

機関番号：32689

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20300031

研究課題名（和文）ハイブリッド型 TCP 輻輳制御の性能改善と実装評価

研究課題名（英文）Performance Improvement and Implementation of Hybrid TCP Congestion Control

研究代表者

甲藤 二郎（KATTO JIRO）

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：70318765

研究成果の概要（和文）：

本研究では、高速・広帯域ネットワーク、無線ネットワーク、海中センサーネットワークそれぞれに適したトランスポートプロトコルに関する研究開発を進めた。それぞれについて、理論構築、シミュレーション実験、実装実験を併用して性能改善と評価を進め、既存方式を上回る新規な方式提案を実現した。また、将来的なトランスポートプロトコルの統合に向けた指針を得た。

研究成果の概要（英文）：

This research had focused on transport protocols which were adequately designed and applied to broadband wired networks, wireless networks and underwater sensor networks. For each topic, novel proposals which outperformed conventional ones had been made by integrating theoretical analysis, simulation evaluations and actual implementations. We had also achieved future direction toward integrated design of transport protocols.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	7,500,000	2,250,000	9,750,000
2009 年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
2010 年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
年度			
年度			
総計	14,900,000	4,470,000	19,370,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学、計算機システム・ネットワーク

キーワード：TCP、TFRC、輻輳制御、高速広帯域ネットワーク、無線ネットワーク、海中センサーネットワーク

1. 研究開始当初の背景

近年、ネットワークの高速化・大容量化が進む一方で、海中センサーネットワークなど、従来は検討されていなかった通信方式の多様化が進んでいる。また、ライブ放送など、従来は UDP を用いた実装が行われていた実時間サービスも、昨今は TCP を用いて行わ

れるようになってきている。

2. 研究の目的

本研究では、高速ネットワーク、無線ネットワーク、海中センサーネットワークそれぞれに適したトランスポートプロトコルに関する研究開発を進める。さらには、将来的なト

ランスポートプロトコルの統合に向けた方向性を模索する。

3. 研究の方法

研究対象は、(1) 高速・広帯域ネットワーク、(2) 無線ネットワーク、(3) 海中センサーネットワーク、とした。研究方法は、(1) 理論構築、(2) シミュレーション評価、(3) 実装評価、の三面から検討を進めた。

4. 研究成果

3年間の研究成果として以下の知見を得た。

(1) 高速・広帯域ネットワーク

有線を前提とする高速・広帯域ネットワークでは問題の抽象化が図りやすい。そこで、理論、シミュレーション、実装実験の三点セットとして、以下の提案を行った。

① ハイブリッド TCP に関する抽象モデルを構築し、理論解析を試みた。その結果として理論、シミュレーション、実装評価の橋渡しを実現し、さらには既存手法の改善提案を行った。

② 新たな提案として RTT 公平性を有するハイブリッド TCP 方式の提案を行った。理論評価、シミュレーション評価、実装評価を行い、それぞれで提案方式の有効性を実証した。

③ 上記の発展形として、ACK 到着間隔を計測することで競合フローの RTT を推定し、RTT 公平性を高める方式の提案を行った。シミュレーション評価と実装評価として、提案方式の有効性を実証した (図 1)。

④ ハイブリッド TCP の変形として、ハイブリッド TFRC 方式の提案を行い、有効性を実証した。

⑤ 提案するハイブリッド TCP の応用先として映像配信の基盤となるコンテンツ配信ネットワークと P2P ネットワークを設定し、信頼性向上やモバイル拡張に関する検討を行った。

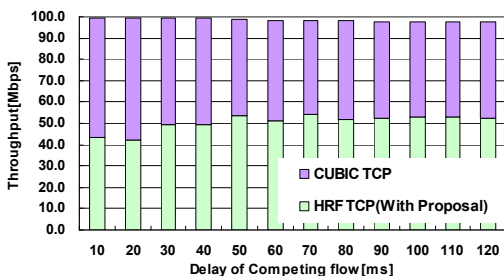


図 1: RTT 公平性を有するハイブリッド TCP の効果

(2) 無線ネットワーク

無線ネットワークには衝突回避 (CSMA/CA)、干渉対策、リンク層再送などの固有の技術があり、また、有線系とは異なり、バッファサイズが帯域遅延積を大きく上回るなど、有線

系にはない問題を把握した。そのため、有線系のハイブリッド TCP をそのまま当てはめるのではなく、無線に特化したアプローチの構築を試みた。

① 無線 LAN アクセスポイントで TCP フローの識別を行い、輻輳制御アルゴリズムの違いを推定することで、他者に迷惑をかけるフロー (ロスベースフロー) を待合せ、他者に迷惑をかけないフロー (遅延ベースフロー) を優先的に転送する方式の提案、評価を行った (図 2)。

② 無線マルチホップネットワークを対象に、新規な輻輳制御アルゴリズムを提案し、既存方式よりも良好な特性を得た。特徴は、輻輳ウィンドウの更新のたびに更新幅を減少させる点であり、これによってスループット、パケット到着率共に改善することができた (図 3)。

③ 無線ネットワークに関わる派生的な研究テーマとして、無線 LAN や ZigBee の受信電力を混雑度推定に結び付け、基礎データの取得と簡易なプロトタイプアプリケーションの構築を行った。

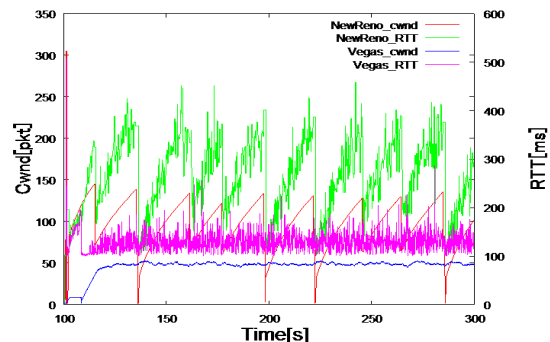


図 2: 無線 LAN アクセスポイントによる TCP フロー識別と差別化の効果

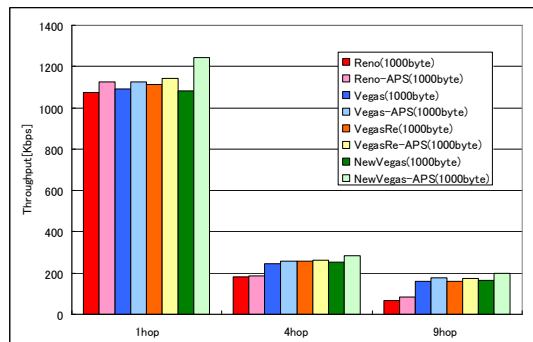


図 3: 無線マルチホップネットワークに適した TCP の提案と特性比較

(3) 海中センサーネットワーク

海中センサーネットワークでは、旧来の電気信号ではなく音響信号を使用するため、音速が伝搬速度となり、遅延が大きな問題になる。このため、データリンク層からの見直しが必要となり、申請期間中では、先述のマルチホップ用途の提案に留まり、実際の海中環境を

想定したトランスポートプロトコルの提案までは至っていない。逆に、今後の新規申請に向け、MAC プロトコルやアドホックルーティングプロトコルの提案と評価を進めた。

① 海中センサーネットワーク用 MAC プロトコルの検討

音速による遅延が顕著になるため、シングルチャネルを用いたマルチホップ転送のスループットが無線以上に劣化する。このため、無線と同様の MAC 方式では性能が上がらず、かつ、端末間の距離に応じてスループット上限が下がる現象が見られる。これを緩和するため、ACK に先んじてパケットを送出する MAC プロトコルの検討を進めている。

② 海中センサーネットワーク用アドホックルーティングプロトコルの検討

海中センサーネットワークにおいて、AUV (Autonomous Underwater Vehicle: 自立海中ロボット) と呼ばれる移動ノード間のアドホックネットワークの構成を目指しているが、そのためには効率の良いルーティングプロトコルが必要になる。現在は既存の無線アドホックネットワーク用のルーティングプロトコルを海中センサーネットワーク用に改良し、比較検討を進めているところである。

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 1 件)

[1] Z. Su, M. Oguro, Y. Okada, J. Katto and S. Okubo: "Overlay Tree Construction to Distribute Layered Streaming by Application Layer Multicast", IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol. 56, No. 3, pp. 1957-1962, Aug. 2010 (査読あり).

[学会発表] (計 70 件)
(国際学会)

[1] T. Fujikawa, Y. Takishima, H. Ujikawa, K. Ogura, J. Katto and H. Izumikawa: "A Hybrid TCP-Friendly Rate Control for Multimedia Streaming", Packet Video 2010, Dec. 2010, Hong Kong (査読あり).

[2] S. Awiphan, Z. Su and J. Katto: "A Contribution-Aware Multiple Parent Overlay Network for P2P Media Streaming", Packet Video 2010, Dec. 2010, Hong Long (査読あり).

[3] K. Ogura, Z. Su and J. Katto: "Implementation Experiments of TCP Congestion Control Supporting Loss-Fairness", IEEE CQR 2010, Jun. 2010, Vancouver (査読あり).

[4] K. Ogura, Z. Su and J. Katto: "Congestion Control with Two Fair Allocation Modes to

Achieve RTT-Fairness", ICMU 2010, Apr. 2010, Seattle.

[5] S. Awiphan, Z. Su and J. Katto: "ToMo: A Two-layer Mesh/Tree Structure for Live Streaming in P2P Overlay Network", IEEE CCNC 2010, Jan. 2010, Las Vegas (査読あり).

[6] Z. Su, S. Awiphan, K. Ogura, J. Katto and Y. Yasuda: "Hybrid Application Layer Multicast with Hierarchically Distributed Nodes," IEEE CCNC 2010, Jan. 2010, Las Vegas (査読あり).

[7] K. Ogura, T. Fujikawa, Z. Su and J. Katto: "Improvement of RTT-Fairness in Hybrid TCP Congestion Control", IEEE CQR 2009, May. 2009, Naples (査読あり).

[8] Z. Su, J. Katto, Y. Yasuda and Y. Chen: "Priority Based Selection to Improve Contents Consistency for Mobile Overlay Network", IEEE WCNC 2009, Apr. 2009, Budapest (査読あり).

[9] S. Awiphan, Z. Su and J. Katto: "Robust Mesh-based Data Delivery over Multiple Tree-Shaped Routes in P2P Overlay", ISORC 2009, Mar. 2009, Tokyo (査読あり).

[10] S. Awiphan, Z. Su and J. Katto: "Mesh-based Data Delivery over Multiple Tree-Shaped Routes in P2P Overlay Network", ICOIN 2009, Jan. 2009, Chiang Mai.

[11] H. Ujikawa and J. Katto: "Implementation Experiment of VTP-Based Adaptive Video Bit-Rate Control over Wireless Ad-Hoc Networks", IWAIT 2009, Jan. 2009, Seoul.

[12] Z. Su, M. Oguro, Y. Okada, J. Katto and S. Okubo: "Efficient Construction in ALM with Assignment of Layered Degree and Bi-Cast", IEEE CCNC 2009, Jan. 2009, Las Vegas (査読あり).

[13] J. Katto, K. Ogura, Y. Akae, T. Fujikawa, K. Kaneko and Z. Su: "Simple Model Analysis and Performance Tuning of Hybrid TCP Congestion Control", IEEE Globecom 2008, Dec. 2008, Atlanta (査読あり).

[14] J. Katto, K. Ogura, T. Fujikawa, K. Kaneko and Z. Su: "On Hybrid TCP Congestion Control", ICCCS 2008, Nov. 2008, Daegu.

[15] N. Iikubo, M. Nakatsuka, J. Katto and K. Kondo: "Improving TCP Performance over Underwater Sensor Networks", ACM WUWNET 2008, Sep. 2008, San Francisco (査読あり).

[16] Z. Su, J. Katto, Y. Yasuda and Y. Chen: "Consistency and Update in Mobile Overlay Networks", Chinacom 2008, Aug. 2008, Hangzhou (査読あり).

[17] M. Nakatsuka, S. Iwatani and J. Katto: "A Study on Passive Crowd Density

Estimation using Wireless Sensors”,
ICMU 2008, Jun. 2008, Tokyo.

(国内研究会)

- [18] 小倉一峰, 高井峰生, 甲藤二郎: “IEEE802.11におけるChannel Scanning遅延短縮の一検討”, 電子情報通信学会 NS研究会, NS2010-199, Mar. 2011, 沖縄.
- [19] 市村勇貴, 甲藤二郎: “無線マルチホップアドホックネットワークにおけるTCP Vegasを拡張した輻輳制御方式の改善”, 電子情報通信学会 NS研究会, NS2010-207, Mar. 2011, 沖縄.
- [20] 荻野隆史, 高野敦宏, 吉永真人, 甲藤二郎, 近藤逸人: “Underwater Sensor Networkにおけるオンデマンドルーティング方式の検討”, 電子情報通信学会 NS研究会, NS2010-212, Mar. 2011, 沖縄.
- [21] 高野敦宏, 吉永真人, 荻野隆史, 甲藤二郎, 近藤逸人: “Underwater環境におけるルーティングプロトコルの性能評価”, 電子情報通信学会 NS研究会, NS2010-213, Mar. 2011, 沖縄.
- [22] 吉永真人, 荻野隆史, 小倉一峰, 甲藤二郎, 近藤逸人: “Underwater環境における再送制御の比較検討”, 電子情報通信学会 NS研究会, NS2010-214, Mar. 2011, 沖縄.
- [23] 山崎唯史, 吉永真人, 小倉一峰, 甲藤二郎: “Underwater Sensor NetworksにおけるFEC利用の一検討”, 電子情報通信学会 NS研究会, NS2010-215, Mar. 2011, 沖縄.
- [24] 鈴木崇雅, 甲藤二郎: “無線センサを用いた人物混雑度推定のアプリケーション拡張”, 電子情報通信学会 NS研究会, NS2010-233, Mar. 2011, 沖縄.
- [25] 根本洋平, 小倉一峰, 甲藤二郎: “ACK到着間隔計測によるRTT推定を用いたTCP輻輳制御方式”, 電子情報通信学会 NS研究会, NS2010-270, Mar. 2011, 沖縄.
- [26] 園田和秀, 小倉一峰, 甲藤二郎: “TCP差別化のためのTCPバージョン識別手法”, 電子情報通信学会 NS研究会, NS2010-272, Mar. 2011, 沖縄.
- [27] 野崎寛也, 甲藤二郎: “HTTP Live StreamingにおけるTCP性能評価実験”, 電子情報通信学会 NS研究会, NS2010-275, Mar. 2011, 沖縄.
- [28] 金井謙治, 甲藤二郎: “動画像配信向け適応レート制御方式の性能評価”, 電子情報通信学会 NS研究会, NS2010-298, Mar. 2011, 沖縄.
- [29] 荻野隆史, 吉永真人, 甲藤二郎, 近藤逸人: “Underwater Sensor Networkにおけるオンデマンドルーティング方式の検討”, 電子情報通信学会 NS研究会, NS2010-132, Dec. 2010, 岡山.
- [30] 鈴木崇雅, 甲藤二郎: “無線センサを

用いた人物混雑度推定の機能拡張”, 電子情報通信学会 NS研究会, NS2010-133, Dec. 2010, 岡山.

- [31] 金井謙治, 甲藤二郎: “VICにおける適応レート制御実装とその性能評価”, 電子情報通信学会 NS研究会, NS2010-73, Oct. 2010, 大阪.
- [32] 小倉一峰, 金田茂, Martin Jay, 高井峰生, 甲藤二郎: “ネットワークエミュレータによる無線環境での実アプリケーションの性能評価”, 電子情報通信学会 MoMuC研究会, MoMuC2010-30, Sep. 2010, 福岡.
- [33] Z. Su, S. Awinphan and J. Katto: “Consistency Control for Vehicular Communication Networks”, 電子情報通信学会 NS研究会, NS2009-250, Mar. 2010, 沖縄.
- [34] 飯窪尚也, 甲藤二郎: “無線マルチホップアドホックネットワークにおけるTCP-Vegasを拡張した輻輳制御方式”, 電子情報通信学会 NS研究会, NS2009-174, Mar. 2010, 沖縄.
- [35] 鈴木崇雅, 荻野隆史, 甲藤二郎: “センサネットワークにおけるハイブリッドMAC手法の一提案”, 電子情報通信学会 NS研究会, NS2009-245, Mar. 2010, 沖縄.
- [36] 金井謙治, 甲藤二郎: “VICを用いた無線有線混在網上の動画像配信実験”, 電子情報通信学会 NS研究会, NS2009-241, Mar. 2010, 沖縄.
- [37] 園田和秀, 飯窪尚也, 甲藤二郎: “無線LAN環境における802.11eとウィンドウ制御を併用したTCP-Vegasの特性改善”, 電子情報通信学会 NS研究会, NS2009-179, Mar. 2010, 沖縄.
- [38] 根本洋平, 小倉一峰, 甲藤二郎: “CUBIC-TCPとHybrid-TCPの各種特性比較”, 電子情報通信学会 NS研究会, NS2009-177, Mar. 2010, 沖縄.
- [39] 吉永真人, 甲藤二郎: “無線センサネットワークにおけるエネルギー消費の低減及び均一化を図るクラスタリング手法”, 電子情報通信学会 NS研究会, NS2009-203, Mar. 2009, 沖縄.
- [40] 蘇洲, 甲藤二郎: “モバイルコンテンツ配信ネットワークにおけるコンテンツの一貫性制御技術”, 電子情報通信学会 移動通信ワークショップ, MoMuC2008-89, Mar. 2009, 神奈川.
- [41] 氏川裕隆, 甲藤二郎: “無線ネットワークにおけるライブビデオストリーミングに向けた符号器と輻輳制御の協調”, 電子情報通信学会 NS研究会, NS2008-210, Mar. 2009, 沖縄.
- [42] 中塚正之, 岩谷周, 甲藤二郎: “人間がZigBeeに与える影響の解析と混雑度推定システムへの応用”, 電子情報通信学会 NS研究会, NS2008-173, Mar. 2009, 沖縄.

[43] 小倉一峰, 藤川知樹, 蘇洲, 甲藤二郎: "RTT 公平性を考慮した Hybrid TCP 輻輳制御", 電子情報通信学会 CQ 研究会, CQ2008-27, Sep. 2008, 高松.

(国内講演)

[44] 根本洋平, 小倉一峰, 甲藤二郎: "ACK 到着間隔計測による RTT 推定を用いた TCP 輻輳制御方式", 電子情報通信学会 総合大会, B-6-28, Mar.2011, 東京.

[45] 園田和秀, 小倉一峰, 甲藤二郎: "TCP 差別化のための TCP バージョン識別手法", 電子情報通信学会 総合大会, B-6-29, Mar.2011, 東京.

[46] 野崎寛也, 甲藤二郎: "HTTP Live Streaming における TCP 性能評価実験", 電子情報通信学会 総合大会, B-6-31, Mar.2011, 東京.

[47] 荻野隆史, 高野敦宏, 吉永真人, 甲藤二郎, 近藤逸人: "Underwater Sensor Network におけるオンデマンドルーティング方式の検討", 電子情報通信学会 総合大会, B-6-50, Mar.2011, 東京.

[48] 吉永真人, 荻野隆史, 小倉一峰, 甲藤二郎, 近藤逸人: "Underwater 環境における再送制御の比較検討", 電子情報通信学会 総合大会, B-6-51, Mar.2011, 東京.

[49] 山崎唯史, 吉永真人, 小倉一峰, 甲藤二郎: "Underwater Sensor Networks における FEC 利用の一検討", 電子情報通信学会 総合大会, B-6-52, Mar.2011, 東京.

[50] 鈴木崇雅, 甲藤二郎: "無線センサを用いた人物混雑度推定のアプリケーション拡張", 電子情報通信学会 総合大会, B-6-53, Mar.2011, 東京.

[51] 小倉一峰, 高井峰生, 甲藤二郎: "IEEE802.11 における Channel Scanning 遅延短縮の一検討", 電子情報通信学会 総合大会, B-6-63, Mar.2011, 東京.

[52] 金井謙治, 甲藤二郎: "動画像配信向け適応レート制御方式の性能評価", 電子情報通信学会 総合大会, B-6-64, Mar.2011, 東京.

[53] 市村勇貴, 甲藤二郎: "無線マルチホップアドホックネットワークにおける TCP Vegas を拡張した輻輳制御方式の改善", 電子情報通信学会 総合大会, B-6-66, Mar.2011, 東京.

[54] 園田和秀, 小倉一峰, 甲藤二郎: "TCP バージョン識別を想定した優先アクセス制御の一検討", 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, B-6-41, Sep.2010, 大阪.

[55] 根本洋平, 小倉一峰, 甲藤二郎: "ルーターバッファ推定による RTT 推定を用いた TCP 輻輳制御方式", 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, B-6-42, Sep.2010, 大阪.

[56] 吉永真人, 荻野隆史, 飯窪尚也, 小倉一

峰, 甲藤二郎, 近藤逸人: "Underwater 環境における 802.11 を用いた再送タイムアウトの検討", 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, B-6-72, Sep.2010, 大阪.

[57] 小倉一峰, 金田茂, Martin Jay, 高井峰生, 甲藤二郎: "無線ネットワークエミュレータを用いた Skype の評価実験", 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, B-6-76, Sep.2010, 大阪.

[58] 飯窪尚也, 甲藤二郎: "無線マルチホップアドホックネットワークにおける TCP-Vegas を拡張した輻輳制御方式", 電子情報通信学会 総合大会, Mar.2010, 仙台.

[59] 鈴木崇雅, 荻野隆史, 甲藤二郎: "センサネットワークにおけるハイブリッド MAC 手法の一提案", 電子情報通信学会 総合大会, Mar.2010, 仙台.

[60] 金井謙治, 甲藤二郎: "VIC を用いた無線有線混在網上の動画像配信実験", 電子情報通信学会 総合大会, Mar.2010, 仙台.

[61] 園田和秀, 飯窪尚也, 甲藤二郎: "無線 LAN 環境における 802.11e とウィンドウ制御を併用した TCP-Vegas の特性改善", 電子情報通信学会 総合大会, Mar.2010, 仙台.

[62] 吉永真人, 甲藤二郎: "無線センサネットワークにおけるエネルギー消費の低減及び均一化を図るクラスタリング手法", 電子情報通信学会 総合大会, Mar.2010, 仙台.

[63] S.Awinsphan, Z.Su and J.Katto: "ToMo: Two-layer Tree/Mesh Overlay Structure for P2P Live Streaming and Its Applications", 情報処理学会 春季全国大会, Mar.2010, 仙台.

[64] 小倉一峰, 藤川知樹, 蘇州, 甲藤二郎: "ロス公平性を実現する TCP 輻輳制御方式", 電子情報通信学会 秋季全国大会, Sep.2009, 新潟.

[65] S.Awinphan, Z.Su and J.Katto: "Two-layer Tree/Mesh Overlay Structure in P2P Environment for Live Streaming", 電子情報通信学会 秋季全国大会, Sep.2009, 新潟.

[66] 飯窪尚也, 甲藤二郎: "無線マルチホップアドホックネットワークにおけるマルチフローに適した TCP-Vegas の特性改善", 電子情報通信学会 秋季全国大会, Sep.2009, 新潟.

[67] 鈴木崇雅, 甲藤二郎: "センサネットワークにおける同期型間欠通信手法の提案", 電子情報通信学会 秋季全国大会, Sep.2009, 新潟.

[68] 飯窪尚也, 甲藤二郎: "無線マルチホップアドホックネットワークにおける TCP-Vegas の性能改善", 電子情報通信学会 春季全国大会, Mar.2009, 松山.

[69] S.Awinphan, Z.Su and J.Katto: "Mesh-based Data Delivery over Multiple

Tree-Shaped Routes in P2P Overlay Network", 電子情報通信学会 秋季全国大会, BS-12-16, Sep.2008, 川崎.

[70] Z.Su, J.Katto and Y.Yasuda: "Mobile Consistency Control in Mobile Dynamic Contents Delivery Overlay", 電子情報通信学会 秋季全国大会, BS-12-17, Sep.2008, 川崎.

[その他]

ホームページ等

<http://www.katto.comm.waseda.ac.jp/TCP-Fusion/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

甲藤 二郎 (JIRO KATTO)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：70318765

(3) 連携研究者

蘇 洲 (ZHOU SU)

早稲田大学・理工学術院・准教授

研究者番号：80339704