

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	多重チューブ推進機構の変形・動作モデルの構築と多機能化
Title(English)	
著者(和文)	竹島啓純
Author(English)	Hirozumi Takeshima
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11122号, 授与年月日:2019年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小俣 透,鈴森 康一,吉田 和弘,遠藤 玄,石田 忠,高山 俊男
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11122号, Conferred date:2019/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

多重チューブ推進機構の変形・動作モデルの構築と多機能化

東京工業大学 工学院機械系機械コース

竹島啓純

指導教員： 小俣 透 教授

高山 俊男 特定准教授

本論文では多重チューブ推進機構と呼ばれる配管検査補助のための柔軟な管内推進機構について、実験に依存せずに変形・動作を予測するための変形・動作モデルと複雑な動作を実現するための多機能化手法を提案する。

1. 序論

配管は社会で幅広く活用されていることから、配管検査は重要である。様々な配管検査手法の中でも内視鏡検査は、様々な配管に応用可能で視覚的に配管内を観察できることから有用である。一方で、長い配管や曲がった配管への内視鏡の挿入補助を目的として、様々な管内推進機構が提案されてきた。多重チューブ推進機構は Fig. 1a に示すように柔軟なチューブを周期的に編んで接着した管内推進機構であり、チューブへの周期的な加圧・減圧による変形で動作する。単純で周期的な構造でありながら、Fig. 1b に示すような配管を簡単な制御で通過できるほか、工業的な製造に適しており他の管内推進機構より安価な製造が期待できる。一方で、これまではその設計パラメータを適用する配管にあわせて試行錯誤的に探索していた。また、過去に提案された多重チューブ推進機構は管内の前後動のみが制御可能であり、分岐管で進行方向を選択したり、先端部の姿勢を制御したりすることができなかった。そのため、多重チューブ推進機構の変形と動作を定式化して設計手法を提案したり、単純な構造のまま機能を増やしたりできれば、多重チューブ推進機構がより有用な装置になると期待できるため、本論文では多重チューブ推進機構の変形・動作モデルの構築と多機能化を目的とする。

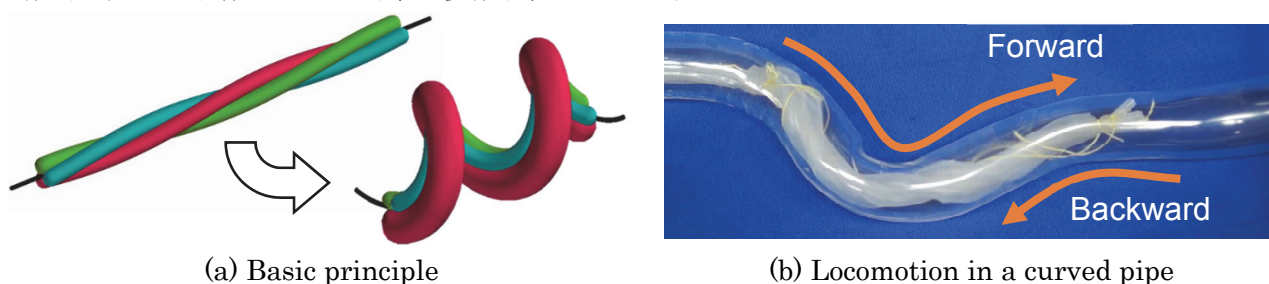
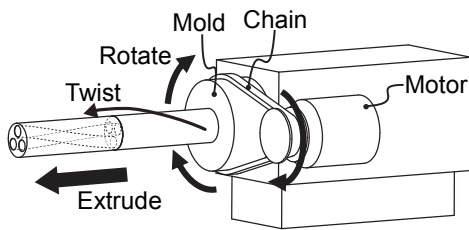


Fig. 1: Helical braided-tube locomotive device

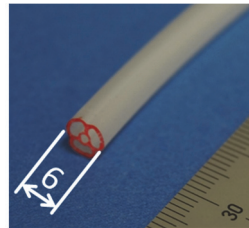
2. らせん型多重チューブ推進機構の変形と摩擦力のモデル化

まず、3本のチューブを伸びない芯線の周りに巻き付けた構造を持つらせん型多重チューブ推進機構について変形と摩擦力をモデル化し、設計手法を導出する。チューブの内圧と機構中心曲線の屈曲の関係を幾何的に論ずることで、チューブの内圧が機構中心曲線の振率に影響を与えないことが明らかになった。このことから機構の変形や、機構と配管との間に生じる摩擦力がモデル化でき、らせん型機構の変形後の外接円直径に最大値が存在することや、機構が発生する摩擦力が配管内の機構長さが増えるほ

ど増加し、摩擦係数に依存しない上限値に収束することを明らかにした。これらの変形や摩擦力の予測モデルについて、実験で妥当性を確認した。さらに、提案モデルをもとに希望の配管内で推進できる機構を設計するための手法や、Fig. 2a に示すようにらせん型の多重チューブ推進機構を連続的に押出成形するための装置と手法を提案した。提案手法を用いて、ガス管等に用いられる内径 28mm の 25A 管で推進可能ならせん型機構を設計し、Fig. 2b に示すように管内推進機構を実現した。押出成形したらせん型の機構は初期外径が 6mm、全長が 2m 程度の機構で、Fig. 2c に示すように屈曲部や垂直部を持った 25A 管を通過でき、最速で 8 mm/s の直進を達成できたことで多重チューブ推進機構の実用性が示された。



(a) Auto twisting extruder



(b) Extruded prototype



(c) Locomotion in a practical piping system

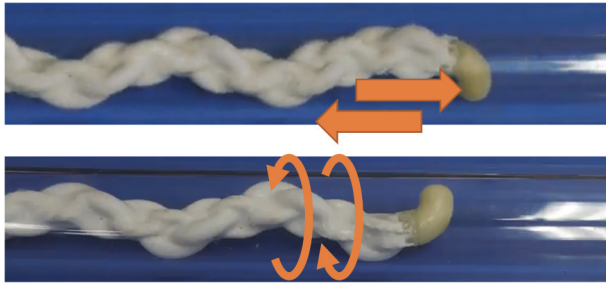
Fig. 2: Extruded helical braided-tube locomotive device

3. 編みチューブ式索状機構の変形・動作のモデル化

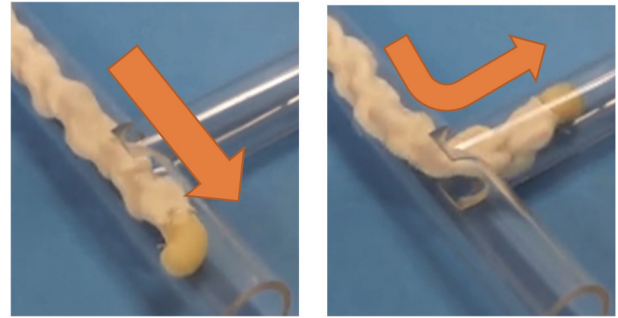
加圧により膨張するチューブだけでなく、加圧により軸方向に収縮する空気圧人工筋も含めた任意のチューブ状のアクチュエータを任意の編み方で編んだ索状機構について、汎用的に用いることのできる変形・動作モデルを提案する。まず、索状機構の管内での動作で生じる移動について、機構中心曲線がらせん形状や正弦曲線を描きながら、機構中心曲線回りに捻転したり機構中心曲線を時間変化させたりする動作によって生じる機構先端部の配管内での直進速度、角速度を導出した。導出した速度を、先行研究と比較して動作モデルの妥当性を示した。続いて、チューブ状のアクチュエータを任意の編み方で編んだ機構について、複数のアクチュエータの力が1本のアクチュエータで近似できることを示し、任意のチューブ状アクチュエータによって生じる変形の予測モデルを導出した。

4. 多重チューブ推進機構の多機能化

管内推進機構は配管検査を目的として内視鏡挿入を支援するための装置であるため、配管内での前後移動、姿勢制御、分岐管の選択的推進といった機能が必要である。新たに6本のチューブを編んだ六つ編み型多重チューブ推進機構を提案し、これらの機能を備えた多機能な管内推進装置を目指した。前章で提案した変形・動作モデルを用いて、管内での配管内での前後移動や姿勢制御のための動作、分岐管で選択的に推進するために必要な推進手法を提案し、試作機で検証した。試作機は、初期外径 8 mm、全長 120 mm 程度の機構で、内径 14 mm から 21 mm までの配管で推進可能であった。また、内径 14 mm の配管で 5 mm/s 程度、内径 21 mm の配管で 30 mm/s 程度の直進が可能であった。さらに、Fig. 3a に示すように直進と回転を自由に制御できることや、Fig. 3b に示すように希望する分岐管に進入できることを確認し、配管内での作業・検査に必要とされる機能を備えた単純な構造の管内推進機構が実現できた。



(a) Locomotion and rotation



(b) Path-selection

Fig. 3: Motions of a six braided-tube device

5. 結論と今後の課題

本論文では、多重チューブ推進機構の変形・動作モデルの構築と多機能化を目的とした。第 2 章ではらせん型機構の変形と摩擦力についてモデル化し、希望の配管で推進するための設計手法を提案した。さらに、第 3 章でらせん型以外の任意の編み方で製造した機構の変形や動作の予測モデルを実現することで、多重チューブ推進機構の変形・動作モデルの構築を達成した。第 4 章では導出した変形・動作モデルをもとに、六つ編み型の機構と分岐管選択手法を提案することで、管内推進機構に求められる様々な機能を有した多重チューブ推進機構を実現した。よって本論文では、研究目的であった多重チューブ推進機構の変形・動作モデルの構築と多機能化を達成することができたが、多重チューブ推進機構を実用化するには、安定した生産方法や、加圧・減圧の高速化といった課題に取り組む必要がある。