

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 27 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究（S）

研究期間：2007～2011

課題番号：19106010

研究課題名（和文） 伝統木造建築物の構造ディテールに基づく設計法の構築に関する研究

研究課題名（英文） Study on Development of Design Method for Traditional
Wooden Buildings Based on Structural Details

研究代表者

鈴木 祥之（SUZUKI YOSHIYUKI）

立命館大学・立命館グローバル・イノベーション研究機構・教授

研究者番号：50027281

研究成果の概要（和文）：

伝統構法木造建築物では、仕口・接合部や耐力壁など構造ディテールの性能評価を含めた総合的かつ合理的な構造設計法は、いまだ確立されていない。本研究では、木材のめり込みなどによる仕口・接合部の耐力発現のメカニズムおよび土塗り壁や木造軸組の力学特性や破壊性状を実験的かつ解析的に解明するとともに、構造ディテールに基づく伝統木造建築物の設計法に適用するための評価手法を開発した。

研究成果の概要（英文）：

The objective of this study was to develop the integrated design method for traditional wooden buildings based on their structural details. The structural mechanisms and the failure patterns of timber post-and-beam joints and mud-plastered bearing walls were clarified by static and dynamic full-scale experiments. The analytical and numerical studies were also conducted to generalize the testing results. These results will be applicable to the structural design of traditional wooden buildings.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|------------|------------|
| 2007年度 | 16,100,000 | 4,830,000 | 20,930,000 |
| 2008年度 | 16,800,000 | 5,040,000 | 21,840,000 |
| 2009年度 | 14,600,000 | 4,380,000 | 18,980,000 |
| 2010年度 | 15,300,000 | 4,590,000 | 19,890,000 |
| 2011年度 | 12,200,000 | 3,660,000 | 15,860,000 |
| 総計 | 75,000,000 | 22,500,000 | 97,500,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学、建築構造・材料

キーワード：木構造、耐震工学、建築構造・材料、構造工学、伝統構法

1. 研究開始当初の背景

伝統構法木造建築物では、木材特有の材料特性のばらつきや木組み接合部の複雑さなどから、柱に貫、差鴨居など横架材を組み合わせた軸組、仕口・接合部などディテールを含めた総合的、統一的な構造設計法は、いまだ確立されていないため、伝統構法木造建築物の新築や改修などが難しい状況におかれ

ている。また、大地震の発生が予想される状況において伝統構法に適した耐震設計法・耐震補強法の開発が急務となっている。

2. 研究の目的

伝統構法木造建築物では、仕口・接合部などディテールを含めた総合的、統一的な構造設計法はいまだ確立されていないため、本研

究では、伝統構法の技法、技術の良さを生かし、木組み仕口・接合部などのめり込みや耐力発現のメカニズムを実験的、解析的に解明したうえで、構造ディテールの解析手法を導き、構造ディテールの設計法とともに伝統構法木造建築物に高い耐震性能を与える構造設計法を構築することを目的としている。

3. 研究の方法

本研究では、伝統的な仕口・接合部、土塗り壁や差碇層などを構造的に解明したうえで、仕口・接合部などの構造ディテールの設計法とともに伝統木造建築物に高い耐に、(1)構造ディテールの構法と力学的解明、(2)構造ディテールの設計法、(3)伝統木造建築物の構造解析法、(4)伝統木造建築物の構造設計法、の小課題に分類し、相互関連をもって実施した。また、研究機関の研究者のみならず、伝統木造建築物の施工、設計に係わる大工職人、設計者などの団体等の協力を得て、試験体の製作や事例設計などを実施した。

4. 研究成果

(1) 構造ディテールの構法と力学的解明

接合部のめり込み・摩擦

伝統木造の耐震性能には木材同士の仕口のめり込みによる復元力が主要な役割を果たす。木材の基本的なめり込み特性を解明するため、木材のような異方性連続体の部分圧縮に適切な近似力学モデルとして、弾塑性パステルナーク・モデル(EPM)を用いた弾塑性めり込み特性の定式化を行った。それに基づき、モデルの解析用パラメータの絞り込みを行って、基本的なタイプの仕口のめり込み復元力特性の精度良い定式化を可能にした。

EPM シミュレーションに必要な実在部材のヤング係数や降伏応力度を得るため、部材の横圧縮ヤング係数や横圧縮降伏応力度を現地に非破壊試験するために、携帯式のめり込み試験装置の開発と非破壊試験法の研究、適切なパラメータを用いて横圧縮ヤング係数や横圧縮降伏応力度を推定する手法に関して、実用化に向けての重要な足がかりとなる研究を行った。

さらに、EPM シミュレーションを用いた仕口の弾塑性復元力特性を伝統木造建築物の架構全体に適用し、柱の傾斜復元力による復元力特性を加算して、架構の弾塑性復元力特性を推定することで、既往の実大架構の静的・動的実験のシミュレーションを試み、精度よい評価が可能になることを確認した。

長ほぞ差し栓打ち接合

伝統木造建築物の柱頭及び柱脚の接合に用いられる「長ほぞ差し栓打ち接合」の引き抜き試験(図 1)を実施したところ、破壊形態が込み栓の曲げ破壊、ほぞ先端のせん断破壊、

横架材の割裂の3つが観察された。接合要素である込み栓の曲げ、ほぞ先端のせん断、横架材の割裂、それぞれに単独で実験により強さを定め、破壊形態ごとの抵抗力と比較すると、すべて、接合部の引き抜き耐力に比べて、30~40%程度小さな値となっていた。他方、込み栓の曲げ破壊によるものが約8割を占めていることから、込み栓の曲げ破壊のみに着目し嵌合による引き抜き抵抗の効果を明らかにした。ついで、接合部の引き抜き耐力に対する嵌合による抵抗力の割合は時間経過とともに減少するので設計上見積もることができないことを実験により明らかにし、実際の算定方法を提案した。

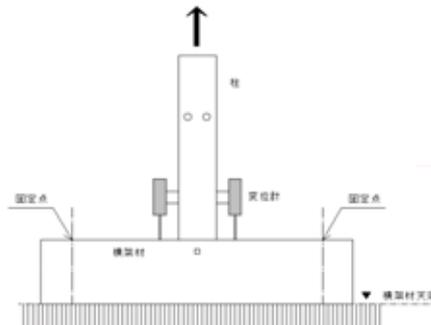


図1 長ほぞ差し栓打ち接合の引き抜き試験

木材の材料強度と仕口の引き抜き耐力との相関は高く、材料試験によってばらつきのある大きい木材の材料強度を確定することで、仕口の引き抜き耐力を高い精度で推定できる可能性が示された。曲げモーメント作用下における引き抜き耐力(図 2)については、損傷限界を超えない程度の変形域では、仕口に作用する曲げモーメントによりほぞとほぞ穴との接触面に生じる摩擦力によって引き抜き耐力が上昇するが、安全限界を超えるような大変形域では、ほぞ穴隅角部への応力集中等により、ほぞに脆性的な破壊を生じて引き抜き耐力が大幅に低下することが分かった。

土塗り壁や木造軸組の面内せん断加力実験において長ほぞ差し栓打ちの柱脚仕口に生じる破壊形態や耐力がこれらの要素試験結果と同様であることも明らかにした。

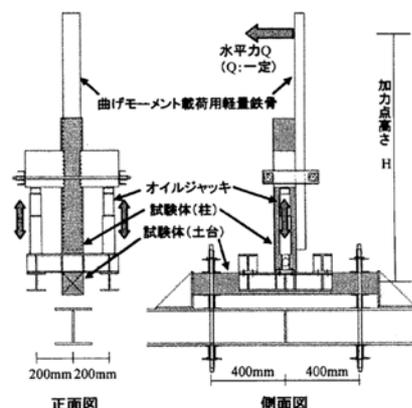


図2 曲げモーメント作用下における引抜き

ジャワ島伝統木造架構(ジョグロ建築)における柱-梁仕口の回転性能の評価と破損した接合部の修復

目的は、地震時における仕口のモーメント-回転角関係の実験的評価と貴重な文化財である伝統木造建築物が地震によって破損した場合の仕口や継ぎ手の修復に関する技術課題に対する対策を見つけることである。

ジョグロ建築の主要な柱-梁接合部の実大モデル試験体を、アカシア積層材を用いて製造し、静的正負繰り返し加力実験を行い接合部のモーメント-回転角関係を評価した。また、接着剤真空吸引法や添え板挿入接着法などの修復技術の有効性について、単純ばりを破壊させた試験体を用いて実験的検討を加えた。仕口の剛性は初期領域で非常に低く、緩やかな初期剛性がジョグロ建築の特徴と言える。破損した部材や接合部の修復については、強度を100%回復させることは出来なかったが、剛性を80%近くまで回復させる方法として添え板挿入接着法が有効であることが分かった。

(2) 構造ディテールの設計法

土塗り壁の実大実験(図3)

伝統的木造建築物において地震力や風圧力といった水平力に抵抗するのは主に土塗り壁である。土塗り壁の復元力特性や耐力発現機構に関する研究は1990年代後半から盛んに進められており、これらの成果を設計法に生かすため、全面壁と垂れ壁・腰壁が組み合わさった土塗り壁構面、壁の厚さや竹小舞の間隔、乾燥期間などをパラメータとして、複数の研究機関で分担して実大実験を行った。その結果、地域による壁土の性能差や小舞材料の違いが土塗り壁の耐力に影響すること、竹小舞の内法間隔が55mm程度と広い場合、最大耐力経験後の復元力の低下が小さくなること、荒壁の裏返しまでの乾燥期間の長短は最大耐力経験後の耐力低下にほとんど影響しないこと、全面壁と垂れ壁・腰壁が混在する土塗り壁構面の復元力が各要素単体の復元力特性の加算により近似できること等を明らかにした。これらの実験結果に基づき、力学理論モデルによる解析により土塗り壁および小壁の耐力評価法を開発し、設計法に適用するための評価式を提案した。



図3 土塗り壁の実大実験

壁土の強度試験

土壁の壁耐力を予測する上で、壁土の強度特性の把握は重要である。壁土の強度特性試験方法は各種提案されている一方で、これら供試体の作成には、1~2ヶ月程度の材料の自然乾燥が伴うため、壁土強度試験の迅速化を図る目的で壁土供試体の早期乾燥法の開発を試みた。直径50mm、高さ100mmの円柱試験体に対して、定温乾燥機で8時間程度乾燥させれば、自然乾燥とほぼ同等の耐力性状を示す試験体が得られることが判明した。

壁土の性質は、地域で異なるほか、施工者の調合により変化する。強度要因の内、粘土・砂配合比およびスサ配合比の影響を検討した。その結果、砂の増加による最大圧縮強度の低下、スサの増加による最大圧縮強度の低下および靱性の増加を確認した。

柱-横架材軸組架構

梁の剛性補強と軸組のせん断性能補強を対象として実大実験を行い、その補強方法の提案と性能評価を行った。対象として実施したのは重ね梁による剛性補強法としてせん断だぼを用いた方法の提案とこの技術を用いた軸組架構の補強方法の提案である。実験の結果、梁の剛性補強については、重ね梁にする際に接着していないにも関わらず7割の接合効率を発揮することができた。また、軸組架構の補強については簡便な方法で当初の約5倍の性能を示すことを明らかにした。これらの実験結果から伝統木造建築物の構造ディテールの設計法で重要となる柱-横架材軸組架構の補強方法として有効であることが示された。

(3) 伝統木造建築物の構造解析法

伝統木造建築物の地震時挙動を評価するための妥当な構造解析法構築のために、立体的な力学モデルをベースとした数値解析モデルの作成手法と、解析結果の検証を行った。最初の段階として、実存する伝統木造建築物の常時微動計測結果に基づき、詳細な立体モデルを構築した場合の振動モードの再現性について調べた。仕口・接合部などの詳細部分の力学特性が未知であっても、システム全体の振動モードには実際の建物の立体的なメカニズムの効果が支配的に生じるので、全体的なシステムの動的挙動を評価する上で、立体モデルをベースとした数値解析モデルを構築することの優位性が示された。

続いて、伝統木造建築物の実大実験用試験体の振動台実験結果に対して、基礎部分の石場建て構法によるすべり挙動を評価するための立体モデルを作成するとともに、上部構造の耐震要素について、静的な加力実験の結果を動的な力学モデル構築に反映するための数値モデル化上の問題点について調べた。

上部構造の耐震要素の動特性については、振動位相に関する性状は、静的実験の結果から得られる耐力の包絡特性により概ね再現できる一方、振幅に対する履歴減衰特性の評価については課題が見られた。また、注脚・礎石間のすべり挙動についてはマクロな挙動は追えるが、局所的なばらつきを再現することは困難であることが確認された。ただし、多スパン建物の柱脚部のすべりのばらつきと、建物構面毎のベースシア分布との間には一定の相関が見出され、設計時に適切なベースシア分布となるよう配慮すれば、すべり挙動を制御できる可能性が示唆された。

(4) 伝統木造建築物の構造設計法

2007年新潟県中越地震や2011年東北地方太平洋沖地震での木造建築物の被害調査、金沢市域や京都府北部における伝統的な建物の構造詳細調査を実施し、建物の耐震性能を限界耐力計算により評価して、建物の耐震性能と地震被害との関連性を明らかにするとともに、構造ディテールの設計法構築のためのデータとして活用した。

要素実験から得られた土塗り壁などの耐震要素について限界耐力計算に適用可能な復元力データの蓄積が進み、それらの実験データや解析的検討に基づいて、震動実験用実大2層木造建築物モデルの設計に用いた。

弾塑性パステルナーク・モデル(EPM)による伝統木造仕口の回転めり込みの復元力特性を用いて伝統木造建築物の架構全体について、柱の傾斜復元力による復元力特性も考慮してシミュレーションを行い、伝統構法木造建築物の変形能力が大きいことと崩壊メカニズムを解析的にも明らかにした。

伝統木造建築の耐震改修の計画立案に有効な構造軸組の調査・分析手法に関する研究を実施した。着目した点として、3次元レーザー計測データ(点群データ)による既存伝統建築物の構造軸組の傾斜状況の分析、点群データを用いた3次元モデリングによる建物重量分析の2点が挙げられる。ケーススタディとして、耐震改修計画が進行中の東本願阿弥陀堂を事例とし、上記2つの調査・分析手法を適用した。については、参詣席の丸柱の傾斜を分析した結果、若干の精度の甘さは確認されたものの、その後の現地調査で柱頭部に亀裂が発見される等、一定の効果が確認された。については、小屋組の主要構造体を対象として3次元モデリングを行った後、3次元データベースソフトを使用し、その属性データとして比重や体積を保持させ、部材群の重量データを算定する手法を整理した。以上の試みにより、伝統木造建築の耐震改修の計画立案に有効な調査・分析手法が明らかとなった。

接合部や土塗り壁などの構造ディテール

による数値解析に必要な評価式を提案し、その有効性を基礎的なケースについて確認した。今後、適用範囲を広げ、汎用性の高い構造設計法としていく。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計102件)

- 1) 棚橋秀光, 鈴木祥之: 伝統木造仕口の回転めり込み弾塑性特性と十字型通し貫仕口の定式化, 日本建築学会構造系論文集, Vol.76, No.667, pp.1675-1684 (2011), 査読有
- 2) 藤田克則, 小林良洋, 河原大, 稲山正弘, 後藤正美, 高橋賢二: 伝統的な仕口を用いた接合部のモーメント抵抗性能に関する研究-各仕口の特性と十字型接合部におけるモーメント抵抗性能の推定-, 日本建築学会構造系論文集, Vol.76, No.665, pp.1299-1308 (2011), 査読有
- 3) 鈴木三四郎, 川端佑輔, 山田明, 向坊恭介, 鈴木祥之: 伝統構法木造軸組の実大震動実験の解析的再現性, 日本建築学会構造系論文集, Vol.76, No.663, pp.935-942 (2011), 査読有
- 4) 中尾方人, 後藤正美, 鈴木祥之: 曲げモーメントが作用する長ほぞ込栓打ち仕口の引抜き耐力 作用する曲げモーメントが一定の場合, 日本建築学会構造系論文集, Vol.76, No.663, pp.951-958 (2011), 査読有
- 5) 棚橋秀光, 大岡優, 伊津野和行, 鈴木祥之: 木材のめり込みメカニズムとめり込み弾塑性変位の定式化, 日本建築学会構造系論文集, Vol.76, No.662, pp.811-819 (2011), 査読有
- 6) 須田達, 田代靖彦, 向坊恭介, 鈴木祥之: 柱傾斜復元力を活かした伝統木造軸組の耐震補強, 歴史都市防災論文集, Vol.5, pp.185-192 (2011), 査読有
- 7) 山田耕司, 中治弘行, 鈴木祥之: 異なる強度を持つ壁土を用いた土壁耐力の推定, 日本建築学会構造系論文集 Vol.76, No.660, pp.347-352 (2011), 査読有
- 8) 西村督, 後藤正美, 鈴木祥之: 木造軸組構法における長ほぞ込栓打ち接合部の応力伝達に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, Vol.75, No.658, pp.2197-2204 (2010), 査読有
- 9) 中尾方人, 山崎裕: 壁土の材料試験に基づく土塗り壁の最大せん断応力度の変動幅の推定, 日本建築学会構造系論文集, Vol.75, No.649, pp.601-607

- (2010), 査読有
- 10) 松本慎也, 光井周平, 近藤一夫, 鈴木祥之, 藤谷義信: 伝統木造建築物の仕口ディテールのめり込み挙動を考慮したモデル化による解析手法, 第 13 回日本地震工学シンポジウム論文集, pp. 2096-2100 (2010), 査読有
 - 11) 棚橋秀光, 須田達, 鈴木祥之: スケールの異なる伝統木造軸組の静的・動的実験シミュレーション, 第 13 回日本地震工学シンポジウム論文集, pp. 2132-2139 (2010), 査読有
 - 12) Masato Nakao, Masami Gotou and Yoshiyuki Suzuki: Experimental study on pull-out strength of mortise-tenon joint with pin subjected to bending moment, Proc. of World Conference on Timber Engineering, (2010), 査読有, pp.586.
 - 13) Koji Yamada, Masato Nakao, Yutaka Yamazaki and Yoshiyuki Suzuki: Horizontal resistant force estimation of mud plastered walls for a Japanese traditional wooden structure, Proc. of World Conference on Timber Engineering, (2010), 査読有, pp.92.
 - 14) 棚橋秀光, 鈴木祥之: 伝統木造建築物の崩壊シミュレーション, 歴史都市防災論文集, Vol.3, 35-42 (2009), 査読有
 - 15) 下川雄一, 鈴木祥之, 須田達: レーザー計測に基づいた伝統木造建築物の CAD データ作成手法, 歴史都市防災論文集, Vol.3, pp.83-90 (2009), 査読有
 - 16) Y. Mukai and Y. Suzuki: Numerical evaluation for shaking-table test results of full-scale wooden frames supported by unanchored foundation, Safety, Reliability and Risk of Structures, Infrastructures and Engineering Systems, Furuta, Frangopol & Shinozuka(eds), CRC Press, pp.702-709 (2009), 査読有
 - 17) S. Matsumoto and Y. Suzuki: Earthquake response analysis for traditional wooden buildings using semi-rigid frame model, Safety, Reliability and Risk of Structures, Infrastructures and Engineering Systems, Furuta, Frangopol & Shinozuka(eds), CRC Press, pp. 683-687 (2009), 査読有
 - 18) 棚橋秀光, 清水秀丸, 堀江秀夫, 楊萍, 鈴木祥之: パステルナーク・モデルに基づく有限長直交異方性木材の弾性めり込み変位, 日本建築学会構造系論文集, Vol.73, No.625, pp.417-424 (2008), 査読有
 - 19) 山田耕司, 清水秀丸, 中治弘行, 鈴木祥之: 土塗り小壁付き木造軸組耐力特性評価への数値解析の適用, 日本建築学会構造系論文集, Vol.72, No.621, pp.81-87 (2007), 査読有
 - 20) 須田達, 鈴木祥之, 奥田辰雄, 小笠原昌敏: 京町家の耐震性能評価と耐震補強設計法, 日本建築学会構造系論文集, Vol.72, No.616, pp.149-155 (2007), 査読有
 - 21) 前野将輝, 西塔純人, 鈴木祥之: 伝統木造軸組の実大実験による柱に加わる力の釣合関係と柱傾斜復元力特性の評価, 日本建築学会構造系論文集, Vol.72, No.615, pp.153-160 (2007), 査読有
- [学会発表](計 189 件)
- 1) 野村昌史, 野田史博, 北守顕久, 小松幸平, 稲山正弘, 後藤正美: 雇いぼぞ車知栓仕口の耐力性能試験, 第 62 回木材学会大会研究発表, 2012 年 3 月 16 日, 北海道大学農学部学術交流会館(北海道)
 - 2) 森拓郎, 南宗和, 北守顕久, 小松幸平, 鈴木祥之: 伝統的な木造を対象とした簡易な耐震補強方法の提案, 第 15 回木質構造研究会技術発表会, 2011 年 12 月 1 日, 東京大学(東京都)
 - 3) 中治弘行, 倉恒俊一: 鳥取県産スギ材を用いた面格子壁の水平加力実験, 日本建築学会大会, 2011 年 8 月 23-25 日, 早稲田大学(東京都)
 - 4) 河原大, 後藤正美: 上下階の壁配置が伝統工法木造住宅の耐震性能に与える影響, 日本建築学会大会, 2011 年 8 月 23-25 日, 早稲田大学(東京都)
 - 5) 林佳奈, 斎藤幸雄, 後藤正美, 鈴木祥之: 長ぼぞ込栓打接合部の構造特性大工技能が構造特性に及ぼす影響, 日本建築学会大会, 2010 年 9 月 9 -11 日, 富山大学(富山県)
 - 6) 中治弘行, 山田耕司, 鈴木祥之: 鳥取県倉吉地方の伝統的な土塗り壁の耐震性能評価実験, 日本建築学会大会, 2010 年 9 月 9 日-11 日, 富山大学(富山県)
 - 7) 棚橋秀光, 鈴木祥之: 木材の年輪傾角によるめり込み強度の分布特性, 第 60 回日本木材学会大会, 2010 年 3 月 17 日, 宮崎市民プラザ(宮崎県)
 - 8) 向坊恭介, 山田耕司, 赤窄大樹, 鈴木祥之: 礎石建て構法木造軸組の水平及び上下動による振動台実験, 日本地震工学会大会-2009, 2009 年 11 月 12-14 日, 国立オリンピック記念青少年総合センター(東京都)
 - 9) 中尾方人, 後藤正美, 鈴木祥之: 長ぼぞ込栓打の柱-土台接合部の引抜き耐力

の推定に関する研究, 日本地震工学会大会-2009, 2009年11月12-14日, 国立オリンピック記念青少年総合センター(東京都)

- 10) 山田耕司, 中治弘行, 鈴木祥之: 壁士の配合と強度に関する定性的傾向, 日本地震工学会大会-2009, 2009年11月12-14日, 国立オリンピック記念青少年総合センター(東京都)
- 11) 宮本慎宏, 須田達, 鈴木祥之, 後藤正美: 2007年能登半島地震による木造建物の被害状況, 日本建築学会大会, 2008年9月18日, 広島大学(広島県)
- 12) 斎藤幸雄, 鈴木祥之: 伝統構法木造住宅の重量と耐震性への影響, 日本地震工学会・大会-2008, 2008年11月3日, 仙台市情報・産業プラザ(宮城県)

[図書](計2件)

- 1) 後藤正美・鈴木祥之(分担執筆): 2007年能登半島地震災害調査報告 2007年新潟県中越沖地震災害調査報告, 日本建築学会. 2010年3月, pp87-111, pp237-258.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 祥之 (SUZUKI YOSHIYUKI)
立命館大学・立命館グローバル・イノベーション研究機構・教授
研究者番号: 50027281

(2) 研究分担者

小松 幸平 (KOMATSU KOHEI)
京都大学・生存圏研究所・教授
研究者番号: 20283674

下川 雄一 (SHIMOKAWA YUICHI)
金沢工業大学・環境・建築学部・准教授
研究者番号: 90308586

中尾 方人 (NAKAO MASATO)
横浜国立大学・大学院都市イノベーション学府・特別研究教員
研究者番号: 60323937

北守 顕久 (KITAMORI AKIHISA)
京都大学・生存圏研究所・助教
研究者番号: 10551400

秦 正徳 (HATA MASANORI)
富山大学・芸術文化学部・教授
研究者番号: 40198742

中治 弘行 (NAKAJI HIROYUKI)

鳥取環境大学・環境情報学部・准教授
研究者番号: 80314095

森 拓郎 (MORI TAKURO)
京都大学・生存圏研究所・助教
研究者番号: 00335225

須田 達 (SUDA TATSURU)
立命館大学・立命館グローバル・イノベーション研究機構・准教授
研究者番号: 90533571

松本 慎也 (MATSUMOTO SHINYA)
広島大学大学院・工学研究院・助教
研究者番号: 30325154

向坊 恭介 (MUKAIBO KYOSUKE)
立命館大学・理工学部 建築都市デザイン学科・助教
研究者番号: 80512748

向井 洋一 (MUKAI YOICHI)
神戸大学大学院・工学研究科・准教授
研究者番号: 70252616

山田 耕司 (YAMADA KOJI)
豊田工業高等専門学校・建築学科・准教授
研究者番号: 60273281

後藤 正美 (GOTOU MASAMI)
金沢工業大学・環境・建築学部・教授
研究者番号: 40170469

斎藤 幸雄 (SAITO YUKIO)
広島国際大学・工学部・教授
研究者番号: 50368809
(H22まで、H23: 連携研究者)

(3) 連携研究者

斎藤 幸雄 (SAITO YUKIO)
広島国際大学・工学部・教授
研究者番号: 50368809
(H23: 連携研究者)

棚橋 秀光 (TANAHASHI HIDEMITU)
立命館大学・立命館グローバル・イノベーション研究機構・教授
研究者番号: 50305562