

エネルギー回収型増圧器に関する実験と考察

林鍾何*, 飯田航平**, 只野耕太郎*, 香川利春*

Analysis on Energy Efficiency of Booster Valve with Energy Recovery

Jongha LIM*, Kohei IIDA**, Kotaro TADANO*, Toshiharu KAGAWA*

This paper describes the result of an analysis on energy efficiency of booster valve with energy recovery. Pneumatic systems are widely used in variable industries such as automobile production line. Recently, those factories have reduced supply pressure for saving an energy consumption. Instead, pneumatic booster valves that usually amplify a pressure twice are applied to the process where a high pressure is still necessary. However, although the pneumatic booster valves let us save energy by setting air compressors at a low pressure, it wastes some energy by exhausting compressed air that occurs during its process. For this reason, an idea of a pneumatic booster valve with energy recovery, which recovers the energy by reusing the exhausted compressed air, is proposed by a patent 30 years ago. Furthermore, a research about an analysis on this new-type pneumatic booster valve is under examination by numerical simulation. Thus, in this study, we analyze a booster valve with energy recovery by experiment and discuss an energy efficiency.

Key Words : Pneumatics, Booster valve, Energy recovery, Air power, Energy efficiency

1. はじめに

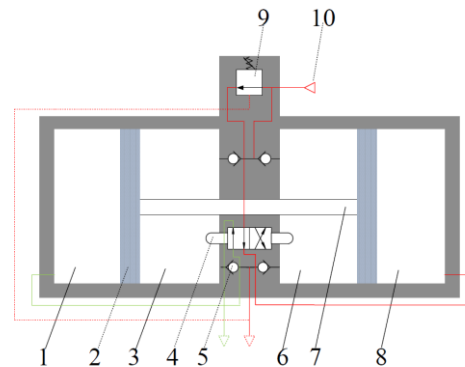
空気圧は様々な理由で多くの産業で活用されている。維持費や管理費といったコストが安いというメリットもあれば、空気自体を利用するため使った後大気中に放出しても良いなど安全性にも優れている。このような長所で特に多くの自動車生産工場に使われている。しかし、電力消費の面では良いとは限らない。エアコンプレッサーの消費電力は産業全体の電力消費量の約20%を占めており、省エネルギーにほど近いとは言えない。この問題を解決する方法としては供給圧力を下げることが考えられる。先行研究によると0.1MPaを下げるごとに約7~9%のエネルギーが節約できる¹⁾。実際にトヨタは省エネルギー対策の一環として自動車生産ラインの供給圧力を0.6MPaから0.3MPaに下げることにした。ところが、強い力が用いられる工程やタクトタイムの縮小など高圧を必要とするところで問題に直面する。この問題を解決するため、部分的に圧力を増幅する増圧弁が提案された。この増圧器は圧力を約2倍増圧することができ、現在多くの産業で広く使われている。これで空気圧に関する電力消費量は大幅に減少した。とは言え、この既存の増圧器に改善点がないとは限

らない。増圧器が増圧する途中には圧縮された空気をそのまま放出してしまう過程が含まれているため、エネルギーの損失がある程度存在する。この損失を防ぐためにエネルギー回収型増圧器が特許として提案された²⁾。また、先行研究ではシミュレーションによる検証が検討中である³⁾。しかしこの先行研究では実験での検証は行われていない。したがって、本研究では実験での検証を行う。

2. 増圧器の原理

従来の増圧器(PBV)と提案のエネルギー回収型増圧器(PBV-R)の原理はある程度一致しているところが多いが、「膨張室」というシリンダの有無が大きな違いである。

まず、従来の増圧器を説明する。この増圧器は二つのシリンダが連結しているような形である。最初は1と6に空気が供給され、その圧力により3で空気が高圧になり、その空気はタンクなどに流れ込んでいく。ここで、2が4まで届くと空気圧回路の経



1. Drive Chamber A 2. Piston 3. Boost Chamber A 4. Direction Valve 5. Check Valve 6. Boost Chamber B 7. Piston Rod 8. Drive Chamber B 9. Regulator 10. Air Source

Fig 1. Schematic graphic of PBV

* 東京工業大学未来産業技術研究所
(〒226 - 8503 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259)
(E-mail: lim.j.aa@m.titech.ac.jp)

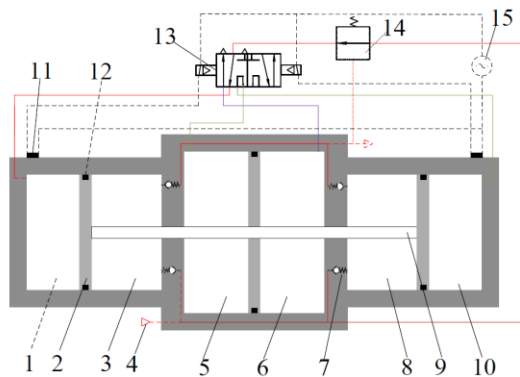
** 東京電機大学藤田研究室
(〒120 - 8551 東京都足立区千住旭町 5)

* Laboratory for Future Interdisciplinary Research of Science and Technology, Tokyo Institute of Technology

** Tokyo Denki University

路が変わり 3 と 8 に空気が供給され、その圧力により 6 で空気が高圧になる。これを繰り返すことにより高圧の空気が作られる。しかし、いずれも残り一つのチャンバーから高圧の空気が捨てられてしまう。

次に、提案の増圧器について説明する。基本的に従来と同じ原理であるが、「膨張室」が新しく追加され、放出される空気の回収を担当する。最初は 10 から放出される空気を 5 に戻し、さらに圧力を加えさせる。切換弁で空気圧回路の経路が変わった時は 1 から放出される空気を 6 に回収し、押す力として利用する。



1. Drive chamber A 2. Piston 3. Boost Chamber A 4. Air source 5. Recovery chamber A 6. Recovery chamber B 7. Check Valve 8. Boost chamber B 9. Piston rod 10. Drive chamber B 11. Magnatic switch 12. Magnetic ring 13. Two-position seven-port solenoid valve 14. Regulator 15. Power source

Fig 2. Schematic graphic of PBV-R

3. エアパワー

エアパワーとは、圧縮空気の流動を伴う空気の有効エネルギーの流束を評価するものである⁴⁾。エア

$$P = GRT_a \left[\ln \frac{p}{p_a} + \frac{\kappa}{\kappa - 1} \left(\frac{T}{T_a} - 1 - \ln \frac{T}{T_a} \right) \right]$$

パワーは以下の式で計算できる。

ここで P はエアパワー、G は質量流量、R は気体定数、p は絶対圧力、T は温度、κ は比熱比である。添え字の a は大気を意味している。本研究では、エアパワーを用いて空気のエネルギーを評価する。

4. 実験結果

エネルギー回収型増圧器は研究 3) に基づいて設計している。膨張室のシリンダの直径は既存のシリンダの直径より約 1.3 倍であるとき最も効率が良い貯



Fig 3. The experiment equipment

め、既存のシリンダの直径を 63mm、膨張室のシリンダの直径を 80mm とした。また、ストロークは両方 100mm で同じである。最後に増圧の空気を貯めるための容積 30L のタンクを繋げ実験を行った。供給圧力は 400kPa に設定し、10 回繰り返して平均値を算出したものを Table 1 に示す。

Table 1. Comparison between PBV and PBV-R

	PBV	PBV-R
Energy Efficiency[%]	32.89	42.42
Booster Ratio	1.72	1.90

従来の増圧器の手法でのエネルギー効率より提案の回収型の手法でのエネルギー効率の方が 10% 高いことがわかる。また、増圧比の面でもエネルギー回収型増圧器の方が約 0.18 高くなった。したがって、この実験の結果から、提案の増圧器は従来のよりエネルギー効率と増圧比が向上することがわかる。

5. 結論

本研究では、省エネルギーの一環として誕生した増圧器をエネルギー回収という概念を加えてさらにエネルギーの効率が向上できることを実験的に検証した。しかしながら、この増圧器には騒音という問題が存在している。増圧器の排出口からはチョーク流れに基づいた音となり、耳を閉じなくては聞いていられない非常に大きい騒音が発生する。したがって、今後の目標はエネルギー回収型増圧器に対する消音対策を考慮することである。

参考文献

- 1) 省エネルギーセンター, 省エネルギー技術ハンドブック
- 2) 香川利春, 高橋隆通. 空々増圧器. 特開平 8-21404. 1996-01-23.
- 3) Yang, Fan, et al : Characteristics Analysis of Pneumatic Booster Valve With Energy Recovery, BATH/ASME Symposium on Fluid Power and Motion Control. American Society of Mechanical Engineers, (2016)
- 4) Cai Maolin, Kenji Kawashima, and Toshiharu Kagawa : Power assessment of flowing compressed air. Journal of fluids engineering 128.2, 402-405 (2006)