

## 4. 風計測ライダの研究開発

井之口浜木 (航空宇宙技術研究所)

Research and Development of Wind Measurement LIDAR

Hamaki Inokuchi (NAL)

*Key Words: LASER, Onboard Sensor, Doppler LIDAR, Wind Measurement*

### Abstract

Wind turbulence has become a major factor in aircraft accidents. Timely advance warning of turbulence ahead of an aircraft may allow the pilot to take steps to minimize any damage or to avoid the hazard entirely. To enhance flight safety, the National Aerospace Laboratory of Japan is developing a practical onboard remote wind measurement sensor based on a LIDAR (Light Detection and Ranging) that will be able to detect windshear, downbursts and clear air turbulence. A breadboard prototype sensor has been developed that uses a coherent Doppler LIDAR with a 1.5-micron laser. The target measurement range of the prototype is 1 km in flight, and it has measured wind at a distance of 2.25 km in a ground trial. The prototype has been installed on an aircraft and a flight demonstration will be carried out in September 2002. This paper describes the development of a prototype LIDAR device.

### 1. はじめに

飛行中の乱気流や突風などの風擾乱は、航空機事故の主要因の一つとなっており、風擾乱に関係した事故を防ぐためには、予め機体前方の風を把握し、危険な領域を回避したり、機体や乗員乗客への影響を低減させたりする方策を採ることが最も直接的である。具体的にはパイロットへの警告により飛行経路を変更する、乗員乗客にシートベルトを装着することを勧告する、機体の飛行制御システムに風情報を提供することにより機体運動を低減させることなどが考えられ、いずれの場合でも飛行中の機体前方の風が実時間で測定できるリモートセンサが必

要である。

現状では風計測リモートセンサとしてマイクロ波を利用したドップラーレーダが開発されており、一部の機体に既に搭載されているが、晴天時に機能しないなどの欠点があり、風擾乱の検知能力は十分でない。

一方、レーザ光を利用した風計測ライダは、地上に設置して上空の風を観測する設備として、実用化されている<sup>1)</sup>。航空機搭載に関しては、米国航空宇宙局 (NASA) が  $2\mu\text{m}$  帯および  $10\mu\text{m}$  帯のレーザ光を使用する風計測ライダを搭載した飛行試験を1992年から実施しており<sup>2)</sup>、風擾乱検知装置としての実用化を目指している。し

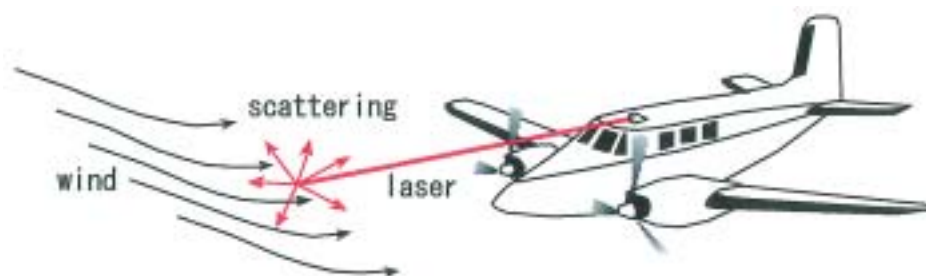


図 1 風計測ライダ概念図

かし、これらの装置で採用されている高エネルギー低パルス数方式は、眼球に対する安全性や航空機搭載性の点で、必ずしも最適な方式であるとは言えない。

航空宇宙技術研究所では、航空機に搭載して飛行安全に役立てるための風計測リモートセンサに関して、平成 11 年度から検討を開始して、現在までに以下の結論を得ている<sup>3)</sup>。

- 1) レーザ光を利用したライダ (LIDAR : Light Detection And Ranging) が適している。
- 2) ライダ方式は、ヘテロダイン方式 (コヒーレント方式) が適している。
- 3) レーザ波長は、 $1.5\mu\text{m}$  帯が適している。

これらの結果を基に平成 13 年度に風計測ライダ地上試験装置が完成したので、この装置を試験的に実験用航空機に搭載した。本地上試験装置は、将来開発されるべき実用型よりも小出力であるが、ライダ方式やレーザ波長などは同一とし、実践的なデータを取得することを目的としている。計測した風情報は、計算機画面にオンラインで表示される。飛行試験は 2002 年 9 月に行う予定で、本試験装置で飛行中に計測することのできる最大レンジは、1km を目指している。

## 2. 風計測ライダの原理

風計測ライダとは、図 1 のように飛行中の機体から前方の大気中にレーザ光を放射し、大気中に浮遊するエアロゾルによるレーザ散乱光を機体側で受信して、ドップラーシフト量を測定することにより、風速を求める装置である。レーザ光は光路上のあらゆる領域で散乱するため、放射および受信の時間差から測定領域を算

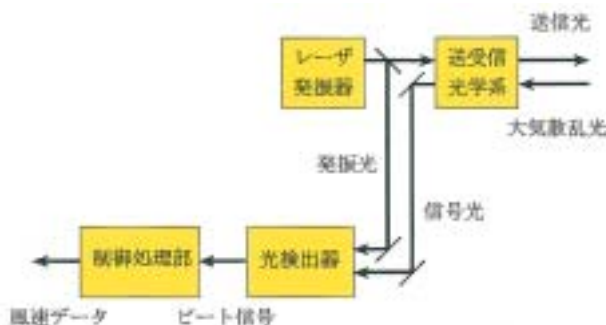


図2 ヘテロダイン方式



図3 風計測ライダ試験装置

出する。ドップラーシフト量を測定する方法として、航空機搭載用としてはヘテロダイン方式<sup>4)</sup>が最も適していると考えられる。ヘテロダイン方式では、図2に示すように装置からレーザ光を放射して、その大気散乱光を受信する。受信した大気散乱光は、ドップラーシフトにより波長が変化するために、装置内部の発振光と受信した信号光との間には波長のずれが生ずる。この波長のずれによるビート信号の周波数は風速に比例するため、風速を求めることができる。

## 3. 風計測ライダ試験装置

風計測ライダ試験装置は、三菱電機株式会社により製作された<sup>5)</sup>。本装置は、本体部、送受信望遠鏡、計算機で構成されている。試験装置全体の外観を図3に示す。本体部はレーザ発振器、ライダ駆動部、光検出器からなり、送受信望遠

表1 本体部仕様

外寸	450 × 400 × 430mm
重量	46kg
消費電力	420W
レーザ波長	1.54 $\mu\text{m}$
レーザ出力	平均 1W
パルス繰返し数	50kHz
パルス幅	1 $\mu\text{s}$
測定繰返し周波数	50Hz

表2 送受信望遠鏡仕様

口径	60mm
ファイバケーブル長	10m
外寸	120 × 120 × 400mm
重量	5kg

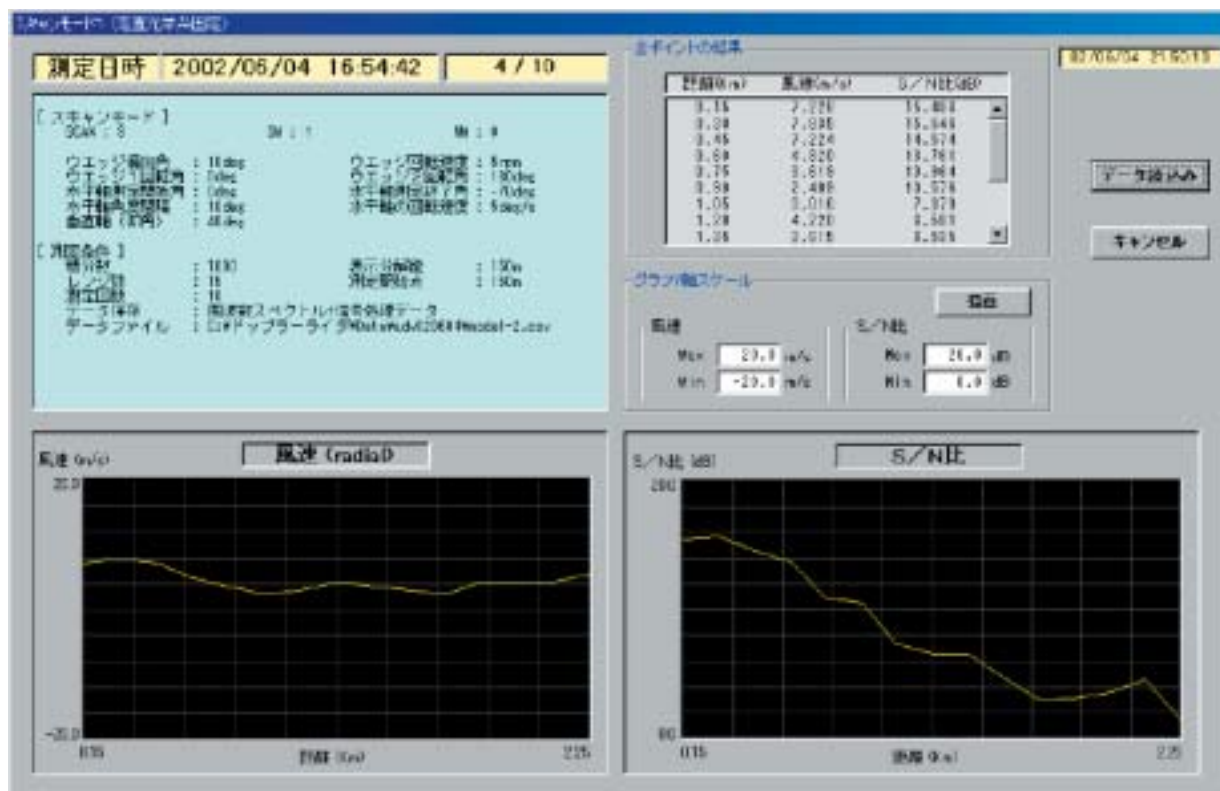


図4 オンラインモニタ画面

鏡はフレキシブルな光ファイバで本体部に接続される。計算機は本体部の制御と信号処理用のための汎用計算機である。本体部および送受信望遠鏡の仕様を、表1および表2に示す。

本試験装置は、コストダウンのために完全な搭載仕様とはせず、地上用の試験装置として開発したが、試験的に実験用航空機に搭載して、実際に飛行中の風を測定することができる。測定した風は図4のようにオンラインで表示することが出来、レーザ発射方向1レンジのみの計測であれば約2Hzで表示を更新することができる。現在のところ計算機の処理能力が充分でないため、図4のように15レンジを同時計測した場合、更新周期は約0.3Hzとなる。本図は地上試験の結果を示しており、図中の左下のグラフに示されているとおり、2.25km遠方の風を計測することが出来た。図中の右下のグラフはレンジ毎の信号対雑音比(SN比)を示しており、遠方ほどSN比が低下している様子が分かる。本試験装置の風速計測範囲は、 $\pm 30\text{m/s}$ であるため、航空機に搭載した際には、自機速度を差し引く必要がある。将来は自機速度や姿勢角を慣性航法装置から受け取る予定で、その機能と

インターフェースを用意してあるが、当初の飛行試験では慣性航法装置を搭載していないため、計算機のキーボード入力による固定値で対応する。

レーザの方式としては、ファイバアンプ方式を採用した。ファイバアンプ方式は、従来のパルスレーザに対して小型で冷却が不要という利点がある反面、高出力化が困難である。しかし近年、高出力型が開発されつつあるために採用することにした。この方式は低エネルギー多パルスとなるため、サンプリング間隔を小さく出来るうえ、電流変動が少ないので電磁ノイズの発生が少ない。光学系の接続にも光ファイバを利用することにより、送受信望遠鏡をレーザ発振部から分離することが出来るので、システムの搭載性が格段に向上する。しかも、レーザ波長を $1.5\mu\text{m}$ 帯としたことにより、人間の眼球に対する安全性が $2\mu\text{m}$ 帯に対して10倍高い<sup>6)</sup>。

さらに航空機搭載時に、レーザ光のスキャン機能を追加した。レーザ光の発射口の外側に各逆回転するプリズムを取り付け、レーザ光を上下方向にスキャンすることが出来るようになっている。このため、軸方向の風速成分から上下

方向の風速成分を求めることが出来る。

#### 4. 航空機搭載

風計測ライダ試験装置は、26,000ft相当の地上減圧試験により搭載の安全性が確認されたので、当所所有の実験用航空機（ビーチクラフト式65型）に搭載された。レーザ光発射部は、胴体下面、翼端、胴体上面、コックピット内が検討され、既設の空気採り入れ用の孔を生かせば、比較的簡単な工事で済むため、最終的に胴体上面となった。本体および計算機は図5のようにキャビン内のラック上に配置し、送受信望遠鏡も同じラックに上向きに取り付けた。レーザ光は胴体上部で反射鏡により前方に向けられる。レーザ光のスキャン方向は、水平から上向き10度までの上下である。機体に装置を取り付けた状態の外観を図6に示す。搭載後の修理改造検査飛行では高度10,000ftまで上昇し、不具合がないことが確認された。速度は200ktまで実証され、安全余裕を考慮して160ktの運用制限が付加された。

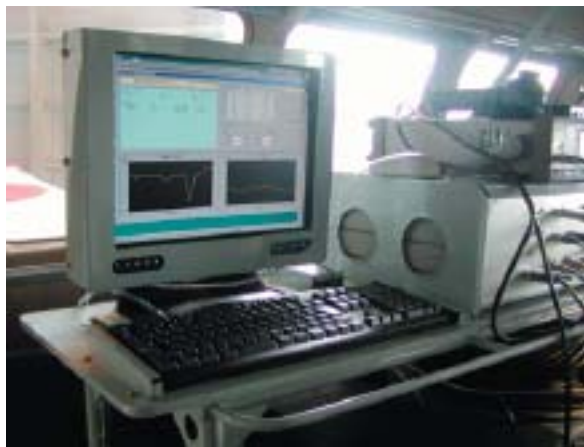


図5 キャビン内に搭載した試験装置



図6 搭載状態の外観

#### 5. おわりに

風計測ライダ試験装置は、基礎的な物理実験を行うためではなく、実用化に直結したフィールドデータを取得するために開発した。本装置はコストダウンのために比較的小出力としたが、高々度ではエアロゾルの絶対量が減少するので、高レンジを確保するためには相当な出力が必要となることが予想される。今回採用したファイバンプ方式は他の方式と比較して圧倒的に搭載性が優れている反面、高出力化は困難とされている。しかしながら、ファイバンプは近年発達の著しい光通信に有効なデバイスであり、急速な改良や価格低下が期待できるために敢えて選択した。今後は試験装置を使って十分なフィールドデータを蓄積し、実用化を目指すことが重要である。

一方、今回の一連の研究開発はセンサの開発に限られるため、実際の航空安全に役立てるためには、警告表示方式の研究も必要である。警告を音声で行うのか、画面表示で行うのか、画面表示で行う場合どのようなデザインが適しているかなど、今後検討してパイロットを含めたシミュレーション試験によって研究開発を進める予定である。

#### 参考文献

- 1) Coherent Technologies, Inc.: Instruction book of the Wind Tracer
- 2) R. Targ, B. C. Steakley, J. G. Hawley, L. L. Ames, P. Forney, D. Swanson, R. Stone, R. G. Otto, V. Zarifis, P. Brockman, R. S. Calloway, S. H. Klein, and P. A. Robinson: Coherent lidar airborne wind sensor : flight-test results at 2 and 10 $\mu$ m, Applied Optics Vol. 35, No.36 (1996)
- 3) 井之口浜木：航空機搭載型風計測センサの研究開発について、第38回飛行機シンポジウム講演集(2000)
- 4) Huffaker, R. Milton and Hardesty, R. Michael: Remote Sensing of Atmospheric Wind Velocities Using Solid-State and CO<sub>2</sub> Coherent Laser System, Proceedings of the IEEE, Vol. 84, No. 2 (1996)
- 5) Asaka, K., Yanagisawa, T. and Hirano, Y.: 1.5-micron eye-safe coherent lidar system for wind velocity measurement, Proceedings of SPIE, Vol. 4153 (2000)
- 6) 日本工業規格 JIS C6802 (1997)