

氏名	よし 葭	なか 仲	きよし 潔
学位(専攻分野)	博士(工学)		
学位記番号	工博第2114号		
学位授与の日付	平成14年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
研究科・専攻	工学研究科機械工学専攻		
学位論文題目	低侵襲医用機器の体内誘導技術に関する研究		

論文調査委員 (主査)
教授 池内 健 教授 吉川 恒夫 教授 岩田 博夫

論文内容の要旨

患部への接近と治療のための切開、切除を最小限に留める低侵襲医療は患者の機能低下を防ぎ、回復を早めるので近年広く採用されるようになってきた。しかしながらそれらを体内で駆動するためには豊富な経験と高度で特殊な技術を要し、もし術者が未熟であれば従来の技術よりもむしろ危険性が高い。本論文は内視鏡とカテーテルを中心とする低侵襲医療機器を、体内において安全、確実に駆動することを目的として行った研究の結果を示しており、その主な内容は次の通りである。

第1章では内視鏡とカテーテルの歴史、利点、問題点を紹介してこの分野の研究の必要性について解説すると共に、本研究の目的について記述している。

第2章では消化器内皮を覆う粘液を利用して内視鏡を推進させる新しい機構を提案している。これは円筒面に斜めに配置したリブを持っており、この円筒面を回転させて粘液によって相手面との間に生じるせん断力を推進力に変換する機構である。生体組織と機器との間には粘液が存在するため、理論上は生体組織を損傷することなく機器を推進させることが可能である。また機構が単純であるため小型化も容易であり、将来、マイクロマシンの駆動に応用される可能性がある。まず数値シミュレーションによって推進力を最大にするリブ形状を求め、可視化用拡大モデルを用いた実験によってその妥当性を検討すると共にキャピテーション又は渦が発生するために推進力に限界があることを明らかにしている。また、体内で使用することを想定したミリマシンを製作し、管内を走行させる実験を行った結果、管内壁にリブ高さ程度の粘液があれば流体力学的に推進させることが可能であることを示している。

第3章ではスパイラルリブ付のインペラーを超弾性ワイヤーの先端部に固定して後部で回転させることを試みている。まず、推進力を精密に測定できる装置を用いて計算の結果を検証すると共に、理論と実験の両面からリブの最適形状を求めている。また屈曲した管内を推進させることを試み、回転によってウォブリング現象が生じるため、インペラーが管の中心位置に移動して生体組織を損傷することなく推進させることを示している。またインペラーをウサギの直腸に挿入して抵抗力を計測した結果、リブ付のインペラーを回転させることによって挿入抵抗力が大幅に減少することを確認している。

第4章では進行方向に広がりすきまを有する2個の潤滑部を設け、相互の距離を周期的に変化させることによって往復運動をさせ、流体潤滑におけるくさび作用の方向性を利用して推進する機構を提案している。ピンオンディスク型摩擦試験機による摩擦力の測定により、くさび状のすきまでは往復運動によって摩擦力に差が生じることを明らかにした。また摩擦力に及ぼすピンの移動速度や荷重の影響を示している。さらに往復運動により推進するロボットの推進試験を行い、往復運動の行程長と推進速度の関係を明らかにしている。

第5章では振動を利用して医療用機器と生体組織の間の摩擦を制御することを試みている。振動子を試料表面に対して垂直方向と接線方向に振動させる実験を行った結果、振動数と振幅が大きいほど摩擦の減少率が大きいことを明らかにしている。また組織表面に存在する粘液の粘度が低いほど摩擦の減少が著しいことも明らかにしている。さらに振動のオンオフによって摩擦を制御でき、特に加振中は摩擦抵抗が安定した値をとってスムーズな挿入が可能であることを確認している。ウ

サギの下部消化管に機器を挿入する実験を行った結果、加振により容易に挿入できることを確認している。

消化管の屈曲部や血管の屈曲部、分岐部において医療機器を必要な方向に誘導するためには方向の制御が必要である。第6章では体外に設置した磁石によって機器の進行と垂直な方向に力を加えて進行方向を制御することを試みている。実験の結果、30—50mm離れた位置に置いた電磁石によって体外からカテーテルの進行方向を制御できることを示している。また、磁石によってカテーテルを体外から加振して低摩擦で推進させる可能性も示している。

第7章は本論文の総括であり、本研究で得られた成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は内視鏡やカテーテルなどの低侵襲医療機器を対象とし、それらの挿入と推進を安全、確実にを行うための技術を開発することを目的として研究を行った成果についてまとめたものであり、得られた主な成果は次の通りである。

1. スパイラルリブ付のインペラーを回転させ、消化管の内壁に付着している粘液を利用して医療機器を流体力学的に推進させる機構を考案し、計算機シミュレーションにより推進力が最大となるリブ形状を明らかにし、実験によって計算結果と最適設計法の妥当性を確認すると共に、キャビテーションと渦のために実際の推進力に限界があることを示した。
2. スパイラル付のインペラーを超弾性ワイヤーの先端部に固定して後部を駆動する実験を行い、屈曲管内に挿入する場合の推進能力と抵抗値を調べることで本駆動方法の有効性を確認した。次いで、これをイヌ、ウサギの大腸に挿入することを試み、スパイラルリブを回転させることにより挿入抵抗が著しく減少することを確認した。
3. 傾斜面を周期的に往復運動させ、粘液の流体くさび作用を利用して推進させる機構を考案し、実験により医療機器の推進に応用できることを示した。また、流体潤滑状態を実現するためには接触幅に比べて往復運動の行程を十分に大きくする必要があることを明らかにした。
4. 医療機器に振動を与えれば機器と生体組織の間の凝着が生じにくくなるため推進抵抗が著しく減少することを示し、振動の周波数と振幅が大きく粘液の粘度が低いほど加振の効果が大きいことを明らかにした。またウサギの直腸に挿入したとき振動のオンオフによって挿入力の制御が可能であることを実証した。
5. 体外に設置した電磁石によって体内の内視鏡、カテーテルの進行方向を制御する技術を開発し、屈曲部や分岐部を任意の方向に誘導することに成功した。

以上、本論文は内視鏡、カテーテルなどを体内に挿入して誘導する機構を考案し、それらが生体組織損傷の防止に有効である事を実証したものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成14年1月28日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。