

インライン型ライダーシステムの開発と基礎計測 Development of In-line type Lidar and fundamental measurement

吉田 啓 相馬 邦彦 椎名 達雄 伊藤 昌文 岡村 康行
Kei Yoshida, Kunihiko Soma, Tatsuo Shiina, Masafumi Ito,
and Yasuyuki Okamura

和歌山大学システム工学部
Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

Abstract

We have developed an In-line type Lidar system since 1999. "In-line type" has the ability to measure a target from near distance with narrow FOV. We utilized unique optics of optical circulator and a couple of axicon prisms, and made it possible to measure cloud. At the field test, we demonstrated that our system could measure cloud at the distance from 0.3km to 3.5km away, and discriminate spherical particles and non-spherical particles such as ice crystals.

1. はじめに

本研究では、集中豪雨や落雷といった大気の局所的变化を捕えることを目的とした、インライン型ライダーを作製している。

インライン型ライダーは、送受信を一つの望遠鏡で行うため、常に視野が重なり近距離からの計測が可能となる。^{1),2)} また、送信開口径を大きく取れるため、レーザ送信において回折の効果を小さくでき、眼に対しても安全なライダーを作製することが出来る。しかし、同一光学系で送受信光を分離する工夫が必要となることや、反射型望遠鏡を用いると、送信レーザ光が望遠鏡副鏡によって遮られ著しく損失されてしまうといった、インライン型ゆえのデメリットもある。この問題に対し、光サーキュレータ及び環状光生成用アキシコンプリズムを導入し解決をはかっている。

本報告では、作製したインライン型ライダーシステムの最適化と本システムを用いた計測結果について述べる。

2. インライン型ライダー光学系

本システムの特徴である光学系の構成を Fig.1 に示す。また、光源、受光器、望遠鏡といった主要な構成要素についての仕様を Table.1 に記す。送受信望遠鏡には 305mm のシュミットカセグレン式望遠鏡、光源には波長 1.047 μm の YLF レーザ、受光器には APD をアナログモードで使用している。なお、受信視野広がり角は 100 μrad 、送信レーザ光広がり角は 15 μrad 以下となっている。

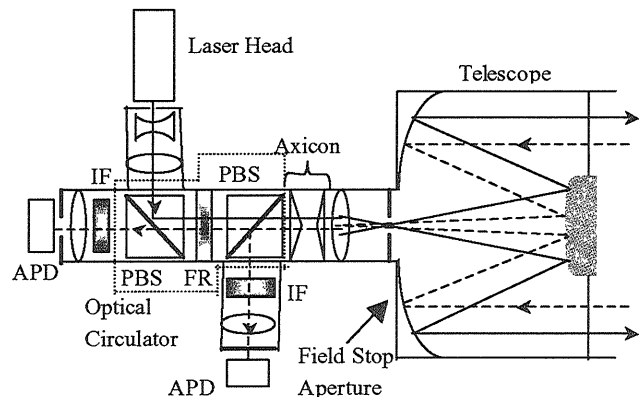


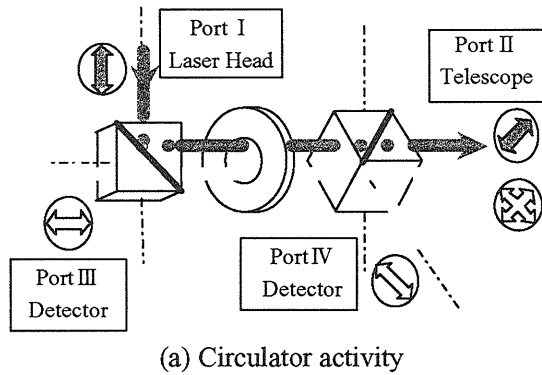
Fig1.Optics of In-line Type Lidar

Table 1. Specification of Lidar

Nd:YLF Laser (Spectra-Physics)	
Wave Length	1.047 μm
Pulse Energy	80 $\mu\text{J/pulse}$
Schmidt-Cassegrain Telescope (Meade)	
Clear Aperture	305mm
Field of View	100 μrad .
Avalanche Photo Diode (EG&G)	
Quantum Efficiency	36%
Photon Sensitivity	>36A/W

2-1. 光サーキュレータ

まず送受信光分離のための光サーキュレータについて述べる。^{3),4)} 光サーキュレータは2つの偏光ビームスプリッタ[PBS]とファラデーローテータ[FR]で構成される。デポラリゼーションを捕えることを目的とし、送信光、エコー光の偏光作用を利用した構成になっている。送信時レーザー光はp偏光で出射し、受光時はps両偏光成分に分けて受光することになる。この光サーキュレータにおいて、レーザー出射時に各素子からの正反射成分が直接受光器に戻り、APDに十分な印加電圧をかけることが出来ないという問題点があった。この問題に対しては、入出力させる光を平行光とし、光学素子を光軸に対して1.5°傾けることにより受光器の前に設置したピンホールで正反射光がカットされるようにして解決をはかった。



	Port I	Port II	Port III	Port IV
Transmit (p)	1	0.619	<10 ⁻⁵	<10 ⁻⁵
Receive (p)	—	1	0.471	0.012
Receive (s)	—	1	0.012	0.891

(b) Specification of Circulator

Fig.2 Optical Circulator for In-line Type Lidar

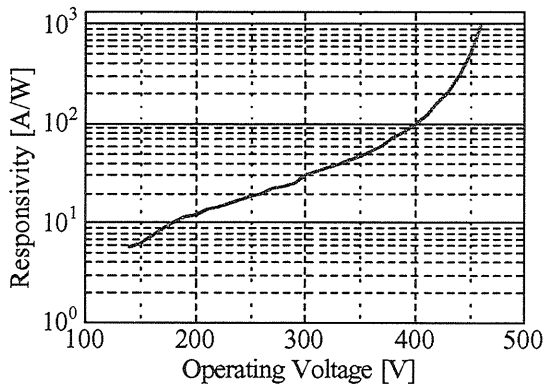


Fig.3 Performance of APD

作製した光サーキュレータの動作及びその入出力特性を Fig.2 に示す。Fig.2(a)においてレーザーヘッドからレーザー光が p 偏光で入射されると FR で偏光面が 45° 回転され望遠鏡から出射される。エコー光受光時は送信時と同偏光成分の光は Port III、偏光解消された光が再び FR で偏光面を回転されることで Port IV へと導かれ受光される。Fig.2(b)に示した入出力特性は、それぞれのポートへの入力を 1 とした時の各受光ポートに導かれる光量の割合である。光学系における損失はそのほとんどがファラデーローテータによる減衰である。これら入出力特性より、Port IV つまりエコー光 s 偏光成分の方が p 偏光成分より約 2 倍の受光感度を有することがわかる。ここで、問題になる正反射成分とはレーザー送信時における Port III、Port IV の値である。素子を傾ける以前にはそれぞれに数 W の正反射成分が返っていた。素子を光軸に対し傾け、より厳密な光軸調整を行うことで、現在レーザー最大出力時で Port III においては 100μW、Port IV においては 10μW にまで正反射成分を抑えている。これにより、APD にブレイクダウン電圧付近まで印加できるようになり、雲を計測するために十分な受光感度が得られるようになった。Fig.3 に使用した APD の印加電圧と受光感度の関係を示す。本来のオペレーティング電圧は 375V で受光感度は 36A/W である。使用した APD は室温において 460V でブレイクダウンを起こす。本システムでは 460V 手前まで電圧を印加することにより、500A/W 程度の受光感度を得、インライン型ライダーにおいてアナログモードでの雲計測を実現した。

2-2. 環状光の生成

次にレーザー送信時に副鏡の影響を避けることを目的とした環状光の生成とそれによって得られる特性について述べる。反射型望遠鏡を使った場合、ガウスビームで送信望遠鏡開口径まで広げて送信すると、中心強度が望遠鏡副鏡によって大きく損失され、出射光強度はわずか 20% になってしまう。本研究では一対のアキシコンプリズムにより、ガウスビームを環状ビームへと変換している。Fig.4 に環状光生成原理を、Fig.5 に環状光の外形を示す。アキシコンプリズム対の挿入損失は、0.932dB である。サーキュレータ、アキシコンプリズムを含めた光学系全体の挿入損失は 3dB となった。なお、このように 305mm の開口径でレーザー光を送信するため目に対しての安全性を高

めることができる。波長 $1047\mu\text{m}$ における瞳への最大入射光量を規定した MPE 値は 11.4W(J/s) であるのに対し、本システムでの瞳への入射光量推定値は 4.8W(J/s) となり十分下回っていることを確認している。

また、この環状ビームは伝搬していくに従い強度分布が中心に集まっていき、擬似的な非回折ビームとなる。⁵⁾ 伝搬するに伴って中心へとエネルギー分布を変化させる非回折ビームは、雲内部での散乱の抑制が期待でき、雲中、低粒径時の長距離伝送への応用なども考えられる。

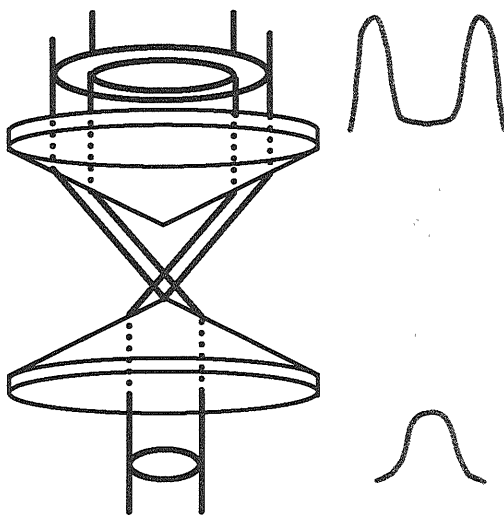


Fig.4 A couple of Axicon Prisms

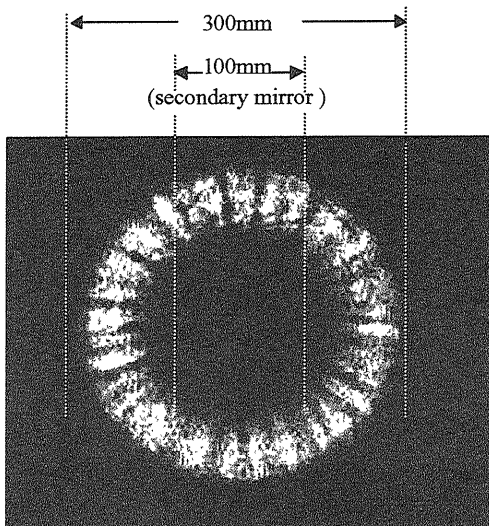


Fig.5 Annular beam

3. 基礎計測

APD 出力の増幅には周波数特性 80MHz 、ゲイン 60dB の 2 段非反転増幅回路を 2 チャンネル作製し、計測に用いた。回路には光学系からの正反射成分による過大入力からの保護を目的としたリミッタ機能を付加している。

まず、後方散乱係数の大きいハードターゲットからのエコー光の計測を行った。ターゲットは木が群生している山である。この山からのエコー光の強度分布を Fig.6 に示す。図中の曲線は $1/R^2$ の理論曲線である。視野重なりによる立ち上がりがない、インライン型ライダーの理想的なエコー光量の変化となり、最近距離からの計測が可能である。また、計測データには、出射光が p 偏光であるにも関わらず s 偏光成分も検出されていることからターゲットである山からのエコー光に偏光解消が生じていることがわかる。

次に雲の計測結果を Fig.7 に示す。Fig.7(a) は地上気温と高度から水雲であると考えられる雲のライダーエコー信号である。受信視野角の広いライダーでは水雲であっても、雲中での多重散乱によるデポラリゼーションを含んだ計測となるが、本システムでは受信視野角が狭いため、多重散乱による寄与を考慮する必要がない。これは正反射の強いターゲットの計測で p 偏光エコー光のみ受光されることから確認している。Fig.7(b) に示したのは氷晶を含む雲を計測したときのライダーエコー波形である。当日は雪が舞っており氷晶を含んでいることは明らかであった。Fig.7(a) では見られなかった、偏光解消効果による s 偏光成分のエコー光が捕えられていることが見てとれる。つまり、本システムでは単一散乱のみを捕えることで、正確に水雲と氷晶雲とを識別することが可能である。

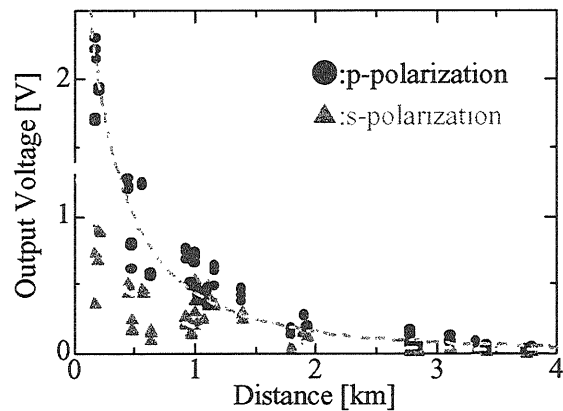


Fig.6 Echo power distribution

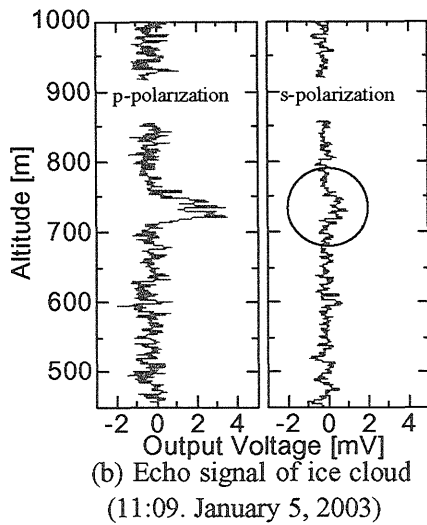
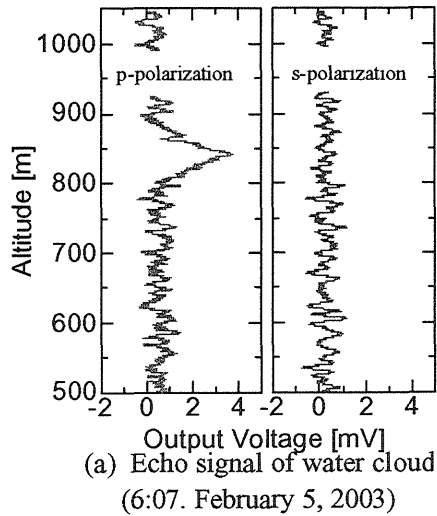
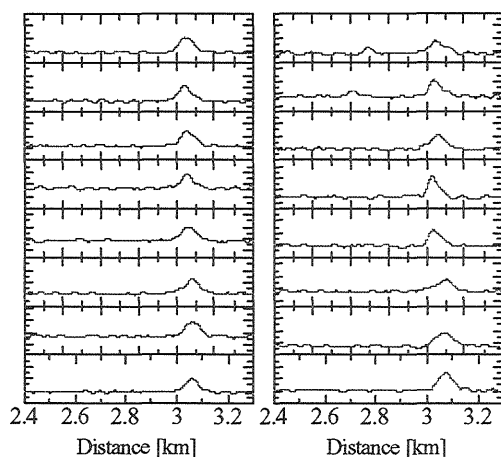


Fig.7 Lidar echo from cloud



(Elevation=30° 19:23. April 26, 2003)
Fig.8 Lidar data for continuous measurement

現在の計測では、1000回の平均をとり、さらに高周波成分を取り除きランダムノイズを抑えている。この処理にかかる時間は4秒であり、データ保存までを含めると7秒程度となる。なお、送信レーザーパルスの繰り返し周波数は1kHzとしている。Fig.8に示したのが7秒間隔で同一点を計測した時のデータである。3km付近にある雲が動いている様子が見て取れる。現段階では、3.5kmまでの雲が計測可能であることを確認している。

5. まとめ

本研究では雲を測定対象としたインライン型ライダーシステムの開発を行ってきた。これまで、送信光が光学系から正反射として受光器に直接戻ってしまっていたため、受光器であるAPDに十分な印加電圧がかけられないでいた。しかし今回、その光学系に改良を加えて正反射光を抑えることで、十分な印加電圧がかけられるようになり、受光感度が飛躍的に向上した。その結果、インライン型ライダーにおいてアナログモードでの雲計測が可能となった。

実計測においては、山からのエコー光測定で近距離からの計測が可能であることを確認し、インライン型の理想的なエコー光強度分布が得られた。また、雲の計測結果からは、視野角が狭く多重散乱による寄与を考慮する必要が無く、水滴で構成されている雲粒と氷晶を含んでいる雲粒とを明確に識別できることを確認した。

今後はDSP等を付加し、リアルタイムでの計測により雲の時系列変化を見ていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 南, 椎名, 伊藤, 岡村, '01 電子情報通信学会総合大会, pp.394,2001.
- 2) Eiji Minami, Tatsuo Shiina, Masafumi Ito, and Yasuyuki Okamura, "In-line Type Lidar for Cloud Measurement", Progress In Electromagnetics Research Symposium Proceedings,2001
- 3) 椎名, 伊藤, 岡村, "雲探査ライダー用光サーキュレータ", '00 電子情報通信学会総合大会, C-3-8
- 4) 南, 椎名, 伊藤, 岡村, "インライン型ライダー送受信分離用サーキュレータ", 信学技報, Vol.100,No.147,pp.43-48,2000
- 5) 椎名, 吉田, 伊藤, 岡村, 第50回応用物理学会関係連合講演会, p.1197, 2003