

航空機搭載全光ファイバ型ドップラーライダ

All-fiber airborne Doppler lidar system

亀山 俊平¹、安藤 俊行¹、浅香 公雄²、平野 嘉仁¹、井之口 浜木²
Shumpei Kameyama¹, Toshiyuki Ando¹, Kimio Asaka², Yoshihito Hirano¹, and Hamaki Inokuchi²

¹三菱電機(株) 情報技術総合研究所

¹Mitsubishi Electric Corporation, Information Technology R&D Center

²航空宇宙技術研究所 飛行システム研究センター

²National Aerospace Laboratory of Japan, Flight Systems Research Center

Abstract A 1.5 μm all-fiber airborne Doppler lidar system is proposed. This system has a feature in the super-heterodyne electrical receiver to reject Doppler frequency caused by aircraft motion. Results of the first airborne test are introduced. To our knowledge, this is the first airborne wind sensing using a 1.5 μm Doppler lidar system.

1. まえがき

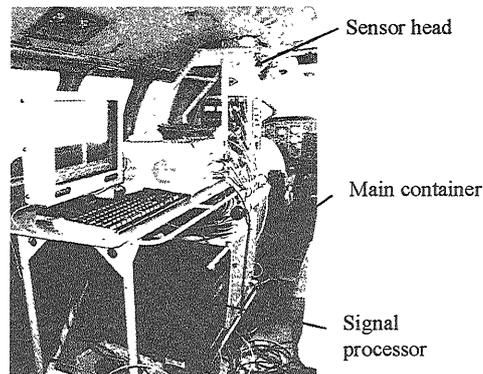
ドップラーライダは、全天候下における風速測定に適していることから、航空機搭載 CAT (Clear Air Turbulence) センサへの応用が期待されている。従来においては、波長 10 μm および 2 μm を用いる航空機搭載ドップラーライダが報告されており、これらのライダによる上空での風速測定結果が数多く報告されている¹⁻²。今回、我々は、波長 1.5 μm を用いるコンパクトな全光ファイバ型ドップラーライダ³による、1.5 μm ライダ世界初の上空での風速測定を行った。超音波風速計との風速比較結果、飛行高度 750m および 1500m での後方散乱係数の測定結果を報告する。

2. システム概要

本システムを搭載した航空機(ビーチクラフト 65 型機, NAL(航空宇宙技術研究所)所有)および搭載されたシステムの外観を Fig. 1 に示す。システム構成および送受信性能は基本的に文献[3]と同じである。飛行試験では、受信信号のドップラー周波数において風速成分のみでなく、航空機の飛行速度により生じる高周波成分が含まれる。上記ドップラー周波数を直接検出する場合、A/D 変換を高サンプリングレートで行う必要性が生じ、その結果、信号処理速度が劣化する。したがって、本システムはドップラー周波数における上記飛行速度成分を除去するためのスーパーヘテロダイン受信機をさらに有している。



(a) Aircraft (Beachcraft65)



(b) System installed on aircraft

Fig. 1. Photographs of system.

3. 飛行測定結果

飛行測定を、2002年9月18日および20日に北関東空域にて実施した。飛行速度は55m/sとした。航空機の先端部には超音波風速計が搭載されており、本システムで測定した風速と、この風速計により測定した風速との比較を行った。飛行速度を±20m/sの範囲で変化させて急激な風速変化を模擬し、この変化を測定した結果をFig. 2に示す。飛行高度は750m、測定距離は300mである。Fig. 2示されている超音波風速計での風速測定値は、本システムのLOS (Line of Sight)方向に校正されている。Fig. 2から、飛行速度の変化に応じて本システムでの風速測定値が変化していることが分かる。また、本システムと超音波風速計との間における測定値の差異は1秒間の平均で約0.5m/sであり、良好一致が得られている。

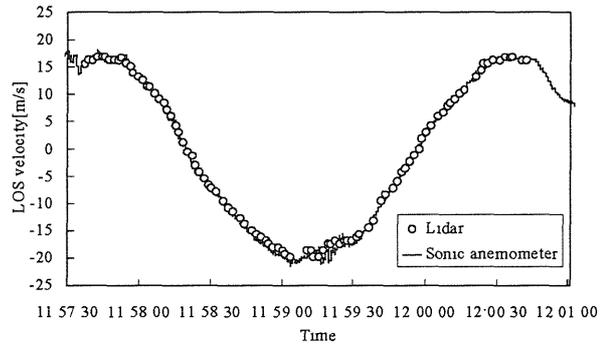
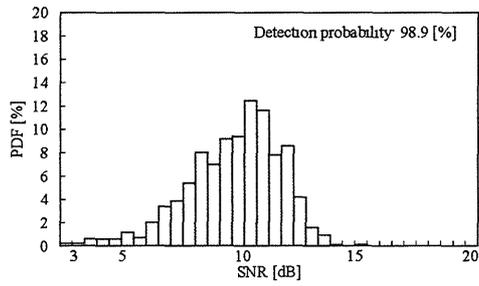


Fig. 2. LOS velocities measured by Doppler lidar system and sonic anemometer.

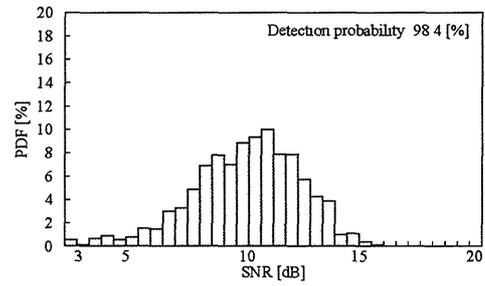
高度750mにおける測定距離150m～1050mでのSNR (Signal to Noise Ratio)のヒストグラムをFig. 3に示す。本論文におけるSNRには、1000回のインコヒーレント積分によるSNR改善効果が含まれている。Fig. 3のヒストグラムにおける標本数は約1000である。SNRにおける信号の検出閾値を4.5dBとしたときの検出確率をFig. 3に合わせて示す。検出確率50%以上が得られる測定距離は600mであることがわかる。また、10%程度の確率ではあるが測定距離1050mにおいても信号が検出されている。次に、高度1500mにおける距離150mおよび300mでのSNRのヒストグラムをFig. 4に示す。Fig. 4のヒストグラムにおける標本数は約100である。Fig. 3(a)およびFig. 4(a)から求めた距離150mでの平均SNRは、高度750mにおいて9.9dB、高度1500mにおいて6.9dBである。これらの平均SNR、文献[3]に示されている本システムの送受信性能、および文献[4]に示されているSNRの計算式とから、各高度における後方散乱係数を求めると、高度750mにおいては $6.0 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1} \text{ sr}^{-1}$ 、高度1500mにおいては $3.0 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1} \text{ sr}^{-1}$ となる。なお、距離150mという比較的近距离においてはSNRにおける大気擾乱の影響は小さいものと考え、SNRの計算式においてこの影響により生じる損失は無視した。後方散乱係数の計算式は文献[5]に示されており、次式(1)により与えられる。

$$\beta = \left[2.47 \times 10^{-6} \cdot \exp\left(-\frac{z}{2000}\right) + 5.13 \times 10^{-9} \cdot \exp\left\{-\frac{(z-20000)^2}{6000^2}\right\} \right] \cdot \frac{0.532 \times 10^{-6}}{\lambda} \quad (1)$$

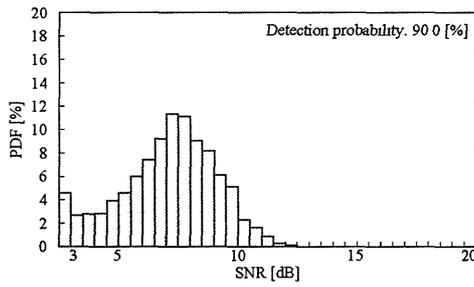
ここで、 λ はレーザ光の波長[m]、 z は高度[m]である。式(1)から後方散乱係数を計算すると、高度750mにおいて $6.0 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1} \text{ sr}^{-1}$ 、高度1500mにおいて $4.2 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1} \text{ sr}^{-1}$ であり、測定結果と良く一致する。



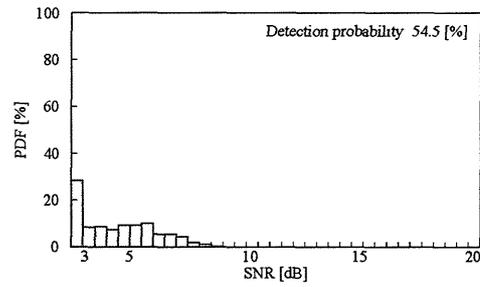
(a) Distance: 150 m



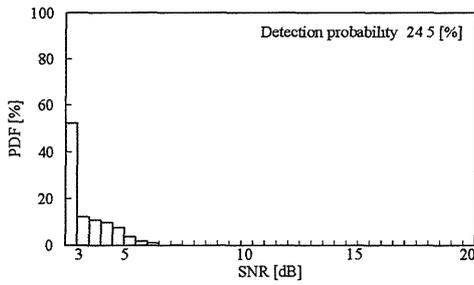
(b) Distance: 300 m



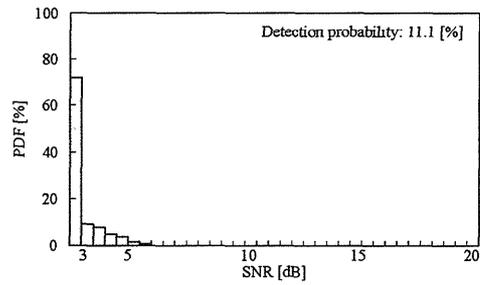
(c) Distance: 450 m



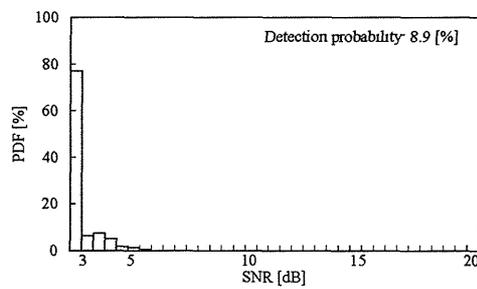
(d) Distance: 600 m



(e) Distance: 750 m



(f) Distance: 900 m



(g) Distance: 1050 m

Fig. 3. Histogram of SNR obtained in flight test (altitude: 750 m).

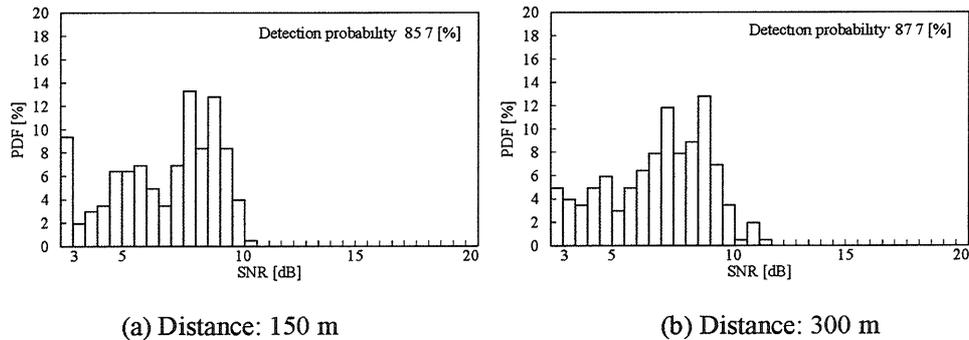


Fig. 4. Histogram of SNR obtained in flight test (altitude: 1500 m).

4. まとめ

波長 $1.5 \mu\text{m}$ を用いる全光ファイバ型パルスドップラーライダをビーチクラフト 65 型機に搭載し、北関東空域における風速測定を行った。飛行速度を $\pm 20\text{m/s}$ の範囲で変化させて急激な風速変化を模擬した測定を行った結果、本システムによりこの変化を測定できること、および本システムと超音波風速計との LOS 方向の風速測定値が良く一致することを確認した。また、高度 750m および高度 1500m における平均 SNR、文献[3]に示されている本システムの送受信性能、および文献[4]に示されている SNR の計算式とから、各高度における後方散乱係数を求めたところ、 $6.0 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1}\text{sr}^{-1}$ および $3.0 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1}\text{sr}^{-1}$ となった。この値は文献 [5] に示されている計算式から求めた結果と良く一致している。本飛行試験における標本数は十分でないため、上空における統計的な後方散乱係数を知るには今後も飛行測定を行っていく必要がある。しかし、本測定結果は波長 $1.5 \mu\text{m}$ を用いるドップラーライダの上空での風速測定性能を予測する上で一つの目安となるものと考えられる。

参考文献

1. J. W. Bilbro et al., Bull. Am. Meteorol. Soc., 65, pp.348, 1984.
2. R. Targ et al., Applied Optics, 35, pp. 7117-7127, 1996.
3. 安藤他, “コンパクト全光ファイバ型ドップラーライダ,” レーザーセンシングシンポジウム予稿集, 2003.
4. 浅香他, レーザー研究, 29, pp.371-376, 2001.
5. 笹野他, F-82-'95/NIES, pp. 13-16.