

# 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 —群馬県前橋市の公社賃貸住宅を対象とした数値シミュレーションによる性能評価

Study on Insulation Retrofit by Dynamic Insulation Window in A Multi-Family House

—Performance Evaluation by Numerical Simulation 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 Retrofit, Multi-Family House, Air Environment

ダイナミックインシュレーション, 断熱改修, 集合住宅, 空気環境

## 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は重要である。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効果的である。

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<sup>1)</sup>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実測調査や数値シミュレーションを実施し、各種窓による断熱改修効果について検討を行ってきた<sup>2) 3)</sup>。前報<sup>2)</sup>では、ダイナミックインシュレーション窓(以下、DI 窓)を適用した群馬県前橋市内の公社賃貸住宅の一住戸における実測結果から DI 窓の動的な熱貫流率( $U_{dyn}$  値)や動的な日射熱取得率( $\eta_{dyn}$  値)を算出し、分析を行った結果について報告した。

近年では、先進的窓リノベ事業<sup>4)</sup>により、窓改修が大きく普及したものの、現存の公営住宅では窓上部に設置された換気小窓から給気を行う住宅が多く、給気口を新たに設けず窓交換や二重窓化を行うと、換気が不十分となり、室内空気環境が悪化するという懸念がある。また、内窓設置による二重窓化を行う場合、居室の条件によっては施工が困難となる場合も考えられることから、外窓設置による二重窓化についても検討が必要である。そこで、本報では、窓改修方法の違いや換気口の有無が室内空気質に与える影響や外窓設置による二重窓化および DI 窓化が温熱環境や冷暖房負荷に与える影響に関して、数値シミュレーションによる検討を行った結果について報告する。

## 2. 計算概要

### 2.1 計算対象住戸

計算対象は、群馬県前橋市に建設された築 51 年の公社賃貸住宅の一住戸である。図 1 に対象住戸の平面図を示す。地上 3 階建て RC 造集合住宅の 2 階中間戸に位置し、改修前の窓は単板ガラス+アルミサッシ、外壁はコンクリート 250 mm で無断熱であり、 $U_A$  値は  $1.29 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 、気密性能は  $1.83 \text{ cm}^3/\text{m}^2$  (2024 年 7 月 2 日測定)である。既存の窓のうち、居室の 4 箇所窓 (W1~W4)改修する。W2 および W3 はテラス窓であり、W1 および W4 は腰窓である。冷暖房設備は台所を除く 3 居室に各 1



図 1 : 対象住戸の平面図

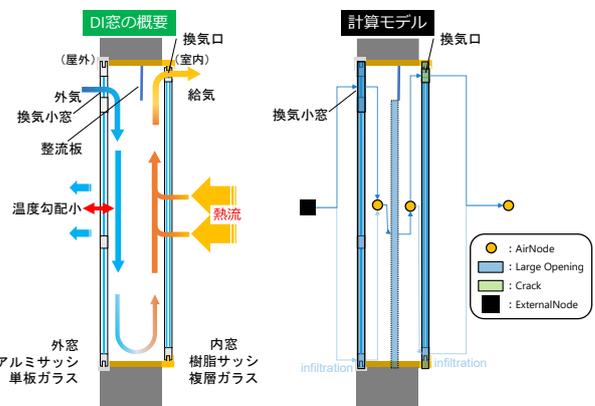


図 2 : DI 窓の概要

台エアコンを、換気設備は浴室と台所に排気ファンを設置するものとする。居住者は夫婦と子供 1 人の 3 人を想定する。

### 2.2 DI 窓の概要

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

\* 前橋工科大学大学院・工学研究科 博士前期課程  
Graduate Student, Graduate School of Eng., Maebashi Institute of Technology

\*\* 前橋工科大学・工学部 教授・博士(工学)  
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

させ、外窓における温度勾配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。換気小窓の開口幅は約 2 cm 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。なお、夏期と中間期の運用についても冬期と同様とする。

### 2.3 計算方法および計算条件

計算には、システム・シミュレーションツール TRNSYS18 を用い、TRNSYS のアドオンソフト TRNFlow により熱・換気連成計算を行う。図 2 に DI 窓部分の計算モデル概要を併せて示す。建物の隙間面積は、気密試験の結果を基に、開口部の周長や召合わせ長さで比例配分した値を設定する。居室の窓 4 箇所においては、室内側にレースカーテンを設定して計算を行う。排気ファンの風量については、台所ファン 150 m³/h、浴室ファン 56.4 m³/h を設定する。

冷暖房の設定温度は、実測結果から暖房 23°C、冷房 26°C とし、各居室において間歇運転を行う。暖房期間は、10 月 27 日 ~ 4 月 29 日 とし、冷房期間は、その裏返し期間とする。換気設備は、台所ファンを調理時のみ間歇運転とし、浴室ファンについては連続運転(換気回数 0.50 回/h)として設定する。なお、冷暖房設備や換気設備の運転スケジュールや内部発熱スケジュールは、住宅事業建築主判断基準<sup>9)</sup>を基に設定する。屋外の気象データには、前橋の拡張アメダス気象データの標準年(2010 年版)を用いる。また、外気の CO<sub>2</sub> 濃度は 400 ppm として計算を行う。

表 1 に計算ケースを示す。Case 1 ~ Case 5 では外窓設置による二重窓化および DI 窓化が温熱環境や冷暖房負荷に与える影響を確認するため、5 つのケースを比較する。Case A ~ Case F では窓改修方法の違いや換気口の有無が室内空気質に与える影響を確認するため、6 つのケースを比較する。Case A は改修前を想定したケースであり、Case B および Case C は、窓交換による断熱改修を想定したケースである。Case D および Case E は二重窓による断熱改修を想定したケースであり、Case F は DI 窓による断熱改修を想定したケースである。なお、Case C、Case D および Case 2、Case 4 では、台所を除く 3 居室の外壁に外気導入のための給気口 (15 cm<sup>2</sup>/箇所) を設定する。DI 窓のケースでは既存窓の換気小窓を 2 cm 開放して計算を行う。

図 3 に DI 窓の動的な熱貫流率  $U_{dyn}$  値の算出方法を示す。 $U_{dyn}$  値は外窓の熱流束を室内外の環境温度差で除して算出する。なお、直達日射の影響を考慮し、夜 8 時から翌 4 時までの夜間の時間帯について評価する。

## 3. 計算結果

### 3.1 室温の変動

図 4 に各ケースの居間における最寒日 1 月 28 日を含む 3 日間の室温の変動を示す。いずれのケースにおいても改修前の Case 1 と比較して、室温が 2°C ほど上昇する。夜間における室温では、外窓設置により二重窓化した Case 3 は内窓を設置した Case 2 と比較して、わずかに低いが、Case 4 と Case 5 における室温の差は殆ど見られない。これは Case 3 と Case 5 では内窓がアルミサッシ+単板ガラスのため、居室の熱が二重窓中間層に逃げてしまうが、DI 窓の Case 5 は導入された外気によって押し戻されることが理由として考えられる。日中の暖房停止時における室温は外窓を設置により DI 窓化した Case 5 が最も高いが、これは DI 窓の換気による日射熱取得が影響したと考えられる。

表 1 : 計算ケース

	窓タイプ	外窓	サッシ	外窓	ガラス	内窓	サッシ	内窓	ガラス	換気口	備考	
温熱環境	Case 1	普通窓	アルミ	FL4						《換気小窓》開放幅 0 cm	改修前	
	Case 2	二重窓	アルミ	FL4	樹脂	FL3_A12_FL3				《給気口》外壁上に新設 15cm <sup>2</sup> *3 箇所	内窓設置	
	Case 3		樹脂	FL3_A12_FL3	アルミ	FL4						外窓設置
	Case 4	DI窓	アルミ	FL4	樹脂	FL3_A12_FL3				《DI窓》		内窓設置
	Case 5		樹脂	FL3_A12_FL3	アルミ	FL4				4箇所 小窓開放幅 2 cm		外窓設置
空気環境	Case A		アルミ	FL4						《換気小窓》開放幅 0 cm	改修前	
	Case B	普通窓										
	Case C		樹脂	FL3_A12_FL3						《給気口》外壁上に新設 15cm <sup>2</sup> *3 箇所	窓交換	
	Case D	二重窓										
	Case E	アルミ	FL4	樹脂	FL3_A12_FL3					《給気口》外壁上に新設 15cm <sup>2</sup> *3 箇所	内窓設置	
	Case F	DI窓								《DI窓》 4箇所 小窓開放幅 2 cm		

$$U_{dyn} = \frac{Q_W}{(A_W \cdot \Delta T)}$$

$$= \frac{(Q_F A_F + Q_G A_G)}{(A_W \cdot \Delta T)} \quad [W/(m^2 \cdot K)]$$

$Q_W$  : 窓面の熱流量 [W]  
 $A_W$  : 窓面積 [m<sup>2</sup>]  
 $\Delta T$  : 室内外の環境温度差 [K]  
 $Q_F$  : フレーム部の熱流量 [W]  
 $A_F$  : フレーム面積 [m<sup>2</sup>]  
 $Q_G$  : ガラス面の熱流量 [W]  
 $A_G$  : ガラス面積 [m<sup>2</sup>]

図 3 : DI 窓の動的な熱貫流率  $U_{dyn}$  値の算出方法

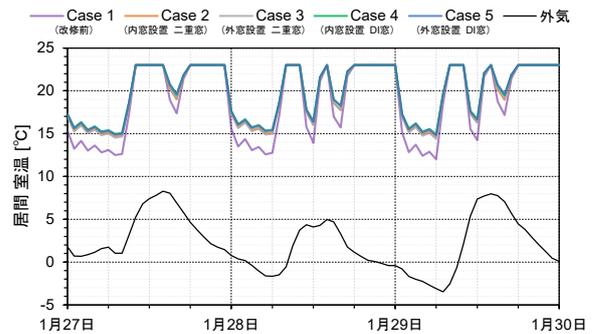


図 4 : 各ケースの居間における室温の変動(冬期)

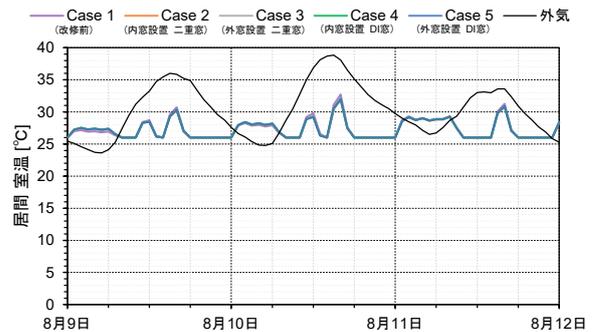


図 5 : 各ケースの居間における室温の変動(夏期)

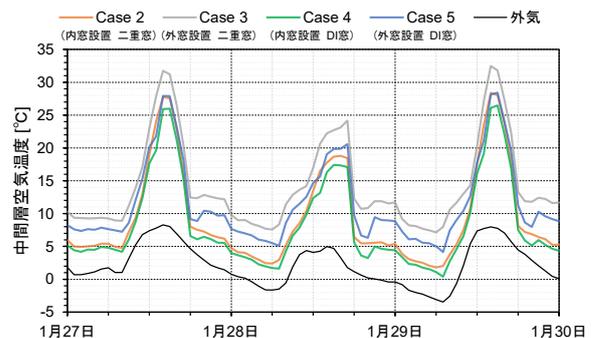


図 6 : 各ケースの W2 における中間層空気温度の変動

図5に各ケースの居間における最暑日8月10日を含む3日間の室温の変動を示す。Case 2 ~ Case 5の室温は殆ど差が見られないが、これは夏期は太陽高度が高いことから、バルコニーにより直達日射が遮蔽され、二重窓中間層の温度上昇が小さくなり、DI窓の換気による日射熱取得の影響がわずかであったことが理由として挙げられる。

### 3.2 中間層空気温度の変動

図6に各ケースの居間に設置された窓(W2)における最寒日1月28日を含む3日間の二重窓中間層空気温度の変動を示す。夜間における空気温度は、外窓設置により二重窓化したCase 3が最も高く、外窓設置によりDI窓化したCase 5との温度差は2°Cほどである。Case 2とCase 4の温度差は0.5 ~ 1°Cほどであり、外窓を設置したケースの方が外気の影響を受けやすい傾向が見られる。日中における空気温度は、Case 3が最も高く、Case 4が最も低くなる結果となった。Case 3とCase 5は暖房運転時に空気温度が上昇するが、これは前述した通り、内窓がアルミサッシ+単板ガラスのため、居室の熱が二重窓中間層に逃げるのが原因として考えられる。

### 3.3 窓表面温度(室内側)の変動

図7に各ケースの居間に設置された窓(W2)における最寒日1月28日を含む3日間の窓表面温度の変動を示す。Case 4はCase 2と比較すると、窓表面温度の差は殆ど見られず、その差は最大でも0.5°Cであるが、外窓設置によりDI窓化したCase 5はCase 3と比較すると常に1°Cほど低い。また、暖房運転直後の18時~19時は外気の影響を大きく受け、窓表面温度が大きく低下し、最大で2°Cほどの差が見られる。また、日中における窓表面温度は外窓設置により二重窓化したCase 3が最も高く、他の改修後のケースと比較して、1~2°Cほど高い結果となった。

### 3.4 PMV

図8に冬期(12月~2月)、図9に夏期(6月~8月)に各ケースの居間在室時におけるPMV出現時間を示す。算出場所は、居室の中心であり、床上1.1mを対象とした。また、着衣量は冬期1.0 clo、夏期0.5 cloを用い、代謝量は1.0 met、平均気流は0.1 m/sとして算出した。冬期ではいずれの条件においても改修によりPMVが改善されており、在室時においてPMVが快適範囲内となる時間は、DI窓のケースが二重窓のケースと比較するとわずかに高い。また、外窓を設置したケースは、内窓を設置したケースと比較するとPMVが快適範囲内となる時間はわずかに短いだけでなく、DI窓と二重窓の差は小さい。これは、外窓を設置し二重窓化したCase 3は室内の熱が二重窓中間層に逃げ、室温が低くなることや、外窓を設置しDI窓化したCase 5では他の条件と比較すると窓表面温度が低いことが影響したと考えられる。夏期ではいずれの条件においても殆どの時間でPMVが快適範囲内であるが、改修によりわずかに快適性向上効果が見られる。また、Case 2 ~ Case 5では、PMV算出結果に殆ど差が見られない。

### 3.5 $U_{dyn}$ 値

図10に冬期(12月~2月)のCase 4およびCase 5のW1、W2における動的な熱貫流率  $U_{dyn}$  値出現割合の分布を示す。冬期における  $U_{dyn}$  値は概ね正規分布となり、最頻値は1.5~1.6 W/(m<sup>2</sup>·K)の範囲にある。いずれの条件においても、非通気時の熱貫流率  $U_w$  値と比較すると、0.7~0.8 W/(m<sup>2</sup>·K)ほど断熱性能が向上していることから、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ることが確認できる。また、内窓を設置した場合と外窓を設置した場合は、 $U_{dyn}$  値に大きな差は見られない。

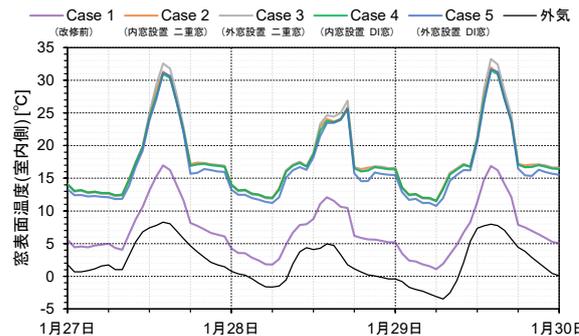


図7: 各ケースのW2における窓表面温度(室内側)の変動

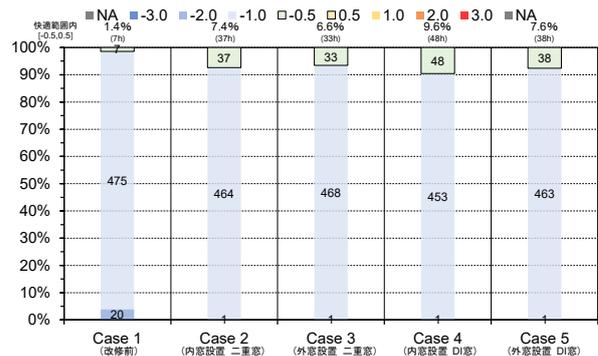


図8: 各ケースの居間におけるPMV出現時間(冬期、502h)

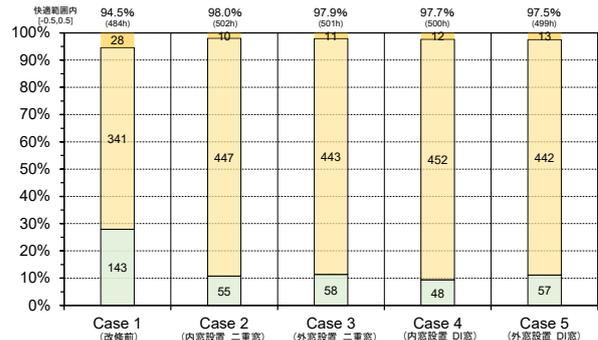


図9: 各ケースの居間におけるPMV出現時間(夏期、512h)

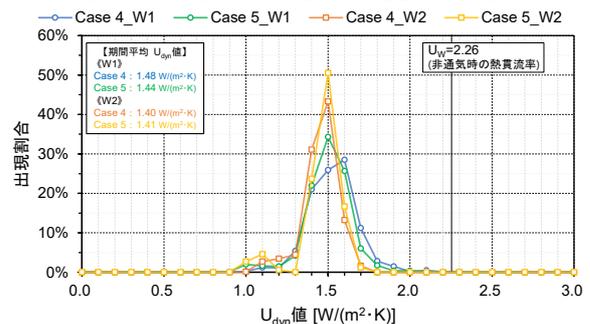


図10: W1、W2における  $U_{dyn}$  値出現割合分布

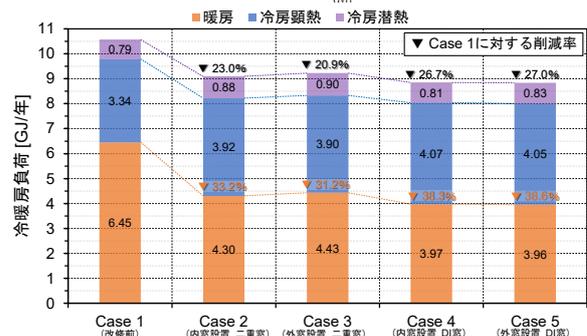


図11: 各ケースにおける年間の冷暖房負荷

### 3.6 冷暖房負荷

図 11 に各ケースの年間の冷暖房負荷を示す。いずれの条件においても、改修により年間の冷暖房負荷が削減されており、冷暖房負荷が最小となったのは外窓設置により DI 窓化した Case 5 であり、Case 1 と比較すると 1.74 GJ(27.0%)小さい。Case 3 は Case 2 と比較すると暖房負荷がわずかに大きい。これは前述した通り、居室の熱が二重窓中間層に逃げることが原因として挙げられる。Case 5 の暖房負荷は Case 4 と比較すると、ほとんど差が見られないが、これは Case 3 と異なり、二重窓中間層に流れた熱は導入された外気によって居室に押し戻されることや外窓を設置したケースでは日中において中間層の空気温度が上昇しやすく、DI 窓の換気による日射熱取得が大きいことが理由として挙げられる。

### 3.7 室内空気質

図 12 に各ケース居間における時刻別平均 CO<sub>2</sub> 濃度を示す。改修前の Case A や給気口を設置した Case C、Case E における CO<sub>2</sub> 濃度が最大で 1,800 ppm 程度である。DI 窓の Case F は最大で 2,000 ppm 程度であり、給気口を設置したケースと比較するとわずかに高いが、これは給気口は台所を除く 3 居室に設置したのに対し、DI 窓は台所を含む 4 居室に設置されていることから、居室に給気される外気が分散し、風量が減少したことが影響したと考えられる。給気口を設けず、二重窓化した Case D では、CO<sub>2</sub> 濃度が最大で 2,900 ppm 程度まで上昇するほか、在室者がいない夜間においても居室内の CO<sub>2</sub> 濃度は外気水準まで低下しない。図 13 に各ケースの居間在室時における CO<sub>2</sub> 濃度累積相対度数を示す。在室時のうち、CO<sub>2</sub> 濃度が 1,000 ppm 未満となる割合は、改修前の Case A では 50.0%であり、DI 窓の Case F では 40.8%であるが、これは居間に設置された窓(W2)はテラス窓であり、Case A ではアルミサッシの隙間から外気が侵入することから腰窓が設置された居室よりも換気量が多いが、Case F では内窓が高気密であり、内窓に設置された換気框から外気が導入されるため、窓の大きさは換気量に大きく影響を与えず、居室に給気される外気が分散したことが影響したと考えられる。給気口を設けず、二重窓化した Case D では、在室時のうち CO<sub>2</sub> 濃度が 1,000 ppm 未満となる割合は、いずれも 9%程度となり、換気が十分に行えていない。

## 4. まとめ

本研究では、窓改修方法の違いや換気口の有無が室内空気質に与える影響や外窓設置による二重窓化および DI 窓化が温熱環境や冷暖房負荷に与える影響に関して、数値シミュレーションによる検討を行った。

以下に得られた知見をまとめる。

- 外窓を設置したケースでは、居室の熱が二重窓中間層に逃げやすいが、DI 窓の場合、導入された外気によって押し戻されるため、内窓設置により DI 窓化したケースと比較しても室温や冷暖房負荷の差は殆ど見られない。
- 外窓設置により DI 窓化したケースは、二重窓や内窓設置による DI 窓と比較すると、室内側窓表面温度が 1℃ほど低いほか、暖房運転直後の 18 時～19 時は外気の影響を大きく受け、窓表面温度が大きく低下し、最大で 2℃ほどの差が見られる。
- 外窓を設置したケースでは日中において二重窓中間層の空気温度が上昇しやすく、DI 窓の換気による日射熱取得が大きい。
- 外窓を設置したケースでは、内窓を設置したケースと比較すると、冬期において PMV が快適範囲内となる時間はわずかに短

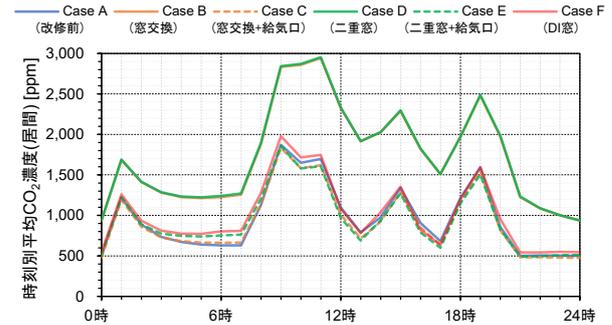


図 12：各ケースの居間における時刻別平均 CO<sub>2</sub> 濃度

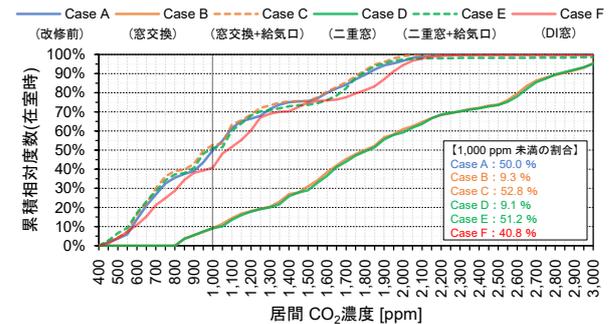


図 13：各ケースの居間における CO<sub>2</sub> 濃度累積相対度数

- いだけでなく、DI 窓と二重窓の差は小さい。
  - 外窓設置により DI 窓化したケースの U<sub>dyn</sub> 値は、内窓設置により DI 窓化したケースと殆ど差が無く、ダイナミックインシュレーションの効果も確認できる。
  - DI 窓の場合、外窓と内窓のどちらに新しく窓を設置しても暖房負荷に殆ど差は見られない。一方、二重窓の場合では、外窓を設置したケースの方が、暖房負荷がわずかに大きい。
  - 給気口を設けず、二重窓化したケースでは、在室者がいない夜間においても CO<sub>2</sub> 濃度が外気水準まで低下せず、在室時のうち CO<sub>2</sub> 濃度が 1,000 ppm 未満となる割合は、9.1%となり、換気が十分に行えていないが、DI 窓のケースでは 40.8%、給気口を設けたケースでは 51.2%の時間で 1,000 ppm 未満となる。
- 以上のことから、既存の窓を改修する場合には、温熱環境は外窓設置による DI 窓化ではなく、内窓設置による DI 窓化のケースが最も優れる。また、DI 窓以外の窓改修では、気密性能の向上によって生じる室内空気質の悪化を避けるために、給気口の設置が必要である。
- 今後は DI 窓改修による住棟全体の改修効果について分析を行う予定である。

### 参考文献

- 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の戸建住宅への適用 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、46 巻 297 号、pp.1-9、2021 年
- 木村秀斗 他：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(その 2)—、令和 6 年度日本環境管理学会大会学術講演梗概集、2024 年 11 月
- 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 4) 群馬県前橋市内の公営住宅を対象とした数値シミュレーションによる性能評価、日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学、pp.963-964、2025 年 9 月
- 先進的窓リノベ 2025 事業ホームページ、<https://window-renovation2025.env.go.jp/>、2025 年 10 月 14 日閲覧
- 住宅事業建築主の判断基準におけるエネルギー消費量計算方法の解説、pp.40-44(2009)、(財)建築環境・省エネルギー機構