

学校施設のエネルギー使用実態等調査  
(令和元年度：雫石町立雫石中学校)  
報告書

令和2年9月

国立教育政策研究所文教施設研究センター  
「学校施設の環境に関する基礎的調査研究」研究会

## 目次

<b>1 調査概要</b> .....	1
1.1. 目的 .....	1
1.2. 調査項目 .....	1
1.2.1. 調査対象校 .....	1
1.2.2. 立地条件の把握 .....	1
1.2.3. 学校施設・設備機器の運用実態調査 .....	1
1.2.4. 機器測定等によるエネルギー消費量の実態調査 .....	1
1.2.5. 教室等における室内外の温熱環境の実測調査 .....	1
1.2.6. エコ改修前後のエネルギー消費と教室内熱環境の実態比較 .....	1
1.2.7. FAST (Ver.2) によるエコ改修効果等の検証 .....	1
1.3. 調査対象校の概要 .....	2
1.4. 調査体制 .....	6
1.5. 調査スケジュール .....	7
1.6. 用語・単語の定義, 端数の整理法 .....	7
<b>2. 立地条件の把握</b> .....	8
2.1. 気温・湿度 .....	8
2.2. 風況 .....	8
2.3. 日射量 .....	10
<b>3. 学校施設・設備機器の運用実態に関する調査</b> .....	11
3.1. 設置されている設備機器 .....	11
3.2. 学校施設・設備機器の運用実態 .....	12
<b>4. 機器測定等によるエネルギー消費量の実測調査</b> .....	17
4.1. 調査項目 .....	17
4.2. 使用した測定機器 .....	17
4.3. 測定方法 .....	17
4.4. 測定結果と考察 .....	21
4.4.1. 概要 .....	21
4.4.2. 太陽光発電の発電量の測定結果と考察 .....	22
4.4.3. 電力消費量の分析結果と考察 .....	25
4.4.4. 灯油・重油消費量の分析結果と考察 .....	29
4.4.5. ガス消費量の分析結果と考察 .....	34
4.4.6. 一次エネルギー消費量の変動に関する考察 .....	35
<b>5. 教室等における室内外の温熱環境の実態調査</b> .....	39
5.1. 調査項目 .....	39
5.2. 使用した測定機器 .....	39
5.3. 測定点 .....	39
5.4. 測定結果と考察 .....	42

5.4.1.	概要.....	42
5.4.2.	教室内外の温湿度.....	43
5.4.3.	教室内外の熱環境.....	47
5.4.4.	太陽熱集熱装置による暖房負荷低減の効果.....	49
<b>6.</b>	<b>エコ改修前後のエネルギー消費と教室内熱環境の実態比較.....</b>	<b>54</b>
6.1.	エネルギー消費量の変動に関する比較.....	54
6.2.	教室の熱環境に関する比較.....	64
<b>7.</b>	<b>F A S T (Ver.2) によるエコ改修効果等の検証.....</b>	<b>66</b>
<b>8.</b>	<b>まとめ.....</b>	<b>67</b>
8.1.	エネルギー使用量の実態.....	67
8.2.	教室内外環境の実態.....	68
8.3.	エコ改修による効果等.....	68
8.4.	今後の課題について.....	69
(参考)	学校施設の環境に関する基礎的調査研究.....	70

# 1 調査概要

## 1.1. 目的

スーパーエコスクール実証事業<sup>1</sup>において、環境に配慮した改修整備（以下、エコ改修）を行う学校施設における、エコ改修前後の建物性能や設置されている設備機器の仕様、運用実態及びエネルギー使用量等の継続した調査を行い、その相関性を分析把握することにより、今後の学校施設整備に係る文教施設施策に資することを目的とする。

## 1.2. 調査項目

### 1.2.1. 調査対象校

- ・岩手県雫石町立雫石中学校（岩手県岩手郡雫石町柿木 74-1）

### 1.2.2. 立地条件の把握

- ・雫石中学校が所在する地域の風況や日射量等、立地条件を把握する。

### 1.2.3. 学校施設・設備機器の運用実態調査

- ・校舎（普通教室、特別教室、管理諸室等）、体育館、給食室等の運用実態について、学校関係者からヒアリング等を行い、学校施設の運用の実態を把握する。

### 1.2.4. 機器測定等によるエネルギー消費量の実態調査

- ・電力計を設置し、照明・コンセント、空調等の用途別の電力使用量を、検針票や既設の流量計に基づきガス使用量、灯油使用量、水道使用量を調査し、一次エネルギー使用量を把握する。

### 1.2.5. 教室等における室内外の温熱環境の実測調査

- ・教室等における温湿度、表面温度、風速測定を行い、室内環境を把握する。

### 1.2.6. エコ改修前後のエネルギー消費と教室内熱環境の実態比較

- ・各測定結果をエコ改修前のデータと比較し、エコ改修によるエネルギー消費量の変動、並びに教室環境の変化を把握することで、エコ改修の効果を検証する。

### 1.2.7. FAST (Ver.2) によるエコ改修効果等の検証

- ・FAST (Ver.2)<sup>2</sup>（以下、FAST という。）により改修案のエコ改修効果及びFASTの予測精度を検証する。

---

<sup>1</sup> スーパーエコスクール実証事業とは、公立学校施設において、省エネの徹底によりエネルギー負荷の低減を図るとともに、学校運営上必要なエネルギーを創エネ、蓄エネ等の技術を適用することで賄い、年間のエネルギー消費を実質上ゼロとするゼロエネルギー化を推進するための実証事業。

※省エネとは、「省エネルギー」の略で、石油や石炭、天然ガスなどのエネルギー資源の枯渇を防ぎ、地球温室効果ガス排出量の削減のために、エネルギーを消費していく段階で無駄を省き、効率的な利用を図ることをいう。

※創エネとは、「創エネルギー」の略で、省エネをするだけでなく、太陽光発電システムや燃料電池などを利用して積極的にエネルギーを作り出していくことをいう。

※「学校ゼロエネルギー化推進方策検討委員会報告書（学校ゼロエネルギー化推進方策検討委員会 平成24年5月）」より、給食室は施設の有無や運営の方式が各学校で異なるため、スーパーエコスクールのエネルギー削減対象から除外する。

<sup>2</sup> 「学校施設のCO<sub>2</sub>削減設計検討ツール（略称：FAST）」は、平成24年6月に国立教育政策研究所文教施設研究センターにおいて公開した、学校施設が排出するCO<sub>2</sub>の量を計算するパソコン用プログラム。

### 1.3. 調査対象校の概要

- 調査対象校（以下、対象校という。）の概要を表 1-1、対象校配置図を図 1-1、教室配置図を図 1-2、対象校における各所の状況を図 1-3 に示す。対象校は、平成 28 年度に管理棟のエコ改修と武道場の新築、平成 29 年度に普通教室棟と接続棟のエコ改修が実施された。なお、エコ改修の計画時には特別教室棟も対象であったが、未実施である。また、対象校周辺の地形図を、図 1-4 に示す。

表 1-1 対象校の概要（改修後 平成 31 年 4 月時点）

所在地	岩手県岩手郡雫石町柿木 74-1			
敷地面積	44,228 m <sup>2</sup>			
校舎面積 <sup>3</sup>	管理棟：2,335 m <sup>2</sup> 普通教室棟：2,090 m <sup>2</sup> 特別教室棟：2,655 m <sup>2</sup> 接続棟：442 m <sup>2</sup> 武道場：599 m <sup>2</sup> 体育館：1,472 m <sup>2</sup>			
校舎構造	管理棟：RC 造, 3 階, S49 年築 普通教室棟：RC 造, 3 階, S48 年築 特別教室棟：RC 造, 3 階, S47 年築 接続棟：RC 造, 2 階, S48 年築 武道場：木造, 平屋, H28 年築 体育館：S 造, 2 階, S51 年築			
建物名 工事規模 構造・階数 工事概要	I 期工事（平成 28 年度）		II 期工事（平成 29 年度）	
	武道場(H28 年新築)	管理棟(S49 年築)	普通教室棟(S48 年築)	接続棟(S48 年築)
	599 m <sup>2</sup> 木造平屋	2,335 m <sup>2</sup> RC 造, 3 階	2,090 m <sup>2</sup> RC 造, 3 階	442 m <sup>2</sup> RC 造, 3 階
	外壁内断熱(発泡ウレタン吹付 30mm) 屋根断熱(グラスウール 24K 100mm) 土間下断熱(発砲ポリスチレン 30mm) 複層ガラス LED 照明(トイレ, 更衣室のみ人感センサー) 暖房便座, 節水型便器 灯油ボイラー	外壁内断熱改修(発泡ウレタン吹付 40mm) 屋根断熱改修(グラスウール 24K 100mm) 複層ガラス 区画扉(階段室) 内装木質化 太陽光発電 <sup>4</sup> , 蓄電池 <sup>5</sup> , 太陽熱集熱装置(空調利用) LED 照明導入 トイレ改修(暖房便座, 節水型便器) ボイラー更新(重油ボイラーから灯油ボイラーへ更新) EHP 空調設置(保健室, 図書室) 全熱交換器設置(保健室, 図書室, 用務員室, 事務室)		
校舎形状	並列配置			
教室窓方位	南			
学級数	普通学級：12 学級(改修前：14 学級) 特別支援学級：2 学級(改修前：1 学級)			
生徒数	372 人			
職員数	常勤 32 人, 非常勤 13 人			
給食方式	自校式			
稼働状況	年間開校日数：202 日(夏季休業期間(7/27~8/18)：23 日, 冬季休業期間(12/26~1/13)：19 日, 学期末休業期間(3/15~4/5)：22 日, 土日祝：99 日) 勤務時間：7:00~20:30(時間外含む) 授業時間：8:20~16:10 年間授業時間：1,582 時間/年(206 日/年×7 時間 50 分/日)			

<sup>3</sup> 改修前の第 2 体育館(780 m<sup>2</sup>)に比べ、改修後に新築した武道場は面積が減少している。管理棟(改修前の調査報告書では接続棟含む)及び普通教室棟は、改修前の調査報告書とは参照値が異なるため面積が異なるが、減築はされていない。

<sup>4</sup> 太陽光発電仕様

	メーカー	種類	公称最大出力(W)	最大発電量(kW)	セル実行変換効率(%)	稼働開始日
管理棟屋上 普通教室棟屋上	OMソーラー	単結晶シリコン	125	50.0kW (管理棟屋上：125W×160 枚) (普通教室棟屋上：125W×240 枚)	17.4	平成 29 年 11 月

<sup>5</sup> 蓄電池仕様

メーカー	種類	定格出力(kW)	容量(kWh)	稼働開始日
SONY	リチウムイオン電池	3.5	10	平成 29 年 11 月

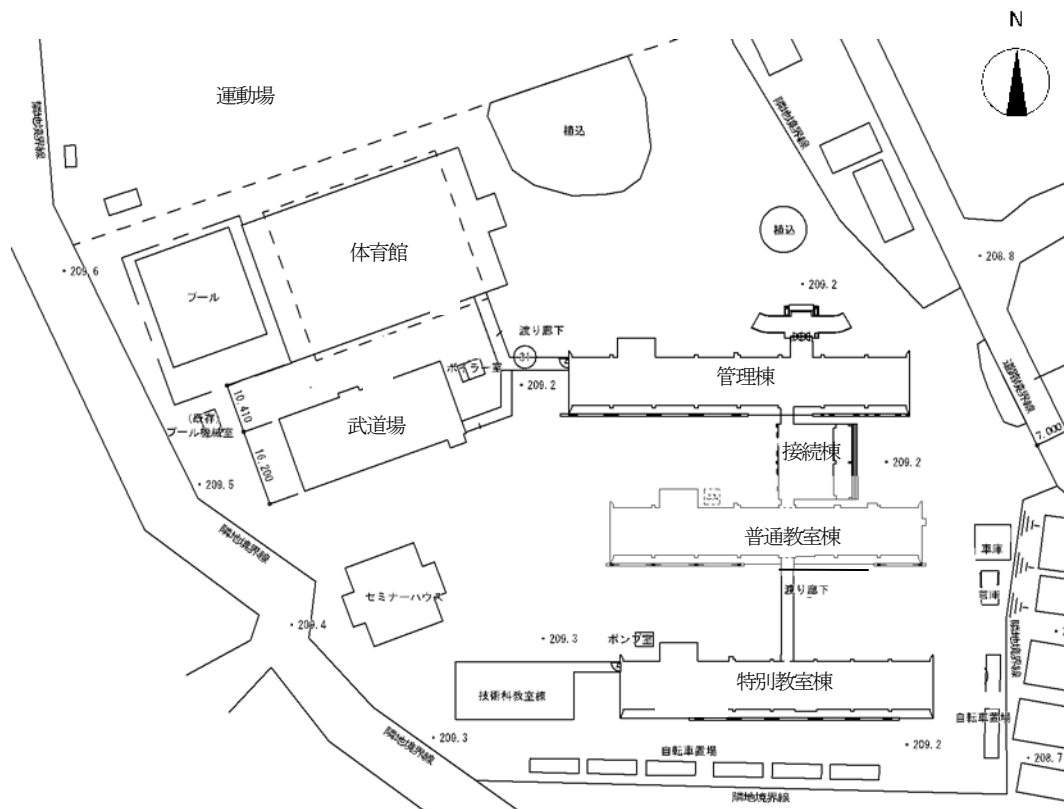
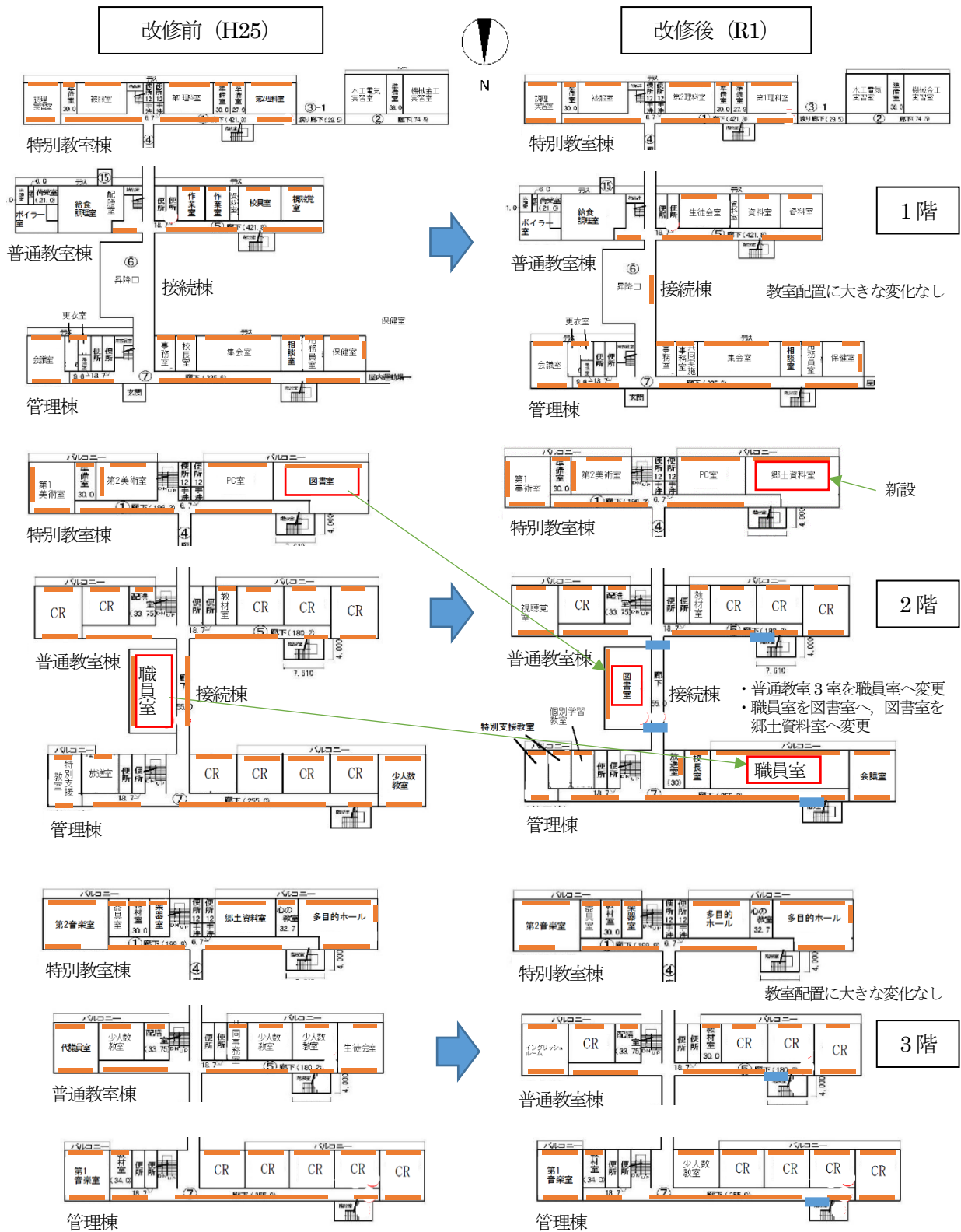


図 1-1 対象校の校舎配置図 (令和元年度)



- ・職員室の位置が改修前後で変更（改修前：接続棟 2F，改修後：管理棟 2F）。
- ・図書室の位置が改修前後で変更（改修前：特別教室棟 2F，改修後：接続棟 2F）。
- ・利用教室の集約と暖房エリアの制御を目的として、特別教室棟に位置していた図書室を接続棟へ移設し、接続棟に位置していた職員室を管理棟へと移設した。

・区画扉  
 ・パネルヒーター

図 1-2 対象校の教室配置図（左：平成 25 年度，右：令和元年度）

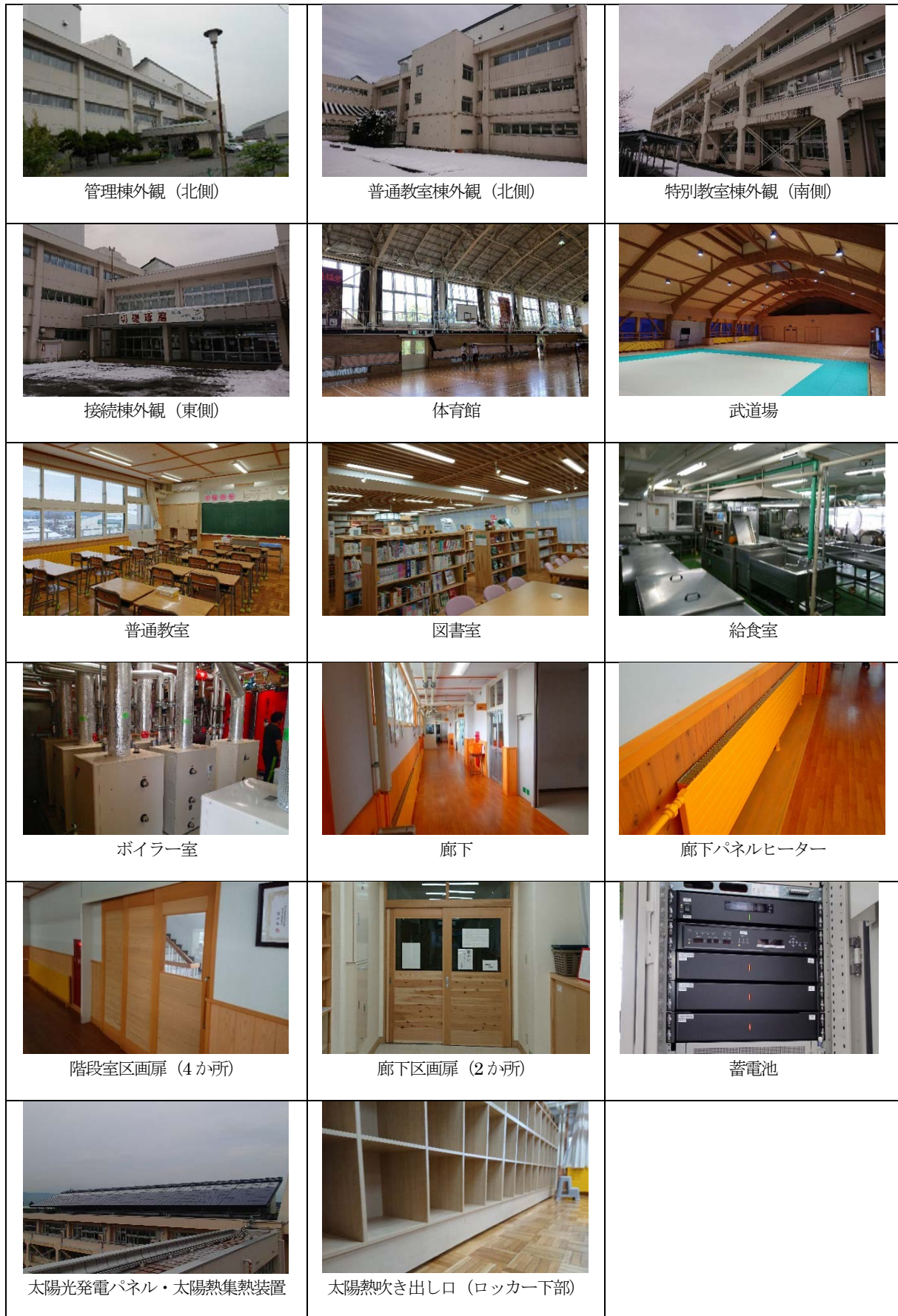
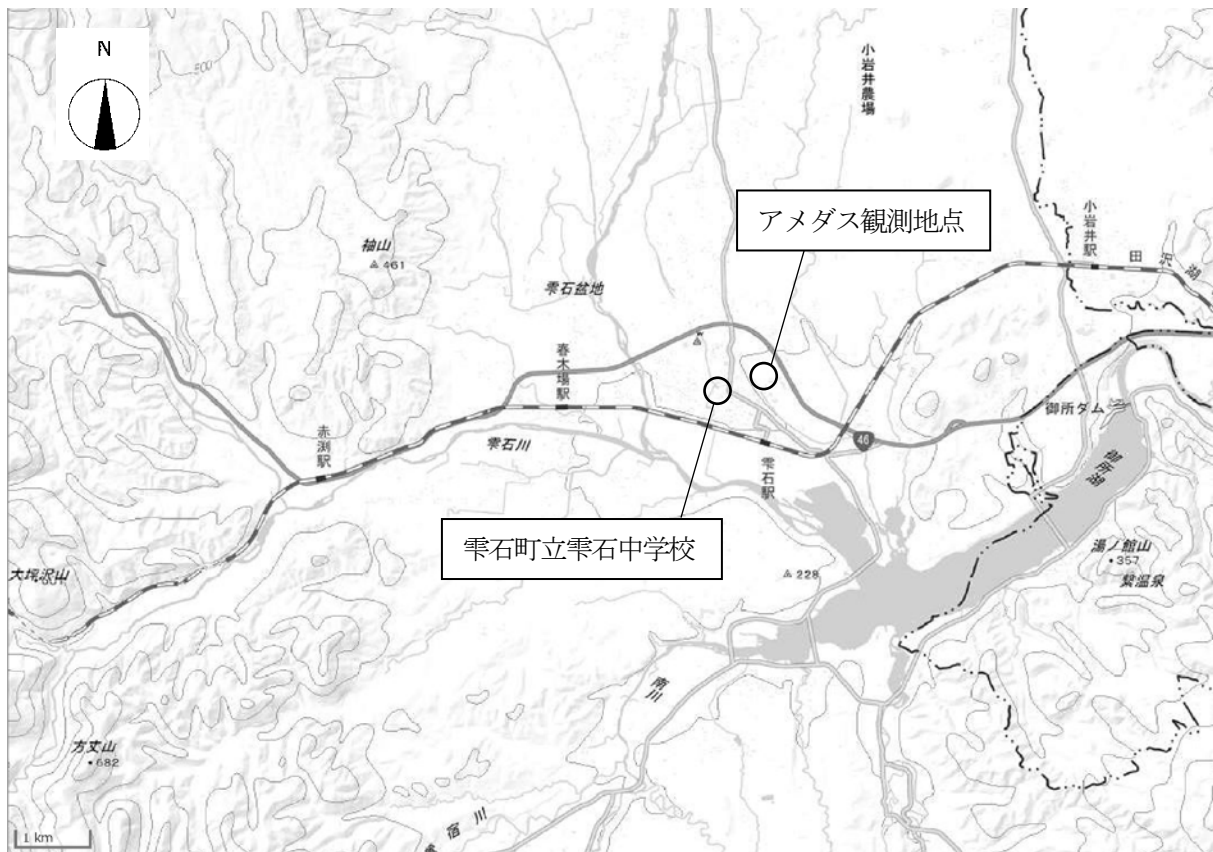


図 1-3 改修後の対象校における各所の状況





出典：国土地理院地図

図 1-4 対象校周辺の地形（雫石町の中心市街地に位置し、西に奥羽山脈系の山々が位置し、周辺は水利の良い比較的なだらかな地形である（標高約 209m）

#### 1.4. 調査体制

図 1-5 に調査体制を示す。

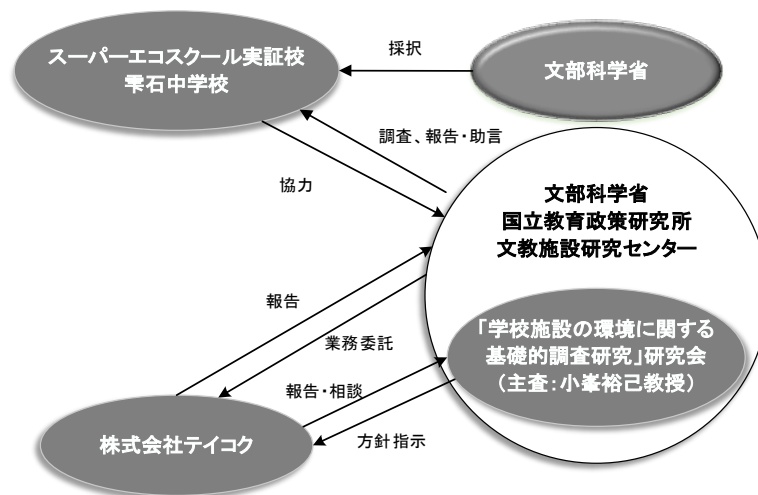


図 1-5 調査体制

### 1.5. 調査スケジュール

表 1-2 に調査スケジュールを示す。

表 1-2 調査スケジュール

	令和1年				令和2年		
	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
(1)計画準備	←→						
(2)エネルギー使用実態調査業務							
①対象校ウォークスルー		□					
②計測機器の設置			□				
③対象校の温熱環境等調査			←→				
④対象校のエネルギー種別ごとの使用量等データ収集			←→				
⑤データ回収(温湿度、電力、灯油)				□	□	□	
⑥太陽熱集熱装置効果測定				□			
⑦対象校の運用実態調査			□				
⑧計測機器の撤去							□
(3)分析・報告書作成業務							
①対象校における使用エネルギー種別・使用機器を把握し、エコ改修前後の使用エネルギー・使用機器等の変更内容を整理			←→				
②対象校の運用実態がエネルギー使用量にどのような影響を与えるのか調査・分析			←→				
③エネルギー消費や温熱環境等を把握し改修前との比較を行うことで、エコ改修の効果を調査・分析(表・グラフ等の参考資料の作成)					←→		
④FAST(Ver.2)と実態データとの検証						←→	
(4)「学校施設の環境に関する基礎的調査研究」会議出席等				■	■		■

### 1.6. 用語・単語の定義，端数の整理法

#### (1) 一次エネルギー換算係数

一次エネルギー換算係数は表 1-3 を用いた。

表 1-3 一次エネルギー換算用発熱量

	発熱量	参照
電力	9.97MJ/kWh	エネルギーの使用の合理化等に関する法律施行規則(昭和54年9月29日通商産業省令第74号 最終改正 令和元年7月1日経済産業省令第17号) 別表第三
灯油	36.7MJ/L	
重油	39.1MJ/L	同上 別表第一

#### (2) CO<sub>2</sub>排出係数

CO<sub>2</sub>排出係数は表 1-4 を用いた。

表 1-4 CO<sub>2</sub>排出係数

	排出係数	参照
電力(東北電力)	0.523kg-CO <sub>2</sub> /kWh	電気事業者別排出係数(平成30年度実績, 令和2年1月7日公表)
灯油	2.490kg-CO <sub>2</sub> /N m <sup>3</sup>	算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧( <a href="https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calco/itiran2019.pdf">https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calco/itiran2019.pdf</a> )
水道	0.540kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	一般社団法人日本レストルーム工業会(平成25年度~平成29年度平均値)

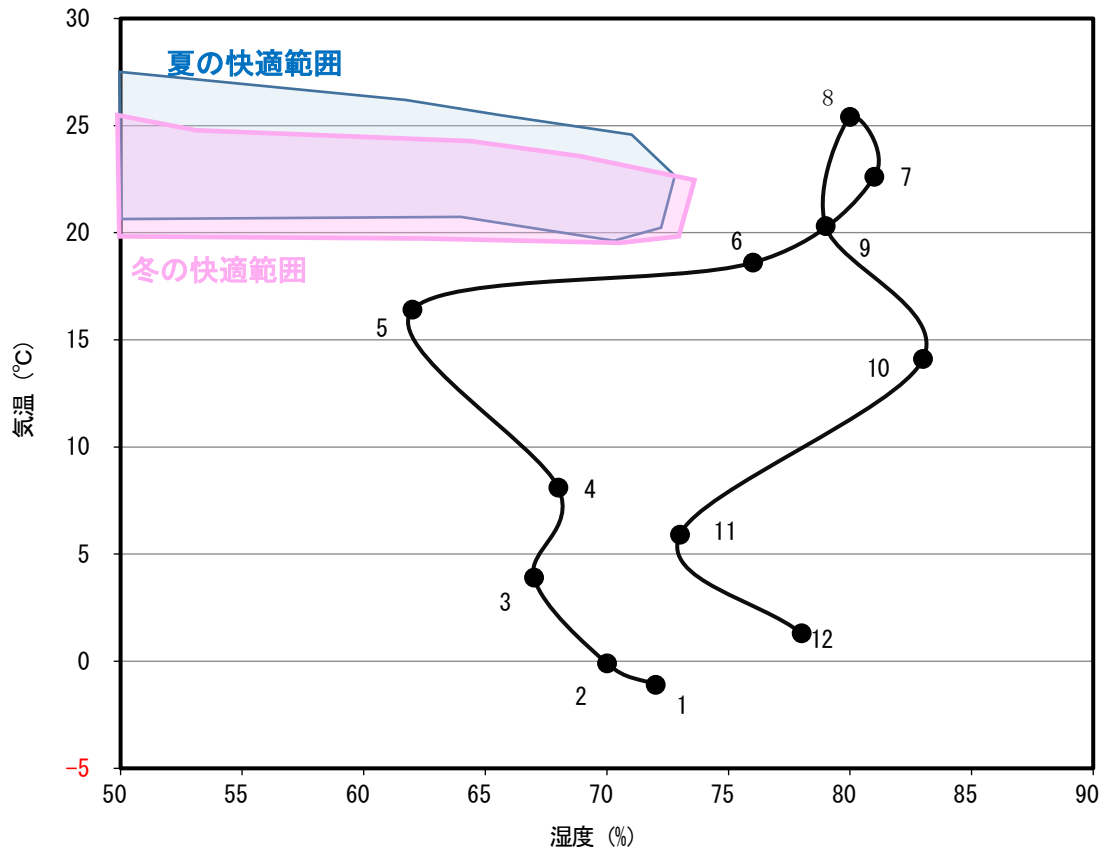
#### (3) 端数整理

単位未満を四捨五入する。このため、合計など計数が一致しない場合がある。

## 2. 立地条件の把握

### 2.1. 気温・湿度

気象庁の観測データによる、クリモグラフ（1年間の気候状態を把握するため、縦軸に月平均気温、横軸に月平均湿度を取り、1か月ごとの平均状態をプロットして閉曲線を描いたもの）を図2-1に示す。雫石町のアメダス観測地点では湿度の測定を行っていないため、温湿度データは、雫石町に隣接する盛岡市のものを用いた。快適範囲はオルゲーの生気象図にもとづいて示す。夏季（6月から9月）は、気温が快適範囲内に入っているものの湿度が高い傾向にある。中間期から冬季は、気温は低く、湿度は比較的高い傾向にある。オルゲーの生気象図の快適範囲内に収まっている月はないことが分かる。



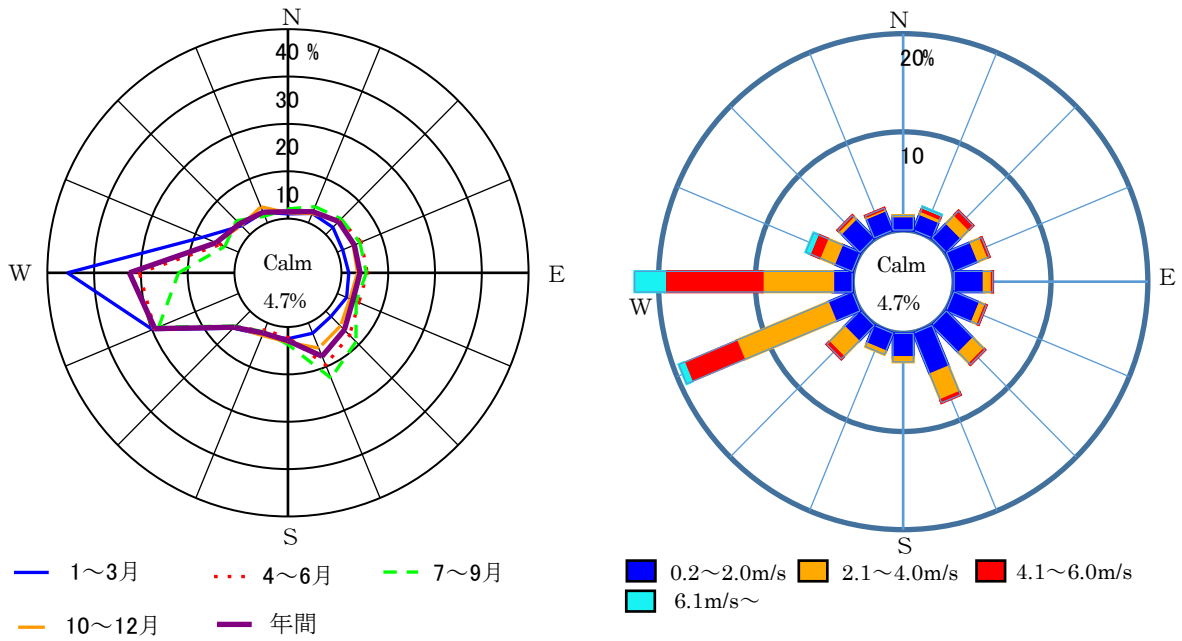
データ出典：気象庁 HP/過去の気象データ（盛岡市）

図 2-1 盛岡市のクリモグラフ（2019 年）

### 2.2. 風況

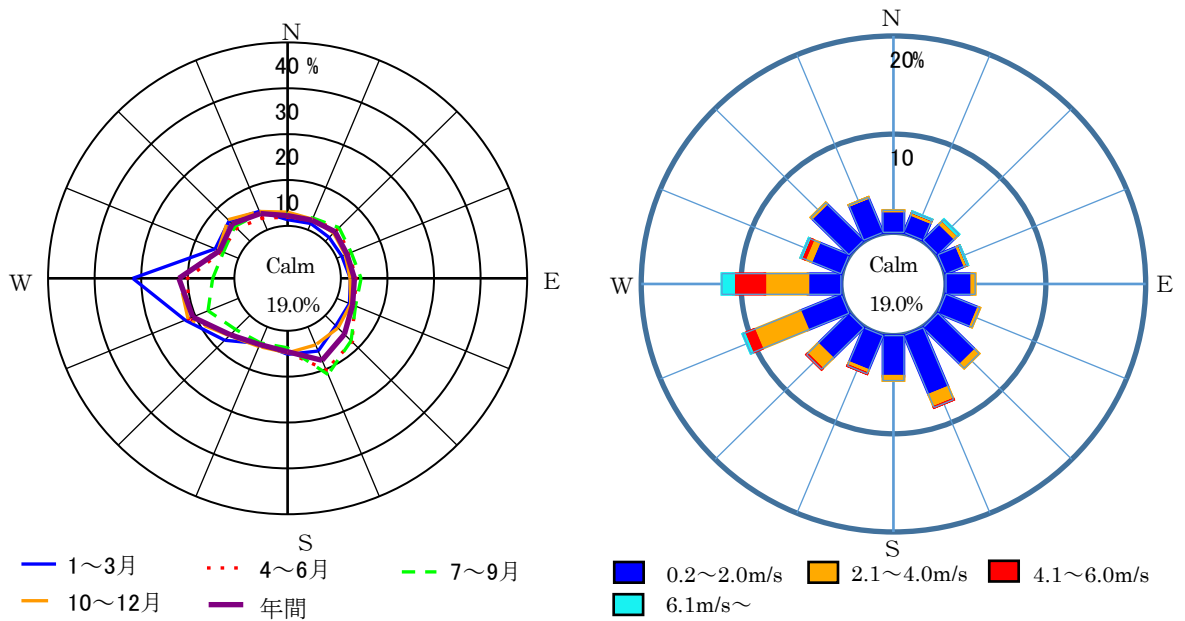
雫石町における、2019年の季節別風配図及び風向別風速階級別頻度分布を、昼間（8:00～18:00）と夜間（18:00～翌8:00）に分けて図2-2、2-3に示す。なお、風速計の観測高さは地上8.5mである。

昼間においては年間を通してWNW～WSWが卓越風向であり、特に冬季に最も顕著となる。S～SEからの風も見られるが、その他の方位からの風はほとんど吹かない。夜間においてはWNW～WSW及びS～SEが卓越風向であり、夏季ではS～SEが顕著である一方、冬季ではWNW～WSWが顕著である。夜間と昼間の風向は同じ傾向である。平均風速は昼間が1.8m/s、夜間が1.2m/sであり、昼間は夜間に比べて強い風が吹く傾向がある。



データ出典: 気象庁 HP/過去の気象データ (雫石町)

図 2-2 昼間における雫石町の季節別風配図(左)及び風向別風速階級別頻度分布図(右) (2019 年)



データ出典: 気象庁 HP/過去の気象データ (雫石町)

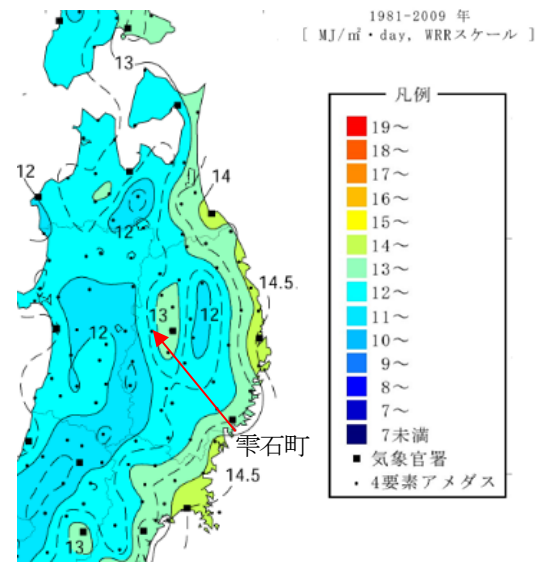
図 2-3 夜間における雫石町の季節別風配図(左)及び風向別風速階級別頻度分布図(右) (2019 年)

### 2.3. 日射量

創エネとしての太陽光発電の有効発電量算定のため基礎情報となる日射量について、NEDO（独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構）が提供するデータベースをもとに調査を行った。

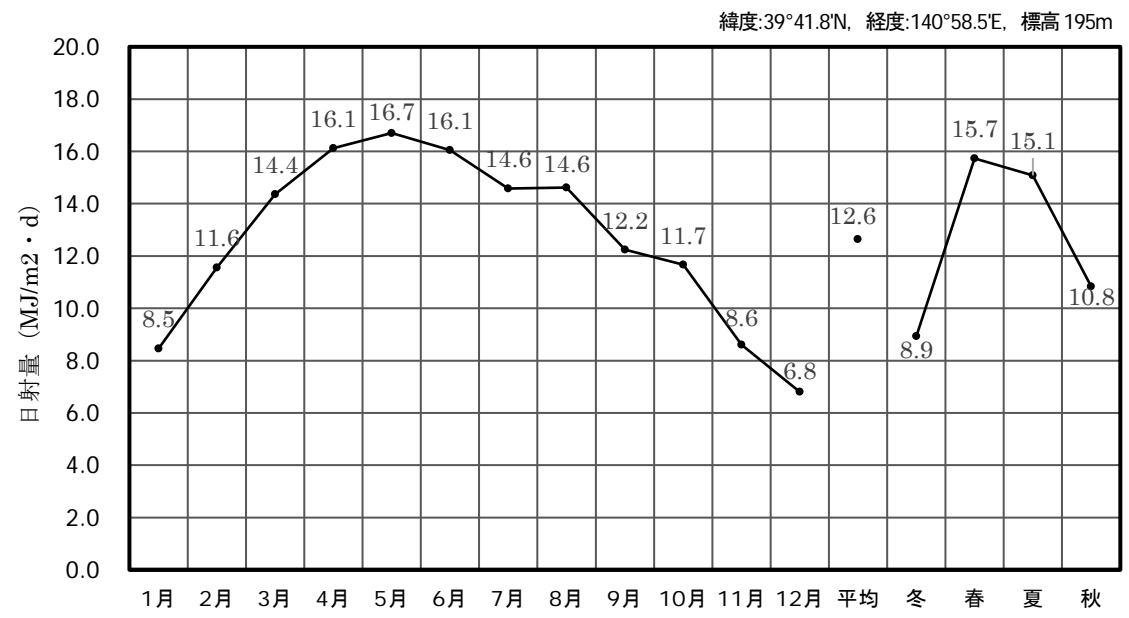
図 2-4 に、東北地方の、観測地点ごとの年間最適傾斜角における年平均日射量マップを示す。

雫石町の年間最適傾斜角（30.3°）における日射量グラフを図 2-5 に示す。雫石町の年間最適傾斜角における年平均日射量は 12.6MJ/(m<sup>2</sup>・day)である。



出典：NEDO 日射量データベース

図 2-4 観測地点ごとの最適傾斜角における年平均日射量マップ（1981～2009 年）



データ出典：NEDO 日射量データベース

図 2-5 雫石町の年間最適傾斜角における月別日射量（1981～2009 年）

### 3. 学校施設・設備機器の運用実態に関する調査

#### 3.1. 設置されている設備機器

改修により導入した設備機器を表 3-1、建物の改修一覧を表 3-2 に示す。また、改修前後の主な設備機器を表 3-3 に示す。なお、詳細は巻末の参考資料の調査票（雫石町立雫石中学校運用状況ヒアリングシート結果）による。

表 3-1 改修により導入した設備機器一覧

太陽光発電設備（管理棟・普通教室棟屋上 50kW）
太陽熱集熱装置（2・3 階の普通教室，特別支援教室，校長室，職員室に温風を送風）
EHP 空調機器（保健室・図書室）
ボイラー更新（灯油ボイラー21 台）
蓄電池（10kWh）
LED 照明（特別教室棟・体育館を除く）
全熱交換器（管理棟）
暖房便座・節水型便器（特別教室棟・体育館を除く）

表 3-2 建物の改修一覧

外壁内断熱改修（発泡ウレタン吹付 40mm，特別教室棟，体育館を除く）
屋根断熱改修（グラスウール 24K 100mm，特別教室棟，体育館を除く）
複層ガラス（特別教室棟，体育館を除く）
区画扉の設置（管理棟西側 2・3 階の階段室，管理棟-普通教室棟間 2F 渡り廊下）
内装木質化

表 3-3 改修前後の設備機器の比較

設備機器		改修前	改修後
暖房	校舎棟	重油焚き真空式温水機：出力 928.0kW×2 台（2 台を日交互運転としており，1 日の運転台数は 1 台） （管理諸室については，時間外は大型石油ストーブ使用）	灯油ボイラー：出力 68.6kW×21 台（合計出力 1,440.6kW）
	体育館	灯油焚き真空式温水機：出力 232.0kW×1 台	同左
	武道場		灯油ボイラー：出力 37.2kW×2 基（合計出力 74.4kW）
冷房	管理棟（保健室）	なし	EHP：冷房能力 7.1kW×2 台（合計出力 14.2kW）
	図書室	なし	EHP：冷房能力 20.0kW×2 台（合計出力 40.0kW）
普通教室 1 室当たりの照明		40.0W×2 灯+64.0W×9 灯 =656.0W（FL）	26.5W×2 灯+44.5W×9 灯 =453.5W（LED）
体育館照明		マルチハロゲン 0.4kW×28 灯， 耐震電球 0.5kW×28 灯 （計 25.2kW）	同左
給水		自給式タービンポンプ 3.7kW	同左
プール水ろ過ポンプ		5.5kW	同左

### 3.2. 学校施設・設備機器の運用実態

副校長，用務員，調理場責任者へのヒアリングを実施し，運用の実態調査を行った。  
設備機器等の運用状況で特徴的なものを以下に述べる。また，詳細な運用状況を表 3-5 に示す。

#### ①各施設の運用状況

- ・放課後に普通教室を使用することはない。
- ・部活動は平日 16：20～18：00 に週 4 回，休日 9：00～12：00 に土日のどちらかに行われており，体育館（バスケットボール部，バレーボール部，バドミントン部），武道場（柔道部，剣道部），グラウンド（ソフトボール部，野球部，サッカー部，陸上部），多目的ルーム（卓球部），家庭科調理室・被服室（家庭部），音楽室（吹奏楽部），美術室（美術部），集会室・学校プール・屋外施設（水泳部，冬季のみスキー部（屋外施設））が使用されている。
- ・部活動終了後に外部講師を招いて活動を行う部活動もあり，体育館と校庭は週に 3～4 回（19：00～21：00），武道場は週に 2 回（19：00～21：00）使用する。体育館は地域開放も含めると，休日を含めほぼ毎日同時間に使用される。
- ・体育館は授業で 1 日に 3 時間程度使用される。武道場は冬季（11 月～1 月）に授業で使用する他，週に 1 回集会で 30 分程度使用される。

#### ②空調・換気について

##### ア. 冷房機器

- ・EHP 空調が図書室，パソコン室，保健室に設置<sup>6</sup>されている。
- ・冷房の設定温度は，図書室と保健室が 28℃，パソコン室は決まりがなく教員が自由に設定している。

##### イ. 暖房機器

- ・灯油ボイラーを熱源とする温水暖房が校舎棟，体育館，武道場で用いられている。
- ・太陽熱集熱装置による吹き出し口は，校舎棟のうち，管理棟と普通教室棟の 2 階と 3 階の一部の室に設置されている。
- ・開放型石油ストーブは，特別教室の各室と，事務室にそれぞれ 1 台，普通教室で 6 台ある。
- ・開放型石油ストーブは，教室等を部分的に使用する冬季休業期間中の部活動や，放課後で灯油ボイラーが停止している際など，全棟を暖房する必要がない場合に，温水暖房の代替として使用している。
- ・校舎棟に温水を供給する灯油ボイラーは 21 台設置されており，温水配管は管理棟，普通教室棟，特別教室棟の 3 系統（各 7 台ずつ）に分かれている（図 3-1 参照）。
- ・ボイラーの制御は 1) 室内温度による制御（温水循環の ON/OFF 制御）と，2) 循環水温による稼働台数制御（ボイラー運転台数の制御）がある。特別教室棟は 2) のみ，管理棟と普通教室棟は 1) と 2) の制御を行っている。

##### 1) 室温制御

- ・図 3-2 に示す 6 室の室温が設定温度に達すると，図 3-1 に示す各々の系統（例えば，管理棟の 1 階，普通教室棟の 1 階など）の，当該系統に属する温水制御弁が切り替わり，校舎棟への温水循環が遮断される。
- ・設定室温は，教室の使用状況や生徒の様子によって判断し，フロアや校舎ごとに用務員が適宜変更している（概ね 18℃～21℃）。
- ・流量による制御は行われていない。

##### 2) 稼働台数制御

- ・設定水温，行き水温，還り水温に応じて，下記の（ア）～（エ）にてボイラーの稼働台数制御が行われる。設定水温は 60℃である（初期値）。

<sup>6</sup> 本調査の対象としている改修とは別に令和元年 9 月に，各普通教室に EHP 空調が設置された。また，普通教室内には扇風機がある。

(ア) 運転開始時を含め、行き水温が設定水温+1℃以下の場合、設定水温と還り水温による以下の演算にて、自動的にボイラーの運転台数を決定する。

$$\text{運転台数} = (\text{設定温度} - \text{戻り温度}) \times \text{流量} \times 60 \div \text{ボイラー1台当たりの暖房出力}$$

(イ) 行き水温が設定水温+2℃以上の場合、ボイラーの運転台数が1台減少し、10分経過後も行き水温が設定水温+2℃以上の場合、更に1台ずつ減少していく。

(ウ) 還り水温が設定水温を超えた場合、全ボイラーが停止する。

(エ) ボイラー停止後、(ア)の演算の結果で、運転台数が1台以上となった場合にボイラーが運転を再開する。

- 対象校では、高温のパネルでの火傷を防ぐことも目的として、行き水温による制御が優先的にされている<sup>7</sup>。

- ボイラーの稼働台数が0台となっても温水循環ポンプは停止しない。

- 各フロアとも、ボイラー室から最も離れた室に制御用の温度計が設置されており、該当室が移動教室時等で利用されておらず室温が低い場合には、他室の室温が上昇する傾向にある。
- 校舎棟用の灯油ボイラーは、室温が高い場合には用務員が手動で停止する場合がある。なお、特別教室棟の系統は、上述の室温制御を行っていないため、使用している室の室温が高くなると用務員が手動でバルブの切り替えを行い、温水循環を遮断している。
- ボイラーの稼働時間は校舎棟が7:00~17:00、体育館が7:00から2~3時間程度、武道場は使用時のみ稼働する。

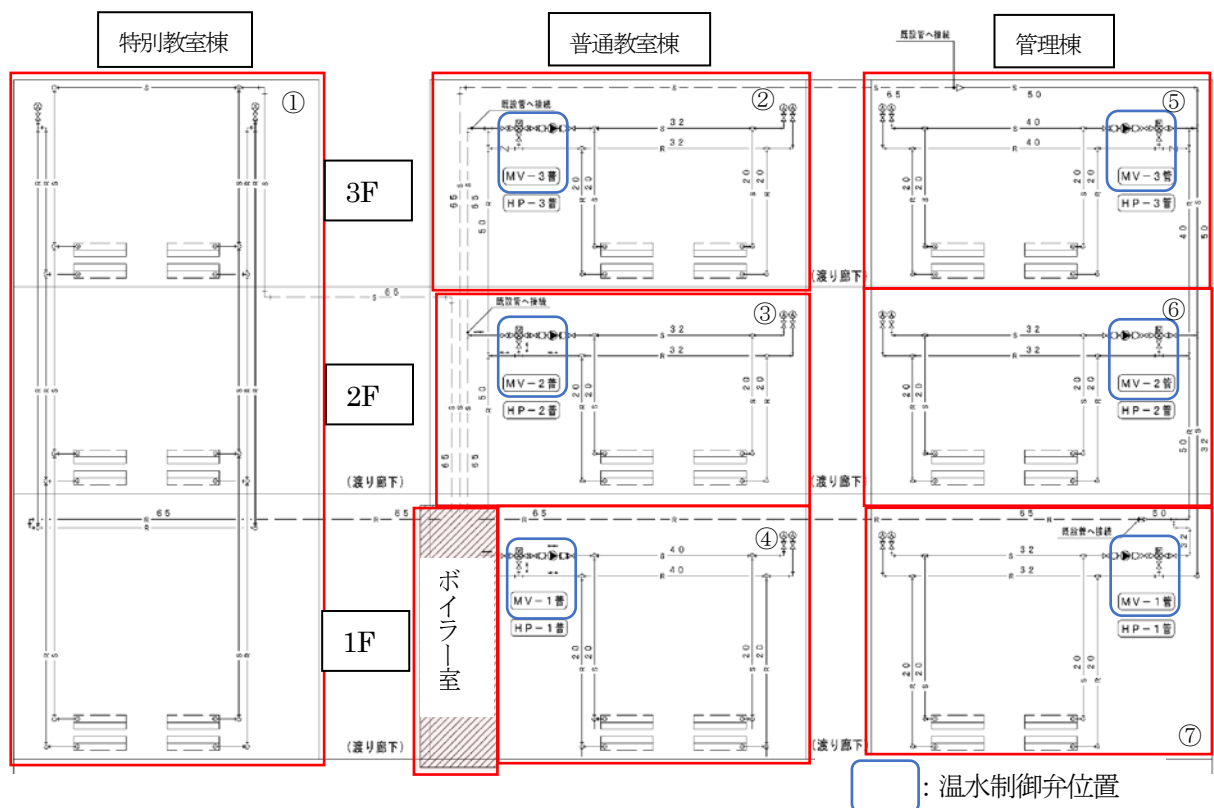


図 3-1 温水暖房の系統図

<sup>7</sup> 還り水温の制御とした場合、急激な行き水温の上昇に伴いパネル温度が急激に上昇する可能性があり、高温になったパネルに触れることによる火傷を防ぐため、還り水温よりも行き水温による制御を優先的にしている。



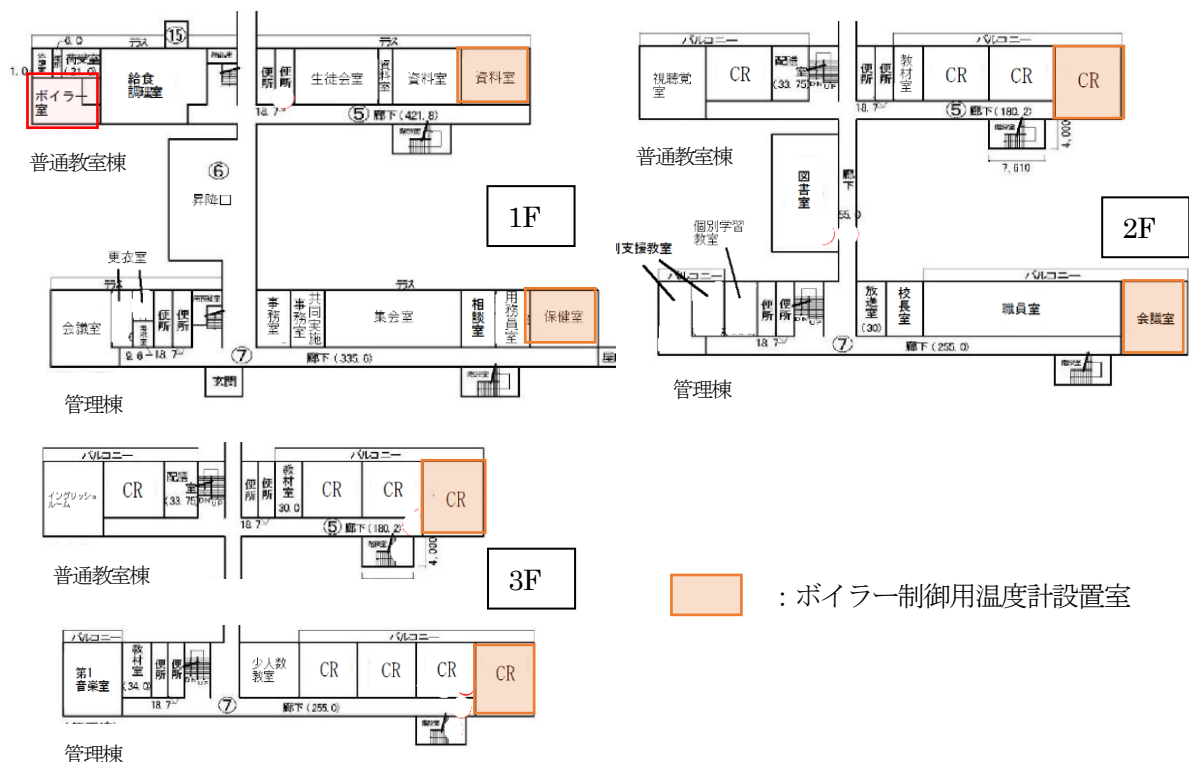


図 3-2 ボイラー制御用温度計の設置教室

#### ウ. 太陽集熱装置の稼働

- 太陽熱集熱装置は季節モードと 24 時間自動制御運転を組み合わせた運転を行っており、集熱温度に応じて室内への暖気の取り入れ（冬季）、夜間には外気を取り込み（夏季）を行う。
- 朝 5 時の外気温に応じて、夏季、中間期、冬季の運転モードが自動で切り替わるが、朝の外気温が低く、昼間に気温が高くなる日には、用務員が手動で運転を切り替えている。モードごとの運転パターンを表 3-4 に示す。

表 3-4 太陽熱集熱装置の運転パターン<sup>8</sup>

季節モード	季節モード切替基準 (朝 5 時の外気温)	運転パターン
夏季	$21^{\circ}\text{C} \leq \text{外気温}$	昼間停止、夜間に室温 $23^{\circ}\text{C}$ 以上かつ外気温が室温 $-1^{\circ}\text{C}$ 以下で外気取り込み
中間期	$13^{\circ}\text{C} < \text{外気温} < 21^{\circ}\text{C}$	室温 $12^{\circ}\text{C}$ 以下、集熱温度 $35^{\circ}\text{C}$ 以上で暖気取り込み
冬季	$\text{外気温} \leq 13^{\circ}\text{C}$	室温 $22^{\circ}\text{C}$ 以下、集熱温度 $30^{\circ}\text{C}$ 以上で暖気取り込み

- 冬季に集熱温度が設定温度に達することは少なく、太陽熱集熱装置が稼働しない日が多い。そのため、灯油ボイラーの稼働が多い（温水暖房が主となっている）。
- 冬季には各教室に加湿器が 1 台設置されており、在室時には常時稼働している。

#### エ. 換気扇の稼働

- 内装を改修した普通教室棟、管理棟、武道場は、シックハウス症候群対策として、現在、全熱交換器と換気扇を全て 24 時間稼働としている。エコ改修の対象外であった特別教室棟の換気扇は、24 時間稼働ではなく適宜稼働させている。

<sup>8</sup> 装置は、暖房用途のみでなく、給湯利用も可能な設備であり、中間期モードは設定室温（ $23^{\circ}\text{C}$ ）未満で給湯利用、設定室温  $-10^{\circ}\text{C}$  未満（ $12^{\circ}\text{C}$  以下）で暖房利用、冬季モードは設定室温（ $23^{\circ}\text{C}$ ）以上で給湯利用、設定室温未満（ $22^{\circ}\text{C}$  以下）で暖房利用と設定されている。（雫石中学校では給湯利用はしていない）

### ③照明について

- ・在室時には教室の照明は全灯点灯であるが、移動教室等で不在になる際は消灯を徹底している。
- ・職員室は、作業している職員の周辺のみ点灯する。
- ・カーテンは、夏季及び中間期は開けており、冬季のみ日射が強い際に閉めている。
- ・廊下や昇降口の照明の点灯ルールはなく、日中は消えていることが多い。夕方に暗くなってくると使用する箇所のみ点灯する。
- ・改修によって、体育館と特別教室棟を除く全ての照明が LED へと更新された。
- ・武道場のトイレと更衣室のみ、人感センサーが設置されている。
- ・グラウンド照明は 4 月～11 月の部活動がある日に、1 時間～3 時間点灯する。

### ④給食室

- ・空調機として、EHP 空調 1 台を用いており、夏季の設定温度は 20℃、冬季の設定温度は 24℃としているが、運用上のルールはない。
- ・給食室の使用時間は 7:30～16:00 であり、その間は照明を常時点灯している。
- ・ガス釜は 4 台あり、1 日に 30 分～1 時間程度使用する。
- ・食洗器は 13:30～14:30 に使用する。
- ・換気扇は 24 時間稼働の換気扇が 4 台設置されている他、フライヤーやガス釜の使用時に稼働するキャノピーフードとフードファンが合計 5 台設置されている。
- ・冷蔵庫は 2 台（定格消費電力：295W、780W）設置されているが、1 台（295W）は長期休業期間中は通電していない。
- ・食器消毒保管機が 3 台（定格消費電力：23kW、16.25kW、6.75kW）あり、1 日に 4 時間程度使用する。

### ⑤その他

- ・太陽光発電は系統連系していない。
- ・発電された電力は蓄電池に充電される。蓄電池は常時充放電しており、職員室及び事務室の照明・コンセント用途に使用している。
- ・蓄電池が満充電の場合は、発電された電力は校舎棟にて使用される。余剰電力が生じた場合は発電が停止するが、余剰電力が生じることはほとんどない。
- ・エコ改修により気密・断熱性が高くなり、暖房効率がよくなっている。室温が上がりすぎた場合には窓を開けることがある。教室内で温度にムラがあり、ヒーター近くの席の生徒が暑いため、窓を開ける場合がある。
- ・トイレの凍結防止ヒーターは 12 月～4 月に 24 時間稼働となっており、温度が 15℃を下回ると運転する。断熱改修を実施した管理棟、普通教室棟、武道場は、1 月中旬より、設定温度を 15℃から 7.5℃に変更し運用している。
- ・暖房便座は通年稼働となっている。従来は通常運転モードにて運用していたが、1 月中旬より、使用頻度の少ない時間帯を自動で検知し、その時間帯に温度を下げる、節電モードにて運用している。
- ・昇降口、廊下及び階段室の区画扉は、夏は開け、冬は閉めている。

表 3-5 学校運用状況の詳細 (副校長・用務員・調理責任者に対するヒアリングによる)

1	登校時間	登校時刻	8:20 (何時までに登校することとしているか)																
2		完全下校時刻	通年	16時	10分														
3	平日のクラブ・部活動の時間	朝	なし																
4		放課後(4月～11月)	3月～11月	16時	20分～	18時	0分	1.7時間	12月～2月	16時	20分～	17時	30分	1.2時間					
5	放課後の普通教室の使用教室数	部活・クラブ	なし																
6		教職員の作業	なし																
7																			
8	長期休みの期間	夏休み	7月	27日	～	8月	18日												
9		冬休み	12月	26日	～	1月	13日												
10		春休み	3月	15日	～	3月	31日												
11	コンピュータ室使用時間	5時間/週	サーバの有無				有・無		デスクトップ		42台	ノート		0台					
12	体育館の使用時間	授業・朝礼等	3時間/日	照明の点灯のルール				ステージを除き点灯											
13		平日のクラブ・部活動	6.7時間/週	照明の点灯のルール				ステージを除き点灯											
14		休日のクラブ・部活動	土曜日: 3時間/日	日曜日: 3時間/日				照明の点灯のルール				ステージを除き点灯							
15		長期休みのクラブ・部活動	6時間/回	5回/週				照明の点灯のルール				ステージを除き点灯							
16		平日の一般開放	2時間/日	を				5回/週				照明の点灯のルール				ステージを除き点灯			
17		休日の一般開放	土曜日: 2時間/日	日曜日: 2時間/日				照明の点灯のルール				ステージを除き点灯							
18		長期休みの一般開放	2時間/日	を				7回/週				照明の点灯のルール				ステージを除き点灯			
19																			
20	学童保育	有無	有・無																
21	グラウンド照明	有無	有・無																
22		利用時間(クラブ・部活等)	1時間/日(冬季除く)																
23		利用時間(一般開放)	4時間/週																
24		コイン制度の有無	有・無																
25	給食室	給食室の使用時間	7:30時～	16時	洗浄機	13:30時～	14:30												
26		冷暖房の有無	暖房	有・無	冷房	有・無	※ともにEHP空調												
27																			
28			平日の利用時間	土曜日		日曜日		夏休み		照明点灯のルール									
29				利用時間	回数	利用時間	回数	利用時間	回数	(例)在室時に点灯									
30	管理諸室の使用時間	校長室	7:30時～	19:30時	0時～	0時	日/月	0時～	0時	日/月	8:20時～	16:50時	10日/月	在室時に点灯					
31		職員室	7:00時～	20:30時	12:00時～	16:00時	4日/月	0時～	0時	日/月	8:00時～	17:00時	20日/月	在室時に点灯。休日は使用箇所のみ					
32		保健室	8:20時～	16:50時	0時～	0時	日/月	0時～	0時	日/月	8:20時～	16:50時	日/月	在室時に点灯					
33		事務室	8:20時～	17:30時	0時～	0時	日/月	0時～	0時	日/月	8:20時～	16:50時	10日/月	在室時に点灯					
34		用務員室	7:00時～	16:50時	0時～	0時	日/月	0時～	0時	日/月	8:20時～	16:50時	日/月	在室時に点灯					
35		放送室	45分/日		0時～	0時	日/月	0時～	0時	日/月	0時～	0時	日/月	在室時に点灯					
36					時～	時	日/月	時～	時	日/月	時～	時	日/月						
37																			
38			平日	土曜日		日曜日		夏休み		暖房使用の有無	冷房使用の有無								
39			利用時間	回数	利用時間	回数	利用時間	回数	利用時間	回数									
40	特別教室の使用時間	音楽室	3時間/日	5日/週	3時間/日	4日/月	0時間/日	日/月	0時間/日	日/月	0時間/日	日/週	有・無	有・無					
41		理科室	2時間/日	5日/週	0時間/日	0日/月	0時間/日	日/月	0時間/日	日/月	0時間/日	日/週	有・無	有・無					
42		被服室	3時間/日	5日/週	3時間/日	2日/月	0時間/日	日/月	0時間/日	日/月	0時間/日	日/週	有・無	有・無					
43		家庭科調理室	3時間/日	5日/週	3時間/日	2日/月	0時間/日	日/月	0時間/日	日/月	0時間/日	日/週	有・無	有・無					
44		美術室	2時間/日	5日/週	3時間/日	4日/月	0時間/日	日/月	0時間/日	日/月	0時間/日	日/週	有・無	有・無					
45		図書室	1.5時間/日	5日/週	0時間/日	0日/月	0時間/日	日/月	0時間/日	日/月	0時間/日	日/週	有・無	有・無					
46		多目的ホール	1.7時間/日	4日/週	3時間/日	4日/月	0時間/日	日/月	0時間/日	日/月	0時間/日	日/週	有・無	有・無					
47			時間/日	日/週	0時間/日	日/週	0時間/日	日/週	0時間/日	日/週	0時間/日	日/週	有・無	有・無					
48																			
49																			
50	冷暖房の設定温度	冷房(6月～9月)	コンピュータ室:ルールなし、保健室・図書室:28℃																
51		暖房(11～4月)	18℃～20℃程度																
52																			

## 4. 機器測定等によるエネルギー消費量の実測調査

### 4.1. 調査項目

電力使用量, LP ガス使用量, 灯油使用量, 水道使用量を調査した。

### 4.2. 使用した測定機器

測定に使用した機器を表 4-1 に示す。電力消費量の測定インターバルは 15 分とし, 1 ヶ月に 1 回程度現地にてデータを回収した。

表 4-1 実測調査で使用したエネルギー測定機器の概要

項目		測定機器	メーカー	型番	写真
電力	用途ごとの使用量	エコパワーメータ (電力用)	パナソニック (株)	AKW2020G (基本ユニット) AKW2152G (増設ユニット)	 基本ユニット 増設ユニット
	用途ごとの使用量	電流センサー (CT)	パナソニック (株)	AKW4801C AKW4802C AKW4803C AKW4804C	 電流センサー
	学校全体の使用量	パルスセンサー	太陽工業 (株)	HPC-3.5mA- PF-L	 パルスセンサー

### 4.3. 測定方法

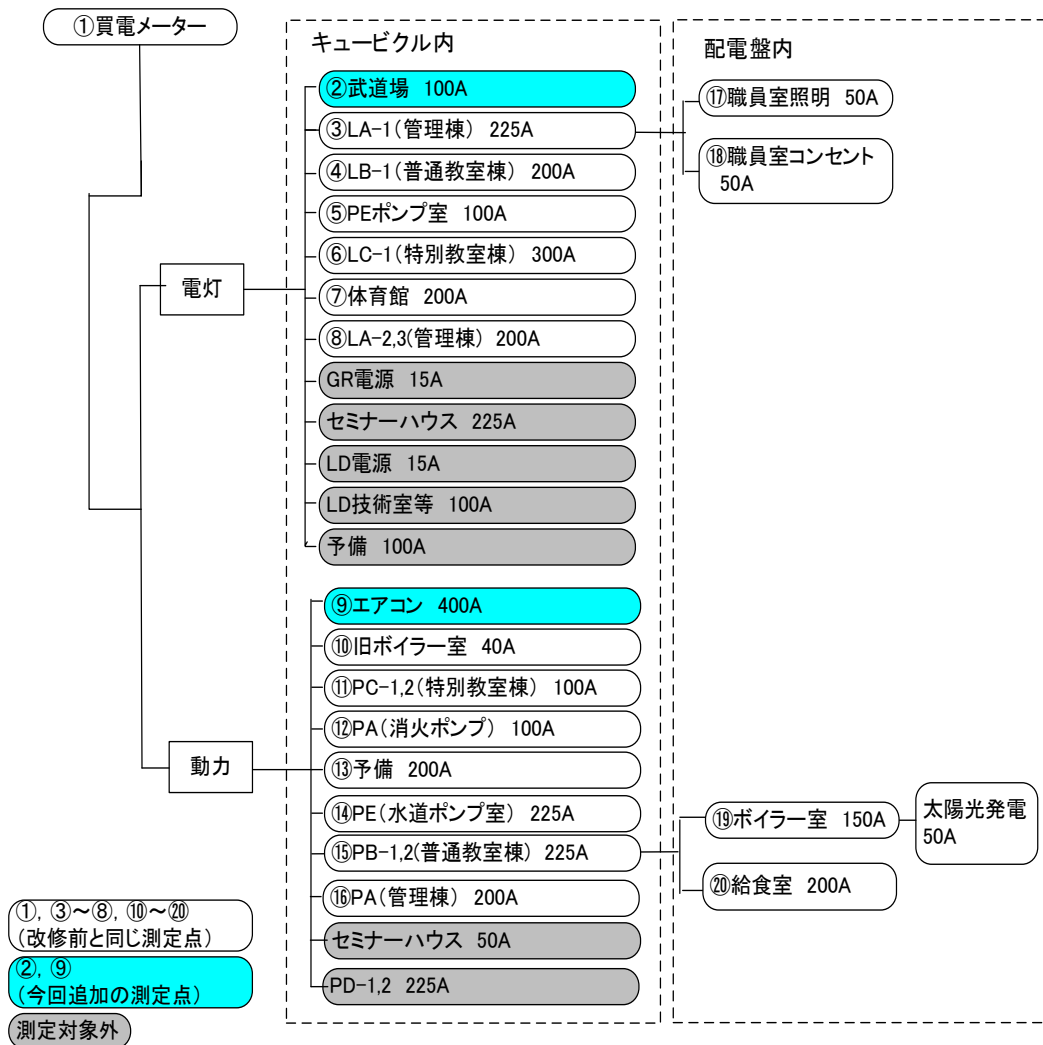
電力, LP ガス, 灯油, 水道の使用量の測定方法を以下に示す。

- ①電力使用量： 前掲の測定機器による測定及び毎月の検針票による。測定点を表 4-2, 図 4-1 に示す。また, 設置状況を図 4-2 に示す。
- ②LP ガス使用量： 毎月の検針票による。
- ③灯油使用量： 既設の測定機器による測定及び毎月の検針票による。
- ④水道使用量： 毎月の検針票による。

表 4-2 電力の測定点

測定場所	測定点	電流値 (A)	相	線数
電力	① 買電パルス	—	—	—
電灯系	② <b>武道場</b>	<b>100</b>	<b>単相</b>	<b>3W</b>
	③ LA-1 (管理棟)	225	〃	〃
	④ LB-1 (普通教室棟)	200	〃	〃
	⑤ PE ポンプ室	100	〃	〃
	⑥ LC-1 (特別教室棟)	300	〃	〃
	⑦ 体育館	200	〃	〃
	⑧ LA-2,3 (管理棟)	200	〃	〃
動力系	⑨ <b>エアコン</b>	400	三相	3W
	⑩ 旧ボイラー室	40	〃	〃
	⑪ PC-1,2 (特別教室棟)	100	〃	〃
	⑫ PA (消火ポンプ)	100	〃	〃
	⑬ 予備	200	〃	〃
	⑭ PE (水道ポンプ室)	225	〃	〃
	⑮ PB-1,2 (普通教室棟)	225	〃	〃
	⑯ PA (管理棟)	200	〃	〃
校舎内 LA-2,3	⑰ 職員室照明	50	単相	2W
	⑱ 職員室コンセント	50	〃	〃
校舎内 PB-1,2	⑲ ボイラー室	150	三相	3W
	⑳ 給食室	200	〃	〃

※**青文字**は今回（エコ改修後）新たに測定した箇所，その他は平成 25 年度と同様の測定箇所  
 ※⑯の系統には太陽光発電系統が含まれている。



※対象校では太陽光発電による余剰電力の売電は行っていない。

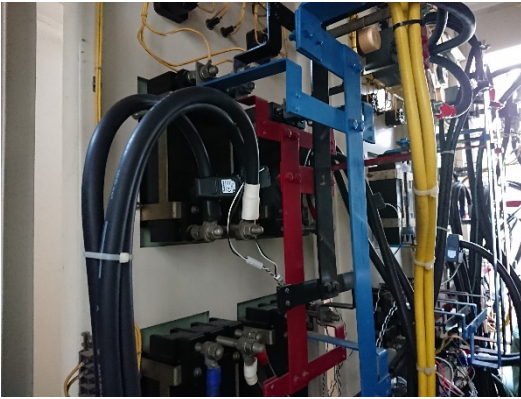
図 4-1 電気系統図と電力測定点の関係



買電メーターに設置



キュービクルに設置



キュービクル内に設置



職員室内配電盤に設置

図 4-2 電力測定機器の設置状況

## 4.4. 測定結果と考察

### 4.4.1. 概要

#### ① 太陽光発電について (4.4.2. 詳述)

- ・対象校では太陽光発電は系統連系していない。
- ・年間における累積発電量の実測値は、予想値の1.3倍程度であった。
- ・冬季(12月)の発電量は中間期(5月)の27%まで落ち込んだ。

#### ② 電力について (4.4.3. 詳述)

- ・パソコン室と図書室、保健室を除いて冷房が設置されていないため、夏季の電力消費量は小さく、中間期と同程度であった。
- ・エコ改修後の全電力消費量(平成30年7月~令和1年6月創エネなし:333,629kWh/年)は、エコ改修前の買電量(平成25年度:351,568kWh/年)に比べ、5.1%の減少であり、エコ改修前後の自家消費量は同程度と言える。これは、LED照明の更新による電力消費量の削減と、24時間稼働換気扇による電力消費量増加が相殺されているためと考えられる。
- ・令和元年度11月~1月の電力消費量の用途別割合は、照明・コンセント等が87%、動力が4%、その他が9%であった。
- ・令和元年1月中旬より、体育館を除くトイレ凍結防止ヒーターの設定温度を15°Cから7.5°Cに、暖房便座の設定を通常運転モードから節電モードに変更しており、12月に比べ1月は校舎棟用途の電力消費量が減少した。

#### ③ 灯油・重油について (4.4.4. 詳述)

- ・エコ改修によって重油ボイラーが灯油ボイラーに更新されており、平成28年度以降重油は使用されていない。
- ・エコ改修後の灯油・重油消費量の一次エネルギー消費量換算値の合計(平成30年度:1,439GJ/年)は、エコ改修前のそれ(平成25年度:1,202GJ/年)に比べ、19.7%増加した。平成25年度と平成30年度の冬季の外気温を比較すると、12月を除き、平成30年度の方がやや高かった。
- ・一次エネルギー消費量が増加した要因としては、ボイラーの更新により効率が向上した一方で、ボイラーの稼働時間が長時間化したことや、新築の武道場にて灯油の消費が生じたためと考えられる。
- ・ボイラー稼働時は、灯油を150L/日以上消費しており、最大で500L/日程度灯油を消費した。
- ・灯油の消費量は、校舎棟用途が82%、体育館用途が15%、武道場用途が3%であったと推計される。

#### ④ LPガスについて (4.4.5. 詳述)

- ・LPガスの用途は、主に給食室と家庭科調理室のみであり、暖房用途には用いられていない。
- ・長期休業期間に該当する4月、8月、1月のLPガス消費量は他の月に比べて少なかった。

#### ⑤ 一次エネルギーについて (4.4.6. 詳述)

- ・夏季に比べ冬季の一次エネルギー消費量が大きく、2月は7月の約6.6倍であった。
- ・エコ改修後の一次エネルギー消費量(平成30年度創エネあり:4,240GJ/年)は、エコ改修前のそれ(平成25年度:4,707GJ/年)に比べ、9.9%減少した。
- ・11月~1月において、一次エネルギー消費量の51%を灯油が占めており、暖房用途の一次エネルギー消費量が大きかった。



#### 4.4.2. 太陽光発電の発電量の測定結果と考察

##### (1) 太陽光発電量の測定結果

- ・対象校では太陽光発電は系統連系せずに、蓄電池の充電と自家消費によって運用している。余剰電力が生じた場合は、太陽光発電が停止する制御となっている。
- ・太陽光発電の稼働状況を確認するため、中間期の休日における、発電量と日射量の関係を図 4-3 に示す。
- ・2019年11月17日(日)は、10時～15時まで買電量が0であり、発電電力は蓄電池への充電と校内で消費されていることが分かる。校内の電力使用状況によるが、概ね休日においても太陽光発電が停止していない状況が多いと想定される。
- ・休日の昼間における電力消費量は、平日のそれと比べると少ないと想定されるが、休日の夜間でも買電がある。発電量が多い休日の昼間に、蓄電池に充電される電力量が少なかったと考えられることから、蓄電池の容量が不足していると考えられる。

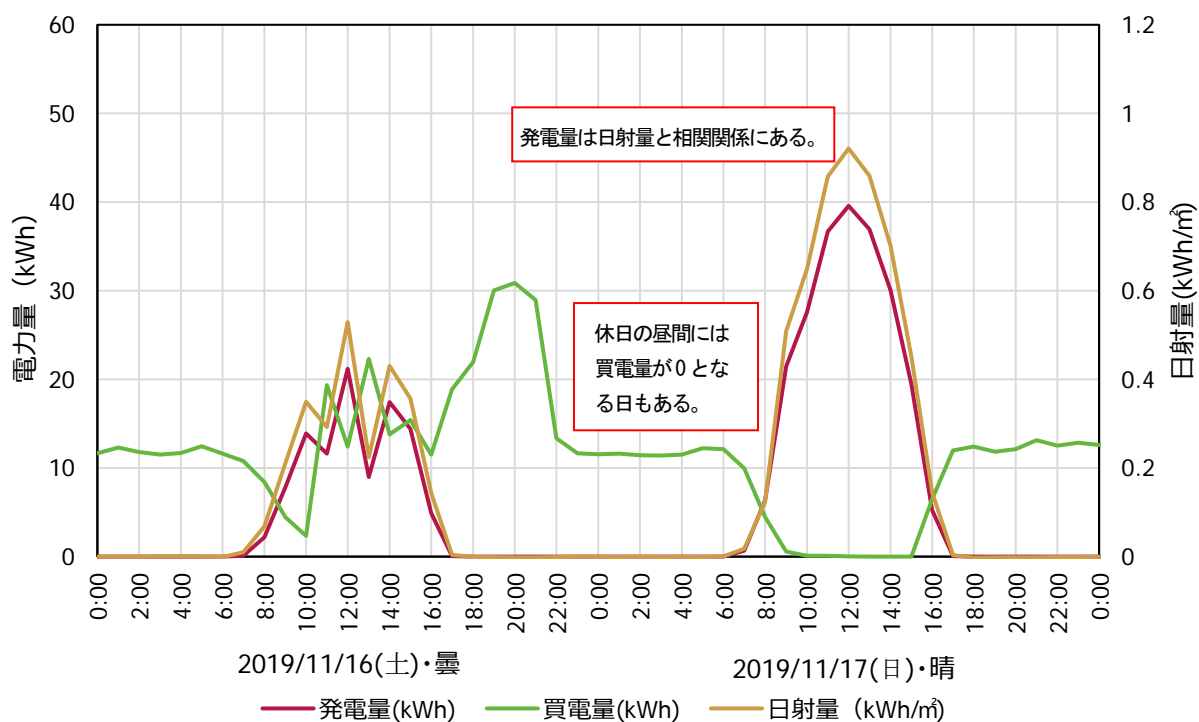


図 4-3 太陽光発電パネルによる発電量と日射量，買電量の比較

(2) 予測発電量と実測発電量の比較

- NEDO 及び JIS による想定日射量及び予測発電量と、日射量・発電量の実測値の比較を、表 4-3、図 4-4 に示す。
- 日射量の実測値は、NEDO 想定値と比べて、同等から 40%程度多かった。令和元年度は、年間を通して晴天率が高かったと想定される。
- 上記に伴い、年間における累積発電量の実測値は、JIS による予測発電量の 1.3 倍程度であった。
- 対象校は豪雪地帯に位置するため、12 月における発電量は 5 月における値の 27%まで落ち込んだ。

表 4-3 NEDO 日射量データベース及び JIS による予測発電量と実測値の比較 (令和元年度)

	①想定日射量 [NEDO 値] (kWh/m <sup>2</sup> ・日)	②①に基づく JIS による予測発電量 (kWh)	③日射量の実測値 (kWh/m <sup>2</sup> ・日)	④発電量の実測値 (kWh)	⑤JIS による予測発電 量と実測値の比較 (④/②)
4 月	4.50	4,960	5.37	6,339	127.8%
5 月	4.78	5,237	6.81	8,200	156.6%
6 月	4.64	4,862	5.83	6,711	138.0%
7 月	4.19	4,448	5.01	5,866	131.9%
8 月	4.13	4,331	4.89	5,599	129.3%
9 月	3.37	3,504	4.51	5,210	148.7%
10 月	3.08	3,408	3.26	3,940	115.6%
11 月	2.19	2,434	3.04	3,724	153.0%
12 月	1.72	2,021	2.06	2,414	119.4%
1 月	2.14	2,542	2.50	3,099	121.9%
2 月	2.99	3,196	3.28	3,006	94.1%
3 月	3.84	4,463	4.00	4,973	111.4%
合計 (平均)	(3.46)	45,406	(4.21)	59,081	130.1%

※2 月及び 3 月は平成 30 年度値

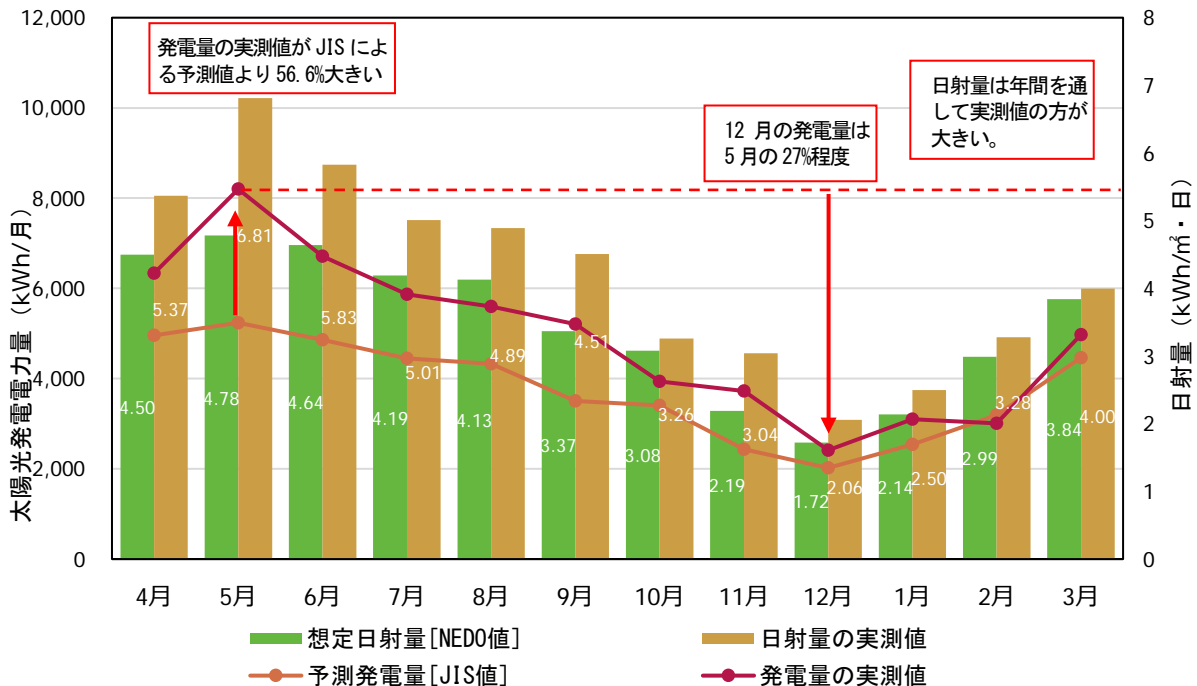


図 4-4 NEDO 及び JIS による予測発電量と実測値の比較

(3) 全電力消費量に占める各月の買電量の割合

- ・太陽光発電による発電量（自家消費量），買電量の関係を表 4-4，図 4-5 に示す。
- ・年間を通じて全電力消費量に対する買電量の割合は 82.0%と高かった。特に 1 月から 3 月は，買電量の割合が 90%以上を占めていた。

表 4-4 発電量（自家消費量），買電量，全電力消費量の比較（令和元年度）

	①発電量 [自家消費量] (kWh)	②買電量 [創エネあり] (kWh)	③全電力消費量 (①+②) [創エネなし] (kWh)	④全電力消費量に対する買電量の割合 (②÷③)
4月	6,339	33,807	40,146	84.2%
5月	8,200	15,845	24,045	65.9%
6月	6,711	8,261	14,972	55.2%
7月	5,866	12,063	17,929	67.3%
8月	5,599	12,602	18,201	69.2%
9月	5,210	13,225	18,435	71.7%
10月	3,940	11,820	15,760	75.0%
11月	3,724	12,791	16,515	77.5%
12月	2,414	16,508	18,922	87.2%
1月	3,099	35,628	38,727	92.0%
2月	3,006	49,668	52,674	94.3%
3月	4,973	46,843	51,816	90.4%
合計	59,081	269,061	328,142	82.0%

※買電量は検針票に基づく（データ検針期間は前月 7 日～当月 6 日）

※2 月及び 3 月は平成 30 年度値

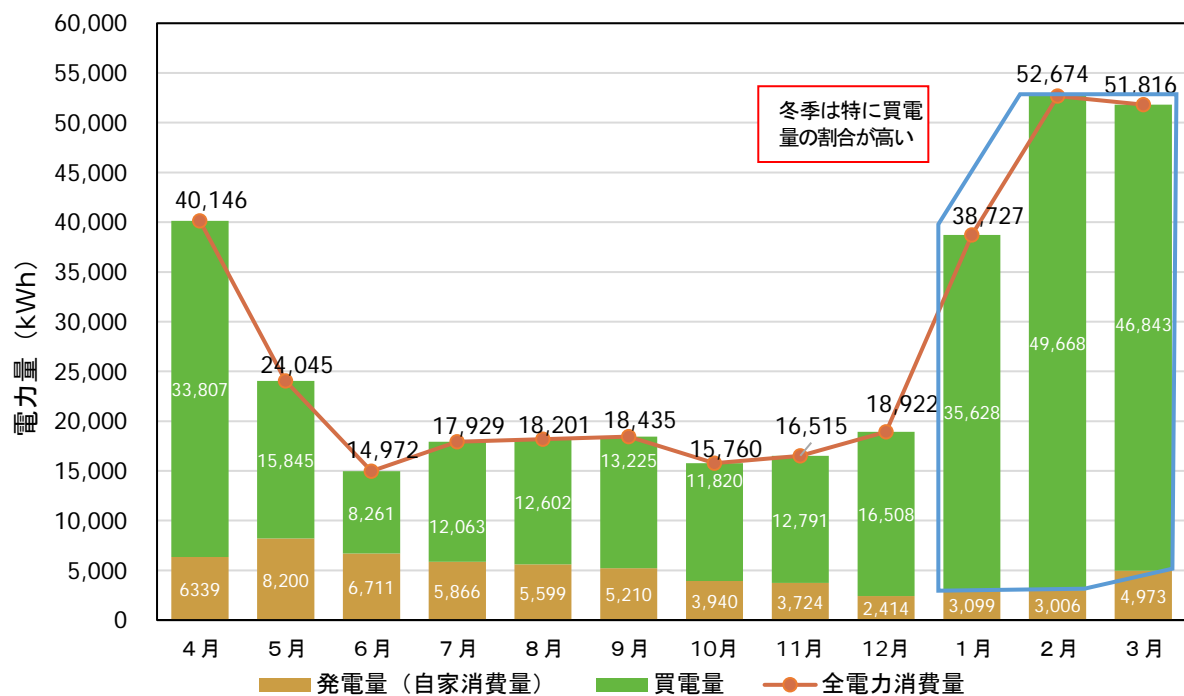


図 4-5 発電量（自家消費量），買電量，全電力消費量の比較（令和元年度）

#### 4.4.3. 電力消費量の分析結果と考察

##### (1) 年度による月間電力消費量の変動

- ・平成 24 年度から令和元年度までの検針票に基づく、電力消費量（買電量）を表 4-5、図 4-6 に示す。
- ・太陽光発電が稼働している平成 30 年度以降は、夏季及び中間期の買電量が減少していた。
- ・パソコン室と図書室、保健室を除いて冷房が設置されていないため、夏季の買電量は少なく、中間期と同程度となっていた。
- ・夏季及び中間期と比べて冬季は、トイレ凍結防止ヒーターの稼働やトイレ暖房便座による影響をうけて買電量が増加していると考えられる。
- ・エコ改修後の買電量（平成 30 年度創エネあり：280,973kWh/年）は、エコ改修前のそれ（平成 25 年度：351,568kWh/年）に比べ、20.0%減少した。一方で、エコ改修後の全電力消費量（平成 30 年 7 月～令和 1 年 6 月創エネなし：333,629kWh/年）は、エコ改修前の買電量（平成 25 年度：351,568kWh）に比べ、5.1%の減少であり、エコ改修前後の自家消費量は同程度と言える。これは、LED 照明の更新による電力消費量の削減と、24 時間稼働換気扇による電力消費量の増加が相殺されたためと想定される。

表 4-5 検針票に基づく月別電力消費量（買電量）の推移状況（平成 24 年度から令和元年度）

(単位：kWh)

	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30		R1	
							創エネなし (全電力消費量)	創エネあり (買電量)	創エネなし (全電力消費量)	創エネあり (買電量)
4 月	34,988	36,273	40,156	42,492	38,386	38,386	-	35,793	40,146	33,807
5 月	24,424	25,859	19,407	25,524	25,120	21,930	-	16,094	24,045	15,845
6 月	17,260	22,021	15,714	21,763	19,563	18,064	-	13,153	14,972	8,261
7 月	16,703	21,887	15,674	15,760	16,145	21,050	18,436	12,959	17,929	12,063
8 月	20,152	19,530	17,481	17,057	19,848	22,041	19,373	13,797	18,201	12,602
9 月	17,713	16,267	18,141	17,484	22,358	19,137	18,686	14,195	18,435	13,225
10 月	17,797	17,399	16,965	15,348	21,770	19,105	17,926	12,981	15,760	11,820
11 月	18,140	18,234	16,911	17,052	19,355	17,588	16,585	12,654	16,515	12,791
12 月	26,151	36,240	28,906	28,998	34,679	28,115	29,659	26,460	18,922	16,508
1 月	34,063	45,298	44,899	42,484	34,873	46,163	43,351	40,415	38,727	35,628
2 月	35,676	48,792	46,893	49,197	42,668	49,668	47,125	44,119	-	-
3 月	37,310	43,768	43,822	45,564	40,928	46,843	43,326	38,353	-	-
合計	300,377	351,568	324,969	338,723	335,693	348,090	-	280,973	-	-

20.0%減

※平成 29 年 11 月より太陽光発電が稼働しているが、計測値に異常値が散見されたため、平成 30 年 7 月より創エネなしデータを記載  
※検針期間は前月 7 日～当月 6 日

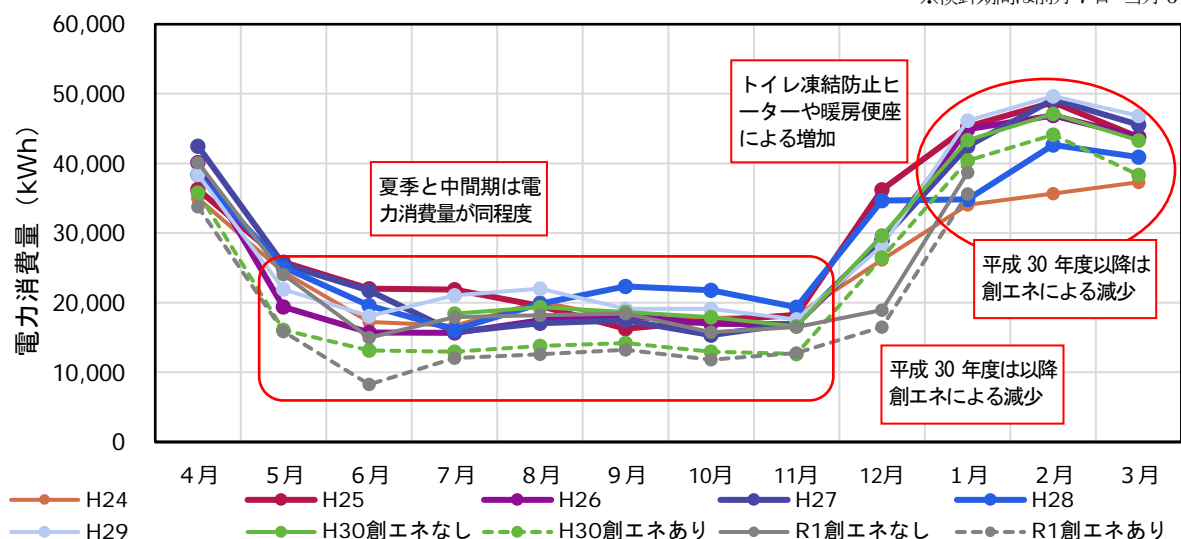


図 4-6 検針票に基づく月別電力消費量（買電量）の推移（平成 24 年度から令和元年度）

(2) 令和元年度における用途別電力消費量の月変動

- 用途別の電力消費量を表 4-6、図 4-7、図 4-8 に示す。
- エネルギー削減対象外である給食室を除いた電力消費量の用途別割合は、照明・コンセント等が 87%、動力が 4%、その他が 9%となっていた (図 4-8)。
- 11 月に比べ 12 月の校舎棟、体育館、武道場の電力消費量が増加しているのは、トイレ凍結防止ヒーターの稼働に伴うものと考えられる。1 月中旬よりトイレ凍結防止ヒーターの設定温度や暖房便座の設定を変更したため、12 月に比べ 1 月は校舎棟用途の電力消費量が減少した。
- 水道ポンプ室の電力消費量は、設定温度 15°Cにて稼働している凍結防止ヒーターによるものと想定され、計測期間中は常時稼働となっていると考えられる。
- 灯油ボイラー (温水暖房) の稼働時間の長時間化により、11 月に比べ、12 月及び 1 月の、温水送水用のポンプ動力用途の電力消費量が増加した。
- その他のベース電力の増加は、体育館ボイラー用の温水循環ポンプ (1.5kW) を、凍結防止のために 1 月 15 日より 24 時間稼働としたことによるものと考えられる。

表 4-6 用途別電力消費量の比較 (令和元年度) <sup>9</sup>

(単位: kWh)

	管理棟 照明・コンセ ント等	普通教室棟 照明・コンセ ント等	特別教室棟 照明・コンセ ント等	体育館 照明コンセ ント等	武道場 照明・コンセ ント等	水道ポン プ室 照明コンセ ント等	校舎棟 動力	給食室 動力	その他	月合計	給食室を除く 月合計
11月	5,180	3,012	1,067	4,017	417	883	883	1,069	1,581	18,109	17,040
12月	10,639	8,171	6,971	5,175	739	925	1,140	818	2,803	37,382	36,564
1月	9,178	6,558	6,208	5,374	1,019	937	1,263	898	3,733	35,167	34,269
合計	24,997	17,741	14,246	14,566	2,175	2,745	3,285	2,785	8,117	90,658	87,873

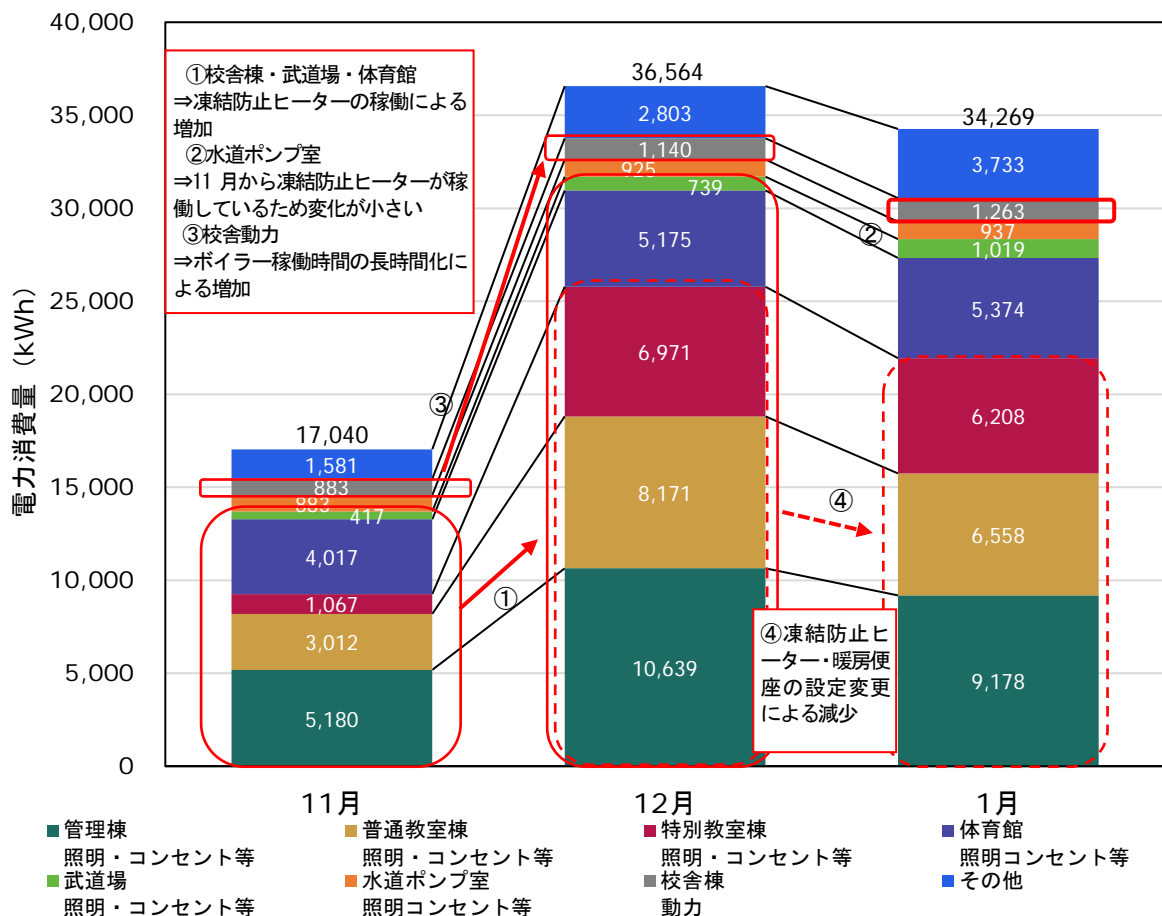


図 4-7 用途別電力消費量の比較 (令和元年度)

<sup>9</sup> 表 4-5 は検針票の数値であり前月 7 日～当月 6 日の数値だが、表 4-6 は測定値であり当月 1 日～月末の数値のため、数値が異なる。

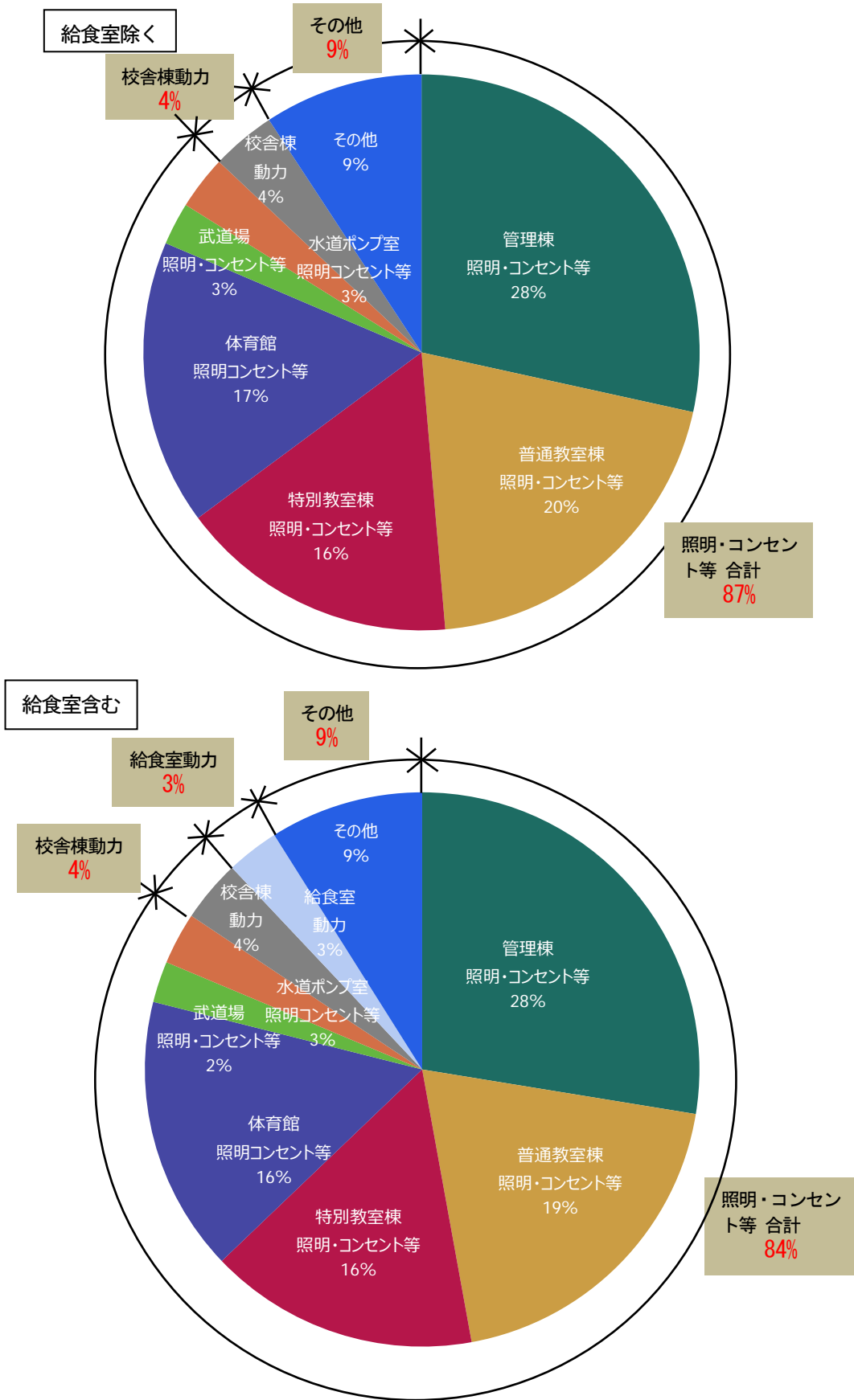


図 4-8 用途別の電力消費量の割合（上：給食室含む，下：給食室除く）

(3) トイレ凍結防止ヒーター及び暖房便座の設定変更前後における電力消費量の比較

- 1月におけるトイレ凍結防止ヒーター及び暖房便座の設定変更前(1日~15日)と設定変更後(16日~31日)の、ベース電力<sup>10</sup>及び開校日1日当たりの電力消費量の比較を図4-9に示す。
- 設定の変更によって、校舎棟(管理棟, 普通教室棟, 特別教室棟)のベース電力の合計は、34.7kWから18.7kWと46.1%減少し、学校全体のベース電力は、44.8kWから29.5kWと34.1%減少した。ベース電力の減少に伴い、校舎棟の電力消費量も、943kWh/日から632kWh/日と33.0%減少し、学校全体の電力消費量は1,435kWh/日から1,092kWh/日と23.9%減少した。
- 設定変更前後の、普通教室棟1Fトイレの温度を表4-7に示す。
- 設定変更前は、トイレの室内平均温度が23.1℃であり、凍結防止ヒーターによってトイレ内が過剰に暖められていたと言える。設定変更後の平均温度は、設定変更前に比べ10℃程度低かったが、設定変更後も最低温度は10℃以上に保たれていた。凍結防止ヒーターの役割を十分に果たしていると言えるが、凍結防止の観点からは過大である。

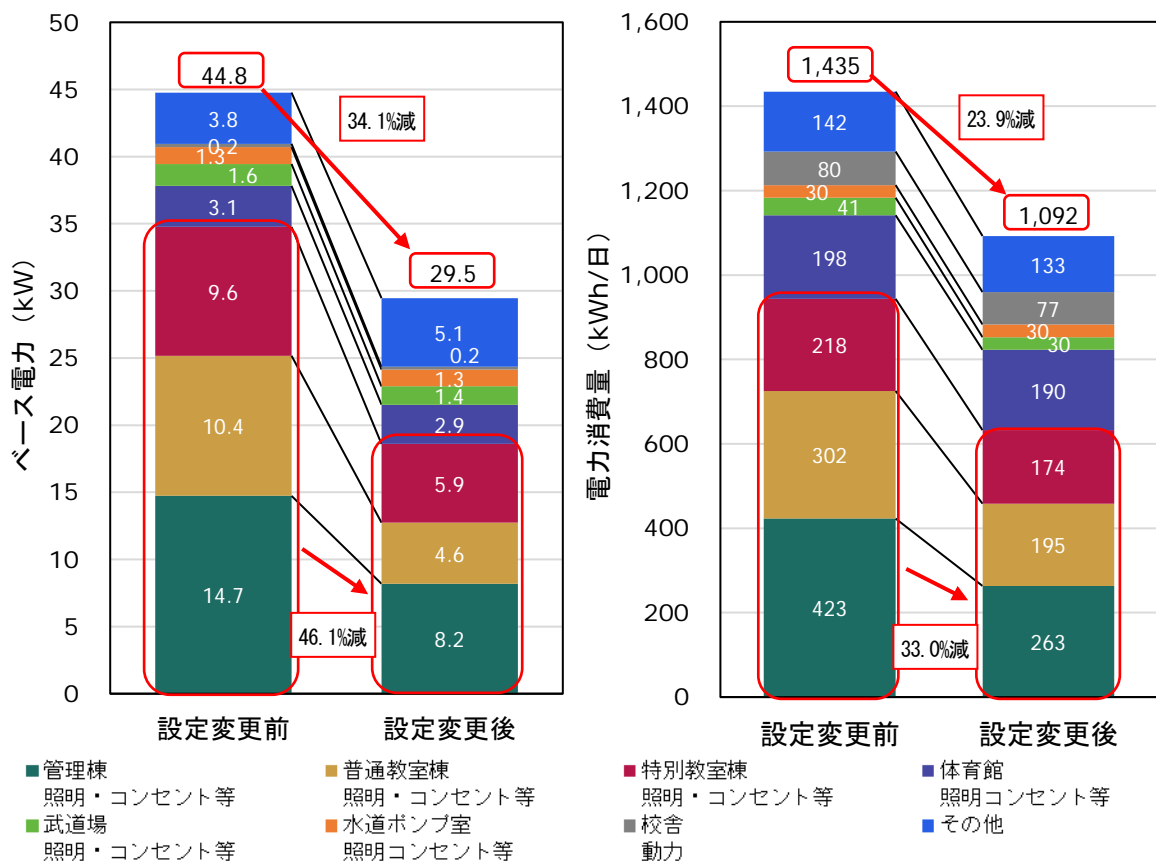


図 4-9 トイレ凍結防止ヒーター・暖房便座の設定温度変更前後における電力消費の比較 (令和元年度1月, 左: ベース電力, 右: 電力消費量)

表 4-7 設定温度変更前後におけるトイレ内室温の比較 (令和元年度)

	設定変更前	設定変更後
平均温度	23.1℃	13.0℃
最低温度	15.9℃	10.8℃

<sup>10</sup> 昼間・夜間問わず常時消費している電力を言う。午前1時から午前6時の電力の平均値をベース電力とした。

#### 4.4.4. 灯油・重油消費量の分析結果と考察

##### (1) 年度による灯油・重油の月間消費量の一次エネルギー消費量換算値の変動

- ・平成 24 年度から令和元年度までの検針票に基づく、重油、灯油の消費量を一次エネルギー消費量に換算したものを表 4-8, 図 4-10 に示す。
- ・エコ改修によって、校舎棟の重油ボイラーが灯油ボイラーに更新されており、平成 28 年度以降重油は使用されていない。平成 30 年度以降は、エコ改修が完了し、灯油ボイラーを用いている。

##### 1) 平成 28 年度及び平成 29 年度の一次エネルギー消費量

- ・エコ改修の途中であったため、暖房用途として、校舎棟全体の暖房を行うボイラーではなく、教室ごとに暖房を行うブルーヒーターやファンヒーターを用いていた。
- ・平成 28 年度は省エネを意識せずにブルーヒーター等を使用したため、一次エネルギー消費量が増加したが、平成 29 年度は省エネを意識し、平成 28 年度に比べて灯油消費量が減少した。

##### 2) エコ改修前後の比較

- ・エコ改修後の一次エネルギー消費量（平成 30 年度：1,439GJ/年）は、エコ改修前のそれ（平成 25 年度：1,202GJ/年）に比べ、19.7%増加した。また、エコ改修前（平成 25 年度）とエコ改修後（平成 30 年度）の外気温を図 4-11 に示す。冬季の外気温は、12 月を除き、平成 25 年度に比べ平成 30 年度の方がやや高かった。
- ・エコ改修前後の校舎棟のボイラー機器の比較を表 4-9 に示す。

##### ① 稼働時間

- ・エコ改修前（6 時間/日）に比べ、エコ改修後（10 時間/日）は増加した。
- ・エコ改修前の重油ボイラーには自動制御が組み込まれておらず、連続運転とすると温水供給が過剰となるため、2 時間稼働と 1 時間停止のサイクルによる運転としていた。
- ・エコ改修後の灯油ボイラーは、温水温度による自動制御が組み込まれており、熱負荷に応じてボイラーの運転台数の制御が自動で行われるため、熱供給が過剰な場合には運転台数が 0 台となる。

##### ② 温水温度

- ・エコ改修前に比べてエコ改修後は、上昇（行き水温：+9℃、還り水温：+16℃）した。これは、エコ改修後はボイラーを初期設定（設定水温 60℃）のまま運用していることに起因しているが、行き水温の上昇に比べ、還り水温の上昇が大きいのは、断熱改修の効果により水温が保たれるようになったものと想定される。
- ・3F 普通教室内温度は、エコ改修前に比べエコ改修後が上昇（+1.4℃）しており、ボイラー稼働時のヒーターの表面温度は 53.6℃に達していたこと（5 章 図 5-6 参照）、3 章で述べたようにボイラー稼働時に教室内温度が高くなり窓を開ける場合があったことから分かるように、エコ改修後の温水温度がうまく制御できていなかったと考えられる。この原因の一つは、制御のための計測点が不適切であることに起因すると想定される。

##### ③ 一次エネルギー消費量

- ・エコ改修後の日当たりの一次エネルギー消費量（24,027MJ/日）は、ボイラーの稼働時間の増加や温水温度の上昇により、エコ改修前のそれ（18,560MJ/日）に比べ、29.5%増加、また、エコ改修後の日当たりの供給熱量（18,522MJ/日）は、エコ改修前のそれ（9,354MJ/日）に比べ、98.0%増加している。しかし、後述の「6.2」で示すとおり、改修前（平成 26 年 2 月 17 日（月）9 時）の教室内温度は学校環境衛生基準における下限値（17℃）を下回っていたが、改修後（令和元年 12 月 27 日（金）10 時）は基準値内に収まっている。
- ・エコ改修後の時間当たりの一次エネルギー消費量（2,403MJ/時）は、エコ改修前のそれ（3,093MJ/時）に比べ、22.3%減少した。この原因の一つとして、ボイラーの運転台数制御が挙げられる。一方、エコ改修後の時間当たり供給熱量（1,852MJ/時）は、エコ改修前のそれ（1,559MJ/時）に比べ、18.8%増加した。ボイラーを更新したことにより、効率が向上したことが分かる。
- ・エコ改修後（平成 30 年度～令和元年度）の 4 月及び 11 月における一次エネルギー消費量（4 月：103GJ/月、11 月：239GJ/月以上）は、エコ改修前（平成 24 年度～平成 27 年度）のそれ（4 月：



8GJ/月以下, 11月:29GJ/月以下) に比べ, 大きく増加した。この原因としては, 令和元年度は4月上旬に降雪があり, 気温が低い日があったことや, エコ改修の前後でボイラーの運転管理者(用務員)が交代しており, ボイラーの運用が7時~15時から, 7時~17時の運転に変更され, ボイラーの稼働期間が長くなったことが考えられる。

- ・以上より, エコ改修後の一次エネルギー消費量の増加の要因として, ①1日当たりの稼働時間の長時間化②温水温度の上昇③稼働期間の長期化が挙げられ, 運用の改善の余地があると考えられる。
- ・また, 新築の武道場に新設された灯油ボイラーによる灯油消費量の増加も, エコ改修後の一次エネルギー消費量増加の原因の一つと考えられる。後述の「4.4.4 (3)」で示すように, 武道場用途の一次エネルギー消費量は, 学校全体の一次エネルギー消費量の3%を占めると推計され, 平成30年度における一次エネルギー消費量(1,439GJ/年)のうち, 43.2GJ/年を占めると推計される。

表4-8 月別灯油・重油消費量(一次エネルギー換算値)の推移(平成24年度から令和元年度)

(単位:GJ)

	H24			H25			H26			H27			H28		H29		H30		R1	
	重油	灯油	合計	重油	灯油	合計	重油	灯油	合計	重油	灯油	合計	灯油	合計	灯油	合計	灯油	合計	灯油	合計
4月	0	8	8	0	0	0	0	0	0	0	6	6	9	9	19	19	0	0	103	103
5月	0	8	8	0	6	6	0	0	0	0	0	0	0	10	10	2	2	0	0	0
6月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
8月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
9月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10月	0	0	0	0	0	0	0	0	9	9	0	0	8	8	0	0	0	0	0	0
11月	0	22	22	0	7	7	0	11	11	0	29	29	185	185	43	43	239	239	254	254
12月	313	9	322	156	11	167	156	24	180	156	17	173	414	414	293	293	355	355	318	318
1月	156	21	177	156	53	209	156	46	202	156	31	187	176	176	98	98	341	341	351	351
2月	156	38	194	313	80	393	313	59	372	626	47	673	352	352	116	116	424	424	-	-
3月	469	40	509	391	29	420	391	34	425	235	29	264	307	307	258	258	77	77	-	-
合計	1,094	146	1,240	1,016	186	1,202	1,016	183	1,199	1,173	159	1,332	1,451	1,451	837	837	1,439	1,439	-	-

暖房の稼働期間が長くなっている

19.7%増

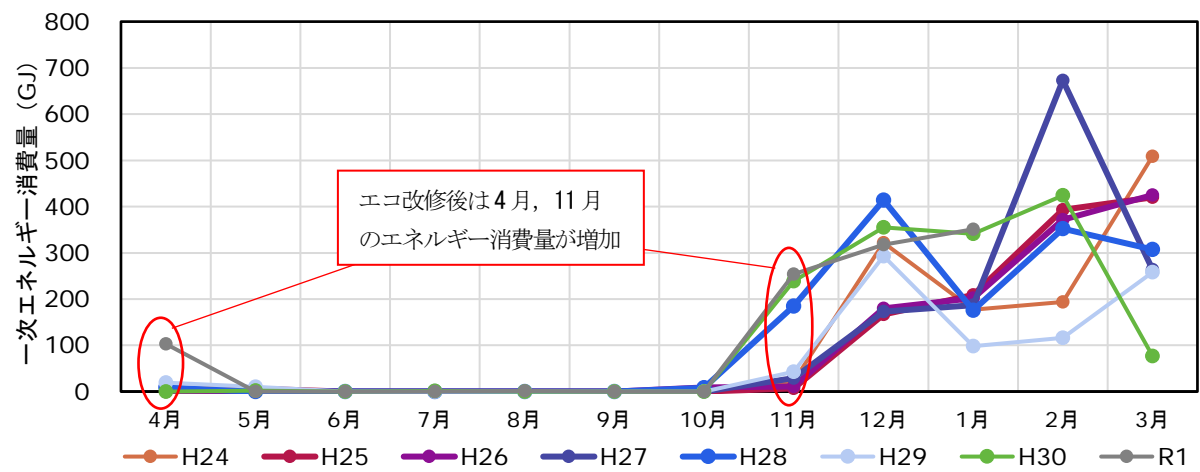


図4-10 月別灯油・重油消費量(一次エネルギー換算値)の推移(平成24年度から令和元年度)

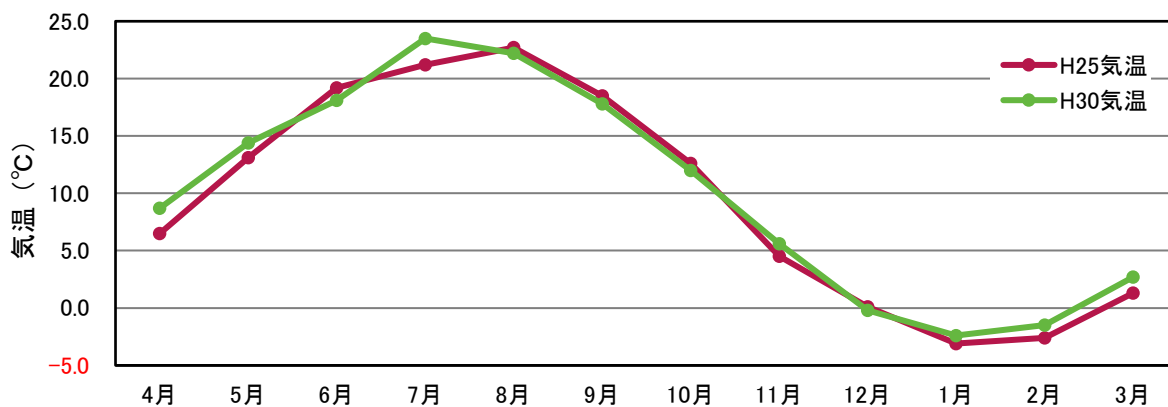


図 4-11 エコ改修前後の月平均外気温比較 (AMeDAS)

表 4-9 エコ改修前後の校舎棟のボイラー機器の比較

		エコ改修前 (平成 27 年度以前)	エコ改修後 (平成 30 年度以降) ※1
機器仕様	ボイラー種類	重油ボイラー×2 台 (日交互運転のため, 1 日の運転台数は 1 台)	灯油ボイラー×21 台
	定格暖房出力	933.3kW×1 台=933.3kW	68.6kW×21 台=1,440.6kW
	定格燃料消費量	4,144.6MJ/h×1 台=4,144.6MJ/h	292.7MJ/h×21 台=6,146.7MJ/h
	効率 (実測値)	50.4%	77.1%
運転時間		7:00~15:00 (2 時間稼働と 1 時間停止のサイクル: 6 時間/日)	7:00~17:00 (連続運転: 10 時間/日)
制御方法		手動による ON/OFF	温水温度に応じた運転台数制御
最大温水温度	行き水温	52°C	61°C
	還り水温	42°C	58°C
燃料消費量 ※2	日当たり	18,560MJ/日	24,027MJ/日
	時間当たり	3,093MJ/時	2,403MJ/時
供給熱量 ※2	日当たり	9,354MJ/日	18,522MJ/日
	時間当たり	1,559MJ/時	1,852MJ/時
昼間 3F 普通教室平均温度		19.8°C	21.2°C

※1 橙の塗りつぶしは日当たりエネルギー消費量増加要因, 青の塗りつぶしは時間当たりエネルギー消費量の減少要因

※2 11 月~12 月値

(2) 灯油消費量と外気温の相関

- ・ 図 4-12 に、開校日の昼間における、外気温と校舎棟用途の灯油消費量の関係を示す。
- ・ 11 月以降、灯油ボイラーは毎日稼働していた。
- ・ ボイラー稼働時は灯油を 150L/日以上消費していた。外気温が低くなるほど灯油消費量が増加する傾向が認められ、外気温が 0°C 前後の日は 500L/日程度の灯油を消費していた。
- ・ 同じ外気温であっても、11 月に比べ、12 月や 1 月における灯油の消費量が増加する傾向にあった。これは、夜間の外気温の低下に伴う蓄熱負荷の増大によるものと考えられる。

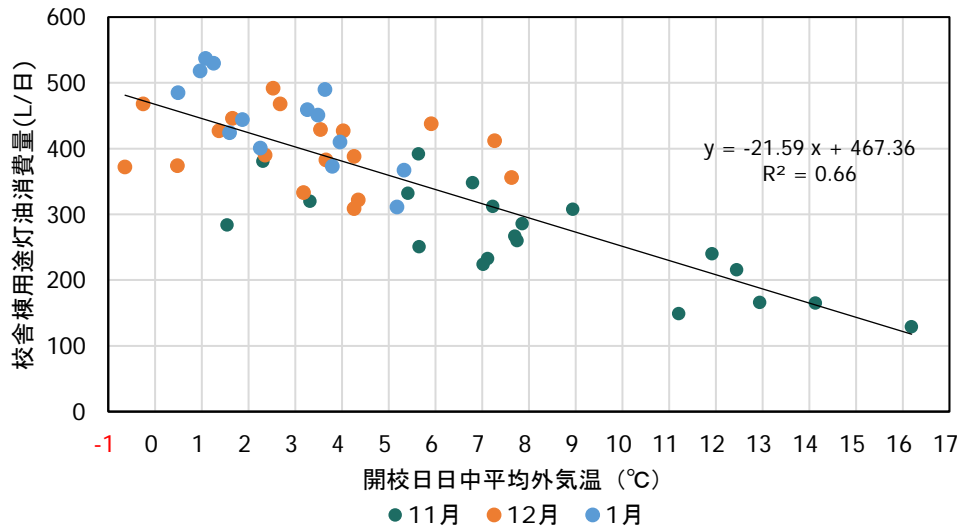


図 4-12 開校日の昼間における平均外気温と灯油消費量の関係（令和元年度）

(3) 用途別の灯油消費量

- ・ 図 4-13 に、月ごとの用途別の灯油消費量を示す。
- ・ 灯油の消費量は、校舎棟用途が 82%，体育館・武道場用途が 18%を占めていた。
- ・ 体育館及び武道場に設置されているボイラー機器の仕様等を表 4-10 に示す。体育館用途と武道場用途の一次エネルギー消費量の比率は、体育館用途が 81%，武道場用途が 19%と推計される。
- ・ 以上より、校舎棟用途、体育館用途、武道場用途の一次エネルギー消費量の比率は、校舎棟用途が 82%，体育館用途が 15%，武道場用途が 3%と推計される。

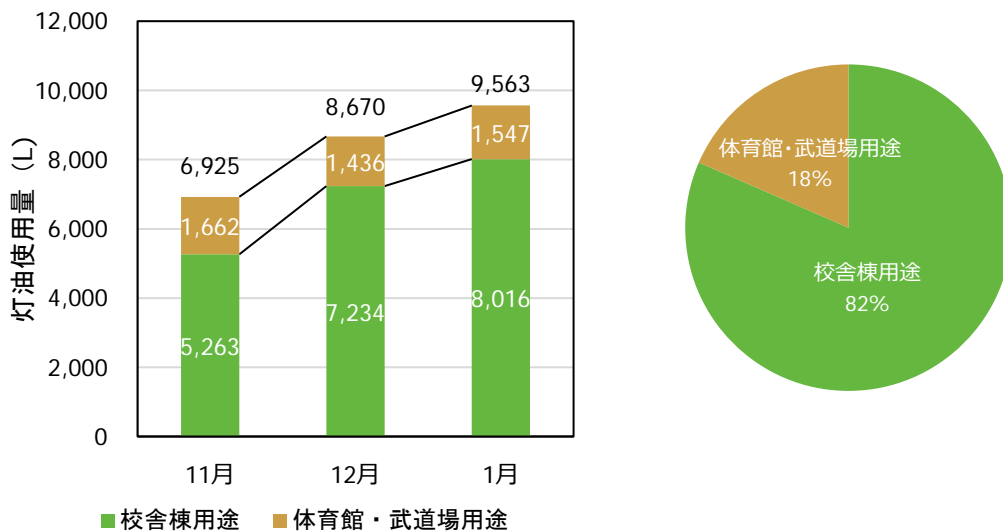


図 4-13 用途別灯油消費量の月変動（令和元年度 11 月~1 月）

表 4-10 体育館及び武道場のボイラー機器の比較

		体育館	武道場 <sup>※1</sup>
機器仕様	ボイラー種類	灯油ボイラー×1台	灯油ボイラー×2台
	定格暖房出力	232.0kW×1台=232.0kW	37.2kW×2台=74.4kW
	定格燃料消費量	1,016.6MJ/h×1台=1,016.6MJ/h	153.4MJ/h×2台=306.8MJ/h
	効率(定格値)	88.0%	86.5%
運転時間		2~3時間/日	2時間/日程度
運転頻度		5日/週	5日/週
1日当たりの燃料消費量		1,016.6MJ/h×2.5時間/日 =2,541.5MJ/日	306.8MJ/h×2時間/日 =613.6MJ/日
一次エネルギー消費量の割合		81%	19%

#### 4.4.5. ガス消費量の分析結果と考察

##### (1) 年度による月間ガス消費量の変動

- ・平成 24 年度から令和元年度までの検針票に基づく、LP ガス消費量を表 4-11、図 4-14 に示す。また、令和元年度の給食日 1 日当たりの LP ガス消費量を図 4-15 に示す。
- ・LP ガスの用途は、主に給食室と家庭科調理室であり、暖房用途には用いられていない。
- ・長期休業期間に該当する 4 月、8 月、1 月の LP ガス消費量は他の月に比べて少なかった。

表 4-11 月別 LP ガス消費量の推移 (平成 24 年度から令和元年度)

(単位: m<sup>3</sup>)

	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	R1
4 月	63.9	37.5	24.4	34.2	31.9	34.9	30.3	38.7
5 月	156.5	225.9	154.6	188.6	190.0	225.7	215.8	141.3
6 月	176.5	267.2	262.9	246.9	260.6	239.7	223.6	201.3
7 月	182.4	141.9	178.1	198.0	239.3	278.1	230.2	197.1
8 月	47.6	54.0	64.2	69.3	81.6	96.4	90.7	103.4
9 月	96.0	84.7	133.9	150.5	155.0	132.2	129.8	98.8
10 月	114.3	158.8	137.4	166.6	163.0	215.2	224.3	158.8
11 月	151.9	250.0	206.1	235.9	237.3	179.8	175.0	188.7
12 月	216.5	231.0	244.4	256.9	300.1	287.0	249.9	254.8
1 月	58.3	106.8	85.0	76.8	108.3	123.7	149.9	124.6
2 月	158.2	244.1	234.2	271.1	272.5	314.2	233.4	-
3 月	217.4	216.5	272.9	212.5	320.9	269.3	228.2	-
合計	1,639.5	2,018.4	1,998.1	2,107.3	2,360.5	2,396.2	2,181.1	-

※検針期間: 前月 6 日~当月 5 日

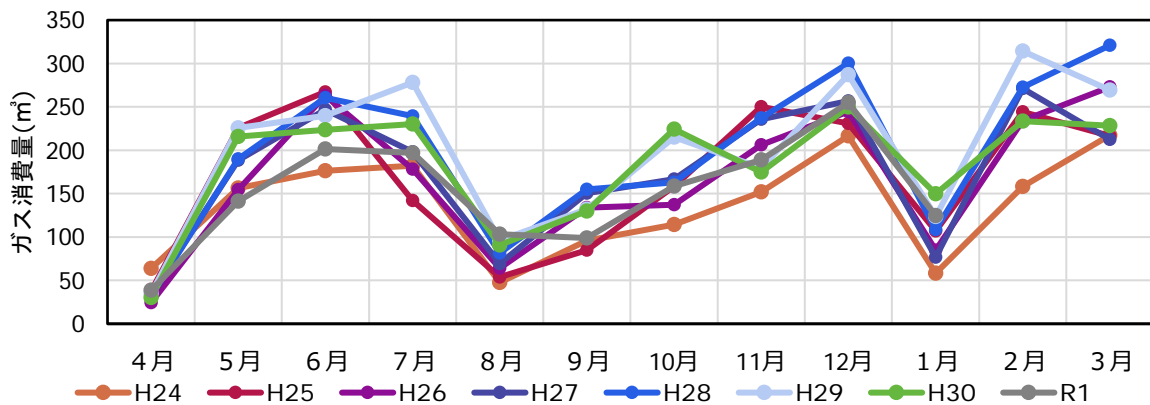


図 4-14 月別 LP ガス消費量の推移 (平成 24 年度から令和元年度)

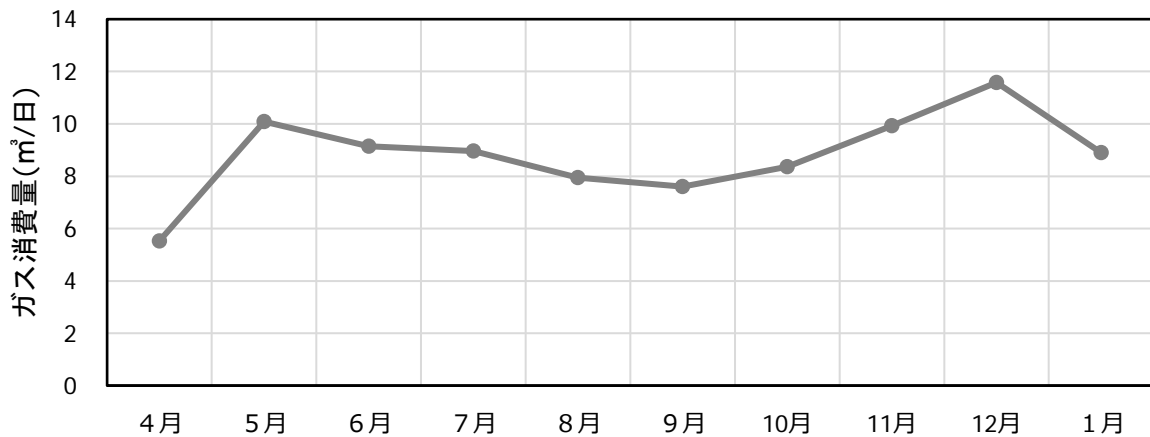


図 4-15 給食日 1 日あたりガス消費量の推移 (令和元年度)

#### 4.4.6. 一次エネルギー消費量の変動に関する考察

##### (1) 年度による月間一次エネルギー消費量の変動

- 平成24年度から令和元年度までの検針票に基づく、電力、重油、灯油の月間消費量の一次エネルギー換算値を表4-12、図4-16に示す。LPガスは暖房用途としては用いられていないため、対象外とする。また、同期間の外気温変化を図4-17に示す。
- 改修前後共に、夏季における一次エネルギー消費量と比べ、冬季における値が多かった。
- 平成30年度の冬季(2月)における一次エネルギー消費量(864GJ/月)は、夏季(7月)におけるそれ(130GJ/月)の約6.6倍であり、冬季のエネルギー消費量が著しく多かった。
- 平成29年度2月の平均外気温(-4.5℃)は、平成30年度2月のそれ(-1.5℃)に比べ、3℃低かったが、平成29年度2月の一次エネルギー消費量(611GJ/月)は、平成30年度2月のそれ(864GJ/月)に比べ、少なかった。そのため、年度ごとの外気温差による一次エネルギー消費量に及ぼす影響は、小さいと考えられる。
- エコ改修後(平成30年度創エネあり)の一次エネルギー消費量(4,240GJ/年)は、エコ改修前(平成25年度)のそれ(4,707GJ/年)に比べ、9.9%減少した。

表4-12 月別一次エネルギー消費量の推移(平成24年度～令和元年度)

(単位: GJ)

	H24				H25				H26				H27				H28		
	電力	重油	灯油	合計	電力	重油	灯油	合計	電力	重油	灯油	合計	電力	重油	灯油	合計	電力	灯油	合計
4月	349	0	8	357	362	0	0	362	400	0	0	400	424	0	6	430	383	9	392
5月	244	0	8	252	258	0	6	264	193	0	0	193	254	0	0	254	250	0	250
6月	172	0	0	172	220	0	0	220	157	0	0	157	217	0	0	217	195	0	195
7月	167	0	0	167	218	0	0	218	156	0	0	156	157	0	0	157	161	0	161
8月	201	0	0	201	195	0	0	195	174	0	0	174	170	0	0	170	198	0	198
9月	177	0	0	177	162	0	0	162	181	0	0	181	174	0	0	174	223	0	223
10月	177	0	0	177	173	0	0	173	169	0	9	178	153	0	0	153	217	8	225
11月	181	0	22	203	182	0	7	189	169	0	11	180	170	0	29	199	193	185	378
12月	261	313	9	583	361	156	11	528	288	156	24	468	289	156	17	462	346	414	760
1月	340	156	21	517	452	156	53	661	448	156	46	650	424	156	31	611	348	176	524
2月	356	156	38	550	486	313	80	879	468	313	59	840	490	626	47	1,163	425	352	777
3月	372	469	40	881	436	391	29	856	437	391	34	862	454	235	29	718	408	307	715
合計	2,997	1,095	146	4,237	3,505	1,017	186	4,707	3,240	1,017	183	4,439	3,376	1,173	159	4,708	3,347	1,451	4,798

	H29			H30 (創エネなし)			H30 (創エネあり)			R1 (創エネなし)			R1 (創エネあり)		
	電力	灯油	合計	電力	灯油	合計	電力	灯油	合計	電力	灯油	合計	電力	灯油	合計
4月	383	19	402	-	0	-	357	0	357	400	103	503	337	103	440
5月	219	10	229	-	2	-	160	2	162	240	0	240	158	0	158
6月	180	0	180	-	0	-	131	0	131	149	0	149	82	0	82
7月	210	0	210	184	1	185	129	1	130	179	0	179	120	0	120
8月	220	0	220	193	0	193	138	0	138	181	0	181	126	1	126
9月	191	0	191	186	0	186	142	0	142	184	0	184	132	0	132
10月	190	0	190	179	0	179	129	0	129	157	7	164	118	0	118
11月	175	43	218	165	239	404	126	239	365	165	254	419	128	254	382
12月	280	293	573	296	355	651	264	355	619	189	318	507	165	318	483
1月	460	98	558	432	341	773	403	341	744	386	351	737	355	351	706
2月	495	116	611	470	424	894	440	424	864	-	-	-	-	-	-
3月	467	258	725	432	77	509	382	77	459	-	-	-	-	-	-
合計	3,470	837	4,307	2,668	1,439	-	2,801	1,439	4,240	-	-	-	-	-	-

9.9%減

冬季(2月)は夏季(7月)の約6.6倍一次エネルギーを消費している

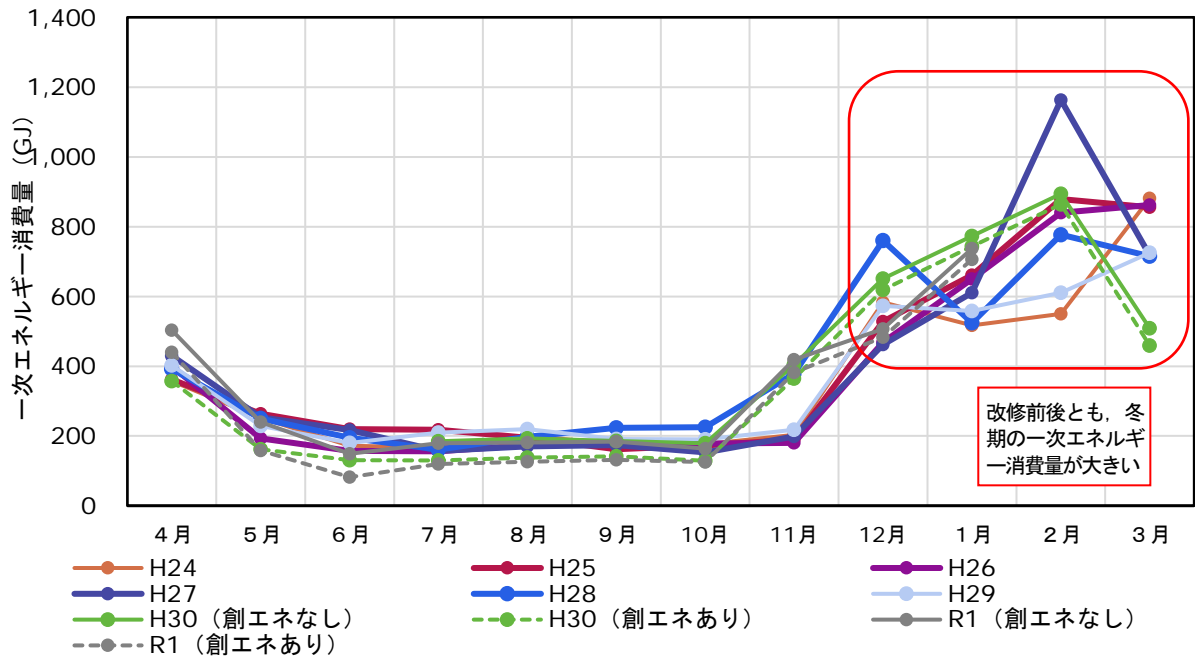


図 4-16 月別一次エネルギー消費量の推移 (給食室含む) (平成 24 年度～令和元年度)

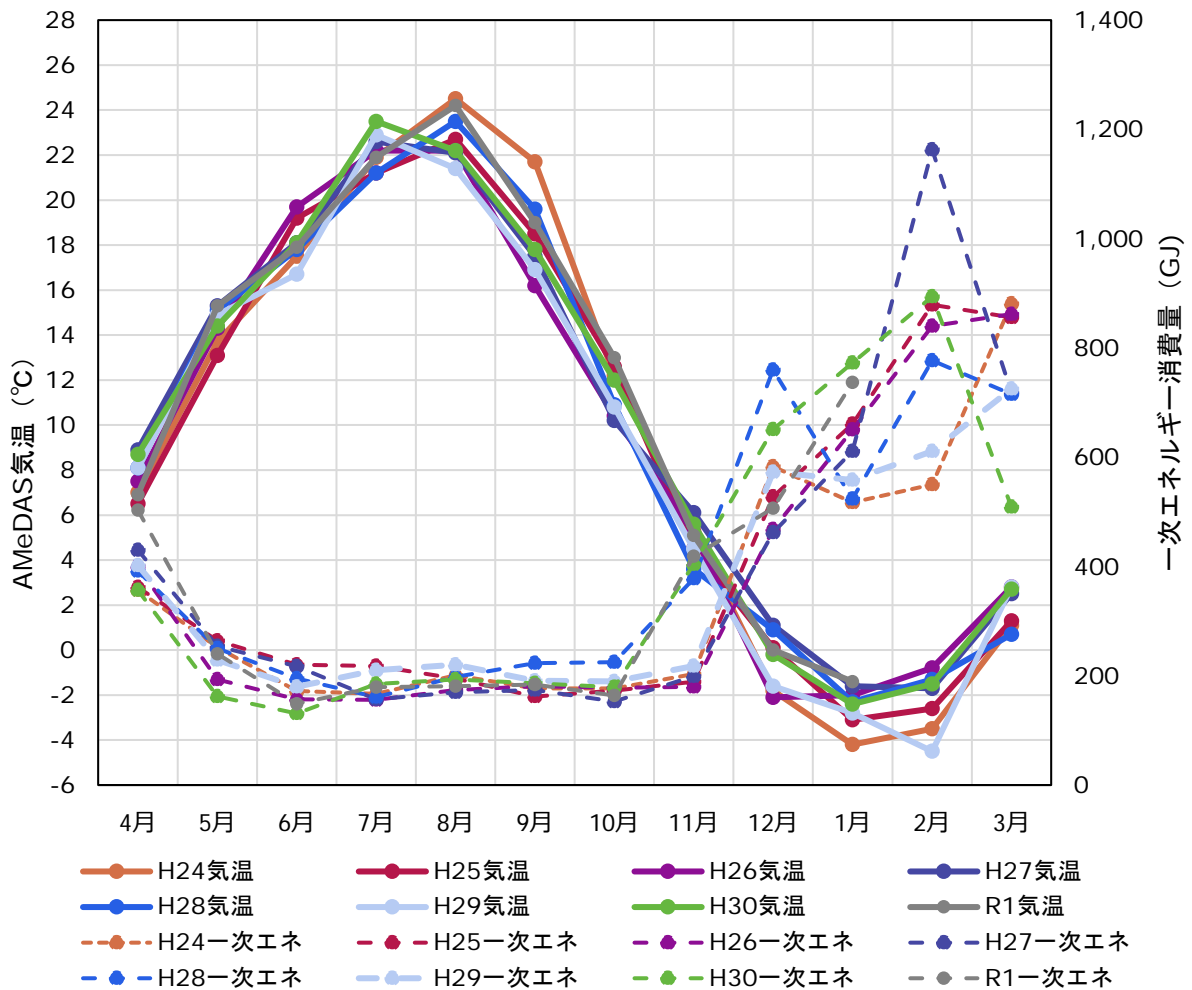


図 4-17 一次エネルギー消費量と外気温の関係 (平成 24 年度～令和元年度)

(2) 令和元年度における一次エネルギー消費量の月変動

- ・令和元年度の一次エネルギー消費量(電力消費量と灯油消費量の換算値)の用途別消費量を表 4-13, 図 4-18, 図 4-19 に示す。
- ・1月の一次エネルギー消費量(692,628MJ/月)は, 12月のそれ(682,731MJ/月)に比べ, 9,897MJ/月増加した。これは, 1月中旬よりトイレ凍結防止ヒーターや暖房便座の設定を変更したことで, 1月の電力消費量(341,666MJ/月)は, 12月のそれ(364,542MJ/月)に比べ, 22,876MJ/月減少した一方で, 1月の灯油消費量(350,962MJ/月)は, 12月のそれ(318,189MJ/月)に比べ, 32,733MJ/月増加したためである。
- ・11月~1月において, 一次エネルギー消費量の51%を灯油が占めており, 暖房用途の一次エネルギー消費量が多かったと言える。

表 4-13 用途別一次エネルギー消費量の推移 (令和元年度)

(単位: MJ)

	管理棟 照明・コンセ ント等	普通教室棟 照明・コンセ ント等	特別教室棟 照明・コンセ ント等	体育館 照明コンセ ント等	武道場 照明・コンセ ント等	水道ポン プ 室 照明コンセ ント等	校舎 動力	給食室 動力	その他	給食室を除く 月合計 (電力)	灯油	給食室を除く 月合計
11月	51,647	30,028	10,639	40,047	4,161	8,803	8,801	10,658	15,763	169,888	254,148	424,036
12月	106,069	81,469	69,501	51,598	7,369	9,223	11,366	8,154	27,947	364,542	318,189	682,731
1月	91,505	65,379	61,895	53,581	10,155	9,345	12,587	8,952	37,218	341,666	350,962	692,628
合計	249,221	176,876	142,035	145,226	21,685	27,371	32,754	27,764	80,928	876,096	923,299	1,799,395

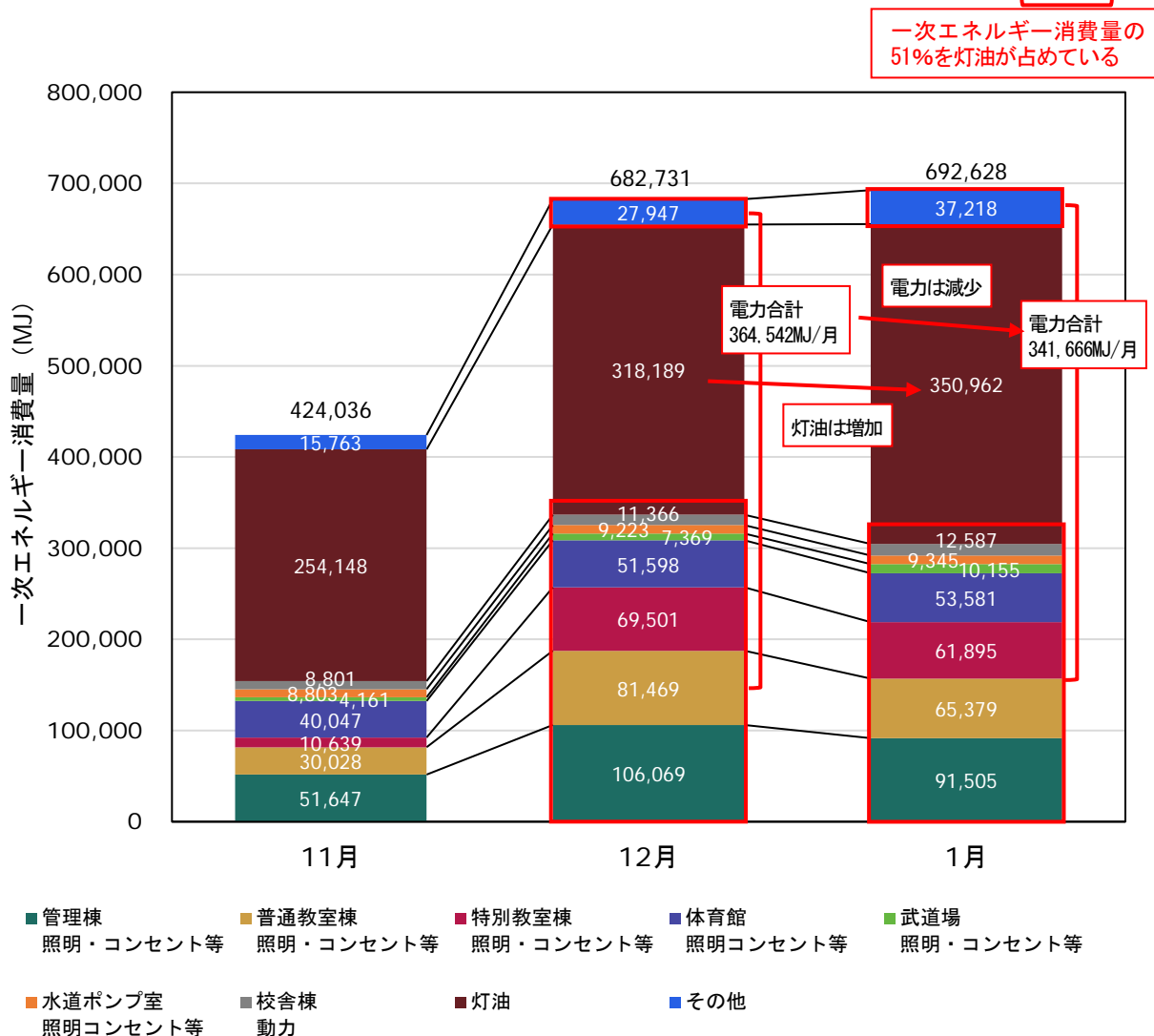


図 4-18 一次エネルギーの用途別消費量の推移 (令和元年度)



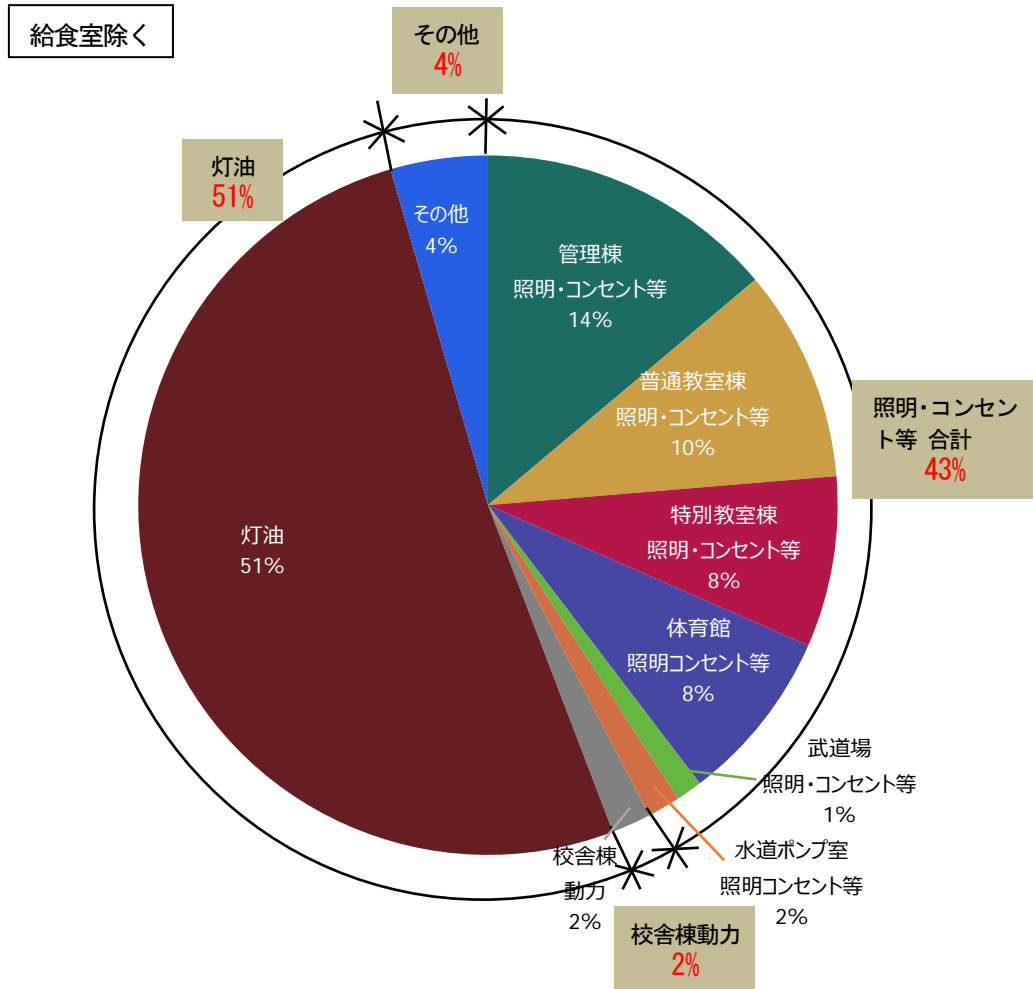


図 4-19 用途別一次エネルギー消費量の割合 (令和元年度)

## 5. 教室等における室内外の温熱環境の実態調査

### 5.1. 調査項目

温湿度、表面温度、風速について調査を実施した。温湿度に関しては、計測機器を設置して3ヶ月にわたり、測定した。教室と廊下の表面温度に関しては、ある一日の状況を測定した。風速に関しては、太陽熱集熱装置の稼働時について測定した。

### 5.2. 使用した測定機器

測定に使用した機器を表 5-1 に示す。温湿度の測定間隔は 10 分とした。測定値は設置した機器のメモリーに記録されるので、一ヶ月に一度程度、現地にてデータを回収した。表面温度は、暖房を運転している冬期のある一日における教室内、廊下の各部位の表面を赤外線カメラで撮影した。風速は、太陽熱集熱装置の稼働時について、普通教室後方の下部に設置されている吹き出し口にて測定を行った。

表 5-1 温熱環境の測定で用いた機器の概要

項目		測定機器	メーカー	型番	写真
温湿度	屋内外	温湿度計	(株) 藤田電機製作所	KT-255F	
表面温度	代表教室	サーモカメラ	FLIR	TA410FC	
風速	校舎内	風速計	日本カノマックス (株)	本体：6501-00 プローブ：6531-21	

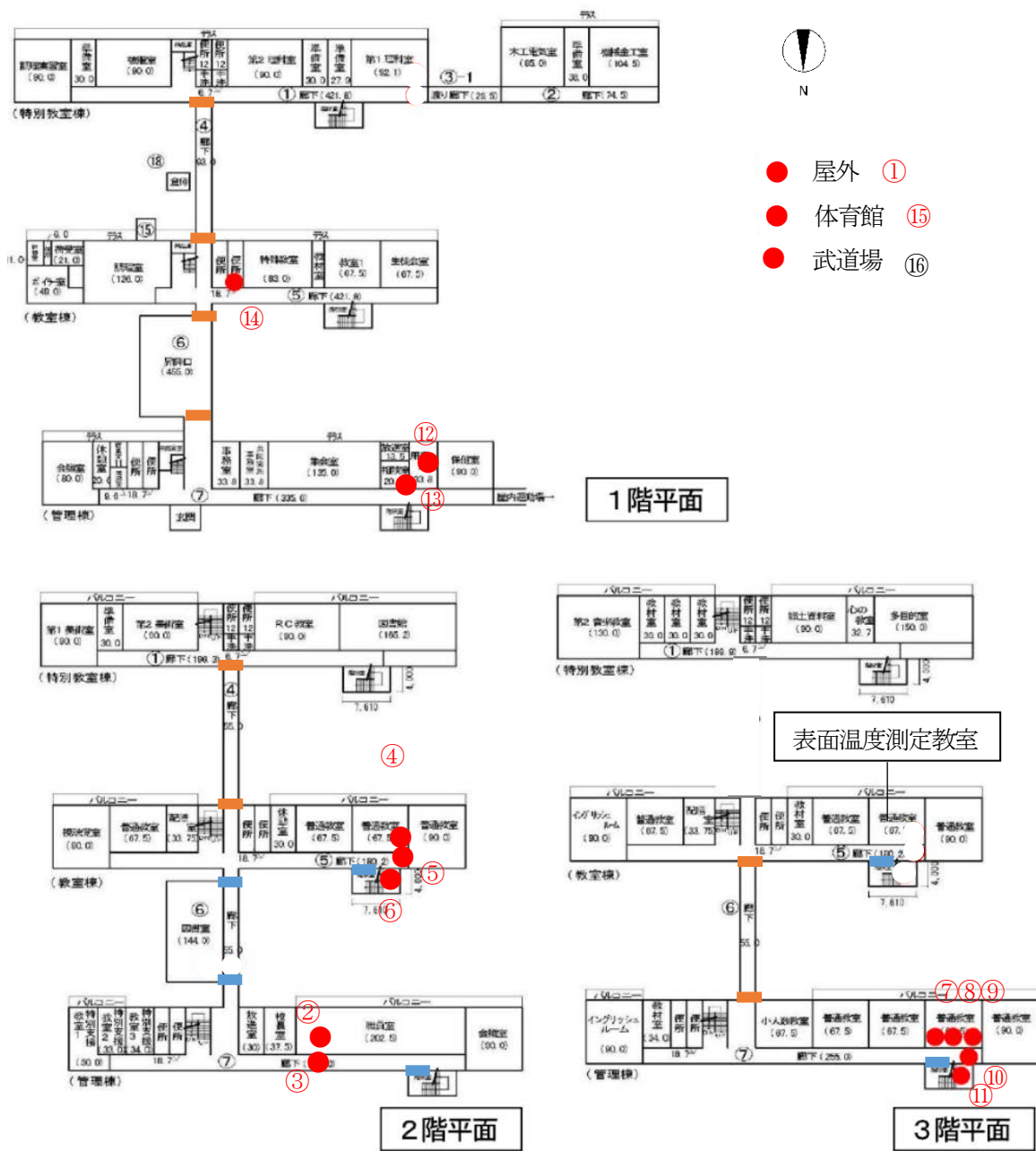
### 5.3. 測定点

温湿度測定箇所と表面温度測定教室を表 5-2、図 5-1、図 5-2 に示す。表面温度の測定は普通教室棟 3 階普通教室にて行った。

表 5-2 温湿度の測定点

① 屋外	⑨ 管理棟 3F 普通教室内 (天井表面)
② 職員室内	⑩ 管理棟 3F 普通教室前廊下
③ 職員室前廊下	⑪ 管理棟 3F 西階段
④ 普通教室棟 2F 普通教室内	⑫ 普通教室棟 1F 用務員室内
⑤ 普通教室棟 2F 普通教室前廊下	⑬ 普通教室棟 1F 用務員室前廊下
⑥ 普通教室棟 2F 西階段	⑭ 普通教室棟 1F 男子便所
⑦ 管理棟 3F 普通教室内	⑮ 体育館
⑧ 管理棟 3F 普通教室内 (床上 50mm)	⑯ <b>武道場</b>

※青文字は今回 (エコ改修後) 新たに測定する箇所、その他は平成 25 年度と同様の測定箇所



・各教室は床上1,100mmで測定  
 ・⑦は床上1,100mm, ⑧は天井表面, ⑨は床上50mmで測定  
 ・各廊下及び体育館は床上2,000mmで測定  
 ・表面温度は、普通教室棟3階の普通教室にて測定  
 ・— 区画扉位置  
 ・— アルミ扉位置  
 ※エコ改修により設置された断熱効果が高いと想定される区画扉と、既設のアルミ扉は分けて記載した。

図5-1 温湿度を測定した教室の校舎全体に対する配置



① 屋外



② 職員室内



③ 職員室前 廊下



④ 普通教室棟 2F  
普通教室内



⑤ 普通教室棟 2F  
普通教室前 廊下



⑥ 普通教室棟 2F  
西階段



⑦ 管理棟 3F  
普通教室内



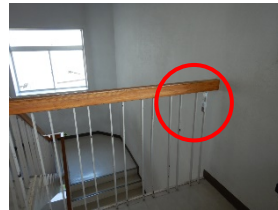
⑧ 管理棟 3F  
普通教室内  
(床上 50mm)



⑨ 管理棟 3F  
普通教室内(天井表面)



⑩ 管理棟 3F  
普通教室前 廊下



⑪ 管理棟 3F  
西階段



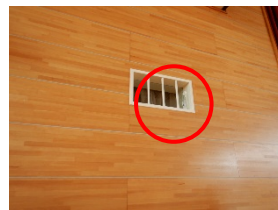
⑫ 普通教室棟 1F  
用務員室内



⑬ 普通教室棟 1F  
用務員室前廊下



⑭ 普通教室棟 1F  
男子便所



⑮ 体育館



⑯ 武道場

図 5-2 温湿度計の設置状況

## 5.4. 測定結果と考察

### 5.4.1. 概要

#### ① 教室内外の温湿度について (5.4.2. 詳述)

- 11月, 12月, 1月における校舎内の開講日の昼間の平均温度は $20^{\circ}\text{C}$ ~ $23^{\circ}\text{C}$ 程度であり, 学校環境衛生基準内に保たれていた。
- 12月の夜間の普通教室内温度は,  $12^{\circ}\text{C}$ 以上に保たれており, 外気との温度差が $20^{\circ}\text{C}$ 程度生じていた。
- 区画扉内外 (普通教室・普通教室前廊下と階段) の温度差は, 昼間は最大 $10^{\circ}\text{C}$ 程度, 夜間は $5^{\circ}\text{C}$ 程度であったことから, 区画扉を設置する効果が認められた。

#### ② 教室内外の熱環境について (5.4.3. 詳述)

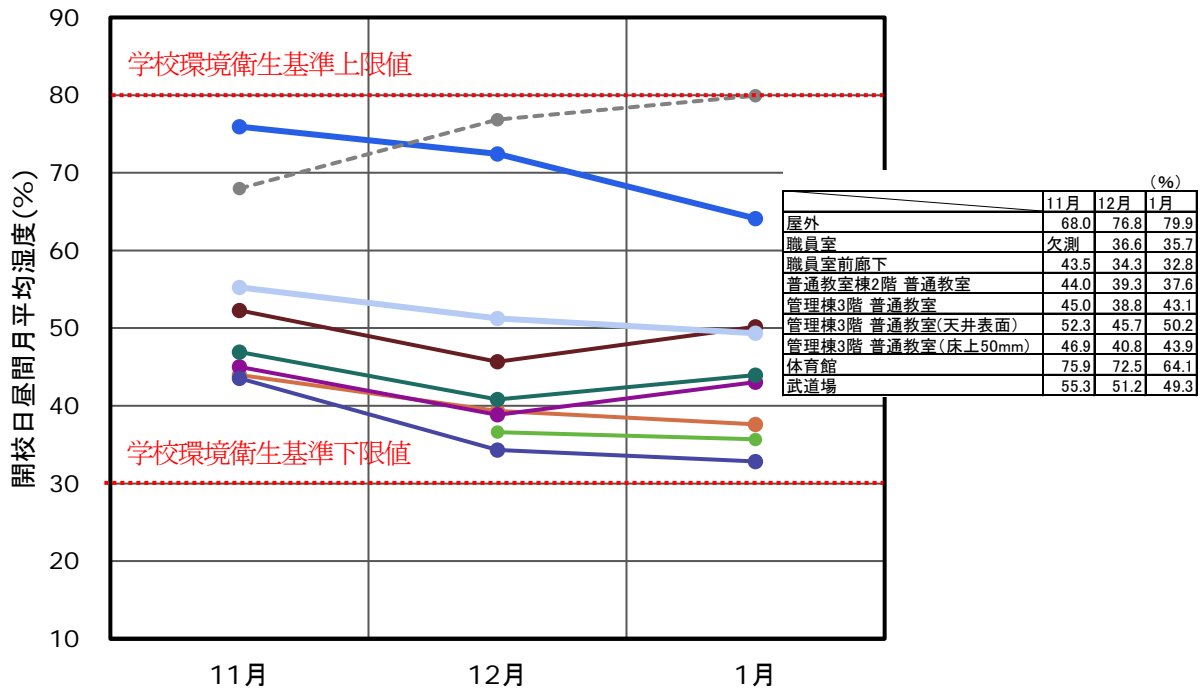
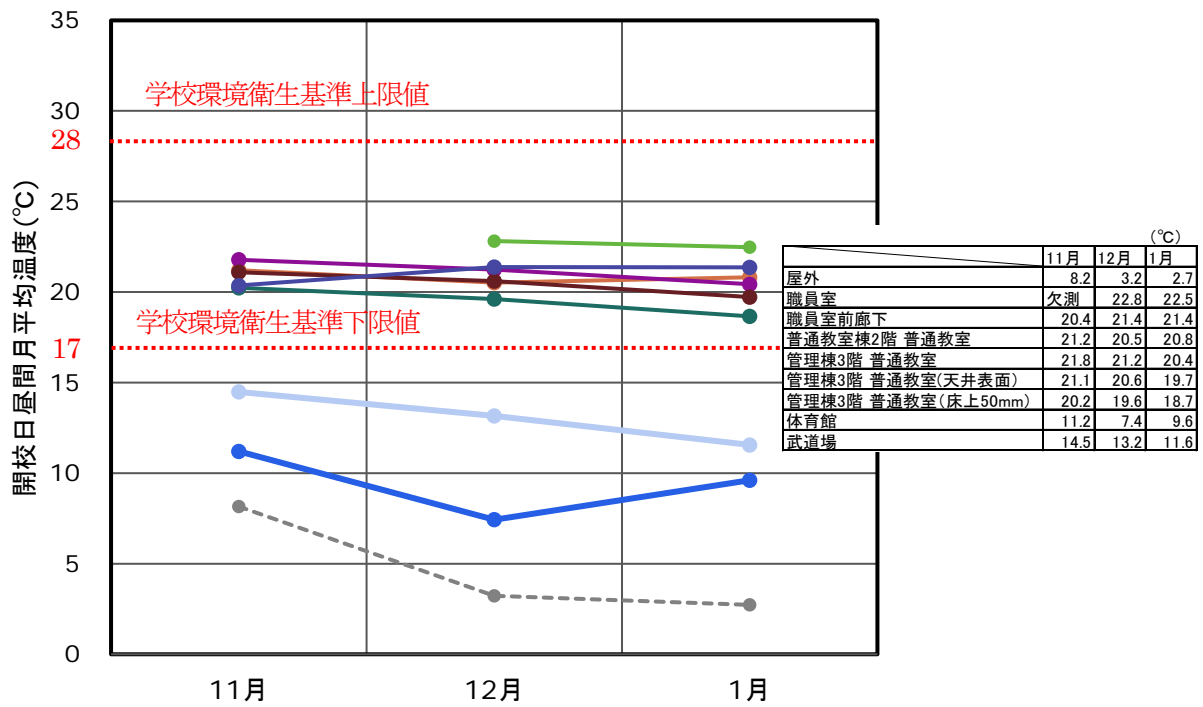
- 外気温 $2.4^{\circ}\text{C}$ , 教室室温 $23.3^{\circ}\text{C}$ の時のサーモグラフィによる教室内の表面温度の測定結果によると, ヒーター上部に位置する複層ガラスを除き, 教室内装仕上げ材の表面温度は $17.6^{\circ}\text{C}$ ~ $22.9^{\circ}\text{C}$ の範囲であった。
- 外気温 $2.4^{\circ}\text{C}$ の時の廊下内装仕上げ材の表面温度は, 放射パネルを除き,  $18.3^{\circ}\text{C}$ ~ $25.5^{\circ}\text{C}$ の範囲であり, 教室内装仕上げ材の表面温度と, 同等若しくはそれ以上であった。廊下には放射パネルが設置されており, 暖房が行われているためである。

#### ③ 太陽熱集熱装置について (5.4.4. 詳述)

- 集熱温度が $30^{\circ}\text{C}$ を上回ると室内へ暖気の供給を開始するが, 晴天時であっても集熱温度が,  $30^{\circ}\text{C}$ を上回らない若しくはわずかに上回る程度の日が多かった。太陽熱による室内への熱供給がほとんどなかったと言える。
- 12月, 1月における熱供給装置としての稼働時間の合計は15.25時間に過ぎず, 稼働率は6%程度であった。
- 暖房機器としての室内温度上昇の速さは, 太陽熱集熱装置が $1.8^{\circ}\text{C}/\text{h}$ に対し, 灯油ボイラーが $4.4^{\circ}\text{C}/\text{h}$ であり, 灯油ボイラーの方が立ち上がりは良かった。
- 年間供給熱量は41,727MJ/年であったが, 4月における供給熱量(20,942MJ/月)が約半分を占めており, 暖房用熱需要が高まる12月~2月の供給熱量が少なかった。

#### 5.4.2. 教室内外の温湿度

- 校舎内における開校日の昼間（8:20～16:10）の月平均温湿度変動を図 5-3 に示す。また、各測定点における、1 週間の温度の経時変化を図 5-4 上部及び図 5-5 に、相対湿度の経時変化を図 5-4 下部に示す。
- 11 月、12 月、1 月における校舎内の平均温度は 20℃～23℃程度であり、学校環境衛生基準内に保たれていた。また、12 月における校舎内の平均温度は、外気温（3.2℃）よりも 16.4℃～19.6℃高く、1 月における校舎内の平均温度は外気温（2.7℃）よりも 16.0℃～19.8℃高かった（図 5-3）。
- 12 月における夜間の普通教室内温度は、12℃以上に保たれており、外気との温度差が 20℃程度生じていた。特に、外気温が-5℃以下まで冷え込んだ場合でも、室内温度は 10℃以上に保たれていた（図 5-4）。
- 普通教室内温度と教室前廊下温度は、階を問わずに常時同程度であった（図 5-5）。
- 区画扉内外（普通教室・普通教室前廊下と階段）の温度差は、昼間は最大 10℃程度、夜間は 5℃程度であったことから、区画扉を設置する効果が認められた（図 5-5）。
- 断熱を行っている武道場（新設）内平均温度と、断熱を行っていない体育館（既存）のそれと比較すると、前者の方が高く、12 月では 5.8℃、1 月では 2℃の温度差が生じていた（図 5-3）。
- 12 月の昼間、武道場の室内温度は 20℃程度まで上昇したが、体育館の室内温度は 10℃程度までしか上昇しなかった（図 5-4）。
- トイレの凍結防止ヒーターの設定温度は、1 月中旬までは 15℃、1 月中旬以降は 7.5℃であった。そのため、設定温度変更前の 12 月はトイレの凍結防止ヒーターの稼働時間が長く、トイレ内温度は 20℃程度以上に保たれていた（図 5-5）。
- 11 月、12 月、1 月における校舎内の平均湿度は 33%～52%程度であり、学校環境衛生基準内に保たれていた（図 5-3）。
- 冬季（12/11～12/17）の昼間における暖房稼働時の室内湿度は、概ね学校環境衛生基準内であった（図 5-4）。



- 職員室
- 管理棟3階 普通教室
- 管理棟3階 普通教室 (床上50mm)
- 体育館
- 屋外
- 普通教室棟2階 普通教室
- 管理棟3階 普通教室(天井表面)
- 職員室前廊下
- 武道場

※11月職員室データは欠測

図 5-3 開校日昼間における各計測地点の月平均温湿度の変動 (上: 温度, 下: 湿度)

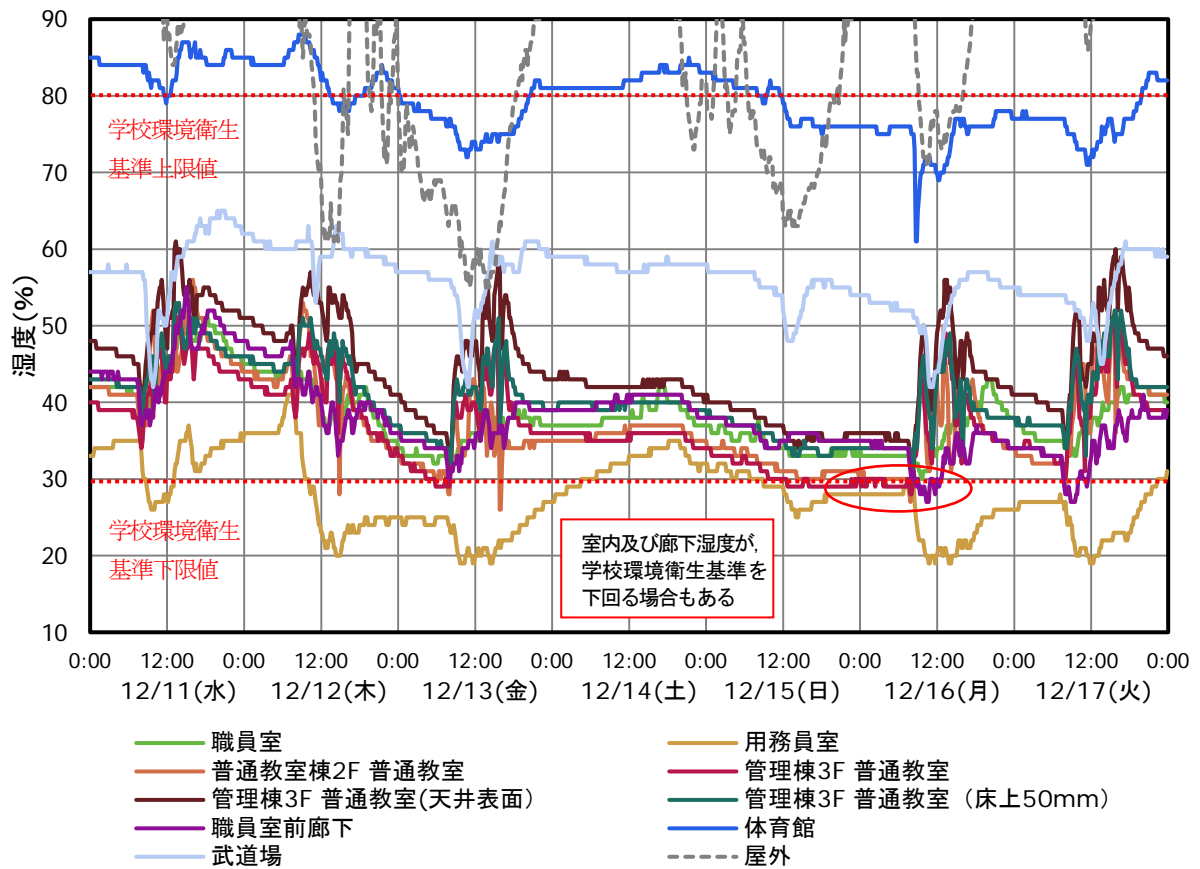
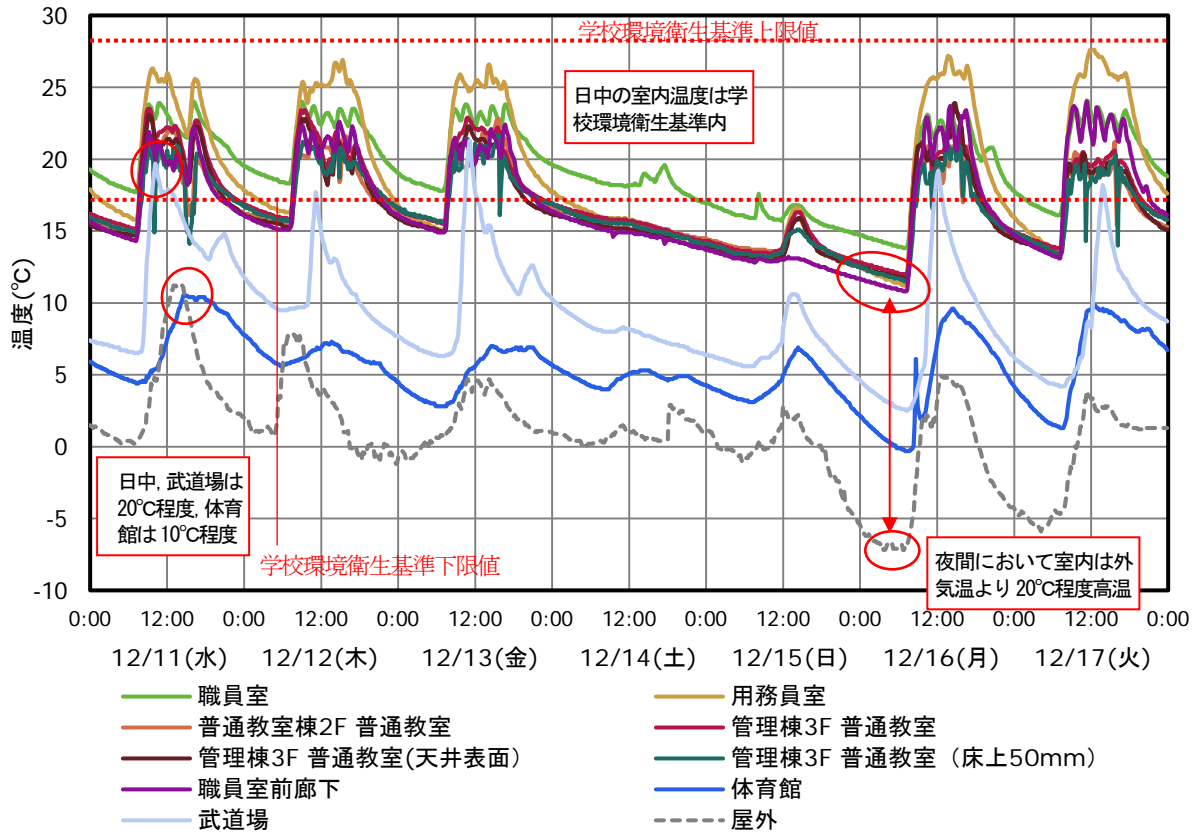


図 5-4 測定点における温湿度の1週間にわたる経時変化 (上: 温度, 下: 湿度)



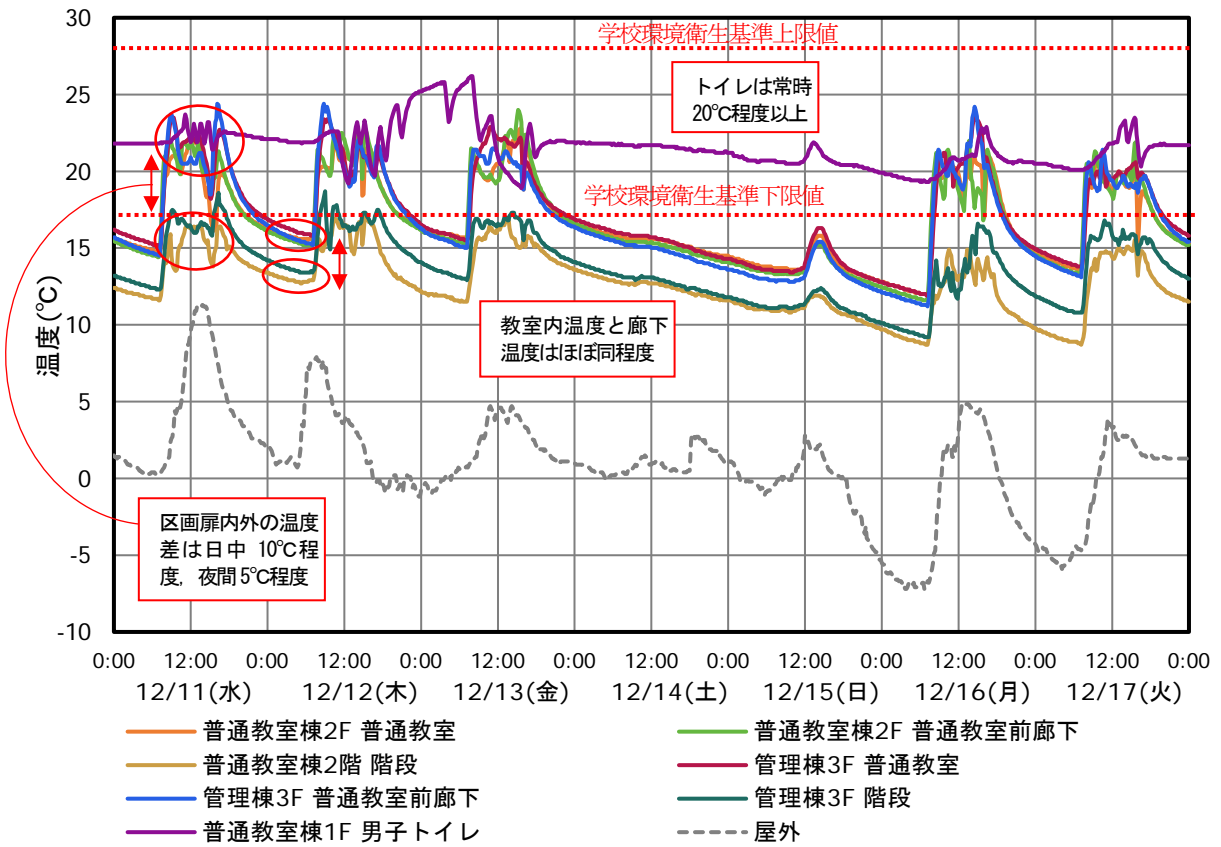


図 5-5 教室内，廊下，階段，トイレの1週間にわたる温度の経時変化

### 5.4.3. 教室内外の熱環境

#### (1) 測定概要

普通教室棟3階普通教室にて、サーモカメラを用いて昼間における内装仕上げ材の表面温度を測定した。なお、学校の運用に則り、暖房（灯油ボイラー）を稼働させてから1時間30分経過した後、測定を行った。また、測定日の天候は曇り時々雪であり、日射が乏しかったため、太陽熱集熱装置は稼働していなかった。

#### (2) 測定結果

- ・赤外線カメラで撮影した熱画像を図5-6に示す。
- ・外気温2.4℃、教室室温23.3℃の時のサーモグラフィによる測定結果は、ヒーター上部に位置する複層ガラスを除き、教室内装仕上げ材の表面温度は17.6℃～22.9℃の範囲であった。
- ・外気温2.4℃の時の廊下内装仕上げ材の表面温度は、放射パネルを除き、18.3℃～25.5℃の範囲であり、教室内装仕上げ材の表面温度と、同等若しくはそれ以上であった。廊下には放射パネルが設置されており、暖房が行われているためである。
- ・教室内の天井表面温度（21.2℃）は、床表面温度（17.6℃）との温度差が3.6℃あった。廊下の天井表面温度（24.3℃）は、床表面温度（18.3℃）との温度差が6℃あった。教室内に比べ廊下の方が、部位による表面温度のムラが大きかった。

R1/12/27 (金)・10時30分・曇時々雪・外気温2.4℃, 室内温度23.3℃

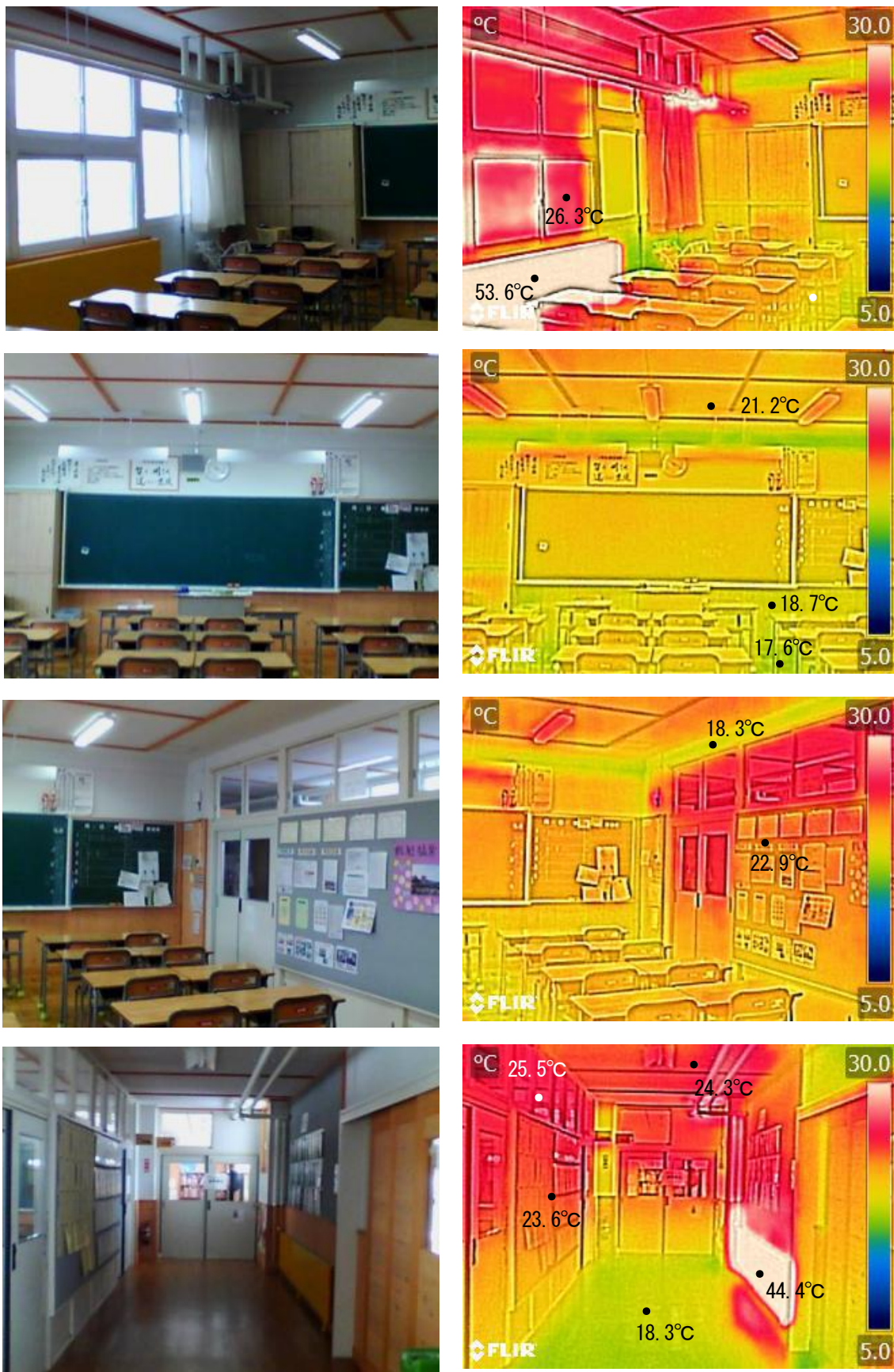


図5-6 教室内・廊下の各部位における赤外線カメラによる熱画像  
(左図：通常のカメラによる写真，右図：熱画像)

#### 5.4.4. 太陽熱集熱装置による暖房負荷低減の効果

##### (1) 太陽熱集熱装置の概要

対象校に設置されている太陽熱集熱装置は、単独で設置されているシステムと、太陽光発電パネルと太陽熱集熱装置を組み合わせたシステムであり、太陽熱により昇温する外気を送風して、暖房負荷を低減することを目的としている。また、夏季の夜間には、外気を取り込むことでナイトパージ効果が得られる。太陽熱集熱装置の外観を図5-7に示す。

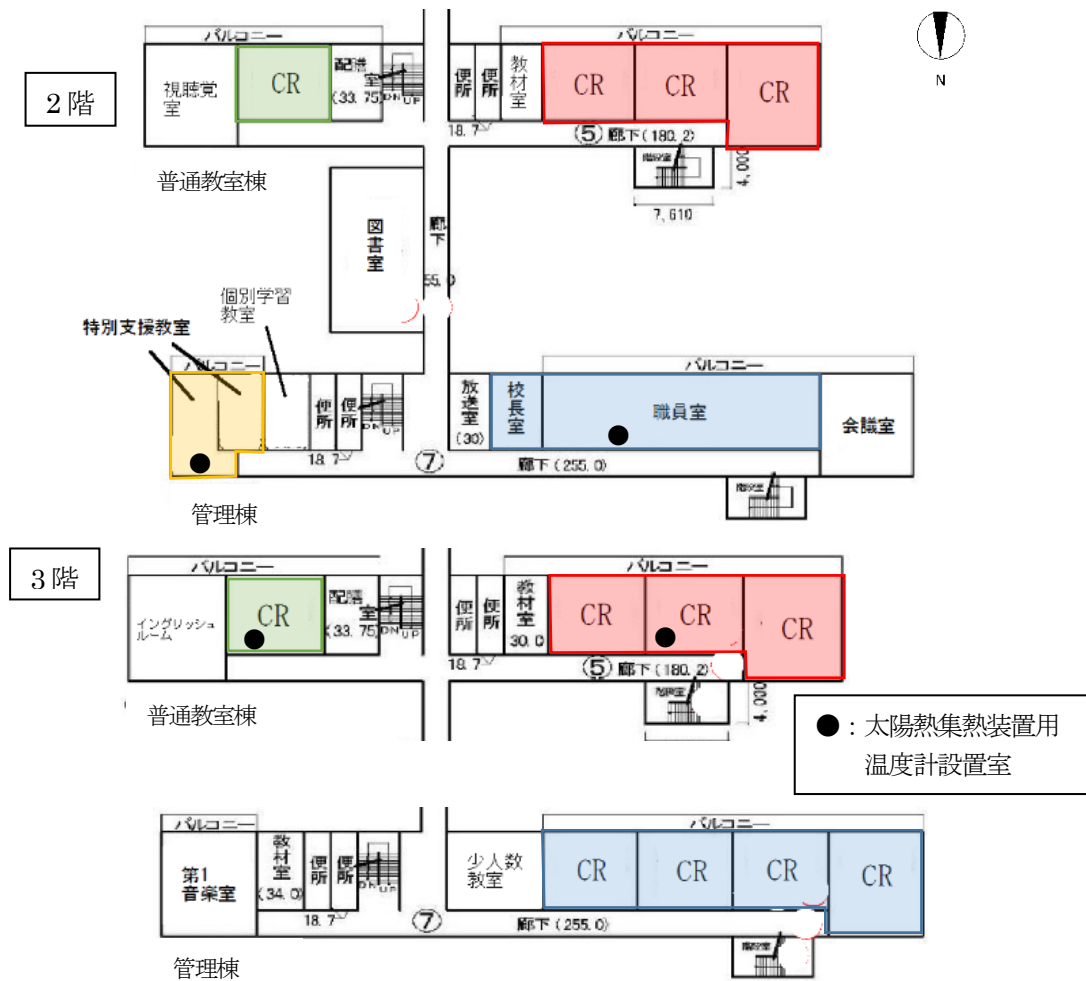


図 5-7 太陽熱集熱装置外観（左：太陽熱集熱装置単独設置，右：太陽光発電パネル併用）

対象校では、夏季におけるナイトパージ装置及び冬季における暖房負荷を低減する装置として太陽熱集熱装置が導入されている。対象校には、管理棟及び普通教室棟の東側屋上に単独の太陽熱集熱装置、西側屋上に太陽光発電パネルと組み合わせた太陽熱集熱装置が設置されており、夏季の夜間における外気取入れ、冬季の暖房用途として用いられている。室内側の吹き出し口は、管理棟の2階及び3階、普通教室棟の2階及び3階の計16室に設置されており、4系統に分かれている。室内側吹き出し口の設置室と、系統を図5-8に示す。

太陽熱集熱装置は24時間自動制御運転となっており、集熱温度に応じて冬季は室内への暖気を取り入れを行う。朝5時の外気温に応じて、夏季、中間期、冬季運転が自動で切り替わる。季節ごとの運転パターンは3章の表3-4に示したとおりである。

冬季モードでは集熱温度30℃以上での暖気取り込み設定となっているが、運転パターンについては設定温度の変更が可能である。しかし、集熱温度を30℃よりも下げる場合、室内へ供給される送風温度が低いことから、集熱温度の設定は30℃としている。



系統	設置形式	集熱面積 (m <sup>2</sup> )	室面積 (m <sup>2</sup> )	温度計設置室
管理棟東	単独設置	12.4	123.8	2F 特別支援教室
管理棟西	太陽光発電 パネル併用	85.0	533.6	2F 職員室
普通教室棟東	単独設置	24.8	135.0	3F 普通教室
普通教室棟西	太陽光発電 パネル併用	56.6	450.0	3F 普通教室

図 5-8 太陽熱集熱装置による空気の供給先となる教室の位置

(2) 太陽熱集熱装置の稼働状況

- ・自動制御を行うために、太陽熱集熱装置には温度計、風量計などの計測機器が設置されている。これら既設の測定機器による、管理棟東系統の太陽熱集熱装置による供給熱量、集熱温度、外気温、室内温度（12/16 0:00～12/23 0:00）を図 5-9 に示す。集熱温度は、集熱パネル裏の空気層の温度を示している。また、各測定間隔は 15 分である。
- ・集熱温度が 30℃を上回ると室内へ暖気の供給を開始するが、晴天時であっても集熱温度が、30℃を上回らない若しくはわずかに上回る程度であった。
- ・測定した 1 週間のうち、室内への熱供給がなされていない日が 5 日あった。

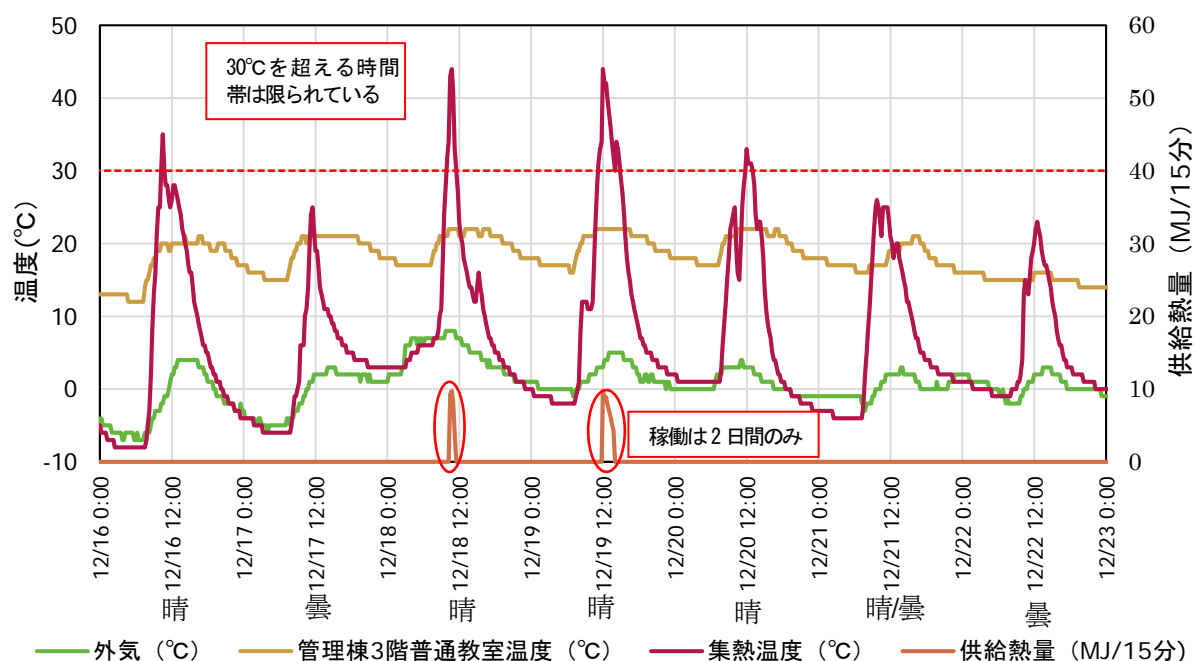


図 5-9 供給熱量、集熱温度、外気温、室内温度の変動

- ・令和元年度 12 月～1 月の開校日昼間における、時間別の外気温、集熱温度、稼働時間累計を表 5-3、図 5-10 に示す。熱供給装置としての稼働時間の合計は 15.25 時間に過ぎず、稼働率は 6%程度であり、ほとんど稼働していなかった。
- ・最大集熱温度が 30℃未満であった朝と夕方は、2 ヶ月間全く稼働していなかった。また、多くの日で、集熱温度が最高値を示すと想定される 12 時から 13 時においても、平均集熱温度は、22.0℃と 30℃を大幅に下回っており、集熱装置としての稼働時間が短かった。

表 5-3 開校日昼間における時間別の外気温、集熱温度、稼働時間（令和元年度 12 月～1 月）

時間帯	平均外気温 (°C)	平均集熱温度 (°C)	最大集熱温度 (°C)	稼働時間累計 (h)
8:00～9:00	0.0	4.2	19.0	0
9:00～10:00	0.8	11.2	32.0	0
10:00～11:00	1.5	17.6	49.0	2.5
11:00～12:00	2.1	21.4	47.0	3.75
12:00～13:00	2.6	22.0	46.0	5.25
13:00～14:00	2.9	19.5	41.0	3.5
14:00～15:00	2.8	16.3	34.0	0.25
15:00～16:00	2.5	12.1	29.0	0
合計 (平均)	(1.9)	(15.5)	(37.1)	15.25

平均集熱温度は最も高い 12:00～13:00 でも 30℃を大きく下回る

朝(10:00 以前)と夕方(15:00 以降)は全く稼働していない

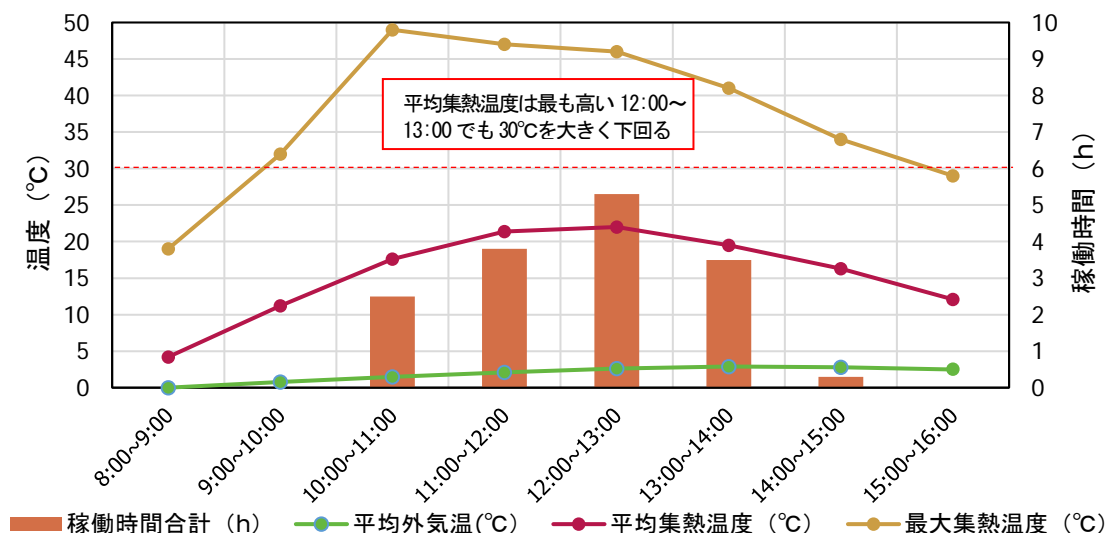


図 5-10 開校日昼間における時間別の外気温，集熱温度，稼働時間（令和元年度 12 月～1 月）

(3) 太陽熱集熱装置により昇温された空気による暖房と灯油ボイラーによる温水を用いた放射パネルによる暖房効果の比較

- 対象校には暖房機器として，灯油ボイラーによる温水暖房と太陽熱集熱装置が設置されている。太陽熱集熱装置のみが稼働している日と，灯油ボイラーのみが稼働している日の外気温，室内温度変化を図 5-11 に示す。
- 太陽熱集熱装置は，集熱温度が 30°C を超えた 11 時過ぎに室内への熱供給を開始する。また，吹き出し口における風速は約 1.0m/s，風量は約 18.9 m<sup>3</sup>/min であった。
- 室内温度の上昇の速さは，太陽熱集熱装置が 1.8°C/h に対し，灯油ボイラーが 4.4°C/h であり，太陽熱集熱装置は灯油ボイラーに比べ暖房効果が小さく，暖房機器としての立ち上がりが遅いことが分かる。
- 太陽熱集熱装置の稼働時間は 2 時間，その間の供給熱量の合計は 79.9MJ であったことから，太陽熱集熱装置の稼働時の時間当たりの供給熱量は 39.9MJ/h であった。これは，省エネ地域区分 3 地域の普通教室の要求熱量 71.0MJ/h<sup>11</sup> の，56%程度であった。以上より，太陽熱集熱装置は，日射に恵まれた日において，灯油ボイラーの補助としての利用が主となる。

<sup>11</sup> 国立研究開発法人建築研究所資料「基準一次エネルギー消費量の算定根拠」より，対象校が該当する 3 地域における普通教室の暖房熱負荷は 0.292kW/m<sup>2</sup>，普通教室面積 67.5m<sup>2</sup> より，普通教室の要求熱量は以下と算出される。

$$0.292\text{kW/m}^2 \times 67.5\text{m}^2 \times 3.6\text{MJ/kWh} = 71.0\text{MJ/h}$$

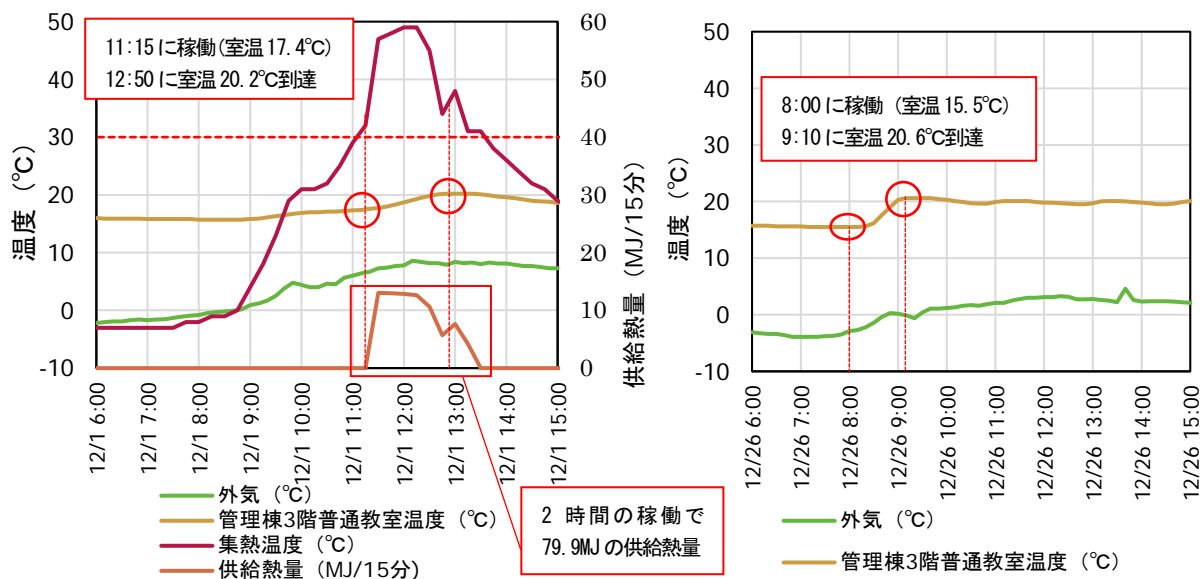


図 5-11 暖房稼働時の教室内温度と外気温変動 (左：太陽熱集熱装置，右：灯油ボイラー)

(4) 太陽熱集熱装置による供給熱量

- ・既設の測定機器による，暖房需要期間（11月～4月）における太陽熱集熱装置による供給熱量を表 5-4 に示す。
- ・年間供給熱量は 41,727MJ/年であるが，日射量が大きく外気温も高い 4 月の供給熱量 (20,942MJ/月) が約半分を占めており，熱需要が高まる 12 月～2 月の供給熱量が少なかった。
- ・系統ごとの供給熱量にはばらつきがあり，管理棟西系統は他の系統に比べ供給熱量が小さかった。これは，同系統の温度計設置室は職員室であり，「5.4.2」で示したように職員室は他の室よりも室温が高い傾向にあったため，太陽熱集熱装置の稼働時間が短かったことに起因すると想定される（太陽熱集熱装置の運転パターンは 3 章 表 3-4 参照）。
- ・「5.4.3 (2)」で述べたように，外気温が低い場合，日射があっても太陽熱集熱装置が稼働しない日があったことから，熱需要が大きいにもかかわらず，太陽熱供給が行われないという不安定な太陽熱集熱装置の欠点が浮かび上がった。

表 5-4 太陽熱集熱装置による供給熱量（平成 30 年度～令和元年度）

(単位：MJ)

系統	管理棟東	管理棟西	普通教室棟東	普通教室棟西	合計	
設置形式	単独	太陽光発電 パネル併用	単独	太陽光発電 パネル併用	—	
集熱面積 (m <sup>2</sup> )	12.4	85.0	24.8	56.6	178.8	
供給熱量 (MJ)	2 月	329	1,107	625	1,514	3,575
	3 月	1,057	3,880	2,134	5,079	12,151
	4 月	1,802	7,716	3,037	8,387	20,942
	11 月	128	545	279	802	1,754
	12 月	105	418	255	493	1,271
	1 月	173	580	363	919	2,035
	年間	3,595	14,247	6,692	17,194	41,727
単位面積供給熱量 (MJ/m <sup>2</sup> )	289.9	167.6	269.8	303.8	233.4	

4 月の供給熱量が年間供給熱量の半分近くを占めている



## 6. エコ改修前後のエネルギー消費と教室内熱環境の実態比較

### 6.1. エネルギー消費量の変動に関する比較

エコ改修前（平成 25 年度）とエコ改修後（令和元年度）のエネルギー消費量の変動を比較し、エコ改修による省エネ効果を検証する。本測定期間である、11 月～1 月について比較を行う。

#### (1) ベース電力の比較（図 6-1）

- 1) ベース電力の月積算値は、3 か月とも、エコ改修前よりもエコ改修後の方が少なかった。
  - ①11 月は 57.5%，12 月は 19.1%，1 月は 34.4%，各々エコ改修前より減少した。
  - ②11 月における減少率が特に大きかった理由として、トイレ凍結防止ヒーターの稼働時期を変更したことが考えられる。
    - ・トイレ凍結防止ヒーターは、エコ改修前は 11 月中旬に稼働させたが、エコ改修後は 12 月初旬に稼働させた。
    - ・校舎棟、体育館及び武道場に設置されている、トイレ凍結防止ヒーターの消費電力及び台数を表 6-1 に示す。また、エコ改修前の 11 月における、トイレ凍結防止ヒーターのベース電力値の推計を表 6-2 に、実測値に基づくエコ改修前の 11 月における、トイレ凍結防止ヒーターのベース電力値の推計を表 6-3 に示す。
    - ・表 6-2 及び表 6-3 の推計結果は、概ね同等の値を示しており、エコ改修前後の 11 月のベース電力の差の要因として、トイレ凍結防止ヒーターの稼働の有無が大きいことが伺える。
- 2) 12 月における電灯系統のベース電力は、エコ改修前後で以下のとおりであった。
  - ①学校全体としては、ほぼ同程度であったが、普通教室棟は 21.0%減少、管理棟は 21.9%増加した。
  - ②校舎ごとのベース電力の内訳を表 6-4 に示す。
    - ・管理棟が増加した原因としては、24 時間稼働換気扇、電気温水器、トイレ暖房便座等の設置によるものと考えられる。
    - ・普通教室棟が減少した原因としては、24 時間稼働換気扇やトイレ暖房便座等の設置による増加はあるものの、エコ改修前、普通教室棟系統に位置していた職員室が、エコ改修後は管理棟系統に移動したためであると考えられる。
- 3) 動力系統のベース電力はエコ改修後に大幅に減少した。水道ポンプ室のベース電力は、エコ改修前後で同程度であった。ただし、後者の値は 1.5kW 前後であり、全体に占める割合はわずかである。
  - ①動力系統の減少は、エコ改修前、暖房用温水循環ポンプ（8.15kW）を凍結防止のため 24 時間稼働させていたのに対し、断熱改修の効果により凍結する恐れがなくなり稼働不要となったことから、エコ改修後は停止したためと考えられる。
  - ②水道ポンプ室は、エコ改修を行っていないこと、エコ改修前後とも凍結防止用ヒーターを稼働させていたこと等により、同程度であったと考えられる。
- 4) 1 月におけるベース電力は、エコ改修前後における削減率が約 34%となった。12 月における削減率が約 19%であったことと比べると、大きな削減であったが、エコ改修後の 1 月中旬に、凍結防止ヒーターの設定温度を変更したためと考えられる。

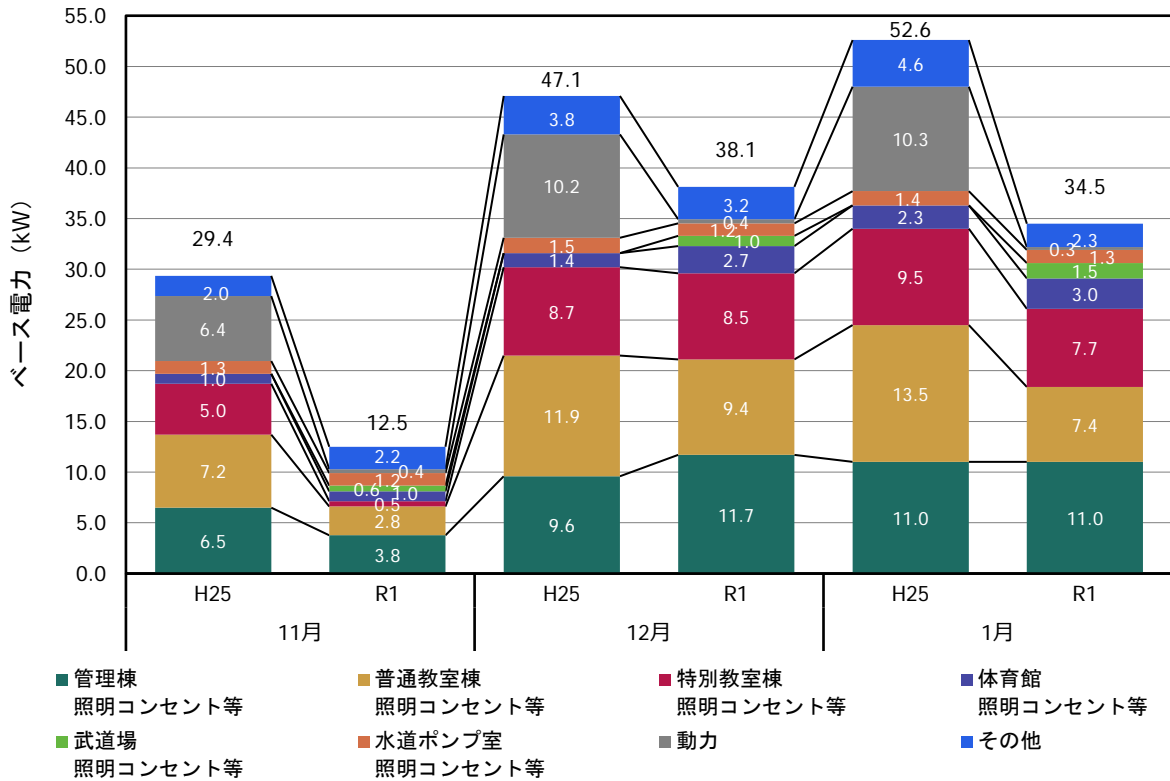


図 6-1 エコ改修前後のベース電力の比較

表 6-1 トイレ凍結防止ヒーターの消費電力及び設置台数

	管理棟	普通教室棟	特別教室棟	体育館	武道場
改修前	1.25kW×6台 =7.5kW	1.25kW×6台 =7.5kW	1.25kW×6台 =7.5kW	1.0kW×2台＋ 0.5kW×1台 =2.5kW	-
改修後	同上	同上	同上	同上	0.5kW×3台=1.5kW

表 6-2 エコ改修前の 11 月における、トイレ凍結防止ヒーターによるベース電力の推計 1 (平成 25 年度)

	管理棟	普通教室棟	特別教室棟	体育館
トイレ凍結防止ヒーターの消費電力合計	7.5kW	7.5kW	7.5kW	2.5kW
稼働開始日	11月12日 (11月のベース電力の推計期間中の18日間稼働, 稼働率60%)			
11月のトイレ凍結防止ヒーターのベース電力値の推計	7.5kW×60% =4.5kW	7.5kW×60% =4.5kW	7.5kW×60% =4.5kW	2.5kW×60% =1.5kW

表 6-3 エコ改修前の 11 月における、トイレ凍結防止ヒーターによるベース電力の推計 2 (平成 25 年度, 実測値ベース)

	管理棟	普通教室棟	特別教室棟	体育館
①エコ改修前後の 11 月のベース電力値の差 (実測値, 平成 25 年度基準)	-2.7kW	-4.4kW	-4.5kW	±0.0kW
②エコ改修前後の 11 月における、凍結防止ヒーター以外のベース電力値の差 (推計値, 平成 25 年度基準) (表 6-4 着色項目)	+2.6kW	+0.8kW	±0.0kW	+1.1kW (12月, 1月値の 平均値より推計)
③エコ改修前の 11 月のトイレ凍結防止ヒーターのベース電力の推計 (②-①)	<u>5.3kW</u>	<u>5.2kW</u>	<u>4.5kW</u>	<u>1.1kW</u>

表 6-4 校舎棟の主なベース電力の内訳及び増加分の推計値 (12 月)  
(着色項目はエコ改修後の増加分)

管理棟		普通教室棟		特別教室棟		
トイレ凍結防止ヒーター	1.25kW×6 台= 7,500W	トイレ凍結防止ヒーター	1.25kW×6 台= 7,500W	トイレ凍結防止ヒーター	1.25kW×6 台= 7,500W	
屋根ドレンヒーター※ (稼働率 35%)	(525W×6 台 +420W×6 台 +210W×3 台)×0.35 =2,205W	24 時間稼働換気扇 (校舎)	33W×6 台=198W	コンピュータ室 サーバ	316W	
24 時間稼働 換気扇	2W×2 台=4W			21W×13 台= 273W	家庭科準備室冷蔵庫	97W
	8W×1 台=8W			合計：471W	理科準備室冷蔵庫	90W
	6W×4 台=24W	24 時間稼働換気扇 (給食室)	33W×5 台=165W			
24 時間稼働全熱交 換器	21W×18 台= 378W	暖房便座	50W×17 台= 850W			
	30W×6 台=180W					
	合計：594W					
	39W×4 台=156W					
	51W×3 台=153W					
電気温水器 (職員 室, 保健室, 校長 室)	116W×1 台= 116W					
	45W×4 台=180W					
	合計：605W					
エネルギー・環境 データ保管用 PC	65W×1 台+39W×1 台=104W					
保健室, 事務室, 用務員室冷蔵庫	80W+80W+72W= 232W					
暖房便座	50W×17 台= 850W					
合計	12,480W (実測値 11.7kW)	合計	8,986W (実測値 9.4kW)	合計	8,003W (実測値 8.5kW)	
		※削減分				
		職員室 (エコ改修 前実測値)	500W			

※推計が行えた部分のみ記載。なお、普通教室棟及び特別教室棟の屋根にもドレンヒーターが設置されている (計測期間中に稼働が確認されなかった。(普通教室棟：525W×6 台, 210W×2 台, 特別教室棟：525W×7 台, 210W×2 台。改修前後で仕様変更なし。))

(2) 電力消費量の比較 (図 6-2)

- 1) 電力消費量の日平均積算値は、3か月とも、エコ改修前よりもエコ改修後の方が少なかった。
  - ①11月は45.4%，12月は18.4%，1月は26.7%，各々エコ改修前より減少した。
  - ②主な減少理由は、前述のトイレ凍結防止ヒーターの稼働開始期間の違い，24時間稼働としていた温水循環ポンプの停止，照明のLED灯への更新，普通教室・特別支援学級数が1室減少したことが考えられる。(校舎照明のLED化による電力消費量削減の推計について，次頁に示す)
- 2) 普通教室棟は，エコ改修前よりもエコ改修後の方が小さかった。
  - ①11月は65.0%，12月は31.1%，1月は47.4%，各々エコ改修前より減少した。
  - ②主な減少要因は，上述に加え，エコ改修前は普通教室棟系統に位置していた職員室が，エコ改修後は管理棟系統へ移動したためと考えられる。
- 3) 管理棟は，エコ改修前よりもエコ改修後の方が12月は増加したが，11月と1月は同程度若しくは微減であった。
  - ①エコ改修前に比べ，11月は9.4%の減少，12月は32.4%の増加，1月は0.3%の増加であった。
  - ②12月の増加は，上述の職員室位置の変更による電力消費量の増加と考えられる
  - ③11月と1月は職員室位置の変更による電力消費量の増加はあるが，凍結防止ヒーターの稼働時間の減少により，全体として電力消費量が減少したためと考えられる。

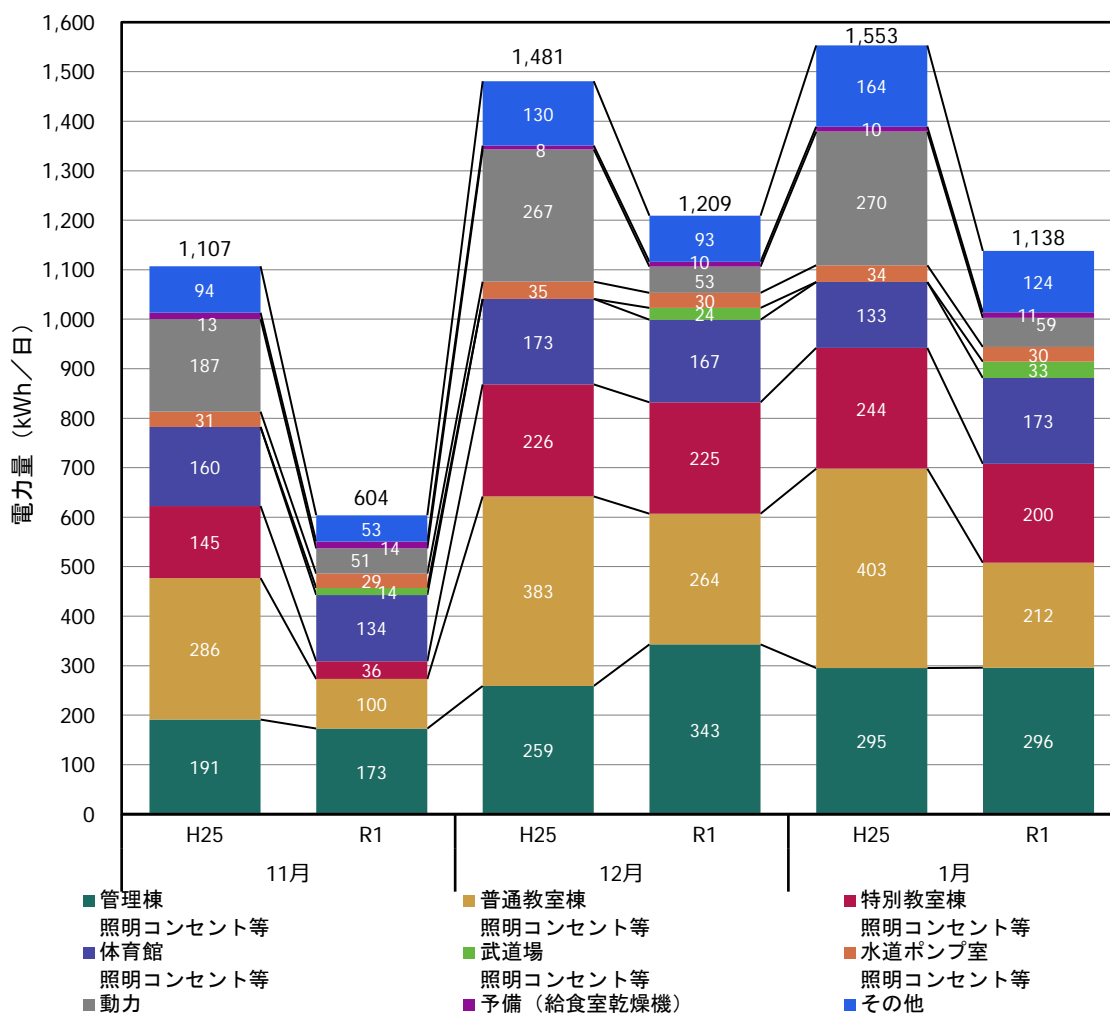


図 6-2 エコ改修前後の電力消費量比較

参考 校舎照明のLED化による電力量の減少推計

① 1ヶ月あたりの各室の使用時間（ヒアリングによる）

	エコ改修前 (H25)			エコ改修後 (R1)		
	時間/日	日数	1ヶ月あたり 使用時間(h)	時間/日	日数	1ヶ月あたり 使用時間(h)
普通教室・特別支援学級	9	20	180	9	20	180
職員室	平日	13	272	14	20	296
	休日	3		4	4	
事務室	10	20	220	同左		220
保健室	10	20	220	同左		220
校長室	10	20	220	同左		220
音楽室	3	20	60	2	20	40
図書室	2	20	40	同左		40

② 改修前後の照明の消費電力の差

	改修前 (FL 蛍光灯)	改修後 (LED 灯)	消費電力差
普通教室・ 特別支援学級	(64W×9 灯+40W×2 灯)×11 室 +(64W×12 灯+40W×2 灯)×4 室= 10,608	(44.5W×9 灯+26.5W×2 灯) ×9 室 + (44.5W×12 灯+26.5W×2 灯) ×3 室 + (25.5W×8 灯+26.5W×4 灯) ×1 室 =6,153	-4,455W
職員室	40W×28 灯+20W×3 灯=1,180W	44.5W×36 灯=1,602W	+422W
事務室	80W×4 灯=320W	25.5W×8 灯=204W	-58W
保健室	80W×6 灯=480W	25.5W×7 灯=179W	-301W
校長室	80W×3 灯=240W	69.2W×3 灯=208W	-32W
音楽室	64W×12 灯+40W×2 灯=848W	44.5W×12 灯+26.5W×2 灯=587W	-261W
図書室	80W×23 灯=1,840W	22W×45 灯+6.2W×38 灯=1,226W	-614W

※職員室はエコ改修前後で面積増加（エコ改修前：192㎡，エコ改修後：202.5㎡）

③ エコ改修前後における1日あたりの電力消費量及び1日あたりの電力消費増加量

	エコ改修前電力消費量	エコ改修後電力消費量	1日当たりの電力消費増加量
普通教室・ 特別支援学級	180h×10,608W÷20 =95.5kWh/日	180h×6,153W÷20 =55.4kWh/日	-40.1kWh/日
職員室	272h×1,180W÷24 =13.4kWh/日	296h×1,602W÷24 =19.8kWh/日	6.4kWh/日
事務室	220h×320W÷20 =3.5kWh/日	220h×204W÷20 =2.2kWh/日	-1.3kWh/日
保健室	220h×480W÷20 =5.3kWh/日	220h×179W÷20 =2.0kWh/日	-3.3kWh/日
校長室	220h×240W÷20 =2.6kWh/日	220h×208W÷20 =2.3kWh/日	-0.3kWh/日
音楽室	60h×848W÷20 =2.5kWh/日	40h×587W÷20 =1.2kWh/日	-1.3kWh/日
図書室	40h×1,840W÷20 =3.7kWh/日	40h×1,226W÷20 =2.5kWh/日	-1.2kWh/日
合計			-41.1kWh/日

④ 校舎照明・コンセントの電力消費減少量の推計

管理棟，普通教室棟，特別教室棟のベース電力減少による電力消費減少量（図G-1，12月値）	照明のLED化による電力消費減少量（③より）	電力消費減少量の推計値の合計	電力消費減少量の実測値
-0.6kW×24h = -14.4kWh/日	-41.1kWh/日	-55.5kWh/日	-36.0kWh/日

(3) 一次エネルギー消費量の比較 (図 6-3)

1) エコ改修により新築された武道場を除いた、一次エネルギー消費量の日平均積算値は、エコ改修前よりもエコ改修後の方がやや少ないが、暖房用途に用いられている灯油と重油を合計した一次エネルギー消費量はエコ改修後の方が多かった。

①全一次エネルギー消費量

11月は4.5%、12月は3.7%、1月は11.8%、各々エコ改修前より減少した。

②灯油+重油一次エネルギー消費量

11月は120.2%、12月は27.0%、1月は16.2%、各々エコ改修前より増加した。

③図 6-4 に示したエコ改修前後の外気温の比較より、平成 25 年度と令和元年度の平均外気温を比べると、1月は令和元年度の方が1.7℃高いが、灯油と重油の合計一次エネルギー消費量が増加したことが分かる。また、内断熱や複層ガラスといった断熱改修も行っているが、エコ改修前に比べ、暖房用途の一次エネルギー消費量が増加したことから、エコ改修後に暖房を過剰に使用していないか検討する余地があると考えられる。

2) 11月の増加要因は、エコ改修前後でボイラー稼働開始時期がずれていた(改修前:11月中旬, 改修後:11月初旬) ためと考えられる。

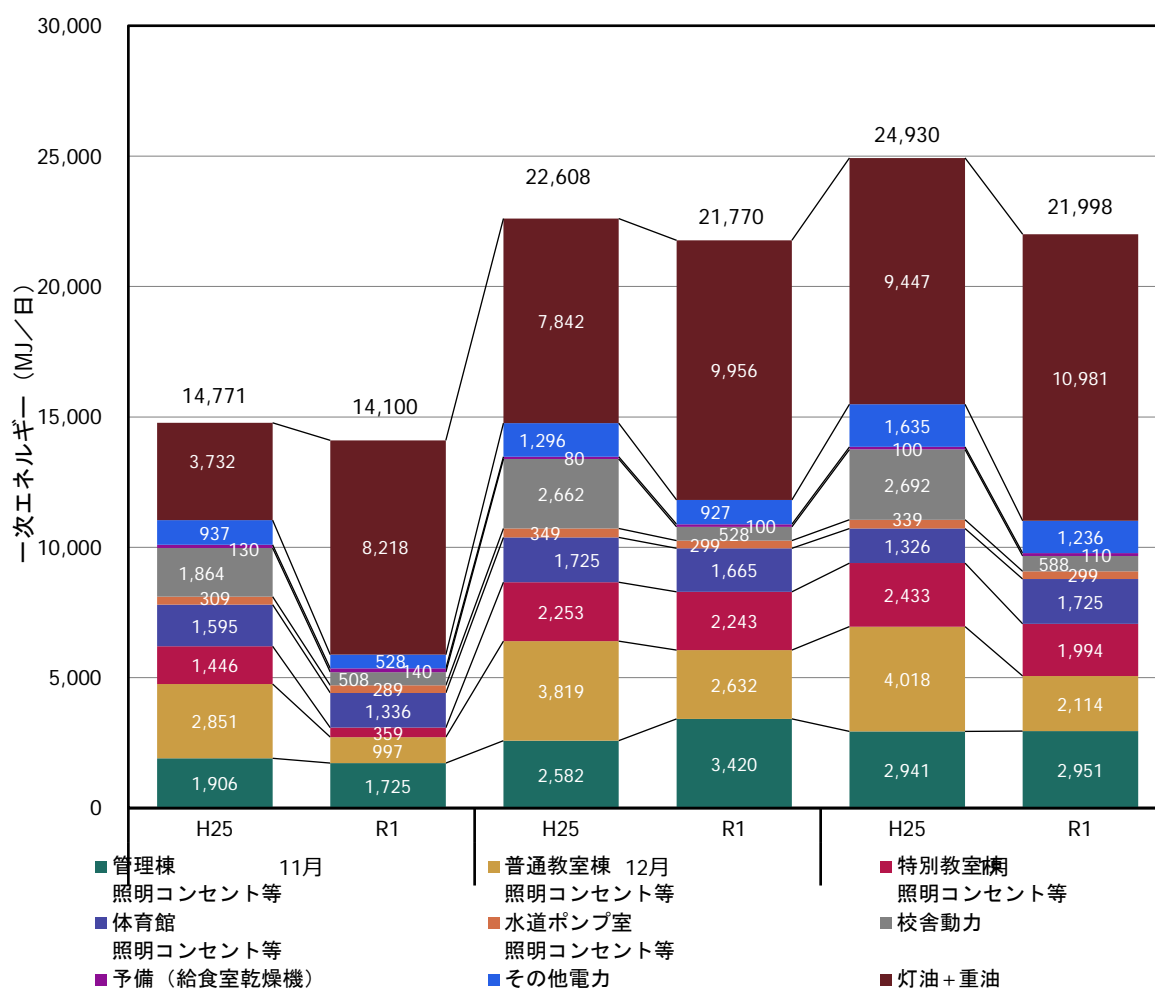


図 6-3 エコ改修前後の一次エネルギー消費量比較 (武道場除く)

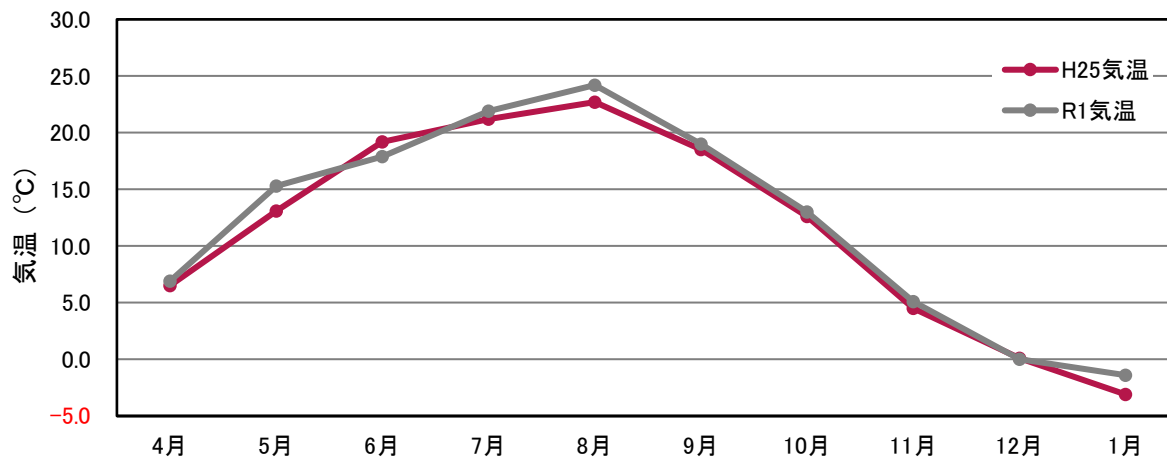


図 6-4 エコ改修前後の月平均外気温比較 (AMeDAS)

- ・エコ改修後の検針票データに基づき省エネ率<sup>12</sup>の算定結果について、太陽光発電の発電量を含まない創エネなしの場合を表 6-5、太陽光発電の発電量を含む創エネありの場合を表 6-6 に示す。
- ・校舎照明の LED 化更新や普通教室数の減少により電力消費量は削減されているが、ボイラー稼働の長時間化により灯油と重油の合計消費量は増加していると考えられる。
- ・創エネなしの場合では一次エネルギーは 0.1%減少し、創エネありの場合では一次エネルギーは 13.5%減少した。

表 6-5 省エネ率にみるエコ改修の効果 (創エネなし)

	電力消費量 <sup>※1</sup> (kWh)	重油+灯油 消費量 (GJ)	一次エネルギー 消費量 (GJ)	省エネ率		
				電力	灯油	一次エネルギー
平成 25 年度	351,568	1,202	4,707	10.7%	-27.1%	0.1%
令和元年度 <sup>※2</sup> (創エネなし)	314,101	1,528	4,660			

表 6-6 省エネ率にみるエコ改修の効果 (創エネあり)

	電力消費量 <sup>※1</sup> (kWh)	重油+灯油 消費量 (GJ)	一次エネルギー 消費量 (GJ)	省エネ率		
				電力	灯油	一次エネルギー
平成 25 年度	351,568	1,202	4,707	27.5%	-27.1%	13.5%
令和元年度 <sup>※2</sup> (創エネあり)	255,022	1,528	4,071			

※1 電力消費量は買電量の値とする

※2 平成 30 年度 2 月～令和元年度 1 月のデータとする

<sup>12</sup> 省エネ率とは、管理範囲内で、使用エネルギー削減量(省エネによる)を分子とし、省エネ前の使用する全てのエネルギーを分母とする省エネ法で定められた省エネ効果を示す指標。

(4) エコ改修実施校との一次エネルギー消費量比較比較

- ・対象校と、対象校と同様にエコ改修を行った A 小学校、B 中学校、C 小学校の、エコ改修後の一次エネルギー消費量、一次エネルギー消費量原単位を表 6-7 に示す。なお、給食室は計算対象外とした。
- ・雫石中学校の一次エネルギー消費量原単位は、省エネ地域区分 4 地域、5 地域の学校の 2.2~2.5 倍であり、同じ 3 地域の学校 (C 小学校) と比べても 1.2 倍となっているため、雫石中学校の一次エネルギー消費量が多いことが分かる。
- ・日本サステナブル建築協会 (JSBC) がとりまとめた非住宅建築物の環境関連データベース (DECC データベース) では、3 地域の小中学校の一次エネルギー消費量原単位は 0.34GJ/m<sup>2</sup>となっており、これと比較すると、雫石中学校の一次エネルギー消費量原単位は 1.6 倍程度大きな値となった。
- ・雫石中学校では、図 1-2 に示すように、廊下にもパネルヒーターが設置されており、教室のみでなく校舎全体の暖房を行っているため、一次エネルギー消費量原単位が多いと考えられる。

表 6-7 4校の一次エネルギー消費量、一次エネルギー消費量原単位の比較

	雫石中学校※1	A 小学校	B 中学校	C 小学校	DECC データ
所在地	岩手県雫石町	京都府京都市	奈良県生駒市	福島県矢吹町	—
省エネ地域区分	3	5	4	3	3
暖房方式	全館暖房	個別暖房	個別暖房	個別暖房	—
一次エネルギー消費量(GJ/年)	4,023	1,092	995	1,979	—
延べ床面積(m <sup>2</sup> )	7,552	4,458	4,669	4,583	2,000~10,000
一次エネルギー消費量原単位 (GJ/年・m <sup>2</sup> )	0.53	0.24	0.21	0.43	0.34※2

※1 平成 30 年度 2 月～令和元年度 1 月のデータとする。給食室動力は本調査の計測結果からの推測値を、給食室電灯は「雫石中学校スーパーエコスクール基本計画報告書」の値を差し引いた。

※2 2006 年度～2012 年度平均値、給食室含む



(5) ゼロエネルギー化の達成状況

- ・「雫石中学校スーパーエコスクール実証事業基本計画報告書（雫石町教育委員会）」で目標とした一次エネルギー削減量と、エコ改修後である令和元年度の一次エネルギー削減量との比較を表 6-8 に示す。
- ・ゼロエネルギー化の目標達成率は 21.4%であり、削減目標は達成できていなかった。
- ・削減目標を達成できていない要因としては、計画時（112kW）に比べ設置されている太陽光発電の設備容量（50kW）が小さいことや、計画されていた特別教室棟のエコ改修がなされていないこと、トイレ凍結防止ヒーターの稼働抑制がなされていないこと、ボイラー更新による暖房用途の一次エネルギー消費量削減効果が乏しかった（ボイラー効率の向上は図れたが、ボイラーの設定温度の変更を行わなかったことや、稼働時間が長時間化したことにより、一次エネルギー消費量の削減効果が得られなかった）ことなどが挙げられる。

表 6-8 ゼロエネルギー化のためのエネルギー削減目標と令和元年度削減実績との比較

取組内容（計画時点）		一次エネルギー削減量（MJ）			備考（実績値の説明）	
		目標	実施状況	実績 <sup>※1</sup>		
創エネによる創出	太陽光発電	1,100,000	△（112kW⇒50kWへ規模縮小）	589,018	発電量（59,079kWh/年×9.97MJ/kWh）	
エコ改修、 運用による 省エネ	設備改修	太陽熱利用	76,000	△（特別教室棟未実施）	41,727	既設計測器データより
		内部負荷の低減 <sup>※2</sup>	823,500	△（特別教室棟未実施）		
		井水利用水冷HP	-100,000	×（未実施）		
		教室照明の節約 <sup>※3</sup>	284,000	△（特別教室棟未実施）		
	運用	ボイラー更新（オプション）	- <sup>※4</sup>	○（灯油ボイラーへの更新、台数制御の導入）	-	（個別の算出不可）
		トイレヒーターの節約 <sup>※5</sup>	690,000	×（設定温度 15℃であり節約されていない）		
		利用教室集約による暖房エリア制御	297,900	×（校舎全体の暖房を実施している）		
合計		2,071,400	-	90,084		
創エネ・省エネ合計		3,171,400	-	679,102		
目標達成率				21.4%		

※1 平成 30 年度 2 月～令和元年度 1 月データ

※2 断熱、気密、日射遮蔽によるパッシブな環境技術の利用による暖房負荷の低減

※3 照明の LED 化に加え、ライトシェルフの設置による照明点灯時間の削減（実際にはライトシェルフは設置しなかった）

※4 オプションのため、目標値の設定なし

※5 トイレの断熱改修により、24 時間稼働の凍結防止ヒーター稼働時間の削減

- ・令和元年度1月中旬よりトイレ凍結防止ヒーターの設定温度を変更して運用を行っており、冬季の電力消費量削減が見込まれる。
- ・トイレ凍結防止ヒーターの稼働が抑制された場合の、令和元年度の一次エネルギー削減量と一次エネルギー削減量の目標値との比較を表6-9に示す。
- ・トイレ凍結防止ヒーターの稼働抑制によって、令和元年度実績から407,015MJ/年の一次エネルギー消費量が削減されると推定され、その場合目標達成率は34.2%となる。

表 6-9 ゼロエネルギー化のためのエネルギー削減目標と令和元年度削減実績との比較  
(トイレ凍結防止ヒーターの稼働を抑制した場合の推定)

取組内容 (計画時点)		一次エネルギー削減量 (MJ)		備考 (実績値の説明)
		目標	実績	
創エネによる創出	太陽光発電	1,100,000	589,018	発電量:59,079kWh/年×9.97MJ/kWh
エコ改修、運用による省エネ	太陽熱利用、内部負荷低減、井水利用水冷HP、教室照明の節約、トイレヒーターの節約、利用教室集約による暖房エリア制御	2,071,400	497,099	電力消費量 (H25-R1) + 灯油消費量 (H25-R1) + 重油消費量 (H25) + 太陽熱集熱装置供給熱量 + トイレ凍結防止ヒーターの稼働抑制 (351,568kWh/年-314,101kWh/年) × 9.97MJ/kWh + (5,076L/年-41,637L/年) × 36.7MJ/L + 26,000L/年 × 39.1MJ/L + 41,727MJ/年 + 407,015MJ/年
合計		3,171,400	1,086,117	
目標達成率		34.2%		

## 6.2. 教室の熱環境に関する比較

### (1) 測定概要

- ・エコ改修前の測定と同様の条件（同教室，同気象）でサーモカメラを用いて表面温度の測定を行い，エコ改修前後で教室の熱環境の比較を行った。

### (2) 測定結果

- ・測定条件を表 6-10 に示す。なお，暖房機器を稼動させてから 1 時間 30 分後に測定を行った。
- ・測定結果を図 6-5，図 6-6 に示す。
- ・教室内の測定結果より，エコ改修前に比べエコ改修後は，教室内表面温度が 6.7℃（複層ガラス表面）～9.5℃（廊下側壁面），室内温度が 8.5℃高温であり，熱環境は向上していると言える。また，廊下の測定結果からも，エコ改修前に比べ，エコ改修後の熱環境が向上していることが分かる。これらは，複層ガラスや外壁内断熱改修などの断熱改修の効果が大きく表れているためと考えられる。
- ・図 5-4 より，12 月の夜間における外気と教室内の温度差が 20℃程度生じていることから，断熱改修の効果が大きいことが分かる。

表 6-10 サーモカメラの測定条件

	改修前	改修後
撮影日時	平成 26 年 2 月 17 日（月）9 時	令和元年 12 月 27 日（金）10 時
天候	晴れ時々雪	曇り時々雪
教室名	普通教室棟 3 階普通教室	普通教室棟 3 階普通教室
暖房機器	重油ボイラー	灯油ボイラー
外気温	-0.1℃	2.4℃
室内温度	14.8℃	23.3℃

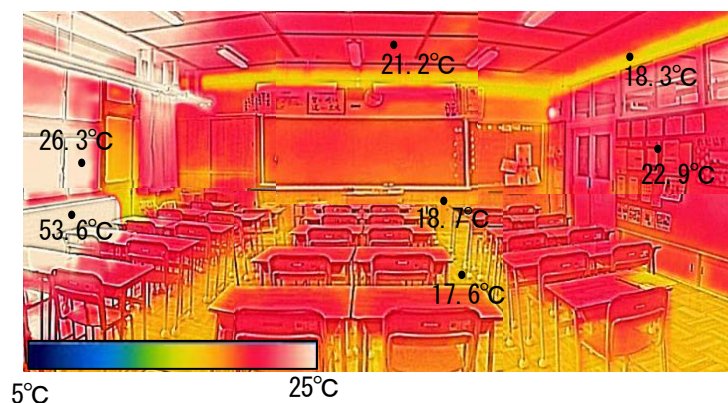
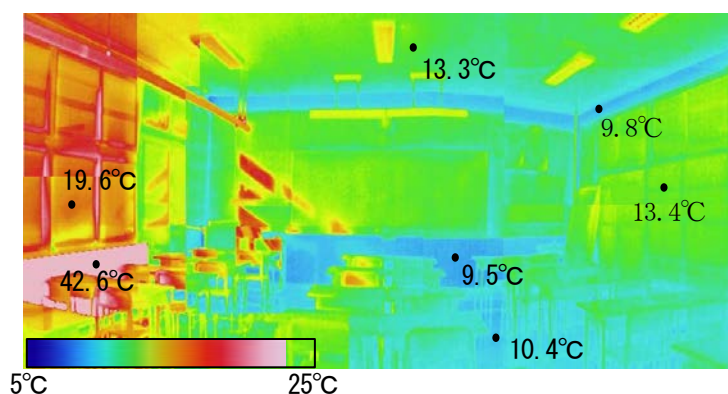


図 6-5 エコ改修前後の教室内廊前方の熱環境比較（上：改修前，下：改修後）

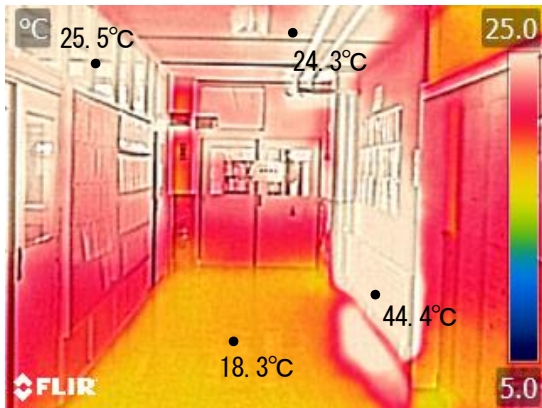
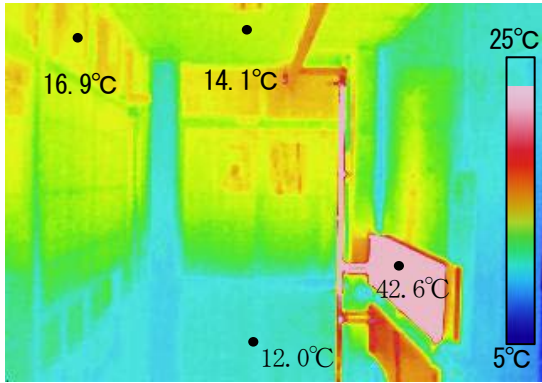


図 6-6 エコ改修前後の廊下の熱環境比較（上：改修前，下：改修後）

## 7. F A S T (Ver.2) によるエコ改修効果等の検証

- ・F A S Tによる、エコ改修前の年間CO<sub>2</sub>排出量と、工事内容を基に算出したエコ改修後の年間CO<sub>2</sub>排出量、令和元年度の年間CO<sub>2</sub>排出量の実績値の比較を表7-1、図7-1に示す。
- ・エコ改修後(R1)実績値は、本調査にて把握した全エネルギー消費量から、F A S Tの計算対象外の室である、体育館、武道場、給食室のエネルギー消費量を除外した値とする。また、F A S Tの計算対象外の項目であるコンセント類及び凍結防止ヒーターのエネルギー消費量の内、本調査にてエネルギー消費量を推測できた、トイレ凍結防止ヒーター、屋根ドレンヒーター等のエネルギー消費量も除外した値とする。
- ・F A S TによるCO<sub>2</sub>排出量の予測値(39.2t-CO<sub>2</sub>/年)は実績値(81.2t-CO<sub>2</sub>/年)に比べ、半分以上であった。また、太陽光発電による創エネを除いたCO<sub>2</sub>排出量の実績値(92.3t-CO<sub>2</sub>/年)は、エコ改修前(84.3t-CO<sub>2</sub>/年)よりも増加した。これは、F A S Tでは暖房の計算対象となるのが教室のみであるのに対し、対象校では廊下を含めた校舎全体での暖房を行っているのが主な要因と考えられる。
- ・太陽光発電によるCO<sub>2</sub>削減量は、予測値(-9.1t-CO<sub>2</sub>/年)よりも実績値(-11.1t-CO<sub>2</sub>/年)が大きかった。これは、4章でも述べたように、令和元年度は日射に恵まれ発電量が大きかったためと考えられる。

表7-1 エコ改修前後の年間CO<sub>2</sub>排出量の比較

	エコ改修前 (H25)FAST予測値	エコ改修後 (R1)FAST予測値	エコ改修後 (R1)実績値	
CO <sub>2</sub> 排出量[t-CO <sub>2</sub> /年]				
暖房(灯油)	73.7	40.9	灯油	85.0
冷房	0.0	0.0		
照明(電力)	6.4	4.4	電力	4.6
換気(電力)	0.8	1.0		
水道	3.4	2.0		2.7
小計	84.3	48.3		92.3
太陽光発電		-9.1		-11.1
計	84.3	39.2		81.2
CO <sub>2</sub> 削減量[t-CO <sub>2</sub> /年]		45.1		3.1
CO <sub>2</sub> 削減率(創エネなし)[%]		42.7%		-9.5%
CO <sub>2</sub> 削減率(創エネあり)[%]		53.5%		3.7%

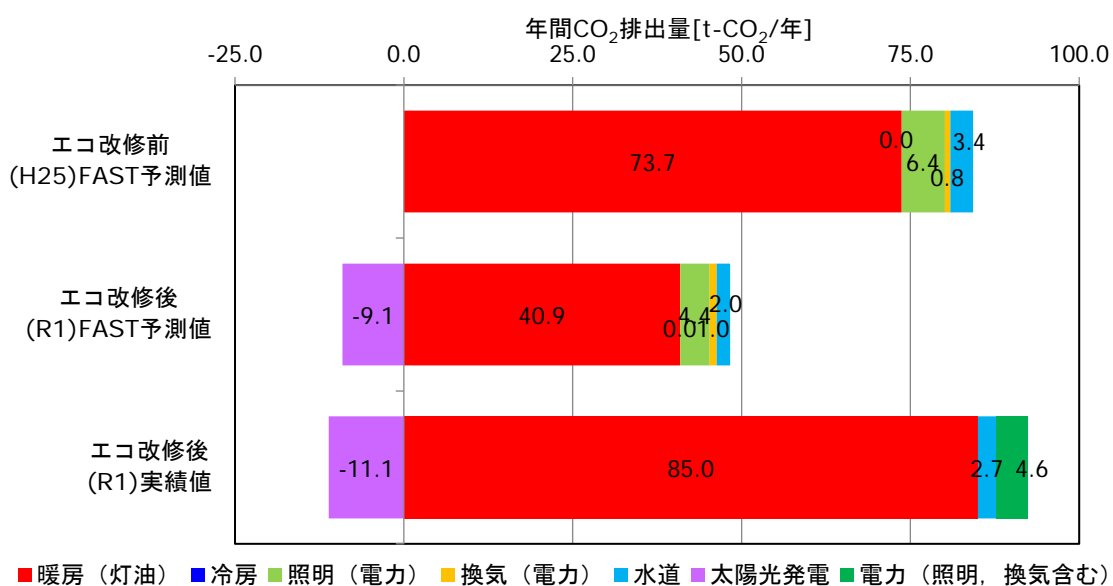


図7-1 エコ改修前後の年間CO<sub>2</sub>排出量の比較

## 8. まとめ

### 8.1. エネルギー使用量の実態

#### ① 太陽光発電について

- ・対象校では太陽光発電は系統連系していない。
- ・年間における累積発電量の実測値は、予想値の1.3倍程度であった。
- ・冬季（12月）の発電量は中間期（5月）の27%まで落ち込んだ。

#### ② 電力について

- ・パソコン室と図書室、保健室以外の室ではほぼ冷房が使用されていない、または設置されていないため、夏季の電力消費量は小さく、中間期と同程度であった。
- ・エコ改修後の全電力消費量（平成30年7月～令和1年6月創エネなし：333,629kWh/年）は、エコ改修前の買電量（平成25年度：351,568kWh/年）に比べ、5.1%の減少であり、エコ改修前後の自家消費量は同程度と言える。これは、LED照明の更新による電力消費量の削減と、24時間稼働換気扇による電力消費量増加が相殺されているためと考えられる。
- ・令和元年度11月～1月の電力消費量の用途別割合は、照明・コンセント等が87%、動力が4%、その他が9%であった。
- ・令和元年1月中旬より、体育館を除くトイレ凍結防止ヒーターの設定温度を15℃から7.5℃に、暖房便座の設定を通常運転モードから節電モードに変更しており、12月に比べ1月は校舎棟用途の電力消費量が減少した。

#### ③ 灯油・重油について

- ・エコ改修によって重油ボイラーが灯油ボイラーに更新されており、平成28年度以降重油は使用されていない。
- ・エコ改修後の灯油・重油消費量の一次エネルギー消費量換算値の合計（平成30年度：1,439GJ/年）は、エコ改修前のそれ（平成25年度：1,202GJ/年）に比べ、19.7%増加した。平成25年度と平成30年度の冬季の外気温を比較すると、12月を除き、平成30年度の方がやや高かった。
- ・一次エネルギー消費量が増加した要因としては、ボイラーの更新により効率が向上した一方で、ボイラーの稼働時間が長時間化したことや、新築の武道場にて灯油の消費が生じたためと考えられる。
- ・ボイラー稼働時は、灯油を150L/日以上消費しており、最大で500L/日程度灯油を消費した。
- ・灯油の消費量は、校舎棟用途が82%、体育館用途が15%、武道場用途が3%であったと推計される。

#### ④ LPガスについて

- ・LPガスの用途は、主に給食室と家庭科調理室のみであり、暖房用途には用いられていない。
- ・長期休業期間に該当する4月、8月、1月のLPガス消費量は他の月に比べて少なかった。

#### ⑤ 一次エネルギーについて

- ・夏季に比べ冬季の一次エネルギー消費量が大きく、2月は7月の約6.6倍であった。
- ・エコ改修後の一次エネルギー消費量（平成30年度創エネあり：4,240GJ/年）は、エコ改修前のそれ（平成25年度：4,707GJ/年）に比べ、9.9%減少した。
- ・11月～1月において、一次エネルギー消費量の51%を灯油が占めており、暖房用途の一次エネルギー消費量が大きかった。
- ・雫石中学校を、本調査研究で過去に調査した同じ省エネ地域区分3地域であるC小学校と比較すると、一次エネルギー消費量原単位は、1.2倍となっており、雫石中学校の一次エネルギー消費量が大きいことが分かる。

## 8.2. 教室内外環境の実態

### ① 教室内外の温湿度について

- ・11月、12月、1月における校舎内の開講日の昼間の平均温度は20℃～23℃程度であり、学校環境衛生基準内に保たれていた。
- ・12月の夜間の普通教室内温度は、12℃以上に保たれており、外気との温度差が20℃程度生じていた。
- ・区画扉内外（普通教室・普通教室前廊下と階段）の温度差は、昼間は最大10℃程度、夜間は5℃程度であったことから、区画扉を設置する効果が認められた。

### ② 教室内外の熱環境について

- ・外気温2.4℃、教室室温23.3℃の時のサーモグラフィによる教室内の表面温度の測定結果によると、ヒーター上部に位置する複層ガラスを除き、教室内装仕上げ材の表面温度は17.6℃～22.9℃の範囲であった。
- ・外気温2.4℃の時の廊下内装仕上げ材の表面温度は、放射パネルを除き、18.3℃～25.5℃の範囲であり、教室内装仕上げ材の表面温度と、同等若しくはそれ以上であった。廊下には放射パネルが設置されており、暖房が行われているためである。

### ③ 太陽熱集熱装置について

- ・集熱温度が30℃を上回ると室内へ暖気の供給を開始するが、晴天時であっても集熱温度が、30℃を上回らない若しくはわずかに上回る程度の日が多かった。太陽熱による室内への熱供給がほとんどなかったと言える。
- ・12月、1月における熱供給装置としての稼働時間の合計は15.25時間に過ぎず、稼働率は6%程度であった。
- ・暖房機器としての室内温度上昇の速さは、太陽熱集熱装置が1.8℃/hに対し、灯油ボイラーが4.4℃/hであり、灯油ボイラーの方が立ち上がりは良かった。
- ・年間供給熱量は41,727MJ/年であったが、4月における供給熱量（20,942MJ/月）が約半分を占めており、暖房用熱需要が高まる12月～2月の供給熱量が少なかった。

## 8.3. エコ改修による効果等

- ・「平成25年度スーパーエコスクール実証事業基本計画報告書（雫石町教育委員会）」で定めた、エネルギー削減目標と比較すると、ゼロエネルギー化の目標達成率は21.4%であり、ゼロエネルギー化を達成していない。
- ・一次エネルギーの省エネ率は13.5%であった。
- ・ゼロエネルギー化を達成できなかった主な要因としては、太陽光発電について、計画時（112kW）に比べ設置されている設備容量（50kW）が小さいことや、計画されていた特別教室棟のエコ改修や水冷ヒートポンプとしての井水利用設備の導入がなされていないこと、トイレ凍結防止ヒーターの稼働抑制がなされていないこと、ボイラー更新による暖房用途の一次エネルギー消費量削減効果が乏しかった（ボイラー効率の向上は図れたが、ボイラーの設定温度の変更を行わなかったことや、稼働時間が長時間化したことにより、一次エネルギー消費量の削減効果が得られなかった）ことなどが挙げられる。
- ・トイレ凍結防止ヒーターの設定温度を7.5℃とした場合でも、トイレ内温度は10℃以上に保たれており、断熱改修の効果が表れていると言える。
- ・区画扉内外（普通教室・普通教室前廊下と階段）の温度差は、昼間は最大10℃程度、夜間は5℃程度であったことから、区画扉を設置する効果が認められた（図5.5）。

#### 8.4. 今後の課題について

- ・ボイラーの更新や断熱改修により室内環境は快適となっているが、暖房の稼働期間が延びたことやトイレの凍結防止ヒーターの長時間の稼働などがエネルギー使用量の増加につながっている。雫石町の地域特性や雫石中学校に設置されている中央方式の暖房設備等の設備水準を考慮すると、本調査の過去の調査結果と単純に比較することは出来ないが、単位面積当たりのエネルギー消費量は大きなものとなっている。
- ・太陽光発電の設備容量の見直しや改修範囲見直しなど、当初の計画時とは状況が変わりゼロエネルギー化の達成が困難ではあるが、特にエネルギー使用量の増加の要因と考えられる以下について見直しを検討するなど、エネルギー使用量の削減に取り組むことが望ましい。

##### ① 暖房の運用の見直し

- ・完全下校時刻が 16:10 に対して、ボイラーの稼働時間は 17:00 までとなっており稼働時間が長い。ボイラーの稼働時間を短縮し、放課後に 1 教室などごく少数の教室のみ暖房する場合は暖房機器として個別のストーブを用いることを検討。
- ・ボイラーの設定温水温度（60℃）が過剰であることが想定される。設定温度を下げた運用を行い、最適な設定温水温度のチューニングを検討する余地があると考えられる。
- ・ボイラーの制御ポイントの設定の見直し（システム全体/個々の教室）を検討する。
- ・外気温に応じたボイラー稼働のルールを定め、11 月や 4 月のボイラー稼働時間・稼働期間を短縮する。また、翌日の天気予報を確認して、太陽熱集熱装置の稼働が見込まれる場合には、ボイラーの設定温度の低減や稼働抑制を行う。
- ・季節に合わせた変更に加え、教室の稼働状況と室温を見ながら、ボイラーの稼働時間・稼働期間ボイラーの設定温度を柔軟に変更を行い、暖房のエネルギー消費量を抑える対策を行う。

##### ② トイレの凍結防止ヒーターの運用の見直し

- ・本調査内で、トイレ凍結防止ヒーターの設定温度を 7.5℃に下げたが、トイレ内温度は 10℃以上に保たれており、凍結防止ヒーターとしての役割を十分に果たしていると考えられる。今後も、凍結防止ヒーターの設定温度は、7.5℃のままでの運用が望ましいと考えられる。
- ・暖房便座の運用が通年となっているが、特に夏季は不要と考えられる。通年ではなく秋冬（11 月から 3 月）中心に稼働させる。
- ・暖房便座の消費電力を抑える観点から便座の蓋を閉める運用を行うことが望ましい。

##### ③ その他の見直し

- ・電気温水器は毎日稼働することとなっていることから、土日等必要のない時の運転を停止することが望ましい。
- ・11 月から設定温度 15℃で稼働している水道ポンプ室の凍結防止ヒーターについて、設定温度、稼働期間ともに、トイレの凍結防止ヒーターと同様の運用（12 月から 3 月稼働、設定温度 7.5℃）へ変更する。
- ・十分に日射が得られる場合は、教室の窓側の照明を消す、照度を落とすなどの運用を行う。

##### ④ 次期エコ改修（特別教室棟など）への期待

- ・太陽光発電の容量拡充のため、特別教室棟への増設の検討。
- ・廊下の照明に人感センサーの設置の検討。
- ・（各教室）放射パネル温水入口への電磁弁の設置
- ・夏季の教室環境を調査した上で、屋上や外壁の緑化、豊富な井水を活用した自噴井、無電源ポンプによる屋上等への散水等、省エネルギー化をはかりながら行える建物内の室温上昇の抑制を検討。



(参考) 学校施設の環境に関する基礎的調査研究

平成19年10月24日  
令和2年4月1日(最終改正)  
国立教育政策研究所長決定

## 1 趣旨

近年、地球規模の環境問題が世界共通の課題として提起されており、学校施設においても環境負荷の低減や自然との共生を考慮した施設を整備することが求められている。

政府においては、京都議定書の約束期間が開始された平成20年以降、温室効果ガスの排出削減等の取組を強化しており、平成28年には、パリ協定(平成27年採択)を批准している。

このような状況を踏まえ、学校施設のエネルギー消費の現状を把握するとともに、学校施設における環境対策の推進に資することを目的として、調査研究を行う。

## 2 調査研究事項

- (1) 学校施設におけるエネルギー消費に関する実態把握
- (2) 既存校舎を対象にした環境対策モデルプランの作成
- (3) 学校施設におけるCO<sub>2</sub>排出量算出ツールの開発
- (4) その他

## 3 実施方法

別紙の学識経験者等の協力を得て、2に掲げる事項について調査研究を行う。なお、必要に応じ、その他の関係者の協力を求めることができる。

## 4 実施期間

平成19年10月24日から令和3年3月31日までとする。

(別紙)

学校施設の環境に関する基礎的調査研究協力者

(五十音順, ○印:主査)

### (委員)

磯山 武司	津山工業高等専門学校校長
小泉 治	株式会社日本設計第3建築設計群副群長チーフ・アーキテクト
○小峯 裕己	千葉工業大学創造工学部建築学科教授
坂口 淳	新潟県立大学国際経済学部国際経済学科教授
寺嶋 修康	寺嶋研究所代表
中島 裕輔	工学院大学建築学部まちづくり学科教授
望月 悦子	千葉工業大学創造工学部建築学科教授

### (オブザーバー: 文部科学省大臣官房文教施設企画部)

渡邊 恭令	施設企画課課長補佐
松村 泰成	施設企画課環境施設企画係長
森井 敦也	施設助成課課長補佐
辻本 慶太	施設助成課技術係長

### (調査協力)

株式会社テイコク

なお、国立教育政策研究所においては、次の関係官が本報告書の作成にあたった。

丹沢 広行	文教施設研究センター長
早田 清宏	文教施設研究センター総括研究官
谷口 奈津子	文教施設研究センター専門調査員



国立教育政策研究所文教施設研究センター  
〒100-8951 東京都千代田区霞が関3-2-2  
電話：03-6733-6992 FAX：03-6733-6966