

# 補助人工心臓のための曲がり管式血流量計の曲げ角度に関する研究

## Study on bending angle of a blood flow meter using a curved pipe for a ventricular assist device

○ 斉藤 匠 (東理大院) 小阪 亮 (産総研)  
迫田 大輔 (産総研) 西田 正浩 (産総研)  
川口 靖夫 (東理大) 山根 隆志 (神戸大)  
丸山 修 (産総研)

Takumi SAITO and Yasuo KAWAGUCHI, Tokyo University of Science

Ryo KOSAKA, Daisuke SAKOTA, Masahiro NISHIDA and Osamu MARUYAMA,

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

Takashi YAMANE, Kobe University

**Abstract:** We have developed a blood flow meter using a curved pipe for a ventricular assist device. The purpose of this study is to evaluate the influence of the bending angle of a curved pipe on flow measurement by means of a computational fluid dynamics (CFD) analysis and an in-vitro test. First, we analyzed the pressure distribution in the curved pipe to determine the measurement point for the blood flow. Next, the measurement performance in actual models was evaluated using a mock circulation loop. As a result, the measurement positions for the blood flow were determined. In the measurement performance test, the errors between actual model and the commercial flow meter were 15%, 10%, 3% and 3% of the bending angle models of 30°, 60°, 90° and 120°, respectively. We confirmed that it is possible to measure the flow rate accurately in the curved pipe with bending angle from 60° to 120°.

**Key Words:** Blood Flow Meter, Ventricular Assist Device, Computational Fluid Dynamics

### 1. 緒言

埋込み型補助人工心臓の駆動状態や、補助人工心臓を適用された患者の生理学的情報を確認するため、補助人工心臓の血流量を計測することは重要である。そこで、補助人工心臓と生体を繋ぐ曲がり管を流量センサとして利用する曲がり管式血流量計を開発している<sup>(1)</sup>。本血流量計は、曲がり部の遠心力が作用する位置と、遠心力の影響の少ない位置に歪ゲージを貼り付け、両ゲージで生じる差圧から血流量を計測している。しかし、曲がり管の曲げ角度は、補助人工心臓の形状と人工心臓を体内に設置する際の解剖学的な制約から、補助人工心臓の種類によって異なるにも関わらず、本血流量計は曲げ角度を 120 度に固定していた。そこで、本研究では、曲がり管式血流量計を曲げ角度 120 度以外の曲がり管を有する補助人工心臓へ適用するため、曲げ角度が流量計測に及ぼす影響を評価し、流量計測可能な曲げ角度の範囲を検討した。

### 2. 評価方法

#### 2-1. 数値流体力学(CFD)解析

曲げ角度の異なる曲がり管として、曲げ角度 30 度、60 度、90 度、120 度の曲がり部を有する曲がり管を解析対象とした。各モデルは流入口から流出口まで、直径 12 mm の円形断面の流路であり、流入口から曲がり部開始地点までの距離を 50 mm、曲がり部終了地点から流出口までの距離を 50 mm とした。曲がり部の曲率半径は 30 mm とした。CFD 解析には ANSYS CFX 12.0.1(ANSYS Inc.)を用い、定常解析を行った。解析アルゴリズムは有限体積法である。境界条件として、流入口に一般的な補助人工心臓の平均流量である 5 L/min を、

流出口に圧力 100 mmHg を与えた。壁の境界条件は、一様にすべりなしとした。作動流体の物性値は、血液の物性値を模擬した密度 1,050 kg/m<sup>3</sup>、粘度 3.0 mPa・s とした。乱流の取り扱いでは、壁面付近で  $k-\omega$  モデル、バルク流では  $k-\epsilon$  モデルを用いる、Shear Stress Transport モデルを採用した。

本解析では、管路内の圧力分布を解析することで、曲げ角度の異なる曲がり管の遠心力の計測位置と静圧補償を行うための静圧の計測位置を決定した。

#### 2-2. 実測評価試験

評価モデルとして、30、60、90 および 120 度の曲げ角度を有する曲がり管式血流量計を製作した。評価モデルを、血液ポンプ、リザーバ、流路抵抗から構成される体循環系を模擬した閉回路に組み込み、流量計測を行った。作動流体は水である。各評価モデルの計測性能の評価を行うため、圧力計(AP641-G、日本光電(株))と超音波流量計(T402、Transonic System inc.)を用い、閉回路内の圧力と流量をそれぞれ計測した。各評価モデルの計測位置には、ゲージ長 0.2 mm の歪ゲージが貼付されており、流体が流れた際に計測位置に生じる歪を計測した。また、計測位置は局所的なひずみが生じやすい構造にするため、直径 6 mm、肉厚 0.138±0.038 mm の薄肉加工を施した。閉回路に組み込んだ血液ポンプの回転数を調節することにより、流量を 1.0 L/min から 6.0 L/min まで 1.0 L/min 毎に増加させた。

本評価試験では、市販の超音波流量計(T402、Transonic System inc.)で計測した流量と各評価モデルで計測された流量

Table 1 Pressure distribution and maximum pressure position of curved pipe for each model

Bending angle	30°	60°	90°	120°
Measurement point for the centrifugal force and compensation of the static pressure				
	○: Measurement point for the centrifugal force		△: Measurement point for the compensation of the static pressure	

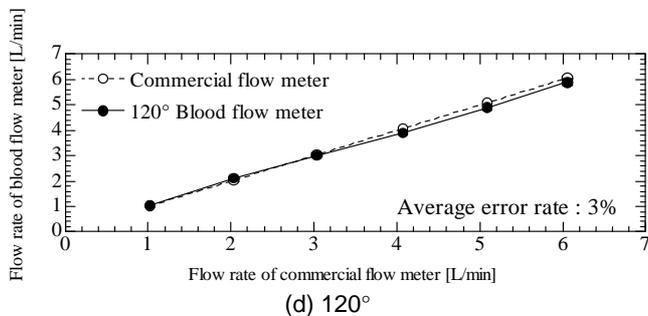
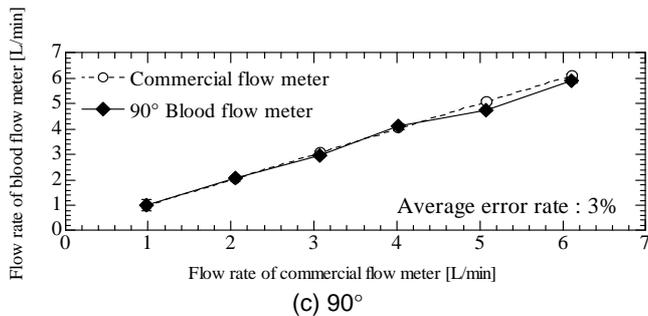
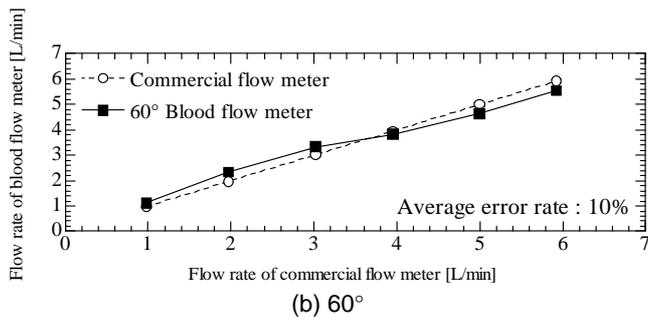
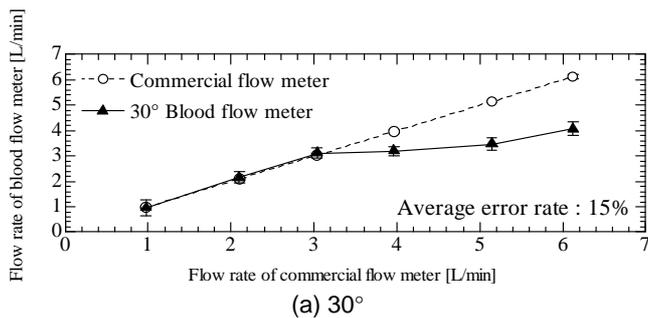


Fig.1 Average error rate between flow rate of commercial flow meter and actual blood flow meter

の平均計測誤差を算出し、平均計測誤差が10%以内となるとき、流量計測可能な曲げ角度の範囲と定義した。

### 3. 結果及び考察

#### 3-1. CFD 解析

管路内の圧力分布の解析結果を表1に示す。まず、管路内の圧力が最大となる位置を求めた。その結果、曲げ角度 30, 60, 90 および 120 度の曲がり管では、曲がり部開始地点からそれぞれ 16, 32, 37 および 38 度の位置で圧力が最大となった。そのため、この位置を遠心力検出位置に設定した。次に、遠心力の影響が小さい位置を求めた。その結果、全ての曲がり管で、曲がり部終了地点から 10 mm 離れた地点では遠心力による影響が小さかった。そのため、この位置を静圧補償位置として設定した。また曲げ角度の増加に伴い、曲がり部に生じる圧力は増加した。これは、曲げ角度の増加に伴い、流体が遠心力を受ける区間が増加するためだと考えられる。このため、曲げ角度の大きな曲がり管を用いることにより、血流量計の計測精度は向上すると考えられる。

#### 3-2. 実測評価試験

図1に実測評価試験の結果を示す。縦軸は評価モデルの流量を、横軸は比較対象である超音波流量計の流量を示す。評価モデルと市販流量計との平均計測誤差は 30, 60, 90 および 120 度の曲がり管式血流量計においてそれぞれ、15, 10, 3 および 3% となった。本実測結果より、平均計測誤差は曲げ角度の増加に伴い、小さくなった。これは、曲げ角度が増加するにつれ、曲がり部に発生する圧力が増加し、曲がり管に生じる遠心力を十分な感度で計測可能になったためであると考えられる。市販流量計との平均計測誤差が 10% 以内になる曲げ角度の範囲は、60 度から 120 度となった。

### 4. 結言

本研究では、異なる曲げ角度を有する曲がり管に対して CFD 解析および実測評価試験を行なった。その結果、流量計測可能な曲げ角度の範囲は、60 度から 120 度であることが明らかになった。

### 5. 参考文献

- (1) R.Kosaka, M.Nishida, etc., "Development of a miniaturized mass-flow meter for an axial flow blood pump based on computational analysis", *Journal of Artificial Organs*, Vol. 14, No.3(2011), pp.178-84.