

16 富士重工業(株)におけるシミュレーション技術の現状と今後の方向について

越岡 康弘 *

Simulation Technology in Fuji Heavy Industries Today and in the Future

by

Yasuhiro Koshioka

ABSTRACT

A simulation technique was developed to evaluate easily the control law applied for some particular airplane in the wind tunnel by utilizing industrial use Robot. This system enable us to obtain suitable combination of airplane configuration and control low by the wind tunnel operation, and lighten the design work to optimizing.

Such system will be easily constructed by use of industrial use Robot and personal computer, and the control law will be designed on the personal computer. This time, we constructed a prototype system and confirmed an basic operation. Though, details will be shown below.

1. はじめに

航空機の機体形状の設計を行う際には、CFD、風洞試験等によりその空力特性を把握し、それに基づくシミュレーションによりその形状の善し悪しを判断しながら形状の修正を実施し、形状設計を纏めていく。近年より運動性に優れた機体形状を短時間で設計する要求が高まっており、これに答える設計システムを構築することが強く求められるようになってきている。

この様な要望に答える設計システムとして産業用ロボットによる空力形状設計支援システムの構築を試みたので報告する。

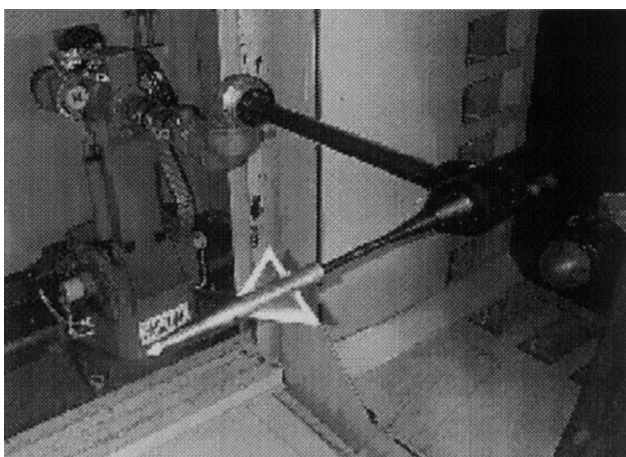


図1. 本システムのロボットの風洞への設置状況

2. 本システムの機能の概要

図1. にロボットの弊社低速風洞への設置状況を示す。ロボットは開放型の風洞計測部の風路外に設置され、側方より模型を支持する。また模型の自由運動を模擬する際には、運動模擬を容易とするため、ロールのための関節を支持部の根元に追加している。図2. に本システムの機器構成を示す。本システムはロボット本体及びこれに付随する制御装置、空気力計測用のパソコン、および制御及び運動計算を行う計算機よりなっている。運動計算により ΔT 後の位置、姿勢が算出されるとロボットの制御装置がロボットの各関節の角度設定を行い、模型の運動を模擬することができる。

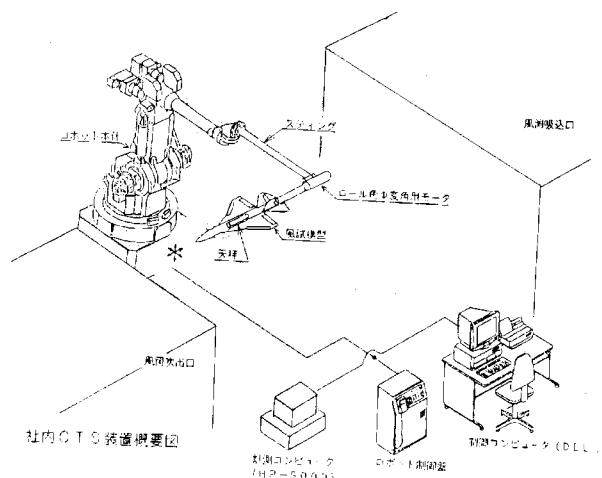


図2. 本システムの機器構成

* 富士重工業(株)航空宇宙技術本部

本システムでは通常ロボットを用いて行われる後流計測やグリッド風試に加えて、以下の機能を備えている。

- 1) 静的空気力自動計測(フリプログラム計測機能)
- 2) 動的空気力計測(強制加振法)
- 3) CTS(Captive Trajectory System)試験
- 4) 制御性評価試験

1)、2)の空気力計測は専用の支持装置による計測に比べれば精度の点で劣るものの、機体形状設計の初期段階では広い姿勢角範囲での特性データを自動的に取得することが可能であり、設計効率の点で優れている。またこの計測により舵効きデータ、動安定微係数、等をテーブル化しておくことで、制御性評価試験の際には運動計算の際に必要なこれらのデータをそのまま参照し効率的に設計作業を進めることが可能となる。

3)のCTS試験とは無人機、外部搭載品などが母機である機体の引き起こす流れ場の中でどのような運動を行いながら離脱、投下投棄されるかを解析する試験であり、通常は専用の支持装置、計測制御コンピュータによりシステムを構成している。図3.に専用装置によるCTS装置の構成例を示す。産業用ロボットを用いれば、機体の位置、姿勢を実現する関節の設定は専用の制御装置により行われるため、運動計算結果をこの制御装置に渡すだけで模型の姿勢が実現されるため、特に高い能力の計算機を用いることなくシステムを構成することができる。ここでは2)で計測した動安定微係数を活用して、精度の高い運動模擬が可能となると期待される。

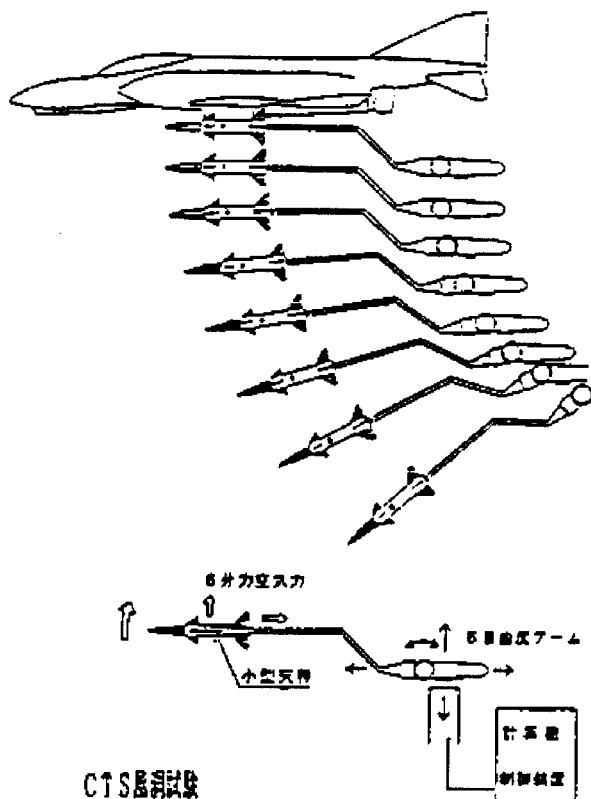


図3. 専用CTS装置例

4)の制御性評価試験の機能は、3)のCTS試験機能の運動計算部分に更に制御出力による操舵効果を加味する機能を付加したものであり、近年のパソコン上で稼動する制御系設計支援ソフトを用いて制御系設計を行い、風洞内で模型を運動させることで制御則の評価を可能とするものである。この設計の流れを図4.に示す。この際1)の静的空気力自動計測機能により計測しテーブル化しておいた舵効きデータを使用すれば、特に模型に舵面を駆動する機構を設けなくても、制御性評価を行うことが可能であり、安価かつ効率的に制御則設計と形状設計のループを回すことが可能となる。サーボ機構を組み込むことで実際に舵面を駆動しながら飛行させることも、もちろん可能である。

このように運動積分を行うルーチンの中で操舵効果、パワー効果、等を含め種々の効果を取り込みながら、機体運動を模擬することで制御性を評価し、要すれば機体形状の変更を風洞内で行うことで、効率的で柔軟な設計システムとすることが可能である。

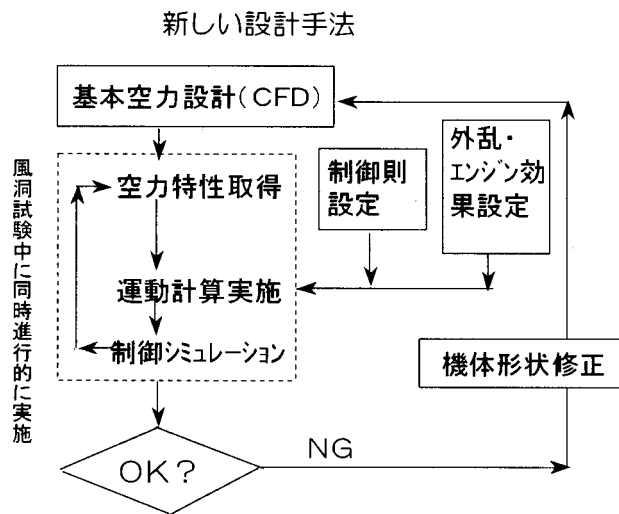


図4. 本システムによる機体形状・制御則設計の流れ

図5.に数値的にCTS試験を行っている例を示す。この例では重ねあわせ格子を用いることで、主翼と投下物の位置関係の変化を計算に取り込んでいる。ここで、風洞内でロボット等を用いて機体の飛行を模擬する場合とCFDを活用して数値的に飛行を模擬する場合を比較してみると、表1.のようである。これよりCFDによる飛行制御性の評価を行うためには、運動中の操舵、等により機体形状が変化した場合の格子の自動生成、動安定効果を捉えるために充分細かな時間刻みの計算を行う必要がある、等現状の計算機で行うにはかなり負荷の高い作業であり、設計ツールとして簡便に使用するには、まだ規模の大きな計算とならざるを得ないことがわかる。

3. 本システムによる計測例

図6.に2)の動安定微係数計測試験、動的揚力試験の実施状況を示す。この例では重心周りにピッチ加振を行い、縦の動安定微係数や動的な揚力を計測している。ここでは無風時における計測により慣性力を求め、通風時のデータから慣性力を差し引くことで動的な空気力の分離を行っている。図7. 8.

に動的な揚力の計測結果例を示す。ここでは角速度により最大揚力係数の増分が異なること、また負迎角側で揚力に差が大きくなること、剥離を伴わない領域では角速度による差異は認められないことがわかる。また動的揚力を最大とする角速度が存在しており、今後レイノルズ数と無次元角速度との関係等を調べていく必要がある事がわかる。

図9. に動安定微係数の計測結果例を示す。動安定微係数の算出には、慣性力と空気力の位相の差が生じることを利用してFFT解析により、空気力によるダンピングを分離している。これより、迎角により動安定微係数が変化すること、また角速度、振幅による差異は低迎角では小であるが、高迎角ではゆっくりと小さな振幅で運動した際に大きな空力ダンピングが発生することがわかる。

今回のシステムを用いてこれらの詳細なデータに基づき機体の運動を模擬することで、高い運動能力を有する航空機の機体形状と制御系設計を両者の密接な関係の基に行うことが可能となると期待される。

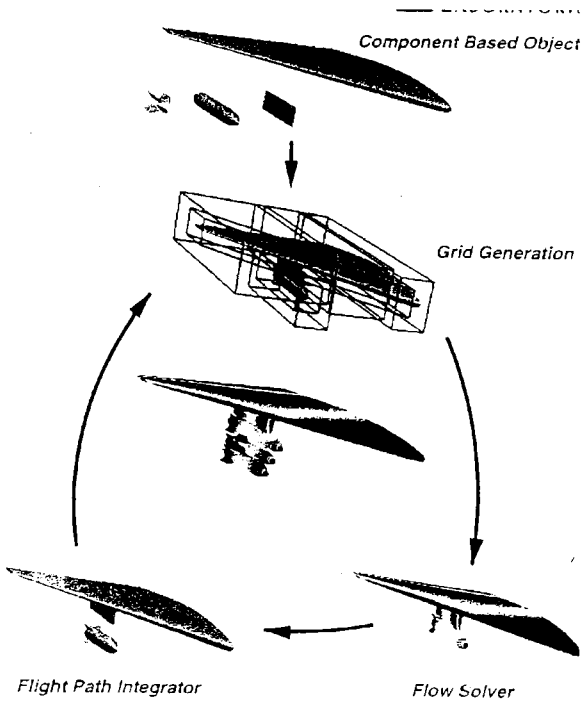


図5. 数値解析によるCTS試験の例

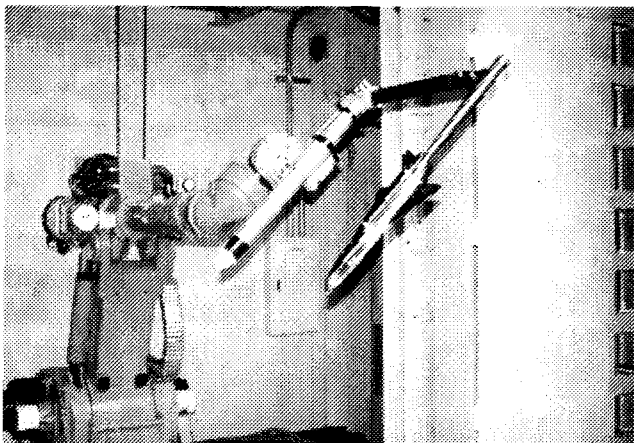


図6. 動的揚力特性計測状況

要素技術	ロボットによるシステム	CFDによるシステム
位置・姿勢の設定	たわみ補正、支持干渉補正	格子自動生成
操舵効果、等	サーボモータの利用、舵効き量のテーブル化	操舵時格子自動生成
動的な空気力の扱い	動的風試にて計測し運動方程式に反映	動的な流れ場解析には計算量が多く現状では準静的な取扱いが多い
その他	風洞能力(マッハ数、レイノルズ数)の制約	渦拡散による精度の劣化

表1. ロボットとCFDによるシステムの比較

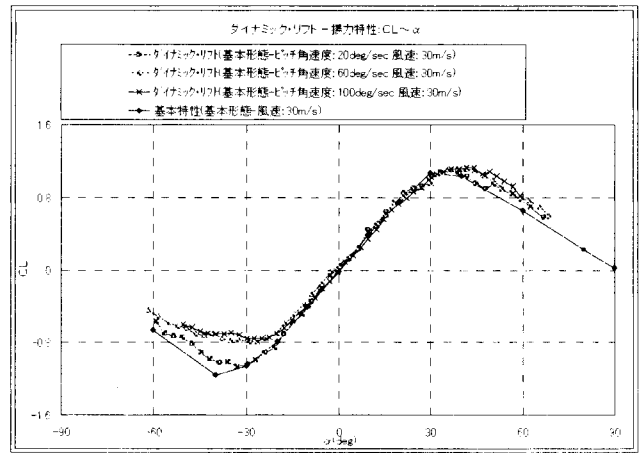


図7. 動的揚力計測結果例

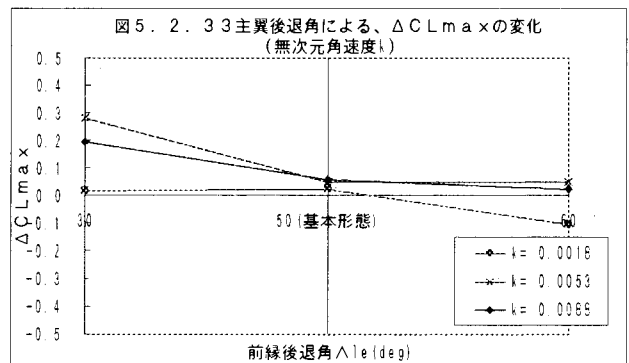


図8. 動的揚力の発生量比較

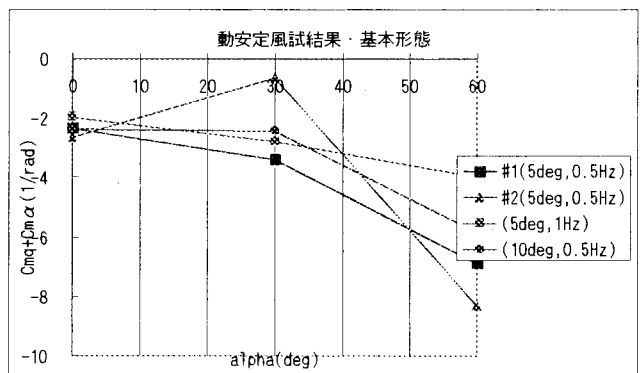


図9. 縦の動安定微係数計測結果

4. 今後の方向

今後は支持干渉、たわみ補正、等の精度向上のための改善を行うとともに、図10. に示すようにポストストールを含む基準マニューバの模擬を実施し、設計システムとしての有効性を確認しながら、システム改善を進めていく予定である。

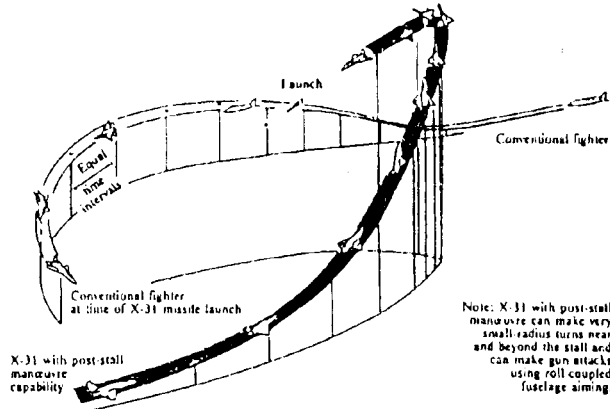


図 10. 評価基準マニューバ例(ハーベストマニューバ)

5. まとめ

産業用ロボットを用いた風洞試験はこれまでも報告されているが、制御性評価と空力形状設計を統合した設計ツールという観点からの活用した例は少ない。今後は無人機、等にも高度な運動を行うことが要求される方向であり、それに向けた設計インフラの一環として本システムの改善を図っていく予定である。