

# 動的変位計測システムについて

神田淳 (航空宇宙技術研究所)

## Dynamic Displacement Measurement System

Atsushi KANDA (NAL)

### Abstract

The dynamic displacement measurement system has been developed to measure effectively modal characteristics. This system can automatically measure modal characteristics by using a robot. In the past years, modal characteristics of actual small airplanes and many models for wind tunnel tests were obtained. This paper introduces functions of this system and a few examples of modal experiments.

#### 1. はじめに

本稿では、動的変位計測システムについて、その構成および機能を示し、実際の計測例を紹介する。

動的変位計測システムは、任意構造物の振動特性（モーダル特性）計測を行うシステムである。供試体の振動特性に影響を与えないよう非接触型レーザセンサを用い、センサの位置決め装置として3次元物体に柔軟に対応できる高精度アーム型ロボットを使用している。予め計測位置をティーチングしておくことにより自動計測を行えること、1人で効率的に高精度の計測を行えることが最大の特徴である。オリジナルのシステムは1990年に開発された<sup>1)</sup>が、老朽化対策のため、健全であったロボットを除いて、コンピュータ・計測機器・計測用ソフトウェアのリプレースを1999年に行った<sup>2)</sup>。2002年には機能および操作性の向上を目的として、ソフトウェアの改修を行い<sup>3)</sup>、現在に至っている。これまでHOPE-X<sup>例えば4)</sup>やSST、H-IIA補助エンジントラスの各種風試模型をはじめとし、FA-200<sup>5)</sup>、ALFLEX<sup>6)</sup>のような小型実機の振動計測も行ってきた。

#### 2. システム

システムは既存の製品から構成されているため、汎用性が高い。自動計測はセンサ移動・加振・計測の同期を取ることで行う。ここでは、その構成と自動計測機能について示す。

##### 2.1 構成

図1にシステムの構成、図2にシステム風景を示す。動的変位計測センサに非接触型のレーザ振動速度計BK3544、センサの位置決め装置としてアーム型教示再生用ロボットPanaRobo ABB IRB3200を用いる。ロボットに関するマニュアル操作は制御装置から行う。計測・加振信号の処理にフロントエンドHP-VXI（出力4ch、入力16ch）、コンピュータはHP-KAYAK XW（MS-Windows NT）、振動計測・解析ソフトとしてMTS I-DEASを用いる。センサについてはレーザ振動速度計に限ったものではなく、10kgまでであればロボットの先端に取り付けが可能である。例えばレーザ変位計Selcom 2203が用意されており、用途により使い分けが可能である。加振についてもインパクトハンマや動電型シェーカ等、任意のものを使用可能であり、計測に際し大きな自由度を有する。

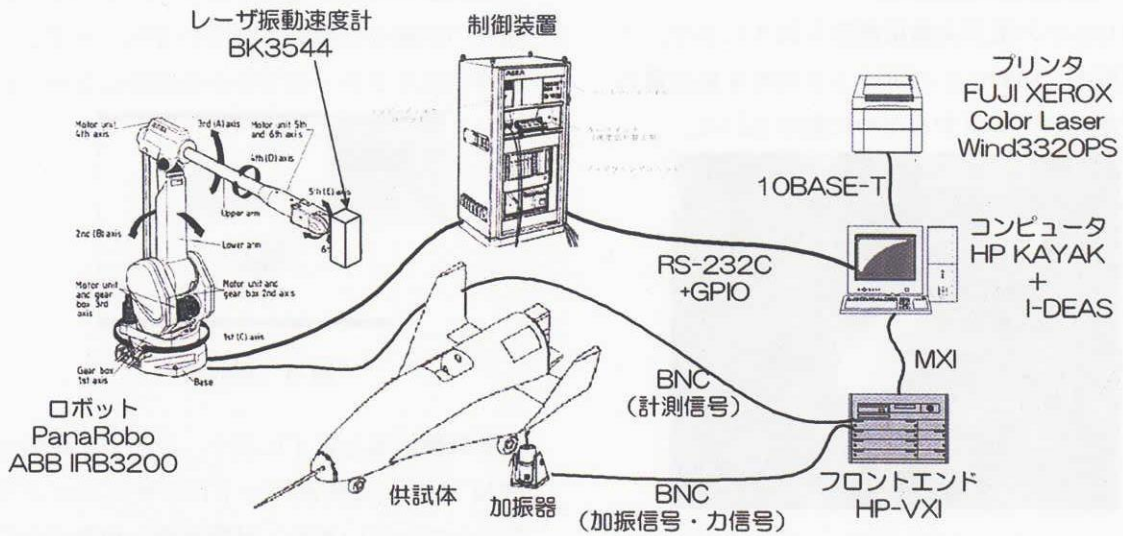


図 1 システム

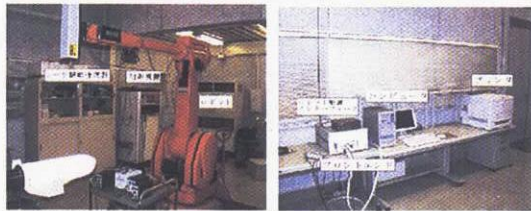


図 2 システム風景

## 2.2 自動計測

全ての計測点の位置（つまりは計測センサの位置）をロボットに予め教示（ティーチング）し、加振・計測、ロボット移動の同期をとることで自動計測が可能となる。供試体の計測点位置にレーザー計測用の反射マーカシールを予め貼付し、制御装置のジョイスティックによりロボットを操作してティーチングを行う。これを全ての計測点に対して行うことでティーチングが完了する。ロボットは6軸を有しておりセンサを任意位置に移動できるため、3次元的な計測が可能である。併せて I-DEAS でさまざまな計測条件の設定を行った後、同期プログラムを起動させることで自動的に加振・計測のタイミングをとりながら動的変位計測を行うことができる。自動計測中の人による操作は皆無である。

通常、振動試験を行うときに、1回の計測で済むことは希であり、精度の高い計測を行うには

同じ供試体に対し加振のレベルや振動数帯域、センサ感度等の諸条件を変化させるなど複数回の計測を必要とすることが多い。計測点位置の変更が無ければ、ティーチングの作業は最初の1回で済むため、効率的に自動計測を行うことが可能である。

計測中は現在の加振・計測点の位置・方向がベクトルで画面上に表示される他、計測データもリアルタイムでチェックでき、データの品質を確認しながら計測やり直しや一時停止も簡単に行うことができる。計測終了後、計測データの品質が悪い場合にそれらの点のみを再計測することもGUIで簡単に可能である。

同期プログラムを使わない場合には、自動計測の効率性は享受できないものの、一般的な動的変位計測もちろん可能であり、汎用性のあるシステムとなっている。

## 3. 計測例

有翼宇宙往還機 HOPE-X の風試模型および自動着陸実験機 ALFLEX について、動的変位計測システムを用いての振動計測<sup>4),6)</sup>を紹介する。これらの供試体は非平面翼を有する。また、ALFLEX は実際にオーストラリアで飛行実験を行った実機である。

3.1 風試模型の振動計測

HOPE-X の風洞実験用模型を図3に示す。この模型は、HOPE-X のフラッタ特性を航技研の遷音速風洞で実験するために製作された。



図3 HOPE-X 風試模型

試験方法は動電型シェーカによる左翼の1点加振で、0~500Hz帯域の50%バーストランダム加振、アベレージングは20回であった。主翼片側25点（加振点位置も計測、図4参照）、チップフィン片側16点の全82点を計測した。計測時間はほぼ振動数帯域やアベレージング回数などの加振条件で決まり、80分強であった。

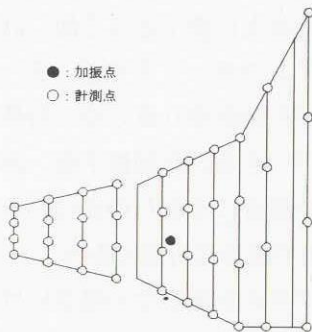


図4 計測点

計測試験中の表示を図5に示す。このように、現在の計測点位置およびその方向、ロボットの動作状況などが一目で分かる設計になっている。

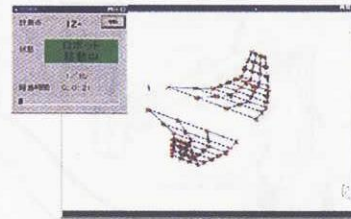


図5 画面表示

振動試験結果を表1に示す。ここで、解析用のFEMモデルは高次モードにのチューニングを行っていないため、試験結果と相違が生じているが、低次モードの固有振動数については良く一致している。また表には示していないが、モード形状も良く一致している。なお試験方法・結果の詳細については、参考文献4を参照されたい。

3.2 ALFLEX の振動計測

自動着陸実験機 ALFLEX の振動試験風景を図6に示す。



図6 ALFLEX

表1 HOPE-X 風試模型の振動試験結果

	1	2	3	4	5	6	7
試験モード形							
試験振動数[Hz]	40	66	85	98	99	209	211
解析振動数[Hz]	40	69	87	107	108	246	247

加振は動電型シェーカで行い、加振点数は 2 点で主翼上のチップフィン翼根前縁部付近（計測点 21 および 65 の翼下面）に左右対称に配置した。計測点は 137 点（チップフィン翼左右それぞれ 16 点、主翼左右それぞれ 28 点、胴体 39 点、ピトー部 10 点）で、翼面・胴体面についてはできるだけ局所的な振動が出にくい桁上に設定した。計測点を図 7 に示す。加振信号は 0～160Hz 帯域の 80%バーストランダム信号でサンプリングは 400Hz で行った。アベレージングは 30 回である。

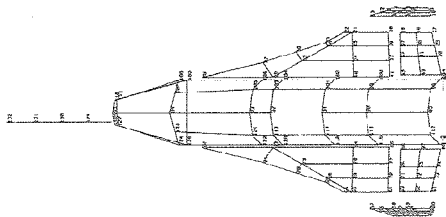


図 7 計測点

試験の結果、実機レベルの大きさでも本システムを用いて計測が可能であることがわかった。振動試験結果の一部を対称モードについて表 2 に示す。なお試験方法・結果の詳細については、参考文献 6 を参照されたい。

4. おわりに

動的変位計測システムについて紹介した。過去 2 回に渡りシステムの更新を行なってきたが、今後も更なる機能および操作性の向上を目指して、随時改良を行なっていく予定である。また、外部への設備貸付けを行なっており、振動試験の受託にも対応している。

表 2 ALFLEX の振動試験結果

モード1	モード2	モード3	モード4	モード5
5.9 Hz	15.6 Hz	21.3 Hz	31.0 Hz	43.0 Hz

参考文献

- 1) 外崎得雄、上田哲彦; 動的変位計測装置と振動予備実験、航空宇宙技術研究所資料 TM-683(1995)
- 2) 神田淳、外崎得雄; 動的変位計測システムの更新、航空宇宙技術研究所資料 TM-748(2000)
- 3) 神田淳; 動的変位計測システム制御機能の改良、航空宇宙技術研究所資料 TM-763(2002)
- 4) 神田淳、上田哲彦; 有翼宇宙往還機打上げ形態におけるロール弾性のフラッタ特性への影響、航空宇宙技術研究所報告 TR-1380(1999)
- 5) 外崎得雄、上田哲彦; 経年航空機の全機地上振動試験、航空宇宙技術研究所資料 TM-732(1998)
- 6) 神田淳、外崎得雄、上田哲彦; ALFLEX 全機振動特性確認試験、航空宇宙技術研究所報告 TR-1370(1998)