

Estimation of Propagation Velocity inside Human Body,” IEICE Trans. Special Section on Medical Information and Communications Technologies, vol.E92-B, No.02, pp.403-409, Feb. 2009.

- (4) Keisuke Sodeyama, Koji Ishibashi, Ryuji Kohno “An Analysis of Interference Mitigation Capability of Low Duty-Cycle UWB Communications in the Presence of Wideband OFDM System,” Wireless Personal Communications Journal, Springer, Online First, DOI: 10.1007/s11277-009-9713-4 (2009-04) 査読あり
- (5) Haruka Suzuki, Marco Hernandez, Ryuji Kohno, “ Hybrid ARQ Error-Controlling Scheme for Robust and Efficient Transmission of a UWB Body Area Network,” IEICE on Communications, Vol. E93-B, No. 04, pp. -, Apr. 2010 (accepted) 査読あり

## G-2. 学会発表

### G-2-1. 査読付き国際会議論文

- (1) Kazunari Tai, Hiroki Harada, Ryuji Kohno, “Channel modeling and signaling of medical implanted communication systems and a step to medical ICT.” 16th IST Mobile and Wireless Communications Summit(2007-7)
- (2) Keisuke Sodeyama, Koji Ishibashi, Ryuji Kohno, “An Analysis of Interference Mitigation Capability

of Low Duty-Cycle UWB Transmission in The Presence of Wideband OFDM Systems”, The 10th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC 2007) , pp. 889-893, Jaipur, India, (2007-12)

- (3) Kazunari Tai, Hiroki Harada, Ryuji Kohno “Novel implant position estimation algorithm using the matching method.” International Symposium on Medical Information and Communications Technology 2007 (ISMICT 2007), (2007-12)
- (4) Shun Nagamine, Hiroki Harada, Ryuji Kohno, “Novel MAC Protocols Considering Thermal Influence in an Implanted Body Area Network”, ISMICT07(2007-12)
- (5) Makoto Kawasaki, Hiroki Harada, Ryuji Kohno, “Position Estimation Method of Medical Implanted Devices using Estimation of Propagation Velocity Inside the Human Body,” ISMICT(2007-12)
- (6) Makoto Kawasaki, and Ryuji Kohno, “A TOA based Positioning Technique of Medical Implanted Devices,” The 3rd International Symposium on Medical Information and Communications Technology (ISMICT’ 09), Montreal, Canada, Feb. 2009.
- (7) Shun Nagamine, Ryuji Kohno, “ Design of Communication Model Suitable for Implanted Body Area Networks”, ISMICT09(2009-2)
- (8) Hideki Mochizuki, Makoto Kawasaki,

- Shun Nagamine, Igor Dotlic, Ryuji Kohno, "Performance Analysis of Pulsed Chirp UWB Schemes used Hopping Sequence for Wearable Wireless Body Area Network "ISMICT 2009 Montreal, Quebec Canada
- (9) Koji Enda, Ryuji Kohno, "Routing Algorithm to Decrease Transmission Delay and Traffic Quantity using Priority Area in Sensor Network of Hospital," The Third International Symposium on Medical Information & Communication Technology (ISMICT2009), Montreal, Canada (2009-2)
- (10) Hideaki Miura, Ryuji Kohno, "Frequency Dependent Dispersion Compensation Method of Electromagnetic Waves Hyperthermia Using Time Reversal Waves, " The 6th Conference of Asia Pacific Association for Medical Informatics 2009 (APAMI 2009), Hiroshima Japan, pp. P-65 (2009-11).
- (11) Hideki Mochizuki, Masayuki Hayashi, Ryuji Kohno, " Study on Medical and non-Medical UWBTransmission Schemes in Wearable Body Area Network," The 4<sup>th</sup> International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT2010), Taipei, Taiwan (2010-03)
- (12) Haruka Suzuki, Marco Hernandez, Ryuji Kohno, " Hybrid ARQ Error-Controlling Scheme for Robust and Efficient Transmission of a UWB Body Area Network," The 4<sup>th</sup> International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT2010), Taipei, Taiwan (2010-03)
- G-2-2. 研究会・国内シンポジウム論文**
- (1) 河寄誠, 田井和成, 原田浩樹, 河野隆二, "医療用体内埋め込み装置の位置推定法に関する一検討," 電子情報通信学会 ソサイエティ大会(2007-9)
- (2) 田井和成, 石橋功至, 河野隆二, "マッチング法を用いたインプラント位置推定法における推定制度改善に関する検討" 電子情報通信学会ソサイエティ大会, A-5-19, pp. 138, 鳥取(2007-9)
- (3) 長嶺駿, 原田浩樹, 河野隆二, "生体内クラスタ型センサネットワークにおける熱影響を考慮した CSMA/CA の特性解析"電子情報通信学会 2007 ソサイエティ大会(2007-9)
- (4) 河寄誠, 原田浩樹, 河野隆二, "生体内センサーネットワークにおける位置推定法の検討," 医療情報通信学会(2007-11)
- (5) 河寄誠, 長嶺駿, 河野隆二, "伝搬速度推定による医療用埋め込み機器の位置推定法に関する検討," 第31回情報理論とその応用学会 (SITA2008)、鬼怒川、pp. 216-221 (2008-10)
- (6) 長嶺駿, 河寄誠, 河野隆二, "生体内センサネットワークにおける消費電力と熱影響を考慮した通信モデルの設計" 第31回情報理論とその応用シンポジウム (SITA0208), pp.

- 959-964 (2008-10)
- (7) 望月 英希, 河寄 誠, 長嶺 駿, 田井 和成, 原田 浩樹, 河野 隆二, “ウェアラブルボディアエリアネットワークに適した UWB 通信方式の研究,” 電子情報通信学会 第 1 回 MICT 研究会、横須賀リサーチパーク, 査読無、(2008-04)
- (8) 望月 英希, 河寄 誠, 長嶺 駿, 河野 隆二, “Wearable Wireless Body Area Network 環境下におけるホッピング系列を用いた Pulsed Chirp UWB 方式の特性評価”, 第 31 回情報理論とその応用シンポジウム (SITA2008), 鬼怒川, pp. 287-292、査読無 (2008-10)
- (9) 望月 英希, 河寄 誠, 長嶺 駿, 河野 隆二, “Wearable Wireless Body Area Network 環境下におけるピコネット間干渉を考慮した通信特性の評価”, 電子情報通信学会 2008 年ソサイエティ大会, 査読無, A-5-20、明治大学, (2008-9)
- (10) 鈴木晴香, 林雅之, 河野隆二, “医療・非医療用ボディアエリアネットワークに適した Hybrid ARQ Type2 誤り制御法,” A-5-11, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, (2009-09) 査読無し
- (11) 望月英希, 河野隆二, “WBAN に適した高信頼度医療用通信方式の研究,” A-5-10, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, (2009-09) 査読無し
- (12) 三浦英朗、河野隆二, “時間反転波による電磁波ハイパーサーミアの減衰補償法の検討,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会 2009, A-5-12, (2009-09) 査読無し
- (13) 望月英希, 林雅之, 河野隆二, “WBAN 環境下における医療用・非医療用 Pulsed Chirp UWB 方式の特性評価”,

第32回情報理論とその応用シンポジウム (SITA2009), 山口, pp. 787-792 (2009-12) 査読無し

- (14) 三浦英朗、河野隆二, “複数のガンがある場合の時間反転波による電磁波ハイパーサーミアについての検討,” “第3回医療情報通信技術研究会 (MICT), no. 3, pp. 19-26 (2010-01) 査読無し
- (15) 鈴木晴香, Marco Hernandez, 河野隆二, “UWB 無線通信を用いたウェアラブルボディアエリアネットワークのための Hybrid ARQ による誤り制御に関する検討,” 電子情報通信学会総大会 2010, 東北大学, 仙台 (2010-03) 査読無し

### G-3. 新聞報道

- (1) 朝日新聞記事(2008年8月27日), 大学最前線 2008 「産学官連携で実現する人と付き添う優しい工学」
- (2) フィンランド国営TV放送 “YLE” Evening News 出演(2008.0906)

### H. 知的所有権の取得状況

なし

厚生労働科学研究費補助金（医療機器開発推進研究事業）  
総合分担研究報告書

分散型ナノ植え込み機器を活用した慢性心不全患者の統合的デバイス治療の開発  
バイオマイクロ燃料電池の開発

分担研究者 西澤 松彦（東北大学大学院工学研究科 教授）

研究要旨：

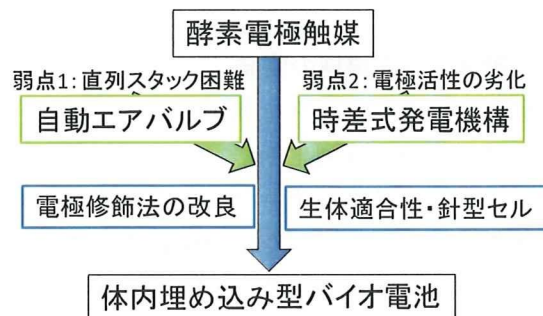
分散型ナノ植え込み機器の駆動電源として、生体内埋め込み型の「バイオマイクロ燃料電池」に関する以下5項目の検討を行った。①「流路型セルを用いる電極反応の詳細解析」では、自作のマイクロ流路を用いた実験やシミュレーションによって流路形状が出力性能に与える影響を調べ、形状最適化への指針を得た。②「自動スタック機構の開発」では、微細加工による超撥水表面を利用して、直列に配置したバイオ燃料電池セル間の溶液を分断し、その結果1Vを超える出力電圧を得た。③「時差式発電システムの開発」では、複数のセルが一定の時間差を有して順次発電を開始する構造を検討し、電池システムとしての発電期間を延長出来ている。④「アノード・カソード電極性能の改善」では、 $\text{NAD}^+$ を含めて全固定化したグルコース酸化アノードの開発や、大気から酸素を取り込む構造のカソードの作製を行った。⑤「血液発電を想定した針型電池の開発」では、針状セルの作製技術、および、体液適合性と酵素反応活性を両立した電極表面の作製技術に進展を得た。

A.研究目的

本研究は、生体内で長期使用が可能なグルコース/酸素型のバイオ燃料電池の構築を最終目的としている。特に生体毒性が懸念される物質を一切使用しないことを開発方針とし、以下4項目について検討するものである。

- ① 流路型セルを用いる電極反応の詳細解析
- ② 自動スタック機構の開発
- ③ 時差式発電システムの開発
- ④ アノード・カソード電極性能の改善
- ⑤ 血液発電を想定した針型電池の開発

これらは下図の関係にあり、マイクロ流路を活用した酵素反応の解析と改良，酵素電極の弱点を補うためのセル構造の工夫，そして生体適合性の向上への取り組みによって，安全安価というバイオ電池のメリットを体内埋め込み電源に適用するための検討である。



## B. 研究方法

### B-1. 流路型セルによる電極反応の詳細解析

図 B-1 に示すような流路型のバイオ燃料電池を作製した。アノードにはグルコース酸化触媒として、複合酵素膜(KB / PLLVK<sub>3</sub>/ Dp / GDH) を修飾し、カソードには酸素還元触媒として KB/BOD を修飾した。流路高さは 1 mm で一定とした。流路内に配置した参照極と対極を用いた 3 極式の電気化学測定にて、溶液の酸素濃度を变化させた際のアノードおよびカソードの性能を評価した。また、上流カソードでの酸素消費が下流アノード近傍での酸素除去に貢献するかを電気化学測定により評価した。

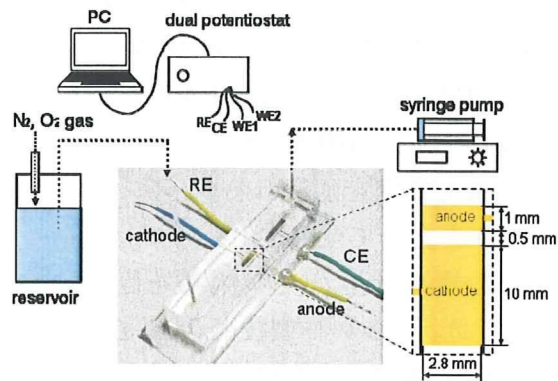


図 B-1 流路セルの測定系の模式図。

シミュレーションソフト (COMSOL mutiphysics 3.1) を用いた酸素欠乏層の可視化において、シミュレーションの境界条件は、図 B-1 に示した電極形状と配置、および流路構造を想定し、実験と同様と考えられる状況下で計算した。

### B-2. 自動スタック機構の開発

本実験では、空気バルブを利用したマイクロバイオ燃料電池の直列化手法について検討した。これは、マイクロチャネル内に配置した超撥水部で水をはじき、空気を保持することで、それぞれのセルの溶液を分離、絶縁させようというものである。蓮の葉の表面構造

を模擬した表面構造(高さ 20  $\mu\text{m}$ , 直径 15  $\mu\text{m}$ , 間隔 15  $\mu\text{m}$  の微細突起のアレイ)を reactive ion etching (RIE) によって深さ 40  $\mu\text{m}$  の流路内に作製した。

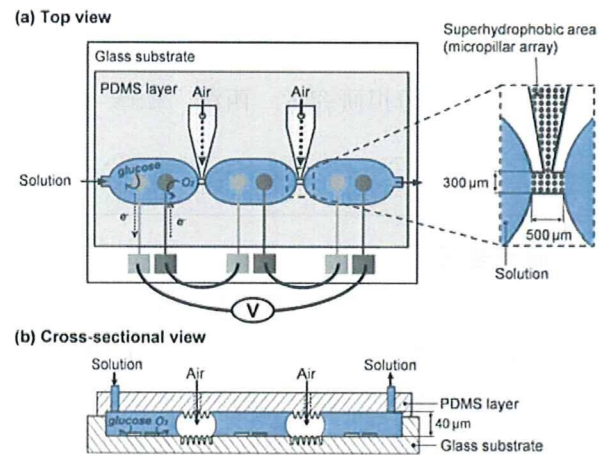


図 B-2 流路セルの模式図。(a)上面図, (b)断面図。

図 B-2 に示すように、本実験で検討したデバイスは、三つのセルを幅 300  $\mu\text{m}$ , 長さ 500  $\mu\text{m}$  の超撥水性領域を介してつなげた構造としている。ボトル形状の超撥水リザーバ部の末端には穴を空け、外部からの空気を取り入れる構造とした。この空気バルブシステムが機能することで、それぞれのセルに個別に溶液を添加する手間が不要となる設計である。

### B-3. 時差式発電システムの開発

図 B-3 に時差発電システムを示す。本システムは、単セルにおける出力低下のタイミングに合わせて、次々と保存状態の電極を露出させることにより、デバイスから基準値以上の安定な電力を供給することを目指して設計された。保存電極の露出機構は、分解性フィルム of 分解速度を制御することで、自動的に開放されるシステムを構築した。本研究では、材料の種類、分子量、構造をパラメータとして、開放までの時間を制御した。最後に時差発電による出力の安定化を評価した。

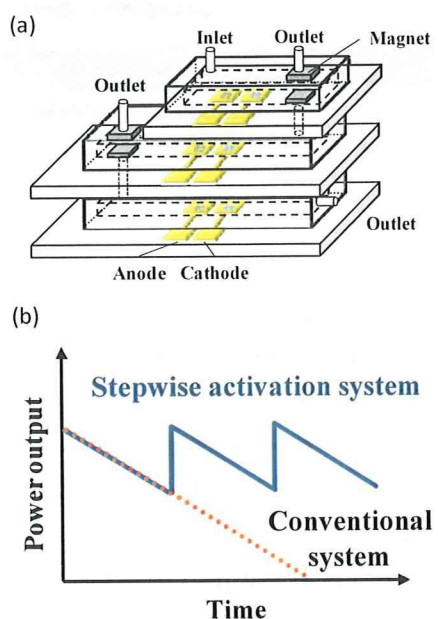


図 B-3 時差式発電システム.

B-4. アノード・カソード電極性能の改善

(1) GDH/NAD<sup>+</sup>/KB 修飾電極(アノード)

グルコースデヒドロゲナーゼ (GDH) がグルコースと反応するためには、補酵素である NAD<sup>+</sup>を必要とするが NADH の酸化は過電圧を必要とする。当研究室では Vitamin K<sub>3</sub> および Diaphorase をメディエータに用いる検討を進め、一定の成果を得てきた。しかし一方で、電極構造が複雑化してきている。そこで、メディエータを使わない酵素と補酵素のみで構成された酵素電極(図 B-4)を作製した。

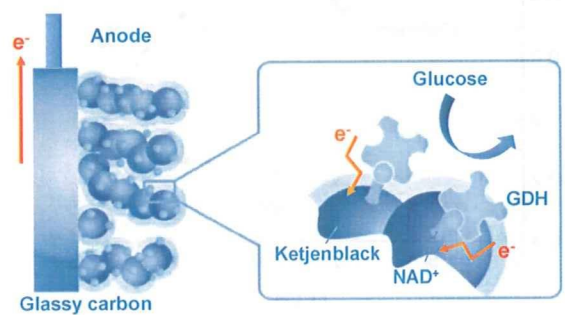


図 B-4 酵素電極(アノード).

(2) BOD/KB 修飾空気極(カソード)

大気中の酸素を燃料に利用した空気極の作製を行った(図 B-5). カソード上に固定された

酵素は、酸素を水へと還元する。溶液中の酸素の供給は、濃度 2~4 mM, 拡散速度  $2 \times 10^{-5}$  cm<sup>2</sup>/s で制限される。一方、大気中の酸素は、濃度・拡散速度(濃度 10 mM, 拡散速度  $2 \times 10^{-1}$  cm<sup>2</sup>/s) 共に多くなるため、供給量を大幅に増やすことができると期待できる。

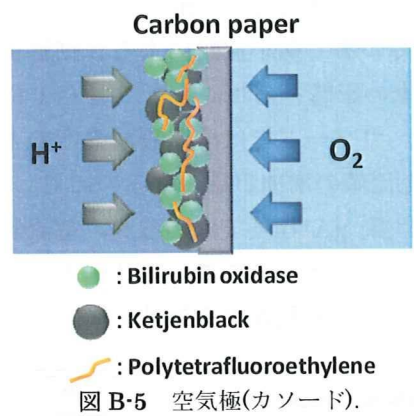


図 B-5 空気極(カソード).

B-5. 針型電極の開発

埋め込み電源に要求される生体適合やデバイスへの血液採取は、電池出力と同様に重要な課題である。本実験では、上記の課題を解決する針型電極の試作を行った(図 B-6). 市販の使い捨て針の先端内壁に対して、酵素をこれまでと同様の方法にて固定した。先に説明したように、針の絶縁および生体適合性の高分子を用いて針の被覆を行った。針型電極は、先端半径が小さく、電極面積を稼ぐことが困難とされるが、電極をアレイ化することで解決されると考えている。

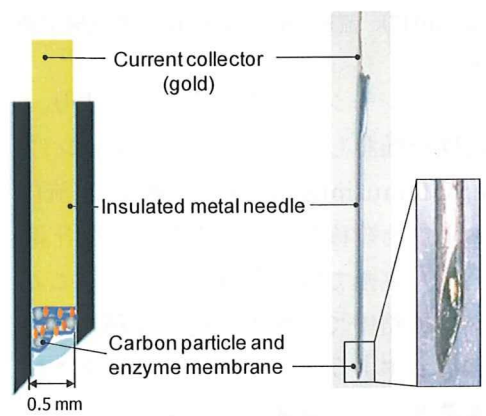


図 B-6 針型電極.

## C. 研究結果およびD. 考察

### C-1. 微小流路を用いた検討

酵素触媒の高い反応選択性によりセパレータフリーの一室式構造を採用可能であることが、バイオ燃料電池の魅力の1つである。しかし、厳密には選択性は完全ではなく、たとえば、アノードの構成分子と酸素との反応が問題視されている。微小流路による詳細解析は、この酸素の影響を露わにした。図C-1に示すように、カソードでは溶存酸素濃度の上昇に伴い、電流値の増加が見られるのに対し、アノードでは数  $\mu\text{A}$  程度ではあるが、電流値の減少が認められた。そこで、アノード近傍の上流にカソードを配置する効果を検討した。

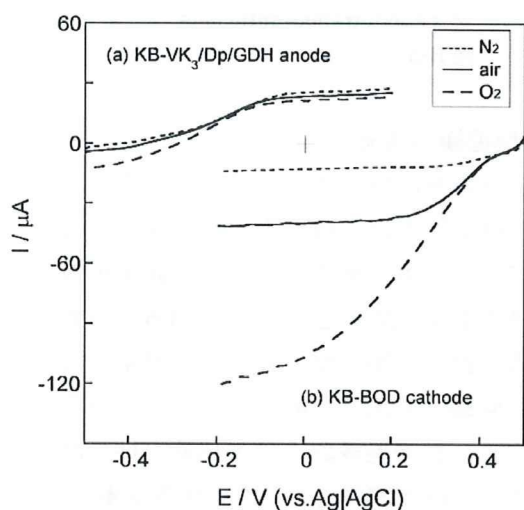


図 C-1-1 異なる酸素濃度条件下における(a)アノードおよび(b)カソードのリニアスイープボルタモグラム。測定溶液：10 mM グルコース，1 mM NAD<sup>+</sup>を含む緩衝液 (pH7)。流速：0.1 mL min<sup>-1</sup>。電位掃引速度：2 mV s<sup>-1</sup>。

まずシミュレーションを行うことにより、その可能性を推測した。シミュレーションにはCOMSOL mutiphysics 3.1を使用し、流体方程式および物質移動に関する方程式を計算することで、電極で酸素を消費することによるマイクロ流路中での酸素濃度を見積もった。図C-1-2に示すように、カソードの下流において酸素濃度の低い領域が形成されていることがわかった。

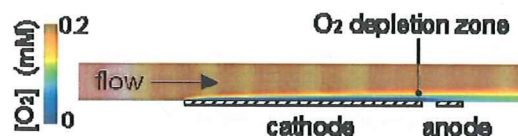


図 C-1-2 カソードにおいて酸素消費を行った際の、流路内の酸素濃度のシミュレーション結果。流速：0.1 mL min<sup>-1</sup>。

以上の基礎実験を踏まえて、電池性能の評価を行った。図C-1-3(a)には電池の電圧-電流曲線を、図C-1-3(b)にはその際のアノードおよびカソードの電位-電流曲線を示す。グラフから見て取れるように、特に高電流域において、上流にカソードを配置することの効果が現れており、最大で2  $\mu\text{A}$  (10%) 程度の電流値の向上が認められた。これらの結果は上で得られた結果と同程度であり、上流における酸素除去による妥当な結果といえる。

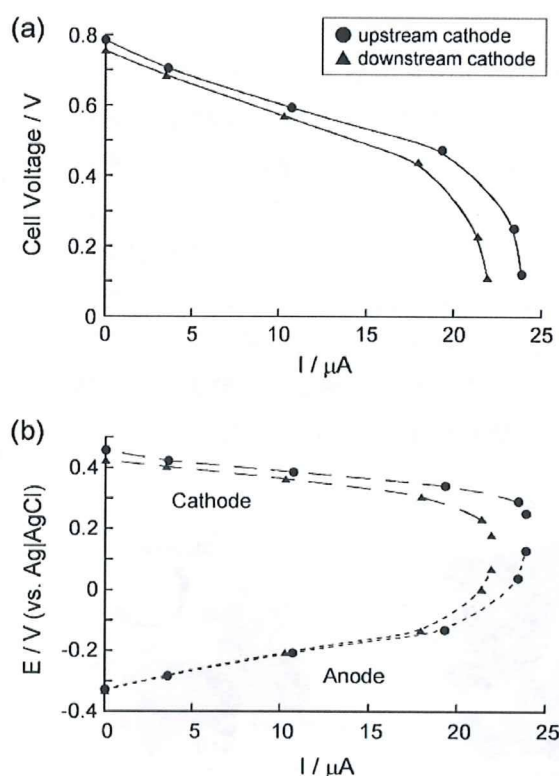


図 C-1-3 上流にカソードを配置した場合(●)と下流にカソードを配置した場合(▲)の電池の電圧-電流曲線(a)と、そのときの各電極の電位-電流曲線(b)。測定溶液：10 mM グルコース，1 mM NAD<sup>+</sup>を含む緩衝液 (pH7)。流速：0.1 mL min<sup>-1</sup>。

## C-2. 自動スタック機構の開発

PDMS 表面の撥水性を、 $1\ \mu\text{L}$  の蒸留水の液滴を用いた接触角 ( $\theta_c$ ) の測定によって評価した。微細突起の径や間隔を変えて検討した結果、図 C-2-1 に示すように、直径  $15\ \mu\text{m}$ 、間隔  $15\ \mu\text{m}$  のときに  $150^\circ$  を超える超撥水性を示した。  $0.1\ \text{M}$  のグルコースを含む緩衝水溶液の場合も、同様の超撥水性が観測された。図 C-2-1 には上記の最適設計における表面の SEM 像も示した。微細突起アレイ (高さ  $20\ \mu\text{m}$ 、直径  $15\ \mu\text{m}$ 、間隔  $15\ \mu\text{m}$ ) が均一に作製できていることが分かる。この微細突起の側面は傾斜がかかっているが、これは RIE の際に Cr/Au マスクの端部におけるイオンの反射によるもの、もしくはそれとマスク自体のエッチングによるものと考えられる。

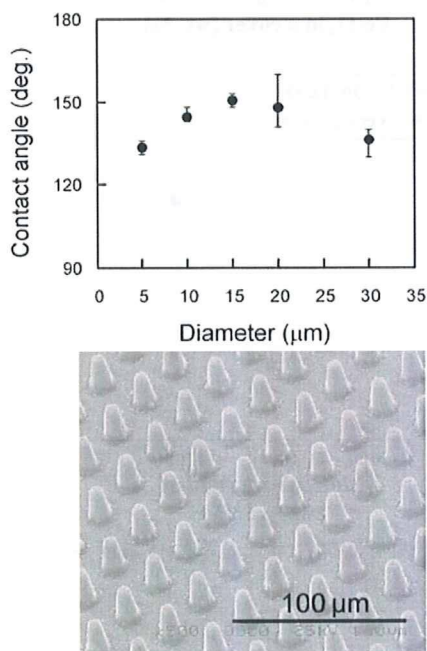


図 C-2-1 突起径と液滴の接触角, および SEM 像。

図 C-2-2 は深さ  $40\ \mu\text{m}$  のマイクロ流路セル間に配置した超撥水領域の溶液注入中の顕微鏡写真である。ここで、溶液が流れている際にも超撥水領域が完全に溶液が満たされていない。このような状態は、下図に示したようにセル間の超撥水領域を、溶液が小

さな液滴状もしくは霧状で通過している状態であると考えられ、その際、それぞれのセルのイオン電導は絶縁されていることが予想される。

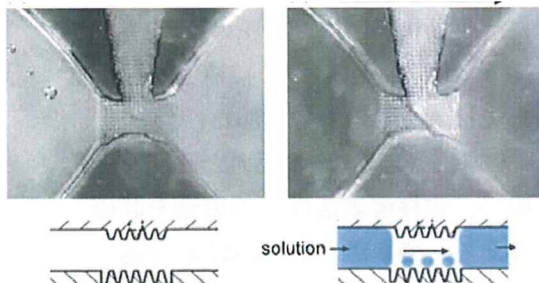


図 C-2-2 セル間のバルブ部の顕微鏡写真。

最後に、この空気バルブシステムを利用したバイオ燃料電池の自動直列化について検討した。図 C-2-3 に示すように、グルコース/ $\text{O}_2$  型バイオ燃料電池は 3 対の酵素修飾アノード、カソードからなっている。  $5\ \mu\text{L}\ \text{min}^{-1}$  の流速下において 1 対のバイオ燃料電池から得られる開回路電圧 (open circuit voltage (OCV)) は約  $0.35\ \text{V}$  である。送液中の OCV は  $0.65\ \text{V}$  であり、おおよそ 2 つのバイオ燃料電池が直列化された電圧であった。そして、送液を停止することで、OCV は速やかに  $1\ \text{V}$  程度に上昇した。これは 2 つのバルブともに機能し、3 つのバイオ燃料電池が完全に直列化していることを示している。

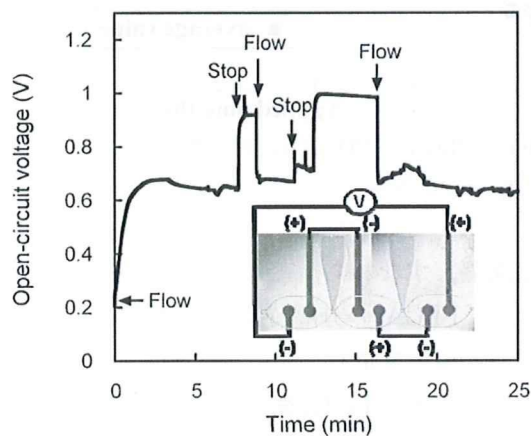


図 C-2-3 直列化バイオ燃料電池の出力電圧。



### C-3. 時差式発電システムの開発

図 B-3 に示したように、各セルは分解性材料を用いて接着させた磁石でカバーされることにより、所定の期間、溶液から隔離される。接着には、炭酸ガスによる融着法を採用した。これは、超臨界状態に近い高压の CO<sub>2</sub> ガスが溶剤のように働き、PLGA の接着面を融解させることで接着させるものである。

図 C-3-1 は、接着操作の圧力と時間を変化させた際の、電極酵素活性への影響を評価した結果である。酵素活性が、2MPa を越えると低下することが分かった。1MPa 以下の酵素活性は、時間に因らず維持される。よって本研究では、ボンディング条件を 1MPa、1 時間に設定した。

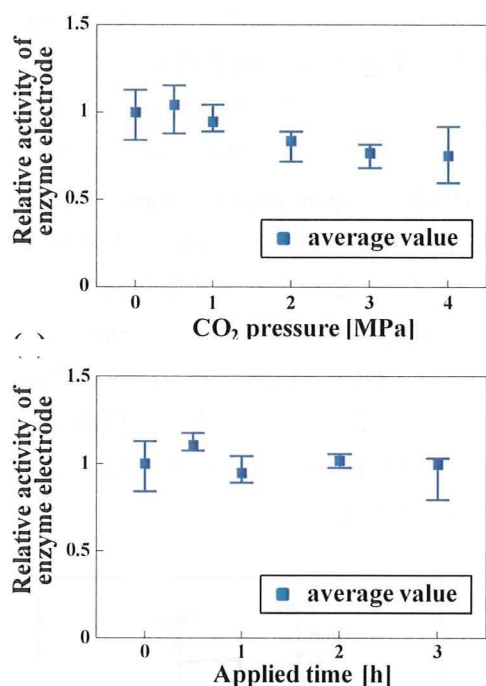


図 C-3-1 PLGA の CO<sub>2</sub> 接着における圧力と時間が酵素活性に与える影響

時差間隔、すなわち、蓋が開放されるまでの時間は、PLGA の分解時間および蓋に使用した磁石の磁力に依存した。磁石は、エポキシ樹脂に磁性体の Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 微粒子を混合させることによって作製され、混合比により磁力は変化する。一方の PLGA は、乳酸とグリコ

ール酸の高分子であり、その分子量によって分解時間は変化する。図 C-3-2 に示されるように、磁力が大きく、かつ PLGA の分子量が小さいほど、蓋の開放時間が早くなることがわかる。これらのパラメータを変化させることにより、数十時間から数週間という広い範囲での時差発電を構築できることがわかる。

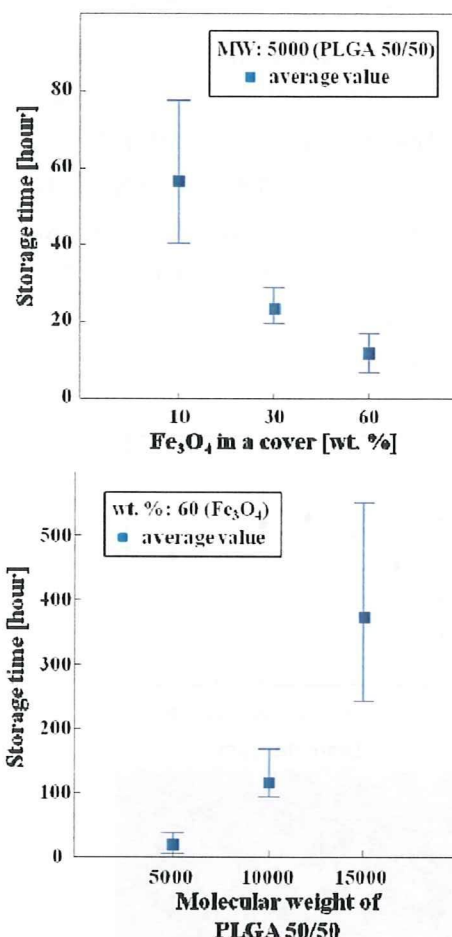


図 C-3-2 蓋開放時間に与える磁性体濃度および PLGA 分子量の影響

最後に、時差発電による出力安定化の試験を行った。単セルでは、約 20 時間程度で出力は 50% までに低下する。そこで、先に示した蓋の開放時間が 20 時間以下の分子量 5000 の PLGA、濃度 60 wt/% の磁石を用いることにした。結果、20 時間の間隔で発電を開始させることに成功し、耐久性の長寿命化に成功した。結果の再現性の確認を現在行っている。

## C-4. 電極性能の改善

### C-4-1 アノードの改良

まず, KB 電極での NADH 酸化を評価した. 図 C-4-1 にサイクリックボルタメトリーを用いて測定した NADH 酸化の電流・電位曲線を示す. 本測定は, 1 mM NADH 溶液中で, 異なるワーキング(GC 電極, KB 修飾電極, 活性化した KB 電極)を用いて行った. 通常, NADH の酸化は, 挿入図に示されているように, 過電圧(0.4 V vs Ag/Ag Cl)を必要となり, また最大電流は 6 nA と小さい. この問題に対し, 我々はKBを電極表面に修飾することで, 電流値の問題を解決した. また, KB 表面を混酸処理することで, 過電圧の問題を解決した. 結果, 従来の GC 電極と比較して電流値を 10 倍大きくさせることに成功し, なおかつ酸化電位をトータル 0.5 V 負にシフトさせることに成功した.

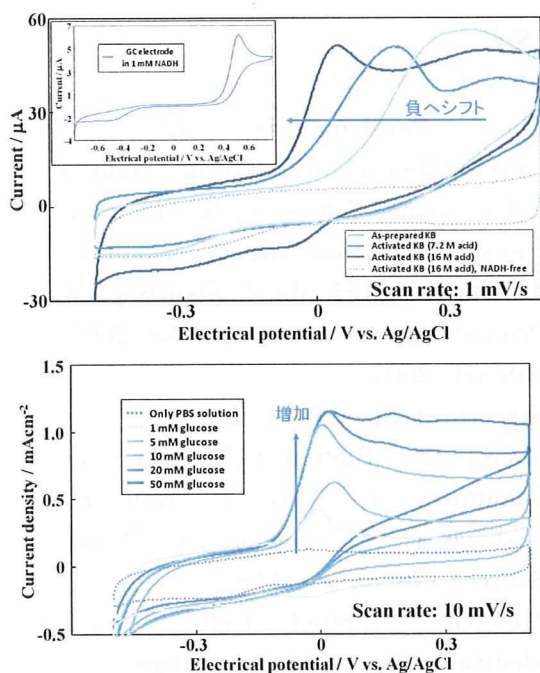


図 C-4-1 NADH 酸化曲線とグルコース酸化曲線

続いて, この電極に対して酵素を修飾した電極でのサイクリックボルタモグラムを示す. グルコース濃度の増加と共に, 酸化電流は増加し, 20 mM 以上で飽和する. また 20 mM

以上の濃度では, 正電位側に新たなピークが検出されるが, これは低濃度条件下で酸処理されたサイトでの酸化ピークを反映していると考えられる. また, グルコースを含まない PBS 溶液に酵素修飾電極を浸漬すると, 酸化ピークは検出されないことから, 電極表面に固定した酵素の活性が維持されていることがわかる. 最大電流として,  $11 \text{ mA}/\text{cm}^2$  at 0 V を得ることに成功した.

### C-4-2 カソードの改良

空気極は, 大気中からの酸素, 溶液からのプロトン, 酵素の活性中心からなる気体・液体・固体の三相界面を構築する必要がある. 固体層への液体の浸透が増すと気体の浸透が抑制されることになるため, 液体と気体の浸透度はトレードオフの関係にある. PTFE を含むケッチェンブラックによって, 酵素が固定された固体層を被覆することにより, 酸素還元電流値を 4 倍に大きくすることに成功した(図 C-4-2). これは, 疎水性を含む材料で固体層を被覆することにより, 溶液の浸透度を抑えたためと考えられる.

このような空気極は, バイオ燃料電池が抱える課題の一つとされていたカソードが電池出力を律速していた問題を解決するものである.

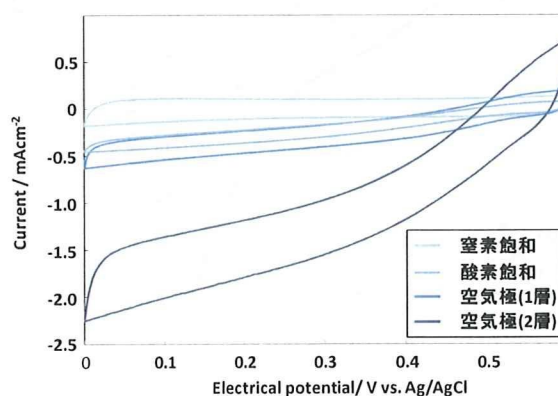


図 C-4-2 電極構造の異なる空気極の特性

### C-5. 針型電極の作製

採血したヒト血液中での金属針電極の電流・電位曲線は、電位 0.4V(vs Ag/AgCl)付近でピークが観測される。これは、血液中に存在する尿酸の酸化電流である。そこで、脂質で構成された 1-oleoyl-rac-glycerol を用いて、電極に修飾した結果、尿酸の酸化反応を抑えることが出来た。

絶縁化処理を施した針電極に酵素を修飾し、ヒト血液中に 2 時間浸漬した電極には、血栓状の物質が形成された。このような形成物は、電極反応を阻害し、電池出力の低下を引き起こす。そこで、MPC ポリマーを用いて、電極の被覆を行ったところ、血栓物質の被覆を抑え、また酵素反応を阻害しないことが確認できた。

針型電極の性能を検証すべく、血清中における出力特性を評価した(図 C-5-1)。試験的な結果ではあるが、電池出力を得られることに成功した。ただ、依然として低出力の問題は残されたが、以下の課題を克服することで解決されうる指標を得た。

- 1 刺入における表面コート剤の剥離
- 2 電極構造の改善
- 3 高出力化に向けた電極のアレイ化

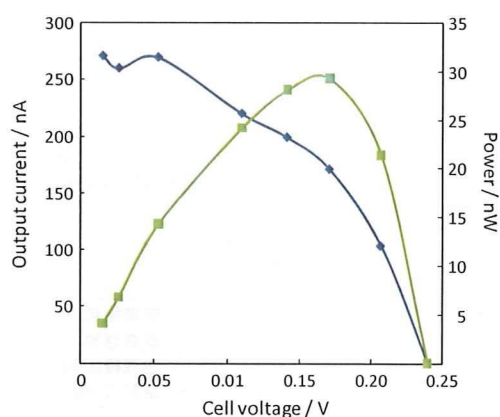


図 C-5-1 バイオ燃料電池出力 (血清中)

### E. 結論

酵素を電極触媒とするバイオ電池に関して、電極性能の改善、および微細加工技術による電池システムの機能開発に取り組み、幾つかの新しい知見を報告し、また、自動スタックや時差発電などの新しいシステム設計を提案できた。バイオ燃料電池は、他の電池に比べると黎明期にあり、基礎研究が盛んに取り組まれているのが現状である。そんな中、我々の取り組みは、基礎研究だけに留まらず、体内電池へ向けた応用研究へと発展しており、今後のバイオ燃料電池の指針となる成果を得たと考えている。このような取り組みの中で、新たな課題も明確化され、今後の発展が加速されるものと期待している。

### F. 健康危険情報

なし

### G. 研究発表

#### G-1. 論文

1. The Performances of an Enzyme-Based Microfluidic Biofuel Cells using Vitamin K<sub>3</sub>-Mediated Glucose Oxidation. Togo M, Tkamura A, Asai T, Kaji H, Abe T, Nishizawa M. Proceedings of the micro-TAS 2007: 868-870, 2007.
2. Structural Studies of Enzyme-Based Microfluidic Biofuel Cells. Togo M, Takamura T, Asai T, Kaji H, Nishizawa M. Journal of Power Sources 178: 53-58, 2008.
3. Miniature Biofuel Cells toward Medical Applications. Togo M, Yatagawa Y, Oike M, Kaji H, Abe T, Nishizawa M. Technical Digest PowerMEMS 2008: 65-68, 2008.
4. Miniatured Biofuel Cells Automatically Relayed for Longer-term Power Generation. Oike M, Togo M, Kaji H, Abe T, Nishizawa

- M. Technical Digest PowerMEMS 2008: 441-444, 2008.
5. バイオ燃料電池マイクロシステムと体液発電への取り組み  
西澤松彦  
Electrochemistry 76: 916-919, 2008.
  6. Biofuel cell anode: NAD<sup>+</sup>/glucose dehydrogenase-coimmobilized ketjenblack electrode. Miyake T, Oike M, Yoshino S, Yatagawa Y, Haneda K, Kaji H, Nishizawa M. Chem. Phys. Lett: 123-126, 2009.
  7. Series-connected biofuel cells in a microfluidic channel with superhydrophobic air valve. Togo M, Morimoto K, Kaji H, Abe T, Nishizawa M. Digest of Technical Papers, Transducers09: 2102-2105, 2009.
  8. 酵素燃料電池の新潮流  
都甲真、西澤松彦  
酵素工学ニュース 59: 16-20, 2009.
  9. バイオ電池の最新開発動向  
三宅丈雄、西澤松彦  
Semiconductor FPD World 29: 48-49, 2010.
- G-2. 学会発表
1. マイクロチップ型バイオ燃料電池の作製とその性能評価  
都甲 真, 高村亮匡, 浅井達也, 梶 弘和, 安部 隆, 西澤松彦 電気化学会第74回大会 (2007.3.29-31)
  2. 酵素を電極触媒に用いるバイオマイクロ燃料電池に関する研究  
浅井達也, 都甲 真, 高村亮匡, 梶 弘和, 安部 隆, 西澤松彦 電気学会センサ・マイクロマシン部門総合研究会 バイオ・マイクロシステム研究会 (2007.7.2-3)
  3. バイオ燃料電池のアレイ化と発電方式の検討  
浅井達也, 都甲 真, 大池真人, 森本恵司, 梶 弘和, 安部 隆, 西澤松彦 電気化学秋季大会 (2007.9.19-20)
  4. 高出力化を目指したマイクロ流路型バイオ燃料電池の構造に関する研究  
都甲 真, 浅井達也, 森本恵司, 大池真人, 梶 弘和, 安部 隆, 西澤松彦 電気化学秋季大会 (2007.9.19-20)
  5. マイクロ流路型バイオ燃料電池の開発  
都甲 真, 浅井達也, 森本恵司, 大池真人, 梶 弘和, 安部 隆, 西澤松彦 第22回生体機能関連化学シンポジウム (2007.9.28-29)
  6. The performances of an enzyme-based microfluidic biofuel cells using vitamin K<sub>3</sub>-mediated glucose oxidation. Togo M, Takamura A, Asai T, Kaji H, Abe T, Nishizawa M.  $\mu$ TAS 2007 (2007.10.7-11)
  7. Microfluidic glucose fuel cell using enzyme catalysts. Togo M, Asai T, Kaji H, Abe T, Nishizawa M. 1st Asian Biomaterials Congress (2007.12.6-7)
  8. 微細加工技術を用いた小型バイオ燃料電池の開発  
都甲 真, 森本恵司, 大池真人, 浅井達也, 梶 弘和, 安部 隆, 西澤松彦 電気化学会第75回大会 (2008.3.29-31)
  9. Development of High Performance Microfluidic Biofuel Cell. Togo M, Asai T, Oike M, Kaji H, Abe T, Nishizawa M. Biosensors 2008 (2008.5.14-16)
  10. Structural studies on microfluidic biofuel cells. Nishizawa M., Togo M, Morimoto K, Kaji H, Abe T. 213th ECS Meeting (2008.5.18-22)
  11. Stepwise Electric Power Generation for Prolonging Lifetime of Miniaturized Biofuel Cell. Togo M,

- Oike M, Kaji H, Abe T, Nishizawa M. PRiME 2008 (2008.10.12-17)
12. Miniature Biofuel Cells toward Medical Applications. Togo M, Yatagawa Y, Oike M, Kaji H, Abe T, Nishizawa M. PowerMEMS 2008 (2008.11.9-12)
13. Miniatured Biofuel Cells Automatically Relayed for Longer-term Power Generation. Oike M, Togo M, Kaji H, Abe T, Nishizawa M. PowerMEMS 2008 (2008.11.9-12)
14. バイオ燃料電池における時差式発電システムの検討  
大池真人, 都甲真, 梶弘和, 安部隆, 西澤松彦  
第 19 回 化学とマイクロ・ナノシステム研究会(2009.5.28-29)
15. Microfluidic Biofuel Cells: Series-Connection With Superhydrophobic Air Valves. Togo M, Morimoto K, Abe T, Kaji H, Nishizawa M. The 15th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators & Microsystems Transducers 2009 (2009.6.21-25)
16. NAD<sup>+</sup>/GDH 修飾カーボン電極におけるグルコース酸化の評価  
吉野修平, 大池真人, 谷田川陽平, 羽田圭吾, 三宅丈雄, 梶弘和, 西澤松彦  
2009 年 電気化学会秋季大会 (2009.9.10-11)
17. バイオ燃料電池における時差発電システムの検討  
大池真人, 吉野修平, 谷田川陽平, 三宅丈雄, 梶弘和, 西澤松彦  
2009 年 電気化学会秋季大会 (2009.9.10-11)
18. 小型グルコース電池に用いる NAD<sup>+</sup>依存型グルコースデヒドロゲナーゼ修飾アノードの改良  
吉野修平, 大池真人, 谷田川陽平, 羽田圭吾, 三宅丈雄, 梶弘和, 西澤松彦  
第 20 回 化学とマイクロ・ナノシステム研究会(2009.11.7-9)
19. 生分解性高分子を利用したバイオ燃料電池における時差発電システムの検討  
大池真人, 吉野修平, 谷田川陽平, 羽田圭吾, 三宅丈雄, 梶弘和, 西澤松彦  
第 20 回 化学とマイクロ・ナノシステム研究会(2009.11.7-9)
20. 経皮刺入用針型バイオ燃料電池の開発  
谷田川陽平, 大池真人, 吉野修平, 羽田圭吾, 三宅丈雄, 梶弘和, 西澤松彦  
第 20 回 化学とマイクロ・ナノシステム研究会(2009.11.7-9)
21. Fabrication of Enzyme Electrodes for Glucose/O<sub>2</sub> Biofuel Cell.  
Miyake T, Oike M, Yoshino S, Yatagawa Y, Haneda K, Kaji H, Nishizawa M  
22th International Microprocess and Nanotechnology Conference (2009.11.16-19)
22. Biomolecular Immobilization onto Nano/Microstructure for Biodevice Application
23. Miyake T, Tanii T, Abe T, Nishizawa M  
SMART-Tohoku GCOE joint Workshop on Micro & Nano Bioengineering: MIT, NUS, NTU and Tohoku(2010.1.11-12)
- G-3.新聞報道**  
なし
- H.知的所有権の取得状況**
1. 発明等の名称: バイオ燃料電池  
出願日平成 19 年 3 月 29 日  
出願番号 特願 2007-86969.  
国立大学法人東北大学

研究成果の刊行に関する一覧表

書籍

著者名	論文タイトル	書籍全体の編集者名	書籍名	出版社名	出版地	出版年	ページ
Matsuhiko Nishizawa	MINIATURIZED MICROFLUIDIC BIOFUEL CELLS	Takami Yamaguchi	Nano-Biomedical Engineering 2009 : A Tohoku University Global COE Programme Proceedings	Imperial College Press	London	2009	235-244

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
Yamazaki T, Akiyama T, Kitagawa H, Komaki F, Mori H, Kawada T, Sunagawa K, Sugimachi M.	Characterization of ouabain-induced noradrenaline and acetylcholine release from in situ cardiac autonomic nerve endings.	Acta Physiol (Oxf)	191	275-284	2007
Uemura K, Li M, Tsutsumi T, Yamazaki T, Kawada T, Kamiya A, Inagaki M, Sunagawa K, Sugimachi M.	Efferent vagal nerve stimulation induces tissue inhibitor of metalloproteinase-1 in myocardial ischemia-reperfusion injury in rabbit.	Am J Physiol Heart Circ Physiol	293	H2254-2261	2007
Sugimachi M, Kawada T, Kamiya A, Li M, Zheng C, Sunagawa K.	Electrical Acupuncture Modifies Autonomic Balance by Resetting the Neural Arc of Arterial Baroreflex System.	Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc	1	5334-5337	2007
Maruo T, Nakatani S, Jin Y, Uemura K, Sugimachi M, Ueda-Ishibashi H, Kitakaze M, Ohe T, Sunagawa K, Miyatake K.	Evaluation of transmural distribution of viable muscle by myocardial strain profile and dobutamine stress echocardiography.	Am J Physiol Heart Circ Physiol	292	H921-927	2007
Mizuno M, Kamiya A, Kawada T, Miyamoto T, Shimizu S, Sugimachi M.	Muscarinic potassium channels augment dynamic and static heart rate responses to vagal stimulation	Am J Physiol Heart Circ Physiol;	293	H1564-1570	2007
Kawada T, Kitagawa H, Yamazaki T, Akiyama T, Kamiya A, Uemura K, Mori H, Sugimachi M.	Hypothermia reduces ischemia- and stimulation-induced myocardial interstitial norepinephrine and acetylcholine releases.	J Appl Physiol;	102	622-627	2007

Kawada T, Yamazaki T, Akiyama T, Li M, Zheng C, Shishido T, Mori H, Sugimachi M.	Angiotensin II attenuates myocardial interstitial acetylcholine release in response to vagal stimulation.	Am J Physiol Heart Circ Physiol	293	H2516-2522	2007
Kawada T, Yamazaki T, Akiyama T, Shishido T, Shimizu S, Mizuno M, Mori H, Sugimachi M.	Regional difference in ischaemia-induced myocardial interstitial noradrenaline and acetylcholine releases.	Auton Neurosci;	137	44-50,	2007.
T. Matsumoto and R. Kohno	A Combined Coding and Modulation to Support Both Coherent and Non-Coherent Ultra-Wideband Receivers	IEICE Trans.Fundamentals	Vol.E90-A,No.6	pp.1252-1256	2007
I. Dotlic and R. Kohno	Design of Family of Orthogonal and Spectrally Efficient UWB Waveforms	IEEE Journal Selected Topics in Signal Processing	vol.JST SP-1, No.1	pp.21-30	2007
Kazunari Tai, Hiroki Harada, Ryuji Kohno	Channel modeling and signaling of medical implanted communication systems and a step to medical ICT	16th IST Mobile and Wireless Communications Summit			2007
Keisuke Sodeyama, Koji Ishibashi, Ryuji Kohno	An Analysis of Interference Mitigation Capability of Low Duty-Cycle UWB Transmission in The Presence of Wideband OFDM Systems	WPMC 2007		pp.889-893	2007
Kazunari Tai, Hiroki Harada, Ryuji Kohno	Novel implant position estimation algorithm using the matching method	ISMICT 2007			2007
Shun Nagamine, Hiroki Harada, Ryuji Kohno	Novel MAC Protocol Considered Thermal Influence in an Implanted Body Area Network	ISMICT 2006			2007
Makoto Kawasaki, Hiroki Harada, Ryuji Kohno	Position Estimation Method of Medical Implanted Devices using Estimation of Propagation Velocity Inside the Human Body	ISMICT 2007			2007
河崎誠, 田井和成, 原田浩樹, 河野隆二	医療用体内埋め込み装置の位置推定法に関する一検討	電子情報通信学会ソサイエティ大会			2007

田井和成, 石橋功至, 河野隆二	マッチング法を用いたインプラント 位置推定法における推定制度改善に 関する検討	電子情報通信 学会ソサイエ ティ大会	A-5-19	pp. 138	2007
長嶺駿, 原田浩樹, 河 野隆二	生体内センサネットワークにおける 熱影響を考慮した MAC プロトコル の一検討	電子情報通信 学会ソサイエ ティ大会			2007
河寄誠, 田井和成, 原田 浩樹, 河野隆二	生体内センサーネットワークにおけ る位置推定法の検討	医療情報通信 学会			2007
Togo M, Tkamura A, Asai T, Kaji H, Abe T, Nishizawa M	The Performances of an Enzyme-Based Microfluidic Biofuel Cells using Vitamin K <sub>3</sub> -Mediated Glucose Oxidation	<i>Proceedings of the micro-TAS 2007</i>		868-870	2007
Togo M, Takamura A, Asai T, Kaji H, Nishizawa M	Structural Studies of Enzyme-Based Microfluidic Biofuel Cells	<i>J. Power Sources</i>	178	53-58	2008
Kamiya A, Kawada T, Yamamoto K, Mizuno M, Shimizu S, Sugimachi M.	Upright tilt resets dynamic transfer function of baroreflex neural arc to minify the pressure disturbance in total baroreflex control.	J Physiol Sci	58	189-198	2008
Kawada T, Yamazaki T, Akiyama T, Kitagawa H, Shimizu S, Mizuno M, Li M, Sugimachi M.	Vagal stimulation suppresses ischemia-induced myocardial interstitial myoglobin release.	Life Sci	83	490-495	2008
Miyamoto T, Kawada T, Yanagiya Y, Akiyama T, Kamiya A, Mizuno M, Takaki H, Sunagawa K, Sugimachi M.	Contrasting effects of presynaptic alpha2-adrenergic autoinhibition and pharmacologic augmentation of presynaptic inhibition on sympathetic heart rate control.	Am J Physiol Heart Circ Physiol	295	H1855- 1866	2008
Mizuno M, Kamiya A, Kawada T, Miyamoto T, Shimizu S, Shishido T, Sugimachi M.	Accentuated Antagonism in Vagal Heart Rate Control Mediated through Muscarinic Potassium Channels.	J Physiol Sci	58	381-388	2008
Sugimachi M, Kawada T, Yamamoto H, Kamiya A, Miyamoto T, Sunagawa	Modification of autonomic balance by electrical acupuncture does not affect baroreflex dynamic characteristics.	Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc	1	1981-1984	2008



K.					
Yamamoto K, Kawada T, Kamiya A, Takaki H, Shishido T, Sunagawa K, Sugimachi M.	Muscle mechanoreflex augments arterial baroreflex-mediated dynamic sympathetic response to carotid sinus pressure.	Am J Physiol Heart Circ Physiol	295	H1081-H1089	2008
Yamamoto H, Kawada T, Kamiya A, Kita T, Sugimachi M.	Electroacupuncture changes the relationship between cardiac and renal sympathetic nerve activities in anesthetized cats.	Auton Neurosci	144	43-49	2008
Uemura K, Sunagawa K, Sugimachi M.	Computationally managed bradycardia improved cardiac energetics while restoring normal hemodynamics in heart failure.	Ann Biomed Eng	37	82-93	2009
Kashihara K, Kawada T, Sugimachi M, Sunagawa K.	Wavelet-based system identification of short-term dynamic characteristics of arterial baroreflex.	Ann Biomed Eng	37	112-128	2009
Makoto Kawasaki, Ryuji Kohno	Position Estimation Method of Medical Implanted Devices Using Estimation of Propagation Velocity inside Human Body	IEICE TRANS. Special Section on Medical Information and Communications Technologies	Vol.E92-B, No.02	pp.403-409	2009
Makoto Kawasaki, Ryuji Kohno	A TOA based Positioning Technique of Medical Implanted Devices	The Third International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT2009)			2009
Shun Nagamine, Ryuji Kohno	Design of Communication Model Suitable for Implanted Body Area Networks	The Third International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT2009)			2009
Hideki Mochizuki, Makoto Kawasaki, Shun Nagamine, Igor Dotlic,	Performance Analysis of Pulsed Chirp UWB Schemes used Hopping Sequence for Wearable Wireless Body Area	The Third International Symposium on Medical			2009

Ryuji Kohno	Network	Information and Communication Technology (IS MICT2009)			
Koji Enda, Ryuji Kohno	Routing Algorithm to Decrease Transmission Delay and Traffic Quantity using Priority Area in Sensor Network of Hospital	The Third International Symposium on Medical Information and Communication Technology (IS MICT2009)			2009
望月 英希, 河寄 誠, 長嶺 駿, 田井 和成, 原田 浩樹, 河野 隆二	ウェアラブルボディエリアネットワークに適した UWB 通信方式の研究	電子情報通信学会 第 1 回 MICT 研究会		pp.105-113	2008
河寄誠、長嶺駿、河野隆二	伝搬速度推定による医療用埋め込み機器の位置推定法に関する検討	第 31 回情報理論とその応用シンポジウム (SITA0208)	2.5.3	pp.959-964	2008
長嶺 駿, 河寄 誠, 河野 隆二	生体内センサネットワークにおける消費電力と熱影響を考慮した通信モデルの設計	第 31 回情報理論とその応用シンポジウム (SITA0208)	9.1.5	pp. 959-964	2008
望月 英希, 河寄 誠, 長嶺 駿, 河野 隆二	Wearable Wireless Body Area Network 環境下におけるホッピング系列を用いた Pulsed Chirp UWB 方式の特性評価	第 31 回情報理論とその応用シンポジウム (SITA2008)	3.3.1	pp.287-292	2008
望月 英希, 河寄 誠, 長嶺 駿, 河野 隆二	Wearable Wireless Body Area Network 環境下におけるピコネットワーク間干渉を考慮した通信特性の評価	電子情報通信学会 2008 年 ソサイエティ大会	A-5-20	pp.107	2008
Togo M, Yatagawa Y, Oike M, Kaji H, Abe T, Nishizawa M	Miniature Biofuel Cells toward Medical Applications	Proceedings of PowerMEMS		65-68	2008
Oike M, Togo M, Kaji H,	Miniatured Biofuel Cells Automatically Relayed for Longer-term Power	Proceedings of		441-444	2008

Abe T, Nishizawa M	Generation	PowerMEMS			
西澤松彦	バイオ燃料電池マイクロシステムと体液発電への取り組み	Electrochemistry	76	916-919	2008
Akiyama T, Yamazaki T, Kawada T, Shimizu S, Sugimachi M, Shirai M.	Role of Ca(2+)-activated K(+) channels in catecholamine release from in vivo rat adrenal medulla.	Neurochem Int			2009
Kamiya A, Kawada T, Shimizu S, Iwase S, Sugimachi M, Mano T.	Slow head-up tilt causes lower activation of muscle sympathetic nerve activity: loading speed dependence of orthostatic sympathetic activation in humans.	Am J Physiol Heart Circ Physiol	297	H53-58	2009
Kawada T, Mizuno M, Shimizu S, Uemura K, Kamiya A, Sugimachi M.	Angiotensin II disproportionately attenuates dynamic vagal and sympathetic heart rate controls.	Am J Physiol Heart Circ Physiol	296	H1666-1674	2009
Kawada T, Shimizu S, Yamamoto H, Shishido T, Kamiya A, Miyamoto T, Sunagawa K, Sugimachi M.	Servo-controlled hind-limb electrical stimulation for short-term arterial pressure control.	Circ J	73	851-859	2009
Kawada T, Kamiya A, Li M, Shimizu S, Uemura K, Yamamoto H, Sugimachi M.	High levels of circulating angiotensin II shift the open-loop baroreflex control of splanchnic sympathetic nerve activity, heart rate and arterial pressure in anesthetized rats.	J Physiol Sci	59	447-455	2009
Kawada T, Akiyama T, Shimizu S, Kamiya A, Uemura K, Li M, Shirai M, Sugimachi M.	Detection of endogenous acetylcholine release during brief ischemia in the rabbit ventricle: a possible trigger for ischemic preconditioning.	Life Sci	85	597-601	2009
Okazaki Y, Zheng C, Li M, Sugimachi M.	Effect of the cholinesterase inhibitor donepezil on cardiac remodeling and autonomic balance in rats with heart failure.	J Physiol Sci	60	67-74	2010
Sasaki H, Asanuma H, Fujita M, Takahama H, Wakeno M, Ito S, Ogai A, Asakura M, Kim J, Minamino T, Takashima S, Sanada S, Sugimachi M, Komamura K, Mochizuki N, Kitakaze M.	Metformin prevents progression of heart failure in dogs: role of AMP-activated protein kinase.	Circulation	119	2568-2577	2009

Shimizu S, Akiyama T, Kawada T, Shishido T, Yamazaki T, Kamiya A, Mizuno M, Sano S, Sugimachi M.	In vivo direct monitoring of vagal acetylcholine release to the sinoatrial node.	Auton Neurosci	148	44-49	2009
Shimizu S, Akiyama T, Kawada T, Shishido T, Mizuno M, Kamiya A, Yamazaki T, Sano S, Sugimachi M.	In vivo direct monitoring of interstitial norepinephrine levels at the sinoatrial node.	Auton Neurosci	152	115-118	2010
Sugai TK, Yoshizawa M, Abe M, Shimizu K, Inagaki M, Sugimachi M, Sunagawa K.	Preliminary study on the detection of cardiac arrhythmias based on multiple simultaneous electrograms.	Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc	1	2498-2501	2009
Sugimachi M, Kawada T.	Coronary artery volume noninvasively measured with multislice computed tomography. Definition, accuracy and implication.	Circ J	73	1395-1396	2009
Sugimachi M, Uemura K, Kamiya A, Shimizu S, Inagaki M, Shishido T.	Feedback control of multiple hemodynamic variables with multiple cardiovascular drugs.	Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc	1	2030-2032	2009
Sugimachi M, Sunagawa K, Uemura K, Kamiya A, Shimizu S, Inagaki M, Shishido T.	Macroscopic two-pump two-vasculature cardiovascular model to support treatment of acute heart failure.	Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc	1	2365-2368	2009
Shimizu S, Shishido T, Une D, Kamiya A, Kawada T, Sano S, Sugimachi M.	Right ventricular stiffness constant as a predictor of postoperative hemodynamics in patients with hypoplastic right ventricle: a theoretical analysis.	J Physiol Sci			2010
Seo K, Inagaki M, Nishimura S, Hidaka I, Sugimachi M, Hisada T, Sugiura S.	Structural heterogeneity in the ventricular wall plays a significant role in the initiation of stretch-induced arrhythmias in perfused rabbit right ventricular tissues and whole heart preparations.	Circ Res	106	176-184	2010
Sugimachi M, Sunagawa K.	Bionic cardiology: exploration into a wealth of controllable body parts in the cardiovascular system.	IEEE Rev Biomed Eng	2	172-186	2009
Keisuke Sodeyama, Koji	An Analysis of Interference Mitigation	Wireless	DOI:	s11277-00	2009-0