

# ドップラーライダ

田中久理\*  
 圓城雅之\*  
 藪垣吉幸\*

## Doppler Lidar

Hisamichi Tanaka, Masayuki Enjo, Yoshiyuki Yabugaki

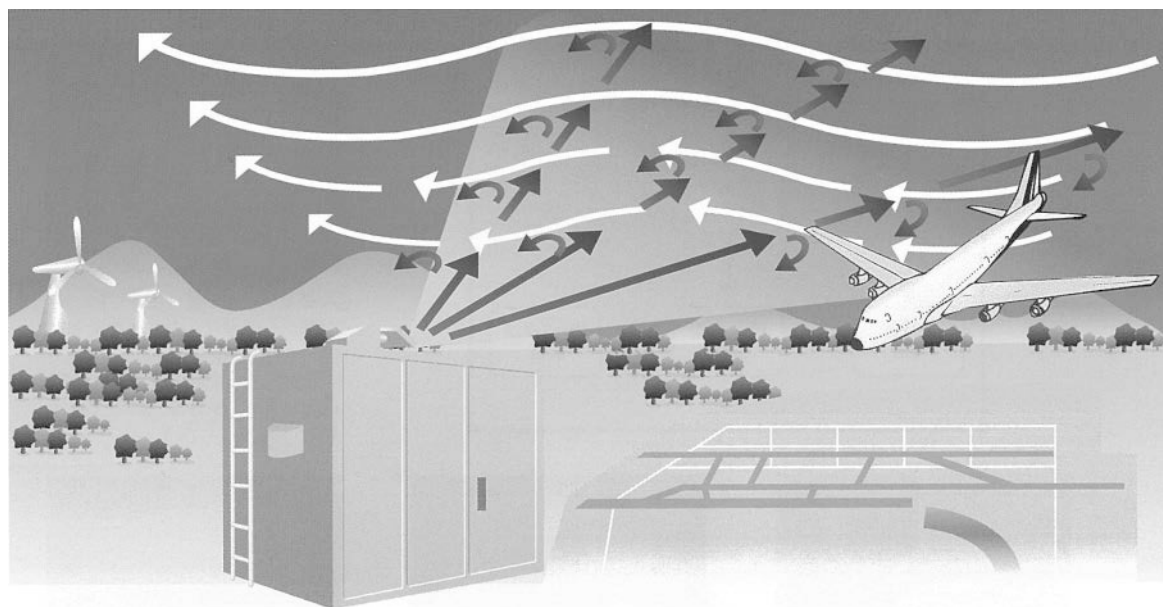
### 要旨

ドップラーライダ(Light Detection And Ranging : LIDAR)は、レーザ光を大気中に放射し、大気中のエアロゾル(ちりなどの微粒子)からの散乱波を受信し、そのドップラー周波数の変位を検出することで遠隔の風速を計測する装置である。ドップラーライダは大気中のエアロゾルからの散乱波を受信するため、晴天時の風速計測が可能という特長を持っている。

三菱電機は2000年に光ファイバ部品で構成したドップラーライダの開発に成功し、その後、広い範囲での風速計測を目的とした長距離型ドップラーライダの開発を進めるとともに、全光ファイバ型ドップラーライダの商品化を行っ

てきた。長距離型ドップラーライダは設置環境の影響を受けないよう機器をシェルター内に格納しており、大気に放射するレーザ光を2枚の反射鏡で構成するスキャナ装置を介することによって全天半球の任意の仰角、方位への走査を可能としている。小型ドップラーライダは三脚上に設置する光アンテナ装置と、本体装置の2つの装置で構成しており、装置の可搬性を高めたドップラーライダである。

本稿では当社がこれまでに開発した長距離型及び小型ドップラーライダについて述べるとともに、現在開発を進めている風力発電用途に特化したドップラーライダについて述べる。



### ドップラーライダの適用分野

レーザ光を用いることによって晴天時での風速計測を可能とするドップラーライダは、大気の流れを計測する気象・環境計測、空港周辺の風速分布や航空機から生じる後方乱気流を計測して航空機の運航安全を図る航空管制、風力発電サイト候補地の調査等、様々な用途が期待される。

1. ま え が き

ドップラーライダーは、レーザ光を大気中に放射し、大気中のエアロゾル(ちりなどの微粒子)からの散乱波を受信し、そのドップラー効果による周波数の変位を検出することでエアロゾルの速度を計測する装置である。エアロゾルは微小(直径数マイクロメートル)であり大気の動きと同一と想定し、風速とみなすことができる。ドップラーライダーの風速測定原理を図1に示す。

当社では1990年代からドップラーライダーの開発を進めており、2000年にはレーザ光の発振、増幅、受信部分をすべて光ファイバ部品で構成したドップラーライダーの開発に成功した。その後、長距離計測可能な高出力ライダーの開発を進めるとともに、全光ファイバ型ドップラーライダーの商品化を行ってきた。

本稿では当社がこれまでに開発したドップラーライダーについて述べるとともに、現在開発を進めている風力発電用途に特化したドップラーライダーについて述べる。

ドップラーライダーの特長として、これまで気象観測などに用いられてきた風向風速計と異なり、レーザ光を大気中に放射して一定時間後に散乱波を受信することによって、遠隔の風速を計測することが可能であることが挙げられる。

ドップラーライダー以外に遠隔の風速を計測する手段として、電波を用いるドップラーレーダ、ウィンドプロファイラなどがある。ドップラーレーダは、マイクロ波を大気に放射し、雨滴による散乱波から速度を算出するため、雨天時に用いられる。またウィンドプロファイラは上方に電波を放射し、大気の揺らぎや雨滴による散乱波を受信するため、装置の天頂方向の風向風速を計測する。ドップラー

ライダーは大気中のエアロゾルからの散乱波を受信するため晴天時の風速計測が可能であり、また、レーザ光を水平又は低仰角で走査することによって、面的な風速成分の計測が可能である特長を持っている。

2. 長距離型ドップラーライダー<sup>(1)(2)</sup>

ドップラーライダーの光部品をすべて光ファイバ部品を用いることで、小型で取扱いが容易になるという利点がある。その一方、出力するレーザ光のピークパワーが、送信光路の光ファイバ部品内で発生する非線形光学効果によって数十Wに制限されるため、観測距離が抑えられるデメリットがあった。そのため、ドップラーライダーの風速計測範囲の拡大を目的として、高い出力が得られるレーザ光増幅器の開発を行い、実用化した。このドップラーライダーの外観を図2に示す。ドップラーライダーの機器は設置環境の影響を



図2. 長距離型ドップラーライダーの外観

特集 II

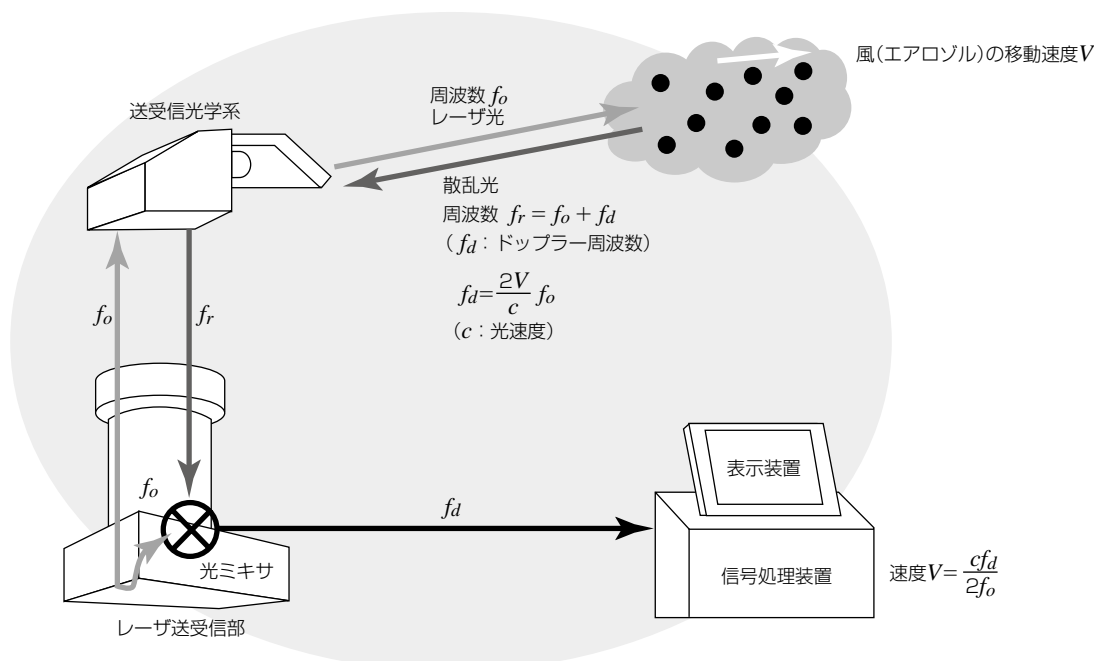


図1. ドップラーライダーの風速測定原理

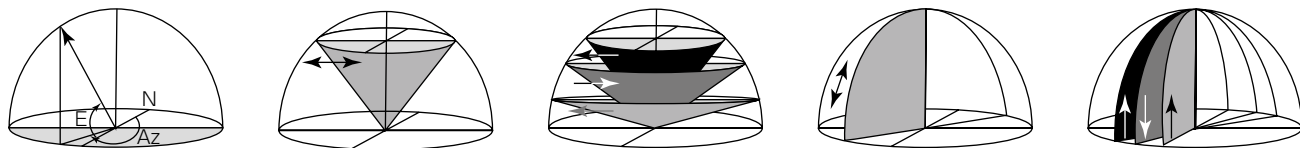


図3. 長距離型ドップラーライダの走査パターン

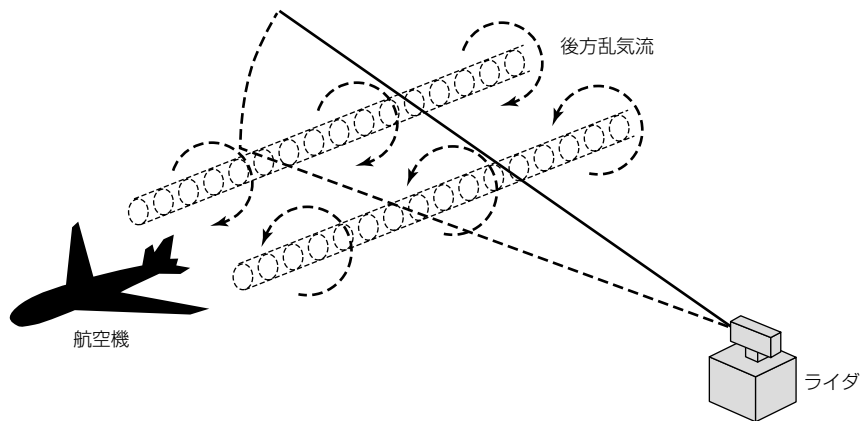


図4. 後方乱気流検出のレイアウト

受けないようすべてシェルター内に格納している。天井に設置したスキャナ装置によって大気中にレーザ光を放射する。スキャナ装置は2枚の反射鏡で構成し、反射鏡角度を変化させることで、レーザ光を全天半球の任意の仰角と方位に走査又は指向させることが可能となっている。このドップラーライダの走査パターンを図3に示す。

このドップラーライダの計測距離は約20kmであり、適用分野として気象観測や空港周辺の面的な風速分布計測が期待される。

また、晴天時に風速計測が可能な特長を生かした応用として、飛行中の航空機の主翼両端から発生する後方乱気流と呼ばれる渦の検出が挙げられる。先行する航空機が発生する後方乱気流は後続機に影響を及ぼすため、空港の離発着では一定の間隔をあけるよう定められている。当社ではドップラーライダを用いた航空機の航跡を垂直面観測(図4)したデータから、後方乱気流の特徴と一致する風速パターンを空間領域の相関演算によって検出するアルゴリズムを開発した。今後、後方乱気流検出の実用化を進めることによって、航空機の運航安全の確保に寄与することが期待される。

### 3. 小型ドップラーライダ<sup>(3)</sup>

小型ドップラーライダの特長は、レーザ光の送受信を行う部品をすべて光ファイバ部品で構成したことによる小型・高信頼化である。このライダはレーザ光の発振、増幅、受信を行う本体装置と、レーザ光の大気への放射と散乱波の受信を行う光アンテナ装置で構成している。小型ドップラーライダの外観を図5に示す。

光アンテナ装置は三脚上に設置し、本体装置と接続する

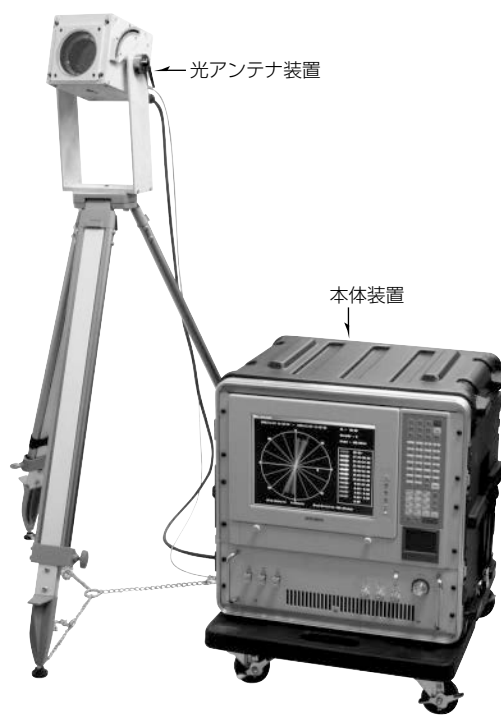


図5. 小型ドップラーライダ

ケーブル及び光ファイバを脱着可能とすることによって、可搬性を高めている。また、小型ドップラーライダ専用のFPGA(Field Programmable Gate Array)タイプの信号処理ボードを開発し、リアルタイムで信号処理を行い表示可能とすることでユーザビリティを高めている。

このドップラーライダは光アンテナ装置に格納したプリズムを回転させることによって、円錐(えんすい)走査、水平走査、垂直走査が可能となっている。このドップラーライダの走査パターンを図6に示す。

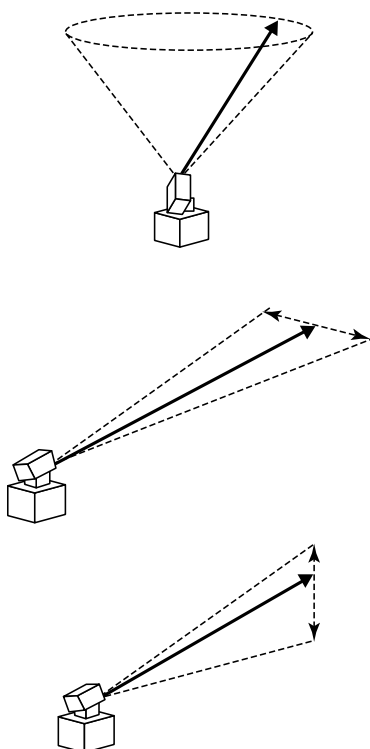


図6. 小型ドップラーライダの走査パターン

#### 4. 風力発電向けドップラーライダ

2012年7月から、再生可能エネルギーによる発電量の拡大を目的とした固定価格買取制度が開始された。風力発電もその一つとして導入規模の拡大が望まれており、また世界的にも再生可能エネルギーの有力な手法として活発化しつつあるため、当社でも風力発電分野への寄与を目指して風力発電分野に特化したドップラーライダの開発を行っている。

風力発電分野での風向風速の計測は、発電量の予測や発電量との比較を行うために実施される。そのためには、風車の回転軸(ハブ)付近の高さでの値を得る必要があり、ハブ付近の高さのタワーを設置し、風向風速計を配置しなければ目的とする計測ができない。さらに、近年は風車直径が大型化することで風車のハブ位置も高度化しており、それに準じてタワー高さの高度化も必要となるため、タワー設置及び維持管理の負担が高まることが予想される。ドッ

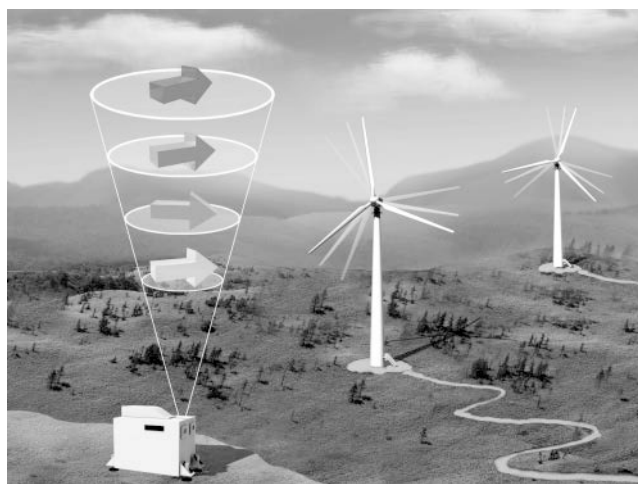


図7. 風力発電向けドップラーライダの計測イメージ

プラーライダを用いることでハブ付近の高さの風向風速計測を容易とし、タワー設置及び維持管理の軽減に寄与することを想定し、現在開発を進めている。計測イメージを図7に示す。

#### 5. む す び

当社のドップラーライダの開発について述べた。長距離型及び小型ドップラーライダの商品化を行い、気象、環境計測や航空機の運航、管制等の用途で適用が期待されている。今後は風力発電分野での応用を含め更なる適用分野の拡大を目指し開発を進めていく。

#### 参 考 文 献

- (1) 柳澤隆行, ほか: 1.5  $\mu\text{m}$  コヒーレントライダ用パラメトリック増幅器の開発, 第23回レーザーセンシングシンポジウム, AO-6 (2004)
- (2) 酒巻 洋, ほか: レーザレーダにおける乱気流検出アルゴリズム, 第23回レーザーセンシングシンポジウム, KP-5 (2004)
- (3) Kameyama, S., et al.: Compact all-fiber pulsed coherent Doppler lidar system for wind sensing, Applied Optics, **46**, No. 11, 1953~1962 (2007)