
原 著

小型広幅 NMR 装置の OS-9 マシンによる制御とデータ処理の一例

景山和廣 (総合会津中央病院)
星源之助 (同上)
土橋宣昭 (福島医大 R I 研究室)
木村和衛 (福島医大放射線科)

A Broad Line HMR System Connected with an OS-9 Machine

キーワード

broad line NMR PC120, OS-9, T_1 , T_2

1 はじめに

MRI の臨床応用が進み、画像を中心にして人体に関する NMR による情報が蓄積されて来た。しかし、この中で重要な位置を占める T_1 , T_2 等に関する意義付けや解析は充分に行われているとは言い難く、今後、*in vitro* を含めた基礎的研究が一層重要となろう。*in vitro* の研究において、従来高分解能用スペクトロメーターが多く使用されていたが、緩和時間の測定には広幅用装置も有用である。minispec PC120 NMR 装置 (Bruker, 西ドイツ) は、食品や油脂工業領域の製品管理用として使用されていたものであるが、この装置が抽出試料等医学における *in vitro* の実験用としても有用であることが示されている¹⁾。著者等もこの装置を使用して動物の抽出臓器の

T_1 , T_2 に関する研究を行っているが、本装置は測定パラメーターを入力設定し、試料管を装置に挿入すれば、測定が始まり、その測定データから緩和時間の計算を実行し、結果の表示までが自動的に行われるので操作は非常に簡単である。しかし、 T_1 , T_2 は一成分という前提でデータ解析がなされていて、生体系のように二成分以上の T_1 , T_2 からなる可能性のある系には、そのまま適応できない場合があること、また T_1 , T_2 を交互に観測するような場合には、パラメーターを頻繁に入力設定し直す手間がかかること、更にデータの量が増加した時はその整理・保存・処理などに煩わしさがあることなど改良の余地がある。著者等は、この PC 120 にソフト的にはミニコン並みの性能を有する OS-9 マシン²⁾ (FM-11, 富士通) を接続し、上に述べた問題点を改良し、*in vitro* の実験において使用しやすい

システム（以下 PC 120/OS-9 システムと記す）に改良し実験に試用したので報告する。

2 PC-120/OS-9 システムの内容

図 1 はシステムの構成図である。その具体的な接続法について述べる。

1) RS 232 C インターフェイス

- ① RS 232 C 端子間をケーブルで接続した。（ケーブルは 5～10 m, クロスパッチと呼ばれる配線の変更は不要）³⁾
- ② FM-11 の通信モードを非同期式で, 300 ボーに設定した⁴⁾。
- ③ OS-9 のデバイスディスクリプターを変更した⁵⁾。
- ④ 入力ソフトは, プライオリティを最大 (255) に設定して使用した⁶⁾。

2) キーボード・インターフェイス (図 2)

- ① FM-11 の I/O ボード出力端子 14 組を, 各々リレー回路入力に接続した。
- ② リレー回路の出力 13 組を, PC 120 のキーボードコネクター部⁷⁾に接続した。
- ③ リレー回路の出力 1 組を, MEASURE ボタンの接点に接続した。

3) 状態表示用 LED 信号の取り込み

LED 及び MEASURE ボタン内のランプの信号線に I/O ボードの入力端子 5 組をダイオードを介して直結した。

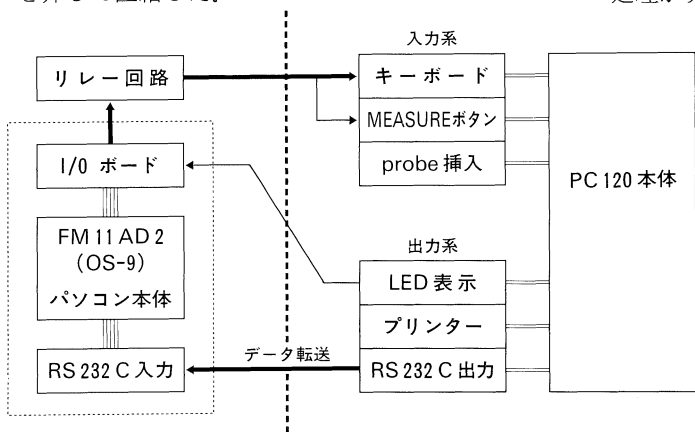


図 1 PC120/OS-9 (FM11) システムの構成図

以上の接続により次の操作を可能とした。

I) PC 120 の入出力のコントロール

- (i) attenuator 値の自動設定
- (ii) T_1 若しくは T_2 の経時変化の観測 (連続測定)
- (iii) $T_1, T_2, T_2/T_1$ 比の経時変化の観測 (T_1, T_2 の交互連続測定)
- (iv) パルス幅調整ダイヤル・offset ダイヤルの微調整のためのテスト信号発信のメニュー化

II) PC 120 の観測データの処理

- (i) 観測データのフロッピーディスクへの保存と整理, 及び編集
- (ii) 作図とその結果の CRT 上への表示
- (iii) 最小自乗法による緩和時間の計算
- (iv) 二成分までの複合系の成分解析 (T_1, T_2 , 組成比等)

(ii) の機能により T_1 若しくは T_2 を一成分と見なしてよいか否か判定する。一成分と見なし得る場合 (iii) の機能を利用して T_1, T_2 を計算してもよいが, PC 120 内蔵プログラムにより算出した値をそのまま利用することもできる。二成分と見なす場合は (iv) の機能によって, 各成分の組成比と各々の T_1, T_2 の値の計算をする。

III) バックグラウンド処理

OS-9 のマルチタスク機能により, I) による観測を実行中であっても同時に II) のデータ処理が実行できる。

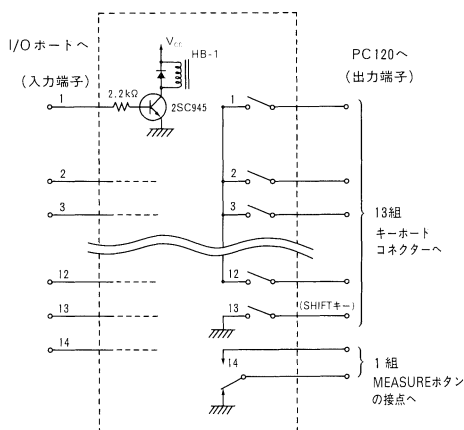


図 2 リレー回路

3 T_1 , T_2 計算の基本式

1) T_1 の計算

($\pi \sim \tau \sim \pi/2$) パルス系列において時間 τ における観測信号強度を $M(\tau)$ とする.

① T_1 が一成分の場合

$$M(\tau) = M_\infty - (1 - \cos \theta) \cdot M_\infty \cdot \exp(-\tau/T_1) \dots\dots\dots (1)$$

M_∞ : $\tau = \infty$ の時の観測信号強度
 θ : π パルスを賦課した時の磁化の実際の回転角
 以上に T_1 を加え 3 変数を未知数とした⁹⁾.

② 速い T_1 と遅い T_1 からなる二成分複合系の場合

$$M(\tau) = M_\infty - (1 - \cos \theta) \cdot M_\infty \cdot \{p \cdot \exp(-\tau/T_{1f}) + (1 - p) \cdot \exp(-\tau/T_{1s})\} \dots\dots\dots (2)$$

M_∞ : $\tau = \infty$ の時の観測信号強度
 T_{1f} : 速い T_1 値, T_{1s} : 遅い T_1 値
 θ : π パルスを賦課した時の磁化の実際の回転角
 p : 速い T_1 を持つ成分の全体に占める割合
 以上の 5 変数を未知数とした.

2) T_2 の計算

CPMG 法において, それぞれのエコーの振幅

が最大になる時間を t , その時の観測信号強度を $M(t)$ とする. (但し, 10 エコー毎にデータのサンプリングが行われている)⁹⁾

① T_2 が一成分の場合

$$M(t) = M_0 \cdot \exp(-t/T_2) \dots\dots\dots (3)$$

M_0 : 最初の $\pi/2$ パルス直後の観測信号強度
 これに T_2 を加え 2 変数を未知数とした¹⁰⁾.

② 速い T_2 と遅い T_2 からなる二成分複合系の場合

$$M(t) = M_0 \cdot \{p \cdot \exp(-t/T_{2f}) + (1 - p) \cdot \exp(-t/T_{2s})\} \dots\dots\dots (4)$$

M_0 : 最初の $\pi/2$ パルス直後の観測信号強度
 T_{2f} : 速い T_2 値, T_{2s} : 遅い T_2 値
 p : 速い T_2 を持つ成分の全体に占める割合
 以上の 4 変数を未知数とした.

上記の式より非線形最小自乗法を用いて各変数を求めた. 実際の計算は, $\Sigma(\text{誤差})^2$ が最小になるように各変数を変化させる反復法を用いた.

4 二成分複合系のファントム実験

濃度の大きく異なる硫酸銅水溶液 (A 液 0.20 %, B 液 0.05 %) を用いて, 二成分計算の実行

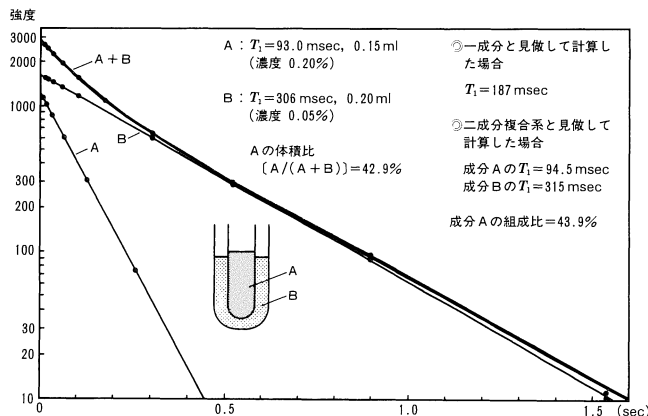


図3 硫酸銅水溶液による T_1 の成分解析

を試みた。図 3 のように、A : $T_1 = 93.0$ msec, 0.15 ml と B : $T_1 = 306$ msec, 0.20 ml を二重試料管に入れ、 T_1 値の観測を行った。一成分と見なして式(1)を適応した場合、 T_1 値は 187 msec と A・B の中間の値をとった。そこで、式(2)を適応し二成分複合系と見なして計算を施行すると、成分 A : 94.5 msec, 成分 B : 315 msec と高い精度で各成分の T_1 値が求まった。また成分 A の組成比が 43.9% と計測され実際の体積比の 42.9% によく一致する値であり、本報告による解析法の妥当性が示された。今後、測定対象によっては、 T_1 若しくは T_2 のそれぞれの成分値が近接する場合もあり得るので、この場合の分離能についても検討する予定である。

5 まとめ

広幅用パルス NMR minispec PC 120 は ^1H の共鳴周波数が 20 MHz であって、現在普及している MRI 装置の共鳴周波数帯に該当する。従って *in vitro* の実験用として望ましい条件を備えている。この装置に OS-9 マシンを接続し NMR 医学における基礎的実験用装置としての性能を向上させたので、その方式と内容について述べた。パルス系列や FID に関しても PC 120 には任意のパルス系列を自由に設定できるモードがあるので、今後本システムによる実験および臨床への活用を検討したい。

文 献

- 1) 田中忠蔵, 成瀬昭二, 堀川義治, 等 : NMR 医学 4 : 24-31, 1984.
- 2) 古賀義亮 : OS-9・BASIC 09 入門. 工学図書, 東京, 1984, p. 14.
- 3) FM-11 ユーザーズマニュアル AD 2 システム解説. 富士通㈱, p. 143-145.
- 4) 同上, p. 146-147.
- 5) 同上, p. 172-173.
- 6) 古賀義亮 : OS-9・BASIC 09 入門. 工学図書, 東京, 1984, p. 76-78.
- 7) User instruction (Diagram), § 5.10 keypad, ブルカー, 西独, 1983.
- 8) User instruction for : EDM 510A. § 3.0, Bruker, 西独, 1983.
- 9) User instruction for : EDM 610A. § 5.3, Bruker, 西独, 1983.
- 10) 同上. § 3.0.
- 11) 米村英明 : oh! FM, 7 : p. 52-64.