

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02295

研究課題名(和文) 日射熱・昼光・通風利用に適した開口・蓄熱部材の開発とCAD環境指標による設計支援

研究課題名(英文) Development of window treatment and thermal storage components suitable for utilization of solar radiation, daylighting, and natural ventilation, and design support by CAD environmental indices

研究代表者

前 真之(MAE, Masayuki)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・准教授

研究者番号：90391599

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：住宅内部の温熱・光環境の改善と暖冷房・照明の省エネルギーを実現するため、次に挙げる開口部に関わる定量的な評価・設計手法を整備した。(1)PCMについて、日蓄熱率に着目し効果の高い敷設位置を提案した。(2)外付けロールスクリーンを有する開口部について、実大実験棟を用いた熱貫流率・日射熱取得率の算出方法の妥当性を検証した。(3)ロールスクリーンを有する開口部について、取得熱量を透過成分・対流成分・放射成分・換気成分に分離して測定する方法を提案した。(4)ロールスクリーンを有する窓の明快さをテクスチャ知覚メカニズムを含むエッジ検出アルゴリズムで評価可能であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日射熱・昼光・自然風を開口部から積極的に取得または遮蔽するパッシブ技術を有効に利用することを目的として、住宅設計者が開口部の部材選択や配置を検討する際に必要となる、日射熱・昼光・自然風の定量的な評価・設計手法を提案した。また、プライバシー性に配慮した、住民が安心して日射取得や採光・通風を利用できる開口部を設計できるようにすることで、実効性のある環境配慮型設計を実現するための基礎データを整備した。

研究成果の概要(英文)：In order to improve the thermal and light environment inside the house and to realize energy saving in heating, cooling, and lighting, we developed quantitative evaluation and design methods for the following openings. (1) For PCM, we proposed the most effective location of the PCM based on its heat storage rate. (2) We verified the validity of the calculation method of heat transfer coefficient and solar heat gain coefficient for openings with exterior roll screens using a full-scale experimental building. (3) For openings with roll screens, we proposed a method to measure the heat gain by separating the heat gain into transmission, convection, radiation, and ventilation components. (4) We showed that the clarity of a window with a roll screen can be evaluated by an edge detection algorithm that includes a texture perception mechanism.

研究分野：熱環境

キーワード：日射熱利用 昼光利用 自然通風 開口部 潜熱蓄熱材 プライバシー性 シミュレーション

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

日射熱・昼光・自然風を開口部から積極的に取得または遮蔽するパッシブ技術は、住宅内部の温熱・光環境の改善と省エネに非常に有効であるが、現状では開口部材の性能に限られ、また設計者が住宅設計時に有用に利用できる設計指標や設計ツールが未整備である。建築物省エネ法においては、断熱と日射遮蔽性能の指標として、平均熱貫流率(UA値)・冷房期平均日射熱取得率(AC値)が定められているが、制度の制約より図面から算定できることが重視されており、熱損失や熱取得の定量的な評価は敷地の気候や周辺環境を考慮したパッシブ設計に重要な有用な指針となっていない。自然光利用についても、昼光率などがあるが、住宅設計時に利用されることは稀である。

2. 研究の目的

上記を踏まえて、本研究では以下4つの目的を掲げ、住宅設計者が開口部の部材選択や配置を検討する際に必要となる、日射熱・昼光・自然風の定量的な評価・設計手法の整備を目指した。

- (1) 冬の日射熱取に適した、高断熱・高日射取得の開口部開発および潜熱蓄熱材の最適化。
- (2) 夏の日射遮熱性能が高く、かつ採光・眺望にすぐれた日射制御部材の開発。
- (3) 設計時に簡便に利用できる敷地環境を考慮したパッシブ設計指標の構築。
- (4) 日射熱の取得(冬)と遮蔽(夏)・昼光・通風のバランスがとれた開口部の設計を支援する設計ツールの整備。

3. 研究の方法

以下の項目について、各研究機関に設置された実験室・実験装置を用いた実験およびシミュレーションを駆使して研究を実施した。

(1)-a 高日射取得型開口部の開発

冬期南面における日射熱取得を最大化するため、高断熱かつ高日射取得のガラスを採用した開口部の試作。一般にガラスは断熱性能を向上させると日射取得率が低下する傾向があるが、ガラス基材やLow-eコーティングの最適化により、従来日本にないパッシブ性能の達成を目指す。

(1)-b 暖房負荷低減に適した蓄熱体の開発

開口部から取得される日射熱を効果的に吸放熱することで、暖房負荷低減および室内温度変動を抑制する。特定の温度帯で高い比熱となる潜熱蓄熱建材が実用化されつつあるが、日射熱利用に適した融点・凝固点・熱伝導率の最適化を実施。

(1)-c 屋上実験棟における温熱・光環境の実証実験

実気象下で日射熱取得を行った際の室内環境の挙動を把握するため、東京大学屋上実証棟において、様々な開口部や日射制御部材・蓄熱部材を用いた場合の室内温熱・光環境を詳細に把握。

(2)-a 日射熱遮蔽と自然光利用に適した制御部材の開発

夏期の東西北面における日射遮蔽および自然光利用・眺望確保のため、熱遮蔽と自然光の取り込みのバランスに優れた日射制御部材を開発・試作し、鹿児島大学の試験装置で検証。

(2)-b 開口・制御部材の組合せにおける日射熱の評価方法構築

様々な開口部のガラスと日射制御部材(カーテンや内外ブラインドなど)の組み合わせにおける詳細な日射熱・昼光取得のモデル化を行うため、鹿児島大学および東京理科大学において、日射熱取得および昼光の分配に関する詳細な計測を実施。

(3)-a 日射熱利用時の躯体蓄放熱を考慮した熱負荷シミュレーション

日射熱利用時の温熱環境および熱負荷削減効果を評価するため、(1)-a、(1)-bの結果に基づき、開口部からの日射取得の詳細モデルを作成し、さらに蓄熱建材(潜熱蓄熱PCMを含む)の融解・凝固過程別にモデル化した詳細な熱負荷計算エンジンを構築。

(3)-b 冬期の断熱および日射取得のバランスを考慮した設計指針の構築

(1)-aで開発された高断熱・高日射取得の開口部および(3)-aのシミュレーションを活用し、従来のUA値やAH/mHに代わる、地域の気候と周辺環境から建物の各部位に入射する日射量を簡易に計算し、気温と部位別日射量に基づき冬期の太陽熱活用の設計指標を新たに作成。

(3)-c 昼光利用に適した開口部の光シミュレーションによる設計手法構築

昼光利用に適した開口部の位置や形状を明らかにするため、天空輝度分布を考慮した昼光シミュレーションを、光環境予測に関する世界的な標準ツールであるRadianceにより実施。

(3)-d プライバシー・眺望の評価

検討した眺望性・プライバシー性評価指標の妥当性を検証するため、空間・開口部と印象評価の関係性を検討し開発中の開口部を通した見えを輝度画像から予測する手法の適用可否を検証。

(4) 環境配慮設計支援ツールの構築

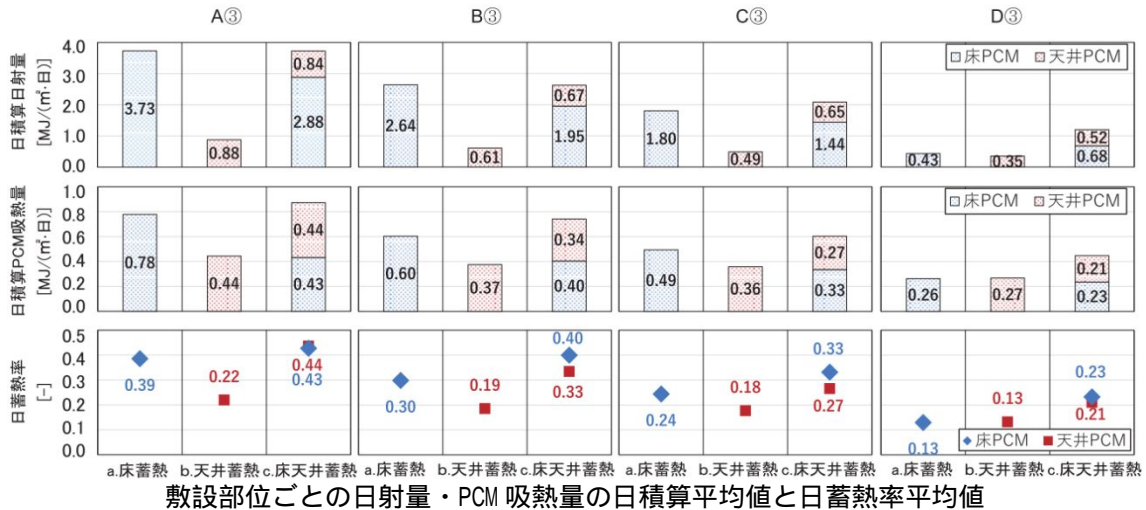
(1)~(3)の成果を整理し、省エネ・快適性確保に影響が大きい要素を抽出。日射熱取得・蓄放熱・通風・昼光利用を最適化しつつ、プライバシー・眺望に配慮した開口部設計の支援ツールを開発。

4. 研究成果

(1) 木造住宅における潜熱蓄熱建材の導入効果の検証

高断熱高气密化した木造住宅に潜熱蓄熱材 (Phase Change Material) を付加することで、昼間の過剰な室温上昇と夜間の冷え込みを抑制すると期待される。一方で、潜熱蓄熱材を含んだ建築材料 (潜熱蓄熱建材、以下 PCM) は一般建材に比べて高価であるため、設置効果の高い敷設位置を見極めることが課題である。そこで、実気象下に設置された実大実験棟を用いて PCM の適切な設置部位について検討を行った。

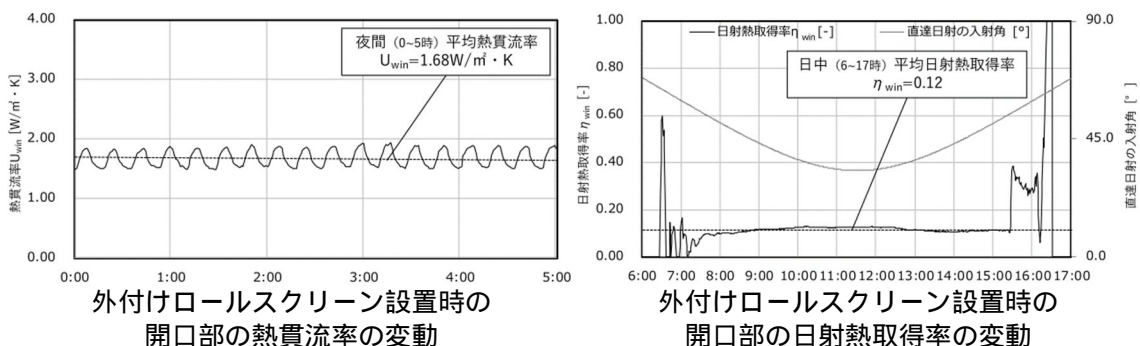
床天井蓄熱時、床 PCM 吸熱量が天井 PCM より大きく、また床 PCM と天井 PCM とも開口部に近いほど、最高温度が高く、吸熱量が大きいことが明らかとなった。また、床蓄熱と天井蓄熱の日蓄熱率 (PCM 敷設量に対する吸熱量の比) を比較すると、床蓄熱は室奥行方向の分布が大きいに対し、天井蓄熱では均一となっているが天井蓄熱の日蓄熱率が小さい傾向にある。室奥では床蓄熱と天井蓄熱の日蓄熱率の差は僅かであった。床天井蓄熱では前述の条件に比べて改善し、同量の PCM を敷設する場合は床や天井に集中して敷設するよりは、床と天井に分散して敷設する方が良い結果となった。



(2) 日射遮蔽物を有する開口部の断熱性能・日射熱取得性能の実測調査

日射を考慮した開口部の熱的性能が室内の温熱環境および快適性に与える影響を把握するためには、相応の床面積を有する実験設備を用いて室内の温度分布等を実測する必要がある。そこで、開口部の熱的性能と室内の温熱環境の双方の実測データを取得できる実大実験棟を用いて、日射遮蔽物を有する開口部の実測調査を行った。そして、実測から得られた開口部の断熱性能 (熱貫流率)・日射熱取得性能を計算値と比較することで実測方法の妥当性について検証した。

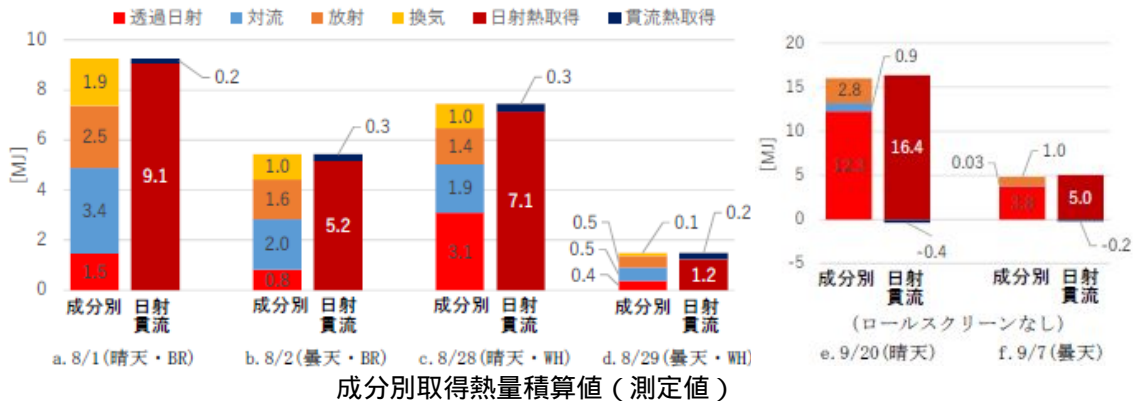
開口部に日射遮蔽物を設けなかった場合、実測結果より算出した熱貫流率は JIS A 2102-1 に定める計算法によって算出した熱貫流率よりやや小さな値となった。これは、外気風速が小さかったため屋外側対流熱伝達率が計算法に定められた数値より小さくなったことに起因すると考えられる。一方で、実測結果より算出した日射熱取得率は JIS A 2103 に定める計算法によって算出した垂直面日射熱取得率に入射角特性を考慮した値とほぼ一致し、本実測方法の妥当性を確認した。外付けロールスクリーン設置時の熱貫流率および日射熱取得率についても同様に実測結果から算出し、算出された日射遮蔽物を有する開口部の熱的性能値の妥当性を確認するとともに、開口部に付属した日射遮蔽物によって断熱性能および日射遮蔽性能が向上することを把握した。日射遮蔽物の有無による室内の温熱環境及び快適性の違いについての実測を行い、直達日射の影響による過度な温度上昇を抑え均一な放射環境を実現することによる快適性向上に日射遮蔽物が寄与することを確認した。



(3) 実環境下における日射制御部材を有する窓の成分別取得熱量の測定

プライバシー確保の目的で日射制御部材を使用する場合においてもいかに日射取得できるかが課題であり、その際の日射取得性能を把握することがダイレクトゲインの活用につながると期待される。そこで、上下方向に開閉可能でプライバシーを確保したい部分のみ閉鎖し、他は開放して冬の日射熱取得とプライバシー確保の両立が可能なロールスクリーンに着目し、日射制御部材としてロールスクリーンを有する窓の取得熱量を透過成分、対流成分、放射成分および換気成分に分離して測定する方法を検討した。

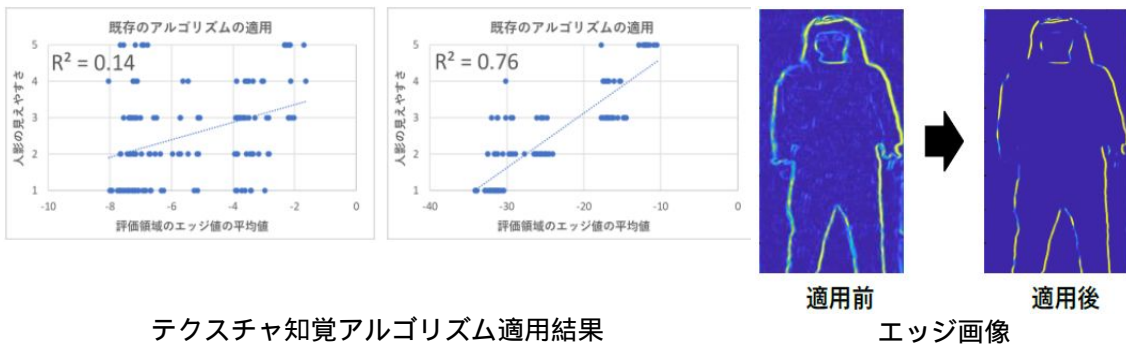
実環境下における窓からの日射と貫流による取得熱量の測定値を成分別に測定したところ、ロールスクリーン（黒色）は天候にかかわらず対流成分が約 35%、放射成分が約 30%、透過成分は約 15%であった。ロールスクリーン（白色）は晴天日で透過成分が約 40%を占めたが曇天日で約 25%であった。ロールスクリーン（白色）はロールスクリーン（黒色）に比べ日射透過率が高いため、入射日射量が取得熱量の成分比に影響しやすいと考えられる。換気による取得熱量はロールスクリーン（黒色）で約 20%、ロールスクリーン（白色）で約 10%であった。



(4) テクスチャ知覚メカニズムを考慮した明快さ評価予測手法の検証

住宅居間における窓の主な役割の 1 つとして、窓を通した眺望がもたらす心理的效果が挙げられるが、眺望に関してはこれまで定性的な議論が多く、定量的な評価手法の開発が望まれている。窓の明快さ評価手法であるエッジ検出アルゴリズムは、ロールスクリーンのある窓に適用すると、実際には外部景観の見える明快さに寄与しないテクスチャがエッジとして検出されてしまう。そこで、既存のエッジ検出アルゴリズムにテクスチャ知覚メカニズムを組み込むことで、視対象のエッジ知覚に寄与しないテクスチャを除去して、ロールスクリーンのある窓からの見える明快さを評価することを被験者実験により検証した。

アルゴリズムの適用により、被験者による人影の見えやすさの評価と評価領域のエッジ値の平均値の決定定数は 0.14 から 0.76 への上昇し、ロールスクリーンのある窓の明快さはテクスチャ知覚を含むエッジ検出によって評価可能であることが確認できた。



テクスチャ知覚アルゴリズム適用結果

エッジ画像

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 季 思雨, 藤原 亮, 谷口 景一朗, 芹川 真緒, 佐藤 誠, 高瀬 幸造, 前 真之, 井上 隆	4. 巻 26
2. 論文標題 木造住宅における潜熱蓄熱建材の導入効果に関する研究(その1): 冬期実大実験による潜熱蓄熱建材の敷設位置と蓄熱効果に関する検証	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本建築学会技術報告集	6. 最初と最後の頁 1001-1006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijt.26.1025	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 谷口 景一朗, 前 真之, 季 思雨, 高瀬 幸造, 児島 輝樹, 岸本 尚子	4. 巻 26
2. 論文標題 実大実験棟を用いた日射遮蔽物を有する開口部の断熱性能・日射熱取得性能の実測調査	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本建築学会技術報告集	6. 最初と最後の頁 1025-1030
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijt.26.1001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 季 思雨, 谷口 景一朗, 岸本 尚子, 芹川 真緒, 佐藤 誠, 高瀬 幸造, 前 真之, 井上 隆	4. 巻 28
2. 論文標題 木造住宅における潜熱蓄熱建材の導入効果に関する研究(その2): 冬期実大実験による潜熱蓄熱建材の床と天井への敷設による効果の比較	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本建築学会技術報告集	6. 最初と最後の頁 284-289
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijt.28.284	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 岸本 尚子, 季 思雨, 辻 果歩, 谷口 景一朗, 佐藤 誠, 前 真之, 二宮 秀與, 井上 隆	4. 巻 -
2. 論文標題 実環境下における日射制御部材を有する窓の成分別取得熱量の測定 - 室内側ロールスクリーンにおける検討 -	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本建築学会技術報告集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 季思雨, 谷口景一郎, 岸本尚子, 芹川真緒, 佐藤誠, 高瀬幸造, 前真之, 井上隆
2. 発表標題 波長特性を考慮した日射制御と潜熱蓄熱材によるダイレクトゲイン手法に関する研究 その8 蓄熱部位の違いによる室内快適性向上に関する検討
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 瀬戸まりな, 二宮秀與, 岸本尚子
2. 発表標題 屋外環境下における開口部の日射熱取得性能の測定方法に関する研究 その7 内付けスクリーンの測定結果
3. 学会等名 日本建築学会九州支部研究報告集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 瀬戸まりな, 二宮秀與, 岸本尚子
2. 発表標題 屋外環境下における開口部の日射熱取得性能の測定方法に関する研究 その9 内付けスクリーンの測定結果
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 澤田 実咲, 高瀬 幸造, 前 真之, 井上 隆, 季 思雨
2. 発表標題 住宅の冬の無暖房化に向けた研究 断熱性能の違い及び潜熱蓄熱材の利用による暖房エネルギー削減の効果
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 季 思雨, 谷口 景一朗, 岸本 尚子, 芹川 真緒, 佐藤 誠, 高瀬 幸造, 前 真之, 井上 隆
2. 発表標題 潜熱蓄熱建材を用いたダイレクトゲイン手法の設計法に関する研究 - 敷設位置や吸熱量に関する検証 -
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡村 朱音, 志田 輝, 岸本 尚子, 谷口 景一朗, 前 真之, 齊藤 孝一郎 吉澤 望
2. 発表標題 日射遮蔽物のある開口部の眺望性評価手法の開発 その5 テクスチャ知覚メカニズムを考慮した明快さ評価予測手法の検証
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野澤 文珠香, 季 思雨, 谷口 景一朗, 岸本 尚子, 芹川 真緒, 佐藤 誠, 高瀬 幸造, 前 真之, 井上 隆
2. 発表標題 実大実験棟を用いたダイレクトゲイン手法の設計法に関する研究 - 窓近傍に寄せたPCM敷設と吸熱量に関する検証 -
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐竹 良太, 前 真之, 谷口 景一朗, 高瀬 幸造, 季 思雨, 岸本 尚子
2. 発表標題 パッシブ住宅における中間期オーバーヒート抑制のための開口部付属物の種類・使用法の比較検証
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	高瀬 幸造 (TAKASE Kozo) (20739148)	東京理科大学・理工学部建築学科・講師 (32660)	
研究分担者	井上 隆 (INOUE Takashi) (30151608)	東京理科大学・理工学部建築学科・教授 (32660)	
研究分担者	吉澤 望 (YOSHIZAWA Nozomu) (40349832)	東京理科大学・理工学部建築学科・教授 (32660)	
研究分担者	谷口 景一郎 (TANIGUCHI Keiichiro) (80746496)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・特任准教授 (12601)	
研究分担者	二宮 秀與 (NIMIYA Hideyo) (90189340)	鹿児島大学・理工学域工学系・教授 (17701)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------