

## 6.5. 大型機器を対象とする衝撃試験法の一例

三菱電機株式会社 鎌倉製作所

衛星情報システム部

佐々野 浩 氏

## 第15回試験技術WS

### 大型機器を対象とする衝撃試験法の一例

2017.11.22

鎌倉製作所 衛星情報システム部

佐々野 浩

三菱電機株式会社

© Mitsubishi Electric Corporation

人工衛星の搭載機器は、打ち上げ時に衛星分離衝撃や太陽電池パドルの展開衝撃等を始めとする様々な衝撃環境に遭遇する。衝撃環境が軌道上における搭載機器の機能性能に影響を与えないことを、試験検証することが求められる。

通常、小型の搭載機器に対する衝撃試験の場合、各メーカーのノウハウに基づいて確立した試験方法で実施される。

一方、サブシステムとして位置付けられる大型搭載機器では、試験条件を満たす衝撃試験装置の開発が必要となる。

本技術発表では、質量が300kgを越える大型搭載機器の衝撃試験方法の検討事例を紹介する。

1. 試験対象
2. 衛星搭載機器の衝撃環境
3. 衝撃試験方法
4. 衝撃試験装置
5. 結び

## 1. 試験対象

### 衝撃環境例

- 衛星分離衝撃
- 展開機構保持解放衝撃

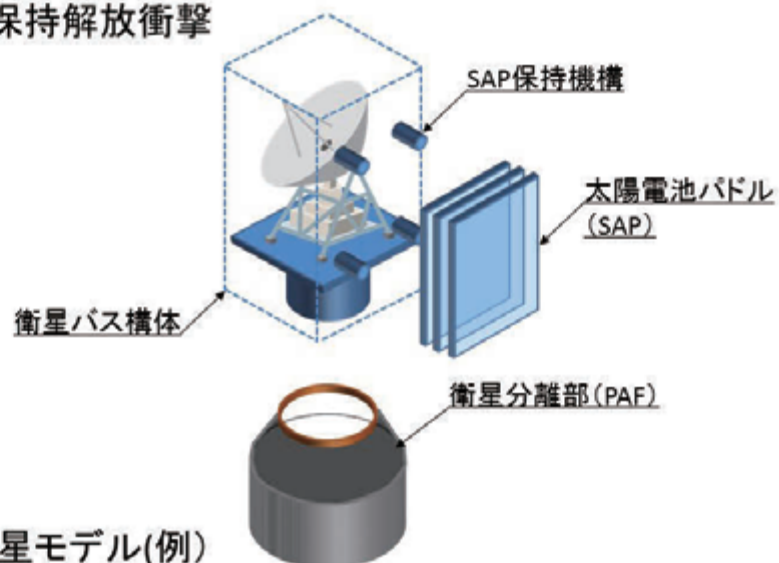
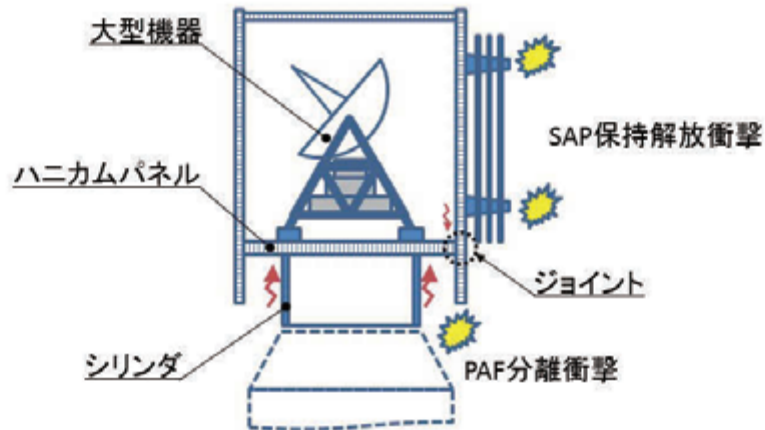


図1 衛星モデル(例)

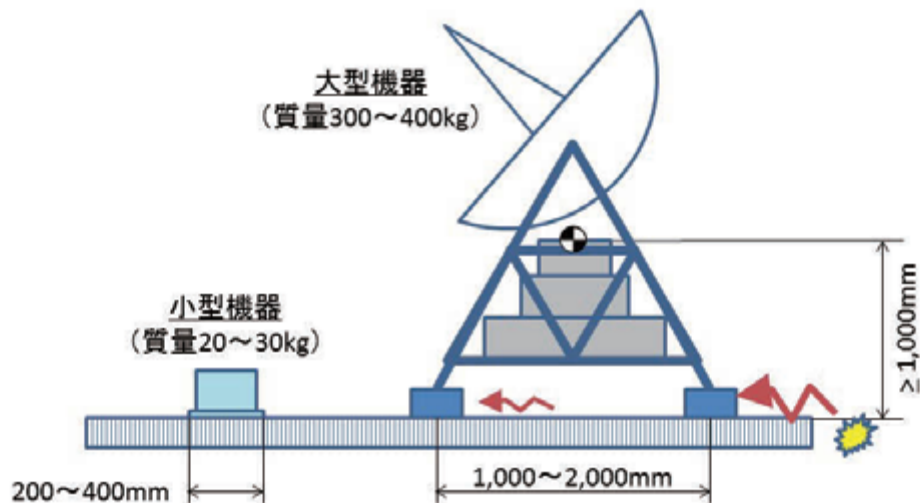
## 2. 衛星搭載機器の衝撃環境



SAP保持機構やPAFで発生した衝撃は伝播経路上の構造物(ハニカムパネル、シリンダシェル、ジョイント金具etc)を経由して衝撃源からfar-fieldに配置された機器取付部に伝わる。大型機器の場合、衛星に離散的に取り付けられるため、全ての取付点で衝撃が最大となるタイミングが一致する可能性は低い。

図2 衝撃伝播経路

## 1. 試験対象



大型機器の取付点間の距離は離れているため、ある取付点近傍(near-field)に衝撃が印加されても、他の取付点へはfar-fieldとして衝撃が伝播する。

図3 大型機器と小型機器

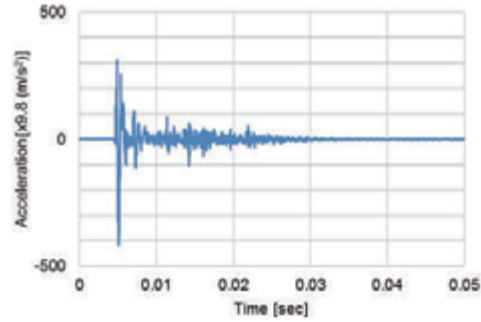
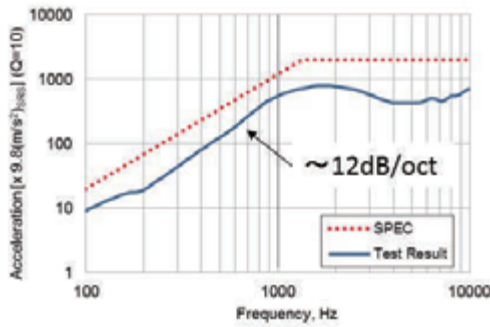


## 2. 衛星搭載機器の衝撃環境



火工品による衝撃

【特徴】高加速度、高周波数、高減衰、急こう配(～12dB/oct)



(出典)標準バス(DS2000)衝撃試験結果

取付点の衝撃レベルはSRS(Shock Response Spectrum)で定義され、マージンを加味して、衝撃試験条件が設定される。

図4 標準バス衝撃条件(例)



## (解説) SRSとは?



衝撃応答スペクトラム(SRS: Shock Response Spectrum)とは、1自由度振動系の共振周波数を、ある定められた範囲で推移させ、共振周波数ごとに当該1自由度系のベースに衝撃加速度が入力された際の最大加速度応答を算出した結果として得られる周波数歴のスペクトラムである。

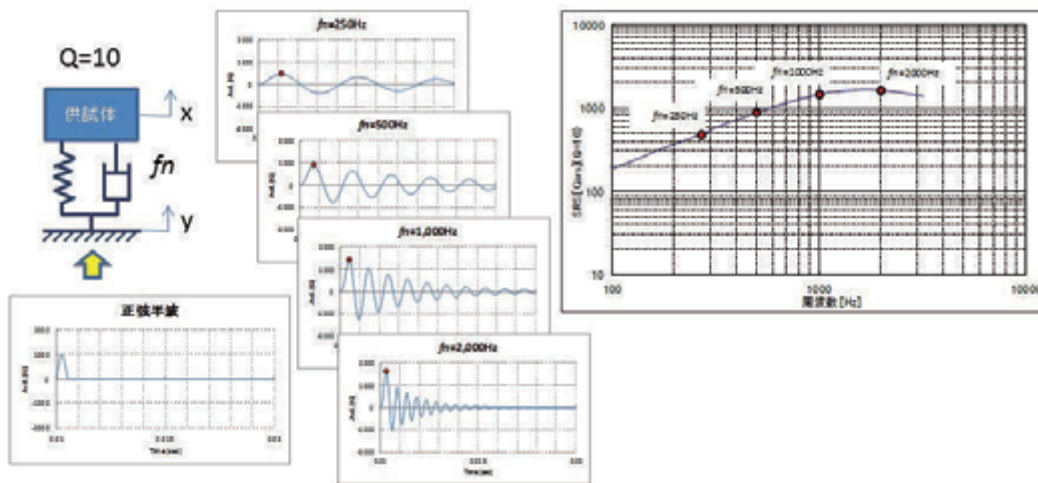


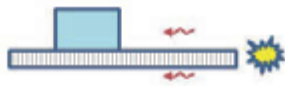
図5(1/2) 衝撃応答スペクトラム(SRS)



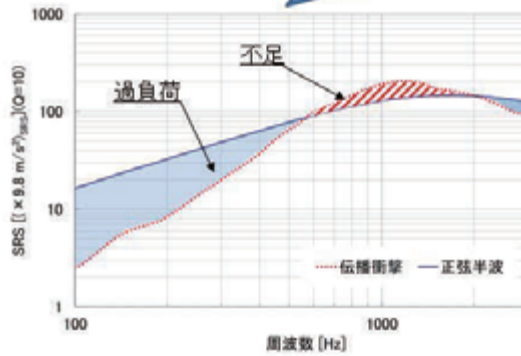
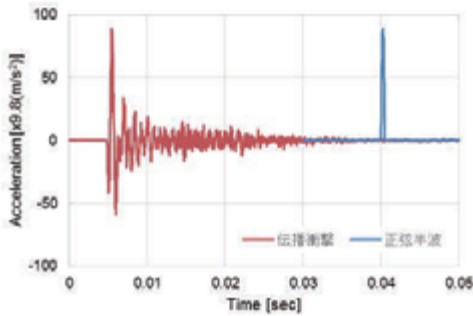
(解説) SRSとは?



伝播衝撃(ハニカムパネル)



ハニカムパネルに加わる衝撃加速度を正弦半波で模擬すると、



SRSは加速度の単位を持つが、共振周波数をパラメータにしたシミュレーション結果であり、供試体に加わる負荷を示す一つの指標であるが、実際の供試体応答ではない。

図5(2/2) 衝撃応答スペクトラム(SRS)



3. 衝撃試験方法



【小型機器の衝撃試験方法(例)】

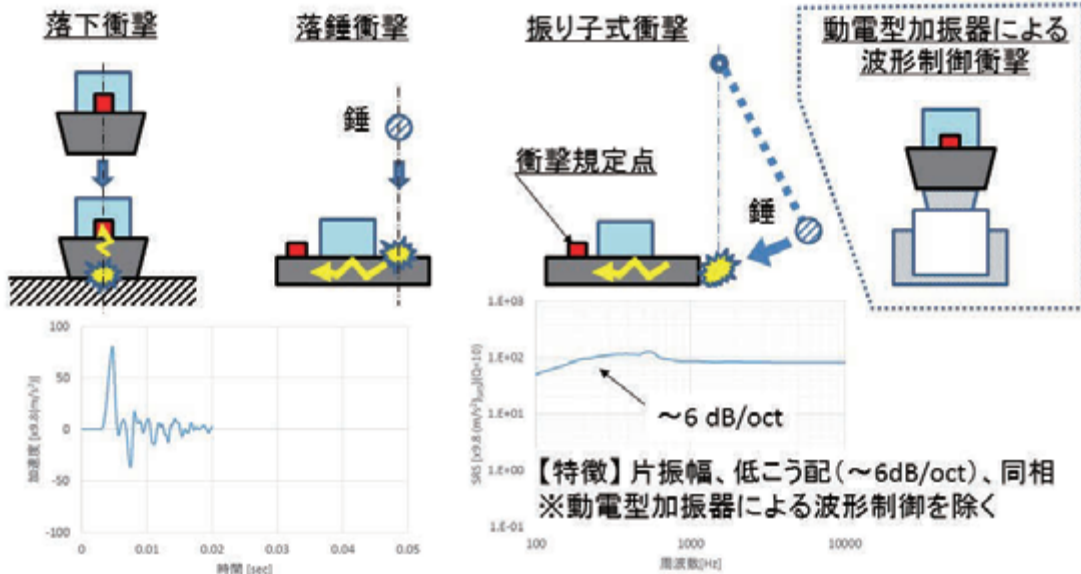


図6 小型機器の衝撃試験(例)

衛星搭載機器が打上げ時に遭遇する衝撃環境と、衝撃試験で加わる衝撃を身近なイメージで表現すると、

【実際の衝撃環境】



【衝撃試験環境】

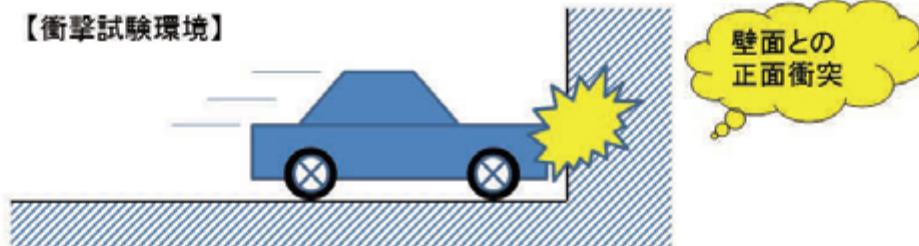


図7 衝撃レベルの比較

【小型機器の衝撃試験の特徴】

1. SRSからWavelet解析等を用いて波形制御する場合を除き、基本的に片振幅の正弦半波を利用した衝撃試験方法である。
2. 供試体を剛な治具に固定して試験実施すると、機器の主要な共振周波数における動吸振器効果が現れず、過負荷を避けられないことが多い。
3. 正弦半波ではこう配の調整が難しく、高周波領域の試験条件を満たすために低周波領域で過負荷となるケースが多い。
4. 片振幅の場合、正負両方向の衝撃印加が必要となる。
5. 治具が重くなれば、衝撃を発生させるために大きな力を必要とし、供試体に過負荷を与える。

## 【大型機器の衝撃試験の課題】

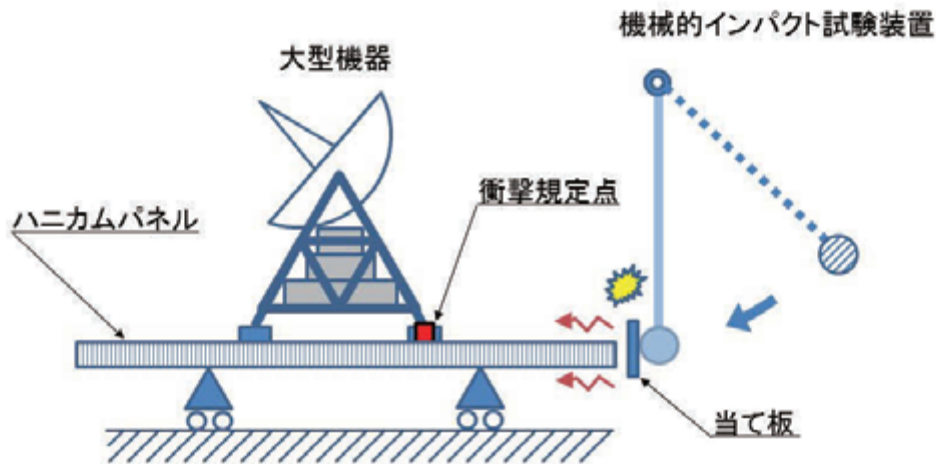
1. 開発スケジュールの違いから、システム開発試験に大型機器EMを間に合わせることは難しい。
2. SRSからWavelet解析等を用いて、大型機器を波形制御出来る動電型加振器が存在しない。例) 大型振動試験設備: 加振力245,000N(水平), 可動部質量2,872kg(水平), 供試体+治具500kg, 運用係数0.8, 最大加振加速度 $\alpha = 58.1(m/s^2)$
3. 衛星取付点間の距離(1,000~2,000mm)はfar fieldに相当し、全ての取付点へ同時に衝撃を印加することは難しい。
4. 正弦半波を利用した衝撃試験の場合、低周波数領域での過負荷が予想される。また、正負両方向の衝撃印加は困難。
5. 剛な治具(例: 振動試験治具200kg)を用いて準静的加速度を発生させる場合、非現実的な加振力が必要となり、供試体を破壊する可能性が高い。

## 【課題に対するアプローチ】

1. システム開発試験に構造モデルを提供し、機器取付点に加え、機器内部の衝撃応答をモニタした。
2. 専用試験装置を開発した。
3. 取付点間で距離減衰を生じるため、取付点毎に衝撃レベルを印加する方式を採用した。
4. 機械式インパクト方式を採用し、両振幅の衝撃波形を確保した。
5. アダプタ治具にハニカムパネルを採用し、軽量化を図った。ハニカムパネルを採用したことにより、実機に近い衝撃経路(表皮)を実現すると共に、必要な衝撃力を最小限とする。



## 4. 衝撃試験装置



小さなハンマーで衝撃条件を満たすため、アダプタ治具をハニカムパネルで軽量化し、取付点毎に衝撃を印加する。

図8 大型試験装置例の構成

## 5. 結び

- 実機の衝撃伝播経路と減衰特性を模擬するため、アダプタプレートにハニカムパネルを採用した。
- 離散的な各取付点に対して、個別に衝撃印加した。衝撃規定点における衝撃レベルはシステム衝撃試験結果を包絡し、かつ機器内部応答も毎回全てのモニタ点でシステム衝撃試験結果を上回ることを確認した。



ご清聴、ありがとうございました。



## 質疑応答

質問者① JAXA 研究開発部門 柳瀬様

発表頂いたようなレベルの衝撃試験は年間何回くらいあるのでしょうか。

発表者

まず、サブシステムに対して衝撃試験を求められることはほぼありません。弊社では、サブシステムを対象とした衝撃試験は10年以上実施していません。今回サブシステムを対象に衝撃試験を実施した目的は、衝撃によって機能に影響を与え得る有害なアライメント変化が生じないことの検証です。

質問者

衝撃試験条件は一般的には大型衛星だとパネルごとに一律何 G SRS のように定義されると思いますが、発表のようなやり方では通過点に近いところは良いけれども遠いところは満たせないというのは、分散して当てたということなのでしょうか。

発表者

衛星システム構造モデルの衝撃試験時に、各取付点近傍にモニタ点を設けていまして、それぞれ衝撃レベルを確認しております。そのレベルを超えるような条件として、個別に印加しました。

質問者

最後の質問ですが、事前調整の時、本物を置く前に本当にレベルが出るかを確認しないといけないのですが、これが大変だったのではないかなと思いました。

発表者

システムに提供した構造モデルがございましたので、構造モデルを使いまして事前の確認を実施しております。

質問者② 株式会社テクノソルバ 中村様

錘を落下させているのですが、これは例えばバネ等で加速を行うのですか？

発表者

基本的に振り上げる角度とアームの長さで衝突速度を決めています。あとは錘の質量で印加する衝撃力が定まります。

質問者

弊社は熊本大学の波多先生のところと一緒に衝撃試験をやることが多く、そこで色々経験的な話として、エアガンもしくはバネで錘をぶつけるというやり方なのですが、一つポイントになるのが錘の衝突速度です。衝突速度が速いと内部に縦波の伝搬波が大きく出させるので割と高周波を大きく出せます。ところがあの方式の欠点として、高周波の高いところは高い衝撃を出せますが、低周波が出しづらいです。低周波を出そうとすると何をやるかというところ球のサイズを大きくする必要があります。そのため、全体を剛体的な動きをさせて低周波を出すというようなやり方になっています。その辺を考えると、実は錘をもう少し小さくしてスピードを上げるというのもうまくバランスをとる方法なのかなというコメントです。

発表者

今後の参考とさせて戴きます。

質問者③ JAXA 環境試験技術ユニット 施様

今回の大きいサブシステムレベルでの衝撃試験はかなりチャレンジングなことなのですが、事前にハニカムを使って軽量化を図って、所定のレベルを出せるかどうか解析を使ってこれくらいのサイズと厚みであればというのをやっているのでしょうか。あるいはエイヤでこのような感じであれば出せるのではないかというやり方でしょうか。このあたりご苦労されたと思いますので、差支えなければご教示いただければと思います。またこの装置、大型サブシステムの衝撃試験装置ということで日本でもあまりないのですが、これからも運用されるのか、この試験が終わったら廃棄となるのか、どのようなお考えでしょうか。

発表者

最初のご質問ですが、当初直接波だけではなく、ハニカムパネルの面内剛性を利用して、反射波との共振を期待して設計解析しました。残念ながら、ハニカムパネルの減衰が予想以上に大きく、直接波で試行錯誤を繰り返すことになってしまいました。本装置は面内に衝撃を与えて面内・面外の衝撃試験条件を同時に満たす仕様ですが、その代償として時系

列データで比較すると、システム衝撃試験結果に対して10倍程度の過負荷となっています。

二つ目のご質問ですが、シリーズ衛星があればそのまま使い続けることは可能ですが、基本的には本コンセプトを生かした試験装置を開発し、次の衛星に適用する予定です。