

差分吸収測定のためのヘテロダイン検出方式を用いる
簡易・小型レーザーレーダーの動作実験

Performance Of A Simple And Compact CO₂ Laser Radar
With Heterodyne Detection For Differential Absorption Measurements

小林 喬郎・ M. Hamza・ 石原 久寛・ 稲場 文男

Takao Kobayashi・ M. Hamza・ Hisahiro Ishihara・ Humio Inaba

東北大学電気通信研究所

Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

1. はじめに

最近、高出力レーザーと大型の光学システムやコンピュータを用いたレーザーレーダーの高感度、高性能化が進展している。一方、装置の小型・軽量化によりレーザーレーダーの機動性を発揮し、実用範囲を一層拡大することも今後の重要な課題と考えられる。この方向を目指した研究として、我々は赤外域パルスレーザーを用いるヘテロダイン検出方式レーザーレーダーの提案^{1,2)}やFMヘテロダイン方式レーザーレーダーの解析³⁾を行って、比較的小出力の赤外域レーザーでも高感度化が可能なことを明らかにした。

本文では、赤外域の導波路型CO₂レーザーに2波長発振法を適用し、FMヘテロダイン検出法を用いて大気中の汚染分子や微量分子の濃度の差分吸収測定のための簡易・小型のレーザーレーダー装置を開発したので、その構成と動作結果の一部を報告したい。⁴⁾

2. FMヘテロダイン方式レーザーレーダーの原理

FM(周波数変調)ヘテロダイン方式レーザーレーダーの最大の特徴は、CW動作のレーザーを用いてもビート周波数よりターゲットまでの距離が測定可能なことである。レーザーのFM技術は種々検討されているが、簡便性と高効率性の観点より本実験ではレーザー共振器長を変

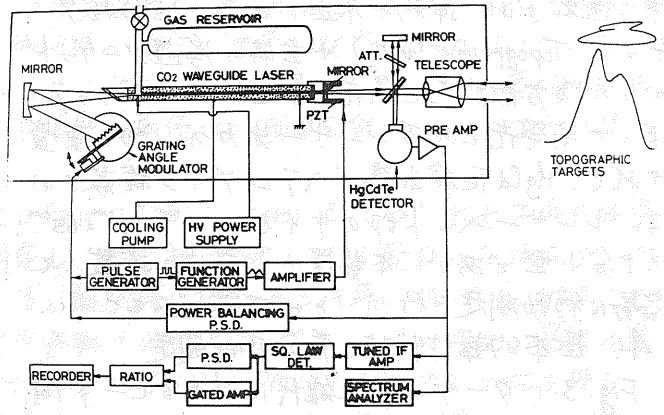


Fig. 2 FMヘテロダイン方式差分吸収レーザーレーダーのブロック図

化させる方法を用いた。Fig. 1に簡単なFM法とFMヘテロダイン法の原理図を示す。FMは下図の様に共振器長を三角波状に変化させることにより直線的に加えられる。この場合のレーザー発振の周波数掃引幅は

$$B = cd / \lambda L \quad \dots (1)$$

で与えられる。ここで、 d は共振器長の変位、 c は光速、 λ は波長、 L は共振器長である。

また、距離 R だけ離れたターゲットからの受信信号光と送信光(局発光)のビート信号周波数は

$$f = (B/T)(2R/c) = 4f_m dR / \lambda L \quad \dots (2)$$

で与えられる。ここで、 T は変調周期の半値、 f_m は変調周波数($f_m = 1/2T$)である。すなわち、(2)よりビート周波数 f よりターゲットの距離 R が容易に求められる。さらに、ターゲットが速度 v で移動している場合にはDoppler項が加わって

$$f_r = | \pm f + 2v / \lambda | \quad \dots (3)$$

となり、2つの周波数成分が現われることになる。この周波数差より速度 v とその移動方向

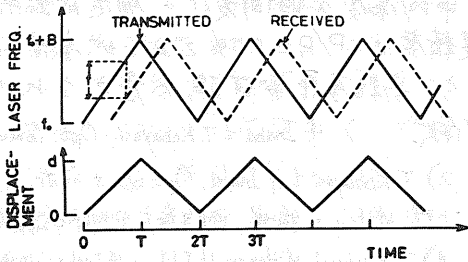


Fig. 1 レーザーのFM法とFMヘテロダイン方式の原理

$$\frac{S}{N} = \frac{NP_s}{n\nu B}$$

$n = 10^{19}$
 $\frac{n}{n\nu B} \sim 10^{15}$
 $P_s = 10^2$
 $10 \text{ } \mu\text{Ps}$

(正又は負)が求められる。

3. レーザ-レーザ-装置の構成

Fig. 2 に試作したFMヘテロダイン方式差分吸収レーザ-レーザ-装置のブロック図を示す。放電長17cmのアルミナ製導波路CO₂レーザ-⁵⁾の内部鏡をPZTで駆動して共振器長を変化させてFMを加えている。また、発振波長の選択には回折格子を用い、その角度を電磁的に変化させることによって差分吸収測定のための2波長交互発振を得ている。レーザ-光(出力0.1~0.5W)はファイバ(直径25mm)を通して大気中に送出され、建物や木立、山等の地形物ターゲット(Topographic Targets)や雲等の浮遊ターゲットからの後方散乱光を集光し、ビームスプリッタによって局発光となるレーザ-出力の一部と重畳されて、HgCdTe検出器でヘテロダイン検波される。レーザ-ヘッド部のサイズは15cm×15cm×65cmと十分小型であり、本装置を小型車に搭載して容易に移動測定を行うことが可能である。

4. 基本的動作特性と差分吸収測定

Fig. 3 にターゲット距離Rに対するビート周波数の関係を示す。計算値(実線)とd=1μmと1R場合の実測値(丸印)がほぼ一致することが確かめられた。次に、Fig. 4 にヘテロダイン信号の出力電圧のS/Nのターゲット距離依存性を示す。実線が計算値、破線が建物の壁をターゲットとして行った実験値である。

Fig. 5 に建物の壁をターゲットとして測定した小型バイク排気ガス中のエチレン分子の差分吸収測定結果の一例を示す。

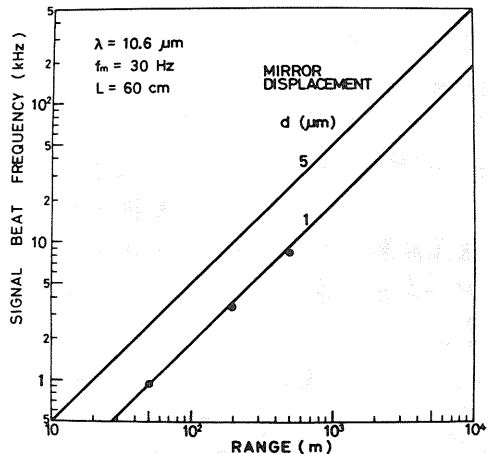


Fig. 3 ターゲット距離に対するビート信号周波数の変化特性 (○印: 実測値)

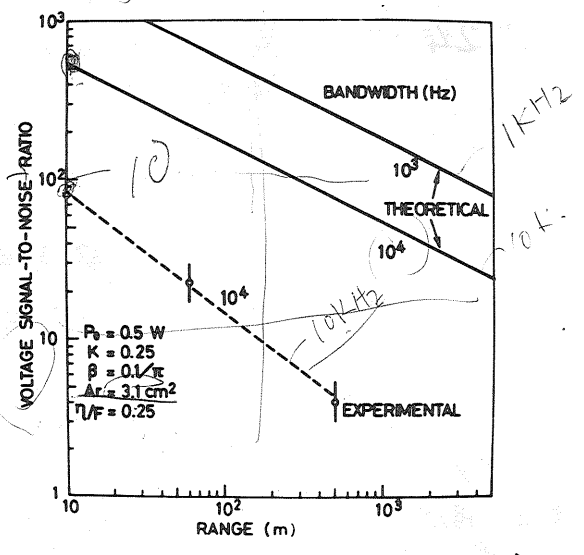


Fig. 4 FM方式ヘテロダイン出力の電圧信号対雑音比のターゲット距離依存性

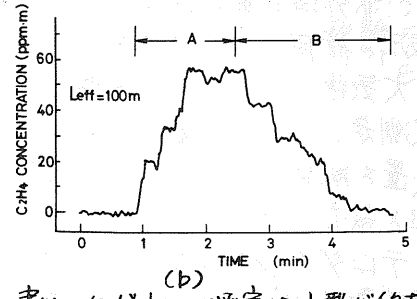
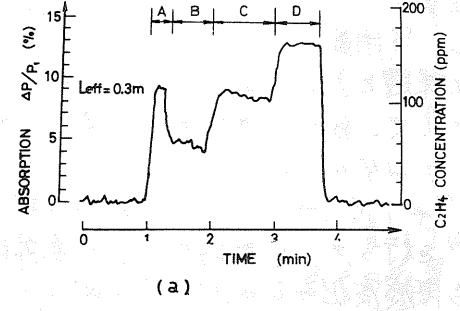


Fig. 5 建物をターゲットとして測定した小型バイク排気エチレン分子の差分吸収測定結果 (a)排気口付近での測定 (b)光路長100m中の平均濃度の時間変化

5. おわりに

導波路型CO₂レーザ-を用いたFMヘテロダイン方式レーザ-レーザ-装置を開発し、大気中のエチレン分子の平均濃度の時間変化の測定ができた。現在、測定精度はΔP/P ≈ 0.5% であるが、装置の改良によりさらに高精度化が可能と考えられる。

参考文献 1) H. Inaba & T. Kobayasi, Opt. Comm. 14, 119 (1975), 2) T. Kobayasi & H. Inaba, Opt. Quant. Electr., 7, 319 (1975), 3) 小林, M. Hamza, 編者, 1976年春応用物理学会講演集, 239 (1976), 4) T. Kobayasi, M. Hamza, H. Ishihara, H. Inaba, 10th ILRC, Maryland (Oct. 1980), 5) 堀田・鷲尾, 信学会光量工研資料, OQE-77-12 (1977)

(S) or (K) 50