

知的エージェント型自律無人航空機の研究

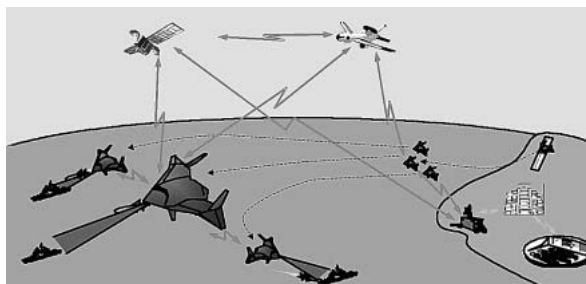
Research on Intelligent Agent-based Unmanned Aerial Vehicles

鈴木 智*1
Satoshi Suzuki

平沼 敏*2
Satoshi Hiranuma

藤本 淳*3
Atsushi Fujimoto

吉原 洋光*3
Hiromitsu Yoshihara



近年、世界的に無人航空機が急速に発展している。この無人航空機に関して、我々はM&S (Modeling & Simulation) を活用した運用構想策定技術、センサインテグレーション技術、制御技術等の種々の技術基盤を培ってきた。また、今後の無人航空機に必要な重要技術となる自律技術についても、重点的に研究を進めている。人工知能の考え方を取り入れ、“知的エージェント”として無人航空機を捉え、連続時間システムと離散事象システムを同時に扱うことが可能な自律飛行管理システムを構築し、シミュレーションにより検証した。今後飛行試験により、有効性、実用性の検証を実施する計画である。

1. はじめに

近年、世界的に無人航空機 (UAV: Unmanned Aerial Vehicle) が注目を集めている。古くはベトナム戦争、中東戦争の頃より戦場での偵察監視任務等に運用され、最近ではアフガニスタンやイラクでの活躍で大きな注目を受けている。様々な技術進歩により、無人航空機の有効性や役割は増加し、多種多様な無人航空機が配備・運用され、重要な任務を果たしている。現在欧米諸国では、攻撃型の無人航空機等、より複雑なミッションを目的とした無人航空機の開発も進められており、今後無人航空機の占める割合は更に増加し、多様な発達が進むと予想されている。

我々は、この無人航空機に対し、各種研究・開発を実施し、その技術基盤を培ってきている。本稿では、これまで実施した無人航空機に関する研究・開発についてを述べるとともに、今後、無人航空機の運用拡大及び安全性、信頼性向上のために必須となる自律技術について、人工知能的観点から進めている研究の概要と今後の展望について述べる。

2. 無人機に関する研究・開発の状況

これまで無人航空機に関する様々な研究・開発を通じて、運用構想／要求分析技術、航法・誘導・制御技術、センサインテグレーション技術、周辺状況認知技術及び自律飛行管理技術等の無人航空機の実現に重要不可欠な技術を培ってきた。これらの中で代表的な成果に

ついて、以下に概要を示す。

(1) 運用構想／要求分析技術

新たな装備品の開発においては、初期段階における運用構想 (CONOPS: Concept of Operations) や機能・性能要求分析が重要な位置付けを占める。我々は、シアターレベルでの模擬度の高い陸・海・空3自衛隊の統合防衛シミュレーションを構築し (図1)、様々なシナリオにおいて、関連装備との連携も含めた無人航空機の運用分析、要求仕様設定、有効性検討を可能としている。

また、無人航空機の任務管理、飛行管理を実施する地上管制装置のプロトタイプ (図2) を作成し、統合防衛シミュレーション内の無人航空機モデルと

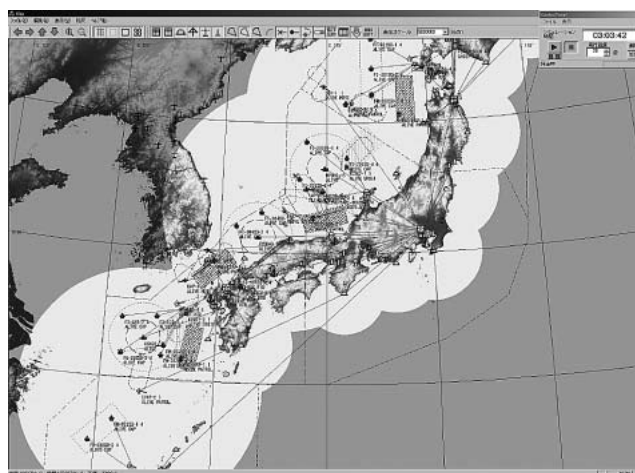


図1 統合防衛シミュレーション

*1 航空宇宙事業本部名古屋航空宇宙システム製作所航空機技術部主席

*2 航空宇宙事業本部名古屋航空宇宙システム製作所航空機技術部機上統合システム課主席

*3 航空宇宙事業本部名古屋航空宇宙システム製作所航空機技術部機上統合システム課



図2 地上管制卓プロトタイプと統合防衛シミュレーションとの接続

接続することにより、模擬運用環境下におけるマン・イン・ザ・ループでのマン・マシン・インターフェイス、機能性能評価を実施した。

(2) 航法・誘導・制御技術

無人航空機の運用では、パイロットは搭乗せず、地上オペレータは機体と離隔しているため、航法・誘導・制御技術が重要な技術となる。我々は社内研究及び官研究・開発への参加を通じて、この無人航空機に必要な航法・誘導・制御技術を培ってきた。

① F-104J 無人機化システムの開発⁽¹⁾

昭和62年以降防衛庁からの契約を受け、F-104J 無人機化システムの開発を行った(図3)。F-104Jを改修し機体のコントロールは、地上に設置した模擬コックピットから遠隔操縦により行うとともに、所定の飛行を実施するプログラム自律飛行機能を有し、機体と地上を結ぶ電波が途絶した場合等のような各種故障時の安全則も備えている。また難易度の高い着陸フェーズにおいて、確実に安全な無人機着陸を行うため、搭載TVカメラからのカラー視界映像、適正な着陸

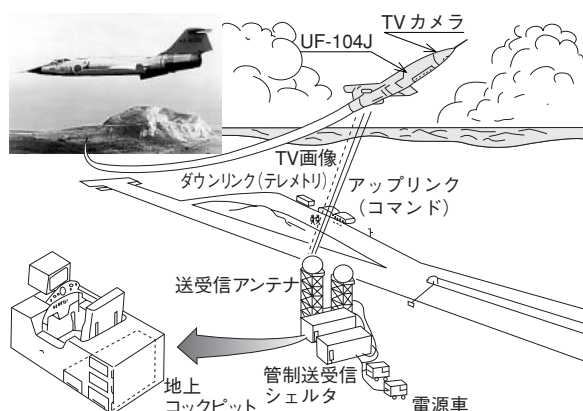


図3 UF-104J

経路を指示する着陸誘導指標等を地上パイロットに対して画面表示するとともに、横変位角制御機能と方位保持制御機能を有し、横風に対して容易な遠隔操縦性を与えた。

② ALFLEXの航法誘導制御システムの開発⁽²⁾

自動着陸技術確立を主題にNAL/NASDA(現JAXA, (独)宇宙航空研究開発機構)にて平成5年から実施されたALFLEX自動着陸実験機開発に参画し、中枢部である航法誘導制御システムを担当した。慣性センサユニット、DGPS(Differential Global Positioning System)、電波高度計等による複合航法を用いるとともに、通常の航空機と比較して不安定な空力特性に対してロバストな制御系を構成した。これにより平成8年には、我が国初の無人固定翼による自動滑走着陸を達成した。

③ 群制御技術⁽³⁾

上記のような単機での各種航法・誘導・制御技術に加え、無人航空機の運用拡大においては、複数の無人航空機を群として扱い、群全体を制御する“群制御技術”も重要となる。この群制御技術研究の一環として小型飛行実証機による自動フォーメーション飛行実証試験を行った(図4)。先頭機が8の字を描くようにオートパイロット機能により飛行し、随伴機はデータリンクにより取得した先頭機の情報に基づいて追従飛行に成功した。

(3) センサインテグレーション技術

無人航空機においてミッションを効率的に実施するためには、センサインテグレーション技術も重要となる。一般に、情報収集ミッションの場合、EO/IR(Electro-Optical/Infra-red)カメラ、合成開口レーダ、電波情報収集機器等のセンサが搭載される。このうち、電波情報収集ミッションにおいて

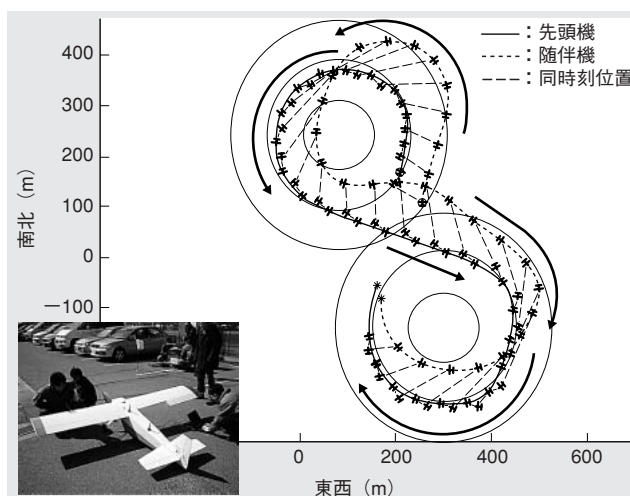


図4 自動フォーメーション飛行中の2機の飛行軌跡

は、電波情報収集用のアンテナの空力抵抗が機体性能に与える影響を極小にするため、機体形状に一体化したコンフォーマルアンテナのプロトタイプを開発し、空力抵抗の低減検討及び電波情報収集ミッションの成立性を実施した。図5に示すように胴体や主翼下面形状と一体化したアンテナを試作し、アンテナ・パターンを取得、実用性を評価した。

(4) 周辺状況認知技術

無人航空機を一般の空域で安全に運用するためには、他の航空機との衝突回避を確実に実現する必要がある。無人航空機では機体にパイロットが搭乗していないため、自機周囲の状況把握、特に自機以外の航空交通の認識が問題となる。このため、パイロット目視による衝突回避能力に相当する衝突回避システムが必要となり、他機を感知し、安全に回避するための小型軽量のシステムの実現が大きな技術課題となっている。我々はIR画像によるパッシブセンサーを用いた周辺航空機の感知・追尾アルゴリズムを開発し、実際に飛行中の航空機を撮影して、アルゴリズムの妥当性を検証した（図6）。



図5 電波情報収集センサ 電波特性取得試験



図6 衝突回避用状況認知システムのIR画像

3. 知的エージェント型自律無人航空機アルゴリズムの開発

無人航空機の動向として、偵察・監視ミッションを主体とするものに加え、近年では、攻撃等のより複雑なミッション要求の無人航空機開発が進められている。攻撃のように状況が時々刻々変化する複雑なミッションに複数の無人航空機が臨機応変に対応するためには、状況に応じたプラン変更等、無人航空機システム自体がある程度自律的に判断することが必要となる。このため、無人航空機の自律レベル向上に対しても、人工知能的観点をふまえ、重点的に研究を進めている。

(1) 知的エージェントとしての自律無人航空機

“知的エージェント”とは、ある環境をセンサで知覚し、環境に対して動作するものである。無人航空機をこの知的エージェントとして捉えた場合、気象状況や自機状況、周囲状況等の環境をセンサで知覚する“状況認知”，ミッション達成率，生存率等を最適化しよう行動を決定する“意思決定”，操縦舵面を動かす，センサを作動する，武器を発射するなどの“行動”の3つの機能に分けることができる。知的エージェントとしての無人航空機自律レベル向上は、この3つの機能すべてにおいて必要となるが、その中でも中心的な機能である“意思決定”機能についての研究状況を述べる。

(2) パイロットタスクと無人航空機のタスク

無人航空機の意思決定の検討に際して、攻撃ミッション中にパイロットが行う判断をもとに無人航空機の意思決定機能を明確化した。パイロットのミッション中の意思決定は大きく分けて以下の2種類があるものと考えられる（図7）。

- ① フェーズ管理やタスク管理（僚機とのタスク分配）等，順序的な判断が必要となる“離散的”意思決定
 - ② 攻撃パターン設定等，機体の運動方程式を用いた最適化が必要となる“連続的”意思決定
- したがって，自律無人航空機は，上記の“離散的判断”及び“連続的判断”の2種類の意思決定を同時に行う必要がある。

(3) 自律無人航空機アルゴリズムの検討

自律無人航空機の意思決定に必要な“離散的判断”，“連続的判断”の2種類の意思決定を行うには，通常それぞれ異なるアルゴリズムを構築し，別々に意思決定を行う。そのため，この2種類の意思決定を同時に最適化が可能なアルゴリズムとして，連続時間システムと離散事象システムを同時に扱うことが可能なアルゴリズムである“ハイブリッドシステ

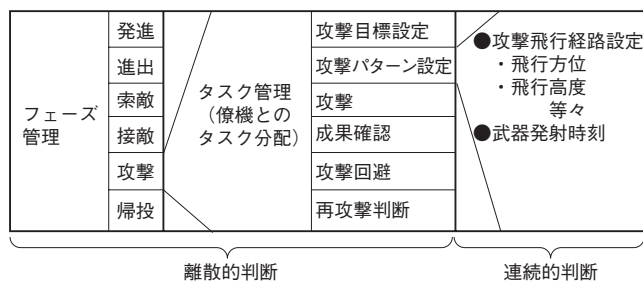


図7 意思決定の種類

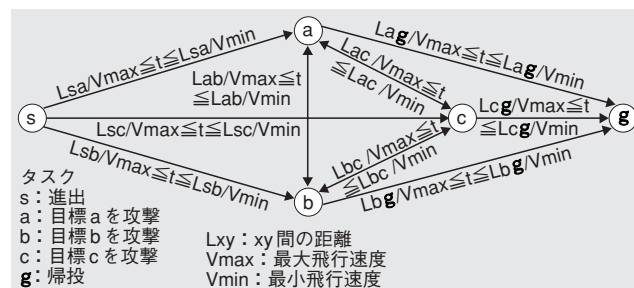


図8 ハイブリッドシステムによるモデリング

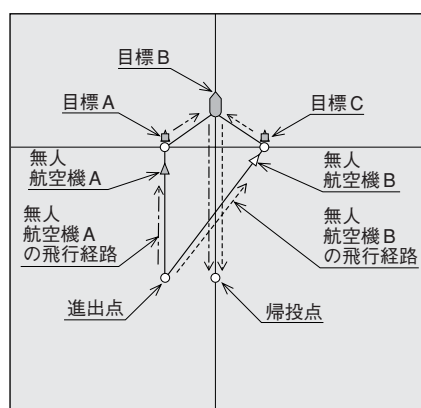


図9 シミュレーションツール

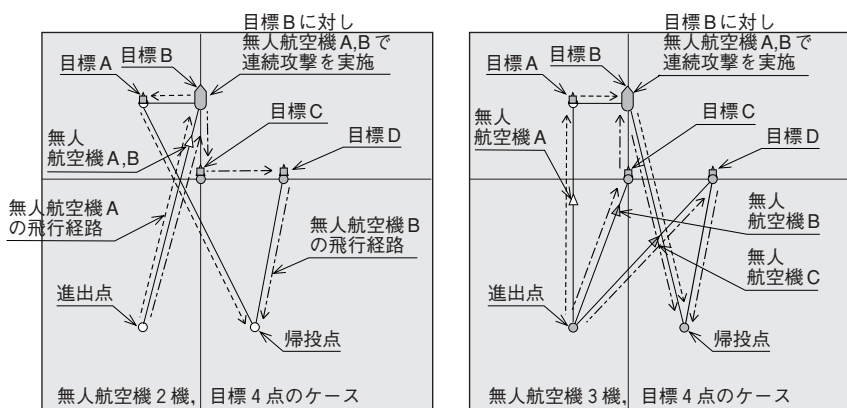


図10 シミュレーションによる検証

ム”を用いた自律飛行管理アルゴリズムを検討している。例として、複数の目標に対して攻撃を実施する複数の無人航空機についての検討結果を示す。無人航空機のタスクをハイブリッドシステムによりモデル化した例を図8に、シミュレーションツールを図9に示す。指定した攻撃目標の位置に対し、複数の無人航空機はそれぞれ任意の順序で任意の目標を攻撃可能とし、制約条件として攻撃目標Bのみは2機での連続攻撃が必要であるとした。すべての目標への攻撃を最短時間で遂行し、帰投するミッションを“ハイブリッドシステム”による自律飛行管理システムによりプランニングした。目標の数及び位置固定で無人航空機の数を変化させたケースについて、この自律飛行管理システムにより設定されたミッションプランを図10に示す。複数の攻撃目標に対し、最短時間で攻撃が終了し、かつ攻撃目標Bに対しては、連続攻撃を実施するよう自律的に役割を分担したプランニングが実現できている。

(4) 飛行実証構想

無人航空機の自律アルゴリズムの今後の検証として、飛行実証を計画している。シミュレーションとは異なる実環境下において、実センサ出力下での意思決定の有効性、リアルタイム性等を評価する計画である。

4. ま と め

これまで社内研究や官研究への参画により、M&S技術を用いた運用構想策定技術や、センサインテグレーション技術、制御技術等、無人航空機の開発に必要な種々の技術を蓄積してきた。また、無人航空機の運用拡大の重要な鍵となる自律技術について、人工知能的観点から知的エージェントとして無人航空機を定義し、その自律判断アルゴリズムとして“ハイブリッドシステム”を採用し有効性をシミュレーションにより検証した。今後、飛行試験で有効性、実用性を検証する計画である。

参 考 文 献

- (1) 炭田潤一郎ほか, F-104J 無人機化システムの開発, 三菱重工技報 Vol.30 No.6 (1993)
- (2) 浅井滋ほか, ALFLEX の航法誘導制御システムの開発, 三菱重工技報 Vol.34 No.2 (1997)
- (3) 増子洋一郎, 航空機群の協調制御に向けて, 三菱重工技報 Vol.42 No.1 (2005)



鈴木智



平沼敏



藤本淳



吉原洋光