

衝撃に敏感な機器用の電空式振動絶縁

ヤン・ハンセン・シュミット、ウィリアム・グランチ

機械的な位置/振動制御方式に比べて、電空システムは、短い整定時間で作業面の振れを最小化し、低エネルギー消費で6自由度の位置制御を磁気・熱影響なしに提供する。

精密さと正確さに対する要求にもよるが、振動は生産または測定結果の品質を低下させる。精密さに対する要求が高まったら、振動制御システムの効率も同様に高めなくてはならない。電空式位置制御は、さまざまな産業界で使われている、極めて動的で衝撃に敏感な機器を振動から高効率で絶縁する。

電空式位置制御

2013年秋に米ビルツ・バイブレーション・テクノロジー社(Bilz Vibration Technology)が商品化した電空式位置制御(EPPC)システムは、機械支持体または支持プラットフォームの下に直接取り付けることができる低固有振動数のメンブレン式空気ばねアイソレータを使用している。リアルタイム・レベル制御システムと同様に、2チャンバメンブレン式空気ばねシステムの設計は負荷ボリュームと減衰ボリュームからなる(図1)。両ボリュームは調整可能な機械式バイパス弁で接続されている。この要素上の絶縁されたマシンのいかなる振れも、負荷ボリュームのサイズを変化させ、その結果として1つの空気ボリュームから他へとバイパスを通して流れる空気の変化する。

バイパス内部の空気摩擦によって、エネルギーは熱に変換され、最大20%減衰(D)する。既定の空気ばねの固有振動数は垂直方向で約1.1から2.5Hzの範囲であり、水平方向では約2.5Hzである。

減衰係数Dを考慮するならば、任意の振動絶縁システムの効率は励起周波数とアイソレータの固有周波数との間のマッチング率 η に大きく依存する(図2)⁽¹⁾。一般に、防振効率はアイソレータの固有振動数が下記の式に従って低下するのに伴って高くなる。

$$V = \sqrt{\frac{1 + 4D^2 \eta^2}{(1 - \eta^2)^2 + 4D^2 \eta^2}}$$

$$\text{with } \eta = \frac{f_{\text{excitation}}}{f_{\text{isolator}}}$$

一般に、システムは、マッチング率 η が $\sqrt{2}$ を超えると防振機能を果たす。マッチング率が $\sqrt{2}$ よりも小さい場合には、共振によって振動増幅が起きる。通常の間目標は $\eta=3\sim 4$ を達成することである。 $\eta=3$ は最小の実効目標値(絶縁効率にして約80%)であり、 $\eta=4$ は経済的な限界である⁽²⁾。

空気浮上

空気ばね技術は、鋼ばね、電磁アクチュエータ、リニアモータなどに比べて多くの利点を有する。空気ばねは、空気圧と負荷容量との間に線形関係があるため、非常にフレキシブルで、さまざまな負荷分布に容易に適合しうる。実際には、空気ばね要素内部に適用される空気圧は一般に4~6バールであり、これは最大15.5トンの要素あたり全負荷容量に相当する。

空気ばねの機械的特性(剛性と固有周波数)は妥当な動作範囲内でほぼ一定になる。また、空気ばねは非常に高い機械的安定性を提供し、追加の減衰要素を必要としない。さらに、非常に低いエネルギー消費が発熱や磁気変動を最小限に抑える。

用途によっては、EPPCレベリングシステムは、いくつかのコンポーネン

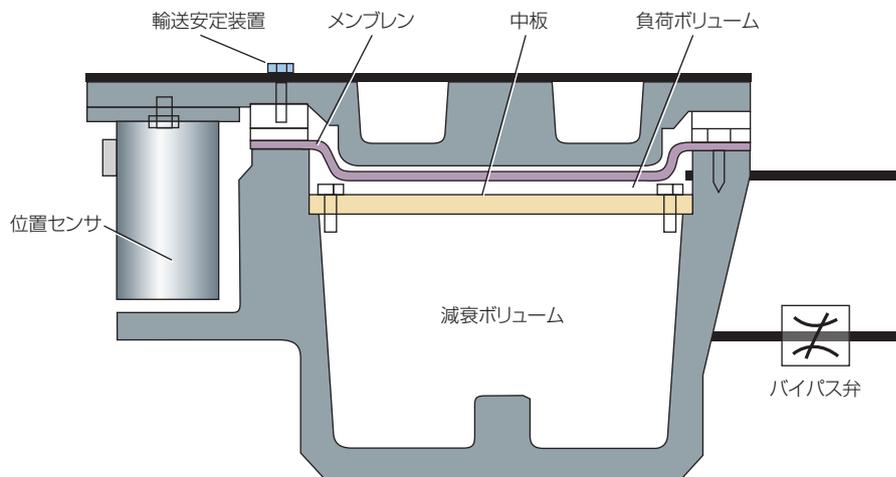


図1 電空式位置制御(EPPC)振動制御システムは、位置センサを備えたメンブレン式空気ばねアイソレータからなる(断面で示す)。

トを必要とする(図3)。空気ばね要素に加えて、オペレータ用の様々な状態インジケータ(システムステータス、エラーフラグ、動作完了信号)を備えた制御ユニットも標準イーサネットを介してシステム構成、監督、システム監視向けに接続することができる。

空気メンテナンスユニットは、電子式圧力スイッチ、システム空気圧の制御、調節、調整用の遮断弁、圧縮空調用フィルタの組み合わせ(5 μ mと1 μ m、ISO 8573-1:2010クラス2.3.2に従って必要な空気の質を調整)、吸音材による雑音低減を含む制御放出用の収集排気などを介して空気圧モニタリングを実行する。

高精度のサーボ弁は、60MHzで動作する16ビットのデジタル信号プロセッサ、PIDコントローラによる統合レベル制御、0.76 μ m(位置)および0.36ミリバール(圧力)の解像度を持つ14ビット分解能アナログ・デジタル(A/D)変換器、CAN-Bus接続(1Mボー)、および300Hzの最大動作周波数を含む。最終的に、電子レベルセンサ(ポテンシオメータ)によって12ミリメートルあたり1000ケタが得られる。

アプリケーション特定の配置

EPPC技術は、オプトエレクトロニクスアプリケーションにおける顕微鏡ならびに半導体産業で使用されている試験装置や製造装置の防振に向けて最適化され、3または6グループの空気ばねの組み合わせにより最高6自由度の制御を実現する。タイプとサイズの異なる複数の空気ばねを使うことによって、特定アプリケーションの個々のニーズにぴったり合った振動絶縁システムの設計とレイアウトが保証される。

Bilz EPPC レベル制御は、システムの動的挙動を制御するために、各自由

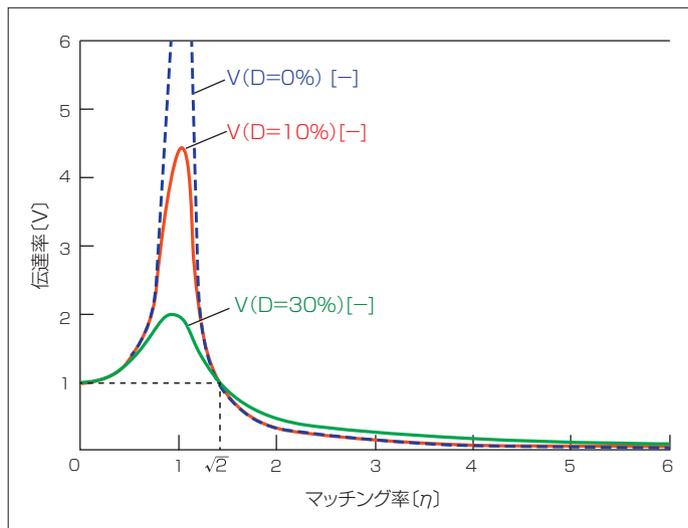


図2 振動アイソレータの伝達率は減衰率と、励起周波数とアイソレータの固有振動数との間のマッチング率 η に依存する。



図3 全EPPCシステムは、制御されるシステムに応じて再構成およびカスタマイズされる多数の振動絶縁コンポーネントからなる。

度ごとのマシン位置ならびに空気ばねの内部空気圧の制御と監視を可能にする。受動空気ばね自体の性能は、ほとんど雑音なしで調整できる高性能A/D変換器と16ビットプロセッサの利用によって著しく向上する。

空気ばねの直近に取り付けられたサーボ弁は、エアチューブ内の圧力損失による制御劣化を取り除く。空気ばね技術の利用は、電磁アクチュエータやアクチュエータの駆動に高電流を要するリニアモータの場合と違って、有害な発熱、磁気変動、高電力消費などを回避できる。さらに、CAN-Busトポロジーによれば、振動絶縁システムと電子制御ユニット自体との距離を最大30

メートルまで離すことができる。したがって、この絶縁システムは、さらに敏感な場所やクリーンルームなどの環境でさえ、利用することができる。

負荷が変化した時、EPPCは12ミリメートルの全域で $\pm 8\mu$ mのレベル精度を保証する。このことは、振れがほとんどなく、一定の位置範囲に到達して、そこで停止するまでに要する整定時間が短いことを要求する高精度マシンで特に重要である。

従来の機械式空気圧位置制御システムと比較して、EPPCは空気ばねの減衰によって整定時間がかかり短縮されている(図4)。80 μ mの励起振幅を適用した場合、機械式空気圧システム(D=

10%)は約1.5秒後に $\pm 10\mu\text{m}$ の範囲の安定位置に到達する。EPPCシステム(D=30%)の場合は、整定時間は約0.75秒であり、50%短い。

衝撃に敏感な機器やアプリケーションでは、EPPCで必須となる全てのコントローラパラメータは空気弁ごとに定義され、これによって振動絶縁システムの動的(P値)、整定(I値)ならびに減衰特性(D値)、いわゆるPIDコントローラパラメータが決定される。特定アプリケーションのダイナミクスに対して機械的パラメータを個別に調整することで、約30%の減衰率を達成することができた。このことが、共振周波数範囲における振幅の低減、個別の空気ばね要素の可変剛性、そして前述したような整定時間の大幅な短縮に導いた。

さらに、このシステムは、圧縮空気と電気エネルギーの供給も監視する。空気やエネルギー供給が中断した時に、精密な機械部品、機器、ワークピースなどが損傷を起こさないように、特定用途向けシャットダウンには傾斜が設けられている。膨張と空気ばね要素も、振動絶縁システムの円滑な活性化と不活性化が確保されるように、マシオペレータによって定義される。

性能の定量化

我々は、これまでに、自動車分野での光学監視および品質検証ユニットに対する床振動を軽減する目的で、光学カメラ部品のユニットへの組立て、およびキャリブレーション過程にEPPCシステムを装備した。検査プロセスでは、前もって組み立て、試験したカメラによる安定した画像が必要であった。テスト画像を適切に分析するには、画像ボケを最小にすることが重要であり、そのためには多数のカメラ組み立

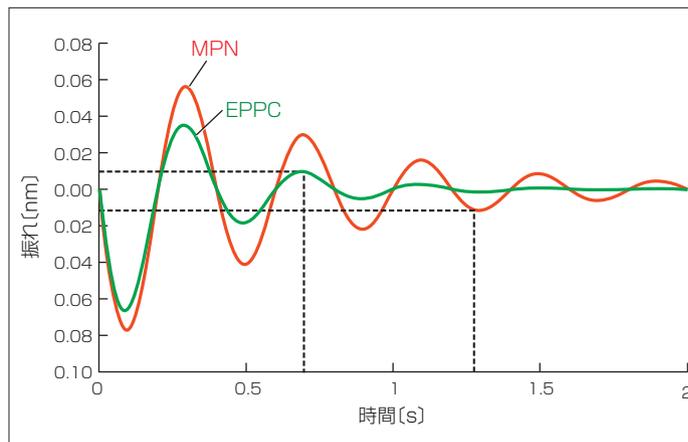


図4 減衰振動曲線は、機械空気式位置制御とEPPC位置制御の性能を比較している。

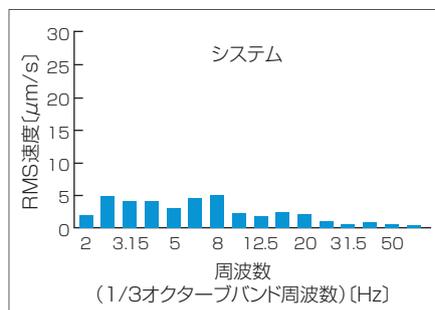
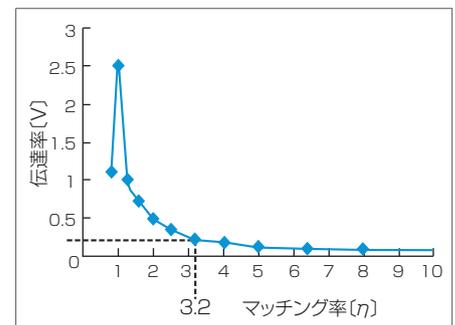
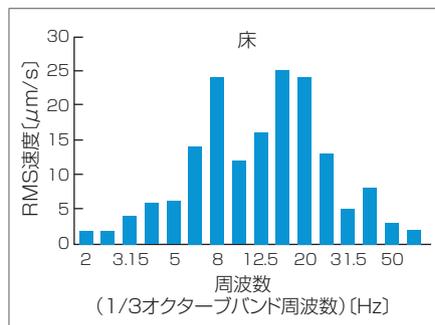


図5 カメラ組み立てシステムの振動測定結果をEPPC有り「システム」(左上)とEPPC振動絶縁なし「床」(左下)の結果とともに示した。このシステムは約2.5Hzの固有振動数以下の振動は絶縁しない。対応する値(絶縁有り無し)から、絶縁周波数(右)を計算した。固有共振周波数において、このシステムは共振増幅を示し、床振動振幅の $2\mu\text{m}/\text{秒}$ RMS(二乗平均)から $6\mu\text{m}/\text{秒}$ RMSへの増加が観測された。



てマシンなどの周辺機械類が発生する床振動からの極めて高効率での絶縁が必要であった。

このカメラアプリケーションの場合、EPPCシステムは3.5Hz以上の振動を

防振した。このEPPCシステムは、 $\eta = 3.2$ (8Hzの励起周波数に相当)で、最適化電気空気式振動絶縁プラットフォームの能力を実証する、80%の優れた効率を達成した(図5)。

参考文献

- (1) P. Alabuzhev et al., Vibration Protecting and Measuring Systems With Quasi-Zero Stiffness, Taylor & Francis, Abingdon, England (1989)
- (2) J. Milberg et al., Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften IWB, München (1995)

著者紹介

ヤン・ハンセン・シュミット博士は独ビルツ・バイブレーション・テクノロジー社のセールスマネージャー、ウィリアム・グランチは同社のセールスエンジニア。
e-mail: wgranchi@bilz-usa.com URL: www.bilz.ag/en