

平成 21 年 5 月 28 日現在

研究種目：若手研究（A）  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18680008  
 研究課題名（和文） 車々間アドホックネットワークにおけるセキュアかつ効率的な空間情報共有機構  
 研究課題名（英文） Secure and efficient information sharing mechanism on vehicle-to-vehicle ad hoc networks  
 研究代表者  
 石原 進（ISHIHARA SUSUMU）  
 静岡大学・創造科学技術大学院・准教授  
 研究者番号：10313925

## 研究成果の概要：

道路上の事故や渋滞の状況画像，沿線上の施設に関する情報等，位置に関連づけられた情報を，走向する車両同士による車々間無線通信によって，効率よく，かつ情報に対する信頼性を保持した上で共有するための手法を開発した．同手法では，車両が移動先で生成した位置依存情報の複製を，道路構造，車両密度，周辺の車両の移動方向に応じて適切に配布することで，車両の移動等によってネットワークの分断が起きていても，位置依存に対するアクセスを高い確率で実行可能である．

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2007年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
2008年度	5,000,000	1,500,000	6,500,000
年度			
年度			
総計	13,700,000	4,110,000	17,810,000

研究分野：計算機ネットワーク

科研費の分科・細目：(分科) 情報学 (細目) 計算機システム・ネットワーク

キーワード：車々間アドホックネットワーク，位置依存情報，情報共有，Geocast，セキュリティ，カーナビゲーション，モバイル P2P

## 1. 研究開始当初の背景

移動する無線端末のみによってネットワークを構成する無線アドホックネットワーク技術が，多様化する無線通信における短距離通信の基盤技術，多数のセンサを接続するための基盤技術として注目を浴びてきた．高度交通システム（ITS）における車々間通信もアドホックネットワークの一種といえるが，これまでは特に衝突防止のためにブレーキ踏み込みの情報や車両位置等のリアルタイムに必要な情報を伝達比較的狭い

範囲に送信することに焦点が当てられてきた．一方で，このようなリアルタイム系の情報だけでなく，事故の発生状況や渋滞情報，道路脇の様子など高いリアルタイム性を要求しないが，より広い範囲でドライバーから関心度の高い情報を車々間通信で交換する応用も，カーナビの高度化，およびそれによるドライバー支援，事故防止，渋滞緩和という観点から需要がある．車々間通信によるこれらの情報共有は，車両密度が都市密集部に較べて低く，路車間通信設備等のインフラ投

資を行いつらい郊外地域において、有効と考えられる。

本研究代表者は、固定のサーバが存在しない移動端末のみからなるアドホックネットワークにおいて、移動端末が移動先で収集する位置依存情報（特定位置に関連づけられた情報、事故や渋滞の情報、道路沿線の施設の配信する広告等）を、端末移動に等に伴うネットワーク分断が起きた場合でも確実に共有するための問い合わせ機構、並びにそのための複製配布手法を開発していた。当時のアドホックネットワーク上での複製管理に関連するその他の研究と同様、この手法では、移動端末は人によって持ち運びされることを想定しており、端末の記憶容量、電池容量の制限を考慮して、記憶領域の有効活用、送信頻度の低減を目指した設計がなされていた。

ところが、自動車に搭載される通信端末は、記憶容量、電源ともに人が運ぶ端末に較べるとそれほど大きな制限はない。また、道路上を走向する車両は、移動のパターンが人に較べると大きく違う。加えて、交差点では車両密度が大きくても、それ以外の所では低くなりがちである。このように、車々間アドホックネットワーク固有の特性を考慮した設計が必要であった。さらに、こうした情報共有を実運用するためには、個々の車両が生成し、車々間通信を介してやりとりされる位置依存情報に関して、その信頼性を担保するしくみが必要であった。

## 2. 研究の目的

前章で述べた背景の下、以下の3項目を目的として研究を実施した。

(1) 周辺車両や固定端末の位置・速度・移動経路、トポロジ、ユーザのアクセス特性を活用した位置依存複製の配置および問い合わせ手法の最適化

交差点とそれ以外で異なる車両密度の変化、交差点における見通し通信可能範囲の増

大等、道路構造によって、車々間通信の環境は大きく異なる。こうした違いや、車両、および補助的に道路上に配置する機能を限定した固定端末の位置・速度・移動経路・トポロジ、ユーザのアクセス特性を活用して効率的に複製を配布する手法、および複製を含む位置依存情報の問い合わせ方法、応答送信の方法を開発する。この開発に当たっては、ネットワーク分断時におけるデータ可用性と有限電波資源の有効活用に焦点を置いた方式設計を進め、通信可能時に積極的な複製配布を行うなどの、単純にトラフィック最小化を目標としたアプローチとは異なる方法により設計を行う。

(2) ネットワーク上で流通する情報の正当性を保障するためのセキュリティ機構の開発

個々の車両が取得する位置依存情報を車々間通信で共有し、ドライバーがそれらを今後の運転計画に用いることを想定すると、その位置依存情報が正しく（情報そのもの、およびそれに付加された位置情報）かつ、改ざんされていないことが重要である。例えば、車両Vが本当はA地点にはいないにもかかわらず、現在のA地点があたかも混雑しているような画像を配布することで、他の車両を他の場所に誘導してA地点の混雑を解消することも可能である。このような動作を防ぐための仕組みを開発する。

(3) 上記の機構を含む、位置依存情報へのアクセスを可能とする汎用的なプロトコルの開発と、現実的環境における有効性の実証

## 3. 研究の方法

前章に示した目的の項目ごとに研究方法を説明する。

(1) 位置依存情報の複製配置方式の開発に当たっては、研究代表者が提案済みの位置依存情報複製管理者法 (Skip Copy (SC) 方式) をベースとして、車両の移動特性、道路の構造を考慮した動作ができるように拡張を行

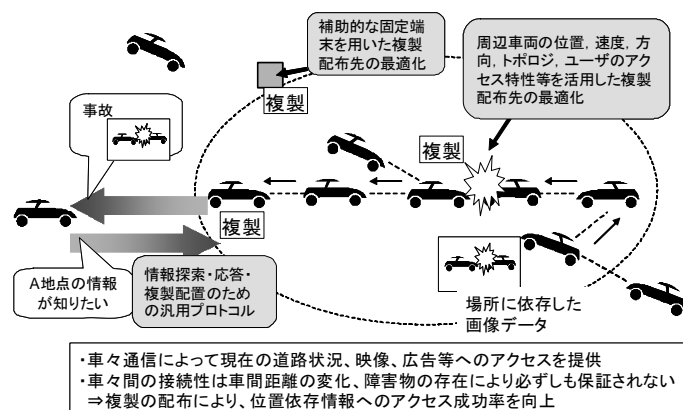


図 1. 研究目的

うことで進めた。また、位置依存情報の問い合わせ方式に関しては、位置ベースのフラグディングベース、ユニキャストベースの手法両面で検討を進めた。また、Delay Tolerant Network で用いられる端末の移動によるデータの移動 (Carry and Forward) の考え方を導入した。手法の設計・評価に当たっては、Java ベースの オープンソース無線ネットワークシミュレータ、JiST/SWANS を用いることとした。このシミュレータでは、実環境で動作する Java のコードを少量の改変でシミュレーションできるので、設計したプロトコルを実環境実験に移行するのに都合がよい。また、車両の動きを含めたシミュレーションを行うため、交通流シミュレータによって車両移動ログを生成し、これをネットワークシミュレータへの入力とした。なお、効率的なシミュレーション実施のため、9 ノードのクラスタ型計算サーバを当初運用していたが、計画途中で低価格 PC によるノードを追加して、最終的には 36 ノードのクラスタとして運用した。

(2)情報の正当性を保障するためのセキュリティ機構の開発に当たっては、当初、JXTA 等の固定のネットワークを前提に開発された P2P プラットフォームでの手法を応用することを検討した。しかしながら、断続的な接続環境、無線環境でのブロードキャストによる情報配布に当たっては、従来型のプラットフォームの技術をそのまま応用することは困難であった。文献調査の結果、個々の端末が生成した情報の改ざん防止ならびに匿名性の保証の方法には、いくつかの事例が見つかった。また、端末が発生した位置依存情報の信憑性を検証する方法として、複数の車両が近接している場合には適用できる手法も既に提案があった。そこで、車両が近接せず、一時的に通信が孤立した状態になった車両 (孤立車両) が生成した位置依存情報 (その場所の映像等) について、その発生位置にたいする信憑性を検証することに焦点を絞って手法の開発を行った。開発した手法の評価、動作検証には、1)と同様のシミュレーション手法を用いた。

3)汎用プロトコルの実装にあたっては、JiST/SWAN 用に開発したプロトコルのモデルを小修正して実働プロトコルとする方針で作業を進めた。また、実環境での評価に先立って、アドホックネットワークのエミュレーション環境を構築し、その上での動作検証を行うことを試みた。また、実環境での実証実験のため、実車両を用いた車々間通信試験を行った。

#### 4. 研究成果

固定のサーバが存在しないアドホックネットワークで、移動端末が個々に移動先で生成した位置依存情報を、以下の2つの基本ルールに基づいて効率的かつセキュアに共有するための手法を開発した。

- i) 適切な操作により、複製を情報発生位置周辺にとどめる、
- ii) 情報を欲する端末は、その情報発生位置を宛先として問い合わせ要求を送る (Geocast する) ことで、その情報の探索を行い、要求をうけた該当データ保持端末がデータを返送する。

#### (1)複製配布手法の開発

①低端末密度での複製配布: Persistent SC (PSC) 方式 [J4] [5]

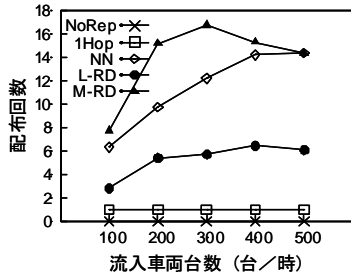
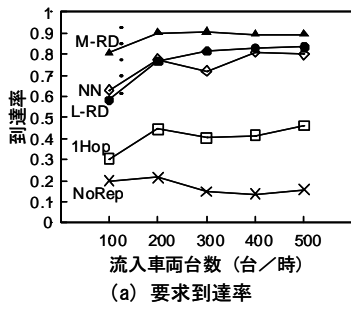
オリジナルの SC 方式 [J3] では、端末が情報精製時にその時点での接続可能な周辺端末に複製を配布するが、このとき端末密度が低いと十分な数の複製が配布でない。PSC 方式では、隣接端末数が少ない場合に十分な数の隣接端末が現れるまで複製配布を延期後、ブロードキャストによる複製配布を行う。これにより少ない複製送信回数で、多くの複製配布を可能とした。

②ネットワークの分断地点周辺への複製配布を行う方式: Link-aware and Density-based Replica arrangement (LDR) 方式 [J4] [6] [9]

SC 方式では、データ要求に対する応答送信時に複製を応答経路上の一部の端末のみに複製を配置する。このため、応答経路上の端末とその他の端末がリンク切断によってネットワーク上で分離すると複製へのアクセスが困難となる。LDR 方式では、端末間の接続状態を調べ、ネットワーク分断が置きやすいリンクの先にある端末に複製を配置するように動作することで、ネットワーク分断が置きやすい状況でも複製へのアクセス成功率を高く維持できる。

③道路構造と隣接車両の位置・進行方向を基に複製配布制御を行う手法 Road-aware Direction based replica distribution scheme (RD 方式) [J3] [11] [13] [14] [18] [19]

RD 方式では、道路上の車両密度の違いを考慮し、各車両は1回のブロードキャストでより多くの車両に対して複製が配布されるように、交差点で複製を配布する。このとき、配布した複製を受信した車両によって、この後別の交差点で必要最低限の回数の複製の再送信が行われるように、次に複製の再送信を行う車両を適切に指定する。道路上の無線通信条件、交通流シミュレータによる車両移動データとネットワークモデルを組み合わせたシミュレーションの結果、RD 方式は従来の新たな通信可能車両が現れた時点で複製を配布する手法、並びに PC 方式と比較して、



M-RD: RD方式. 周辺車両の移動方向に基づいて複製配布車両を指定  
 L-RD: RD方式. 周辺車両の位置に基づいて複製配布車両を指定  
 NN: 新規遭遇車両に複製を送信  
 1Hop: 位置依存情報生成直後, 1ホップ先まで複製を配布  
 NoRep: 複製を使わない

図 2. RD 方式による複製配布の効果

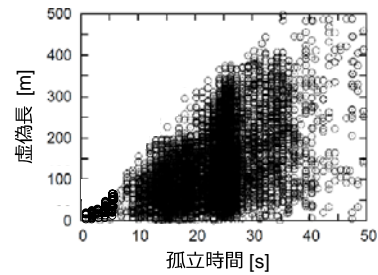
効率的に複製を配布することができることを確認した. 図 2 に道路網への車両流入台数に対する複製への到達率, 複製配布に要したトラフィック量との関係を示す.

さらに RD 方式を用いる環境で, 少量の固定ノードを加え, これらに複製の保持と必要に応じた複製配布動作をさせることで, 複製への要求到達率を向上させる方式を開発した[1][2].

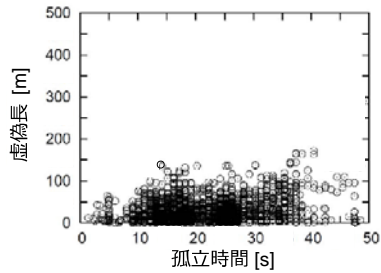
道路構造, 車両密度, トラフィックの削減を考慮した車々間アドホックネットワークでの位置依存情報の配布制御例は他に見られず, RD 方式は, 車々間アドホックネットワークでの位置依存情報配布のための重要な設計指針を示したものと言える. 都市部密集地域での車両の発する位置情報を含むビーコンのトラフィックは無線通信資源を大量に消費するため, ビーコンの送信頻度調整, 送信電力調整は大きな課題となっている. これらの諸対策と, RD 方式を併用していくことが今後の課題である.

(2) 位置依存情報の問い合わせ・応答のための経路制御方式の開発

フラッディングベースの Geocast を用いた要求の送信は, 複製保持端末が移動した場合でも要求がそれらの端末に到達するため, アクセス成功率の観点からは有用だが, 冗長なパケット送信が頻発する. そこで, 送信前ランダム遅延挿入型のフラッディング効率化手法を改良し, 過去に応答が得られた経路上の端末に, その後の通信での優先的送信機会を与えることで, 冗長なトラフィックを低減



(a) 虚偽の情報を検出できた場合



(b) 虚偽の情報を検出できなかった場合

図 3. MIND-MO による虚偽の位置依存情報の検出結果

する手法を開発した[15][17][20].

また, フラッディングベースではなくユニキャストベースの問い合わせ・応答送信方法の基礎設計を行った. この方式では基本的には GPSR を基本とした位置ベースのユニキャストルーティングで問い合わせを送信するが, ネットワークの接続性がない場合でも車両自体の動きを用いて問い合わせとその応答を転送する. また, 車両の移動による経路切断による通信失敗を防ぐため, 問い合わせ元の車両への応答メッセージの宛先位置を, その車両と遭遇したことがあるパケット中継車両が絶えず更新することで応答メッセージの配送成功率を向上させる[8][12]. シミュレーションによって, 車両密度が低く同手法を用いない場合には応答パケットの転送成功率が 15%程度の場合においても, 同手法により成功率を 30%程度に向上できることを確かめた. さらにパケットの転送成功率を向上させるため, 平均交通量に基づいて決定する最短経路と, 現在位置に基づく貪欲法によって選ぶ 2 つの経路を同時使用する手法を開発し, 車両密度の時間的変化がある道路での有効性を確認した[4].

(3) 孤立端末の生成した位置依存情報の信憑性評価手法の開発

車両密度が低い場合, 車両が孤立した状態で位置依存情報を生成する場合があります. その情報に対する位置に関しては, 他の車両が信頼できない状況が生まれる. この情報の信憑性を判断するための手法 MINDO-MO を開発した[3][7]. 同手法では, 車両の現在位置, 移動可能速度から, 他社量より受信した位置依存情報の発生位置の信憑性を判定する. 同手

法により、車両が自らの位置とは遠い位置に関する位置情報の偽造を困難にできることをシミュレーションにより明らかにした。図3に、同手法による虚偽情報検出例を示す。

MINDO-MOは、数百m以上の位置の虚偽に関しては、ほぼ確実に検出可能だが、位置以外の情報そのものの信憑性に関しては、判定する手法を持たない。位置依存情報の改ざん防止機構、匿名性保証の仕組み等との組み合わせを検討していく必要がある。

#### (4) アドホックネットワークの実証実験環境構築

当初、1移動端末につき1実固定ノードを用いるアドホックネットワークのエミュレータの構築を試みたが、仮想化技術を用いて、一台の実固定ノードに複数台の移動ノードを割りあてる、より効率の方式に切り替え、この方式によるエミュレータの基礎設計を行った[10]。ただし実際には、効率を重視し、より多くの計算ノードを用いた並列シミュレーションによる評価中心に研究を進めた。

また、IEEE802.11無線LANおよびGPSを搭載したPCを載せた複数台の車両を一般道で走向させる車々間通信実験を実施し、提案プロトコルの実装実験準備を進めた。しかしながら、ノード間の接続性の確保、位置情報獲得の実装上の問題があり、提案プロトコルの実装・実環境での実証までには至らなかった。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

<すべて査読付き>

- [J1] G. Tsuchida, S. Ishihara, Replica Arrangement for Location Dependent Data in Consideration of Network Partition in Ad Hoc Networks, International Journal of Communication Networks and Distributed Systems (IJCND), Vol.2, No.2 (2009, to appear).
- [J2] 山中麻理子, 石原進, VANETにおけるGeocastによる要求を想定した位置依存情報の複製配布方法, 情報処理学会論文誌, Vol.50, No.1, pp.31-41 (2009-01).
- [J3] G. Tsuchida, T. Okino, M. Tamori, T. Watanabe, T. Mizuno, S. Ishihara, Replica Distribution of Data Associated with Location on Wireless Ad Hoc Networks, Electronics and Communications in Japan, Part 1, Vol.90, No.10, pp.67-80 (2007-05).
- [J4] 土田元, 石原進, 無線アドホックネットワークにおける近隣端末情報を利用した位置依存情報複製配布スケジューリング手法, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.12, pp.3234-3243 (2006-12).

〔学会発表〕(計21件)

- [1] 岡本 惇一郎, 石原 進, 車両間アドホックネットワークにおける固定ノード併用による効果的な位置依存情報複製配布手法の提案, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2009) シンポジウム (2009/7/9, 別府)
- [2] 岡本惇一郎, 石原進: 車両間アドホックネットワークにおける push/pull 型の位置依存情報複製配布における固定ノード導入効果, 情報処理学会第71回全国大会, 3V-4, (2009/3/11, 草津).
- [3] 深谷大樹, 石原進, VANET上で孤立端末が生成した位置依存情報の信憑性判定手法の評価, 情報処理学会研究報告, コンピュータセキュリティ研究会, Vol.2009, No.20, pp.151-156, 2009-CSEC-44 (26) (2009/3/6, 熊本).
- [4] 村井翔悟, 石原進, VANETにおける移動する宛先に向けたマルチパスルーティング, 電子情報通信学会技術研究報告, 情報ネットワーク研究会, Vol.108, No.458, pp.303-307, IN2008-183 (2009/3/4, 沖縄).
- [5] 土田元, 石原進, 端末の移動特性を考慮したアドホックネットワークにおける位置依存情報複製配置手法の拡張, 情報処理学会研究報告, モバイルコンピューティングとユビキタス通信, Vol.2008, No.107, pp.113-120 (2008/11/7, 高知).
- [6] G. Tsuchida and S. Ishihara, Replica redistribution method of location dependent data in consideration of connectivity and network partition in wireless ad hoc networks, in proc. of the 6th International Conference on Global Research and Education (Inter Academia 2007), pp.743-752 (2007/09/27, Hamamatsu / Japan).
- [7] 深谷大樹, 石原進, VANETにおける孤立端末が生成した位置依存情報の信憑性評価方法, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2008) シンポジウム, Vol.2008, No.1, pp.1621-1627 (2008/7/11, 札幌).
- [8] 村井翔悟, 石原進, VANETにおける移動する宛先に向けた Carry and Forward に基づく追跡型ルーティングの検討, 電子情報通信学会技術報告, アドホックネットワーク, Vol.108, No.151, pp.37-42 (2008/7/24, 函館).
- [9] G. Tsuchida and S. Ishihara, Information Dissemination of Location Dependent Data in Consideration of Connectivity and

- Network Partition in Mobile Ad Hoc Sensor Networks, in proc. of MDM2008 workshops (Sensor Network Technologies for Information Explosion Era (SeNTIE2008), pp. 166-173 (2008/4/27, Beijing / China)
- [10] 野村英之, 石原進: 自身のノードの位置情報を扱うアドホックネットワークアプリケーションのためのネットワークエミュレータの設計, 第70回情報処理学会全国大会, 2ZA-1 (2008/3/13, 筑波).
- [11] 山中麻理子, 石原進, VANETにおけるpush/pull 併用による位置依存情報アクセス手法, 情報処理学会研究報告, モバイルコンピューティングとユビキタス通信, Vol.2008 No.18, pp.25-32 (2008/3/5, 東京).
- [12] 村井翔吾, 石原進, 宛先端末の移動予測を用いた無線アドホックネットワークにおける Carry and Forward に基づく経路制御に関する一検討, 情報処理学会研究報告, モバイルコンピューティングとユビキタス通信, Vol.2007, No.116, pp.41-48 (2007/11/21, 京都).
- [13] 山中麻理子, 石原進, 車々間アドホックネットワークにおける隣接端末情報を用いた位置依存情報複製配布手法の評価, 電子情報通信学会技術研究報告, アドホックネットワーク, Vol.107, No.192, pp.105-110 (2007/8/24, 新潟).
- [14] 山中麻理子, 石原進, 車々間アドホックネットワークにおける隣接端末情報を用いた位置依存情報複製配布手法の提案, 電子情報通信学会技術報告, 情報ネットワーク研究会, Vol.106, No.578, pp.7-12 (2007/3/8, 沖縄).
- [15] 野本明寛, 土田元, 石原進, アドホックネットワークにおける過去の通信成功記録および目的地への到達性を考慮した Geocast の効率化, 情報処理学会研究報告, データベースシステム研究会, 2007-DBS-141, Vol.2007, No.6, pp.163-170 (2007/1/25, 神戸).
- [16] 土田元, 石原進, アドホックネットワークにおけるデータの更新と要求元の位置考慮した位置依存情報複製配置手法の評価, 情報処理学会研究報告, データベースシステム研究会, 2007-DBS-141, Vol.2007, No.6, pp.155-162 (2007/1/25, 神戸).
- [17] A. Nomoto, G. Tsuchida, and S. Ishihara, A Geocast scheme based on Successful Transmission Records on Wireless Ad Hoc Networks, in proc. of The Third International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2006), pp. 272-277 (2006/10/13, London / U.K.).
- [18] M. Yamanaka, G. Tsuchida, and S. Ishihara, A replica distribution scheme for location-dependent information on vehicular ad hoc networks, in proc. of the 3rd International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET2006), pp.98-99 (2006/9/29, Los Angeles / U.S.A.).
- [19] 山中麻理子, 土田元, 石原進, 車々間アドホックネットワークにおける車両の移動特性を考慮した位置依存情報複製配布方式, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2006) シンポジウム, 情報処理学会シンポジウムシリーズ, Vol.2006, No.6, pp.673-676 (2006/7/7, 香川).
- [20] 野本明寛, 土田元, 石原進, アドホックネットワークにおける過去の通信成功記録を用いた Geocast の効率化～通信成功記録の分類と活用方法の改善～, 電子情報通信学会第4回アドホックネットワーク・ワークショップ, pp.3-13--3-16 (2006/6/29, 大阪).
- [21] G. Tsuchida, N. Suzuki, M. Yamanaka, and S. Ishihara, Adaptive replication of location-dependent data in ad hoc networks, in proc. of the third International Conference on Networked Sensing Systems (INSS2006), p.126, (2006/6/1, Chicago / USA).

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

石原進 (ISHIHARA SUSUMU)  
静岡大学創造科学技術大学院・准教授  
研究者番号: 10313925

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし