

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 3 月 31 日現在

機関番号：33302

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22760137

研究課題名（和文）尿管および尿管ステント内の基礎流動特性の解明

研究課題名（英文）Fundamental study on flow pattern in ureter and ureter stent

研究代表者

杉本 康弘（SUGIMOTO YASUHIRO）

金沢工業大学・工学部・准教授

研究者番号：00319039

研究成果の概要（和文）：

本研究では、腎疾患あるいは尿管結石などの患者に適用される尿管ステントについて、結石形成および逆流現象を明らかにするため、実験的および数値的に尿管内およびステント内流動特性に関する研究を行った。試験装置の設計・製作を行い、流動計測実験と結石形成実験を行った。また、計測した流量データをもとに数値解析を行い、流れ場の予測を行った。

研究成果の概要（英文）：

Ureter stent are detained in a patient with ureterolith. It remained to be clear flow patterns and formation mechanism of ureterolith in ureter stent. In this study, experimental and numerical study was performed about formation of ureterolith in an ureter stent. An experimental apparatus was designed and produced. Then flow pattern and position of ureterolith formation was measured. In addition, numerical simulation under condition of flow rate measured in the experiment in order to clear flow pattern and their comparison.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	900,000	270,000	1,170,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,400,000	420,000	1,820,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・流体工学

キーワード：尿管ステント，尿管結石，結石形成，管内流れ，医工連携，流体工学

## 1. 研究開始当初の背景

人間の体内の多くの部分は水分で構成されている。心臓をポンプとし血液が体全体を循環している。養分や水分はさまざまな臓器で吸収され、最終的には腎臓においてろ過され、老廃物とともに体外へ排出される。本研究の対象はこの排出部分である。すなわち腎臓か

ら膀胱への尿の流れを研究対象とする。これら 2 つの臓器を接続するパイプとして尿管が存在している。腎臓でろ過された尿は腎盂に蓄積され、臓器間のヘッド差および尿管の蠕動運動（尿管の収縮および膨張運動）によって膀胱へと流入してゆく。ある程度、膀胱に尿が蓄積されると、尿意をもよおし、体外

へ排出される。

しかし、老化や疾患および結石などで蠕動運動不全や詰まってしまった場合には、尿管内にステントと呼ばれる細管を挿入し、尿を腎盂から膀胱へと導く。この際に以下のような問題点が発生している。

- (1) 尿管内外に結石が形成され、ステントを高頻度(2~3ヶ月に1度程度)で交換する必要がある。これは患者にとって、体力的・精神的に大きな負担となる。また、健常な尿管の場合、蠕動運動および臓器粘膜により逆止弁作用が働き、排尿時の昇圧により尿が逆流することはない。しかしながらステントを挿入した場合には、逆止弁の働きがなく、
- (2) 膀胱内の尿が腎盂まで逆流することが報告され、膀胱内細菌や老廃物の影響を受け、腎疾患を招く結果となる。

また、健常な尿管であっても比較的大径の結石が形成される場合がある。結石は腎盂からの流出部、主に大動脈との交差による狭窄・屈折部そして膀胱への出口部で形成されることが指摘されている。ステント内流れと同様に、尿管内流動特性は尿管疾患に重要な役割を果たしている。

## 2. 研究の目的

尿管および尿管ステントにおける結石形成(堆積)機構、および尿の逆流機構を明らかにすることが待たれている。そこで本研究では、尿管および尿管ステント挿入時を模擬し、尿管内の流動特性を明らかにする。特に、腎盂から膀胱への小ヘッド差流れにおける流動と排尿時昇圧による急激な逆流現象の有無について検討する。

## 3. 研究の方法

本研究では新たなステント設計および流れ場の把握を目的として、人体内流れ、特に腎盂から膀胱までの配管系を模擬できる試験装置を設計・製作し、ステント留置時の流れ現象を実現した。また、実際の尿を模擬した懸濁液を用い、結石形成に関する実験を行った。

## 4. 研究成果

### (1) 試験装置の設計・製作

本研究では膀胱内圧などの変化を模擬し、変化する尿管ステント内流動を実現するために試験装置を設計・製作した。試験装置は主に腎盂と膀胱を模擬した2つの水槽と尿管を模擬した管路、そして圧力調整用のレギュレータで構成されている。図1にその概略を示す。

### (2) 流量計測実験

本試験装置の評価のために、下部水槽の圧力を調整し、流量計測を行った。ここに、無負

荷時の上下水槽のヘッド差は180mmである。また試験部は2mm×2mmの矩形流路および外形2mm、内径1mmのステントを留置した条件で行った。下部水槽圧力変化に伴う流量の変化を図2に示す。ここでは、上部水槽に排出される方向を正值として示している。ステントの有無により流量は異なるが、当然のことながら下部水槽の圧力増加(ヘッド差の減少)に伴い流量が減少し、おおよそ $P_{\text{gage}}=2\text{kPa}$ 付近でヘッド差がなくなり流量がほぼ0となる。さらに、圧力が上昇すると、下部水槽から上部水槽側へと流れ方向が変化することが確認された。したがって、排尿時の膀胱内圧が6kPa程度になることが指摘されていることから、尿管ステント留置時において膀胱から腎盂への流動の存在が予測できる。

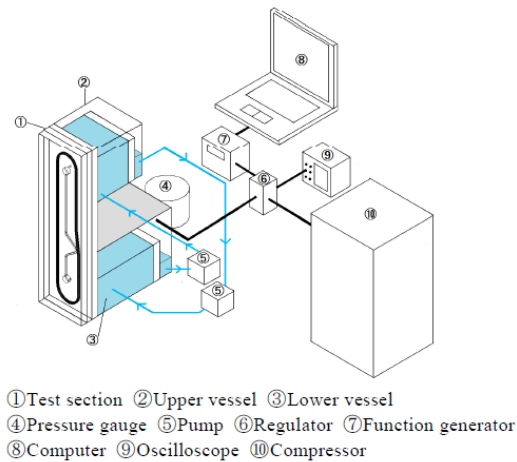


Fig. 1 Experimental apparatus

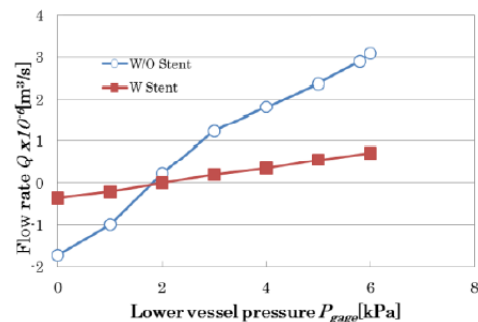


Fig. 2 Flow rate of test section

### (3) ステントモデル内流動評価

図3(a)にPIV計測結果、(b)にCFD結果を示す。ここに、流れ場はステント留置なしの状態、矩形の透明アクリル樹脂流路(2mm×2mm)において、下部水槽圧 $P_{\text{gage}}=0$ (ヘッド差180mmAq)でPIV計測を行い、またその時の流量計測結果を用いたCFD解析を行った。PIV計測では解析窓の大きさが撮影

解像度の都合上、1辺が約0.3mm（32ピクセル）と粗い状況であるが、比較的低流速場であることから、ある程度曲がり管部の流れ場を捉えられていると考えられる。CFD結果においてもおおそ同様の流速分布が得られている。

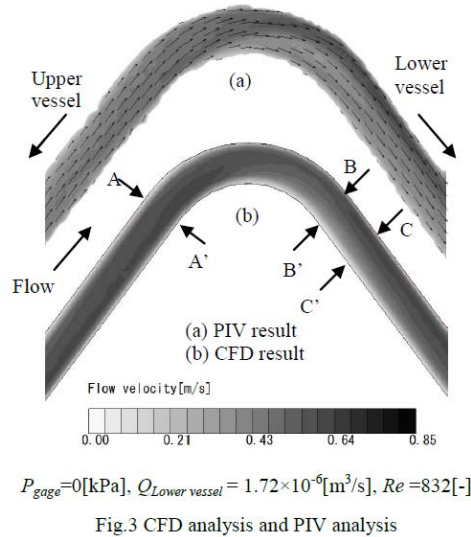


Fig.3 CFD analysis and PIV analysis

#### (4) 結石形成実験

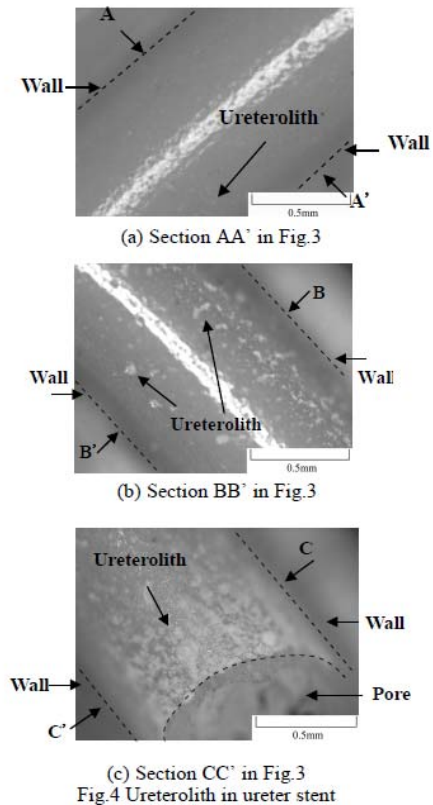
実際の尿管ステント（ポリウレタン製）を留置し、尿を模擬した懸濁液を用いて24時間の結石形成実験を行った。懸濁液は尿管結石の多くに含まれるシュウ酸カルシウム結晶が形成されるものである。図4に試験後のステント内部の様相を示す。観察位置は図3(b)に示す。図4(a)および(b)に示すように、白く観察される結晶がステント内部に付着していることが確認できる。本実験の範囲では、曲がり管下流部の領域でより多くの結晶付着が確認できた。また、曲り管の外側に多く付着する傾向を示した。

#### (5) まとめ

尿管ステント内における結石形成過程を明らかにするため、簡易的な試験装置を設計・製作し、実験的研究を行うとともに、CFDを用いた流れ場予測を行った。

- ① 人体内の圧力変動を実現し、尿管ステント留置時の流れ場を模擬できる試験装置を設計・製作した。
- ② ステント留置条件では排尿時に対応する膀胱内の圧力上昇により、膀胱から腎盂方向への流れの存在を明らかにした。
- ③ 流量計測データをもとに行ったCFD結果とPIV計測結果との比較を行い、CFDで流れ場をある程度予測できることを示した。
- ④ 懸濁液を用いた結石形成実験において、結

石形成のもととなる結晶付着状況を確認した。



#### 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0件）

〔学会発表〕（計3件）

(1) 杉本康弘, 森山学, 佐藤恵一, 鈴木孝治, 尿管ステントモデル試験装置の設計・製作および流れ場の評価, 第48回北陸流体工学研究会, 2012年3月5日, 福井大学。

(2) 杉本康弘, 森山学, 佐藤恵一, 鈴木孝治, 尿管ステントモデル試験装置の設計・製作および流れ場の評価, 医工連携セミナー&研究成果報告会, 2012年3月6日, 金沢医科大学。

(3) 毛利祐太, 高村尚幸, 杉本康弘, 佐藤恵一, 尿管ステント内における結石形成に及ぼす流れの影響, 日本機械学会北陸信越支部第41回学生員卒業研究発表講演会, 2012年3月9日, 金沢工業大学。

〔図書〕（計0件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況（計◇件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

杉本 康弘 (SUGIMOTO YASUHIRO)  
金沢工業大学・工学部・准教授  
研究者番号：00319039

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：

### (4) 研究協力者

森山 学 (MORIYAMA MANABU)  
金沢医科大学・泌尿器科学・准教授  
研究者番号：50278131