負荷質量の変動に対応した電気－空気圧ハイブリッドシステムの開発

桜井康雄*，中田 毅**，梶川博通***，本間伸一***

Electro-pneumatic Hybrid System for Coping with Change of Load Mass

Yasuo SAKURAI*, Takeshi NAKADA**, Hiromichi KAJIKAWA***, Homma SHINICHI***

This paper deals with an electro-pneumatic hybrid system for coping with change of load mass. This system is composed of a pneumatic driving system and a servomotor as an electric driving system. The pneumatic driving system supplies pressure which is equivalent to the gravitational force acting on an inertial mass as a load. Therefore, the servomotor with small capacity is able to move the inertial mass vertically through a ball screw. Recently, parts with various mass convey in a product line. When this system is applied for such the production line, the pressure acting on the parts has to be controlled with the change of its mass. In the present study, an electro-pneumatic hybrid system is proposed, in which the pressure acting on a mass is controlled automatically without the information of the mass. To realize this, the control of the servomotor torque introduced. The electro-pneumatic hybrid system with the servomotor torque control is fabricated and its dynamic characteristics are investigated experimentally. Furthermore, to make the design of such the system easy, a simulation model for the system is proposed. Simulation is carried out by Amesim which is the software to simulate the dynamic characteristic of a multi-domain controlled system. By comparing the experimental results and simulated ones, the validity of the model is investigated. Consequently, it makes clear that the control of the servomotor torque is effective for coping with the change of load mass and the proposed simulation model is suitable to predict its dynamic characteristics.

Key Words : Pneumatics, Servomotor, Electro-pneumatic hybrid system, Torque control, Simulation

１．緒言

筆者らが開発している電気－空気圧ハイブリッドシステム[1]では，負荷質量の荷重に見合う空気圧を常に加えることにより，この負荷質量にかかる荷重を打ち消し，容量の小さいサーボモータで慣性負荷を鉛直上方に駆動する．

近年，ひとつの生産ラインに複数の製品を流す多品種少量生産に適している混流生産が用いられている．このようなラインに本システムを適用し鉛直上方に部品を持ち上げ保持する場合，その部品に見合った空気圧をかける必要がある．これを負荷質量の情報無しに可能とすると，生産ラインにおける情報量の低減，情報入力のミスによる空気圧のかけ過ぎや不足などの問題に対処できる．

そこで，ここでは，負荷質量が変わった場合でもこの空気圧の調整を自動化するため，サーボモータのトルクをある範囲内に制御するシステムを提案し，実験的にその駆動特性について検討する．さらに，このシステムの設計を効率的に行うことを可能とするため，そのシステムの数学モデルを提案し，そのモデルの妥当性について実験とシミュレーション結果の比較により検討する．シミュレーションに際しては，1D マルチドメインソフト Amesim[2]を用いる．

*足利工業大学工学部創生工学科
(〒326－8558 栃木県足利市大前町 268-1)
(E-mail:ysakurai@ashitech.ac.jp)
**東京電機大学情報環境学部情報環境学科
(所在地 〒270－1382 千葉県印西市武西学園台 2-1200)
***SMC(株)
(所在地 〒300-2493 茨城県つくばみらい市絹の台 4-2-2)
* Ashikaga Institute of Technology
** Tokyo Denki University
*** SMC Corporation

２．電気－空気圧ハイブリッドシステム概要

トルク制御を付加した電気－空気圧ハイブリッドシステムを Fig.1 に示す．このシステムでは，サーボモータの回転運動をボールねじにより直線運動に変換し負荷質量を駆動する．同時に，サーボモータのトルクをある一定の範囲内に制御するよう電空レギュレータの入力を PI コントローラにより制御する．ここではそのトルクの範囲を±0.05N･m とした．

３．実験結果

対象とした電気－空気圧ハイブリッドシステムを用い負荷質量を鉛直上方に駆動した場合の実験結果

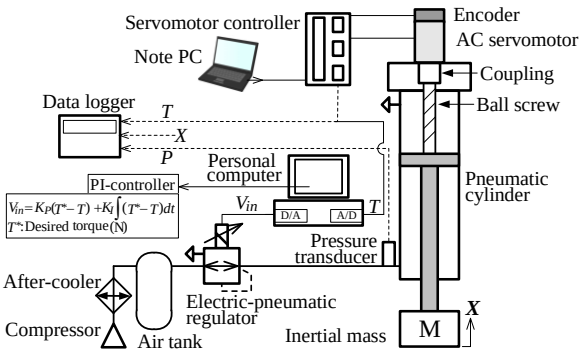

Fig.1 Electro-pneumatic hybrid system with servomotor torque control

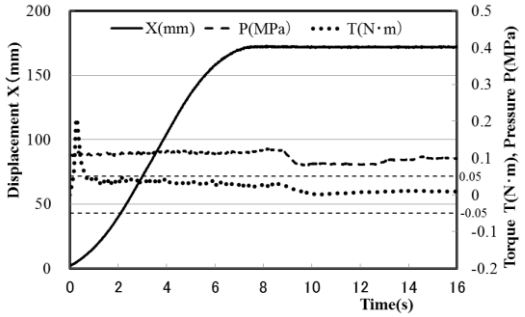

Fig.2 Experimental results (K_p=1.6,K_i=0.12,M=12.5kg)

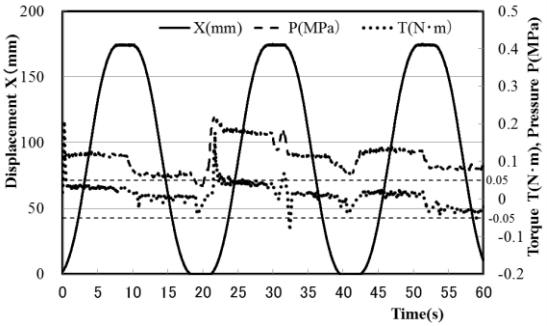

Fig.3 Experimental results varying inertial mass

を Fig.2 に示す．この図で X は負荷質量の変位，P は空気圧シリンダロッド側圧力，T はサーボモータのトルクである．この図より，負荷質量駆動開始時のサーボモータトルクのピークは約 0.2 N･m となるものの，サーボモータのみで負荷質量を駆動した場合のサーボモータトルクは 0.27N･m であったことから，制御を施した場合，その 1/5 にサーボモータのトルクが抑えられていることがわかる．

Fig.3 は 1 周期毎に負荷質量を変化させた場合の実験結果である．初期質量は 12.5kg とし，次の周期では 19.5kg，その次の周期には 12.5kg と変化させた．この図からわかる通り，負荷質量の変化に追従して空気圧の値が変化し，その結果，サーボモータトルクが±0.05N･m の範囲に入るよう制御されていることがわける．よって，本実験の範囲内ではあるが，本システムは負荷質量の変化に十分対応可能であることが明らかとなった．

4．シミュレーション

本システムの設計の効率化を目的とし，シミュレーションを行った．Fig.4 に Amesim で作成した本システムのモデルを示す．サーボモータの軸の弾性はモデルを成立させるために入れたモデルである．また，サーボモータの慣性質量にはボールねじの慣性質量を含めた．なお，シミュレーションの第一段階として，モータへの入力速度信号はステップ状の単純な信号とし，負荷質量を持ち上げる場合を対象とした．

Fig.5 に負荷質量を 12.5kg としたときの結果を示

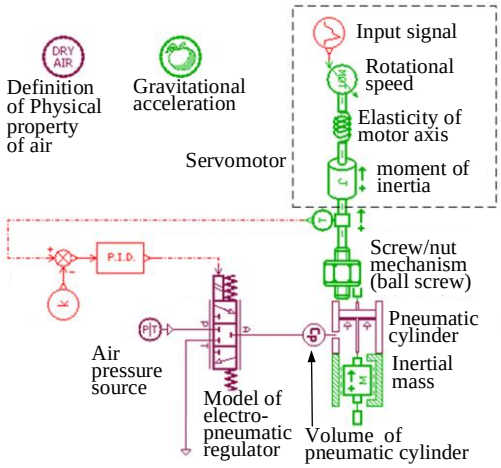

Fig.4 Simulation model of Electro-pneumatic hybrid system with servomotor torque control

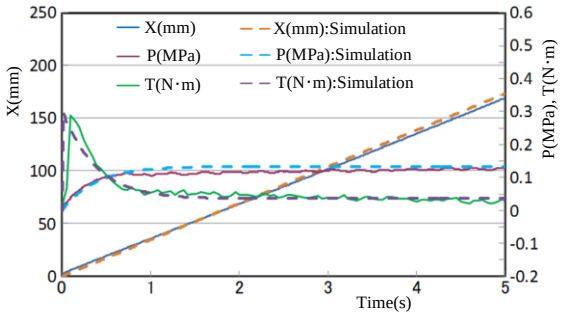

Fig.5 Comparison of experimental and simulated results

す．この図より，シミュレーション結果は実験結果を良好にシミュレートしており，特に負荷が動き始めるときのサーボモータのトルクのピーク値およびモータトルクが目標値の範囲内に到達する時間は実験結果とシミュレーション結果でほぼ同じ値になっている．よって，本モデルにより，負荷質量を持ち上げた場合の動特性のシミュレートが可能となった．

5．結言

ここでは，トルク制御を付加した電気－空気圧ハイブリッドシステムの駆動特性を実験的に検討した．さらに，そのシステムの数学モデルを提案し，その妥当性を検討した．

その結果，ここで提案したシステムにより負荷質量の大きさに従ってサーボモータのトルクを小さい範囲に収めることが可能であること，提案した数学モデルにより負荷質量を上昇させる場合のシミュレートが可能であることが明らかとなった．

おわりに，本研究にご協力いただいた当時足利工業大学大学院生徐智峰君に謝意を表する．

参考文献

1) e.g. Y. Sakurai, K. Tanaka, T. nakada, Dynamic Characteristics on an Electro-pneumatic Hybrid Positioning System, Proc. of 7th International Symposium on Fluid Control, Measurement and Visualization, (2003), 1/11
2) https://www.plm.automation.siemens.com/ja/products/lms/imagine-lab/amesim/