繊維集合体と空気の流れ*

会 員 木 下 茂 武**

技術解説

1. はじめに

繊維集合体の機能としての通気性、透湿性、防寒性、気体（汚染空気など）の濾過機構については従来いくつかの紹介がある。本稿では、その後のもので気付いた文献をあげて、集合体物理の体系化の一助としてみたい。

2. 繊維—気体集合系の概要

2.1 (固—液—気) 複合系としての繊維集合体

繊維集合体の空隙は、繊維状（直径 b 、長さ l ）の固体が間隔（ D ）をおいてつくる空間であるが、これは通常は真空ではない。空間には各種（ i 成分）の気体あるいは液体分子の集合体が充満している。

空隙率（porosity）は $\epsilon = \text{pore vol.} / \text{total vol.}$ で定義され、isotropic な集合体では

$$D/b = \epsilon / (1 - \epsilon) \quad (1)$$

である。 $\epsilon \approx 1$ では要素繊維間の接触は少なく、繊維は単体として分子集合体の流れから Stokes 型あるいは Oseen 型の抵抗を受ける。 ϵ が小さくて充実度 $(1 - \epsilon) \approx 1$ の集合体では、空隙は固体の壁による equivalent

capillarie に分割される。⁸⁾ 要素繊維の単位体積当たりの表面積（specific surface）を S_0 とすれば、毛管の hydraulic radius は

$$r_m = \epsilon / S_0 (1 - \epsilon) \quad (2)$$

(第1図) 繊維集合体系の模型図

となる。平行繊維束では $S_0 = 4/b$ 、他の形状では $S_0 = (4/b)\phi$ で表わして ϕ を roughness factor という。単体が粒状の場合 $\phi = 1.5$ である。また毛管の直線距離 L に対する実際の長さ Le の比 Le/L を屈曲度（tortuosity factor）といい、 ϵ の増加とともに減少する。粒状の層では

$$Le/L = (3 - \epsilon) / 2 \quad (3)$$

である。繊維—気体集合系の pore texture としては r_m に対する Le の値の大小や、異方性などが問題になる。

系内の空隙を気体の質量やエネルギーが流れるとき、高速になったり稀薄になったりすると乱流やスリップなどの特異現象が起こる。また繊維表面に吸着層や境界膜が生じる場合には現象がより複雑となる。これらを含めて、系内の移動現象は熱力学的には非平衡状態であるが、一般に空隙は巨視的性質を与えるためには微視的にみて十分の体積があるものと考えられ、そこに充満している分子集合系では、部分平衡の原理（principle of local equilibrium）が成立っている。すなわち、 i 成分のモル分率を x_i として、単位質量当たりの熱力学量に関する Gibbs の式で表わせば

$$du = Tds - pdv + \sum \mu_i dx_i \quad (4)$$

である。ここで内部エネルギー u 、エントロピー s 、化学ポテンシャル μ_i 、また T 、 p 、 v はそれぞれ温度、圧力、体積である。

こうして、繊維集合系は固体繊維の集合体と空隙を満たす気、液分子集合体とから構成される。本来、式(4)の関係は要素繊維を含んだ部分平衡を取扱うべきである

* Fiber Assemblies and Air Flow.

** S. Kinoshita, Member. 群馬大学工学部 教授

が、以下では要素繊維が流動したり飛散したり (fluidize) しないような、またそれが凝集 (consolidate) を起こさぬような場合に限り、繊維-気体系の内部における空気の流れに関する移動現象 (transport phenomena) を考える。

2.2 繊維集合体内における移動現象^{9~14)}

分子集合系の不可逆過程の現象論的記述は、古くから経験則として得られている。すなわち単位断面積、単位時間当たりの流量に対して

Newton の粘性則 (1687), Poiseuille の毛管流則 (1840):

$$V = \frac{\pi}{8} \frac{r^2}{\eta} \frac{\Delta p}{L} \quad (5)$$

Darcy の通気則 (1856):

$$V = -B(\partial b / \partial x) \quad (6)$$

Fick の拡散則 (1855):

$$Q = -D(\partial C / \partial x) \quad (7)$$

Fourier の熱伝導則 (1804):

$$Q = -k(\partial T / \partial x) \quad (8)$$

Ohm の電気抵抗則 (1827):

$$I = (1/R)E \quad (9)$$

などである。そして medium が isotropic porous の場合には、実際の測定量 (V, Q) は真の space average の流速 (v, q) より小さくなり、

Dupuit の関係 (1863):

$$V = \epsilon v \quad (10)$$

が知られている。

これらの経験則を近代的にみれば、個々の不可逆過程を引き起こすのは圧力 p 、濃度 C 、温度 T 、電位などの勾配による力 (force) X_i であり、その結果生じる流れ (flow) J_i が物質、拡散流、熱流、電流などである。もし一つの力が同時に多くの流れを誘起するならば、現象方程式 (phenomenological equation) は

$$J_i = \sum_k L_{ik} X_k \quad (11)$$

となる。 L_{ik} は現象係数といわれるもので、Onsager (1931) の相反定理 (reciprocal theorem)

$$L_{ki} = L_{ik} \quad (12)$$

が成り立つ。 $i \neq k$ の場合には、移動現象は連結 (coupling) して高級で精緻なものとなる。

Onsager らが発展させた不可逆過程の統計力学によれば、系内ではその速度が $\Phi = \sum J_i X_i$ で与えられるエントロピーの生成が起こり、これが物質とともに流れてゆく。 Φ はしたがって不可逆過程の測度となり、平衡状

態では 0 で、定常状態では最小値となる。

繊維集合体のような固-気体集合系では $i=k$ の単純な現象に対しても、係数 L_{ii} は

$$L = (\text{固体特性項}) \times (\text{気体特性項}) \\ \times (\text{固-気相相互作用項}) \times (\text{集合体の構造因子}) \quad (13)$$

の積となり、目的に応じて各項を適宜に選定することにより機能的に微妙な特徴が発現する。

2.3 移動方程式と連結現象

空隙に存在する気体の質量およびエネルギーの移動方程式 (transport equation) は、それぞれの保存則を流れの場に適用することによって導かれ、分子運動学的に現象係数が求められる。また繊維集合系におけるこれらの係数は空間的な平均操作によって、近似的に算出される。^{11~13)}

a. 移動方程式

示量変数 A の単位質量当たりの量を $a(x, y, z, t)$ とする。 A が媒質 (密度 ρ 、速度 v) によって運ばれる流速 (flux) は

$$J_a = \rho a v \quad (14)$$

で定義される。いま ϕ_a を A の系内生成速度とすれば、 A に対する移動方程式は

$$\frac{\partial \rho a}{\partial t} + \nabla \cdot J_a = \phi_a \quad (15)$$

となる。もし化学反応などによる物質の生滅がなければ $\phi_a = 0$ とおける。この場合、 $a=1$ とすれば系の全質量に対する連続の方程式が得られる。すなわち

$$\frac{d\rho}{dt} + \rho \nabla \cdot v = 0 \quad (16)$$

b. 拡散による流れ

媒質の i 成分分子の速度 v_i に着目し、それがその付近の分子集合体の重心速度 v に対する相対速度 ($v_i - v$) をもって、拡散流束 (diffusion flux) $j_i = \rho_i (v_i - v)$ が定義される。 v (あるいは溶媒速度 v_r) が無視できる場合連続の方程式から

$$\frac{d\rho_i}{dt} = -\nabla \cdot j_i \quad (17)$$

を得る。

等温系では j は密度 ρ あるいは濃度 C の勾配 (一般には化学ポテンシャル μ_i の勾配) から生じ (Fick の第 1 法則)

$$-j_i = \sum_{k=1}^{r-1} D_{ik} \nabla \rho_k \quad (18)$$

これに式 (17) を用いると、Fick の第 2 法則

$$\frac{\partial \rho_i}{\partial t} = \sum_{k=1}^{r-1} \nabla \cdot (D_{ik} \nabla \rho_k) \dots \dots \dots (19)$$

となる。

繊維一気体系では over-all の通気係数 (permeability coeff.) B , 拡散係数 D を用いて式 (6), (7) より $B/D = AC/4p = S$ である。 S は溶解度係数 (solubility coeff.) で等温吸着曲線 $C=f(p)$ から求められる。 よって繊維集合体の透湿係数 (moisture through coeff.) B は

$$B = SD \dots \dots \dots (20)$$

によって与えられる。

c. 運動の方程式と通気抵抗

式 (14) において物理量 A を運動量にとると $a=v$ であり, 運動量は系内で体積力 x と表面力 σ とによって生成される。 移動方程式は

$$\frac{\partial t}{\partial} (\rho v) + \nabla \cdot (\rho v v) = \rho x + \nabla \cdot \sigma \dots \dots \dots (21)$$

となる。 表面力 σ は速度勾配 ∇v に比例し (Newton の粘性則) であり, また体積粘性が無視できる (非圧縮性) のとき

$$\frac{\partial v}{\partial t} + (v \cdot \nabla) v = x - \frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 v \dots \dots \dots (22)$$

を得る。 これは Navier-Stokes の式である。 $\nu = \eta / \rho$ は動的粘度 (kinematic viscosity) といわれる。

流体の重心速度が小さいときは, $\rho(v \cdot \nabla)v$ の慣性項を $\eta \nabla^2 v$ なる粘性力の項に比べて無視することができる。 この場合流線は層流 (laminar flow) をなし, 式 (22) から毛管流における Poiseuille の抵抗, 単体の受ける Stokes の抵抗は, それぞれ

$$\frac{4p}{L} = \frac{32\eta V}{D^2}, F = 6\pi\eta aV \dots \dots \dots (23)$$

のように導かれる。

流速が大きくなると, (渦) 乱流 (turbulent flow) が起こり, 逆に慣性項が支配的となる。 この場合式 (23) に相当して

$$\frac{4p}{L} = \frac{2u\rho}{D} V^2, F = 6\pi\eta aV \left(\frac{1}{2} + \frac{3}{8} \frac{aV}{\nu} \right) \dots \dots \dots (24)$$

の結果が得られ, 流れの抵抗力すなわち通気抵抗 (permeability resistance) は増大する。 ここで μ は固体表面と流体との粗滑度に関係した流体摩擦係数 (friction factor) である。

層流から乱流へ遷移する臨界流速は慣性項に対する粘性力の項の比で定まり, 式 (24), (23) の前式より得られる Reynolds 数

$$Re = \frac{VD}{\nu} \dots \dots \dots (25)$$

が約 2320~2400 となるような V の値である。 なお式 (24), (23) を比較して, 乱流の場合の流体摩擦係数 μ の値は

$$\mu = 16/Re \dots \dots \dots (26)$$

にとれば, 式 (24) は層流の場合にも用いられる。 このとき $Re (< 1000)$ が小さいほど μ の値が大きくなる。

乱流では壁面を少し遠ざけると速度勾配がゆるやかになる。 壁面に接して層流をなしている部分を境界膜 (fluid film) という。 乱流の抵抗には境界膜の粘性が一因をなしている。 膜の厚さは $\sqrt{\nu}$ に比例し, その表面流体摩擦係数 μ は $\sqrt{Re}$ に逆比例する。 繊維集合体内の空気の流れに関して, 粘性抵抗は通気抵抗となり, 慣性項は主として濾過作用 (filtration) に効いてくる。 空隙の壁面につくられる境界膜の存在は, 気流抵抗のほかに, 伝熱に対し伝熱抵抗となり, ガス吸着などに対して拡散抵抗となるので極端条件下での機能に重大な意義をもっている。

d. 熱エネルギーの流れ

繊維集合系の熱エネルギーの移動は温度勾配によって生じ, 繊維および気体の内部エネルギー u , 空隙を満たす気体の運動エネルギー $1/2 \rho v v$ の和が関与する。 したがってエネルギーの流れは i 成分気体の質量の流れ J_i に付随する対流 (convection current) と繊維内, 気体内あるいは繊維一気体間の拡散の流れ j_i および純粋な熱の流れ q による伝達熱 (conduction current) j_u とに大別される。 繊維集合体の防寒性 (protection against the cold, air proof) はこれら個々の素過程による律速過程 (rate process) であって, 速度のもっとも遅いプロセスによって現象が支配される。

伝達流 (内部エネルギーの流束) j_u は, i 成分の単位質量当たりのエンタルピーを h_i とすると, $j_u = q + \sum j_i h_i$ で, その各項は現象係数を用いて

$$-q = L_{00} \nabla \ln T + \sum L_{0j} \nabla T \mu_j \dots \dots \dots (27)$$

$$-j_i = L_{i0} \Delta \ln T + \sum L_{ij} \nabla T \mu_j \dots \dots \dots (28)$$

と表わせる。 L_{00} は熱伝導係数, L_{i0} は熱拡散, L_{0i} は質量拡散による熱の流れ, L_{ii} は拡散係数, L_{ij} は異なった物質の拡散による連結を示す係数である。 系内に温度勾配だけがある場合, すなわち $-q = L_{00} \nabla \ln T$ のときエネルギー保存の式から

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = -\nabla \cdot q$$

したがって

$$\rho C_V \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) \dots\dots\dots (29)$$

となる。ここで $k = T/L_{00}$ は熱伝導度 (thermal conductivity) である。

対流による熱移動では、前項 c. の質量の流れ Q が温度勾配から生じ、 κ を熱伝達係数 (heat transfer coefficient) とすると

$$Q = \kappa (\Delta T / L) \dots\dots\dots (30)$$

である。ここで $R = L/\kappa$ は熱抵抗 (thermal resistance) と呼ばれる。温度 T_1 と T_2 の気体が固体壁 (厚さ b) で距てられ、壁面に境界膜 (厚さ δ) がある場合の熱通過率 (over-all heat transfer) U は

$$Q = U(T_1 - T_2),$$

$$1/U = 1/\kappa_1 + b/k + 1/\kappa_2 \dots\dots\dots (31)$$

となる。ただし両側の境界膜の熱伝達係数 κ はそれぞれ $\kappa = k/\delta$ で与えられる。また管内 (内径 D , 長さ L) を気体 (k, η, ρ, C_p) が速度 v で流れる場合 κ は、

$$\left. \begin{aligned} \kappa D / k &\equiv Nu \text{ (Nusselt 数)} \\ D v \rho / \eta &\equiv Re \text{ (Reynolds 数)} \\ C_p \eta / k &\equiv Pr \text{ (Prandtl 数)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (32)$$

$$Nu(\kappa) = C(R_e)^m (Pr)^n (D/L)^q \dots\dots\dots (33)$$

なる関係から求められる。 C, m, n, q は実験的な定数である。特に円管の束に空気流が直角に当たるときは

$$Nu = 0.297 (R_e)^{0.602}$$

となる。

なお熱エネルギーは輻射 (radiation) によっても伝達する。 A なる面積 (温度 T_1) から着目点 (温度 T_2) への熱の流れは

$$Q = F_{12} A r (T_1^4 - T_2^4) \approx \kappa_r (T_1 - T_2) \dots\dots\dots (34)$$

で近似される。ここで

$$\kappa_r = 4 F_{12} A r T_1 \dots\dots\dots (35)$$

は輻射の熱伝達係数、 F_{12} は円管の束などの配列に関係した幾何学的な因子、 r は Baltzmann の定数である。

e. 不連続における連結現象

これまでは繊維集合体の構造は空間的には homogeneous で一様なものとしてきたが、たとえば刃状プレス、ローラー加圧、折り畳みなどによって、空隙率 ϵ の極端に異なった部分系に分割されることがある。この場合 $\epsilon \rightarrow 1$ の部分系が $\epsilon \rightarrow 0$ の部分系で仕切られるとすれば、系の性質は境界を隔てて不連続に変化する。第2図においてもし I, II の部分系の温度、圧力が異なっていると、隔壁を通じて物質や熱エネルギーが移動し、熱機械的な連結現象が発生する。

(第2図) 不連続な系

これらの現象は繊維集合体の乾燥機構などで問題となると思われるが、連続系の特殊の場合として取扱うことができる。

3. 集合体内の移動現象の各論

3.1 通気性について

繊維集合体の構造と通気性の関係については、糸や布、紙などの fiber mats, チーズなどのパッケージ、スライバー束など各種のものが報告されている。これらの場合、式(8)の Darcy の法則を

$$V = \frac{K}{\eta} \frac{\Delta p}{L} \dots\dots\dots (36)$$

において、 K を Kozeny の通気係数と呼んでいる。 K は空隙率 ϵ に関係して

$$K(\epsilon) = \frac{1}{k S_0^2} \frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)^2} \dots\dots\dots (37)$$

で与えられる。ここで k は Kozeny 因子であって、空隙構造と空気流に対する繊維表面の粗滑さによって異なった値となる。多くの研究は k の実験値を求めて、これを流体力学的に (平均操作を併用して) 根拠づけることが中心となっている。

通気性に及ぼす集合体の要素繊維の形状については、繊維束の長さ、短繊維の混合、繊維の断面形状、繊維、塵埃など不純物の混在などが調べられている。

なお capillary system における pore の分布型、屈曲度の影響、slipping による Knudsen 流などが解析されている。

3.2 透湿性について

porous body における水分の拡散恒数 (vapour diffusion constant) D_V は

$$D_V = D_a \frac{\partial \rho}{\partial \theta} A(\epsilon) \dots\dots\dots (38)$$

で与えられる。ここで D_a は空気中の vapour の拡散係数、 ρ は vapour の密度、 θ は volumetric water content である。また $A(\epsilon)$ は有効伝達断面面積で、 ϵ を porosity, p を moisture content, m を定数として

$$A(\epsilon) = \epsilon^m (1 - p^m) \dots\dots\dots (39)$$

である。

繊維集合体に関する水分の通過については、PP³²⁾の布、羊毛フェルト^{33,34)}、トウの乾燥³⁵⁾、布面の蒸発³⁶⁾などが報告されている。透湿性は乾燥機構とあわせて考慮され、紙^{37,38)}、ファイバーボード³⁹⁾、パルプ⁴⁰⁾などでは集合体構造と関連させた理論や実験が多い。同様にセメント⁴¹⁾、土壌⁴²⁾、コンクリートの乾燥による水分通過も参考になる。

なお式(20)で述べたように透湿性には繊維に対する水分の吸着作用が関係するが、これについては、その時間遅れ⁴⁴⁾、繊維集合体の毛管作用あるいは羊毛⁴⁵⁾、各種合成繊維^{46,47)}などに関する実験がある。

3.3 防寒性について

衣料としての繊維集合体の防寒性は生理学的因子に依存し⁴⁹⁾、また外層における風速^{50,51)}や内層に含まれる水分量^{52,53)}によって影響を受ける。また皮膚を保護するため熱輻射も遮断しなければならない。これらの断熱性は、外形的に見れば、当然その厚さが大なるほど増加する⁵⁵⁾。

繊維集合体の内部構造と熱伝導度 k_a との関係は、空隙率 ϵ が少ないほど、繊維が接触するために減少する。すなわち繊維および空隙気体の熱伝導度をそれぞれ k_s 、 k_g とすると

$$\frac{k_a}{k_g} = \epsilon + \frac{(1-\epsilon)}{\frac{k_g}{k_s} + \frac{k_g}{b\kappa_c\alpha}} \dots\dots\dots (40)$$

である。ここで b は繊維の直径、 α は繊維の断面積当たりの接触面積、 κ_c は接触部分の熱伝達係数である。

工業的には熱セットやスチーミング^{57~59)}、乾燥などで繊維集合体に対する強制対流による熱移動が問題となる。なおこれらの過渡現象の解析には、非円断面や有限長の棒に対するものも参考となる。

porous media における水分その他と熱とが連結した移動現象としては、羊毛層内⁶²⁾、砂層内⁶³⁾のものがある。同様に排気ガス中の熱伝達の機構についても調べられている^{64,65)}。

3.4 滲過機構について

気体と固体粒子の混合物を繊維集合体のような porous な滲材 (filtering medium) を通して処理し、清浄な気体を通過させて固体粒子を阻止して分離する場合、気体の流量 V は圧力差 Δp に比例し

$$V = \frac{1}{R_1 + R_2} \Delta p \dots\dots\dots (41)$$

で表わせる。 R_1 は阻止された粒子による抵抗、 R_2 は滲材⁶⁶⁾の抵抗である。滲過作用 (filtration) には恒速通過

¹⁵⁾
(Δp は V と t に比例)、恒圧通過 (V は $\sqrt{\Delta p}$ 、 $\sqrt{t}$ に比例) などがある。

滲液 (filtrate) が水などの場合の滲過は製紙工程で重要なものであり、滲過と繊維の retention⁶⁷⁾、メッシュの大きさ⁶⁸⁾と繊維長との関係、スラリが滲材の上を水平に流れるときの fiber mats の堆積量^{69,70)}、vacuum former⁷¹⁾での排水量などが研究されている。

また汚染空気の滲過については、air flow 中の除塵作用^{72,73)}、放射性粒子を含んだ空気の filtration^{74,75)}などに関する報告もみられる。

3. あ と が き

本稿は昭和45年4月8日の講演要旨をそのまま再録していただいた。当日の説明では主要部となった各論について、今回詳論する暇がなかった点をお詫びしたい。これについては後日改めて紹介したいと思う。

文 献

- 1) 繊維学会；繊維便覧（原料編），I-4.2節，丸善（1968）
- 2) 堀川；基礎繊維工学〔I〕，5章，繊維学会（1965）
- 3) 宇野ら；オープンエンド紡績，4章，理工新社（1969）
- 4) 木下ら；高分子，14，1065（1964）；繊維工学，20，5（1967）；繊維と工業，1，416（1968）
- 5) W. E. Morton, J. W. S. Hearle; *Physical Properties of Textile Fibres*, Butterworths (1962)
- 6) T. Allen; *Particle Size Measurement*, Chapman & Hall (1968)
- 7) J. Crank; *The Mathematics of Diffusion*, Ch. XIII, Oxford (1956)
- 8) P. C. Carman; *Flow of Gases through Porous Media*, Butterworths (1956)
- 9) 妹尾；不可逆過程の熱力学序論，4～5章，東京化学同人（1965）
- 10) E. R. G. Eckert; *Introduction to the Transfer of Heat and Mass*, Mc Graw-Hill (1958)
- 11) E. H. Kennard; *Kinetic Theory of Gases*, McGraw-Hill (1938)
- 12) R. C. Reid, T. K. Sherwood; *The Properties of Gases and Liquids*, McGraw-Hill (1958)
- 13) 大川；化学物理，2章 輸送現象，オーム社（1969）
- 14) R. A. Swalin; *Thermodynamics of Solids*, John Wiley & Sons (1962)
- 15) S. T. Han, W. L. Ingmanson; *Tappi*, 50, 176 (1967)
- 16) R. P. Lalrecque; *Tappi*, 51, 8 (1968)
- 17) M. J. Denton; *J. Text. Inst.*, 55, T228 (1964)
- 18) B. R. Shelat, T. Radhakrishnan; *ibid*, 56, T340 (1965)
- 19) A. J. Ogden; *ibid*, 60, T164 (1969)

- 20) J. F. P. James, H. G. David; *ibid*, 60, T167 (1969)
- 21) J. F. P. James, H. G. David; *ibid*, 59, T585 (1968)
- 22) I. R. Edmons; *ibid*, 60, T161 (1969)
- 23) M. Greuel, F. Hadwich, H. J. Henning; *Textil-Praxis*, 23, 250 (1968)
- 24) H. J. Henning, D. R. Mckelvie; *J. Text. Inst.*, 60, T430 (1969)
- 25) J. G. Downes, R. Mackie; *ibid*, 60, T 547 (1969)
- 26) J. F. P. James, M. R. Bow; *ibid*, 59, T 485 (1968)
- 27) J. Prakash, R. L. N. Iyengar; *Text. Res. J.*, 35, 90 (1965)
- 28) J. G. Downes, D. R. Mckelvie; *J. Text. Inst.*, 60, T503 (1969)
- 29) D. Nicholson, J. H. Peteropoulos; *Brit. J. Appl. Phys.*, (ser. 2), 1, 1379 (1968)
- 30) W. M. Jones; *ibid*, 1, 1559 (1968)
- 31) R. M. Barrer, D. Nicholson; *Brit. J. Appl. Phys.*, 17, 1091 (1966)
- 32) P. Nordon, J. G. Downes; *J. Text. Inst.*, 56, T438 (1965)
- 33) F. W. Behmann, H. D. Meissner; *ibid*, 55, T205 (1964)
- 34) F. W. Behmann, H. D. Meissner; *ibid*, 55, T217 (1964)
- 35) C. G. M. Slessor, D. Cleland; *ibid*, 56, T 684 (1965)
- 36) B. Burtonwood, P. Grosberg; *ibid*, 59, T207 (1968)
- 37) R. Walser, R. S. Swenson; *Tappi*, 51, 184 (1968)
- 38) J. C. Chu, W. L. Kuo; *ibid*, 50, 405 (1967)
- 39) D. Sinclair; *ibid*, 50, 424 (1967)
- 40) R. Gertjeansen, R. Hossfeld; *ibid*, 50, 204 (1967)
- 41) N. L. Hancox; *Brit. J. Appl. Phys.* (ser.2), 1, 1769 (1968)
- 42) D. A. Rose; *ibid*, 1, 1779 (1968)
- 43) B. P. Hughes, I. R. G. Lowe, J. Walker; *ibid*, 17, 1545 (1966)
- 44) D. R. Paul; *J. Polymer Sci.*, (A-2), 7, 1811 (1969)
- 45) A. A. Burgeni, C. Kapur; *Text. Res. J.*, 37, 356 (1967)
- 46) A. R. Haly; *J. Text. Inst.*, 60, T403 (1969)
- 47) I. C. Watt, G. B. McMahon; *ibid*, 57, T 180 (1966)
- 48) J. Chabert, et al; *ibid*, 57, T157 (1966)
- 49) E. C. Rodwell, et al; *J. Text. Inst.*, 56, T624 (1965)
- 50) G. F. Fonseca, J. R. Breckenridge; *Text. Res. J.*, 35, 95 (1965)
- 51) G. F. Fonseca, A. H. Woodcock; *ibid*, 35, 909 (1965)
- 52) R. S. Hollies, H. Bogaty; *ibid*, 35, 187 (1965)
- 53) G. F. Fonseca; *ibid*, 37, 1072 (1967)
- 54) J. M. Davies, B. McQue; *ibid*, 35, 757 (1965)
- 55) E. E. Clulow, W. H. Rees; *J. Text. Inst.*, 59, T285 (1968)
- 56) D. G. McMaster; *Tappi*, 47, 796 (1964)
- 57) P. Nordon, N. W. Bainbridge; *J. Text. Inst.*, 58, T 429 (1967)
- 58) P. Nordon, A. R. Haly; *ibid*, 59, T209 (1968)
- 59) P. Nordon; *Text. Inst. Ind.*, 6, 277 (1968)
- 60) M. J. Casarella, P. A. Laura, M. Chi; *Brit. J. Appl. Phys.*, 18, 1327 (1967)
- 61) N. Y. Ölçer; *ibid*, 18, 89 (1967)
- 62) H. G. David, P. Nordon; *Text. Res. J.*, 39, 166 (1969)
- 63) D. R. Chaudharg, R. C. Bhandari; *Brit. J. Appl. Phys.* (ser.2), 1, 815 (1968)
- 64) R. S. Gambhir; *Brit. J. Appl. Phys.*, 18, 1773 (1967)
- 65) A. Melvin; *ibid*, 18, 1783 (1967)
- 66) S. T. Han; *Tappi*, 47, 782 (1964)
- 67) R. W. Nelson; *ibid*, 47, 752 (1964)
- 68) R. Estridge; *ibid*, 45, 285 (1962)
- 69) H. Meyer; *ibid*, 45, 296 (1962)
- 70) W. L. Ingmanson; *ibid*, 47, 742 (1964)
- 71) S. T. Han; *ibid*, 45, 292 (1962)
- 72) C. N. Davies; *Brit. J. Appl. Phys.* 18, 1787 (1967)
- 73) C. N. Davies; *ibid*, 18, 653 (1967)
- 74) A. C. Wells, A. C. Chamberlain; *ibid*, 18, 1793 (1967)
- 75) H. W. Pyne, R. B. Wilson, B. W. Soole; *ibid*, 18, 1177 (1967)

新刊紹介
A 5 判, 150 ページ

海外におけるニットの染色加工

定価 1200 円
送料 100 円

スイスの SVF および SVCC の機関誌 *Textilredlang* に特集されたニットの染色加工を全訳紹介する。
これはナイロン、アクリル、ポリエステル、の 3 大合繊はもちろん、綿、羊毛にわたり、各種ニット品の染色工場における実際的な最新の染色仕上げ技術が詳細に解説されている。

— 4 月末日刊行予定 —