

風計測ドップラーライダ

亀山俊平* 柳澤隆行**
 崎村武司** 平野嘉仁***
 安藤俊行*

Wind Sensing Doppler LIDAR

Shumpei Kameyama, Takeshi Sakimura, Toshiyuki Ando, Takayuki Yanagisawa, Yoshihito Hirano

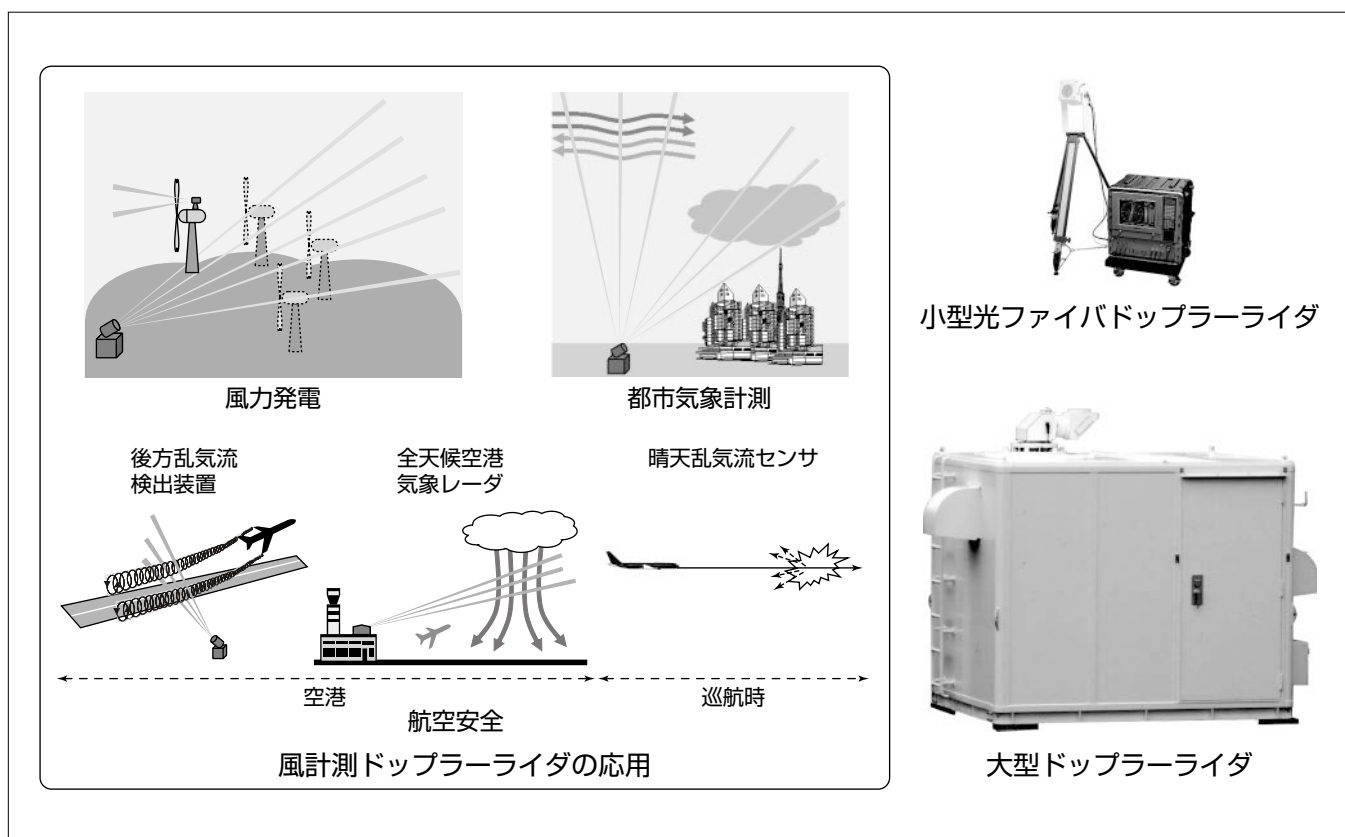
要旨

風計測ドップラーライダ(Light Detection And Ranging : LIDAR)は、電波を用いるドップラーレーダと比較して空間分解能及び速度分解能が高く、かつ晴天時での計測が可能である。したがって、風力発電、気象計測、航空安全といった用途への応用が期待されており、これらへの応用に向け、技術開発に取り組んでいる。三菱電機の開発は、人の目に対し安全な波長1.5 μ m帯のレーザ光を用いており、小型光ファイバタイプと大型タイプ(長距離計測用)の両方がある。本稿では、各々のライダについて述べるとともに、最近の計測長距離化開発について併せて述べる。

小型光ファイバタイプは、全ての光部品にファイバ部品を用いており、小型かつ高信頼であることが特長である。

最大2kmの計測距離を持っており、都市気象計測、空港気象計測、風力発電等、幅広い用途における適用実績がある。大型タイプの計測距離は最大約10kmであり、広域気象計測に用いられている。また、最近のEr, Yb : glass平面導波路型増幅器の開発によって、風計測ドップラーライダ全体の歴史としても世界最長^(注1)となる、計測距離30km以上を実現した。今後、このライダを航空機に搭載して晴天乱気流検出センサとしての評価試験が実施される予定である。また、地上設置用の大型タイプにこの導波路型増幅器を適用し、大型タイプについても長距離計測化する予定である。

(注1) 2013年4月26日現在、当社調べ



風計測ドップラーライダの応用

風計測ドップラーライダは、風力発電、気象計測、航空安全といった様々な分野への応用が期待されている。これらへの応用に向け、当社では、小型光ファイバドップラーライダ及び大型ドップラーライダを開発しており、前者は風力発電及び気象計測に、後者は広域気象計測及び航空安全用途に適用されている。

1. ま え が き

風計測ドップラーライダーは、レーザー光を大気中に放射し、エアロゾルからの散乱光が受けたドップラー周波数シフトから風速を計測する装置である(図1)。この装置では、電波を用いるドップラーレーダと比較して短波長・高周波信号を送受するため、空間分解能及び速度分解能が高い。さらに、レーダでは受信困難なエアロゾルからの散乱信号を受信できるため、晴天時での計測が可能である。これらの利点を活用することで、気象計測、風力発電、航空安全といった用途への応用が期待されており、当社でもこれらへの応用に向け、技術開発に取り組んでいる。当社の開発は、人の目に対して安全な波長1.5μm帯のレーザー光を用いていることを特長としており、小型光ファイバタイプと大型タイプ(長距離計測用)の両方がある。

本稿では、各々のライダーについて述べるとともに、最近の計測長距離化開発について併せて述べる。

2. 小型光ファイバドップラーライダー⁽¹⁾⁽²⁾

小型光ファイバドップラーライダーの構成を図2に、装置の外観を図3に示す。この装置は、本体とヘッド部とを、一本の光ファイバで接続し、高い配置自由度を持ち、最大約2kmの計測可能距離を持っている。また、全ての光部品に光通信で用いられているファイバ部品を用いており、小型かつ高信頼な装置を実現している。波長1.5μmの光源から連続光を出力し、この出力を分岐し片側を送信光に、他方を局発光に用いる。送信光をパルス変調器によってパルス化し、ファイバ増幅器によってピークパワー約10Wまで増幅した後、サーキュレータ、光学系、及びビームスキャナを介し大気中に送信する。散乱光を受信した後、光受信器で局発光と合波しヘテロダイン検波を行う。この検波信号を信号処理部でスペクトル解析処理を行ってビーム送受信方向におけるドップラー周波数シフトの分布を検出することで、この方向の風速分布計測を行う。ヘッド部に格納されたビームスキャナの機能によって、風向・風速計

測、さらには風速の面分布の計測も可能である。距離分解能は30m, 75m, 150mの3種類を持っている。また、FPGA(Field Programmable Gate Array)タイプの専用信号処理ボードによって、20レンジの風計測をリアルタイム

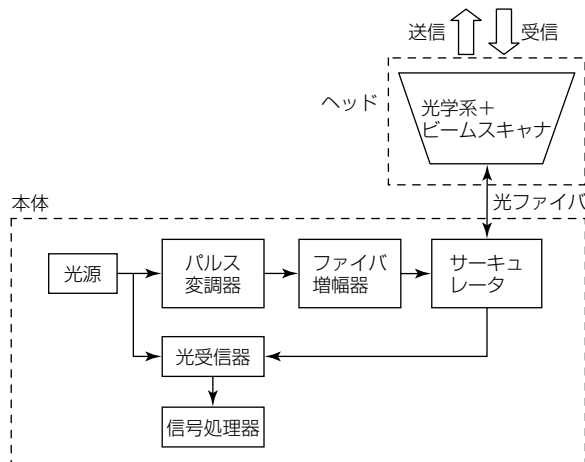


図2. 小型光ファイバドップラーライダーの基本構成



図3. 小型光ファイバドップラーライダー

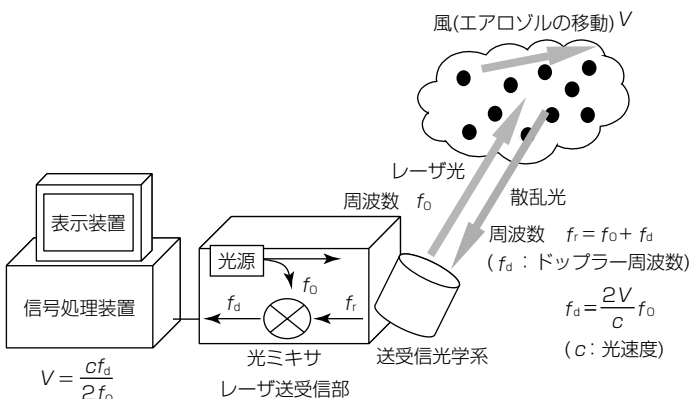


図1. 風計測ライダーの基本原理

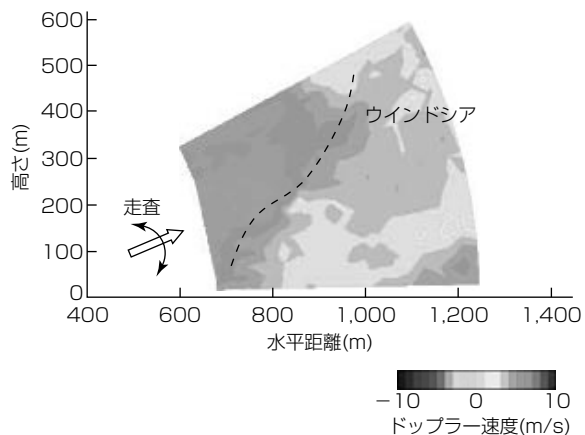


図4. 計測結果例(縦方向スキャンによる風速断面分布の計測結果)

に実現することが可能である。さらにビームスキャンについても、水平・垂直スキャン、及び円周スキャンといった様々な動作モードを実現することが可能である。

このライダーは小型・可搬型であることから、都市気象計測、空港気象計測、風力発電等、幅広い用途における適用実績がある。このライダーを気象計測に適用した一例を図4に示す。距離分解能を75mとし、縦断面でビームスキャンしながら距離1.2kmまでの視線風速分布を計測したものである。ウインドシア(風速があるラインを境に急変する現象)を明確に捕らえていることを確認できる。

3. 大型ドップラーライダー⁽³⁾

2章に述べた小型光ファイバタイプに加え、広範囲の気象計測用として、長距離計測用大型ドップラーライダーの開発



図5. 大型ドップラーライダー

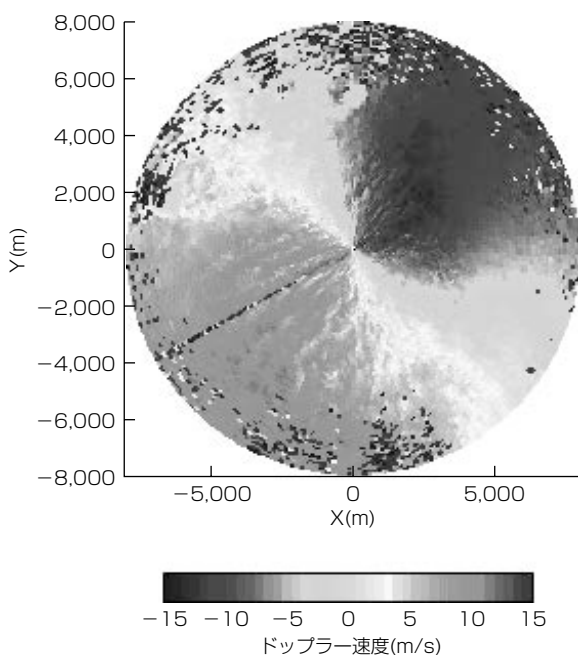


図6. 計測結果例(円周スキャンによる風速の水平面内分布)

を行っている。計測長距離化のため、高繰り返し(4kHz)、高ピーク光出力(>1kW)が可能なパラメトリック増幅器を開発し、これを小型光ファイバタイプの構成に加えて、ファイバ増幅器の後段に増設する形とした。大型ドップラーライダーの外観を図5に示す。光送受信部・信号処理部等一式はシェルター内に格納しており、天井部に位置するスキャナを介して大気中にレーザ光を送受する。ビームスキャンによって、空間中の風速分布を計測する。

このライダーは、最大計測距離約10kmを持っており、特に広域の気象計測用途(都市、空港)として用いられている。このライダーによる計測結果の一例を図6に示す。図は、スキャナによって水平面内をスキャンして得られた風速分布の画像であり、円の中心がライダー設置位置に相当している。図中の色は、カラーバーに示された風速に対応している。8km半径円内の風速分布を鮮明に捕らえていることが分かる。

4. 計測長距離化技術⁽⁴⁾⁽⁵⁾

航空機の巡航時では、晴天乱気流への遭遇が脅威となる。当社では、この乱気流検出を目的とした航空機搭載ライダーの開発を、(独)宇宙航空研究開発機構と共同で進めている。このライダーでは、小型化が要求されるだけでなく、距離10kmの長距離計測を、上空10kmの高高度で実現することが求められる。上空ではレーザ光の散乱源となるエアロゾルが少ないため、更なるレーザ高出力化による計測長距離化技術が必要である。この高出力化を目的とした、Er, Yb: glass平面導波路型増幅器を開発し、ピークパワーを約4kWに高出力化した。装置の基本構成は、2章に示した小型光ファイバタイプの本体部後段に、先に述べた導波路型増幅器と光学系を一体化したヘッド部を増設する形となっている。航空機搭載試験に先立ち、地上で評価試験を行った結果を図7に示す。図では、送受信方向を仰角数度に固定してほぼ水平に送受を行い、受信SN(Signal to Noise)比と風速検出値をプロットしている。高出力化の効

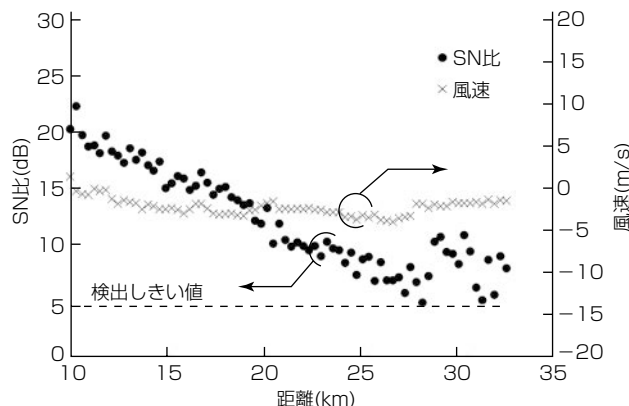


図7. 長距離計測用ライダーでの計測結果例(分解能300m, 計測レート4s)

果によって地上での計測距離は大幅に伸びており、検出しきい値以上の受信SN比を距離30km以上まで連続的に得られていること、また、風速検出値でも、この距離範囲でランダム誤検出がなく、正確に風速計測できていることが分かる。今後、このライダーを航空機に搭載し、上空での長距離風計測が実証される予定である。

5. む す び

当社における風計測ドップラーライダーの開発について述べた。小型光ファイバタイプは最大約2kmの計測距離を持っており、都市気象計測、空港気象計測、風力発電等、幅広い用途における適用実績がある。大型タイプの計測距離は最大約10kmであり、広域気象計測に用いられている。また、最近のEr, Yb: glass平面導波路型増幅器の開発によって、計測距離30km以上を実現した。この計測距離は、風計測ドップラーライダー全体の歴史でも最長の実証距離であり、次ステップとして実施される航空機搭載での上空風計測試験でも、長距離計測を実現できる見通しである。また、地上設置用に関しても、大型タイプに先に述べた導波路型増幅器を適用し、大型タイプの長距離計測化も実現する予定である。これらの風計測ライダーが、気象計測、航空安全、風力発電などの各種分野で有効活用されていくことを期待する。

参 考 文 献

- (1) Kameyama, S., et al.: Compact all-fiber pulsed coherent Doppler lidar system for wind sensing, *Applied Optics*, **46**, 1953~1962 (2007)
- (2) Ando, T., et al.: All-fiber coherent Doppler LIDAR for wind sensing, *Proc. of Material Research Society Symposium*, 1076-K04-05 (2008)
- (3) Hirano, Y: High-performance 1.5 μ m coherent Doppler lidar for wind field measurement, *Proc. of Conference on Lasers and Electro-Optics* (2004)
- (4) Sakimura, T., et al.: 1.5 μ m high-gain and high-power laser amplifier using Er, Yb: glass planar waveguide, *Proc. of CLEO Science and Innovations, CTu2D* (2012)
- (5) Kameyama, S., et al.: Wind sensing demonstration of more than 30km measurable range with a 1.5 μ m coherent Doppler LIDAR which has the laser amplifier using Er, Yb: glass planar waveguide, *Proc. of SPIE*, 85260E-1 (2012)