



室蘭工業大学

学術資源アーカイブ

Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive



無人航空機向け飛行経路生成法の検討

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, 前田, 庸佑 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/00009791

無人航空機向け飛行経路生成法の検討

○上羽 正純(航空宇宙システム工学ユニット 教授)

前田 庸佑(航空宇宙システム工学コース 学部 4 年)

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、小型無人航空機オオワシ 2 号機を用いて離陸から着陸までを自律的に行う誘導制御技術の研究が進められている。これら無人航空機が自律飛行する際は、複数のポイントを通る等の飛行経路を設定しなければならない。そこで既存の飛行経路設定手法を基に、適切な手法を選択するとともに、それを実現するための可能な限り簡易な誘導制御則についてシミュレーションにより評価を行った。

2. 飛行経路におけるウェイポイント

飛行経路は一般に直線部分と曲線部分で構成されており、この飛行経路設定に際しては、航空機のウェイポイントとの関係が重要となる。航空機がウェイポイント近傍通過する場合のウェイポイントはフライバイ(F/B)ウェイポイントと称され、直上通過するウェイポイントはフライオーバー(F/O)ウェイポイントと称されている。また、直線でウェイポイントを結んだ経路はTF(Track to Fix)レグ[1]、固定半径円弧で結んだ経路はRF(Radius to Fix)レグと称されている。

3. 飛行経路を実現する誘導制御則

本検討では、2 種類の飛行経路を想定する。

3-1. TF レグによる飛行経路

全て TF レグで飛行経路を設定する。この場合、ウェイポイント 2 とウェイポイント 3 は必ずフライバイウェイポイントとなる。このウェイポイントをフライバイさせるためには、実際には旋回となり、旋回の開始時及び、終了時には飛行モードを切り替える必要がある。安定距離については、無人航空機における既存のデータは無いため、任意の距離をとる。ノミナル経路を図 3 に示す。

3-2. TF レグと RF レグによる飛行経路

本検討では、TF レグと RF レグを組み合わせた飛行経路を提案する。旋回に RF 旋回（固定半径旋回）を使用する飛行経路である。図 8 に RF 旋回と TF レグを組み合わせたノミナル飛行経路を示す。RF 旋回（固定半径旋回）の場合は、円弧状の経路の上を正確に飛行しなければならないので、旋回時に位置制御をする誘導則が必要である。

3-3. RF 旋回における誘導制御則

RF 旋回とは、RF レグ上を飛行させる場合の飛行モードのことである。RF 旋回は、確実にウェイポイントを通過させることができるものの、旋回中の位置制御も必要となってくる。このため、旋回のためのバンク角以外に方位角 ψ についても誘導則ならびに、回転半径をあらかじめ決めた回転半径 R_n で回転させるための制御系が必要となる。図 1 にそのための誘導制御系を示す。

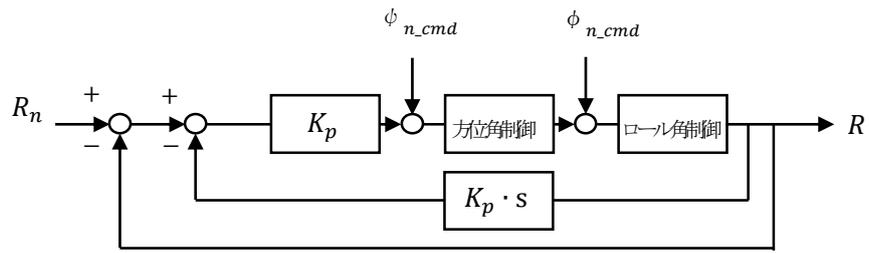


図1 誘導制御系ブロック図

3-4. 飛行経路設定での問題点

複数のウェイポイントを設定した場合、前述のように、航空機がウェイポイントの近傍通過で良い場合と直上通過が必須な場合は、構成するレグが異なる。ウェイポイント間を必ず1つのレグでつなぐとした場合、図3、図8に対して、旋回半径に制約がない場合には時間的には図3の場合が時間最小となる。旋回半径の制約があるため、図3が実現できない場合には必然的に図8となる。旋回半径の制約は速度と荷重倍数すなわちバンク角より求まる。また、飛行経路の位置誤差の観点からは、直線飛行、旋回飛行の切替による応答が誤差となる。したがって、TFレグとRFレグ+TFレグになる飛行経路の実現性について、バンク角および飛行速度を考慮した上で、位置誤差を評価する必要がある。

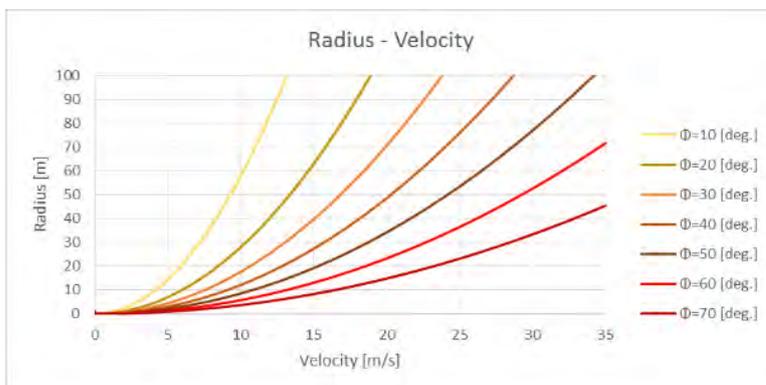
4. シミュレーションによる評価

4-1. 想定機体

本検討では、オープンソースの数値計算システムである”Scilab”を使用して、シミュレーションを実施する。また、対象機体は電動ラジコン機-京商カルマートα40である。

4-2. バンク角と飛行速度

バンク角と飛行速度の関係式は以下のように表される。また、各バンク角における旋回半径と飛行速度の関係を図2に示す。



$$\tan \phi = \frac{v^2}{g \times R}$$

図2 旋回半径と飛行速度

4-3. TF レグによる飛行経路の性能確認

全て TF レグによる飛行経路の 1 例における, 制御系切替時の過渡応答についてシミュレーションによって評価する. バンク角を 60[deg.] とした. シミュレーションには, 表 1 に示す切替条件および既存の誘導制御系を使用し, 14 秒間実施した.

4-3-1. 制約条件

- (1) 横方向系のみを考慮
- (2) 速度一定, $V = 20 [m/s]$
- (3) 荷重倍数制限, $n \leq 3$
- (4) ロール角制御で旋回

4-3-2. 切替条件

切替条件を表 1 に示す. ここで, (旋回半径+0.5 V)は, 応答性を考慮した暫定値である.

表 1 切替条件

切替条件①	(目標WP-機体位置)<(旋回半径+0.5V)
切替条件②	方位角
切替条件②を満たした後, 目標WP切替	
切替条件③	(目標WP-機体位置)<(旋回半径+0.5V)
切替条件④	方位角
切替条件④を満たした後, 目標WP切替	

4-3-3. シミュレーション結果

シミュレーション結果を図 3 ~ 7 に示す.

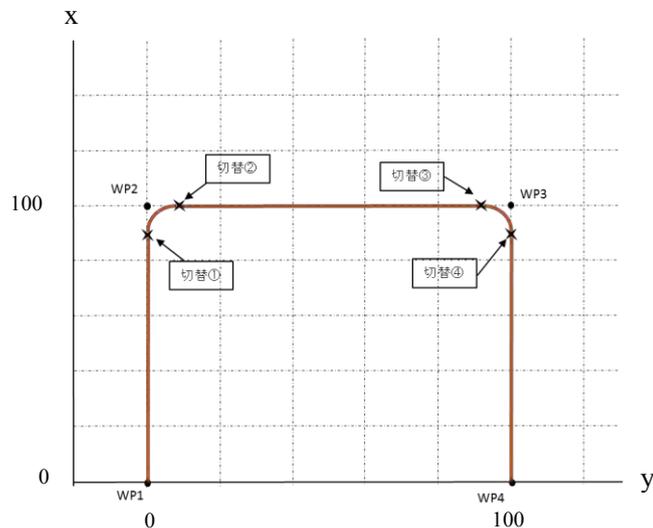


図 3 ノミナル飛行経路

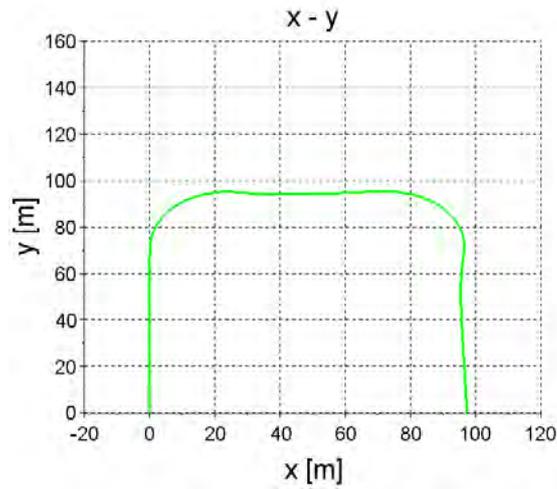


図4 飛行経路

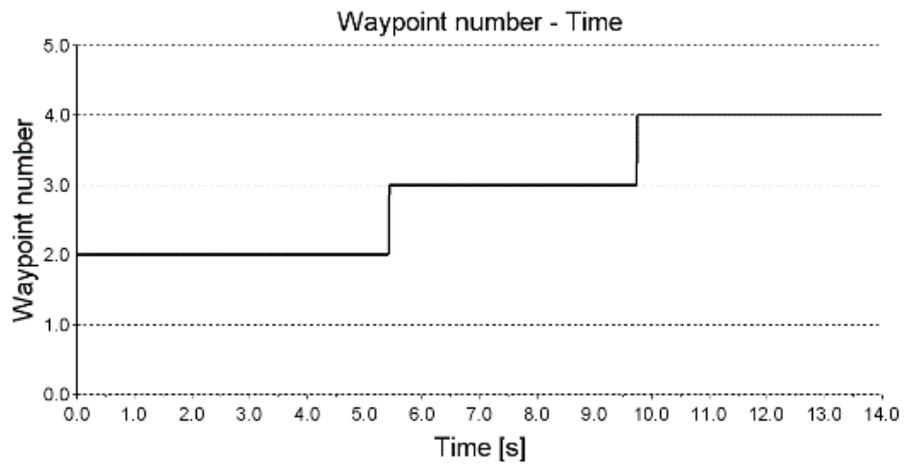


図5 ウェイポイント番号

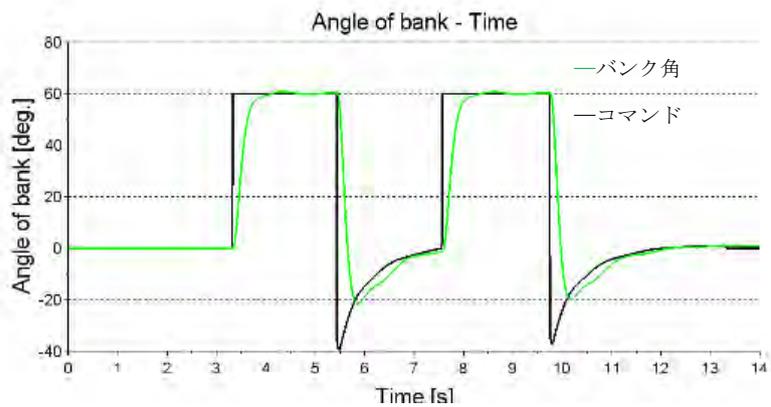


図6 バンク角

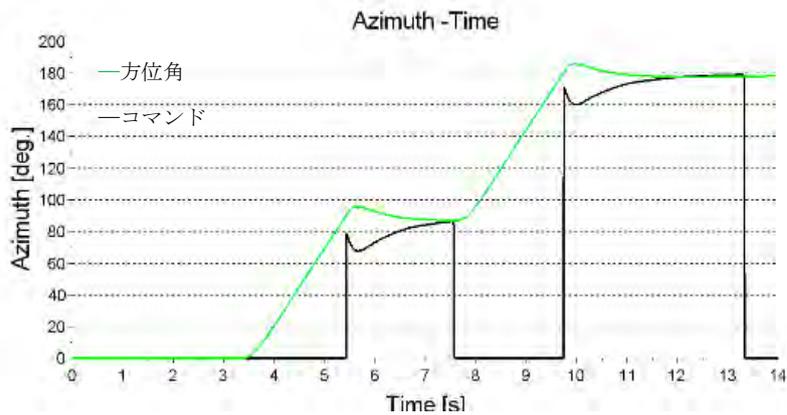


図7 方位角

4-4. TF レグと RF レグによる飛行経路の性能確認

TF レグと RF レグを組み合わせた飛行経路の 1 例における，制御系切替時の過渡応答についてシミュレーションによって評価する．本検討で提案した誘導則，および表 2 に示す切替条件を使用して，20 秒間のシミュレーションを実施した．

4-4-1. 制約条件

- (1) 横方向系のみを考慮
- (2) 速度一定， $V = 20 [m/s]$
- (3) 荷重倍数制限， $n \leq 3$

4-4-2. 切替条件

切替条件を表 2 に示す．ここで，(0.1 V)は，応答性を考慮した暫定値である．

表 2 切替条件

切替条件①	(目標WP-機体位置) < (0.1 V)
切替条件②	方位角
切替条件②を満たした後，目標WP2からWP4へ切替	

4-4-3. シミュレーション結果

シミュレーション結果を図 8 ~ 1 2 に示す．

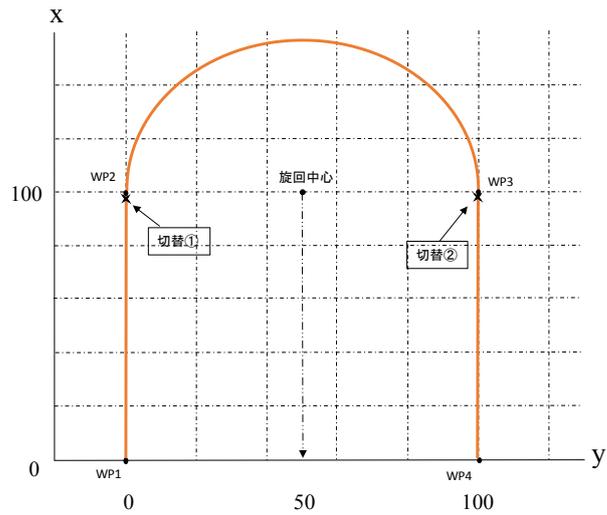


図8 ノミナル飛行経路

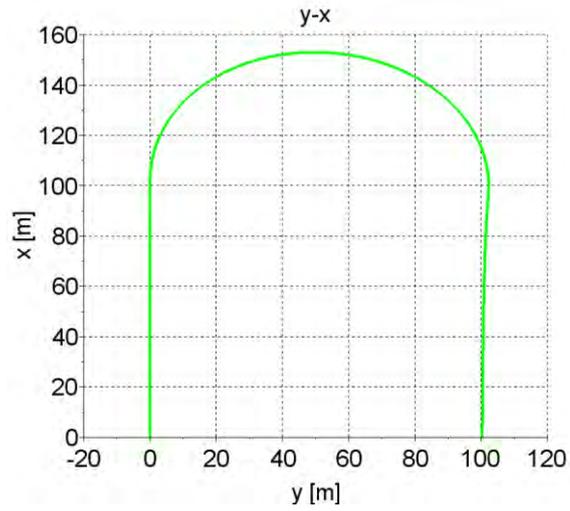


図9 飛行経路

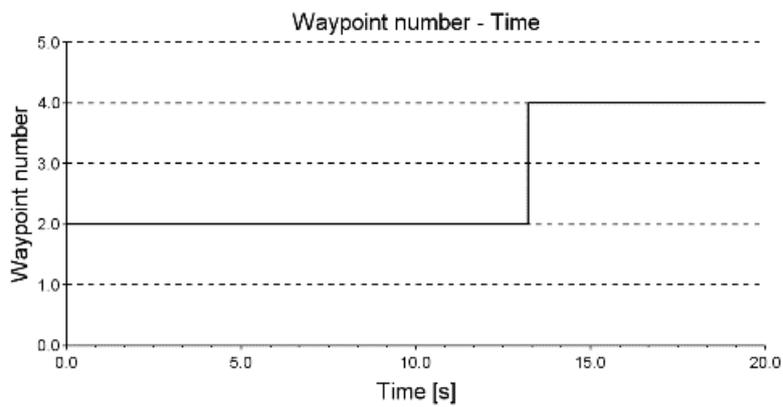


図10 ウェイポイント番号

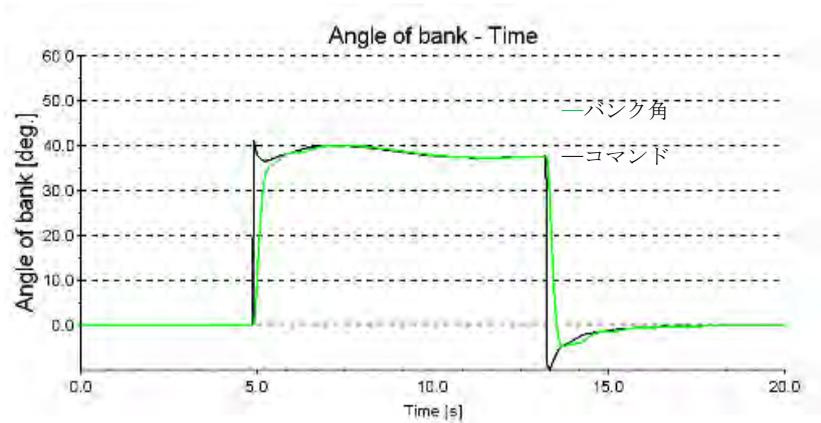


図 1 1 バンク角

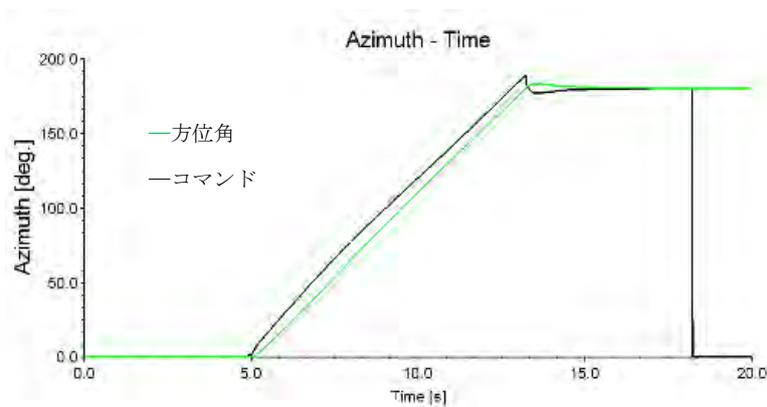


図 1 2 方位角

5. 結果

RF 旋回, 2 種類の飛行経路, 全てにおいて過渡応答による誤差が存在した. しかし, ノミナル飛行経路に近い形の飛行軌跡を得ることができた. バンク角と方位角はそれぞれのコマンドに追従していた. 特に, RF 旋回は TF レグでの旋回 (バンク角制御のみ) に比べて, 過渡応答による誤差を位置制御によって補うことが出来るため, より追従性が高い. また, RF 旋回は安定距離が必要ないことに加え, 切替点が少ない点においても非常に有効な旋回手法である. 本検討の目的の一つである, 飛行経路に沿った飛行ができるような旋回を基本とした誘導則, および制御系切替時の過渡応答についての評価を達成した.

参考文献

[1] 中西 善信, RNAV 方式の設計と原理, 鳳文書林出版販売 (株)