

小学校校舎の断熱性能と学習環境に関する調査

静岡理工科大学 理工学部建築学科 石川研究室

指導教員：准教授 石川 春乃

参加学生：海野晴輝、井尻佑希、渡邊龍磨、村松幸星、
岩崎瑠南、太田 空、大石駿希

1 要約

気候温暖である静岡県下では、小学校校舎の多くが古く、断熱性能が殆ど無い。また、空調や換気等の建築設備の設置もない教室が殆どであった。2018年の酷暑を契機に、県下の小学校普通教室の空調設備導入が進み、学習環境は著しく向上したが、コロナ対策としての換気やタブレット導入など、学校施設のエネルギー消費は急増している。この学習環境をめぐる課題について、現場の現況把握が十分ではない。

私達の研究室では、2019年よりゼミ活動として継続的に県下自治体の小学校教室の実測調査とエネルギー消費量調査を行ってきた。2022年度の本事業では、静岡県下自治体の小学校の学習環境とエネルギー消費量調査を整理し、X市での現場調査を通じて、脱炭素化を目指した今後の学校環境とエネルギー消費について提案する。

継続的に実測を続けている静岡市、袋井市の学習環境実測とエネルギー消費量調査を報告する。教育委員会ごとに空調設備運用指針を示しているが、普通教室室温は、夏期に28℃程度、冬期には18℃を下回っていた。空気質を示すCO₂濃度については、児童在席時1000ppmを超える教室も見受けられた。

今年度、X市のQ小学校にて実測を行った。他の自治体と同様の結果であった。夏期のCO₂濃度が高かったことを受けて、学校側が自主的に換気による対策を実施した。結果、CO₂濃度は1000ppmを児童在校時、常に下回り、良好な結果を得られた。

静岡県下の断熱性能の低い校舎にて、児童の快適性とエネルギー消費低減の両立を目指すには、教室環境の最適化を図る高効率設備による運用が求められる。現状、十分な設備を具備しない教室においては、既存空調機器の運用自動化や通風等の人的運用を組み合わせることが求められる。

2 研究の目的

脱炭素化の推進策として公共施設のZEB化が進められている一方、静岡県下の学校施設は外皮性能が低く、各自治体の対策は急務である。また、空調設備の一斉導入やコロナ下の換気等、めまぐるしく変化する学習環境をめぐる課題について、現場の現況把握が十分ではない。本研究では、静岡県下自治体の小学校の学習環境とエネルギー消費量を調査し、X市での現場調査を通じて、脱炭素化を目指した学校環境とエネルギー消費の今後について提案する。

3 研究の内容

【実施計画】以下に行った調査等の実施方法を示す。

1) 公立小学校普通教室の温熱環境調査 概要把握

私達研究室では、静岡市と袋井市の公立小学校の教室温熱環境を継続的に計測し、エネルギー消費量の算出を行っている。本事業では、2021年度に実施した調査結果集計を用いて現況把握を行う。

2) X市での夏期実測調査

学校施設の断熱性能向上を検討しているX市について、学校教室の学習環境の実測調査と施設関係者のヒアリング調査を行う。

3) X市での夏期実測を受けた対策と検証

X市小学校の実測調査結果をX市や実測小学校と共有する。特に夏期の教室の空気質維持について対策を講じ、結果検証を行う。

4 研究の成果

(1) 当初の計画と実施評価

当初、実施計画について、X市の小学校外皮性能向上ワークショップ実施にあわせた項目、工程で計画していた。このワークショップの2022年度実施が見送られたため、項目の調整は行ったが、項目と工程については、コロナ対策を講じながら、ほぼ予定通りに進捗した。

	6-8月	9-11月	12-2月	評価
1) 教室の温熱環境調査 概要把握	○	○		B (一部修正)
2) X市の夏期実測調査	○	○ 再○		B (一部修正)
3) 夏期実測を受けた対策検証	○	○		B (一部修正)
まとめ	→	発表 発表	成果発表	B (一部修正)

(2) 実際の内容

1) 公立小学校普通教室の温熱環境調査 概要把握

1-1 静岡市

静岡市では、全小学校普通教室の空調設備が2020年に完備された。普通教室の学習環境の把握を目的として地域特性の異なった4校の校舎各階普通教室にて、温湿度とCO₂濃度の測定を通年実施している。また、教育委員会の資料提供を受けて、エネルギー消費量の実績値を算出した。

2021年度の季節ごとの温熱環境調査を実施し、2020年度の同じ教室での実測値と比較した。夏期については、実測対象教室の使用方法が変化したB小(中山間地)以外は、概ね学校環境衛生基準上限値28度以内を達成していた。冬期については、D小(郊外地)以外の小学校全教室で、階を問わず室温平均が18℃を上回らなかった。対流式空調設備による教室内の均一な暖房が難しいこと、コロナ対策としての外気換気の手法が一般化していないことが要因と考えられる。室内空気質を示すCO₂濃度は、コロナ禍にて1000ppmを基準値とすると、殆どの小学校で基準を超えていなかった。概ね良好な換気状態が得られていたと考えられる。

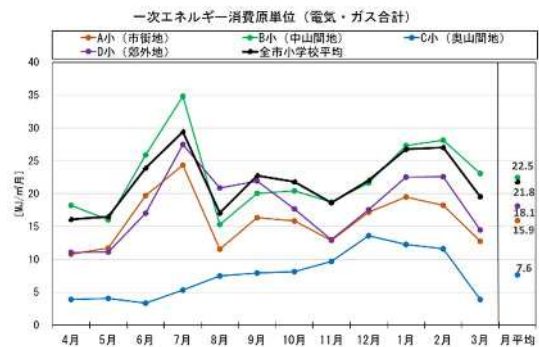


図1：(静岡市) 月別エネルギー消費原単位

全学校の一次エネルギー消費量を月別に算出した。年間一次エネルギー消費量は、市全体平均で1233.6[MJ/年]、261.6[MJ/m²年]であった。実測校及び市全体平均いずれも、冷暖房利用期の夏期(7月)と冬期(1, 2月)が高くなった。

1-2 袋井市

袋井市では、全小学校の校舎普通教室にて、温湿度とCO₂濃度の測定を通年実施し、エネルギー消費量の実績値算出も行っている。

2021年度夏期に全小学校の教室室温平均は28℃、3階教室平均は28.7℃であった。最上階になるほど、学校環境衛生基準の上限値である28℃を超える割合が高い。特に、E小学校においては、最小値が28℃を超え、最大値、平均値も全校で一番高い。これは、E小学校のみセミオープン型教室にて、廊下との境壁がなく教室からの冷気が保持しづらいためと考えられる。一方で、児童アンケートによると、E小学校の児童らの温冷感



図2：(袋井市) 夏期の各学校3階教室室温

他の学校と同等であった。この要因には、通風を常に得て体感温度が異なる点、児童が暑熱順化している点が挙げられる。

冬期については、児童在席時の室平均気温が 15.0℃であった。1階教室では、最大値が学校環境衛生基準下限値の 18℃に満たない教室も複数校でみられた。CO2 濃度は、コロナ対策だけでなく、インフルエンザ等の感冒対策に換気が推奨されているが、1000ppm の基準値を超える教室がいくつか見受けられた。換気設備のない普通教室が一般的であるので、担当教員の窓開けの回数など、換気に関する人的要因に依存する。

2) X市での夏期実測調査

2022 年度、X市でも現況把握を実施するとして、Q小学校にて温湿度と CO2 濃度の測定を実施した。夏期、外気温が 31℃を超える中、教室室温平均は 3 階では 30℃、2 階では 28℃前後で推移した。教室は朝夕の戸締りにより、夕方の熱気を翌朝の登校時間まで窓開放を行わない。児童在席時の室温は、外気以上に暑く、3 階では 28℃以上となる時間帯が 47%となっている。

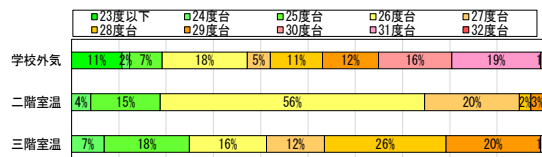


図 3 : (X市) 夏期教室室温 頻度割合

また、CO2 濃度について、一部の教室で児童在席時 2000ppm を超える時間帯が確認された。教室の適正な空気質維持のためには、換気設備等の機械制御が望ましいが、X市の小学校も校舎が古いものが多く、換気は人的運用に依存している。教育委員会からの通達に換気に関する注意も含まれているが、現場での運用には人的リソースが無いと対応が難しいのが現状である。

3) X市での夏期実測を受けて行った対策と検証

夏期調査の結果を受けて、Q小学校では、具体的にできる対策案を実施した。学校環境衛生基準では、学校教室における CO2 濃度基準値を 1500ppm としているが、現在のコロナ禍における学校教室での基準として、一般的にビル管法等の 1000ppm が適用されている。換気対策前の期間について、2 階の CO2 濃度の期間平均は 1023ppm で、1500ppm を 4.5%が超え、最大値は 2111ppm (9/7_11:00) であった。一方、3 階の期間平均は 591ppm であった。

この実測教室を含む教室換気について、意識的な換気対策を実施した。設定期間を 10 月の 1 週目に、平日の児童在席時 (8:00-16:00) を検討対象とし、手動による換気開放、開口率の確保を行った。測定は、教室内設置の CO2 濃度計 (T&D 社 RTR-535) による自動定時測定 (10 分) とした。

換気対策後の期間について、3 階の CO2 濃度の期間平均は 519ppm、2 階は 526ppm と、両教室とも 1000ppm を超えなかった。換気改善行動の効果が顕著に表れる結果となった。しかし、この換気改善行動は、小学校教員の標準作業とは別の時間拘束が伴い、常時行える方法ではない。

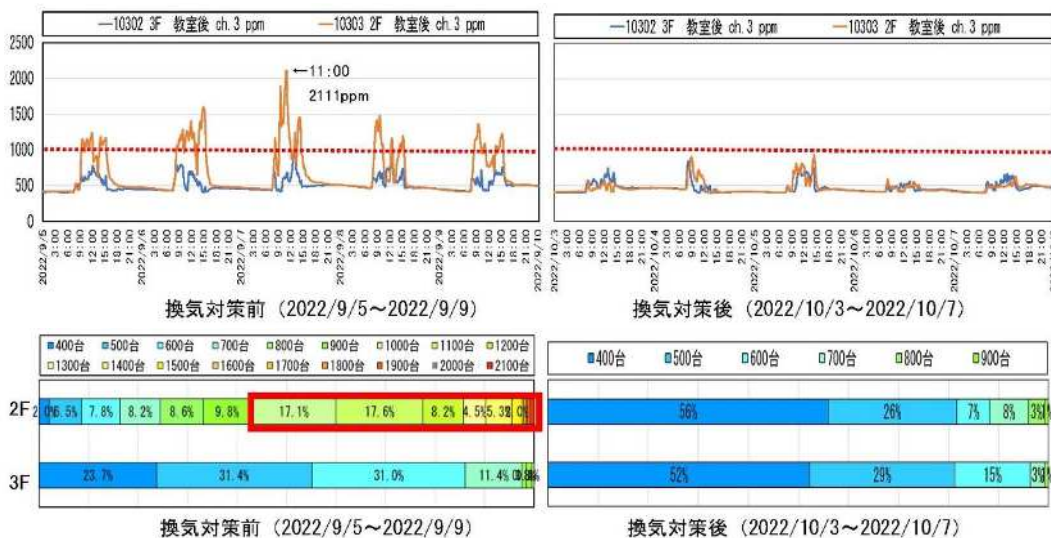


図 4 : (X市) 換気対策前後の CO2 濃度と頻度割合

(3)実績・成果と課題

静岡県下における自治体（静岡市、袋井市）の小学校温熱環境の実測調査、またX市の課題把握とその対応策から、以下の知見が得られた。

- ・普通教室空調設備導入後の普通教室空調設備の導入効果を確認した。夏期は学校環境衛生基準における教室の望ましい室温上限である28℃を上回る室温になっている教室が多い。冬期は、同じく室温下限値である18℃を大きく下回っている時間帯が長いことが確認された。
- ・コロナ渦で求められる換気について、CO2濃度計測によって調査した。ほとんどの教室に換気設備が具備されていないため、担任教員を中心とした人的運用に依存する。一方で、換気を窓開放によって行うことで、空調効率を著しく落とす懸念から、換気が十分得られていない教室も見受けられた。
- ・不十分な換気対策を建築設備に頼らず、人的作業によって実施した対策案では、CO2濃度を高めない効果を検証できた。しかし、人的作業が常時必要になる解決法は現実的ではない。今後のITによる制御と最小限の人的行動の組み合わせで実現できる方策を検討したい。

(4)今後の改善点や対策

- ・まずは、地域ごとの校舎環境性能の把握、エネルギー消費状況、現場の施設運用体制など、多面的な現状把握が重要である。現状把握が是正カ所を明らかにし、その改善が省エネになり、脱炭素にむけた取り組みであることを他の自治体でも提案していく。
- ・施設管理者である教育委員会には、脱炭素化に資する提案を課題ごとに提案していく。
 - (1) 普通教室の空調設備について、現場で対応可能な最適運用方法の検討
 - (2) 殆どの学校が人力で行う手動換気の効率的な方法の検討
 - (3) 教室利用する児童や教員の心理量調査
 - (4) 静岡の地域特性を生かした創エネルギーの導入効果検討

5 課題提出者・地域への提言、受けた評価

- ・静岡市教育委員会教育施設課に成果発表（2022年11月1日 発表学生：渡邊、井尻）
 - ① 『静岡市立小学校の学習環境調査 2020, 2021年度 夏期・中間期・冬期の結果比較』、
 - ② 『2021年度 静岡市小学校施設エネルギー消費量調査』以上2題をゼミ学生が発表し、今後の施設管理について意見交換を行った。静岡市から実測校だけではなく、全小学校のエネルギー消費量の比較を要望があった。（対応済）
- ・袋井市教育委員会教育企画課に成果発表（2022年9月27日 発表学生：村松、井尻）
 - ① 『令和3年度 袋井市全小学校における学習環境温熱調査』
 - ② 『集中管理コントローラ基礎機能を活用した個別分散型空調設備の運転調査』以上2題をゼミ学生が発表し、今後の施設管理について意見交換を行った。特に、冬期対策について、エネルギー消費と温熱環境のバランスの検討をひきつづき行っていく。
- ・X市環境政策課、教育委員会教育総務課に成果発表（2022年9月16日 発表学生：海野）『Q小学校実測調査 速報』をゼミ学生が発表し、今後の実測の進め方について意見交換を行った。特に、CO2濃度の高まった要因について、学術的な整理に加えて現場での対応可能な策を検討した。
- ・X市Q小学校に検討報告（2022年10月21日 発表学生：海野）『2022年度X市Q小学校 学校教室温熱環境実測調査 教室換気の検討』をゼミ学生が説明し、今後の換気方法について意見交換を行った。対策後のCO2濃度低減効果が確認された。