

# ヘテロダインレーザレーダ信号スペクトルとその処理法

## Signal Spectrum Of The Heterodyne Laser Radar And The Data Processing Method

小林 弘一 ・ 大高 真人 ・ 小林 喬郎

Kouichi Kobayashi ・ Masato Otaka ・ Takao Kobayashi

福井大学工学部電気工学科

Department Of Electrical Engineering, Fukui University

### 1. はじめに

高感度のレーザ遠隔計測法を実現するためには、レーザ光の優れたコヒーレンス特性を十分に活用した光計測法の実用化が必要である。特に光ヘテロダイン検出方式レーザレーダは、高感度、高効率特性が予測されているが、未だ十分な動作特性が検討されていない現状である。我々は、地形物ターゲットを利用する差分吸収方式レーザレーダの開発を目指して赤外域CO<sub>2</sub>レーザを用いたホモダイン方式レーザレーダを試作し、回転散乱体および大気散乱体による、信号対雑音比や大気のゆらぎ等によるヘテロダイン信号スペクトルの広がり効果およびその信号処理法について基礎的検討を行ったのでその結果について報告する。

### 2. レーザレーダの構成

図1に試作したホモダイン方式レーザレーダ装置のブロック図を示す。出力約500mWのCO<sub>2</sub>レーザ光は直径75mmのコリメータと反射鏡を通して大気中に送出され、ターゲットからの後方散乱光は同一の光学系で集光され、ビームスプリッタにより局発光とHgCdTe検出器面上で重畳されて、ホモダイン検波が行われる。ターゲットとしては直径40cmのAl拡散板を一定速度で回転させたものおよび大気散乱体を用い、そのドップラー信号光を検出した。ビート信号はプリアンプを通してスペクトル分析器によりスペクトル観測される。また同時にビート信号はトランジェントデジタイザで時間波形が記憶され、それをマイクロコンピュータに入力して信号解析を行い、スペクトル形状が求められる。これらの信号スペクトルより散乱体の速度、表面状態に依存する散乱係数及び伝搬光路中の屈折率

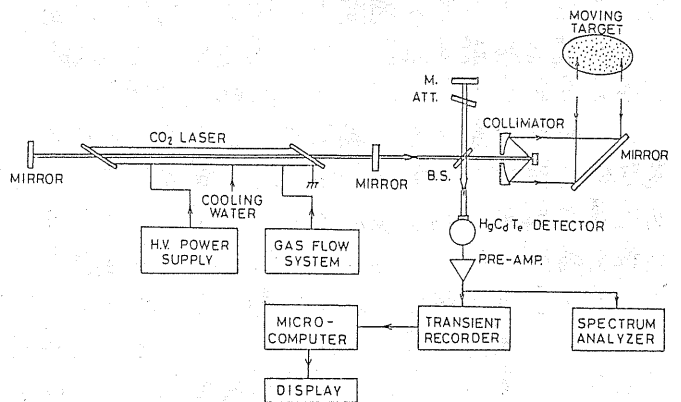


図1. ホモダインレーザレーダ装置のブロック図

のゆらぎ等の情報が得られる<sup>1)</sup>

### 3. 基本的特性

ヘテロダイン方式レーザレーダの信号光電力は次式のレーザレーダ方程式により与えられる。

$$P_s = P_o K A \beta(\pi) / R^2 \quad (1)$$

ここで、 $P_o$ はレーザ出力、 $K$ は送信受信光学系の効率、 $A$ はコリメータ断面積、 $\beta(\pi)$ は散乱体の後方微分散乱係数、 $R$ はターゲットの距離である。SN比は次式で与えられる。

$$S/N = \eta P_s / 2h\nu B \quad (2)$$

ここで、 $\eta$ は検出器量子効率、 $B$ は検出系のバ

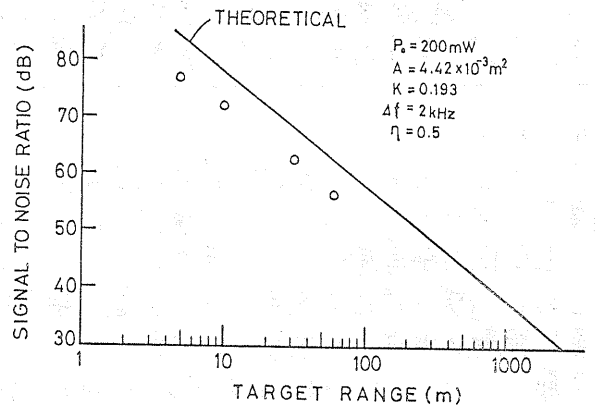


図2. SN比の距離変化特性

バンド幅、 $h$ はプランク定数、 $\nu$ はレーザ光周波数である。また、上式は信号スペクトル幅 $\Delta f$ に対し、 $\Delta f \leq B$ の条件、および、コヒーレンス面積 $A_c \geq A$ の条件を仮定している。

一方、信号スペクトル幅 $\Delta f$ が検出系のバンド幅より広い場合のSN比は、

$$S/N = \eta P_s / 2h\nu\Delta f \quad (3)$$

と表わされる。

大気のゆらぎの少ない室内でのヘテロダイン最適結像条件におけるSN比の距離変化の測定結果を図2に示す。AL回転円板は、完全なランバート反射体ではないため、後方微分散乱係数 $\beta(\theta)$ に角度依存性がある。したがって、測定値 $\beta(\theta) \approx 0.02$ を理論値として使用した。理論値と測定値との差は光学系の不安定さや、アライメント不良等によるものと考えられる。この点を改良すれば、理論曲線から明らかのように、ヘテロダイン方式では小出力レーザでも高いSN値で遠方の物体が測定でき、高感度なことがわかる。

図3は $R=60m$ の室内でのALターゲットからの信号スペクトルを示す。室内では、ターゲット距離を $0 \sim 60m$ まで変えても、スペクトル幅 $\Delta f \approx 2kHz$ はほとんど変化せず、この値は拡散板の回転速度のバラツキに起因しているものと考えられる。次に、図4に屋外での $R=100m$ のターゲットからの信号スペクトルを示す。大気中を伝搬してきた信号光スペクトルは大気の屈折率ゆらぎによるスペクトル幅による $\Delta f \approx 12kHz$ に広がっていることが分る。図5は、大気中の水滴(霧)ターゲットからの信号スペクトルを示す。スペクトル幅は約 $20kHz$ と大きく広がっている。これらのスペクトル幅の変化はヘテロダ

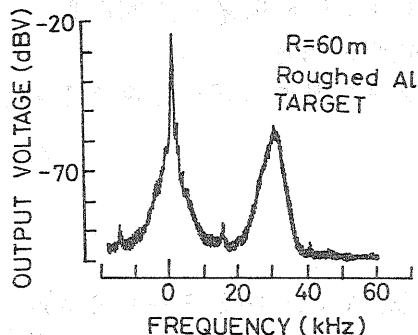


図3. 室内ターゲットからの信号スペクトル

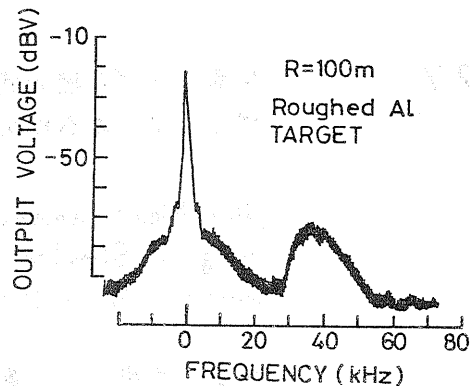


図4. 屋外ターゲットからの信号スペクトル

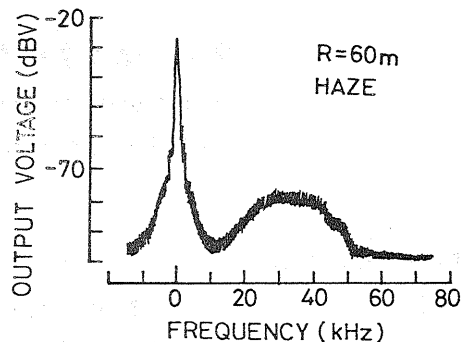


図5. 大気散乱体(霧)からの信号スペクトル

イン方式における検出感度に影響を与える。さらに、長光路および種々の大気状態でのヘテロダイン信号のスペクトル幅の変化特性を検討している。

#### 4. 信号スペクトルの処理法

大気散乱体を計測するヘテロダインレーザレーダにおいては、時間的・空間的に多量の信号データの処理が必要とされるため、スペクトル分析器のみによる測定では、処理精度、処理能率の面で制限がある。そこで、ビート信号の時間波形を一担トランジェントレコーダ(PM3310)に記憶し、そのデータをマイクロコンピュータシステム(PC-8001)にインターフェースを介して入力、信号処理によりスペクトル変換を行い、高速のデータ処理を可能とした。スペクトル変換法としては、FFT(高速フーリエ変換)を主に用いており、また、MEM(最大エントロピー法)についても比較している。さらにこれらの信号処理法の大気散乱体の二次元マッピングへの応用についても現在検討中である。

文献1) Richard A. Brandewie and Walter C. Davis; Appl. Opt. 11 (1972) pp.1526