

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 5 月 21 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26620111

研究課題名(和文)新しいセンシングプラットフォームとしての脂質二分子膜単電子トンネリング場の創成

研究課題名(英文)Single electron tunneling in lipid bilayers as a novel sensing principle

研究代表者

平野 愛弓 (Hirano-Iwata, Ayumi)

東北大学・医工学研究科・准教授

研究者番号：80339241

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、脂質二分子膜の超絶縁性をナノ電子デバイスの創成に活用し、脂質膜内での単電子トンネリング場の創成と、そのバイオセンサ応用を目指したものである。はじめに脂質二分子膜へのナノ粒子の包埋について検討し、粒径の小さいナノ粒子であれば自立型の脂質二分子膜への包埋が可能であることを明らかにした。次にナノ粒子配列を対象とした数値シミュレーションを行い、室温においても観測可能な単一電子効果が期待できることが分かった。また、膜内電極を配線しチップの作製にも成功しており、今後はこれらの統合に基づくデバイス創成とそのセンサ応用が期待される。

研究成果の概要(英文)：This study aims at realization of single-electron tunneling in lipid bilayers as a new sensing principle. We first examined incorporation of nanoparticles into lipid bilayers and found that only very small nanoparticles could be incorporated into self-standing bilayer lipid membranes. We next examined simulation on single-electron effects of aligned nanoparticles and revealed that observable single-electron effects would be possible even at room temperature. In addition, we have established fabrication procedures for silicon chips with wired metal electrodes. We would like to combine these techniques to realize single-electron tunneling in lipid bilayers and apply to highly sensitive biosensors to demonstrate a novel sensing principle.

研究分野：分析化学

キーワード：脂質二分子膜 単電子トンネリング ナノデバイス 単電子トランジスタ

### 1. 研究開始当初の背景

細胞膜の基本構造を人工的に模した平面脂質二分子膜は、膜タンパク質、特にイオンチャネルタンパク質との相性のよさから、これまで、イオンチャネルに基づくバイオセンサーの膜マトリクスとして多く用いられてきた。脂質二分子膜の特徴は、脂質分子2個分の厚さしかもたない超薄膜でありながら極めて高い膜抵抗(数  $G\Omega$ —数  $100 G\Omega$ )をもつことである。この超絶縁性は、センサー素子やスイッチング素子まわりの膜マトリクスとしての可能性を強く示すものであるが、これまで専らイオンチャネルセンサーの低ノイズマトリクスとしてしか用いられてこなかった。一方、エレクトロニクスの観点で見ると、 $G\Omega$ オーダーの高抵抗をもつ脂質二分子膜は単電子トランジスタにおけるトンネル障壁として有望な絶縁素材である。これまで、脂質二分子膜はその安定性に問題があり、発展の障害となってきたが、我々は半導体微細加工で作製した微細孔中で膜形成を行うことにより、機械的強度の高い安定な脂質二分子膜を形成できることを報告してきた (Langmuir, 26, No.3, 1949–1952 (2010))。

### 2. 研究の目的

本研究では、脂質二分子膜の超絶縁性をナノ電子デバイスの創成に活用し、単一電子トンネリングの制御によって動作する単電子トランジスタを脂質二分子膜構造に基づいて構築し、この単電子トランジスタをバイオセンシングのための新しいトランスデューサーとして発展させることを目指している。具体的には、申請者が提案してきた高い膜強度を有する脂質二分子膜を用い、その中に単電子島となる金属ナノ粒子を組み込むことにより単電子トランジスタを構築する。これまで固体基板上で構築されてきたナノ電子デバイスを、生体分子を用いて水溶液中で動作させるという革新的課題であり、本研究により、nanofluidic bioelectronics という新しいエレクトロニクスの分野が創成されるとともに、全く新しい原理のセンシングプラットフォームが創案されると期待される。

### 3. 研究の方法

はじめに、モンテカルロ法に基づく数値シミュレーションを行い、本研究で提案する金属ナノ粒子配列に基づく単一帯電効果が、室温でも観測可能かどうかについて検討を行った。また、これまでに確立してきた微細孔をもつシリコン基板への電極配線についても検討した。ナノ粒子の脂質二分子膜への包埋については、以下の2つの方法によって検討を行った。(1) 脂質溶液中にあらかじめナノ粒子を溶解させ、この脂質溶液を用いて単分子膜はり合わせ法による膜形成を行い、膜内への包埋をキャパシタンス測定によって評価した。(2) 脂質とナノ粒子からなるリピッドフィルムを水和させて形成したリポソ

ームを基板へと融合させて支持二分子膜を作製し、原子間力顕微鏡 (AFM) 観察によってナノ粒子の存否を評価した。

### 4. 研究成果

本研究は、脂質二分子膜の電子デバイス化という、これまでにない全く新しい電子デバイスの創成を目指したものである。これにより、液中動作型ナノデバイスという新しい分野の創成とそれに基づく新規バイオセンサー原理の構築を目指している。そのための検討項目としては、脂質二分子膜へのナノ粒子の包埋と確認、デバイス構造と予測される単一帯電効果についてのシミュレーション、膜内電極の配線、そしてそれらの統合によるトランジスタの構築が挙げられる。まず始めに行ったのが、金属ナノ粒子配列における単一電子帯電効果についてのモンテカルロ法を用いた数値シミュレーションである。その結果、比較的大きなサイズ分散をもつナノ粒子を用いた場合でも、室温において観測可能なレベルの単一帯電効果を期待できることが示された。このようなシミュレーション予測が得られたことから、次に、実際に金属ナノ粒子の脂質二分子膜内への包埋について検討した。脂質二分子膜としては、水 | 膜 | 水構造の自立型脂質二分子膜と、基板に支持された構造の支持二分子膜の二種類について検討した。その結果、ナノ粒子の種類によっては、支持二分子膜中には包埋されるが、自立型脂質二分子膜には包埋されないものがあること、また、極めて粒径の小さいナノ粒子であれば自立型二分子膜中にも包埋可能であることが分かった。一方、支持二分子膜の場合は比較的大きなサイズのナノ粒子の包埋も可能であり、形成したナノ粒子含有脂質二分子膜が欠陥の少ない平坦な膜構造をとることが分かった。さらに、膜内にソース・ドレイン電極を配置するための電極配線型チップについても作製を進め、電極配線基板の作製プロセスを確立した。今後は、これらの要素技術の統合により、室温動作型脂質二分子膜単電子トランジスタの創成とそのセンサー応用へと発展させたい。

この他、ナノギャップ電極とナノ粒子を用いたモデル実験を行い、その単一電子効果についてパーコレーション理論に基づく解析を行った (投稿中)。また、脂質二分子膜へのチャンネル分子の包埋確率について検討し、遠心力を用いた包埋促進により、チャンネル包埋確率を従来の6%から約70%にまで向上できることを見出した (Biophys. J. in press)。また、生体の脂質二分子膜である細胞膜の絶縁性を利用した細胞外電位信号の増幅について検討し、新しい細胞外電位増幅法として提案した (Appl. Phys. Lett., 108, 023701 (2016))。

### 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) Ayumi Hirano-Iwata, Yutaka Ishinari, Miyu Yoshida, Shun Araki, Daisuke Tadaki, Ryusuke Miyata, Kenichi Ishibashi, Hideaki Yamamoto, Yasuo Kimura, and Michio Niwano. “Reconstitution of Human Ion Channels into Solvent-Free Lipid Bilayers Enhanced by Centrifugal Forces”, *Biophys. J.* in press (2016). (査読有) <http://www.cell.com/biophysj/home>
- (2) Daisuke Tadaki, Teng Ma, Jinyu Zhang, Shohei. Iino, Ayumi Hirano-Iwata, Yasuo Kimura, Richard A. Rosenberg, Michio Niwano. “Fabrication and characterization of p<sup>+</sup>-i-p<sup>+</sup> type organic thin film transistors with electrodes of highly doped polymer”, *J. Appl. Phys.*, 119, 154503 (2016). (査読有) [dx.doi.org/10.1063/1.4946888](https://doi.org/10.1063/1.4946888)
- (3) Ryosuke Matsumura, Hideaki Yamamoto, Michio Niwano, and Ayumi Hirano-Iwata, “An electrically resistive sheet of glial cells for amplifying signals of neuronal extracellular recordings”, *Appl. Phys. Lett.*, 108, 023701 (2016). (査読有) [dx.doi.org/10.1063/1.4939629](https://doi.org/10.1063/1.4939629)
- (4) Ayumi Hirano-Iwata, Yutaka Ishinari, Hideaki Yamamoto, and Michio Niwano, “Micro- and Nano-Technologies for Lipid Bilayer-Based Ion-Channel Functional Assays”, *Chem. Asian Journal*, 10, 1266-1274 (2015). (査読有) DOI: 10.1002/asia.201403391
- (5) Hideaki Yamamoto, Takanori Demura, Kohei Sekine, Sho Kono, Michio Niwano, Ayumi Hirano-Iwata and Takashi Tanii, “Photopatterning Proteins and Cells in Aqueous Environment using TiO<sub>2</sub> Photocatalysis”, *Journal of Visualized Experiments*, 104, e53045, (2015). (査読有) [doi:10.3791/53045](https://doi.org/10.3791/53045)
- (6) 庭野道夫, 平野愛弓, “赤外分光「その場」解析法によるバイオ計測” *分析化学*, 64 (11), 793-800 (2015). (査読有) [https://www.jstage.jst.go.jp/article/bunsekikagaku/64/11/64\\_793/\\_article/references/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/bunsekikagaku/64/11/64_793/_article/references/-char/ja/)
- (7) Yuki Ikegami, Shizuko Hozumi, Atsushi Shoji, Ayumi Hirano-Iwata, Tim Bliss and Masao Sugawara, “Real-time monitoring of extracellular L-glutamate levels released by high-frequency stimulation at region CA1 of hippocampal slices with a glass capillary-based L-glutamate sensor”, *Sensing and BioSensing Research*, 2, 31-37 (2014). (査読有) [dx.doi.org/10.1016/j.sbsr.2014.10.006](https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2014.10.006)
- (8) Ayumi Hirano-Iwata, Ryosuke Matsumura,

Ryuta Tezuka, Michio Niwano, Tim V. P. Bliss, Masao Sugawara, “Interference between Field Excitatory Postsynaptic Potentials and Simultaneously Recorded Chronoamperometric L-Glutamate Currents in Mouse Hippocampal Slices”, *Electrochem. Commun.*, 45, 1-4 (2014). (査読有) [dx.doi.org/10.1016/j.elecom.2014.04.016](https://doi.org/10.1016/j.elecom.2014.04.016)

- (9) 平野愛弓, 石成 裕, 木村康男, 庭野道夫, “シリコン微細加工で創るイオンチャネルチップ”, *表面科学*, 35(8), 438-442 (2014). (査読有) [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsss/35/8/35\\_438/\\_article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsss/35/8/35_438/_article/-char/ja/)

[学会発表] (計45件)

- (1) 守屋雅隆, T. Huong, 松本和彦, 島田宏, 木村康男, 平野愛弓, 水杉義直, “繰り返し金ナノ粒子を散布することで作製した単一電子素子”, 第63回応用物理学会春季学術講演会, 東京, 東京工業大学, 2016年3月21日
- (2) 木村僚佑, 仲山智明, 坂口直駿, 木村康男, 平野愛弓, 荻野俊郎, “バイオデバイス応用に向けた巨大ベシクルの作製と評価”, 第63回応用物理学会春季学術講演会, 東京, 東京工業大学, 2016年3月20日
- (3) 山浦大地, 仲山智明, 木村康男, 平野愛弓, 荻野俊郎, “シランカップリング剤修飾 SiN 基板表面における脂質膜の流動性比較”, 第63回応用物理学会春季学術講演会, 東京, 東京工業大学, 2016年3月20日
- (4) 坂口直駿, 仲山智明, 木村僚佑, 木村康男, 平野愛弓, 荻野俊郎, “液中環境下における金ナノ粒子の脂質二重膜への導入評価”, 第63回応用物理学会春季学術講演会, 東京, 東京工業大学, 2016年3月20日
- (5) 平野愛弓, 吉田美優, 荒木 駿, 山本英明, 庭野道夫, “微細加工イオンチャネルチップにおけるチャネル包埋促進”, 第63回応用物理学会春季学術講演会, 東京, 東京工業大学, 2016年3月19日
- (6) 松村亮佑, 山本英明, 平野愛弓, 庭野道夫, “細胞シートの電気抵抗を活用した神経細胞外計測の信号増強”, 第63回応用物理学会春季学術講演会, 東京, 東京工業大学, 2016年3月19日
- (7) 平野愛弓, 山本英明, 庭野道夫, “半導体微細加工に基づくイオンチャネル再構成系の構築と薬物スクリーニング系への応用”, 第89回日本薬理学会年会, 横浜, パシフィコ横浜, 2016年3月10日
- (8) 荒木 駿, 平野愛弓, 但木大介, 石橋健一, 山本英明, 庭野道夫, “ナノテーパー構造に基づく人工細胞膜の構築”, 平成27年度日本表面科学会東北・北海道支

- 部学術講演会, 仙台, 東北大学, 2016年3月9日
- (9) 吉田美優, 平野愛弓, 山本英明, 庭野道夫, “安定化脂質二分子膜イオンチャネルセンサの開発”, 平成27年度日本表面科学会東北・北海道支部学術講演会, 仙台, 東北大学, 2016年3月9日
- (10) N. Sakaguchi, T. Nakayama, R. Kimura, Y. Kimura, A. Hirano-Iwata, T. Ogino, “Au nanoparticle incorporation into supported lipid bilayer membranes and its characterization by atomic force microscopy”, The 23rd Int. Colloquium on Scanning Probe Microscopy, 北海道, ヒルトンニセコビレッジホテル, 2015年12月11日.
- (11) 山田夏輝, 齋藤栄幸, 馬騰, 平野愛弓, 山本英明, 石橋健一, 宮澤誠, 坂本仁志, 庭野道夫, “アルミナ多孔質薄膜を用いたナノバブル発生”, 2015年真空・表面科学合同講演会(第35回表面科学学術講演会・第56回真空に関する連合講演会), つくば, つくば国際会議場, 2015年12月2日
- (12) 荒木 駿, 平野愛弓, 山本英明, 庭野道夫, “微細加工シリコン基板を用いた人工細胞膜の構築”, 2015年真空・表面科学合同講演会(第35回表面科学学術講演会・第56回真空に関する連合講演会), つくば, つくば国際会議場, 2015年12月1日
- (13) 仲山智明, 山浦大地, 木村僚佑, 坂口直駿, 木村康男, 平野愛弓, 荻野俊郎, “Giand Unilamellar Vesicle の作製とマイクロポアによる評価”, 2015年真空・表面科学合同講演会(第35回表面科学学術講演会・第56回真空に関する連合講演会), つくば, つくば国際会議場, 2015年12月1日
- (14) 坂口直駿, 仲山智明, 木村僚祐, 木村康男, 平野愛弓, 荻野俊郎, “金ナノ粒子を包埋した脂質二重膜の形態観察”, 2015年真空・表面科学合同講演会(第35回表面科学学術講演会・第56回真空に関する連合講演会), つくば, つくば国際会議場, 2015年12月1日
- (15) 福本幸平, 吉田美優, 平野愛弓, 庭野道夫, 手老龍吾, “支持脂質二重膜を用いたhERGチャネル包埋プロテオリポソームの膜融合過程の観察”, 2015年真空・表面科学合同講演会(第35回表面科学学術講演会・第56回真空に関する連合講演会), つくば, つくば国際会議場, 2015年12月1日
- (16) A. Hirano-Iwata, “Reconstitution of Ion Channel Functions in Microfabricated Silicon Chips”, Joint Symposium of Sendai Symposium on Analytical Sciences 2015 and Tohoku Univ. -IMEC Seminar 2015, 仙台, 東北大学, 2015年11月13日. (招待講演)
- (17) 坂口 直駿, 仲山 智明, 木村 僚佑, 木村康男, 平野 愛弓, 荻野 俊郎, “液中環境下における金ナノ粒子の脂質二重膜への導入評価”, 第76回応用物理学会秋季学術講演会, 名古屋, 名古屋国際会議場, 2015年9月15日
- (18) T. Ma, D. Tadaki, A. Hirano-Iwata, M. Niwano, “Adsorption of solvent molecules on TiO<sub>2</sub>/perovskite interface and its effect on planar perovskite solar cells”, 第76回応用物理学会秋季学術講演会, 名古屋, 名古屋国際会議場, 2015年9月15日
- (19) 平野愛弓, “An ion-channel biosensor based on microfabrication”, 化学系学協会東北大会, 弘前, 弘前大学, 2015年9月13日(招待講演)
- (20) 吉田美優, 山本英明, 平野愛弓, 庭野道夫, “微細加工シリコン基板に基づくイオンチャネル機能の発現”, 第76回応用物理学会秋季学術講演会, 名古屋, 名古屋国際会議場, 2015年9月13日
- (21) 福本幸平, 石成 裕, 平野愛弓, 庭野道夫, 手老龍吾, “支持脂質二重膜へのhERGチャネルの再構成と分子分布観察”, 第76回応用物理学会秋季学術講演会, 名古屋, 名古屋国際会議場, 2015年9月13日
- (22) 平野愛弓, “微細加工シリコン基板を用いたイオンチャネル機能の再構成”, 電子情報通信学会ソサイエティー大会, 仙台, 東北大学, 2015年9月10日(招待講演)
- (23) 平野愛弓, “微細加工シリコン基板に基づく脂質二分子膜イオンチャネルチップ”, 日本分析化学会第64年会, 福岡, 九州大学伊都キャンパス, 2015年9月9日(招待講演)
- (24) A. Hirano-Iwata, H. Yamamoto, M. Niwano, “Reconstitution of ion channel functions in microfabricated silicon chips”, A\*MIDEX-JSPS International Workshop, Marseille (France), July 10, 2015. (招待講演)
- (25) R. Matsumura, H. Yamamoto, H. Takaoki, S. Katsurabayashi, A. Hirano-Iwata, M. Niwano, “Quantitative analysis of synapse formation in micropatterned neuronal networks”, A\*MIDEX-JSPS International Workshop, Marseille (France), Aix-Marseille University, July 10, 2015.
- (26) 平野愛弓, “半導体微細加工で創る脂質二分子膜イオンチャネルチップ”, 物性研・短期研究会「反応と輸送」, 柏, 東京大学, 2015年6月24日(招待講演)
- (27) K. Fukumoto, Y. Ishinari, A. Hirano-Iwata, M. Niwano, R. Tero, “Reconstitution of proteoliposome containing human ether-a-go-go-related gene channel into

- supported lipid bilayer”, Eighth International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics (M&BE8), Tokyo, Tower Hall Funabori, June 22, 2015.
- (28) N. Sakaguchi, K. Yokota, T. Nakayama, R. Kimura, Y. Kimura, A. Hirano-Iwata, T. Ogino, “Au nanoparticle incorporation into supported lipid bilayer membranes and its characterization by atomic force microscopy”, Eighth International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics (M&BE8), Tokyo, Tower Hall Funabori, June 22, 2015.
- (29) 平野愛弓, “半導体微細加工に基づく脂質二分子膜イオンチャンネルチップ”, 神奈川 R&D 推進協議会イノベーション研究部会技術討論会, 横浜, 旭硝子株式会社中央研究所, 2015年6月1日 (招待講演)
- (30) 木村康男, 平野愛弓, 庭野道夫, “局所陽極酸化ナノファブリケーション技術”, 2015年度電子デバイス研究会 (ED 研), 仙台, 東北大学, 2015年4月17日
- (31) T. Ma, A. Hirano-Iwata, M. Niwano, “The bulk and interface of organo-lead halide perovskite layer in highly efficient perovskite solar cells—An infrared study”, 2015年度電子デバイス研究会 (ED 研), 仙台, 東北大学, 2015年4月17日
- (32) 平野愛弓, 山本英明, 木村康男, 庭野道夫, “微細加工シリコン基板に基づくイオンチャンネル機能の再構成”, 2015年度電子デバイス研究会 (ED 研), 仙台, 東北大学, 2015年4月16日
- (33) 平野愛弓, “シリコン微細加工で創る脂質二分子膜イオンチャンネルチップ”, 第62回応用物理学会春季学術講演会, 平塚, 東海大学, 2015年3月13日 (招待講演)
- (34) 坂口直駿, 横田圭司, 仲山智明, 木村僚佑, 木村康男, 平野愛弓, 荻野俊郎, “金ナノ粒子を含む脂質二重膜の液中におけるAFM評価”, 第62回応用物理学会春季学術講演会, 平塚, 東海大学, 2015年3月11日
- (35) 平野愛弓, “ナノ構造設計に基づく脂質二分子膜イオンチャンネルチップの開発”, 日本分析化学会東北支部受賞講演会, 仙台, 東北大学, 2015年3月7日 (招待講演)
- (36) 平野愛弓, “シリコン微細加工に基づく脂質二分子膜イオンチャンネルチップの開発”, (独)日本学術振興会「薄膜第131委員会、半導体界面制御技術第154委員会」合同研究会, 東京, ホテルアジュール竹芝, 2015年2月24日 (招待講演)
- (37) 石成 裕, 平野愛弓, 山本英明, 木村康男, 庭野道夫, “微細加工シリコン基板とイオンチャンネルの融合”, 第34回表面科学学術講演会, 松江, くにびきメッセ, 2014年11月6日
- (38) A. Hirano-Iwata, Y. Ishinari, H. Yamamoto, Y. Kimura, and M. Niwano, “Microfabricated Si Chips for Reconstitution of Ion Channel Proteins”, The 7th International Symposium on Surface Science (ISSS-7), Matsue, Kunibiki Messe, November 5, 2014.
- (39) R. Matsumura, A. Hirano-Iwata, M. Niwano, T. Bliss, M. Sugawara, “Simultaneous Recording of Chronoamperometric L-Glutamate Current and Field Excitatory Postsynaptic Potentials in Mouse Hippocampal Slice”, 2014 ECS and SMEQ Joint International Meeting, Cancun (Mexico), Moon Palace Resort, October 7, 2014.
- (40) A. Hirano-Iwata, Y. Ishinari, Y. Kimura, and M. Niwano, “Microfabricated Si Chips Containing human Ether-a-go-go-Related Gene Channels as a Platform for Drug Safety Screenings”, 2014 ECS and SMEQ Joint International Meeting, Cancun (Mexico), Moon Palace Resort, October 6, 2014.
- (41) Y. Ishinari, A. Hirano-Iwata, Y. Kimura, M. Niwano, “Recording Ion-Channel Activities Based on Microfabricated Silicon Chips”, 第52回日本生物物理学会年会, 札幌, 札幌コンベンションセンター, 2014年9月27日
- (42) 山本英明, 谷井孝至, 庭野道夫, 平野愛弓, “培養神経細胞・神経回路操作のための表面マイクロ加工技術”, 第52回日本生物物理学会年会, 札幌, 札幌コンベンションセンター, 2014年9月25日 (招待講演)
- (43) 木村康男, 平野愛弓, 庭野道夫, “ナノデバイス構築のための局所陽極酸化セルフアラインメント技術”, 第75回応用物理学会秋季学術講演会, 札幌, 北海道大学, 2014年9月18日 (招待講演)
- (44) Ayumi Hirano-Iwata, “Bio-electroanalytical Methods Targeted for Neuronal Function”, International Workshop “Bioelectronics”, Kleinwalsertal (Austria), Söllerhaus, September 8, 2014. (招待講演)
- (45) 平野愛弓, “微細加工で創る脂質二分子膜イオンチャンネルチップ”, (独)日本学術振興会「分子系の複合電子機能第181委員会」第19回研究会, 東京, 化学会館, 2014年6月10日 (招待講演)

〔図書〕 (計2件)

- (1) 平野愛弓, “体の中にもシャボン玉のような膜があるの?”, すごいぞ! 身のまわりの表面科学 (分担執筆), 表面科学会編, 講談社, pp. 93-95 (270 ページ) (2016).

- (2) 平野愛弓, ” 薬のナノ宅配便の正体は何? ”, すごいぞ! 身のまわりの表面科学 (分担執筆), 表面科学会編, 講談社, pp. 99-102 (270 ページ) (2016).

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
出願年月日 :  
国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
取得年月日 :  
国内外の別 :

[その他]

ホームページ等

<http://www.ecei.tohoku.ac.jp/hirano/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

平野 愛弓 (HIRANO-IWATA, AYUMI)  
東北大学・大学院医工学研究科・准教授  
研究者番号:80339241

### (2) 研究分担者

庭野 道夫 (NIWANO, MICHIO)  
東北大学・電気通信研究所・教授  
研究者番号:20134075

木村 康男 (KIMURA, YASUO)  
東北大学・電気通信研究所・准教授  
研究者番号:40312673

山本 英明 (YAMAMOTO, HIDEAKI)  
東北大学・学際科学フロンティア研究所・  
助教  
研究者番号:10552036