

窓断熱改修による温熱環境改善および冷暖房エネルギーの削減

正会員 ○ 持留崇志*1 同 銚井修一*2
同 高村正彦*3 同 鈴木淳*4

4.環境工学—8.熱

窓断熱、改修、熱負荷解析、室内温熱環境、シミュレーション

1. 研究の背景と目的

現在我が国の住宅においては、快適な住環境と省エネルギーの双方を満たすための様々な手法が提案され実用化されている。既存の住宅の場合には、新築とは異なり改修工事が必要となる。省エネルギー改修に有効な方法のひとつに、内窓併設がある。窓際は外気温や日射の影響を受けるとともに室内環境にも大きな影響を及ぼすため、窓の改修は室内の快適性向上と冷暖房負荷削減につながると考えられる。そのような観点より、早津ら¹⁾、坂本ら²⁾は実測および解析により、その効果についての検討を行っている。ただ、内窓設置による効果には、気密性や使用スタイルなどの要因も大きく関係するため、検討例を積み重ねて適切に評価をする必要がある。

そこで本報告では、関西の大学施設に内窓併設の改修工事を行い、改修前後の温湿度、放射温度、冷暖房消費エネルギーの測定および室使用者へのアンケート調査を行い、温熱環境改善および省エネルギーという観点から内窓併設の効果について検討した結果について報告する。

2. 室の温熱環境と消費エネルギーの測定

2.1 測定概要

(1) 測定場所

京都大学桂キャンパス内のRC造4階建ての建物の4階に位置する教員室と研究室を対象とした。窓の方位は、教員室（使用者1名、HPエアコン設置）は南面、研究室（使用者15名、ガス式エアコン2台）は東面である。改修前の窓は教員室はスチールサッシにLow-eガラス窓であり、2010年8月11日に内窓として樹脂製のサッシに単板ガラスの窓を併設した。研究室については改修前の窓はスチールサッシに単板ガラスの窓であり、

2010年8月11日に内窓として樹脂製のサッシにLow-eガラスの窓を併設した。図1に対象室の平面図を示す。

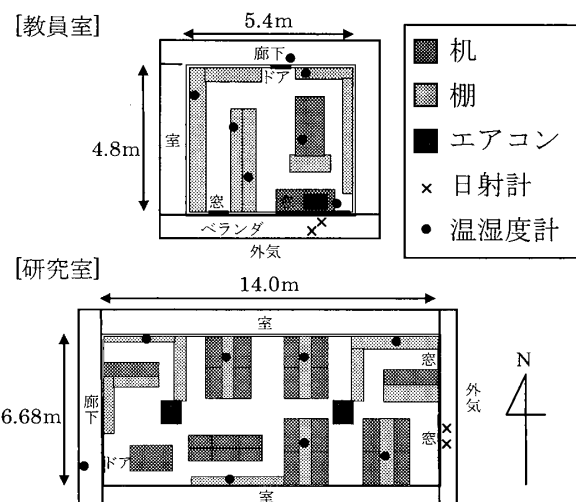


図1 教員室・研究室の平面図および測定箇所

(2) 測定項目および測定日時

実測項目は、①温度、②湿度、③日射量、④放射温度、⑤エアコン消費電力の5項目である。測定箇所を図1に示す。温湿度計は、本棚の下段（床から10cm）、中段（床から100cm）、上段（床から230cm）に設置した。日射量は水平面と垂直面の全天日射量を測定した。窓改修の1ヶ月前から測定を開始し、その後継続している。

2.2 測定結果

改修前（2010年8月5日～8月11日）と、改修後（8月12日～8月18日）の測定結果を比較する。

(1) 温湿度

教員室の室温を図2に、研究室の室温を図3に示す。また、改修前後の最高・最低・平均の温湿度を表2,3に示す。

Improvement of Thermal Environment and Reduction of Energy Consumption for Cooling and Heating by Retrofitting Windows

MOCHIDOME Takashi, HOKOI Shuichi, TAKAMURA Masahiko and SUZUKI Jun

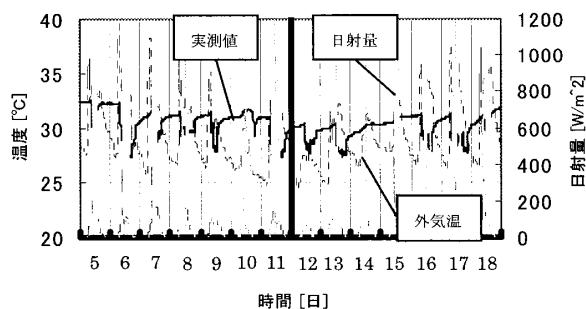


図2 教員室の室温実測値(8月5日～8月18日)

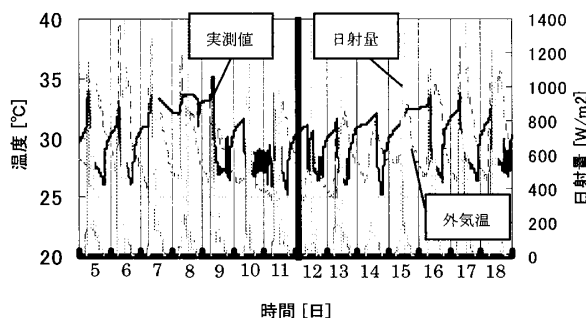


図3 研究室の室温実測値(8月5日～8月18日)

表2 各室の最高・最低・平均の温度

		平均	最高	最低
教員室 (外気)	改修前	30.54℃ (29.7℃)	32.3℃ (39.7℃)	27.2℃ (24.7℃)
	改修後	29.95℃ (29.5℃)	31.8℃ (37.8℃)	27.4℃ (24.3℃)
研究室	改修前	30.1℃	35.1℃	25.3℃
	改修後	29.8℃	33.8℃	25.2℃

表3 各室の最高・最低・平均の湿度

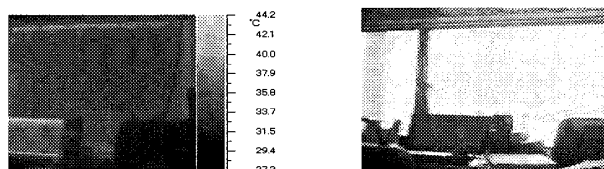
		平均	最高	最低
教員室 (外気)	改修前	53.8% (66.2%)	62.2% (92.0%)	46.4% (35.0%)
	改修後	54.7% (71.4%)	58.8% (99.0%)	45.0% (42.0%)
研究室	改修前	44.8%	61.7%	33.4%
	改修後	44.5%	61.4%	36.6%

室温を改修前後で比較すると、平均・最高温度は0.3℃～1.3℃程度低下しているが、外気も0.2℃～1.9℃低下しており、外気の影響で室温が低下したとも考えられる。湿度には大きな変化は見られないが、外気湿度は上昇している。

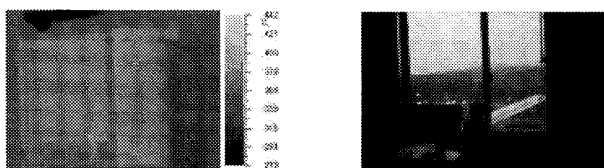
(2) 放射温度

図4に改修前後の教員室窓周辺の放射温度を示す。改修前の諸条件は、エアコンは9時からON(設定温度18℃)、1名在室、外気温は31.6℃、晴れである。ガラス面温度は33.26℃で、サッシ温度は37.99℃である。

改修後の諸条件は、エアコンは10時半からON(設定温度24℃)、在室者0名、外気温は32.2℃、快晴である。ガラス面温度は37.50℃、内サッシ温度は36.08℃である。エアコンは測定直前にONにしており、冷房が十分でないためにガラス面・サッシ温度が高くなっていた可能性がある。



改修前：10時30分(8月1日)



改修後：10時30分(8月23日)

図4 教員室の窓周辺の放射温度

(3) 消費エネルギー

教員室のエアコンの電力使用量を外気温とともに図5に示す。改修前後の最大および平均電力使用量を表4に示す。最大・平均ともに減少している。

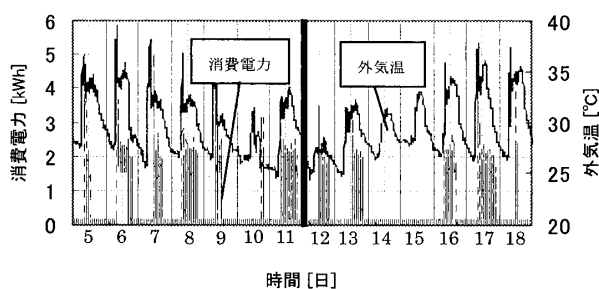


図5 教員室のエアコンの電力使用量

表4 最大および平均電力使用量(教員室)

	改修前	改修後
最大[kWh]	5.0	4.7
平均[kWh]	1.5	1.3

(4) PMV

温度と湿度には実測値を、その他のパラメータには表 5 に示す値を用いて PMV を算出した³⁾。教員室の PMV を図 9 に、研究室の PMV を図 10 に示す。改修後に PMV の最高・平均はわずかが低下している。

表 5 PMV の計算に用いた定数

活動量	1.1 [met]
衣服の熱抵抗	0.5 [clo]
周壁平均放射温度	32.0 [°C]
気流速度	0.03 [m/s]

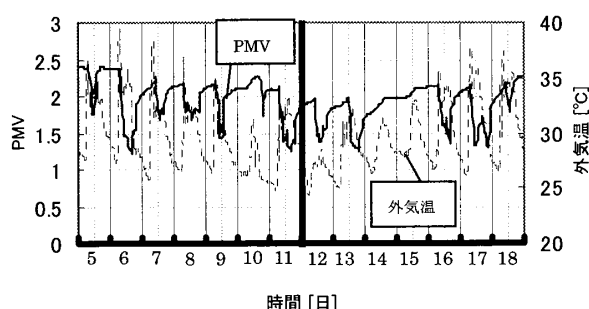


図 9 教員室の PMV

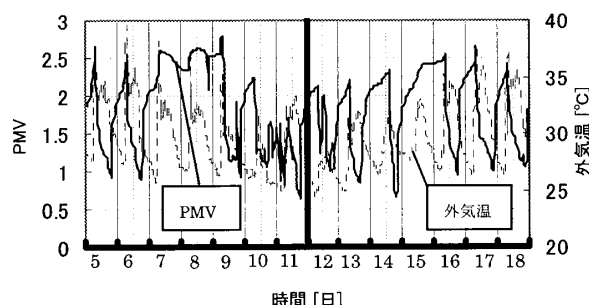


図 10 研究室の PMV

3. 室温および熱負荷の解析

室温や放射温度などについて改修前後の比較を行ったが、外界条件やエアコンの稼動時間などの条件が異なるため単純な比較は難しい。そこで、条件を等しくした場合の比較を行うため、各室の熱的変動を再現するモデルを作成する。

3.1 解析モデル

壁面・ガラス面からの貫流熱流、日射流入、内部発熱、換気による流入熱流を考慮して室温計算を行う。窓面はサッシ部分もガラスとして計算を行う。

3.2 解析条件

外気温と廊下の温度については実測値を用い、隣室および下室は 28°C 一定と仮定した。各窓面には垂直面全天日射量、屋根には水平面全天日射量の実測値を用いる。エアコンによる除去熱量は、教員室では消費電力に COP を乗じた値、研究室については解析値が実測値に近づくような適当な値を与えて計算を行う。内部発熱量には表 6 に示す値を用いる。その他の計算に用いた値を表 7, 8 に示す。

表 6 発熱量

パソコンの発熱量 (稼動時)	190 [W/台] (測定値)
蛍光灯	40 [W/本] (定格値)
冷蔵庫	100 [W/台] (定格値)
人体	100 [W/人] ⁵⁾

表 7 壁体の各物性値⁴⁾

	比熱 [J/kg·K]	密度 [kg/m³]	熱伝導率 [W/m·K]
空気	1000.0	1.18	-
コンクリート	1200.0	2300.0	1.51
石膏ボード	1130.0	780.0	0.154
ロックウール	840.0	200.0	0.038
鉄 (ドア)	462.0	7870.0	76.0
ガラス	-	-	0.65

表 8 その他の定数⁵⁾

コンクリートタイルの日射吸収率	0.60
壁体内中空層の熱伝導抵抗	0.10 [m²·K/W]
室内側熱伝達率	9.3 [W/m²·K]
室外側熱伝達率	23.3 [W/m²·K]
改修前の窓ガラスの日射透過率	0.80
改修後の窓ガラスの日射透過率	0.40
教員室のエアコンの COP	6.0

3.3 解析結果

教員室の改修前後の温度を図 11, 12 に、研究室の結果を図 13, 14 に示す。改修前後ともに解析値は実測値をほぼ再現しているといえる。しかし、図 11 の矢印に示されるように、解析値と実測値には誤差が生じており、時間の経過とともに増加している。これは、エアコンによる除去熱量、換気量、人の出入りなどの入力値が適切でないこともあるが、熱容量の推定誤差による影響が大きいと

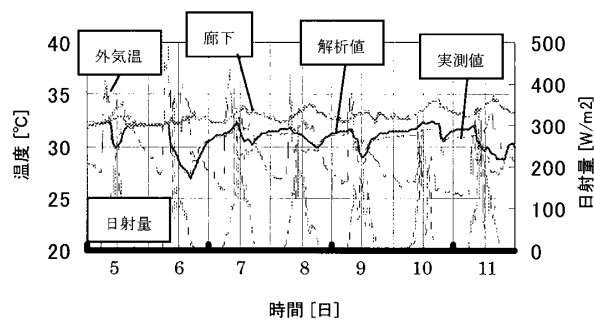


図 11 教員室・改修前の室温

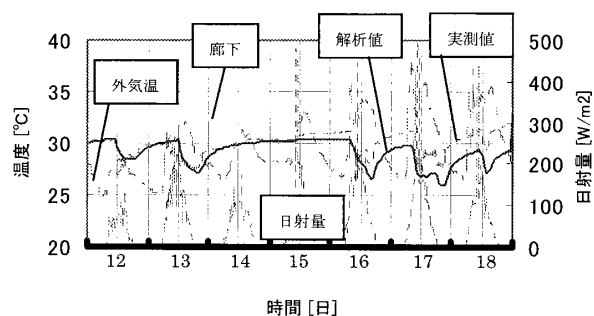


図 12 教員室・改修後の室温

考えられる。今後、詳細な検討が必要である。ただ、改修後の窓の日射透過率を小さくすることにより解析値が実測値に近づいており、内窓設置によって熱負荷が低減され、室温が低くなったと考えられる。

4. 温熱環境に対するアンケート調査

両室の使用者（計 14 名）に対して、以下の 8 項目についてアンケート調査を行った。

①空気温度 ②湿度 ③周囲の風速 ④放射温度 ⑤日射 ⑥着衣 ⑦補助的な温度調節器の使用 ⑧総合的温熱環境

総合的温熱環境については「快適になった」が 9 人、「あまり変化は感じられない」が 5 人であった。快適になったという意見が半数以上であり、悪くなったという意見はなかったことより、窓改修の効果があったと考えられる。特に、エアコンの風が直接当たる席では、エアコンの風が弱まってとても快適になったという意見があった。窓改修による室の熱負荷低減が影響していると考えられる。

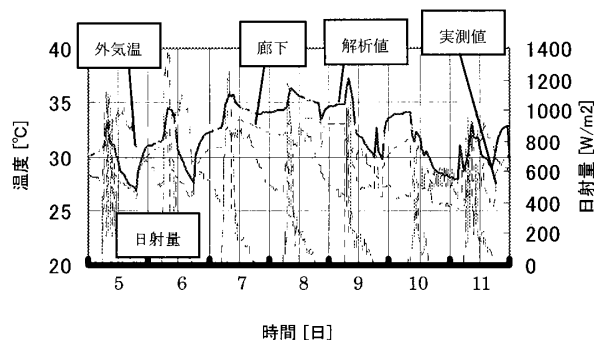


図 13 研究室・改修前の室温

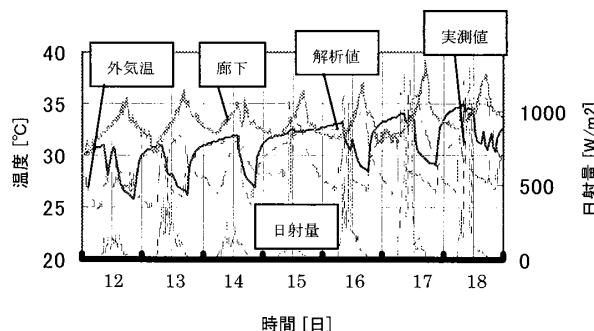


図 14 研究室・改修後の室温

5. 結論

内窓の効果を検証するために大学内の 2 室に窓改修を行い、改修前後の温熱環境の変化を検証するための測定を行った。その結果、室温にはわずかな差が見られたが、改修前後で外気温やエアコンの稼動時間が異なるため、その評価は困難であった。そこで、室温解析モデルを作成し、実測値をほぼ再現することができた。改修後の窓面の日射透過率を小さくすることで解析値は実測値に近づいた。内窓設置が室温の変化に影響を与えたと考えられる。また、温熱環境に対する主観的評価の変化を検討するためにアンケート調査を行った。快適になったと回答した人が半数以上あり、室内温熱環境の改善がなされたと考えられる。

【参考文献】1)早津ら：RC 造集合住宅の省エネルギー改修に関する研究（その 1）、（その 2）、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.43-46,2009、2)坂本ら：東京大学・本部棟における窓断熱改修の効果検証・その 1、その 2、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.209-212,2009、3)空気調和・衛生工学便覧第 13 版 1 基礎編、空気調和・衛生工学会、丸善、pp.439-442,2001.11、4)熱物性ハンドブック、日本熱物性学会編、養賢堂、pp.19,34,35,118,206-209,214-216,2000.4、5)鈴井・池田・新田著、エース建築環境工学Ⅱ・熱・湿気・換気、朝倉書店、pp.19-29,31-38,47,60,70,2008.4

*1 京都大学大学院 修士課程

*2 京都大学 教授・工博

*3 VEC 環境・広報部・部長

*4 トステム（株）商品本部・住宅サッシ統轄部

Graduate Student, Graduate School of Engineering, Kyoto University
Prof., Graduate School of Engineering, Kyoto University, Dr. Eng.
VEC, Manager, Environment and Public Relations Section
Tostem Inc, Products Office, House Sashes Management Section