文 献

- 1) 赤尾 晃 (1941) 家蚕の吐糸に関する研究 (I), 蚕試験報 10 (3): 189~227
  - 2) 橋本増治 (1941) 平板吐糸法の一考案, 衣笠蚕報 (421): 160~164
  - 3) 星野正三郎 (1935) 蚕の平面吐糸上族法の研究, 蚕糸界報 44 (518): 55~64
  - 4) 景山次郎 (1941) 平板繭, 蚕業の朝鮮 18 (12): 1~8
  - 5) 宮川千三郎 (1948~9) 平面繭繭糸繊維の性状について (I-II), 日蚕学誌 17 (3~4): 82~85, 18 (3): 157~160
  - 6) 中曾根長男 (1941) 平板上族の研究 (I-II), 蚕糸界報 50 (592): 25~28, 50 (593): 22~26
  - 7) 中曾根長男 (1941) 合理的平板繭取得方法について, 蚕糸界報 50 (598): 18~21
  - 8) 日本絹人絹織物史刊行会 (1959) 日本絹人絹織物史, p. 276~287, 婦人画報社
  - 9) 農林省蚕糸局 (1947) 養蚕に関する参考資料 p. 17
  - 10) 農林省蚕糸局 (1953) 蚕糸業要覧 (昭和 28 年度) p. 230
  - 11) 小野正武 (1942) 家蚕の吐糸に関する研究 (II), 蚕試験報 10 (8): 495~542
  - 12) 佐野利男 (1942) 平板上族蚕児落下防止並吐糸量増加方法について (要旨) 日蚕学誌 13 (3): 139~140
  - 13) 佐野利男 (1942) 平板上族蚕児落下防止並吐糸量増加方法について, 蚕糸界報 51 (600): 38~45
  - 14) 高瀬信友 (1941) 平板繭用円錐蚕座に関する試験, 蚕糸界報 50 (594): 34~38
  - 15) 宇貝尹蔵 (1942) 平板吐糸族器について, 蚕糸界報 51 (610): 49~52
  - 16) 渡辺綱男 (1939) 蚕繭類の新規利用について, 蚕糸 27 (370): 41~45
- (紙面の都合で一部だけを掲載した。)
- (昭和 51 年 9 月 20 日受理)

3.5 Kevlar を使った紙 (スピーカ)

市 川 秀 一

Kevlar を使った紙として, 実用化されているものに, スピーカ用コーン紙がある。コーン紙は図 1 に示すように, 電気信号を音に変換する振動板である。

繊維をベースにして構成された, コーン紙についての概要は, 本誌に報文¹⁾があるので, 本文は Kevlar をパルプに混合して作成したシートの物性, 並びに, スピーカ用コーン紙に応用する目的について述べる。スピーカがプログラムソースを忠実に再生する電気音響変換器であ

るとすれば, コーン紙はピストンの振動をすることが理想です。しかし, 現実の問題として, 一枚の振動板で, 可聴周波数帯域 (20~20000 Hz) 全般を, ピストンの振動でカバーすることは, 現状では困難なことであり, 実際にはピストンの振動領域と分割振動領域とを適当に選定して, 使用するのが普通である。つまり, ピストンの振動領域を拡大する努力が必要になる。

コーン紙のピストンの振動の上限は, コーン紙の形状, 大きさ, 厚さ, 材料物性により決定される。材料面よりみると, ピストンの振動の上限は, 材料の縦波伝播速度

$$\sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

但し, E : コーン紙のヤング率
 ρ : コーン紙の密度

に比例するので, この値を大きくする必要がある。コーン紙は縦波伝播速度以外に, 不要な振動を減衰させるために, 適当な内部損失が必要であり, かつ, スピーカの変換率を高めるために, コーン紙は軽量にする必要がある。

コーン紙を紙として考察してみる。紙の力学的性質はそれを構成する繊維自身の性質と繊維の集合状態, つまり, シートの構造的因子に支配される。

一般の高分子材料は, ミクロ的要素, すなわち, 分子, ミセルなどからなるのに反して, 紙ははるかに大きい要素, すなわち, 繊維の集合体として形成されている。つまり, 要素自身の变形, および要素の結合の性質は, 一

図 1 コーン型ダイナミックスピーカ

Modification of the Mechanical Properties of Paper
 by the Addition of Kevlar
 HIDEKAZU ICHIKAWA
 フォスター電機株式会社技術開発室次長

般の高分子材料と紙との場合で、非常に異なっているの
で、紙の力学的特性を変えるためには、繊維間結合のみ
ならず、単繊維物性の適性を検討する必要がある。

紙としての縦波伝播速度を大きくするためには、パル
プの縦波伝播速度よりも大きい伝播速度をもつ繊維を用
いる必要がある。

以上の考察より明らかなように、コーン紙に適した繊
維物性は、密度が小さく、ヤング率が大きいもので、か
つ、適当な内部損失を有するものがよい。これらを満足
するものとして、高モジュラスの有機繊維、Kevlar-49
Aramidはコーン紙に適した材料となる所以である。

Kevlar-49Aramid²⁾は試験的にPRD-49と呼ばれ、
デュボン社によって開発された超強度、超モジュラス有
機繊維である。そのヤーン特性を表1に示した。

Kevlar-49は比モジュラスにおいて、ガラス繊維と高
モジュラスカーボングラファイトとの中間である。一般
の紙に使用されているパルプのモジュラス³⁾($2.6 \sim 6.2 \times 10^6$ PSi)と比較すると、この繊維のヤング率は7~3倍
大きく、密度はパルプとほぼ同程度である。

パルプに混抄する場合、繊維は適当な長さに切断する
必要があるが、本繊維は切断が困難なため、切断の費用
がかかり、カーボングラファイトと同程度のコストにな
り、安い材料とはならない。

Kevlar繊維混抄紙の作成はPFIミルで、ベースパル
プを叩解後、本繊維を所定量添加し、JIS P8209によっ
て、シートを作成した。パルプ(Southern Pine)に対
する本繊維の添加量とシートの見掛け密度との関係を図
2に示した。

繊維の添加量と密度との関係は添加量を増すと、密度
は著しく低下する。この関係はベースパルプの叩解度
($16 \sim 33^\circ$ SR)、添加繊維の繊維長(2.5~5mm)によ
って多少変化する。本繊維の添加による密度の減少は、本
繊維とパルプとの結合力が弱く、かつ本繊維が高弾性を
有するために、添加繊維のスプリングバックの影響が表
われるものと思われる。

Kevlar-49(2.5mm)の添加量と裂断長との関係を図
3に示す。

添加量が増加すると、裂断長は低下する。しかし、ベ
ースパルプの叩解度が上昇すると、混抄の場合も、裂断
長は増加する。この現象はカーボングラファイト繊維の

表1 Kevlar-49 Aramidのヤーン特性

密 度	1.45 g/cc
フィラメント径	0.00047 in
モジュラス	19×10^6 PSi
比モジュラス	35×10^8 in

図2 添加繊維量と密度との関係

図3 添加繊維量と裂断長との関係

図4 添加繊維量とヤング率との関係

図5 スピーカの周波数特性(20 cm)

場合も同様であり、裂断長の値もほぼ同じ値を示す。

Kevlar-49(2.5mm)の添加量とヤング率との関係を図4に示す。

図4に示したヤング率は振動リード法により求めた値⁴⁾である。ヤング率の値は、添加量5~10%にピークを示す。

一般の紙のヤング率はHorio and Onogi⁵⁾の式

$$\log E = 1.94 \log \rho + 10.6$$

で示されるように、密度の二乗に比例する。しかし、Kevlarを混入した紙はこの式に従わない。つまり、Kevlarを混抄した紙は、裂断長、密度は添加量の増大と共にその値は減少するが、ヤング率は5~10%で最大値が得られるということである。このことは繊維の添加量と共に、シートの繊維間の結合量は低下するが、Kevlarのヤング率が大きいために生じる現象と思われる。

この特徴が、一般の紙に比較して、見掛け密度が低く、

ヤング率、内部損失を大きくしたいスピーカ用コーン紙に、Kevlarを使用する所以である。

最後に本繊維を混抄したコーン紙で作成された、スピーカの周波数特性を図5に示した。

図5はスピーカ口径20cmの特性を示したが、コーン紙は上記力学的性質のみならず、最近コーン紙の難燃化が要求されている。このような要求に対して、本繊維は耐炎性、自己消火性、耐熱性の面からも、コーン紙に適した繊維材料と思われる。

文 献

- 1) 根本悦郎, 織学誌, Vol. 32, No. 1, 17(1976)
- 2) デュボン社技術資料, (1973)
- 3) B. A. JAYNE, *TAPPI*, Vol. 42, No. 6, 461(1959)
- 4) 村岡一之, ラジオ技術, 9, 277(1974)
- 5) Horio and Onogi, *J. Applied Phys.*, 22, 971(1951).
(昭和51年9月20日受理)