

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：13901
研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）
研究期間：2012～2016
課題番号：24108001
研究課題名（和文）プラズマ医療科学創成に関する総括研究

研究課題名（英文）Plasma Medical Science Innovation

研究代表者

堀 勝（HORI, Masaru）

名古屋大学・工学研究科・教授

研究者番号：80242824

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 50,700,000円

研究成果の概要（和文）：本総括研究では、プラズマの産業応用を世界的に牽引してきたプラズマプロセス分野の研究者と生物・医学分野の研究者が有機的に連携した学術研究組織を構築し、これまで異分野であったプラズマ科学者と医学・生物学者の接点を生みだし、プラズマの医療効果を革新的医療開拓に結びつけることを目的とした。1）領域全体の研究方針の策定、2）研究項目、研究内容の企画調整、3）研究協力の推進、4）研究成果の相互評価、5）研究成果の発信、広報と情報共有、6）運営、7）国際展開を戦略的かつ迅速に推進するための独創的な体制を構築し、従来に無い新たな分野融合型「プラズマ医療科学」の学術領域を創成した。

研究成果の概要（英文）：Plasma consists of a variety of reactive species (ions, electrons, radicals and emitting photons). In discharge plasmas, these reactive species are generated via ionization and dissociation of gaseous molecules through collisions with accelerated electrons. Due to enhanced reactivity of these reactive species, plasma are indispensable as key manufacturing technology for advanced industries and eventually have taken a role as core technology to support the state-of-the-art advancement of scientific frontiers. This project led the worldwide research activities, and created the field "Plasma Medical Innovation". A key significance of this study is to establish unique schemes to evolve the interdisciplinary field of plasma science, medical science and molecular biology.

研究分野：プラズマエレクトロニクス

キーワード：プラズマ医療 プラズマ活性培養液 プラズマ活性点滴 抗腫瘍効果 創傷治癒 人工脂質二重膜 活性酸素種

1. 研究開始当初の背景

プラズマの産業応用を世界的に牽引してきたプラズマプロセス分野を基盤に、プラズマ照射が、病原菌の殺菌、がん細胞のアポトーシス(プログラム細胞死)誘起、さらには皮膚疾患や傷病組織の治癒や再生に極めて有為な効果を示す画期的な実験結果が相次いでいた。しかしながら、報告の多くは、細胞や生体組織にプラズマを照射し、その現象を報告することにとどまっていた。新しい医療産業と健康安全社会の創出に向けて、革新的医療の開拓によるライフイノベーションの推進に資する学術基盤の確立するため、当分野で世界を先導するための戦略的急務であった。

2. 研究の目的

本総括研究では、プラズマの産業応用を世界的に牽引してきたプラズマプロセス分野の研究者と生物・医学分野の研究者が有機的に連携した学術研究組織を構築し、これまで異分野であったプラズマ科学者と医学・生物学者の接点を生みだし、プラズマの医療効果を革新的医療開拓に結びつけることを目的とした。そのためには、生体および生体組織との相互作用を粒子パラメータに基づいて解明、体系化し、臨床応用に向けた動物実験にまで展開することが急務であった。我が国のプラズマ分野で培われた知見を集積して、未踏の新領域「プラズマ医療科学」の創成に向けて、新たな学術基盤を構築し、世界に先導する革新的医療の開拓を推進して、世界の研究水準と国際標準化をもリードする永続的な研究基盤よりライフイノベーションを興すことを目指した。すなわち、「先進プラズマ科学」を基盤とした独創的研究を「医療」へ展開し、プラズマ【活性粒子(ラジカル、イオン、電子、光)の集合体】と生体や生体組織との相互作用に関する学術基盤とともに、医学にプラズマ科学を導入した新たな学問領域となる、従来に無い新たな学問領域『プラズマ医療科学』の創成をなし、新しい医療技術の開拓を進めてきた。

3. 研究の方法

プラズマを実際の医療に応用するには、「(プラズマで生成される活性な)粒子と生体組織の反応」、この相互作用の本質を決定する粒子パラメータや分子レベルで捉えたプラズマの生体組織への影響を理解する必要がある。そのためには、定量的な解明を進め、新学術領域として体系化することが不可欠である。このようなプラズマによる画期的な効果は、産業ならびに社会に計り知れない波及効果をもたらすことが大いに期待される。総括研究では、3つの研究項目に対して設定した計画研究9班の連携体制に加えて、公募研究16班を有機的に連動させた研究活動システムを、新設した拠点の下に構築し、研究目的を達成する。

A01: 医療プラズマエレクトロニクス、A02: プラズマ分子生物科学、A03: プラズマ臨床科学の3つの研究項目班を設け、各研究者がそれぞれの専門領域で研究を推進すると同時に、迅速にその成果が異分野間で共有できるように、プラズマと生体・医療から成る異分野研究者の強力な連携と有機的なシナジーを図るスキームを意図的に構築した。

本総括研究では、プラズマ装置、計測装置・技術、生体材料の共有化を含め、世界最高峰の設備を班員が自由に活用できる実質的な連携拠点「プラズマ医療プラットフォーム」を構築した。中心となるハブ拠点『プラズマ医療科学総合拠点』として、名古屋大学の工学部と医学部の研究者を結集させてプラズマ医療科学イノベーションセンターを設立し、九州大学プラズマナノ界面工学研究センターを中心とするサテライト拠点『プラズマ医療安全安心科学拠点』、産業技術総合研究所を中心としたサテライト拠点『プラズマ医療分子生物科学・応用拠点』の3つを設置した。ハブ拠点を中心に、開発装置や技術の共有化、グローバルな人材交流、研究活動の運営、異分野融合型の強い若手人材育成システムの構築、計画研究と相補的かつ新たな展開を促進する公募研究の選定、さらに産業・医療界の学識経験者を交えて研究成果の評価を実施してきた。



図1 名古屋・東京・九州拠点とともに、名古屋大学に「プラズマ医療プラットフォーム」を構築

また、総括班が、上記の拠点マネージメントに留まらず、異分野の研究者による学際的な領域推進であることを考慮し、研究進捗を含む不測の状況に備えて、研究目的の達成に向けた領域内の研究活動が着実かつ効果的に進むよう、万全の組織的支援体制を組み込

んできた。

4. 研究成果

プラズマ科学が総員のほぼ50%、医科学系がほぼ同数の研究者・学生を、総括班で統括し、プラズマと医科学、分子生物学ならびに関連学術領域との融合を図り、従来に無い新たな学術領域を創成してきた。1) 領域全体の研究方針の策定、2) 研究項目、研究内容の企画調整、3) 研究協力の推進、4) 研究成果の相互評価、5) 研究成果の発信、広報と情報共有、6) 運営、7) 国際展開を戦略的かつ迅速に推進するための独自の体制を構築し、新たな分野融合型の教育システムの導入ならびに連携研究を具体的に始動するための枠組み(チームラボや協調研究)をはじめ、新たな施策を講じた。このことで、領域の研究が大きく発展するに至った。

1) 主力拠点および連携拠点の創設によるプラットフォームの構築

中心となるハブ拠点として『プラズマ医療科学国際イノベーションセンター』を名古屋大学の工学研究科と医学研究科の研究者を結集させて創立した。さらに、九州大学プラズマナノ界面工学研究センターを中心とするサテライト拠点『プラズマ医療安全安心科学拠点』、産業技術総合研究所を中心としたサテライト拠点『プラズマ医療分子生物学・応用拠点』を創設し、ハブ拠点との有機的な連携体制を構築した。プラズマ医療科学国際イノベーションセンターは、プラズマ装置、計測装置・技術、生体材料の共有化を含め、世界最高峰の設備を班員が自由に活用できる実質的な連携拠点であり、インターネットで領域内のメンバーをリンクした知恵の司令塔として「プラズマ医療ネット」を構築し、研究を大きく前進させた。

2) ワーキンググループおよびチームラボの構築による戦略的連携研究の推進

3つの研究項目(A01:医療プラズマエレクトロニクス、A02:プラズマ分子生物学、A03:プラズマ臨床科学、ならびに研究対象やアプローチを整理して、複数の研究項目を横断したワーキンググループやチームラボを形成した。さらに協調研究テーマを設定することで、領域内で多数の連携研究を加速している。特に、形状やサイズを統一し、プラズマ密度のみが異なる2つのプラズマ源を試作し、これらをセットでチームラボに提供して研究を進めた。各班のプラズマ源の特徴を分析し、プラズマ医療の創成に向けた医療効果の学理、作用機序の解明を進めて、プラズマ作用素について、放電させる電気的特性、放電により発生するプラズマの電子的特性、さらに化学反応を生じたラジカル組成・イオン数、電子密度が、各種プラズマ源の比較により、本質的にプラズマ医療に要求されるユニバーサルパラメータの追求に向け研究を

推進した。その成果として、プラズマ密度の違いに起因する活性種のフラックスの相違が、生体现象を大きく変化させ、特殊な生体反応パスが発見されるなど、連携研究の成果は当初の期待以上の成果が挙げられている。

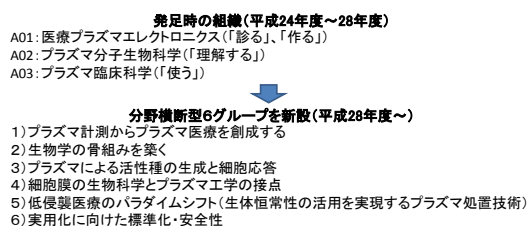


図2 横断型カテゴリーに再組織化して、研究手法や実験プロトコール、解析方法の共有を強力に推し進めた。

また、新たな学理創成の端緒が見られる止血、遺伝子導入、がんなどの研究対象については協調テーマとして位置付け、ワーキンググループとチームラボが連動して、知見の体系化が科学創成に向けて迅速にできるようにシステムが稼働している。

3) 公開シンポジウムと領域全体研究会

年1回の頻度で公開シンポジウムを開催し、プラズマ、医科学のみならず多様な専門家からの助言を得ることができた。第1回公開シンポジウム(2012年9月29日、於:東京弘済会館)では180名、第2回公開シンポジウム:プラズマ医療科学国際イノベーションセンター設立記念シンポジウム(2013年9月28日、於:名古屋大学)では、名古屋大学総長の基調講演をはじめ215名の参加者を集めた。参加人数が200人を超える盛大な会議となり、社会から関心を惹く研究領域であることが示された。

合宿形式の領域全体研究会としてプラズマ医療科学研究会を開催し、領域内から約60名が参加し、夜を徹しての議論がなされた。アウトリーチを数多く開催し、一般市民向けにも最新の進展内容を議論した。



図3 医工集中ゼミ(参加者の半数は若手)

国内及び国外での国際会議等における波及活動と多くの共同研究の機会を得るよう努め、特に名古屋大学内では、先端医療臨床研究支援センターにより先端医療研究から生まれた新しいシーズを臨床応用へと進めてゆく体制から、新学術領域「プラズマ医療科学の創成」の成果シーズが前臨床、臨床応用へと橋渡しされる予定となりつつある。また、プラズマ活性溶液(PAM)の臨床応用に向けた次世代PAMの研究開発や規格化を進

めた。医療応用プラズマとしての装置開発、化学療法としてのプラズマ活性溶液の研究開発の2面から研究開発が進み、様々な条件で作成されたプラズマ活性溶液が様々な細胞に対してどのような分子に影響を与えながらアポトーシス等の生理作用を引き起こすのかの知見が蓄積された。プラズマ及びプラズマ活性溶液のがん細胞に対するアポトーシス誘導機構と選択的殺傷機構をより深淵かつ統括的に理解が進み、また、殺傷と再生・増殖を制御するプラズマの条件を探索しその細胞内分子機構の一端が解明された。

これまでの成果を教科書としてまとめるために断片的な発見に関する統一的な解釈を進めており、その歴史的な意義を含めて、まとめた(継続中)。新学術領域「プラズマ医療科学の創成」のプロジェクトが立ち上がってから世界でのプラズマ医療の研究開発は目覚ましく進み、我が国がこの分野を先導することに成功してきた。

「プラズマ医療科学の創成」領域から多くのオリジナル論文を公表し、それらの成果をまとめたレビュー論文も国際雑誌に公表してきた。日本のプラズマ医療科学の成果論文は世界にもインパクトを与え、世界各国から招待講演を受けるようになった。更には世界中のプラズマ医療の研究者がプラズマ活性溶液のがん治療へ向けた研究やプラズマと溶液との相互作用の研究を追従するようになり、論文の引用件数も増え総合科学としてのプレゼンスを着々と増していることは間違いない。プラズマ医療科学の研究は、世界に先駆けた成果を多く残し、レビュー論文執筆や国際会議招待講演の数多くのオフナーなどからも、期待以上の成果を挙げた。

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 49 件) 全て査読有

[1] A. Mizuno, Destruction of biological particles using non-thermal plasma, **Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition**, 60 (2017) 12. 査読有

[2] T. Kaneko, S. Sasaki, K. Takashima, and M. Kanzaki, Gas liquid interfacial plasmas producing reactive species for cell membrane permeabilization, **Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition**, 60 (2017) 3. 査読有

[3] S. Iwasawa, M. Nakano, H. Miyauchi, S. Tanaka, Y. Kawasumi, I. Higashikubo, A. Tanaka, M. Hirata, K.81 Omae, Personal indium exposure concentration in respirable dusts and serum indium level, **Ind. Health**, 55 (2017) 87. 査読有

[4] N. Benard, P. Audier, E. Moreau, K.

Takashima, A. Mizuno, Active plasma grid for on-demand airflow mixing increase, **Journal of Electrostatics**, 88 (2017) 15. 査読有

[5] S. Sasaki, M. Kanzaki, and T. Kaneko, Calcium influx through TRP channels induced by short-lived reactive species in plasma-irradiated solution, **Scientific Reports** 6 (2016) 25728. 査読有

[6] J. S. Oh, E. J. Szili, N. Gaur, S.H. Hong, H. Furuta, H. Kurita, A. Mizuno, A. Hatta, R. D. Short, How to assess the plasma delivery of RONS into tissue fluid and tissue, **Journal of Physics D: Applied Physics**, 49 (2016) 304005. 査読有

[7] R. Ono, K. Yonetamari, Y. Tokumitsu, S. Yonemori, H. Yasuda, A. Mizuno, Inactivation of Bacillus Atrophaeus by OH Radicals, **Journal of Physics D: Applied Physics** 49 (2016) 305401. 査読有

[8] J. Hu, N. Jiang, J. Li, K. Shang, N. Lu, Y. Wu, A. Mizuno, Discharge Characteristics of Series Surface/Packed- Bed Discharge Reactor Driven by Bipolar Pulsed Power, **Plasma Science and Technology**, 18 (2016) 254. 査読有

[9] G. Uchida, A. Nakajima, T. Ito, K. Takenaka, T. Kawasaki, K. Koga, M. Shiratani, Y. Setsuhara, Effects of nonthermal plasma jet irradiation on the selective production of H₂O₂ and NO₂⁻ in liquid water, **Journal of Applied Physics** 120 (2016) 203302. 査読有

[10] H. Yamada, H. Sakakita, Y. Yamagishi, S. Kato, J. Kim, S. Kiyama, M. Fujiwara, H. Itagaki, T. Okazaki, S. Ikehara, H. Nakanishi, N. Shimizu, Y. Ikehara, Spectroscopy of reactive species produced by low-energy atmospheric-pressure plasma on conductive target material surface, **Journal of Applied Physics** 49 (2016) 394001. 査読有

[11] H. Sakakita, S. Kiyama, J. Kim, M. Yamada, I. Masukane, T. Niwa, N. Shimizu, Y. Seto, M. Ichinose, and Y. Ikehara, Study of the power distribution of each impedance in the electrical circuit of ionized gas coagulation equipment. **Plasma Medicine**, 5 (2016) 189. 査読有

[12] J. Kim, H. Sakakita, H. Yamada, S. Ikehara, H. Nakanishi, T. Niwa, N. Shimizu, M. Ichinose, Y. Ikehara, Study on Thermal Characteristics of Ionized Gas Coagulation Equipment, **Plasma Medicine**, 5 (2016) 99. 査読有

[13] Y. Zhang, J. Li, N. Lu, K. Shang, A. Mizuno, Y. Wu, Evaluation of discharge uniformity and

area in surface dielectric barrier discharge at atmospheric pressure, **Vacuum**, 123 (2016) 49. 査読有

[14] Y. Setsuhara, Low-temperature atmospheric-pressure plasma sources for plasma medicine, **Archives of Biochemistry and Biophysics** 605(2016) 3. 査読有

[15] H. Kurita, Y. Takao, K. Kishikawa, K. Takashima, R. Numano, A. Mizuno, Fundamental study on a gene transfection methodology for mammalian cells using water-in-oil droplet deformation in a DC electric field, **Biochemistry and Biophysics Reports**, 8 (2016) 81. 査読有

[16] M. Kaibori, K. Matsui, M. Ishizaki, H. Iida, T. Sakaguchi, T. Tsuda, T. Okumura, K. Inoue, S. Shimada, S. Ohtsubo, M. Kusano, Y. Ikehara, E. Ozeki, T. Kitawaki and M. Kon, Evaluation of fluorescence imaging with indocyanine green in hepatocellular carcinoma, **Cancer Imaging**, 16 (2016). 査読有

[17] G. Uchida, K. Takenaka, Y. Setsuhara, Influence of voltage pulse width on the discharge characteristics in an atmospheric dielectric-barrier-discharge plasma jet, **Japanese Journal of Applied Physics**, 55 (2016) 01AH03. 査読有

[18] Y. Fujiwara, H. Sakakita, H. Yamada, Y. Yamagishi, H. Itagaki, S. Kiyama, M. Fujiwara, Y. Ikehara, and J. Kim, Observations of multiple stationary striation phenomena in an atmospheric pressure neon plasma jet, **Japanese Journal of Applied Physics**, 55 (2016) 010301. 査読有

[19] H. Yamada, Y. Yamagishi, H. Sakakita, S. Tsunoda, J. Kasahara, M. Fujiwara, S.Kato, H. Itagaki, J.Kim, S. Kiyama, Y. Fujiwara, Y. Ikehara, S. Ikehara, H. Nakanishi, and N. Shimizu, Bending and turbulent enhancement phenomena of neutral gas flow containing an atmospheric pressure plasma by applying external electric fields measured by Schlieren optical method, **Japanese Journal of Applied Physics**, 55 (2016) 01AB08. 査読有

[20] T. Ito, G. Uchida, A. Nakajima, K. Takenaka, Y. Setsuhara, Control of reactive oxygen and nitrogen species production in liquid by nonthermal plasma jet with controlled surrounding gas, **Japanese Journal of Applied Physics**, 56 (2016) 01AC06. 査読有

[21] S. Sasaki, M. Kanzaki, Y. Hokari, K. Tominami, T. Mokudai, H. Kanetaka, and T. Kaneko, Roles of charged particles and reactive

species on cell membrane permeabilization induced by atmospheric-pressure plasma irradiation, **Japanese Journal of Applied Physics**, 55 (2016) 07LG04. 査読有

[22] K. Tominami, H. Kanetaka, T. Kudo, S. Sasaki, and T. Kaneko, Apoptotic Effects on Cultured Cells of Atmospheric-Pressure Plasma Produced Using Various Gases, **Japanese Journal of Applied Physics**, 55 (2015) 01AF03. 査読有

[23] G. Uchida, K. Takenaka, Y. Setsuhara, Effects of discharge voltage waveform on the discharge characteristics in a helium atmospheric plasma jet, **Journal of Applied Physics** 117 (2015) 153301. 査読有

[24] A. Nakajima, G. Uchida, T. Kawasaki, K. Koga, T. Sarinont, T. Amano, K. Takenaka, M. Shiratani, Y. Setsuhara, Effects of gas flow on oxidation reaction in liquid induced by He/O₂ plasma-jet irradiation, **Journal of Applied Physics** 118 (2015) 043301. 査読有

[25] N. Jiang, C.X. Hui, J. Li, N. Lu, K.F. Shang, Y. Wu, A. Mizuno, Improved performance of parallel surface/packed-bed discharge reactor for indoor VOCs decomposition: Optimization of the reactor structure, **Journal of Physics D: Applied Physics**, 48 (2015) 405205. 査読有

[26] K. Takenaka, A. Miyazaki, G. Uchida, Y. Setsuhara, Atmospheric-Pressure Plasma Interaction with Soft Materials as Fundamental Processes in Plasma Medicine, **J. Nanosci. Nanotechnol.** 15 (2015) 2115. 査読有

[27] K. Takenaka, A. Miyazaki, H. Abe, G. Uchida, Y. Setsuhara, Plasma interaction with organic molecules in liquid as fundamental processes in plasma medicine, **J. Nanosci. Nanotechnol.** 15 (2015) 2120. 査読有

[28] G. Uchida, K. Takenaka, A. Miyazaki, Y. Setsuhara, Atmospheric- Pressure Gas-Breakdown Characteristics with a Radio-Frequency Voltage, **J. Nanosci. Nanotechnol.** 15 (2015) 2192. 査読有

[29] G. Uchida, K. Takenaka, A. Miyazaki, K. Kawabata, Y. Setsuhara, Dynamic Properties of Helium Atmospheric Dielectric- Barrier-Discharge Plasma Jet, **J. Nanosci. Nanotechnol.** 15 (2015) 2324. 査読有

[30] H. Kurita, S. Miyachika, H. Yasuda, K. Takashima, A. Mizuno, Use of molecular beacons for the rapid analysis of DNA damage induced by exposure to an atmospheric pressure

plasma jet, **Applied Physics Letters** 107 (2015) 263702. 査読有

[31] Y. Setsuhara, G.I Uchida, K. Kawabata, A. Nakajima, K. Takenaka, Analysis of Dynamic Discharge Characteristics of Plasma Jet Based on Voltage and Current Measurements Using a Metal Plate, **IEEE Trans. Plasma Sci.** 43 (2015) 3821. 査読有

[32] G. Uchida, A. Nakajima, K. Takenaka, K. Koga, M. Shiratani, Y. Setsuhara, Gas Flow Rate Dependence of the Discharge Characteristics of a Plasma Jet Impinging Onto the Liquid Surface, **IEEE Trans. Plasma Sci.** 43 (2015) 4081. 査読有

[33] G. Uchida, K. Takenaka, K. Kawabata, Y. Setsuhara, Influence of He Gas Flow Rate on Optical Emission Characteristics in Atmospheric Dielectric-Barrier-Discharge Plasma Jet, **IEEE Trans. Plasma Sci.** 43 (2015) 737. 査読有

[34] M. Nakano, A. Tanaka, M. Hirata, S. Iwasawa, K. Omae, Pulmonary effects in workers exposed to indium metal: a cross-sectional study, **J Occup Health**, 57 (2015) 346. 査読有

[35] S. Sasaki, M. Kanzaki, and T. Kaneko, Highly Efficient and Minimally Invasive Transfection Using Time-Controlled Irradiation of Atmospheric-Pressure Plasma, **Applied Physics Express** 7 (2014) 026202. 査読有

[36] T. Hirata, T. Kishimoto, C. Tsutsui, T. Kanai, A. Mori, Healing burns using atmospheric pressure plasma irradiation, **Japanese Journal of Applied Physics**, 53 (2014) 010302. 査読有

〔学会発表〕 (計 94 件)

〔図書〕 (計 3 件)

[1] 田中 宏昌、堀 勝、ドライプロセスによる表面処理・薄膜形成の応用/12.2 ドライプロセスとプラズマ医療科学, 272-282 頁、2016 年 12 月 28 日

[2] 榊田 創、池原 譲、医療機器開発ガイドライン「外科手術用低侵襲プラズマ止血装置 2015」、16 ページ、2015

[3] 清水 伸幸、内視鏡と腹腔鏡を用いた胃局所切除術の発展-LECS と関連手法、消化器疾患 最新の治療 2015-2016、18-22、2015

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 1 件)

[1] 名称: タンパク質膜の製造方法
発明者: 堀 勝、秋元 義弘、池原 早苗、

池原 譲、榊田 創、石川 健治

権利者: 名古屋大学、産業技術総合研究所、杏林大学

種類: 特許

番号: 特願 2014-102455

出願年月日: 2014 年 5 月 17 日

国内外の別: 国内

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

文部科学省新学術領域研究「プラズマ医療科学の創成」ホームページ

<http://plasmamed.nagoya-u.ac.jp/shingakujutsu/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

堀 勝 (HORI, Masaru)

名古屋大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 80242824

(2) 研究分担者

田中 昭代 (TANAKA, Akiyo)

名古屋大学・大学院医学研究院・講師
研究者番号: 10136484

池原 譲 (IKEHARA, Yuzuru)

産業技術総合研究所・創薬基盤研究部門・
上級主任研究員
研究者番号: 10311440

水野 彰 (MIZUNO, Akira)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・シ
ニア研究員
研究者番号: 20144199

吉川 史隆 (KIKKAWA, Fumitaka)

名古屋大学・大学院医学研究科・教授
研究者番号: 40224985

節原 裕一 (SETSUHARA, Yuichi)

大阪大学・接合技術研究所・教授
研究者番号: 80236108

(3) 連携研究者

金子 俊郎 (KANEKO, Toshiro)

東北大学・大学院研究科・教授
研究者番号: 30312599

清水 伸幸 (SHIMIZU, Nobuyuki)

国際医療福祉大学・保健医療学部・教授
研究者番号: 70262128

平田 孝道 (HIRATA, Takamichi)

東京都市大学・工学部・教授
研究者番号: 80260420