

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号： 11401
研究種目： 奨励研究
研究期間： 2021～2021
課題番号： 21H04093
研究課題名 精密位置決め装置の共振特性を調整可能な速度フィードバック型の電氣的ダンパの開発

研究代表者

高橋 朗人 (Takahashi, Akiito)

秋田大学・産学連携推進機構・特任助教

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 440,000円

研究成果の概要： 位置決め装置の制御において、変位信号を微分処理して速度信号に変換し、操作量にフィードバックすることで、共振振幅を低減できるかを検討した。

連続時間系では、フィルタの設計指針の設定と性能の予測が可能となった。一方で、離散時間系では、不安定極は制御対象の共振周波数がナイキスト周波数に近い場合に、系は不安定となった。そこで、制御対象の共振周波数を安定な周波数に下げられる負荷質量を設計・作製することで、実機検討が可能な環境を構築できた。今後の実装における課題としては、離散時間系を前提とする新たな設計指針の検討が必要と分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

IoTやAIなどのSociety5.0を実現する技術において重要なセンサや通信機器、LSIなどの半導体デバイスの需要が高まっている。需要に追従するためにより高速に製造する技術の研究開発が必要と考えられ、デバイスの素子配置に用いられる精密位置決め装置のより高速な位置決め技術の開発は解決方法のひとつと考えられる。高い剛性を持つ位置決め装置は共振周波数が高く、応答性が良いため、高速位置決めが可能であるが、高い共振振幅を持つ場合に、質量等による負荷の影響で共振周波数が変わると制御性能が劣化する可能性がある。本研究の共振振幅を低減する制御技術が実現すれば、より高速な位置決め技術の開発に寄与できる。

研究分野： 機械工学

キーワード： 精密位置決め フィードバック制御 ダンパ

1. 研究の目的

本研究の目的は、設定するパラメータによって、位置決め装置の共振振幅の減衰性能を変更可能な電氣的なダンパを実現することである。本研究では、位置決め装置の変位量を微分して速度信号に変換して、操作量にフィードバックすることで共振振幅を減衰させる速度変換型伝達関数モデルに基づく電氣的ダンパ（以下、velocity feedback damper: VFBD）を提案する。VFBD を実装した位置決め装置の性能について調査することで、提案する電氣的ダンパが実現可能かを検討する。

精密位置装置の駆動源のひとつとして、エネルギー変換効率や応答性が良い圧電素子が用いられている。圧電素子は微小な変位を高速精密に得られる一方で、最大変位量が全長の 0.1 % 程しか得られないため、弾性ヒンジとてこを利用した変位拡大機構（以降、機構）を用いることがある。機構のヒンジの剛性が高くなると、共振周波数は高く、最大変位量は小さくなるため、応答性と変位量でトレードオフを図る必要がある。また、高剛性な機構では、高い共振振幅の影響で、負荷などにより特性変動が生じた場合に制御性能を保証できない懸念がある。

先行研究として、機構に粘弾性材と拘束板からなるダンパを付け、機械的に共振振幅の低減を図る試みがあるが、低周波数域から共振周波数までの帯域にゲイン低減が生じ、結果として位置決め制御時にオーバーシュートが生じると報告されている。このゲイン低減は、分数次数の伝達関数によりモデル化が可能であるが、分数次数の決め方や折れ点周波数の設定、実現法には試行錯誤を要するとされている。

本研究で提案する手法によれば、実験装置における試行錯誤を繰り返すことなく、シミュレーションにより減衰効果を確認することができ、その実装はプログラムにより可能である。パラメータを用いた計算処理で減衰性能を変更可能であるため、AI との親和性も高いことが予想され、多様なニーズに対応可能な点においても優位性があると考えられる。

2. 研究成果

図 1 のブロック線図に示すようなフィードバック系を構成した。P(s) は二次遅れモデルをもつ制御対象、D(s) は不完全微分器、I(s) はローパスフィルタである。

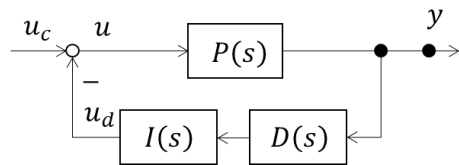


図 1 VFBD のブロック線図

連続時間系におけるシミュレーションでは、図 2 に示すような周波数応答が得られ、VFBD によって共振振幅を低減することができていることが分かる。また、図 3 に示す単位ステップ応答は速やかに整定している。

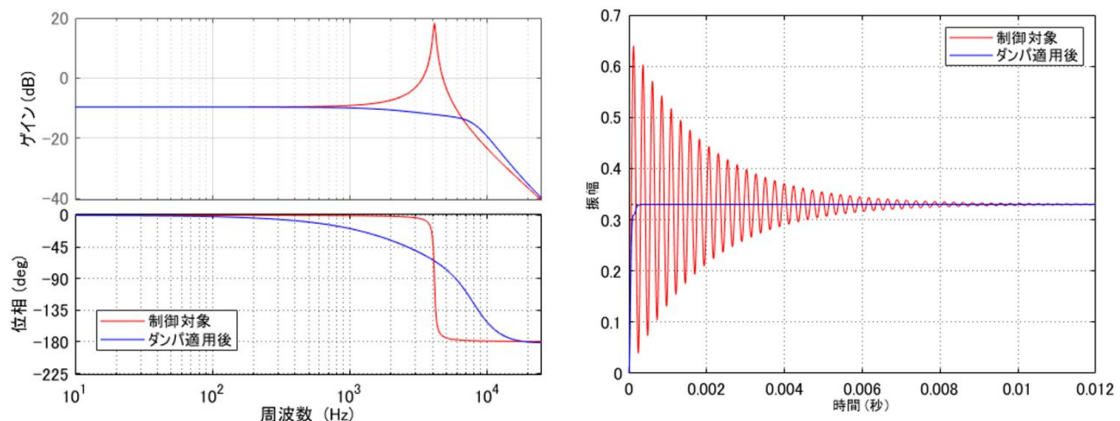


図 2 VFBD 適用前後の周波数応答(左)と単位ステップ応答(右)

Digital Signal Processor (DSP) による実装のため、離散時間系におけるシミュレーションを行った。DSP による 2 サンプルの遅延も考慮した結果、周波数応答は図 3 のようになった。離散化によって、予期しないピークが生じており、安定性を評価するために、図 4 から系の極と零点の配置を確認すると、不安定極（図中の円の外側にある点）が発生していることが分かる。この極は、制御対象の共振周波数がナイキスト周波数から十分遠いときには、安定極となることから、安定に制御するためには、サンプリング周波数を十分大きくするか、制御対象の共振周波数を低くする必要がある。実験機器の構成上、サンプリング周波数はシミュレーションで設定している 50 kHz が限界であるため、ここでは制御対象の共振周波数を低くした。安定

となる共振周波数を計算によって導出したものを図5に示す。図5より、1400 Hz 以下のとき、系は安定となることが分かった。

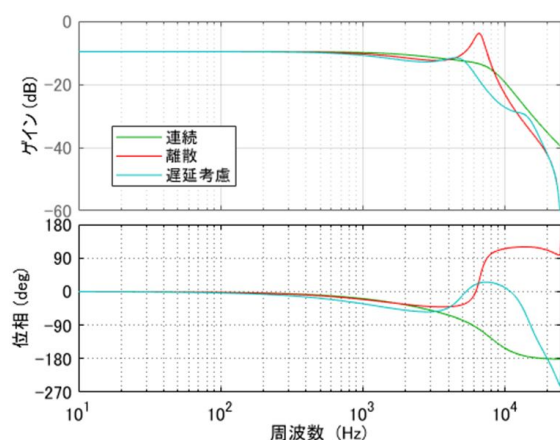


図3 離散化前後の周波数応答

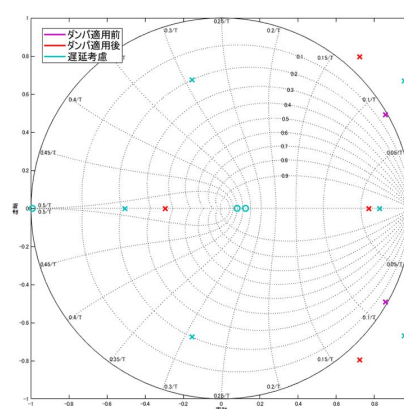


図4 極と零点の配置

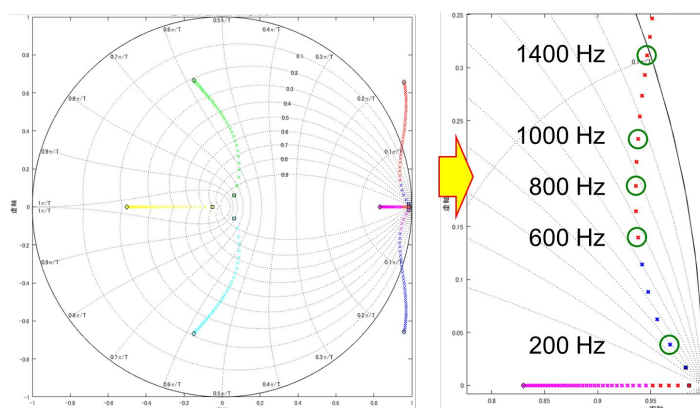


図5 制御対象の共振周波数と極の位置の関係

共振周波数を下げる目的で、負荷質量を設計、作製した。作製した負荷質量を取り付けた装置の様子を図6に示す。負荷質量の取り付けにより、共振周波数を1000 Hz程度まで下げることができた(図7)。

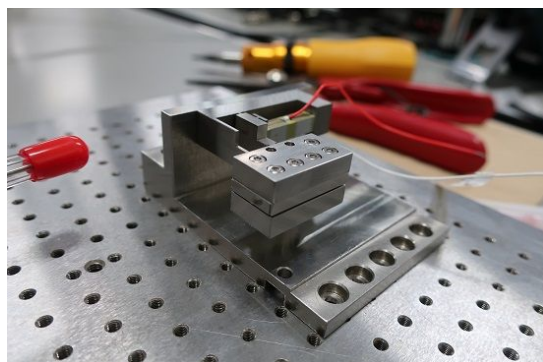


図6 負荷質量を取り付けた位置決め装置

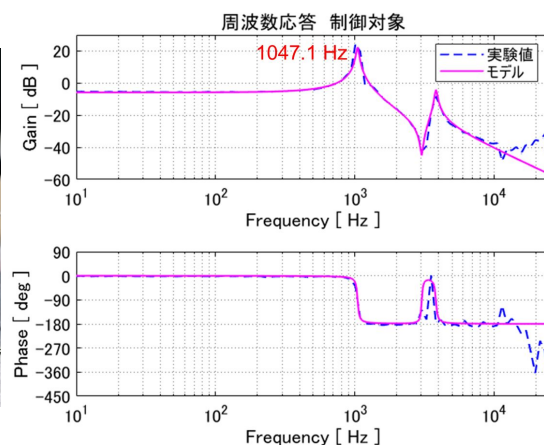


図7 負荷質量取り付け後の周波数特性

一方で、負荷質量の取り付けによって、3000Hz 以降に確認できる共振と反共振については、その影響を今後検討していく必要がある。また、制御対象の特性は通常、容易に変更することはできないため、実装のための今後の課題として、離散時間系を前提としたVFBDの設計指針の検討が必要である。

主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

研究組織（研究協力者）

氏名	ローマ字氏名
長縄 明大	(Naganawa Akihiro)