オープンエンド精紡に関する研究

(第4報) 繊維束分離ノズルについて

京都工芸繊維大学工芸学部

宇

野

稔 (会員)

塩

見

昭 (会員)

木

瀬

洋

Open-end Spinning

Part 4: Suction Nozzle to Separate a Sliver

Minoru Uno, Akira Shiomi and Hiroshi Kise

Faculty of Industrial Arts, Kyoto Technical University, Kyoto.

Abstract

When a fiber bundle is sucked into a nozzle during open-end spinning, separation-in-group which may degrade yarn evenness is frequently observed. Such undesired separation can be reduced if the air flow acts uniformly on each fiber in the fiber bundle. For this reason, a suction nozzle of a diffuser type has been experimented with to obtain a method by which the fiber bundle may be easily spread out, and the following results have been obtained:

(1) The performance of air flow in the experimental diffusers having different divergent angles was investigated. It has been ascertained that a diffuser having a divergent angle of 20° or more is unsuitable because of its stall.

(2) A desirable air flow without stall is obtainable if suitable guide plates are inserted in the inlet of the diffuser even if the divergent angle is large.

(3) A photographic observation has shown that the fiber bundle can be spread out by this nozzle with guide plates, and separated more uniformly than by a parallel suction nozzle.

(4) The serial correlation of the thickness of a fiber assembly separated by air flow shows that the fiber bundle is separated randomly in the nozzle.

(Received August 12, 1968)

摘 要

目 的 オープン エンド精紡において、分離ノズル内の吸引気流を、繊維束を構成する各繊維に一様に作用させれば、繊維束の集団分離が減少すると考えられる。このため、分離される繊維束端に拡大気流を作用させて繊維束を広げを試み、その分離効果を調べた。

成 果 (1) 拡大気流を得るために、種々の拡がり角度のディフューザー内の吸引気流の性質を調べた結果、 20° 以上の拡がり角をもつディフューザー内ではストールが生じ、繊維束の分離には不適当なことが確かめられた。

(2) 拡がり角の大きいディフューザーの入口に適当な案内羽根を挿入すると、ストールを防ぎ、良好な拡大気流が得られた。

(3) 高速カメラと瞬間撮影の結果から、拡大気流によって繊維束端の広げられることが確かめられた。

(4) 吸引気流によって分離された繊維集団の太さの分布を調べた結果、拡大気流を用いると繊維束は、より均一に分離されることが確かめられた。

(5) 吸引気流によって分離された繊維集団の太さの自己相関係数を調べた結果、繊維束はランダムに分離していることが確かめられた。

(昭和43年8月12日受理)

1. 緒 言

筆者らはさきにオープン エンド精紡を目的として、円筒ノズル内の吸引気流による繊維束の分離実験を行ない、繊維束の集団分離を確認した¹⁾。さらにこの原因を追求するため、モンテカルロ法によって繊維束分離のシミュレーションを行なった結果、繊維束を構成する各繊維に気流を一樣に作用させれば、集団分離の減少することが予想された²⁾。したがって、本研究では、構成繊維に気流を一樣に作用させる方法として、拡大気流によって繊維束を拡げることを試みた。すなわち、まず拡大気流を得る方法を考え、つぎにこの拡大気流によって繊維束が拡げられるかどうかを確かめ、さらに分離された繊維集団の大きさの分布と自己相関を求めて、拡大気流の繊維束分離効果を調べることにした。

2. ディフューザー内の流れと境界層の制御

2.1 ディフューザー内の流れ

フロント ローラーより供給された繊維束中の各繊維に気流が一樣に作用するためには、繊維束を拡げる必要がある。このため本研究では、繊維の輸送方向のみならず、これと直角方向にも速度成分を持つ拡大気流により、繊維束を分離し、その効果を調べることにした。拡大気流を得るためには、一般に流れの方向に末拡がりな管、いわゆるディフューザーが使われるが、このような管内での逆圧力勾配下の流れははく離を生じやすく、必ずしも満足な拡大気流が得られないことが知られている³⁾。したがって、本研究ではまずディフューザー内の気流の性質を調べることにした。第1図は使用したディフューザ

ーの形状を示す。実際に繊維束を分離するときは、繊維束に適した小さいノズルが使われるが、気流の性質を詳細に調べるには小さすぎるため、大型ディフューザーを用いた。ディフューザーの断面は矩形で、入口径 $W=20$ mm および、拡大壁の長さ $L=200$ mm を固定し、拡がり角 2θ を 6° から 80° まで変えた8種類のディフューザーを使用した。この大型ディフューザーの形状は、後述する繊維束分離ノズルと相似であるが、管内の流れの状態は流速やディフューザーの寸法によって変わるので、すべての実験を通じて(1)式で定義されたレイノルズ数 Re を 1.8×10^4 に固定した。後述する繊維束分離実験でもこのレイノルズ数を用いている。

$$Re = q_w \cdot W / \nu \quad \dots\dots\dots (1)$$

q_w : 入口Eにおける平均流速 [cm/sec]

W : 入口径 [cm]

ν : 空気の動粘性係数 [cm²/sec]

前述したように、拡がり角が大きくなると、ディフューザー内の流れは複雑になる。このため本実験では、まずシャドウグラフ法^{注1)}によって流れの視覚化を行ない、つぎに定温型熱線風速計^{注2)}を用いて、管内の流速と乱流度を測定した。第2～4図は拡がり角 2θ をかえた場合のディフューザー内の典型的な速度分布を示す。図中の矢印はその点における平均流速比 q/q_w をベクトル的に表わし、その右横の数字は(2)式で与えられる%乱流度 dq を示す。

$$dq = \sqrt{q'^2} / q \times 100 \quad \dots\dots\dots (2)$$

q : その点における平均流速 [m/sec]

- E: ディフューザー入口
 S: ディフューザー側壁 (研磨ガラス)
 P: 平行管 (塩化ビニル)
 2θ : ディフューザー拡がり角
 L: ディフューザー拡大壁
 W: ディフューザー入口径
 Z: ディフューザー入口幅

(第1図) 模型ディフューザー

(第2図) 6° ディフューザーの速度分布

(第3図) 40° ディフューザーの速度分布

(第4図) 80° ディフューザーの速度分布

q' : 速度の変動成分 [m/sec]

$\overline{q'^2}$: q' の2乗時間平均

第2図は拡がり角 6° の場合で、流れははく離を伴わず拡大壁に沿って流れている。このような流れは $2\theta = 12^\circ$ くらいまで得られる。第3図は拡がり角 40° の場合で、拡大壁の一方に逆の流れ、いわゆるストールが発生している。

このような状態は、拡がり角が $20^\circ \sim 70^\circ$ でおこる。第4図は拡がり角が 80° の場合で、拡大壁の両側でストールが発生している。上述した拡がり角の変化による流れの遷移の最も大きな原因は、逆圧力勾配のために生じる拡大壁付近での境界層の停滞、はく離であろう。しかし、なぜこのような状態をとるのかは、現在のところはっきり解明されていない。上述の結果から拡がり角が小さいときを除いてはストールが発生し、繊維分離には不都合である。一方 $2\theta = 12^\circ$ 以下ではストールは生じないが、繊維の輸送軸に直角方向の成分がきわめて小さい。したがって、いずれにしても満足な拡大気流が得られず、繊維束分離には不適当である。このため、適当な拡大気流を得るには、拡がり角の大きいディフューザーになんらかの工夫を加える必要があることが推定できる。

2.2 案内羽根によるストールの防止

前述のように、停滞あるいははく離を生じる境界層を加速することができれば、ストールのない、壁に沿う拡大気流を得ることができる。この考えにもとづいて、第5図に示すようにディフューザー内の上下の拡大壁に沿って小さな案内羽根 V を挿入し、これと拡大壁の間に流れの一部を強制流入させる方法を試みた。案内羽根の形状、寸法、挿入位置は、図に示すものが最も成績がよ

(第5図) 案内羽根 (単位 mm)

く、拡がり角 50° 以下でストールを防ぎ、壁に沿った拡大気流が得られることがわかった。第6図は拡がり角 40° のディフューザーに案内羽根を挿入したときの速度分布図で、図中の矢印はその点における速度ベクトルを示す。本研究では、ストール防止の条件について深く追求しなかったが、案内羽根が長過ぎたり、短かすぎてもストールを防止できないことが実験によって確かめられた。このような流れの加速法は、迎え角の大きい飛行機の翼の前にスロットを置いてストールを防止するのによく似ている⁴⁾。

(第6図) 40° 羽根付きディフューザーの速度分布

なお、実際に繊維束分離を行なう場合は、分離ノズルの前に繊維束送り出し装置をおかねばならない。したがって、ローラー ドラフト装置のフロント ローラーに相当する大直径の静止ローラーをノズル前方において、流れに与える影響を調べた。第7図は 40° 羽根付きディフューザーの場合の流速分布を示す。図において、矢印はその点の速度ベクトルを、破線は入口付近のだいたいの流線を示す。図よりフロント ローラーが存在しても、管内の流れは大きく変わらないことがわかる。ただし、シャドウ グラフ法によると、ローラー直後に渦状のよどみが観測される。後述する繊維束分離においてこの渦

(第7図) フロントローラーまわりの流れ

に起因すると思われる繊維束のはためき現象がみられた。なお、本実験では、フロントローラーを回転させなかったが、後述の繊維束分離実験の結果からはフロントローラーが回転することによる影響は小さいと思われる。

3. 拡大気流による繊維束分離

3.1 実験方法と実験装置

上述のモデル実験により、拡がり角の大きいディフューザーでも、適当な案内羽根を挿入することによって一様な拡大気流の得られることが実証された。つぎにこの拡大気流を繊維束分離に適用し、その分離効果を調べた。第8図は実験装置のブロックダイアグラムを、また第1表は実験条件を示す。つぎに各部の装置、方法について述べる。

(i) 繊維束送り出し装置

繊維束の送り出しには、スピントスター (S. K. F.

(第1表) 実験条件

実験条件	分布	a	b	c	d
ディフューザー		6°	40° 羽根付き	6°	40° 羽根付き
繊維束送り出し速度 (cm/sec)		21	21	2.1	2.1
ノズル入口平均流速 (m/sec)		40	40	40	40
空気ドラフト		157	157	1570	1570
繊維束番手 s		15	15	15	15
記録紙送り速度 (cm/sec)		2.5	2.5	2.5	2.5
記録時間 (min)		4	4	6	6

Spintester 82) を用い、2 s のカード上り綿粗糸を 7.5 倍にローラードラフトして、21 cm/sec, 2.1 cm/sec の 2 種の方法で送り出した。

(ii) 繊維束分離ノズルと流速

繊維束分離ノズルとしては、前述の拡大気流を繊維束分離に应用できるよう、小型の 40° 羽根付きディフューザーを用いた。このノズルは第5図の大型のものと相似で、入口径 W が、7 mm である。さらに拡大気流による繊維束の分離効果を比較するため、いずれも入口径 W が 7 mm の羽根のない 40° ディフューザーと 6° ディフューザーについても分離実験を行なった。また前述のモデル実験と流れの条件を等しくするため、入口径 W で規定されたレイノルズ数を等しくした。このとき入口での平均流速は 40 m/sec である。ノズル内の流速の調整は四分円型絞り機構と傾斜型微圧計より成る流量計および流量調節バルブで行なった。

(iii) 分離状態の観察

上述の種々のノズルで、ある程度のからみ合いをもつ繊維束が、どの程度上げられるかを確かめるため、高速撮影と瞬間撮影によってノズル内での繊維束分離状態を撮影した。高速度カメラ (日立 16 HM 形 HIMAC) のコマ送り速度は 7000/sec、瞬間撮影の閃光時間は 0.8 μ sec である。

(iv) 分離繊維集団の検出記録

上述の分離ノズル内で分離された繊維集団は、光電子増倍管 (RCA 931 A) を含む検出器を通し、集団の太さに応じた電流変化として検出した。この電流は増幅器 (岩崎通信 DA-1, DAp-1), 1 ~ 1000 c/sec の帯域^(注4) 低波器を経て、固有振動数 1000 c/sec の振動子を持つ直記式電磁オシログラフ (横河電機 EMO-62) で記録した。他方、検出器を通過した繊維集団はブローアに至る途中で低波器で集めた。第9図は上述の検出器の

(第8図) 繊維束分離装置と分離繊維集団検出器

I: 光源 S₁: スリット T: 繊維輸送管
L₁: レンズ S₂: スリット M: 光電子増倍管
L₂: レンズ S₃: 拡散板 B: 電源電池

(第9図) 分離繊維集団検出器

概略を示す。光源 I からの光は分離ノズルにつながった繊維輸送管 T を通過し、レンズ L₂ を経て、光電子増倍管 M に達する。この輸送管 T 内で分離繊維集団が光路を横切れば、光電子増倍管に入る光量が繊維集団の射影面積に比例して変化する。光電子増倍管を検出器とする上述の測定器は非常に感度がよく、⁵⁾ 2 本程度の繊維束を検出することができた。しかし、立体的な繊維集団の大きさをその射影面積の大きさに比例した量として取り出すので、これを較正する意味で既知の太さの繊維集団を用いて、実際の繊維集団の太さを推定した。第 10 図は記録結果の一部である。

ノズル: 40° 羽根付きディフューザー
繊維束送り速度: 21 cm/sec
記録紙送り速度: 2.5 cm/sec

(第10図) 分離繊維集団の太さ

3.2 繊維束分離の状態

瞬間撮影した繊維束分離状態を第 11 ~ 13 図に示す。第 11 図は 6° ディフューザーの場合で、繊維束端は管中央でやや拡がり気味になっている。しかし、高速カメラによる連続的な観察により、繊維束は管内ではためきながら少しずつ分離されているのが観察された。はためている繊維束が、ディフューザーの拡大壁の一方に片寄ったときは、繊維束はほとんど拡げられない。またストールのために流れが一方に片寄るようなノズル以外は、このような繊維束の振動が必ず起こることが分離実験で確かめられた。この原因として前述のフロントローラーによる渦が考えられる。一般に流れの中に置かれた物体の周りにはいわゆるカルマン渦が物体の両側から交番して周期的に発生する。本実験においても、フロント

(第11図) 繊維束の分離状態
(6° ディフューザー)

ローラーまわりにこのような渦が発生していることは当然考えられるから、繊維束の振動はこのような渦の影響と思われる。本実験では繊維束のはためきの周期は 0.003 sec であった。

第 12 図は 40° 羽根なしディフューザーによる分離の状況を示す。繊維束は流れに沿って一方の拡大壁に完全に押しやられ、したがって、繊維束は拡げられないので、大きな集団分離を起こしている。すなわち、このようなディフューザーが繊維束分離に適していないことを示している。

(第12図) 繊維束の分離状態
(40° 羽根なしディフューザー)

第 13 図は 40° 羽根付きディフューザーによる繊維束分離状況を示す。繊維束は前述のはためきをくり返し、

(第13図) 繊維束の分離状態
(40°羽根付きディフューザー)

拡大壁の一方から他方に移るとき大きく広げられて中心の繊維まで気流の作用を受けている。また、他に比べて繊維束の分離する点がノズル入口に近いが、このことは集団分離が少なくなることを意味する。さて、繊維が気流によって分離されると、ただちに加速されて、気流の速度に近づく。第14図は高速度撮影の結果から求めた分離ノズル中での繊維の速度変化を示す。このような速度変化は気流による繊維束分離を解析するうえにきわめて興味深いものであろう。

(第14図) 分離繊維の速度分布

3.3 分離繊維集団の太さ分布

40°羽根付きディフューザーと6°ディフューザーについて、前述の検出器によって測定した分離繊維集団の太さの確率分布を第15図に示す。図のよこ軸は供給された繊維束の太さ g_0 に対する分離繊維集団の太さ g の比

(第15図) 分離繊維集団の太さ分布

を表す。たて軸は(3)式で定義された分離繊維集団の生起確率 p を表す。

$$p = f/N \quad \dots\dots\dots (3)$$

N : 記録されたデータからのサンプリング数

f : N 回サンプリング中、太さ g の繊維集団の生起回数

ただし1回のサンプリング区間は、その中にたかだか1つの信号しか入らないように小さくとり、記録時間4 min 中連続的に1800回サンプリングした。これはサンプリング間隔0.13 sec に対応する。図中、a、bとc、dとは、第1表に示すように送り出し速度が10倍異なるので同じ確率分布曲線として比較するため、c、dの確率を10倍して示した。図より明らかなように、 g/g_0 の大きいところで、cはaより、dはbより小さな p の値を示し、 g/g_0 の小さいところではその反対である。また、第2表には(4)式にもとづく計算上の平均値

(第2表) 分離繊維集団の太さの平均値と変動係数

分 布	平均値 $\left(\frac{\bar{g}}{g_0}\right)$	変動係数 (CV%)
a	0.08	190
b		140
c	0.025	144
d		124

$(\overline{g/g_0})$ と(5)式で定義された変動係数 CV (%) を曲線 a, b, c, d について示した.

$$(\overline{g/g_0}) = 1/\sqrt{D} \quad \dots\dots\dots (4)$$

D : 空気ドラフト q_r/v

q_r : 分離繊維検出点での吸引気流の速度

v : 繊維束送り出し速度

$$CV = (\sigma/(\overline{g/g_0})) \times 100 \text{ (%) } \dots\dots\dots (5)$$

$$\sigma^2 = \Sigma(g/g_0 - (\overline{g/g_0}))^2 / N$$

第2表に示したように, 6° 羽根なしディフューザーより 40° 羽根付きディフューザーのほうがより均一な分離をしていることがわかる. また, b と c の CV がほぼ等しいことから 40° 羽根付きディフューザーは空気ドラフトを10倍したと同じ分離効果をもっていると考えられ, 興味深い.

以上の結果から, 40° 羽根付きディフューザーにより拡大気流を生ぜしめると, 大きな集団分離が少なく繊維束分離は均一であることが確かめられた. オープンエンド精紡では, このように分離された繊維がつぎに再集束部で集められ, 糸に加撚されることから, 拡大気流が糸の均斉度の向上に有効に作用することが予想される.

3.4 分離繊維集団の太さの自己相関

上述した分離後の繊維集団の太さ分布と同様に, その時間的な分布も糸むらに直接関係を及ぼす. よって前述の光電子増倍管によって検出されたデータから(7)式で与えられる分離後の繊維集団の太さの自己相関関数 $R(\tau)$ を求めた.

$$R(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} g(t) \times g(t-\tau) dt \quad \dots\dots (7)$$

第16図は繊維集団の太さのコレログラムを示し, よこ軸は(7)式の時間間隔 τ sec を, たて軸は(8)式で与えられる標準化された自己相関係数 $r(\tau)$ を示す.

(第16図) 分離繊維集団の太さの自己相関

$$r(\tau) = (R(\tau) - (\overline{g/g_0})^2) / \sigma^2 \quad \dots\dots\dots (8)$$

この結果からつぎのことが推定できる.

(1) 両曲線とも, $\tau = 0$ 以外の自己相関係数が非常

に小さいことから, $g(t)$ の変動は偶発的な要素が非常に大きいことがわかる. いいかえれば, 吸引気流によって繊維束はランダムに分離されると考えられる.

(2) 両曲線とも, $\tau = 2.5$ sec 程度の周期を持っているようにみえる. この周期は繊維束送り出し速度が 2.5 cm/sec であるから, 8 cm の長さに対応する. よって, 粗糸に存在する平均繊維長 (1 cm) の $2 \sim 3$ 倍の波長の太さむらが分離後も現われていると考えられる. しかしその振幅が非常に小さいことから, 供給繊維束の周期的なむらが分離後の繊維集団に与える影響は小さいと思われる.

(3) 曲線 a, b ともに上述の $\tau = 2.5 \text{ sec}$ の周期曲線にいくつかのパルスが重畳しているので, 分離後の繊維集団 $g(t)$ の自己相関係数 $r(\tau)$ は供給繊維束の自己相関係数 $r_1(\tau)$ と繊維束分離過程の自己相関係数 $r_2(\tau)$ の和であると考えられる.

上述のように, 6° ディフューザーについても, 40° 羽根付きディフューザーについても, 分離された繊維集団の自己相関は偶発的であるから, 一様な太さに繊維束を分離することは糸の太さむらを少なくすることに有用であることがわかる.

4. 吟 味

以上の実験に対してつぎのような点がお考慮される.

(1) 拡大気流が繊維束分離に有効であることが示されたが, 前述の方法以外に, 第17図に示すような断面積一定のディフューザーを使えば, ストールのない拡大気流を得ることができよう. この方法の利点はディフューザーの軸方向にそって速度が減少することではなく一定であり, また案内羽根を入れなくてストールが生じないので, 繊維束の障害となるものがない. さらに任意の拡がり角をとらせることができる.

(第17図) 等断面積ディフューザー

(2) 前述の実験により分離された繊維集団の太さ分布を得ることができた. この場合, 分離される前の繊維束の太さを同時に測定すれば, 分離むらは気流に原因す

るのか、繊維束のむらによるのかを区別できる。同じように分離むらと、これからできた糸の太さむらを同時に測定すれば、糸に及ぼす分離むらの影響を検討することもできよう。これらは他日実験してみたい。

5. 結 論

大型ノズルによる気流の測定、および実際の分離ノズルによる繊維束の分離実験より、つぎの結果を得た。

(1) 拡がり角を変えてディフューザー内の空気の流れを調べた結果、要求される拡がり角のディフューザーではストールが起こるので、満足な拡大気流を得ることができない。

(2) 拡がり角の大きいディフューザーでも入口に小さな案内羽根を挿入することによって良好な拡大気流を得ることができる。

(3) フロント ローラーの存在が分離ノズル内の気流を大きく変えることはないが、フロント ローラー回りに発生する渦が、送り出される繊維束のはためきの原因となるようである。

(4) 高速カメラ撮影および瞬間撮影の結果、 40° 羽根付きディフューザー内の拡大気流によって繊維束が拡げられることが確かめられた。

(5) 分離された繊維集団の太さ分布を光電子増倍管で調べた結果、 6° ディフューザーに比べて 40° 羽根付きディフューザーの拡大気流はより均一に繊維束を分離することが確かめられた。

(6) 分離された繊維集団の太さの自己相関係数を調べた結果、繊維束はランダムに分離されていることが確かめられた。

終わりに本研究にあたり、実験に協力された増馬正宏、平井和保、吉森英二、野田栄造、尾池英昭の諸君に感謝の意を表す。なお、本研究は昭和42年度文部省科学研究費総合研究の一部として行なったもので、あわせて謝意を表す。

参考文献

- 1) 宇野, 塩見, 峠田; オープン エンド精紡に関する研究 (第2報), 本誌, T247 (1968-11)
- 2) 宇野, 塩見, 峠田; オープン エンド精紡に関する研究 (第3報), 本誌, T275 (1968-12)
- 3) H. Schlichting; "Boundary Layer Theory", p 32, 1960, Mc-Graw-Hill
- 4) 同上, P268
- 5) エレクトロニクス講座, 応用編 5, P72, 1959, 共立出版
- 6) 藤本武助; "流体力学", P71, 1966, 養賢堂

付 録

注1) シャドウ グラフ法は、光が密度勾配のある気体を通過したとき生じる光の屈折を利用した流れの視覚化法で、光源、ミラー、カメラからなる。光源は牛尾製超高圧水銀灯 UH-100, ミラーは溝尻光学シュリーレンミラー (焦点距離 3 m, 鏡径 30 cm) を、また気体の流れに密度勾配をつけるため熱線を使用した。

注2) 定温型熱線風速計は熱線の冷却特性を利用したもので、乱流測定に最も適している。本実験ではD I S A社製 55A01 型を使用した。

注3) 本実験で使用した四分円型絞機構の許容レイノルズ数は 250~250,000 で、本実験の流量計に關係するレイノルズ数は約 20,000 であった。また傾斜型微圧計は 1/5 mmAq まで読みとれる。

注4) 微小信号の増幅できる程度は、増倍管の散弾雑音などによって制限されるが、散弾雑音はかなり高い周波数成分を含んでいる。また記録計の固有振動数は 1 kc/sec であるので、帯域幅 1 c/sec~1000 c/sec の π 形フィルターを使った。本実験の信号の最大周波数は 500 c/sec 程度である。

注5) x 番手の繊維束の断面積 A に含まれる平均繊維本数を n とすると

$$n = 0.591/100 a \rho x$$

$$A = \pi r^2 = a n = 0.591/100 \rho x$$

$$r = \sqrt{0.591/100 \pi \rho x}$$

ただし、 a : 繊維 1 本の平均断面積

ρ : 繊維の比重

r : n 本の繊維で円断面を構成したときの半径

$\therefore x_0$ 番手の粗糸を D 倍ドラフトしたとき、繊維束の太さ r と粗糸の太さ r_0 の比をもって $\overline{g/g_0}$ とすると

$$\overline{g/g_0} = r/r_0$$

$$= \sqrt{0.591/100 \pi \rho D x} / \sqrt{0.591/100 \pi \rho x_0}$$

$$= \sqrt{1/D}$$

このような計算上の平均値 ($\overline{g/g_0}$) を実験結果からの平均値 $m = \Sigma(g/g_0)/N$ (N はサンプリング数) と比較したとき、送り出し速度 21 cm/sec の場合の両者はよく一致した。送り出し速度 2.1 cm/sec の場合、後者のほうが小さな値をとった。これは送り出し速度が小さいとき、1 本ずつ分離される頻度がかなり大きく、これが検出されないために生じた誤差であると考えられる。