

断熱内窓マドアーヂュと壁断熱改修による省エネルギーフォームの効果検証 (2024年3月～4月)

熱画像および室温測定結果

1. 目的

既存の住戸（アルミサッシ・単板ガラスの窓、壁は 25mm のスタイロフォームによる断熱）に、断熱内窓マドアーヂュと窓周辺の壁断熱改修による省エネルギーフォームを実施した場合の冬季暖房使用時の効果について、サーモカメラによる熱画像及び温度センサによる室温測定により検証した。

2. 測定した住戸の概要

(1) 所在地

埼玉県ふじみ野市亀久保 2186 の日本住宅パネル工業協同組合中央試験場性能試験棟 2 階

(2) 測定対象住戸

測定対象住戸は下記の①、②、③の 3 タイプとした。

①既存住戸：窓はアルミサッシ・単板ガラス、壁はRCの躯体 80mm にスタイロフォーム 25 mm ・石膏ボード 9.5mm。

②断熱内窓・断熱壁改修住戸：既存住戸に断熱内窓マドアーヂュ（樹脂製サッシ・ペアガラス）を設置するとともに、窓周辺壁断熱改修工事を実施。

③断熱内窓住戸：既存住戸に断熱内窓マドアーヂュ（樹脂製サッシ・ペアガラス）を設置。

測定住戸の詳細を添付資料 1 に示す。

3. 断熱内窓の仕様

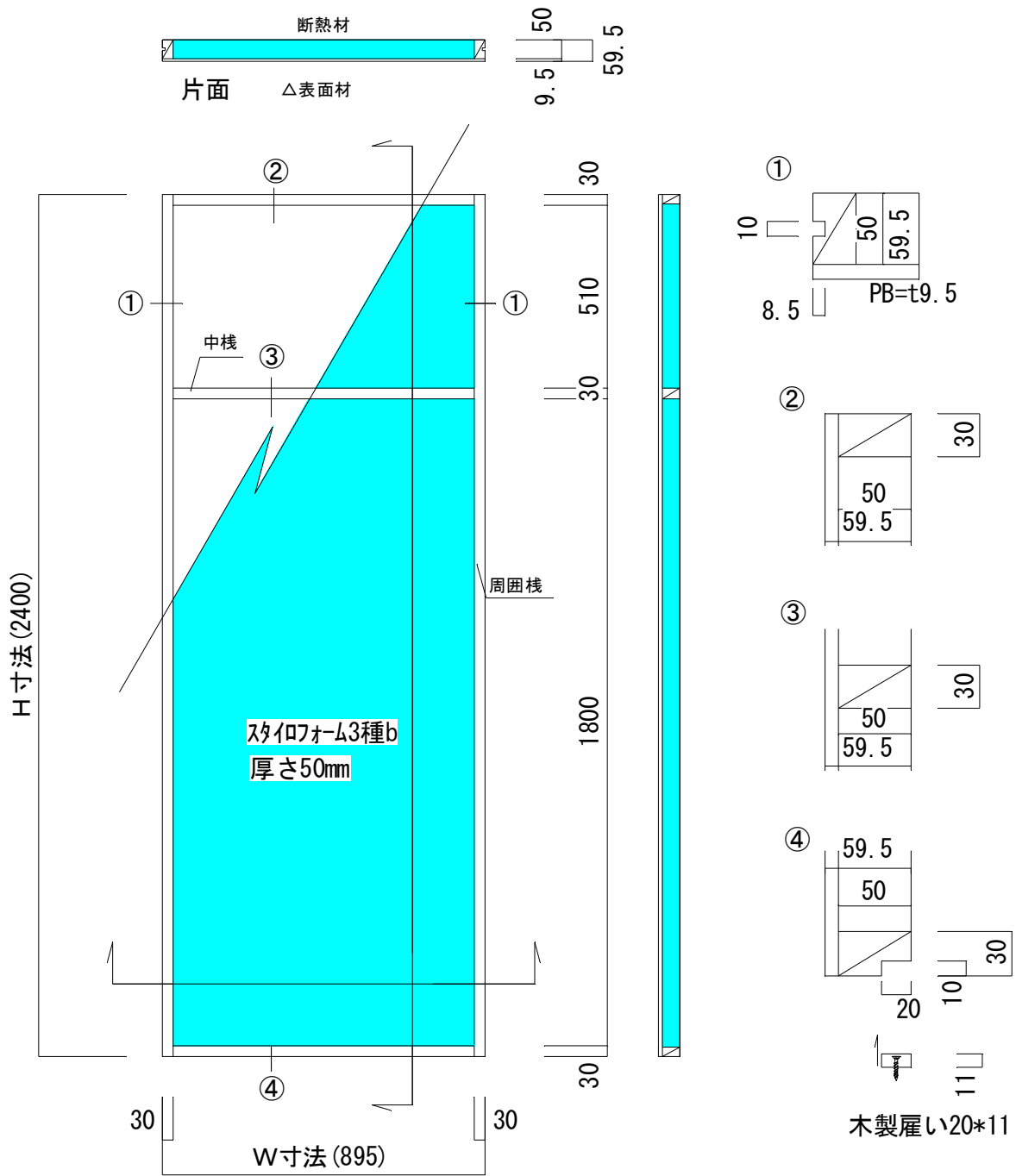
断熱内窓の仕様を表-3.1 に示す。

表-3.1 断熱内窓の仕様

商品名・型式	マドアーヂュ 66 型
ガラス	複層 FL3-A12-FL3
サッシ	樹脂製
熱貫流率(W/m ² ・K)	3.49

4. 壁断熱改修パネルの仕様

壁の断熱改修に使用した断熱パネルの仕様を図-4.1に示す。



表面材

- ・石膏ボード (t9.5素地)

木横組

- ・周囲横組
- ・中横組1本
- ・LVL

断熱材

- ・スタイフォーム3種b

図-4.1 壁断熱改修パネルの仕様

5. 測定方法

5.1 熱画像の測定

②断熱内窓・断熱壁改修住戸及び③断熱内窓住戸について、それぞれ比較対象とする①既存住戸と併せて、30分または1時間おきにサーモカメラによる熱画像による表面温度の測定を実施した。

5.2 室温の測定

熱画像と同様の住戸について、温度センサを住戸中央の天井から吊るして床上 1100mmの高さに設置し 30分おきに室温を測定した。なお、床から天井仕上までの高さは 2300mmである。

5.3 暖房器具

暖房器具は石油ファンヒーターを使用した。仕様を表-5.1に示す。

表-5.1 石油ファンヒーターの仕様

メーカー	ダイニチ工業(株)
型式	FW-56232L
最大暖房出力	5.6kW
最小暖房出力	1.23kW
暖房の目安	コンクリート(集合) : 33 m ² (20 畳)まで

5.4 機器の設置位置

サーモカメラ、温度センサ、石油ファンヒーターの設置位置を図-5.1 に示す。

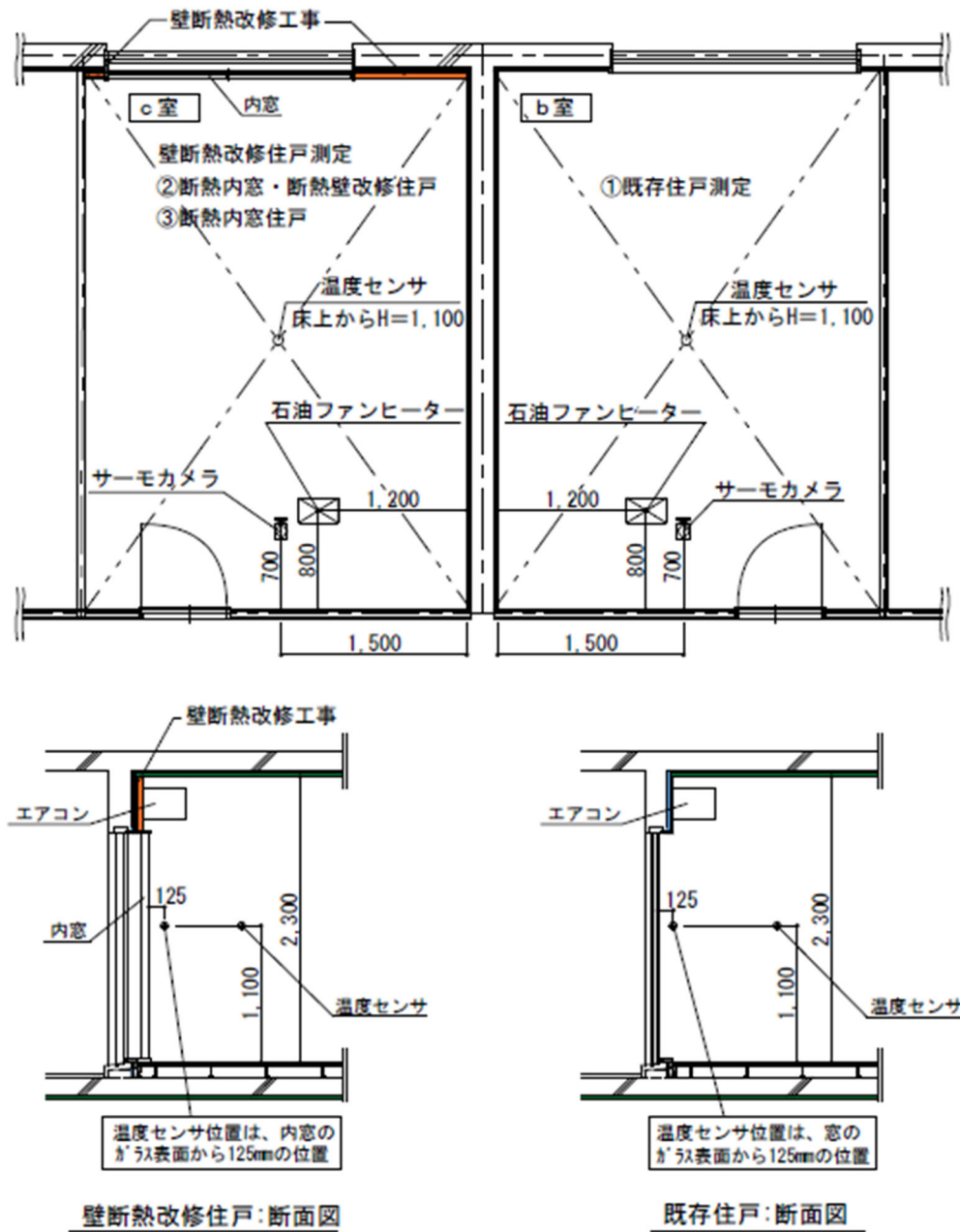


図-5.1 サーモカメラ、温度センサ、石油ファンヒーターの設置位置

6. 測定結果

6.1 ①既存住戸と②断熱内窓・断熱壁改修住戸の断熱性能の比較（暖房器具を2時間使用した場合）

6.1.1 測定日時

2024年3月19日7時30分～13時まで。

6.1.2 暖房器具の使用

7時30分から～9時30分まで2時間、石油ファンヒーターを使用。温度設定は20℃。

6.1.3 室温の変化

図-6.1.1に室温の変化を示す。①既存住戸と②断熱内窓・断熱壁改修住戸の室温差は暖房器具使用開始約2時間後の9時31分に最大を示し、1.8℃であった。暖房器具使用終了後の室温差は徐々に縮まり、暖房器具使用終了約3時間後の12時31分で0.9℃であった。なお、13時1分の既存住戸の室温が上昇しているのは日差しが差し込んできたためであり、この時の室温差は0.5℃であった。

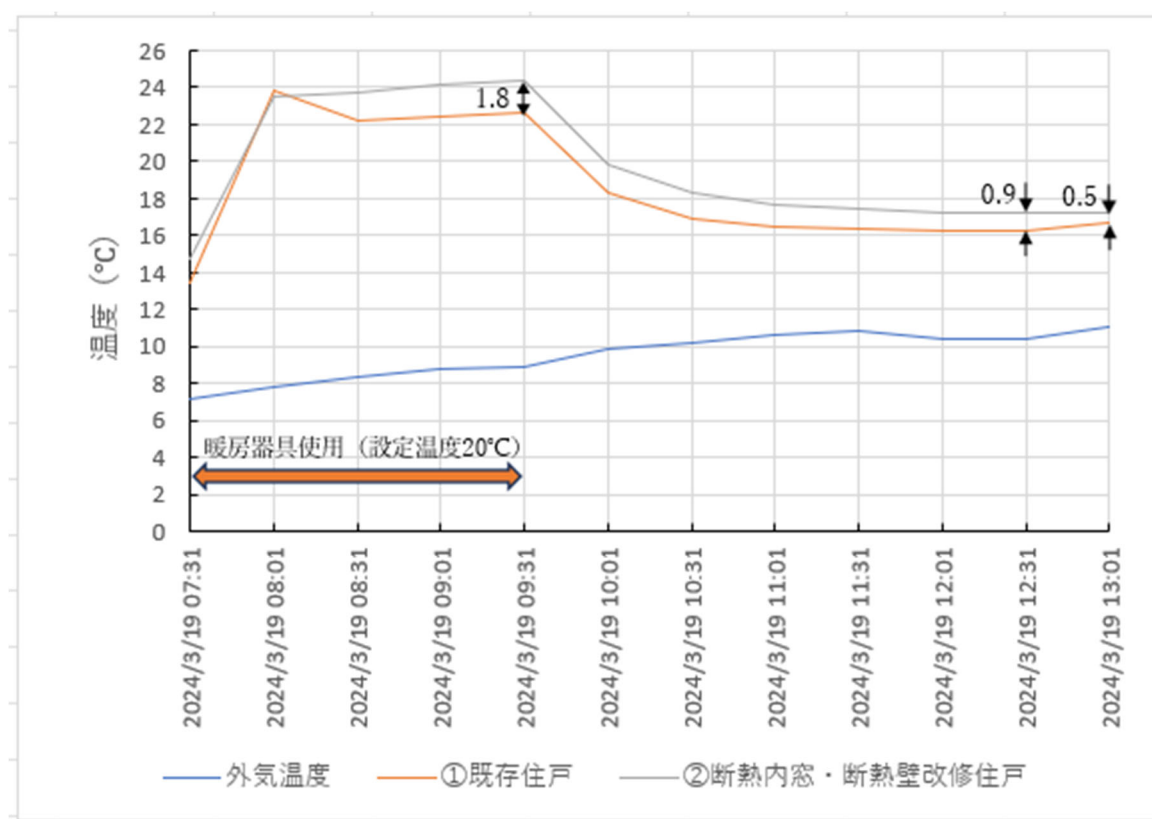
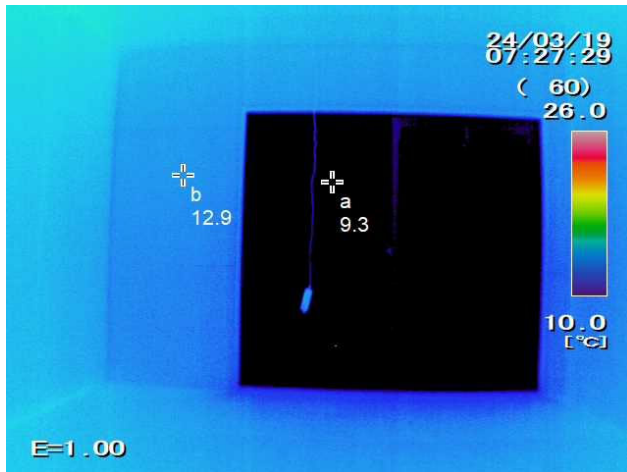


図-6.1.1 ①既存住戸と②断熱内窓・断熱壁改修住戸の室温の変化

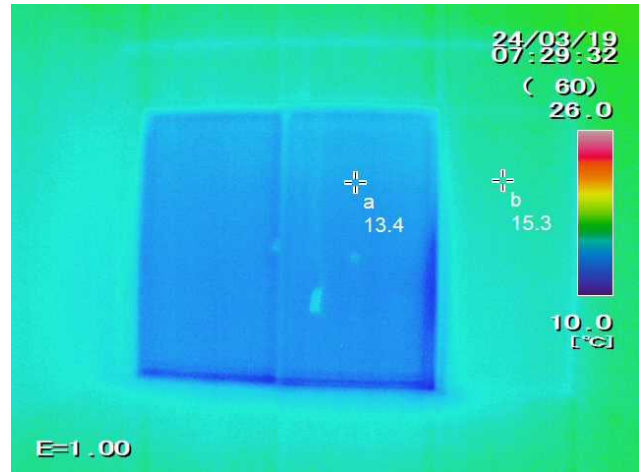
6.1.4 熱画像の分析

2024年3月19日7時30分頃から13時頃までの熱画像を以下に示す。13時頃における①既存住戸と②断熱内窓・断熱壁改修住戸両方の窓（特に下部）の温度が上昇しているが、日光が差し込んだためである。

2024年3月19日7時30分頃

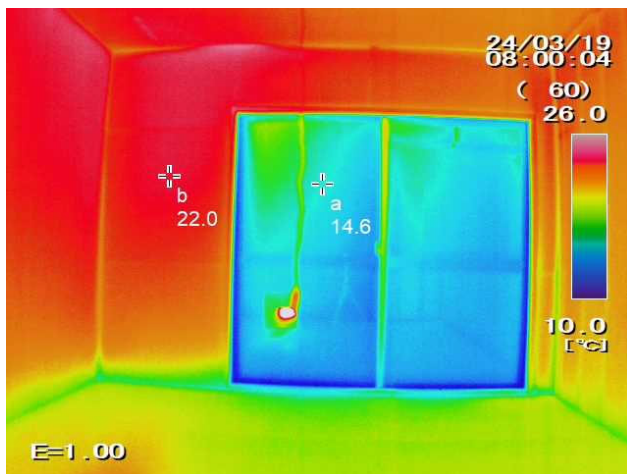


①既存住戸

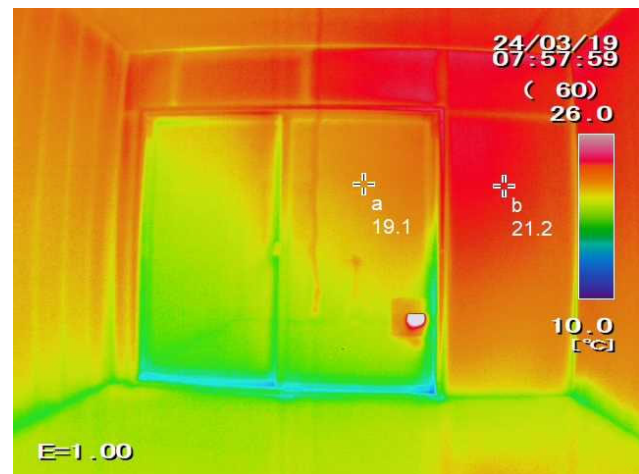


②断熱内窓・断熱壁改修住戸

2024年3月19日8時頃

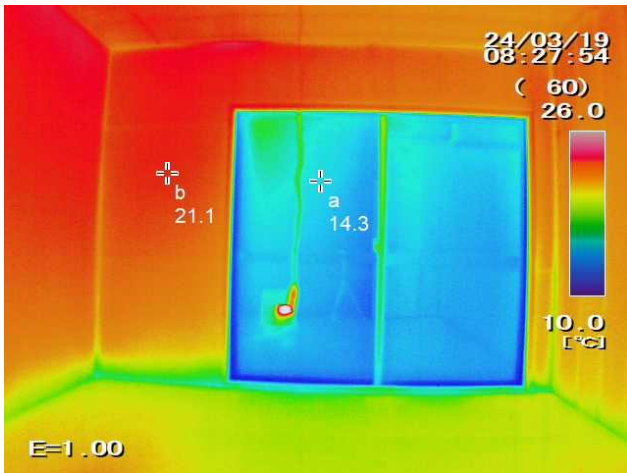


①既存住戸

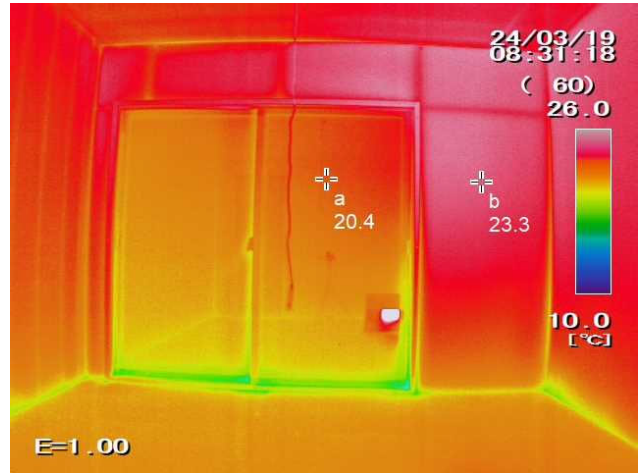


②断熱内窓・断熱壁改修住戸

2024年3月19日8時30分頃

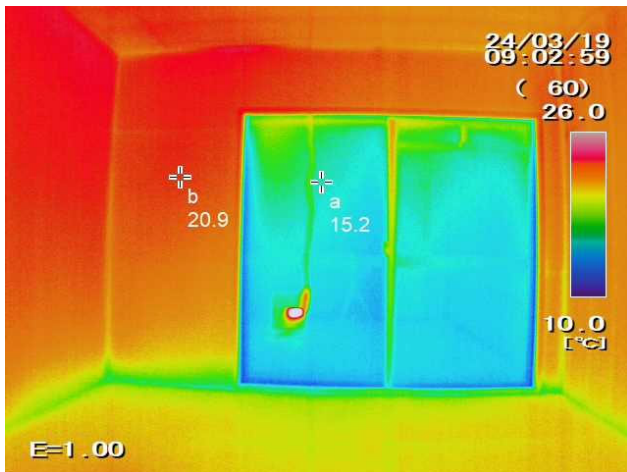


①既存住戸

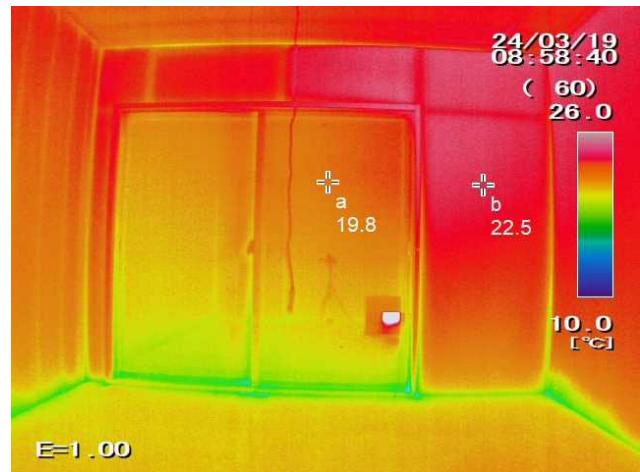


②断熱内窓・断熱壁改修住戸

2024年3月19日9時頃



①既存住戸

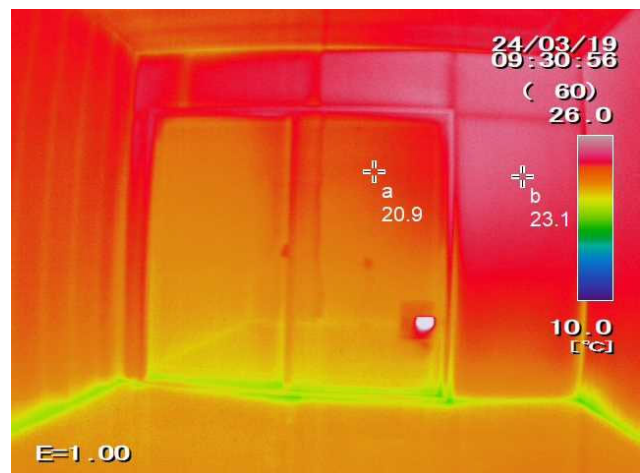


②断熱内窓・断熱壁改修住戸

2024年3月19日9時30分頃

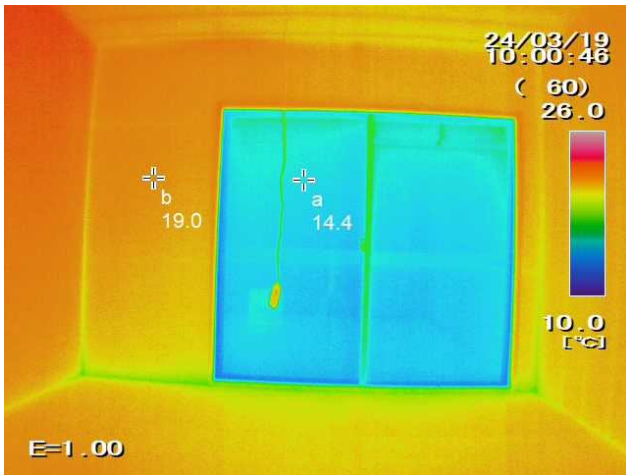


①既存住戸

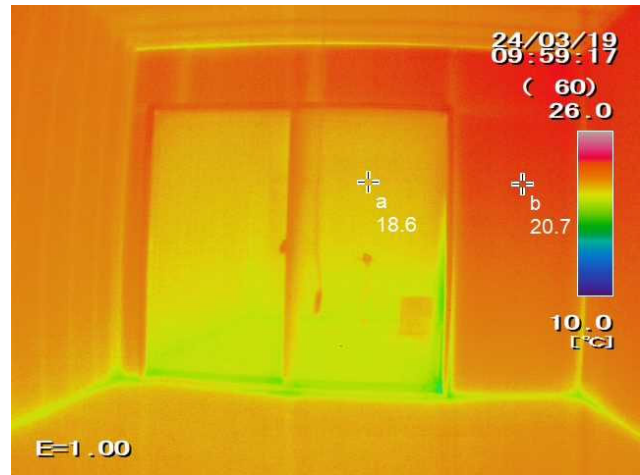


②断熱内窓・断熱壁改修住戸

2024年3月19日10時頃

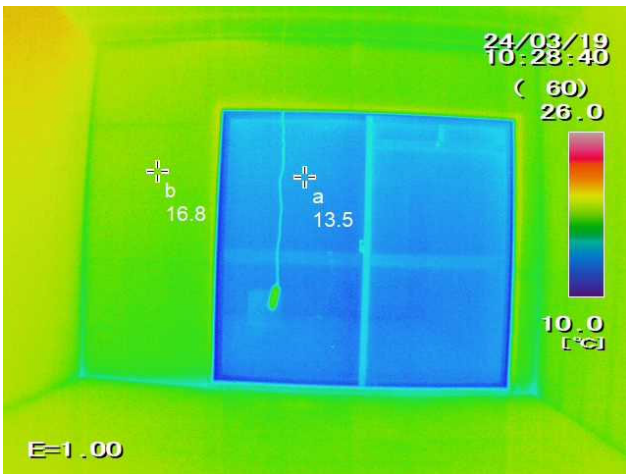


①既存住戸

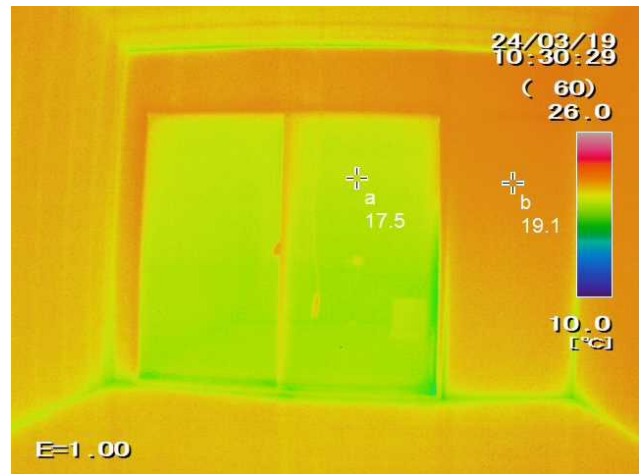


②断熱内窓・断熱壁改修住戸

2024年3月19日10時30分頃



①既存住戸

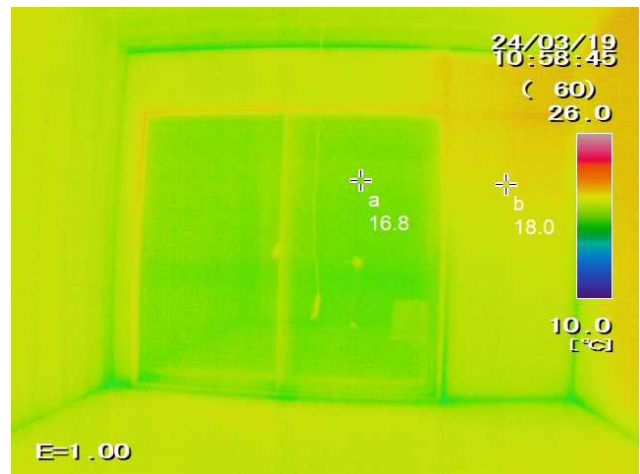


②断熱内窓・断熱壁改修住戸

2024年3月19日11時頃

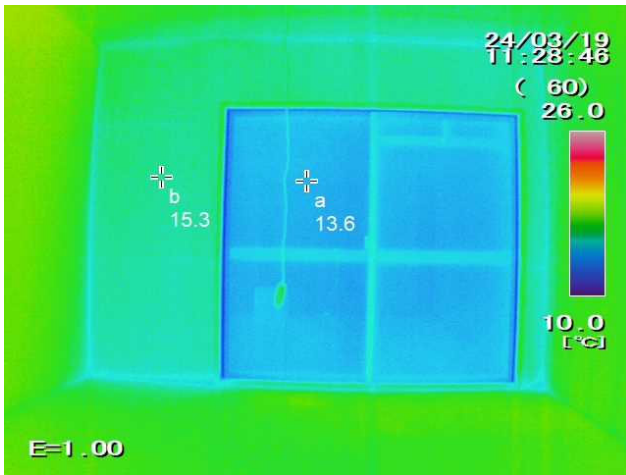


①既存住戸



②断熱内窓・断熱壁改修住戸

2024年3月19日11時30分頃

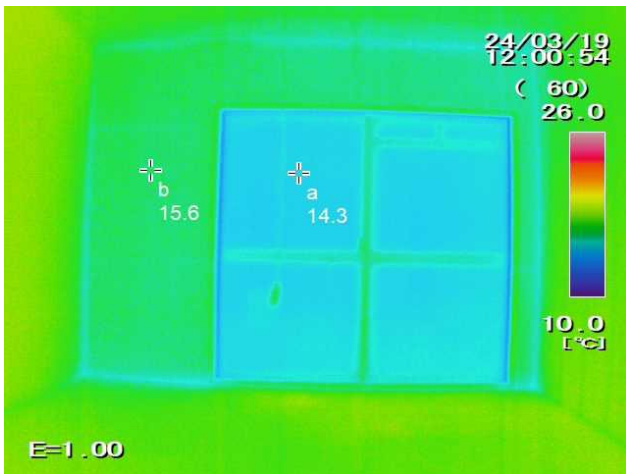


①既存住戸

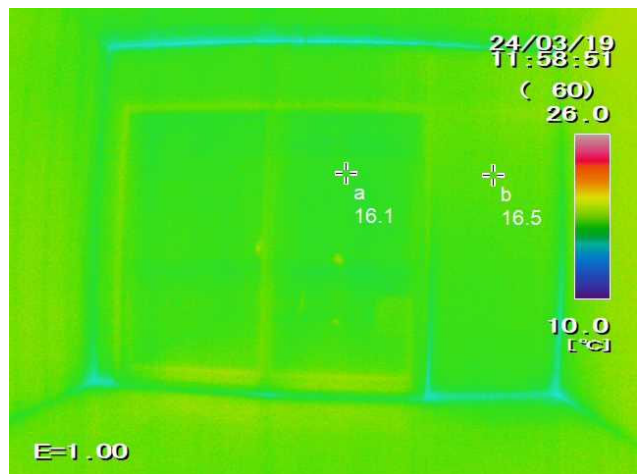


②断熱内窓・断熱壁改修住戸

2024年3月19日12時頃

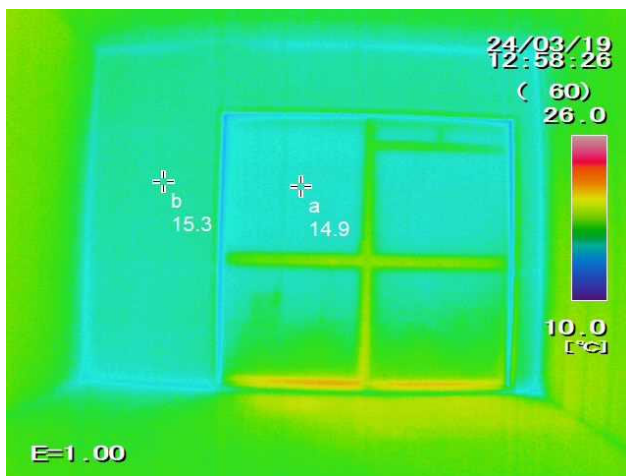


①既存住戸

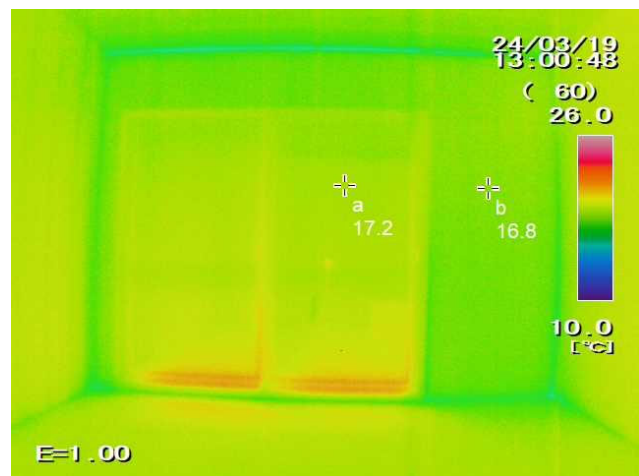


②断熱内窓・断熱壁改修住戸

2024年3月19日13時頃



1 既存住戸



②断熱内窓・断熱壁改修住戸

(1) 窓の表面温度の変化

窓の表面温度の変化を図-6.1.2に示す。窓の温度差の最大値は暖房器具使用開始約1時間後の8時31分で、①既存住戸の窓は14.3℃に対し②断熱内窓・断熱壁改修住戸の窓は20.4℃と6.1℃の差が認められた。

また、暖房器具使用終了約2時間後の11時31分で、①既存住戸の窓は13.6℃に対し②断熱内窓・断熱壁改修住戸の窓は16.8℃と3.2℃の差が認められた。

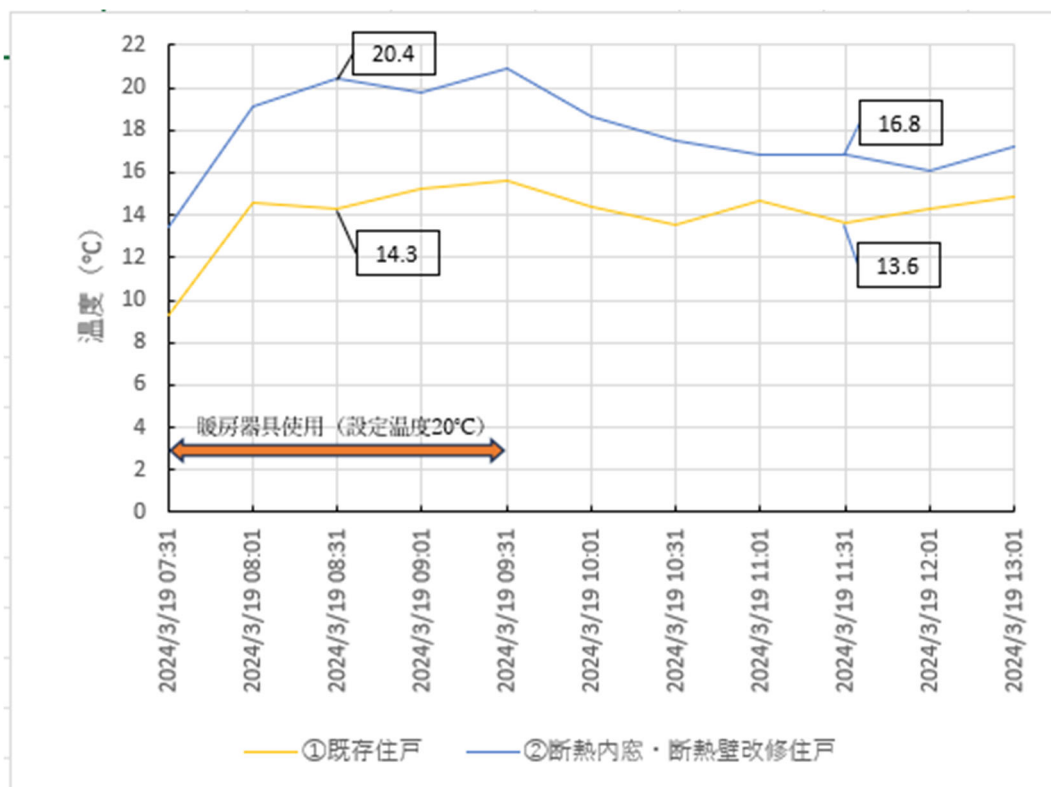


図-6.1.2 ①既存住戸と②断熱内窓・断熱壁改修住戸の窓の表面温度の変化

(2) 壁の表面温度の変化

壁の表面温度の変化を図-6.1.3に示す。

壁の温度差の最大値は暖房器具使用終了約1時間後の10時31分で①既存住戸の壁は16.8℃に対し②断熱内窓・断熱壁改修住戸の壁は19.1℃と2.3℃の差が認められた。

また、暖房器具使用終了約2時間後の11時31分で、①既存住戸の壁は15.3℃に対し②断熱内窓・断熱壁改修住戸の壁は17.4℃と2.1℃の差が認められた。

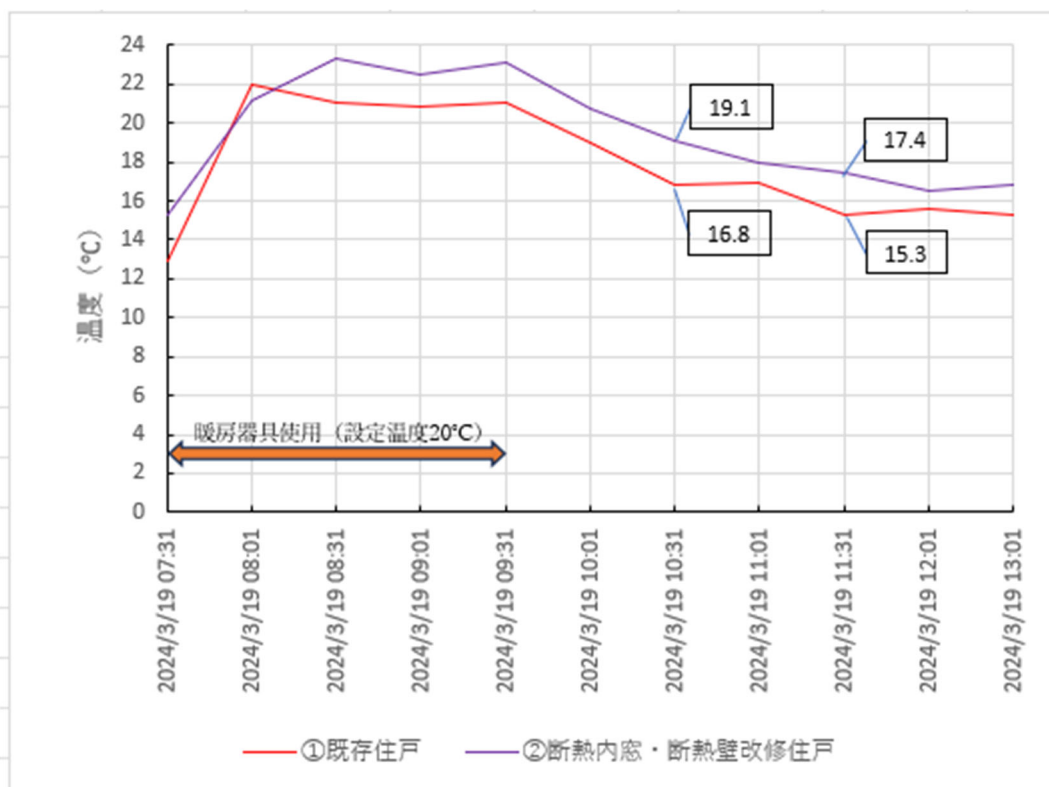


図-6.1.3 ①既存住戸と②断熱内窓・断熱壁改修住戸の壁の表面温度の変化

6.2 ①既存住戸と②断熱内窓・断熱壁改修住戸の断熱性能の比較（暖房器具を6時間使用した場合）

長時間の暖房器具の使用が、断熱効果にどの程度影響するか検証するための測定を行った。

6.2.1 測定日時

2024年3月26日7時～17時まで。

6.2.2 暖房器具の使用

7時～13時まで6時間、石油ファンヒーターを使用。7時～12時までは20℃設定、12時～13時は23℃設定にした。

6.2.3 室温の変化

図-6.2.1に室温の変化を示す。20℃設定の時の①既存住戸と②断熱内窓・断熱壁改修住戸の室温差は暖房器具使用開始約3時間30分後の10時34分に最大を示し、2.2℃であった。12時から23℃設定にすると約1時間後の13時4分には室温差は3.4℃を示した。

暖房器具使用終了後の室温差は徐々に縮まり、暖房器具使用終了約4時間後の17時4分で0.9℃であった。室温差の傾向は暖房器具を6時間使用しても、2時間の場合と大差はなかった。

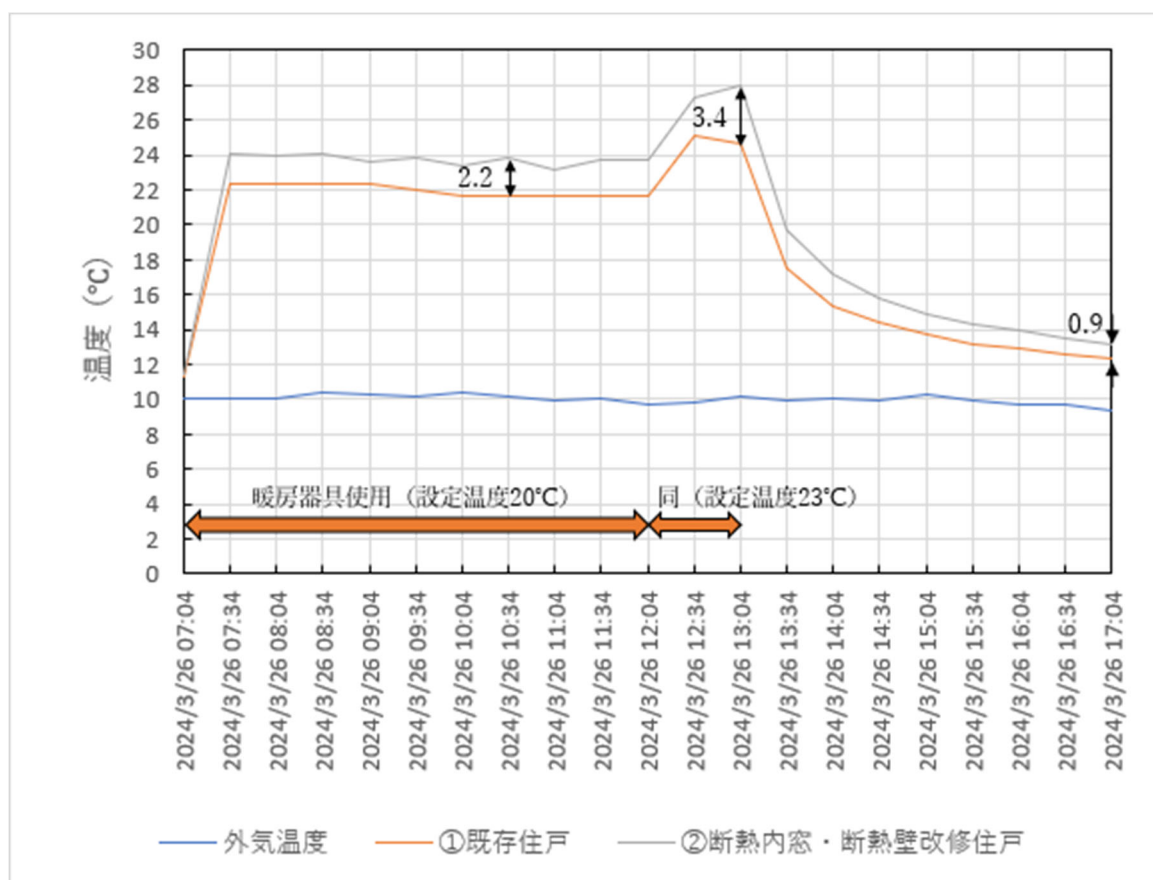
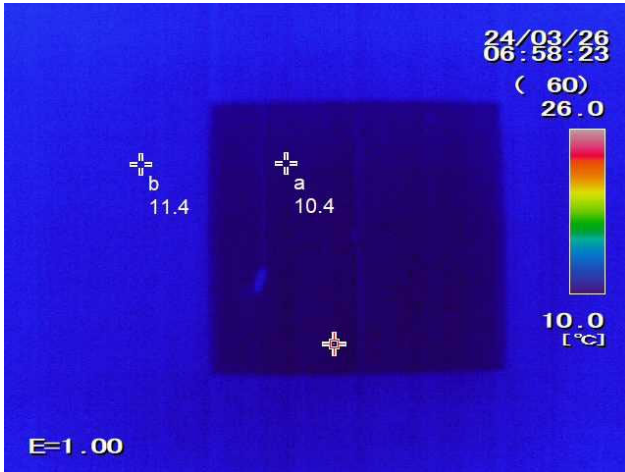


図-6.2.1 ①既存住戸と②断熱内窓・断熱壁改修住戸の室温の変化

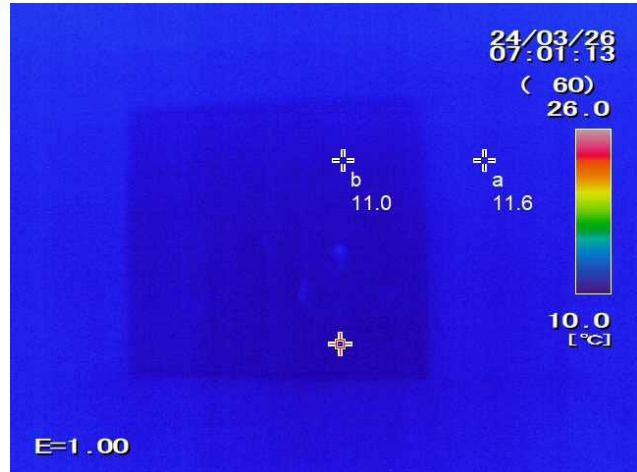
6.2.4 熱画像の分析

2024年3月26日7時頃から17時頃までの熱画像を以下に示す。

2024年3月26日7時頃

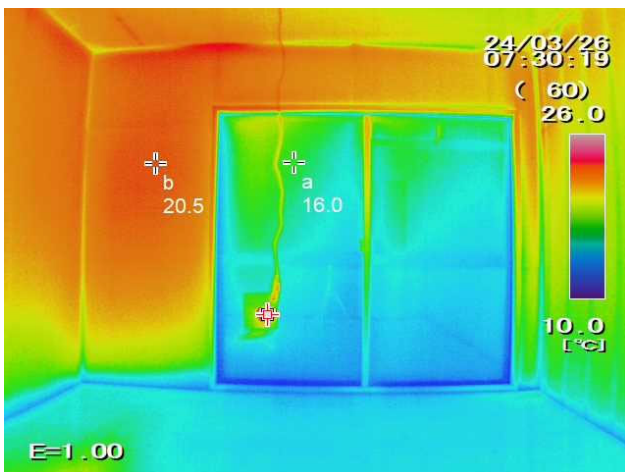


①既存住戸

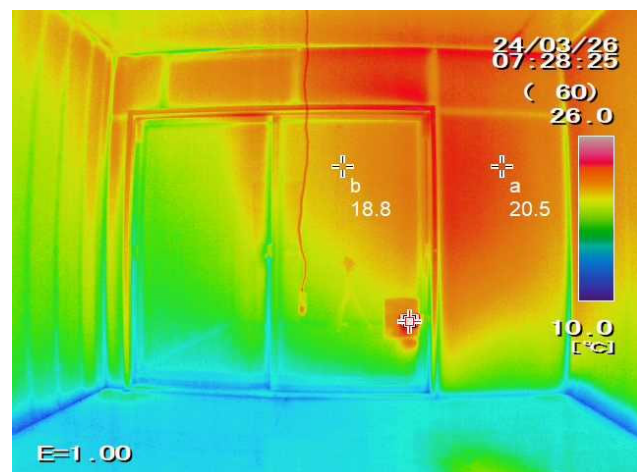


②断熱内窓・断熱壁改修住戸

2024年3月26日7時30分頃

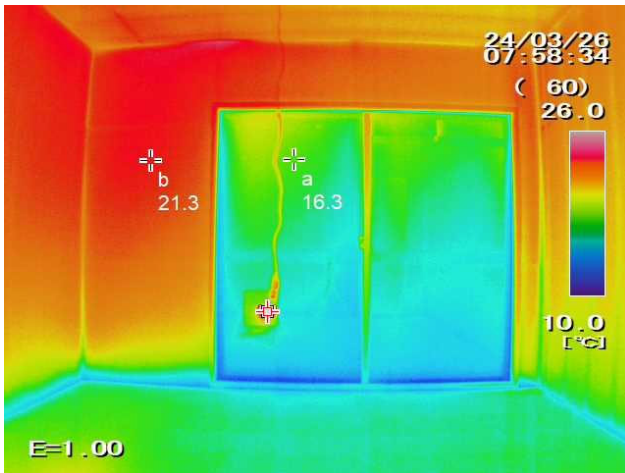


①既存住戸

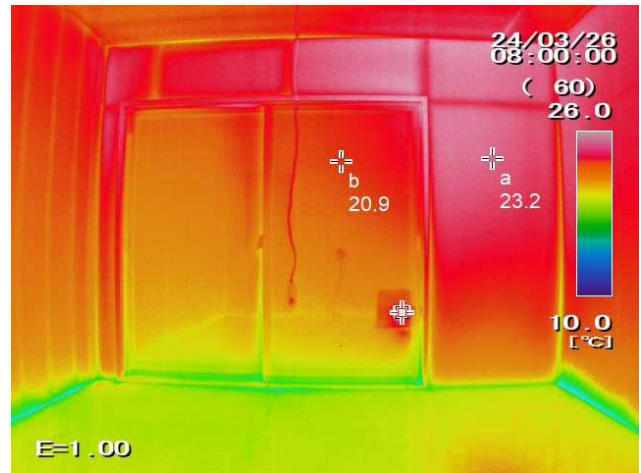


②断熱内窓・断熱壁改修住戸

2024年3月26日8時頃

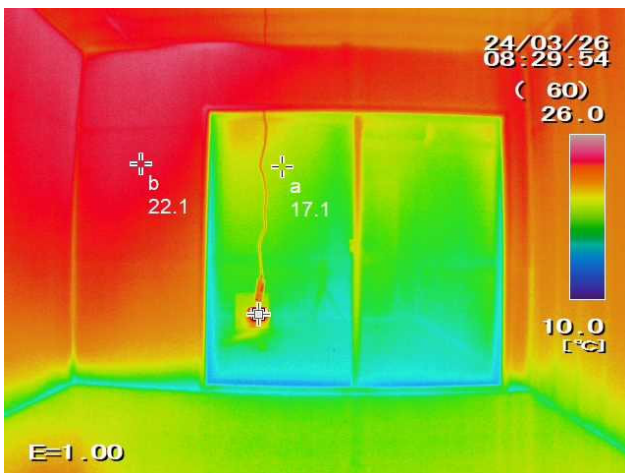


①既存住戸

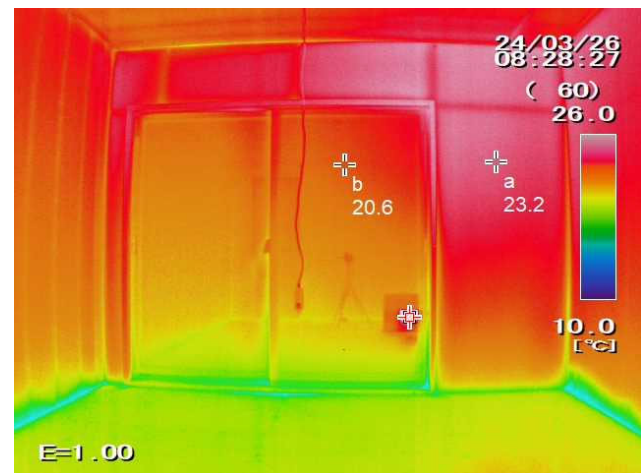


②断熱内窓・断熱壁改修住戸

2024年3月26日8時30分頃

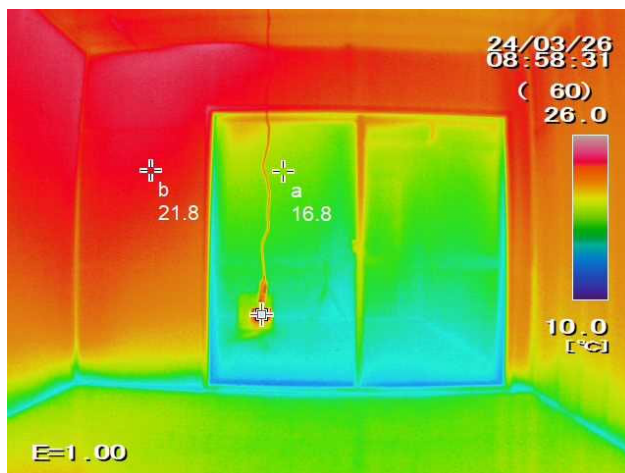


①既存住戸

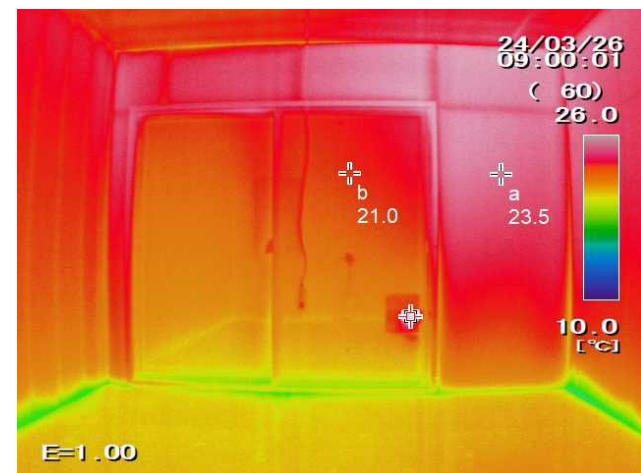


②断熱内窓・断熱壁改修住戸

2024年3月26日9時頃



①既存住戸

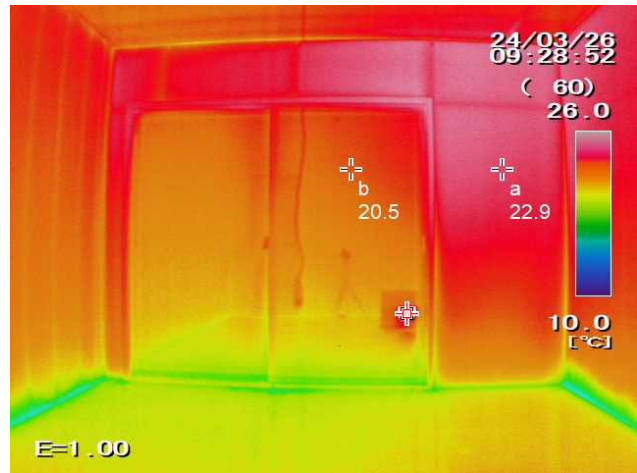


②断熱内窓・断熱壁改修住戸

2024年3月26日9時30分頃

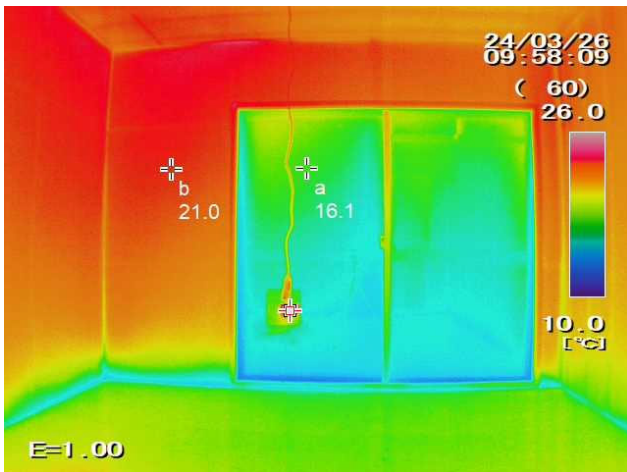


①既存住戸

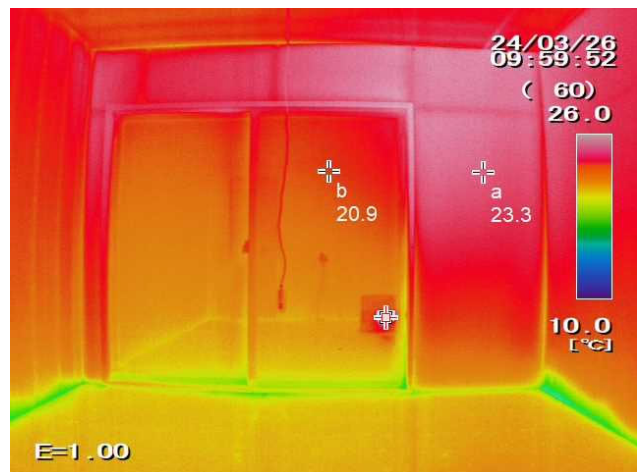


②断熱内窓・断熱壁改修住戸

2024年3月26日10時頃

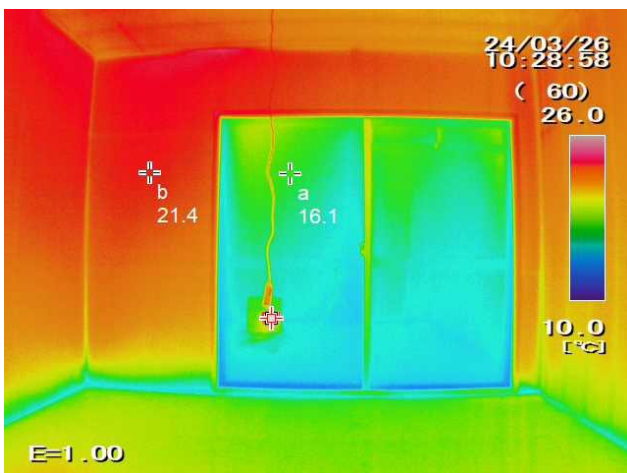


①既存住戸

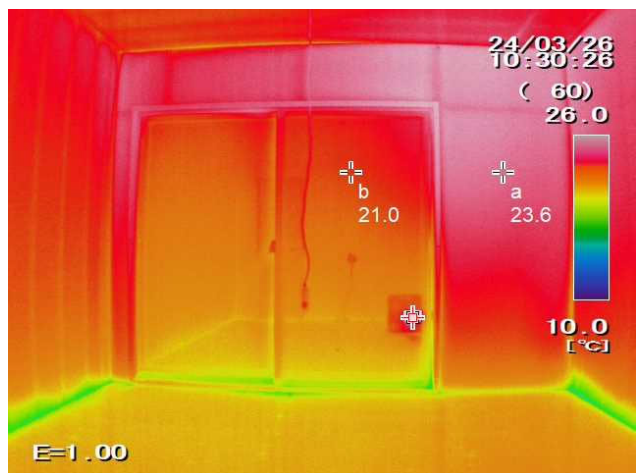


②断熱内窓・断熱壁改修住戸

2024年3月26日10時30分頃

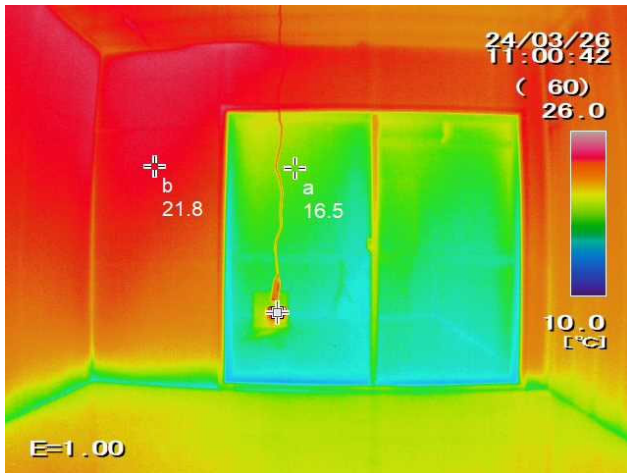


①既存住戸

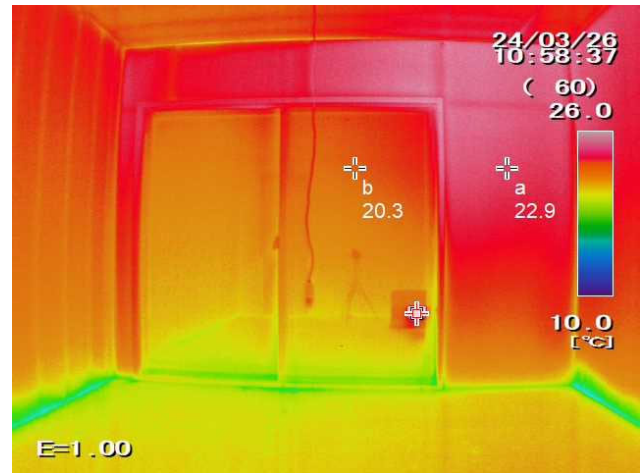


②断熱内窓・断熱壁改修住戸

2024年3月26日11時頃

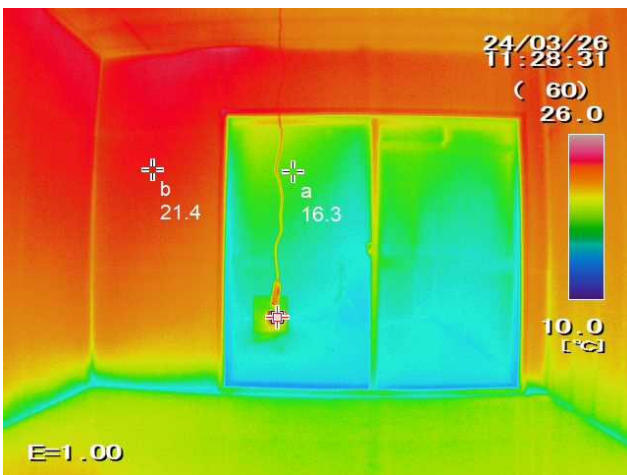


①既存住戸

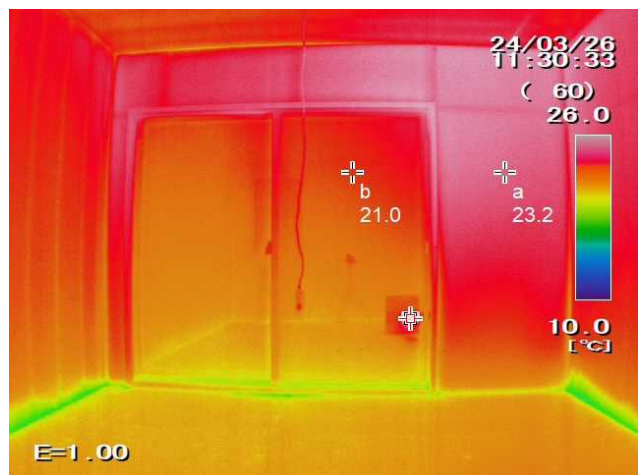


②断熱内窓・断熱壁改修住戸

2024年3月26日11時30分頃

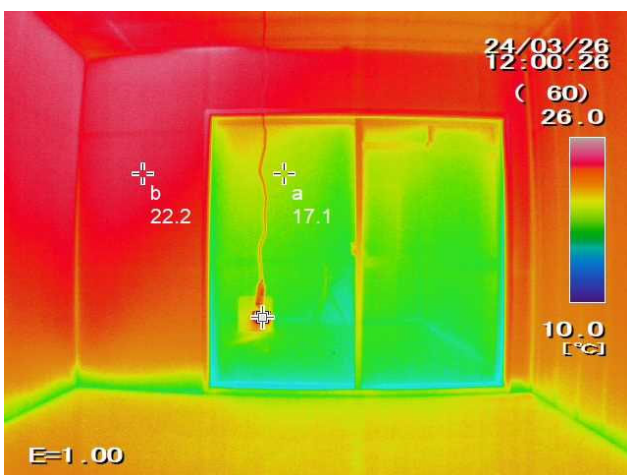


①既存住戸



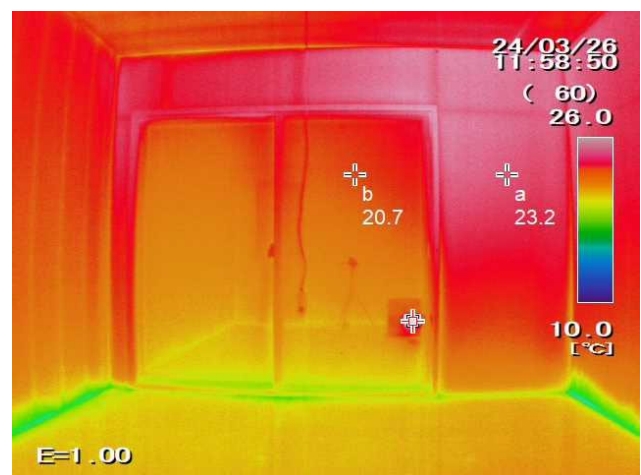
②断熱内窓・断熱壁改修住戸

2024年3月26日12時頃



①既存住戸

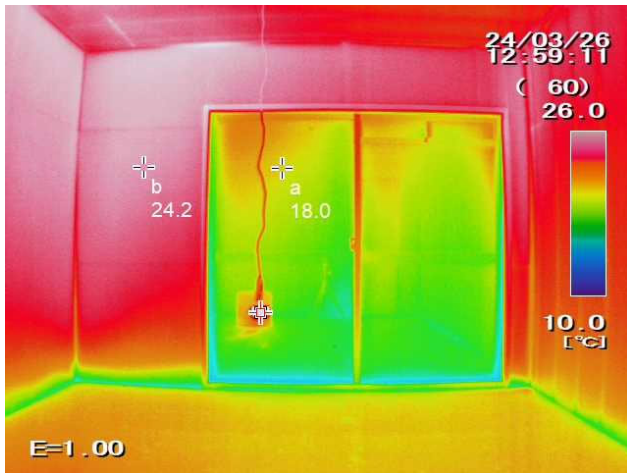
※7時～12時は20℃設定



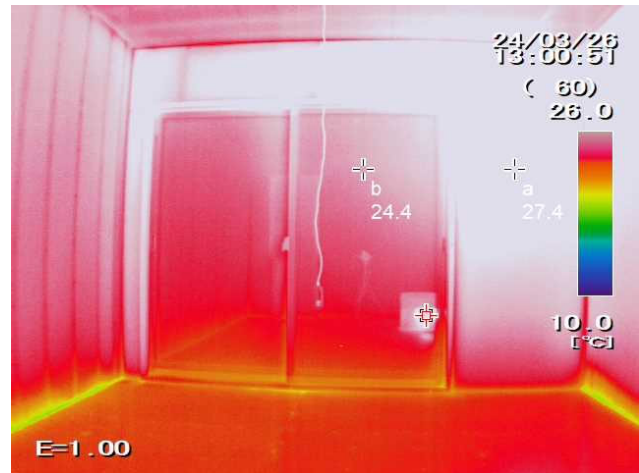
②断熱内窓・断熱壁改修住戸

※7時～12時は20℃設定

2024年3月26日13時頃

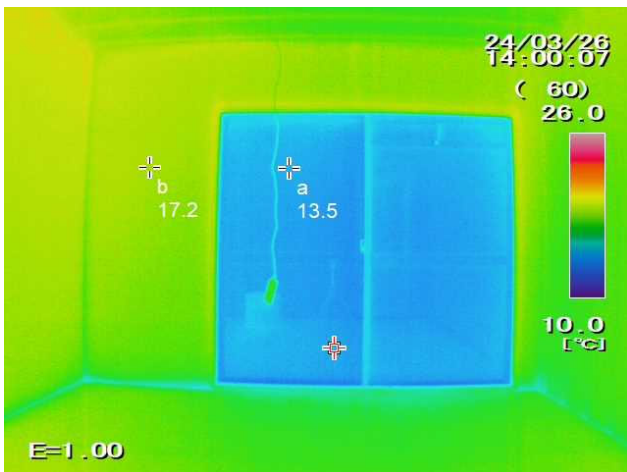


①既存住戸
※12時～13時は23°C設定

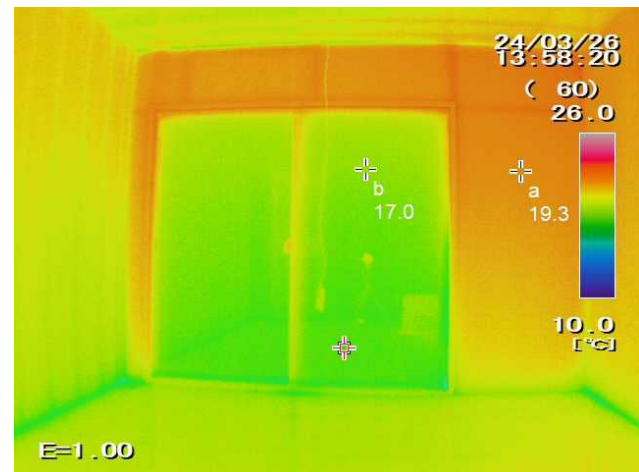


②断熱内窓・断熱壁改修住戸
※12時～13時は23°C設定

2024年3月26日14時頃

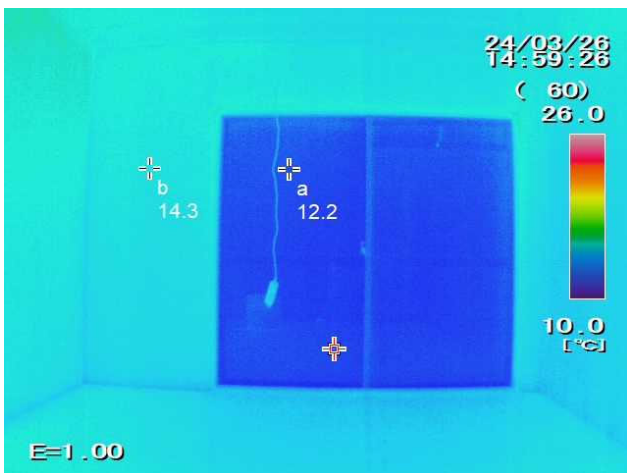


①既存住戸
※13時にストーブ消火



②断熱内窓・断熱壁改修住戸
※13時にストーブ消火

2024年3月26日15時頃

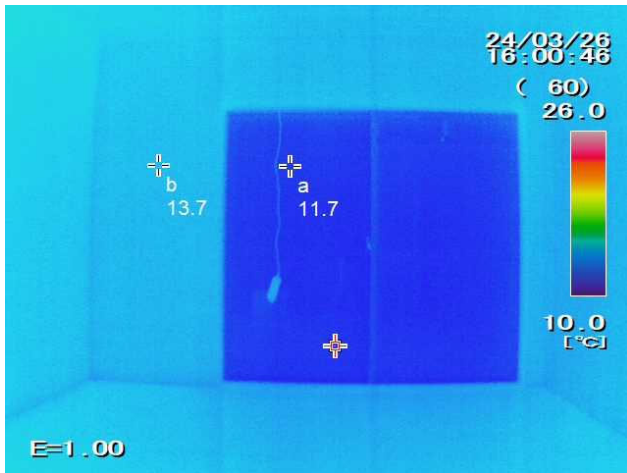


①既存住戸

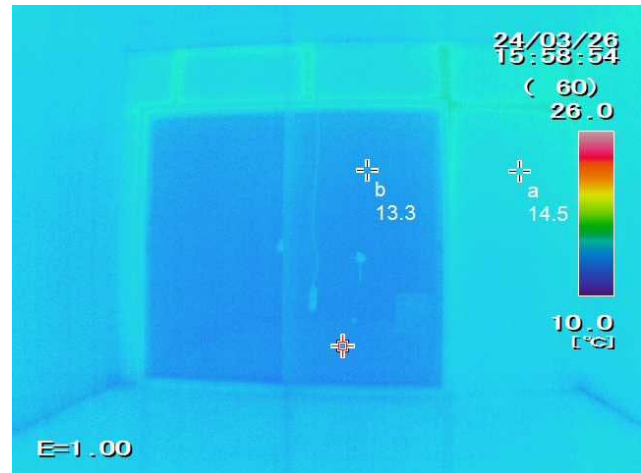


②断熱内窓・断熱壁改修住戸

2024年3月26日16時頃

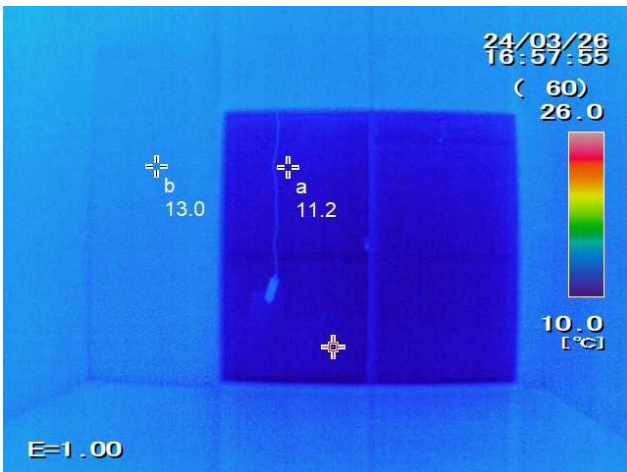


①既存住戸

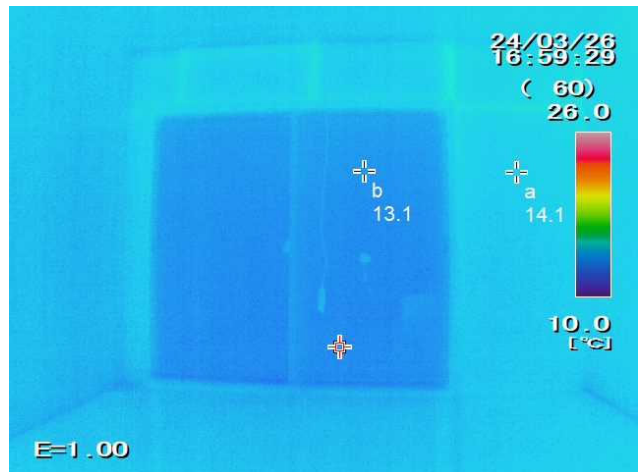


②断熱内窓・断熱壁改修住戸

2024年3月26日17時頃



1 既存住戸



②断熱内窓・断熱壁改修住戸

(1) 窓の表面温度の変化

窓の表面温度の変化を図-6.2.2 に示す。暖房器具(石油ファンヒーター)の設定温度20℃での窓の温度差の最大値は暖房器具使用開始約3時間30分後の10時34分で、①既存住戸の窓は16.1℃に対し、②断熱内窓・断熱壁改修住戸の窓は21.0℃と4.9℃の差が認められた。

暖房器具の温度設定を20℃から23℃に変更し約1時間後の13時4分で、①既存住戸の窓は18.0℃に対し②断熱内窓・断熱壁改修住戸は24.4℃と6.4℃の差が認められた。

また、暖房器具使用終了約4時間後の17時4分で、①既存住戸の窓は11.2℃に対し②断熱内窓・断熱壁改修住戸の窓は13.1℃と1.9℃の差が認められた。

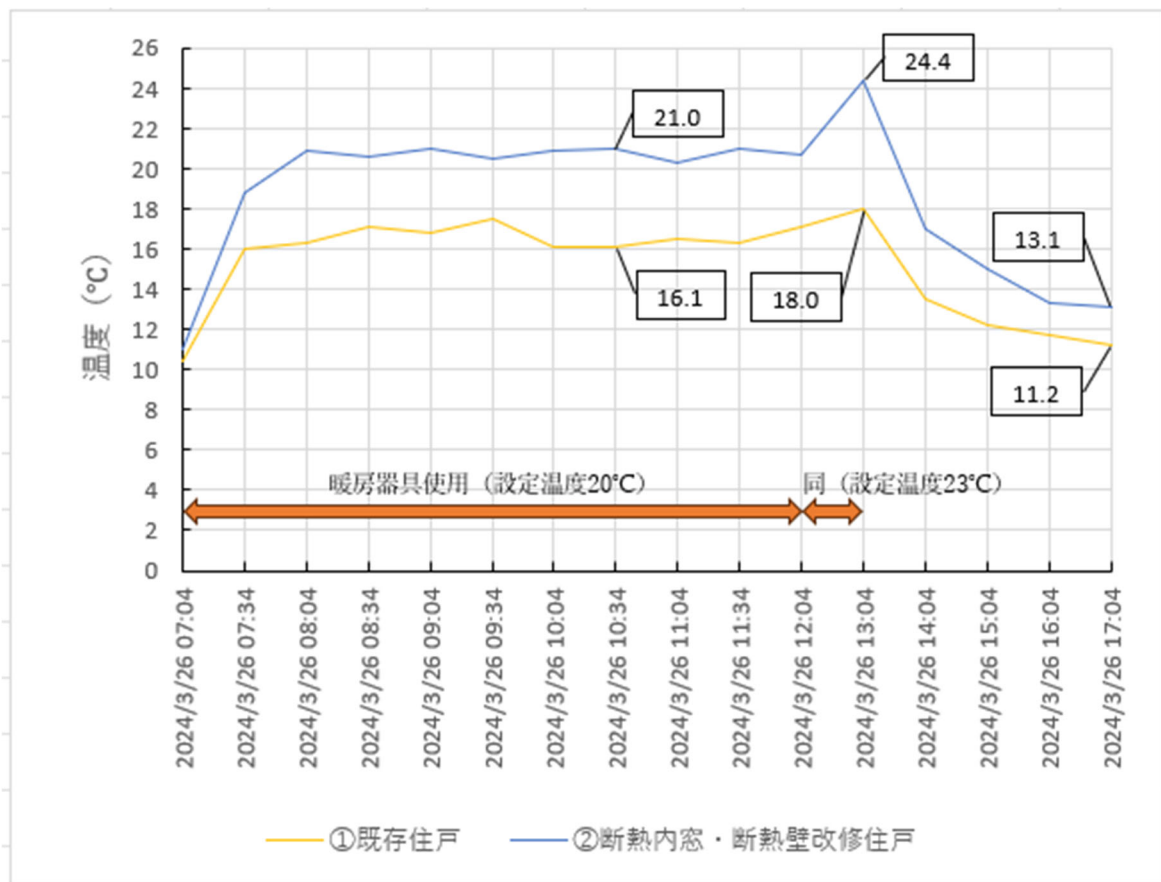


図-6.2.2 ①既存住戸と②断熱内窓・断熱壁改修住戸の窓の表面温度の変化

(2) 壁の表面温度の変化

壁の表面温度の変化を図-6.2.3に示す。壁の温度差の最大値は暖房器具使用開始約3時間後の10時4分で①既存住戸の壁は21.0℃に対し②断熱内窓・断熱壁改修住戸の壁は23.3℃と2.3℃の差が認められた。

暖房器具の温度設定を20℃から23℃に変更し約1時間後の13時4分で、①既存住戸の壁は24.2℃に対し②断熱内窓・断熱壁改修住戸の壁は27.4℃と3.2℃の差が認められた。

また、暖房器具使用終了約4時間後の17時4分で、①既存住戸の壁は13.0℃に対し②断熱内窓・断熱壁改修住戸の壁は14.1℃と1.1℃の差が認められた。

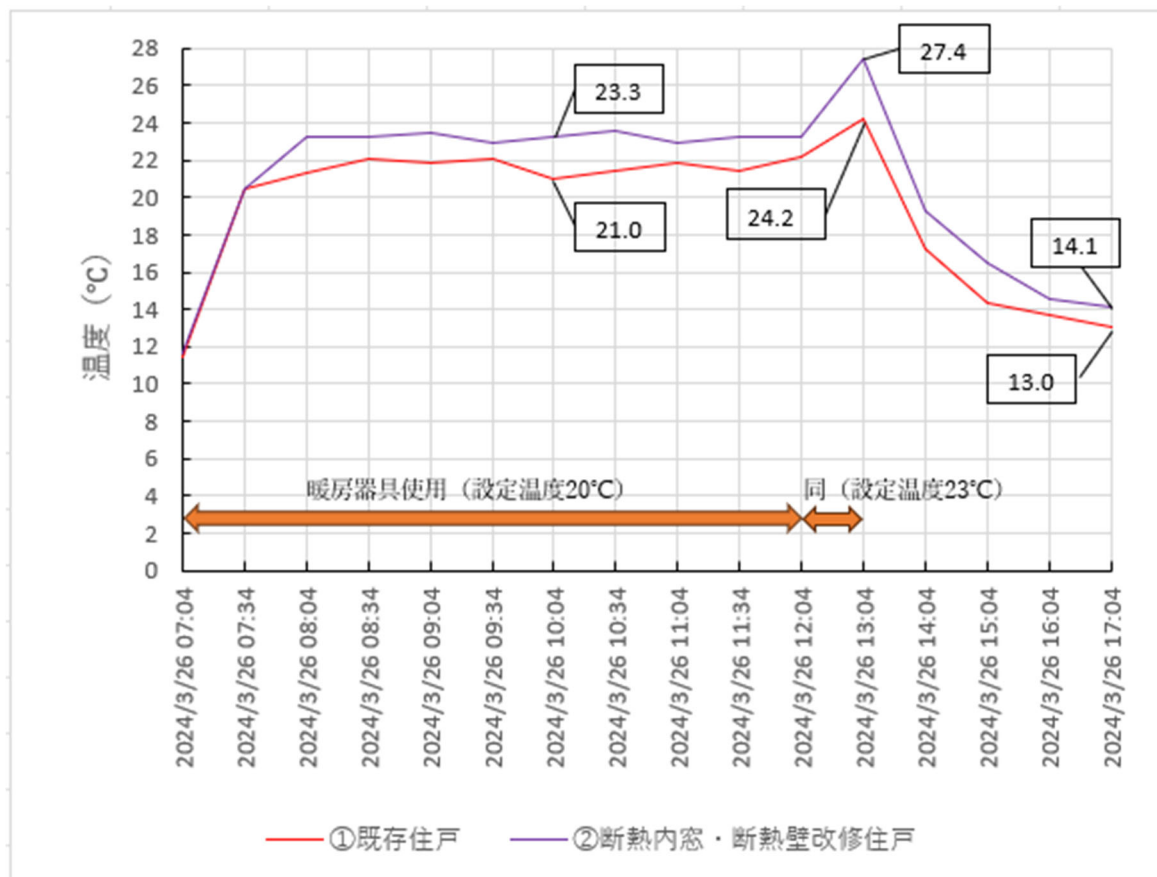


図-6.2.3 ①既存住戸と②断熱内窓・断熱壁改修住戸の壁の表面温度の変化

6.3①既存住戸と③断熱内窓住戸の断熱性能の比較

6.3.1 測定日時

2024年4月5日6時～11時まで。

6.3.2 暖房器具の使用

6時から～8時まで2時間、石油ファンヒーターを使用。温度設定は20℃。

6.3.3 室温の変化

図-6.3.1に室温の変化を示す。①既存住戸と③断熱内窓住戸の室温差は暖房器具使用開始約2時間後の8時1分に最大を示し、1.4℃であった。暖房器具使用終了後の室温差は徐々に縮まり、暖房器具使用終了約3時間後の11時1分で0.8℃であった。

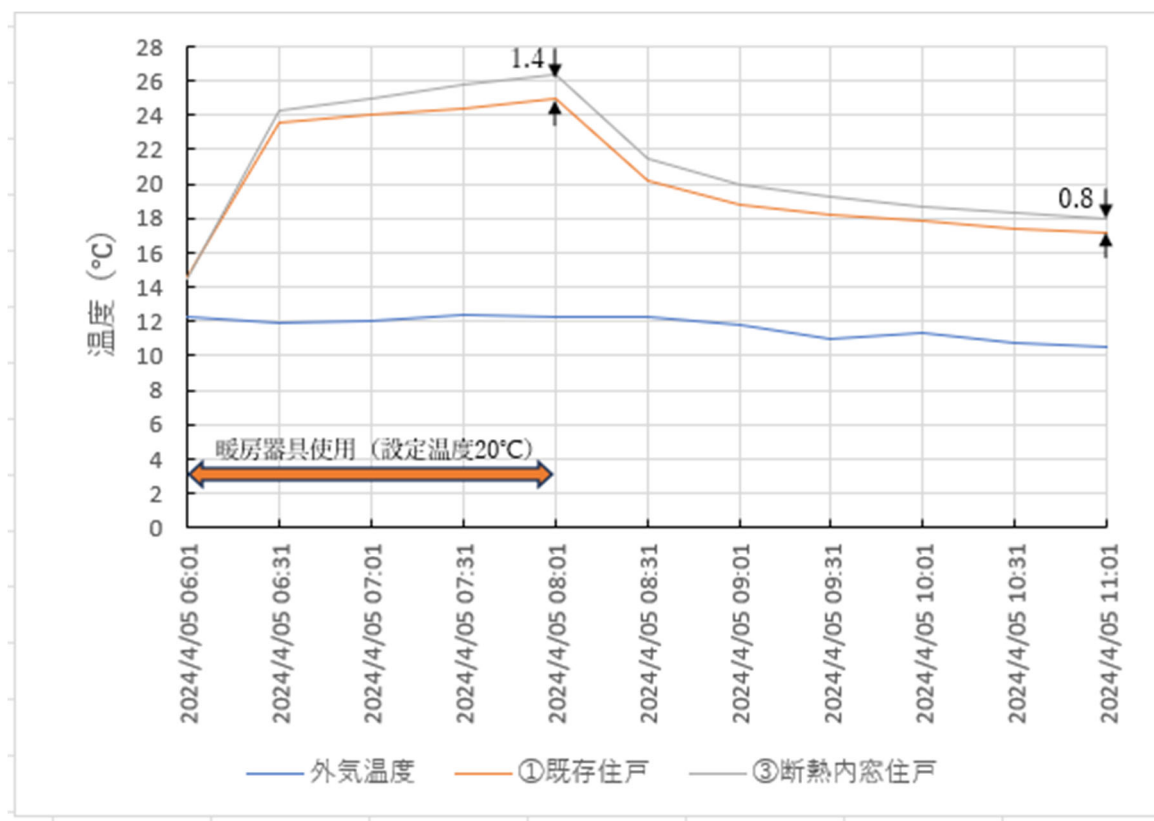
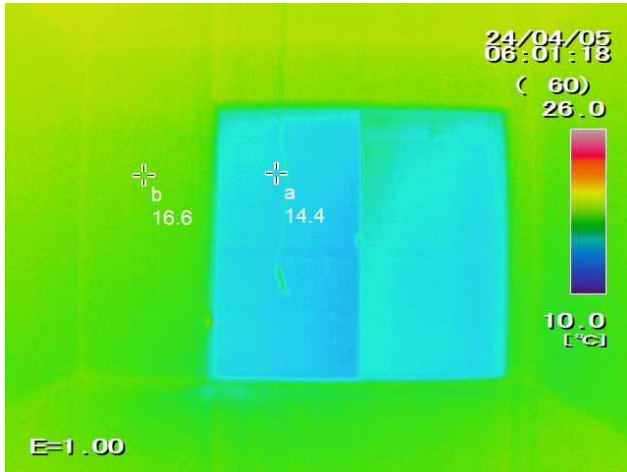


図-6.3.1 ①既存住戸及び③断熱内窓住戸の室温の変化

6.3.4 熱画像の分析

2024年4月5日6時から11時までの熱画像を以下に示す。

2024年4月5日6時頃

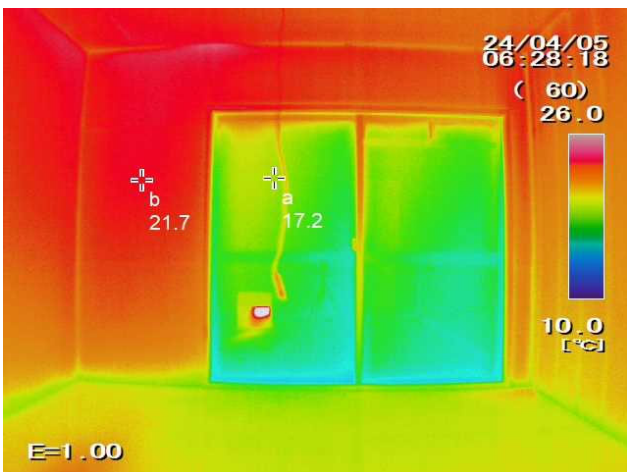


①既存住戸

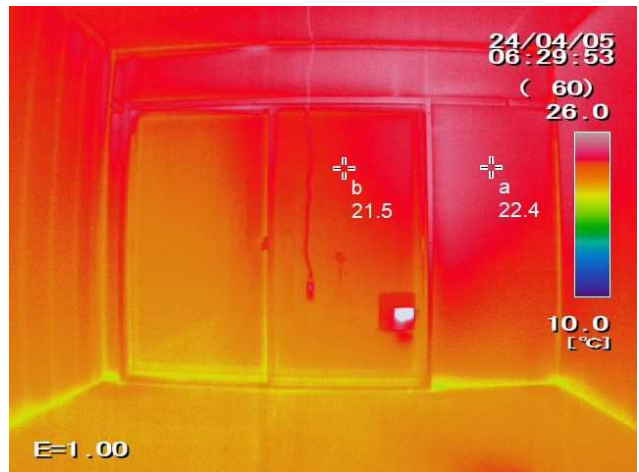


③断熱内窓住戸

2024年4月5日6時30分頃

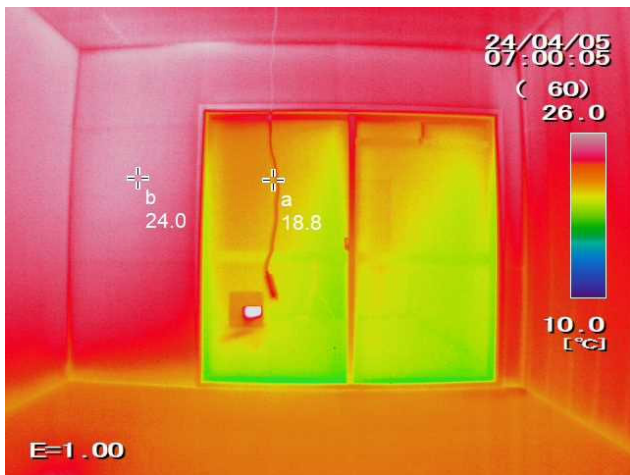


①既存住戸

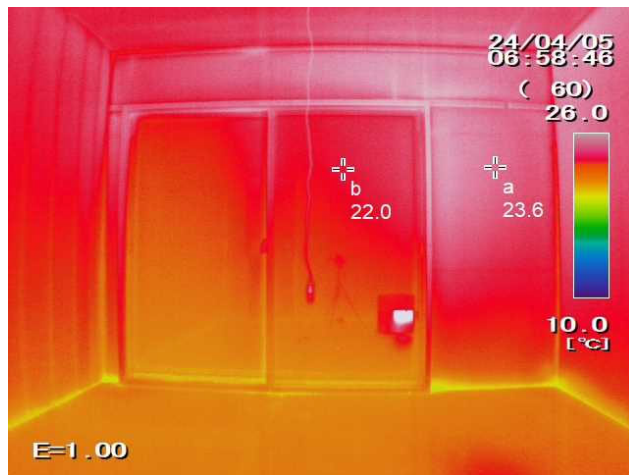


③断熱内窓住戸

2024年4月5日7時頃

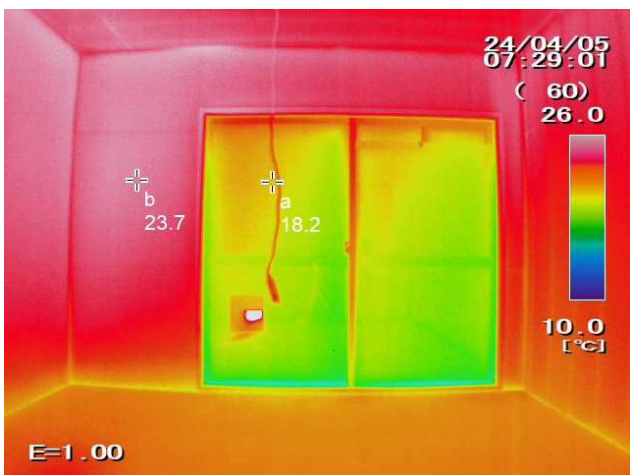


①既存住戸

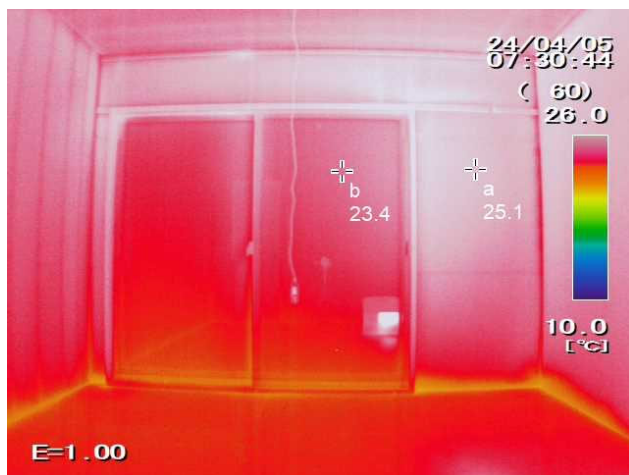


③断熱内窓住戸

2024年4月5日7時30分頃

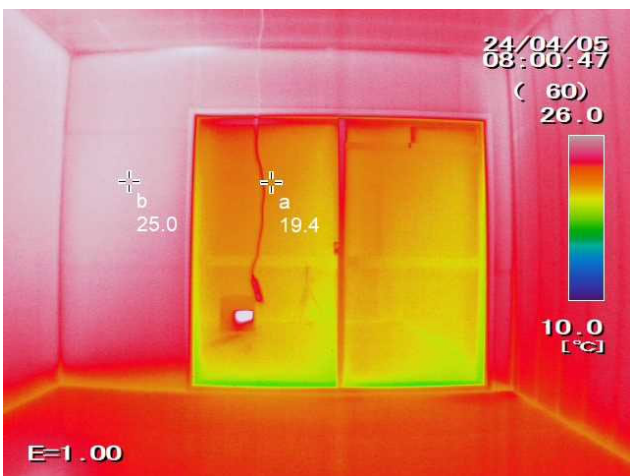


①既存住戸

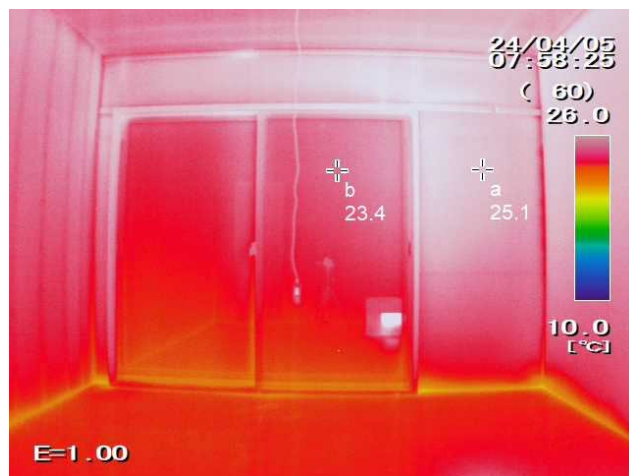


③断熱内窓住戸

2024年4月5日8時頃

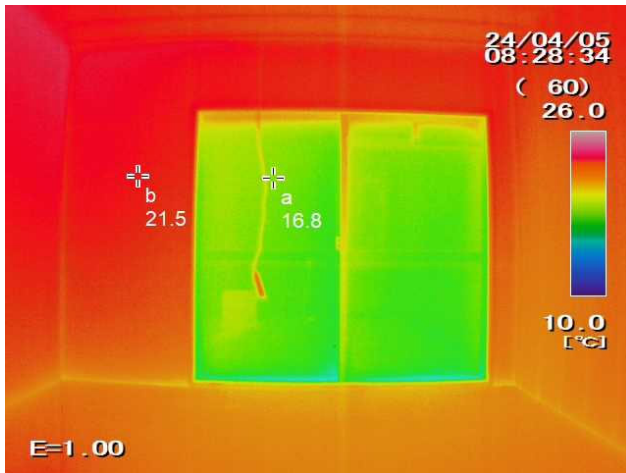


①既存住戸

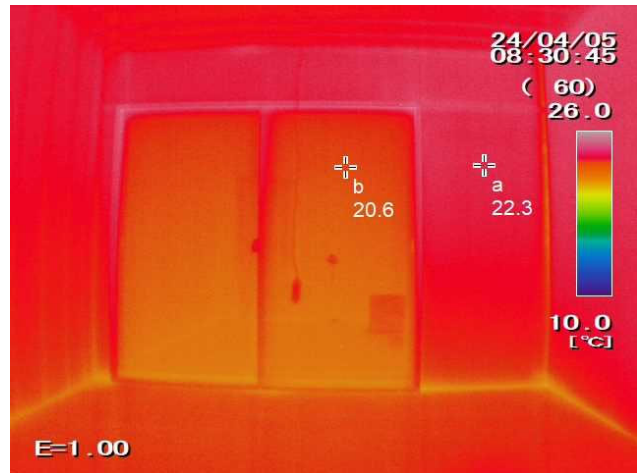


③断熱内窓住戸

2024年4月5日8時30分頃

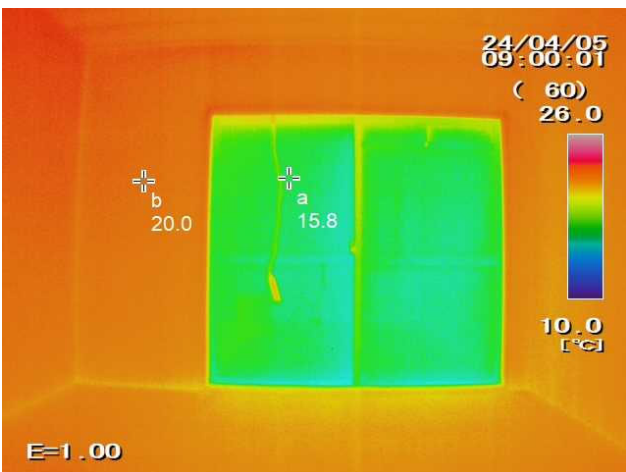


①既存住戸

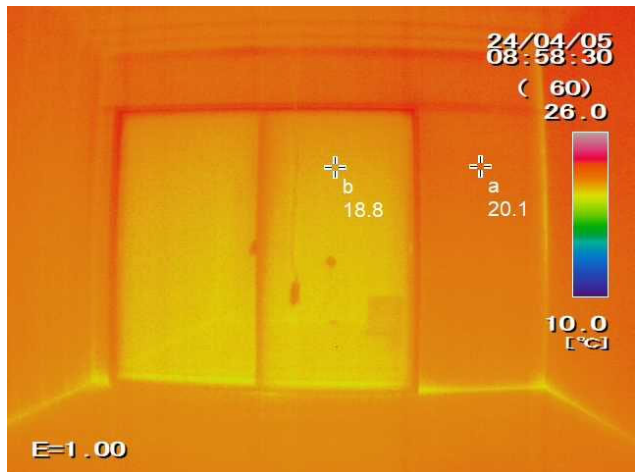


③断熱内窓住戸

2024年4月5日9時頃

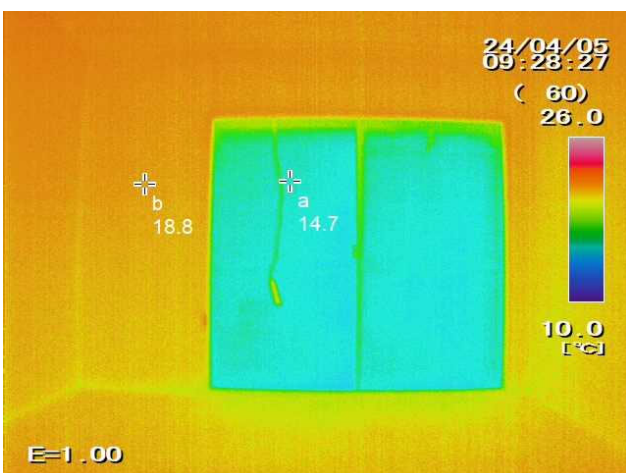


①既存住戸



③断熱内窓住戸

2024年4月5日9時30分頃

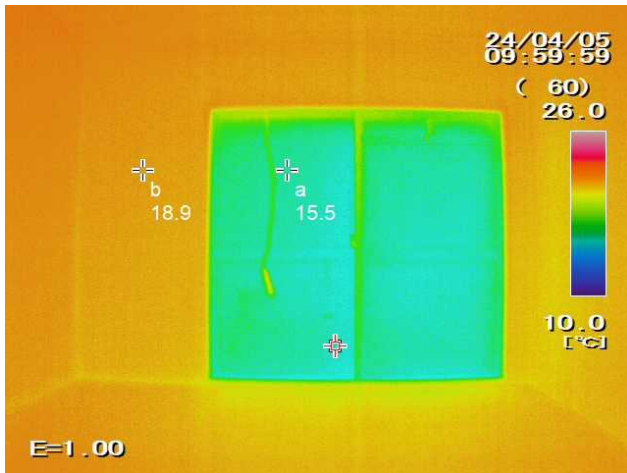


①既存住戸

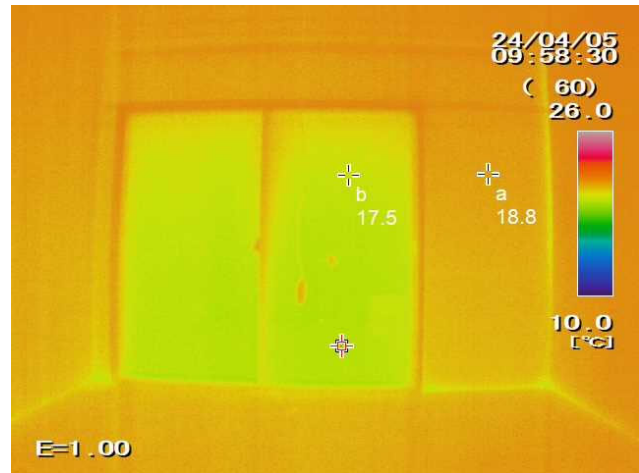


③断熱内窓住戸

2024年4月5日10時頃

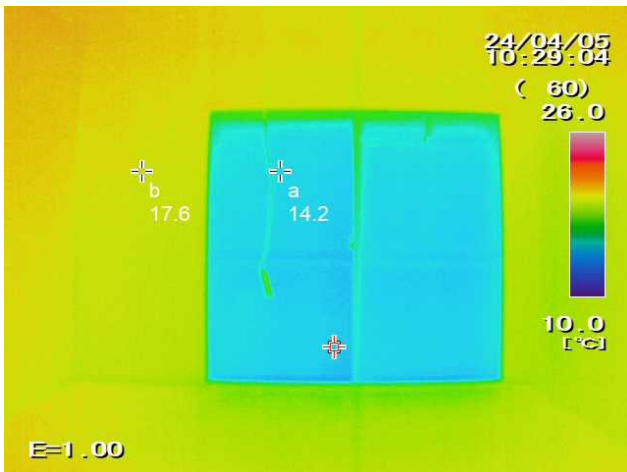


①既存住戸

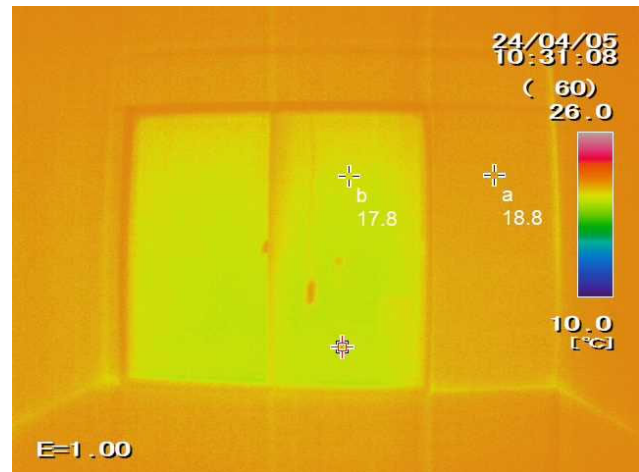


③断熱内窓住戸

2024年4月5日10時30分頃

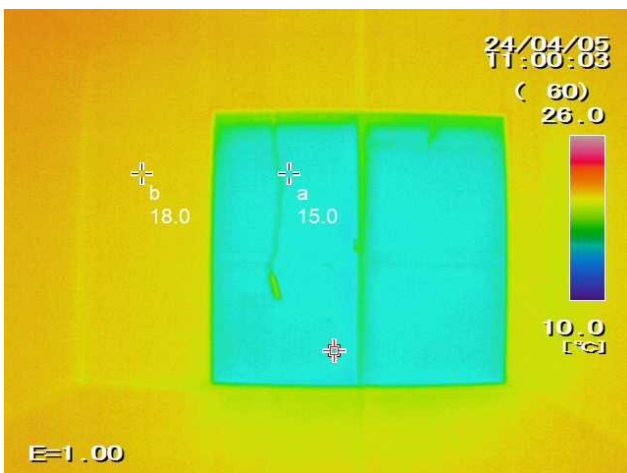


①既存住戸

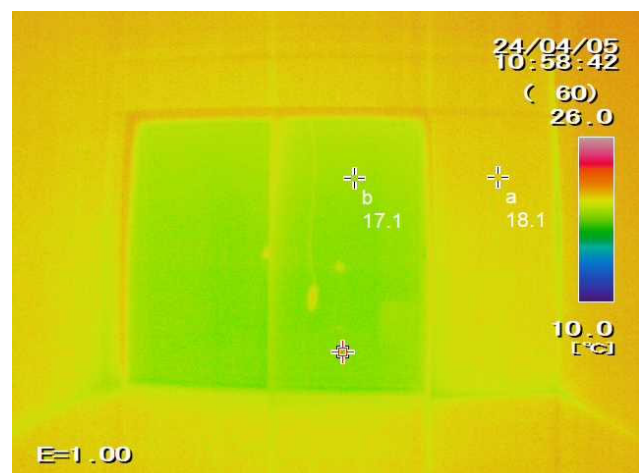


③断熱内窓住戸

2024年4月5日11時頃



1 既存住戸



③断熱内窓住戸

(1) 窓の表面温度の変化

窓の表面温度の変化を図-6.3.2に示す。窓の温度差の最大値は暖房器具使用開始約1時間30分後の7時31分で、①既存住戸の窓は18.2℃に対し③断熱内窓住戸の窓は23.4℃と5.2℃の差が認められた。

また、暖房器具使用終了約2時間30分後の10時31分で、①既存住戸の窓は14.2℃に対し③断熱内窓住戸の窓は17.8℃と3.6℃の差が認められた。

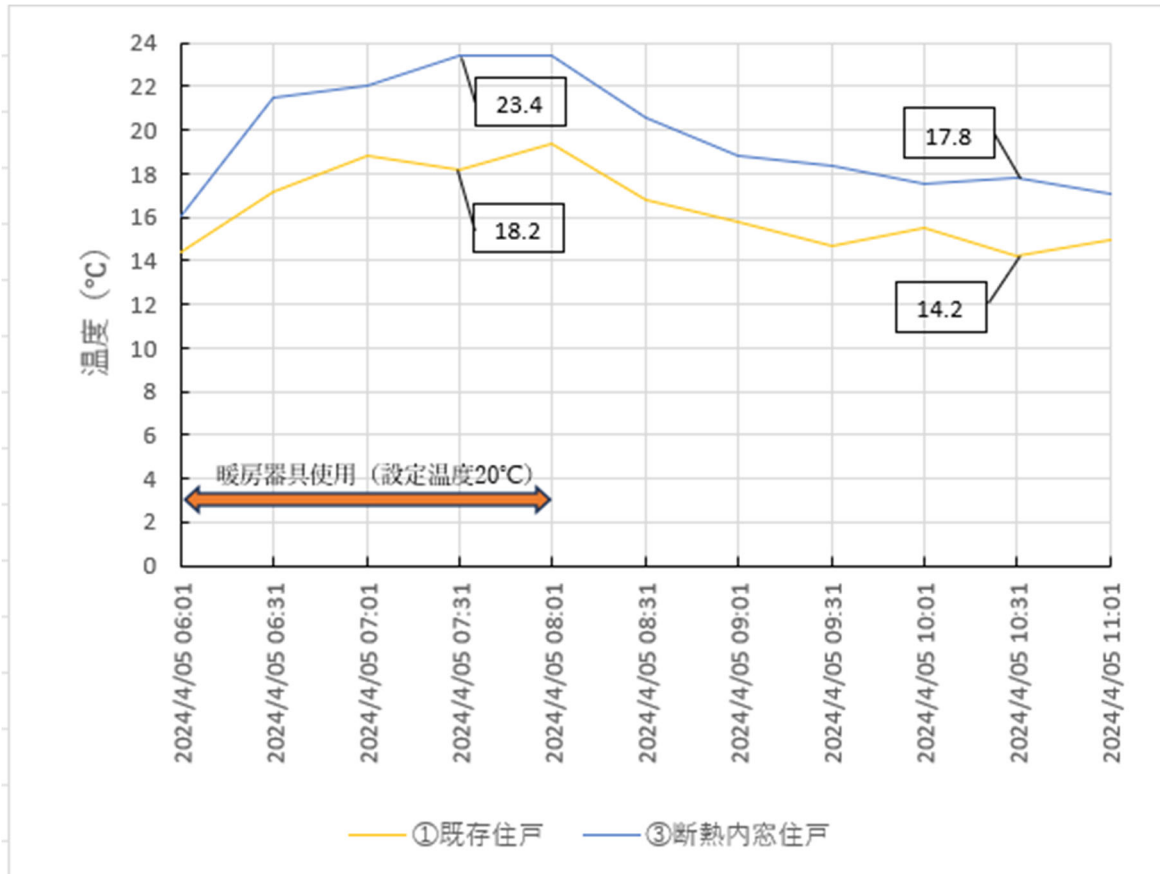


図-6.3.2 ①既存住戸及び③断熱内窓住戸の窓の表面温度の変化

(2) 壁の表面温度の変化

壁の表面温度の変化を図-6.3.3に示す。壁の温度差の最大値は暖房器具使用開始約1時間30分後の7時31分で①既存住戸の壁は23.7℃に対し③断熱内窓住戸の壁は25.1℃に対しと1.4℃の差が認められた。

また、暖房器具使用終了約2時間30分後の10時31分で、①既存住戸の壁は17.6℃に対し③断熱内窓住戸の壁は18.8℃と1.2℃の差が認められた。

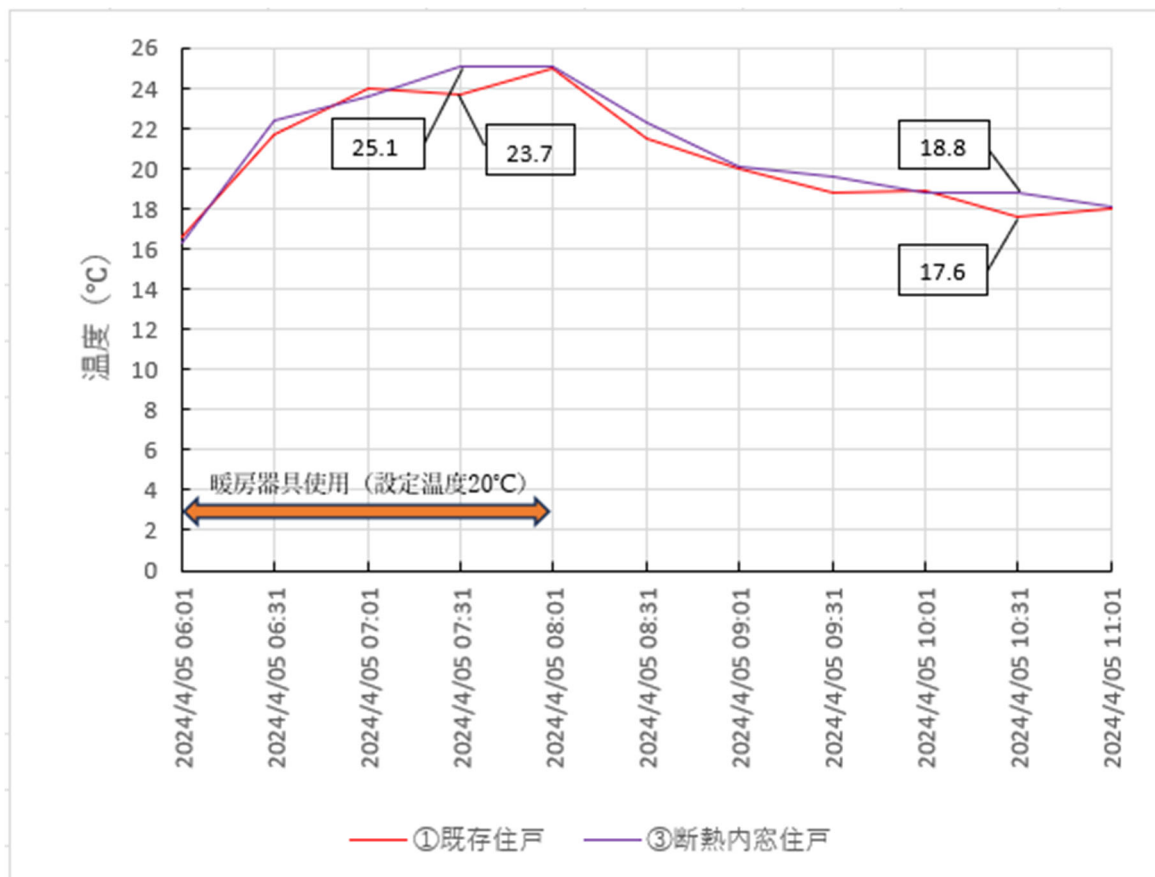


図-6.3.3 ①既存住戸及び③断熱内窓住戸の壁の表面温度の変化

7. まとめ

○測定項目

- ①既存住戸（アルミサッシ・単板ガラスの窓、壁は 25mm のスタイロフォームによる断熱）
②既存住戸に断熱内窓マドアーヂュ及び窓周辺の壁断熱改修による省エネルギーフォームを実施した場合
③既存住戸に断熱内窓マドアーヂュの設置のみの省エネルギーフォームを実施した場合のそれぞれについて、
(1) 温度センサによる室温の変化
(2) サーモカメラによる熱画像の分析による
 (2)-1 断熱内窓マドアーヂュと既存住戸の窓の表面温度の変化
 (2)-2 断熱改修を実施した窓周辺の壁と既存住戸の壁の表面温度の変化
をそれぞれ測定した。

○測定結果

その結果、①既存住戸と、②、③の省エネルギーフォーム住戸の各測定温度の最大差は次の通りであった。

表-7 ①既存住戸と、②、③の省エネルギーフォーム住戸の各測定温度の最大差

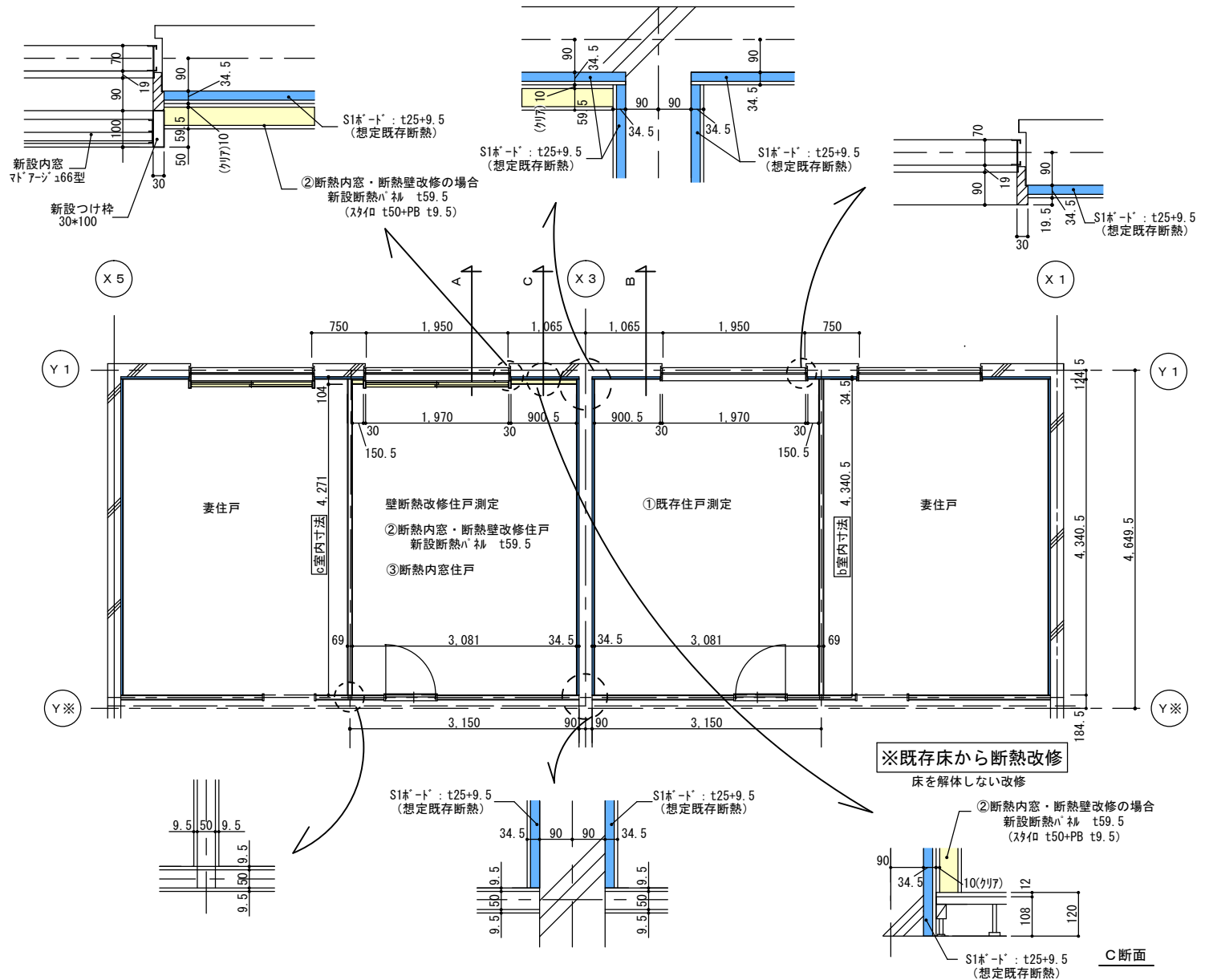
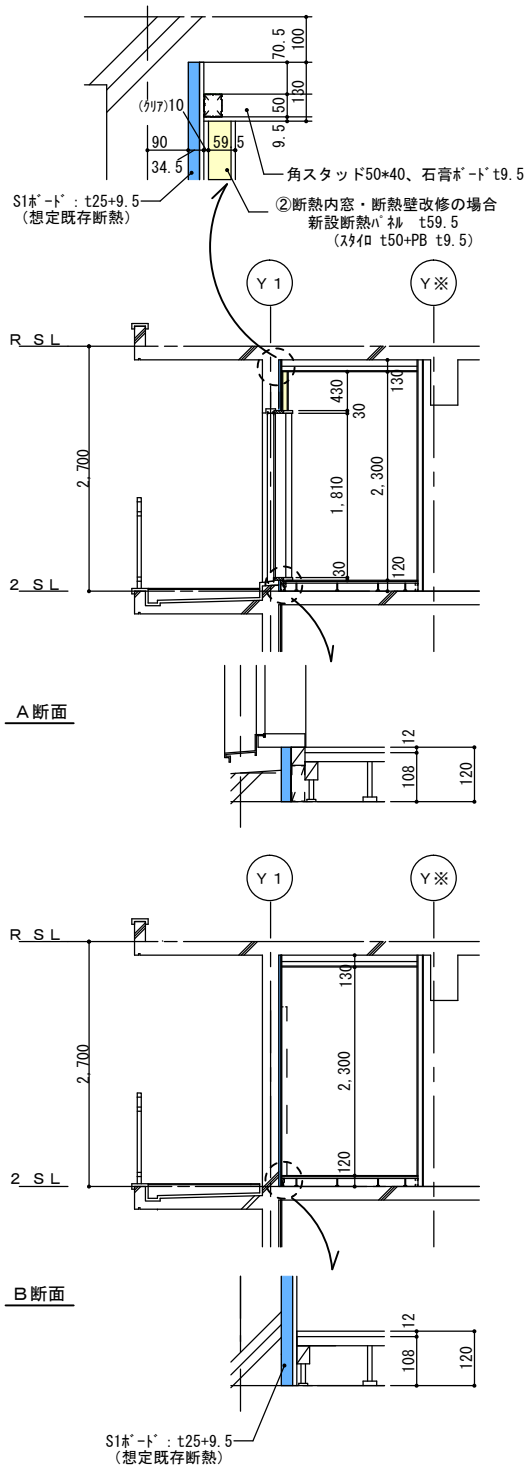
(単位℃、() 内は測定時刻)

		測定日	(1) 室温	(2) 表面温度	
				(2)-1 窓	(2)-2 壁
②断熱内窓マドアーヂュ及び窓周辺の壁断熱改修	2 時間暖房	2024 年 3 月 19 日	1.8 (9 : 31)	6.1 (8 : 01)	2.3 (10 : 31)
	6 時間暖房	2024 年 3 月 26 日	3.4 (13 : 04)	6.4 (13 : 04)	3.2 (13 : 04)
③断熱内窓マドアーヂュの設置のみ		2024 年 4 月 5 日	1.4 (8 : 01)	5.2 (7 : 31)	1.4 (7 : 31)

○結論

- ②既存住戸に断熱内窓マドアーヂュ及び窓周辺の壁断熱改修による省エネルギーフォームを実施した場合
③既存住戸に断熱内窓マドアーヂュの設置のみの省エネルギーフォームを実施した場合
のいずれも、①既存住戸との測定温度の差が認められ、省エネルギーフォームの有効性が確認された。

また、②既存住戸に断熱内窓マドアーヂュ及び窓周辺の壁断熱改修による省エネルギーフォームを実施した場合は、③断熱内窓マドアーヂュの設置のみを実施した場合と比較して各測定温度の最大差が約 2 割から約 6 割増加しており、窓周辺の壁断熱改修工事は、対象面積が限られている (3.29 m²) もの、住戸の断熱性能向上への寄与が一定程度認められた。



添付資料1 測定住戸の詳細

添付資料 2 既存窓に断熱内窓マドアーヂュを設置した場合の熱貫流率

1. 既存窓

単板ガラス、金属性建具

●熱貫流率 ($W/m^2 \cdot K$) 6.51

出典：一般社団法人日本サッシ協会「建具とガラスの組み合わせ」による開口部の熱貫流率表（住宅用窓の簡易的評価による）

2. 改修窓

単板ガラス、金属性建具の既存窓に、内窓（マドアーヂュ 66 型、複層ガラス（一般ガラス）、樹脂性建具、熱貫流率 $3.49W/m^2 \cdot K$ （要確認））を設置

●熱貫流率 ($W/m^2 \cdot K$)

二重窓における熱貫流率は、国立研究開発法人 建築研究所 HP 技術情報（※）内に示された下記（1）式を用いて当該窓の性能値を算出する必要があります。

$$U_d = \frac{1}{\frac{1}{U_{d,ex}} + \frac{A_{ex}}{A_{in} U_{d,in}} - R_s + \Delta R_a} \quad (1)$$

ここで、

- U_d : 窓の熱貫流率 ($W/m^2 K$)
- $U_{d,ex}$: 二重窓における外気側窓の熱貫流率 ($W/m^2 K$)
- $U_{d,in}$: 二重窓における室内側窓の熱貫流率 ($W/m^2 K$)
- A_{ex} : 二重窓における外気側窓の伝熱開口面積 (m^2)
- A_{in} : 二重窓における室内側窓の伝熱開口面積 (m^2)
- R_s : 二重窓における外気側と室内側の表面熱伝達抵抗の和 ($m^2 K/W$)
- ΔR_a : 二重窓における二重窓中空層の熱抵抗 ($m^2 K/W$)

ここで、二重窓における外気側と室内側の表面熱伝達抵抗の和 R_s は 0.17 とし、二重窓における二重窓中空層の熱抵抗 ΔR_a は 0.173 とする。また、二重窓における外気側窓の伝熱開口面積 A_{ex} と二重窓における室内側窓の伝熱開口面積 A_{in} は等しいとみなすことができる。

出典：一般社団法人日本サッシ協会【改訂】二重窓の熱貫流率について

$$U_d = 1 / (1/6.51 + 1/3.49 - 0.17 + 0.173) = 2.26$$

3. 既存窓と改修窓の比較

$$6.51 / 2.26 = 2.9$$

改修窓は既存窓の 2.9 倍の断熱性

添付資料 3 窓周辺の既存壁に壁断熱改修を実施した場合の熱貫流率

1. 既存壁

●熱抵抗値 ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)

室外側熱抵抗		0.04
コンクリート	厚さ 0.180(m) / 熱伝導率 1.60 ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$)	0.113
断熱材 (スタイロフォーム)	厚さ 0.025(m) / 熱伝導率 0.03 ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$)	0.833
石膏ボード	厚さ 0.0095(m) / 熱伝導率 0.20 ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$)	0.048
室内側熱抵抗		0.11
合計		1.144

●熱貫流率 ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)

$$1/1.144=0.87$$

2. 壁断熱改修を実施した壁

断熱材スタイロフォーム 50mm

●熱抵抗値 ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)

室外側熱抵抗		0.04
コンクリート	厚さ 0.180(m) / 熱伝導率 1.60 ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$)	0.113
断熱材 (スタイロフォーム)	厚さ 0.025(m) / 熱伝導率 0.03 ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$)	0.833
石膏ボード	厚さ 0.0095(m) / 熱伝導率 0.20 ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$)	0.048
※断熱材 (スタイロフォーム)	厚さ 0.05(m) / 熱伝導率 0.03 ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$)	1.667
※石膏ボード	厚さ 0.0095(m) / 熱伝導率 0.20 ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$)	0.048
室内側熱抵抗		0.11
合計		2.859

※壁断熱改修部分

●熱貫流率 ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)

$$1/2.859=0.35$$

3. 既存壁と壁断熱改修を実施した場合の比較

断熱材スタイロフォーム 50mm

$$0.87/0.35=2.5$$

改修壁は既存壁の 2.5 倍の断熱性