

# RC 造建築物におけるピロティ上部に位置する 居室内の温熱環境の改善

飯野 秋成\*, 松木 翔太\*\*

(平成 26 年 10 月 31 日受理)

## Improvement of the indoor thermal environment over pilotis of RC buildings

Akinaru IINO\* and Shota MATSUKI\*\*

In winter, surface temperature of indoor floors that cover outdoor pilotis is often too low for persons to work for a long time. In this research we tried to improve indoor thermal environment in meeting rooms on bridges that connected northern and southern buildings of Niigata Institute of Technology, Kashiwaki, Niigata, JPN, by using floor carpets. We showed that thermal loss from floor surface to pilotis was greatly reduced because of large thermal resistance of carpets. And also we clarified that estimation of air temperature in closed spaces between ceiling panels over pilotis and floors of upper rooms was possible by using observed data of outdoor air temperature in pilotis.

Key words: thermal environment, pilotis, carpet, thermal resistance

### 1. はじめに

新潟工科大学（以下本学）会議室は南棟と北棟を 2 階で連結するブリッジ内、すなわちピロティの上部に位置している。2012 年度後期の時点において、冬季には足下が寒いなど不満の声が挙げられており、実際冬季の会議室では作業を行うには、必ずしも好ましくない温熱環境となっていた。その原因としては、床面が外張断熱となっていること、および床下内部に 840mm を超える大きな空気層を持つため床面からの熱損失が大きいこと、などが考えられた。このような床下の構造は、RC 造建築物のピロティ空間ではしばしば見られる。ただし、ピロティ上に位置する居室内の室内温度分布や床面における熱流などの詳細

---

\* 建築学科教授 Department of Architecture and Building Engineering, Professor

\*\* 株式会社阿部建設 ABEKENSETU

については、これまでほとんど報告が見られない<sup>[1]</sup>。

そこで本研究では、本学会議室の温熱環境に注目し、内断熱を基本的な考え方として、カーペットを用いることにより改善を試みた。また、コンクリートスラブと金属パネルによって空気層が構成されたピロティ上部空間の床の熱収支の解析を行うため、精度を確保した伝熱モデルを作成することを試みた結果を報告するものである。

## 2. 本研究の基本的な考え方

本学の会議室は1~2時間程度の会議が1~2回/日程度行われるといった使用状況である。そのため熱容量の極めて大きい躯体の影響をあまり受けることなく、短時間で室温を目的のレベルにコントロールできる内断熱の対策をとることが有効である。そこで、本研究では、カーペットの敷設による本学会議室の温熱環境の改善を図り、その効果について夏季及び冬季において検証を行った。

床下内部の構造は150mmのコンクリートスラブの下に厚さ25mmの押出法ポリスチレンがあるのみで、その下には840mmの空気層がありそれが薄い金属パネルによって塞がれている。このような施工方法による断熱では会議室内の暖房による発生熱の多くは、室温を高めずに床スラブに吸収されてしまうことになる。

そこで、床面の熱収支の解析を行い、このようなピロティ上部空間の熱収支を把握するための伝熱モデルの作成を行った。

Table 1 Measurement plan.

計測条件	
窓及び遮光カーテンを閉め切り、10:40~12:00、14:40~16:00の間、冷暖房の運転を行い計測する。(冷房の設定温度は26℃、暖房の設定温度は24℃とする。)また夏季、冬季の違い等詳細な条件は下記の通りとする。	
夏季実測調査 (2012年8月30日~9月3日)	
CASE1:	第2会議室において、床面にカーペットを敷設し、冷房の運転を行い計測する。
CASE2:	第2会議室において、床面にカーペット及び押出法ポリスチレン25mmを敷設し冷房の運転を行い計測する。(CASE2のみ、冷房の設定温度を26℃と、20℃の状態での実測を行う。)
CASE3:	第3会議室において、床面は現状のまま、冷房の運転を行い計測する。
冬季実測調査 (2012年12月21日~12月23日)	
CASE1:	第4会議室において、床面にカーペットの敷設し、暖房の運転を行い計測する。
CASE2:	第3会議室において、床面は現状のまま、冷房の運転を行い計測する。
CASE3:	第2会議室において、床面は現状のままとし、暖房の運転は行わず計測する。
気温・相対湿度	屋上、ピロティ部分、各会議室、前面廊下に温度計を設置し、一定間隔毎に自動計測する。また床下内部に熱電対を設置し、スラブ内の計測も行う。
表面温度	ピロティ部分、各会議室、前面廊下、床下内部に熱電対を貼り付け、一定間隔毎に自動計測する。
グローブ温度	各会議室の中央にグローブ球を設置し、熱電対を用いて一定間隔毎に自動計測する。
熱流	会議室床表面、床下内部に熱流計を設置し、一定間隔毎に自動計測する。
日射	屋上に日射計を設置し、一定間隔毎に自動計測する。
気流	屋上及び、ピロティ部分の2点において、風速計を設置し、一定間隔毎に計測を行う。

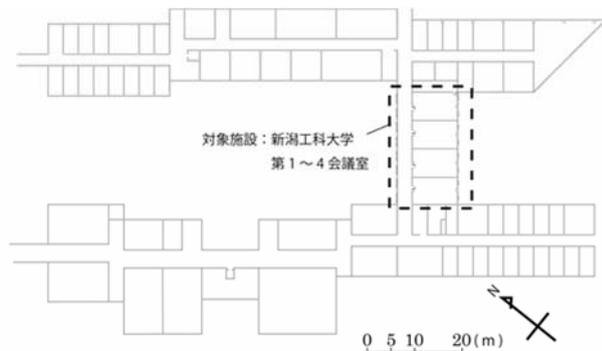


Fig.1 Building plan.

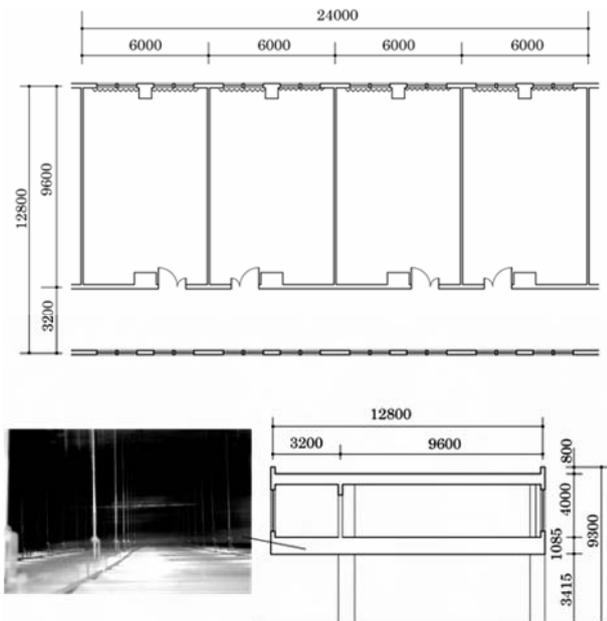


Fig.2 Plan and section of meeting rooms.

### 3. 実測調査

本学会議室の温熱環境について、現状の調査とカーペット敷設による温熱環境改善への効果の検証を行うため、夏季と冬季に実測調査を行った。

対象施設は新潟工科大学会議室及び渡り廊下、また渡り廊下の屋上及び会議室床下内部その下のピロティ部分を対象とし調査を行った。カーペットは全厚 6.5mm であり、上部はナイロン、下部はゴムシートによって構成されている一般的な事務室フロア用のものを用いた。

実測詳細は Table 1、計測機器の配置は Fig. 3 の通りである。

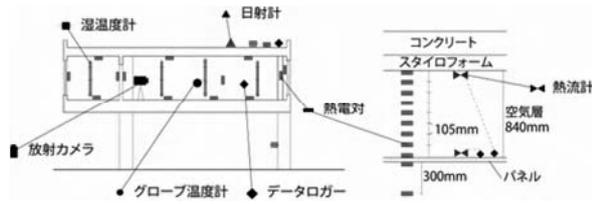


Fig.3 Place of measurement instruments..

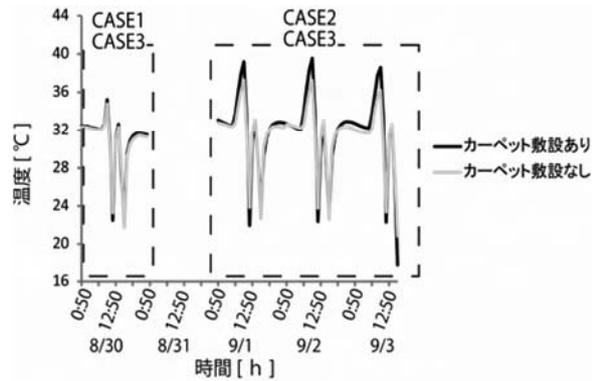


Fig.4 Averaged temperature observed in meeting rooms.

### 4. 調査結果

#### 4.1 夏季調査結果

まず Fig. 4 に会議室内の気温の平均を比較すると、冷房運転開始前は、CASE3 よりも CASE1 及び CASE2 の方が平均で 2°C 程温度が高くなったが、冷房の運転が開始されると急激に温度が下がった。1 回目の冷房の運転停止直前の温度を比べてみると、CASE1 及び 2 の方が CASE3 に比べ平均で 1°C 程低い温度となった。

Fig. 5 は気温の鉛直歩行の分布である。カーペットの敷設を行った CASE1 及び 2 の方がカーペットの敷設を行っていない CASE3 に比べ上下の温度差が大きくなっていたが、これは全体的に温度が低くなっており、冷房が効果的に利用出来たためであると考えられる。

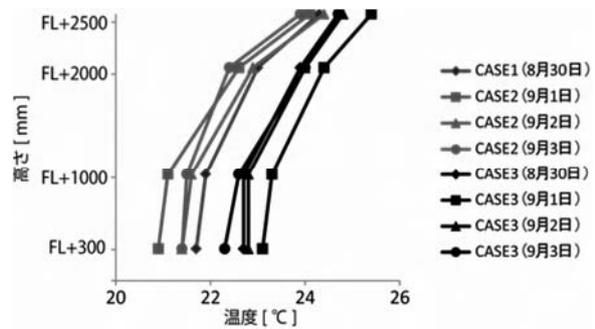


Fig.5 Vertical distribution of air temperature in each case at noon.

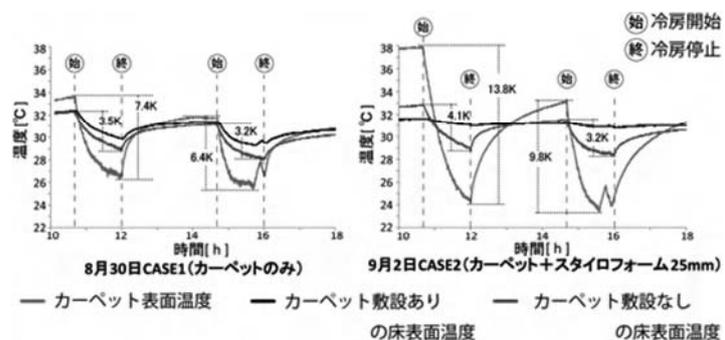


Fig.6 Diurnal change of floor surface temperature in summer.

Fig. 6 の床表面温度では、冷房の運転開始前カーペット敷設を行った方が表面温度が高かった。これはカーペットが熱を保持したためであるが、冷房の運転を開始すると急激に表面温度が下がり、その温度差はカーペットを敷設しない場合に比べて 2 倍以上の温度変化があった。また、カーペットのみ敷設した場合とカーペットと押出法ポリスチレンをあわせて敷設した場合を比較すると、押出法ポリスチレンをあわせて敷設した方は、カーペット下の床表面温度の温度変化があまり見られなかった。これは、押出法ポリスチレンによって会議室から床コンクリートスラブへの熱流が遮断されたためだと考えられる。

夏季実測調査では、カーペットを敷設することで冷房の効果を効率よく得ることができ、夏季温熱環境の改善について効果が見られた。

さらに押出法ポリスチレンをあわせて敷設することで室内から床コンクリートへの熱流の大半を遮断し、床面からの熱損失を大きく低減することができる。これによって会議室の温熱環境の改善に高い効果を得ることができる。しかし、本学会議室は可動式間仕切壁によって仕切られており、押出法ポリスチレンを敷設すると、間仕切壁を動かすににくい状況となる。

#### 4.2 冬季調査結果

冬季実測調査の結果、カーペットの敷設は冬季温熱環境の改善にも効果が見られた。

Fig. 7 は 12 月 22 日のグローブ温度の比較である。カーペットを敷設した場合はしない場合と比べると、敷設した方が約 3℃高くなり、会議室が暖まっている

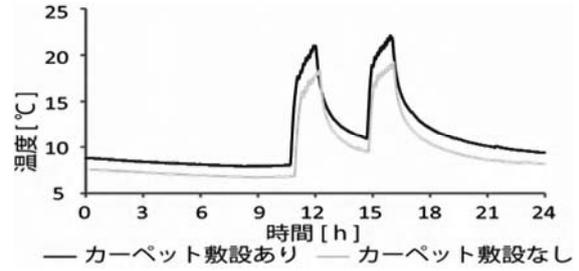


Fig.7 Diurnal change of globe temperature at meeting rooms in winter.

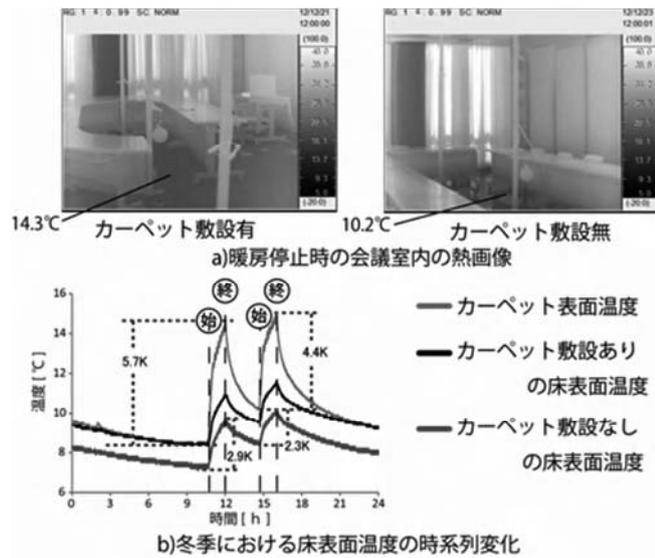


Fig.8 Diurnal change of floor surface temperature at meeting rooms in winter.

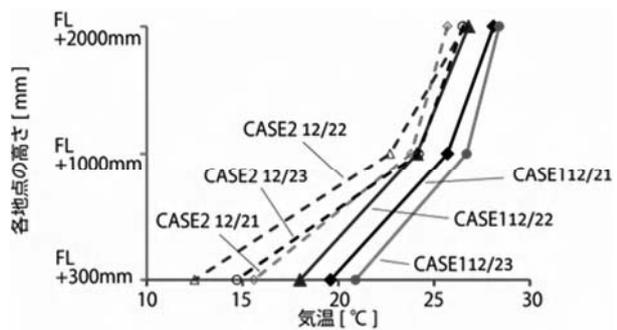


Fig.9 Vertical distributions of air temperature in each case at noon in winter.

といえる。

Fig. 8 に示す床表面温度では、夏季に見たようにカーペットが熱を保持するため、敷設しない場合に比べて  $1^{\circ}\text{C}$  程高くなった。暖房の運転を開始すると急激に温度が上がり、暖房使用前後の温度差はカーペットを敷設した場合で  $5.7\text{K}$ 、していない場合は  $2.9\text{K}$  と 2 倍近い温度差になっていた。また暖房の停止時には  $4\text{K}$  も温度差が見られた。

Fig. 9 は会議室内気温の鉛直方向温度分布である。床付近の気温と天井付近の温度差は暖房開始前では鉛直方向での温度差はほとんどないが、暖房運転停止時の鉛直方向温度分布は、カーペット敷設を行った場合は平均で  $8.3\text{K}$ 、行わない場合は  $12.0\text{K}$  と、敷設した場合の方が  $4\text{K}$  程小さくなった。

このように、素早く温度が上がることによって足下温度を素早く上昇させることができ、冬季温熱環境の大きな問題点であった足下の寒さを改善することができた。また床面への熱損失を低減することによって暖房を効率よく利用することができ、空調に関わる省エネルギーの観点でも効果が確認された。

## 5. 床下内部の伝熱の状況の解析

### 5.1 床下内部空気層の調査結果伝熱モデルの作成

Fig. 10 は床下内部空気層の鉛直方向温度分布である床下内部空気層は、中央で温度の異なる 2 つの空気層に分かれ、その温度境界面が明瞭に存在することが判明した。

また、Fig. 11 に示す空気層の温度変化を見ると、2 つの空気層の温度差は

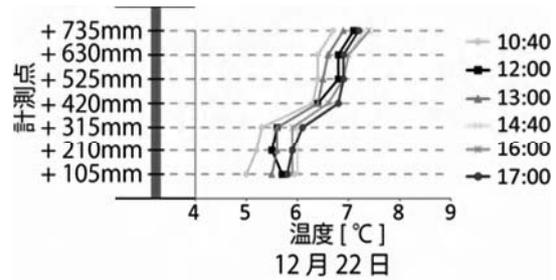


Fig.10 Vertical temperature distributions of air layer under floors.

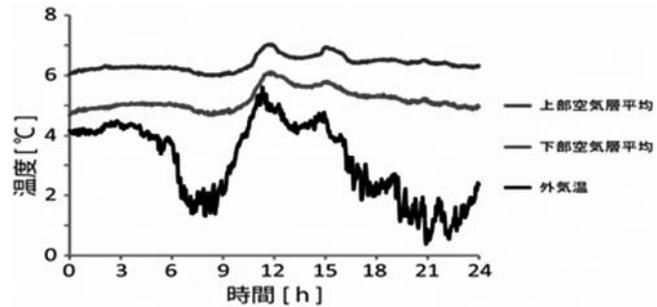


Fig.11 Diurnal change of air layer temperature under floors.



Fig.12 Heat balance model under floors.

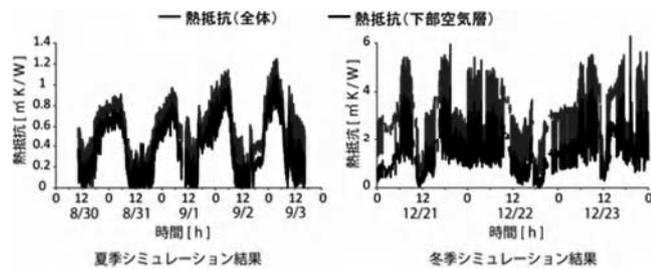


Fig.13 Estimation results of thermal resistance of air layers under floors.

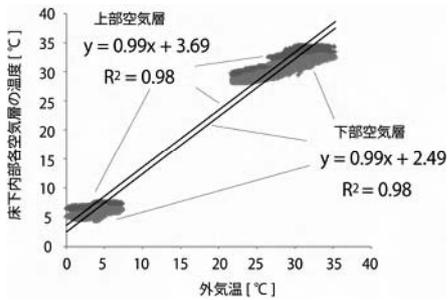


Fig.14 Regression lines.

一定で変化しており、また空気層の温度変化に注目すると、外気温から強い影響を受けており、外気温の方が温度変化の起伏は激しいが、空気層は外気温の温度変化から若干遅れて同じ波形で変化していた。

この空気層の実測結果から床面の熱収支の解析を行うために、Fig. 12 に示す 2 つのアプローチから伝熱モデルを作成した。伝熱モデルは、熱容量を無視し熱抵抗のみをパラメータとして与える<sup>[2]</sup>ことで床面の熱収支を解析する「熱抵抗モデル」と、実測結果の統計から空気層の温度を外気温から回帰させて与える「温度回帰モデル」、の 2 つのアプローチから作成した。そして、それらにより求めたパラメータを用いた床スラブの熱収支の数値シミュレーションを実施して、その精度の確認を行った。

## 5.2 シミュレーション結果

「熱抵抗モデル」を用いてシミュレーションを行うために、計測した熱流から熱抵抗の算出を行った結果を Fig. 13 に示す。

熱抵抗の値は夏季では平均 0.5 (m<sup>2</sup>K/W)、標準偏差 0.3 (m<sup>2</sup>K/W) 程度の範囲での変動であった。しかし、冬季では平均 2.4 (m<sup>2</sup>K/W)、標準偏差 1.4 (m<sup>2</sup>K/W) と大きい範囲で変動した。また夏季と冬季で値が大きく変動して

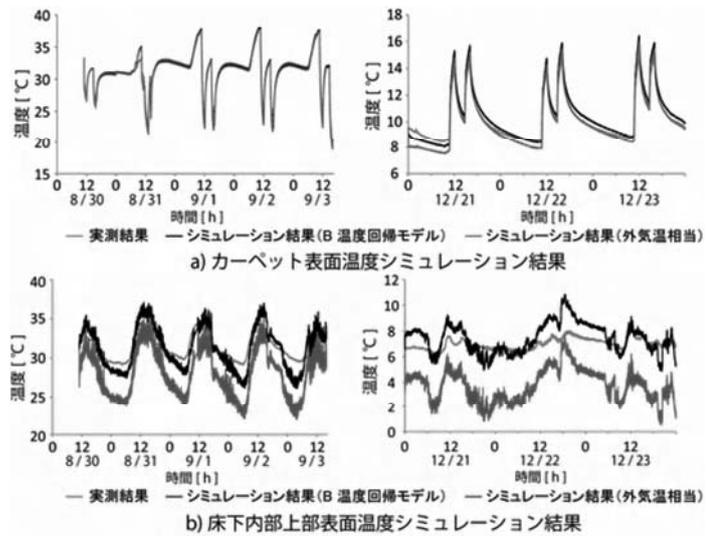


Fig.15 Estimation results of surface temperature of floors of meeting rooms by numerical simulation of heat balance.

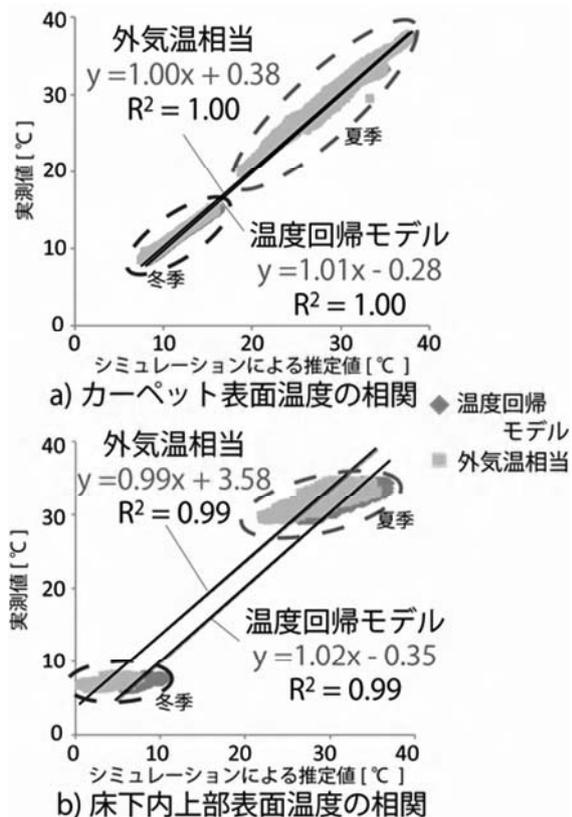


Fig.16 Relations between simulation results and experimental data.

しまい、伝熱モデルを作成してシミュレーションを行うためのパラメータが一定とならずに扱いにくいという問題点があった。

一方で、「温度回帰モデル」を用い解析を行ったところでは、Fig. 14のような回帰式を用いることによって、外気温から空気層の温度を与えることができた。この回帰式を用い空気層温度を算出し、床面の熱収支のシミュレーションを行い、空気層を外気温とした場合としたものと比較を行った。Fig. 15にシミュレーション結果を示す。室内側床表面温度のモデルでも外気温相当のシミュレーション結果も実測値とほぼ等しい値となった。床下内部室内側表面温度ではモデル、外気温相当ともに、実測値よりも若干温度変化の起伏が激しかったが、変化の波形は等しかった。

また、Fig. 16のシミュレーション結果と実測値の相関では、「温度回帰モデル」は冬季のシミュレーションにおいて外気温相当とした場合よりもより高い精度を持っていることがわかる。このことから「温度回帰モデル」を用いることにより、ピロティ上部の居室における床面の熱収支を解析することができる、と結論づけられる。

## 6. 結論

本研究により、以下の知見を得た。

- 1)カーペットの敷設により、冷暖房を効率的に利用することができ、床面からの熱損失を低減し足下の寒さなど温熱環境を改善することができる。
- 2)本学のようにコンクリートスラブと金属パネルによって空気層が構成されたピロティ上部空間の床の熱収支は、外気温から床下内部空気層の温度を回帰して与える、「温度回帰モデル」を用いることで解析することができる。

今後は、伝熱モデルの精度を高めると共に、本学以外でのピロティへの汎用性の確認を進めていく必要があると考えている。

## 謝辞

本研究の実測調査においては、当時の本学学長、および教職員の皆様の多大なるご協力を賜った。ここに感謝の意を表す。また、本論文の成果を受けて、本学会議室の床面全面に、2012年度冬季に当時の建築学科学生諸氏の協力の下にカーペットが敷設され、現在に至っている。当時、本学会議室のカーペット敷設作業に関わった学生諸氏に、ここにあらためて感謝の意を表す。

## 文献

- [1] 新川亮樹ほか；ピロティ建築における温熱環境に関する実測調査，日本建築学会大会学術講演梗概集（環境工学 II），pp. 127-128，2000. 7
- [2] 山形一彰；実用教材建築環境工学，彰国社(2000)