

ライダ技術

浅香公雄* 平野嘉仁**
 今城勝治** 酒巻 洋*
 亀山俊平*

Lidar Technology

Kimio Asaka, Masaharu Imaki, Shumpei Kameyama, Yoshihito Hirano, Hiroshi Sakamaki

要 旨

レーザー光を目標に照射し、目標からの散乱光の強度、波長変化、位相、到達時間などを計測するライダ技術によって、特定ガスの濃度計測、風計測、三次元撮像が可能である。三菱電機では、培ってきたレーザー技術及び光制御・受信技術によって、環境・エコ、安心・安全な社会に貢献するライダ技術の開発を進めてきている。

本稿では、風計測、三次元高速撮像、ガス濃度計測のライダ技術の開発状況について述べる。

(1) 風計測

アイセーフ波長である1.5 μ m帯のレーザーを採用した風計測用ドップラーライダを世界に先駆けて製品化している。小型で高信頼な全光ファイバ型ドップラーライダの観測距離の長距離化(~10km)を実現する小型、高信頼な高出力光源の開発を行っている。

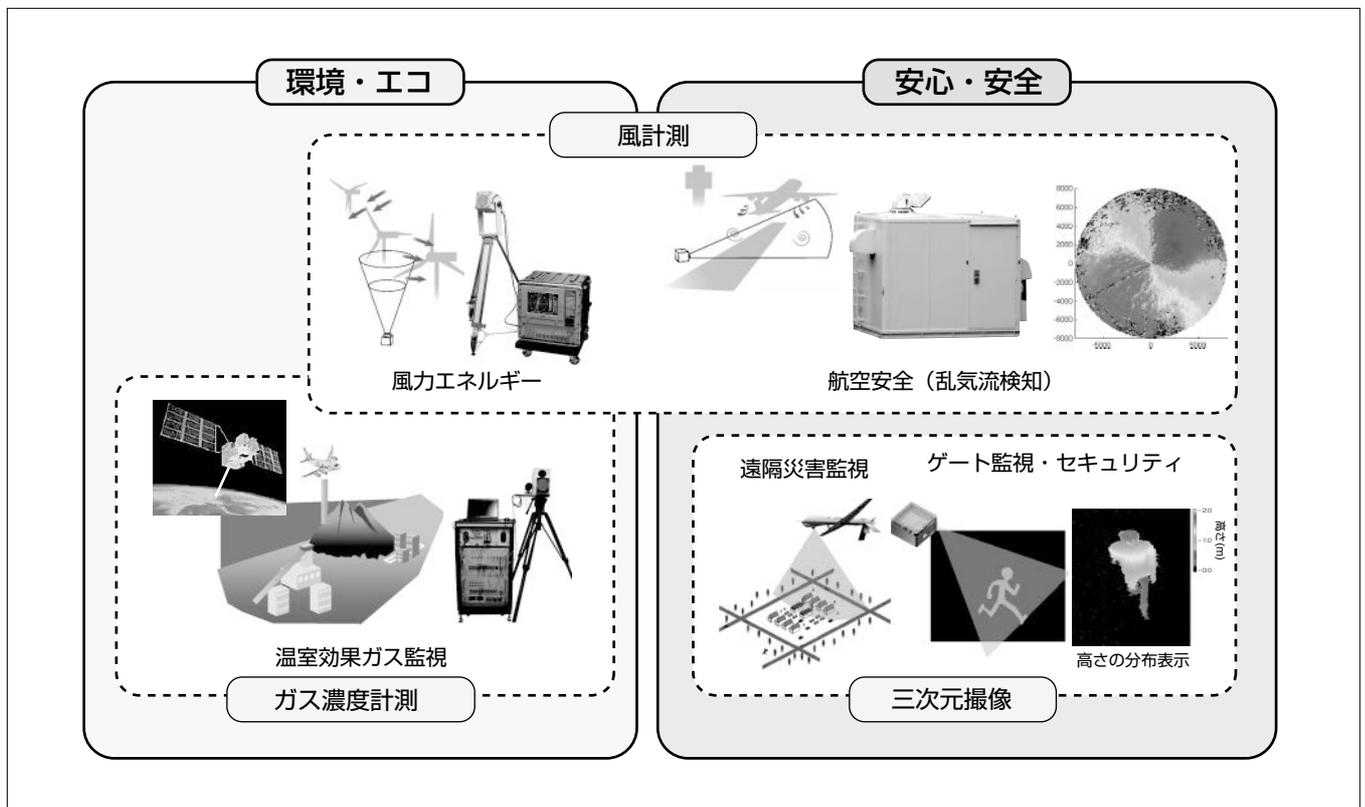
(2) 三次元高速撮像

距離を計測して画像化する方式によって、従来のカメラに比べ外部環境に影響されない高コントラストな撮像が可能である。256素子受光素子アレー及びリアルタイムアナログ信号処理ICの開発によって、世界最高の三次元動画撮影(256 \times 256画素、フレームレート10Hz以上)を実現する。

(3) ガス濃度計測

吸収率の波長差による受信光強度の比から、光路中の測定対象ガスの濃度分布を計測することができる。現在、宇宙航空研究開発機構に協力して、地球規模での温室効果ガス監視(炭酸ガス)を最終目的とした装置の開発を行っている。独自のCW(Continuous Wave)変調方式を用いた地上検証モデルによって、世界最高^(注1)の測定精度 4 ppmを実現している。

(注1) 2008年8月27日現在、当社調べ



ライダ技術の応用分野

当社では、培ってきたレーザー技術及び光制御・受信技術によって、環境・エコ(風況調査などの風力エネルギー応用、CO₂などの温室効果ガス濃度計測)、安心・安全な社会(空港・航空機周辺の乱気流検知、三次元撮像によるエリア・ゲート監視)に貢献するライダ技術の開発を行っている。

1. ま え が き

レーザ光を目標に照射し、目標からの散乱光の強度、波長変化、位相、到達時間などを計測するライダー技術によって風分布計測、三次元撮像、特定ガスの濃度を計測することが可能である。当社では、培ってきたレーザ技術及び光制御・受信技術によって、環境・エコ、安心・安全な社会に貢献するライダー技術の開発を進めてきている。

本稿では、目に対して最も安全度の高い1.5~1.6μm帯のアイセーフ波長のレーザを採用した風計測、三次元撮像、ガス濃度計測のライダー技術の開発状況について述べる。

2. 風 計 測

2.1 概 要

ドップラーライダーは大気中の微小な塵(エアロゾル)からの散乱光のドップラーシフトから上空や周囲の風速分布を観測するため、電波で雨雲を対象とするドップラーレーダと異なり、晴天時でも観測が可能である。このため、気象観測用途のほか、建設予定地の風況調査や風車(タービン)の予測制御といった風力エネルギー応用や空港及び航空機周辺の乱気流検出による航空安全用途への適用が図られている。当社では、アイセーフ波長である1.5μm帯のレーザを採用した小型で高信頼な全光ファイバ型の小型ドップラーライダー(観測距離~2km)と後段に高出力レーザアンプを接続した大型ドップラーライダー(観測距離~10km)を世界に先駆けて開発するとともに、国内研究機関に協力して先に述べた用途に向けた技術開発に取り組んできた⁽¹⁾⁽²⁾。さらに、全光ファイバ型のドップラーライダーの観測距離の長距離化を実現するため、光ファイバアンプをベースとした小型、高信頼な高出力光源開発を段階的に進めてきている。

2.2 高出力光源開発

単一モード、高スペクトル純度の送信パルス光を用いるドップラーライダーでは、光ファイバ中を伝搬する送信パルス光に対する非線形光学効果によって、送信光のピーク出力が制限されていた。非線形光学効果の閾値(しきいち)は伝送ファイバの有効コア面積に比例し、有効伝搬長に反比例することからEr³⁺/Yb³⁺イオンを高濃度に添加してファイバ長を短くした短尺化ファイバアンプの開発、さらにコア径を拡大した2層クラッド構造のファイバを用いた大口径ダブルクラッド型ファイバアンプの開発という2段階での高出力化開発を行っている。試作の結果、前者ではピーク出力約90W、後者ではピーク出力約300Wを得ている。短尺化ファイバアンプを用いた中距離用光ファイバ型ドップラーライダーを開発しており、その構成を図1に、測定例を図2に示す。この装置では、約50Wのピーク出力によって、半径4kmにわたり良好なデータが得られることを確

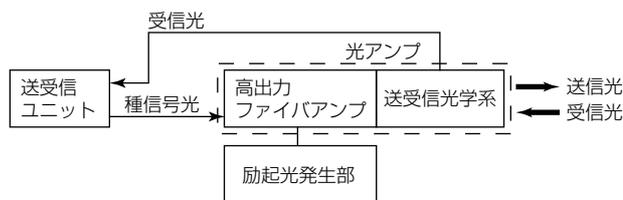
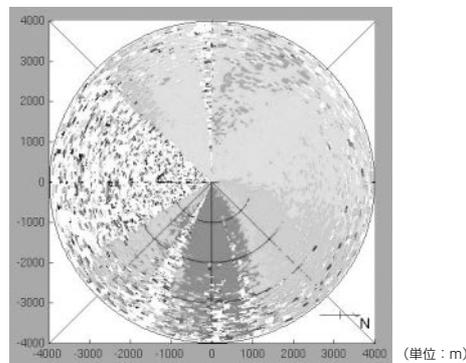


図1. 中距離用光ファイバ型ドップラーライダーの構成



ドップラーライダーは中心にある。中心から扇状に白く抜けている領域は建築物などによってレーザ光が遮蔽(しゃへい)された領域である。

図2. 中距離用光ファイバ型ドップラーライダーの測定例

認できた⁽³⁾。一方、長距離用ドップラーライダー(観測距離10km以上)にはkWクラスの送信光出力が要求されるが、光ファイバアンプのこれ以上の高出力化には限界がある。このため、長距離用として、非線形光学効果の影響が小さく、より大きな励起エネルギーを蓄積可能な平面導波路を利得媒質とした光導波路型増幅器を開発中である。

3. 三次元高速撮像

3.1 概 要

レーザ光を高速走査し、目標又は観測エリア上を多点測距することによって高速三次元撮像を行うレーザ三次元イメージャを開発している。従来のカメラ方式に比べ外部環境に影響されない高コントラストな撮像が可能であり、遠隔災害監視やエリア監視への適用が期待される。レーザ光を用いた測距方式には、CW変調方式及びパルス方式が存在し、前者が近距離・高精度計測を低コストで実現できるのに対し、後者は長距離撮像に優位と言われている。当社では様々な用途を念頭に置き、両方式での開発を進めているが⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾、ここではパルス方式の開発について述べる。

3.2 システム構成

システム構成を図3に示す。1.5μm帯導波路型アレーレーザーから送信パルスを送信ライン上に照射し、APD(Avalanche PhotoDiode)一次元アレーの各素子で受信した信号をアナログROIC(Read-Out Integrated Circuit)によって処理し、照射ライン上の距離を瞬時に計測する。このラインを一次元に高速走査して広範囲に送受信を行い、高速三次元撮像を行う。このシステムで必要となる1.5μmアイセーフ波長帯の導波路型アレーレーザー、雑音特性に優れた

InAlAs APDアレー、受信パルスを高速処理しパルス強度と距離信号を出力するROICアレーといったアレーデバイスの開発を行うとともに、開発したAPD、ROICの各単素子によるシステム実証を行った。開発したAPD、ROICの各単素子を組み込んだ実験系を構築し、撮像実験を行った。結果を図4に示す。単素子での撮像であるため走査は二次元であり、100×100画素、2 Hz相当の撮像速度である。今後要素デバイスをアレー化し、レーザ高出力化を行うことで、距離数百m以上の高速三次元撮像(256×256画素相当でフレームレート10Hz以上)を実現する。

3.3 目標検出技術

レーザ三次元イメージャでは、高精度な仰角・方位角情報及び距離情報が得られることによって、三次元画像を得ることができる。また画素ごとに強度情報も得られる。この特徴を活用し、目標の三次元特徴量及び地面などの強度値の差を用いた目標検出技術を開発した⁽⁷⁾(図5)。三次元画像を用いることによって、仰角・方位角情報のみの二次元画像に比べ、目標検出性能の向上が図れる。

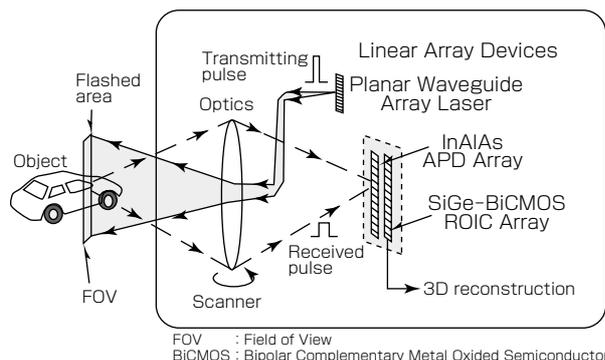


図3. レーザ三次元イメージャのシステム構成

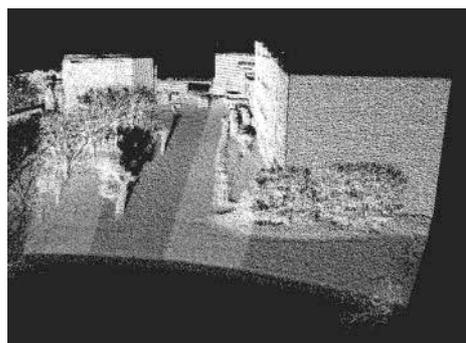


図4. レーザ三次元イメージャの撮像例

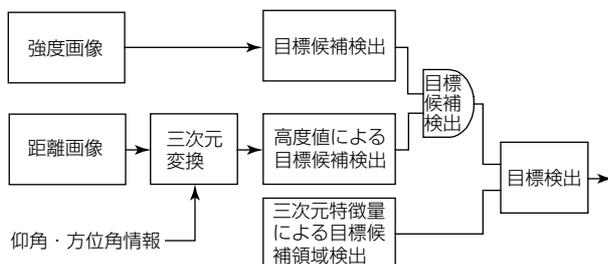


図5. 目標検出アルゴリズムの処理ブロック

4. ガス濃度計測

4.1 概要

衛星搭載からの地球規模でのCO₂モニタ用センサとして、差分吸収ライダー(Differential Absorption Lidar : DIAL)への期待が高まっている。DIALは吸収率の波長差による受信光強度の比から、光路中の測定対象ガスの濃度分布を計測することができる。現在、宇宙航空研究開発機構に協力して、地球規模での温室効果ガス(炭酸ガス)監視を最終目的とした装置の開発を行っている。ここでは、独自のCW変調方式を用いた1.6μm帯CW変調CO₂濃度計測DIALの地上検証モデルについて述べる⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

4.2 装置構成

装置構成を図6に、地上検証モデルの外観を図7に示す。1.6μm帯のON/OFF 2波長の光信号を波長ロックユニットから出力する。光送受信ユニットでは2つの光信号に異なる周波数のCW強度変調をかけ合波する。この光信号をファイバ増幅器で高出力化し、一部をタップした後に光アンテナユニットを介しハードターゲットに向け送受する。信号処理ユニットでは、モニタ光と散乱光の直接検波信号のスペクトルを求め、2波長にかけた変調周波数成分の強度比からCO₂濃度を計測する。この装置は全光ファイバ構成であり、小型・高信頼かつ配置自由度の高い装置を実現しやすい。またこの構成は2波長同時・同一光軸送受信を実現できるため計測領域と照射領域を2波長間で同一化でき、2波長を交互に送受する従来方式に対し計測精度で優位である。

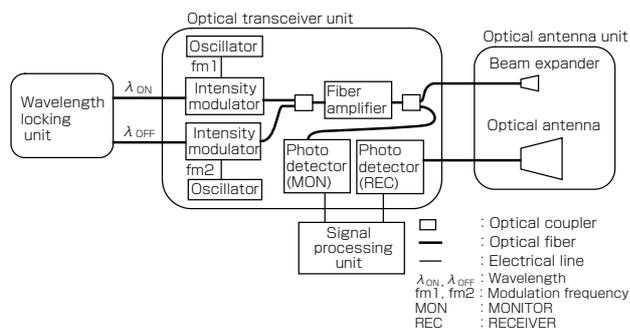


図6. 独自CW変調方式CO₂濃度計測DIALの装置構成



図7. CO₂濃度計測DIALの地上検証モデル

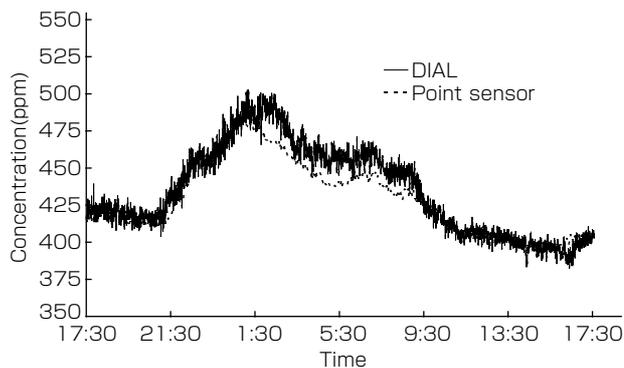


図 8. CO₂濃度計測結果

4.3 計測結果

CO₂濃度計測結果を図 8 に示す。計測条件は、光波長：1,572.992nm (ON), 1,573.193nm (OFF), 変調周波数：10kHz (ON), 11kHz (OFF), 光出力：1W, 受信開口：110mm, ターゲット距離：1 km, 計測時間：32秒である。短期変動 4 ppm 程度の安定した結果が得られている。また比較のため、装置近傍に配置したポイント測器での測定結果との比較を行った。両者の日変動は一致しており、DIALの計測結果の妥当性についても確認できる。

5. む す び

当社では、これまでに培ってきたレーザ技術及び光制御・受信技術を用いることによって、風計測、三次元撮像、ガス濃度計測を可能とする様々なライダー技術の開発を進めてきた。これらのライダー技術は、風況調査などの風力エネルギー応用、CO₂などの温室効果ガス濃度計測などの環境・エコ分野での応用や、空港・航空機周辺の乱気流検知、三次元高速撮像での遠隔災害監視、エリア監視による安

心・安全な社会の構築に貢献することが可能な技術である。今後も、これらライダー技術の実用化に向けた開発を進めていく。

参 考 文 献

- (1) 古田 匡, ほか：ドップラーライダー装置, 三菱電機技報, **81**, No.8, 561~564 (2007)
- (2) 平野嘉仁, ほか：光ファイバーレーザーの環境遠隔計測分野への応用, O plus E, **27**, 1274~1279 (2005)
- (3) 浅香公雄, ほか：光ファイバ型風計測ドップラーライダー, 第44回光波センシング技術研究会, LST44-23 (2009)
- (4) 亀山俊平, ほか：リアルタイムレーザ3Dイメージャ, 光技術コンタクト, **48**, 323~330 (2010)
- (5) 今城勝治, ほか：受信スキャンレス型CW変調方式3D Imaging LADARの開発, 第27回レーザセンシングシンポジウム予稿集, 18~19 (2009)
- (6) 今城勝治, ほか：リアルタイムレーザ3Dイメージャ, 第44回光波センシング技術研究会, LST44-3 (2009)
- (7) 小竹論季, ほか：3D Imaging LADARを用いた目標検出アルゴリズムの開発, 電子情報通信学会総合大会, B-2-47, (2010)
- (8) 亀山俊平, ほか：光ファイバ型CO₂計測DIAL, 第44回光波センシング技術研究会, LST44-24 (2009)
- (9) Kameyama, S., et. al. : Development of 1.6 μm continuous-wave modulation hard-target differential absorption lidar system for CO₂ sensing, Optics Letters, **34**, 1513~1515 (2009)