パルプ紙試験方法の展望

王子製紙株式会社 奥 島 俊 介

Characterization of Pulp and Paper

Shunsuke Okushima

Qji Paper Co., Ltd.

1. はじめに

近年紙の用途は複雑化し、更に印刷速度や紙の加工速度も高速化している。一方、抄紙機の数も 1,000 m/min を超えるものが出現している。パルプに目を移してみるとサーモメカニカルパルプの出現、古紙パルプ使用量の増大など新しい動きが見られる。また、経済の低成長時代に入り製品品質の向上及び安定化、製造コストの低減などを目的として製造工程の自動制御化が行われている。このような紙パ産業の動向に対してパルプ・紙の品質評価においても新しい試験方法の開発、あるいは自動化が必要とされている。ここではパルプ・紙の試験方法を振り返り、最近の新しい試験方法について概略的に述べてみたい。

2. パルプ試験

湿潤状態のパルプの評価は、抄紙機での操作をコントロールしたり最終製品である紙の品質をコントロールするのに重要である。パルプの品質を把握してそのパルプが抄紙機上でどのような挙動を示し、そのパルプにより作られた紙がどのような品質のものになるか予測する方法は、過去において種々検討されてきた。

Levlin¹⁾ はパルプ品質評価の目的を次の 4 つに分類している。

- (1) パルプ工場における品質管理
- (2) 市販用パルプ工場におけるパルプ品質の標示
- (3) パルプ・紙一貫工場におけるパルプ品質の適性
- (4) 製紙工場における購入パルプの評価

パルプ工場では品質管理を目的としてパルプ試験方法が必要であり、その試験方法もパルプ品質の変化を正確に示すものであれば良い。一方、パルプ・紙一貫工場あるいは製紙工場では、パルプの抄紙性あるいは最終製品である紙の品質と結びついたパルプ品質の評価が必要となる。パルプ試験としては化学的試験と物

理的試験があるが、化学的試験は TAPPI スタンダードなどに詳しく述べられているので、ここでは物理的試験についてのみ触れることにする。

従来パルプ品質の評価は、ほとんどの場合フリーネスの測定により行われてきた。フリーネス測定は簡単であり、プロセスコントロールの手段として重要であるが、フリーネスはパルプ品質の独立した因子でなく、種々の因子の結合した結果であるためにその利用には限界があると考えられている²⁾³⁾。すなわちフリーネスは特別な条件下におけるパルプの水切れ性を示しており、これはパルプのフィブリル化の状態、繊維長、比表面積、フラクション分布などに影響される⁴⁾。

例えば GP 工場において研磨直後のグラインダと研磨後時間の経過したグラインダで作られるパルプのフリーネスを同一にした場合、前者の裂断長 (2.6km) は後者 (3.4 ~ 4.1 km) より小さいという報告がある⁵⁾。

Clark⁵⁾ はパルプ繊維の基本的特性として、長さ、細さ、結合性、単繊維強度、圧縮性をあげ、メカニカルパルプに対しては特に長さ、細さが重要な因子であると強調した。近年彼はパルプ特性として粗度 (coarseness)、繊維長、単繊維強度、湿潤圧縮性、結合性をとりあげて、これらの特性値と裂断長、破断強さ及び引裂強さとの関係を理論式により検討している⁶⁾。Thode と Ingmanson⁷⁾ はパルプの評価方法として比外部表面積と膨潤比容積を導入した。彼等は比外部表面積の測定方法として次の 6 つの方法を取りあげ、水透過法が最も適していると報告している。(1) 繊維断面の外周測定、(2) 過酸化水素と銀を用いる方法⁸⁾、(3) 水透過法、(4) 染料吸着法、(5) 光学的方法、(6)、ガス吸着法 また、パルプの裂断長との相関性においては、比外部表面積よりも水透過法により求められる潤比容積の方が良いという結果を示し、更に Jayme⁹⁾ などにより実験された保水値と膨潤比容積が良い相関を示すと

報告している。

Atack と Forgacs¹⁰⁾ は Clark の述べた基本的特性に比表面積の考え方を入れ、また Galley は粗度を特性値に加えるべきと述べている¹⁰⁾。Forgacs¹¹⁾ はメカニカルパルプ評価法として繊維長ファクタ (L) と形状ファクタ (S) を提唱した。L ファクタは 48 メッシュ篩上に残留する繊維の重量パーセントであり、S ファクタは 48 メッシュ通過 100 メッシュ篩上に残留する繊維の比表面積である。これら L, S ファクタについては種々の文献で解説されているのでここでは省略する¹²⁾。しかし、L, S ファクタの測定には長時間必要であるために実際操業の管理に用いることはむづかしいのが現状である。Heerensperger¹³⁾ は Forgacs の S ファクタに代り、28 メッシュ通過 200 メッシュ篩上に残留する繊維のフリーネス (csf) を F ファクタとし、これと裂断長、引裂強さなどとの間に良い相関性があると報告している (図 1)。Mannström⁴⁾ はフラクション組成が繊維長分布を良く示すことに基づき¹⁴⁾、メカニカルパルプの繊維長分布は独立因子であるとしてこれを特性 n とした。これとともに平均繊維長 d を導入して Forgacs の S ファクタ及び n , d はパルプの湿紙強度、裂断長、引裂強さと良く相関していると述べる。その他 Williams slowness tester を用いて 60/80 留分の割合を測定してパルプを評価する方法も報告されている¹⁶⁾。これによると晒 SP について 60/80 留分により引裂強さを予測することができる。

繊維の柔軟性をパルプマットの圧縮回復性により評価しようとするのが試みられている¹⁷⁾。パルプ繊維の圧縮性については Ingmanson¹⁸⁾ などが、一定荷重で湿潤パルプマットを圧縮するとパルプ固型分濃度と対数時間は、直線関係にあると報告し、更に圧縮性を示す式として次のような実験式を提案している¹⁹⁾。

$$C = MP^N$$

C: パルプ固型分濃度, P: 圧縮荷重, M, N: 定数

Ingmanson は圧縮性を示す定数 M, N が叩解を進めても一定であると述べているが、Gertjeansen²⁰⁾ のデータによると叩解を進めると M が大きくなる場合もある。Wilder²¹⁾ は上記の圧縮特性式に時間の因子を導入して、パルプの水透過抵抗に対するクリープの影響を検討し、負荷後 0.001 秒から 10 分の間にクリープのために透過抵抗が増大すると報告している。この結果は水透過法により比外部表面積などを測定する場合に参考になる。Meyer²²⁾ などは繊維の三次元構造の剛性は、それを構成している繊維の弾性率に比例することを導いている。この考え方によるとパルプマットの圧縮弾性率を測定することにより繊維の弾性を評価

Fig. 1¹³⁾ Classification equipment and relationship between fractionated freeness and burst factor

することが可能となる。これまでに述べた比外部表面積、膨潤比容積、圧縮性の測定装置としては、Cowan²³⁾の開発した Pulmac Permeability Tester があり、これによりケミカルパルプ、メカニカルパルプの特性を十分評価できると報告している。

Marton³⁾ はパルプの沈降速度がパルプの粗度、比表面積、繊維長により決定されることに基いて、ホールパルプあるいはパルプフラクションの沈降速度と裂断長などの強度特性を関係づけて、パルプの評価を試みた。すなわち一般に柔軟性のあるパルプ繊維の沈降速度は遅い。図 2 に一例として裂断長、引裂強さと沈降速度の関係を示す。Marton が用いた沈降速度測定法は次のようである。濃度 0.2~0.5% の試料を 250 ml シリンダに入れ、5 分間 1 mmHg で脱気した後、真空ポンプとシリンダを結ぶバルブを締めて数回攪拌する。その後シリンダを大気圧に戻し、この時点より

Fig. 2³⁾ Variation of breaking length and tear factor with settling rate

時間の測定を開始して沈降容積を時間に対してプロットする。この曲線に原点において接線を引き、その傾きによりパルプの初期沈降速度を求める。この場合、沈降速度は、水の密度や粘度に大きく影響されるので水温を十分コントロールする必要がある、またパルプ濃度も最適のものを選ばなければならない。一方、Garceau²⁴⁾などの実験によると、パルプの裂断長などを評価するのに沈降速度がフリーネスより優れていることは確認されていない。彼等は GP と RGP を用いてパルプ評価法の検討を行なっている。評価方法として、(1)湿紙強度、(2)沈降速度、(3)28メッシュ篩上残量、(4)フリーネス、(5)フラクシオン (28メッシュ通過200メッシュ篩上残) フリーネスをとりあげて裂断長、引裂強さ及び破裂強度との相関性を検討した。その結果によるとメカニカルパルプの破裂強さの特性値の代りに、湿紙強度を用いることを推奨している。また、引裂強さの小さいパルプに対しては、28メッシュ篩上残量を引裂強度の指標に使うことができるが、引裂強さの大きなパルプに対しては、比表面積を用いる方が良くと述べている。更に破裂強さや裂断長に対してフラクシオンフリーネスが、ホールパルプフリーネスより優れていることは確認できなかったと報告している。

パルプ繊維の膨潤性などの評価方法として Jayme などにより保水値 (WRV)^{9)25)~28)}あるいは繊維飽和点²⁹⁾の測定が行なわれている。繊維の保水値は繊維の微細構造に影響され、細胞腔の大きさ、空隙率、コラプスビリティや外部フィブリル化の指標になる³⁰⁾。WRV は図 3 に示されるように裂断長と良い相関性を持っている³¹⁾³²⁾。保水値の測定方法としては遠心力²⁵⁾²⁹⁾あるいは圧力差³⁰⁾を利用する方法が報告されている。遠心力を用いる場合は保水値の再現性を良くするために、遠心力を十分制御する必要がある、一般に 3,000 g で 10~15 分間脱水後のパルプ繊維の水分量を測定している²⁵⁾。測定に用いるパルプの量としては、0.15~0.5 g 位が用いられている。繊維飽和点 (FSP) は

Fig. 3³¹⁾ Relationship between cell wall water and breaking length for the long fiber fraction

膨潤状態における細胞膜に含まれる水分量と定義されており、繊維の膨潤性を示す指標になると考えられている。Stone²⁹⁾は、Dextran 110 の溶液にパルプを浸せきして Dextran 110 の濃度変化により繊維飽和点を求めている。しかしこの方法は測定に長時間を要し、更に複雑な測定器が必要であるために Scallan³³⁾らは、遠心法による保水値測定方法を応用することにより、化学パルプの繊維飽和点の測定方法について検討を行なった。この中で脱水時間及び遠心力の影響について詳細に検討を行い、900 g、30分脱水により求められた保水値と Dextran 110 溶液法により求められた繊維飽和点を比較して、図 4 のような結果を得た。この結果より化学パルプについて繊維飽和点が 1.80 g/g 以下の場合には 900 g、30分脱水の条件で遠心脱水法により繊維飽和点を近似的に求められると述べている。

メカニカルパルプにおいては、シーブ (Shive) の量あるいは大きさがその品質に影響する。シーブを測定する方法としては Sommerville Screen あるいは PFI Minishive Analyzer³⁴⁾などが用いられており、またフィンランドの紙パルプ研究所で開発された

Fig. 4³³⁾ Water retention value obtained at 900 g and 30 minutes plotted against the fiber saturation point

Fig. 5³⁵⁾ Schematic drawing of the Alfthan shive analyzer

Shive Analyzer^{35)~37)} (図5)も広く使用されている。この装置は下部にスリットのあるシリンダにパルプスラリを流し、シーブがスリットに引っかかってスリットをふさぐと、シリンダ中の水位が上昇する現象を利用している。ある一定以上に水位が上昇するとカウントを行ない、同時にスリットが開いてその結果水位は再び降下する。一定量のパルプスラリを流す間のカウ

Fig. 6⁴⁰⁾ Principle of the optical system, and measurement of width and length of shive

ント数によりシーブの量を評価する。その他視覚によりシートの観察を行なってシーブ量を測定することも行なわれており³⁸⁾³⁹⁾、また近年光学的方法によりシーブの長さや幅を自動的に測定する方法も開発されている⁴⁰⁾ (図6)。

以上述べてきたパルプ評価方法は、いずれもその測定に時間がかかり、プロセスコントロールを目的としたパルプ品質の評価には適さない。従来パルプ化工程では、例えばメカニカルパルプの場合リファイナの温度により、あるいはクリアランスを所要動力により制御する方法が考えられ⁴¹⁾、その後自動連続フリーネス測定装置が開発されてフリーネスによる管理が行なわれている⁴²⁾⁴³⁾。しかし前述したようにフリーネスは種々の問題点を持っている¹²⁾。今後はパルプ化工程のコンピュータ制御化が確実に進行すると考えられ、この場合フリーネス以外の方法により、オンラインでパルプ品質を測定する方法が不可欠である。Paulapuroら⁴⁴⁾はGPプロセスの制御を目的としたパルプ評価方法について検討しており、Forgacsらはオンラインで使

用可能な連続式重量平均繊維長、比表面積及び濃度測定器の開発を行なっている^{45)~47)}。また、Hill らは、光学的方法によりスラリー中の繊維の長さや幅を測定する装置を考案し、その応用としてオンラインでのシーブアナライザを開発して、スクリーン工程の自動制御の方法について検討を行なった⁴⁸⁾。このように今後はプロセスのコンピュータによる自動制御を目的として、オンラインにおけるパルプ品質の評価方法あるいは装置の開発が必要とされている。

3. 紙 試 験

紙の試験方法については JIS や TAPPI スタンドードなどに規格されているので、ここでは最近の新しい試験方法についてふれてみたい。紙の利用が複雑になるにつれて現実的な面に応用できる試験方法の開発が必要とされており、それとともに人為的誤差を少なくし、さらに測定を自動化することも要求されている。

印刷においては紙の表面強度 (linting など) あるいは層間剝離強度が重要な因子となる。すなわち繊維間結合強度が大きな影響を与えると考えられ、これをどのように評価するかが問題となる。Reynolds⁴⁹⁾ は Scott Internal Bond Tester⁵⁰⁾⁵¹⁾ を使ってこの点についての検討を行なっている。この中で internal bond test は、引張強さや引裂強さなどの普通の測定方法より繊維間結合の評価にたいして有効な武器になると述べている。この場合剝離速度を十分大きくする必要がある⁵¹⁾。リントニング (linting) に対する評価は、web fed offset press (Apollo, Versatec), sheet fed offset duplicator (Thatcher, Rotoprint, Lithomaster, Heidelberg, Kora, Multilith) などにより、100~15,000 枚の紙を通した後にブランケット上に残留する繊維質分やちりを粘着テープにより除去して、単位面積あたりの数を調べる⁷⁰⁾。あるいはブランケットを洗浄し、その水をフィルタにかけて残留物の重量を測定する方法も報告されている。その他 SCAN test method No. 30—70 を応用した方法があり、新聞用紙を互いにこすり、毛羽立った繊維の数を数える。

実際の印刷条件における新聞用紙などの印刷適性を評価する方法として、GFL Rotary Test Printing Press や GFL Letter Press Tester⁵²⁾ などが市販されている。また、多色刷りの評価においては印刷の間隔を調整することが重要であり、従来 IGT Printing Tester ではこの間隔を 0.014~0.35 秒の間でのみ調整が可能であった。しかし、実際の多色印刷を考慮した場合 6 秒ぐらいの長い間隔が必要であり、印刷間隔 0.2~6 秒の調節が可能な IGT Tester も市販されて

いる⁵³⁾。

紙の引張強度などの品質は、坪量の変動に影響されるところが大きい。この坪量変動を β 線写真の microdensitometer による解析により評価する方法が発表されている⁵⁴⁾⁵⁵⁾。輪転機における新聞用紙の断紙に対する評価方法としては、高速引張試験が必要と考えられており、これに対してフィンランド紙パルプ研究所で高速引張試験装置が開発され、歪速度 2×10^{-4} m/s ~10 m/s の範囲で引張速度、破断伸びが測定されている。その結果によると両者とも歪速度の増加とともに対数的に大きくなっている。その他紙の引張試験の分野における新しい試験器としては、水平式半自動引張試験器 (Weap-semi Automatic Tensile Tester: Wennberg Apparater AB), 自動データ処理装置付引張試験器 (例えば Tinius Olsen Model SR Automatic Tensile Tester: Tinius Olsen Testing Machine Co., 島津オートグラフ自動データ処理装置: 島津製作所) などがある。紙加工機上あるいは印刷機上での紙の破断に対する試験方法として、エルメンドルフ引裂試験器が用いられているが、この試験器における引裂モードが実際の輪転機上などでの引裂モードを再現していないという批判があり、Unger⁵⁶⁾ によりインブレイン引裂試験の方法が提案され、Van den Akker⁵⁷⁾ などにより詳しく検討されている。更に Page⁵⁸⁾ などは、インブレイン引裂試験も引張力による紙の破壊を再現しているかどうかは疑問であると述べており、両端にノッチを入れた試料を用いてショートスパン引張試験を行なって、破壊エネルギーを測定している。この破壊エネルギーを破断面長さで割り、破壊抵抗 (Fracture Resistance) という考え方を、紙の輪転機上などでの走行性評価に対して提案している (図 7)。

紙の試験特に強度試験は、一般に破壊試験により行なわれているが、紙の強度のオンマシン測定を行なう場合非破壊試験方法の確立がその前提となるであろう。非破壊試験の一つの方法として超音波の利用が考えられ^{59)~62)}、日本においても実用器が開発されている⁶³⁾。超音波の伝播速度は紙の構造、特に繊維間結合面積に影響されることを考えれば、この方法をパルプの結合性 (繊維間結合強度、柔軟性、コラプスビリティなど) の評価に応用することも可能であろう。

以上紙の新しい試験方法について若干述べてきたが、従来紙の評価はオフマシンで行なわれていることが多く、このオフマシン紙試験の分野における今後の課題は、自動化・連続化であろう。例えば連続フィルム厚さ測定器も紙の厚さ測定に応用できるものと考えられ、

Fig. 7⁵⁸) Plot of tearing resistance against tensile strength for bleached softwood sulfite pulp

前述したように引張試験器などにおいても自動化した測定器が開発されている。その他、紙のクリープ破壊など時間依存的性質を短時間に評価できる測定方法の開発も必要と考えられる。更に抄紙機のコンピュータコントロールを目的として紙の品質（引張強さ、引裂強さ、平滑度、白度など）をオンマシンで測定することが急務であろう。この点については数年前にTAPPIに特集されている⁶⁴⁾。その後オンマシンにおける強度⁶⁵⁾、緊度⁶⁶⁾、白度、不透明度、光沢^{67)~69)}の測定についての報告がみられる。

引用文献

- 1) J.E.Levlin : Tappi, 58(1), 71/74 (1975)
- 2) J.J.Garceau : P.T.J., 158(8), 28 (1972)
- 3) R.Marton : Tappi, 52(12), 2400/2408 (1969)
- 4) B.Mannstrom : Paperi ja Puu, 49(4 a), 137/146 (1967)
- 5) J.d'A.Clark : P.P.M.C., 59(10), 134/137 (1958)
- 6) J.d'A.Clark : Tappi, 56(7), 122/125 (1973)
- 7) E.F.Thode and W.L.Ingmanson : Tappi, 42(1), 74/83 (1959)
- 8) B.L.Browing : Tappi, 33(8), 410/412 (1950)
- 9) G.Jayme, etc. : Das Papier, 12, 90/92 (1958)
- 10) D.Atask and O.I.Forgacs : P.P.M.C., 62(3), T187/T194 (1961)
- 11) O.L.Forgacs : P.P.M.C., 64(C), T89/T116 (1963)
- 12) 高橋 裕 : 化学装置, 17(2), 40/48 (1975)
- 13) B.D.Heerensperger : Tappi, 49(8), 94A/97A (1966)

- 14) U.Ullman, etc. : Svensk Papperstidn., 68(7), 230/235 (1965)
- 15) J.N.Stephenson : Pulp and Paper Manufacture, McGraw Hill Vol. 2, 239 (1951)
- 16) F.L.Wells and R.F.Stumph, Tappi, 49(8), 353/356 (1966)
- 17) C.O.Seberg : P.T.J., 113(7), 49 (1941)
- 18) W.L.Ingmanson and R.P.Whitney : Tappi, 37(11), 523/534 (1954)
- 19) W.L.Ingmanson : Tappi, 35(10), 439/448 (1952)
- 20) R.O.Gertjeansen : Tappi, 47(1), 19/21 (1964)
- 21) H.D.Wilder : Tappi, 43(8), 715/719 (1960)
- 22) R.Meyer and D.Wahren : Svensk Papperstidn., 67(10), 432/436 (1964)
- 23) W.F.Cowan : P.P.M.C., 71(9), 63/66 (1970)
- 24) J.J.Garceau and H.C.Lvallee : Pulp & Paper Can., 76(3), T67/T73 (1975)
- 25) G.Jayme : Tappi, 41(11), 180A/183A (1958)
- 26) B.Anderson and O.Samuelsen : Svensk Papperstidn., 61(24), 1001/1009 (1958)
- 27) T.Hopner and G.Jayme : Das Papier, 9(19/20), 476/482 (1955)
- 28) G.Jayme and H.Buttel : Das Papier, 20(7), 357/366 (1966)
- 29) J.E.Stone and A.M.Scallan : Tappi, 50(10), 496/501 (1967)
- 30) A.A.Robertson : Consolidation of the Paper Web, 90/118 (1966)
- 31) J.E.Stone and A.M.Scallan : Svensk Pappers-tidn., 71(19), 687/694 (1968)
- 32) G.Jayme and E.Roffael : Das Papier, 24(6), 335/340 (1970)
- 33) A.M.Scallan and J.E.Carles : Svensk Pappers-tidn., 75(17), 699/703 (1972)
- 34) R.B.Kerr & P.M.Shallhorn : Pulp & Paper Can., 77(9), 81/85 (1976)
- 35) G.V.Alfthan : P.P.M.C., 66(4), T229/T240 (1965)
- 36) A.Karnis and R.S.Allan : P.P.M.C., 68(8), T359/T366 (1967)
- 37) J.R.Stephens and A.J.Pearson : Appita, 24(5), 325/337 (1971)
- 38) W.F.Cowan : P.P.M.C., 70(1), 65/69 (1969)
- 39) B.Kyrklund & M.Makinen : Paperi ja Puu, 51(8), 601/604 (1969)

- 40) H.Hoglund and E.Johnsson : Svensk Pappers-tidn., 79(13), 411/417 (1976)
- 41) C.Owensby : P.T.J., 151(16), 44/49 (1967)
- 42) J.S.Ottersen and D.T.Powell : P.P.M.C., 75 (6), T229/T233 (1974)
- 43) H.S.Gilbert : P.T.J., 155(25), 32/35 (1971)
- 44) H.Paulapuro and N.Ryti : Pulp & Paper Can., 77(6), T111/T118 (1976)
- 45) A.Karnis and O.L.Forgacs : P.P.M.C., 73(12), T362/T367 (1972)
- 46) O.L.Forgacs & A.Karnis : U.S. Pat., 3802964 (1974)
- 47) O.L.Forgacs and A.Karnis : U.S. Pat., 3873416 (1975)
- 48) J.Hill and L.Eriksson : Pulp & Paper Can., 77(4), T80/T85 (1976)
- 49) W.F.Reynold : Tappi, 57(3), 116/120 (1974)
- 50) A.F.Blockman and W.C.Wikstrand : Tappi : 41(3), 191A/194A (1958)
- 51) 張 恒雄, 他 : 第 27 回日本木材学会大会
- 52) Lorentzen & Wettres : カタログ
- 53) Paper, 181(5), 246 (1974)
- 54) P.A.Tydeman : The Paper Maker, 153(6), 42/48 (1967)
- 55) B.Nordman & D.Wahren : Svensk Pappers-tidn., 77(11), 397/406 (1974)
- 56) E.Unger : Zellstoff Papier, 9(3), 99 (1960)
- 57) J.A.Van den Akker and W.A.Wink : Tappi, 50(9), 466/470 (1967)
- 58) R.S.Seth and D.H.Page : International Paper Physics Conference (1975)
- 59) J.K.Craver and D.L.Taylor : Tappi, 48(3) : 142/147 (1965)
- 60) D.L.Taylor and J.K.Craver : Consolidation of the Paper Web, 852/873 (1966)
- 61) M.Jackson and G.Gavelin : Svensk Pappertidn., 70(3), 63/69 (1967)
- 62) P.K.Chatterjee : Tappi, 52(4), 699/704 (1969)
- 63) 本間忠一 : 繊維と工業, 5(2), 102/104 (1972)
- 65) M.T.Lu : Tappi, 58(6), 80/81 (1975)
- 66) C.A.Vossberg : Tappi, 58(6), 82/84 (1975)
- 67) J.D.Renigis and F.A.McMillan : Appita, 29 (1), 41/45 (1975)
- 68) J.S.Christie : Tappi, 60(2), 119/121 (1977)
- 69) W.A.Wickstrom : Tappi, 55(11), 1588/1591 (1972)
- 70) E.H.Snider : 63 rd Annual Meeting of the Technical Section, CPPA (1977)