

操縦訓練のための姿勢記録装置と 飛行再現システムの構築

Creation of an Aircraft Attitude Recording and Reproduce System for Flight Training

瀬川 陽、竹之内修

Akira SEGAWA, Osamu TAKENOUCHI

1 まえがき

航空大学校が訓練に使用しているビーチクラフト式A36型機(以下、訓練機と記す)の飛行中の姿勢や位置はコックピット内に設置されている各種計器群により把握することができる。しかしその値は記録されないため、飛行後どのような飛行姿勢であったかを操縦者が正確に記憶することは困難となる。

民間旅客機には機体の状態を記録しておく装置があり安全運航や機体整備などに活用されている。一方、航空大学校の訓練機においてはそのような装置の装備義務はないが、訓練飛行で機体の状態を記録したデータが得られると定量的に操縦を判断でき、操縦訓練に生かせる可能性も出てくる。

そこで著者らは訓練機に搭載可能な可搬型の姿勢記録装置とその記録データを処理する飛行再生システムを構築したことを報告する。そしていくつかの操縦訓練科目に対して、本装置を利用することで飛行姿勢および飛行経路を捉えることができた一例を紹介する。

2 姿勢記録装置

構築した姿勢記録装置の外観を図1に示す。装置はアルミ製のケースを筐体として利用した。ケースのサイズは縦365mm、横515mm、高さ230mmである。このケース内に姿勢センサ(トキメック社製、VSAS-10GM)、小型パーソナルコンピュータ(Sony社製、VGN-UX92NS)および電源(リチウムイオン型2次電池)を



図1 姿勢記録装置

配置、配線することで可搬型の装置を構築した。各構成機器の性能の概略を表 1 ~ 3 に示す。構築した装置の重さは 8.6kg となった。

姿勢センサは振動ジャイロと加速度計を 3 個ずつ使用した慣性センサである。このため 3 軸周りの角速度、角度を出力することができる。これらの値は 10ms 間隔(サンプリング周波数 100Hz)で記録される。この姿勢センサには GPS からの位置情報を得る機能がある。GPS は運輸多目的衛星用衛星航法補強システム(MSAS) に対応している。出力する座標系は WGS84 となっている。GPS を利用した航空機の位置情報は 1 秒間隔で記録される。さらに姿勢センサには地磁気を捉えて方向を記録する機能がある。この機能を利用するためには姿勢センサを事前に校正する必要がある。これは姿勢センサ自体を 360 度の水平面上を回転させて行う。そこでケース内には水平面で自由に回転できる平行台を設置し、この上に姿勢センサを設置した。これにより校正を簡単に実施できるようにした。

電源は姿勢センサのみに 3 時間程度電力供給できるように容量を決定した。小型パーソナルコンピュータの電源は装置付属の専用バッテリーを利用した。なお、小型パーソナルコンピュータの記録媒体は機械式のハードディスクではなく振動に強いとされる 32 ギガバイトの半導体フラッシュメモリを利用した。

姿勢記録装置に記録される記録データの全項目を表 4 に示す。これらの項目の値は専用のプログラムを使用して小型パーソナルコンピュータへ逐次転送される。このため 2 時間の使用で約 250 メガバイトのデータ(アスキー形式)が記録される。

表 1 姿勢センサの性能

| 出力 | 範囲 | 精度 |
|------------|--------------------------|--------------------------|
| 姿勢角 方位 | $\pm 180^\circ$ | 1.5° rms |
| 姿勢角 ピッチ | $\pm 90^\circ$ | 0.5° rms |
| 姿勢角 ロール | $\pm 180^\circ$ | 0.5° rms |
| x、y、z 軸角速度 | $\pm 150^\circ / s$ | $\pm 3^\circ / s$ |
| 加速度 | $\pm 19.6 \text{ m/s}^2$ | $\pm 0.08 \text{ m/s}^2$ |
| 経度 | $\pm 180^\circ$ | 15m CEP |
| 緯度 | $\pm 90^\circ$ | 15m CEP |
| 高度 | $\pm 2^{31} \text{ m}$ | 30m CEP |
| 磁方位 | $\pm 180^\circ$ | 5° rms |

rms: Root Mean Square, 平均二乗偏差

CEP: Circular Error Probability, 平均誤差半径

表2 小型パーソナルコンピュータの性能

| | |
|---------|----------------------------------|
| 品名 | 性能 |
| CPU | インテル Celeron M プロセッサー (1.20 GHz) |
| メモリ | 1GByte |
| ハードディスク | フラッシュメモリー 約32GByte(Ultra ATA) |
| OS | Windows Vista Home Premium |

表3 電源の性能

| | |
|------|---------------|
| 種類 | リチウムイオン型2次電池 |
| 入力 | 直流 20.5V 0.8A |
| 出力電圧 | 直流 10.8V |
| 出力電流 | 2.0A(最大) |
| 充電時間 | 4時間 |

表4 姿勢記録装置に記録される記録データ的全項目

| | 出力項目 | 単位 | | 出力項目 | 単位又は出力形式 |
|----|-------------|---------|----|----------|--------------|
| 1 | ステータス | | 14 | 緯度 | [deg] |
| 2 | カウンタ | [count] | 15 | 経度 | [deg] |
| 3 | 方位角 | [deg] | 16 | 高度 | [m] |
| 4 | ピッチ角 | [deg] | 17 | 北向速度 | [km/h] |
| 5 | ロール角 | [deg] | 18 | 東向速度 | [km/h] |
| 6 | X軸角速度 | [deg/s] | 19 | 上向速度 | [km/h] |
| 7 | Y軸角速度 | [deg/s] | 20 | 方向 | [deg] |
| 8 | Z軸角速度 | [deg/s] | 21 | 速度 | [km/h] |
| 9 | X軸加速度 | [G] | 22 | 衛星数 | [num] |
| 10 | Y軸加速度 | [G] | 23 | GPS未受信時間 | [s] |
| 11 | Z軸加速度 | [G] | 24 | 磁気方位 | [deg] |
| 12 | 緯度 (ハイブリッド) | [deg] | 25 | UTC時刻 | [hh:mm:ss] |
| 13 | 経度 (ハイブリッド) | [deg] | 26 | UTC日付 | ['yy/mm/dd] |

3 実験方法

3 - 1 姿勢記録装置の設置方法

姿勢記録装置にはコンピュータが含まれるため、事前に国土交通省航空局へ届け出を行い、研究用として使用できることの確認を得た。図2に示すように、姿勢記録装置は訓練機後部の貨物室にネットで固定し、飛行中動かないようにした。記録は飛行前に記録を開始し、飛行後に停止させた。飛行中は姿勢記録装置に触れないようにした。その結果、姿勢記録装置は200分以上連続して記録できることが確認された。

3 - 2 姿勢記録装置のための選択加工ソフトウェア

姿勢記録装置に記録される記録データは、データ処理のためのパソコンに飛行後転送し、後述する飛行再現システムで利用した。記録データには表4に示したように26の項目がある。この項目の中から飛行再現システムに必要なデータを選択できる姿勢記録装置のための選択加工ソフトウェアを作成した。図3にそのソフトウェアの外観を示す。本ソフトウェアは4つのパネルから成る。記録データを選択、加工するための操作パネル。GPSによる緯度経度を航跡として地図上に表示する地図パネル。航跡を拡大表示するための航跡パネル。高度、ロール角、ピッチ角、速度を表示するメインパネルである。

本ソフトウェアの作成にはjava言語を利用した。これに作図ライブラリ



図2 姿勢記録装置の訓練機内への設置の様子

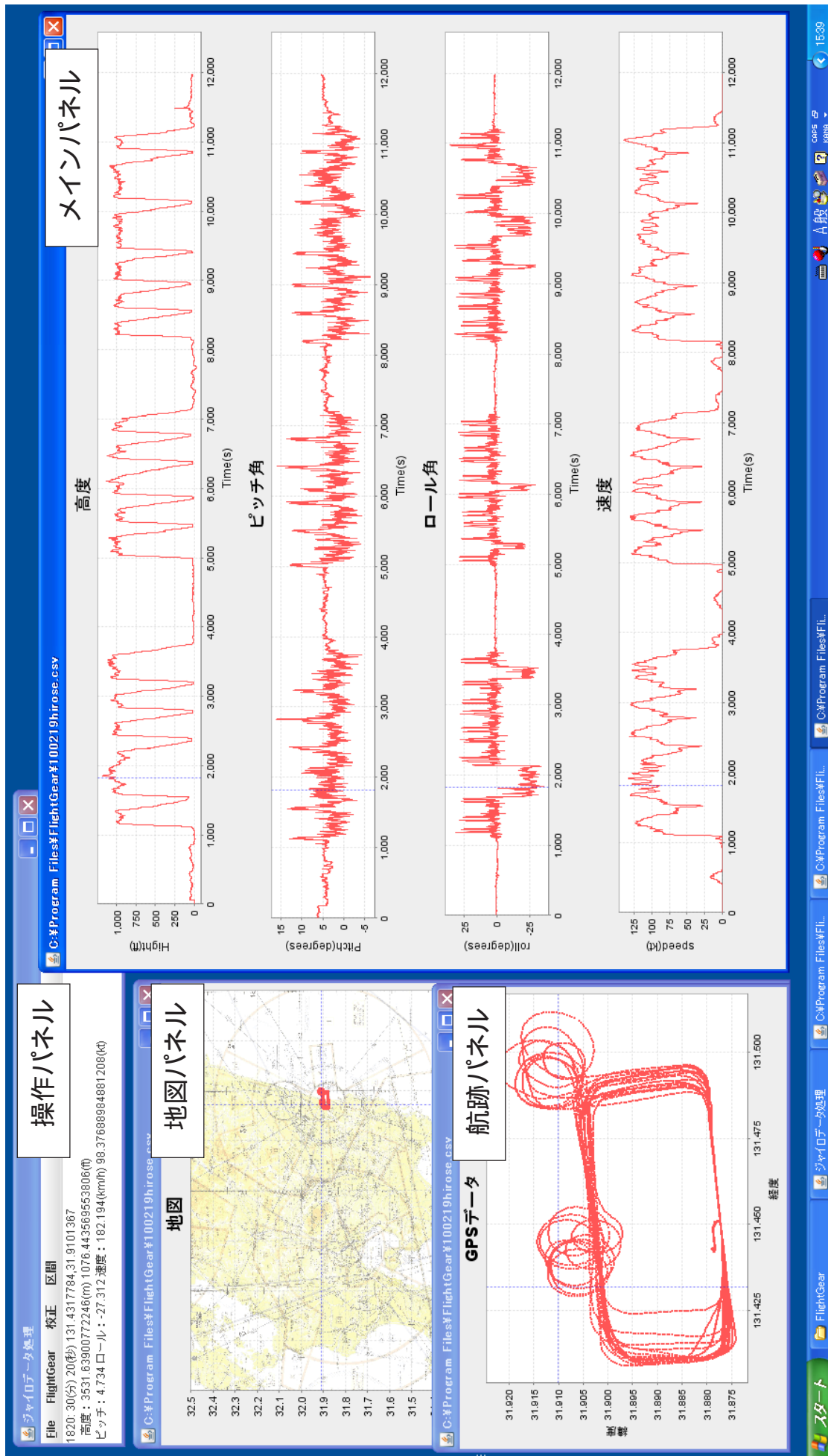


図3 姿勢記録装置のための選択加工ソフトウェア

JFreeChart¹⁾を使用することでグラフ化やグラフの拡大縮小がマウスポインタで行えるようにした。さらに、本ソフトウェアでは記録データを任意の時間帯で取り出すことができるようにした。そして飛行再現システムで利用できる形に記録データを整えて出力できる機能を持たせた。なお、ロール角、ピッチ角については姿勢記録装置を訓練機に設置した場所によって機体の実際の角度との間にずれが生じる可能性があるため、本ソフトウェアには補正機能を持たせた。

3 - 3 飛行再現システム

姿勢録装置の記録データを利用し訓練機の運動の様子を視覚的に再現できるように飛行再現システムを構築した。そのシステムの中心として利用したのはプログラムソースがインターネットを通して公開されているフライトシミュレータソフトFlightGear²⁾である。このFlightGearには様々な機体がデータとして登録されている。しかし、航空大学校で使用している訓練機は本システム作成時点では提供されてなかった。そこで機体の大きさの違いがあるものの訓練機にその構造が似ているPiper PA-24 Comancheが提供されていたので便宜的に使用することとした。図4に飛行再現システムの様子を示す。利用したFlightGearにはシミュレータ内を飛行した航空機の運動を記録・再生する機能がある。そこで姿勢記録装置の記録データを加工して与えることにより訓練機の運動を再現させた。姿勢記録装置の記録データは10ms間隔で記録されており、そのまま本システムの入力とした場合、コンピュータ装置に負荷がかかるため、ここでは100ms間隔にデータを減じて与えることにした。なお、姿勢記録装置のGPSで得られるデータ(緯度、経度、高度、速度)については10ms間隔で記録されるが、データの更新が1秒間隔であるため、FlightGearにそのまま与えても円滑な動作を再現することができなかった。そこで各時刻の前後100ms間隔のデータを各5個、計11個を単純移動平均法³⁾により平滑化を行いデータとして与えた。その結果、FlightGearでのスムーズな動作を再現することができた。

FlightGearの表示画面だけでは姿勢記録装置で得られたデータのどこを再現しているかが不明となる。そこでFlightGearに用意されているマルチプレーヤー設定を利用して、再現中のデータをローカルエリアネットワーク(LAN)に出力させ、どこを再現させているかを表示させる再現点表示ソフトウェアを作成した。再現点表示ソフトウェアは図3に示した選択加工ソフトウェアのメインパネルと同じ項目を表示し、再現点をタイムラインとして表示する。なお地図上で航空機の航跡を表示させるためにAtlas⁴⁾というソフトウェアも同時に利用した。

飛行再現システムとしては以上の3つのソフトウェアを組み合わせで構築した。

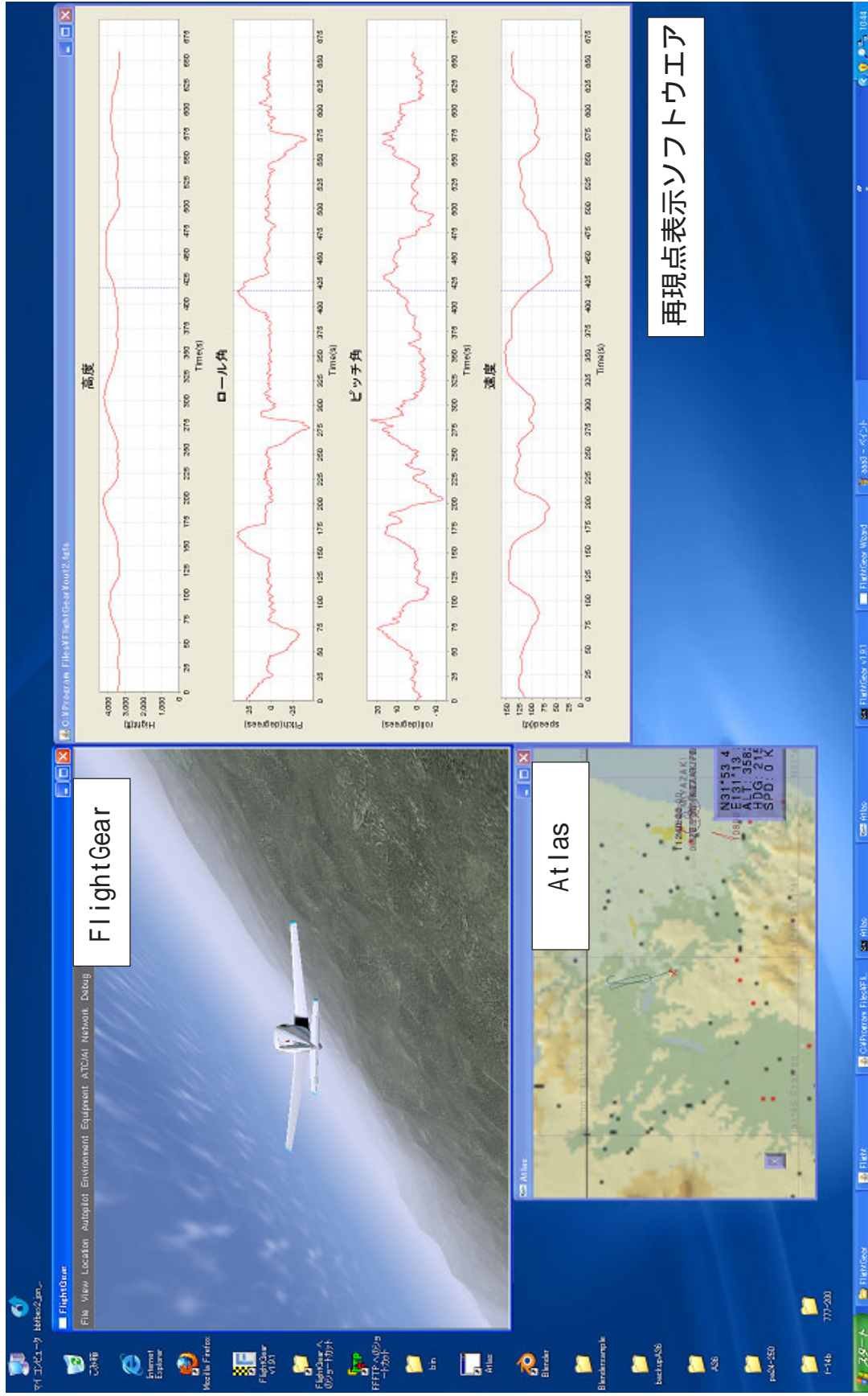


図 4 飛行再現システム

4 飛行実験と結果

4 - 1 姿勢記録装置の測定結果例

図5に平成22年1月27日に飛行して得られた記録データを示す。航跡パネルと地図パネルからどのような飛行ルートを飛行したのかがわかり、メインパネル上に表示された高度、ピッチ角、ロール角、速度のグラフを見ることでどのような運動、訓練であったかを推察することができる。航跡パネルの航跡についてはGPS衛星信号の受信状況により所々不連続となる箇所があるが、ほぼ全体にわたって記録されていることがわかる。GPSのアンテナは遮蔽物のない機外へ設置できることが望ましいが、機内に簡易的に置いても十分なデータが得られることがわかった。

ピッチ角とロール角については10ms間隔でデータが記録され、またその精度が高いため人間には感じる事が困難な細かな振動を捉えている。これらの振動は装置の設置場所や機体の運動によって発生していると考えられる。機体の特性を詳細に解析する場合においては重要なデータとなることも予想されるが、今回の飛行再現システムを構築する場合においては、ここまで高精度の情報を捉える必要はないことがわかった。したがって飛行再現システムにデータを与える場

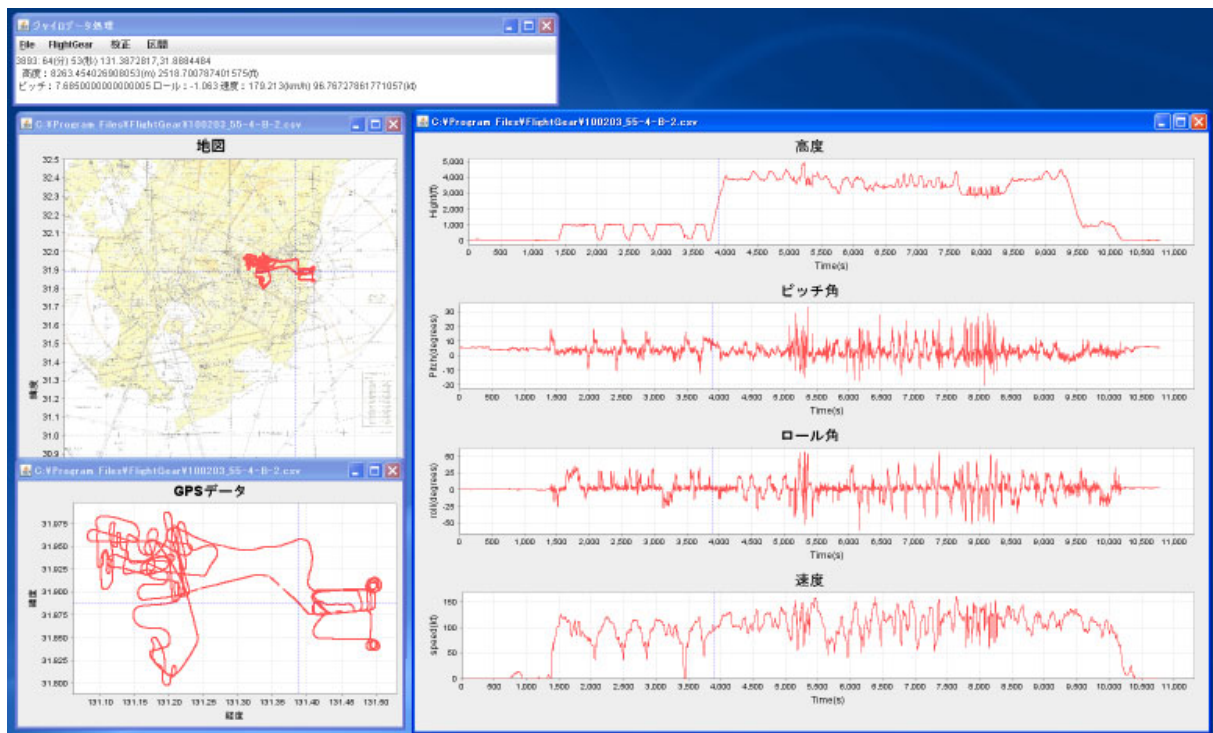


図5 記録データ(平成22年1月27日)

合、100 m s 間隔のデータに変換し、GPS で得られる緯度、経度のデータ処理と同様に11個のデータを単純移動平均法による平滑化を行ったものでも十分に機体の運動、飛行の状態を把握できることがわかった。

4 - 2 操縦訓練科目に対する記録データの処理例

図5に示した記録データには操縦訓練科目の1つであるCHANDELLEとLAZY EIGHTが行われた結果が記録されている。そこでそれぞれの操縦訓練科目を行ったときの姿勢等の変化をグラフ化するソフトウェアを作成した。それぞれの測定結果を図6、図7に示す。いずれの図も横軸は旋回を開始した方角を0度として表示している。縦軸はロール角、ピッチ角および速度である。速度については指示対気速度が望ましいが本装置では得られないため、GPSで得られる速度を表示している。ロール角については右側への傾きをプラス、左側への傾きマイナスで表示している。これらの図から実際の飛行がどうであったかを具体的な数値の変化として見ることができた。

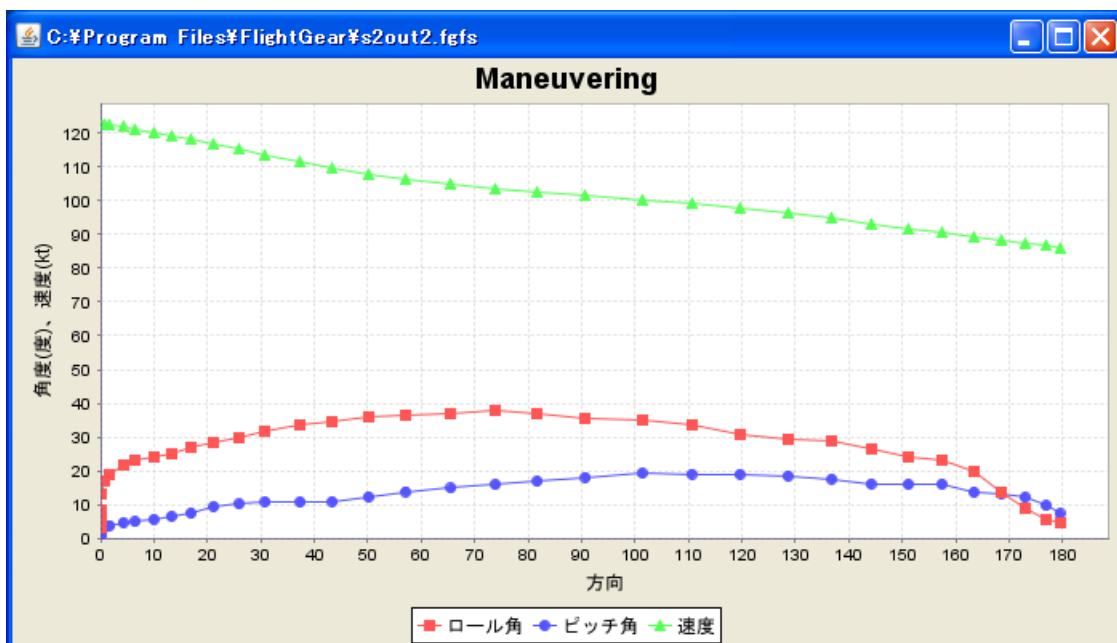


図6 CHANDELLE (右旋回時)

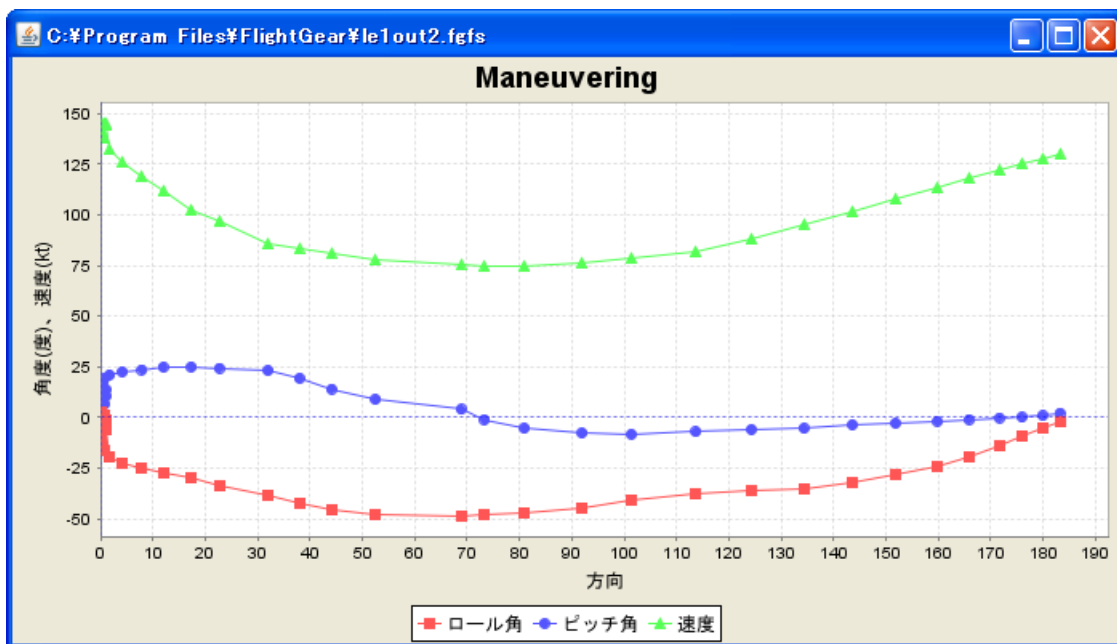


図7 LAZY EIGHT (左旋回分)

4 まとめ

今回構築した姿勢記録装置および飛行再現システムを利用することで航空大学が訓練に使用しているビーチクラフト式A36型機においても位置、姿勢情報を記録、再現することができた。また機体の姿勢変化が大きい訓練科目についても、記録データを基に表現することが可能となるため操縦訓練の一助となることが期待できるシステムである。

飛行機の挙動を具体的に口頭や図示で説明することがおこないにくい CHANDELLE や LAGY EIGHT などの「非定常飛行」を、多様な角度から動画化したり、また、グラフ化することにより、操縦練習生は、自らの操縦がどうであったか、動画や数値(グラフ)を利用して具体的に確認することが可能となる。また、理想的な CHANDELLE や LAGY EIGHT と、学生自身の CHANDELLE や LAGY EIGHT を比較することもできる。一方、操縦教員は、操縦練習直後のデブリーフィングにこれらを利用することにより、練習生の CHANDELLE や LAZY EIGHT に対する誤ったイメージを修正したり、また、具体的数値を利用して科学的に説明することも可能となり、教育効果の向上が期待できる。

今後は本システムを利用して操縦訓練に活用した結果を報告していきたい。

参考文献

- 1) JFreeChart ホームページ, <http://www.jfree.org/jfreechart/>
- 2) FlightGear ホームページ, <http://www.flightgear.org/>
- 3) 南茂夫:「科学計測のための波形データ処理」,CQ出版社(1992)pp.88-90
- 4) Atlas ホームページ, <http://atlas.sourceforge.net/>