

# 血管内走行能動カテーテル機体の研究

## —血管狭窄に対応する能動カテーテル機体の開発—

### Study of active catheter robot moving in the blood vessel -Development of active catheter robot corresponding to narrowing of blood vessel-

○ 長尾 巧 (中里研), 川中 和貴 (中里研),  
中里 裕一 (日本工業大学), 遠山 茂樹 (東京農工大学)

Takumi Nagao, Nippon Institute of Technology  
Kazuki Kawanaka Nippon Institute of Technology  
Yuichi Nakazato, Nippon Institute of Technology  
Toyama Shigeki, Tokyo University of Agriculture and Technology

**Abstract:** In this study, we develop the active catheter using peristaltic motion. This active catheter is inserted through an incision in inner surface of the wrist, ankle and femoral in the same manner as normal catheter using in heart surgery. The aim of this study is to develop the mechanism that can approach to coronary artery occluded by thrombosis and expand it. Therefore, the diameter of active catheter must be less than 1mm inside diameter of site of predilection for thrombus, and can move an aorta larger than 30mm inside diameter.

**Key Words:** peristaltic movement, Retractable active catheter

#### 1. はじめに

マイクロロボットの医療分野への応用の一つとして能動カテーテルがある。日本人の三大死亡原因は一般に悪性新生物・心疾患・脳血管疾患が挙げられ<sup>(1)</sup>、その内2つが循環器疾患となる。その治療法として有望視されているものにカテーテル治療があるが、成功の可否は術者の経験や技術に左右される<sup>(1)</sup>。筆者らは一連の研究で患部までの移動や治療行為を自動で行い術者・患者双方の負担を軽減するための能動カテーテルを開発している<sup>(2)</sup>。本論文ではよりレンジの広い血管径に対応する能動カテーテル機体の開発を行ったので報告する。

#### 2. 研究の概要

過去 16 年間において血管内走行を目標にした能動カテーテル機体の開発を行っている。伸縮を利用した走行機構や自動走行を行なうための流体圧送アクチュエーターを開発し、ロボットの走行性や小型化、移動速度の向上についての研究を主に行ってきた<sup>(3)</sup>。

走行機構は、圧送管を用いて液体を送り、複数のバルーンを後方から順々に膨張・収縮させることで生じるぜん動運動を利用するものである。それにより、膨張時に大きな面積で管内壁と接触し、移動や保持に必要な摩擦力が確保できる。Fig.1 に管内走行能動カテーテル機体の概要図を示す。

#### 3. 設計条件の検討

一連の研究では、移動原理の理論的な追及や機構の開発に重点がおかれていたため、本報告では、膨張率の向上と耐久性に重点を置き、機体の外装となっているラテックスチューブをポリウレタンゴムに変更する<sup>(2)</sup>。

移動機構の外装をポリウレタンゴムに変えることでラテックスチューブを使用していた時よりも生理食塩水を多く圧送できるという結果が既に研究者らの実験より判明している<sup>(2)</sup>。実験より、ポリウレタンゴムの外装を用いることでより太い血管を移動できることを示した。また天然ゴム特有のアレルギーを持つ人にも安心して治療行為が行える。さらに、無色透明であるため機体が故障して

も対処が容易である。

本報告では特に、外装にポリウレタンゴムを採用した能動カテーテル機体が正常な血管からプラーク等で管径が狭まってしまった部分あるいは動脈から枝分かれして細くなっている部分など、血管径が大きく変化する部分に対応できる機構を検討する。特に、血栓好発症部位の冠動脈 1 [mm]程度での治療ができることを想定し、血管内径 5~6[mm]程度から内径 1[mm]までの移動を条件とする。また、術者がカテーテル治療を行う時間は最大で 1 時間程度とし、手首の橈骨動脈から冠動脈 30[mm]までの距離を約 1[m] (カテーテル自体が 80[mm]から 120[mm])と仮定すると、一回の手術でカテーテルを移動させる速度は最低でも 0.27[mm/s]となる。

#### 4. 試作機体

本報で試作した能動カテーテル機体は血管内径 10[mm]~5[mm]の箇所を  $\phi 3.7$  の能動カテーテル機体を用い、血管内径 5[mm]~0.8[mm]の箇所を  $\phi 0.8$  の能動カテーテル機体を用いて移動する。初期状態では  $\phi 0.8$  の能動カテーテル機体は  $\phi 3.7$  の能動カテーテル機体内に格納されており、血管内径が細くなり 3.7[mm]以下の細い血管に到達次第  $\phi 0.8$  の能動カテーテル機体を射出し、 $\phi 0.8$  の能動カテーテル機体のみで走行を継続する構造を提案する。両機の走行原理は流体圧送アクチュエーターを用いた 2 圧送式の蠕動運動を利用している<sup>(3)</sup>。Fig.2 に  $\phi 3.7$  能動カテーテル機体、Fig.3 に  $\phi 0.8$  能動カテーテル機体の概要図を示す。

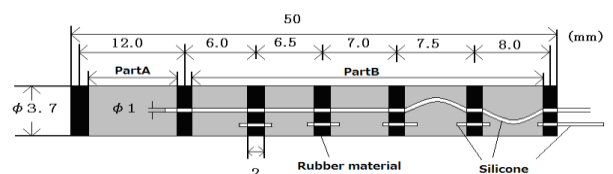


Fig.1 Previous In-pipe active catheter

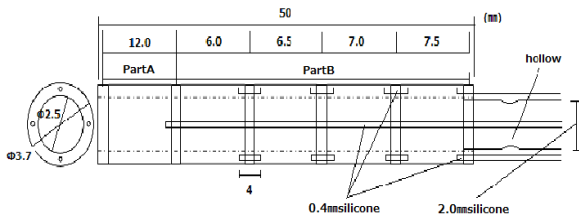


Fig.2 φ3.7 active catheter

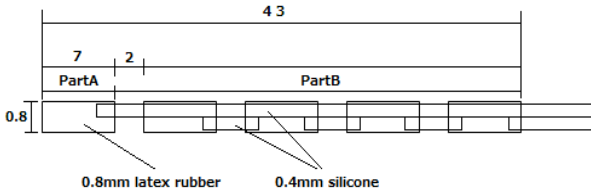


Fig.3 φ0.8 active catheter

## 5. 走行実験

走行実験は、Fig.2で示したφ3.7能動カテーテル機体とFig.3で示したφ0.8能動カテーテル機体との走行実験、及びφ0.8能動カテーテル機体をφ3.7能動カテーテル機体に格納し、1つの機体として走行を行わせる実験を行った。また、比較のため既に研究者らが開発した同様の機構を有するφ3.7能動カテーテル機体を用いて同様の実験を行った。実験には、水圧発生装置及び送り速度の調節ができるようリニアスライダ（SUScorporation XA 電動アクチュエーター）を用いて実験を行った。

### 5.1 φ0.8 能動カテーテル機体走行実験

内径φ5、外径φ7のシリコンチューブを使用し、実際の血管を模した管路を用いて走行実験を行った。管路は直線で100[mm]進行するためにかかる時間・速度・1サイクルあたりの移動距離を求めた。

### 5.2 φ3.7 能動カテーテル機体とφ0.8 能動カテーテル機体を合わせた走行実験

内径φ6、外径φ8のシリコンチューブに内径φ5、外径φ7のシリコンチューブを繋ぎ、管径が狭まる血管を模した管路を作製し、走行実験に使用した。管路はそれぞれの管径ごと100[mm]のシリコンチューブを合わせて200[mm]とした。作製したφ3.7能動カテーテル機体で内径φ6、外径φ8のシリコンチューブ内を蠕動運動で進行し、内径φ5、外径φ7のシリコンチューブに到着し次第φ3.7能動カテーテル機体内のφ0.8能動カテーテル機体をφ2.0シリコンチューブから直接水圧発生装置を用いて射出する。その後φ0.8チューブ機体を蠕動運動で自走させる実験を行った。

Table.1 φ0.8 micro robot trial run (Time, Movespeed, Movement distance per cycle)

	Time[s]	Move speed [mm/s]	Movement distance per cycle[mm]
First	21.27	4.701	67
Second	23.71	4.217	65
Third	22.46	4.452	67
Fourth	25.41	3.935	63
Average	23.21	4.33	65.5

## 6. 実験結果

### 6.1 φ0.8 能動カテーテル機体

4.1の走行実験結果をTable 2に示す。φ3.4能動カテーテル機体および、φ0.8能動カテーテル機体、φ3.7能動カテーテル機体を比較(時間、速度、1サイクル当たりの移動距離)したものをFig.5に示す。

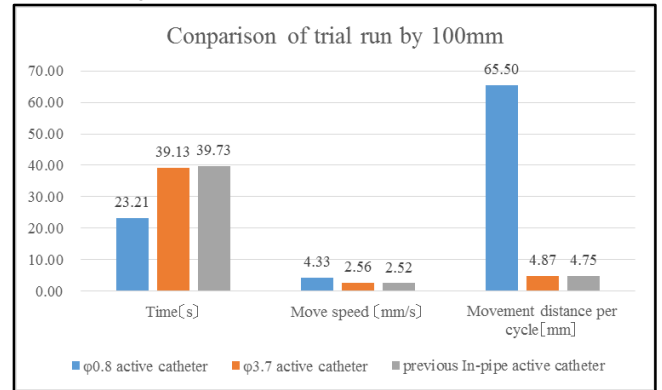


Fig.5 active catheter trial run

Fig.5の3本の棒グラフは左から順にφ0.8能動カテーテル機体、φ3.7能動カテーテル機体、1サイクルあたりの移動距離となっている。

φ0.8の能動カテーテル機体はφ3.4やφ3.7の能動カテーテル機体よりも時間は16.52[s]短縮でき、速度は約1.7倍速くなっている。移動距離は60.75[mm]と大幅に差がついた結果となった。

### 6.2 多段式能動カテーテル機体及び以前の能動カテーテル機体のカテーテル治療時間を意識した理論値

Fig.5より提案した能動カテーテル機体は、設計条件の速度0.27[mm/s]より上回っていることがわかる。

φ3.4能動カテーテル機体でも理論上では7分ほどで冠動脈30[mm]に到達でき、多段式能動カテーテル機体では理論上6.5分で到達できると求められた。

### 6.3 φ0.8 格納型φ3.7 能動カテーテル機体

φ3.7能動カテーテル機体内からφ0.8能動カテーテル機体の射出を成功した。また、実験よりφ3.7及びφ0.8能動カテーテル機体もそれぞれ走行に成功している。φ3.7能動カテーテル機体の走行実験に関してはFig.1で示した前年度の機体の構造と同様で実験結果も時間・速度・1サイクル当たりの移動距離共に大幅な変化は表れなかった。

## 7. 考察

マイクロメカニズムやマイクロロボット技術を応用し、能動カテーテルの開発を行った。新たな構造材料を選定することでφ0.8の能動カテーテルの開発に成功し、冠動脈における血栓好発症部位1[mm]のような細い血管の走行が可能であることが実験より明らかとなった。また、提案したφ0.8格納型φ3.7能動カテーテル機体は、走行可能な血管の内径を大幅に増やし、血管径10[mm]から1[mm]までの血管走行が可能であることが実験的に示された。

## 参考文献

- (1)百村伸一, 心臓カテーテル, メジカルビュー社
- (2)長尾 巧, Robotics and Mechatronics 講演会 p1,2014 年
- (3)加藤優太, 一般社団法人日本機械学会概要,p1,2011 年度