

## 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：24108002

研究課題名（和文）プラズマ医療のための気相・表面反応ダイナミクスの計測と体系化

研究課題名（英文）Diagnostic analyses of dynamical interaction of plasma and surface in plasma medicine

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） 220,400,000 円

研究成果の概要（和文）：プラズマを実際の医療に安全かつ効果的に適用できるプラズマ医療技術を実現するためには、プラズマ生成条件（装置パラメーター）に対してではなく、供給する活性粒子（粒子パラメーター）に対する生体組織の反応からの理解を進め、プラズマ医療科学を確立が必要であった。プラズマ活性溶液のがん治療の有効性が示され、プラズマと溶液との相互作用の研究が進んだ。粒子パラメーターに基づくプラズマ医療科学の基礎学理の確立、プラズマと生体や生体組織との相互作用の理解に向けて礎を築いた。

研究成果の概要（英文）：An innovative approach for producing reactive oxygen and nitrogen species is the use of non-thermal atmospheric pressure plasma. The technique has been applied in a wide variety of fields ranging from the micro-fabrication of electric devices to the treatment of disease. Although non-thermal atmospheric pressure plasmas have been shown to be clinically beneficial for wound healing, blood coagulation, and cancer treatment, the underlying molecular mechanisms are poorly understood. Our researches obtained the current progress in plasma medicine, with a particular emphasis on plasma-activated medium (PAM), which is a solution that is irradiated with a plasma and has broadened the applications of plasmas in medicine.

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

プラズマ医療にみる海外を含めた研究開始当初の研究の状況は、プラズマ生成電力やガスの種類、処理時間を変えて細胞や組織にプラズマを照射し、そこで見出された新たな現象を報告するに留まり、プラズマ医療科学の創成まで踏み出すに至っていなかった。実際の医療に安全かつ効果的に適用できるプラズマ医療技術を実現するためには、プラズマ生成条件(装置パラメーター)に対してではなく、供給する活性粒子(粒子パラメーター)に対する生体組織の反応からの理解を進め、プラズマ医療科学を確立が必要であった。これまでにプラズマナノ科学が、既にプラズマ中の電子、ラジカル、光と材料との相互作用を原子レベルで計測し、表界面反応を解明し、革新的なプラズマ装置を創製することで、世界的にリードしてきた。プラズマ医療科学の創成についても、プラズマ-生体組織間の分子相互作用のダイナミクスを定量的に解析し、粒子パラメーターに基づくプラズマ医療科学の基礎学理を確立が急務であった。

### 2. 研究の目的

本研究では、気相中のラジカル、イオン、光の種類やそのエネルギーなどを計測し、さらに、その気液表界面反応を原子レベルで解明することにより、プラズマと生体や生体組織との相互作用を装置パラメーターではなく、定量的な粒子パラメーターを軸として、新学際領域として体系化を目的とした。プラズマの気相、気液界面、液相で発生する、生体組織および生体との相互作用により発現する諸現象(がん細胞のアポトーシス、傷病組織の再生・治癒、等)を精密に制御する革新的な医療用プラズマ技術の構築が求められていた。このために、プラズマからの活性種が生体の表界面で誘起する多様な反応層を統合して計測し、その集積データを基に反応機序を解析することで、プラズマ科学と医学・医療とのインターフェースを構築することが必要であった。具体的には、①医療用プラズマと生体組織との表界面統合計測システムにより、プラズマが生成する電子、イオン、ラジカル、光や衝撃波の個々の作用やそのシナジー効果を明らかにする。②生体や組織に作用する粒子の特定やその相互作用を定量的に明らかにする。得られた知見を生物学者や医学者らと共有することで、プラズマ医療の基礎学理を追究し、これにより国際標準となるプラズマ医療科学が創成され、安全安心な革新的医療技術が確立されることを目的とした。

### 3. 研究の方法

プラズマの気相および生体組織との表界面反応を計測することで、その反応場を制御する技術を確立し、プラズマと生体組織との相互作用を分子レベルで解明し、プラズマ生体組織反応理論を構築するために、次の3つ

の項目を実施してきた。1) 医療用プラズマの時空間粒子計測技術の確立、2) 生体組織におけるリアルタイム表界面反応計測システムの確立、3) 生体組織に作用する粒子の特定と分子相互作用の解明してきた。これにより開発した医療用プラズマ計測技術とその知見(項目1)を医学領域の研究者や医療機関に提供し、生体組織中のラジカルや化学結合状態の計測(項目2)、生体の活性へのプラズマ照射効果とその副作用の検証(項目3)のそれぞれを、①がん治療および②再生医療に適用し、相互に知見をフィードバックさせて、プラズマと医療科学との統一かつ包括的な考察がなされることを期待した。この3項目を突き詰めることにより、プラズマ制御のための診断と効果を最大限に引き出し、更に副作用のない、安心安全な革新的プラズマ医療技術の基盤創出がなされる。すなわち、「プラズマ医療プラットフォーム」を基盤とする異分野融合研究を推進し、プラズマとの相互作用の本質を決定する「粒子と生体組織反応」による「プラズマ医療科学」が創成を目指してきた。

研究開始にまもなく、本研究成果で開発されてきたプラズマ活性溶液(Plasma-activated medium, PAM)が抗腫瘍効果を示す発見がなされ、医療適用性と安全性の高い手法が提案されることとなった。この超高電子密度大気圧プラズマにより作製したプラズマ活性溶液は、生物学者や医学者らと共同となり、プラズマがん治療の研究を精力的に進め、プラズマ活性溶液の臨床応用に向けて、名古屋大学医学部、岐阜薬科大学との共同研究による連携により研究を進めてきた。

臨床応用に向けて研究が進展するにもかかわらず、このプラズマ活性溶液中の何が抗腫瘍効果に影響を及ぼすのかという疑問は残されていた。そのため、この疑問はプラズマ医療における最も重要な研究課題の1つとなった。プラズマ照射中の反応ダイナミクスの解析に加え、最終安定化学種の生成量の定量評価を進めた。さらに、プラズマから生体にいたる分子機構についても学問分野融合と連携を推進し、プラズマ及びプラズマ活性溶液が細胞に及ぼす影響の統一的理解へ向け取り組んできた。

### 4. 研究成果

プラズマ活性溶液の抗腫瘍効果の作用機序について、プラズマ照射中の反応ダイナミクスの解析に加え、最終安定化学種の生成量の定量評価した結果、過酸化水素と亜硝酸イオンの比率がプラズマがん治療において特異的に効果をもたらす知見を得た。活性窒素種の気相からの供給が、硝酸比率が低い亜硝酸を形成するもの特徴が見いだされた。正常細胞に対する抗腫瘍効果の選択性が、過酸化水素と亜硝酸の相乗効果による新たなメカニズム解明が進んだ。

さらに、名古屋大学医工連携、岐阜薬科大

学との共同研究により、超高電子密度大気圧プラズマが卵巣癌治療に有効であることを示した。プラズマ活性培養液がアストロサイト正常細胞に対して、グリオブラストーマ脳腫瘍培養細胞を選択的に殺傷すること、プラズマ活性培養液が抗癌剤耐性の卵巣癌に対して *in vitro* 及び *in vivo* で抗腫瘍効果を示した。産婦人科及び消化器外科との共同研究によりプラズマ活性培養液が卵巣癌、胃癌、膵癌などの腹膜播種治療への臨床応用に向けて取り組み、プラズマ活性培養液のがん治療への有効性が示された。また眼科との共同研究により、プラズマ活性溶液は、がん治療のみならず、加齢黄斑変性の治療にも有効であることを示した。プラズマやプラズマ活性溶液が抗腫瘍効果をもたらす作用機序について、生存・増殖シグナリングネットワークを抑えることにより、アポトーシスを誘導することを、プラズマ活性溶液と脳腫瘍培養細胞の中で発見し、A549 肺癌細胞に対してプラズマ活性培養液がカスパーゼ非依存性のシグナル伝達経路を作動させる発見がなされた。プラズマと細胞・組織との相互作用には、脂質過酸化による酸化ストレスの影響についても解明された。

このような細胞シグナリングは、大気雰囲気でのプラズマ放電では雰囲気ガスが巻き込まれ、活性酸素窒素種の生成に影響を与えていることを明らかにした。この成果は、大気圧プラズマ標準計測チャンバーおよびラジカル計測システム、レーザ分光計測装置、シュリーレンシステムによるガス流れ分析などを用いた粒子計測により実施された。ガス流を伴う大気圧プラズマ生成では巻き込まれた雰囲気ガス分子の解離および発光により、ラジカルなどの活性種や高エネルギー光が発生する。また、Ar に少量の酸素を添加した O<sub>2</sub>/Ar 混合ガスプラズマにより酸素混合比率 1.0% 付近で生成される酸素原子の計測される密度が最も高くなるとともに、同条件において抗腫瘍効果の効果が最も高いことも見出した。名古屋拠点プラットフォームでは総括班との連携でワーキンググループを中心として、各種プラズマソースの活性種分析を進め、分析データを各班に提供した。

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としても国際雑誌に公表してきた。プラズマ活性溶液の成果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、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ってきている。このことは、我々の論文の引用件数が増えていることから、裏付けられる。世界に先駆けたプラズマがん治療研究において、期待以上の成果が挙げられた。研究開始当初の計画で掲げた粒子パラメーターに基づくプラズマ医療科学の基礎学理の確立はもとより、今後さらなるプラズマと生体や生体組織

との相互作用の理解の礎を築けた。

## 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 207 件) 全て査読有り

[1] Hiroaki Kajiyama, Hiromasa Tanaka, Masaru Hori et al., Future perspective of strategic non-thermal plasma therapy for cancer treatment, **Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition** 60 (2017) 33-38. 査読有

[2] Keigo Takeda, Takumi Kumakura, Kenji Ishikawa, Hiromasa Tanaka, Makoto Sekine and Masaru Hori, Behavior of absolute densities of atomic oxygen in the gas phase near an object surface in an AC-excited atmospheric pressure He plasma jet, **Applied Physics Express** 10 (2017) 036201. 査読有

[3] Naoyuki Kurake, Hiromasa Tanaka, Kenji Ishikawa, Keigo Takeda, Hiroshi Hashizume, Masaru Hori et al., Effects of •OH and •NO radicals in the aqueous phase on H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub><sup>-</sup> generated in plasma-activated medium, **Journal of Physics D: Applied Physics**, 50 (2017) 155202. 査読有

[4] Shigeomi Takeda, Hiromasa Tanaka, Masaru Hori et al., Intraperitoneal administration of plasma-activated medium: Proposal of a novel treatment option for peritoneal metastasis from gastric cancer, **Annals of Surgical Oncology** 24 (2017) 1188-1194. 査読有

[5] Hiromasa Tanaka, Kenji Ishikawa, Keigo Takeda, Masaru Hori et al., Non-thermal atmospheric pressure plasma activated lactate in Ringer's solution for anti-tumor effects, **Scientific Report** 6 (2016) 36282. 査読有

[6] Hiromasa Tanaka, and Masaru Hori, Medical applications of non-thermal atmospheric pressure plasma, **Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition** 60 (2016) 29-32. 査読有

[7] Yoshihiro Akimoto, Masaru Hori et al., Galectin expression in healing wounded skin treated with low-temperature plasma: comparison with the treatment by electrical coagulation. **Archives of Biochemistry and Biophysics** 605 (2016) 86-94. 査読有

[8] Ryugo Tero, Hiroshi Hashizume, Masaru Hori et al., Nanopore formation process in artificial cell membrane induced by plasma-generated reactive oxygen species, **Archives of Biochemistry and Biophysics**, 605 (2016) 26-33. 査読有

- [9] Manish Kumar, Masaru Hori et al., **Archives of Biochemistry and Biophysics**, 605 (2016) 41-48. 査読有
- [10] Kenji Miyamoto, Kenji Ishikawa, Masaru Hori et al., Red blood cell coagulation induced by low-temperature plasma treatment, **Archives of Biochemistry and Biophysics**, 605 (2016) 95-101. 査読有
- [11] Naoyuki Kurake, Hiromasa Tanaka, Kenji Ishikawa, Makoto Sekine, Masaru Hori et al., Cell survival of glioblastoma grown in medium containing hydrogen peroxide and/or nitrite, or in plasma-activated medium. **Archives of Biochemistry and Biophysics** 605 (2016) 102-108. 査読有
- [12] Lei Shi, Hiromasa Tanaka, Masaru Hori et al., Biphasic effects of L-ascorbate on the tumoricidal activity of non-thermal plasma against malignant mesothelioma cells, **Archives of Biochemistry and Biophysics**, 605 (2016) 109-116. 査読有
- [13] Yoshiaki Tabuchi, Keigo Takeda, Kenji Ishikawa, Masaru Hori et al., Effects of nitrogen on the apoptosis of and changes in gene expression in human lymphoma U937 cells exposed to argon-based cold atmospheric pressure plasma, **International Journal of Molecular Medicine** 37 (2016) 1706-1714. 査読有
- [14] Paras Jawaid, Keigo Takeda, Kenji Ishikawa, and Masaru Hori et al., Helium based cold atmospheric plasma-induced reactive oxygen species-mediated apoptotic pathway attenuated by platinum nanoparticles, **Journal of Cellular and Molecular Medicine** 20 (2016) 1737-1748. 査読有
- [15] Ryo Matsumoto, Hiromasa Tanaka, Masaru Hori et al., Plasma-activated medium selectively eliminates undifferentiated human induced pluripotent stem cells, **Regenerative Therapy** 5 (2016) 55-63. 査読有
- [16] Naoyuki Kurake, Hiromasa Tanaka, Kenji Ishikawa, Masaru Hori et al., Synthesis of calcium oxalate crystals in culture medium irradiated with non- equilibrium atmospheric-pressure plasma, **Applied Physics Express**. 9 (2016) 096201. 査読有
- [17] Chiharu Ishida, Hiromasa Tanaka, Masaru Hori et al., Non-thermal plasma prevents progression of endometriosis in mice. **Free Radical Research** 50 (2016) 1131-1139. 査読有
- [18] Fumi Utsumi, Hiromasa Tanaka, Masaru Hori et al., Variable susceptibility of ovarian cancer cells to non-thermal plasma-activated medium, **Oncology Reports** 16 (2016) 3169-3177. 査読有
- [19] Hiromasa Tanaka, Masaru Hori et al., Interactions between Plasma-activated medium and Cancer Cells, **Plasma Medicine** 6 (2016) 101-106. 査読有
- [20] Hiroshi Hashizume, Takayuki Ohta, Masaru Hori, and Masafumi Ito, Growth control of *Saccharomyces cerevisiae* through dose of oxygen atoms, **Applied Physics Letters** 107 (2015) 093701. 査読有
- [21] Hiroaki Kajiyama, Hiromasa Tanaka, Masaru Hori et al., Possible therapeutic option of aqueous plasma for refractory ovarian cancer, **Clinical Plasma Medicine**, 4 (2016) 14. 査読有
- [22] Hiromasa Tanaka, Kenji Ishikawa, Hiroki Kondo, Keigo Takeda, Hiroshi Hashizume, Shinichi Akiyama, Machiko Iida, Ichiro Yajima, Masashi Kato, Masaru Hori et al., Plasma with high electron density and plasma-activated medium for cancer treatment, **Clinical Plasma Medicine** 3 (2015) 72-76. 査読有
- [23] Hiromasa Tanaka, Masashi Kato, Masaru Hori et al., Cancer therapy using non-thermal atmospheric pressure plasma with ultra-high electron density, **Phys Plasmas** (2015) 122004. 査読有
- [24] Hidefumi Uchiyama, Keigo Takeda, Kenji Ishikawa, Masaru Hori et al., EPR-Spin Trapping and Flow Cytometric Studies of Free Radicals Generated Using Cold Atmospheric Argon Plasma and X-Ray Irradiation in Aqueous Solutions and Intracellular Milieu. **PLoS ONE** 10 (2015) e0136956. 査読有
- [25] Junichiro Ikeda, Masaru Hori et al., Anti-cancer effects of non-equilibrium atmospheric pressure plasma on cancer-initiating cells in human endometrioid adenocarcinoma cell, **Plasma Processes and Polymers** 12 (2015) 1370-1376. 査読有
- [26] Machiko Iida, Yasuhiro Omata, Ichiro Yajima, Kenji Ishikawa, Masaru Hori, Masashi Kato et al., Decreased expression levels of cell cycle regulators and matrix metalloproteinases in melanoma from RET-transgenic mice by single irradiation of non-equilibrium atmospheric pressure plasmas. **Int. J. Clin. Exp. Pathol.** 8 (2015) 9326. 査読有

- [27] Masashi Ueda, Kenji Ishikawa, Masaru Hori et al., Histological and nuclear medical comparison of inflammation after hemostasis with non-thermal plasma and thermal coagulation. **Plasma Processes and Polymers** 12 (2015) 1338-1342. 査読有
- [28] Sanae Ikehara, Kenji Ishikawa, Masaru Hori et al., Plasma blood coagulation without involving the activation of platelets and coagulation factors, **Plasma Processes and Polymers**, 12 (2015) 1348-1353. 査読有
- [29] Norifumi Hattori, Hiromasa Tanaka, Masaru Hori et al., Effectiveness of plasma treatment on pancreatic cancer cells, **International Journal of Oncology**, 47 (2015) 1655-1662. 査読有
- [30] Tetsuo Adachi, Hiromasa Tanaka, Masaru Hori et al., Plasma-activated medium induces A549 cell injury via a spiral apoptotic cascade involving the mitochondrial-nuclear network, **Free Radical Biology and Medicine** 79 (2015) 28. 査読有
- [31] Fumi Utsumi, Hiromasa Tanaka, Masaru Hori et al., Selective cytotoxicity of indirect nonequilibrium atmospheric pressure plasma against ovarian clear-cell carcinoma, **Springerplus** 3 (2014) 398. 査読有
- [32] Fuxiang Ye, Hiromasa Tanaka, Masaru Hori et al., Plasma- activated medium suppresses choroidal neovascularization in mice: a new therapeutic concept for age-related macular degeneration, **Scientific Report** 5 (2014) 7705. 査読有
- [33] Hiroaki Kajiyama, Hiromasa Tanaka, Masaru Hori et al., Perspective of strategic plasma therapy in patients with epithelial ovarian cancer: A short review of plasma in cancer treatment, **Japanese Journal of Applied Physics**, 53 (2014) 05FA05. 査読有
- [34] Hiromasa Tanaka, Kenji Ishikawa, Masaru Hori et al., Cell survival and proliferation signaling pathways are downregulated by plasma-activated medium in glioblastoma brain tumor cells, **Plasma Medicine** 2 (2014) 207-220. 査読有
- [35] Hiromasa Tanaka, Kenji Ishikawa, Keigo Takeda, Masaru Hori et al., Plasma medical science for cancer therapy: Toward cancer therapy using nonthermal atmospheric pressure plasma, **IEEE Transactions on Plasma Science**, (2014) 3760–3764. 査読有
- [36] Hiroshi Watanabe, Hiroki Kondo, Mineo Hiramatsu, Makoto Sekine, Masaru Hori et al., Carbon nanowall scaffold to control culturing of cervical cancer cells, **Appl. Phys. Lett.** 105 (2014) 244105. 査読有
- [37] Ichiro Yajima, Machiko Iida, Masaru Hori, Masashi Kato et al., Non-equilibrium atmospheric pressure plasmas modulate cell cycle-related gene expression levels in melanocytic tumors of RET-transgenic mice, **Exp. Dermatol**, 23 (2014) 424. 査読有
- [38] Koji Torii, Hiromasa Tanaka, Masaru Hori et al., Effectiveness of plasma treatment on gastric cancer cells, **Gastric Cancer** 18 (2014) 635-643. 査読有
- [39] Machiko Iida, Ichiro Yajima, Masaru Hori, Masashi Kato et al., Effects of non-thermal atmospheric pressure plasma irradiation on expression levels of matrix metalloproteinases in benign melanocytic tumors in RET-transgenic mice. **Eur J Dermatol**, 24 (2014) 392-394. 査読有
- [40] Ryutaro Shimane, Hiroshi Hashizume, Takayuki Ohta, Masaru Hori et al., Localized plasma irradiation through a micronozzle for individual cell treatment, **Japanese Journal of Applied Physics**, 53 (2014) 11RB03. 査読有
- [41] Yasumasa Okazaki, Hiromasa Tanaka, Masaru Hori et al., Direct exposure of non-equilibrium atmospheric pressure plasma confers simultaneous oxidative and ultraviolet modifications in biomolecules, **Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition** 55 (2014) 207-215. 査読有
- [42] Hiromasa Tanaka, Kenji Ishikawa, Masaru Hori et al., Plasma-activated medium selectively kills glioblastoma brain tumor cells by down-regulating a survival signaling molecule, AKT kinase, **Plasma Medicine**, 1 (2013) 265-277. 査読有
- [43] Fumi Utsumi, Hiromasa Tanaka, Kenji Ishikawa, Hiroki Kondo, Masaru Hori et al., Effect of indirect nonequilibrium atmospheric pressure plasma on anti-proliferative activity against chronic chemo-resistant ovarian cancer cells in vitro and in vivo, **PLoS ONE**, 8 (2013) e81576. 査読有
- [学会発表] (計 874 件)
- [図書] (計 1 件)
- 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 ドライブプロセスとプラズマ医療科学, 272-282 頁、2016年12月28日

〔産業財産権〕

○出願状況 (計8件)

[1]名称：抗腫瘍水溶液および抗癌剤とそれらの製造方法

発明者：堀勝、水野正明、吉川史隆、梶山広明、中村香江、内海史、石川健治、竹田圭吾、田中宏昌、加納浩之

権利者：名古屋大学、NUエコエンジニアリング株式会社

種類：特許

番号：2014-122088

出願年月日：2014年6月13日

国内外の別：国内

[2]名称：抗癌剤および輸液とそれらの製造方法ならびに抗癌物質

発明者：水野正明、堀勝、吉川史隆、梶山広明、内海史、中村香江、石川健治、竹田圭吾、田中宏昌、加納浩之

権利者：名古屋大学、NUエコエンジニアリング株式会社

種類：特許

番号：PCT/JP2015/006419

出願年月日：2015年12月23日

国内外の別：国外

○取得状況 (計1件)

名称：抗腫瘍水溶液および抗癌剤とそれらの製造方法

発明者：堀勝、水野正明、吉川史隆、梶山広明、中村香江、石川健治、田中宏昌、加納浩之

権利者：名古屋大学、NUエコエンジニアリング株式会社

種類：特許

番号：6099277

取得年月日：2017年3月3日

国内外の別：国外

〔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

鈴置 保雄 (SUZUOKI, Yasuo)

名古屋大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：10115587

加藤 昌志 (KATO, Masashi)

名古屋大学・大学院医学研究科・教授

研究者番号：10281073

秋山 真一 (AKIYAMA, Shinichi)

名古屋大学・大学院医学研究科・特任講師

研究者番号：20500010

平松 美根男 (HIRAMATSU, Mineo)

名城大学・理工学部・教授

研究者番号：50199098

近藤 博基 (KONDO, Hiroki)

名古屋大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：50345930

### (3) 連携研究者

関根 誠 (SEKINE, Makoto)

名古屋大学・大学院工学研究科・特任教授

研究者番号：80437087

石川 健治 (ISHIKAWA, Kenji)

名古屋大学・大学院工学研究科・特任教授

研究者番号：60417384

竹田 圭吾 (TAKEDA, Keigo)

名古屋大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：00377863

太田 貴之 (OHTA, Takayuki)

名城大学・理工学部・准教授

研究者番号：10379612

田中 宏昌 (TANAKA, Hiromasa)

名古屋大学・大学院工学研究科・特任講師

研究者番号：00508129

矢嶋 伊知朗 (YAJIMA, Ichiro)

名古屋大学・大学院医学研究科・講師

研究者番号：80469022

飯田 真智子 (IIDA, Machiko)

名古屋大学・大学院医学研究科・特任助教

研究者番号：60465515

### (4) 研究協力者

橋爪 博司 (HASHIZUME, Hiroshi)

名古屋大学・大学院工学研究科・特任助教

小又 尉広 (OMATA, Yasuhiro)

名古屋大学・大学院医学研究科・研究員

研究者番号：60465515