

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19760389

研究課題名 (和文)：地震被害低減のための供用期間中における木造住宅の目標性能評価

研究課題名 (英文)：Seismic Performance Evaluation of Wooden house to Mitigate Seismic Damage During the In-Service Period

研究代表者：森井 雄史 (MORII TAKESHI)

京都大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：10419450

研究成果の概要：

近年の被害地震事例に基づいて、木造住宅の耐震性能と応答変形角との関係および応答変形角と地震被害率との関係を明らかにした。木造住宅の耐震性能や築年数による経年変化の影響、地域の地震ハザードの違いを考慮できる地震損傷確率予測や地震リスク評価手法を用いて、パラメータ分析を行い、木造住宅の目標性能について検討した。木造住宅の地震被害低減に繋げるためには、耐力上昇とともに変形性能の確保が重要であることや地震発生確率の高い地域では、耐力が高い住宅ほど経年変化による耐震性能の低下の影響も大きく、住宅の維持管理対策も重要となることを示した。

交付額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,400,000	0	2,400,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	270,000	3,570,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・材料

キーワード：木造住宅，目標性能，変形性能，被害低減，地震被害，供用期間，損傷確率

1. 研究開始当初の背景

東南海・南海地震や宮城県沖地震のような地震発生が確実視されている地域だけでなく、地震の活動期に入ったと言われる日本全国では、人的安全性に最も大きく関わる木造住宅の地震被害をいかに低減させていくかが、緊急の課題となっている。地震被害の低減を目的とした木造住宅の耐震補強の促進が不可欠となっているが、耐震診断において安全と言われる耐震性

能レベルが、地域の地震環境を考慮した地震被害想定の中では、どの程度の耐震性能レベルに相当するかについて十分に検討されているわけではなく、また同様に、近年の被害地震における強震動記録に対しても、被害低減に有効に作用する耐震性能は明らかになっていない。さらに、建築物の供用期間は地震の発生間隔に比べれば非常に短い、供用期間中においても木造住宅の維持管理方法によっては、耐震性

能も変化する可能性があり、いつの時点で地震に遭遇するかによって、地震被害程度は大きく異なる。そのため、今後発生が危惧される地震に対する被害低減を考えて行く上では、建築時や現時点での木造住宅の耐震性能に基づく地震被害予測だけでなく、木造住宅の維持管理方法の違いや経年変化の影響による耐震性能の変化を考慮可能な地震損傷確率予測手法が必要とされつつある。

2. 研究の目的

数十年後に発生する大地震に備えた耐震改修の有効性の検証、耐震性能の高い住宅を長寿命化するための維持管理の必要性検討、地震の発生時期を考慮した地震防災対策の立案などを行っていくためには、住宅の築年数による経年変化の影響とともに、地域の地震環境を考慮して、木造住宅の供用期間中における地震被害低減のための目標性能を明らかにしておく必要がある。さらに、木造住宅の地震被害を低減させていくためには、地域の地震危険度や既存木造住宅の地震リスクと耐震補強による効果などを住民自ら認識できるようにする必要がある。

本研究では、地震被害低減のための供用期間中における木造住宅の目標性能を評価可能な手法を構築し、木造住宅の経年変化や耐震補強の影響および地震の発生確率などを考慮し、地域の地震環境の違いに基づく地震被害低減策の提案につなげるための研究を行う。

3. 研究の方法

研究の方法の概要は、図 1 に示すように、まず、近年の被害地震における木造住宅被害の分析を行い、耐震性能と地震被害程度との関係を明らかにする。次に、近年の地震被害の分析結果に基づいて、木造住宅の耐震性能やその変化および地震ハザードを考慮でき、地震被害低減のための目標性能を評価可能な損傷確率予測手法と地震リスク評価手法を提案する。最後に、提案手法を用いて、地震環境が異なる地域を対象としたパラメータ分析を行い、木造住宅の供用期間中における目標性能について分析し、耐震補強策や維持管理対策などの被害低減策について検討する。

(1) 近年の地震被害の分析

近年の被害地震(2007 年能登半島地震、新潟中越沖地震)における木造住宅被害の分析を行い、木造住宅の耐震性能と地震被害や損傷確率との関係を明らかにする。2007 年能登半島地震においては、現地調査を実施し、木造住宅の被害状況や耐震性能の把握に努めるとともに、震源域における最大地動速度を推定する。被害地域における観測地震動や推定地震動を基に、木造住宅を対象とした地震応答解析を実施

し、耐震性能と応答変形角および被害との関係について分析し、被害が発生し始める応答変形角について検討する。

(2) 木造住宅の供用期間中における目標性能を検討可能な手法の提案

次に、木造住宅の経年変化や維持管理状況と地震ハザードを考慮可能な地震損傷確率予測手法と地震リスク評価手法を提案する。近年の地震被害の分析結果に基づいて、建築年代別の木造住宅の被害率を説明可能な耐震性能の経年変化や維持管理の影響を考慮可能な地震損傷確率予測手法^{1,2)}を改良し、木造住宅の供用期間中における目標性能を検討可能な地震損傷確率予測手法、地震リスク評価手法を提案する。

(3) 地震被害低減のための木造住宅の耐震性能の検討

提案した地震損傷確率予測手法および地震リスク評価手法を用いて、木造住宅の被害要因(供用期間、経年変化、耐力、変形性能など)についてパラメータ分析を行い、各要因が損傷確率に及ぼす影響度を分析するとともに、被害低減のための目標性能に及ぼす影響を検討する。地震ハザードの異なる地域として、京都、大阪、高知を対象とした地震損傷確率予測の事例解析を行い、木造住宅の地震被害低減に有効に作用する耐震性能や重要となる要因について検討する。また、耐震診断や設計時に用いられる地震動を用いた分析を行い、耐震診断や設計時に要求される木造住宅の耐震性能と地域の地震環境から求まる木造住宅の損傷確率との関係を明らかにした上で、地震被害の低減に有効に作用する木造住宅の耐震性能について検討を行う。

4. 研究成果

近年の被害地震における木造住宅被害の分析を行い、被害が生じた木造住宅の耐震性能について、木造住宅の耐震性能(耐力や変形性

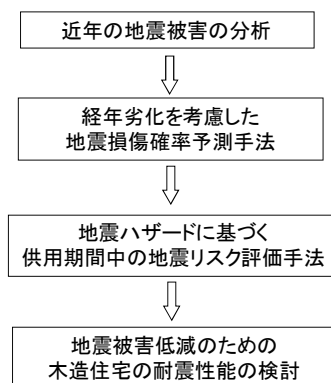


図 1 研究の方法のフローチャート

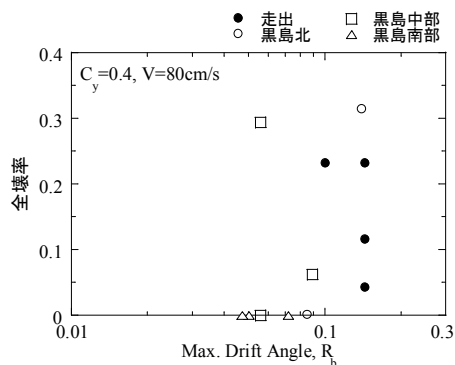
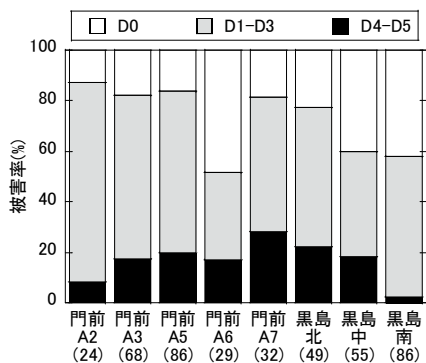
能)と地震被害や損傷確率との関係を明らかにすることを目的として研究を行った。さらに、木造住宅の耐震性能や築年数による経年変化の影響や地域の地震ハザードの違いに着目した木造住宅の地震損傷確率予測のパラメータ分析を行い、木造住宅の地震被害低減の提案に繋げるための検討を行った。

- (1) 能登半島地震において、現地被災調査を実施し、木造住宅の被害状況を明らかにし、震源域における最大地動速度を推定するとともに、木造住宅に作用した応答変形角を推定した(図 2(a))。被害地域における観測地震動や推定地震動を基に、木造住宅を対象とした地震応答解析を実施し、耐震性能と応答変形角と被害程度との関係について分析した。全壊となった木造住宅では、最大応答変形角は 1/10rad は超えていた可能性が高い(図 2(b))^{3,4)}。
- (2) 近年の地震被害の分析結果に基づいて、木造住宅の応答変形角と被害との関係を整理し、木造住宅の供用期間を考慮した地震被害低減のための目標性能を評価可能な地震損傷確率予測手法と地震リスク評価手法を提案した(図 3)⁵⁾。
地震損傷確率予測手法では、耐震診断結果に基づいて木造住宅のモデル化を行

い、等価 1 質点系に置換した質点系モデルを用いて、地震動に対する木造住宅の最大応答変形角を推定する。そして、最大応答変形角で関係づけた損傷確率曲線を用いて、木造住宅の損傷確率を求める。

地震リスク評価手法では、地域の木造住宅の構法や気候、維持管理による違いを考慮して、築年数によって木造住宅の耐震性能を変化させ、変化させた損傷確率曲線と損傷レベルに応じた損失額から地震ロス関数を算定する。一方、地震ハザードについては、長期的な地震発生確率の評価方法⁶⁾に従って算定し(図 4)、求めた地震ロス関数と地震ハザード曲線から供用期間中の地震リスク密度関数を求め、それを積分することで、地震被害額の期待値として地震リスクを評価する(図 5)。地域の地震環境、木造住宅の耐震性能の変化を考慮し、木造住宅の地震リスクと耐震補強や維持管理による被害低減効果を評価することができる。

- (3) 京都市の木造住宅を対象として、地震損傷確率予測を行い、木造住宅の地震被害低減法について検討した。京都市における広域的な木造住宅の被害大の損傷確率の分布を求め、大きな被害が懸念される地域を想定地震動に基づいて特定した(図 6)。多くの場合、木造住宅の耐力を向上させることで、損



(a) 被害率
 (b) 全壊率と最大応答変形角との関係
 図 2 2007 年能登半島地震の震源域における木造住宅被害の分析

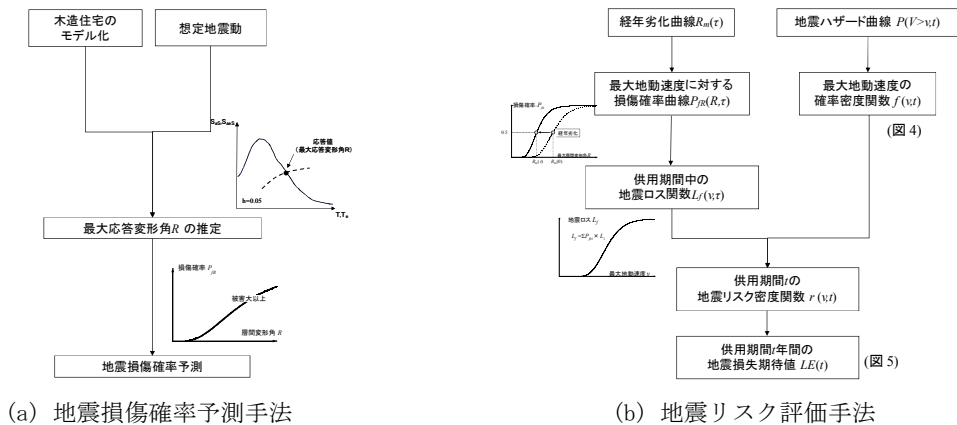


図 3 提案手法の概要

傷確率を低減できることが確認されたが、地震動特性によっては、木造住宅の耐力を上昇させるだけでは必ずしも損傷確率の低減に繋がらない場合があり、耐力上昇とともに変形性能の確保が重要であることを指摘した(図 7)。また、木造住宅の設計用地震動を用いた場合、降伏せん断力係数 C_y が 0.3 程度以上では、被害大の損傷確率が 10% 以下となる。一方、設計時の安全限界変形角 $1/30\text{rad}$ 以下に応答を抑えるためには、 C_y が 0.6 程度以上必要となるが、その場合、被害大の損傷確率は殆ど発生しない(図 7)。

(4) 地震ハザードが大きく異なる大阪、高知を対象として(図 4)、地震リスク評価のパラメータ分析を行った(図 5,8)。大阪市のように、南海

・東南海地震の震源域から比較的離れた地域でも、耐力が低い住宅では損傷確率が高くなる場合もあり、必要最低限以上の耐力を確保することは重要となる。一方、高知市のように、南海・東南海地震の震源域で地震の発生確率の高い地域では、耐力が高い住宅ほど経年変化による耐震性能の低下の影響も大きく、被害低減を考える上では住宅の維持管理対策も重要となることを示した。

本研究では、木造住宅の築年数による経年変化の影響を組み入れた地震損傷確率予測手法、地震リスク評価手法を提案し、被害低減に有効に作用する耐震性能について検討を行った。木造住宅の耐震性能と被害との関係や経年変化による耐震性能の変化については、地震被

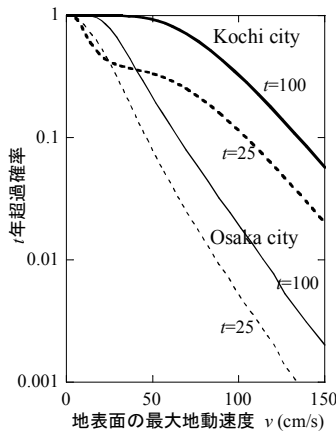
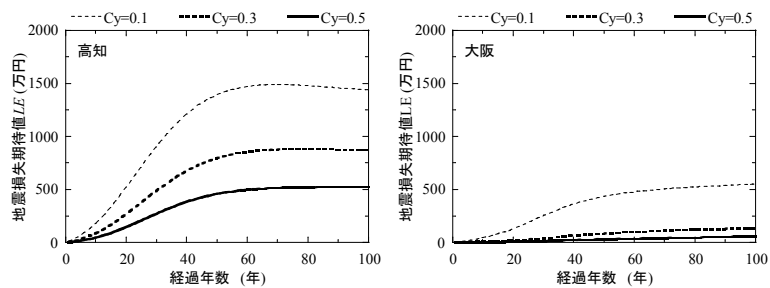


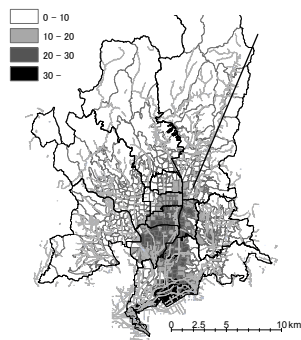
図 4 地震ハザード曲線の比較



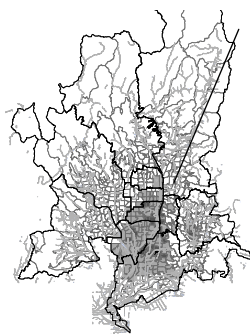
(a) 高知

(b) 大阪

図 5 地震損失期待値



(a) $C_y=0.1$

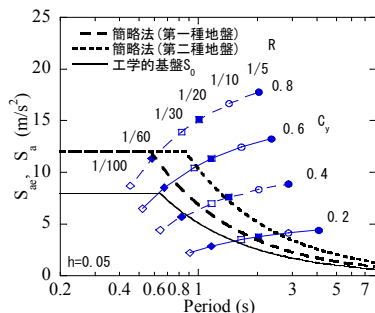


(b) $C_y=0.2$

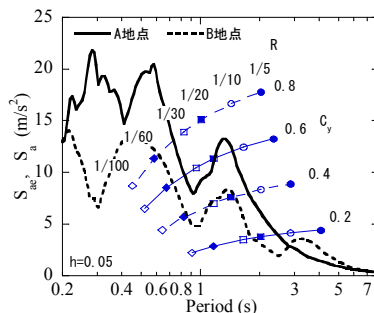


(c) $C_y=0.3$

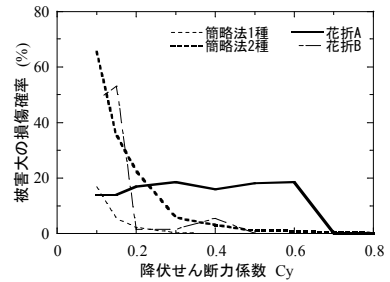
図 6 花折断層帯の想定地震動に対する被害大の損傷確率の空間分布



(a) 設計用地震動に対する応答



(b) 花折断層帯の想定地震動に対する応答



(c) 降伏せん断力係数 C_y による損傷確率の変化

図 7 被害大の損傷確率の変化

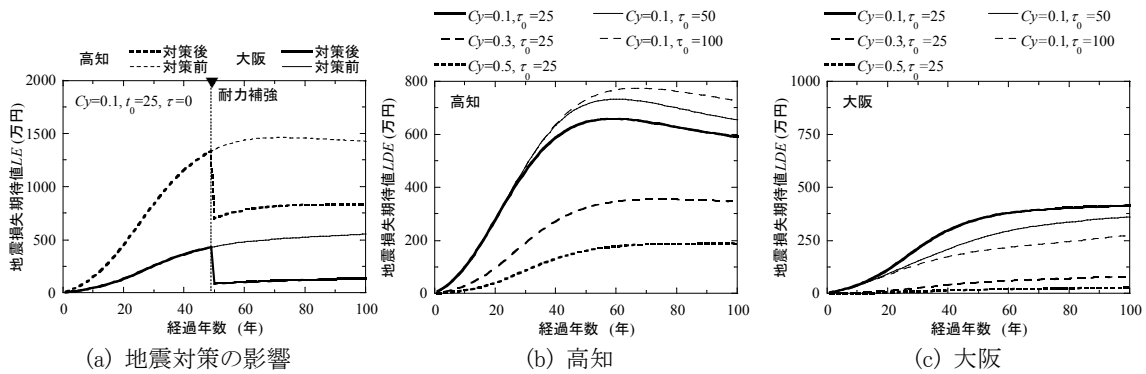


図 8 地震リスク評価の結果

害事例に基づいて仮定し評価しているが、築年数による経年変化が木造住宅の耐震性能に及ぼす影響は十分に明らかになっているとは言えない。経年変化が耐震性能や被害に及ぼす影響については、今後も調査分析を行い、地震被害事例のみならず実験データも含めて検討していくことが今後も重要であると考えられる。

(参考文献)

- 1) 森井雄史, 林康裕, 更谷安紀子:耐震性能評価と地震被害経験に基づいた木造住宅の地震時損傷度予測手法, 地域安全学会論文集, No.7, pp.281-289, 2005.
- 2) 林 康裕, 更谷安紀子, 森井雄史:木造住宅の経年劣化と地域地震環境を考慮した地震時損傷度予測手法, 日本建築学会構造系論文集, No.615, pp.77-84, 2007.5.
- 3) 新井 洋, 森井雄史, 山田真澄, 清水秀丸, 林 康裕:2007年能登半島地震の震源域における最大地動速度の評価と木造住宅被害の要因分析, 日本建築学会構造系論文集, No.624, pp.227-234, 2008.2.
- 4) 清水秀丸, 新井 洋, 森井雄史, 山田真澄, 林 康裕:2007年能登半島地震における被災木造建物の耐震性能と地域特性の評価, 日本建築学会構造系論文集, 第73巻, No.631, pp.1503-1510, 2008.9.
- 5) 長谷部 裕, 更谷安紀子, 森井雄史, 林 康裕: 損失低減や総費用低減に着目した木造住宅の地震対策評価, 地域安全学会論文集, No.10, pp.31-38, 2008.11.
- 6) 地震調査研究推進本部地震調査委員会:長期的な地震発生確率の評価手法について, <http://www.jishin.go.jp/main/choukihyoka/01b/chouki020326.pdf>

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 12 件)

- 1) Y.Hasebe, A.Saratani, T.Morii and Y.Hayashi:Earthquake Countermeasures for Wood Houses to Mitigate Seismic Loss and Total Cost, ICOSSAR2009, 2009.9(accepted), 査読有.
- 2) 長谷部 裕, 更谷安紀子, 森井雄史, 林 康裕: 損失低減や総費用低減に着目した木造住宅の地震対策評価, 地域安全学会論文集, No.10, pp.31-38, 2008.11, 査読有.
- 3) T.Morii, Y.Hayashi, Y.Kumagai and Y.Ohishi:Cumulative Damage of High-Rise Buildings During The In-Service Period in OSAKA, JAPAN, No.05-01-0493, 14WCEE, 2008.10, 査読有.
- 4) 清水秀丸, 新井 洋, 森井雄史, 山田真澄, 林 康裕:2007年能登半島地震における被災木造建物の耐震性能と地域特性の評価, 日本建築学会構造系論文集, 第73巻, No.631, pp.1503-1510, 2008.9, 査読有.
- 5) 森井雄史, 井田祥子, 林 康裕:微動計測に基づく京町家の簡易耐震診断(その1)固有振動数の変化, 日本建築学会大会学術講演梗概集(中国), 構造Ⅲ, pp.121-122, 2008.9, 査読無.
- 6) 長谷部裕, 更谷安紀子, 森井雄史, 林 康裕: 損失低減や総費用低減に着目した木造住宅の地震対策評価(その1)評価指標, 日本建築学会大会学術講演梗概集(中国), 構造Ⅱ, pp.769-770, 2008.9, 査読無.
- 7) 更谷安紀子, 長谷部裕, 森井雄史, 林 康裕: 損失低減や総費用低減に着目した木造住宅の地震対策評価(その2)ケーススタディ, 日本建築学会大会学術講演梗概集(中国), 構造Ⅱ, pp.771-772, 2008.9, 査読無.
- 8) 山田真澄, 林 康裕, 森井雄史, 朴 舜千, 神原 浩, 大西良広, 清水秀丸:2007年新潟県中越沖地震における社寺被災率とPGV推定, 日本建築学会技術報告集, 第14巻, 第27号, pp.351-356, 2008.6, 査読有.

- 9) 工藤 涉, 森井雄史, 林 康裕: 京都盆地における兵庫県南部地震時の地震動推定と木造建物被害の分析, 日本建築学会構造工学論文集, pp.521-528, 2008.3, 査読有.
- 10) 新井 洋, 森井雄史, 山田真澄, 清水秀丸, 林 康裕: 2007 年能登半島地震の震源域における最大地動速度の評価と木造住宅被害の要因分析, 日本建築学会構造系論文集, No.624, pp.227-234, 2008.2, 査読有.
- 11) 森井雄史, 新井 洋, 林 康裕, 山田真澄, 清水秀丸: 2007 年能登半島地震の震源域における木造住宅被害の要因分析, 日本地震工学会大会 - 2007 梗概集, pp.420-421, 2007.11, 査読無.
- 12) 森井雄史, 宮崎陽子, 清水秀丸, 林 康裕: 非構造部材が木造軸組の耐震性能に及ぼす影響、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), 構造Ⅱ, pp.297-298, 2007.8, 査読無.

[学会発表] (計 6 件)

- 1) 森井雄史: 微動計測に基づく京町家の簡易耐震診断 (その1) 固有振動数の変化, 日本建築学会大会, 構造Ⅲ, 2008年9月19日, 広島大学.
- 2) 新井 洋, 林 康裕, 森井雄史, 清水秀丸, 山田真澄: 墓石転倒率から推定した2007 年能登半島地震の震源域の最大地動速度分布, 日本地震工学会大会, 2007 年 11 月 13 日, 東京大学地震研究所.
- 3) 森井雄史, 新井 洋, 林 康裕, 山田真澄, 清水秀丸: 2007 年能登半島地震の震源域における木造住宅被害の要因分析, 日本地震工学会大会, 2007年11月13日, 東京大学地震研究所.
- 4) 清水秀丸, 森井雄史, 林 康裕, 山田真澄, 新井 洋, 日本地震工学会大会, 2007年11月13日, 東京大学地震研究所.
- 5) 新井 洋, 林 康裕, 森井雄史, 清水秀丸: 2007年能登半島地震における門前町走出の最大地動速度の推定、日本建築学会大会, 2007年8月31日, 福岡大学.
- 6) 森井雄史: 非構造部材が木造軸組の耐震性能に及ぼす影響、日本建築学会大会, 2007年8月31日, 福岡大学.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森井 雄史 (MORII TAKESHI)
 京都大学・大学院工学研究科・助教
 研究者番号: 10419450

(2) 研究分担者: なし

(3) 連携研究者: なし