

オオワシ2号機の着陸ダイナミクス解析による衝撃吸収脚の設計

著者	樋口 健, 勝又 暢久, 丹治 陸, 長部 広弥
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	2015
ページ	100-106
発行年	2016-09
URL	http://hdl.handle.net/10258/00009140

オオワシ2号機の着陸ダイナミクス解析による衝撃吸収脚の設計

○樋口 健 (航空宇宙システム工学ユニット 教授)

勝又 暢久 (航空宇宙システム工学ユニット 助教)

丹治 陸 (航空宇宙総合工学コース 博士前期2年)

長部 広弥 (航空宇宙システム工学コース 学部4年)

1. はじめに

地上から高空まで自力で飛行と離着陸ができる小型無人超音速飛行実験機の開発研究において、2010年8月と2011年7月に低速飛行のための縮小機体であるオオワシ1号機がジェットエンジン2基を搭載して試験飛行を行った。以降は超音速飛行を目指すオオワシ2号機に空気力学的には等価な機体ではあるが繰り返し離着陸試験と亜音速飛行試験に供する機体の開発を進めている。オオワシ2号機は計画当初は脚を有しない設計で始まったが、繰り返し離着陸試験と亜音速飛行試験に供するためには脚が必要と判断され、脚を取り付けることになった。超音速飛行機は主翼面積を大きく取れないので、着陸において不安定になりやすく、着陸進入速度も大きいため、構造上も大きな脚荷重が作用する可能性がある。主脚構造の設計にあたっては、着陸インターフェース条件範囲の様々な着陸条件の組み合わせにおける着陸ダイナミクスシミュレーションにより脚設計荷重条件を設定する必要がある。本稿では、現在想定される機体諸元と着陸インターフェース条件とにより検討されている主脚構造の開発進捗についてまとめる。

2. オオワシ2号機の機体諸元と脚設計条件

暫定的な機体慣性諸元は、全長約6.4 m、全幅約2.4 m、胴体直径0.3 m (一般部)、離陸重量約330 kg、着陸重量約250 kg、主翼面積約2.15 m²である。

着陸進入速度180 km/h、進入角約3°、機体迎角18°という厳しい条件で無誘導でも確実な着陸を実現する衝撃吸収脚が要求される。設計条件は、

- ・機体が着陸時に安定した挙動を示すこと
- ・着陸時の衝撃加速度が6 G以内に留まること
- ・脚伸縮ストロークを15 cm以内に抑えること

である。そこで、主脚について

- (1) トラス型脚構造案
- (2) 迎角に合わせて傾けた胴体固定型主脚構造案
- (3) 迎角に合わせて傾けたトラス型主脚構造案

を順次考案し設計した。首脚構造は各主脚案共通に脚柱1本構造と仮定した。

3. ダイナミクス解析手法と機体モデル

MATLAB Simulink, SimMechanics を用いて脚をモデル化しダイナミクスシミュレーションを行って、脚形状、部材構成の是非や、設計条件を満たすように部材断面積、バネ定数、減衰係数等を求めた。脚モデルの単純化のために、脚ストラットは剛体棒とし、必要に応じて滑節と剛節を使い分け、弾性はバネとタイヤに、減衰性能はダンパに持たせた。想定される着陸条件で降下率

を実現できる高さからの自由落下解析を行った。なお、機体構造は剛体円柱とし、機体の慣性率は想定される重量配分により定めた。

4. 主脚概念案（2次元モデル）

4-1. 脚柱1本構造案

本章では、2次元モデルすなわち縦方向の釣り合いのみ考慮したモデル（図1）にて、落下高さはタイヤ下面が地面から0.5 m（すなわち降下率約3 m/s）の自由落下とした。まず、脚柱1本構造案に対して、ダイナミクスシミュレーションを行って設計条件を満たすバネとダンパの組み合わせを定めた（図2）。しかし、この案では接地時に主脚取付部に大きな衝撃的モーメントが発生し、構造力学的には厳しい荷重となった。ただし、この脚構造案の時点では着陸インターフェース条件が、水平速度300 km/h、機体迎角15°と設定されていた。その後、着陸進入速度は180 km/hに緩和され、機体迎角は18°となったので、以降はこの条件を適用した。

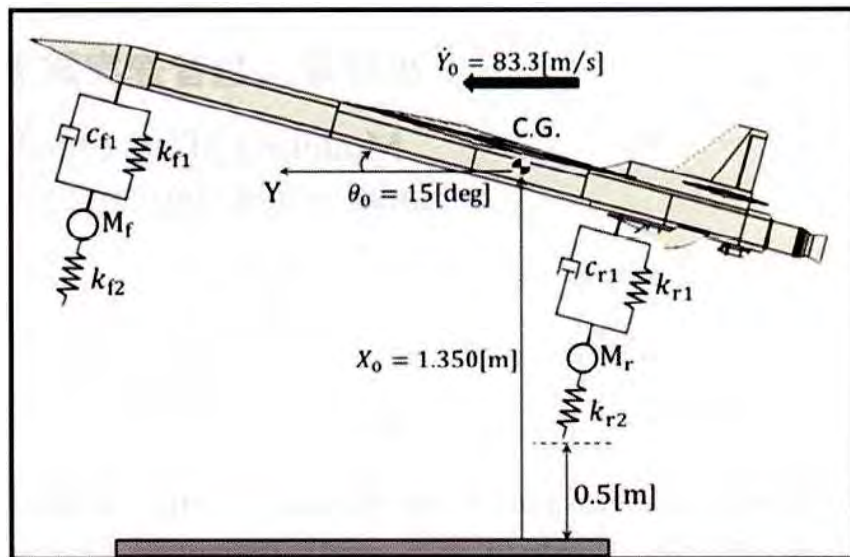


図1 脚柱1本構造案2次元モデル

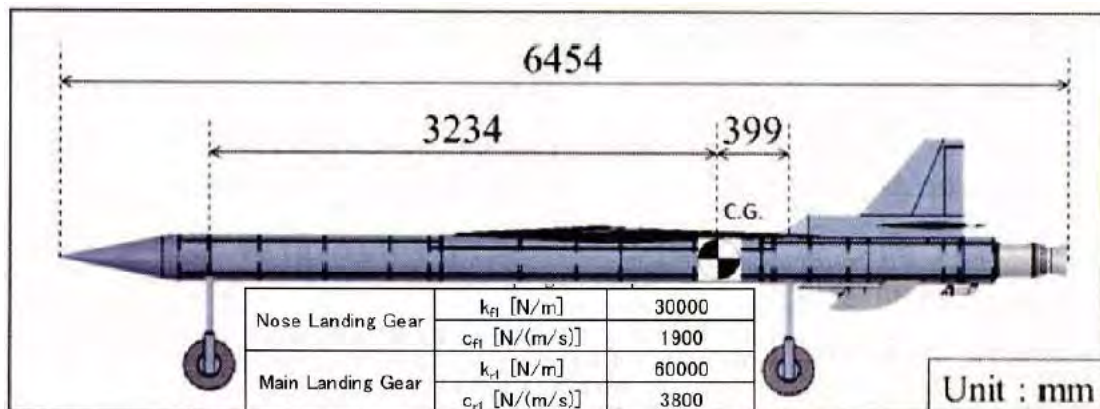


図2 2013年度の脚構造提案

4-2. トラス型脚構造案

主脚取付部に過大なモーメントが入らないよう、2次元モデルにて先ずトラス構造を提案した(図3)。主脚の前後ストラットのうち後側ストラットのみバネとダンパが並列に入れられ、前側ストラットは付け根を回転中心にして回転するがバネとダンパはない。

図3の案によりトラス型主脚構造案主脚取付部に過大なモーメント荷重が入ることは防ぐことができたが、後側ストラットのバネの伸縮に応じて慣性の大きいタイヤが前側ストラット長さを半径として後側ストラット軸方向に動くことが原因となって接地衝撃で機体が前方に加速度を受けることがわかった。この機軸方向加速度は荷重倍数を満足しないほど大きいものであった。前側ストラットの取付角を浅くし、後側ストラットの取付角を深くすれば機軸方向加速度を抑えられるが、非現実的な形状となった(図4)。

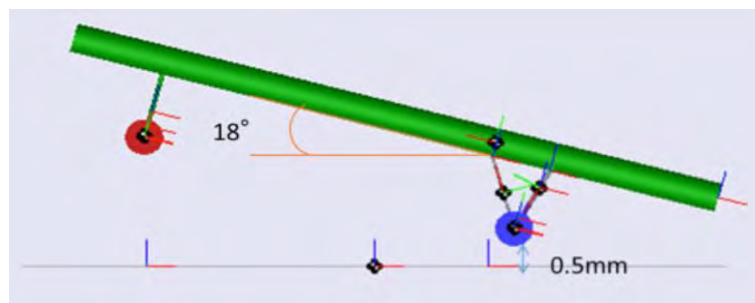


図3 トラス型主脚構造案

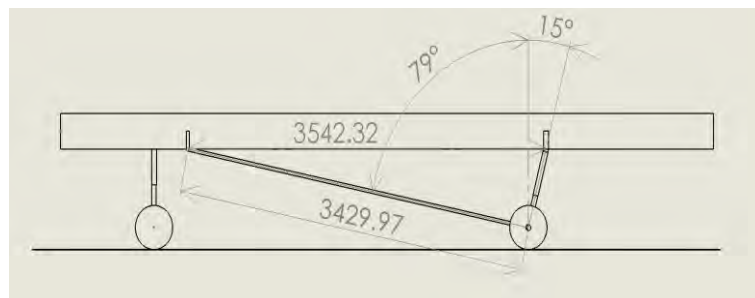


図4 トラス型主脚構造案における機軸方向加速度軽減案

4-3. 迎角に合わせて傾けた胴体固定型脚柱1本構造案

超音速機は飛行速度の小さい着陸時には大きな機体迎角をとることにより自重と釣り合う揚力を得る。オオワシ2号機では着陸進入時の機体迎角は18°にもなるので、主脚を予め後ろ向きに18°傾けて取り付けておき、着陸時にバネとダンパが鉛直に反力を得るようにしておけば、主脚ストラットが鉛直に接地するため接地時に機体前向き加速度を生じることはない(図5)。

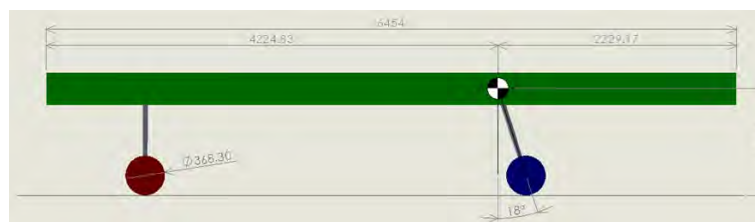


図5 迎角に合わせて傾けた胴体固定型主脚構造案

しかし、主脚ストラットが鉛直に接地するのは迎角が取付角と一致した場合だけであり、飛行条件により変わり得る一般的接地の場合には主脚取付部に大きなモーメントが衝撃的に入るため、ロバスト性に欠けることが欠点である。

4-4. 迎角に合わせて傾けたトラス型主脚構造案

図6は、図3と図5の長所を組み合わせた案であり、機体に対してはストラット取付部に過大なモーメントが入らないようトラス構造とし、また接地時に機体前向き加速度が生じないようにバネとダンパの動く方向は接地時にできるだけ鉛直となるよう迎角に合わせてやや後ろに傾けてある。設計条件を満足するバネとダンパのパラメータを設定ができたので表1に示す。

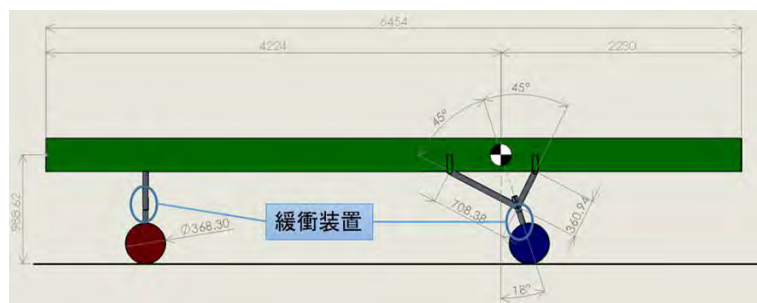


図6 迎角に合わせて傾けたトラス型主脚構造案

表1 迎角に合わせて傾けたトラス型主脚構造案の着陸ダイナミクス解析条件

機体重量	全体	244.4 [kg]		
	胴体	214.4 [kg]		
	前脚	10 [kg]		
	後脚	20 [kg]		
機体慣性モーメント [kg*m ³]	Ixx 10.2	Ixy 0.02	Ixz 10.9	
	Ixy 0.02	Iyy 597	Iyz 0	
	Izx 10.9	Izy 0	Izz 599	
機体重心位置	機体先端から	4.2 [m]		
機体全長		6.4 [m]		
初期姿勢	迎角	18 [°]		
	初期高さ	0.5 [m]		
	初速	50.3 [m/s]		
前脚 前タイヤ	弾性係数 kf1	22000 [N/m]		
	減衰係数 cf1	1500 [Ns/m]		
	弾性係数 kf2	4.59×10 ⁶ [N/m]		
主脚 後タイヤ	弾性係数 kr1	50000 [N/m]		
	減衰係数 cr1	2800 [Ns/m]		
	弾性係数 kr2	9.18×10 ⁶ [N/m]		

5. 主脚構造案（3次元モデル）

設計条件を満たす構成案が提案できたので，3次元モデル（図7）を作成し，着陸ダイナミクスシミュレーションを行った。

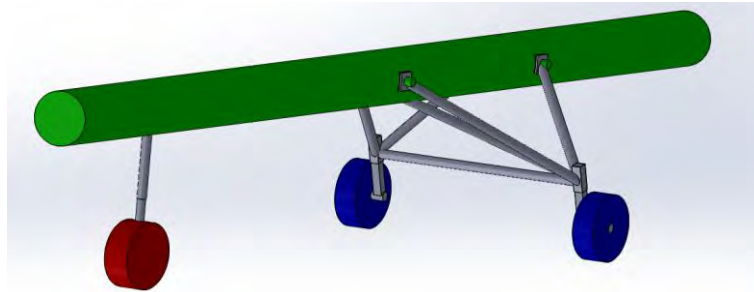


図7 トラス型主脚構造案3次元モデル

5-1. 自由落下解析

本節では，水平のまま落下し3脚が同時に接地する場合を示す．重心の鉛直方向（Z軸）位置と鉛直方向発生加速度の時刻歴を図8に示す．バネ定数とダンパの減衰定数の選定により，着陸インターフェース条件を満たすことができる。

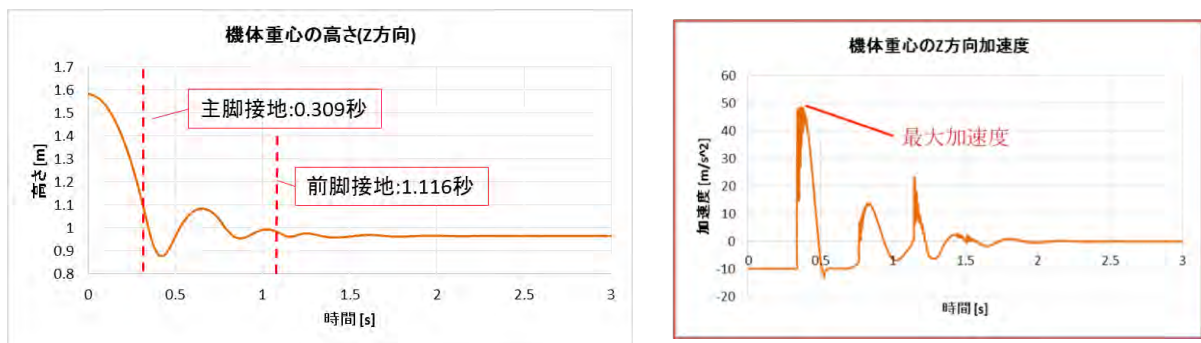


図8 3脚同時接地する場合の応答挙動

5-2. 初期ロール角の影響

3脚同時接地でない場合の初期ロール角の影響を検討するために，ピッチ角 18° に固定して初期ロール角をパラメータとして振った．本節以降の初期条件は，機体迎角 18° ，落下高さは重心が地面から 1.5 m （すなわち降下率約 3 m/s ）の自由落下による接地後の応答解析である．鉛直方向（Z軸）加速度と発生部材力を図9に示す．初期ロール角が大きくなるにつれ鉛直方向加速度は増加傾向にあるが，初期ロール角 1° 以下では左右のタイヤの接地タイミングの僅かなずれに起因して一様傾向の挙動の加速度とはならなかった．主脚前ストラットの部材力も，左右のタイヤが同時に接地しない場合は大きな値となった．脚強度設計上留意すべきことがわかった。

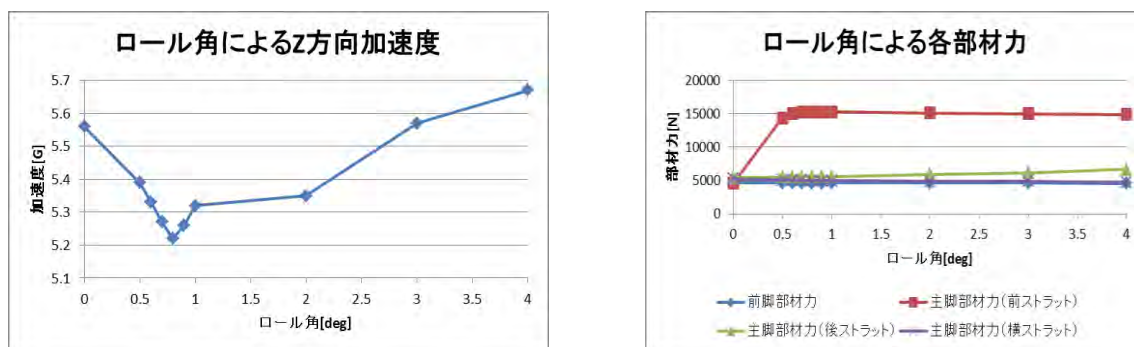


図9 初期ロール角による機体加速度と部材力への影響

5-3. 初期ピッチ角の影響

接地時ピッチ角の変動の影響を検討するために、ロール角は0°に固定して初期ピッチ角をパラメータとして振った。機軸方向(X軸)と鉛直方向(Z軸)の加速度と発生部材力を図10に示す。ピッチ角が小さくなると機軸方向(X軸)と鉛直方向(Z軸)両方の加速度が大きくなる。また、主脚の後ストラットの部材力はピッチ角を小さくすると大きくなる傾向にある。着陸時の機体迎角を18°に固定して設計した主脚では、迎角が想定より小さくなることはむしろ脚荷重を増加させる。

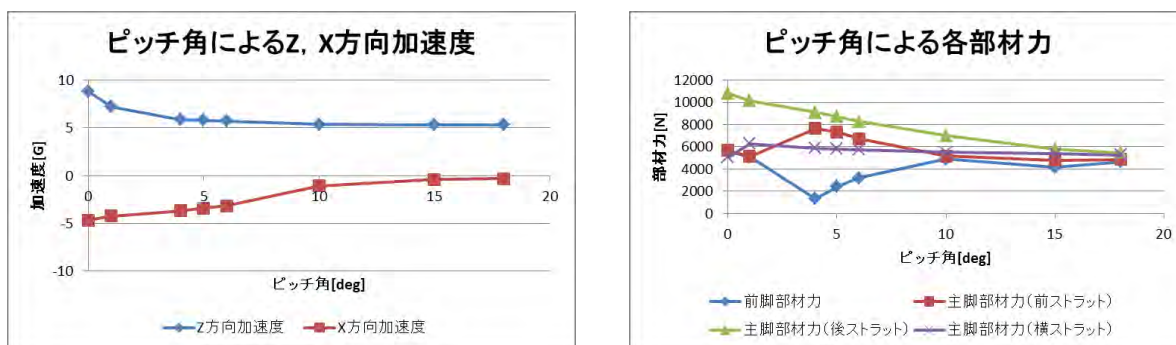


図10 初期ピッチ角による機体加速度と部材力への影響

5-4. 初期ピッチ角と初期ロール角の組み合わせの影響

初期ピッチ角と初期ロール角の影響は単調に増減する傾向ではないことがわかったため、接地時ピッチ角とロール角の変動による部材力への影響を検討するために、ロール角が僅かにある状態として初期ロール角を1°に固定して初期ピッチ角をパラメータとして振った。機軸方向(X軸)と鉛直方向(Z軸)の加速度と発生部材力を図11に示す。ピッチ角が4°より小さくなると水平方向と鉛直方向の両方の加速度が大きくなり着陸条件を満たさなくなる。主脚部材力はピッチ角を小さくすると大きくなる傾向にある。このように、ここで検討した脚様式では、3脚同時接地ではなくなる着陸時姿勢の変動が、脚強度設計およびバネやダンパの仕様の選定に大きな影響をもたらすことがわかった。

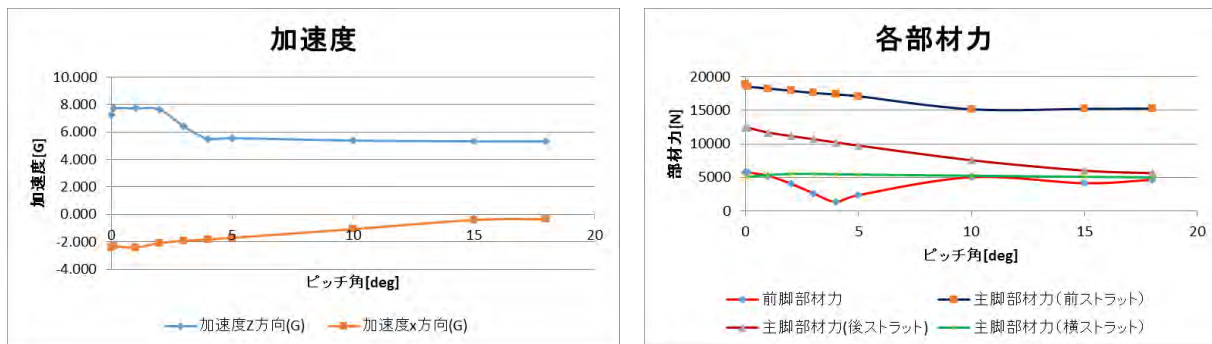


図 1 1 初期ロール角 1°の場合の初期ピッチ角による機体加速度と部材力への影響

6. まとめ

小型無人超音速飛行実験機オオワシ 2 号機の想定される慣性諸元を用いた着陸ダイナミクス解析結果を基に脚構造の初期設計を行い，着陸インターフェース条件を満たす主脚構造案を提案した．今回提案した主脚構造の使用を前提とした場合，接地時の姿勢変動が想定より小さければ着陸衝撃が緩和されるわけでは必ずしもなく，着陸インターフェース条件を満たす初期姿勢角は，初期ピッチ角は 10°～ 18°，初期ロール角は -4°～ +4°の間であることがわかった．