

Title	過渡現象と精密測定
Author(s)	本河, 光博
Citation	大阪大学低温センターだより. 1977, 19, p. 6-10
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/10199">https://hdl.handle.net/11094/10199</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

## 過渡現象と精密測定

理学部 本 河 光 博 (豊中 2473)

### § 1. はじめに

物理実験ならずとも過渡現象の測定が重要な技術の一つであることは言うまでもない。時間送りのペンレコーダーが使える程の遅い現象は別として、過渡現象の観測には通常陰極線オシロスコープが使われる。俗にシンクロスコープと呼ばれるこの測定器は現在最も普及している計測器の一つであるが、くり返しのおそい現象あるいは単発現象を記録するためには写真撮影またはブラウン管にストレージ型のものを使うなどの方法が必要である。一方過渡信号を記録するためのものとして、電圧軸(信号電圧の強度)及び時間軸を分割デジタル化して半導体レジスタに記憶させる装置が徐々に普及してきている。これは一番最初に商品化したバイオメーション社の商品名「トランジェントレコーダー」の名で通っているが現在ではいくつかのメーカーから異なった商品名で市販されている。

筆者は10数年にわたりパルス磁場をみつかった研究を通して色々の測定器に接してきたが我々の研究にとって上記のうちどのシステムが便利であるかについて私見ではあるが述べてみたいと思う。またトランジェントレコーダーを使う上で我々が行った、スペック以上の精度を得て測定する方法についてもふれたい。

### § 2. メモリスコープとトランジェントレコーダー

これらは両者ともそれぞれ岩通及びバイオメーション社の商品名であるが便宜上この言葉を使うことを許していただくことにする。はじめにパルス磁場の説明を簡単にすると、これは通常の電磁石では得られない強磁場を得るのが目的の方法である。図1のようなSW付のLC回路にはじめCに充電しておきSWで放電させLに大電流を流すことによりコイルの中心に強磁場をつくるのである。これは単なるLC回路であるからSWに整流特性のあるものを選んでおくと電流波形ひいては磁場強度の時間依存性は図2.aのtraceのようになる。磁場発生時間はLとCの値でさまるが我々の場合いくつかの装置があって数msecあるいは数100  $\mu$  secである。測定するものはESRまたは磁化などであるが、ESRでは共鳴条件を満たしたときのマイクに波のパワー減衰によるディップが図2.bのtraceのように得られる。(磁場上昇時下降時の二度吸収が起る)また磁化の測定では例えば常磁性のように $M = \chi H_0$ で表わされるときは磁場強度の時間微分曲線と同じ曲線が図2.cのように得られる。このパルス磁場の発生は原則として単発(くり返しをするとしても非常におそい)であるのでシグナルを記録するため表記のような装置が必要なのである。

このような測定は筆者が4年の学生で研究室に配属されたときすでに行われていて岩通製のメモリスコープ(MS 5012)が一台備えられていた。当時、この装置は非常に高価なもので4年生の分際にはとてもさわらせてもらえる代物ではなかった。まずはじめは普通のシンクロスコープにtraceさせて瞬間的にみえる映像を黙視して磁気共鳴の吸収の有無を判読していたが当然とてもdataにはならず、

そのうちメモリスコープのマニュアルをこっそり読んでマスターした。このメモリスコープはヒューズ社のブラウン等がつかわれ sweep をくり返えすとかちよつとの不注意で管面が焼損して当時の60万円がパーになるという「危険がいっぱい」の代物であったが、大変便利で長い間使わしていただいた。時として不注意のため管面の焼ける条件になってしまい真青になったこともあったが意外に丈夫で、アツとい間に天国へ行くこともなく耐用年数を十分こえる働きをして寿命を全うした。その後オーバホールして焼損の危険がないといわれる日電のブラウン管(現在も使われている)にとりかえたがこちらの方が寿命が短く(といっても保障時間はこえていたが)何となくあっけない思いであった。その後YHPのストレージ型オッシロ181Aを使っている。これは我々が最初使ったメモリスコープから丁度10年後の製品であり、すべてトランジスター化されさすがにドリフトなど少く trace もきれいだ。しかし我々の測定に要求される $5\mu\text{sec}/\text{div}$ の掃引速度になると非常にコントラストが悪くその場での測定は何とかできても論文などにのせる data としては不満足な画像しか得られない。これらの装置の特徴はシンクロスコープを使いなれた人間には大変使い勝手がいいということである。しかし機能として管面上での trace の残留以外通常のシンクロスコープと変るところがなく、精度などの点で次にのべるデジタル方式におとると思われる。

トランジエントレコーダーは時間軸を通常1024ないし2048に分割し、(分割された一つ一つを word といひ、それが最初から何番目にあるかを指定する番地を adress といひ) word 毎にY軸(電圧軸)を7 bit または8 bit (8 bit は $2^8 = 256$ )にAD変換し memory に記憶させる。掃引速度は word あたりのAD変換の速度できまり、速いもので $10\text{n sec}/\text{word} : 8\text{bit}$ あるいは $2\text{n sec}/\text{word} : 6\text{bit}$ のものがある。この方式は最近とみに発展したコンピューター技術の波及効果であるが、アナログ信号のデジタル化という概念は計測技術の上でやはり画期的なものではないかと思う。もっともデジタル化という考えは誰かが突然考え出したものどちがって、もう何十年も前から原子核の計数装置など特殊な分野では使われていたものを最近NASAなどによってひきおこされた異常な程の技術革新によって安価で信頼性の高いAD変換器が民需用として使用できるようになったためにすぎないともいえる。

トランジエントレコーダーとストレージ型オッシロを比較すると、まず前者の方がY軸の分解能ですぐれている。オッシロでは数%の精度が普通であるが他方は8 bit の装置だとフルスケールに対し0.4%の精度がありしかもデジタルで読むことができる。時間軸に関しては遅延回路を使えば両者同程度の分解能が得られるが掃引速度はサンプリングタイムが $10\text{n sec}/\text{word}$ のトランジエントレコーダーでフルスケール $10\mu\text{sec}$ が最高なのに対しオッシロではテクトロの7633型のようにフルスケール $500\text{n sec}$ でもきれいな残像が得られるものもある。オッシロにない機能としては、一度記録された信号波形を後から操作することが可能であるというのがある。これは非常に大きなメリットであって、我々の場合磁化の測定に役立っている。パルス磁場での磁化測定はマグネットコイルの中心におかれたピックアップコイルによってその中の物質の磁化の変化を検出するのであるが磁場自身の変化による誘導を打ち消すためにサンプルからはなれた場所で逆向きにまかれた補償コイルによりブリッジバランスがとられている。しかしせいぜい $10^{-5}$ 程度のバランスしかとれないので小さな磁化を測定するときには unbalance 分からくるノイズにかくされてしまう。しかしこのノイズはシステムティックであって、コンデンサーバンクの充電電圧など磁場発生のための外的条件を同じにしてやれば常に同じ波形ででてくる。したがってピックアップコイルの中にサンプルのあるときとないときの二度の測定を別々に記録し、後

から差引することにより実質的な  $S/N$  をあげることができる。図3はこのようにして得られた常磁性塩の磁化測定の一例である。サンプルは  $MnCl_2 \cdot 2H_2O$  でその帯磁率は  $\chi = 2.06 \times 10^{-4} \text{ emu/cc}$  である。

また得られるシグナルは磁化の時間微分波形であるが、これを記録させた後積分してやれば data として微分曲線及び磁化曲線の両方が得られる。E S R の場合にはパルス磁場の発生をくり返し、一回毎に記録されたシグナルをミニコンに入れ平均加算すれば  $S/N$  の向上をはかることも可能である。

このような理由から我々は最近ではストレージ型オシロよりもトランジェントレコーダーを主に使っている。

さてこの装置をつくっているメーカーは現在かなりあり機種の選択に困るわけだが自分の研究にマッチしたものをうまく選ばなければならない。参考のためメーカーの名前をリストアップすると、国産では「岩崎通信」「NF回路ブロック」「理研電子」「川崎エレクトロニカ」などがあり外国製では「バイオメーション」(東洋通商)「データラボ」(理経)などがある。各メーカーともいろいろの機種を出しているが主なちがいは最高掃引速度(サンプリングタイム)でこれが速いもの程 A D 変換器の性能として高いものが要求される。その他の機能は大同小異であるが使い易さの点になるとかなりの個性があるようである。我々は時間軸の分解能を必要とするためサンプリングタイムが  $10 \text{ n sec/word}$  であるバイオメーションのモデル 8100 と岩通の DM-901 を使ってみた。カタログ上の性能はほぼ同じであるが我々の目的には DM 901 の方が使い易い。

両者とも記録するためのチャンネルは二つ備えており同時信号なら独立に記録できるのは当然として DM 901 の方はその機能に加えて二つのチャンネルで別々の掃引が可能であり上に述べたように data を別々に記録させ差引をしたりすることができる。しかし 8100 の方は単体ではそれができず 2 台そろえるかミニコンと接続しなければならない。また Y 軸の測定についても DM 901 はデジタルリードアウトが内蔵されており記録された波形をオシロで観測しながら輝度変調によって示される address をダイヤルで指定してやればその位置での電圧がデジタルで直読できる。8100 の場合はオプションであるプリンタやリードアウト装置を別に購入しなければならない。その他 8100 の方は入力インピーダンスが  $50 \Omega$  であること、ペンレコーダーへの出力が Y-T しがなくしかも速すぎるためこれに追従する Y-T レコーダーをわざわざ買わなくてはならないなど単体でつかう場合にはいくつかの不便さがありこれはミニコンとインターフェイスさせてはじめて生きる装置のようである。

### § 3. スペック以上の精度で測定する方法

前にも述べたように我々はパルス磁場 E S R の測定も行っているがこの場合は吸収のおこった磁場の強さを出来るだけ精度よく測定したい。図2の b のデップの一番深い所の位置で a の強度を測定することになる。そしてメモリスコープよりもトランジェントレコーダーの方が精度が高いことも前記のべた。その精度は Y 軸の分解能で決まるわけであるが我々は E S R には 7 bit の岩通製 DM 701 を使ったのでそれについて話をす。7 bit であるから Y 軸の分解能はフルスケールに対し  $1/128$  である。この場合の誤差について考えてみよう。分解能からみると 0.8% の誤差と思えるが実際はそうではない。A D 変換器が理想的に働いたと仮定すれば真の電圧とデジタルリードアウトの読みの関係は図4の点線のように正確な階段にならなければならない。このようなときフルスケールの値に対してはたしかに誤

差は±0.4%であるがフルスケールの丁度半分の電圧に対しては±0.8%になってしまいます。アッテネーターの切換によって実際に測定すべき電圧は必ずフルスケールからその40%の値の間におさめることができるからまず±1%の誤差と考えてよい。しかし事態はもう少し悪い。

真の電圧とデジタル表示の関係は図4の点線のようにでなく実線のように一定のステップの階段にはなっていない。図4の実線はフルスケール1Vのときの実測の一例(真の値はこの装置のデジタル表示よりも一桁有効数字の多いデジボで測定したものである)であるが、これでわかるようにデジタル表示の直読では測定値に対する誤差が最大±1.5%ぐらいにまでなってしまう。しかしありがたいことにこのirregularな階段はreliableなのである。一方磁気共鳴の測定は吸収波形と磁場の強度の時間変化を同時に記録する。

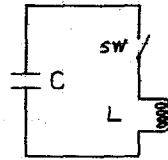


図1. パルス強磁場発生の基本回路

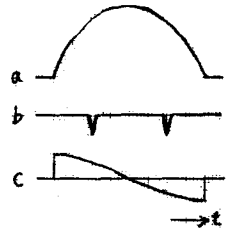


図2.  
a : 磁場強度  
b : ESR吸収  
c : 磁化の時間微分の時間変化

そのとき遅延操作と掃引速度を適当に選ぶことにより図2のa bに対応するものが図5のように拡大される。吸収曲線の一番深い所Pに対応する磁場の値を得ればよいのであるがPの真上のQの値を直接デジタル表示(例えばそれを0.582Vとする)で読んだのでは上にのべたような誤差が入ってしまう。そのため磁場の時間変化は本当はlinearではないのだけれど微小範囲ではlinearと仮定しAQ:QBの比率をそのまま図4実線の較正グラフで按分してQ'に対する真の値を読みとる。このためには図4実線のような較正グラフをすべてのレンジにわたって作製しなければならず非常に手間がかかるが、この方法により±0.2%ぐらいの精度におさめることができる。我々の磁気共鳴の測定では他からの要因のため±0.5%になってしまったがこれによって強磁場中でのg値の微小な変化を観測することができた。(研究の内容は学会誌9月号に掲載される予定)

以上のようにトランジェントレコーダーの便利さや精度について述べてきたが機種を選択や誤差の評価についてはかなりの注意が必要であると思われる。

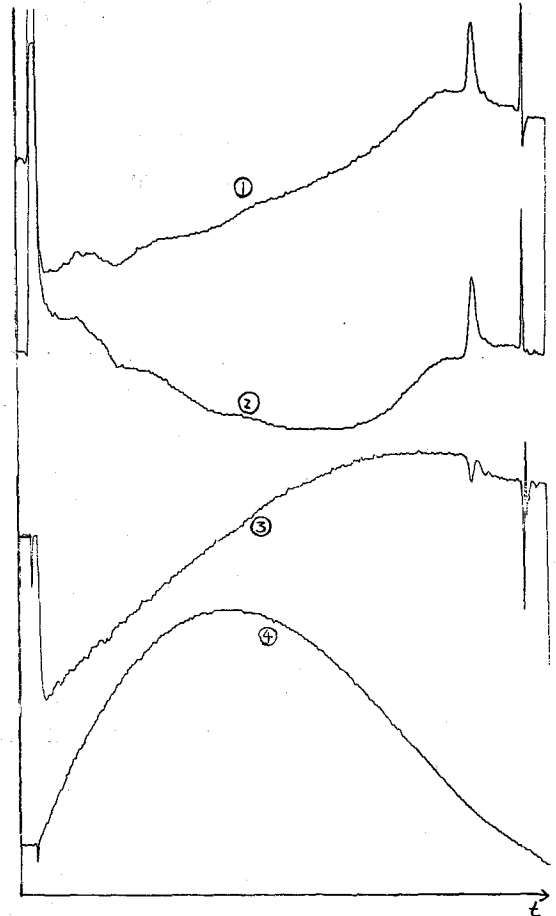


図3. 常磁性塩の磁化測定, ①サンプルが入っているとき, ②サンプルがないときのピックアップコイルの出力波形。  
③ ①から②を差引いたもの。 $\frac{dM}{dt}$ の正しい曲線を与える。④磁場強度。

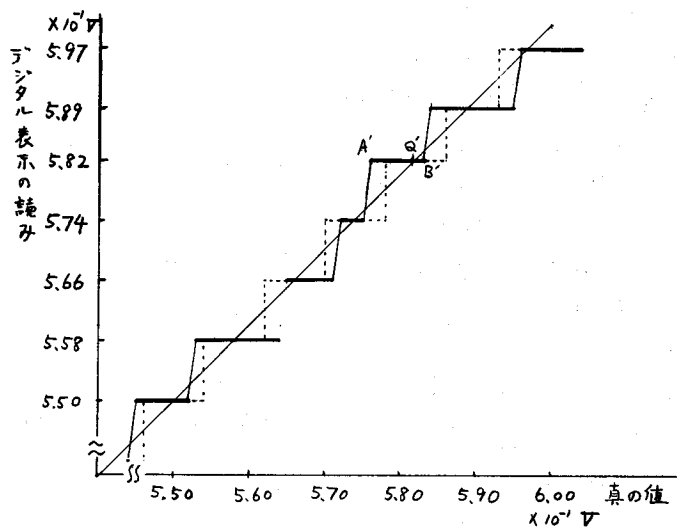


図4. デジタル表示の読みと真の値の関係。  
点線は理想的な場合、実線は実測

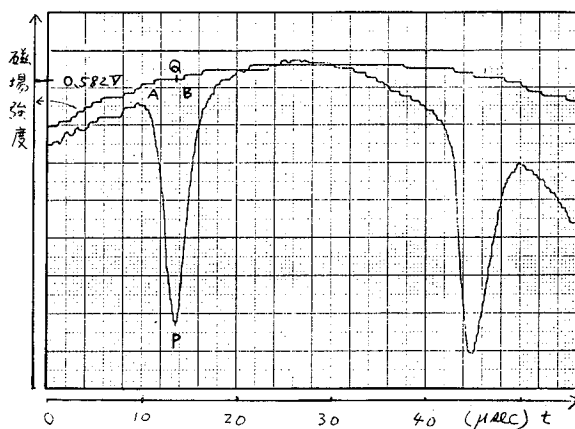


図5. CNレーザー  $337 \mu\text{m}$  のサブミリ波による  
 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  の  $H_0 \parallel C$  軸の場合の ESR。  
共鳴点での磁場は  $283 \text{ KOe}$ 。