

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1511031

研究進捗状況報告書の概要

1 研究プロジェクト

学校法人名	学校法人 関西大学	大学名	関西大学
研究プロジェクト名	3次元ナノ・マイクロ構造の創成とバイオミメティクス・医療への応用		
研究観点	研究拠点を形成する研究		

2 研究プロジェクトの目的・意義及び計画の概要

ヤモリの足裏にヒントを得た吸着マジックテープ、サメ肌の水着による流体抵抗の軽減、フクロウの羽形状をした新幹線パンタグラフによる風切音の低減など、生体模倣(バイオミメティクス)の研究が盛んに行われている。本学においても、蚊の口器に注視しその模倣により無痛針開発を長年行ってきた。蚊の口器は人間に痛みを与えることなく皮膚を穿孔できる構造となっており、動作も最適化されている。この研究過程において、バイオミメティクスがいかに優れた開発手法であるかを知り、その学問的な意義を明確にする研究の重要性を認識してきた。生体構造は微小構造がボトムアップ的にアセンブリされて成り立っており、その模倣には微細加工技術が必須となる。バイオミメティクスと本学が長年培ってきたMEMS(Micro Electro Mechanical Systems)技術との融合が、近未来のわが国の新たな産業基盤を創成するものであると考え、本プロジェクトにおいて、バイオミメティクスと微細加工技術の融合による新学問分野の確立を目指した研究基盤形成を行う。

本プロジェクトは、研究代表者の青柳が統括し、3次元ナノ・マイクロ加工に関する基礎的な研究を行うグループ(以下、「ナノ・マイクロ加工グループ」と略す)、微細加工を応用した医療用デバイスに関する応用研究を行うグループ(以下、「医療応用グループ」と略す)、バイオミメティクスに関する応用研究を行うグループ(以下、「バイオミメティクスグループ」と略す)の3グループから構成される。

ナノ・マイクロ加工グループでは、3次元光造形、フェムト秒レーザー加工、ナノインプリント等の最新の加工技術について、加工現象の解明や最適加工パラメータの探索等、理論・実験研究を行う。この加工技術を応用し、医療応用グループでは蚊を模倣した注射針、バイオ・生体センサ等の医療関連デバイスの設計・製作・評価を行う。バイオミメティクスグループでは蛸を模倣したロボットハンド等のメカトロニクス関連デバイスの設計・製作・評価を行う。応用研究では企業(ローム社、ニプロ社等)と連携して研究を進める。

3 研究プロジェクトの進捗及び成果の概要

ナノ・マイクロ加工グループ、医療応用グループ、バイオミメティクスグループの全てに横断的に関わる研究として、蚊の口器を模倣した無痛針の研究が進められており、実用化が近いと思われる。フェムト秒レーザー加工により医療用材料として一般的なステンレス製の針の開発に成功している。

一方、ナノ・マイクロ加工グループにおいては、電解メッキ・無電解メッキを用いて新規な微細構造が作製され、ナノインプリントによるダイヤモンドへの微細パターン形成に関する新規な基礎研究が遂行されている。もちろん、無痛針、ロボットグリッパ、抗菌シートの生体模倣デバイスの開発においても、超精密3D光造形、フェムト秒レーザー加工、MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)加工が最大限に活用されており、その一環としての加工条件の最適化の研究も行われている。3次元ナノ・マイクロ加工、MEMS加工法を用いて、医療応用グループでは、光学的血脈波信号を利用したアルコールセンサ、金ナノ粒子を用いたバイオセンサの開発が進められている。前記した無痛針も医療デバイスである。バイオミメティクスグループでは、蚊の口器を模倣した無痛針の研究の他に、蛸の吸盤を模倣したロボット用グリッパや蝉の羽を模倣した細菌を寄せ付けない表面構造の検討を行っており、いずれも実用化に向けた研究が進んでいる。

応用展開として、3次元ナノ・マイクロ加工を応用したデバイスの開発研究も本プロジェクトで遂行している。その一環として、環境中に存在するが活用されていない、僅かな振動エネルギーを有効に電気エネルギーに変換するエナジーハーベスティングデバイスの研究開発も行っている。これについては企業との共同研究を経て、商用デバイスに発展させることを検討している。

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1511031

**平成 27 年度選定「私立大学戦略的研究基盤形成支援事業」
研究進捗状況報告書**

- 1 学校法人名 学校法人 関西大学 2 大学名 関西大学
- 3 研究組織名 3次元ナノ・マイクロユニット
- 4 プロジェクト所在地 大阪府吹田市山手町3丁目3番35号
- 5 研究プロジェクト名 3次元ナノ・マイクロ構造の創成とバイオミメティクス・医療への応用
- 6 研究観点 研究拠点を形成する研究

7 研究代表者

研究代表者名	所属部局名	職名
青柳 誠司	先端科学技術推進機構・システム理工学部	教授

8 プロジェクト参加研究者数 12名9 該当審査区分 理工・情報 生物・医歯 人文・社会

10 研究プロジェクトに参加する主な研究者

研究者名	所属・職名	プロジェクトでの研究課題	プロジェクトでの役割
青柳 誠司	先端科学技術推進機構・システム理工学部・教授	統括・3次元ナノ・マイクロ構造を利用した医療・メカトロニクスデバイスの開発	ナノ・マイクロ加工とバイオミメティクスを応用した注射針やロボット用デバイスの開発
新宮原 正三	先端科学技術推進機構・システム理工学部・教授	マイクロエレクトロプレーティングによる微細構造の創成	3次元マイクロ構造物へのメッキとその離形による金属製ナノ・マイクロ構造物の創成
新井 泰彦	先端科学技術推進機構・システム理工学部・教授	フェムト秒レーザー加工による微細構造の創成	高精度・高出力レーザー加工による生体適合金属(ステンレス、チタン等)製ナノ・マイクロ構造物の創成
山口 智実	先端科学技術推進機構・システム理工学部・教授	ナノインプリント法による微細構造の創成	ナノインプリントによる生体適合プラスチック製ナノ・マイクロ構造物の創成
福永 健治	先端科学技術推進機構・化学生命工学部・教授	動物実験による医療用デバイスの性能評価	ラットを用いた採血・薬剤注入による医療用微細針の性能評価
大村 泰久	先端科学技術推進機構・システム理工学部・教授	MEMS による生体センシングデバイスの開発	血中アルコール濃度測定をはじめとした生体センシング手法の開発
稲田 貢	先端科学技術推進機構・システム理工学部・教授(前准教授)	MEMS による医療用バイオセンサの開発	金属ナノ粒子を用いた表面プラズモンセンサの開発とタンパク質同定への応用

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1511031

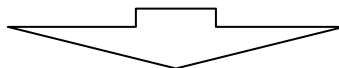
鈴木 昌人	先端科学技術推進機構・システム理工学部・准教授	蚊のバイオミメティクスによる医療用無痛注射針の開発	蚊の口器構造・穿刺動作の模倣、採血と注薬が可能な医療用無痛針の開発
高橋 智一	先端科学技術推進機構・システム理工学部・准教授(前助教)	蛸のバイオミメティクスによるフレキシブルロボットハンドの開発	蛸の吸盤の構造・メカニズムの模倣、任意寸法・形状の物体を吸着・把持できるロボットハンドの開発
伊藤 健	先端科学技術推進機構・システム理工学部・准教授(平成30年4月1日から教授)	自然界や生物が持つナノ構造の模倣及びセンサへの応用	トビウオのヒレ、セミの羽根等のナノ・マイクロ構造の機能評価と工学的模倣
(共同研究機関等) 高澤 知規	群馬大学医学部附属病院集中治療部(前麻醉神経科学(麻醉・蘇生学))・講師	臨床試験による医療用デバイスの性能評価	臨床試験も視野に入れた動物実験による医療用注射針の痛みの評価
歌 大介	富山大学薬学部・助教	動物実験による医療デバイスの性能評価	マウスを用いたマイクロニードル穿刺の際の痛みの評価

<研究者の変更状況(研究代表者を含む)>

旧

プロジェクト外での研究課題	所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割

(変更の時期:平成27年10月1日)



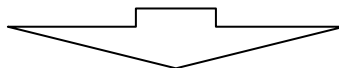
新

変更前の所属・職名	変更(就任)後の所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
	先端科学技術推進機構・システム理工学部・准教授	伊藤 健	トビウオのヒレ、セミの羽根等のナノ・マイクロ構造の機能評価と工学的模倣

旧

プロジェクト外での研究課題	所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割

(変更の時期:平成28年4月20日)



新

変更前の所属・職名	変更(就任)後の所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
	富山大学薬学部・助教	歌 大介	マウスを用いたマイクロニードル穿刺の際の痛みの評価

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1511031

11 研究進捗状況(※ 5枚以内で作成)

(1) 研究プロジェクトの目的・意義及び計画の概要

本プロジェクトはナノ・マイクロメートルスケールの3次元微細構造の形成技術とバイオメティクス技術の融合による新学問分野の確立すること、研究成果を医療デバイスおよびメカトロニクス・ロボティクス関連のデバイスの開発に応用することを目的とする。

本プロジェクトは、研究代表者の青柳が統括し、3次元ナノ・マイクロ加工に関する基礎的な研究を行うグループ(以下、「ナノ・マイクロ加工グループ」と略す。メンバー:青柳、新宮原、山口、新井)、微細加工を応用した医療用デバイスに関する応用研究を行うグループ(以下、「医療応用グループ」と略す。メンバー:福永、高澤、歌、大村、稲田)、バイオメティクスに関する応用研究を行うグループ(以下、「バイオメティクスグループ」と略す。メンバー:高橋、鈴木、伊藤)の3グループから構成される。ナノ・マイクロ加工グループでは、3次元光造形、フェムト秒レーザー加工、ナノインプリント等の最新の加工技術について、加工現象の解明や最適加工パラメータの探索等、理論・実験研究を行う。この加工技術を応用し、医療応用グループでは蚊を模倣した注射針、バイオ・生体センサ等の医療関連デバイスの設計・製作・評価を行う。バイオメティクスグループでは蛾を模倣したロボットハンド等のメカトロニクス関連デバイスの設計・製作・評価を行う。

(2) 研究組織

【研究代表者の役割】 研究代表者の青柳は、3グループの進捗状況のチェックを行い、各研究者とコミュニケーションを密にとりながら、プロジェクトを円滑に推進している。ナノ・マイクロ加工グループ、医療応用グループ、バイオメティクスグループの全てに横断的に関わる研究として、蚊の口器を模倣した無痛針の研究が進められており、代表者が主体的に推進しながら3グループ全体の進捗状況を把握している。

【研究プロジェクト遂行のための役割分担や責任体制の明確化】 研究代表者の青柳が強いリーダーシップを発揮してプロジェクトを遂行し、プロジェクト全体に関わる事項の責任を負う。各グループには責任者を置き(ナノ・マイクロ加工グループ:新宮原、医療応用グループ:大村、バイオメティクスグループ:高橋)、グループの進捗について責任を持つとともに、代表者との間で密に連携を取りながら研究を推進している。

【研究者間・研究チーム間の調整・連携の状況】 半年に一度、プロジェクトに参画する全ての研究者と、その研究者の指導のもとにプロジェクトに関わる研究を行う学生(学部生、大学院生)を全て集めて(約140名/年)、各グループの進捗状況について皆で情報を共有するとともに、薬品やガス等の取り扱い、装置の取り扱いに関する安全講習を行っている。これとは別に、各グループの研究者間での連携、グループ間の研究者の連携も、研究遂行にあたり日常的にとりつつ研究を推進している。

【研究支援体制】 関西大学先端科学技術推進機構より、研究経費(予算、支出等)、装置の管理(設置、修理等)、プロジェクト推進に関わる全般的な管理事務の支援を得ている。試薬や機器等の購入、PDの雇用などは大学の法人部局により、研究の進捗状況のチェックは研究推進部より、万全の支援を得ている。

【プロジェクトに参加する研究者・大学院学生・PD、RAの人数と活用状況】 プロジェクトの準研究員として複数の大学院生がプロジェクトに参画しているだけでなく、各研究分担者の研究室に所属する大学院生もデバイスの作製、性能評価などを通じて間接的にプロジェクトの研究に携わっている。PD、RAを雇用し、ナノ・マイクロ加工グループ、医療応用グループ、バイオメティクスグループの研究を推進してもらうとともに、装置群の維持・管理、学生への装置の使用法の教示等も行ってもらっている。この過程で、若手研究者の育成にも力を入れている。

【共同研究機関等との連携状況】 各研究メンバーにおいて、企業との共同研究、NEDO、JSTを通じた外部機関(企業、大学、公的研究機関)との連携を行っている。特に、デバイスの医療応用を想定しているため、メンバーに群馬大学医学部の高澤医師、富山大学薬学部の歌が参画しており、最低月1回以上の頻度でメールや電話にて打ち合わせを行い、研究を進めている。さらに、大阪医科大学との連携も逐次進めている(消化器外科における内視鏡用マイクロニードル、小児科におけるマイクロニードルで採血した血液の溶血チェック等)。

(3) 研究施設・設備等

【研究施設の面積及び使用者数】

・ハイテクリサーチ・コア:201-204号室(186.619 m²)使用人数:141名、205南室(35.00 m²)使用人数:68名、014号室(46.62 m²)使用人数:33名

・学術フロンティア・コア:F33室(40.62 m²)使用人数:23名

・第4実験棟:動物飼育室(28.50 m²)使用人数:5名

動物実験は、関西大学動物実験委員会の規定に基づいて実施している。

【主な研究装置、設備の名称及びその利用時間数等】

フェムト秒レーザー加工機:使用時間41h/月、ナノインプリント装置:使用時間7h/月、接触式表面プロファイラー装置:使用時間11h/月、イオンミリング装置:使用時間2h/週、超高精度光造形装置:使用時間35h/週、両面マスクアライナー:使用時間35h/週、高真空スパッタ装置:使用時間20h/週、ICPエッチング装置:使用時間3h/週、高分解能走査電子顕微鏡:使用時間50h/週

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1511031

(4)進捗状況・研究成果等 ※下記、13及び14に対応する成果には下線及び*を付すこと。

<現在までの進捗状況及び達成度>

プロジェクトは、研究代表者の青柳が統括し、3次元ナノ・マイクロ加工に関する基礎的な研究を行うグループと微細加工を応用した医療用デバイスに関する応用研究を行うグループ、バイオメティクスに関する応用研究を行うグループの3グループから構成され、研究を推進している。プロジェクト全体としては、以下に記載するように各グループから成果があがっており、初年度に導入したフェムト秒レーザー装置等を活用した微細加工技術開発からデバイスの作製、実用化に向けた医療・メカトロニクス分野への応用と、基礎研究から実用化までの一貫したマイクロ微細加工技術の研究拠点が着実に形成されつつある。

それぞれの研究グループについての研究進捗概要については、以下にまとめる。

1. ナノ・マイクロ加工グループ

(1a) 3次元ナノ・マイクロ構造を利用した医療・メカトロニクスデバイスの開発*1a(担当者: 青柳)

蚊の口器を模倣した無痛針の研究・開発を進めており、実用化に近い段階に入っている。また、3次元ナノ加工を応用したデバイスとして、環境中に存在するが活用されていない、僅かな振動エネルギーを有効に電気エネルギーに変換するエナジーハーベスティングデバイスの研究開発も行っている。これらのデバイスの研究・開発においては、3次元ナノ・マイクロ加工装置群を活用しなければならないが、加工条件の最適化等を行い、前者の例では滑らかで鋭利な先端形状を有する針の開発に成功した。後者の例ではセンサネットワークの駆動に必要な100 μWの高出力を得ることに成功した。

(1b) マイクロエレクトロプレーティングによる微細構造の創成*1b(担当者: 新宮原)

3Dナノ・マイクロデバイスを作製するにあたり、MEMS加工、光造形装置、レーザー加工装置で原型(マスタ)をつくるが、これには加工時間を要する。原型を転写することが大量生産を視野に入れた場合に必要になる。微小構造物への金属をメッキするマイクロエレクトロプレーティングを行い、メッキ物を剥がすこと(これを電鍍技術と呼ぶ)が転写技術として有望である。本課題では、単結晶シリコン内の微細な貫通穴(直径2 μm、深さ30 μm)にCu(銅)をメッキすることに成功した。また、CoWB層をバリア層として用いることでCuのSiへの核酸を抑制することにも成功した。

(1c) ナノインプリント法による微細構造の創成*1c(担当者: 山口)

マスタを転写する技術として、熱や紫外線のエネルギーを加えながらマスタを相手方の材料に押しつけ、負型(金型)を作製することが有望である。負型に対してポリマー材料を射出成形することでプラスチック製の、前記電鍍を行うことで金属製の微細製品の大量生産が可能となる。本課題では、ダイヤモンドを金型材として想定する。金属をダイヤモンドに熱化学拡散させることで、ダイヤモンド表面に微細構造物の負型を転写する。この加工原理の妥当性を分子動力学を用いたシミュレーションで解明した【★1】。実際に、鉄系試料上の溝パターンを人工単結晶ダイヤモンドに真空加熱接触させた。確実に微細溝がダイヤモンドに転写され、加工の可能性を確認できた【★2】。また、温度によりダイヤモンドへの転写深さの制御が可能であることを解明した。

(1d) 3次元光造形による微細構造の創成*1d(担当者: 新井)

直径100 μmの光モータをマイクロ創成技術に基づき製作した。3次元光造形機を活用し、その際の加工条件の最適化を行うことで、光導波路から出射されたレーザー光によって光モータのローターを回転させることに成功した。さらに、光モータのローターで発生したトルクを伝達するためのマイクロギアの作製にも成功した。

2. 医療応用グループ

(2a) 動物実験による医療用デバイスの性能評価*2a(担当者: 福永、高澤、歌)

蚊の口器を模倣した医療用無痛針の研究として、本課題では動物実験による注射針の穿刺性能、採血性能の評価を遂行している。倒立型顕微鏡でマウスの皮膚の血管を可視化する手法を開発することができ、世界的にも貴重な映像が取得できた。この成果を平成29年7月の第44回可視化情報シンポジウムにて発表し、大きな反響を得た。【★15】また、痛みを伝達する神経の活動電位を測定し、そのデータから電気生理学的な検討により針の痛みの程度を定量的に評価する手法を提案し、その成果は新聞にも取り上げられた【★3】。今後人間による臨床実験も視野に入るが、群馬大学の高澤がその準備を進めている。

(2b) MEMSによる生体センシングデバイスの開発*2b(担当者: 大村)

本課題では、血中アルコール濃度測定をはじめとした生体センシング手法の開発を進めている。光電脈波を使った非侵襲的なアルコール摂取検知アルゴリズムを提案した【★4】。また、生体情報を有する唾液、汗などをリアルタイムで分析する無電池型の小型分析機器の開発も行っている。複数の薬液を攪拌する回転体に関する特許を申請した【★5】。さらに、飲酒後と運動後の信号を区別するための改善をリサーチユダグラムを用いて行っている。回転体のエネルギー源として、小型熱電発電デバイスの提案も行っていく。

(2c) MEMSによる医療用バイオセンサの開発*2c(担当者: 稲田)

金属及び半導体ナノ粒子を用いたバイオセンサに関する研究を行っている。具体的には、生体親和性有機分子を保護膜とする金ナノ粒子集合体試料の発光特性、磁気特性、電気伝導特性の基礎物性を検討した。その

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1511031

結果、発光センサに関して、ナノ粒子の保護膜に用いるべき分子の大きさを明らかにすることができた【★6】。磁気センサに関して、ナノ粒子の磁化の起源が粒子表面の金原子と保護分子間に働くクーロン力であることを実験的に明らかにした【★7】。さらに、金ナノ粒子集合体の発光特性が、グルコースオキシターゼ反応により発生する過酸化水素により変化することを利用して、血糖値センサのプロトタイプの開発に成功した。

3. バイオミメティクスグループ

(3a) 蛸のバイオミメティクスによるフレキシブルロボットハンドの開発*3a(担当者:高橋)

蛸の吸盤を模倣したグリッパで多様な物体を把持することを目的として研究を行った。プロジェクト申請前の時点で密閉空間を体積膨張で減圧することで吸着を行うグリッパを開発済みであり、本課題では従来のこのグリッパに蛸のもつ微小突起・溝・漏斗構造を加え、吸着性能を高めることに成功した。さらに、多様な物体を把持するため、グリッパを複数並べた構造、蛇腹構造、柔軟物把持、ソフトフィンガとの組み合わせなどを検討している。

(3b) 蚊のバイオミメティクスによる医療用無痛注射針の開発*3b(担当者:鈴木)

蚊の針は 1 本ではなく、血液を吸う中央の上唇とその両脇にギザギザ形状をした子顎があり、これらがお互いに位相差を持って協調振動しながら少しずつ皮膚へ侵入することで、侵襲性を最低限に留めている。この複雑な 3 次元微細形状の蚊の針を、3D 光造形により作製することに成功した【★8】。また、蚊と同様の交互振動穿刺により、穿刺力が半分近くに低減することを確認した。この針を用いて血糖値検査に必要な 0.3 μ L の血液を数秒で吸引することに成功した。

(3c) 自然界や生物が持つナノ構造の模倣及びセンサへの応用*3c(担当者:伊藤)

近年、高度な観察技術により昆虫の翅には自己組織的に作られたナノ構造(ナノピラー)が存在することが明らかとなった。ナノピラーはロータス効果による撥水性を示すほか、光に対する無反射構造としても知られている。さらに近年、この構造が持つ物理的な特性が殺菌作用を示すことが報告された。その構造を Si ナノピラーを作製して人工的に模倣し、Si 基板の表面状態やナノ構造の大きさが抗菌性に影響を及ぼすことを新たに明らかにした。

<特に優れた研究成果>

1. ナノ・マイクロ加工グループ*1a,*1b,*1c,*1d

3 次元ナノ加工をフェムト秒レーザーを活用し、医療用材料として一般的なステンレス製の針の開発に成功した【★9】。また、微細構造の作製技術として、直径 2 μ m、アスペクト比 15 の高アスペクトの微細穴内部への無電解めっきに成功し、穴底部でのカバレジが 60%という良好な結果が得られた点は、従来技術(スパッタによる金属膜の堆積等。底部カバレジ 10%以下)と比較して特に優れている【★10】。ナノインプリント法を用いた場合では、微細構造炭素拡散の分動力学解析シミュレーション手法を確立した。この手法は、外力や摺動のある条件下での解析が可能なので、本研究での加工技術だけに限らず、ダイヤモンド切削での工具摩耗モデルとしても利用できる。さらに、3 次元光造形機を活用し、直径 100 μ m の光モータを製作した。このような光の運動量を機械的運動に変換することのできるマイクロ構造物の製作を初めて実現した。

2. 医療応用グループ*2a,*2b,*2c

医療用デバイスの性能評価のためマウスの皮膚の血管を可視化する手法を開発し、蚊の針や開発した針が血管から吸血する世界的にも貴重な映像が取得できた。ラットの痛みを伝達する神経の活動電位から、電気生理学的な検討により針の痛みの程度を定量的に評価する手法を世界で初めて提案した。

また、生体センシングデバイスの開発では、光電脈波を使ったアルコール摂取検知のための OHIO アルゴリズムは信頼度が高く、実用化に向けた検討が可能となった。分析用無電池型小型回転体は、携帯型分析器の一つの候補になり得る。さらに、バイオセンサの開発では、金ナノ粒子の局所表面プラズモン増強電場を利用することで発光強度を 3 倍程度大きくすることができた。また、金ナノ粒子の磁気特性を利用したバイオセンサの感度増強のためには金原子とセンサ分子の吸着基との間の仕事関数差に着目して材料設計を行えばよいことを見出した。

3. バイオミメティクスグループ*3a,*3b,*3c

蛸の吸盤を模倣し、微細な突起をグリッパ表面に設けると対象物との間に働く摩擦力が高くなることを明らかにした【★11】。蛸の吸盤側面のくびれ、および底面の凹みと溝は吸盤の柔軟性を高める効果があると考えられるため、これを模倣し、把持対象の形状に追従しやすいグリッパの作製に成功した【★12】。

また、3D 光造形により蚊と全く同一の直径 50~100 μ m な微細な寸法で、先端が鋸刃形状のマイクロニードルの作製に成功し、従来比 3~4 割減となる穿刺抵抗力を実現することができた。さらに、ウエットエッチングによる手法(メタルアシストエッチング)によりナノ構造を均一かつ制御性良く作製する技術を提案した。これにより安価かつ大面積にナノピラーを作製することに成功した。このように人工的に作製したナノ構造にも抗菌性効果が認められ、抗菌デバイスの実用化へ向けた応用研究への今後の展開が期待できる。

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1511031

<問題点とその克服方法>

1. ナノ・マイクロ加工グループ

レーザー加工や光造形で一本一本針を作るのは時間とコストがかかるが、大量生産が必要なマイクロ注射針の作製のため、ナノインプリントによる転写技術を確認し、この問題を解決する。微細構造の創成研究では、無電解バリアメタルにおいて、十分な密着強度とCu拡散バリア性の双方を兼ね備えたものは未だ見いだしていない。めっき浴の組成を変えて合金バリア膜の元素組成を様々に変えた膜を探索する。また、解析モデルの妥当性を評価するため、シミュレーションに近いオーダーでの実現象の測定を行えるよう実験方法を工夫する。

さらに、光モータは、高出力化が必要となるため、光導波路をフェムト秒レーザーで作製する新たな技術開発を行っていく。

2. 医療応用グループ

針の穿刺による痛みの評価法について、測定条件等を変更しながら詳細にデータを取得し、信頼性を向上させる。また、人間の痛みを評価する臨床実験を検討する。生体センシングデバイスの開発では、複数の薬液を攪拌する回転体のエネルギー源として、小型熱発電デバイスの開発が急がれる。

3. バイオメテックスグループ

ロボットハンドの開発では、柔軟物体に対して密閉空間の体積膨張率が低下し、吸着力が減少する。柔軟物の変形を阻害するフィルタを吸盤底面に形成する方法、吸盤を小径にして大量に配置する方法によりこの解決を図りたい。無痛注射針の開発においては、3D 光造形により作製したプラスチック製の針は強度が低い。転写により金属製の針を作ることが課題となるため、ナノインプリント、射出成形、エレクトロプレーティングなどの方法を用いて試作を行う予定である。また、セミの羽を利用した抗菌デバイスの開発ではメタルアシストエッチングによるポリマー粒子を自己組織的に配列させナノ構造のコアを作製しているが、ポリマー粒子の大きさを変更するとナノ構造の均一性が崩れる。このため、ポリマー粒子を自己組織的に配列させるための専用装置の開発を行っている。

<研究成果の副次的効果>

1. ナノ・マイクロ加工グループ

医療・メカトロニクスデバイスの開発では、蚊を模倣した無痛針は早期実用化が期待され、医療器メーカーと情報交換を進めている。また、微細構造の創成では微細穴への無電解めっきバリア・シード層形成技術に関して、複数の会社と共同研究を展開している。今後は共同研究を発展させるとともに、JST、NEDO などの外部資金の獲得を目指す。光モータ開発では、その駆動時に電磁界を発生させることなく微小物体を移動・回転させることができる。電磁界が好ましくないバイオ関連の電子顕微鏡下でのサンプルを設置する際の位置制御機構のアクチュエータとして利用できる。

2. 医療応用グループ

医療用デバイスの性能評価では、針の痛みの評価方法において医療器メーカー等に対して有償での評価サービスするベンチャービジネスへの展開が期待できる。他にもアルコール摂取検知のためのアルゴリズムは、米国主導で進められている DADSS(アルコール検出システム)プロジェクトで採用される可能性がある。

3. バイオメテックスグループ

バイオメテックスによる技術開発では、今までにないようなナノ構造を利用した抗菌性材料の創出を期待でき、これらが実現できれば、特許性もあり、医療・バイオデバイスへの活用も十分に期待できる。また、無痛針の開発を含めたこれらの研究成果は人間だけでなく、ペットの医療用器材としての実用化展開も見込まれる。

<今後の研究方針>

1. ナノ・マイクロ加工グループ

蚊を模倣した無痛針の研究・開発を進めるとともに、上市のことを考え、蚊と同等の機能を持つ大量生産可能なマイクロニードルの提案を行っていく。微細構造の創成では、実用化に対応してウエハレベルでのめっき膜厚の均一性の制御を行っていくだけでなく、前述したように、拡散バリア性と密着性の双方を満足するバリア・シード層の無電解めっき条件を確立させる。他にも解析モデルの妥当性を評価できるような実験方法を考案して、モデルの確度を向上させていく。今までの溝パターンから、面接触を確実に実現させられるパターンに変更して、転写が確実に実現できる条件(圧力・温度・時間等)を導き出し、任意のパターン形状が転写できる方法を確立していく。光モータに関しては、集合体による実用に供する微小物体の位置決めシステムの開発を進めていく。

2. 医療応用グループ

医療用デバイスの開発では、実験により針の穿刺・吸血に関するデータを積み上げながら、人間による臨床実験の可能性を検討する。生体センシングデバイスの開発では、無電池型の小型分析機器の設計指針を得るために理論モデルの完成を急ぎ、それに基づいて製造に向けた指針を得る。医療用バイオセンサーに関しては、実際にデバイスとして機能する PPM オーダーの高感度化を有するたんぱく質センサの開発を進める。ま

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1511031

た、基板表面に MEMS 加工によって作製した櫛形構造に、特定たんぱく質と反応するリガンド分子保護の金ナノ粒子(またはシート)を堆積し、たんぱく質の付着による光学的変動または共振周波数変動を利用したたんぱく質センサを実現する。

3. バイオミメティクスグループ

ロボットハンドの開発では、硬い物体も柔軟な物体も両方把持可能な構造や材料を検討する。無痛注射針開発においては、転写により高強度の金属製の針を作ることで、穿刺時の皮膚の撓み防止機構、針の座屈防止機構、血管の赤外線画像探索等、システムとしての無痛穿刺方法について総合的に検討する。また、ナノピラー開発では、ナノ構造のピッチを制御することによる抗菌性変化を追うことで、抗菌性の最適化を行う。

<今後期待される研究成果>

1. ナノ・マイクロ加工グループ

医療・メカトロニクスデバイスの開発では、蚊を模倣した針のみならず、バイオミメティクス関連製品を作製するための 3D ナノ・マイクロ技術を体系化できれば、多数の生体模倣のアイデアが工学的に実現可能となる。

また、微細構造の創成研究では、微細穴へのメッキ技術を半導体の 3 次元実装技術に応用し、フラッシュメモリや高性能 LSI などのさらなる高密度化・高性能化が可能となる。他にも約 5 mm 四方のダイヤモンド平面上に、凹部幅:1 mm、凸部幅:0.5 mm の溝パターンを 5、6 時間の加熱にて数 μm 以上の深さまで転写できる加工法が実現可能となる。さらに、光モーター開発では光子を潤滑剤とした新たなマイクロ領域における光ベアリングの開発を目指している。

2. 医療応用グループ

動物実験のデータを蓄積することにより、まずは蚊を模倣した無痛針の、その先に種々のバイオミメティクスを応用したデバイスの性能評価の方法を確立していく。また、熱電発電用細線材料に関する理論的モデルを他の材料に拡張するための検討により、新しい MEMS 生体センシングデバイスのエネルギー源が提案できる可能性がある。

3. バイオミメティクスグループ

ロボットハンドの開発では、物体の柔軟性によらず把持可能なグリッパに発展させ、これをロボットアームに搭載することで、実際と近い作業環境でのグリッパの把持性能を調べることができるため、柔軟性が多岐にわたる物品の運搬機器に応用できる。他にも様々な生物のバイオミメティクスの方法論の確立に向けた研究へ発展できる。

<自己評価の実施結果及び対応状況>

関西大学先端科学技術推進機構の支援を受け、年度末に各研究員の研究成果を確認するため、進捗状況についての研究成果報告書(技苑)を発行している。[参考資料 3]

平成 29 年 9 月には、本学研究推進委員会 外部資金審査・評価部会にて内部評価を受けた。[参考資料 2] 総合評価としては、テーマも独創的であり、成果もほぼ順調であり、今後の進展におおいに期待するという高評価であった。また、指摘事項と今年度の対応については、以下の通りである。1)無痛針については研究レベルでは進捗しているが、量産化の問題が残っているという指摘があったが、精密 3D 光造形装置で針のマスター(原型)を作製し、これにニッケルを電解メッキして剥がすことによりニッケルの負型を作製する(電鍍プロセス)。これを熱ナノインプリント装置を用いて生分解性プラスチックに順次ステップ送りをしながら転写していき、大量に生体適合性の樹脂針を作製することに取り組んだ。【★13】また、従来取り組んできている負型に高温溶融した樹脂を圧力をかけて流し込み、冷却後に離型する射出成形法も、プラスチック成形メーカーであるメイホー社の協力を得て、実際の生産現場への適用の手前まで進捗している。2)注射針と比較してそれ以外のデバイスについて進展度に差が見られるという指摘に対しては、「(4)進捗状況・研究成果等」欄に記載のとおり、徐々にではあるが、着実に研究が進捗しており、今後、進捗を加速させながら、論文、学会発表等を通して成果を公表していく。3)各デバイスの人体への適用へのステップの検討については、注射針について、痛み刺激に対して特異的に反応するスキンコンダクタンス(皮膚表面の電流の流れやすさ)を測定することで、人間の痛みの定量的な評価を行う研究を進めている【★14】。自然界や生物が持つナノ構造の模倣及びセンサへの応用において、昆虫(セミ)の翅の表面構造を模倣した抗菌デバイスの性能を、大腸菌の残存割合で実用的に評価することに成功した。このように内部評価の指摘を考慮して、注射針をはじめとして様々なデバイスにおいて実用化に向けた生物を用いた実験を鋭意計画・実施している。

<外部(第三者)評価の実施結果及び対応状況>

平成 29 年 5~6 月に日本のバイオミメティクス研究の牽引者である千歳科学技術大学の下村政嗣氏、MEMS の産業応用における草分け的存在である産業技術総合研究所の前田龍太郎氏、研究代表者と同じく蚊を模倣した無痛針の研究を長年継続して行っている東海大学の樋谷和義氏の著名な有識者 3 名を外評価委員に選定し、外部評価を行った。3 名ともから全項目において最高の評価を得た。2 年という短い期間にもかかわらず成果が十分に上がっているという評価となった。[参考資料 1]

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1511031

12 キーワード(当該研究内容をよく表していると思われるものを8項目以内で記載してください。)

- (1) 3次元ナノ・マイクロ構造 (2) バイオミメティクス (3) 医療デバイス
 (4) 無痛針 (5) 吸着グリッパ (6) 微細加工
 (7) 抗菌デバイス (8) バイオセンサ

13 研究発表の状況(研究論文等公表状況。印刷中も含む。)

上記、11(4)に記載した研究成果に対応するものには*を付すこと。

<雑誌論文>

論文名、著者名、掲載誌名、巻、最初と最後の頁、発表年(西暦)、査読の有無について記入してください(左記の各項目が網羅されていれば、項目の順序を入れ替えても可)。また、現在から発表年次順に遡り、通し番号を付してください。(項目11に対応する特筆すべき業績には★印をつけています。)

1. ナノ・マイクロ加工グループ

(1a) 3次元ナノ・マイクロ構造を利用した医療・メカトロニクスデバイスの開発(青柳) *1aの内容に対応する成果は以下の通りである(9件)

- (1) 青柳誠司, 高橋智一, 伊藤健, 精密加工による種々の生物模倣デバイス, 超精密, 23, 37-43 (2017). [査読有]
 (2) H. Takise, T. Takahashi, M. Suzuki, S. Aoyagi, brication of piezoelectric vibration energy harvester using coatable PolyVinylidene DiFluoride and its characterisation, Micro & Nano Letters, 12(8), 569-574 (2017). [査読有]
 (3) 瀧瀬宏樹, 陳延鵬, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 塗布法により製膜可能な PVDF 圧電膜を用いた小型振動発電デバイスによる μW オーダーの発電, 電気学会論文誌 E, 137(5), 140-145 (2017). [査読有]
 (4) 青柳誠司, マイクロニードルの展望, 精密工学会誌, 82(12), 999-1004 (2016). [査読有]
 (5) Y. Hara, M. Yamada, C. Tatsukawa, T. Takahashi, M. Suzuki, S. Aoyagi, Fabrication of Stainless Steel Microneedle with Laser-Cut Sharo Tip and its Penetration and Blood Sampling Performance, International Journal of Automation Technology, 10(6), 950-957 (2016). [査読有] 【★9】
 (6) Y. Hara, M. Yamada, C. Tatsukawa, T. Takahashi, M. Suzuki, S. Aoyagi, Laser Fabrication of Jagged-Shaped Stainless Steel Microneedle Imitating Mosquito's Maxilla, International Journal of Automaition Technology, 10(6), 958-964 (2016). [査読有] 【★9】
 (7) M. Suzuki, M. Shimokizaki, T. Takahashi, Y. Yoshikawa, S. Aoyagi, Characterization of Electret Based on Inorganic-organic Nanocomposite Using Fluoropolymer and Silica Nanoparticles, Journal of Physics, Conference Series 660, 012077 (4 pages) (2015). [DOI:10.1088/1742-6596/660/1/012077] [査読有]
 (8) M. Suzuki, M. Shimokizaki, T. Takahashi, Y. Yoshikawa, S. Aoyagi, Fabrication and Characterization of Nano/Micro Textured Electret to Avoid Electrostatic Stiction and Enhance Its Surface Potential, Journal of Physics, Conference Series 660, 012042 (4 pages) (2015). [査読有]
 (9) 鈴木昌人, 高橋智一, 青柳誠司, ナノポーラス SiO_2 を用いた高耐熱エレクトレットの開発および振動発電デバイスへの応用, 電気学会論文誌 E, 135(5), 171-177 (2015). [査読有]

(1b) マイクロエレクトロプレーティングによる微細構造の創成(新宮原) *1bの内容に対応する成果は以下の通りである(11件)

- (1) H. Yoshida, T. Shimizu, T. Ito, S. Shingubara, Magnetic conductive filament formed in the ReRAM device with ferromagnetic electrode, ECS Transactions, 75(32), 65-71 (2017). [査読有]
 (2) T. Ito, T. Asada, N. Asai, T. Shimizu, S. Shingubara, Nonenzymatic detection of glucose using BaCuO_2 thin layer, Japanese Journal of Applied Physics, 56, 01AH02 (2016). [査読有]
 (3) N. Kaneko, T. Shimizu, Y. Tada, S. Shingubara, Oxidation of CuSn alloy nanotree and application for gas sensors, Japanese Journal of Applied Physics, 55(06), 1-4 (2016). [査読有]
 (4) T. Shimizu, Y. Tada, N. Kaneko, S. Tanaka, S. Shingubara, Formation of three-dimensional nano-trees with perpendicular branches by electrodeposition of CuSn alloy, Surface and Coatings Technology, 294, 83-89 (2016). [査読有]
 (5) Y. Hara, T. Shimizu, S. Shingubara, Nitridation of Silicon by Nitrogen Neutral Beam, Applied Surface Science, 363, 555-559 (2016). [査読有]
 (6) F. Inoue, H. Philipsen, M. H. van der Veen, S. V. Huylenbroeck, S. Armini, H. Struyf, S. Shingubara, T. Tanaka, Development of Glyoxylic Acid Based Electroless Copper Deposition on Ruthenium, ECS

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1511031

Transactions, 64(40), 41-55 (2015). [査読有]

- (7) K. Ohta, F. Inoue, T. Shimizu, S. Shingubara, Cu Displacement Plating on Electroless Plated CoWB Layer on SiO₂ and Its Adhesion Property, ECS Transactions, 64(40), 57-61 (2015). [査読有] 【★10】
- (8) F. Inoue, H. Philipsen, M. H. van der Veen, S. V. Huylenbroeck, S. Armini, H. Struyf, S. Shingubara, T. Tanaka, Glyoxylic Acid as Reducing Agent for Electroless Copper Deposition on Cobalt Liner, ECS Transactions, 64(40), 63-75 (2015). [査読有]
- (9) N. Nakamura, J. Taniuchi, T. Sone, K. Sasaki, F. Inoue, T. Shimizu, S. Shingubara, Stability Evaluation of Non-Agglomerated Pd Nanoparticle Catalyst Dispersion for Electroless Deposition, ECS Transactions, 64(40), 77-84 (2015). [査読有] 【★10】
- (10) Y. Hara, T. Shimizu, S. Shingubara, Nitridation of Si surface at the bottom of submicron trench using nitrogen neutral beam, Japanese Journal of Applied Physics, 54, 06FH07 (2015). [査読有]
- (11) H. Nishitani, K. Ohta, S. Kitano, R. Hamano, M. Inada, T. Shimizu, S. Shingubara, H. Kozuka, T. Saitoh, Band gap tuning of Ni_{1-x}Mg_xO films by radio-frequency sputter deposition for deep-ultraviolet photodetectors, Applied Physics Express, 8, 105801 (2015). [査読有]

(1c) ナノインプリント法による微細構造の創成(山口) *1cの内容に対応する成果は以下の通りである (1件)

- (1) D. Hirooka, T. Yamaguchi, N. Furushiro, K. Suzumori, T. Kanda, Particle-Excitation Flow-Control Valve using Piezo Vibration-Improvement for a High Flow Rate and Research on Controllability, IEEJ Transactions on Sensors and Micromachines, 137(1), 32-37 (2017). [査読有]

(1d) 3次元光造形による微細構造の創成(新井) *1dの内容に対応する成果は以下の通りである (7件)

- (1) 新井泰彦, 座屈解析へのスペックル干渉変形計測技術の適用, 機械の研究, 69(6), 480-487 (2017). [査読有]
- (2) Y. Arai, Measurement of buckling deformation using speckle interferometry with same sensitivity in three-dimensions, Optical Engineering, 56(4), 044102 (2017). [査読有]
- (3) 新井泰彦, 横関俊介, 2枚のスペックルパターンのみを用いたスペックル干渉計測法の精度向上, 光学, 46(4), 151-159 (2017). [査読有]
- (4) Y. Arai, Influence of error sources in speckle interferometry using only two speckle patterns, Optical Engineering, 55(12), 124101 (2016). [DOI: 10.1117/1.OE.55.12.124101] [査読有]
- (5) Y. Arai, Simultaneous in-plane and out-of-plane deformation measurement by speckle multi-recording method, Measurement, 91, 582-589 (2016). [DOI: 10.1016/j.measurement.2016.05.037] [査読有]
- (6) 新井泰彦, 高分解能なスペックル干渉計測法を用いた板座屈における面外・面内変形計測の可能性, 精密工学会誌, 82, 888-893 (2016). [査読有]
- (7) Y. Arai, Evaluation of micro structure by fusion of three dimensional shape measurement and ultimate analysis using SEM, MATECWeb of Conferences, 32, 05002 (2015). [査読有]

2. 医療応用グループ

(2a) 動物実験による医療用デバイスの性能評価(福永、高澤、歌) *2aの内容に対応する成果は以下の通りである (5件)

- (1) D. Uta, K. Imoto, H. Furue, Action of TRPA1 and TRPV1 agonists on synaptic transmission in morphologically distinct cell types in substantia gelatinosa of the rat spinal cord. The Journal of Functional Diagnosis of the Spinal Cord, in press. [査読有]
- (2) D. Uta, T. Taguchi, Peripheral and spinal mechanisms of nociceptive transmission in a rat model of fibromyalgia, Pain Research, 32, 280-287 (2017). [査読有]
- (3) T. Takazawa, P. Choudhury, C.-K. Tong, C. M. Conway, G. Scherrer, P. D. Flood, J. Mukai, A. B. MacDermott, Inhibition mediated by glycinergic and GABAergic receptors on excitatory neurons in mouse superficial dorsal horn is location specific but modified by inflammation, The Journal of Neuroscience, 37, 2336-2348 (2017). [査読有]
- (4) T. Takazawa, T. Kato, S. Saito, Is use of glycine-containing drugs in anesthesia safe?, Journal of Anesthesia, 31(6), 925 (2017). [査読有]
- (5) D. Uta, D.-J. Xie, T. Hattori, K. Kasahara, M. Yoshimura, Effects of naftopidil on inhibitory transmission in substantia gelatinosa neurons of the rat spinal dorsal horn *in vitro*, Journal of the Neurological Sciences, 80, 205-211 (2017). [査読有]

(2b) MEMSによる生体センシングデバイスの開発(大村) *2bの内容に対応する成果は以下の通りである (1件)

- (1) Y. Mori, S. Sato, Y. Omura, A. Chattopadhyay, A. Mallik, On the definition of threshold voltage for tunnel FETs, Superlattices and Microstructures, 107, 17-27 (2017). [査読有]

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1511031

(2c) MEMS による医療用バイオセンサの開発(稲田) *2c の内容に対応する成果は以下の通りである (3 件)

- (1) T. Saitoh, K. Kinoshita, M. Inada, Bandgap Bowing in $Ni_{1-x}Mg_xO$ Alloy, Applied Physics Letters, 112, 041904 (2018). [査読有]
- (2) M. Inada, Y. Iida, T. Saiki, S. Masuda, Aluminum Nano-polycrystalline Substance with Ferromagnetics and Application to High-Frequency Core Inductor, Journal of Electrical and Electronic Engineering, 5(3), 98-103 (2017). [査読有]
- (3) M. Inada, H. Yamamoto, M. Gibo, R. Ueda, I. Umezumi, S. Tanaka, T. Saitoh, A. Sugimura, Crossover from Efros-Shklovskii variable range hopping to nearest-neighbor hopping in silicon nanocrystal random network, Applied Physics Express, 8, 105001 (2015). [査読有]

3. バイオミメティクスグループ

(3a) 蛸のバイオミメティクスによるフレキシブルロボットハンドの開発(高橋) *3a の内容に対応する成果は以下の通りである (2 件)

- (1) 高橋智一, 三村拓人, 鈴木昌人, 青柳誠司, タコの吸盤の漏斗形状と表面の微細な溝を模倣した真空吸着グリッパの開発, 日本ロボット学会誌, 35(4), 327-333 (2017.6). [査読有] 【★12】
- (2) 高橋智一, 菊池智史, 鈴木昌人, 青柳誠司, 微小突起をもつタコの吸盤を模倣した真空吸着グリッパの開発, 日本ロボット学会誌, 35(1), 62-69 (2017). [査読有] 【★11】

(3b) 蚊のバイオミメティクスによる医療用無痛注射針の開発(鈴木) *3b の内容に対応する成果は以下の通りである (2 件)

- (1) M. Suzuki, T. Takahashi, S. Aoyagi, 3D laser lithographic fabrication of hollow microneedle mimicking mosquitos and its characterisation, International Journal of Nanotechnology, 15, 157-173 (2018). [査読有]
- (2) M. Suzuki, T. Sawa, T. Takahashi, S. Aoyagi, Fabrication of Microneedle Mimicking Mosquito Proboscis Using Nanoscale 3D Laser Lithography System, Journal of Automation Technology, 9(6), 655-661 (2015). [査読有]

(3c) 自然界や生物が持つナノ構造の模倣及びセンサへの応用(伊藤) *3c の内容に対応する成果は以下の通りである (2 件)

- (1) N. Asai, H. Terasawa, T. Shimizu, S. Shingubara, T. Ito, Highly Sensitive quartz crystal microbalance based biosensor using Au dendrite structure, Japanese Journal of Applied Physics, 57, 02CD01 (2018). [査読有]
- (2) N. Asai, T. Shimizu, S. Shingubara, T. Ito, Fabricating a Highly Sensitive QCM Sensor Using AAO Nanoholes and Its Application for Biosensing, Proceedings, 1(4), 495 (2017). [査読なし]

<図書>

図書名、著者名、出版社名、総ページ数、発行年(西暦)について記入してください(左記の項目が網羅されていれば、項目の順序を入れ替えても可)。また、現在から発表年次順に遡り、通し番号を付してください。

1. ナノ・マイクロ加工グループ

(1a) 3次元ナノ・マイクロ構造を利用した医療・メカトロニクスデバイスの開発(青柳) *1a の内容に対応する成果は以下の通りである (1 件)

- (1) 青柳誠司, 第 2 章 マイクロニードル製造技術と穿刺評価, マイクロニードルの製造と応用展開, シーエムシー出版, 41-52, 総ページ数 181 (2016).

<学会発表>

学会名、発表者名、発表標題名、開催地、発表年月(西暦)について記入してください(左記の項目が網羅されていれば、項目の順序を入れ替えても可)。また、現在から発表年次順に遡り、通し番号を付してください。

【国際学会】

1. ナノ・マイクロ加工グループ

(1a) 3次元ナノ・マイクロ構造を利用した医療・メカトロニクスデバイスの開発(青柳) *1a の内容に対応する成果は以下の通りである (7 件)

- (1) H. Takise, Y. Chen, M. Suzuki, T. Takahashi, S. Aoyagi, Fabrication of piezoelectric vibration energy harvester using coatable poly vinylidene difluoride and its characterization, International Symposium on Micro-Nano Science and Technology 2016, SuP1-A-1, Tokyo, Japan (2016.12).
- (2) S. Aoyagi, Microneedle for Blood Collection Mimicking Mosquito, 2nd Korea-Japan Micro Needles Symposium 2016, Session I-3, Korea (2016.11).

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1511031

- (3) M. Suzuki, M. Shimokizaki, T. Takahashi, S. Aoyagi, Characterization of Electret Made of Mixture Contains Mesoporous Silica Nanoparticles and Fluorocarbon Polymer, The 11th Annual IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems, PaperID:1180, Miyagi, Japan (2016.4).
- (4) M. Suzuki, M. Shimokizaki, T. Takahashi, Y. Yoshikawa, S. Aoyagi, Fabrication and Characterization of Nano/Micro Textured Electret to Avoid Electrostatic Stiction and Enhance Its Surface Potential, The 15th International Conference on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications, T6B-03, USA (2015.12).
- (5) M. Suzuki, M. Shimokizaki, T. Takahashi, Y. Yoshikawa, S. Aoyagi, Characterization of Electret Based on Inorganic-organic Nanocomposite Using Fluoropolymer and Silica Nanoparticles, The 15th International Conference on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications, PA-11, USA (2015.12).
- (6) S. Aoyagi, 3D laser lithographic fabrication of hollow microneedle mimicking mosquito and its characterization, 第5回世界工学会議技術展示会, Kyoto, Japan (2015.11-12).
- (7) S. Aoyagi, T. Sawa, T. Takahashi, M. Suzuki, 3D Laser Lithographic Fabrication of Hollow Microneedle Mimicking Mosquito and Its Characterization, The 5th International Workshop on Nanotechnology and Application, NFT-033-I, Vietnam (2015.11).

(1b) マイクロエレクトロプレーティングによる微細構造の創成(新宮原) *1bの内容に対応する成果は以下の通りである (9件)

- (1) T. Shimizu, R. Niwa, M. Matsumura, T. Ito, S. Shingubara, Effect of a metal interlayer under Au catalyst for preparing microscale holes in Si substrate by metal-assisted chemical etching, 43rd International Conference on Micro and Nanoengineering, PO064, Portugal (2017.9).
- (2) H. Yoshida, T. Shimizu, T. Ito, S. Shingubara, Memristive operation observed in the Ti/HfO₂/Au ReRAM device, 43rd International Conference on Micro and Nanoengineering, PO254, Portugal (2017.9).
- (3) H. Yoshida, T. Shimizu, T. Ito, S. Shingubara, Magnetic Conductive Filament Formed in the ReRAM Device with Ferromagnetic Electrode, Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science 2016, D02-1458, USA (2016.10).
- (4) A. Hirate, Y. Miyachi, K. Ohta, T. Shimizu, T. Ito, S. Shingubara, Electroless Plating of Diffusion Barrier Films on SiO₂ and Evaluation of Film Characteristics, Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science 2016, G04-1926, USA (2016.10). 【★10】
- (5) N. Kaneko, T. Shimizu, T. Ito, Y. Tada, S. Shingubara, Oxidation of CuSn Alloy Nano-Tree and Application for Gas Sensors, Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science 2016, H07-2339, USA (2016.10). 【★10】
- (6) T. Ito, T. Asada, T. Shimizu, S. Shingubara, Non-enzymatic detection of glucose using BaCuO₂ thin layer, ISPlasma2016, 07pE08O, Aichi, Japan (2016.3).
- (7) N. Kaneko, T. Shimizu, Y. Tada, S. Shingubara, Oxidation of CuSn Alloy Nanotree and Application for Gas Sensors, 28th International Microprocesses and Nanotechnology Conference, Toyama, Japan (2015.11).
- (8) K. Ohta, F. Inoue, T. Shimizu, S. Shingubara, Highly adhesive displacement plated Cu seed on CoWB barrier for all-wet TSV fill process, 228th ECS meeting, 881, USA (2015.10).
- (9) K. Ohta, A. Hirate, Y. Miyachi, T. Shimizu, S. Shingubara, All-wet TSV filling with highly adhesive displacement plated Cu seed layer, IEEE 2015 International 3D Systems Integration Conference, TS8.4, Miyagi, Japan (2015.8).

(1d) 3次元光造形による微細構造の創成(新井) *1dの内容に対応する成果は以下の通りである (12件)

- (1) Y. Arai, Expansion of measurement area of three-dimensional deformation measurement speckle interferometry with same sensitivities in three directions under consideration of measurement sensitivity, SPIE Optical Engineering + Applications, USA (2017.8).
- (2) Y. Arai, Pre-treatment for preventing degradation of measurement accuracy by speckle noise in speckle interferometry, SPIE Optical Metrology, Germany (2017.6).
- (3) Y. Arai, Deformation measurement of buckling phenomenon using 3D-speckle interferometry, Symposium on Optomechatronic Technology 2016, Tokyo, Japan (2016.11).
- (4) D. Shimizu, Y. Arai, Development of optical actuator ~Fabrication of micro rotor~, International Symposium on Optomechatronic Technology 2016, P05, Tokyo, Japan (2016.11).
- (5) D. Shimizu, Y. Arai, Development of rotor with optical actuator using the silicon-fabrication process,

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1511031

- International Symposium on Optomechatronic Technology 2016, P18, Tokyo, Japan (2016.11).
- (6) Y. Arai, Two dimensional deformation vector analysis using speckle interferometry with same sensitivity in three directions, SPIE Optics +Photonics Interferometry XVIII, USA (2016.8).
- (7) Y. Arai, Evaluation of micro structure by fusion of three dimensional shape measurement and ultimate analysis using SEM, International Symposium of Optomechtronics technology, Switzerland (2015.10).
- (8) Y. Arai, Development of three-dimensinal speckle deformation measurement mehod with same sensitivities in three directions, SPIE Optics+Photonics, USA (2015.8).
- (9) Y. Arai, Influence of error sources in speckle interferometry using only two speckle patterns, SPIE Optical Metrology, Germany (2015.6).
- (10) Y. Arai, Development of in-plane and out-of-plane deformation simultaneous measurement method for the analysis of buckling, SPIE Interferometry 17, USA (2014.8).
- (11) Y. Arai, Spatial fringe analysis based on FFT using only two speckle pattern in ESPI, Optical Engineering+Applications SPIE, USA (2013.8).
- (12) Y. Arai, ESPI based on spetial fringe analysis method using only two sheets speckle patterns, Optical Metrology SPIE, Germany (2013.5).

2. 医療応用グループ

(2a) 動物実験による医療用デバイスの性能評価(福永、高澤、歌) *2a の内容に対応する成果は以下の通りである (2件)

- (1) D. Uta, T. Andoh, K. Imoto, H. Furue, Firing pattern of superficial spinal dorsal horn neurons receiving 5-HT-responsive afferents in the adult rat spinal cord, The 27th International Symposium of Itch, Tokyo, Japan (2017.11).
- (2) D. Uta, Y. Magoshi, Y. Kuraishi, T. Andoh, Analysis of itch-related responses evoked by cutaneous interleukin-31 administration in mice, 26th International Symposium of Itch, Basic Research1, Tokyo, Japan (2016.10).

(2b) MEMSによる生体センシングデバイスの開発(大村) *2bの内容に対応する成果は以下の通りである (5件)

- (1) Y. Omura, S. Sato, Theoretical Models for Low-Frequency Noise Behaviors of Buried-Channel MOSFETs, IEEE SOI-3D-Subthreshold Microelectronics Technology Unified Conference, USA (2017.10).
- (2) Y. Omura, S. Sato, Impact of Crystal Orientation and Conduction Band Nonparabolicity on Diffusion Constant of Nano-scale Si Rectangular Wires - theoretical estimation, 12th International Conference on Surfaces, Coatings and Nano Structured Materials, France (2017.9).
- (3) Y. Omura, K. Harada, H. Ozaki, Correlation Characterization of Photoplethysmogram Signals of Pulsation -Potential for Application to Reliable Alcohol-Intake Detection-, Computing Conference 2017, 174, United Kingdom (2017.7).
- (4) Y. Omura, H. Ozaki, Key Aspects of Photoplethysmogram Signals for Applications to Alcohol-Intake Detection, IEEE Sensors 2016, C-1-2, USA (2016.11).
- (5) Y. Omura, Low-Energy SOI Devices for RF Applications in Sensor Network Era, 7th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces, FP4-A-4, Aichi, Japan (2016.6).

(2c) MEMSによる医療用バイオセンサの開発(稲田) *2cの内容に対応する成果は以下の通りである (8件)

- (1) S. Yamanaka, T. Saitoh, S. Yamazaki, H. Kozuka, M. Inada, Concurrent Activation of Localized Surface Plasmons and Polarons in Tungsten Oxide Nanoparticles, Materials Research Society 2017 Fall Meeting & Exhibit, NM06.09.15, USA (2017.11).
- (2) M. Inada, N. Isobe, T. Miyake, T. Saitoh, Photovoltaic characteristics of organic-inorganic hybrid silicon quantum dot solar cell, 2017 SPIE Optical Engineering + Applications, Next Generation Technologies for Solar Energy Conversion VIII, 10368-4, USA (2017.8).
- (3) M. Inada, T. Miyake, Nozomi Isobe, Tadashi Saitoh, Photo-excited carrier dynamics of CuPc/C60 organic thin lm structure, 2017 SPIE Nanoscience+Engineering, Nanostructured Thin Films X, 10356-36, USA (2017.8).
- (4) S. Masuda, T. Saiki, Y. Iida, M. Inada, High Frequency Core Inductor Using Sintered Aluminum Nano-paste with Aluminum Nano-polycrystalline Structure, Conference on Lasers and Electro-Optics, USA (2017.5).

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1511031

- (5) M. Inada, N. Isobe, T. Miyake, T. Saitoh, Photocurrent in Si Quantum Dot Solar Cells with Inorganic-Organic Hybrid Structure, 2016 Materials Research Society Fall Meeting & Exhibit, NM4.11.03, USA (2016.11).
- (6) M. Inada, T. Koshida, Y. Yoshihara, A. Matsuo, Y. Yamamoto, T. Saitoh, Synthesis and magnetic characterization of DMF-protected Gold nanoclusters, The 61st Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, AW-08, USA (2016.11).
- (7) M. Tsukamoto, H. Kawasaki, T. Saitoh, M. Inada, Comparison of photoluminescence properties of HSA-protected and BSA-protected Au₂₅ nanoclusters, American Physical Society March Meeting 2016, G1.00176, USA (2016.3).
- (8) M. Inada, K. Kamiya, T. Saitoh, Distance-dependent plasmon assisted luminescence of Gold clusters on Gold nanoparticles, 2015 Materials Research Society Fall Meeting & Exhibit, GG20.03, USA (2015.12).

3. バイオメテイクスグループ

(3a) 蛸のバイオメテイクスによるフレキシブルロボット手の開発(高橋) *3aの内容に対応する成果は以下の通りである (3件)

- (1) T. Takahashi, M. Suzuki, S. Aoyagi, Octopus Bioinspired Vacuum Gripper with Micro Bumps, The 11th Annual IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems, PaperID 1185, Miyagi, Japan (2016.4).
- (2) T. Takahashi, S. Kikuchi, M. Suzuki, S. Aoyagi, Vacuum Gripper Imitated Octopus Sucker -Effect of Liquid Membrane for Absorption, 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, WeCT14.4, Germany (2015.9).
- (3) T. Takahashi, M. Suzuki, T. Nishida, Y. Yoshikawa, S. Aoyagi, Long Time Power Enhancement of Vertical Capacitive Energy Harvester Using Magnetic Repulsive Force, The 18th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems, M4B.003, USA (2015.6).

(3b) 蚊のバイオメテイクスによる医療用無痛注射針の開発(鈴木) *3bの内容に対応する成果は以下の通りである (4件)

- (1) M. Suzuki, T. Takahashi, S. Aoyagi, Passive Pump Based on Capillary Force Generated by Gaps Between Microbeads for Blood Collection Via Microneedle, The 19th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems, M3P.068, Taiwan (2017.6).
- (2) M. Suzuki, S. Yamamoto, T. Takahashi, S. Aoyagi, Reinforcement of Sputtered Titanium Microneedle by Parylene Coating to Make Multilayered Shell Structure Like Mille-Feuille, MicroTAS2015, 984-986, Korea (2015.10).
- (3) M. Suzuki, T. Sawa, T. Takahashi, S. Aoyagi, Ultrafine Three-Dimensional (3D) Laser Lithographic Fabrication of Microneedle and Its Application to Painless Insertion and Blood Sampling Inspired by Mosquito, 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Paper WeCT9.5, Germany (2015.9).
- (4) M. Suzuki, T. Sawa, Y. Terada, T. Takahashi, S. Aoyagi, Fabrication of Microneedles Precisely Imitating Mosquito's Proboscis by Nanoscale Tree Dimensional Laser Lithography and Its Characterization, The 18th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems, M4D.007, 121-124, USA (2015.6).

(3c) 自然界や生物が持つナノ構造の模倣及びセンサへの応用(伊藤) *3cの内容に対応する成果は以下の通りである (4件)

- (1) N. Asai, T. Shimizu, S. Shingubara, T. Ito, Fabricating a highly sensitive QCM sensor using AAO nanoholes and its application for biosensing, Eurosensors 2017, France (2017.9).
- (2) N. Asai, T. Yoshimura, Shimizu, S. Shingubara, T. Ito, Highly sensitive QCM based biosensor using Au dendrite structure, The 6th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies, PA3-2-4, Fukui, Japan (2017.6).
- (3) T. Ito, K. Nakade, N. Asai, T. Shimizu, S. Shingubara, Antibacterial property of Si nanopillar array fabricated using metal assisted etching; mimic a cicada wing, Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science 2016, Z02-4121, USA (2016.10).
- (4) T. Ito, K. Nakade, N. Asai, T. Shimizu, S. Shingubara, Antibacterial characteristics of Si nano-pillar array, The 16th International Conference on Nanotechnology, TuPo1.6, Miyagi, Japan (2016.8).

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1511031

【国内学会】

プロジェクト全体 (1件)

- (1) 青柳誠司, 3次元ナノ・マイクロプロジェクトの意義と目指すところ, 文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業キックオフ・ミーティング, 3次元ナノ・マイクロ構造の創成とバイオメティクス・医療への応用, 大阪 (2016.1).

1. ナノ・マイクロ加工グループ

(1a) 3次元ナノ・マイクロ構造を利用した医療・メカトロニクスデバイスの開発(青柳) *1aの内容に対応する成果は以下の通りである (31件)

- (1) 北田博之, 森大樹, 山下正樹, 青柳誠司, 高橋智一, 鈴木昌人, 山本峻己, 引土知幸, 川尻由美, 中山幸治, 細見亮太, ATP溶液とその上に張られたパラフィンフィルムを用いた蚊の穿孔動作および溶液吸引動作の観察, 第30回バイオエンジニアリング講演会, 1111, 京都 (2017.12).
- (2) 山田雅大, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 細見亮太, 福永健治, 歌大介, 高澤智規, 実験動物の血管に対するマイクロニードルの穿刺・吸血性能の検討, 第30回バイオエンジニアリング講演会, 1114, 京都 (2017.12).
- (3) 奥田健人, 山本峻己, 山田雅大, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 福永健治, 細見亮太, 高澤智規, 歌大介, 川尻由美, 有精卵の血管を用いた蚊の口針とマイクロニードルの穿刺性能の評価, 第30回バイオエンジニアリング講演会, 1115, 京都 (2017.12).
- (4) 瀧瀬宏樹, 樋口歩, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, スプレーコーティングによるPVDF高分子圧電薄膜の成膜および特性評価とコイルばねへの適用, 第34回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム, 31am3-PS-21, 広島 (2017.10).
- (5) 山本峻己, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 長嶋利夫, 功刀厚志, 非線形有限要素法解析によるマイクロニードルの穿刺抵抗力の評価, 日本機械学会第30回計算力学講演会, OS03-1.239, 大阪 (2017.9).
- (6) 関月, 山本峻己, 秋本翔平, 北田博之, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 生物の微小な力を計測するマイクロピッチ格子付きフィルムを用いた分布力センサの提案と作製, 2017年度精密工学会秋季大会 学術講演会, N15, 大阪 (2017.9).
- (7) 北田博之, 山本晴輝, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 山本峻己, 細見亮太, 福永健治, 高澤智規, 歌大介, 引土知幸, 川尻由美, 中山幸治, 実験動物の血管に対する蚊の穿刺・吸血行動の観察, 2017年度精密工学会秋季大会学術講演会, N18, 大阪 (2017.9).
- (8) 山本峻己, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 長嶋利夫, 功刀厚志, 非線形有限要素法解析によるマイクロニードルの穿刺シミュレーション—形状と穿刺速度が穿刺抵抗力に与える影響—, 2017年度精密工学会秋季大会 学術講演会, N61, 大阪 (2017.9).
- (9) 佐藤潤哉, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 谷川義博, 松本真一, 鈴木康一郎, 植田浩之, 芳賀善九, 都博之, 射出成形により作製されたポリ乳酸製マイクロニードルの座屈試験, 2017年度精密工学会秋季大会学術講演会, N-62, 大阪 (2017.9).
- (10) 山田雅大, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 細見亮太, 福永健治, 歌大介, 高澤知規, 実験動物に対するマイクロニードルの穿刺・吸血実験—実験方法の提案と予備実験—, 2017年度精密工学会秋季大会学術講演会, N-63, 大阪 (2017.9).
- (11) 奥田健人, 山本峻己, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 福永健治, 細見亮太, 高澤智規, 歌大介, 引土知幸, 川尻由美, 中山幸治, 有精卵の血管を用いた蚊の穿刺メカニズムの解明とマイクロニードルへの応用, 2017年度精密工学会秋季大会 学術講演会, N64, 大阪 (2017.9).
- (12) 青柳誠司, 山本晴輝, 北田博之, 山本峻己, 後藤寛子, 高橋智一, 鈴木昌人, 細見亮太, 福永健治, 歌大介, 高澤知規, 引土知幸, 川尻由美, 中山幸治, 倒立顕微鏡を用いたヌードマウスに対する蚊の穿刺・吸血行動の観察, 第45回可視化情報シンポジウム, D103, 東京 (2017.7). 【★15】
- (13) 関月, 山本峻己, 秋本翔平, 北田博之, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 生物の微小な力を計測する分布力センサの開発, 精密工学会 2017年度関西地方定期学術講演会講演論文集, 47-J, 大阪 (2017.6).
- (14) 山田雅大, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 細見亮太, 福永健治, 歌大介, 高澤知規, マイクロニードルの座屈防止機構と皮膚の撓み防止機構の提案と開発—ヌードマウスへの穿刺実験による血液吸引能力の評価—, 精密工学会 2017年度関西地方定期学術講演会, 53-L, 大阪 (2017.6).
- (15) 佐藤潤哉, TEH WIN WEI, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, ヤモリの吸着構造を用いた物体把持への応用の考察, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017, 2A1-M06, 福島 (2017.5).
- (16) 山本晴輝, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 引土知幸, 川尻由美, 中山幸治, 倒立顕微鏡を用いた実験動物に対する蚊の穿刺・吸血行動の観察, 第69回日本衛生動物学会大会, C111, 長崎 (2017.4).

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1511031

- (17) 山本峻己, 川上翔平, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 携帯型微細針穿刺装置の開発と穿刺時の振動付与の効果の検討, 2017年度精密工学会春季大会学術講演会, E12, 神奈川 (2017.3).
- (18) 佐藤潤哉, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 延伸シートの3次元レーザ加工による生分解プラスチック製マイクロニードルの作製, 2017年度精密工学会春季大会学術講演会, E13, 神奈川 (2017.3).
- (19) 青柳誠司, 原安寛, フェムト秒レーザーによる蚊の口唇の3次元形状を模倣したステンレスマイクロニードルの作製と性能評価, 2017年度精密工学会春季大会学術講演会, F31, 神奈川 (2017.3).
- (20) 瀧瀬宏樹, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, PVDF圧電薄膜を用いた小型振動発電デバイスの開発, 第21回関西大学先端科学技術シンポジウム, 10, 大阪 (2017.1).
- (21) 瀧瀬宏樹, 陳延鵬, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 小谷哲浩, 金村崇, 塗布法により製膜可能なPVDF圧電薄膜を用いた小型振動発電デバイスによる μW オーダーの発電, 平成28年電気学会センサ・マイクロマシン部門総合研究会, PHS-16-30, 石川 (2016.6).
- (22) 青柳誠司, 3Dマイクロ加工とバイオミメティクス-蚊を模した新しい針-, 高分子学会16-1バイオミメティクス研究会, 京都 (2016.6).
- (23) 帯包大輔, 安本智, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 傾斜動作が可能なマイクロ空気圧アクチュエータの試作, ロボティクス・メカトロニクス講演会2016, 2P1-20a5, 神奈川 (2016.6).
- (24) 原安寛, 山田雅大, 鈴木昌人, 高橋智一, 青柳誠司, フェムト秒レーザー加工によるステンレスパイプの切断とマイクロニードルへの応用, 2016年度精密工学会春季大会学術講演会, E13, 千葉 (2016.3).
- (25) 澤貴裕, 原安寛, 鈴木昌人, 高橋智一, 青柳誠司, 三次元光造形装置ナノスクライブを用いて作製したマイクロニードルの先端形状の考察, 2016年度精密工学会春季大会学術講演会, E14, 千葉 (2016.3).
- (26) 元彪, 佐藤潤哉, 鈴木昌人, 高橋智一, 青柳誠司, 松本真一, 鈴木康一郎, 植田浩之, 芳賀善九, 都博之, メッキ技術を用いたマイクロニードル成形用の鋳型の開発, 2016年度精密工学会春季大会学術講演会, E16, 千葉 (2016.3).
- (27) 元彪, 大石真久, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 松本真一, 鈴木康一郎, 植田浩之, 芳賀善九, 都博之, ヒートアンドクール法を用いた射出成形によるマイクロニードルの開発, 第20回関西大学先端科学技術シンポジウム, 17, 大阪 (2016.1).
- (28) 西谷大希, 高橋智一, 鈴木昌人, 西田俊夫, 吉川泰弘, 青柳誠司, 金属電極がCYTOPの表面電位に及ぼす影響, 第32回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム, 9pm3-PS-25, 新潟 (2015.10).
- (29) 下木崎誠, 鈴木昌人, 高橋智一, 吉川泰弘, 青柳誠司, エレクトレット表面へのマイクロテクスチャの付与による静電貼り付き防止, 第7回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, 30am2-PN-38, 新潟 (2015.10).
- (30) 高橋智一, 鈴木昌人, 吉川泰弘, 西田敏夫, 青柳誠司, 永久磁石の反発力を用いた静電型振動発電デバイスの開発, 日本機械学会2015年度年次大会, 北海道 (2015.9).
- (31) 元彪, 大石真久, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 松本真一, 鈴木康一郎, 植田浩之, 芳賀善九, 都博之, ヒートアンドクール法を用いた射出成形によるマイクロニードルの開発, 2015年度精密工学会秋季大会学術講演会, N46, 宮城 (2015.9).
- (1b) マイクロエレクトロプレーティングによる微細構造の創成(新宮原) *1bの内容に対応する成果は以下の通りである (13件)**
- (1) 井芹崇樹, 宮地悠人, 深堂秀亮, 稲田純也, 清水智弘, 伊藤健, 新宮原正三, シリコン基板上に形成した無電解めっきバリア合金膜の熱安定性評価, 第27回マイクロエレクトロニクスシンポジウム秋季大会, 2E2-2, 愛知 (2017.8).
- (2) 吉田勇人, 清水智弘, 伊藤健, 新宮原正三, Cu/Ti/HfO₂/Au抵抗変化メモリにおける低電圧スイッチングの研究, 第64回応用物理学会春季学術講演会, 15p-P3-8, 神奈川 (2017.3).
- (3) 和田卓十, 金子直人, 清水智弘, 伊藤健, 多田芳広, 新宮原正三, CuSn合金ナノツリーの形成とガスセンサ応用, 電気化学会第84回大会, 3S10, 東京 (2017.3).
- (4) 井芹崇樹, 平手惇史, 清水智弘, 伊藤健, 新宮原正三, NiWB上への無電解Cuめっき膜の形成と評価, 電気化学会第84回大会, 3S13, 東京 (2017.3).
- (5) 和田卓十, 金子直人, 清水智弘, 伊藤健, 多田芳広, 新宮原正三, CuSn合金ナノツリー酸化物の形成と伝導特性評価, 第77回応用物理学会秋季学術講演会, 13p-P7-5, 新潟 (2016.9).
- (6) 平手惇史, 宮地悠人, 太田晃平, 伊藤健, 清水智弘, 新宮原正三, TSVバリア・シード層の無電解めっき形成及びCu拡散バリア性の評価, 第26回マイクロエレクトロニクスシンポジウム秋季大会, 2C4-1, 愛知 (2016.9).
- (7) 吉田勇人, 伊藤大介, 清水智弘, 伊藤健, 新宮原正三, 磁性体電極を用いた抵抗変化メモリ素子におけるスイッチング特性及び磁気抵抗効果の評価, 第80回半導体集積回路シンポジウム, P-6, 東京 (2016.8).
- (8) 和田卓十, 金子直人, 清水智弘, 伊藤健, 多田芳広, 新宮原正三, CuSn合金ナノツリー酸化物の形成とセンサ応用の検討, 第80回半導体集積回路シンポジウム, P-7, 東京 (2016.8).

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1511031

- (9) 金子直人, 清水智久, 伊藤健, 多田芳広, 田中秀吉, 新宮原正三, CuSn ナノツリー酸化物の形成と電気伝導特性評価, 電気化学会第 83 回大会, 1Q26, 大阪 (2016.3).
- (10) 多田芳広, 金子直人, 新宮原正三, 清水智弘, 伊藤健, CuSn 合金ナノツリー酸化物の電気的特性とガスセンサ評価, 電気化学会第 83 回大会, 1Q27, 大阪 (2016.3).
- (11) 平手惇史, 太田晃平, 新宮原正三, SiO₂上への無電解 Co 合金めっき膜の形成と膜質の評価, 電気化学会第 83 回大会, 2Q10, 大阪 (2016.3).
- (12) 平手惇史, 宮地悠人, 太田晃平, 清水智弘, 新宮原正三, SiO₂上への無電解 CoWP めっき膜の形成と膜質の評価, 第 25 回マイクロエレクトロニクスシンポジウム, 2D3-2, 大阪 (2015.9).
- (13) 宮地悠人, 平手惇史, 太田晃平, 清水智弘, 新宮原正三, SiO₂上への無電解 NiWP めっき膜の形成と膜質の評価, 第 25 回マイクロエレクトロニクスシンポジウム, 2D3-3, 大阪 (2015.9).

(1c) ナノインプリント法による微細構造の創成(山口) *1cの内容に対応する成果は以下の通りである (2件)

- (1) 山内靖也, 山口智実, 古城直道, 廣岡大祐, 純鉄との接触加熱によるダイヤモンド表面への溝加工加工特性と加熱条件との関係一, 2017 年度精密工学会秋季大会学術講演会, J14, 大阪 (2017.9).
- (2) 山本卓矢, 山口智実, 古城直道, 廣岡大祐, 斎藤賢一, 分子動力学法を用いた純鉄中への炭素拡散接触モデルの構築一荷重と移動速度の付与による検討一, 2015 年精密工学会秋季大会学術講演会, D14, 宮城 (2015.9). 【★1】

(1d) 3次元光構造による微細構造の創成(新井) *1dの内容に対応する成果は以下の通りである (8件)

- (1) 新井恭彦, 河科大生, 三次元光造形を用いたマイクロ歯車列の製作, 第 34 回センサ・マイクロマシンと応用システム, 31am3-PS-31, 広島 (2017.10).
- (2) 佐野弘人, 新井恭彦, 三次元光造形を用いたマイクロロータの製作, 第 34 回センサ・マイクロマシンと応用システム, 31pm3-PS-36, 広島 (2017.10).
- (3) 新井恭彦, 横関俊介, スペックル干渉計測に基づく三次元変形計測法の測定感度を考慮した測定領域の拡大, 2017 年度精密工学会秋季大会学術講演会, P37, 大阪 (2017.9).
- (4) 新井恭彦, スペックル干渉計測に基づく三次元変形計測法の測定感度を考慮した測定領域の拡大について, 光計測シンポジウム 2017, 6, 東京 (2017.9).
- (5) 武田大樹, 新井恭彦, 光アクチュエータの開発～三次元光造形装置を用いたマイクロロータの製作～, 2016 年度精密工学会秋季大会学術講演会, B68, 茨城 (2016.3).
- (6) 清水大, 新井恭彦, シリコンプロセスを用いた光アクチュエータ駆動部の開発, 2016 年度精密工学会秋季大会学術講演会, B69, 茨城 (2016.3).
- (7) 新井恭彦, 東田善行, 電子線パイプリズムを用いた三次元慶事用計測法の開発, 2016 精密工学会秋季学術講演会, 茨城 (2016.3).
- (8) 新井恭彦, 1 台のカメラによるスペックル干渉計測における多重記録法を用いた面内・面外同時変形計測, 2015 年度精密工学会春季大会学術講演会, 東京 (2015.3).

2. 医療応用グループ

(2a) 動物実験による医療用デバイスの性能評価(福永、高澤、歌) *2aの内容に対応する成果は以下の通りである (13件)

- (1) 高澤知規, 痛みの客観的評価 — スキンコンダクタンスモニターを用いて, 第 22 回関西大学先端科学技術シンポジウム, 大阪 (2018.1). 【★14】
- (2) 歌大介, 坪島功幸, 宮原謙一郎, 安東嗣修, 西条寿夫, 水村和枝, 田口徹, レセルピン投与モデルを用いた脊髄後角へのシグナル伝達機構解析, 第 9 回線維筋痛症学会学術集会, 大阪 (2017.10).
- (3) 歌大介, 電気生理学的手法を用いた線維筋痛症の病態メカニズムの解析と新規治療薬の探索, Toyama Academic GALA 2017, 23, 富山 (2017.9).
- (4) D. Uta, K. Miyahara, K. Tsuboshima, T. Andoh, H. Nishijo, K. Mizumura, T. Taguch, Augmented mechanical response of superficial dorsal horn neurons in a rat model of fibromyalgia. The 40th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, 3P-137, Chiba, Japan (2017.7).
- (5) 歌大介, 坪島功幸, 宮原謙一郎, 安東嗣修, 西条寿夫, 水村和枝, 田口徹, 線維筋痛症モデルラットにおける脊髄後角細胞の機械感受性増大, 第 39 回日本疼痛学会, 1P-7, 兵庫 (2017.6).
- (6) 歌大介, 宮原謙一郎, 坪島功幸, 安東嗣修, 西条寿夫, 水村和枝, 田口徹, レセルピン投与モデルの疼痛機構に関わる脊髄後角表層細胞の感受性増大, 第 13 回日本疲労学会総会・学術集会, MS1-1, 愛知 (2017.5).
- (7) 歌大介, 電気生理学的手法を用いた脊髄後角における侵害情報調節機構の解析～電気生理学的手法の紹介とその活用法を交えて～, 東西医薬学交流セミナー, 富山 (2017.4).
- (8) D. Uta, M. Yoshimura, T. Andoh, K. Imoto, H. Furue, Electrophysiological analysis of local anesthetic effects on adult rat spinal nociceptive synaptic transmission, 第 90 回日本薬理学会年会, 1-P-071, 長

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1511031

崎 (2017.3).

- (9) 歌大介, 井本敬二, 古江秀昌, 成熟ラット後根神経節細胞電位依存性 Na チャネルに対する局所麻酔薬の作用解析, 第 38 回脊髄機能診断研究会, 5, 東京 (2017.2).
- (10) 歌大介, 宮原謙一郎, 坪島功幸, 安東嗣修, 西条寿夫, 水村和枝, 田口徹, 線維筋痛症モデルを用いた脊髄後角へのシグナル伝達機構解析, 生理学研究所痛み研究会 2016, Session4-2, 愛知 (2017.1).
- (11) 青柳誠司, 武田侑也, 鈴木昌人, 歌大介, 安東嗣修, 針穿刺の痛みの評価を目的としたフォンフライラメントによるラットの足底刺激に関する行動学的及び電気生理学的解析, 生理学研究所痛み研究会 2016, P8, 愛知 (2017.1). 【★3】
- (12) 歌大介, 安東嗣修, 井本敬二, 古江秀昌, *In vivo* パッチクランプ法を用いた中枢へのアトピー性皮膚炎による痒み情報伝達のメカニズムの解明, 第 67 回日本薬理学会北部会, A-08, 北海道 (2016.9).
- (13) 歌大介, 井本敬二, 古江秀昌, ラット脊髄後角膠様質細胞への後根刺激誘起のシナプス伝達に対する TRPA1 チャネル作動薬の応答解析, 第 38 回日本疼痛学会, B3-6, 北海道 (2016.6).

(2b) MEMS による生体センシングデバイスの開発(大村) *2b の内容に対応する成果は以下の通りである (4 件)

- (1) 蔣煜煬, 森義暁, 佐藤伸吾, 大村泰久, A. Mallik, 縦型 TFET の性能に及ぼすパラメータの影響の評価, 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会, 8a-C18-1, 福岡 (2017.9).
- (2) 大村泰久, アナログ集積回路の時代に求められるデバイス技術と回路技術に対する要請, 第 21 回関西大学先端科学シンポジウム, 大阪 (2017.1).
- (3) 大村泰久, 原田恭輔, 車載向けアルコール摂取検知センサー実現に向けて, 平成 28 年電気関係学会関西連合大会, G11-12, 大阪 (2016.11). 【★4】
- (4) 大村泰久, センサーネットワーク時代の低エネルギー SOI デバイスの展開可能性と見通し, 電子情報通信学会シリコン材料・デバイス研究会, SDM2016-3, 15-22, 東京 (2016.11)

(2c) MEMS による医療用バイオセンサの開発(稲田) *2c の内容に対応する成果は以下の通りである (11 件)

- (1) 榊原将訓, 松本公久, 神谷和秀, 伊東聡, 佐保賢志, 稲田真, 鈴木伸哉, もみ殻から作製した Si 微粒子の発光特性における還元温度依存性, 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会, 6p-S44-8, 福岡 (2017.9).
- (2) 越田樹, 松尾晶, 山本良之, 齊藤正, 稲田真, 有機分子保護 Au ナノクラスターの磁気特性, 第 77 回応用物理学会秋季学術講演会, 13p-A25-7, 新潟 (2016.9).
- (3) 佐伯拓, 飯田幸雄, 稲田真, 増田真一郎, 焼成アルミナ多結晶板を用いたコア付きインダクターの試作, 第 77 回応用物理学会秋季学術講演会, 15a-P3-8, 新潟 (2016.9).
- (4) 木下和俊, 西谷拓樹, 西田智彦, 新宮原正三, 稲田真, 齊藤正, $Ni_{1-x}Mg_xO$ 膜におけるギャップ内準位の観測とバンドギャップの評価, 第 77 回応用物理学会秋季学術講演会, 15a-A31-5, 新潟 (2016.9).
- (5) 宮下純一, 松本公久, 野村俊, 神谷和秀, 稲田真, 鈴木伸哉, 伸縮基板による Si ナノ結晶のエネルギー移動の効率の変化, 第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 19a-W834-5, 東京 (2016.3).
- (6) 田中拓也, 松本公久, 野村俊, 神谷和秀, 稲田真, 鈴木伸哉, 粗殻から生成した Si 微粒子の発光に関する研究, 第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 19a-W834-6, 東京 (2016.3).
- (7) 磯部希, 三宅伴季, 齊藤正, 稲田真, Si ナノ粒子を活性層とする無機・有機複合型太陽電池の作製と評価, 第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 19p-W531-2, 東京 (2016.3). 【★7】
- (8) 三宅伴季, 磯部希, 齊藤正, 稲田真, $CuPc/C_{60}$ 有機薄膜太陽電池のパルス光励起キャリア輸送特性, 第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 19p-W531-17, 東京 (2016.3).
- (9) 西谷拓樹, 太田晃平, 北野総佑, 濱野亮介, 稲田真, 清水智弘, 新宮原正三, 幸塚広光, 齊藤正, 深紫外線センサの応用に向けた $Ni_{1-x}Mg_xO$ 膜の酸素空孔が及ぼす吸収スペクトルへの影響とバンドギャップの評価, 第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 21a-H111-4, 東京 (2016.3).
- (10) 岡瑞樹, 稲田真, 齊藤正, 多孔質 AZO 電極を利用した銀析出型 EC 素子の発色特性, 第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 21a-S323-7, 東京 (2016.3).
- (11) 稲田真, 神谷啓介, 齊藤正, プラズモニクスによるタンパク質修飾金クラスターのバイオセンサ応用の試み, 第 20 回関西大学先端科学技術シンポジウム, 大阪 (2016.1). 【★6】

3. バイオメテイクスグループ

(3a) 蛸のバイオメテイクスによるフレキシブルロボットハンドの開発(高橋) *3a の内容に対応する成果は以下の通りである (29 件)

- (1) 岩田紘明, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 縦振動型エレクトレット発電器における接触時の電極間距離と発電量の関係, 第 8 回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, 02pm1-PN-134, 広島 (2017.10).
- (2) 三村拓人, 堀江一生, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, タコを模倣した吸盤の細径化に関する研究, 第 35 回日本ロボット学会学術講演会, 1D1-05, 埼玉 (2017.9).
- (3) 堀江一生, 藤本健太, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 漏斗構造とフィルタを有する真空吸着グリッパによる柔軟物把持の研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017, 2A1-N01, 福島 (2017.5).

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1511031

- (4) 橋隼郎, 松本卓也, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, タコを生体模倣した吸盤を有する空気圧アクチュエータに関する研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017, 2A1-N02, 福島 (2017.5).
- (5) 三村拓人, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, タコを生体模倣した細径吸盤による柔軟物把持の研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017, 2A1-N03, 福島 (2017.5).
- (6) 澤田直宏, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 柔軟物を把持する吸着グリッパの吸着力測定に関する研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017, 2A1-N04, 福島 (2017.5).
- (7) 青柳貴也, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, タコを模倣した真空吸着グリッパの押付力軽減に関する研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017, 2A1-N05, 福島 (2017.5).
- (8) 三村拓人, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, タコを模倣した単一吸着グリッパのアレイ化による吸着性能の向上について, 第 21 回関西大学先端科学技術シンポジウム, 16, 大阪 (2017.1).
- (9) 堀江一生, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 微小突起を有するタコを模倣した吸盤の剥離抵抗力について, 第 21 回関西大学先端科学技術シンポジウム, 17, 大阪 (2017.1).
- (10) 高橋智一, 三村拓人, 鈴木昌人, 青柳誠司, 蛇腹構造を有する吸着グリッパとそのアレイ化について, 第 21 回関西大学先端科学技術シンポジウム, 大阪 (2017.1).
- (11) 岩田紘明, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 吉川泰弘, 縦振動型エレクトレット振動発電デバイスの開発ー振動する対電極を面接触させるストップ機構ー, 第 33 回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム, 25am2-PS-005, 長崎 (2016.10).
- (12) 三村拓人, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, タコを模倣した吸着グリッパアレイの開発ー把持可能な段差および曲面の寸法ー, 第 34 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2016AC3A2-06, 山形 (2016.9).
- (13) 藤本健太, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 柔軟物および固体を把持可能な真空吸着グリッパー柔軟物吸着におけるフィルタの効果ー, 第 34 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2016AC3A3-01, 山形 (2016.9).
- (14) 三村拓人, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 独立した吸盤アレイを有するタコを模倣した吸着グリッパの開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016, 1A1-12a4, 神奈川 (2016.6).
- (15) 松本卓也, 鈴木大輝, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 蛇腹構造を有するタコを模倣した吸着グリッパ, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016, 1A1-12a7, 神奈川 (2016.6).
- (16) 藤本健太, 杉本亮太, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 静電チャックデバイスを有するタコの吸盤を模倣した執着グリッパの試作, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016, 1A1-13a1, 神奈川 (2016.6).
- (17) 菊池智史, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, タコの吸盤にある微細構造を模倣した真空吸着グリッパ, 第 20 回関西大学先端科学技術シンポジウム, 11, 大阪 (2016.1).
- (18) 三村拓人, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, タコの吸着原理と吸盤構造を模倣した真空吸着ハンド, 第 20 回関西大学先端科学技術シンポジウム, 12, 大阪 (2016.1).
- (19) 鈴木大輝, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, タコの吸盤を模倣した真空吸着グリッパにおける粒子が吸着性能に与える影響, 第 20 回関西大学先端科学技術シンポジウム, 13, 大阪 (2016.1).
- (20) 杉本亮太, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 静電チャックを組み込んだタコを模倣した吸着グリッパの開発, 第 20 回関西大学先端科学技術シンポジウム, 14, 大阪 (2016.1).
- (21) 木下就斗, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 接触すると開くバルブをもつ吸着グリッパの開発, 第 20 回関西大学先端科学技術シンポジウム, 15, 大阪 (2016.1).
- (22) 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, タコを模倣した真空吸着グリッパの開発, 文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業キックオフ・ミーティング「3次元ナノ・マイクロ構造の創成とバイオメテックス・医療への応用」, 大阪 (2016.1).
- (23) 菊池智史, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, タコの吸盤を模倣した真空グリッパの開発ー微小突起の観察と模倣ー, 第 33 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2015AC2K2-05, 東京 (2015.9).
- (24) 三村拓人, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, タコの吸盤を模倣したグリッパの開発ー吸盤の漏斗構造の模倣ー, 第 33 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2015AC2K2-06, 東京 (2015.9).
- (25) 鈴木大輝, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, タコの吸盤を模倣した真空グリッパの開発ー内包する粒子の充填率が吸着性能に与える影響ー, 第 33 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2015AC2K2-07, 東京 (2015.9).
- (26) 菊池智史, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, タコの吸盤にある微小突起を模倣した真空グリッパの開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015, 1P1-Q02, 京都 (2015.5).
- (27) 三村拓人, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, タコの漏斗構造を模倣した吸盤の作製と性能評価, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015, 1P1-Q06, 京都 (2015.5).
- (28) 鈴木大輝, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, タコの吸盤を模倣した真空グリッパの開発ー内包する粒子の粒径が吸着性能に与える影響ー, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015, 1P1-Q07, 京都 (2015.5).
- (29) 山本哲也, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 高誘電率粉体を添加した可塑性 PVC ゲル静電アクチュ

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1511031

エータの開発ーアクチュエータの性能評価と触覚ディスプレイへの応用の検討ー, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015, 1P2-W03, 京都 (2015.5).

(3b) 蚊のバイオメティクスによる医療用無痛注射針の開発(鈴木) *3bの内容に対応する成果は以下の通りである (31件)

- (1) 原安寛, 山田雅大, 立川周子, 鈴木昌人, 高橋智一, 青柳誠司, 蚊の小顎を模倣した鋸歯状ステンレスマイクロニードルの作製と皮膚の剪断力の検討, 2017年度精密工学会春季大会学術講演会, E08, 神奈川 (2017.3).
- (2) 奥田健人, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 穿刺抵抗力を低下させる新しい星型針の提案, 2017年度精密工学会春季大会学術講演会, E14, 神奈川 (2017.3). 【★8】
- (3) 北田博之, 山本晴輝, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, マイクロピッチ格子付き寒天の作製とそれを用いた蚊の穿刺における下唇の観察, 2017年度精密工学会春季大会学術講演会, E15, 神奈川 (2017.3).
- (4) 山田雅大, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, マイクロニードルの座屈防止機構と穿刺対象の撓み抑制機構の提案と開発, 2017年度精密工学会春季大会学術講演会, E16, 神奈川 (2017.3).
- (5) 野村亮介, 鈴木昌人, 高橋智一, 青柳誠司, 中空微細針の内径と血液の吸引性能の関係, 第21回関西大学先端科学技術シンポジウム, 8, 大阪 (2017.1).
- (6) 山田雅大, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 蚊の口吻が発生する微小な力の推定ーマイクロカンチレバーの撓みを利用したバイオメティクス用力センサの提案ー, 第21回関西大学先端科学技術シンポジウム, 9, 大阪 (2017.1).
- (7) 佐藤潤哉, 大石眞久, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 松本真一, 鈴木康一郎, 植田浩之, 芳賀善九, 都博之, 蚊を模倣した2本の樋状パーツを組み合わせたマイクロニードルの開発, ーポリ乳酸の成形加工によるパーツの作製と針の性能評価ー, 第21回関西大学先端科学技術シンポジウム, 11, 大阪 (2017.1).
- (8) 山本峻己, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 長嶋利夫, 山口哲, 今里聡, 功刀厚志, 猿渡智治, 微細針の穿刺におけるひずみの可視化と最適穿刺条件の検討, 第21回関西大学先端科学技術シンポジウム, 12, 大阪 (2017.1).
- (9) 原安寛, 山田雅大, 立川周子, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, フェムト秒レーザーによる蚊の口唇の3次元形状を模倣したステンレスマイクロニードルの作製と性能評価, 第21回関西大学先端科学技術シンポジウム, 大阪 (2017.1).
- (10) 野村亮介, 山田雅人, 鈴木昌人, 高橋智一, 青柳誠司, 中空微細針の内径と血液吸引性能の関係ー蚊の上唇の内径が20 μmであることの妥当性ー, 2016年度精密工学会秋季大会学術講演会, C19, 茨城 (2016.9).
- (11) 佐藤潤哉, 大石眞久, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 松本真一, 鈴木康一郎, 植田浩之, 芳賀善九, 都博之, 蚊を模倣した2本の樋状パーツを組み合わせたポリ乳酸マイクロニードルの成形加工, 2016年度精密工学会秋季大会学術講演会, C20, 茨城 (2016.9).
- (12) 山本峻己, 鈴木昌人, 高橋智一, 青柳誠司, 長嶋利夫, 山口哲, 今里聡, 功刀厚志, 猿渡智治, 微細針の穿刺におけるひずみの可視化と最適穿刺条件の検討, 2016年度精密工学会秋季大会学術講演会, C21, 茨城 (2016.9).
- (13) 原安寛, 山田雅大, 立川周子, 鈴木昌人, 高橋智一, 青柳誠司, フェムト秒レーザーによる蚊の小顎を模倣した鋸歯状ステンレスマイクロニードルの作製と性能評価, 2016年度精密工学会秋季大会学術講演会, L31, 茨城 (2016.9).
- (14) 佐藤潤哉, 大石眞久, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 松本真一, 鈴木康一郎, 植田浩之, 芳賀善九, 都博之, 蚊を模倣した2本の樋状パーツを組み合わせたマイクロニードルの開発ーポリ乳酸の成形加工によるパーツの作製と針の性能評価ー, 精密工学会 2016年度関西地方定期学術講演会, 45-L, 京都 (2016.7).
- (15) 山田雅大, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 蚊の口吻が発生する微小な力の推定ーマイクロカンチレバーの撓みを利用したバイオメティクス用力センサの提案ー, 精密工学会 2016年度関西地方定期学術講演会, 46-L, 京都 (2016.7).
- (16) 青柳誠司, 痛みの軽減を目指すマイクロニードルの開発・蚊の穿刺行動の応用研究, 第33回日本TDM学会・学術大会, LS5, 栃木 (2016.5).
- (17) 寺田善彦, 鈴木昌人, 高橋智一, 青柳誠司, 3D光造形装置による3次元分岐流路の作製と毛管力を利用した血液の吸引, 2016年度精密工学会春季大会学術講演会, E06, 千葉 (2016.3).
- (18) 山本峻己, 鈴木昌人, 高橋智一, 青柳誠司, 長嶋利夫, 山口哲, 今里聡, 功刀厚志, 猿渡智治非線形有限要素法解析による蚊の上唇と小顎の協調振動の効果の確認, 2016年度精密工学会春季大会学術講演会, E08, 千葉 (2016.3).

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1511031

- (19) 青柳誠司, 蚊の口器を模倣したマイクロニードルの作製, 日本機械学会バイオエンジニアリング部門 A-TS02-14 スキンメカニクス計測と評価研究会(第8回), 京都 (2016.3).
- (20) 青柳誠司, 蚊の生体模倣による低侵襲穿刺・採血システムの開発, 平成27年度第3回(第107回)岡山県医用工学研究会シンポジウム・交流会, 岡山 (2016.2).
- (21) 山本峻己, 漆畑雄也, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 山口哲, 今里聡, 功刀厚志, 猿渡智治, 蚊の口針の穿刺における振動付与の効果の検討, 第20回関西大学先端科学技術シンポジウム, 16, 大阪 (2016.1).
- (22) 澤貴裕, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, マイクロ三次元光造形装置ナノスクライブによる蚊を模倣した微細針の作製と吸引実験と性能評価, 第20回関西大学先端科学技術シンポジウム, 18, 大阪 (2016.1).
- (23) 山本峻己, 青柳誠司, 鈴木昌人, 高橋智一, 長嶋利夫, 功刀厚志, 非線形有限要素法解析による蚊の口針の穿刺挙動のシミュレーション, 第20回関西大学先端科学技術シンポジウム, 大阪 (2016.1).
- (24) 鈴木昌人, 澤貴裕, 高橋智一, 青柳誠司, 超高精度3D光造形を援用した蚊を模倣した微細針の開発, 第20回関西大学先端科学技術シンポジウム, 大阪 (2016.1).
- (25) 長嶋利夫, 青柳誠司, 鈴木昌人, 山本峻己, 功刀厚志, 猿渡智治, 小林卓哉, 横塚智史, 山口哲, 今里聡, LS-DYNAによる蚊の口針の穿刺挙動の有限要素法シミュレーション, 日本機械学会第28回計算力学講演会, 神奈川 (2015.10).
- (26) 澤貴裕, 寺田善彦, 鈴木昌人, 高橋智一, 清水智弘, 新宮原正三, 新井泰彦, 福永健治, 青柳誠司, マイクロ光造形装置ナノスクライブによる蚊を模倣した微細針の作製と吸引実験と性能評価, 2015年度精密工学会秋季大会学術講演会, N44, 宮城 (2015.9).
- (27) 澤貴裕, 寺田善彦, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 松本卓也, 三次元光造形法による蚊を模倣した中空マイクロニードルの作製とその穿刺特性評価, 精密工学会2015年度関西地方定期学術講演会, P-14, 京都 (2015.6).
- (28) 澤貴裕, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 光造形装置による蚊の口針を3次元的に模擬したマイクロニードルの作製, ロボティクス・メカトロニクス講演会2015, 1P1-R05, 京都 (2015.5).
- (29) 大石眞久, 鶴田隆祥, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 松本真一, 蚊の穿刺メカニズムを模倣したマイクロニードルの座屈防止機構ー直径50マイクロメートルの針への対応ー, ロボティクス・メカトロニクス講演会2015, 1P1-R06, 京都 (2015.5).
- (30) 漆畑雄也, 山本峻己, 鈴木昌人, 高橋智一, 青柳誠司, 山口哲, 今里聡, 功刀厚志, 猿渡智治, 蚊の上唇の穿刺における振動付与の効果の検討ー非線形有限要素法解析と応用可視化実験ー, ロボティクス・メカトロニクス講演会2015, 1P1-R07, 京都 (2015.5).
- (31) 青柳誠司, バイオミメティクス(蚊の模倣)による低侵襲穿刺デバイスの開発, 第90回日本医療機器学会大会, バイオ・マイクロシステム研究会, 神奈川 (2015.5).
- (3c) 自然界や生物が持つナノ構造の模倣及びセンサへの応用(伊藤)** *3cの内容に対応する成果は以下の通りである (7件)
- (1) 浅井直人, 清水智弘, 新宮原正三, 伊藤健, 多孔質ナノ構造を用いたQCMセンサの開発, 第34回センサ・マイクロマシンと応用シンポジウム, 01pm4-PS-180, 広島 (2017.11).
- (2) 松田裕貴, 伊藤健, 清水智弘, 新宮原正三, 自己組織化ナノ構造を用いたLSPRセンサ, 第34回センサ・マイクロマシンと応用シンポジウム, 31am3-PS-79, 広島 (2017.10).
- (3) 寺沢秀章, 清水智弘, 新宮原正三, 伊藤健, 自己組織化ナノ構造を利用したLSPRとQCMのハイブリッドセンサの開発, センサ・マイクロマシンと応用シンポジウム, 31am3-PS-81, 広島 (2017.10).
- (4) 伊藤健, 中出一輝, 佐川貴志, 小嶋寛明, 清水智弘, 新宮原正三, セミの翅が持つ機能性ナノ構造の模倣と抗菌性評価, 第64回応用物理学会春季学術講演会, 17a-F206-2, 神奈川 (2017.3).
- (5) 中出一輝, 伊藤健, 清水智弘, 新宮原正三, セミの翅が持つナノ構造の模倣と抗菌性評価, 第21回関西大学先端科学技術シンポジウム, 15, 大阪 (2017.1).
- (6) 伊藤健, 田中琢望, 清水智弘, 新宮原正三, クマゼミの羽が持つ機能性ナノ表面とその模倣, 第63回応用物理学会春季学術講演会, 19a-W323-2, 東京 (2016.3).
- (7) 田中琢望, 伊藤健, 清水智弘, 新宮原正三, クマゼミの羽が持つ機能性ナノ表面とその模倣, 第20回関西大学先端科学技術シンポジウム, 大阪 (2016.1).

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1511031

<研究成果の公開状況>(上記以外)

シンポジウム・学会等の実施状況、インターネットでの公開状況等
ホームページで公開している場合には、URL を記載してください。

<既に実施しているもの>(URL: <http://www.kansai-u.ac.jp/ordist/symposium/index.html>)

- ・ 第 22 回関西大学先端科学技術シンポジウム, 関西大学 100 周年記念会館 (2018.1.18-19).
- ・ 第 21 回関西大学先端科学技術シンポジウム, 関西大学 100 周年記念会館 (2017.1.19-20).
- ・ 第 20 回関西大学先端科学技術シンポジウム, 関西大学 100 周年記念会館 (2016.1.21-22)
- ・ 文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業ワークショップ「バイオミメティクス(生体模倣)への誘い」, 関西大学千里山キャンパス第 4 学舎 4 号館 4301 教室(2017.12.6).
- ・ 小中高生対象見学会「生体模倣(バイオミメティクス)の世界への誘い」, 大阪 (2016.8).
- ・ 文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業キックオフミーティング「3 次元ナノ・マイクロ構造の創成とバイオミメティクス・医療への応用」, 関西大学 100 周年記念会館 (2016.1.22).

<これから実施する予定のもの>

- ・ 第 23 回関西大学先端科学技術シンポジウム, 関西大学 100 周年記念会館 (2019.1).

14 その他の研究成果等

「12 研究発表の状況」で記述した論文、学会発表等以外の研究成果及び企業との連携実績があれば具体的に記入してください。また、上記11(4)に記載した研究成果に対応するものには * を付してください。

【講演】

プロジェクト全体(2件)

- (1) 3次元ナノ・マイクロユニット, 文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業ワークショップ「バイオミメティクス(生体模倣)への誘い」, 大阪 (2017.12).
- (2) 3次元ナノ・マイクロユニット, 小中高生対象見学会「生体模倣(バイオミメティクス)の世界への誘い」, 大阪 (2016.8).

1. ナノ・マイクロ加工グループ

(1a) 3次元ナノ・マイクロ構造を利用した医療・メカトロニクスデバイスの開発(青柳) *1a の内容に対応する成果は以下の通りである (14件)

- (1) S. Aoyagi, H. Takise, T. Takahashi, M. Suzuki, Fabrication of Piezoelectric Vibration Energy Harvester Using Polyvinylidene Difluoride and Its Spray Coating Method on Three Dimensional Surface, The 6th International Workshop on Nanotechnology and Application, Vietnam, NMD-011-I (2017.11).
- (2) S. Aoyagi, Microneedle Imitating Mosquito Toward Painless Blood Collection, The 1st International Workshop on MEMS and Sensor System 2017, Vietnam (2017.9).
- (3) 青柳誠司, 精密加工による種々の生物模倣デバイス, 超精密加工専門委員会第 71 回研究会, 大阪 (2017.9).
- (4) 青柳誠司, ナノ・マイクロ加工によるバイオミメティクスデバイスの開発, NBCI テクノロジー委員会バイオミメティクス分科会, 東京 (2017.9).
- (5) 青柳誠司, 3D Fabrication of Microneedle for Blood Collection Biomimicking Mosquito, IEEE ICEM2017, 香川 (2017.8).
- (6) 青柳誠司, 3D ナノ・マイクロ加工と生体模倣 - 蚊を模倣した無痛採血針の開発 -, 第 7 回 IoT 製造研究会, 大阪 (2017.6).
- (7) 青柳誠司, バイオミメティクスと 3D マイクロ加工 (蚊を模倣した注射針), 第 3 回関西大学戦略研究総合センター研究交流懇談会, 大阪 (2017.2).
- (8) 青柳誠司, 痛みとかゆみの観点からメスの蚊の穿刺行動を解明する ~ 生体に学ぶ工学的な応用より ~, GSK Webinar, Web セミナー (2016.6).
- (9) 青柳誠司, 3次元ナノ・マイクロ構造の創成とバイオミメティクス・医療への応用, 第 2 回関西大学戦略研究総合センター研究交流懇談会, 大阪 (2015.2).
- (10) T. Takahashi, M. Suzuki, T. Nishida, Y. Yoshikawa, S. Aoyagi, Vertical Capacitive Energy Harvester Positively Using Contact between Proof Mass and Electret Plate -Stiffness Matching by Spring Support of Plate and Stiction Prevention by Stopper Mechanism-, IEEE Electron Devices Society Kansai Chapter, 第 15 回「関西コロキウム電子デバイスワークショップ」, 大阪 (2015.12).

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1511031

- (11) 青柳誠司, 蚊の生体模倣による無痛針の開発—LS-DYNA による針の穿刺シミュレーション—, LS-DYNA & JSTAMP フォーラム 2015, 東京 (2015.11).
- (12) 青柳誠司, 蚊の穿刺・吸血行動の観察と採血デバイスの開発, 日本家庭用殺虫剤工業会, 愛知 (2015.10).
- (13) 青柳誠司, 蚊の穿刺・吸血行動の観察と無痛採血デバイスへの応用, キンチョー技術者会議, 大阪 (2015.6).
- (14) 青柳誠司, 蚊を生体模倣した低侵襲穿刺システムの開発, 大阪医科大学・大阪薬科大学・関西大学医工薬連携の会, 大阪 (2015.4).

(1b) マイクロエレクトロプレーティングによる微細構造の創成 *1b の内容に対応する成果は以下の通りである (1 件)

- (1) 新宮原正三, ナノからマイクロにわたるめっきプロセス, 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会, 7p-C19-7, 福岡(2017.9).

【新聞】

1. ナノ・マイクロ加工グループ

(1a) 3 次元ナノ・マイクロ構造を利用した医療・メカトロニクスデバイスの開発(青柳) *1a の内容に対応する成果は以下の通りである (3 件)

- (1) 青柳誠司, 最先端ロボット研究—ロボット・メカトロニクス&マイクロシステム, 読売新聞鹿児島県全域版, 2017 年 8 月 10 日付 26 面.
- (2) 青柳誠司, 最先端ロボット研究—ロボット・メカトロニクス&マイクロシステム, 読売新聞鹿児島県全域版, 2017 年 8 月 1 日付 24 面.
- (3) 青柳誠司, 針の痛み 強弱評価 関西大・富山大 神経の信号分析, 日本経済産業新聞, 2017 年 3 月 2 日付 9 面. 【★3】

3. バイオミメティクスグループ

(3a) 蟻のバイオミメティクスによるフレキシブルロボットハンドの開発 *3a の内容に対応する成果は以下の通りである (5 件)

- (1) 高橋智一, ネイチャー・インダストリー・アワード, 日刊工業新聞, 2017 年 1 月 20 日付 21 面.
- (2) 高橋智一, 進化する生体模倣(8) 吸盤でピタッ 荷物運び楽々, 日本経済新聞, 2016 年 11 月 20 日付朝刊 25 面.
- (3) 高橋智一, 生物お手本技術 革新「タコ吸盤」ロボアーム, 読売新聞, 2015 年 10 月 19 日付 17 面.
- (4) 高橋智一, ミチをひらく(下), 朝日新聞, 2015 年 7 月 23 日付 16 面.
- (5) 高橋智一, ミチをひらく(上), 朝日新聞, 2015 年 7 月 16 日付 17 面.

【報道】

1. ナノ・マイクロ加工グループ

(1a) 3 次元ナノ・マイクロ構造を利用した医療・メカトロニクスデバイスの開発(青柳) *1a の内容に対応する成果は以下の通りである (6 件)

- (1) 青柳誠司, 注射の未来を変える, TBS「ワザビト」, 2017 年 2 月 5 日放映.
- (2) 青柳誠司, 痛くもかゆくもない注射針, MBS「サタデープラス」, 2016 年 8 月 20 日放映.
- (3) 青柳誠司, 英語版「Bug Technology」, NHK「ワールド」, 2016 年 6 月 16 日放映.
- (4) 青柳誠司, ファーブルもびっくり! ぞくぞく発見 夢のムシ技術, NHK 総合, 2016 年 1 月 6 日放送.
- (5) 青柳誠司, ズームイン!!サタデー, 日本テレビ, 2015 年 11 月 14 日放映.
- (6) 青柳誠司, 痛くない!? “針のない注射器”開発ヒミツは、“泡のチカラ”!, TBS 夢の扉+, 2015 年 5 月 10 日放送.

3. バイオミメティクスグループ

(3a) 蟻のバイオミメティクスによるフレキシブルロボットハンドの開発 *3a の内容に対応する成果は以下の通りである (2 件)

- (1) 高橋智一, 出会い燦々, MBS ラジオ 子守康範 朝からてんコモリ!, 2015 年 9 月 11 日放送.
- (2) 高橋智一, ウナギに負けない“タコ”のパワー, 読売テレビ「かんさい情報ネット ten」, 2015 年 7 月 24 日放送.

【特許】

1. ナノ・マイクロ加工グループ

(1a) 3 次元ナノ・マイクロ構造を利用した医療・メカトロニクスデバイスの開発(青柳) *1a の内容に対応する成果は以下の通りである (3 件)

- (1) 青柳誠司, 鈴木昌人, 高橋智一, 中空微細針及びその作製方法, 特許第 6145249 号 (2017.5.19).

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1511031

- (2) 青柳誠司, 鈴木昌人, 芳賀善九, 都博之, 穿刺針、及び穿刺ユニット, 特願 2015-120510 (2015.6.15).
 (3) S. Aoyagi, POWER GENERATION APPARATUS, Applicatin No.14/259, 909, Filing Date: April 23 (2014).

2. 医療応用グループ

(2b) MEMS による生体センシングデバイスの開発 *2b の内容に対応する成果は以下の通りである (1 件)

- (1) 大村泰久, 回転装置, 特開 2016-149899 (2015.2.13)【★5】

[展示]

プロジェクト全体 (2 件)

- (1) 青柳誠司, 暮らしの中の動物ー嫌われものの本当のすがたー, 茨城県自然博物館第 64 回企画展, 茨城 (2015.10.10-2016.1.31).
 (2) 青柳誠司, バイオなものづくり 生物の多様性から学ぶ, 名古屋市科学館企画展, 愛知(2015.9.12-23).

(1a) 3 次元ナノ・マイクロ構造を利用した医療・メカトロニクスデバイスの開発(青柳) *1a の内容に対応する成果は以下の通りである (1 件)

- (1) 青柳誠司, 光造形法による蚊の口針を 3 次元的に生体模倣したマイクロニードルの作製, 創立 130 周年記念事業 関西大学フェスティバル in 九州, 福岡 (2015.9).

[刊行物]

プロジェクト全体 (6 件)

- (1) 青柳誠司, 新井恭彦, 大村泰久, 新宮原正三, 福永健治, 山口智実, 伊藤健, 稲田貢, 鈴木昌人, 高橋智一, 高澤知規, 歌大介, 3 次元ナノ・マイクロ構造の創成とバイオメティクス・医療への応用, 技苑, 144, 77-94 (2017).
 (2) 青柳誠司, 新井恭彦, 大村泰久, 新宮原正三, 福永健治, 山口智実, 伊藤健, 稲田貢, 鈴木昌人, 高橋智一, 高澤知規, 歌大介, 3 次元ナノ・マイクロ構造の創成とバイオメティクス・医療への応用, 平成 28 年度研究成果報告書, 77-94 (2017).
 (3) 青柳誠司, 新井恭彦, 大村泰久, 新宮原正三, 福永健治, 山口智実, 伊藤健, 稲田貢, 鈴木昌人, 高橋智一, 高澤知規, 3 次元ナノ・マイクロ構造の創成とバイオメティクス・医療への応用, 技苑, 142, 87-99 (2016). 【★2】
 (4) 青柳誠司, 新井恭彦, 大村泰久, 新宮原正三, 福永健治, 山口智実, 伊藤健, 稲田貢, 鈴木昌人, 高橋智一, 高澤知規, 3 次元ナノ・マイクロ構造の創成とバイオメティクス・医療への応用, 平成 27 年度研究成果報告書, 87-99 (2016). 【★2】
 (5) 青柳誠司, ナノ・マイクロ技術とバイオメティクスが融合した未来志向プロジェクトが発進, Re:ORDIST, 41(02), 2-4 (2016).
 (6) 青柳誠司, 医工連携 出会いの広場～ものづくり 日本の技術 医療機器 世界の医療現場届けよう! ～, Monthly, Medical V, 19(7), 11-13 (2015).

[総説・解説・その他]

プロジェクト全体 (2 件)

- (1) 3 次元ナノ・マイクロユニット, 【9・10 月号】生体模倣の世界へ 小中高校生向け講座開催, 関西大学タイムズ(Web 版) (2016). [<http://www.unn-news.com/ku-times/2016/09/24/2368>]
 (2) 3 次元ナノ・マイクロユニット, 戦略基盤プロジェクトによる小中高校生対象の見学会を開催しました, Re:ORDIST, 42(01), 7 (2016).

(1a) 3 次元ナノ・マイクロ構造を利用した医療・メカトロニクスデバイスの開発(青柳) *1a の内容に対応する成果は以下の通りである (5 件)

- (1) 青柳誠司, 講義・研究室紹介「蚊の吸血メカニズムに学び、痛くない注射針を開発する。», 関西大学大学案内 2017, 115 (2017).
 (2) 青柳誠司, 先端科学技術推進機構所管研究装置紹介「フェムト秒レーザー超微細加工装置」, ReORDIST, 43(1), 14 (2017).
 (3) 青柳誠司, 自然の中に答えがある!, JUNIOR SAFE, 2017 年版 2 月号, 20-21 (2016).
 (4) 青柳誠司, 蚊を模倣したマイクロニードルの開発, 機能材料, 36(7), 22-30 (2016).
 (5) 青柳誠司, 夢に近づく道の中で、自分自身も変わっていく, incu・be, 33 (2016).

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1511031

[資料提供]**プロジェクト全体 (5件)**

- (1) Microneedles for Painless Blood Collection, Nanoscribe GmbH, Application Note on Biomimetics, 写真提供 (2017.8). [http://www.nanoscribe.de/files/9515/0235/5443/AppNote_Biomimetics_V02_2017_web.pdf]
- (2) 蚊が血を吸う様子, TBS テレビ「あさチャン」, 写真・動画提供, 2017年7月14日放映.
- (3) 痛くない注射針, 朝日放送「キャスト」, 蚊の針の写真提供, 2016年9月20日放映.
- (4) 第50回特別展「危険生物～悪者たちの真実」, マイクロニードル関連資料一式提供, 面河山岳博物館, 愛媛 (2016.7.21-9.4)
- (5) 企画展「ムシできない虫むし展」, 写真提供, 静岡科学館る・く・る (2016.3.19-5.8).

[その他]**(1a) 3次元ナノ・マイクロ構造を利用した医療・メカトロニクスデバイスの開発(青柳) *1aの内容に対応する成果は以下の通りである (2件)**

- (1) 蚊の針のメカニズムについての紹介, インセクトシールドジャパン, Facebook (2017.10.4).
[URL:www.mushiyoke.com/news.php?pg_now=4]
- (2) 青柳誠司, 自己給電と無線通信機能を備えた速度/加速度センサ及びセンサネットワーク, 池田泉州ホールディングス・池田泉州銀行主催 ビジネス・エンカレッジ・フェア 2015, 大阪 (2015.12).

15 「選定時」に付された留意事項とそれへの対応

<「選定時」に付された留意事項>

「該当なし」

<「選定時」に付された留意事項への対応>

「該当なし」

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1511031

16 施設・装置・設備・研究費の支出状況(実績概要)

(千円)

年度・区分	支出額	内 訳						備考
		法人負担	私学助成	共同研究機関負担	受託研究等	寄付金	その他(科研費、補助金等)	
平成27年度	施設	0						
	装置	56,000	28,000	28,000				
	設備	16,480	5,494	10,986				
	研究費	95,482	62,949	9,535		9,258	1,000	12,740 国、企業等
平成28年度	施設	0						
	装置	0						
	設備	0						
	研究費	55,289	17,861	10,537		17,101	1,600	8,190 国、企業等
平成29年度	施設	0						
	装置	0						
	設備	0						
	研究費	38,839	14,357	10,022		9,860	960	3,640 国、企業等
総額	施設	0	0	0	0	0	0	0
	装置	56,000	28,000	28,000	0	0	0	0
	設備	16,480	5,494	10,986	0	0	0	0
	研究費	189,610	95,167	30,094	0	36,219	3,560	24,570
総計	262,090	128,661	69,080	0	36,219	3,560	24,570	

※ 平成29年度は予定額

17 施設・装置・設備の整備状況(私学助成を受けたものはすべて記載してください。)

《施設》(私学助成を受けていないものも含め、使用している施設をすべて記載してください。)

(千円)

施設の名 称	整備年度	研究施設面積	研究室等数	使用者数	事業経費	補助金額	補助主体
関西大学 学術フロンティア・コア	平成9年度	2,078.50m ²	17	60名	620,000	294,500	私学助成
関西大学 ハイテク・リサーチ・コア	平成8年度	2,640.0 m ²	25	604名	827,591	393,100	私学助成
第4学舎1号館 (研究棟)	昭和35年度	6,696.07 m ²	102	6,016名	166,466	-	法人負担
第4学舎2号館 (研究棟)	昭和44年度	8,206.56 m ²	186	2,278名	550,647	-	法人負担
第4学舎4実験棟	平成2年度	5,036.77 m ²	66	2,288名	1,421,400	-	法人負担
第4学舎5実験棟	平成9年度	9,886.50 m ²	130	1,340名	2,740,443	-	法人負担

※ 私学助成による補助事業として行った新增築により、整備前と比較して増加した面積

0 m²

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1511031

《装置・設備》(私学助成を受けていないものは、主なもののみを記載してください。)

(千円)

装置・設備の名称	整備年度	型番	台数	稼働時間数	事業経費	補助金額	補助主体
(研究装置)							
ICPエッチング装置	17	ASE-SRE型	1	3 h/週	67,773	33,886	私学助成
超高精度光造形装置	25	-	1	35 h/週	62,496	31,248	私学助成
フェムト秒レーザー加工機	27	-	1	41 h/週	56,000	28,000	私学助成
(研究設備)							
両面マスクアライナシステム	12	-	1	35 h/週	13,517	9,011	私学助成
3元スパッター装置	17	MPS-4000-L3K	1	20 h/週	24,990	16,660	私学助成
高分解能走査電子顕微鏡	20	-	1	50 h/週	13,650	13,650	科研費
ナノインプリント装置	27	NM-0901HB	1	7 h/週	10,000	6,666	私学助成
接触式表面プロファイラ	27	Dektak XTA-KS1507	1	11 h/週	6,480	4,320	私学助成
(情報機器)							
該当なし				h			
				h			
				h			
				h			

18 研究費の支出状況

(千円)

年度	平成 27 年度		
小科目	支出額	積算内訳	
		主な用途	金額
教育研究経費支出			
消耗品費	7,573	研究用物品	7,573
光熱水費	2,212	電気代	2,212
通信運搬費	1	郵券代	1
印刷製本費	99	印刷費	99
旅費交通費	1,341	交通費、出張旅費	1,341
報酬・委託料	53,969	修繕費・人材派遣、加工料	53,969
(諸会費)	162	論文掲載料	162
(その他の雑費)	131	学会参加費、日当、宿泊料	131
計	65,488		65,488
アルバイト関係支出			
人件費支出(兼務職員)	1,629	事務補助、研究補助	719
			910
教育研究経費支出	0		0
計	1,629		1,629
設備関係支出(1個又は1組の価格が500万円未満のもの)			
教育研究用機器備品	3,093		3,093
図書			
計	3,093		3,093
研究スタッフ関係支出			
リサーチ・アシスタント	0	研究補助者	
ポスト・ドクター	2,274	共同研究者	2,274
研究支援推進経費			
計	2,274		2,274

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1511031

(千円)

年 度	平成 28 年度			
小 科 目	支 出 額	積 算 内 訳		
		主 な 使 途	金 額	主 な 内 容
教 育 研 究 経 費 支 出				
消 耗 品 費	5,558	研究用物品	5,558	研究用消耗品類(5,132)、図書資料(110)、器具類(316)
光 熱 水 費	1,201	電気代	1,201	ハイテカ・リサーチ・コア、学術フロントア・コア電気代(1,201)
通信運搬費	1	郵券代	1	郵券代(1)
印刷製本費	60	印刷費	60	研究成果報告書(60)
旅費交通費	1,554	交通費、出張旅費	1,554	研究調査出張費(1,463)、交通費(91)
報酬・委託料	6,302	保守・修繕費、人材派遣、加工料等	6,302	加工委託等(199)、講演料(56)、設備保守(2,978)、設備修繕(257)、人材派遣(2,751)、英文校正(14)、研究補助報酬(47)
(諸会費)	623	論文投稿・掲載料	623	論文投稿・掲載料(623)
(その他の雑費)	224	宿泊費、日当、参加費	224	学外研究者宿泊費、日当、参加費(224)
計	15,523		15,523	
ア ル バ イ ト 関 係 支 出				
人件費支出 (兼務職員)	1,785	事務補助、研究補助	894	時給900円(+超過勤務・通勤手当) 年間時間のべ数時間 863.5時間 実人数1人
			891	時給1,100円(+超過勤務・通勤手当) 年間時間のべ数時間 723時間 実人数1人
教育研究経費支出				
計	1,785		1,785	
設 備 関 係 支 出(1個又は1組の価格が500万円未満のもの)				
教育研究用機器備品	6,542		6,542	イオンリング装置(4,293)、近赤外カメラシステム(385)、倒立型リサーチ顕微鏡(1,864)
図 書				
計	6,542		6,542	
研 究 ス タ ッ フ 関 係 支 出				
リサーチ・アシスタント	0	研究補助者	0	学内0人、学外0人、外国0人、学振0人
ポスト・ドクター	4,548	共同研究者	4,548	学内1人、学外0人、外国0人、学振0人
研究支援推進経費				学内0人、学外0人、外国0人、学振0人
計	4,548		4,548	学内1人、学外0人、外国0人、学振0人

(千円)

年 度	平成 29 年度			
小 科 目	支 出 額	積 算 内 訳		
		主 な 使 途	金 額	主 な 内 容
教 育 研 究 経 費 支 出				
消 耗 品 費	5,208	研究用物品	5,208	研究用消耗品類(5,146)、研究用図書(62)
光 熱 水 費	930	電気代	930	ハイテカ・リサーチ・コア、学術フロントア・コア電気代(930)
通信運搬費	3	郵券代、小荷物運搬費	3	郵券代(2)、宅配便配送料(1)
印刷製本費	60	印刷費	60	研究成果報告書(60)
旅費交通費	1,603	交通費、出張旅費	1,603	研究調査出張費(1,406)、交通費(197)
報酬・委託料	8,398	設備保守費、人材派遣、加工料等	8,398	講演料(100)、設備保守(3,996)、人材派遣(3,285)、加工委託(583)、研究・事務補助報酬(106)、校閲(34)、外部評価報酬(30)、設備修繕(264)
(諸会費)	196	論文掲載料	196	論文掲載料(196)
(その他の雑費)	223	参加費、日当、宿泊料	223	学外研究者宿泊費・日当・参加費(223)
計	16,621		16,621	
ア ル バ イ ト 関 係 支 出				
人件費支出 (兼務職員)	1,835	事務補助、研究補助	919	時給900円(4/1~9/29)、920円(9/30~3/31) (+超過勤務・通勤手当) 年間時間のべ数時間 879.5時間 実人数1人
			916	時給1,100円(+超過勤務・通勤手当) 年間時間のべ数時間 746時間 実人数1人
教育研究経費支出				
計	1,835		1,835	
設 備 関 係 支 出(1個又は1組の価格が500万円未満のもの)				
教育研究用機器備品	1,729		1,729	ケースレー(541)、イオンポンプ(1,188)
図 書				
計	1,729		1,729	
研 究 ス タ ッ フ 関 係 支 出				
リサーチ・アシスタント	1,920	研究補助者	1,920	学内1人、学外0人、外国0人、学振0人
ポスト・ドクター	2,274	共同研究者	2,274	学内1人、学外0人、外国0人、学振0人
研究支援推進経費				学内0人、学外0人、外国0人、学振0人
計	4,194		4,194	学内2人、学外0人、外国0人、学振0人

法人番号	271014
プロジェクト番号	S1511031

学 校 法 人 名	関 西 大 学	大 学 名	関 西 大 学
研究プロジェクト名	3次元ナノ・マイクロ構造の創成と バイオミメティクス・医療への応用		

平成 27 年度選定
「私立大学戦略的研究基盤形成支援事業」
研究進捗状況報告書

添 付 資 料

資料 1 外部評価資料

資料 2 内部評価資料

資料 3 技苑「プロジェクト研究報告概要」

資料1. 外部評価

外部評価（中間）

「3次元ナノ・マイクロ構造の創成とバイオミメティクス・医療への応用」

◆ 外部評価委員

- ・下村 政嗣 千歳科学技術大学 総合光科学部
バイオ・マテリアル学科 教授
- ・前田 龍太郎 産業技術総合研究所 エレクトロニクス・製造領域研究戦略部
上席イノベーションコーディネータ
- ・槌谷 和義 東海大学 工学部 精密工学科 教授

◆ 評価日 平成29年5-6月

◆ 評価結果

評価項目											
[1]	評価	項目に関するコメント	[2]	評価	項目に関するコメント	[3]	評価	項目に関するコメント	[総合評価]	評価	項目に関するコメント
研究組織(研究の実施体制)の適切性	4-	別記参照※1	研究プロジェクトの進捗状況・研究成果	4-	別記参照※2	その他	4			4	
	4			4+			4			4	
	4			4			4			4	

評価コメント
<p>【本プロジェクトは、当初の計画に沿って着実に進展しているか？】</p> <p>・順調かつ着実に進展している。 ・2年間という短期間に数多くの成果を出している。 ・3次元ナノ・マイクロ構造の創成とバイオミメティクス・医療への応用を目的として、3つのグループ「ナノ・マイクロ加工G」、「医療応用G」、「バイオミメティクスG」に分担者が所属し、協力的に研究を推し進められている。また、学外研究者らの協力を得て、着実に進められている印象もある。さらに、競争的外部資金、企業との共同研究も獲得していることから、計画に沿って着実に進展していることがうかがえる。</p>
<p>【特に優れている点】</p> <p>・蚊の口吻を模倣した医療用微細針は古くからその実現が望まれていたが、MEMS技術の進展によって本研究プロジェクトにおいて達成されようとしている点は特記すべきである。 ・蚊を模倣した口針の構造を利用する特長的、独創的研究を着実に進めており、大いに評価される。 ・外部資金の獲得はもとより、マスコミ等に精力的に広報活動を外部発信していることも、プロジェクトの着実な進展を物語っている。</p>
<p>【問題点・今後の課題】</p> <p>・医学系研究者の寄与は、プロジェクト後半期に大きくなるものと思われるが、前半ステージにおいても細胞培養系の結果などについての助言等があると、実験結果の解釈や成果のさらなる展開につながるものと思われる。 ・基礎的な研究の産業化へのつながりを目指して今後やっていただきたい。特に知財戦略を意識して頂きたい。 ・問題点らしいものは見当たらないが、3つのグループの関連性、特にグループ間連携とその目標とする成果をアピールされると、さらなるプロジェクトの飛躍が見込まれると考える。また、大学院生の多くの学会発表を行う場の提供がなされており、若手研究者の育成がなされていて良いが、ポストドクターの役割と育成の状況が今後説明されるとさらに良い。</p>
<p>【期待される研究成果】</p> <p>・バイオミメティクスの医学分野における応用は意義が大きい。MEMS技術や3Dプリンティング等の微細加工技術を統合化し、ソフトマテリアルも含めた多様な材料系においてプロセスの最適化ができれば、ナノ・マイクロテクノロジー分野にとっての波及効果大きい。 ・注射針の産業化やナノインプリント技術の応用開拓に期待する。 ・将来的に企画されるバイオミメティクスとナノ・マイクロ技術に身近に触れられる小中高生を対象とした研究室見学会の運営も楽しみである。是非とも技術の社会還元を、特に、遠い将来の人材育成に活かしていただきたいものである。</p>

【項目に関するコメント】
※1 プロジェクト前半期においても生物系、医学系の助言など連携が望まれる。
※2 細胞培養の実験結果については、培養器材の表面構造、化学的性質についての影響が従前より数多く研究されているので、深く考察願いたい。

<p>[評価記号について]</p> <p>それぞれの評価項目の<評価記号>欄は下記の1~4を用いて記入されています</p> <p>4 研究活動設定された目的は十分達成され、期待以上の成果があがっている</p> <p>3 設定された目的は概ね達成され、期待通りの成果があがっている</p> <p>2 設定された目的はある程度達成されている</p> <p>1 設定された目的は十分には達成されていない</p>
--

資料2. 内部評価

2017年9月11日

「3次元ナノ・マイクロ構造の創成とバイオミメティクス・医療への応用」

研究代表者

先端科学技術推進機構

システム理工学部・教授・青柳 誠司 殿

研究推進委員会 外部資金審査・評価部会長

吉田 宗弘

「私立大学戦略的研究基盤形成支援事業」に係る進捗状況評価（3年目）の結果について

このたびご提出いただきました研究進捗状況報告書（学内評価用）につきまして、研究推進委員会の専門部会である外部資金・審査評価部会において評価した結果について、下記のとおりご報告申し上げます。

つきましては、評価結果を踏まえ、来年5月末日締切の文部科学省への報告書作成に向けたとりまとめをお願いするとともに、引き続き研究の適切な遂行に努めていただけますと幸いです。

記

<総合評価点> 4.00

※総合評価点の凡例

4：優れた成果がみられた 3：成果がみられた 2：やや不十分であった 1：成果があがらなかった

<評価における主な意見>

- ・生物の身体構造を詳細に検討し、これを模倣したデバイスを設計し、医療をはじめとするヒトの生活に活用するという構想はきわめて独創的であり、評価できるものと判断する。成果もほぼ順調に蓄積されており、今後の進展がおおいに期待できる。特に、侵襲の程度が低い、あるいは非侵襲性の医療デバイスの開発は社会に資するものである。本学が採択を受けている私立大学研究ブランディング事業（KU-SMART PROJECT）とも絡めて、医療に資する「ものづくり」が関西大学のブランドとして確立しつつあることはきわめて喜ばしいところである。
- ・今後順次作製されるであろうデバイスの試用については、注射針のみ、動物やヒトでの評価計画を明示されているが、他のデバイスについても、その有用性を検証する体制を加えられることを期待したい。
- ・蚊の口を模した無痛針の研究に関しては、すでに評価も得られており、研究も順調に進展していると判断できる。動物実験への適用も順調であると見受けられるが、量産化については依然課題が残っており、残りの期間での進展が期待される。一方で、それ以外のバイオミメティクスについては、進捗度にかかなりの差が見られる。
- ・動物実験において痛みの評価という定量化の難しい課題に挑戦し一定の成果を得ているのは評価できるが、これを人体に適用する際に必要なステップについての検討を進めていただきたい。

以上

資料3-1. 2015年度 技苑「プロジェクト研究報告概要」

私立大学戦略的研究基盤形成支援事業プロジェクト

3次元ナノ・マイクロ構造の創成とバイオミメティクス・医療への応用

研究代表者：青柳 誠司
研究分担者：新井 泰彦・大村 泰久・新宮原 正三・
福永 健治・山口 智実・伊藤 健・
稲田 貢・鈴木 昌人・高橋 智一
学外研究分担者：高澤 知規

1. はじめに

青柳誠司*1

近年、生物の有する様々な機能を工業に応用するバイオミメティクス技術が注目されている。本プロジェクトはナノ・マイクロメートルスケールの3次元微細構造の形成技術とバイオミメティクス技術の融合による新学問分野を確立すること、更に研究成果を医療デバイス開発に応用することを目的とし、私立大学戦略的研究基盤形成支援事業の支援により実施されている。本プロジェクトの実施機関は平成27年度から31年度であり、本年はその1年目にあたる。

本プロジェクトで実施する研究は、3次元ナノ・マイクロ加工に関する基礎的な研究、微細加工を応用した医療用デバイスに関する応用研究、バイオミメティクスに関する応用研究の3分野に大別される。本書では今年度のこれらの研究分野における成果をそれぞれ報告する。

2. 3次元光造形法を援用した低侵襲性マイクロニードルの形成とその特性評価

青柳誠司、鈴木昌人*2、福永健治*3

2.1. 3次元光造形法の概要

3次元光造形法とは、光硬化性樹脂に選択的に光を透過することにより3次元的な自由度を有する構造を作製する手法のことである。本研究では、レーザー走査型の3次元光造であるPhotonic Professional GT（独国 Nanoscribe GmbH製、日本販売代理店 日本レーザー）を用いた。この装置は光源としてフェムト秒レーザーを採用しており、2光子吸収の原理を援用して紫外線硬化樹脂を硬化させる。硬化範囲は楕円球形状であり、その短軸、長軸の最小値はそれぞれ約200 nm、800 nmである。

2.2. 蚊の口針を模擬したマイクロニードルの作製

また、蚊の針の形状と機能を模擬し、かつ量産化を視野に置いて構造を単純化したマイクロニードルを新たに設計した。そのCADモデルをFig.3に示す。このマイクロニードルは、円錐状に先鋭化された1本の中空マイクロニードルを長手方向に半割にした構造を有している。先端以外の部分は楯形状になっており、内側の溝部分に液体を流すことが可能である。先端側面には蚊の小顎と同様の鋸歯状突起を付与した。この半割針単体では中空構造になっていないため、比較的容易に形状を転写可能であると期待される。また、2本の半割針を交互に前進させることも可能である。このCADデータを基に作製したマイクロニードルのSEM像をFig.4に示す。

さらに、2本1組に組み合わせた半割針を用いて穿刺試験を実施した。その結果をFig.5に示す。本実験では2本の針を前進させながら、(a)振動無し、(b)同相振動、(c)交互振動を付与してそれぞれ対象に穿刺したが、その中では交互振動を付与した場合に最も穿刺抵抗が小さくなった。この動作は蚊の口針の動きを模擬したものであり、これにより蚊の穿刺抵抗低減効果の模倣に成功したと結論付けられる。

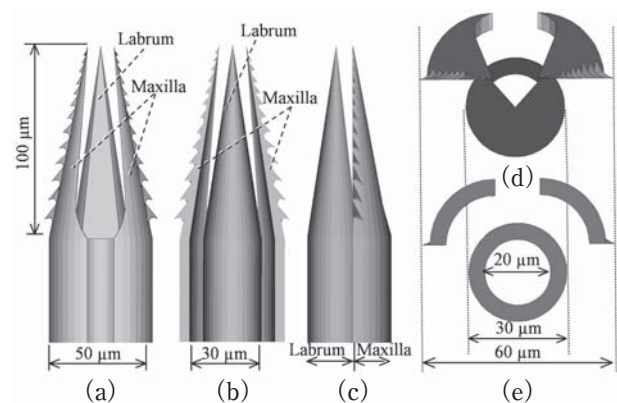


Fig. 1. 蚊の上唇と小顎を模擬した低侵襲性マイクロニードルの3D-CAD
(a)先端前面図, (b)先端後面図, (c)先端側面図, (d)正面図, (e)背面図

*1 システム理工学部教授 工学博士

*2 システム理工学部准教授 博士(工学)

*3 化学生命工学部教授 水産学博士

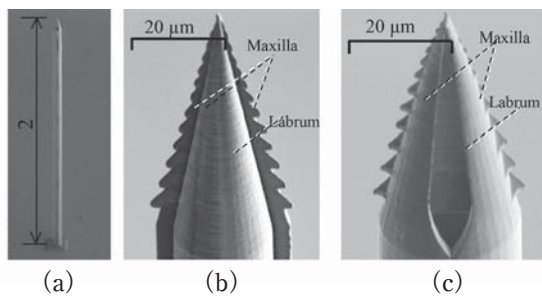


Fig. 2. 蚊の上唇と小顎を模擬したマイクロニードルのSEM像
(a)全体像, (b)前端背面, (c)先端前面

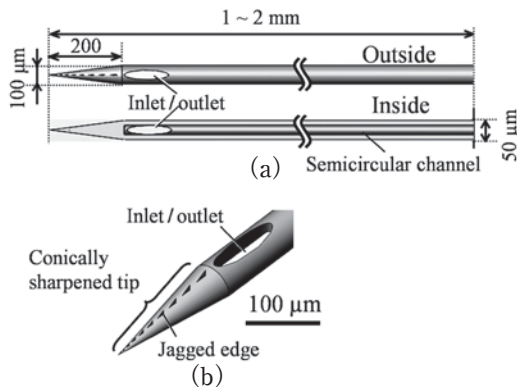


Fig. 3. 蚊の上唇と小顎を統合した2本1組の半割状マイクロニードルの概略図
(a)全体像, (b)先端付近の拡大図

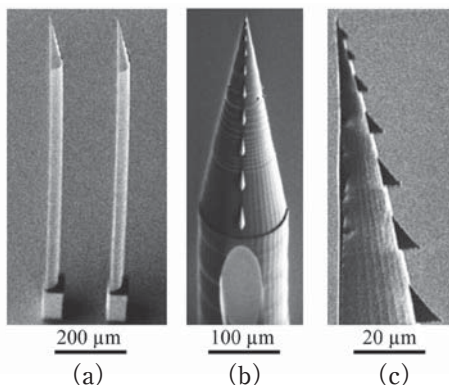


Fig. 4. 作製した半割状マイクロニードルのSEM像

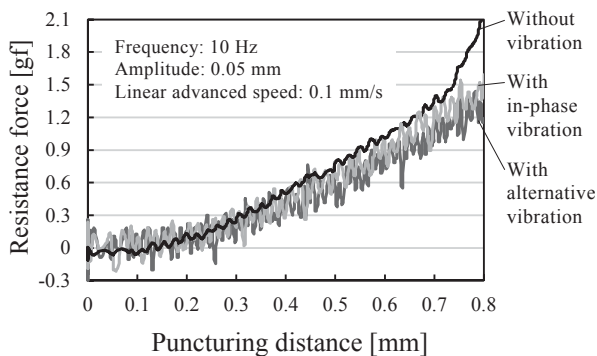


Fig. 5. 2本1組の半割状マイクロニードルの穿刺実験における穿刺距離と穿刺抵抗の関係

最後に、半割針を組み合わせた中空マイクロニードルを人間の血液の液滴に挿入し、毛細管力による血液の吸

引実験を行った。その結果、吸引速度 25 nL/sでの血液吸引に成功した。糖尿病の検査に必要な血液量は 0.3 μ Lとされている。したがって、このマイクロニードルを用いて採血した場合の所要時間は 12 sとなり、現実的な時間で採血を終了させることが可能であると期待される。

3. レーザー加工法によるマイクロ微細構造の創生

新井泰彦*4

3.1. はじめに

MEMSの駆動源として古くは静電マイクロモーターが想定され、一時期様々な研究機関で開発が進められてきた。しかし、複雑な構造に加えて、電気的な配線がさらに複雑に求められるためにその微小化には限界が見られた。また、シリコンプロセスに基づいたマイクロモーターには、一般的に軸受け機構が存在していないために、モーターの軸は回転に伴い摩擦が進行し、数10分ほど回転すると軸が折れてしまうなどの問題が発生している。これらの問題は、一般構造物のダウンサイジングの考え方により微小構造物を製作しているところにある。すなわち、MEMSに対する製作理念を明確にした上でMEMSを捉えなければ機構として機能するシステムをつくり上げることはできない。このことは、MEMSの製作理念、素材などにとどまることなく、利用する物理現象においても、一般構造物の常識にとらわれない現象の利用も有効に機能する可能性があることを示唆している。

本研究では、従来の静電モーターのような複雑な構造ではなく光導波路をガラス基板上にフェムト秒レーザーによって形成し、その導波路にレーザー光を誘導し、ロータを光放射圧によって回転させる原理に従ったMEMS駆動源の開発にチャレンジしている。さらに、このチャレンジでは、光を潤滑剤とする光ベアリングの製作にも取り組んでいる。

現在までに、シリコンプロセスに基づくロータ製作を行い、その回転軸の製作を完了している。しかし、一つのロータにより得られるトルクは、約0.1 pNmであり、構造物が微小であるとしても、実用上の駆動源としては、より大きなトルクが求められる。本研究では、この問題に対して、小さな蟻が集合することによって大きな物体を自由に運搬しているように、微小なロータを多数集合することにより、MEMS駆動に必要な動力の創生を提案している。

本研究では、初年次のテーマとして、(1)光駆動素子開発の全体像の確立と、具体的に開発する技術として(2)シリコンプロセスに基づくロータの製作、並びに(3)3-Dプリンターを用いたロータの製作、さらに、(4)光ベアリン

*4 システム理工学部教授 工学博士

グに関する基礎実験を行った。それぞれの成果を以下に示す。

3.2. ロータの製作

3.2.1. シリコンプロセスに基づくロータ

Fig6(a)にシリコンプロセスに基づき製作したロータを示す。現在、6方向からファイバーでレーザーを照射し、回転トルクの取り出し実験を行っている。

3.2.2. 3-Dプリンターに基づくロータ

Fig6(b)に3-Dプリンターに基づき製作したロータを示す。図1に示すロータの構造・設計をベースに作製したもので、シリコンプロセスよりも遥かに容易に複雑な構造物の作製が可能であることが分かった。

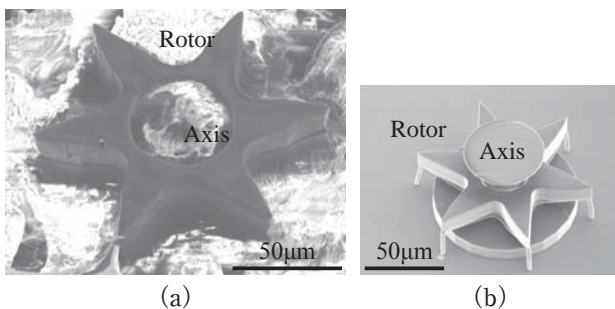


Fig. 6. (a)シリコンプロセスで作製した光モーター
(b)3Dプリンタを用いて作製した光モーター

3.3. 光ベアリング

これまでの研究成果より、光放射圧による力は、100 mWでも 0.5 nN程度と微小であることより、軸を支えるためには微小な力を大きな力に相当するような現象を利用しなければならない。本研究では、軸とロータを共振させた状態で、軸を支える力の創出を想定している。そのためにパルス光による共振実験をマイクロカンチレバーにおいて実施した。その結果 (24 kHzで共振) を Fig.7 に示す。また、ベアリング特性を調べるために上部より円錐状のミラーにレーザー光を照射し、ラジアル方向に反射した光により発生する光放射圧を用いて、

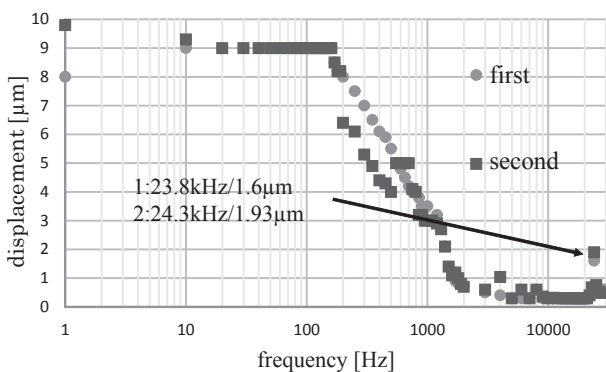


Fig. 7. マイクロカンチレバーの共振特性

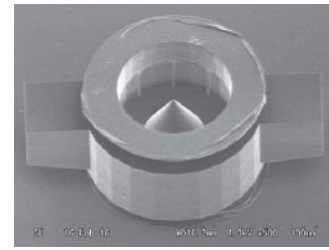


Fig. 8. 摩擦トルクの検出機構

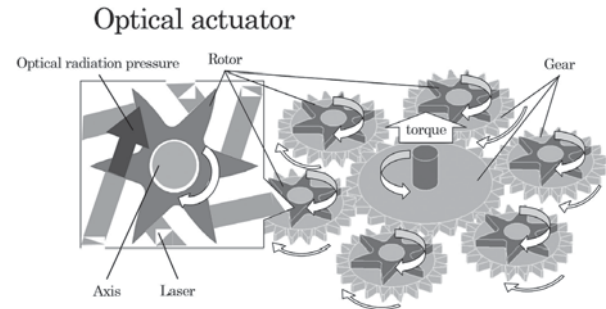


Fig. 9. 歯車列を用いたロータの集約機構

ロータを壁面より遊離させる機構を提案している。今後、この回転体（ロータ）の回転時に発生する摩擦トルクの変化を検出することにより、回転特性を評価する。そのための機構を3-DプリンターでFig.8に示すように製作した。

4. 非線形PPG信号モデルによるアルコール摂取検知の検討

大村泰久*5

4.1. はじめに

日本の高齢化率が高まる中、健康状態のモニタリングの重要度が高くなっている。生体情報の非侵襲的なモニタリングは、感度、分解能、再現性について従来の侵襲的なモニタリングに比べて一般的に劣っているが、非侵襲的なモニタリングは生体情報の解析の観点から有用であることに変わりはない。本研究では、血脈波信号を光学的手法で非侵襲的に取り出し、そこから得られる生体情報を解析する手段を検討してきた¹⁻³⁾。

これまでの手法ではその多くが、光学的血脈波信号 (Photoplethysmogram, PPG) を簡単にするため線形信号として近似して解析した¹⁾。この場合、PPG信号の持つ重要な情報を見逃している可能性があるため、我々は本質的に非線形の信号源であるPPG信号の非線形性を考慮して解析することを試みた。この解析を通じて、非線形解析ならではの情報を得ることができたので、主要な結果を紹介する⁴⁾。

*5 システム理工学部教授 工学博士

4.2. 非線形信号モデル

Hamiltonの原理とHilbertスペクトル解析手法に基づいて、PPG信号の非線形信号モデルとして次式を提案した。

$$f_{PPG}(t) = f_0(t) + f_1(t) + f_2(t) + f_1(t)f_2(t) + f_0(t)f_1(t) + f_0(t)f_2(t) + f_0(t)f_1(t)f_2(t) \quad (1)$$

ここで $f_0(t)$ は心拍の基本周波数スペクトルに対応する。 $f_1(t)$ と $f_2(t)$ は第二高調波などを生むための信号限スペクトルとしている。このモデルによって、Fig.10に示すような多様なスペクトル群を構成することができる。

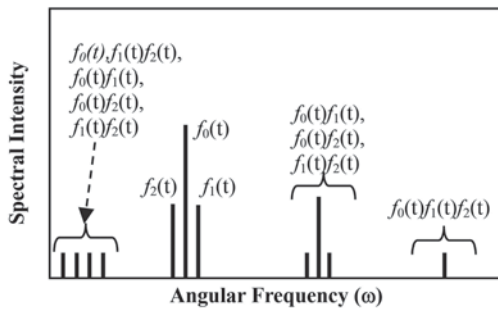


Fig. 10. 非線形信号モデルによって生成されるスペクトル群

4.3. 実験結果との比較

PPG信号のピックアップと増幅回路系をFig.11に示す。増幅回路後の信号はFFT処理を行ってスペクトル表示に変換する⁴⁾。この実験系とPPG信号モデル式(1)を用いて、実際の信号をスペクトル解析した結果と比較した。Fig.12にその例を示す。主要なスペクトルの特徴(心拍基本波、その第二高調波、第三高調波、及び呼吸由来の低周波成分)をほぼ再現できていることいえる。ここでは詳述しないが、式(1)の進行成分を抽出することによって、飲酒固有の情報意を引き出すことに成功しており、飲酒検知のアルゴリズムを構成するうえで有効な情報処理手段となることが期待される。

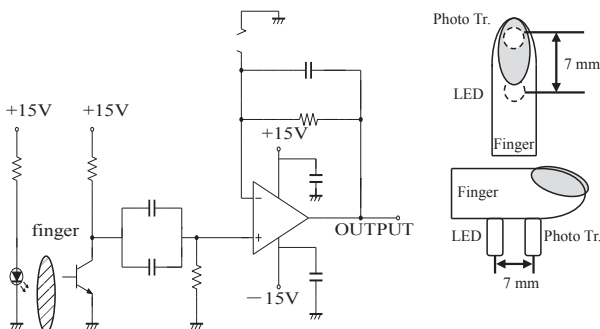


Fig. 11. 信号ピックアップと増幅器
(a)回路図, (b)信号ピックアップの概要

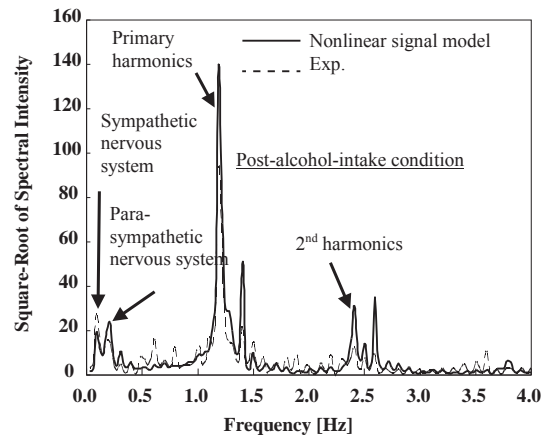


Fig. 12. 飲酒後のPPG信号スペクトルとモデル関数による再現

5. 無電解・電解めっきを用いたナノマイクロ構造の形成 -Si貫通電極形成技術

新宮原正三*6

Si貫通電極(Through Si Via: TSV)は三次元LSIにおいて、積層されたSiチップを電氣的に接合する重要な技術の一つである。将来的には直径が2 μm以下、アスペクト比が10以上のTSVが期待されている。Cu拡散バリア膜、Cuシード層、電解Cuめっき埋め込みのすべての工程を湿式処理で行うオールウェットプロセスは低コストかつ高性能であり、今後期待される技術である。しかし、バリア・シード層の密着性が不十分という課題がある。そこで本研究ではバリア膜上へのCu無電解めっき膜形成において、新たに酸性浴置換めっきを検討することとした。

Cu-TSVの作製工程をFig.13に示す。溶媒をトルエンとして1.0 wt%の3-aminopropyl-triethoxysilane (APTES)を添加したシランカップリング溶液にSiO₂基板を浸漬することでオルガノシランのSelf-assembled monolayer (SAM)を形成する。その後、触媒として粒径4 nmのPdナノ粒子をSAM上に凝集することなく吸着させた。

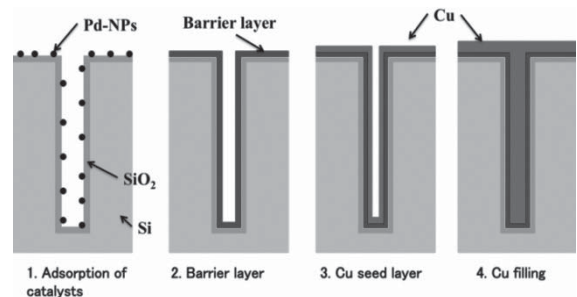


Fig. 13. オールウェットCu-TSV作製プロセス

無電解CuめっきはPdナノ粒子触媒を用いて行った。pH調整は水酸化テトラメチルアンモニウム(TMAH)

*6 システム理工学部教授 工学博士

を用いた。無電解バリア層の形成後、酸性浴Cu置換めっきを行った。Cu置換めっき浴の主な成分は硫酸銅5水和物であり、pHは1.5/2.5/3.5の範囲で変え、室温にて行った。続いて、添加剤を添加してめっきを行った。

Fig.14に無電解CoWBめっき膜の表面および断面SEM画像を示す。表面SEM画像からCoWBめっき膜は粒径50-100 nm程度の多結晶組織からなる連続膜になっていることがわかる。断面からは柱状構造であり、多結晶構造であることが見て取れる。また、EDSによる組成分析の結果、Co:W=96:4であった。Bに関しては検出限度以下であった。

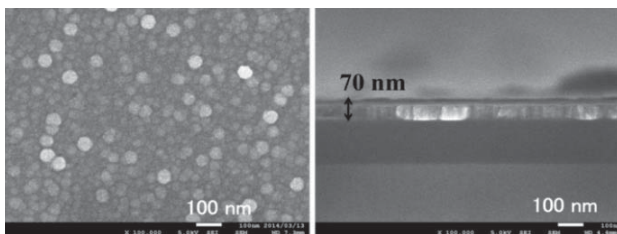


Fig. 14. オールウェットCu-TSV作製プロセス

密着強度をスタッドプルテストにより評価した。無電解CoWBめっき膜のみの密着強度は20 MPaであった。還元剤を用いた無電解Cu/CoWBめっき膜は密着強度が非常に悪いが、置換めっきCu/CoWB膜は50 MPa以上であり、置換めっきによって高密着強度のCu膜の形成に成功した。この高密着性は、置換反応によって下地のCoWB膜と上部のCu膜が金属結合したためと推測される。

CoWB無電解バリア膜、及び置換Cuめっきシード層を用いて、その後に電解Cuめっきによるボトムアップ堆積により形成したTSVの断面SEM像をFig.15に示す。TSV内部にはボイドはなく、また本サンプルはCMPにも耐える高密着性を示し、実用性に優れていることが示された。

SiO₂基板上にてPdナノ粒子を触媒として形成した無電解めっきCoWB膜上への、高密着性Cu置換めっき膜の形成に成功した。このCu置換めっき膜は膜厚60 nm程



Fig. 15. オールウェットプロセスで形成したTSV (3 μmΦ、深さ30 μm) の断面SEM像

度であったが、電解めっきのためのシード層として十分な膜厚と考えられる。また酸性浴Cu置換めっき膜の密着強度は、CMP工程にも十分耐え得るものである。本技術は高アスペクトCu-TSVのオールウェット形成を実現可能とする重要な要素技術となることが期待される。

6. ナノインプリント法による微細構造の創成

山口智実*7

6.1. はじめに

本研究は、単結晶ダイヤモンドが鉄・ニッケル等の金属と接触した際、ダイヤモンドの炭素が金属中へ拡散する現象を利用することにより、ダイヤモンド表面への微細パターン形成技術の開発を目的とする。平成27年度は、研究の基礎段階として次の2つ—(i)単結晶ダイヤモンドと純鉄との圧接における炭素拡散MD (Molecular Dynamics) モデルの構築、(ii)ニッケルとの加熱圧接による単結晶ダイヤモンドへのパターン形成技術の検討—の課題に取り組んだ。

6.2. 純鉄との圧接における炭素拡散MDモデルの構築

計算条件をTable1に示す。荷重の値は後に検証実験ができる値に設定した。純鉄の構造にはJohnsonポテンシャル、ダイヤモンド構造にはTersoffポテンシャルを用いた。ただし、ダイヤモンド中の炭素原子を解離させて拡散させるために、周囲の鉄原子の数に応じて、斥力みのBorn-Mayerポテンシャルに切り替える方法をとっている。

Table 1. シミュレーション条件

Each direction of model	[100]	[010]	[001]
Periodic boundary conditions	off	off	off
Model size [nm]	10.03	6.139	10.03
Total number of atoms	32244		
1 step time [fs]	1		
Total step time [ns]	1		
Temperature [K]	800		
Pressure [N/μm ²]	0.01		

Fig.16に計算結果を示す。条件(a)と(b)を比較すると両条件とも鉄とダイヤモンドの接触により、ポテンシャル関数がBorn-Mayerに切り替わり、ダイヤモンドの炭素原子が解離することで、鉄中に拡散していることが確認できた。また、鉄中へ侵入する炭素の割合は増加しており、さらに、モデル外へ流出する炭素の割合も増加していることがわかる。これは圧力を加えることで炭素原子が鉄中へ押し込まれたことと、押し込みによりあふれた炭素が増加したことが原因と考えられる。本モデルでの

*7 システム理工学部教授 工学博士

拡散係数は、一般に知られている値に比べ 104 倍と非常に大きくなっている。これは接触面の炭素が急激に解離することで鉄中で飽和状態になり、鉄の構造が崩れ炭素が動きやすくなってしまったことが原因と考えられる。

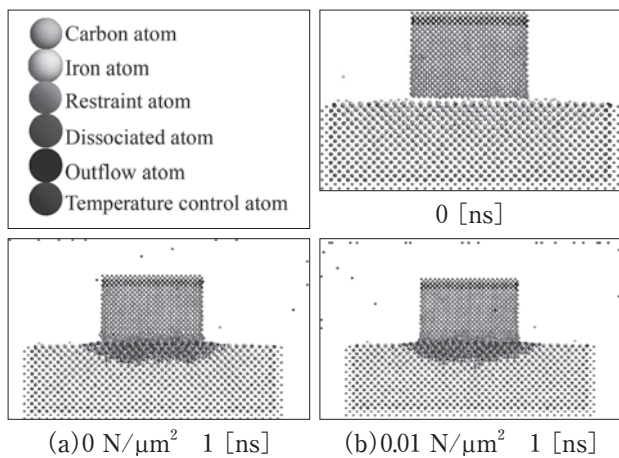


Fig. 16. シミュレーション結果

6.3. ニッケルとの加熱圧接によるパターン形成技術の検討

ステンレス試料上にニッケルメッキを施し、そこに凹部幅：970 μm、凸部幅：530 μm、深さ：110 μmの溝パターンを切削成形し、その部分を単結晶ダイヤモンド試料と、真空度：8.3 Pa、接触圧力： 1.2×10^{11} Pa、温度：823 K、時間：12 hの条件で加熱接触実験を行い、ニッケルによるパターン転写の可能性について検証した。

実験後、両試料は強固に接着していたので、強制的に剥がした後の両試料の表面をFig.17に示す。ダイヤモンド表面には多くのニッケルが付着していたが、ニッケル側に形成した溝パターンの転写痕を見つけることはでき

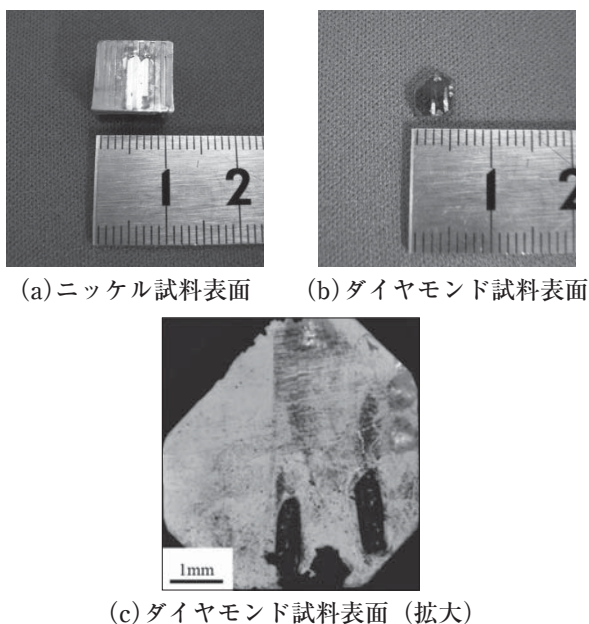


Fig. 17. 加熱接触実験後の各試料表面

なかった。今回、ニッケルメッキを使用したことで、ダイヤモンドから炭素を解離させる前にニッケル自身の結晶化が優先して行われたのではないかと推察できる。

今回の実験で、パターン転写の検証実験の手法は確立できたが、転写材料としてニッケルの有効性に問題があることが判明したので、今後、ダイヤモンドに対する炭素解離能力とパターン形状の形成性とを併せ持つ別の金属材料の選定が必要と考えられる。

7. クマゼミの羽を持つ機能性ナノ表面とその模倣

伊藤健*8

7.1. はじめに

マイクロ・ナノ構造の視点で生物を見てみると、昆虫を代表として様々な優れた機能を持っていることが明らかにされてきた。このような生物が持つ機能を人工的に再現し、有効活用しようとする研究をバイオミメティクスやバイオミクリと呼び、世界的に研究が行われている。セミやトンボなどの昆虫の羽には無数のナノメートルオーダーの寸法を持つ柱(ピラー)構造が存在している。これらの構造は、自己組織化により形成された非常に特有の構造である。ナノピラー構造は、ロータス効果による撥水性を示すほか、光に対する無反射構造としても知られている。また、この構造が摩擦を低減することが明らかとなったほか、抗菌性があることが明らかにされた⁶⁾。本研究ではこのような優れた特性を有するナノ構造をシリコン基板を用いて人工的に模倣し、抗菌性を有する素材の作製を試みた。

7.2. 実験

クマゼミ(学名: cryptotympana facialis)は学内で採取した。その羽の観察には走査型電子顕微鏡(SEM)を用いた。Fig.18に観察結果を示す。一面にピラー構造が形成されていることがわかる。3匹の羽からランダムに高さ、幅、ピッチを計測したところ、それらの平均値は229 nm、148 nm、196 nmであった。この寸法を目標とし、ボトムアップ技術により人工的にナノピラー構造を再現した。プロセスは以下の通りである。シリコン基板上にポリスチレン球を配置させ、アッシングにより所定のサイズまでポリスチレン球の直径を短くする。次に金を蒸着し、この金を介してメタルアシストエッチングを行うことで、ポリスチレン球の乗っていない部分だけ選択的にエッチングすることが可能である。最後に金及びポリスチレン球を除去しナノピラー構造を作製した。作製したナノピラーをSEMにて観察したところ、Fig.19に示すように高さ200 nm、幅180 nmとセミの羽の持つ

*8 システム理工学部准教授 博士(工学)

ナノ構造とほぼ一致する寸法を模倣することに成功した。このような作製法でナノピラーの幅、高さを変化させたサンプルを3種類作製し、JIS Z2801に準拠した抗菌性評価を行った。結果をTable2に示す。どのサンプルにおいても初期生菌数濃度(3.9×10⁴ CFU/mL)に対して大幅な生菌数濃度の減少が確認され抗菌作用が認められた。

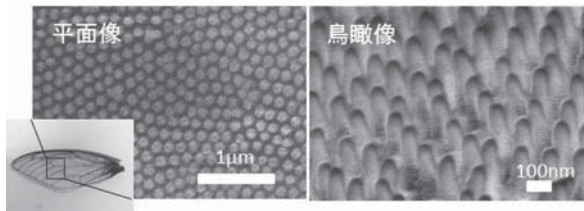


Fig. 18. クマゼミの羽(写真とSEM像)

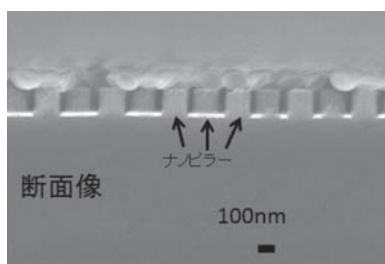


Fig. 19. セミの羽の構造を人工的に再現したナノピラーの断面SEM像

Table 2. 構造的特徴と抗菌性評価

Sample	幅 [nm]	高さ [nm]	生菌数濃度 [CFU/mL]
A	140	294	< 1
B	137	529	< 1
C	119	725	< 1

7.3. 今後の展望

ナノピラーの幅、高さ、ピッチなどを様々に変化させてその抗菌効果を最適化する。また、本研究で作製したナノ形状を大量生産できる技術を構築し、構造的な特徴だけで機能を発揮する従来にない機能性材料の創製を目指す。

8. プラズモニクスによるタンパク質修飾金クラスターのバイオセンサ応用の試み

稲田貢^{*9}

8.1. はじめに

粒径が数nmから数百nm程度の大きさの金ナノ粒子の光吸収スペクトルには、波長520 nm付近の可視光領域に局所表面プラズモン共鳴(Localized Surface Plasmon Resonance, LSPR)による大きな吸収スペクトルが観測

されることが知られている。また、このLSPRにより、金ナノ粒子の表面では入射光の電場強度に対して数桁程度大きな強度の振動電場が発生することが知られている。近年、金ナノ粒子のLSPRによる電場増強効果を各種センサーやデバイスに応用する研究が盛んに行われている⁵⁾。一方、金ナノクラスターは金原子が数個から数十個集まった極めて小さな物質(粒子)である。そのため、金クラスターの電子構造は自由電子を有する金属的なものではなく、分子に近い不連続な準位を形成していると考えられる。タンパク質などの生体親和性分子で表面を就職した金ナノ粒子および金クラスターはバイオセンサーとしての働きが期待できる。この金ナノ粒子/金クラスター複合センサーを実現、あるいは高感度化するためには、ナノ粒子-クラスター間距離をnmオーダーで精密に制御することが重要である。このような観点から、本研究では単分子交換吸着(Layer by layer, LBL)法を用いて、1層の膜厚が25 nmのPoly sodium 4-styrenesulfonate (PSS)-Poly diallyldimethylammonium chloride (PDADMAC)膜をスペーサーとして金ナノ粒子と金クラスターの間挟み、両者の間隔(スペーサー膜厚)と金クラスターの発光強度の依存性を調べた。

8.2. 実験

本研究では、石英基板上に「金ナノ粒子/PSS-PDADMACスペーサー/金クラスター」構造を持つ試料を作製した。金ナノ粒子は石英基板上に10 nmの金薄膜を真空蒸着装置にて堆積したのち、赤外線加熱炉で500℃、1時間熱処理して作製した。電子顕微鏡観察から求めた金ナノ粒子の平均粒径は50 nmであった。この金ナノ粒子の光吸収スペクトルには2.38 eV(520 nm)付近にLSPRによる吸収ピークが見られた。PSS-PDADMACスペーサーはLBL法を用いて金ナノ粒子上に1層あたりの膜厚が25 nmになるように調製、成膜した。さらにこのPSS-PDADMACスペーサー上に金クラスターをキャストリング法により堆積した。本研究で用いた金クラスターはヒト血清アルブミン(HSA)で修飾(保護)したHSA-Au₂₅クラスターである。HAS-Au₂₅クラスターは塩化金酸溶液にHSAを還元剤として加えて加熱攪拌により調製した。この方法では金原子13個からなる「コア」と、このコアを囲むように12個のチオールに保護された金原子からなる「セミリング」を合わせた計25個の金原子を含むAu₂₅クラスターが生成されることが報告されている⁶⁾。上記のような「金ナノ粒子/PSS-PDADMACスペーサー/金クラスター」構造において、スペーサー層数を1.5層(膜厚3.6 nm)から6.5層(15.6 nm)まで変化させた試料を作製した。試料の発光強度は金ナノ粒子のLSPRの吸収波長に近い2.33 eV(532 nm)を励起光

*9 システム理工学部准教授 博士(工学)

とするフォトルミネッセンス (PL) 測定により評価した。

8.3. 実験結果と考察

Fig.20 に水に分散した溶液中でのHSA-Au₂₅ クラスタおよび修飾保護分子であるHSA水溶液のPLスペクトルを示す。これよりHSA-Au₂₅ クラスタが1.9 eV (650 nm) 付近の赤色領域に蛍光のピークを持つことがわかる。また、このPLスペクトルが高エネルギー側に裾を引いているのは保護分子であるHSAの発光のためであることがわかる。また、発光スペクトルの1.7 eV付近に小さな発光が見られるが、これはHSA-Au₂₅ クラスタのPLスペクトルがコアからの発光 (1.7 eV) とセミリングからの発光 (1.9 eV) の重ね合わせのためである。Fig.21 に「金ナノ粒子/PSS-PDADMACスペーサー/金クラスタ」構造試料における発光強度のナノ粒子-クラスタ間距離 (スペーサー層膜厚) 依存性を示す。この図における縦軸は試料の発光強度は金ナノ粒子が存在しない状態でのHSA-Au₂₅ クラスタの発光強度を1としたときの相対強度である。ナノ粒子-クラスタ間隔が10 nm程度になるまでは、間隔が小さくなるにつれて発光強度は大きくなっていることがわかる。HSA-Au₂₅ クラスタのコアおよびセミリングの発光に対するフォトルミネッセンス励起 (PLE) スペクトルのピークがそれぞれ2.3 eVおよび2.4 eVであったことから、この間隔の減少による発光強度の増大は、金ナノ粒子のLSPRによる増強電場の効果と考えられる。一方、間隔が10 nm

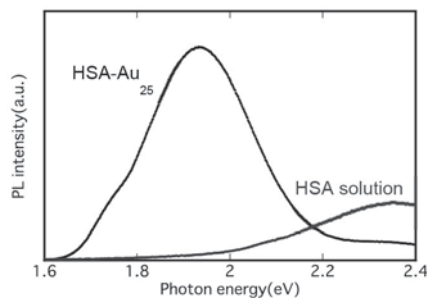


Fig. 20. HSA-Au₂₅ ナノクラスタおよびHSA溶液の発光スペクトル

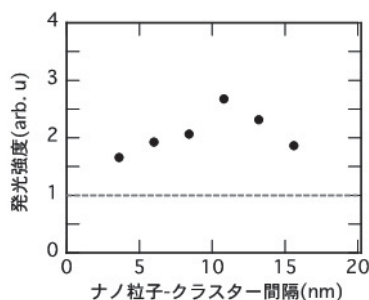


Fig. 21. HSA-Au₂₅ クラスタ発光強度のナノ粒子-クラスタ間距離依存性
縦軸はHSA-Au₂₅ クラスタ単独での発光強度を1としたときの相対発光強度

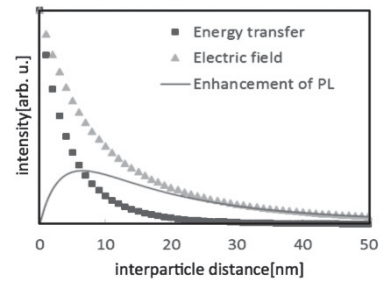


Fig. 22. HSA-Au₂₅ クラスタ発光強度のナノ粒子-クラスタ間距離依存性 (実線)
■は、クラスタからナノ粒子への共鳴エネルギー移動の割合。▲は、LSPRによる電場強度。

よりも小さい領域では発光強度は間隔が小さくなるにつれて減少した。これはHSA-Au₂₅ クラスタから金ナノ粒子への共鳴エネルギー移動 (resonant energy transfer, RET) の結果であると考えられる。つまり、この試料からの発光はナノ粒子-クラスタ間の距離に依存し、その強度はLSPRによる効果と非輻射RETによる効果の競合の結果である可能性が指摘できる。この仮定を検証すべくLSPRによる増強電場強度のナノ粒子表面からの距離依存性と、HSA-Au₂₅ クラスタから金ナノ粒子へのRET割合の距離依存性から発光強度の距離依存性をプロットしたものがFig.22である。ただし、RETはフェルスター型であると仮定した。その結果から、HSA-Au₂₅ クラスタの発光強度がLSPRによる電場増強効果とRET現象との競合によって変化し、ナノ粒子-クラスタ間隔が7 nmのときに発光強度が最も大きくなることがわかる。この結果は実験結果とよく一致している。以上の結果から、金ナノ粒子/金クラスタ複合構造による金クラスタの発光現象を利用したバイオセンサを開発する際には、金ナノ粒子のLSPRによる増強電場を効率よく利用して金クラスタの発光させるために、両者間の距離が10 nm程度となるように設計すれば良いことがわかった。

9. タコの吸盤を模倣した吸着グリッパ

高橋智一*¹⁰

産業やインフラストラクチャーの形成では労働者数の減少や作業の効率化から人の代わりにロボットが作業することが求められている。特に産業分野では製品の変転が激しく、それらの部品も一様ではない。しかし、自動化された部品の搬送や組立には吸着パッドによる真空吸着が用いられているが、ロボットハンドはその部品専用となる。そのため専用ハンドの開発コストを要する。また、製造ラインに流れる部品が変われば、製造を止めてハンドを交換する時間が必要となる。さらに、過去の製品も

*10 システム理工学部准教授 博士 (工学)

製造を続けることがあるため、使用頻度の低いハンドも保管する場所が必要となる。これらのコストを省くため、多様な部品を把持可能な汎用ハンドが求められている。

そこで本研究では、タコの柔軟な把持能力に注目して、その吸盤を模倣したグリッパを開発している。タコは柔軟かつ発生力の高い筋肉を巧みに動かし、腕や吸盤によって餌などを把持することができる。吸盤には漏斗と吸盤の筋肉がある。まず漏斗を広げて対象物に密着する。その後、吸盤の筋肉を収縮して密閉された空間の圧力を下げ、吸着するとされている。このようなタコの吸着法を模倣したグリッパは報告されているが、いずれも密閉後に膜を変形させて空間を膨張させ、ボイル・シャルルの法則によって空間の圧力を下げている。我々もグリッパ内部を負圧にすることで空気圧差を生み吸着するハンドを提案した。我々のグリッパは剛性の高い物体を把持でき、金属やガラスなどを用いる工業分野では本研究室のグリッパが適していると考えられる。

本年度はタコの吸着原理と吸盤構造を模倣したグリッパをそれぞれ試作して、吸着性能を評価した。吸着原理を模倣したグリッパは産業分野への応用を目標としており、その汎用性を評価した。吸盤構造を模倣したグリッパは、タコがもつ特有の形状がグリッパの柔軟性に与える影響を評価するために試作した。まず吸着原理を模倣した半球状の吸着グリッパは、把持できる対象物の寸法に制限はあるが、ある範囲の寸法を有する平面、曲面、段差や溝をもつ金属を把持できることがわかった。今後はグリッパの構造(吸盤の配置やグリッパの形状と寸法)と把持できる対象物の範囲が予想もしくは実験的に示す予定である。また、現在は人の手によってグリッパを押し付けている。これにより無意識に対象とグリッパの最適な押付動作を行っている可能性がある。これをロボットなどで行い、吸着に必要な把持動作を明らかにする。同様に今回の実験では対象の重心周辺に吸着している。

高度な制御を用いずに把持することが目的であるから、把持可能な位置の重心からのずれを評価する予定である。

次に、タコのもつ特有の構造を模倣することで概ねグリッパの形状追従性の向上が見られた。今後は模倣できていない構造をもつグリッパの作製、および全ての構造を含めたグリッパの作製方法を開発して構造のもつ優位性を明らかにする。またタコの吸盤形状だけでなく、機械的な物性値などを考慮することも有用であると考えられる。

謝辞

本研究の一部は、「文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業（平成 27 年度～平成 31 年度）」によって実施されたものである。

参考文献

- 1) Y. Shimizu, Y. Omura, Advanced Spectroscopic Characterization of Impact of Alcoholic Intake on Variation in Blood-Pulse Waveform, IEEE Sensors J., 11(9), 1998-2006 (2011).
- 2) Smoking Effect on Alcoholic Intake Detection Based on Photoplethysmogram Signal Analysis, IEEE Sensors 2012, 1033, Taipei (2012).
- 3) Y. Izawa, Y. Omura, Reliable Method to Mask Smoking Effect on Alcoholic Intake Detection Based on Photoplethysmogram Signal Analysis, IEEE Sensors J., 14(5), 1418-1424 (2014).
- 4) H. Ozaki, Y. Omura, Proposal of Advanced Nonlinear Signal Model to Analyze Photoplethysmogram Signals, IEEE Sensors 2013, 890, Baltimore (2013).
- 5) 例えば A. Frostell-Karlsson *et al.*, J. Med. Chem., 43, 1986 (2000).
- 6) X. Wen *et al.*, J. Phys. Chem., 116, 19032 (2011).

私立大学戦略的研究基盤形成支援事業プロジェクト（平成27～31年度）

3次元ナノ・マイクロ構造の創成とバイオミメティクス・医療への応用

平成27年度 研究成果一覧表

論文

- (1) Y. Hara, T. Shimizu, S. Shingubara, Nitridation of Silicon by Nitrogen Neutral Beam, *Applied Surface Science*, 363, 555-559 (2016).
- (2) F. Inoue, H. Philipsen, M. H. van der Veen, S. V. Huylbroeck, S. Armini, H. Struyf, S. Shingubara, T. Tanaka, Development of Glyoxylic Acid Based Electroless Copper Deposition on Ruthenium, *ECS Transactions*, 64(40), 41-55 (2015).
- (3) K. Ohta, F. Inoue, T. Shimizu, S. Shingubara, Cu Displacement Plating on Electroless Plated CoWB Layer on SiO₂ and Its Adhesion Property, *ECS Transactions*, 64(40), 57-61 (2015).
- (4) F. Inoue, H. Philipsen, M. H. van der Veen, S. V. Huylbroeck, S. Armini, H. Struyf, S. Shingubara, T. Tanaka, Glyoxylic Acid as Reducing Agent for Electroless Copper Deposition on Cobalt Liner, *ECS Transactions*, 64(40), 63-75 (2015).
- (5) N. Nakamura, J. Taniuchi, T. Sone, K. Sasaki, F. Inoue, T. Shimizu, S. Shingubara, Stability Evaluation of Non-Agglomerated Pd Nanoparticle Catalyst Dispersion for Electroless Deposition, *ECS Transactions*, 64(40), 77-84 (2015).
- (6) Y. Hara, T. Shimizu, S. Shingubara, Nitridation of Si surface at the bottom of submicron trench using nitrogen neutral beam, *Japanese Journal of Applied Physics*, 54, 06FH07 (2015).
- (7) H. Nishitani, K. Ohta, S. Kitano, R. Hamano, M. Inada, T. Shimizu, S. Shingubara, H. Kozuka, T. Saitoh, Band gap tuning of Ni_{1-x}Mg_xO films by radio-frequency sputter deposition for deep-ultraviolet photodetectors, *Applied Physics Express*, 8, 105801 (2015).
- (8) M. Inada, H. Yamamoto, M. Gibo, R. Ueda, I. Umezumi, S. Tanaka, T. Saitoh, A. Sugimura, Crossover from Efros-Shklovskii variable range hopping to nearest-neighbor hopping in silicon nanocrystal random network, *Applied Physics Express*, 8, 105001 (2015).
- (9) M. H. Yamada, T. Takazawa, N. Iriuchijima, T. Horiuchi, S. Saito, Changes in intraocular pressure during surgery in the lateral decubitus position under sevoflurane and propofol anesthesia, *Journal of Clinical Monitoring and Computing* (2015). [DOI : 10.1007/s10877-015-9787-3]
- (10) 坂本晋也, 長谷川義治, 高田康輔, 植野正之, 高澤知規, 齋藤繁, うつ病患者の全身麻酔導入後に起こった異常低血圧の1症例, *麻酔*, 64(11), 1198-1202 (2015).
- (11) T. Takazawa, T. Suto, M. Aihara, T. Anzai, T. Horiuchi, M. H. Yamada, Y. Kadoi, S. Saito, Comparison between succinylcholine and rocuronium as neuromuscular blocking agents for electroconvulsive therapy in a patient with pseudocholinesterase deficiency, *JA Clinical Reports*, 1 : 7, 4pages (2015).
- (12) T. Takazawa, T. Horiuchi, N. Yoshida, A. Yokohama, S. Saito, Flow cytometric investigation of sugammadex-induced anaphylaxis, *British Journal of Anaesthesia*, 114(5), 858-859 (2015).
- (13) 前原智, 高澤知規, 堀内辰男, 吉田長英, 齋藤繁, リドカインによるアナフィラキシーショックが疑われた1例, *臨床麻酔*, 39(5), 781-783 (2015).

図書

- (1) K. Sekimoto, T. Takazawa, Chapter 31 Anesthesia for posterior fossa tumor surgery, *Neuroanesthesia and Cerebrospinal Protection*, Eds. : H. Uchino, K. Ushijima, Y. Ikeda, Springer Japan, 345-355, 総ページ数725 (2015).
- (2) 高澤知規, 第3章 抑制性神経伝達物質と鎮静-GABAとグリシン-, 鎮静と術中覚醒, 真興交易(株)医書出版部, 26-34, 総ページ数132 (2015).

- (3) 齋藤繁, 高澤知規, 第3章第7節 抗アレルギー薬/ステロイド 周術期におけるアレルギーと抗アレルギー薬の考え方, 新戦略に基づく麻酔・周術期医学「麻酔科医のため周術期の薬物使用法」, 中山書店, 総ページ数544 (2015).

国際学会

- (1) T. Takahashi, S. Kikuchi, M. Suzuki, S. Aoyagi, Vacuum Gripper Imitated Octopus Sucker -Effect of Liquid Membrane for Absorption, 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, WeCT14.4, Germany (2015).
- (2) T. Ito, T. Asada, T. Shimizu, S. Shingubara, Non-enzymatic detection of glucose using BaCuO₂ thin layer ISPlasma 2016, 07pE08O, Aichi, Japan (2016).
- (3) N. Kaneko, T. Shimizu, Y. Tada, S. Shingubara, Oxidation of CuSn Alloy Nanotree and Application for Gas Sensors, 28th International Microprocesses and Nanotechnology Conference, Toyama, Japan (2015).
- (4) K. Ohta, F. Inoue, T. Shimizu, S. Shingubara, Highly adhesive displacement plated Cu seed on CoWB barrier for all-wet TSV fill process, 228th ECS meeting, 881, USA (2015).
- (5) K. Ohta, A. Hirate, Y. Miyachi, T. Shimizu, S. Shingubara, All-wet TSV filling with highly adhesive displacement plated Cu seed layer, IEEE 2015 International 3D Systems Integration Conference, TS8.4, Miyagi, Japan (2015).
- (6) M. Tsukamoto, H. Kawasaki, T. Saitoh, M. Inada, Comparison of photoluminescence properties of HSA-protected and BSA-protected Au₂₅ nanoclusters, American Physical Society March Meeting 2016, G1.00176, USA (2016).
- (7) M. Inada, K. Kamiya, T. Saitoh, Distance-dependent plasmon assisted luminescence of Gold clusters on Gold nanoparticles, 2015 Materials Research Society Fall Meeting & Exhibit, GG20.03, USA (2015).

国内学会

- (1) 菊池智史, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, タコの吸盤を模倣した真空グリッパの開発 -微小突起の観察と模倣-, 第33回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2015AC2K2-05, 東京 (2015).
- (2) 三村拓人, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, タコの吸盤を模倣したグリッパの開発-吸盤の漏斗構造の模倣-, 第33回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2015AC2K2-06, 東京 (2015).
- (3) 鈴木大輝, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, タコの吸盤を模倣した真空グリッパの開発-内包する粒子の充填率が吸着性能に与える影響-, 第33回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2015AC2K2-07, 東京 (2015).
- (4) 菊池智史, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, タコの吸盤にある微小突起を模倣した真空グリッパの開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会2015, 1P1-Q02, 京都 (2015).
- (5) 三村拓人, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, タコの漏斗構造を模倣した吸盤の作製と性能評価, ロボティクス・メカトロニクス講演会2015, 1P1-Q06, 京都 (2015).
- (6) 鈴木大輝, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, タコの吸盤を模倣した真空グリッパの開発-内包する粒子の粒径が吸着性能に与える影響-, ロボティクス・メカトロニクス講演会2015, 1P1-Q07, 京都 (2015).
- (7) 金子直人, 清水智久, 伊藤健, 埴田芳広, 田中秀吉, 新宮原正三, CuSnナノツリー酸化物の形成と電気伝導特性評価, 電気化学会第83回大会, 1Q26, 大阪 (2016).
- (8) 埴田芳広, 金子直人, 新宮原正三, 清水智弘, 伊藤健, CuSn合金ナノツリー酸化物の電気的特性とガスセンサ評価, 電気化学会第83回大会, 1Q27, 大阪 (2016).
- (9) 平手惇史, 太田晃平, 新宮原正三, SiO₂上への無電解Co合金めっき膜の形成と膜質の評価, 電気化学会第83回大会, 2Q10, 大阪 (2016).
- (10) 伊藤健, 田中琢望, 清水智弘, 新宮原正三, クマゼミの羽が持つ機能性ナノ表面とその模倣, 第63回応用物理学会春季学術講演会, 19a-W323-2, 東京 (2016).
- (11) 平手惇史, 宮地悠人, 太田晃平, 清水智弘, 新宮原正三, SiO₂上への無電解CoWPめっき膜の形成と膜質の評価, 第25回マイクロエレクトロニクスシンポジウム, 2D3-2, 大阪 (2015).
- (12) 宮地悠人, 平手惇史, 太田晃平, 清水智弘, 新宮原正三, SiO₂上への無電解NiWPめっき膜の形成と膜質の評価, 第25回マイクロエレクトロニクスシンポジウム, 2D3-3, 大阪 (2015).
- (13) 山本卓矢, 山口智実, 古城直道, 廣岡大祐, 齋藤賢一, 分子動力学法を用いた純鉄中への炭素拡散接触モデルの構築-荷重と移動速度の付与による検討-, 2015年精密工学会秋季大会学術講演会, D14, 宮城 (2015).

- (14) 宮下純一, 松本公久, 野村俊, 神谷和秀, 稲田貢, 鈴木伸哉, 伸縮基板によるSiナノ結晶のエネルギー移動の効率の変化, 第63回応用物理学会春季学術講演会, 19a-W834-5, 東京 (2016).
- (15) 田中拓也, 松本公久, 野村俊, 神谷和秀, 稲田貢, 鈴木伸哉, 粉殻から生成したSi微粒子の発光に関する研究, 第63回応用物理学会春季学術講演会, 19a-W834-6, 東京 (2016).
- (16) 磯部希, 三宅伴季, 齊藤正, 稲田貢, Siナノ粒子を活性層とする無機・有機複合型太陽電池の作製と評価, 第63回応用物理学会春季学術講演会, 19p-W531-2, 東京 (2016).
- (17) 三宅伴季, 磯部希, 齊藤正, 稲田貢, CuPc/C₆₀有機薄膜太陽電池のパルス光励起キャリア輸送特性, 第63回応用物理学会春季学術講演会, 19p-W531-17, 東京 (2016).
- (18) 西谷拓樹, 太田晃平, 北野総佑, 濱野亮介, 稲田貢, 清水智弘, 新宮原正三, 幸塚広光, 齊藤正, 深紫外線センサの応用に向けたNi_{1-x}Mg_xO膜の酸素空孔が及ぼす吸収スペクトルへの影響とバンドギャップの評価, 第63回応用物理学会春季学術講演会, 21a-H111-4, 東京 (2016).
- (19) 岡瑞樹, 稲田貢, 齊藤正, 多孔質AZO電極を利用した銀析出型EC素子の発色特性, 第63回応用物理学会春季学術講演会, 21a-S323-7, 東京 (2016).
- (20) 坂本崇, 堀内辰男, 高澤知規, 齋藤繁, 抗がん剤の影響により原因薬物の特定に難渋したスガマデクスによるアナフィラキシーの一例, 日本臨床麻酔学会第35回大会, P1-28-5, 神奈川 (2015).
- (21) 塚越栄次, 富田行成, 吉川大輔, 田中満理恵, 堀内辰男, 高澤知規, スガマデクスによるアナフィラキシーの2症例, 日本麻酔科学会関東甲信越・東京支部第55回合同学術集会, P12-05, 神奈川 (2015).
- (22) 山田紅緒, 高澤知規, 堀内辰男, 神山治郎, 齋藤繁, 慢性心房細動によりワーファリンを内服していた患者が術後早期に肺血栓塞栓症を発症した一例, 日本麻酔科学会 関東甲信越・東京支部第55回合同学術集会, P20-05, 神奈川 (2015).
- (23) 堀内辰男, 高澤知規, 齋藤繁, 周術期アナフィラキシーにおける原因薬物の同定-フローサイトメトリーによる好塩基球活性化試験の有効性の検討-, 日本麻酔科学会第62回学術集会, PD2-21, 兵庫 (2015).

その他

- (1) 高橋智一, 生物お手本技術 革新「タコ吸盤」ロボアーム, 読売新聞, 2015年10月19日付, 17面.
- (2) 高橋智一, 日イチ! てんコモリ! 金曜日は世の中はすんごいひと! ステキなひとのてんコモリ! 出会い燦々のコーナー!, MBSラジオ 子守康範 朝からてんコモリ!, 2015年9月11日放送.
- (3) 高橋智一, ウナギに負けない「タコ」のパワー, 読売テレビ かんさい情報ネットten, 2015年7月24日放送.
- (4) 高橋智一, ミチをひらく (下), 朝日新聞, 2015年7月23日付, 16面.
- (5) 高橋智一, ミチをひらく (上), 朝日新聞, 2015年7月16日付, 17面.
- (6) 田中琢望, 伊藤健, 清水智弘, 新宮原正三, クマゼミの羽が持つ機能性ナノ表面とその模倣, 第20回関西大学先端科学技術シンポジウム, 大阪 (2016).
- (7) 稲田貢, 神谷啓介, 齊藤正, プラズモニクスによるタンパク質修飾金クラスターのバイオセンサ応用の試み, 第20回関西大学先端科学技術シンポジウム, 大阪 (2016).

資料3-2. 2016年度 技苑「プロジェクト研究報告概要」

私立大学戦略的研究基盤形成支援事業プロジェクト

3次元ナノ・マイクロ構造の創成とバイオミメティクス・医療への応用

研究代表者：青柳 誠司
研究分担者：新井 泰彦・大村 泰久・新宮原 正三・福永 健治・
山口 智実・伊藤 健・稲田 貢・鈴木 昌人・
高橋 智一
学外研究分担者：高澤 知規・歌 大介

1. はじめに

青柳誠司*¹

本プロジェクトはナノ・マイクロメートルスケールの3次元微細構造の形成技術とバイオミメティクス技術の融合による新学問分野の確立すること、および研究成果を医療デバイスおよびメカトロニクス・ロボティクス関連のデバイスの開発に应用することを目的とし、私立大学戦略的研究基盤形成支援事業の支援により実施されている。本プロジェクトの実施期間は2015年度から2019年度であり、本年度はその2年目にあたる。

プロジェクトは12名の研究者で遂行されており、ナノ・マイクロ加工グループ(青柳、新宮原、新井、山口)、医療応用グループ(福永、大村、稲田、高澤、歌)、バイオミメティクスグループ(伊藤、鈴木、高橋)の3つのグループに大きく分かれている。現状では、各研究者がそれぞれの専門分野において研究成果をあげているが、プロジェクトの残りの3年において個々の成果をまずはグループ毎に、その後プロジェクト全体で横断的にまとめていきたい。

以下に、プロジェクトの進捗状況を概観して述べる。生体模倣グループの研究として、蚊の口器を模倣した無痛針の研究が進められており、実用化が近いと思われる¹⁾。フェムト秒レーザー加工により、医療用材料として一般的なステンレス製の針の開発に成功している^{2,3)}。既に動物実験による注射針の穿刺性能、採血性能の評価に着手している。動物実験の専門家である学内の福永のみでなく、学外の富山大学歌とも共同で研究を進めている。特に痛みを伝達する神経の活動電位を測定し、そのデータから電気生理学的な検討により針の痛みの程度を定量的に評価する手法を提案し、その成果は新聞にも取り上げられた^{4,5)}。今後人間による臨床実験も視野に入りますが、群馬大学の高澤と共同でその準備を進めているところであり、プロジェクトの最終年度にはスタートさせた

いと希望している。

タコの吸盤を模倣したロボット用グリッパについても、既に複数の企業との共同研究が進行しており、実用化がすぐそこに来ているものと考えられる。NEDO等の外部資金獲得にもつながっている。成果の一部としてロボット学会誌に2報の論文が掲載され^{6,7)}、その有用性の学術的な裏付けもなされている。この他、バイオミメティクスの研究として蟬の羽を模倣した細菌を寄せ付けず表面構造の検討を行っているが^{8,9)}、これを応用した抗菌シートの実用化も将来的に視野に入るとされる。

一方、ナノ・マイクロ加工グループにおいては、電解メッキ・無電解メッキを用いて新規な微細構造が作製され¹⁰⁾、ナノインプリントによるダイヤモンドへの微細パターン形成に関する新規な基礎研究が遂行されている。もちろん、無痛針、ロボットグリッパ、抗菌シートの生体模倣デバイスの開発においても、超精密3D光造形、フェムト秒レーザー加工、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 加工が最大限に活用されており、その一環としての加工条件の最適化の研究も行われている。

3次元ナノ・マイクロ加工、MEMS加工法を用いて、医療応用グループでは、光学的血脈波信号を利用したアルコールセンサ¹¹⁾、金ナノ粒子を用いたバイオセンサ¹²⁾の開発が進められている。前記した無痛針も医療デバイスである。

バイオミメティクス・医療への応用ではないが、3次元ナノ・加工を応用したデバイスの開発研究も本プロジェクトで遂行している。例えば、基礎的・将来的な研究として電磁エネルギーを用いた現行の回転モーターとは異なり、光エネルギーで駆動される微細なアクチュエータの研究開発が進められている¹³⁾。また、環境中に存在するが活用されていない、僅かな振動エネルギーを有効に電気エネルギーに変換するエナジーハーベスティングデバイスの研究開発も行っている¹⁴⁾。これについては企業との共同研究を経て、商用デバイスに発展させることを検討している段階である。

*1 システム理工学部教授 工学博士

本報告書では、プロジェクトの上記の各テーマにおける本年度の研究開発成果を次章以降で各担当者がより具体的に記すことにする。

2. フェムト秒レーザー加工を援用した蚊の口器を模倣したステンレス製注射針の作製とその特性評価

青柳誠司、鈴木昌人*²、福永健治*³

2. 1. はじめに

筆者らは、低侵襲性の無痛針を実現するために蚊の口針を模倣したマイクロニードルを開発してきた。任意の3次元構造をナノスケールの精度で作製可能な光造形装置であるナノスクライブ (Nanoscribe GmbH, Germany, 日本販売代理店: 日本レーザー、分解能 0.2 μm) を用いることで、蚊の口針を完全に模倣したアクリル系光硬化樹脂製のマイクロニードルを作製することに成功している。しかし、光造形法では一本の針を作製するのに時間とコストがかかり、使い捨てを目的とした採血針の作製方法として適切でない。このため、これを原型として金属や生分解性プラスチックへ転写する必要があると、現在それに関する電鍍、射出成形技術の開発研究を行っている。この方法とは別に、強度および生体適合性の観点で優れているステンレスを材料として、市販の細径パイプおよび箔状の板を直接加工する針の作製法が考えられる。本年度は、フェムト秒レーザー加工を援用することにより、このテーマに取り組んだ。

2. 2. マイクロニードルの作製

(1) 上唇を模倣した中空針の作製

サイバーレーザー社製のフェムト秒レーザー装置IFRIT RevDを用いて、外径 50 μm、内径 20 μmの極微細ステンレスパイプ (大場機工(株)) を加工することで中空マイクロニードルを作製することを試みた。パラメータを振りながら加工を行い、加工結果を観察することを繰り返した。その結果、滑らかな割断面が得られる最適条件として、レーザーの波長 390 nm (第2高調波)、レーザーの投入パワー 0.3 mw、走査速度 0.1 mmを得た。

(2) 小顎を模倣したギザギザ形状の針の作製

膜厚 30 μmのステンレス薄膜 ((株)ニラコ) を加工し、蚊の小顎を模倣した先端がギザギザ形状のマイクロニードルを作製することを試みた。手順を図1に示す。ステンレス薄膜上に、レーザービームを図1(a)に示す経路で走査することで、鋸刃状突起を有するマイクロニードルを切り抜く。直径 1.2 μmのビームで、歯丈 7 μm、ピッチ 20 μmの鋸刃状突起を実現できた。

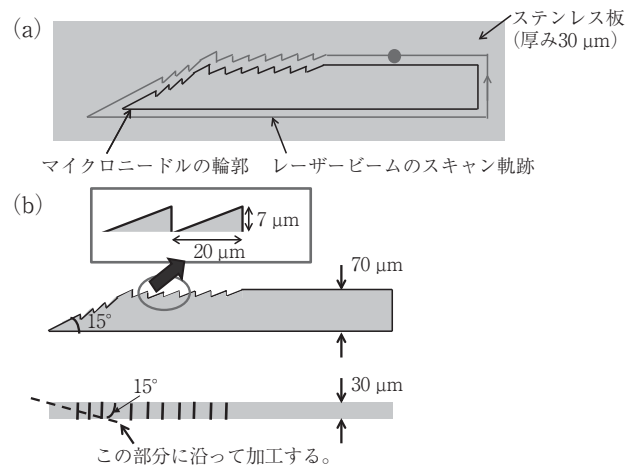


図1. ステンレス板からの作製
(a) 歯状突起を有するマイクロニードルの切り抜き
(b) 先端の尖鋭化

切り抜かれたマイクロニードルを、長手方向を軸として90°回転させ、鋸刃形状を上に来るように設置し、図1(b)のように先端角度が15°になるように加工した。レーザー加工を上面と側面で2度行うことで、針先端を3次的に先鋭化することに成功した。

(3) 蚊の口針との比較

作製したステンレスマイクロニードルと蚊の口唇との比較を図2に示す。図2(a)は、蚊の口唇を観察したSEM像である。1対の小顎と中央の上唇で構成されている。図2(b)に作製した蚊の口唇を模したマイクロニードルの模式図と、各マイクロニードルのSEM像を示す。中央に先端角度15°の中空マイクロニードルを設置し、その両側に蚊の小顎を模した鋸刃形状のマイクロニードルを設置した。蚊の上唇と小顎が模倣されていることがわかる。

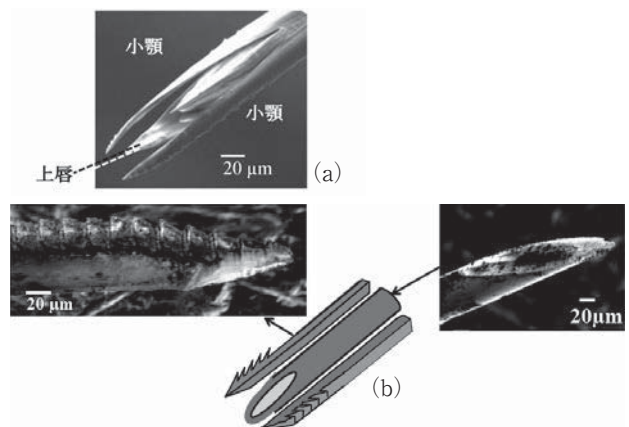


図2. (a) 蚊の口唇を観察したSEM像
(b) 作製した蚊の口唇を模したマイクロニードルの模式図とSEM像

2. 3. 穿刺性能、血液吸引性能の評価

図2(b)のように作製された1対の鋸歯状ステンレスマイクロニードルと中空マイクロニードルを組み合わせ

*2 システム理工学部准教授 博士 (工学)

*3 化学生命工学部教授 水産学博士

て穿刺試験を行った。穿刺対象は人間の皮膚と同様のヤング率 0.4 MPa を有する人工皮膚として、シリコンゴム的一种である PDMS (polydimethylsiloxane) を用いた。

本実験では、① 3本の針を振動させずに穿刺する、② 蚊の穿刺動作を模倣した交互振動を行いながら穿刺する、の各2条件について穿刺抵抗力の時間推移を測定した。振動の振幅は 50 μm、周波数は 10 Hz である。

人工皮膚の後面に設置したロードセルで測定されたロードカーブを図3に示す。蚊と同様に針に振動を加えることで、抵抗力が 40% 減少することが判明した。

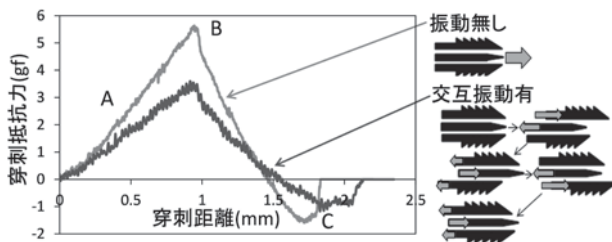


図3. 穿刺距離に対する穿刺抵抗力変化の推移

ステンスマイクロニードル先端を人血の液滴に浸漬し、吸引実験を行った。吸引ユニットより、ガラス管に -13 psi の陰圧をかけ血液を吸引した (図4)。吸引された血液量は 2.8 μl で、吸引に要した時間は 20 秒であった。これより採血の用途としての可能性を確認することが出来た。

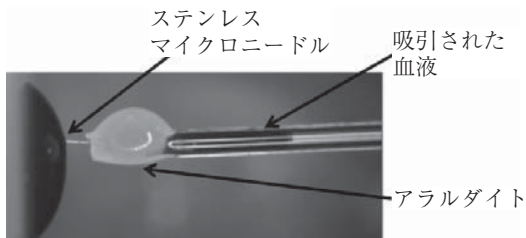


図4. 血液吸引後のガラス管

2.4. 動物実験

現在、実験動物 (ヌードマウス) を使用し、針の穿刺性能、血液吸引性能の評価に着手している。それと並行して蚊の実際の動物への穿刺と血管からの吸血の様子の観察も行っている。

また、動物実験による針の痛みの評価方法を提案した。具体的には、1) フォンフライフィラメント (細い棒) でラット足底に刺激を与え、生じた反応を、0 点: 反応なし、1 点: 足をずらす、2 点: 足を上げる、3 点: 足を舐める、としてスコア化する。これよりフィラメントの番手 (ターゲットフォース) と反射行動とを対応づける (行動学的解析)。2) 脊髄後角表層細胞から in vivo 細胞外記録を行い、フォンフライフィラメント刺激により誘起された発火頻度を解析する。これよりフィラメントの番手と発火頻度とを対応づける (電気生理学的解

析)。3) 開発した無痛針とコントロールとしての市販針を麻醉下ラットの足底に穿刺し、この際誘起される脊髄後角表層細胞の発火から 1)、2) の結果を用いて、針穿刺の痛みが反射反応を生じさせないほど小さい、足をずらしたり足を上げたりする程度の痛みである、足を舐めるほど痛い、等の評価を行う。

本年度は上記提案手法のうち、1) の行動学的解析を関西大学の動物実験施設内で、2) の電気生理学的解析を富山大学の動物実験施設内で実施した。フィラメントの番手が上がるほど反射行動のスコアが増加すること、脊髄後角表層細胞の発火頻度が増加することを確認できた。針を用いた上記3) についても早急に実施する予定である。

3. 蛇腹構造を有する吸着グリッパとそのアレイ化

高橋智一*4

3.1. はじめに

物流業界では個人顧客が多品種の商品を少量購入する。商品のピッキング作業は人が行っているが、就労人口の減少や作業効率の向上のためロボットによる自動化が期待されている。自動化に必要な技術として、形状や姿勢が一様でない物体を把持可能な汎用ロボットハンドが重要視されている。

筆者は、汎用性の高いロボットハンドの実現に向け、タコを模倣した真空吸着グリッパを開発している。タコは、多自由度の腕と柔軟な吸盤で複雑な形状をした生物を捕獲できるが、これを模倣したグリッパを用いれば、上述の課題を解決できる。タコの吸盤は漏斗構造を押し付けて密閉空間を形成したのち、吸盤内部の水を移動して負圧を生成する。筆者はこれを模倣したグリッパを開発して、様々な形状をした対象物を把持できることを確認した。しかし、対象物の重心以外の箇所を把持すると対象物が傾き、グリッパから対象物を引き剥がすようなモーメントが生じるため剥離しやすかった。これを解決するため、本年度は図5に示す蛇腹構造を有するグリッパを開発した。さらにこれを複数用いてグリッパアレイにし、把持成功率を確かめた。

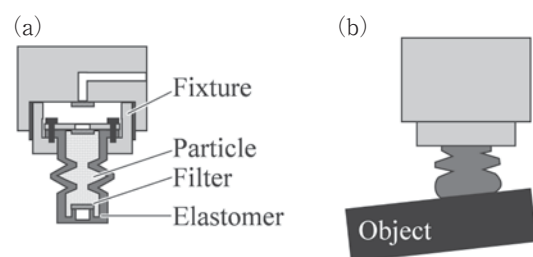


図5. 蛇腹構造を有するグリッパの提案

*4 システム理工学部准教授 博士 (工学)

3.2. 原理と構造

図6に示す通り、シリコンゴム製吸盤を押し付けて密閉空間を形成し、吸盤内にある薄膜を変位させ密閉空間を膨張させて負圧を発生させた。グリッパ内部を負圧にすれば薄膜は変位する。この吸盤構造に加えて形状追従性を向上させるためゴム袋に粒子を充填した構造を用いた。グリッパ内部が大気圧の場合、ゴム袋は外力に従って柔軟に変形できる。次にグリッパ内部を負圧にすると差圧によりゴム袋は収縮して粒子間に摩擦が生じるので、ゴム袋の剛性が增大する。この現象をジャミング転移効果と呼ぶ。これにより、吸着前は柔軟で対象物に追従でき、吸着後はその形状を維持できる。

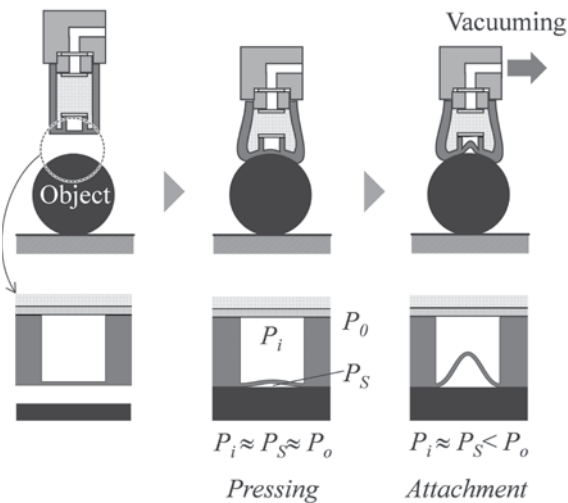


図6. 本研究で提案するグリッパの吸着原理

3.3. グリッパの作製

図7にグリッパの作製手順を示す。蛇腹構造を有するカップ状エラストマはシリコンゴム（KE-1308、信越化学工業株式会社）であり、図8の金型を用いて成形した。剥離剤として金型にテフロン系被膜を形成した。KE-1308の主剤と硬化剤を標準の比率で混合後、型に注入した。加熱して硬化後、ゴムを離型した。離型後、綿布製フィルタをカップ内部に接着した。これは、吸盤

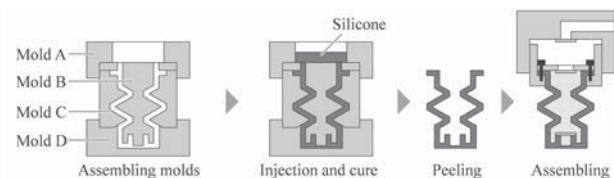


図7. 蛇腹構造を有するグリッパの作製手順

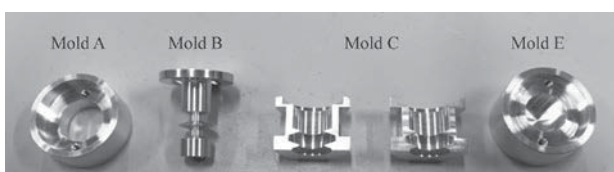


図8. 作製に使用した金型

となる膜の変形する空間を形成するためである。ガラスビーズ（直径0.7~1.0 mm）をカップ内部に充填した。最後にグリッパを治具に固定した。作製したグリッパを図9に示す。

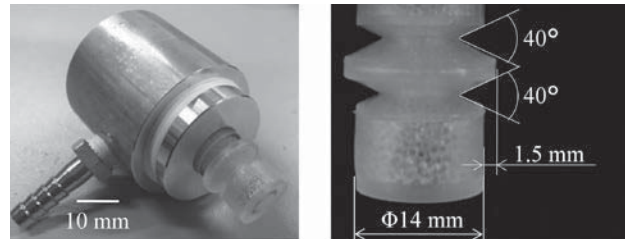


図9. 作製した蛇腹構造を有するグリッパ

3.4. 把持試験

モーメントと剥離の関係調べるため、図10に示す実験装置を用いた。平板の把持位置に対する把持成功率を調べた。グリッパはプレス機に固定し、対象物に押し付ける。押付力はロードセルで測定した。なお、今回は8 Nとした。対象物はアルミニウム製の平板（100×30×5 mm、40 g）である。試行回数は10回とした。成功の条件は吸着して持ち上げ後10秒間、姿勢を維持できたこととした。

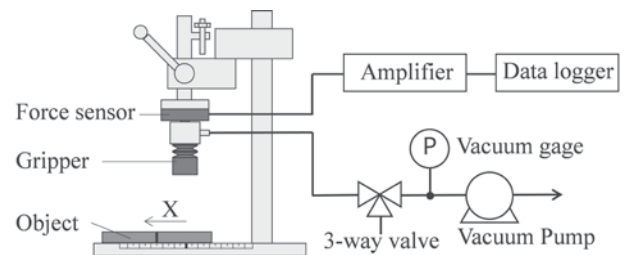


図10. 吸着実験装置

図11に把持位置と把持成功率の関係を示す。蛇腹構造がないグリッパでは、重心と把持位置の距離が15 mm以下では成功率が100%であった。それに対して、蛇腹構造を有するグリッパでは、重心からの距離が33 mm以下であれば成功率が100%であった。このことから蛇腹構造があると吸着後のモーメントが生じて吸着を維持できることがわかる。成功率100%を維持できる最大モーメントを算出すると、蛇腹構造の有無でそれぞれ10.6 mN・m、5.9 mN・mであった。蛇腹構造があると1.8

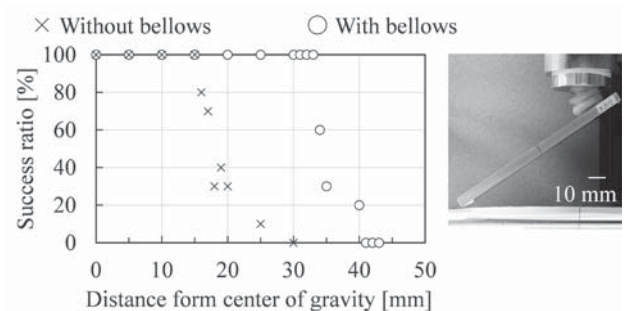


図11. 把持位置と把持成功率の関係

倍のモーメントが生じても吸着を維持できる。

重心以外の位置を吸着すると対象物は傾くが、そのモーメントで対象物を吸盤からめくり取るような力が生じる。吸着後のグリッパはジャミング転移効果により剛性が増大するので、蛇腹構造がないとモーメントでグリッパは変形できず対象物との間に剥離しようとする力が働く。これに対して、蛇腹構造があるとグリッパ内部の剛性が増大しても構造が柔軟であるためモーメントによって変形できる。このため吸着面に働くめくり取るような力が減少する。

次に、蛇腹構造を有するグリッパアレイ（図12）を用いて曲面や段差を有する対象物への吸着試験を行った。実験方法と実験装置は単一のグリッパの場合と同様である。なお押付力は15Nである。対象物は、図13に示す2種類である。図14に把持成功率を示す。グリッ

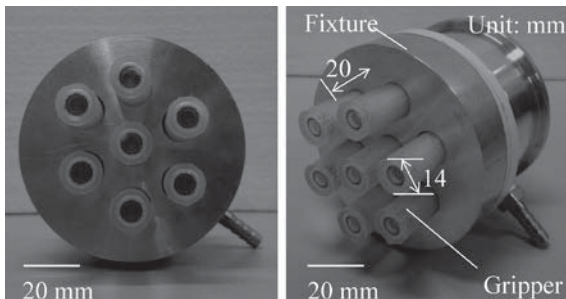


図12. 作製した蛇腹構造を有するグリッパアレイ

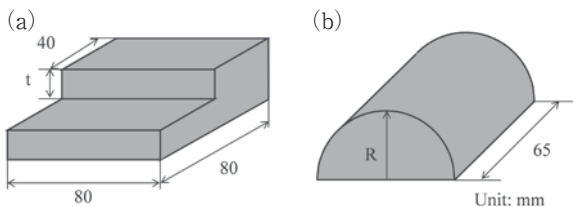


図13. 吸着試験に用いた対象物

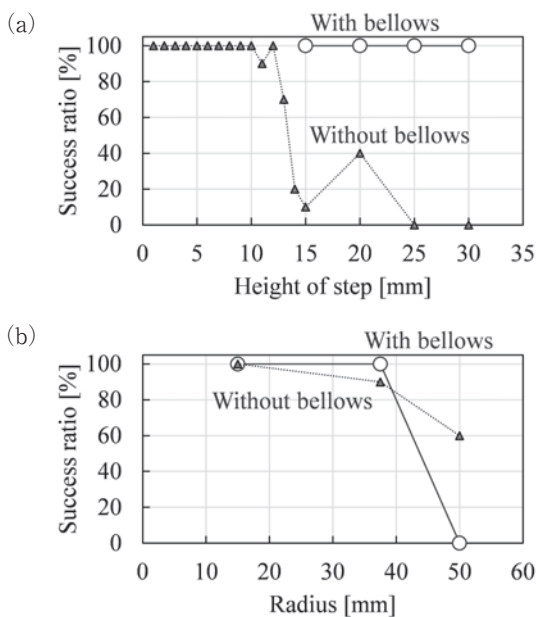


図14. 対象物と把持成功率の関係

パに蛇腹構造がないと13 mm以上の段差では把持成功率が低下するが、蛇腹構造があると30 mmまで成功率が100%であった。円筒の対象物の場合、双方のグリッパで40 mm以下の曲率半径の対象物を把持できる。50 mmの曲率半径の対象物は双方とも把持成功率が低下するが、蛇腹構造があると全く把持できなかった。これは、グリッパを対象物に押し付ける力が足りず密着が不十分であったためである。押付力を25Nにすると、把持成功率が100%となった。

4. セミの翅が持つナノ構造の模倣と抗菌性評価

伊藤健*5

4.1. はじめに

マイクロ・ナノ構造の視点で生物を見てみると、昆虫を代表として様々な優れた機能を持っていることが明らかにされてきた。セミやトンボなどの昆虫の翅には無数のナノメートルオーダーの寸法を持つ柱（ピラー）構造が存在している。これらの構造は、自己組織化により形成された非常に特異な構造である。ナノピラー構造は、ロータス効果による撥水性を示すほか、光に対する無反射構造としても知られている。さらに近年、この構造が持つ物理的な特性が殺菌作用を示すことが報告された。殺菌のメカニズムは、ナノ構造により細菌の細胞膜を引き裂くことであると推測されている。現在、一般的に使われている抗菌剤は化学的作用によるものである。抗菌作用を示すAgイオンなどの素材は、殺菌性や持続性に課題があった。しかし、セミの翅が持つ抗菌作用はナノ表面構造によるものなので持続性があり、さらに最大で45万個/cm²minという高い殺菌力を持つと報告されている。我々は、このような優れた特性を有するナノ構造を模倣するため、Si基板を用いて低コストで均一なナノ構造を作製することを試みた結果、セミの翅が持つナノ構造の模倣に成功した。今回、Si基板の表面の状態やナノ構造の大きさが抗菌性に及ぼす影響を評価した結果について報告する。

4.2. サンプル作製

模倣するセミの翅は、クマゼミ（学名：cryptotympana facialis）とし、サンプルは学内で採取した。その翅を走査型電子顕微鏡（SEM）を用いて観察した結果、ナノピラー構造の高さ、幅、ピッチの平均値は229 nm、148 nm、196 nmであった。

この寸法を目標とし、メタルアシストエッチング法を利用したSiナノワイヤの作製を行った。工程を図15に示すと共に以下に説明する。Si基板（100）に直径200 nm

*5 システム理工学部准教授 博士（工学）

のポリスチレン球をスピコート法を用いて塗布・配列させ、酸素プラズマを用いてアッシングすることで粒子径を制御する。その後、スパッタリング法を用いて金をおよそ30 nm堆積させる。金を触媒とし、15%のフッ化水素酸を用いてSiのエッチングを行った。最後に金及びポリスチレン球を除去し、翅を模倣したサンプルを得た。

本研究ではピッチは200 nmに固定し、エッチング条件を変更してナノピラーの高さ(h)と半径(d)を変化させた。また、サンプル表面は自然酸化膜のある状態(SiO_2)と自然酸化膜を除去した状態(Si)の2つを準備した。

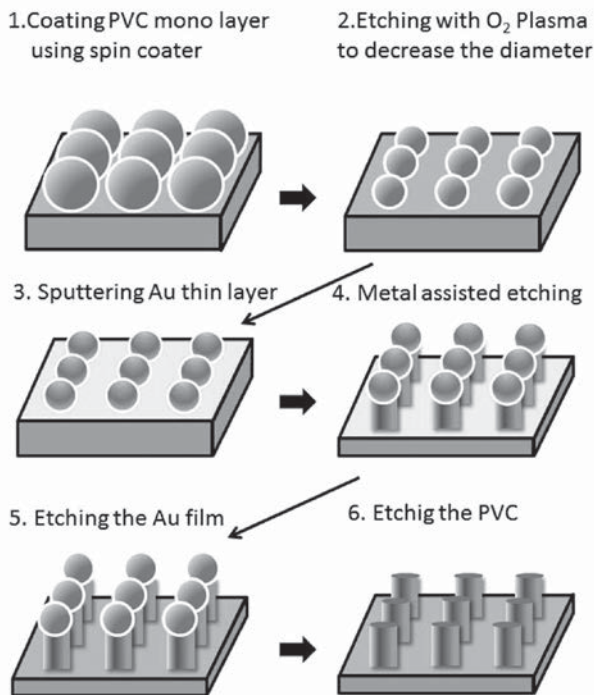


図15. Si基板を用いたナノワイヤの作製法

4.3. 抗菌性評価

抗菌性評価は、JIS Z2801に準拠して行った。試験菌株は大腸菌(NBR3972)とし、4.2節で作製したサンプルに大腸菌を含む試料を滴下(0.3 mL)し、被覆フィルムを被せたのち、35℃にて24時間培養した。培養後、サンプル表面を9.7 mLの滅菌生理食塩水で洗浄し、その洗浄液を大腸菌群微生物検出培地シートに展開し培養を行い、菌数をカウントし試験後の生菌数濃度を算出した。

4.4. 結果

抗菌性評価を行う際に、リファレンスとしてナノ構造の無いSi基板(自然酸化膜あり、なし)についても評価を行った。図16に、ナノピラー構造の高さ×半径(= $h \times d \text{ nm}^2$)に対する生菌数比をプロットした。生菌数比とは、接種直後の生菌数濃度に対する試験終了後の生菌数濃度の比で表し、その数値が小さいほど抗菌性が高いことを示す。また、 10^{-5} は検出限界を示す。結果から、

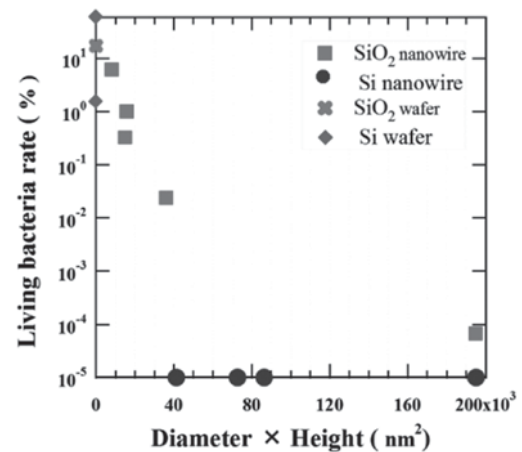


図16. ナノ構造の大きさ及び表面状態が抗菌性に及ぼす影響

基板表面にナノ構造が無い場合には自然酸化膜の有無にかかわらず抗菌性を示さないことが確認された。また、表面がSiの場合にはナノピラー構造の大きさに依存せずに優れた抗菌性を示すのに対し、 SiO_2 の場合には高さ×半径の大きさが大きくなるに従って抗菌性が増すことがわかった。Si表面の場合には疎水性であり、 SiO_2 の場合には親水性であることから、親水性、疎水性が抗菌力に何らかの作用をもたらすことを示唆している。

4.5. 今後の展望

本研究により、Siナノピラーの表面状態や構造の大きさが抗菌性に影響を与えることが新たにわかった。今後は、ナノ構造への化学修飾などにより表面物理状態と抗菌性の関係について明らかにしていきたい。

5. 無電解・電解めっきによるナノ・マイクロ構造形成と評価

新宮原正三*6

5.1. CuSnナノツリーの電解めっき形成技術

Cu-Snナノツリーは、CuSn合金が互いに直交して分岐する樹枝状の形状となったナノスケールの構造体である。ナノツリーは形状が高度に入り組んだ樹枝状であるので、高い比表面積を持っており高感度な化学(ガス)センサー材料として期待される。今回は、電解めっきによって枝が直交した三次元構造を自己組織的に形成するメカニズムの解明に向けて、添加剤PEGの効果について調べた。

めっき液に添加剤としてPEG(分子量1000)を50 ppm添加して、回転ディスク電極に一定電位(-0.6V)を印加すると、基板に垂直方向にツリーの幹が生え、さらに幹に対して枝が垂直方向に分岐するナノツリーが形成された(図17参照)。PEG添加なしではナノツリーは形成されず、また、PEG1000を500 ppm添加の場合は膜成長

*6 システム理工学部教授 理学博士

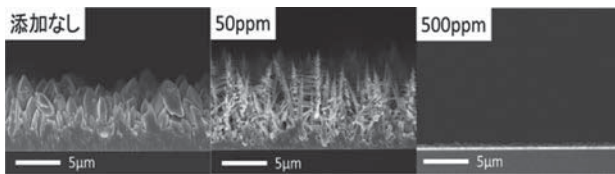


図17. CuSnナノツリー形状のPEG添加量依存性

が強く抑止され、やはりナノツリーは形成されなかった。PEG分子量が600と小さい場合には枝の分岐が明瞭に現れず、また、4000と大きい場合には膜成長がやや抑止され、ナノツリー形成も認められなかった。これらの実験結果により、ナノツリーが形成しやすい最適条件はPEG分子量1000、濃度50 ppm程度であることが分かった。

5. 2. 合金バリアメタル膜の無電解めっき形成と評価

3次元実装TSV技術においては、無電解めっきによるCu拡散バリア膜及びCuシード層形成技術の実現に大きな期待が寄せられている。この技術により大幅な製造コストの削減が可能となり、3次元実装技術の広範な普及が加速するからである。そこで我々は、ナノ粒子Pd触媒、無電解CoWB合金めっき、酸性浴Cu置換めっきの検討を行った。

TSV内部へ無電解CoWBめっきを行ったところ、カヴァレッジ比を算出した結果、0.64(64%)という数値となった。カヴァレッジ比=(底部の膜厚)/(上部の膜厚)で表せる(図18参照)。さらに、CoWB膜上に酸性浴(pH3.5)にてCu置換めっきを行ったところ、密着性が良好なCu連続膜が堆積された(図19参照)。置換Cuシード層が上部から底部まで連続膜として析出していることが確認され、さらに、高密着Cu置換めっきを用いたCuシード層のアスペクト比10のTSV内部への均一な膜堆積に成功した。

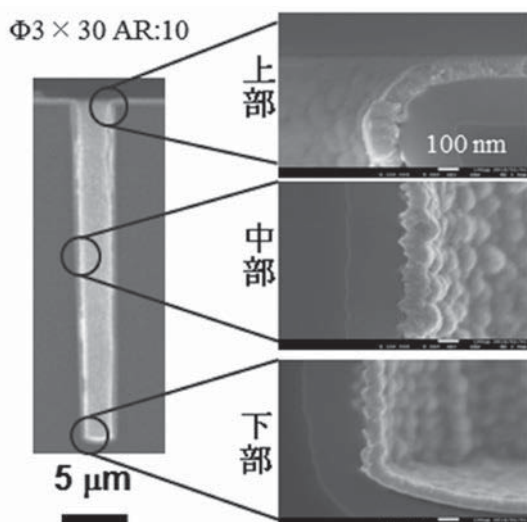


図18. TSV内部に形成した無電解CoWBめっき膜の断面SEM画像

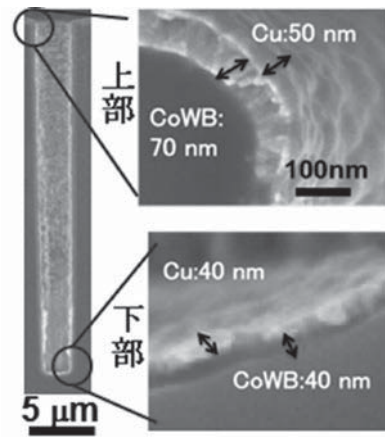


図19. CoWB膜上への置換Cuシード層形成後の断面SEM画像

6. ナノインプリント法による微細構造の創成

山口智実^{*7}

6. 1. はじめに

本研究は、単結晶ダイヤモンドが鉄・ニッケル等の金属と接触した際、ダイヤモンドの炭素が金属中へ拡散する現象を利用することにより、ダイヤモンド表面へ微細パターンを形成する技術の開発を目的とする。2016年度は、微小単結晶ダイヤモンドのパターン形成特性の基礎として、i) 単結晶ダイヤモンドの微小変形・破壊に関するMD (Molecular Dynamics) モデルの構築と、前年度のニッケルとの加圧圧接の結果を受けて、ii) 純鉄との加熱圧接による単結晶ダイヤモンドへのパターン形成技術の検討、の二つの課題に取り組んだ。

6. 2. 単結晶ダイヤモンド変形・破壊MDモデルの構築

図20に(001)面からみた破壊過程を示す。白い部分はクラックが伸展している部分であり、クラック伸展直前を0 psとしている。単結晶ダイヤモンドの劈開面は(111)であるが、この図を見ると、クラック(劈開面)がそちらの方向に伸びていることがわかる。すなわち、本モデルは単結晶ダイヤモンドの微小バルクモデルとしては妥当と考えられるので、今後の加熱圧接過程におけるダイヤモンドの変形・破壊のシミュレーションモデルとして有効であることが確認できた。

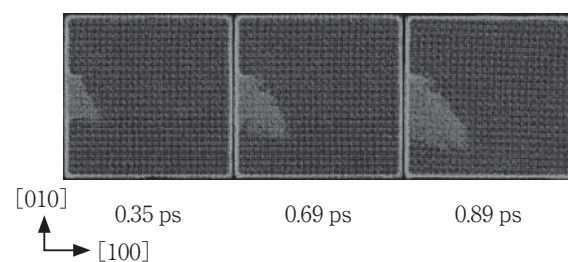


図20. クラック進展のシミュレーション結果

^{*7} システム理工学部教授 工学博士

6.3. 純鉄との加熱圧接によるパターン形成技術の検討

前年度に行ったメッキニッケルと同様に、10 mm×10 mmの純鉄試料上に、図21に示すような凹部幅：970 μm、凸部幅：530 μm、深さ：110 μmの溝パターンを切削成形し、その部分を単結晶ダイヤモンド試料と、真空度：8.3 Pa、接触圧力：98 Pa、温度：823 K、時間：12 hの条件で加熱接触実験を行い、純鉄によるパターン転写の可能性について検証した。

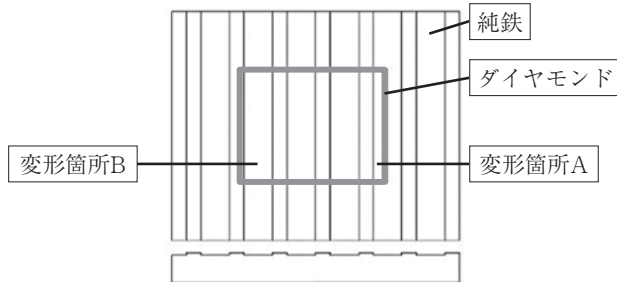
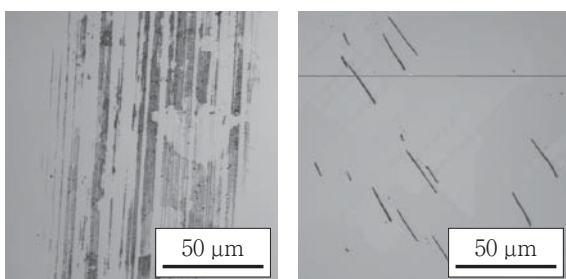


図21. 接触箇所概略図

図22に、実験後ダイヤモンド表面に変化のあった箇所(図21参照)のレーザー顕微鏡画像を示す。溝パターンの転写は見受けられなかったが、図21で示した変形箇所A、Bにおいては、図22に示すように、加熱後に非常に細かい溝のように変形した部分が確認できた。変形箇所Aの変形部分全体の大きさは、長軸方向に約650 μm、短軸方向に約100 μmであった。

一方、変形箇所Bにおいては、散発的に長さ約50 μm程度の微細溝が見受けられた。また、見受けられた溝の深さを測定したところ、変形箇所Aでは約0.09 μm、変形箇所Bでは約0.2 μmであり、微少なながらもダイヤモンドが除去されていることがわかった。



(a) 変形箇所A (b) 変形箇所B

図22. 加熱圧接後のダイヤモンド表面

前年度のニッケルとの加熱圧接では、凝着が起こったもののダイヤモンドの除去は見られなかったので、今回の結果を踏まえて、今後は純鉄による加熱圧接でのパターン転写を試みることにする。より明瞭な転写が行える条件を明らかにするために、今後は基礎データ取得のため接触面積がより小さいパターンを純鉄上に形成し、加熱温度、接触圧力、接触時間等のパラメータを変化させることで、最適な転写条件を見出ししていく。

7. PPG信号の相関解析によるアルコール摂取検知率の向上

大村泰久*8

日本の高齢化率が高まる中、健康状態のモニタリングの重要性が高まっている。生体情報の非侵襲的なモニタリングは、感度、分解能、再現性について従来の侵襲的なモニタリングに比べて一般的に劣っているが、非侵襲的なモニタリングは生体情報の解析の観点から有用であることに変わりはない。本研究では、血脈波信号を光学的手法で非侵襲的に取り出し、そこから得られる生体情報を解析する手段を検討してきた。

これまでの検討で、光学的血脈波(Photoplethysmogram, PPG)信号の非線形性に注目して信号解析を進め、飲酒時、運動時のスペクトルの特徴を明らかにすることができた。しかし、非線形信号処理は数学的な手続きが複雑化する傾向があり、処理時間の短縮化が求められる応用には適さない。そこで、PPG信号の相関解析を試み、相関関数の示すスペクトルを用いて飲酒および運動後の特徴の特定化を進めた(図23参照)。

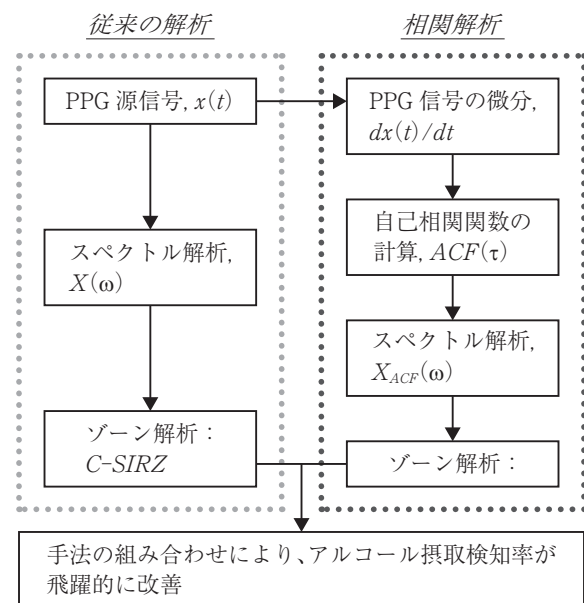


図23. PPG信号の従来解析と相関解析の組み合わせ

従来からのゾーン解析に加えて、新たに相関解析から得られたスペクトルによるゾーン解析を行った。その結果、報告者等による従来法と新たな手法によるゾーン解析を組み合わせることにより、アルコール摂取検知率が80%代まで高めることに成功した(図24参照)。

実際の応用やその他の分野への拡張を想定すると、回路に採用する半導体デバイスの低消費電力化が不可欠であることも明らかにした。

*8 システム理工学部教授 工学博士

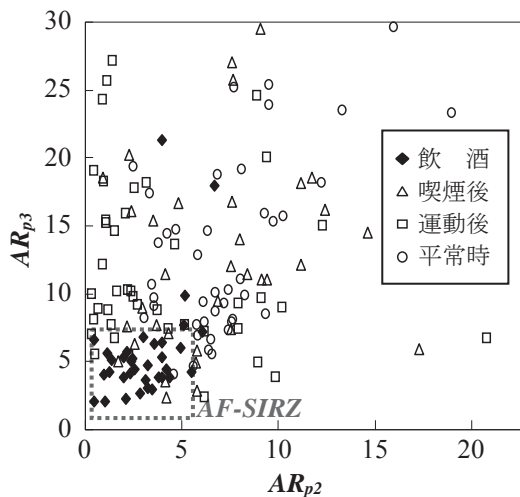


図24. 別途定める数式 AR_{p2} , AR_{p3} の関係
(破線内に飲酒後のデータが集中している)

8. 生体親和性分子で保護されたAuクラスターの磁気特性

稲田貢*9

8.1. はじめに

粒径を数nm程度にまで小さくした金 (Au) ナノ粒子は、通常の金とは異なる特異な光学的、磁氣的に特性を示す。例えば光学的には局所表面プラズモン共鳴による電場増強効果が、磁氣的には強磁性的に磁気偏極が発現することが報告されている。このような特性は太陽電池などの環境適応型エネルギーデバイスやバイオセンシング、イメージング、交流磁場を利用したハイパーサーミア治療への応用が期待され、多くの研究が行われている。

本年度、我々のグループではこのようなAuナノ粒子をバイオセンサのプロブ材料として応用すべく、その光学的、磁氣的基礎物性の解明に関する研究を行った。その中で、ここではナノ粒子よりもさらに粒径の小さなAuクラスター粒子（以下、Auクラスターと呼ぶ）の磁気特性について得られた成果を報告する。粒径が数nmのAuナノ粒子が示す磁性は超常磁性であり、その磁気モーメントの成分には磁荷が温度に依存しない「伝導電子によるパウリ常磁性によるもの」と、「ナノ粒子から保護分子への電子移動によるもの」が提案されている。しかし、構成原子数が数千個から数万個程度のナノ粒子では反磁性のバルクの性質との競合のため、磁気偏極の本質を解明することは難しい。一方、本研究で作成・使用したAuクラスターは金原子がわずか数個から数十個と極めて少数の原子で構成されており、その大きさがサブナノメートルと非常に小さく、ほぼすべての金原子が表面に露呈している。そのため電子構造は離散化しており、もはや金属ではなく分子と表現してよく、金属の金

のような伝導電子は存在しない。そのため、本試料を用いることで本質的に表面の金原子に由来する磁気特性についての知見が得られると期待できる。

8.2. 試料の作成と磁気特性の測定

本研究では、試料としてヒスチジンや人血清アルブミンなどの生体親和性分子やN,N-ジメチルホルムアミド (DMF) などの分子で保護・修飾されたAuクラスター分散溶液を作成した。このようなAuクラスターは修飾分子溶液を還元剤として塩化金酸 ($HAuCl_4$) を還元することで作成した。質量分析の結果から、ヒスチジン修飾Auクラスターは主に10個、アルブミン修飾Auクラスターは主に25個、そしてDMF修飾Auクラスターは主に5個、8個、13個の金原子からなるAuクラスターが作成されていることがわかった。なお、作成したAuクラスターはいずれも極めて安定で、溶媒を蒸発させた後、再び溶液に戻してもその光学的・磁氣的性質に変化はなかった。

試料の磁氣的性質は、SQUID (Quantum Design製) を用いて測定した。また、試料中の金の質量はアルブミンの場合を除き、SQUIDに用いた試料をTG (Thermo Gravimetry) 測定することで求めた。

8.3. 考察と今後のバイオセンサへの展開

図25にAuクラスターの典型的な磁化特性として、4.2KにおけるDMF修飾Auクラスターの印加磁場-磁化特性を示す。磁化曲線は立ち上がりの早いランジュバン関数に従うものであった。また、磁化曲線は原点を通り、磁場の掃引によるヒステリシスは見られなかった。このことからDMF修飾AuクラスターはAuナノ粒子と同様に、超常磁性を示すことが分かった。加えて、磁化の温度依存性からはナノ粒子で見られた温度に依存しないパウリ常磁性成分は見られなかった。このような磁気特性は、修飾分子がヒスチジンやアルブミンの場合でも同様であった。Auクラスターには伝導電子は存在しないと考

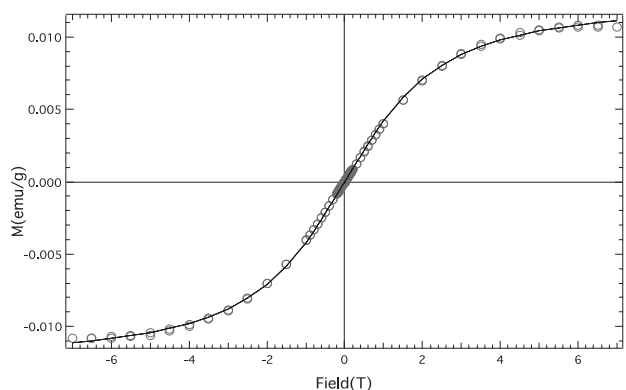


図25. 4.2 KにおけるAuクラスターの磁化特性

*9 システム理工学部教授 博士 (材料科学)

えられるので、この結果により、ナノ粒子で見られた温度に依存しない磁気モーメントは伝導電子によるパウリ常磁性成分であることが明らかとなった。

また、TG測定時の加熱後に残った物質がすべて金だと仮定して、金原子一つあたりの磁気モーメントの大きさを求めると、DMF修飾Auクラスターの場合 $3.3 \times 10^{-4} \mu_B$ 、ヒスチジン修飾Auクラスターの場合 $7.8 \times 10^{-4} \mu_B$ であった。これらの値は、構成金原子数212個で粒径がおおよそ2 nmのPAAHC (poly allyl amine hydro chloride) 修飾Auナノ粒子の値 ($1.9 \times 10^{-3} \mu_B$) よりも小さかった。当初、表面金原子と修飾分子との相互作用に起因する磁気モーメント (5dホールによるもの) は金原子と吸着原子 (分子) との間の電子親和力の大きさによって決定されると考えていたが、上記の結果はそれほど単純ではなく、Auクラスターの構成原子数やその幾何学的構造も重要な要因であることを示唆するものと考えられる。いずれにせよ、現段階ではAuクラスターの磁気モーメントの起源とその定量的な評価には至っておらず、センサー材料として用いる際に重要となる「より大きな磁気モーメントを有するための条件」については今後の課題である。次年度は、引き続きAuクラスターの磁気モーメントの起源を探りつつ、バイオセンサへの応用に向け、Hall素子やMEMS素子への実装に関する研究を進めていく。

9. 三次元造形法による光アクチュエータの開発

新井泰彦*10

9.1. はじめに

光学現象を用いたマイクロアクチュエータの研究では、光放射圧を用いた光ピンセットに代表されるように、数多くの取組みが近年報告されている。一般に、光放射圧を用いた従来の取組みでは、作業空間上に光を誘導するための対物レンズを中心とした大掛かりな光学系が設置されている。このような従来の光放射圧の利用法とは異なり、本研究では図26に示すようにアクチュエータを二次元配置し、空間的に効率よく動力を取り出すこと

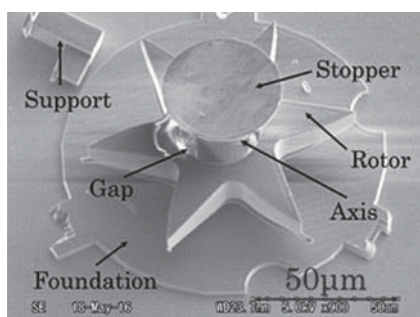


図26. 光造形により作製したローター

のできるシステムの開発を目指している。その実現のために動力を生み出すローターを二次元配置し、また、二次元に張り巡らされた光導波路から照射される光によって、ローターを回転させ、力を抽出することのできる機構の開発を目指している。

本研究では、光アクチュエータの駆動部となるマイクロローターを、三次元光造形装置 (ナノスクライブ) を用いて製作する。歯車列を用いて複数のローターからの動力を集積する機構を作製する。光アクチュエータの動力発生原理は、図26に示すようにマイクロローターの周囲に光を照射するための光ファイバを設置するところにある。ファイバから照射されるレーザー光がローターの刃の部分に到達すると、光放射圧と呼ばれる力が生じ、回転軸と作用点を結ぶ腕の長さに乗じたトルクが発生する。

9.2. ローターの製作と回転の確認

昨年度は、プロトタイプのコイルを作製した。図27に示すように六枚葉のものとお八枚葉のもので、サポートによって支えられている。直径は100 µmである。本年度は、レーザー光によってローターが回転するのかわりに確認した。図28に示すように、製作したローターに二方向からレーザー光を照射してローターの回転を確認した。放射圧の同定結果に基づく12.5 fNmのトルクが発生していることが確認された。

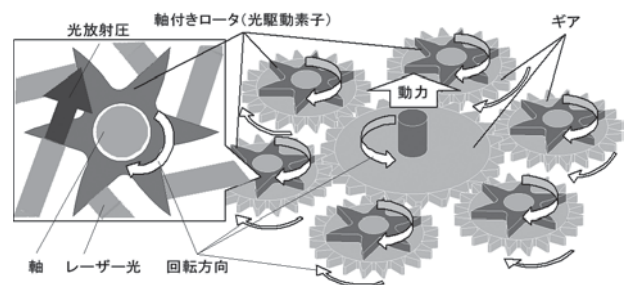


図27. 光アクチュエータの概念図

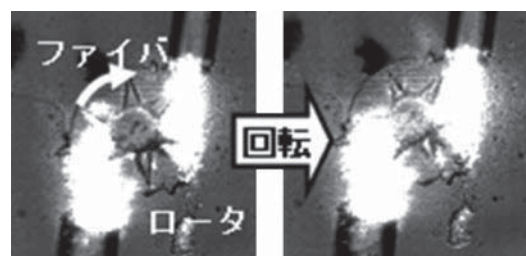


図28. レーザー光によるローターの回転

9.3. 集積技術の開発

現在取り出すことのできるトルクは、極めて小さい。解決策として、トルクを集積をはかるための歯車列の製作を計画している。その準備段階として、三次元造形装

*10 システム理工学部教授 工学博士

置を用いて図29に示す三段の歯車列を作製した。現在、その歯車としての機能・特性を検討している。



図29. 光造形により作製した歯車列

謝辞

本研究の一部は、「文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業（2015年度～2019年度）」によって実施されたものである。

参考文献

- 1) M. Suzuki, T. Takahashi, S. Aoyagi, 3D laser Lithographic fabrication of hollow microneedle mimicking mosquito and its characterization, Int. J. Nanotechnology, in press.
- 2) Y. Hara, M. Yamada, C. Tatsukawa, T. Takahashi, M. Suzuki, S. Aoyagi, Fabrication of stainless microneedle with laser cut sharp tip and its characterization of penetration and blood sampling performance, Int. J. Automation Technology, 10(6), 950-957 (2016).
- 3) Y. Hara, M. Yamada, C. Tatsukawa, T. Takahashi, M. Suzuki, S. Aoyagi, Laser fabrication of jagged shaped stainless microneedle imitating mosquito's maxilla, Int. J. Automation Technology, 10(6), 958-964 (2016).
- 4) 青柳誠司, 武田侑也, 鈴木昌人, 歌大介, 安東嗣修, 針穿刺の痛みの評価を目的としたフォンフライフィラメントによるラットの足底刺激に関する行動学的及び電気生理学的解析, 痛み研究会2016抄録集, 8 (2017).
- 5) 針の痛み 強弱評価 関西大・富山大 神経の信号分析 ラットで実験, 日経産業新聞, 2017年3月2日付.
- 6) 高橋智一, 菊池智史, 鈴木昌人, 青柳誠司, 微小突起をもつタコの吸盤を模倣した真空吸着グリッパの開発, 日本ロボット学会誌, 35(1), 62-69 (2017).
- 7) 高橋智一, 菊池智史, 鈴木昌人, 青柳誠司, タコの吸着原理と吸盤構造を模倣した真空吸着グリッパの開発, 日本ロボット学会誌, 印刷中.
- 8) T. Ito, K. Nakade, N. Asai, T. Shimizu, S. Shingubara, Antibacterial characteristics of Si nano-pillar array, Proc. IEEE Nano, Miyagi, Japan (2016).
- 9) T. Ito, K. Nakade, N. Asai, T. Shimizu, S. Shingubara, Antibacterial property of Si nanopillar array fabricated using metal assisted etching; mimic a cicada wing, Proc. PRiME 2016, USA (2016).
- 10) N. Kaneko, T. Shimizu, Y. Tada, S. Shinguhara, Oxidation of CuSn alloy nanotree and application for gas sensor, Jpn. J. Appl. Phys., 55, 06GH08 (2006).
- 11) Y. Omura, H. Ozaki, Key Aspects of Photoplethysmogram Signals for Applications to Alcohol-Intake Detection, IEEE Sensors 2016, USA, 1251-1253 (2016).
- 12) M. Inada, T. Koshida, Y. Yoshihara, A. Matsuo, Y. Yamamoto, T. Saitoh, Synthesis and magnetic characterization of DMF-protected Gold nanoclusters, The 61st Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, USA (2016).
- 13) H. Takeda, Y. Arai, Development of optical actuator-Fabrication of micro rotor-, Int. Symp. Optomechatronic Tech., Tokyo, Japan (2016).
- 14) 瀧瀬宏樹, 陳延鵬, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 塗布法により製膜可能なPVD圧電膜を用いた小型振動発電デバイスによる μ Wオーダーの発電, 電気学会論文誌E, 137(5), 印刷中.

私立大学戦略的研究基盤形成支援事業プロジェクト (2015~2019年度)

3次元ナノ・マイクロ構造の創成とバイオミメティクス・医療への応用

2016年度 研究成果一覧表

論文

- (1) 瀧瀬宏樹, 陳延鵬, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 塗布法により製膜可能なPVDF圧電膜を用いた小型振動発電デバイスによる μ Wオーダーの発電, 電気学会論文誌E, 137(5), 印刷中.
- (2) M. Suzuki, T. Takahashi, S. Aoyagi, 3D laser lithographic fabrication of hollow microneedle mimicking mosquito and its characterization, International Journal of Nanotechnology, 印刷中.
- (3) 高橋智一, 三村拓人, 鈴木昌人, 青柳誠司, タコの吸盤の漏斗形状と表面の微細な溝を模倣した真空吸着グリッパの開発, 日本ロボット学会誌, 印刷中.
- (4) 高橋智一, 菊池智史, 鈴木昌人, 青柳誠司, 微小突起をもつタコの吸盤を模倣した真空吸着グリッパの開発, 日本ロボット学会誌, 35(1), 62-69 (2017).
- (5) 青柳誠司, マイクロニードルの展望, 精密工学会誌, 82(12), 999-1004 (2016).
- (6) Y. Hara, M. Yamada, C. Tatsukawa, T. Takahashi, M. Suzuki, S. Aoyagi, Fabrication of Stainless Steel Microneedle with Laser-Cut Sharp Tip and its Penetration and Blood Sampling Performance, International Journal of Automation Technology, 10(6), 950-957 (2016).
- (7) Y. Hara, M. Yamada, C. Tatsukawa, T. Takahashi, M. Suzuki, S. Aoyagi, Laser Fabrication of Jagged-Shaped Stainless Steel Microneedle Imitating Mosquito's Maxilla, International Journal of Automation Technology, 10(6), 958-964 (2016).
- (8) T. Ito, T. Asada, N. Asai, T. Shimizu, S. Shingubara, Nonenzymatic detection of glucose using BaCuO₂ thin layer, Japanese Journal of Applied Physics 56, 01AH02 (2017).
- (9) N. Kaneko, T. Shimizu, Y. Tada, S. Shingubara, Oxidation of CuSn alloy nanotree and application for gas sensors, Japanese Journal of Applied Physics, 55, 06GH08 (2016).
- (10) T. Shimizu, Y. Tada, N. Kaneko, S. Tanaka, S. Shingubara, Formation of three-dimensional nano-trees with perpendicular branches by electrodeposition of CuSn alloy, Surface and Coatings Technology, 294, 83-89 (2016).
- (11) D. Hirooka, T. Yamaguchi, N. Furushiro, K. Suzumori, T. Kanda, Particle-Excitation Flow-Control Valve using Piezo Vibration-Improvement for a High Flow Rate and Research on Controllability, IEEJ Transactions on Sensors and Micromachines, 137(1), 32-37 (2017).
- (12) T. Takazawa, P. Choudhury, C. K. Tong, C. M. Conway, G. Scherrer, P. D. Flood, J. Mukai, A. B. MacDermott, Inhibition Mediated by Glycinergic and GABAergic Receptors on Excitatory Neurons in Mouse Superficial Dorsal Horn Is Location-Specific but Modified by Inflammation, The Journal of Neuroscience, 37(9), 2336-2348 (2017).
- (13) 高澤知規, 高岸憲二, 池田佳生, 堀内辰男, 抗生剤ミノサイクリンの神経保護作用を応用した高齢患者の手術後認知機能障害予防法の開発, 大和証券ヘルス財団研究業績集, 39, 23-25 (2016).
- (14) T. Takazawa, J. Ohta, T. Horiuchi, H. Hinohara, F. Kunimoto, S. Saito, A case of acute onset postoperative gas gangrene caused by Clostridium perfringens, BMC Research Notes, 9, 385 (2016).

図書

- (1) 青柳誠司, 第2章 マイクロニードル製造技術と穿刺評価, マイクロニードルの製造と応用展開, シーエムシー出版, 41-52, 総ページ数181 (2016).
- (2) 高澤知規, 齋藤繁, 第II章68 脊髄くも膜下麻酔、心停止, 麻酔科医のための困ったときの3分コンサルト, 克誠堂出版, 250-252, 総ページ数366 (2016).

国際学会

- (1) H.Takise, Y. Chen, M. Suzuki, T. Takahashi, S. Aoyagi, Fabrication of piezoelectric vibration energy harvester using coatable poly vinylidene difluoride and its characterization, International Symposium on Micro-Nano Science and Technology 2016, SuP1-A-1, Tokyo, Japan (2016).
- (2) S. Aoyagi, Microneedle for blood collection mimicking mosquito, The Second Korea-Japan Micro Needles Symposium 2016, Session I-3, Korea (2016).
- (3) M. Suzuki, M. Shimokizaki, T. Takahashi, S. Aoyagi, Characterization of Electret Made of Mixture Contains Mesoporous Silica Nanoparticles and Fluorocarbon Polymer, The 11th Annual IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems PaperID:1180, Miyagi, Japan (2016).
- (4) T. Takahashi, M. Suzuki, S. Aoyagi, Octopus Bioinspired Vacuum Gripper with Micro Bumps, The 11th Annual IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems, PaperID: 1185, Miyagi, Japan (2016).
- (5) H. Yoshida, T. Shimizu, T. Ito, S. Shingubara, Magnetic Conductive Filament Formed in the ReRAM Device with Ferromagnetic Electrode, Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science 2016, D02-1458, USA (2016).
- (6) A. Hirate, K. Ohta, Y. Miyachi, T. Shimizu, T. Ito, S. Shingubara, Electroless Plating of Diffusion Barrier Films on SiO₂ and Evaluation of Film Characteristics, Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science 2016, G04-1926, USA (2016).
- (7) N. Kaneko, T. Shimizu, T. Ito, Y. Tada, S. Shingubara, Oxidation of CuSn Alloy Nano-Tree and Application for Gas Sensors, Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science 2016, H07-2339, USA (2016).
- (8) T. Ito, K. Nakade, N. Asai, T. Shimizu, S. Shingubara, Antibacterial Property of Si Nanopillar Array Fabricated Using Metal Assisted Etching; Mimic a Cicada Wing, Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science 2016, Z02-4121, USA (2016).
- (9) T. Ito, K. Nakade, N. Asai, T. Shimizu, S. Shingubara, Antibacterial characteristics of Si nano-pillar array, The 16th International Conference on Nanotechnology, TuPo1.6, Miyagi, Japan (2016).
- (10) Y. Omura, H. Ozaki, Key Aspects of Photoplethysmogram Signals for Applications to Alcohol-Intake Detection, IEEE Sensors 2016, C-1-2, USA (2016).
- (11) Y. Omura, Low-Energy SOI Devices for RF Applications in Sensor Network Era, 7th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces, FP4-A-4, Aichi, Japan (2016).
- (12) M. Inada, N. Isobe, T. Miyake, T. Saitoh, Photocurrent in Si Quantum Dot Solar Cells with Inorganic-Organic Hybrid Structure, 2016 Materials Research Society Fall Meeting & Exhibit, NM4.11.03, USA (2016).
- (13) M. Inada, T. Koshida, Y. Yoshihara, A. Matsuo, Y. Yamamoto, T. Saitoh, Synthesis and magnetic characterization of DMF-protected Gold nanoclusters, The 61st Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, AW-08, USA (2016).
- (14) D. Shimizu, Y. Arai, Development of optical actuator~Fabrication of micro rotor~, International Symposium on Optomechatronic Technology 2016, P05, Tokyo, Japan (2016).
- (15) D. Shimizu, Y. Arai, Development of rotor with optical actuator using the silicon-fabrication process, International Symposium on Optomechatronic Technology 2016, P18, Tokyo, Japan (2016).
- (16) D. Uta, Y. Magoshi, Y. Kuraishi, T. Andoh, Analysis of itch-related responses evoked by cutaneous interleukin-31 administration in mice, 26th International Symposium of Itch, Basic Research1, Tokyo, Japan (2016).

国内学会

- (1) 原安寛, 山田雅大, 立川周子, 鈴木昌人, 高橋智一, 青柳誠司, 蚊の小顎を模倣した鋸歯状ステンレスマイクロニードルの作製と皮膚の剪断力の検討, 2017年度精密工学会春季大会学術講演会, E08, 神奈川 (2017).
- (2) 山本峻己, 川上翔平, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 携帯型微細針穿刺装置の開発と穿刺時の振動付与の効果の検討, 2017年度精密工学会春季大会学術講演会, E12, 神奈川 (2017).

- (3) 佐藤潤哉, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 延伸シートの3次元レーザ加工による生分解プラスチック製マイクロニードルの作製, 2017年度精密工学会春季大会学術講演会, E13, 神奈川 (2017).
- (4) 奥田健人, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 穿刺抵抗力を低下させる新しい星型針の提案, 2017年度精密工学会春季大会学術講演会, E14, 神奈川 (2017).
- (5) 北田博之, 山本晴輝, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, マイクロピッチ格子付き寒天の作製とそれを用いた蚊の穿刺における下唇の観察, 2017年度精密工学会春季大会学術講演会, E15, 神奈川 (2017).
- (6) 山田雅大, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, マイクロニードルの座屈防止機構と穿刺対象の撓み抑制機構の提案と開発, 2017年度精密工学会春季大会学術講演会, E16, 神奈川 (2017).
- (7) 青柳誠司, 原安寛, フェムト秒レーザーによる蚊の口唇の3次元形状を模倣したステンレスマイクロニードルの作製と性能評価, 2017年度精密工学会春季大会学術講演会, F31, 神奈川 (2017).
- (8) 青柳誠司, 武田侑也, 鈴木昌人, 歌大介, 安東嗣修, 針穿刺の痛みの評価を目的としたフォンフライフィラメントによるラットの足底刺激に関する行動学的及び電気生理学的解析, 2016年度痛み研究会, P8, 愛知 (2017).
- (9) 野村亮介, 鈴木昌人, 高橋智一, 青柳誠司, 中空微細針の内径と血液の吸引性能の関係, 第21回関西大学先端科学技術シンポジウム, 8, 大阪 (2017).
- (10) 山田雅大, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 蚊の口吻が発生する微小な力の推定-マイクロカンチレバーの撓みを利用したバイオミメティクス用力センサの提案-, 第21回関西大学先端科学技術シンポジウム, 9, 大阪 (2017).
- (11) 瀧瀬宏樹, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, PVDF圧電薄膜を用いた小型振動発電デバイスの開発, 第21回関西大学先端科学技術シンポジウム, 10, 大阪 (2017).
- (12) 佐藤潤哉, 大石眞久, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 松本真一, 鈴木康一郎, 植田浩之, 芳賀善九, 都博之, 蚊を模倣した2本の桶状パーツを組み合わせたマイクロニードルの開発-ポリ乳酸の成形加工によるパーツの作製と針の性能評価-, 第21回関西大学先端科学技術シンポジウム, 11, 大阪 (2017).
- (13) 山本峻己, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 長嶋利夫, 山口哲, 今里聡, 功刀厚志, 猿渡智治, 微細針の穿刺におけるひずみの可視化と最適穿刺条件の検討, 第21回関西大学先端科学技術シンポジウム, 12, 大阪 (2017).
- (14) 三村拓人, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, タコを模倣した単一吸着グリッパのアレイ化による吸着性能の向上について, 第21回関西大学先端科学技術シンポジウム, 16, 大阪 (2017).
- (15) 堀江一生, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 微小突起を有するタコを模倣した吸盤の剥離抵抗力について, 第21回関西大学先端科学技術シンポジウム, 17, 大阪 (2017).
- (16) 原安寛, 山田雅大, 立川周子, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, フェムト秒レーザーによる蚊の口唇の3次元形状を模倣したステンレスマイクロニードルの作製と性能評価, 第21回関西大学先端科学技術シンポジウム, 大阪 (2016).
- (17) 高橋智一, 三村拓人, 鈴木昌人, 青柳誠司, 蛇腹構造を有する吸着グリッパとそのアレイ化について, 第21回関西大学先端科学技術シンポジウム, 大阪 (2016).
- (18) 岩田紘明, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 吉川泰弘, 縦振動型エレクトレット振動発電デバイスの開発-振動する対電極を面接触させるストップ機構-, 第33回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム, 25am2-PS-005, 長崎 (2016).
- (19) 三村拓人, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, タコを模倣した吸着グリッパアレイの開発-把持可能な段差および曲面の寸法-, 第34回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2016AC3A2-06, 山形 (2016).
- (20) 藤本健太, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 柔軟物および固体を把持可能な真空吸着グリッパ-柔軟物吸着におけるフィルタの効果-, 第34回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2016AC3A3-01, 山形 (2016).
- (21) 野村亮介, 山田雅人, 鈴木昌人, 高橋智一, 青柳誠司, 中空微細針の内径と血液吸引性能の関係-蚊の上唇の内径が $20\mu\text{m}$ であることの妥当性-, 2016年度精密工学会秋季大会学術講演会, C19, 茨城 (2016).
- (22) 佐藤潤哉, 大石眞久, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 松本真一, 鈴木康一郎, 植田浩之, 芳賀善九, 都博之, 蚊を模倣した2本の桶状パーツを組み合わせたポリ乳酸マイクロニードルの成形加工, 2016年度精密工学会秋季大会学術講演会, C20, 茨城 (2016).
- (23) 山本峻己, 鈴木昌人, 高橋智一, 青柳誠司, 長嶋利夫, 山口哲, 今里聡, 功刀厚志, 猿渡智治, 微細針の穿刺におけるひずみの可視化と最適穿刺条件の検討, 2016年度精密工学会秋季大会学術講演会, C21, 茨城 (2016).
- (24) 原安寛, 山田雅大, 立川周子, 鈴木昌人, 高橋智一, 青柳誠司, フェムト秒レーザーによる蚊の小顎を模倣した鋸歯状ステンレスマイクロニードルの作製と性能評価, 2016年度精密工学会秋季大会学術講演会, L31, 茨城 (2016).

- (25) 佐藤潤哉, 大石眞久, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 松本真一, 鈴木康一郎, 植田浩之, 芳賀善九, 都博之, 蚊を模倣した2本の桶状パーツを組み合わせたマイクロニードルの開発-ポリ乳酸の成形加工によるパーツの作製と針の性能評価-, 精密工学会2016年度関西地方定期学術講演会, 45-L, 京都 (2016).
- (26) 山田雅大, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 蚊の口吻が発生する微小な力の推定-マイクロカンチレバーの撓みを利用したバイオミメティクス用力センサの提案-, 精密工学会2016年度関西地方定期学術講演会, 46-L, 京都 (2016).
- (27) 瀧瀬宏樹, 陳延鵬, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 小谷哲浩, 金村崇, 塗布法により製膜可能なPVDF圧電薄膜を用いた小型振動発電デバイスによる μ Wオーダーの発電, 平成28年電気学会センサ・マイクロマシン部門総合研究会, PHS-16-30, 石川 (2016).
- (28) 青柳誠司, 3Dマイクロ加工とバイオミメティクス-蚊を模した新しい針-, 16-1バイオミメティクス研究会, 京都 (2016).
- (29) 三村拓人, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 独立した吸盤アレイを有するタコを模倣した吸着グリッパの開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会2016, 1A1-12a4, 神奈川 (2016).
- (30) 松本卓也, 鈴木大輝, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 蛇腹構造を有するタコを模倣した吸着グリッパ, -把持時の対象物の傾斜による剥離の抑制- ロボティクス・メカトロニクス講演会2016, 1A1-12a7, 神奈川 (2016).
- (31) 藤本健太, 杉本亮太, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 静電チャックデバイスを有するタコの吸盤を模倣した執着グリッパの試作, ロボティクス・メカトロニクス講演会2016, 1A1-13a1, 神奈川 (2016).
- (32) 帯包大輔, 安本智, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 傾斜動作が可能なマイクロ空気圧アクチュエータの試作, ロボティクス・メカトロニクス講演会2016, 2P1-20a5, 神奈川 (2016).
- (33) 青柳誠司, 痛みの軽減を目指すマイクロニードルの開発 蚊の穿刺行動の応用研究, 第33回日本TDM学会・学術大会, LS5, 栃木 (2016).
- (34) 吉田勇人, 清水智弘, 伊藤健, 新宮原正三, Cu/Ti/HfO₂/Au抵抗変化メモリにおける低電圧スイッチングの研究, 第64回応用物理学会春季学術講演会, 15p-P3-8, 神奈川 (2017).
- (35) 伊藤健, 中出一輝, 佐川貴志, 小嶋寛明, 清水智弘, 新宮原正三, セミの翅が持つ機能性ナノ構造の模倣と抗菌性評価, 第64回応用物理学会春季学術講演会, 17a-F206-2, 神奈川 (2017).
- (36) 和田卓十, 金子直人, 清水智弘, 伊藤健, 冨田芳広, 新宮原正三, CuSn合金ナノツリーの形成とガスセンサ応用, 電気化学会第84回大会, 3S10, 東京 (2017).
- (37) 井芹崇樹, 平手惇史, 清水智弘, 伊藤健, 新宮原正三, NiWB上への無電解Cuめっき膜の形成, 電気化学会第84回大会, 3S13, 東京 (2017).
- (38) 中出一輝, 伊藤健, 清水智弘, 新宮原正三, セミの翅が持つナノ構造の模倣と抗菌性評価, 第21回関西大学先端科学技術シンポジウム, 15, 大阪 (2017).
- (39) 和田卓十, 金子直人, 清水智弘, 伊藤健, 冨田芳広, 新宮原正三, CuSn合金ナノツリー酸化物の形成と伝導特性評価, 第77回応用物理学会秋季学術講演会, 13p-P7-5, 新潟 (2016).
- (40) 平手惇史, 宮地悠人, 太田晃平, 伊藤健, 清水智弘, 新宮原正三, TSVバリア・シード層の無電解めっき形成及びCu拡散バリア性の評価, 第26回マイクロエレクトロニクスシンポジウム秋季大会, 2C4-1, 愛知 (2016).
- (41) 吉田勇人, 伊藤大介, 清水智弘, 伊藤健, 新宮原正三, 磁性体電極を用いた抵抗変化メモリ素子におけるスイッチング特性及び磁気抵抗効果の評価, 第80回半導体集積回路シンポジウム, P-6, 東京 (2016).
- (42) 和田卓十, 金子直人, 清水智弘, 伊藤健, 冨田芳広, 新宮原正三, CuSn合金ナノツリー酸化物の形成とセンサ応用の検討, 第80回半導体集積回路シンポジウム, P-7, 東京 (2016).
- (43) 大村泰久, 原田恭輔, 車載向けアルコール摂取検知センサー実現に向けて, 平成28年電気関係学会関西連合大会, G11-12, 大阪 (2016).
- (44) 大村泰久, センサーネットワーク時代の低エネルギーSOIデバイスの展開可能性と見通し, 電子情報通信学会シリコン材料・デバイス研究会, SDM2016-3, 東京 (2016).
- (45) 木下和俊, 西谷拓樹, 西田智彦, 新宮原正三, 稲田貢, 齊藤正, Ni_{1-x}Mg_xO膜におけるギャップ内準位の観測とバンドギャップの評価, 第77回応用物理学会秋季学術講演会, 15a-A31-5, 新潟 (2016).
- (46) 佐伯拓, 飯田幸雄, 稲田貢, 増田真一郎, 焼成アルミナノ多結晶板を用いたコア付きインダクターの試作, 第77回応用物理学会秋季学術講演会, 15a-P3-8, 新潟 (2016).
- (47) 越田樹, 松尾晶, 山本良之, 齊藤正, 稲田貢, 有機分子保護Auナノクラスターの磁気特性, 第77回応用物理学会秋季学術

- 講演会, 13p-A25-7, 新潟 (2016).
- (48) 武田大樹, 新井泰彦, 光アクチュエータの開発～三次元光造形装置を用いたマイクロロータの製作～, 2016年度精密工学会秋季大会学術講演会, B68, 茨城 (2016).
 - (49) 清水大, 新井泰彦, シリコンプロセスを用いた光アクチュエータ駆動部の開発, 2016年度精密工学会秋季大会学術講演会, B69, 茨城 (2016).
 - (50) 茂木彩加, 堀内辰男, 高澤知規, 吉田長英, 富岡昭裕, 齋藤繁, スガマデクスによりアナフィラキシーを発症した一卵性双生児の患者およびその兄に行った皮膚テストと好塩基球刺激試験, 日本麻酔科学会関東甲信越・東京支部第56回合同学術集会, 東京 (2016).
 - (51) 村田聡美, 佐藤友信, 高澤知規, 齋藤繁, ミトコンドリア脳筋症の全身麻酔経験, 日本麻酔科学会関東甲信越・東京支部第56回合同学術集会, 東京 (2016).
 - (52) 松井祐介, 高橋健一郎, 半谷圭一郎, 星野豊, 堀内辰男, 高澤知規, スガマデクスによるアナフィラキシーショックの一例, 日本麻酔科学会関東甲信越・東京支部第56回合同学術集会, 東京 (2016).
 - (53) 高橋淳子, 堀内辰男, 熊倉みなみ, 大川牧生, 富岡昭裕, 高澤知規, スガマデクスによるアナフィラキシーショック (Kounis症候群) を発症した1例, 日本麻酔科学会関東甲信越・東京支部第56回合同学術集会, 東京 (2016).
 - (54) 石渡美和子, 戸田光, 佐藤克彦, 小坂康晴, 堀内辰男, 高澤知規, 妊婦のスガマデクスによるアナフィラキシーショックの原因薬剤同定に好塩基球刺激試験が有用であった一例, 日本麻酔科学会関東甲信越・東京支部第56回合同学術集会, 東京 (2016).
 - (55) 原口崇, 入内島伸尚, 高澤知規, 高瀬友彰, 塚越裕, 佐藤淳, 腸間膜牽引症候群の発生頻度に及ぼすセボフルレン濃度の影響, 日本麻酔科学会関東甲信越・東京支部第56回合同学術集会, 東京 (2016).
 - (56) 村田聡美, 石川愛, 高澤知規, 齋藤繁, リンパ脈管筋腫症の帝王切開術の麻酔経験, 日本麻酔科学会関東甲信越・東京支部第56回合同学術集会, 東京 (2016).
 - (57) 日尾早香, 金本匡史, 日野原宏, 高澤知規, 戸部賢, 中林洋介, 柳澤晃広, 松岡宏晃, 神山治郎, 神山彩, 齋藤繁, 肺炎球菌感染を契機に二次性血栓性微小血管障害を発症した一例, 第25回日本集中治療医学会関東甲信越地方会, D-3-4, 東京 (2016).
 - (58) 松岡未紗, 松岡宏晃, 福島祐樹, 日尾早香, 坂本晋也, 神山彩, 神山治郎, 柳澤晃広, 中林洋介, 金本匡史, 戸部賢, 高澤知規, 日野原宏, 齋藤繁, 荒川篤康, 西澤拓哉, 小児の急性脳症に伴う難治性痙攣重責でプロポフォルの使用を必要とした1例, 第25回日本集中治療医学会関東甲信越地方会, D-17-1, 東京 (2016).
 - (59) 神山彩, 金本匡史, 日尾早香, 神山治郎, 松岡宏晃, 柳澤晃広, 中林洋介, 戸部賢, 高澤知規, 日野原宏, 齋藤繁, 14歳でインフルエンザ感染を契機にアルギニノコハク酸尿症が診断された一例, 第25回日本集中治療医学会関東甲信越地方会, D-17-2, 東京 (2016).
 - (60) 堀内辰男, 高澤知規, 高橋健一郎, 富田行成, 吉田長英, 齋藤繁, 周術期アナフィラキシーにおける原因薬剤の検討, 日本麻酔科学会第63回学術集会, 福岡 (2016).
 - (61) 高橋深雪, 井上莊一郎, 高澤知規, 堀内辰男, 五十嵐孝, 竹内護, 脊髄くも膜下麻酔中に発症した予定帝王切開患者のアナフィラキシー, 日本麻酔科学会第63回学術集会, 福岡 (2016).
 - (62) D. Uta, M. Yoshimura, T. Andoh, K. Imoto, H. Furue, Electrophysiological analysis of local anesthetic effects on adult rat spinal nociceptive synaptic transmission, 第90回日本薬理学会年会, I-P-071, 長崎 (2017).
 - (63) 歌大介, 井本敬二, 古江秀昌, 成熟ラット後根神経節細胞電位依存性Naチャンネルに対する局所麻酔薬の作用解析, 第38回脊髄機能診断研究会, 5, 東京 (2017).
 - (64) 歌大介, 宮原謙一郎, 坪島功幸, 安東嗣修, 西条寿夫, 水村和枝, 田口徹, 線維筋痛症モデルを用いた脊髄後角へのシグナル伝達機構解析, 生理学研究所痛み研究会2016, Session4-2, 愛知 (2017).
 - (65) 歌大介, 安東嗣修, 井本敬二, 古江秀昌, *In vivo*パッチクランプ法を用いた中枢へのアトピー性皮膚炎による痒み情報伝達のメカニズムの解明, 第67回日本薬理学会北部会, A-08, 北海道 (2016).
 - (66) 歌大介, 井本敬二, 古江秀昌, ラット脊髄後角膠様質細胞への後根刺激誘起のシナプス伝達に対する TRPA1 チャンネル作動薬の応答解析, 第38回日本疼痛学会, B3-6, 北海道 (2016).

その他

・新聞

- (1) 青柳誠司, 針の痛み 強弱評価 関西大・富山大 神経の信号分析, 日経産業新聞, 9面, 2017年3月2日付.
- (2) 高橋智一, ネイチャー・インダストリー・アワード, 日刊工業新聞, 21面, 2017年1月20日付
- (3) 高橋智一, 進化する生体模倣(8) 吸盤でピタッ 荷物運び楽々, 日本経済新聞, 朝刊25面, 2016年11月20日付.

・報道

- (1) 青柳誠司, 注射の未来を変える, ワザビト, TBS, 2017年2月5日放映.
- (2) 青柳誠司, まいど!まいど!, ラジオ関西, 2016年12月2日放送.
- (3) 青柳誠司, 痛くもかゆくもない注射針, サタデープラス, MBS, 2016年8月20日放映.
- (4) 青柳誠司, 英語版「Bug Technology」, NHKワールド, 2016年6月16日放映.

・資料提供

- (1) 痛くない注射針, 朝日放送「キャスト」, 蚊の針の写真提供 (2016.9.20).
- (2) 第50回特別展「危険生物～悪者たちの真実」, マイクロニードル関連資料一式提供, 面河山岳博物館, 愛媛 (2016.7.21-9.4)
- (3) 企画展「ムシできない虫むし展」, 写真提供, 静岡科学館る・く・る, 静岡 (2016.3.19-5.8).

・総説・解説・その他

- (1) 講義・研究室紹介「蚊の吸血メカニズムに学び、痛くない注射針を開発する。」、関西大学大学案内2017, 115 (2017).
- (2) 青柳誠司, 自然の中に答えがある!, JUNIOR SAFE, 2017年版2月号, 20-21 (2017).
- (3) [9・10月号] 生体模倣の世界へ 小中高校生向け講座開催, 関西大学タイムス(Web版) (2016).
[<http://www.unn-news.com/ku-times/2016/09/24/2368>]
- (4) 青柳誠司, 蚊を模倣したマイクロニードルの開発, 機能材料, 36(7), 22-30 (2016).
- (5) 青柳誠司, 夢に近づく道の中で、自分自身も変わっていく, incu-be, 33 (2016).
- (6) 戦略基盤プロジェクトによる小中高校生対象の見学会を開催しました, Re:ORDIST, 42, 7, (2016).
- (7) 高澤知規, 徹底分析シリーズ アナフィラキシー: 何が原因で、どれくらいの頻度で起きているのか? -そんなに“ない”わけではない, LiSA, 23(10), 934-938 (2016).
- (8) P. M. Mertes, G. W. Volcheck, L. H. Garvey, T. Takazawa, P. R. Platt, A. B. Guttormsen, C. Tacquard, Epidemiology of perioperative anaphylaxis, La Presse Médicale, 45, 758-767 (2016).
- (9) T. Takazawa, H. Mitsuhashi, P. M. Mertes, Sugammadex and rocuronium-induced anaphylaxis, Journal of Anesthesia, 30, 290-297 (2016).

・講演会・セミナー

- (1) 青柳誠司, バイオミメティクスと3Dマイクロ加工 (蚊を模倣した注射針), 第3回戦略研究総合センター研究交流懇談会, 大阪 (2017).
- (2) 3次元ナノ・マイクロユニット, 小中高校生対象見学会「生体模倣(バイオミメティクス)の世界への誘い」, 大阪 (2016).
- (3) 青柳誠司, 痛みとかゆみの観点からメスの蚊の穿刺行動を解明する～生体に学ぶ工学的な応用より～, GSK Webinar, Webセミナー (2016).

資料3-3. 2017年度 技苑「プロジェクト研究報告概要」

私立大学戦略的研究基盤形成支援事業プロジェクト

3次元ナノ・マイクロ構造の創成とバイオミメティクス・医療への応用

研究代表者：青柳 誠司
研究分担者：新井 泰彦・大村 泰久・新宮原 正三・福永 健治・
山口 智実・伊藤 健・稲田 貢・鈴木 昌人・
高橋 智一
学外研究分担者：高澤 知規・歌 大介

1. はじめに

青柳誠司*¹

本プロジェクトは、私立大学戦略的研究基盤形成支援事業の支援を受け、ナノ・マイクロメートルスケールの3次元微細構造の創成技術とバイオミメティクス技術の融合による新学問分野の確立、およびその医療デバイスおよびメカトロニクス・ロボティクス関連のデバイス開発への応用を目的として実施されている。本プロジェクトの実施期間は平成27年度から31年度であり、本年度はその3年目にあたる。

プロジェクトは12名の研究者で遂行されており、大まかに、ナノ・マイクロ加工グループ（青柳、新宮原、新井、山口）、医療応用グループ（福永、大村、稲田、高澤、歌）、バイオミメティクスグループ（伊藤、鈴木、高橋）の3グループに分かれて研究を行っている。今年度も昨年度までに引き続き、各研究者が各々の専門分野において研究成果をあげている。

以下に2017年度のプロジェクトの進捗状況を簡単に記す。生体模倣グループでは蚊の口器を模倣した無痛針の開発に一層の進展が見られた。昨年度までに3次元光造形法の援用により蚊の口針を模倣した樹脂製の微細針を作製することに成功していたが、本年度はこれを母型としてナノインプリント法により転写・複製することに成功した¹⁾。また、フェムト秒レーザー加工装置の援用により樹脂製の微細針を高速に作製することにも成功した^{2,3)}。これらの成果により、開発した微細針の実用化に向けて前進したといえる。

作製した針の侵襲性の評価手法にも進展が見られた。格子状のパターンを付与した人工皮膚に作製した微細針を穿刺し、パターンの歪みを画像解析することで穿刺抵抗の分布力を評価する手法の開発に成功した^{4,5)}。また、血管が発生するまで成長させた鶏の有精卵の血管を用いて蚊の吸血動作を観察する手法の開発にも成功した^{6,7)}。

タコの吸盤を模倣したロボット用グリッパについても一層の進展が見られた。タコの吸盤には微細な突起が存在するが、これを模倣してグリッパ表面にも微細突起を付与したところ、グリッパの把持力を向上した。また、蟬の羽を模倣した細菌を寄せ付けない表面構造の研究も継続して実施している。実際に、クマゼミの羽表面に蛍光タンパクを生成可能な大腸菌を滴下して経過を観察し、蟬の羽に強い殺菌効果があることを確認した。

ナノ・マイクロ加工グループにおいては、無電解メッキ法によりCoWB膜を形成し、これがCuの拡散に対して高いバリア性を有することを確かめた。また、Ni鋳型を用いたナノインプリント法により、ダイヤモンド表面へ微細な溝形状を形成することに成功し、加工時の型温度と溝深さの関係について詳細に評価した。

医療応用グループでは、スキンコンダクタンス法を用いて痛みを客観的に評価する手法を開発した。また、光学的脈波信号を利用したアルコールセンサについて、新しい信号処理手法の導入により検知率を向上させることに成功した。同様に、金ナノ粒子を用いたバイオセンサにおいて、グルコース濃度検出精度を向上させることにも成功した。

3次元ナノ・マイクロ加工のバイオ・医療デバイス以外への応用研究についても進展が見られた。一例として、3次元光造形装置を利用して作製した極微小光モータを動作させることに成功した。その他、3次元加工技術を利用した高効率な環境発電デバイスの開発も継続して実施している。

上記したプロジェクトの成果について、次章より各担当者が具体的に記述する。

*1 システム理工学部教授 工学博士

2. フェムト秒レーザー加工法、ナノインプリント法を用いたPLA製微細針の作製と評価

青柳誠司、鈴木昌人*2

2.1. 緒言

筆者らは、低侵襲性の無痛針を実現するために蚊の口針を模倣したマイクロニードルを開発してきた。図1に蚊の口針の走査電子顕微鏡 (SEM) 像と模式図をそれぞれ示す。前年度までに超精密3次元光造形装置 (“Photo professional GT”, Nanoscribe GmbH, Germany, 作製分解能 0.2 μm) を用いた樹脂製針の作製⁸⁾、および精密フェムト秒レーザー加工装置 (“IFRIT RevD”, サイバーレーザー社製, 最小レーザー径 10 μm) を用いたステンレス製針⁹⁾の作製に成功している。これらの針は蚊の口針形状を忠実に模倣しており、穿刺時の侵襲性を低く抑えることが可能であるが、加工に時間がかかるために量産性の観点から改善が必要であった。

そこで、本年度は量産性の高い針の作製法の開発として、a) シート延伸法とレーザー加工を組み合わせたポリ乳酸 (PLA) 製針の作製、および b) ナノインプリント法を用いた針の転写複製法の開発を実施した。

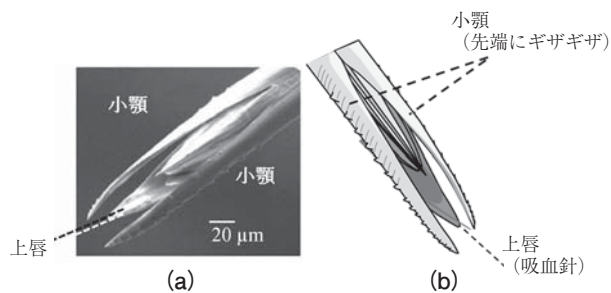


図1. 蚊の口針のSEM像(a), 模式図(b)

2.2. シート延伸法を援用したPLA製微細針の作製と評価

(1) 作製方法および結果

延伸により強化されている厚さ 50 μm のPLAシートをレーザー加工することで微細針を作製した。PLAシートのヤング率を引張試験により測定した結果、延伸方向、延伸垂直方向にそれぞれ 0.84 GPa、0.32 GPaであった²⁾。レーザー加工の条件は出力 2 mW、波長 390 nmとした。また、レーザー光を絞るためのレンズの倍率は5倍とした。微細針の作製手順および作製された微細針の走査電子顕微鏡 (SEM) 像を図2に示す。この微細針は長さ 1.2 mm、幅 70 μm 、厚さ 50 μm で設計されている。また、先端付近には蚊の子顎に見られる形状を模倣した長さ 20 μm 、高さ 7 μm の鋸歯状の凹凸を付与した。シートの延伸方向が針の長手方向になるように切断加工を実施した。さらに、切り出した針を長手方向を回転軸として 90°回転

*2 システム理工学部准教授 博士 (工学)

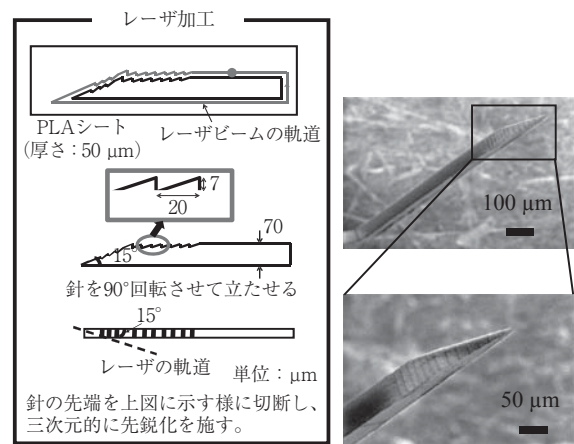


図2. 延伸したPLAシートを原料としてレーザー加工法を用いて作製した微細針の作製工程(左)およびSEM像(右)

させ、その先端を 15°の角度で再度切断加工した。これにより、針を三次元的に先鋭化することに成功した。

(2) 穿刺試験結果

作製した微細針を2本組み合わせて人工皮膚へ穿刺し、その際の穿刺抵抗力を測定した。試験系の概略を図3に示す。本試験系では、一軸マニピュレータと圧電アクチュエータを組み合わせることで2本針を交互に前進・後退させる。この動作は蚊の口針の穿刺動作を模倣したものである。交互運動の振動数は 5 Hz、振幅は 0.1 mm、振動成分を除く前進・後退速度は 0.1 mm/s、前進・後退距離は 1 mmとした。人工皮膚には Poly-dimethylsiloxane (略称: PDMS、ヤング率: 0.2 MPa) を使用した。また、振動の有無が穿刺に影響を与えるかを検証するため、比較対象として2本の針を同時に前進・後退させた場合の穿刺抵抗力も測定した。

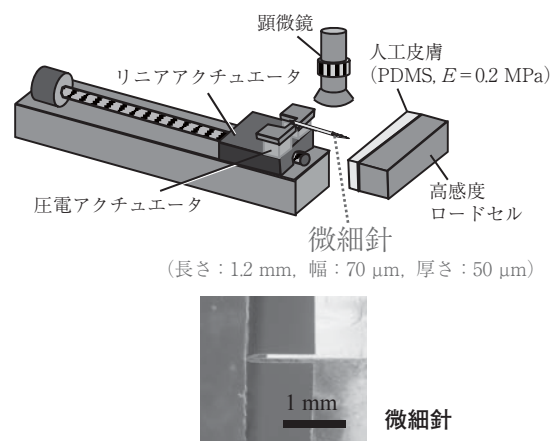
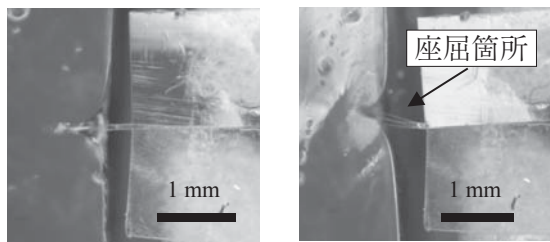


図3. 穿刺試験系の概略図および微細針の写真

図4に実験の様子とその結果を示す。2本の針を同時に前進させたところ、針が座屈してしまい人工皮膚に穿刺することができなかった。一方、2本の針を交互に前進・後退させた場合は人工皮膚に穿刺することに成功した。図5に針を交互に前進・後退させた場合の穿刺抵抗



(a)交互に前進させた場合 (b)同時に前進させた場合

図4. 穿刺試験結果

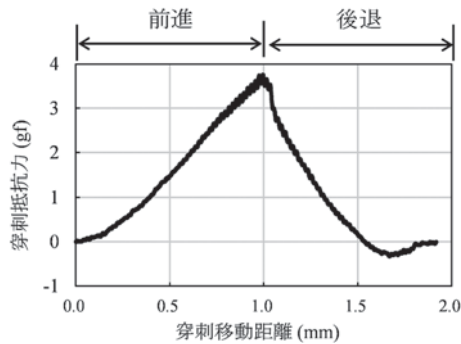


図5. 微細針をPDMSに穿刺したときの穿刺距離と穿刺抵抗力の関係(2本のPLA製微細針を交互に前進・後退させた場合)

力を示す。この抵抗力は、従来研究においてステンレス箔を材料として作製した微細針(形状はほぼ同一)と同程度である。この結果より、形状が同一であり、かつ座屈せずに皮膚に穿刺可能な強度があれば、針の穿刺抵抗力は材料に依存しないことが示唆される。

PLAはステンレス鋼と比較して安価であり、レーザ加工も容易であるため加工時間も短縮可能である。したがって、PLA製の微細針は量産性の観点からステンレス鋼製の針より優れているといえる。

2.3. ナノインプリント法を援用した樹脂製針の複製法の開発

(1) 装置原理、モールドおよび加工対象物の詳細

本プロジェクトで整備したナノインプリント装置(“NANO-IMPRINTER NM-0901HB”, 明昌機工社製)およびこれを用いたインプリント工程の概要を紹介する。本装置の概略を図6に示す。上下のホットプレートにモールド(鋳型)と原料である熱可塑性樹脂をそれぞれセットする。その後プレス軸が上昇し、モールドが樹脂へ押し付けられる。また、加工時に試料周辺を減圧することが可能である。

装置内のホットプレート周辺の拡大図を図7に示す。本節諸言で説明した超精密3次元光造形装置により樹脂製の母型(微細針形状)を作製し、さらにそれを電鍍法によりニッケル(Ni)に転写することでモールドを作製した。図8に樹脂製の母型とNi製モールドのSEM像を示す。

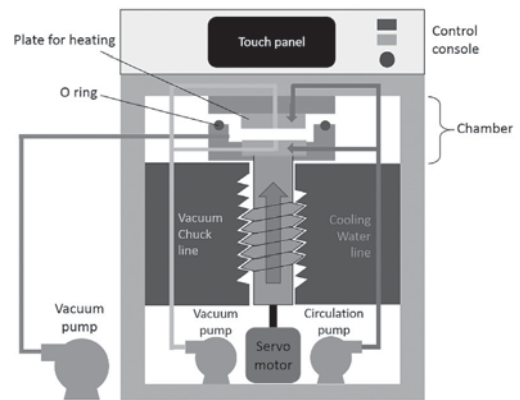


図6. ナノインプリント装置の概略図

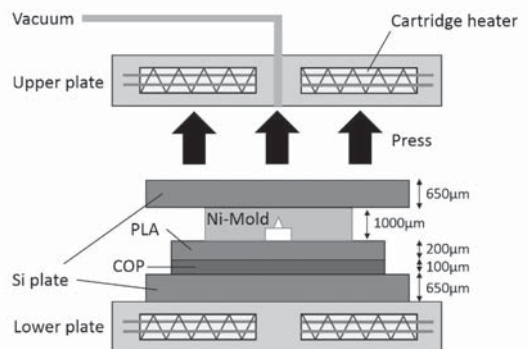


図7. ナノインプリント装置の加工部(ホットプレート周辺)の概略図

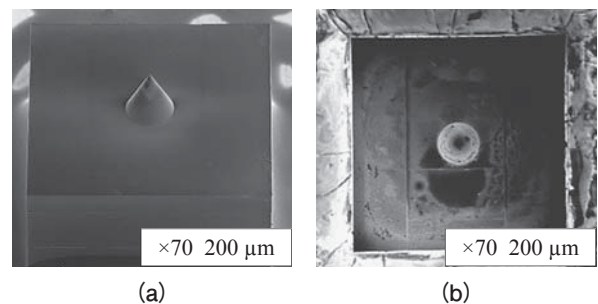


図8. (a)微細針の母型(光効果樹脂製) (b)モールド(Ni製)のSEM像

加工対象物として生体適合性材料である厚み200 μmのポリ乳酸(PLA)フィルム(型番:SC209-200, 三菱ケミカル社製)を用いた。それらに加えて、平坦性を保持するためのシリコン(Si)板、加工対象物の厚さを調整するためのシクロオレフィンポリマー(COP)シート(型番:ZF14-100, 日本ゼオン社製)を追加した。PLAおよびCOPのガラス転位温度はそれぞれ60℃、136℃である。

(2) ナノインプリント条件の最適化

本試験に先立ち予備試験を実施し、最適なナノインプリント条件を見出した。その結果、熱ナノインプリント加工においては押付力、雰囲気圧、加工温度が作製結果に大きな影響を与えることが判明した。押付力は上限である20 MPaに設定した場合に最も良好な結果が得られ

た。雰囲気圧については、大気圧と減圧（約 9.0 Pa）で実験を行った。大気圧下でインプリントを実施した場合、転写物の表面に気泡跡が観察された。一方、減圧下でインプリントを実施した場合には気泡跡は観察されなかった。加工温度については 154 °C 前後が適温であった。

(3) 成形結果および考察

先述の最適条件下でナノインプリントを実施した結果として得られたPLA製の微細針のSEM像を図9 (a)に示す。また、最適化されていない条件下でナノインプリントを実施した場合に得られるPLA針の一例を図9 (b)示す。図に示すように、条件が最適化されていない場合はPLA針の表面にバリが多数見受けられる。一方、最適条件下で成形したPLA針の場合、表面は平滑であり、バリも観察されなかった。ただし、現状では離型性が良好ではないという課題がある。このため、現在はインプリント後に装置内で自動で離型することが出来ず、加工後に手動で離型している。我々は「①インプリントによる形状転写→②鋳型の移動」という2工程を繰り返すことで、1つの鋳型から複数のPLA針を作製することを目標としている。このような手法はステップアンドリピート法と呼ばれ、高い生産性を実現させるため必要な技術である。上述の離形不良はステップアンドリピート実施の妨げとなるので、この課題の解決が望まれる。

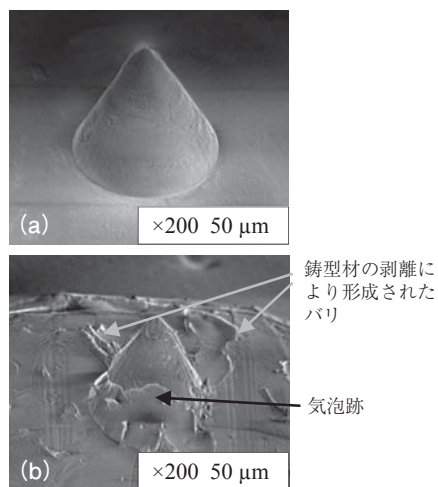


図9. ナノインプリント法により作製したPLA製微細針のSEM像
(a)加工条件の最適化後、(b)最適化前

2.4. 結言

延伸加工したPLAシートを原料としてレーザ加工により蚊を模倣した微細針を作製した。また、その針を蚊の口針の穿刺動作を模倣して交互に前進させた結果、座屈せずに人工皮膚に穿刺することに成功した。PLAはステンレス鋼より加工が容易であるため、PLAを用いることで微細針の量産性の向上可能であると期待される。

今後は、作製した針について3次元に先鋭化した先端

の効果や、針側面に付与した鋸歯状突起の効果について評価していく予定である。

また、ナノインプリント法を援用して母型形状をPLAシート状に転写することで微細針を作製した。加工条件の最適化の結果、良好な形状のPLA針を作製することに成功した。今後はインプリント後の離形不良の改善に取り組む予定である。

3. 蚊の穿刺動作が皮膚表面および血管に与える影響の評価手法の開発

青柳誠司、福永健治*3、歌大介*4

3.1. 緒言

蚊は、吸血対象である動物の皮膚をほとんど歪ませることなく口針を穿刺、血液を吸引することが可能である。蚊は口針を単純に前進させるだけではなく、複数の針を交互に前進させる、口針全体を往復回転させる等の複雑な動作を加えている。我々は、これらの動作に蚊の座屈を防止する効果があると推測しているが、詳細は不明であった。

そこで、蚊の口針の穿刺動作の力学的な効果を評価するための新たな手法を開発した。本手法においては、表面に格子上のパターンを付与した人工皮膚を作製して、蚊に穿刺させる。人工皮膚に加えられた力に応じて格子が歪むので、これを観察・評価する。さらに、この格子のひずみをコンピュータにより解析することで、人工皮膚に加えられた応力を定量的に評価することも可能である。

上記の手法は、蚊の口針が皮膚表面に加えた応力を評価するには適しているが、皮膚内部に加えられた応力を解析するには適していない。このため、皮膚内部、特に血管に加えられる応力の評価には実際に蚊の動物に対する吸血動作を解析する必要がある。しかし、動物を対象とした実験は倫理的観点から回数を抑制することが望ましいため、簡易に蚊の吸血動作を観察する手法が求められていた。

そこで、我々は鶏の有精卵を用いた新たな評価手法を開発した。有精卵は成長の初期段階では循環器（心臓と血液）が他の器官より先に成長するので、この時点で成長を停止させて蚊の吸血対象とする。特に、卵白部に発現した血管は周囲が透明であるため、蚊の口針の穿刺行動が血管に与える影響を評価するための対象として理想的である。

本節では上述した1) 格子模様のひずみ解析による蚊の穿刺動作により人工皮膚表面に加えられる応力評価、2) 鶏の有精卵を用いた蚊の穿刺動作が血管に与える影

*3 化学生命工学部教授 水産学博士

*4 富山大学薬学部助教 博士 (医学)

響評価の2点について実験の詳細および結果を報告する。

3.2. 格子模様を付与した人工皮膚を用いた蚊の穿刺動作観察

(1) 格子模様を付与した人工皮膚の作製

表面に格子模様を付与した人工皮膚の作製工程を図10に示す。まず、3次元光造形装置(“Link-Box”, スリーエス社製, XY軸分解能:50 μm, Z軸分解能25 μm)を用いて樹脂製の鋳型を作製する。格子幅は50 μm、ピッチは250 μmとした。次に鋳型の形状を寒天(主成分:アガロース、ヤング率約2 kPa)に転写し、さらに格子の溝に着色した寒天を充填・硬化させる。作製した人工皮膚の顕微鏡像を図11に示す。実際に作製された人工皮膚上においては、格子幅が設計値より太くなった(70 μm~100 μm)。これは、光干渉の影響によるものと考察される。

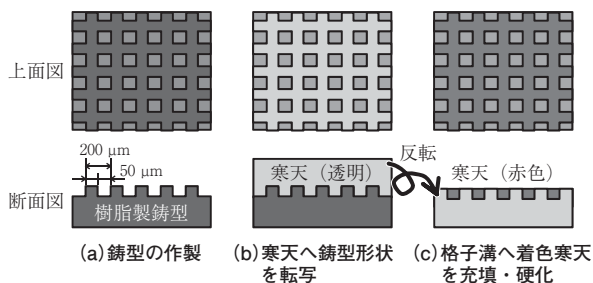


図10. 表面に格子模様を付与した人工皮膚の作製工程

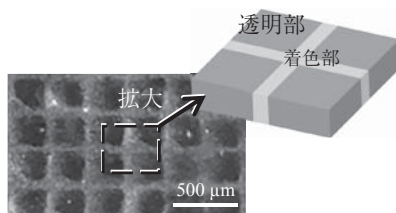


図11. 表面に格子模様を付与した人工皮膚の作製結果

(2) 蚊の穿刺動作の観察結果

穿刺試験系を図12に示す。倒立顕微鏡上にガラス板に載せた人工皮膚を設置し、その上に蚊をテープで固定する。本試験系では蚊が穿刺する様子を人工皮膚の裏側から観察する。また、比較のために市販の注射針(テルモ社製,直径:0.4 mm)を穿刺し、その様子も観察した。

蚊の穿刺動作の観察結果を図13に示す。蚊の口針は下唇と呼ばれる鞘状の器官に包まれている。観察の結果、

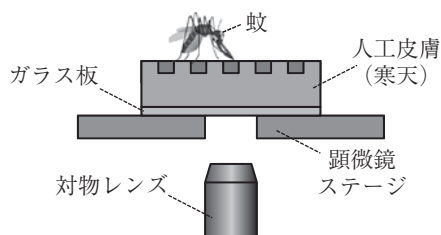


図12. 蚊の穿刺試験系

蚊は穿刺時にこの下唇をねじるような動作(往復回転運動)を行うことが分かった(図13(a)参照)。また、下唇の先端には2つの楕円球形の突起が存在するが、この突起を交互に突き出すような動作を行うことも分かった(図13(b)参照)。これらの動作は、皮膚に張力を与えて皮膚表面の変形を抑制することで口針の穿刺を容易にすることが目的であると考察される。

蚊の穿刺動作において、人工皮膚上の格子はほとんど歪まなかった。一方、市販の注射針を穿刺した場合には格子が大きく歪む様子が観察された。これらの観察結果を図14に示す。この結果より、蚊の口針の穿刺時に皮膚へ加えられる応力は非常に小さいと判断される。

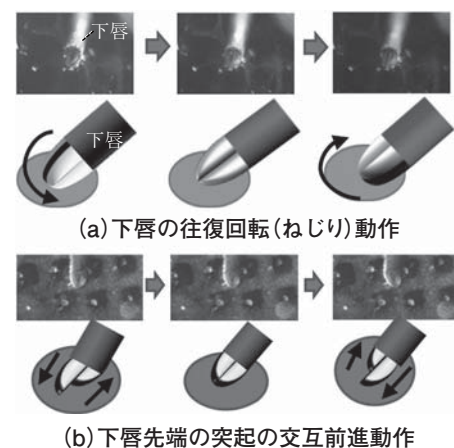
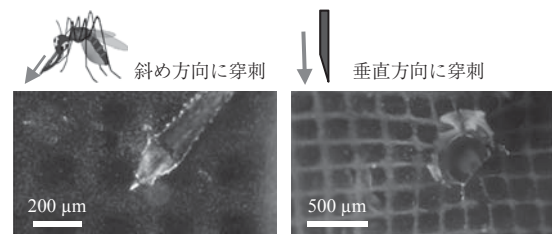


図13. 蚊の穿刺動作における下唇の動き



(a) 蚊の口針の穿刺 (b) 市販針の穿刺

図14. 蚊の口針と市販針を穿刺したときの人工皮膚表面の格子歪の観察結果

3.2. 格子模様付工皮膚を用いた微細針穿刺時の応力分布の定量評価

(1) 評価方法

先述の通り、格子模様を付与した人工皮膚を用いることで針穿刺時の応力分布を評価することが可能である。ただし、ただ観察しただけでは応力分布の定量評価ができない。そこで、コンピュータを用いた画像解析により応力分布の定量評価を実施した。使用した人工皮膚の詳細を図15に示す。より小さな応力を検出するため、図11に示した人工皮膚より格子を細かくした(幅:20 μm、ピッチ:50 μm)。これに伴い、鋳型をマイクロマシニング技術を援用して作製したSi製の物に変更している。実験系については、図12に示すものと同一のものを用いた。

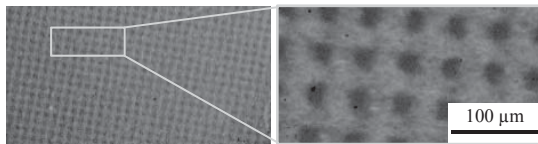


図15. 作製した格子付き人工皮膚の光学顕微鏡像

(2) 実験結果および解析結果

前述のように、蚊の穿刺による人工皮膚の歪は殆ど観察されない。そこで、蚊の脚周辺の人工皮膚の歪を観察した。結果、図16(a)に示すように格子が変形する様子が観察された。この画像から各格子の交差点の変位を解析した結果を図16(b)に示す。

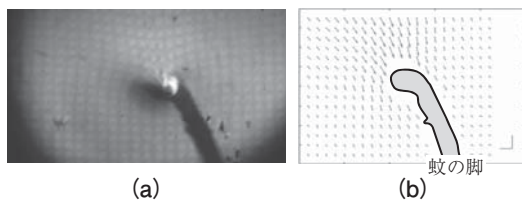


図16. (a) 蚊の脚周辺における格子の歪
(b) 画像解析により得られた変位ベクトル

次に、有限要素法解析を実施し、針の穿刺時に人工皮膚に加えられる応力の3次元分布と皮膚表面に現れる歪の2次元分布の関係を評価した。本解析にはソルバとして、市販の解析ソフトウェアCOMSOL Multiphysics Ver. 5.3aを用いた。人工皮膚のヤング率は2 kPa、加重の大きさは1 μN とした。解析結果を図17に示す。

最後に、図16(b)と図17に示す解析結果を統合し、蚊の脚の接触地点における3次元の応力分布を推定した。結果を図18に示す。蚊の脚の踏ん張る力は約0.6 mNであると推測される。

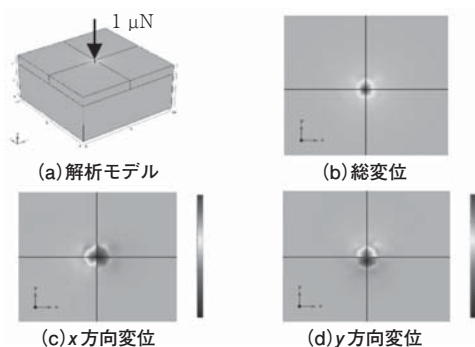


図17. 人工皮膚に垂直加重を印加した場合の変位分布 (有限要素法解析結果)

また、本手法によって検出可能な力の下限は10 μN であることが分かった。蚊の穿刺時でも口針周辺の人工皮膚に歪が観察されないことから、蚊の穿刺により発生する応力は10 μN 未満であることが示唆される。

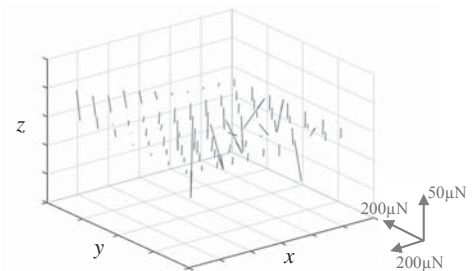


図18. 蚊の脚との接触により印加された応力の3次元分布

3. 3. 有精卵の血管と高速度カメラを用いた蚊の吸血メカニズムの解明

(1) 有精卵の抱卵

蚊がどのように口針を血管に穿刺しているかを詳細に観察する目的で、有精卵内に血管が発生するまで抱卵を行った。その手順を以下に示す。

1) 有精卵を温度39 $^{\circ}\text{C}$ 、湿度70%に設定した恒温器中に5日間設置する。転卵はあえて行わない。2) 卵殻外側をアルコール滅菌した後、医療用メスを用いて卵殻下部を切除する。3) 卵殻切除により形成された穴からスポイトを使用して卵白部の水分を除去する。4) 卵殻を切除した部分をポリエチレンフィルムで覆い、フィルムと卵殻を接着剤で固定する。5) 卵殻上部を切除する。

(2) 蚊の穿刺・吸血行動の観察方法

抱卵後の有精卵を用いて蚊の穿刺・吸血行動を観察した。観察系の詳細を図19に示す。観察には高速度カメラ(Photoron社製、型番:SA6、最高撮影速度:2,000 fps)を用いた。また、観察対象である有精卵を横に配置することができないため、カメラを卵上部に設置した。光源として、卵の上に赤外線ランプ、下にハロゲンランプを設置し、それらから光を照射した。

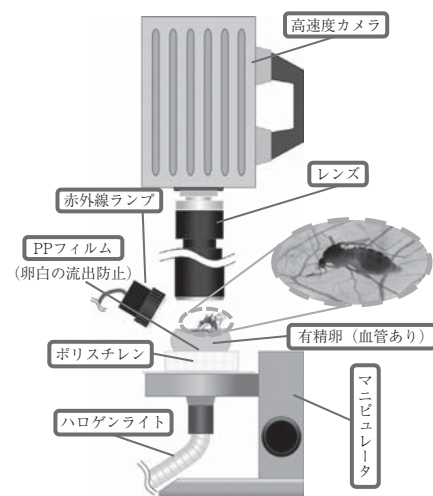


図19. 有精卵を用いた蚊の穿刺・吸血動作の観察系

(3) 観察結果および考察

実験の結果、蚊が有精卵の血管に対し穿刺・吸血行動を行っている様子を観察することに成功した。その様子を図20に示す。

蚊の口針は複数の器官で構成されるが、血管付近まで到達するのは一对の小顎および上一本の上唇である。上唇は中空状になっており、吸血能力を有する。これら3本の口針は協調運動しながら前進し、血管に到達する。さらに、交差させた小顎を何度も血管壁の一点にぶつけた後、上唇先端を血管内に挿入する。このとき、血管はほとんど歪まない。即ち、蚊は小顎を小刻みに血管にぶつけて血管壁を穿孔することで血管の歪を抑制しているものと考察される。

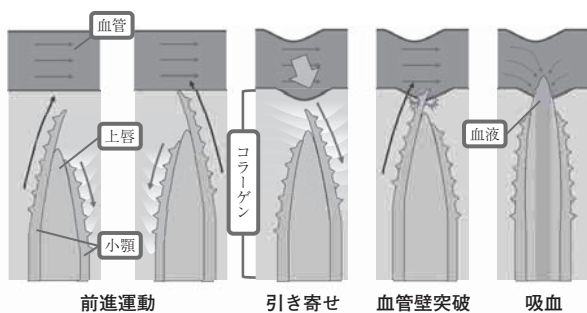


図20. 血管付近における蚊の口針(上唇・小顎)の穿刺・吸血動作

蚊は上唇を血管に挿入した後に吸血を開始するが、吸引のみを行うのではなく、吸引と吐出を交互に行う様子が観察された。この動作により吸引口の詰まりを回避しているものと考察される。

さらに、穿刺時は全ての口針が密着しているが、吸血時には小顎を後退させて吸引口を広く開ける様子が観察された。この様子の模式図を図21に示す。穿刺時は口針を一体化させることで強度を上げる方が有利であるが、吸血時にはお互いの口針が吸血の邪魔になるため、状況に応じて最適な配置を取っているものと考察される。

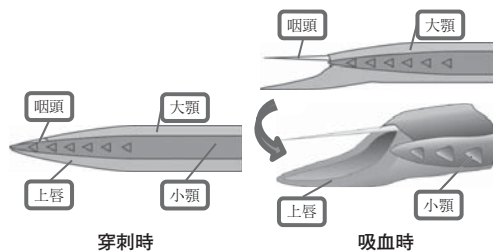


図21. 穿刺時と吸血時の口針の配置

3.4. 結言

蚊の口針の穿刺動作を観察し、そのメカニズムについて解析した。まず、表面に格子模様を付与した人工皮膚を作製し、格子の歪から蚊の口針穿刺時の応力分布を評価することを試みた。しかし、蚊の穿刺時でも格子の歪

みは観察されなかった。この結果より、蚊の口針穿刺時に皮膚に印加される応力は極めて小さいことが分かった。その力は10 μ N未満であると推測される。

血管を発現させた鶏の有精卵を用いることで、蚊の口針が血管を穿刺し、吸血する様子を鮮明に観察することに成功した。その結果、蚊は複数ある口針を強調動作させることで、血管を歪ませることなく吸血することが可能であることが確認された。

上記の観察・評価結果は、低侵襲性の微細針の開発において極めて有用な知見であるといえる。今後は、我々が作製した微細針を蚊の穿刺動作を模倣した動作で穿刺し、実際に穿刺抵抗力が低減するかどうかを確認していく予定である。将来的には、痛みの定量評価と穿刺抵抗力の評価を同時に実施することで、開発した微細針が本当に痛みを抑制可能であるかどうかの検証も行っていくたい。

4. タコの吸盤にある微小構造が真空吸着グリッパの吸着力に与える影響

高橋智一*5

4.1. はじめに

タコは柔軟な筋肉で構成された腕と吸盤を有するので多様な形状や大きさの物体を把持できる。タコは吸盤にある筋肉で吸盤内部に負圧を生成する。負圧を生成するには吸盤が物体に密着しなければならない。タコの吸盤は密着を容易にする微小な突起や溝をもつ。この微小な構造は吸盤の密着性や吸着力に影響していると考えられる。本研究では微小な突起を加えたタコを模倣した真空吸着グリッパの吸着性能を評価した。

4.2. 微小構造の観察

マダコの吸盤の観察により突起と溝の寸法を測定した。突起は吸盤を乾燥させ、走査型電子顕微鏡で観察した。微小突起は、図22右のように角の丸い凹形状であった。微小突起の配置は三角配置である。吸盤の10か所を観察した。吸盤の直径と隣接中心間距離の平均はそれぞれ2.8 μ m、3.5 μ mであった。吸盤側面の溝を3次元レーザ顕微鏡で測定した結果を図23に示す。溝の断面形状

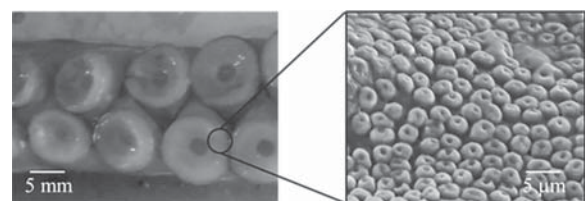


図22. タコの吸盤と吸盤にある微小突起の写真

*5 システム理工学部准教授 博士(工学)

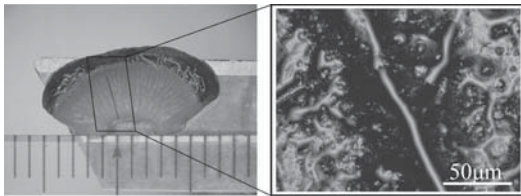


図23. タコの漏斗部にある溝の写真

は上底が下底より長い台形であった。上底と下底の長さはそれぞれ 300 μm、30 μm 程度であった。

4.3. 微小構造をもつ真空吸着グリッパの作製

微小突起のみをもつ真空吸着グリッパを作製した。作製の簡便さから、突起は凹形状ではなく円筒形状とした。円筒突起の直径、ピッチ、高さはそれぞれ 2 μm、4 μm、1 μm である。グリッパの吸着部の材料はシリコーンゴムである。突起をもつシリコーンゴムを作製するため微細加工したシリコン型を用いた。作製したシリコーンゴム突起を走査型顕微鏡で観察した像を図 24 に示す。

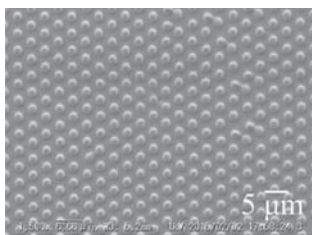


図24. 作製した真空吸着グリッパにある突起構造の写真

4.4. 微小構造をもつ真空吸着グリッパの吸着力

作製したグリッパの吸着性能は、物体を把持する成功率で評価した。物体の重量がグリッパの吸着力を超えれば成功率は低下する。図 25 に物体の重量と把持成功率の関係を示す。突起があると把持できる物体の重量が増えた。これは、突起があると吸着面積の減少を抑制できるためである。真空吸着グリッパは吸着すると、グリッパ内外の圧力差でグリッパが収縮する。微小突起がないと吸着面も収縮する。しかし、微小突起が吸着面にあると摩擦力が増大するので吸着面の収縮は減少する。図 26 に吸着時の吸盤形状を示す。突起があると吸着面が円形を維持している。これは突起による摩擦力向上の効果と考えられる。

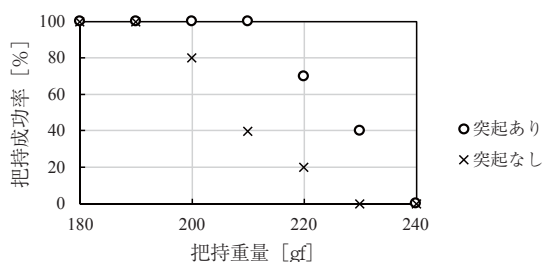
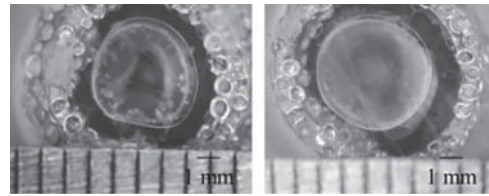


図25. 作製した真空吸着グリッパにある突起構造の写真



(a)突起なし (b)突起あり

図26. 吸着時の吸盤形状の写真

4.5. おわりに

タコにある微細突起を模倣するとグリッパの吸着力が向上した。微小突起があるとグリッパと物体の間の摩擦力が増大する。これにより吸着面積の減少を抑制できた。したがって、微小突起は物体搬送においても有効である。物体を水平に搬送する際、物体は慣性力を吸着力と垂直の向きに受ける。この慣性力でグリッパが物体表面を滑ると予想される。しかし、微小突起があれば摩擦力が増大するので慣性力による物体の滑りを抑制できると考えられる。

5. セミの翅が持つナノ構造による抗菌効果のリアルタイム観察

伊藤健*6

5.1. はじめに

マイクロ・ナノ構造の視点で生物を見てみると、昆虫を代表として様々な優れた機能を持っていることが明らかにされてきた。セミやトンボなどの昆虫の翅には無数のナノメートルオーダーの寸法を持つ柱（ピラー）構造が存在している。これらの構造は、自己組織化により形成された特有な構造である。ナノピラー構造は、ロータス効果による撥水性を示すほか、光に対する無反射構造としても知られている。さらに近年、この構造が持つ物理的な特性が殺菌作用を示すことが報告された¹⁰⁾。殺菌のメカニズムは、ナノ構造により細菌の細胞膜が引き裂かれることであると推測されている。特に、細胞膜の薄いグラム陰性菌に効果があると言われているが、そのメカニズムは解明されていない。現在、一般的に使われている抗菌剤は化学的作用によるものである。抗菌作用を示す Ag イオンなどの素材は殺菌性の持続性に課題があった。しかし、セミの翅が持つ抗菌作用はナノ表面構造によるものなので持続性があり、さらに最大で 45 万個/cm²min という高い殺菌力を持つと報告されている¹¹⁾。そのため、セミの翅にあるナノ構造は、新しい抗菌材料として注目を集めている。しかし、従来の抗菌に関する実験では細胞外膜の損傷を評価する試薬 (PI/Syto9) を用いているため、真に細胞が死に至っていることを証明していない。本研究では、代表的なグラム陰性菌である

*6 システム理工学部准教授 博士 (工学)

大腸菌に対して抗菌評価を行った。大腸菌は、多種の遺伝子組み換え体（ミュータント）作製技術が確立しており、様々な性能を持つ菌を大量に培養できるという優位性がある。本研究では、蛍光タンパク質を生成する大腸菌を用いることで細胞膜が破壊され、蛍光物質が放出される時間経過について研究を行った。

5.2. 評価法

試験サンプルとして用いたセミの翅は、クマゼミ（学名：Cryptotympana facialis）であり、学内で採取した。翅は、エタノールで滅菌してから実験に用いた。また、蛍光タンパク質（mCherry）を生成できるように遺伝子を組み換えた大腸菌を用いて実験を行った。セミの翅をスライドガラスに固定化した後、細胞内に蛍光タンパク質を生成させた大腸菌を含む菌液をセミの翅上に滴下した。その後、カバーガラスを被せることで菌液をセミの翅全体に広げた。位相差顕微鏡と蛍光顕微鏡を用いた同一視野の観察を行った。この時、重力の影響を避けるため、サンプルの観察は上下をひっくり返して行った。

5.3. 結果と考察

大腸菌のナノ構造への付着数の変化、大腸菌の蛍光強度の変化を5分毎に計60分間観察した。図27に示すように、位相差像と蛍光像により同一の大腸菌の観察したところ、複数の細胞において蛍光像の消失が観測された。この結果は、セミの翅に付着した大腸菌の細胞膜がナノ構造により破壊され、細胞膜内の蛍光タンパク質が流れ出たためと考えられる。蛍光の消失は最短で5分以内に起こっているため、細胞膜の破壊は5分以内に起こると考えられる。また、位相差像から大腸菌の付着数が時間経過とともに増加していることがわかった（図28）。一方で、コントロールのガラス表面の観測では細胞数の増加は見られなかった。セミの翅上で観測された付着数の増加は、細胞膜の破壊により栄養分である細胞内液がセミの翅の表面付近に放出され、その内液に大腸菌が集合したためであると考えられる。

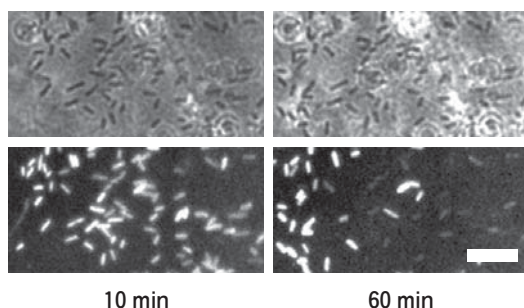


図27. 観察開始から10分後(左)、60分後(右)の位相差顕微鏡像(上図)並びに蛍光顕微鏡像(下図)
(スケールバー：10 μm)

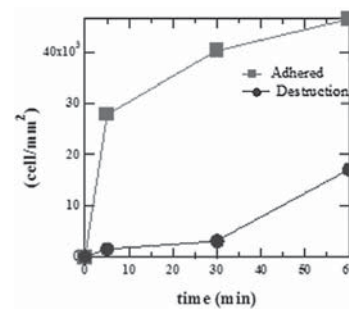


図28. セミの翅への大腸菌付着数と蛍光消失した菌数の時間依存性

5.4. 今後の展望

本研究により大腸菌内液に含まれる蛍光タンパク質の放出がリアルタイムに観察された。また、付着から5分以内にこの挙動が観察されることから、殺菌作用が非常に早く行われていることが分かった。今後は、1細胞ごとの殺菌速度の把握をすることで抗菌メカニズムの解明を行いたい。

6. 無電解めっき法によるSi貫通電極（TSV）バリア膜の形成および評価

新宮原正三*7

6.1. 無電解めっき法によるバリア膜形成

3次元実装技術においては、TSVの微細化とともにアスペクト比が増大し、スパッタ法によるバリア層の形成が困難になっている。我々はPd触媒の付与工程にて、Pdナノ粒子をSAM膜上に吸着させ、その上に無電解めっきバリア膜を堆積し、さらに無電解Cu及び電解めっきCu埋め込みを行う、オールウェットTSV形成プロセスを提唱してきた。無電解めっき形成バリア膜に関しては、Cuの拡散バリア性と高密着性の両立が実用化において課題である。そこで今回は、CoWBなどの無電解バリア膜形成を行い、SIMS分析による拡散バリア性評価を行って、密着性と拡散バリア性の双方を満足する膜形成条件を探索した。

6.2. 無電解めっきバリア膜形成の組成評価

拡散バリア性評価においては、400℃熱処理前後での元素分布の変化などを評価した。基板上にTiN/Cu/無電解バリア膜/Si積層構造を形成し、400℃真空熱処理の前後で表面からのSIMS深さ分析を行い、熱処理によってSi中にCuの拡散が起きているかを調べた。図29にCoWB膜とCoB膜のSIMS分析結果を示す。CuのCo中へ拡散については、CoWB(微結晶)が最も拡散が少なく、CoB(アモルファス)ではかなり多く拡散が見られ、CuとCoの合金化が促進されており、CuはCo中に拡散し

*7 システム理工学部教授 理学博士

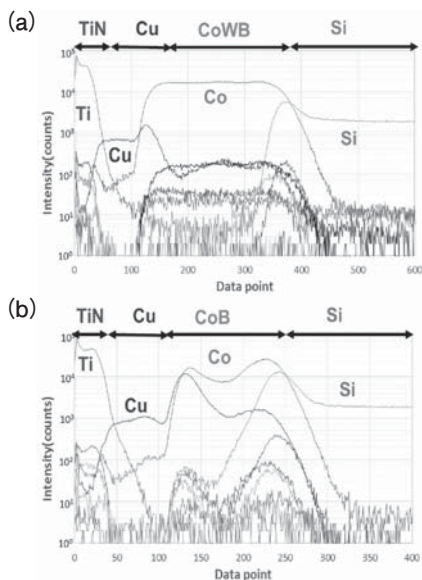


図29. (a) CoWB(微結晶)、(b) CoB(非結晶) 熱処理後のSIMS分析結果

ているといえる。CoのSi中への拡散は、CoWBではかなり抑制されており、CuのSi中への拡散も同様にかかなり抑制されていることが分かった。図30のEDS深さ分析では、CoとSiの界面の元素分布の傾きにおいて、下のCoWBの方が上のCoBよりも急であり、界面反応がCoWBの方が抑制されていることが明確にわかる。CoBの場合には、Co/Si界面付近で僅かにCuの小さなピークが認められるが、CoWBでは界面でのCuピークは存在せず、CuのSi中への拡散はほとんど抑制されている。以上より、CoWB (w20%) はCuの拡散バリア膜として極めて良好な特性を持つことが示された。

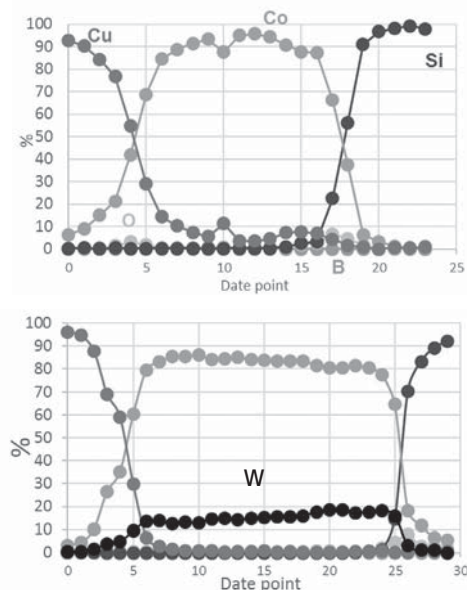


図30. Cu/CoB/Si(上)、Cu/CoWB/Si(下)の断面方向のTEM-EDSによる元素分布評価

7. ナノインプリント法による微細構造の創成

山口智実*8

7.1. 緒言

本研究は、ダイヤモンドが鉄・ニッケル等の金属と接触した際、ダイヤモンドの炭素が金属中へ拡散する現象を利用することにより、ダイヤモンド表面への微細パターン形成技術の開発を目的とする。2017年度は、純鉄との接触加熱による単結晶ダイヤモンド表面への溝パターン形成を試み、加工特性と加熱条件との関係について調べた。

7.2. 加工方法および実験方法

(1) 加工工程

純鉄によるダイヤモンド表面溝パターン加工工程を図31に示す。本研究では、ダイヤモンドと純鉄との熱化学反応、主に鉄中への拡散、酸化、黒鉛化を利用し、純鉄上に施したパターンをダイヤモンド表面へ転写する。

(2) 接触加熱実験

実験は、ダイヤモンドと純鉄を接触加熱することにより行った。ダイヤモンドは6 mm角、厚さ1 mmの人工合成ダイヤモンドIB型を使用した。純鉄は、10 mm角、厚さ5 mmの試料上に幅300 μm、500 μm、突き出し高さ300 μmの溝形状を作製したもの(図31(a))を使用した。また、ダイヤモンドと接触させる面はパフ研磨により鏡面仕上げを行った。ダイヤモンドと純鉄は図31(b)の概略図に示すように平板間に設置され、四隅をボルトで固定することにより接触させている。接触加熱による転写実験には、卓上真空ガス置換炉(株式会社アドバンテック東洋製 FUA112DC)を使用し、真空度8.3 Paで加熱を行った。実験条件は温度を700℃~1000℃の間で変化させ、加熱保持時間を4時間とした。

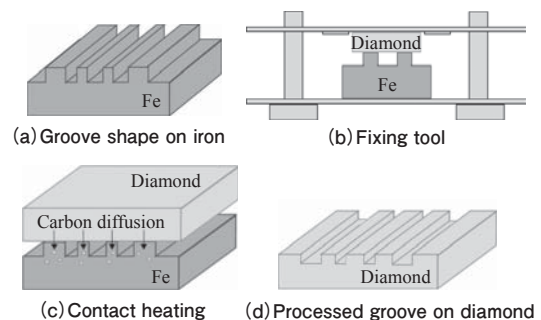


図31. 作製工程

7.3. 結果と考察

図32に加熱温度700℃、保持時間4時間で溝加工されたダイヤモンド表面を、図33に同条件下での接触加熱後ダイヤモンド表面の形状プロファイルを示す。測定

*8 システム理工学部教授 工学博士

箇所は図 32 中の枠線に示す、溝幅 300 μm の箇所を長辺方向に測定している。今回用いた加工方法では、鉄に作製した形状に合わせて加工が進行したことが確認された。また、加工深さは溝の長辺方向による違いは確認されなかった。これはどの温度でも同様の結果であり、溝の長辺方向には一様に加工が行われたことを示している。

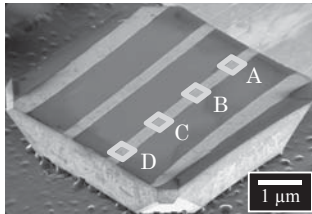


図32. ダイヤモンド基板上に形成した溝構造のSEM像 (加熱温度: 700 $^{\circ}\text{C}$)

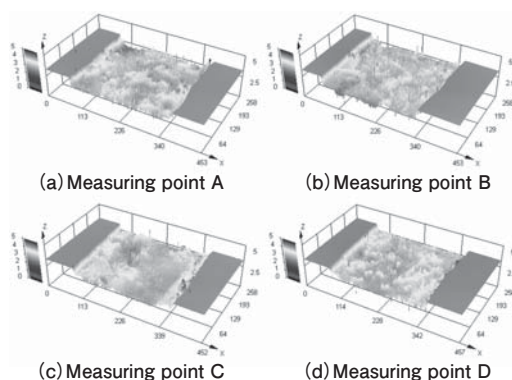


図33. ダイヤモンド基板上に形成した溝構造の表面プロファイル (加熱温度: 700 $^{\circ}\text{C}$)

さらに、加熱温度を変更させた場合の加工深さへの影響について調査した。測定は共焦点レーザー顕微鏡を用いて、各温度、溝毎に4か所測定を行っている。その結果を図 34 に示す。本実験方法では、ダイヤモンドの除去深さは 700 $^{\circ}\text{C}$ から 1,000 $^{\circ}\text{C}$ まで一定の割合で増加する傾向にある。このことから、加工温度を変更することによって深さ方向への制御が可能であるといえる。

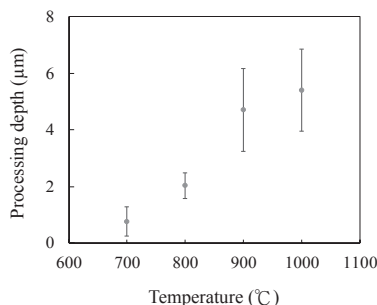


図34. ダイヤモンド基板上に形成した溝構造の加熱温度と加工深さの関係

7. 4. まとめ

真空中での純鉄との接触加熱により、単結晶ダイヤモンド表面に数 μm の深さの溝パターンを形成することができた。今後はより深い溝を形成できる条件を見出していく。

8. 生体センシングに向けた光学的手法の前進とMEMSの導入に向けて

大村泰久*⁹

8. 1. はじめに

Bioinformaticsとしてアルコール摂取検知センサの開発を続けてきた。非侵襲型のアルコール摂取検知法は、呼気中アルコール濃度の検知手法がすでに実用化されており¹²⁾、広く使われている。しかしこの方法を乗用車等に実装しても、外気の影響や社内空気の循環の影響など、飲酒運転防止等のために適用することには問題が多い。当研究では、このような課題を克服することを目的としてpulse oximetry¹³⁾の原理を応用発展させて、実用に供することができる手法の提案を検討してきた。

Pulse oximetryは光電脈波法 (photoplethysmography, PPG) と呼ばれ、特定の波長の光を皮下に導入し、その透過光又は反射光を受光器で受け止め、皮下での光吸収効果を電気信号 (PPG信号) を通じて獲得する手法である。2009年以降の検討により、PPG信号の周波数解析結果の活用方法について様々な提案を行ってきた。本稿では、大まかな歴史的経緯と最近の進展を紹介する。

8. 2. 光電脈波による飲酒検知アルゴリズムの進展

PPG信号のスペクトル解析例を図 35 に示す¹⁴⁾。Shimizuらの基本的検討¹⁴⁾に基づいて、Izawaらは飲酒時に特徴的なスペクトルの活用方法を見出し、特定SIRZ (Spectral Intensity Ratio Zone) のアルゴリズムを提案した¹⁵⁾。SIRZアルゴリズム (以後C-SIRZと呼ぶ) は統計的なデータに基づいて判断するアルゴリズムであるが、検知率は60%程度であった。この原因は飲酒後と運動後のPPG信号の特徴が類似しているため、区別が難しいことであった。

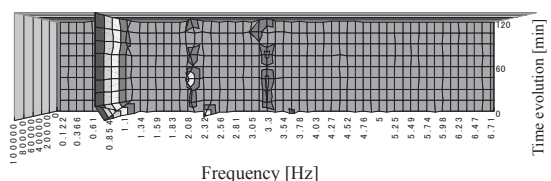
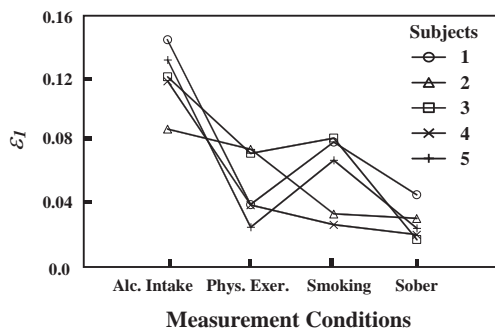


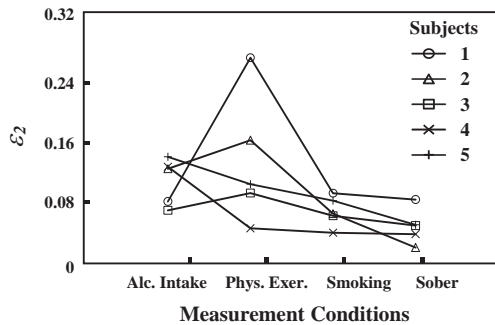
図35. PPG信号のスペクトル解析例¹⁴⁾

この課題を克服するため、Ozakiらは非線形信号モデルを使って飲酒後と運動後のPPG信号の持つ特徴を明らかにしようとした。図 36 は、非線形パラメータ (ε) の振る舞いをまとめたものである。この図から、飲酒後は二つある非線形パラメータの一つが増加する傾向が強いこと、運動後にはもう一つの非線形パラメータが大きくなる傾向が明確になり、非線形波動としてのPPG信号の解

*9 システム理工学部教授 工学博士



(a) 飲酒後に現れる特徴



(b) 運動後に現れる特徴

図36. 非線形パラメータの挙動¹⁷⁾

析方法に一石を投じた^{16,17)}。この手法の課題はパラメータ算出手順が複雑であることにあった。

Ozakiらは、より現実的に上記課題を克服するために、PPG源信号を微分したのちに自己相関関数を構成してスペクトル解析することを提案した。スペクトル解析後はC-SIRZとは異なるパラメータを定義してAF-SIRZアルゴリズムを提案した¹⁸⁾。C-SIRZアルゴリズムと結合することにより、検知率は70%台に改善された。

しかしながら、運動後のスペクトルとの区別が完全ではない問題点があったため、OzakiやHaradaらは信号相関をさらに調査し、リサージュ図形に現れる特徴に注目した。図37に特定の遅延を与えた後の信号相関図(リサージュ図形)を示す。

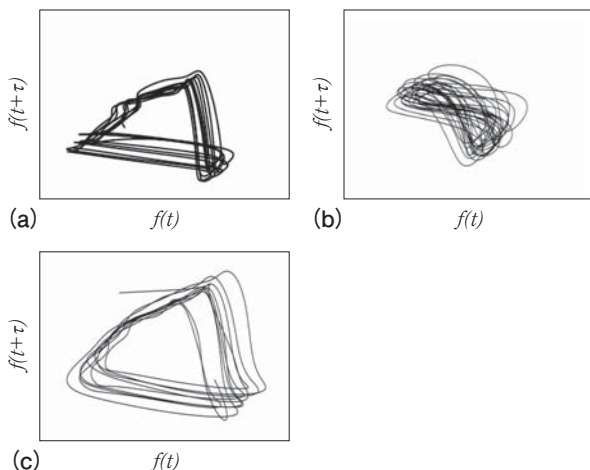


図37. 遅延0.2秒を設定して描いたPPG信号のリサージュ図形 (a) 平常時、(b) 運動後、(c) 飲酒後

図37(a)は飲酒後、37(b)は運動後、37(c)は平常時の結果である。この結果から、運動後のみ現れるリサージュ図形に特徴があることが明らかとなった¹⁹⁾。これはカオス解析手法に基づく信号処理に相当しており、運動後の特徴を数学的に特定することにつながる。この手法をC-SIRZ、AF-SIRZに加えることによって検知率を80%~90%に高めることができる。この手法の流れを‘OHIO algorithm’と呼んでいる¹⁹⁾。基本データを積み重ねていくことによって実用的なアルゴリズムに仕上げることができると考えている。

8.4. まとめ

本稿では、非侵襲型の生体信号処理として、光電脈波信号処理を応用した飲酒検知センサとそのアルゴリズムの進展を紹介した。

9. 金属ナノクラスターのバイオメディカル材料への応用

稲田貢*¹⁰⁾

9.1. はじめに

金属や半導体を、直径が数ナノメートル程度のナノ粒子にすると、その電気的、光学的、磁気的特性が大きく変化することが知られている。例えばSiは間接遷移半導体であり、通常は発光しない材料であるが、粒径が4 nm程度以下のSiナノ粒子は室温で赤色や青色に発光する。金属ナノ粒子では、さらにドラスティックな変化が見られる。通常、金属はよく光を反射する材料として知られているが、粒径が数百nm程度のナノ粒子は光を吸収するようになる。これは、光の電場振動と金属ナノ粒子表面の自由電子の振動が共鳴するため「プラズモン共鳴」と呼ばれる。ステンドグラスの鮮やかな赤色は、まさに金(Au)ナノ粒子の表面プラズモン共鳴によるものである。また、この領域の大きさを持つ幾つかの金属ナノ粒子については、ナノ粒子単体では自発磁化をもつ強磁性的性質を有することが報告されている(ナノ粒子集合体では超常磁性)。これらの金属ナノ粒子のサイズをさらに小さく(2 nm程度以下)していき、原子数個から数十個程度からなる粒子をナノクラスターと呼ぶ。ナノクラスターは構成原子数が少ないため、「金属ナノクラスター」といっても、もはや自由電子と呼べるほどの電子は存在せず、その電子構造は分子的(または半導体的)といってよい。事実、金や銀のナノクラスターからは強い可視発光が見られる。加えて、電子数個の特性がナノクラスターの磁気特性を決定する可能性が指摘できる。このことは、電子がフェルミ粒子であるという本質をつく研究であるため、ナノクラスターの物性研究

*10 システム理工学部教授 博士(材料科学)

が応用上有用なだけでなく、基礎研究の舞台としても大変興味深いことを意味している。

このようなナノ粒子、ナノクラスターの光学的・磁気的特性の起源は、主にサイズ効果と表面効果に分けられる。ナノクラスターの発光の発光エネルギーは粒径に依存し（量子サイズ効果）、表面プラズモン共鳴の共鳴周波数もまた、ナノ粒子の粒径に依存して変化する。これとは別に小さな粒子では、構成原子数のうち表面に位置する原子の割合が大きくなる。もちろん通常の金属でも表面は存在するが、それらは表面と裏面の二面二層（または直方体を想定すると六面六層）のみである。（1 cmの厚さの材料の層数は 10^7 程度である。）したがって、通常は表面の性質の寄与は極めて小さいため観測にはかからない。しかし、粒径がナノメートル程度になると構成原子のうち、半数程度の原子が表面に現れる。そのため、表面原子の特異な性質が、ナノ粒子そのものの性質に大きく関わるようになる。一般にナノ粒子の表面は、ナノ粒子同士の凝集を防ぐため保護分子で修飾するため、表面原子と保護分子との相互作用がナノ粒子の性質を決定する要素にもなっている。それらに加えて、ナノ粒子（ナノクラスター）が密に存在する試料の諸特性は、ナノ粒子間でのエネルギー移動や電子移動、あるいは磁気的相互作用によって、ナノ粒子の特性とは異なる可能性がある。

上記のようなナノ粒子（ナノクラスター）試料の特徴を利用して、太陽電池や医療センサを含む、様々な光電子デバイスが提案され研究されている。本報告では、そのうち金クラスターの発光特性をグルコースセンサーとして応用する試みと、ハイパーサーミア治療やドラッグデリバリーやバイオプローブ材料として期待される金ナノクラスター試料の磁気特性について報告する。

9.2. Auナノクラスターを用いたグルコースセンサー

ヒト血清アルブミン（HAS）で保護した金原子25個からなるHSA-Au₂₅ナノクラスター試料は可視光領域に明るい発光を有する²⁰⁾。本ナノクラスターは、溶液中で塩化金酸を還元することにより作成するが、基本的には安定性が高く、例えば乾燥後に純水に再分散しても発光特性が変化しない。しかし、過酸化水素が存在する溶液中では、金ナノクラスターは酸化され、その濃度（個数）が減少する。この減少によりHSA-Au₂₅ナノクラスター試料の発光強度は溶液中の過酸化水素濃度に依存して変化する。本研究は、この発光強度の変化を利用したグルコースセンサーである。よく耳にする血糖値とは、血中グルコース濃度のことを指す。

グルコースの添加による過酸化水素の発生にはグルコースオキシダーゼ法(GOD法)を用いた。GOD法では、グルコースオキシダーゼにグルコースを添加すると、



の反応により過酸化水素が発生する。

実験では、中性りん酸塩pH標準液にD-(+)-グルコースを加えて目的濃度のグルコース溶液を作成した。このグルコース溶液にグルコースオキシダーゼを加えて室温で5分間放置した。この溶液とHSA-Au₂₅ナノクラスター溶液と混合し、Auナノクラスターの発光強度のグルコース濃度依存性を調べた。

図38にその結果を示す。グルコース濃度の増加とともにAuナノクラスターの発光強度が小さくなっていることがわかる。実際の診断では血糖値(グルコース濃度)は空腹時と食後で異なるが、基準値(正常値)はおよそ100 mg/dl (5.5 mM)であり、200 mg/dl (11.1 mM)を越えると糖尿病の疑いがあると診断されるようである。この判断基準を我々の実験結果に適用すると、グルコース濃度が5~10 mMの領域で明らかな発光強度の減少が見られ、且つこの濃度領域に最も感度を有していることがわかる。つまり、上記実験結果はHSA-Au₂₅ナノクラスター試料が糖尿病の検査および管理に有用なグルコースセンサーとして応用可能であることを示している。

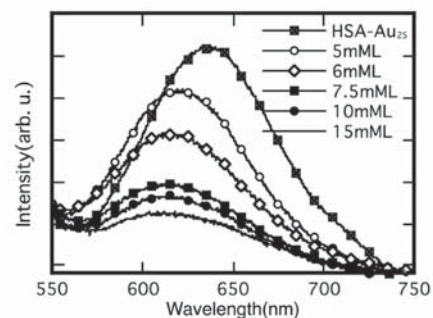


図38. HSA-Au₂₅の発光強度のグルコース濃度依存性

9.3. Auナノクラスター試料の磁気特性

磁性ナノ粒子のバイオメディカル分野への応用は、様々な保護分子（修飾分子）と組み合わせることで提案されてきた。例えば、外部磁場による誘導（移動）や交流磁場印加での発熱効果による治療（ハイパーサーミア）、そしてターゲット物質に磁性ナノ粒子が凝集することによって生じる局所的な磁荷分布を利用したバイオセンサ、あるいはプローブ顕微鏡のチップに磁性ナノ粒子を付着したバイオプローブセンサーなどがその例である。従来、磁性ナノ粒子として最も一般に用いられてきたのは、酸化鉄（マグネタイト）である。現在では、安定な酸化鉄ナノ粒子が作成可能となってきたが、貴金属磁性ナノ粒子やその他の材料による磁性ナノ粒子の作成が可能となれば、より幅広い分野や多彩な用途への応用が期待できる。ここではまず、近年取り組んでいるAuナノクラスターの磁気的性質とその起源についての我々

の見解を述べた後、Auナノ粒子の磁氣的性質について紹介する。

本研究で作成したAuナノクラスター試料は、N,N-dimethylformamide (DMF)、またはL-histidineで修飾・保護したDMF-Au_{5,8,13} ナノクラスターおよびhistidine-Au₁₀ ナノクラスターである。添字の数字は、ナノクラスターを構成する金原子の個数を示す。これらのAuナノクラスターの光吸収スペクトルには前述の表面プラズモン吸収は見られず、したがって自由電子と呼べるような電子は存在しないと考えられる。これまでの研究から、原子数が数百個程度のAuナノ粒子は自発磁荷を持ち、その磁気特性は超常磁性を示すことが知られている。また、そのM-T曲線は高温領域にまでほぼ一定値の常磁性成分を有することが報告されている²¹⁾。しかし、それらの自発磁化の起源がナノ粒子内部（コア）の電子によるものか、あるいは表面原子の電子によるものか、また、高温域での常磁性成分が一般的な伝導電子のパウリ常磁性によるものかなどについては明らかではない。これらの問題点を解決するAuナノ粒子として、Auナノクラスター試料は魅力的な材料である。原子数個という構成では、伝導電子の寄与は小さく、また、すべての原子が表面に位置していると考えられるため、その磁気特性は本質的に表面原子に起因すると考えられるからである。図39にDMF-Auナノクラスター試料の磁気特性を示す。これより、Auナノクラスター試料の磁化特性は、印加した外部磁場に対して急峻に磁化し、ほぼ飽和するもののヒステリシスを示さない超常磁性であることがわかる。これは個々のナノクラスターは強磁性体であることを意味している。また、M-T曲線にはナノ粒子で見られた高温域での常磁性は見られなかったことから、この常磁性がやはり伝導電子によるパウリ常磁性であると指摘できる。図39は、DMF-Au_{5,8,13} ナノクラスター試料の特性であるが、histidine-Au₁₀ ナノクラスター試料も同様の超常磁性を示した。ナノクラスターの磁気特性がナノ粒子と同じく超常磁性であったことから、Auナノ粒子系の磁化の起源は主に表面原子に起因していると考え

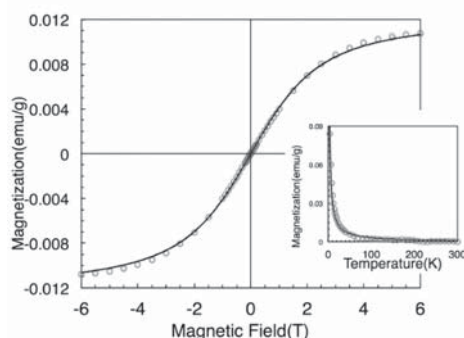


図39. 4.2 KにおけるDMF-Au_{5,8,13}の外部磁場—磁化特性
(挿入図は印加磁場1Tにおける磁化の温度依存性)

えられる。金原子—保護分子間の電子移動やポテンシャル歪みによって金原子のd電子系が有効な磁気モーメントの起源と考えられるが、詳細については未だ不明である。また、構成原子数の偶奇性と磁気モーメント大きさとの相関についても現時点では明らかではなく、今後の課題である。

9.4. 今後の展望

Auナノクラスター試料の光学的、磁气的特性を利用してバイオメディカル材料に応用する試みについて、現在の進捗を報告した。センシングに必要な感度を持つことは必要条件だが、従来にない高感度な材料としての可能性を探っていきたい。また、磁気特性については基礎物性について調べた段階であり、今後バイオメディカル材料への応用に向けての研究を進めていきたい。表面金原子と吸着（結合）保護分子間の相互作用の大きさ、吸着（結合）数やその配列形態など、室温においても大きな磁化を得るための工夫を試料に施しつつ、実際にターゲット分子のセンシングやハイパーサーミア効果の検証などを行いたい。

10. 痛みの客観的評価—スキンコンダクタンスモニターを用いて

高澤知規*¹¹

10.1. はじめに

従来、痛みの評価はvisual analogue scale (VAS) など主観的な評価ツールによって行われてきた。しかし、気管内挿管されている患者や、小児では、痛みを表出することが困難であり、主観的な評価ツールを痛みの評価に用いることはできない。2013年にアメリカ集中治療学会：Society for Critical Care Medicine (SCCM) が発表したガイドラインでは、集中治療室入室中の患者は常に痛みがあるとして、その痛みをルーチンにモニタリングすることを推奨している²²⁾。こうした背景から、客観的な痛み評価が可能なツール開発の必要性が生じた。我々は、開発の候補としてスキンコンダクタンスモニターに注目した。痛みがあると交感神経が刺激され、発汗が生じる。汗にはイオンが含まれているので、発汗があると皮膚の抵抗値は低下、すなわちコンダクタンスは上昇する。この現象を痛み評価に利用するのが、スキンコンダクタンスモニターの基本的な原理である²³⁾。

これまでもスキンコンダクタンスモニターを痛みの評価に用いようとする試みは存在したが、交感神経が刺激されるが痛みを伴わない刺激（音や視覚による刺激）と、痛み刺激とを区別することができるのかどうかは不明で

*11 群馬大学医学部附属病院集中治療部講師 博士（医学）

あった。そこで今回我々は、痛み刺激とそれ以外の刺激を被検者に加えたときのスキンコンダクタンスを記録し、両者を区別することができるかどうかを実験した。

10. 2. 実験概要

本実験の概要を以下に示す。

〈研究デザイン〉 単群、非ランダム化

〈研究対象者〉

対象者：ヒト健常人ボランティア

選択基準：20歳以上の男女で、当院が定める倫理委員会の承認する説明書に基づいて同意を得られたもの。

除外基準：

- 何らかの慢性痛を有している者
- 精神疾患や認知症などで研究のプロトコルが理解できない者
- 熱刺激に耐えられない者
- 自律神経に影響を及ぼす薬剤を服用している者
- 高度な基礎疾患があり、熱刺激を与えるのが好ましくない者
- 妊娠している者
- その他、医師の判断により対象として不適当と判断された者

スキンコンダクタンスの測定には、Stress Monitor (Med Storm Ltd., Oslo, Norway) を用いた。手掌に電極3枚 (うち1枚は不感電極) を貼付し、微弱な電流を流した際の皮膚のコンダクタンスを記録した (図40)。与えた刺激は熱刺激、機械刺激、冷刺激、音刺激、視覚刺激の5種類で、いずれも60秒間与えた。刺激の前には、被検者に閉眼するように指示し、スキンコンダクタンスの値が安定するのを待った。予め被検者に引かせたくじによって刺激の順番を決定し、被検者には知らせなかった。熱刺激はコンピュータ制御温熱刺激発生装置のPATHWAY (Medoc Ltd., Ramat Yishai, Israel) を使い、32℃ (コントロール)、36℃、37℃、38℃の熱を被検者の前腕内側に装着したプローベに発生させた。機械刺激は、アルゴメーター (Somedic AB, Stockholm, Sweden)

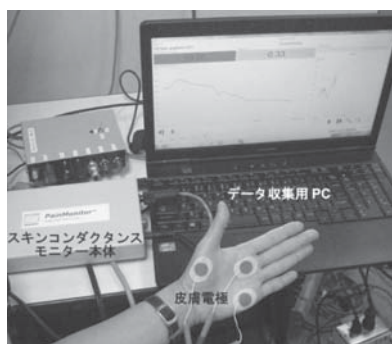


図40. 健常者によるスキンコンダクタンスモニタの様子

を用い、250~300 KPaの圧を手指の水かき部分に与えた。冷刺激は、12×6 cmのコールドパックを前腕内側に押し付けることで与えた。音刺激は、オージオメーターAA-76 (Rion Tech Ltd., Tokyo, Japan) によって発生させた1000 Hz、85 dBのノイズをヘッドホンで聞かせた。視覚刺激は18ゲージの針が前腕を貫通しているように見える写真をスクリーンに表示し、自分の腕に針が刺さっていると考えるように指示した。

特許申請の関係から、現時点では実験結果を公開することが出来ない。特許申請の終了後に改めて報告する予定である。

10. 3. 今後の展望

今回の研究により、スキンコンダクタンスが痛み刺激に対して特異的に反応することが分かれば、このデバイスを痛みの客観的評価ツールとして臨床の現場で利用できるようになる可能性がある。

11. レーザ加工法によるマイクロ微細構造の創成

新井泰彦*¹²

11. 1. はじめに

本研究が目指す光放射圧を利用したMEMSモータは、SEM下で微小構造に様々な動きを実現させるための動力源である。一般に、SEM内での動力源が電磁波を発生すると、SEMの電子が歪むために電磁波を生じない動力源が求められる。本研究で開発するMEMSモータは図41(a)に示すようにマイクロロータの周囲に光を照射するための光ファイバを設置し、歯車列によって動力を取り出す構造になっている。

本年度は、昨年度の成果を基に動力発生源となる光マイクロロータの設計・製作、並びにロータで発生したトルクを伝達させるための歯車列の製作を行った。

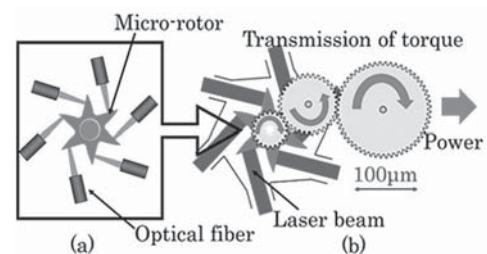


図41. マイクロモータ

11. 2. マイクロロータの製作

Nanoscribe社製の3Dプリンタを用いて、マイクロロータ (直径 100 µm) を製作した。3Dプリンタによる製作では、容易に複雑な構造体が作製できることを確認するとともに、3Dプリンタによる製作後に、表面をアルミ

*12 システム理工学部教授 工学博士

スパッタすることで、厚さ 100 nm 程度の金属膜で覆われた構造のMEMSが容易に製作可能であることを明らかにした。従来のシリコンプロセスに基づく製作過程に対して3Dプリンタが有効なMEMS製作技術であることを確認した。図42に2方向からトータル53 mWのレーザー光を照射することにより3Dプリンタで製作したロータが液体中で(a)(b)(c)と回転することを確認した。図42の結果からロータ先端で得られトルクは、ロータ上の受光面積とレーザー光1本当たりのワット数26.5 mWにより得られる光放射圧とロータ半径との積を計算し、さらに対向する2方向から力がかかることを考慮すると、3.58 fNmであることが確認できる。

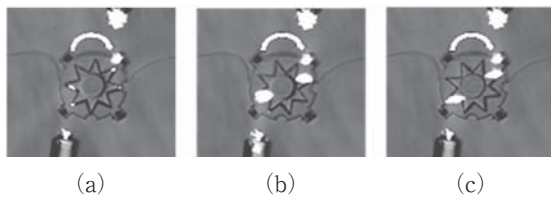


図42. ロータの回転実験

6方向からのレーザー照射時にロータの刃数、ロータ直径が変化した場合の回転数への影響を検討したものが図43である。図42では、トータル53 mWの光が2方向から照射されて8.33 rpmで回転した。図43では、6方向からトータル150 mW（レーザー光1本当たりの照射量を図42と同様に考えて約25 mWと見積もっている）の光で31 rpmの回転をすることが示されている。

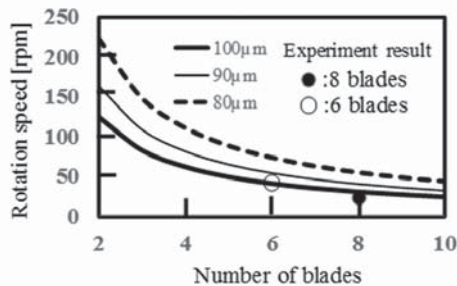


図43. ロータの羽根の枚数、直径と回転速度の関係

11. 3. 軸付きギアの開発

前年度までのギアは、歯車の軸と歯車とが分離された構造となっている。この状態では、ギアと軸の間にすき間が存在することとなり、通常の歯車がかみ合った歯車列の特性とは大きく異なる。本研究では、三次元光造形技術を用いることによって、通常の歯車列と同様の軸と歯車が一体となる構造を持つギアトレインを製作することで、長年にわたって研究がなされてきた通常の歯車ギアでの議論をマイクロ領域において発展させたギア列の開発を目指している。

作製したギア列を図44に示す。製作したギアにおけるトルクの伝達特性を一般に用いられるモーメントバラ

ンス法をマイクロ歯車に適用するための装置を作製し（図45に模式的に示す）、トルクの伝達効率を測定した。マイクロ領域の歯車であっても、伝達効率は95%程度得られることが分かった。



図44. マイクロ光モータの作製結果

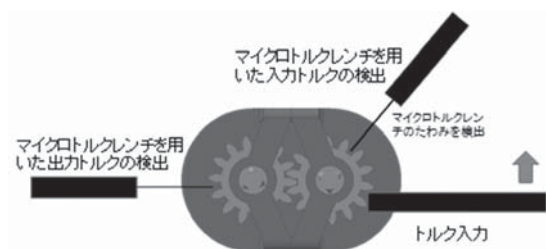


図45. マイクロトルクレンチによる歯車の伝達特性の検証

11. 4. おわりに

本研究では、ロータ設計のための回転速度特性、並びにギアと軸が一体となった構造のギアのマイクロ領域における伝達特性を明確にした。

謝辞

本研究の一部は、「文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業（2015年度～2019年度）」によって実施されたものである。

参考文献

- 1) 寺嶋真伍, 立川周子, 鈴木昌人, 高橋智一, 青柳誠司, 熱ナノインプリントを利用した生分解性微細針の作製, 2018年精密工学会春季大会学術講演会(2017).
- 2) 佐藤潤哉, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 延伸シートの3次元レーザー加工による生分解プラスチック製マイクロニードルの作製, 2017年度精密工学会春季大会学術講演会, E13, 神奈川(2017).
- 3) 佐藤潤哉, 松波恒佑, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 延伸したポリ乳酸シートのレーザー加工によるマイクロニードルの作製と強度・穿刺性能の評価, 2018年精密工学会春季大会学術講演会, 発表予定.
- 4) 関月, 山本峻己, 秋本翔平, 北田博之, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 生物の微小な力を計測する分布力センサの開発, 精密工学会2017年度関西地方定期学術講演会, 47-J, 大阪(2017).

- 5) 関月, 山本峻己, 秋本翔平, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 引土知幸, 川尻由美, 中山幸治, 寒天に付与したマイクロピッチ格子の変形を用いる微小分布力センサの開発—MEMS加工によるSi鑄型の作製, 蚊の穿刺力の測定—, 2018年精密工学会春季大会学術講演会, 発表予定.
- 6) 奥田健人, 山本峻己, 山田雅大, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 福永健治, 細見亮太, 高澤智規, 歌大介, 川尻由美, 有精卵の血管を用いた蚊の口針とマイクロニードルの穿刺性能の評価, 第30回バイオエンジニアリング講演会, 1115, 京都 (2017).
- 7) 奥田健人, 山本峻輝, 鈴木昌人, 青柳誠司, 高橋智一, 福永健治, 細見亮太, 高澤智規, 歌大介, 川尻由美, 中山幸治, 引土知幸, 有精卵の血管を用いた蚊の穿刺メカニズムの解明とマイクロニードルへの応用, 2017年度精密工学会秋季大会学術講演会, N-64, 大阪 (2017).
- 8) M. Suzuki, T. Takahashi, S. Aoyagi, 3D laser lithographic fabrication of hollow microneedle mimicking mosquitos and its characterisation, International Journal of Nano technology, 15(1), 157-173 (2018).
- 9) 原安寛, 山田雅大, 立川周子, 鈴木昌人, 高橋智一, 青柳誠司, フェムト秒レーザーによる蚊の小顎を模倣した鋸歯状ステンレスマイクロニードルの作製と性能評価, 2016年度精密工学会秋季大会学術講演会, L31, 茨城 (2016).
- 10) E. P. Ivanova *et al.*, Small, 8, 2489-2494 (2012).
- 11) E. P. Ivanova *et al.*, Nature Communications, 3838, 1-7 (2013).
- 12) スマートキー対応のポータブル呼気アルコール検知器の試作に成功, Hitachi ニュースリリース (2016).
[<http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2016/03/0324b.html>]
- 13) Design of Pulse Oximetry, Ed. J. G. Webster, Medical Science Series, Tylor & Francis Group, LLC (1997).
- 14) Y. Shimizu, Y. Omura, Advanced Spectroscopic Characterization of Impact of Alcoholic Intake on Variation in Blood-Pulse Waveform, IEEE Sensors J., 11(9), 1998-2006 (2011).
- 15) Y. Izawa, Y. Omura, Reliable Method to Mask Smoking Effect on Alcoholic Intake Detection Based on Photoplethysmogram Signal Analysis, IEEE Sensors J., 14(5), 1418-1424 (2014).
- 16) H. Ozaki, Y. Omura, Proposal of Advanced Nonlinear Signal Model to Analyze Photoplethysmogram Signals, in IEEE Sensors 2013, 890-895, USA (2013).
- 17) H. Ozaki, Y. Omura, An Advanced Nonlinear Signal Model to Analyze Pulsation-Derived Photoplethysmogram Signals, Int. J. Smart Sens. And Intel. Sys., 8(2), 921-943 (2015).
- 18) Y. Omura, H. Ozaki, Key Aspects of Photoplethysmogram Signals for Application to Alcohol-Intake Detection, IEEE Sensors 2016, 1251-1253, USA (2016).
- 19) Y. Omura, K. Harada, H. Ozaki, Correlation Characterization of Photoplethysmogram Signals of Pulsation - Potential for Application to Reliable Alcohol-Intake Detection -, IEEE Computing Conf. 2017, United Kingdom, 828-832 (2017).
- 20) I. Sakanaga *et al.*, Applied Physics Express, 4, 095001-1-3 (2011).
- 21) Y. Yamamoto *et al.*, Phys. Rev. Lett., 93, 116801 (2004).
- 22) J. Barr, G. L. Fraser, K. Puntillo *et al.*, American College of Critical Care Medicine. Clinical practice guidelines for the management of pain, agitation, and delirium in adult patients in the intensive care unit, Crit. Care Med., 41(1), 263-306 (2013).
- 23) H. Storm, Changes in skin conductance as a tool to monitor nociceptive stimulation and pain, Curr. Opin. Anaesthesiol., 21(6), 796-804 (2008).

私立大学戦略的研究基盤形成支援事業プロジェクト (2015~2019年度)

3次元ナノ・マイクロ構造の創成とバイオミメティクス・医療への応用

2017年度 研究成果一覧表

論文

- (1) M. Suzuki, T. Takahashi, S. Aoyagi, 3D laser lithographic fabrication of hollow microneedle mimicking mosquitos and its characterisation, *International Journal of Nanotechnology*, 15, 157-173 (2018).
- (2) 青柳誠司, 高橋智一, 伊藤健, 精密加工による種々の生物模倣デバイス, *超精密*, 23, 37-43 (2017).
- (3) H. Takise, T. Takahashi, M. Suzuki, S. Aoyagi, Fabrication of piezoelectric vibration energy harvester using coatable PolyVinylidene DiFluoride and its characterisation, *Micro & Nano Letters*, 12(8), 569-574 (2017).
- (4) 高橋智一, 三村拓人, 鈴木昌人, 青柳誠司, タコの吸盤の漏斗形状と表面の微細な溝を模倣した真空吸着グリッパの開発, *日本ロボット学会誌*, 35(4), 327-333 (2017).
- (5) 瀧瀬宏樹, 陳延鵬, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 塗布法により製膜可能なPVDF圧電膜を用いた小型振動発電デバイスによる μ Wオーダーの発電, *電気学会論文誌E*, 137(5), 140-145 (2017).
- (6) N. Asai, H. Terasawa, T. Shimizu, S. Shingubara, T. Ito, Highly sensitive quartz crystal microbalance based biosensor using Au dendrite structure, *Japanese Journal of Applied Physics*, 57, 02CD01 (2018).
- (7) H. Yoshida, T. Shimizu, T. Ito, S. Shingubara, Magnetic conductive filament formed in the ReRAM device with ferromagnetic electrode, *ECS Transactions*, 75(32), 65-71 (2017).
- (8) N. Asai, T. Shimizu, S. Shingubara, T. Ito, Fabricating a Highly Sensitive QCM Sensor Using AAO Nanoholes and Its Application for Biosensing, *Proceedings*, 1(4), 495 (2017).
- (9) Y. Mori, S. Sato, Y. Omura, A. Chattopadhyay, A. Mallik, On the definition of threshold voltage for tunnel FETs, Superlattices and Microstructures, 107, 17-27 (2017).
- (10) T. Saitoh, K. Kinoshita, M. Inada, Bandgap Bowing in $Ni_{1-x}Mg_xO$ Alloy, *Applied Physics Letters*, 112, 041904 (2018).
- (11) M. Inada, Y. Iida, T. Saiki, S. Masuda, Aluminum Nano-polycrystalline Substance with Ferromagnetics and Application to High-Frequency Core Inductor, *Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 5(3), 98-103 (2017).
- (12) Y. Arai, Measurement of buckling deformation using speckle interferometry with same sensitivity in three-dimensions, *Optical Engineering*, 56(4), 044102 (2017).
- (13) 新井泰彦, 座屈解析へのスペckル干渉変形計測技術の適用, *機械の研究*, 69(6), 480-487 (2017).
- (14) 新井泰彦, 横関俊介, 2枚のスペckルパターンのみを用いたスペckル干渉計測法の精度向上, *光学*, 46(4), 151-159 (2017).
- (15) T. Takazawa, P. Choudhury, C.-K. Tong, C. M. Conway, G. Scherrer, P. D. Flood, J. Mukai, A. B. MacDermott, Inhibition mediated by glycinergic and GABAergic receptors on excitatory neurons in mouse superficial dorsal horn is location-specific but modified by inflammation, *The Journal of Neuroscience*, 37, 2336-2348 (2017).
- (16) T. Takazawa, T. Kato, S. Saito, Is use of glycine-containing drugs in anesthesia safe?, *Journal of Anesthesia*, 31(6), 925 (2017).
- (17) D. Uta, T. Taguchi, Peripheral and spinal mechanisms of nociceptive transmission in a rat model of fibromyalgia, *Pain Research*, 32, 280-287 (2017).
- (18) D. Uta, K. Imoto, H. Furue, Action of TRPA1 and TRPV1 agonists on synaptic transmission in morphologically distinct cell types in substantia gelatinosa of the rat spinal cord, *The Journal of Functional Diagnosis of the Spinal Cord*, in press.
- (19) D. Uta, D.-J. Xie, T. Hattori, K. Kasahara, M. Yoshimura, Effects of naftopidil on inhibitory transmission in substantia gelatinosa neurons of the rat spinal dorsal horn *in vitro*, *Journal of the Neurological Sciences*, 380, 205-211 (2017).

国際学会

- (1) M. Suzuki, T. Takahashi, S. Aoyagi, Passive Pump Based on Capillary Force Generated by Gaps Between Microbeads for Blood Collection Via Microneedle, The 19th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems, M3P.068, Taiwan (2017).
- (2) N. Asai, T. Shimizu, S. Shingubara, T. Ito, Fabricating a highly sensitive QCM sensor using AAO nanoholes and its application for biosensing, Eurosensors 2017, France (2017).
- (3) T. Shimizu, R. Niwa, M. Matsumura, T. Ito, S. Shingubara, Effect of a metal interlayer under Au catalyst for preparing microscale holes in Si substrate by metal-assisted chemical etching, 43rd International Conference on Micro and Nanoengineering, PO064, Portugal (2017).
- (4) H. Yoshida, T. Shimizu, T. Ito, S. Shingubara, Memristive operation observed in the Ti/HfO₂/Au ReRAM device, 43rd International Conference on Micro and Nanoengineering, PO254, Portugal (2017).
- (5) N. Asai, T. Yoshimura, T. Shimizu, S. Shingubara, T. Ito, Highly sensitive QCM based biosensor using Au dendrite structure, The 6th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies, PA3-2-4, Fukui, Japan (2017).
- (6) Y. Omura, S. Sato, Theoretical Models for Low-Frequency Noise Behaviors of Buried-Channel MOSFETs, IEEE SOI-3D-Subthreshold Microelectronics Technology Unified Conference, USA (2017).
- (7) Y. Omura, S. Sato, Impact of Crystal Orientation and Conduction Band Nonparabolicity on Diffusion Constant of Nano-scale Si Rectangular Wires-theoretical estimation, 12th International Conference on Surfaces, Coatings and Nano Structured Materials, France (2017).
- (8) Y. Omura, K. Harada, H. Ozaki, Correlation Characterization of Photoplethysmogram Signals of Pulsation-Potential for Application to Reliable Alcohol-Intake Detection-, Computing Conference 2017, 174, United Kingdom (2017).
- (9) S. Yamanaka, T. Saitoh, S. Yamazaki, H. Kozuka, M. Inada, Concurrent Activation of Localized Surface Plasmons and Polarons in Tungsten Oxide Nanoparticles, Materials Research Society 2017 Fall Meeting & Exhibit, NM06.09.15, USA (2017).
- (10) M. Inada, N. Isobe, T. Miyake, T. Saitoh, Photovoltaic characteristics of organic-inorganic hybrid silicon quantum dot solar cell, 2017 SPIE Optical Engineering+Applications, Next Generation Technologies for Solar Energy Conversion VIII, 10368-4, USA (2017).
- (11) M. Inada, T. Miyake, N. Isobe, T. Saitoh, Photo-excited carrier dynamics of CuPc/C60 organic thin film structure, 2017 SPIE Nanoscience+Engineering, Nanostructured Thin Films X, 10356-36, USA (2017).
- (12) S. Masuda, T. Saiki, Y. Iida, M. Inada, High Frequency Core Inductor Using Sintered Aluminum Nano-paste with Aluminum Nano-polycrystalline Structure, Conference on Lasers and Electro-Optics, USA (2017).
- (13) Y. Arai, Expansion of measurement area of three-dimensional deformation measurement speckle interferometry with same sensitivities in three directions under consideration of measurement sensitivity, SPIE Optical Engineering+Applications, USA (2017).
- (14) Y. Arai, Pre-treatment for preventing degradaton of measurement accuracy by speckle noise in speckle interferometry, SPIE Optical Metrology, Germany (2017).
- (15) D. Uta, T. Andoh, K. Imoto, H. Furue, Firing pattern of superficial spinal dorsal horn neurons receiving 5-HT-responsive afferents in the adult rat spinal cord, The 27th International Symposium of Itch, Tokyo, Japan (2017).

国内学会

- (1) 北田博之, 森大樹, 山下正樹, 青柳誠司, 高橋智一, 鈴木昌人, 山本峻己, 引土知幸, 川尻由美, 中山幸治, 細見亮太, ATP溶液とそこに張られたパラフィンフィルムを用いた蚊の穿孔動作および溶液吸引動作の観察, 第30回バイオエンジニアリング講演会, 1I11, 京都 (2017).
- (2) 山田雅大, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 細見亮太, 福永健治, 歌大介, 高澤智規, 実験動物の血管に対するマイクロニードルの穿刺・吸血性能の検討, 第30回バイオエンジニアリング講演会, 1I14, 京都 (2017).

- (3) 奥田健人, 山本峻己, 山田雅大, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 福永健治, 細見亮太, 高澤智規, 歌大介, 川尻由美, 有精卵の血管を用いた蚊の口針とマイクロニードルの穿刺性能の評価, 第30回バイオエンジニアリング講演会, 1I15, 京都 (2017).
- (4) 瀧瀬宏樹, 樋口歩, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, スプレーコーティングによるPVDF高分子圧電薄膜の成膜および特性評価とコイルばねへの適用, 第34回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム, 31am3-PS-21, 広島 (2017).
- (5) 岩田紘明, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 縦振動型エレクトレット発電器における接触時の電極間距離と発電量の関係, 第8回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, 02pm1-PN-134, 広島 (2017).
- (6) 山本峻己, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 長嶋利夫, 功刀厚志, 非線形有限要素法解析によるマイクロニードルの穿刺抵抗力の評価, 日本機械学会第30回計算力学講演会, OS03-1.239, 大阪 (2017).
- (7) 関月, 山本峻己, 秋本翔平, 北田博之, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 生物の微小な力を計測するマイクロピッチ格子付きフィルムを用いた分布力センサの提案と作製, 2017年度精密工学会秋季大会学術講演会, N15, 大阪 (2017).
- (8) 北田博之, 山本晴輝, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 山本峻己, 細見亮太, 福永健治, 歌大介, 高澤智規, 引土知幸, 川尻由美, 中山幸治, 実験動物の血管に対する蚊の穿刺・吸血行動の観察, 2017年度精密工学会秋季大会学術講演会, N18, 大阪 (2017).
- (9) 山本峻己, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 長嶋利夫, 功刀厚志, 非線形有限要素法解析によるマイクロニードルの穿刺シミュレーション—形状と穿刺速度が穿刺抵抗力に与える影響—, 2017年度精密工学会秋季大会学術講演会, N61, 大阪 (2017).
- (10) 佐藤潤哉, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 谷川義博, 松本真一, 鈴木康一郎, 植田浩之, 芳賀善九, 都博之, 射出成形により作製されたポリ乳酸製マイクロニードルの座屈試験, 2017年度精密工学会秋季大会学術講演会, N62, 大阪 (2017).
- (11) 山田雅大, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 細見亮太, 福永健治, 歌大介, 高澤知規, 実験動物に対するマイクロニードルの穿刺・吸血実験—実験方法の提案と予備実験—, 2017年度精密工学会秋季大会学術講演会, N63, 大阪 (2017).
- (12) 奥田健人, 山本峻己, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 福永健治, 細見亮太, 高澤智規, 歌大介, 引土知幸, 川尻由美, 中山幸治, 有精卵の血管を用いた蚊の穿刺メカニズムの解明とマイクロニードルへの応用, 2017年度精密工学会秋季大会学術講演会, N64, 大阪 (2017).
- (13) 三村拓人, 堀江一生, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, タコを模倣した吸盤の細径化に関する研究, 第35回日本ロボット学会学術講演会, 1D1-05, 埼玉 (2017).
- (14) 青柳誠司, 山本晴輝, 北田博之, 山本峻己, 後藤寛子, 高橋智一, 鈴木昌人, 細見亮太, 福永健治, 歌大介, 高澤知規, 引土知幸, 川尻由美, 中山幸治, 倒立顕微鏡を用いたヌードマウスに対する蚊の穿刺・吸血行動の観察, 第45回可視化情報シンポジウム, D103, 東京 (2017).
- (15) 関月, 山本峻己, 秋本翔平, 北田博之, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 生物の微小な力を計測する分布力センサの開発, 精密工学会2017年度関西地方定期学術講演会, 47-J, 大阪 (2017).
- (16) 山田雅大, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 細見亮太, 福永健治, 歌大介, 高澤知規, マイクロニードルの座屈防止機構と皮膚の撓み防止機構の提案と開発—ヌードマウスへの穿刺実験による血液吸引能力の評価—, 精密工学会2017年度関西地方定期学術講演会, 53-L, 大阪 (2017).
- (17) 佐藤潤哉, TEH WIN WEI, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, ヤモリの吸着構造を用いた物体把持への応用の考察, ロボティクス・メカトロニクス講演会2017, 2A1-M06, 福島 (2017).
- (18) 堀江一生, 藤本健太, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 漏斗構造とフィルタを有する真空吸着グリッパによる柔軟物把持の研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会2017, 2A1-N01, 福島 (2017).
- (19) 橘隼郎, 松本卓也, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, タコを生体模倣した吸盤を有する空気圧アクチュエータに関する研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会2017, 2A1-N02, 福島 (2017).
- (20) 三村拓人, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, タコを生体模倣した細径吸盤による柔軟物把持の研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会2017, 2A1-N03, 福島 (2017).
- (21) 澤田直宏, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 柔軟物を把持する吸着グリッパの吸着力測定に関する研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会2017, 2A1-N04, 福島 (2017).
- (22) 青柳貴也, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, タコを模倣した真空吸着グリッパの押付力軽減に関する研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会2017, 2A1-N05, 福島 (2017).

- (23) 山本晴輝, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司, 引土知幸, 川尻由美, 中山幸治, 倒立顕微鏡を用いた実験動物に対する蚊の穿刺・吸血行動の観察, 第69回日本衛生動物学会大会, C111, 長崎 (2017).
- (24) 吉田勇人, 清水智弘, 伊藤健, 新宮原正三, Cu/Ti/HfO₂/Au抵抗変化メモリにおける低電圧スイッチングの研究, 第64回応用物理学会春季学術講演会, 15p-P3-8, 神奈川 (2017).
- (25) 和田卓十, 金子直人, 清水智弘, 伊藤健, 畠田芳広, 新宮原正三, CuSn合金ナノツリーの形成とガスセンサ応用, 電気化学会第84回大会, 3S10, 東京 (2017).
- (26) 井芹崇樹, 平手惇史, 清水智弘, 伊藤健, 新宮原正三, NiWB上への無電解Cuめっき膜の形成と評価, 電気化学会第84回大会, 3S13, 東京 (2017).
- (27) 浅井直人, 清水智弘, 新宮原正三, 伊藤健, 多孔質ナノ構造を用いたQCMセンサの開発, 第34回センサ・マイクロマシンと応用シンポジウム, 01pm4-PS-180, 広島 (2017).
- (28) 松田裕貴, 伊藤健, 清水智弘, 新宮原正三, 自己組織化ナノ構造を用いたLSPRセンサ, 第34回センサ・マイクロマシンと応用シンポジウム, 31am3-PS-79, 広島 (2017).
- (29) 寺沢秀章, 清水智弘, 新宮原正三, 伊藤健, 自己組織化ナノ構造を用いたLSPRとQCMのハイブリッドセンサの開発, 第34回センサ・マイクロマシンと応用シンポジウム, 31am3-PS-81, 広島 (2017).
- (30) 新宮原正三, ナノからマイクロにわたるめっきプロセス, 第78回応用物理学会秋季学術講演会, 7p-C19-7, 福岡 (2017).
- (31) 井芹崇樹, 宮地悠人, 深堂秀亮, 稲田純也, 清水智弘, 伊藤健, 新宮原正三, シリコン基板上に形成した無電解めっきバリア合金膜の熱安定性評価, 第27回マイクロエレクトロニクスシンポジウム秋季大会, 2E2-2, 愛知 (2017).
- (32) 山内靖也, 山口智実, 古城直道, 廣岡大祐, 純鉄との接触加熱によるダイヤモンド表面への溝加工—加工特性と加熱条件との関係—, 2017年度精密工学会秋季大会学術講演会, J14, 大阪 (2017).
- (33) 蔣煜煬, 森義暁, 佐藤伸吾, 大村泰久, A. Mallik, 縦型 TFET の性能に及ぼすパラメータの影響の評価, 第78回応用物理学会秋季学術講演会, 8a-C18-1, 福岡 (2017).
- (34) 榊原将訓, 松本公久, 神谷和秀, 伊東聡, 佐保賢志, 稲田貢, 鈴木伸哉, もみ殻から作製したSi微粒子の発光特性における還元温度依存性, 第78回応用物理学会秋季学術講演会, 6p-S44-8, 福岡 (2017).
- (35) 新井泰彦, 河口大生, 三次元光造形を用いたマイクロ歯車列の製作, 第34回センサ・マイクロマシンと応用システム, 31am3-PS-31, 広島 (2017).
- (36) 佐野弘人, 新井泰彦, 三次元光造形を用いたマイクロロータの製作, 第34回センサ・マイクロマシンと応用システム, 31pm3-PS-36, 広島 (2017).
- (37) 新井泰彦, 横関俊介, スペックル干渉計測に基づく三次元変形計測法の測定感度を考慮した測定領域の拡大, 2017年度精密工学会秋季大会学術講演会, P37, 大阪 (2017).
- (38) 新井泰彦, スペックル干渉計測に基づく三次元変形計測法の測定感度を考慮した測定領域の拡大について, 光計測シンポジウム2017, 6, 東京 (2017).
- (39) 高澤知規, 痛みの客観的評価—スキンコンダクタンスモニターを用いて, 第22回関西大学先端科学技術シンポジウム, 大阪 (2018).
- (40) 歌大介, 坪島功幸, 宮原謙一郎, 安東嗣修, 西条寿夫, 水村和枝, 田口徹, レセルピン投与モデルを用いた脊髄後角へのシグナル伝達機構解析, 第9回線維筋痛症学会学術集会, 大阪 (2017).
- (41) 歌大介, 電気生理学的手法を用いた線維筋痛症の病態メカニズムの解析と新規治療薬の探索, Toyama Academic GALA 2017, 23, 富山 (2017).
- (42) D. Uta, K. Miyahara, K. Tsuboshima, T. Andoh, H. Nishijo, K. Mizumura, T. Taguchi, Augmented mechanical response of superficial dorsal horn neurons in a rat model of fibromyalgia, The 40th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, 3P-137, Chiba, Japan (2017).
- (43) 歌大介, 坪島功幸, 宮原謙一郎, 安東嗣修, 西条寿夫, 水村和枝, 田口徹, 線維筋痛症モデルラットにおける脊髄後角細胞の機械感受性増大, 第39回日本疼痛学会, 1P-7, 兵庫 (2017).
- (44) 歌大介, 宮原謙一郎, 坪島功幸, 安東嗣修, 西条寿夫, 水村和枝, 田口徹, レセルピン投与モデルの疼痛機構に関わる脊髄後角表層細胞の感受性増大, 第13回日本疲労学会総会・学術集会, MS1-1, 愛知 (2017).
- (45) 歌大介, 電気生理学的手法を用いた脊髄後角における侵害情報調節機構の解析—電気生理学的手法の紹介とその活用を交えて—, 東西医薬学交流セミナー, 富山 (2017).

その他

・講演

- (1) S. Aoyagi, H. Takise, T. Takahashi, M. Suzuki, Fabrication of Piezoelectric Vibration Energy Harvester Using Polyvinilidene Difluoride and Its Spray Coating Method on Three Dimensional Surface, The 6th International Workshop on Nanotechnology and Application, NMD-011-I, Vietnam (2017).
- (2) S. Aoyagi, Microneedle Imitating Mosquito Toward Painless Blood Collection, The 1st International Workshop on MEMS and Sensor System 2017, Vietnam (2017).
- (3) 青柳誠司, 精密加工による種々の生物模倣デバイス, 超精密加工専門委員会第71回研究会, 大阪 (2017).
- (4) 青柳誠司, ナノ・マイクロ加工によるバイオミメティクスデバイスの開発, NBCIテクノロジー委員会バイオミメティクス分科会, 東京 (2017).
- (5) 青柳誠司, 3D Fabrication of Microneedle for Blood Collection Biomimicking Mosquito, IEEE International Conference on Mechatronics and Automation 2017, 香川 (2017).
- (6) 青柳誠司, 3Dナノ・マイクロ加工と生体模倣一蚊を模倣した無痛採血針の開発一, 第7回IoT製造研究会, 大阪 (2017).

・刊行物

- (1) 青柳誠司, 講義・研究室紹介「蚊の吸血メカニズムに学び、痛くない注射針を開発する。», 関西大学大学案内2017, 115 (2017).
- (2) 先端機構所管研究装置紹介「フェムト秒レーザー超微細加工装置」, Re : ORDIST, 43(1), 14 (2017).

・特許

- (1) 青柳誠司, 鈴木昌人, 高橋智一, 中空微細針及びその作製方法, 特許第 6145249号 (2017).

・新聞

- (1) 青柳誠司, 最先端ロボット研究－ロボット・メカトロニクス&マイクロシステム, 読売新聞鹿児島県全域版, 2017年8月10日付26面.
- (2) 青柳誠司, 最先端ロボット研究－ロボット・メカトロニクス&マイクロシステム, 読売新聞鹿児島県全域版, 2017年8月1日付24面.
- (3) 高橋智一, ネイチャー・インダストリー・アワード, 日刊工業新聞, 2017年1月20日付21面.

・資料提供

- (1) Microneedles for Painless Blood Collection, Nanoscribe GmbH, Application Note on Biomimetics, 写真提供 (2017).
[http://www.nanoscribe.de/files/9515/0235/5443/AppNote_Biomimetics_V02_2017_web.pdf]
- (2) 蚊が血を吸う様子, TBSテレビ「あさチャン」, 写真・動画提供, 2017年7月14日放映.

・その他

- (1) インセクトシールドジャパン, Facebook, 蚊の針のメカニズムについて紹介 (2017).