

Title	自律型飛行船ロボットの目標物の追従に関する研究
Author(s)	塚本, 洋介
Citation	
Issue Date	2002-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/378
Rights	
Description	Supervisor: 藤波 努, 知識科学研究科, 修士

修士論文

自律型飛行船ロボットの目標物の追従に関する研究

指導教官 藤波 努 助教授

北陸先端科学技術大学院大学
知識科学研究科知識社会システム学専攻

950060 塚本 洋介

審査委員： 藤波 努 助教授（主査）
中森 義輝 教授
林 幸雄 助教授
佐藤 賢二 助教授

2002 年 2 月

目次

1	研究の目的と背景	1
1. 1	研究の目的	1
1. 2	研究の背景	1
1. 3	本論文の構成	2
2	飛行ロボット	3
2. 1	概要	3
2. 2	航空機の分類	4
2. 3	研究プラットフォームの選定	7
3	研究プラットフォーム	8
3. 1	構成	8
4	実験	14
4. 1	タスク	14
4. 2	アルゴリズム	14
4. 3	実験結果	17
4. 4	PID 制御導入の検討	20
5	まとめ	23
6	今後の課題	24
	参考文献	25
	謝辞	26

第1章 研究の目的と背景

1. 1 研究の目的

本研究では、対象物の捕捉、並びに追従を効率的に行なうことのできる、自律型飛行船ロボットシステムの構築を行なう。構築したシステムには、応用の観点から設定したタスクを遂行させ評価を行なうと共に、自律型飛行船ロボットを構築する上での技術課題を明確なものとする。

1. 2 研究の背景

外界に対する知覚能力を持ち自律的に動作するロボットは、工場やオフィスでの使用を目的とする実用的な「道具」として、また、AIBO や ASIMO に代表されるようなエンターテインメント性を持つ「ペット」や「友人」として、あるいは、生物学や認知科学等の分野で生物や人間を理解するための「モデル」として、様々な研究が行なわれている。中でもロボットの移動に関してはそれが最も基本的で重要な行動であることから、これまでも多くの研究が行なわれてきている。これらの研究では、ソナーやカメラ等の種々のセンサを用いて外界の状況を認識すると共に、ロータリーエンコーダや GPS 等の内部センサを用いて自己の内部状態を認識し、これらの情報から目標位置に到達するための最適な経路を探索する、簡便で高速な手法を確立することを目的としている。これらの研究の対象は、おおむね地上ロボットで、水中や空中で稼動するロボットを対象とした研究はそう多くない。

自律型飛行ロボットは、高所や瓦礫の散乱した場所など、地上ロボットでは進入することのできないような場所で稼動でき、また、高い位置からの視点によって広域的な情報を獲得することができるなど、地上ロボットにない利点を備えていることから、以前より現場における実用化が期待され、様々な研究が行なわれてきた。しかしながら、今のところはまだ大きな成果をあげているとは言いがたい。その原因には、飛行

ロボット特有の問題である，ペイロード（積載重量）の問題があったと推察される．飛行ロボットは，ペイロードの制約から，自律行動に必要な外界の情報を取得するためのセンサ類を十分に搭載することができない．しかし，近年では，軽量で高性能な小型カメラが安価に入手できるようになり，また，高精度に位置情報を取得できるGPSの発達等から，アメリカで無人ヘリコプタ協会主催の完全に自律化された飛行ロボットの学生コンテストも開催されるなど，自律型飛行ロボット研究の裾野は確実に広がっている．また，菅野道夫[理化学研究所脳科学総合研究センター]は，この自律型飛行ロボット研究の急激な広まりに対し「実際のニーズもさることながらロボティクス研究の一環として，より困難な課題への挑戦もあろうかと思われる．」と述べており[1]，自律型飛行ロボットはこれからの発展が望まれる分野であると言える．

1. 3 本論文の構成

本稿では，まず，第1章で本研究の目的と背景を示し，本論文の構成を述べる．続く第2章で，飛行ロボット全般の知見として，飛行ロボットとして利用することが可能な航空機の形態について分類し，各々の特性から適用可能なタスクについて考察した上で，本研究のプラットフォームに飛行船を採択した理由について述べる．第3章では，実際の研究に用いた自律型飛行船ロボットのハードウェア構成を示し，その特徴を述べる．第4章では，本研究における実験タスクの設定について述べ，実験に使用した具体的なアルゴリズムについて解説する．また，行なった実験の結果から，開発した自律型飛行船ロボットを評価する．第5章では，実験結果について考察し，また，開発の過程において得られた知見についてのまとめを行なう．第6章では，得られた知見に基づき，自律型飛行ロボット研究における将来の展望について述べる．

第2章 飛行ロボット

本稿では，外部環境あるいは内的な状態をセンサによって認識し自律的に行動を決定して動作するような航空機を，自律型飛行ロボットと定義する．一口に航空機と言っても，その形態は様々で，特性も大きく違い，それに応じて応用に適したタスクも変わってくる．

2.1 概要

航空機が飛行するためには，重力に等しく方向が反対の力，つまり揚力を得る必要がある．その揚力を得るために空気の存在を前提とするか否かで，第一の分類が可能である．空気の存在を前提としない航空機はロケットやミサイルといった推進剤を用いて飛行するものが挙げられる．これらは使い捨てという性質上，自律型飛行ロボットとして運用するには不向きである．後者の，空気の存在に依存して揚力を得る航空機については，その揚力を得る手段によって更なる分類が可能である．ひとつは，空気の静力学，すなわちアルキメデスの原理によって浮力を得る方法であり，このような手段で揚力を得る航空機を，軽航空機と呼ぶ．飛行船や気球などがこの軽航空機にあたる．気球と飛行船の違いは，動力の有無によって決まる．気球は動力を持たないため，自律型飛行ロボットとしては適さない．空気を使って揚力を得るもうひとつの手段は，空気の動的な圧力によって生じる揚力を利用するもので，重航空機と呼ばれる．その代表的なものが，固定翼航空機，ジェット機やセスナ機などに見られるようないわゆる飛行機と，回転翼航空機，つまりヘリコプタである．また，最近開発が行なわれている昆虫型飛行ロボット[2]も，羽ばたきによって揚力を発生させるという原理上，重航空機に分類できる．表2.1に，航空機の分類と，自律型飛行ロボットのプラットホームへの適用についての可否を示す．

空気の存在を問わない		ロケット	×
空気の存在が前提となる	重航空機	固定翼型	○
		回転翼型	○
		昆虫型	○
	軽航空機	気球	×
		飛行船型	○

表 2. 1

ここで、このような自律型飛行ロボットが、実用上、遂行することになるであろうタスクについて述べる。飛行ロボットにとって、ペイロードが重大な問題となることは 1. 2 項で既に述べたが、これに加えて、飛行ロボットにとって反作用力の影響が無視できないことを考えれば、自律型飛行ロボットにマニピレータ（操作手）を搭載することは、現時点においては事実上不可能であり、その遂行にマニピレータを要する、外的環境内の物体に接触しなければ行なえないようなタスクは、実用的なものとは言い難い。これに、1. 2 項で述べた地上ロボットに対する飛行ロボットの利点を考慮すれば、自律型飛行ロボットの実用上最適なタスクは、ひとつは、写真撮影、自動車道の監視、地雷探査等の、カメラを用いての観測活動であり、もうひとつは、農薬散布、ビル火災の消火等の、静的な物体の輸送と散布であると考えられる。また、昨今のエンターテインメントロボットの盛況を考えれば、鳥や「空飛ぶ魚」を模したペットロボットとしての利用も考慮できる。

2. 2 航空機の分類

表 2. 1 で飛行ロボットとして利用可能であると評価した航空機について、更に詳細な概要を述べ、それぞれの特性から適用可能なタスクについて評価する。

2. 2. 1 固定翼型

重航空機の主流である固定翼型は、左右に対となる固定翼を持ち、モータやエンジン等によって推進し、翼面の上下に発生する流体の圧力差から揚力を得て飛行する。揚力を得るために一定速度以上の推進力が必要となるため、低速飛行やホバリングができないという欠点を持つ。そのため、固定されていたり低速で移動するような対象物を長時間に渡って追従、補足を行なうようなタスクを行なうことができない。また、高速で移動するということは周囲の状況が高速で変動することにも繋がり、制御が困難になる。障害物の多い環境での稼動はほぼ不可能である。利点としては、ペイロードを大きくとれることが挙げられ、輸送や農薬散布等の目的に適う。また、固定翼型の航空機の歴史は古く、その制御手法についての研究が進んでいることも利点である。

2. 2. 2 回転翼型

回転翼型は、翼のあるローターを高速に回転させることで揚力を得て飛行する。これは推進速度に依存することなく揚力を得られるためホバリングが可能であり、高出力の動力を搭載することによってペイロードも大きく取れるため、目標物の追従、捕捉、観測や、農薬散布等、現状において飛行ロボットに達成させるべきタスクの全てに適う。しかし、安定したホバリング動作を行なうことは、実際には非常に困難で、その制御は熟練した人間の操縦者でも容易にはいかない。また、障害物と接触すればローターはその機能を失って即座に墜落するし、鋭利なローターは人間を襲う凶器にもなりうるため、障害物の多い場所や、屋内のような閉所での稼動には向かないという欠点がある。

最近では固定翼型の飛行ロボット研究は大きく進展しており、東京工業大学菅野研究室が開発した半自律ヘリコプタを用いての有珠山観測などのミッションを成功させる[3]など、遠隔操縦による半自律空中ロボットとして各種制御技術が整備されつつある。

2. 2. 3 昆虫型

昆虫型は、かなり特殊な重航空機である。昆虫を模した翼を複数対に持ち、その翼

の羽ばたきによって渦を気体中に発生させることで揚力を得る。この渦によって揚力を得るためには、流体のレイノルズ数が小さくある必要があるため、昆虫型飛行ロボットのサイズはかなり小さいものに限定される。そのため、アクチュエータや、バッテリー、センサの類を、ほとんど搭載できず、未だ実用化には至っていないが、小型で屋内外を問わずどこにでも行くことができ、ホバリングも可能なことから、観測等の目的に用いることが期待されている。理論的には可能であるとして、米軍の資金提供などを受けて、Michael Dickinson らが実用化に向けての研究を行なっている。

2. 2. 4 飛行船型

飛行船型は、機体を取りまく気体に対して比重の小さな気体（安全性や入手の容易さから一般的にはヘリウムが用いられる）を気球内に充填することによって揚力を得て飛行する。揚力を得るためにある種の動力を準備する必要がなく、気球の漏れや急激な外気温の変化がなければ、ほぼ安定した揚力を得ることができ、極めて容易にホバリングを行なうことが可能である。しかしながら慣性の影響が無視できず、そのため応答性が悪いということが欠点として挙げられる。また、ペイロードが小さく、それを増大させるためには気球部分を極端に大きくしなければならないという欠点もある。風などの外乱に対しても非常に弱く、外乱に対抗しうるほどの高出力の動力を搭載するためには、やはりペイロードを増大させる必要がある。このことから、飛行船には、屋外での稼動を想定した大型のものと、屋内での稼動を目的とした小型のものがある。

大型の飛行船の利点は、ペイロードを大きく取れることにある。そのため、高出力の動力を搭載でき、風などの外乱に対抗しうる反力を出力でき、輸送等のタスクにも適している。巨大であるために、自律ロボットとしての利用は難しいが、成層圏プラットフォーム計画[4]という自律型大型飛行船の代表的な研究もある。これは、日本においては、国家主導で行なわれている。比較的気流の安定している成層圏に大型の飛行船を滞空させ、衛星の代替品としての通信プラットフォームを安価に得ることを目的としており、2004年にテスト機第一号を完成させる予定で研究が進められている。材料、機械、制御等、あらゆる工学分野を跨った統合的な研究計画であるが、その中でも GPS を用いた飛行船の自律的な定点保持制御技術の開発は重大な位置を占めている。

小型飛行船の利点には、安価で入手しやすく、メンテナンスが容易であることが挙げられる。これらの小型飛行船の気球部分は、内圧で形状を保持する軟式のものであるため、衝突に気を払う必要がなく、また、動作も緩慢であることから、屋内での稼動に適していることも利点として挙げられる。しかしながら、ペイロードが小さいため、動力に低出力のものしか用いることができず、センサ類も最低限のものしか搭載することができない。研究プラットフォームとしての好条件を備えているため、国内でも、「昆虫の視覚による帰巢行動を参考にした飛行ロボットのナビゲーション」[5]や「被災建造物内における情報収集のための小型飛行レスキューロボットの研究開発」[6]などの研究が行なわれているが、これらの欠点があるために、大きな成果はあがっていない。

2. 3 研究プラットフォームの選定

表2. 2は、前項で述べた航空機と適用可能なタスクとの間の関係を表したものである。

	観測, 探索	輸送, 散布	エンターテイメント
固定翼型	×	○	×
回転翼型	○	○	×
昆虫型	○	×	○
飛行船型	○	×	○

表2. 2

本研究のプラットフォームには、屋内での稼動が可能である点と、入手およびメンテナンスが容易な点から、2. 2. 4項で示した小型飛行船を用いる。上述の通り、同じ飛行ロボットの枠組みで括れるとはいえ、厳密にはその特性や用途、必要となる技術が様々に異なるため、本稿では飛行船型の飛行ロボットを特に飛行船ロボットと呼称する。

第3章 研究プラットフォーム

3.1 構成

本研究で用いる飛行船ロボットの概略を図1に示す.

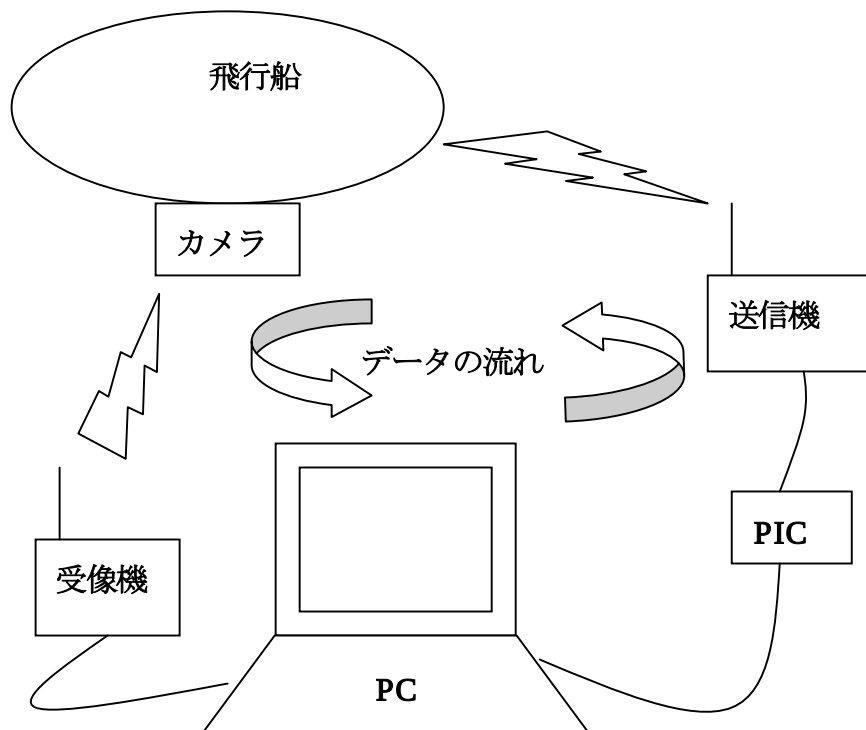


図1

これは、大きく分けて、以下の3つのユニットで構成される.

- ① 飛行船ユニット
- ② コントローラユニット
- ③ カメラユニット

各ユニット間の入出力関係を，図2に示す．

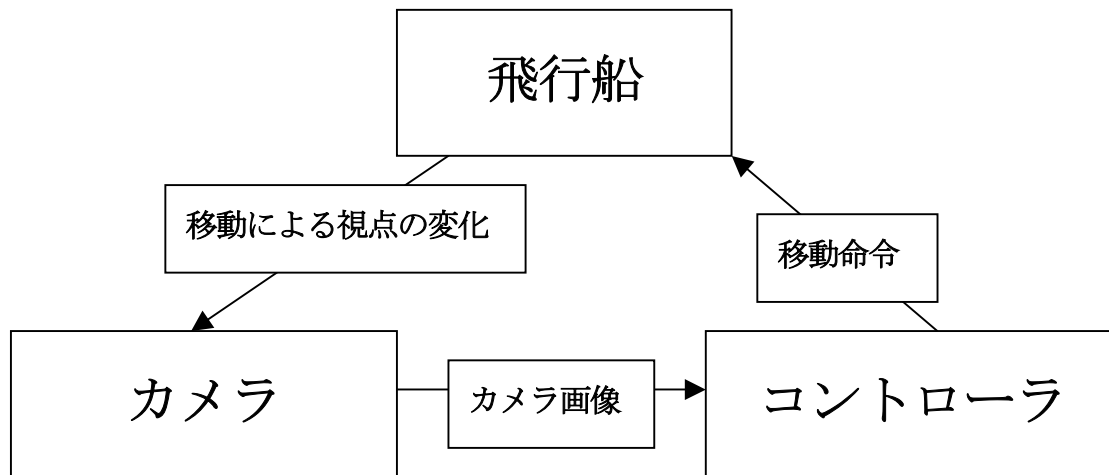


図2

飛行船に搭載されたカメラの取得した画像がコントローラに入力され，コントローラはその入力から移動命令を生成し，飛行船に送信する．カメラを搭載した飛行船が移動命令に従って動き，カメラは移動後の画像を再びコントローラに入力する．

3. 1. 1 飛行船

飛行船部には，市販の飛行船ラジコン[TRI-TURBOFAN FLYING SAUCER/BLIMP, PLANTRACO LTD.]を用いる．その四面図を，写真 1 に示す．



正面



側面



下面



背面

写真 3. 1

飛行船は，揚力を得るための気球部分と，モータとプロペラ，それを統制する基盤と電源からなる駆動部で構成される．気球部分にはヘリウムが充填され，およそ 200g 重の浮力を発生させている．駆動部は，写真 3. 2 で示すように，水平方向への移動，旋回を司る左右対となる 2 つのプロペラと，垂直方向への移動を司る 1 つのプロペラがあり，プロペラそれぞれにモータがひとつずつ直結している．

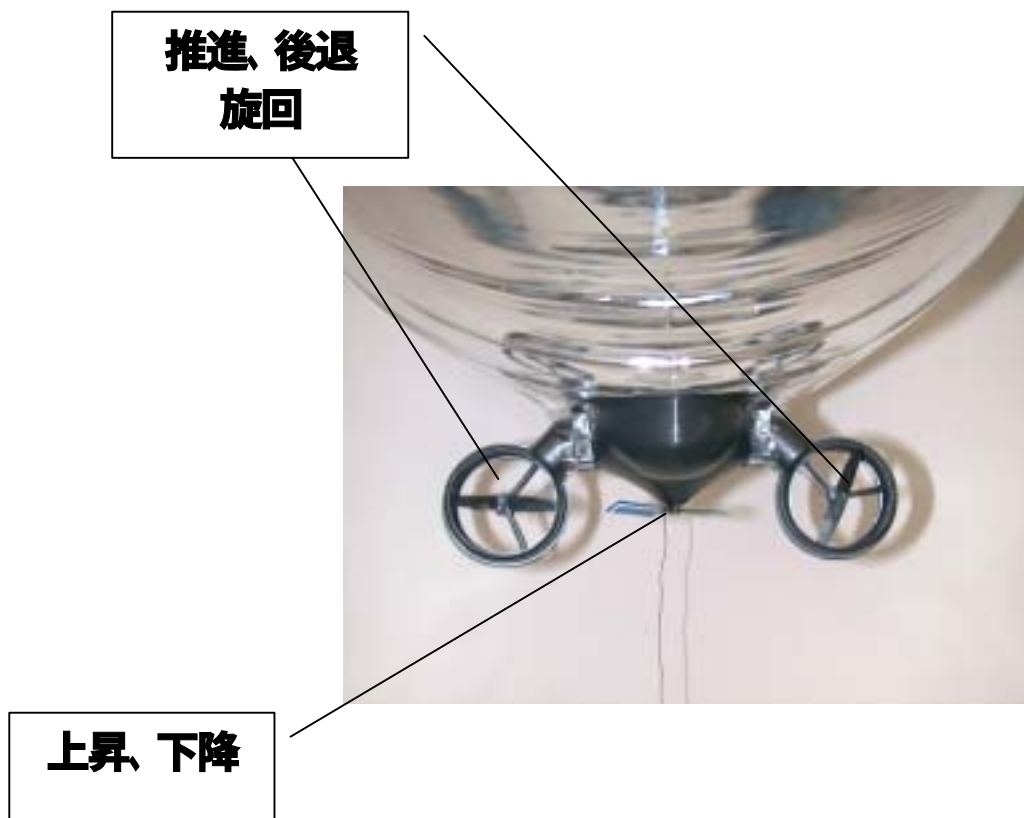


写真 3. 2

各モータは，正回転，逆回転で動作，もしくは停止の状態をとり，その組み合わせで飛行船の行動が決定される．各モータの駆動は，リレー的な ON/OFF であり，比例的な出力はできない．また，水平方向と垂直方向の系統が別になるため，旋回と上昇，前進と下降，などの行動は同時に行なえるものの，左右に配置されたモータはいわゆる差動方式で駆動しているため，推進と旋回を同時に行なうことは出来ない．更に，横方向の力を発生させるプロペラを持っておらず，横方向への水平移動を行なうことも出来ない．

表 3 に，飛行船のスペックを示す．

サイズ	450 (W)×1100 (L)× 700(H) mm
重量	約 500g
電源	DC3V・乾電池

表 3

3. 1. 2 コントローラ

コントローラは、市販の飛行船に付属していたリモコンを PIC で駆動するように改造したものと、デスクトップ PC から構成される。カメラから入力された画像は、キャプチャボードからデスクトップ PC に取り込まれ、画像は数値データに変換される。その数値データからコントローラは飛行船の行動を決定し、シリアルポートから 8 バイトの制御信号を PIC に送信する。PIC は、制御信号を TTL 信号に変換してリモコンをスイッチングし、飛行船を動作させる。

3. 1. 3 カメラ

飛行船ロボットは、2. 2. 4 項で述べたように、その性質上、ペイロードに大きな制限がかかる。しかしながら、ペイロードを増加させるためには、飛行船自体のサイズを増大させる必要があり、そうになると、屋内での稼動には適さなくなる。小型であろうとすれば、搭載するセンサ類は最小限のものに抑えざるをえず、また、輸送や散布のように、大きなペイロードを必要とするタスクを行なうことができない。従って、実用上のタスクは自ずと観測やそれに類するものに限られてくるため、飛行船ロボットへのカメラの搭載は必須事項である。また、センサとしてのカメラは、実環境においては非常に困難ではあるが「大量の情報を提供し、直接、物理的に接触することなしに、物体の位置関係や同定を行い、物体間の関係を知ることが出来る」[7]ため、実環境を効率よく認識できる手段となると期待される。これらの事情を鑑みて、本研究で用いる飛行船ロボットのセンサには、小型カメラを採用する。これは、軽量でありながらソナー等のセンサに比して多くの情報を取得でき、観測という目的に対しても同時に適用できることによる。

本研究に使用する小型カメラには、株式会社アールエフ製 TINY-3H2 を採用した。表 4 にそのスペックを示す。

サイズ	17 (H) × 18 (W) × 75 (L) mm
重量	45g
電源	内蔵充電電池（約 180 分連続稼動）
電波到達範囲	30m（見通し距離）
画素数	27 万画素

表 4

軽量であるため，容易に飛行船に搭載することが可能である．

第4章 実験

4. 1 タスク

自律型飛行船ロボットにとっての実用的なタスクが，カメラを用いた観測行動であることは，2. 1項で述べた．本研究では，飛行船ロボットの自律的な観測行動を実現するために必要な小タスクとして，目標物の追従，捕捉のタスクを設定した．実験は，画像アルゴリズムの都合から，配色が赤のものを前もって取り除いた実験室内で行なった．実験室の中央に高さ70cmの台を設置し，その上に直径20cmのドッジボールを配置して目標物とし（写真4. 1），追従，捕捉性能の評価を行なった．



写真4. 1

4. 2 アルゴリズム

本研究で用いられる画像処理の基本的なアルゴリズムは，藤波研究室の中川弘隆氏に提供をうけた．このアルゴリズムは，画面内で捕捉された目標物の位置を， x 座標と y 座標についての直角座標で出力する．また，目標物の見かけ上の大きさを，数値として出力する．コントローラは，これらの数値を入力として判断を行い，自律型飛行船ロボットの行動を決定する．図4. 1にその概略図を示す．

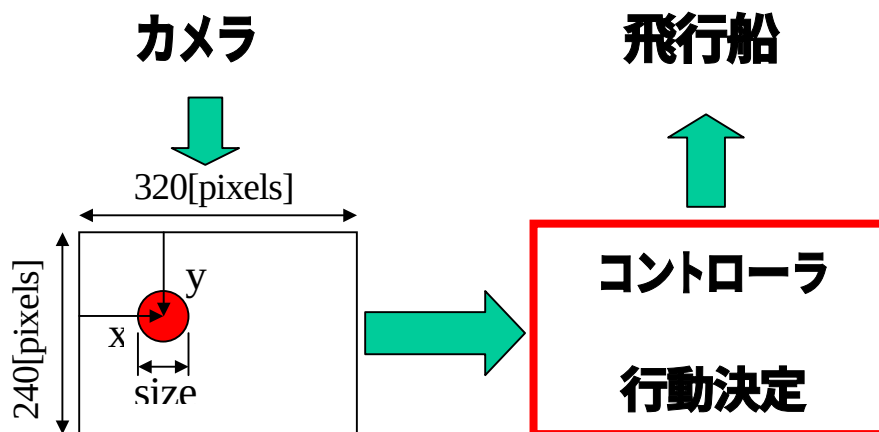


図 4. 1

この判断には，シーケンス制御のアルゴリズムを用いた．シーケンス制御は，制御対象の出力を，入力と条件文の対によって決定するもので，直観的な開発が可能である．動作の状態を見ながら試行錯誤的にパラメータ調整を行なうことができるため，系としての特徴を数理的に記述することが難しい飛行船ロボットにとっては都合が良い．飛行船の行動は，基本的に，表 4. 1 に示す IF-THEN ルールに従って決定される．

I F	T H E N			
	右モータ	左モータ	上下モータ	行動
$x > 0$	正	負	——	左旋回
$x < 0$	負	正	——	右旋回
$y > 0$	——	——	正	上昇
$y < 0$	——	——	負	下降
$s i z e > 40$	負	負	——	後退
$s i z e < 40$	正	正	——	前進

表 4. 1

正，負の文字は，モータの回転方向を示す．右モータ，左モータについては，機体の後方に力を発生する場合を正とし，その逆を負とした．上下モータについては，機

体の下方に力を発生する場合を正とし、その逆を負とした。また、表4. 1からもわかるように、右モータと左モータは、旋回動作と、推進動作の双方を担う。従って、 x に関する条件と $size$ に関する条件が重複する場合を考慮して、行動の優先順位を設定する必要がある。本研究では、旋回より、前進、後退の動作が優先されるよう設計した。

本研究で用いるプラットフォームのように、出力がリレー的な ON/OFF である系は発振を起こしやすいことが知られているが、目標値に近い入力に対しては出力が反応しない不感帯を設けることで、この発振を抑えることができる[8]。この知見に基づき、作成したアルゴリズムに不感帯を設け、発振の抑制を図った。また、更なる追従性能の向上を図るため、機体の状態によって選択的に不感帯の範囲を決定する手法を考案し、実装した (図4. 2)。

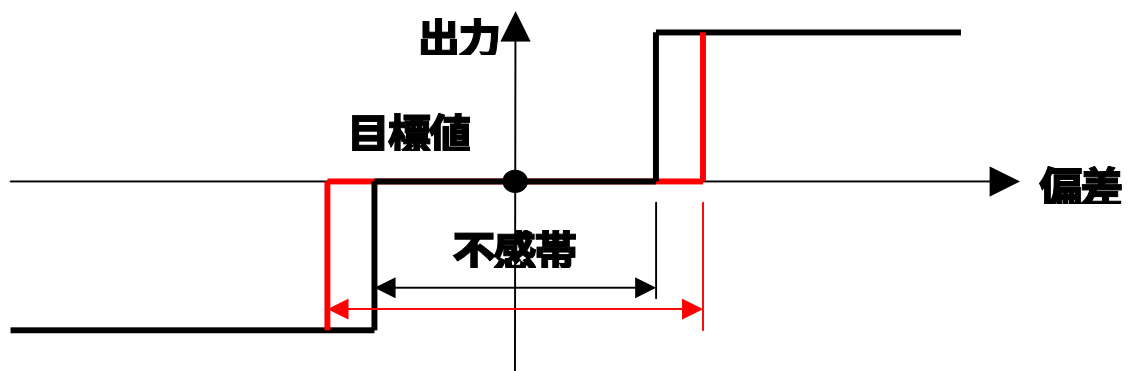


図4. 2

本アルゴリズムでは、図4. 3に示すように、入力を3つのエリアに分類する。Aのエリアは、固定的（機体の状態によって変動しない）な不感帯として機能する。Cのエリアは、機体の状態に依らず、常に表4. 1で述べたルールに従って動作する。Bのエリアが、選択的な不感帯として機能する部分である。つまり、機体の状態によってBのエリアは不感帯となるが、基本的にはCと同じく表4. 1のルールに従って動作する。不感帯であるか否かの判断は、表4. 2に示すルールに従う。ここで、 dx , dy , $dsize$ は前回入力時点の x 値と現時点での x 値との偏差であり、飛行船の動作方向を示している。表4. 2で示した以外の状態に関しては、通常どおり、表4. 1のルールに従って動作する。また、不感帯は、 x , y , $size$ のそれぞれについて個別に考慮される。

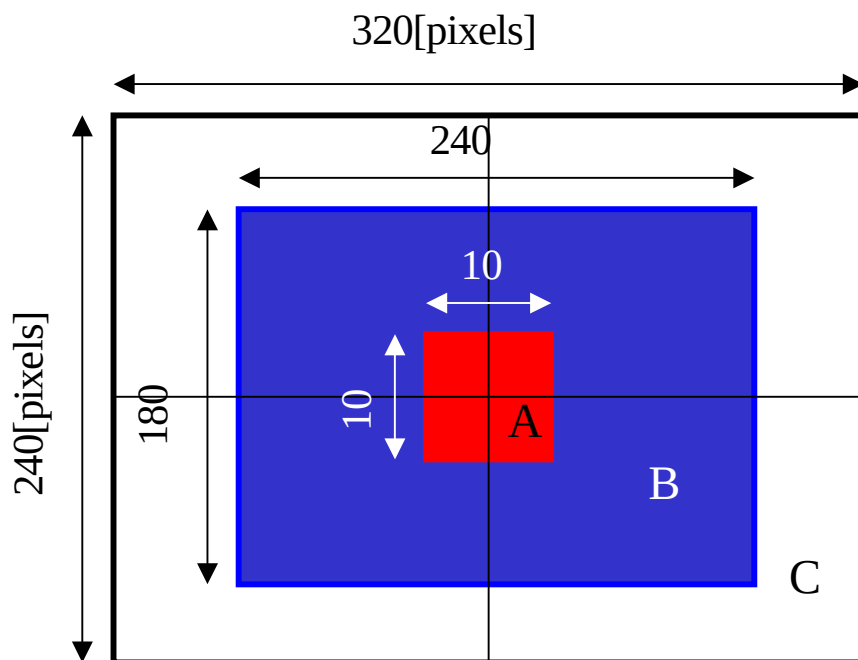


図 4. 3

IF	THEN
$d\ x < 0$ かつ $x > 0$	x : 不感帯
$d\ x > 0$ かつ $x < 0$	x : 不感帯
$d\ y > 0$ かつ $y > 0$	y : 不感帯
$d\ y < 0$ かつ $y < 0$	y : 不感帯
$d\ size < 0$ かつ $size > 40$	$size$: 不感帯
$d\ size > 0$ かつ $size < 40$	$size$: 不感帯

表 4. 2

4. 3 実験結果

まず，予備実験として，不感帯を設定しないアルゴリズムの評価を行なった．結果は予想通り悪く，自律型飛行船ロボットは激しく発振し，全く追従を行なうことがで

きなかった。

続いて不感帯を固定で設定したアルゴリズムを用いて実験を行なった。発振は抑制することができたが、追従性能自体はそれほど向上を見せなかった。これは不感帯の範囲が広すぎたためで、目標値付近での追従性能の低下が、全体的な追従性能にも現れてしまったためであると考えられる。不感帯の範囲を狭くして再度実験を行なってみたが、発振が起き易くなり、やはり追従性能は悪くなった。適宜、不感帯の範囲を調整して実験を繰り返したが、この手法では追従性能の向上に限界があった。

発振の抑制と共に追従性能の向上を図るため、選択的に不感帯の範囲を決定する手法を考案した。このアルゴリズムでは、現時点での入力と前回の入力を比較することで自律型飛行船ロボットの移動ベクトルを取得し、その移動ベクトルから不感帯の範囲を増減させる。その結果、目立った発振は起きず、安定した追従性能を発揮した。追従途中における偏差の時間推移をプロットしたグラフを図4. 3に示す。

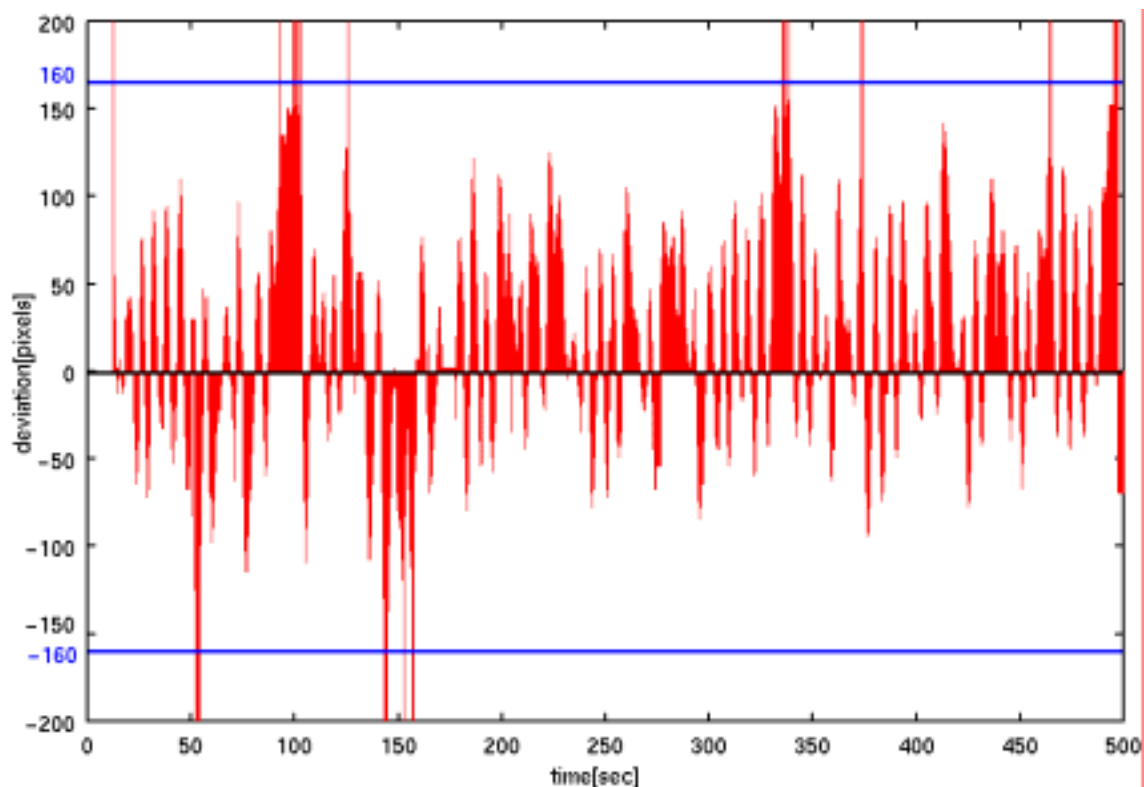


図4. 3. 1 x 偏差の推移

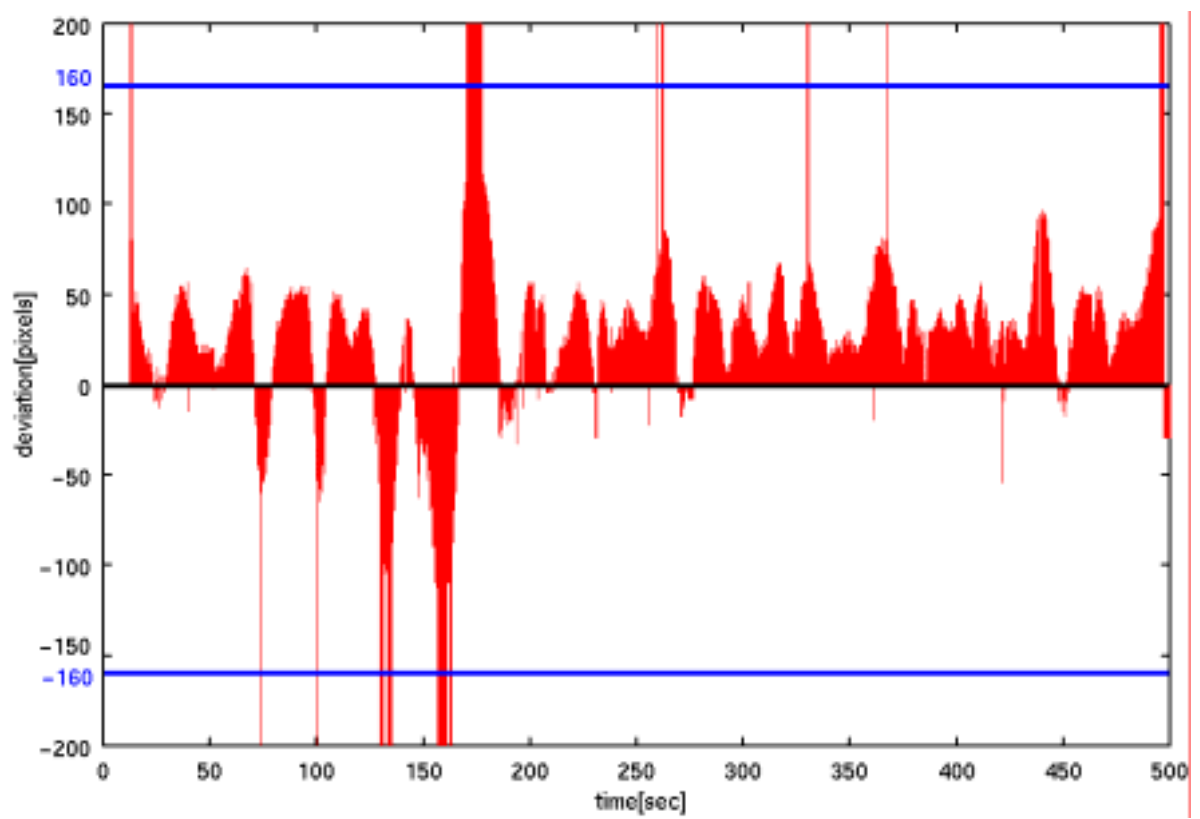


図4. 3. 2 y 偏差の推移

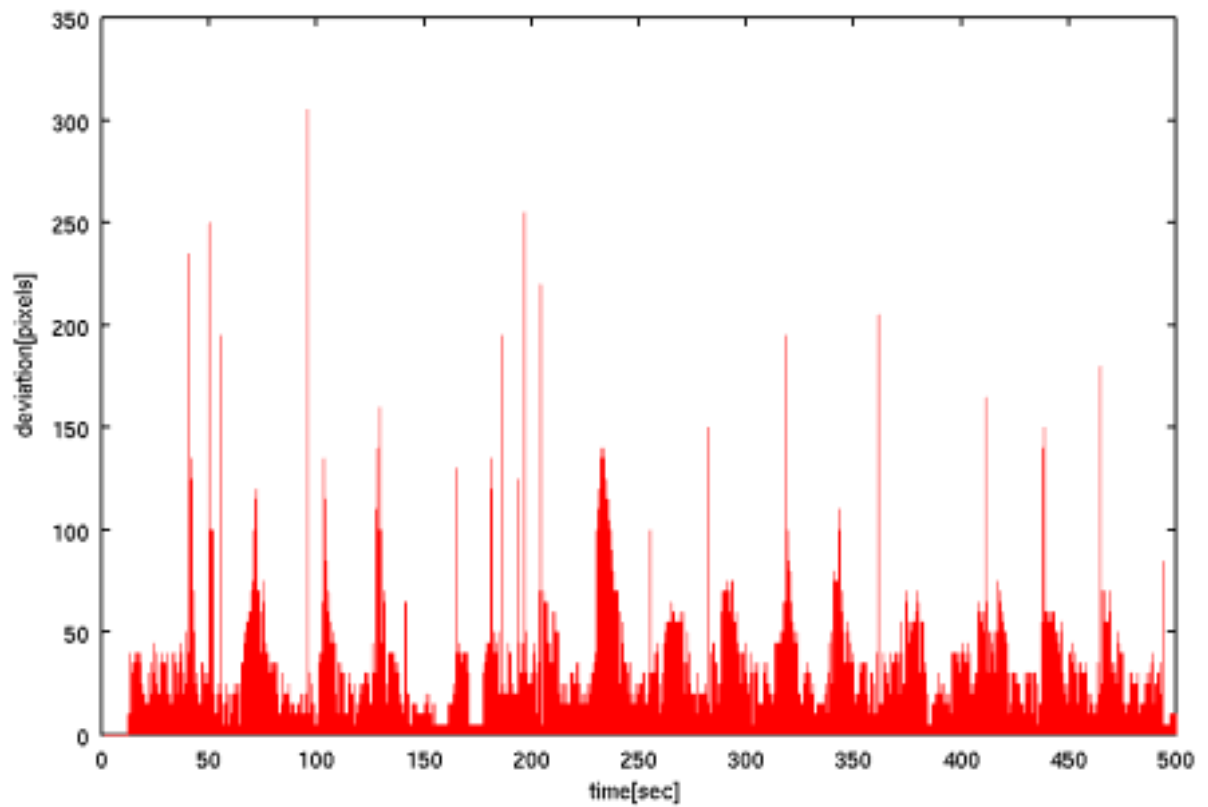


図4. 3. 3 size 偏差の推移

図4. 3. 1及び4. 3. 2は、 x 、 y 方向の偏差を示す。図中の青線は、カメラ視界の限界である。これ以上に偏差が大きくなると、カメラ視界から目標物を喪失したと考えることができる。図4. 3. 1，図4. 3. 2ともに、数度、目標物を喪失しているものの、短い時間で再び目標物を視界内に収めることに成功しているのがわかる。図4. 3. 3は、目標物とカメラの距離を示している。数値が大きいほど近く、小さいほど遠い。おおよそ40 pixel 前後で安定している様子が見て取れる。

続いて、20回の試行を行い、捕捉時間を計測した。図4. 4に示す。

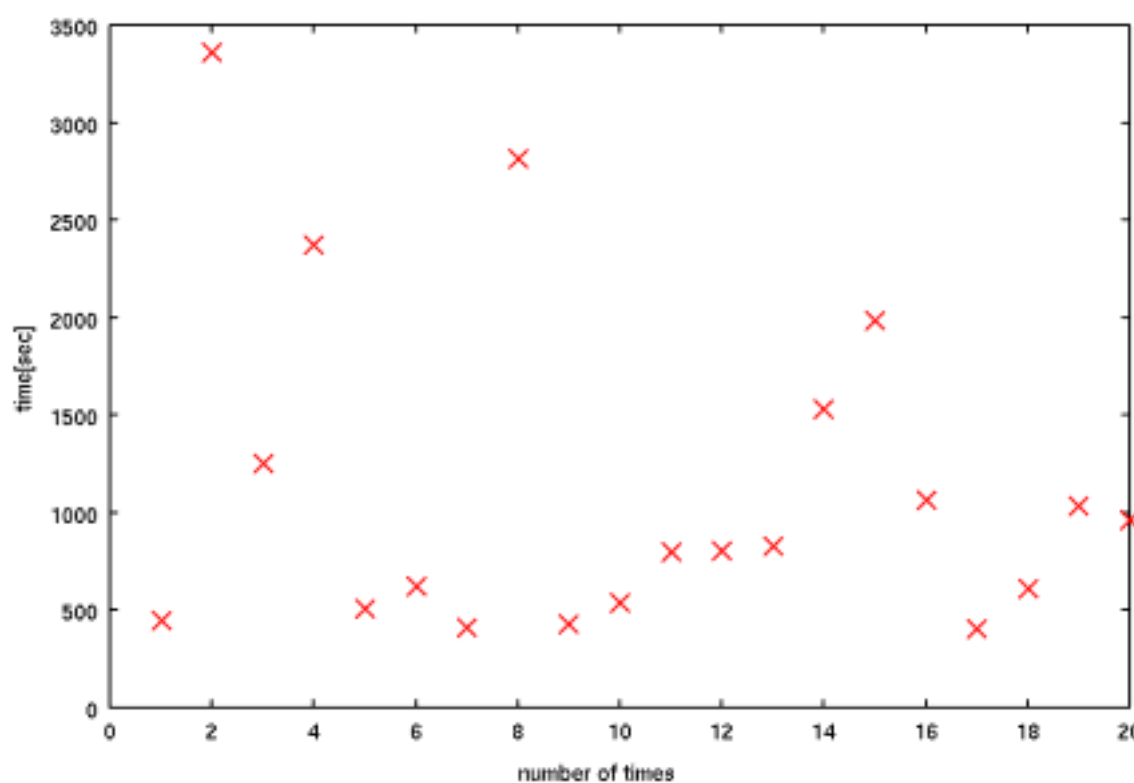


図4. 4

ばらつきはあるものの、最長で一時間近い捕捉に成功した。平均でも10分程度の捕捉に成功した。

4. 4 PID 制御導入の検討

更なる動作の安定化のために、自律型飛行船ロボットに、古典的な PID 制御を導入

することを検討した．アルゴリズムには，デジタル制御系における一般的な PID コントローラである 4．1 式を用いた[9]．

$$m_n = K_p \left[e_n + \frac{\Delta T}{T_i} \sum_i^n e_i + T_D \frac{e_n - e_{n-1}}{\Delta T} \right] \quad (4. 1)$$

ここで， m_n は n 時点における操作量， e_n は n 時点における制御目標との偏差， ΔT はサンプリング時間， K_p ， T_i ， T_D はそれぞれ，比例定数，積分定数，微分定数である．

PID 制御を導入するには，制御対象の系が比例的な出力を持つことが望ましい．しかし，本研究で用いる飛行船の出力は，3．1．1 項で述べたように，リレー的な ON/OFF であり，比例的な出力はできない．そこで，一定区間内におけるモータの駆動時間比を加減することで比例的な出力を模した．これは，電気を操作量として設定した際によく用いられるスイッチング制御の手法と同一のものである．スイッチング周期が十分に短いとき，図 4．5 で示すように，このパルス出力はアナログ的な比例量と同等にみなすことができる．

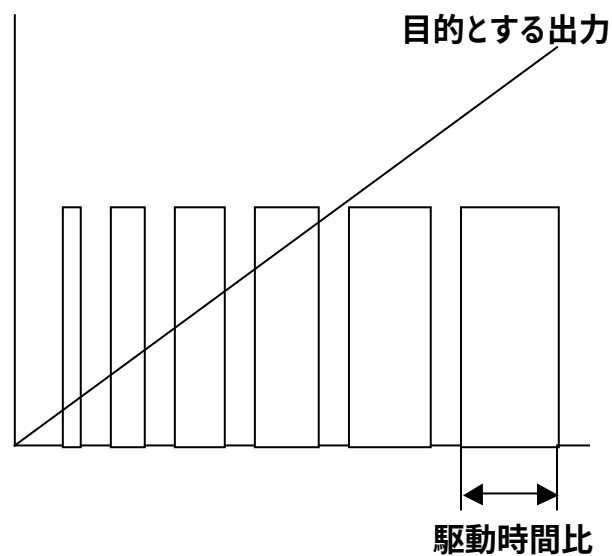


図 4． 5

しかしながら、PID 制御の導入はうまくいかなかった。原因としては、飛行船は慣性の影響から応答性が悪く、短いサンプリング時間でモータの駆動時間比を加減しても、比例的な特性を見出せなかったことが挙げられる。このように応答性の悪い、時間遅れをもつ系で、比例特性を十分に発揮するには、サンプリング時間を長くとる必要がある[10]のだが、本研究のように動的な環境内で動作することを目的とした実ロボットにとって、長すぎるサンプリング時間は致命的なものになった。

第5章 まとめ

本研究では、カメラを用いて目標物の追従を行なう自律型飛行船ロボットの開発を行なった。選択的な不感帯をアルゴリズムに導入した結果、カメラからの入力のみで、安定した追従性能が得られた。また、観測タスクに必須となるカメラをセンサとしても用いることができたことから、ペイロードの節約も達成することができた。

より安定した追従性能を実現するため、自律型飛行船ロボットへ **PID** 制御を導入することを検討した。それに伴い、飛行船ロボットに比例的な出力をさせることを検討した。しかし、飛行船ロボットの出力には、慣性の影響による応答性の悪さから、短いサンプリング時間では、比例的な特性を実現させることが難しいとわかった。サンプリング時間を長くすることで比例的な特性を実現できたが、動的な環境内で動作する必要のある自律ロボットには、長いサンプリング時間は適さなかった。

第6章 今後の課題

前章でも述べたが，自律型飛行船ロボットをより安定して動作させるためには，比例的な出力を実現することが求められる．しかし，自律型飛行船ロボットは，その応答性の悪さから，比例的な出力を行なうことが難しい．比例特性を十分に発揮するためには，サンプリング時間を長くする方法が考えられるが，動的な実環境内で動作する自律型ロボットという特性を考慮すれば，長いサンプリング時間は不適當である．この矛盾を解決する手法を発見することが今後の自律型飛行船ロボット発展の課題といえる．

また，追従行動の次の段階として，自律的な探索行動の実現が求められる．稼動範囲が屋内に制限される飛行船ロボットではあるが，探索行動の実現によって，高層ビル内での警邏や，災害時における屋内での要救助者探索などのタスクに応用できる．このような探索行動を実現するためには，ロボット自身の絶対位置を取得できることが望ましいが，高精度な GPS の受信機はまだ飛行船に搭載するには重く，絶対位置を必要としない探索行動が望まれる．

本研究では，開発の時間的制約から PC と PIC を用いた遠隔操縦となったが，自律型飛行ロボットがより広範囲で活動するためには，全ての処理系をロボット自身に搭載することが望ましい．IC の高集積化により，近年では，軽量の画像処理用のチップも開発されているため，全ての処理系の搭載は不可能事ではないと考えられる．

参考文献

- [1] 菅野道夫：“実用化目指す空中ロボット ―無人ヘリコプター” 日本ロボット学会誌, Vol.18, No.7, pp937–940, 2000
- [2] Michael Dickinson：“Solving the Mystery of Insect Flight” SCIENTIFIC AMERICAN June 2001
- [3] 中村心哉, 佐藤彰, 柴田英貴, 菅野道夫：“画像情報および GPS を用いた無人ヘリコプタによる自動探索, 追従システムに関する研究” 日本ロボット学会誌, Vol.18, No.6, pp862–872, 2000
- [4] 長谷良裕：“成層圏プラットフォーム ―21 世紀の革新的通信インフラ―” 電子情報通信学会誌, Vol.83, No.9, pp.609–706, Sep. 2000
- [5] 小林宏, 菊池耕生, 小野木祐, 越智一宏：“昆虫の資格による帰巢行動を参考にした飛行ロボットのナビゲーション” 日本機械学会, 審査中
- [6] 藪内武之：“被災建造物内における情報収集のための小型飛行レスキューロボットの研究開発” 大阪大学工学部 平成 12 年度修士論文
- [7] Berthold Klaus Paul Horn, NTT ヒューマンインタフェース研究所プロジェクト RVT 訳：“ロボットビジョン：機械は世界をどう視るか” 朝倉書店, 1993
- [8] 榎木義一, 桑原道義, 砂原善文：“自動制御工学 非線形制御理論編” 株式会社 養賢堂発行, 1977
- [9] 森下巖 編：“デジタル計装制御システム” 社団法人 計測自動制御学会, 1983
- [10] 渡部慶二：“むだ時間システムの制御” 社団法人 計測自動制御学会, 1993

謝辞

本研究を行なうにあたり, 非常に熱心にご指導してくださいました, 櫻井彰人教授, 藤波努助教授, 荒木修助手, 林幸雄教授に心から厚くお礼申し上げます. また, 画像処理アルゴリズムの基本部分を提供してくださった藤波研究室の中川弘隆氏, 及び, 様々なアドバイスをくださいました旧櫻井研究室および藤波研究室, 林研究室の同輩, 後輩の方々に, 深く感謝いたします.