

## 超微細手術のための汎用プラットフォーム開発と それを支える超精密テクノロジーの追求

Super-microsurgical robotic platforms and investigation  
of super-precise manufacturing technologies

光石 衛 (MITSUISHI MAMORU)

東京大学・大学院工学系研究科・教授



### 研究の概要

従来の手術では達成できない高度治療を社会に普及させることを目指して、医師の手の動作では実現不可能なスーパー・マイクロ・サージェリ技術を実現する。超低侵襲・超微細・超精密手術を可能にする軟組織対応手術ロボット、硬組織対応手術ロボット、血管内治療用マイクロロボットの開発を医工連携・産学連携で進めており、当該分野の学問技術体系を構築している。

研究分野：工学，機械工学，知能機械学・機械システム

科研費の分科・細目：機械工学 知能機械学・機械システム

キーワード：ロボティクス，手術支援ロボット，マイクロサージェリ

### 1. 研究開始当初の背景

従来の手術ロボットは、体内の狭小空間における操作性向上を主な目的としているため、医師の手でも実施可能な手術がロボット手術の対象となっている。操作性の向上だけでなく臨床成績の向上を目的として、医師の手による手技では大変困難とされるスーパー・マイクロ・サージェリを実現するシステムが求められている。

スーパー・マイクロ・サージェリを行うためには、超精密部品の加工技術や超精密部品によってのみ実現可能なロボットの機構、高度画像処理や制御などのロボット技術が必要になる。我が国が得意とする超精密加工技術・ロボット技術を最大限に生かしたシステムを開発することが当該分野での国際競争力を高めると期待される。また、従来の手術ロボット研究は、対象部位別・疾患別に研究が行われており、開発されるロボットの数は増える一方である。このような状況は要素技術開発の遅れや技術レベルの停滞を招いており、要素技術を汎用化し学問体系として構築することが求められている。

### 2. 研究の目的

本研究では、従来の手術では達成できない高度治療を社会に普及させることを目指す。とくに、医師の手の動作では実現不可能なスーパー・マイクロ・サージェリ技術を実現することにより、超低侵襲・超微細・超精密手術を可能とする。さらに、究極のスーパー・

マイクロ・サージェリとして血管内治療用マイクロロボットを開発する。これらの研究は、これまでの手術ロボット群をさらに進化・汎用化させ、超精密ロボティック技術・加工技術を搭載することによって実現するものであり、当該分野の学問技術体系を確立する。

### 3. 研究の方法

本研究では、軟組織対応手術ロボット、硬組織対応手術ロボット、血管内治療用マイクロロボットの3つの汎用手術ロボット・プラットフォームを開発する。現有のプロトタイプを基にプラットフォームを構築し、スーパー・マイクロ・サージェリを実現する超精密ロボティック技術・超精密加工技術を開発・搭載する。

### 4. これまでの成果

軟組織対応手術ロボット・プラットフォーム  
脳神経外科，眼科，小児外科を主な対象領域として軟組織対応手術ロボット・プラットフォームを提案した。スーパー・マイクロ・サージェリ手術における術具の持ち方や動かし方を参考にして微細手術用マスター・マニピュレータを新たに設計し、操作性と操作時間が最適となる動作倍率を決定した。狭小空間における複雑な動きを実現する機構としては、小児外科手術を対象として極小ベベルギアを用いた直径 3.5 mm の多自由度鉗子を開発した。同じ機構を有したマニピュレータを脳神経外科手術に展開して汎用化すべく、

改良を進めている。また、マーカを用いず、術具の形状情報と顕微鏡画像処理のみを用いて術具先端位置・姿勢を自動でトラッキングする手法を開発しており、現在は針の自動トラッキングに展開している。これと並行してロボット手術の効率化や安全性向上を目的としたタスクの自動化についての研究も進めた。

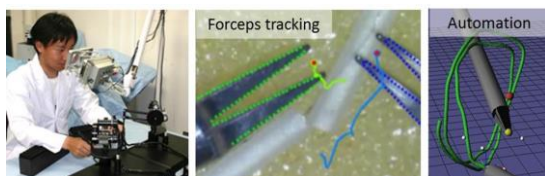


図1 軟組織対応手術ロボット・プラットフォーム

#### 硬組織対応手術ロボット・プラットフォーム

整形外科領域における骨切りを主な対象として、硬組織対応手術ロボット・プラットフォームを提案した。ロボットの変形による誤差を考慮した術前計画により、手術ロボットによる骨切除精度を2 mm以下に抑えることに成功した。ロボット・プラットフォームの開発と並行して、骨の加工や人工関節や義歯などに使用される生体材料の加工の研究も積極的に行った。骨の繊維状組織であるオステオンの方向を考慮した切削力の解析や加工時に発生する亀裂の解析に基づいた骨加工用ドリルの設計などの研究を進め、高精度・高能率・低切削温度を実現する工具およびデバイスを開発した。ジルコニアのレーザー援用加工や炭素ドーパチタン合金の層選択的磁気研磨、積層造形チタン合金の表面改質を行った。

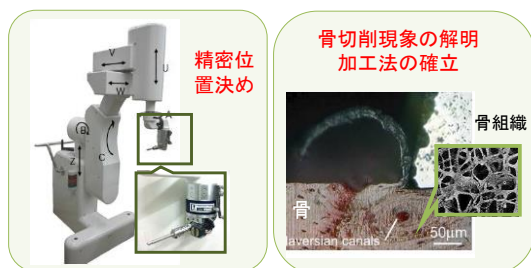


図2 硬組織対応手術ロボット・プラットフォーム

#### 血管内治療用マイクロロボット・プラットフォーム

血管内治療を対象として、微細血管内を泳動するマイクロロボットの作成技術と流体内でのマイクロロボットの位置・姿勢制御について研究を行った。マイクロロボットを模擬した永久磁石を用いた実験系を設計し、このマイクロロボットを血管壁に沿わせて移動させることにより外部磁場制御を簡素化する手法を提案した。血流と同じ速度の流体内において、流れに逆らってマイクロロボッ

トを移動することに成功した。現在は複雑に入り組んだ血管ネットワークを自由に泳動することを目的として血管分岐点における分岐選択制御の研究を進めている。

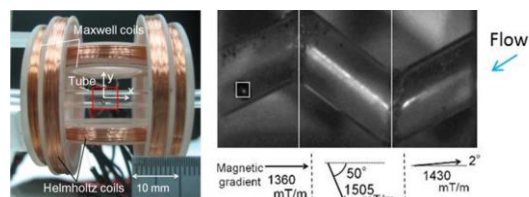


図3 血管内治療用マイクロロボット・プラットフォーム

#### 5. 今後の計画

ロボットのインテリジェンスを使ったスーパー・マイクロ・サージェリの精度向上・手術時間短縮・治療成績向上を目指した要素技術の開発を行う。脳外科では顕微鏡の倍率が極めて高いため、血管吻合中は鉗子先端の一部しか視野に入らず、危険である。そこで、針の刺入位置のみを指定すれば、最小・最速の駆動で自動吻合が可能となるナビゲーション及び制御技術を開発する。眼科では位置決め精度を高めるため、鉗子の位置と対象の位置を自動で抽出し、自動位置決めを行う制御方法を開発する。

#### 6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

- Mitsuishi M. et al., *Biomufacturing, CIRP Annals Manufacturing Technology*, 62, 2, pp.585-606, 2013.
- Mitsuishi M. et al., *Master-slave robotic platform and its feasibility study for micro-neurosurgery*, *International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, 9, 2, pp.180-189, 2013.
- Ishimaru T. et al., *Development of a Needle Driver with Multiple Degrees of Freedom for Neonatal Laparoscopic Surgery*, *Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques*, 23, 7, pp.644-648, 2013.
- Ida Y. et al., *Microsurgical robotic system for vitreoretinal surgery*, *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 7, 1, pp.27-34, 2012.
- 顕微鏡下超微細手術を対象とした技能評価システムの開発, 日本コンピュータ外科学会 2011 年度講演論文賞, 2012.3.7.
- 小児外科手術支援のための多自由度持針器の開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門 ROBOMECH 表彰, 2012.5.27.

ホームページ等

<http://www.nml.t.u-tokyo.ac.jp/nml-staff@nml.t.u-tokyo.ac.jp>