

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年8月23日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2011～2013

課題番号：23310127

研究課題名(和文)多重折畳みシザーズ機構を持つアルミ合金実験橋の研究開発

研究課題名(英文) Research and development of a new type of experimental bridge made of aluminum alloy materials with a multiplex folding scissors mechanism

研究代表者

有尾 一郎 (ARIO, ICHIRO)

広島大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：50249827

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,800,000円

研究成果の概要(和文)：近年、地震、津波、集中豪雨などによる自然災害が多発し、道路や橋梁などのライフラインが寸断し、それらに対する災害リスクが高まっている。復旧の速さは生活に関わる優先かつ重要な課題である。本研究課題は、展開構造物の発展とその可能性を確認するために、スマート構造概念に基づく、多重に折畳める仮設橋システムの実験橋を実際に製造し、設計解析ならびに強度実験によってその可能性を検証することにある。構造解析学上の後座屈解析理論から多重折畳み展開機構による橋の技術を伸展させることによって、次世代の安全でスマートな仮設橋システムの開発を進めてきた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

橋などの長尺構造物を基礎工事無しで迅速に架橋する展開構造原理を構築すると共に、実際にフルスケールサイズの初の実験橋を設計・製作し、公開実験を通してその革新的な架橋性能を明らかにできた。この架橋方式と構造形式の効果と効用は大きく、安全に当初の開発設計目標をクリアした。その結果、英国BBCや米国土木学会ASCEなど多くの海外メディアで紹介された。災害発生時の橋ライフラインを迅速にバックアップする手段の一つを構築することができたことが本研究開発の最大の成果である。

研究成果の概要(英文)：In recent years, the natural disasters by earthquake, tsunami, local severe rain, etc. occur frequently, lifelines, such as a road and a bridge, cut in pieces, and the disaster risk to them is increasing in the world. Restorative speed is the priority and the important issue in connection with a life. In order to corroborate development of a deployment structure and its possibility, this research task actually manufactures the experiment bridge of a temporary bridge system "Mobile bridge" foldable to multiplex based on a smart structural concept, and there is the possibility by design analysis in verifying and intensity experiment. By extending technology as a structure of the innovative bridge with the multiplex folding scissors mechanism produced from the analytical theory of post-buckling behavior on structural engineering issues. The experimental bridge of a next-generation safe and smart bridge system has been developed.

研究分野：複合新領域

キーワード：展開スマート構造 伸びる橋 緊急仮橋 シザーズ構造 ライフライン復旧

1. 研究開始当初の背景

社会背景として

国内外で、地震、津波、集中豪雨などによる自然災害が多発し、道路や橋梁などのライフライン(写真-1)が寸断し、それらに対する災害リスクが高まっている。復旧の速さは生活に関わる優先かつ重要な課題である。しかしながら、復旧時間を最優先とした復旧工法に関する近代的なツールが乏しいのが実状である。そこで、展開構造物の発展とその可能性を確認するために、スマート構造概念(図-1)に基づく、多重に折畳める展開橋システム(図-2)を実際に構築し、解析ならびに強度実験による実用化の検討を本研究課題とした。構造解析学の後座屈解析理論から生み出された多重折畳み展開機構による革新的な橋技術を進化させることによって、自治体での防備も考慮に入れた次世代の安全でスマートな仮設橋システムの技術開発に取り組んでいる。



写真-1 2009年佐用豪雨による橋被害

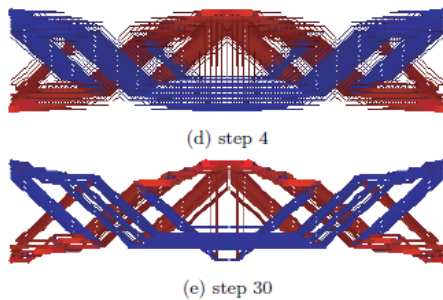


図-1 位相最適化解析結果

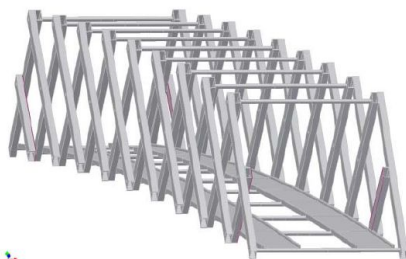


図-2 折畳める展開橋

研究の学術的背景

橋構造物の軽量化と強度の問題は、一般に相反する問題であるとともに、それが伸縮展開し可変剛性の機能性を伴う橋システムではその技術的課題はさらに困難である。本研究課題は宇宙展開構造物に共通する課題を抱えており、ある環境条件下で最大の効果と機能性を果たさなければならない。展開構造の研究動向に関しては、ケンブリッジ大学 Prof. Guest 研究グループやオックスフォード大学 Prof. You グループ、国内では JAXA 名取・樋口教授グループの創造的な学術研究がある。大阪大学基礎工学部小林教授と Bath 大学 Prof. Vincent も植物の「葉折」による展開構造の原理を創造している。また、Bath 大学非線形力学研究センター Prof. Hunt 研究グループも、円筒シェル構造体の後座屈研究により、理想とする展開構造を、折り紙を用いた座屈現象の再現スキルの考察から最適な展開トラス形態を考究している。さらに、ポーランド科学アカデミー(PAN)IPPT のスマート構造研究センター Prof. Jan Holnicki はマイクロストラクチャー構造を模した、多層パンタグラフ構造システムから多段階の折畳み方法を、MFM 構造概念として発表している。この分野の学術的な研究動向は、展開構造の技術創造や発創の種があり、学術研究上重要であると考えている。

2. 研究の目的

本研究課題に取り組むことによって、災害復旧用の仮設橋が迅速にビルトアップでき、全国の自治体に配備できれば「集落の孤立化」を早期に解消できる手段の一助になり、地域防災上の仮橋を活用できるとともに、レスキューによる人命救助や救急活動に利用できる可能性もある。昨今の集中豪雨、地震や津波によって、災害後の中核都市で店舗営業停止等の経済被害に対して、早期に復旧を短縮できると、その効果は非常に大きいものと考えられる。自然災害から国民の生命と財産を守ること、ならびに、災害復旧バックアップ基盤の開発は、我が国はもとより、世界が共通する課題であり、本研究課題は災害復旧に大いに期待できる可能性もある。地震や大雨が多発する国にとっては、公助なレスキュー構造物としての必要不可欠な緊急復旧対応システムの開発貢献の礎となる。さらに、わが国の雇用の創出と新しい産業に結び付けられる可能性もある。

具体的な研究課題の主要な目標(計画当時)

- 1) 実際に、シザーズ構造から構成される橋がクレーン等を用いずに自立展開し、橋(機械化/無人化/自動化/ロボット化)として機能するのかどうかという、新しいタイプの実スケールサイズの橋機構ならびに構造形式の導入としての研究の遂行性の意義があった。
- 2) 小型車程度の車両(荷重 40kN、橋長 20m を目標)が通行できる、迅速に展開可能な仮設

緊急橋システムの設計と構造物を実験評価用かつ現場のモニタリング用として試作してきた。

3) その構造概念に基づく実験橋の本体を製作し、実際に様々な安全性の耐力評価を実施した。

4) 設計荷重条件 2)を満たす橋システムの伸展実験を実施し、現場条件の適合性を評価してきた。これらにより、斬新で活用できるレベルの可動展開式の仮設橋システムを具現化させるとともに、各種部材の耐久実験も実施した。すなわち、より実用的で災害時の新しい橋を実現するために、使用材料や機構、設計荷重などの要求仕様を決定し、最適な軽量展開トラス構造体の「折畳み」機構設計の概念を構築してきた。実験用展開構造物を実際に製作し、その展開収納技術の要素技術を構築した。このことにより、全く新しい緊急橋の機構開発や沿岸部の緊急栈橋などのライフライン復旧における橋の架設速さの実証ができたと考えている。

③平成 21 年 8 月の兵庫県西部豪雨被害では、ライフラインに致命的な被害をもたらしたが、このことは地域に限定された問題ではなく、今後世界各地で潜在的に発生する危険性がある。この災害を教訓に、迅速に復旧させる手段や方法を開発しておくことは、災害の再発と技術開発を念頭に、多くの人命を救助する手段や対策として必要不可欠な研究課題であり、その技術発展の推進と利活用の意義からも必要な施策の方向性にあるものと考えている。本研究課題は、シザーズ機構による迅速に復旧させる具体的な手段を実現するために、社会基盤リカバリーシステムの構築と災害によるインフラ損傷回復力の具体的な要素技術開発などの学術的な意義があった。

3. 研究の方法

本研究課題の進め方ならびに方針

シザーズ機構による多重折畳み仮設橋システムを開発するにあたり、具体的な細部の詳細設計をシミュレーションとして描画し、要求機能・性能、設計条件と機構の干渉や材料選定など構造力学に基づいた技術的課題を洗い出し、プロトタイプ製作で培った実験分析データに基づいて精度の高い製作を目指した。また、スマートブリッジ完成後に関連する各種構造実験の実施も計画に入れながら、スマートブリッジの機動性と仕様上の要求性能を照査し、迅速に対応できる安定的なシステム開発をメーカーとの共同研究契約のもとで製作を実施してきた。

②本研究課題の研究体制

研究体制は本研究課題において共感し、有志的でプロジェクト貢献できるメンバーからなり、特に、災害後のライフライン復旧方法の開発とそのスピード架設の向上に寄与

できる各分野の研究有志である。研究代表者は、過去の地震や豪雨災害において、構造物の被災状況を現場調査・分析経験があり、災害後の復旧方法の困難な現状の課題に対して、有効な技術とハード面の手段を、展開構造物の理論研究から橋の伸縮技術と折り畳める橋の融合技術を実現しようと研究してきた。研究分担者らは、この新しい仮設システムに関わる橋梁研究者、構造実験の研究者、大雨災害時の河川流況状況の把握を研究しており、それぞれの学術的分野の知見と技術情報を結集し、具体的な課題を議論してきた経緯がある。プロトタイプを製作した技術グループも開発に加わってもらった。

研究実施体制について

本研究課題は、研究開発プロジェクトとして位置づけ、共同研究者の専門性を最大限に活かし、作業項目ごとのモジュール単位でパラレルに進行し、バックアップ体制がとれるように計画してきた。また、研究成果を最大限優先させるために、構造体の耐力実験が実施でき課題に関連する共同研究契約を結んでいる施工技術総合研究所、それを製作できるメーカーと連携し、本システムを実際に実現しやすい研究体制で進めてきた。特に、本システム開発の実現性は、パイロット的な技術研究開発の意味合いがあり、研究を成功させるために、研究進捗状況を電子的な作業日誌と技術共有、開発の情報公開手段として WEB 上のサーバーを利用してきた。これによって、システム開発の意思の疎通をはかってきた。すなわち、本研究課題をうまく遂行させるには、それぞれの開発実績を活かすとともに、各研究者の専門技術の結集と支援によって、新たな技術が構築できるように研究アイデアを盛り込んだ。

4. 研究成果

平成 2 3 年度：小型車両通行可能な実験用緊急橋の設計と使用材料の選定

研究の初年度は、本研究課題に対する研究スタートアップ準備のために研究協力者との連携調整、IT 技術共有のための準備、研究グループの各研究者の研究の役割と研究目標を確認し、研究全般の研究環境と体制を整えた。その新しい設計概念に基づく防災構造物に関連する類似研究、比較構造物の事例の技術文献調査や過去の災害事例の調査などによって、より合理的で完成度の高い展開システムを創造した。初年度は実現可能性を確認するために、共同研究を締結しているメーカーに小型車両(3台)の4ton程度の車両活荷重に耐えうるプロトタイプの設計に着手した。各研究作業工程のモジュールが具体的にスタートできるように調整してきた。例えば、製作する実寸大の橋の機構製作によって、展開部の部材の機構干渉部のチェックや立体的な機構の動き、安全装置などの確認を行うとともに、設計と製作上の確認は 3 次元 CAD

を用いて実施した。構造部材の断面確認や使用材料の強度実験を実施した。そのほか、構造体の強度評価を実施することは実際の構造物を製作する上で、重要な部材強度の検証であった。これまでにない橋を製造する上で設計に反映させるために、部分的な試作の設計・製作・予備実験も事前に検討してきた。

平成24年度：実寸大の実験用緊急橋20mクラスの製作

2年目は、本研究課題の目標と要求性能を満たす設計条件を再確認後、研究開発予算内で材料選定、加工製作費、運搬方法、架設方法等々から構造物のスケールを決定した。一般に軽くて高強度の材料は高価で、将来有望視されているアルミ合金材を橋梁部材への適用性の拡大を前提に多種類かつ多目的のアルミ合金の中から適切な使用材料を絞った。しかしながら、実スケールの部材を製造するに当たり、大型押出形材が生産できるメーカーの協力が不可欠であった。研究開発に理解を戴き、目標に合致した構造部材を選定した。車両の活荷重を前提に設計計算から得られた部材断面と使用材料の全重量が算出されるので、研究開発コストに見合った橋のスケールが算出された。この研究課題では、実験橋の製作費が大半を占めた。橋の規模から伸縮装置と車両系との運動部分に関しては、コストが増加することが予測されるので、本研究課題では、開発予算を切り詰めて、仮設橋の製作と構造実験を行った。また、高度な技術を有する専門メーカーと日本建設機械化協会施工技術総合研究所と共同研究契約を結んで、技術的な課題に対して検討を重ねてきた。

平成25年度：実験の検証と公開実験

最終年度は、伸縮可能な仮設橋システムの耐力評価を実施するために、完成した構造体を施工技術総合研究所に運搬し、非破壊の強度実験の評価を実施した。実施した実験項目として、1)構造体の応力とたわみによる耐力評価、2)車両通行実験、3)構造体の振動評価、4)システムの現場適合性、5)今後の運搬方法と架設方法の検討を行ってきたが、運搬方法と実際の河川に架けるには、今後更なる軽量化とアウトリガー等の大幅な改良と実用化研究が必要である。実験項目1)では構造体の非破壊を前提に、構造体の部材ひずみと変形の計測による、応力照査と変形照査を実施した。想定した耐力と実際の実験による耐力性能を検証した。2)は前項1)の耐力を確認後に、実際に車両を準備し、その渡橋実験を行い、ひずみ等の計測を実施した。3)は人や車が通過した際の衝撃力を把握するための、物品要求の無線加速度センサーを用いて計測を行う計画であったが、部分試作橋にて計測を行い、その特長を分析していた。4)実際の現場は、傾斜や地盤条件などの架設条件が異なるため、現場での施工性能については、現場の

条件に依存するので、引き続き、技術の検証が必要である。今後の橋構造体の具体的な運搬方法と展開装置の改良を検討している。

例えば、上述の4)現場適合性の検討において、地盤の支持力を得る一つの手段として、設置面積が広く地盤支持応力を分散させるために、今後反力となる支持支柱板の追加も考え、多様な現場条件に適した、橋の施工時間を格段に向上させることが考えられる。これによって、仮設橋システムの開発上の更なる課題を克服するために、橋システムの機能・条件と現場の地盤条件を重視し、災害現場の適合条件を見極めて緊急橋の実用化と運用が重要である。

一般に、橋梁は下部基礎に固定された構造物という位置づけで、専門メーカーの技術者が製作し、据え付けるということを前提に建設されてきたが、この橋は自然災害後の迅速復旧に対応させた被災者のライフライン復旧支援の開発を目的に、次の現場志向の設計仕様を考えてきた。1)特殊専門の技術者がいなくても移動が可能、2)できる限り単純で安全に敷設できる、3)機械式展開構造機構による施工スピードの格段の向上、4)複数のユニットと組合せが自由で、繰り返して利用できる、水害被害から回避することができるなど、多くの生活被災者を支援できるように考えてきた。また、世界各地の災害現場にこれを復旧支援物資としても、その効果は大きく、次の災害に備えるという意味で国産の技術開発が世界の災害現場に貢献できるような新しいものづくり産業の育成と活性化にもつながる可能性も秘めている。

本研究課題の研究成果の公表等について

平成25年4月25日に福山にて、完成した実験橋MB2の報道公開を行った。完成した橋の性能を理解してもらうために、緊急展開仮橋（スマートブリッジ）実機の開発説明会および公開実験を実施した。

従来の橋とは異なり、主要な構造部材をX形で連鎖させた構造とすることにより、橋の伸縮機能と強度を確保した新しいタイプの橋である。橋としては世界初の構造物で、橋と走行路が連動して展開する。全長は約20メートルで、小型車両の通行が可能で、製作上の開発目標は達成した。

その後、各種強度実験を実施するために、実験橋を施工技術総合研究所に移設し、車両を通行可能かどうか、部材強度実験と併せて、検査と計測を実施した。

平成25年9月12日(木)には、本研究課題の緊急仮橋に車両を通行可能かどうかの公開実験を静岡県富士市で実施し、無事成功させ、本研究課題の目標スペックを得た。

<https://www.hiroshima-u.ac.jp/eng/news/12308>

(写真-2 (a), (b)を参照)



写真-2 (a),(b)スマートブリッジ実験公開
(広島大学広報)

一般には、「マジックハンド」のような蛇腹構造で構造物として成り立たないと思われるかもしれないが、科学的に解明し実際製作することによって多くの知見を得た。実際にこの構造体を片持ち状態で支持しながら展開させるには、応力集中問題や軽量化、剛性バランスなど最適化展開設計の概念と、新しい平衡力学概念に基づいた実設計が必要である。土木工学や橋梁工学的には、実現不可能とされていた橋構造物が実際に実現でき、想定以上の強度と効果・効用が存在することが実証され、橋の構造形式に関して新しいフィールドを開拓できた。

本研究課題のミッションは、「迅速な」対応の橋架設法の一つの手段として、この橋の開発メリットは大きく、創造した橋が実現され、今後は現場における復旧システムの真価が問われるものと思われる。公開実験の公表後、海外から数多くの問い合わせがあり、特に発展途上国のインフラ整備に有効であろうことを付しておく。既存の組立式プレハブ橋の架設スピードと効率上の課題をブレイクスルーとともに、より優れた近代的な緊急橋システムとしての可能性を開拓できたことが、本研究開発での最大の成果である。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 15 件) (以下、査読有)

Y. Chikahiro, I. Ario*, P. Pawlowski, C. Graczykowski, J. Holnicki-Szulc, Optimization of reinforcement layout of scissor type bridge using differential

evolution algorithm, Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering, 2019.6
[10.1111/mice.12432](https://doi.org/10.1111/mice.12432)

Development of a prototype deployable bridge based on origami skill, Ichiro Ario, Masatoshi Nakazawa, Yoshikazu Tanaka, Izumi Tanikura, Syuichi Ono, Automation in Construction, 32, (2013) pp.104-111.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2013.01.012>

Development of Prototype of Real-scaled Mobilebridge as a Smart Bridge for Dynamic Carriage Loadings, I. Ario, Y. Chikahiro, S. Matsumoto, Y. Tanaka, M. Nakazawa, S. Ono, Proc. of Dynamics, stability and control of flexible structure, (2013) CD

SMART, DEPLOYABLE SKELETAL STRUCTURES FOR SAFETY ENGINEERING, Piotr Pawlowski, Cezary Graczykowski, Jan Holnicki-Szulc, Ichiro Ario, Proc. of ECCOMAS Conference on Smart Structures and Materials (SMART2013), 6 (2013)
<http://www.ippt.pan.pl/Repository/o2153.pdf>

Structural analysis and experimental study for MB travelable vehicles, Yuki CHIKAHIRO, Ichiro Ario, Proc. of Int. Conference on Civil and Environmental Engineering, 12, (2013) pp.102-107 (Paper Awardを受賞)

緊急小型車両の通行を想定した新しい緊急橋の実験的研究, 近広雄希・有尾一郎・小野秀一・中沢正利, 建設施工と建設機械シンポジウム論文集, H25,(2013.11) pp.49-54 (優秀論文賞)

The uncertainty of local flow parameters during inundation flow over complex topographies with elevation errors, Tsubaki R. and Kawahara, Y., Journal of Hydrology, 486, 10.1016/j.jhydrol.2013.01.042(2013.4)

Smart Bridge Design Concept to Rebuild up Deployable Bridge, I. Ario, M. Nakazawa, Y. Chikahiro, Y. Tanaka, I. TANIKURA, S. ONO, Proc. of Australian Small Bridges Conference, 5 (2012)

New Bridge Design & Analysis of the Prototype of a Foldable Bridge, Y.Chikahiro, I. Ario, Y. Tanaka, M. Nakazawa, I. Tanikura, S. Ono, Proc. of Australian Small Bridges Conference, 5 (2012)

Structural Characteristics of Scissors-type Emergency Bridges, M. Nakazawa and I. Ario, Proc. of Australian Small Bridges Conference, 5 (2012)

モバイルブリッジの発案と展望, 有尾一郎, 橋梁と基礎, 46 (2012) pp.115-118.
急速仮設できる緊急スマート仮橋の車両通行公開実験, 有尾一郎, 建設の施工

企画, 758 (2013) pp.44-49.
DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE
DEPLOYABLE BRIDGE BASED ON
ORIGAMI SKILL, I. Ario, M. Nakazawa, Y.
Tanaka, I. Tanikura, S. Ono, Proc. of Int.
Symposium on Automation and Robotics in
Construction, 28 (2011) pp.375-380.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.01.012>
Dynamic analysis for the prototype of a new
type of Mobilebridge, I. Ario, Y. Chikahiro,
Y. Tanaka, Proc. of European Nonlinear
Oscillation Conference, 35 (2011)
http://w3.uniroma1.it/dsg/enoc2011/proceedings/pdf/Ario_et_al_6pages.pdf
The Design of Emergency Bridges with
Scissors Structures, Y. CHIKAHIRO, I.
ARIO, Proc. of International Conference on
Civil and Environ. Engineering, 10 (2011)
CD

〔学会発表〕(計9件)

車両が通行できる折畳める緊急橋の構造
解析と実験的研究, 近広雄希・有尾一郎・
中沢正利・田中義和・谷倉泉・小野秀一,
平成25年度全国大会 第68回年次学術講
演会(日本大学), CD-ROM, 2013.9.
Structural analysis and experimental study
for MB travelable vehicles, Yuki
CHIKAHIRO and Ichiro ARIO, The 12th
International Conference on Civil and
Environmental Engineering, pp. 102-107,
Dalian, September 2013.
架設実験時の人の歩行に伴うモバイルブ
リッジの動的特性, 近広雄希・有尾一郎・
中沢正利・田中義和・谷倉泉, 土木学会
第67回年次学術講演会(名古屋大
学)2012.9
モバイルブリッジ(緊急橋)のための補強
法の検討について, 森由美・有尾一郎・
近広雄希・中沢正利・谷倉泉・小野秀一,
土木学会第67回年次学術講演会(名古屋
大学)2012.9
モバイルブリッジの汎用構造を利用した
多様な活用法, 有尾一郎, 土木学会第
67回年次学術講演会(名古屋大学),
2012.9
迅速な展開可能な緊急橋設計のための補
強法の検討について, 森由美・有尾一郎,
平成24年度土木学会中国支部研究発表
会(呉高専), 2012.6
スマートブリッジ概念に基づく迅速展開
架設可能なモバイルブリッジ, 有尾一
郎・近広雄希・中沢正利・谷倉泉・小野
秀一, 土木学会第66回年次学術講演会
(愛媛大学), 2011.9
防災対策用の折畳めるシザーズ機構を持
つ仮橋プロトタイプの力学的研究, 近広
雄希・有尾一郎・中沢正利・田中義和・
谷倉泉・小野秀一, 土木学会第66回
年次学術講演会(愛媛大学), 2011.9

シザーズ機構を持つ仮橋プロトタイプの
力学的検討, 近広雄希・有尾一郎・中沢
正利・田中義和・谷倉泉・小野秀一, 平
成23年度土木学会中国支部研究発表(岡
山大学), 2011.5

〔産業財産権〕

出願状況(計1件)
名称: シザーズ伸縮構造
発明者: 有尾一郎他
権利者: 広島大学
種類: 特許
番号: 特願2013-014747
出願年月日: 2013年1月29日
国内外の別: 国内・外国 PCT(中国・EU(ドイ
ツ・ポーランド))登録
[その他]ホームページ関連(公開)
<http://home.hiroshima-u.ac.jp/bridge2/>
<https://www.hiroshima-u.ac.jp/eng/news/12308>

6. 研究組織

(1)研究代表者

有尾 一郎 (ARIO ICHIRO) 広島大学・工
学(系)研究科(研究院)・助教
研究者番号: 50249827

(2)研究分担者

田中 義和 (TANAKA YOSHIKAZU)
広島大学・工学(系)研究科(研究院)・助教
研究者番号: 00335704

椿 涼太 (TSUBAKI RYOUTA)
広島大学・工学(系)研究科(研究院)・助教
研究者番号: 80432566

中沢 正利 (NAKAZAWA MASATOSHI)
東北学院大学・工学部・教授
研究者番号: 20198063

松本 慎也 (MATSUMOTO SHINYA)
近畿大学・工学部・准教授
研究者番号: 30325154

(3)連携研究者

作野 裕司 (SAKUNO YUJI)
広島大学・工学(系)研究科(研究院)・助教
研究者番号: 20332801

不動寺 浩 (FUDOJI HIROSHI)
(独)物質・材料研究機構・主幹研究員
研究者番号: 20354160