



## 小型無人超音速機向けトラック飛行実証実験

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: 2016-12-28 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 上羽, 正純, 高久, 雄一 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/00009137">http://hdl.handle.net/10258/00009137</a>

# 小型無人超音速機向けトラック飛行実証実験

上羽 正純（航空宇宙システム工学ユニット 教授）

○高久 雄一（航空宇宙システム工学ユニット 助教）

## 1. はじめに

本学の航空宇宙機システム研究センターでは、大気中を高速・高高度で飛行するための基盤技術の研究開発が行われており、そのテストベッドとして小型無人超音速機の開発が進められている。本小型無人超音速機の実現には、滑走、離陸、上昇、旋回、水平飛行、下降、着陸の各種飛行モードの自律飛行実現が不可欠である。

本研究では、水平飛行と旋回の各飛行モードを繰り返し行ってトラック形状の経路を飛行するトラック飛行の制御を考える。トラック飛行の実現には、水平飛行モードと旋回モードの制御系をそれぞれ設計し、それらの飛行モードを切り替えて姿勢を制御する必要がある。しかし、一般的には飛行モードが切り替わるのと同様には機体の姿勢は変化せず、遅れが存在する。遅れを考慮しないと、旋回モードから水平飛行モードに切り替える場合では、所望の旋回より大きく旋回してしまいトラック形状で飛行しないことが問題となる。

そこで本報告では、トラック飛行のための制御手法を提案し、ラジコン飛行機を転用した小型自律無人航空機による実験で検証した結果を報告する。

## 2. 制御系

### 2-1. トラック飛行

航空機をトラック飛行させるために、図1に示すように水平飛行モードと旋回モードを組み合わせ、切り替える。

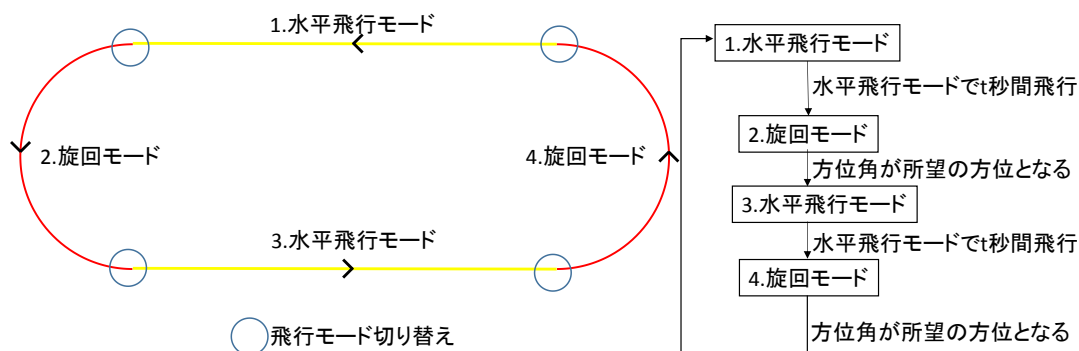


図1 トラック飛行における使用モードと切り替え

トラック飛行するためには、水平飛行モードの飛行距離が一定である必要がある。そこで、本手法では航空機の色度は一定になるよう制御されていると仮定し、水平飛行モードの時間を定めることで水平飛行モードにおける飛行距離が一定となるようにする。また、旋回モードから水平飛行モードへの切り替えは方位角が所望の値となったら、切り替えることとする。

このとき、旋回モードに切り替わったときの方位角の値から 180 deg 回転後、水平飛行モードに切り替えるように設定する。ただし、180 deg 回転後に水平飛行モードに切り替わるようにす

ると、立ち上がりから整定するまでの時間に遅れがあることから 180 deg を超えて回転することが問題となる。そこで、方位角が 180 deg 以下の値に到達した時点で水平飛行モードへ切り替えることとする。

一方、水平飛行モードから旋回モードへ切り替えにおいては、応答の遅れによって水平飛行する距離が伸びる。しかし、トラック形状の経路を飛行するという観点では影響が小さいと考えられるので、遅れについては考慮しないこととする。

## 2-2. 水平飛行モード

水平飛行モードでは、機体の姿勢が一定となるように姿勢角を制御し、かつ速度、高度を一定にする必要がある。そこで、水平飛行モードにおける制御系を図2のように構成してエルロン、エレベータ、スロットル、ラダーへの入力量 $\delta_a$ 、 $\delta_e$ 、 $\delta_t$ 、 $\delta_r$ を算出することで、ロール角、ピッチ角、方位角の各姿勢角および速度、高度を制御する。

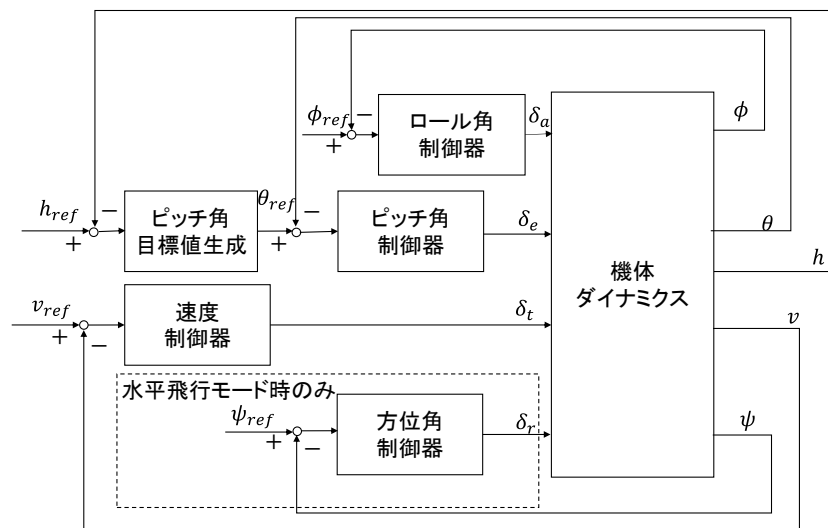


図2 水平飛行モード，旋回モード制御系

## 2-3. 旋回モード

旋回モードでは速度、高度、旋回半径一定で旋回をするように制御する。旋回半径 $R$ は、垂直方向の釣り合いより、重力加速度 $g$ とすると次式で与えられる。

$$R = \frac{v^2}{g \tan \phi} \quad (1)$$

(1)式より、速度一定ならば、旋回半径はロール角のみに依存する。そこで、一定のロール角で機体がバンクするように制御し、半径一定の旋回を実現する。

旋回モード制御系は、ラダー操作による旋回運動への干渉を避けるため、図2のように水平飛行モード制御系から方位角の制御を除いたものとする。

## 3. 飛行実験

### 3-1. 使用実験機

本実験には、慣性航法装置、制御回路、無線通信モジュール、高度センサを搭載し誘導制御システム[1,2]が構築されたラジコン機を使用した。

### 3-2. 飛行条件

水平飛行モード、旋回モードにおけるロール角目標値、高度目標値、速度目標値は表1のように定めた。

表1 各飛行モードにおける高度、速度、ロール角、目標値

	水平飛行モード	旋回モード
高度	自動操縦開始高度	自動操縦開始高度
速度[m/s]	20	20
ロール角[deg]	0	-40

また、水平飛行モードの飛行時間は10秒とし、旋回モードから水平飛行モードへ切り替える方位角の設定値は、実験を行う白老滑空場の滑走路の方位から算出した。

### 3-3. 実験結果

白老滑空場での飛行実験の飛行軌跡を図3に示す。図の軌跡において、白線は手動操縦、黄が水平飛行モードでの自動操縦、赤が旋回モードでの自動操縦による飛行を示す。

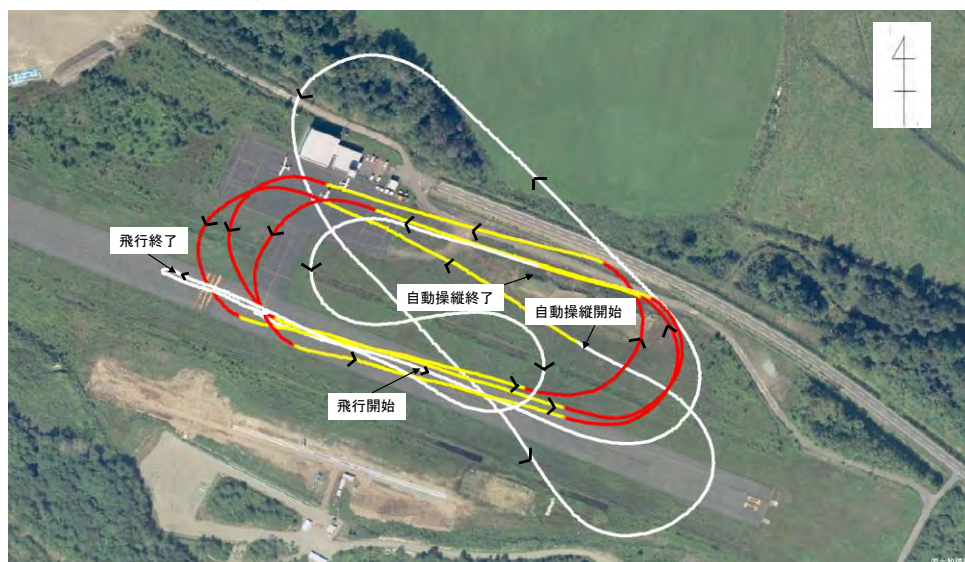


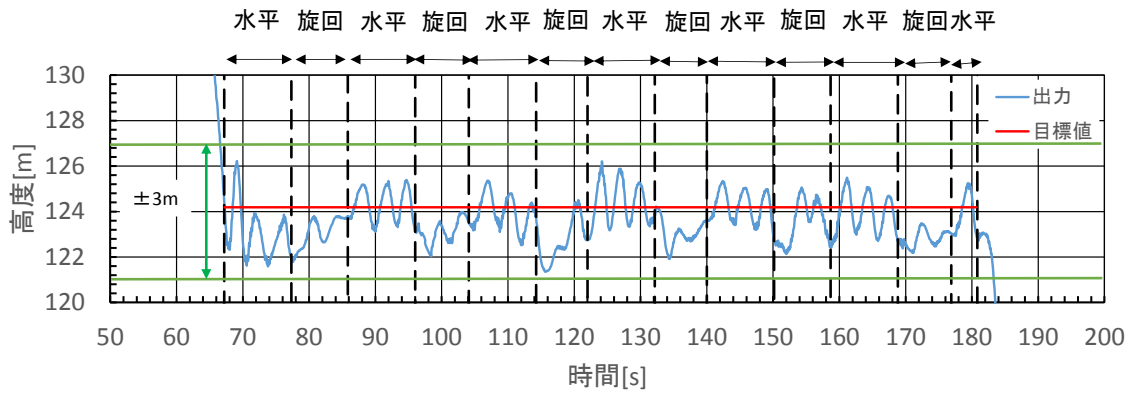
図3 飛行軌跡

図3より、飛行軌跡がトラック形状であることが確認できる。

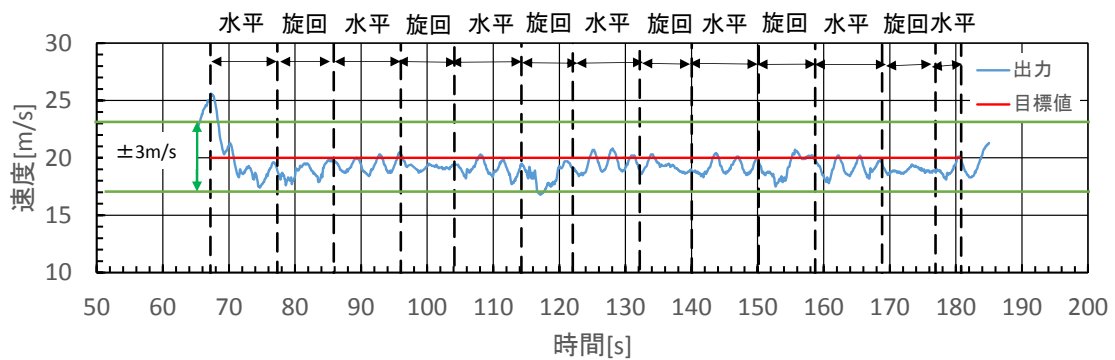
次に、自動操縦時の高度、速度、ロール角のプロファイルを図4に示す。高度は $\pm 3$  m、速度は $\pm 3$  m/s程度に制御されていることがわかる。ロール角は、目標値と $5$  deg程度の偏差があるが、水平飛行、旋回の各モードで $\pm 3$  deg程度に制御されていることがわかる。また、飛行モードの切り替え時に2秒程の応答の遅れがあることが確認できる。以上より、水平飛行モードと旋回モードを切り替えるときに、姿勢は不安定にならず、高度、速度を維持できていることを確認した。また、応答の遅れがある場合でも飛行モードの切り替え条件を適切に定めることで、トラック飛行が可能であることを確認した。

## 4. まとめ

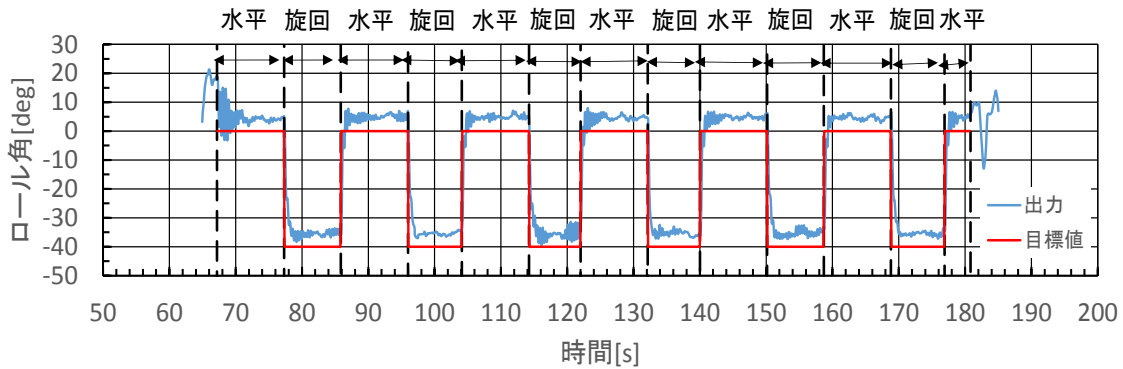
ラジコン機を用いたトラック飛行の実証実験を行ない、良好な結果を得た。今後は、目標値と出力との偏差を除去するとともに、一定のトラック上を飛行させるために、水平飛行モード時の飛行位置の制御系を組み込む。



(a) 高度



(b) 速度



(c) ロール角

図4 飛行実験における高度，速度，ロール角プロフィール

**参考文献**

- [1] 上羽, “誘導制御及び遠隔監視制御回路の開発,” 年次報告書 2012 航空宇宙機システム研究センター 室蘭工業大学, 2013年7月, pp.84-87
- [2] 上羽, 野口, 竹内, “小型無人航空機向け遠隔監視制御系用無線通信装置の構築,” 年次報告書 2013 航空宇宙機システム研究センター 室蘭工業大学, 2014年8月, pp.78-80