

集合住宅におけるダイナミックインシュレーション窓による断熱改修に関する研究
 —群馬県前橋市内の公営住宅を対象とした現場実測による性能評価—
 Study on Insulation Retrofit by Dynamic Insulation Window in A Multi-Family House
 —Performance Evaluation by Field Measurement in Public Housing in Maebashi City, Gunma Pref.—

木村 秀斗*, 三田村 輝章**, 大浦 豊***, 藤園 武史***, 岡村 大輔***
 Shuto Kimura, Teruaki Mitamura, Yutaka Oura, Takeshi Fujizono and Daisuke Okamura

keywords: Dynamic Insulation, Insulation Performance, Multi-Family House, Field measurement
 ダイナミックインシュレーション, 断熱性能, 集合住宅, 実測調査

1. はじめに

現存の公営団地は、高度経済成長期に大量に建設された無断熱や断熱性が著しく劣るものが多く、持続可能な社会の実現には、断熱改修によりストックの温熱環境を改善することが必要である。また、集合住宅の熱損失は、建物外皮において開口部が大部分であることから、窓の断熱性能の向上が重要となる。

窓の断熱性能を向上させる方法の一つとして、ダイナミックインシュレーション窓（以下DI窓）に関する研究が行われている。筆者らは、これまで群馬県前橋市内の公社賃貸住宅の一住戸を対象として、DI窓による断熱改修効果に関する調査を実施してきた^{2)・3)}。

本報では、これまでの実測結果を基に、室内外の環境温度差、窓の透過熱量、DI窓中空層の温度を詳細に分析することで、年間を通じたDI窓の性能評価を実施した結果について報告する。

2. 調査概要

2.1 対象住戸

図1に対象住戸の平面図を示す。対象住戸は、群馬県前橋市に建設された築49年の公社賃貸住宅の一住戸である。RC造の地上3階建ての2階中間戸であり、DI窓による断熱改修前のUA値は2.11 W/(m²・K)、気密性能は2.58 cm²/m²である。既存窓はアルミサッシ+単板ガラスであり、冷暖房設備は和室6畳にエアコンが1台設置されている。換気設備は浴室と台所に排気ファンが設置されている。浴室・トイレ以外の間仕切り扉は取り外されており、和室4.5畳・南以外の居室は一体化された空間となっている。既存の窓のうち、居室の4箇所をDI窓に改修した(DI1~DI4)。居住者は20代の男性一人である。

2.2 DI窓の概要

写真1に対象住戸に設置したDI窓の内観を、図2にDI窓の概要を示す。DI窓は既存の外窓と新たに施工した内窓による二重窓、その間に設置した整流板で構成される。冬期は外窓の換気小窓から外気を導入し、二重窓の内部に通気させ、外窓の内外温度差を小さくすることで熱損失を抑制する。一方、内窓では、導入外気は室内から損失する熱を回収して、内窓上部に設置された換気口から室内へ取り込まれる。外窓の換気小窓の開口幅は約5cmとし、換気設備は年間を通して浴室と台所の排気ファンを24時間運転させ、第3種換気として運用する。

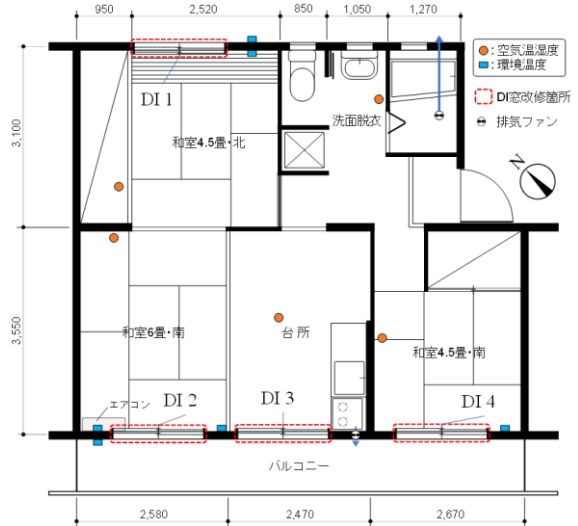


図1：対象住戸の平面図

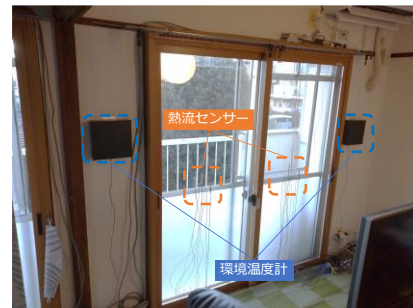


写真1：DI窓の内観

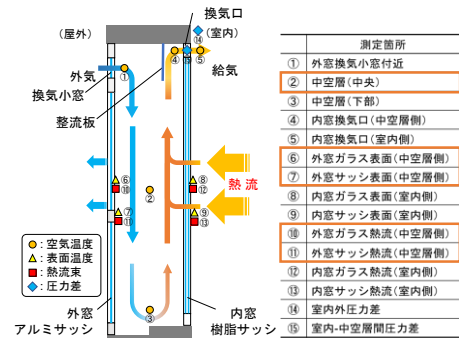


図2：DI窓の概要と測定点

* 前橋工科大学 研究生
 Research Student, Maebashi Institute of Technology
 ** 前橋工科大学・工学部 准教授・博士(工学)
 Assoc. Professor, Faculty of Engineering, Maebashi Institute of Technology, Dr. Eng.
 *** 三協立山株式会社 三協アルミ社
 Sankyo Tateyama, Inc. SankyoAlumi-Company

2.3 測定方法および性能評価の方法

主な測定項目は各部屋における環境温度、各 DI 窓における透過熱量および中空層の空気温度であり、2022 年 1 月から測定中である。図 2 に測定点を併せて示す。

図 3 に動的な熱貫流率 U_{dyn} 値の算出方法を示す。 U_{dyn} 値は外窓の透過熱量を室内外の環境温度差で除して算出し、直達日射の影響を考慮し、夜 8 時から翌 5 時までの夜間の時間帯について評価する。

$$U_{dyn} = Q_w / (A_w \cdot \Delta T) = (Q_f A_f + Q_g A_g) / (A_w \cdot \Delta T) \quad [W/m^2 \cdot K]$$

Q_w : 窓の透過熱量	[W]
A_w : 窓面積	[m ²]
ΔT : 室内外の環境温度差	[K]
Q_f : フレーム部の透過熱量	[W]
A_f : フレーム面積	[m ²]
Q_g : ガラス面の透過熱量	[W]
A_g : ガラス面積	[m ²]

図 3：動的な熱貫流率 U_{dyn} 値の算出方法

3. 調査結果

3.1 室内外の環境温度差

図 4 に 2022 年 1 月 11 日～2023 年 6 月 13 日における夜間 (20 時～翌 5 時) の室内外環境温度差の変動を示す。冬期は和室 4.5 畳・南以外では、概ね 13～25℃の範囲にある。和室 4.5 畳・南は、エアコンのある和室 6 畳から離れていることや、カーテンが設置されていないこと、室の使用頻度が低いことなどから、室内外環境温度差は他室よりも小さい傾向を示している。2023 年冬期では、2022 年冬期と比較して室内外環境温度差が拡大したが、これはエアコンの設定温度を上げたことや、和室 6 畳と台所の間にふすまを設置したことが影響している。夏期では冷房により、室内外環境温度差がマイナス (室内<屋外) となる日も見られるが、室内外環境温度差は概ね -5～5℃の範囲にある。中間期では概ね 0～10℃の範囲にあり、夏期や冬期と比較すると、部屋ごとの差は小さい傾向が見られる。

3.2 室内外環境温度差と透過熱量

図 5 に DI1 における室内外環境温度差と透過熱量の関係を示す。図中では原点を通る直線の傾きが U_{dyn} 値となり、傾きが小さいほど断熱性能が良い傾向となる。定常計算により算出した非通気時の DI1、DI4 (腰高窓) の熱貫流率は $U_w=1.92 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ であり、原点を通る直線の傾きが $1.92 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ に近いほど、DI の効果が小さい。 U_w 値と期間平均 U_{dyn} 値を比較すると、 U_{dyn} 値の方が内障子側で $0.92 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 、外障子側で $0.53 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 小さくなり、ダイナミックインシュレーションの効果が確認できる。2022 年 1 月～3 月では内障子側で環境温度差が約 13℃未満、外障子側で約 18℃未満の場合に、原点を通る直線の傾きが U_w 値よりも大きくなる時間が見られることから、特定の条件下ではダイナミックインシュレーションの効果が発揮されづらいことが分かる。これは 2022 年 1～3 月は内窓側換気口に花粉フィルター (2022 年 4 月に除去済み) が設置されており、各 DI 窓の日平均風量は $5 \sim 10 \text{ m}^3/\text{h}$ と通気風量が不十分になっていたことや、室内外温度差の状況から内窓または外窓が開放されており、通気風量が不安定となっていたことが考えられ、二重窓内部で熱回収が十分に行われなかった可能性が考えられる。2022 年 4 月以降は通気風量の増加やクレセント錠の使用で気密性が増したことから、2023 年 1～3 月では内障子側で $0.8 \sim 1.0 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 、外障子側では $1.0 \sim 1.4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ の範囲にある。ダイナミックインシュレーションの効果が小さくなる可能性がある環境温度差は外障子側の方が高いが、これは外窓の内障子側の換気小窓から給気をしているため、外障子側では内障子側と比べて、給気風量が不安定となった影響が考えられる。

図 6 に DI2 における室内外環境温度差と透過熱量の関係を示す。定常計算により算出した非通気時の DI2、DI3 (テラス窓) の熱貫流率は $U_w=1.93 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ である。 U_w 値と期間平均 U_{dyn} 値を比較すると、 U_{dyn} 値の方が内障子側で $0.57 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 、外障

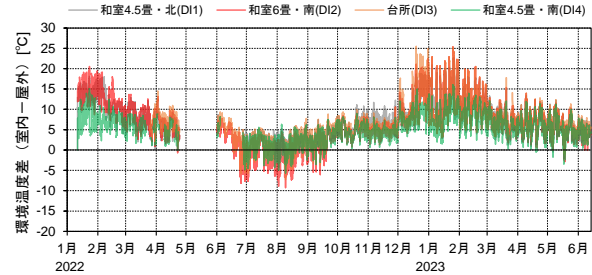


図 4：各箇所における室内外環境温度差の変動

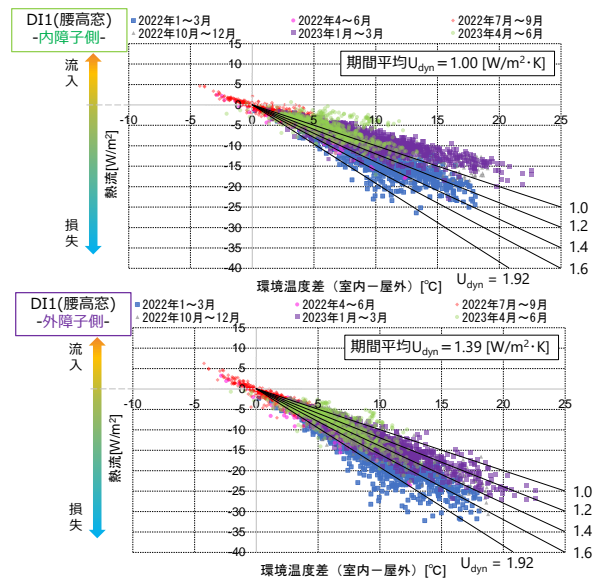


図 5：DI1 における室内外環境温度差と透過熱量の関係

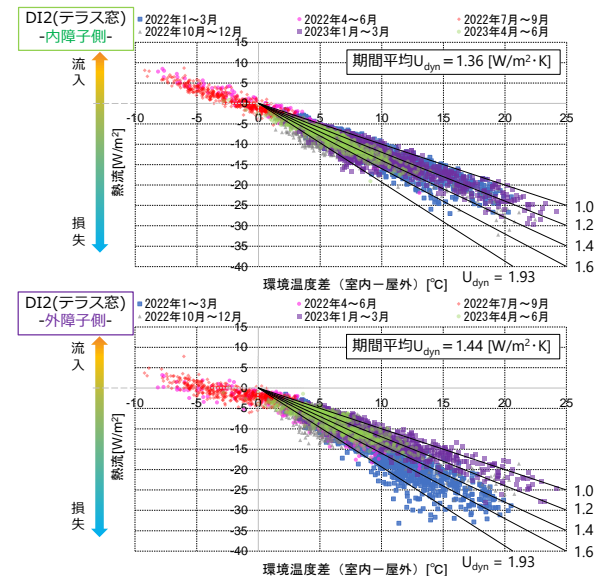


図 6：DI2 における室内外環境温度差と透過熱量の関係

子側で $0.49 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 小さくなり、DI1 と同様にダイナミックインシュレーションの効果が確認できるが、その効果は DI1 よりも小さい。DI2 の内障子側では、環境温度差が 5°C の場合で $1.0 \sim 2.0 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 、 15°C の場合で $1.0 \sim 1.6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 、 20°C の場合で $1.0 \sim 1.4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ の範囲にある。DI2 外障子側では DI1 外障子側と同様に約 18°C 未満の場合にダイナミックインシュレーションの効果が発揮されていない時間が見られる。

図 7 に DI3 における室内外環境温度差と透過熱量の関係を示す。DI3 の測定は内障子側のみである。U_w 値と期間平均 U_{dyn} 値を比較すると、U_{dyn} 値の方が $0.81 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 小さくなり、他の DI 窓と同様にダイナミックインシュレーションの効果が確認できる。DI3 内障子側では DI1 内障子側と同様に約 13°C 未満の場合にダイナミックインシュレーションの効果が発揮されていない時間が見られる。2022 年 10 月 ~ 2023 年 3 月では環境温度差に対して、透過熱量が 20 W/m^2 ほどで頭打ちになっている。これは DI3 の位置する台所の環境温度計が和室 6 畳よりに設置されており、2023 年冬期では和室 6 畳と台所の間にもふすまが設置され、空間が仕切られたことから、環境温度計で得られたデータが実際の台所の環境温度よりも高く出たことが影響している。

図 8 に DI4 における室内外環境温度差と透過熱量の関係を示す。U_w 値と期間平均 U_{dyn} 値を比較すると、U_{dyn} 値の方が内障子側で $0.31 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 、外障子側で $0.75 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 小さくなり、ダイナミックインシュレーションの効果が確認できる。既往研究²⁾ および DI1、DI2 の U_{dyn} は内障子側が外障子側よりも小さくなる傾向であったが、DI4 では外障子側が内障子側よりも小さくなる結果となった。DI1 ~ DI3 の U_{dyn} 値は 2023 年冬期の方が 2022 年冬期よりも小さい傾向であったが、DI4 外障子側では 2022 年冬期の方が 2023 年冬期よりも全体を通して小さい結果となった。DI4 は他の DI 窓と異なる傾向となったが、これは DI4 の内窓側が開いていた可能性が考えられる。また、DI4 内障子側では環境温度差が 8°C 未満かつ冬期の場合に、U_w 値の $1.92 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ よりも大きくなる現象が見られる。

DI1~DI4 を比較すると、窓の種類（テラス窓と腰高窓）による断熱性能に大きな違いは見られない。

3.3 DI 窓中空層中央部の空気温度

図 9 に 2022 年 1 月 11 日~2023 年 6 月 13 日における夜間（20 時~翌 5 時）の各 DI 窓中空層中央部における空気温度の変動を示す。中空層の空気温度は 2022 年 1 月~3 月における DI4 内障子側を除き、年間を通じて外気温に沿った形で変動している。内障子側、外障子側ともに DI1 の空気温度が最も低く、外気温より $1 \sim 3^\circ\text{C}$ 低い範囲にある。内障子側で最も空気温度が高いのは DI3 であり、外障子側では DI4 であった。

3.4 内障子側と外障子側の中空層空気温度

図 10 に DI 窓中空層中央部における内障子側と外障子側の空気温度の関係を示す。対象住戸における DI 窓では、内障子側の換気小窓から給気をしているが、その際に生じる内障子側と外障子側における影響を確認するため、DI 窓中空層中部における中空層の空気温度を比較する。DI1 は中間期および夏期では内障子側のほうが高温となる傾向となった。冬期では内障子側と外障子側に大きな差が見られなかった。冬期における内障子側の空気温度が他の期間と比べて低下したのは、換気小窓が内障子側にあることから、外気の流入により中空層の空気温度が低下したことが影響していると考えられる。冬期では、中空層温度が 18°C 以上の場合、内障子側の方が約 0.5°C 高い傾向であるが、中空層温度が 10°C 未満の場合では、内障子側と外障子側がほぼ

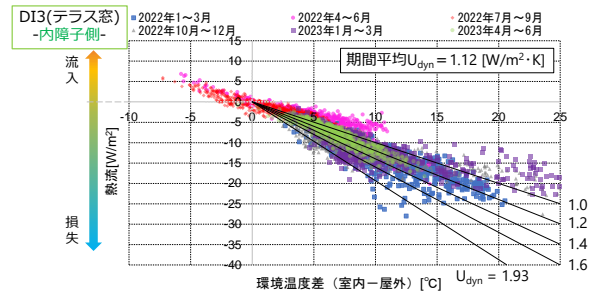


図 7 : DI3 における室内外環境温度差と透過熱量の関係

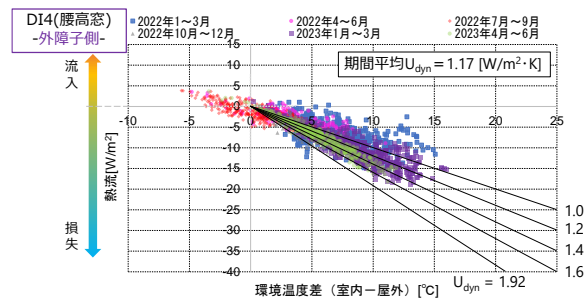
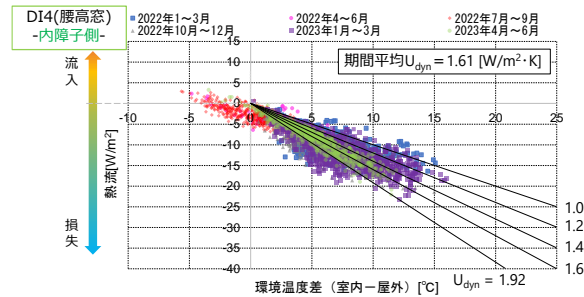


図 8 : DI4 における室内外環境温度差と透過熱量の関係

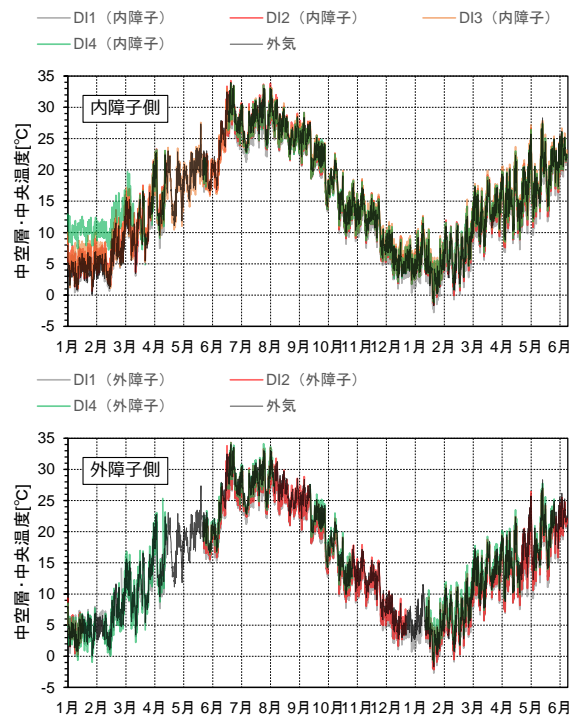


図 9 : 各 DI 窓中空層中央部における空気温度の変動

等しくなっており、内障子側が外気の影響を受けていることを裏付けている。

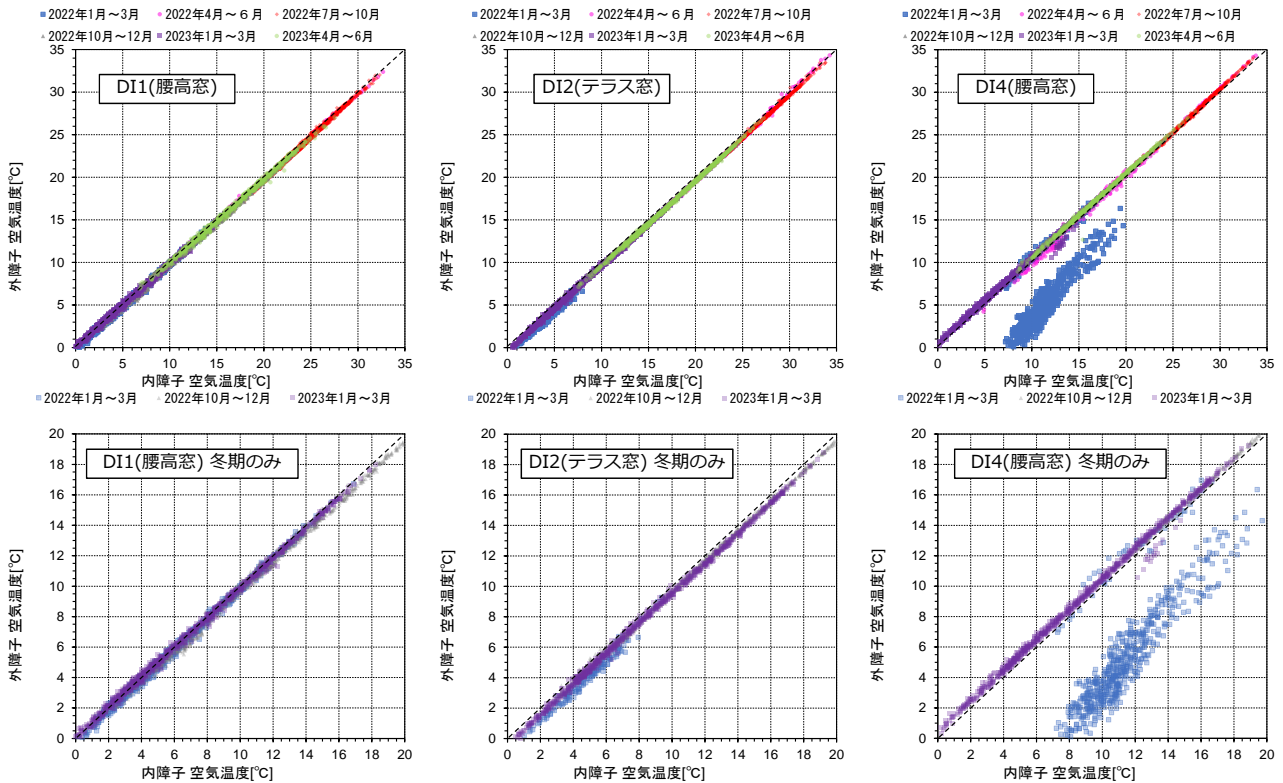


図 10 : DI 窓中空層中央部における内障子側と外障子側の空気温度の関係

DI2 では DI1 と異なり、年間を通じて内障子側の方が高温となる傾向となった。冬期においては、中空層温度が 10°C 以上の比較的高温な場合では DI1 と同様に、内障子側が約 0.5°C 高い傾向であったが、中空層温度が 10°C 未満の低温域においては外気の影響は DI1 よりも小さい。これは方角により、季節風の影響が異なることやテラス窓の方が腰高窓よりも中空層の容積が大きく、外窓の換気小窓から流入する外気が中空層温度に与える影響が相対的に小さくなったことなどが考えられる。また、2022 年冬期では外障子側が極端に低温（内障子側が高温）となる時間も見られる。これは、2022 年冬期では風量が DI 窓全体の通気には不十分であり、外障子側で熱回収が十分でなかったことが考えられる。また、テラス窓は中空層の容積が大きいため、DI2 は DI1 と比較して、この傾向が強く見られる。2023 年冬期では風量が増加したことから、外障子側が極端に低温になる現象は改善されている。

DI4 では他の DI 窓とは異なり、年間を通じて外障子側の方が約 0.5°C 高温の傾向となった。また、冬期においても外気の影響をほとんど受けない結果となった。2022 年冬期では、外障子側の空気温度に対して、内障子側が 6 ~ 8°C ほど高温となった。これは、DI4 の内障子側の内窓側だけが開けられており、室内の暖かい空気が二重窓内部に流入した可能性が考えられる。

4. まとめ

本研究では、DI 窓の性能評価を目的として、年間を通じた夜間における室内外の環境温度差の変動、室内外の環境温度差と透過熱量の関係、DI 窓中空層中央部の空気温度変動、内障子側と外障子側の中空層温度の関係について分析した結果を報告した。

以下に得られた知見をまとめる。

- DI 窓への通気風量が不十分な場合や内窓または外窓が開放され、通気風量が不安定となった場合では、ダイナミックインシュレーションの効果が確認できない可能性がある。
- 実測結果からは、窓の種類（テラス窓と腰高窓）による断熱性能に大きな差は見られない。
- DI 窓では内障子側から外気を導入しているが、全期間を通して内障子側と外障子側の中空層の温度差は±0.5°C である。

今後は、風量、室内外の環境温度差および透過熱量を 3 軸にて評価し、公営住宅において DI 窓による断熱改修を行った際の最適な運用方法について検討する予定である。

謝辞

実測調査にあたり、前橋工科大学の堤洋樹准教授、特定非営利活動法人デザインマネジメント研究所の近野成宏氏にご協力を頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 三田村輝章 他：ダイナミックインシュレーションを用いた窓システムの温暖地戸建て住宅への適用 第 1 報 モデル住宅を対象とした冬期における性能評価、空気調和・衛生工学会論文集 No.297, pp.1-9, 2021 年 12 月
- 2) 三田村輝章 他：集合住宅へのダイナミックインシュレーション窓システムの適用（その 1）群馬県前橋市内の公営住宅を対象とした冬期における実測結果、日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学, pp.707-708, 2022 年 9 月
- 3) 木村秀斗 他：集合住宅へのダイナミックインシュレーション窓システムの適用（その 2）群馬県前橋市内の公営住宅を対象とした年間を通じた実測結果、日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学, pp.1103-1104, 2023 年 9 月