

令和 6 年 5 月 24 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H00441

研究課題名（和文）老朽開水路内に配管される圧力パイプラインの力学挙動の解明と耐震設計手法の確立

研究課題名（英文）Examination of mechanical behavior and establishment of seismic design method for pressure pipelines installed in aging open channels

研究代表者

河端 俊典（Kawabata, Toshinori）

神戸大学・農学研究科・教授

研究者番号：20335425

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 34,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、既設開水路内に管路を敷設する開水路内配管工法の確立を目標に各種模型実験を行った。その結果、劣化していない既設開水路壁は曲管部のスラスト対策として有効であることが明らかとなった。また、水路壁が劣化している場合には、ジオグリッドでの補強が有効であることがわかった。また、省力的な管の浅埋設工法として、ジオセルを用いた浮上防止工法を提案するとともに浮上抵抗力を増加させる効果を検証した。さらに、管底側部の締固め不足対策としてEPS基礎を提案するとともに管底部のひずみ集中を抑制する効果を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、農業用水利施設の老朽化により、その耐震化と長寿命化が急務となっている。特に従来の開水路は、ゴミの投棄、転落による事故、蒸発散による用水の損失などの問題をも包含している。老朽化開水路の再構築に際して、開水路内に圧力パイプラインを敷設することが期待されていた。

このような背景の中、当研究課題では、老朽開水路内にパイプラインを敷設する工法を確立するため、管路屈曲部の力学挙動解明と各種管理戻し技術の提案および効果検証を行ったことから、本研究成果は、我が国の農業水利施設の長寿命化に大きく貢献すると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, various model tests were conducted with the aim of establishing a method for installing pipelines in existing open channels. The results showed that existing open channel walls that have not deteriorated are effective as a thrust countermeasure for pipe bends. In the case of deteriorated channel walls, reinforcement with geogrids was found to be effective. A geocell-based pipe uplifting countermeasure for shallowly buried pipes was proposed for labor-saving, and its effectiveness in increasing the uplift resistance was also verified. Furthermore, an EPS foundation was proposed as a countermeasure against insufficient compaction of the pipe bottom side and its effectiveness in reducing strain concentration at the bottom of the pipe was verified.

研究分野：農業農村工学

キーワード：パイプライン 開水路 模型実験 ジオシンセティックス

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

営農に不可欠な灌漑用水を、ダムなどの貯水施設から末端圃場まで適確に運ぶため、我が国には 45,000km に渡って張り巡らされている幹線水路網があり、次世代へ継承していく必要のある重要な社会資本ストックを形成している。こうした農業水利施設の多くが更新時期を迎えているが、特にコンクリート製の開水路は、戦後の食料増産に併せて急速に整備されたため、耐用年数を超える施設が極めて多い状況にあった。開水路における諸問題として、景観への配慮などから一般的に柵が設けられておらず、農村地域への混住化・高齢化も相俟って、開水路への車両や人の転落事故が相次いでおり、安全性確保が喫緊の課題となっていた。また、開水路は蒸発散による用水の損失が避けられず、水利用の高度化や土地利用の観点から開水路からパイプラインへの転換の要望が全国的に高まっている状況にあった。

過去に行われた数多くのパイプラインの被災調査から、パイプラインの弱点が屈曲部や構造物際に集中していることは明らかであった。例えば 2018 年に発生した北海道胆振東部地震では、多くの屈曲部で周辺地盤の液状化や強振動による継手離脱等の被害が発生した。すなわち、パイプラインを直接開水路へ設置する際の最大の技術的課題は、管路屈曲部の力学的安定性と耐震性であった。

2. 研究の目的

パイプラインを既設老朽開水路へ設置する工法(以下、開水路内配管と呼ぶ)における管路屈曲部の力学挙動を解明するとともに既設開水路壁のスラスト対策としての有効性を検証する。また、開水路内に管を設置することから、管を浅く埋設することとなるが、地下水が高い場所では、管の浮上が課題となる。さらに、開水路底板付近に設置する場合、開水路内の狭窄な箇所での管底側部の締固めが困難な場合、管底部等への応力集中が懸念される。すなわち、開水路内配管工法を確立するためには、省力的な浅埋設工法と管底側部の締固め不足対策が必要であることから、本研究ではこれらの課題を解決するための方法を提案するとともにその有効性を検証する。

3. 研究の方法

3-1 開水路壁のスラスト対策としての有効性の検証

開水路内配管工法での既設開水路壁のスラスト対策としての有効性を検証するために、小型模型実験と遠心力模型実験を行った。小型模型実験は、幅 1500mm、高さ 500mm、奥行き 600mm の鋼製土槽内に外径 114mm の模型管を 6・7 混合珪砂で埋戻し、スラスト力を模擬するため、モータージャッキで 0.5 mm/min の速度で水平載荷した。(図-1)。

実験は合計 8 ケース行い、開水路壁の無い管のみの条件に加えて、開水路壁の設置条件として、側壁のみ設置した場合 (Case A)、側壁と底板を設置し、両者を剛結した場合 (Case B)、断面は Case B と同じであるが、側壁と底板を固定しない場合 (Case B-separated)、2 分割された側壁を設置した場合 (Case C)、3 分割された側壁を設置した場合 (Case D)、3 分割された側壁を直線状 (I 形状) にジオグリッドで補強した場合 (Case D-gridI)、3 分割された側壁を L 形状にジオグリッドで補強した場合 (Case D-gridL) を設定した。

上述の小型模型実験に加えて、液状化地盤での大口径管路を対象とした検証を行うため、農研機構所有の遠心力載荷模型実験装置を用いた加振実験を実施した。遠心力模型実験は、幅 1000mm、高さ 175mm、奥行き 400mm の土槽内に外径 60mm の模型管を飽和した 6 号珪砂中に埋設し、3.5kg の重錘で横方向に載荷した状態で加振した(図-3)。遠心加速度は 30G とし、管外径 1800mm、曲げ角度 22.5°の管体に内水圧 150kPa 相当のスラスト力が作用する状況を想定した。また、地震動は、実スケールで周波数 5Hz、200gal、400gal、600gal、800gal の順で 60 秒の正弦波とした。実験ケースは、無補強の Case 1 と当工法を再現した Case 2 を実施することで、

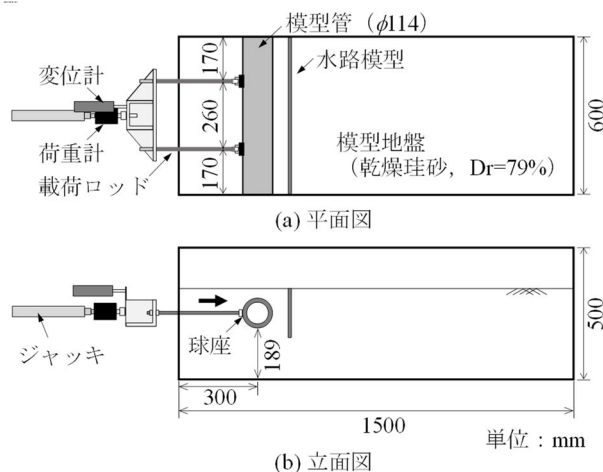


図-1 実験装置概要

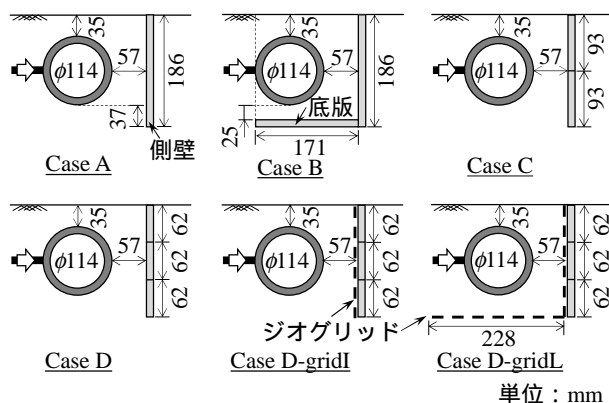


図-2 埋設管と水路壁の設置条件

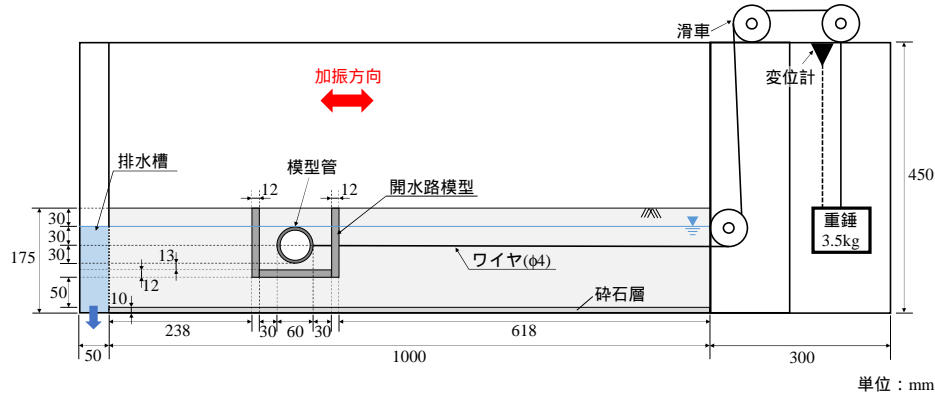


図-3 遠心力模型実験概要

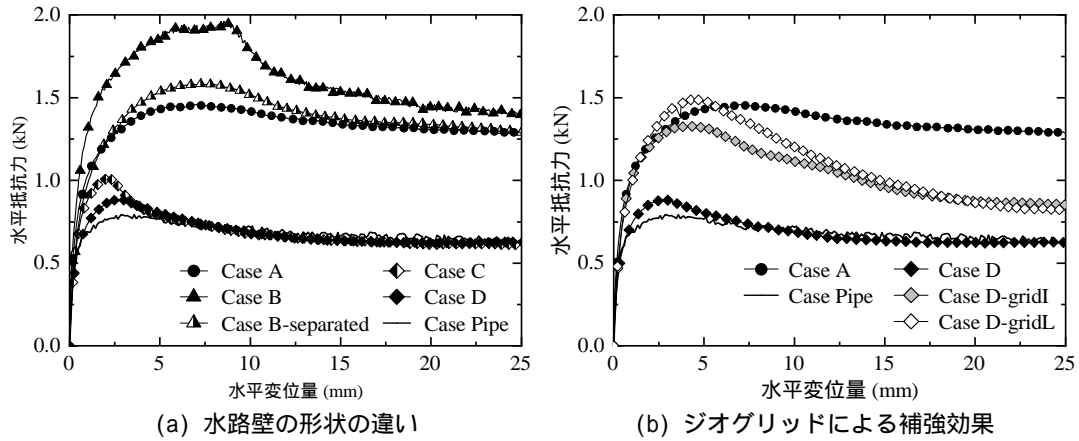


図-4 水平変位量と水平抵抗力の関係

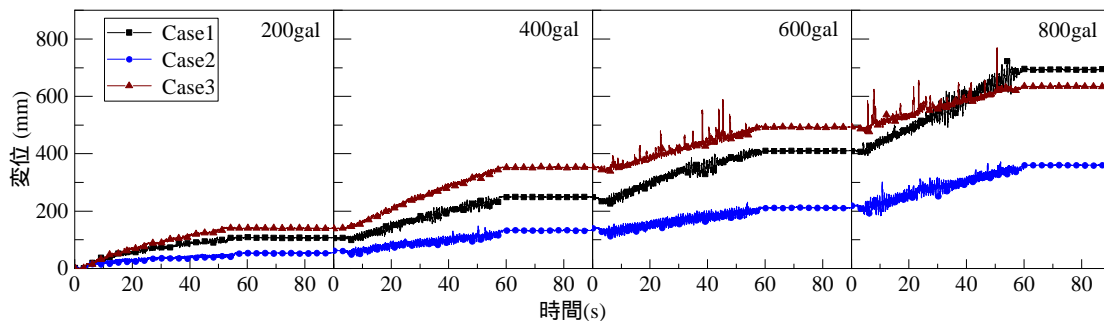


図-5 遠心模型実験における管の変位の経時変化

開水路内配管工法のスラスト対策としての有効性を、側壁のみを設置した Case 3 を実施することで、底板の有無によるスラスト対策効果の影響を検証した。

### 3-2 省力的な管の浅埋設工法の開発

開水路内配管工法では、管を浅く埋設する事が想定される。従来、管の浅埋設工法として、ジオテキスタイルを用いて管周辺地盤を一体化する方法が用いられてきた。本研究では、さらなる省力化を図るため、ジオセルを用いた浅埋設工法を考案し、その有効性を検証するため、管の押上げ実験を行った。

### 3-3 管底側部の締固め不足対策の提案と検証

管底側部の締固め不足により、管底部等にひずみや応力の集中が生じることが懸念される。特に開水路内配管工法では、底板の近くに管が設置される場合、その傾向が顕著に現れる可能性が考えられる。そこで、本研究では、EPS を管底側部に基礎材料として用いる新たな工法を考案し、その有効性を小型模型実験、中型模型実験、遠心力模型実験から検証した。

## 4. 研究成果

### 4-1 開水路壁のスラスト対策としての有効性の検証

図-4 に小型模型実験で得られた模型管の変位と抵抗力の関係を示す。水路壁を用いた全てのケースのピーク抵抗力は Case Pipe と比べて増大することから、既設の水路壁は、曲管部のスラ

スト対策工として有効であることがわかった。

図-4(b)から、ジオグリッドを用いた Case D-gridI, gridL のピーク抵抗力が Case D の抵抗力より大きいことから、分割された水路側壁に対するジオグリッドの補強効果が明らかとなった。

図-5 に遠心力模型実験での加振中の管の変位の経時変化を実スケールで示す。Case 2 は、Case 1 と比較して各加振段階で変位量が約 5 割程度に抑制され、開水路内配管工法のスラスト対策としての有効性が液状化地盤においても示された。一方、Case 3 では、600gal 加振段階まで Case 1 よりも変位量が大きく、側壁のみでは十分なスラスト抵抗力が期待できなかった。側壁のみの場合では、管と側壁の間に他の液状化対策を行うことが考えられる。本研究では、ジオセルを液状化対策として用いることを考案し、その効果について振動実験から検証した。その結果、ジオセルを設置した対策地盤では、設置していない地盤よりも液状化による沈下が抑制された。

#### 4-2 省力的な管の浅埋設工法の開発

ジオセルを用いた新たな管の浅埋設工法を対象に模型管の押上げ実験を行った結果、当提案工法が管浮上防止に有効であることが示されるとともに、その設置条件について、管両側部のジオセルを不織布で一体化することで大きな抵抗力が発揮されることが明らかとなった。

#### 4-3 管底側部の締固め不足対策

管底部のひずみの集中緩和を目的とした EPS 基礎を対象に、小型模型実験、中型模型実験、遠心力模型実験を行った結果、いずれの実験においても、EPS 基礎を設置したケースでは、管のたわみ量が低減するとともにひずみの集中が緩和されることが検証された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Sonoda, Y., Sawada, Y., Ling, H.I., Li, L., Kawabata, T.	4. 巻 -
2. 論文標題 Centrifuge model studies on mechanical behavior of buried pipe with voids surrounding bottom and effectiveness of EPS as countermeasure	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1061/JGGEFK/GTENG-12183	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Nagatani, T., Sawada, Y., Inoue, Y., Ito, S., Ling, H.I., Kawabata, T.	4. 巻 52(3)
2. 論文標題 New geocell utilisation as a pipe uplifting countermeasure and its validation using model experiments	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Geotextiles and Geomembranes	6. 最初と最後の頁 319-331
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.geotextmem.2023.11.004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Ohta, Y., Sawada, Y., Kitada, M., Kawabata, T.	4. 巻 14(2)
2. 論文標題 Improved thrust restraint design considering displacement of pipe bend and joint separation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of pipeline systems engineering and practice	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1061/JPSEA2.PSENG-1306	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 太田遥子, 永谷太志, 澤田豊, 河端俊典	4. 巻 37
2. 論文標題 既設水路壁による管路屈曲部スラスト対策効果とジオグリッドによる水路壁補強効果の検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ジオシンセティックス論文集	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5030/jcigsjournal.37.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 園田悠介, 澤田豊, 伊川千颯, 高原源太郎, 河端俊典	4. 巻 37
2. 論文標題 たわみ性管の管底側部の締固め不足に対するEPS基礎の有効性に関する実験的検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ジオシンセティックス論文集	6. 最初と最後の頁 85-92
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5030/jcigsjournal.37.85	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sonoda, Y., Kawamura, M., Sawada, Y., Kudo, H., Kawabata, T.	4. 巻 -
2. 論文標題 Small-sized Buried Model Tests on Effectiveness of EPS Pipe Foundation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 7th Asian Regional Conference on Geosynthetic on Hazard 's Risk Management, Innovation, and Sustainability	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計15件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 井上優佑, 太田遥子, 園田悠介, 澤田豊, 河端俊典
2. 発表標題 スラスト力を受ける二条埋設管路の挙動に関する個別要素法解析
3. 学会等名 第73回農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 池端瑠香, 永谷太志, 伊藤修二, 園田悠介, 澤田 豊
2. 発表標題 ジオセルを用いた埋設管浮上対策に関する振動台実験
3. 学会等名 第73回農業農村工学会大会講演
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 永谷太志, 池端瑠香, 蘆田彩絵, 伊藤修二, 園田悠介, 澤田豊
2. 発表標題 浮上防止としてジオセル補強された埋設管の水平載荷実験
3. 学会等名 第73回農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 池端瑠香, 永谷太志, 沢井拓, 伊藤修二, 園田悠介, 澤田豊
2. 発表標題 ジオセルで補強された埋設管の浮き上がり抵抗力について (その1)
3. 学会等名 第73回農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 永谷太志, 池端瑠香, 名黒康太, 伊藤修二, 園田悠介, 澤田豊
2. 発表標題 ジオセルで補強された埋設管の浮き上がり抵抗力について (その2)
3. 学会等名 第73回農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 谷太志, 池端瑠香, 伊藤修二, 園田悠介, 澤田豊
2. 発表標題 ジオセルで補強された埋設管の浮き上がり抵抗力について (その3)
3. 学会等名 第73回農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 井上優佑, 太田遥子, 澤田豊, 園田悠介, 河端俊典
2. 発表標題 スラスト力を受ける二条埋設管路の模型実験
3. 学会等名 第80回農業農村工学会京都支部研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 永谷太志, 井上優佑, 小西優輝, 伊藤修二, 澤田 豊, 河端俊典
2. 発表標題 ジオセルを敷設した埋設管の浮上抵抗力に関する実験的検討
3. 学会等名 第72回農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 園田悠介, 澤田豊, Hoe I. Ling, Liming Li, 河端俊典
2. 発表標題 管底側部の締固め不足の危険性とEPS基礎の効果に関する遠心力模型実験
3. 学会等名 第58回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 永谷太志, 澤田豊, 有吉充, 河端俊典
2. 発表標題 既設開水路内に設置された埋設管屈曲部における遠心模型振動実験
3. 学会等名 第58回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2023年



1. 発表者名 永谷太志, 太田遥子, 澤田豊, 河端俊典
2. 発表標題 既設開水路内に設置された埋設管屈曲部における水平載荷実験
3. 学会等名 2022年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 園田悠介, 伊川千颯, 辻本琴音, 永谷太志, 工藤秀穂, 澤田 豊, 河端俊典
2. 発表標題 管底側部に設置したEPS基礎がたわみ性埋設管の力学挙動に与える影響に関する埋設模型実験
3. 学会等名 2022年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 永谷太志, 太田遥子, 澤田豊, 河端俊典
2. 発表標題 プレキャストコンクリート板を用いた埋設管路屈曲部のスラスト対策工法に関する水平載荷実験
3. 学会等名 第57回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 永谷太志, 太田遥子, 澤田豊, 河端俊典
2. 発表標題 既設開水路内に敷設された圧力管路屈曲部における水平載荷実験
3. 学会等名 2021年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 河村未奈, 青木達也, 伊川千颯, 園田悠介, 日野林讓二, 澤田豊, 河端俊典
2. 発表標題 たわみ性埋設管の管底側部の締固め不足に対する対策工に関する実験的検討
3. 学会等名 2021年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 埋設管の埋設構造及び埋設管の埋設工法	発明者 澤田豊、河端俊典、 伊藤修二	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2023-177555	出願年 2023年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 埋設管の埋設構造および埋設管の埋設工法	発明者 澤田豊、河端俊典、 伊藤修二、南和弘	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-068258	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

神戸大学大学院農学研究科土地環境学研究室HP <a href="https://www.research.kobe-u.ac.jp/ans-soilenv/">https://www.research.kobe-u.ac.jp/ans-soilenv/</a>
---

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	井上 一哉  (Inoue Kazuya)  (00362765)	神戸大学・農学研究科・教授   (14501)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	澤田 豊  (Sawada Yutaka)  (60631629)	神戸大学・農学研究科・准教授    (14501)	
研究分担者	毛利 栄征  (Mohri Yoshiyuki)  (90373224)	茨城大学・農学部・特任教授    (12101)	
研究分担者	有吉 充  (Ariyoshi Mitsuru)  (10414442)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究部門・上級研究員    (82111)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
米国	コロンビア大学			