

水道水圧用ベローズ型増圧器の開発と水道水駆動ゴム人工筋の変位制御

古田優悟*, 伊藤和寿**, 小林亘***

Development of Pressure Intensifier for Tap-Water Driven System with Bellows and Displacement Control of Tap-Water Driven McKibben Muscles

Yugo FURUTA*, Kazuhisa ITO**, Wataru KOBAYASHI***

This research discusses pressure intensifier with bellows for McKibben muscles driven by tap-water. In our previous study, the conventional pressure intensifier had larger friction force between piston and case for coiled up of bellows, hence, this led lower response of pressure rise and larger pressure loss. For this problem, even if a thickness of bellows is increased so as to avoid coiled up, restoring force of bellows becomes larger at the same time and this also leads to pressure loss. In this report, an improved pressure intensifier was proposed to reduce not only larger friction force but also larger restoring force of bellows. In addition, the static and dynamic characteristics of the improved pressure intensifier were evaluated for displacement control of McKibben muscle. As a result, experimental results showed that the proposed pressure intensifier was applicable in frequency band of no more than 0.24 Hz.

Key Words : Water hydraulics, Bellows, Pressure intensifier, McKibben muscle, Displacement control

1. はじめに

高い環境融和性、不燃等の特長を有する水圧駆動システムでは、一般に広く普及した水道配管網圧力を駆動源とするシステムの研究も進められている¹⁾。この一例である水道水駆動ゴム人工筋は、低い駆動圧力によってゴム人工筋の収縮率が空気圧駆動の場合と比較して低下する問題が指摘されているが、増圧比 2 倍程度の比較的増圧率の低い簡便な構造を持つ増圧器を用いることでこれを解決でき、下肢リハビリテーション等への応用が期待できる。

既報²⁾においては強い摩擦の原因となるシールが不要であり、かつ漏れない構造を持つベローズ型増圧器を提案し、その設計手法および増圧原理などの基本的なコンセプトを実験において確認した。しかしながら、ベローズがうねることでケースに引っかかり、応答性が低下する問題が生じていた。

2. ベローズ型増圧器の改良

Fig.1 に改良したベローズ型増圧器を示す。定常状態での増圧力は力のつり合いより式(1)が成り立つ。

$$p_2 = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 p_1 - \frac{4}{\pi d_2^2} \{ (k_1 + k_2) \Delta L + mg + f \} \quad (1)$$

ただし、 p_i [Pa(G)] は圧力室の内圧、 d_i [m] は圧力室の内径、 k_i [N/m] はベローズのばね定数、 ΔL [m] は力のつり合い時のピストン変位、 m [kg] はピストンの質量、 f [N] はピストンとケース間に生じる摩擦、添え字 ($i=1, 2$) は圧力室の番号、を示す。

本研究では、ばね定数の実用的な計算式として広く知られている M.W.Kellogg 社の式³⁾を用い、うねりが生じにくくばね定数が大きくなり過ぎないように肉厚を試行錯誤的に選定した。

$$k = \frac{4EDt^3}{3W^{0.5}H^{2.5}2n} \quad (2)$$

ただし、 k [N/m] はばね定数、 E [N/m] は縦弾性係数、 D [m] は外径、 t [m] は肉厚、 W [m] は 1/2 ピッチ、 H [m] は山高さ、 n [・] は山数、を示す。

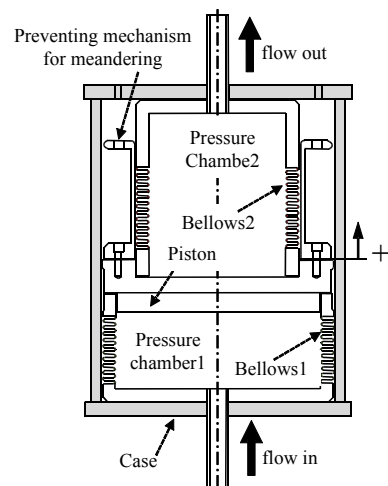


Fig.1 Sectional view of pressure intensifier with bellows

* 芝浦工業大学大学院理工学研究科
(〒337-8570 埼玉県さいたま市見沼区深作 307)
(E-mail: md16076@shibaura-it.ac.jp)
** 芝浦工業大学システム理工学部機械制御システム学科
*** 岡山理科大学工学部知能機械工学科
(〒700-0005 岡山県岡山市北区理大町 1-1)
*, ** Shibaura Institute of Technology
*** Okayama University of Science

3. ベローズ型増圧器の性能検証

Fig.2 に実験回路図を示す。

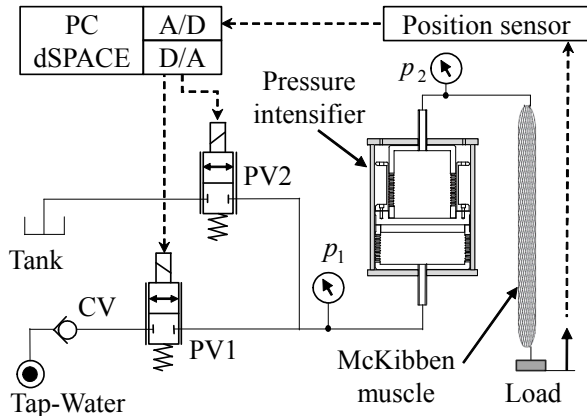


Fig.2 Experimental circuit

3.1 静特性

ステップ応答実験結果より，改良後の最大圧力は 0.296[MPa(G)] と設計増圧比 2 に達してはいないものの，増圧比 1.9 と近い値を得られている．また，式 (1) 右辺の各項の支配度を Table 1 に示した．支配度は水道水圧による増圧力を基準としている

Table 1 Influence of each element

	水道水圧 による増圧力	ベローズの復元力	ピストンの 重量	摩擦力
	式(1)の $(d_1/d_2)^2 p_1$	式(1)の $-4(k_1+k_2)\Delta L / \pi d_2^2$	式(1)の $-4mg / \pi d_2^2$	式(1)の $-4f / \pi d_2^2$
圧力 [MPa(G)]	0.356	-0.033	-0.004	-0.023
支配度[%]	100	-9.1	-1.1	-6.6

3.2 動特性

PID 制御により，ゴム人工筋の変位制御を行った．ただし，ゴム人工筋は収縮時と伸張時で動特性が異なるため，それぞれ異なる PID ゲインの値を用いている．ゴム人工筋の変位制御結果を Fig.3 に示す．実験結果より，ゴム人工筋の伸張時に振動的な挙動が見られるが，目標信号に良好に追従しているためリハビリテーションにおいては望ましい制御性能が得られると考えられる．

次にゴム人工筋変位の周波数特性実験の結果を Fig.4 に示す．ただし，リハビリテーションにおいて位相遅れについては特に問題にならないと考えられるため，省略している．実験結果より，バンド幅周波数は 0.24[Hz] であることが明らかになった．実際の下肢のリハビリテーションにおいて必要とされる 0.5[Hz] 程度の周波数を達成するため，今後は増圧器の有無を切り換えるシステムを構築する必要がある．

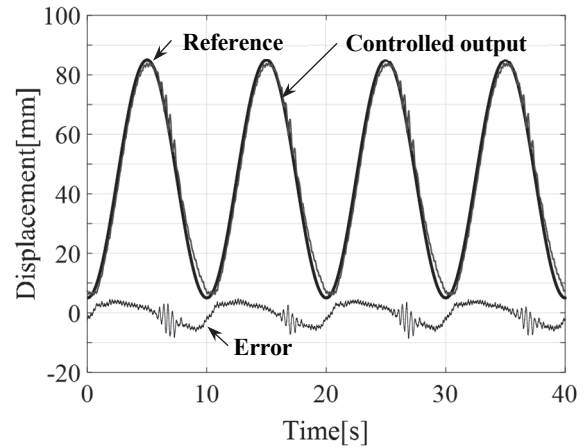


Fig.3 Experimental result of displacement control

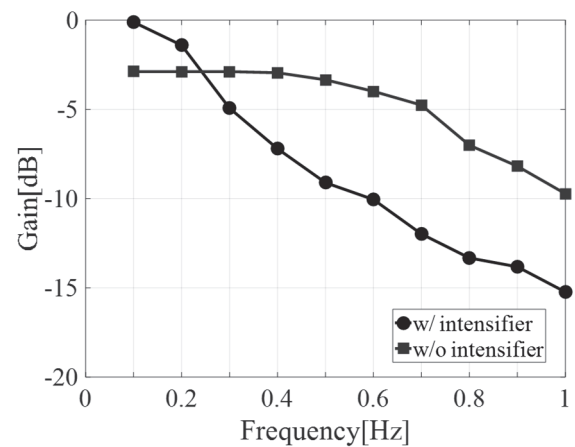


Fig.4 Gain diagram of McKibben muscle

4. おわりに

本研究では先に製作した水道水駆動ゴム人工筋用ベローズ増圧器の一次側のベローズの厚み及びケースとの隙間を変更し，うねりが生じない範囲でしゅう動部摩擦を低減した．また，ゴム人工筋の変位制御に PID 制御を適用し制御性能について良好な追従特性が得られることを示した．さらに，0.24[Hz] までの周波数帯域において，増圧器の有効性を実験により明らかにした．

参考文献

- 1) 伊藤和寿，水圧システム技術の最前線，計測自動制御学会誌，54-9, 639/644(2015)
- 2) 古田優悟，伊藤和寿，小林亘，受圧面積比を利用した水道水駆動ゴム人工筋用ベローズ型増圧器の開発，2016 年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集，12/14(2016)
- 3) 三柴隆，真空機器に使用するベローズ，日本真空学会論文集，26-10, 757/769 (1983)