
ナノ 3 次元空間におけるナノ粒子触媒の 高密度集積化と高機能化

(研究課題番号 18510099)

平成 18 年度～平成 19 年度 科学研究費補助金 (基盤研究 (C))
研究成果報告書

平成 20 年 3 月

研究代表者 富永 昌人

(熊本大学大学院自然科学研究科 助教)

はしがき

本研究課題報告書は、平成 18 年度から平成 19 年度にわたって文部科学省科学研究補助金（基盤研究（C）・課題番号：18510099）の交付を受け、「ナノ 3 次元空間におけるナノ粒子触媒の高密度集積化と高機能化」に関する研究成果をまとめたものである。

ナノメートルサイズまで物質を小さくする手法およびそこに拓ける全く新しい世界は、ナノサイエンス・ナノテクノロジーと呼ばれ、近年盛んに研究されている。本研究課題では、導電性基板上に垂直配向成長したカーボンナノチューブフォレストをナノ 3 次元空間として用い、そのナノチューブ側面にナノ触媒金属粒子や酵素などの固定化を行うことで、修飾電極の高密度化および高機能化を目指した。

電極基板上に作製したカーボンナノチューブフォレストに酵素を固定化した。酵素には比較的安定で変性しにくいグルコースオキシダーゼや酸素還元優れた触媒能を示すビリルビンオキシダーゼ、フルクトースを触媒的に酸化するフルクトースデヒドロゲナーゼを用いたところ、これらの酵素とカーボンナノチューブとの間の直接電子移動反応が観測された。また、カーボンナノチューブの表面は大気中の浮遊有機物によって吸着汚染されやすいこと、汚染されたその表面には酵素が固定化されにくいことが明らかとなった。カーボンナノチューブ電極を用いてフルクトースを燃料としたバイオ電池を作製した。酸素還元極の酵素にはビリルビンオキシダーゼを用いた。測定結果、最大出力 100 マイクロワット/cm² 以上の高出力のバイオ電池を作製できた。カーボンナノチューブフォレストの密度を低く抑えた電極を用い、フルクトースデヒドロゲナーゼを固定化した。基質濃度とそのときに得られた触媒電流値から、この酵素のミカエリス定数を見積もったところ、溶液中のそれと同等の値を得た。このことは、ナノチューブフォレストの密度を低くすることで、溶液中の基質（反応物）を電極全体で反応可能であることを示す。以上の研究結果から、カーボンナノチューブフォレスト電極を用いることで、ナノサイズの触媒粒子の機能を最大限に高めることが可能であることが解った。

また、金属ナノ粒子修飾カーボン電極を用いたグルコースの電気化学的触媒酸化反応を検討した。本反応は「糖—空気」燃料電池を構成する際の糖酸化極として機能することが期待されている。金をベースとしたナノ粒子、またその合金ナノ粒子を用いてグルコースの電気化学的触媒酸化反応を検討した結果、

金ナノ粒子修飾カーボン電極はアルカリ溶液中で、通常バルク金電極に比べてグルコース酸化反応に伴う電極表面の被毒が抑制され優れた触媒能を有することが明らかとなった。金ナノ粒子を用いることで電解生成物の定量的評価が可能となり、その触媒酸化反応のメカニズムについての議論が可能となった。さらに、金—銀（原子比 2 : 1）合金ナノ粒子を用いると、金電極を用いた場合よりもさらに 100mV 程度ネガティブの電位からグルコースを触媒酸化できることが明らかとなった。また、最適な金と銀との混合比が存在することが定量的に示された。

研究組織

研究代表者：富永 昌人（熊本大学大学院自然科学研究科 助教）

交付決定額（配分額）

（金額単位：千円）

	直接経費	間接経費	合計
平成 18 年度	2,300	0	2,300
平成 19 年度	1,400	420	1,820
総計	3,700	420	4,120

研究成果

（1）雑誌論文（すべて査読審査有り）

1) M. Tominaga, T. Shimazoe, M. Nagashima, K. Kusuda, A. Kubo, Y. Kuwahara, I. Taniguchi, "Electrocatalytic Oxidation of Glucose at Gold-Silver Alloy, Silver and Gold Nanoparticles in an Alkaline Solution", *J. Electroanal. Chem.*, **590**(1) (2006) 37-46. (2006 年 5 月発行)

2) M. Tominaga, M. Matsumoto, K. Soejima, I. Taniguchi, "Size Control for Two-Dimensional Iron Oxide Nanodots Derived from Biological Molecules", *J. Colloid Inter. Sci.*, **299** (2) (2006) 761-765. (2006 年 7 月発行) .

3) M. Tominaga, M. Otani, M. Kishikawa, I. Taniguchi, "UV-ozone Treatments Improved Carbon Black Surface for Direct Electron Transfer Reactions with Bilirubin Oxidase under Aerobic Conditions", *Chem. Lett.*, **35**(10) (2006) 1174-1175. (2006年10月発行) .

4) M. Tominaga, M. Nagashima, I. Taniguchi, "Controlled-potential electrosynthesis of glucosaminic acid from glucosamine at a gold electrode", *Electrochem. Commun.*, **9** (5) (2007) 911-914. (2007年5月発行) .

5) M. Tominaga, S. Nagaishi, M. Kirihara, E. Kumagai, S. Harada, I. Taniguchi, "Frequency Change-Induced Alternative Potential Waveform Dependence of Membrane Damage to Cells Cultured on an Electrode Surface", *J. Biotechnol.*, **129** (3) (2007) 498-501. (2007年5月発行)

6) M. Tominaga, S. Maetsu, A. Kubo, I. Taniguchi, "Nano-Ordered Topographical Effects on Dissociation of Carboxylic Acid Terminated Self-Assembled Monolayers Adsorbed onto a Gold Surface", *J. Electroanal. Chem.*, **603** (5) (2007) 203-211. (2007年5月発行) .

7) M. Tominaga, K. Miyahara, K. Soejima, S. Nomura, M. Matsumoto, I. Taniguchi, "Size-tuneable and Micro-patterned Iron Nanoparticles Derived from Biomolecules via Microcontact Printing SAM-modified Substrates and Controlled-potential Electrolyses", *J. Colloid Interface Sci.*, **313** (1) (2007) 135-140. (2007年9月発行) .

8) M. Tominaga, M. Nagashima, K. Nishiyama, I. Taniguchi, "Surface Poisoning During Electrocatalytic Monosaccharide Oxidation Reactions at Gold Electrodes in Alkaline Medium", *Electrochem. Commun.*, **9** (8) (2007) 1892-1898. (2007年8月発行) .

9) M. Tominaga, C. Shirakihara, I. Taniguchi, "Direct Heterogeneous Electron Transfer Reactions and Molecular Orientation of Fructose Dehydrogenase Adsorbed onto Pyrolytic Graphite Electrodes", *J. Electroanal. Chem.*, **610** (1) (2007) 1-8. (2007年11月発行) .

月発行) .

10) E. Kumagai, M. Tominaga, S. Nagaishi, S. Harada, “Effect of Electrical Stimulation on Human Immunodeficiency Virus Type-1 Infectivity”, *Appl. Microbiol. Biotech.*, **77** (4) (2007) 947-953. (2007年12月発行)

11) I. Taniguchi, D. Tabata, M. Kishikawa, M. Ohtani, K. Nishiyama, M. Tominaga, T. Sotomura, “Preparation of Glucose-Air Bio-fuel Cells Using Enzyme Electrodes for Glucose Oxidation and Oxygen Reduction”, *ITE Letters (on Batteries, New Technologies & Medicine)*, **8** (2) (2007) 33-38. (2007年3月発行)

12) M. Tominaga, T. Shimazoe, M. Nagashima, I. Taniguchi, “Composition-Activity Relationships of Carbon Electrode-Supported Bimetallic Gold-Silver Nanoparticles in Electrocatalytic Oxidation of Glucose”, *J. Electroanal. Chem.*, **615** (1) (2008) 51-61. (2008年4月発行)

13) M. Tominaga, K. Soejima, I. Taniguchi, “Redox Reaction Characteristics of Ferritin Immobilized onto Poly(L-lysine)-Modified Indium Oxide Electrodes”, *J. Electroanal. Chem.*, **617** (1) (2008) 78-84. (2008年6月発行) .

14) M. Tominaga, S. Nomura, I. Taniguchi, “Bioelectrocatalytic Current Based on Direct Heterogeneous Electron Transfer Reaction of Glucose Oxidase Adsorbed onto Multi-Walled Carbon Nanotubes Synthesized on Platinum Electrode Surfaces”, *Electrochem. Commun.*, 印刷中 (2008年発行予定) .

(2) 国際学会発表

1) M. Tominaga, K. Soejima, K. Miyahara, I. Taniguchi, “Electron Transfer Reactions of Iron Oxide Nanoparticles Wrapped with Proteins”, Proceeding of Second International Symposium on Chemistry of Coordination Space -ISCCS 2006-, P-107, p145 (2006).

2) M. Tominaga, S. Maetsu, I. Taniguchi “Dissociation Behaviors of Carboxylic Acid

Terminated Self-Assembled Monolayers Adsorbed onto Gold Nanoparticle-Modified Electrode”, Proceeding of Second International Symposium on Chemistry of Coordination Space -ISCCS 2006-, P-106, p144 (2006).

3) S. Maetsu, M. Tominaga, I. Taniguchi, “Dissociation Behaviors of Carboxylic Acid Terminated Self-Assembled Monolayers Adsorbed onto Nano-Ordered Topographical Gold Electrode”, Abstract of International Symposium on Nanospace and Materials, p66 (2007).

4) M. Nagashima, Y. Taema, M. Tominaga, I. Taniguchi, “Electrocatalytic Oxidation of Glucose at Gold Nanoparticles Modified Electrodes for Preparation of a Glucose-Air Fuel Cell”, Abstract of International Symposium on Nanospace and Materials, p67 (2007).

5) Kumie Yamana, Masato Tominaga and Isao Taniguchi, “Mechanism of Impedance Responses Using Interdigitated Microelectrode (IME) Modified with Crosslinked-Gold Nanoparticles as a VOC Sensor Device”, Abstract of The 7th East Asian Conference on Chemical Sensors (EACCS’07), PII-232, p.73 (2007).

6) Chiharu Shirakihara, Masato Tominaga, Isao Taniguchi, “Direct Electron Transfer Reactions of Fructose Dehydrogenase (FDH) on the HOPG Electrode for Potential Application to Bioelectrochemical Devices”, Abstract of The 7th East Asian Conference on Chemical Sensors (EACCS’07), PI-105, p.33 (2007).

7) Masato Tominaga, “Carbon Nanotube Synthesis on an Electrode Surface for Development of Enzyme Sensor Based on Direct Electron Transfer Reactions”, Abstract of The 7th East Asian Conference on Chemical Sensors (EACCS’07), BS3-O2, p.52 (2007).

8) Masato Tominaga, Shinya Nomura, Toshifumi Nishimura, Shingo Sakamoto, Isao Taniguchi, “Direct Electron Transfer Reactions of Enzymes at Carbon Nanotubes Synthesized on an Electrode Surface”, Abstract of *Nagasaki Symposium on Nano-Dynamics 2008*, p.46 (2008).

9) Masato Tominaga, Shinya Nomura, Toshifumi Nishimura, Shingo Sakamoto, Isao Taniguchi, "Carbon Nanotube Syntheses on an Electrode Surface and Its Application for Electrode Reactions of Enzymes", Abstract of The International Carbon Nanotube Conference in Nagoya University, GP-11, p.67 (2008).

(3) 国内学会発表 (抜粋)

1) 副島和樹, 富永昌人, 谷口 功, "金ナノ粒子をコアに有するフェリチンタンパク質の合成と電極基板上への固定化", 第55回高分子学会年次大会, 名古屋, (2006, 5, 25). 第55回高分子学会予稿集, 2G23.

2) 富永昌人, 永石祥一郎, 桐原麻衣子, 熊谷エツ子, 原田信志, 谷口 功, "種々の交流波形の電位印加によって誘起された電極基板上に培養した細胞の膜障害", 第55回高分子学会年次大会, 名古屋, (2006, 5, 25). 第55回高分子学会予稿集, 2Pb168.

3) 富永昌人, 宮原勝也, 副島和樹, 野村真也, 谷口 功, "フェリチンタンパク質の自己組織化パターンニングと電気化学法によるコアサイズ制御", 第55回高分子学会年次大会, 名古屋, (2006, 5, 26). 第55回高分子学会予稿集, 3Pd192.

4) 富永昌人, 松本 学, 野村真也, 宮原勝也, 副島和樹, 谷口 功, "タンパク質由来のナノ粒子触媒のサイズ制御とカーボンナノチューブの作製", 第55回高分子学会年次大会, 名古屋, (2006, 5, 26). 第55回高分子学会予稿集, 3H04.

5) 山名来充恵, 楠田秀明, 富永昌人, 谷口 功, "金ナノ粒子クロスリンク修飾くし型電極を用いた有機ガスのインピーダンス応答", 第43回化学関連支部合同九州大会, 北九州, (2006, 7, 8). 第43回化学関連支部合同九州大会要旨集, 2_2.27, p.52.

6) 大谷まい, 岸川茉莉, 富永昌人, 谷口 功, "カーボンブラックおよびカーボンナノチューブ修飾電極上に固定化したビリルビンオキシダーゼの電子移動反応解析", 第43回化学関連支部合同九州大会, 北九州, (2006, 7, 8). 第43回化学関連支部合同九州大会要旨集, 5_4.40, p.110.

7) 多恵馬裕香, 長嶋慎人, 島添稔大, 富永昌人, 谷口 功, “金-銅合金ナノ粒子を用いたグルコース触媒酸化反応に及ぼす金属組成比の影響”, 第 43 回化学関連支部合同九州大会, 北九州, (2006, 7, 8). 第 43 回化学関連支部合同九州大会要旨集, 5_4.02, p. 91.

8) 野村真也, 松本 学, 副島和樹, 宮原勝也, 富永昌人, 谷口 功, “導電性基板上に合成したカーボンナノチューブを用いた酵素固定化電極の作製”, 第 43 回化学関連支部合同九州大会, 北九州, (2006, 7, 8). 第 43 回化学関連支部合同九州大会要旨集, 5_4.41, p. 111.

9) 宮原勝也, 副島和樹, 野村真也, 松本 学, 富永昌人, 谷口 功, “電気化学法を用いたSAM修飾金電極上でのフェリチンのコアサイズ制御”, 第 43 回化学関連支部合同九州大会, 北九州, (2006, 7, 8). 第 43 回化学関連支部合同九州大会要旨集, 5_4.48, p. 114.

10) 永石祥一郎, 桐原麻衣子, 熊谷エツ子, 原田信志, 富永昌人, 谷口 功, “交流電位印加によって誘起される細胞膜障害におよぼす交流波形および周波数の影響”, 第 43 回化学関連支部合同九州大会, 北九州, (2006, 7, 8). 第 43 回化学関連支部合同九州大会要旨集, 1_7.36, p. 268.

11) 平田徳史, 富永昌人, 谷口 功, “UV-オゾン処理による酸化インジウム電極表面の洗浄とその電気化学的評価”, 第 43 回化学関連支部合同九州大会, 北九州, (2006, 7, 8). 第 43 回化学関連支部合同九州大会要旨集, 5_4.49, p. 115.

12) 富永昌人, “導電性基板上でのカーボンナノチューブ作製とデバイスへの応用”, 産学協同シーズイノベーション化事業、九州・沖縄地区産学官連携コーディネーター連携一産と学との出会いの場, 東京 (キャンパス・イノベーションセンター東京), (2006, 9, 1). テーマ番号 A6.

13) 富永昌人, 副島和樹, 宮原勝也, 谷口 功, “電極上に固定化したフェリチンの電子移動反応に関する検討”, 2006 年電気化学秋季大会, 京都, (2006, 9, 14). 2006 年電気化学秋季大会講演要旨集, 1E23, p119.

- 14) 長嶋慎人, 富永昌人, 谷口 功, ” 金電極上でのアミノ糖の電気化学的触媒酸化反応”, 2006年電気化学秋季大会, 京都, (2006, 9, 14) . 2006年電気化学秋季大会講演要旨集, 1N29, p316.
- 15) 岸川茉莉, 金子詩織, 富永昌人, 谷口 功, ” カーボンフェルト電極上へのグルコースオキシダーゼの固定化と電気化学挙動評価”, 2006年電気化学秋季大会, 京都, (2006, 9, 14) . 2006年電気化学秋季大会講演要旨集, 1H12, p196.
- 16) 前津祥子, 富永昌人, 谷口 功, ” ナノ凹凸構造表面に修飾したSAMの電気化学的特性評価とそのシミュレーション解析”, 2006年電気化学秋季大会, 京都, (2006, 9, 14) . 2006年電気化学秋季大会講演要旨集, 1L22, p264.
- 17) 松本 学, 野村真也, 富永昌人, 谷口 功, ” 電極基板上でのカーボンナノチューブの作製と電気化学的評価”, 2006年電気化学秋季大会, 京都, (2006, 9, 15) . 2006年電気化学秋季大会講演要旨集, 2M01, p294.
- 18) 大谷まい, 岸川茉莉, 富永昌人, 谷口 功, ” カーボン素材電極に修飾したビリルビンオキシダーゼの直接電子移動反応解析”, 2006年電気化学秋季大会, 京都, (2006, 9, 14) . 2006年電気化学秋季大会講演要旨集, 1E04, p111.
- 19) 桐原麻衣子, 永石祥一郎, 熊谷エツ子, 原田信志, 富永昌人, 谷口 功, ” 修飾電極表面での電位印加による細胞挙動”, 2006年電気化学秋季大会, 京都, (2006, 9, 14) . 2006年電気化学秋季大会講演要旨集, 1E34, p124.
- 20) 長嶋慎人, 多恵馬裕香, 富永昌人, 谷口 功, ” 金電極を用いたグルコサミンの電気化学的触媒酸化”, 日本化学会西日本大会 2006, 沖縄, (2006, 11, 18) . 2006年日本化学会西日本大会講演予稿集, 1E07, p. 80.
- 21) 松本 学, 野村真也, 富永昌人, 谷口 功, ” 表面上にカーボンナノチューブを合成した電極の電気化学的評価”, 日本化学会西日本大会 2006, 沖縄, (2006, 11, 18) . 2006年日本化学会西日本大会講演予稿集, 1E12, p. 85.
- 22) 大谷まい, 岸川茉莉, 富永昌人, 谷口 功, ” カーボン電極-ビリルビンオキシダーゼ間の

直接電子移動反応解析”, 日本化学会西日本大会 2006, 沖縄, (2006, 11, 18). 2006 年日本化学会西日本大会講演予稿集, 1E08, p. 81.

23) 多恵馬裕香, 長嶋慎人, 富永昌人, 谷口 功, “金-銅合金ナノ粒子を用いたグルコース触媒酸化機能電極の作製”, 日本化学会西日本大会 2006, 沖縄, (2006, 11, 18). 2006 年日本化学会西日本大会講演予稿集, 1E11, p. 84.

24) 野村真也, 松本 学, 副島和樹, 宮原勝也, 富永昌人, 谷口 功, “電極基板上に合成したカーボンナノチューブとグルコースオキシダーゼ間の直接電子移動反応の検討”, 日本化学会西日本大会 2006, 沖縄, (2006, 11, 18). 2006 年日本化学会西日本大会講演予稿集, 1E09, p. 82.

25) 平田徳史, 富永昌人, 谷口 功, “UV-オゾン処理を施したSAM修飾金電極表面の電気化学的評価”, 日本化学会西日本大会 2006, 沖縄, (2006, 11, 19). 2006 年日本化学会西日本大会講演予稿集, 2E02, p. 250.

26) 山名来充恵, 松村明子, 富永昌人, 谷口 功, “金ナノ粒子クロスリンク修飾電極を用いたインピーダンス解析による有機ガスセンサの作成”, 日本化学会西日本大会 2006, 沖縄, (2006, 11, 18). 2006 年日本化学会西日本大会講演予稿集, 1A01, p. 21.

27) 岸川茉莉, 富永昌人, 谷口 功, “グルコースオキシダーゼ修飾カーボンフェルト電極の電気化学挙動評価とメディエーターレス生物燃料電池への応用”, 日本化学会西日本大会 2006, 沖縄, (2006, 11, 19). 2006 年日本化学会西日本大会講演予稿集, 2E07, p. 255.

28) 白木原千春, 岸川茉莉, 富永昌人, 谷口 功, “フルクトースデヒドロゲナーゼを固定化したカーボン電極によるフルクトース酸化”, 日本化学会西日本大会 2006, 沖縄, (2006, 11, 18). 2006 年日本化学会西日本大会講演予稿集, 1E10, p. 83.

29) 宮原勝也, 副島和樹, 松本 学, 野村真也, 富永昌人, 谷口 功, “基板上へのフェリチンのマイクロパターニングと電気化学法によるコアサイズ制御”, 日本化学会西日本大会 2006, 沖縄, (2006, 11, 19). 2006 年日本化学会西日本大会講演予稿集, 2E01, p. 249.

30) 富永昌人, 前津祥子, 谷口 功, “金電極界面のナノ凹凸構造が及ぼすSAMの還元脱離および

SAMの末端カルボン酸の解離挙動への影響”, 第52回ポーラログラフィーおよび電気分析化学討論会, 長野, (2006, 11, 24). Review of Polarography, 1A5, Vol. 52, No. 3 (2006) p. 166.

31) 副島和樹, 宮原勝也, 富永昌人, 谷口 功, “フェリチンの電極反応に及ぼすpHおよび電解質の影響”, 第52回ポーラログラフィーおよび電気分析化学討論会, 長野, (2006, 11, 24). Review of Polarography, 1A7, Vol. 52, No. 3 (2006) p. 168.

32) 白木原千春, 岸川茉莉, 大谷まい, 富永昌人, 谷口 功, “カーボン電極上でのフルクトースデヒドロゲナーゼの直接電子移動反応とその吸着状態評価”, 電気化学会 第74回大会, 東京, (2007, 3, 29). 電気化学会 第74回大会講演要旨集, 1E31, p. 144.

33) 大谷まい, 岸川茉莉, 富永昌人, 谷口 功, “ビリルビンオキシダーゼとカーボン電極間の直接電子移動反応に及ぼす電極表面官能基の影響”, 電気化学会 第74回大会, 東京, (2007, 3, 29). 電気化学会 第74回大会講演要旨集, 1N35, p. 392.

34) 山名来充恵, 松村明子, 富永昌人, 谷口 功, “金ナノ粒子修飾くし型電極を用いたVOCセンサの応答原理の検討”, 電気化学会 第74回大会, 東京, (2007, 3, 31). 電気化学会 第74回大会講演要旨集, 3F04, p. 174.

35) 富永昌人, 副島和樹, 谷口 功, “フェリチンの電極反応に及ぼす電解質の影響”, 電気化学会 第74回大会, 東京, (2007, 3, 31). 電気化学会 第74回大会講演要旨集, 3E06, p. 153.

36) 富永昌人, 宮原勝也, 副島和樹, 野村真也, 松本 学, 谷口 功, “電気化学法によるフェリチンのコアサイズ制御とマイクロパターンニングへの応用”, 第56回高分子学会年次大会, 京都, (2007, 5, 29). 第56回高分子学会予稿集, 1H13.

37) 富永昌人, 永石祥一郎, 桐原麻衣子, 熊谷エツ子, 原田信志, 谷口 功, “交流電位印加によって誘起される細胞膜障害とカーボンナノチューブの影響”, 第56回高分子学会年次大会, 京都, (2007, 5, 31). 第56回高分子学会予稿集, 3Pd180.

38) 富永昌人, 桐原麻衣子, 永石祥一郎, 熊谷エツ子, 原田信志, 谷口 功, “修飾電

極表面上に培養した細胞に及ぼす電位印加の影響”，第56回高分子学会年次大会，京都，(2007，5，31)．第56回高分子学会予稿集，3Pc181．

39) 富永昌人，“バイオ分子由来の素子開発”，産学協同シーズイノベーション化事業、JST Innovation Bridge—九州・沖縄地区10大学・1高専連携シーズ発表会—，東京（キャンパス・イノベーションセンター東京），(2007，7，4)．テーマ番号4-B13．発表資料 pp. 60-61．

40) 大谷まい，富永昌人，谷口 功，“ビリルビンオキシダーゼ—電極間の直接電子移動反応に及ぼす電極表面官能基の影響”，第44回化学関連支部合同九州大会，北九州，(2007，7，7)．第44回化学関連支部合同九州大会要旨集，6_7.047，p. 230．

電気化学会九州支部優秀研究発表賞

41) 多恵馬裕香，長嶋慎人，富永昌人，谷口 功，“金—銅合金ナノ粒子修飾電極を用いたグルコースの電気化学的触媒酸化反応と燃料電池への応用”，第44回化学関連支部合同九州大会，北九州，(2007，7，7)．第44回化学関連支部合同九州大会要旨集，6_7.021，p. 217．

42) 山名来充恵，富永昌人，谷口 功，“金ナノ粒子修飾電極を用いたVOCガスセンサの応答特性および応答原理”，第44回化学関連支部合同九州大会，北九州，(2007，7，7)．第44回化学関連支部合同九州大会要旨集，6_7.022，p. 217．

43) 野村真也，富永昌人，谷口 功，“カーボンナノチューブ合成基板電極とグルコースオキシダーゼとの直接電子移動反応”，第44回化学関連支部合同九州大会，北九州，(2007，7，7)．第44回化学関連支部合同九州大会要旨集，6_7.045，p. 229．

44) 永石祥一郎，熊谷エツ子，原田信志，富永昌人，谷口 功，“細胞増殖および交流電位印加による膜障害に及ぼすカーボンナノチューブの影響”，第44回化学関連支部合同九州大会，北九州，(2007，7，7)．第44回化学関連支部合同九州大会要旨集，6_7.044，p. 228．

45) 宮原勝也，富永昌人，谷口 功，“コアサイズの異なるフェリチンの基板上へのマイクロパターニング”，第44回化学関連支部合同九州大会，北九州，(2007，7，7)．

第 44 回化学関連支部合同九州大会要旨集, 6_7.048, p. 230.

46) 平田徳史, 富永昌人, 谷口 功, “電気化学法を用いたUV-オゾン処理による有機分子分解評価”, 第 44 回化学関連支部合同九州大会, 北九州, (2007, 7, 7). 第 44 回化学関連支部合同九州大会要旨集, 6_7.059, p. 236.

47) 白木原千春, 岸川茉莉, 大谷まい, 富永昌人, 谷口 功, “カーボン電極上のフルクトースデヒドロゲナーゼの直接電子移動反応と生物燃料電池への応用”, 第 44 回化学関連支部合同九州大会, 北九州, (2007, 7, 7). 第 44 回化学関連支部合同九州大会要旨集, 6_7.051, p. 232.

48) 金子詩織, 岸川茉莉, 大谷まい, 富永昌人, 谷口 功, “多酵素系糖-空気燃料電池の開発”, 第 44 回化学関連支部合同九州大会, 北九州, (2007, 7, 7). 第 44 回化学関連支部合同九州大会要旨集, 6_7.052, p. 232.

49) 中尾航大, 副島和樹, 富永昌人, 谷口 功, “フェリチン構造の温度依存性の電気化学的解析”, 第 44 回化学関連支部合同九州大会, 北九州, (2007, 7, 7). 第 44 回化学関連支部合同九州大会要旨集, 6_7.049, p. 231.

50) 富永昌人, 宮原勝也, 野村真也, 谷口 功, “生体分子の炭化によるカーボンナノ粒子の作製”, 第 33 回フラーレン・カーボンナノチューブ総合シンポジウム, 福岡, (2007, 7, 12). 第 33 回フラーレン・カーボンナノチューブ総合シンポジウム要旨集, 2P-18, p. 146.

51) 富永昌人, 野村真也, 西村敏史, 谷口 功, “カーボンナノチューブ合成基板電極上でのグルコースオキシダーゼの直接電子移動反応”, 第 33 回フラーレン・カーボンナノチューブ総合シンポジウム, 福岡, (2007, 7, 11). 第 33 回フラーレン・カーボンナノチューブ総合シンポジウム要旨集, 1P-47, p. 125.

52) 白木原千春, 富永昌人, 谷口 功, “SAM修飾金電極上でのフルクトースデヒドロゲナーゼの直接電子移動反応”, 2007 年電気化学秋季大会, 東京, (2007, 9, 20). 2007 年電気化学秋季大会講演要旨集, 2J03, p. 168.

53) 大谷まい, 富永昌人, 谷口 功, ” ビリルビンオキシダーゼと電極間の直接電子移動反応に及ぼすSAM修飾金電極表面の影響”, 2007年電気化学秋季大会, 東京, (2007, 9, 20) . 2007年電気化学秋季大会講演要旨集, 2J08, p.171.

54) 山名来充恵, 富永昌人, 谷口 功, ” アルコール類を用いた金ナノ粒子修飾くし型電極のインピーダンス応答解析”, 2007年電気化学秋季大会, 東京, (2007, 9, 19) . Chemical Sensors, Supplement B, 23 (2007) pp. 79-81.

55) 中尾航大, 富永昌人, 谷口 功, ” 温度によるフェリチンの構造変化が及ぼす電極反応への影響”, 2007年電気化学秋季大会, 東京, (2007, 9, 20) . 2007年電気化学秋季大会講演要旨集, 2J12, p.173.

56) 多恵馬裕香, 富永昌人, 谷口 功, ” 金-銅合金ナノ粒子を用いたグルコースの電解酸化反応”, 2007年電気化学秋季大会, 東京, (2007, 9, 19) . 2007年電気化学秋季大会講演要旨集, 1K27, p.191.

57) 富永昌人, 前津祥子, 谷口 功, ” 鎖長の異なるSAMの末端カルボン酸の解離挙動に及ぼす金電極界面のナノ凹凸構造の影響”, 2007年電気化学秋季大会, 東京, (2007, 9, 20) . 2007年電気化学秋季大会講演要旨集, 2K25, p.204.

58) 富永昌人, 中尾航大, 角口さやか, 谷口 功, ” フェリチンの構造が及ぼす電極反応への影響”, 第22回生体機能関連化学シンポジウム, 仙台, (2007, 9, 29). 第22回生体機能関連化学シンポジウム要旨集, 2P-65, pp.500-501.

59) 富永昌人, 永石祥一郎, 熊谷エツ子, 原田信志, 谷口 功, ” 電位印加条件下における修飾ITO電極およびカーボンナノチューブ基板電極表面上での細胞挙動”, 第22回生体機能関連化学シンポジウム, 仙台, (2007, 9, 28). 第22回生体機能関連化学シンポジウム要旨集, 1B-18, pp.74-75.

60) 平田徳史, 富永昌人, 谷口 功, ” UV-オゾン処理によるSAM修飾電極上の有機物分解”, 日本化学会西日本大会2007, 岡山, (2007, 11, 11). 2007年日本化学会西日本大会講演要旨集, 2J1-14, p.287.

61) 金子詩織, 大谷まい, 富永昌人, 谷口 功, “燃料フロー型多酵素系糖-酸素燃料電池の開発”, 日本化学会西日本大会 2007, 岡山, (2007, 11, 11). 2007 年日本化学会西日本大会講演要旨集, 2J1-15, p. 288.

62) 野村真也, 富永昌人, 谷口 功, “カーボンナノチューブ合成基板電極の特性評価および酵素との直接電子移動反応の検討”, 日本化学会西日本大会 2007, 岡山, (2007, 11, 11). 2007 年日本化学会西日本大会講演要旨集, 2J1-16, p. 288.

63) 宮原勝也, 富永昌人, 谷口 功, “熱処理温度による炭化フェリチンの作製と評価”, 日本化学会西日本大会 2007, 岡山, (2007, 11, 11). 2007 年日本化学会西日本大会講演要旨集, 2J1-17, p. 289.

64) 富永昌人, “電極上のカーボンナノチューブと酵素との直接電子移動反応”, 第 1 回バイオ電池研究会, 京都, (2007, 12, 9).

65) 吉坂菜希紗, 永石祥一朗, 熊谷エツ子, 原田信志, 富永昌人, 谷口 功, “修飾 ITO 電極上へのタンパク吸着と細胞増殖および電位印加時の膜傷害におよぼす影響”, 第 10 回生命化学研究会シンポジウム, 熊本, (2008, 1, 11). 第 10 回生命化学研究会シンポジウム, P35, p. 49.

66) 富永昌人, 宮原勝也, 中尾航大, 谷口 功, “炭化フェリチン作製における処理温度の影響”, 第 34 回フラーレン・カーボンナノチューブ総合シンポジウム, 名古屋, (2008, 3, 4). 第 34 回フラーレン・カーボンナノチューブ総合シンポジウム要旨集, 2P-38, p. 138.

67) 富永昌人, 永石祥一朗, 吉坂菜希紗, 熊谷エツ子, 原田信志, 谷口 功, “カーボンナノチューブ合成基板表面上での細胞挙動”, 第 34 回フラーレン・カーボンナノチューブ総合シンポジウム, 名古屋, (2008, 3, 5). 第 34 回フラーレン・カーボンナノチューブ総合シンポジウム要旨集, 3P-31, p. 181.

68) 白木原千春, 富永昌人, 西山勝彦, 谷口 功, “フルクトースデヒドロゲナーゼ (FDH) の直接電子移動のための機能性修飾金電極”, 電気化学会 第 75 回大会, 山梨, (2008, 3, 29). 電気化学会 第 75 回大会講演要旨集, 1H26, p. 169.

69) 安川幸一, 多恵馬裕香, 富永昌人, 谷口 功, ” 金ナノ粒子含有カーボン電極上でのグルコースの電気化学的触媒酸化反応”, 電気化学会 第 75 回大会, 山梨, (2008, 3, 31) . 電気化学会 第 75 回大会講演要旨集, 3M03, p. 314.

70) 富永昌人, 多恵馬裕香, 谷口 功, ” グルコースの電気化学的触媒酸化反応における金-銅合金ナノ粒子修飾カーボン電極の特性評価”, 電気化学会 第 75 回大会, 山梨, (2008, 3, 31) . 電気化学会 第 75 回大会講演要旨集, 3M04, p. 314.

71) 富永昌人, 野村真也, 坂本伸悟, 西村敏史, 谷口 功, ” 電極上のカーボンナノチューブとグルコースオキシダーゼとの直接電子移動反応の検討”, 電気化学会 第 75 回大会, 山梨, (2008, 3, 29) . 電気化学会 第 75 回大会講演要旨集, 1M25, p. 169.