



小型超音速無人機の機体構造に関する研究： 研究結果報告

メタデータ	言語: jpn 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: 木村, 敦, 今井, 駿, 溝端, 一秀, 湊, 亮二郎, 棚次, 亘弘 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/00008680

小型超音速無人機の機体構造に関する研究：研究 結果報告

著者	木村 敦，今井 駿，溝端 一秀，湊 亮二郎，棚次 亘弘
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	2006
ページ	22-27
発行年	2007-05
URL	http://hdl.handle.net/10258/00008680

小型超音速無人機の機体構造に関する研究 - 研究結果報告

	木村 敦	(機械システム工学専攻 高速流体力学研究室)
○	今井 駿	(機械システム工学科 高速流体力学研究室)
	溝端 一秀	(機械システム工学科 助教授)
	湊 亮二郎	(機械システム工学科 助手)
	棚次 亘弘	(航空宇宙機システム研究センター長, 教育研究等支援機構 教授)

1 研究概要・目的

近年、室蘭工業大学を含む国内4大学とJAXAの連携による小型超音速無人飛行機の開発計画が進められている。今後5年程度の間、全長3m程度、重量200kg程度の機体と推力200kgf程度のジェットエンジンを開発し、地上実証ならびに飛行実証する計画である。この研究開発を通して、大陸間の航空輸送及び地球低軌道への宇宙輸送の技術を革新することをねらっている。

この無人飛行機の構造技術としては、複合材を用いた最適構造手法を構築し、革新的な空力弾性構造を開発することを目指している。その場合、単純形状のテストピースでの強度評価にとどまらず、機体全体の構造設計ならびに強度評価を積み重ねることが重要である。

このための準備として、本研究では、機体全体の構造設計と応力解析のための能率的な基本的手法を整備し、現時点で利用可能な機体形状データおよび運動荷重・空力荷重データに基づいて同無人飛行機の構造を概略設計し、応力評価を行った。

2 研究手順

本研究では、空力形状設計班より機体形状の諸元や概略図を受け取り、それに基づき機体構造を主翼、胴体等の機体要素ごとに設計した。設計に使用した機体形状はM2005型と呼ばれる全長3m程度の単発タイプの形状である。図1にM2005型を示す。

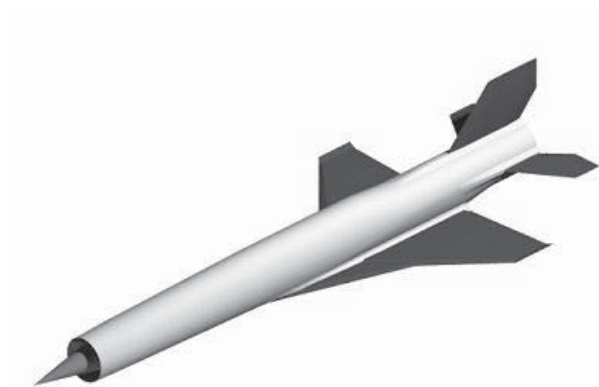


図1 M2005 形状全体図

次に，風洞試験データや飛行経路解析結果，および耐空性審査要領等の基準から運動荷重や空力荷重を推算し，解析に用いる荷重を決定した．

また，複雑な構造解析において解析プログラムを自作することは能率が悪いので，汎用の CAE システムを利用し設計・解析作業を行うものとする．具体的には，三次元 CAD システムである CATIA と，これにアドインされている応力解析システムを使用した．

構造解析においては CATIA 上で作成した構造モデルについて，FEM 解析によってミーゼス応力を求め，構造材料の耐力と比較・評価した．

ミーゼス応力は，主応力の式を三次元に展開し相当応力（equivalent stress）として次式²⁾のように定義されるスカラー量であり，延性材料の降伏や破壊と関連付けられる．

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{xx})^2] + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}$$

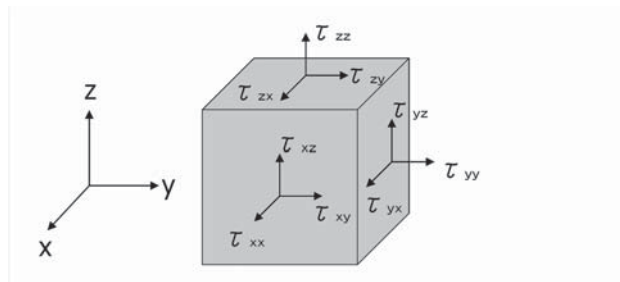


図2. ミーゼス応力。

3 解析条件

3.1. 材料諸元

構造材料としてアルミニウム合金 2024-T4 の物性⁵⁻⁷⁾を適用した．これは超ジュラルミンとして知られている一般的な航空機用構造材である．超音速飛行における空力加熱を想定し，機体表面を 200℃ に保って 1 時間後の温度分布の下で，構造強度を評価することにする．

3.2. 解析ケースと揚力分布理論

別途実施された飛行経路解析より構造的負担が大きいと思われる以下の 2 ケース A および B において，主翼構造の強度解析を行った．

- (A) 飛行マッハ数 2.0 における 9G での引き起こし
- (B) 8G での地上加速

なお解析は効率を考え，主翼中央より片側に対し行った．

ケース A については，飛行経路解析の結果では 9G 引き起こしの荷重状態は発生しないが，我が国の航空機設計基準である「耐空性審査要領」並びに国際基準である「MIL スペック」における超音速機の構造強度基準に安全率を加味して，9G 引き起こしの荷重条件を適用した．また，超

音速飛行における主翼の揚力分布 $c \cdot c_l$ は式(2.1) (2.2)より 抗力は式(2.3)より近似推算される⁴⁻⁶⁾ .

$$c \cdot c_l = \frac{4\alpha C_r \tan \omega}{\sqrt{M_0^2 - 1}} \left(1 - \bar{y}^2\right)^{1/2} \quad (2.1)$$

$$\bar{y} = \frac{y}{S_m} \quad (2.2)$$

$$D_\alpha = \frac{1}{2} L \alpha \quad (2.3)$$

ここで c は任意の翼断面における局所翼弦長, c_l はその翼断面での断面揚力係数, C_r は最大翼弦長, ω は半頂角(rad), α は迎角, S_m は半スパン, L は揚力である .

これらより得られた加重は実際に行われている航空機への静荷重試験に倣い, 主翼下面外板に 9 箇所荷重面を設定し, そこへ翼面荷重を入力した . 図 3 に主翼下の荷重面を示す .

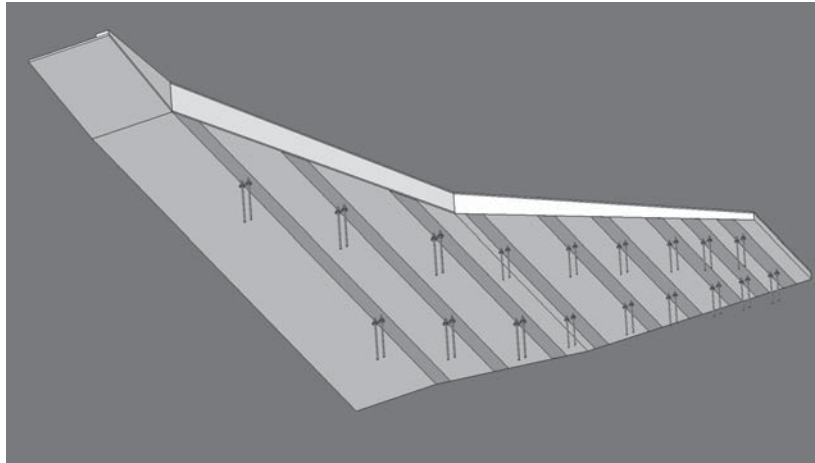


図 3 荷重面配置図

表 1. 各荷重面への荷重

荷重面番号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
荷重 (N)	1517.5	1488.1	1078.2	1359.1	937.93	843.66	495.17	426.03	503.05

(機体中心側よりスパン方向へ ① ~ ⑨ とする)

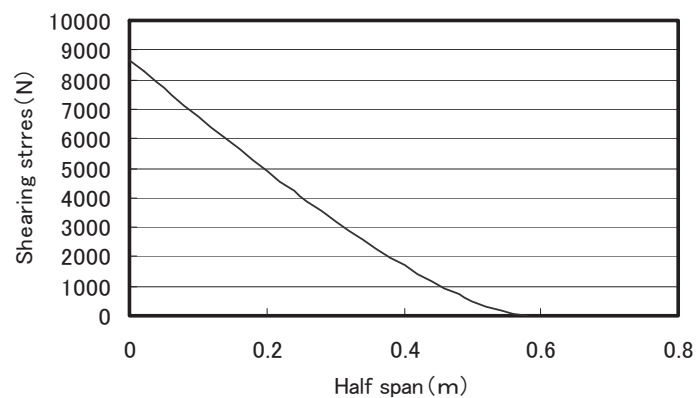


図 4 スパン方向のせん断力線図

3.3. 機体形状設計データ

図4, 図5に解析に用いた M2005 型についての主要構造を示す．胴体はセミ・モノコック構造を適用し，主翼は左右翼を，中央翼を介して接合した一体翼として設計した．

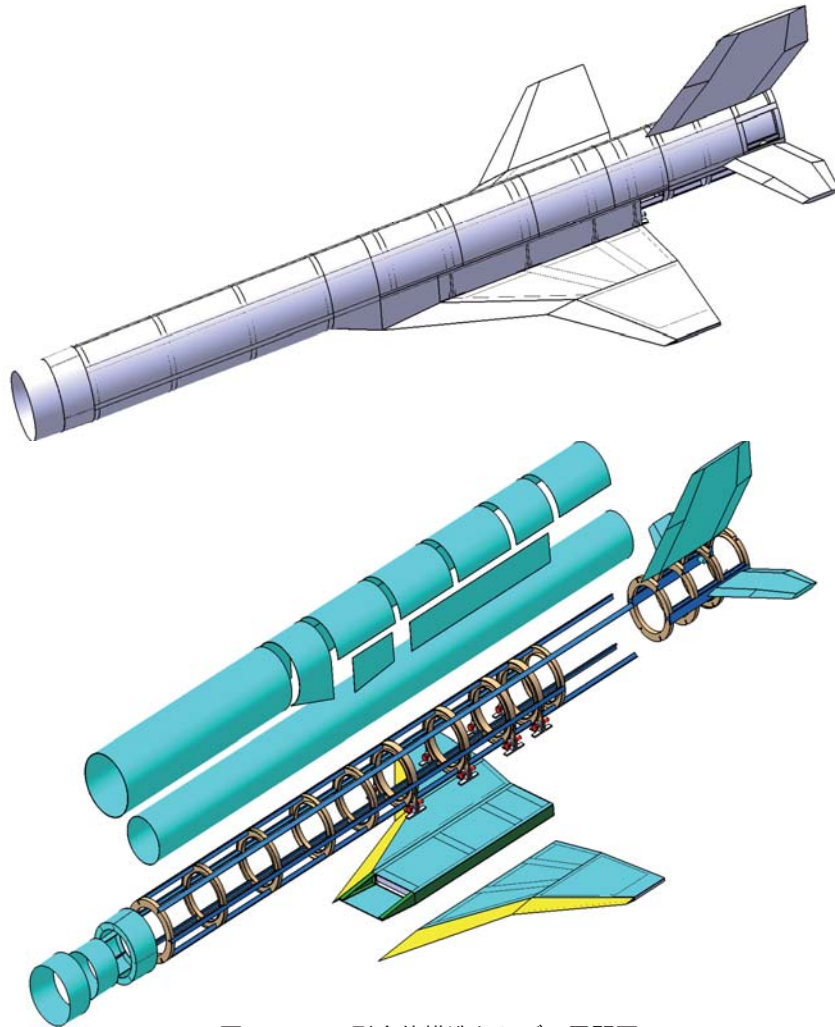


図4 M2005型全体構造ならびに展開図

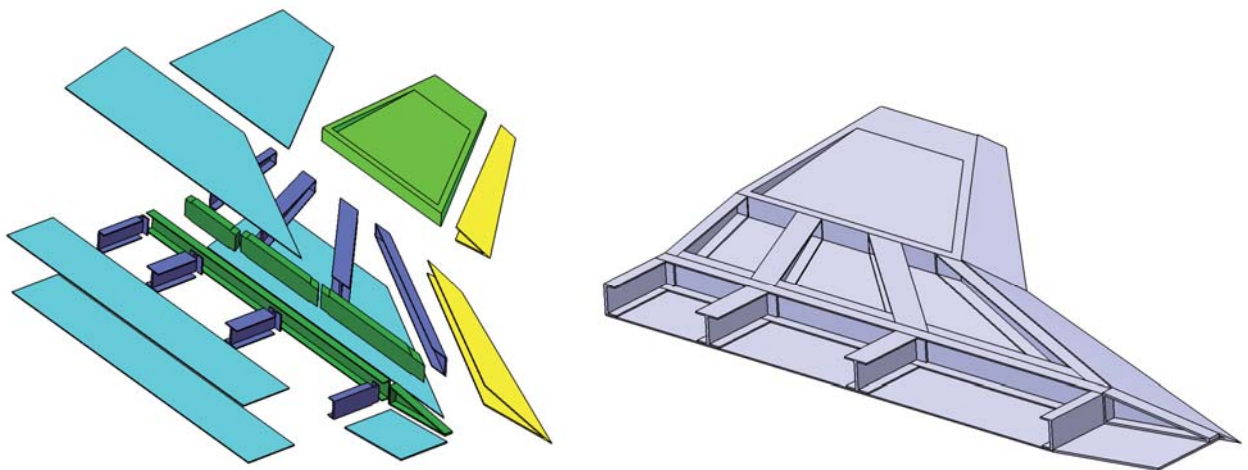


図5 主翼全体構造図ならびに部品展開図

4 解析結果

4.1. ケース A

図 6 に 9G 引き起こし条件 A での応力解析結果を示す．ミーゼス応力の最大値は最後方中央翼桁付近に発生しており，48.1MPa である．これは想定している構造材料 A2024 - T4 の 0.2%耐力 235MPa に比べて十分小さい値となっている．

応力は荷重を担当する一次構造系（桁・小骨・外皮）に分散され，翼形状を成型する二次構造系（前縁部等）に高い負担は発生していない．応力分布状況および最大応力を見ると，この設計では過度な強度余裕があるため，更なる軽量化が必要である．

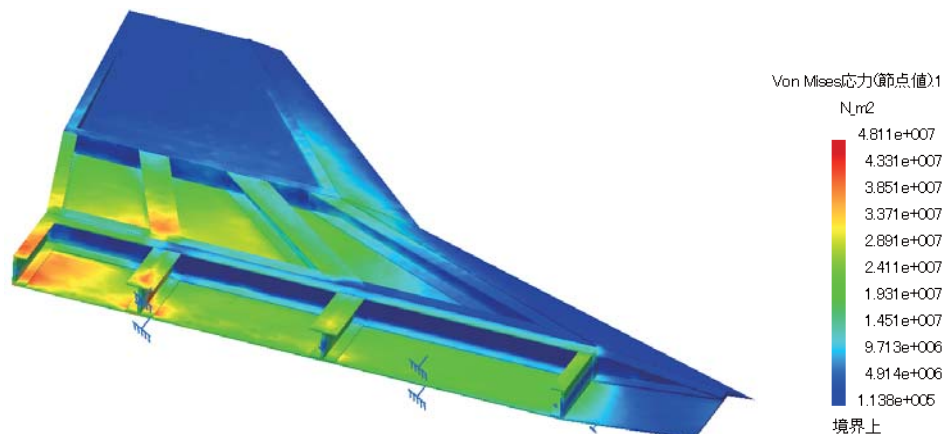


図 6 9G での引き起こし時におけるミーゼス応力分布図

4.2. ケース B

図 7 に地上 8G 加速状況 B での応力解析結果を示す．ミーゼス応力の最大値は，条件 A と同様に最後方中央翼桁付近に現れ，1.83MPa である．

A , B とともに類似箇所に最大応力が発生しているため，今後の設計改良では部材サイジングの変更などによりこの付近の応力を緩和することが必要である．また，中央翼と左右翼を引張ボルトで結合することが想定されるが，今回の応力解析では構造全体の成立性を確認する事に主眼を置いたため，結合金具などの細部は省略している．実際には結合部に応力集中が発生すると思われるため，結合部付近の細部の設計と応力解析が必要である．

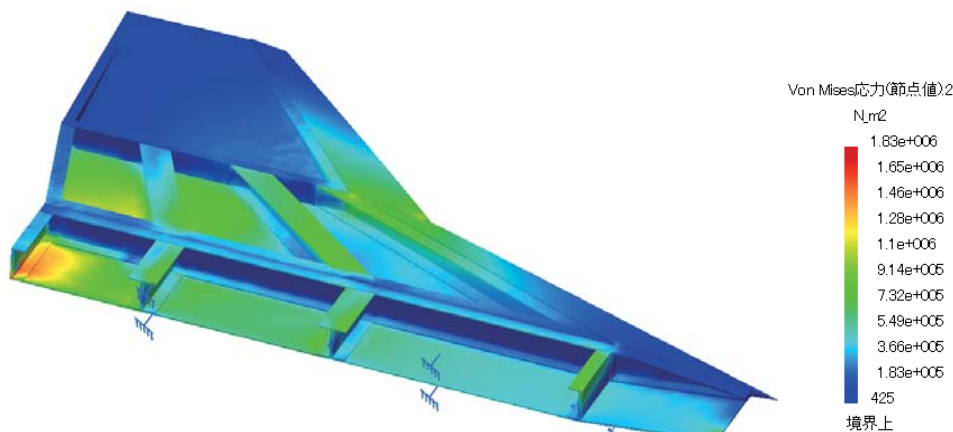


図 7 8G での地上加速時におけるミーゼス応力分布図

5 まとめ

本研究では能率的な構造設計・強度解析作業のための基本的手法を整備した。現時点において利用可能な空力形状について主要構造を設計し超音速飛行状態および地上加速状態において応力分布を解析し、構造の成立性を確認した。

今後は、解析で得られた各部材の応力分布データを基にして構造設計の最適化を進めると共に、胴体を含めた機体全体構造に関する応力解析と強度評価、並びに複合材による一体成型構造の設計や構造成立性評価を実施する予定である。

謝辞

複合材料、また航空機の構造に関する多大なるご助言を頂きました、宇宙航空研究開発機構 青木 卓哉 博士に深く感謝の意を表します。

本研究を遂行するにあたり、多方面での御協力を頂きました高速流体力学研究室、ご支援、ご協力を頂きました全ての皆様に、深く感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 鳥養鶴雄，久世紳二，「飛行機の構造設計」(1992)，日本航空技術協会。
- [2] 栗山好夫，笹川宏之，「CAEによる機械強度設計」(2005)，山海堂。
- [3] 新沢順悦，藤原源吉，川島孝幸，「航空機の構造力学」(1989)，産業図書。
- [4] 玉本章夫，「飛しょう体の空気力学」(1974)，東京大学出版会。
- [5] 赤木功，石見峻久，徳永俊二，葭田雄二郎，天岡和昭，「航空機材料」(1989)，日本航空技術協会。
- [6] 相原康彦，森下悦生，「応用空気力学」(1991)，東京大学出版会。
- [7] アルミニウム材料 特性データベース(2001)，日本アルミニウム協会，<http://metal.matdb.jp/JAA-DB/>。