

浅井和弘

Kazuhiro Asai

東北工業大学

Tohoku Institute of Technology

*石津美津雄

*Mitsuo Ishizu

*板部敏和

*Toshikazu Itabe

*郵政省通信総合研究所

*Communication research Laboratories, MPT

Abstract Solid state lasers pumped by high power laser diodes have many advantages compared with traditional flash lamp pumping one in the field of lidar applications. In this paper, we discussed on a comparison of direct and heterodyne detection Ho:YAG lidar systems.

1 はじめに 近年、半導体レーザー（以下、LD と略す）の高出力化の実現にともない、LD 励起 YAG レーザの研究開発が盛んに行なわれて来ている。このオール・ソリッド・ステート・レーザーはいろいろな環境条件のもとでの実験を要求されるレーザー・レーダの光送信機として、次のような理由により非常に興味ある光源といえる。

1. 気体、液体などがレーザー媒体でないため、小型化と同時に高出力化が可能
2. 取り扱いが容易で、保守の必要性があまりない。
3. バルーンや航空機搭載に適しており、将来スペースに持ち込める

そのうえ、Nd イオンの代わりに Ho イオンを YAG 母材にドープした Ho:YAG レーザの発振波長は $2.1 \mu\text{m}$ であるため、さらに

4. 目に対する安全性がある ($> 1.4 \mu\text{m}$)
5. 発振波長が大気の窓にある
6. ヘテロダイン検出法が有効に働く
7. 光学素子が赤外に比べて安価

などの長所があげられる。

筆者らは、このように多くの特徴を有し、将来、大気観測用として有望となるであろう Ho:YAG レーザを光源に用いた“近赤外域ライダー”について検討を始めた。本文では、直接検出方式とヘテロダイン検出方式について比較検討を行なった結果について述べる。

2. C/N 比と S/N 比について

ライダーは、送信点から遠くにある物体ま

たは大気中に浮遊しているエアロゾルに向けレーザー光を照射し、これらのターゲットからの散乱光を受信望遠鏡で光検出器上に集光する。これらのターゲットは、コヒーレントなレーザー光から見ると凸凹した面となるので、散乱光はスベクル効果を受ける。そして、この散乱光がライダーの受信望遠鏡に戻って来るとき、散乱物体とライダー設置点との間にある大気の屈折率の揺らぎによりシンチレーションを伴う結果、受信望遠鏡の開口面上では波面が乱れている。

したがって、検出器上での波面整合が重要なヘテロダイン検出方式と、いかにより多くの受信光を集めるかが大事な直接検出法との性能比較を行なう場合、前述のスベクル効果と大気屈折率の揺らぎによる効果の影響を考慮した議論を行なわねばならない。

2. 1 C/N R (Carrier-to-Noise Ratio)

直接検出方式ライダー、ヘテロダイン検出方式ライダーとも、スベクル効果とか大気屈折率の揺らぎによる影響が受信強度に重畳していないと仮定した場合の信号対雑音比を C/N R と定義し、次のように表わしている。

i) 直接検出法

$$C/N R = \frac{\eta \pi P_T \beta K D^2 c e^{-2\alpha R}}{8 (N E P) R^2}$$

ここで、 η は検出器の量子効率、 P_T はレーザー

出力、 β は後方散乱係数、 K は光学系の効率、 D は受信望遠鏡の開口径、 c は光速、 α は大気吸収係数、 (NEP) は等価雑音電力を意味する。すなわち、分子は距離 R (m)、厚さ ΔR (すなわち、 $c\tau/2$)に存在するエアロゾルからの散乱光強度により生じた受信信号、分母は受信系の雑音電力にそれぞれ対応していることが分かる。

ii) ヘテロダイン検出法

$$CNR = \frac{\eta \pi P_T \beta \tau D^2 c e^{-2\alpha R}}{8 h \nu R^2}$$

τ はパルス幅、 $h\nu$ は光子エネルギーである。ヘテロダイン検出の場合、分母の雑音は量子揺らぎ雑音を表わしている。

2. 2 SNR (Signal-to-Noise Ratio)

エアロゾル位置の空間的、時間的揺らぎ、あるいは、空気分子の屈折率揺らぎ等により生じた光検出器上での信号光の揺らぎを含むSNRは、前述のCNRを用いて、次のように書き表される。

i) 直接検出法

$$SNR = \frac{1}{\frac{1}{m_a \cdot m_t} + \frac{1}{CNR^2}}$$

分母の第一項目は、スペックルにより生じた揺らぎ成分を表わしており、 m_a は空間モード数、 m_t は時間的モード数に対応している。

通常、直接検出方式の場合、多くさんの受信散乱光を集めるために受信望遠鏡の開口径を出来る限り大きくしている。これは、 m_a を大きくしてスペックル縞をならす役割をも果たしている。

ii) ヘテロダイン検出法

$$SNR = \frac{1}{\frac{1}{m_a \cdot m_t} + \left[\frac{1}{CNR} \right]^2 + \left[\frac{2}{CNR} \right]}$$

ヘテロダイン検出の場合、スペックル雑音を抑止するために m_a を大きく、すなわち望遠鏡の開口径 D を大きくすることはできない。なぜなら、伝搬して来た散乱光の波面の乱れ状態を表わす受信地点でのコヒーレンス長 l_c より開口径を大きくとつても、ヘテロダイン効率が上がらず、結局は受信信号の増加には結びつかないためである。コヒーレンス長 l_c は、

$$l_c = 0.058 \lambda^{6/5} \left[\int_0^n C_n^2(z) (z/R)^{5/3} dz \right]^{-3/5}$$

で書き表すことが出来る。但し、 C_n^2 は大気の揺らぎの状態を表わす屈折率構造定数と呼ばれるもので、通常大気においては $10^{-15} \sim 10^{-13} \text{ (m}^{-2/3}\text{)}$ 位といわれている。

図1は、 $\lambda = 2.1 \mu\text{m}$ の場合について、 C_n^2 をパラメータにして各高度からの散乱光に対し求めたコヒーレンス長 l_c である。

Reference

- 1) "Tunable Solid State Lasers for Remote Sensing"
Editors: R.L.Byer, E.K.Gustafson and R.Trebino,
Springer-Verlag(1985)
- 2) N.P.Barnes and D.J.Gettemy, IEEE J.Quantum
Electron, QE-17,1303(1981)
- 3) T.Y.Fan, G.Huber, R.L.Byer and P.Mitzscherlich,
Opt.Lett., 12,678(1987)

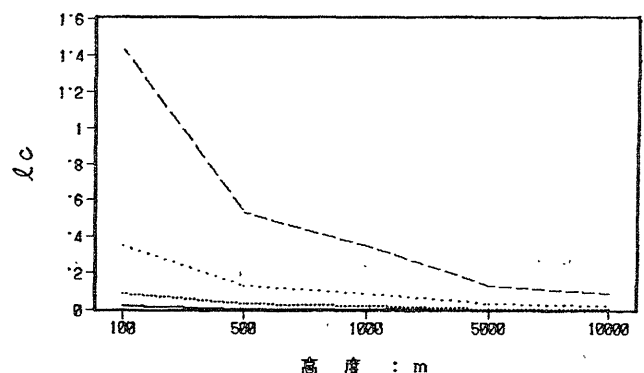


図1 高度に対する受信望遠鏡面上でのコヒーレンス長の計算結果