

# 模型変形計測のリアルタイム処理

加藤裕之（宇宙航空研究開発機構）

鈴木幸一、山谷英樹（IHI エアロスペースエンジニアリング）

岩崎容誠、木原啓子（シルク・ラボラトリ）

## Real-time Processing of Model Deformation Measurement

Hiroyuki Kato (JAXA)

Koichi Suzuki, Hideki Yamaya (ISE)

Hiroto Iwasaki, Keiko Kihara (Silk Laboratory)

### 概要

デジタル／アナログ・ハイブリッド風洞（DAHWIN）におけるサブシステムとして、流体画像データ処理高速化のため、模型変形計測のリアルタイム処理、及び、その結果を DAHWIN コアシステムに送信して、風洞試験中に計測結果が可視化可能なシステムを構築した。本報では、処理システムの概略について説明し、システム検証として実施した JAXA 2m×2m 遷音速風洞における NASA CRM 縮尺模型試験の結果について紹介する。

#### 1. はじめに

デジタル・アナログハイブリッド風洞システム（DAHWIN）のアナログ風洞において、これまでデータ処理に多大な時間を要した模型変形計測（MDM: Model Deformation Measurement）に対して、その処理をリアルタイムで実現するシステムを構築し、JAXA 2m×2m 遷音速風洞において、DLR F6 縮尺模型を測定対象とした試験を実施した。本報告ではデータ高速処理システムの概要とその検証結果について紹介する。

模型変形計測（MDM）としては、模型上での測定点位置が明確である、比較的計測精度が高い等の利点により、これまでマーカ法が広く用いられてきた[1]。マーカを用いたステレオ写真法による変形量計測では、2台の高解像度 CCD カメラにより模型を撮影し、模型に貼付されたマーカの三次元位置を計測することで、模型形状の空力変形量（たわみ、ねじり）を算出する。本手法では、カメラ

キャリブレーション、マーカ検出等で、手動による作業があり、結果出力まで、多くの時間を要するといった問題がある。

前述の通り、MDM では、そのデータ処理に多くの時間を要するため、実用化の観点からは、その利用が限定されてきた。そこで、本研究では、それら時間の要する処理に対して、リアルタイムでデータ処理を行うシステムを構築することで、通風中の結果出力の実現を目指した。

#### 2. システム構成

MDM 高速処理システムは、MDM 画像取得用 PC と MDM 処理用 PC、及び、ファイルサーバ（NAS）から構成されている（図1）。画像取得用 PC では、2台の高解像度カメラが接続されており、カメラによって撮影された画像は、ファイルサーバに保存される。処理用 PC では、ファイルサーバに新規画像ファイルが保存されると、処理用プログラムが

自動的にファイルを読み込み、マーカ検出、マーカ 3 次元位置算出、及び、主翼の曲げ、ねじりの算出を実行する。このとき、撮影時の通風条件（RUN 番号、計測番号、マッハ数、模型姿勢角等）に関する情報は、風洞に用意されている風洞基準量データ配信システムから出力されるデータを自動取得し、変形計測結果と試験条件との対応付けを行う。最終結果は、ネットワーク経由でハイブリッド風洞システム[2]に自動的に送信され、データベースに登録される。

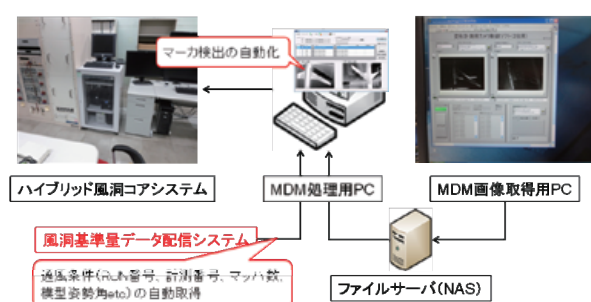


図1 MDM データ高速処理システムの構成

ステレオ写真法では、計測前にカメラ画像と測定空間の3次元座標との対応関係を記述するパラメータ（カメラパラメータ）を推定するために、カメラキャリブレーションを実施する必要がある。このキャリブレーション作業を短時間で実施するため、本処理ソフトウェアには、半自動でキャリブレーションを行うための機能を実装した。図2にその操作画面を示す。

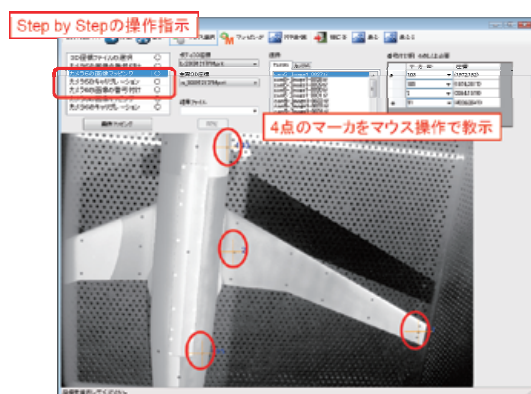


図2 カメラキャリブレーション画面

カメラキャリブレーションは、順を追って操作が出来るように構成されており、操作者は、最初に4点のみのマーカ位置をマウスで教示するだけで、後は自動的にマーカを検出し、カメラパラメータを算出することができる。

### 3. 評価結果

データ処理システムを評価するため、JAXA 2m×2m 遷音速風洞（JAXA TWT1）において風洞試験を実施した。試験は、測定部は多孔壁である第4カートを使用した。本カートでは、光学計測（PIV、PSP、MDM）への適用性を向上させるため、観測窓や機器固定棚が新設されており、カメラ及び照明の配置に自由度が大きくなるように工夫されている。

変形計測では、2台の高解像度 CCD カメラ（Pro cilica 社、GE4900、4872×3248 画素）による撮影を実施した。カメラの配置は図3の通りである。たわみ量の計測精度を上げるため、1台のカメラは模型に対して、斜め上方に配置されている。また、カメラキャリブレーション時は、模型支持装置を利用して、模型を上下にトラバース（ヒービング動作）してマーカ画像を取得する。撮影されたマーカ画像は、風洞起動後、通風データ取得開始までの時間で、データ処理を行い、カメラパラメータを算出する。

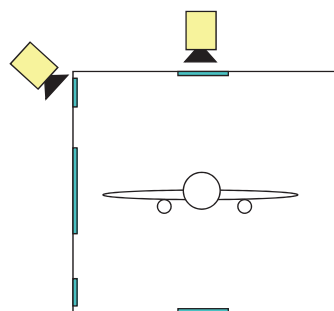


図3 MDM 計測システム

図4にシステムの評価試験で使用したNASA CRM 縮尺模型[3]を示す。

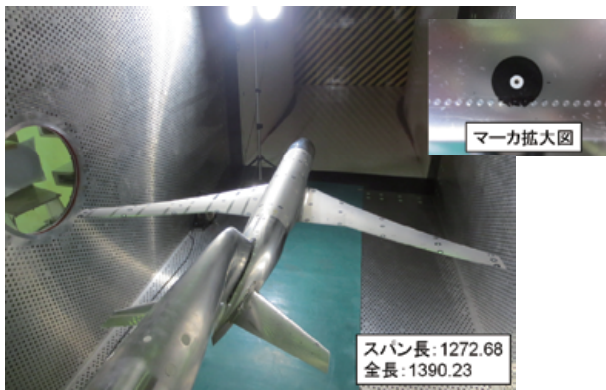
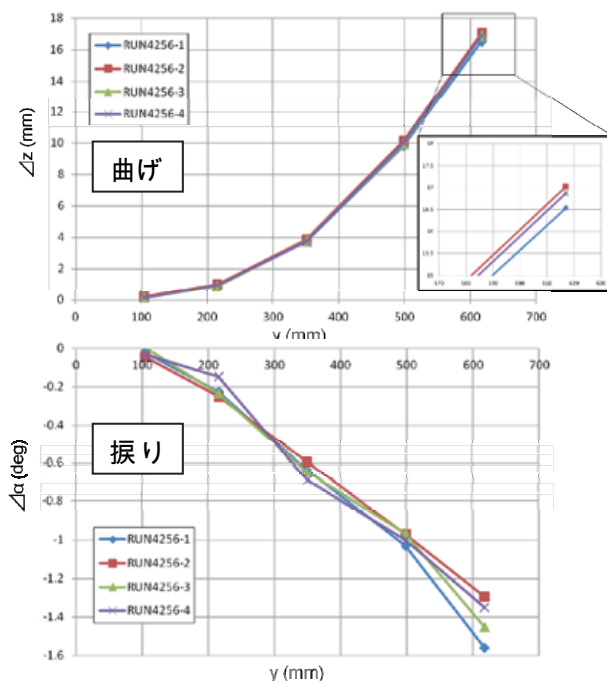


図4 NASA CRM 縮尺模型

変形計測用のマーカは、インスタントレタリングを使用しており、模型表面の金属光沢によるコントラスト低下を抑えるため、黒の大きなマーカの上に白マーカを貼付して使用した。

図5にNASA CRM 縮尺模型のMDM 結果例を示す。本計測で得られた模型主翼のたわみ量 $\Delta z$ とねじり量 $\Delta\alpha$ を縦軸にとり、翼長手方向スパンを横軸にとったものを示す。なお、RUN4256-1～4は同一通風中の再現性を確認するために取得したデータである。高速処理システムを用いた自動処理によって、1試験ケース当たりの処理時間は約20秒程度に短縮されることが確認され、通風中、ほぼリアルタイムで、模型変形結果をモニタリングすることが可能となった。

図5 MDM 結果例 ( $M=0.85$ 、 $AoA=3.01^\circ$ )

#### 4. まとめ

風洞試験における模型変形計測データの高速処理により、試験中に計測結果の確認が可能となるシステムを構築した。その結果、MDM データ処理システムにより、自動処理が実現するとともに、20秒/ケースでの計測結果の出力が可能となった。本システムによって、リアルタイムでの処理が可能となると共に、通風中の結果確認が実現した。

#### 謝辞

本研究の風洞試験実施に際し、JAXA 風洞技術開発センター遷音速風洞セクションの多大なるご協力を頂いた。また、光学計測の実施では、JAXA 風洞技術開発センター高度化セクションにご支援頂いた。ここに心より感謝の意を表する。

#### 参考文献

- [1] 加藤裕之, 中北和之, 栗田充, 中島努, 山谷英樹, “風洞試験におけるマーカを用いた写真測量法による模型変形計測,” “第48回飛行機シンポジウム講演集,” (2010) .
- [2] 渡辺重哉, 口石茂, 加藤裕之, 青山剛史, 村上桂一, 橋本敦, 藤田直行, 岩宮敏幸, 松尾裕一, “JAXA における EFD/CFD 融合に向けた試み,” 第40回流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2008 講演集, 1C12, 2008.
- [3] Makoto Ueno, Masataka Kohzai, Seigo Koga, “Transonic Wind Tunnel Test of the NASA CRM: Volume 1,” JAXA Research and Development Memorandum, JAXA-RM-13-017E, 2013.