

快適な教育環境の実現と脱炭素に貢献する学校施設整備への提案

- 1 学校施設脱炭素化の背景
- 2 温熱環境改善による体調不良・集中力向上
- 3 体力と学力を向上する学校施設計画
- 4 断熱と換気設備による温熱空気環境の改善
- 5 光・視環境改善による学習効率向上

伊香賀俊治 慶應義塾大学 理工学部 教授

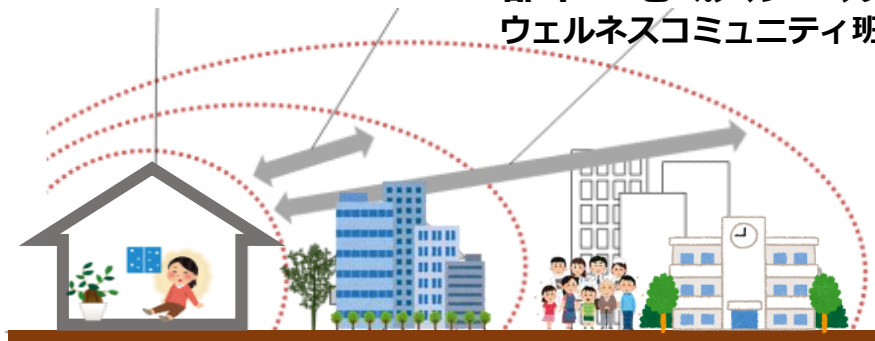
日本建築学会 副会長/SDGs対応推進特別調査委員会 委員長/脱炭素建築・都市タスクフォース 主査
文科省・国交省：学校ゼロエネルギー化推進方策検討委員会 委員

文科省：学校施設の在り方に関する調査研究協力者会議 新しい時代の学校施設検討部会 委員

国交省・経産省・環境省：脱炭素社会に向けた住宅・建築物における省エネ対策等のあり方検討会 委員

脱炭素・ウェルネス建築の推進を支援

人体・部屋スケール ウェルネスハウス班
建物スケール ウェルネスオフィス班
都市・地域スケール ウェルネスコミュニティ班



ウェルネスオフィス班

実測や被験者実験を通して
執務者の知的生産性を向上させる環境を探求
キーワード：知的生産性、作業効率、放射・対流空調...etc.



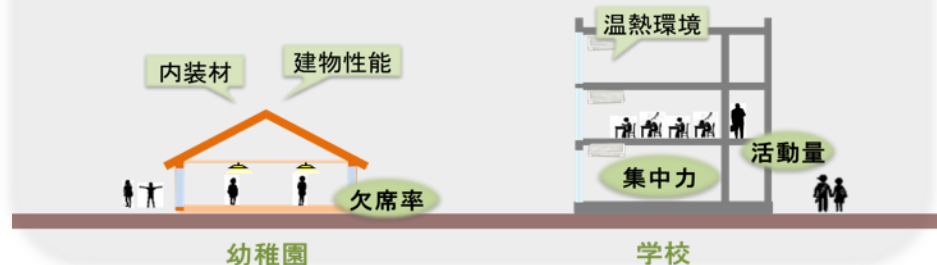
ウェルネスハウス班

実測調査、統計分析を通じて省エネかつ
幅広い年代の健康長寿を実現する住まいを探求
キーワード：睡眠、ライフスタイル、血圧、身体活動、疾病
... etc.



ウェルネスコミュニティ班

実測調査、データ収集を通じて健康促進に寄与する
幼稚園・学校・地域コミュニティを探求
キーワード：身体活動、学習効率、欠席率 ... etc.

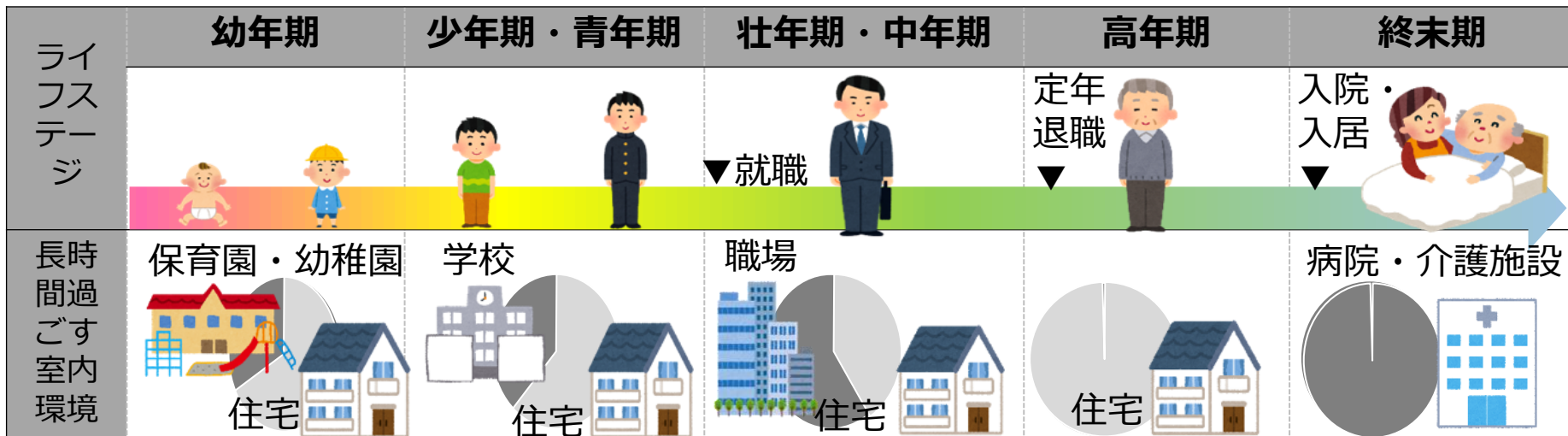
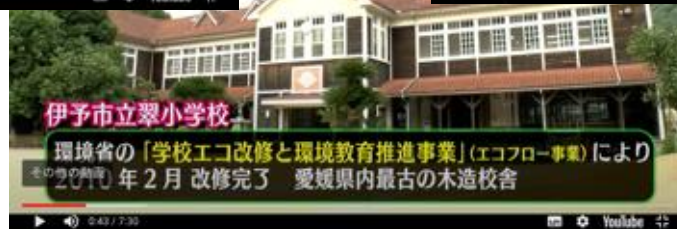


これまでの研究：木材LCA、建物LCA、建築分野CO₂排出量の2050年推計

構成員：修士10名+学部6名+研究員3名+秘書2名=計21名

脱炭素・ウェルネス建築の推進を支援

1



科研費基盤研究(S) 住環境が脳・循環器・呼吸器・運動器に及ぼす影響実測と疾病・介護予防便益評価 (研究代表者：伊香賀俊治) 2017-2021年度



学校施設脱炭素化の背景 最新政策

2020.10 「2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」
菅前総理所信表明演説

2020.11 「気候非常事態宣言」決議案衆参両院で可決

2021.01 「日本建築学会気候非常事態宣言」→脱炭素都市・建築TFへ

2021.03 「日本建築学会SDGs宣言」

2021.03 「住生活基本計画（全国計画）」閣議決定

2021.04 「建築物省エネ法」建築士による省エネ基準適合の説明義務施行

2021.05 「地球温暖化対策推進法改正」（2030年46%削減、2050年脱炭素）

2021.07 「CASBEE-戸建／CASBEE-建築／CASBEE-不動産
2021年SDGs対応版」公開

2021.07 「**カーボンニュートラル達成に貢献する大学等コアリション**」^{設立}
（188の国公立大学、大学共同利用機関、高等専門学校、研究機関等が参加）

2021.08 「脱炭素社会に向けた住宅・建築物における省エネ対策等の
あり方・進め方」公表（国交省・経産省・環境省合同）

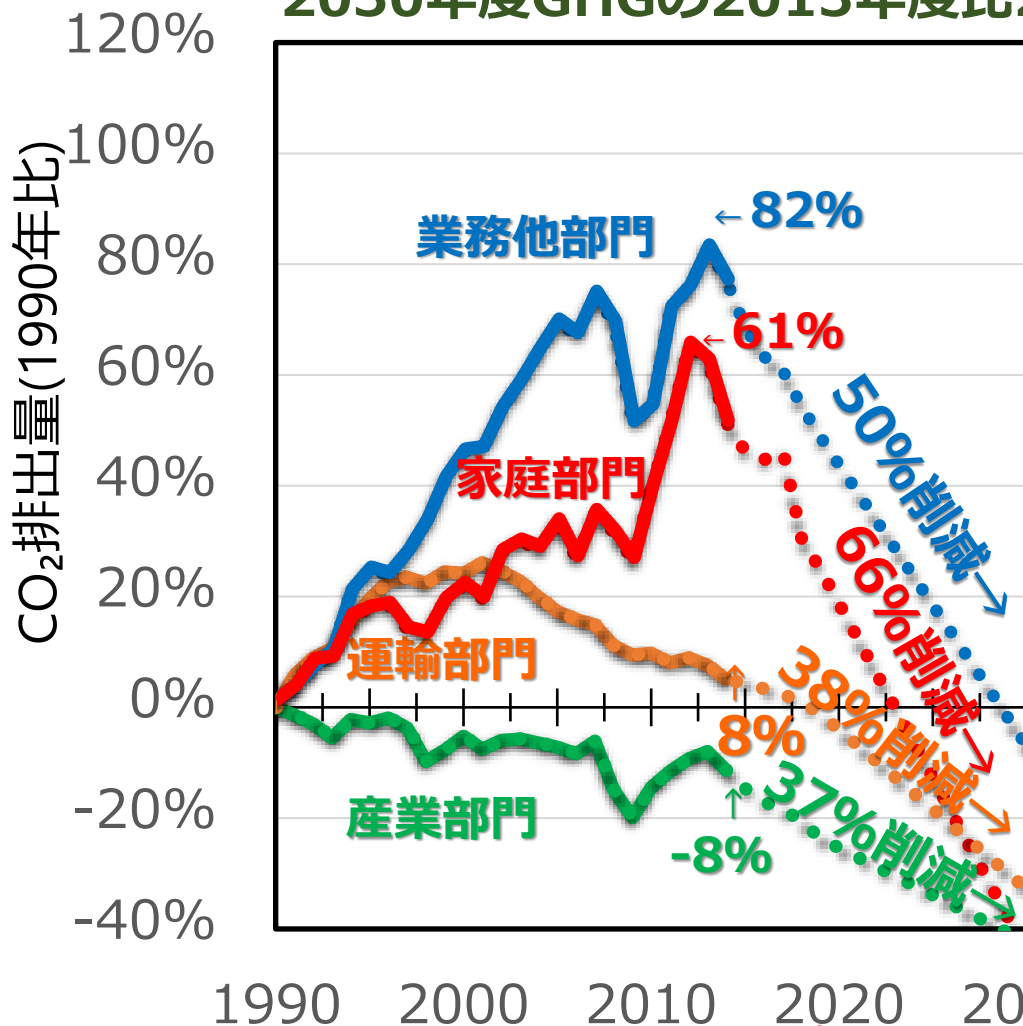
2021.10 「エネルギー基本計画」閣議決定

2022.03 「新しい時代の学びを実現する学校施設の在り方について」最終報告

2022.04 「建築物省エネルギー法改正案」閣議決定(4/22)→今国会審議へ

学校施設脱炭素化の背景

2030年度GHGの2013年度比26%削減→46%削減へ



梶原町総合庁舎 LCCO₂ 60%

設計：慶應義塾大学（隈 研吾教授、伊香賀教授ほか）



慶應型共進化住宅 LCCO₂ 0%

設計：慶應義塾大学（池田靖史教授、伊香賀教授ほか）



文1 国立環境研究所 温室効果ガスインベントリオフィス：日本の温室効果ガス排出量データ(1990-2014)

文2 気候変動に関する政府間パネル（IPCC）WG 3 第5次報告書（2014.4）第9章 建物

2020年10月「2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」とした菅首相所信表明演説に続き、11月には衆参両院で「気候非常事態宣言」決議案可決、2021年5月「地球温暖化対策推進法」改正（2030年のGHG 46%削減）

学校施設のエネルギー消費の特徴

エネルギー消費の特徴

- ①照明のエネルギー消費量の比率が大きい
- ②冷房よりも暖房におけるエネルギー消費量が多い



学校のエネルギー消費源の7割以上が電力由来。

東京地域でモデル学校における年間エネルギー消費量の構成は、照明45%、暖房22%、換気14%、冷房4%、その他（コンセント、給湯、コピー機等）15%

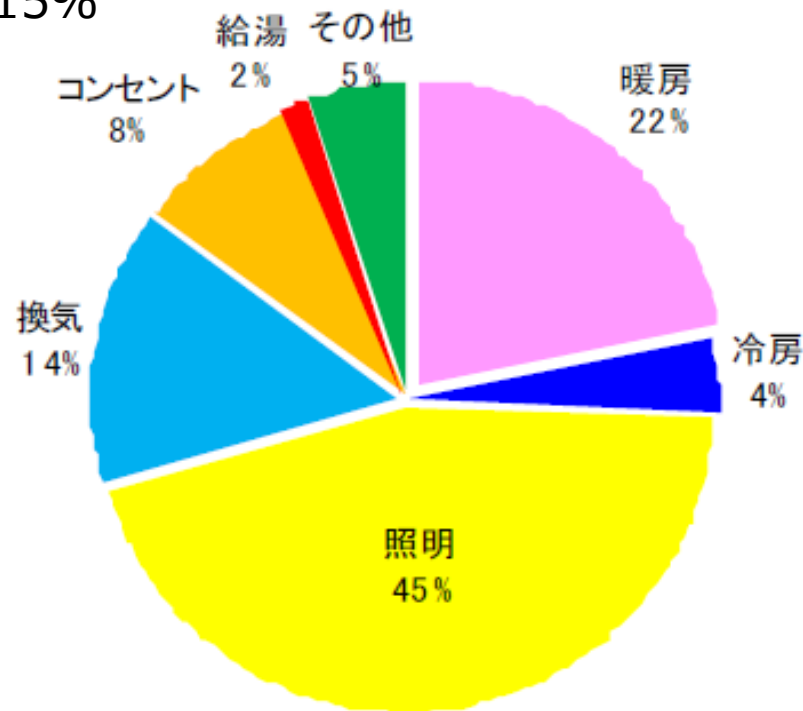
建築的な特徴

- ①低層建築が多い
- ②延べ床面積に対する窓面積の比率が高い
- ③空間的な連続性（教室と共用部等）が高い
- ④天井が高い



利用上の特徴

- ①使用時間が短い
- ②冷房の期間が短い
- ③児童生徒等の移動に伴い、室の使用時間が多様
- ④スポーツ施設を有する
- ⑤利用者側に設備の技術専門家がない



学校施設のエネルギー消費量（年間）の内訳例

出典： 文部科学省・国土交通省 学校ゼロエネルギー化推進方策検討委員会報告書・同パンフレット、2012年7月

学校施設ゼロエネ・脱炭素化のポイント

1

ゼロエネルギー化を目的として、建築・設備の統合的工夫が必要なパッシブ技術や室内の快適性を確保しながら省エネを図る設備項目に加えて、大規模な太陽光発電設備の導入を想定

1-1 【共通】屋根・外壁の高断熱化

2-1 基礎断熱化

2-2 開口部の高断熱化

2-3 開口部等の工夫による暖冷房性能の向上

2-4 自然換気を誘発する建築計画

2-5 昼光を取り入れる開口計画

1-3 【共通】高効率熱源機器等の採用

2-6 空調機器のエネルギーマネジメント

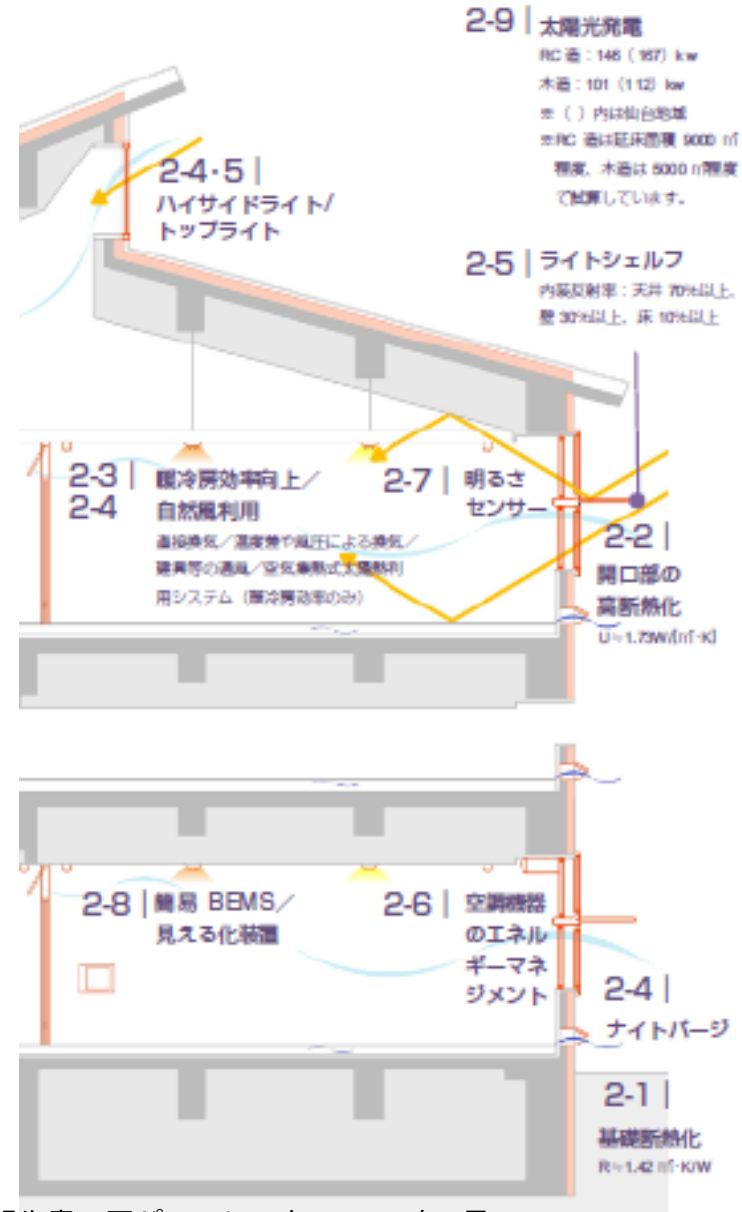
1-4 【共通】高効率照明、人感センサー

2-7 明るさセンサー

1-5 【共通】換気ルートの無駄の回避、発停制御

2-8 簡易BEMS、見える化装置

2-9 太陽光発電（大規模）



出典： 文部科学省・国土交通省 学校ゼロエネルギー化推進方策検討委員会報告書・同パンフレット、2012年7月



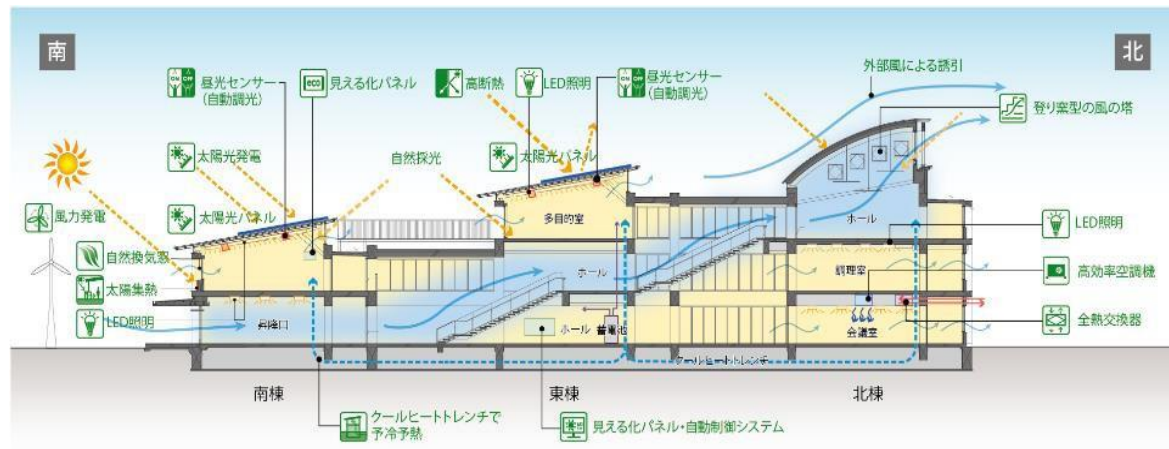
学校施設脱炭素化の参考事例

1

岐阜県瑞浪市立瑞浪北中学校

瑞浪市・日建設計・日建設計総合研究所 プレスリリース 2020.11

https://www.nikken.co.jp/ja/news/press_releasepj4urv0000002n3a-att/pj4urv0000002n47.pdf



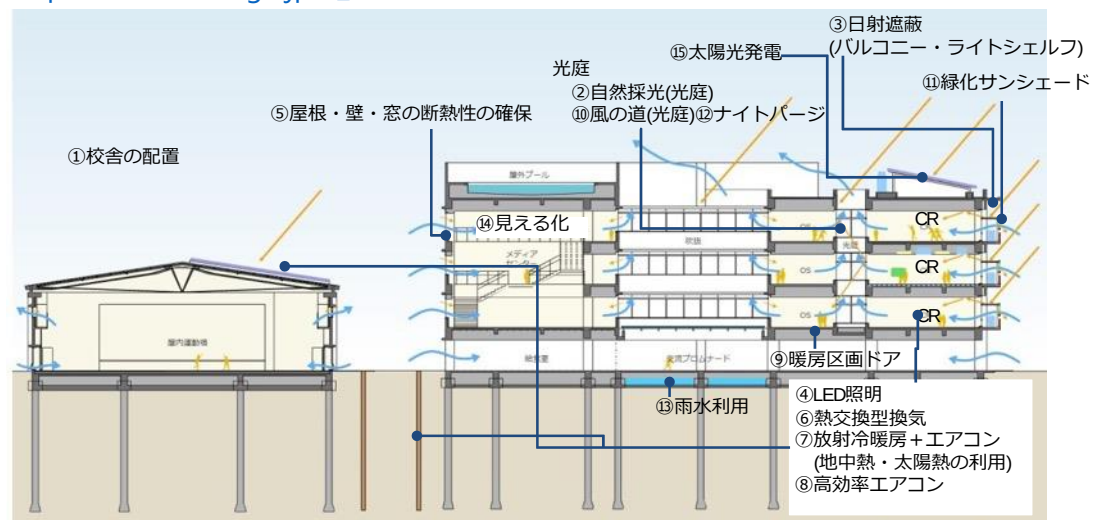
川崎市立新川崎地区新設小学校

文部科学省スーパーエコスクール実証事業の実施状況（平成26年度）

https://www.mext.go.jp/a_menu/shisetu/ecoschool/detail/1348481.htm



当初2018年度開校→2025年度開校予定に延期



<https://www.city.kawasaki.jp/880/category/9-9-7-0-0-0-0-0-0-0.html>



学校施設脱炭素化の副次効果

避難所機能向上

■宮城県山元町立山下中学校

地震直後から停電となり、时期的に気温の低い日が続きましたが、建物の断熱や太陽熱で暖めた空気を利用した暖房設備により、室温を一定に保つことができました。

（停電時の長期的な利用には、ファン動作の太陽光発電パネルが必要です。）

■千葉県鋸南町立勝山小学校

地震直後から停電となりましたが、太陽光発電設備で充電可能な蓄電池を設置していたため、停電時や夜間でも職員室で照明やテレビが使用できました。（停電時に自ら稼働する、自立運転機能付きのパワーコンディショナーが必要です。）

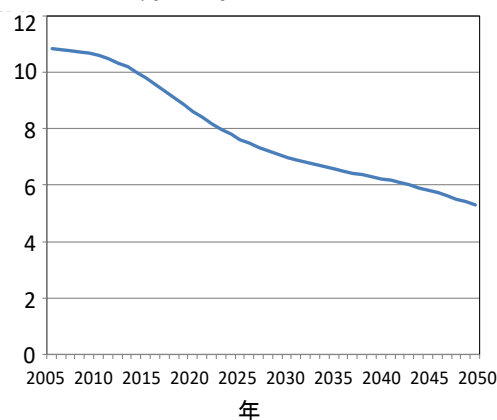


学校施設CO₂排出量の2050年推計

(1) 人口

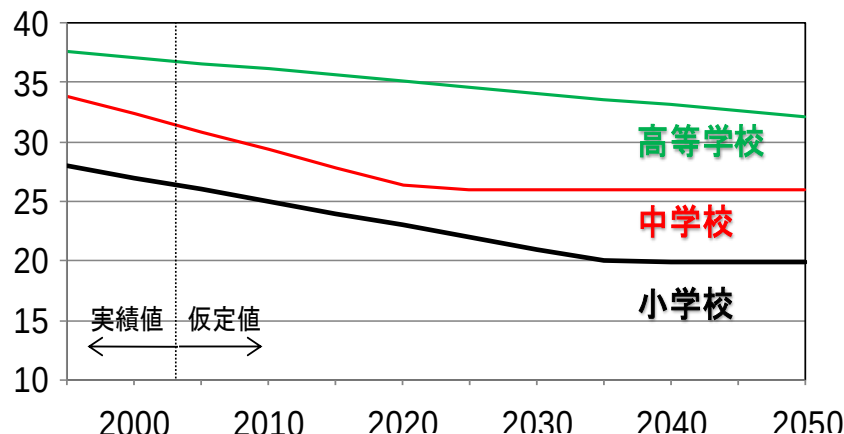
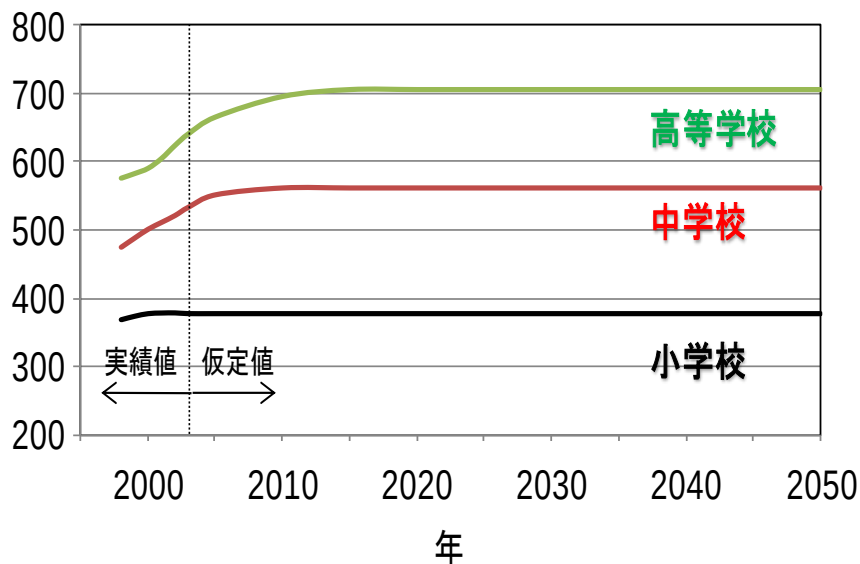
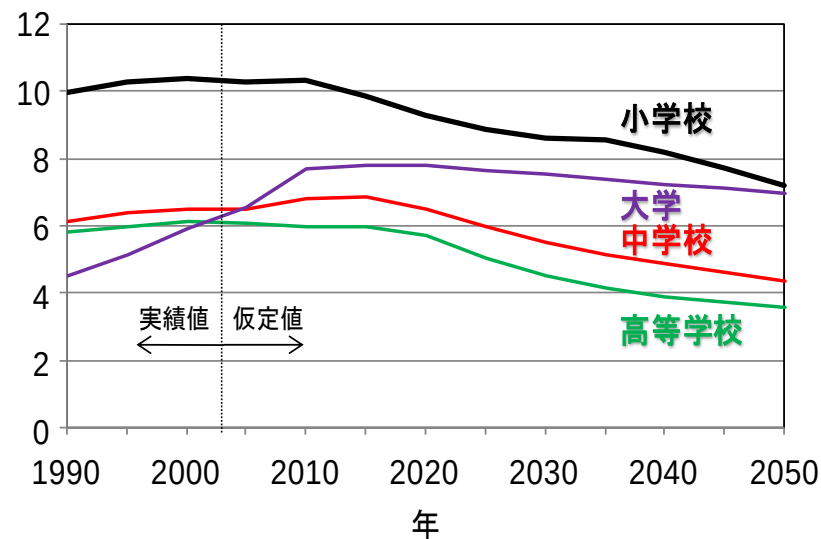
(2) 就学率

7～15歳人口, [百万人]



	2000年時
5～9歳	99%
10～14歳	100%
15～19歳	85%
20～24歳	26%
25～29歳	2%
30歳～	0%

学級規模[人/級] (3) 学級規模

学級当り床面積[m²/級] (4) 学級当り床面積ストック床面積[千万m²] (5) ストック床面積

出典：文部科学省「環境を考慮した学校施設（エコスクール）の今後の推進方策について」、
平成21年3月 学校施設整備指針策定に関する調査研究協力者会議（分析担当：伊香賀委員）

学校施設CO₂排出量の2050年推計

環境対策の内容		旧地域区分	現行標準仕様	最新環境対策	中長期環境対策(2030-2050年)
断熱	外壁等の高断熱化	I - II	屋根/外壁: 0/0mm	100/50mm	熱貫流率▲50%断熱材 (厚さ同左)
		III - IV	屋根/外壁: 0/0mm	50/25mm	熱貫流率▲50%断熱材 (厚さ同左)
		V - VI	屋根/外壁: 0/0mm	50/25mm	熱貫流率▲50%断熱材 (厚さ同左)
	開口部の高断熱化	I - IV	アルミ+単板6mm	アルミサッシカバー工法+Low-e複層	
		V - VI	アルミ+単板6mm		
昼光	ライトシールド設置	—	(新築・改修時に設置)		
機器	暖冷房機器	ガス/電気COP	1.05/2.5	1.4/4.5	1.6/6.0
	照明器具	-	FL蛍光灯40W	HF蛍光灯32W	LED照明
	節水トイレ	-	(新築・改修時に設置)		
	給湯	-	(新築・改修時に設置)		
	事務機器、PC	-	(新築・改修時に設置)		
自然	太陽光発電	-	小中学校 2007年 880校	小中学校 2020年 1.0万校 2030年 2.5万校	全校 2050年 6.0万校
	風力,地熱,バイオマス	-		新築・改修時 2割	新築・改修時 4割導入
LCCO ₂ 排出抑制	ITマテリアル	-	躯体: ポルランドセメント→高炉セメント、外壁: エルタル→PC化		
	長寿命化対策	-	躯体寿命: 65年→100年		

森林吸収・CDMは考慮していない

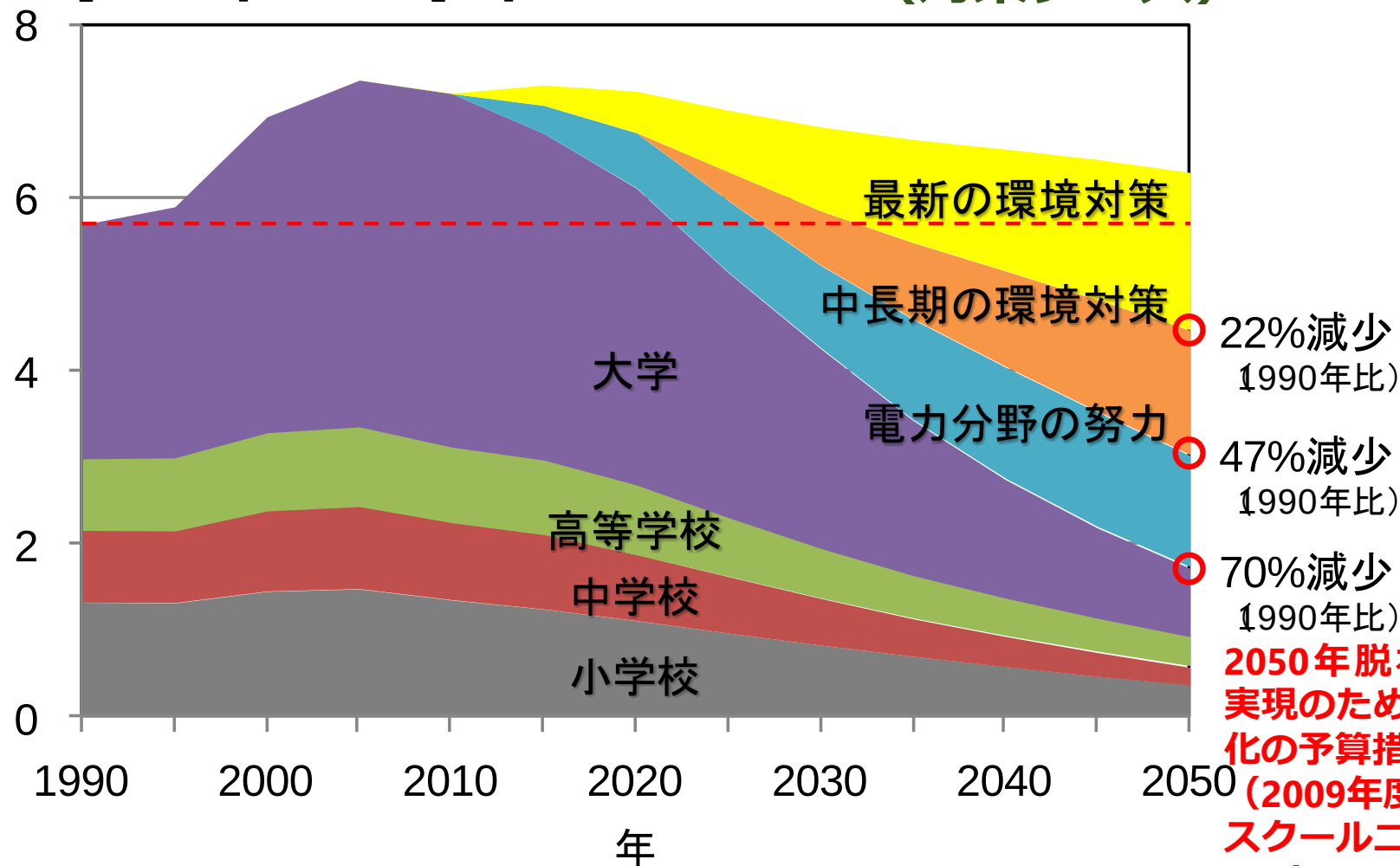
出典: 文部科学省「環境を考慮した学校施設(エコスクール)の今後の推進方策について」、
平成21年3月 学校施設整備指針策定に関する調査研究協力者会議(分析担当: 伊香賀委員)

学校施設CO₂排出量の2050年推計

1

CO₂排出量 [百万t-CO₂/年]

(対策ケース)



**2050年脱炭素社会
実現のためには対策強
化の予算措置が必須
(2009年度補正予算
スクールニューディール
(1.1兆円)などを
継続的に)**

出典：文部科学省「環境を考慮した学校施設（エコスクール）の今後の推進方策について」、平成21年3月 学校施設整備指針策定に関する調査研究協力者会議（分析担当：伊香賀委員）

新しい時代の学びを実現する学校施設

文部科学省「学校施設の在り方に関する調査研究協力者会議 新しい時代の学校施設検討部会」2022.3.30

第1章 新しい時代の学びの姿

(1) 社会情勢の変化

- ⇒社会の在り方が劇的に変わる「Society 5.0時代」の到来
- ⇒新型コロナウイルスの感染拡大など先行き不透明な「予測困難な時代」

(2) 「令和の日本型学校教育」の姿

- ⇒中央教育審議会において、新しい時代の初等中等教育の在り方を検討
- ⇒教育再生実行会議において、ポストコロナ期における新たな学びの在り方を検討

学校のICT環境が整備され、1人1台端末環境のもと、全ての子供たちの可能性を引き出す、個別最適な学びと協働的な学びの一体的な充実

(3) 「令和の日本型学校教育」の構築に向けた改革の方向性

- ・新学習指導要領の着実な実施
- ・9年間を見通した義務教育の在り方
- ・学校における働き方改革の推進
- ・地域社会や関係機関等との連携・協働
- ・GIGAスクール構想、ICTの活用
- ・多様な教育的ニーズのある児童生徒への対応
- ・少人数による指導体制の整備

第2章 学校施設の課題

(1) 新しい時代の学びへの対応の必要性

●ポストコロナ時代における学校施設という実空間の役割

- ⇒児童生徒にとって安全・安心な居場所を提供するという福祉的機能、社会性・人間性を育む社会的機能を有するなどの学校の持つ役割・在り方を再認識
- ⇒ポストコロナ時代において、子供たちがともに集い、学び、遊び、生活する学校施設という実空間の価値を捉え直す必要

●学びのスタイルの変容への対応

- ⇒ICTの活用などにより、学級単位で一つの空間で一斉に黒板を向いて授業を受けるスタイルだけでなく、学びのスタイルが多様に変容していく可能性が拡大
- ⇒空間・時間を超えて、様々な学習リソースに非同期にアクセスして学ぶことができるなど「非同期・分散」した学びのスタイルが広がり、これまでの「同期・集合」した学びのスタイルと往還する場面が展開されていく可能性も拡大

(2) ~ (4) 学校施設等における現状と課題

- ・これまでの学校施設の計画、教室面積、多目的スペース、空調設備の整備状況 等
- ・防災・減災、国土強靱化、耐震対策・老朽化した施設の実態、維持管理 等
- ・国・地方の財政状況、適正規模・適正配置等の実態、複合化・集約化の状況 等

第3章 新しい時代の学びを実現する学校施設の在り方

新しい時代の学びを実現する学校施設の姿（ビジョン）

Schools for the Future

「未来思考」で実空間の価値を捉え直し、学校施設全体を学びの場として創造する

「未来思考」の視点

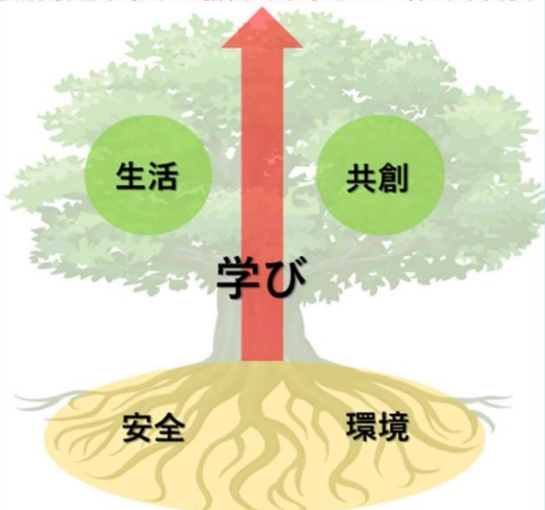
- ① 学校は、教室と廊下それ以外の諸室で構成されているものという**固定観念から脱し、学校施設全体を学びの場として捉え直す**。廊下も、階段も、体育館も、校庭も、あらゆる空間が学びの場であり、教育の場、表現する場、心を育む場になる。
- ② 教室環境について、**単一的な機能・特定の教科等に捉われず、横断的な学び、多目的な活動に柔軟に対応していく視点（柔軟性）**をもつ。
- ③ 紙と黒板中心の学びから、1人1台端末を文房具として活用し多様な学びが展開されていくように、学校施設も、**画一的・固定的な姿から脱し、時代の変化、社会的な課題に対応していく視点（可変性）**をもつ。
- ④ どのような学びを実現したいか、そのためにどんな学び舎を創るか、それをどう生かすか、**関係者が、新しい時代の学び舎づくりのビジョン・目標を共有する**。

出典：文部科学省 https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shisetu/044/toushin/1414523_00004.htm

新しい時代の学びを実現する学校施設の在り方 5つの方向性

1

全ての子供たちの可能性を引き出す、
個別最適な学びと協働的な学びの一体的な充実



新しい時代の学び舎として目指していく姿

「未来思考」をもった上で、「全ての子供たちの可能性を引き出す、個別最適な学びと協働的な学びの一体的な充実」に向けて、これからの新しい時代の学び舎として目指していく姿を示す。

新しい時代の学び舎として創意工夫により特色・魅力を発揮するものとして、その中心となる「幹」に『学び』を据え、その学びを豊かにしていく「枝」として『生活』『共創』の空間を実現する。

また、新しい時代の学び舎の土台として着実に整備を推進していく「根」として『安全』『環境』の確保を実現する。

【新しい時代の学び舎として創意工夫により特色・魅力を発揮】

学び

個別最適な学びと協働的な学びの一体的な充実に向け、柔軟で創造的な学習空間を実現

- ⇒ 1人1台端末環境等に対応した机を配置し、多様な学習を展開できる教室環境の整備
- ⇒ 個別学習や少人数学習など柔軟に対応できる多目的スペース、学習支援、教育相談等の環境整備
- ⇒ 教職員のコミュニケーション・リフレッシュの場（ラウンジ）、映像編集空間（スタジオ）の整備

（教室・教室周辺の空間の改善・充実に関する創意工夫の例）



1人1台端末環境等に対応したゆとり
のある教室の整備



多目的スペースの活用による多様な
学習活動への柔軟な対応



ロッカースペース等の配置の工夫等
による教室空間の有効活用

生活

新しい生活様式を踏まえ、健やかな学習・生活空間を実現

- ⇒ 居場所となる温かみのあるリビング空間（小教室・コーナー、室内への木材利用）
- ⇒ 空調設備の整備、トイレの洋式化・乾式化、手洗い設備の非接触化

共創

地域や社会と連携・協働し、ともに創造する共創空間を実現

- ⇒ 地域の人たちと連携・協働していく活動・交流拠点として「共創空間」を創出
- ⇒ 地域の実情等に応じた他の公共施設等との複合化・共用化等

【新しい時代の学び舎の土台として着実に整備を推進】

安全

子供たちの生命を守り抜く、安全・安心な教育環境を実現

- ⇒ 老朽化対策等により、安全・安心な教育環境を確保
- ⇒ 避難所として自家発電・情報通信設備、バリアフリー、水害対策等の防災機能を強化

環境

脱炭素社会の実現に貢献する、持続可能な教育環境を実現

- ⇒ 屋根や外壁の高断熱化や高効率照明などの省エネルギー化、太陽光発電設備の導入の促進により、ZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）を推進
- ⇒ 環境や地域との共生の観点から学校における木材利用（木造化、室内利用）を推進

出典：文部科学省 https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shisetu/044/toushin/1414523_00004.htm

新しい時代の学びを実現する空間イメージ

1

学び



単一的な機能・特定の教科等に捉われず、横断的な学び、多目的な学びに対応できるよう、創造的な空間に転換していく姿

学び



学校図書館とコンピュータ教室と組み合わせ、読書・学習・情報のセンターとなる「ラーニング・コモンズ」としていく姿

学び



教室と連続する空間も活用し、高機能のコンピュータ室を専門的で高度な学びを誘発する「デザインラボ」としていく姿

学び



映像編集やオンライン会議のためスタジオ、情報交換や休息ができるラウンジなど、円滑に業務を行える執務空間としていく姿

生活



木材を活用し温かみのあるリビングのような空間の中で、壁面の工夫やベンチ等を配置し、豊かな学び・生活の場としていく姿

共創



地域コミュニティの拠点として、地域や社会の人たちと連携・協働し、ともに創造的な活動が展開できる共創空間としていく姿

安全



長く使い続けることができるように安全性を確保し、子供たちの学び・生活の場、地域のコミュニティの拠点としていく姿

環境



省エネルギー化や再生可能エネルギーを導入等を積極的に進め、環境教育での活用や地域の先導的役割を果たしていく姿

出典：文部科学省 https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shisetu/044/toushin/1414523_00004.htm

Ikaga Lab., Keio University

15

新しい時代の学びを実現する学校施設

第4章 学校設置者における推進方策

今後も増加する膨大な老朽化施設の現状等を踏まえ、教育環境向上と老朽化対策を一体的に図る長寿命化改修等を積極的に推進していくことをはじめとした具体的な方策を提言

(1) 長寿命化改修を通じた、新しい時代の学びを実現する教育環境向上と老朽化対策の一体的な推進

- 安全・安心な教育環境を確保しつつ、新しい時代の学びを実現していくため、長寿命化改修等を通じ、教育環境向上と老朽化対策の一体的な整備を積極的に推進

(2) 首長部局と協働した、中長期的視点からの計画的・効率的な整備の推進

- 教育委員会と、まちづくり部局や財政部局、環境部局、防災部局等の首長部局との横断的な検討体制を構築
- 中長期的な将来推計を踏まえ、計画的・効率的な施設整備を推進（将来変化に柔軟に対応できる施設、将来的な他用途への転用、複合化・共用化等）

(3) 多様な整備手法等の活用と、施設整備と維持管理の着実な推進

- PPP/PFI手法を含め、民間活力を活用した施設整備・維持管理を積極的に推進
- 計画的に施設の点検・修繕等を行い、不具合を未然に防止する「予防保全」型の管理へと転換

(4) 学校関係者等の参画による豊かな学びの環境整備の推進

- 学校施設の計画・設計において、学校設置者と設計者だけでなく、新しい学びの担い手である学校の教職員など関係者が参画した施設づくりを促進、プロポーザル方式の導入推進等

第5章 国における推進方策

新しい時代の学びを実現する学校施設の整備を着実に進めるための具体的な方策を提言

(1) 新しい時代の学びを実現する学校施設整備の方向性（目標水準）の提示

- 2020年代を通じて目指す、新しい時代の学びを実現する学校施設整備の方向性を目標水準として整理

(2) 教育環境向上と老朽化対策の一体的整備の事例収集・分析

- 長寿命化改修等を通じ、教育環境向上と老朽化対策を一体的に整備している好事例について、ボトルネックとなる課題の解決策とあわせて積極的に周知

(3) 学校施設整備のための財政支援制度の見直し・充実

- 安定的・継続的な予算確保
- 国庫補助単価を含めた財政支援制度の更なる見直し・充実

(4) 新しい時代の学びを実現する学校施設整備の技術的支援の充実

- 学校施設整備・活用のためのプラットフォームを構築（事例・ノウハウの発信、専門家派遣等）
- 先導的モデル研究等を通じた新たな学校施設モデルの提示

(5) 学校施設整備指針の改訂

(6) 普及啓発、適切なフォローアップと更なる調査研究等の実施

子供たちにとって「明日また行きたい学校」となるために、そこに集う人々にとっても「生き生きと輝く学校」となるために

出典：文部科学省 https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shisetu/044/toushin/1414523_00004.htm

温熱環境改善による体調不良・集中力の向上

工コ改修実施校の改修前後調査をした愛媛県I市・Y市の公立小学校（12）

	A _前 小	A _後 小	A _仮 小	B小	C小	D小	E _前 小	E _後 小	E _仮 小	F小	G小	H小
躯体	木造		プレハブ	RC造			木造		プレハブ	RC造		
竣工年	1933	2010	2009	1978	1989	1984	1956	2009	2008	1971	1983	2004
立地条件	沿岸～山間の中間地域			中心地域	山間地域	沿岸地域	山間地域			中心地域	山間地域	中心地域
児童教職員	13 4	13 7	13 8	361 13	15 4	35 10	16 4	17 5	17 10	74 14	50 8	64 7

A小 木造・築79年⇒徹底的な工コ改修



B小 RC造・一般的



H小 RC造・木質内装



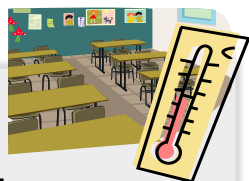
柳井 悠希、伊香賀 俊治、川久保 俊：教室環境の質が児童の体調と集中力に与える影響に関する実態調査、日本建築学会環境系論文集、Vol.77 No.676、pp.533-539、2012.6

Ikaga Lab., Keio University (Satoko AKUTSU, Yuki YANAI)

温熱環境改善による体調不良・集中力の向上

2

教室環境



代表教室+外気
環境の質を測定

測定項目		測定方法
温熱	空気温度	期間中 連続記録
	相対湿度	
	グローブ温度	代表日に 連続記録
	平均気流速度	
光	机上面照度	代表日に 定時記録 (午前・午後)
音	暗騒音レベル	
空気質	CO ₂ 濃度	

CASBEE学校による評価を実施※1

知覚・満足度

5,6年生児童 (N=688)
環境に対する知覚・満足度

質問項目		回答形式 (段階尺度)
温熱	教室の暑さ／寒さ	暑い～寒い (5)
	：	：
光	机の上の明るさ	明るい～暗い (5)
音	教室のうるささ	気になる～全く気にならない (4)
空気質	教室のほりっぽさ	：
空間	教室の広さ	広い～狭い (5)
総合	学習・生活のしやすさ (満足度)	満足～不満 (5)

児童が理解可能・回答可能な項目

健康・学習効率



教職員 (N=94)
担当児童の体調・集中力

質問項目		回答形式 (段階尺度)
温熱	教室の暑さ／寒さ	暑い～寒い (5)
	：	：
空間	教室の広さ	広い～狭い (5)
総合	授業・生活のしやすさ (満足度)	満足～不満 (5)
担当児童	体調不良の訴え	よくある～全くない (4)
	集中力の欠如	

多くの学校で実施可能な方法※3かつ
教職員が客観的に評価可能な項目

夏季：2010.7～2010.9※2

冬季：2010.12～2011.2※2

夏季：2010.9月上旬～2010.9下旬

冬季：2011.2中旬～2011.3初旬

※1 測定結果+現地での目視・ヒアリング・各種設計図書の調査結果に基づき実施

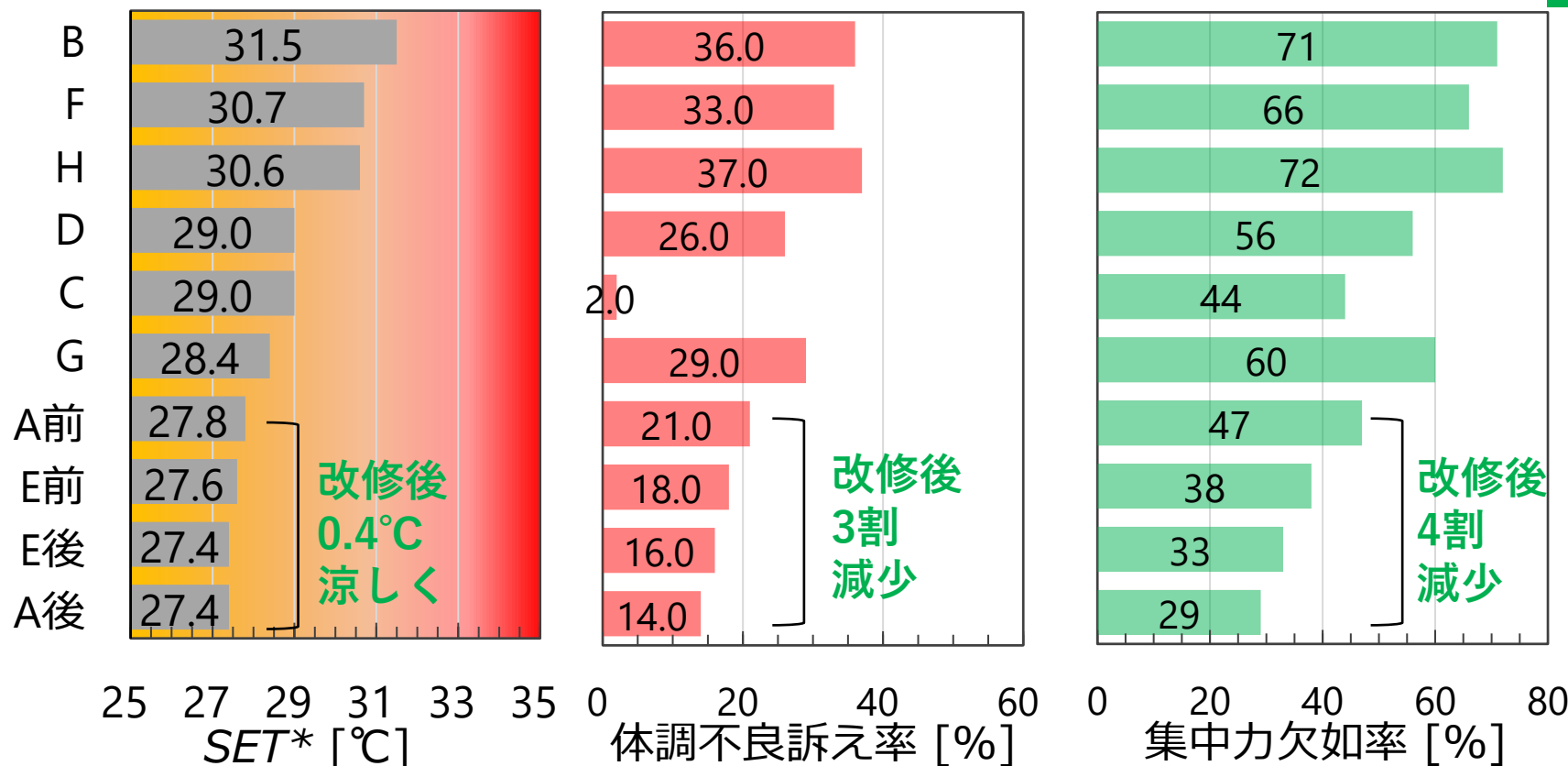
※2 A_前小、E_前小は2007～2008年度、A_仮小は2009年度の調査結果を使用 E_仮小は非実施

※3 生理量の測定や学力テストの実施等、倫理的な問題を伴わない方法

柳井 悠希、伊香賀 俊治、川久保 俊：教室環境の質が児童の体調と集中力に与える影響に関する実態調査、日本建築学会環境系論文集、Vol.77 No.676、pp.533-539、2012.6

夏の温熱環境改善による体調不良・集中力向上

2



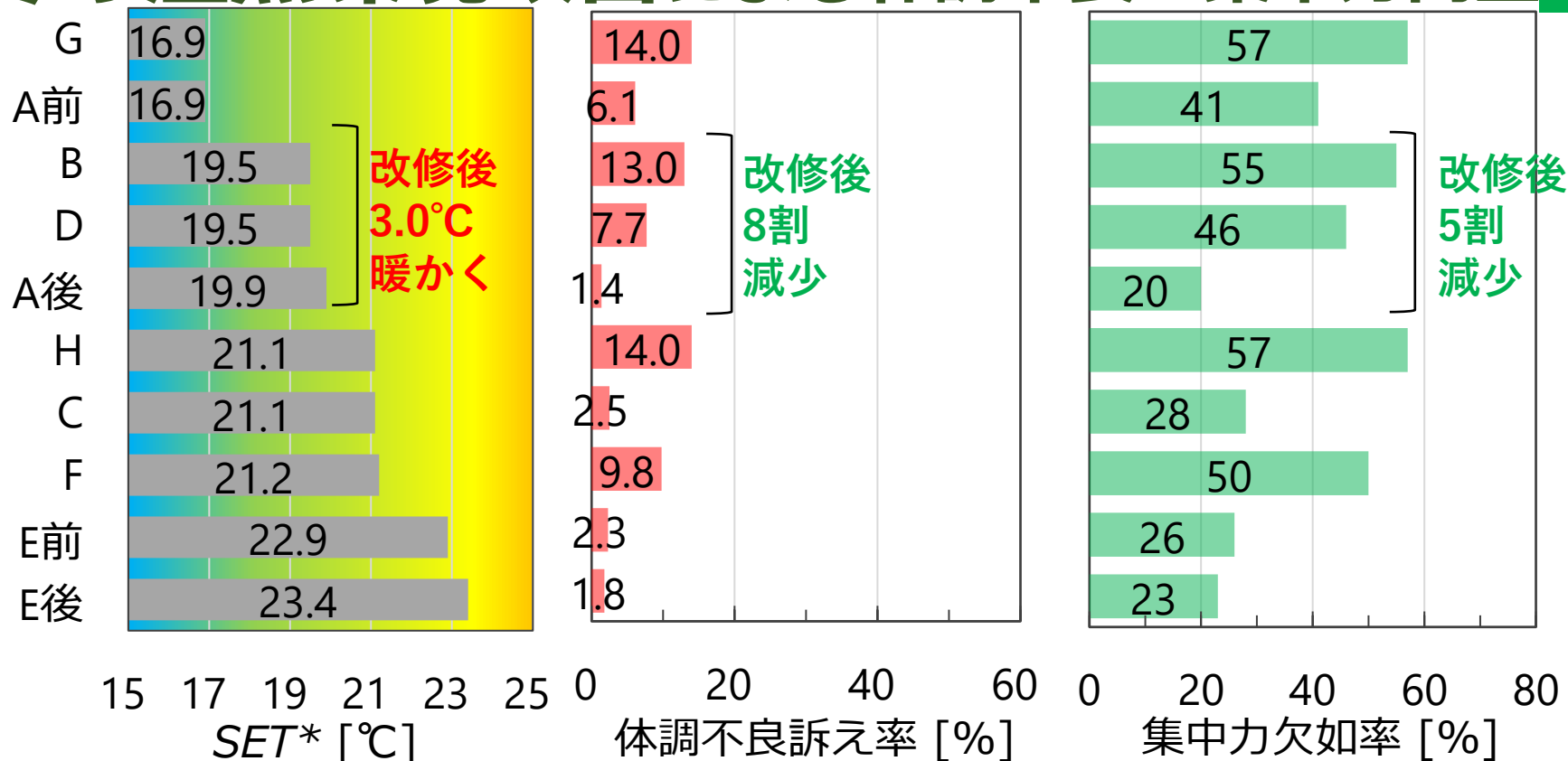
工コ改修実施校の改修前後調査とした愛媛県I市・Y市の公立小学校（8校・延べ12校）

	A前小	A後小	A仮小	B小	C小	D小	E前小	E後小	E仮小	F小	G小	H小
躯体	木造		S造	RC造			木造		S造	RC造		
竣工	1933	2010	2009	1978	1989	1984	1956	2009	2008	1971	1983	2004
立地条件	沿岸～山間の中間地域			中心地域	山間地域	沿岸地域	山間地域			中心地域	山間地域	中心地域
児童	13	13	13	361	15	35	16	17	17	74	50	64
教職員	4	7	8	13	4	10	4	5	10	14	8	7

標準新有効温度SET*は、相対湿度50%、椅子に座った状態、着衣量0.6clo（夏）/1.0clo（冬）、風速0m/sの環境と等価な快適性が得られる温度

冬の温熱環境改善による体調不良・集中力向上

2



工コ改修実施校の改修前後調査とした愛媛県I市・Y市の公立小学校（8校・延べ12校）

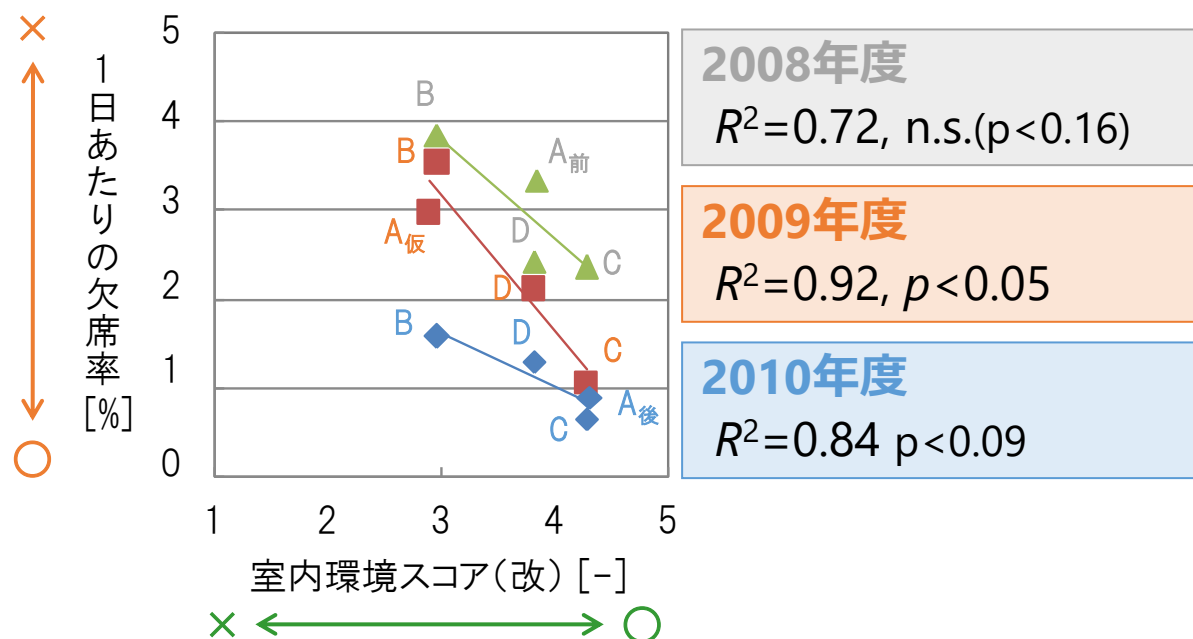
	A _前 小	A _後 小	A _仮 小	B小	C小	D小	E _前 小	E _後 小	E _仮 小	F小	G小	H小
躯体	木造		S造	RC造			木造		S造	RC造		
竣工	1933	2010	2009	1978	1989	1984	1956	2009	2008	1971	1983	2004
立地 条件	沿岸～山間の 中間地域			中心 地域	山間 地域	沿岸 地域	山間地域			中心 地域	山間 地域	中心 地域
児童	13	13	13	361	15	35	16	17	17	74	50	64
教職員	4	7	8	13	4	10	4	5	10	14	8	7

標準新有効温度SET*は、相対湿度50%、椅子に座った状態、着衣量0.6clo（夏）/1.0clo（冬）、風速0m/sの環境と等価な快適性が得られる温度

冬の温熱環境改善による病欠の減少

- * 対象： Step1の調査対象校の一部（I市の4校：A小～D小）
- * 内容： 過去3年分（2008～2010年度）の**1日あたりの欠席者数データ**
- * 目的： 児童の**健康**への影響に関して客観的なデータを用いた検証

◆ 冬期※（年によってインフルエンザ等の影響の大きさが異なる→年ごとに比較）



室内環境スコアが高い
ほど欠席者率が低い
傾向

※ 12月～3月とする（ただし、2009年度は2月半ばでA_仮小→A_後小に切り替わるため、12月～1月とした）
また、夏期は欠席者率が全体的に低く、比較困難

温熱環境改善による体調不良・集中力向上

2

改修前



改修後



仮設校舎



古紙再生断熱材



木製気密サッシ+複層ガラス



階段室の防寒間仕切り



復活した小屋裏換気口



自然採光用光ダクト



木造校舎耐震改修



ペレットストーブ



太陽光発電・風力発電



エコデッキと太陽熱パネル



発電量・消費量表示

環境省「学校エコ改修と環境教育推進事業」採択、愛媛県内最古の築77年の木造小学校の耐震・エコ改修（2010年2月末改修完了）

床面積2740㎡

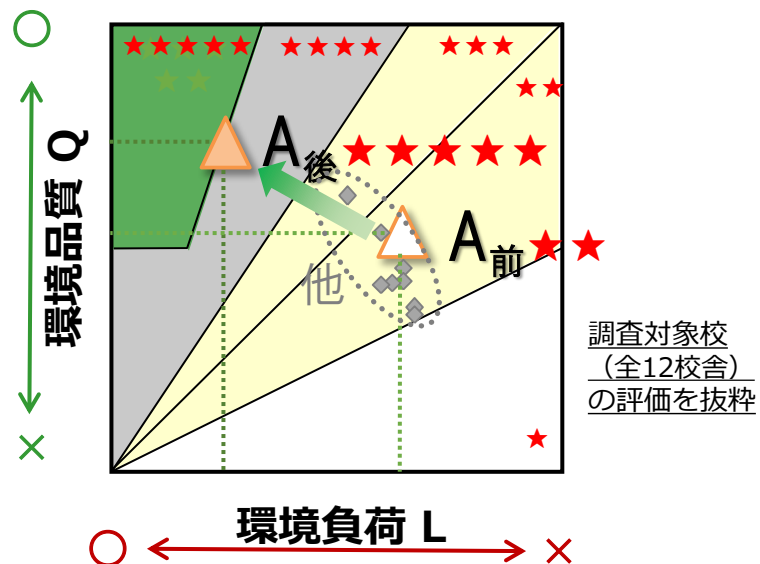
資料提供：伊予市立翠小学校エコ改修事務局+上野 貴建築研究所

Ikaga Lab., Keio University (Satoko AKUTSU, Yuki YANAI) 伊香賀研・科研費紹介サイト <https://ikaga-healthy-life.jp/ja/>

22

温熱環境改善による体調不良・集中度向上

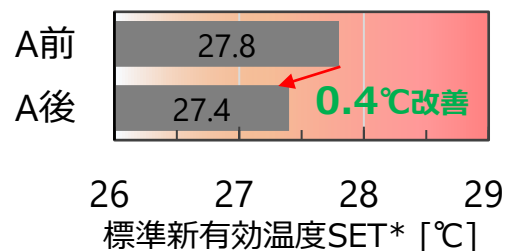
CASBEE-学校による総合環境評価



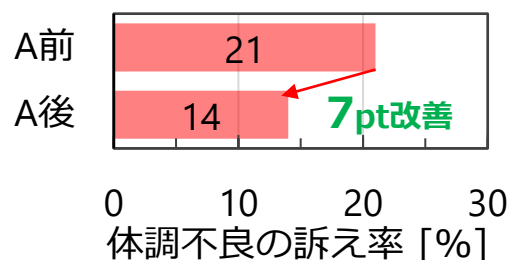
文部科学省：学校施設における総合的な環境性能評価手法 - CASBEE学校評価マニュアル〔2010〕 - , 2010.9

Built Environment Efficiency
(環境性能効率)
= Q (環境品質) / L (環境負荷)

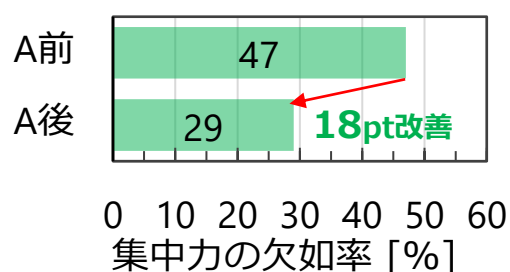
温熱環境の改善 夏季



体調不良の改善

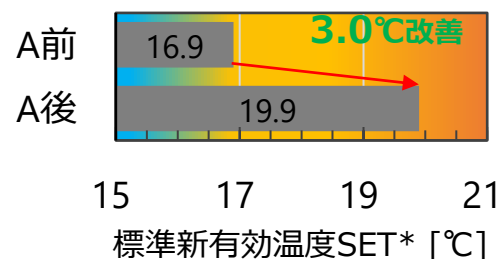
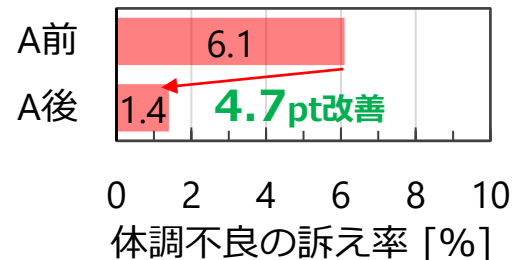
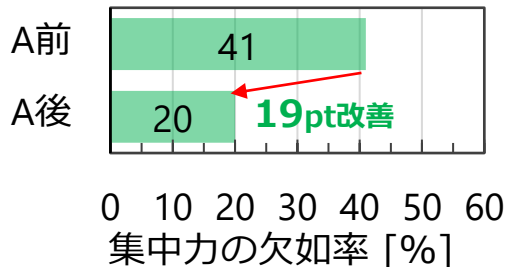


授業への集中力の改善



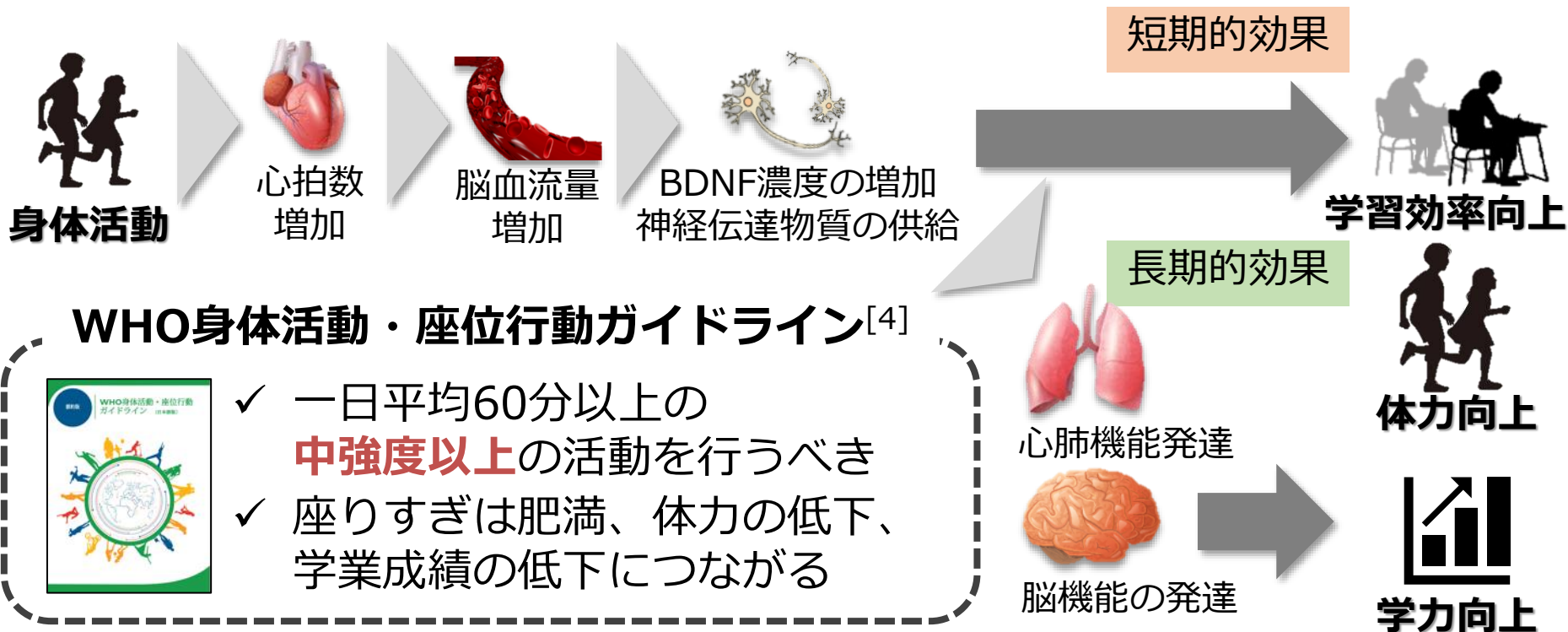
標準新有効温度SET*は、相対湿度50%、椅子に座った状態、着衣量0.6clo (夏) / 1.0clo (冬)、風速0m/sの環境と等価な快適性が得られる温度

冬季



体力と学力を向上する学校施設計画

- ◆ グローバル化や少子高齢化、技術革新により、初等中等教育における「健やかな心身の育成」、「確かな学力の育成」が重要視される^[1] ⇒ **近年、身体活動促進による学習効率・体力の向上効果が報告^[2, 3]**



子どもの身体活動促進と座位行動時間削減の必要性

[1] 文部科学省, 第3期教育振興基本計画, 2019.06.15. [2] 森村和浩ら, 身体活動を促す短時間の取り組みと体力・身体活動水準の関係～小学生を対象とした横断研究～, 体育科学 第63巻 第5号 455-461, 2014. [3] Raley JJ, 脳を鍛えるには運動しかない!, 日本放送出版協会 東京, 2009.

[4] World Health Organization (WHO), WHO GUIDELINES ON PHYSICAL ACTIVITY AND SEDENTARY BEHAVIOUR, 2020.

体力と学力を向上する学校施設計画

教室環境

空間計画

校庭環境

換気量・方式や室温といった
室内環境質と
快適性、集中力、論理的思考力、
学習成績の関連^[3-7]

身体活動を誘発する空間計画による
座位行動時間の減少、
軽強度身体活動時間の増加^[2]

遊び場や自然・芝生スペース、校庭の形状等、
屋外環境の整備による児童の外遊び促進^[1]

⇒校舎内の施設環境と身体活動に関する検討は僅少

⇒教室環境・身体活動と学習効率の因果関係に関する包括的検討は僅少

[1] 西川華乃子, 小学校の施設計画と児童の身体活動に関する多変量解析, 慶應義塾大学2016年修士論文. [2] Jeri Brittinら, Impacts of active school design on schooltime sedentary behavior and physical activity : A pilot natural experiment, PLOS ONE, 2017. [3] N. P. Sensharmaand J. E. Woodsら, An Extension of a Rational Model for Evaluation of Human Responses, Occupant Performance, and, Productivity, Healthy Buildings, Espoo, Finland, Workshop 9, 2000. [4] Manoj Kumar Singhら, Progress in thermal comfort studies in classrooms over last 50 years and way forward. Energy Build. 2019; 188-189: 149-174. [5] 亀田健一ら, 室内環境質が学習意欲ならびに学習効率に与える影響—学習環境におけるプロダクティビティ向上に関する研究 (その3) —, 日本建築学会環境系論文集, 2009. [6] Usha Satishら, Is CO₂ an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO₂ Concentrations on Human Decision-Making Performance. Environ Health Perspect. 2012; 120(12): 1671-1677. [7] Yanfeng Liuら, The indoor thermal environment of rural school classrooms in Northwestern China. Indoor Built Environ. 2016; 26(5): 662-679. [8] Ratey JJ, 脳を鍛えるには運動しかない!, 日本放送出版協会 東京, 2009.

体力と学力を向上する学校施設計画

Step 1

小学校調査

校庭環境に着目し、活発な活動を促す環境要因を検討

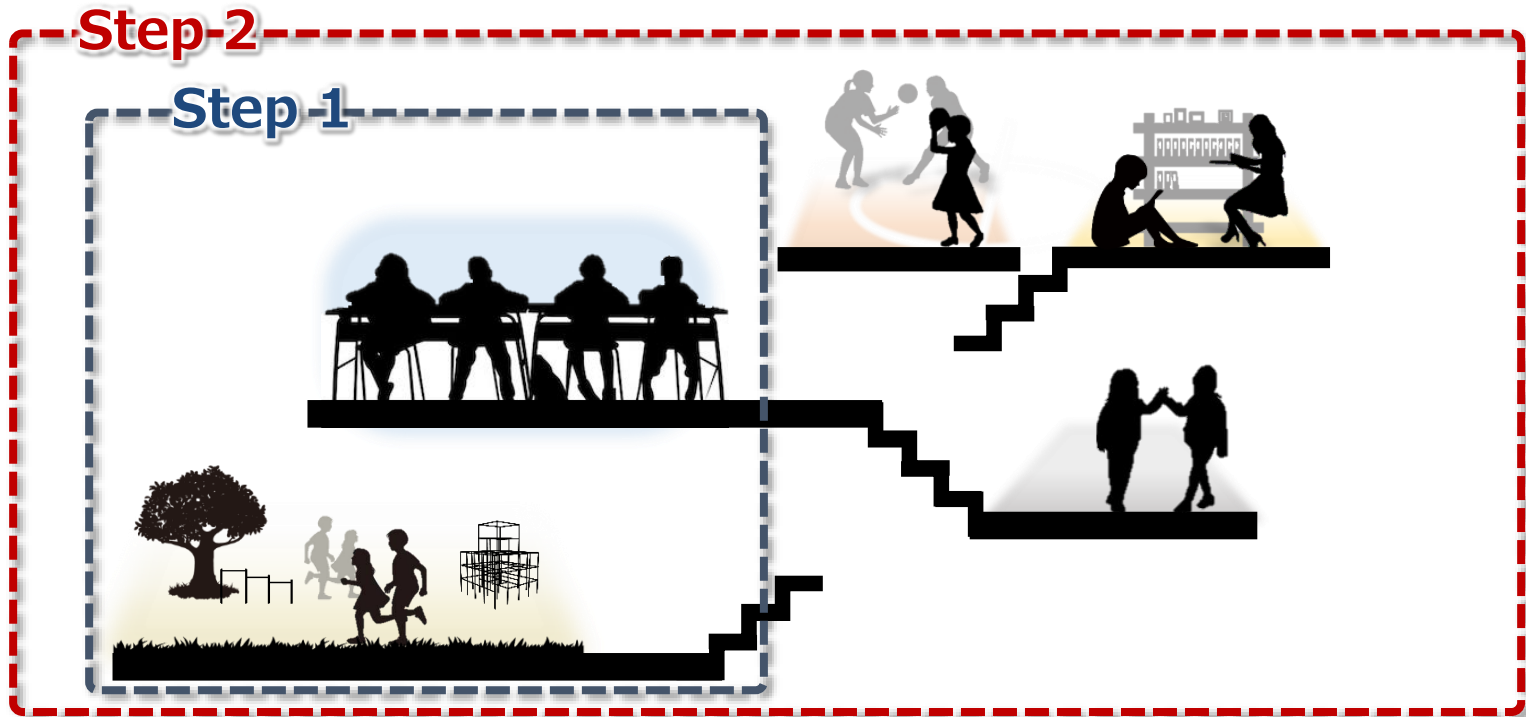
Step 2

中学校調査

学校施設環境と身体活動・学習効率の関連を包括的に検討

Step-2

Step-1



Step 3

校舎建て替え縦断調査

学校施設環境の変化が生徒の身体活動・学習効率に及ぼす影響を検討

体力と学力を向上する学校施設計画

小学校調査 (計15校)

対象校	KA~KH校 (公立)	IA~IF校 (公立)	YA校 (公立)
所在地	神奈川県	愛媛県	高知県
調査期間	2015/10/6~11/23 (7~9日)	2019/10/24~11/1(8~10日) 2020/11/10~11/20(5~7日)	2019/10/21~11/1(8日)
対象児童	小学5年生704名	小学3~6年生398名	小学4~6年生 62名

中学校調査 (計3校)

対象校	HB校 (女子校)	TB校 (女子校)	YB校 (男女共学)
所在地	広島県	東京都	高知県
調査期間	2017/10/25~31 2018/10/25~11/6 2019/10/28~11/1	2018/6/4~6/7 2019/10/7~10/11	2018/10/29~11/2 2019/10/21~11/1
対象生徒	中学生633名	中学生67名	中学生141名



打合せの様子



説明会の様子

体力と学力を向上する学校施設計画

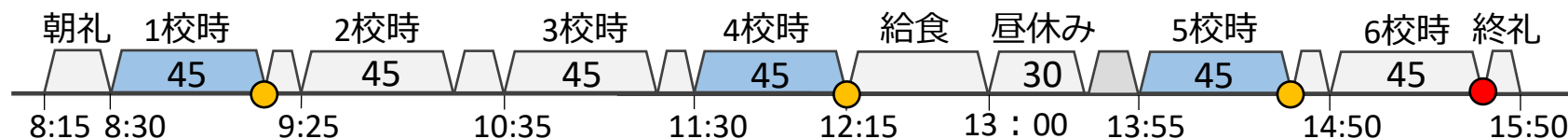
調査・測定項目※1

項目	方法	備考
身体活動	身体活動量計※2	起床時～就寝時 児童の腰に装着
教室環境	温湿度計 CO ₂ 濃度計※3	各教室床上1.1m 10分間隔連続測定
学習効率	日誌調査	1,4,5校時後、終礼時
その他	データ収集	身長・体重、新体力テスト結果、 学校要覧（児童数、施設概要 等）



日誌の回答（時間割：IA校の例）

●：授業後アンケート（集中度、眠気、疲労感等） ●：終礼時アンケート（当日の体調等）

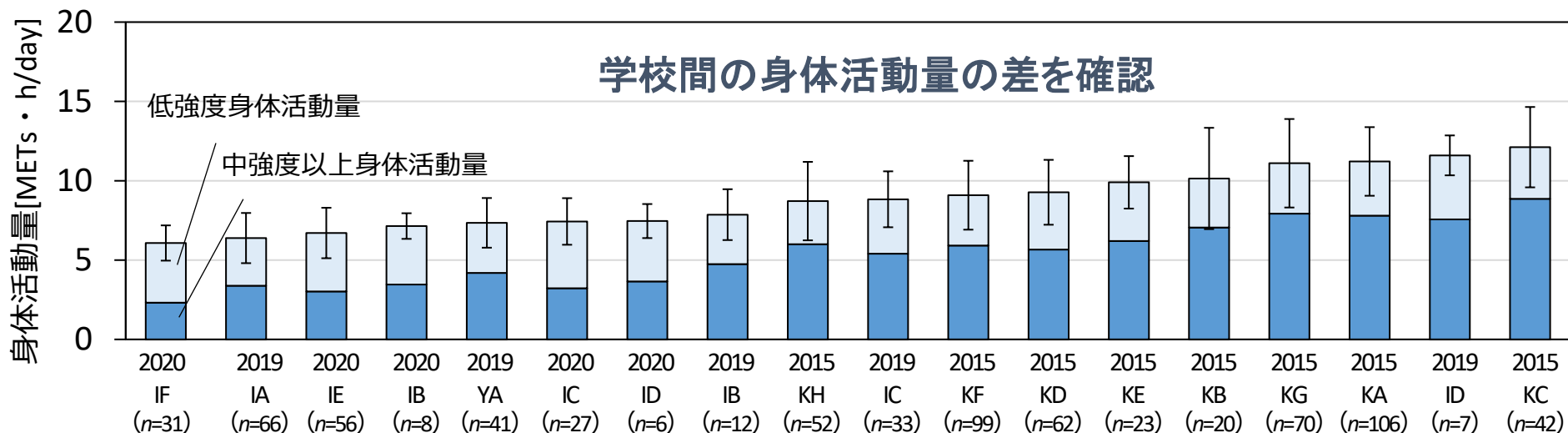


※1 2015年神奈川県調査では教室環境測定と日誌調査は実施せず。 ※2 身体活動量計はHJA-750C（OMRON社）3軸加速度計を使用。測定は10秒epoch。

※3 温湿度計はRTR-503、CO₂濃度計はTR-72Ui（T&D社）を使用。ただし、2020年愛媛県調査ではCO₂濃度計はHJ-CO2-LOG（SATOTECH社）を使用。

体力と学力を向上する学校施設計画

3



調査対象校ごとの身体活動量※1

身体活動量に関連する因子

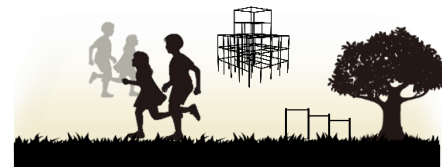
学校施設計画	一人当たり校庭面積※2[m ² /人]
	校庭アクセス※3[m]
	校庭形状[0]変形 1)長方形]
	芝生スペース[0]なし 1)あり]
	校庭視認性[0]なし 1)あり]

その他	降水日数[日]
	体育・運動教育の実施状況
個人属性	性別、学年、BMI 等

⇒多変量解析により身体活動量の差の要因を検討

※1 在校時間は8:30～15:30とした。一元配置分散分析。その後の検定は有意水準は***:p<0.001, **:p<.0010, *:p<0.050, †:p<0.100, n.s.:not significant

※2 (校庭面積) / (全校児童数) で算出。 ※3 教室から昇降口までの距離を算出。



体力と学力を向上する学校施設計画

学校施設計画と児童の身体活動量の関連（マルチレベル分析）※1

KA ~ KH, IA~IF, YA校
(5年生)

KA ~ KH校
(5年生)

IA~IF, YA校
(4~6年生)

目的変数：在校時のMVPA[METs・h/day]			Model 1 (n=519)		Model 2 (n=458)		Model 3 (n=233)	
説明変数			exp (β)	95%CI	exp (β)	95%CI	exp (β)	95%CI
定数項			6.19 ^{***}	(5.80, 6.62)	6.75 ^{***}	(6.21, 7.33)	3.42 ^{***}	(3.16, 3.71)
Level-2 学校 レベル	芝生（あり）	Ref. なし	1.35 ^{**}	(1.13, 1.60)	1.36 ^{**}	(1.10, 1.69)		
	校庭形状（長方形）	Ref. 変形	1.07 ^{n.s.}	(0.90, 1.26)	1.11 ^{n.s.}	(0.86, 1.42)	1.20 ⁺	(0.98, 1.48)
	校庭視認性（あり）	Ref. なし	0.95 ^{n.s.}	(0.79, 1.14)	0.76 ⁺	(0.57, 1.02)	0.37 ⁺	(0.12, 1.14)
	一人当たり校庭面積	[100m ² /人]	1.00 [*]	(1.00, 1.00)	4.06 [*]	(1.30, 12.6)	1.42 [*]	(1.07, 1.89)
	昇降口距離	[20m]	0.86 ^{***}	(0.81, 0.92)	0.88 [*]	(0.78, 0.99)	0.91 [*]	(0.83, 0.99)

芝生のある学校の児童は
MVPAが約1.4倍

校庭が長方形である学校の
児童はMVPAが1.2倍

1人当たり校庭面積が
100m²広いと
MVPAが1.0~4.1倍

教室から昇降口までの距離が
20m遠いと
MVPAが約0.9倍

⇒広い校庭、多様な校庭スペースは
児童の遊びの自由度を高める可能性



⇒校庭へのアクセス性は
外遊びを促す可能性



学校施設計画の工夫が児童の**中強度以上身体活動量を増やす**可能性

※1 調整変数はLevel-1:降雨日数割合、調査年度、滞在所、習い事、Level-2:調査年度、学年、等。有意水準は***:p<0.001, **:p<.0010, *:p<0.050, +:p<0.100

体力と学力を向上する学校施設計画

3

目的変数

学習効率	1, 4, 5校時の <u>集中度、眠気、疲労感</u>	→2値に分類 集中 / 非集中、眠気なし / あり、疲労感なし / あり
------	---------------------------------	---

身体活動と児童の学習効率の関連（マルチレベルロジスティック回帰分析）※

目的変数		集中[0]非集中 1)集中]		眠気[0]あり 1)なし]		疲労感[0]あり 1)なし]	
説明変数		exp(β)	95%CI	exp(β)	95%CI	exp(β)	95%CI
定数項		4.36 ^{n.s.}	(0.73, 26.1)	4.83 [†]	(0.88, 26.6)	9.86 [*]	(1.50, 65.1)
Level-1 日・授業 レベル	当日のMVPA[METs・h/day]	1.08 ^{n.s.}	(0.96, 1.21)	1.15***	(1.03, 1.29)	1.02 ^{n.s.}	(0.90, 1.15)
	授業時の室温[°C]	1.10 ^{n.s.}	(0.98, 1.22)	1.07 ^{n.s.}	(0.96, 1.20)	1.04 ^{n.s.}	(0.92, 1.18)
	授業時の相対湿度[%]	1.02 [*]	(1.00, 1.04)	1.02 ^{**}	(1.01, 1.04)	1.00 ^{n.s.}	(0.99, 1.02)
	授業時のCO ₂ 濃度[100ppm]	0.83 ^{**}	(0.73, 0.96)	0.93 ^{n.s.}	(0.81, 1.07)	1.06 ^{n.s.}	(0.92, 1.23)
Level-2 個人レベル	平均MVPA[METs・h/day]	1.20[†]	(0.97, 1.48)	1.13 ^{n.s.}	(0.93, 1.39)	1.13 ^{n.s.}	(0.90, 1.42)
		(n = 1547)		(n = 1548)		(n = 1548)	

平均MVPAが1.0METs・h/day多い児童は
集中のオッズが **1.2倍**

在校時のMVPAが1.0METs・h/day多い日は
眠気なしのオッズが **1.2倍**

⇒日常的に活発な児童は
集中力を高く保っている可能性

⇒在校中に活発に体を動かすことで
眠気を感じにくい可能性

※ 調整変数に校時, 当日の体調, スクリーンタイムを投入。有意水準は***:p<0.001, **:p<.0010, *:p<0.050, †:p<0.100



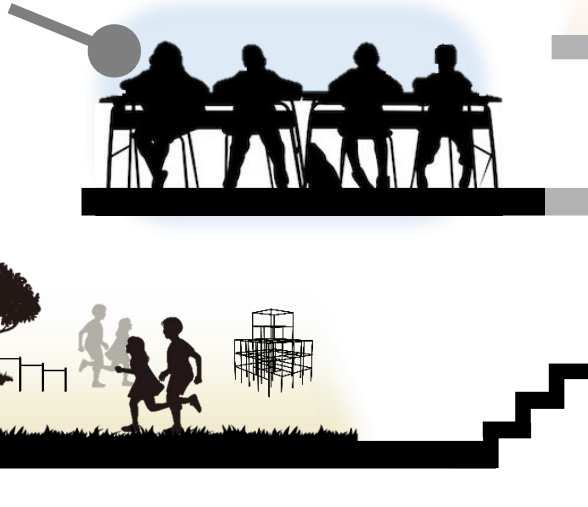
体力と学力を向上する学校施設計画

Step 1

小学校調査

校庭環境に着目し、活発な活動を促す環境要因を検討

- 温湿度、CO₂濃度と学習効率の関連を確認
 - 身体活動は集中のオッズを**1.2倍**、眠気なしのオッズを**1.2倍**にする可能性

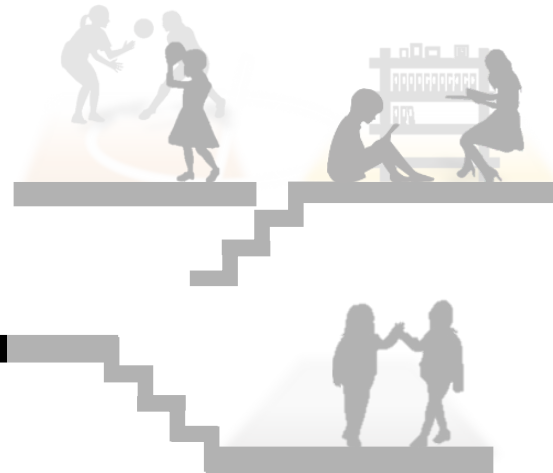


- 校庭環境の整備による身体活動促進を確認
 - ・ 芝生スペース **1.4倍**
 - ・ 1人当たり校庭面積 (100m²) **1.0~4.1倍**
 - ・ 昇降口までの距離 (20m) **0.9倍**

Step 2

中学校調査

学校施設環境と身体活動・学習効率の関連を包括的に検討



体力と学力を向上する学校施設計画

Step 1

小学校調査

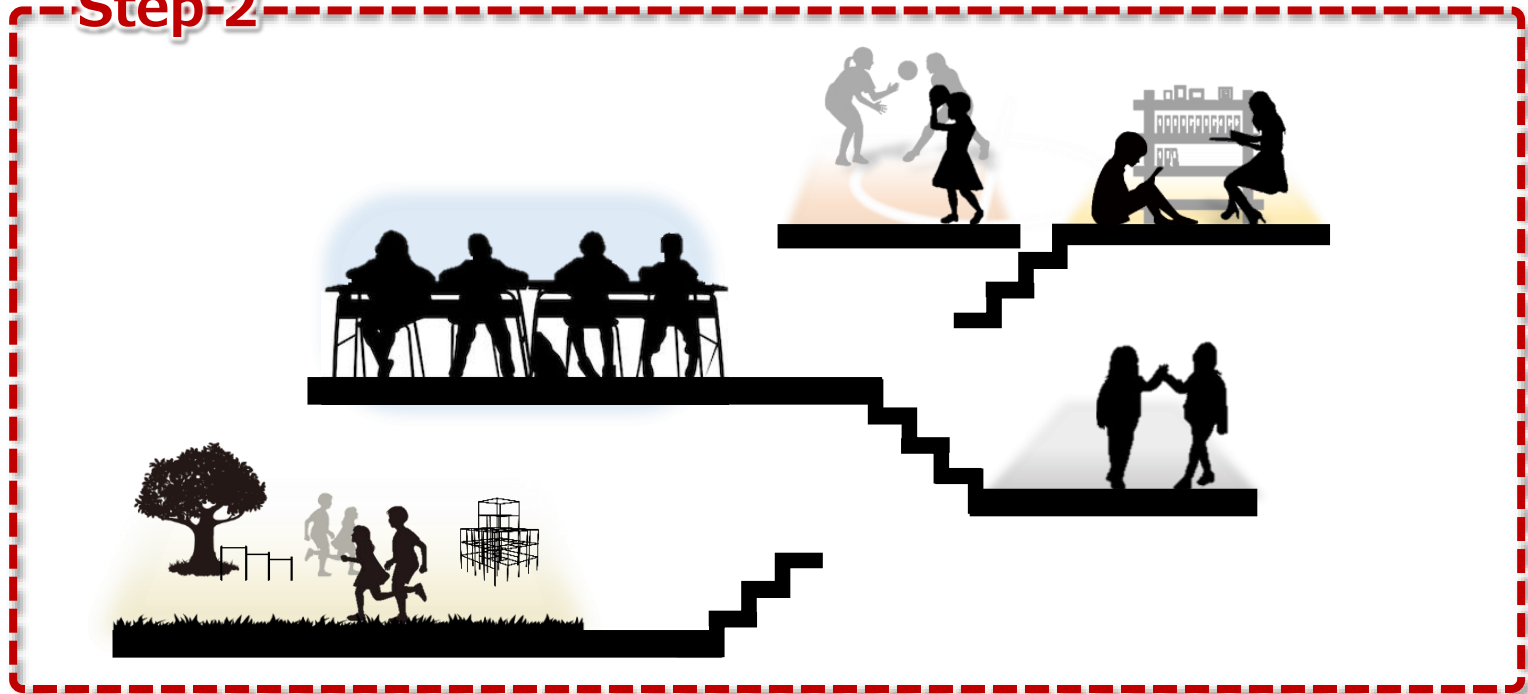
校庭環境に着目し、活発な活動を促す環境要因を検討

Step 2

中学校調査

学校施設環境と身体活動・学習効率の関連を包括的に検討

Step 2



⇒ 共用空間環境に着目し学校施設環境生徒に及ぼす影響を検討

体力と学力を向上する学校施設計画

3

対象校	HB校（女子校）	TB校（女子校）	YB校（男女共学）
調査期間	2017・2018・2019 中間期	2018 夏季・2019 中間期	2018・2019 中間期
対象生徒	中学年生633名※	中学年生67名	中学年生141名

アンケート調査回答

教室環境 評価	温冷感、湿度感、風通し、明るさ よどみ・におい、ほこりっぽさ
	内装の好ましさ、広さ
施設環境 満足度	図書室、体育館、廊下、トイレの 環境満足度・使いやすさ
-	ストレス頻度

日誌調査回答

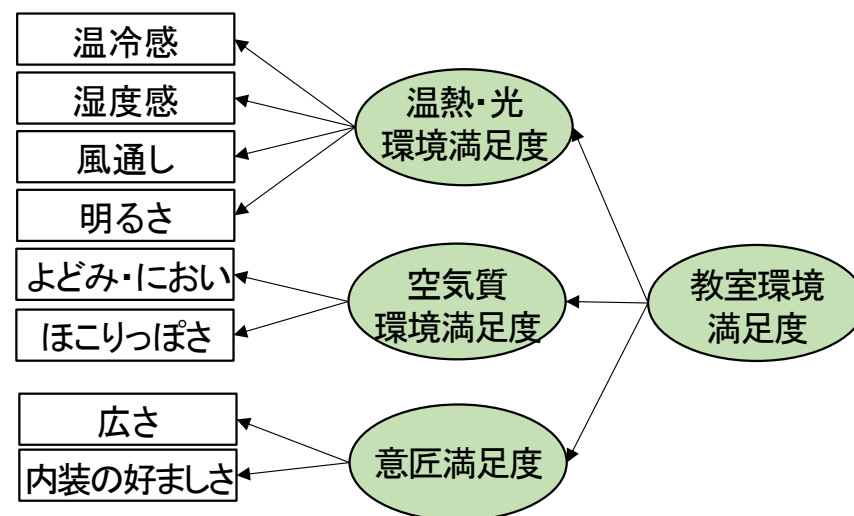
学習効率	集中度、眠気、疲労感
------	------------

身体活動量測定

身体活動	中強度以上身体活動量(MVPA) 座位行動時間 [分]
------	--------------------------------

※複数回調査に参加した生徒については、最新の測定値を分析に使用

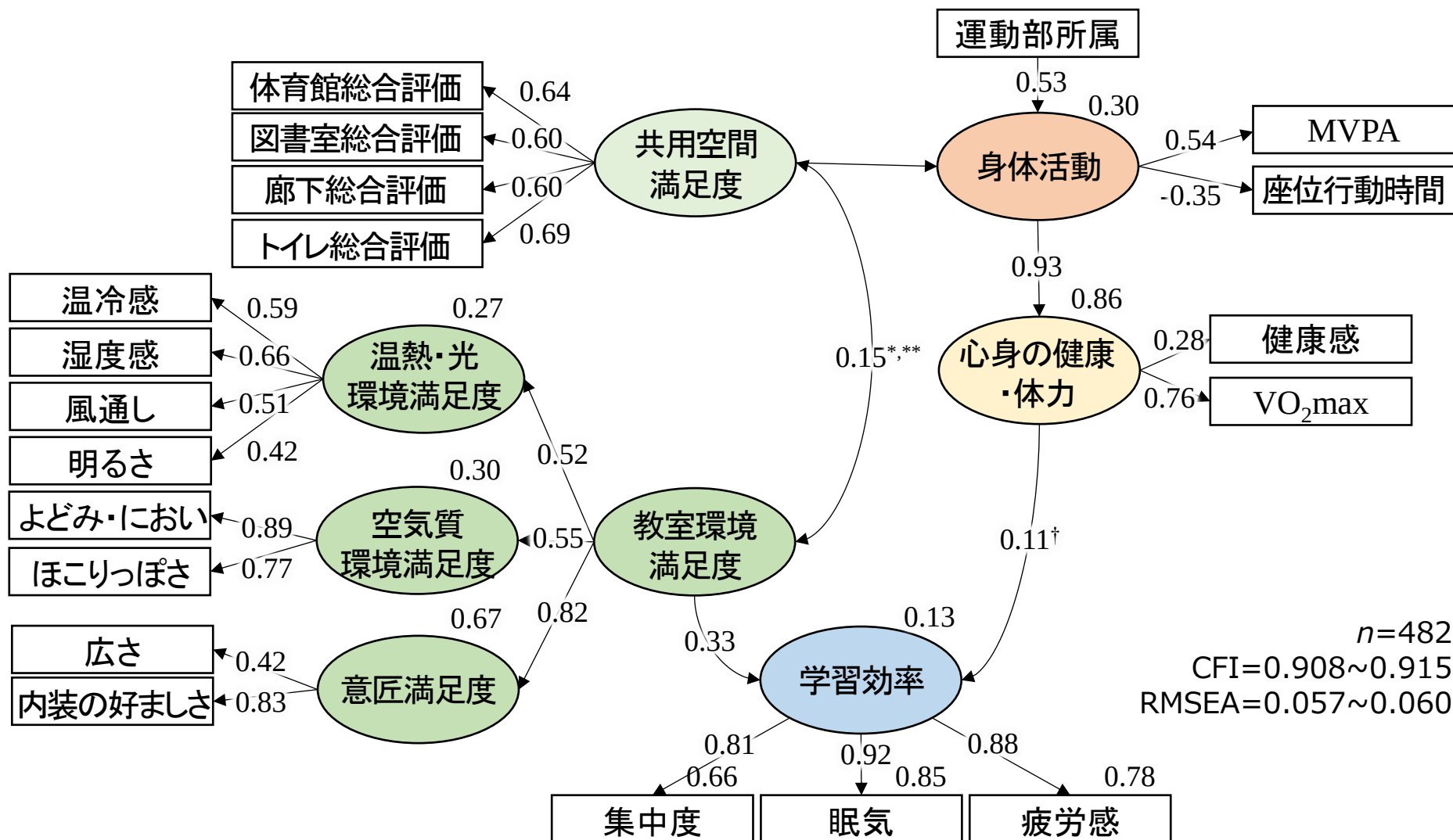
⇒因子分析により 教室環境評価の二次因子モデルを作成



⇒構造方程式モデリングによっ て因果関係を検討

体力と学力を向上する学校施設計画

3



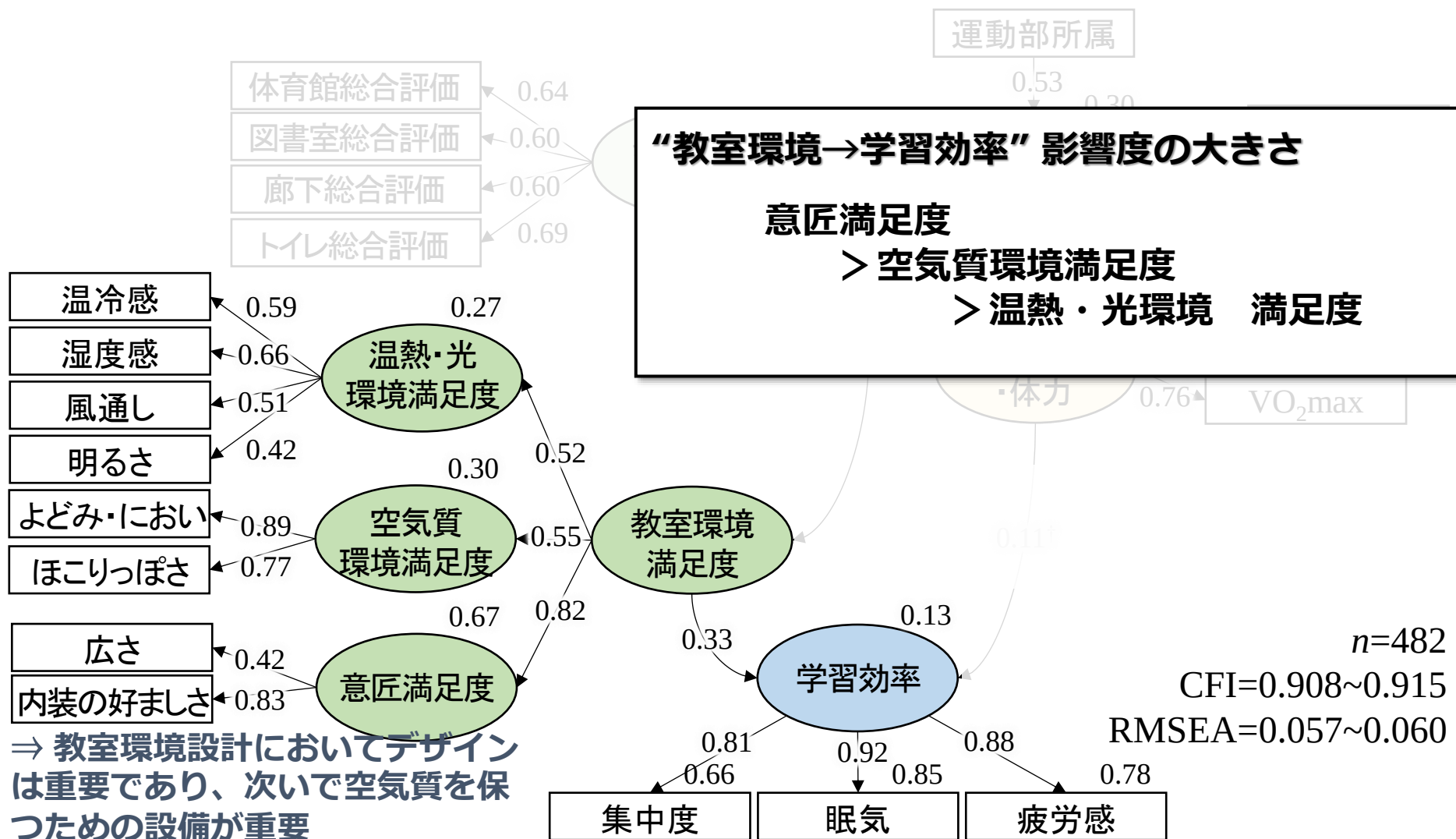
学校施設環境と生徒の身体活動・学習効率に関する構造方程式モデリング※

※推定法は最尤法を用いた。変数の右上の数字は決定係数を表し、パス係数は標準化係数を表す。誤差変数は省略。

**: $p<0.010$, *: $p<0.050$, †: $p<0.100$, その他のパス係数は $p<0.001$

体力と学力を向上する学校施設計画

3



学校施設環境と生徒の身体活動・学習効率に関する構造方程式モデリング※

※推定法は最尤法を用いた。変数の右上の数字は決定係数を表し、パス係数は標準化係数を表す。誤差変数は省略。

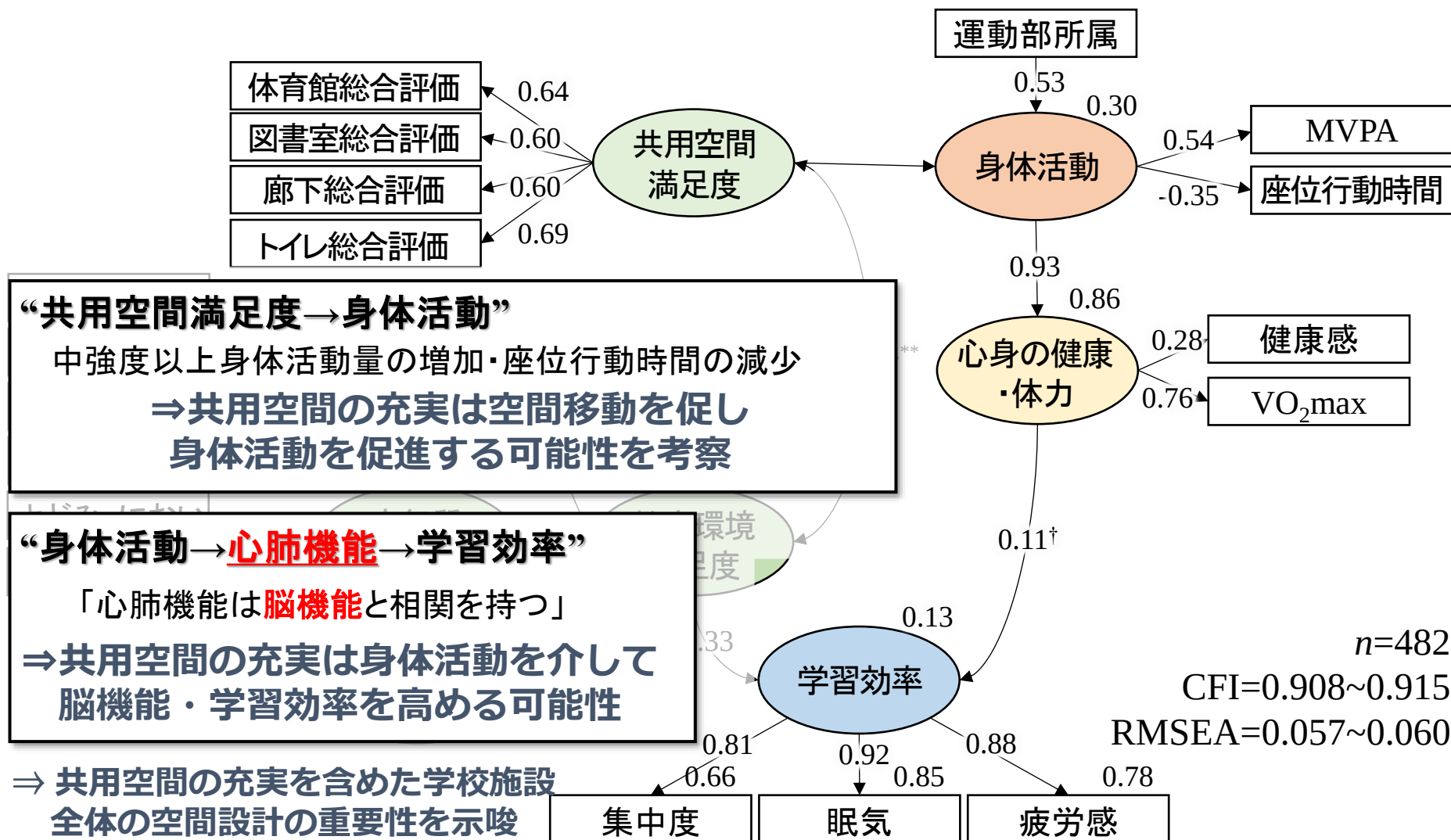
**: $p<0.010$, *: $p<0.050$, †: $p<0.100$, その他のパス係数は $p<0.001$

Ikaga Lab., Keio University (Akiko BABA)

36

体力と学力を向上する学校施設計画

3



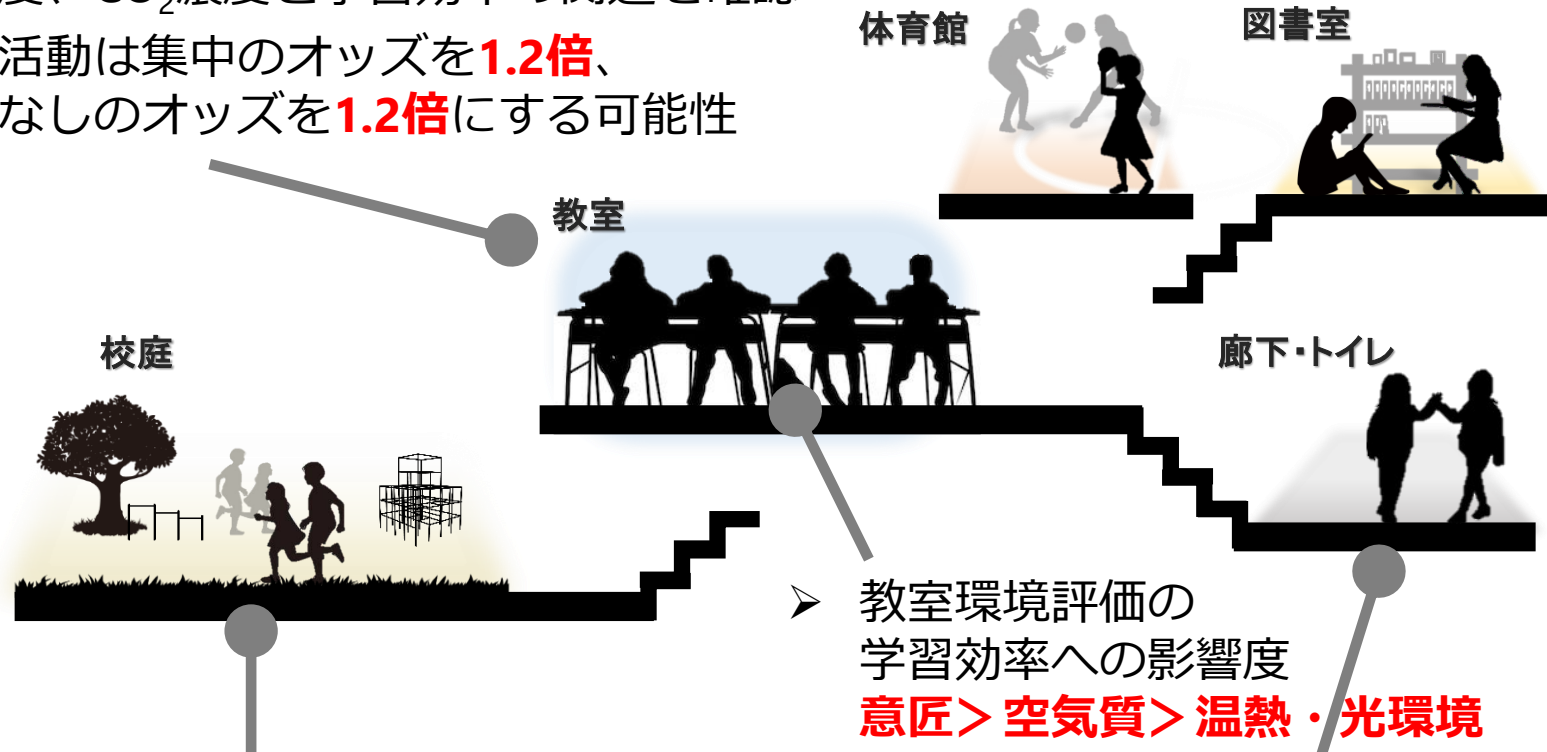
学校施設環境と生徒の身体活動・学習効率に関する構造方程式モデリング※

※推定法は最尤法を用いた。変数の右上の数字は決定係数を表し、パス係数は標準化係数を表す。誤差変数は省略。

**: $p<0.010$, *: $p<0.050$, †: $p<0.100$, その他のパス係数は $p<0.001$

体力と学力を向上する学校施設計画 まとめ

- 温湿度、CO₂濃度と学習効率の関連を確認
- 身体活動は集中のオッズを**1.2倍**、
眠気なしのオッズを**1.2倍**にする可能性



- 校庭環境の整備による身体活動促進を確認
 - ・芝生スペース **1.3倍**
 - ・1人当たり校庭面積 (100m²) **1.6~4.1倍**
 - ・昇降口までの距離 (20m) **0.9倍**

- 共用空間満足度が
身体活動を介して学習効率
を高める可能性

断熱と換気設備による温熱空気環境改善

4

調査対象： 中学2～3年生 $n=122$ (全校生徒数は約600名)

調査期間： 2019/10/28～11/1



図書室



廊下学習スペース



体育館



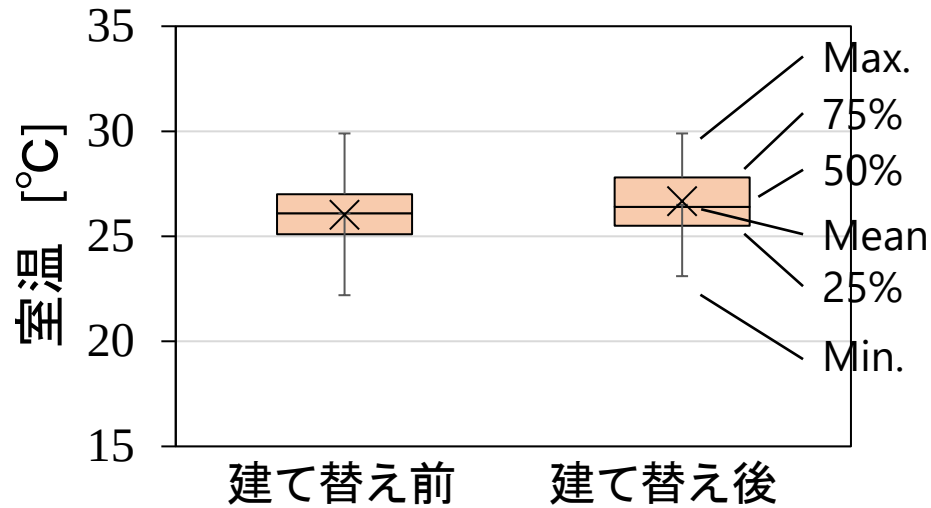
体育室

		建て替え前調査 (2017年度)	建て替え後調査 (2018年度)
調査日程	実態調査	2017/9/11～15 (5日間)	2018/9/3～7 (5日間)
		2017/10/25～27, 30, 31(5日間)	2018/10/25～26,29～30,11/1(5日間)
		2018/2/19～23 (5日間)	2019/2/18～22 (5日間)
対象	アンケート	1～3年生全クラス (553名)	1～3年生全クラス (578名)
	活動量測定	1～3年生2クラス (233名)	1～3年生各2クラス (235名)
環境実測	対象室：普通教室、体育館、図書室、廊下、職員室 温湿度 (1.1m・0.1m)、CO ₂ 濃度 (1.1m)、机上面照度 (1.1m)		
	 RTR-503 (T&D社)	 TR-76Ui RTR-576 (T&D社)	 TR-74Ui RTR-574 (T&D社)

断熱と換気設備による温熱空気環境改善

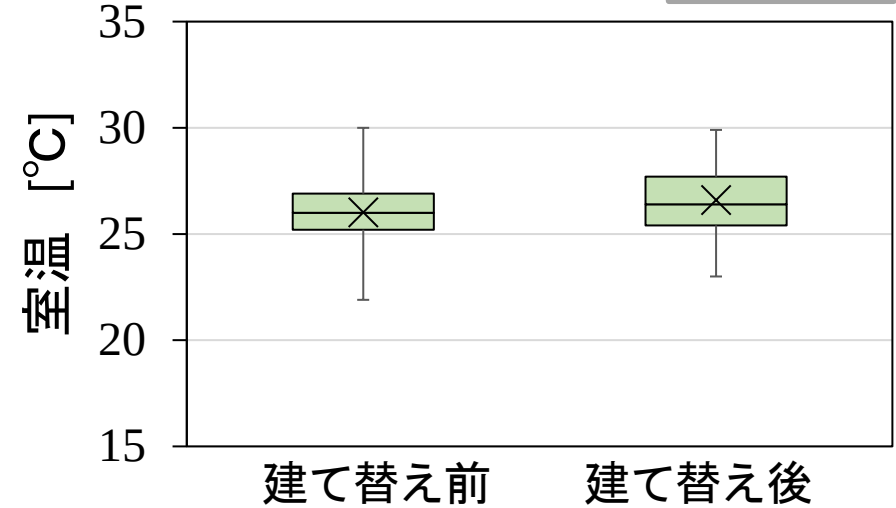
4

◆各教室の床上1.1m室温

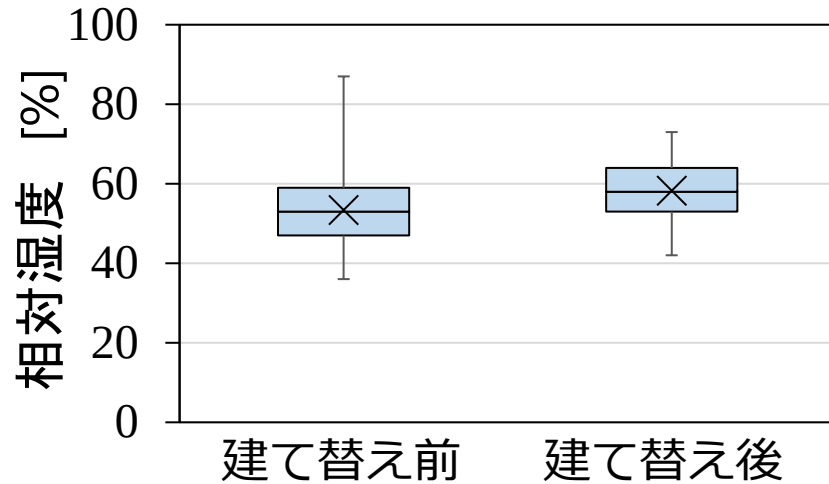


◆各教室の床上0.1m室温

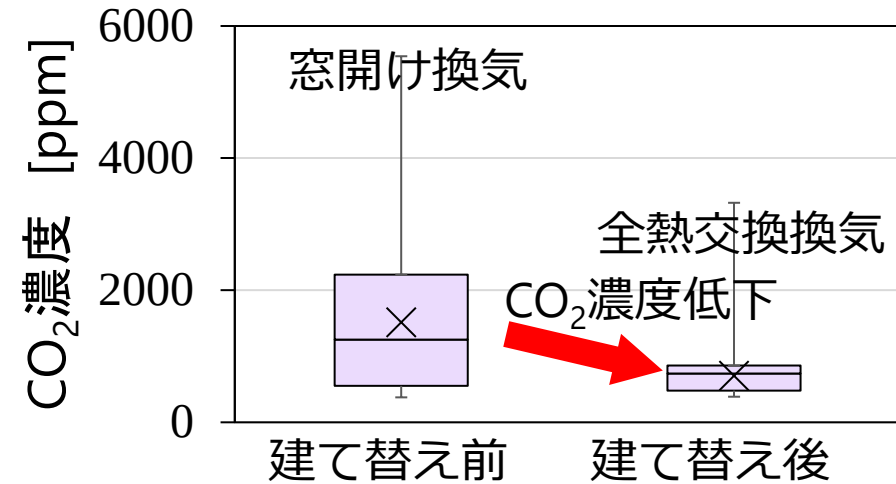
夏期



◆各教室の床上1.1m相対湿度



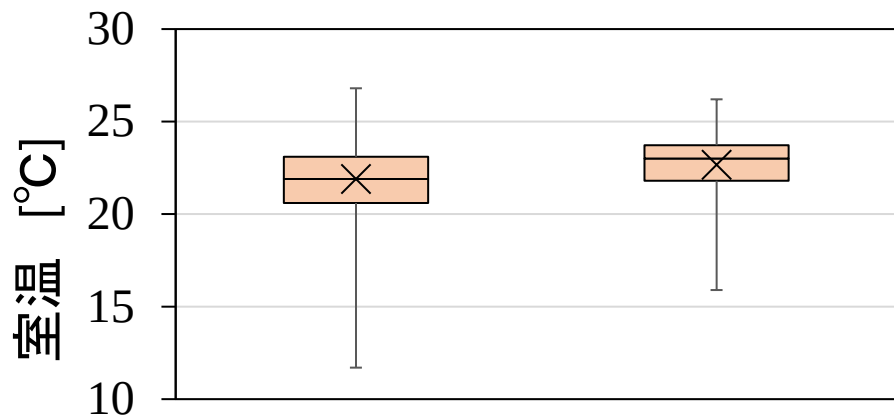
◆各教室のCO₂濃度



断熱と換気設備による温熱空気環境改善

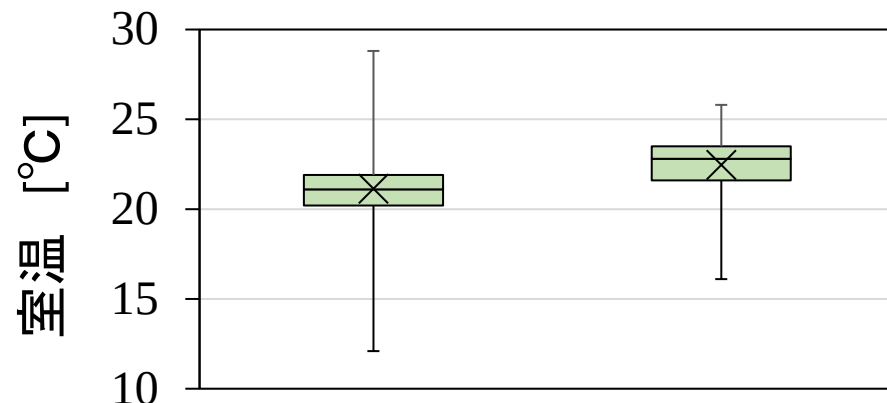
中間期

◆ 各教室の床上1.1m室温



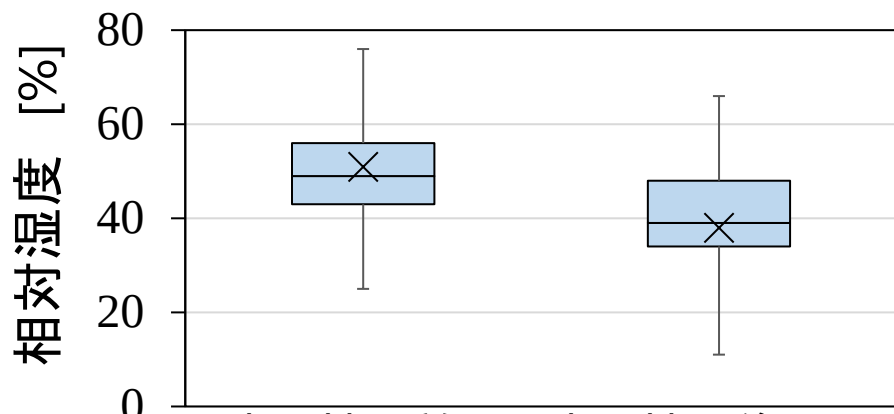
建て替え前 建て替え後

◆ 各教室の床上0.1m室温



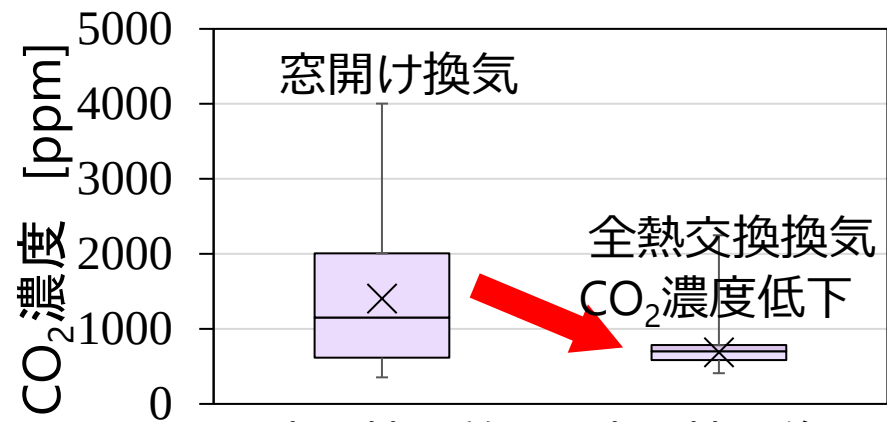
建て替え前 建て替え後

◆ 各教室の床上1.1m相対湿度



建て替え前 建て替え後

◆ 各教室のCO₂濃度



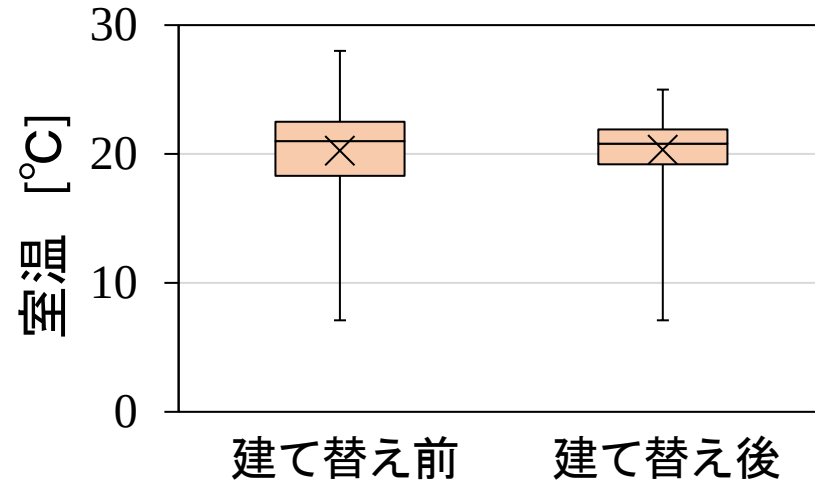
建て替え前 建て替え後



断熱と換気設備による温熱空気環境改善

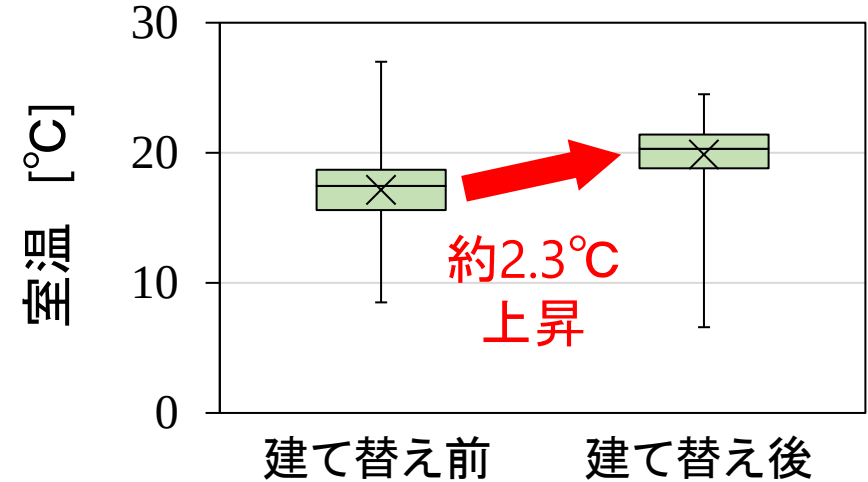
4

◆各教室の床上1.1m室温

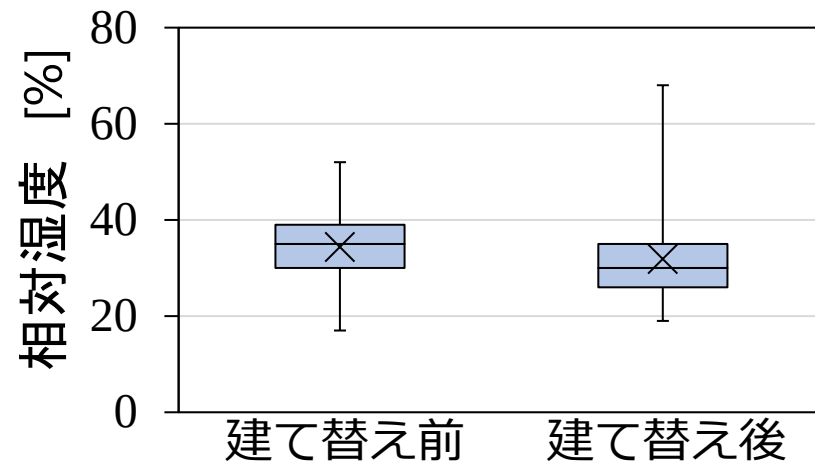


◆各教室の床上0.1m室温

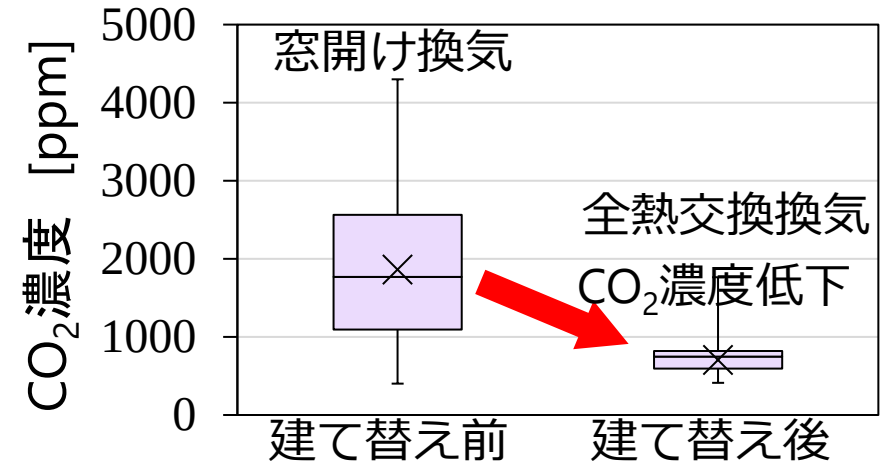
冬期



◆各教室の床上1.1m相対湿度

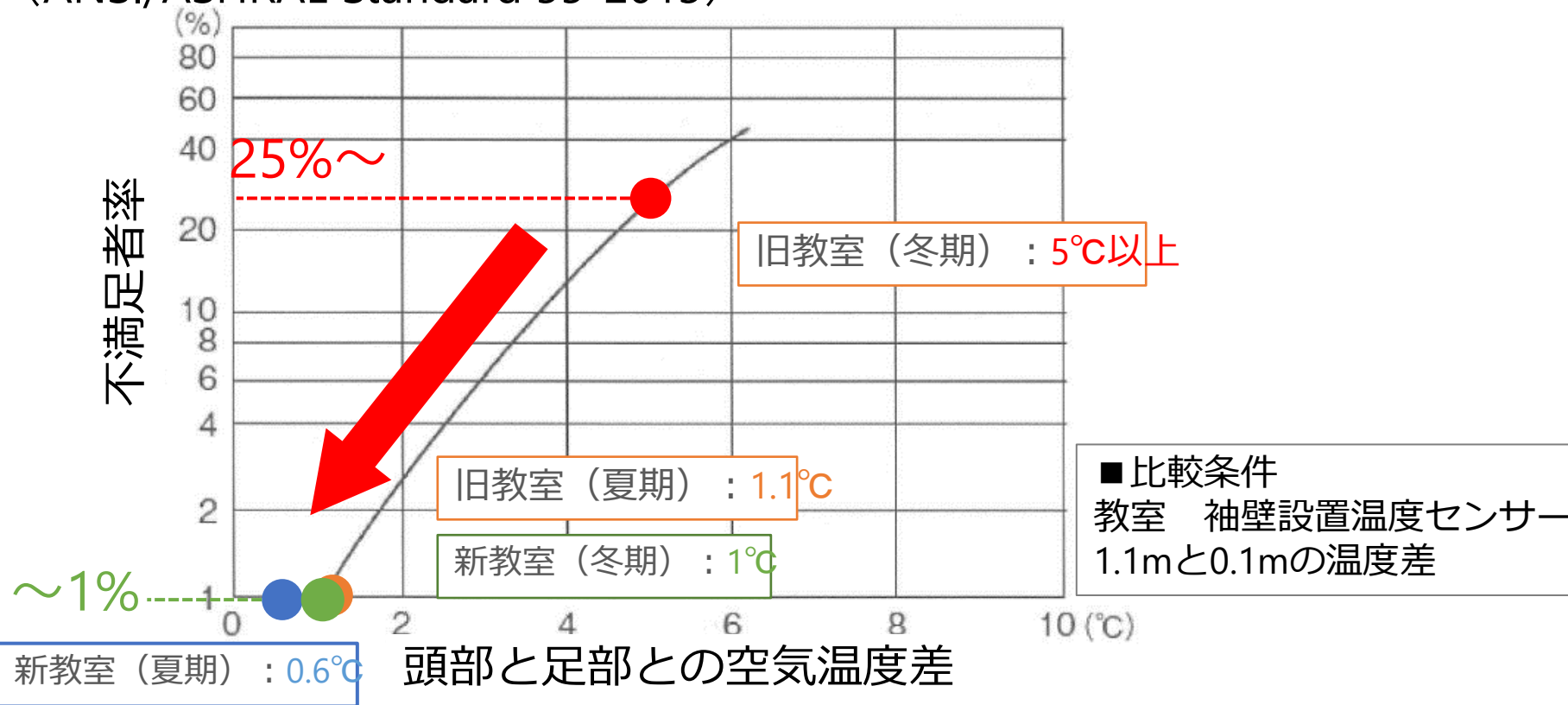


◆各教室のCO₂濃度



断熱と換気設備による温熱空気環境改善

◆上下温度分布による不満足者率 (ANSI/ASHRAE Standard 55-2013)

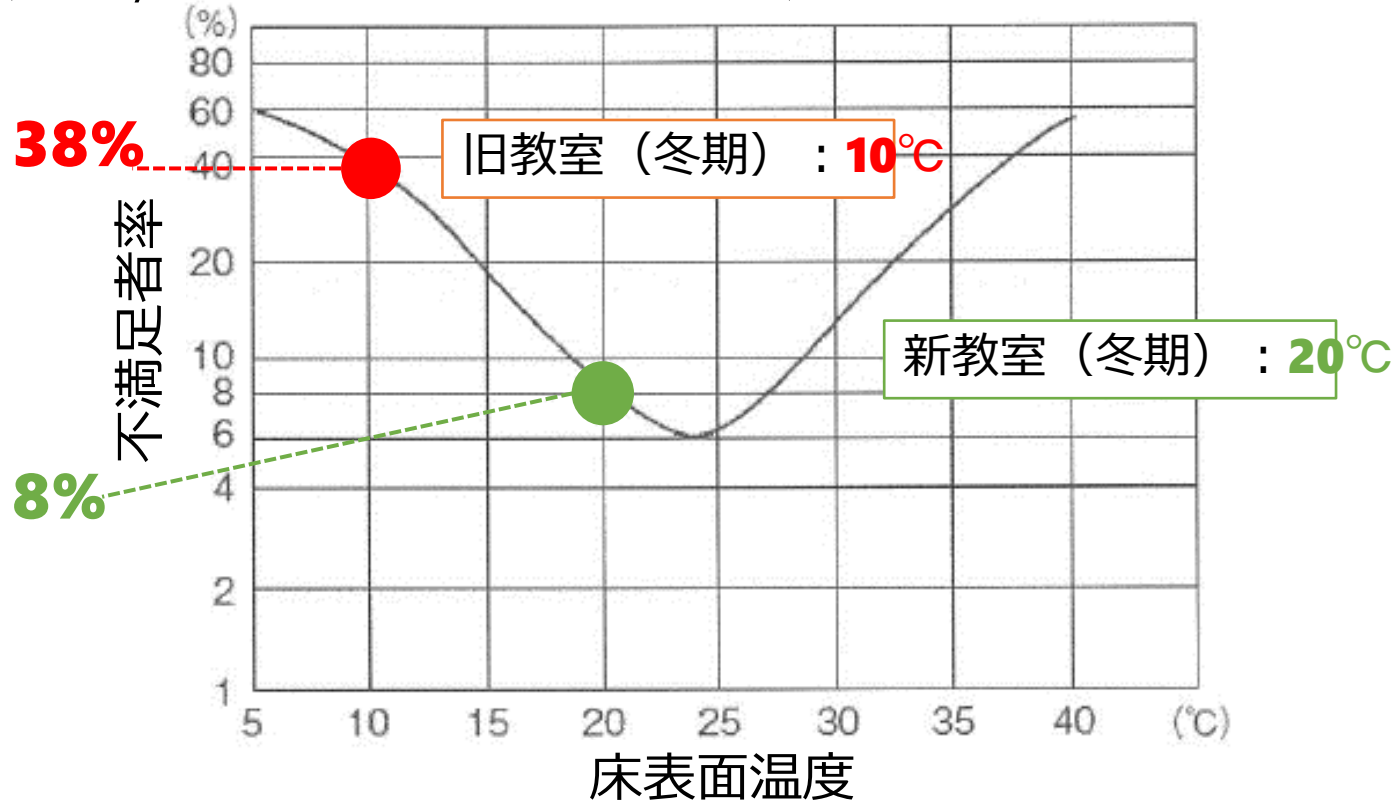


■環境測定結果について

床暖房設備はないが、旧校舎より断熱性能や窓性能、空調の性能があがったことで上下温度差が軽減されたため、不満足者率の低減が期待される。

断熱と換気設備による温熱空気環境改善

◆ 床表面温度による不満足者率 (ANSI/ASHRAE Standard 55-2013)



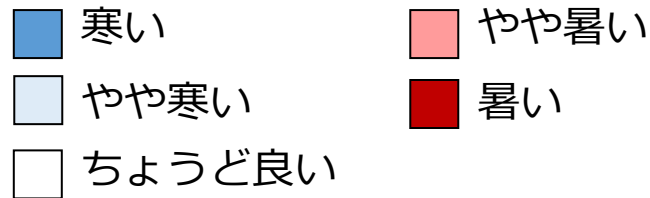
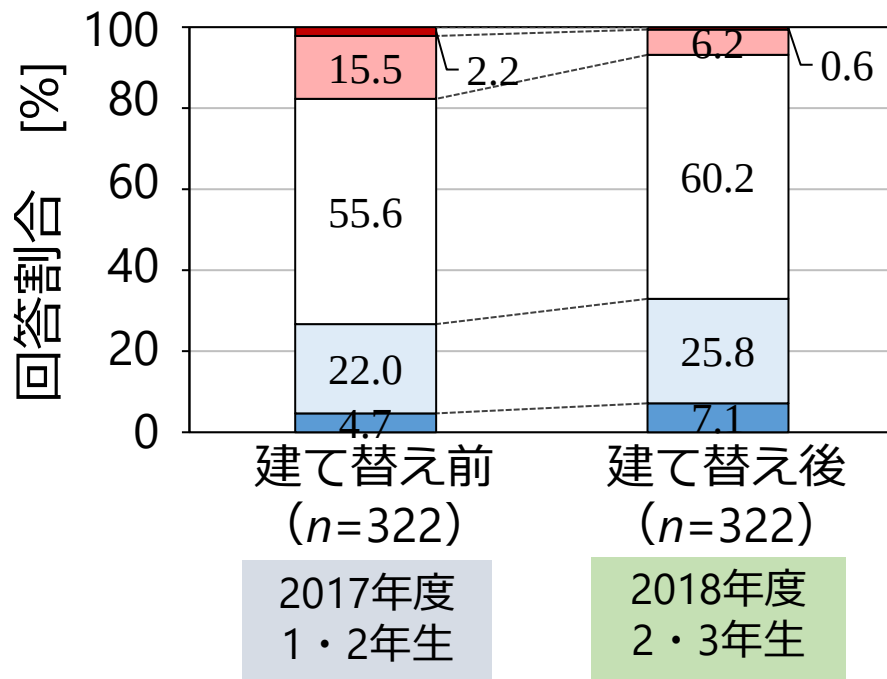
■ 環境測定結果について

床暖房設備はないが、旧校舎より断熱性能や窓性能、空調の性能が向上したことで床表面温度差が軽減されたため不満足者率の低減が期待される。

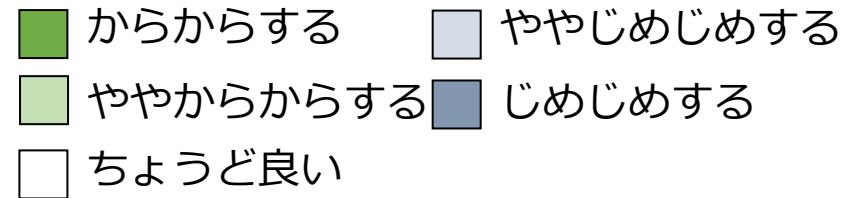
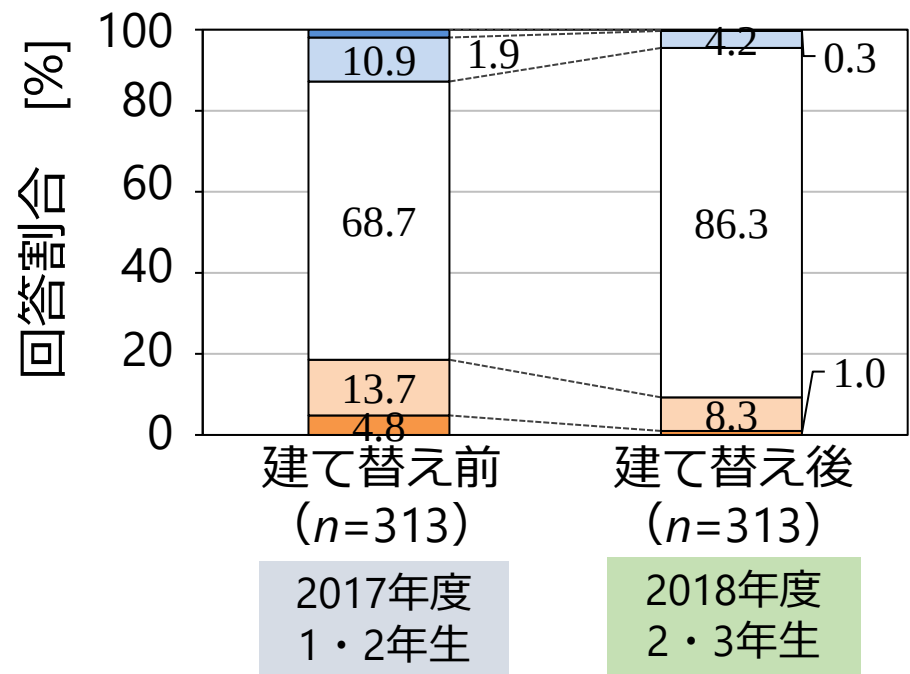
断熱と換気設備による冬の温熱環境改善

冬期

◆ 温冷感



◆ 湿度感

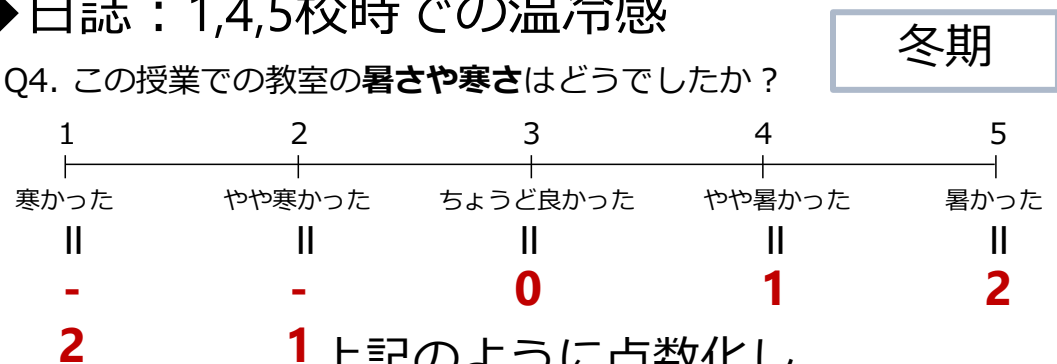


気流が寒いと感じる生徒が一定数存在（アンケートより）

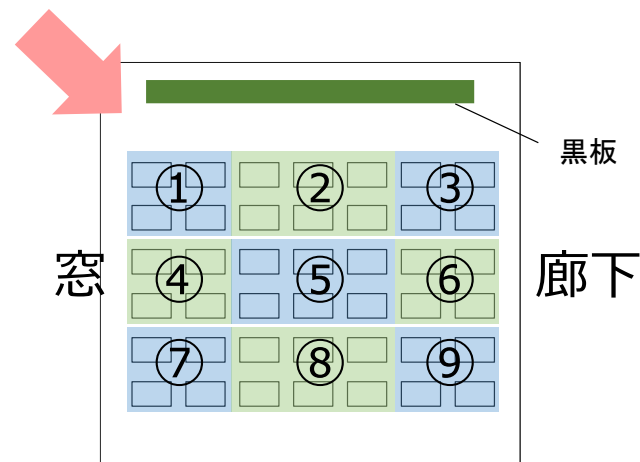
断熱と換気設備による冬の温熱環境改善

◆日誌：1,4,5校時での温冷感

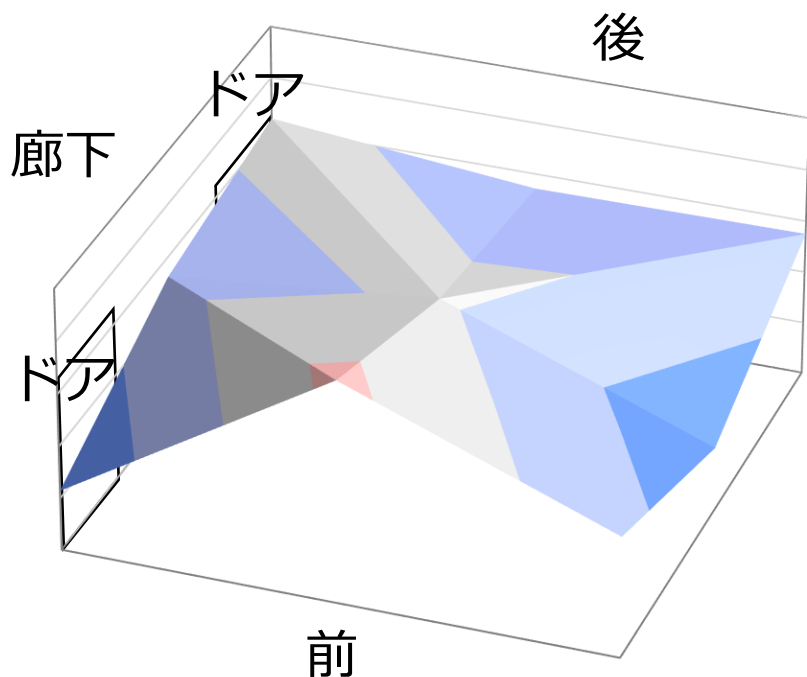
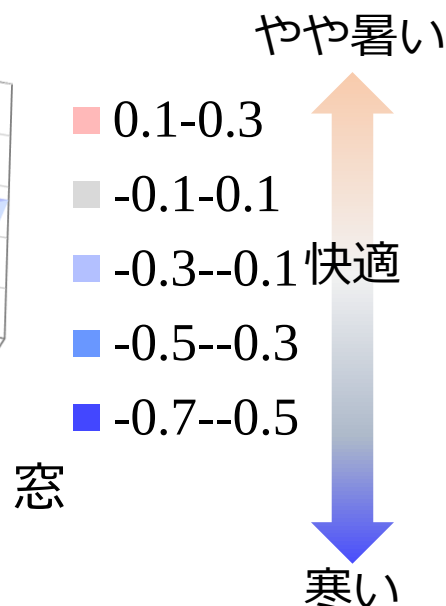
Q4. この授業での教室の暑さや寒さはどうでしたか？



上記のように点数化し、
座席のブロックごとの平均点を算出した



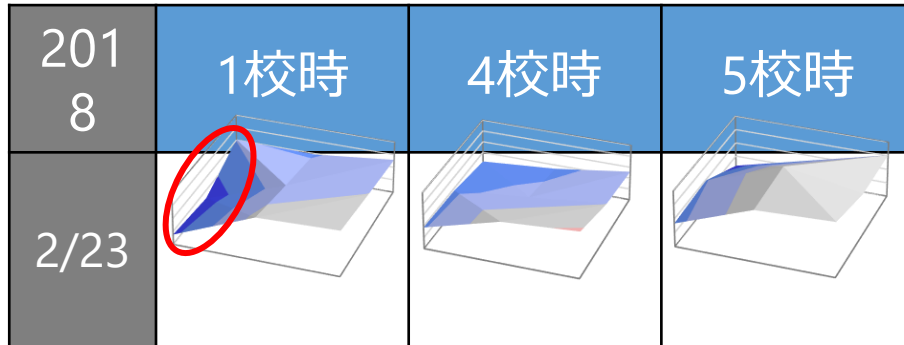
◆図の見方



断熱と換気設備による冬の温熱環境改善

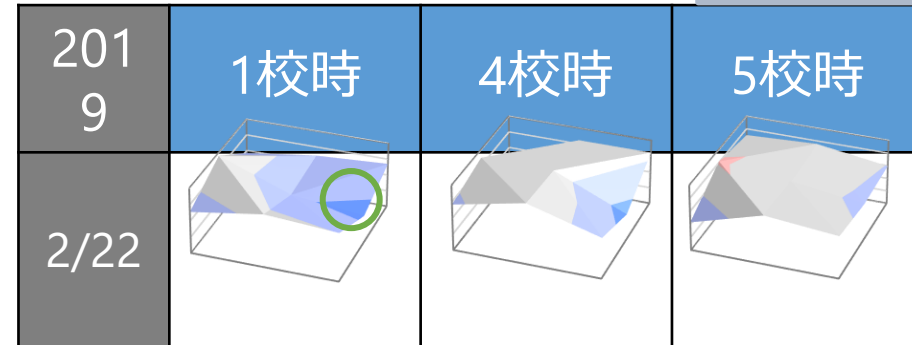
4

◆旧校舎



◆新校舎

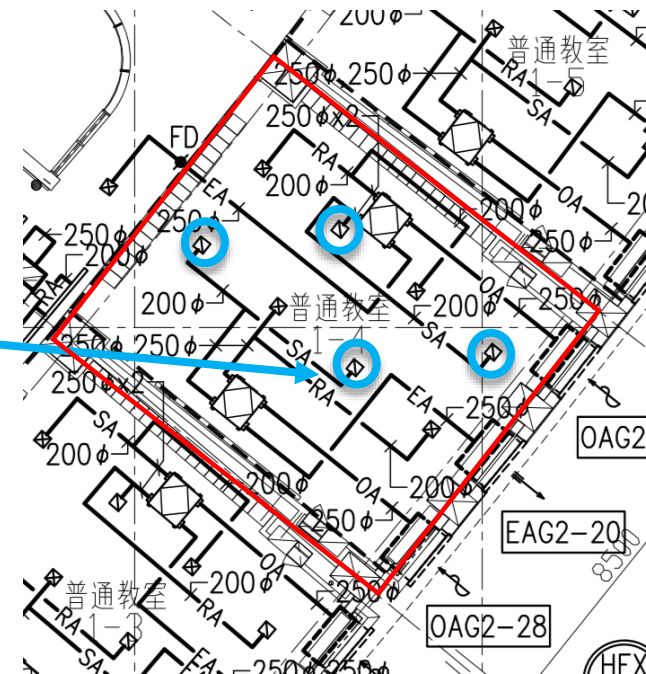
冬期



- ・建て替え後、快適と感じている生徒の割合が増加
(グレーの部分が増加 25%⇒32%)

- 旧校舎では廊下側で寒さを感じやすい傾向
- 新校舎では窓側で寒さを感じやすい傾向
⇒換気用吹き出し口からのコールドドラフトを寒いと感じている可能性

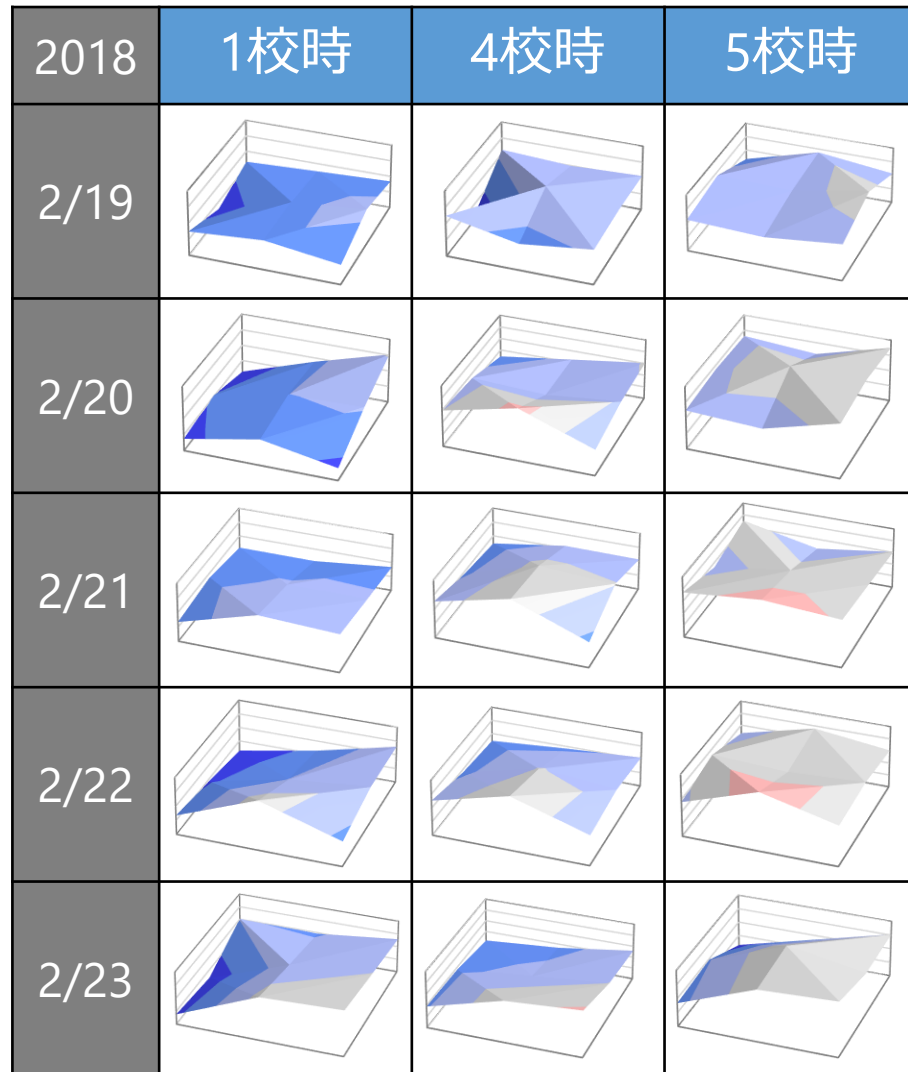
◆新校舎教室設備図



断熱と換気設備による冬の温熱環境改善

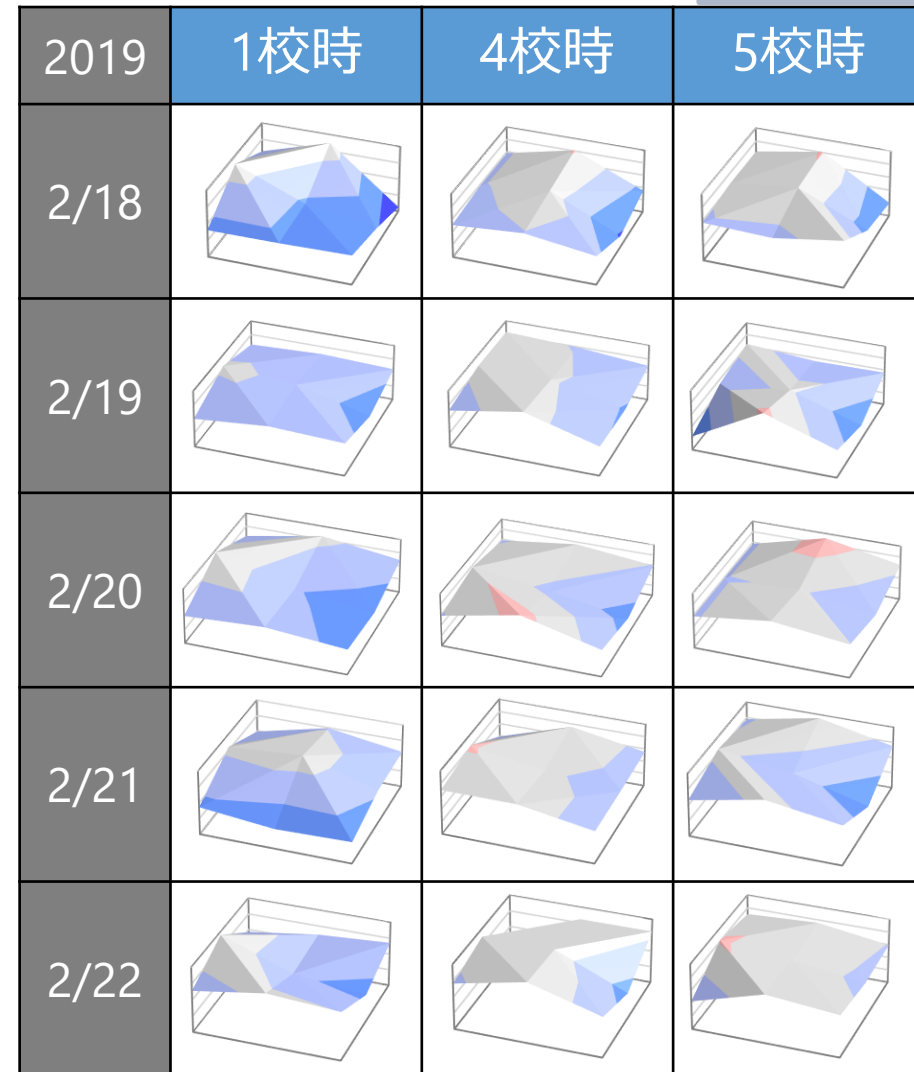
4

◆旧校舎



◆新校舎

冬期

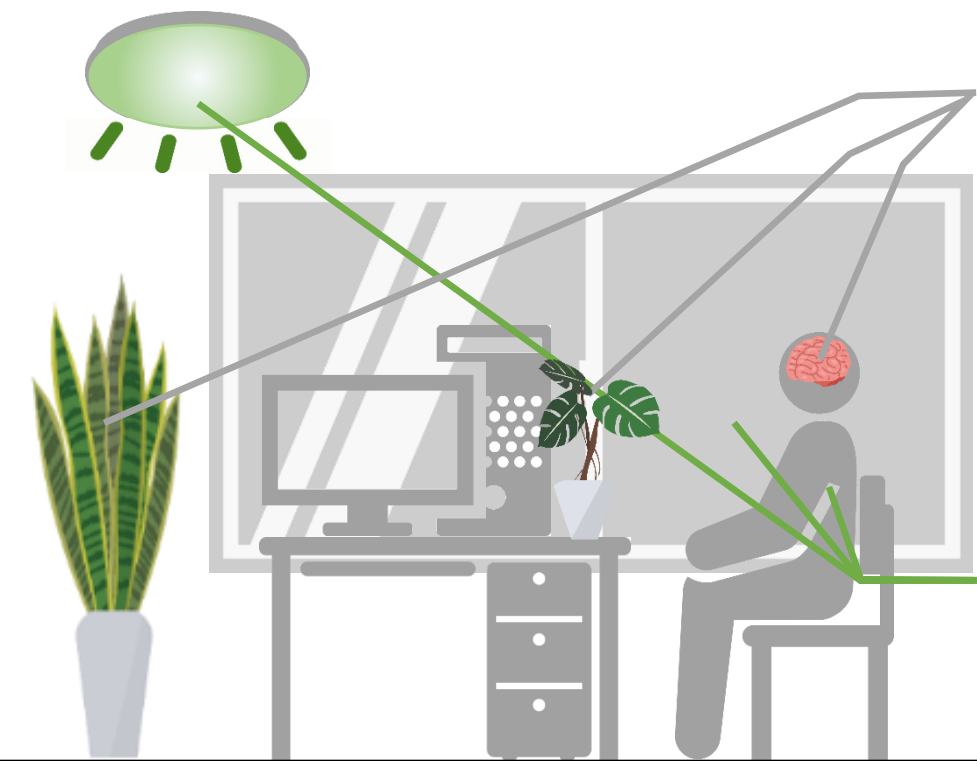


寒さは改善傾向、旧校舎は廊下側、新校舎は窓側で寒さを感じやすい



光・視環境改善による学習効率向上

5



知的生産性文5,6

室内緑化文1,2

α波の増幅

脳活動の
鎮静化

リラックス
ストレス緩和

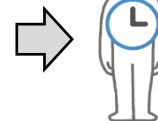


⇒執務者の生理量・心理量に影響

窓・照明文3,4

サーカディアンリズム

生体リズム
に影響



⇒執務者の心身の健康に影響する可能性

文1 中村隆治ら,生垣とブロック塀をみたときの脳波特・の比較,造園雑誌,1992 文2 源城かほりら,「オフィス空間への植物設置によるメンタルヘルスケア効果に関する実証研究」,日本建築学会環境系論文集,2018 文3 橋本聡子,睡眠と生体リズム,日薬理誌2007 文4 三木光範ら,「創造的業務における最適な照度および色温度」,照明学会誌,第96巻 第8A号,2012 文5 Yin, Jie etc, BUILDING AND ENVIRONMENT, Physiological and cognitive performance of exposure to biophilic indoor environment,BUILDING AND ENVIRONMENT,Volume 132,2018 文6 小川聡ら,オフィスサポート空間の光・視環境が自律神経を介して執務者の疲労・眠気・作業効率に与える影響の被験者実験、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集,2014

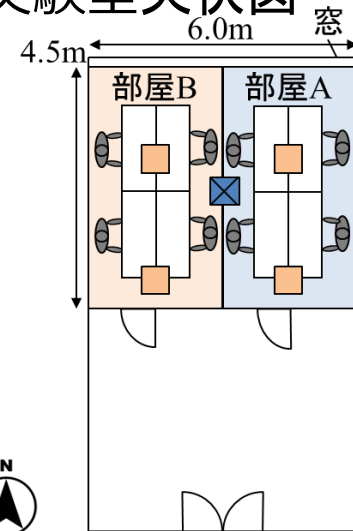


光・視環境改善による学習効率向上

5

対象	学生被験者※1 32名（男女各16名）
期間	2021年9月27日～2021年10月22日
実験場所	慶應義塾大学 矢上キャンパス 実験室
着衣	長袖シャツ、スーツパンツ（男）、スーツスカート（女）
ケース設定	4ケース（緑化2ケース×調光2ケース）

◆実験室天伏図



■:空調吹出口

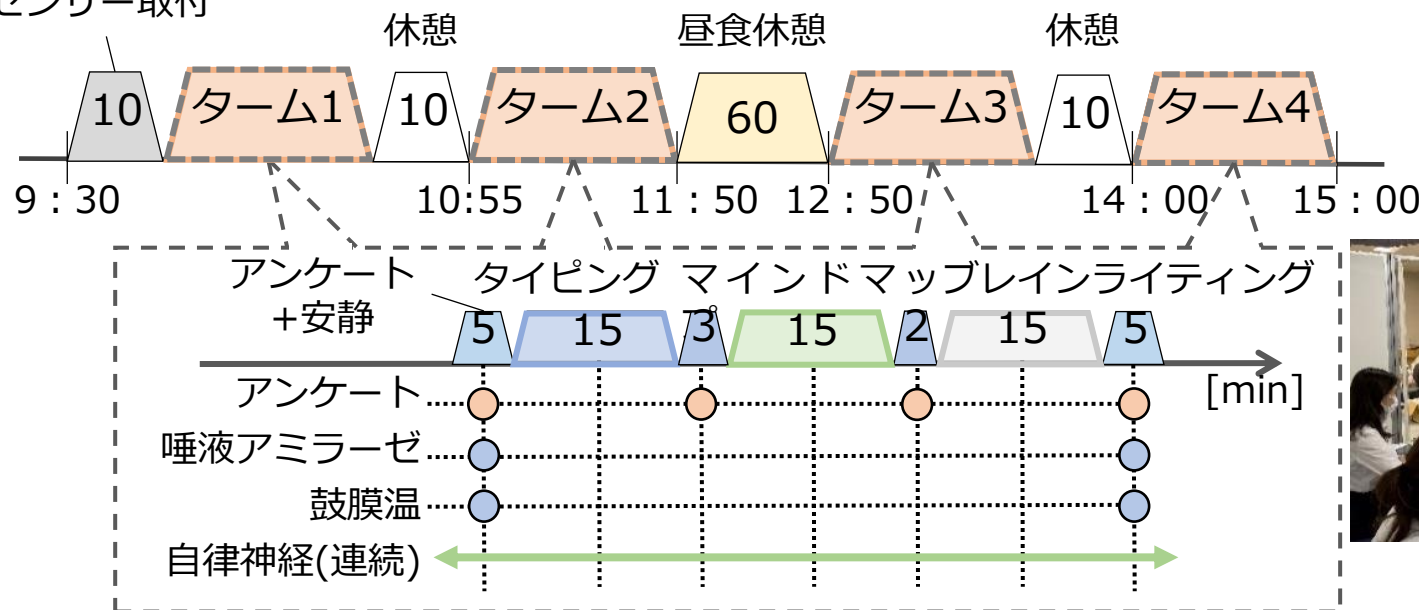
■:調光・調色照明



実験の様子※2

◆実験スケジュール

センサー取付



※1 年齢:19~25歳,BMI:18.5未満（低体重）が7名, 18.5以上25未満（普通体重）が23名,25以上（肥満）が2名

※2 新型コロナウイルス感染症対策として、アクリル板の設置、各座席にアルコールティッシュを配布などを行った



光・視環境改善による学習効率向上

5

◆ケース①

植物なし、
調光・調色なし
※1



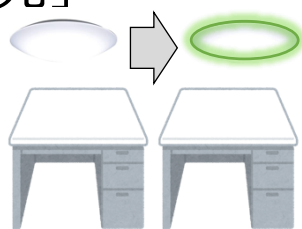
◆ケース②：「植」

植物あり、
調光・調色なし
※1



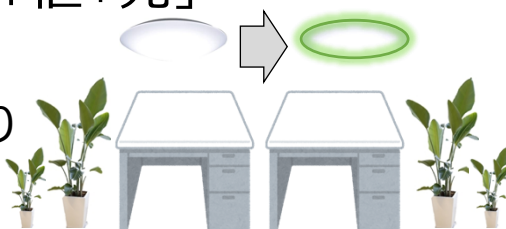
◆ケース③：「光」

植物なし、
調光・調色あり
※1

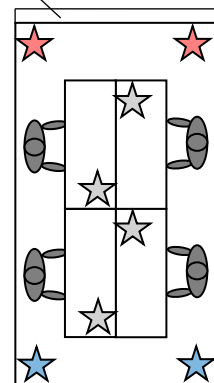


◆ケース④：「植+光」

植物あり、
調光・調色あり
※1



窓



☆小鉢
★中鉢
★大鉢

◆ケース日程

部屋	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目
A	①	①	②	③	④
B	①	②	①	④	③

◆色温度・照度目標値（調光・調色ありの場合） 文1,2,※2

ターム	1	2	3	4
色温【K】	4000~5000	4000~5000	3500~4000	3500~4000
照度【lx】	750	400~500	400~500	300~400

◆室内緑化について



緑視率が5.4% 文3,※3

になるように植物を配置

文1 割田智裕ら,照度・色温度が作業効率および疲労感に与える影響,空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集,2010 文2 RICOH,RICOH Smart MES 照明・空調制御システム活用例, <https://onl.la/BjZU9vx>,(2022年1月10日最終閲覧) 文3 橋本幸博ら,被験者による模擬執務空間の最適な緑視率の検討 オフィス空間における植物量のストレス緩和への影響に関する研究3,日本建築学会計画系論文集,2014

※1 全てのケースにおいて常時ブラインドあり ※2 サーカディアンリズムを考慮 ※3 各座席からの緑視率の平均



Ikaga Lab., Keio University

51

光・視環境改善による学習効率向上

5

◆ 生理量測定

・唾液アミラーゼ濃度測定※1

⇒ストレス度を表す指標

・鼓膜温測定※2

・心拍測定※3(連続測定)

交感神経活性度(LF/HF)※4

⇒人体の活動・覚醒状態を表す指標

◆ 模擬作業(客観作業効率)

・タイピング(個人的な単純作業)※5

⇒**正打数・総打数**などで

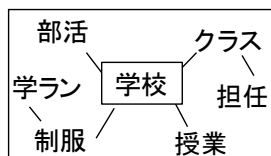
知的生産性を評価



・マインドマップ(個人的な創造作業)※6

⇒**有効回答数**で

知的生産性を評価



◆ 心理量(アンケート)

・自覚症しらべ文

⇒作業に伴う疲労状況の経時的変化を評価

⇒質問項目に対して5段階で評価

・ストレス・眠気・集中・室内環境満足度等

⇒質問項目に対して7段階で評価

・ブレインライティング(集団的な創造作業)※7

⇒**有効回答数**で知的生産性を評価

テーマ< >			
	A	B	C
I			
II			
III			
IV			
V			
VI			



文 産業疲労研究会, 自覚症しらべ, <http://square.umin.ac.jp/of/service.html>, (2022年1月16日最終閲覧)

※1 NIPRO社 唾液アミラーゼモニターを使用 ※2 OMRON社の耳式体温計を使用 ※3 MEDILINK社 Carpodを使用

※4 心拍測定データの周波数解析により算出 ※5 時間内により多くの英文をタイピングする作業。PCで実施

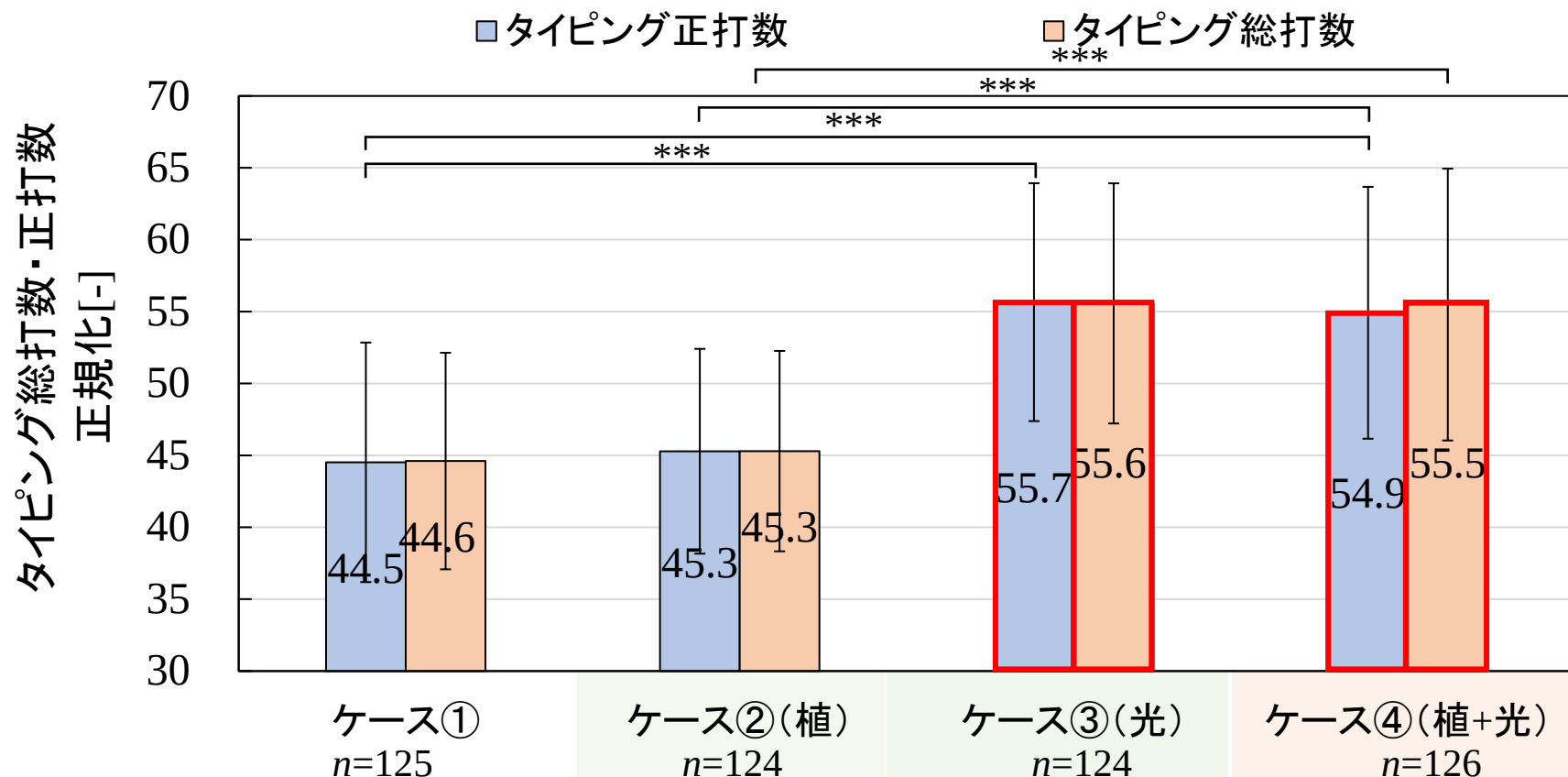
※6 与えられた題から連想される単語を制限時間内に記入。紙面上で実施

※7 与えられた題から連想される単語を集団でリレー形式で制限時間内に記入。紙面上で実施



光・視環境改善によるタイピング成績向上

5



- ケース①よりケース③,④においてタイピング正打数が**最大11.2pt増加**
- ケース②よりケース④においてタイピング正打数・総打数が**最大10.2pt増加**

⇒調光・調色照明がタイピング作業成績を向上させる可能性

※1 エラーバーは標準偏差。一元配置分析を実施 (n.s.:有意でない + : $p<0.10$ *: $p<0.05$ **: $p<0.01$ ***: $p<0.001$)

※2 n=タイピング回数(4回)×日数(8日間)×人数(4人)で算出 (エラーなどによる欠損あり)

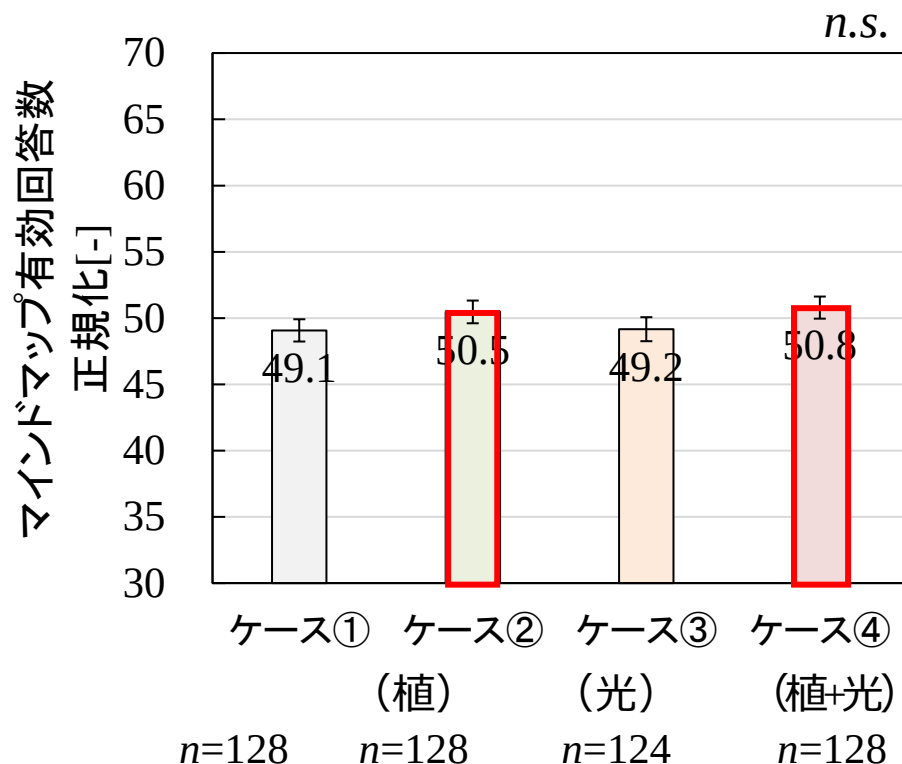
※3 正規化=50+10× ((測定値) - (個人の平均値)) / (個人の標準偏差)



光・視環境改善による創造作業成績向上

5

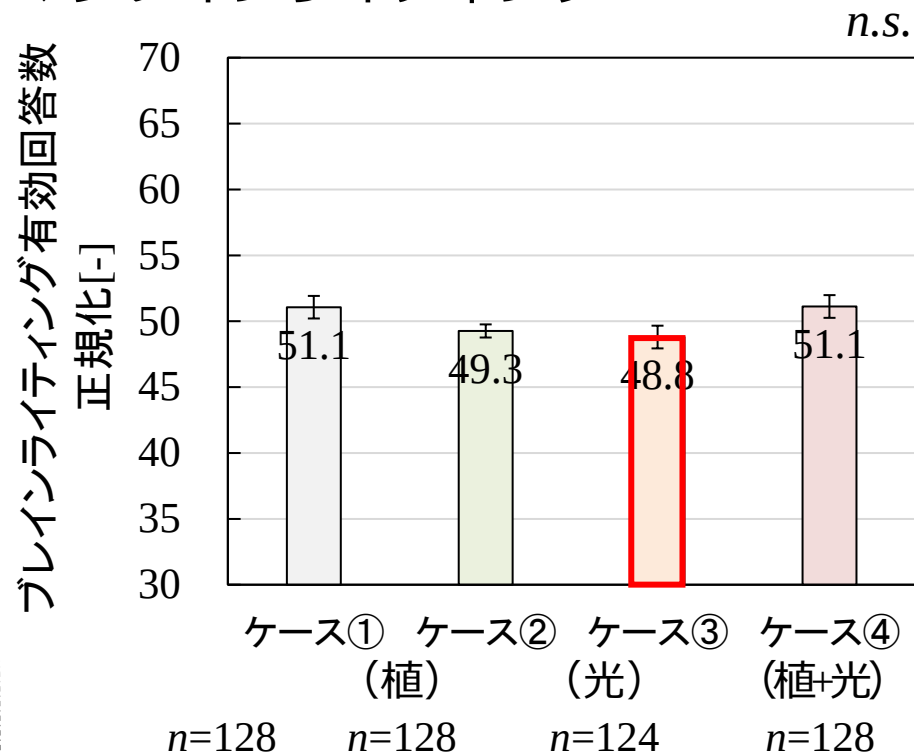
◆マインドマップ※4



- 室内緑化をしたケース②,④において
有意差はないが、成績が向上

⇒室内緑化と調光・調色照明が個人で行う
創造作業成績を向上させる可能性

◆ブレインライティング※4



- 有意差はないが、ケース③で最小、
その他のケース間で大きな差はなし

⇒調光・調色照明は集団で行う
創造作業成績を低下させる可能性

※1 エラーバーは標準偏差。一元配置分析を実施 (n.s.:有意でない +:p<0.10 *:p<0.05 **:p<0.01 ***:p<0.001)

※2 ケース1:緑化、調光・調色なし ケース2:緑化あり、調光・調色なし ケース3:緑化なし、調光・調色あり ケース4:緑化、調光・調色あり

※3 n=アンケート回数(4回)×日数(16日間)×人数(8人)で算出 (遅刻による欠損あり)

※4 マインドマップ偏差値(正規化)= $50 + 10 \times ((\text{測定値}) - (\text{個人の平均値})) / (\text{個人の標準偏差値})$



光・視環境改善による学習効率向上

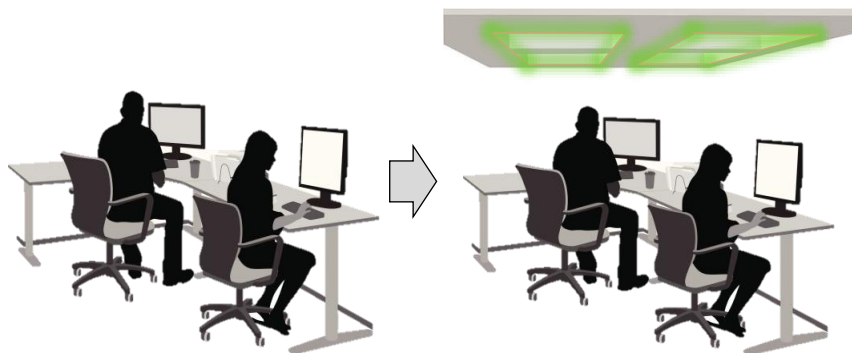
5

室内緑化と色温度・照度の組み合わせの違いが執務者の生理量・心理量・知的生産性に及ぼす影響について検討

調光・調色照明

単純作業成績を最大**11.2pt**向上

調光・調色照明の導入



ケース①

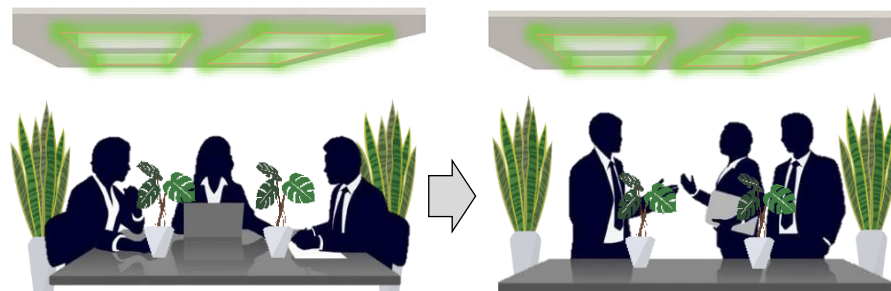
ケース③

資料作成などの個人作業を行う
執務空間に有効である可能性

調光・調色照明+室内緑化

作業後の**眠気・疲労感**
ストレス軽減効果

調光・調色照明+室内緑化の導入



作業前

作業後

企画やアイデアを創案する
会議空間に有効である可能性

快適な教育環境の実現と脱炭素に貢献する学校施設整備への提案

- 1 学校施設脱炭素化の背景
- 2 温熱環境改善による体調不良・集中力向上
- 3 体力と学力を向上する学校施設計画
- 4 断熱と換気設備による温熱空気環境の改善
- 5 光・視環境改善による学習効率向上

ご静聴ありがとうございました