

平成21年 5月29日現在

研究種目：基盤研究(C)
研究期間：2007～2008
課題番号：19560592
研究課題名（和文） 窓熱設計のための実用計算法とシミュレーションツールの開発
研究課題名（英文） Development of a Practical Estimation Method and a Simulation Tool for Window Thermal Design
研究代表者
郡 公子 (KOHRI KIMIKO)
宇都宮大学・工学研究科・准教授
研究者番号：20153504

研究成果の概要：建築室内環境の快適性とエネルギー消費量に強く影響する窓の熱設計に必要な性能値を詳細に数値計算するツールを開発し、それをもとに、種々の条件での性能値変化を求める実用的な計算法を提案するとともに、その実用的計算法に使用する熱性能値データの整備を行った。種々のガラスやブラインドの組み合わせでの窓熱性能値を求められるようにした。また、詳細シミュレーション解析から、ダブルスキンの熱性能も明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：建築学

科研費の分科・細目：建築環境・設備

キーワード：熱環境、窓

1. 研究開始当初の背景

窓をどのように設計するかは、省エネルギーの点からも室内の熱的快適性の点からも重要である。ガラス建築の場合には特に注意を払って設計する部分である。近年ガラスの種類が多様化し、ダブルスキンのように性能の高い窓システムも登場した。窓を設計する際に選択の幅が非常に広がったものの、その日射遮蔽性や断熱性の変動特性を正確に考慮したうえでの実用的な熱取得計算法は確立されていなかった。

2. 研究の目的

研究の目的は、次の2点である。

- (1) 種々の窓システムの熱性能を詳細に再現できるシミュレーションツールを開発し、数値解析から、熱性能値の特性を明らかにする。
- (2) 窓システムの熱設計に必要な性能値の実用的な計算法とそれに必要なデータを整備する。

3. 研究の方法

(1) プログラム開発

一般窓のほか、エアフローウィンドウやダブルスキンなどの窓システムの日射遮蔽性

能、自然換気性能の詳細解析を可能にするシミュレーションツールを開発する。

(2) 計算理論の開発

年間エネルギーシミュレーションに組み込み可能な、実用的な窓性能値の計算理論を開発・提案する。

(3) 数値解析

種々の窓について熱性能値を数値解析し、計算理論の根拠や計算に必要なデータを作成する。

(4) ダブルスキン事例収集と数値計算

最近増えているダブルスキンの事例を収集し、ダブルスキンの詳細使用の実態把握と、数値計算による性能予測を行う。

4. 研究成果

(1) 窓のシミュレーションツールの開発

種々のガラスを利用する一般窓のほかに、エアフローウィンドウ、ダブルスキンの熱性能を計算するシミュレーションモデルを改良開発した。種々の条件下での断熱性能、日射遮蔽性能を数値解析可能となった。熱性能値を求めて、評価できることが特徴である。図1は、スラット角の違いによる一般窓の日射遮蔽性能値への影響を数値計算した結果である。

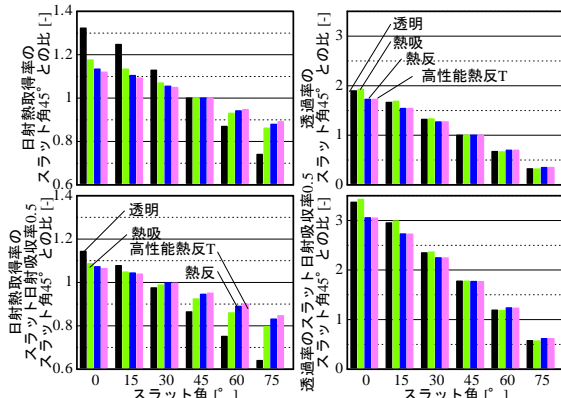


図1 スラット角の違いと日射遮蔽性能値

(2) 窓熱性能値の実用的計算法の提案

ブラインド付き一般窓の日射遮蔽性能値を、任意の入射角、プロファイル各、スラット角について求められる実用的計算法を2種提案した。

① 直達日射に対する性能値の計算法

ブラインド使用時の推定法は、図2に示すように、日射をスラット窓面日射とスラットに当たらない日射に分けて考える。

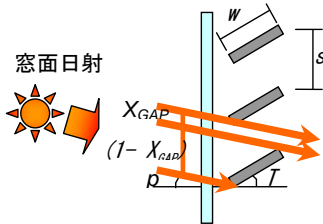


図2 窓の模式図

(ブラインド使用時の熱性能値計算法)

・推定法 I

■透過率

$$\tau_{DGB} = X_{GAP}(p) \cdot \tau_{DG} + (1 - X_{GAP}(p)) \tau_{DGB} \dots (1)$$

$$\tau_{DGB} = \tau_{DGB0} \cdot g_B(p) \cdot g_{GOUT}(i) \dots (2)$$

$$\tau_{DGB0} = \tau_{DGB45} \cdot Z_D \dots (3)$$

$$Z_D = (1.62 + 1.04A) - (0.015 + 0.021A)T \dots (4)$$

$$g_B(p) = 1.27 - 0.009p \quad (p \leq p_m) \dots (5-1)$$

$$g_B(p) = 1.27 - 0.009p_m \quad (p < p_m) \dots (5-2)$$

■日射熱取得率

$$\eta_{DGB} = \eta_{DGBA} + \tau_{DGB} \dots (7)$$

$$\eta_{DGBA} = X_{GAP}(p) \cdot k_B \cdot \eta_{DGA} + (1 - X_{GAP}(p)) \eta_{DGBA} \dots (7)$$

$$\eta_{DGA} = \eta_{DG} - \tau_{DG} \dots (8)$$

$$\eta_{DGBA} = \{ \eta_{DGB45} \cdot f_{GOUT}(i) - \tau_{DGB45} \cdot g_{GOUT}(i) \} Y_D \dots (9)$$

$$Y_D = (1.15 - 0.15A) - (0.003 - 0.003A)T \dots (10)$$

$$k_B = U_{GB} / U_G \quad (\text{ブラインド内側窓}) \dots (11-1)$$

$$k_B = 1.0 \quad (\text{ブラインド内窓}) \dots (11-2)$$

・推定法 II

■透過率

$$\tau_{DGB} = X_{GAP}(p) \cdot \tau_{DG} + (1 - X_{GAP}(p)) \tau_{DGB} \dots (12)$$

$$\tau_{DGB} = \tau_{DGB0} \cdot g_B(p) \cdot g_{GOUT}(i) \dots (13)$$

$$\tau_{DGB0} = \tau_{DGB45,05} \cdot Z_D \dots (14)$$

$$Z_D = (5.16 - 5.87A) - (0.055 - 0.061A)T \dots (15)$$

$$g_B(p) = 1.27 - 0.009p \quad (p \leq p_m) \dots (16-1)$$

$$g_B(p) = 1.27 - 0.009p_m \quad (p < p_m) \dots (16-2)$$

■日射熱取得率

$$\eta_{DGB} = \eta_{DGBA} + \tau_{DGB} \dots (17)$$

$$\eta_{DGBA} = X_{GAP}(p) \cdot k_B \cdot \eta_{DGA} + (1 - X_{GAP}(p)) \eta_{DGBA} \dots (18)$$

$$\eta_{DGA} = \eta_{DG} - \tau_{DG} \dots (19)$$

$$\eta_{DGBA} = \{ \eta_{DGB45,05} \cdot f_{GOUT}(i) \cdot Y_D - \tau_{DGB45,05} \cdot g_{GOUT}(i) \cdot Z_D \} \dots (20)$$

$$Y_D = (C1 + C2 \cdot A) - (C3 + C4 \cdot A)T \dots (21)$$

$$k_B = U_{GB} / U_G \quad (\text{ブラインド内側窓}) \dots (22-1)$$

$$k_B = 1.0 \quad (\text{ブラインド内窓}) \dots (22-2)$$

【記号】

η_{DG} 、 τ_{DG} ：ブラインド非使用時の日射熱取得率、透過率[-]、 η_{DGO} 、 τ_{DGO} ：ブラインド非使用時の基準入射角での日射熱取得率、透過率[-]、 η_{DGB} 、 τ_{DGB} ：ブラインド使用時の日射熱取得率、透過率[-]、 η_{DGA} 、 η_{DGBA} ：ブラインド非使用時、使用時の日射熱取得率の長波放射対流成分[-]、

η_{DGBA} 、 τ_{DGB} ：スラット窓面日射に対する日射熱取得率の長波放射・対流成分、透過率[-]、

η_{DGB45} 、 τ_{DGB45} ：スラット角45°の基準入射条件での日射熱取得率、透過率[-]、 τ_{DGB0} ：スラット窓面日射に対する基準入射条件での透過率[-]、

τ_{DGB45} ：スラット角45°のスラット窓面日射に対する基準入射条件での透過率[-]、 f_{GOUT} 、 g_{GOUT} ：ブラインドより外側にあるガラスの基準化日射熱取得率、基準化透過率[-]、 X_{GAP} ：窓面日射のうち、スラット隙間を通り抜ける日射の比率[-] ($X_{GAP}(p) = 1 - (w/s)(\cos T \cdot \tan p + \sin T)$)ただし、 $X_{GAP}(p) < 0$ のとき $X_{GAP}(p) = 0$ 、 T 、 w 、 s ：スラット角[°]、幅、間隔)、 A ：スラット日射吸収率[-]、 g_B 、 k_B ：ブラインド補正係数、ブラインド断熱係数[-]、 U_{GB} 、 U_G ：ブラインド使用時、非使用時の窓熱貫流率[W/m²K]、 i ：入射角[°]、 p ：プロファイル角[°]、 p_m ：スラット隙間を日射が通り抜ける最大プロファイル角[°]

($p_m = \tan^{-1}\{(s/w - \sin T) / \cos T\}$)、 $C1 \sim C4$ ：ガラ

スゴとの係数表 3 参照

$\eta_{DGB45,05}$ 、 $\tau_{DGB45,05}$: スラット角45° スラット日射吸収率0.5の基準入射条件での日射熱取得率、透過率[-]、 $\tau_{GB45,05}$: スラット角45° スラット日射吸収率0.5のスラット窓面日射に対する基準入射条件での透過率[-]

表 3 推定法 II の Y_n で用いる C1~C4 の値

ガラス分類	C1	C2	C3	C4
透明	1.09	0.25	0.010	-0.010
熱吸	1.06	0.13	0.006	-0.006
熱反	1.07	0.06	0.005	-0.005
高性能熱反T型	1.06	0.06	0.004	-0.004
高性能熱反S型	1.04	0.03	0.003	-0.003
透明二重	1.03	0.19	0.006	-0.006
透明三重	1.02	0.15	0.004	-0.004
熱吸+透明	1.03	0.15	0.005	-0.005
熱反クリア+透明	1.04	0.15	0.006	-0.006
その他の熱反+透明	1.03	0.10	0.004	-0.004
高性能熱反T型+透明	1.03	0.10	0.004	-0.004
高性能熱反S型+透明	1.03	0.06	0.003	-0.003
Low-ε+透明	1.03	0.15	0.005	-0.005

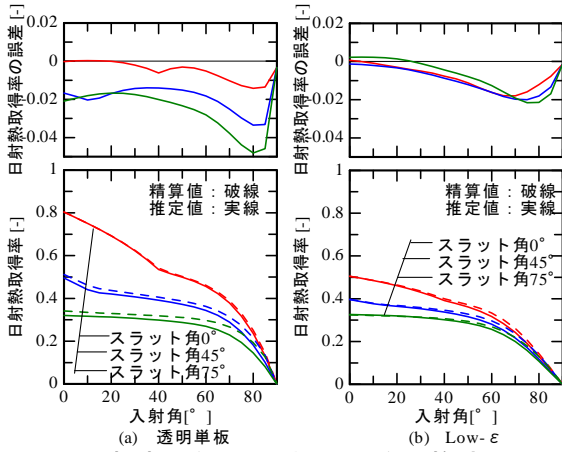


図 3 直達日射に対する誤差 (推定法 I)

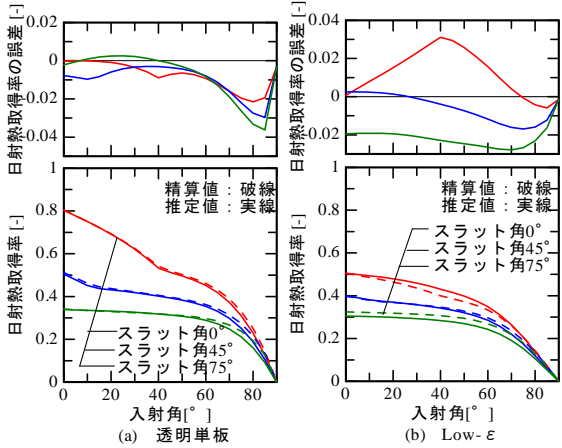


図 4 直達日射に対する誤差 (推定法 II)

推定法は、I、IIの2種類であり、推定法 II で使用する係数を表 2 に示す。また、直達日射に対する日射熱取得率の精度を図 3、4 に示す。透過率についてはいずれの計算法でも最大で 0.02 の誤差と精度よく推定できたので、図示を省略する。計算法 I は、広い範囲で誤差 0.01 以内となったが、高性能なガラ

ス±0.03 程度の誤差が生じることがある。推定法 II は、補正式 Y_D をガラスごとに変えたので、高性能なガラスでの精度が推定法 I よりよく、ほぼ誤差 0.02 以内であった。しかし、透明単板のスラット角が大きい条件で推定法 I より精度が多少悪くなる。推定法 I は透明ガラスに、推定法 II は高性能ガラスに適する。

② 拡散日射に対する性能値の計算法

同様に、各日射に対する計算法を提案した。ブラインド付き窓の拡散日射に対する日射遮蔽性能値は、天空日射に対する特性と地表面反射日射に対する特性が異なり、それを考慮する計算法とした。

(ブラインド使用時の熱性能値計算法)

■ 天空日射

$$\eta_{SKY} = \eta_{SKYA} + \tau_{SKY} \quad \dots (3)$$

$$\tau_{SKY} = \tau_{DGO} \cdot g_G \cdot \tau_{SKY} \quad \dots (4)$$

$$\eta_{SKYA} = Y_{SKY1} \cdot k_B \cdot \eta_{DIFGA} + Y_{SKY2} \cdot \eta_{DGA0} \quad \dots (5)$$

$$\tau_{SKYB} = Z_{SKY} \quad \dots (6)$$

■ 地表面反射日射

$$\eta_{GR} = \eta_{GRA} + \tau_{GR} \quad \dots (7)$$

$$\tau_{GR} = \tau_{DGO} \cdot g_G \cdot \tau_{GRB} \quad \dots (8)$$

$$\eta_{GRA} = Y_{GR1} \cdot k_B \cdot \eta_{DIFGA} + Y_{GR2} \cdot H_{dgbao} \quad \dots (9)$$

$$\tau_{GRB} = Z_{GR} \quad \dots (10)$$

$$\eta_{DIFGA} = \eta_{DGO} \cdot f_G - \tau_{DGO} \cdot g_G \quad \dots (11)$$

Y_D 、 Z_D は各計算法の直達日射で使用のもの。

$$Z_{SKY} = (0.568 - 0.279A) - (0.684 + 0.377A)T \cdot (0.135 + 0.700A)T^2 \quad \dots (12)$$

$$Z_{GR} = (0.572 - 0.266A) + (0.906 + 0.123A)T \cdot (1.526 + 0.014A)T^2 \quad \dots (13)$$

・ 推定法 I

$$\eta_{DGBA0} = (\eta_{DGB45} - \tau_{DGB45}) \cdot Y_D \quad \dots (14)$$

$$Y_{SKY1} = 0.432 - 0.932 T + 0.787 T^2 \quad \dots (15)$$

$$Y_{SKY2} = 0.529 + 0.938 T - 0.660 T^2 \quad \dots (16)$$

$$Y_{GR1} = 0.435 + 0.911 T - 1.331 T^2 \quad \dots (17)$$

$$Y_{GR2} = 0.520 - 0.816 T + 1.324 T^2 \quad \dots (18)$$

・ 推定法 II

$$\eta_{DGBA0} = (\eta_{DGB45,05} \cdot Y_D - \tau_{DGB45,05} \cdot Z_D) \quad \dots (19)$$

$$Y_{SKY1} = 0.435 - 0.958 T + 0.808 T^2 \quad \dots (20)$$

$$Y_{SKY2} = 0.575 + 0.925 T - 0.741 T^2 \quad \dots (21)$$

$$Y_{GR1} = 0.436 + 0.887 T - 1.304 T^2 \quad \dots (22)$$

日射熱取得率の推定誤差を図 5、6 に示す。2 つの推定法とも誤差±0.03 以内の誤差で推定可能である。

以上、直達日射について、任意の入射角、プロファイル角及びスラット角の違いを考慮できる日射熱取得率、透過率の実用的計算法を提案した。また、拡散日射についてもスラット角の違いを考慮できる日射熱取得率、透過率の実用的計算法を提案した。推定法を種々検討し、精度と適用範囲を明確にした。

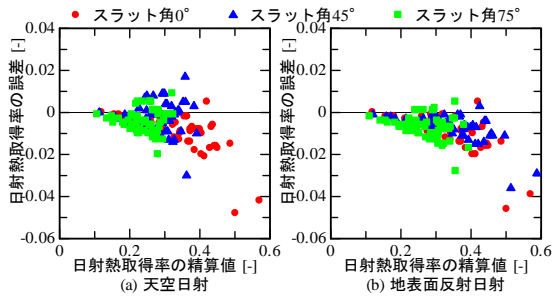


図5 拡散日射に対する誤差 (推定法 I)

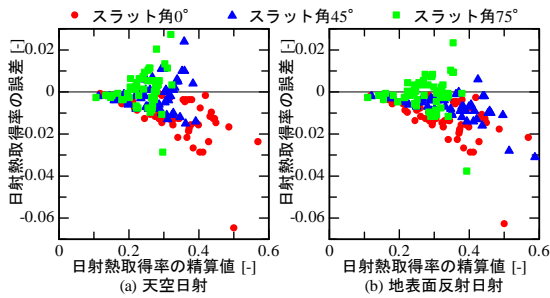


図6 拡散日射に対する誤差 (推定法 II)

(3)ダブルスキンシステムの熱性能解析

①ダブルスキンの設計事例の傾向

最近のダブルスキン仕様の傾向を把握するために、1998～2007年に発行された建築雑誌を利用した文献調査を行った。全48件について調査した結果、図7に示すように所在地は首都圏に多く、東京が群を抜いて多い。次に愛知が続く、その影響で中部地方の件数が増えている。また最北端は岩手、最南端は長崎であった。素8に示すように、ダブルスキン吹抜け高さとお行きにはあまり相関は見られない。アトリウムなどには吹抜け高さが数十mにおよぶものもあった。お行きは300～900mmのものも多く、極端に狭いものは住宅、広いものは研究所やコンサートホー

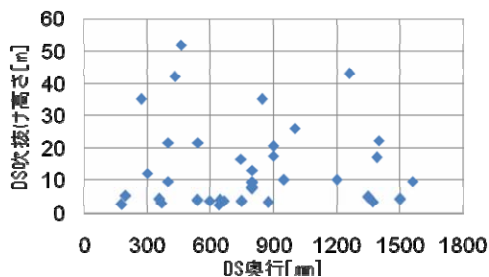


図7 ダブルスキン所在地

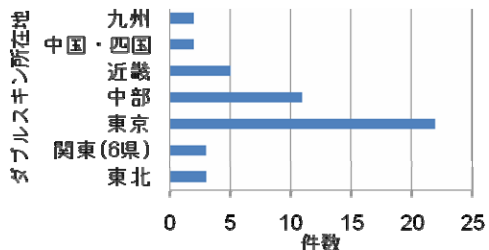


図8 ダブルスキン吹抜け高とお行き

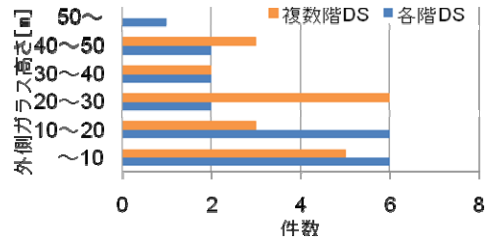


図9 ダブルスキン外側ガラス高さ

ルに利用されたものであった。ファサード面になる外側ガラス高さは各階タイプで20m以下に集中している、複数階タイプでは20～30mのものが最も多かった(図9)。ガラス種類は外側、内側共に透明ガラスが最も多く、全体の3割強を占めていた。

②ダブルスキンの日射遮蔽性能

調査したダブルスキン事例の中から近年に竣工し、特徴的なものや典型的なものをピックアップし代表事例としてシミュレーションを行い、自然換気する場合の日射遮蔽性能を解析した。このダブルスキンは、建設地が千葉県で、南北2面にダブルスキンを有し、ガラスは内外とも透明ガラスが利用される。ダブルスキンの吹き抜けは4層分である。

計算は、自然換気量を与える熱計算と、温度条件を与える換気計算を別々に行い、チャートを作成して平衡状態を調べる方法である。図10に示すダブルスキン内部各点についてたてた熱平衡式を解き、日射性能値定義式から各日射性能を求めた。また換気口の有効開口面積から温度差による換気量を算出した。外部風の影響はないものとした。

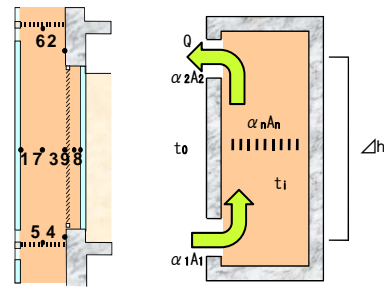


図10 ダブルスキン断面模式図

結果を図11に示す。計算対象事例では、実際に採用された値であるダブルスキン単位幅あたり有効開口面積 $A_e=0.175 \text{ m}^2/\text{m}$ のとき、ブラインド開では南北それぞれおよそ $200 \text{ lit}/\text{sec} \cdot \text{m}$ の換気量が生じ、換気量が0のときと比べて南では約8K、北では約2Kダブルスキン内部の温度が下がっていることがわかる。同様にブラインド閉では南北それぞれで約300、200 $\text{lit}/\text{sec} \cdot \text{m}$ の換気量と南で約20K、北で約5Kの温度低下が見られることがわかった。

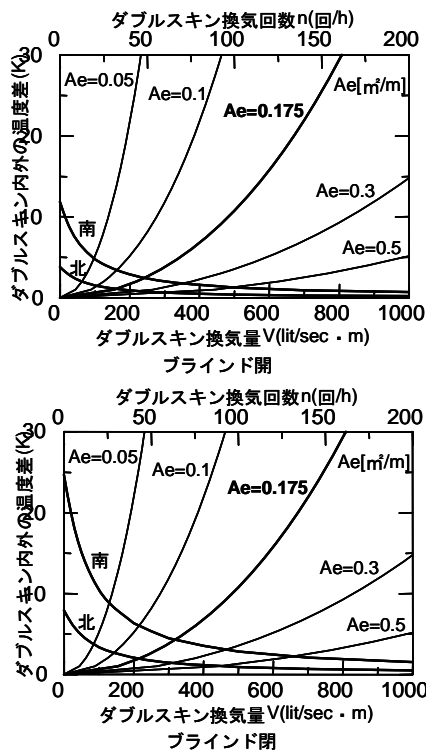


図 11 ダブルスキンの自然換気効果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 1 件)

- ① 郡公子、石野久彌、鈴木康仁、最近のダブルスキンシステムの傾向と日射遮蔽性能に関する研究、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、381-384、2008、査読なし
- ② 木下泰斗、村上周三、石野久彌、羽山広文、郡公子、一ノ瀬雅之、外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発(その 24) 窓・壁の物性値データベース構造について、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、1097-1100、2008、査読なし
- ③ 郡司智昭、郡公子、石野久彌、スラック角による一般窓の直達日射遮蔽性能値の特性解析、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2、1195-1196、2008、査読なし
- ④ 鈴木康仁、郡公子、石野久彌、ダブルスキンの日射性能と自然換気性能に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2、1197-1199、2008、査読なし
- ⑤ 郡公子、村上周三、石野久彌、長井達夫、建築エネルギー・環境シミュレーションツールBESTの開発 第 3 報 建築熱計算法と設備との連成法、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2、11031-1032、2008、査読なし

- ⑥ 芝原崇慶、村上周三、石野久彌、郡公子、一ノ瀬雅之、木下泰斗、建築エネルギー・環境シミュレーションツールBESTの開発 第 5 報 窓の熱・光性能値の提案、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2、1035-1036、2008、査読なし
- ⑦ 小林信弘裕、郡公子、石野久彌、入射角特性を考慮した一般窓日射遮蔽性能値の実用的推定法 第 1 報 ブラインド非使用時の性能とブラインド使用時の拡散日射に対する性能、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2、1317-1318、2007、査読なし
- ⑧ 郡司智昭、郡公子、石野久彌、入射角特性を考慮した一般窓日射遮蔽性能値の実用的推定法 第 2 報 ブラインド使用時の直達日射に対する性能、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2、1319-1320、2007、査読なし
- ⑨ 郡公子、石野久、郡司智昭、直達日射に対する一般窓日射遮蔽性能値の実用的推定法、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、369-372、2007、査読なし
- ⑩ 坂本滋、村上周三、木下泰斗、石野久彌、羽山広文、郡公子、一ノ瀬雅之、外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の外発(その 1 2) 壁体材料および窓ガラスの物性値データベースの構築、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2013-2016、査読なし
- ⑪ 郡公子、村上周三、石野久彌、長井達夫、外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の外発(その 1 3) 熱負荷・室内環境のシミュレーション法、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2017-2020、査読なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

郡 公 子 (KOHRI KIMIKO)
 宇都宮大学・工学研究科・准教授
 研究者番号：20153504

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし