

3軸同時振動試験機を使ったクロストーク低減技術

自動運転時代の電子機器の信頼性向上に向けての最新振動試験技術

深田 修¹⁾ 松本 繁¹⁾ 村内 一宏¹⁾

Technology to reduce Cross Talk by 3 Axis Simultaneous Vibration Tester

Osam Fukada¹⁾ Shigeru Matsumoto¹⁾ Kazuhiro Murauchi¹⁾

We have proposed simultaneous 3 axis vibration tester to reproduce the similar environment for the specimen with the actual run even in the laboratory. In the progress of designing ECU/GPU, It is an ideal that calculated stress value and the value measured by the actual run are same or similar. This case is also required for the vibration test in the laboratory. Due to the exist of the specification of uniaxial vibration test still now, the vibration test is important not only by simultaneous 3 axis but also by uniaxial in each direction, x,y,z as well.

We have established the control method realized by only simultaneous 3 axis vibration testing structure which we have developed it. By adding the control to 2 non-vibrating axes (called "Active control), it makes possible to protect/minimize the interferences of vibration of vibrating axis into 2 other axes. By this method the Cross Talk reduction could be improved up to the higher level where the ordinary vibrating tester could not achieve it.

KEY WORDS: Vibration, Noise, and Ride Comfort, Test and Analysis Technology, 3-Axis Simultaneous Vibration Testing, Cross Talk Active Control, (B3)

1. まえがき

自動運転車の開発は現在第二世代から第三世代へ差し掛かるとされる。開発は世界的な潮流となりめざましい速度で進展し目標とされる第五世代の自動運転車には、スーパーコンピュータ並の電子機器が搭載されると言われている。

高い信頼性を要求される自動車に搭載される電子機器では振動試験によって実走行に近い環境に曝した性能試験や耐久試験が必須とされる。筆者等はこれまで実験室内で実走行に近い環境に供試体を曝すための3軸同時振動試験を提案してきた。電子機器の設計段階では、設計応力計算が実走行時の応力と一致することが理想であり、実験室内の振動試験でもそのことが要求されるためである。しかし現時点では依然単軸の試験規格が存在し、ユーザー独自の振動試験方案も単軸試験が主流となっている。またこれまでは振動テーブル上の面分布 (Uniformity) 性能、及びクロストーク (Cross Talk) 性能は振動試験機自身の問題から大きく取り上げられなかった。

クロストークとは上下左右前後の一方に加振を加えた際の他の方向の振動を意味し、加振方向以外の他の方向の振動は低ければ低いほどクロストーク性能は高い。しかし高い信頼性を要求される自動運転時代の電子機器ではこれらクロストーク性能と面分布性能は従来に比べて厳しく要求される。このクロストーク性能と面分布性能が低下していれば、振動

試験の結果得られた応力値、加速度値、ダメージ等は振動試験機自身によって歪められ、振動試験の信頼性は大きく損なわれることとなるからである。

筆者等はこれまで開発した3軸同時振動試験装置を利用して、3軸振動試験機機構でしか成し得ないクロストークの制御方法を考案した。加振制御軸以外の非加振軸に能動的に制御(アクティブ制御)を加え、加振軸の振動を他の軸に影響させることを防ぐものである。以下に3軸振動試験機の開発経緯を踏まえてアクティブ制御の詳細を述べる。

2. 3軸同時振動試験機の開発要件

電子機器の実走行環境を再現する振動試験装置には、次の5つの要件が求められる。第1は3軸(上下、左右、前後)同時振動であり第2は2000Hzまでの加振である。電子

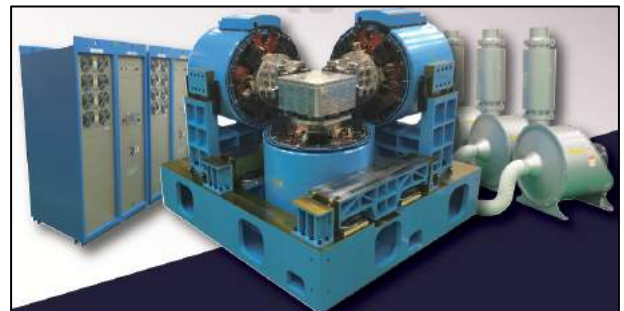


Fig.1 3-Axis Simultaneous Vibration Test System

1) 国際計測器株式会社(206-0025 東京都多摩市永山6-21-1
E-mail fukadao@kokusaikk.com

機器,特に自動運転車のECU基板に搭載されている電子機器のハンダや接続される配線の多軸コネクタが実振動において、チャタリング等の現象による誤動作等を検証する信頼性検証には2000Hzまでの高周波数帯域の試験が必要である。第3のPSDランダム・実波再現の振動試験を再現することにより、加速度の時系列的なベクトル合成が行われ、実環境に近い振動を発生する事が可能である。その他要求される重要な加振性能として、第4のクロストーク (Cross Talk) 性能,及び第5の加振面上の均一性 (Uniformity) がある。(図2参照)



Fig.2 Essentials Of Vibration Testing For Electric Automobile Electric Parts

著者等は振動周波数DC~200Hzまでの3軸同時振動試験機についてはこれまで鉄道用品電気製品や包装貨物製品,地震シミュレーションの分野で数多くの装置を製造してきたため,第一,第二,第三については既存技術を転用できた。しかし第四の5Hz~2000Hzの振動試験範囲でのクロストーク性能,及び第五の面分布性能についてはそれまでと全く異なる技術の開発が必要であった。

まずクロストーク性能の向上のため,上下左右前後(ZXY)各軸の加振アクチュエータを固定する本体架台(アース架台)には,加振時の各軸の相互の影響を打ち消す機構として,垂直水平方向にそれぞれ免震フローティング機構を搭載した。(図3参照)。

精度の高い振動試験を行うためには振動台の中心部だけでなく制御点から離れた箇所の加速度も機械的に抑制されていなければならない。振動台に載荷する供試体は振動台に設置接触される面積を持つからである。つまり所要の供試体を載荷させた際の振動台の各振動加速度の均一性が重要である。通常振動台の中心に制御点を設置して振動台を制御し,振動台上の制御点の周囲の振動加速度の状態を計測して加速度の均一性を評価する。これが面分布(Uniformity)と呼ばれる。筆者等は面分布性能を向上させるため振動台の各軸にクロスガイドを複数配置して各軸の直動性を高めた。更に3軸振動試験機の振動面分布性能を向上させるため振動テーブルへの加



Fig.3 Floating Structure In Horizontal & Vertical

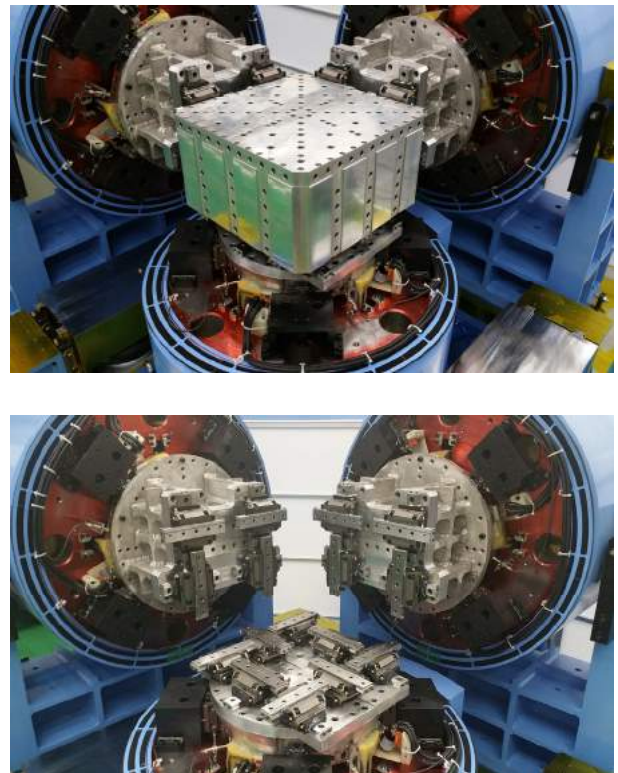


Fig. 4 Above 3-Axis Vibration Table Assy. Below The Structure of Guide Units Behind Table

振力を伝達して,かつ他の方向からの力をキャンセルする働きをもつガイドの剛性を高め,寸法を小さくして質量を軽減させてガイドの固有値を高めた。(図4参照) また振動テーブルの構造改良による低重心化等を行うことで,2000Hz帯域までの加振面上の均一性を±3dB内に納める事に成功した。

以上の経緯により筆者等は3軸同時振動試験機を完成させた。

4. 3軸同時振動試験を使ったクロストーク低減技術

4.1 従来型振動試験機でのクロストーク

前述したようにクロストークとは、1方向(上下)に加振する振動エネルギーが、他の2方向(前後、左右)に影響を及ぼすことを意味する。従来型の振動試験機ではクロストークが大きく上下方向の単軸振動試験を行っている時に前後方向や左右方向の振動が発生してしまうために、フィードバック用加速度センサーの上下方向加速度値は低下し、制御信号は過剰な振動エネルギーを加振機に発生させようとする。このためミクロン単位の変位で推移する高周波数帯域での加振で、クロストークの大きいシステムでは制御不能で止まってしまう事象がたびたび発生する。また従来型の単軸振動試験機では振動を発生する可動部のボビンは、可動部懸架機構によって可動コイルを中立の位置に保持しながら振動方向へ拘束し、振動方向以外の方向への動きを抑制している。しかし特に重心位置の高い供試体を振動試験する場合には、大きなモーメントが発生して可動部懸架機構の損傷がたびたび発生すると同時に大きいクロストークが発生する。

筆者等の開発した3軸振動試験機ではこれらのモーメントを極力排除するため高剛性ガイド機構により可動部コイルを拘束している。

4.2 機械的固定の試み

筆者等は、クロストーク低減の目標値(目標比率)を制御軸加振加速度よりも-20dBとして開発を進めた。3軸同時振動試験機において、一方向のみの振動試験を行う単軸振動試験で稼働軸以外からの影響(=クロストーク)を可能な限り排除するため、まず稼働軸に対する他の非稼働軸を機械的に固定することを試みた。3軸同時振動試験が可能となるようにフローティング機構やガイドの性能を向上させて

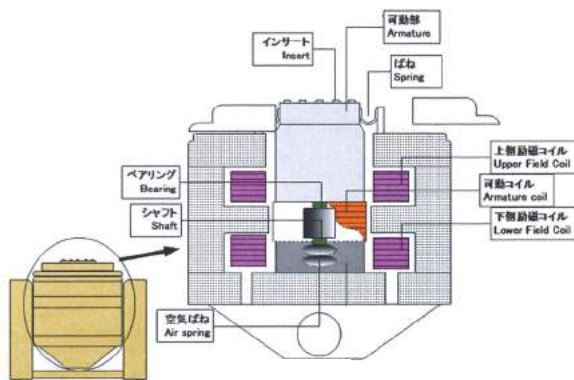


Fig. 5 Structure Of Electro-motive Vibration Tester

きた経緯から制御稼働軸以外の軸を固定することができれば、それらの軸の干渉は低減できると推測した。図5に一般的な動電式振動試験機の構造を示す。励磁コイルと可動コイルをサポートしている架台に高剛性の治具を設置して、直接可動コイルをボルト固定しクロストーク波形を観察した。図6は上下(Z軸)方向に、 10m/s^2 の加速度で2000Hzまでを掃引制御して加振させた際の左右前後(X Y軸)方向のクロストーク波形である。3軸振動試験機では高剛性のガイドにより上下(Z軸)方向を拘束しているにも関わらず2000Hzまでの全周波数に亘ってクロストークは目標値に比べて大きく、特に700Hz近辺以上の周波数では、加振制御加速度と同等の加速度が発生している。周波数700Hzから2000Hzで、仮に1Gの加速度で加振させようとするればその変位はわずか 0.5μ 程度である。このような微小変位を機械的に抑え込むのは、固定治具の固有値がクロストークに影響することと相俟って困難であることが判った。



Fig. 6 Vibration-profile, Z-axis Controlled, XY-axes Mechanical Locked.

4.3 電磁的固定の試み

動電式(=電磁コイル式)振動試験機の動作原理は、電磁コイルの交流電流による磁気的な反発力を振動エネルギーに換えるものである。筆者らは制御加振軸以外の非制御軸を電磁的に固定出来ないか検討した。つまり上下Z軸が制御されて稼働する場合は、非制御軸である左右X軸、前後Y軸を電磁的に固定するのである。

電磁固定の場合のシステムブロック図(図7参照)に示すように振動制御装置はアンプZ軸を制御して振動制御するがアンプX Y軸は制御しない。しかしX Y軸はアンプから通電して励磁し電磁固定している。

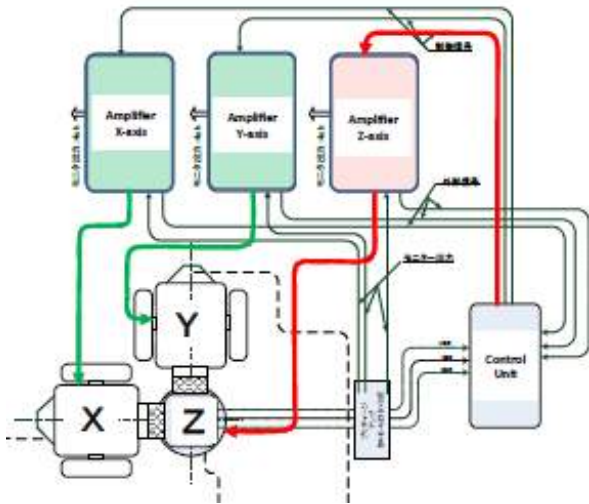


Fig. 7 Control System Block Diagram, Z-axis Controlled, XY-axes Electrical Locked

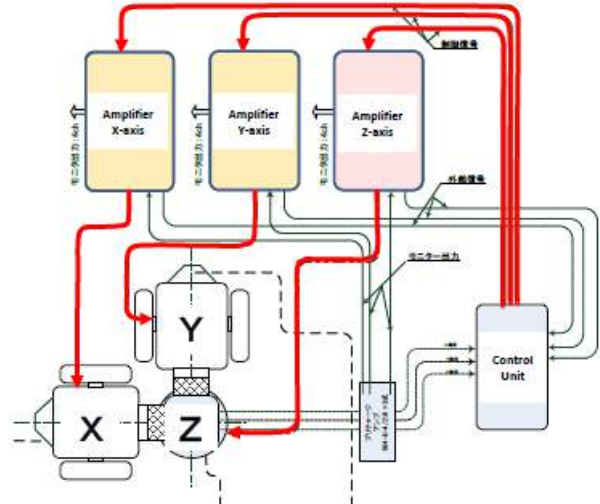


Fig. 9 Control System Block Diagram, Z-axis Controlled, XY-axes "Active" Controlled

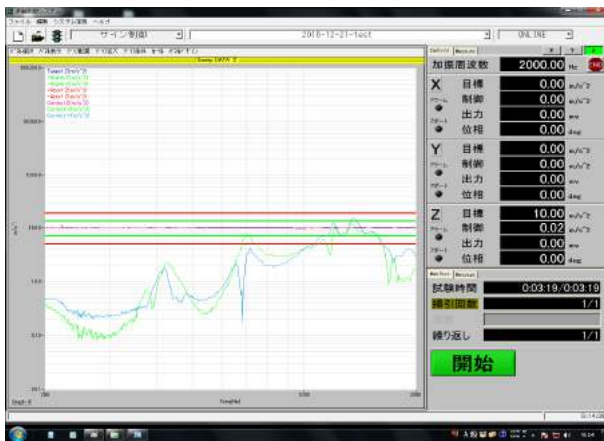


Fig. 8 Vibration-profile, Z-axis Controlled, XY-axes Electrical Locked.

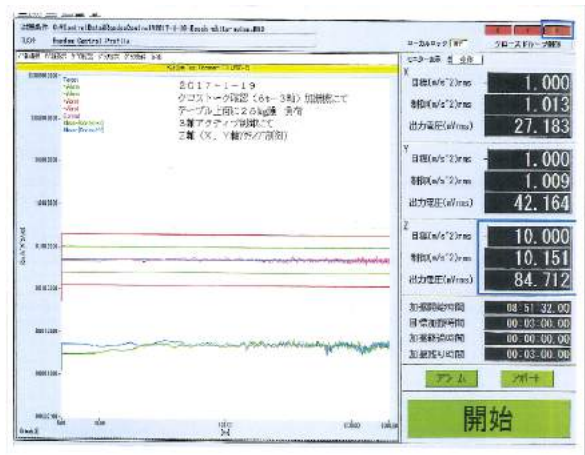


Fig. 10 Vibration-profile, Z-axis Controlled, XY-axes "Active" Controlled.

図8はZ軸を加速度 10m/s^2 で加振掃引制御し、XY軸を電磁固定して観察した波形である。機械的固定に比べればクロストークは改善しているが 700Hz 以上のクロストークは、加振制御軸のZ軸に対しての目標値 -20dB に比べると依然として大きい。上記の結果から電磁的な固定によっても高周波数帯域の効果的なクロストーク低減は困難であることが判明した。

4.4 稼働軸以外の「アクティブ制御」

上述のように機械的電氣的な非稼働軸の固定が困難であることが判り、筆者等は稼働軸以外からの影響を排除

シクロストークの改善を図るため、低周波数帯域での制御では実績のあった非稼働軸をアクティブ（能動的）に制御することを考案した。図9に非稼働軸を「アクティブ制御」する際のシステムブロック図を示す。Z軸を所要の加速度で振動制御する場合、振動制御装置は所要の加速度レベルの 10m/s^2 を維持するようにアンプと振動アクチュエータを制御する。一方非稼働軸のXY軸は、加振制御軸より -20dB のレベルである 1m/s^2 を維持するように「アクティブ制御」を行った。

図10はPSDランダム波加振制御軸のZ軸に対する非稼働軸のクロストーク波形である。Z軸の制御波形に対して、

アクティブ制御されたXY軸のクロストーク波形のレベルは、目標値の-20dBのレベルまで低下したことが確認できた。

5. まとめ

筆者等は振動試験機のクロストークの低減のため3軸同時振動試験機の機構でしか成し得ないクロストーク低減制御技術を確立した。ただし今回のアクティブ制御は正弦波掃引については行われておらず、今後検証を進める予定である。

これからも高周波3軸同時振動試験の更なる技術開発を通じて世界の自動車の信頼性と安全性の向上に努めたい。

参考文献

- (1) エミック株式会社「振動試験機の基礎原理」
- (2) IEC 60068-2-6(1995)
Environmental Testing Part 2: Tests - Test Fc:
Vibration(sinusoidal)
- (3) IEC 60068-2-64(1993)
Environmental Testig Part 2: Tests - Test Fh
Vibration, broad-band random (digital control) and
guidance