室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

第一世代および第二世代小型超音速飛行実験機の操舵空力の評価

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 室蘭工業大学航空宇宙機システム研究センター 公開日: 2016-04-26 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 鈴木, 祥弘, 近藤, 賢, 大石, 栄, 溝端, 一秀 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/00008820

室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

第一世代および第二世代小型超音速飛行実験機の操舵空力の評価

著者	鈴木　祥弘，近藤　賢，大石　栄，溝端　一秀
雑誌名	室蘭工業大学航空宇宙機システム研究センター年次報告書
巻	2012
ページ	11-14
発行年	2013-07
URL	http://hdl.handle.net/10258/00008820

第一世代および第二世代小型超音速飛行実験機の操舵空力の評価

○ 鈴木 祥弘（機械航空創造系学科 4 年）
近藤 賢（機械航空創造系学科 4 年）
大石 栄（航空宇宙システム工学専攻 M1）
溝端 一秀（もの創造系領域 准教授）

1. はじめに

室蘭工大・航空宇宙機システム研究センターでは、大気中を高速度で飛行するための革新的な基盤技術を創出する研究開発が推進されており、地上で研究された基盤技術を小規模ながらも実際の高速飛行環境で飛行実証するための飛行実験機の研究開発が進められている。これまで、クランクトアロー主翼を有し反転軸流ファン式ターボジェットエンジン2基を搭載する M2006 形状が提案され、これと概ね同等の M2006prototype 空力形状を有するプロトタイプ機体（オオワシ 1 号機）が 2009 年度に設計・製作され、2010 年度夏期および 2011 年度夏期にはこのプロトタイプ機体を用いた飛行実験が白老滑空場で実施された。さらに、超音速飛行に一層適した ATR-GG エンジンを1基搭載しマッハ 2 程度の超音速飛行までの一連の飛行が可能な第二世代超音速飛行実験機の設計が進められており、その M2011 空力形状が提案されている。

これらの空力形状 M2006prototype および M2011 について、これまでの風試によって亜音速～超音速域の縦の空力について概ね良好な特性が確認されている。 一方、各舵面に舵角を与えた場合の空力特性は十分には評価できておらず、特に横方向の空力特性について亜音速域・大迎角条件においてエルロンの効きが損なわれている可能性が示唆されている。

そこで本研究では、小型超音速飛行実験機の空力形状 M2006prototype および M2011 について、舵面に舵角を与えた場合の空力特性を風洞試験によって解明する。

2. 空力形状

M2006prototype 形状と M2011 形状では主翼と尾翼の形状・配置は相似であり、翼幅および胴体外径は M2006prototype に比して M2011 は 1.5 倍に設定されている。その三面図を図1に示す。

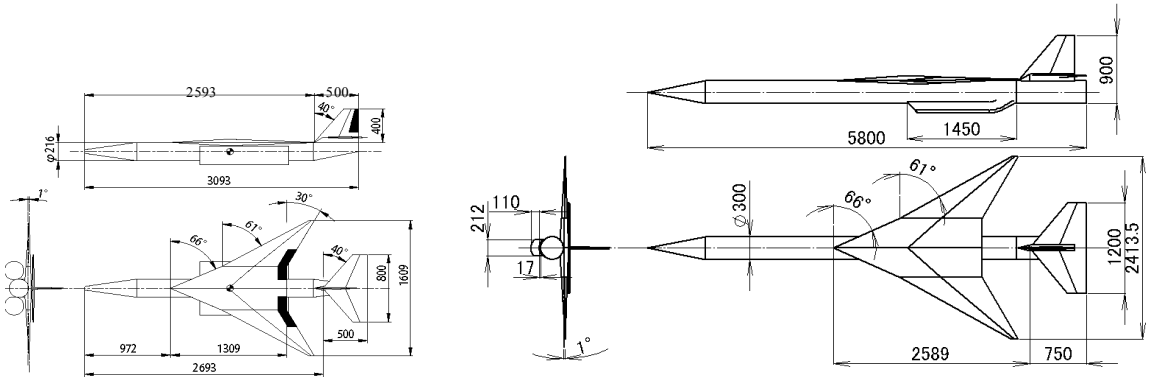

図 1． M2006prototype 空力形状および M2011 空力形状

3. 風試による空力評価

風試模型は、風洞の計測胴に模型全体が収まること、模型の胴体中央に外径 φ25 の六分力内挿天秤が収まること、等の条件を満たすように、縮尺をM2006prototype 形状に対して 7/40 倍，M2011 形状に対して 7/60 倍に設定しており、主翼、尾翼、中胴部、および後胴部は共通部品となっている。本研究では新たにエルロン舵角を伴う主翼、エレベータ舵角を伴う水平尾翼、およびエレボン舵角を伴う水平尾翼を設計・製作した。その一覧と概観を表1および図2に示す。水平尾翼は裏表逆に設置でき、これによって一枚で二通りの舵角を設定できる。ここで、舵角の正負はピッチングに関しては機体を頭上げにする方向、すなわち水平尾翼前縁を下げる方向を正とし、ローリングに関しては右ロールを生ずる方向すなわち左側の舵面後縁を下げる方向を正としている。

表１．舵角付風試模型部品

部品名	舵面	舵角
主翼	エルロン	右ロール +10°
		右ロール +20°
水平尾翼	エレベータ	ピッチアップ +10°
		ピッチアップ +15°
	エレボン	右ロール +10°，ピッチ 0°
		右ロール +15°，ピッチ 0°

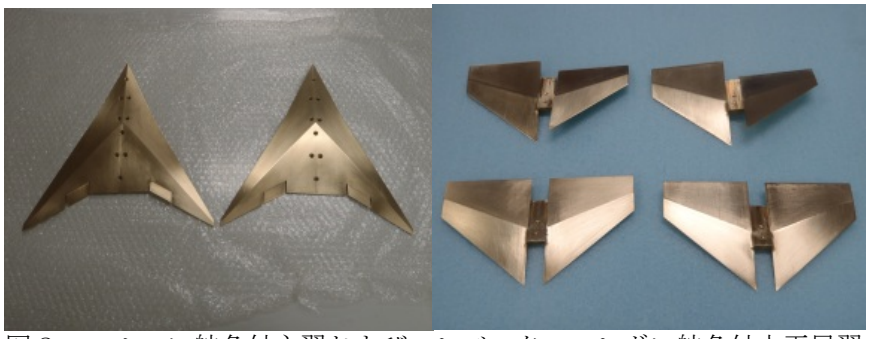

図２．エルロン舵角付主翼およびエレベータ・エレボン舵角付水平尾翼

M2011 形状に関しては、図３ に示す通り前胴部（ノーズ）と空気取り入れ口（インテーク）の長さがそれぞれ三通り用意されている。今回の風試ではノーズ C（推進剤搭載量 130kg に対応）を搭載しインテークを搭載しない形態をベースライン形状とした。

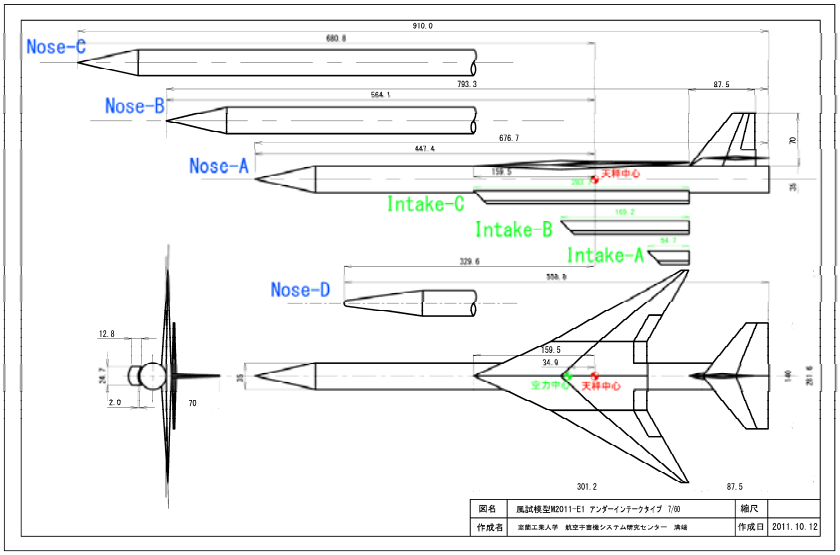

図３．M2011 空力形状の風試模型

この風試模型を用いて大阪府立大の亜音速風洞において亜音速風試を実施した。その結果のうち、エルロン舵角によるローリングモーメント係数の変化およびエレベータ舵角によるピッチングモーメント係数の変化を図4に示す。ピッチングモーメント係数C_mについては両形状共に広範囲で右上がりの傾向を維持しており、ピッチング静安定が保たれていることが確認できる。また、エレベータ舵角 −15° ～15° の範囲でピッチングトリムを得られる迎角の範囲は −10° ～10° であることも確認できる。一方、エレベータ舵角を変化させた場合に舵角が大きくなるにつれてエレベータの効きが鈍

る性質も示されている。さらに −15° 以上の負の大迎角時に頭上げ方向にエレベータ舵角を与えたとき、エレベータの効きが喪失する現象が確認出来る。この現象の原因として、水平尾翼が風軸に対して −30° という大迎角を取ることにより流れが剥離し、水平尾翼が失速していることが考えられる。しかし実際の飛行ではここまで大きな負の迎角を取ることはないため問題にはならない。ローリングモーメント係数C_lのグラフは舵角を与えた場合に両形状共に上下に平行移動しており、エルロンの効きが良好であることが確認できる。

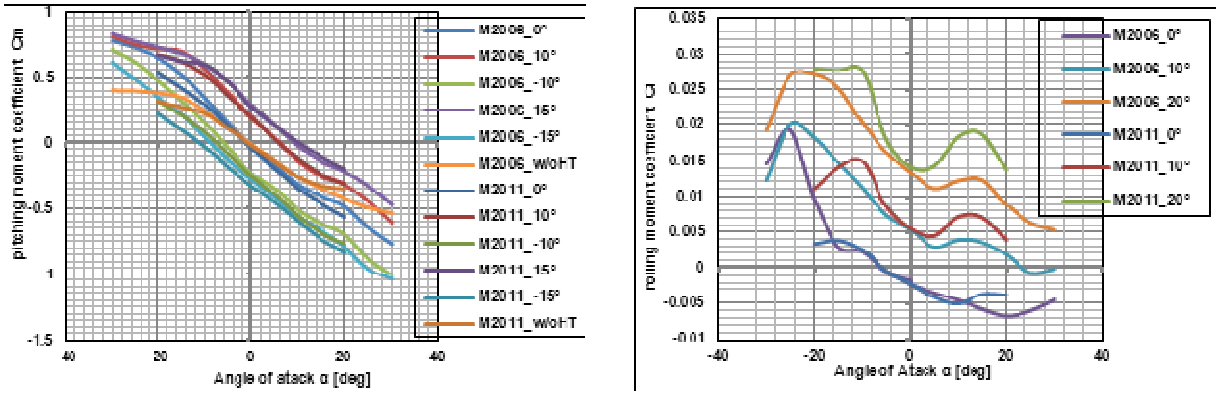

図４． 舵角によるピッチングモーメントおよびローリングモーメント

次に両形状での横制御発散係数(Lateral Control Departure Parameter: LCDP)を図5に示す。LCDP は式(1)により定義され、その値が負となる場合にはエルロンが通常と逆方向に作用する現象（エルロン・リバーサル）が発生する。過去の風試データに基づく補外的な推算では離着陸時などの大迎角においてエルロン・リバーサルの発生可能性が示唆されていた。

$$\mathrm{LCDP} = C_{n_\beta} - \frac{C_{n_{\delta_a}}}{C_{l_{\delta_a}}} C_{l_\beta} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

図5に示す実際の風試データに基づく推算結果によれば、M2006prototype 形状では迎角−15° ～20° 、M2011 形状では 迎角−10° ～12° においてエルロンは正常に機能し、それよりも正負に大迎角を取った場合にエルロン・リバーサルが発生することが示されている。

エルロン・リバーサルすなわち LCDP の値が負となる主な原因は、式(1)中の4種の空力微係数のうち風見安定 及びアドバース・ヨー であると考えられる。実際の は他の空力微係数と比較してかなり小さなオーダーであることを考えれば、M2011 形状の方がエルロン正効きの迎角範囲が狭い原因は、高迎角時に風見安定が損なわれて が負となったことによると考えられる。横滑り角 β とヨーイングモーメント係数 の関係を図6に示す。M2006prototype 形状では は全範囲で右下がりの傾向、すなわち風見安定を維持している。一方、M2011 形状では −10° 以下および 12° 以上の迎角で右下がりとなっており、風見不安定となっている。この風見安定劣化の原因は、M2011 は GG−ATR エンジンの採用による所要推進剤搭載量の増加に応じてノーズを延長しているためであると考えられる。

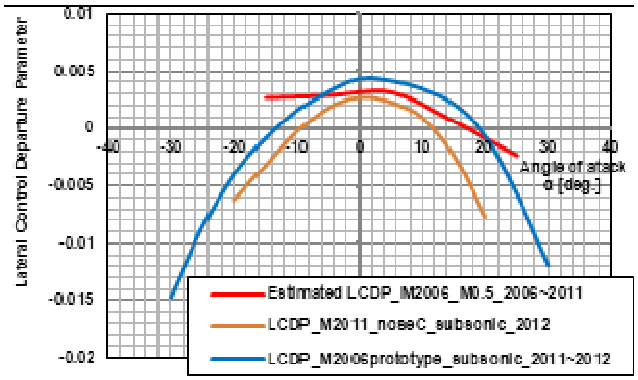

図５. LCDP の推算値

なお、オオワシの通常の飛行状態の迎角は、亜音速で数度、遷音速・超音速では 1° 以下であるから、LCDP が負になる局面は発生しないものと予測される。しかし、離着陸時にはごく短時間ではあるが LCDP が負となるような 12° 以上の大迎角をとることも予想される。これに対応するには、エルロン逆効きを考慮した制御系設計をするか、機体の風見安定性を改善する必要がある。風見安定性を改善する具体的な方法としては、垂直尾翼の拡大、ラダー操舵の併用、エンジン推力増強による所要燃料搭載量の削減（ノーズの短縮）、等が考えられる。また、今回の風試ではエンジンの空気取り入れ口（インテーク）を設置していないが、インテークを重心より後ろに設置することによって後胴部の側面積を増やし風見安定を増強できる可能性がある.

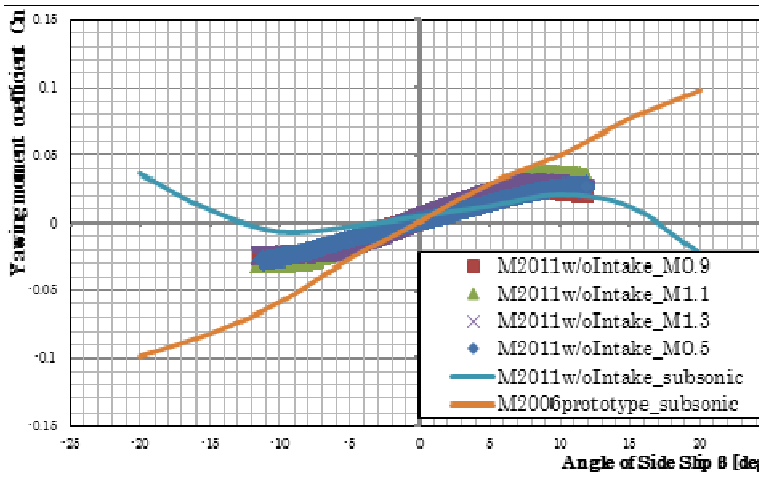

図６．横滑り角 β とヨーイングモーメント係数 C_n の関係

4. まとめ

小型超音速飛行実験機の空力形状 M2006prototype および M2011 について、舵面に舵角を与えた場合の空力特性を風洞試験によって評価した。その結果は以下の通りである。

(1) 両形状でエレベータの効きは良好であり、±15° のエレベータ操舵によりピッチングトリムを得ることのできる迎角の範囲は−10~ +10° である。

(2) 両形状でエルロンの効きは良好である。

(3) エルロンが正効きとなる迎角の範囲は M2006prototype の場合−15~+20° 、M2011 形状では −10~+12° である。

(4) エルロン正効きの迎角範囲を広げるには機体の風見安定性を改善する必要があり、その方法として垂直尾翼の拡大、ラダー操舵の併用、エンジン推力の増強による所要燃料搭載量の削減（ノーズの短縮）、等が考えられる.