

## 3軸同時振動試験の最新動向(事例紹介)

国際計測器株式会社

第2事業本部 深田 修

### 1. はじめに

近年の省エネ、省資源化の流れは包装梱包をより軽くて強いものへと進展させている。また製品設計と包装設計を同時並行的に進めて開発期間を短縮させるコンカレント設計等の取り組みも注目される。さらに新興国（中国、ASEAN、ロシア等）の流通貨物の増加等により、包装貨物の設計段階での評価を実輸送に近いものとする必要性を強く感じる。

こうした包装貨物設計の傾向の中で、当社では15年ほど前から、包装貨物の試験を行う技術者が、上下・左右・前後の3軸同時実振動試験、ランダム振動試験をより手軽に実施できるよう3軸振動試験機の開発を進めてきた。本発表では包装貨物設計の技術者が、自社の包装貨物輸送に取り組む際の課題解決の糸口となることを目的として、包装貨物以外の多くの業界で同時3軸振動試験が活用されている事例をユーザーの許可を受けた範囲で紹介する。

### 2. 3軸同時振動試験の考察

包装貨物の輸送時に貨物が実際にどのような振動を受けるかをあらためて考察する。

図1を輸送中のある貨物の1点を受けている時刻 $t_n$ の時点で貨物の1点を受けている加速度は、図2に示すようにX軸の $\alpha G$ 、Y軸の $\beta G$ 、Z軸の $\gamma G$ を合成した $\delta G$ となり、この $\delta G$ は時刻 $t$ の変化に連れてその方向と加速度が刻々と変化するベクトル合成された加速度である。輸送中の貨物の各部位は、時々刻々とその方向と強度が変化する加速度に曝されていることをあらためて認識したい。

### 3. 3軸同時振動試験の事例紹介

#### 3-1 ハイブリッド車用電子部品の振動試験

ハイブリッド車のモーターへのトルクや回転数を制御するためのリアクトル部は電子部品であるため2000Hzまでの性能・耐久振動試験が要求され、3軸同時試験が必須である。当

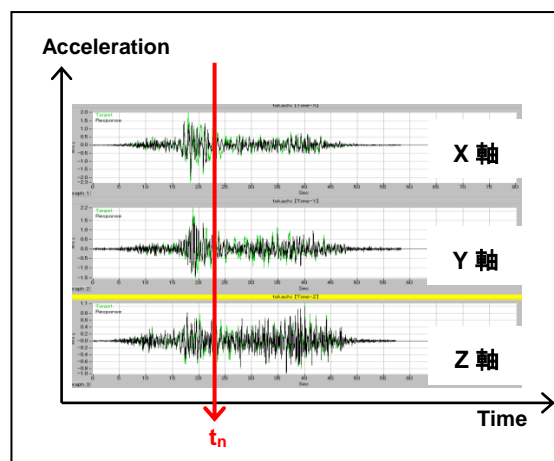


図 1

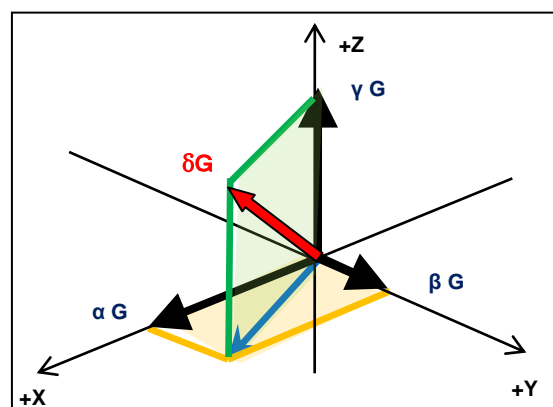


図 2

該車載リアクトルの質量は振動テーブルへの取付け治具を含み約 30kg、縦約 640mm 横約 480mm である。この供試体を図 3 のように 3 軸高周波振動試験機に取付け、特定する 2 箇所 に加速度ピックアップを設置して単軸振動の場合と 3 軸同時振動の場合のオーバーオール実効加速度を比較した。3 軸振動試験は図 4 に示す 5~1997Hz の PSD ランダムプロファイルである。XYZ 各軸のオーバーオール実効加速度はそれぞれ X 軸 33m/s<sup>2</sup>rms、Y 軸 44m/s<sup>2</sup>rms、Z 軸 64m/s<sup>2</sup>rms である。特定した 2 箇所のオーバーオール実効加速度を比較すると(図 5)位置 1 のピックアップの単軸実効加速度は、457 m/s<sup>2</sup>rms、3 軸同時では 631 m/s<sup>2</sup>rms。位置 2 では単軸 635 m/s<sup>2</sup>rms、3 軸同時で 784 m/s<sup>2</sup>rms であり、単軸振動の場合のオーバーオール実効加速度のそれぞれ約 1.3 倍であることが判った。この試験によって供試体の特定した 2 箇所に設置したピックアップが示すオーバーオール実効加速度は明らかに 3 軸同時振動試験の時の方が高く、単軸の振動試験より大きな加速度値が試験体に加わっていることが実証できた。

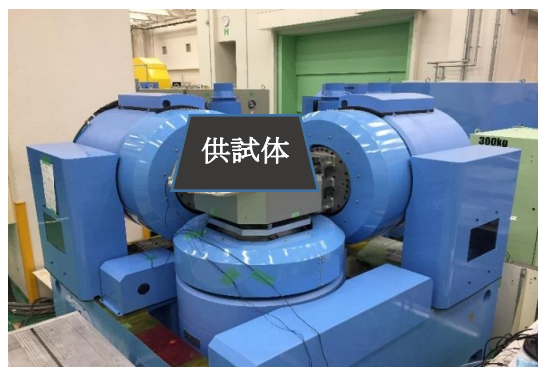


図 3

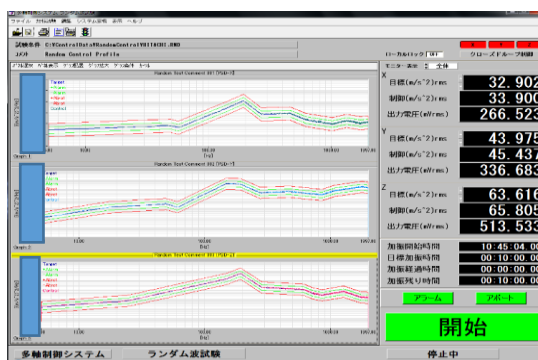


図 4

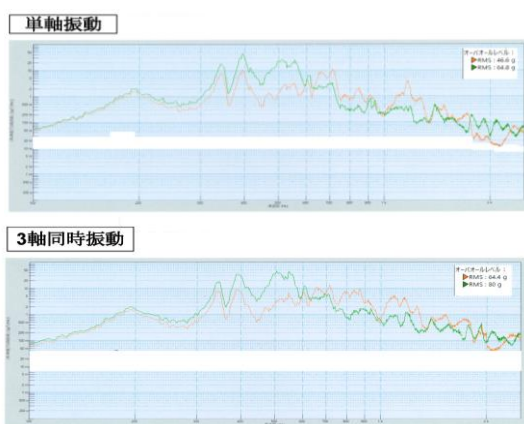


図 5

### 3-2 航空宇宙用電子部品の振動試験

一般的に人工衛星等の航空宇宙用電子部品のランダム振動試験は振動台の上下左右前後軸 (ZXY 軸) のランダムプロファイルが同一である。信号入出力の動作不具合が発生した航空宇宙用電子部品について、それまで単軸振動試験では発生しなかった不具合が 3 軸同時振動試験で発生するかどうかを検証した。図 6 は従来単軸振動試験を行ってきた上下左右前後の各軸を 3 軸同時振動試験している際の実際の波形である。供試体の質量は取付け治具を含んで約 17kg、寸法は縦 200mm 横 300mm 高さ 150mm 程度である。航空宇宙機器の振動試験

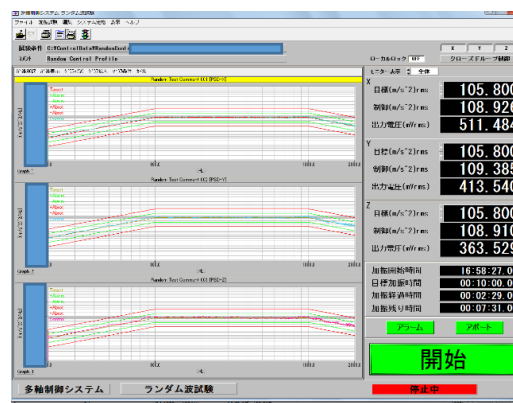


図 6

規格に基づいて周波数 20~2000Hz のオーバーオール実効加速度  $105.8\text{m/s}^2\text{rms}$  の3軸同時振動試験を行った。電子部品供試体には試験中に通電を行いながら試験を行った結果、単軸のランダム振動試験条件では発生しなかった電子部品の信号伝達に不具合が発生した。この検証によって当該電子部品の改修を行うことができた。



図 7

### 3-3 銀行 ATM 耐震シートのシミュレーション

従来、銀行 ATM の設置の際には、設置床面にアンカーを施工して ATM は固定されていた。しかし店舗の内装変更等の利便性を向上させるため、耐震シートを設置することが考案された。この耐震シートによって地震の発生時に ATM が動かないことを検証する目的で試験を実施した。図 7 参照。

この振動試験では図 8 に示す正弦波ビート波による各軸加振、及び図 9 に示す阪神淡路大震災の神戸气象台時刻暦加速度波形による 3 軸同時振動試験を行った。正弦波ビート試験は最大加速度 600gal でビート波 10 波を 2 秒毎に各軸で 3 回ずつ加振する。この際、各軸への加振方向の変更にもなると供試体の耐震シート上の向きを変更させてはならない。図 7 に示すようにサーボモーター式 3 軸同時振動試験機によって 2 種類の耐震シミュレーション試験を実施し、新規開発した耐震シートによって銀行 ATM が振動台上で動かないことを確認した。

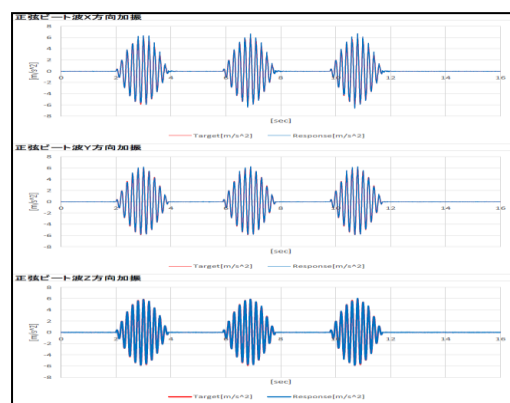


図 8

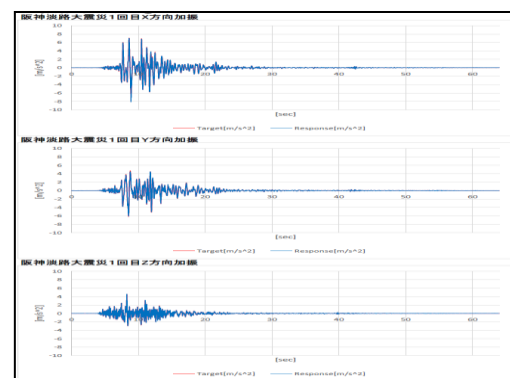


図 9

### 3-4 鉄道車両用電気製品の 3 軸振動試験事例

鉄道車両に搭載された電気製品で電気温水器のような中吊りタンクがある製品について 3 軸同時振動試験を行った。この製品の質量は内蔵部品としては比較的大きく約 600g 程度である。

実際に走行中の鉄道車両の当該電気製品が搭載される場所の時刻暦加速度波形を採取し、この実波形で耐久試験を行った。今回この振動試験を行った装置と同型の 3 軸振動試験機を図 10 に示す。試験の結果一番質量のある部品の樹脂性取付け部の 3 箇所疲労破壊が発生した。鉄道車両用品振動衝撃試験規格である JIS E4031 は 3 軸同時振動試験を容認している規格である。供試体の電気機器は規格に定めた設置位置によって、ランダム振動試験条件

が定められており、上下左右前後の各軸 5 時間ずつ合計 15 時間の耐久試験は、3 軸同時振動試験を実施した場合は 5 時間となり大幅に試験時間が短縮される。この事例では JIS E4031 に基づく 3 軸同時振動試験によってもこの疲労破壊が再現した。

### 3-5 包装貨物輸送に関する事例

風車積みした包装貨物の輸送中に位置ずれが発生して、印刷はがれが起こり表記が汚損、読み取り不可となった事例を 3 軸同時振動試験で再現した事例を紹介する。

貨物の寸法は各々縦約 600mm 横約 520mm 高さ約 225mm、全体質量約 8kg で内容物は家庭用電気製品である。一般的に風車積みは輸送時に当該貨物が相互に安定した姿勢を保つことから、広く用いられる載荷方法である。実際の輸送時には風車積みした貨物全体をラップフィルムで包んで、パレットに載せた状態が荷姿である。

この荷姿の状態に加振条件、X 軸：0.5G-25Hz、Y 軸：0.5G-30Hz、Z 軸：0.5G-32Hz の 3 軸同時正弦波振動試験を行った。この各軸加振周波数は製品本体の共振周波数である。その結果風車積みの荷姿はずれて、梱包同士が擦れ合う現象が始めて振動台上で再現された。

この事例ではさらに梱包材内部で製品自身が緩衝材に乗り上げてしまう現象も確認できた。内部の製品が複合的な振動によって放物線上に浮き上がり、かつ回転運動のような挙動に至って内部の緩衝材に乗り上げたと推測される。製品自体は通常に置かれた状態では自重で静止しているが、この製品は特殊なヒンジ構造のために発生した現象と考えられた。

## 4. おわりに

長い間輸送包装設計に携わる技術者や、自動車、鉄道、航空宇宙に関連する多くの振動に関わる技術者が 3 軸同時振動試験の必要性を認識しながら装置のコストやメンテナンス等の課題を克服することができず、その大きな障害になっていた。3 軸同時振動試験が以前より手軽に利用できるようになった今、3 軸振動試験機を尚一層普及させて輸送包装貨物の品質向上の一助となるよう努めたい。

参考文献：[1] JIS E4031 2013 鉄道車両用品-振動及び衝撃試験方法

[2] エミック株式会社 振動試験と計測の基礎

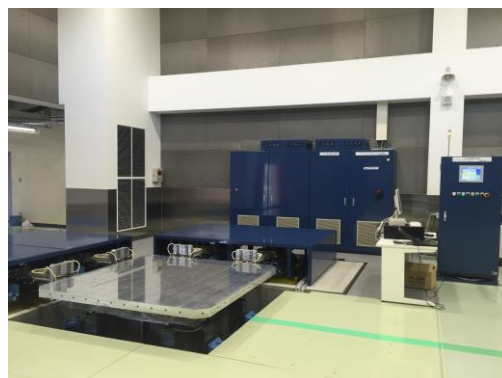


図 10

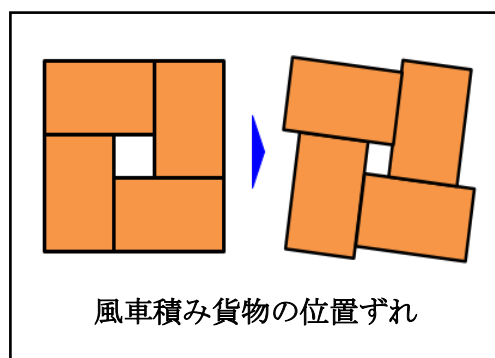


図 11