

プログラム名：バイオニックヒューマノイドが拓く新産業革命

PM名：原田 香奈子

プロジェクト名：PJ.1 バイオニックヒューマノイド

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平 成 2 9 年 度

研究開発課題名：

バイオニックヒューマノイドモデリングのための

解剖構造モデリングと物性計測技術の開発

研究開発機関名：

国立大学法人名古屋大学

研究開発責任者

森 健策

I 当該年度における計画と成果

1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

現在実用化されている人体シミュレータは、生体の物理特性の再現が不十分であり、実際の動物実験・臨床実験とは乖離があり、リアリティの高い人体シミュレータ（バイオニックヒューマノイド）の実現が強く求められている。このためには、正確な解剖学的構造を再現するための技術が必要であり、対象疾患部位の生体組織の物理特性を精密に計測し、忠実に再現することが求められている。そこで、本プロジェクトでは、医師による主観的評価を定量的に理解する方法を開発するため、多種の医用画像を統合することによる膜・層構造までもを含めた医用画像に基づいたモデリング技術の開発と、従来計測が難しかった薄膜組織の対象部位の精密な物理特性計測を目的とし、下記の3項目について技術開発を行う。

(1) 多種医用画像統合に基づいた超精密頭部解剖構造モデリング技術の開発

多種医用画像から、バイオニックヒューマノイドの構築に必要な超精密頭部解剖学的構造を抽出する技術を開発する。また、解剖学的多様性を考慮した解剖構造モデルを生成するため、解剖構造データのデータベース化を図る。そのため、当該年度は、(a) 医用画像の収集、(b) 組織セグメンテーションによる解剖構造解析手法の開発、(c) 解剖構造データベースの構築、の一部を実施する。

(2) 薄膜組織片計測デバイス開発

安定性・温度特性の向上を行うことで力計測デバイスの高感度化（計測分解能 $0.1 \mu\text{N}$ ）を行う。さらに、吸引固定制御システムの構築・評価を行い、厚み $2 \mu\text{m}$ の薄膜の固定を達成する。また、微細加工技術として接合技術の調査を行い、接合によって水晶振動式力センサと薄膜組織片固定デバイスを一括に作製するプロセスを確立する。

(3) 微小生体組織物理特性計測プラットフォーム開発

顕微鏡に水晶振動式力センサを有するセンシングユニットを統合し、微小生体組織物理特性計測プラットフォームのプロトタイプを開発する（計測分解能 $0.1 \mu\text{N}$ ）。また、プロトタイプを用いた微小生体組織の物理特性計測を開始し、基本原理の確認を行う。

2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

2-1 進捗状況

(1) 多種医用画像統合に基づいた超精密頭部解剖構造モデリング技術の開発

多様なスケールと物質から成る解剖構造を含む脳外科手術用モデルと微細構造の表現が必要な眼科手術用モデルのための解剖構造抽出にそれぞれ適した多種医用画像の選定・収集を行った。また、収集した解剖画像を基に、深層学習を利用した解剖構造セグメンテーション手法の開発を図るとともに、解剖構造データのデータベース化の検討を行った。

(2) 薄膜組織片計測デバイス開発

ウェットエッチングにより水晶振動子の薄膜化を行い、高感度化技術の確立を行った。また、マイクロホールアレイを用いた計測サンプルの吸引固定法により、厚みが $2\sim 3 \mu\text{m}$ の薄膜のモデルおよび組織片の固定を試みた。さらに、材料パラメータを変更したモデル群、および、ヒト ILM の計測データを定量的に比較するため、MEMS 技術を用いてサンプル成型デバイスを作製し、ダンベル型の薄膜サンプル作製に成功した。成型後の薄膜サンプルについては引張計測を行った。

(3) 微小生体組織物理特性計測プラットフォーム開発

水晶振動子を用いたカンチレバー構造の力センサを統合したセンシングユニットと、(2)で作製した引張試験用力センサクランプを搭載可能な、微小生体組織物理特性計測プラットフォームを構築した。構築したプラットフォームを用いて、ILM モデルの押込評価、引剥評価を行った。

2-2 成果

(1) 多種医用画像統合に基づいた超精密頭部解剖構造モデリング技術の開発

眼球の微細構造を撮像可能な高解像度モダリティとしてマイクロ CT 画像、屈折 X 線 CT 画像、顕微鏡画像を選定し、これらの画像情報の収集を行った。さらに、深層学習ベースの解剖構造抽出手法を構築し、収集した画像情報からの眼球解剖構造セグメンテーションを実施した。ブタ眼球的マイクロ CT 画像と屈折 X 線 CT 画像を用いて提案手法の識別性能を検証したところ、全画像スライスの 2.5% で学習(97.5% でテスト)するだけで平均 90% 以上の識別精度が達成されるなど、少量学習データからでも高精度なセグメンテーションが可能であるという知見を得た (図 1)。

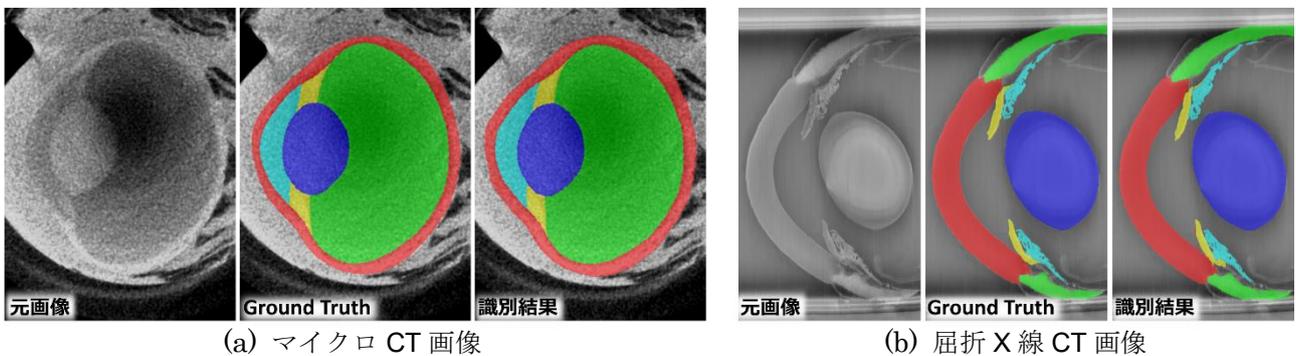


図 1 眼球解剖構造の抽出結果例

(2) 薄膜組織片計測デバイス開発

マイクロホールアレイを用いた計測サンプルの吸引固定法により、厚みが 2~3 μm の薄膜のモデルおよび組織片の固定を達成した。また、シリコン-水晶の接合技術に着手し、水晶振動式力センサと薄膜組織片固定デバイスを一括に作製するプロセスを確立した。図 2 に示す薄膜引張試験装置を構築し、ILM モデル、および、ヒト ILM の引張試験に成功した。

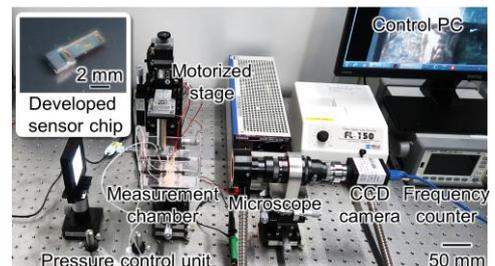


図2 構築した薄膜引張試験装置

(3) 微小生体組織物理特性計測プラットフォーム開発

水晶振動子を用いたカンチレバー構造の力センサを統合したセンシングユニットと、引張試験用力センサクランプを搭載可能な、微小生体組織物理特性計測プラットフォームを構築した。図 3(a) に示すように、構築したプラットフォームを用いて、ILM モデルの押込評価、引剥評価に成功した。また、図 3(b)-3(c) に示すように、開発したカンチレバー型の力センサをバイオニックセンサとして眼球モデルに搭載し、ILM モデル剥離時の力計測に成功した。

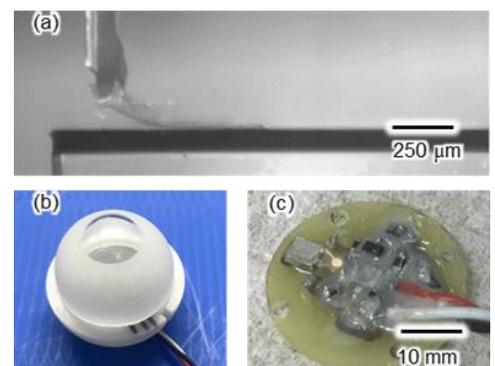


図3 MR画像からの眼球内膜構造セグメンテーション結果

2-3 新たな課題など

(1) 多種医用画像統合に基づいた超精密頭部解剖構造モデリング技術の開発

各モダリティ上での解剖構造抽出手法は確立されつつあるが、マクロ構造からマイクロ構造までを含む精密な一つの解剖構造モデルを生成するためには、これらの多種医用画像の統合利用が必須となる。そこで、多種医用画像間のレジストレーションを含むマルチモーダルセグメンテーションを自動的かつ高精度に行う手法を開発する。また、今後も継続的に医用画像データの収集と解剖構造抽出データのデータベース化を図ると共に、バイオニックヒューマノイド開発あるいはその他の学術的応用への利用を考慮し、構築したデータベースの公開を目指す。

(2) 薄膜組織片計測デバイス開発

当該年度までに、薄膜を吸引固定し、引張試験を行うことに成功した。この計測データと従来の計測データを比較し、構築したシステムの有用性を検証すると共に、システムのユーザビリティの向上や、計測のためのサンプルの固定方法の定量化が課題である。

(3) 微小生体組織物理特性計測プラットフォーム開発

当該年度までに、微小生体組織物理特性計測プラットフォームを構築し、ILMモデルの押込試験、引剥試験に成功した。今後は、モデルグループや医師とより強く連携することで、バイオニックヒューマノイドを構築するために必要な物理特性計測のためのデータ解析を行うと共に、バイオニックセンサとしての応用を視野に入れ、センサの作製技術やデータ計測技術の向上を狙う。

3. アウトリーチ活動報告

- ・森 健策, “人工知能による医用画像自動認識,” 第41回(平成29年度)ME講座—先端技術がひらく医療と福祉の未来, 東京電機大学 東京千住キャンパス, 2017年10月17日.