

改修施設「温熱環境施設」の紹介 —施設概要、性能評価試験および活用事例—

佐々木 聖弥^{*1}・森 一顕^{*1}

昨今、ZEBの普及や異常気象に伴い、更なる温熱環境技術の向上が求められている。本技術研究所では温熱技術の検証の場として、温熱環境施設を保有しており、改修を経て2023年度より稼働を再開した。改修後の施設では屋内、屋外を模した2試験室を設けた。両試験室それぞれで温湿度、室圧の変更ができ、屋内環境試験室は壁吹出・床吹出の切り替え、屋外環境試験室は日射・降雨試験が行えるようになった。これにより、室内快適性の検証、新たな空調システムの検証、様々な気候下での施工方法の確認などが実施可能となった。本報は施設概要、2023年度に実施した各種装置の性能評価試験および活用事例について報告する。

キーワード：温熱環境、性能評価、実証試験、暴露試験

1. はじめに

昨今、建築物の省エネルギー性能の向上や、ZEB化への社会的要求が高まっており、当社においても、それら技術の研究・開発への取り組みを加速していく必要があると考えられる。また、ゲリラ豪雨や都市部の温暖化といった異常気象が顕在化しつつあり、建築に求められる品質にも変化の兆しがある。加えて、材料品質や施工技術の向上も課題となりつつある。いずれも理論・計画のみではなく、実証試験による設計、計画数値の検証が重要となる。

本技術研究所では、これら温熱環境や気象条件下の実証試験の場として、“温熱環境施設”を活用してきたが、築30年近くが経過し、装置の老朽化による故障を受け、2020年～2023年にかけて改修工事を行った。改修にあたって、冒頭で説明した社会的要求を満たすために、試験室の仕様および各種装置を一新した。

本報では更なる施設の活用を目的に、改修後の施設概要、本格的な試験に備え2023年度に実施した導入設備の性能評価試験、および活用事例について報告する。

2. 施設概要

2.1 全体構成

試験室および主要装置の配置を図-1に示す。改修後の温熱環境施設には、執務室などの屋内環境を再現する“屋内環境試験室”（写真-1）および、猛暑日やゲリラ豪雨などの極端な気候も再現可能な“屋外環境試験室”

（写真-2）の2部屋が設けられている。各試験室は壁一面で接して配置されており試験室間には、W3,000mm×H3,000mmの開口がある。平時は断熱材で構成されたブランクパネル（写真-3）で閉塞しており、開口として利用する際には本パネルを分割のうえ取り外す。

ブランクパネル設置状態では、各試験室単体で試験が行える他、ブランクパネルの一部、または全てをドアやサッシ等の建具、外壁材などの試験体と置き換えることで、断熱性や水密性の評価試験、屋内環境試験室と屋外環境試験室を組み合わせた試験などを行うことも可能である。

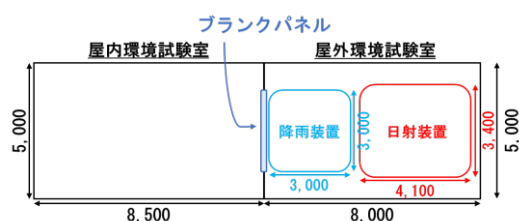
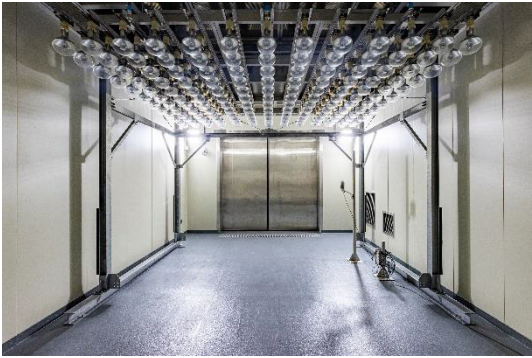


図-1 試験室配置



写真-1 屋内環境試験室

*1 環境研究部



写真－２ 屋外環境試験室



写真－３ ブランクパネル（屋内環境試験室側）

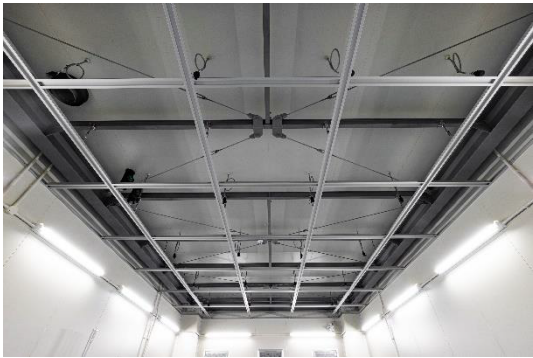
2.2 屋内環境試験室の概要

屋内環境試験室の仕様を表－１に示す．室内寸法はW5,000mm×L8,500mm×H3,300mmである．給気は壁吹き出しと床吹き出しを目的に応じて切り替えて利用可能である．還気は壁吸い込みとなっている．室内空気温度は0℃～40℃，室内空気相対湿度は20%RH～95%RHで制御が可能である．ただし，室内空気相対湿度については，温度10℃以下条件では成り行きとなる．また，空調機を介して外気導入する，または排気を行うことで，試験室外に対して加圧・減圧が可能である．隣室の屋外環境試験室と正負異なる圧力を設定し，稼働することで室間差圧±100Paが設定可能であり，風圧によるサッシの漏気などが再現できる．なお，壁試験体など気密性が不十分な場合には実現差圧絶対値が小さくなる点に，注意が必要である．

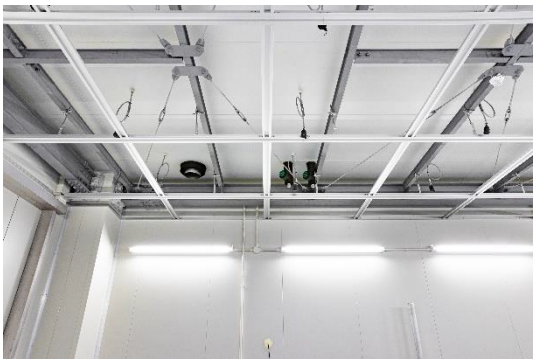
屋内環境試験室の特徴として，天井面にはシステム天井用のフレーム（□1,200mm）が設置されており，各所に100V電源が配置されている（写真－４）．各グリッドへの照明機器やファン等の設置を想定したものである．また，屋外環境試験室の降雨装置の温度制御のための冷凍機と接続した冷温水の送り，還り配管があり，空調機を取り付けた際の冷温水熱源として利用が可能となっている（写真－５）．

表－１ 屋内環境試験室仕様

室内寸法[mm]	W5,000
	L8,500
	H3,300
給気	壁吹き出しor床吹き出し
還気	壁吸い込み
温度制御範囲	0℃～40℃
相対湿度制御範囲	20%RH～95%RH *10℃以下は成り行きとなる
室間差圧制御範囲	±100Pa 隣室との室間差圧を設けることで設定可能
特徴	システム天井フレーム□1,200mm
	各グリッドに100V電源
	天井面に冷温水送り、還り配管あり



写真－４ 屋内環境試験室 天井仕様



写真－５ 屋内環境試験室内 冷温水配管設備

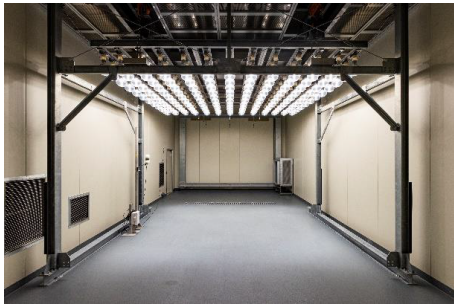
2.3 屋外環境試験室の概要

屋外環境試験室の仕様を表－２に示す．室内寸法はW5,000mm×L8,000mm×H3,940mm（日射装置下はH3,000mm）である．給気は天井全面パンチングメタルからの吹き出し，還気は壁吸い込みである．室内空気温度を-30℃～60℃，室内空気相対湿度を20%RH～95%RHで制御可能である．ただし，相対湿度については，屋内環境試験室同様に温度10℃以下条件では成り行きとなる．また，室間差圧に関しても屋内環境試験室同様に±100Paが設定可能となっている．外壁からの外気リークや水密性などについての試験を想定したものである．

表－２ 屋外環境試験室仕様

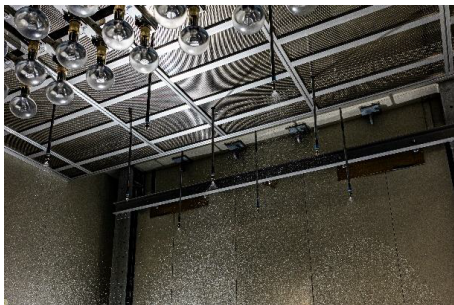
室内寸法[mm]	W5,000
	L8,000
	H3,940(日射装置下H3,000)
給気	天井吹き出し
還気	壁吸い込み
温度制御範囲	-30℃～60℃
相対湿度制御範囲	20%RH～95%RH * 10℃以下は成り行きとなる
室間差圧制御範囲	±100Pa 隣室との室間差圧を設けることで設定可能
特徴	日射装置
	日射量: 150～1,200W/㎡
	照射範囲: 3,400mm×4,100mm
	降雨装置
	降雨量: 10～100mm/h
	降雨範囲: 3,000mm×3,000mm

屋外環境試験室の特徴の一つに日射装置がある（写真－６）。水平面 3,400mm×4,100mm の所定の範囲に日射量 150W/㎡～1,200W/㎡で照射が可能となっている。また、日射装置を回転させることで、試験室間の開口部に正対した条件での照射が可能となっており、水平面照射だけでなく、西日などを想定した鉛直面への日射を再現することもできる。



写真－６ 屋内環境試験室。日射装置

もう一つの特徴として、降雨装置がある（写真－７）。3,000mm×3,000mm の範囲を対象として、降雨量 10mm/h～100mm/h を再現することが可能となっている。これは天井面に田の字状に等間隔で配置した 9ヶ所のノズルより水噴霧にて再現する。また、降雨噴射角度を変えることができ、横雨などの降雨状況を再現することができる。さらには降雨噴霧時水温も設定可能である。



写真－７ 屋内環境試験室。降雨装置

３．性能評価試験

３．１ 概要

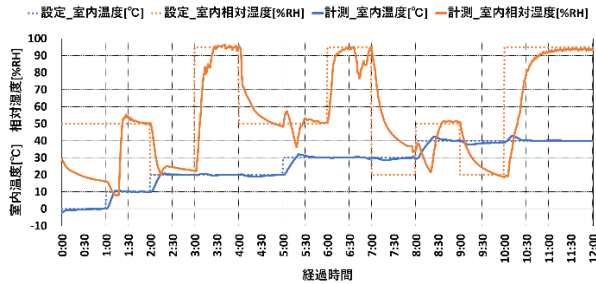
竣工年の 2023 年度に、施工業者が実施した竣工時の上下限温度設定に対する定常試験、最大日射量や降雨量等の試験の他、施設管理者による性能評価試験を実施した。これは、試験室の基本的な性能を把握することを目的とし、以降の試験において試験条件、および試験結果の品質を担保する狙いである。なお、性能評価試験では、設定室内温度の変化など非定常的な条件下での動特性を把握することを主眼としている。次節より、各種試験について説明していく。

３．２ 温湿度試験

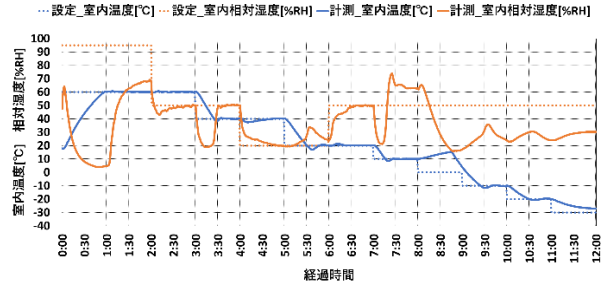
本試験では、屋内環境試験室と屋外環境試験室の両試験室にて、温湿度設定を段階的に変化させていき、設定温度に対する実室温度の追従性、応答性を評価した。評価にあたっては、各試験室の設定下限温度から、設定上限温度までを段階的に温度上昇させていき、各温度帯でさらに段階的に湿度を変化させて行った。また、設定上限温度から設定下限温度までの温度下降も同様に行った。

計測方法は各試験室内に自記式温湿度計を制御用温湿度計計測部と併せて、試験室中央の高さ FL+1,500mm に設置した。

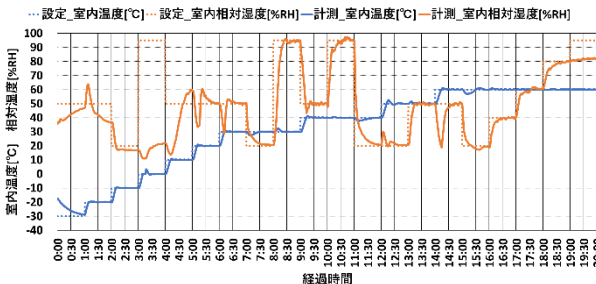
温度上昇の屋内環境試験室結果を図－２、屋外環境試験室結果を図－３に示す。温度上昇の試験を行った結果、各試験室ともに、温度 10K 上昇させるのに要する時間は 20 分ほどであった。設定値到達直後はやや温度が安定しないが、ほどなく安定し、以降設定に対して、概ね ±0.5K で維持できていることが確認できた。また、室内相対湿度に関しては 10℃以下の湿度制御不可範囲を除いて、1 時間で設定値に到達できている。さらに、図－２の 10 時間経過時点に着目すると、相対湿度を 20%RH から 95%RH へ設定変更した際にも 1 時間ほどで応答ができている。ただし、図－３に示した屋外環境試験室では、19 時間経過時の 60℃・95RH% 設定変更時は、以降 1 時間経過後にも 85%RH までの到達に留まる。最高温湿度設定ということで、60℃ 85%RH が加湿負荷最大条件であると考えられる。試験条件として、設定が必要な際は、外気導入量の調整や扉などの養生が必要となる。



図－2 温度上昇 屋内環境試験室 試験結果

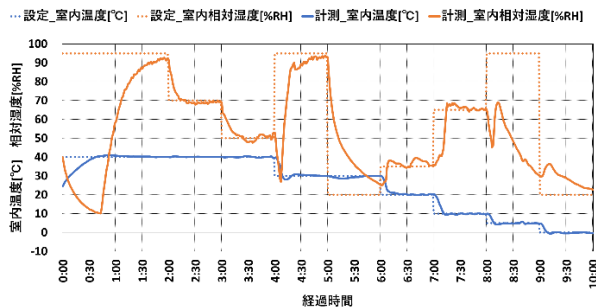


図－5 温度下降 屋外環境試験室 試験結果



図－3 温度上昇 屋外環境試験室 試験結果

温度下降の屋内環境試験室結果を図－4、屋外環境試験室結果を図－5に示す。図－4に着目すると、温度については各設定条件下ともに概ね $\pm 0.5\text{K}$ で維持できている。相対湿度の設定への到達時間状況に着目すると、4時間経過時に50%RHから95%RHに変更したが1時間では到達せず、そののちの20%RHに設定変更した際にも到達していない。その他では、1時間で30%RH程度の变化速度には追従していることから、概ね湿度応答性の目安は、30%RH/h程と考える。図－5に着目すると、屋外環境試験室での温度下降では、 0°C 以下では温度下降が緩やかとなっている。11時間経過時の -20°C から -30°C への設定変更では1時間を要している点は今後運用でも注意を要する。



図－4 温度下降 屋内環境試験室 試験結果

3.3 室間空気差圧試験

本試験では、屋内環境試験室と屋外環境試験室にて、各々に試験室外基準点との差圧を設定した際の実室空気圧力について確認した。

計測時の各試験室条件は、屋内環境試験室を温度 25°C 相対湿度50%RH、屋外環境試験室を温度 15°C 相対湿度50%RHとした。

室圧計測では、基準圧力が温度変化、気流変化の小さい当該建屋地下のピットに設置されており、試験室側室圧計の計測器を屋内環境試験室と屋外環境試験室それぞれに室平面中央FL=+1, 500mmに設置した。室圧の設定は、屋内環境試験室>屋外環境試験室を陽圧、屋内環境試験室<屋外環境試験室を陰圧とした。

室間差圧試験結果を表－3、表－4に示す。設定入力後1分程度で室圧が設定値に到達しその後5%程度の変動範囲で動作したものを合格としている。

陽圧試験結果では、室間差圧100Paの2ケースがブラנקパネルの設置調整が不十分で隙間が大きく、気密性が不十分であったことから、不可であった。そこで、ブラנקパネルの隙間をテープにて養生し、再度確認を行った結果、屋内環境試験室0Pa、屋外環境試験室-100Paは合格となったが、屋内環境試験室100Pa、屋外環境試験室0Paでは、差圧生成にかかるファンの性能差により、屋内環境試験室が85Paまでしか到達しなかった。運用する際は、室内が加圧された条件再現にあたって、屋外環境側を基準に対して、負圧設定とすることが合理的と考えられる。

陰圧試験結果では室間差圧50Pa試験における屋内環境試験室-50Pa、屋外環境試験室0Paの場合と、室間差圧100Pa試験の結果は、陽圧試験と同様にブラנקパネルの隙間の影響により一旦不合格となったが、隙間を塞いだ結果、いずれの試験においても合格となった。

表－3 陽圧試験結果

陽圧(屋内>屋外)			
室間差圧	屋内試験室	屋外試験室	結果
10Pa	10Pa	0Pa	合
	0Pa	-10Pa	合
30Pa	30Pa	0Pa	合
	0Pa	-30Pa	合
50Pa	50Pa	0Pa	合
	0Pa	-50Pa	合
100Pa	100Pa	0Pa	否
	0Pa	-100Pa	否→合

表－4 陰圧試験結果

陰圧(屋内<屋外)			
室間差圧	屋内試験室	屋外試験室	結果
10Pa	0Pa	10Pa	合
	-10Pa	0Pa	合
30Pa	0Pa	30Pa	合
	-30Pa	0Pa	合
50Pa	0Pa	50Pa	合
	-50Pa	0Pa	否→合
100Pa	0Pa	100Pa	否→合
	-100Pa	0Pa	否→合

3.4 降雨試験

本試験では、屋外環境試験室に設置されている降雨装置の評価として、地上高さにおける降雨量の設定と実測の比較を行い、想定降雨範囲の分布を評価した。また、降雨中の室内温湿度制御の応答性の確認も行った。

降雨量の計測方法は、降雨範囲内に4ヶ所容器を設けて、水位を計測し、降雨継続時間と併せ降雨強度の分布の確認を行った。温湿度は温湿度計を設置し計測を行った。試験室の条件として、降雨強度は降雨量最大設定値となる100mm/hとし、室内温度を10℃、40℃、25℃で1時間ずつ降雨させ、測定を行った。降雨時の温湿度制御性を確認するため、室温10℃では降雨水温30℃、室温40℃では降雨水温10℃、室温25℃では降雨水温10℃とし、極端な条件下での温度制御性を確認した。なお、制御および記録用温湿度計は室中央に設置した。

降雨量計測結果を表－5に、温湿度計測結果を図－6に示す。設定降雨量に対して、実測降雨量の誤差率（実測降雨強度を設定降雨強度にて除して1を引き、100分率で表現したもの）にて評価した結果、測定点4点で降雨量のばらつきが見られた。原因として、空調の天井吹き出し・壁吸い込みおよび壁等による気流の影響と考えられる。今回の試験では降雨ノズルの角度を直下としたが、試験体のサイズ等によってはノズル角度を中央に集中させるなど、留意が必要と考えられる。

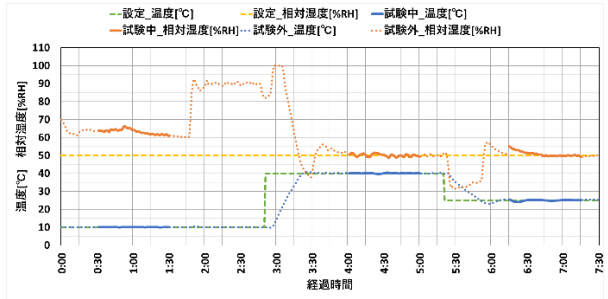
降雨時の試験室内温湿度計測では、詳細は割愛するが、3試験とも設定温度に対して、±1℃の範囲で維持できていることが確認できた。また、相対湿度は湿度制御不可の10℃帯では、降雨による相対湿度95%RHとなったが、40℃、25℃では50±2%RHの範囲で維持できていた。

降雨範囲空間における湿度状態を対象から外せば、

降雨時でも温湿度の制御が可能であると考えられる。なお、降雨試験においてはノズルを付け替えることで小雨量へ対応させ、ノズルの開閉や角度調整により降雨範囲を調整することが可能である。試験条件に応じて事前確認を行い、適切な降雨範囲での試験が可能と考えている。

表－5 降雨量計測結果

試験条件			測定点	誤差率	平均
試験①	室温	10℃	①	15%	8%
	湿度	50%	②	0%	
	水温	30℃	③	20%	
			④	-2%	
試験②	室温	40℃	①	8%	7%
	湿度	50%	②	13%	
	水温	10℃	③	18%	
			④	-12%	
試験③	室温	25℃	①	13%	10%
	湿度	50%	②	13%	
	水温	10℃	③	24%	
			④	-12%	

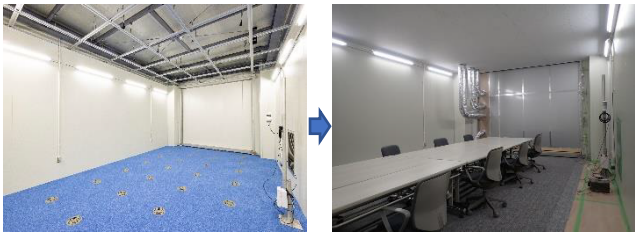


図－6 温湿度計測結果

4. 温熱環境施設の活用事例

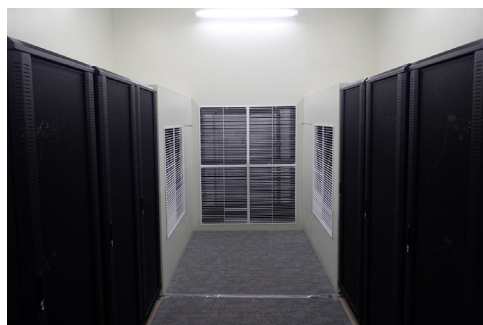
本施設では、2試験室単体、2試験室連動しての試験が可能となっている。

屋内環境試験室では写真－8のように、天井を貼り、机や椅子などの什器を設置することで、執務室を再現することが可能となる。ここに、人体やパソコン、モニター、プリンター等の機器発熱を模擬し、温湿度計測計や快適指標を計測するPMV計、風速計などの計測機器にて、計測することで空調システムを執務室に導入した際の温度ムラや温調等の温熱環境、執務者の快適性を検証することができる。



写真－8 屋内環境試験室 執務室再現（例）

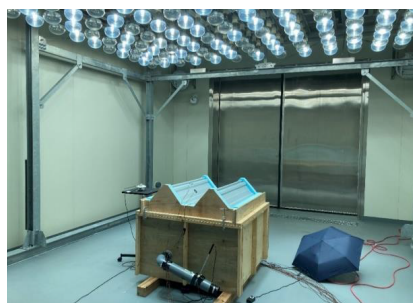
執務室の他に、写真－9のようなデータセンターのサーバー室の一角を模したモックアップでの試験も可能である。これはサーバーを適切に冷却するための空調システム条件を検証した事例である。このように、特殊な室内条件での実証試験も行うことができる。



写真－9 屋内環境試験室。データセンター試験（例）

次に屋外環境試験室の活用例として、幅広い室内温湿度設定と降雨・日射装置による、建築や土木現場での施工方法の検証が挙げられる。試験室内では猛暑日や寒波などの極端な気候を再現することができ、昨今の異常気象に対応した施工方法を検証することができる。また、試験体や機器の暴露試験も実施でき、前述した極端な環境下に、試験体や機器を設置した際に、発生する不具合の有無や、所定の性能を発揮できるか等を検証することができる。

これらの他に、建物の断熱や遮音性能の検証が行える。実施例として、写真－10のような日射装置を用いた断熱性能試験がある。本試験は、写真－11のように屋根以外の壁・床5面に断熱材（スタイロフォーム100mm）を施し、工場・倉庫に多く用いられる折版屋根へ、断熱仕様を数ケース試し、断熱仕様による性能の違いを検証したものである。この他に想定される試験として、降雨装置下に前述と同様の箱試験体を設置し、雨が屋根にあたった際に、遮音性能による内部へ及ぼす音の検証が考えられる。断熱、遮音と建物の運用に重要な要素が本試験室で検証可能である。



写真－10 屋外環境試験室 断熱性能試験（例）



写真－11 断熱性能試験（例） 試験体内仕様

最後に、2試験室を連動させた試験を紹介する。1つは、図－7のような屋内環境試験室を執務室とし、屋外環境試験室の日射装置を垂直とし、室間パネル部に窓を設置することで、窓性能やエアフローウィンドウによる室内への影響を検証することができる。

2つ目に、室間パネル部に扉や窓等を設置し、2試験室の室圧差を設けることで、漏気の検証が可能となっている。これは建具等からの漏気の把握、対策に繋がっており、室内の気密性の向上が図れると考える。

以上の各試験室それぞれの試験、2試験室連動しての試験を行っていくことで、建築、土木の各分野において、不具合の防止や、施工性の向上、建物品質の向上が図れると考えられる。



図－7 2試験室連動試験（例）

5. おわりに

当社において、ZEB技術の研究・開発や、異常気象に対する施工性、建材の評価などを検証する場として、温熱環境施設の改修を行い、2023年度より再稼働した。本報では、改修後の温熱環境施設の仕様、および一新された各種装置の性能評価試験について述べた。また、2試験室単体、2試験室を連動させた活用事例の紹介を行った。

2023 年度に再稼働してから、現在までに複数の試験を行っており、当社の技術開発、現場支援に活用してきた。当施設では建築分野、土木分野で幅広い試験に対応が可能となっており、今後も更なる技術開発、および現場支援に努めていく。

参 考 文 献

- 1) 田中俊六, 武田仁, 土屋喬雄, 岩田利枝, 寺尾道仁: 最新. 建築環境工学 [改訂 3 版], 2006
- 2) 佐々木聖弥: 温熱環境棟の仕様と性能評価試験, 安藤ハザマ技術年報. Vol11 2023

Introduction to the renovated "Thermal Environment Facility"

- Facility overview, performance evaluation tests, and deployment of use cases -

Seiya SASAKI, Kazuaki MORI

In recent years, the spread of ZEB (Zero Energy Buildings) and abnormal weather conditions have necessitated further advancements in thermal environment technology. Our technical research institute possesses a thermal environment facility as a venue for verification, which, after renovations, resumed operations in the fiscal year 2023. The renovated facility features two test rooms simulating indoor and outdoor environments. Each test room allows for changes in temperature, humidity, and room pressure. The indoor environment test room can switch between wall and floor air outlets, while the outdoor environment test room can conduct solar radiation and rainfall tests. This enables the verification of indoor comfort, the testing of new air conditioning systems, and the examination of construction methods under various climatic conditions. This report presents an overview of the facility, performance evaluation tests conducted in fiscal year 2023, and use cases.