

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16342

研究課題名(和文) 高分子ロボットカテーテルシステムの開発

研究課題名(英文) Robot catheter system actuated by IPMC actuator

研究代表者

堀内 哲也(Horiuchi, Tetsuya)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・材料・化学領域・研究員

研究者番号：60738061

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：脳深部や末梢血管など、カテーテル手術適用が困難な部位に対しても手術可能なロボットカテーテルのニーズがあり、多くの研究者が提案している。イオン導電性高分子アクチュエータによるロボットカテーテルは有力な方式の一つで1990年代には安積らの研究が発表されているが、変位量が足りず、実用化されていない。これはカテーテルの形状が持つ断面二次モーメントの高さが原因であり、私はトラック形状型ロボットカテーテルを提案、従来の約1.5倍の曲率変位まで性能を向上させた。更に操作インターフェースを構築し、臨床操作を考慮したシステムを試作した。

研究成果の概要(英文)：Robot catheter system is desired which can operate difficult parts for normal catheter surgery, such as brain and peripheral vessels. Many researchers suggested this system, and IPMC actuator robot catheter is one of it. In 1990, Asaka et al. suggested IPMC actuator robot catheter system, however, displacement of actuator is not enough. The cause of it is high second-moment-of-area, so I suggested track-shape robot catheter. This catheter has 1.5 times larger curvature displacement than previous IPMC catheter. And I developed control system for this to use in operation room.

研究分野：医療機械

キーワード：ロボットカテーテル IPMCアクチュエータ 断面二次モーメント

1. 研究開始当初の背景

カテーテル手術は、患者にダメージの少ない手術法（低侵襲手術）として近年発達してきている。これは体の中に主に血管経路で細い管を通し、その管経路で手術器具や薬剤を運んで手術する手法である。特に高齢者に対して有効な手術であるが、患者の血管硬化・狭窄が進むに従って難易度が上がり、更に脳深部や末梢血管など、手術が困難な部位も多い。この問題に対し、先端に駆動力を持つロボットカテーテルを多くの研究者が提案している。現行の最先端機器は先端径 2.7mm のワイヤ駆動ロボット Sensei X2(Hansen Medical)であり、心臓外科に活用されている。しかしワイヤ駆動方式の場合、直径 1mm 級まで細径化することは難しい。そこで新しい駆動方式が必要であり、イオン導電性高分子アクチュエータによるロボットカテーテルは有力な方式の一つで 1990 年代には安積らの研究が発表されているが、変位量が足りず、実用化されていない。

2. 研究の目的

直径 1mm 級で、先端部が 1mm 程度の屈曲変位を行うロボットカテーテルを試作する。更にインターフェースシステムも構築する。

3. 研究の方法

本研究ではこの問題に対し、システム面と性能面の両方で解決を試みた。まずカテーテルの現行技術ではガイディングにガイドワイヤという金属ワイヤを用いている。例えば屈曲カテーテルとストレートガイドワイヤを組み合わせれば、ロボットカテーテルでなくともワイヤの挿入だけで 0~90 度の屈曲範囲を持つ。この手法は高分子ロボットカテーテルでも有効な手法であるため、我々の研究でもワイヤ併用手法を踏襲するシステムを提案した。これにより、ロボットカテーテルの要求仕様は±1mm 程度の微調整機能のみとなり、実用化に大きく近づく。次に性能面からは以下の検討を行った。カテーテルの変位が小さくなる根本的な理由は、カテーテルのチューブ形状が有する断面二次モーメントが一般的な平面アクチュエータに対して大きくなることである。例えば、直径 1.6mm 厚さ 0.15mm のチューブ形状カテーテルは、0.3mm 厚平板の約 187 倍もの断面二次モーメントを有する。つまり単純計算で曲率が 187 分の 1 となり、単純に従来のカテーテルを模したイオン導電性高分子アクチュエータを試作しても要求性能は得られない。この問題に対する解決策として、我々はカテーテル断面を真円からトラック形状への形状変更を提案し、作成法を確立した。試作には、まず市販の Nafion チューブをガラス転移点 (70) 以上で予備プレスを行い、真円チューブをトラック形状にする。その後水エタノール溶液 (1:1) に浸し、体積を 1.5 倍に膨張

させ孔を拡張する。最後に内部に剥離性の良い材料（今回はナフロン膜）をチューブ内に配置し、融点(200 度)以上でプレス成形し完成する。

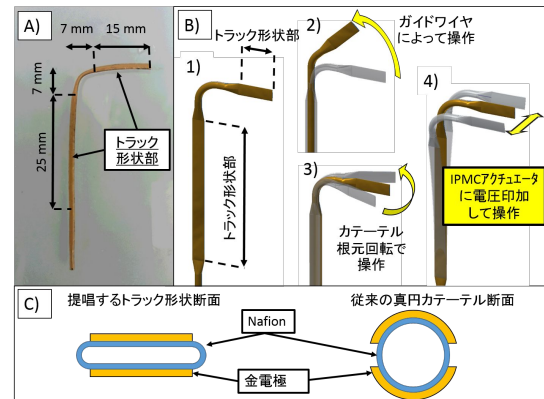


図 1 高分子ロボットカテーテル

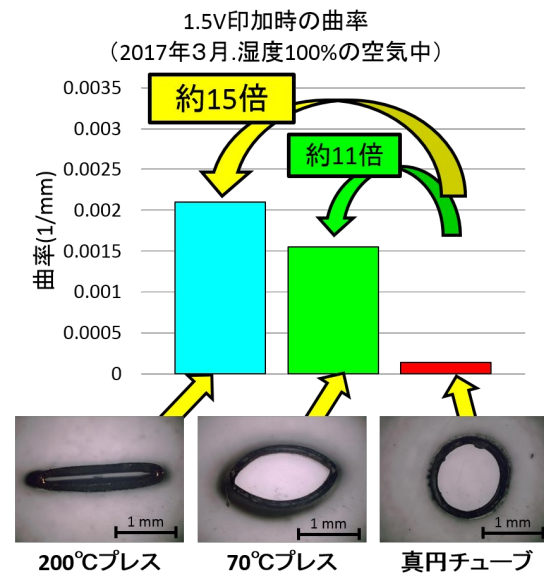


図 2 断面形状と曲率性能

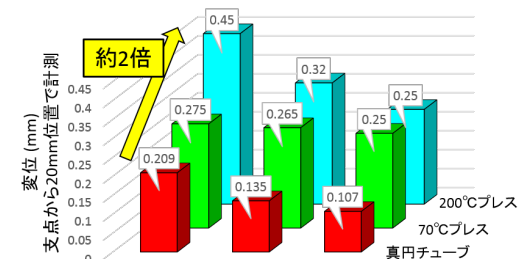


図 3 カテーテル変位量と電圧

4. 研究成果

実際に試作されたものは少し広がり、設計どおりの効果は得られなかったものの、曲率にして論文提出時は従来円形断面カテーテルの約 15 倍まで達成し、変位においては 0.32mm(1.2V 印加。支点から 20mm 距離)を達成した。今回のタイプのカテーテルに必要な

変位は、血管径と同等の1mmであり、およそ目標性能の30%程度である。本チューブ型アクチュエータの技術は医療用の他に、配管・細管内の検査用ロボットカメラに応用可能であり、研究の派生效果も期待できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計8件)

(1) "Evaluating Curvature and Making Picture-Overlaid Trajectory of Motion of Largely Bent Carbon Nanotube Composite Bucky Gel Actuator Using Camera Measurement System", 堀内哲也、Kruusamae Karl、朱子才、安積欣志, SENSORS AND ACTUATORS A-PHYSICAL, vol.235-1, pp.28-36, 2015. 10

(2) "Voltage-controlled accommodating IOL system using an ion polymer metal composite actuator", 堀内哲也、三橋俊文、不二門尚、大鹿哲郎、安積欣志, OPTICS EXPRES, vol.24-20, pp. 23280-23288, 2016.10

(3) "Voltage-Controlled IPMC Actuators for Accommodating Intra-Ocular Lens Systems", 堀内哲也、三橋俊文、不二門尚、大鹿哲郎、安積欣志, Smart Materials and Structures, vol.26-4, pp.なし(045021), 2017.3

(4) "The effect of ambient humidity on the electrical response of ion-migration-based polymer sensor with various cations", 朱子才、堀内哲也、Kruusamae Karl、Chang Longfei、安積欣志, Smart Materials and Structures, vol.25-5, pp.なし(055024), 2016. 3

(5) "Influence of Ambient Humidity on the Voltage Response of Ionic Polymer-Metal Composite Sensor", 朱子才、堀内哲也、Kruusamae Karl、Chang Longfei、安積欣志, JOURNAL OF PHYSICAL CHEMISTRY B, vol.120-12, pp.3215-3225, 2016.3

(6) "Multi-physical model of cation and water transport in ionic polymer-metal composite sensors", 朱子才、Chang Longfei、堀内哲也、高木賢太郎(名古屋大学)、Alvo Aabloo (Tartu University)、安積欣志, JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, vol.119-12, pp.124901-, 2016.3

(7) "Effects of cation on electrical responses of ionic polymer-metal composite sensors at various ambient humidities", 朱子才、堀内哲也、高木賢太

郎(名古屋大学)、武田惇(名古屋大学)、Chang Longfei、安積欣志, JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, vol.120-8, pp.なし(084906), 2016.8

(8) "A multi-physical model for charge and mass transport in a flexible ionic polymer sensor", 朱子才、堀内哲也、高木賢太郎(名古屋大学)、Alvo Aabloo (Tartu University)、安積欣志, Proceedings of SPIE(ELECTROACTIVE POLYMER ACTUATORS AND DEVICES (EAPAD) 2016), pp.979820-979820-13, 2016.3

[学会発表](計8件)

(1) "Accommodating IOL with IPMC actuator", 堀内哲也、三橋俊文、不二門尚、安積欣志, Asian-Australasian Conference on Composite Materials, Busan (Korea), (2016.10)

(2) "Accommodating Intraocular Lens with Ion Metal Polymer Composite Actuator", 堀内哲也, Topical Meeting on Soft Robotics, 埼玉(日本), (2016.10)

(3) 「イオン導電性高分子における医療用アクチュエータ」, 堀内哲也、安積欣志, 日本MRS研究会「ソフトアクチュエータ産業化研究会」シンポジウム, 横浜, 2016.12

(4) 「高速カメラによるCNTアクチュエータの伸縮の画像評価」, 堀内哲也、杉野卓司、Kruusamae Karl、安積欣志, 第15回計測自動制御学会, 東京, (2014.12)

(5) 「IPMCアクチュエータ駆動調節可能レンズの開発」, 堀内哲也, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 名古屋, (2015.12)

(6) 「イオン導電性高分子アクチュエータの医療応用」, 堀内哲也、安積欣志, 第6回CSJ化学フェスタ2016, 東京, (2016.11)

(7) 「イオン導電性高分子を利用した次世代ロボットカテーテル」, 堀内哲也、安積欣志, 産総研 技術シーズ発表会, 静岡, (2017.2)

(8) 「IPMCアクチュエータの医療応用」, 堀内哲也, 第二回関西バイオ医療研究会, 池田, (2017.3)

[産業財産権]

出願状況(計4件)

名称: 高分子アクチュエータ駆動カテーテルシステム

発明者: 堀内哲也、安積欣志

権利者：
種類：特願
番号：2015-016408
出願年月日：2015.1.27
国内外の別： 国内

名称：高分子アクチュエータの伸縮評価方法
発明者：堀内哲也、安積欣志
権利者：
種類：特願
番号：2014-188365
出願年月日：2014.9.9
国内外の別： 国内

名称：高分子アクチュエータ駆動カテーテル
の先端屈曲性能高機能化
発明者：堀内哲也、安積欣志
権利者：
種類：特願
番号：2015-070963
出願年月日：2015.3.20
国内外の別： 国内

名称：カテーテルおよびその製造方法
発明者：堀内哲也、安積欣志
権利者：
種類：特願
番号：2017-109997
出願年月日：2017.3.13
国内外の別： 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

堀内哲也 (HORIUCHI, Tetsuya)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・材
料・化学領域・研究員

研究者番号 60738061：