



小型無人超音速機向け完全自律飛行実証実験

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: 2019-03-15 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 上羽, 正純, 高橋, 康平, 鎌田, 智寛, 高久, 雄一 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/00009793

小型無人超音速機向け完全自律飛行実証実験

○上羽 正純（航空宇宙システム工学ユニット 教授）

高橋 康平（航空宇宙総合工学コース 博士前期課程 2 年）

鎌田 智寛（航空宇宙総合工学コース 研究生）

高久 雄一（航空宇宙システム工学ユニット 助教）

1. 研究の背景と目的

本学航空宇宙機システム研究センターではマッハ 2 程度までの速度で飛行するための基盤技術の研究開発を推進し、平行してそのフライングテストベッドとして小型無人超音速実験機の開発が進んでいる。基盤技術の一つである誘導制御技術は、姿勢の安定を確保しつつ所望の姿勢精度で目標地点へ飛行するのみならず、エンジン性能・空力加熱等の条件を満たしつつ、目指す速度を達成するための重要な技術である。そのため離陸、上昇、旋回、超音速飛行、下降、着陸といった各種飛行モードを自律的かつ最適に飛行することが求められている。本報告では、そのための前段階として、これまで低速の電動模型飛行機を用いて実施してきた各種飛行モード飛行実験結果に続いて、それらを統合して離陸から着陸まで一連の完全自律飛行を達成した結果を述べる。

2. 飛行モードと制御系

離陸から着陸までの完全自律飛行は、これまで検証してきた離陸、トラック飛行、着陸といった飛行モードを全面的にあるいは一部組み合わせて実現する。これら飛行モードで使用されている制御をまとめると表 1 [1] のようになる。すべての飛行モードにおいて縦と横・方向系の制御が構成され、要求性能に応じてその具体的動作が異なる。特に離陸では、地上滑走とノーズギア、離陸上昇ではエルロンを用いて方向を制御する。着陸では、高度維持制御系をベースにグライドスロープ制御、フレア制御といった降下ならびに降下率を小さくする制御が組み込まれている。

表 1 飛行モードと必要な縦・横・方向制御系

Flight mode	Kinds of control system	
	Longitudinal control	Lateral-directional control
Take-off	Air: Rotation control, Climb control	Ground: Run control Air : Lateral-position control
Track flight (Straight, turn)	Height control, Speed control, Level Control	Turn control
Landing	Glide slope control, Speed control Flare control, Roll off control	Lateral position control

2-1. 離陸制御 [2, 3]

離陸のプロファイルは、図 1 に示すように速度を上げながら滑走路をまっすぐ走り、速度 V_R に到達後、機首上げを行い、速度 V_2 で 400 ft まで上昇していく。これを実現するために滑走時にはステアリングとラダーによる方位角制御、機首上げ時にはピッチ角制御、上昇時には、滑走路中心延長上への飛行を維持するように制御系が働く。この滑走制御系、機首上げ制御系、上昇制御系、横方向位置制御系は図 2 に示すように速度に応じて切替えて使用される。

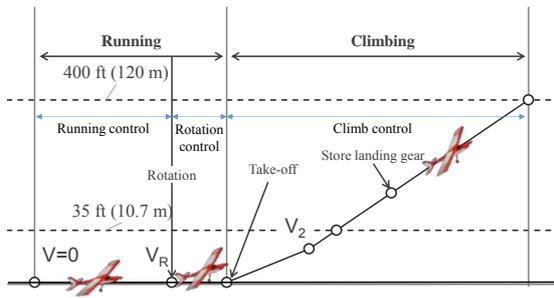


図1 離陸プロファイル

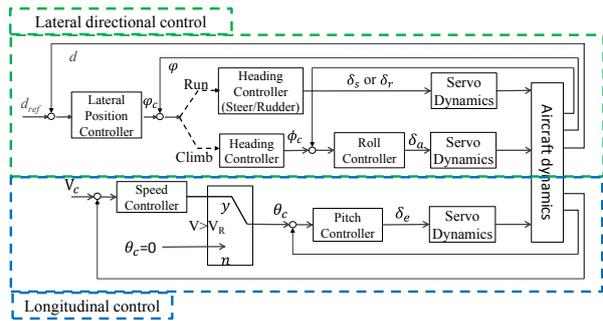


図2 離陸制御系

2-2. トラック飛行制御[4]

トラック飛行は、図3に示すように水平直線飛行部分と旋回飛行部分より構成される。ともに速度一定及び高度一定の制御を行いつつ、水平直線飛行時にはロール角がゼロとなるように、旋回飛行時には所望の旋回半径を実現するロール角（バンク角）となるように制御されている。この制御系構成を図4に示す。

高度制御は、ピッチ角のみで行い、高度が下がった場合には機首上げにして高度を上昇させ、高度が上がった場合には、機首下げにより高度を下げる制御を行っている。

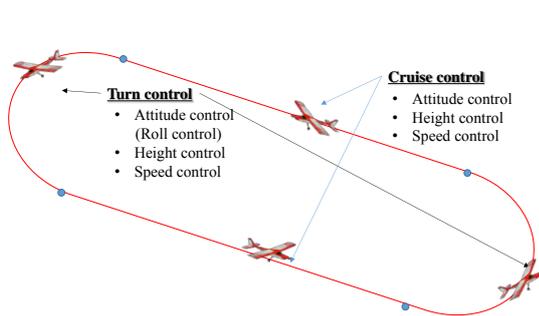


図3 トラック飛行プロファイル

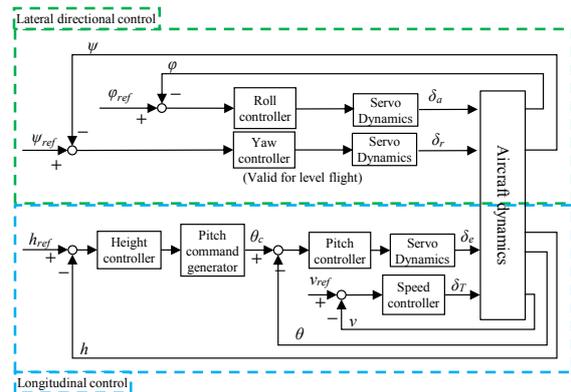


図4 トラック飛行制御系

2-3. 着陸制御[5, 6]

着陸は、図5に示すように速度一定にて滑走路の中心線上及びグライドスロープに沿って下降し、タッチダウン時に許容可能な衝撃でタッチダウンする。このために必要な制御系は、速度制御系、グライドスロープ制御系、フレア制御系、横方向位置制御系である。これらは図6のように構成されており、特に縦系の制御は、高度によって切替えられている。

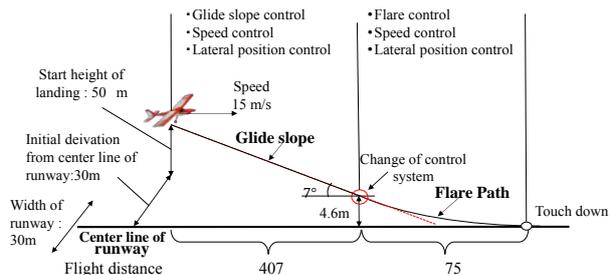


図5 着陸プロフィール

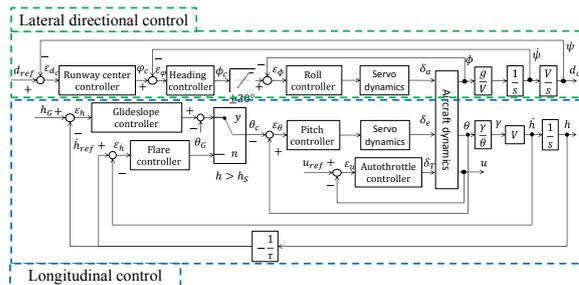


図6 着陸制御系

3. 電動模型飛行機による制御系構成

前述の飛行モードを実現するための制御系について、電動模型飛行機に対して誘導制御系を構成し、飛行試験により検証する。

3-1. 電動模型飛行機

図7に使用する電動模型飛行機を示す。全長 1.3 m，横幅 1.6 m であり（表 2），後述の誘導制御系ハードウェアを含めて総重量 3 kg である。



図7 対象電動模型飛行機

表2 模型飛行機の主要諸元

Total weight with all on-board equipment	[kg]	3
Wing area	[m ²]	0.364
Wing span	[m]	1.6
Full length	[m]	1.3
Mean aerodynamic chord	[m]	0.25
Inertia moment about pitch axis	[kgm ²]	0.132

3-2. 誘導制御系構成

図8に電動模型飛行機への搭載を前提に構築した誘導制御系ハードウェアを示す。誘導制御回路のみ試作し、センサ、アクチュエータ、無線通信モジュールはすべて市販品であり、それらの主な諸元を表3に示す。さらに、飛行実験を容易にするため、市販ラジコン機操縦用プロポを搭載し、本プロポにて、手動⇔自動を可能にした。

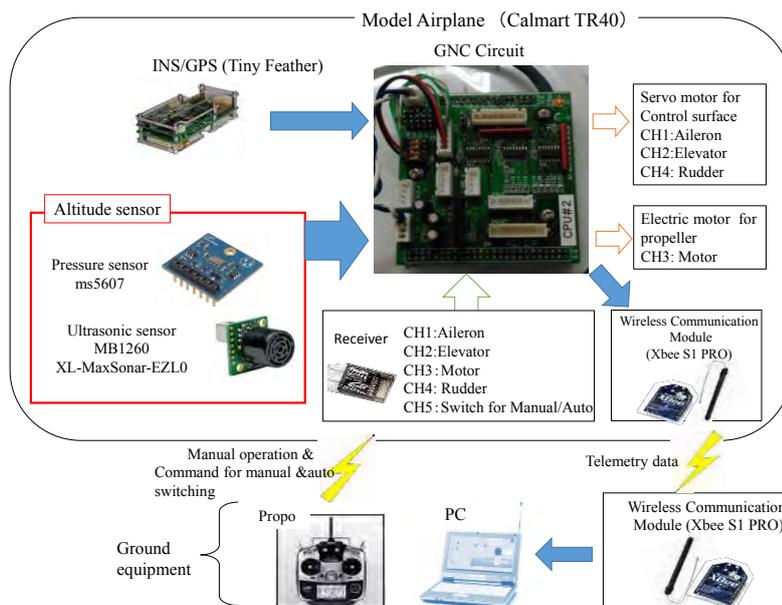


図8 誘導制御系ハードウェア構成

表3 使用センサ諸元

Hybrid INS/GPS equipment	Update time		40 ms
	Position accuracy		3 m rms
	Velocity accuracy		0.3 m/s rms
	Pitch/roll accuracy		0.5 deg. rms
	Heading accuracy		3 deg. rms
	Weight		50 g
Height sensor	Pressure sensor	Accuracy	0.2 m
		Update time	10 ms
	Sonic sensor	Accuracy	0.01 m
		Update time	100 ms
Wireless module	Frequency band		2.4 GHz
	Information transmission speed	19.2 kbps	

表4 制御系設計結果による制御帯域

Flight mode	Kinds of control system	Control bandwidth
Take-off	Run control	0.16 Hz
	Rotation control	0.44 Hz
	Climb control	0.44 Hz
	Lateral position control	0.03 Hz
Track flight	Turn control	0.10 Hz
	Height control	7.65 Hz
	Speed control	0.30 Hz
	Heading control	0.67 Hz
Landing	Glide slope control	0.06 Hz
	Speed control	0.27 Hz
	Lateral position control	0.16 Hz
	Flare control	0.12 Hz
	Roll-off control	0.27 Hz

3-3. 制御系設計結果

電動模型飛行機を対象に完全自律飛行に必要な各種制御系の設計を行った結果として、制御帯域を表4に示す。概ね0.1~0.3 Hzの制御帯域であるが、高度制御に関しては、実験機の機首下げによる墜落を防止するという観点から、7.7 Hzの高い制御帯域を持たせた。

4. 完全自律飛行試験

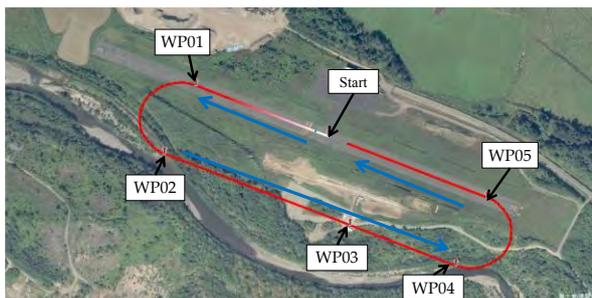


図 9 (a) ノミナル飛行ルート

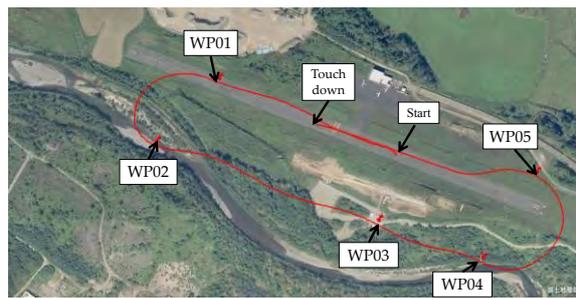


図 9 (b) 実験での飛行軌跡

これまで、実施してきた離陸制御，トラック飛行制御，着陸制御を統合して離陸から着陸までの完全自律飛行試験を行った．統合にあたり，ウェイポイントを設定し，それらの通過により，次の飛行モードへ移行させた．離陸制御においては，最大推力にて滑走路の中心に沿って滑走・上昇の制御を行い，指定高度まで上昇後，ウェイポイント 1 まで速度及び高度一定の水平定常飛行をさせた．ウェイポイント 1 通過後は，速度及び高度一定にて旋回を行い，方位角の 180° 変化となるウェイポイント 2 まで飛行させた．ウェイポイント 2 到達後は水平定常飛行にてウェイポイント 3 とウェイポイント 4 を結ぶ直線に近づきつつ，滑走路北西から南東方向へ飛行させた．ウェイポイント 4 通過後は，一定のスロープで降下しながら着陸開始地点であるウェイポイント 5 まで旋回飛行をさせた．所望の高度にてウェイポイント 5 に到達後，着陸を開始，滑走路の中心線に近づきながら，グライドスロープののって高度を下げ，最終的にはフレア制御によりタッチダウンさせた．設定したノミナル飛行ルートと，本自律飛行による飛行軌跡をそれぞれ図 9 (a)，(b) に示す．また，上記飛行軌跡での高度，ピッチ，速度，ロールの時間プロファイルを図 10 ～ 13 に示す．

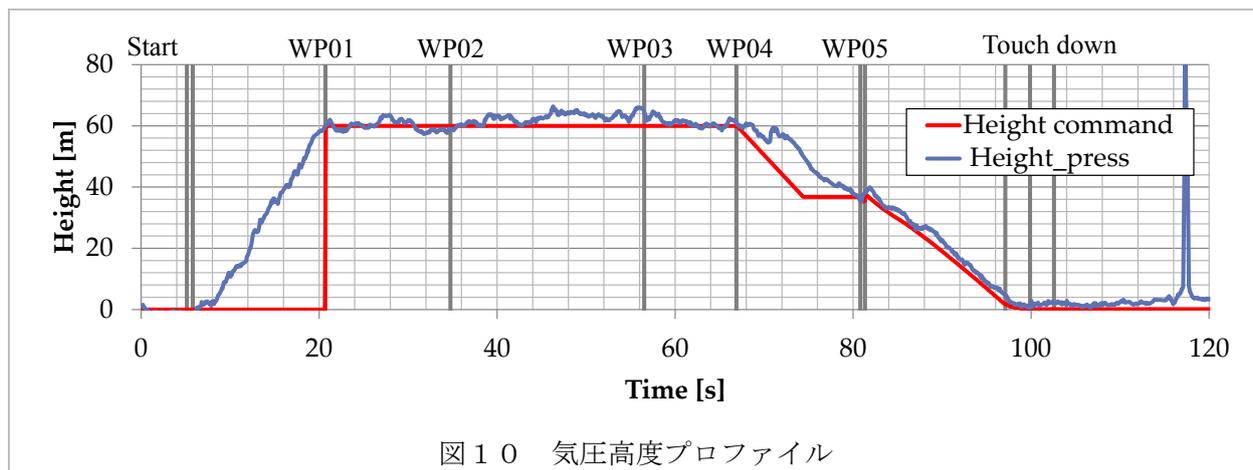


図 10 気圧高度プロファイル

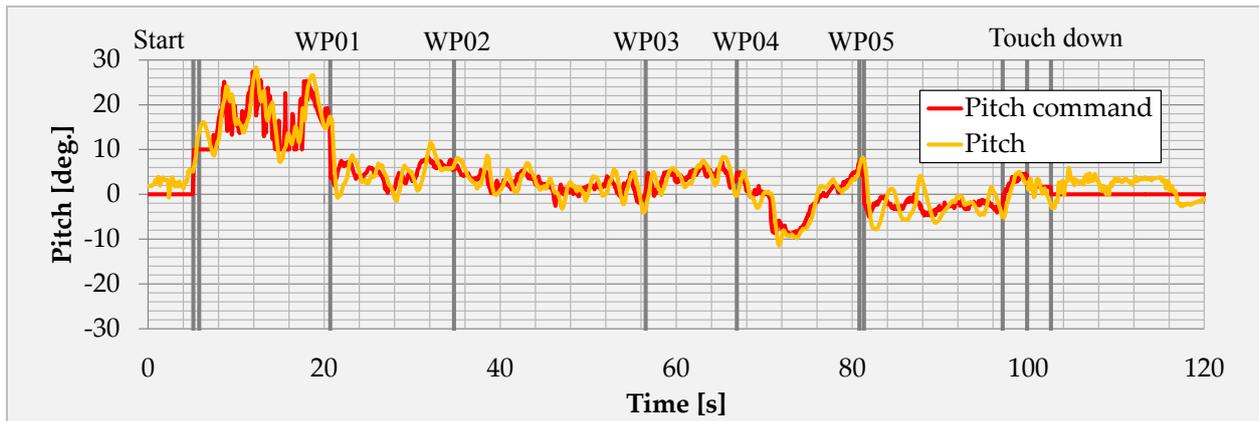


図 1.1 ピッチ角プロファイル

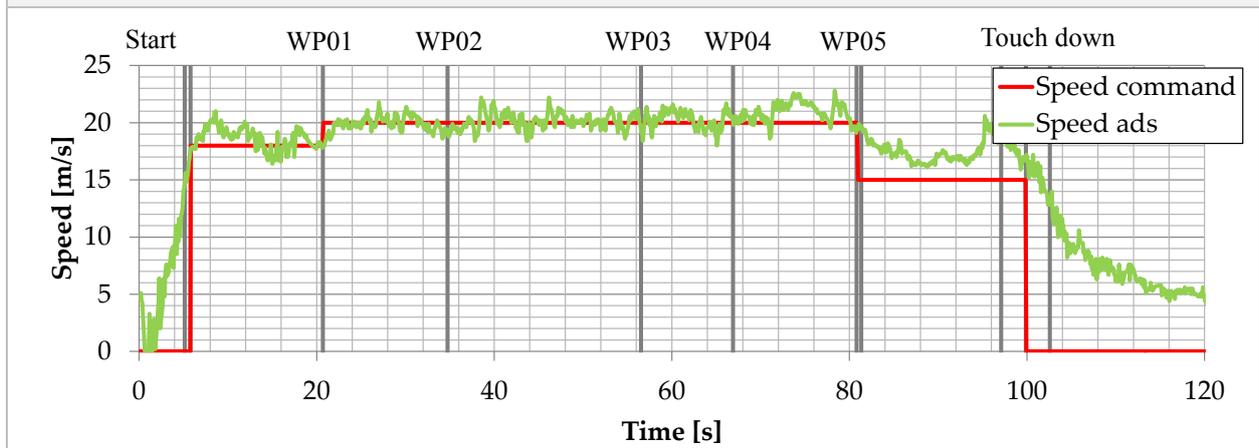


図 1.2 速度プロファイル

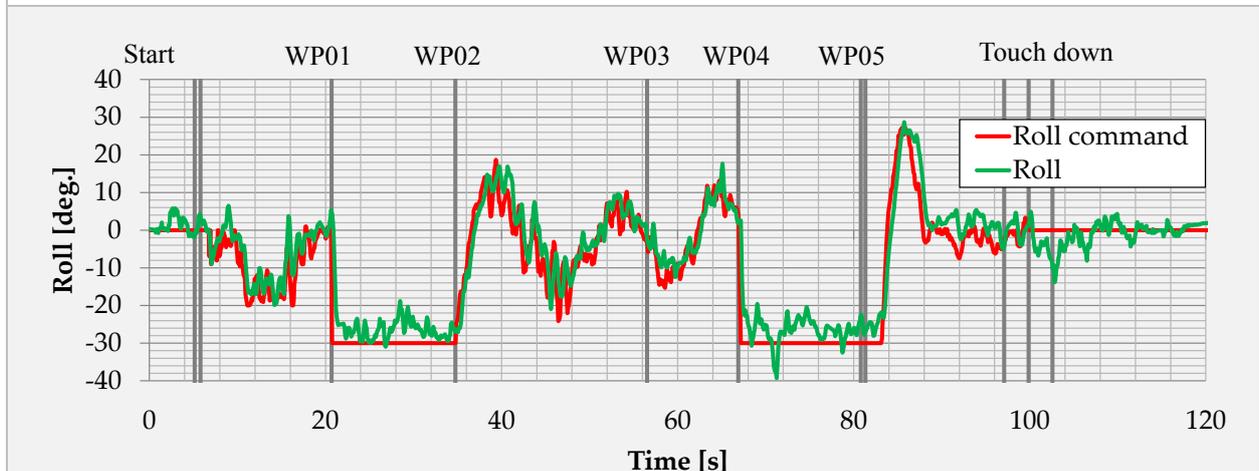


図 1.3 ロール角プロファイル

5. まとめ

これまで単体で実施してきた飛行モードを統合し、離陸からトラック飛行を得て着陸までの完全自律飛行を達成した。本飛行では、想定した飛行ルート及び速度プロファイルからのずれが発生した。今後、その要因を明確にするとともに可能な対策を施すことにより、設定飛行ルートに対してより位置精度の高い飛行の実現を目指す。

参考文献

- [1] M. Ueba, Y. Takaku, K. Takahashi, T. Kamata, “Design and Experiment of Guidance and Control System for Autonomous Flight toward a Small-scale Unmanned Supersonic Airplane”, 2017-g-04, 31st ISTS, 2017.6.3-9-, Matsuyama, Ehime
- [2] 高橋, 上羽, “小型無人超音速実験機向け離陸滑走制御系と性能評価”, 2E05, JSASS-2015-5120, 第53回飛行機シンポジウム, 2015.11.11-13, 松山
- [3] 高橋, 上羽, “小型無人超音速実験機向け離陸制御系の飛行検証”, 2M07, JSASS-2016-5141, 第54回飛行機シンポジウム, 2016.10.24-26, 富山
- [4] 上羽, 高久, “小型無人超音速機向けトラック飛行実証実験” 航空宇宙機システム研究センター 2015年次報告書, pp.115-118
- [5] 横田, 上羽, “小型無人超音速実験機の自律飛行に向けた着陸制御系の飛行評価”, 2E04, JSASS-2015-5119, 第53回飛行機シンポジウム, 2015.11.11-13, 松山
- [6] 上羽, 横田, “小型無人超音速実験機の自律飛行に向けた着陸制御飛行検証”, 2M06, JSASS-2016-5140, 第54回飛行機シンポジウム, 2016.10.24-26, 富山