

平成21年 5月15日現在

研究種目： 基盤研究（B）
 研究期間： 2007～2008
 課題番号： 19360081
 研究課題名（和文） 大気圧非平衡プラズマ流による超機能性ラジカル生成輸送機構と生体反応制御
 研究課題名（英文） Generation and transport mechanisms of functional radicals and control of biological reactions by a non-equilibrium plasma flow at atmospheric pressure
 研究代表者
 佐藤 岳彦（SATO TAKEHIKO）
 東北大学・流体科学研究所・准教授
 研究者番号：10302225

研究成果の概要：

大気圧非平衡プラズマ流による生体反応機能性を発現するラジカルの生成輸送機構を解明した。放電部下流域の極微弱発光領域の分析により、生成したアルゴン励起原子が空気との反応を通し窒素励起分子やラジカルとして生体に輸送されることや、照射した水中に生体の活性度を低下させる寿命の長い活性種が生成されることを明らかにした。また、OH及び酸素ラジカルに滅菌作用があることを特定し、OHラジカルの生成が電子衝突に依存することを数値解析により明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	11,700,000	3,510,000	15,210,000
2008年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
年度			
年度			
年度			
総計	15,600,000	4,680,000	20,280,000

研究分野： 機械工学

科研費の分科・細目： 流体工学

キーワード： 非平衡プラズマ流，大気圧，ラジカル，生成輸送機構，生体反応，制御，超微弱発光，活性酸素

1. 研究開始当初の背景

SARSや鳥インフルエンザなど世界的規模で突発的に発生する感染症や、MRSAによる院内感染、O157による食中毒などは、国民の健康を脅かす重大な社会問題となっている。これらの感染リスクの低減に向けて、安全かつ容易に取り扱える滅菌・消毒技術の確立は、緊急を要する社会的要請である。

研究代表者らは、既に大気圧低温プラズマ

流による滅菌特性や滅菌機構を、大腸菌の形状変化や細胞液の漏出濃度を定量的に検定することで明らかにしていた。しかし、大気圧プラズマ流の滅菌因子であるラジカル輸送機構と生体の反応については十分に解明されていなかった。

2. 研究の目的

本研究は、大気圧非平衡プラズマ流による

生体反応機能性を発現するラジカルの生成輸送機構を解明し、次世代医療基盤技術の創成とその飛躍的な発展を目的とする。

大気圧低温のプラズマ下流領域は、理論的にプラズマ近似が出来ない領域であり、未だ学術的に解明されていない。これらの現象を流体力学を基盤としたプラズマ、化学、バイオ・医療の融合による多様な解析手法を開発することで解明できれば、未知の領域の解明への先駆けとなることが期待できる。さらに、これらの現象の理解を基盤とした新しい医療技術への展開を図る。

3. 研究の方法

大気圧非平衡プラズマ流の放電部下流のラジカル生成輸送機構の解明を、極微弱と生体の反応について、(1) 微弱発光分光装置を導入し、極微弱発光領域分析法と化学種計測法を確立し、下流域における化学種分布及び輸送過程を解析した。(2) 活性酸素計測装置を導入し、プラズマ流と水の干渉により生成される化学的活性種の検出手法を開発した。(3) 微量なラジカルの生成輸送を解析する数値モデルを構築し、定常及び非定常において反応流動場を解析した。(4) 生体反応ラジカルを特定し、そのラジカルの生成機構を放電反応プロセス解析モデルの構築により解明した。

4. 研究成果

大気圧低温アルゴンプラズマ流において、ノズルから噴出したアルゴン励起種などは、大気と混合・反応し励起窒素分子や窒素酸化物を生成する。ノズル出口直後では比較的高温のため浮力により、生成した化学種は熱と共に上昇し対流により輸送され、下方から流れ込む周囲空気による冷却効果も加わり、プ

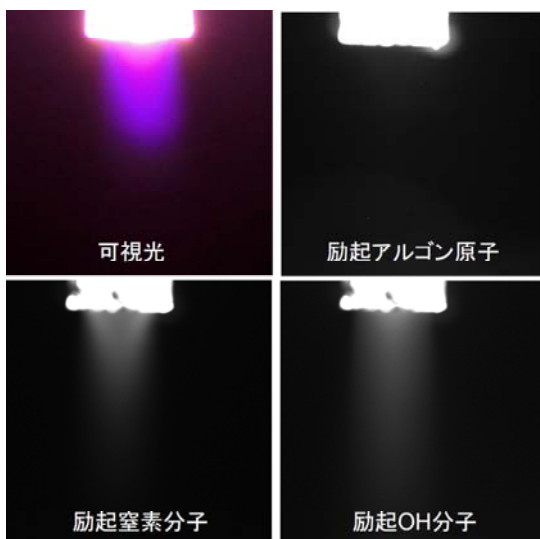


図1 プラズマ下流域の化学種発光分布

ラズマ流下流域の温度は急速に低下する。一部の化学種や荷電粒子は、この温度の低い領域に拡散により下流に輸送される。プラズマ下流域に生成されるアルゴン励起原子、窒素励起分子、OH分子及び窒素酸化物の分布は図1に示すように異なり、化学種により生成輸送過程が異なる。

超機能性ラジカル生成輸送機構の生体反応解析は、活性酸素量を容易に検定できるルミネッセンスセンサーを新たに導入し、プラズマ流と蒸留水との干渉により生成される活性酸素量の特性を明らかにした。図2に示すように、プラズマ照射により蒸留水に生成される活性酸素量は急速に増大し、照射終了後ゆっくりと減少するが、30分後においても最大値の43%が残留している。また、pH値がプラズマ流の照射により6.5から4.8に減少するが、これは空気中の窒素酸化物の効果によることを示している。活性酸素の成分として、過酸化水素がほとんど生成されていないこと、さらに大腸菌の活性が阻害されることから、OHラジカル以外で寿命が比較的長い活性酸素が生成されることが明らかになった。

化学的活性種の生成輸送過程において重

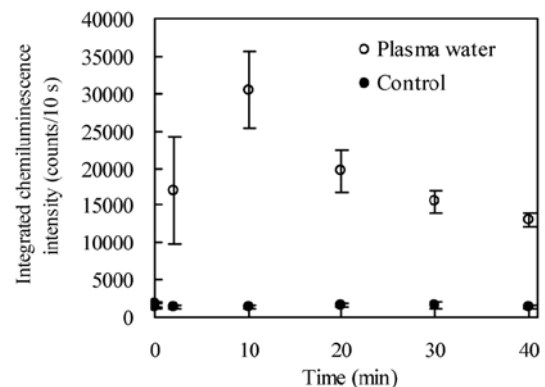


図2 プラズマ流照射時及び照射後の活性酸素量の時間変化

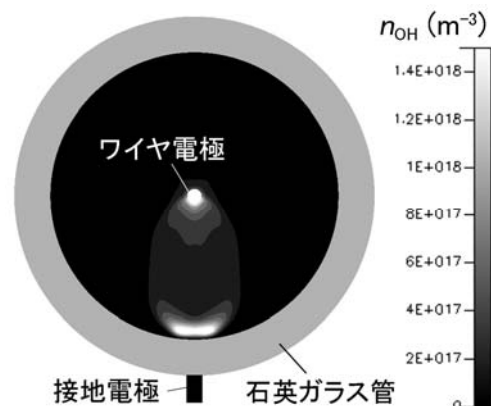


図3 大気圧水蒸気プラズマ流におけるOHラジカル生成分布 (数値解析結果)

要な滅菌因子の1つと考えられるOHラジカルに着目し、OHラジカルの生体に与える影響の検証とOHラジカルの生成過程の数値モデルの構築及び解析を行った。OHラジカルや窒素酸化物の生体への影響を排除するために、大気圧水蒸気100%中でプラズマによりOHラジカルの生成手法を考案した。生成されたOHラジカルは、 H_2O_2 に変化することを明らかにし、OHの定量評価手法を提案した。これにより、OHラジカルがバチルス属の熱・紫外線耐性菌芽胞の重要な滅菌因子であることを示した。また、電子温度と重粒子温度が異なる熱非平衡性と電子・イオン・中性粒子の運動を考慮した3流体2温度モデルを採用し、電子エネルギーの非マックスウェル分布性の考慮や、23種の化学種と102種類の化学反応式を考慮した放電・反応プロセス解析モデルを構築した。図3に放電時のOHラジカルの生成分布を示すが、電子密度分布と概ね一致していることから、電子衝突が支配的であることを明らかにした。

これらの成果により、研究目的である生体機能性を有するラジカルの生成輸送機構を明らかにした。

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 9件)

1. Takashi Miyahara, Shiroh Ochiai and Takehiko Sato
Interaction Mechanism between a Post-Discharge Flow and Water Surface
Europhysics Letters, (2009), accepted
査読有.
2. Takehiko Sato, Osamu Furuya and Tatsuyuki Nakatani
Characteristics of Nonequilibrium Plasma Flow and Its Sterilization Efficacy in a Tube at Atmospheric Pressure
IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 45, No. 1, (2009-1), pp. 44-49, 査読有.
3. Takehiko Sato, Osamu Furuya, Kei Ikeda and Tatsuyuki Nakatani
Generation and Transportation Mechanisms of Chemically Active Species by Dielectric Barrier Discharge in a Tube for Catheter Sterilization
Plasma Processes and Polymers, Vol. 5, No. 6, (2008-8), pp. 606-614, 査読有.
4. 古居剛, 佐藤岳彦
大気圧水蒸気プラズマ流による滅菌特性
日本機械学会論文集 (B編), 第74巻, 740

号, (2008-4), 879-883頁, 査読有.

5. 佐藤岳彦
I: 低温プラズマ流, 1-(1) 大気圧プラズマ流の研究動向と医療分野への展開
日本機械学会流体工学部門ニューズレター「特集:大気圧プラズマ流」, (2007-12), 査読無 (解説).
6. Takehiko Sato, Akiko Doi, Takuya Urayama, Tatsuyuki Nakatani and Takashi Miyahara
Inactivation of Escherichia Coli by a Coaxial Microwave Plasma Flow
IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 43, No. 5 (2007-9), pp. 1159-1163, 査読有.
7. 西山秀哉, 佐藤岳彦
プラズマ流体の機能力学と先端応用 (特集:機能性流体)
日本実験力学学会誌「実験力学」, 第7巻, 3号, (2007-9), 205-212頁, 査読無 (解説).
8. 西山秀哉, 佐藤岳彦
プラズマ流体
日本機械学会誌「機械工学年鑑特集号」, 第110巻, 1065号, (2007-8), 592頁, 査読無 (解説).
9. 佐藤岳彦
大気圧非平衡プラズマ流による滅菌システムの開発 (トピックス)
日本機械学会誌, 第110巻, 1063号, (2007-6), 472頁, 査読無 (解説).

[学会発表] (計 27件)

1. Takehiko Sato and Takeshi Furui
Mechanism of Sterilization by Steam Plasma Flow at Atmospheric Pressure for Innovative Autoclave
Abstracts of 2nd International Conference on Plasma Medicine (ICPM-2), (2009-3-20), p. 77, San Antonio, Texas, USA.
2. Tetsuji Shimizu, T. Nosenko, Takehiko Sato, Rene Pompl, H. Schmidt, S. Fujii, and Gregor Morfill
Small Microwave Plasma Torch for Disinfection
Abstracts of 2nd International Conference on Plasma Medicine (ICPM-2), (2009-3-19), p. 63, San Antonio, Texas, USA.
3. 佐藤岳彦
大気圧プラズマ流による滅菌機構および医療分野への展開
日本機械学会環境工学部門第6回大気圧プラズマ流による人間環境保全技術に関する講演会, (2009-3-14), 仙台 (招待講演).

4. Takehiko Sato
Generation and Transportation Mechanisms of Chemical Species by an Atmospheric Plasma Flow in a Tube for Sterilization
Abstracts of Global COE Program International Symposium of Experiment-Integrated Computational Chemistry on Multiscale Fluidics (ECCMF), (2009-1-17), p.17, Sendai (招待講演) .
5. Takeshi Furui and Takehiko Sato
Experimental and Computational Analyses of OH Generation Mechanism in a Steam Plasma Flow at Atmospheric Pressure
Proceedings of the 8th International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI-2008), (2008-12-20), pp.80-81, Sendai.
6. 佐藤岳彦
大気圧低温プラズマ流による滅菌機構と医療分野への応用について
科学技術交流財団メディカルテクスタイルの開発に関する研究会, (2008-11-21), 名古屋 (招待講演) .
7. Takehiko Sato, Masanobu Oizumi, Takashi Miyahara and Tatsuyuki Nakatani
Improvement of Oxidation Reduction Potential by Plasma in Water
Proceedings of the International Symposium on Electrostatics in Okinawa, (2008-11-12), USB Flash Memory, Naha.
8. Takehiko Sato, Shiroh Ochiai and Takuya Urayama
Transportation of Chemical Species in a Post Discharge Flow in Atmospheric Air
Book of Abstracts of the 9th Asia-Pacific Conference on Plasma Science and Technology and 21st Symposium on Plasma Science for Materials (9APCPST &SPSM21), (2008-10-10), p. 79, Huangshan, China.
9. Takeshi Furui and Takehiko Sato
Generation of OH Radical by a Steam Plasma Flow at Atmospheric Pressure
Book of Abstracts of the 9th Asia-Pacific Conference on Plasma Science and Technology and 21st Symposium on Plasma Science for Materials (9APCPST &SPSM21), (2008-10-9), p. 87, Huangshan, China.
10. 佐藤岳彦, 落合史朗, 浦山卓也
放電部下流域における化学的活性種の生成輸送機構
第32回静電気学会全国大会講演論文集 '08, (2008-9-19), 173-174頁, 大分.
11. Takashi Miyahara, Shiroh Ochiai and Takehiko Sato
ROS Generation in Water by Exposure to an Argon Plasma Flow
Proceedings of International Interdisciplinary- Symposium on Gaseous and Liquid Plasmas (ISGLP 2008), (2008-9-6), LP-P10, pp. 301-304, Sendai.
12. 浦山卓也, 藤井修逸, 佐藤岳彦, 清水鉄司, R. Pompl, B. Steffes, G. E. Morfill
大気圧マイクロ波プラズマシステムの医療応用
日本機械学会2008年度年次大会講演資料集, Vol.9, No.08-1, (2008-8-4), 100-101頁, 横浜.
13. 佐藤岳彦, 大泉雅伸, 宮原高志, 中谷達行
水中プラズマによる水の特性変化
日本機械学会第18回環境工学総合シンポジウム2008講演論文集, (2008-7-10), 272-273頁, 東京.
14. 宮原高志, 落合史朗, 佐藤岳彦
大気圧低温プラズマ流の照射による水の特性変化
第20回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集, (2008-5-21), 241-242頁, 別府.
15. Takehiko Sato
Characteristics of Low Temperature Plasma Flow at Atmospheric Pressure and its Application to Medical Field
Book of Abstracts of the 6th EU-Japan Joint Symposium on Plasma Processing (JSPP2008), (2008-4-21), pp.20-21, Naha (招待講演) .
16. 佐藤岳彦
大気圧プラズマ流による医療分野への展開
日本学術振興会プラズマ材料科学第153委員会第85回研究会資料「バイオ・プラズマ応用」, (2008-3-18), 23-29頁, 東京 (招待講演) .
17. 佐藤岳彦, 大泉雅伸, 宮原高志, 中谷達行
水中プラズマによる水の特性変化
日本機械学会東北支部第43期総会・講演会講演論文集, 2008-1号, (2008-3-15), 243-244頁, 仙台.
18. Takeshi Furui and Takehiko Sato
Characteristics of Steam Plasma Flow at Atmospheric Pressure and Its Sterilization Efficacy
Proceedings of the 7th International

- Symposium on Advanced Fluid Information and the 4th International Symposium on Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI-2007), (2007-12-15), pp.268-269, Sendai.
19. 佐藤岳彦
大気圧プラズマ流の技術動向及び医療分野への応用
平成19年度第2回プラズマ研究交流会—プラズマ技術の応用可能性を探る—, (2007-12-6), 広島 (招待講演) .
 20. 佐藤岳彦, 古屋修, 中谷達行
細管内に形成された大気圧非平衡プラズマ流のラジカル輸送機構
日本機械学会第85期流体力学部門講演会講演論文集, No. 07-16, (2007-11-17), 110頁, 東広島.
 21. Takehiko Sato, Shiroh Ochiai, Takuya Urayama, Tatsuyuki Nakatani and Takashi Miyahara
Analysis of Post Discharge Flow by Microwave Argon Plasma at Atmospheric Pressure for Bacteria Sterilization
Abstracts of the 1st International Conference on Plasma Medicine (ICPM-1), pp.51-53, (2007-10-17), Corpus Christi, Texas, USA.
 22. Takehiko Sato, Osamu Furuya, Kei Ikeda and Tatsuyuki Nakatani
Dielectric Barrier Discharge in Tube for Catheter Sterilization and its Mechanism for Radical Generation and Transportation
Abstracts of the 1st International Conference on Plasma Medicine (ICPM-1), pp.48-50, (2007-10-17), Corpus Christi, Texas, USA.
 23. Shiroh Ochiai, Takuya Urayama and Takehiko Sato
Experimental Analysis of Low Temperature Plasma Flow at Atmospheric Pressure
Extended Abstract Book of the 4th International Conference on Flow Dynamics, p.7-17, (2007-9-26), Sendai.
 24. 佐藤岳彦, 古屋修, 池田圭, 中谷達行
細管内誘電体バリア放電のラジカル生成輸送解析と滅菌特性
第31回静電気学会全国大会講演論文集, 21-22頁, (2007-9-10), つくば.
 25. 古居剛, 佐藤岳彦
大気圧水蒸気プラズマ流による滅菌特性
日本機械学会第17回環境工学総合シンポジウム2007講演論文集, No. 07-12, 249-250頁, (2007-7-20), 大阪.
 26. 落合史朗, 佐藤岳彦, 宮原高志, 土井章子, 浦山卓也, 中谷達行
大気圧雰囲気における低温プラズマ殺菌法の開発
日本機械学会第17回環境工学総合シンポジウム2007講演論文集, No. 07-12, 247-248頁, (2007-7-20), 大阪.
 27. 古屋修, 佐藤岳彦, 池田圭, 中谷達行
細管内誘電体バリア放電の数値解析
日本機械学会第17回環境工学総合シンポジウム2007講演論文集, No. 07-12, 230-231頁, (2007-7-19), 大阪.
- [図書] (計 1件)
1. Hideya Nishiyama, Takehiko Sato, Michio Tokuyama, Toshiaki Ikhagi, Yasuaki Kohama and Jun Ishimoto
Nano-Mega Scale Flow Dynamics in Complex Systems
The 21st Century COE Program, International COE of Flow Dynamics, Lecture Series Vol.12, Tohoku University Press, (2008-3), pp.35-43, 59, 64-67.
- [産業財産権]
- 出願状況 (計 2件)
1. 名称: 機能水製造方法および装置
発明者: 佐藤岳彦, 落合史朗, 浦山卓也
権利者: 東北大学, (株)アドテック・プラズマ・テクノロジー
種類: 出願
番号: 特願2008-06604
出願年月日: 2008年2月6日
国内外の別: 国内
 2. 名称: 還元水生成装置および還元水生成方法
発明者: 佐藤岳彦, 中谷達行, 阿部義紀
権利者: 東北大学, トーヨーエイテック(株)
種類: 出願
番号: 特願2007-340271
出願年月日: 2007年12月28日
国内外の別: 国内
- [その他]
1. http://www.ifs.tohoku.ac.jp/nishiyama-lab/japanese/EIF_sato_2008.pdf
 2. http://www.jsme-fed.org/newsletters/2007_12/nol.html#ctop
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
佐藤 岳彦 (SATO TAKEHIKO)
東北大学・流体科学研究所・准教授
研究者番号: 10302225

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

宮原 高志 (MIYAHARA TAKASHI)

静岡大学・工学部・准教授

研究者番号：70239432