

都市部の公立小学校体育館における環境性能に関する調査研究

The Research for Environmental Performance of Public School Gymnasiums in Urban Area

学生会員 ○中村 大介 (早稲田大学) 学生会員 佐藤 哲也 (早稲田大学)

学生会員 松田 萌 (早稲田大学) 学生会員 石川 春乃 (早稲田大学)

正会員 名越 まり (元・早稲田大学) 技術フェロー 田辺 新一 (早稲田大学)

Daisuke NAKAMURA*¹ Tetsuya SATO*¹ Moe MATSUDA*¹ Haruno ISHIKAWA*¹

Mari Nagoshi*² Shin-ichi TANABE*¹

*¹ Waseda University *² Former graduate student, Waseda University

The purpose of this paper is to acquire basic architectural and operative data of gymnasiums in order to evaluate the most effective renovation method which satisfies both budget and thermal comfort at respective case. The public school gymnasiums have presently not only used within their schools but have been aimed for public use. Majorities are open to the public in weekend, and are functioned as temporary shelters at emergency. Despite they are proposed to function in various use, 70% of the public elementary and middle school gymnasiums remain the same as 20 years ago. In this research, we classify architectural data from 64 elementary school gymnasiums at Tokyo S-region and implemented thermal environmental survey at 3 gymnasiums which are regarded as distinct by classification.

1 はじめに

現在、築年数が20年以上経過した体育館が72.7%存在し¹⁾、老朽化が深刻な問題となっている。また、公立小中学校の体育館は授業時間以外では地域住民の体育施設として、非常災害時は緊急避難所として開放されることから温熱環境を考慮した改修の必要性が高まっている。国立教育政策研究所は、「学校施設(体育館)のエコ改修推進のために」²⁾を作成し、「学校施設の耐震補強マニュアル」³⁾で提示されたモデルを用いてシミュレーションを行うことで、改修方法ごとの温熱環境改善効果やコストを検討している。一方で、既存体育館の温熱環境の現状や課題点が把握されておらず、必要な改修方法を課題ごとに選択できないため、温熱環境改善のための改修が進まないことが考えられる。よって、温熱環境改善を目的とした改修を促進するためには、体育館の建築概要や利用実態を整理した上で効果的な改修方法を検討し、コスト削減と温熱環境の改善を両立する必要がある。

本研究では、都内公立小学校の既存体育館の建築概要および利用実態に基づく環境性能の把握を目的とし、東京都23区内のS区の小学校体育館を対象として、建築概要分析調査、温熱・光環境実測調査、アンケート調査を行った。

2 建築概要分析調査

公立小学校体育館の建築概要の把握を目的とし、建築概要分析調査を行った。

2.1 調査方法

表1に調査項目を示す。本調査では、体育館の竣工年および学校敷地面積をS区統計資料より、体育館の建築概要を既存体育館の平面図、立面図、矩計図より建築面積や形態などの項目ごとに把握した。調査の原資料は、S区教育委員会より提供して頂いた公立小学校全64校のうち、現在改築中の2校を除いた62校分の体育館の図面および小学校

表1 調査項目

分析項目	文部科学省統計	調査方法
竣工年	○	S区統計資料
建築面積	×	平面図
形態	×	立面図
材質・断熱	×	矩計図

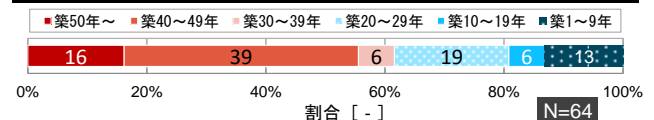


図1 築年数ごとの小学校の割合

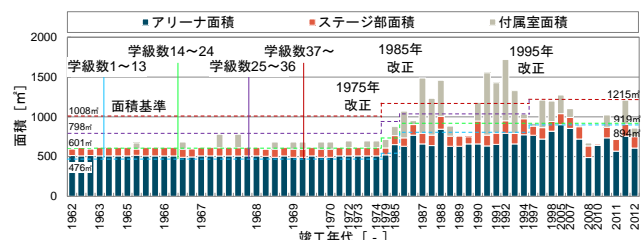


図2 竣工年代ごとの体育館面積および面積基準施設基本台帳を用いた。

2.2 分析調査結果

1) 竣工年代 図1に築年数ごとの小学校体育館の割合を示す。S区には公立小学校が64校存在し、築年数は40～49年を経過した体育館が39%で最も多く占めた。

2) 面積 図2に竣工年代ごとの体育館面積および面積基準を示す。面積基準⁴⁾は遵守する必要はないが、アリーナ、ステージ、付属室の総面積に対して推奨されている基準である。1980年代までの体育館には付属室は少なく、アリーナ面積が平均506 m²、ステージ面積が平均101 m²であり、ほぼ全ての体育館で面積が同程度であった。また、1975年の面積基準の改正では、体育館の一般開放を踏まえ更衣室等の付属室の充実が図られた。実際に、1979年以降に建てられた体育館において、基準の改正に伴い体育館の付属室面積が増加したことが示された。一方で、アリーナ面積は基準の改正以降では多様化してきている。

3) 形態 表2に体育館形態一覧を示す。体育館が校舎と離れる場合を独立型、体育館が校舎と1面以上接する場合を接続型とした。さらに独立型をアリーナのみで構成される単層型、アリーナと他室が重層する重層型に分類し、重層型を、アリーナ下階に教室のある教室重層型、アリーナ屋上部にプールのある屋上プール型、アリーナ下階にプールのある下層プール型に分類した。

図3に形態ごとの体育館の割合を示す。単層型が48%で最も多いことが示された。また、教室重層型は16%であり、屋上プール型は15%であった。単層型の体育館と比べ、屋上プール型は屋根面に対する日射熱の影響を受けにくいこと、教室重層型は下階からの放射熱の影響を受けることにより温熱特性が異なると考えられる。接続型は新しい体育館に多く、改修の際は校舎の改修に含まれると考えられる。

4) 断熱性能 図4に断熱性能を有す体育館の割合を示す。ここでは62校のうち、図面より材質を判別できた55校における割合とする。エコ改修マニュアル²⁾の既存体育館のモデルと比較した場合、屋根・壁面・床面ともに断熱が施されていない体育館は69%存在することが示された。また、屋根面の断熱化が進んでいる理由として、屋根面は日射取得量が最大であり改修効果が期待できること、屋根を葺き替える際に断熱材を設けることができ、壁・床と比較して改修が容易であることが考えられる。

3 温熱・光環境実測調査

3.1 実測調査概要

秋季および冬季における形態の異なる体育館の温熱・光環境特性の把握を目的とし温熱・光環境測定を行った。表3に測定項目および測定期間を、図5に温熱・光環境測定の測定点を示す。秋季は2015年10月5日から10月9日、冬季は2015年12月1日から2016年1月10日において屋内温湿度および上下温度分布を測定した。屋内温湿度の測定点は、秋季は隅部の4点、冬季は南西部の1点のみとした。測定点高さは1.6m、測定間隔は10分とした。上下温度分布および照度分布の測定は、各学校で屋内温湿度の測定期間中の1日のみとし、授業が行われている8:30~16:30において測定した。照度分布の測定高さは床上1.1mとし、9点で測定した。上下温度分布の測定高さは0.1m、0.6m、1.1m、1.7m、2m、3m、4m、5m、6m、7m(天井高が7m未満の場合は6.5m)とし、測定間隔は10秒とした。表4に上下温度分布の測定開始時刻を示す。

3.2 対象校概要

表5に実測対象校の概要を示す。建築概要分析調査よりS区の小学校体育館の形態として、単層型、教室重層型、屋上プール型が多いことが示された。本調査では単層型のD小学校(以下、単層)、教室重層型のM小学校(以下、教室重層)、屋上プール型のT小学校(以下、プール重層)の実測調査を実施した。3校とも構造はRC造、方位は南北に長手方向をもつ体育館を対象とした。

表2 体育館形態一覧

独立型				接続型
単層	重層			
単層型	教室重層型	屋上プール型	下層プール型	
アリーナ	アリーナ 特別教室	プール アリーナ	アリーナ 屋内プール	校舎 体育館

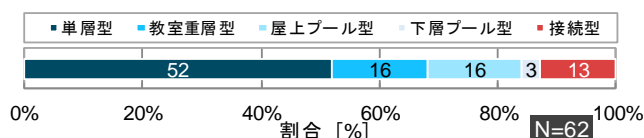


図3 形態ごとの体育館の割合

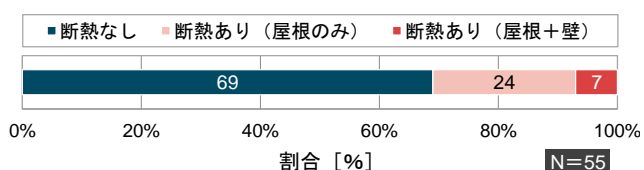


図4 断熱性能を有す体育館の割合

表3 測定項目および測定期間

測定項目	校名	秋期測定期間	冬期測定期間	測定点	測定間隔	測定機器
屋内温湿度	3校	2015年10月5日 ~2015年10月9日	2015年12月22日 ~2016年1月15日	4点	10分	温湿度計 RSW-20S
上下温度分布	D小	2015年9月30日	2016年1月15日	1点	1時間	温度計 RTW-20S
	M小	2015年10月5日	2016年1月12日			
	T小	2015年10月2日	2015年12月22日			
照度分布	D小		2016年1月15日	9点	1時間	照度計 ILLUMINANCEMETER T-10
	M小		2016年1月12日			
	T小		2015年12月22日			

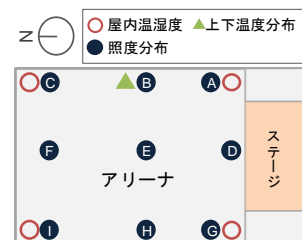


表4 上下温度分布の測定開始時刻

始業前	休み時間①	休み時間②
8:35~	9:30~	10:20~
休み時間③	給食時間	昼休み
11:30~	12:25~	13:25~
休み時間④	放課後①	放課後②
14:20~	15:20~	16:20~

図5 温熱・光環境測定の測定点

表5 実測対象校の概要

対象校名	D小学校	M小学校	T小学校
形態	単層型 アリーナ	教室重層型 アリーナ 特別教室	屋上プール型 プール アリーナ
竣工年	1965年	1969年	1991年
改修年	-	1993年	-
アリーナ床面積	509m ²	491m ²	653m ²
床~梁天端の高さ	6,650mm	6,650mm	8,000mm(梁下端)
屋根架構	鉄骨	鉄骨	鉄骨
断熱有無	屋根・天井	×	×
	壁	×	×
	床	×	×
断面概略図	アリーナ	アリーナ	アリーナ
	特別教室	特別教室	特別教室
	プール	プール	プール

3.3 測定結果

3.3.1 空気温度経時変化

図6に秋季における内外空気温度の経時変化を示す。単層と教室重層は、ともに室温が外気温の変動に追従した。また、ピーク時は単層の室温が教室重層より低かった。単層は学校時間帯に外部扉が開放されたため、換気が行われ室温が外気温に近い状態であったと考えられる。夜間は教室重層の温度が単層より1.5℃程度高かった。教室重層は床スラブがコンクリートであり、床下の蓄熱による放射熱が影響したことが考えられる。

プール重層は、日中は25℃程度、夜間は23℃程度であり、単層や教室重層と比較して授業時間中の室温は安定していた。理由として、屋根面のプールにより日中の日射熱取得が抑制されたことが考えられる。

図7に冬季における内外空気温度経時変化を示す。単層と教室重層は室温が外気温に追従した。単層と教室重層では、8時はともに室温が同程度だったが、ピーク時は教室重層の室温が単層より3～5℃程度大きかった。教室重層は床スラブがコンクリートで下階が教室であることから、床面の断熱効果が高く、単層よりピーク時の室温が高かったことが考えられる。また、プール重層は11～14℃程度で室温が安定していた。

3.3.2 空気温度の相対頻度

図8に空気温度の相対頻度を示す。単層は、秋季の温度差が9℃、冬季は12℃と大きかった。教室重層の温度差は秋季においては9℃、冬季は11℃と単層と同程度であった。教室重層は床スラブがコンクリートであり、床スラブの蓄熱により、単層と比較して温度が高い時間帯が多かったと考えられる。プール重層は温度差が秋季は5℃程度、冬季も5℃程度と小さく、特に秋季は21～22℃が50%以上と日中を通して比較的安定していた。屋上のプールが日中の温度上昇を抑制すると同時に、朝夕の放熱を抑え安定した温度が保たれたと考えられる。

3.3.3 代表日の内外空気温度差

図9に代表日の各体育館の内外空気温度差を示す。秋季は10月8日を晴天代表日、10月5日を曇天代表日とし、冬季は1月1日を晴天代表日、1月6日を曇天代表日とした。晴天日において外気温度差は日中に小さく、夜間に大きくなった。また、3校とも内外温度差は日中に0℃程度となった。特に冬季では単層の室温が外気温を2℃程度下回っていた。また秋季・冬季いずれも、プール重層のほうが単層、教室重層よりも遅い時間に内外温度差が0℃となった。曇天日は、3校とも室温が外気温を上回っており、1日を通して内外温度差がほぼ一定であった。

3.3.5 上下温度分布

図10に各体育館の上下温度分布を示す。単層では、秋季・冬季ともに上下温度差が最大で5℃程度となった。冬季は朝の上下温度差はほとんど見られず、午後は屋根面の日射

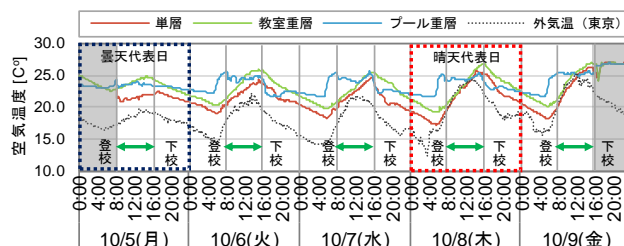


図6 秋季における内外空気温度の経時変化

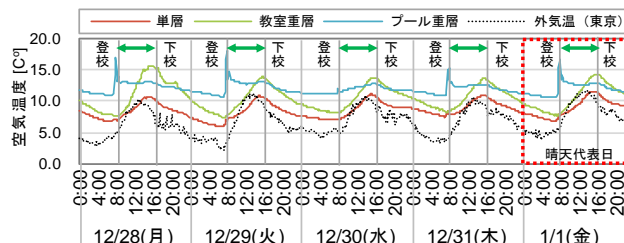


図7 冬季における内外空気温度の経時変化

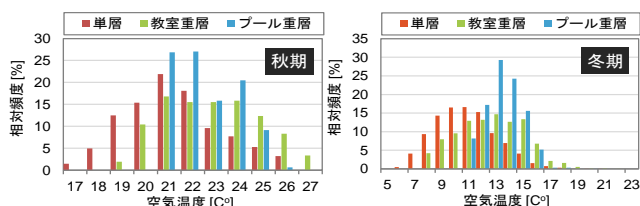


図8 空気温度の相対頻度

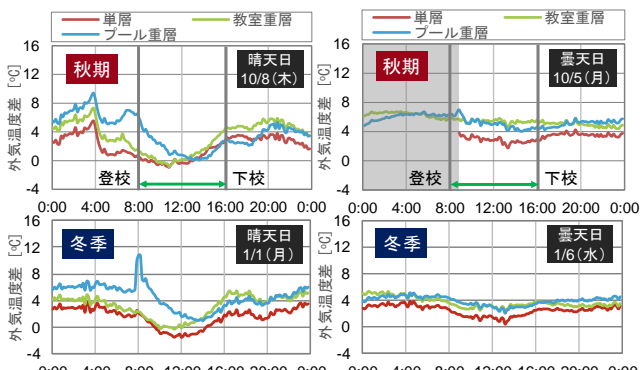
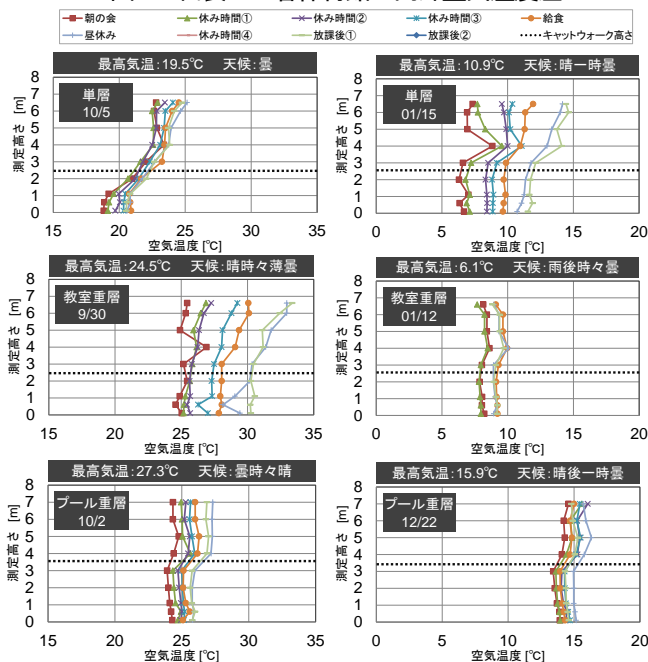


図9 代表日の各体育館の内外空気温度差



a) 秋季の上下温度分布 b) 冬季の上下温度分布

図10 各体育館の上下温度分布

熱取得により上下温度差が生じたと考えられる。教室重層では、秋季は朝の上下温度差がほとんど見られず、床スラブの蓄熱により、床面の温度が比較的高い状態で保たれていたことが考えられる。プール重層では温度差は秋季・冬季ともに2℃程度であり、プールがあることで秋季は屋根面の温度上昇が抑えられ、冬季は断熱効果により室温の低下が抑えられたと考えられる。

3.3.6 照度測定

図 11 に各体育館の照度の経時変化を示す。単層では照明ありと照明なしでは照度に大きな差が見られず、照明なしでも照度基準を上回る照度が確保された。教室重層は測定日が雨天であったため、照明をつけない場合は照度基準を下回ったが、照明を点灯した場合は基準となる 300 lx が確保されていた。プール重層では天井部が白色あるため照度が高くなり、日中は照明を点灯しない場合でも照度基準を上回る照度が得られていた。一定の照度基準を確保する場合、プール重層のように壁面の色を白色系に変更するだけでも照度が向上することが示された。

4 ヒアリング調査

4.1 調査概要

表 6 に主なヒアリング項目を示す。実測では得られない体育館運営上の問題点および今後の改修方針について把握することを目的として、S 区の教育委員会を対象にヒアリング調査を行った。

4.2 調査結果

- 1) 温熱環境** 夏季・冬季ともに改善要望は見られたが、冬季より夏季の温熱環境の改善要望が多いことがわかった。要望内容は主に冷暖房設置が多いが、冷暖房設備は費用対効果が小さいため、S 区では屋根・壁・床・開口部の断熱化および自然換気を促進する改修を優先的に計画することがわかった。
- 2) 運用面** 通常利用時では、近隣への騒音対策として窓開閉が不可である学校が存在した。S 区では各学校と近隣住民との調整により開閉不可の時間帯を定め運用していた。また体育館の地域開放は、夜間や休日において全ての小学校で実施されているが、施設開放の運営は公益財団法人に委託していることが分かった。
- 3) 改修・改築計画** S 区では、実際にエコ改修を施したある中学校体育館を、断熱施工・太陽熱集熱式暖房・太陽光発電を試験的に導入したエコ改修のモデル体育館と位置づけ、温熱環境の改善効果が見られた改修方法を、他校の改修時に導入することを方針としていた。しかし、現状の体育館の環境性能が把握されておらず、どのエコ改修が温熱環境の改善に寄与するか把握されていないため、他の体育館で同様の効果が示されるかが不明であることが問題点としてあげられた。そのため、現状の環境性能に対し一定の改善効果が得られる改修方法が明らかになることで、今後の改修計画が立てやすくなると考えられる。

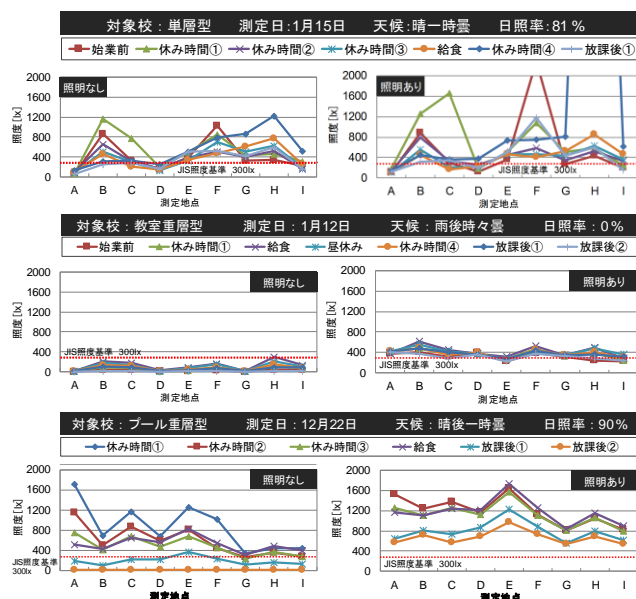


図 11 各体育館の照度分布

表 6 主なヒアリング項目

温熱環境	運用状況	改修・改築計画
改善要望の有無 (夏期・冬期)	窓開閉	エコ改修での 優先する改修項目
改善要望の依頼者	避難所利用	改修理由
改善方法	地域開放	改修までの年数

5 まとめ

- 1) 建築概要分析調査より、1960 年代は体育館が同一規格で設計され、1980 年代以降は、面積基準の改正に伴い付属室の増加が見られた。また、重層型の体育館では屋根面や床面の構成が異なることが示された。各形態の環境性能に見合った改修方法が必要である。
- 2) 温熱・光環境実測調査より、単層・教室重層の室温は秋冬期ともに外気温に追従し、屋根面の断熱性能が低く天候に左右されやすかった。また、室温のピーク時は教室重層の室温が単層より高いことから、床の断熱化が冬期には有効であるが、夏期は室内に熱がこもる可能性がある。プール重層は屋根面の断熱・遮熱性能が高いため、通年で室温が昼夜ともに安定した。また、照度は照明の利用により JIS の照度基準を上回るが、内装や窓面積の大きさによっては、日中は照明を利用しなくても基準を上回った。
- 3) ヒアリング調査より、S 区では、冬季より夏季の温熱環境に対する改善要望が多いことが明らかとなった。一方で、現状の体育館の温熱環境やエコ改修による改善効果が把握されておらず、エコ改修をどの程度導入すべきか方針が立てにくいことが問題点としてあげられた。

以上より、都市部の小学校体育館では、複数の形態を有し、形態ごとに温熱環境が異なることが明らかとなった。今後は、形態ごとに改修方法を示すことで、改修の優先順位の策定や改修費用の削減が可能であると考えられる。

【謝辞】本研究を実施するにあたり、S 区教育委員会教育施設課の高源正俊様をはじめとした職員の皆様、実測対象校の皆様、数多くの関係者の皆様にご多大なご協力頂きました。ここに記して深く謝意を表します。

【参考文献】1) 文部科学省：学校施設の老朽化対策について、2013 年 2) 国立教育政策研究所文教施設研究センター：学校施設（体育館）のエコ改修指針のために、2012 年 3 月 3) 文部科学省：学校施設の耐震補強マニュアル（S 造屋内運動場編）、2003 年 4) 文部科学省：公立学校施設費国庫負担金等に関する関係法令等の運用細目、昭和 32 年 4 月施行