

氏名・(本籍)	アブドル ナシル ビン アブドル ガファル ABDUL NASIR BIN ABD GHAFAR (マレーシア)
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	甲第工42号
学位授与の日付	平成28年3月20日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当(課程博士)
学位論文題目	Development and Analysis of Low-cost Wearable Servo Valve Using Buckled Tubes and Embedded Controller
論文審査委員	主査 教授 赤木 徹也 副査 教授 堂田周治郎 教授 山田 訓 教授 クルモフ バレリー 教授 高岩 昌弘 (徳島大学大学院理工学系工学研究部)

# 論文内容の要旨

申請者氏名 アブドル ナシル

## 論文題目

Development and Analysis of Low-cost Wearable Servo Valve Using Buckled Tubes and Embedded Controller

In this study, a small-size, lightweight and low cost servo valve is developed to replace the typical solenoid valve. As an inexpensive method of changing the opening area of the valve, the method of changing the buckling condition of the tube using a RC servo motor is proposed. 3-port twisting type valve is also proposed and tested to adjust its supply and exhaust states at the same time. In order to decrease its non-linear characteristics in relation between output flow rate and motor rotational angle, a new 3-port bending type servo valve that has smaller hysteresis characteristics and smaller overlap zone is proposed. Furthermore, position control of rubber artificial muscle using twisting and bending type valve are carried out. As a result, the standard deviation of positioning errors using bending type valve is improved from 2.0 mm to 0.9 mm. Also, pressure controlled type servo valve is proposed. By using bending type valve with smaller dead zone, the dead time of the valve is decreased. From the pressure tracking control result, the improved bandwidth frequency of 4.1 Hz was obtained compared with the previous pressure controlled twisting type valve that is 2.2 Hz. Therefore, the validity and better performance of bending type valve was confirmed. For optimal design of the valve, an analytical model of the valve with embedded controller is proposed. The system parameters are also identified. Especially the relations between the buckling angle with respect to the restoration torque and the tubes opening area are assumed as empirical formula from experimental results. In order to confirm the validity of the proposed model and identified parameters of the valve, the calculated statics and

dynamics behaviors of the valve model is compared with the experimental results. It is obtained that the calculated results using the model agree well with the experimental results. It can be concluded that the proposed model and identified parameters are useful to estimate the performance of the valve by changing the arrangement of two buckled tubes. Moreover, in order to obtain the optimal arrangement of buckled tube, the calculation results of pressure tracking control performance using the valve with various arrangements of two buckled tubes is carried out. Thus, the optimal design parameter of buckling point and the initial buckled angle of tubes and optimal control gain can be obtained. Based on the calculated transient response of tracking pressure using the optimal values, it can be confirmed that the valve performance with optimal design parameters can be theoretically improved.

発表論文：

A. 学術論文 (査読有)

1. **Abdul Nasir**, Tetsuya Akagi, Shujiro Dohta, Ayumu Ono and Yusuke Masago.  
Development of Low-Cost Wearable Servo Valve Using Buckled Tube Driven By Servo Motor.  
*Applied Mechanics and Materials*, Vol.393, pp. 532-537, (2013).
2. **Abdul Nasir**, Tetsuya Akagi, Shujiro Dohta and Ayumu Ono.  
Development of Small-sized Servo Valve Controlled by Using Buckled Tube and Its Application.  
*Journals of the Japan Society of Mechanical Engineers*, 7-4, pp. 516-527, (2013).
3. Ayumu Ono, Tetsuya Akagi, Shujiro Dohta and **Abdul Nasir**.  
Improvement of Low-cost Wearable Servo Valve Using Buckled Tube.  
*The JFPS International Journal of Fluid Power System*, Vol. 8, No. 2, pp. 119-125, (2015).
4. **Abdul Nasir**, Tetsuya Akagi, Shujiro Dohta and Ayumu Ono.  
Static Analysis On Suitable Arrangement of Tubes of Low-cost Control Valve Using Buckled Tube.  
*International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, Vol. 4, No. 3, pp. 222-225, (2015).

B. 国際学会発表論文 (査読有)

1. **Abdul Nasir**, Tetsuya Akagi, Shujiro Dohta, Ayumu Ono and Yusuke Masago.  
Development of Low-Cost Wearable Servo Valve Using Buckled Tube Driven By Servo Motor.  
*Proceedings of The 3rd International Conference on Advances in Mechanics Engineering (ICAME 2013)*,  
Malacca, Malaysia, (2013).
2. Ayumu Ono, Tetsuya Akagi, Shujiro Dohta, **Abdul Nasir** and Yusuke Masago.  
Development of Low-Cost Pressure Control Type Wearable Servo Valve Using Buckled Tube.  
*Proceedings of International Research Conference on Engineering and Technology (IRCET 2013)*, Singapore, pp.  
64-71, (2013).
3. Tetsuya Akagi, Shujiro Dohta, Yoshinori Moriwake, Ayumu Ono and **Abdul Nasir**.  
Low-Cost Pressure Control Valves Using On/Off Valves and Servo Motor Controlled by Embedded Controller.  
*Proceedings of The 12th International Symposium on Fluid Control, Measurement and Visualization (FLUCOME 2013)*, Nara Prefecture, Japan, 0S4-03-5.pdf, pp. 1-9, (2013).
4. Ayumu Ono, Tetsuya Akagi, Shujiro Dohta and **Abdul Nasir**.  
Improvement of Low-cost Wearable Servo Valve Using Buckled Tube  
*Proceedings of The 9th JFPS International Symposium on Fluid Power*, Matsue, Shimane Prefecture, Japan, pp.  
669-674, (2014).

5. Tetsuya Akagi, Shujiro Dohta, Ayumu Ono and **Abdul Nasir**.  
Low-cost Wearable Control Valves With No Mechanical Sliding Parts in Valves.  
Proceedings of The 3rd International Conference on Intelligent Technologies and Engineering System (ICITES 2014), Kaoushiung, Taiwan, (Lecture Notes in Electrical Engineering), Springer, 345, pp. 35-41, (2014).
6. **Abdul Nasir**, Tetsuya Akagi, Shujiro Dohta and Ayumu Ono.  
Static Analysis On Suitable Arrangement of Tubes of Low-cost Control Valve Using Buckled Tube.  
Proceedings of The 3rd International Conference on Intelligent Mechatronics and Automation (ICIMA 2015), Singapore, 'Best Paper Award', pp. 77-81, (2015).
7. **Abdul Nasir**, Tetsuya Akagi, Shujiro Dohta and Ayumu Ono.  
Analysis of Low-Cost Wearable Servo Valve Using Buckled Tubes for Optimal Arrangement of Tubes.  
Proceedings of IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM 2015), Busan, South Korea, pp. 830-835, (2015).
8. Keichiro Koga, Tetsuya Akagi, Shujiro Dohta and **Abdul Nasir**.  
Analytical Design of Low-cost Wearable Servo Valve Using Buckled Tubes.  
Proceedings of IEEE International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors (IEEE-IRIS 2015), Langkawi, Malaysia, T02-5.pdf, pp. 1-5, (2015).

## 審査結果の要旨

この研究は、リハビリテーション機器や介護用のパワーアシストシステムに利用できる低コストで小型なサーボ弁の開発を目的とした研究であり、安価な組込コントローラ（マイコン）をコントローラとしたゴム人工筋の位置決め制御への応用や圧力制御弁の開発などを行うとともに、形状パラメータの変更により弁の設計を解析的に行うための解析モデルを提案し、それを基に弁の最適設計をシミュレーションによって行った研究である。学位論文は、序論と結論を含む6章から構成されている。第2章の「ねじり型サーボ弁」では、屈曲チューブに小型のRCサーボモータを用いてねじりを加えることでチューブ内の開口面積を変え、それによりアナログ的に流量を調整する低コストのサーボ弁を提案、試作した。また組込コントローラを制御器としたゴム人工筋肉に位置決め制御システムを構築するとともに、圧力センサを用いた圧力制御型の弁を提案、試作し、その制御性能について評価した。第3章「曲げ型サーボ弁」では、屈曲チューブに曲げを加えることで流量を調整する新しいサーボ弁を提案、試作し、モータ角に対する出力流量特性におけるヒステリシス特性を改善するとともに、流量の生じないデッドゾーンを小さく設定することで動的性能の改善をめざした。さらに、ゴム人工筋の位置決め制御と圧力制御結果をねじり型サーボ弁の結果と比較することで改良弁の有効性を示した。第4章「曲げ型サーボ弁の解析」では、屈曲チューブの配置による弁特性を解析的に求める手法として、弁の解析モデルを構築するとともに、解析的に求めることが難しい屈曲角に対するチューブの開口面積と反動トルクの関係を実験から導出し、それらを含む弁全体のパラメータを同定した。第5章「弁性能の計算結果」では、組込コントローラを含む弁制御システムすべての解析モデルを提案し、弁の解析モデルと同定パラメータを用いて、弁の静特性や圧力制御(動特性)の計算機シミュレーションを行い、実機を用いた実験結果と比較することでモデルの有効性を示した。さらに、弁の圧力制御性能を評価対象として、弁内の屈曲チューブの最適な配置を解析的に求めるとともに、得られた最適形状パラメータと制御パラメータを用いた弁の性能が改善することをシミュレーションにより示した。

本研究の成果は、メカトロニクス分野や空気圧制御機器分野に関する新規性のある優れた知見を含んでおり、この分野の研究発展や要素技術開発に資するものである。上述の研究成果は4編の論文として学術論文誌に掲載され、8件の国際会議で口頭発表が行われている。これらのことを総合的に審査した結果、本論文は博士学位論文として合格であると判断し、論文提出者であるアブドル ナシル (Abdul Nasir) は博士 (工学) の学位を授与するのにふさわしいと認める。