消費量は削減できる。
- ケース5: LED照明の導入により、冷房エネルギーが削減できるとともに、照明電力が約50%抑えられ効果が大きい。

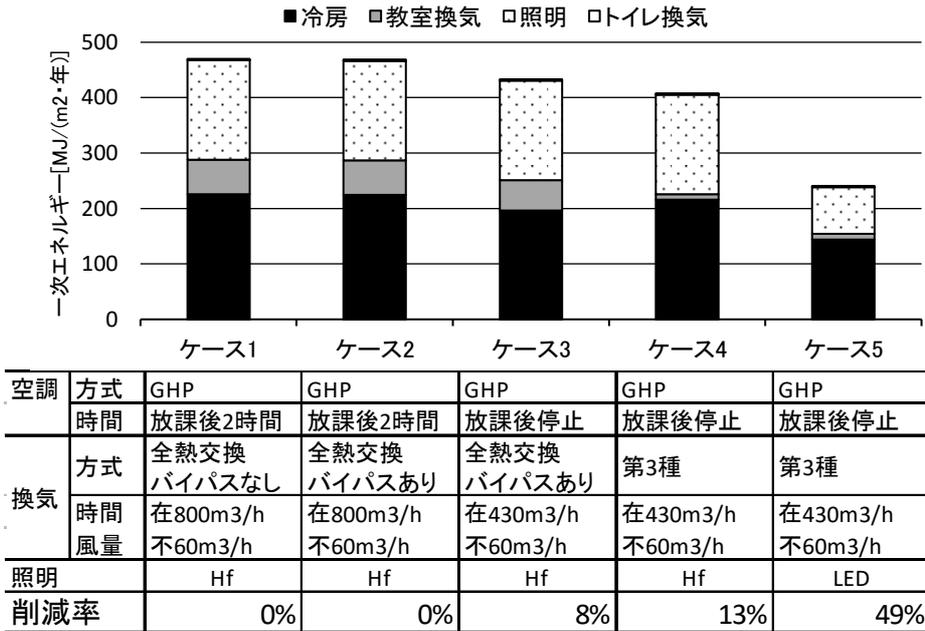


図 5-15 一次エネルギー消費量(冷房・換気・照明・8C)

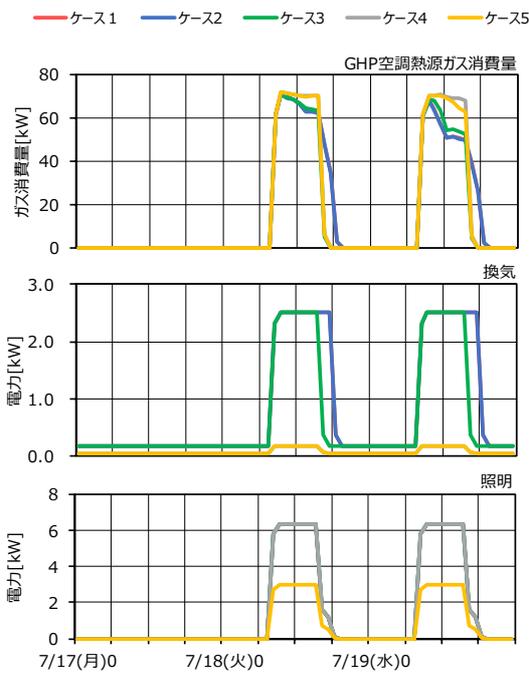


図 5-16 暖房・換気・照明の変動(夏期)

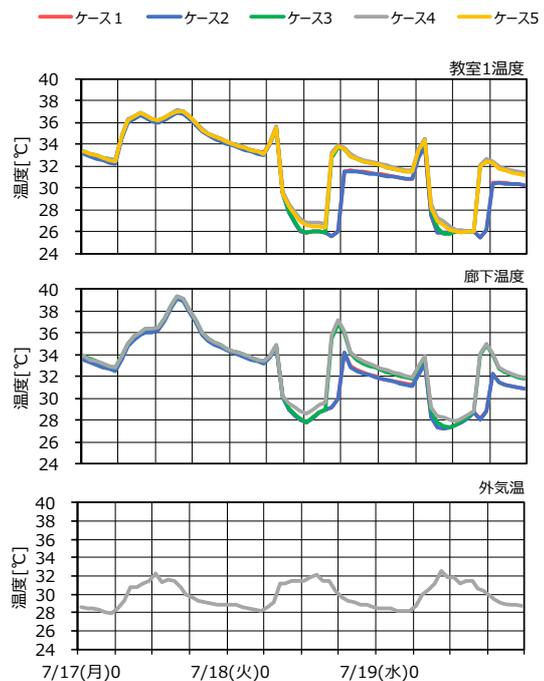


図 5-17 教室・廊下・外気温の変動(夏期)

5.4.3 適切運用を実施した場合のエネルギー消費量の試算

(1) 年間エネルギー消費量の推定結果

図 5-18 に 2019 年 7 月～2020 年 1 月の測定結果より 2017 年度のエネルギー消費量の内訳推定値を示す。誤差は 2% で精度よく推定できている。

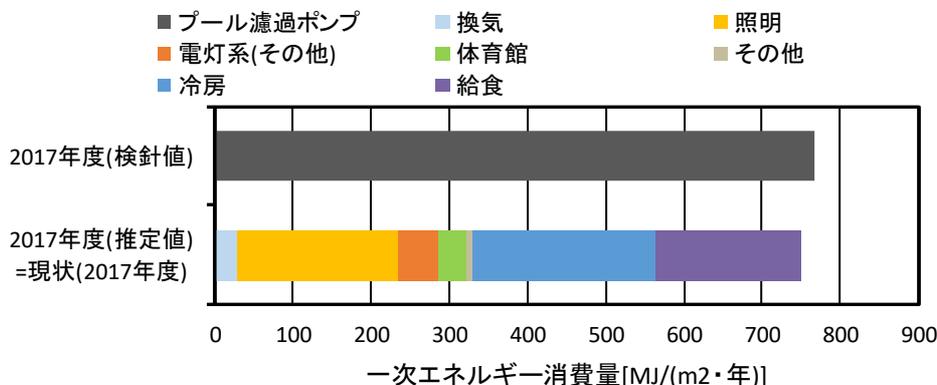


図 5-18 2017 年のエネルギー消費量の内訳推定値(8C)

※電力の検針データには給食の電力も含まれているため、給食についても試算した。

(2) 適切運用を実施した場合のエネルギー消費量の試算結果

表 5-11 に現状と適切運用の内容および適切運用によるエネルギー消費量削減効果を、図 5-14 に適切運用によるエネルギー消費量削減効果を示す。適切運用は表 5-12 のケース 5 である。適切運用によりエネルギー消費量は 44%削減と試算された。全熱交換器の動力が大きいいため、第 3 種換気を導入した方が、全体の省エネルギーは図れる。適切運用することによって、ゼロエネルギーを満たすことが可能である。

表 5-15 現状と適切運用の内容および適切運用によるエネルギー消費量削減効果

用途	場所	現状	適切運用	削減率
冷房	校舎	放課後 2 時間延長	放課後冷房なし	39% ^{※1}
換気	校舎	全熱交換器 24 時間運転	第 3 種換気 在室時 2.2 回/h、不在時 0.3 回/h の風量とする	84%
照明	校舎 体育館	Hf 蛍光灯 メタルハライドランプ	LED LED	53% 64% ^{※2}
太陽光発電	屋上	30kW	286kW、体育館、校舎 4 階屋上の 70%	—

※1)体育館照明のシミュレーションは行わず 12 の資料の値を用いた ※2)適切な冷房時間および LED による冷房負荷削減

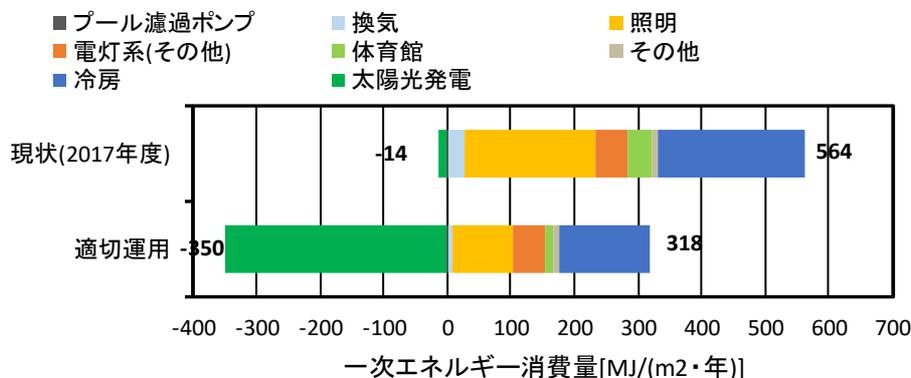


図 5-19 適切運用によるエネルギー消費量削減効果(8C)

5.5 換気設備に関して

6HC、8C では、全熱交換器よりも第3種換気の方が省エネルギーと試算された。これは、全熱交換器の電力が大きいたことが要因である。特に、6HC では暖房エネルギー消費量は62%増加するが、換気動力は95%削減できるため、最終的には、第3種換気の方が優位になった。図5-20に某メーカーの全熱交換器と第3種ダクト換気扇の風量と電力を示す。普通教室に必要な風量は500m³/h程度であるが、全熱交換器は第3種ダクト換気扇の12倍の電力が必要である。

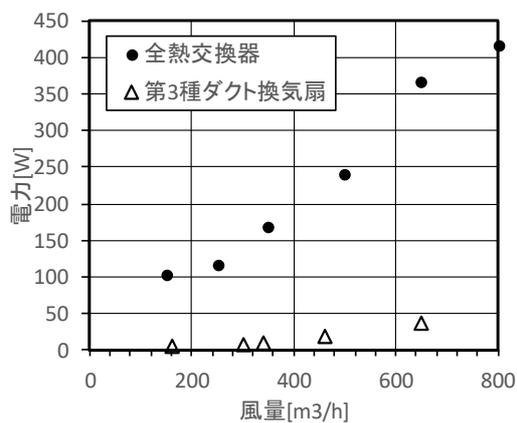


図 5-20 全熱交換器と第3種換気の風量と電力の関係

※2019年カタログより、全熱交換器、第3種換気ともに、最も効率の高いシリーズの風量と電力の値より作成

6. 公立学校の ZEB 実現のための機器開発の課題

表 6-1、表 6-2 に公立学校の ZEB 化を実現するにあたり、本調査により明らかになった課題と必要な機器開発をまとめる。ここでは、CO₂ 制御や人感センサーを導入することにより、細やかな制御が可能となるが、施設管理者の存在しない公立学校において、設定やメンテナンスを考慮すると課題があると考え記載していない。

表 6-1 地域特性を考慮した必要な機器開発例(1)

		課題	必要な機器開発例
地域に関わらず共通	換気	<ul style="list-style-type: none"> 学校の管理者が在室時と不在時における必要換気量を理解して運用ができるような設備となっていない。 	<ul style="list-style-type: none"> 教職員が簡単に操作できる学校専用の換気リモコンやアプリ
		<ul style="list-style-type: none"> 在室時の風量(2.2 回/h)と不在時(シックスクール対応)の風量(0.3 回/h)を設定できる換気設備がない。 	<ul style="list-style-type: none"> 風量を数段階に設定でき、風量が在室時と不在時に適応できるように風量を 1/10 程度に絞ることが可能な換気設備 もしくは 2 段階の風量(在室時、不在時)に対応できるようなファンが 2 台設置されている換気ユニットの開発
		<ul style="list-style-type: none"> メンテナンスが行われていないことが課題である。教職員でも簡単にメンテナンスが可能な機器、もしくはメンテナンス体制を整える必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> メンテナンスが必要な場合は、リモコンやアプリでの通知 フィルタの掃除が必要なため、昇降式やお掃除ロボット機能の追加 簡便に清掃できるように薄型の床置き型全熱交換器 冷暖房設備との一体化・附属化(冷暖房設備のメンテナンスと同時換気設備のメンテナンスも行える)
	冷暖房	<ul style="list-style-type: none"> タイマー制御等のシステムが導入されているものの専属の施設管理者の在籍する事務所ビルと同様のシステムが導入されており、学校管理者には操作が難しい。 消し忘れがある。特に、職員室の一括制御リモコンにて停止した後に、教室で空調を稼働した場合、消し忘れると翌日まで稼働する。 設備が故障した場合に、空調ができない期間が生じる。 	<ul style="list-style-type: none"> 教職員が簡単に操作できる学校専用の空調リモコンやアプリの開発 放課後においては、普通教室の冷暖房が稼働している場合、1 時間に 1 回強制的に停止するなどの設定を標準とするリモコン 機器の状態をリモコンやアプリで通知
	照明	<ul style="list-style-type: none"> 照明に関しては、放課後に 3~4 時間照明が点灯したままになっている実態が見受けられた。放課後に教師が教室で作業をする場合もあるが、不在の教室も点灯している状況も見受けられた 	<ul style="list-style-type: none"> 放課後においては、普通教室の照明が点灯している場合、1 時間に 1 回強制的に消灯するなどの設定を標準とする機能
	その他	<ul style="list-style-type: none"> 設備機器の消し忘れ等でベース電力(夜間や休日)の大きいことが課題である。 	<ul style="list-style-type: none"> ベース電力の目標値等を見える化し、学校のエネルギーを総合的に管理するシステム

表 6-2 地域特性を考慮した必要な機器開発例(2)

		課題	必要な機器開発例
寒冷地域	凍結防止ヒータ	<ul style="list-style-type: none"> 普通教室などの適切な温熱環境を形成するための暖房の他に、トイレなどに凍結防止用の電気式パネルヒータが使用されている。凍結防止用ヒータは特性上、学校の非稼働時間帯にも稼働しているが高い設定温度で運用されていた。目的を明確化して、設定温度を見直すなどの必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 学校専用の凍結防止設備(設定温度を10℃以上にできないなど。しかし、効率を考慮すると電気式パネルヒータではない方が望ましい)
	換気	<ul style="list-style-type: none"> 全熱交換器がほぼ24時間稼働しており、夜間に稼働によって室温が低下し、暖房負荷を増大している。 	<ul style="list-style-type: none"> 教職員が簡単に操作できる学校専用の換気リモコンやアプリ
		<ul style="list-style-type: none"> 全熱交換器による給気の気流が児童に当たり、寒いため、手作りで気流よけが設置されており、吹出の形状の工夫が必要と考えられる。 	<ul style="list-style-type: none"> 全熱交換器の吹出形状の開発や暖房機器との一体化(暖房吹出と換気の給気吹出を近づけるなども考えられる) 換気設備ではないが、外気予熱が簡単にできる暖房設備の開発
暖房	<ul style="list-style-type: none"> 凍結防止のために冬休みに暖房機器が過剰に稼働している。 	<ul style="list-style-type: none"> 在室時22℃設定、不在時5℃設定(凍結防止用)など、2種の設定が可能な学校用コントローラーの開発。ただし、校舎の断熱性能が向上すると必要ないと考えられる。 	
温暖地	冷暖房	<ul style="list-style-type: none"> 冷房設備導入に伴う待機電力の増加に伴い中間期のエネルギー消費量も増加していた。温暖地は、暖冷房を行わない期間が4、5、6、10、11月と5ヶ月程度ある。この期間の待機電力は決して小さい値ではないことが確認された。 	<ul style="list-style-type: none"> 待機電力のない空調設備。もしくは、冷暖房を行わない中間期においては冷暖房機器の主電源を切ることができる機器(現状は、キュービクルのブレーカーを落とす必要があるが、教職員にはできない)
	換気	<ul style="list-style-type: none"> 全熱交換器の動力が大きいため、外気負荷低減よりも全熱交換器の動力増大が影響し、第3種換気を導入した方が省エネルギーになると試算された。 	<ul style="list-style-type: none"> 高効率な全熱交換器。ただし、メンテナンスを考慮すると温暖地には全熱交換器と第3種換気のどちらが適しているかは、検討が必要である。 第3種換気とした場合は、冷暖房の吹出との一体化(暖房時の給気の不快感を和らげる)
蒸暑地	冷暖房・照明	<ul style="list-style-type: none"> 冷房・照明の稼働時間が他の学校に比べて長いことが確認された。蒸暑地において、オープン型教室の普及率が高く、空調・照明面積が広いだけでなく、稼働時間が長いことによるエネルギー消費量増加が懸念される。 	<ul style="list-style-type: none"> 教職員が簡単に操作できる学校専用の空調リモコンやアプリ
	換気	<ul style="list-style-type: none"> 全熱交換器の動力が大きいため、外気負荷低減よりも全熱交換器の動力増大が影響し、第3種換気を導入した方が省エネルギーになると試算された。 	<ul style="list-style-type: none"> 特に機器開発はない。暖房負荷のない蒸暑地では、エネルギー消費量とメンテナンスの関係から、第3種換気の方が望ましいと考えられる。

7. まとめと課題

本調査により、下記の知見を得た。

7.1 全国概略調査

- 平成 28 年省エネ基準における地域区分 1～8 の中核都市より 12 自治体を選定し、教育委員会担当者に学校の整備や運用についてヒアリングを行うとともに 2017 年度の検針票に基づく月積算エネルギー消費量、分析に必要な基本データ(公立学校施設台帳、普通教室冷暖房方式、給食室概要、太陽光発電設備仕様など)を小学校 1099 校、中学校 546 校について収集した。得られた月積算エネルギー消費量に太陽光発電設備の仕様から推定した月別発電量を加算した後の季節変動や、基本データから種別エネルギー消費量を冷房、暖房、給食、プールろ過ポンプ、その他(照明、コンセント、換気動力、待機電力など)の 5 用途に分類し、エネルギー消費特性を把握した。
- 寒冷地や蒸暑地の年間 1 次エネルギーは地域特性を反映して暖房用、冷房用との相関が強いのに対し、温暖地は冷暖房を行っている場合であってもその他用途の 1 次エネルギーとの相関が強い。このため、温暖地の学校の ZEB 化を進めるためには、暖冷房のエネルギーだけでなくその他エネルギー(照明、コンセント、換気動力、待機電力など)にも着目した検討が必要であることを確認した。
- 3 地域以南では、2019 年度に普通教室の冷房導入を実施することを確認した、しかし、その際に換気設備の設置は実施しないとの自治体が多く、問題である。
- 冷暖房機器のメンテナンスは業者に委託しているが、換気設備のメンテナンスは学校に一任しており、メンテナンスが不十分であることが課題である。

7.2 詳細調査

2 地域の学校(2H、2H(参考))、6 地域の学校(6HC、6N-b)、8 地域の小学校(8C)の学校について、2019 年 7 月～2020 年 1 月まで、電力・ガスのエネルギー消費量、代表教室の温湿度・CO₂ 濃度の測定を実施し、表 7-1 の課題を整理した。

表 7-1 地域特性を考慮した公立小学校の ZEB 化の課題

地域に関わらず共通	<ul style="list-style-type: none"> 換気に関しては、学校の管理者が在室時と不在時における必要換気量を理解して運用ができるような設備となっていない。また、メンテナンスが行われていないことが課題である。教職員でも簡単にメンテナンスが可能な機器、もしくはメンテナンス体制を整える必要がある。 暖房・冷房に関しては、タイマー制御等のシステムが導入されているものの専属の施設管理者の在籍する事務所ビルと同様のシステムが導入されており、学校管理者には操作が難しい。簡便に設定できる学校用のリモコンシステム等の開発や仕組みが必要である。また、故障への計画的な対応も必要である。 照明に関しては、放課後に 3～4 時間照明が点灯したままになっている実態が見受けられた。放課後に教師が教室で作業をする場合もあるが、不在の教室も点灯している状況も見受けられた、人感センサーやタイマーを活用する必要がある。
寒冷地域	<ul style="list-style-type: none"> 寒冷地では、普通教室などの適切な温熱環境を形成するための暖房の他に、トイレなどに凍結防止用の電気式パネルヒータが使用されている。凍結防止用ヒータは特性上、学校の非稼働時間帯にも稼働しているが高い設定温度で運用されていた。目的を明確化して、設定温度を見直すなどの必要がある。 全熱交換器がほぼ 24 時間稼働しており、夜間に稼働によって室温が低下し、暖房負荷を増大していると考えられる。 全熱交換器による給気の気流が児童にあたり、寒いため、手作りで気流よけが設置されており、吹出の形状の工夫が必要と考えられる。
温暖地域	<ul style="list-style-type: none"> 温暖地は、暖冷房を行わない期間が 4、5、6、10、11 月と 5 ヶ月程度ある。この期間の待機電力は決して小さい値ではないことが確認された。 冷房導入時に換気設備を設置する自治体は少なく、2003 年以前に建設された学校の教室には換気設備が設置されていない。冷房導入時に換気設備を設置することが望ましい。
蒸暑地域	<ul style="list-style-type: none"> 蒸暑地とは限らないが、全熱交換器の空調連動は、省エネルギーへの寄与率が高いことが確認された。ただし、空調稼働および窓開けをしない際の換気については、配慮が必要である。 冷房・照明の稼働時間が他の学校に比べて長いことが確認された。蒸暑地において、オープン型教室の普及率が高く、空調・照明面積が広いだけでなく、稼働時間が長いことによるエネルギー消費量増加が懸念される。

7.3 適切運用を実施した場合の ZEB の可能性の試算

- 運用における課題を確認した 2H、6HC、8C において適切運用を行った場合の年間エネルギー消費量の試算を行った。その結果、2H、6HC、8C はそれぞれ 29%削減、27%の削減、44%削減となった。
- 適正運用の実施、校舎・体育館の最上階屋上・屋根に太陽光発電を敷設率 70%で設置した場合のゼロエネルギーの可能性の試算結果では、8C では満たすことができたが、2H、6HC では年間エネルギー消費量に対してそれぞれ 25%、32%程度の容量が不足していることが試算された。

7.4 公立学校の ZEB 実現のための機器開発

公立学校の ZEB 実現のための機器開発を表 7-2、表 7-3 の通りまとめた。

表 7-2 地域特性を考慮した必要な機器開発例(1)

		課題	必要な機器開発例
地域に関わらず共通	換気	<ul style="list-style-type: none"> • 学校の管理者が在室時と不在時における必要換気量を理解して運用ができるような設備となっていない。 	<ul style="list-style-type: none"> • 教職員が簡単に操作できる学校専用の換気リモコンやアプリ
		<ul style="list-style-type: none"> • 在室時の風量(2.2 回/h)と不在時(シックスクール対応)の風量(0.3 回/h)を設定できる換気設備がない。 	<ul style="list-style-type: none"> • 風量を数段階に設定でき、風量が在室時と不在時に適応できるように風量を 1/10 程度に絞ることが可能な換気設備 • もしくは 2 段階の風量(在室時、不在時)に対応できるようなファンが 2 台設置されている換気ユニットの開発
		<ul style="list-style-type: none"> • メンテナンスが行われていないことが課題である。教職員でも簡単にメンテナンスが可能な機器、もしくはメンテナンス体制を整える必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> • メンテナンスが必要な場合は、リモコンやアプリでの通知 • フィルタの掃除が必要なため、昇降式やお掃除ロボット機能の追加 • 簡便に清掃できるように薄型の床置き型全熱交換器 • 冷暖房設備との一体化・附属化(冷暖房設備のメンテナンスと同時換気設備のメンテナンスも行える)
冷暖房		<ul style="list-style-type: none"> • タイマー制御等のシステムが導入されているものの専属の施設管理者の在籍する事務所ビルと同様のシステムが導入されており、学校管理者には操作が難しい。 	<ul style="list-style-type: none"> • 教職員が簡単に操作できる学校専用の空調リモコンやアプリの開発
		<ul style="list-style-type: none"> • 消し忘れがある。特に、職員室の一括制御リモコンにて停止した後に、教室で空調を稼働した場合、消し忘れると翌日まで稼働する。 	<ul style="list-style-type: none"> • 放課後においては、普通教室の冷暖房が稼働している場合、1 時間に 1 回強制的に停止するなどの設定を標準とするリモコン
		<ul style="list-style-type: none"> • 設備が故障した場合に、空調ができない期間が生じる。 	<ul style="list-style-type: none"> • 機器の状態をリモコンやアプリで通知
		<ul style="list-style-type: none"> • 冷房の吹出温度が 12~13℃と低く、快適性や健康への影響が懸念される。 	<ul style="list-style-type: none"> • 吹出温度の最低温度の設定や吹出形状
	照明	<ul style="list-style-type: none"> • 照明に関しては、放課後に 3~4 時間照明が点灯したままになっている実態が見受けられた。放課後に教師が教室で作業をする場合もあるが、不在の教室も点灯している状況も見受けられた 	<ul style="list-style-type: none"> • 放課後においては、普通教室の照明が点灯している場合、1 時間に 1 回強制的に消灯するなどの設定を標準とする機能
	その他	<ul style="list-style-type: none"> • 設備機器の消し忘れ等でベース電力(夜間や休日)の大きいことが課題である。 	<ul style="list-style-type: none"> • ベース電力の目標値等に見える化し、学校のエネルギーを総合的に管理するシステム

表 7-3 地域特性を考慮した必要な機器開発例(2)

		課題	必要な機器開発例
寒冷地域	凍結防止ヒータ	<ul style="list-style-type: none"> 普通教室などの適切な温熱環境を形成するための暖房の他に、トイレなどに凍結防止用の電気式パネルヒータが使用されている。凍結防止用ヒータは特性上、学校の非稼働時間帯にも稼働しているが高い設定温度で運用されていた。目的を明確化して、設定温度を見直すなどの必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 学校専用の凍結防止設備(設定温度を10℃以上にできないなど。しかし、効率を考慮すると電気式パネルヒータではない方が望ましい)
	換気	<ul style="list-style-type: none"> 全熱交換器がほぼ24時間稼働しており、夜間に稼働によって室温が低下し、暖房負荷を増大している。 	<ul style="list-style-type: none"> 教職員が簡単に操作できる学校専用の換気リモコンやアプリ
		<ul style="list-style-type: none"> 全熱交換器による給気の気流が児童に当たり、寒いため、手作りで気流よけが設置されており、吹出の形状の工夫が必要と考えられる。 	<ul style="list-style-type: none"> 全熱交換器の吹出形状の開発や暖房機器との一体化(暖房吹出と換気の給気吹出を近づけるなども考えられる) 換気設備ではないが、外気予熱が簡単にできる暖房設備の開発
暖房	<ul style="list-style-type: none"> 凍結防止のために冬休みに暖房機器が過剰に稼働している。 	<ul style="list-style-type: none"> 在室時22℃設定、不在時5℃設定(凍結防止用)など、2種の設定が可能な学校用コントローラーの開発。ただし、校舎の断熱性能が向上すると必要ないと考えられる。 	
温暖地	冷暖房	<ul style="list-style-type: none"> 冷房設備導入に伴う待機電力の増加に伴い中間期のエネルギー消費量も増加していた。温暖地は、暖冷房を行わない期間が4、5、6、10、11月と5ヶ月程度ある。この期間の待機電力は決して小さい値ではないことが確認された。 	<ul style="list-style-type: none"> 待機電力のない空調設備。もしくは、冷暖房を行わない中間期においては冷暖房機器の主電源を切ることができる機器(現状は、キュービクルのブレーカーを落とす必要があるが、教職員にはできない)
	換気	<ul style="list-style-type: none"> 全熱交換器の動力が大きいため、外気負荷低減よりも全熱交換器の動力増大が影響し、第3種換気を導入した方が省エネルギーになると試算された。 	<ul style="list-style-type: none"> 高効率な全熱交換器。ただし、メンテナンスを考慮すると温暖地には全熱交換器と第3種換気のどちらが適しているかは、検討が必要である。 第3種換気とした場合は、冷暖房の吹出との一体化(暖房時の給気の不快感を和らげる)
蒸暑地	冷暖房・照明	<ul style="list-style-type: none"> 冷房・照明の稼働時間が他の学校に比べて長いことが確認された。蒸暑地において、オープン型教室の普及率が高く、空調・照明面積が広いだけでなく、稼働時間が長いことによるエネルギー消費量増加が懸念される。 	<ul style="list-style-type: none"> 教職員が簡単に操作できる学校専用の空調リモコンやアプリ
	換気	<ul style="list-style-type: none"> 全熱交換器の動力が大きいため、外気負荷低減よりも全熱交換器の動力増大が影響し、第3種換気を導入した方が省エネルギーになると試算された。 	<ul style="list-style-type: none"> 特に機器開発はない。暖房負荷のない蒸暑地では、エネルギー消費量とメンテナンスの関係から、第3種換気の方が望ましいと考えられる。

7.5 調査事業としての課題

7.1～7.3 に調査の知見をまとめたが、下記の課題があげられる。

- 詳細調査では LED を導入している学校はなかったため、普通教室の照明を LED とした場合のエネルギー消費量の削減効果を確認することができなかった。LED や調光による省エネルギー効果の実態を把握する必要がある。
- 温暖地における全国概略調査では、学校全体のエネルギー消費量はその他(冷房・暖房・ろ過ポンプ以外)のエネルギー消費量との相関が高いことを確認した。ただし、その他のエネルギー消費量の内訳は把握できていない。運用時であるのか、非運用時であるベース電力が大きいのかを把握することで、機器や制御システムの開発の方向性が明確になると考える。本調査中の 2020 年 3～4 月において新型コロナウイルスの感染予防のために全国的に休校になった。この時期の検針票データを取得し、本調査における全国概略調査の結果と比較することによって、非運用時のエネルギー消費量を把握し、分析を深めることが可能と考える。また、電力、ガスの取引メータでの全エネルギー消費量を多くの学校で把握することで、時間帯別の消費電力を把握でき分析がより深まると考えられる。
- 2018 年度の猛暑の影響を受けて 2019 年度に冷房化を行った自治体が多い。詳細調査の 6N-b では空調機の待機電力が一定量あり、決して小さい値ではないことが確認された。全国的に冷房化による稼働時、非稼働時エネルギー消費量の増加度合いを試算する必要がある。
- 詳細調査では、主にエネルギー消費量が多い学校の調査を実施したが、自治体 7CH は冷暖房を行っているが、全体的にエネルギー消費量が小さい傾向がある。これらの学校のエネルギー消費量が小さい理由を把握することも必要と考える。
- オープン型は、廊下と教室が連続的につながっており暖冷房用エネルギーは増加しがちである。オープン型に最低限必要な躯体の熱性能や適した冷暖房方式や制御方式を検討する必要がある。
- 詳細調査では、換気の動力が大きいこと、全熱交換器を用いても寒冷地では気流が冷たいことが明確になった。換気を適切に稼働・停止するためにどのような機器の開発が可能かなど、メーカーや設計者にヒアリングを実施する必要がある。

【受託研究】戦略的省エネルギー技術革新プログラム
公立学校の ZEB 実現に向けた実態調査及び課題の整理
各地域における公立小学校の詳細調査（寒冷地）

報告書

令和 2 年 3 月 24 日

北海道大学大学院工学研究院
准教授 菊田弘輝

目次

第1章 はじめに.....	3
1.1 調査の背景.....	4
1.1.1 建物用途別のエネルギー消費	4
1.1.2 エネルギー用途別消費	5
1.2 調査の目的.....	6
第2章 調査概要.....	7
2.1 対象校調査.....	8
2.1.1 対象校の選定	8
2.1.2 対象校の概要	10
2.2 実測概要	12
2.3 環境設備の稼働及び設定状況	16
2.3.1 暖房設定状況	16
2.3.2 全熱交換器設定状況.....	17
第3章 エネルギー消費実態.....	18
3.1 校舎全体の月別エネルギー消費量.....	19
3.2 電力消費実態.....	20
3.2.1 校舎全体の日別電力消費量.....	20
3.2.2 校舎全体の時刻別消費電力.....	21
3.2.3 校舎全体のベース電力消費量	22
3.2.4 対象普通教室の時刻別消費電力.....	23
3.2.5 給食の時刻別電力消費量.....	24
3.3 ガス消費実態.....	25
3.3.1 校舎全体の日別ガス消費量.....	25
3.3.2 校舎全体の時刻別ガス消費量	26
第4章 普通教室の温熱環境実態.....	27
4.1 暖房時間帯の普通教室とWSの空気温度.....	28
4.2 授業時間帯における対象普通教室の空気温度と相対湿度	29
4.3 授業時間帯における対象普通教室の空気温度とCO ₂ 濃度	30
第5章 比較対象校	31
5.1 比較対象校概要	32
5.2 エネルギー消費の比較.....	34
5.3 室内温熱環境の比較	35
第6章 まとめ	36

第1章 はじめに

1.1 調査の背景

1.1.1 建物用途別のエネルギー消費

我が国ではエネルギー基本計画（2014年4月閣議決定）が策定され、「2020年までに国を含めた新築公共建築物等で、2030年までに新築建築物の平均でZEBを実現することを目指す」とする政策目標が掲げられており、ZEBに向けた研究や検討が積極的に行われている。特に公立小中学校は低層の建物が多く、単位床面積当たりの最終エネルギー消費量が小さい、つまりエネルギー消費原単位が小さいことから、創エネルギーによるZEBの実現が比較的容易であると言われている（図1.1）。また、業務部門の建物用途別の最終エネルギー消費（2015年）において、学校は9[%]を占めており、業務部門内でのエネルギー消費原単位の値を考慮すると、その割合は比較的大きく、ZEBの実現による国全体への影響力がある（図1.2¹）。

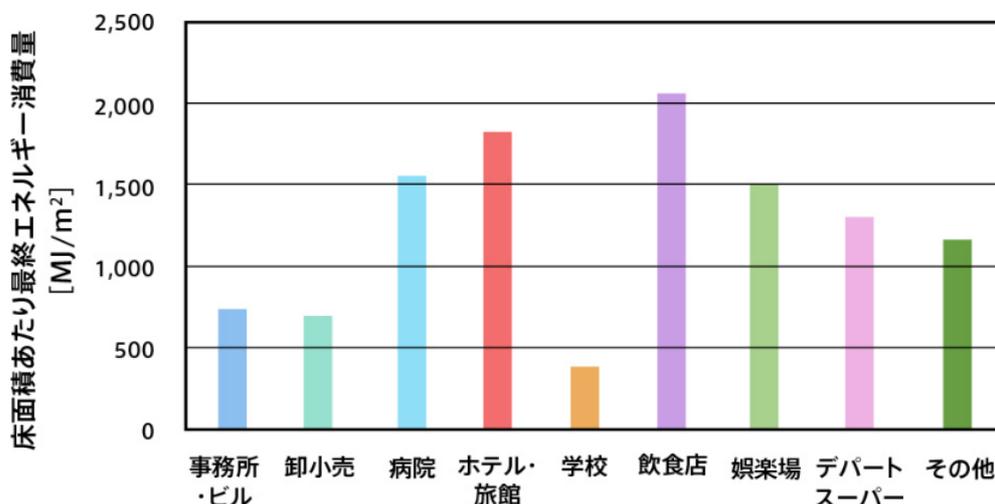


図 1.1 建物用途別の床面積当たりのエネルギー消費量

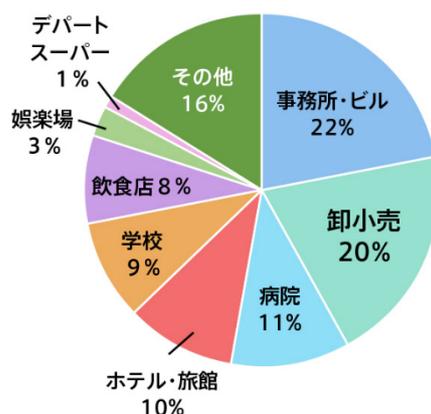


図 1.2 建物用途別の最終エネルギー消費内訳

¹ 環境省ホームページ : : <http://www.env.go.jp/earth/zeb/detail/04.html>

1.1.2 エネルギー使途別消費

図 1.3¹ にエネルギー使途別の消費内訳を示す。エネルギー使途は、主に空調のための温熱・冷熱を生成する「熱源」、それらの熱を運搬する「熱運送」、お湯や蒸気を作り出す「給湯・蒸気」、0A 機器などの「照明・コンセント」、換気ファンやエレベーター・エスカレータなどの「動力」、これら以外の「その他」に大別される。

表 1.1 にエネルギー使途と主な消費機器を示す。同じ業務部門の建築物でも、建物用途によってエネルギー消費状況は異なり、どの用途でも熱源や照明・コンセントの比率が高い。学校では、熱源の割合が比較的高く、暖房設備等が学校全体のエネルギーを最も消費している。

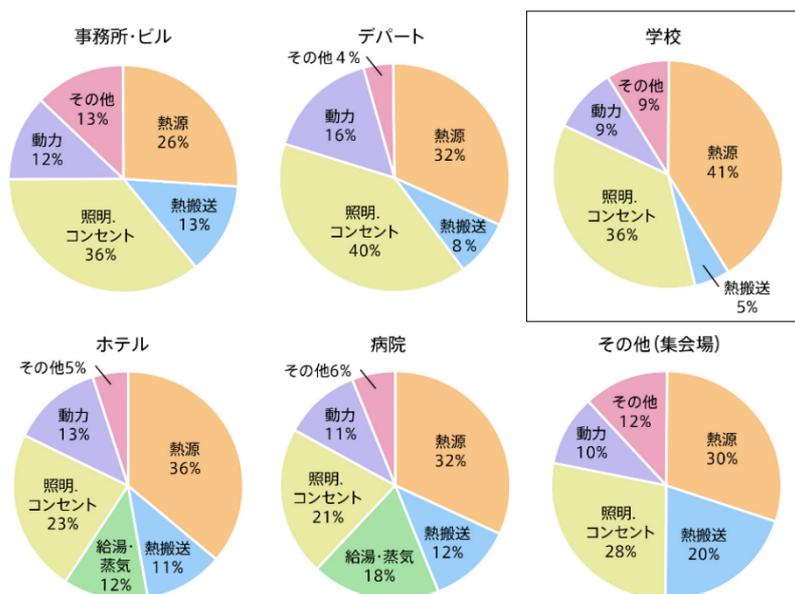


図 1.3 エネルギー使途別の消費内訳

表 1.1 エネルギー使途と主な消費機器

エネルギー使途		主なエネルギー消費機器
熱源	熱源本体	冷凍機、冷温水機、ボイラ
	補助動力	冷却水ポンプ、冷却塔、冷温水一次ポンプなど
熱運送	水運搬	冷温水二次ポンプなど
	空気運送	空調機、ファンコイルユニットなど
給湯・蒸気	熱源本体	ボイラ、循環ポンプ、電気温水器など
照明・コンセント	照明	照明器具など
	コンセント	事務機器など
動力	換気	駐車場ファンなど
	給排水	揚水ポンプなど
	昇降機	エレベーター、エスカレータなど
その他	その他	トランス損失など

1.2 調査の目的

全国的に積雪寒冷地では一次エネルギー消費量が大きいとされており、特に冬期における暖房エネルギーが主要な課題である。また、ZEB 実現にはさらにベースエネルギーやエネルギー消費使途、それに伴う室内温熱環境等を詳細に把握する必要がある。そこで、今回の調査では 2H の公立小学校を対象に、エネルギー消費実態と校舎内の温熱環境調査を行い、これらの結果から ZEB 実現に向けた省エネルギー化および快適性の向上に関する課題を検討する。以下に全体構成を示す。

第 1 章 本調査の背景と目的を示す。

第 2 章 2H の公立小学校の中から対象校選定し、実測調査の概要を示す。

第 3 章 実測調査から同校におけるエネルギー消費量及びその使途の把握を行う。

第 4 章 実測調査から普通教室等の温熱環境の把握を行う。

第 5 章 同校の付近に位置する別の小学校との比較を行う。

第 6 章 総括を示す。

第 2 章 調査概要

2.1 対象校調査

2.1.1 対象校の選定

今回、調査対象として選定した公立小学校は2Hにある2010年3月に竣工したオープン型教室のHN小学校(写真2.1)である。対象校を選定するにあたり、児童数・エネルギー消費原単位・外断熱化の三つを条件とし、2Hの公立小学校201校の中から選定した。表2.1にHN小学校の簡易的な学校規模を示す。

表 2.1 学校規模

建物名	HN小学校
所在地	2H
竣工年	2010年3月
学級数	16(特別支援2)
児童数[人]	431
教室形式	オープン型



写真 2.1 HN 小学校(外観)

表 2.2、図 2.1 に HN 小学校と 200 校の児童数・エネルギー消費原単位の比較を示す。学級数は 201 校の平均値、児童数は 201 校の中央値である。つまり、2H において同校は平均的な学校規模である。同校は 2H 内の公立小学校の中でエネルギー消費原単位が大きいことより、設備性能の向上、エネルギー使用方法の効率化を図る必要がある。

表 2.2 児童数・エネルギー消費原単位の比較

	学級数	児童数[人]	エネルギー消費原単位[MJ/m ²]
H小学校	16 →	431 →	807 ↑
201校平均	16	446	671
順位	89/201 →	101/201 →	53/201 ↑

また、2H では 2005 年から外断熱化の公立小学校が建てられ始めた (HN 小学校を含む)。図 2.2 に HN 小学校と 2H の外断熱化された公立小学校 13 校とのエネルギー消費原単位の比較を示す。同校は、築年数が浅く、外断熱化された小学校の中でエネルギー消費原単位が最も大きいことから、最新型の公立小学校としてエネルギー消費について改善の余地がある。

上記より、調査対象校として HN 小学校を選定した。

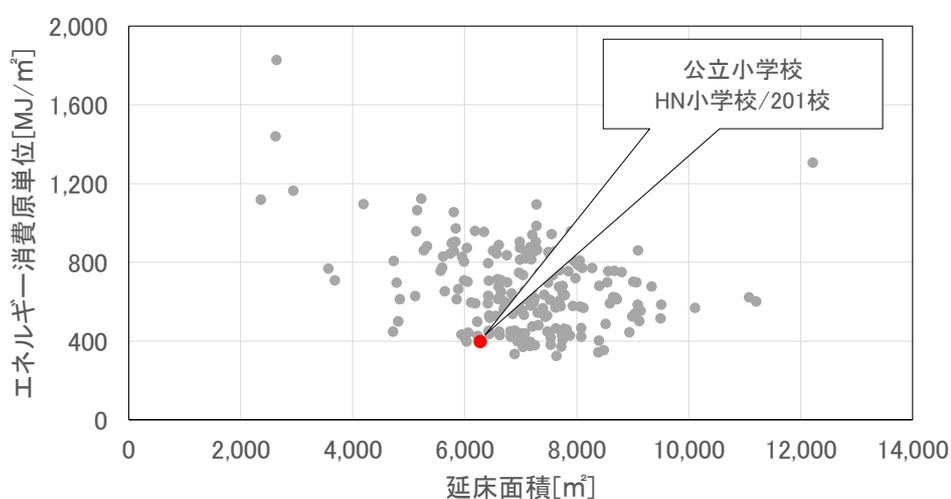


図 2.1 公立小学校のエネルギー消費原単位の比較

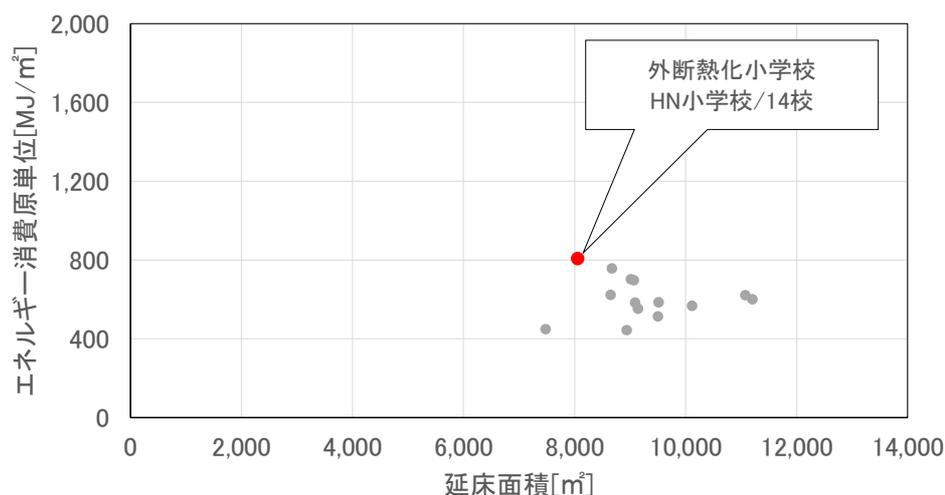


図 2.2 外断熱化された公立小学校のエネルギー消費原単位の比較

2.1.2 対象校の概要

HN 小学校の概要を表 2.3 に示す。同校は 2005 年以降に建てられた小学校であり、校舎全体が外断熱化されているため、暖房の効率化が期待されるだけでなく、ZEB 化の要素である太陽光発電が導入されていることから、多角的な検討事項が期待される。

表 2.3 対象校の概要

HN小学校			
所在地	2H	屋根	塩ビシート防水、XPS(B-3)150[mm]
竣工年	2010年3月	外壁	1階：レンガ積(外断熱)、XPS100[mm]打込
学級数	16		2・3・4階：GW100[mm]後貼
児童数	431	開口部	サッシ：アルミサッシ
教室形式	オープン型		ガラス：Low-Eペアガラス
校舎面積	7955[m ²]	換気方式	第一種
構造	RC造(屋内運動場：一部SRC造)	暖房方式	教室・体育館：FF式温風暖房機
階数	地上4階、地下1階		ワークスペース：ファンコンベクター(天井)

表 2.4～2.5 に学校内に設置されている暖房器の概要を示す。FF 式温風暖房器はそれぞれ性能が異なるが合計で 59 台設置されている。普通教室には横型、暖房能力 9.21[kW]、ガス消費量 11.2[kW]の FF 式暖房機が使用されている（写真 2.2）。ファンコンベクターは各階の普通教室前のワークスペースの天井部にそれぞれ設置されている（写真 2.3）。各階はこれら FF 式温風暖房機とファンコンベクターによって暖房されている。

表 2.6 に学校内に設置されている換気機器の概要を示す。天井埋込型の全熱交換機が各普通教室（400 m³/H×50 Pa）と各階の西側・東側ワークスペース（700 m³/H×50 Pa）にそれぞれ 1 台ずつ導入されている。



写真 2.2 FF 式温風暖房機



写真 2.3 ファンコンベクター

表 2.4 FF 式温風暖房器の仕様と設置台数

名称	暖房能力[kW]	ガス消費量[kW]	校舎1階	校舎2階	校舎3階	校舎4階	給食1階	屋体1階	屋体2階	合計
横型	5.26	6.4	3	2	6	1	1	1		14
横型	9.21	11.2	10	10	9	8			1	38
縦型	14.7	17.4	3	2	1	1				7
合計	＼	＼	16	14	16	10	1	1	1	59

表 2.5 ファンコンベクターの仕様と設置台数

室名	暖房能力(Kw)	温水流量(Kw)	数量
2階ワークスペース西側	1.80Kw	2.6L/min	4
2階ワークスペース東側	2.40Kw	3.4L/min	4
3階ワークスペース西側	1.10Kw	1.6L/min	4
3階ワークスペース東側	1.30Kw	1.9L/min	4
4階ワークスペース西側	1.90Kw	2.7L/min	2
4階ワークスペース東側	2.90Kw	4.1L/min	2
合計	＼	＼	20

表 2.6 換気機器の設置台数

名称	型	1階	2階	3階	4階	給食室	トイレ	体育館	その他	合計
全熱交換機	天井埋込型	10	12	14	13	0	0	0	0	49
	天井カセット型	0	0	0	0	1	0	0	0	1
排気ファン	天井換気扇	0	0	0	0	6	0	0	2	8
	天井換気扇 低騒音形	0	5	5	0	0	3	3	0	16
	壁付換気扇	0	0	0	0	0	0	4	0	4
	斜流ファン	0	0	0	0	3	0	0	0	3
	ミニシロッコファン	4	0	0	0	0	0	0	0	4
	片吸い込みシロッコファン	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	ストレートシロッコファン 低騒音形	0	4	0	0	0	16	0	0	20
	ストレートシロッコファン 消音形	0	0	0	0	0	0	5	0	5
	給気ファン	斜流ファン	1	0	0	0	3	0	0	2
ミニシロッコファン		1	0	0	0	0	0	0	0	1
合計		16	21	19	13	14	19	12	4	118

2.2 実測概要

表 2.7 に測定機器概要、表 2.8～2.10 に各消費量測定ポイントを示す。

ガス消費量はガスメーター室に設置されている一般系統・校舎暖房系統・体育館暖房系統・給食系統のガスメーター、各階オープンスペースの暖房を行うファンコンベクターに使用される真空式温水発生器にそれぞれ小型パルスロガーを設置し、10分毎の消費量を測定した。電力消費量は校舎の電気室キュービクルと校舎内盤に他回路エネルギーモニターを設置し、校内全体の用途別の消費量を10分毎に測定をした。また、室内環境についての把握のため、校内の普通教室・オープンスペース等に小型温湿度ロガーとCO₂ロガーを設置し、10分毎にそれぞれの数値を測定した。測定機器の設置は2019年7月8日に行い、本研究におけるデータ分析期間は2019年7月9日～2020年2月17日とした。

図 2.4～2.5 に普通教室のモデル、各平面図、測定機器を示す。対象普通教室に関しては、中間階の普通教室として6-1、最上階の普通教室として3-1を選定し、階層毎の比較を行う。また、最上階の普通教室である3-1では天井表面温度を測定し、校内での熱循環及び屋根断熱性能との関係性を把握する。

表 2.7 測定機器概要

	設置場所	測定機器[メーカー]	測定間隔
ガス消費量	ガスメーター	パルスロガー LR5061[HIOKI]	10分
電力消費量	キュービクル、校舎内盤	他回路エネルギーモニター[Panasonic]	10分
温湿度	屋外、屋内	温湿度ロガーLR5001[HIOKI]	10分
CO ₂ 濃度	屋内	CO ₂ ロガー RTR-576[T&D]	10分
		CO ₂ ロガー TR-76Ui[T&D]	10分

表 2.8 ガス消費量測定ポイント

No.	測定場所	内容	測定機器	メーカー	パルス単位[m ³]
1	ガスメーター	一般	温湿度ロガー/LR5001	HIOKI	0.1
2	ガスメーター	校舎暖房	温湿度ロガー/LR5001	HIOKI	1
3	ガスメーター	体育館暖房	温湿度ロガー/LR5001	HIOKI	1
4	ガスメーター	給食	温湿度ロガー/LR5001	HIOKI	1
5	真空式温水発生器	校舎オープンスペース	温湿度ロガー/LR5002	HIOKI	0.01

表 2.9 温湿度測定ポイント

No.	階	測定場所	内容	測定機器	メーカー
1	1	外気	空気温湿度	温湿度ロガー/LR5001	HIOKI
2	1	昇降口	空気温湿度	温湿度ロガー/LR5001	HIOKI
3	1	体育館アリーナ	空気温湿度	温湿度ロガー/LR5001	HIOKI
4	3	6-1	空気温湿度	温湿度ロガー/LR5001	HIOKI
5	3	6-1 暖房吹出口	空気温度	温湿度ロガー/LR5011	HIOKI
6	3	ワークスペース 暖房吹出口	空気温湿度	温湿度ロガー/LR5001	HIOKI
7	3	6-1	CO2	CO2ロガー/RTR-576	T&D
8	3	廊下	空気温湿度	温湿度ロガー/LR5001	HIOKI
9	4	3-1 床上1100mm	空気温湿度	温湿度ロガー/LR5001	HIOKI
10	4	3-1 床上100mm	空気温度	温湿度ロガー/LR5011	HIOKI
11	4	3-1 天井表面	表面温度	温湿度ロガー/LR5011	HIOKI
12	4	3-1 暖房吹出口	空気温度	温湿度ロガー/LR5011	HIOKI
13	4	ワークスペース 暖房吹出口	空気温湿度	温湿度ロガー/LR5001	HIOKI
14	4	3-1	CO2	CO2ロガー/TR-76Ui	T&D
15	4	廊下	空気温湿度	温湿度ロガー/LR5001	HIOKI

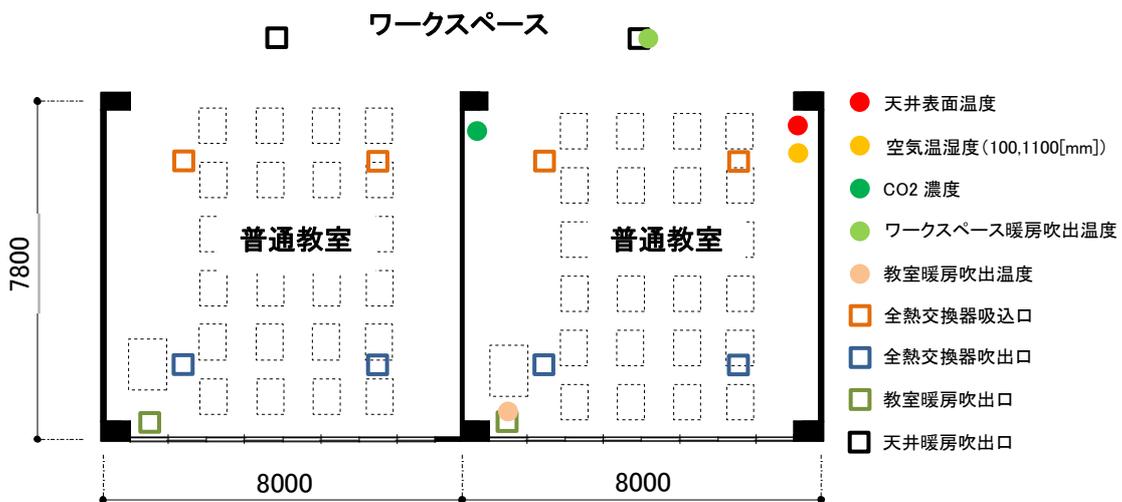


図 2.4 普通教室モデル(HN 小学校)

表 2.10 電力量測定ポイント

電気室 キュービクル	学校全体	取引メーター_CNT	学校全体
	動力系	圧力給水ポンプ_kW	その他
		給食室 動力盤1_kW	給食
		給食室 動力盤2_kW	給食
		給食室 動力盤3_kW	給食
		給食室 動力盤4_kW	給食
		エレベーター_kW	その他
		コンピューター室_kW	特別教室
		電気炉_kW	その他
		電気暖房機_kW	その他
		エコキュート_kW	その他
		ロードヒーティング_kW	その他
		プール濾過機_kW	プール
		屋内運動ボイラー_kW	体育館暖房
		電灯系	1L-1_kW
	2L-1_2F普通教室_kW		普通教室
	3L-1_3F普通教室_kW		普通教室
	4L-1_4F普通教室_kW		普通教室
	1階 東側系統_kW		管理諸室
	1階 職員室_kW		管理諸室
	1階 給食室電灯盤_kW		給食
	太陽光発電_kW		太陽光発電
	2階 家庭科室_kW		特別教室
	2階 理科室_kW		特別教室
	3階 特別教室(図工室他)_kW		特別教室
	3階 コンピューター室 電灯盤_kW		特別教室
	4階 特別教室(音楽室他)_kW		特別教室
	プール 電灯盤_kW		その他
	屋内運動場_kW		体育館
	暖房用		暖房
校舎内盤	3L-1分電盤	6-1・6-2教室の照明_kW	最上階教室
		便所(B)パネルヒーター_kW	最上階教室
		6-1コンセント_kW	最上階教室
		6-1・6-2・6-3特別支援教室の熱交換型換気_kW	最上階教室
	4L-1分電盤	エコキュートヒーター_kW	最上階教室
		3-1・3-2教室の照明_kW	中間階教室
		パネルヒーター_kW	中間階教室
		3-1コンセント_kW	中間階教室
		3-1・3-2熱交換型換気_kW	中間階教室
		廊下 熱交換型換気_kW	中間階教室
	6-2教室	6-1・6-2教室の暖房_kW	中間階教室
	3-2教室	3-1・3-2教室の暖房_kW	中間階教室

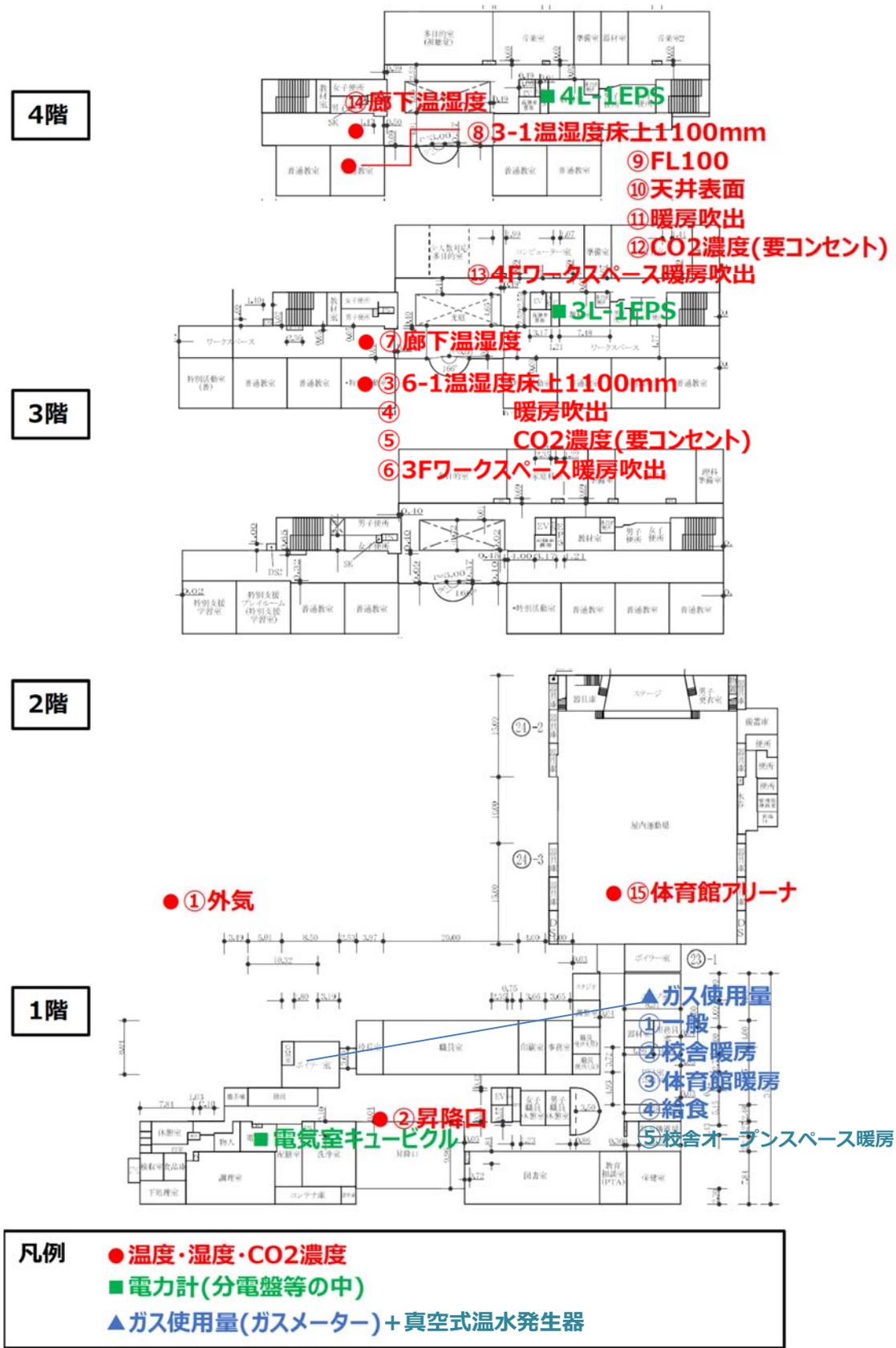


図 2.5 各階平面図と測定ポイント

2.3 環境設備の稼働及び設定状況

2.3.1 暖房設定状況

写真 2.4 に職員室に設置されているガス暖房集中監視操作盤を示す。これは、予め登録されたスケジュールに従い、室温を自動的に制御する。今回、普通教室のみを対象として全授業開始時と全授業終了時における暖房設定温度と室内温度のデータの集計を行った。設定温度は主に 16～24[°C]の中で設定されていた。

図 2.6 に全授業開始時と終了時の温度差（設定温度から室内温度を引いた値）を示す。授業開始時は授業終了時と比べて温度差が大きい箇所が多いことが分かる。一方、授業終了時は授業時間帯の暖房稼働によって温度差のばらつきが小さくなっている。しかし、負の割合が増加しているため、室内温度が設定温度を上回っている箇所が増加していること分かる。

図 2.7～図 2.8 に全授業開始時と終了時の設定温度と室内温度の状況を示す。環境省は冬季の暖房時の室温目安を 20[°C]に推奨している。授業開始時には、20[°C]周辺の室内温度が多いが、設定温度の約 7 割が 20[°C]以上に維持されているため、授業終了時には室内温度が推奨値を上回る普通教室が増加している。また、HN 小学校はオープン型であるため、普通教室間の暖房の熱が共有され、暖房が稼働していない状況でも温度上昇を伴ってしまうと推察される。



写真 2.4 ガス暖房集中監視操作盤

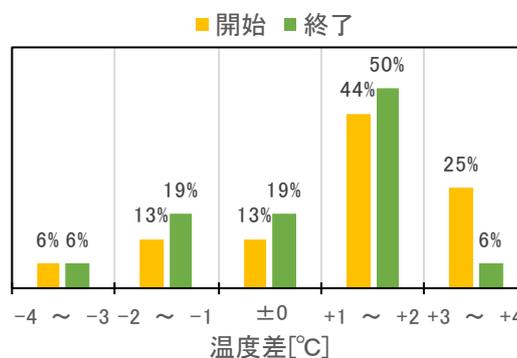


図 2.6 設定温度と室内温度の温度差

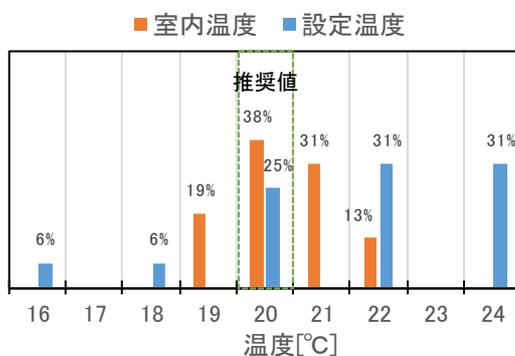


図 2.7 全授業開始時の室内温度状況

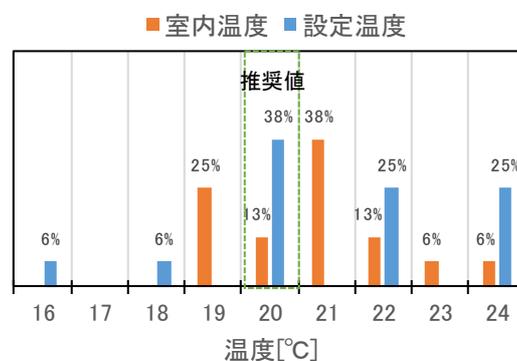


図 2.8 全授業終了時の室内温度状況

2.3.2 全熱交換器設定状況

写真 2.5 に全熱交換機の設定機器を示す。学校全体に設置されている全熱交換機の設定機器から稼働の有無と換気モード、換気量をそれぞれ調査した。換気モードには全熱・自動・普通の3モードがあり、全熱は空気中の熱交換を行い、普通は行わない、自動は両者の自動切替を行う。普通換気では外気が熱交換されずに室内に供給されてしまうため、冬季期間は全熱か普通のモードが望ましい。また、換気量の設定には強と弱があった。

図 2.9 に学校全体における全熱交換器の使用状況を示す。どの日を比較しても稼働状況に大きな変化がなく、全体の約7割が稼働していた。また、ヒアリング調査によると、教員が習慣的に全熱交換器の設定を操作することはないことが分かった。

図 2.10～図 2.11 に全熱交換機の換気モードと換気量の設定状況を示す。換気モードに関しては、冬季に近づくにつれて全熱と自動の割合が増加している。換気量に関しては、日別による変化はほとんどなかった。



写真 2.5 全熱交換器の設定機器

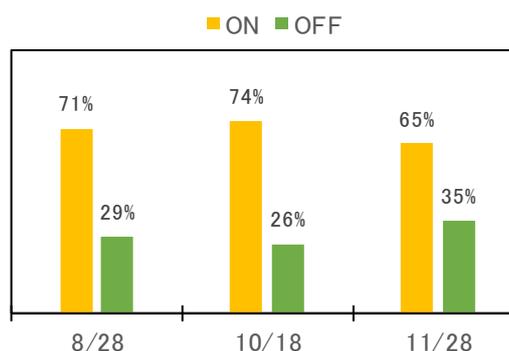


図 2.9 稼働状況

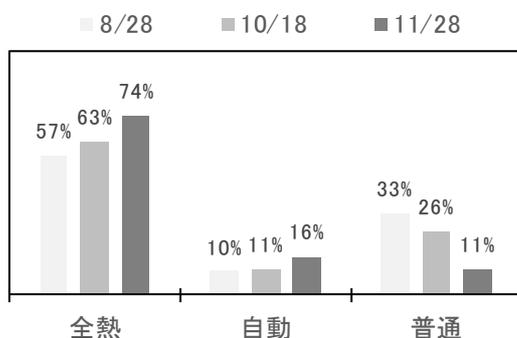


図 2.10 換気モード状況

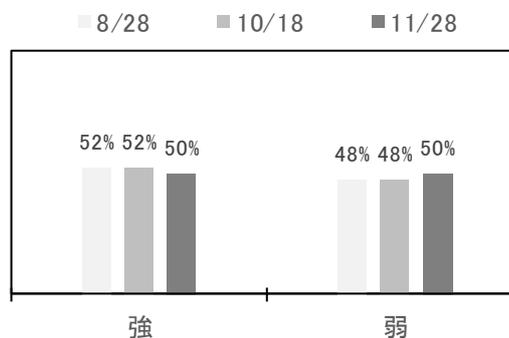


図 2.11 換気量状況

第3章 エネルギー消費実態

3.1 校舎全体の月別エネルギー消費量

図 3.1 に 2H から提供されたデータを参考に HN 小学校の月別エネルギー消費量(2017)を算出した。表 3.1 に各エネルギーの換算係数を示す。冬季は夏期と比べて電力消費量に大きな変化はないが、都市ガス消費量が大きく上昇している。また、12月・1月は冬季休暇を挟むため、2月が最も都市ガス使用量が多い。これは、冬季の暖房設備による影響が大きい。冬季の暖房使用を抑えることで学校全体のエネルギー消費量を大幅に低下させることができるだろう。そのため、暖房効率・設備性能の向上が求められる。本研究では、エネルギー消費量の詳細調査を行うことによる用途別、区間別での消費実態の把握を行っていく。

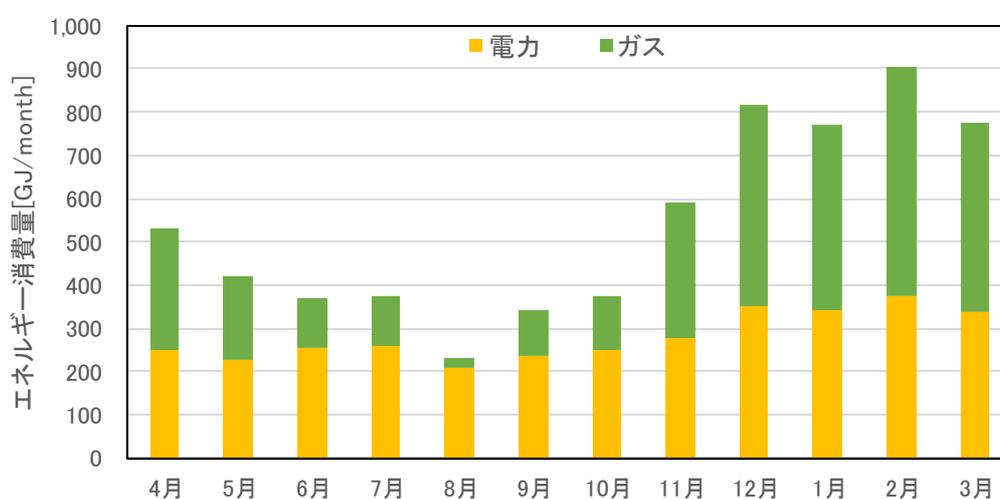


図 3.1 月別一次エネルギー消費量

表 3.1 エネルギー換算係数

	エネルギー消費量	換算係数	エネルギー消費量[GJ/month]
電気	338,194[kWh/月]	9.97[MJ/kWh]	3,372
都市ガス	69,597[m ³ /月]	45[MJ/m ³]	3,132
合計	＼	＼	6,504

3.2 電力消費実態

3.2.1 校舎全体の日別電力消費量

図 3.2～3.3 に夏期・冬期の日別電力消費量を示す。代表月は詳細測定期間中（7月～2月）において日別平均気温が最大であった8月を夏期代表月、最低であった1月（2月は測定期間が中旬で終了のため）を冬期代表月とした。

夏期は冬期と比べて全体的に電力消費量が小さいが、プール開放による電力消費量が大きくなっている。また、プール開放の主な消費電力項目は、電灯と濾過機である。冬期は暖房使用期間のため、暖房（校舎暖房）と体育館（体育館暖房）、その他（電気暖房機、ロードヒーティング）項目の電力消費量が大きくなっている。休日（祝日を含む）、学校休業期間中においては、夏期は電力消費量の高い順からプール、管理諸室、給食の項目となっているが、冬期はプール、管理諸室、給食の項目が同程度の消費量となっている。

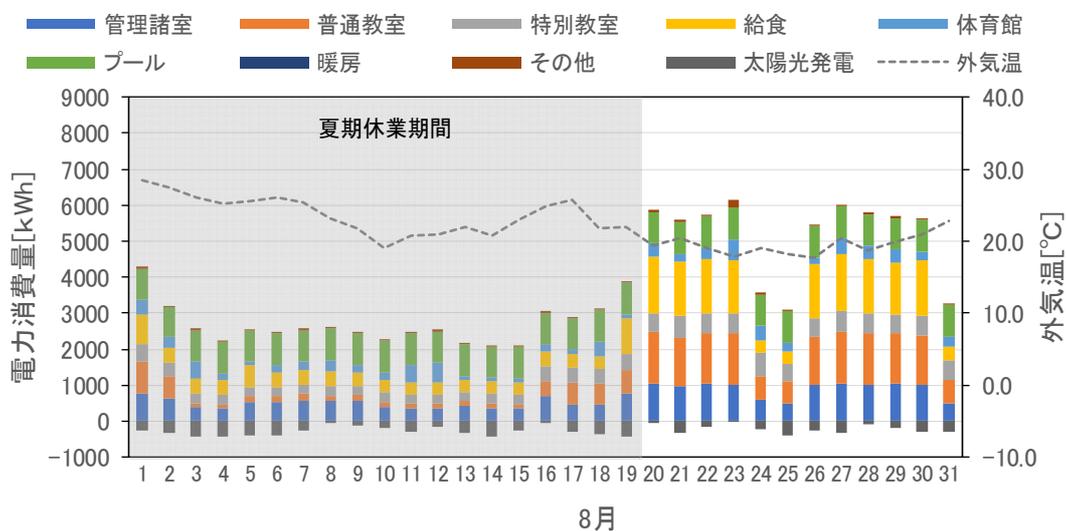


図 3.2 夏期代表月の電力消費量

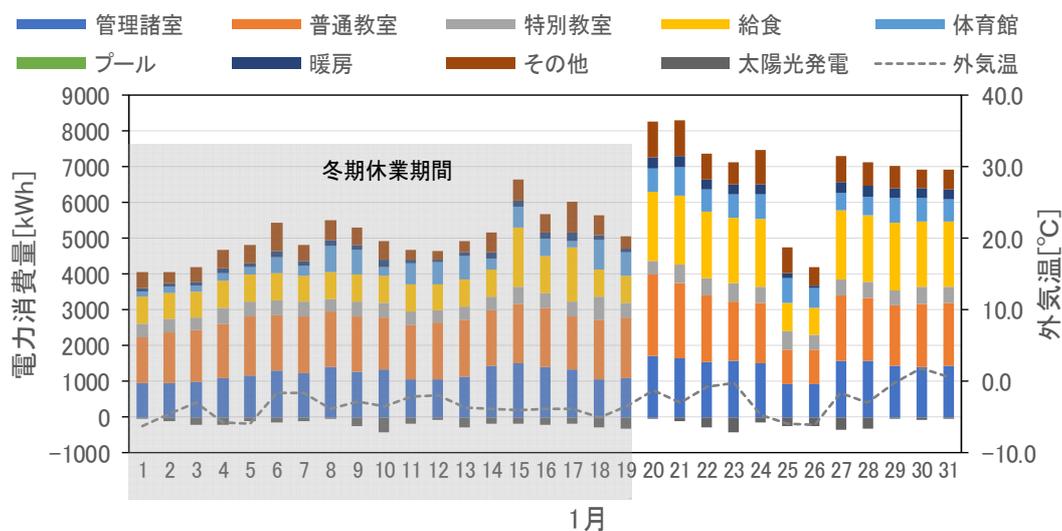


図 3.3 冬期代表月の電力消費量

3.2.2 校舎全体の時刻別消費電力

図 3.4～3.5 に夏期・冬期代表日の時刻別消費電力を示す。夏期・冬期の代表日の選出は、各期の平日・休日それぞれの日別エネルギー消費量の平均値に最も平均に近く、学校行事等が行われていない日とした。両期ともに授業時間帯（8:00～15:00）では、主に教室の消費電力が大きい。放課後は給食室・体育館（主に電灯）の消費電力が大きい。また、夏期はプール開放、冬期は暖房・体育館・その他（主にロードヒーティング等）によって消費電力が増加している。よって、これらの項目が内包する消費電力用途をより詳細に確認する必要がある。太陽光発電の総エネルギーに関しては、日によって発電力に差があり、校舎全体の消費電力と比較すると非常に小さい。そのため、ZEB 実現に要する創エネルギーの確保に向けて、太陽光発電の設置個所の増設および機器の更新が必要である。

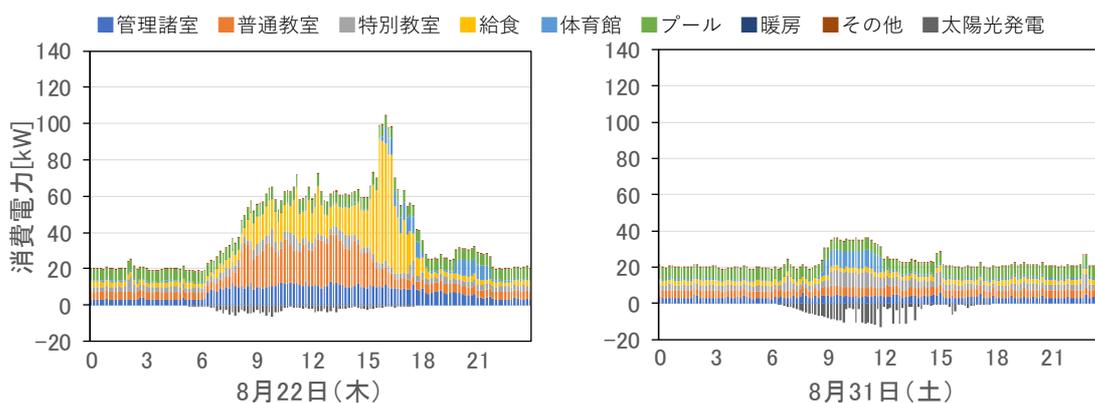


図 3.4 夏期代表日の時刻別消費電力

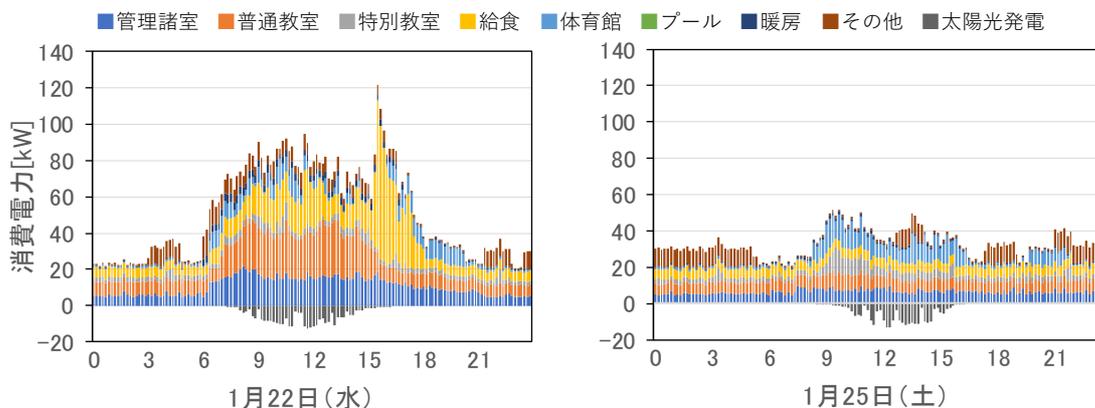


図 3.5 冬期代表日の時刻別消費電力

3.2.3 校舎全体のベース電力消費量

図 3.6 に夏期・冬期代表日の時間平均ベース電力消費量を示す。ここでは、学校が運用されていない時間帯（0:00～6:00）の時間平均電力消費量を「ベース電力消費量」とする。両期ともに管理諸室（主に職員室等）・普通教室・特別教室において約 20[kWh]を消費している。また、夏期ではプール（電灯、濾過）において約[35Wh]を消費しており、冬期では給食室の電力消費量が夏期の約 2 倍となっている。ZEB 実現にはこれらベース電力の削減が必要であり、特に教室系および給食に関する検討が必要である。

図 3.7 に各期代表日の日積算消費電力を示す。仮に、学校が運用されていない時間帯（0:00～6:00）のベース電力が完全に削減されたとすると、夏期・冬期において約 13[%]の電力消費を削減することができる。しかし、現実的にはすべての電力を止めることは不可能に近いため、いかに運用時以外に不要な電力を削減できるかを検討する必要がある。

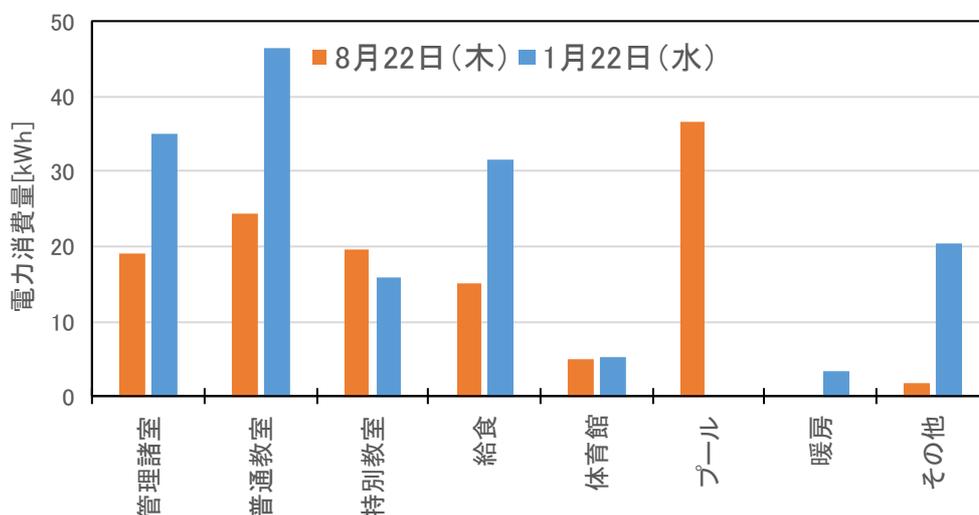


図 3.6 ベース電力消費量

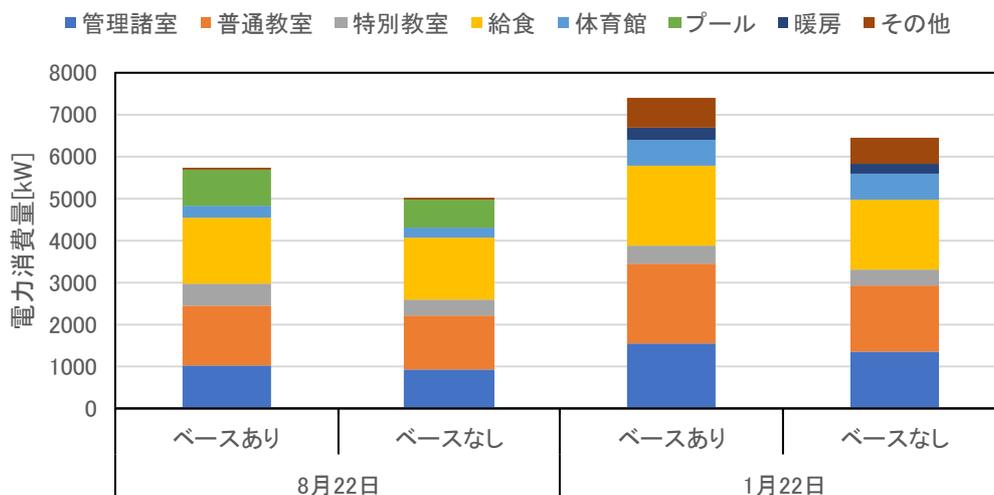


図 3.7 各期代表日の日積算電力消費量

3.2.4 対象普通教室の時刻別消費電力

図 3.8～3.9 に夏期・冬期代表日における対象普通教室の時刻別消費電力（一部データで複数教室の合算値を除いた値を使用した）を示す。両期の消費電力差はほとんどなく、照明が運用時の大半を占めている。また、全熱交換器はベース電力の大半を占めており、換気量（強・弱）や換気モード（自動・全熱・普通）の設定によって消費電力が変化する。そのため、消費電力を削減するためには、ベース時間帯では全熱交換器、授業時間帯では主に照明の運用改善および機器の整備・更新が必要である。

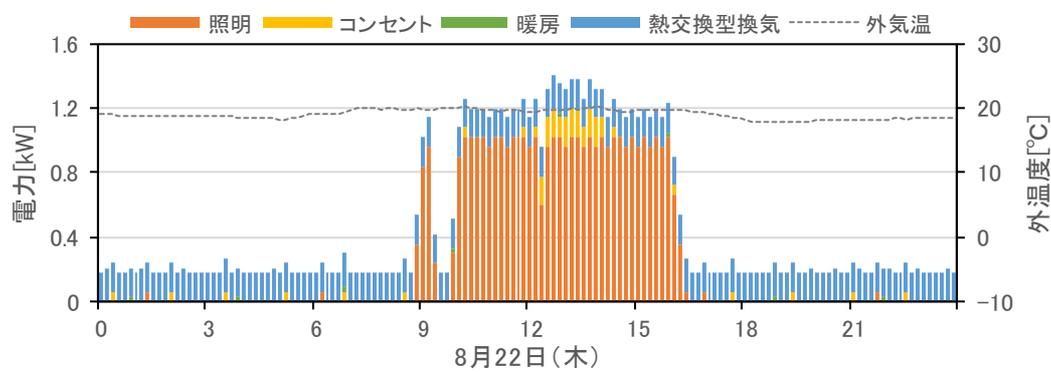


図 3.8 夏期代表日における対象普通教室の時刻別電力消費量

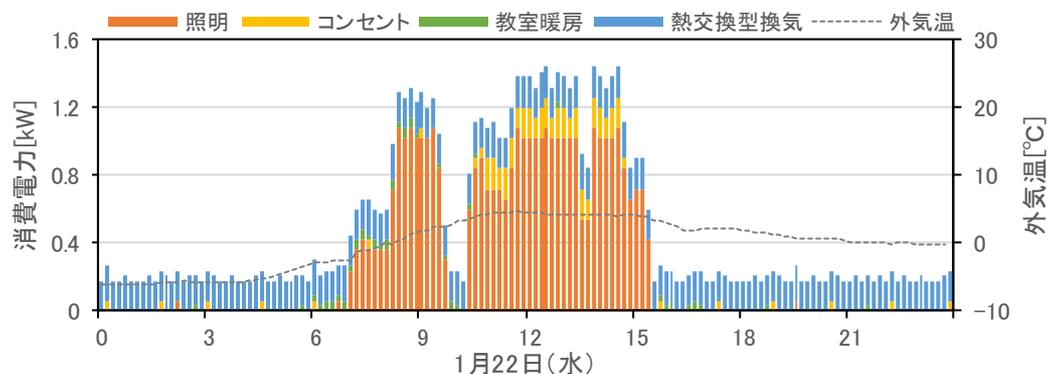


図 3.9 冬期代表日における対象普通教室の時刻別電力消費量

3.2.5 給食の時刻別電力消費量

図 3.10～3.11 に夏期・冬期代表日における給食の時刻別電力消費量、表 3.1 にそれらの消費用途を示す。電力 1 と電灯は消費先項目が多様なため、主な消費電力用途を記載した。授業時間帯（8:00～15:00）は主に動力 1（吸排気ファン、エアコン室内外機、ボイラー動力室等）、動力 2～4（消毒保管庫）による消費電力が大きく、動力 3 は動力 2 の動作完了後に稼働するシステムになっている。また、ベース電力は主に電灯が占め、冬期は夏期と比較してパネルヒーター等の使用により消費電力が大きいと考えられる。給食関連は食品衛生上の問題があるため、使用機器の整備や更新による消費電力削減が有効だと推察される。

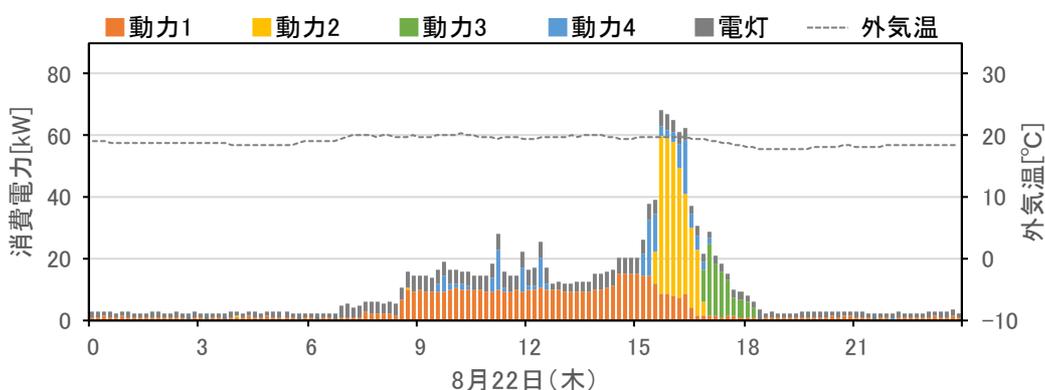


図 3.10 夏期代表日における給食のベース電力消費量

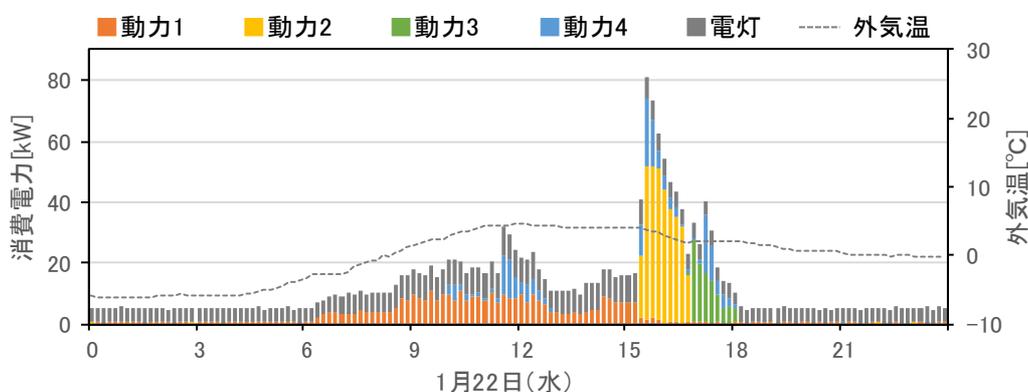


図 3.11 冬期代表日における給食のベース電力消費量

表 3.1 項目別の消費用途

消費内訳	主な消費項目
動力1	吸排気ファン、エアコン室内外機、ボイラー室動力盤 等
動力2	食缶消毒保管庫
動力3	食缶、食器消毒保管庫
動力5	食器・器具消毒保管庫
電灯	パネルヒーター、電灯、コンセント 等

3.3 ガス消費実態

3.3.1 校舎全体の日別ガス消費量

図 3.12 に冬期代表月の日別ガス消費量を示す。平日の主なガス消費は校舎暖房、体育館暖房、給食であり、WS は上位 3 つと比較すると消費量は小さいことが分かる。また、休日に関しては体育館開放によって体育館暖房の消費量が増加している。

図 3.13 に冬期（12 月～2 月）の日積算ガス消費量（給食・その他を除く）と外気温の関係を示す。外気温に対するガス消費量の変化は小さく、外気温に合わせて暖房使用量の調整が必要である。特に、校舎暖房は時刻別での消費量に変化しない傾向があるため、校舎内の温度状況を踏まえた暖房運用方法を検討する必要がある。

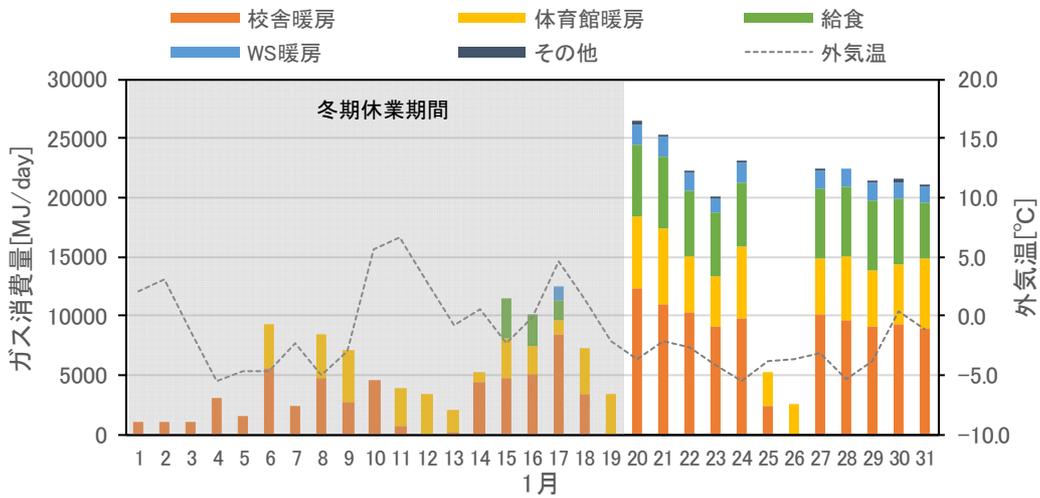


図 3.12 冬期代表月の日別ガス消費量

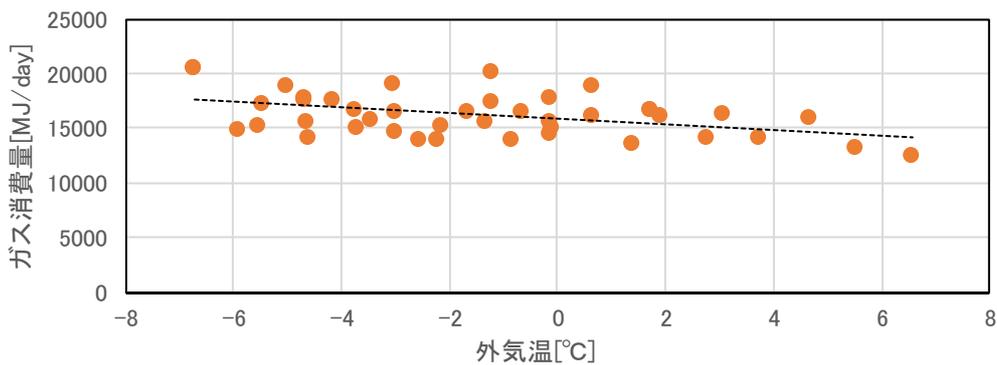


図 3.13 冬期の日積算ガス消費量

3.3.2 校舎全体の時刻別ガス消費量

図 14 に冬期代表日の時刻別ガス消費量を示す。校舎暖房では常に一定量のガスを消費しており、暖房開始時刻は 6:00 頃、終了時刻は 17:00 頃となっている（以下、暖房時間帯を 6:00～17:00 とする）。また、体育館暖房・給食・WS 暖房の消費量は時刻別の変化が大きく、その中で WS 暖房の消費量は非常に小さい。これは、WS に設置されているファンコンベクターの数量は 20、暖房能力は 1.6～4.1[kW]である一方、校舎全体に設置されている FF 式温風暖房機の数量は 56（給食・体育館を除く）、暖房能力は 6.4～17[kW]となっており、両者を比較すると校舎全体の方が暖房機器の数量と能力の点で優ることからも明らかである。補足として、HN 小学校では夏期に暖房はほとんど使用されておらず、10 月の中旬頃より校舎全体で暖房が使用され始めていた。

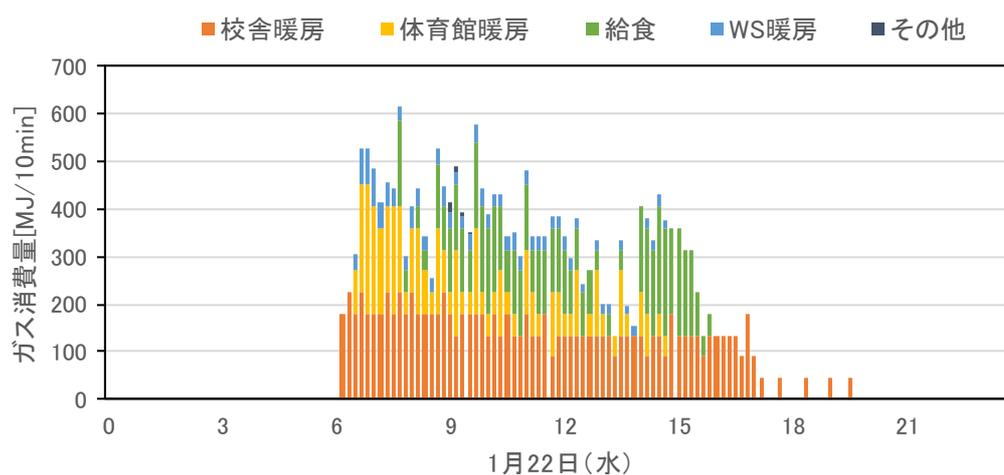


図 3.14 冬期代表日の時刻別ガス消費量

第 4 章 普通教室の温熱環境実態

4.1 暖房時間帯の普通教室とWSの空気温度

図4.1～4.2に冬期（12月～2月）における暖房時間帯の普通教室とWSの空気温度、代表日のそれら推移を示す。最上階において普通教室はWSより空気温度が低い、中間階ではほとんど差がない。これは、間仕切りによってWSが光庭のある側とない側に分けられ、それによる光庭からの熱損失が影響している。また、最上階ではこの間仕切りの使用率が高いために、中間階より空気温度が高いと考えられる。最上階の上下温度差に関しては、100[mm]の空気温度が1100[mm]・天井表面と比較して低い、授業時間帯では良好な室内温度環境が保たれていた。しかし、一般的な教室形態の教室・廊下の温度差と比較するとその差は小さく、暖房負荷は上昇する一方で、冬期の廊下壁面部における結露の発生を抑える等の利点がある。

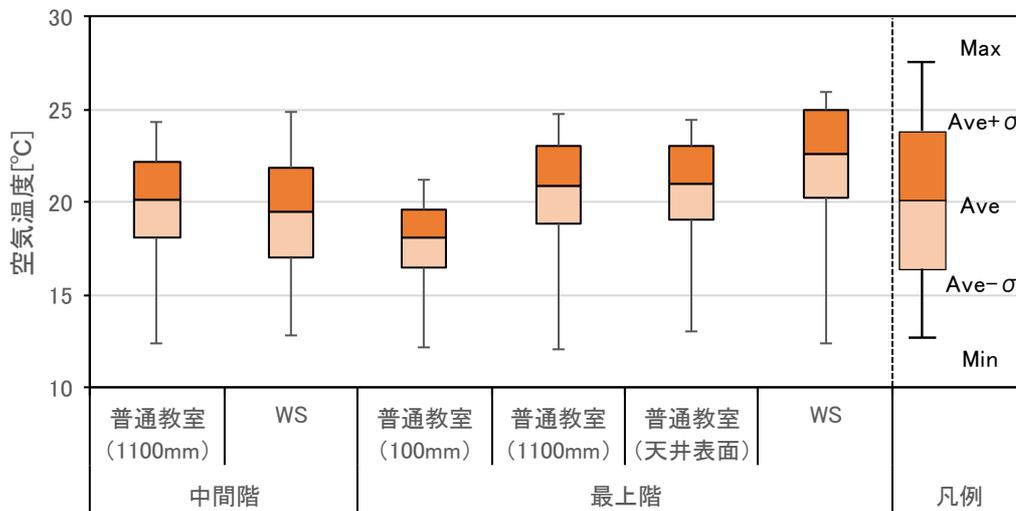


図4.1 普通教室とWSの空気温度(暖房時間帯)

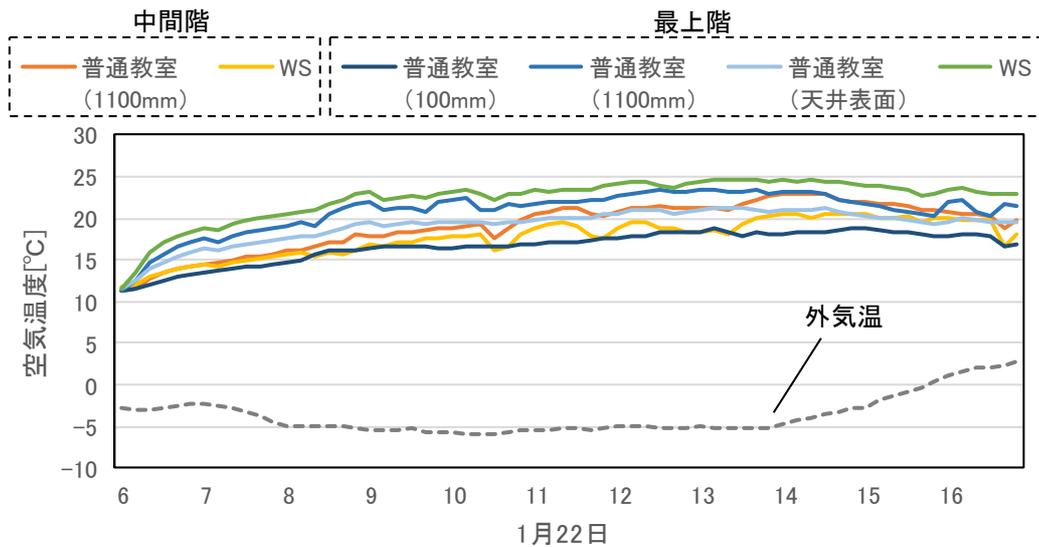


図4.2 代表日における普通教室とWSの空気温度推移(暖房時間帯)

4.2 授業時間帯における対象普通教室の空気温度と相対湿度

図 4.5 に夏期・冬季の授業時間帯における対象普通教室の空気温度と相対湿度の関係を示す。学校環境衛生基準においては、温度は 17～28[°C]、湿度は 30～80[%]が望ましいとされている。さらに、児童生徒等に生理的、心理的に負担をかけない最も学習に望ましい条件は、冬期推奨範囲として 18～20[°C]、夏期推奨範囲として 25～28[°C]程度、人体にとって最も快適な相対湿度の条件は、50～60[%]程度とされている。夏期では空気温度・相対湿度ともに学校衛生基準を満たしているだけでなく、ほぼ全てが夏期推奨範囲にあり、約半数が理想相対湿度範囲（50～60[%]）にある。一方、冬期では空気温度は学校衛生基準を満たしているが、相対湿度の多くがその範囲（30～80[%]）から外れている。冬期推奨範囲・理想相対湿度範囲に関しても、多くがその範囲から外れていることが明らかとなった。冬期は特に空気温度が推奨範囲より高めになる傾向があり、外気温を考慮しても暖房使用時間が長い可能性がある。また、暖房使用による空気温度上昇は相対湿度の低下を招くことも踏まえ、冬期の暖房使用方法については改めて検討する必要がある。

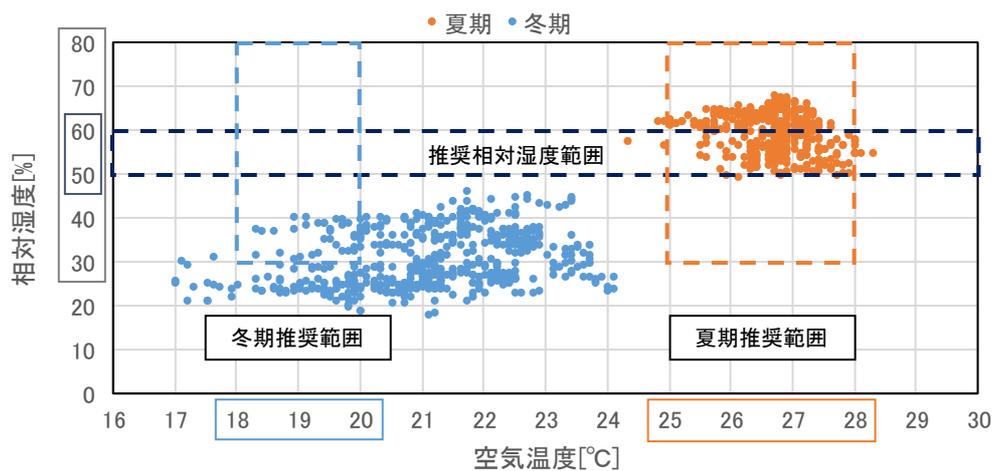


図 4.3 夏期・冬季における対象普通教室の空気温度と相対湿度の関係(授業時間帯)

4.3 授業時間帯における対象普通教室の空気温度と CO₂濃度

図 4.6 に夏期・冬季の授業時間帯における対象普通教室の空気温度と CO₂濃度の関係を示す。学校環境衛生基準においては、CO₂濃度は 1500[ppm]以下が望ましいとされている。夏期では空気温度・CO₂濃度ともに学校衛生基準（空気温度は 17～28[°C]）を満たしているだけでなく、ほぼ全てが夏期推奨範囲にある一方、冬期では大半が学校衛生基準は満たしているが、冬期推奨範囲に関しては多くがその範囲から外れていると同時に、冬期の空気温度と CO₂濃度には相関関係があり、空気温度が上昇すると、CO₂濃度も上昇する傾向が確認された。また、冬期における CO₂濃度の多くが 1500[ppm]を下回ってはいるが、1000～1500[ppm]の範囲に集中しており、良好な室内環境とするのは難しい。さらにオープン型の教室形態を踏まえると、その値は比較的高いと推察される。積雪寒冷地では窓の開放による CO₂濃度の低下は暖房負荷の上昇が懸念されるため、全熱交換器を効率的に利用する必要がある。

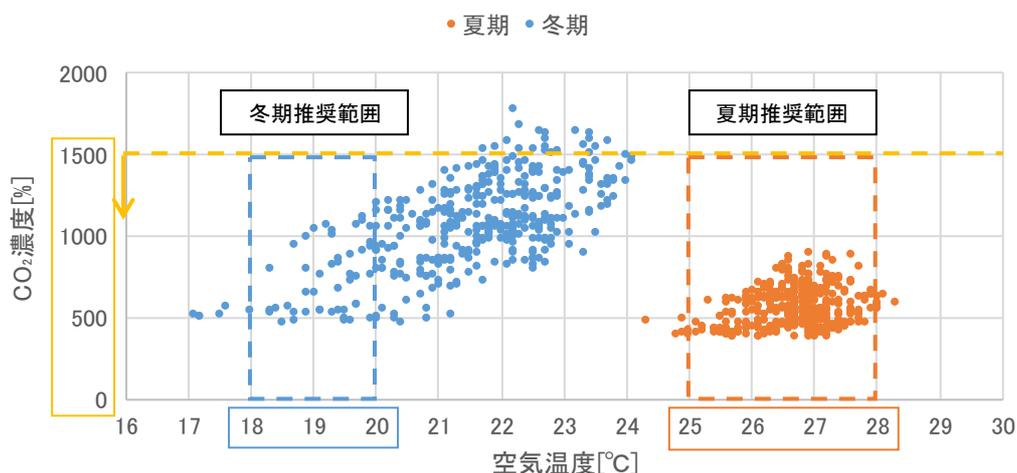


図 4.4 夏期・冬季における対象普通教室の空気温度と CO₂濃度の関係(授業時間帯)

第 5 章 比較対象校

5.1 比較対象校概要

今回、HN 小学校に加えて比較対象校として、HN 小学校の付近に位置する竣工 1968 年の HY 小学校を調査した。測定機器の設置は 2019 年 7 月 8 日に行い、データ分析期間は HN 小学校と同様の 2019 年 7 月 9 日～2020 年 2 月 17 日とした。

図 5.1～図 5.2 に HY 小学校の外観及び内観、表 5.1 に学校概要を示す。同校は HN 小学校と比較して築年数が古く、教室形態はホームルーム型となっている。

図 5.3～図 5.4 小学校の各階平面図及び教室モデルを示す。測定項目はガス・電力・温湿度・CO2 濃度の 4 つであり、HN 小学校の普通教室の測定が中間階と最上階のみである一方、HY 小学校では最下階に普通教室があるため、最下階でも測定を行った。



図 5.1 外観(HY 小学校)



図 5.2 内観(HY 小学校)

表 5.1 比較対象校の概要

HY小学校			
所在地	2H	屋根	発泡性断熱材25[mm]打込、RW10[mm]
竣工年	1968年9月	外壁	1階：発泡性断熱材25[mm]打込
学級数	18		2・3階：発泡性断熱材25[mm]打込
児童数	474	開口部	サッシ：アルミサッシ
教室形式	ホームルーム型		ガラス：二重窓(シングル)
延床面積	4678[m ²]	換気方式	なし
構造	RC造	暖房方式	教室・体育館：FF式温風暖房機
階数	地上3階		廊下：なし

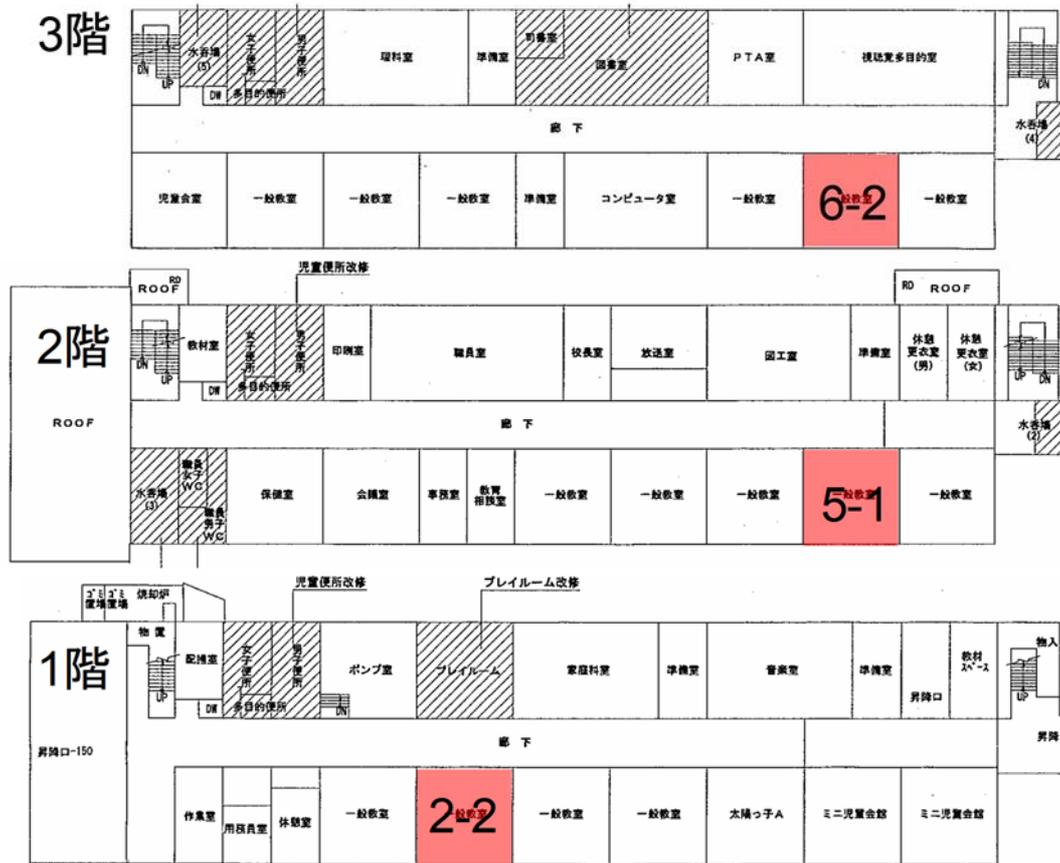


図.5.3 各階平面図と対象普通教室

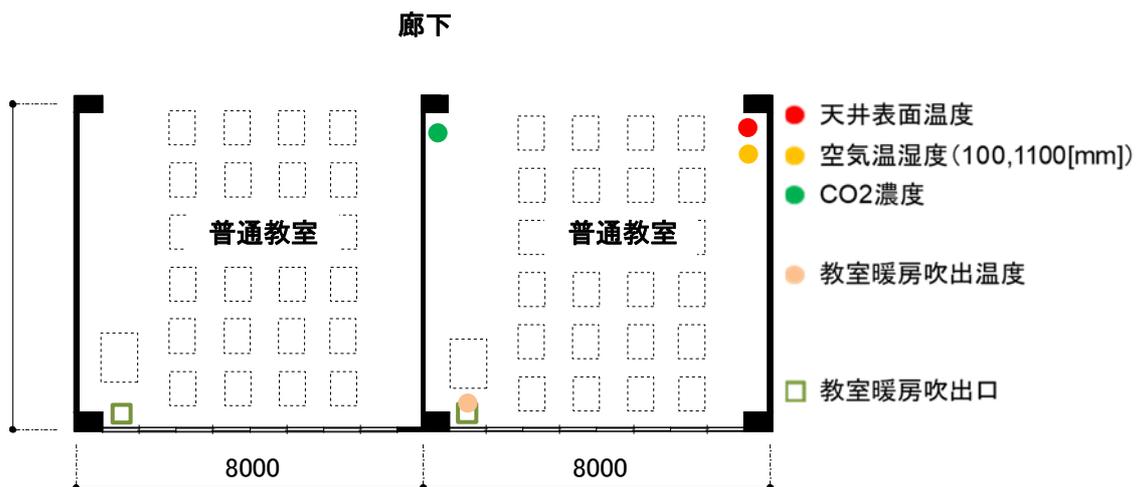


図.5.4 普通教室モデル(HY 小学校)

5.2 エネルギー消費の比較

図 5.5～5.6 に 2H の公立小学校と HY 小学校の一次エネルギー消費量の比較を示す。HY 小学校は一次エネルギー消費量が公立小学校の平均より小さく、エネルギー消費原単位も公立小学校の中で小さいことが分かる。

図 5.7 に HN 小学校と HY 小学校の代表日における一次エネルギー消費量の比較を示す。両校ともに電力消費量が目立つが、両校の校舎暖房によるエネルギー消費量には大きな差はないことが分かる。電力はベース消費等の削減が有効であると考えられる。

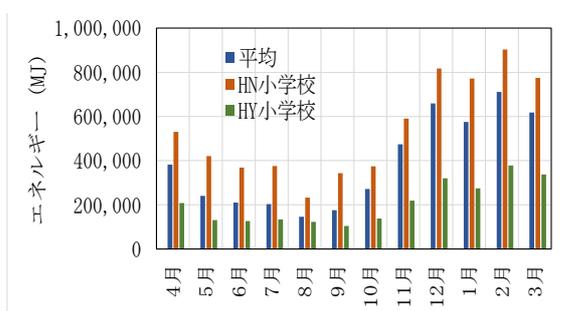


図.5.5 ーエネルギー消費量の比較

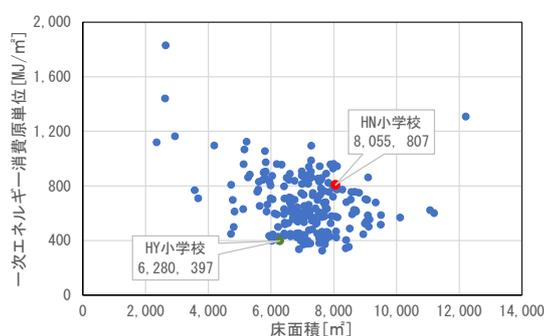


図.5.6 一次エネルギー消費原単位の比較

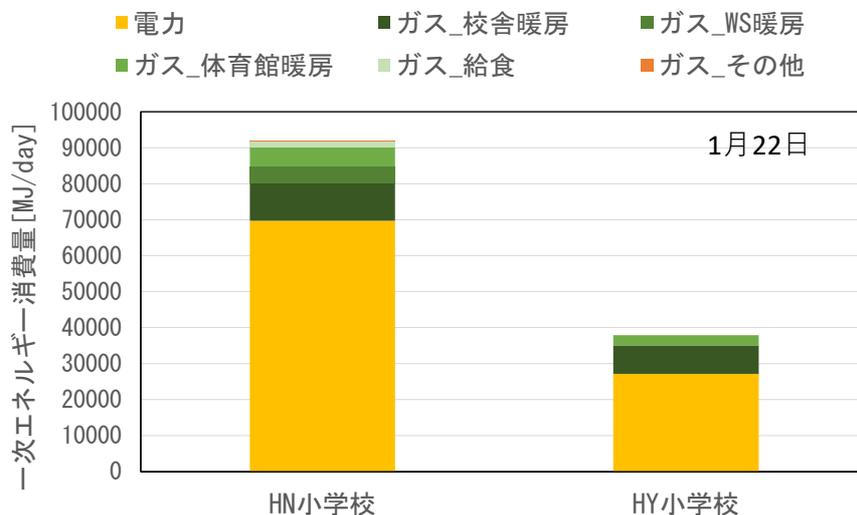


図.5.7 代表日の一次エネルギー消費量の比較

5.3 室内温熱環境の比較

図 5.8 に HN 小学校と HY 小学校の対象教室の時刻別空気温度の推移比較を示す。朝方の暖房稼働前の時間帯において、最上階では HY 小学校の空気温度の方が低いことから、HN 小学校の屋根面断熱性能が高いことが示唆される。

図 5.9 に両校の冬期代表月における対象普通教室の CO₂濃度の比較を示す。HY 小学校は HN 小学校と比較して対象普通教室の CO₂濃度が高い傾向にあることが分かる。これより、換気設備・教室形態の違いによる CO₂濃度の違いは明らかであり、機器更新及び学校の改修等が重要であると考えられる。

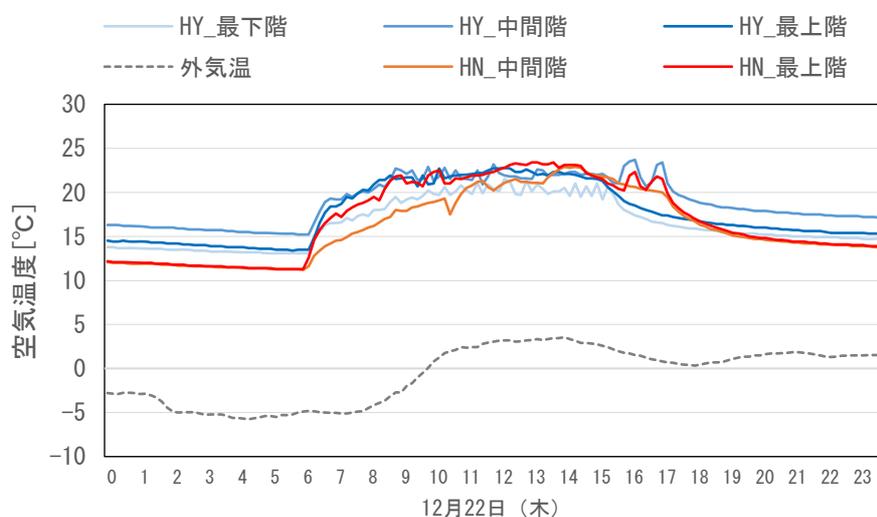


図.5.8 冬期代表日における時刻別空気温度の推移比較

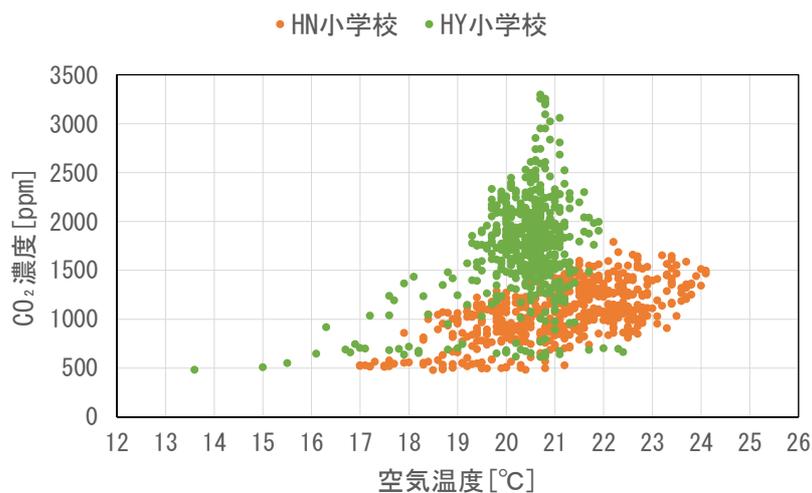


図.5.9 冬期代表月における対象普通教室の CO₂濃度の比較

第6章 まとめ

本調査で得られた知見を以下に示す。

- 1) エネルギー消費用途は多様であり、省エネルギー化のためには、冬期の暖房使用だけでなく、ベース電力を含めた消費電力の改善が必要であり、その際に学校の環境・衛生上の問題も考慮しなければならない。
- 2) HN 小学校のように既に外断熱化されている校舎においても、校舎の外断・気密性の向上は必要である一方、オープン型の教室形態は校舎内の温度差を小さくする役割があることを示した。
- 3) 現時点では、積雪寒冷地における公立小学校の ZEB 実現は容易ではない。そのため、引き続き多角的な視点での計画や取り組みが求められ、新たな使用機器の開発や運用方法の改善を検討していく必要がある。
- 4) 今後の課題として、電力消費実態に関しては、普通教室や給食等の詳細な消費用途および電力消費を把握することができたが、ガス消費実態に関しては、電力と比較すると詳細な消費用途を把握することができなかった。校舎内の階・区画ごとでの暖房使用状況まで把握する実測調査が必要である。また、適切に校舎内の機器を利用した場合のエネルギー消費量を把握するため、学校側と連携したエネルギー消費実験を行う必要がある。室内温熱環境に関しては、主に断熱性能と暖房運用方法に着目して課題を抽出したが、本研究の内容では積雪寒冷地における新たな課題を明らかにすることはできなかった。ZEB 実現を見据えると、児童・教員および学校関係者の行動を事細やかに調査・分析し、エネルギー消費と紐づけていく必要がある。

目次

第1章 序論	p.2
1.1 研究背景	
1.2 研究目的	
1.3 研究体制	
第2章 調査概要	p.7
2.1 建物概要	
2.2 実測概要	
2.2.1 長期実測（温熱環境）（電力・ガス）	
2.2.2 集中実測	
第3章 長期実測結果	p.12
3.1 エネルギー測定概要	
3.1.1 建物全体	
3.1.2 対象教室	
3.1.3 代表日一次エネルギー消費量	
3.2 物理環境測定結果	
3.2.1 CO ₂ 濃度	
3.2.2 温湿度	
第4章 集中実測結果	p.27
4.1 空調設定状況	
4.2 換気設定状況	
4.3 全熱交換器メンテナンス	
4.4 窓開けおよび空調利用状況	
4.4 臭気評価	
第5章 設備運用実態	p.47
5.1 設備運用・窓開け行為に関するヒアリング結果	
5.2 全熱交換器メンテナンス前後の空気質	
5.3 設備運用に関する考察	
第6章 総括	p.50

1 序論

1.1 研究背景

経済産業省により閣議決定された第5次エネルギー基本計画によると、2020年までに国を含めた新築公共建築物等で、2030年までに新築建築物の平均でZEBを実現することを目指す¹⁾。図1-1に床面積当たりの一次エネルギー消費量、図1-2に建築用途別の延床面積割合を示す。ZEBが比較的達成しやすい建築物として学校が挙げられる。理由として、図1-1に示す通り、床面積当たりの一次エネルギー消費量が他の建築物と比較して大幅に少ないことが挙げられる。床面積当たりの一次エネルギー消費量が少ない理由としては、冷房設備の設置率が低いこと、室の使用時間が他の建築物と比較して短いことなどがある²⁾。加えて、図1-2に示す通り、非住宅建築物を合計した床面積に対して大学を除いた学校が占める割合は17%と多く³⁾、一次エネルギー消費量が少ない小学校であっても広くZEBを達成していくことで、わが国における一次エネルギー消費量の削減に与える好影響は大きいと考えられる。以上を考慮し、本研究では学校を対象としてZEB実現に向けた実態調査及び課題の整理を行う。

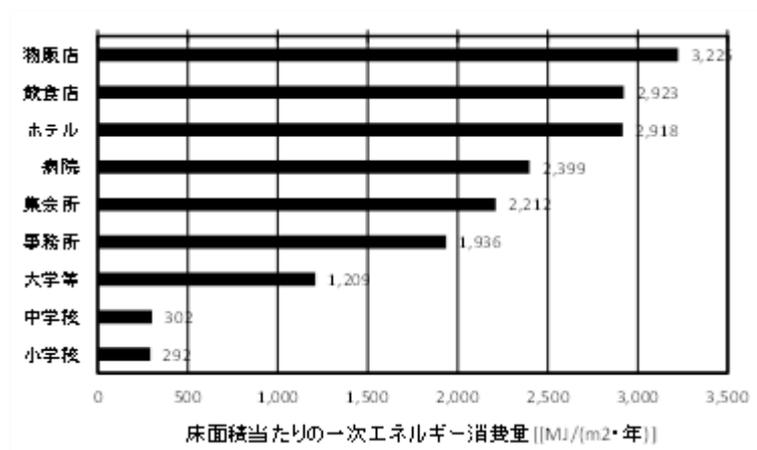


図 1-1 床面積当たりの一次エネルギー消費量¹⁾

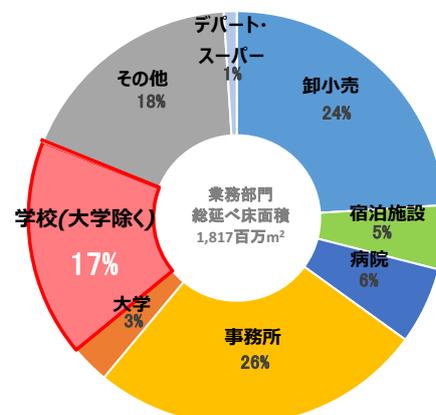


図 1-2 建築用途別の延床面積割合³⁾

図 1-3 に小中学校におけるエネルギー消費量の調査結果を示す。国立教育政策研究所により行われた研究により、各地域のエネルギー消費量の結果が示されている²⁾。小中学校のエネルギー消費量を調査した研究は存在するが、各地域におけるエネルギー消費量の差の究明や、夏季・冬季・中間期などの季節に着目してエネルギー消費量を調査した研究は少ない。

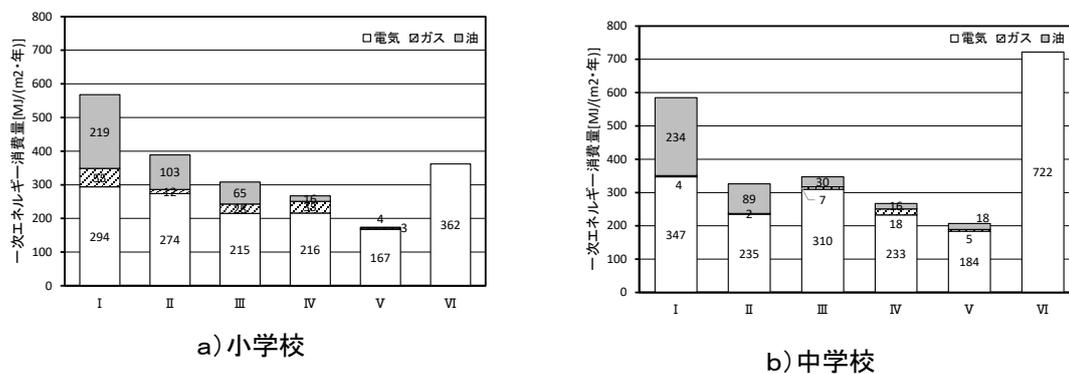


図 1-3 小中学校におけるエネルギー消費量の調査結果

図 1-4 に公立小中学校等の空調（冷房）設備設置状況の推移を示す。平成 29 年度の調査では、普通教室および特別教室の平均で 44.4%であったが、平成 30 年度の猛暑の影響により冷房の設置率は急増し、令和元年度には 64.5%となっている⁴⁾。今後も冷房設置率の増加に伴い、エネルギー消費量も増加することが予想される。

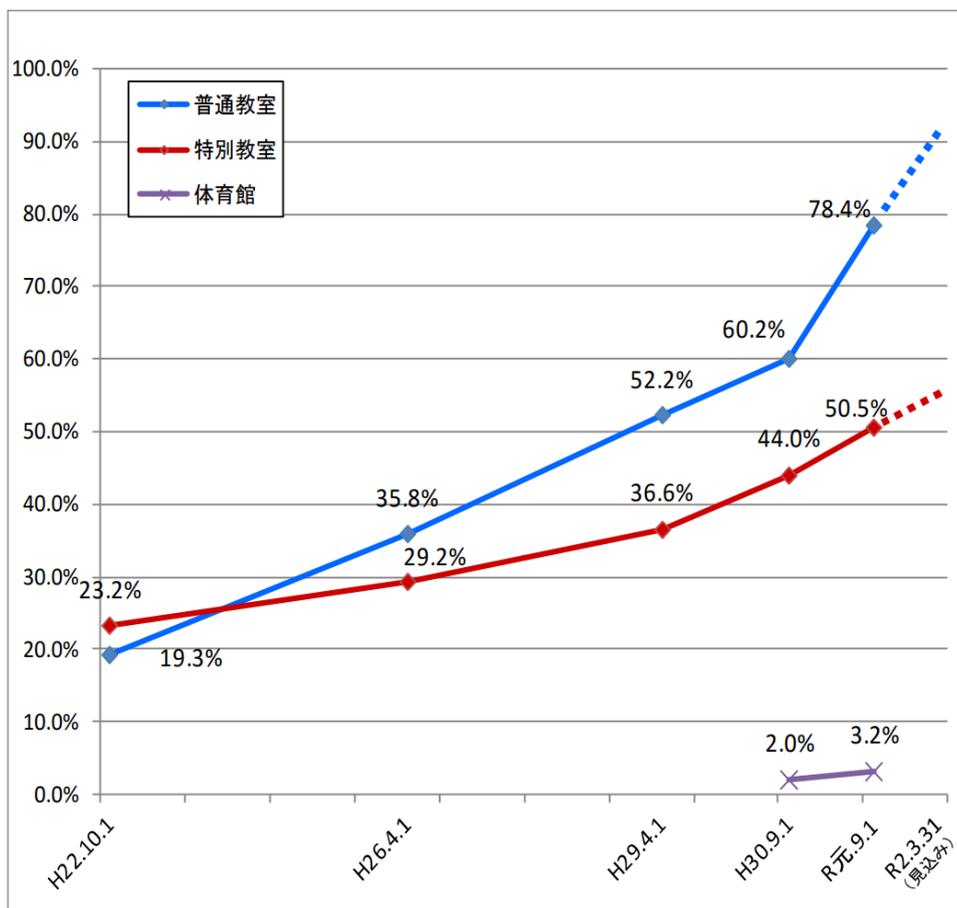


図 1-4 公立小中学校等の空調（冷房）設備設置状況の推移

また、学校は他の建築物と比較して、室の使用時間および使用期間が短いという特性があるため、設備稼働している時の省エネルギー性のみならず停止している時の省エネルギー性も考慮した上で設備の開発を行っていく必要があると考えられる。さらに、公立学校には専任の施設管理者がいないため、設備に関して専門知識のない教員でも比較的簡単に省エネルギーかつ快適な教室環境を作り出せる設備の開発も重要である。

1.2 研究目的

本研究では以下の2つについて取りまとめることを目的として調査を行った。

①地域性を考慮した上で、教室内環境の質の実態、エネルギー消費特性、設備機器の運用実態を明らかとする。

②学校の ZEB 化実現に向けた設備機器の運用の最適化、建築パッシブ性能強化による省エネルギー効果の整理、運用実態に即した省エネルギー機器の開発課題の整理、教職員が適切に運用できる設備機器の開発課題の整理を行う。

特に本研究では、温暖地域における冷暖房導入校の詳細調査を行った。得られた設備の運用データを元にエネルギー消費量を効率的に削減できる手法の提案を行うことで、学校設計の一助となると考える。

1.3 研究体制

図 1-5 に研究体制の全体像を示す。本研究は、佐藤エネルギーリサーチ株式会社が国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) から「公立学校の ZEB 実現に向けた実態調査及び課題の整理」に関する調査を受託したのち、早稲田大学田辺研究室に対し調査の一部を再委託したことで開始した。調査には概略調査および詳細調査の 2 種類がある。概略調査では教育委員会に対してのヒアリングや各地域における小中学校のエネルギー消費特性分析等を行い、詳細調査では概略調査で得られたデータから調査対象とする代表校を選定し、温熱環境データやエネルギー消費量データを実際に測定、回収したのちに ZEB 実現のための課題抽出を行う。本研究室では詳細調査の一部を担う形で、温暖地域における公立学校の ZEB 実現に向けた実態調査及び課題の整理を行った。

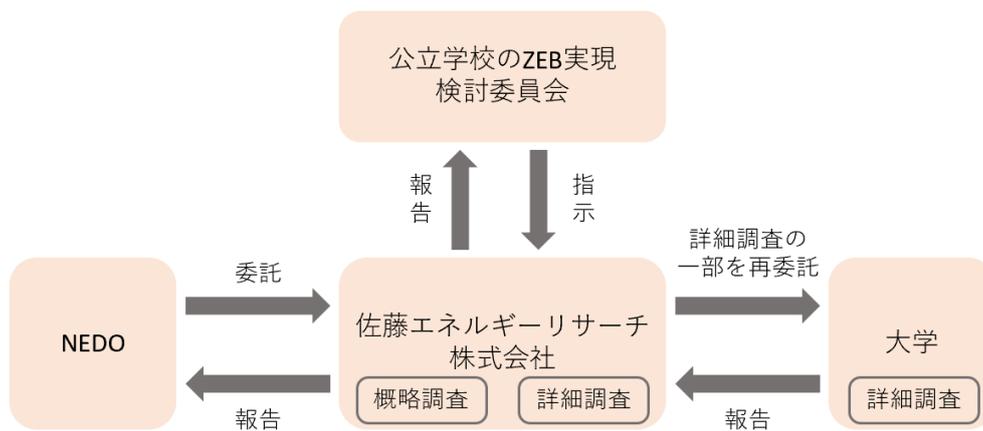


図 1-5 研究体制

【参考文献】

- 1) 経済産業省：第5次エネルギー基本計画, 2018.7, p35
- 2) 文部科学省：環境を考慮した学校施設（エコスクール）づくりの今日的課題,
https://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/20/07/08072807/001/002.htm (最終閲覧日 2020/3/23)
- 3) 日本エネルギー経済研究所 EDMC エネルギー・経済統計要覧(2010年版)、総務省統計局 平成20年度学校基本調査
- 4) 文部科学省：公立学校施設の空調（冷房）設備の設置状況について, 2019.9

2 調査概要

2.1 建物概要

図 2-1 に建物外観、図 2-2 に教室内観、表 2-1 に建物概要を示す。6HC に位置する KM 小学校を調査対象とした。2015 年に竣工した RC 造 4 階建ての建物で、生徒数は竣工当初 728 名、1 教室当たり 30～40 名程度である。1 教室の面積は約 64m²、天井高は 2.7m である。教室内の空調換気設備として、各教室では天井に全熱交換器（1 台あたり 500 m³/h）が 2 台、天井埋め込みエアコンが 2 台設置されている。小学校の延べ床面積は 11884 m² であり特定建築物（8000 m² 以上）に該当するため、空気調和設備を設けている場合の空気環境の基準として、二酸化炭素の含有率の管理基準値はビル衛生管理法により 1000 ppm 以下とされている。



図 2-1 建物外観



図 2-2 建物内観

表 2-1 建物概要

KM小学校	
所在地	6HC
竣工年	2015年
全生徒数	728人（2015年4月）
1教室生徒数	3-4：33人 5-4：40人
主要構造	RC造
階数	4階
延べ床面積	11884m ²
換気設備	全熱交換器（1教室2台）（風量計1000m ³ /h）
空調設備	天井埋め込み
教室面積	8.0*8.0 = 64m ²
天井高	2.7m
最大窓開放面積	外気5.8m ² 、廊下5.0m ²

2.2 実測概要

2.2.1 長期実測（温熱環境）

表 2-2 に長期実測項目、図 2-3 に測定位置、表 2-3 に測定対象場所を示す。長期実測では、代表教室を 3-4 教室と 5-4 教室と定め、空気温度、相対湿度、CO₂濃度、エアコン吹き出し温度、天井表面温度の 5 項目を測定した。教室は 5 項目全て、廊下は先の 3 項目実測を行った。教室の空気温度に関しては、床上 100 mm および 1100 mm の 2 か所に機器を設置して測定を行った。期間は 2019 年 6 月 28 日～2020 年 2 月 26 日の計 8 か月間とした。

表 2-2 長期実測項目

長期実測	教室	温湿度・CO ₂ 濃度・エアコン吹き出し温度・天井表面温度
	廊下	温湿度・CO ₂ 濃度

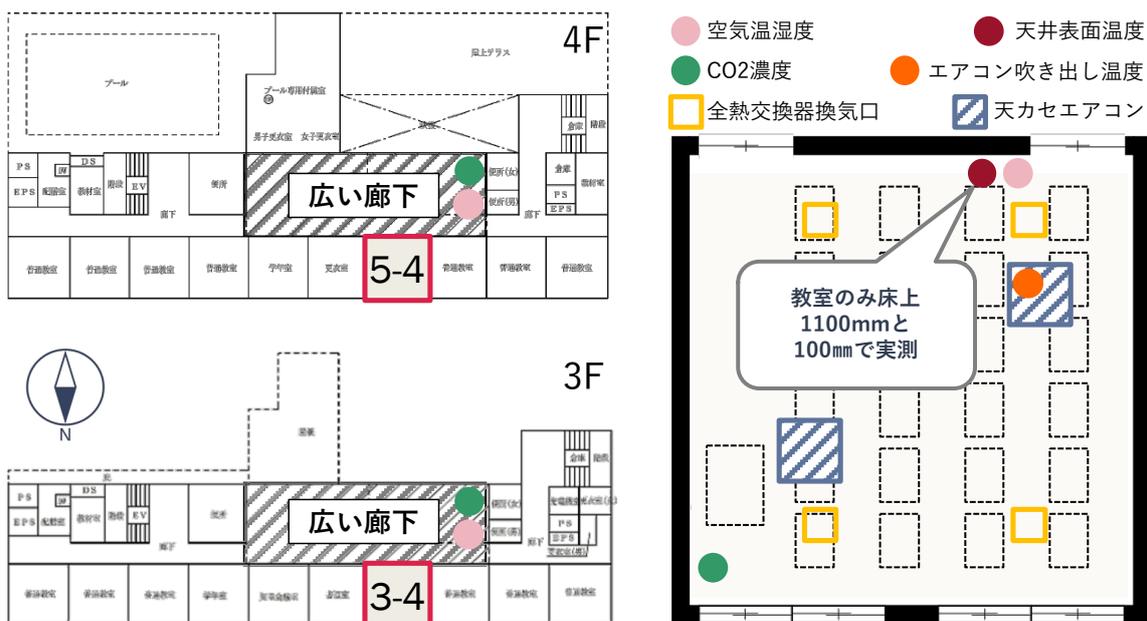


図 2-3 測定位置

表 2-3 測定対象場所

測定場所	実測項目	測定機器	センサ
外気	空気温湿度	温湿度ロガー	温湿度センサ(0m)
1F 昇降口	空気温湿度	温湿度ロガー	温湿度センサ(0m)
3F 3-4温湿度(FL1100mm)	空気温湿度	温湿度ロガー	温湿度センサ(1m)
3F 3-4温湿度(FL100mm)	空気温度	温度ロガー	-
3F 3-4温度(天井表面)	表面温度	温度ロガー	-
3F 3-4空調吹出温湿度	空気温湿度	温湿度ロガー	温湿度センサ
3F 3-4CO2濃度	CO2	CO2ロガー	-
3F 廊下温湿度	空気温湿度	温湿度ロガー	温湿度センサ(1m)
3F 廊下CO2濃度	CO2	CO2ロガー	-
4F 5-4温湿度(FL 1100mm)	空気温湿度	温湿度ロガー	温湿度センサ(1m)
4F 5-4温度(FL 100mm)	空気温度	温度ロガー	温度センサ(1m)空気
4F 5-4温度(天井表面)	表面温度	温度ロガー	温度センサ(5m)表面
2F 5-4空調吹出温湿度	空気温湿度	温湿度ロガー	温湿度センサ
4F 5-4CO2濃度	CO2	CO2ロガー	-
4F 廊下温湿度	空気温湿度	温湿度ロガー	温湿度センサ(1m)
4F 廊下CO2濃度	CO2	CO2ロガー	-
体育館アリーナ	空気温湿度	温湿度ロガー	温湿度センサ(0m)

2.2.1 長期実測（電力・ガス）

表 2-4 に電力・ガス測定ポイントを示す。空調・照明・コンセントなど、用途別のエネルギー消費量の把握を目的に、キュービクルやガスメーターにセンサーを設置し、電気やガスの使用量を測定した。

表 2-4 電力・ガス測定ポイント

項目	ユニット番号	名称	電力使用用途	
電力（消費）	21 (低圧電灯盤No.1 1φ3W 150kVA)	L01 1L-1	1F照明・コンセント・空調室内機・換気	
		L02 1L-2(1)	1F照明・コンセント・空調室内機・換気	
		L03 1L-2(2)	1F照明・コンセント・空調室内機・換気	
		L04 1L-4	家庭科室の調理台・コンセント	
		L06 床暖房制御盤	給食室の床暖房	
		L05 1LP-1	給食	
	22 (低圧電灯盤No.2 1φ3W 150kVA)	L07 体育館分電盤	体育館の照明：・コンセント	
		L08 2L-1	2F照明・コンセント・空調室内機・換気	
		L09 2L-2	2F照明・コンセント・空調室内機・換気	
	23 (低圧電灯盤No.3 1φ3W 150kVA)	L10 2L-3	コンピューター室・図書室のコンセント	
		L11 2L-4	理科室コンセント	
		L12 3L-1	3F照明・コンセント・空調室内機・換気	
		L13 3L-2	3F照明・コンセント・空調室内機・換気	
		L14 4L-1	4F照明・コンセント・空調室内機・換気	
	24 (低圧動力盤No.1 3φ3W 100kVA)	L15 4L-2	4F照明・コンセント・空調室内機・換気	
		P01 EV制御	EV制御	
		P02 増圧ポンプ	増圧ポンプ	
		P08 雨水排水ポンプ	雨水排水ポンプ	
		P09 プール制御	プール制御	
		P10 プール濾過	プール濾過	
		P13 RP-2	GHP室外機	
		P041① 1LP-1(1)	冷蔵庫・冷凍庫	
		P041② RP-1	給食室の給排気ファン	
		25 (低圧動力盤No.2 3φ3W 100kVA)	P04 2	器具消毒保管機
	P05 1LP-1(3)		スチームコンベクション他	
	P06 1LP-1(4)		スチームコンベクション他	
	P07 1LP-1(5)		消毒保管庫・食器食缶トレイ洗浄機	
	P12 RP-1		GHP室外機、排気ファン	
	P15 UPS(1L-3へ・職員室)			
	26 (PR-1)		FE3 排気ファン	トイレ排気ファン
		FE4 排気ファン	トイレ排気ファン	
		FE5 排気ファン	トイレ排気ファン	
		FE6 排気ファン	トイレ排気ファン	
		FE7 排気ファン	トイレ排気ファン	
		FE8 排気ファン	トイレ排気ファン	
		FE9 排気ファン	トイレ排気ファン	
		FE10 排気ファン	トイレ排気ファン	
		27 (3L-2)	5 普通教室(7) 電灯	3-4・3-3照明 電灯
			6 普通教室(8) 電灯	普通教室3-3 電灯
	② 普通教室(7)(8) 空調換気		普通教室3-4・3-3 空調	
	② 普通教室(7)(8) 換気		普通教室3-4・3-3 換気	
	⑤ 普通教室(7)コンセント1		普通教室3-4コンセント1	
	⑥ 普通教室(7)コンセント2		普通教室3-4コンセント2	
	⑦ 普通教室(8)コンセント1		普通教室3-3コンセント1	
	⑧ 普通教室(8)コンセント2		普通教室3-3コンセント2	
	28 (4L-2)	5 普通教室(7) 電灯	普通教室5-4 電灯	
		6 普通教室(8) 電灯	普通教室5-3 電灯	
② 普通教室(7)(8) 空調換気		普通教室5-4・5-3 空調		
② 普通教室(7)(8) 換気		普通教室5-4・5-3 換気		
⑤ 普通教室(7)コンセント1		普通教室5-4コンセント1		
⑥ 普通教室(7)コンセント2		普通教室5-4コンセント2		
⑦ 普通教室(8)コンセント1		普通教室5-3コンセント1		
⑧ 普通教室(8)コンセント2		普通教室5-3コンセント2		
電力（発電）		太陽光発電発電量	職員室	
ガス		ガス GHP	一般系統ガス	
		ガス 一般	調理室系統ガス	
		ガス 厨房	空調系統ガス	

2.2.2 集中実測

表 2-5 に集中実測項目を示す。長期実測期間中の 6 日間、定期的にエアコン・全熱交換器設定状況の 1 日調査を行った。中間期である 2019 年 10 月 3 日には、自然換気実施状況や室内の臭気を調査するために、窓・扉開放面積、在室人数の調査、教室内の臭気評価に関する調査も実施した。2020 年 1 月 6 日と 2 月 12 日には、全熱交換器の運用状況を確認する目的で、フィルター等の清掃状況の確認及びメンテナンス作業を行った。

表 2-5 集中実測項目

日時	実測項目
2019年8月8日	エアコン・全熱交換器設定状況
2019年10月3日	エアコン・全熱交換器設定状況、窓・扉解放面積、在室人数、臭気評価
2019年11月25日	エアコン・全熱交換器設定状況
2020年1月6日	エアコン・全熱交換器設定状況、全熱交換器メンテナンス
2020年2月12日	エアコン・全熱交換器設定状況、全熱交換器メンテナンス
2020年2月26日	エアコン・全熱交換器設定状況

3 長期実測結果

3.1 エネルギー測定概要

本節では、2019年6月28日から2020年2月26日にかけて行った一次エネルギー消費量実測調査の結果を示す。対象校において、どのような用途（照明・コンセント・冷暖房・給食等）にエネルギーが使用されているかを把握することを目的に、キュービクルやガスメーターにセンサーを設置し、電力やガス使用量を測定した。

表3-1に一次エネルギー消費量の測定点と凡例（測定対象教室）を示す。物理環境の測定を行った3-4教室、5-4教室の2教室における電力消費量内訳を詳細に調査することを目的に、電灯、換気、空調、コンセントの消費電力量を測定した。各々の教室に関して、電灯、コンセントについては、1教室あたりの消費電力量を測定した。一方で換気、空調については、隣り合う2教室分（3-4教室および3-3教室、5-4教室および5-3教室）の合計消費電力量を測定し、0.5倍することによって1教室あたりの消費電力量を概算した。

表3-2に一次エネルギー消費量の測定点と凡例（建物全体）を示す。学校全体のエネルギー消費の傾向を把握することを目的に、学校全体のガス消費量に関して、空調系統ガス、調理室系統ガス、一般系統ガスに分類して測定した。また、学校全体の電力消費量に関して、トイレファン、雨水排水ポンプ、増圧ポンプ、エレベーター、職員室、その他教室コンセント、給食室調理、給食室床暖、給食室ファン、給食室機器、GHP、教室、プールに大きく分類して測定した。

なお、一次エネルギー換算する際の変換係数は、ガスについては45 [MJ/m³]、電力については9.76 [MJ/kWh]とした。

表 3-1 一次エネルギー消費量の測定点と凡例（測定対象教室）

資源	学年	凡例名称	測定点名称		ユニット番号	
電力	3年生	3-4電灯	普通教室(7) 電灯	普通教室3-4 電灯	27	u0
		-	普通教室(8) 電灯	普通教室3-3 電灯	27	u0
		3-4換気（半分計算）	普通教室(7)(8) 換気	普通教室3-4・3-3 換気	27	u1
		3-4空調（半分計算）	普通教室(7)(8) 空調	普通教室3-4・3-3 空調	27	u1
		3-4コンセント	普通教室(7)コンセント1	普通教室3-4コンセント1	27	u2
		-	普通教室(7)コンセント2	普通教室3-4コンセント2	27	u2
		-	普通教室(8)コンセント1	普通教室3-3コンセント1	27	u3
	-	普通教室(8)コンセント2	普通教室3-3コンセント2	27	u3	
	5年生	5-4電灯	普通教室(7) 電灯	普通教室5-4 電灯	28	u0
		-	普通教室(8) 電灯	普通教室5-3 電灯	28	u0
		5-4換気（半分計算）	普通教室(7)(8) 換気	普通教室5-4・5-3 換気	28	u1
		5-4空調（半分計算）	普通教室(7)(8) 空調	普通教室5-4・5-3 空調	28	u1
		5-4コンセント	普通教室(7)コンセント1	普通教室5-4コンセント1	28	u2
		-	普通教室(7)コンセント2	普通教室5-4コンセント2	28	u2
-		普通教室(8)コンセント1	普通教室5-3コンセント1	28	u3	
-	普通教室(8)コンセント2	普通教室5-3コンセント2	28	u3		

表 3-2 一次エネルギー消費量の測定点と凡例（建物全体）

資源	凡例名称		測定点名称	ユニット番号
ガス	空調系統ガス	-	空調系統ガス	-
	調理室系統ガス	-	調理室系統ガス	-
	一般系統ガス	-	一般系統ガス	-
電力	トイレファン	排気ファン	トイレ排気ファン1	26 u0
		排気ファン	トイレ排気ファン2	26 u1
		排気ファン	トイレ排気ファン3	26 u2
		排気ファン	トイレ排気ファン4	26 u3
		排気ファン	トイレ排気ファン5	26 u4
		排気ファン	トイレ排気ファン6	26 u5
		排気ファン	トイレ排気ファン7	26 u6
		排気ファン	トイレ排気ファン8	26 u7
	雨水排水ポンプ	雨水排水ポンプ	雨水排水ポンプ	24 u2
	増圧ポンプ	増圧ポンプ	増圧ポンプ	24 u1
	エレベーター	EV制御	EV制御	24 u0
	職員室	UPS(1L-3へ・職員室)	1F職員室等(UPSより)	25 u7
	その他教室コンセント	1L-4	家庭科室の調理台・コンセント	21 u4
		2L-4	理科室コンセント	23 u1
		2L-3	コンピューター室・図書室のコンセント	23 u0
		体育館分電盤	体育館の照明：・コンセント	22 u1
	給食室調理	1 LP-1	給食	22 u0
	給食室床暖	床暖房制御盤	給食室の床暖房	21 u5
	給食室ファン	RP-1	給食室の給排気ファン	25 u1
	給食室機器	1LP-1(1)	冷蔵庫・冷凍庫	25 u0
		1LP-1(2)	給食室 器具消毒保管機	25 u2
		1LP-1(3)	給食室 スチームコンベクション他	25 u3
		1LP-1(4)	給食室 冷蔵庫等	25 u4
		1LP-1(5)	給食室 消毒保管庫・食器食缶トレイ洗浄機	25 u5
	GHP	RP-2	GHP室外機	24 u5
		RP-1	GHP室外機、排気ファン	25 u6
	教室	2L-1	2F西側_照明・コンセント・空調室内機・換気	22 u2
		2L-2	2F東側_照明・コンセント・空調室内機・換気	22 u3
		3L-1	3F西側_照明・コンセント・空調室内機・換気	23 u2
		3L-2	3F東側_照明・コンセント・空調室内機・換気	23 u3
		4L-1	4F西側_照明・コンセント・空調室内機・換気	23 u4
		4L-2	4F東側_照明・コンセント・空調室内機・換気	23 u5
		1L-1	1F西側_照明・コンセント・空調室内機・換気	21 u1
1L-2(1)		1F東側特別教室_照明・コンセント・空調室内機・換気	21 u2	
1L-2(2)		1F東側管理諸室等_照明・コンセント・空調室内機・換気	21 u3	
プール	プール制御	プール制御	24 u3	
	プール濾過	プール濾過	24 u4	

3.1.1 建物全体

(1) 月別一次エネルギー消費量

図 3-1 に建物全体の月別一次エネルギー消費量を示す。図では休日を含めた各月の一次エネルギー消費量を示した。なお、2019 年 7 月～2020 年 1 月については 1 日から月末日まで、2 月については 1 日から 25 日までのエネルギー消費量を示した。

2019 年 7 月から 2020 年 2 月にかけての 8 か月間において、一次エネルギー消費量が最も大きかったのは 9 月であった。これは夏季に空調系統ガスの消費が大きく、さらに同じく夏季の 7 月、8 月は夏休み期間（7 月 20 日～8 月 22 日）を挟んでおり、9 月の授業日数が 7 月、8 月と比較して多かったためだと考えられる。実測期間を通して、教室の一次エネルギー消費量が大きかった。一方で、長期休みを挟む 7 月、8 月、12 月、1 月においては、教室の一次エネルギー消費量は比較的小さく、教室における一次エネルギー消費量は授業の有無により左右されることがわかった。

夏季（6 月～8 月）において、空調系統ガス、教室、プールの一次エネルギー消費量が大きかった。特に空調系統ガスの一次エネルギー消費量は夏季において著しく大きく、9 月においては全体の約 37%（271 GJ）を占めた。プールの一次エネルギー消費量は 3 か月間一定であった。

中間期（9 月～11 月）において、教室、空調系統ガス、調理室系統ガス、給食室床暖の一次エネルギー消費量が大きかった。一方で、夏季と比較すると空調系統ガスの消費は 2 分の 1～4 分の 1 程度まで減少した。

冬季（12 月～2 月）において、教室、空調系統ガス、調理室系統ガス、給食室床暖の一次エネルギー消費量が大きかった。中間期と比較すると空調系統ガスが占める割合がやや増加した。

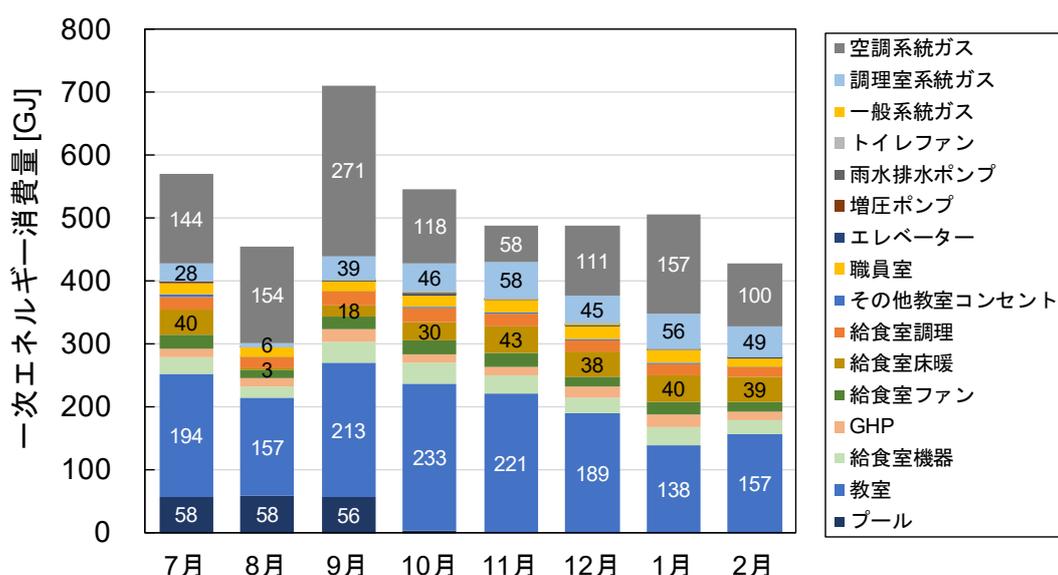


図 3-1 建物全体の月別一次エネルギー消費量

(2) 日別一次エネルギー消費量

図 3-2 に建物全体の日別一次エネルギー消費量を示す。図中の赤色の折れ線は各日の最高気温（実測値）を示しており、夏休み期間（7月20日～8月22日）および冬休み期間（2019年12月26日～2020年1月6日）を灰色の網掛けで示した。また、冬休み期間については停電により教室の一次エネルギー消費量が著しく小さく、夏休み期間と比較すると冬休み期間における一次エネルギー消費量は3分の1程度であった。

夏休み期間中や土日など授業が行われていない休日と授業が行われている平日を比較すると、休日でも平日の半分程度のエネルギーが消費されていることがわかった。特に教室の電力消費量は平日と休日とで大きな差がない。これは24時間換気を実施している影響であると推定される。

夏季、冬季と比較すると、中間期は各日の一次エネルギー消費量が小さかった。これは空調システムガスによる消費が小さいためであると考えられる。

学校用途の ZEB 化を達成する上で非授業期間の一次エネルギー消費量を低減させることは重要であることが示唆された。さらに、実測期間中に偶発的に発生した停電により、停電が非授業期間の一次エネルギー消費量を著しく低減させることがわかった。したがって、長期休みに計画的に停電を行うなど、非授業期間における工夫の有用性が示唆された。

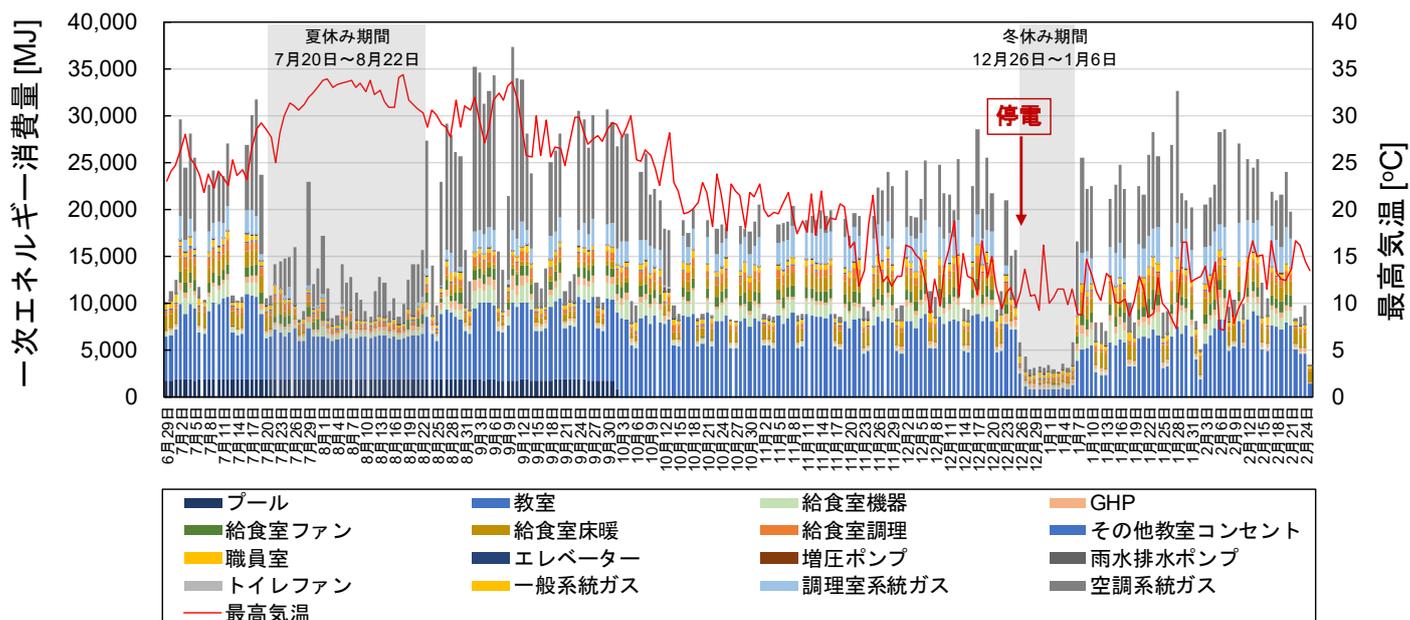


図 3-2 建物全体の日別一次エネルギー消費

3.1.2 対象教室

図 3-3 に測定対象教室の日別一次エネルギー消費量（電力のみ）を示す。3-4 教室に関して、1 月 6 日に全熱交換器のメンテナンス（フィルターおよびエレメントの清掃）を行った。メンテナンス内容の詳細については第 4 章で述べる。両教室ともに、教室内の消費電力は換気が占める割合が非常に大きく、2 番目に大きいのは電灯であった。

換気によるエネルギー消費に関して、3-4 教室は概ね一定である一方で、5-4 教室はばらつきが大きかった。また、両教室ともに停電期間明けは変動が大きかった。停電期間明けについては、教頭先生から全教室の担任教師に向けて「在室時は換気を積極的に行うように」という旨の指示があったことがわかっており、担任教師が積極的に換気モードを使い分けていたことにより換気による消費電力にばらつきが生じた可能性がある。3-4 教室に関して、全熱交換器のメンテナンス（1 月 6 日）前後における換気消費電力を比較すると、メンテナンス後の方が大きかった。

なお、各教室に設置されている全熱交換器（三菱電機：LGH-N65RX（50 Hz））を 24 時間換気モード（「微弱」運転）で 1 日運転した場合、1 教室の換気消費電力は以下の式で算出される。

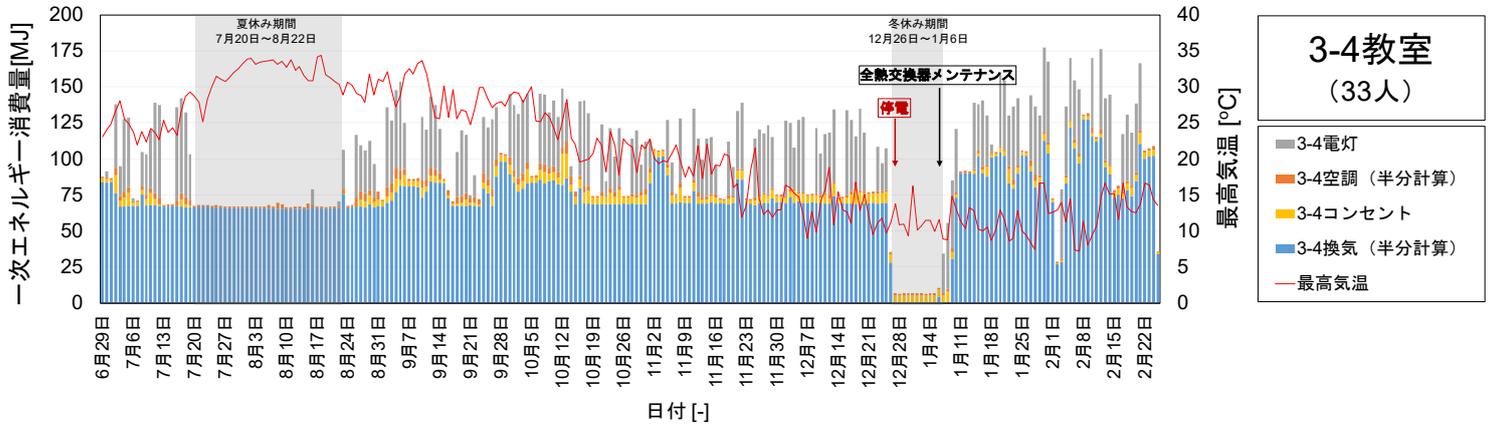
$$0.15 \text{ [kW/台]} \times 2 \text{ [台]} \times 24 \text{ [h]} \times 9.76 \text{ [MJ/kWh]} = 70.3 \text{ [MJ]}$$

これは停電前（7 月～11 月）の 3-4 教室における 1 日の換気消費電力量（70 MJ 程度）と一致するため、停電前の 3-4 教室では、全熱交換器が概ね 24 時間換気モードで運用されていたことがわかった。また、5-4 教室では夏休み期間中は換気によって 100 MJ 程度消費している一方で夏休み明け数週間は 70 MJ 程度の範囲に収まっていることから、夏休み期間中は在室モードで運転していた一方で夏休み明けには 24 時間換気モードに切り替えるという、非合理的な換気設備の運用が行われていたことがわかった。学校用途の ZEB 化を達成する上で、換気については、ソフト面における運用改善が重要であることが示唆された。

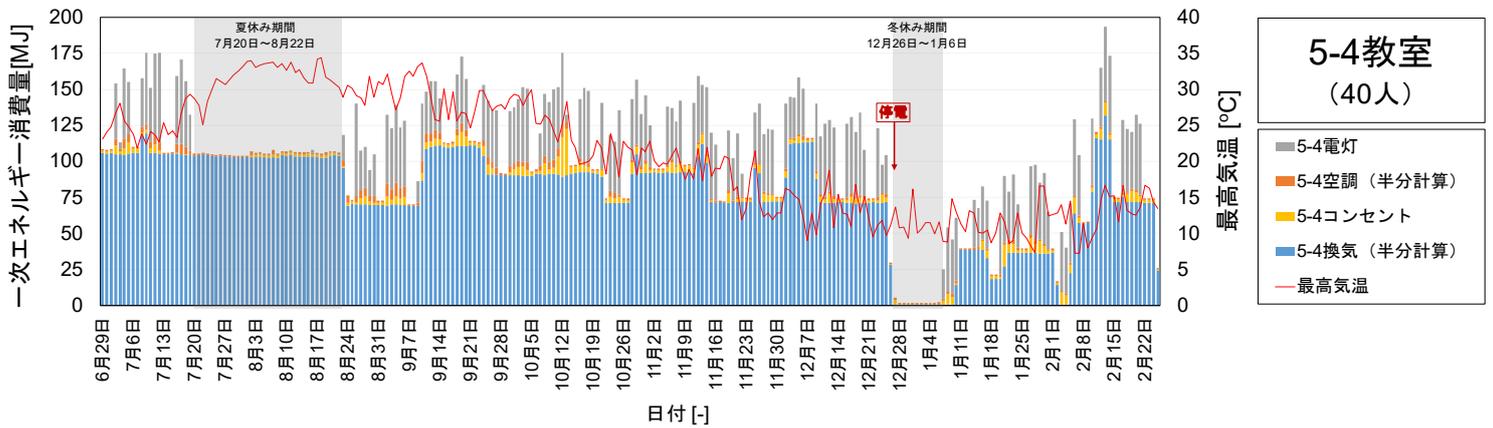
電灯によるエネルギー消費に関して、休日は概ね 0 に等しく、平日は 30～50 MJ 程度と、休日と平日の差が大きかった。実測期間中の対象校では、児童非在室時において、空調の消し忘れと比較すると電灯の消し忘れは非常に少なく、電灯は概ね適切に使用されていた。したがって、ソフト面の対応によって電灯消費電力を低減させることは難しく、機器改良などハード面の対応が必要だと考えられる。

コンセントによるエネルギー消費に関して、実測期間を通して概ね一定であった。ただし、両教室において 10 月 12 日、13 日におけるコンセント消費電力が著しく大きかった。10 月 12 日、13 日は土日であり、要因は不明である。

空調によるエネルギー消費に関して、GHP ガス分は含まれていないため非常に小さく、実測期間を通して概ね一定であった。



(a) 3-4 教室



(b) 5-4 教室

図 3-3 測定対象教室の日別一次エネルギー消費量 (電力のみ)

3.1.3 代表日一次エネルギー消費量

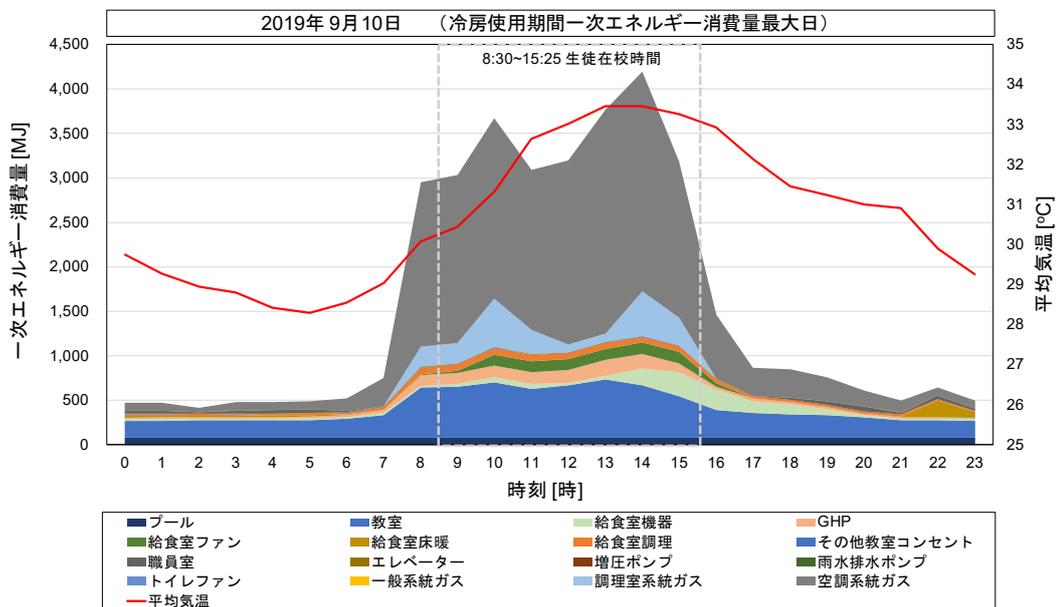
(1) 建物全体

図 3-4 に代表日建物全体一次エネルギー消費量を示す。代表日として、測定期間（2019 年 6 月 28 日～2020 年 2 月 26 日）における冷房使用期間中最も建物全体一次エネルギー消費量が大きかった (a) 2019 年 9 月 10 日、および暖房使用期間中最も建物全体一次エネルギー消費量が大きかった 2020 年 1 月 28 日を選定した。図中の赤色の折れ線は各時間の平均気温（実測値）を示している。

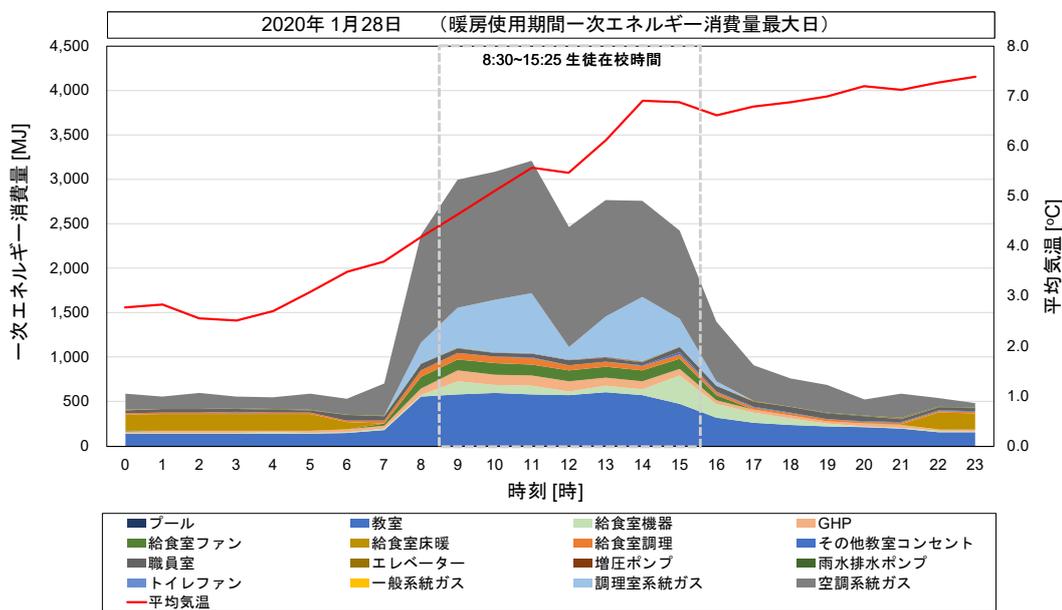
両日ともに生徒が在籍する 8:30~15:25 において教室・空調系統ガス・調理室系統ガスが顕著に増加していた。空調系統ガスについて、冷房使用期間の 2019 年 9 月 10 日においては気温が高くなる午後に一次エネルギー消費量が増加した。一方で、暖房使用期間の 2020 年 1 月 28 日においては気温の低い午前に一次エネルギー消費量が大きかった。また、暖房使用期間と比較して冷房使用期間の方が空調系統ガスの一次エネルギー消費量が大きかった。

学校へのヒアリングにより、「移動教室中の空調電源に関しては基本的には停止していると思われるが、強制はされておらず、忘れる場合も多い。」ということがわかっている。在校時間であっても、移動教室中の空調電源のオフを徹底するなどして、空調系統ガスによる一次エネルギー消費量を削減する必要があると考えられる。

在校時間外においては、教室において一定量の一次エネルギーが消費されていた。また、暖房使用期間においては在校時間外に給食室床暖による一次エネルギー消費量が大きかった。



(a) 2019年9月10日 (冷房使用期間一次エネルギー消費量最大日)



(b) 2020年1月28日 (暖房使用期間一次エネルギー消費量最大日)

図 3-4 代表日建物全体一次エネルギー消費量

(2) 対象教室

図 3-5 に代表日対象教室一次エネルギー消費量を示す。代表日として、(1) 建物全体で選定した (a) 2019 年 9 月 10 日、および 2020 年 1 月 28 日に加え、測定期間中 (2019 年 6 月 28 日～2020 年 2 月 26 日) 各教室で最も一次エネルギー消費量が大きかった日である (c) 2020 年 1 月 30 日 (3-4 教室)、(d) 2020 年 2 月 13 日 (5-4 教室)、を選定した。図中の赤色の折れ線は各時間の平均気温 (実測値)、緑色の折れ線は各時間の平均室温 (実測値) を示している。

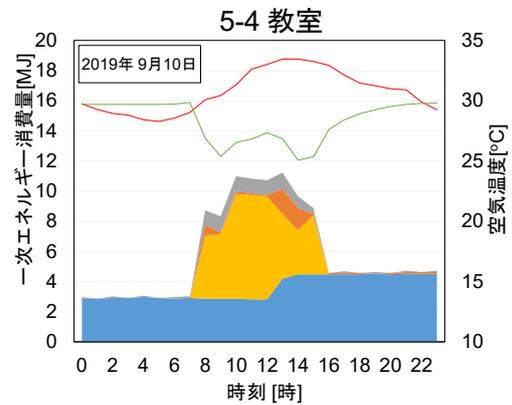
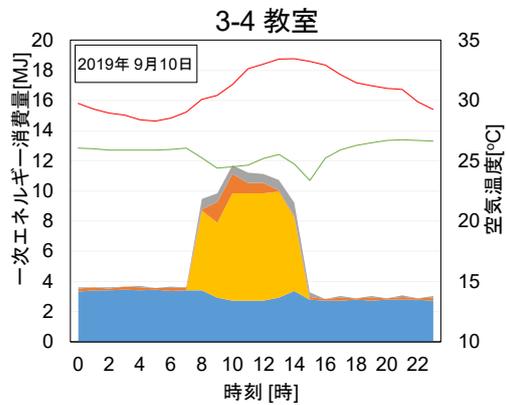
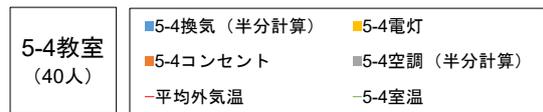
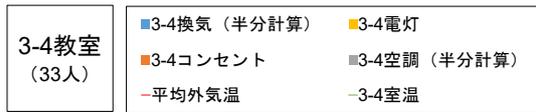
全教室、全日とも生徒在校時間帯においては、電灯が最も一次エネルギーを消費しているが、在校時間以外には消費していないことから下校後の消灯が徹底されていることがわかる。一方で、全熱交換器を 24 時間運用している影響により、一日中換気による一次エネルギーが消費されていることがわかった。

なお、各教室に設置されている全熱交換器 (三菱電機 : LGH-N65RX (50 Hz)) を 1 時間運転した場合、1 教室の換気消費電力は運転モードごとに以下の式で算出される。

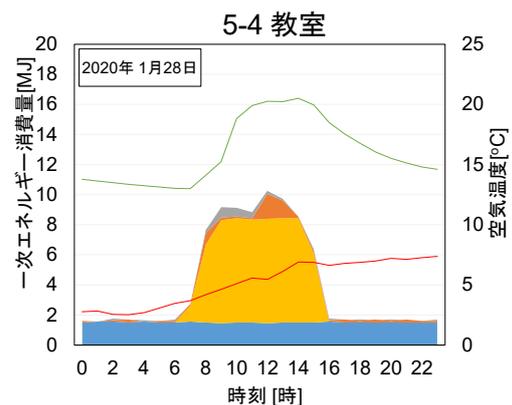
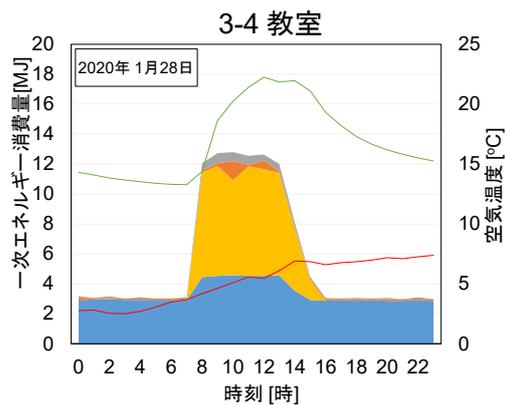
- ・ 在室換気モード 強 $0.355 \text{ [kW/台]} \times 2 \text{ [台]} \times 1 \text{ [h]} \times 9.76 \text{ [MJ/kWh]} = 6.92 \text{ [MJ]}$
- ・ 在室換気モード 弱 $0.280 \text{ [kW/台]} \times 2 \text{ [台]} \times 1 \text{ [h]} \times 9.76 \text{ [MJ/kWh]} = 5.46 \text{ [MJ]}$
- ・ 微弱 (24 換気モード) $0.150 \text{ [kW/台]} \times 2 \text{ [台]} \times 1 \text{ [h]} \times 9.76 \text{ [MJ/kWh]} = 2.92 \text{ [MJ]}$

特に一次エネルギー消費量が大きかった (c) 2020 年 1 月 30 日 (3-4 教室) および (d) 2020 年 2 月 13 日 (5-4 教室) においては 1 時間あたり約 6 MJ 消費されており、一日中在室換気弱～強で運転されていたと考えられる。

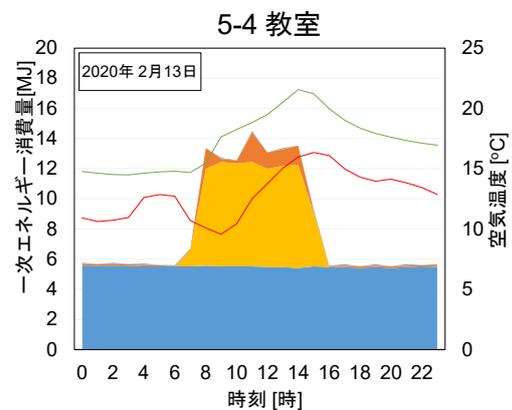
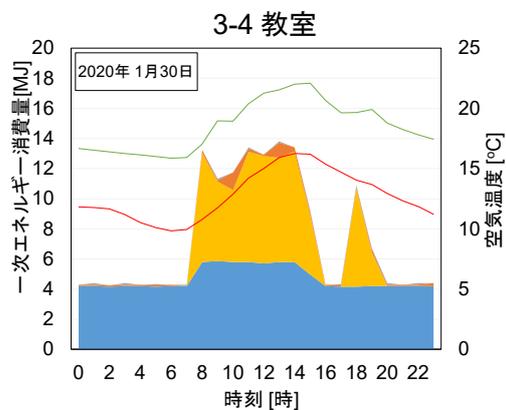
学校へのヒアリングにより、「ロスナイの ON/OFF については、暖冷房に比べて教職員の意識は低い。」ということが分かっている、学校用途の ZEB 化を達成する上で、教職員に対し換気設備の設定について説明することや、在校時間外は集中管理で 24 時間換気システムに切り替えるなどの運用面の工夫が求められる。



(a) 2019年9月10日



(b) 2020年1月28日



(c) 2020年1月30日

(d) 2020年2月13日

図 3-5 代表日建物全体一次エネルギー消費量

3.2 物理環境測定結果

3.2.1 CO₂ 濃度

(1) 長期実測全期間（授業時間帯）における教室内 CO₂ 濃度

図 3-6 に長期実測全期間（授業時間帯）における教室内の CO₂ 濃度の相対度数を示す。2019 年 6 月 28 日～2020 年 2 月 26 日の計 8 か月間の CO₂ 濃度を対象としている。学校環境衛生基準により、通常小学校の基準 CO₂ 濃度は 1500 ppm 以下であるとされるが、本校は延べ床面積が 8000 m²を超えるため特定建築物に該当し、基準値は 1000 ppm 以下となる。基準値の超過頻度は両教室で 60%程度であり、適切に換気がされていない可能性がある。一方で両教室とも概ね 1500 ppm 以下には抑えられているため、換気量の設計を 1500 ppm 基準で行った可能性も考えられる。3-4 教室と比較し 5-4 教室の基準値超過頻度が多い理由として、教室の生徒数が考えられる。3-4 教室では 33 人、5-4 教室では 40 人であるため、5-4 教室の CO₂ 濃度基準値超過頻度が多かったと推測される。なお、停電により全熱交換器が停止していた期間の数値は除外した。

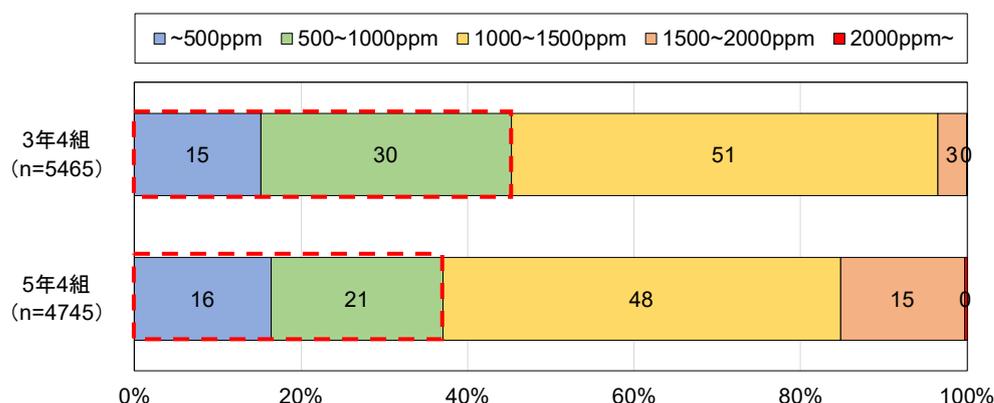


図 3-6 長期実測全期間（授業時間帯）における教室内の CO₂ 濃度の相対度数

(2) 季節ごと（授業時間帯）の教室内空気温度と CO₂ 濃度の関係

図 3-7 に季節ごと（授業時間帯）の教室内空気温度と CO₂ 濃度の関係を示す。12 月 26 日に起きた停電等の影響で、一部全熱交換器が停止していた期間がある。全熱交換器が運転している期間に関しては概ね 2000 ppm 以下に抑えられているものの、運転停止期間は 2000～5000 ppm まで到達している。全熱交換器による換気効果が確認できた。

必要換気量について、ザイデルの式より、CO₂ 濃度を基準値 1000ppm 以下に保つための必要換気量は 3-4 教室では 917 m³/h、5-4 教室では 1103 m³/h と算出される。教室に 2 台設置されている全熱交換機の 1 台あたり風量は在室モード強：650 m³・弱：490 m³であり、在室期間中は在室モード強で運転する必要があると考えられる。

実測期間中は CO₂ 濃度の基準値を超過している場合が多く、適切なモードで運転されていないことや、フィルターのメンテナンス不足により全熱交換器の性能が活かしきれていない可能性が考えられる。

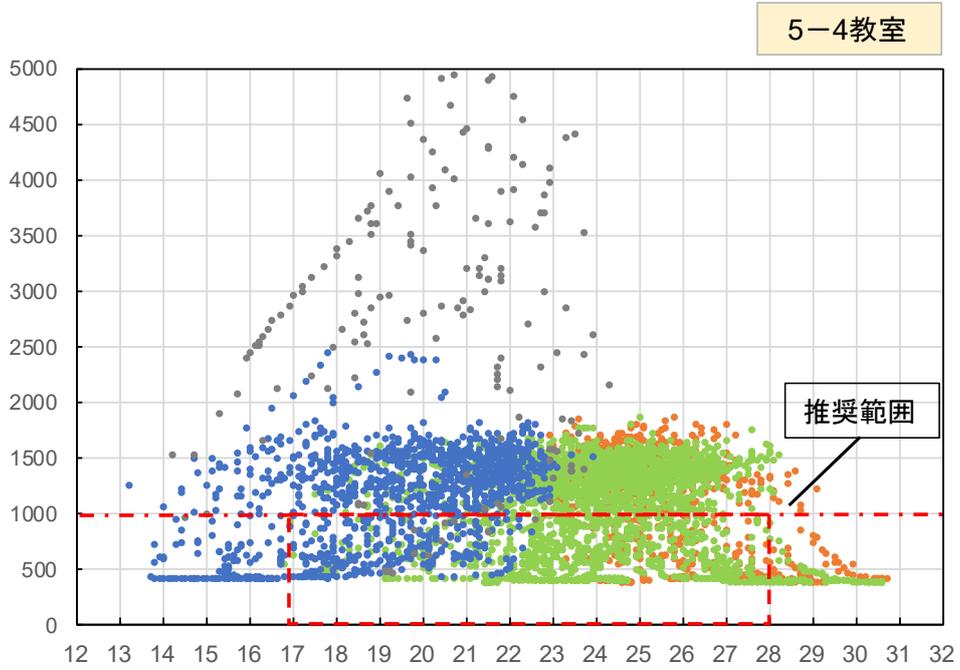
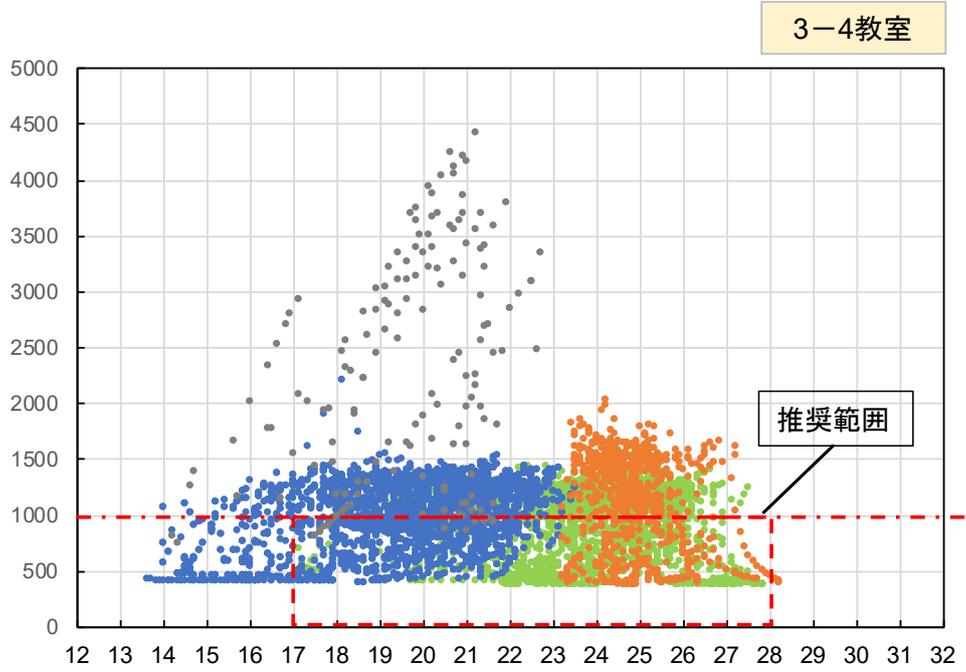


図 3-7 季節ごと（授業時間帯）の教室内空気温度と CO₂ 濃度の関係

(3) 長期実測全期間（授業時間帯）における廊下空気温度と CO₂ 濃度の関係

図 3-8 に長期実測全期間（授業時間帯）における廊下空気温度と CO₂ 濃度の関係を示す。2019 年 6 月 28 日～2020 年 2 月 26 日の計 8 か月間の CO₂ 濃度を対象としている。廊下に関して、3F 廊下と比較して 4F 廊下の教室内空気温度が高い部分（30℃ 付近）があるのは、屋上の日射の影響を 4F 廊下が受けているためだと推測できる。また、12℃～18℃ 付近で CO₂ 濃度基準を超している部分が多くなっているのは、外気が寒く窓を閉め切っていたためだと考えられる。

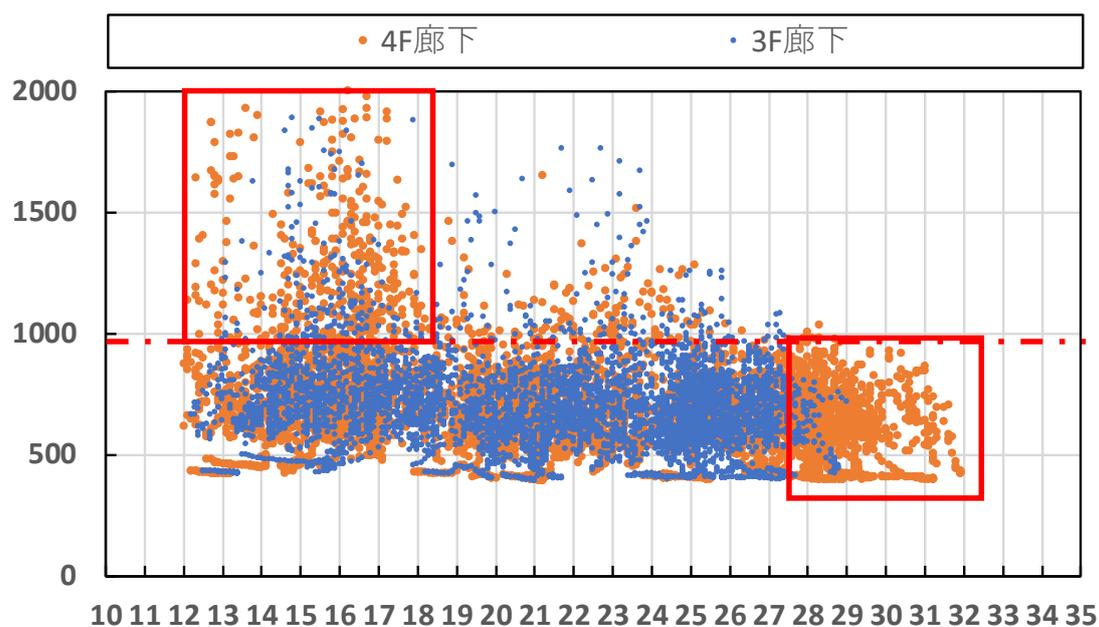


図 3-8 長期実測全期間（授業時間帯）における廊下空気温度と CO₂ 濃度の関係

3.2.2 温湿度

(1) 季節ごと（授業時間帯）の教室内空気温度

図 3-9 に季節ごと（授業時間帯）の教室内空気温度の相対頻度を示す。時期の区分は気象庁が定める夏季（6/1~8/31）、中間期（9/1~11/30）、冬季（12/1~2/28）と分類して相対頻度を算出した。夏季に関して、おおむね 24°C~26°C の範囲に収まっており、良好な温熱環境が保たれていた。5-4 教室では 29°C を超えている部分もあるが、屋上の日射熱が影響していた可能性が考えられる。中間期に関して、おおむね 24°C~26°C の範囲に収まっており、良好な温熱環境が保たれていた。また中間期に関して、24°C 前後であり外気温とおおむね等しくなっていることが確認された。冬季に関して、おおむね 18°C~22°C の範囲に収まっており、夏季と同様に良好な温熱環境が保たれていた。

学校へのヒアリング調査においても夏季の温度ムラや冬季の足元の寒さ、温度分布、結露などの問題はないとの回答を得られており、良好な温熱環境であったと考えられる。

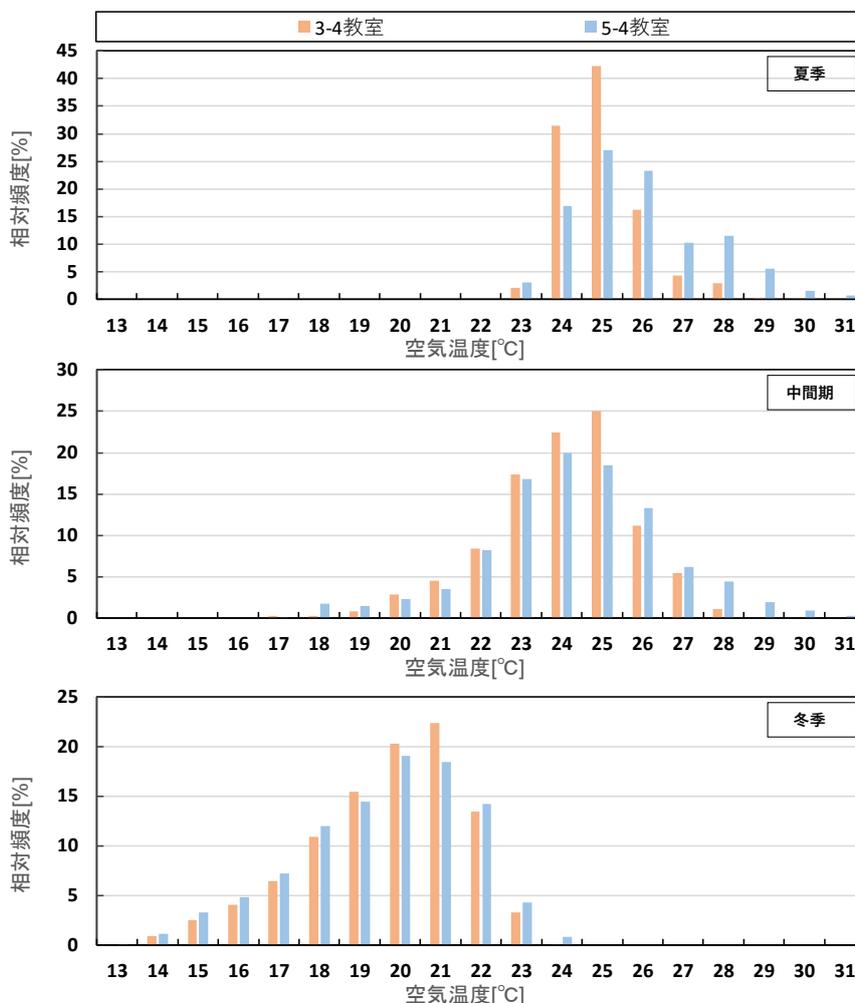


図 3-9 季節ごと（授業時間帯）の教室内空気温度の相対頻度

(2) 季節ごと（授業時間帯）の教室内相対湿度

図 3-10 に季節ごと（授業時間帯）の教室内相対湿度の相対頻度を示す。時期の区分は前述の教室内空気温度と同様として相対頻度を算出した。夏季に関して、建築物衛生法で定められている「40%以上 70%以下」を概ね満たしているが、一部 70%を超過している部分がある。適切な全熱交換器の運用が出来ていない可能性が考えられる。中間期に関して、概ね「40%以上 70%以下」に収まっており、良好な温熱環境が保たれていると考えられる。また、冬季に関して、5-4 教室は概ね「40%以上 70%以下」に収まっており良好な温熱環境が保たれていると推測される一方で、3-4 教室はピークが 35%とやや低い結果となった。加湿器を置くなどして、相対湿度の調整を図る必要があると考えられる。

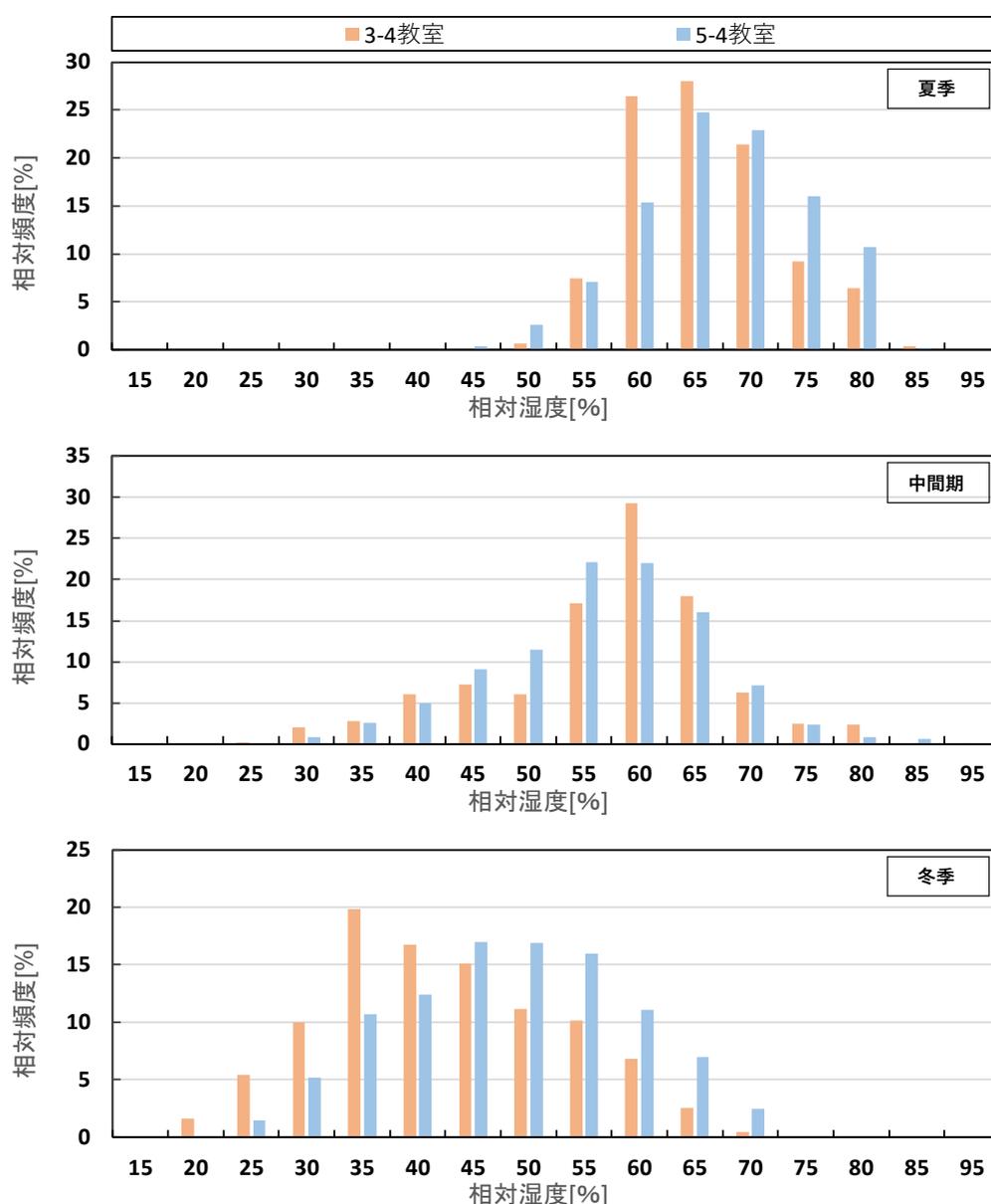


図 3-10 季節ごと（授業時間帯）の教室内相対湿度の相対頻度

4 集中実測結果

4.1 空調設定状況

表 4-1 に空調設定温度、図 4-1 に冷房設定温度割合、図 4-2 に暖房設定温度割合、表 4-2 ~6 に詳細設定情報を示す。夏季の 8/6、秋季の 10/3、11/15、冬季の 1/6、2/12、2/26 において、放課後に空調設定温度の調査を行った。夏季から 11 月の秋期までは概ね冷房が使用されていた。冷房の設定温度について夏季は概ね 23~26°C に設定されており、秋季は 25°C の割合が多かった。暖房設定温度については、24~26°C に設定されている教室が多かった。

表 4-1 空調設定温度

測定日	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	4-1	4-2	4-3	4-4	5-1	5-2	5-3	5-4	6-1	6-2	6-3	6-4
8月8日	18	18	28	25	20	26	18	18	27	23	23	20	26	26	24	25	26	25	24	24	24	26	26	25	23	23	25
10月3日	27	24	25	24	25	26	25	26	25	-	23	25	25	25	23	26	25	25	26	26	25	25	24	25	22	26	26
11月15日	20	26	25	23	24	24	25	26	25	28	22	25	25	25	20	20	25	25	25	27	27	24	24	25	23	25	20
1月6日	22	21	26	26	23	21	24	26	26	22	26	25	25	25	24	20	22	24	26	27	27	24	24	25	23	25	20
2月12日	22	23	24	26	23	21	25	25	25	18	26	24	26	25	21	20	26	25	25	26	24	24	24	24	22	25	22
2月26日	22	26	24	26	24	21	26	25	25	21	26	25	25	25	21	23	26	25	25	26	26	22	23	21	22	24	22

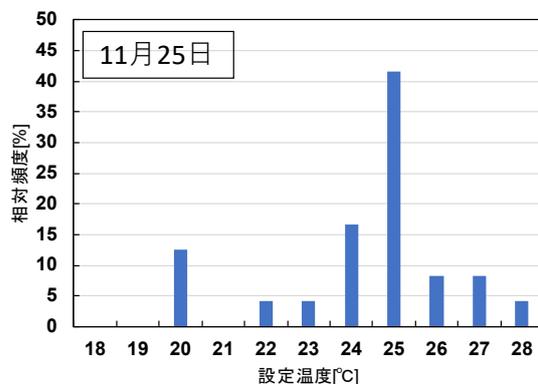
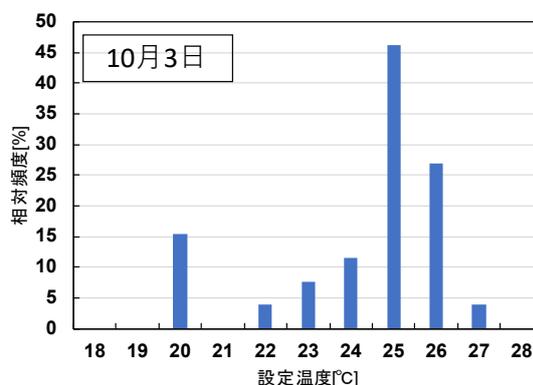
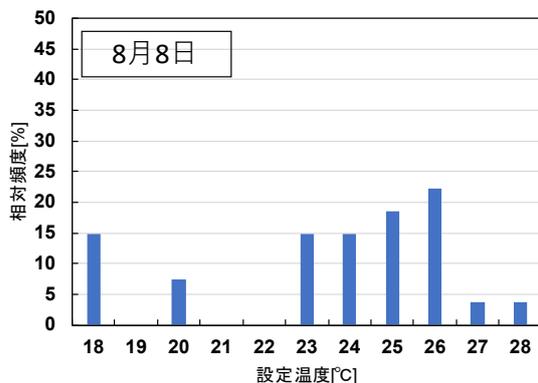


図 4-1 冷房設定温度

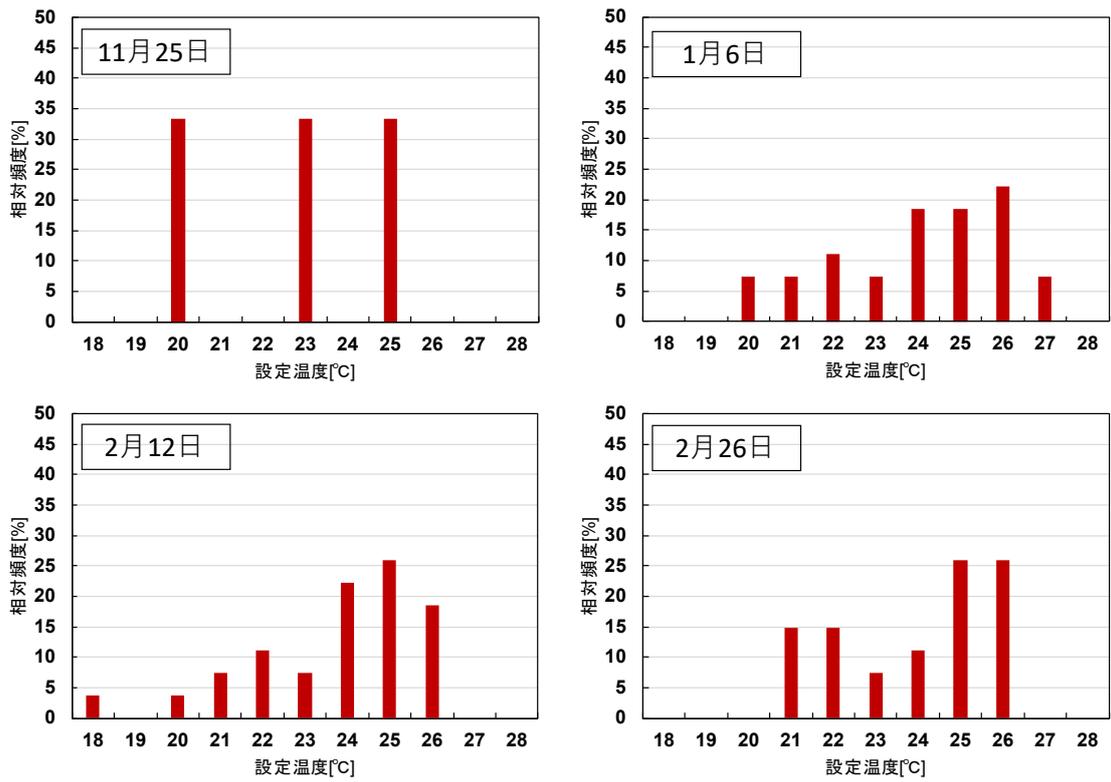


图 4-2 暖房設定温度

表 4-2 8/8 詳細設定情報

2019年8月8日

教室	エアコン			
	設定温度	運転	風量	スイングon/off
1-1	18	冷房	強	on
1-2	18	冷房	急	on
1-3	28	冷房	自動	on
1-4	25	冷房	急	on
1-5	20	冷房	自動	on
八幡B	20	冷房	急	on
八幡C	20	冷房	弱	on
図書館東	26	冷房	急	off
図書館中央	26	冷房	自動	off
図書館西	26	冷房	自動	off
2-1	26	冷房	自動	on
2-2	18	冷房	自動	on
2-3	18	冷房	急	on
2-4	27	冷房	急	on
2-5	23	冷房	急	on
3-1	23	冷房	弱	off
3-2	20	冷房	自動	off
3-3	26	冷房	自動	on
3-4	26	冷房	自動	on
3-5	24	ドライ	弱	on
3F廊下端	23	冷房(省エネ)	自動	on
3F廊下中央	24	冷房(省エネ)	自動	on
4-1	25	冷房	自動	on
4-2	26	冷房	強	on
4-3	25	冷房	自動	on
4-4	24	冷房	急	on
5-1	24	冷房	急	on
5-2	24	冷房	急	on
5-3	26	冷房	急	on
5-4	26	冷房	弱	on
5,6年ホール	22	冷房	自動	on
6-1	25	冷房	強	on
6-2	23	冷房	急	on
6-3	23	冷房	急	off
6-4	25	冷房	急	off

表 4-3 11/25 詳細設定情報

2019年11月25日

教室	エアコン			
	設定温度	運転	風量	スイング on/off
1-1	20	暖房(省エネ)	自動	on
1-2	26	暖房(省エネ)	強	on
1-3	25	ドライ	自動	off
1-4	23	冷房	弱	on
1-5	24	冷房	自動	on
八幡B	未検証	未検証	未検証	未検証
八幡C	未検証	未検証	未検証	未検証
図書館東	未検証	未検証	未検証	未検証
図書館中央	未検証	未検証	未検証	未検証
図書館西	未検証	未検証	未検証	未検証
2-1	24	冷房	自動	on
2-2	25	冷房	自動	on
2-3	26	冷房	自動	on
2-4	25	冷房	弱	on
2-5	28	冷房	自動	on
3-1	22	冷房(省エネ)	自動	off
3-2	25	冷房(省エネ)	急	on
3-3	25	冷房	自動	off
3-4	25	冷房	自動	on
3-5	20	ドライ	自動	on
3F廊下端	未検証	未検証	未検証	未検証
3F廊下中央	未検証	未検証	未検証	未検証
4-1	20	ドライ	自動	on
4-2	25	冷房	強	off
4-3	25	冷房	自動	on
4-4	25	冷房	弱	on
5-1	27	冷房	弱	on
5-2	27	冷房	弱	on
5-3	24	冷房(省エネ)	弱	on
5-4	24	冷房(省エネ)	弱	off
5,6年ホール	未検証	未検証	未検証	未検証
6-1	25	冷房	弱	on
6-2	23	暖房(省エネ)	自動	on
6-3	25	暖房(省エネ)	自動	on
6-4	20	暖房(省エネ)	自動	off

表 4-4 1/6 詳細設定情報

2020年1月6日

教室	エアコン			
	設定温度	運転	風量	スイングon/off
1-1	22	暖房(省エネ)	自動	on
1-2	21	暖房(省エネ)	弱	on
1-3	26	暖房	自動	on
1-4	26	暖房	弱	on
1-5	23	暖房	自動	on
八幡B	未検証	未検証	未検証	未検証
八幡C	未検証	未検証	未検証	未検証
図書館東	未検証	未検証	未検証	未検証
図書館中央	未検証	未検証	未検証	未検証
図書館西	未検証	未検証	未検証	未検証
2-1	21	暖房	弱	on
2-2	24	暖房	自動	on
2-3	26	暖房	自動	on
2-4	26	暖房	強	on
2-5	22	暖房	自動	on
3-1	26	暖房(省エネ)	自動	on
3-2	25	暖房(省エネ)	自動	on
3-3	25	暖房(省エネ)	自動	on
3-4	25	暖房(省エネ)	自動	on
3-5	24	暖房(省エネ)	自動	on
3F廊下端	25	暖房	自動	on
3F廊下中央	25	暖房	自動	off
4-1	20	暖房	急	on
4-2	22	暖房	強	off
4-3	24	暖房	自動	on
4-4	26	暖房	急	on
5-1	27	冷房	弱	on
5-2	27	冷房	弱	on
5-3	24	冷房(省エネ)	弱	on
5-4	24	冷房(省エネ)	弱	off
5,6年ホール	未検証	未検証	未検証	未検証
6-1	25	冷房	弱	on
6-2	23	暖房(省エネ)	自動	on
6-3	25	暖房(省エネ)	自動	on
6-4	20	暖房(省エネ)	自動	off

表 4-5 2/12 詳細設定情報

2020年2月12日

教室	エアコン			
	設定温度	運転	風量	スイングon/off
1-1	22	暖房(省エネ)	自動	on
1-2	23	暖房(省エネ)	弱	on
1-3	24	暖房	自動	on
1-4	26	暖房	自動	on
1-5	23	暖房	強	on
八幡B	未検証	未検証	未検証	未検証
八幡C	未検証	未検証	未検証	未検証
図書館東	未検証	未検証	未検証	未検証
図書館中央	未検証	未検証	未検証	未検証
図書館西	未検証	未検証	未検証	未検証
2-1	21	暖房	弱	on
2-2	25	暖房	自動	on
2-3	25	暖房	自動	on
2-4	25	暖房	急	on
2-5	18	暖房	自動	on
3-1	26	暖房(省エネ)	急	on
3-2	24	暖房(省エネ)	自動	on
3-3	26	暖房(省エネ)	自動	on
3-4	25	暖房(省エネ)	自動	on
3-5	21	暖房(省エネ)	自動	on
3F廊下端	未検証	未検証	未検証	未検証
3F廊下中央	未検証	未検証	未検証	未検証
4-1	20	暖房	急	on
4-2	26	暖房	強	on
4-3	25	暖房	自動	on
4-4	25	暖房	急	on
5-1	26	暖房(省エネ)	強	on
5-2	24	暖房	強	on
5-3	24	暖房	急	on
5-4	24	暖房	弱	on
5,6年ホール	未検証	未検証	未検証	未検証
6-1	24	暖房	強	on
6-2	22	暖房(省エネ)	自動	on
6-3	25	暖房(省エネ)	急	on
6-4	22	暖房(省エネ)	自動	on

表 4-6 2/26 詳細設定情報

2020年2月26日

教室	エアコン			
	設定温度	運転	風量	スイング on/off
1-1	22	暖房(省エネ)	自動	on
1-2	26	暖房(省エネ)	強	on
1-3	24	暖房	自動	on
1-4	26	暖房	自動	on
1-5	24	暖房	自動	on
八幡B	未検証	未検証	未検証	未検証
八幡C	未検証	未検証	未検証	未検証
図書館東	未検証	未検証	未検証	未検証
図書館中央	未検証	未検証	未検証	未検証
図書館西	未検証	未検証	未検証	未検証
2-1	21	暖房	自動	on
2-2	26	暖房	自動	on
2-3	25	暖房	自動	on
2-4	25	暖房	急	on
2-5	21	暖房	自動	on
3-1	26	暖房	急	off
3-2	25	暖房(省エネ)	自動	on
3-3	25	暖房(省エネ)	自動	off
3-4	25	暖房(省エネ)	自動	on
3-5	21	暖房(省エネ)	自動	on
3F廊下端	未検証	未検証	未検証	未検証
3F廊下中央	未検証	未検証	未検証	未検証
4-1	23	暖房(省エネ)	弱	on
4-2	26	暖房	強	on
4-3	25	暖房	自動	on
4-4	25	暖房	急	on
5-1	26	暖房	弱	on
5-2	26	暖房	弱	on
5-3	22	暖房	弱	on
5-4	23	暖房	弱	on
5,6年ホール	未検証	未検証	未検証	未検証
6-1	21	暖房	弱	on
6-2	22	暖房(省エネ)	自動	on
6-3	24	暖房(省エネ)	自動	on
6-4	22	暖房(省エネ)	自動	off

4.2 換気設定状況

図 4-3 に換気設定画面、表 4-7～11 に換気設定情報を示す。夏季の 8/6、秋季の 10/3、11/15、冬季の 1/6、2/12、2/26 において、放課後に換気設定の調査を行った。換気設備は全熱交換器の三菱業務用ロスナイ LGH-N65RX であり、1 教室に 2 台設置されている。換気扇マークの on/off が 24 時間換気の on/off を意味する。24h マークは、運転停止ボタンにより 24 時間換気↔在室換気を切り替えられる設定のことである。

概ね全教室で 24 時間換気を運転していたが、12/26 に停電が起きた影響で冬休み期間 12/26～1/6 前後は運転が停止していた。在室換気設定は自動設定の教室が多く、また頻繁な設定変更はされていない様子であった。

教職員室には「帰る際に 24 時間換気モードに」という旨の張り紙や換気設定集中制御ボタンがあるなど、24 時間換気の必要性を呼び掛けている。

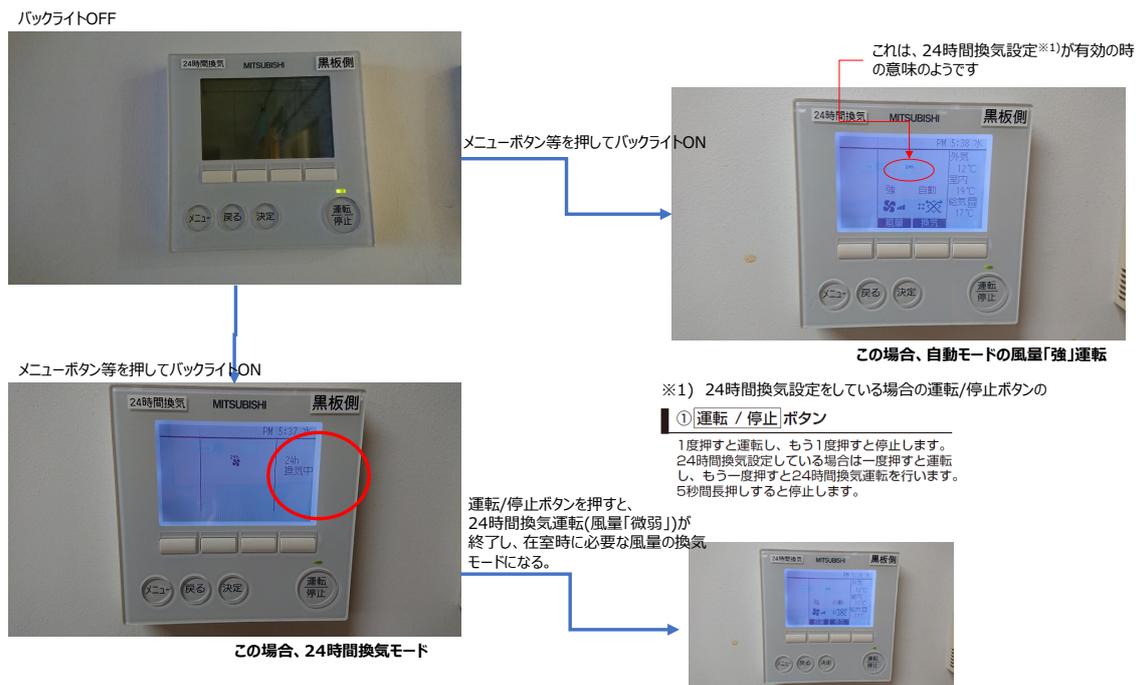


図 4-3 換気設定画面

表 4-7 8/8 換気設定情報

教室		換気								
		バックライトoffで確認した初期設定(8月8日)			運転停止ボタン押しした後確認した設定					
		換気on/off	24時間換気設定 (24hマーク)	24時間換気 (換気扇マーク)	風量	換気状況	外気温度	室内温度	給気温度	
1-1	黒板側	on	on	on	強	自動	34	33	34	
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	34	34	34	
1-2	黒板側	on	on	on	強	自動	32	33	33	
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	34	33	34	
1-3	黒板側	on	on	on	強	自動	34	33	33	
	ロッカー側	on	on	on	強	熱交換	32	34	34	
1-4	黒板側	on	on	on	強	自動	34	33	33	
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	34	34	34	
1-5	黒板側	on	on	on	強	自動	34	34	34	
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	34	34	34	
八幡B	てまえ	on	on	off	強	自動	34	33	33	
	おく	on	on	off	強	自動	34	33	33	
八幡C	てまえ	on	on	on	強	自動	34	33	33	
	おく	on	on	on	強	自動	34	33	33	
図書館	東	on	on	on	微弱	自動	34	34	34	
	中央	on	on	on	微弱	自動	36	34	35	
	西	on	on	on	強	自動	36	34	35	
2-1	黒板側	on	on	on	強	自動	34	34	34	
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	32	34	34	
2-2	黒板側	on	on	on	強	自動	34	34	34	
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	34	34	34	
2-3	黒板側	on	on	on	強	自動	34	33	34	
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	34	33	34	
2-4	黒板側	on	on	on	強	自動	34	34	34	
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	34	34	34	
2-5	黒板側	on	on	on	強	自動	34	34	34	
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	34	34	34	
3-1	黒板側	on	on	on	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	
	ロッカー側	on	on	on	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	
3-2	黒板側	on	on	on	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	
	ロッカー側	on	on	on	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	
3-3	黒板側	on	on	on	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	
	ロッカー側	on	on	on	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	
3-4	黒板側	on	on	on	強	自動	34	29	30	
	ロッカー側	on	on	on	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	
3-5	黒板側	on	on	on	強	自動	34	34	34	
	ロッカー側	on	on	on	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	
4-1	黒板側	on	on	on	強	普通	未検証	未検証	34	
	ロッカー側	on	on	on	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	
4-2	黒板側	on	on	on	強	自動	34	34	34	
	ロッカー側	on	on	on	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	
4-3	黒板側	on	on	on	弱	熱交換	未検証	未検証	未検証	
	ロッカー側	on	on	on	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	
4-4	黒板側	on	on	on	強	自動	34	29	31	
	ロッカー側	on	on	on	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	
5-1	黒板側	on	on	on	微弱	自動	34	35	35	
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	34	35	35	
5-2	黒板側	on	on	on	強	自動	34	34	34	
	ロッカー側	on	on	on	強	熱交換	34	35	35	
5-3	黒板側	on	on	on	強	自動	32	34	34	
	ロッカー側	on	on	on	強	熱交換	34	34	34	
5-4	黒板側	on	on	on	強	自動	34	31	32	
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	34	32	32	
5,6年ホール	てまえ	off	on	off	強	自動	34	36	36	
	おく	on	on	on	強	自動	34	35	35	
6-1	黒板側	on	on	on	強	自動	34	35	35	
	ロッカー側	on	on	on	強	熱交換	34	35	35	
6-2	黒板側	on	on	on	強	熱交換	34	35	35	
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	34	35	35	
6-3	黒板側	on	on	on	強	熱交換	34	35	35	
	ロッカー側	on	on	on	強	熱交換	34	35	35	
6-4	黒板側	on	on	on	強	自動	34	35	35	
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	34	35	35	

表 4-8 11/25 換気設定情報

教室	換気								
	バックライトoffで確認した初期設定(11月25日)				運転停止ボタン押した後確認した設定				
	換気on/off	24時間換気設定 (24hマーク)	24時間換気 (換気扇マーク)	風量	換気状況	外気温度	室内温度	給気温度	
1-1	黒板側	on	on	on	強	自動	21	22	22
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	23	22	22
1-2	黒板側	on	on	on	強	自動	21	22	22
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	21	22	22
1-3	黒板側	on	on	on	強	自動	21	22	22
	ロッカー側	on	on	on	強	熱交換	21	23	22
1-4	黒板側	on	on	on	強	自動	21	22	22
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	22	23	22
1-5	黒板側	on	on	on	強	自動	21	22	22
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	21	22	22
八幡B	てまえ	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
	おく	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
八幡C	てまえ	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
	おく	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
図書館	東	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
	中央	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
	西	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
2-1	黒板側	on	on	on	強	自動	21	21	21
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	21	22	21
2-2	黒板側	on	on	on	強	自動	21	22	22
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	22	22	22
2-3	黒板側	on	on	on	弱	普通	22	-	-
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	22	23	22
2-4	黒板側	on	on	on	強	自動	21	23	22
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	21	23	22
2-5	黒板側	on	on	on	強	自動	21	22	22
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	21	22	22
3-1	黒板側	on	on	on	強	自動	22	21	21
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	22	22	22
3-2	黒板側	on	on	on	強	自動	22	23	23
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	22	23	23
3-3	黒板側	on	on	on	強	自動	22	22	22
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	22	23	23
3-4	黒板側	on	on	on	強	自動	22	23	22
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	22	23	23
3-5	黒板側	on	on	on	微弱	自動	22	22	22
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	22	22	22
3,4年ホール 3年生側	てまえ	on	on	on	強	自動	21	20	20
	おく	on	on	on	強	自動	21	20	20
3,4年ホール 4年生側	てまえ	on	on	on	強	自動	20	20	20
	おく	on	on	on	強	自動	21	20	20
4-1	黒板側	on	on	on	微弱	自動	21	22	22
	ロッカー側	on	on	on	強	普通	22	-	-
4-2	黒板側	on	on	on	強	自動	22	23	23
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	22	23	23
4-3	黒板側	on	on	on	弱	熱交換	21	23	23
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	22	23	23
4-4	黒板側	on	on	on	強	自動	21	22	22
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	21	22	22
5-1	黒板側	on	on	on	微弱	自動	22	22	22
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	21	23	22
5-2	黒板側	on	on	on	強	自動	22	23	22
	ロッカー側	on	on	on	強	熱交換	22	23	23
5-3	黒板側	on	on	off	強	自動	21	22	22
	ロッカー側	on	on	off	強	自動	22	22	22
5-4	黒板側	on	on	on	強	自動	21	22	22
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	22	22	22
5,6年ホール 5年生側	てまえ	on	on	on	弱	自動	20	20	20
	おく	on	on	on	弱	自動	20	20	20
5,6年ホール 6年生側	てまえ	on	on	off	微弱	自動	20	20	20
	おく	on	on	off	微弱	自動	20	20	20
6-1	黒板側	on	on	on	強	熱交換	22	23	23
	ロッカー側	on	on	off	強	熱交換	22	24	23
6-2	黒板側	on	on	on	強	熱交換	22	23	23
	ロッカー側	on	on	on	強	熱交換	22	22	23
6-3	黒板側	on	on	on	強	熱交換	22	23	22
	ロッカー側	on	on	on	強	熱交換	22	23	23
6-4	黒板側	on	on	on	強	自動	21	22	22
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	22	23	22

表 4-9 1/6 換気設定情報

教室	換気								
	24時間換気(1月6日)				設定				
	換気on/off	24時間換気設定 (24hマーク)	24時間換気 (換気扇マーク)	風量	換気状況	外気温度	室内温度	給気温度	
1-1	黒板側	off	未検証	未検証	強	自動	15	14	15
	ロッカー側	off	未検証	未検証	強	自動	15	14	14
1-2	黒板側	off	未検証	未検証	強	自動	15	16	16
	ロッカー側	off	未検証	未検証	強	自動	16	16	16
1-3	黒板側	off	未検証	未検証	強	自動	16	15	15
	ロッカー側	off	未検証	未検証	強	熱交換	16	16	16
1-4	黒板側	off	未検証	未検証	強	自動	15	15	15
	ロッカー側	off	未検証	未検証	強	自動	16	16	16
1-5	黒板側	off	未検証	未検証	強	自動	15	15	15
	ロッカー側	off	未検証	未検証	強	自動	16	16	16
八幡B	てまえ	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
	おく	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
八幡C	てまえ	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
	おく	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
図書館	東	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
	中央	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
	西	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
2-1	黒板側	off	未検証	未検証	強	自動	15	15	15
	ロッカー側	off	未検証	未検証	強	自動	15	16	16
2-2	黒板側	off	未検証	未検証	強	自動	17	16	16
	ロッカー側	off	未検証	未検証	強	自動	17	16	16
2-3	黒板側	off	未検証	未検証	弱	普通	22	-	-
	ロッカー側	off	未検証	未検証	強	自動	17	17	17
2-4	黒板側	off	未検証	未検証	強	自動	17	17	17
	ロッカー側	off	未検証	未検証	強	自動	17	17	17
2-5	黒板側	off	未検証	未検証	強	自動	16	16	16
	ロッカー側	off	未検証	未検証	強	自動	18	17	17
3-1	黒板側	off	未検証	未検証	強	自動	15	15	15
	ロッカー側	off	未検証	未検証	強	自動	15	14	15
3-2	黒板側	off	未検証	未検証	強	自動	15	14	14
	ロッカー側	off	未検証	未検証	強	自動	15	15	15
3-3	黒板側	off	未検証	未検証	強	自動	16	16	16
	ロッカー側	off	未検証	未検証	強	自動	16	15	16
3-4	黒板側	off	未検証	未検証	強	自動	13	18	17
	ロッカー側	off	未検証	未検証	強	自動	13	19	17
3-5	黒板側	off	未検証	未検証	微弱	自動	15	14	14
	ロッカー側	off	未検証	未検証	強	自動	15	14	14
3,4年ホール 3年生側	てまえ	off	未検証	未検証	強	自動	21	20	20
	おく	off	未検証	未検証	強	自動	21	20	20
3,4年ホール 4年生側	てまえ	off	未検証	未検証	強	自動	20	20	20
	おく	off	未検証	未検証	強	自動	21	20	20
4-1	黒板側	off	未検証	未検証	微弱	自動	21	22	22
	ロッカー側	off	未検証	未検証	強	普通	22	-	-
4-2	黒板側	off	未検証	未検証	強	自動	22	23	23
	ロッカー側	off	未検証	未検証	強	自動	22	23	23
4-3	黒板側	off	未検証	未検証	弱	熱交換	21	23	23
	ロッカー側	off	未検証	未検証	強	自動	22	23	23
4-4	黒板側	off	未検証	未検証	強	自動	21	22	22
	ロッカー側	off	未検証	未検証	強	自動	21	22	22
5-1	黒板側	off	未検証	未検証	微弱	自動	22	22	22
	ロッカー側	off	未検証	未検証	強	自動	21	23	22
5-2	黒板側	off	未検証	未検証	強	自動	22	23	22
	ロッカー側	off	未検証	未検証	強	熱交換	22	23	23
5-3	黒板側	off	未検証	未検証	強	自動	21	22	22
	ロッカー側	off	未検証	未検証	強	自動	22	22	22
5-4	黒板側	off	未検証	未検証	強	自動	21	22	22
	ロッカー側	off	未検証	未検証	強	自動	22	22	22
5,6年ホール 5年生側	てまえ	off	未検証	未検証	弱	自動	20	20	20
	おく	off	未検証	未検証	弱	自動	20	20	20
5,6年ホール 6年生側	てまえ	off	未検証	未検証	微弱	自動	20	20	20
	おく	off	未検証	未検証	微弱	自動	20	20	20
6-1	黒板側	off	未検証	未検証	強	熱交換	22	23	23
	ロッカー側	off	未検証	未検証	強	熱交換	22	24	23
6-2	黒板側	off	未検証	未検証	強	熱交換	22	23	23
	ロッカー側	off	未検証	未検証	強	熱交換	22	22	23
6-3	黒板側	off	未検証	未検証	強	熱交換	22	23	22
	ロッカー側	off	未検証	未検証	強	熱交換	22	23	23
6-4	黒板側	off	未検証	未検証	強	自動	21	22	22
	ロッカー側	off	未検証	未検証	強	自動	22	23	22

表 4-10 2/12 換気設定情報

教室		換気							
		24時間換気(2月12日)				設定			
		on/off	24時間換気設定(24hマーク)		24時間換気(換気扇マーク)		風量	換気状況	外気温度
1-1	黒板側	on	未検証	未検証	強	自動	17	19	19
	ロッカー側	on	未検証	未検証	強	自動	17	20	19
1-2	黒板側	on	未検証	未検証	強	自動	16	20	19
	ロッカー側	on	未検証	未検証	強	自動	17	21	19
1-3	黒板側	on	未検証	未検証	強	自動	17	20	19
	ロッカー側	on	未検証	未検証	強	熱交換	17	21	19
1-4	黒板側	on	未検証	未検証	強	自動	17	20	19
	ロッカー側	on	未検証	未検証	強	自動	17	21	20
1-5	黒板側	on	未検証	未検証	強	自動	17	19	19
	ロッカー側	on	未検証	未検証	強	自動	17	19	19
八幡D	てまえ	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
	おく	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
八幡C	てまえ	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
	おく	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
図書館	東	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
	中央	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
	西	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
2-1	黒板側	on	未検証	未検証	強	自動	17	19	19
	ロッカー側	on	未検証	未検証	強	自動	16	20	19
2-2	黒板側	on	未検証	未検証	強	自動	17	19	18
	ロッカー側	on	未検証	未検証	強	自動	17	19	18
2-3	黒板側	on	未検証	未検証	弱	普通	17	-	-
	ロッカー側	on	未検証	未検証	強	自動	17	18	18
2-4	黒板側	on	未検証	未検証	強	自動	17	20	19
	ロッカー側	on	未検証	未検証	強	自動	17	20	19
2-5	黒板側	on	未検証	未検証	強	自動	16	19	18
	ロッカー側	on	未検証	未検証	強	自動	17	19	19
3-1	黒板側	on	未検証	未検証	強	自動	17	19	18
	ロッカー側	on	未検証	未検証	強	自動	17	19	18
3-2	黒板側	on	未検証	未検証	強	自動	17	20	19
	ロッカー側	on	未検証	未検証	強	自動	17	20	19
3-3	黒板側	on	未検証	未検証	強	自動	17	22	20
	ロッカー側	on	未検証	未検証	強	自動	17	22	20
3-4	黒板側	on	未検証	未検証	強	自動	17	20	19
	ロッカー側	on	未検証	未検証	強	自動	17	20	19
3-5	黒板側	on	未検証	未検証	微弱	自動	17	19	18
	ロッカー側	on	未検証	未検証	強	自動	18	18	18
3,4年ホール 3年生側	てまえ	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
	おく	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
3,4年ホール 4年生側	てまえ	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
	おく	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
4-1	黒板側	on	未検証	未検証	微弱	自動	17	22	21
	ロッカー側	on	未検証	未検証	強	普通	17	-	-
4-2	黒板側	on	未検証	未検証	強	自動	17	20	19
	ロッカー側	on	未検証	未検証	強	自動	17	21	20
4-3	黒板側	on	未検証	未検証	弱	熱交換	16	21	20
	ロッカー側	on	未検証	未検証	強	自動	17	22	20
4-4	黒板側	on	未検証	未検証	強	自動	16	18	18
	ロッカー側	on	未検証	未検証	強	自動	17	19	18
5-1	黒板側	on	未検証	未検証	微弱	自動	17	18	18
	ロッカー側	on	未検証	未検証	強	自動	16	18	17
5-2	黒板側	on	未検証	未検証	強	自動	17	23	21
	ロッカー側	on	未検証	未検証	強	熱交換	17	18	18
5-3	黒板側	on	未検証	未検証	強	自動	16	18	18
	ロッカー側	on	未検証	未検証	強	自動	17	19	18
5-4	黒板側	on	未検証	未検証	強	自動	17	17	17
	ロッカー側	on	未検証	未検証	強	自動	16	17	16
5,6年ホール 5年生側	てまえ	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
	おく	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
5,6年ホール 6年生側	てまえ	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
	おく	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
6-1	黒板側	on	未検証	未検証	強	熱交換	16	19	18
	ロッカー側	on	未検証	未検証	強	熱交換	16	19	18
6-2	黒板側	on	未検証	未検証	強	熱交換	16	18	17
	ロッカー側	on	未検証	未検証	強	自動	16	19	18
6-3	黒板側	on	未検証	未検証	強	熱交換	16	17	17
	ロッカー側	on	未検証	未検証	強	熱交換	16	18	17
6-4	黒板側	on	未検証	未検証	強	自動	16	18	17
	ロッカー側	on	未検証	未検証	強	自動	16	18	17

表 4-11 2/26 換気設定情報

教室	換気								
	バックライトoffで確認した初期設定(11月25日)			運転停止ボタン押した後確認した設定					
	換気on/off	24時間換気設定(24hマーク)	24時間換気(換気扇マーク)	風量	換気状況	外気温度	室内温度	給気温度	
1-1	黒板側	on	on	on	強	自動	12	18	16
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	12	18	16
1-2	黒板側	on	on	on	強	自動	21	22	22
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	21	22	22
1-3	黒板側	on	on	off	強	自動	11	17	16
	ロッカー側	on	on	off	強	熱交換	11	18	16
1-4	黒板側	on	on	on	強	自動	12	19	17
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	12	20	17
1-5	黒板側	on	on	on	強	自動	12	17	16
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	11	17	15
八幡B	てまえ	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
	おく	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
八幡C	てまえ	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
	おく	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
図書館	東	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
	中央	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
	西	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
2-1	黒板側	on	on	off	強	自動	12	16	15
	ロッカー側	on	on	off	強	自動	12	16	15
2-2	黒板側	on	on	on	強	自動	12	18	16
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	12	17	16
2-3	黒板側	on	on	on	弱	普通	12	-	-
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	12	18	16
2-4	黒板側	on	on	on	強	自動	12	19	17
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	11	19	16
2-5	黒板側	on	on	on	強	自動	11	18	16
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	12	18	16
3-1	黒板側	on	on	on	強	自動	12	18	16
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	12	17	16
3-2	黒板側	on	on	on	強	自動	12	18	16
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	11	18	16
3-3	黒板側	on	on	off	強	自動	12	17	16
	ロッカー側	on	on	off	強	自動	12	17	15
3-4	黒板側	on	on	on	強	自動	12	17	16
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	12	17	16
3-5	黒板側	on	on	on	微弱	自動	12	17	16
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	11	17	16
3,4年ホール 3年生側	てまえ	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
	おく	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
3,4年ホール 4年生側	てまえ	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
	おく	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
4-1	黒板側	on	on	on	微弱	自動	12	23	20
	ロッカー側	on	on	on	強	普通	12	23	19
4-2	黒板側	on	on	on	強	自動	12	17	16
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	12	17	16
4-3	黒板側	on	on	on	弱	熱交換	11	18	16
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	11	18	16
4-4	黒板側	on	on	on	強	自動	11	18	16
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	11	18	16
5-1	黒板側	on	on	on	微弱	自動	12	17	15
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	11	17	15
5-2	黒板側	on	on	on	強	自動	11	17	15
	ロッカー側	on	on	on	強	熱交換	11	17	15
5-3	黒板側	on	on	on	強	自動	11	16	15
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	11	16	15
5-4	黒板側	on	on	on	強	自動	11	17	15
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	11	17	15
5,6年ホール 5年生側	てまえ	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
	おく	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
5,6年ホール 6年生側	てまえ	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
	おく	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証	未検証
6-1	黒板側	on	on	on	強	熱交換	11	17	15
	ロッカー側	on	on	on	強	熱交換	11	16	15
6-2	黒板側	on	on	off	強	熱交換	11	16	14
	ロッカー側	on	on	off	強	自動	11	16	14
6-3	黒板側	on	on	on	強	熱交換	12	16	15
	ロッカー側	on	on	on	強	熱交換	11	16	15
6-4	黒板側	on	on	on	強	自動	11	17	15
	ロッカー側	on	on	on	強	自動	11	17	15

4.3 全熱交換器メンテナンス

図 4-4 に普通教室設備平面図を示す。普通教室には全熱交換器（三菱業務用ロスナイ LGH-N65RX）が 2 台設置され、図のように給気口、還気口、ダクトが配置されている。全熱交換器それぞれに点検口が設けられ、メンテナンスが可能である。

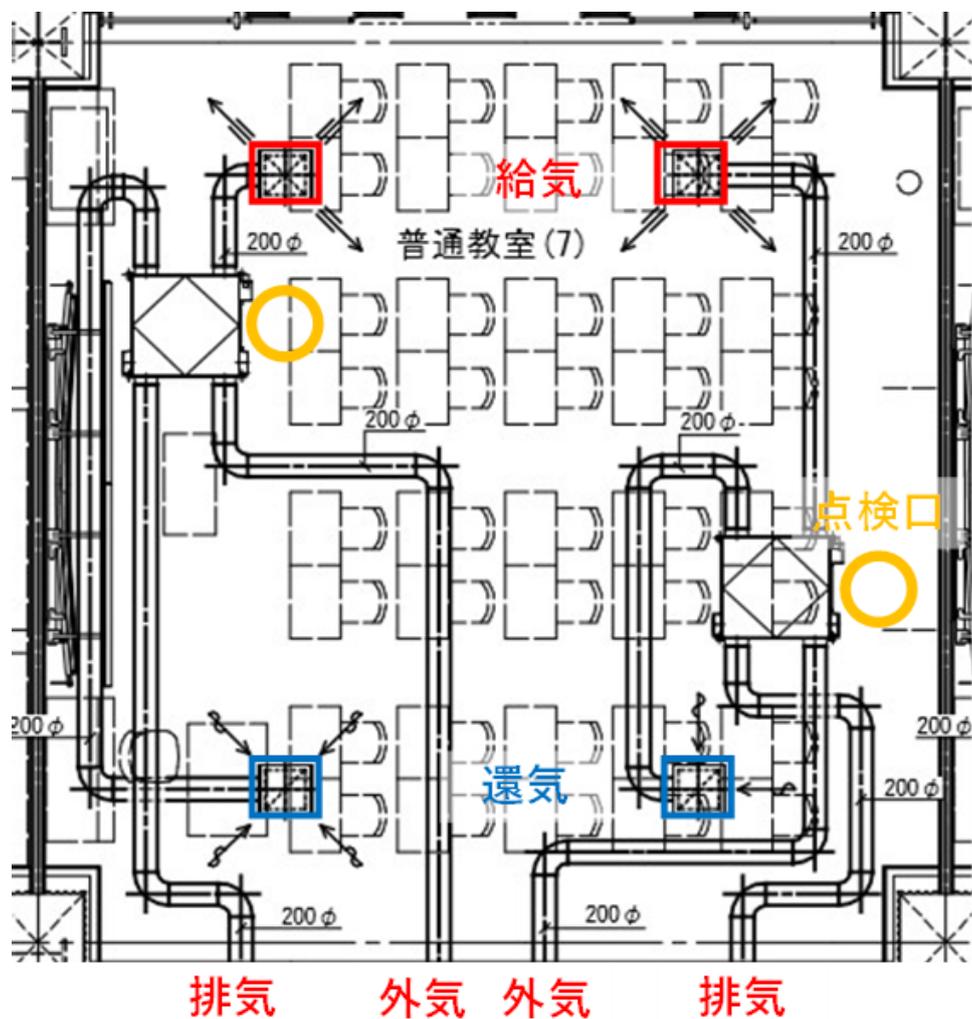


図 4-4 普通教室設備平面図

(1) 全熱交換器メンテナンス状況

図 4-5 に全熱交換器フィルターの状況を示す。CO₂濃度の実測結果において基準値 1000 ppm を超過するケースが多かったため、全熱交換器のメンテナンス不足による能力の低下が予想された。学校へのヒアリングによると、竣工後一度もフィルターの清掃等のメンテナンスはされておらず、約5年間埃や汚れが溜まり続けていたことがわかった。新品のフィルターと比較して室内側は埃、外気側は砂ぼこりや排気ガス等の汚れが蓄積していた

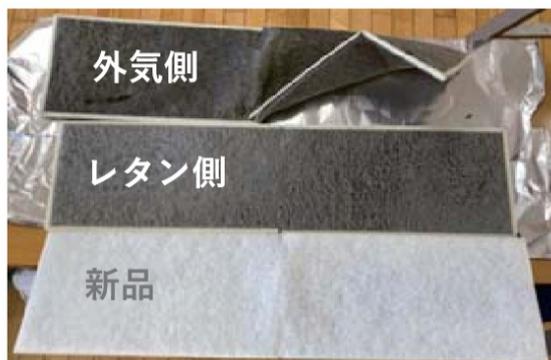


図 4-5 全熱交換器フィルターの状況

(2) 全熱交換器メンテナンス概要

図 4-6 にフィルター清掃の様子を示す。3-4 教室および 5-4 教室の全熱交換器のフィルターを点検口から取り出し、メーカー推奨の清掃方法に従って掃除機による汚れの除去を行った。



図 4-6 フィルター清掃の様子

(3) 清掃前後の ATP+ADP+AMP 量

図 4-7 に清掃前後の ATP+ADP+AMP 量測定値を示す。A3 法を用いた ATP ふき取り検査によって清掃前後の ATP+ADP+AMP 量を測定した。測定値 RLU は ATP+ADP+AMP と試薬が反応して生じた光の量を表し、微生物や体液などによる汚れの指標になる。給気側のエレメントは十分清掃されていると判断できる 800RLU 以下を満たしていたものの、排気側のフィルターに関しては非常に汚れていることがわかった。また、掃除機を用いた清掃によって ATP+ADP+AMP 量が大幅に減少することが確認できた。

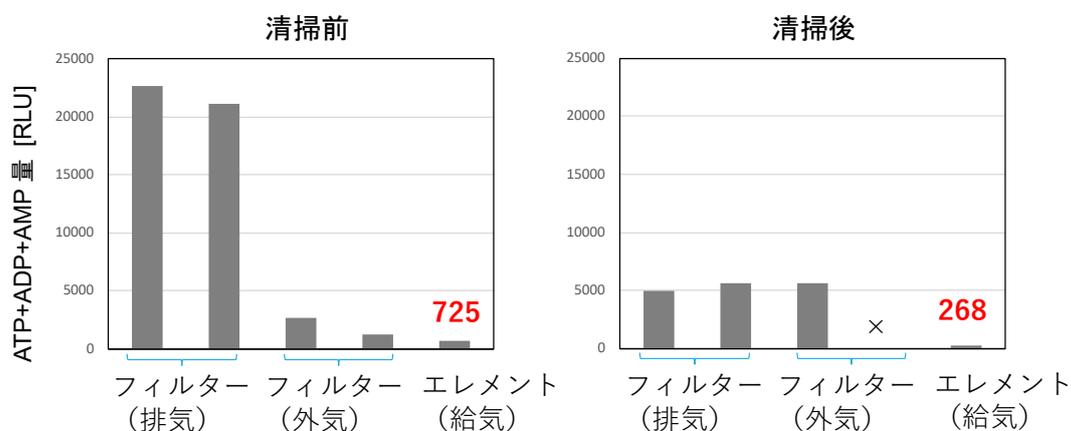
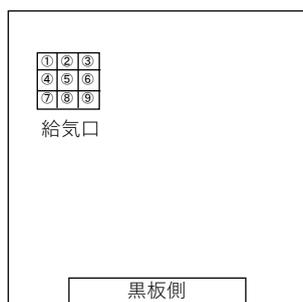


図 4-7 清掃前後の ATP+ADP+AMP 量測定値

(4) 清掃前後の給気口風速

図 4-8 に風速測定、表 4-12 に風速測定結果を示す。フィルター清掃による換気風量改善効果を確認するため、清掃前後の給気口風速を 9 点に分割して計測し、その平均値から算出した。風速は清掃後に平均 0.05 m/s 上昇し 0.65 m/s になった。清掃による換気量の改善が期待できる。



3-4教室平面図

図 4-8 風速測定

表 4-12 風速測定結果

	掃除前	掃除後
①	0.42	0.47
②	0.99	1.24
③	0.63	0.76
④	0.24	0.21
⑤	0.24	0.25
⑥	0.19	0.20
⑦	1.29	1.14
⑧	1.12	1.37
⑨	0.32	0.25
平均	0.60	0.65

m/s

4.4 窓開けおよび空調利用状況

図 4-9 に窓開け状況（10 月 3 日）を示す。窓開けによる自然換気の状態および空調利用状況を調査するため、2019 年 10 月 3 日に目視による窓開け状況および空調利用状況の確認を行った。図 4-9 から、教室の窓扉開放面積率、冷房の On/Off 状況、在室 or 非在室の 3 つの情報を得ることができる。低学年の 6 限目を除外した全 152 コマの内、教室内で授業をしていたのは 121 コマ、教室内に児童がいなかったのが 31 コマであった。また、教室内に児童がいなかった 31 コマのうち、冷房を On にしたままの状態は 23 コマ（約 74%）であり、さらにそのうち窓扉を開けたままの状態は 12 コマ（約 39%）であった。教室を使用していない時に無駄なエネルギー消費が発生している可能性が示された。

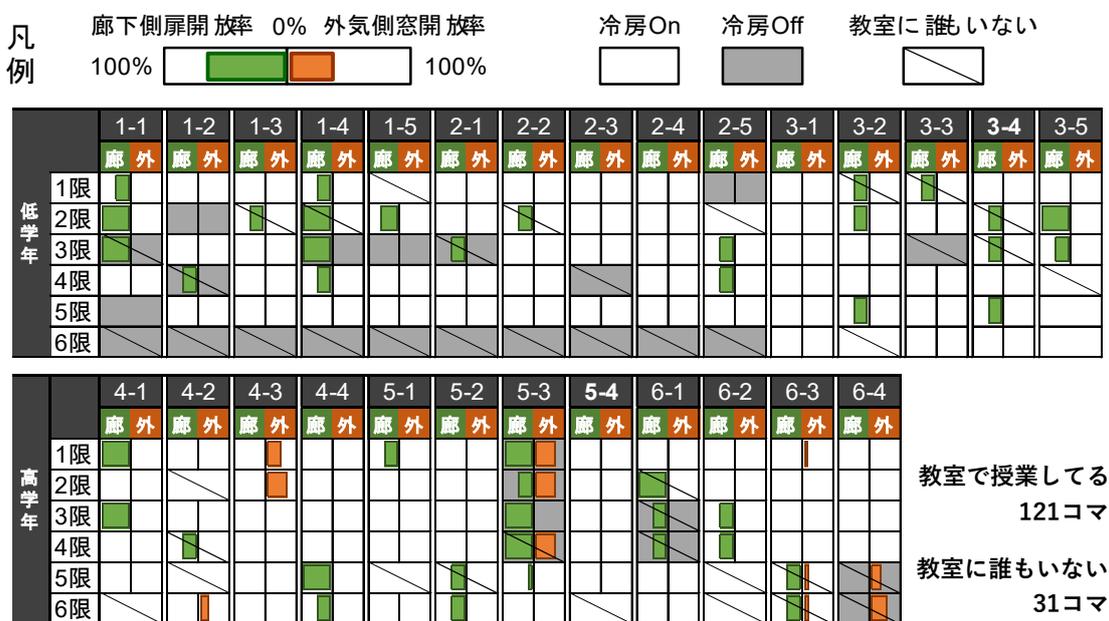


図 4-9 窓開けおよび空調利用状況（10 月 3 日）

4.5 臭気評価

(1) 臭気評価概要

図 4-10 に空気捕集スケジュール、表 4-13 に臭気評価項目を示す。教室内空気の臭気調査を目的として 2019 年 10 月 3 日に 3 年 4 組教室の空気を捕集し臭気官能評価を行った。1 限、4 限の終了間際および放課後に教室内空気を間接採取用吸引ケースを用いてにおい袋に採取した。におい袋は当日中に直射日光を避け本学に運び、パネル 7 名（大学生男子：4 名 女子：3 名）による臭気評価を行った。

国語	体育		理科	算数		国語	音楽	放課後
1限	2限		3限	4限	給食・昼休み	5限	6限	
33人	0人		0人	33人	33人	17人	33人	

} 空気捕集
 } 空気捕集
 } 空気捕集

図 4-10 空気捕集スケジュール

表 4-13 臭気評価項目

1	許容度 (-1: 明らかに受け入れられない ⇄ +1: 明らかに受け入れられる)
2	臭気強度 (0: 無臭 → 5: 耐え難く感じるにおい)
3	臭気快不快度 (-4: 極端に不快 ⇄ +4: 極端に快)
4	空気新鮮度 (-3: とても汚れている ⇄ +3: とても新鮮である)
5	空気乾湿感 (-3: とても乾いている ⇄ +3: とても湿っている)
6	空気温冷感 (-3: とても冷たい ⇄ +3: とても暖かい)
7	自由記述

(2) 臭気評価結果

図 4-11 に臭気評価結果を示す。1 限と比較して 4 限では臭気強度の上昇や許容度の低下傾向がみられ、知覚空気質は悪化していた。また、自由記述において「汗や人間系の臭いがする」という申告があり、人の体臭が臭気に影響していた可能性が高い。

学校へのヒアリングにより、生徒は 2 時間目の後と清掃の後にのみ休み時間があるため、体育の授業の後直ぐに着替えるとは限らないことや、体育着は週に一度金曜日に持ち帰るということがわかった。知覚空気質の悪化は、2 限に行われた体育時の発汗に伴う体操着からの臭気が原因であった可能性が考えられる。

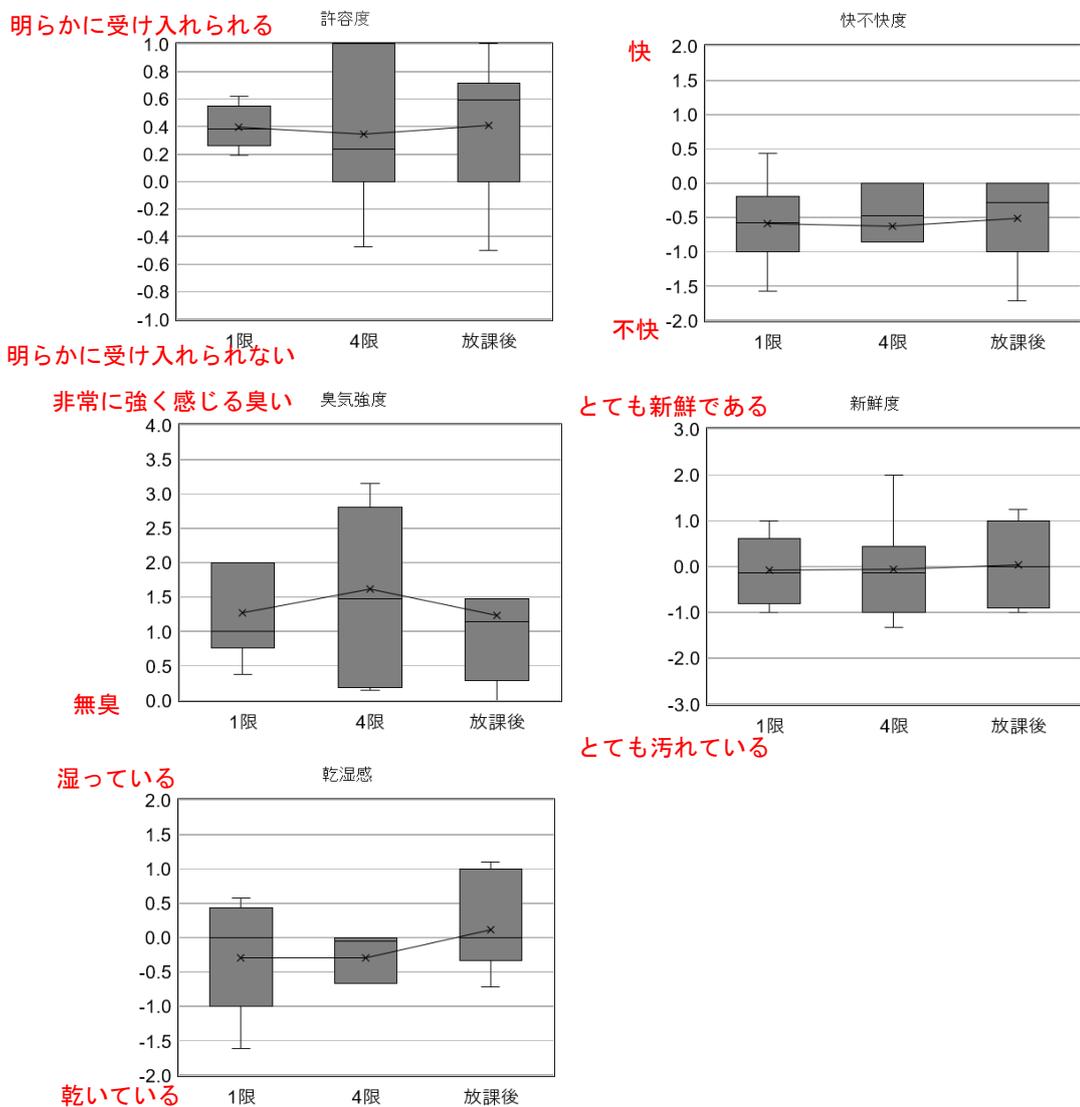


図 4-11 臭気評価結果

5 設備運用実態

5.1 設備運用・窓開け行為に関するヒアリング結果

①空調の使用ルール

本小学校で定めている冷房・暖房期間のルールは特にない。冷暖房の稼働は担任に任せられている。新幹線の騒音、窓に落下防止用のストッパーがあつて大きく開けられないことから換気量が少ないため、窓開けはあまりされていない。冷房・暖房の設定温度のルールも特になく、基本的に担任が管理し児童は操作しない事になっている。

②特別教室で授業をする際の普通教室の冷房・暖房の停止

基本的には停止していると思われるが、強制はされておらず、忘れる場合も多い。照明の ON/OFF できていると思われる。下校時には担任が各教室で冷暖房を OFF にしている。

③冷房・暖房の集中制御盤の使用状況

タイマーは全く使われておらず、最後に帰宅する教職員が一括停止のボタンを押している。

④教室の換気設備・窓開け換気に関して

インフルエンザの時期には必要に応じて窓開け換気をしている。ロスナイの音の問題は特にない。冬に寒いというクレームはある。ロスナイの ON/OFF については、暖冷房に比べて教職員の意識は低い。タッチパネルが使いにくい、難しい、もっとシンプルにしてほしいといった声も挙がっている。また、集中制御の機能は一括 OFF のみ使用している。12 月末の停電の後は 1 月に入ってからロスナイを稼働するように教頭先生から教職員に伝えられた。

⑤メンテナンスに関して

空調機は 1 回/年、業者が 3 日程度かけてメンテナンスを行うが、全熱交換器のメンテナンスは行っていない。全熱交換器のフィルターの掃除は竣工後約 5 年間一度も行われていない。

5.2 全熱交換器メンテナンス前後の空気質

図 5-1 に 3 年 4 組フィルター掃除前後の CO₂ 濃度相対度数を示す。4.3 章で示した通り、2020 年 1 月 6 日に 3 年 4 組教室の全熱交換器フィルターを掃除した。掃除前後の CO₂ 濃度の相対度数を比較すると、1000 ppm の基準適合割合が 9% 上昇した。約 5 年間メンテナンスを行っていなかったためフィルターに埃等が溜まり、換気風量が減少していたと考えられる。一方で、3 章図 3-3 で示した通り 3 年 4 組の換気による消費エネルギーは掃除後に上昇していた。掃除により搬送動力に変化が生じたことや、換気設備利用の声掛けにより頻繁な設定変更が行われたことが考えられる。

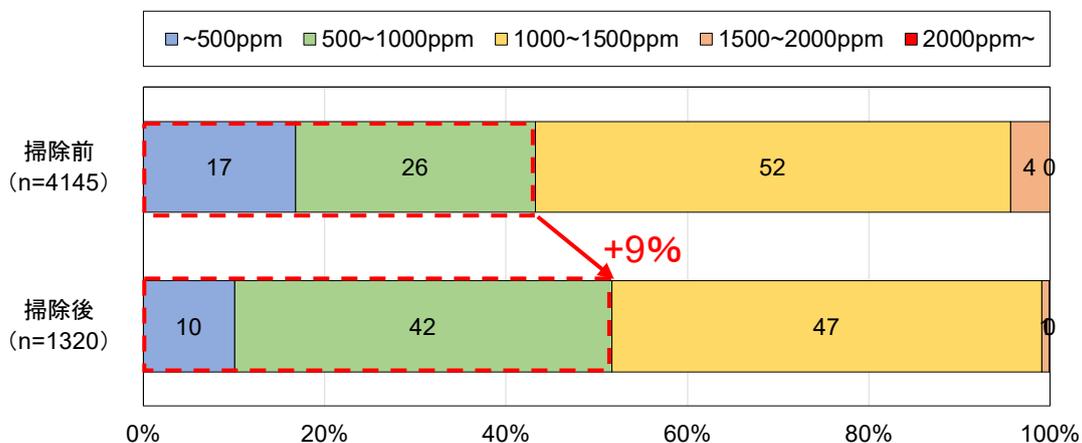


図 5-1 3 年 4 組フィルター掃除前後の CO₂ 濃度相対度数

5.3 設備運用に関する考察

1章で示した通り、本小学校の一次エネルギー消費量において換気が占める割合が非常に多いことや、休日でも平日の半分程度のエネルギーが消費されていることが問題点として挙げられた。授業時間におけるCO₂濃度は現状でも1000ppm基準を超過している場合が多いため、風量を減らすことは難しく、また新幹線騒音や落下防止ストッパー付きの窓等の問題で自然換気を積極的に取り入れることも難しい。そのため、長期休み等在室者がいない場合に計画的に設備の電源を切るなど、学校独自のスケジュールに合わせた運用面の工夫が求められる。ヒアリングによって、照明設備や冷暖房に関してはある程度教職員の理解も進んでいるが、換気に関しては未だ理解が進んでいない現状が明らかになった。運用面を改善するには、教職員に対して24時間換気の意味や集中管理の方法などを説明する必要がある。また、全熱交換器に関しては竣工から一度もメンテナンスが行われていない現状が明らかになった。5.2章で述べた通り、メンテナンス不足は室内空気質の悪化を招く可能性があるため、メンテナンスの必要性なども同時に呼び掛けていく必要がある。

6 総括

本実測調査では、温暖地域における公立学校の ZEB 実現に向けた実態調査及び課題の整理を目的とし、温暖地域東京における冷暖房導入校の詳細調査を行った。結果、以下の事が明らかになった。

[学校全体に関して]

- ・夏季における空調の一次エネルギー消費量が大きく、特に9月は空調が約 271 GJ 消費している。
- ・休日でも平日の半分程度の一次エネルギーが消費されており、特に教室の一次エネルギー消費量は平日と休日で大きな差がない。
- ・停電により非授業期間の一次エネルギー消費量を著しく低減させる。

[教室に関して]

- ・教室内の消費電力は換気が占める割合が非常に大きく、2番目に大きいのは電灯である。
- ・全熱交換器を24時間運用している影響により、一日中換気によるエネルギーが消費されている。また、非在校時間においても在室換気モード強で運転されていることがある。
- ・室内物理環境に関して、温熱環境は概ね適切に制御されている一方で、CO₂濃度基準値 1000 ppm を超過している頻度が対象教室で 60%程度であり、適切に換気がされていない可能性がある。
- ・適切に換気がされていない原因として、適切なモードで運転されていないことや、フィルターのメンテナンス不足により全熱交換器の性能が活かしきれていない可能性が考えられる。
- ・体育後の体操着が室内空気質の悪化に寄与している可能性がある。
- ・教室を使用していない時限に空調機を運転し、無駄なエネルギー消費が発生している可能性がある。

以上より、温暖地域の公立学校 ZEB 化を達成する上では、非授業期間の一次エネルギー消費量を低減させることや、授業期間における空調利用エネルギーを削減することが重要であると示唆された。そのためには、現状教員の理解が進んでいない全熱交換器のモード切り替え方法を説明するなどし、運用面での改善を図るのが望ましい。また、本実測期間中に停電が起きたことで、非授業期間は大幅に一次エネルギー消費量を削減できる可能性が明らかになった。機器の待機電力など、非授業期間中必要のない部分を検討し計画的に停電させるなどの運用面の対策も求められる。

戦略的省エネルギー技術革新プログラム/公立学校の ZEB 実現に向けた実態調査及び課題の整理
各地域における公立小学校の詳細調査(新規冷房導入校) 調査報告書

1. はじめに
 - 1.1 背景
 - 1.2 目的
 - 1.3 調査項目
 - 1.4 調査校概要
 - 1.5 調査スケジュール
2. 学校施設建築設備の設置状況、エネルギー消費量実態調査
 - 2.1 校内の建築設備機器の所在
 - 2.2 各熱源消費量の整理
3. 現況学習環境温熱調査
 - 3.1 調査項目、測定点、測定機器
 - 3.2 測定結果
4. エネルギー消費量実測調査
 - 4.1 調査項目、測定点、測定機器
 - 4.2 測定結果
5. BEST プログラムを用いた一次エネルギー消費量計算
 - 5.1 調査校の外皮性能及び基準・設計一次エネルギー消費量の算出
 - 5.2 計算結果
6. 実測及び計算結果から得られた内容の検討
 - 6.1 一次エネルギー消費量実測値の比較検証 (日別)
 - 6.2 一次エネルギー消費量の計算値と実測値の比較検証 (建築物別)
 - 6.3 一次エネルギー消費量の計算値と実績値、実測値の比較検証 (設備別)
7. まとめ
 - 7.1 学習環境(温熱)の実態
 - 7.2 エネルギー消費量の実態
 - 7.3 今後の課題
8. 参考資料
 - 8.1 教室空気温度経時変化
 - 8.2 日別電力量実測データ

公立学校の ZEB 実現に向けた運用実態調査と課題 その 4：温暖地における新規空調設備導入校の調査

1. はじめに

1.1 背景

2017 年 4 月に公表された文部科学省の「公立学校施設の空調（冷房）設備の設置状況」では、小中学校普通教室の空調設備設置率は全国平均 49.6%であったが、2018 年の酷暑を受けて空調設備導入を国が推進し、2019 年 9 月の同調査では、設置率全国平均が 77.1%に達した。更に 2020 年 4 月には更に進む見込である（図 1-1）。

温暖地には、2017 年時の小中学校普通教室空調設備設置率が 8.8%と全国でも設置率の低い自治体もあったが、2018 年から市町ごとに対策が急速に進んでいる。しかし、今回の導入決定に際し、建築設備の導入と共に考慮すべき既存建築物の断熱性能やエネルギー消費量の見通し等、検討を十分に行っている自治体は多くない。そしてまた、多くの対象となる既存学校施設のうち、十分な建築断熱性能を有するものが非常に少ない。この全国の半数に及ぶ小中学校の新規設備導入は、学習環境向上のための整備として望ましいが、多くが外皮性能の十分ではない建築物への設備投入であり、エネルギー消費の増大が懸念される。

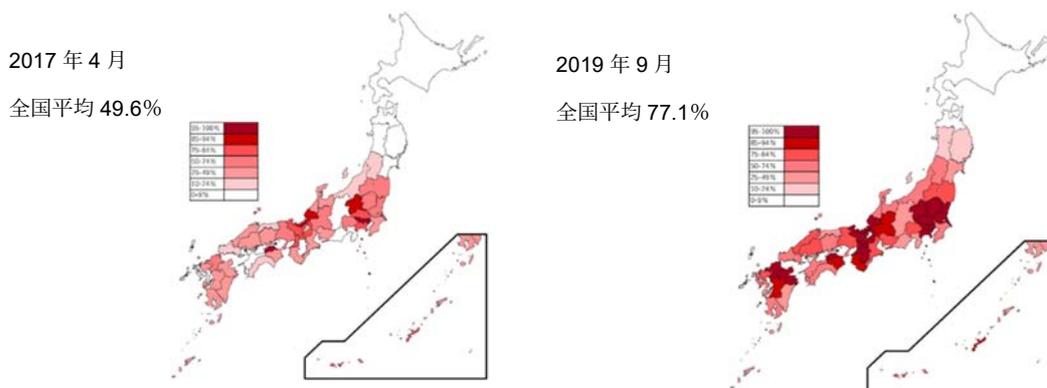


図 1-1 公立学校施設 小学校の普通教室空調設備設置¹

1.2 目的

当研究は、ZEB 化実現を目指し、以下を目的とする。

- ①地域特性を考慮した上での教室内環境の質の実態、エネルギー消費特性、設備機器の運用実態を明らかにする。
- ②学校の ZEB 化実現に向けた設備機器の運用の最適化、建築パッシブ性能強化による省エネ効果の整理、教職員が適切に運用できる設備機器の課題開発の整理を行う。

当該詳細調査では、温暖地の空調設備新規導入校に注目し、導入設置初年度の運用実態把握と今後の ZEB 実現に向けた運用課題を整理することを目的に、温熱環境とエネルギー消費の実測調査を実施し、課題整理を行う。

1.3 調査項目

1.3.1 調査対象校

概要調査自治体 6N-b から、平成 29 年度エネルギー消費量等を勘案し選定した。

1.3.2 学習環境の測定調査

校舎普通教室等の温湿度、CO2 濃度測定その他、学校施設内温湿度測定を行い、学習環境の把握を行う。

1.3.3 エネルギー消費量の実態調査

- ・教育委員会より検針票等資料提供を受けて、通年の一次エネルギー消費量実測値を把握する。
- ・学校全体及び棟別において電力計測を行い、電力消費量を一次エネルギー消費量にて把握する。

1.3.4 BEST プログラムによる設計一次エネルギー消費量（設計値）と実測値との比較検証

BEST プログラム（以降、BEST）を用いて、基準一次エネルギー消費量と設計一次エネルギー消費量、

¹ 文部科学省ホームページ：https://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/31/09/_icsFiles/afieldfile/2019/09/19/1421285_1.pdf

及び判断指標 BEI (Building_Energy_Index) を算出し、実測値と比較検証する。

1.4 調査校概要

調査対象校のある基礎自治体 6N-b は、地域区分 6 地域に分類される温暖地である。調査対象校の学校概要を表 1-1 に示す。

表 1-1 学校施設概要

校地面積	建物面積		児童数、学級数	
	校舎	体育館	普通	特支
24,571㎡	4,509㎡	1,008㎡	342人(12学級)	9人(3学級)

出所：6N-b 教育委員会

また、校内の建築物は、校舎 2 棟と屋内運動場（以降、「体育館」）の主たる 3 棟によって構成され、他にプール施設、雑庫等がある。表 1-2 に主たる建築物 3 棟の学校施設建築概要を示す。

表 1-2 学校施設 建築概要

	構造	階数	延床面積	建設年	外皮性能		開口部
					屋根	壁	
(A)南棟	RC造	3階建	1,828㎡	1990年	断熱無	断熱無	単板ガラス、金属サッシ
(B)北棟	RC造	3階建	2,544㎡	1990年	断熱無、TL有	断熱無	
(C)体育館	RC造一部S造	1階建	1,008㎡	1991年	断熱無	断熱無	

調査対象校について、図 1-2 に配置図、図 1-3 に対象校舎（北棟）平面図、図 1-4 に写真を示す。



図 1-2 配置図

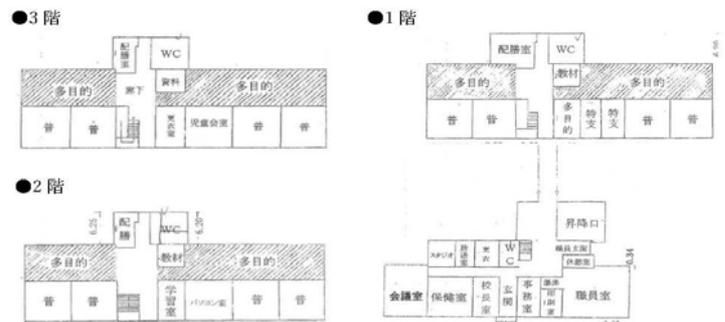


図 1-3 対象校舎平面図



図 1-4 写真

1.5 調査スケジュール

表 1-3 に調査スケジュールを示す。

表 1-3 調査スケジュール

	2019						2020		
	6	7	8	9	10	11	12	1	2
学校挨拶、実施説明	●								
計測機器設置		●				実測			
データ回収				●	●	●	●	●	●
調査ヒアリング									●
計測機器撤去									●

2. 学校施設建築設備の設置状況、エネルギー消費量実態調査

2.1 校内の建築設備機器の所在

表 2-1 に建築設備機器概要を示す。(A)校舎南棟、(B)校舎北棟とも、建設当時の最低限設置した機械設備を維持し、後付け機器や消耗品交換など、大規模な設備更新を行っていず現在に至る。(C) 体育館は、当初の水銀灯を LED に改修している。以上 3 棟以外に、運動場の夜間照明、加圧給水ポンプ、プール関連装置等があり、(D) その他設備とする。

表 2-1 建築設備機器概要

分類	(A)南棟 (管理-特別教室棟)	(B)北棟 (普通教室棟)	(C)体育館	(D)その他設備
空調	管理諸室一部：既存EHP 特別教室一部：EHP新設	普通教室：EHP新設 冬)一部教室にて可動式FF利用	(無)	
換気	WC：壁換気扇	WC、配膳室：壁換気扇	WC：壁換気扇	
照明	Hf蛍光灯(一部LEDランプ交換)	同左	天井照明：改修LED	運動場：夜間照明
給湯	職員室：電気湯沸器	各階ホール：給茶機	(無)	加圧給水P、浄化槽
昇降機		配膳室：小荷物専用昇降機		
その他		PC室：タブレット充電55台		プール

2.2 各熱源消費量の整理

表 2-2 に平成 29 年度の各熱源別エネルギー消費量を示す。各熱源の一次エネルギー単位変換量は、電気：9.97MJ/kwh、LP ガス：50.8MJ/kg、灯油：36.7MJ/l、をそれぞれ用いた。一部 LP ガスと灯油を利用しているが、電気消費量が全熱源の 99.6%を占めている。

表 2-2 熱源別エネルギー消費量 (平成 29 年度)

対象校	単位：GJ/年			
	電気	ガス	LPガス	灯油
	956.78 (99.57%)	0.00 (0%)	1.16 (0.12%)	2.94 (0.31%)

表 2-3 に平成 29 年度と令和元年度の各月電力消費量 (検針値) を一次エネルギー単位に変換して示す。平成 29 年度は、(B) 北棟：普通教室空調設備がまだ導入されていない。

表 2-3 月別電力消費量

	単位：GJ/月												合計
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
H29電気消費量	62.80	70.92	93.50	110.92	68.23	77.69	75.93	78.42	78.63	84.90	83.87	70.97	956.78
R01電気消費量	73.23	77.64	106.43	116.61	81.03	117.74	85.75	82.14	87.25	100.61			

3. 現況学習環境温熱調査

3.1 調査項目、測定点、測定機器

3.1.1 調査項目

表 3-1 に学習環境温熱調査の調査項目、調査機器を示す。

表 3-1 調査項目、調査機器

測定項目	測定点	測定機器	測定間隔	電源		
温湿度	屋外		10分定時測定			
	(B)北棟 最上階	廊下、教室(FL+100、+1100、天井)				
	中間階	廊下、教室(FL+1100)	HIOKI社 LR5001			
	1階	廊下				
	(C)体育館	アリーナ				
温度	(B)北棟 最上階	教室	空調吹出温度	同上	10分定時測定	
	中間階	教室	空調吹出温度			
CO2濃度		最上階教室		T&D社	10分定時測定	要
		中間階教室		RTR-576		

3.1.2 測定点

図 3-1 に学習環境温熱調査の校内測定点を示す。

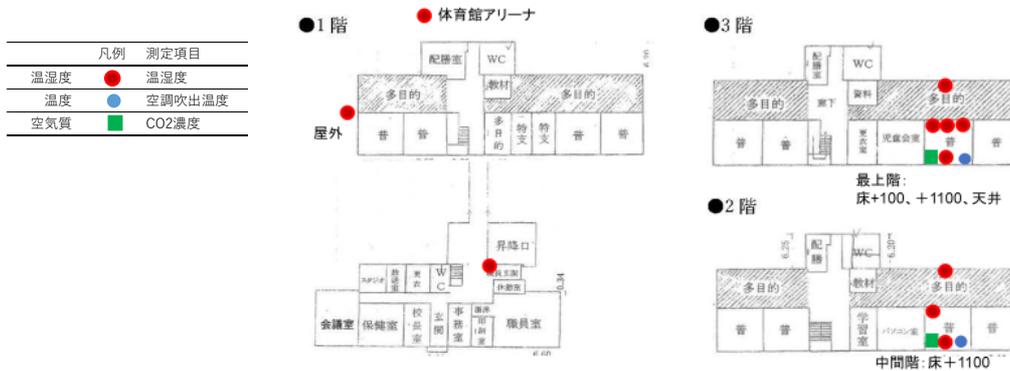


図 3-1 校内測定点

3.2 測定結果

3.2.1 夏期

図 3-2-1 に教室室温経時変化と空調設備消費電力量（夏期）を示す。外気温が 28 度以上の児童在室時間帯に室温 25~28 度の範囲で概ね推移している。児童在室時には適切に空調設備の発停を行っていることが、空調設備消費電力量からも確認される。

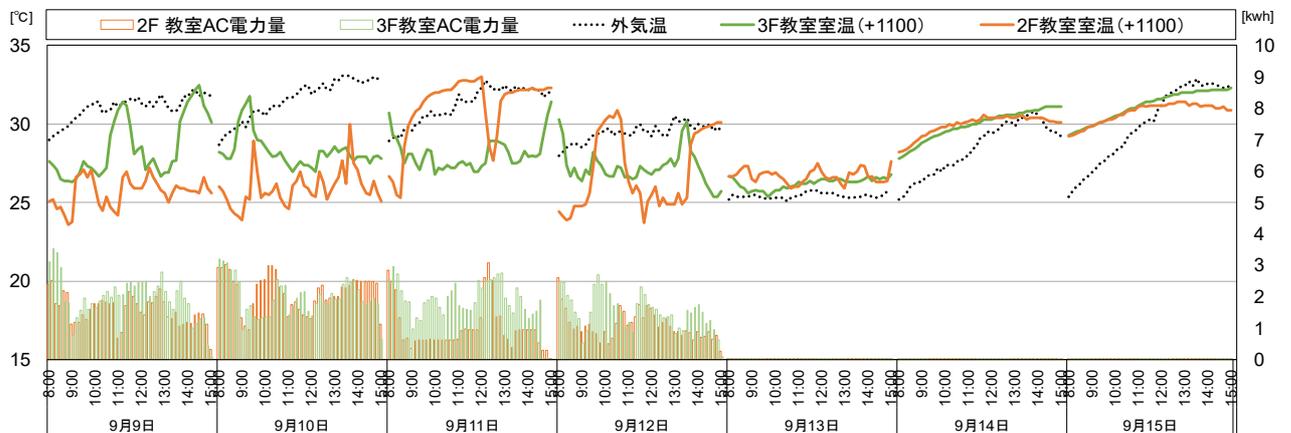


図 3-2-1 教室室温経時変化と空調設備消費電力量（夏期）

図 3-2-2 に最上階の教室室温経時変化と CO2 濃度（夏期）を示す。児童在校時間帯に外気温が 30 度以上を推移する日（9/10、9/11）には、教室天井温度は外気温程度まで上昇し、教室床近くの空気温度と 5 度以上温度差を生じている。CO2 濃度は基準値 1500ppm を超え 2000ppm 程度になる時間帯も確認された。外気温が 25 度程度の日（9/13）には、室温（FL+1100）は外気温より約 1 度高く 26 度程度であるが、天井温度と床面空気温度より低く推移しており、窓開放による室温低下が外気相当の CO2 濃度からも分かる。

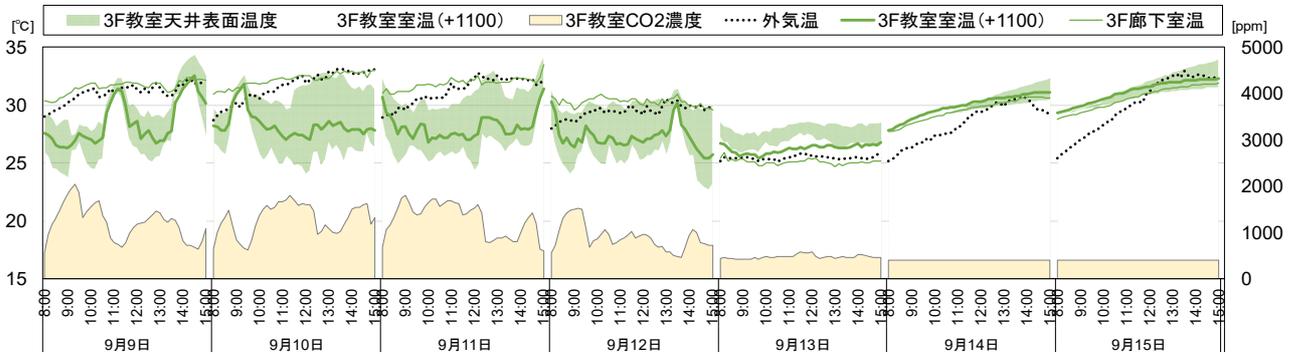


図 3-2-2 最上階の教室室温経時変化と CO2 濃度（夏期）

図 3-2-3 に下階の教室室温経時変化と CO2 濃度（夏期）を示す。児童在校時間帯に廊下室温はほぼ外気温と同様の推移であるが、教室室温は空調設備の稼働により適切な室温に保っていることが確認できる。外気温が 25 度程度の日（9/13）には、室温（FL+1100）は外気温より 2.5 度程度高くなる時間帯もある。窓開放により、CO2 濃度上昇を抑制していることが確認できるが、教室室温の低下には最上階と同様の効果を得られていないため、28 度に近い室温になる時間帯が多い。

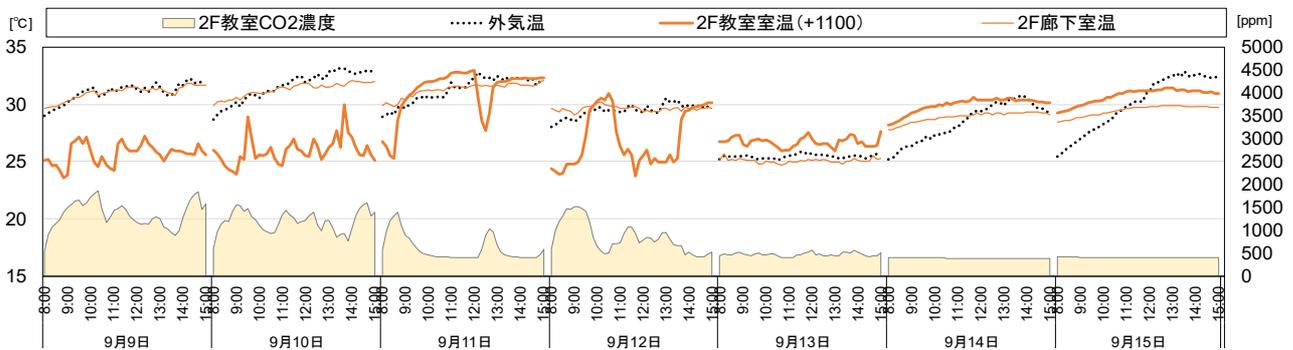


図 3-2-3 下階の教室室温経時変化と CO2 濃度（夏期）

3.2.2 中間期

図 3-3-1 に教室室温経時変化（中間期）を示す。外気温、室温とも概ね基準許容範囲内である。

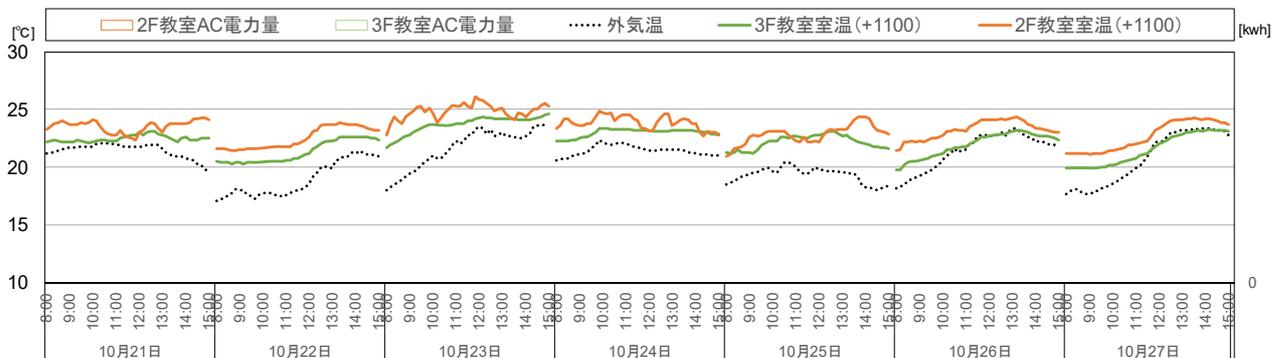


図 3-3-1 教室室温経時変化（中間期）

図 3-3-2 に最上階の教室室温経時変化と CO2 濃度（中間期）を示す。中間期の室温変化は設備を全く利用せず、人力手動の開口部開放に依存する。児童在校時に外気温が 20 度を下回る時間が多い日（10/25）には、開口部開放を調整することで CO2 濃度が 1000ppm 程度まで上昇する。

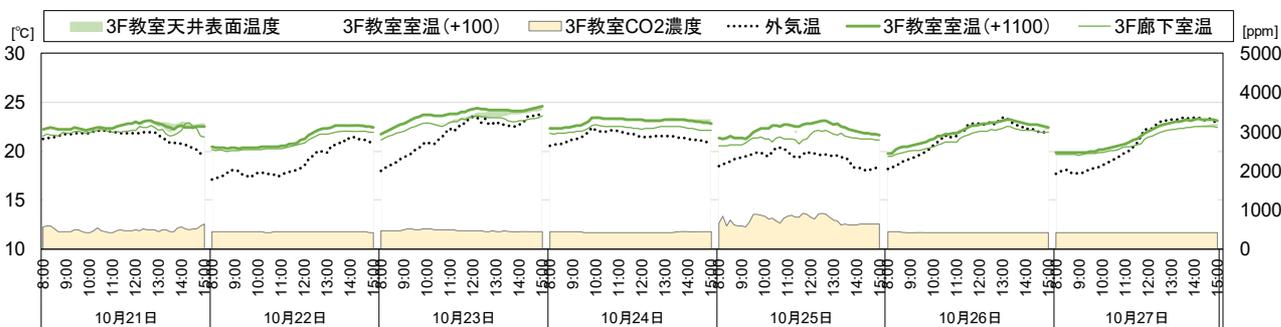


図 3-3-2 最上階の教室室温経時変化と CO2 濃度（中間期）

図 3-3-3 に下階の教室室温経時変化と CO2 濃度（中間期）を示す。最上階に比し、児童在席時には外気温にかかわらず教室室温が 2 度程度高く推移し、CO2 濃度の高い時間累積量が大きく異なることがわかる。人力手動による開口部開放と階数の相違による通風効果の相違によると考えられる。

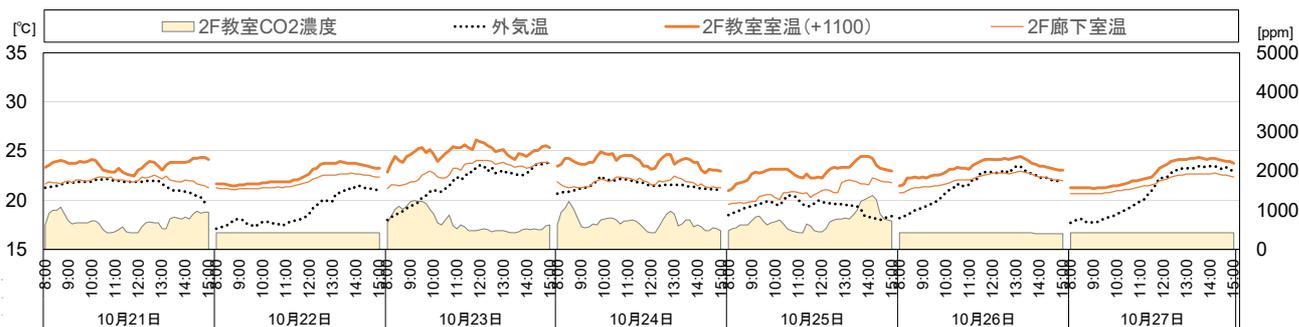


図 3-3-3 下階の教室室温経時変化と CO2 濃度（中間期）

3.2.3 冬期

図 3-4-1 に教室室温経時変化（冬期）を示す。児童在校時の外気温は通日基準許容範囲外である。教室室温は、暖房設備利用はないため、児童在席時に上昇するが 17 度に達する時間帯は教室毎に異なる。

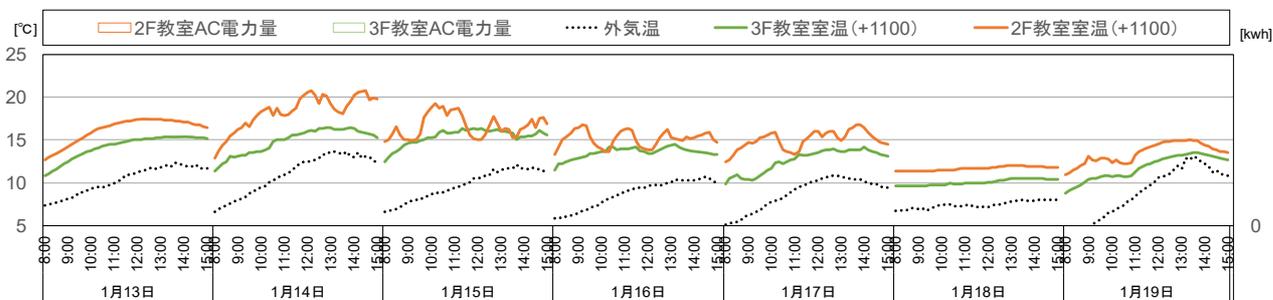


図 3-4-1 教室室温経時変化（冬期）

図 3-4-2 に最上階の教室室温経時変化と CO2 濃度（冬期）を示す。冬期の室温変化は、暖房設備がなく、

中間期と同様、人力手動の開口部開放に依存する。児童在室時に平均外気温が 10 度程度であるため、開口部開放は感冒予防の保健指導にある休み時間等に限定される。そのため、CO2 濃度が 1000ppm 以上に上昇する時間帯が多くなり、外気温が 8.78 度である日 (1/17) には、教室室温平均が 12.6 度であり、対象時間の 69% が 1000ppm を超え、9% が 1500ppm を超える。

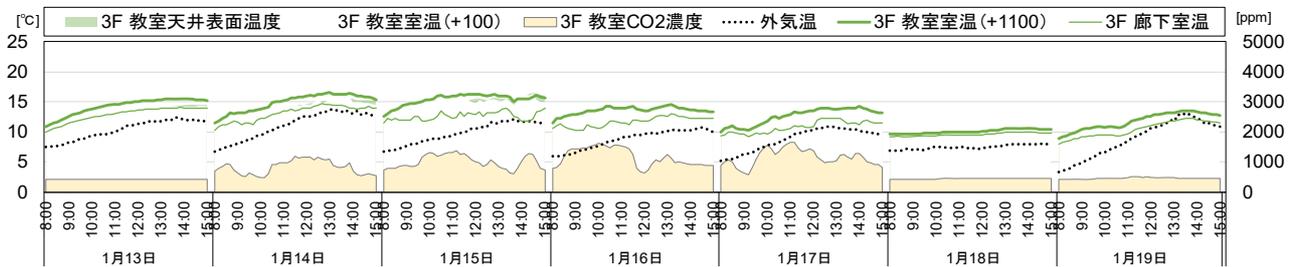


図 3-4-2 最上階の教室室温経時変化と CO2 濃度 (冬期)

図 3-4-3 に下階の教室室温経時変化と CO2 濃度 (冬期) を示す。冬期の室温変化が、人力手動の開口部開放に依存するため、児童在室時の室温変動が大きく変動し、同様の外気環境である最上階と比較して、顕著に異なる。外気温が 8.78 度である日 (1/17) には、教室室温平均が 15.0 度であり、対象時間の 78% が 1000ppm を超え、26% が 1500ppm を超える。

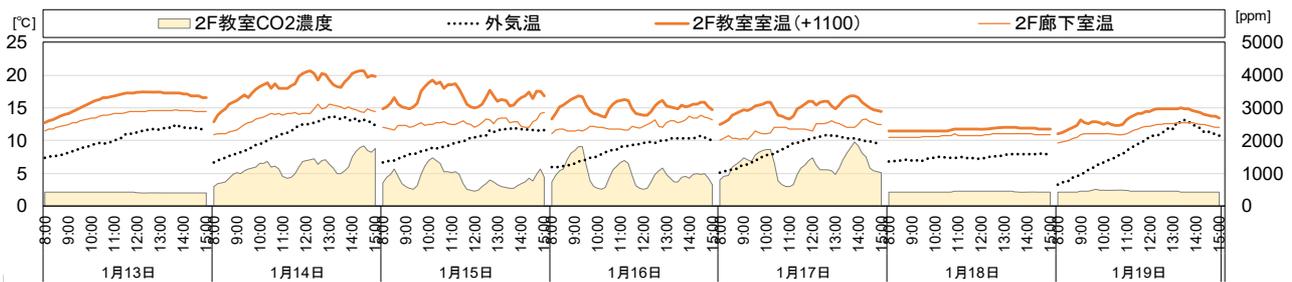


図 3-4-3 下階の教室室温経時変化と CO2 濃度 (冬期)

3.2.4 各期の室温と CO2 濃度の割合

図 3-5 に、各期の児童在室時 (平日 8:00-15:00) の教室室温と CO2 濃度の相対割合を示す。

夏期は、外気が 30 度以上となる割合が 50% を超えるが、教室室温は、適宜空調設備を利用し、児童在室時に室温 25~28 度の範囲で 70% 程度推移している。28 度以上となる割合が 30% 近い。これは、空調設置初年度であるため、設備利用に慣れていない点、自治体独自の空調設備運用基準の設定温度 28 度を守ることによって結果的に室温が 28 度以下にならない点が挙げられる。

夏期の CO2 濃度は、全体の半数が 1000ppm を超え、最上階 3 階で 20%、下階 2 階で 9% が基準値の 1500ppm を超えた。空調設備設置により教室を締め切り、人力による換気が行われにくいことが要因と考えられる。

中間期は、外気と共に教室室温も良好な温度帯の範囲にある。中間期の CO2 濃度は、最上階 3 階では、1000ppm を超えないが、下階 2 階では 5% が 1500ppm を超える。これは、教室担任の人力に依存する換気方式であるため相違が出たものと考えられる。

冬期は、対象自治体が空調設備運用指針にて暖房利用を認めていない。実測対象教室は、上下階とも日当たりが良いため可動式 FF ヒータを利用していない。外気が学校環境衛生基準許容基準値 17 度に達する時間が無いため、教室室温は基準許容範囲下限 17 度に達しない時間帯が最上階 63%、下階 24% にのぼる。

冬期の CO2 濃度は、暖気確保のため教室を閉切にする時間も多くあるが、感冒予防のため休み時間ごとの窓開けを実施している。結果、3 階 2 階教室共に約半数が 1000ppm を超え、6 から 10% が 1500ppm を超える。

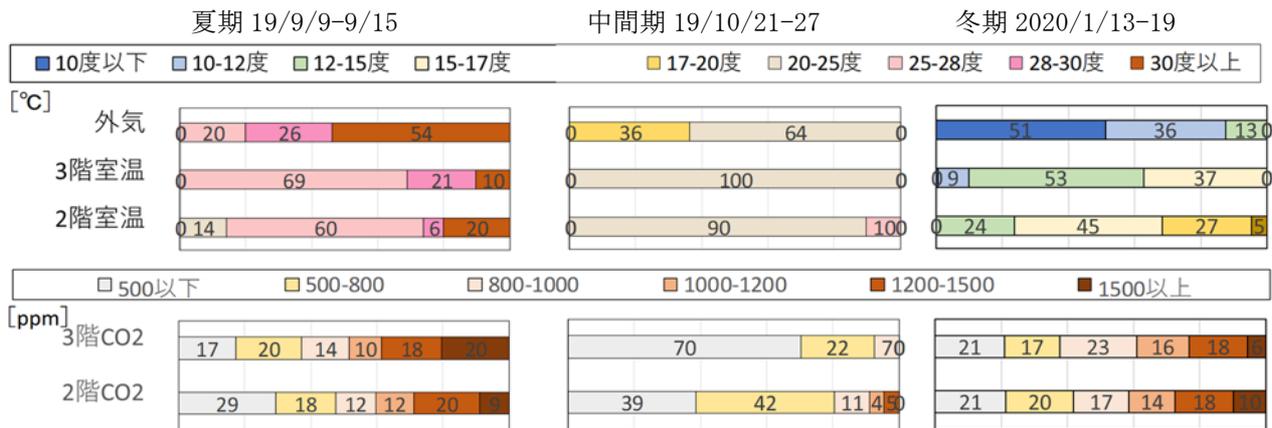


図 3-5 各期の児童在校時（平日 8:00-15:00）の教室室温と CO2 濃度の相対割合

4. エネルギー消費量実測調査

4.1 調査項目、測定点、測定機器

当該対象校のエネルギー消費量調査は、電力量がエネルギー消費量全体の 99.6%であることから、電力量のみの実測調査を行う。実測期間は 2020 年 7 月 13 日から 2020 年 2 月 19 日である。表 4-1 に電力量実測調査の調査項目、調査機器、調査箇所を示す。

表 4-1 調査項目、調査機器、調査箇所

電力測定箇所						
取引メーター	盤	計測機器	細番	回路図名称	見出し名称	用途別
屋外キュービクル	電灯盤1φ3W 75kVA	RTR-505p	31	2A L-S1	1F南棟照明・コンセント	管理諸室_電灯系
				2B L-S2	2F南棟照明・コンセント	特別教室_電灯系
				2C LP-NI(L)	1F北棟照明・コンセント	普通教室_電灯系
			32	2D L-S(体育館)	体育館照明	体育館
				2E L-P	L-P	その他_電灯系
				2F プール付棟LP-PO	プール附属棟	その他_電灯系
	動力盤3φ3W 300kVA		33	1C LP-NI(P)	北棟動力	その他動力
				1D 加圧給水装置	加圧給水装置	その他動力
				1E 浄化槽制御盤	浄化槽制御盤	浄化槽
				1F プール付 棟LP-PO	プール付 棟LP-PO	プール遮断ポンプ
				1G 北校舎2F動力盤	北校舎2F動力盤	普通教室空調
				1H 北校舎3F動力盤	北校舎3F動力盤	普通教室空調
				1I 空調機盤	空調機盤	管理諸室空調
				1J 南校舎動力盤	南校舎動力盤	特別教室空調
			34	1K 北校舎1F動力盤	北校舎1F動力盤	普通教室空調
校舎内の盤	(B)北棟 2F分電盤		35	2F教室照明、2F多目的スペース照明、2F教室コンセント、2F給茶機		
	(B)北棟 3F分電盤		36	3F教室照明、3F多目的スペース照明、3F教室コンセント、3F給茶機		

4.2 測定結果

実測で得られた電力値は、一次エネルギー換算係数：9.97MJ/kWh を用いて換算した。表 4-2 に実測結果を月別用途分類別に示す。

表 4-2 電力量実測結果（月別、用途分類別）

	単位：GJ/月									
	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月		
学校全体R1検針値	67.23 *1	77.43	117.69	85.75	82.15	87.24	100.61	66.78 *2		
(A)P 南棟_空調	10.14 (15.1%)	17.88 (23.1%)	16.53 (14%)	4.27 (5%)	3.87 (4.7%)	11.33 (13%)	20.25 (20.1%)	13.55 (20.3%)		
(A)L 南棟_照明他	10.24 (15.2%)	13.40 (17.3%)	17.61 (15%)	18.32 (21.4%)	18.22 (22.2%)	18.21 (20.9%)	19.15 (19%)	12.62 (18.9%)		
(B)P 北棟_空調	5.64 (8.4%)	7.15 (9.2%)	26.31 (22.4%)	5.26 (6.1%)	2.69 (3.3%)	2.74 (3.1%)	2.71 (2.7%)	1.67 (2.5%)		
(B)L 北棟_照明他	8.15 (12.1%)	6.25 (8.1%)	19.11 (16.2%)	19.27 (22.5%)	17.90 (21.8%)	16.83 (19.3%)	18.66 (18.5%)	12.31 (18.4%)		
(C) 体育館	6.41 (9.5%)	12.89 (16.6%)	14.43 (12.3%)	14.57 (17%)	15.22 (18.5%)	12.10 (13.9%)	13.39 (13.3%)	10.01 (15%)		
(D) その他の施設	24.27 (36.1%)	17.14 (22.1%)	17.27 (14.7%)	17.77 (20.7%)	17.98 (21.9%)	19.50 (22.3%)	19.75 (19.6%)	12.44 (18.6%)		
その他	2.37 (3.5%)	2.73 (3.5%)	6.44 (5.5%)	6.30 (7.3%)	6.27 (7.6%)	6.55 (7.5%)	6.70 (6.7%)	4.16 (6.2%)		

*1：7月13-31日の実測値 *2：2月1-19日の実測値

実測で得られた電力値を図 4-2 電力量実測結果（月別、用途分類別）に示す。（B）北棟（普通教室棟）が 9 月に空調（冷房）設備を利用し、（A）南棟（管理・特別教室棟）が、9 月の冷房利用、1 月の暖房利用することで、動力の消費量変動がみられる。

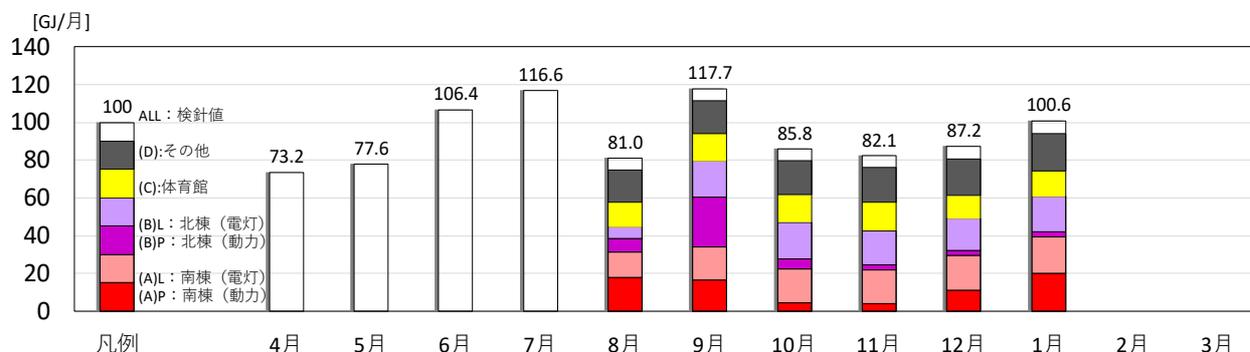


図 4-2 電力量実測結果（月別、用途分類別）

5. BEST プログラムを用いた一次エネルギー消費量計算

5.1 調査校の外皮性能及び基準・設計一次エネルギー消費量の算出

調査校の主たる建築物 3 棟について、一次エネルギー消費量を棟別に算出した。計算には、BEST プログラム「BEST 誘導基準対応ツール 1811 3.0.0」を用いた。

表 5-1 に棟別一次エネルギー消費量計算算入設備を示す。入力対象とされる設備は固定式常設設備のうち、空調、換気、照明、給湯、昇降機、その他である。当該計算では、2019 年夏現在の普通教室空調設備導入時の設備設定とした。校舎の照明について現場での LED ランプ利用があるものの、全灯 Hf 蛍光灯として計算した。（B）棟の小荷物専用昇降機や後付式給茶機などは含まれない。（C）体育館のアリーナ照明は、建設当初の水銀灯にて計算した。また、（D）その他の設備は、今回の計算対象のいずれの棟にも含まれない。

表 5-1 棟別一次エネルギー消費量計算算入設備

分類	(A)南棟（管理-特別教室棟）	(B)北棟（普通教室棟）	(C)体育館	(D)その他
空調	管理諸室：●既存EHP 特別教室：●新設EHP	普通教室：●EHP新設	(無)	
換気	WC：●壁換気扇	WC、配膳室：●壁換気扇	WC：●壁換気扇	
照明	●Hf 蛍光灯	●Hf 蛍光灯	アリーナ：●水銀灯	運動場：夜間照明
給湯	職員室：●電気湯沸器	各階ホール：給茶機	(無)	加圧給水P、浄化槽
昇降機		配膳室：小荷物専用昇降機		
その他		PC室：タブレット充電55台		プール

5.2 計算結果

5.2.1 BEI

表 5-2 に計算結果を示す。まず、一次エネルギー消費量の指標である BEI (building_energy_index) に着目する。各棟別 BEI は、(A)南棟が 0.65、(B)北棟が 0.53、(C)体育館棟が 0.78、3 棟合算した合計が 0.59 であった。基準値の 1.0 をどの建築物も大幅に下回るが、ZEB_ready 判定となる 0.5 には届かない。各棟の BEI に着目すれば、(A)棟は全体の僅かだが BEI/HW が 1.82 であるので、既存の貯湯式電気湯沸器を見直したい。また、照明も設計当時の Hf 蛍光灯から LED に更新することで顕著な効果が期待できる。

(B) 棟は、普通教室への空調設備導入と共にエネルギー消費量の増大と共に指標の悪化を懸念した BEI/AC は 0.46 であった。(C) 体育館は、全体の中で大きな割合の照明 BEI/L が 0.83 となった。設計時仕様の水銀灯でも基準値内ではあることが確認できたが、LED 更新の効果は大きいと考えられる。以上の 3 棟の合計については、ZEB_ready を視野に入れるために、より効果的なエネルギー削減対象設備を考えると、空調設備の BEI/AC より照明設備 BEI/L の方策が全体への値向上効果を得やすいという結果が得られた。

表 5-2 棟別基準及び設計一次エネルギー消費量、BEI 計算結果

	(A)南棟(管理・特別教室)			(B)北棟(普通教室棟)			(C)体育館棟			(ABC)3棟合計			[GJ/年]
	基準	設計	BEI	基準	設計	BEI	基準	設計	BEI	基準	設計	BEI	
空調	457.78	275.72	0.6	654.19	299.21	0.46	0.00	0.00	-	1,111.97	574.93	0.52	
換気	28.81	4.98	0.17	38.34	4.23	0.11	10.56	2.82	0.27	77.71	12.04	0.15	
照明	424.80	301.52	0.71	514.45	334.32	0.65	116.10	96.58	0.83	1,055.36	732.42	0.69	
給湯	5.94	10.81	1.82	0.00	0.00	-	0.00	0.00	-	5.94	10.81	1.82	
合計	917.33	593.03	0.65	1,206.99	637.76	0.53	126.66	99.40	0.78	2,250.97	1,330.19	0.59	

5.2.2 基準一次エネルギー消費量と設計一次エネルギー消費量

次に、基準一次エネルギー消費量と設計一次エネルギー消費量に注目する。図 5-1 に主な建築物 3 棟の合計値を示す。基準一次エネルギー消費量が 2,250.97 GJ/年、設計一次エネルギー消費量が 1,487.76 GJ/年であった。この設計一次エネルギー消費量が表 5-2 の設計一次エネルギー消費量と異なるのは、表 5-2 の設計値が、BEI 評価にその他コンセント等の 157.56GJ/年の加算をしないためである。

3 棟のエネルギー消費量を総じると、普通教室に空調設備を導入した (B) 棟について、基準値より設計値の割合が顕著に少なく、特に空調設備の値が大幅に下回っている。

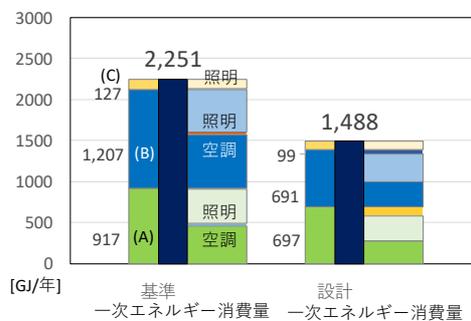


図 5-1 3 棟合計の基準及び設計一次エネルギー消費量計算結果

6. 実測及び計算結果から得られた内容の検討

6.1 一次エネルギー消費量実測値の比較検証 (日別)

小学校という建築用途は、児童の登校日と休校日のエネルギー利用が大きく異なる。月別季節別にその登校日割合が変動するため、エネルギー消費について月平均で諸元を比較しにくい。そこで、当該調査において得られた実測値を利用度による日別に分類する。対象校の年間行事予定から「授業日」と「行事や児童以外の利用日」、「休校日」に分類した。「授業日」は、午後まで授業がある児童登校日、「利用日」は行事や父兄の利用など学校施設の利用をする休日ではない日、「休校日」は土日祝日等である。表 6-1 に実測日を分類し、まとめた。

表 6-1 実測日程の学校予定日分類

	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
実測可能日		13	16	30	30	30	30	19
うち授業日		6	4	19	20	20	17	12
うち利用日		6	15	0	1	0	1	0
うち休校日		7	12	11	10	10	13	7

各月別に利用度による日別分類に仕分け、月平均を計算した。図 6-1 に、実測全日、授業日、休校日のそれぞれ月別日平均を示す。

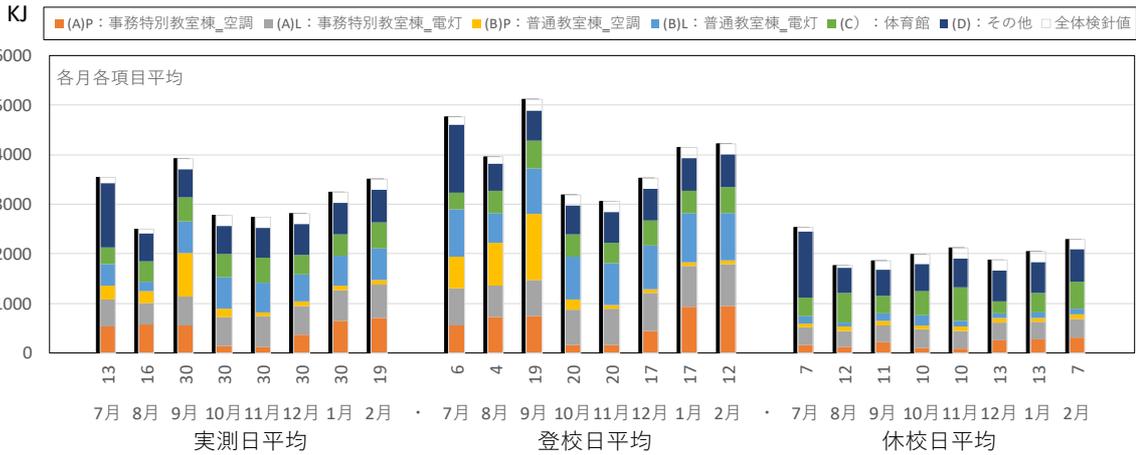


図 6-1 実測した月の月別日平均値

表 6-2 に各月の日平均値の値を示す。実測日平均をみると、7月から2月の実測期間では、7月と9月が突出して多い。内訳は、7月が主要3棟外のその他設備 (D) に含まれるプール関連の消費が全体の3割を占める一方、9月は (AB) 棟校舎の冷房利用による増大が大きく影響している。

登校日平均では、夏期の (AB) 棟の冷房利用、冬期の (A) 棟の暖房利用が顕著にある一方、(AB) 棟の照明も定量的に消費している。

休校日平均では、プール利用による突出がない夏以外でも、(D) その他設備が全体の3割程度を占める。

(C) 体育館は、季節行事や地域開放などにより利用量が変動する。休校日の利用が授業日の5割相当あり、全量に対して消費量割合が高い。全量消費を抑制していくためには、休日の電力量使用について、通電が必要な設備を検証する必要があると思われる。

表 6-2 各月別電力量消費日平均

	学校全体	全体検計値	(A)P	(A)L	(B)P	(B)L	(C)	(D)	
			(A)P:事務特別教室棟_空調	(A)L:事務特別教室棟_電灯	(B)P:普通教室棟_空調	(B)L:普通教室棟_電灯	(C):体育館	(D):その他	
実測日平均	7月	13	3538	534	539	297	429	338	1278
	8月	16	2498	577	432	230	201	416	553
	9月	30	3923	551	587	377	637	481	576
	10月	30	2766	138	591	170	622	470	573
	11月	30	2738	129	607	90	597	507	599
	12月	30	2814	365	587	88	543	390	629
	1月	30	3245	653	618	87	602	432	637
授業日平均	7月	6	4765	551	755	644	939	340	1368
	8月	4	3951	733	629	359	596	451	544
	9月	19	5119	744	728	1334	920	557	604
	10月	20	3180	157	716	214	852	447	588
	11月	20	3052	152	733	89	835	422	610
	12月	17	3518	439	765	88	872	500	638
	1月	17	4141	931	816	88	982	452	649
休校日平均	7月	7	2532	164	351	86	133	392	1317
	8月	12	1773	125	319	86	80	597	504
	9月	11	1857	218	344	88	148	349	527
	10月	10	1985	105	365	90	208	476	544
	11月	10	2110	82	356	91	120	679	577
	12月	13	1874	262	354	89	101	245	617
	1月	13	2044	270	355	87	107	396	622
2月	7	2295	309	375	89	120	548	644	

6.2 一次エネルギー消費量の計算値と実測値の比較検証 (建築物別)

当該調査において得られた実測値と BEST 計算による設計一次エネルギー消費量を月単位にて比較する。表 6-3 に、実測値の設計値に対する割合をあわせて月別に示す。(ABC) 3棟に合計すると、実測を行い月全日の値を得た8月から1月までの間、実測値の設計値に対する割合について、中間期は50~60%、夏期の8、9月には70~80%、冬期1月には63%であった。この設計値に対する実測値の変動は、空調設備に起因する。夏期には(AB)棟で冷房利用するため、(AB)棟の設計値に対する割合は60~70%程度となり、

冬期は (A) 棟で暖房利用するため、(A) 棟の設計値に対する割合は 70%弱となる。また、(C) 棟の設計値に対する実測値の割合は、実測した全月について 150~180%であった。現場では既に LED を利用し、児童の授業時には昼光を利用することが殆どであるにもかかわらず、水銀灯で行った設計値より大幅に上回るのは、放課後や夜間、土日などの地域開放により利用される時間数が設計想定値に比して大幅に多いことが考えられる。

表 6-3 一次エネルギー消費量の計算値と実測値の比較 (月別)

【全体】 単位: GJ/月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
(ABCD) 実測値2019					77.43	117.69	85.75	82.15	87.24	100.61		
(D)					17.14	17.27	17.77	17.98	19.50	19.75		
(ABC) 設計一次エネ消費量	107.76	115.99	143.24	133.07	77.98	139.95	130.85	104.21	125.16	127.37	153.40	128.76
(ABC) 実測値2019					60.29	100.42	67.99	64.17	67.75	80.86		
設計値に対する割合					77.31	71.75	51.96	61.58	54.13	63.48		
(A) 設計一次エネ消費量	50.29	54.85	67.34	65.78	45.50	64.99	60.11	47.62	57.42	58.12	66.69	58.40
(A) 実測値2019					31.28	34.14	22.59	22.09	29.53	39.40		
設計値に対する割合					68.75	52.53	37.58	46.39	51.43	67.79		
(B) 設計一次エネ消費量	49.23	52.89	66.83	59.04	25.06	66.71	62.09	48.34	59.49	61.82	78.47	61.29
(B) 実測値2019					13.39	45.42	24.53	20.59	19.57	21.37		
設計値に対する割合					53.44	68.08	39.51	42.59	32.89	34.57		
(C) 設計一次エネ消費量	8.25	8.25	9.07	8.25	7.42	8.25	8.66	8.25	8.25	7.42	8.25	9.07
(C) 実測値2019					12.89	14.43	14.57	15.22	12.10	13.39		
設計値に対する割合					173.61	174.87	168.20	184.48	146.63	180.33		

6.3 一次エネルギー消費量の計算値と実績値、実測値の比較検証 (設備別)

温暖地に所在する対象校は、建設時に空調設備や換気設備等、最低限の設置に留まり、季節に応じた手動人力による開口部開放で学校教室の室温調整を行ってきた。図 6-2 は、一次エネルギー消費量の計算値と今回調査の実測値、実測値が無い範囲については平成 29 年度の実績値 (検針値) を比較して示す。

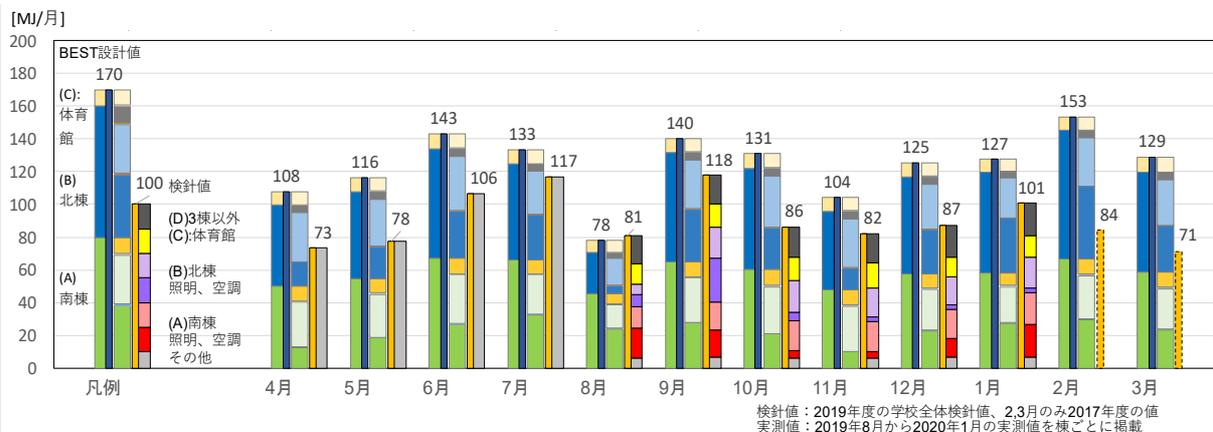


図 6-2 一次エネルギー消費量の計算値と実績値、実測値の比較

空調設備に注目すると、夏期における (B) 北棟の普通教室冷房稼働の消費量増加より、(A) 管理・特別教室棟の冷房と暖房の利用が、季節ごとに消費量の多くを占めることが分かる。

表 6-3 で建物ごと及び (ABC) 3 棟の合計の一次エネルギー消費量計算値と実測値の比較を行ったが、表 6-4 で空調設備に絞って値を確認する。

表 6-4 一次エネルギー消費量の計算値と実測値の比較 (月別) 空調設備

【空調設備】 GJ/月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
(AB) 設計一次エネ消費量	27.03	37.84	55.18	60.44	28.71	59.48	46.25	23.39	49.81	60.85	74.05	51.92
(AB) 実測値2019					25.03	42.84	9.52	6.57	14.06	22.96		
基準値に対する割合					87.19	72.02	20.59	28.08	28.24	37.74		
(A) 設計一次エネ消費量	12.64	18.55	26.66	32.54	23.93	27.60	20.74	9.87	22.69	27.30	29.79	23.41
(A) 実測値2019					17.88	16.53	4.27	3.87	11.33	20.25		
基準値に対する割合					74.73	59.90	20.58	39.24	49.92	74.18		
(B) 設計一次エネ消費量	14.40	19.29	28.52	27.90	4.77	31.88	25.52	13.51	27.12	33.55	44.25	28.50
(B) 実測値2019					7.15	26.31	5.26	2.69	2.74	2.71		
基準値に対する割合					149.69	82.50	20.60	19.92	10.09	8.07		

空調設備に注目し、図 6-2 の空調設備部分を抜粋したのが図 6-3 である。設計一次エネルギー消費量に対し、空調設備が夏冬ではほぼ半分、中間期でも 30%程度をしめている。実測値に注目すると、(AB) 南北棟で利用する冷房が最も多い 9 月は消費量全体の割合とほぼ同じ程度の 4 割が空調設備で占める。(A) 南棟での暖房利用は 12、1 月と冬期継続的に確認されるが、(B) 北棟での利用が無いため、全消費の割合は 2 割程度である。中間期は、空調設備に消費するエネルギー消費量が全消費量の 1 割にも満たない。これは、手動人力による開口部の開放により、適切な外気を取り込むことができ、空調及び換気設備が不要である状況だと考えられる。

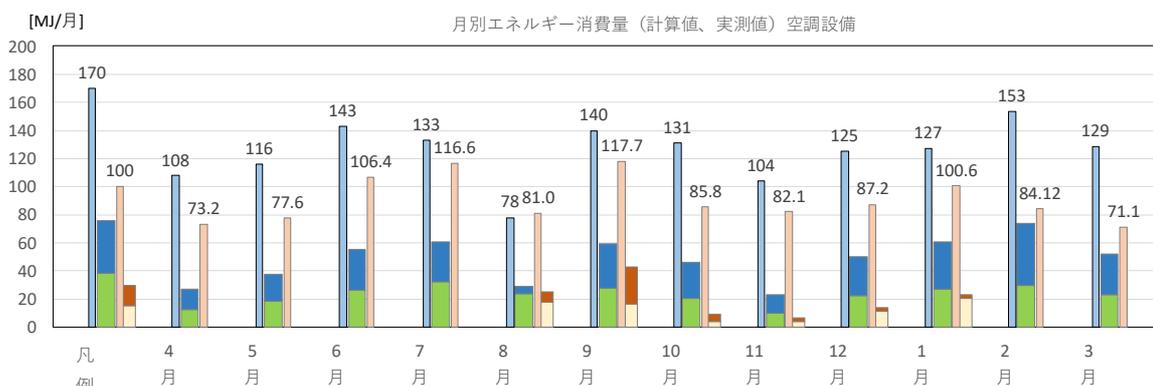


図 6-3 一次エネルギー消費量の計算値と実績値、実測値の比較 (空調設備)

照明設備他に注目し、図 6-2 の空調設備部分を抜粋したのが図 6-4 である。設計一次エネルギー消費量に対し、照明設備とその他が通年ほぼ 6 割程度をしめている。実測値に注目すると、(AB) 南北棟で通常授業が行われる月では、殆ど差が生じていない。(AB) 棟の設計値に対し、実測値はほぼ変動なく推移し、設計値の 7 割程度である。

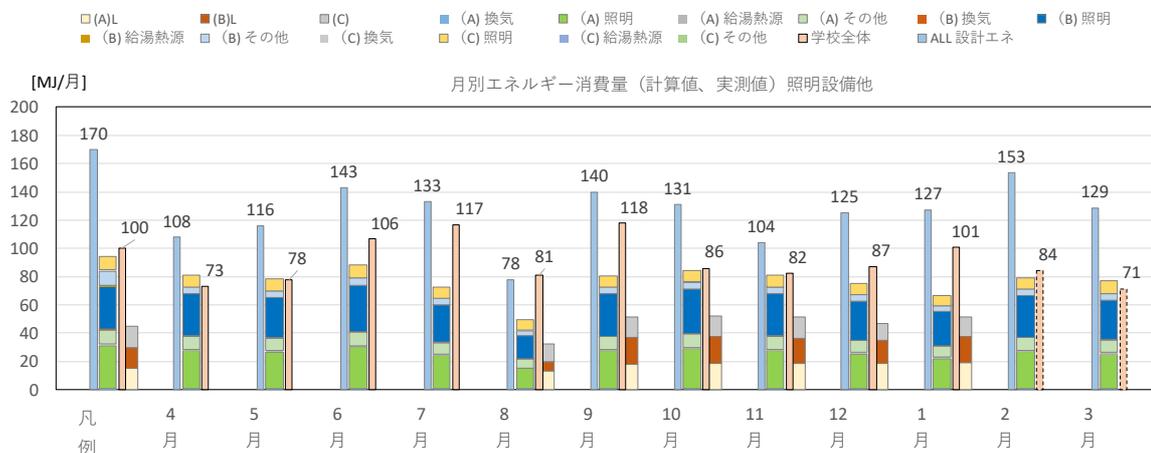


図 6-4 一次エネルギー消費量の計算値と実績値、実測値の比較 (照明設備他)

7. まとめ

温暖地の小学校普通教室に空調設備を新規導入した調査校について、学習温熱環境とエネルギー消費量の実測調査を行った。

7.1 学習環境 (温熱) の実態

【夏期】

教室空気温度は、冷房設備導入によって良好な結果が得られた。空調設備が導入された今後は、換気配慮が課題となるが、人力手動に依存せず、機械的制御を簡易に自動化する検討が求められる。

【中間期】

外気温度と共に、教室空気温度は、児童在校時に学校環境衛生基準の許容範囲外にならない。温湿度制御を必要としない中間期においても、人力手動に依存せず、機械的制御を簡易に自動化する検討が求められる。

【冬期】

自治体方針で暖房利用を行わないため、外気温度が 10 度程度、教室空気温度平均は概ね 12 度程度であり、殆ど学校環境衛生基準の許容範囲外である。適切な教室室温を維持したうえで、CO₂ 濃度の低減など、換気制御を簡易に自動制御できるしくみが求められる。

7.2 エネルギー消費量の実測と計算結果

【日別】

今回の調査では、利用別に一日単位の消費量に注目した。学校用途は、基準値算出に想定する施設利用スケジュールが個別対応されにくく、基準値の基準設定と実態が乖離する。もともと年間エネルギー消費量の多くない温暖地の学校施設では、通年の更なるエネルギー消費抑制を図るために、設備全面稼働の登校授業日と設備維持運用の休校日を分けて検討することが有効である。

【月別】

空調設備は利用する月別に変動するが、電気設備他その他はほぼ一定に推移した。設計一次エネルギーに対する実績値は月ごとに異なるが、概ね 5 割から 8 割程度となり、実績値が設計値に対し大幅に少ない。設計値の室用途設定などの現実との乖離が大きいためである。

【設備別】

空調設備実績値は、冷暖房を利用しない中間期に設計エネルギー消費量の 2 割程度である。地域特性を生かした開口部開放によるものと考えられる。

調査校の主建築物 3 棟の設計一次エネルギー消費量に対し、実測値は該当 3 棟分の設計値の 65%程度であり、該当 3 棟分以外も含めた全量に対して 75%であった。3 棟の建築物に付属しない設備のエネルギー消費の整理が必要である。

7.3 今後の課題

・学校施設の ZEB 化については、基準及び設計一次エネルギー消費量の計算結果に対する全量抑制を検討するのみではなく、地域特性、複数棟の連成や対象外設備の考慮等、利用実態に即した基準値設定が必要である。

以 上

8. 参考資料

8.1 教室空氣溫度經時變化

8.1.1 夏期

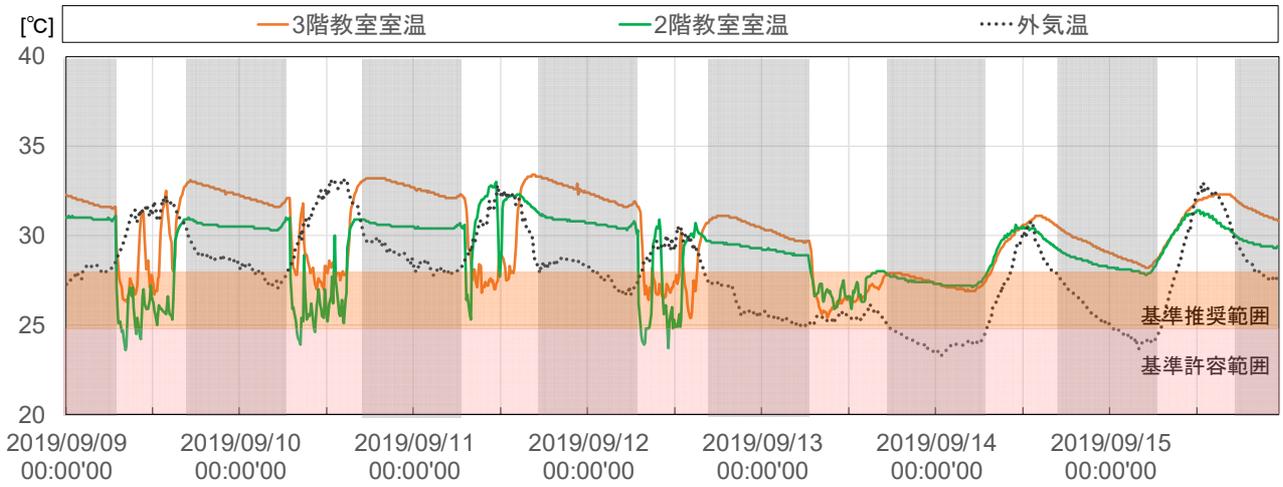


图 8-1-1 教室室温経時变化 (夏期)

8.1.2 中間期

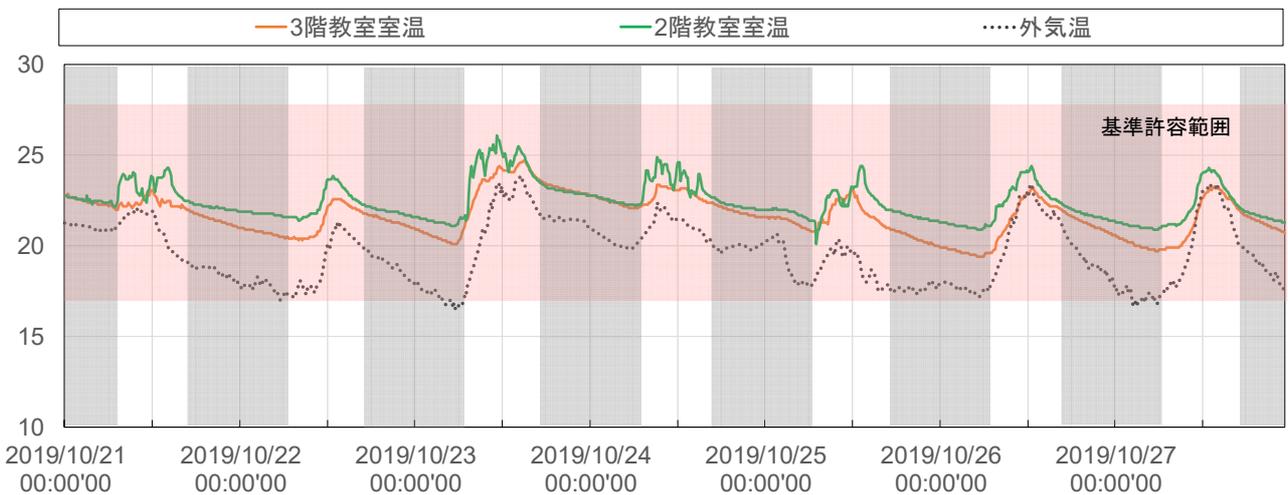


图 8-1-2 教室室温経時变化 (中間期)

8.1.3 冬期

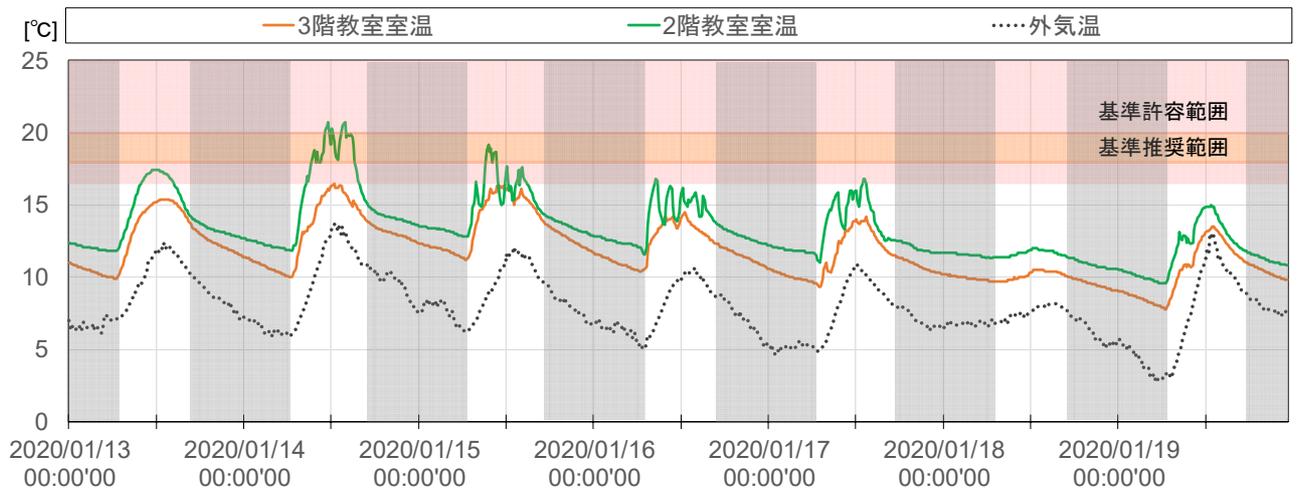


图 3-4 教室室温経時变化 (冬期)

8.2 日別消費電力量経時変化

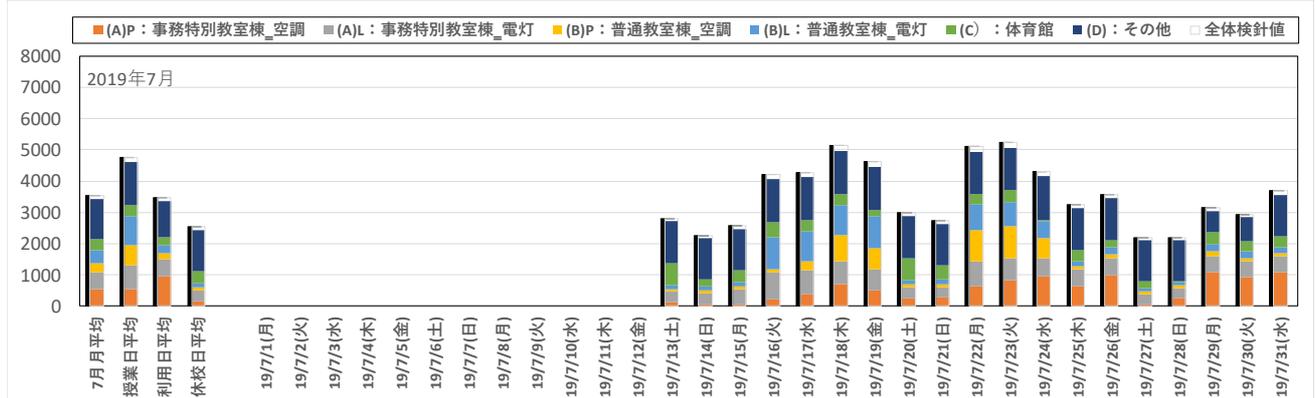


図 8-2-1 月別電力消費量 (7月)

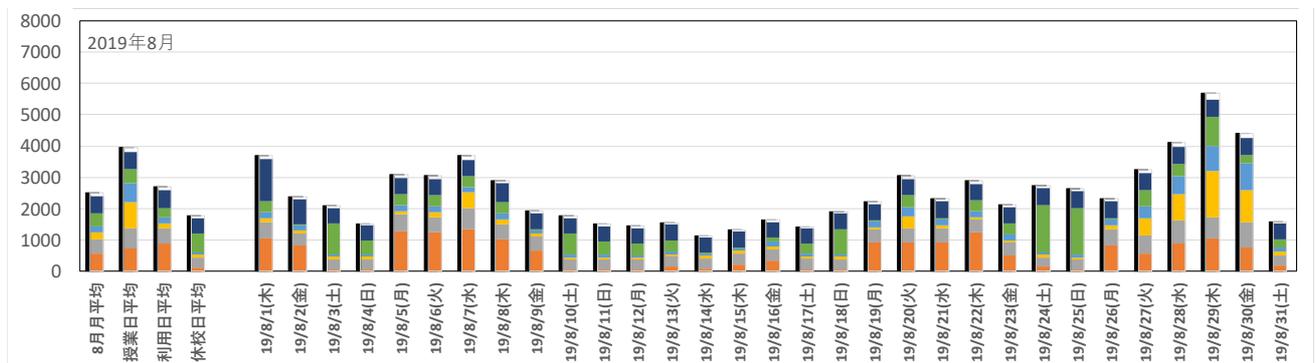


図 8-2-2 月別電力消費量 (8月)

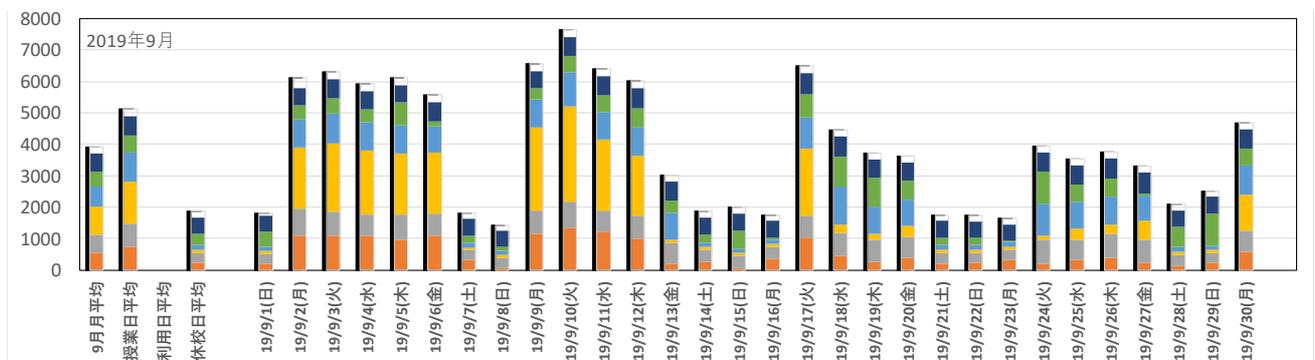


図 8-2-3 月別電力消費量 (9月)

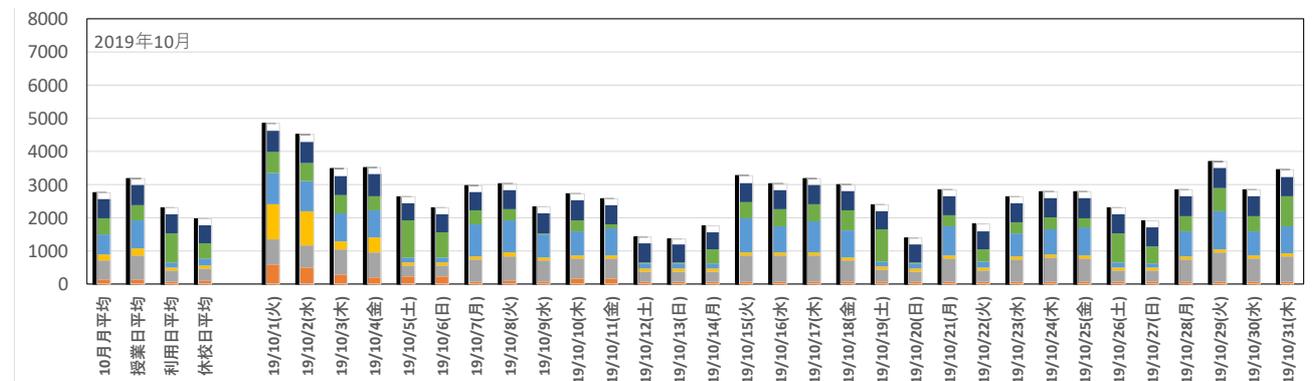


図 8-2-4 月別電力消費量 (10月)

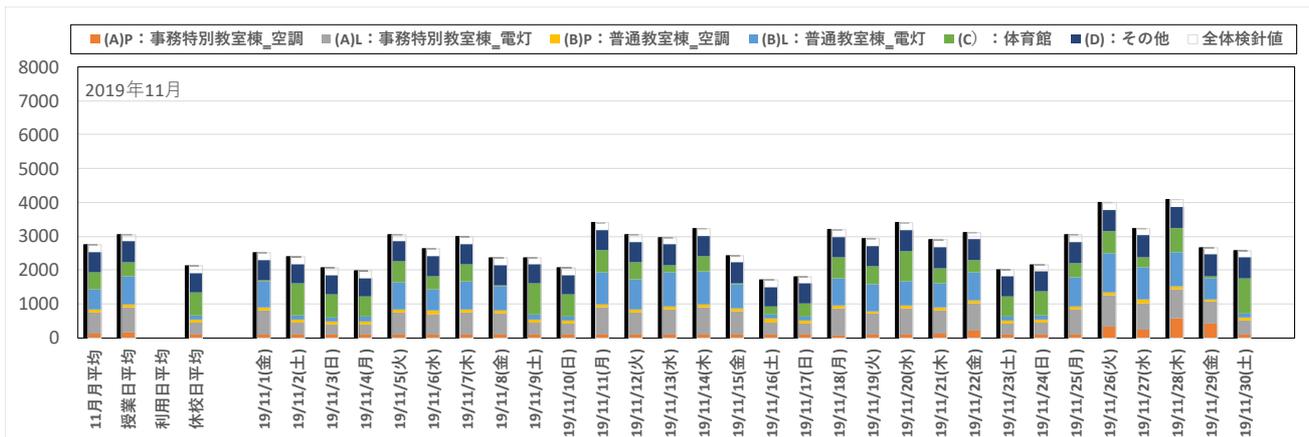


図 8-2-5 月別電力消費量 (11月)

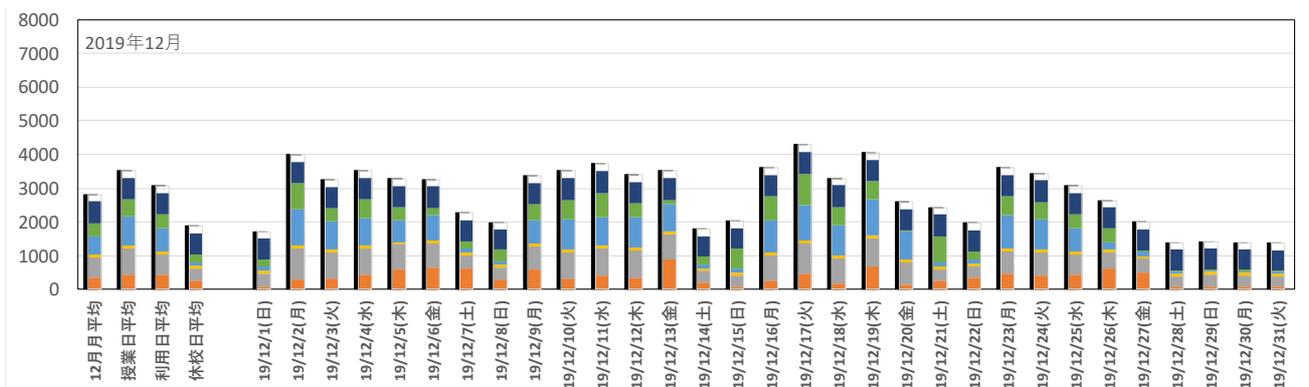


図 8-2-6 月別電力消費量 (12月)

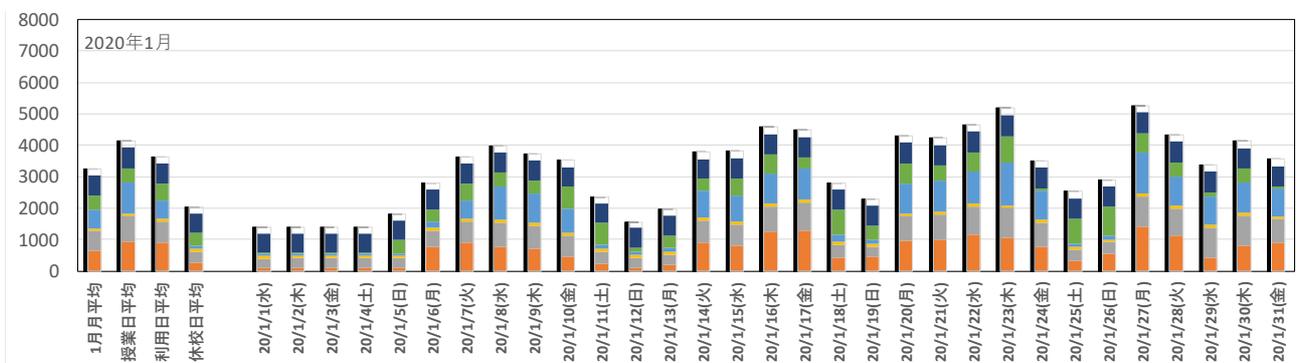


図 8-2-7 月別電力消費量 (1月)

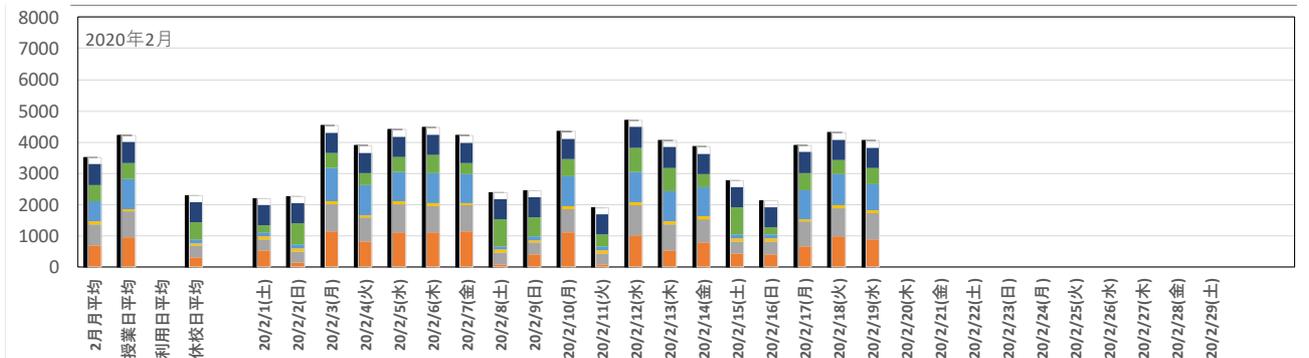


図 8-2-8 月別電力消費量 (2月)

報告書

蒸暑地域における公立学校の ZEB 実現に向けた
実態調査及び課題の整理

2020 年 3 月

琉球大学工学部建築学コース
堤 純一郎



はじめに

気候変動の主要な原因である大気中の二酸化炭素濃度の増加は、主として化石燃料を起源とするエネルギー消費によって引き起こされている。沖縄ではエネルギー消費の約半分が一般の建物で消費される民生用であり、家庭系と業務系はほぼ同等の量を占める。つまり、非住宅の建築で消費されるエネルギーは全エネルギーの約1/4になる。建築で消費されるエネルギーは電力が中心であるが、地域の主要な電力会社である沖縄電力の最大の発電用燃料が石炭であるため、二酸化炭素の排出原単位が他の地域電力会社9社に比較してかなり高い。そのため、沖縄では建築で消費するエネルギーの削減が二酸化炭素排出量削減に特に効果的である。

本研究は、公共建築のZEB (net Zero Energy Building) 化を実現するための基礎データを得るために、小学校の建築を対象に室内環境とエネルギー消費量に関する実態調査を行ったものである。小学校は全国の自治体に必ず存在する公共建築であり、全国で約22,000校、沖縄県で約270校あり、単一種の公共建築としては最も数が多い。また、建物の使用者が一般的には多数の学童と少数の教職員であり、夏休み等の長期休暇があるため、建物の使用時間やエネルギーの負荷変動が非常に大きい。これは技術的にはZEB化が難しいことを意味する。その小学校をZEB化できれば、公共建築におけるZEB化が現実的に大きく進歩することになる。

建築物省エネルギー法では全国を8個の気候特性を表す地域に区分しているが、その最南端の8地域に区分されているのは沖縄県だけである。つまり、日本では唯一の冷房が主体となる地域であり、省エネルギー化等について他の地域とは異なる対応が求められることを意味する。そのようなある意味では特殊な環境における詳細な実態を測定したデータはあまり類例がない。面積的にも人口的にも全国の1%程度の限られた地域であるため、全国的に見れば詳細な検討は大きな意味を持たないが、全世界的に見れば、今後の更なる経済発展が期待される東南アジア諸国等の、類似した気候特性を持ち、広大な面積と多くの人口を抱える地域を対象と見ることにもできる。その意味で、沖縄におけるZEBの基礎的な検討により、今後、日本のZEBに関する技術や基準等を海外へ展覧する際の礎を築くことが期待される。

令和2年3月 琉球大学工学部・堤純一郎

目 次

第1章 研究概要	1
1. 研究題目	1
2. 研究形態	1
3. 研究目的	1
4. 研究活動	1
5. 研究期間	1
6. 研究実施場所	1
第2章 研究対象建築	2
1. 研究対象小学校の立地	2
2. 研究対象小学校の概要	3
3. 研究対象建物の特徴	4
4. 研究対象建築のエネルギー関連機器	6
第3章 環境及びエネルギー測定方法	7
1. 環境測定点と測定機器	7
2. 電力測定点と測定機器	9
3. ガス測定点と測定機器	11
4. 測定状況	13
第4章 測定結果	14
1. 測定結果の解析方針	14
2. 日平均環境データに関する考察	14
3. 日積算電力データに関する考察	18
4. 月別及び全期間の用途別電力消費量	20
5. 空調用熱源エネルギーの推定	23
6. 太陽光発電装置の性能	25
7. 月別週間データの詳細な考察	26
8. 教室内における温度の垂直分布	42
第5章 結論と省エネルギー化への提言	44
1. 測定結果のまとめ	44
2. 省エネルギー化への提言	45

第1章 研究概要

1. 研究題目

蒸暑地域における公立学校の ZEB 実現に向けた実態調査及び課題の整理

2. 研究形態

共同研究（共同研究機関：佐藤エネルギーリサーチ株式会社）

3. 研究目的

詳細調査で得られたデータを適切に整理し、以下をまとめることを目的とする。

- (1) 蒸暑地における教室内環境の質の実態、エネルギー消費特性、設備機器の運用実態を明らかとする。
- (2) 学校の ZEB 化実現に向けた設備機器の運用の最適化、建築パッシブ性能強化による省エネルギー効果の整理、運用実態に即した省エネルギー機器の開発課題の整理、教職員が適切に運用できる設備機器の開発課題の整理を行う。

4. 研究活動

8 地域の市立小学校で室内環境、エネルギー消費量の実測調査およびヒアリング調査を行う。また、これらのデータ解析等に必要な資料の収集、分析を行う。

5. 研究期間

令和元年 7 月 8 日～令和 2 年 2 月 1 4 日

6. 研究実施場所

建築物省エネ法で規定される 8 地域の市立小学校
琉球大学工学部 2 号館（沖縄県西原町字千原 1）

第2章 研究対象建築

1. 研究対象小学校の立地

研究対象の公共建築は、建築物省エネルギー法で規定される8地域の市立小学校である。8地域は沖縄県だけの地域区分で、その位置は図-1に示すように、北緯約26度で亜熱帯に属する。研究対象小学校は、約20年前から運用開始された米軍基地跡地の海拔約25mの高台に位置する。研究対象小学校の敷地は図-2に示すように第一種中高層住宅地専用地域であり、周囲には第一種低層、第二種低層、第一種中高層、第二種中高層住宅地専用地域、近隣商業地域、近隣公園がある。



図-1 研究対象となった8地域（沖縄県）の位置

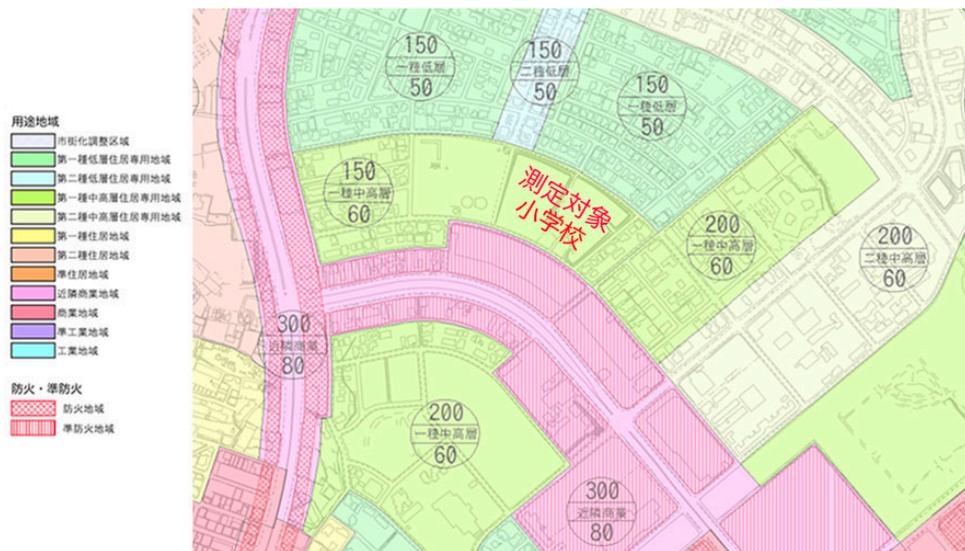


図-2 研究対象小学校周辺の用途地域¹

¹ 那覇市ホームページ <https://www.city.naha.okinawa.jp/online/tpmap.html>

2. 研究対象小学校の概要

研究対象小学校は2012年に開校した新設校で、周辺の新興住宅地の発展と相まって、表-2に示すように2019年度は合計846人の児童が在籍する大規模校である。学年ごとの児童数の変動が大きく、1学年ごとに交互に4クラスと5クラスになっている。なお、教職員数は教員33人、職員2人の合計35人である。

この小学校は2学期制を採用しており、10月の第3週は学期末の秋休みである。

表-2 測定対象小学校の児童数

	クラス数	男子	女子	合計
1年生	4	55	56	111
2年生	5	73	89	162
3年生	4	66	64	130
4年生	5	80	78	158
5年生	4	71	59	130
6年生	5	75	80	155
合計	27	420	426	846

研究対象建築は鉄筋コンクリート造3階建てで、図-3に示すように南北方向に延びる東側の建物と、東西方向に延びる西側の三棟の建物からなる。西側の三棟のうち、北側の建物は2階が小学校のプール、1階が幼保園であり、南側の建物は2階が小学校の体育館、1階が給食センターである。小学校の教室等は東側の建物と西側の中央の建物にあり、幼保園と給食センターが全体の建物配置の中に組み込まれている。電力の引込みは1箇所、小学校、幼保園、給食センターの各施設には、東側の建物の屋上に設置されたキュービクルから分配供給されている。なお、対象建築の東側の空地は小学校のグラウンド、西側の空地は近隣公園である。

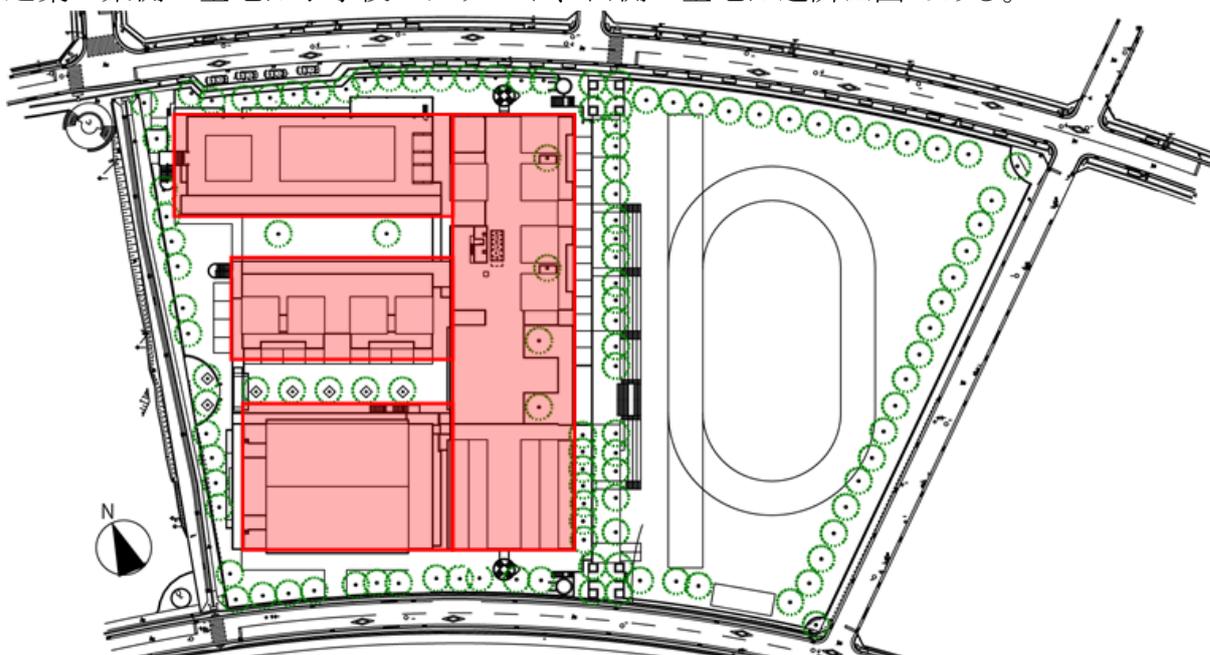


図-3 測定対象小学校の建物配置

3. 研究対象建築の特徴

教室はオープンスクール形式で、**図-4** に示すように一つの建物内では各教室はオープンスペースでつながっている。内壁や床面等の多くは木仕上げ、柱や梁等はコンクリート打放しである。玄関ホール、階段、廊下の一部はオープンではなく、間仕切り壁で区切られている（**図-4(a)**の右側、**図-4(b)**の奥）。各教室とオープンスペースに天井カセット型空調機と全熱交換換気システムを設置している。教室とオープンスペースが空調区画で、階段等は空調していない。空調の区画を分ける間仕切りは一部が開放になっているため、空調の効果を上げるため、**図-5** に示すように開放部分にビニルカーテンが設置されている。



図-4(a) オープンスクール形式の教室（オープンスペースから見たところ）



図-4(b) オープンスクール形式の教室（教室内から見たところ）

小学校の東側の建物に5箇所、西側の中央の建物に4箇所の天窓が設けられている。東側の建物については、天窓のための設けられた斜め屋根の状況を図-12(d)に示す。天窓は図-6に示すように、斜め屋根の先端にガラスを嵌めた垂直窓である。これを室内側から見ると、図-7に示すように斜め屋根に沿って天井面が斜面になっている。ガラス面は建物の方向に合わせてほぼ北北東向きで、ガラスの外枠になる周壁や方立ての奥行きから見て、夏期には朝の日射が直接入射する可能性がある。直達日射が入らない場合でも、晴天時にはかなり強い日射の影響により、暑さと光のグレアを感じるため、図-6および図-7に示すように天窓のガラス面の室内側に紙を貼って日射を遮蔽している。



図-5 空調の区画を仕切るためのビニルカーテン



図-6 屋上に設置された天窓とそのための斜め屋根

4. 研究対象建築のエネルギー関連機器

東側の建物の屋上には、図-8 及び図-12(d)に示すように、太陽光発電装置が設置されている。定格出力 92.5W の太陽光発電モジュールを 55 枚セットにしたアレイが 2 セット設置されているので、全体の定格出力は 10.175kW になる。

通常のエネルギー消費に大きな影響を与える空調の熱源には、基本的にガスヒートポンプ（以後、「GHP」と記す。）が使われている。ただし、実際に天井カセット型空調機から噴き出す際のエネルギーは電力である。同じく重要なエネルギー消費機器である照明には一般的な蛍光灯が使われている。また、各教室にはパソコンや電子ホワイトボード等の電力を消費する教育用機器が設置されている。



図-7 天窓を室内側から見たところ（天窓に向けて上がる斜め天井）



図-8 屋上に設置された太陽光発電アレイ

第3章 環境及びエネルギー測定方法

1. 環境測定点と測定機器

ZEB 化の前提となる温湿度等の環境状態の現況を把握するため、外気、空調区画、非空調区画の温湿度、最上階の教室内の空気温度の垂直分布、教室内の二酸化炭素濃度を測定する。以上の環境測定項目や測定機器等を表-3 に、測定機器の設置状態を図-9 に、設置場所を図-12 に示す。測定間隔はすべて 10 分である。

表-3 環境測定項目・測定場所・測定機器

No.	AC	測定位置	測定項目	測定機器
T1	非対象	東側建物南西端ピロティ 床上 2300mm (屋外)	外気温度・湿度	HIOKI 温湿度ロガー LR5001
T2		1 階玄関・昇降口ホール 床上 2300mm	空気温度・湿度	HIOKI 温湿度ロガー LR5001
T3		2 階体育館の用具倉庫 間仕切り床上 2200mm	空気温度・湿度	HIOKI 温湿度ロガー LR5001
T4	空調対象	東側建物 2 階教室 黒板西側床上 1100mm	空気温度・湿度	HIOKI 温湿度ロガー LR5001
T5		東側建物 2 階教室 黒板東側床上 2000mm	二酸化炭素濃度	T&D CO2 ロガー TR-76Ui
T6		東側建物 2 階教室天カセ 空調吹出口床上 2800mm	吹出空気温度・湿度	T&D 温湿度ロガー RTR-503
T7		東側建物 2 階オープン スペース床上 2500mm	空気温度・湿度	HIOKI 温湿度ロガー LR5001
T8	空調対象	東側建物 3 階教室 黒板西側床上 1100mm	空気温度・湿度	HIOKI 温湿度ロガー LR5001
T9		東側建物 3 階教室 黒板東側床上 2000mm	二酸化炭素濃度	T&D CO2 ロガー TR-76Ui
T10		東側建物 3 階教室天カセ 空調吹出口床上 2800mm	吹出空気温度・湿度	T&D 温湿度ロガー RTR-503
T11		東側建物 3 階オープン スペース床上 2500mm	空気温度・湿度	HIOKI 温湿度ロガー LR5001
T12		東側建物 3 階教室 黒板西側床上 100mm	空気温度	HIOKI 温度ロガー LR5011
T13		東側建物 3 階教室 黒板西側天井面 2800mm	天井表面温度	HIOKI 温度ロガー LR5011
T14	非対象	東側建物 2 階廊下 床上 2500mm	空気温度	Onset 温湿度ロガー HOBO UX100-003
T15		東側建物 3 階廊下 床上 2500mm	空気温度	Onset 温湿度ロガー HOBO UX100-003



(a) ピロティ外気 (表-3 の T1)



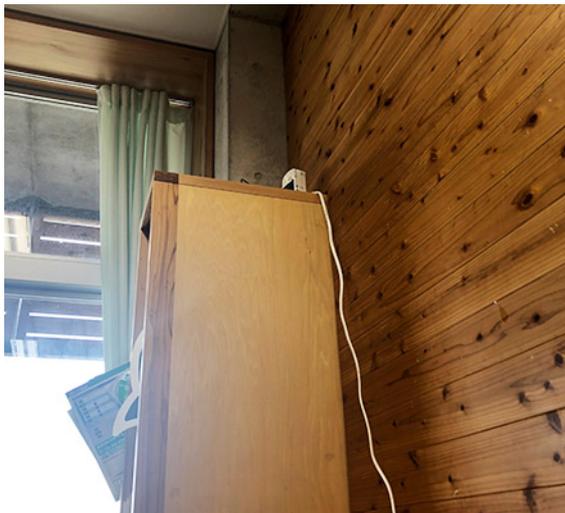
(b) 玄関・昇降口ホール (表-3 の T2)



(c) 体育館用具倉庫 (表-3 の T3)



(d) 教室内床上 1100mm (表-3 の T4,T8)



(e) 教室内 CO₂ 濃度 (表-3 の T5,T9)



(f) 空調吹出口 (表-3 の T6,T10)

図-9(1) 測定対象建築における環境測定機器の設置状況 (次ページに続く)



(g) オープンスペース (表-3 の T7,T11)



(h) 3階教室床上 100mm (表-3 の T12)



(i) 3階教室天井面 (表-3 の T13)



(j) 非空調廊下 (表-3 の T14,T15)

図-9(2) 測定対象建築における環境測定機器の設置状況

2. 電力測定点と測定機器

実際の電力消費量を次の3段階で測定する。まず、電気の引込線に設置されている電力取引メーター、次に、高圧受電を低圧電灯系統等に変換するキュービクル、さらに、建物内で最終的に必要なところへ電気を分配する分電盤である。この研究対象建築は小学校、幼保園、給食センターで構成されているが、電気の引込みはすべての建物に対して1箇所だけなので、最初の段階はその1箇所の取引メーターのパルスを計測する。取引メーターの1パルスは0.012kWhに相当する。次は、4台のキュービクルで系統別に低圧変換された電力をCTセンサーにより測定する。最後に、教室の環境測定を行なった2階と3階に設置されている分電盤から、キュービクルと同じ測定機器を使って出力される用途別の電力を測定する。キュービクルから分配される測定項目には幼保園と給食センターも含まれるが、内容が不明確な用途もある。これらの測定項目や測定機器等を表-4に、測定状況を図-10に、各機

器類の設置位置を図-12に示す。測定間隔は環境測定と同期の10分である。

表-4 電力関係の測定項目・測定場所・測定機器

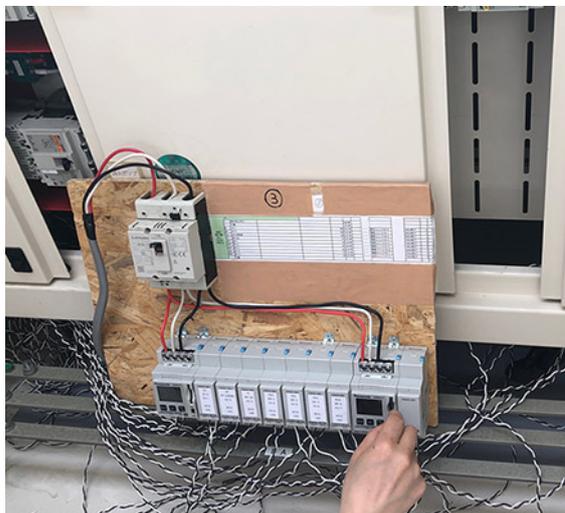
No.	測定対象	測定項目	測定機器
E1	電力取引メーター	電力引込線の電力量 パルス信号 (0.012kWh/P)	T&D パルスロガー RTR-505-P
E2	屋上キュービクル A (電灯盤)	東棟南側 1 階電灯系 東棟南側 2 階電灯系 東棟南側 3 階電灯系 東棟北側 2 階電灯系 東棟北側 3 階電灯系	Panasonic KW2G-H Eco POWER METER
E3	屋上キュービクル B (電灯盤)	南棟 3 階電灯系 幼保棟 1 階 幼保棟 2 階 給食室電灯系 体育館電灯系 太陽光発電 1 太陽光発電 2 東棟北側 1 階電灯系	Panasonic KW2G-H Eco POWER METER
E4	屋上キュービクル C (動力盤)	EV・中水ポンプ 幼保動力系 給食動力系 東棟動力系 職員室・特別教室等 GHP 普通教室・図書室等 GHP 普通教室・音楽室等 GHP 普通教室等等 GHP 幼保棟 GHP GHP (追加)	Panasonic KW2G-H Eco POWER METER (基本ユニット 2 台)
E5	屋上キュービクル D (動力盤)	1P-2 給食室 (1) 1P-2 給食室 (2) 1P-2 給食室 (3) 1P-2 給食室 (4) 1P-4A 幼保	Panasonic KW2G-H Eco POWER METER
E6	東側建物 2 階分電盤	2 階教室照明 2 階教室 24 時間換気 2 階教室コンセント 2 階教室空調・換気	Panasonic KW2G-H Eco POWER METER
E7	東側建物 3 階分電盤	3 階教室照明 3 階教室 24 時間換気 3 階教室コンセント 3 階教室空調・換気	Panasonic KW2G-H Eco POWER METER



(a) 電力取引メーター (表-4 の E1)



(b) 建物内の分電盤 (表-4 の E6, E7)



(c) 屋上キュービクル C (表-4 の E4)



(d) 屋上キュービクル D (表-4 の E5)

図-10 測定対象建築における電力消費量測定機器の設置状況

3. ガス測定点と測定機器

空調の熱源にはガスヒートポンプを使用しているため、そのエネルギー源となるガスの消費量を測定する。空調熱源用のガスメーター3台の測定を行うが、ガスメーターは直接流量を測定できないので、メータのパルスのカウントする。それらの測定項目等を表-5 に、測定状況を図-11 に、設置位置を図-12 に示す。G1 については用途が記されていない。測定間隔は環境測定と同期の10分である。

表-5 ガス関係の測定項目・測定場所・測定機器

No.	設置位置 (用途)	ガスメーター	測定機器
G1	東側建物南側	Azbil 都市ガス用 N65	HIOKI パルスロガー LR5061 (1m ³ /P)
G2	給食室東側 (校舎空調)	Azbil 都市ガス用 NN10	
G3	給食室東側 (体育館空調)		



(a) 東側建物南側 (表-5 の G1) (b) 給食センター東側 (表-5 の G2, G3)
 図-11 測定対象建築におけるガス消費量測定機器の設置状況

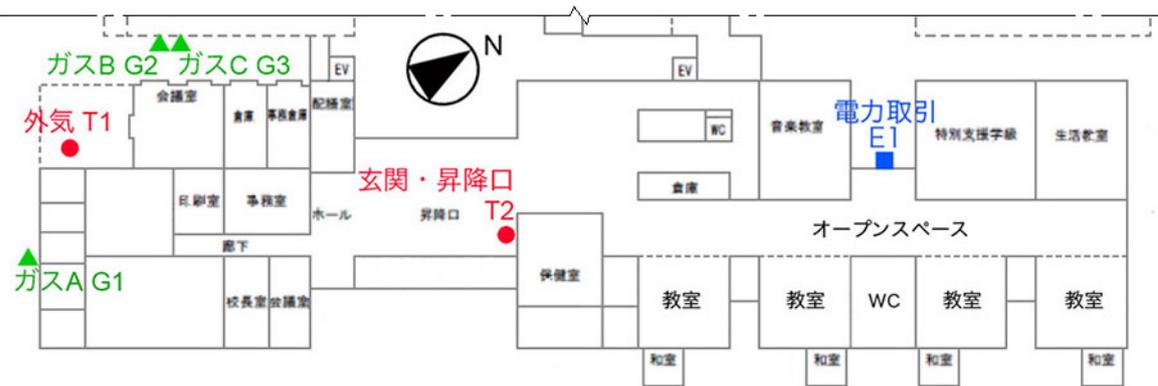


図-12(a) 測定対象建築 (東側建物) 1階における測定機器の設置位置

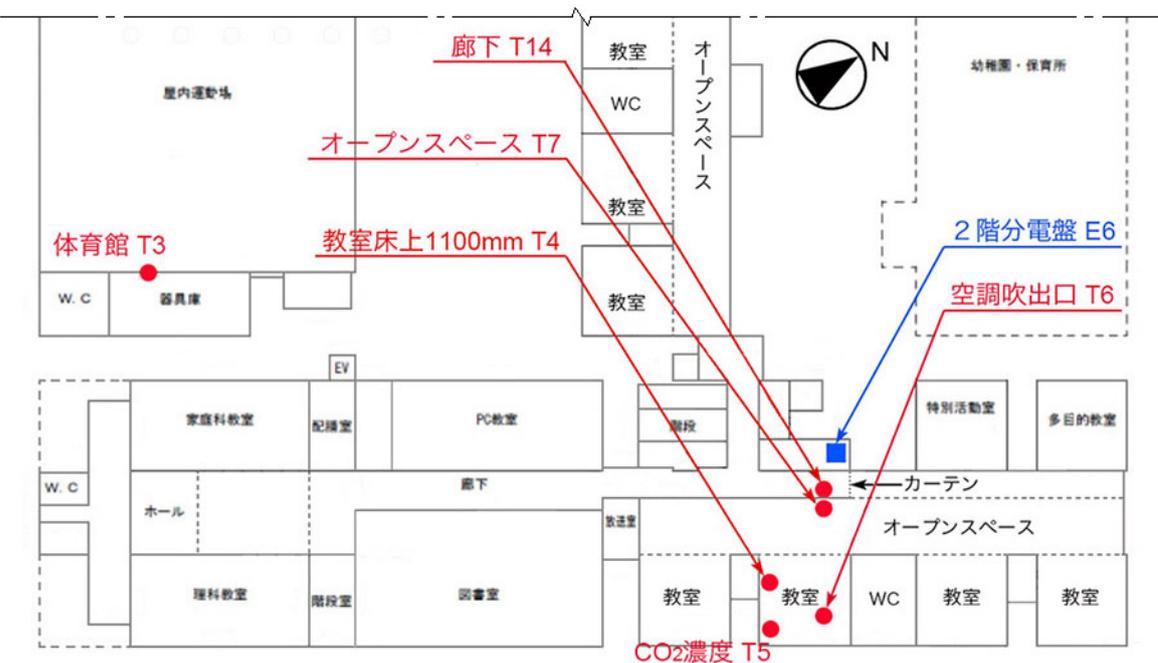


図-12(b) 測定対象建築 (東側建物) 2階における測定機器の設置位置

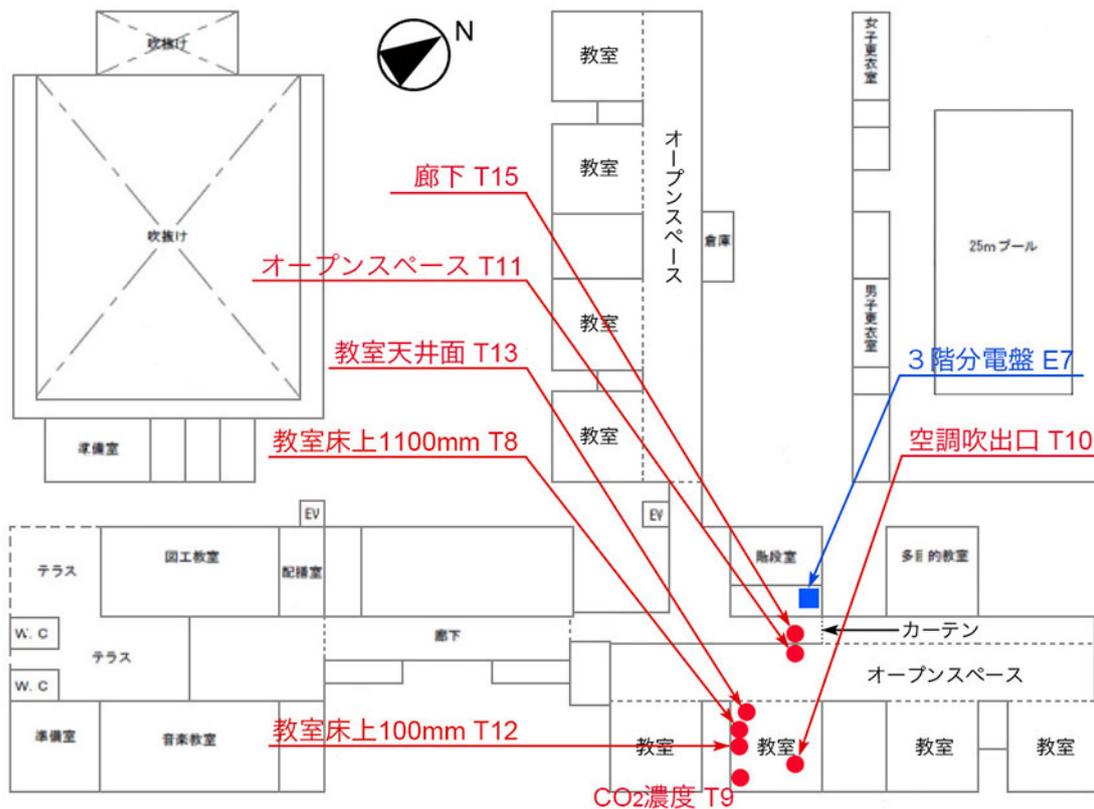


図-12(c) 測定対象建築（東側建物）3階における測定機器の設置位置

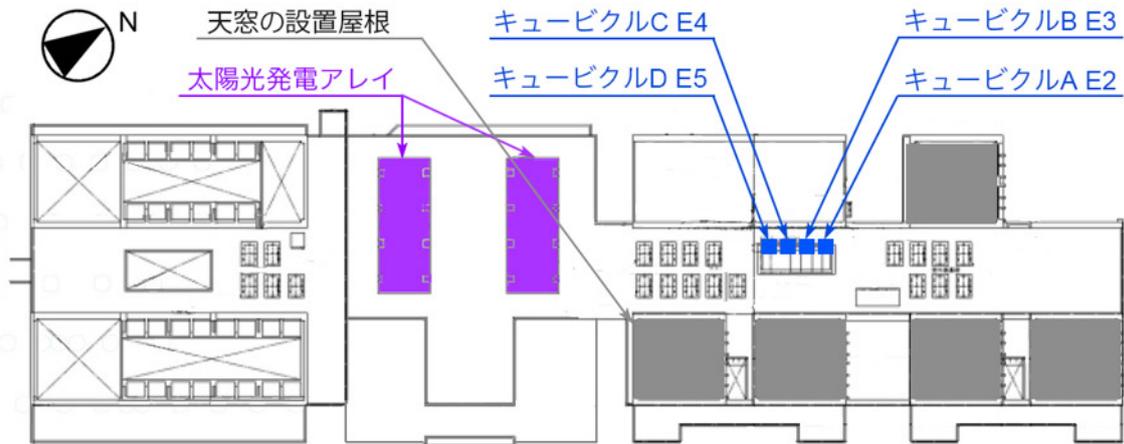


図-12(d) 測定対象建築（東側建物）屋上における測定機器の設置位置

4. 測定状況

- ・ 測定機器設置：2019/6/26, 2019/6/27
- ・ 測定機器撤去：2020/2/6（データ回収も実施）
- ・ 全日測定期間：2019/6/28 ～ 2020/2/5（223日）
- ・ 全日数取得月：2019/7月, 8月, 9月, 10月, 11月, 12月, 2020/1月（7ヶ月）
- ・ データ回収日：2019/8/16, 2019/9/25, 2019/11/1, 2019/12/24, 2020/2/6
- * 備考1：電力関係の測定機器は電気工事の有資格業者に委託
- * 備考2：独自に2階と3階の空調されていない廊下の温湿度を測定
- * 備考3：測定器の紛失事故やバッテリー切れ等で一部欠測

第4章 測定結果

1. 測定結果の解析方針

測定機器の設置から撤去まで、足掛け9ヶ月で226日間、全日のデータ取得日数は223日間、月別の全日数取得月が7ヶ月に及ぶ比較的長期の測定であったので、以下の3つの段階で時間軸を設定してデータの解析に臨む。

- ・全日データ取得日全部を対象にした日平均値・日積算値の解析
- ・全日数取得月における月平均値・月積算値による解析
- ・各月及び夏休み期間の代表的な1週間における10分間隔の生データ

気温、湿度、二酸化炭素濃度については日平均値、電力、ガスについては日積算値（日消費量）を求めた。なお、地域の代表的な気象データとして、最寄りの気象観測点である沖縄気象台（以後、「気象台」と記す。）のデータを援用する。

2. 日平均環境データに関する考察

(1) 外気データの妥当性の検討

対象地で測定された日平均外気温を気象台の日平均気温、日最高気温、日最低気温と比較して図-13に示す。また、対象地で測定された日平均相対湿度を気象台の日平均相対湿度、日最低相対湿度と比較して図-14に示す。

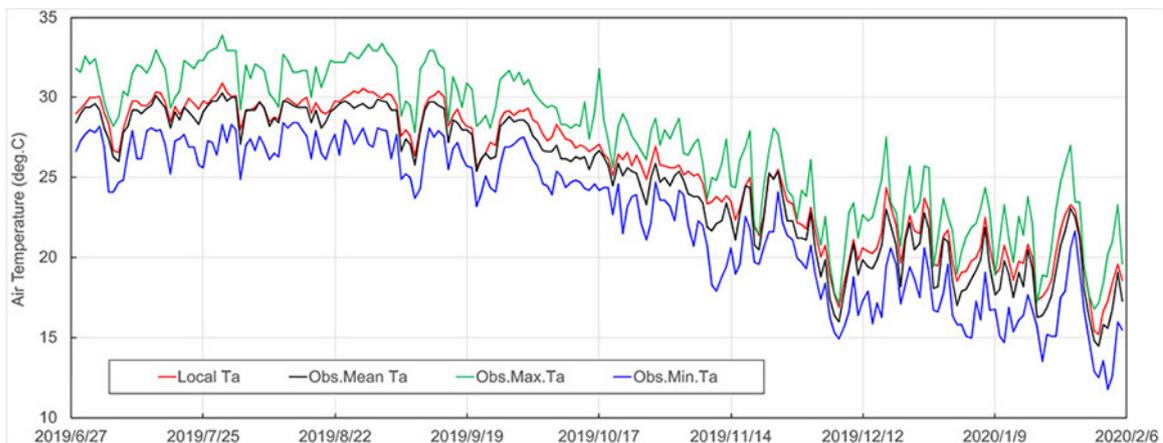


図-13 測定された日平均外気温と気象台の気温との比較

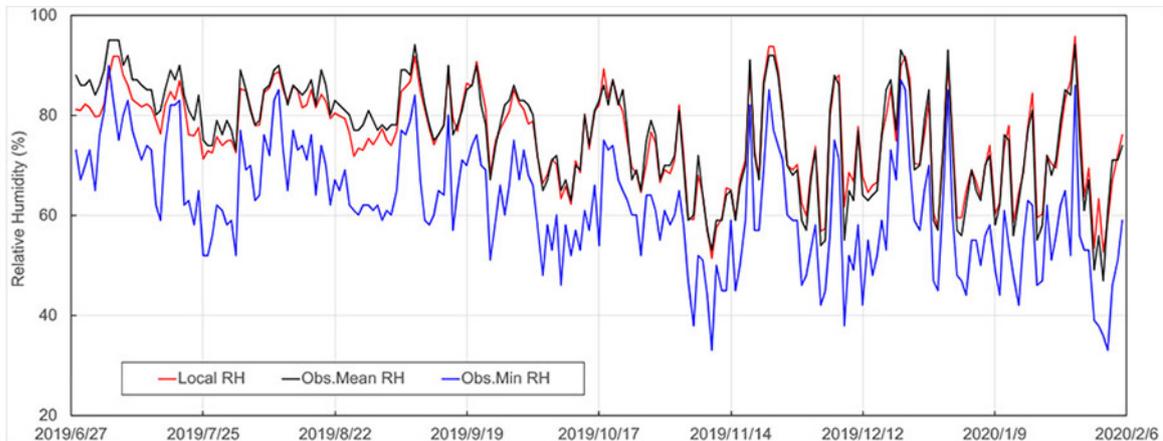


図-14 測定された日平均外気相対湿度と気象台の相対湿度との比較

測定期間を通じて、現地で測定された日平均外気温は全体に気象台の日平均気温よりやや高めであるが、両者はほぼ同様の変化を示し、気象台の日最高気温と日最低気温の範囲から外れることはない。現地の日平均外気相対湿度も気象台の日平均湿度と同様の変化を示し、日最低相対湿度を下回ることはない。現地の外気温が高めのため、夏期の日平均相対湿度は気象台よりもやや低い。以上の観点から、対象地で測定された外気の状態は、8地域を代表する沖縄気象台のデータとほぼ同じ傾向を示し、測定対象建築の選択と外気の温湿度測定の妥当性が確認された。

(2) 小学校内の温湿度の変動

小学校の環境測定点の中から空調の有無等を考慮して、外気、昇降口、体育館、2階及び3階オープンスペース（以後、「OS」と記す。）を比較して、日平均温度及び日平均相対湿度の変動を図-15及び図-16に示す。10月中旬までの空調期間は、体育館の温度が顕著に高く、夏休み期間は3階OSもかなり高い温度を示す。OSの温度は外気温より低い、昇降口の温度は外気温とほぼ同等である。11月以降はすべての室内の温度が外気温よりも高いが、その中で体育館が最も低い。

外気の日平均相対湿度は、常に室内の相対湿度より高い。外気温が室内に比べて低くなる冬期においてもその傾向が見られることから、外気の絶対湿度が室内よりも高いことが推定される。夏期は体育館にもその傾向が見られ、温度も相対湿度も他の室内測定点に比べて高く、絶対湿度が高いことを示している。

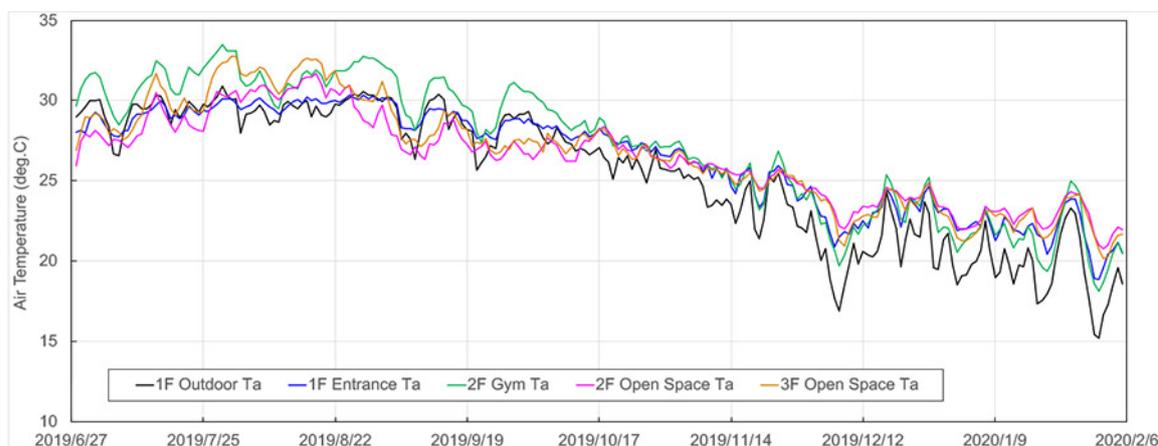


図-15 小学校の代表的な測定点における日平均温度の比較

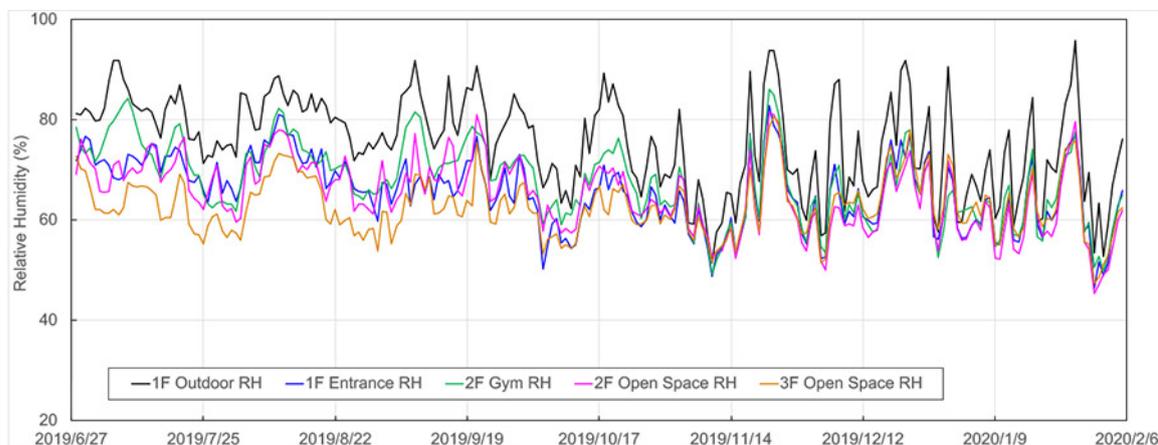


図-16 小学校の代表的な測定点における日平均相対湿度の比較

(3) 教室内の温湿度の比較

3階の教室とその直下の2階の教室に設置した、すべての温度測定点の日平均温度の変動を図-17及び図-18に示す。2階の教室には教室内床上1100mm、空調吹出口、OS、廊下の4点、3階の教室にはこれらの4点に、教室内の垂直温度分布を測定するための床上100mmと天井面の2点を加えた6点の温度測定点がある。夏期の温度は、全体的に3階の教室の方が高いが、冬期には明確な違いが見られない。空調吹出口の温度は、非空調時も含む日平均値にもかかわらずかなり低く、特に2階の教室では15°C以下のときもある。また、空調期間が12月まで及び、2階の教室では年末まで空調の使用が見られる。空調期間は教室内とOS、OSと廊下間に温度差があり、3階の教室では教室下層空気と天井面との温度差も明確である。2階の教室の一部を除き、夏休み期間及び秋休み期間には空調が使用されていない。逆に、土曜日、日曜日に空調が使用されている場合も見られる。

3階の教室及び2階の教室における日平均相対湿度の変動を図-19及び図-20に示す。相対湿度なので全体的には温度と逆転した変動になるが、空調期間においては細かい点で3階と2階の変動に若干の違いが見られる。空調吹出口の相対湿度にも大きな変動が見られるが、これは非空調時も含む日平均値のためである。3階の教室では測定場所による差が大きく、特に廊下の相対湿度は室内に比べて低い。これには温度差だけではない別の原因があるものと推定される。

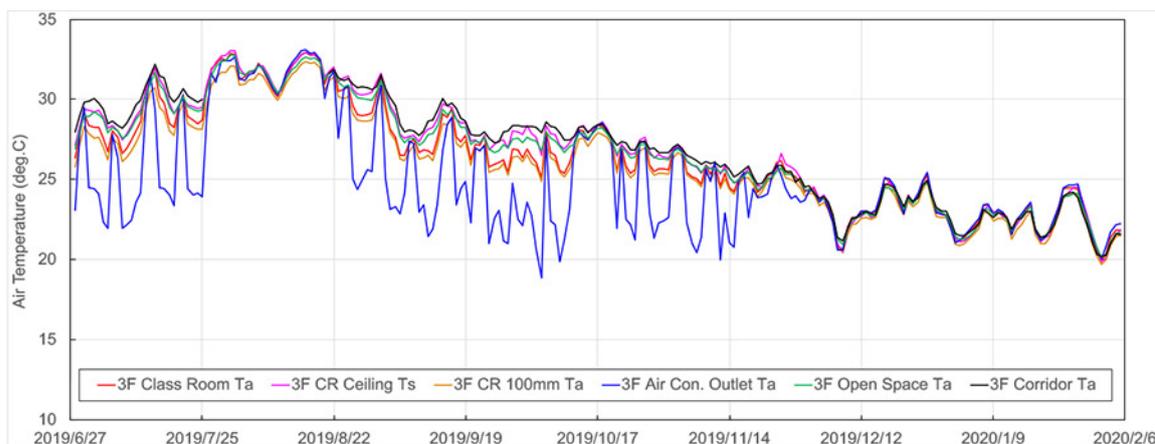


図-17 3階教室の全測定点における日平均温度の変動

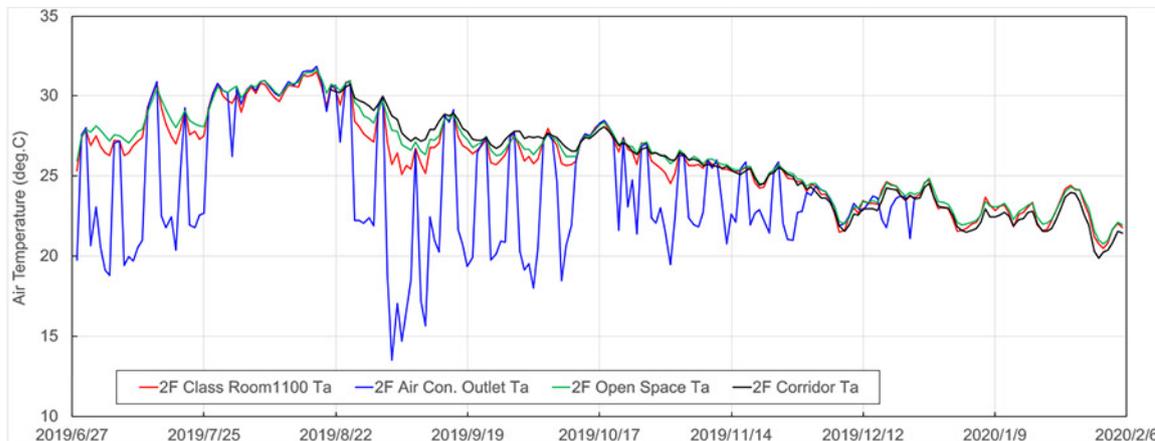


図-18 2階教室の全測定点における日平均温度の変動

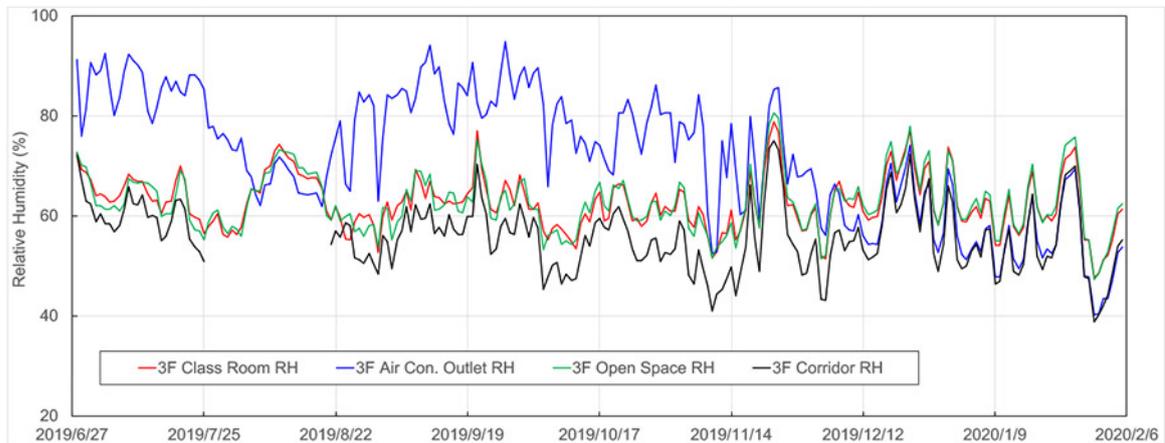


図-19 3階教室の全測定点における日平均相対湿度の変動

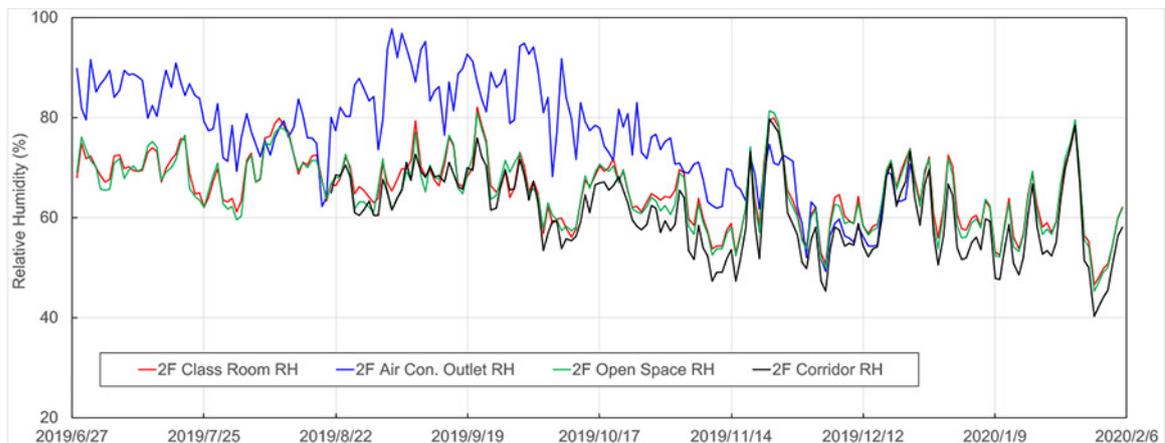


図-20 2階教室の全測定点における日平均相対湿度の変動

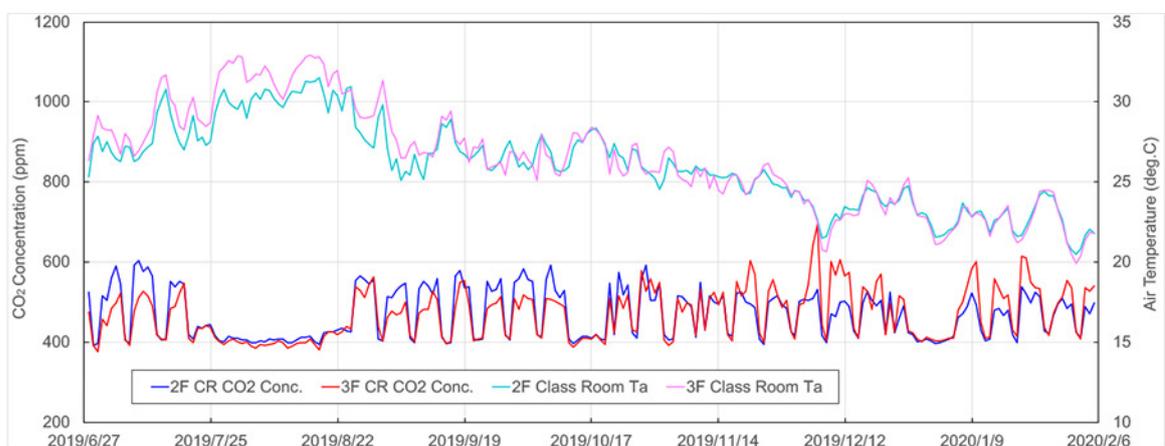


図-21 2階教室と3階教室における日平均二酸化炭素濃度と日平均温度の変動

(4) 教室内の二酸化炭素濃度に関する考察

3階の教室及び2階の教室における日平均二酸化炭素濃度の変動を教室内の日平均温度と合わせて図-21に示す。空調期間は2階の教室の方が全体的に3階より高い濃度を示しているが、非空調期間になるとこの関係が逆転し、濃度も3階では高くなり、2階では下がる。特に、12月初旬等の温度が急低下したときに二酸化炭素濃度が急増している。これは明らかに教室内の寒さのために気密性を高めたものと思われる。なお、2階の教室ではそのような変化は見られない。

3. 日積算電力データに関する考察

(1) 用途別電力消費量の傾向

研究対象建築は小学校、幼保園、給食センターの3つの施設の複合体であるが、電力の引込みは1カ所である。全電力を3つの施設に分類する。さらに、小学校で消費される電力を、電灯系、GHP系、体育館、動力系の4種に分類する。電灯系には電灯に加えてコンセント等の一般電源が含まれ、GHP系は教室内等に設置された空調機や換気装置の運転動力、動力系は給排水ポンプやエレベータ動力等を意味する。体育館は建物の違いでキュービクルから別系統に分けられている。これらの消費量に加えて、太陽光発電による発電量を負値で示す。

以上のような観点に基づいて、全電力データから施設別、用途別に日積算消費電力及び発電量を求めて図-22に示す。夏期の全電力消費量は2500~3000kWh、冬期はそれより500kWh程度小さい。夏休みや公休日等の休日には小学校と給食センターの電力消費量が明確に減少するが、幼保園に関しては夏休みと秋休みはその前後と変わらない。全体に閉める小学校の割合は50%程度である。

小学校だけの用途別電力消費量を図-23に示す。電灯系の消費量が占める割合は夏期の平日で80%程度、冬期の平日で85%以上と圧倒的に多い。GHP系は空調期間に最大15%程度である。体育館と動力系はほぼ一定の電力消費量であり、合計すると平日は120~150kWh程度、休日はその半分程度になっている。

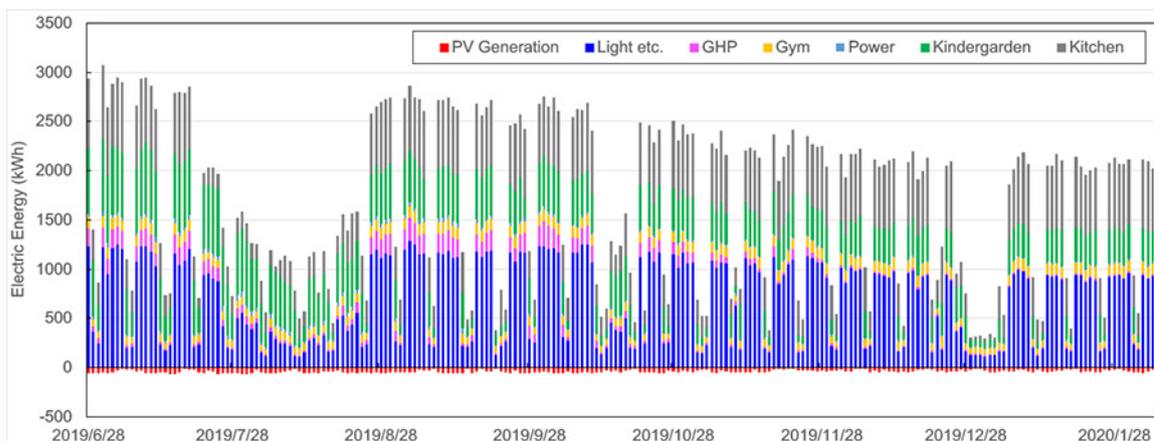


図-22 施設別・用途別日積算電力消費量

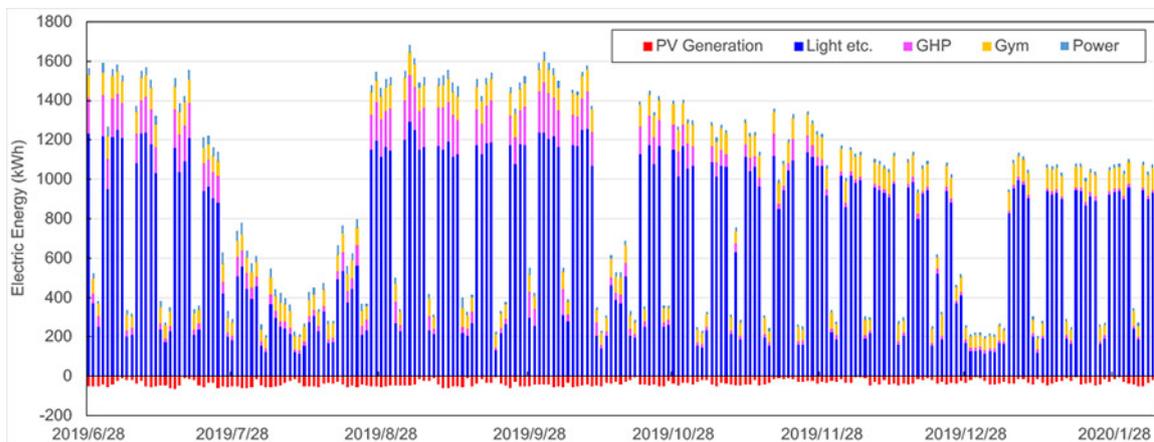


図-23 小学校における用途別日積算電力消費量

(2) 温度と電力消費量の関係

電力消費量と気温との関係を検討するため、日平均外気温及び2つの教室の日平均温度と小学校全体の日積算電力消費量の変動を図-24に示す。電力消費量には、夏休み等の連続的な休日だけでなく毎週の平日と休日の違いが明確に現れている。教室の温度は連続的な休日には高くなるが、1週間の周期的な変化は明確には見られない。季節的な変化として、温度の低下とともに電力消費量が減少する傾向は明確に現れている。この傾向をより明確に示すため、上記の温度とGHP系の電力の関係を図-25に示す。10月以降冬期に向かって、温度の低下とともにGHP系の電力消費量が徐々に減少していく状態が明確に示されている。

温度と電力消費量の関係をさらに明確に示すため、日平均外気温と小学校全体の日積算電力消費量との相関と、日平均外気温とGHP系の日積算電力消費量との相関を図-26に示す。平日と休日を分けて示しているが、学校行事等で教室を使わない、または使う時間が短い場合は休日に含めている。両図とも明確な正の相関を示している。図-26(a)では平日と休日の明確な2つのグループになるが、両者間の電力消費量の差は平日と休日の差を表す。これは図-23に示すように、主として電灯系の電力消費量の違いである。図-26(b)では低温のときは両者の電力消費量が同程度になるが、温度の上昇とともに直線的に上昇する。この上昇の起点、つまり空調使用の分岐点と考えられる日平均温度は約22°Cである。

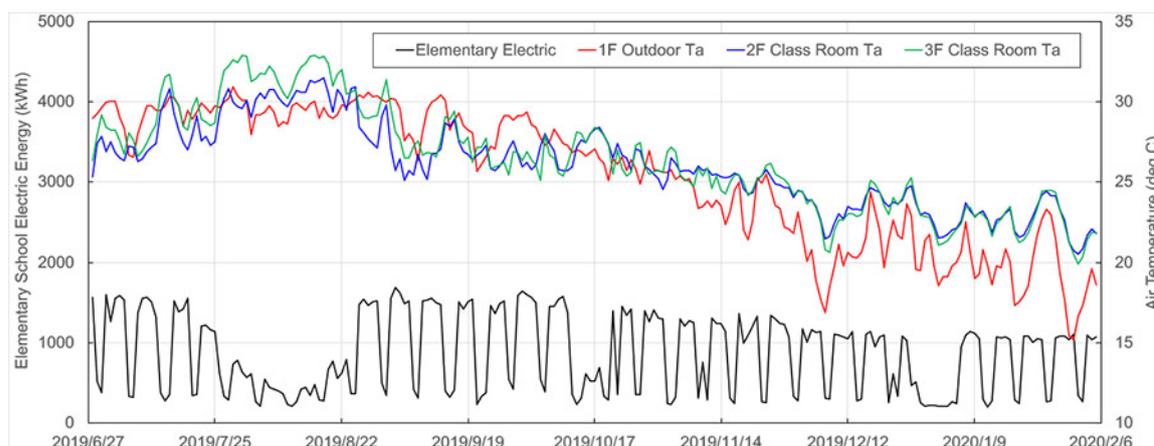


図-24 小学校の日積算電力消費量と温度の変動

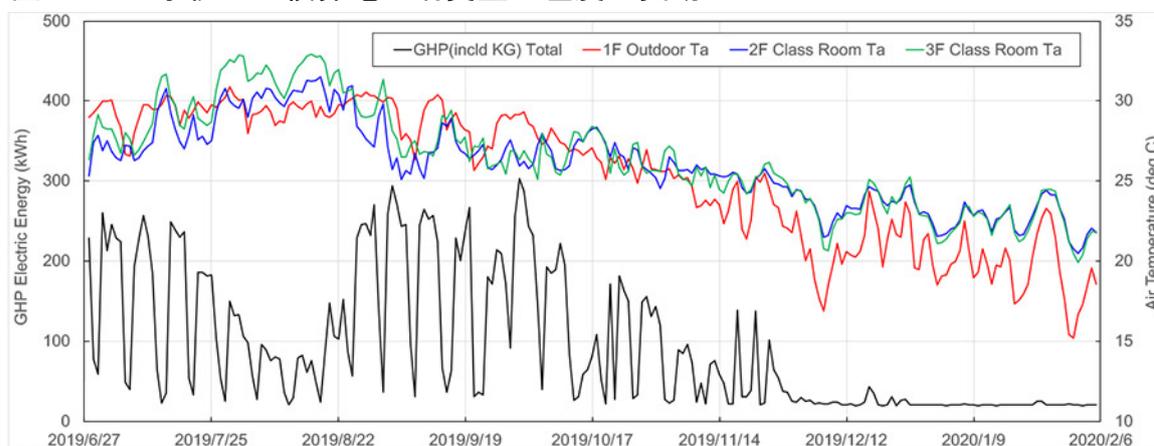
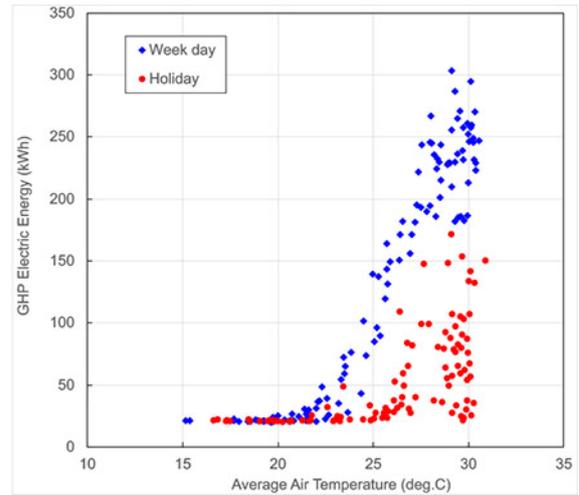
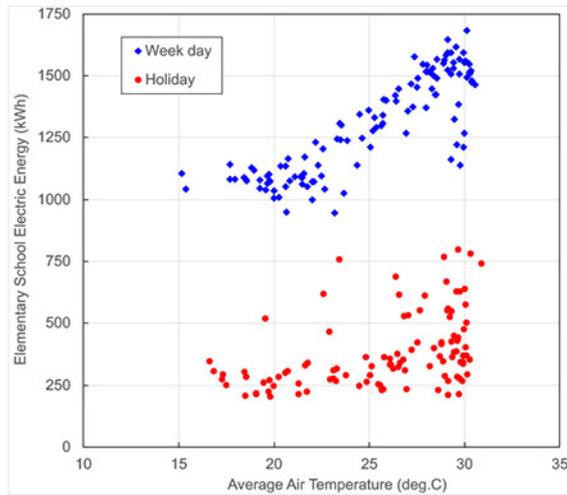


図-25 小学校のGHP系日積算電力消費量と温度の変動



(a) 全電力消費量との相関

(b) GHP 系電力消費量との相関

図-26 小学校の日積算電力消費量と外気温との相関

4. 月別及び全期間の用途別電力消費量

(1) 月別及び全期間積算電力消費量

2019年7月から2020年1月まで7ヶ月における、小学校の用途別の単純積算電力消費量と平日だけの積算電力消費量を図-27に示す。8月は夏休みのために授業等が行われる平日の日数が5日しかなく、極端に消費量が少ない。9月の消費量が最も大きく、12月まで徐々に減少する。この変化は主として電灯系とGHP系にある。なお、10月には秋休み、12月には冬休みがあるが、学校行事等の関係で平日の日数は17日か19日であり、差は2日だけである。

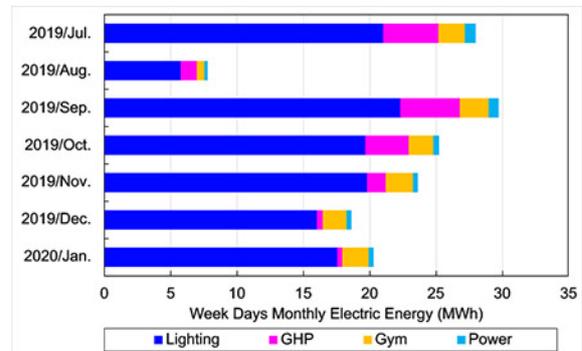
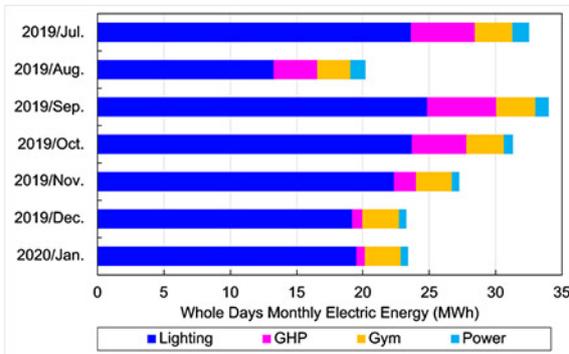


図-27 小学校の月積算電力消費量（左：全日数，右：平日のみ）

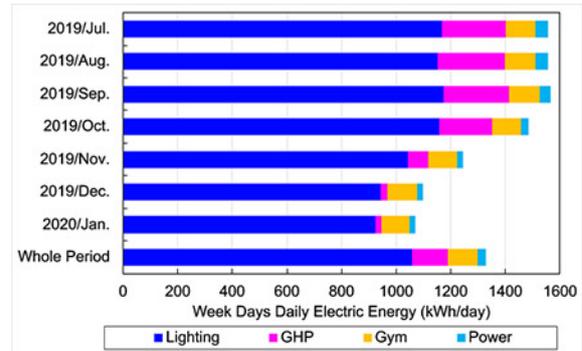
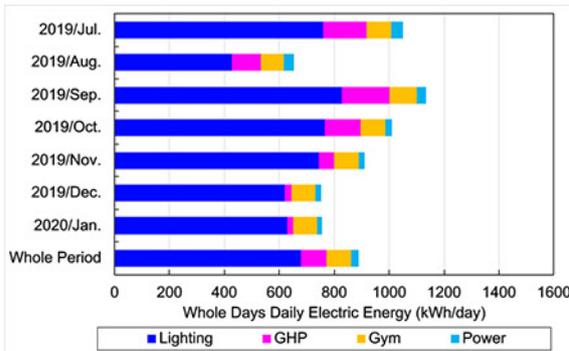


図-28 小学校の月別1日当り平均電力消費量（左：全日数，右：平日のみ）

(2) 1日当りの月別及び全期間積算電力消費量

各月の日数に関係なく比較するため、1日当りの平均電力消費量を求める。各月の全日数と平日だけの1日当りの平均電力消費量を、全日データ取得した全測定期間の平均値と合わせて図-28に示す。単純な平均では8月の減少などが強く残り、図-27と類似の分布状況になるが、平日だけの平均を取ると月別の電力消費量の明確な特徴が現れる。7月から9月まではほぼ同じ用途別の電力消費量を示し、その後の季節変化により電灯系とGHP系が徐々に減少していくことがわかる。この測定期間は夏期の空調期間と冬季の非空調期間とその中間期を適度なバランスで含むため、全期間の平均値はほぼ通年の平均に近いものと思われる。

(3) 月別及び全期間の用途別電力消費量の構成

全体の電力消費における用途別の構成をより明確に示すため、小学校以外の施設も含めた全体の電力消費量の構成比を図-29に示す。全体の中に占める小学校の割合は、全日数の8月を除くと50%前後であり、月別の変動は数%程度である。8月は夏休みのために小学校及び給食センターの割合が下がり、幼保園の割合が相対的に大きくなる。平日の用途別構成では、夏期から冬期にかけて給食センターの割合が増加し、GHP系の割合が減少する。これは温度低下による空調使用量の減少と、水温低下による調理エネルギーの増加が原因と思われる。

小学校だけの用途別電力消費量の構成を図-30に示す。8月を除くと全日数と平日の用途別構成に大きな違いは見られない。夏期から冬期にかけてGHP系の割合が下がり、電灯系の割合が増加する傾向が明確に示されている。電灯系の電力消費量は図-27に示すように冬期に低下するが、相対的な割合は増加する。なお、電灯系の電力消費量の低下は、小学校の使用時間の変化が原因と思われる。

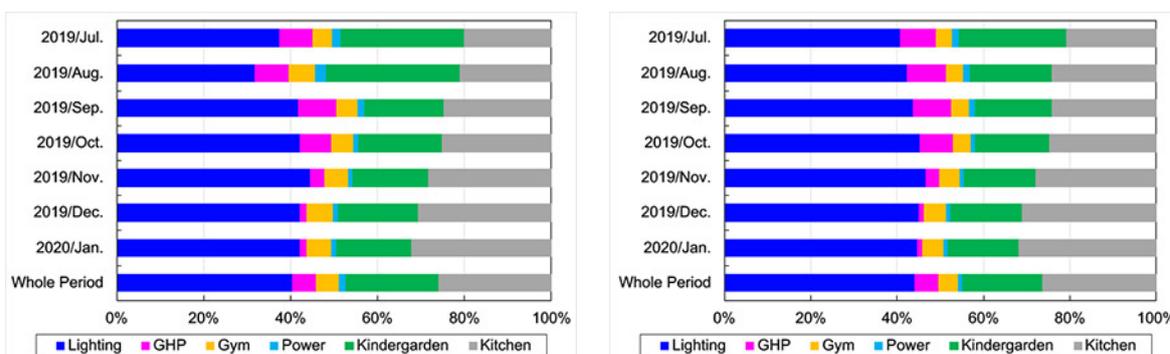


図-29 研究対象建築全体の電力消費量の構成（左：全日数，右：平日のみ）

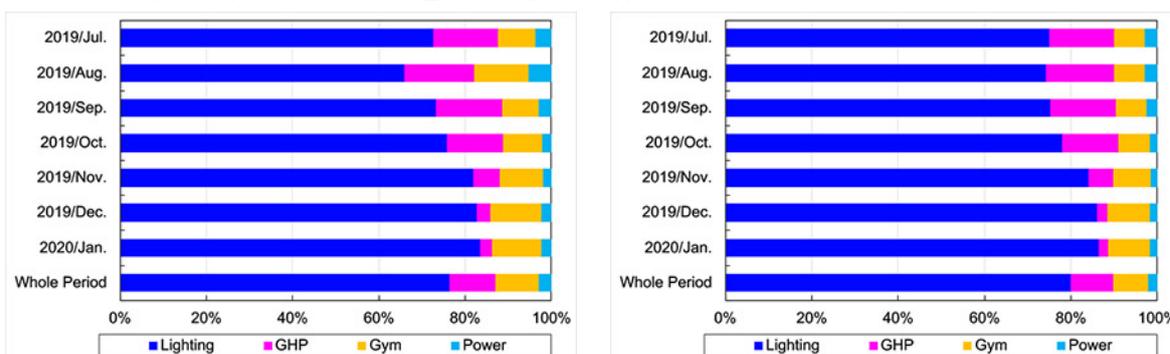


図-30 小学校の電力消費量の用途別構成（左：全日数，右：平日のみ）

(4) 月別1日当り電力消費量と気温との関係

1日当り電力消費量の月による変化を温度との関係として捉えるため、小学校全体の月別1日当り電力消費量と沖縄気象台の月平均気温、現地で測定された月平均外気温の変動を図-31に示す。現地の平均気温は、全日数の場合は全日数の平均、平日の場合は平日だけの平均を取っている。現地の平均気温は沖縄気象台のそれよりやや高いが、変化の傾向は類似し、大きく離れることはない。

全日数による1日当り電力消費量は、夏休みのために8月に大きく低下するが、9月から12月にかけては平均気温とともに低下する傾向が見られる。平日の1日当り電力消費量は全日数の場合の8月のような急変がなく、7月から9月までは平均気温も電力消費量も変化が小さい。ただし、平均気温は8月が最も高いが、電力消費量は9月が最も大きい。9月以降は全日数の場合と同様に、気温とともに電力消費量も低下するが、その変化は全日数の場合よりも急激である。

9月から12月までの電力消費量と平均気温の関係は、環境条件とエネルギー消費の相関を示唆し、電力消費量の予測に指針を与える可能性がある。その関係をより明確に示すため、9月から12月までの2種類の平均気温と1日当り電力消費量の相関を図-32に示す。データ数は4点と非常に少ないので、統計的な有意性を検討できるレベルではないが、2種類のデータ、2種類の平均気温のすべてのケースにおいて両者は非常に明確な相関を示し、4点がほぼ回帰直線の上に乗る。

日積算電力と日平均気温の相関は図-26にも示したが、データのばらつきが大きく扱いが難しい。気象台の月平均気温により地域全体を代表でき、月平均によりデータが集約されるので、簡単に毎月の電力消費量や電気料金の予測に利用できる。なお、回帰直線の式は建物の特性や設備機器の性能等によって決まる。

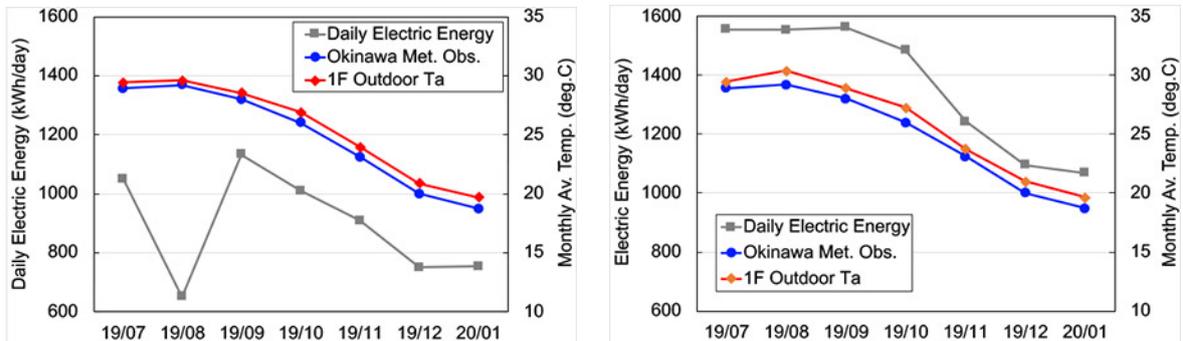


図-31 月平均1日当り小学校電力消費量と気温の変動（左：全日数，右：平日）

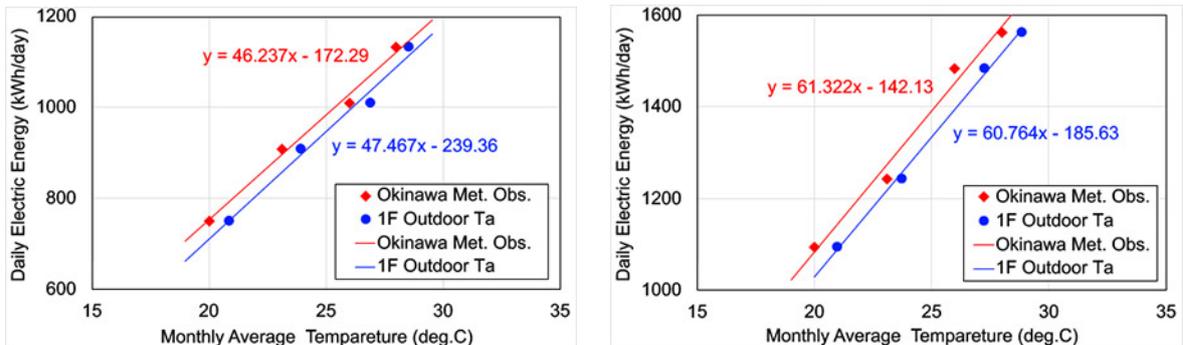


図-32 月平均1日当り小学校電力消費量と気温の相関（左：全日数，右：平日）

(5) 月別1日当り GHP 系電力消費量と気温との関係

気温との関連性が強い空調に関わるエネルギーだけを取り出して、両者の関係を検討するため、前述(4)と同様の月平均気温と月別1日当り GHP 系電力消費量の変動を図-33に示す。全日数及び平日とも図-31と同様の傾向を示すが、GHP 系電力消費量は図-31より急激な変化を示している。

9月から12月にかけてのデータを月平均気温と月別1日当り GHP 系電力消費量の関係を相関図で表すと図-34のようになる。図-32と同様、すべての条件において両者は非常に高い相関関係を示している。沖縄気象台の月平均気温を用いても高い相関が得られることは、この関係の汎用性を高めるものである。図-32と比較すると、どちらも同様に高い相関を示すが、図-32には電灯系などの電力消費量が含まれ、これまでの解析では気温との相関を持つ根拠が不明確である。

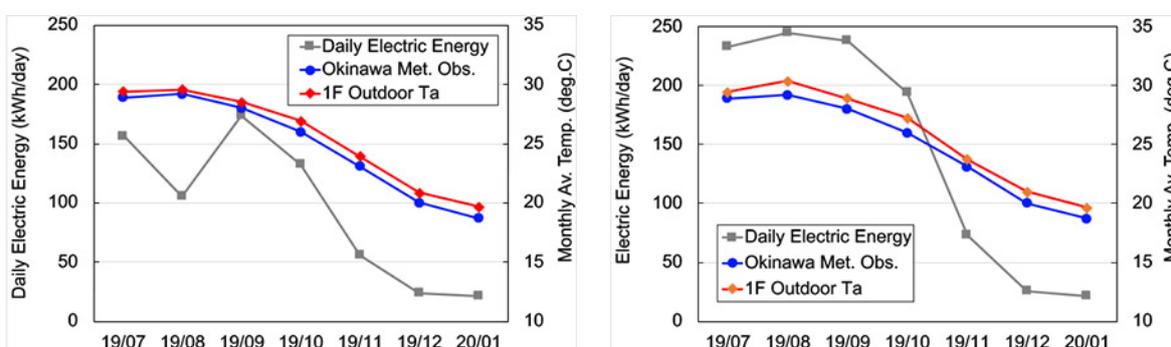


図-33 月平均1日当り GHP 系電力消費量と気温の変動(左:全日数, 右:平日)

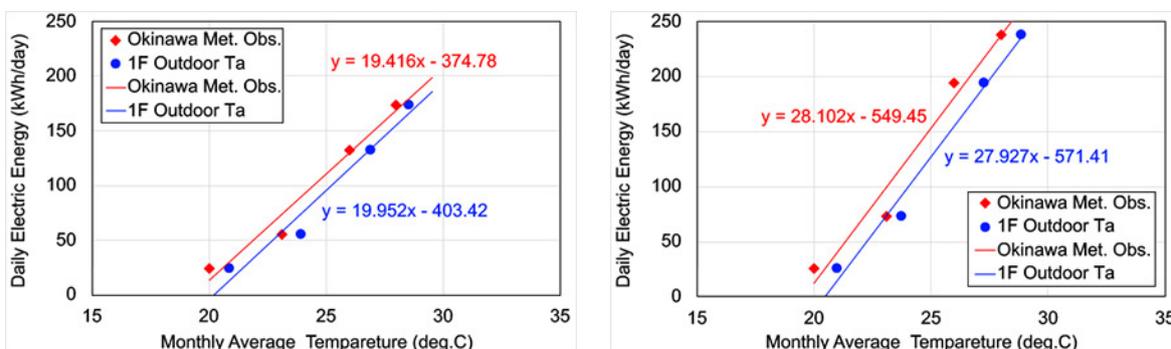


図-34 月平均1日当り GHP 系電力消費量と気温の相関(左:全日数, 右:平日)

5. 空調用熱源エネルギーの推定

GHP 系の電力消費量は10分間隔の連続値として得られる。これは空調機や換気のファン動力等に使われるエネルギーで、空調用の熱源エネルギーではないが、空調期間には熱源エネルギーと連動して変化するものと考えられる。一方、熱源エネルギーとなるガス使用量は、ガスメーターのパルスとして整数で得られるが、1パルスがガス 1m³に相当する粗い離散値となる。この GHP 系の電力とガス使用量の関係を明らかにすることで空調用熱源エネルギーを推定する。

小学校の空調用のガスメーターパルスと GHP 系の電力消費量の日積算値の変動を図-35に、両者の相関を図-36に示す。両者はややバラツキはあるものの、高い相関を示しており、一次回帰により日積算のエネルギー量を推定できる。

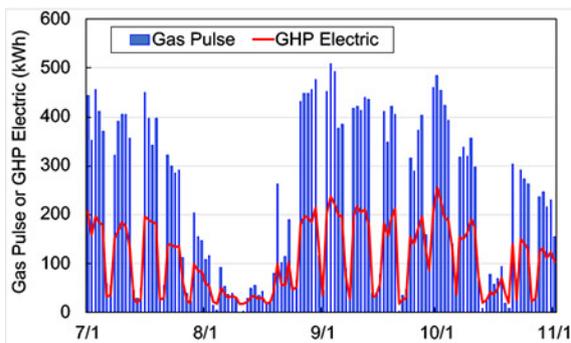


図-35 ガスパルスと GHP 系電力の変動

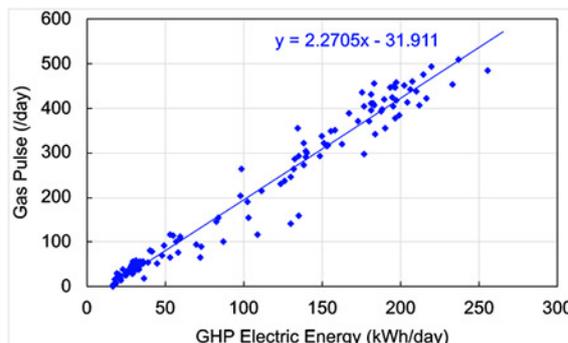


図-36 ガスパルスと GHP 系電力の相関

都市ガス 13A の発熱量は一般に高位発熱量 $45.0\text{MJ}/\text{m}^3$ と言われているが、GHP に用いるガスエンジンでは低位発熱量を用いることが一般的である。ガス供給会社が提供する資料によると、高位発熱量が $44.0\text{MJ}/\text{m}^3\text{N}$ 、低位発熱量は $39.7\text{MJ}/\text{m}^3\text{N}$ となっている。ここでは、以下の変換式を用いる。

$$1\text{pulse} = 1\text{m}^3 = 39.7\text{MJ}/\text{m}^3\text{N} \approx 11\text{kWh} \quad (1)$$

ただし、電力消費量は消費端の 2 次エネルギーであるが、ガスの熱量は直接燃焼させる 1 次エネルギーであり、ガスの熱量換算の単位は標準状態の数値であるが、実際に現場で供給されるガスは標準状態ではないことに注意を要する。

連続値として得られる GHP 系の電力消費量のデータからガスメーターのパルス数、つまりガスの使用量を算定し、それをエネルギーに換算する。ただし、10 分間隔のデータではパルス数は最大 10 程度の整数、つまり離散値になってしまうので、擬似的に連続値として扱えるように日積算値で考える。GHP 系の日積算電力消費量を $e(\text{kWh}/\text{day})$ とすると、GHP の熱源となるガスの熱量 $g(\text{MJ}/\text{day})$ は式(2)で表される。この熱量を kWh に換算した値 $h(\text{kWh}/\text{day})$ は式(3)となる。

$$g = 39.7 \times (2.27e - 31.9) \quad (2)$$

$$h = 11 \times (2.27e - 31.9) \quad (3)$$

ここで、()内の式は図-36 で得られる回帰式を 3 桁で表した式であり、負の切片を持つ理由は空調を使っていないとき、つまり換気駆動力などに消費されるエネルギーと考えられる。式(3)によると、空調を使っている場合の GHP 系電力消費量の 1kWh は、熱源のエネルギーとしては概ね (11×2.27) 25kWh に相当する。ただし、この数値は GHP 系電力消費量から推定されるガスの消費量を単純に熱量に置き換えただけであり、ガスエンジンを通して冷房に使われるまでの、ガスエンジンの仕事効率やヒートポンプの熱効率 (COP) は考慮されていない。仮に、ガスエンジンの効率を 30%程度、ヒートポンプの COP を 3.3 と想定すると、全体の効率は最終的に 1 に近い値となる。この数字は現実から大きく外れることはないので、熱源のエネルギーは GHP 系電力消費量の概ね 25 倍と考えられる。

6. 太陽光発電装置の性能

小学校東側建物の屋上に設置された 2 つの太陽光発電アレイによる日積算発電量を、沖縄気象台で測定された日積算水平面全天日射量(以後、「日射量」と記す。)と合わせて図-37 に示す。2 つの太陽光発電アレイによる発電量はほぼ等しく、それらの合計値の変動は日射量の変動と類似している。

日射量と太陽光発電量の相関を図-38 に示す。両者は非常に高い相関を示しており、ほぼ比例関係が成り立つ。ただし、X 軸の日射量の単位は MJ/m² であり、Y 軸の太陽光発電量は kWh で表されるので、比例定数は単位変換の意味を持つ。単純なエネルギー換算では、理論的に 1kWh は 3.6MJ (3600kJ) に相当する。

相関図の両軸の単位を kWh に揃えて、太陽光発電アレイの定格出力と日射量から求められる理論的な発電量と実際の発電量との相関を図-39 に示す。定格出力は日射量 1kW に対する発電量の意味なので、その状態が継続すると仮定すれば、理論的な発電量とは太陽光発電アレイの定格出力と kWh に換算した日射量を掛け合わせたものとなる。直達日射の方向などを考慮していない非常に単純な計算であるが、実際の発電量は理論値の 82.5%と高い割合に達している。太陽光発電装置として高い性能であるが、平日の電力消費量に対しては数%程度である。

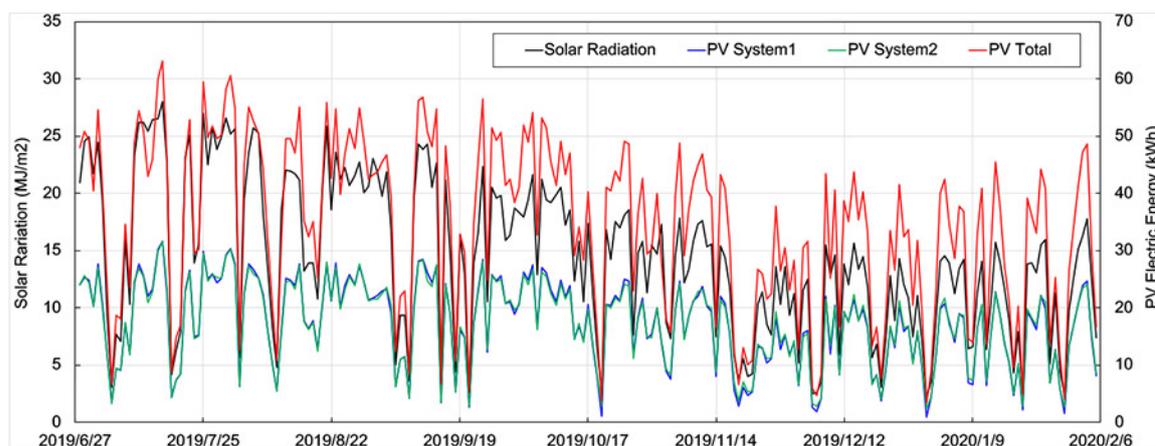


図-37 日積算太陽光発電量と沖縄気象台の日積算水平面全天日射量の変動

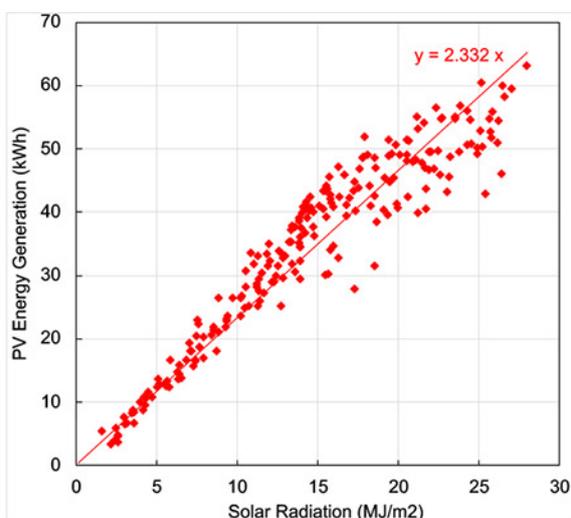


図-38 日射量と太陽光発電量の相関

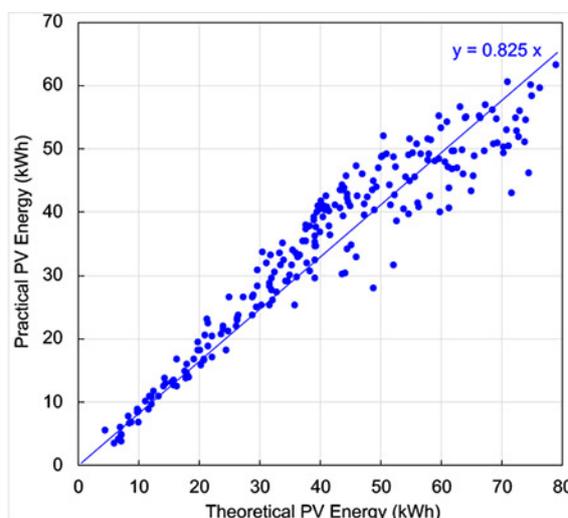


図-39 太陽光発電量の理論値と実測値

7. 月別週間データの詳細な考察

(1) 2019年7月の1週間（7月8日～7月15日）のデータ

2019年7月の中で、月曜日から始まる5日間の平日があり、晴天を含む1週間を選択すると8日（月曜日）から15日（日曜日）までになる。

小学校の外気、昇降口、体育館、2階廊下、3階廊下という非空調空間5点で測定された温度を図-40に示す。ただし、2階廊下の温度は測定器の不調により欠測している。水曜日（7/10）以降、晴天になり外気温の上昇とともに、校舎内の温度も上昇でしている。特に、体育館と3階廊下の温度は、週末の昼間、外気温を超えているが、これは空調を使っていない日の蓄熱効果と思われる。

空調対象空間である2階教室の床上1100mmとOSの2点、3階教室の床上1100mm、OS、床上100mm、天井面の4点の温度を図-41に示す。空調を使っている平日は2階教室の方が3階教室よりも明らかに低い温度を示している。3階教室では床上100mm、床上1100mm、天井面の順に温度が高くなる垂直分布が見られるが、夜間にはその傾向が明確になる。早朝に床上1100mmの温度が突然上昇することがあるが、これは東向きの窓から入射する直達日射のためと思われる。

この1週間の幼保園、給食センターを含む小学校の用途別電力消費量を図-42に示す。小学校の電灯系と給食センターの電力消費量が顕著であるが、幼保園は土曜日にも平日と同程度の電力消費量が見られる。給食センターでは午後2:30頃と土曜日の午前中に電力消費量が突然上昇するが、その理由は未解明である。なお、太陽光発電量を見れば、その日の日射の状況が推定できる。

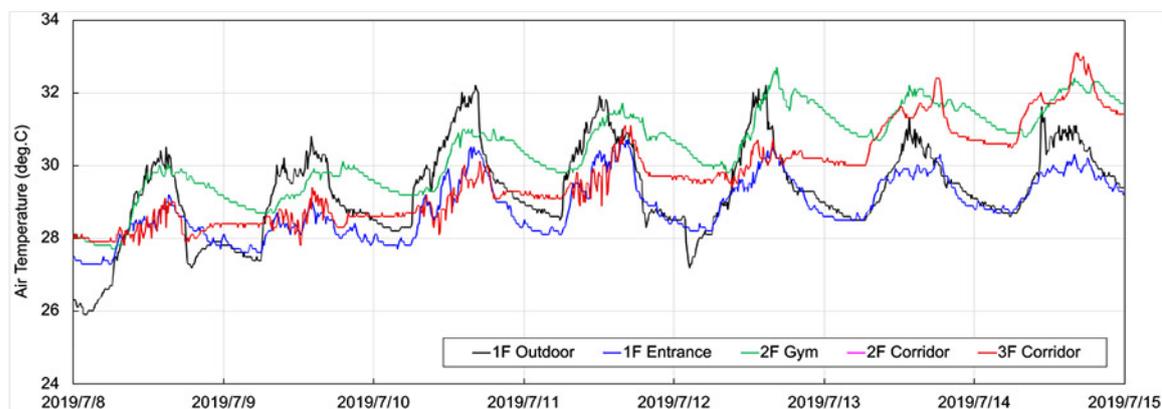


図-40 7月の1週間における小学校の非空調空間の温度変化

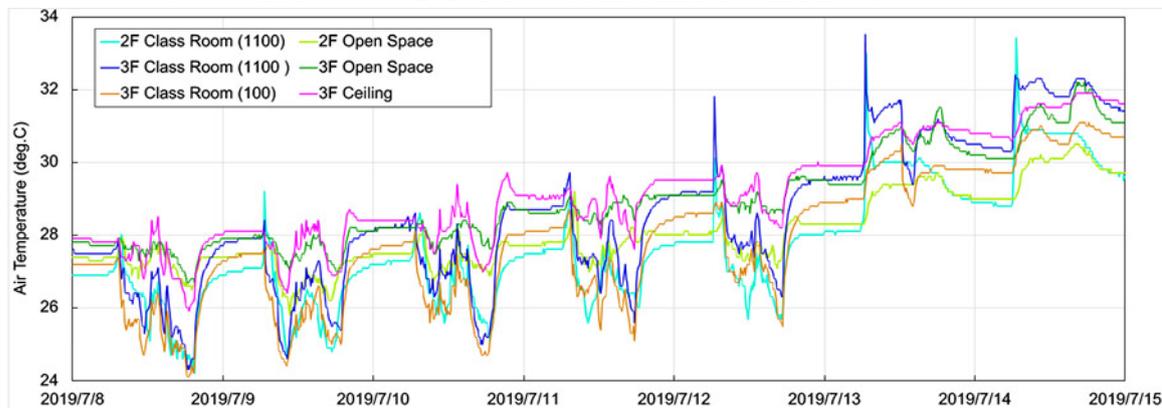


図-41 7月の1週間における小学校の教室の温度変化

電力消費と環境状態との関係を詳細に検討するため、教室の空調吹出口と体育館の温度と、GHP系と体育館の電力消費量を図-43に示す。体育館の温度は体育館で消費される電力とは、特に連動する関係は見られない。体育館では夜間も30kW程度の一定の電力消費量が見られる。GHP系の電力消費量と空調吹出口の温度変化には明確な連動が見られる。2階教室の空調吹出口の温度は10℃程度とやや低すぎるが、3階は16~18℃と一般的な冷房吹出温度になっている。

2階と3階の教室の温度、二酸化炭素濃度、空調・換気系の電力消費量を図-44に示す。平日の昼間、電力消費量と二酸化炭素濃度が連動して上昇し、2階教室の方が明らかに高くなるが1000ppmを超えることはほとんどない。2階の電力消費量は夜間や週末も換気のためと思われる細かい変動が見られる。

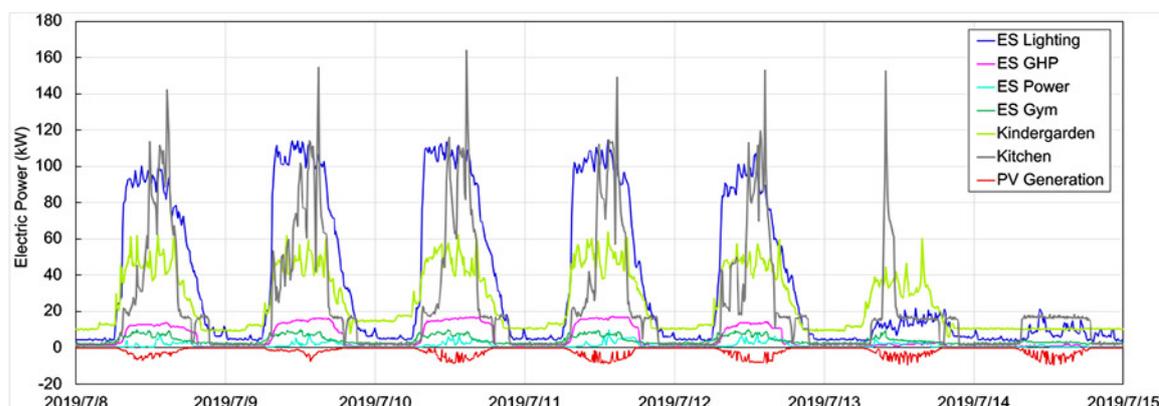


図-42 7月の1週間における用途別電力消費量の変動

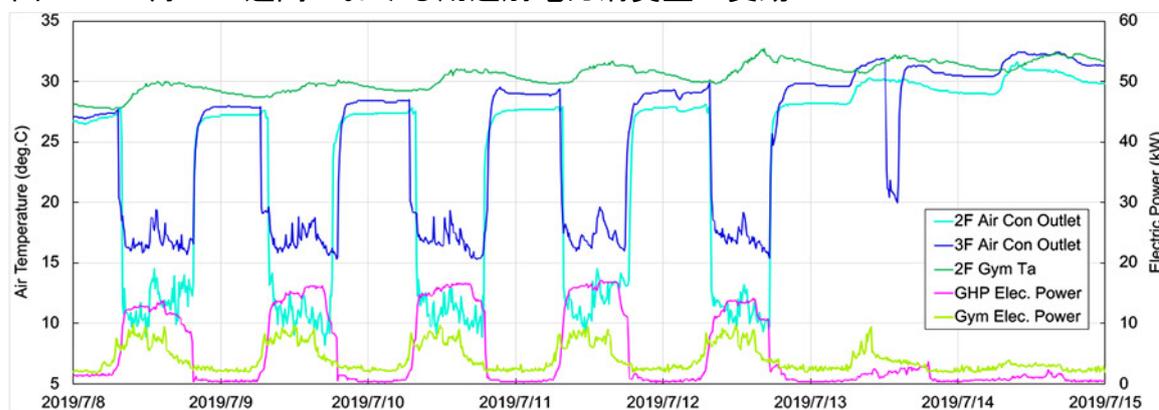


図-43 7月の1週間における温度と電力消費量の関係

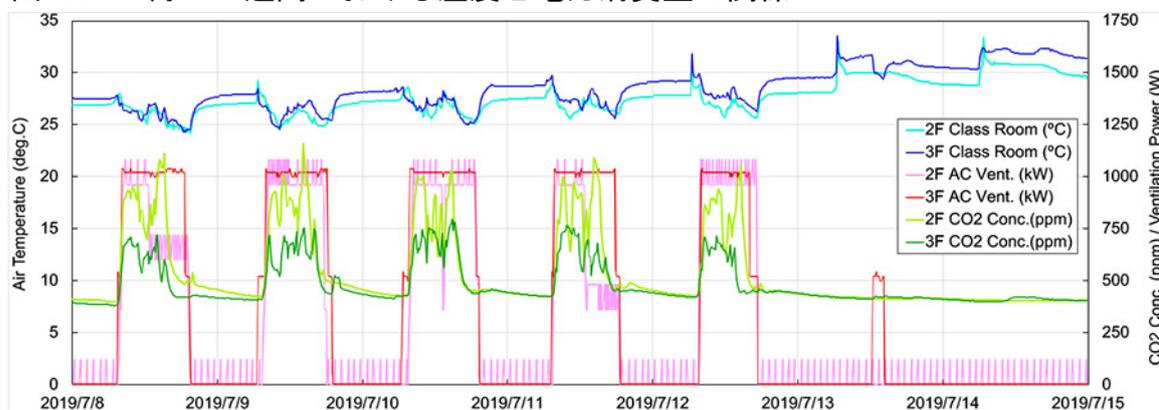


図-44 7月の1週間における教室の環境状態と電力消費量の関係

(2) 2019年夏休みの1週間(8月5日～8月11日)のデータ

この小学校では7月27日から8月25日まで夏休み期間であり、その間に盂蘭盆会、いわゆる旧盆がある。沖縄地方では正式な旧暦7月13日～15日に旧盆の行事を行うが、2019年は非常に珍しくこれが8月13日～15日の月遅れの旧盆に完全に重なった。この週を避けて8月5日から11日までを対象期間に設定した。

夏休み期間の空調非対象空間の温度を図-45に示す。ただし、2階と3階の廊下については、測定器の不都合により欠測している。夏休み期間でも教職員は出勤しているので、職員室等は空調を使用しているが、校内のほとんどは自然室温の状態になるので、昇降口も体育館も昼夜を問わず、外気温より高温となっている。

この期間の2階と3階の教室の温度を図-46に示す。このデータは本来空調されるべき空間の空調なしの状態である。この状態でも2階の教室は3階より明確に低い温度を示す。OSの温度は教室の床上1100mmより高く、特に夜間はその傾向が明確に現れる。3階教室では温度の垂直分布も明確に現れている。8月6日の早朝には、7月と同様に朝日の入射による温度の突然上昇が起こっている。

この1週間の幼稚園、給食センターを含む小学校の用途別電力消費量を図-47に示す。幼稚園の電力消費量は7月とほぼ同程度であり、通常の業務状態であることがわかる。小学校の電灯系の電力消費量は7月の20～30%程度になる。給食センターの電力消費量は最初の3日間は非常に少なく、木曜日以降に急増して土曜日、日曜日にも一定の電力消費量があるが、この変動の理由は未解明である。なお、太陽光発電量によると、木曜日以降の天気はあまり良くない。

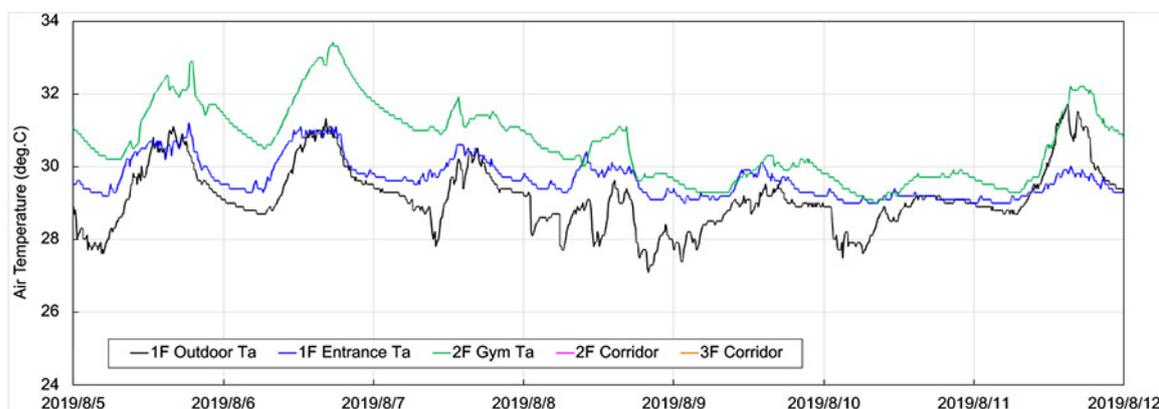


図-45 夏休みの1週間における小学校の非空調空間の温度変化

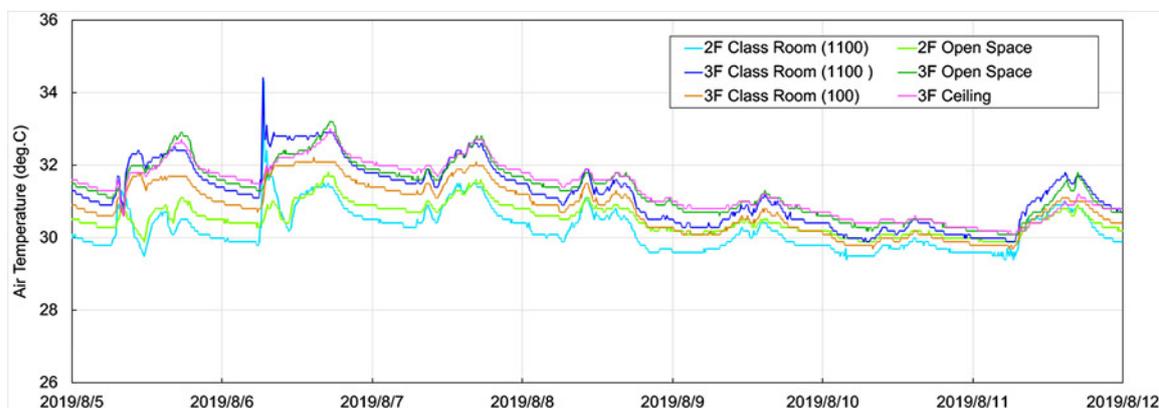


図-46 夏休みの1週間における小学校の教室の温度変化

2つの教室の空調吹出口と体育館の温度及び GHP 系と体育館の電力消費量の変動を図-48 に示す。月曜日に2階教室の空調が稼働したが、それ以外はほぼ天井付近の自然室温と考えられる。2階教室の空調吹出口の温度は3階に比べて低いが、月曜日から天気が悪くなるに従って差が小さくなる。逆に、体育館の温度は徐々に低下し、金曜日以降は最も低くなる。体育館の電力消費量が夜間でも常に3kW程度あることから、換気扇が常時稼働していることが原因と考えられる。

教室内の環境状態と空調・換気系の電力消費量の変動を図-49 に示す。2階教室では常に120Wの換気のための電力が消費されているが、3階教室では日曜日に1度だけ20Wの消費量が見られる。このような換気の制御が行われている原因は未解明であるが、その結果は二酸化炭素濃度の差となって現れている。

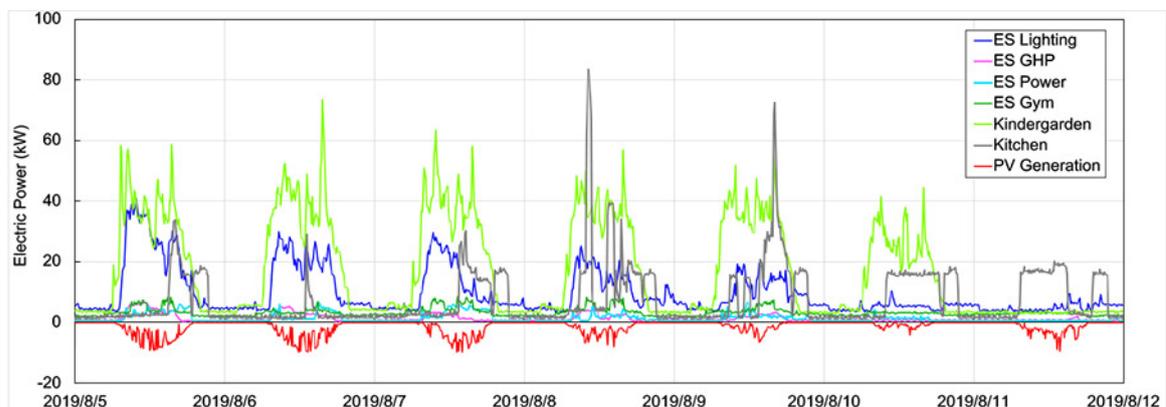


図-47 夏休みの1週間における用途別電力消費量の変動

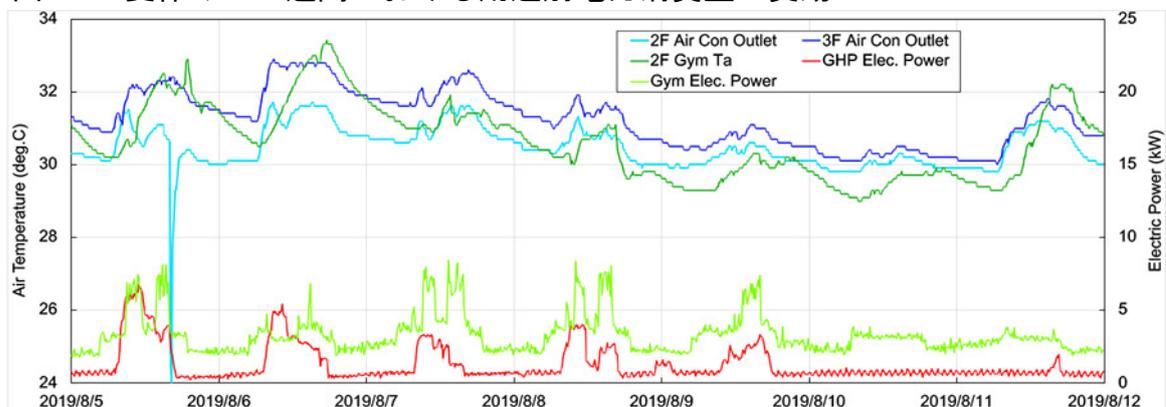


図-48 夏休みの1週間における温度と電力消費量の関係

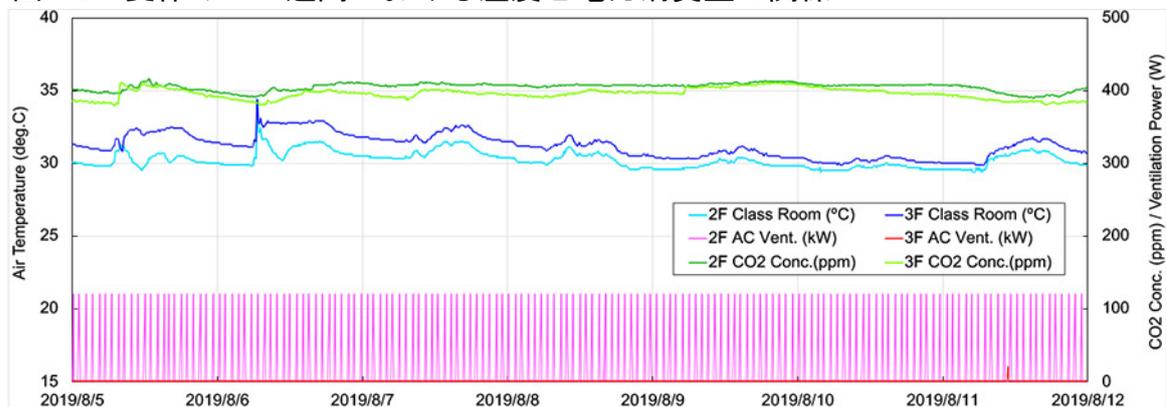


図-49 夏休みの1週間における教室の環境状態と電力消費量の関係

(3) 2019年8月の1週間(8月26日～9月1日)のデータ

8月はほぼ夏休みで占められ、最後の週だけ通常の授業等が行われたので、この週についてのデータを考える。ただし、最後の日曜日は9月1日である。

夏休み直後の1週間における空調非対象空間の温度を図-50に示す。この期間は外気温が最高33℃を超える暑い日が続き、体育館の温度は34℃近くまで上がり、夜間でも32℃程度と高温を維持している。教室はすべて空調を利用しているが、直接、空調対象空間となっていない昇降口の温度も日中ほとんど31℃を超えている。非空調対象の廊下では、2階で30℃近く、3階で31℃以上とかなり高温となるが、この温度がそのまま夜間も継続している。夜間は2階の廊下の温度が外気温に近くなるが、3階の廊下はそれより1℃以上高く、その差は明確である。

この期間の2階と3階の教室の温度を図-51に示す。早朝に温度が急上昇しているが、これは直達日射の入射が原因である。その後、空調により温度が低下するが、2階教室では25℃以下に下がり、3階教室よりも2℃程度低い。この差はOSにも現れ、夜間もその差が維持される。3階天井の温度は空調時間中、30℃以下に下がるが、蓄熱効果のため夜間は31℃を超えている。

この1週間の幼稚園、給食センターを含む小学校の用途別電力消費量を図-52に示す。給食センターの電力には、土曜日も含めて非常に大きな急上昇がある。幼稚園は土曜日にも電力の消費があるが、平日よりもやや少ない。GHP系の電力消費量は平日16kW程度でほぼ一定である。ただし、金曜日から土曜日にかけて夜間にも8kW程度の電力消費量が見られる。

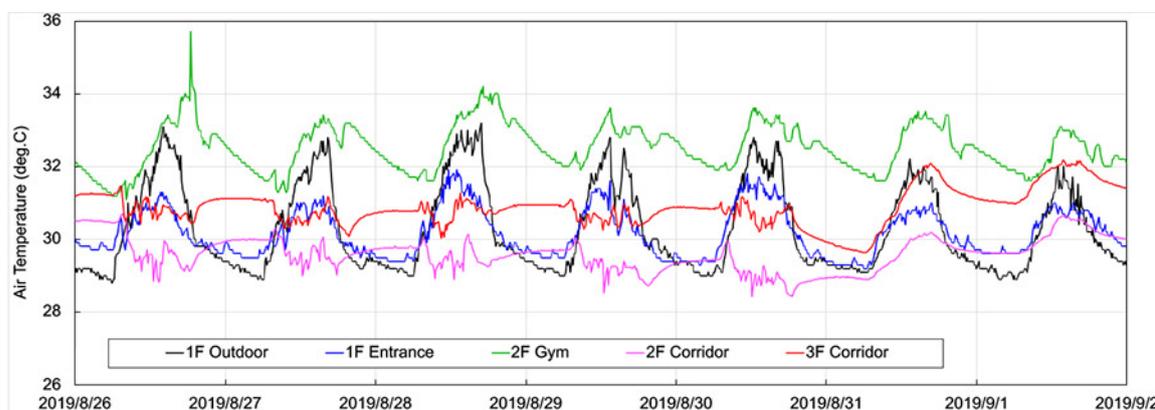


図-50 8月末の1週間における小学校の非空調空間の温度変化

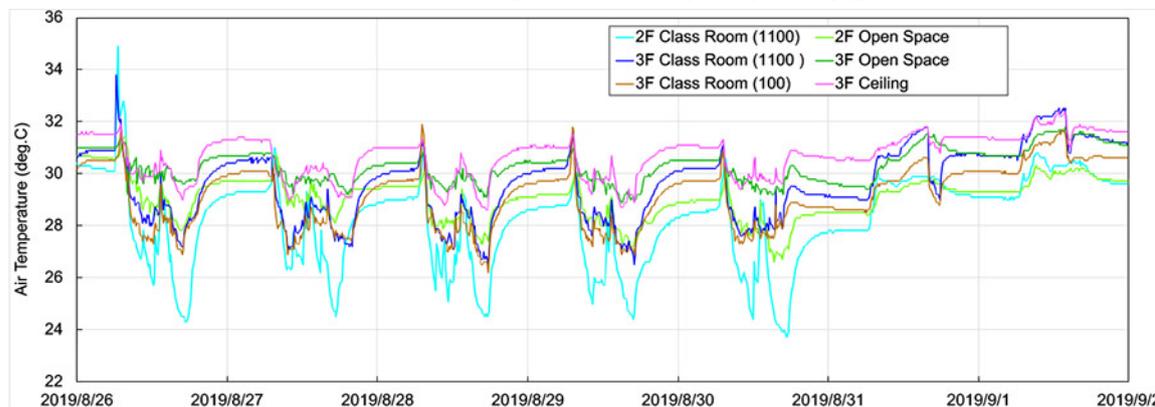


図-51 8月末の1週間における小学校の教室の温度変化

2つの教室の空調吹出口と体育館の温度及び GHP 系と体育館の電力消費量の変動を図-53 に示す。平日の空調稼働時、2階教室の空調吹出口の温度が 10℃近くまで下がっており、3階が 20℃付近であるのに対してかなり低い。GHP 系の電力は火曜日の夜に小さな消費があり、金曜日の夜は昼間の半分程度の消費が認められる。3階教室の空調は金曜日の夜、土曜日、日曜日にもわずかに稼働している。

教室内の環境状態と空調・換気系の電力消費量の変動を図-54 に示す。2階と3階教室の温度の違いは明確であるが、空調・換気系の電力消費にはその傾向は見られない。逆に、水曜日は2階教室の電力消費量が3階より少ない。二酸化炭素濃度は3階教室の方が低いですが、2階教室でも 1000ppm を超えることは少ない。

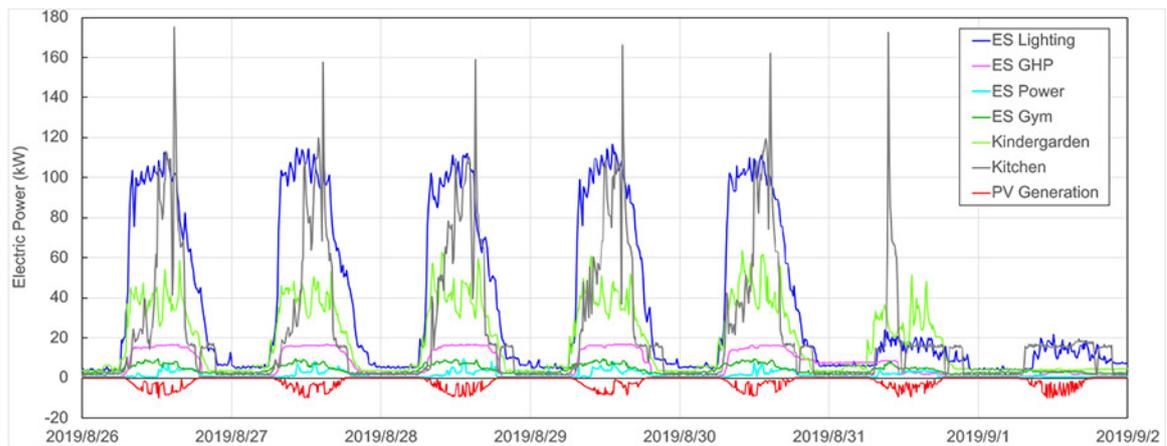


図-52 8月末の1週間における用途別電力消費量の変動

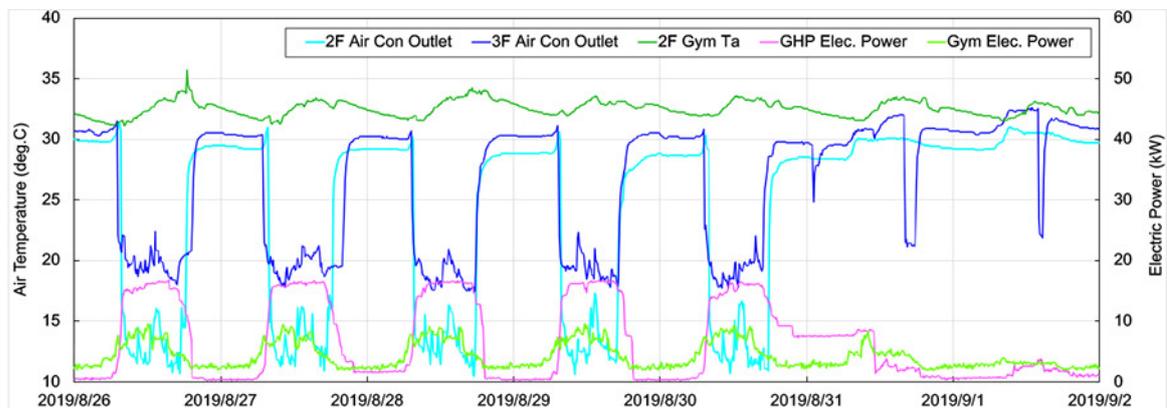


図-53 8月末の1週間における温度と電力消費量の関係

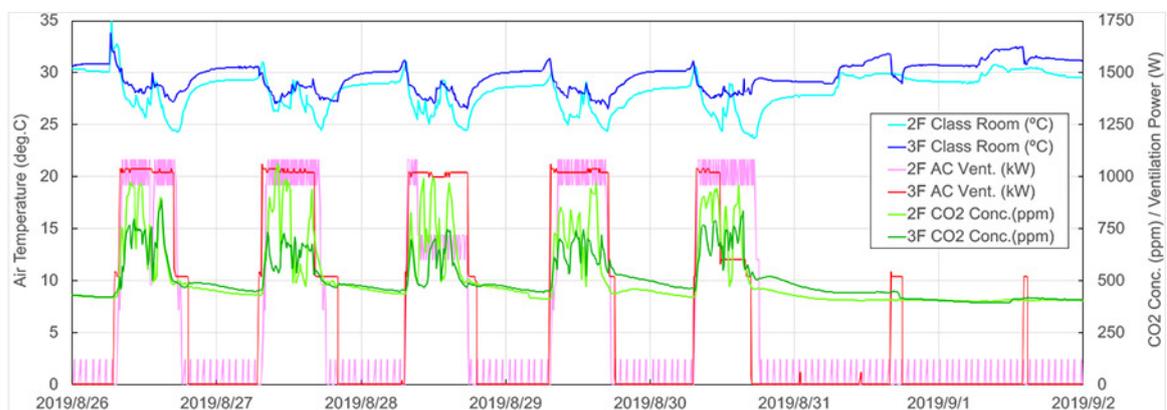


図-54 8月末の1週間における教室の環境状態と電力消費量の関係

(4) 2019年9月の1週間(9月9日～9月15日)のデータ

9月は2回の祝祭日があり、最初の週が8月のデータと連続してしまうので、それらを避けると必然的に9月9日から15日までの1週間だけになる。この1週間は天気も安定した好天が続き、最適な選択となった。

9月9日から15日までの1週間における小学校の日空調対象空間における温度を図-55に示す。外気温の最高は雨天となった日曜日を除くとすべて32℃を超えており、夏の高温が続いている。昇降口の温度は午前中外気温とともに上昇するが、その後は低い温度が維持される。体育館の温度は比較的高温のままであるが、最高温度が外気温を超えることはない。日曜日は67mmを記録する大雨だったので、外気温が上がらず、建物内は熱容量のために外気温より高温になっている。

この期間の2階と3階教室の空調対象空間の温度を図-56に示す。日の出の方位が南側に移動していることから、やや南向きの窓から差し込む日射の時刻が遅くなり、その影響としての朝日による温度上昇が顕著になっている。午後に再度、温度上昇が見られるが、その理由は未解明である。月曜日の夜と水曜日の夜に2階と3階教室の温度が低いが、これは空調機が稼働状態のままであることを意味する。

この期間の幼保園、給食センターを含む小学校の用途別電力消費量を図-57に示す。給食センターの電力消費量に見られるピークは8月と同様である。月曜日の夜から翌日にかけて、GHP系の電力消費量が昼間の半分程度残っていることがわかるが、これが前述の夜間の空調使用を意味する。この部分を除くと、この期間の電力消費量は、典型的なこの施設の夏の電力消費パターンと考えられる。

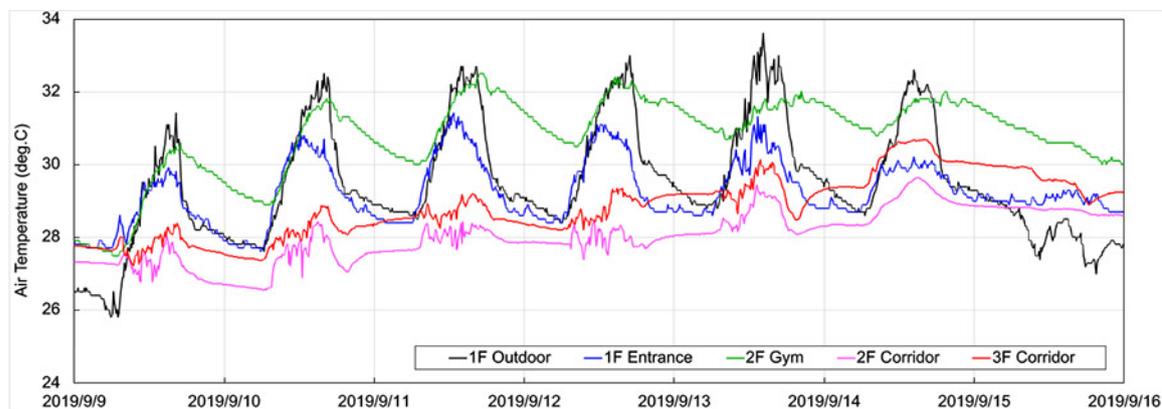


図-55 9月の1週間における小学校の非空調空間の温度変化

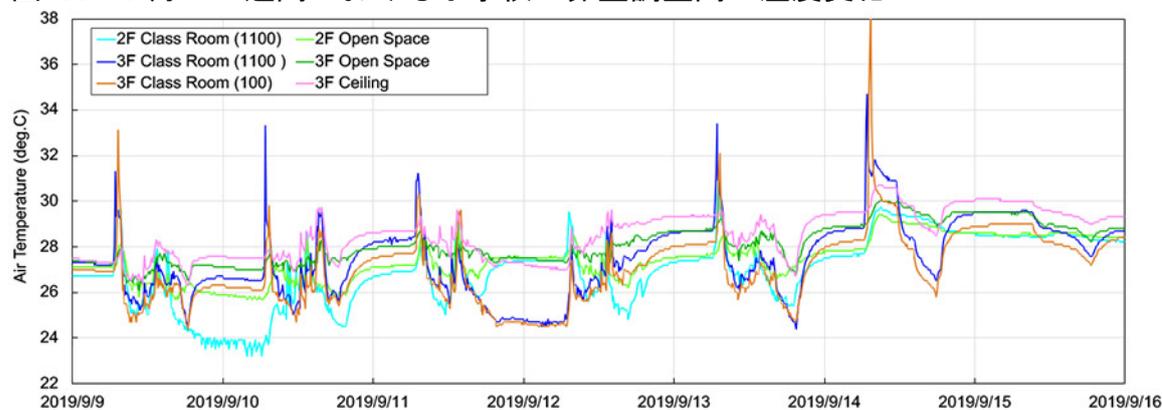


図-56 9月の1週間における小学校の教室の温度変化

温度と電力の関係が対応している2つの教室の空調吹出口温度とGHP系の電力消費量と、体育館の温度と体育館の電力消費量の変動を図-58に示す。月曜日から火曜日にかけて2階教室の空調吹出口の温度が15℃以下であり、その間のGHP系の電力消費量は昼間の約半分程度の約6kWを記録している。水曜日から木曜日にかけては3階教室において同様の状況が見られるが、空調吹出口の温度は18℃程度であり、2階教室に比べて5℃程度高い。体育館の温度と電力消費量には、特に関連性は見られないが、夜間でも3kW程度の電力消費がある。

教室内の環境状態と空調・換気系の電力消費量の変動を図-59に示す。温度と電力に関しては前述の傾向をさらに詳細に示している。二酸化炭素濃度は2階教室の方がやや高いが、最高でも1000ppmを超えることはない。

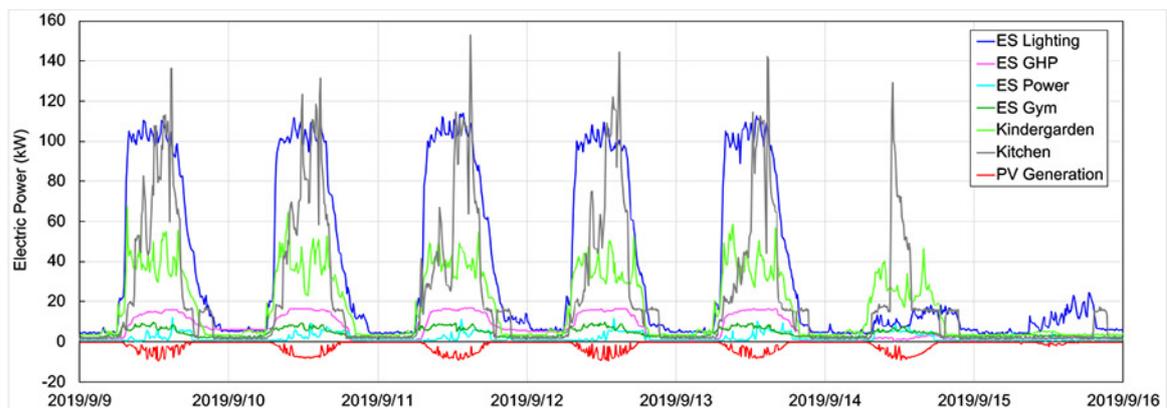


図-57 9月の1週間における用途別電力消費量の変動

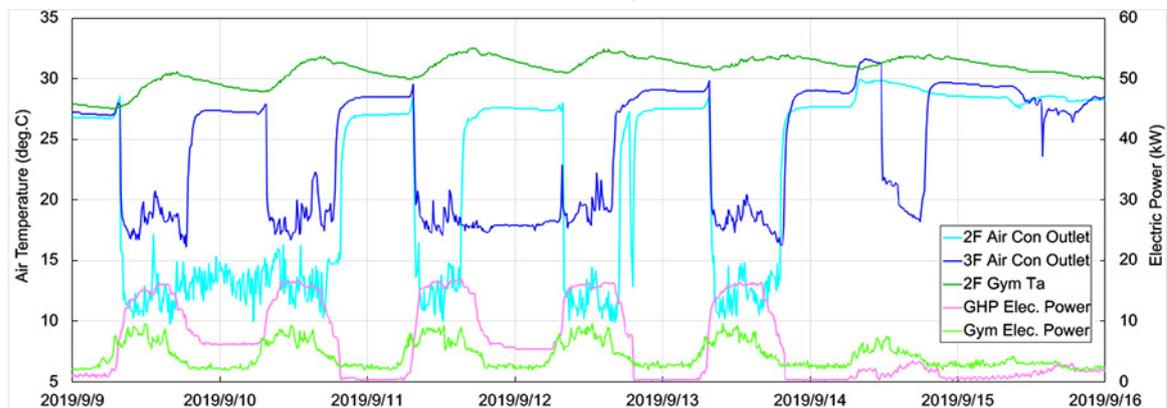


図-58 9月の1週間における温度と電力消費量の関係

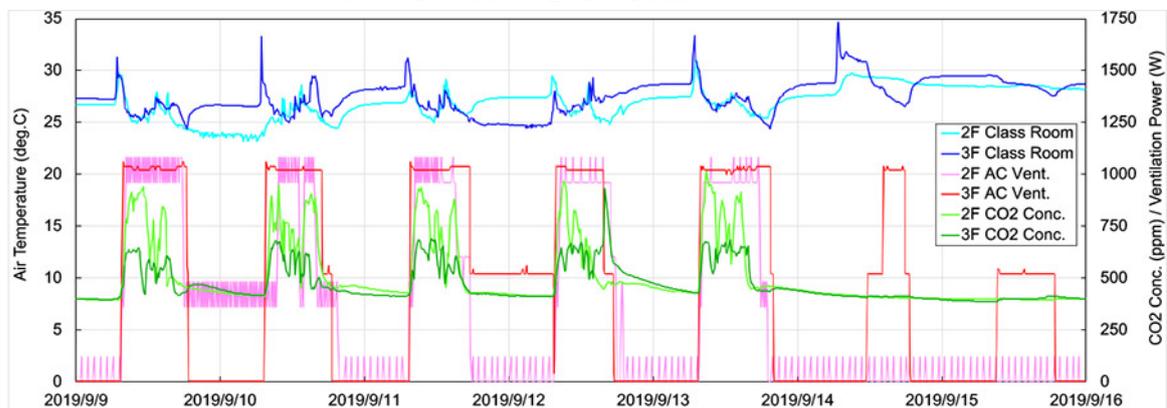


図-59 9月の1週間における教室の環境状態と電力消費量の関係

(5) 2019年10月の1週間(10月7日～10月13日)のデータ

この小学校は2学期制を採用しているため、第2月曜日の体育の日を含む1週間は期末休みである。また、2019年の10月22日は天皇陛下の即位の礼の日として祝日になったので、通常の1週間は10月7日から13日までだけである。

10月7日からの1週間における小学校の非空調対象空間における温度を図-60に示す。9月に比べると外気温が下がっているが、ピークは30℃を超えており、まだ冷房が必要な状態である。9月までは外気温と同じ程度のピークとなっていた体育館の温度も含めて、昼間の建物内の温度は全体に外気温より低下している。これは日射量の減少による蓄熱の減少と夜間の外気温の低下が原因と考えられる。ただし、2階と3階の廊下の温度差は1℃近く残ったままである。

この1週間の2階と3階教室の空調対象空間の温度を図-61に示す。朝の教室内の温度の突変はより明確になっている。月曜日、火曜日午前中は2階教室の温度がかなり高くなっており、図-63に示すように空調が使われていない。水曜日以降は空調が使われており、水曜日と金曜日の夜は継続的に低い温度が続いている。空調時の2階教室の温度は、9月までと逆転し、3階教室よりも高くなっている。

この期間の幼保園、給食センターを含む小学校の用途別電力消費量を図-62に示す。9月までに見られた給食センターの土曜日のピークが消えており、幼保園の土曜日の電力消費量もやや小さくなっている。GHP系の電力消費量は9月までのような台形的な変化ではなく、なだらかな丘陵状の変動に変わっている。これは朝夕のピーク状態での空調運転が減ってきたことを意味する。

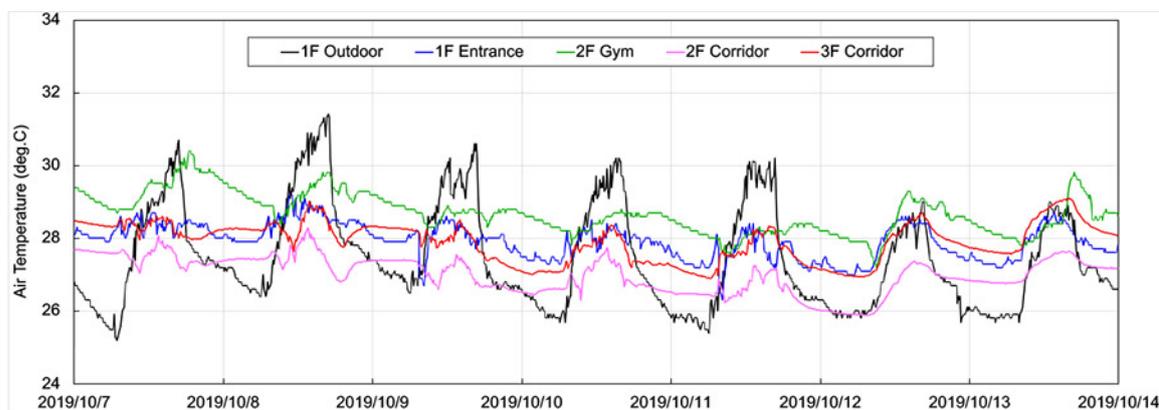


図-60 10月の1週間における小学校の非空調空間の温度変化

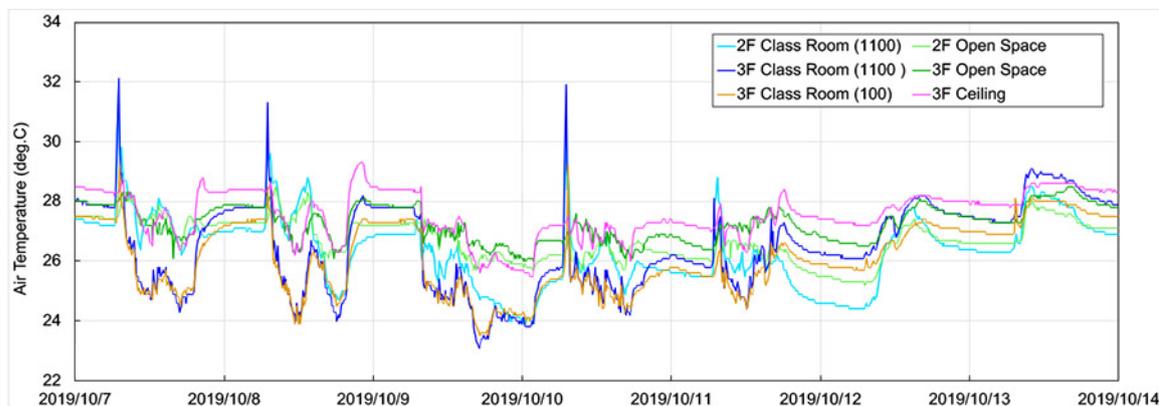


図-61 10月の1週間における小学校の教室の温度変化

温度と電力の関係が対応している 2 つの教室の空調吹出口温度と GHP 系の電力消費量と、体育館の温度と体育館の電力消費量の変動を図-63 に示す。2 階教室の空調吹出口温度から、月曜日と火曜日午前中は空調がほとんど使われず、水曜日から木曜日の深夜に空調が稼働している。金曜日の夜は空調が使われていないが、土曜日の深夜 3:20 頃に空調稼働が見られる。GHP 系の電力は金曜日の夜から継続的に使われていることから、別の 2 階教室で空調が使われていた可能性が高い。

教室内の環境状態と空調・換気系の電力消費量の変動を図-64 に示す。2 階教室の空調が稼働していない月曜日にも、2 階の空調・換気系の電力が半分のレベルで動いていることから、別の教室での空調が稼働している可能性が高い。これらの空調運転に関わらず、二酸化炭素濃度は 9 月までと同じ傾向を示している。

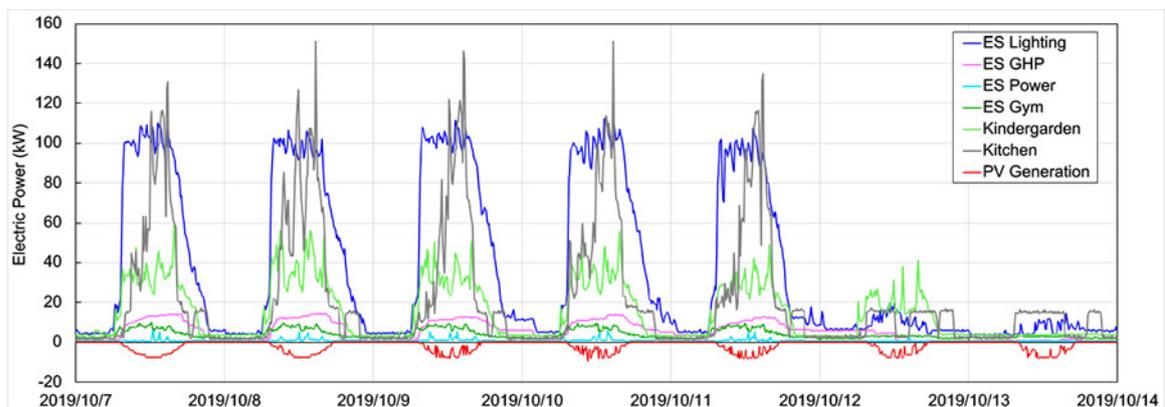


図-62 10月の1週間における用途別電力消費量の変動

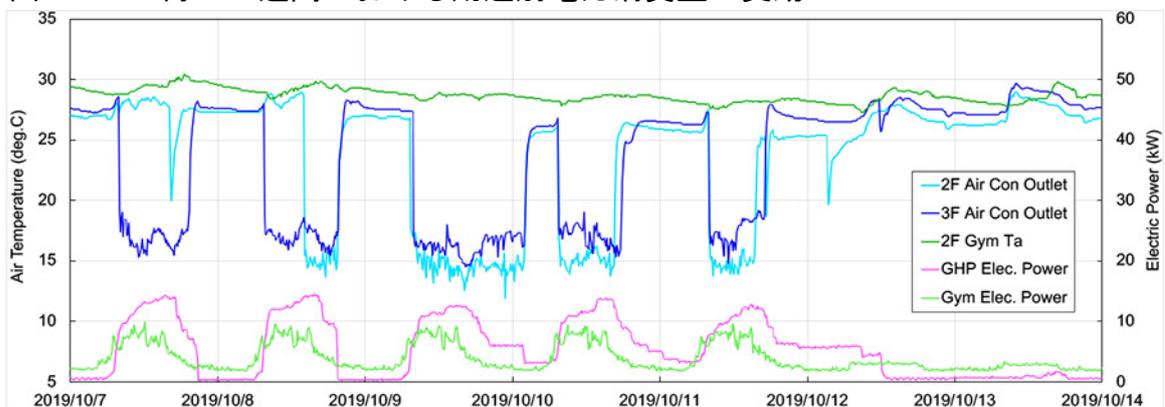


図-63 10月の1週間における温度と電力消費量の関係

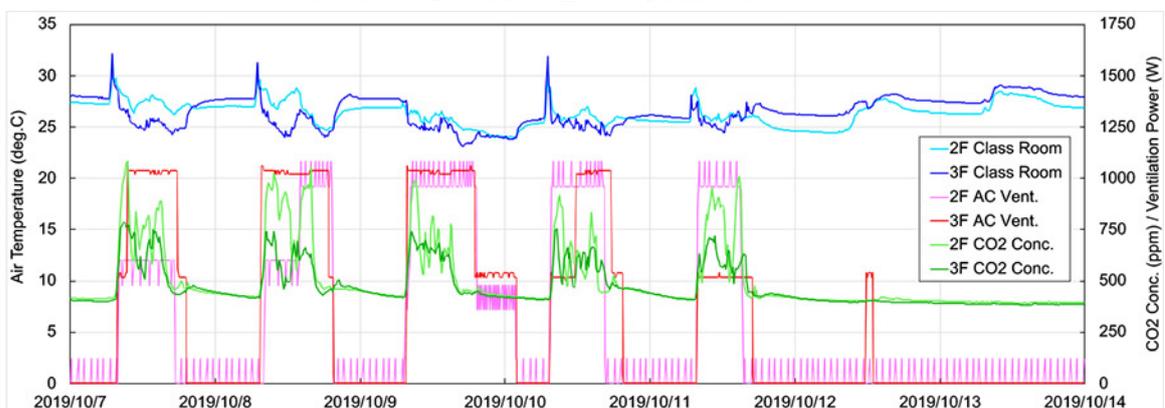


図-64 10月の1週間における教室の環境状態と電力消費量の関係

(6) 2019年11月の1週間(11月11日～11月17日)のデータ

11月も祝日があるので1週間通して通常の日程になるのは2週間だけである。ところが、18日以降の後半は非常に悪天候が多く、データを検討するには適当ではない。そこで、11月11日から17日までの1週間を解析対象に設定する。ただし、11日は前日の運動会の振替で休日であったことが後で判明した。

11月11日からの1週間における小学校の非空調対象空間における温度を図-65に示す。外気温は最高でも26℃程度と亜熱帯沖縄でも秋らしい気候を示している。昼間の昇降口と体育館の温度も外気温程度まで下がっているが、これは開口部を開放しているためと思われる。廊下の温度は26℃前後と10月のレベルを保っているが、2階と3階の温度の差は小さくなり、逆転するところも見られる。月曜日の体育館の温度が急変は、西側の窓から入射した直達日射の影響と思われる。

この1週間の2階と3階教室の空調対象空間の温度を図-66に示す。10月までの状況とは一変し、全体に温度の分布幅が小さくなっている。朝日の入射による温度上昇が2階教室に明確に現れており、その時間も長くなり、OSにもその影響が及ぶようである。また、3階教室では水曜日を除いて空調が稼働している状況が見られるが、2階教室では空調が使われていないように見える。

この期間の幼保園、給食センターを含む小学校の用途別電力消費量を図-67に示す。月曜日、土曜日にも幼保園は通常の業務を行っているようであり、給食センターのピークも、月曜日を除いて前月までと同様に現れている。GHP系の電力消費量がかなり少なくなっているが、体育館の電力消費量はほとんど変化していない。

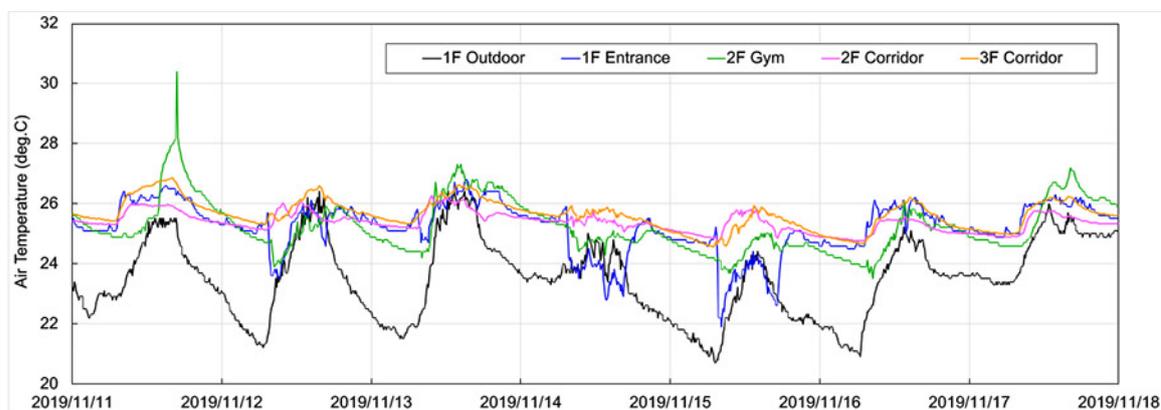


図-65 11月の1週間における小学校の非空調空間の温度変化

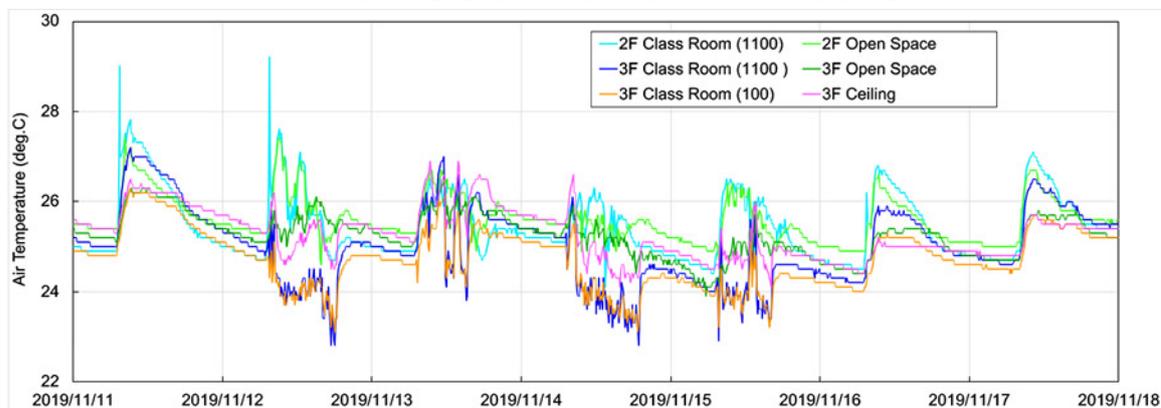


図-66 11月の1週間における小学校の教室の温度変化

2つの教室の空調吹出口と体育館の温度と GHP 系と体育館の電力消費量の変動を比較して図-68 に示す。空調吹出口の温度が非常に激しく変動しており、冷房が定常的に稼働していないことがわかる。また、10 月までは 2 階の空調吹出口温度の方が 3 階より低かったが、11 月になるとそれが逆転している。GHP 系の電力消費量は 10 月までに比べて減少するが、体育館はほとんど変化がない。

教室内の環境状態と空調・換気系の電力消費量の変動を図-69 に示す。10 月までと異なり、2 階教室の温度が 3 階より高くなっている。3 階では空調・換気系の電力消費量が 1000W を超える高レベルのモードを示しているが、2 階では 500W 弱の約半分のモードで換気・空調が運転されている。2 階教室の二酸化炭素濃度は 3 階と同程度の 700ppm 程度になり、両者に大きな差は見られない。

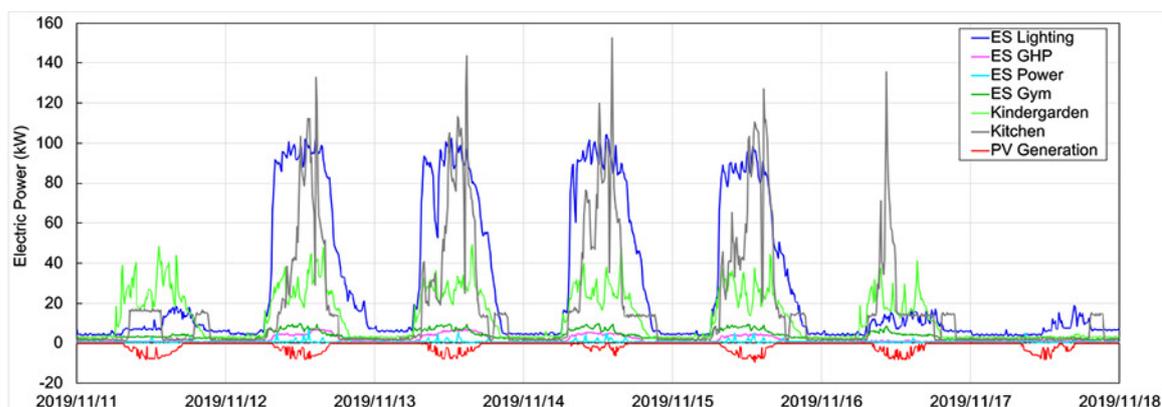


図-67 11 月の 1 週間における用途別電力消費量の変動

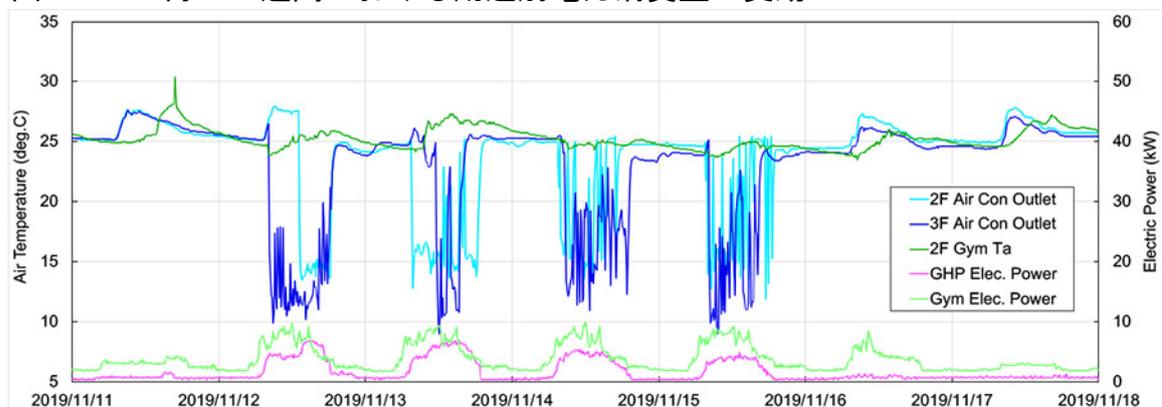


図-68 11 月の 1 週間における温度と電力消費量の関係

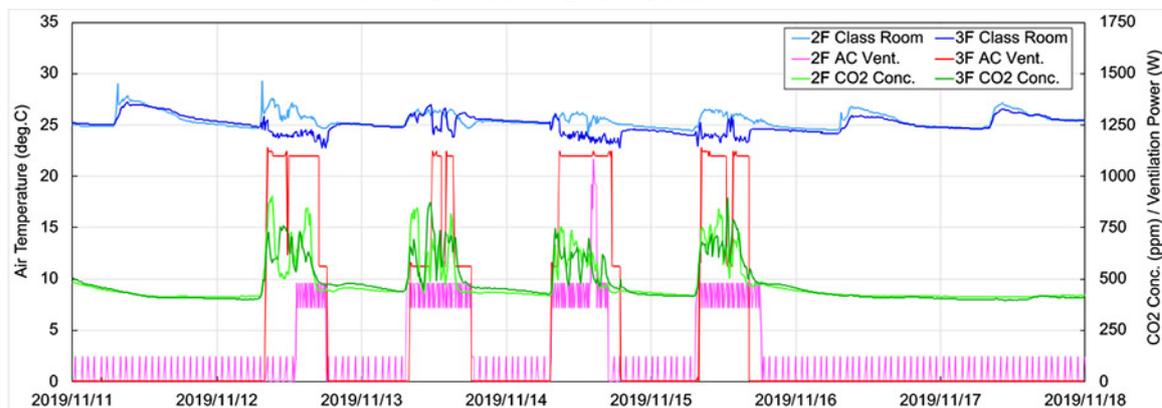


図-69 11 月の 1 週間における教室の環境状態と電力消費量の関係

(7) 2019年12月の1週間(12月9日～12月15日)のデータ

12月の最後の週は冬休みが含まれるので、それを避けて天気の状態が安定している週を選択すると、12月9日から15日までの1週間となる。

12月9日からの1週間における小学校の非空調対象空間における温度を図-70に示す。外気温は最高23℃程度、最低18℃程度まで低下しており、亜熱帯沖縄でも多くの人々が寒さを感じる冬期を示している。建物内の温度はすべて外気温よりも高くなるが、昇降口と体育館の温度は平日の昼間、外気温に近いところまで下がることもある。これは開口部を開放して大量の換気をしているためと思われる。2階と3階の廊下の温度はほぼ等しくなり、平日の昼間23～24℃と最も高い温度を示す。土曜日、日曜日は体育館の温度が上昇するが、その原因は未解明である。

この1週間の2階と3階教室の空調対象空間の温度を図-71に示す。11月までの状況と大きく異なる点は、朝日の入射による朝の温度の急上昇がなくなり、午前中の温度上昇と午後のなだらかな温度降下を示す。さらに、2階教室及びOSの温度が3階よりも高くなり、3階の天井の温度が最も低い温度を示すようになる。これは建物の蓄熱効果が加熱から冷却に変わったことを意味する。水曜日の午前中に見られる温度の急降下は、外気の導入によって起こったものと考えられる。

この期間の幼稚園、給食センターを含む小学校の用途別電力消費量を図-72に示す。給食センターの電力消費量に現れる急変は、前月までと同様に現れているが、そのピークはより高くなっている。GHP系の電力消費量はほとんど見えない程度まで小さくなっているが、その他の傾向は前月までと変わらない。

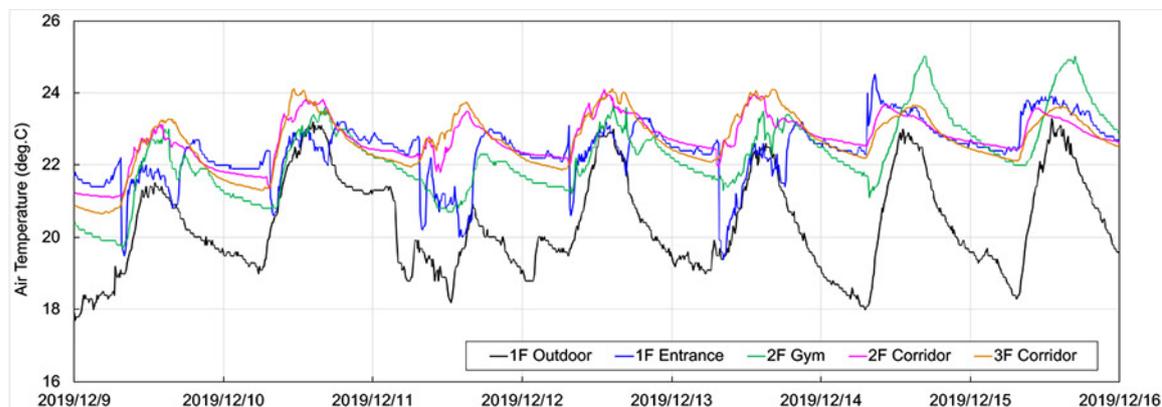


図-70 12月の1週間における小学校の非空調空間の温度変化

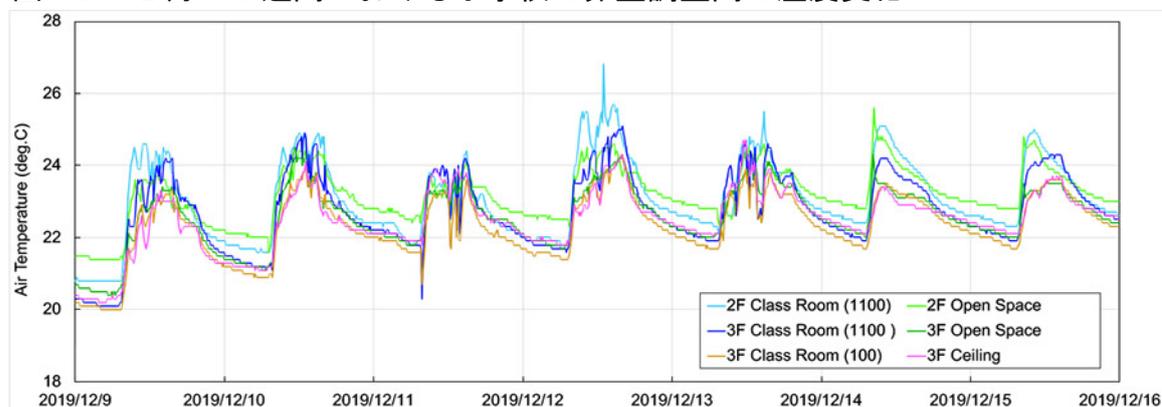


図-71 12月の1週間における小学校の教室の温度変化

2つの教室の空調吹出口と体育館の温度とGHP系と体育館の電力消費量の変動を比較して図-73に示す。体育館の電力消費量は前月までとほぼ同じ傾向であり、夜間も3kW程度の消費量が見られる。GHP系の電力消費量は最大1kW程度と非常に小さくなっている。2階の空調吹出口の温度は木曜日に何度か空調が稼働した痕跡を見せるが、これはGHP系の電力消費量にはほとんど現れていない。

教室内の環境状態と空調・換気系の電力消費量の変動を図-74に示す。前月までの状況と変わって、3階の二酸化炭素濃度の方が2階よりも明確に高くなり、水曜日には1000ppmを超えている。3階の空調・換気系の電力はほとんど使われていない状態であるが、2階では半分のモードで換気運転されているようである。また、2階では120Wの換気運転が夜間も含めて常時続いている。

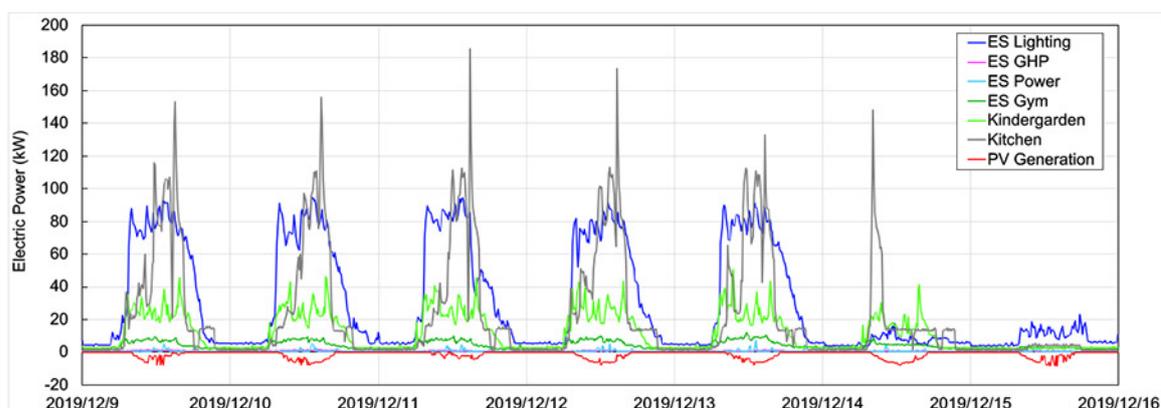


図-72 12月の1週間における用途別電力消費量の変動

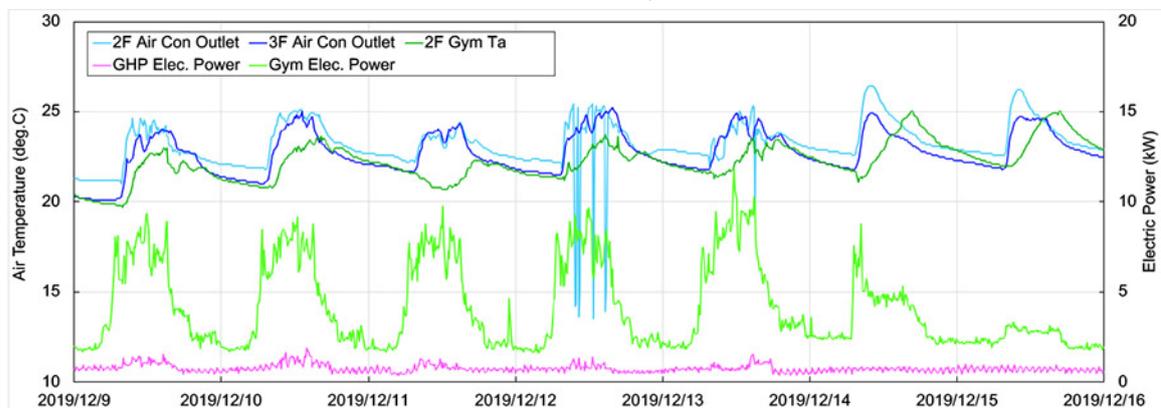


図-73 12月の1週間における温度と電力消費量の関係

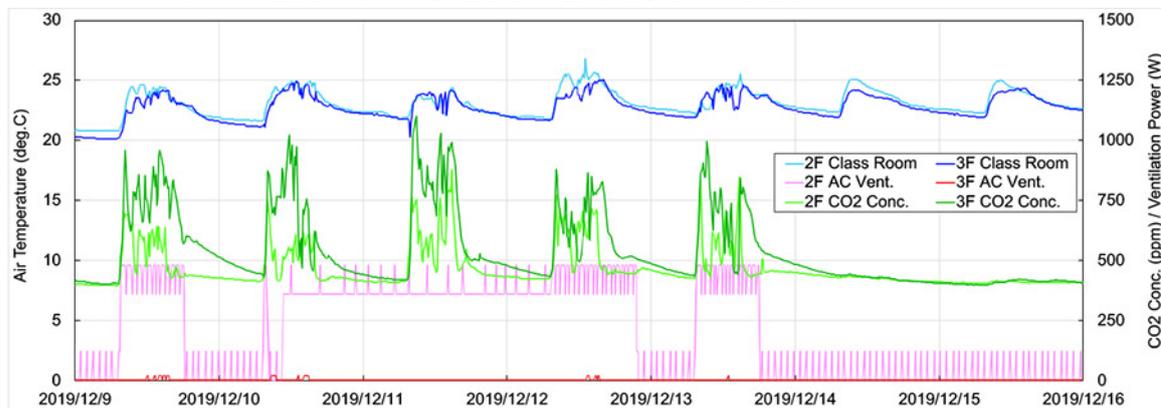


図-74 12月の1週間における教室の環境状態と電力消費量の関係

(8) 2020年1月の1週間(1月20日~1月26日)のデータ

冬休み後の1月の中から第2月曜日の祝日を避けて、天気の安定した通常の1週間を選択すると、1月20日から26日になる。

1月20日からの1週間における小学校の非空調対象空間における温度を図-75に示す。沖縄気象台の平年値では1月が最も気温が低くなるが、2020年の1月はかなり気温変動が激しく、この1週間で日最高外気温、日最低外気温とも5℃以上変化している。しかし、天気は安定しており、他に選択肢がないので、この1週間の状況を検討する。建物内の温度はすべて外気温より高くなるが、特に月曜日、火曜日の廊下の温度は外気温との差が大きい。昇降口の温度は昼間は開口部の開放により外気温に近づくが、夜間は廊下の温度と同程度になる。体育館の温度は外気温と廊下の中間的な値をとるが、土曜日、日曜日は最も高くなる。

この1週間の2階と3階教室の空調対象空間の温度を図-76に示す。特徴的な変動としては、午前中はOSも含めて2階教室が高く、午後は3階教室の方が高い。夜間は2階教室の方が3階教室よりも高い温度となっている。ただし、これらの温度差は最大1℃程度で、すべての教室内の温度が大きな差がなく変動している。

この期間の幼稚園、給食センターを含む小学校の用途別電力消費量を図-77に示す。前月までの特徴として示された給食センターの電力消費量に現れるピークは、より先鋭化して土曜日には最大212kWを記録している。その他の特徴は前月と同様であるが、GHP系の電力消費量がほとんど見えなくなり、幼稚園と体育館の電力消費量は、前月までと変わらない状態を示している。

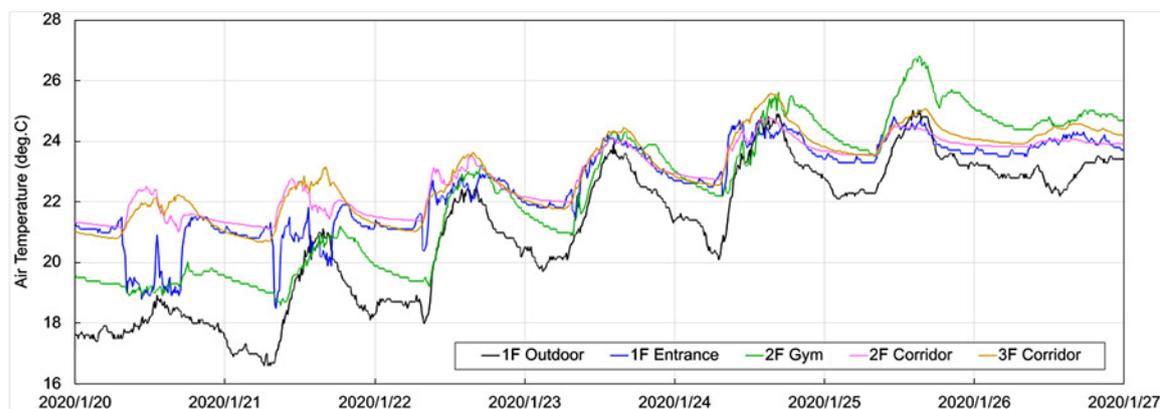


図-75 1月の1週間における小学校の非空調空間の温度変化

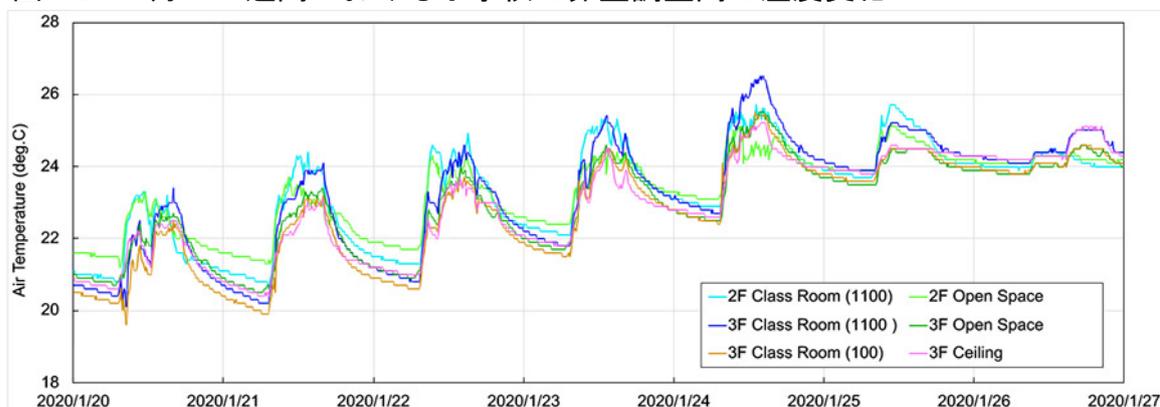


図-76 1月の1週間における小学校の教室の温度変化

2つの教室の空調吹出口と体育館の温度とGHP系と体育館の電力消費量の変動を比較して図-77に示す。2階教室の空調吹出口の温度は測定器の電池切れによりデータを取り出せなくなり、欠測となってしまった。3階教室の空調吹出口の温度を見る限り、空調はまったく稼働していない。GHP系の電力消費量が木曜日と金曜日にやや上昇しているが、換気装置が稼働しているためと思われる。

教室内の環境状態と空調・換気系の電力消費量の変動を図-79に示す。教室の温度は夜間よりも昼間の方が高くなっているが、2階と3階の差はほとんどない。空調・換気系の電力が昼間、時々使われているが、2階では昼間継続的に半分のモードで使われているのに対し、3階では突発的に最大モードで稼働している。二酸化炭素濃度は2つの教室とも1000ppmを超えることはほとんどない。

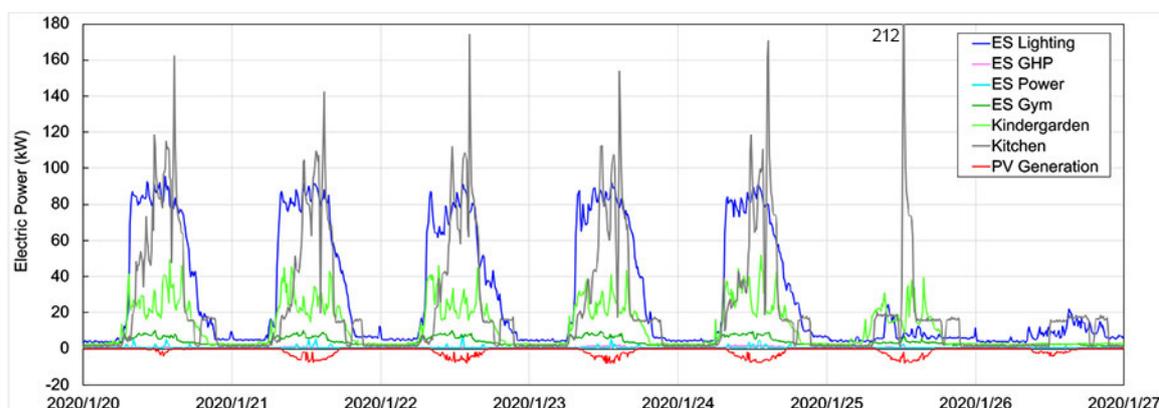


図-77 1月の1週間における用途別電力消費量の変動

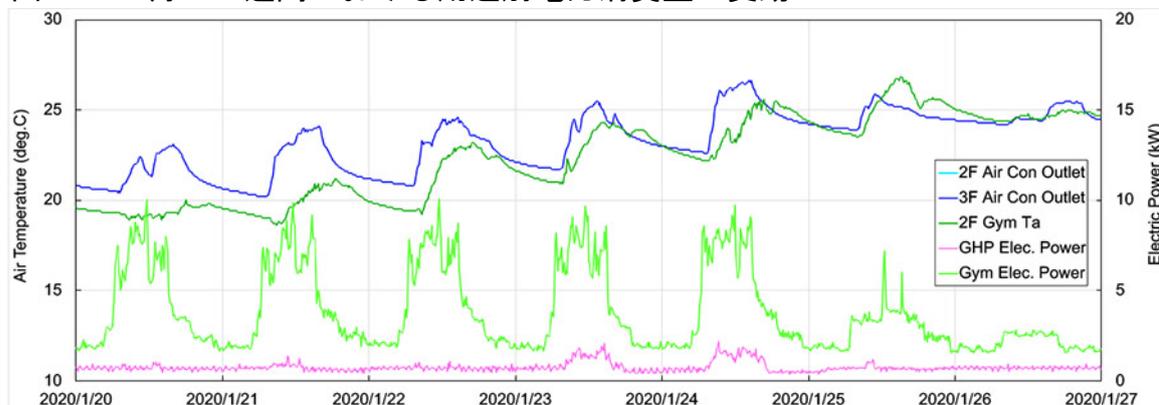


図-78 1月の1週間における温度と電力消費量の関係

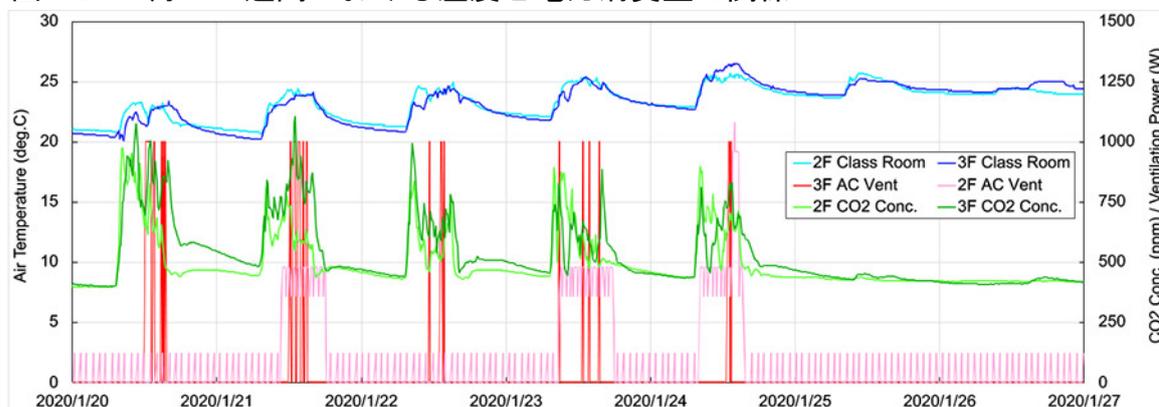
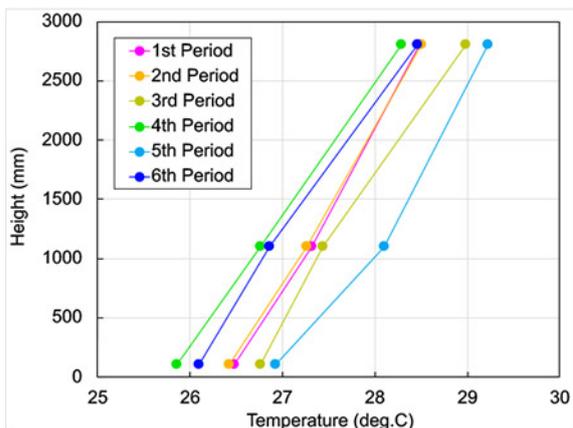


図-79 1月の1週間における教室の環境状態と電力消費量の関係

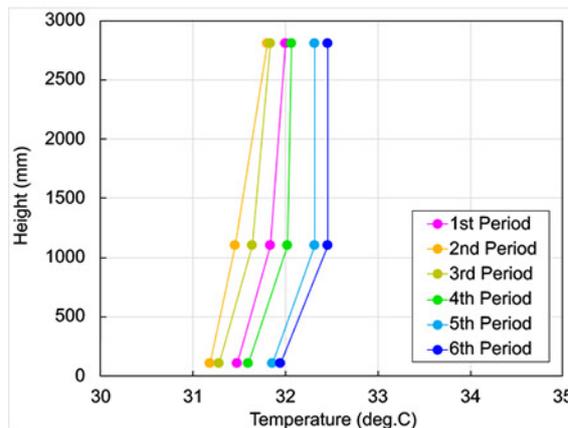
8. 教室における温度の垂直分布

(1) 月別の代表的な垂直温度分布の日変化

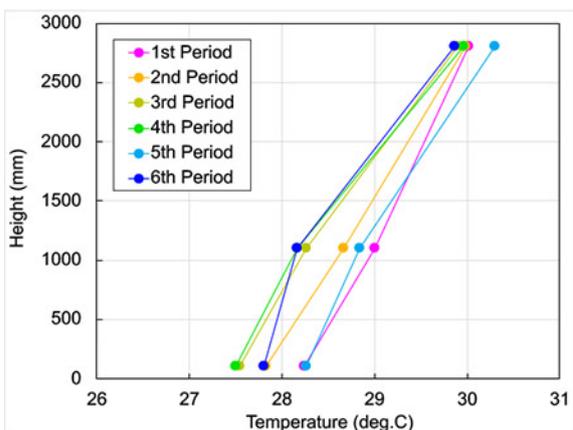
3階教室では床上100mm、床上1100mmと床上2800mmの天井面で温度測定を行なったので、この3点のデータから教室内の温度の垂直分布を検討する。児童が動き回る休み時間等は、教室内の温度分布はあまり問題とはならないが、授業時間中は足元と頭部の温度差等が児童の快適性や授業への集中度に影響する可能性がある。そこで、授業時間だけを取り出して教室内の温度の垂直分布を検討する。



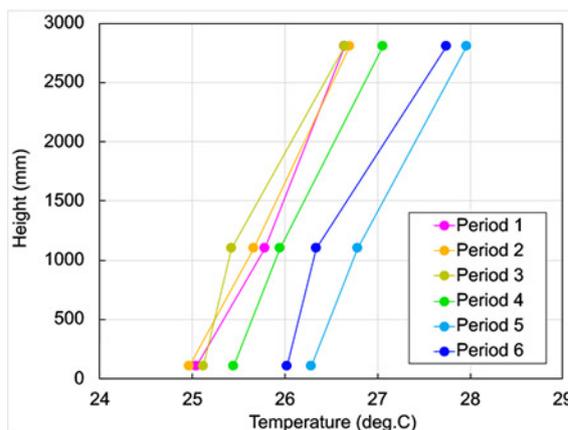
(a) 2019年7月11日



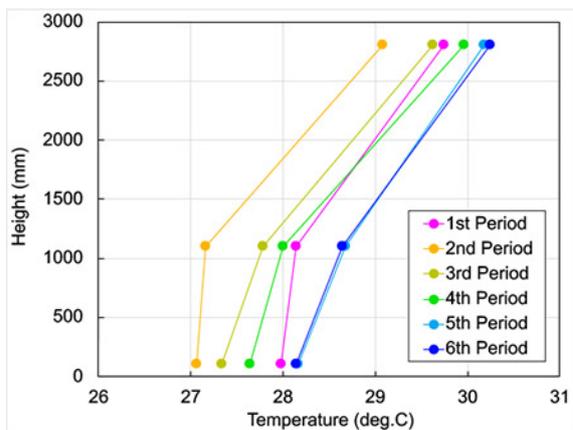
(b) 2019年8月7日 (夏休み)



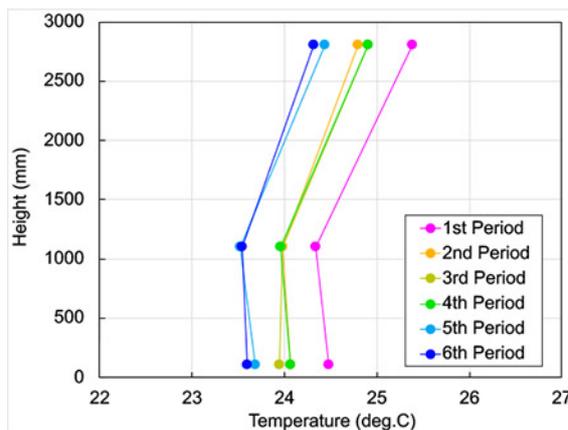
(c) 2019年8月26日



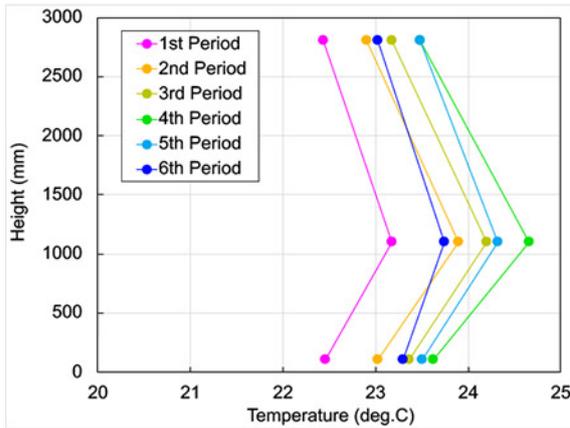
(d) 2019年9月9日



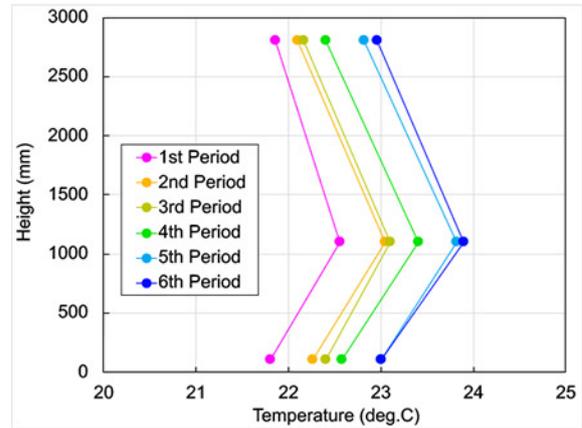
(e) 2019年10月8日



(f) 2019年11月14日

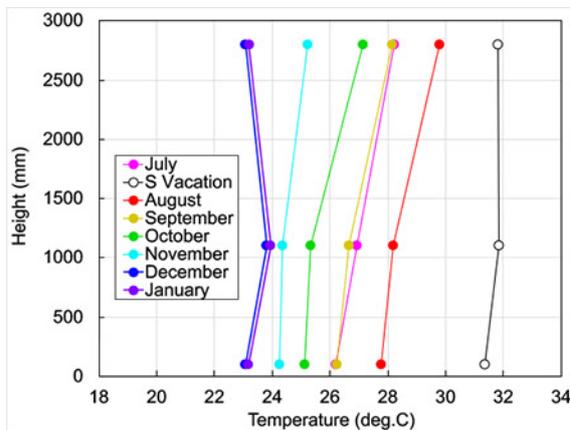


(g) 2019年12月10日

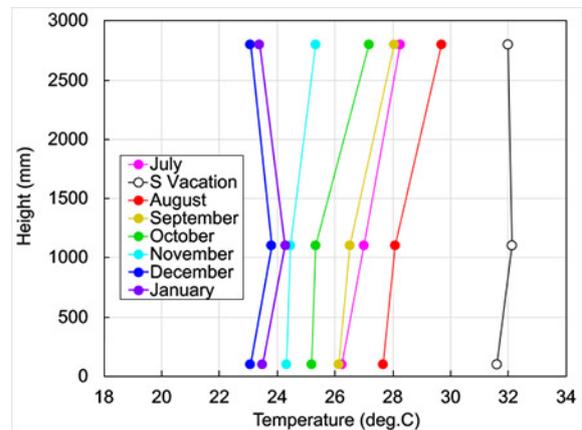


(h) 2020年1月21日

図-80 月別の代表日における3階教室の垂直温度分布



(a) 教室使用時全データの平均



(b) 晴天日授業時間中データの平均

図-81 月別週間データの平日の平均値による3階教室の垂直温度分布

前節と同じ月別の1週間から晴天の1日を選び、45分の授業時間に含まれる4つのデータの平均値をとる。1日の時間数は6校時、水曜日だけ5校時である。各月の代表的1日の6校時における垂直温度分布を図-80に示す。夏休み(b)、12月(g)及び1月(h)は空調が稼働していない。7月から9月までは高いほど高温になる成層状態を示すが、10月、11月から床上100mmの温度が上昇して、天井面の温度が下がり始め、12月以降は天井面の温度が最も低くなる。この変化は空調の有無と屋根面の日射量と外気温の変化によって起こるものと考えられる。

(2) 平均垂直温度分布の季節変化

以上のような教室内の垂直温度分布の季節変化を明確に示すため、2種類の平均化による月別の教室内の垂直温度分布を図-81に示す。(a)は月曜日から金曜日までの教室使用時間(8:40~15:40、水曜日は14:40)のデータを昼食時間等も含めて平均化したもの、(b)は前述の授業時間だけを平均化したものである。

平均化のデータによる違いはほとんど見られない。7月から9月までの典型的な夏期の温度成層、10月、11月の垂直分布の遷移状態、12月、1月の中間層が最も高く、天井面の温度が下がる冬期の典型的な垂直分布が、全体の温度変化とともに明確に現れている。なお、空調のない夏休みはほぼ垂直温度分が生じない。

第5章 結論と省エネルギー化への提言

1. 測定結果のまとめ

第4章に述べた測定結果の注目点を以下にまとめる。

- (1) 研究対象建築の外気温湿度は、建築物省エネルギー法の8地域における代表的な気象官署の状況に近似するもので、研究対象として妥当である。
- (2) 測定対象小学校の体育館等の非空調空間における日平均温度は、測定期間を通してほぼ20℃以上を示し、外気温と同等か外気温よりやや高い。
- (3) 非空調空間における日平均相対湿度は、日平均温度が外気温より低い場合でも外気の相対湿度より低いが、測定期間を通して50～80%程度とかなり高い。
- (4) 空調空間である教室及びOSの日平均気温は、空調期間には明確な空間分布が見られるが、冬期や夏休み等の非空調期間にはほとんど同じ温度となる。
- (5) 2階教室の空調吹出口温度は、3階教室よりも明らかに低い。
- (6) 2階教室及び3階教室における二酸化炭素濃度の日平均値はほぼ600ppm以下に抑えられ、空調期間は2階教室の方が高いが、冬期は逆転している。
- (7) 研究対象建築全体の電力は約半分が小学校で消費され、残りは併設されている幼保園と給食センターで消費されている。
- (8) 小学校の電力消費の中で電灯系が約75%を占め、空調・換気用のGHP系は10%程度、体育館の割合も10%程度であるが、GHP系は季節変動が大きい。
- (9) 外気温と電力消費量が連携して変動する状況が確認され、特に、GHP系の電力消費量は夏休み期間を除いて、外気温と明確に連動している。
- (10) 外気温とGHP系の電力消費量の相関から、日平均外気温が22℃を超えると空調が運転されていることが予測される。
- (11) 9月から12月までの月平均外気温と小学校の1日当たり電力消費量、特にGHP系電力消費量は非常に高い相関が見られ、ほぼ1次回帰できる。
- (12) 小学校の平日の日平均電力消費量は、夏期は1600kWh弱、冬期は1100kWh以下になるが、体育館の日平均電力消費量は通年100kWh程度である。
- (13) 空調熱源であるガス消費量とGHP系電力消費量を日積算値で比較すると高い相関が得られ、ガスのエネルギーはGHP系電力の約25倍に相当する。
- (14) 屋上に設置された10kWクラスの太陽光発電アレイは、理論発電量の80%以上と高い効率を発揮しているが、小学校の電力消費量の数%程度である。
- (15) 2階教室の空調吹出口の温度は12～13℃程度で、3階教室より5℃程度低く、それが室温の差にも現れており、エネルギー的にも健康的にも低すぎる。
- (16) 夏期の空調期間は夏休みや夜間も含めて2階教室の室温が3階教室より明確に低いが、冬期は逆転して3階教室の方が高くなる。
- (17) 東窓から入射する朝日によって、早朝に教室の室温が急上昇することがある。
- (18) 給食センターでは土曜日も含めて1日に1回極端なピーク電力消費が現れる。
- (19) 体育館では測定期間を通して夜間でも常に3kW程度の電力消費量がある。
- (20) 2階教室では測定期間を通して常に120Wの換気電力が消費されている。
- (21) 3階教室では夏期の空調期間、高いところほど温度が高くなる垂直温度成層ができるが、中間期に天井面の温度が低下し、冬期には天井面の方が低くなる。

2. 省エネルギー化への提言

上記までの環境とエネルギーに関する測定結果に基づいて、この研究対象施設を省エネルギー化する方法について、以下の通り提案する。

(1) 電力に関する管理システムの導入

体育館では夜間の使用されていない時間帯でも、換気のためと思われる 3kW 程度の電力が常時消費されている。2階教室でも無人の教室で1時間に1回120Wの換気のための電力が消費されている。このような不要な電力を管理するシステムが必要と思われる。また、小学校の最大の消費量となっている電灯系の電力の消費端の詳細は不明であるが、すべての電灯や電力供給が必要とは思われない。エネルギー管理システム (Energy Management System, EMS) を導入して適正に管理すれば、このような単純なエネルギーの無駄遣いは制御できるものと考えられる。

(2) 空調システムの効率化のための方策

空調システムそのものの効率は今回の測定では評価できないが、建物側にも空調機側にも今回の測定で明確に示された問題点がある。建物側の問題点としては、日射遮蔽と屋上面の断熱である。東側の窓から入射する直達日射による早朝の室温の急上昇が観測されているが、これは日射が測定器のセンサーを直撃しているから明示できた結果である。実際にはセンサーに現れない日射による冷房負荷はかなり大きいことが予想される。また、今回の想定では対象にしていないが、最上階3階の天窗も大きな熱負荷になっている。さらに、3階の天井面温度が夏期に室温より高く、冬期に下がるのは、屋上面の断熱に問題があるものと考えられる。これらの窓面や天窗の日射遮蔽及び屋上面の断熱性能を高めることが重要な要素となる。

空調機の問題点は、2階教室の空調吹出口の温度に現れている。冷房吹出口温度が10℃程度ではやや低過ぎ、2階教室内の床上1100mmの温度が25℃以下に下がっていることもある。これは児童の学習環境としてはやや低すぎる可能性があり、もし噴出し空気が直接、児童に当たっていたら健康上も問題がある。さらに、切り忘れと思われる夜間の空調の可動も観測されている。空調機を適正に制御すること、あるいはその機能を持つ空調機を導入することが望まれる。

(3) 蓄電及び創エネルギー設備の導入

小学校ではないが、給食センターは大きな電力消費量を持つ。特に、平日及び土曜日に現れる急激なピークについては、その内容は未解明であるが、非常に鋭い激変が観測されており、昼間のその他の電力使用時に重なることもあって、電力契約の大きな負担になりそうである。その原因が回避可能なものならこのピークを回避すべきであるが、それが不可能ならこの短時間のピークに対する適応策である。

一方、屋上に設置された太陽光発電装置は十分に期待できる性能を示しており、実用的な用途に使用できるが、定格出力そのものが用途に対して小さすぎる。天窗を設置している斜め屋根を廃止して、あるいはその屋根の上にさらに太陽光発電装置を設置できれば、より多くの自然エネルギーを供給できる。

上記の2点を考慮すると、適正な規模の蓄電システムを導入できれば、太陽光発電の効率的な運用と、給食センターに現れる急激な電力消費のピークに対応できるので、全体の電力消費量の削減と電力契約の縮小が可能となる。

契約管理番号: 18102651-0