

分子線散乱装置の回転角制御系の製作

増田俊雄*、佐々木敏幸**
名古屋大学工学部・工学研究科技術部

1. はじめに

分子線散乱装置（分子線化学反応装置）による実験の効率化を図るため、同装置内のこれまで手動で行っていた散乱された粒子を計測する検出器の検出角の位置制御、即ち周方向の回転角制御の自動化を行う。併せて、現有の散乱データ収集プログラムとの結合により計測サイクルの自動化を図る。

2. 分子線散乱装置

この装置は、固体試料に超高真空中で定エネルギーの分子ビームをある決まった入射角で照射し、試料表面からいろいろな方向に散乱される粒子の質量・強度・エネルギー・衝突から離脱までの時間分布を測定し、種々の固体試料の物性を計測するものである。この場合、分子は電氣的に中性で、散乱された分子も中性である。分子は、断面積が $3\text{mm} \times 3\text{mm}$ の分子線という空間的に比較的小さい分子の流れ（ビーム）として約 $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ の固体試料に衝突させる。散乱粒子の質量・強度を計測する検出器～四重極質量分析計は、常に分子線と個体表面との衝突領域を向いているように、装置上部の約 640mm の回転盤に固定されており、回転盤の回転に連れて周方向に移動できるようになっている。この上部回転盤は特殊機構により、超高真空を保ちながら回転し、その駆動は、三相 200V の誘導モータと減速ギアおよびチェーンにより行っている。

エネルギー・離脱時間の測定には飛行時間(TOF)法を用いる。分子線・散乱粒子を断続させるために分子線源側と試料・検出器間のそれぞれに、径方向にスリットを切った回転円盤が配置される。

分子線散乱装置

- ・ 内寸 mm : $786\text{W} \times 854\text{D} \times 584\text{H}$ の超高真空槽
- ・ 検出器の移動可能領域（回転角）: $0 \sim 145$ 度
- ・ 上部回転盤の回転速度 : 約 7 秒 / 度

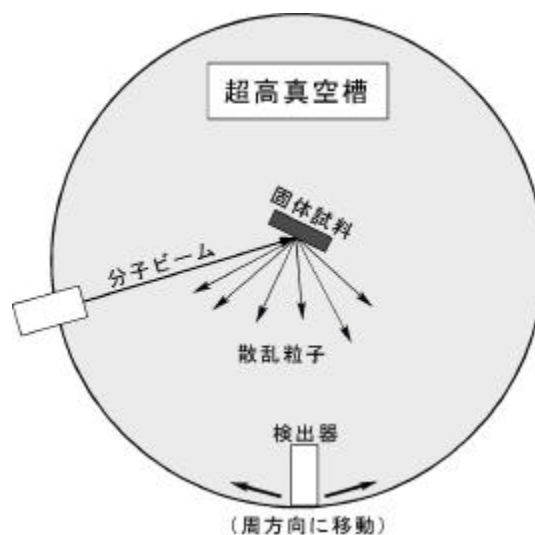


図1 分子線散乱装置の概要

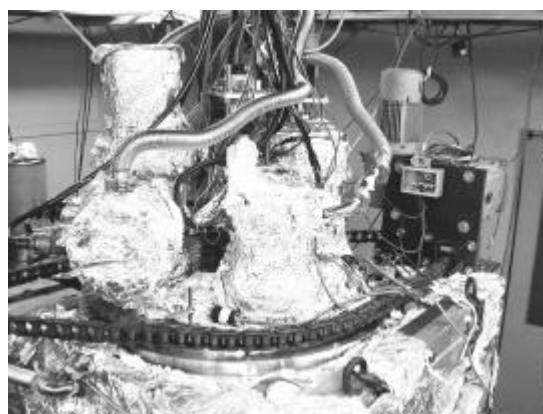
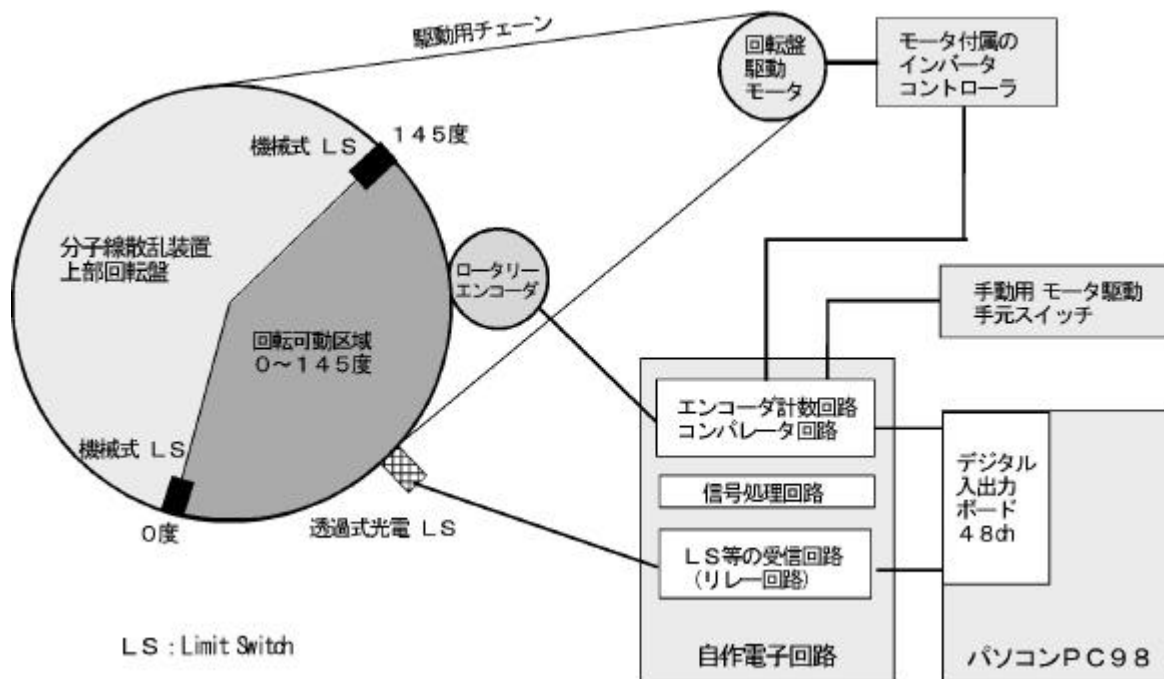


図2 分子線散乱装置上部回転盤外観

*構造・安全技術系、**機器・システム技術系

3. システムの構成



1) 回転角制御用のパソコンおよび制御プログラム

制御用パソコンは、これまでのシステムのハードウェア、ソフトウェアを有効に利用するために、現在データ収集用として稼働中のNEC PC98を流用することにした。今回作成した回転角度制御用プログラムは稼働中の散乱データ自動収集プログラムと結合させ、計測サイクルの自動化を行った。OSはMS-DOS、言語はN88-BASIC。

2) データ入出力ボード

パソコンのデータ入出力には、PPI (Peripheral Parallel Interface) の 8255 が 2 個実装されたアドテック社のデジタル I/O ボードを用いた。8255は 8 bitのChannelを 3 port (A,B,C) 内蔵しており、全入出力数は 8 bit × 3 port × 2 個 = 48Channel、これを下表のように配分して使用した。

基板のPort Address は、現在、データ計測に使用している基板が偶数系を使っているので、制御用の基板は奇数系アドレスとした。(16進表記 : D1, D3, D5, D7, D9, DB, DD, DF)

PPI 1 出力専用 (コントロール・ポートアドレス : DF)				PPI 2 入力専用 (コントロール・ポートアドレス : D7)			
Port	アドレス	bit	内容	Port	アドレス	bit	内容
A	D9	0 ~ 7	比較器の設定値 (下位)	A	D1	0 ~ 7	エンコーダ 計数値 (下位)
B	DB	0 ~ 7	比較器の設定値 (上位)	B	D3	0 ~ 7	エンコーダ 計数値 (上位)
C	DD	0	CW回転起動信号	C	D5	0	比較器より (A>B時)
		1	CCW回転起動信号			1	比較器より (A=B時)
		2	比較器 Latch Up 解除			2	比較器より (A<B時)
		3	エンコーダ計数値 Reset			3	比較器 Latch Up 信号
		4	システム初期起動信号			4	光電式LS 2 ON信号
		5	空き			5	光電式LS 3 ON信号
		6	空き			6	光電式LS 4 ON信号
		7	空き			7	空き

3) 回転角検出用ロータリエンコーダ

今回の自動化にあたって最も重要な、検出器の移動量（回転角）を計測するセンサには、分子線散乱装置のセンサ設置場所の制約や入手の容易さなどを鑑み、小型軽量であるロータリエンコーダ（以後、エンコーダ）を用いた。エンコーダは回転している間だけ回転角度に応じたパルス量が出力されるインクリメント型と回転の有無に関係なく回転角度に応じた絶対位置の信号がパラレルコードで出力されるアブソリュート型がある。後者の方が常にエンコーダ回転軸の角度の位置情報が出力されているので回転方向を考慮した計数回路が不要で扱いやすいが、角度分解能や価格及びサイズの点から、インクリメント型（オムロン E6B2 型 分解能：1024 パルス／回転、出力形式：Open Collector 型）を用いた。尚、分解能が 1024 のものを使ったのは、実際は 7～800 程度の分解能があれば要求仕様は満足するが、同価格で入手できる最高の分解能であることと在庫が有り早く入手出来たという理由による。

エンコーダは通常 A と B の二つの出力を有し、互いに 90 度の位相差を持った同周期のパルスが出力される。この二つの出力により回転方向の判別が可能となり、加算減算によるパルスの計数出来る。また、この A、B パルスのそれぞれの立ち上がり立ち下りのエッジ、即ち、一つの周期中で、0、90、180、270 度の点を検出することにより、一つのパルスを 4 つに分解して計数出来るので角度分解能は 4 倍になる。但し、厳密に言えば、エンコーダ内の波形整形回路の性能により完全 4 分割とはいえないが... この様な分割を 4 倍と言う。今回は 4 倍して用いるので、エンコーダ自身の分解能は $1024 \times 4 = 4096$ パルス／回転となる。

既存の状態では分子線散乱装置の分子検出器が設置されている回転盤の回転を正確に計測するために、図 4 のように同回転盤の目盛部外周に、押さえ圧力やバネの形状を工夫して製作した鋼による押さえバネにより、外側にゴム製の Oリングをはめた自作の円盤を取り付けたロータリエンコーダを押し当ててその回転角を検出した。角度検出精度向上の面では円盤の直径は小さい方が良いが、取付部位の制約から直径は約 100mm とした。回転盤の目盛部の直径は約 640mm なので、回転比は 6.4 : 1 となる。

従って、回転盤 1 度当たりのエンコーダの出力パルス数は $(4096 \times 6.4) / 360 = 72.8$ 、従って、分解能は 0.0137 度 / パルスとなり、要求仕様の 0.1 度を充分満たしている。



図 4 エンコーダと回転盤目盛部

4) 位置確認及び安全保持用リミットスイッチ(Limit Switch : L S)

回転盤は、装置の機構上、360度の回転は出来ない。回転可能領域は最大で0～145度の範囲のみである。この領域を脱すると装置の破損や破壊を招くため、可動領域の両端には、L Sが必要不可欠である。また可動領域の全域が測定領域でもある。現況では両端の0.3度と144.7度の点に各一個の機械式L Sが設置されているが、今回、L S故障による暴走を回避するために、それぞれ直列にもう一つのL Sを追加してより安全性を高めた。



当初、回転位置の検出用などに感度や再現性の点から透過型の光センサを考えて設置したが、(図5)

図5 透過型の光電センサ

機械式センサの再現性が比較的良好いのでその使用を中止した。しかし今後のシステムの発展や新たな制御を行う場合に利用するために残した。

5) 自作電子回路

自作電子回路は、エンコーダパルスの加算および減算の計数回路、モータを指定角度で停止させるための角度情報の比較回路、パソコンからのモータを制御するためのリレー回路で構成されている。モータの起動・停止時および駆動用インバータのノイズによりエンコーダパルスの計数回路等が誤作動しないよう、各信号入力部にフィルタを入れた。

・エンコーダパルスの加算減算の計数回路

NECのエンコーダ計数専用ICの μ pc4702と μ pc4704を各一個使って、16bitの加減算計数回路を構成した。即ち ± 32000 を計数出来る回路で、今回0～145度まで回転した場合のエンコーダ出力パルス数は4逓倍後でも約11000カウント程度であるので、充分満足する容量である。

実験前の基準位置における計数値の零リセットはパソコンから行うことが出来る。

・比較回路

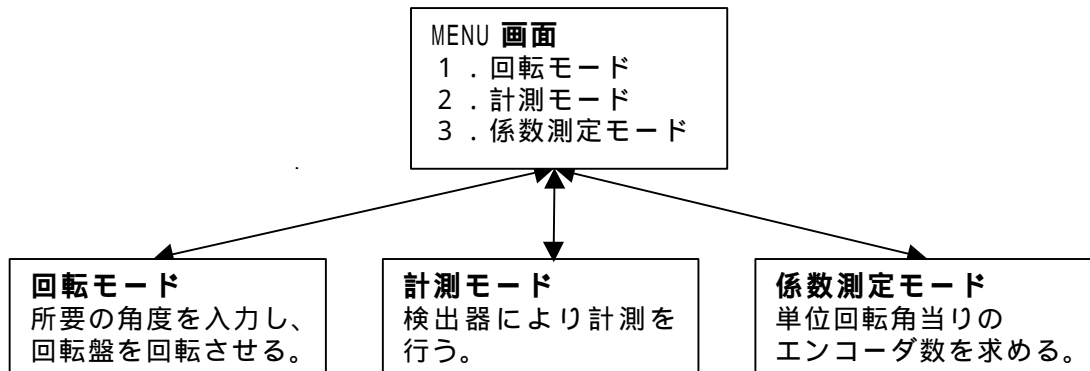
比較回路は、回転角に相当するデジタルデータの比較を行う回路で、ICの片方にパソコン側から設定値を送ってセットし、もう片方にエンコーダの計数回路からの16bitの回転角データを送る。両者の値が一致すると信号が出るので、この信号によりリレーを動作させ、モータを停止させるものである。74HC85の4bitデータの比較専用ICを4個直列に用いて、16bitのデジタルデータの比較を行った。一致信号は一致した瞬間だけ出力されるので、保持回路を経てリレーを駆動する。

・インターフェース用リレー回路

自動時には、パソコンからのモータの起動・停止信号(CWおよびCCW信号)は、リレーを介して、モータのコントローラに送られる。

4 . 計測サイクル

自動計測プログラムの構成



前述の様に、回転角制御プログラムはMS-DOS上のN88-BASICにより作成した。これと従来の散乱データ計測プログラムを結合して、上図のような構成とした。

実験にあたって、まず、回転角度検出の尺度となる回転盤の回転角1度当たりのエンコーダの出力パルス数を求める。MENU画面から**係数測定モード**を選択し、散乱装置の回転盤を起動させ、適当な角度の所で停止させる。この時のスタート位置、ストップ位置の角度を回転盤外周の角度目盛板を目視により読み取る。計測した回転角度と、同時に計数したエンコーダ出力パルス数によりエンコーダ係数を算出する。この係数により、逆にエンコーダ出力パルスの計数値から回転した角度を算出できる。

$$\text{エンコーダ計数} = (\text{回転角度}) / ($$

実際の基本的な計測サイクルは、既にエンコーダ係数を算出したものとして、次の手順となる。

- 1) MENU画面により、**回転モード**を選択し、希望する角度(絶対値)をKey入力する。
- 2) 入力された角度にエンコーダ係数を乗じる。
(希望する絶対角度に相当するエンコーダ計数値を算出)
- 3) その数値をI/Oボードを通して前述の比較回路に送り、セットする。
- 4) パソコンからI/Oボード、リレー回路を経て、モータを起動させる。
- 5) 回転が始まり、エンコーダから比較回路に順次、計数値が送られる。
- 6) 前述の様に比較回路では常に両者のデータの比較を行っており、両者が同じ値になった時点で一致信号を出す。この比較回路からの信号によりモータを停止させる。従って、検出器を希望の位置に移動させる事が出来る。
- 7) 停止確認と同時にMENU画面に戻るので、**計測モード**を選択して、散乱分子の計測を行う。
- 8) 1)に戻る。

尚、簡単なコネクタの接続替えにより、従来の様に手動操作によるモータの制御も出来る様、配慮した。

5 . 考慮した点、工夫した点

- 1) 本体回転板とエンコーダとの接触に関して、適当な圧力で押し当てるために、鋼による押さえバネの形状や厚み、押さえ方などいろいろ工夫して作成した。現在、常時接触によるリング（ゴム製）の変形を避けるため、実験時のみ押し当てる様な機構、特に機構の簡素化を重点に検討中である。
- 2) 回転盤の駆動には3 200Vの誘導電動機が使われている。モータを停止させても回転盤やモータの慣性などにより、瞬時に停止せず少し回転してしまう。モータ付属のコントローラの瞬時停止モードを使っても、平均して0.1度程度は回転してしまう。また、この慣性回転の量は室温に対する潤滑油の粘性の影響を直に受ける。従ってこの誤差をなくすようプログラムで制御した結果、0.1度以下になった。
尚、モータを容易に制御可能な他の形式のものに取り替えることは、現有装置の大幅な改造を伴うので出来ない。
- 3) 今までの測定システムの関係により、パソコンはNECのPC98と指定されたので、比較回路は電子回路で作成した。現在の速いCPUを内蔵したパソコンであれば、パソコン側で処理できる。しかし、Cや機械語で書けばPC98でもプログラム上で比較可能だが、プログラムが煩雑になる。
- 4) 自作の制御回路が故障して実験が中断するというのを防ぐため、コネクタの簡単な接ぎ換えにより、制御回路に関係なくこれまでの手動操作の状態に戻せるよう配慮した。併せて、制御プログラムもこの点を考慮して作成した。
- 5) 安全への配慮
 - ・前述のように故障時の暴走による装置の破壊を防ぐため、回転可能範囲の両端のリミットスイッチを二重にして、安全性に配慮した。
 - ・パソコンによる制御の場合、右回転と左回転のリレーが同時に入らない様に、また緊急時にストップキーを押してプログラムを停止したときは必ず回転指令を止めてからプログラムが停止するなど、ソフト、ハードの両面各所にインターロックを配した。
 - ・装置周囲の配線が回転盤の回転により、損傷を受けないよう配慮した。

謝 辞

製作環境を提供して戴いた 航空宇宙工学専攻の松崎雄嗣教授に感謝します。