

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28年度

研究開発課題名：

バイオニックヒューマノイドのための  
光学式力分布センサ搭載網膜モデルの開発

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

丸山 央峰

# 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

バイオニックヒューマノイドのための光学式力分布センサを組み込んだ眼球モデルを開発し、手術シミュレーション時の物理特性を模擬した網膜への印加力の計測を実現する。力分布センサは、印加力に応じて生じる光学変化を画像処理して力情報を算出するもので、 $\mu\text{m}$  オーダーの高空間分解能での計測が可能である。本センサはワイヤレス計測が可能で配線が不要であるため、バイオニックヒューマノイドへの組み込みに適する。本研究では、「バイオニックヒューマノイドのための光学式力分布センサ搭載網膜モデルの開発」を実現するための研究開発項目として、①光学式力分布センサを組み込んだ網膜モデルの作製と力計測、の項目について実施する。

## 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

バイオニックヒューマノイドの眼球モデルに光学式力分布センサを有する網膜モデルを搭載するため、28年度は光弾性式応力分布センサ及び力分布インジケータのそれぞれの基本設計に着手するとともに、網膜モデル及び光弾性計測システムの第1次試作を行った。

#### ① 光弾性式網膜表面応力分布センサの構築・評価・改良

網膜のヤング率を模擬可能で高光弾性係数の材料を用いて、網膜モデル表面部の歪から主応力差の大きさと方向を算出可能応力分布センサの試作を行った。材料としては、シリコーンゴムのひとつである PDMS とポリウレタンゲル (PU ゲル) を用いて評価を行った。文献から得られたヒト網膜のヤング率 (30 kPa) をターゲットとし、PDMS では 70 kPa, PU ゲルでは 18 kPa とヤング率のオーダーを合わせることに成功した。応力計測に重要な光弾性係数 $[x10^{-12} / \text{Pa}]$ に関しては、PDMS が 64, PU ゲルが 114 であったが、PDMS に異方性ナノ材料のカーボンナノチューブを 0.1% 混合することで 112 と約 2 倍に向上させることに成功した。この PDMS モデルを用いて網膜モデルとし、試作した光弾性計測モデルを用いて応力計測を行った結果、300 Pa 程度の分解能で計測できることを確認した。

#### ② 応力発光式網膜内力分布インジケータの構築・評価・改良

応力発光体に蓄えられた歪エネルギーが発光現象に変換されることを利用して、発光で感光させて網膜モデル内部の力印加範囲を可視化する力分布インジケータの試作を行った。応力発光体を導入した PDMS に ILM 鉗子で力を印加した際に応力発光体からの発光現象が確認された。また、発色剤と顕色剤を用いて、力印加部のみが発色剤と顕色剤の反応で呈色する現象を用いた力インジケータの試作を行った。

#### ③ 光学式力分布センサを組み込んだ網膜モデルの作製・評価・改良

光弾性式応力センサを搭載した網膜モデルとして、0.1%のカーボンナノチューブを混合した PDMS で厚み 250  $\mu\text{m}$  の網膜モデルを作製し、厚さ 2 mm の強膜に相当するモ

デル上に搭載し、新井チームの眼球モデルに搭載、ILMモデルを網膜表面に形成した状態でバイオニックヒューマノイドに搭載した。光弾性計測システムとしては、偏光カメラを用いた4ステップ位相シフト法を用いた計測系を構築、オフライン処理でバイオニックヒューマノイドに搭載された眼球モデル内の網膜モデルへの応力印加実験を行い、応力計測の基礎実験を完了した。

## 2-2 成果

### ① 光弾性式網膜表面応力分布センサの構築・評価・改良

- ・ PDMS 及び PU ゲルを用いてヒト網膜のヤング率の再現を行った。(図1)。
- ・ PDMS 及び PU ゲルの光弾性係数を、異方性ナノ材料のカーボンナノチューブを0.1%混合することで約2倍に向上させた。(図2)
- ・ PDMS で網膜モデルを構成し、ILM 鉗子で応力を印加した際の応力分布計測を確認した。

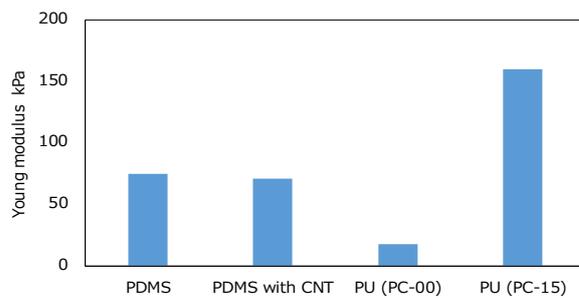


図1 材料の調整によるヒト網膜のヤング率の模擬。

Material	PDMS	PDMS + CNT	PU	PU +CNT
Photoelastic coefficient [10 <sup>-12</sup> /pa]	67	112	114	212

図2 異方性ナノ材料を用いた光弾性係数の向上。

### ② 応力発光式網膜内力分布インジケータの構築・評価・改良

- ・ PDMS 内に応力発光体を導入した状態での力印加時の発光確認
- ・ 発色剤・顕色剤の呈色反応を用いた力インジケータ機能の予備実験

### ③ 光学式力分布センサを組み込んだ網膜モデルの作製・評価・改良 (図3)

- ・ PDMS を用いた厚さ 250 μm の網膜モデルの試作
- ・ PDMS 製網膜モデルに強膜部及び疑似 ILM モデルを搭載した眼球モデルのバイオニックヒューマノイドへの組み込み
- ・ 偏光カメラと4ステップ位相シフト法を用いた光弾性計測システムの試作
- ・ 眼科手術用顕微鏡下での網膜モデルへの応力印加と応力分布計測実験の実施

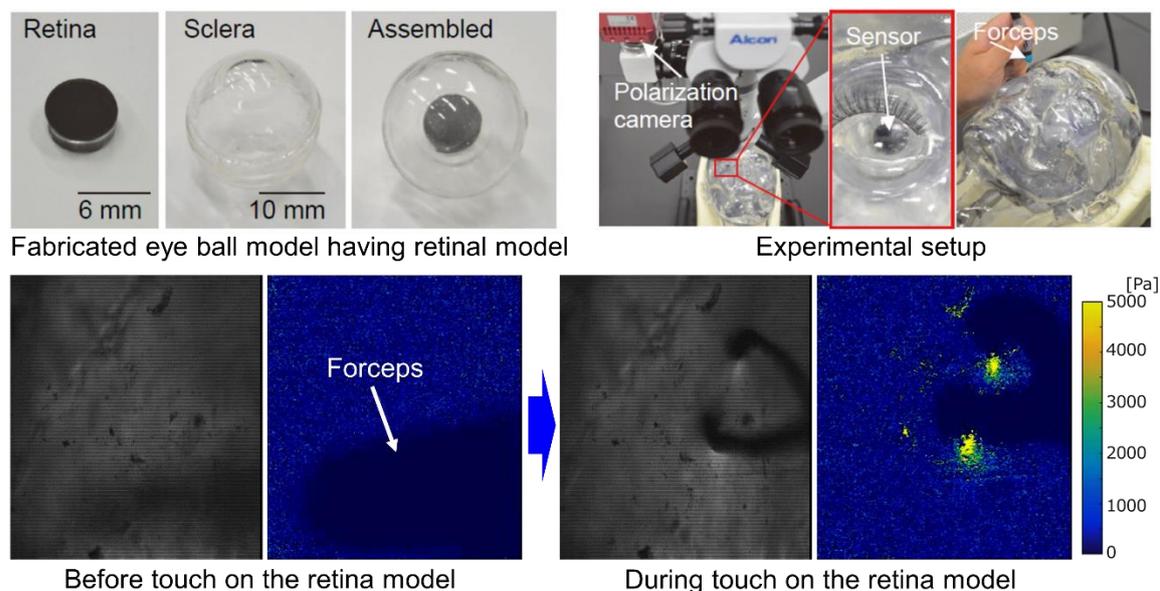


図3 PDMS 網膜モデルを搭載した眼球モデルにおける応力分布計測実験結果

### 2-3 新たな課題など

- ・ 網膜モデルと ILM モデルの剥離性の再現が必要
- ・ リアルタイム応力計測性と計測分解能の最適化
- ・ 主応力差の分離方法の検討
- ・ バイオニックヒューマノイドへの組込み時の配線方法・漏水対策
- ・ 眼科顕微鏡の光軸とヒューマノイドに搭載した赤外照明の光軸合わせ
- ・ 眼科顕微鏡での観察面と網膜表面のフォーカスの不一致による計測性能低下

### 3. アウトリーチ活動報告

- 1) 2016年6月4日 名大祭 (光弾性式応力分布センサの試作モデル展示)
- 2) 2016年8月8日 名古屋大学オープンキャンパス  
(光弾性式応力分布センサの試作モデル展示)
- 3) 2016年9月4日 名古屋大学テクノフェア  
(光弾性式応力分布センサの試作モデル展示)
- 4) 2016年11月3-6日 サイエンスアゴラ@日本科学未来館  
(光弾性式応力分布センサの試作モデル展示)