

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 6月 8日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21605004

研究課題名（和文） バイオ燃料電池の高出力化 ―白金触媒フリー燃料電池を目指して―

研究課題名（英文） Construction of high-power biofuel cells replaced by fuel cells with platinum catalyst

研究代表者

中村 暢文（NAKAMURA NOBUHUMI）

東京農工大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：60313293

研究成果の概要（和文）： 酵素の配向方法、3次元的な固定化法、複数酵素を同時固定することによりバイオ燃料電池の高出力化を目指した。電極表面を工夫し、耐熱性のアルコールデヒドロゲナーゼを用いて、80℃で反応させ、常温時よりも10倍以上高い電流密度を得た。金ナノ粒子を用いることによって電極の実効面積を270倍まで増加できること、アルコールからカルボン酸までの4電子酸化できる新規酵素を見出し、効率的な電子の抽出に成功した。

研究成果の概要（英文）： We tried to construct high-power biofuel cells. The optimal orientation of enzymes on the electrode surface, three-dimensional immobilization of enzymes, and immobilization of plural enzymes on an electrode were investigated. We found the best treatment of the electrode for enzyme immobilization. Using a novel thermophilic alcohol dehydrogenase, a high current density was observed at 80 °C more than 10 times at room temperature. An extremely high surface coverage of electrostatically active protein, 270 proteins in a fully packed monolayer, was obtained through use of the gold nanoparticle-modified electrode. We also found a novel alcohol dehydrogenase which can catalyze 4-electron oxidation of ethanol.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：時限

科研費の分科・細目：元素戦略

キーワード：バイオ燃料電池、バイオデバイス、酵素触媒、生物電気化学、ナノ粒子

1. 研究開始当初の背景

出力密度、エネルギー効率の観点から、燃料電池の優位性は疑う余地はない。モバイル機器等の日常生活で用いられる燃料電池としては低温作動の可能な固体高分子型燃料電池が第一の候補であろう。この固体高分子型燃

料電池のカソード、アノード両極には白金触媒が用いられており、白金使用量を減少させる研究や白金代替触媒の研究も盛んに行われている。一方、バイオ燃料電池は生体由来の触媒を利用した燃料電池であり、温和な条件下（室温、中性 pH など）で、より安全な燃料

(エタノールやグルコース)を用いて発電可能なことから、体内埋め込み型の医療機器やモバイル機器へのエネルギー供給源として近年研究が活発に行われるようになってきている。バイオ燃料電池は、希少元素を必要とせず、白金触媒を用いる固体高分子型燃料電池に代わる潜在的に優れた燃料電池であると考えられ、アメリカ合衆国では、大学、ベンチャー企業などが盛んに研究している (*Chem. Rev.*, 104, 4867 (2004))。ヨーロッパにおいてもバイオマスを燃料源にしたバイオ燃料電池の研究開発が盛んに行われている (*J. Phys. Chem. C* 112, 9956 (2008))。国内では京都大学の加納らによる研究はこの分野の基礎研究をリードしており (*Electrochemistry*, 71, 86 (2003))、また、昨年度ソニーにより発表されたバイオ燃料電池の出力は 1.5 mW/cm^2 に達し、バイオ燃料電池が実用段階に近づきつつあることを世界に実感させた (*Energy Environ. Sci.*, 2, 133 (2008))。しかしながら、現状ではまだ問題点も多い。第一にその出力が低いこと、第二に安定動作・耐久性の問題である。ソニーはさらに研究を進めて現在はその4-5倍の出力を達成したことを報告しているが、実用化のためにはさらに数十倍の出力は欲しいものと考えられ、より基礎的な部分でのブレークスルーが必要不可欠であると考えられる。我々の研究グループもバイオ燃料電池の基礎研究を従来から行ってきており、特に分光法を用いた電極上の酵素の構造研究や電子移動を媒介するメディエーター含有ポリマーの合成に独自のテクニックを有している。

2. 研究の目的

バイオ燃料電池の高出力化のためには、様々な方法論がある。基礎研究としては、(1) 酵素-電極間の速い電子移動の達成がある。この点は基礎研究として最も重要な要素であり、絶えず最良の状態を模索し続ける必要がある。具体的には、電極上への官能基の導入や電荷を持ったポリマーの利用によって、酵素との静電的な相互作用を利用した配向制御の最適条件を検討し、耐熱性の酵素を用いて、酵素そのものの反応向上が期待できるより高温での反応についても検討を行った。さらに、(2) できる限り多くの酵素-電極間で電子移動が可能となるように立体的に酵素を配列させるとともに、電極表面から離れた酵素との電子移動が可能とするような電子移動を仲介する金属ナノ粒子や分子ワイヤーを利用する。金属ナノ粒子の粒子径について検討を行い酵素に最適なサイズを求めた。(3) 我々の

提案しているメディエーター含有ポリマーはNADを補酵素とする酵素であればどのような酵素であっても触媒として用いることが可能である。そこで、アルコールデヒドロゲナーゼを用いたエタノールからアセトアルデヒドへの酸化だけではなく、さらに、アセトアルデヒドから酢酸への化学変換を触媒するアセトアルデヒドデヒドロゲナーゼ (NAD 依存型) を組み合わせ、燃料の多段階酸化を行った。また、一つの酵素でアルコールからカルボン酸までの4電子酸化を行える酵素を見出し、それを用いて多段階酸化を達成した。その他の高出力の電池を得るために必須の開発要素としては、通常の燃料電池と同様に、電池そのものの構造、電極材、電極構造の最適化がある。しかし、これらは化学的な検討事項ではないため、本研究の対象外である。ただし、この先、この観点から様々な構造の電極が提案されるものと考えられるので、電極構造に依存しない技術となるよう意識した。

3. 研究の方法

(1) 酵素の配向方法の検討

近年、プロテインフィルムボルタンメトリー (PFV) の発展により、比較的分子量の大きなタンパク質や酵素の直接電気化学が可能となってきた (*Curr. Opin. Chem. Biol.* 9, 110 (2005))。これは、タンパク質が電子移動しやすい向きに配向したフィルムを電極上に作製する方法であり、フィルムにする際に界面活性剤やポリマーを利用する。ただし、タンパク質により、最適なフィルム作製方法が異なるため、実際に試みて、フィルム化条件を検討する必要がある。カソード極に用いるビリルビンオキシダーゼについて、SAMの種類やポリマーの種類を検討して酵素に応じた最適な配向固定法を検討した。アノードに用いる酵素であるフルクトースデヒドロゲナーゼについてもSAMの種類やポリマーの種類を変え酵素に応じた最適な配向固定法を検討した。また、アルコールデヒドロゲナーゼの電子移動はNADHを経由するので酵素自体の配向が電気化学的な活性に及ぼす影響は小さいものと考えられる。しかし、基質であるアルコールの反応サイトの電極に対しての向きなどで違いが出ることも予想され、この場合にもSAMの効果について検討した。さらに好熱菌由来のアルコールデヒドロゲナーゼを大腸菌で発現・生産し、この耐熱性酵素を用いて出力向上できるか検討した。

(2) 酵素の3次元的な固定化法の検討

これまで、金ナノ粒子や炭素微粒子を電極上に物理吸着させることで、電極の実効表面

積を増大させることができることを明らかにしてきた。この方法をカソードとアノード両極に適用し、それぞれの電極に用いられる酵素について、最適なナノ粒子径および粒子量を検討した。また、表面増強ラマン分光法や光導波路分光法などにより、電極上に固定された酵素の状態を調べた。

(3) 複数酵素の効率的な固定化法の検討
 酵素の配向法および3次元的な固定化法を用いて、複数の酵素を固定化して、同量の基質から得られる電流量を増大させる方法を検討した。燃料としてエタノールを用いる場合、アルコールデヒドロゲナーゼによる酸化反応によって生じるアセトアルデヒドをさらに酸化することのできるアルデヒドデヒドロゲナーゼを組み合わせる固定化方法を検討した。アルデヒドデヒドロゲナーゼも NADH 依存型の酵素であるので、これまでに開発しているメディエーター含有ポリマーが利用できる。二つの酵素を単に混ぜ合わせて固定する方法やそれぞれ別の層として階層的に固定する方法など、もっとも効率よく電子移動と基質の移動ができる方法について調べた。また、新たに得られたアルコールからカルボン酸までの二段階の4電子酸化反応を触媒する酵素についてもその電極反応を調べた。

4. 研究成果

(1) 電極-酵素間的高速電子移動を可能にするための酵素の配向制御

カソードについて、ビリルビンオキシダーゼを触媒とし、様々な自己組織化単分子膜 (SAM) 上の電子移動を解析し、カルボキシル基を末端に持つ場合に、比較的良好な電子移動を行うことが可能であることを見出した。ラッカーゼについて、カーボンナノ粒子をジメチルフォルムアミドに分散させ、炭素電極にキャストし風乾することで比較的良好な電子移動を行うことが可能であることを見出した。また、アノードに関しては、直接電子移動タイプのフルクトースデヒドロゲナーゼに対して、末端にヒドロキシル基を持つ SAM の場合に電流密度が大きくなるという結果を得、直接電子移動型でこれまで報告されているものの中で最も高い電流密度を得ることに成功した。

好熱菌由来のアルコールデヒドロゲナーゼを用いて、80℃のやや高い温度で反応させ、常温時よりも10倍以上高い電流密度を得ることに成功した(図1)。この酵素はカーボンペーパーにも固定化でき、さらなる電流密度の向上が期待できる。

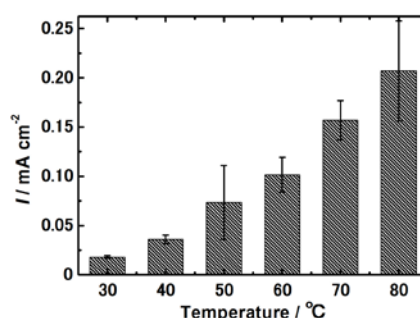


図1 耐熱性アルコールデヒドロゲナーゼを用いたエタノール酸化電流値の温度依存性

(2) 酵素の3次元的な固定化法の検討

金ナノ粒子を用いることによって電極の実効面積を270倍まで増加できることを見出した。カソード極で用いられるビリルビンオキシダーゼに関して、電極上に作製する金ナノ粒子膜の金ナノ粒子の粒子径が効率的な電子移動反応に重要であることを見出した。電子移動に適したサイズはタンパク質や酵素のサイズに依存し、ビリルビンオキシダーゼの場合、金ナノ粒子径が70 nmと比較的大きなサイズの粒子を用いる必要があることがわかった。金ナノ粒子のサイズ・酵素のサイズと電子移動効率の関係が明確になったことにより、今後の様々な酵素固定化電極の作製が容易になるものと考えられる。これらの結果に基づき、直接電子移動型のバイオ燃料電池を構築し、その発電特性を評価した。この電池は、メディエーターやセパレーターを必要とせず、非常にシンプルなセル設計で発電することが可能であった。その出力は溶液を攪拌させた条件において、開回路電圧は720 mV、最大電流密度は4.9 mA cm⁻²、最大電力は0.87 mW cm⁻² (300 mVにおいて)であった(図2)。これ

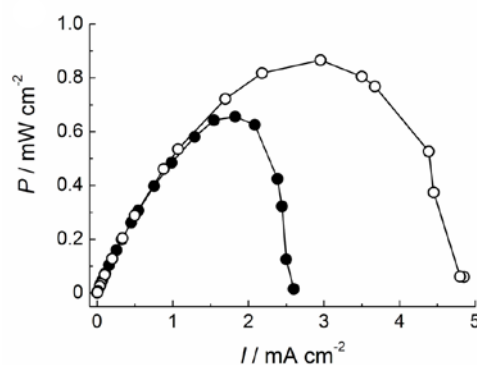


図2 直接型フルクトース / O₂ バイオ燃料電池の出力。静置時 (●)、攪拌時 (○)

までに報告されているほとんどの直接電子移動型バイオ燃料電池の出力は数 $\mu\text{W cm}^{-2}$ であり、比較的高出力のバイオ燃料電池の1つを作製できたものと考えている。

また、アノードにアルコールデヒドロゲナーゼを用いる場合にはカーボンナノ粒子をカーボンペーパー電極上に物理吸着させることで、電極の実効表面積を増大させることができるとを明らかにした。

(3) 複数酵素固定による高出力化

アルコールデヒドロゲナーゼとアルデヒドデヒドロゲナーゼを同時に電極上に固定化し、エタノールの4電子酸化が可能であることを示した。電極の別の面に異なる酵素を固定化する方法が現在までの検討では最も効率の良いことがわかった。さらに、シトクロムP450について、NADHを直接電子供与体とする一原子酸素添加反応に成功し、バイオ燃料電池のアノード用に作製してきたNADHを再酸化するメディエーター固定電極を用いてシトクロムP450を駆動できる可能性をも示すことができた。一つの酵素でアルコールからカルボン酸までの4電子酸化可能な酵素を新たに見出し、その酵素を固定した電極を用いてエタノールからの効率的な電子抽出に成功した(図3)。

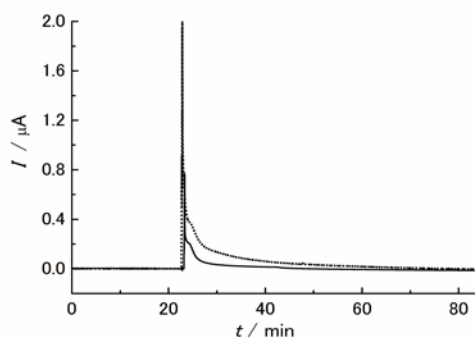


図3 エタノール(点線)とアセトアルデヒド(実線)の酸化電流値の経時変化

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. The Effect of Particle Size on the Direct Electron Transfer Reactions of Metalloproteins Using Au Nanoparticle-Modified Electrodes
M. Suzuki, K. Murata, N. Nakamura, and H. Ohno, *Electrochemistry*, **80**, 337-339 (2012). 査読有, 10.5796/electrochemistry.80.337
2. Cytochrome *c* Dissolved in

1-Allyl-3-Methylimidazolium Chloride type Ionic Liquid Undergoes a Quasi-reversible Redox Reaction up to 140 °C

K. Tamura, N. Nakamura, and H. Ohno, *Biotechnol. Bioeng.*, **109**, 729-735 (2012). 査読有, 10.1002/bit.24357

3. Preparation of an Electrode Modified with an Electropolymerized Film as a Mediator of NADH Oxidation and Its Application in an Ethanol/O₂ Biofuel Cell

M. Masuda, Y. Motoyama, K. Murata, N. Nakamura, and H. Ohno, *Electroanalysis*, **23**, 2297-2301 (2011). 査読有, 10.1002/elan.201100215

4. Electrochemical Analysis of Electrode-Immobilized Dehydrogenases in Hydrated Choline Dihydrogen Phosphate Type Ionic Liquid

K. Fujita, N. Nakamura, K. Murata, K. Igarashi, M. Samejima, and H. Ohno, *Electrochim. Acta*, **56**, 7224-7227 (2011). 査読有, 10.1016/j.electacta.2011.03.107

5. Monooxygenation by a Thermophilic Cytochrome P450 via Direct Electron Donation from NADH

H. Matsumura, K. Matsuda, N. Nakamura, A. Ohtaki, H. Yoshida, S. Kamitori, M. Yohda, and H. Ohno, *Metallomics*, **3**, 389-395 (2011). 査読有, 10.1039/C0MT00079E

6. NAD 依存型酵素の電子移動メディエーターとして機能する鉄錯体電解重合膜の作製
増田美幸・中村暢文・大野弘幸、高分子論文集、**67**, 611-613 (2010). 査読有, 10.1295/koron.67.611

7. Simple Fabrication Method for Three-Dimensional Gold Nanoparticle Electrodes and Their Application to the Study of the Direct Electrochemistry of Cytochrome *c*

K. Murata, K. Kajiyama, M. Nukaga, Y. Suga, T. Watanabe, N. Nakamura, and H. Ohno, *Electroanalysis*, **22**, 185-190 (2010). 査読有, 10.1002/elan.200900323

8. Direct Electrochemistry of Bilirubin Oxidase on Three-Dimensional Gold Nanoparticle Electrodes and Its Application in a Biofuel Cell

K. Murata, K. Kajiyama, N. Nakamura, and H. Ohno, *Energy Environ. Sci.*, **2**, 1280-1285 (2009). 査読有, 10.1039/B912915D

9. Direct Evidence of Electron Flow via the Heme *c* Group for the Direct Electron Transfer Reaction of Fructose Dehydrogenase using a Silver Nanoparticle Modified Electrode

K. Murata, M. Suzuki, N. Nakamura, and H. Ohno, *Electrochem. Commun.*, **11**, 1623-1626 (2009). 査読有, 10.1016/j.elecom.2009.06.012

[学会発表] (計83件)

1. Electrocatalysis of ethanol oxidation at a

- NAD(H)-dependent alcohol dehydrogenase-immobilized electrode in hydrophobic ionic liquids (348) M. Masuda, Y. Motoyama, N. Nakamura, and H. Ohno, ICBIC 15, 2011年8月10日, Vancouver, Canada
2. Development of a direct electron transfer type fructose sensor using a novel heme-domain containing dehydrogenase (351) N. Nakamura, M. Inukai, H. Ohno, H. Matsumura, K. Igarashi, H. Samejima, and M. Yoshida, ICBIC 15, 2011年8月10日, Vancouver, Canada
3. Peroxidase reaction and hydroxylation reaction by thermophilic cytochrome P450 at high temperatures (54) M. Shionoiri, S. Hayakawa, N. Nakamura, M. Yoshida, and H. Ohno, ICBIC 15, 2011年8月8日 Vancouver, Canada
4. Electrochemical and spectroscopic properties of a novel PQQ-dependent sugar dehydrogenase from the basidiomycete *Coprinospora cinerea* (18) H. Matsumura, M. Yoshida, K. Igarashi, N. Nakamura, H. Ohno, and M. Samejima, ICBIC 15, 2011年8月8日, Vancouver, Canada
5. Electron-transfer reaction of azurin adsorbed on a self-assembled monolayer-gold nanoparticle electrode in a hydrated ionic liquid (369) N. Nakamura, J. Kuwahara, K. Fujita, K. Yokoyama, J. H. Richards, H. B. Gray, and H. Ohno, 4th Congress on Ionic Liquids (COIL-4) 2011年6月17日, Washington DC, USA
6. An enzymatic cellulose/O₂ biofuel cell (P123) N. Nakamura, H. Matsumura, K. Igarashi, M. Samejima, and H. Ohno, International Conference on Clean Energy Science (ICES 2011) 2011年4月10日 Dalian, China
7. An Enzymatic Biofuel Cell Using Cellulosic Biomass (P8-2) N. Nakamura, H. Matsumura, K. Igarashi, M. Samejima, and H. Ohno, The 5th Asian Biological Inorganic Chemistry Conference (AsBIC-V) 2010年11月4日 Kaohsiung, Taiwan
8. Preparation and Structural Control of the Electropolymerized Ruthenium Complex-based Films as a Mediator for the Electrocatalytic Oxidation of NADH (2PI-33) M. Masuda, N. Nakamura, and H. Ohno, The 60th symposium on coordination chemistry of Japan 60th anniversary conference on coordination chemistry 2010年9月28日 Osaka, Japan
9. *Pseudomonas putida* KT2440由来キノプロテイン・アルコール脱水素酵素の電気化学的解析 (2P-34) 武田康太, 松村洋寿, 五十嵐圭日子, 鮫島正浩, 中村暢文, 大野弘幸, 第4回バイオ関連化学シンポジウム 2010年9月25日 大阪大学豊中キャンパス
10. 金属ナノ粒子修飾電極上へのタンパク質固定 (1Y18) 中村暢文, 村田賢一, 鈴木将登, 大野弘幸, 第59回高分子討論会 2010年9月15日 北海道大学
11. 金ナノ粒子修飾電極上に固定したタンパク質の電子移動反応及び電気化学的触媒反応 (1H28) 鈴木将登, 村田賢一, 中村暢文, 大野弘幸, 2010年電気化学秋季大会 2010年9月2日 神奈川工科大学
12. Direct electrochemistry of fructose dehydrogenase on gold nanoparticles-modified electrodes (P1.6.003) N. Nakamura, K. Murata, M. Suzuki, H. Ohno, Biosensors 2010 2010年5月26日 Glasgow, UK
13. Electrochemistry of Bilirubin Oxidase in Hydrophobic Ionic Liquids Containing a Small Quantity of Water (1P06) J. Kuwahara, K. Murata, Y. Fukaya, N. Nakamura, H. Ohno, ACEC 2010 2010年5月19日 Kumamoto, Japan
14. 三次元金ナノ粒子修飾電極の作製と金属タンパク質の電気化学研究への応用 (S12-5) 中村暢文, 村田賢一, 加治屋一樹, 額賀恵, 大野弘幸, ナノ学会第8回大会 2010年5月15日 自然科学研究機構 岡崎コンファレンスセンター
15. バイオマス資源を利用する酵素バイオ燃料電池(特2F17) 中村暢文 電気化学学会第77回大会 2010年3月30日 富山大学五福キャンパス
16. ビリルビンオキシダーゼ-金ナノ粒子間の直接電子移動反応に及ぼす表面官能基の効果 (PS48) 鈴木将登, 村田賢一, 中村暢文, 大野弘幸, 電気化学学会第77回大会 2010年3月29日 富山大学五福キャンパス
17. Biocatalytic Oxidation of Cellobiose in Hydrated Choline Dihydrogen Phosphate (2P-26) K. Fujita, N. Nakamura, K. Igarashi, M. Samejima, H. Ohno, 4th International Conference on Polymer Batteries and Fuel Cells (PBFC2009) 2009年8月4日, Yokohama, Japan
18. Electron transfer reactions of wild-type and mutant forms of amicyanin immobilized on an electrode via an arginine residue (P584) N. Nakamura, A. Kaneko, H. Ohno, 14th International Conference on Biological Inorganic Chemistry (ICBIC 14) 2009年7月26日, Nagoya, Japan
19. Evidence for two electron entrances in bilirubin oxidase (P558) K. Murata, K. Kajiyama, N. Nakamura, H. Ohno, 14th International Conference on Biological Inorganic Chemistry (ICBIC 14) 2009年7月26日, Nagoya Japan
20. Biocatalytic oxidation of cellobiose in hydrated ionic liquid (P556) K. Fujita, N. Nakamura, K. Igarashi, M. Samejima, H. Ohno, 14th International Conference on Biological Inorganic Chemistry (ICBIC 14) 2009年7月26日, Nagoya, Japan
21. Redox responses of D-fructose dehydrogenase on nanoparticles modified electrodes (P523) M.

Suzuki, K. Murata, K. Kajiya, N. Nakamura, H. Ohno, 14th International Conference on Biological Inorganic Chemistry (ICBIC 14) 2009年7月26日, Nagoya, Japan

22. Construction of a biocathode based on direct electron transfer of multicopper oxidases (P522) K. Kajiya, K. Murata, N. Nakamura, H. Ohno, 14th International Conference on Biological Inorganic Chemistry (ICBIC 14) 2009年7月26日, Nagoya, Japan

23. pH dependence of structure and enzymatic activity of thermophilic cytochrome P450 (P521) S. Hayakawa, K. Matsuda, H. Matsumura, N. Nakamura, M. Yohda, H. Ohno, 14th International Conference on Biological Inorganic Chemistry (ICBIC 14) 2009年7月26日, Nagoya, Japan

24. Effect of mutation around the substrate channel of thermophilic cytochrome P450 on the direct electron donating system with NADH (P520) K. Matsuda, H. Matsumura, N. Nakamura, M. Yohda, H. Ohno, 14th International Conference on Biological Inorganic Chemistry (ICBIC 14) 2009年7月26日, Nagoya, Japan

25. Dependence of metal ions on enzymatic activity of alcohol dehydrogenase from hyperthermophilic archaeon *Pyrococcus horikoshii* OT3 (P519) H. Mishiba, H. Matsumura, N. Nakamura, M. Yohda, H. Ohno, 14th International Conference on Biological Inorganic Chemistry (ICBIC 14) 2009年7月26日, Nagoya, Japan

26. An enzymatic biofuel cell using cellulosic biomass as an energy resource (P118) H. Matsumura, K. Igarashi, N. Nakamura, H. Ohno, M. Samejima, 14th International Conference on Biological Inorganic Chemistry (ICBIC 14) 2009年7月26日, Nagoya, Japan

27. The electrocatalytic oxidation of ethanol using the electrode which has sol-gel-encapsulated alcohol dehydrogenase (P108) M. Masuda, N. Nakamura, H. Ohno, 14th International Conference on Biological Inorganic Chemistry (ICBIC 14) 2009年7月26日, Nagoya, Japan

28. Electron tunneling through mutant azurins on mixed-SAM gold electrodes (P010) K. Yokoyama, K. M. Lancaster, Y. Sheng, N. Nakamura, H. Ohno, B. S. Leigh, K. Niki, J. R. Winkler, J. H. Richards, and H. B. Gray, 14th International Conference on Biological Inorganic Chemistry (ICBIC 14) 2009年7月26日, Nagoya, Japan

29. Bioelectrocatalysis in Hydrated Ionic Liquid (70) N. Nakamura, K. Fujita, K. Murata, H. Ohno, 3rd Congress on Ionic Liquids (COIL3) 2009年6月2日 Cairns Australia

30. Effect of Ethanol on Oxidative Activity of Bilirubin Oxidase (#601) K. Murata, K. Kajiya, N. Nakamura, and H. Ohno, 215th ECS Meeting 2009年5月26日 San Francisco, USA

31. Real-time monitoring of cellulase activity with the biosensor based on cellobiose dehydrogenase (#610) H. Matsumura, K. Igarashi, N. Nakamura, H. Ohno, M. Samejima, 215th ECS Meeting 2009年5月27日 San Francisco, USA

〔図書〕 (計 2 件)

1. 「金ナノ粒子電極」、中村暢文、「バイオ電池の最新動向」加納健司監修 シーエムシー出版 (分担執筆)、p 25-30 (2011).

2. 「化学修飾による酵素の改変」、「非水系バイオ燃料電池を目指して—水和イオン液体中での酵素反応—」、中村暢文、「イオン液体 III —ナノ・バイオサイエンスへの挑戦—」大野弘幸監修 シーエムシー出版 (分担執筆)、p 178-186, 195-203 (2010).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 暢文 (NAKAMURA NOBUHUMI)

東京農工大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号 : 60313293

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし