

擾乱伝達計測技術の研究

Measurement Technology of Micro-Vibration Transmission

総合技術研究本部 宇宙構造技術グループ 内田英樹 清水隆三

誘導・制御技術グループ 遠藤達也

宇宙科学研究本部 宇宙構造・材料工学研究系 小松敬治*

(* 総合技術研究本部 宇宙構造技術グループ 兼任)

Space Structures Engineering Group, IAT, Hideki UCHIDA, Ryuzo SHIMIZU

Spacecraft Guidance Control and Dynamics Engineering Group, IAT, Tatsuya ENDO

Department of Space Structure and Materials, ISAS, Keiji KOMATSU

Abstract

Pointing Accuracy of sensors and stability of attitude control of spacecrafts are influenced by micro-vibration transmitted from components, for example, reaction wheels and coolers, which are regarded as internal disturbance sources. Such micro-vibration should be controlled and managed on early design phase. In order to establish the control method, characteristics of the micro-vibration transmissibility have to be measured and evaluated. Thus, the measurement and testing methods of the micro-vibration are investigated.

1. はじめに

人工衛星内部にはホイールや冷凍機等の各種の擾乱源が搭載されており、その擾乱源よりミッション部に伝達する微小振動がセンサの指向精度や姿勢制御の安定性に悪影響を及ぼす原因となっている。そのため、このような擾乱を管理する手法を確立することが早急に望まれている。現状では、参考文献のように衛星プロジェクト毎にしか管理されておらず、統一的手法がないために、システムインテグレーション時まで擾乱の影響を評価できない場合もある。

以上の経緯から、JAXA 制御系設計分科会・擾乱管理ワーキンググループ(WG)が平成 17 年に設立され、人工衛星姿勢制御系設計基準書改訂版の擾乱管理マニュアル制定に向けた活動が衛星メーカーと協力して行われている。この擾乱管理 WG 活動と連動し、擾乱に関するデータの収集、擾乱計測のノウハウの習得、擾乱伝搬経路探索法および微小振動の制振まで含めた衛星システムの擾乱管理手法の研究を平成 17 年度後期より実施している。本年度は、擾乱データ収集のために計測機器と治具の整備を行い、供試体として使用する簡易模型を製作した。

一方で、宇宙構造技術グループでは、衛星プロジェクト協力として、衛星システムおよびサブシステムの擾乱試験・微小振動試験の技術的サポートを行っており、同時に試験法のノウハウの習得を行っている。本年度は、GOSAT プロジェクト協力として、温室効果ガス観測センサ(TANSO)の機能確認の際に必要な微小振動試験のために、その BBM を用いた微小振動試験を実施し、収集したデータをもとに EM の微小振動試験のフィージビリティを検討した。

2. 研究の概要

平成 18 年度は以下の項目について研究を行った。

(1) 微小振動計測機器・加振治具の整備および擾乱伝搬特性評価用簡易模型の製作

擾乱データ収集のための微小振動計測装置と微小加振用治具、および衛星システムのロードパスを模擬した簡易模型を製作した。

(2) GOSAT TANSO BBM 微小振動試験 (衛星プロジェクト協力)

TANSO の機能検証に必要となる微小振動試験のフィージビリティ確認のために、BBM を用いた微小振動試験を実施した。なお、BBM は地上のフィールド計測用の機能モデルであるため、EM とは構造は異なる。

3. 成果の概要

(1) 微小振動計測機器・加振治具の整備および擾乱伝搬特性評価用簡易模型の製作

標準的な構体について、基準擾乱源を使用して擾乱伝搬特性を把握することによって、標準的な擾乱伝搬特性評価試験を行うことは可能と考えられる。

本擾乱測定試験では、擾乱の構造伝達に注目して MIMO (多点入力多点出力) としての伝達関数の計測法のフィージビリティを検証し、試験の境界条件の影響についても明確化する。このような擾乱伝搬試験法の標準化が当面の目標である。

まず、衛星の構体内の擾乱源を点 1、センサの搭載されているミッション部を点 3、ミッション部と構体の I/F 点を点 2 とし、点 a から点 b への伝達関数を $[H_{ba}]$ と表す。擾乱源では構体への取り付け点毎に力変換子を直付けすることにより、擾乱源の点 1 における並進力 3 成分 (f_x, f_y, f_z) とモーメント荷重 3 成分 (m_x, m_y, m_z) を演算により得ることができる。

また、I/F 点の点 2 では、各軸方向に加速度計とジッター (角速度) センサを設置した場合には、出力値として加速度 3 成分 $(\ddot{u}_x, \ddot{u}_y, \ddot{u}_z)$ および角速度 3 成分 $(\dot{\theta}_x, \dot{\theta}_y, \dot{\theta}_z)$ を得ることができるので、I/F 点における応答は式(1)のように MIMO の伝達関数を用いて表すことができる。

$$\left\{ \ddot{u}_x \quad \ddot{u}_y \quad \ddot{u}_z \quad \dot{\theta}_x \quad \dot{\theta}_y \quad \dot{\theta}_z \right\}_2^T = [H_{21}] \left\{ f_x \quad f_y \quad f_z \quad m_x \quad m_y \quad m_z \right\}_1^T \quad (1)$$

ここで、ベクトルの添え字の数字は計測位置を表し、 $[H_{21}]$ は (6×6) の正方行列である。一方で、ミッション部の点 3 の応答 r は、I/F 点の点 2 における入力加速度と角速度レベルを規定すると、式(2)のような

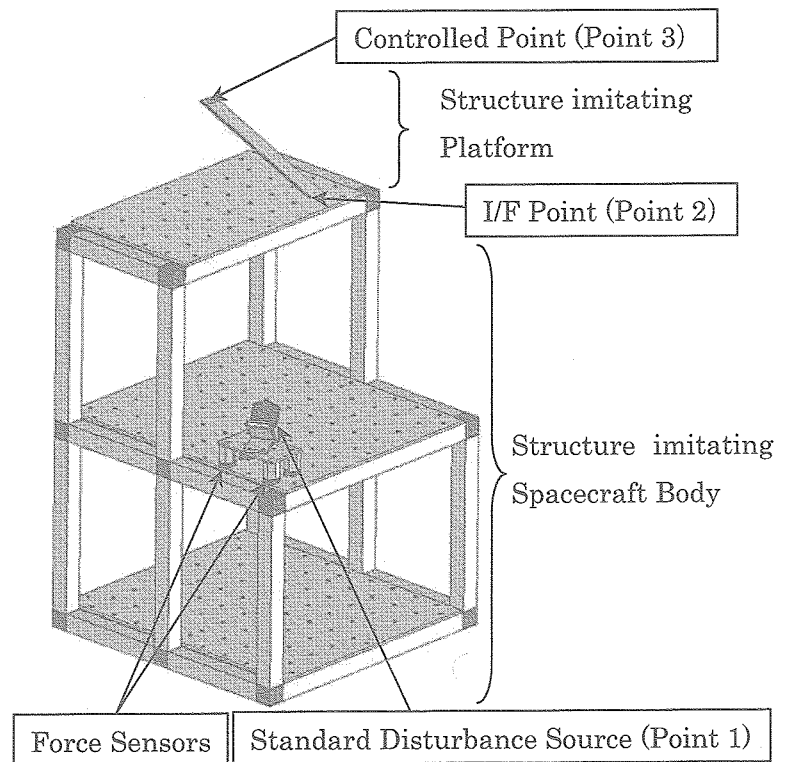


Fig.1 Specimen
for micro-vibration transmissibility test

表現となる。なお、 r は必ずしも加速度や角速度である必要はない。

$$r_3 = [H_{32}] \{ \ddot{u}_x \quad \ddot{u}_y \quad \ddot{u}_z \quad \dot{\theta}_x \quad \dot{\theta}_y \quad \dot{\theta}_z \}_2^T \quad (2)$$

従って、式(1)(2)より次式が得られる。

$$r_3 = [H_{32}] [H_{21}] \{ f_x \quad f_y \quad f_z \quad m_x \quad m_y \quad m_z \}_1^T$$

ここで得られる伝達関数が $[H_{31}] = [H_{32}] [H_{21}]$ の関係になれば、伝達関数の合成が可能であることを示す。すなわち、I/F 点の点 2 における擾乱が入力加速度と角速度レベルの規定という形で管理できることになる。よって、衛星システムを幾つかの構造に分割して分割区間での伝達関数を計測し、入力加速度と角速度レベルを規定すれば、擾乱の伝搬経路が探索でき、衛星システムの擾乱管理が可能になる。

以上の様な伝達関数の合成が可能なこと、または可能となる条件を確認するために、本年度は、微小振動計測機器および微小加振用治具の整備を行い、Fig.1 のような衛星システムのロードパスを模擬したアルミ製の模型(640(W)×920(H)×640(D)mm)を制作した。模型には小型慣性型加振器(Wilcoxon F3 F5B)を利用した基準擾乱源が Fig.1 のように設置でき、その取り付け部に ICP 型力変換子(PCB 260A01)を 4 個組み込めるように配慮されている。今後は、この模型を使用して擾乱伝搬特性のデータを収集し、伝達関数を求める作業と合わせて構造解析を実施する。

(2) GOSAT TANSO BBM 微小振動試験 (衛星プロジェクト協力)

TANSO のフーリエ干渉計 (FIS) が微小加振を受けた場合の光学性能に対する影響に関する知見を得るため、Fig.2 の BBM を供試体として数 mG から 30mG 程度の微小振動荷重を負荷し、その光学性能に影響が発生する加振レベルを確認した。

試験セットアップの全景を Fig.3 に、加振形態の概要を Fig.4 にそれぞれ示す。除振台上には BBM を搭載して Fig.4 のように 2 点で固定した。そして、動電型小型加振器(IMV PET-05)を除振台底面に当て、鉛直 Z 軸方向に BBM の面内重心付近を 1 点加振した。なお、GOSAT プロジェクトとの調整の上、本試験では Z 軸加振のみとした。

加速度ピックアップは BBM の除振台への設置時に接地するベース I/F 点 4 点の 3 軸方向に Fig.5 のようにそれぞれ取り付け、少なくとも加振軸 (Z 軸) 方向全てには感度 10V/G の ICP 型超高感度加速度計(PCB M393B05)を設置した。一方で、Fig.2 の光学ベンチ上の計測点には、感度 1V/G の ICP 型超高感度加速度計(PCB 333B51)および電荷出力型小型加速度計(ENDEVCO 2226C 2222C)を設置した。

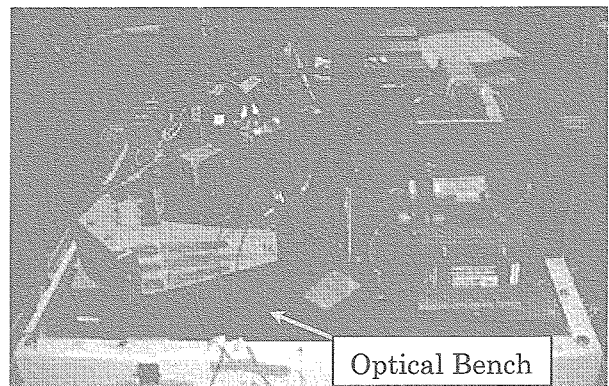


Fig.2 GOSAT TANSO BBM

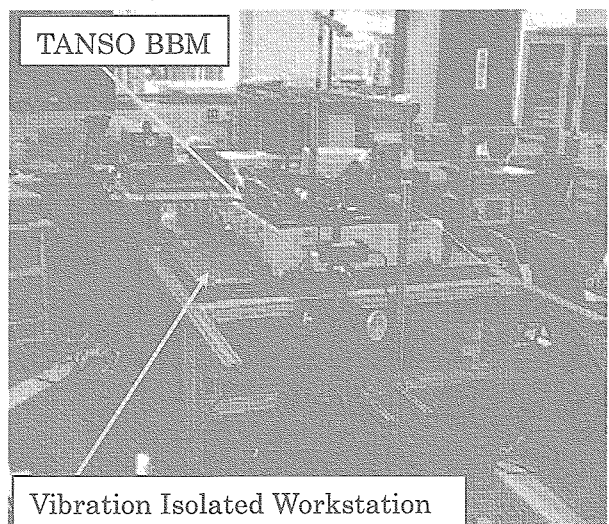


Fig.3 Micro-vibration test setup

これは、試験ではベース I/F 点から光学ベンチ上の計測点までの加速度の伝達率（応答倍率）の評価が必要になり、その伝達率を得るための分母となるベース I/F 点の加速度をその分子となる光学ベンチ上の計測点の加速度より高い精度で得る必要があるためである。

試験では、まず予備試験として BBM の重量相当のダミーマスを除振台上に搭載し、除振台単体の振動特性を把握した。本試験では、最初に FTS 非動作でランダム加振を行い、ベース I/F 部や光学ベンチ上の各コンポーネントの応答を予備的に確認した。次に、FTS を作動させてランダム加振を行い、光学性能に与える影響を予備的に確認した。次に、10Hz～500Hz の範囲で正弦波掃引加振を行い、ベース I/F 部加速度に対するコンポーネント各部の応答倍率の目安を求めてから、ベース I/F 点の Z 軸方向 4 点のパワースペクトラム平均で 3mG_{0-p} となるように正弦波加振して、各周波数において光学性能への影響の有無を確認した。この際、加振レベルは手動で調節した。最後に、光学性能に影響の出ている代表的な周波数において、影響が出なくなるまで、加振レベルを下げ、BBM において正常に機能する限界レベルを確認した。

本試験結果は、EM の微小振動試験に反映される予定である。

4. まとめ

本年度は、擾乱データ収集のための簡易模型を製作した。今後、擾乱伝搬特性データを取得する。また、GOSAT TANSO の機能確認に必要となる微小振動試験のフェージビリティ確認のために、BBM を用いた微小振動試験を実施した。

[参考文献]

- (1) 神谷他、「SELENE 内部擾乱の指向安定度への影響検討と内部擾乱管理」Paper 01-2A3、第 45 回宇宙科学技術連合講演会、浜松、Oct. 2001
- (2) 吉田他、「Solar-B 微小擾乱伝達特性評価試験（速報）」Paper 02-1E1、第 46 回宇宙科学技術連

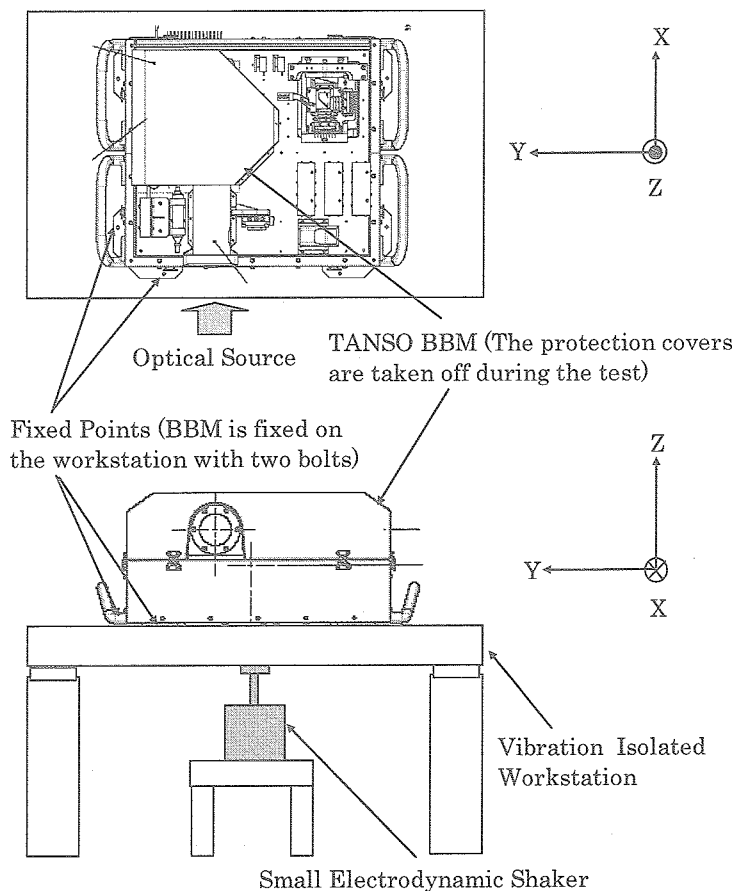


Fig.4 Schematic figure of the test setup (Z-axis excitation)

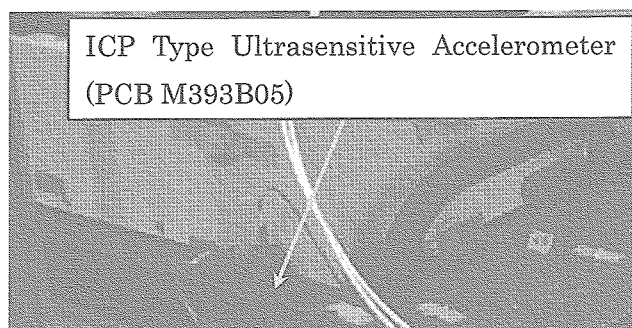


Fig.5 Accelerometers fixed on the workstation

合講演会、小金井、Oct. 2002