

FMヘテロダインCO<sub>2</sub>レーザ・レーダの動作特性  
Performance of the FM Heterodyne CO<sub>2</sub> Laser Radar

中村正一郎 上野真史 池浦正史 大高真人 小林香郎  
S.Nakamura, M.Ueno, M.Ikeura, M.Ohtaka and T.Kobayashi  
福井大学工学部電気工学科

Department of Electrical Engineering, Fukui University

**1. はじめに** レーザ光のコヒーレンス特性を利用した光ヘテロダイン検波法は、高感度で指向性及び周波数選択性が優れており、光計測や光通信などの分野で新しい応用が期待されている。特に、赤外域では光ヘテロダイン検波法は直接検波法と比べて本質的に高感度であり、波面の位相整合も容易である。しかしながら、送信用と局発用の2台のレーザが必要であり、また周波数制御が必要であるなど装置が大型かつ複雑となる。そこで我々は、小型のレーザ遠隔計測システムとして、1台のFMレーザを用いたFMヘテロダインCO<sub>2</sub>レーザ・レーダの開発研究を継続しており、今回それらの結果を報告したい。また、このシステムの差分吸収方式への応用についても検討する。

**2. FMヘテロダインレーザ・レーダの構成** 図1に、地形物ターゲットを測定対象としたFMヘテロダインレーザ・レーダの基本構成図を示す。広帯域の周波数可変特性を持つ導波路型CO<sub>2</sub>レーザの共振器ミラーの一方をピエゾ素子に取り付け、これを三角波状に振動させて共振器長を変化させることによりレーザ出力光にFM変調を加える。変調されたレーザ光は、直径150mmの軸はずし放物面テレスコープを通して遠方のターゲットに照射される。ターゲットからの散乱光は再びテレスコープにより集光され、ビームスプリッタにより局発光とHgCdTe検出器上で重畳され、ヘテロダイン(ホモダイン)検波される。この結果、静止ターゲットに対しても距離に比例した周波数のビート信号が得られる。

**3. 基本的動作特性** 図2に、距離300mのAl拡散板からのビート信号スペクトルを示す。S/N≒30dBと高感度で検出されていることが分る。このときビートスペクトルの半値幅は約300Hzで、距離分解能としては24mとなった。これは上述したビート位相の急峻な変化による側波帯成分や、FM変調の直線性が十分でないためと考えらる。しかし、ビート波の波数測定により10<sup>-4</sup>程度の相対誤差まで改善が可能と推定される。

次にターゲットの距離を変化させたときのS/Nの変化を図3に示す。S/Nは距離Rの自乗に反比例しており、出力200mWのレーザでもR≒1kmのターゲットに対して測定可能なことが分る。しかし、ショットノイズ制限状態を仮定した理論値とは約30dBの差がある。この原因として 1) FM変調時の強度変調雑音や、レーザの放電ノイズのためショットノイズ制限状態が実現されていない、2) 大気の影響、

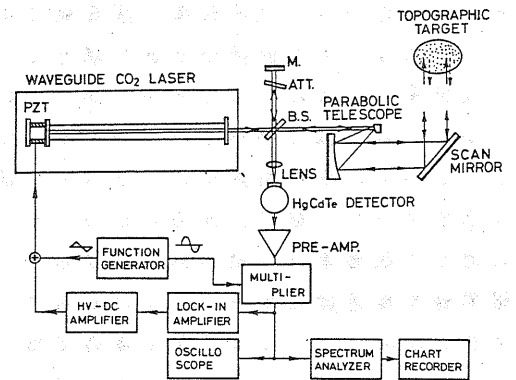


図1. FMヘテロダインレーザ・レーダの装置構成

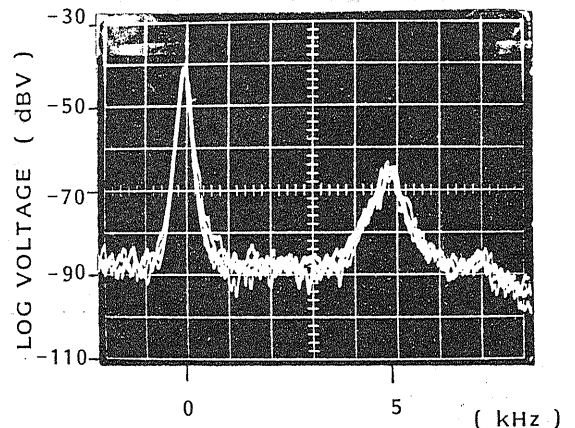


図2. ビート信号スペクトル波形 (R=300m, f<sub>m</sub>=200Hz)

などが考えられる。現在、実験及びシミュレーションを行い、検討を進めている。

**4. 大気擾乱特性** 一般に、光は大気伝搬中に擾乱を受け位相変化が生じ、光ヘテロダインのS/Nは低下する。平面波が擾乱を受けた場合には、受信信号の対数強度分布は次式で与えられる。

$$\sigma_{\ln I}^2 = 1.23 C_n^2 k^{7/6} R^{11/6} \quad (1)$$

ここで、 $C_n^2$ は大気構造定数、 $k$ は波数、 $R$ はターゲット距離である。このときのS/Nは、

$$S/N = (S/N)_0 / (1 + D^2/4r_a^2) \quad (2)$$

$$r_a = 0.0381 \cdot R \cdot \lambda^{6/5} \left( \int_{\text{path}} C_n^2 S^{5/3} ds \right)^{-3/5} \quad (3)$$

で与えられる。ただし、 $(S/N)_0$ は擾乱のない場合のS/N、 $D$ は受光鏡の直径、 $r_a$ は相関長である。図4に大気擾乱による信号光強度の時間変化とその確率分布の測定結果を示す。これより、擾乱の大きい場合と小さい場合の $C_n^2$ の値は各々、 $4.29 \times 10^{-12} \text{ m}^{-2/3}$ 、 $1.44 \times 10^{-13} \text{ m}^{-2/3}$ となった。

**5. 差分吸収方式ヘテロダインレーザ・レーダ**

CO<sub>2</sub>レーザ発振線を大気中の微量分子の吸収線の波長と一致させることによりFM差分吸収測定が行われる。図5に差分吸収方式FMヘテロダインレーザ・レーダの構成図を示す。測定分子の吸収線に対して、共鳴および非共鳴の波長に選択された2台のFM-CWレーザを用いて地形物ターゲットからの2つのビート信号を同一光検波器でホモダイン検波する。共鳴波長と非共鳴波長の受信電力の差により、測定分子の平均濃度が測定できる。この方式では、大気擾乱の雑音成分は2波長の受信電力の比を取るにより一部相殺されるため、大きなS/Nが期待できる。現在、このシステムでの動作を検討中である。

**6. むすび** FMヘテロダインレーザ・レーダを試作し、距離 $R \leq 1 \text{ km}$ のターゲットに対して信号検出可能であることが分った。また、大気擾乱特性より大気構造定数が測定できることを確かめた。

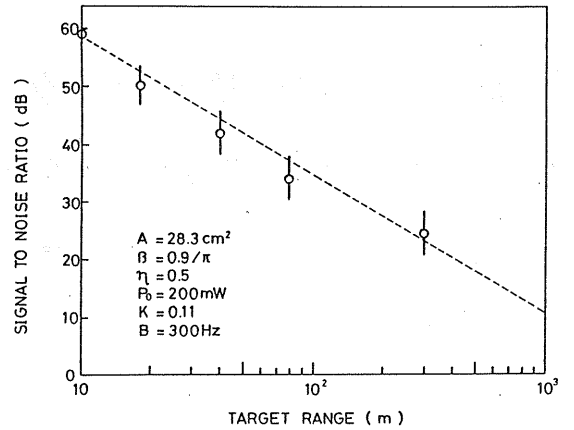


図3. S/Nのターゲット距離依存性

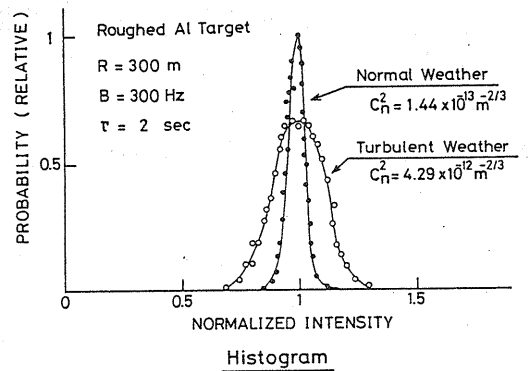
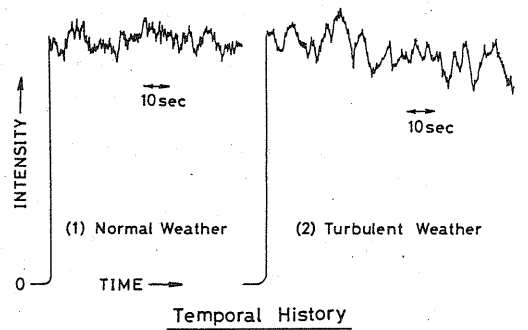


図4. 擾乱の大小による信号強度の時間変動と確率分布

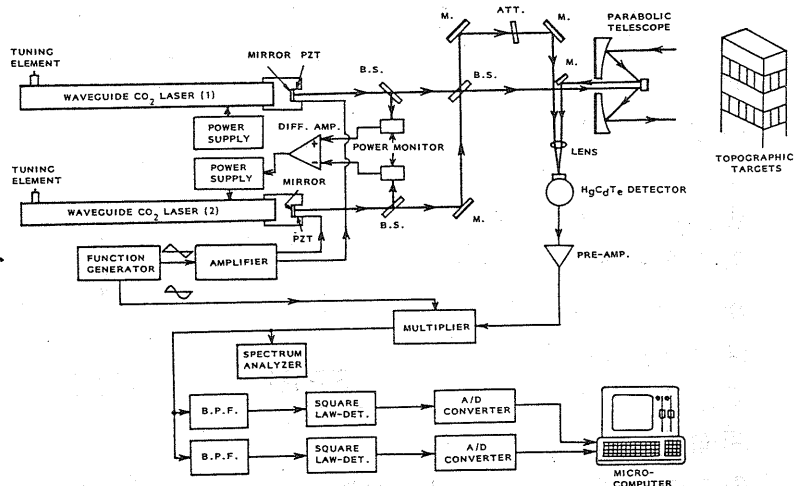


図5. 差分吸収方式ヘテロダインレーザ・レーダの構成