

# MEMS センサを用いた低コスト INS/GPS 複合航法システム

## A Low-cost Integrated Navigation System of INS/GPS

### Using MEMS Sensors

56367 成岡 優

指導教員: 土屋武司 講師

#### 1 研究背景ならびに概要

現代において位置や速度、姿勢などの状態を安価に精度よく知りたいというアプリケーションは至るところにある。例えば航空機のナビゲーションや電車・自動車などの移動体のモニタリング、ロボットの制御等である。

その方法の一つとして提案されているのが、INS/GPS という航法システムである。これは加速度や角速度をセンサで検知しそれを積算することによって現在の位置や速度、姿勢を推定する Inertial Navigation System(INS) と、地球周回衛星から受信した電波を処理することによって位置や速度を推定する Global Positioning System(GPS) を組み合わせたシステムである。INS は自己完結的なシステムであり高い更新周期を実現できるが、その精度は低い。一方 GPS は高い精度をもつが更新周期は低く、また衛星を補足できる環境にある必要がある。そこで両者を統合し、できうるかぎりの自己完結性と高い更新周期・精度を両立させようとしたのが INS/GPS である。

だが、既存の INS/GPS は高性能を実現するために特注部品を用いて構成されることが多く、その価格は安価なものでも数百万円である。高性能 INS/GPS がより低価格で実現できれば、先にあげた事例に加え、より多くの分野でこのシステムが活用されるであろう。そこで本研究では低価格な民生品で構成された INS/GPS がどの程度の性能を達成可能であるか検討するものとする。

#### 2 INS/GPS の構成

本章では本研究の対象となる INS、GPS、また両者を組み合わせた INS/GPS の詳細について説明する。

##### 2.1 INS

INS は加速度や角速度などの慣性力を観測するセンサの設置方法により 2 種類に大別できるが、本研究では物理的な機構を要しない観測対象にセンサを固定するストラップダウン方式を採用した。以下 INS の表記はストラップダウン方式を意味することとする。

加速度を時間積分すれば速度、また速度を時間積分すれば位置がえられる。同様に加速度を時間積分すれば姿勢を知ることができる。この理論を応用し、INS では加速度、角速度をそれぞれ加速度計、ジャイロと呼ばれるセンサから取得し、その値を数値的に演算することによって現在の位置・速度・姿勢情報を推定する。演算は、センサの出力値を積分することに加え、種々の座標変換を行う。これはセンサが観測点に固定されているため、センサの出力と望ましい座標系が一致しないことに起因する。具体的な構成を図 1 にあげる。

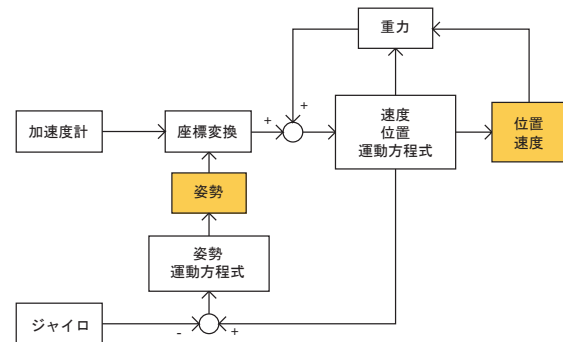


図 1 INS 構成

INS の性能ならびにコストの大半はセンサに依存する。本研究では民生品用として大量に生産される安価、低性能な MEMS タイプのセンサを用いることにした。INS 単体では数万円程度での構成を予定した。

##### 2.2 GPS

ある電波が発せられた時刻とその電波を受信した時刻がわかれば、送受した 2 点間の距離を得ることができる。またドップラー効果により送信時の周波数と受信時の周波数を比較すれば、2 点間の相対的な速度が得られる。この原理を応用し、地球を周回するあらかじめ軌道が既知の GPS 衛星から放たれた電波を受信、三角測量によって位置・速度を解くのが GPS である。

GPS は単体で位置・速度を決定するためには 4 衛星

以上が可視でなければならない。これは位置の不確定さ 3 自由度に加え、受信機の時刻と衛星時刻を同期させるための 1 自由度、計 4 自由度を解決しなければならないためである。

GPS の精度やコストは受信する電波帯域などに依存する。本研究ではカーナビ用の 1 万円程度の安価な L1 電波 (1575MHz) 受信 GPS を用いることにした。

### 2.3 INS/GPS

以上 INS と GPS 単体についてみてきたが、本節では両者を統合した INS/GPS を説明する。INS/GPS は大別すると Loose coupling と Tight coupling の 2 方式が存在する。

Loose coupling とは、INS からえられる位置・速度・姿勢情報を GPS から得られる位置・速度情報によって補正をかける方式である。一方 Tight coupling とは、INS の位置・速度・姿勢情報に、GPS が出力する GPS 衛星までの距離といった低レベルなデータを統合する方式である。前節にて GPS 単体で位置・姿勢を決定するためには 4 衛星以上可視である必要があると述べたが、Loose coupling ではその条件をみだす必要がある。一方 Tight coupling はその必要がないものの、アルゴリズムが複雑なる。

本研究では両方法について検証する。また統合のための計算アルゴリズムは、多くの INS/GPS で用いられている *Kalman Filter* を用いることにした。

## 3 実験

前章であげた構成を検証するため、試験機材を作製、航空機に搭載し実験を行った。

### 3.1 実験機材

試験機材については、外観を図 2、構成図を図 3、構成機器を表 1 にあげる。簡単のため、今回はオンラインでデータ取得のみを行い、試験後にオフラインで解析することによって INS/GPS を構成することにした。

また性能を比較するために、高性能ながら安価な部類 (定価百数十万円) に属する市販の INS/GPS、Crossbow 社製 NAV420 を同時に搭載した。NAV420 の構成を図 4 に示す。

### 3.2 結果

実験によって試験装置よりデータを取得することができた。取得したデータの一部を次に示す。

図 5 は機軸方向の加速度履歴である。途中、加速度が大きく変化し、次第に一定値に近づいていることがみとれるであろうが、これは離陸から加速していき定速に達したことを捕らえたものである。またグラフ末端部に近い急激な変化は、着陸によって激しく減速した瞬間を捕らえたものである。

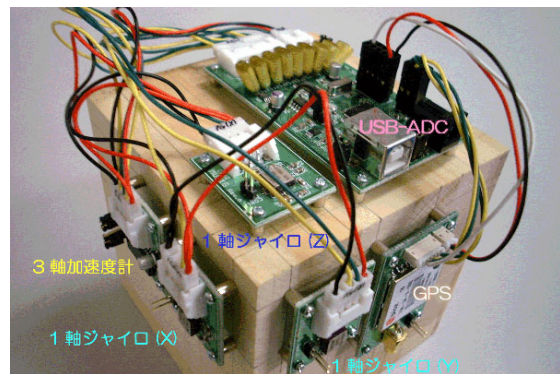


図 2 試験機材 外観

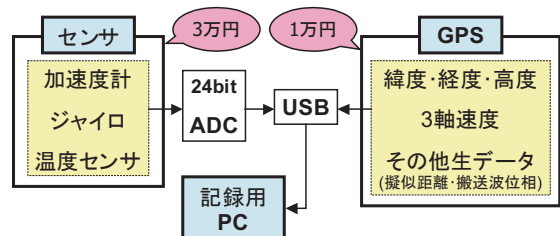


図 3 試験機材 構成図

表 1 試験機材 構成詳細

構成機器	説明
加速度計	STMicro LIS3L02AS4 1 個 (3 軸 1 パッケージ, MEMS)
ジャイロ	AnalogDevices ADXR5150 3 個 (1 軸 1 パッケージ, MEMS)
温度センサ	ジャイロに内蔵のもの
GPS	u-blox TIM-LA 1 個 (民生用 L1 電波受信 GPS, 4Hz 出力)
A/D 変換機	AnalogDevices AD7739 (100Hz, 24bit 変換)
接続方式	USB で PC と接続

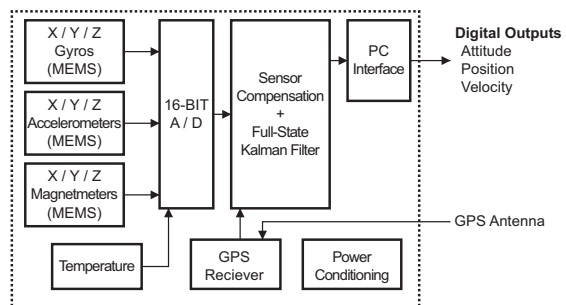


図 4 NAV420 構成図

図6はヨー方向の角速度履歴である。飛行中においては旋回運動を何度か行ったが、その様子を捉えているものと思われる。

図7は試験機材の構成要素であるGPSの出力を地図上にプロットしたものである。飛行計画とほぼ等しい軌道を得ることができた。

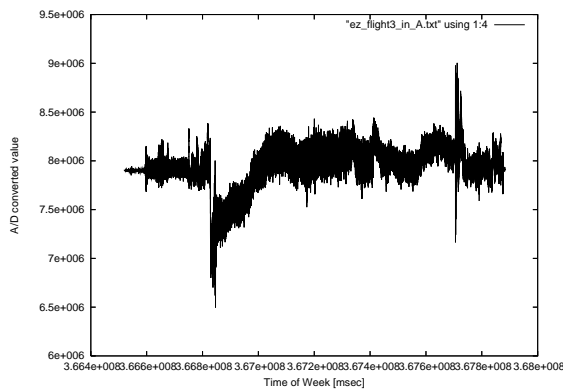


図5 機軸方向 加速度履歴

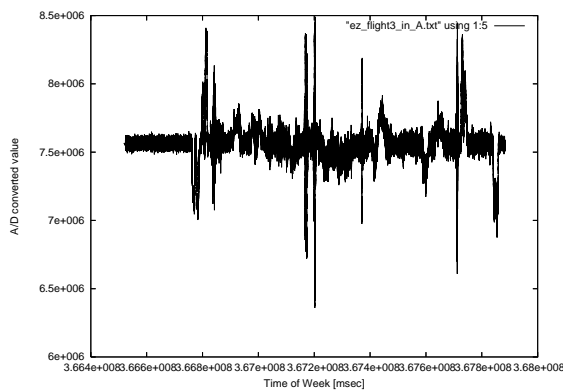


図6 ヨー方向 角速度履歴



図7 GPS 2D 飛行履歴

## 参考文献

- [1] Robert M. Rogers. *Applied Mathematics in Integrated Navigation System, Second Edition*. AIAA Education Series, 2003. ISBN 1-56347-656-8.
- [2] 多摩川精機 『ジャイロ活用技術入門』工業調査会, 2003. ISBN 4-7693-1208-3.
- [3] Pratap Misra and Per Enge 『精説 GPS』日本航海学会 GPS 研究会, 2004. ISBN 4-921187-10-X.
- [4] Sergio de La Parra Low cost navigation system for UAV's Aerospace Science and Technology 9 (2005), 2005.

## 4 展望

今後はまず第一に、実験にて取得したデータに対して INS/GPS を構成し、リファレンスとして搭載した NAV420 と比較をしてどの程度の精度が得られるかを検証していきたい。また INS/GPS を構成する手段として Kalman Filter を今回は採用したが、その他の方法、例えば  $H(\infty)$  Filter、Particle Filter 等も検討してみたいと思う。そして実機試験を再現できるようなシミュレータを構成し、センサの性能がどの程度システム全体への精度に影響をあたえるのかも検証していきたい。