

# 筋電位により制御を行う スピーキングバルブに関する研究

大 惠 克 俊

機械システム工学科 〒899-4395 鹿児島県霧島市国分中央1丁目10番2号

k-ooe@daiichi-koudai.ac.jp, k-kariya@daiichi-koudai.ac.jp

## Development of speaking valve controlled by myoelectric signal

Katsutoshi OE

Mechanical systems engineering, 〒899-4395 1-10-2 Kokubu-chuou, Kirishima, Kagoshima

k-ooe@daiichi-koudai.ac.jp, k-kariya@daiichi-koudai.ac.jp

**Abstract:** The patients who have the tracheostoma caused by respiratory managements in case of post-operation, deglutition disorder, ALS and so on, must use the tracheal cannulas. The cannulas don't lead their breaths their vocal cords, as the results, they lose their voice by using of the cannulas. To solve this problem, the speaking valve had been developed. This valve has a one-way valve mechanism, it opens when the user breathes in, and closes when user breathes out or vocalizes. Many users can get back their voices by these valves, but some users feel closeness in case of exhalation without phonation. Therefore, we aimed to develop a controllable speaking valve by user's will, and we chose the surface myoelectric signal of the sternohyoid muscle as the control signal. A prototype of controllable speaking valve was developed and confirmed its efficiency. Furthermore, a compact type speaking valve was proposed and evaluated its flow resistance by FEM analysis. From the result of FEM analysis, it was confirmed that the shape of flow channel had an effect on flow resistance. In this report, the proposal of neck myoelectric control-type speaking valve and the shape refinement of its flow channel were described.

**Keywords:** *speaking valve, welfare device, myoelectric, speaking cannula*

### 1. 緒言

手術後の管理時や筋ジストロフィー、筋萎縮性側索硬化症（ALS）等の疾患により呼吸管理を行う必要がある患者や、嚥下障害を持つため誤嚥防止の必要がある患者は頸部前面に気管孔を開け、そこに気管カニューレを留置する。気管カニューレを留置することで呼吸が気管孔より行われることになるため、呼吸が声帯を通らず音声の基となる喉頭原音（声帯音）を発生できず、発声が不可能となる。このような患者のため、気管カニューレ背部に穴を開けるとともにカニューレ体外開口部にスピーキングバルブと呼ばれる一方向

弁を装着することで、再度発声を可能とする手法が用いられている。しかし現在用いられているスピーキングバルブは、発声を伴わない呼気時にバルブが閉鎖することおよび吸気時にバルブの気流抵抗が大きいことが要因となり、使用者が息苦しさや不快感を感じる場合がある<sup>1)</sup>。

これらの問題は、使用者の意思に従ってバルブを開閉させることで解決可能であると考えられるため、我々はこの点に着目し、使用者の意思により開閉可能なスピーキングバルブを提案した<sup>2)</sup>。このバルブは頸部筋の一つである胸骨舌骨筋の筋電位信号により開閉制御され、これまでに筋電

位制御の息苦しさ改善に対する有効性が確認された<sup>2)</sup>。さらに装着性の向上を目指した小型化<sup>3)</sup>を行い、またバルブ内部の形状改良を行うことで、気流抵抗が低減可能であることが確認された<sup>4)</sup>。

本報告では、さらなる気流抵抗の低減を目的とし、有限要素解析を用いた流路形状の改良を行い、その結果から得られた知見について述べる。

## 2. 筋電位制御型スピーキングバルブ

### 2.1 従来のスピーキングバルブの問題点

気管孔に気管カニューレを留置する必要がある患者は、声帯を呼気が通過することがなくなり、音声の基となる喉頭原音を発生できないため声を失う。既存のスピーキングバルブは、気管カニューレ留置者にとっては音声を取り戻すために非常に重要なデバイスであるが、「息苦しさ」という問題を抱えている。この息苦しさの原因は、「呼気時に閉、吸気時に開」となる一方弁の機構にあると考えられる。健常者の呼吸は通常鼻と口で行うが、スピーキングバルブを使用している患者は呼吸時にはスピーキングバルブを介して吸気を行い、口および鼻から呼気を行う。発声時はスピーキングバルブが閉鎖されるため、呼気は声帯を通り発声が可能となる。スピーキングバルブ閉鎖時には気管内のカニューレが抵抗となるため息苦しさを感ずる患者が多い。代謝の高い若年層や青年はその傾向が強く、特に幼児は息苦しさに耐えかねてカニューレを抜去し、気管や気管孔を傷つけることがある。この問題を解決するためには呼吸時の息苦しさを取り除く必要があり、スピーキングバルブを「呼吸時には開、発声時に

は閉」と動作するように制御すればよいと考えられる。そこで我々は胸骨舌骨筋から検出される筋電位信号に着目し、この信号を用いて開閉制御を行うスピーキングバルブを提案した<sup>2)</sup>。

### 2.2 筋電位制御型スピーキングバルブ

本研究で提案するスピーキングバルブは、息苦しさを低減することを目的としており、そのために以下の2点について改良する。

- 1) 随意に開閉制御が可能: 頸部筋電位信号により発声時のみ閉となり、通常時は開とすることで呼吸困難を低減する。
- 2) 低い気流抵抗: バルブ開口部面積の増加と流路形状の改良により、呼吸時の呼吸困難を低減する。

1) に関してはこれまでに作製した電気式人工喉頭用制御ユニットの流用が可能であり、その有効性は確認されている<sup>2)</sup>。

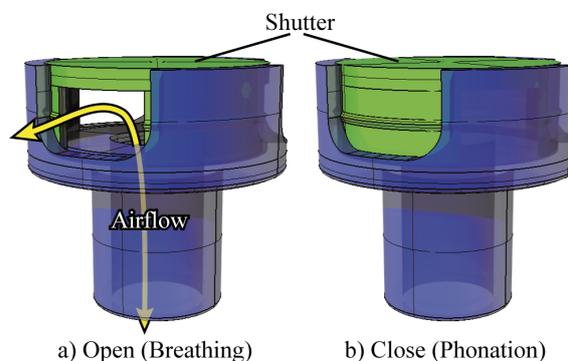


図1 新型スピーキングバルブの CAD モデル

2) に関してはバルブ形状を従来のワンウェイバルブから図1に示す回転式のスライドバルブに変更することで、開口面積を  $56\text{mm}^2$  から  $225.6\text{mm}^2$

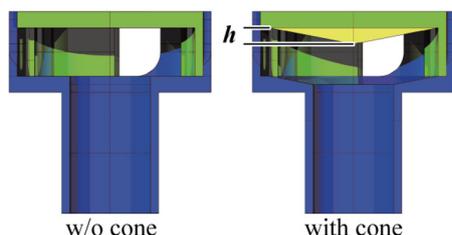


図2 円錐型整流板

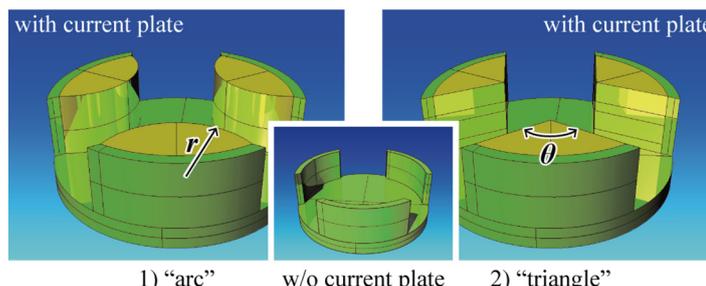


図3 円弧型・三角形型整流板

へと拡大した。ANSYS®12.1 を用いた有限要素解析により、気管内開口部出口，他方を入口と定義し，入口を大気圧開放，出口を-15.7kPaとして吸気時におけるバルブ出入り口での圧力差を求めたところ，圧力低下は 84.7kPa から 73.4kPaへと減少し，その有効性が確認された<sup>4)</sup>。さらに図中 Shutter 部内側に図 2，3 に示すような整流板を設置することで，バルブ内部での渦流生成を防ぐことができ，円錐の高さ  $h = 2\text{mm}$  で中心角  $\theta = 164^\circ$  の時に吸気時の圧力低下が 71.7kPa と最小となりさらに減少した。吸気時においては中心角度  $\theta$  が広いほど，円弧型では半径  $r$  が大きいほど気流抵抗は減少し，この結果から流路が広いほど抵抗が少ないことが確認された<sup>5)</sup>。

次に同じ形状を用い，気管内開口部を入口，他方を出口と定義し，解析条件として入口を 23.5kPa，出口を大気圧開放の値を使用して呼気時における解析も行った。呼気時においては流路が狭いほど抵抗が少なくなる傾向が見られ，中心角  $\theta = 120^\circ$  の際に圧力損失が 21.2kPa と最小の値となった<sup>5)</sup>。

### 3. 整流板形状の改良

#### 3.1 非対称型整流板

これまでは左右非対称な整流板を使用してきたが，前節で述べたとおり，吸気・呼気共に良好な特性を持つ形状は見つからなかった。そこで整流板の形状を左右非対称なものとし，気流全体で大きい渦を巻かせることによる気流抵抗の低減を狙った。本章ではその性能評価をについて述べる。

#### 3.2 非対称型整流板の形状

図 4 に非対称型整流板の形状を示す。全ての整流板において図 2 に示す  $h = 2\text{mm}$  の円錐は使用した。中心角度  $\theta = 93.2^\circ, 102.2^\circ, 108.3^\circ, 111.7^\circ$  とし，バルブ出入り口の圧力条件は吸気・呼気共に 2 章に述べたものと同じ値を使用し，有限要素解析により圧力損失を求める。

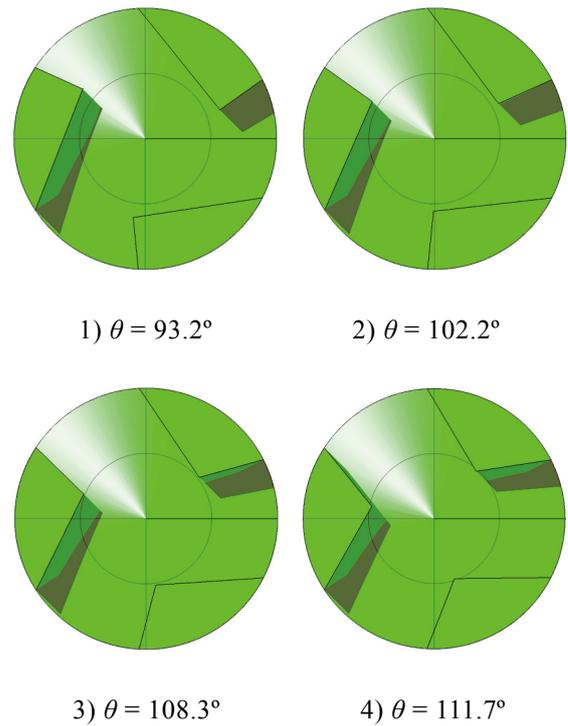
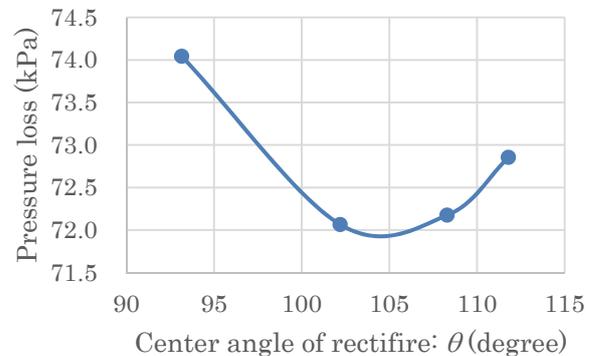


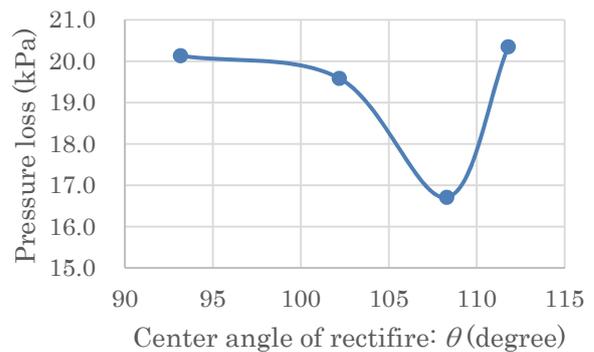
図 4 非対称型スピーキングバルブ

### 3.3 結果および考察

図 5 に吸気時と呼気時の圧力損失に関する有限要素解析結果を示す。



1) 吸気時



2) 呼気時

図 5 整流板中心角度と圧力損失の関係

図5より吸気時においては $\theta = 102.2^\circ$ の時が、呼気時においては $\theta = 108.3^\circ$ の時が最も圧力損失が少ないという結果が得られた。

表1 それぞれのバルブの圧力損失

	中心角 ( $^\circ$ )	吸気時 (kPa)	呼気時 (kPa)
既存	-	84.7	-
整流板なし	-	73.4	-
対称	120.0	72.25	21.22
	164.0	<b>71.75</b>	23.35
非対称	93.2	74.04	20.13
	102.2	72.07	19.59
	108.3	<b>72.18</b>	<b>16.71</b>
	111.7	72.85	20.35

表1に既存、整流板なし、対称型整流板、非対称型整流板のスピーキングバルブの圧力損失を示す。吸気時においては中心角が $164.0^\circ$ の対称型整流板を使用した時が $71.75\text{kPa}$ と最も圧力損失が少なく、呼気時では $108.3^\circ$ の非対称型が $16.71\text{kPa}$ と最も低い圧力損失であった。しかし $108.3^\circ$ の時の吸気時の値は $72.18\text{kPa}$ であり、 $71.75\text{kPa}$ との差は小さい。従って、本報告において解析を行った形状の中では、吸気・呼気ともに満足するものは、中心角 $\theta = 108.3^\circ$ の非対称型であると結論づけられる。

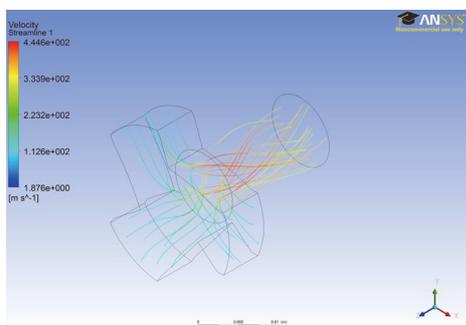


図6  $\theta = 108.3^\circ$ , 吸気における流線

図6に、 $\theta = 108.3^\circ$ , 吸気時の流線を示す。当初の予想通り、バルブ内で大きい渦が確認される。

この渦が気流抵抗に対して何らかの影響を及ぼしている可能性が考えられる。

#### 4. まとめ

本報告では、電気制御型スピーキングバルブの流路形状の改良による気流抵抗の低減について有限要素解析により評価した。非対称型の整流板を使用することで、従来よりも優れた特性が得られることが確認された。

#### 謝辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金(基盤研究(C)26350685)の補助を受けたものである。

#### 参考文献

- 1) 大恵克俊, テルセロ・カルロス, 関山浩介, 福田敏男, “頸部筋電位信号を用いた発声補助装置制御システムに関する研究”, ロボティクス・メカトロニクス講演会'11 ROBOMECH 2011 予稿集, CD-ROM, 2011.
- 2) Ooe, K., Tercero, C., Sekiyama, K. and Fukuda, T., “Speech assistant devices controlled by neck myoelectric signal”, *Proceedings of 2011 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science*, pp.315-320, 2011.
- 3) 安里翼, 大恵克俊, “筋電位制御型小型スピーチバルブに関する研究”, 日本機械学会九州支部九州学生会第44回卒業研究発表講演会, 138-2, pp.65-66, 2013.
- 4) Oe, K. and Sakurai, K., “Shape optimization of neck myoelectric signal control-type speaking valve”, *Proceedings of 2014 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science*, pp.67-69, 2014.
- 5) 大恵克俊, 櫻井康平, “楽な呼吸のための頸部筋電位制御型スピーキングバルブの提案”, 日本機械学会2015年度年次大会 DVD-ROM 論文集, J2410201, 2015.