

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月24日現在

機関番号：13801

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21740395

研究課題名（和文）プラズマ処理による化学修飾を用いた生体高分子の固定化とバイオセンサへの応用

研究課題名（英文）Immobilization of Biomaterials Using Chemical Modification by Plasma Treatment and Its Application for Biosensor

研究代表者

荻野 明久（OGINO AKIHISA）

静岡大学・創造科学技術大学院・准教授

研究者番号：90377721

研究成果の概要（和文）：

バイオセンサへの応用を目的として、樹脂製材料ならびにカーボンナノチューブなどの表面をプラズマ処理し修飾した官能基を結合手として生体高分子などの機能性材料を固定化し、その固定化率および位置選択性を評価した。実験では、プラズマ生成ガスとしてアンモニアまたは水蒸気を添加し、アミノ基またはヒドロキシ基を修飾した。プラズマ処理は、位置選択性の高い官能基修飾において非常に有効であり、修飾した官能基は、センサの動作に必要な機能性材料の固定化に寄与していることがわかった。

研究成果の概要（英文）：

To develop biosensors, the effect of plasma treatment on the immobilization of biomaterials was studied. To immobilize the biomaterials, the functional groups such as amino and hydroxyl groups that act as the linker are introduced by plasma treatment. In the experiment, the ammonia or water vapor was used as plasma gas to introduce amino or hydroxyl groups, respectively. The experimental results show that the plasma treatment is effective for selective immobilization on the surface and the introduced functional groups contribute the immobilization of biomaterials.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：数理系科学

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：プラズマ、表面・界面物性、ナノバイオ、化学修飾、アミノ基

1. 研究開始当初の背景

バイオセンサは DNA 認識などに利用され、分子認識材料と検知可能な信号変換デバイスから構成される。その開発において重要な技術的要素は、分子認識材料となる酵素やタンパク質などの固定化であり、バイオセンサ

に関する研究論文も固定化に関するものが最も多い。バイオセンサ開発は、電子技術および生物技術の融合技術で、日本・米国はもちろん中国でも盛んに多種多様な研究開発が進められている。しかし、プラズマ処理を利用するものは未だ少ない。我々は、医療お

よび生物分野でのプラズマ技術応用に関して精力的に取り組んでおり、高分子材料へのプラズマ照射効果や表面改質と機能性向上に関する研究を行っている。特に、様々な生物活性を有する機能性材料として多糖類に注目している。多糖類に機能性や性質は、側鎖の官能基等により全く異なる。機能性の向上や活性発現には官能基や結合状態が大きく関与しており、プラズマ中で生成される活性種や放射光がもたらす機能性改質は非常に興味深い。

2. 研究の目的

高分子材料ならびにカーボンナノチューブなどのナノ材料に対しプラズマ処理を施し、これをフレームとして選択的または効率的に酵素、タンパク質または各種微粒子を固定化することでバイオセンサなどへ応用することを目的としている。フレームとなる材料と固定化する材料の双方を低温(60°C以下)でプラズマ処理し結合効率を高めるとともに、センサ特有の要求特性である微小性および位置選択性に優れたプロセスを目指す。

3. 研究の方法

基板材料にプラズマを照射することで、アミノ基などの官能基を修飾し、これを結合手として機能性材料を固定化した。また、処理に用いるプラズマパラメータを測定し、修飾率の最適化について検討した。

プラズマ処理した材料は、光電子分光法による材料表面解析の他、蛍光顕微鏡および紫外可視分光光度計により、官能基修飾の位置選択性や修飾率を評価した。

4. 研究成果

(1) アミノ基修飾のためのプラズマ処理

プラズマ処理条件とアミノ基修飾率の関係の関係を調べた。実験では、アルゴン-アンモニア混合ガスで満たした放電容器内に2.45 GHz マイクロ波を導入し、表面波プラズマを生成した。主要な実験条件は、マイクロ波入射電力 700 W、ガス圧力 13 Pa とし、アルゴンとアンモニアの混合比を変化させ、アミノ基修飾率への影響を調べた。

その結果、官能基の修飾率は基板の種類により最も影響されるが、ポリウレタンに対しては、以下のような結果が得られた。

① アルゴン-アンモニア混合ガス比の影響

アンモニア混合比が 5~10%ならびに 75~100%となる時、アミノ基修飾率が最大となった。アミノ基の修飾率は、基板表面の結合手の生成量ならびにアミノ基形成に直接影響する NH_2 ラジカルの密度に依存する。分光測定ならびにラングミュアプローブによる

プラズマ測定の結果から、低アンモニア混合比のアルゴンリッチプラズマでは、アルゴンイオンにより結合手の生成量が増加したこと、ならびに準安定状態のアルゴンによりアンモニア分子の解離が促進され、アミノ基修飾率が向上したと考えられる。また、アンモニアリッチのプラズマでは、プラズマ内における NH_2 ラジカルの相対密度が増加した結果、高いアミノ基修飾率が得られたと考えられる。なお、水素ラジカルは、還元作用により結合手の形成に重要な役割を果たす反面、修飾したアミノ基をも取り去ってしまう。以上から、プラズマ処理によるアミノ基修飾では、 NH_2 ラジカルを効果的な供給と水素ラジカルの制御が極めて重要である。

② プラズマ密度と照射時間の影響

プラズマ密度がマイクロ波(2.45 GHz)のカットオフ密度($7.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$)の1/5程度となる時、最も高いアミノ基修飾率と選択率が得られることが分かった。高密度時に、アミノ基修飾率が減少するのは、基板へのイオン衝撃ならびに基板表面の電荷蓄積などが影響していると思われる。

また、アミノ基修飾率は、プラズマ照射開始後 60 秒程度で飽和し、その後は、ほぼ一定であった。

(2) ヒドロキシ基修飾のためのプラズマ処理

ヒドロキシ基修飾を目的として、アルゴンに水蒸気を添加し生成したプラズマをポリウレタン基板に照射し、修飾率への効果を調べた。その結果、アルゴン中の水蒸気分圧を2%とした時、官能基修飾率が最大となった。また、生成したプラズマの発行スペクトルを観察し、OH(309 nm)と $\text{H}\alpha$ (656 nm)の発光強度比を比較したところ、水蒸気分圧が2%の時にOHの相対強度が最大となり、ヒドロキシ基の修飾率が最大となる条件に一致することが分かった。

(3) 表面波プラズマ処理を用いたバイオマテリアルの固定化と機能化

① ヘパリンの固定化

バイオセンサ開発を目的として、アンモニアプラズマ処理した基板上に多糖類であるヘパリンを固定し、ヘパリン固定化による抗凝血性などの生体適合性を評価した。

ヘパリンの固定化率は、アミノ基修飾率に比例して増加しており、アミノ基が重要な役割を担っていることが示唆された。なお、ヘパリンを固定化した基板の抗凝血性については、内因性凝固系全般を評価する血漿カルシウム再加凝固時間を比較した。試行した実

験条件において、プラズマ処理を行わない基板では約 400 秒で凝固したが、プラズマ処理を行った後にヘパリンを固定化した基板では一日以上経過しても凝固を確認できず、非常に強い抗凝血活性を保持したままヘパリンが固定されていることが分かった。

②L-システインの固定化

水蒸気添加アルゴンプラズマ処理を行ったポリウレタン表面をポリエチレングリコール (PEG) 水溶液に浸漬した後、再度、アルゴンプラズマを照射することで PEG を固定化し、その後、PEG を介して L-システインの固定化を行った。XPS および蛍光顕微鏡による解析の結果、プラズマ処理により修飾したヒドロキシ基と PEG ならびに L-システインの固定化量には相関があることがわかった。なお、PEG 水溶液の浸漬処理後の後処理としてアルゴンプラズマを照射することで、PEG と基板に架橋が形成され、L-システインの固定化率向上を示す結果が得られた。

③機能性材料の選択的配置

バイオセンサなどの電子デバイスと応用するには、特定の機能を持った表面を選択的に形成する技術が重要である。ここでは、マスクパターンを用いてプラズマ処理したポリマー表面にアミノ基と反応する蛍光色素を固定化し、蛍光顕微鏡によりアミノ基の選択的配置の確認を行った。その結果、約 50 μ m のマスクパターンに対応した良好な蛍光像が得られ、アミノ基の選択的配置を確認した。

(4) バイオセンサ応用に向けたプラズマ処理

①カーボンナノチューブ表面への官能基修飾と金属吸着

バイオセンサ応用に向けて、各種材料を検討した結果、電気伝導性ならびに化学安定性において優れるカーボンナノチューブをフレームとして用いることとした。

まず、アルゴンプラズマに水蒸気またはアンモニアガスを混合し生成したプラズマをカーボンナノチューブへ照射し、ナノチューブ表面に官能基の修飾を行った。処理したナノチューブは、ラマン分光法および TEM 解析により表面の結合欠陥や構造を評価すると共に、XPS 解析により官能基の修飾率ならびに表面組成の変化を評価した。得られた結果によると、多層ナノチューブを構成する層数に大きな変化はなく最表面を中心に結合欠陥が形成され、水蒸気添加プラズマではヒドロキシ基、アンモニアプラズマではアミノ基を主とする官能基が修飾されることが分かった。また、プラズマ処理後のナノチューブでは、液中分散性が大幅に向上する結果が得られた。

また、リソグラフィ技術およびプラズマ CVD 法によりカーボンナノチューブを規則的に配列した基板を作成し、それをプラズマ処理することで基板上的カーボンナノチューブ表面のみにアミノ基およびカルボキシル基などの官能基を選択的に修飾した。プラズマ処理した基板のナノチューブは、未処理のナノチューブに比べ、金属吸着特性が増加していることが分かった。

②カーボンナノチューブ (CNT) 表面への PEG および糖鎖の固定化

絶縁体基板上で選択的に成長させた CNT にプラズマを照射し官能基を修飾した後、末端に NHS が多分岐でついた PEG を修飾し、更にアミノ基がついた糖鎖を固定化することで糖鎖プローブの開発を行った。固定化する糖鎖の種類によるが、インフルエンザのヘマグルチニンや大腸菌 0157 などのペロ毒素の認識が期待できる。量子ドットを用いた蛍光観察により CNT 表面への材料固定化を評価した結果、プラズマ処理により固定化率は向上するが、試作した CNT 基板は、CNT と絶縁体基板との密着性が十分でなく、PEG および糖鎖の固定化プロセスの手法に改善を要することが分かった。

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 11 件)

1. Zhenyi Shao, Akihisa Ogino, Masaaki Nagatsu, "*Immobilization of L-Cysteine onto Polyethylene Glycol Polymerized by Surface-wave Plasma*", Jpn. J. Appl. Phys. 50 (2011) 08JF03 (5pages). 査読有.
2. Akihisa Ogino, Suguru Noguchi, Masaaki Nagatsu, "*Optimization of amino group introduction onto polyurethane surface using ammonia and argon surface-wave plasma*", Jpn. J. Appl. Phys. 50 (2011) 08JF06 (5pages). 査読有.
3. Teguh E. Saraswati, Takafumi Matsuda, Akihisa Ogino, Masaaki Nagatsu, "*Surface Modification of Graphite Encapsulated Iron Nanoparticles by Plasma Processing*", Diam. Relat. Mater. 20 (2011) pp. 359-363. 査読有.
4. Akihisa Ogino, Suguru Noguchi and Masaaki Nagatsu, "*Low Temperature Plasma Treatment for Immobilization of Biomaterials on Polymer Surface*", Advanced Materials Research, Vol. 222 (2011) pp 297-300. 査読有.
5. Changlun Chen, Akihisa Ogino, Xiangke

- Wang, and Masaaki Nagatsu, "Oxygen functionalization of multiwall carbon nanotubes by Ar/H₂O plasma treatment", *Diam. Relat. Mater.* 20 (2011) pp.153-156. 査読有.
6. Zhenyi Shao, Akihisa Ogino, Masaaki Nagatsu, "Pre- and Post-Plasma Treatments of Polyethylene Glycol Polymerization on Polymer Surface for Immobilization of L-cysteine", *J. Photopolym. Sci. Technol.*, Vol.23, No.4, (2010) pp.561-566. 査読有.
 7. Iuliana Motrescu, Akihisa Ogino, Shigeyasu Tanaka, Taketomo Fujiwara, Shinya Kodani, Hirokazu Kawagishi, Gheorghe Popa and Masaaki Nagatsu, "Modification of Peptide by Surface Wave Plasma Processing", *Thin Solid Films* 518 (2010) pp. 3585-3589. 査読有.
 8. C. Chen, A. Ogino, B. Liang, X. Wang, and M. Nagatsu, "Plasma treatment of multiwall carbon nanotubes for dispersion improvement in water", *Appl. Phys. Lett.* 96 (2010) 131504 (3pp). 査読有.
 9. Changlun Chen, Di Lu, Bo Liang, Akihisa Ogino, Xiangke Wang, and Masaaki Nagatsu, "Amino Group Introduction onto Multiwall Carbon Nanotubes by NH₃/Ar Plasma Treatment", *Carbon*, 48 (2010) pp.939-948. 査読有.
 10. Akihisa Ogino, Suguru Noguchia, Masaaki Nagatsu, "Effect of Plasma Pretreatment on Heparin Immobilization on Polymer Sheet", *Journal of Photopolymer Science and Technology* 22 No. 4 (2009) pp.461-466. 査読有.
 11. C. L. Chen, B. Liang, A. Ogino, X. Wang and M. Nagatsu, "Oxygen Functionalization of Multiwall Carbon Nanotubes by Microwave Excited Surface-Wave Plasma Treatment", *J. Phys. Chem. C* 113 (2009) pp. 7659-7665. 査読有.
- [学会発表] (計 31 件)
1. Akihisa Ogino, Hisashi Nakahiro, Wei Zheng and Masaaki Nagatsu, "Deposition and Characterization of Copper Thin Films Prepared by Atmospheric Pressure Plasma Jet", 15th International Conference on Thin Films (ICTF-15), Kyoto Terrsa, Kyoto, Japan (2011.11.9) P-S11-14.
 2. Zhenyi Shao, Akihisa Ogino, Masaaki Nagatsu, "Construction of a biocompatible surface layer over medical polymer by surface-wave plasma treatment to improve the anticoagulant property", 15th International Conference on Thin Films (ICTF-15), Kyoto Terrsa, Kyoto, Japan (2011.11.9) P-S11-16.
 3. 國井 一輝, 荻野 明久, 永津 雅章, "915MHz UHF 波励起大口径表面波プラズマを用いたポリマー表面へのアミノ基修飾", プラズマエレクトロニクス分科会 20 周年記念特別シンポジウム, 名古屋大学野依記念学術交流会館 (2011.10.22).
 4. Akihisa Ogino, Hisashi Nakahiro, Wei Zheng and Masaaki Nagatsu, "Effect of Hydrogen Addition on Copper Film Deposition Using Atmospheric Pressure Plasma Jet", 10th International Conference on Global Research and Education (Inter-Academia 2011), Popas Turistic Bucovina, Sucevita, Romania (2011.9.27).
 5. 國井 一輝, 荻野 明久, 永津 雅章, "パルス変調915MHz UHF 波励起表面波プラズマによるポリマー表面修飾", 平成 23 年度 電気関係学会東海支部連合大会, 三重大学 (2011.9.26).
 6. Zhenyi Shao, 荻野明久, 永津雅章, "L-システイン固定化のための PEG 重合ポリマー表面へのヒドロキシシル基添加の最適化とエイジング効果", 第 72 回応用物理学会学術講演会, 山形大学 (2011.9.2) 講演番号 1a-ZC-38.
 7. Xijiang Chang, 國井一輝, 荻野明久, 永津雅章, "共振器-スロット型ランチャーを用いた915MHz 表面波励起プラズマの生成と大面積表面プロセスへの応用", 第 72 回応用物理学会学術講演会, 山形大学 (2011.8.30) 講演番号 30a-A-5.
 8. Kazuki Kunii, Akihisa Ogino and Masaaki Nagatsu, "Development of Large-area Surface-Wave Plasma Device with Cavity Resonator Type Launcher Using 915MHz UHF Wave", The 24th Symposium on Plasma Science for Materials (SPSM-24), Osaka University, Osaka, Japan (2011.7.20) P2-2, p.64.
 9. Zhenyi Shao, Akihisa Ogino, Masaaki Nagatsu, "Optimization of Hydroxyl Group Introduction onto PEG-Polymerized Polymer Surface and Immobilization of L-Cysteine", 3rd Int. Symp. on Surface and Interface of Biomaterials (SIB-2011), Hokkaido University Conference Hall, Sapporo, Japan (2011.7.12-15).
 10. Akihisa Ogino, Teguh E. Saraswati, Kosuke Kawamura, Masaaki Nagatsu, "Surface Modification and Functionalization of Graphene Layer-Encapsulated Magnetic Nanoparticles by RF Plasma Processing for Medical Application", 2nd Workshop on Plasma - Nano Interfaces & Plasma Diagnostics, Hotel RAJ, Mountain Krvavec,

- Cerkliji, Slovenia (2011.3.1-4) pp.28-29.
11. Akihisa Ogino, Suguru Noguchi, Masaaki Nagatsu, "Functionalization of Polymer Surface using Surface-wave Plasma for Immobilization of Sugar Chain", 63rd Annual Gaseous Electronics Conference and 7th International Conference on Reactive Plasmas, Maison de la Chimie, Paris, France (2010.10.4-8) KWP.00017.
 12. 荻野明久, 永津雅章, "プラズマ化学修飾を用いた機能性材料の固定化率向上と選択的配向", 第 71 回応用物理学会学術講演会, 長崎大学 (2010.9.14-17) 講演番号 17a-ZF-3.
 13. Akihisa Ogino, Suguru Noguchi, Masaaki Nagatsu, "Low Temperature Plasma Treatment for Immobilization of Biomaterials on Polymer Surface", 9th Int'l. Conf. on Global Research and Education 2010 (iA-2010), Riga Technical University, Riga, Latvia (2010.8.9-12) pp.123-125.
 14. A. Ogino, Z. Shao, S. Noguchi, M. Nagatsu, "Protein Grafting onto Chitosan Surface Using Low Temperature Microwave Plasma Treatment", 37th IEEE International Conference on Plasma Science (ICOPS), Norfolk Waterside Marriott, Norfolk, VA, USA (2010.6.20-24). 2P-82.
 15. Teguh Endah Saraswati, 川脇健二, 松田貴文, 荻野明久, 永津雅章, "グラフェン層でカプセル化された磁気ナノ微粒子の RF アンモニアプラズマによる表面修飾", 第 57 回応用物理学関係連合講演会, 東海大学 (2010.3.17-20) 講演番号:19a-R-13.
 16. 荻野明久, 野口卓, 永津雅章, "プラズマ化学修飾を用いた医療用材料の低温プロセス", プラズマ・核融合学会専門委員会「プラズマバイオ融合科学への新展開」第 2 回研究, 東北大学 (2010.2.24).
 17. 荻野明久, 野口卓, 永津雅章, "マイクロ波プラズマを用いた医療材料低温プロセス", 電気学会東海支部・第 3 回研究フォーラム, 静岡大学 (2010.2.5).
 18. 邵甄腴, 野口卓, 荻野明久, 永津雅章, "表面波プラズマ重合によるポリマー表面ポリエチレングリコール被膜と L-システインの固定化", 第 27 回プラズマプロセッシング研究会 (SPP-27), 横浜市開港記念会館 (2010.2.1-3) 講演番号 P1-46, pp. 219-220.
 19. 野口卓, Shao Zhenyi, 荻野明久, 永津雅章, "プラズマ化学修飾によりヘパリン固定化したポリマー表面の血液適合性の評価", 第 27 回プラズマプロセッシング研究会 (SPP-27), 横浜市開港記念会館 (2010.2.1-3) 講演番号 P1-44, pp. 215-216.
 20. 川脇健二, テグー エンダー サラスワティ, 荻野明久, 永津雅章, "誘導結合 RF プラズマによる金属ナノ微粒子内包グラフェン層の高効率表面修飾", 第 27 回プラズマプロセッシング研究会 (SPP-27), 横浜市開港記念会館 (2010.2.1-3) 講演番号 P2-35, pp. 293-294.
 21. テグー エンダー サラスワティ, 松田貴文, 野口卓, 荻野明久, 永津雅章, "表面波励起プラズマによるグラフェン層でカプセル化された鉄ナノ微粒子の表面濡れ性の改善", 第 27 回プラズマプロセッシング研究会 (SPP-27), 横浜市開港記念会館 (2010.2.1-3) 講演番号 P2-36, pp. 295-296.
 22. テグーエンダー, サラスワティ, 馬強, 荻野明久, 永津雅章, "グラフェン層でカプセル化されたナノ鉄微粒子のプラズマ表面修飾", 第 19 回日本 MRS 学術シンポジウム, 横浜市開港記念会館 (2009.12.7-9) 講演番号 I-P18-G.
 23. 川脇健二, Teguh Endah Saraswati, 荻野明久, 永津雅章, "誘導結合プラズマを用いた金属ナノ粒子内包グラフェン層表面の官能基修飾", プラズマ・核融合学会第 26 回年会, 京都市国際交流会館 (2009.12.1-4) 講演番号 1pD38P.
 24. 野口卓, Zhenyi Shao, 荻野明久, 永津雅章, "プラズマ化学修飾によるポリマー表面へのアミノ基導入効率の最適化とヘパリン固定化への効果", プラズマ・核融合学会第 26 回年会, 京都市国際交流会館 (2009.12.1-4) 講演番号 1pD31P.
 25. C.L. Chen, A. Ogino, B. Liang, J. Hu, X.K. Wang, M. Nagatsu, "FUNCTIONLIZATION OF MUTIWALLED CARBON NANOTUBES BY MICROWAVE EXCITED ARGON/OXYGEN SURFACE-WAVE PLASMA TREATMENT FOR ADSORBENT APPLICATION", 7th International Workshop on MICROWAVE DISCHARGES: FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS (MD-7), HAMANAKO CURREAC, Hamamatsu, Japan (2009.9.22-27) p.49.
 26. A. Ogino, S. Noguchi, M. Nagatsu, "LOW TEMPERATURE MICROWAVE PLASMA TREATMENT FOR MODIFICATION OF POLYSACCHARIDE", 7th International Workshop on MICROWAVE DISCHARGES: FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS (MD-7), HAMANAKO CURREAC., Hamamatsu, Japan (2009.9.22-27) p.36.
 27. S. Noguchi, Z. Shao, A. Ogino, and M. Nagatsu, "AMINO GROUP MODIFICATION ON POLYMER BY SURFACE-WAVE PLASMA FOR HEPARIN IMMOBILIZATION", 7th International

Workshop on MICROWAVE DISCHARGES: FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS (MD-7), HAMANAKO CURREAC, Hamamatsu, Japan (2009.9.22-27) p.35.

28. 川脇健二, Teguh Endah Saraswati, 荻野明久, 永津雅章, "RF プラズマを用いた金属ナノ微粒子の表面修飾", 平成 21 年度電気関係学会東海支部連合大会, 愛知工業大学 (2009.9.10-11) 講演番号 O-460.
29. Saraswati Teguh Endah, Qiang Ma, 荻野明久, 永津雅章, "グラフェン層でカプセル化された金属ナノ粒子のプラズマ表面修飾とバイオ応用", 第 70 回応用物理学会学術講演会, 富山大学 (2009.9.8-11) 講演番号 11a-N-7, p.199.
30. 野口 卓, 荻野明久, 永津雅章, "プラズマ修飾によるポリウレタン表面上のアミノ基添加とヘパリン固定化の経時特性", 第 70 回応用物理学会学術講演会, 富山大学 (2009.9.8-11) 講演番号 9a-N-10, p.176.
31. 羽佐田 一也, 荻野明久, 永津雅章, "イオンアシストプラズマ処理を用いた樹脂-金属密着性改善における表面形状の効果", プラズマ・放電・パルスパワー合同研究会, 同志社大学 (2009.8.7) PST-09-50, pp.47-52.

[その他]

ホームページ

<http://www.eng.shizuoka.ac.jp/plasma/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

荻野 明久 (OGINO AKIHISA)

静岡大学・創造科学技術大学院・准教授

研究者番号: 90377721