

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26289191

研究課題名(和文)既存木質建築物の残存性能評価法と耐力再生法の提案

研究課題名(英文)Proposal on Evaluation Method of Residual Performance and Retrofitting Method for Existing Wooden Building

研究代表者

森 拓郎 (MORI, Takuro)

京都大学・生存圏研究所・助教

研究者番号：00335225

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,300,000円

研究成果の概要(和文)：既存の木造建築物が腐朽やシロアリなどの生物劣化を受けたのちにどれほどの耐震性能を有しているかを評価することを目的とし、その評価に必要な木材、釘や木ねじなどの接合部、耐力を負担する壁などが生物劣化を受けた場合にどれほど残存性能を有しているかに評価した。また、この残存性能を診断機器を用いて評価できるようにするための指標づくりや補修する際に必要となる生物劣化を受けた木材に新たに打ち込んだ接合部の性能評価などをおこない、データの蓄積をおこなった。その結果、木造建築物の残存性能を評価するために必要なデータベースが構築され、建物全体の評価も可能となった。

研究成果の概要(英文)：It was aimed to evaluate the earthquake resistance performance of existing wooden buildings with bio-deterioration, for example fungus and termite and so on. The residual strength performance of the wood, nails and screws, and resisting wall with bio-deterioration was evaluated. In addition, it was created the indices to evaluate this residual strength performance using diagnostic equipment. Also, it was conducted the evaluation of strength performance about the newly joints driven into wood with bio-deterioration to be necessary for repairing. As a result, it was constructed a database for evaluating the residual strength performance of wooden buildings, and it was became possible to evaluate the wooden building.

研究分野：建築学

キーワード：木質構造 建築構造・材料 耐震診断 生物劣化 シミュレーション

### 1. 研究開始当初の背景

木質構造は、環境問題への対応、特にCO2削減課題において都市の森などと言われ、長期間使用し続けることでのCO2固定について注目されている。実際に長期間使用された実績を持つことから長期使用への取り組み、期待は高まっている。この取り組みを押し進めるためには、木質構造の残存性能の評価をきちんと行っていくことが必要となる。現在、この木質構造における長期使用について、その手本となる資料としては「木造住宅の耐震診断と補強方法」1)が有名であるが、本書の劣化の評価に関する項では、ドライバーが刺さるかどうかなどの評価が用いられており実に曖昧で工学的判断には至っていないと考える。

### 2. 研究の目的

現在、内閣府、国土交通省を中心に住宅の超長期使用への取り組みがなされており、その主要な構造の一つは木質構造である。しかし、木質構造の長期使用において重要である木材や木質材料の生物劣化と強度に関する体系的な研究例は少なく、また木造住宅や大規模木造で多く使用されている接合金物を用いた場合の生物劣化と接合部強度に関する研究例も少ない。そのため、これらのデータの蓄積、診断・取替えの判断基準の確立、そしてシミュレーションによる木造建築物の残存性能の評価、さらに、その補強方法の提案は急務であり、これらを体系的に押し進めることを目的とする。

### 3. 研究の方法

以下に示す4つの課題を挙げ、課題の解決を進めることによって目的の達成を図った。  
課題1. 劣化情報をインプットできる耐震診断プログラムの開発

耐震診断プログラムに、劣化診断機器の値を入れることで、劣化度を判断し、残存性能に合わせた各部材・接合部・耐力壁などの荷重・変位の関係を導けるようなサブルーチンを加える。課題2で作成した劣化した部材・接合部・耐力壁の劣化診断機器と強度の関係のデータをインプットする。その後、これらをもとに建物全体の残存性能、また危険個所の推定を実施する。

課題2. 劣化した部材・接合部・耐力壁と診断機器との関係に関するデータベースの構築

上記プログラムで用いる部材強度性能を既存のデータを用いてデータベース化する。また、接合部・耐力壁の各種強度や剛性などを推定し、実際の実験との整合性を確認したのちに、データベース化する。接合部や耐力壁については、以前の科研費若手研究やほかで実施した実験をもとに、耐力推定方法を提案する。また、壁については実証が必要であるため、実大実験を実施する。

課題3. 耐震補強・補修方法の提案のための

### データベースの構築

建物補強の方法について、既往の研究の調査を行う。また、課題2で実験した試験体を用いて補強用の金物を後付した場合に、どこまで耐力が回復できるかについて調査する。  
課題4. 建物の劣化状況に関するデータの蓄積

木造建築物の調査を行い、そのデータを蓄積する。特に劣化が激しい個所のデータと木材およびその接合個所、また耐力壁付近の診断機器によるデータ収集を測り、プログラムを用いた性能評価にデータを供する。随時、調査物件で得られたデータの蓄積を図る。

### 4. 研究成果

それぞれの課題について、主に実施した内容とその結果を以下に示す。

課題1. 劣化情報をインプットできる耐震診断プログラムの開発

保有水平耐力計算を、耐震診断プログラムであるwallstat ver2.0.3を用いて実施し、部材や接合要素、耐力壁の劣化などを反映させ、その劣化度合いや劣化の箇所の違いによる比較を実施した。実際の実験結果から得られた劣化による耐力低減などを盛り込んで実施した。

その結果、図1に示すような低減が起こる可能性が示唆された。これは、現在、一般的に耐震診断時に劣化している場合に、採用されている劣化の度合いである0.7倍程度までの低下を、下回る0.5倍などもあり得ることを示した。このことにより、劣化による建物の評価点の低下がもう少し厳しくないことと安全ではないことを示した。加えて、実際には劣化が進むことによって、その建物の偏心が進み、損傷が小さいと思われる領域でも、その評価点が大きく下がることがわかった。なお、モデルはそれぞれの劣化位置を示しており、A健全から、B-Cと進むに従って劣化個所が増えていくようになっている。詳しくは、学会発表9)を参照されたい。

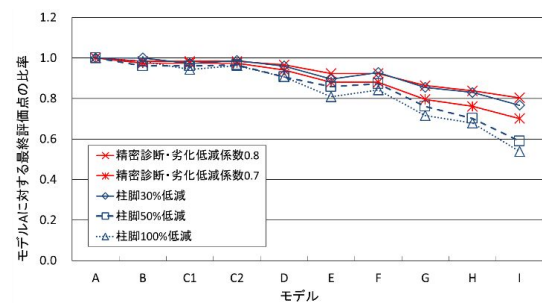


図1 両診断法のモデルAの最終評価点に対する各劣化モデルの最終評価点の比率

課題2. 劣化した部材・接合部・耐力壁と診断機器との関係に関するデータベースの構築

部材に関するデータについては、以前の科研費にて曲げ、圧縮(縦、横)について作成

していたので、本期間中に木ねじや釘などの接合部、これら接合具を用いた接合部のデータベースの作成を実施した。また、壁についても壁脚部が劣化したモデルの実験を実施し、そのデータの蓄積を図った。

木ねじや釘の接合具については、集めたデータより、樹種がわかる場合やわからない場合、劣化要因が腐朽の場合、シロアリの場合などの場合分けにより、劣化診断機器による値をもとに接合部の骨格曲線モデルを抽出できるように提案した(図2及び3)。打ち込み深さが浅い20mm以下の場合には、ほとんど骨格曲線が変化していないのに対し、打ち込み深さが深くなると樹種や劣化要因が特定できることでそれぞれの耐力低下の様子が異なることがわかり、これらより判断ができない場合には実験値の平均値ではなくて、最も損傷が大きいものを採用しないと安全側の評価ができないことがわかった。

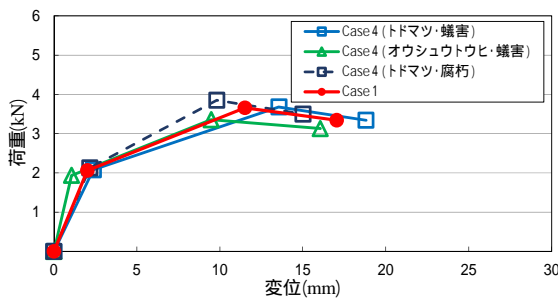


図2 Case 1 樹種及び劣化要因が特定できない場合と、Case 4 樹種及び劣化要因が特定できる場合(ピロディン打ち込み深さが20mm以下の場合)

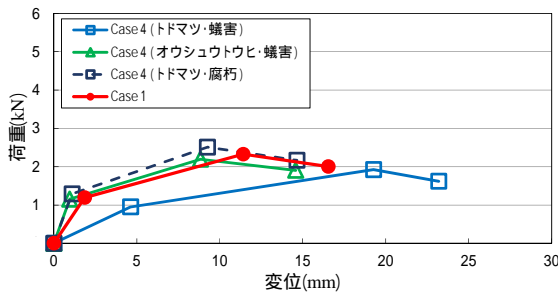


図3 Case 1 樹種及び劣化要因が特定できない場合と、Case 4 樹種及び劣化要因が特定できる場合(ピロディン打ち込み深さが25mm以上30mm以下の場合)

また、新たに耐力壁に用いられる合板釘接合についてもデータの蓄積を図り、現在これらについても上記度同様のモデル化を実施している。これにより、より包括的なデータベースを構築出来ている。

また、シロアリ食害に関する接合部耐力の推定及び腐朽による接合耐力に関する推定については、計算モデルの提案をおこなった。シロアリ食害に関する接合耐力の推定については図4に示すような精度の高い推定結果を得ることができた。詳しい推定方法は、雑

誌論文1)および2)を参照されたい。

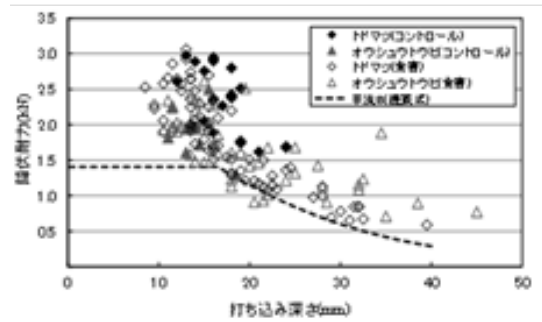


図4 提案式とシロアリ食害材に打ち込まれた木ねじ接合耐力の比較

加えて、壁脚部が劣化した壁に関するモデル化については、学会発表20)で示すように、耐力壁として多く用いられている合板耐力壁の耐力推定モデルの提案を実施した。その結果を耐震診断プログラムに導入した結果を図5に示す。図5で示されたように高い精度で壁の性能が推定可能となり、この計算方法をもとに、劣化の度合いの異なる壁データの計算例を現在作成中である。

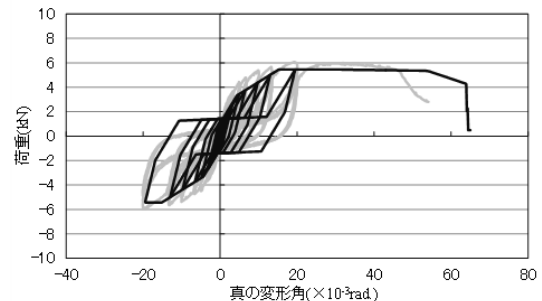


図5 計算モデル(黒色)と実験値(灰色)との比較

### 課題3. 耐震補強・補修方法の提案のためのデータベースの構築

ここでは、二つのことを実施した。過去に行われた補強案の収集と壁脚部劣化壁モデル実験の試験体の軸材料を用いた実証実験である。

まず、補強方法としては、劣化後の木材に釘や木ねじを用いた場合にどのくらい耐力を発揮することが可能かというデータの収集をおこなった。その結果、劣化した木材に打ち込まれた木ねじは、耐力が健全な木材に打ち込んだ場合と比べて大きく下がること、もとに打ち込まれていた木ねじよりも耐力が低いことがわかった。釘については、もとに打ち込まれていたものとその後打ち込まれたものに大きな違いはみられなかった。

そこで、合板耐力壁の補修方法として、壁脚部劣化壁モデル実験ののちに劣化した耐力壁用合板を取り除いた軸材料を用いて、実証実験を実施した。劣化した軸材料に、新たな合板の釘穴位置をずらして張り付けるこ



とでどれくらい耐力が元通りになるのかを実験的に確認した。その結果、軸材料の劣化が軽微で合板のみが劣化していた場合は、耐力が健全のものと同じく変わらないことを図6のように示した。ここでは、柱脚部土台のみ劣化試験体では合板が健全で土台のみが劣化しているものとして試験を実施し、その耐力とコントロール試験体の結果がほとんど変わらないことから明らかとした。この結果から、先に述べた釘のデータベースの結果をもとに合板と釘の接合部の耐力低下率をもとに、釘ピッチを計算することで、ほぼ健全と同等な状態の耐力壁を作ることが可能であることが実証できた。

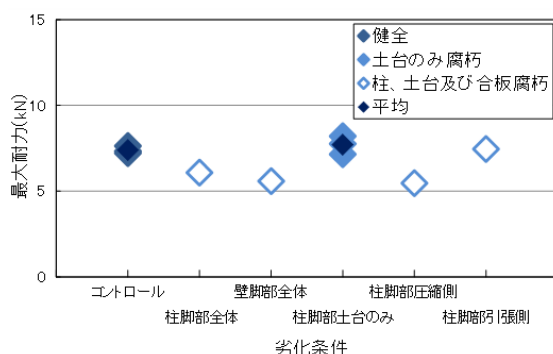


図6 合板耐力壁の劣化条件とその最大耐力

また、補強案の収集は建築学会の梗概などを参考に集め、データベース化した。

#### 課題4. 建物の劣化状況に関するデータの蓄積

毎年、数件ずつ劣化被害の調査を実際の建物をもとに実施してきたが、2016年4月に起こった熊本地震の調査時、多くの建物で実施が可能（倒壊建物では劣化部があらわとなる例が多いため）となり、一般的に良く知られている水回りや玄関を始め、南側の隅柱などに多くの被害が出ていることがわかった。先ほども述べたように、隅部の劣化は建物の偏心を助長するため大変危険であることがわかっており、今後メンテナンスにおいて注意する個所であることがわかった。また、今回の地震被害調査から、機能改修のために、木材をモルタルや窯業系の外壁で覆っている個所の生物劣化が多数発見され、いくつかの柱についてはすでに既に存在していない状態になっているものもみられた。これらのことから、機能改修時の木材に対する管理や劣化対策が重要出ることが確認された。

今後、本成果で得られた生物劣化を受けた接合具単体、接合部、そして壁を組み合わせた高精度の耐震診断システムの構築に努め、生物劣化による建物の性能低下について一般の方を含めた啓蒙に努めていきたい。

#### 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5件 うち3件査読あり)

1. 森 拓郎、野田康信、東 智則、森 満範、戸田正彦、五十田博：強制腐朽処理を施した木材にあと施工した木ねじ接合部の一面せん断性能評価、構造工学論文集、日本建築学会、61B、pp.237-242、2015.
2. 森 拓郎、田中 圭、毛利悠平、築瀬佳之、井上正文、五十田博：シロアリ食害を受けた木材に打ち込まれた木ねじ接合部の残存耐力に関する研究、日本建築学会構造系論文集、日本建築学会、Vol.81、No.725、pp.1113-1120、2016 .
3. Takuro Mori, Kei Tanaka, Maki Shibao, Susumu Nishino, Yoshiyuki Yanase, Masafumi Inoue, Hiroshi Isoda, Estimation of single shear strength of screwed joint after termite attack, *Proceedings of the WCTE 2016*, USB, Vienna, Austria, 2016.
4. 森 拓郎、築瀬佳之：平成28年熊本地震における木造住宅の被害調査と生物劣化の報告、しろあり、Vol.166、pp.1-9、2016.7.
5. 森 拓郎：シロアリ食害を受けた柱 - 土台接合部の引張性能、しろあり、Vol.166、pp.39-43、2016.7.

〔学会発表〕(計24件)

1. 森 拓郎、田中 圭、五十田博：生物劣化を受けた木材に打ち込まれた釘接合部の性能予測、木質構造研究会第18回技術発表会報告集、pp.65-66、2014年12月10日-11日、東京大学、東京
2. 森 拓郎、吉村 剛、五十田博、田中 圭、中畑拓巳、毛利悠平、井上正文、築瀬佳之：蟻害を受けた木質接合具の残存耐力に関する実験的研究、第265回生存圏シンポジウム DOL/LSF に関する全国・国際共同利用研究成果報告会、2015年2月23日、京都大学宇治キャンパス、宇治
3. 中谷 誠、須原弘登、森 拓郎：大型木造の接合部における生物劣化を評価するための基礎的研究、第265回生存圏シンポジウム DOL/LSF に関する全国・国際共同利用研究成果報告会、2015年2月23日、京都大学宇治キャンパス、宇治
4. 毛利悠平、中畑拓巳、森 拓郎、田中 圭、井上正文：シロアリによる食害を受けた木ねじ接合部の一面せん断性能評価（そ

- の2) トドマツ材におけるせん断耐力の推定、日本建築学会九州支部研究報告、第54号、pp.765-768、2015年3月1日、熊本県立大学、熊本
5. Yuhei Mouri, Takumi Nakahata, Takuro Mori, Yoshiyuki Yanase, Kei Tanaka, Masafumi Inoue, Effect of Termite Attack on Single Shear Strength of Wood Screwed Joint, IAWPS 2015, Tokyo, Japan, 2015年3月15日-17日、タワーホテル船堀、日本
  6. 中谷 誠、須原弘登、森 拓郎：大型木造の接合部における生物劣化を評価するための基礎的研究 その1LSBを用いた接合部について、日本木材学会大会研究発表要旨集 第65回、CD-ROM、2015年3月17日-18日、タワーホテル船堀、東京
  7. 森 拓郎、田中 圭、毛利悠平、築瀬佳之：シロアリ食害材における木ねじ接合部のせん断性能とその推定方法、日本木材保存協会第31回年次大会研究発表論文集、pp.24-25、2015年5月26日-27日、メルパルク東京、東京
  8. 毛利悠平、中畑拓巳、森 拓郎、田中 圭、井上正文：シロアリによる食害を受けた木ねじ接合部の残存強度性能 その2トドマツ材における一面せん断耐力の推定、日本建築学会学術講演梗概集構造、pp.81-82、2015年9月4日-6日、東海大学湘南キャンパス、平塚
  9. 森 拓郎、田中 圭、毛利悠平、中川貴文、井上正文、五十田博：生物劣化が生じた木造住宅の耐震性能評価に関する基礎的検討、日本建築学会学術講演梗概集構造、pp.243-244、2015年9月4日-6日、東海大学湘南キャンパス、平塚
  10. 中谷 誠、須原弘登、森 拓郎：大型木造の接合部における生物劣化を評価するための基礎的研究、第305回生存圏シンポジウム DOL/LSF に関する全国・国際共同利用研究成果報告会、2016年2月22日、京都大学宇治キャンパス、宇治
  11. 森 拓郎、吉村 剛、五十田博、田中 圭、毛利悠平、芝尾真紀、西野 進、井上正文、築瀬佳之：蟻害を受けた木質接合具の残存耐力に関する実験的研究、第305回生存圏シンポジウム DOL/LSF に関する全国・国際共同利用研究成果報告会、2016年2月22日、京都大学宇治キャンパス、宇治
  12. 毛利悠平、芝尾真紀、西野 進、森 拓郎、田中 圭、築瀬佳之、井上正文：シロアリによる食害を受けた木ねじ接合部の一面せん断性能評価、その3 オウシュウト
  - ウヒ材におけるせん断耐力の推定、日本建築学会九州支部研究報告、第55号、pp.657-660、2016年3月5日-6日、琉球大学、那覇。
  13. 芝尾真紀、西野 進、毛利悠平、森 拓郎、田中 圭、高梨隆也、戸田正彦、森満範、野田康信、井上正文：壁脚部に強制腐朽処理を施した耐力壁の水平せん断性能(その1)腐朽箇所の違いが耐震性能に及ぼす影響、日本建築学会九州支部研究報告、第55号、pp.653-656、2016年3月5日-6日、琉球大学、那覇
  14. 西野 進、毛利悠平、芝尾真紀、森 拓郎、田中 圭、野田康信、戸田正彦、森満範、築瀬佳之、井上正文：生物劣化を受けた木質構造物の残存性能評価手法の検討(その1)木ねじ及び釘の一面せん断性能、日本建築学会九州支部研究報告、第55号、pp.661-664、2016年3月5日-6日、琉球大学、那覇
  15. 森 拓郎、田中 圭、毛利悠平、芝尾真紀、西野 進、高梨隆也、戸田正彦、森満範、野田康信、五十田博：壁脚部に強制腐朽処理を施した2種類の耐力壁の水平せん断実験、日本木材学会大会研究発表要旨集 第66回、CD-ROM、2016年3月27日-29日、名古屋大学、名古屋
  16. Takuro Mori, Kei Tanaka, Maki Shibao, Susumu Nishino, Yoshiyuki Yanase, Masafumi Inoue, Hiroshi Isoda, Estimation of single shear strength of screwed joint after termite attack, *Proceedings of the WCTE 2016*, USB, Vienna, Austria, 2016年8月22日-25日、ウィーン、オーストリア
  17. 西野 進、毛利悠平、芝尾真紀、森 拓郎、田中 圭、野田康信、戸田正彦、森満範、井上正文：生物劣化を受けた木質構造物の残存性能評価法について(その1)木ねじ接合部の骨格曲線モデルの提案、日本建築学会学術講演梗概集構造、pp.587-588、2016年8月24日-26日、福岡大学、福岡
  18. 毛利悠平、芝尾真紀、西野 進、森 拓郎、田中 圭、井上正文：シロアリによる食害を受けた木ねじ接合部の残存強度性能 その3 オウシュウトウヒ材における一面せん断耐力の推定、日本建築学会学術講演梗概集構造、pp.589-590、2016年8月24日-26日、福岡大学、福岡
  19. 芝尾真紀、西野 進、毛利悠平、森 拓郎、田中 圭、高梨隆也、戸田正彦、森

- 満範、野田康信、井上正文：強制腐朽処理を壁脚部に施した耐力壁の残存耐力性能（その 1）腐朽箇所の違いが残存耐力に及ぼす影響、日本建築学会学術講演梗概集構造、pp.593-594、2016 年 8 月 24 日-26 日、福岡大学、福岡
20. 森 拓郎、芝尾真紀、西野 進、毛利悠平、田中 圭、井上正文、五十田博：強制腐朽処理を壁脚部に施した耐力壁の残存耐力性能（その 2）合板耐力壁の荷重変形角関係の推定、日本建築学会学術講演梗概集構造、pp.595-596、2016 年 8 月 24 日-26 日、福岡大学、福岡
21. 中谷 誠、須原弘登、森 拓郎：大型木造の接合部における生物劣化を評価するための基礎的研究、第 340 回生存圏シンポジウム DOL/LSF に関する全国・国際共同利用研究成果報告会、2017 年 2 月 27 日、京都大学宇治キャンパス、宇治
22. 森 拓郎、吉村 剛、五十田博、田中 圭、芝尾真紀、西野 進、築瀬佳之：蟻害を受けた木質接合具の残存耐力に関する実験的研究、第 340 回生存圏シンポジウム DOL/LSF に関する全国・国際共同利用研究成果報告会、2017 年 2 月 27 日、京都大学宇治キャンパス、宇治
23. 西野 進、毛利悠平、芝尾真紀、森 拓郎、田中 圭、野田康信、戸田正彦、森満範、築瀬佳之、井上正文：生物劣化を受けた木質構造物の残存性能評価手法の検討（その 1）木ねじ及び釘の一面せん断性能、日本建築学会九州支部研究報告、第 56 号、pp.661-664、2017 年 3 月 4 日-5 日、長崎大学文教キャンパス、長崎
24. 芝尾真紀、西野 進、毛利悠平、森 拓郎、田中 圭、高梨隆也、戸田正彦、森満範、野田康信、井上正文：壁脚部に強制腐朽処理を施した耐力壁の水平せん断性能（その 1）腐朽箇所の違いが耐震性能に及ぼす影響、日本建築学会九州支部研究報告、第 56 号、pp.653-656、2017 年 3 月 4 日-5 日、長崎大学文教キャンパス、長崎
25. 森 拓郎、田中 圭、芝尾真紀、西野 進、高梨隆也、戸田正彦、富高亮介、森満範、野田康信、五十田博：壁脚部の広範囲に強制腐朽処理を施した合板耐力壁の水平せん断実験、日本木材学会大会研究発表要旨集 第 67 回、CD-ROM、2017 年 3 月 17 日-19 日、九州大学、福岡

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

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

### (2) 研究分担者

築瀬佳之 (YANASE, Yoshiyuki)  
京都大学・大学院農学研究科・助教  
研究者番号：00303868

田中 圭 (TANAKA, Kei)  
大分大学・工学部・准教授  
研究者番号：00325698

五十田 博 (ISODA, Hiroshi)  
京都大学・生存圏研究所・教授  
研究者番号：40242664

中川貴文 (NAKAGAWA, Takafumi)  
国土技術政策総合研究所・建築研究部・主任研究官  
研究者番号：60414968

森 満範 (MORI, Mitsunori)  
地方独立行政法人北海道立総合研究機構・森林研究本部・利用部長  
研究者番号：60446341

### (3) 連携研究者

なし

### (4) 研究協力者

野田康信 (NODA, Yasunobu)  
戸田正彦 (TODA, Masahiko)