

令和元年6月18日現在

機関番号：17501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06576

研究課題名(和文) 部分充填型メーソリー建築物の耐震性能評価と性能向上技術

研究課題名(英文) Seismic Performance Evaluation and Seismic Retrofitting Technology for Existing Partially Grouted Concrete Masonry Buildings

研究代表者

菊池 健児 (KIKUCHI, KENJI)

大分大学・理工学部・教授

研究者番号：50117397

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：既存補強コンクリートブロック造建物の耐震性能評価や耐震改修等の技術を向上させるために、まず既存建物の実地調査や地震被害調査を行い、本構造による既存建物の構造実態や劣化状況およびコンクリートブロック強度を把握した。次いで、直交壁が耐力壁の耐震性能に及ぼす影響を水平加力実験を行って究明した。さらに、耐震改修としてポリマーセメントモルタルを用いて耐力壁を増厚補強することを提案し、高い補強効果が得られることを実験により実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、既存補強コンクリートブロック造建物の耐震性能評価において未解決の課題であった耐力壁の耐震性能に及ぼす直交壁の影響とその評価に関して有用な知見を与えている。また、本構造の耐震改修に適用可能な耐力壁の耐震補強法を補強効果とともに示している。さらに、本研究の成果は途上国等におけるメーソリー建物の耐震安全性向上にも活用できるものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：In order to improve the seismic performance evaluation and seismic retrofit technology of existing partially grouted concrete masonry buildings, we first investigate the structural details, deterioration condition and concrete masonry unit strength of the existing buildings by conducting field survey for existing buildings and earthquake damaged buildings. The effect of intersecting walls on the seismic performance of bearing walls was investigated by lateral loading tests. In addition, we proposed a seismic retrofit method for existing partially grouted concrete masonry walls with polymer-cement mortar, PCM, and it was verified by the lateral loading tests that the application of reinforced PCM overlay provides higher seismic performance to the wall.

研究分野：工学

キーワード：補強コンクリートブロック造 メーソリー 耐力壁 耐震性能評価 耐震改修 直交壁 構造実態調査

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

わが国では第2次世界大戦後に不燃住宅として開発された補強コンクリートブロック造(以下、補強ブロック造)建物が1960~70年代に公営や民間の低層住宅を中心として全国各地に数多く建設され、現在も使用されている。しかしながら、部分充填型のコンクリートブロック造である本構造の耐震性能評価に関しては、耐力壁の耐震性能に及ぼす直交方向に接続する壁(直交壁)の影響など、未解明の重要な課題が残されている。また、既存補強ブロック造建物に対する耐震性能評価方法または耐震診断方法は未だ確立されておらず、さらに耐震補強等改修方法に関する研究も少ない。一方で、本構造建物の耐震診断や改修に関して自治体や設計者などから問い合わせや相談が多くあり、耐震診断方法や改修方法の確立が急務となっていた。

2. 研究の目的

(1) 補強ブロック造建物の現状調査や地震被害調査を行い、本構造による既存建物の構造実態や劣化状況を把握する。

(2) 直交壁が補強ブロック造耐力壁の最大耐力や変形性能などの耐震性能に及ぼす影響を水平加力実験により明らかにし、その評価方法を検討する。

(3) 耐力壁を耐震補強することにより既存建物の耐震性能を向上させる場合を取り上げ、ポリマーセメントモルタルで壁体を増厚する方法による補強効果を実験により検証する。実験では直交壁の影響を含めて検討を行う。

(4) 既存補強ブロック造建物の耐震性能評価方法を検討するとともに、提案する耐震改修方法に関する補強性能評価方法を検討する。

3. 研究の方法

(1) 既存補強ブロック造建物の構造実態や劣化状況に関する資料の蓄積を図るため、空洞コンクリートブロック(以下、ブロック)の製造量が最も多い群馬県において平成28年度に4棟、平成29年度に1棟の建物に対して実地調査を行った。

(2) 平成28年4月16日に発生した熊本地震による補強ブロック造公営住宅の地震被害調査を日本建築学会既存補強コンクリートブロック造耐震性能評価指針検討小委員会(主査:本研究代表者)と協働して熊本県内の震度6強および6弱の地域で行い、本構造の耐震性能を検証した。調査棟数は18団地95棟である。

(3) せん断破壊型の補強ブロック造耐力壁の耐震性能に及ぼす直交壁の影響を検討するため、平成28年度に壁厚の約3倍および約9倍の長さの直交壁を有する試験体と直交壁なしの試験体計3体(eシリーズ)に対して水平加力実験を行い、これらの試験体とそれまでに実施してきた試験体の実験結果を総合して検討した。表1に検討を行った試験体の一覧を示し、図1に試験体H3eの形状・寸法および配

表1 試験体一覧(せん断破壊型試験体)

試験体(HW-)	試験体断面形状	ブロック壁体 <sup>*1</sup>			軸方向応力度 $\sigma_0$ (MPa)	載荷軸力 $N$ (kN)	組積体 <sup>*2</sup> 圧縮強度 <sup>*3</sup> $\sigma_m$ (MPa)	引用文献
		直交壁						
		厚さ (mm)	端部縦筋	水平補強筋				
Ia					0.49		7.3	
H1a		75	1-9φ	5φ @300	0.26	42.0	8.1	
H2b		75	1-9φ	5φ @300	0.19	42.0	10.1	
H2-NTb					0.49			
Ic						42.0	10.6	
H1-NTc		75	1-9φ	5φ @300	0.49	78.9	11.2	
H2-NTc						108	11.4	
Ie								
H1e		75	1-5φ	5φ @300	0.26	42.0	10.1	
H3e					0.15		10.0	

\*1 耐力壁(ブロック壁)の配筋は全試験体共通で、端部曲げ補強筋:1-9φ、中間縦筋:5φ@200、水平補強筋:5φ@300としている

\*2 全断面圧縮強度

\*3 基本形ブロックを目地モルタルを用いて3段に組積したもの

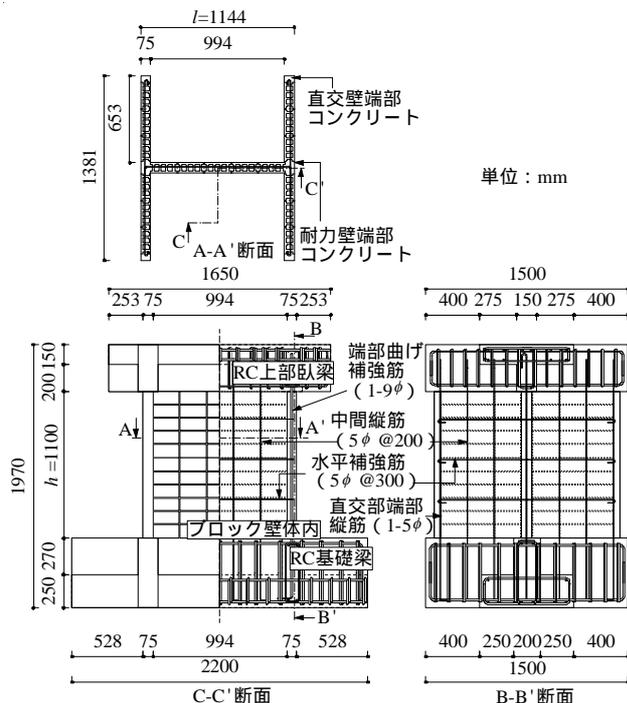


図1 直交壁付き試験体(H3e)

筋詳細を示す。試験体名の最後の文字が実験シリーズを示し、aシリーズでは直交壁の有無、bシリーズでは軸力、c、eシリーズでは直交壁長さを実験変数としている。試験体の平面形状は耐力壁のみのI形と、直交壁付きのH形である。試験体には実大の1/2スケールとした縮小サイズのブロックを用いている。各試験体の組積体圧縮強度 $\sigma_m$ は表1に示す。実験では図2に示す加力装置を用い、鉛直方向の油圧ジャッキにより表1に示した一定鉛直軸力を载荷した状態で、壁体の中央高さに設置した水平方向の複動油圧ジャッキにより変位漸増の正負繰り返し加力を行った。

また、曲げ破壊型の耐力壁における直交壁の影響についても、壁厚の約3倍、6倍の長さをもつ直交壁付き耐力壁試験体の水平加力実験を行い検討した。

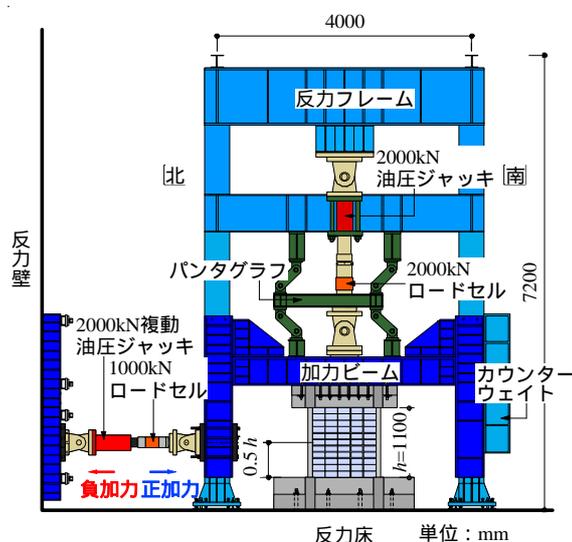


図2 加力装置（せん断破壊型試験体）

(4) 補強ブロック造の耐震補強として耐力壁を増厚補強する方法を取り上げ、せん断破壊型の直交壁付き耐力壁試験体に対して、ブロック壁体の片側に補強筋を配置しポリマーセメントモルタル（以下、PCM）により壁体を増厚補強し、水平加力実験を行い、補強壁体の耐震性能の評価法を検討した。平成29年度に実験を行った試験体3体は耐力壁の両端部に壁厚の約3倍の長さの直交壁が取り付いており、1体が無補強試験体、2体がPCM補強試験体である。PCM補強した試験体H1PF-NT、H1P-NTは耐力壁部分の片面のみに補強鉄筋を配した後、PCM（厚さ30mm）により増厚補強を行った（図3参照）。2体の補強試験体の違いは、PCM補強壁体内の端部曲げ補強筋のRC上部臥梁とRC基礎梁への定着の有無である。実験は図2に示した加力装置を用いて上記(3)と同様な加力を行った。

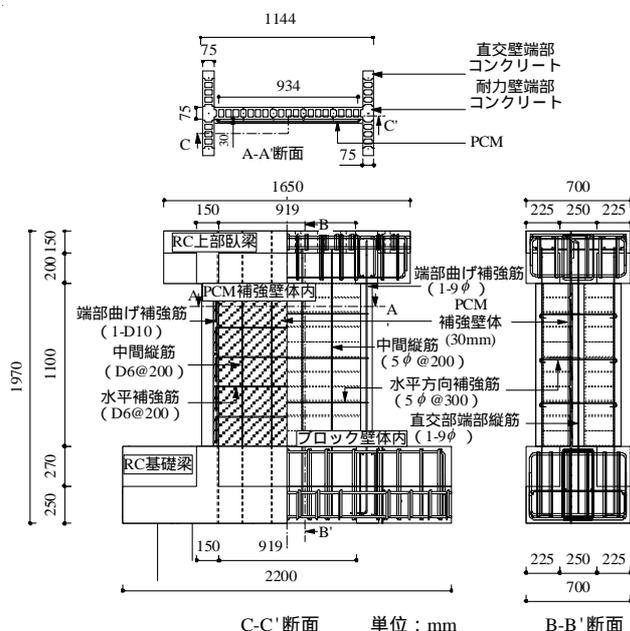


図3 PCM補強した直交壁付き試験体（H1PF-NT）

#### 4. 研究成果

(1) 平成28年度に、群馬県において4棟の建物(階数:2~3,建設年:1962年~1985年)に対して現地調査を行った。リバウンドハンマー試験によりブロックの圧縮強度推定した結果、いずれの建物も建設当時のブロックのJIS規格強度よりかなり高い強度を有することが明らかとなった。また、平成29年度に、同じく群馬県にある1955年に竣工した平屋の共同住宅の調査を行った。この建物には低い圧縮強度のブロックが用いられている。建物のブロック壁体から切り出した角柱試験体の圧縮試験の結果、当時のJISに規定されるブロック強度に対し約1.2倍の強度を有することが確認された。また、本建物の耐震性能を日本建築学会の既存補強コンクリートブロック造耐震性能評価指針検討小委員会で研究代表者と分担者が中心となって作成中の耐震性能評価法を用いて評価した結果、設定した必要性能の2.4~3.3倍程度の性能を有する結果となった。さらに、このような耐震性能の試行評価を平成28年度調査の3階建て建物や日本建築学会：補強コンクリートブロック造設計規準・同解説（1964年版）2階建て設計例建物に対しても行い、概ね適切な評価法になっていることが確認された。

(2) 平成28年熊本地震による補強ブロック造建物の地震被害調査の結果、震度6強および6弱の地域に建つ平屋および2階建の公営住宅95棟において、上部構造の被害は、小破3棟、軽微20棟、無被害72棟であり、中破以上の被害は見られなかった。また、基礎構造の被害は小破が3棟に見られた。調査結果から、過去の地震被害調査で見られたのと同様に補強ブロック造建物は地震被害が非常に少なく耐震性能が高いことが改めて確認された。

(3) 曲げ破壊型の耐力壁における直交壁の影響に関して、壁厚の約 3 倍と約 6 倍の長さをもつ直交壁付きの耐力壁試験体の水平加力実験結果より、直交壁が取り付くことによって、初期剛性、曲げひび割れ強度、曲げ終局強度はそれぞれ増大することを確認した。これらの耐震性能のうち、初期剛性、曲げひび割れ強度は全断面を有効とした計算値で概ね評価でき、曲げ終局強度は全充填型である型枠ブロック造耐力壁の算定式を準用し、直交壁内の縦筋を耐力壁の端部曲げ補強筋として扱うことにより概ね評価できることを示した。

(4) 表 1 に示したせん断破壊型耐力壁試験体 10 体に対する水平加力実験結果を用いて耐力壁の耐震性能に及ぼす直交壁の影響を総合的に検討した。代表的な結果として、図 4 に水平荷重 ( $Q$ ) - 層間変形角 ( $R$ ) 関係の包絡線を示す。耐力壁のせん断終局強度は直交壁が取り付くことにより 1.1 ~ 1.3 倍程度の増大することが確認された。また、初期剛性、せん断ひび割れ強度も増大が見られ、直交壁付き試験体の初期剛性の実験値は、全断面を有効とした計算値と概ね一致した。これは、初期剛性においては全断面が有効であることを意味している。一方、直交壁付き試験体のせん断ひび割れ強度は、材料力学の主応力度に基づく式により、直交壁なしの試験体と同等の精度で評価できた。せん断終局強度は、型枠ブロック造耐力壁の算定式を準用し、直交壁の考慮の仕方を変数として算定精度を考察した。また、履歴ループの性状は直交壁の有無によらず除荷時剛性低下指数を 0.7 程度とした Takeda モデルにより概ね近似できた。

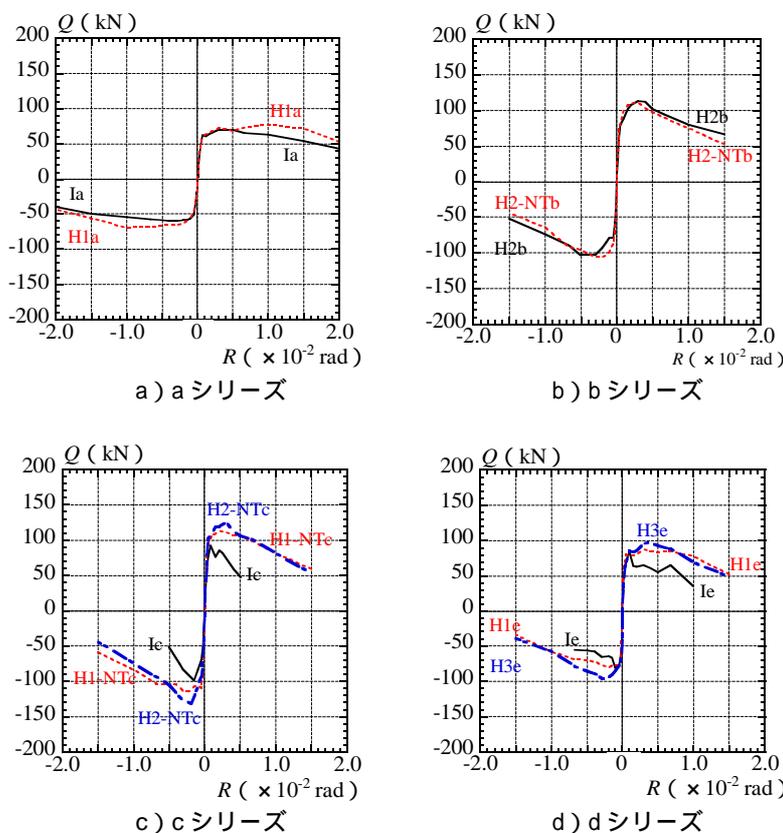


図 4  $Q$ - $R$ 関係包絡線 (せん断破壊型試験体)

(5) PCM により耐力壁を増厚補強した場合の耐震補強効果を平成 29 年度に実験した 3 体 (図 5 参照) に以前に行った耐力壁のみの試験体 4 体の実験結果を合わせて総合的に検討した。その結果、耐力壁のみ、直交壁付きのどちらの試験体も初期剛性や最大耐力に対する顕著な補強効果が実証できた。また、PCM 補強壁体の最大耐力をブロック壁体と PCM 壁体の終局強度を単純累加により求め、その算定精度を考察した結果、安全側に評価された。

(6) 本研究では、補強ブロック造耐力壁の耐震性能において未解明であった直交壁の影響を実験的に究明し、また、耐震補強法として PCM により耐力壁を増厚補強する方法

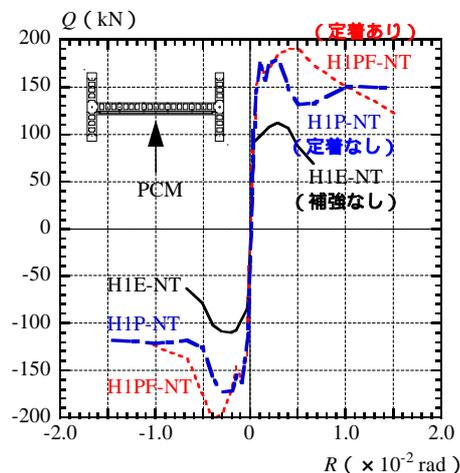


図 5  $Q$ - $R$ 関係包絡線 (PCM 補強直交壁付き試験体)

を提案し、耐震性能に関する補強効果を実証した。本研究の成果は、既存補強ブロック造建物の耐震性能評価および耐震補強において有用な知見を与えていると考えられる。また、海外ではメーソンリー構造による建物が非常に多く、特に途上国等においては耐震性が低いメーソンリー建物の地震被害が繰り返し発生しているのが現状である。これらの国に耐震性に優れている部分充填型のコンクリートブロック造を導入し普及させて行くうえでも本研究成果は役立つものと考えられる。

#### <引用文献>

池田 啓太, 菊池 健児, 黒木 正幸, 寺尾 佳貴, 補強コンクリートブロック造耐力壁の耐震性能に及ぼす直交壁の影響に関する研究(その1) 実験計画およびせん断破壊型試験体の水平加力実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, 2014, 865-866

池田 啓太, 菊池 健児, 黒木 正幸, 寺尾 佳貴, 後藤 滉明, 補強コンクリートブロック造耐力壁の耐震性能に及ぼす直交壁の影響に関する研究(その2) 軸力をパラメータとしたせん断破壊型試験体の水平加力実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, 2015, 763-764

後藤 滉明, 菊池 健児, 黒木 正幸, 池田 啓太, 寺尾 佳貴, 補強コンクリートブロック造耐力壁の耐震性能に及ぼす直交壁の影響に関する研究(その3) 直交壁長さをパラメータとしたせん断破壊型試験体の水平加力実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, 2015, 765-766

後藤 滉明, 菊池 健児, 黒木 正幸, 菅 将紀, 補強コンクリートブロック造耐力壁の耐震性能に及ぼす直交壁の影響に関する研究(その5) 直交壁長さをパラメータとしたせん断破壊型試験体の追加実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, 2017, 843-844

#### 5. 主な発表論文等

##### [雑誌論文](計 2件)

菅 将紀, 黒木 正幸, 菊池 健児, 直交壁の取り付いたせん断破壊型補強コンクリートブロック造耐力壁の耐震性能に関する研究, コンクリート工学年次論文集, 査読有, 40巻, 2018, 289 - 294

黒木 正幸, 菊池 健児, 後藤 滉明, 菅 将紀, 曲げ破壊型補強コンクリートブロック造耐力壁の耐震性能に及ぼす直交壁の影響に関する研究, コンクリート工学年次論文集, 査読有, 39巻, 2017, 271 - 276

##### [学会発表](計 11件)

菅 将紀, 菊池 健児, 黒木 正幸, 既存補強コンクリートブロック造耐力壁に対する耐震性能評価に関する検討(その1) 耐震性能に及ぼす直交壁の影響, 日本建築学会九州支部研究報告会, 2019年

菅 将紀, 菊池 健児, 黒木 正幸, 既存補強コンクリートブロック造耐力壁に対する耐震性能評価に関する検討(その2) ポリマーセメントモルタル(PCM)による耐震補強効果, 日本建築学会九州支部研究報告会, 2019年

菅 将紀, 菊池 健児, 黒木 正幸, 野中 嗣子, 既存補強コンクリートブロック造壁体の耐震補強に関する研究(その4) ポリマーセメントモルタルにより補強した直交壁付き壁体の水平加力実験, 日本建築学会大会学術講演会, 2018年

小野 達矢, 菊池 健児, 黒木 正幸, 日比野 英俊, 朝野 大地, 群馬県にある補強コンクリートブロック造共同住宅の構造調査および耐震性能評価, 日本建築学会大会学術講演会, 2018年

朝野 大地, 菊池 健児, 黒木 正幸, 既存補強コンクリートブロック造建物の耐震性能評価に関する一検討, 日本建築学会九州支部研究報告会, 2018年

菅 将紀, 菊池 健児, 黒木 正幸, 野中 嗣子, 補強コンクリートブロック造耐力壁の耐震補強法に関する実験的研究(その4) ポリマーセメントモルタル補強した直交壁付き壁体の水平加力実験, 日本建築学会九州支部研究報告会, 2018年

朝野 大地, 黒木 正幸, 菊池 健児, 西田 哲也, 山口 謙太郎, 五十嵐 泉, 西野 広滋, 植松 是, 菅野 秀人, 2016年熊本地震による補強コンクリートブロック造建物の被害調査, 日本建築学会大会学術講演会, 2017年

後藤 滉明, 菊池 健児, 黒木 正幸, 菅 将紀, 補強コンクリートブロック造耐力壁の耐震性能に及ぼす直交壁の影響に関する研究(その5) 直交壁長さをパラメータとしたせん断破壊型試験体の追加実験, 日本建築学会大会学術講演会, 2017年

朝野 大地, 黒木 正幸, 菊池 健児, 西田 哲也, 山口 謙太郎, 五十嵐 泉, 西野 広滋, 植松 武是, 菅野 秀人, 2016年熊本地震における補強コンクリートブロック造建物の被害調査, 日本建築学会九州支部研究報告会, 2017年

後藤 滉明, 菊池 健児, 黒木 正幸, 野中 嗣子, 補強コンクリートブロック造耐力壁の耐震性能に及ぼす直交壁の影響(その5) 直交壁長さをパラメータとしたせん断破壊型試験体の追加実験, 日本建築学会九州支部研究報告会, 2017年

後藤 滉明, 菊池 健児, 黒木 正幸, 朝野 大地, 補強コンクリートブロック造耐力壁の耐震

性能に及ぼす直交壁の影響に関する研究(その4) 曲げ破壊型試験体の水平加力実験, 日本建築学会大会学術講演会, 2016年

[その他]

ホームページ 大分大学工学部創生工学科建築学コース 建築構造学研究室  
<http://www.arch.oita-u.ac.jp/a-kou/STRENG-LAB/index.htm>

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名: 黒木 正幸

ローマ字氏名: (KUROKI, masayuki)

所属研究機関名: 大分大学

部局名: 工学部

職名: 教授

研究者番号(8桁): 10295165

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名: 野中 嗣子

ローマ字氏名: (NONAKA, hideko)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。