

平成22年5月10日現在

研究種目：若手研究（A）
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20684026
 研究課題名（和文）電子スピン共鳴法を用いた低温プラズマによる液中プラズマプロセスの
 反応機構の解明
 研究課題名（英文）Analysis on plasma processes in liquid using low temperature plasma
 with ESR(Electron Spin Resonance) measurement
 研究代表者
 北野勝久（KITANO KATSUHISA）
 大阪大学・工学研究科・准教授
 研究者番号：20379118

研究成果の概要（和文）：

低温プラズマと液体を接触させて行う液中プラズマプロセスにおいて、気相中のプラズマによって生成される液中フリーラジカルを質量分析装置と電子スピン共鳴法とを用いた測定手法を確立することにより、その反応機構を解明することを進めた。気相中の原子種が由来となりイオン・ラジカル化した活性種が、液中に溶存することで液中の活性種となることで、各種の液中反応に寄与していることが分かった。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of this research is to understand the reaction field in plasma processes in liquid using low temperature plasma with ESR (Electron Spin Resonance) measurement. By measuring ions and free radicals in gas and liquid phases with MS (Mass spectrometer) and ESR method, some atomic species in the gas phase have been found to be converted to free radicals in liquid by plasma application.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	10,000,000	3,000,000	13,000,000
2009年度	5,000,000	1,500,000	6,500,000
年度			
年度			
年度			
総計	15,000,000	4,500,000	19,500,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：プラズマ科学・プラズマ科学

キーワード：マイクロプラズマ、大気圧プラズマ、液中プラズマプロセス、フリーラジカル、電子スピン共鳴法、大気イオン

1. 研究開始当初の背景

近年、プラズマプロセスを液体中で行う研究が着目されており、材料合成から殺菌にいたる幅広い分野で応用研究が進められている。プラズマ生成の方法として、液体表面で

接触させるのみならず、液中気泡内で放電、もしくは液体そのものを絶縁破壊して放電する方法などで、いわゆる“液中プラズマプロセス”が行われていた。液体、特に水を沸騰させずにプロセスを進めるためには、大気

圧下で低温なプラズマ源が必要であり、そのようなプラズマを生成する技術発展が進んだことから、多くの研究者が液中プラズマプロセスの研究を行うことになった。研究代表者は、大気圧グロープラズマの一種であるLF(Low Frequency)プラズマジェットを開発し、非常に簡便に大気圧低温プラズマを生成することを可能とした。これを用いて、プラズマ分野以外の研究者と共同研究を進める中、液体中の金属イオンのプラズマ還元反応を用いた金ナノ粒子の合成や、液体モノマーのプラズマ重合や、液体中の細菌のプラズマ殺菌などの新しいプラズマ応用の研究を行っていた。これらは興味深い実践的な実験結果が得られたものの、反応素過程はほとんど分かっておらず、ほとんどがプラズマの光学的診断を行う程度であった。

研究代表者らは、液体の殺菌の研究を進めるなか、液中における酸素ラジカルの酸解離平衡が重要であることに、実験的に気がつき、液中ラジカル発生機構の研究が重要であるという着想点を得るに至った。共同研究先の装置でスピントラップ法を用いたESR計測を行う事により、液中における酸素ラジカルの存在を確認することに成功しており、本研究で本格的に液中ラジカル診断を進めることとなった。

2. 研究の目的

低温プラズマと液体を接触させて行う液中プラズマプロセスにおいて、気相中のプラズマによって生成される液中フリーラジカルを電子スピン共鳴(ESR: Electron Spin Resonance)法を用いた測定手法を確立することにより、その反応素過程を解明することを目的とした。ESR法は物質中の不対電子を持つラジカルの量、構造、電子状態、緩和時間等に関する情報を得るための磁気分光装置であり、固体、液体、気体に含まれるラジカル種の同定、定量が可能である。

液中の細菌の殺菌を行う際に、pHを4.7以下に下げた事でD値(菌数を1桁落とすのに必要な時間)が1/100になるという画期的な技術を開発している。その反応機構として溶液中のスーパーオキシドアニオンラジカル($O_2^{\cdot-}$)の酸解離平衡の平衡定数pKaが4.8であることなどから、 $O_2^{\cdot-}$ が重要な役割を果たしている事が推察されたものの、その生成メカニズム等は不明なままであった。

液中プラズマプロセスの実用化を考える上でも、活性種の反応メカニズムの解明する必要がある、その上で最適化等の研究を進める事が可能となる。また、液中のラジカルを診断するにはスピントラップ剤を用いて液中での短寿命ラジカルを化学的に捕捉して安定化してから測定を行うという手法が用

いられるが、試薬が非常に高価であるために、安価に測定出来る手法を開発する必要もある。

3. 研究の方法

原子種の流れを明らかにする意味もあり、雰囲気ガスを制御可能な気密容器からなる実験装置を制作した。LFジェットはヘリウムからなるプラズマであるために、そのままでは液中で酸素ラジカルなどの活性種を作ることには出来ないため、原子種はヘリウムプラズマと接触している雰囲気ガスか、水分子中の酸素のどちらかであるということが予想される。

スピントラップ剤は高価である上に、トラップ効率が低いという問題点を有している。液体へのプラズマプロセスでは各種のラジカルによりプロセスが進行すると期待されているが、ほとんどの活性種の寿命は μ sec以下であり、液体に対してバルクでの反応は期待できない。しなしながら、生体内フリーラジカルの一つである $O_2^{\cdot-}$ は液中で秒単位の寿命を持つことが知られており、上記のpH制御による液体殺菌でも重要な役割を果たしていることから $O_2^{\cdot-}$ に着目した測定を進めた。 HOO^{\cdot} と酸解離平衡にあるが、不均化反応により消失していくことが知られているが、高アルカリ条件下では寿命が1000秒以上と非常に長くなるため、アルカリ溶液を利用することで $O_2^{\cdot-}$ をトラップするアルカリトラップ法を開発した。この手法は、特殊な試薬を必要としないことから安価で実現可能な上に、本質的にトラップ効率が100%と高いために高感度の測定が期待できる。

液中イオン(ラジカル)の生成には大気イオンが関与していることが分かってきたために、差動排気付き質量分析装置にて、大気イオンの組成分析を行った。

4. 研究成果

ヒドロキシルラカルに代表される短寿命ラジカルは気液界面近傍にしか存在し得ないが、スーパーオキシドなどの数秒~数十秒程度の寿命を持つラジカルは液中を拡散することが期待され、この計測を試みた。通常のESR法では測定に数分程度の時間がかかるためにラジカルが消滅してしまう事が考えられるために、プラズマを照射する液体にラジカルトラップ剤を混入させてラジカルをスピニアダクトとして長寿命化させることで計測を行った。

プラズマ源にはLF(Low Frequency)プラズマジェットと呼ばれる、ヘリウムガスで生成した大気圧低温プラズマを用いた。このプラズマが周囲のガスを励起して、液中にラジカ

ルを生成することが考えられるために、雰囲気ガスを制御可能な気密式の液体へのプラズマ照射装置を開発した。それを用いて実験を行ったところ、雰囲気ガスに酸素が含まれる場合のみに、液中に大量の酸素ラジカルが生成されることが確認された。これは、雰囲気ガス中の酸素分子から、液中にスーパーオキシドなどの酸素ラジカルが形成されることを意味している。トラップ剤を使った実験では、空間分解能も無く、また、ラジカル生成に関する時間情報も得られないために、ESR 装置にその場観測を可能とする機器を組み込み、さらに時間分解 ESR 法を用いて液中ラジカルの生成過程のダイナミクスに関する研究を行えるように ESR 装置の改造を行った。

プラズマ医療を目的とした液体を高効率で殺菌する技術を開発済みであるが、反応活性種としてスーパーオキシドアニオンラジカル ($O_2^- \cdot$) が重要であることが分かっているために、特に注目して測定を進めた。アルカリ溶液でトラップするアルカリトラップ法を開発して ESR で測定を行ったところ、非常に感度良く測定を行う事に成功した。その結果、プラズマと液体が必ずしも接触していなくても、液中に $O_2^- \cdot$ が生成される明瞭な信号が得られた。また、プラズマと液体の距離と反比例して測定されるスピン数 (ラジカルの量) が減少することが分かった。

また、このような非接触でも液中にラジカルが生成される機構として、空気中で安定して存在するイオン種である“大気イオン”が関与すると考えた。質量分析装置を用いてプラズマジェット先端から 10cm 程度離れたところの空気をサンプリングしたところ、 $O_2^- \cdot$ に水分子が水和したクラスターイオンが存在することが確認された。このことから、大気イオンが関与するプラズマ誘起液中化学反応が起こることが分かった。また、同様に NO_x も空気中、液中に存在していることがわかった。

これらの実験事実より、液体とプラズマが必ずしも接触していなくともプロセスが行える事が分かったが、これは人体へのプラズマプロセスであるプラズマ医療を行う上で非常に重要な知見である。その理由としては、プラズマ中の電子が患部に接触する事で各種のプラズマ化学反応が生じる可能性があり、安全性を確保する点で、非接触で殺菌消毒治療が行える事実は非常に有用である。また、その反応素過程を検討する上で基礎となる $O_2^- \cdot$ の測定が高感度で行えた事は今後研究を進める上で重要である。

上記したように、世界に先駆けて新しい側面からプラズマが関与する液中プロセスに関する研究が行えたことは高い価値があると言える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 12 件)

- [1] Ando, A. Sayed, T. Asano, R. Tero, K. Kitano, T. Urisu and S. Hamaguchi, “Protein pattering by atmospheric-pressure plasmas”, J. Phys. :Conf. Series、査読有、(2010) (in press).
- [2] Ando, H. Kitahara, T. Kurose, K. Kitano, K. Takano, H. Tani, M. Hangyo, and S. Hamaguchi, “Electron density measurement for plasmas by Terahertz time-domain spectroscopy”, J. Phys. :Conf. Series、査読有、(2010) (in press).
- [3] S. Ikawa, K. Kitano, and S. Hamaguchi, “Effects of pH on Bacterial Inactivation in Aqueous Solutions due to Low-Temperature Atmospheric Pressure Plasma Application”, Plasma Process. Polym.、査読有、7(1), 33-42 (2010).
- [4] H. Kitahara, A. Ando, T. Kurose, K. Kitano, K. Takano, M. Tani, M. Hangyo, and S. Hamaguchi, “Estimation of Electron Densities of Plasmas by Terahertz Time-Domain Spectroscopy,”、査読無、Proc. of 34th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, IRMMW-THz 2009, Article number 5324771, (2009).
- [5] H. Furusho, K. Kitano, S. Hamaguchi, and Y. Nagasaki, “Preparation of Stable Water-Dispersible PEGylated Gold Nanoparticles Assisted by Nonequilibrium Atmospheric-Pressure Plasma Jets”, Chem. Mater.、査読有、21(15) 3526-3535 (2009).
- [6] Swapan Kumar Saha, J. Nakanishi, K. Kitano, S. Hamaguchi, Y. Nagasaki, “Creation of Biointerface by Atmospheric Plasma Treatment of Plasma Sensitive Polymeric Materials”, J. Photopolym. Sci. Technol.,、査読有、22 (4) 481-484 (2009).
- [7] S. Sumitani, H. Murotani, M. Oishi, K. Kitano, S. Hamaguchi, and Y. Nagasaki, “Nonequilibrium Atmospheric Plasma Jets Assisted Stabilization of Drug Delivery Carriers: Preparation and Characterization of Biodegradable Polymeric Nano-Micelles with Enhanced Stability”, J. Photopolym. Sci. Technol.,、査読有、22 (4) 467-471 (2009).
- [8] M. Inomoto, K. Yambe, K. Kitano, S. Okada, T. Asai, “High-Beta steady-state FRC plasma sustained by rotating magnetic field with spatial high-harmonic components”, Journal of Fusion Energy,

査読有、Volume 28, Issue 2, pp. 162-164 (2009).

[9] M. Inomoto, K. Yambe, K. Kitano, S. Okada, “Azimuthally non-uniform equilibrium of field-reversed configuration sustained by rotating magnetic field with spatial high-harmonic components”, Nuclear Fusion, 査読有、Volume 49, Issue 5, Article number 0550102009, (2009).

[10] Y. Nagasaki, M. Umeyama, M. Iijima, K. Kitano, S. Hamaguchi, “Design of Biointerface by Nonequilibrium Atmospheric Plasma Jets -Approach from Plasma Susceptible Polymers-”, J. Photopolym. Sci. Technol., 査読有、21, 267-270 (2008).

[11] M. Inomoto, K. Yambe, K. Kitano, S. Okada, T. Asai, “High-Beta Steady-State FRC Plasma Sustained by Rotating Magnetic Field with Spatial High-Harmonic Components”, Journal of Fusion Energy, 査読有、DOI10.1007/s10894-008-9168-8 (2008).

[12] Kohei Soga, Takashi Tuji, Fumio Tashiro, Joe Chiba, Motoi Oishi, Keitaro Yoshimoto, Yukio Nagasaki, Katsuhisa Kitano, and Satoshi Hamaguchi, “Development of NIR Bioimaging Systems”, J. Phys. : Conf. Series, 査読有、106, 012023-1-5 (2008).

[学会発表] (計32件)

[1] K Kitano, A. Tani, S. Ikawa, R. Arakawa, N. Ohnishi, “Formation mechanism of ions and free radicals in water by non-contact atmospheric pressure plasma processes”, International Workshop on Plasmas with Liquids (IWPL 2010), 2010/3/23, Hotel Okudougo, Ehime, Japan (invited).

[2] 北野勝久、米森星矢、谷篤史、井川聡、大西直文、荒川隆一、浜口智志、「プラズマ液体プロセスにおける液中イオン・ラジカル生成機構」、2010年春季第57回応用物理学関係連合講演会、(2010/3/18)、東海大学湘南キャンパス。

[3] 北野勝久、井川聡、谷篤史、大西直文、浜口智志、「プラズマ誘起フリーラジカルによる液体殺菌」、電気学会全国大会シンポジウム、(2010/3/17)、明治大学駿河台キャンパス。

[4] 北野勝久、「大気圧低温プラズマを用いた液体プロセスにおける気体ならび液体中の反応活性種生成機構」、第4回ポリスケールテクノロジーワークショップ、(2010/3/5)、東京理科大学野田キャンパス。

[5] 北野勝久、「低周波大気圧プラズマジェットを用いた液体に対するプラズマプロセス応用、第19回プラズマが拓くものづくり研究会 (PLAM) プラズマ技術講演会、(2010/2/17)、名古屋市サイエンス交流プラザ (招待講演)。

[6] 北野勝久、「大気圧低温プラズマジェットを用いたバイオ・ナノ応用」、ソシオ大阪フォーラム、(2010/2/10)、尼崎市中小企業センター (招待講演)。

[7] 北野勝久、「Biological application of the free radicals in the liquid processed by plasmas」、第4回光・プラズマプロセスのバイオ応用ワークショップ、(2010/1/26)、大阪大学。

[8] 北野勝久、「低周波大気圧プラズマジェットの放電メカニズムと液体へのプラズマプロセス～ナノ・バイオ応用～」、日本機械学会 大気圧プラズマ流による人間環境保全技術に関する特別講演会、(2009/12/22)、東北大学 (招待講演)。

[9] 北野勝久、谷篤史、井川聡、大西直文、荒川隆一、浜口智志、「液中プラズマプロセスにおける気中・液中フリーラジカル生成」プラズマ・核融合学会年会、(2009/12/1)、京都市国際交流会館。

[10] K. Kitano, Y. Nagasaki, K. Soga, S. Hamaguchi, “Overview of Atmospheric Plasma for Biomaterials Science”, The 4th International Symposium on Atomic Technology (ISAT-4), (2009/11/18), Seaside Hotel MAIKO VILLA KOBE.

[11] 北野勝久、谷篤史、井川聡、大西直文、荒川隆一、米森星矢、浜口智志、「大気圧低温プラズマジェットを用いた液中ラジカル生成」、電子スピンサイエンス学会ミニシンポジウム「ESRによる応用計測」、(2009/11/11)、神戸大学 (招待講演)。

[12] K. Kitano, S. Ikawa, A. Tani, N. Ohnishi, S. Hamaguchi, 62nd Annual Gaseous Electronics Conference, “Efficient bacterial inactivation in aqueous solution by low-temperature atmospheric pressure plasma application with a reduction of the solution pH”, (2009/10/23), Saratoga Springs, New York, USA.

[13] 北野勝久、浜口智志、「低周波大気圧非平衡マイクロプラズマジェットの動的挙動V」、2009年秋季第70回応用物理学学会学術講演会、(2009/9/10)、富山大学。

[14] 北野勝久、谷篤史、溝谷浩平、井川聡、大西直文、浜口智志、「液中プラズマプロセスにおける液中ラジカルの電子スピン共鳴法による診断IV」、2009年秋季第70回応用物理学学会学術講演会、(2009/9/8)、富山大学。

[15] 北野勝久、井川聡、谷篤史、大西直文、

浜口智志、「大気圧低温プラズマジェットを用いた液中滅菌プロセスの解明 IV」、2009年秋季第70回応用物理学会学術講演会、(2009/9/8)、富山大学。

[16] 北野勝久、谷篤史、井川聡、大西直文、浜口智志、「大気圧低温プラズマによる液中フリーラジカル生成」、電気学会 プラズマ研究会、(2009/9/4)、大阪府立大学中之島サテライト。

[17] 北野勝久、浜口智志、「低周波大気圧マイクロプラズマジェットの放電メカニズム」、電気学会プラズマ研究会、(2009/6/12)、佐賀大学。

[18] 北野勝久、浜口智志、「大気圧 LF プラズマジェット ～その理解と多様な産業応用展開～」、2009年春季第56回応用物理学会学術講演会 プラズマエレクトロニクス分科会主催スクール 大気圧プラズマの基礎と応用、(2009/4/1)、筑波大学。

[19] 北野勝久、谷篤史、溝谷浩平、井川聡、浜口智志、「液中プラズマプロセスにおける液中ラジカルの電子スピン共鳴法による診断 III」、2009年春季第56回応用物理学会学術講演会、(2009/3/31)、筑波大学。

[20] 北野勝久、井川聡、谷篤史、浜口智志、「大気圧低温プラズマジェットを用いた液中滅菌プロセスの解明 III」、2009年春季第56回応用物理学会学術講演会、(2009/3/31)、筑波大学。

[21] 北野勝久、井川聡、谷篤史、浜口智志、「液体のプラズマ滅菌とメカニズム」、平成21年電気学会全国大会 シンポジウム、(2009/3/19)、福岡工業大学 (招待講演)。

[22] 北野勝久、井川聡、谷篤史、浜口智志、「プラズマ誘起フリーラジカルによる液中化学プロセス」、オレンジプラズマ・フロンティア愛媛 第1回公開シンポジウム、(2009/3/13)、愛媛大学 (招待講演)。

[23] K. Kitano, A. Tani, S. Ikawa, S. Hamaguchi, "Low Frequency (LF) microplasma jet and its application to plasma induced chemical processes in liquids", Fundamentals and Applications of Microplasmas (IWM-5), (2009/3/3), San Diego, USA (invited).

[24] 北野勝久、井川聡、谷篤史、浜口智志、「LF プラズマジェットを用いた液体のプラズマ滅菌ー液中ラジカルの利用と診断ー」、日本真空協会 スパッタリングおよびプラズマプロセス技術部会 第112回定例会、(2009/2/17)、機械振興会館 東京 (招待講演)。

[25] 北野勝久、谷篤史、井川聡、浜口智志、「液体へのプラズマプロセスにおける液中フリーラジカルの診断と応用」、プラズマ科学シンポジウム2009/第26回プラズマプロセス研究会 (PSS-2009/SPP-2009)、

(2009/2/4)、名古屋大学 (招待講演)。

[26] 北野勝久、浜口智志、「プラズマフォトンクス」、大阪大学フォトンクス先端融合研究センター第3回シンポジウム、(2008/12/12)、大手町サンケイプラザ 東京。

[27] 北野勝久、井川聡、谷篤史、溝谷浩平、浜口智志、「大気圧低温プラズマを用いたプラズマ液中化学プロセスにおける液中フリーラジカル」、日本学術振興会 プラズマ材料科学第153委員会 第86回研究会、(2008/11/5)、弘済会館、東京 (招待講演)。

[28] 北野勝久、浜口智志、「低周波大気圧非平衡マイクロプラズマジェットの動的挙動 IV」2008年秋季第69回応用物理学会学術講演会、(2008/9/4)、中部大学。

[29] 北野勝久、井川聡、浜口智志、「大気圧低温プラズマジェットを用いた液中滅菌プロセスの解明(II)」、2008年秋季第69回応用物理学会学術講演会、(2008/9/2)、中部大学。

[30] K. Kitano and S. Hamaguchi, "Atmospheric Pressure Plasma Technique in Bio-related Science", The 2nd International Symposium on Atomic Technology for Biomaterials Science, (ISATBMS-2), (2008/7/16), Tsukuba Univ. (invited).

[31] 北野勝久、「低周波大気圧マイクロプラズマジェットと液中プラズマプロセス」、日本真空協会関西支部 平成20年度第2回講演会、第1回研究会、(2008/5/30)、京都工業繊維大学 (招待講演)。

[32] K. Kitano, A. Tani, S. Ikawa, S. Hamaguchi, "LF micro plasma jets with a single HV electrode and the generation of free radicals in liquids", The 6th EU-Japan Joint Symposium on Plasma Processing (JSP2008), (2008/4/21) Okinawa Convention Center, Okinawa, Japan (invited).

〔図書〕(計2件)

[1] 北野勝久、浜口智志、(株)アドスリー、「光とナノが創る科学と産業」、2009、178-179。

[2] 北野勝久、(株)アドスリー、「フォトンクスの夜明け」、2008、89-101。

〔産業財産権〕

○出願状況(計7件)

[1]

名称: STERILIZATION METHOD AND APPARATUS
発明者: S. Ikawa, K. Kitano, S. Hamaguchi
権利者: 同上

種類: ヨーロッパ出願

番号: EP-08833279.6

出願年月日：2010/3/25

国内外の別：国外

[2]

名称：STERILIZATION METHOD AND APPARATUS

発明者：S. Ikawa, K. Kitano, S. Hamaguchi

権利者：同上

種類：米国出願

番号：US No, 12/680, 018

出願年月日：2010/3/25

国内外の別：国外

[3]

名称：放電イオン化電流検出器

発明者：北野勝久、品田恵

権利者：大阪大学、(株)島津製作所

種類：国内出願

番号：特願 2009-276091

出願年月日：2009/12/4

国内外の別：国内

[4]

名称：液体にイオンを供給する方法および装置並び殺菌方法および装置

発明者：北野勝久

権利者：大阪大学

種類：国内出願

番号：特願 2009-203992

出願年月日：2009/9/3

国内外の別：国内出願

[5]

名称：歯科用診療装置及び歯科用プラズマジェット照射装置

発明者：山中通三、川原恒夫、北野勝久、井川聡

権利者：(株)吉田製作所、大阪大学

種類：PCT 出願

番号：PCT/JP2009/62937

出願年月日：2009/7/17

国内外の別：国外

[6]

名称：Plasma Producing Apparatus and Method of Plasma Production

発明者：K. Kitano, S. Hamaguchi, H. Aoki

権利者：大阪大学、大阪 TLO

種類：米国出願

番号：US No. 12/518, 737

出願年月日：2009/6/9

国内外の別：国外

[7]

名称：支持体表面の処理用架橋重合体組成物

発明者：長崎幸夫、梅山雅也、飯島道弘、北野勝久、浜口智志

権利者：筑波大学

種類：日本国出願

番号：特願 2008-238133

出願年月日：2008/9/17

国内外の別：国内

○取得状況 (計 1 件)

[1]

名称：殺菌方法および装置

発明者：井川聡、北野勝久、浜口智志

権利者：同上

種類：日本国特許

番号：特許第 4408957 号

取得年月日：2009/9/25

国内外の別：国内

[その他]

○ホームページ

<http://www.ppl.eng.osaka-u.ac.jp/kitano/>

○新聞発表

[1] 「プラズマでう蝕治療」、北野勝久、(株)吉田製作所、日本歯科新聞、(2009/9/1).

「技術ウオッチ プラズマ、応用範囲広がる」、北野勝久、(株)吉田製作所、日本経済新聞、(2009/6/27).

[2] 「プラズマで虫歯菌退治」、北野勝久、(株)吉田製作所、日経産業新聞、(2009/6/23).

[3] 「21 世紀の気鋭 ～阪大助教 北野勝久～」、北野勝久、日経産業新聞、(2008 年 7 月 31 日、13 面) .

○解説記事

[1] 北野勝久、日本材料科学会、材料の科学と工学 (47 巻 3 号)、「プラズマ誘起液中化学プロセスのバイオ応用」、(2010/6)、出版準備中.

[2] 北野勝久、オプトロニクス社、月刊 OPTRONICS、(5 月号)「プラズマフォトニクスとその産業応用」、(2010/5)、出版準備中.

[3] 北野勝久、浜口智志、(株)現代化学同人、月刊現代化学 (2009 年 7 月号)「冷たいプラズマによる液中化学反応 - 重合から殺菌まで-」、460 (7) 25-31 (2009/6).

[4] 北野勝久、井川聡、浜口智志、(株)シーエムシー出版、月刊バイオインダストリー (2009 年 6 月号、26 (6)16-22)、「小型プラズマ発生装置を用いた殺菌」、(2009/5).

[5] 井通暁、北野勝久、「極限の高ベータプラズマ閉じ込め：FRC 研究の新展開 3. FRC 研究の現状 3.2 回転磁場による定常維持」、プラズマ・核融合学会誌、84、8 月号、pp514-517、(2008).

[6] 北野勝久、浜口智志、「低周波大気圧マイクロプラズマジェット」、応用物理学会誌、77(4), pp. 383-389 (2008).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北野 勝久 (KITANO KATSUHISA)

大阪大学・工学研究科・准教授

研究者番号：20379118

