

平成21年3月31日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18380143
 研究課題名（和文）農業水利施設のストックマネジメントのための予防保全対策に関する研究
 研究課題名（英文）Studies on Preventive Maintenance of Irrigation Facilities
 研究代表者
 長束 勇（NATSUKA ISAMU）
 島根大学・生物資源科学部・教授
 研究者番号：90379694

研究成果の概要：

農業水利施設の既設躯体を利用した機能回復工法に要求される機能・性能を常に意識して研究を進め、①“常に水（水分）が存在する”特有の環境条件で生じる凍害の診断手法、②水密性を損なうひび割れの開閉挙動の解明による補修材料に要求される伸び性能、③ひび割れが構造物の鉄筋腐食に及ぼす影響、④流水に起因する力学的摩耗に対する耐性評価法、⑤更正管や水路トンネル補強工法の破壊解析による評価、⑥表面被覆や目地補修に関する新工法の開発、などの多くの研究成果を得た。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	11,100,000	3,330,000	14,430,000
2007年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2008年度	2,700,000	810,000	3,510,000
年度			
年度			
総計	15,600,000	4,680,000	20,280,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業土木学・農村計画学

キーワード：施設、補修補強、維持管理、性能照査

1. 研究開始当初の背景

(1) 国営土地改良事業などにより造成された膨大な基幹的農業水利施設は、国民への安定的な食糧供給機能や国土保全機能に代表される多面的機能を持つ社会基盤ストックを形成している。これら農業水利施設は、高度経済成長期以降に集中して整備されてきているため、その多くはやはり集中的に寿命を迎えることが予測される。しかし、現下の厳しい社会経済状況において、莫大な費用を要する施設の改築といった従来手法で対応することは困難である。そこで、ストックマネジメント（施設の状況を把握し、適期・適

切な保全対策・更新を実施するなど、計画的かつ効率的な施設の管理を行うこと）の考え方に基づいて既存施設を有効活用し、その重要度に応じて適切に機能を回復する新たな予防保全対策を定めること（補修技術の体系化）により施設の長寿命化を図り、将来の施設の更新時期を分散させるとともに、社会基盤ストックとしての農業水利施設の機能を確実に次世代へと継承しなければならない。(2) 農業水利分野における建設材料の多くはコンクリートである。当然のことながら、例えば道路施設、鉄道施設、下水道施設などの農業水利施設以外の分野においては、各施

設を構成するコンクリート構造物に対して実用の域にある補修技術が存在する。しかし、現在の農業水利分野の補修技術は、これら他分野の補修技術が単に導入されたものであり、農業水利分野のコンクリート構造物に要求される水利用機能の確保、水理機能および構造機能の回復・向上といった目的に対し、補修技術の性能・効果が十分に照査されているとはいえない。また、農業水利分野に特有の要求性能に対する検証も為されていない。

2. 研究の目的

- (1) 農業水利施設の既設躯体を利用した補修技術（機能回復工法）に要求される機能・性能について整理する。
- (2) コンクリート構造物の劣化の原因・程度および要求性能と補修技術との関係を明確化し、各種補修技術を評価する。
- (3) 既設の農業水利施設に施した補修工法の施工後の耐久性を検証する。
- (4) 上記を総括することで、農業水利に係る既存施設の有効活用を実現するための補修技術の体系化を図る。

3. 研究の方法

コンクリートは農業水利に係る施設・構造物に多用される建設材料である。現在までに蓄積された社会基盤ストックである既存施設を有効活用するためには、供用下にある施設を適切に維持管理する必要がある。そのためには、施設の機能上の重要度に応じた予防保全あるいは事後保全の必要性を明確に区分し、現実生じた施設の材料性能の劣化あるいは構造性能の劣化に即して劣化予測を実施し、施設の要求性能を満たす最適な補修を行うと同時に、補修後の機能・性能評価による維持管理の継続が必要となる。そこで、以下の課題を分担して研究を進めた。

(1) 農業水利コンクリート構造物の材料性能の劣化予測

農業水利施設特有の環境条件には、常に水（水分）が周囲に存在するという特徴を持ち、ひび割れを伴う各種劣化は施設の主要機能である水密性という使用性能に直接影響を及ぼす。また流水条件下で発生する摩耗は、表面の平滑性を損ない通水性能を低下させるのみでなく、部材厚の減少といった構造性能への低下へも繋がる。一方、コンクリート材料の変状のうち、使用性能上課題となるのは進行性がある劣化である。したがって、コンクリート材料の劣化について適切に評価するとともに、その劣化が惹起する性能低下の将来的な予測を行うことが重要となる。そこで、既設水路に対して、変状特性の把握、非破壊試験による品質検査方法、現場粗度係数、GISを用いた変状調査方法、中性化予測、凍害メカニズム、超音波法による凍害診断、

補修材料の促進耐候性試験、などの研究を進めた。

(2) 農業水利コンクリート構造物の水利用・構造性能の劣化予測

農業水利施設の水利用性能を低下させる原因としてひび割れや劣化した目地からの漏水が、また農業水利分野のコンクリート構造物特有の劣化として流水の影響による摩耗がある。そこで、既設水路におけるひび割れ幅と鉄筋腐食の関係、塩害環境下にある構造物のひび割れが鉄筋腐食に及ぼす影響、ひび割れ幅の変動量調査、判別分析を用いたひび割れの分類、ひび割れの形態分析、選択的摩耗試験機の試作と試験法の提案、コンクリートの諸性能と耐選択的摩耗性の関係、摩耗の進行予測、水路補修工法用モルタルの耐摩耗性、などの研究を進めた。

(3) 補修時期および工法の最適設計

経年した農業水利分野のコンクリート構造物に必要な主な補修技術は、a)ひび割れ補修工法、b)断面修復工法、c)表面被覆工法である。他の分野と異なり、農業水利分野特有の補修工法への要求性能とは、止水性能および表面平滑性の確保である。そこで、ひび割れ補修材料に必要な伸び性能、ジオメンブレンを活用した補修工法の用水路伸縮挙動への追従性評価、光硬化型 FRP シートを用いた三面水路更生工法の開発、表面被覆材のゼロスパン追従性解析、表面被覆補修工法の試験施工、高韌性セメント複合材料（ECC）のひび割れ分散性・追従性・透水量低減効果、ゴム弾性を活用した水路目地補修工法の開発、などの研究を進めた。

(4) 補修後施設の機能・性能評価による補修効果の評価

補修後の施設の機能評価もまた、施設の維持管理を行う上で必須となる。一般に、補修後の構造耐力を評価するには、実験による検証が最も確実ではある。しかし、全てのケースを実証実験で評価するには莫大な費用と労力が必要となる。したがって、数値解析による評価を実施する方法と、実証レベルのモデル実験による数値解析結果の信頼性の検証方法を組み合わせることが重要と考えられる。そこで、FRP 板の付着特性を考慮した補強構造物の破壊解析、組合せ荷重下における更生管のひび割れ強度、更生管に適した強度解析手法、偏心更生を行ったヒューム管のフレーム解析、背面に空洞を有する水路トンネル覆工の破壊解析・模型実験によるひび割れ発生メカニズムの解明と補強工法、地震時水路目地部破壊メカニズムの数値解析、などの研究を進めた。

4. 研究成果

項目別の主要成果は、以下のとおりである。

(1) 劣化調査・診断に関する研究

① 構造破壊を生じた RC 開水路躯体を事例調査した結果、側壁へ作用する土圧荷重が設計段階での想定値を超えたこと、底板基礎部分に均しコンクリートが無くまた砕石が十分に締固められていなかったこと、通水量の変動が活荷重のような作用をして疲労破壊（クリープ現象）が生じたこと、が要因であると考えられた。

② 同一躯体であっても、水中と気中という環境条件の相違により、侵入する塩化物イオン量は異なり、気中のほうが大きくなる可能性が示唆される。塩害環境下で長期供用される場合、ひび割れのない健全な箇所であっても、鉄筋には軽微な腐食が発生している可能性がある。しかし、十分なかぶり厚さが確保されていれば有害な鉄筋腐食度となる危険性は低い。

③ 供用後 22～37 年が経過した RC 開水路の中性化を調べたところ、気中部と水中部の中性化深さは異なる。これは水中部では表面摩耗から骨材露出が生じ、その結果、水中部の中性化深さが過小評価された可能性がある。RC 開水路の中性化速度係数は、一般の土木構造物と比較して小さくなる傾向を示す。中性化速度係数のばらつきは、気中部よりも水中部のほうが小さい。これは、環境条件の相違による中性化そのものの発生過程が異なるためと考えられる。

(2) 凍害に関する研究

① 凍害が生じている二つのコンクリート水路を対象に実施した現地試験および採取したコアによる室内試験を踏まえて、超音波法による凍害診断方法を検討した。その結果、相対超音波伝播速度は、凍害診断の性能指標に十分に成り得ること、あわせて超音波法による凍害診断の実構造物への適用性を示すことができた。また、超音波伝播速度と透気係数の間に密接な関係があることがわかり、透気係数が凍害診断の性能指標に成り得ることも示すことができた。

② 表面から凍害劣化が進行したコンクリートでは、超音波伝播速度が急激に小さくなる位置が存在し、それより深い位置での超音波伝播速度はほぼ一定になる傾向がある。研磨法では、超音波伝播速度が急激に小さくなるこの位置を特定することが可能である。

(3) ひび割れに関する研究

① 農業用 RC 開水路に生じるひび割れの多くは、曲げひび割れではなく、収縮や温度応力による貫通ひび割れであった。酸素などの供給量が少ない水中や土中では、気中と比較してひび割れによる鉄筋の腐食が生じにくいことが示唆された。ひび割れ幅と鉄筋腐食の関係を集計した結果、気中で幅 0.4mm 以上のひび割れに接した鉄筋の過半数が有害な腐食を受けていることがわかった。設計基準や竣工半年～1 年後における管理基準とし

ての許容ひび割れ幅として、0.4mm という値が考えられた。

② 長く薄いコンクリート板から構成された農業用水路では、ひび割れ幅および目地幅が日々の短期的な温度変化によっても変動する。ひび割れ幅および目地幅の日変動は、躯体表面温度の変化と明確な規則性を有する。調査対象としたひび割れ幅の日変動幅は 0.175mm～0.629mm と非常に大きいことから、機能診断を行う際にはその日変動を考慮する必要がある。ひび割れ幅の変動は躯体表面温度の変化に即座に反応せず、その前までの温度履歴の影響を受ける。提案したひび割れ幅の変動推定式を用いることで、ひび割れ幅の変動をある程度推定することができる。ひび割れ幅および目地幅の年変動は、躯体表面温度よりも外気温の季節変化による影響を強く受ける。調査対象としたひび割れでは、最も幅の狭くなったときのひび割れ幅に対する変動割合は、日変動量調査で最大 37.8%、年変動量調査で最大 68.6%であり、ひび割れ幅の変動に起因した補修材料の割れを防ぐための要求伸び性能が明らかになった。

③ 長期供用された現場打ちコンクリート水路を調査した結果、1 バレルに 1 本以上の割合でひび割れが発生していた。そのうち、乾燥収縮に起因するひび割れは、全体のひび割れの 9 割を占める結果となった。この乾燥収縮に由来するひび割れの特徴としては、最大幅が広がるほどひび割れ長さが増加していく正の相関性が認められた。一方、ひび割れの大部分が壁体を貫通していたが、天端から入るひび割れが水路内水面まで到達しているものは無く、漏水による配水機能低下は認められなかった。

(4) 摩耗に関する研究

① コンクリート水路に生じる骨材露出現象をモデル的に検証した。骨材露出を粗骨材面積率で表現すると、粗骨材面積率は使用したコンクリートの水セメント比の相違による影響をあまり受けず、使用した粗骨材の最大寸法と関係する可能性が示唆された。粗骨材面積率は表面からの距離が大きくなるほど線形的に増加するが、使用した粗骨材の最大寸法を超える距離ではほぼ一定になる。コンクリート表面付近の粗骨材の数は打設面と底面で異なり、打設時の締固めの相違がコンクリート表面付近の粗骨材の分布に影響する。コンクリート表面から第一層の粗骨材までの最短距離は、供試体底面では水セメント比に拘わらずほぼ一定であるが、打設面では水セメント比が大きいほど最短距離が大きくなった。また、全体として、表面から 6mm のモルタル分が消失すれば骨材露出が顕在化する。コンクリート水路における骨材露出は、表面から僅か 6mm の摩耗で顕在化する変状であることから、骨材露出が生じているか

らといって構造性能が低下したとは一概に言えない。骨材露出の生じたコンクリート水路の耐久性診断に際しては、消失したモルタル分を加味した診断と劣化予測を行う必要がある。

② 流水・混入土砂によるすり磨き作用および衝撃的摩耗作用を擬似可能な選択的摩耗試験機を試作した。この試験機を用いてコンクリートの物性と耐選択的摩耗性の関係を調べた結果、コンクリートの強度と耐選択的摩耗性には相関関係があり、コンクリートの強度が大きいほど耐選択的摩耗性が大きい、スキン層は耐選択的摩耗性に劣る、コンクリート打設時の粗骨材の分布状態によって選択的摩耗の進行状況に相違がある、ことが明らかになった。また、選択的摩耗試験とテーバー式摩耗試験を同じ供試体に対して行ったところ、供試体の材料特性によっては評価結果が相反する場合があり、テーバー式摩耗試験の結果のみから耐選択的摩耗性を評価することはできないことが明らかになった。これは、躯体の脆弱部のみを選択的に摩耗させる選択的摩耗試験と、摩耗輪が接する部分を一樣に摩耗させるというテーバー式摩耗試験の摩耗機構の相違によるものだと考えられた。一方、コンクリート水路から採取した供試体に対して選択的摩耗試験を行ったところ、モルタル部分が先行して摩耗するため、摩耗の進行に伴って表面粗度が上昇するが、ある程度まで摩耗が進行した後は一定の値に収束すること、採取した供試体の試作試験機による促進速度から当該水路における摩耗の進行予測が可能であること、が明らかになった。さらに、水路の補修工法用モルタルに対して選択的摩耗試験を行った結果、ポリマーセメント比は付着性と曲げ耐性の付与に必要な最小限の量とすること、所要の圧縮強度を満たす範囲内で骨材量を多くすること、施工性が確保できる範囲内で最大骨材粒径を大きくすること、で十分な耐摩耗性が得られることが明らかになった。

(5) 構造性能に関する研究

① 補強構造物の設計では、補強材と RC 部材の一体性を考慮しなければならない。しかし終局強度理論による耐力計算では、終局時に補強材が剥離するかを前もって仮定しなければならないが、付着特性を適切に考慮することが難しい。そこで、補強材の付着特性を考慮するために、材料試験、付着強度試験、補強構造物の載荷試験と ATENA Ver. 2 を用いた破壊解析を行った。その結果、付着特性を試験し考慮することで、補強材の破断と剥離のどちらが先行する場合についても、破壊解析によるモデル化が可能であることが明らかになった。

② 更生管に対する内外圧合成式の適用性を調べるために、破壊実験と破壊解析による

検討を行った。その結果、内外圧合成式は更生管にも適用可能であることが示唆された。

③ 天端背面に空洞が存在するトンネルのひび割れ発生メカニズムについて検討した結果、供用中の水路トンネルにおいてスプリングライン付近に発生したひび割れは、トンネルの天端背面に存在する空洞が原因であることが明らかになった。また、ひび割れが発生する荷重は、天端背面の空洞が大きいほど小さくなることが分かった。さらに、数値解析により天端覆工背面の空洞の有無あるいは空洞の広さによるひび割れ発生機構の相違を解明し、裏込め注入工法による補強効果の良否を検討した結果、空洞がある水路トンネルにおいてスプリングラインにひび割れが発生している場合、破壊に至るまでの荷重が小さいことから早急に補強を行う必要があること、裏込めは覆工背面の地盤状態により適切な材料、適切な圧力によって施工を行うことが必要であること、が明らかになった。

(6) 水路補修工法に関する研究

供用中の用水路において実施した二層構造を持つ FRP・樹脂含浸シートと AS パネルの試験施工現場での実現象とゼロスパン解析結果を比較して数値解析の妥当性について検討した結果、水路躯体の地盤による拘束度を適切に設定すれば、数値解析により水路目地幅の変動を表現できることが明らかになった。

(7) 表面被覆工法用新材料に関する研究

農業用水路の補修材料には、補修後の水密性を確保するため、目地部やひび割れ部の開口幅の変動に伴うひび割れ追従性が必要となる。そこで、ひび割れ分散性に優れた ECC の補修材料としての適用性について検討した。その結果、ECC は、ゼロスパンにおける引張応力下においても複数微細ひび割れを形成すること、ひび割れ部に無付着領域を設けることで ECC のひび割れ幅を抑制できることが明らかになった。また、割裂により模擬的にゼロスパン現象を発生させた ECC 供試体の透水試験を行い、ECC の有するひび割れ分散性が透水量を低減する効果があること、ひび割れ分散性により透水時間の経過にしたがって自己修復性もしくはフィルター効果が働き次第に水密性が回復することが明らかになった。

(8) 目地補修工法に関する研究

既設コンクリート躯体を活用して水路を更新しようとする場合、目地部における効果的な漏水防止補修技術が必要となる。そこで、合成ゴムの有する高弾性に着目し、目地材の断面形状を工夫することにより、目地機能の安定性・持続性、目地補修の省力化が可能となる工法を開発した。多様な断面形状の目地材について目地挿入完了時および最大圧縮変形

時の応力状態をFEM解析により調べたところ、適切な空隙量を有する中空リム構造とすれば、目地が伸縮しても目地材の水路側表面には引張応力が発生しないことが判明した。一般にゴムが引張された状態では大気中のオゾンによる劣化を受けるが、オゾンにさらされる目地の水路側表面は常に圧縮応力状態に維持されることから、高耐久性が期待できる。

なお、以上の成果の多くは、食料・農業・農村政策審議会農村振興分科会農業農村整備部会技術小委員会検討部会（部会委員：長束、緒方ら）が平成19年3月に取りまとめた「農業水利施設の機能保全の手引き」に反映された。

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21件）

- ①上野和広、長束 勇、野中資博、石井将幸、コンクリート水路のひび割れ補修材料に必要な伸び性能、農業農村工学論文集、254、59-66、2008、査読有
- ②佐藤周之、緒方英彦、野中資博、服部九二雄、コンクリート水路における骨材露出の評価に関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文集、30、699-704、2008、査読有
- ③周藤将司、高田龍一、緒方英彦、服部九二雄、超音波法を用いた研磨法による凍害劣化深さの診断手法の検討、コンクリート工学年次論文集、30、867-871、2008、査読有
- ④佐藤周之、緒方英彦、植野 寛、松本伸介、野中資博、構造破壊を生じた既設 RC 開水路の調査・診断と変状特性、農業農村工学会誌、76 (3)、29-33、2008、査読有
- ⑤長束 勇、渡嘉敷 勝、森 充広・石神暁郎、ゴム弾性を活用した水路目地補修工法の開発、農業土木学会論文集、249、31-37、2007、査読有
- ⑥石井将幸、新居 隆、福室順也、岩成 聡、野中資博、FRP 板の付着特性を考慮した補強構造物の破壊解析、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集、7、135-140、2007、査読有
- ⑦石井将幸、佐藤周之、緒方英彦、野中資博、現場打ち RC 開水路におけるひび割れ幅と鉄筋腐食の関係、農業土木学会論文集、247、73-82、2007、査読有
- ⑧石神暁郎、渡嘉敷 勝、長束 勇、高橋 晃、森 充広、増川 晋、中矢哲郎、ジオメンブレンを活用した補修工法の用水路伸縮挙動への追従性評価。ジオシンセティックス論文集、21、291-296、2006、査読有
- ⑨平石剛紀、坂田 昇、渡嘉敷 勝、長束 勇、高靱性セメント複合材料のひび割れ分散性

に関する基礎実験、コンクリート工学年次論文集、128 (1)、347-352、2006、査読有

- ⑩緒方英彦、服部九二雄、長束 勇、朝河哲也、青山咸康、フルサイズの粗骨材を用いたダムコンクリートの自己収縮特性。農業土木学会論文集、246、103-113、2006。

〔学会発表〕（計47件）

- ①周藤将司、高田龍一、垣田真志、橋本和幸、緒方英彦、服部九二雄、研磨法による凍害診断手法の検討、土木学会中国支部島根会研究・事例報告会、2009年1月、松江市
- ②上野和広、長束 勇、石井将幸、農業用水路を対象とした各種表面被覆工法の試験施工、土木学会中国支部島根会研究・事例報告会、2009年1月9日、松江市
- ③緒方英彦、高田龍一、野中資博、服部九二雄、RC開水路の凍害、農業農村工学会大会講演会、2008年8月26日、秋田市
- ④井 周平、牛尾康二、西村強志、富山和城、溝上辰弥、上野和広、長束 勇、選択的摩耗試験機の試作と試験法の提案、土木学会中国支部島根会研究・事例報告会、2007年12月14日、松江市
- ⑤上野和広、長束 勇、石井将幸、アスファルトパネルの有する粘弾性がゼロスパン現象緩和へ与える効果、土木学会中国支部島根会研究・事例報告会、2007年12月14日、松江市
- ⑥石井将幸、森 充広、長束 勇、野中資博、背面に空洞を有する水路トンネル覆工の破壊解析、農業農村工学会中国四国支部講演会、2007年10月25日、宇和島市
- ⑦上野和広、長束 勇、石井将幸、野中資博、流水に起因した力学的摩耗作用に関する基礎的研究、農業農村工学会大会講演会、2007年8月28日、松江市
- ⑧菊本 勝、佐藤周之、松本伸介、篠 和夫、長期供用した現場打ちコンクリート水路のひび割れ発生状況に関する研究、農業農村工学会中国四国支部講演会、2006年10月26日、米子市
- ⑨緒方英彦、服部九二雄、表面が劣化した水利コンクリート構造物の非破壊試験による品質検査方法、農業土木学会大会講演会、2006年8月8日、宇都宮市
- ⑩上野和広、長束 勇、石井将幸、野中資博、高靱性セメント複合材料が有するひび割れ分散性の透水量低減効果。農業土木学会大会講演会、2006年8月8日、宇都宮市

〔図書〕（計3件）

- ①野中資博、農業農村工学会、機能保全における性能設計入門、2008、1-25
- ②石井将幸、農業農村工学会、機能保全における性能設計入門、2008、26-53、89-103
- ③佐藤周之、農業農村工学会、機能保全にお

ける性能設計入門，2008，178-207

〔産業財産権〕

○出願状況（計3件）

名称：堤体の表層部の被覆構造

発明者：長束 勇，石井将幸，服部九二雄，
緒方英彦，坂田 昇，林 大介，大井 篤，
藤崎勝利，岡本道孝，坂本康文，芳賀潤一，
下田博文，竹内国雄

権利者：島根大学，鳥取大学，鹿島建設，鹿
島道路，三祐コンサルタンツ

種類：特許

番号：特願 2009-057834

出願年月日：2009年3月18日

国内外の別：国内

名称：摩耗試験方法及び摩耗試験装置

発明者：長束 勇，工藤章光，横島康弘，青
木啓之

権利者：長束 勇，岡三リビック株式会社，
有限会社横島，株式会社オール

種類：特許

番号：特願 2008-094455

出願年月日：2008年4月1日

国内外の別：国内

名称：段差緩衝構造

発明者：長束 勇・上野和広・坂田 昇・閑
田徹志・平石剛紀

権利者：島根大学，鹿島建設

種類：特許

番号：特願 2007-18793

出願年月日：2007年1月30日

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長束 勇 (NATSUKA ISAMU)

島根大学・生物資源科学部・教授

研究者番号：90379694

(2) 研究分担者

野中 資博 (NONAKA TSUGUHIRO)

島根大学・生物資源科学部・教授

研究者番号：60093655

服部 九二雄 (HATTORI KUNIO)

鳥取大学・農学部・教授

研究者番号：00032300

高田 龍一 (TAKADA RYUICHI)

松江工業高等専門学校・環境建設工学・教授

研究者番号：00321472

石井 将幸 (ISHII MASAYUKI)

島根大学・生物資源科学部・准教授

研究者番号：50293965

緒方 英彦 (OGATA HIDEHIKO)

鳥取大学・農学部・准教授

研究者番号：90304203

佐藤 周之 (SATO SHUSHI)

高知大学・農学部・准教授

研究者番号：90403873

(3) 連携研究者

なし