

竹内 延夫、奥村 浩、松本 洋典、山口 哲\*、桑島 茂純

N. TAKEUCHI, H. OKUMURA, H. MATSUMOTO,

T. YAMAGUCHI\*, and S. KUWASHIMA\*\*

千葉大学映像隔測研究センター、\*新日本製鉄(株)エレクトロニクス研究所、

\*\*応用計測研究所(株)

RSIRC, Chiba Univ., \*Electronics Res. Labs, \*\*OKK Inc.,

### Abstract

**P-SOLALIS(Portable SOLid-state Atmospheric Lidar System) has been developed to a practical use level. Since the proposal and a demonstration of the operation a year ago, P-SOLALIS has been improved in the APD detector design, and it was used in a field measurement for 'Yamase' fog intrusion measurement.**

## 1. はじめに

固体素子化されたシステムは信頼性が向上をし、メンテナンスに問題の少ないシステムを構成することができる。小型で効率の良い固体レーザーの代表例である半導体レーザー(LD)を光源としたライダーとしては、擬似ランダム変調CWライダー(RM-CWライダー)<sup>1)</sup>がある。RM-CWライダーの場合には半導体レーザーのように連続光出力としては十分あるが、パルス動作では大出力が得にくいレーザーを光源とした場合に適した手法であり、信号レベルが低いので、背景光雑音を軽減する技術の開発が必要である。他の小型で高効率な固体レーザーとしてはLD励起の固体レーザーがある。特に音響光学変調器(AOM)を用いたパルス動作のLD励起YAGレーザーは十分に実用レベルにある。本光源を用いると高いピーク出力を得ることも可能で、技術的にも確立しており、ライダー光源として有望な候補であるにも拘らず、高速でデータを解析処理する装置が無いために今までライダーに用いられてこなかった。我々は高速演算装置を開発してLD励起YAGレーザーを光源とするライダーを試作し、前回報告した<sup>2,3)</sup>。その後APD(Avalanche Photo-diode)を検出器とする全固体素子化システムで、APDを大きいものに変えて、受光部が副鏡の影になる問題点を解決した。さらにフィールド観測に使用し、可搬型小型実用システムとして技術的に改良を加えた。ここではP-SOLALIS(Portable SOLid-state Atmospheric Lidar System)と名付けたシステムの概要を報告する。

## 2. システムの概要

可搬型全固体素子化ライダーシステムP-SOLALISの仕様をTable.1に、写真をFig.1に示す。連続発振出力930mWのLDを励起光源として、cwで250mW、1kHzのパルス動作で、70mWの平均出力を得る。パルス幅は25nsである。レーザーヘッドは強制空冷で、口径20cmの受光望遠鏡の鏡筒部側面に取り付けられ、レーザービームが望遠鏡光軸と平行に射出されるような構造となっている。AO変調されたレーザー光は500Hzから20kHzの間で動作し、Fig.2に示すように約5kHzの動作の方が効率が良いが、今回の実験では繰り返し周波数は全て1kHzである。受光望遠鏡の焦点距離はAPD素子との関係から1.2mに変換している。Si-APD(浜松ホト

ニクスC4777)としては受光口径3mmの素子を使用し、雑音との関係から増倍率は300倍に抑え、前置増幅器のバンド幅を10MHzに抑えてある。APDで受光された信号は100倍程度増幅され、OKK社製の高速信号処理装置CHX-1で8ビットにデジタル化された後、高速の連続繰り返し加算方式で積算される。その際にパイプライン方式を採用することによって、1クロック時間に1チャンネル分取り込める方式となっており、高速データに遅れることなくデータ処理が可能である。信号処理装置は30MHz(サンプリング時間33ns)まで追従可能であるが、本実験ではレーザー(繰り返し1kHzで動作)のパルス幅(25ns)よりも広い50ns(空間分解能7.5mに相当)に選んであり、8ビットのデータサイズで32ビットまで連続加算可能である。信号処理装置の最大チャンネル数は2048である。信号処理装置に加算されたデータは積算の1区切り毎にノートブック型パソコンに転送される。

P-SOLALISで使用している信号処理装置は最大チャンネル長(2048)を使用するものとして15kHz(チャンネル長1024のときは30kHz)まで使用可能である。受信信号光強度を $P_r(R)$ 、背景光雑音強度を $P_b$ ととし、 $P_b > P_r$ のときには、ライダーの $S/N$ は $\sqrt{fP_r}$ に比例する( $f$ は繰り返し周波数)。パルス幅を $\Delta t$ とすると、 $P_r$ は送信パワー $P_0$ に比例し、 $P_0 \Delta t \cdot f$ は送光の平均パワーである。YAGレーザーではレーザー上準位 $^4F_{3/2}$ の寿命が約200 $\mu s$ であるので5kHzより遅いときには平均パワーが落ちる。したがって、 $\sqrt{fP_r}$ に比例する量はFig.2に▲印で示す様に、2~4kHzの繰り返し周波数で最大の効率を示す。一方 $P_b < P_r$ のときには $S/N$ は $\sqrt{(fP_r)}$ に比例するので平均パワーに依存する。このとき、平均パワーはFig.2に■印のように7~8kHzにピークをもつ。

### 3. 観測例

観測例として1992年6月24日に青森県三沢飛行場で行った‘やませ霧’の観測結果をFig.3に示す。図は24日深夜30分余りに渡って観測した結果を鳥観図で表したもので、観測は侵入方向に向かって行っている。測定時における風速は約4m/sであった。この図から数分の間隔で濃い霧がやってくる、同じ塊の霧でも100~200m程度の構造をもつこと、などが分かる。霧の濃度を定量的に解析するには正しい後方散乱係数や消散係数の知識とともに多重散乱の寄与を解析する必要がある。

### 4. 今後の展望

本論文で可搬型全固体素子化小型ライダーシステムP-SOLALISの開発について報告した。これまでの研究で技術的な問題点はほぼ実用に問題無い程度まで解決された。今後、気象分野の観測等に経験を積むとともに、使用し易い構造に改良を加える必要がある。さらに、本システムをベースとして検出系を多チャンネル化し、擬似ランダム変調(RM-CWライダー)の機能や、Mie-Ramanライダー、あるいは偏光解消度を測定できる機能等を付加する予定である。また、全固体素子化ライダーとして、衛星搭載ライダーへの発展も期待される。

### 引用文献

- 1) N. Takeuchi, et al: Diode laser random modulation cw lidar, Appl. Opt. 25 (1986) 63-67.
- 2) 竹内、他: LD励起YAGレーザーを光源とする携帯型ライダー、第15回レーザーセンシングシンポジウム、G4、(1992)
- 3) 奥村、他: LD励起YAGライダーにおける信号処理システム、第15回レーザーセンシングシンポジウム、G2、(1992)

Tabel.1 Specification of the P-SOLALIS system.

**Laser:**

Diode pumped YAG laser;  
 Wavelength 1.064  $\mu$ m  
 Pulse Power 70 mW aver.  
 Pulse width 25 ns  
 Repetition 0.5 ~ 10 kHz (1kHz typical)  
 Peak power 3kW@1kHz  
 CW LD power 930 mW  
 CW YAG Power 250 mW  
 Modulation AOM  
 Beam divergence 0.5mrad after 20 times magn.

**Detector:**

Si-APD 3.0 mm $\phi$  5A/W  
 (Hamamatsu Corp. C4777)  
 Band width 10 MHz

**Signal processor:**

CHX-01 (OKK Corp.)  
 Continuous sampling  
 Data length 2048 ch.  
 Data size 8 bits  
 Sampling time 50ns  
 Averaging up to 32 bits

**Telescope:**

Cassegrainian-type(Celestron C-8)  
 Aperture 20 cm  
 Focal length 1.2 m

**Control system:**

PC9801NS/T(Note-book type)

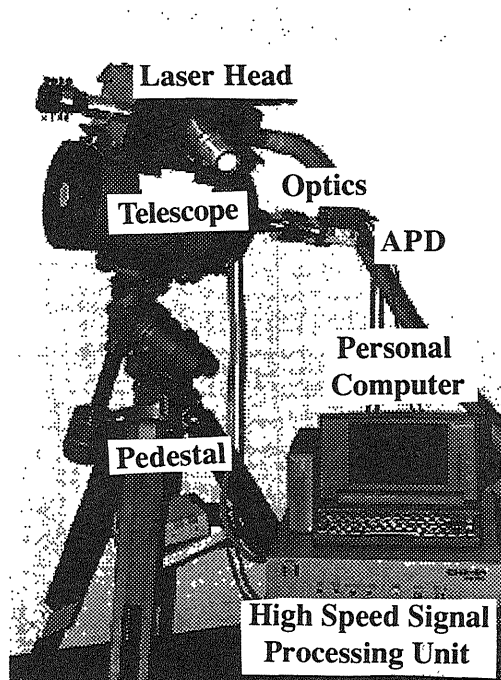


Fig.1 A photograph of the P-SOLALIS system.

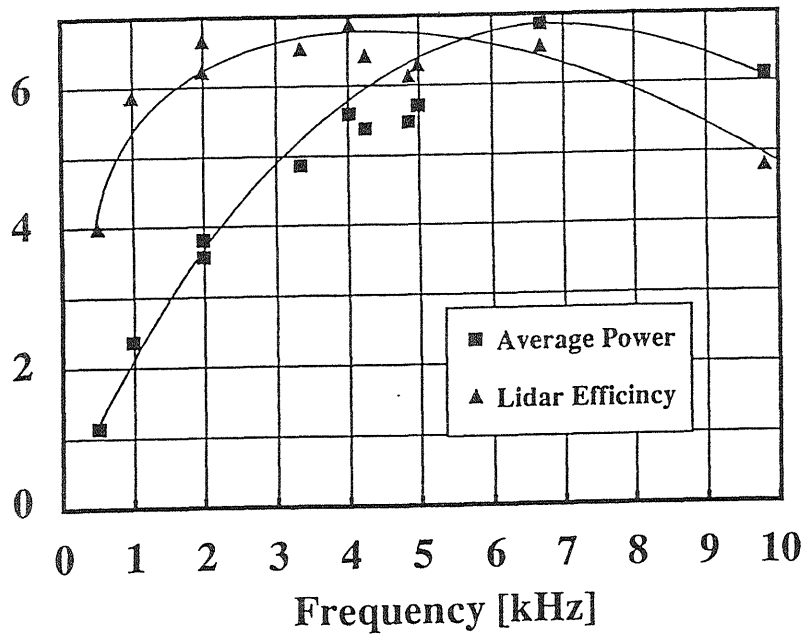


Fig.2 Laser average power  $P_o \cdot \Delta t \cdot f$  and the lidar efficiency  $P_o \cdot \Delta t \cdot \sqrt{f}$  (arbitrary unit).  
 ( $P_o$ ,  $\Delta t$ , and  $f$  mean lidar signal intensity, pulse width, and pulse repetition frequency, respectively.)

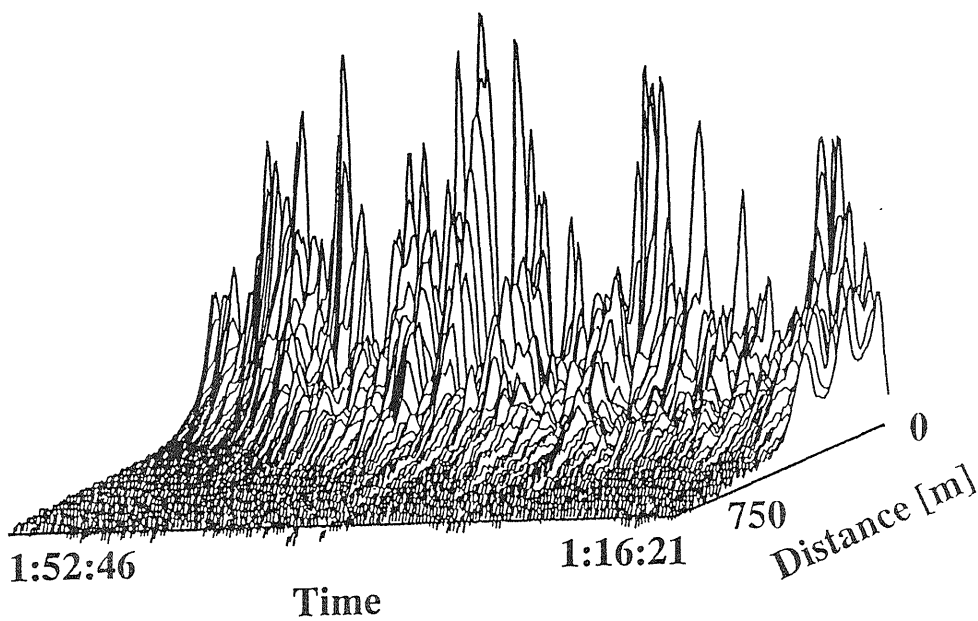


Fig.3 An example of the lidar A-scope for YAMASE-fog observed on June 24, 1992.