

アクティブ除振は何故必要になるのか

1. パッシブ除振台の限界

パッシブ除振台は、質量をばね系で支え、ダンパで振動を抑える、簡単な構成で優れた効果を得られる除振方法です。特に空気ばね式除振台は、簡単に低い固有振動数が得られ、自動レベル調整器と組み合わせることにより、荷重変化があってもレベル変動が少ないため、広く使用されています。ところが、この空気ばね式除振台でも対応できない問題が生じる場合があります。

パッシブ除振台は、共振現象を生じます。この周波数領域では、除振対象の振動が床の振動より大きくなり、除振効果が得られなくなってしまいます。一般的に、「床面には、低い周波数の振動が少ない」ため、なるべく低い固有振動数の空気ばねを用いることにより、共振現象の悪影響を小さくすることが可能です。しかし、低い固有振動数の空気ばねも問題を生じることがあります。

低い固有振動数は、ばね定数を小さくすることで得られますが、このことは、除振対象が小さな外力で大きな変位を生じることを示しています。更に、振動の減衰時間が増大します。ステージのような移動荷重が作用する場合、除振台がふらふらと動いて止まらなったり、空気ばねの許容変位を越えるような変位が発生し、接触等により、振動が生じたりすることがあります。

2. アクティブ除振台の原理

アクティブ除振台は、振動や位置変動のセンサを設置し、発生している振動や位置変動を小さくするようにアクチュエータを動作させます。これをフィードバック制御(F B制御)と言います。その結果、パッシブ除振台では必然的に生じていた共振現象が無くなります。(図2参照)外部から与えられた振動の影響を短い時間に減衰させることができます。また、アクチュエータの出力をバランスさせることにより、定盤に与えるねじり荷重を減少できます。

更に一歩進んで、床振動が伝達されて除振対象を振動させるのと同時に、床側に置かれたセンサの出力に応じた力をアクチュエータから出力させることにより、除振台上の振動を減少させることができます。これをフロアフィードフォワード制御(F F F制御)と言います。F B制御と併用すると除振台上の振動を更に減少させることができます。(図2参照)

除振台上にはステージのような移動物を搭載することが多くあります。大きな質量の移動は、質量と距離の積に比例した回転モーメントを発生させます。また、質量と加速度の積に比例した加振力も発生させます。移動物の位置と加速度が分かれば、それに比例した力とモーメントを発生させることにより、除振対象物の移動荷重の影響を大幅に低減できます。これがステージフィードフォワード制御(SFF制御)です。VAAVアクティブ除振台はこの3つの制御を同時に行うことができます。(図1参照)

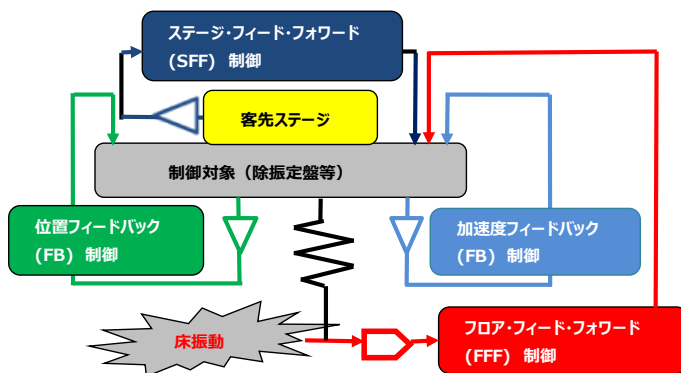


図1 アクティブ除振台の各種制御方式

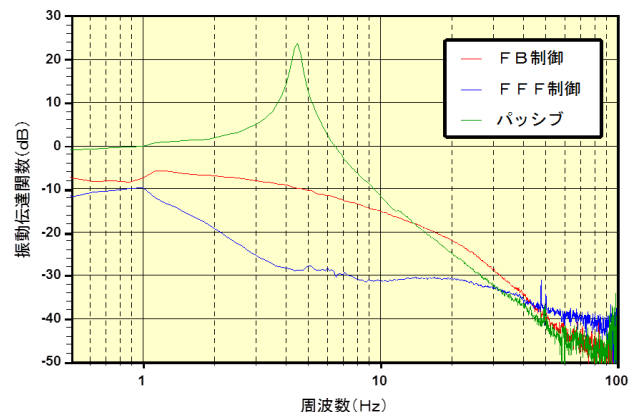


図2 振動伝達率

3. VAAVの特長

VAAVは、アクチュエータとして空気ばねとサーバルブの組み合わせを採用しました。この構成は、大きな力を容易に得られる特長があります。リニアモータのように発熱や磁界を気にすることなく、VAAV-550からVAAV-30000まで、同一のコントローラで制御することが出来ます。高速の応答が必要な場合には、大流量の高速応答バルブも用意されており、同一のコントローラに接続できます。制御方式もFB制御、FFF制御、SFF制御を標準で用意しており、高性能DSPの性能を生かして、お客様のニーズに合わせて組み合わせることができます。

4. VAAVの除振効果 (振動伝達率)

図2にVAAVの除振効果を振動伝達率で示します。標準シリーズのVAAVは、ばね定数を高めて固有振動数が約5Hzの空気ばねを使用しています。これは、後述のステージ等の除振台上に存在する加振力に対し、大きな変位を生じさせない効果があります。位置FB制御のみで浮上させたときには、約5Hzのパッシブ除振台と同等になり、共振点を持ちます。

加速度FB制御を行うとアクティブ除振台としての機能を発揮します。共振点が存在しないアクティブ除振台になります。このため、やや高め固有振動数を設定しても悪影響が少なく、良好な除振性能が得られます。更にFFF制御を行うと、低周波から大きな減衰効果が働きます。LシリーズのVAAVは、固有振動数の低い空気ばねをアクティブ化することにより、低周波領域の振動伝達率の減少と、制御帯域の低周波数化を行い、振動に弱い機器を含む除振対象をソフトに制御することで、より高性能の除振が得られます。

5. VAAVの制振効果 (ステージ移動荷重に対する定盤の応答)

図3、4にVAAVの制振効果をステージ移動荷重に対する定盤の応答回転変位と応答回転振動で示します。ステージ移動荷重の作用は大きく分けて2つあります。1つ目は、ステージ質量とステージ位置変化量の積に比例する回転モーメントです。2つ目は、ステージ質量とステージ加速度の積に比例する加振力です。これらは、ステージ質量、ステージ位置変化量、ステージ加速度が大きいと大変大きな応答変位を発生させます。柔らかいパッシブ除振台で支持する時には、その揺れは空気ばねの許容変位量を超えて接触を生じる場合もあります。

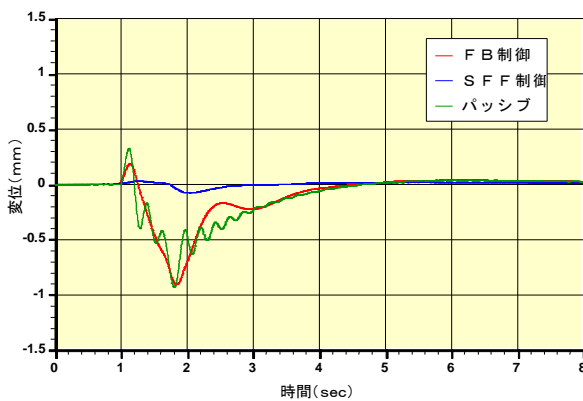


図3 応答回転変位測定例

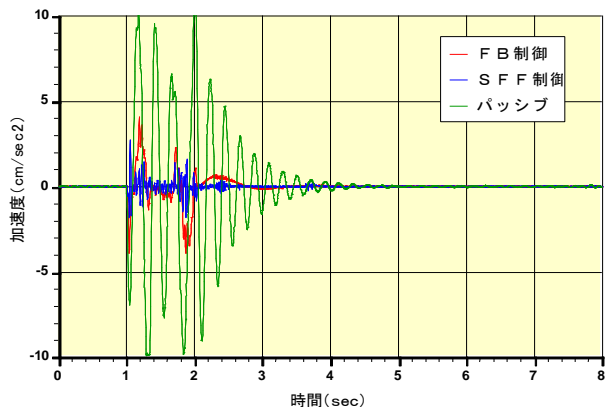


図4 応答回転振動測定例

アクティブ除振台のFB制御効果は、加速度FB制御が振動を小さく、短い時間に収束させます。このため、装置の位置決め精度の向上やタクトタイムの短縮が計れます。(図4参照)

更に、ステージ位置変化量とステージ加速度のリアルタイム測定値をVAAVコントローラにアナログ接続することにより、SFF制御を行うことが出来ます。ステージが発生させる回転モーメントと加振力に比例した制御力が、ステージ応答変位を激減させるのが分かります。(図3参照) VAAVのSFF制御は、理論的に単純で無理が無く、簡単に大きな効果が得られます。2軸までのステージに対応してSFF制御ができます。

ステージ位置変化量とステージ加速度のリアルタイム信号値の例を図5、6に示します。±9Vの範囲のアナログ信号で伝達します。アナログ信号生成装置とVAAVコントローラのアース電位は、同一である必要があります。

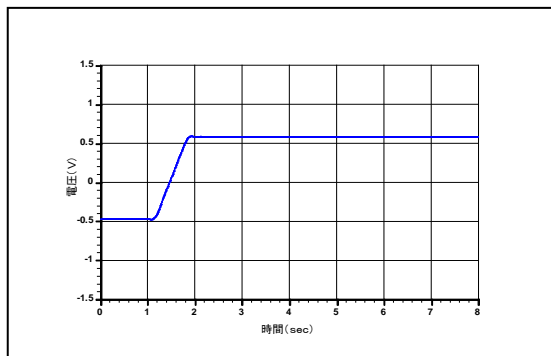


図5 ステージ位置信号例

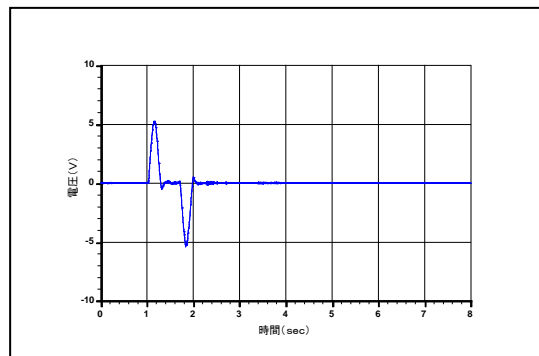


図6 ステージ加速度信号例