

温熱環境棟の仕様と性能評価試験 —試験室概要および、温湿度試験・室間空気差圧試験・降雨試験結果—

佐々木聖弥^{*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おり、そのためには検証を行える施設が重要となる。本技術研究所では、既存の温熱環境棟を改修し、屋内・屋外環境試験室を設けた。両試験室で温湿度・室内空気圧の変更ができ、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、温熱環境棟の基本スペックおよび、今後の本格稼働に先立ち実施した各種装置の性能評価試験について報告する。

キーワード：温熱環境、性能評価、温湿度計測、室間空気差圧計測、降雨量計測

1. はじめに

昨今、建築物の省エネルギー性能の向上、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、近年の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り、伴って材料・施工技術の対応も課題となりつつある。いずれも理論・計画のみではなく、実証試験による裏付けが重要となる。

本技術研究所では、こういった温熱環境や気象条件下の実証試験の場として、温熱環境棟を活用してきたが、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、改修後の温熱環境棟の概要を紹介する。加えて、一新された各種装置の性能を把握するため、性能評価試験を実施しており、その一部の①温湿度試験、②室間空気差圧試験、③降雨試験についての結果を報告する。

2. 試験室概要

2.1 全体構成

試験室および各種装置の配置を図-1に示す。

改修後の温熱環境棟には、オフィスなどの室内環境を再現する“屋内環境試験室”（写真-1）および、様々な気候を再現する“屋外環境試験室”（写真-2）の2部

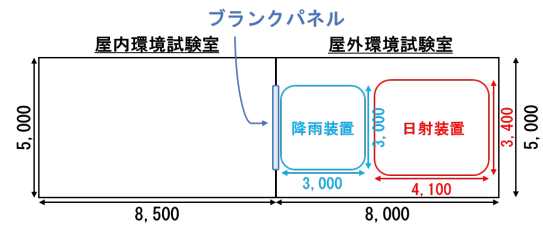


図-1 試験室配置平面図および各種装置配置



写真-1 屋内環境試験室

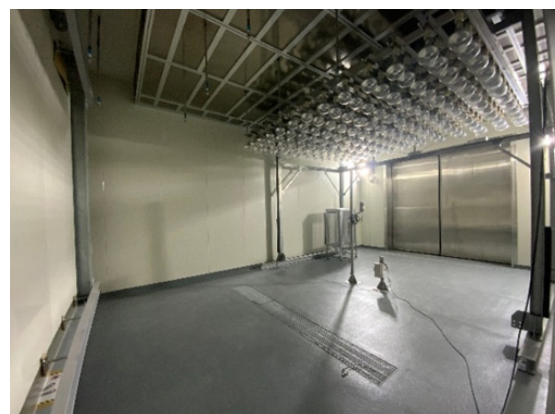


写真-2 屋外環境試験室

*1 環境研究部

屋が設けられている。各試験室は壁一面を接して配置されており試験室間には、3,000mm×3,000mm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。

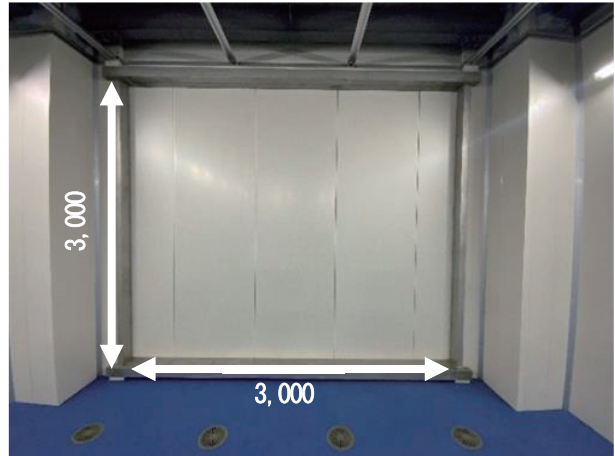


写真-3 試験室間 開口部 (ブランクパネル設置)

2.2 屋内環境試験室概要

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×H3,000mmである。給気は壁吹き出しと床吹き出しと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、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、または排気することで、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は小さくなる点には注意が必要である。

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。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。

表-1 屋内環境試験室仕様

室内寸法	W5,000
	L8,500
	H3,000
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

2.3 屋外環境試験室概要

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で変更が可能である。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

表-2 屋外環境試験室仕様

室内寸法	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/m ²
	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	

± 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。

屋外環境試験室の特徴の一つに日射装置が挙げられる。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。

もう一つの特徴として、降雨装置が挙げられる。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。降雨は湿球温度と同等程度になるなどの実気象条件を再現することを意図しての措置である。現実には起こらない温度を設定しても落水中に雰囲気湿球温度に近づく点には注意が必要である。

3. 性能評価試験

本施設の活用に先立ち、試験室の基本的な性能を把握することを目的として試験を実施した。なお、本試験に先立ち、竣工時に工事業者にて、上下限温度設定に対する定常試験、最大日射量、降雨量等に関する試験が既に実施されている。本試験では設定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。

3. 1 温湿度試験

3. 1. 1 試験概要

本試験では、屋内環境試験室および屋外環境試験室にて、温湿度設定を段階的に変化させていき、実室温の追従性を評価した。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いった。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。温湿度スケジュールは温度上昇を表-3、温度下降を表-4の通りとした。

表-3 温度上昇スケジュール

屋内環境試験室スケジュール			屋外環境試験室スケジュール		
経過時間	温湿度設定		経過時間	温湿度設定	
	温度[°C]	湿度[%]		温度[°C]	湿度[%]
0:00	0	50	0:00	-30	50
1:00	10	50	1:00	-20	50
2:00	20	20	2:00	-10	50
3:00	20	95	3:00	0	50
4:00	20	50	4:00	10	50
5:00	30	50	5:00	20	50
6:00	30	95	6:00	30	50
7:00	30	20	7:00	30	20
8:00	40	50	8:00	30	95
9:00	40	20	9:00	40	50
10:00	40	95	10:00	40	95
			11:00	40	20
			12:00	50	20
			13:00	50	50
			14:00	60	50
			15:00	60	20
			16:00	60	40
			17:00	60	60
			18:00	60	80
			19:00	60	95

表-4 温度下降スケジュール

屋内環境試験室スケジュール			屋外環境試験室スケジュール		
経過時間	温湿度設定		経過時間	温湿度設定	
	温度[°C]	湿度[%]		温度[°C]	湿度[%]
0:00	40	95	0:00	60	95
2:00	40	70	2:00	60	50
3:00	40	50	3:00	40	50
4:00	30	95	4:00	40	20
5:00	30	20	5:00	20	20
6:00	20	35	6:00	20	50
7:00	10	65	7:00	10	50
8:00	5	95	8:00	0	50
9:00	0	20	9:00	-10	50
			10:00	-20	50
			11:00	-30	50

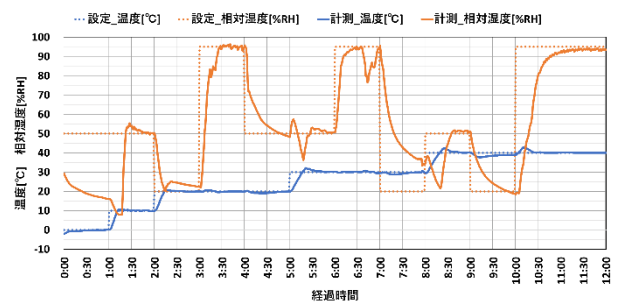


図-2 温度上昇 屋内環境試験室 試験結果

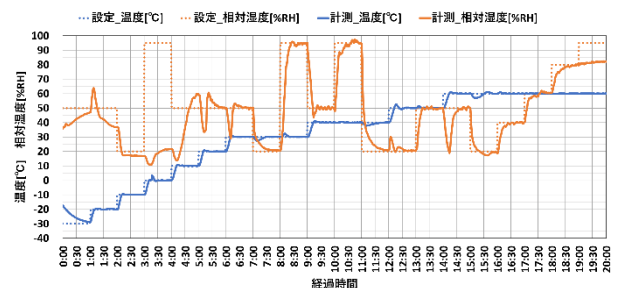


図-3 温度上昇 屋外環境試験室 試験結果

3. 1. 2 試験結果

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。

各試験室で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、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19時間経過時の60℃95RH設定変更時は、以降1時間経過後も85%RHまでの到達にとどまる。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、外気導入や扉などからのリークが影響したものと考えられ、外気導入量の調整や扉などの養生などで今後は正を図る。

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±0.5K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程度の変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℃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℃から-30℃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。

3. 2 室間空気差圧試験

3. 2. 1 試験概要

本試験では、屋内環境試験室および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℃相対湿度50%RH、屋外環境試験室を温度15℃相対湿度50%RHとした。

室間空気差圧計測では、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、試験室側差圧計の計測部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で設置した。屋内

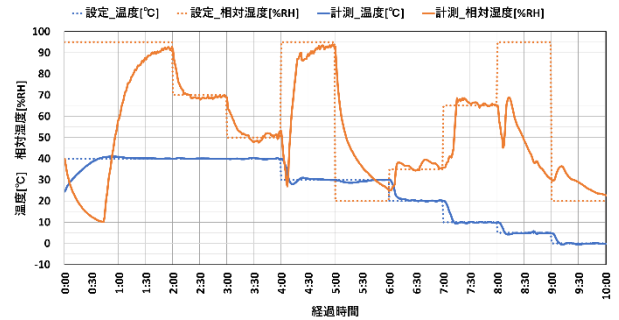


図-4 温度下降 屋内環境試験室 試験結果

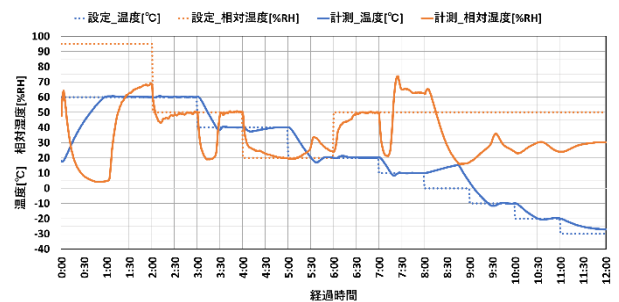


図-5 温度下降 屋外環境試験室 試験結果

表-5 室間差圧試験設定組み合わせ

陽圧(屋内>屋外)			陰圧(屋内<屋外)		
室間差圧	屋内試験室	屋外試験室	室間差圧	屋内試験室	屋外試験室
10Pa	10Pa	0Pa	10Pa	0Pa	10Pa
	0Pa	-10Pa		-10Pa	0Pa
30Pa	30Pa	0Pa	30Pa	0Pa	30Pa
	0Pa	-30Pa		-30Pa	0Pa
50Pa	50Pa	0Pa	50Pa	0Pa	50Pa
	0Pa	-50Pa		-50Pa	0Pa
100Pa	100Pa	0Pa	100Pa	0Pa	100Pa
	0Pa	-100Pa		-100Pa	0Pa

表-6 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-7 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

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，室間空気差圧の設定値を表-5とした。

3.2.2 試験結果

室間差圧試験結果を表-6，表-7に示す。

設定入力後1分程度で室圧が目的値に到達しその後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ケースが不可であった。原因として，各試験室間に設置してあるブランク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と考えられた。そこで，ブランクパネルの隙間をテープにて養生し，再度確認を行った。その結果，屋内環境試験室0Pa，屋外環境試験室-100Paは合格となった。一方で屋内環境試験室100Pa，屋外環境試験室0Paでは，屋内環境試験室が85Paまでしか到達しなかった。

これは差圧生成にかかるファンの性能差に起因する。室内が加圧された条件再現にあたっては，屋外環境側を基準に対して，負圧設定として運用することが合理的と考えられる。

陰圧試験結果では，屋内環境試験室-50Pa，屋外環境試験室0Paと100Paの差圧で不可となった。原因として，陽圧試験と同様にブランクパネルの隙間の影響と考え，隙間を塞いでの再度確認を行った。その結果，何れの試験においても合格を得られた。

3.3 降雨試験

3.3.1 試験概要

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。

計測方法は，降雨量を降雨範囲内に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。容器の配置を図-6に示す。

試験室の条件として，降雨強度は100mm/h，室温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。

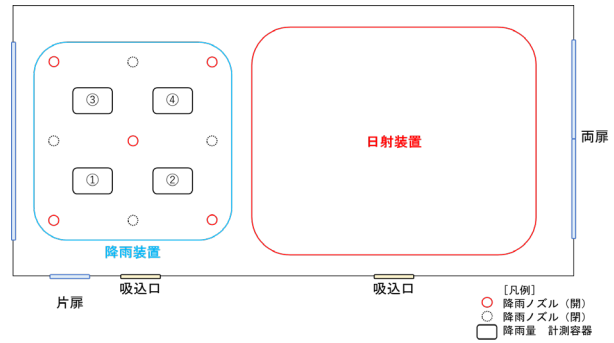


図-6 降雨試験配置

表-8 降雨量計測結果

試験①	試験条件		測定点	誤差率	平均
	室温	10℃	①	15%	
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%	

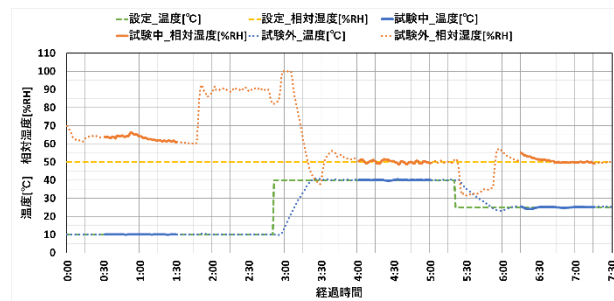


図-7 温湿度計測結果

3.3.2 試験結果

降雨量計測結果を表-8に、温湿度計測結果を図-7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、3試験ともに実測降雨量は③が一番多く、④が一番少ない傾向がみられ、各試験の平均は7~10%となった。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、 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 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°C 帯では、降雨による相対湿度95%RHとなったが、 40°C 、 25°C では $50 \pm 2\%RH$ の範囲で維持できていた。

湿度状態については降雨範囲を除けば、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する、ノズルの開閉や角度調整により分布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、適切な分布での試験が可能と考えている。

4. まとめ

当社において、ZEB技術の研究・開発、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

環境棟を活用しており、2020年～2023年にかけて改修を行った。本報では、改修後の温熱環境棟の仕様について述べた。また、今後の本格的な施設利用に先んじて、一新された各種装置の性能評価試験を実施し、温湿度試験、室間空気差圧試験、降雨試験について報告を行った。

性能評価試験によって、各種装置の特性を把握でき、また実試験に向けての留意点を把握できた。本試験結果を踏まえ、本格的な試験を実施していく。

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

Thermal environment building - performance evaluation test
- Test room overview and results of temperature/humidity tests, room air differential pressure tests, and rainfall tests -

Seiya SASAKI

In recent years, the ZEB (Net Zero Energy Building) is receiving a lot of attention. And abnormal weather is becoming more apparent. To solve these needs, we renovated indoor and outdoor environmental test chambers. Temperature, humidity, and room pressure can be changed in both test rooms. The outdoor environmental test room can now perform solar radiation and rainfall tests. This has made it possible to verify indoor comfort, verify new air conditioning systems, and confirm construction methods in various climates. This paper reports on the basic specifications of the thermal environment building and the summary and results of performance evaluation tests.