

$$\frac{S}{N} = \frac{P_s}{P_{10}}$$

106

25 航空機搭載型CO₂レーザーヘテロダインオゾンモニター装置の開発

Development of an air-borne CO₂ laser heterodyne ozone monitor

板部敏和 松井敏明 浅井和弘 五十嵐隆

T. Itabe, T. Matsui, K. Asai and T. Igarashi

電波研究所

Radio Research Laboratories

§1 はじめに

赤外9μ帯で発振するCO₂レーザーを用いた差分吸収方式のオゾンモニターは、長光路方式ならびにレーザーダ方式での研究開発が進められてきた。最近の光化学スモッグ発生時のオゾン分布の測定では、オゾン発生源付近の大都市中心部以外の郊外や海洋上にも高濃度のオゾンが存在する二ことが明らかになり、オゾンその他の汚染物質の広域分布の測定が重要な研究課題となつてきている。このような広域のオゾン分布を測定する一方法として、航空機に搭載のCO₂レーザー差分吸収方式のオゾンモニターは、能動的リモートセンサであり場所に関係なく測定可能であり、大気汚染の広域オゾン分布測定法として有力な方法である。

電波研では、CWのCO₂レーザーを航空機より地上に向けて発射し、地上面での反射光を再び航空機上で受信し、地上と航空機間の平均オゾン濃度を測定し、航空機の移動できる範囲の広域オゾン分布を測定するオゾンモニター装置の開発を行っている。航空機に搭載する機器、特にレーザーは、できるだけ小型、軽量化を必要とする。そのため、現在市販されているCO₂レーザーの中で、最も小型堅牢な封じ切りの導波型CO₂レーザー(Hughes社3800GBD)のP(14)とP(24)で発振する二位を使うことにした。このレーザーでは、地上面から反射して高度数kmで飛行する航空機上で受信できる電力は極めて弱くなり、直接検波で検出するのは困難になってくる。航空機搭載型では、高感度なヘテロダイン検波方式が必要となる。このヘテロダイン検波の効率の室内実験と地上面からの反射光を受信するための航空機実験について報告する。

§2 ヘテロダイン検波室内実験

図1は、飛行実験に用いた装置の構成を示している。室内実験でも、ほぼ同様の構成であるが、ミラーM₀のかわりに回転円板のドツプラシフトを設置し、回転円板でドツプラシフトを受けた散乱光を信号光とし、レーザーの一部を局発光としてヘテロダイン検波を行った。また、レーザーも水冷式の波長選択できるCO₂レーザー(Sylvania社製)を使用した。受信光学系は、室内、飛行実験とも口径50mm中の軸はずし型の鏡とPC型のHgCdTeの赤外検出器を用いた。ドツプラシフトは送受信光学系から約25m離して設置し、受信光のドツプラ周波数は1.75MHzで半値幅約50kHzであった。ドツプラ周波数でのIF信号は、前置増中後スワップナを帯域100kHzの受信機として使用し、ヘテロダイン検波のS/Nを測定した。ヘテロダイン効率の測定結果を図2に示す。1Hz当りのヘテロダイン検波の理論的最低検出電力(P_{s^{min}})は、

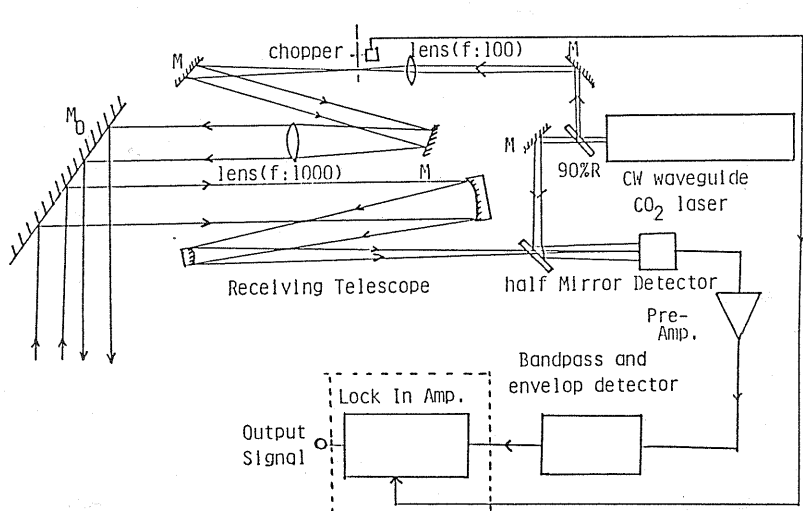


図1. 地上面反射受信用搭載装置

$$\frac{S}{N} = 1 = \frac{h\nu}{n P_s \tau}$$

10^{-7.9}
10⁻¹⁹ / 10⁻¹⁰ = 10⁻⁹ (15)

η を検出器の量子効率, $h\nu$ を光子一個のエネルギーとして

$$P_s^{\min} = \frac{h\nu}{\eta}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)^2 = \frac{n P_s \tau}{h\nu B}$$

であり、量子検出限界である。 $\eta = 0.1$ とすれば、最小検出電力は 4×10^{-9} W 程度であり、図2に示されているように実験結果は、一桁程度悪い結果であった。これは、図1の前置増中器による雑音が、局発光によって発生する検出器の雑音より大きかったためであり、さらに低雑音の増中器によって改善することができると。しかし、室内実験で得られたヘテロダイン検波効率でも航空機上で地上面からの反射光を充分強く受信できるため、この装置を搭載できるようにして飛行実験を行った。

5.3 地上面からの反射光受信飛行実験

飛行実験においては、図1のMoミラーによって、送受信光学軸の方向が航空機の進行方向より約45度斜め前方に向くようにした。地上面より帰ってくる受信光は、航空機の速度によるドップラントを受ける。ドップラ周波数は、航空機のゆれによって1.5~2.5 MHz程度の周りで変化した。装置全体は、アルミ鋳物台の上に設置し、防震ゴムによって、航空機の振動が光学系に伝わらないようにしてある。ドップラ周波数のIF信号は、前置増中後帯域0.5~5 MHzのバンドパスフィルターを通し、帯域検波後チョッパーの参照信号と共にデータレコーダーに収録し、飛行後ロックイン・アンプで処理した。図3はロックイン・アンプで処理した受信信号の変動を示している。図3の「off」の領域は受信光を切った時の値である。航空機での受信信号は激しく変化し、特に河川(水)上では弱くなる傾向を示した。図3の矢印は、航空機が河川を通過した点を示している。

5.4 さいごに

図4にオゾンモニタを行うための差分吸収方式のヘテロダイン検波搭載装置の構成を示している。現在、この装置を用いた航空機飛行実験を行っており、その詳細についても研究会で報告することを予定している。

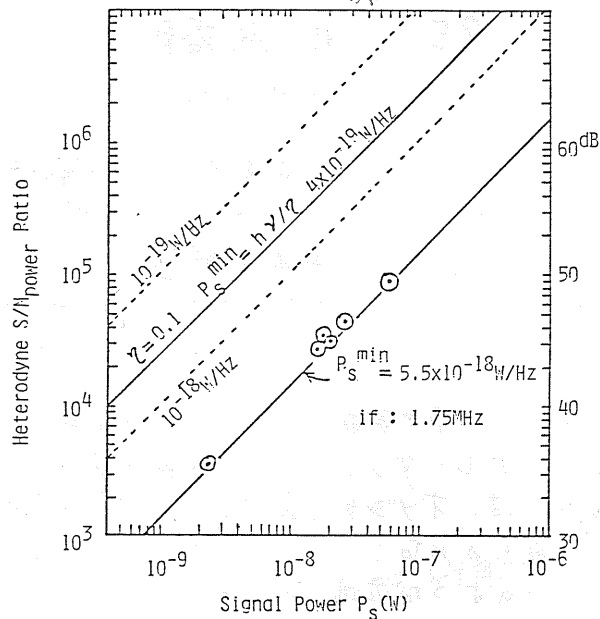


図2. ヘテロダイン検波効率

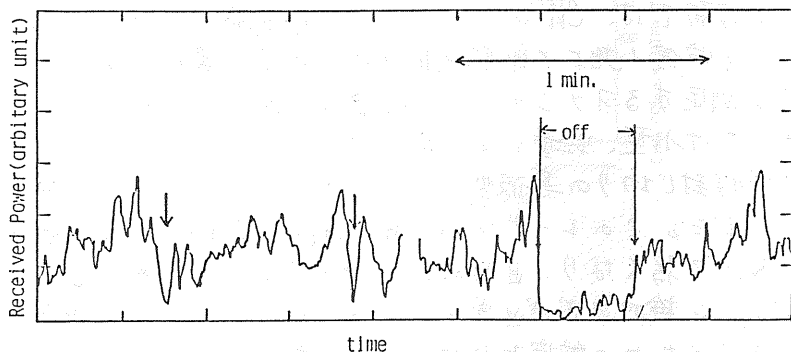


図3. 航空機上での受信信号

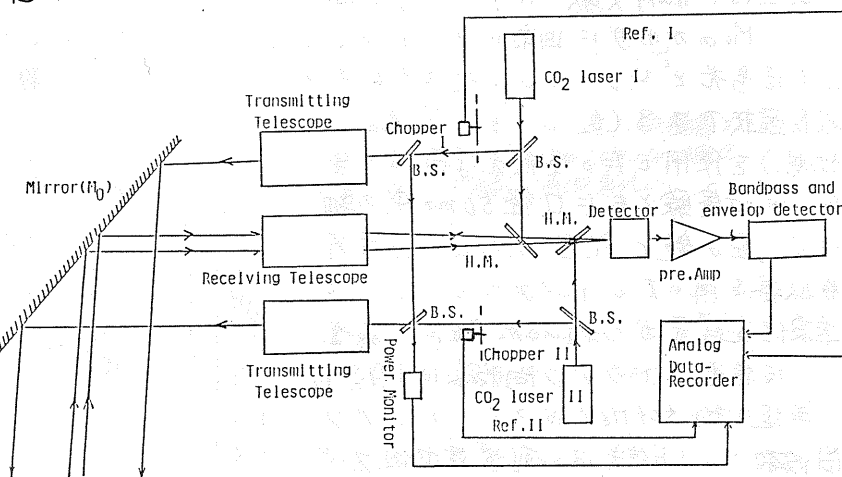


図4. 差分吸収方式'航空機'搭載装置