

令和 2 年 6 月 2 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H02805

研究課題名(和文) プラズマで生成されたフリーラジカルの生物化学作用のメタボロミクスによる解析

研究課題名(英文) Plasma Biochemistry and Metabolic Profiles of Cells Interacted with Non-thermal Plasmas

研究代表者

石川 健治 (Ishikawa, Kenji)

九州大学・プラズマナノ界面工学センター・特任教授

研究者番号：60417384

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円

研究成果の概要(和文)：プラズマ活性溶液で培養された細胞内代謝物の変動を観察し、脳腫瘍細胞(U251SP)は1.細胞培養液ではグルコース摂取から異化作用により生体エネルギーとバイオマスの産生、2.プラズマ活性培養液では酸化ストレスにより糖代謝酵素の活性が減弱して生体エネルギーが不足し、3.乳酸含有溶液では細胞内は還元状態を維持しながら乳酸摂取等の同化作用が亢進、4.プラズマ活性乳酸溶液(PAL)ではグルタミン同化や脂肪代謝に、プラズマ活性有機物が阻害要因として働くことを明らかにした。特に、PALではプラズマが活性化した有機物を起因とした細胞内代謝が変動され、プラズマ誘起細胞死に至ることを発見した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大気圧下でガス温度の上昇を伴わない非平衡(低温)プラズマの生成が制御されて可能となり、液体や生体をはじめとする様々な対象にプラズマの照射効果が見いだされていた中、本研究は、プラズマ活性溶液中で培養された細胞内のメタボローム解析を世界で初めて実施した、研究開始当初はプラズマが生成するRONsの影響が生体作用の主要な因子であるといった見解から、溶液中の有機物の変性をプラズマが液体に作用した結果に生じており、その溶液中に産生された成分が細胞の恒常的応答を変動させ、代謝産物における明瞭な違いを世界で初めて明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The alternation of intracellular metabolites cultured in plasma-activated solutions was observed in brain tumor cells (U251SPs). Bioenergetics and biomass production were taken place through catabolism from glucose uptake in the cell culture medium; (i) bioenergetics were deficient in the plasma-activated culture medium due to reduced activity of glycolytic enzymes due to oxidative stress; (ii) lactate-containing solutions enhanced anabolism from lactate uptake while maintaining a reduced intracellular state; and (iii) plasma-activated organics acted as inhibitors of glutamine assimilation and lipid metabolism in the plasma-activated lactate solution (PAL). In particular, we found that intracellular metabolism was altered by plasma-activated organic matter in PAL, leading to plasma-induced cell death.

研究分野：プラズマバイオ

キーワード：低温プラズマ 非平衡大気圧プラズマ メタボローム 細胞内代謝 活性酸素窒素種 グリオーム プラズマ活性有機物 乳酸

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

大気圧下でガス温度の上昇を伴わない非平衡(低温)プラズマの生成が制御されて可能となり、液体や生体をはじめとする様々な対象にプラズマの照射効果が見いだされていた。例えば、放電プラズマ照射を施した培養液成分がヒトのがん細胞に対して殺傷効果をもち、マウスの実験においても抗腫瘍効果をもつことが発見されていた(H. Tanaka et al. *Plasma Med.* 1 (2013) 265.)。すなわち、プラズマが生成する化学活性なイオン、ラジカル、光などの生物学・農学的な作用の解明が求められ、このプラズマ照射培養液中には、過酸化水素水( $H_2O_2$ )と亜硝酸イオン( $NO_2^-$ )が生成されていることが明らかにされ、それらの相乗効果によって細胞殺傷効果もたらされることも明らかにされた(N. Kurake et al., *Arch. Biochem. Biophys.* 605 (2016) 102.)。プラズマの生体作用は、一種の酸化ストレスとして働いているのか、それとも、異なる作用があるのかどうか、議論が続けられていた。通常、正常な細胞にはストレスや機能要求が加えられると、それらに対して適用が見られ、適応限界の逸脱により細胞傷害を生じ、不可逆的に細胞死の進行する(豊國伸哉訳「ロビンズ基礎病理学」第9版(2014))。このような観点から、プラズマの生体作用、すなわち「細胞」に与える作用について、細胞に内在する応答(生理恒常性)から理解しなければならない。然し乍ら、プラズマの作用をトリガーとして、そこから生じる生体応答機構の解明は未だ為し得ていない状況であった。そのために、バイオプラズマ応用の体系化の理論構築が必要であり、プラズマが誘起する細胞応答、「細胞内代謝の変動」に世界に先駆けて取り組む必要があった。

### 2. 研究の目的

研究代表者はこれまでに、放電プラズマ滅菌法研究から生体内フリーラジカル発生、細胞刺激により細胞内代謝物変動(酵素化学反応変化)についてバイオインフォマティクス技術を解明に応用して取り組んできている。例えば、ヒトのがん細胞では通常の酸素呼吸によるエネルギー産生をともなった、グルコースの過剰な摂取を行う好気解糖が亢進する。このような代謝リプログラミングは「ワーブルク効果」として知られていた。がん細胞では成長因子の受容にかかわらず細胞内信号が活性化され、グルコース摂取などによりバイオマスを得て、細胞の増殖状態を維持している。その状況は、もしプラズマがグルコース等を化学修飾させ、代謝経路において変動をもたらすようなら、細胞の生理は適応限界から逸脱し、細胞傷害もたらされる可能性が考えられる。そのため、プラズマ照射した活性溶液で細胞培養した時の、細胞内代謝の変動について解析する必要があった。本研究では、詳細な代謝物を検出し、世界に先駆けて「プラズマ代謝経路マップの作成」と、その「プラズマ代謝制御の創出」を進めてきた。

### 3. 研究の方法

代謝物の解析は、脳腫瘍細胞(U251SP)を用いて実験された。

プラズマ処理溶液は、60mm ディッシュに8ml入れて、Arを20毎分流しながら、交流高電圧を印加して生成したプラズマを照射することで作成した。この処理により、溶液中には過酸化水素などの活性酸素素種(RONS)が産生され、溶解有機物が化学修飾を受けて変性した化学種を含んでいる。作成したプラズマ処理溶液は、未処理の溶液により希釈して、希釈率を変えたものを試料とした。

希釈率の異なるプラズマ照射溶液毎に、細胞を培養して24時間後の細胞生存率をMTSアッセイ法で調べた。200 $\mu$ lのDMEMに5000細胞を播種してアポトーシスマーカーであるCaspase3/7の活性を蛍光顕微鏡観察した。また、溶液中の $H_2O_2$ 濃度と $NO_2^-/NO_3^-$ 濃度は比色法により調べた。

10mlの細胞培養液(DMEM)に $10^6$ 細胞を播種し、成長因子を抜いた各試料に培養液を入れ換えて、30分後に細胞内の代謝物を抽出した。試料には、DMEMとプラズマ照射したDMEM(PAM)、乳酸リンゲル液(Lactec)とプラズマ照射したLactec(PAL)である。抽出された代謝物はキャピラリー電気泳動質量分析器を使って分析した。

### 4. 研究成果

U251SPについて細胞培養液とプラズマ活性培養液による培養をおこない、細胞内代謝物の変動についてメタボローム解析した結果(N. Kurake et al., *Arch. Biochem. Biophys.* 662 (2019) 83.)から、特徴的な細胞内代謝物に変化が見られた。

はじめに、培養する際に成長因子を抜いていることで見られる変化がある。成長因子がなくなることで、Adenosine triphosphate(ATP)、nicotinamide adenine dinucleotide( $NAD^+$ )などの生体エネルギー関連の代謝物量に減少がみられた。プラズマ活性培養液で培養を開始することで、特徴的にGlyceraldehyde 3-phosphate(G3P)やFructose 1,6-diphosphate(F1,6P)などの糖代謝経路やRibulose 5-phosphate(Ru5P)やribose 5-phosphate(R5P)などのペントースリン酸代謝経路(PPP)に見られる代謝物量に変動が見られた。これらの代謝物のパスウェーマッピングから考察されることは、糖代謝においてG3Pの介在する代謝経路の上流で代謝物量が上昇し、下流で代謝物が枯渇していることがわかる。また、PPPでも $NAD^+$ を補酵素とする反応が阻害されており、G3Pから2,3-bisphosphoglyceric acid(BPG)などへの代謝が影響を受けていることもわかる。これらの結果より、PAM培養では生体エネルギー産生が減弱することが裏付けられた。

G3PからBPGへはGlyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase(GAPDH)が触媒している。こ

の GAPDH 酵素は酸化ストレス下で凝集するため、機能低下するとの報告もある。NAD<sup>+</sup>の減少は、その原料である nicotinamide (NAM) や nicotinic acid (NA), nicotinamide riboside (NR) などの分子量の減少に依存している。そのため、nicotinamide mononucleotide (NMN) から NAM phosphoribosyltransferase (NAMPT) や NMN adenylyltransferase (NMNAT) 等の物質合成代謝に関与する経路への影響が考えられる。この仮説から、NAD<sup>+</sup>の枯渇を逆にみると、一連の代謝変動が NAMPT などの酵素失活を原因としている可能性が高い。

PAM 中には H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> と NO<sub>2</sub> が含まれており、これらの RONS が、代謝物の修飾や酵素の失活に関与している可能性は無視できない。それでも、乳酸リンゲル液 (Lactec) とそのプラズマ照射溶液 (PAL) で処理した細胞の死滅に至る過程で見られる代謝物のプロファイルには興味深い結果が得られた (K. Ishikawa et al., Arch. Biochem. Biophys. (2020) in press.)。

U251SP を Lactec や PAL で培養した時の代謝物についてのメタボローム解析した結果から、細胞内の酸化還元状態は、生来の状態である還元性グルタチオンが優勢な状態となることがわかる。細胞外の RONS 量に大きな差はないにもかかわらず、PAM では酸化性グルタチオンが増加している状態とは大きく異なった。

PAL については、カタラーゼを添加することで H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> を検出限界以下の nmol レベルに下げて U251SP を培養した (図 1)。それでも、細胞死滅を生じており、アポトーシスマーカーである caspase 3/7 の活性化が蛍光観察により検出された。このことから、PAL ではプラズマ照射の効果は、乳酸が反応した有機物の影響で代謝が変動している可能性が見いだされた。

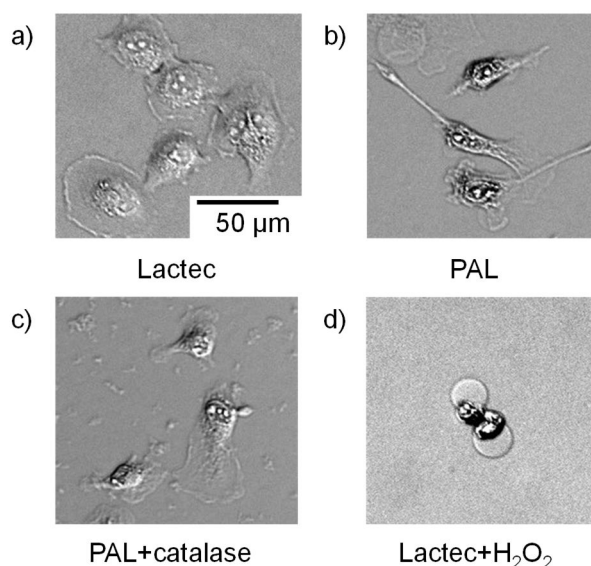


図 1 Lactec と PAL で処理した U251SP 細胞の形態観察。Catalase 添加により PAL から H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> を消去した場合(c)と Lactec に H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> を添加した場合(d)。 (K. Ishikawa et al., Arch. Biochem. Biophys. 688, 108414 (2020))

Lactec と PAL で培養では、培養環境からグルコースをはじめとする養分がなくなることから、グルタミンの量が大きく減少するなど、細胞内のアミノ酸レベルが低下する。PPP 経路上に見られる代謝物でも Ribulose 5-phosphate (Ru5P) や Ribose 5-phosphate (R5P) の量が減少する。一方、乳酸から糖新生の代謝経路の促進が見られると考えられる、F6P や G6P の量は増加に転じる。結局、PPP の下流で産生される sedoheptulose 7-phosphate (S7P) や 5'-phosphoribosyl-1'-pyrophosphate (PRPP) に増加が見られる。このことから細胞内がグルコース摂取からはじまる異化作用が、生体エネルギーとバイオマスの主要な代謝であった状態から、不足するバイオマスの合成を亢進させる代謝の状態に移行していることがわかる。

その観点から代謝パスウェーミング上の代謝物量を見直すと、グルタミノリシは特徴的である。グルタミン (Gln) はグルタミン酸 (Glu) を経て  $\alpha$ -ketoglutarate ( $\alpha$ -KG) に代謝され、脂肪酸の合成に使われる。通常、細胞内のグルタミンは、グルタチオンと NADPH の合成と分解により一定量に維持される。しかしながら、還元状態を維持し、主要なバイオマスが失われ、乳酸のみで供給されるようになり、養分からアミノ酸が欠乏したことで、著しいグルタミノリシの減弱と、それに関係する脂肪代謝が抑制される。すなわち、細胞増殖に必要なバイオマスの確保の要請から、核酸や NAD<sup>+</sup>補酵素等の合成が活発化する。このことから Gln を窒素源に利用したアスパラギン酸やアラニンの合成の代謝が活性となる。また、脳腫瘍では isocitrate dehydrogenase 1 (IDH1) 関連の遺伝子がアルギニンからヒスチジンに改変して、この代謝が不活性していることなどの指摘からも代謝の変動を受けやすかった可能性は否定できない。

以上、本研究から見いだされたプラズマ活性溶液で培養された細胞の細胞死をもたらし過程での細胞内代謝物の変動を観察した結果から、U251SP では

- 1 細胞培養液ではグルコース摂取から異化作用により生体エネルギーとバイオマスの産生，
- 2 .PAM では酸化ストレスにより糖代謝酵素の活性が減弱し，生体エネルギーが不足，
- 3 .Lactec と PAL では細胞内は還元状態を維持しており，乳酸摂取等の同化作用が亢進，
- 4 .PAL ではグルタミン同化や脂肪代謝に，プラズマ活性有機物が阻害要因として働く，  
 といったことが明らかとなった．このことから，PAL ではプラズマが活性化した有機物を起因とした細胞内代謝変動を伴ったプラズマ誘起細胞死をもたらす発見があった．

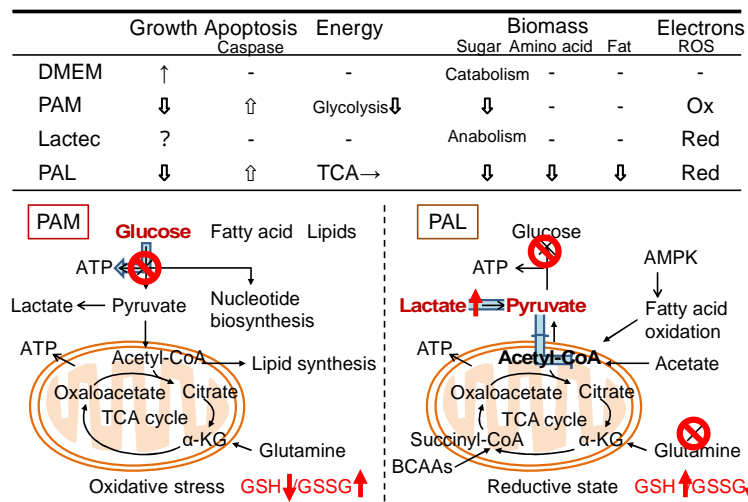


図2 PAM と PAL で処理した U251SP 細胞内に見られる代謝変動のまとめ．PAM では異化作用により生体エネルギーとバイオマスを産生している中で，酸化ストレスにより糖代謝経路等に関連する酵素失活を起因とする生体エネルギー不足を生じ，PAL では細胞内の酸化還元状態は還元状態を維持しているながらも乳酸摂取等からの同化作用を亢進させる中で，グルタミンや脂肪代謝のバイオマス産生の阻害を受ける．この代謝変動への作用はプラズマ活性有機物に依存していると考えられた．(K. Ishikawa et al., Arch. Biochem. Biophys. 688, 108414 (2020).)

本研究は，プラズマ活性溶液中で培養された細胞内のメタボローム解析を世界で初めて実施し，国内外のプラズマバイオ研究者から注目されている．当初，プラズマが生成する RONS の影響が生体作用の主要な因子であるといった見解から，溶液中の有機物の変性をプラズマが液体に作用した結果に生じており、その溶液中に産生された成分が細胞の恒常的応答を変動させ、代謝産物における明瞭な違いを世界で初めて明らかにした．

今後，プラズマが溶液中の有機物から産生させる短寿命活性種の解明を進め，その単独ないし複合的にもたらす生体作用について解明を進めていく．

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 22件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kenji Ishikawa, Yugo Hosoi, Hiromasa Tanaka, Li Jiang, Shinya Toyokuni, Kae Nakamura, Hiroaki Kajiyama, Fumitaka Kikkawa, Masaaki Mizuno, Masaru Hori	4. 巻 688
2. 論文標題 Non-thermal plasma-activated lactate solution kills U251SP glioblastoma cells in an innate reductive manner with altered metabolism	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Archives of Biochemistry and Biophysics	6. 最初と最後の頁 108414
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.abb.2020.108414	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Naoyuki Kurake, Kenji Ishikawa, Hiromasa Tanaka, Hiroshi Hashizume, Kae Nakamura, Hiroaki Kajiyama, Shinya Toyokuni, Fumitaka Kikkawa, Masaaki Mizuno, and Masaru Hori	4. 巻 662
2. 論文標題 Nonthermal plasma-activated medium (PAM) modified metabolomic profiles in glycolysis of U251SP glioblastoma	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Archives of Biochemistry and Biophysics	6. 最初と最後の頁 83-92
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.abb.2018.12.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Keigo Takeda, Hiromasa Yamada, Kenji Ishikawa, Hajime Sakakita, Jaeho Kim, Masashi Ueda, Jun-ichiro Ikeda, Yoshihiro Akimoto, Yosky Kataoka, Naoaki Yokoyama, Yuzuru Ikehara, and Masaru Hori	4. 巻 52
2. 論文標題 Systematic diagnostics of the electrical, optical, and physicochemical characteristics of low-temperature atmospheric-pressure helium plasma sources	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physics D: Applied Physics	6. 最初と最後の頁 165202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6463/aaff44	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tomonori Ichikawa, Suiki Tanaka, Hiroki Kondo, Kenji Ishikawa, Takayoshi Tsutsumi, Makoto Sekine, and Masaru Hori	4. 巻 12
2. 論文標題 Effect of electrical stimulation on proliferation and bone-formation by osteoblast-like cells cultured on carbon nanowall scaffolds	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 25006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/aaf469	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hiromasa Tanaka, Masaaki Mizuno, Kenji Ishikawa, Shinya Toyokuni, Hiroaki Kajiyama, Fumitaka Kikkawa, and Masaru Hori	4. 巻 400
2. 論文標題 Molecular mechanisms of non-thermal plasma-induced effects in cancer cells	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Biological Chemistry	6. 最初と最後の頁 87-91
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1515/hsz-2018-0199	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hiromasa Tanaka, Masaaki Mizuno, Kenji Ishikawa, Shinya Toyokuni, Hiroaki Kajiyama, Fumitaka Kikkawa, and Masaru Hori	4. 巻 1
2. 論文標題 New hopes for plasma-based cancer treatment	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plasma	6. 最初と最後の頁 150-155
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/plasma1010014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Daiki Kanno, Hiromasa Tanaka, Kenji Ishikawa, Hiroshi Hashizume, and Masaru Hori	4. 巻 51
2. 論文標題 Cytotoxic effects of plasma-irradiated fullerene	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physics D: Applied Physics	6. 最初と最後の頁 375401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6463/aad510	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Daisuke Onoshima, Yuya Hattori, Hiroshi Yukawa, Kenji Ishikawa, Masaru Hori, and Yoshinobu Baba	4. 巻 10
2. 論文標題 Cell Deposition Microchip with Micropipette Control over Liquid Interface Motion	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Cell Medicine	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/2155179017733152	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Naoto Kihara, Daiki Kuboyama, Daisuke Onoshima, Kenji Ishikawa, Ryohei Koguchi, Hiromasa Tanaka, Naoya Ozawa, Tetsunari Hase, Hiroshi Yukawa, Hidefumi Odaka, Yoshinori Hasegawa, Yoshinobu Baba, and Masaru Hori	4. 巻 57
2. 論文標題 Low-autofluorescence fluoropolymer membrane filters for cell filtration	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 06JF03
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.06JF03	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ryo Furuta, Naoyuki Kurake, Kenji Ishikawa, Keigo Takeda, Hiroshi Hashizume, Hiroki Kondo, Takayuki Ohta, Masafumi Ito, Makoto Sekine, and Masaru Hori	4. 巻 19
2. 論文標題 Intracellular-molecular changes in plasma-irradiated budding yeast cells studied using multiplex coherent anti-Stokes Raman scattering microscopy	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Phys. Chem. Chem. Phys.	6. 最初と最後の頁 13438-13442
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c7cp00489c	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ryo Furuta, Naoyuki Kurake, Kenji Ishikawa, Keigo Takeda, Hiromasa Tanaka, Hiroshi Hashizume, Hiroki Kondo, Makoto Sekine and Masaru Hori	4. 巻 14
2. 論文標題 Intracellular responses to reactive oxygen and nitrogen species, and lipid peroxidation: Induction of apoptotic death in HeLa cells following cultivation in non-equilibrium (cold) atmospheric pressure plasma-activated medium	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Plasma Process and Polymers	6. 最初と最後の頁 e1700123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ppap.201700123	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Timothy Ryan Brubaker, Kenji Ishikawa, Keigo Takeda, Jun-Seok Oh, Hiroki KONDO, Hiroshi Hashizume, Hiromasa Tanaka, Sean David Knecht, Sven Bil?n, and Masaru Hori	4. 巻 122
2. 論文標題 Dynamic analysis of reactive oxygen nitrogen species in plasma-activated culture medium by UV absorption spectroscopy	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J Appl Phys	6. 最初と最後の頁 21330
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s13068-017-0979-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hidefumi Uchiyama, Qing-Li Zhao, Gabor Andocs, Nobuyuki Nojima, Keigo Takeda, Murali Krishna, Yuji Matsuya, Kenji Ishikawa, Masaru Hori, Kyo Noguchi, and Takashi Kondo	4. 巻 51
2. 論文標題 Free radical generation by non-equilibrium atmospheric pressure plasma in alcohol-water mixtures. An EPR-spin trapping study	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Phys.D: Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 26201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6463/aaab09	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hiromasa Tanaka, Kenji Ishikawa, Masaaki Mizuno, Shinya Toyokuni, Hiroaki Kajiyama, Fumitaka Kikkawa, Hans-Robert Metelmann, and Masaru Hori	4. 巻 1
2. 論文標題 State of the art in medical applications using non-thermal atmospheric pressure plasma	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Rev. Mod. Plasma Phys.	6. 最初と最後の頁 3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s41614-017-0004-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hiromasa Tanaka, Masaaki Mizuno, Kenji Ishikawa, Hiroaki Kajiyama, Fumitaka Kikkawa, and Masaru Hori	4. 巻 2
2. 論文標題 Glioblastoma cell lines display different sensitivities to plasma-activated medium	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Plasma Radiation and Plasma Medical Sciences	6. 最初と最後の頁 99-102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TRPMS.2017.2721973	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Yohei Takahashi, Yusuke Taki, Keigo Takeda, Hiroshi Hashizume, Hiromasa Tanaka, Kenji Ishikawa, and Masaru Hori	4. 巻 51
2. 論文標題 Cytotoxicity on cancer HeLa cells sensitively against normal MCF10A cells in cultivations with cell culture medium treated by microwave-excited atmospheric pressure plasmas	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Phys.D: Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 95202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6463/aaa885	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -



1. 著者名 Yohei Takahashi, Yusuke Taki, Keigo Takeda, Hiroshi Hashizume, Hiromasa Tanaka, Kenji Ishikawa, and Masaru Hori	4. 巻 15
2. 論文標題 Reduced HeLa cell viability in methionine-containing cell culture medium irradiated with microwave-excited atmospheric-pressure plasma	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plasma Processes Polymers	6. 最初と最後の頁 1700200
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ppap.201700200	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Keigo Takeda, Kenji Ishikawa, Hiromasa Tanaka, Makoto Sekine, and Masaru Hori	4. 巻 50
2. 論文標題 Spatial distributions of O, N, NO, OH and vacuum ultraviolet light along gas flow direction in an AC-excited atmospheric pressure Ar plasma jet generated in open air	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Phys. D: Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 195202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6463/aa6555	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Giichiro Uchida, Kosuke Takenaka, Keigo Takeda, Kenji Ishikawa, Masaru Hori, Yuichi Setsuhara	4. 巻 57
2. 論文標題 Selective production of ROS and RNS in the plasma treated water by using nonthermal low- and high-frequency plasma jets	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Jpn J Appl Phys	6. 最初と最後の頁 0102B4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.0102B4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Junnichiro Ikeda, Hiromasa Tanaka, Kenji Ishikawa, Sakakita Hajime, Yuzuru Ikehara, and Masaru Hori	4. 巻 68
2. 論文標題 Plasma-activated medium (PAM) kills human cancer-initiating cells	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Pathology International	6. 最初と最後の頁 23-30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1245/s10434-017-6239-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Moniruzzaman Rohan, Qing-Li Zhao, Paras Jawaid, Keigo Takeda, Kenji Ishikawa, Masaru Hori, Kei Tomihara, Noguchi Kyo, Takashi Kondo, and Makoto Noguchi	4. 巻 7
2. 論文標題 Cold atmospheric helium plasma causes synergistic enhancement in cell death with hyperthermia and an additive enhancement with radiation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 11659
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-017-11877-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Naoyuki Kurake, Hiromasa Tanaka, Kenji Ishikawa, Kae Nakamura, Hiroaki Kajiyama, Fumitaka Kikkawa, Masaaki Mizuno, Yuzuru Ikehara, and Masaru Hori	4. 巻 122
2. 論文標題 Crystallization of calcium oxalate dihydrate in a buffered calcium-containing glucose solution by irradiation with non-equilibrium atmospheric pressure plasma	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J Appl Phys	6. 最初と最後の頁 143301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5006598	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計42件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 32件)

1. 発表者名 K. Ishikawa, H. Tanaka, T. Kondo, S. Toyokuni, F. Kikkawa, M. Mizuno, and M. Hori
2. 発表標題 Intracellular responses in apoptotic cells to reactive species in plasma treated liquids
3. 学会等名 7th International Conference on Plasma Medicine (ICPM7), Drexel University Philadelphia, USA (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Ishikawa, M. Itou, and M. Hori
2. 発表標題 Low temperature plasma surface interactions for their future basic researches and applications
3. 学会等名 22nd International Conference Gas Discharges and Their Applications, Serbia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Kenji Ishikawa, Masaru Hori
2 . 発表標題 Low Temperature Plasma Surface Interactions Among Multiple Phase
3 . 学会等名 5th Asian Workshop on Applied Plasma Science and Engineering, Kuala Lumpur, Malaysia (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Brubaker, K. Ishikawa, H. Hashizume, H. Tanaka, T. Tsutsumi, H. Kondo, S. Knecht, S. Bilen, and M. Hori
2 . 発表標題 Mechanisms of plasma jets impinging upon liquids
3 . 学会等名 7th International Conference on Plasma Medicine (ICPM7), Drexel University Philadelphia, USA (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 H. Tanaka, M. Mizuno, K. Ishikawa, K. Takeda, H. Hashizume, H. Kondo, M. Sekine, K. Nakamura, H. Kajiyama, S. Akiyama, S. Maruyama, S. Toyokuni, F. Kikkawa, M. Hori
2 . 発表標題 Similarities and Differences in Gene Transcription in Plasma-activated Medium Treated and Plasma-activated Ringer 's Lactate Solution Treated Glioblastomas
3 . 学会等名 7th International Conference on Plasma Medicine (ICPM7), Drexel University Philadelphia, USA (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Kenji Ishikawa, Y. Hosoi, D.Kanno, Y. Kurokawa, H. Tanaka, M. Mizuno, F.Kikkawa, M.Hori
2 . 発表標題 Biological Effects of Plasma-Irradiated Organic Molecules in Plasma-Treated Liquids
3 . 学会等名 AVS 65th INTERNATIONAL SYMPOSIUM & EXHIBITION 2018, Long Beach, California, USA (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Kenji Ishikawa, Yugo Hosoi, Hiromasa Tanaka, Hiroshi Hashizume, Shinya Toyokuni, Fumitaka Kikkawa, Masaaki Mizuno, and Masaru Hori
2 . 発表標題 Nonequilibrium atmospheric pressure plasma activates organic substances for antitumor effects
3 . 学会等名 40th International Symposium on Dry Process (DPS2018), Toyoda Auditorium, Nagoya University, Nagoya, Aichi, Japan (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Hosoi, K. Ishikawa, H. Tanaka, H. Hashizume, F. Kikkawa, M. Mizuno and M. Hori
2 . 発表標題 Anti-proliferative effect of glyoxylate generated in plasma-activated lactate solution
3 . 学会等名 28th Materials Research Society of Japan (MRS-J) , Kitakyusyu International Conference Center, Fukuoka, Japan (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 S. Maeda, Y. Hosoi, K. Ishikawa, H. Hashizume, H. Tanaka, T. Takayoshi, H. Kondo, M. Sekine, and M.Hori
2 . 発表標題 Cell response mechanisms of HeLa cells cultured with plasma-activated lactate Ringer 's solution (PAL)
3 . 学会等名 28th Materials Research Society of Japan (MRS-J) , Kitakyusyu International Conference Center, Fukuoka, Japan (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Yugo Hosoi, Kenji Ishikawa, Hiromasa Tanaka, Hiroshi Hashizume, Masaaki Mizuno, Fumitaka Kikkawa and Masaru Hori
2 . 発表標題 Mechanism of Selective Killing of Glioblastoma to Astrocytes in PlasmaActivated Lactate
3 . 学会等名 ISPlasma2019/IC-PLANTS2019, Nagoya Institute of Technology, Nagoya, Japan (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名	Yang Liu, Kenji Ishikawa, Hiromasa Tanaka, Hiroshi Hashizume, Takyoshi Tsutsumi, Fumitaka Kikkawa, Kae Nakamura, Masaaki Mizuno, Shinya Toyokuni, Hiroki Kondo, and Masaru Hori
2. 発表標題	Aqueous Reactions in Non-equilibrium Atmospheric Pressure Plasma-activated Ringer s Lactate Solutions
3. 学会等名	ISPlasma2019/IC-PLANTS2019, Nagoya Institute of Technology, Nagoya, Japan ( 国際学会 )
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	Shogo Maeda, Yugo Hosoi, Kenji Ishikawa, Hiroshi Hashizume, Hiromasa Tanaka, Takayoshi Tsutsumi, Hiroki Kondo, Makoto Sekine and Masaru Hori
2. 発表標題	Intracellular Reactive Oxygen Species Responses of HeLa Cells Treated with PlasmaActivated Organics
3. 学会等名	ISPlasma2019/IC-PLANTS2019, Nagoya Institute of Technology, Nagoya, Japan ( 国際学会 )
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	Tomonori Ichikawa, Hiroki Kondo, Hiroshi Hashizume, Hiromasa Tanaka, Takayoshi Tsutsumi, Kenji Ishikawa, Makoto Sekine and Masaru Hori
2. 発表標題	Regulation of Cell Proliferation Changing Duty Ratio of an Electrical Stimulation on Carbon Nanowalls Scaffold
3. 学会等名	ISPlasma2019/IC-PLANTS2019, Nagoya Institute of Technology, Nagoya, Japan ( 国際学会 )
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	Nanami Ito, Maho Yamada, Yugo Hosoi, Hiromasa Tanaka, Kenji Ishikawa and Masaru Hori
2. 発表標題	Morphological Dynamics of Dying Cells Incubated in Plasma-Activated Medium
3. 学会等名	ISPlasma2019/IC-PLANTS2019, Nagoya Institute of Technology, Nagoya, Japan ( 国際学会 )
4. 発表年	2019年

1. 発表者名 Maho Yamada, Nanami Ito, Yugo Hosoi, Hiromasa Tanaka, Kenji Ishikawa and Masaru Hori
2. 発表標題 Cytotoxicity of Plasma-Activated Glucose and Amino Acids
3. 学会等名 ISPlasma2019/IC-PLANTS2019, Nagoya Institute of Technology, Nagoya, Japan (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石川 健治, 田中 宏昌, 橋爪 博司, 竹田 圭吾, 太田 貴之, 伊藤 昌文, 中村 香江, 梶山 広明, 吉川 史隆, 豊國 伸哉, 水野 正明, 堀 勝
2. 発表標題 プラズマ活性培養液処理した細胞内酸化窒素活性種(RONS)の解析
3. 学会等名 第70回日本酸化ストレス学会学術集会 於：つくば国際会議場
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kenji Ishikawa, Naoyuki Kurake, Hiromasa Tanaka, Kae Nakamura, Hiroaki Kajiyama, Fumitaka Kikkawa, Masaaki Mizuno, Yoko Yamanishi, Yuzuru Ikehara, and Masaru Hori
2. 発表標題 Programmed process for synthesis of calcium oxalate crystals in a buffered glucose solution by irradiation with non-equilibrium atmospheric-pressure plasma
3. 学会等名 iPlasmaNano-VIII July 2-6, 2017. the University of Antwerp, Antwerp, Belgium. (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takayuki Ohta, Ryo Furuta, Naoyuki Kurake, Kenji Ishikawa, Keigo Takeda, Hiroshi Hashizume, Hiroki Kondo, Masafumi Ito, and Masaru Hori
2. 発表標題 Observation of intracellular-molecular changes in plasma-irradiated cells using multiplex coherent anti-Stokes Raman scattering microscopy
3. 学会等名 AEPSE 2017, Jeju International Convention Center, Jeju Island, Republic of Korea, September 11-15, 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yugo Hosoi, Kenji Ishikawa, Hiroshi Hashizume, Hiromasa Tanaka, Hiroki Kondo, Makoto Sekine, and Masaru Hori
2. 発表標題 Ambient control during preparations of the plasma-activated medium (PAM) for antitumor effects
3. 学会等名 AEPSE 2017, Jeju International Convention Center, Jeju Island, Republic of Korea, September 11-15, 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Keigo Takeda, Kenji Ishikawa, Hiroshi Hashizume, Hiromasa Tanaka, Hiroki Kondo, Makoto Sekine, and Masaru Hori
2. 発表標題 Measurements of reactive species and VUV radiators generated by AC excited atmospheric pressure Ar plasma jet in open air
3. 学会等名 AEPSE 2017, Jeju International Convention Center, Jeju Island, Republic of Korea, September 11-15, 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiromasa Tanaka, Masaru Hori
2. 発表標題 Analyses of cellular responses to Plasma-activated medium (PAM) and plasma-activated Ringer 's lactate solution (PAL)
3. 学会等名 AEPSE 2017, Jeju International Convention Center, Jeju Island, Republic of Korea, September 11-15, 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 勝野 楓、石川 健治、堤 隆嘉、竹田 圭吾、橋爪 博司、田中 宏昌、近藤 博基、関根 誠、堀 勝
2. 発表標題 非平衡大気圧プラズマ源の構造検討
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会 於：福岡国際会議場
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岡部 萌、倉家 尚之、石川 健治、田中 宏昌、橋爪 博司、堤 隆嘉、近藤 博基、関根 誠、堀 勝
2. 発表標題 プラズマ照射有機溶液を用いたシュウ酸カルシウム結晶の生成機構
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会 於：福岡国際会議場
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伊藤 寛納、太田 貴之、石川 健治、近藤 博基、平松 美根男、堀 勝
2. 発表標題 カーボンナノウォールを用いた表面支援レーザー脱離/イオン化質量分析法によるペプチドの測定
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会 於：福岡国際会議場
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kenji Ishikawa, Ryo Furuta, Keigo Takeda, Takayuki Ohta, Masafumi Ito, Hiroshi Hashizume, Hiromasa Tanaka, Hiroki Kondo, Makoto Sekine, Masaru Hori
2. 発表標題 Multiplex Coherent Anti-Stokes Raman Scattering (CARS) Observations of HeLa Cells Cultured in Non-equilibrium Atmospheric Pressure-Plasma-Activated Medium (PAM)
3. 学会等名 AVS - 4th International Symposium and Exhibition, October 29-November 03, 2017. Tampa, Florida, USA (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石川健治、田中宏昌、豊國伸哉、水野正明、吉川史隆、堀勝
2. 発表標題 未来の健康長寿社会を実現するプラズマ医療技術への挑戦
3. 学会等名 プラズマカンファレンス 於：姫路（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 細井 祐吾、石川 健治、田中 宏昌、橋爪 博司、水野 正明、堀 勝
2. 発表標題 プラズマ活性ラクテック (PAL) 内成分の物理化学解析と抗腫瘍効果の解明
3. 学会等名 プラズマカンファレンス 於：姫路 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伊藤 寛納、太田 貴之、石川 健治、近藤 博基、平松 美根男、堀 勝
2. 発表標題 カーボンナノウォールを用いた表面支援レーザー脱離/イオン化質量分析法によるペプチドの分析
3. 学会等名 プラズマカンファレンス 於：姫路 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kenji Ishikawa, Ryo Furuta, Naoyuki Kurake, Keigo Takeda, Hiroshi Hashizume, Hiromasa Tanaka, Takayuki Ohta, Masafumi Ito, Hiroki Kondo, Makoto Sekine, and Masaru Hori
2. 発表標題 Intracellular responses during incubation in plasma-activated cell culture medium (PAM)
3. 学会等名 27th annual meeting of MRS-J, Yokohama, Japan, December 5-7, 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kenji Ishikawa
2. 発表標題 Dynamics of Intracellular Responses in HeLa Cells Cultured in Non-equilibrium Atmospheric Pressure-Plasma-treated Medium (PAM)
3. 学会等名 APSPT-10 - 10th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology, December 15-17, 2017. Taiwan. (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 Timothy Ryan Brubaker, Kenji Ishikawa, Hiroshi Hashizume, Hiromasa Tanaka, Takayoshi Tsutsumi, Hiroki Kondo, Masaru Hori
2 . 発表標題 Quantitative pH imaging of plasma treated liquids using bromothymol blue
3 . 学会等名 APSP-10 - 10th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology, December 15-17, 2017. Taiwan. ( 国際学会 )
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Kaede Katsuno, Kenji Ishikawa, Takayoshi Tsutsumi, Keigo Takeda, Hiroshi Hashizume, Hiromasa Tanaka, Hiroki Kondo, Makoto Sekine, and Masaru Hori
2 . 発表標題 Effects of dielectric walls on atmospheric-pressure plasma discharges
3 . 学会等名 APSP-10 - 10th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology, December 15-17, 2017. Taiwan. ( 国際学会 )
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Yu-Chun Lin, Kenji Ishikawa, Masaru Hori, and Meng-Jiy Wang
2 . 発表標題 Investigation the effects of gas flow rate on atmospheric pressure plasma
3 . 学会等名 APSP-10 - 10th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology, December 15-17, 2017. Taiwan. ( 国際学会 )
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Yugo Hosoi, Kenji Ishikawa, Hiroshi Hashizume, Hiromasa Tanaka, Hiroki Kondo, Makoto Sekine, and Masaru Hori
2 . 発表標題 Plasma-activated medium and plasma-activated Ringer ' s lactate solution exhibited anti-tumor effects through different mechanisms
3 . 学会等名 ISPLasma - 10th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials March 04-08, 2018 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 Timothy Brubaker, Kenji Ishikawa, Keigo Takeda, Hiroshi Hashizume, Hiromasa Tanaka, Hiroki Kondo, Makoto Sekine, and Masaru Hori
2. 発表標題 Time evolution of reactive oxygen and nitrogen species in plasma-activated media
3. 学会等名 ISPLasma - 10th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials March 04-08, 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Timothy R. Brubaker, Kenji Ishikawa, Keigo Takeda, Jun-Seok Oh, Masafumi Ito, Hiroki Kondo, Hiroshi Hashizume, Hiromasa Tanaka, Sean D. Knecht, Sven G. Bil?n, and Masaru Hori
2. 発表標題 Inhomogeneity of nitrite anion concentrations in depth and time by convection during and after plasma-liquid interactions
3. 学会等名 2nd International Workshop on Plasma Agriculture, March 9-12, 2018, Takayama, Japan (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 細井 祐吾, 石川 健治, 橋爪 博司, 田中 宏昌, 吉川 史隆, 水野 正明, 堀 勝
2. 発表標題 プラズマ活性乳酸の物理化学解析
3. 学会等名 第65回 応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 細井 祐吾, 石川 健治, 橋爪 博司, 田中 宏昌, 吉川 史隆, 水野 正明, 堀 勝
2. 発表標題 プラズマ活性ラクテックの抗腫瘍効果物質の解明
3. 学会等名 第65回 応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 細井 祐吾, 石川 健治, 田中 宏昌, 橋爪 博司, 豊國 伸哉, 吉川 史隆, 水野 正明, 堀 勝
2. 発表標題 プラズマ活性乳酸処理グリオーマのメタボロミクス解析
3. 学会等名 第65回 応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 前田 昌吾, 細井 祐吾, 石川 健治, 橋爪 博司, 田中 宏昌, 堀 勝
2. 発表標題 プラズマ活性ラクテック (PAL) で培養処理によるしたヒーラ(HeLa)細胞応答メカニズム
3. 学会等名 第65回 応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山岡 壮太郎, 戸波 卓也, 橋爪 博司, 近藤 博基, 石川 健治, 田中 宏昌, 堀 勝
2. 発表標題 プラズマ活性ラクテック中脂質二重膜形状の高速原子間力顕微鏡観察
3. 学会等名 第65回 応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 倉増 廉, 竹田 圭吾, 石川 健治, 堤 隆嘉, 橋爪 博司, 田中 宏昌, 近藤 博基, 関根 誠, 堀 勝
2. 発表標題 AC励起非平衡大気圧Arプラズマ生成活性種の時空間分布計測
3. 学会等名 第65回 応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2018年

## 〔図書〕 計1件

1. 著者名 Kenji Ishikawa et al.	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Academic Press	5. 総ページ数 103
3. 書名 Chapter 2 Physical and Chemical Basis of Nonthermal Plasma, In "Plasma Medical Science"	

## 〔産業財産権〕

## 〔その他〕

Homepage <a href="http://www.plasma.engg.nagoya-u.ac.jp/ishikawa/index.php/Home">http://www.plasma.engg.nagoya-u.ac.jp/ishikawa/index.php/Home</a> Homepage <a href="http://www.plasma.engg.nagoya-u.ac.jp/ishikawa/index.php/Home">http://www.plasma.engg.nagoya-u.ac.jp/ishikawa/index.php/Home</a>
--

## 6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	太田 貴之  (Ohta Takayuki)		
研究協力者	田中 宏昌  (Tanaka Hiromasa)		