

技術紹介

14 Anti-Vibration Damper unit (AVD) の開発

Development of Anti-Vibration Damper unit (AVD)

鈴木 慎一	Shinichi Suzuki	航機事業部 第二技術部 主任
中里 憲一	Kenichi Nakazato	航機事業部 第二技術部
小林 義幸	Yoshiyuki Kobayashi	航機事業部 第二技術部

キーワード: 防振、制振、振動モード、アクティブ制御、リニアモータ、加速度計

Keywords : Anti-vibration, Vibration control, Vibration mode, Active control, Linear motor, Accelerometer

要旨

従来のアクティブ制振・除振装置は、6自由度制御が一般的となっています。しかしながら、精密装置において必ずしも6自由度の制振、除振を必要とせず、その性能を発揮できるものもあります。本開発では、コスト、パフォーマンスの面から、3自由度(Z軸および水平回転軸のロール・ピッチ軸)のアクティブ制振・除振装置を開発しました。

SUMMARY

6 degree of freedom control is common in the conventional active anti-vibration control/damping system. But, even in the precise system, control and damping for 6 degree of freedom is not always necessary in satisfying the required performance. From the viewpoint of cost and performance, we have developed the active anti-vibration damper system that controls 3 degree of freedom (Z axis, and roll and pitch axes of horizontal rotation axis).

1 まえがき

弊社ではこれまでにアクティブ制振・除振装置の構成要素となりますサーボ型加速度計やリニアモータ (VCM : Voice Coil Motor) を開発してまいりましたが、今回アクティブ制振・除振制御装置としてのコントローラ (AVD ドライバ) およびアルゴリズムの開発を行い、センサ、アクチュエータ、制御システムの 3 要素を結合させたアクティブ制振・除振装置を開発しましたのでご紹介します。

アクティブ制振・除振装置は、精密な検査装置、製造装置におけるスループットや性能の向上のために広く用いられており、6 自由度制御型が一般的となっています。アクティブ型の制振・除振装置の効果は多大ですが、パッシブ型のそれに比べて非常に高価であることが問題となっていました。

今回開発しましたアクティブ制振・除振装置は、最も影響が大きい 3 自由度に制御軸を制限することでコストと機能の両立を目指しました。また既存のパッシブ型除振装置と併用したハイブリッド構成にしました。

2 AVD

除振装置の定盤上に精密 XY リニアステージを搭載する場合、定盤がステージ駆動による反力とステージの荷重移動によってロッキング運動を起こします。精密機器を搭載する除振装置に対しては、このロッキング運動が生産性や性能にもっとも影響を与える振動となります。このようなことから、本開発においては、ロッキング運動を制御するために必要最小限な自由度である Z 軸の並進運動、ロール (θ_x) 軸およびピッチ (θ_y) 軸の回転運動の 3 自由度についてアクティブ制振・除振制御を行うこととし、制御軸を限定しても振動低減効果が高い構成としました。さらに制御軸を 3 自由度に限定したことで、6 自由度制御の場合と比較して、構成部品が少なく、安価であることから、コストパフォーマンスに優れたアクティブ制振・除振装置を実現できます。

今回開発しましたアクティブ制振・除振装置 AVD (Anti-Vibration Damper unit) の構成を図 1 に示します。AVD は、加速度計 (写真 1 参照)、VCM アクチュエータ (写真 2 参照)、AVD ドライバ (写真 3 参照)、AVD アンプから構成されています。

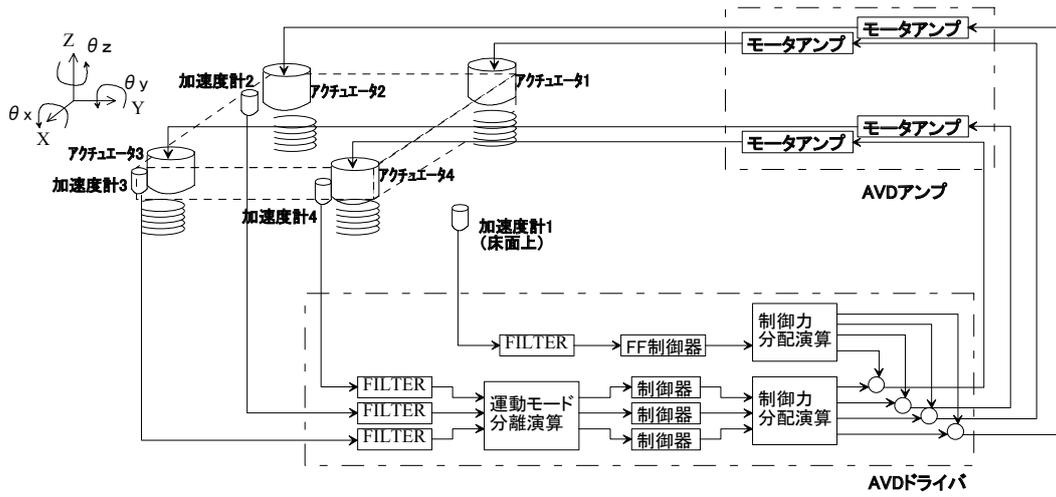


図1 AVD構成

構成品



写真1 加速度計

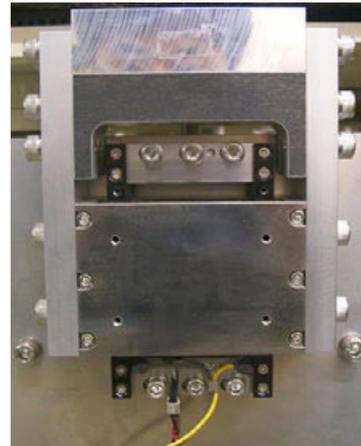


写真2 VCMアクチュエータ



写真3 AVDドライバ

除振装置に搭載する定盤のZ軸、 θ_x 軸、 θ_y 軸の3自由度に関する剛体運動を検出するためには、少なくとも検出する自由度の数のセンサが必要になるので、3台の加速度計を使用します。また床面から定盤に伝達される振動を検出するための加速度計を更に1台加え、計4台の加速度計を使用しています。

定盤の剛体運動を制御するアクチュエータはZ軸方向だけに自由度をもつリニアモータ(VCM)を4台使用して、3自由度に対して推力およびトルクを作用させる構成にしています。

主な仕様を表1に示します。AVDによる除振性能(振動伝達率)と制振性能(ステージ動作時の振動低減)のシミュレーション例を図2および図3に示します。図2より、パッシブマウントの共振ピークを0[dB]以下にすることができます。図3より、ステージ動作時の最大加速度を1/3に低減し、振動を素早く減衰することができます。

表1 AVDの主な仕様

項目	仕様	備考
制御自由度	3軸3自由度	Z, roll, pitch
電源電圧	AC170 ~ 240[V] 単相 AC180 ~ 220[V] 3相	ドライバ部 アンプ部
加速度入力	$\pm 98.0665[\text{mm/s}^2]$	($=\pm 10[\text{mG}]$)
最大推力	40[N]	
応答帯域	50[Hz]	
制御入力	デバイスネット	

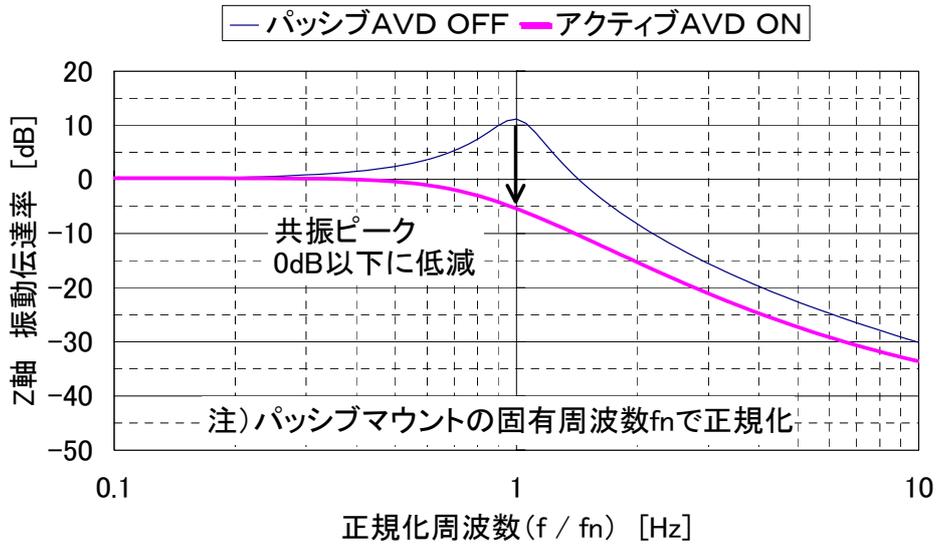


図 2 AVDシミュレーション例 (振動伝達率)

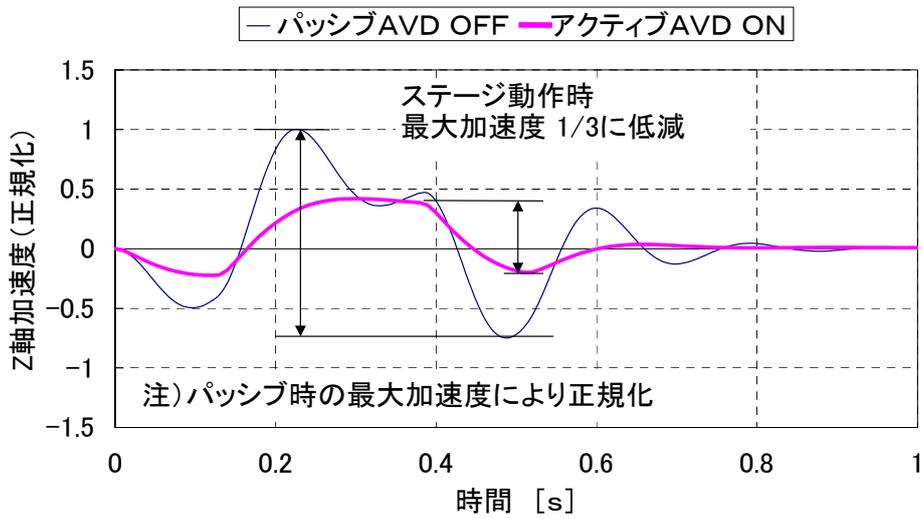


図 3 AVDシミュレーション例 (ステージ動作時の加速度低減)

3 特長

(1) 運動モード別制御

6自由度の運動をする定盤の動きを検出および制御する方法としては、2通り考えられます。ひとつはセンサを設置したその場所での振動を独立的に運動を捉えて、各センサの設置点での振動が減衰するように独立的に制御する方法です。もうひとつは定盤の運動モード（並進運動と回転運動）を総合的に捉えて、各運動モードが減衰するように総合的に制御する方法です¹⁾。

AVDでは後者の方法で制御するために、図1のように配置した3台の加速度計から剛体運動モードの分離演算を行い、Z軸・ θ X軸・ θ Y軸ごとの振動を求めています。また、制御軸間で連成のないように4台のアクチュエータに対して制御力の分配演算を行っています。制御器は運動モードごとに異なる特性になっています。

(2) フィードフォワード制御

床面上に加速度計を設置（図1における加速度計1）して床振動を検出し、定盤上に伝達される振動を推定するモデルを考慮することにより、床面から除振装置を介して定盤上へ伝達される振動の影響を打ち消すフィードフォワード制御を行っています。これにより、定盤上に設置される加速度計のフィードバック制御だけでは実現できない除振性の改善を実現しています。

(3) ハイブリッド除振

一般にアクティブ除振装置に使うアクチュエータには空気を使用しますが、応答が遅い欠点があります。一方、リニアモータを使用すると応答は速くなりますが、数百[kg]になる搭載質量を持ち上げ続けなければならないため、推力と発熱が問題になります。

AVDでは、既存のパッシブ型除振装置を活かしたまま、リニアモータを併設するようにしました。これにより、搭載質量やリニアステージが移動したことによる荷重移動は既存のパッシブ除振装置が受けます。AVDは定盤の振動に対してのみ推力を発生するようにするので、推力および発熱を抑えられ、リニアモータを小型にすることができます。

4 性能

パッシブの除振装置と AVD を稼動した場合の除振性・制振性を比較します。

床面から定盤上の振動伝達率を図 4 に示します。パッシブの除振装置の共振ピークは 0[dB] 以下に抑えられ、10 ~ 20[Hz] においては最大 20[dB] 低減できます。また、アクティブ振動制御を行わない X 軸および Y 軸に関しては、パッシブ除振装置の性能をそのまま生かしています。

定盤上のリニアステージを動作させたときの制振性を図 5 に示します。ステージ動作時の振動振幅に関して最大 1/7 程度の振動低減効果と、定盤振動の整定時間に関して 1.5[s] 程度短縮することができます。

以上のように、除振性能や制振性能を改善できるアクティブ制振・除振装置を導入することによって、精密機器の製造装置、検査装置における生産性や性能の向上に繋がると考えています。

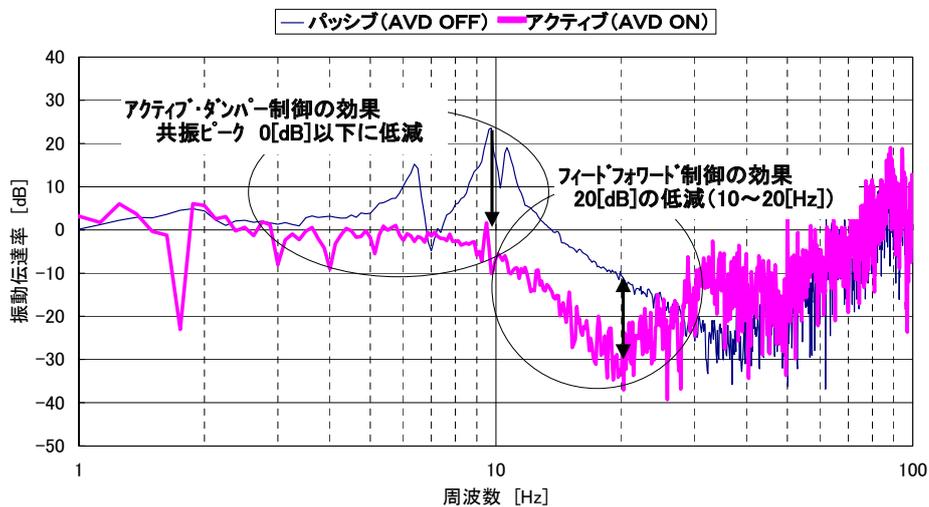


図 4 振動伝達率

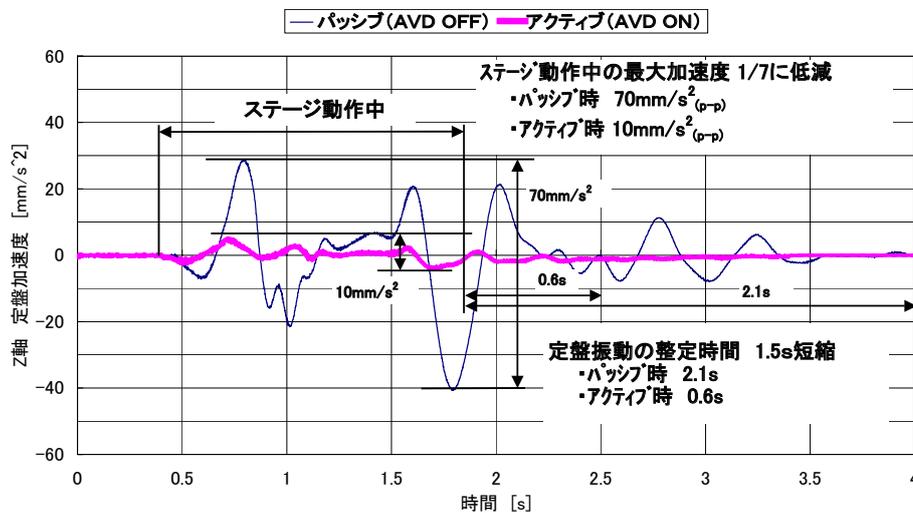


図 5 ステージ動作時の定盤加速度

5 むすび

今回 AVD の開発を行うことで、3 自由度のアクティブ制振・除振装置でも十分に振動低減効果があることを確認できました。6 自由度のフルアクティブ制御への展開も可能ですが、6 自由度制御にこだわらずに多様なお客様のニーズに応えるべく、制御則の改善を行い、更なる性能の向上を目指します。

【参考文献】

- 1) 涌井伸二氏：“精密位置決めにおけるアクティブ除振装置の役割，”
精密工学会 研究例会講演前刷集 ,No.2004-5,p.3(2004)