

研究の課題名

半導体製造装置用の空気ばね式除振台の性能向上と省エネルギー化に関する研究

東京都立産業技術高等専門学校ものづくり工学科機械システム工学コース 助教

報告者 加藤 友規

報告日 2007年（平成19年） 8月 31日

1. 本研究の意義・特色

精密加工機や精密測定装置の多くは、床面や台上の振動による加工・測定への影響を回避するために、振動の絶縁・制御装置を必要とする。空気は振動を遮断するのに大変望ましい特性を有しており、半導体製造装置や電子顕微鏡などの振動制御には、空気ばね式除振台が広く用いられている。

しかし、現行システムに用いられているノズルフラップ型サーボ弁は高い圧力制御性能と引き換えに、エネルギー消費量が多いという欠点を有している。

そこで本研究では圧力微分計および高速流量センサとスプール型サーボ弁を用いた新しい精密圧力制御系を構築し、除振台浮上に必要な消費エネルギーを従来の数分の一に低減する方法を提案し、実用化への可能性を検証した。

また、除振台の設計およびパラメータチューニングを理論的に適切に行うため、空気ばね式除振台を運動法的式および気体の状態方程式によりモデル化し、MATLAB/SIMULINKを用いてシミュレータを開発した。

さらに、本研究では圧力微分計とノズルフラップ型サーボ弁を用いて、除振台の空気ばね室の容積を仮想的に大きくする「仮想バッファタンク方式」を提案し、実験により有効性を実証した。

2. 実施した研究の具体的内容、結果

この研究によって得られた知見を以下に記す。

- 1) MEMS技術を用いて微細流路を製作し、層流抵抗管として適用することで高分解能な圧力微分計を製作し、その性能を試験した。

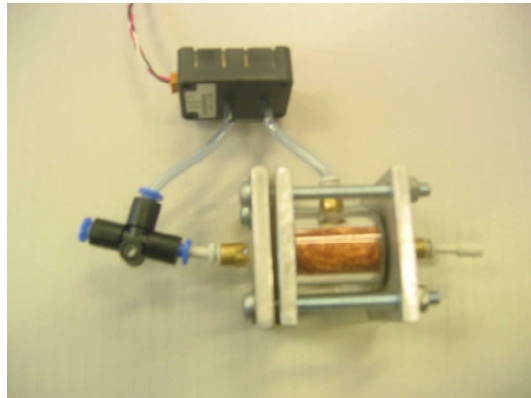


図1 製作した圧力微分計の写真

2) 層流型高速流量計 (QFS) とスプール型サーボ弁を用いた圧力制御系を空気ばね式除振台の制御に適用することにより、従来に比べ大幅に省エネルギー (1/3~1/10 程度) で大出力可能な除振台の実現可能性を示し、除振性能を確認した。

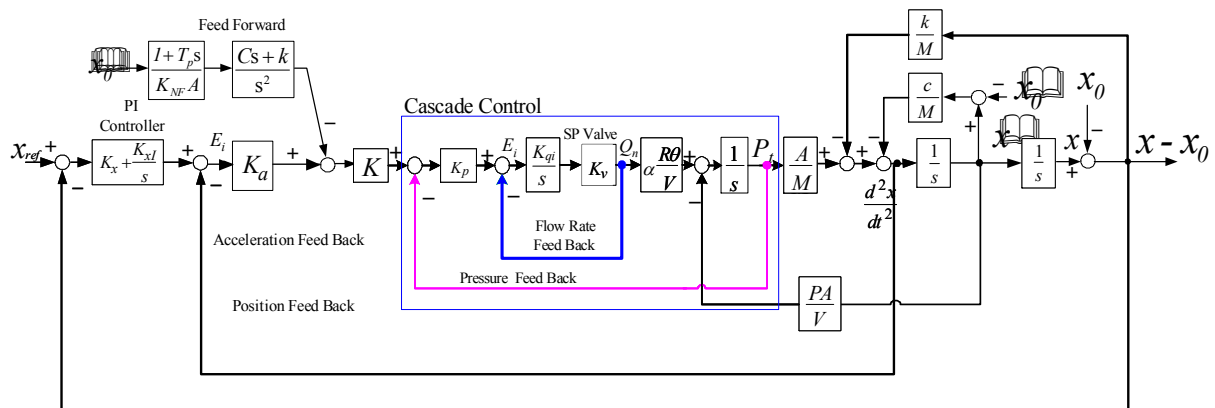


図2 QFS を用いた圧力制御方法による空気ばね式除振台の制御ブロック線図

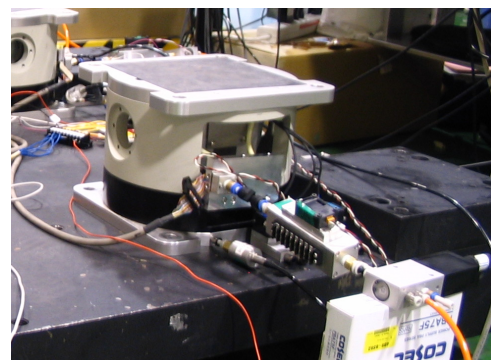
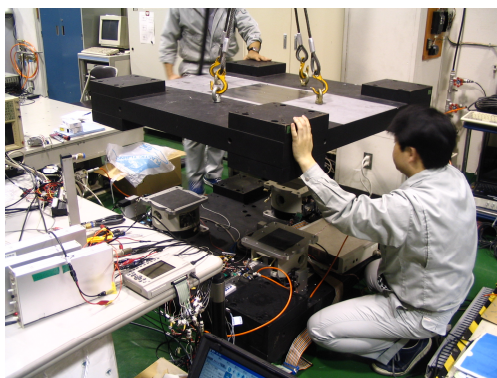


図3 QFS を用いた圧力制御方法の空気ばね式除振台への適用実験の写真

- 3) 圧力微分計を除振台制御に適用することにより、仮想的に柔らかい空気ばねを実現する制御方法（仮想バッファタンク法）を提案し、実験により性能を確認した。

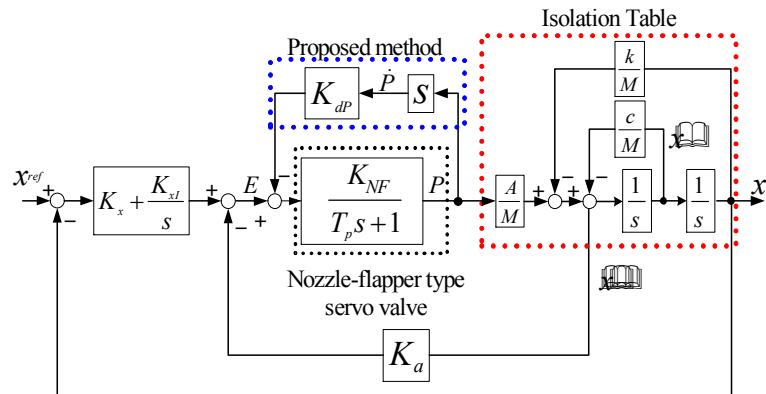


図4 仮想バッファタンク法による空気ばね式除振台の制御ブロック線図

- 4) 層流型流量計とスプール型サーボ弁を用いた除振台制御システムを運動方程式および気体の状態方程式によりモデル化し、MATLAB/SIMULINK を用いてシミュレータを開発した。

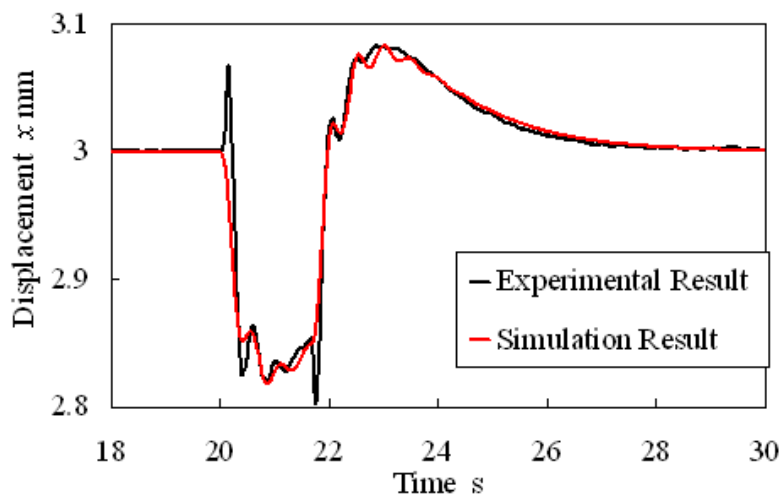


図5 除振台上ステージ移動時のシミュレーションと実験結果の比較

5) 圧力微分計とスプール型サーボ弁を用いた除振台のモデル追従制御を提案した。

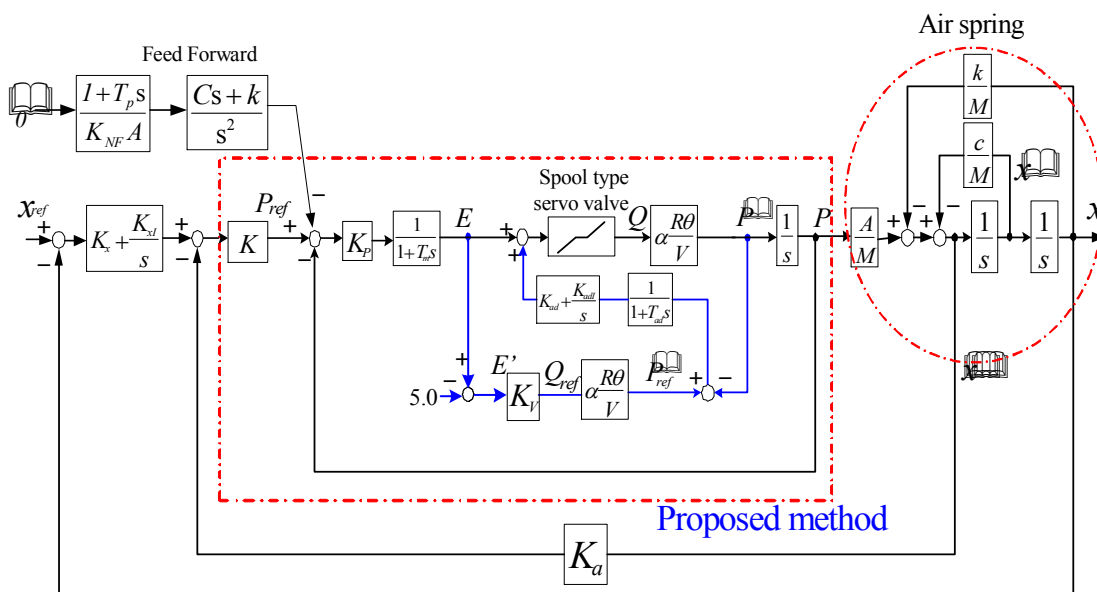


図6 モデル追従制御による空気ばね式除振台の制御ブロック線図

3. 本研究を実施したグループに属するおもな研究者の氏名・役職名

加藤 友規 東京都立産業技術高等専門学校 助教
 川嶋 健嗣 東京工業大学精密工学研究所 准教授
 香川 利春 東京工業大学精密工学研究所 教授

4. 研究実施時期

2005年(平成17年)3月1日から 2007年(平成19年)8月31日

5. 本研究に関連して発表した主な論文等

- (1) Kenji Kawashima, Tomonori Kato, Yosuke Yamazaki, Michio Yanagisawa, Toshiharu Kagawa : Development of slit type pressure differentiator using an isothermal chamber, Measurement Science and Technology, Vol.16 pp.1150-1156 (2005)
- (2) 川嶋健嗣, 五十嵐康一, 小玉亮太, 加藤友規, 香川利春: 微細加工技術によるスリット型流路を用いた圧力微分計の開発, 計測自動制御学会論文集第41巻 No.5,

pp.405-410 (2005)

- (3) Tomonori KATO, Tatsuya FUNAKI, Kenji KAWASHIMA, Toshiharu KAGAWA : Active Control of Isolation Table with Quick Flow Sensor, Proceedings of The 5th International Fluid Power Conference (IFK2006), Vol.1, pp.109-120 (2006)
- (4) 加藤友規, 川嶋健嗣, 澤本晃一, 船木達也, 香川利春 : スプール型サーボ弁と層流型高速流量計を用いた空圧式アクティブ除振台の制御, 精密工学会誌論文集, Vol.72, No.6, pp.772-777 (2006)
- (5) Kenji Kawashima, Tomonori Kato, Koichi Sawamoto, Toshiharu Kagawa : Realization of Virtual Sub Chamber on Active Controlled Pneumatic Isolation Table with Pressure Differentiator, Precision Engineering, Vol.31, pp.139-145 (2007)
- (6) Tomonori Kato, Kenji Kawashima, Koichi Sawamoto, Toshiharu Kagawa : Active Control of a Pneumatic Isolation Table using Model Following Control and a Pressure Differentiator, Precision Engineering, Vol.31, pp.269-275 (2007)

6. 内外における関連研究の状況

関連した研究としては、除振台の制御方法に関する研究や、ステージ移動時の慣性力のキャンセラに関する研究等が多数行われている。

本研究は流体計測制御の観点から、特に省エネルギーに特化した除振台の研究を行っている点が独創的であると考えている。

7. 今後の発展に対する希望

本研究では、圧力の微分値を高分解能で計測可能な圧力微分計を開発し、その圧力微分計を用いた制御方法により、空気ばね式除振台の空気ばね室容積を大型化することなく柔軟かさを実現する仮想バッファタンク法を提案し、その有効性を確認した。今後、この圧力微分計を気体の非定常流量の計測制御技術や空気圧ゴム人工筋の制御、プラント制御などへと応用していきたいと考えている。

また、スプール型サーボ弁と層流型高速応答流量計を用いて排気流量の少ない除振台の圧力制御方法を提案し、消費エネルギー、除振性と外乱に対する応答性を評価したが、この方式を実際の加工機等の除振台に適用し、工場の省エネルギー化につなげていきたいと考えている。

さらに、本研究で得られた技術を基に、精密かつ高速な供給圧制御システムを考案中であり、供給圧変動や練成による除振性能への影響を軽減させるといった展開が期待できる。