低放射率表面を持つ内装が室内温熱環境に及ぼす効果に関する研究（その1）： 実大実験室を用いた放射暖房時の室内温熱環境の実測

EFFECTS OF LOW EMISSIVITY INTERIOR SURFACES ON THERMAL ENVIRONMENT (PART 1): MEASUREMENTS ON INTERNAL THERMAL ENVIRONMENT WITH RADIANT HEATING USING REAL-SIZE EXPERIMENTAL ROOMS

石並 真吏^{*1}, 浅田 秀男^{*2}, 山田 保誠^{*3}

Maori ISHINAMI, Hideo ASADA and Yasusei YAMADA

We studied effects of the low-emissivity (low-E) interior surface material on interior thermal environment using radiant heating by comparing two real-size experimental rooms with the same thermal insulation: one is covered with a low-E material, (Low-E room), and the other is covered with a normal interior material (Std-E room). As a result, the globe and air temperatures of the Low-E room increased rapidly and showed about 0.8°C higher temperatures than those of Std-room. The increase in temperatures of the Low-E room may be because the whole Low-E surface, except for floor, of the room become pseudo radiant heating surface.

Keywords : *Low emissivity, Interior surface, Radiant heating, Thermal environment, Real-size experimental room*

低放射, 内装表面, 放射暖房, 温熱環境, 実大実験室

1. はじめに

現在、居住空間の温熱環境を調整する手法として、主に対流式冷暖房が用いられている。この方式は室内の空気を直接冷却もしくは加温し、強制的に空気を対流させることにより短時間で室温を制御することが可能である。しかし、壁や床などの表面温度を直接制御できないため、体感温度は暖房時低く、冷房時高く感じることがある。また、冷暖房装置の吹き出し口からの冷風や温風が直接肌にあたると、過剰な寒さや暑さによる不快感を生じる恐れがある。一方放射冷暖房は、吹き出し口からの風はなく、直接及び間接的に放射により人体と熱をやりとりするため比較的快適性が高いという長所がある(例えば 1), 2), 3)。そのため、建築空間の熱的快適性を一層向上させるためには、室内の温度・湿度のみならず熱放射環境も積極的に調整することが重要と考える。一般的な建築内装材の遠赤外線での放射率は 0.9 程度である。そのため、放射暖房機器等から発せられる約 90%の遠赤外線は室内空間の表面において一度吸収され、表面の絶対温度に応じた遠赤外線が再放射されるプロセス(吸収-再放射プロセス)を繰り返す。したがって、機器等からの遠赤外線が最終的に人体表面に届くまでには時間遅れ等が生じる。より効果的な放射暖房を行うには、室内の表面温度を適切に維持するため建物外皮の

高断熱化が重要である。国土交通省の統計データ、事業者アンケート等による推計⁴⁾から、既存住宅約 5000 万戸のストックにおいて、平成 11 年基準を満たす住宅は約 5%程度にとどまっており、断熱性能が不十分である住宅が大半を占めている。今後、リフォーム適齢期の既存住宅数は急速な増加が予想されるが、従来の断熱リフォームは大掛かりな工事であるため実施は進んでいない⁵⁾。既存建物の満足度を調査した文献⁶⁾によると、より古い住宅ほど高価格なリフォームを実施し、かつリフォームする箇所が増加する傾向にある。そこで室内表面の放射率を低くすることができれば、放射暖房機器からの遠赤外線の反射を大きくすることが可能となる。これにより放射暖房において、室内表面における吸収-再放射プロセスを経ずに人体表面に放射による熱が届くと期待される。さらに、低放射率表面を持つ内装材(以下、低放射率内装材と記す)を用いれば、既存建物でも比較的簡易的な壁面改修のみで、放射暖房の立ち上がりの遅さを改善し、室内の熱放射環境を向上させつつ、機器の設定温度を下げる事が可能となり、暖房用エネルギー使用量の削減が予想される。

本研究では、低放射率内装材を建築室内空間に用いた際に形成される室内温熱環境や、放射冷暖房と組み合わせたときの効果を定性

¹ (国研)産業技術総合研究所 リサーチアシスタント・修士(学術)
/ 愛知淑徳大学大学院文化創造研究科文化創造専攻 修士(学術)

² 愛知淑徳大学創造表現学部創造表現学科 教授・博士(工学)

³ (国研)産業技術総合研究所 研究グループ長・博士(工学)

Research Assist., AIST, M.A. / Grad. Student, Dept. of Creativity and Culture,
Graduate School of Creativity and Culture, Aichi Shukutoku Univ., M.A.
Prof., Fac. of Creation and Representation, Aichi Shukutoku Univ., Dr.Eng.
Group Leader, AIST, Dr.Eng.

Fig. 1 The exterior of experimental building (a), the dimension of the experimental room (b), and the plan of the 2nd floor of the building (c).

的に明らかにするため、実大実験室での実測を行った。本報その 1 では、実大実験室の内壁面に低放射率内装材としてアルミ箔を貼付した「低放射率室」と通常の高放射率内装材である「標準室」の 2 部屋においてホットカーペットで放射暖房した際の、室内温熱環境を比較し、低放射率内装材が室内温熱環境に及ぼす効果について検証した。

2. 実験方法

2.1 実大実験室の概要

実証実験は産総研中部センター内の 3 階建ての環境調和型建材実験棟(Fig. 1 a)で行った。実験棟は鉄骨造で、単板、アルミサッシ、断熱材の厚みが 25mm であり、断熱性能は昭和 55 年の省エネ基準程度となっている。当該実験棟 2 階と 3 階には南に面した同寸法(幅 2300mm×奥行 2500mm×高さ 2500mm)の実験室が 4 つ並んでおり、南面に幅 1600mm×高さ 1200mm の窓がそれぞれ 1 つ設置されている(Fig. 1 b)。温熱環境測定のためには、2 室が同一の断熱性能であることが望ましい。そこで、外気に面している壁が南側 1 面だけであり、両端が部屋に挟まれており、また 1 階と 3 階の部屋にも挟まれている 2 階の中央の 2 室(A 室、B 室)を用いた(Fig. 1 c)。また、放射暖房による温熱環境の変化を実測するに際し、日射の影響を排除するため、両室の窓ガラスの外気側全面にアルミ箔を貼付した。室内には、ヒートポンプ式エアコン(ダイキン工業製 S36JTNV-W)と幅 1950mm×長さ 2350mm で、床面積の約 80%を占めるホットカーペット(アイリスオーヤマ製 HCM-T2420)が設置されている。

2.2 温熱環境測定

室内の表面温度の測定点及び位置は、天井面(1 面)、壁面(4 面)がそれぞれの面の中央付近で 1 点ずつ、床面は塩化ビニル床材表面で 1 点と、床ホットカーペット上で 1 点を計測した。表面温度の測定には、T 型熱電対(直径 0.32mm、ビニル被覆、クラス 1)を用いた。熱電対の測温接点は文献 7) に準じて作成し、同 8) に示されている接

Fig. 2 Variations of air temperature in the center of each room (A and B) with standard emissivity interior surfaces during the period from 2nd to 7th of April in 2020.

触による表面温度測定方法に準じてアルミテープで表面に貼り付けた。また、テスト製マルチ環境測定器 testo400 を実験室中央部に設置して、グローブ温度・空気温度・気流速を測定した。さらに、Optris 社製サーモグラフィ PI640 を用いて、A 室では西南向き、B 室では東南向きに設置し、室内の放射温度画像を撮影した。熱画像撮影時の測定対象面の放射率設定値は、A 室・B 室ともに 1.0 とした。低放射率室である B 室においても放射率設定値を 1.0 としたのは、室内表面から放たれる(低放射率室においては、表面に入射し反射する)長波長放射エネルギーが、一般的な放射率の室内表面から放たれると仮定したときの仮定の表面温度を把握し比較するためである。なお、本報では熱電対を用いて計測した表面温度と上記の仮定の表面温度とを明確に区別するため前者を「熱電対表面温度」、後者を「放射温度」と記す。

3. 実験結果

3.1 測定対象の 2 室の断熱性能差の確認

A 室と B 室の断熱性能がほぼ同様と見なせるか確認するために、B 室の内壁表面に低放射率内装材としてアルミ箔を貼付する前に、室内表面内装が同じ状態で自然室温を測定し、2 室の断熱性能を評価した。

Fig. 2 に、4 月 2 日から 7 日の 6 日間の同一の内装材(高放射率内装材)の状態における 2 室の室内中心空気温度を測定した結果を示す。測定には熱電対を用い、5 分間隔で測定した。Fig. 2 に示した期間中、2 室はほぼ同じ温度変化であり、6 日間の気温差の平均は 0.1°C 以下であった。以上から測定対象の 2 室はほぼ同一の断熱性能であることを確認した。

Fig. 3 Interiors of the Room A with standard emissivity wall surface (a) and the Room B with low emissivity wall surface, aluminum foil, (b).

Fig. 4 Variations of globe (a) and air (b) temperatures for the standard emissivity (Std-E) room and the low emissivity (Low-E) room during the period from 6th to 9th of June in 2020. The enlarged figures of the variations from 12:00 to 18:00 on 7th of June are also shown.

3.2 内装材の低放射化による温熱環境の変化

室内表面の低放射化が室内温熱環境に及ぼす影響を明らかにするために、2室による比較実験を行った。通常の高放射率の壁表面材である「標準室」(Fig. 3a : A室)と、部屋の床を除く室内壁表面全てに低放射率内装材として放射率約0.1のアルミ箔を貼付した「低放射率室」(Fig. 3b : B室)を用意し、冷暖房を行わなかった際、屋外気温の変化が標準室と低放射率室の室内温熱環境に及ぼす影響を調べた。低放射率室のアルミ箔は、接着剤を用いずに水で濡らして貼付した。

Fig. 4に、6月6日から9日の4日間におけるグローブ温度(a)、空気温度(b)の測定結果を示す。測定は5秒間隔で行った。Fig. 2と比較すると標準室と低放射率室では、明瞭な温度差が確認できる。グローブ温度、室内空気温度ともに標準室では15:00あたりから下降するのに対して、低放射率室では14:00あたりから標準室より速やかに下降した。さらに、低放射率室では、6:00あたりからより両温度が速く上昇した。また、最高気温、最低気温に達する時刻は、空気温度では標準室と低放射率室とでほとんど差はなかったが、グローブ温度では低放射率室が標準室より明らかに速く、顕著な差が観察された。また6月6日から8日の3日間における標準室と低放射率室のグローブ温度の日最高温度の平均は、30.2℃と30.5℃で低放射率室が0.3℃程度高く、日最低温度の平均は、28.1℃と27.4℃で低放射率室が0.7℃程度低かった。一方、標準室と低放射率室の日最高空気温度の平均は、それぞれ30.7℃と30.6℃でほぼ同じであったが、日最低空気温度の平均は28.1℃と27.7℃で低放射率室が0.4℃程度低かった。一日の温度変化を比較すると、グローブ温度の最高温度と最低温度の差は標準室では2.4℃に対して、低放射率室では3.1℃と、0.7℃ほどの差があり、一日の温度変化の幅が大きか

Fig. 5 Variations of wall surface temperatures measured by the IR thermographies and thermocouples for the Std-E room (a) and the Low-E room (b) during the period from 6th to 7th of June in 2020.

った。以上より、日最高温度、日最低温度に達する時刻、温度変化幅ともに空気温度よりグローブ温度が低放射化による影響を受けたことが確認できる。しかし、それらの温度差は1℃以内であるため、両室の挙動には大きな差はないと判断できる。

次に、サーモグラフィーを用いて室内表面の熱画像を30分間隔で撮影した。室内表面の各部位の放射温度は、サーモグラフィーの熱画像生データを専用の解析ソフトを用いて算出した。このとき表面放射率の設定値を1.0として算出した表面温度は、標準室においては熱電対表面温度と放射温度との比較に、低放射率室においては室内放射環境の違いを表面放射率が1.0の一般的な建築空間に置き換えた空間で比較するために用いる。Fig. 5に、6月6日から7日の2日間における標準室(a)と低放射率室(b)の放射温度と熱電対で測定した壁表面温度を示す。壁表面温度は標準室では西面、低放射率室では東面を測定した。標準室では、放射温度と熱電対による温度との平均温度差は0.1℃であり、誤差と見なせるほど小さい。低放射率室の熱電対表面温度と放射温度との温度差は、両日の6:00～15:00の時間帯では0.2℃程度と非常に小さかった。それ以外の時間帯では放射温度の方が熱電対表面温度より0.4℃程度低い傾向があった。熱電対で測定した両室の壁表面温度の平均温度差はほぼなく(0.02℃)、最高・最低温度を示す時刻も同じであった。そのため、低放射率室の放射温度だけが異なる温度を示すことが判明した。

3.3 放射暖房時の室内温熱環境

冷暖房を行わなかった場合、標準室と低放射率室の温熱環境に大きな差がないことを確認したので、ホットカーペットを用いて床放射暖房を行った際の2室の室内温熱環境を6月中旬から7月中旬にかけて実測した。放射暖房は比較的外気温が低い0:00～6:00で行った。実測日は一般的な暖房期とは異なるが、使用したホットカーペットは表面温度を制御するだけで室温に連動する機能がないため、

Fig. 6 Variations of globe and air temperatures for the Std-E room and the Low-E room with the floor radiant heating during the period from 0:00 to 8:00 on 17th of June in 2020.

放射暖房の効果を検証することが可能と考えた。測定項目としては、熱電対を用いた室内空気温度、グローブ温度、室内表面温度(天井面、4面の壁面)を5秒間隔で測定し、サーモグラフィーを用いて室内表面の放射温度画像を23:59~0:10の間は10秒間隔、0:30~24:00は30分間隔で撮影した。なお、ホットカーペットの5段階ある熱さを調整するスイッチは、両室とも真ん中を選択した。

Fig. 6に、6月17日0:00~8:00の標準室と低放射率室における、それぞれのグローブ温度と室内空気温度の測定結果を示す。ホットカーペットの電源投入直後から、低放射率室のグローブ温度・室内空気温度はともに標準室のそれらよりも急速に上昇し、電源を切る6:00の時点では1°C程度高温になり、その後、低放射率室のグローブ温度・室内空気温度はともに急激に下降し、30分後には標準室よりも低い温度であった。ホットカーペットの6時間の消費電力量は両室とも2.64kWと同じであったため、室内壁表面の低放射化によって床放射暖房の立ち上がり時間の短縮、暖房効率の向上や、暖房負荷の低減が期待される。Fig. 4からも明らかなように、標準室と低放射率室の断熱性能がほぼ等しいことから、これらの要因は部屋の断熱性能の向上によるものではないことがわかる。電源投入直後、

Fig. 7 Variations of wall surface temperatures measured by the IR thermographies and thermocouples for the Std-E room and the Low-E room during the same period as Fig. 6.

Fig. 8 Variations of surface temperatures of the floor, ceiling and wall measured by the IR thermographies for the Std-E room (a) and the Low-E room (b) during the period from 23:59 on 16th to 0:10 on 17th of June, hatched period of Fig. 7

低放射率室の室内空気温度が最も速く上昇したが、30分から1時間後には、低放射率室のグローブ温度が空気温度より高くなった。また、標準室では常に空気温度がグローブ温度よりも高かった。6:00時点の温度を高い順に並べると、低放射率室のグローブ温度、低放射率室の室内空気温度、標準室の室内空気温度、標準室のグローブ温度となった。これは床放射暖房を行った模型実験と同様の結果であった^{9)~12)}。

Fig. 7にFig. 6と同時刻の標準室(西壁)と低放射率室(東壁)の放射温度と熱電対で測定した壁表面温度を示す。標準室では、放射温度と熱電対の温度差は平均で0.1°C、最大でも0.3°Cであり、Fig. 5(a)と同様、放射温度と熱電対の温度がほぼ同じであった。これに対して低放射率室では、ホットカーペットに通電している際に放射温度が熱電対の温度より平均で0.9°C、最大で1.4°C高温となった。電源を切るとその差は急激に減少し、標準室の放射温度や熱電対での壁表面温度との差もわずかとなった。この放射温度と熱電対の温度の挙動は、Fig. 5(b)で示した放射暖房を行わない際とは大きく異なる。さらに、放射温度の変化が熱電対の温度のそれより急峻であった。以上より、放射温度と熱電対の温度の差は、内装を低放射化することによって放射暖房時の熱放射環境の変化が標準室のそれより大きいことに起因すると示唆される。

4. 標準室と低放射率室との温熱環境の差異に関する考察

低放射化による放射暖房時の熱放射環境の変化を考察するため、放射暖房開始直前の6月16日23:59から17日0:10まで(Fig. 7で網掛した時間帯)の床表面、壁表面、天井表面の放射温度の詳細な変化を調べた。Fig. 8に結果を示す。放射暖房面である床表面の放射温度は、両室ともホットカーペットの温度調整機能に起因すると考えられる周期的な振動が観察され、同様の温度上昇を示した。壁表

Fig. 9 Radiant temperature distribution images of the Std-E room, left hand side and the Low-E room, right hand side at 6:00(a)(b), 9:00(c)(d) and 13:00(e)(f) on 7th of June in 2020.

面と天井表面の放射温度は、標準室ではホットカーペットの電源を投入しても上昇の速さが非常に遅く、ほとんど変化が見られなかった。これに対して低放射率室では、電源投入直後に約 2°C 上がり、その後も徐々に上昇する傾向にあった。

さらに、床表面で観察される温度の振動と同じ周期でかつ山と谷の位置も等しい温度の振動が観察された。これは、ホットカーペットから放出される遠赤外線が壁や天井に吸収されないで反射によって室内に拡散し、この遠赤外線を放射温度画像として捉えているためと考える。電源投入直後に壁・天井の放射温度が上がることから、内装を低放射化することで、疑似的に、全面が放射暖房面であるような空間となったと推測され、これによって Fig. 6 に示すように低放射率室が標準室より速く空気温度・グローブ温度ともに上昇したと考える。また、壁表面よりも天井表面が高い温度を示した。これは暖房面と天井面が対面しているため、側面の壁よりも形態係数が大きいためである。

Fig. 5 で示したように、サーモグラフィーで測定した低放射率室の放射温度だけ、他の壁表面温度と異なる挙動を示した。Fig. 8 より、低放射率室の放射温度は非常に高い応答性を有しており、この応答性の高さがこの挙動に起因していると示唆される。そこで、各々の部屋の放射温度の分布を解析した。Fig. 9 に終日放射暖房を行わなかった 6 月 7 日の 6:00、9:00 および 13:00 における標準室と低放射率室の放射温度画像を示す。6:00 における標準室(Fig. 9 a)では温度が低いことを示す青い箇所が窓だけに限られる。一方、低放射率室では、本来 1 個しかないはずの窓部が 2 個あるように観察される(Fig. 9 b)。このうち左側は本来の窓部からの遠赤外線が西壁に鏡面反射したものと考えられ、さらに、窓部の周りにも青く温度の低い領域が観察される。同様な放射温度画像が 18:00 から翌日の 8:30 まで得られた。これは、放射温度の低い面積が低放射率室の方が広いことを意味している。この影響で低放射率室のグローブ温度が標準室より低くなった(Fig. 4)と考える。Fig.5 の夕方から早朝に

かけて低放射率室の放射温度が他と比較して低くなったメカニズムに関しては、現在解析中である。窓の内側にはアルミ箔を貼付していないため、深夜から早朝において、通常の放射率を有する窓部が放射冷房面となり、グローブ温度を冷却する作用があることが確認された。このとき、空気温度も低放射率室の方が低くなったが、この要因については引き続き分析していく。以上より、低放射化は放射冷房にも効果があることが示唆される。同様に、13:00(Fig. 9 e、f)の放射温度画像から、低放射率室で放射温度が高いこと示す赤い領域が広い。そのため、低放射率室の放射温度が急速に上昇し、それに伴い、低放射率室のグローブ温度が標準室より速くそして高くなったと考察される。空気温度に関しては、外気温との差が小さい(6 月 6 日から 6 月 8 日の名古屋の日最高外気温の平均は 31.1°C)ために、両室に大きな差が現れなかったと考える。また、9:00(Fig. 9 c、d)においてはどちらの部屋も放射温度画像が黄緑色で一様で、表面温度に大きな差がないことを示している。すなわち、熱放射環境に影響を及ぼす放射冷房面や放射暖房面がないことに対応する。そのため、朝から昼にかけて 2 つの部屋の放射温度が同じになったものとする。

5. まとめ

本研究では、環境調和実験棟内に低放射率室と標準室を設置し、放射暖房と組み合わせた際の室内温熱環境を比較することで、低放射率表面材を建築室内空間に用いた際に形成される温熱環境や、放射暖房と組み合わせたときの効果を定性的に明らかにした。標準室と比較して低放射率室は、放射暖房によって空気温度およびグローブ温度が急速に上昇し、到達温度が 1°C 程度高い値を示した。これは、ホットカーペットから放出される遠赤外線が壁や天井に吸収されないで反射によって室内に拡散し、電源投入直後に壁・天井の放射温度が上がることに伴い、床面を除く全面が疑似的な放射暖房面であるような空間となったためと推測される。また、気温の下がった夜における放射温度画像と空気温度およびグローブ温度から、低放射率化により、通常の内装材と比較してより効率的な放射冷房ができると期待されることが判明した。さらに、壁面の低放射率化によって放射暖房の立ち上がりの遅さを解消する可能性があることを実証した。低放射化により熱放射に対する応答性が高まることから、日射の影響の増幅が懸念される。そのため、低放射率内装材を用いる際には、適切に日射を制御する必要があると考えられる。本研究では低放射率内装材としてアルミ箔を使用したため、アルミ箔は鏡面反射するため内装材としては不適当である。そのため、可視光域での鏡面反射を低く抑えた低放射率材料の開発も併せて行っている¹²⁾。今後は、対流式冷暖房機を使用した際の内装の低放射化による室内温熱環境や冷暖房負荷に与える影響について検証する予定である。

参考文献

- 1) Izawa K., Mitobe M., Fukai Y., Asada H., Iwamatsu T., Fukuda H., Ohkuma T., and Shukuya M.: Experimental Study on Thermal Comfort Provided by High-temperature Radiant Cooling and Low-temperature Radiant Heating Systems: Part 3. Environmental Quantities and Thermal Comfort Votes in the Winter Experiment, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, D-2, pp.585-586, 2007.7 (in Japanese)
井澤健輔, 三戸部元洋, 深井友樹, 浅田秀男, 岩松俊哉, 福田秀朗, 大熊武, 宿谷

- 昌則:高温放射冷房と低温放射暖房の快適性に関する実験研究 その 3. 冬季実験における環境物理量と快適申告,日本建築学会大会学術講演梗概集,D-2 分冊,pp.585-586,2007.7
- 2) Wada Takeshi et al.: A Study on the differences of thermal votes in case of radiative and convective cooling during short periods, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, Environmental Engineering, pp.343-344, 1994.7 (in Japanese)
和田剛志,寺井 俊夫, 原田和典:短時間室温における輻射冷房および対流冷房が主観的温熱感に与える影響の差異に関する研究 一椅座安静・着衣の場合一,日本建築学会大会学術講演梗概集,環境工学,pp.343-344,1994.7
- 3) Hong Seokchan et al.: A Study on evaluation of the thermal radiation environment in case of radiant cooling, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan Kinki Branch, pp.53-56, 1993.6 (in Japanese)
洪錫贊,寺井俊夫:輻射冷房時の輻射環境の評価に関する研究,日本建築学会大会近畿支部研究報告集,pp.53-56,1993.6
- 4) Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism: Data of Housing Economy (2018), Statistical data, Estimate by business operator questionnaire (2012), <http://www.mlit.go.jp/common/001133976.pdf>, reference at 2021.1.29 (in Japanese)
国土交通省:平成 30 年度 住宅経済関連データ,統計データ,事業者アンケートにより推計(平成 24 年),参照 2021.1.29
- 5) Yano Research Institute, Press Release, 2019.7.8, accessed 2020.10.1 (in Japanese)
矢野経済研究所プレスリリース, 2019.7.8,参照 2020.10.1
: https://www.yano.co.jp/press-release/show/press_id/2177
- 6) Shoko, K., Ryo, N., Makoto, S. and Masayuki, M.: Satisfaction and Implementation Details of Remodeling for Existing Detached Houses – Considering the Factors of Insulation Remodeling –, Journal of Architecture and Planning (Transactions of AIJ), vol.85, No.773, pp.1407-1415, 2020.7 (in Japanese)
神代翔子,中村遼,佐藤誠,前真之:既存戸建住宅のリフォームの満足度及び実施内容に関する研究 一断熱性能向上リフォームの実施要因の考察一,日本建築学会計画系論文集,第 85 巻,第 773 号,pp.1407-1415,2020.7
- 7) Architectural Institute of Japan Environmental Standards: Academic Standards for Measurement of Indoor Environments AIJES-H002-2008, Architectural Institute of Japan, Maruzen, pp.25-27, 2008.3 (in Japanese)
日本建築学会環境基準 AIJES-H002-2008:室内温熱環境基準. 同解説, 日本建築学会, 丸善, pp.25-27,2008. 3
- 8) Architectural Institute of Japan Environmental Standards: Academic Standards for Measurement of Indoor Environments AIJES-H002-2008, Architectural Institute of Japan, Maruzen, pp.17-20, 2008.3 (in Japanese)
日本建築学会環境基準 AIJES-H002-2008:室内温熱環境基準. 同解説, 日本建築学会, 丸善, pp.17-20, 2008. 3
- 9) Asada H., Ishinami M., and Yamada Y.: Study of the Effects of Low Emissivity Surface Materials on Indoor Thermal Environments when Performing Radiant Heating: Part 1. , Journal of Japan Solar Energy Society (2019), pp.111-114, 2019.10 (in Japanese)
浅田秀男,石並真吏,山田保誠:低放射率表面材が放射暖房時の室内温熱環境に及ぼす効果に関する研究 その 1. 単室模型を用いた実験概要と温熱環境形成メカニズム,日本太陽エネルギー学会講演論文集(2019),pp.111-114,2019.10
- 10) Ishinami M., Asada H., and Yamada Y.: Study of the Effects of Low Emissivity Surface Materials on Indoor Thermal Environments when Performing Radiant Heating: Part 2. The Effect of the Difference in Position Between the Low Emissivity Surface and the Radiant Heating Surface, Journal of Japan Solar Energy Society (2019), pp.115-116, 2019.10 (in Japanese)
石並真吏,浅田秀男,山田保誠:低放射率表面材が放射暖房時の室内温熱環境に及ぼす効果に関する研究 その 2. 低放射率面の部位と放射暖房面位置の違いが及ぼす影響,日本太陽エネルギー学会講演論文集(2019),pp.115-116,2019.10
- 11) Asada H., Ishinami M., and Yamada Y.: Study on Effects of a Low Emissivity Interior Surface Material for Thermal Environment of a Room with Floor Heating System and Energy Use for Heating: Part 1. Outline of the Experiment Using Model Chambers and Effect on Interior Thermal Environment, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, Environmental Engineering, pp.1271-1272, 2020.7 (in Japanese)
浅田秀男, 石並真吏, 山田保誠:低放射率表面材が放射暖房室の温熱環境・暖房用エネルギー使用量に及ぼす効果に関する研究その 1. 単室模型を用いた実験概要と温熱環境に及ぼす効果,日本建築学会大会学術講演梗概集,環境工学,pp.1271-1272,2020.7
- 12) Ishinami M., Asada H., and Yamada Y.: Study on Effects of a Low Emissivity Interior Surface Material for Thermal Environment of a Room with Floor Heating System and Energy Use for Heating: Part 2. Effect on Thermal Environment and Electricity Consumption for Radiant Heating by the Differences of Position and area of Low-emissivity Surfaces, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, Environmental Engineering, pp.1273-1274, 2020.7 (in Japanese)
石並真吏, 浅田秀男, 山田保誠:低放射率表面材が放射暖房室の温熱環境・暖房用エネルギー使用量に及ぼす効果に関する研究その 2. 低放射率面と放射暖房面の部位の違いが温熱環境および暖房用エネルギー使用量に及ぼす効果,日本建築学会大会学術講演梗概集,環境工学,pp.1273-1274,2020.7
- 13) Yamada Y., Asada H., and Ishinami M.: Study on Effects of a Low Emissivity Interior Surface Material for Thermal Environment of a Room with Floor Heating System and Energy Use for Heating: Part 3. Effect on Interior Thermal Environment by Radiation Heating Using Real-size Experimental Rooms with Low-e Interior Surface and Normal Interior Surface, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, Environmental Engineering, pp.1275-1276, 2020.7(in Japanese)
山田保誠, 浅田秀男, 石並真吏:低放射率表面材が放射暖房室の温熱環境・暖房用エネルギー使用量に及ぼす効果に関する研究その 3. 実大実験室を用いた放射暖房による温熱環境の比較,日本建築学会大会学術講演梗概集,環境工学,pp.1275-1276,2020.7

EFFECTS OF LOW EMISSIVITY INTERIOR SURFACES ON THERMAL ENVIRONMENT (PART 1) : MEASUREMENTS ON INTERNAL THERMAL ENVIRONMENT WITH RADIANT HEATING USING REAL-SIZE EXPERIMENTAL ROOMS

Maori ISHINAMI^{*1}, *Hideo ASADA*^{*2} and *Yasusei YAMADA*^{*3}

^{*1} Research Assist., AIST, M.A. / Grad. Student, Dept. of Creativity and Culture,

Graduate School of Creativity and Culture, Aichi Shukutoku Univ., M.A.

^{*2} Prof., Fac. of Creation and Representation, Aichi Shukutoku Univ., Dr.Eng.

^{*3} Group Leader, AIST, Dr.Eng.

Since typical interior materials have high-emissivity surface of about 0.9, far-infrared generated from radiant heater is absorbed once in interior walls and then reradiated infrared from the warmed walls reaches human body surfaces. In the case of low-emissivity (low-E) interior surface of about 0.1, generated far-infrared is reflected at interior wall surface and reaches human body surfaces without warming processes of walls. Thus, it is expected that human body feels warmth quickly and/or heating load can reduce owing to the decrease in set temperature by forming the room covered with low-E materials. Therefore, we studied effects of the low-E interior surface material on interior thermal environment using radiant heating by comparing two real-size experimental rooms with the same thermal insulation: one is covered with a low-E material, aluminum foil (Low-E room), and the other is covered with a normal interior material (Std-E room).

When warm up the rooms using electrically heated carpet as radiant heating equipment, the globe and air temperatures of the Low-E room increased rapidly and showed about 0.8°C higher temperatures than those of Std-room in 30 min. The radiant temperatures of the wall and ceiling of Low-E room increased immediately with the increase in the temperature of the carpet by turning on, while slow increase in those of Std-E room. Thus, the increase in globe and in air temperatures of the Low-E room may be because the whole Low-E surface, except for floor, of the room become pseudo radiant heating surface.

In this study we used aluminum foil as low-E materials. However, this material is not suitable for interior due to high specular reflection. Therefore, novel materials with low specular reflection in the visible range and low emissivity in the far -infrared range are also developing at present.

(2020 年 9 月 29 日原稿受理, 2021 年 3 月 22 日採用決定)