

高精度偏光計測用ライダーにおける受光特性評価

Evaluation of receiving characteristics of high-precision polarization lidar

馬木大¹, 野口和夫¹, 福地哲生², 椎名達雄³

Dai Umaki¹, Kazuo Noguchi¹, Tetsuo Fukuchi², and Tatsuo Shiina³

1.千葉工業大学工学研究科 2.電力中央研究所 3.千葉大学融合科学研究科

1. Chiba Institute of Technology, 2. Central Research Institute of Electrical Power Industry, 3. Chiba University

Abstract: We examined measurement precision of the atmospheric echoes obtained by a high-precision polarization lidar. This study aim to develop a new concept lidar for lightning discharge prediction. Our original lidar system measures the lightning discharge from the rotation of the plane of polarization. However, our previous works revealed that the rotation angle of the plane of polarization is 1 degree or less. Therefore this lidar system has to need the accuracy of being able to observe a very small angle (the extinct ratio of polarization of 30dB). And it is necessary to measure the short distance atmosphere in narrow field of view and high precision. To make it realize, an in-line optics is adopted by installing an optical circulator and a pair of axicon prisms, and the highly accurate short distance measurement becomes possible. In this report, we evaluated receiving characteristics the high-precision polarization lidar.

1. はじめに

従来の雷計測には雲中放電時に発生した電磁波をアンテナで捉える手法が用いられてきた。しかし、雷の発生位置を3次元的に特定するためには同期した複数の観測装置、網目状に施設された基地局が必要である。そこで本研究ではライダー手法に着目し、単独で雷の3次元位置を特定できる高精度偏光計測用ライダーの開発を行った。

先行研究から雷放電による微弱な偏光面の回転角を検出するには30dB以上の偏光消光比を持つシステムが必要になる。さらに低層大気を高効率観測するには視野角を狭くした上で近距離計測を実現することが求められる。そこで、この問題を解決するためにインライン型ライダー構成を採用し、光サーキュレータとアキシコンプリズム対によって高効率化を実現した。送信ビームはp,s両偏光成分をバランスを取って出射される。従って大気からのエコーはp,s同じ光量のエコーが得られる。氷晶による偏光解消や、放電時における偏光面の回転角が計測される際にわずかながらに得られる光量に違いが生じる。今回はこの高精度偏光計測用ライダーから得られたデータを基に、高精度偏光計測用ライダーの受光特性の評価について報告する。

2. ライダーシステム

電離大気中で雷が発生すると、周囲に磁界が発生する。本研究ではその磁界に対して平行に偏光ビームを入射すると偏光面が回転するというファラデー効果に注目した。しかし先行実験のコンピュータシミュレーションと高電界下における地上実験において偏光面の回転角は1°以下となることを確認している。したがって微小な偏光回転角の検出には偏光消光比30dB以上のシステムが必要となる。Fig.1に本研究のライダーシステムの概略図を示す。近距離から遠距離までの計測および計測範囲のスキャニングを考慮して、本ライダーではインライン型を構成している。本研究で使用する光源はNd:YAGレーザの倍波である波長532nm、エネルギー200mJ、パルス幅15nsのものを使用している。光サーキュレータはλ/2波長板(HWP)、Gran Laser Prism(GLP)、Faraday Rotator(FR)、Mirror(M)により構成されており、FRの不可逆的性質により同一経路になる送受信光の分離が可能である。これらの光学素子是对光衝撃値、透過率、偏光消光比に優れたものを使用しており、p,s受光ポートにおいて偏光消光比30dBを満たすことを確認している。Axicon prism対でレーザを環状光にして望遠鏡副鏡の正反射を抑制し、また送受信による視野角を制限するためEye Pieceと1mmφのSpatial Filterを使用している。これにより視野角は177μradに制限され、背景光、多重散乱による偏光解消の影響を除去している。受光器にはGATE機能付きのPMTを使用している。GATEとはPMTの受光のタイミングを遅らせる機能であり、送信光の影響をなくすためにレーザ光が光学素子を通過した後にPMTに印加電圧を加えて受光している。この機能により、インライン型の特長である、近

距離での計測が 50m から行えるようになった。さらに偏光面の回転の計測には、2 台の PMT で p,s 偏光を差動検出することで片方の偏光面だけに着目する手法より高精度な測定ができ、1° 以下の偏光面の回転角も計測可能となる。偏光面の回転角はそれぞれの直交偏光成分の強度または差動検出により求めることができる。計算式は式(1)に表される通りで、 I_p, I_s はそれぞれ p 偏光、s 偏光の強度を示している。偏光面の回転角の概念図を Fig.2 に示す。また、近距離エコーの値は大きく、PMT からの出力を大きくすると線形性が崩れるために PMT には高いコントロール電圧をかけることができない。そのため、今回プリアンプの導入を図った。これは 1 ポートあたり 5 倍のゲインが得られ、p,s それぞれ 25 倍のゲインが得られるようにしている。プリアンプのスペックを Table 1 にまとめる。

$$\delta = \tan^{-1}(\sqrt{I_s/I_p}) - \pi/4 \quad (1)$$

$$= \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{I_p} - \sqrt{I_s}}{\sqrt{I_p} + \sqrt{I_s}}\right)$$

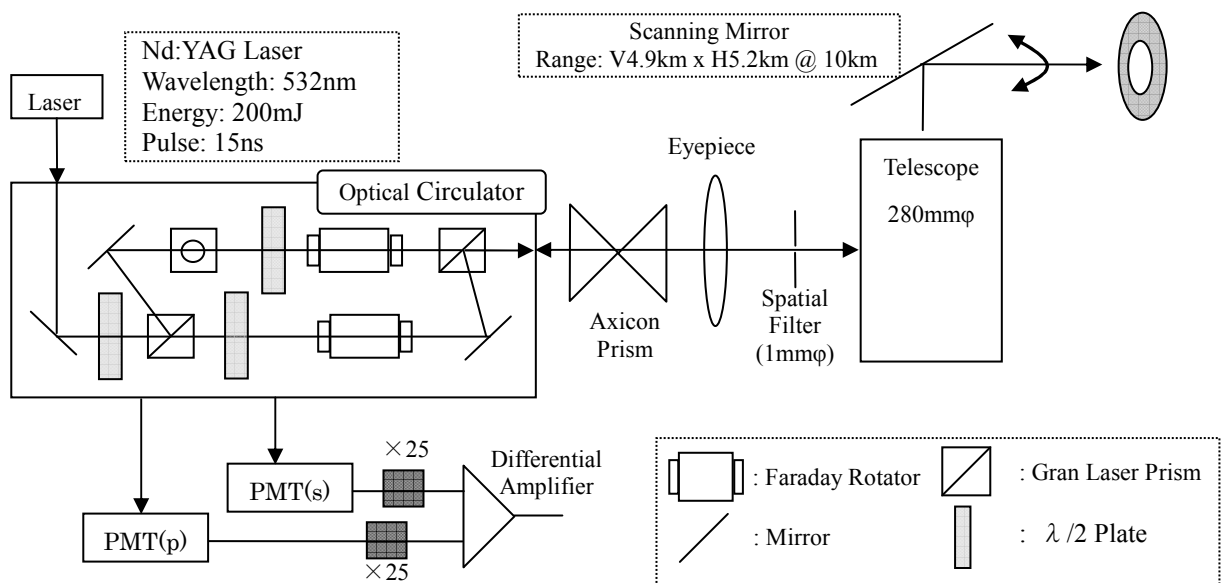


Fig.1 Schematic diagram of the lidar.

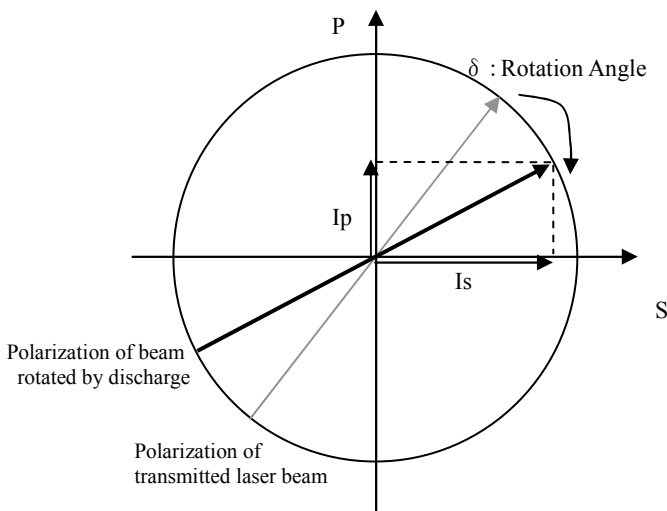


Fig.2 Differential detection.

Table 1 Pre-amplifier specification.

| | |
|-------------------|--|
| Maker | Stanford Research Systems, Inc |
| Port number | SR445 |
| Number of channel | 4 |
| Voltage gain | 5.0 per channel (up to 3channel can be cascade) |
| Bandwidth | DC to 300MHz |

3. 計測結果

Fig.3(a)-(d)に近距離のハードターゲットと雲のライダーエコーの受光特性を示す。それぞれのグラフにおいて330m(a),820m(b)-(d)での波形の立ち上がりは、PMTのGATE機能により、受光のタイミングを遅らせているためである。しかし、PMTの過大電流によりスロープが合わないこともあり、今回の計測は伝搬距離820m地点で立ち上がる設定で計測を行っている。Fig.(a)に関しては、ターゲットが820mよりも手前にあるので330mで立ち上がる設定にした。また、積算回数はそれぞれ1024回となっている。

Fig.3(a)はハードターゲット(避雷針)にレーザー光を当てた時に得られた波形である。480m地点でターゲットに当たっていることを示している。この結果からp,s偏光の強度を求めると $I_p=190.6\text{mV}$ 、 $I_s=184.1\text{mV}$ となり、式(1)から偏光回転角は -0.497° と算出された。避雷針は円柱型であり、平面に当てた場合とは違ってp,s偏光のバランスがわずかに崩れることが予想される。このような場合においても 1° 以下の回転角も計測が可能であると確認した。

Fig.3(b)では大気に対する偏光回転角の確認をした。立ち上がりではPMTやケーブルの電気的なノイズのために差が生じるが、1km以上の距離ではp,s両エコー成分のスロープが非常に良く重なり、その差分は0に近づいていく。この処理を積算回数4096回(オシロスコープの最高積算数)の場合で観測すると、その差は $100\mu\text{V}$ にまで小さくできることを確かめている。これは、数十km遠方のある点からの反応が 2mV とした時、偏光面の回転角で $\pm 0.35^\circ$ と算出されることから、大気においても 1° 以下の回転角を算出するのに十分な精度を得ていることを表す。

Fig.3(c)は近距離での測定結果である。このグラフの縦軸は得られたライダーエコーを距離2乗補正し、Logスケールで表示したものである。2.34km付近の反応は雲からのものであり、p,s偏光が同じ強度で受光されているのがわかる。雲にあたったレーザー光はさらに600mほど進んでいる。地上気温からこの雲は水雲であると考えられるが、雲中を進むにつれて多重散乱の影響が大きくなっているために、雲中エコーの後方からp,s成分に違いが表れている。

Fig.3(d)は近距離でのライダーエコーである。1.2kmからの反応は薄い雲からのものでありレーザー光は透過しているため、それ以降からの反応も現れている。このグラフから傾きを求め、1/2した値が大気の消散係数となる。大気の消散係数から視程を算出すると20.933kmとなり、この日の気象庁発表の視程は20kmであるので、近距離からでも大気の消散係数が得られることを示している。

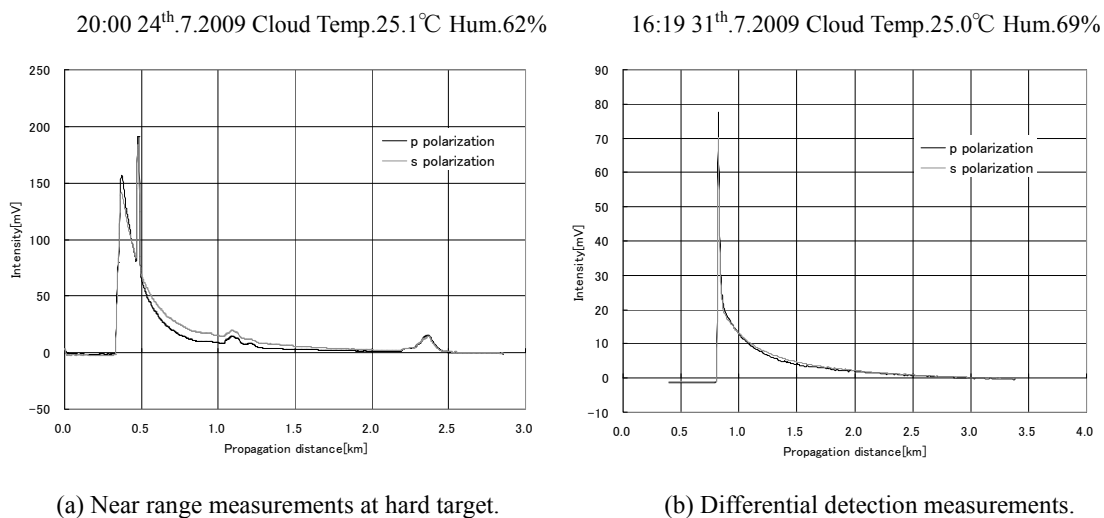
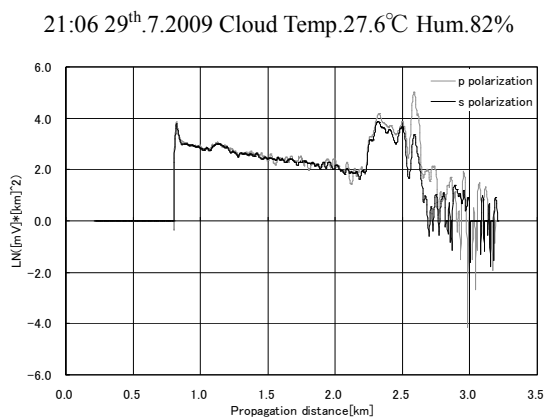
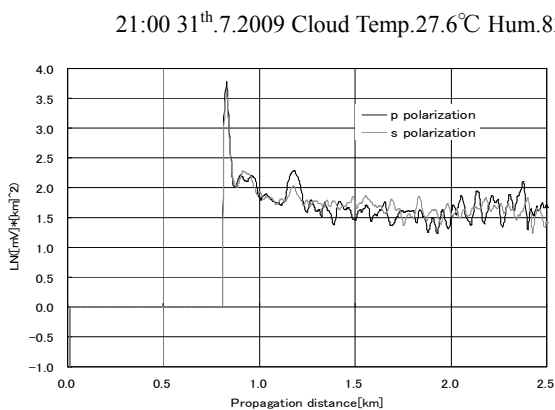


Fig.3 Lidar echoes using high-precision polarization lidar.



(c) Near range measurements (Cloud).



(d) Near range measurements (Cloud).

Fig.3 Lidar echoes using high-precision polarization lidar. (Continue)

4. まとめ

高精度偏光計測用ライダーを用いて大気観測し、受光特性評価を行った。偏光面の回転角の検出はハードターゲットからの強度の変化から算出でき、 1° 以下の回転角も計測が可能であると示した。さらに大気に対する場合でも同様に高精度計測が可能であることを確認した。この結果は高精度な雷観測(30dB以上の偏光消光比計測)が可能であることを示す結果である。また、大気の消散係数の値から、近距離から大気の状態を把握できることが確認できた。今後は20kmを計測範囲とする長距離計測で、測定値の安定化をはかる。さらに通年観測をすることで季節ごと、時間ごと、天候ごとのデータの蓄積をしていく。また、積算時間が短くても(シングルショットや少ない積算回数)で安定な計測ができるようデータ解析の工夫をはかっていく。

5. 参考文献

- 1) 椎名、他 第26回レーザーセンシングシンポジウム予稿集 p-86, September 11-12, 2008
- 2) 福地、他 第26回レーザーセンシングシンポジウム予稿集 p-82, September 11-12, 2008
- 3) 馬木、他 平成21年電気学会全国大会講演論文集[1] p-171, March 17-19, 2009
- 4) T.Shina et al. The Review of Laser Engineering Supplemental Volume 2008 p-1279