オートバイブロスコープの一形式*

(第1報) 原理と構造, 作用

(昭和38年9月4日受理) 会 員 若 山 一 夫**

自 念 栄 一

→ 摘 要 ←

目 的

これまでのバイブロスコープによる繊維測定のみずらわしさを解消し, また測定の人誤差をなくするオートバイブロスコープ方式に関して, その一形式のものを試作研究した。

成 果

本研究ではいままで困難であったところの, 測定試料—振動ピック—アンプ—増幅器—電気—機械変換素子を一巡とする系に正帰還の関係を持たせ, 非常に安定な, しかも常に試料の自励発振による固有振動を得る技術上の問題を解決した。

測定はブラウン管による, 内蔵の低周波可変発振出力とのリサーチ観測を基本とし, その他増幅器の調整, 可変発振器の周波数較正, 位相調整等ブラウン管を多目的に使用したので, 非常にコンパクトに専用測定器としてまとめることができた。また同時に上記発振ループを切って従来のバイブロスコープ法による測定もあわせて行なえるようにし, さらに位相変化による共振状態の鋭敏な判定も行なえるようにしたから, 研究用に好都合のものとなった。

1. 前 言

バイブロスコープ法では一般にその測定方式さえ定まれば, “個々の試料について, それが数 cm の短いものでも, 続いて行なわれる試験にそなえて破損することなく早く簡単にその上敏感に, その繊維の物性に直接には無関係なような測定によって繊維度が求まる。また別に繊維の密度が既知であれば断面積も計算される”。ここに述べた特長の重要な部分である“早く簡単に”という点をとくに押し進めようとするとき, 従来のバイブロスコープを発展させたいわゆるオートバイブロスコープの構成が用いられねばならない。

これについてはバイブロスコープの終極の形として関係のどの研究者も着目したことと思われるが, 技術的な困難もあって, これまでに成功したものはオーストラリアの C. S. I. R. O.¹⁾ におけるもの (1958)²⁾ だけのようである。本研究では上のものより簡単な, しかも本質的な機能の点で充分であり, その上これまでのバイブロスコープ

と同等な使用法もできる形のものを完成したので報告する。なお本研究で述べるものは専用測定器としてひとまとめのものに構成されたので, 簡単のためこれをデニロスコープ (Deniroscope)³⁾ と呼ぶことにする。

2. 従来のバイブロスコープの難点

いわゆるバイブロスコープの段階では糸 (繊維測定の試料を糸と略称する) の固有振動を, 外部からの強制励振に対して糸が共振を示すような, 振動数または糸の張力に関して決定しようとする⁴⁾。そのため振動数または張力の絶対値を読み取ることに以外に共振の検知という操作が必要である。前者はふつうの測定によく現われる問題であるから誤差その他についてとくに述べる点はない。しかし後者については, バイブロスコープ法特有のものとして検討されねばならないことが多い。

測定がふつうの大気中で行なわれる場合, 糸の共振はいわゆる Q のさうとう低い現象である。そのため共振を顕微鏡の視野における糸の振幅最大ということで決定

* Automatic Vibroscope. Part 1: How to Build and Use It.

** K. Wakayama, E. Jinen, Members. 京都工芸繊維大学

(第1図) デニロスコプの構成図

しようとするとき、そこに個人的判定誤差のはいる余地がかなり大きい。

さらに多くの同種試料の織度偏差をみるような場合は別として、初めに織度の未知な試料をパイプロスコプ測定するとき、得られた共振が基本波のものか高調波であるかを確かめねばならない。そのとき顕微鏡を上下に移動せねばならないわずらわしさは想像以上のものがあり、片手で強制振動数を絶えず変化させながら、その後再び振動部の中央をねらって振幅最大を確かめる操作などはやり切れないものを感じる。

そのうえ根本の問題として振幅の最大をねらうこと自体が、準拠しようとする理論に対して矛盾を含むことになる。すなわち曲げ剛さの全くない一様な線密度 σ (g/cm) の糸が、 T (ダイン) の張力を与えられて、 l (cm) の区間 (これをゲージ長という) で f_n (c.p.s.) の共振振動数を示すとき、空気等の制動がなければ

$$f_n = n \cdot f_0 = n \cdot \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{\sigma}}, \quad \sigma = \frac{T}{4l^2(f_n/n)^2} \quad \dots\dots\dots (1)$$

の関係がある。(f_0 : 基本振動数) しかしこの結果は時間 t について x 点の横変位 y が

$$\sigma (\partial^2 y / \partial t^2) = T (\partial^2 y / \partial x^2); [x=0 \text{ or } l: y=0]$$

に従うとして導かれるもので、振幅の大きいときは復元力を意味する右辺の表式が成立せず、また T もあらかじめ設定する値と異なったものになる。⁵⁾

オートパイプロスコプの方式は上記の難点をすべて解消するものであり、肝心の測定項目はただ振動数を読み取ることだけとなる。また糸が瞬時的に基本波の固有振動数で振動を始めるから、測定時間としては糸の取

り付けのみが問題となるだけである。

こうした事情をみると従来のパイプロスコプを使って数千のデータを取り、これをIBM計算機にかけたような労力は驚嘆すら感じられる。⁴⁾ しかし個々の短かい単繊維の織度が、マイクロバランスによる以外には求められなかった当時としては、なおかつパイプロスコプの価値は大きく、繊維物性の研究に有力な武器を与えたように思われる。

3. デニロスコプの構成

オートパイプロスコプは、外部から強制振動を与えて糸に共振を起させるふつうのパイプロスコプ法とはちがって、糸に自励的な発振を行なわせる方式である。すなわち糸の動きから検出された微少な電氣的の振動信号を増幅し、これを機械的エネルギーに変えてふたたび糸に与えることにより、糸の振動におけるエネルギー損失を補ってそれを持続させる。

上のことは糸の励振器、糸、振動の検出器および増幅器から再び励振器へと、1つながりに環状に連結した系を考えたとき、これに正帰還の自励発振系 (ループ) を形成させて得られるものである。その発振はとうぜん糸の固有振動数付近が最も容易であって、増幅器において信号の入出力における位相差を適当に与えておけば、この点でその増幅度を最小にすることができる。そしてそのときの発振振動数を直ちに固有振動数であるとして採用することができる。

本研究における上述の自励発振系は、第1図に示した構成で励振器、糸、ピックアップの3要素からなる機構部と、前置増幅器、主増幅器とを結ぶ信号の循環系がそれである。そして糸の発振信号を、較正された低周波可変発振器の出力信号と比較して振動数を読み取るためこれら2つの信号をブラウン管の縦、横軸に入れてリサージュ図を利用する。

(第2図) 織度測定専用試作器

なお連動スイッチ SW の接点 1 は、可変発振器の周波数を標準の音叉発振器で随時較正しようとするもので、このような構成で自励発振する糸の振動数を ± 1 c. p. s. の精度で決定するのは困難でない。第 2 図の写真はデニロスコブとして上の構成をまとめたもので、機構部と電気部とに分かれた 2 体からなっている。これによって試料だけを特別の条件において測定することもできる。

4. 機構部の詳細

前章の記述からもわかるように、この研究のものは、⁴⁾(1) 式の原理を用いるパイプロスコブの 2 方式の中いわゆる振動数変化方式に属するものである。ゲージ長と張力を与える分銅とはあらかじめ設定しておき、広い測定範囲をおおうためにはこれらを 3, 4 種段階的に変える。これによって 500 d のマルチフィラメントまで測定できることを確かめた。これ以上では分銅が重くなって振動子の破壊する恐れがある。

しかしパイプロスコブ法が実用上要望されるのは織度の小さい方である。とくにオートパイプロスコブでは糸振動の電氣的検出感度、増幅等の問題で織度の小さいものでは急激に困難になる。こうした場合思わぬ苦心をしたのは小さい分銅を細い繊維に取り付けることであった。本研究では特殊加工をしたコイルバネで満足することができた。これによって 0.8 d の繊維でも測定できた。

第 3 図の写真はデニロスコブ機構部の要所を示すもので、上部のクリップで取り付けられた糸はある角度で

(第 3 図) 機構要部 (第 6 図参照)

励振器先端のエッジを通る。さらにゲージ長を 12 cm までの範囲で変えられる下部エッジにかかって、下方に取り付けられる分銅によって張力が与えられる。下のエッジは常に励振器エッジを含む一定面内に上下できるように構造にしておくと、機構部全体をある角度 (2°) 傾け

ることにより、どんなゲージ長の場合でも糸は下部エッジにその角度で接触する。そして糸は写真に向かって前後の方向に振動する。

写真で糸のゲージ長の中間に見えるのが振動検出用の光学系である。その作用は第 6 章で詳説するがレンズ球、スリットおよびフォトトランジスタが 1 体 (光学台) となっている。(集光レンズ等は全く用いていない) そして光束が常に糸のゲージ長の真中 (目分量) に来るようゲージ長の長短に応じて左方のスタンド棒を案内として上下動できる。また糸の直後にスリットが来るように光学台全体を糸の振動面に直角に移動することができる。

このような簡単な構造の光学的ピックアップは、²⁾Mackay の望むところであったと思われるが、初めてフォトトランジスタを用いた Rabbidge の場合でもまだ難点がある。デニロスコブの場合その機構的な大きさが糸に沿ってわずか 15 mm の高さであるから、理想的な場合このていどのゲージ長まで短かい糸を測定できるはずである。しかしこれに関して問題になったのは励振器の大きさであった。

Rabbidge の用いた静電励振法ではゲージ長の端については理想条件 (固定端) になかった形となるが、静電気力で糸を励振するための 2 枚の極板が光学的ピックアップの光軸と直角になり、けつきよく糸をピックアップと極板とで四方を取り囲む形となって実際の取扱いが不便である。そこで本研究では、できるだけ小形の圧電素子の励振器を用いてゲージ長の一端を振動する方法をとり非常な苦心のすえゲージ長を 25 mm まで短くすることに成功した。写真にはカバーの中の圧電素子に付けた 3 mm くらい突出金具 (エッジ) が見えている。

5. 増幅器⁶⁾

一般に自己発振ループが発振している状態では、ループを一巡しての増幅度と位相差とはそれぞれ 1 および 0 でなければならない。そしてループ中の各要素は上の 2 つに対してそれぞれ応分の寄与をするから、正しい糸の固有振動を得るためには既述のループ各要素についてそれらの特性を知らねばならない。

まず糸の振動についてこの場合強制振動を考え、簡単な振動方程式から得られる知見として励振と糸振動との間の、振幅と位相とに関する振動数特性を見る。これを示す第 4 図によると、糸の固有振動は特定の位相差と振幅利得とでのみ起る。(位相差は試料にも無関係) したがってループ中の糸以外の要素での、位相差と利得との合計が任意の値では本章冒頭の発振条件が成立しない、

(a) 振幅の周波数 (f') 特性 (f_0 : 固有振動数)

(b) 励振力と振動変位との間の位相差

(第4図) 強制振動における振幅と位相の振動数特性

しかしピック アップ、増幅器および励振器における位相差の設定がほぼ適当であり、増幅器の利得も充分大きいとき、これらの部分での信号の飽和およびそれから起る位相差の変動に助けられて、発振条件が満足するように共振動自身が自己調節する。すなわちその固有振動から少しずれた振動数を採用すれば、発振条件を満足することがあり得る。これは第4図からわかるように、共振点付近で糸の位相および利得が大きく変化するからである。

いちど発振が起ればそれが持続する限り、増幅器の利得をできるだけ小さくする。このとき糸の発振振動数は増幅器の利得減少を補う方向、すなわち固有振動数の方に近づくと考えられる。

以上の考察のもとに、本研究のデモスコープの増幅器としては直結増幅器 (DC amp.) を用いた。それは測定範囲に応じて種々の周波数が糸の固有振動数となるため、増幅器の中で設定されたある位相差が、原理的に周波数によって、変動しないものである必要があるからである。さらにこの DC amp. の使用は、後に述べるスリットの働きとも関連して糸の起動、発振の安定に必須のものであることがわかった。

用いた DC amp. は DC 300 V 電源1つに、ネオン管による段間結合を用いた簡単なもので、フォトトラ

ンジスタの電源もこの中から供給できるていどのものである。一般の DC amp. ではドリフトが問題になるが、いまの場合は測定時間も短く、またそのような感度をもつ必要もない。

ただ電源を入れたときなどには DC amp. のバイアス調整が必要なこともあるが、これは付属のブラウン管によって、増幅器の良好な働きを目で確かめながら調整する。回路的には増幅器の利得最大点におけるスイッチ切替えにより、増幅器の初段に可変発振器の微小信号を入れて行なう。(第1図)

DC amp. の上記の有効さに反して位相差の変動なしで利得を加減する要求は、一般に DC amp. ではその困難さが問題になる。本研究では第5図のような回路構成

(第5図) 位相差およびバイアスの変動なしで利得を調整し得る D. C. amp. の回路構成

で満足な機能を得ることができた。これによって位相はもちろん、DC amp. のバイアス変動も全くなして低インピーダンスの利得調節が行なえる。図中の SW は第1図の SW に連動するもので、接点2が所望の状態である。接点3については第7章で述べる。

つぎに増幅器出力段からの低インピーダンスのブッシュ出力が、等価容量約 300 μF の微小圧電素子の励振器に加えられる。これによって電気系のみにおける結合 (増幅器入出力が同一個所のコネクタから出て機構部につながる) から来る糸に無関係な電氣的発振を防ぐとともに、励振器における電気-機械変換での位相差の周波数変化を極力少なくする。このとき励振器自身の固有振動数は約 5 kc であったから、上の趣旨に沿ってこれに機械的制動を加えず、3.5 kc 以下の範囲で糸の固有振動を得ようゲージ長と分銅とを選ぶことにする。

6. 光学的ピック アップにおけるスリットの作用

糸振動のピック アップ部分の詳細図が第6図である。

(第6図) 振動検出用ピックアップ部の構造

要点は糸の直後にあるそれに平行なスリットの作用であって、これに当たる光束は特別な光学系を通ったものである必要はない。単一乾電池で点灯する市販のレンズ豆球によるものが、そのまま1cmを隔ててスリットを照射するだけである。これによって4mm径ぐらいの射出光束がスリット面で約7mmでいどになっている。

レンズ球、スリット、フォトトランジスタの3つで一体となっている光学台は、スタンド棒のまわりに微動回転し得るから、糸の影はそれに平行なスリットの縁に直角に移動する。糸の自動的な起振は、その影がスリットのどちらか一方の縁に載ったとき直ちに始まる。すなわち糸をスリットの外に置いた状態でDC amp.のバイアス調節を行ない、増幅器の利得を大きくしておき、つぎに機構部前面にある光学台回転ツマミを左右に回わして糸の影をスリット前面で左右に移動させる。このときある位置で糸の発振が始まることを発振音で知る。

さきに発振条件として信号のループ位相差が0でなければならぬことを述べたが、糸の他の部分でふつうに存在する負の位相差に対して、正のものはこのスリット部で与えられる。第7図で x 軸を糸の影の位置とし、たとえばスリットの向かって右側の縁 x_0 の方へ、右から左へと影が近づく場合を考える。糸には太さがあるから x_0 以内にはいるにしたがって、スリットを通してのフォトトランジスタの受光量は減少し、図の縦軸を受光量とすると折線イが上の変化を示す。 x_1 点で糸の影がすっかり平行スリットの間にはいってしまったことを示す。

いま静止している糸が x_1 と x_0 の間にはいった瞬間を考える。増幅器の出力が、受光量の減少するほど励

(第7図) スリットにおける振動検出特性

振器を大きく右に動かすように結線してあったとすると糸は右に傾いて逃げ、受光量が増し、再び左へ元の状態になり、続いて同じ経過を繰り返して振動にはいる。この経過はいわゆる正帰還であり、スリットの左側の縁では位相が 180° 異なって負帰還の関係となるから起振しない。

上のような起振とその後の振動の持続とは、1dの細い繊維についても簡単に行なわれた。ミクロンでいどの太さの繊維を、スリット縁のちょうど真上に置く操作はほとんど不可能のように思われるが、光学台回転用のネジに特別細かいピッチのものをを用いる必要もなかった。また、糸の振幅は増幅器利得を小さくすることにより、0.02mmぐらいいでも安定に発振を続ける。さらに少し振幅を大きくしておけば、ゲージ長を限る2つのエッジの間に糸を走らせても発振が止まらないほどであった。これらの原因はつぎのように解釈される。

糸が静止の状態第7図の x 点に来たとき励振器(上部エッジ)は右にふれるが、その量は受光量の減少に従ってロの線で表わされるとする。このふれで糸は右に傾くから(下部エッジは止まったままであるから)受光量が再び増すが、このときの増加は糸が右に平行移動するときのイ線ほど急ではなく、破線で示されるような曲線と考えられる。したがって x' 点が傾いた糸の中立点となり、糸の慣性と x' 点前後で生じる復元力とによって決まる振幅で糸が振動する。ここでハ曲線の傾きが静特性であるイ曲線より小さいことから、糸の起動範囲が案外広くなることが理解される。

この場合スリットの糸への平行度が本質的に信号の機械-電気変換率に関係するが、本研究では目分量でい

どの平行度調整で充分であった。またスリット幅は50dの繊維が発振し得ていどの幅で(約0.3mm)1dのものまで使えた。したがってスリット幅の調整に苦心することもなく、上の基準でより太いものであれば少し広げていどでよい。このとき増幅器のバイアス調整は再度行なう必要がある。太い繊維では発振しやすくなるから、調整点はおのずから増幅度の小さいところになるようになっている。

Rabidge および Leary が用いた3角窓(斜辺の角度を変えられるようにしている)のスリットでは、増幅器の方への利得の要求が過大になって DC amp. の構成がむつかしくなる。したがって前述のスリットおよび DC amp. が必須の組み合わせであって巧妙な作用を期待できるものであることがわかる。

さらに光学系を目分量でいどでゲージ長の中の中間に置くことにより、まちがいなく基本波の振動が得られることも大きな特長の1つである。実験によると、この増幅器の段間結合の1つでも電気容量に代えると、たとえ発振が起っても不特定の高調波となってその判断が困難である。

7. 位 相 調 整

第5章で述べたように糸の固有振動を行なわせるためには、励振と糸の振れとの間に振動数に無関係な一定の位相差が必要である。そこで糸をも含めて信号がループを一巡するときの位相差を0として発振条件を成立させるためには、糸以外の糸の要素で起こる位相差が、励振と糸の振れとの間の位相差を相殺するような一定の値でなければならない。

上の必要から特別のピック アップおよび DC amp. を使用したのであるが、その終端における励振器ではその容量性のため、どうしても位相差の周波数変化が多少はまぬがれない。そこでデニロスコップでは積分形の位相調整器を増幅器の初段部に付属させた。その可変範囲は3.5kc 付近で約 10° くらいで充分であった。この位相調整器はまた、標準試料の繊維値に本器のダイヤル目盛を合わせるのにも使用され、これによって同種試料の繊維偏差を調べるのに役立つ。

さらに本器では第1図の連動スイッチ接点を3に入れることにより、増幅器の中間で段間結合を断つことができるようにした。これによって後段は可変発振器の増幅器として糸を強制振動し、また前段増幅器は上によって励振される糸振れの電氣的検出器となる。そしてそれぞ

れの入出力がブラウン管にリサーチ図として現われるようになっている。この回路的切替えを DC amp. のバイアスをくずすことなく行なわせる方法は、第5図のSW接点3のときで示される。

いま連動スイッチを2に置いて、既述のオートバイプロスコップの形で自動発振している糸の振動数を、ブラウン管のリサーチ図を用いて可変発振器のダイヤルに写し取ったとする。このとき接点を3に入れると、回路状態は元のままでただ増幅器の段間結合が切れるだけであるから、この点から増幅器後段へ入力される信号のループを一巡して得る前段出力に対する位相差は元の通り0である。そこで上記入出力のブラウン管におけるリサーチ図は 45° 傾いた直線になる。(第8図b)

(第8図) 糸の固有振動数前後における
ループ位相差の変化

- (a) 固有振動数前 } この間の振動数差 10 c.p.s.
(c) 固有振動数後 }

つぎにこの状態から、強制励振入力である可変発振器のダイヤルをごく少し前後に回す。糸の自動発振周波数の付近では糸振れの位相変位が非常に大きいから(第4図b)、上のわずかな励振振動数の変化で(a),(c)図に示すようなだ円リサーチに変わる。

この場合肉眼でやっと検知し得るいどのリサーチ変化を与える振動数変化は、デニロスコップでは1000 c.p.s. 付近で約 0.5 c.p.s. であった。これを線密度の変化に換算すると 0.1% になる。この方法によって繊維のリゲン変化などを充分検出することができる。

上のことから本研究のデニロスコップの位相調整法が判断される。リサーチ図の縦振れは糸の振幅を示すから(a),(c)図のように糸の自動振動数の前後で縦幅が小さくなる場合は、確かにその自動振動数が糸の共振曲線の最大振幅の点に一致していることを表わす。しかし(a),(c)図のどちらから縦幅の大きくなる場合はその振動数でリサーチ図が直線になるように位相調整を行なわねばならない。

上のことはけつきよくいわれるバイプロスコップにおいて、糸振動の振幅が最大になる振動数を求めるのと全

く同じである。したがってスイッチ接点を3のままにしてダイヤルを変えるとときは、従来のパイブスコープ法をそのまま行なうことになる。そこで高調波関係の共振も調べることができ、Voong, Montgomery¹⁰⁾の行なったような繊維断面の均一性についての知見も求めることができる。

ただし実際には糸の振動に対して空気の制動が利くから、共振振幅の最大点は固有振動数よりやや低い値になることは第4図でも知れる。したがって(1)式の f_n に振幅最大点の振動数を用いると組織的誤差ははいることになるが、これは従来のパイブスコープ法に通じてい¹¹⁾えることである。この点についてはStauff, Montgomeryの行なった排気中での研究が参考になる。

おわりにスリットの作用についてつぎの知見のあることを述べる。さきに述べた糸の自励共振状態からスイッチ接点を3に切替えた場合について、つぎに光学台を少し回転して糸の影がスリットの反対側にかかったと思われるとき、ブラウン管面のリサーチ・図は先の45°直線の傾きとは反対向きに傾く。これは明らかに糸振動の電氣的検出が位相にして180°変わったことを意味しておりこの状態では負帰還となって自励共振は行なわれない。

8. あ と が き

繊維測定に用いられるパイブスコープ法は、これがオートパイブスコープの形式になることが望ましく、その方向に進むことは必須と思われた。ただ技術的な問題で今日までその研究成果が少なかったが、最近のエレクトロニクスの進歩と筆者の工夫によりその一形式のものがまとめられた。この報文ではその際の問題点として振動の検出器、増幅器および位相の調整についてとくに詳細にそれらの作用を説明した。試作機を用いて種々行なった測定の結果については第2報で述べる。

本研究には東洋レーヨン、旭光精工から多大の援助を

受け、また多くの繊維メーカーから測定試料を頂いたことをあつく感謝する。つぎに昭和36年度通産省科学技術庁の発明実施化試験費の補助を受けることによって最終的のものを試作することができたことを報告し、さらに繊維工業試験所長成田博士、東洋レーヨン向山博士、中瀬氏、帝人藤本博士および本学服部、相宅教授に終始御激励いただいたことをお礼申し上げる。なおオーストラリアの羊毛研究所にあるV. D. Burgmann氏から関係文献多数を恵与されたことは感謝にたえない。

引用文献および注

- 1) Commonwealth Scientific, Industrial Research Organization の略
- 2) B. H. Mackay and J. G. Downes; T. R. J., 28, 467 (1958)
R. M. Rabbidge; C. S. I. R. O., Report No. S 21 (1960-2)
- 3) 本誌, 14, 154 (1961) 新製品紹介欄。
本研究は上記に“デニロスコープの試作”として簡単な紹介をしたものの最終的な成果である
- 4) 若山, 自念; 本誌, 16, 835, 886 (1963)
本論文に引用した文献は大部分上記資料で解説した
- 5) I. M. Stuart; Brit. J. Appl. Phys., 10, 219 (1959)
- 6) 特許第309451号
- 7) 出願中
- 8) B. G. Leary; Review of Scie. Inst., 29, 246 (1958)
- 9) D. O. Sproule; J. T. I., 43, T 455 (1952)
- 10) E. T. L. Voong, D. J. Montgomery; Text. Res. J., 23, 821 (1953)
- 11) D. W. Stauff, D. J. Montgomery; J. Appl. Phys., 26, 540 (1955)