

通常、分子の核スピン（オルト、パラ状態）を変える遷移は禁制である。我々はビニルラジカル D 化物 H_2CCD で、この核スピン変換を起こす相互作用を多重反射(10 往復)光学系を用いたミリ波ジェット分光法により決定し報告した。この相互作用による波動関数の混じりにより誘起される核スピン変換遷移の強度を見積もると、現在使用している多重反射セル(10 往復)より 1 桁高感度な検出系を用いれば核スピン変換遷移を観測できると予想される。高感度を達成するには光路の往復回数を増やし、有効光路長をのばす必要がある。本研究では昨年報告した反射型ミリ波共振器の性能を改善しラジカル種の検出に応用することを目的とした。

昨年報告したミリ波共振器を図 1 に示す。共振長 600mm の共焦点型共振器で、ミリ波はビームスプリッターで反射させて入射する。共振長はパルスステージでコンピューター制御した。出力光はビームスプリッターで反射されて検出器に入射する。ラジカル種は超音速ジェット中で光解離により生成した。この方法は多重反射セルと比べ、①共振器を用いるためはるかに長い有効光路長が得られる、②分子の濃度が高いノズルから近い所にミリ波ビームを集光できる、などの利点を持つ。

100 GHz 付近を掃引して観測されたミリ波共振器の共振特性(検出器出力を PSD で 2f 検波しているため 2 次微分型)を図 2 に示す。共振ピークの拡大図も合わせて示した。FSR は 270 MHz、共振幅は 760kHz である。これよりフィネス $\nu / \Delta \nu$ は 355 であった。

100 GHz 付近を掃引して観測されたミリ波共振器の共振特性(検出器出力を PSD で 2f 検波しているため 2 次微分型)を図 2 に示す。共振ピークの拡大図も合わせて示した。FSR は 270 MHz、共振幅は 760kHz である。これよりフィネス $\nu / \Delta \nu$ は 355 であった。

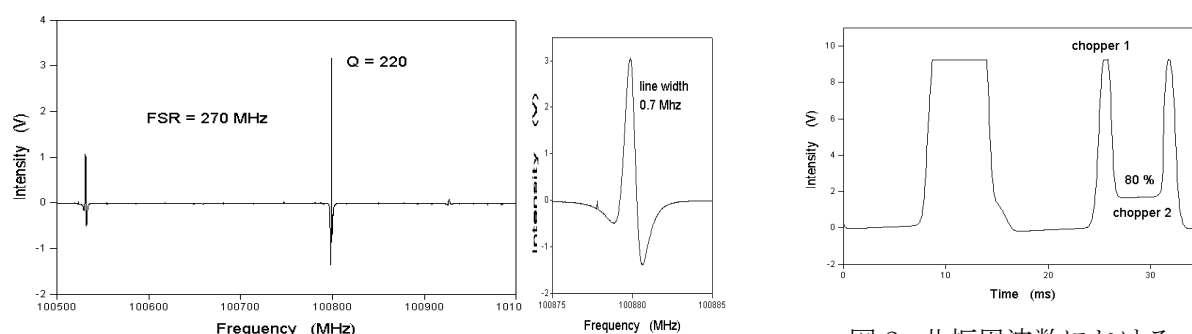


図 2. ミリ波共振器の共振特性およびその拡大図

入射ミリ波をチョッパー 1 で、共振しているミリ波をチョッパー 2 で ON-OFF したときの検出器の出力を図 3 に示す。横軸は時間である。25msec でチョッパー 2 が遮っているときにチョッパー 1 が開くと検出器では入射ミリ波の全パワーが検出されるが、26msec でチョッパー 2 が開くと共振器中で共振が起こるため検出されるミリ波出力は 80%減少した。32msec でチョッパー 2 が閉じると再びミリ波のパワーは入射パワーと等しくなる。チョッパー 1 が閉じるとミリ波出力

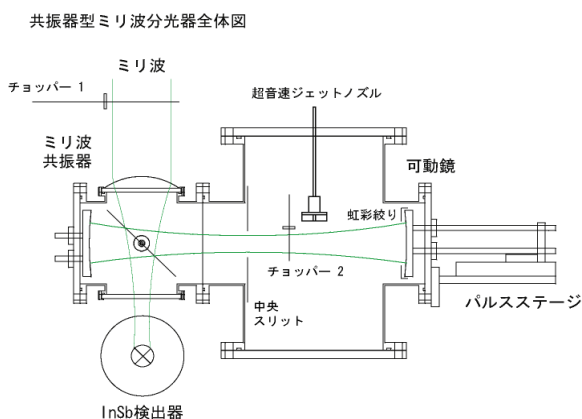


図 1. 反射型ミリ波共振器

図 3. 共振周波数における
チョッパー応答波形

は 0 となる。共振器のフィネスが 355 なので、355 往復の有効光路長に対応し、出力効率 は 80% である。原理的には単光路で観測する場合と比べ 284 倍の感度が得られる。

平面波 $\phi_0 = E_0 \exp(ikx - i\omega t)$ をビームスプリッター(屈折率 n)に入射したときの振幅透過率を TT' 、主鏡の反射率を r とする。共振器長を l 、共振器の出力光を ϕ とすると

$$\phi / \phi_0 = \{ TT' \cdot (T'rTT'rT) \exp(i2kl) \} / \{ 1 - (T'rTT'rT) \exp(i2kl) \}$$

となる。 $|\phi / \phi_0|$ を観測周波数に対してプロットすると共振器の共振特性が計算できる。ここで $T = 2/(n+1)$ 、 $T' = 2n/(n+1)$ である。主鏡の反射率を 99.9% ($r = -0.9995$)、ビームスプリッターの屈折率を $n=1.2$ とすると実験結果を再現できる。

HCN を 0.3% 水素を 25% 含む He ガスをパルスジェットノズルより背圧 15atm で高真空中に吹き出し分子のスペクトルを観測した。ミリ波の共振周波数を HCN 分子の $J=1-0$ 回転遷移に固定し吸収の時間応答を測定した結果を図 4 に示す。HCN の吸収は 100% 吸収となるため、共振で減少していたシグナルが、共振のないときのレベルまで出力が回復する。次に (o)H₂-HCN 分子錯体の $\Sigma_1-\Sigma_0$, $P(2)$, $F=2-3$ 遷移に共振周波数を固定し、周波数変調をかけて観測した時間応答を図 5 に示す。サンプル噴射後 30 msec ほどの間、シグナルの 1/2 ほどの強度の大きなノイズが表れた。このノイズは超音速ジェット噴射の圧力によるビームスプリッターの振動ノイズで、検出系のノイズの 500 倍も大きなノイズである。高感度を達成するには振動ノイズを除去する必要がある。

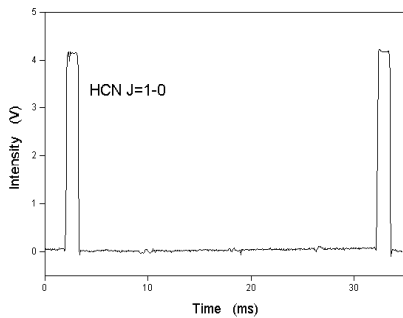


図 4. HCN, $j=1-0$ 遷移の時間応答

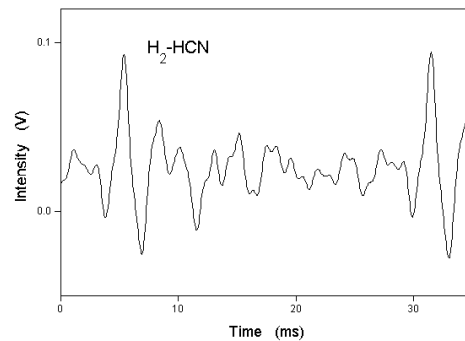


図 5. (o)H₂-HCN, $\Sigma_1-\Sigma_0$, $P(2)$ 内部回転遷移

達成した改善点および現在進めている改善点について以下説明する。

- (1) ラジカル種の観測では紫外光照射をジェットパルスの 2 回に 1 回行い、光照射したときとしなかったときの吸収を差し引くことにより安定分子の吸収やノイズを差し引くことが出来る。この方法により振動ノイズを 1/27 まで減少させることが出来ることを確かめた。
- (2) ビームスプリッターの固定方法が軟弱であったことがノイズの主要な原因である。ビームスプリッターの固定方法を変更することにより振動ノイズを 1/10 に出来ることを確かめた。
- (3) 理想的には共振器の主鏡およびビームスプリッターを真空中に入れた固定枠でがっちり固定することが望ましい。現在この方式の共振器システムを設計・制作中である。
- (4) 光解離で生成したラジカル種がミリ波ビームを通過する時間は $100 \mu s$ 程度である。よってジェットノズルを高速動作させ $300 \mu s$ 程度の幅のジェットパルスを実験に用いれば観測時はガスはビームスプリッターの位置まで到達しないため、シグナルと振動ノイズを時間分解分光法により分離できる。高速動作のため、現在パルスノズルの電源改良中である。
- (5) ノイズ除去後、スペクトル測定を開始する時に必要な自動周波数掃引システムを制作中である。

これらの進行状況および観測されたスペクトルについて報告する。