報 文

一般報文

(昭和 56 年 9 月 3 日受理)

一軸配向綿繊維集合体の有効熱伝導度^{*1}

静岡大学工学部 野 飼 享・井原素三

EFFECTIVE THERMAL CONDUCTIVITY OF
UNIDIRECTIONALLY ORIENTED COTTON FIBER ASSEMBLY

By Tooru Nogai and Motozoo Ihara

(Faculty of Engineering, Shizuoka University,
Hamamatsu City, Shizuoka Pref., Japan)

The effective thermal conductivity both perpendicular and parallel to fiber axes (the former is named perpendicular arrangement and the latter is named parallel arrangement) of unidirectionally oriented cotton fiber assembly was measured, and was discussed in terms of the model analyses presented in previous papers.^{1),3)} The results gave the following conclusions.

(1) The experimental results show that the effective thermal conductivity for both perpendicular arrangement and parallel arrangement of unidirectionally oriented fiber assembly falls with the increase of the volumetric ratio until it reaches a minimum value. And it rises with further increase of the volumetric ratio. However, the rate of rise is very little for the case of perpendicular arrangement, but is large for the case of parallel arrangement. The volumetric ratio at the minimum of the effective thermal conductivity for the parallel arrangement is lower than that for the perpendicular arrangement.

(2) The value of the effective thermal conductivity for the parallel arrangement is larger than that for the perpendicular arrangement. This is expected due to the difference of the radiative heat transfer between fibers and a plate from the model analyses prescribed in the previous papers.

(Received September 3, 1981)

1. はじめに

繊維集合体のような空隙性物質では、伝導伝熱のみならず放射および対流伝熱が同時に生ずる。このような観点にたち、著者らはポリエステル繊維の一軸配向集合体の繊維軸に垂直方向(以後、垂直配置と呼ぶ)の熱移動機構の解明を試みた^{1,2)}。また前報³⁾において、一軸配向

繊維集合体の繊維軸に平行方向(以後、平行配置と呼ぶ)の有効熱伝導度を、放射伝熱を考慮したモデルによって解析した。これらの解析などから、一軸配向繊維集合体の有効熱伝導度に対して、放射伝熱とくに繊維と加熱面(または冷却面)との間の放射伝熱が大きく影響することが明らかになった。同時に、垂直配置と平行配置のそれぞれの場合の伝熱特性の相違も明らかになった。

上述の観点から、本報は綿繊維の一軸配向集合体の有効熱伝導度を垂直配置および平行配置のそれぞれについて測定し、綿繊維集合体の伝熱特性を明らかにするとともに、モデル解析により明らかになった垂直配置と平行

^{*1} この報文を「繊維集合体の有効熱伝導度に関する研究(第 5 報), Studies on the Effective Thermal Conductivity of Fiber Assemblies (Part 5)」とする。

配置の伝熱特性の相違を実験的に確かめることを目的として行われる。

2. 実験

本報における綿繊維の一軸配向集合体の有効熱伝導度は強化ガラス板を標準試料とする定常比較法に基づく測定装置によって測定される。この測定装置の詳細は別報²⁾に述べられている。

実験試料は綿繊維のカードあがりスライバで、それに適当なドラフトをかけた後、垂直配置の場合は別報²⁾と同様に、また平行配置の場合は試料室の高さ(約30mm)に合わせた長さに切断し、それを繊維軸が加熱(および冷却)面に垂直になるように注意深く挿入していく。

加熱面と冷却面の温度設定も別報²⁾と全く同じである。

3. 結果および考察

3.1 垂直配置の場合の有効熱伝導度

綿繊維の一軸配向集合体の繊維軸に垂直方向の有効熱伝導度の測定結果を図1および図2に示す。ここで図1は試料平均温度50℃(323.15K)における実測値を○印で、また別報¹⁾で述べられたモデル解析による計算結果を実線で示している。図2は20℃～70℃の温度範囲で10℃ごとに測定した実測値から得られた実験曲線を総括したもので、モデル解析による伝導伝熱成分を点線で同時に示してある。これらの図において、縦軸は有効熱伝導度を普通目盛で、横軸は体積率を対数目盛でそれぞれ表

Fig. 1 The experimental values of the effective thermal conductivity of the cotton fiber assembly for the case of perpendicular arrangement. (mean temperature: 50°C (323.15K))

The circles show the experimental values, and the solid line shows the theoretical curve calculated by the model analysis.

Fig. 2 The experimental curves at several temperature from 20°C to 70°C.

わしている。

図1および図2より明らかなように、別報²⁾で求められたポリエステル繊維の一軸配向集合体の場合と同様に、本研究の体積率範囲内において、有効熱伝導度はいずれの試料平均温度においても体積率が増加すると低下し、ある体積率において極小値を示し、さらにこの体積率より高くなると逆にわずかず上昇する。この有効熱伝導度が極小となる体積率は約0.02～0.04で、試料平均温度が高いほど高くなる。これは別報¹⁾のモデル解析により明らかにされた放射伝熱成分が、温度が高くなるほどその影響が大きくなるためであると考えられる。

3.2 平行配置の場合の有効熱伝導度

綿繊維の一軸配向集合体の繊維軸に平行方向の有効熱伝導度の測定結果を図3および図4に示す。ここで図3は試料平均温度50℃(323.15K)における実測値を○印および実線で、また前報²⁾で述べられたモデル解析による計算結果を点線で、さらに図1で得られた同温度の垂直配置における有効熱伝導度の実験曲線を一点鎖線で示している。図4は20℃～70℃の温度範囲で10℃ごとに測定した結果から得られた実験曲線を総括したものである。なおこれらの図の座標軸は図1と同じである。

図3および図4より明らかなように、前節の垂直配置の場合と同様に、平行配置の一軸配向繊維集合体の有効熱伝導度はいずれの試料平均温度においても、体積率の増加とともに低下し、ある体積率において極小値を示し、さらにその体積率を越えると逆に体積率の増加とともに上昇する。また試料温度が高いほど有効熱伝導度は高くなる。これらは前節および従来より言われている一般的性質^{3,4)}と一致している。しかし有効熱伝導度が極小となる体積率より高い領域におけるその増加の割合は明らかに垂直配置の場合より大きい。またその極小となる体

Fig. 3 The experimental values of the effective thermal conductivity of cotton fiber assembly for the case of parallel arrangement. (mean temperature: 50°C (323.15K))

The circles show the experimental values and the solid line shows the experimental curve. The dotted line shows the theoretical curve, and the dashed dotted line shows the experimental curve for the case of perpendicular arrangement.

Fig. 4 The experimental curves at several temperature from 20°C to 70°C.

積率は垂直配置の場合より低く、さらに平行配置の有効熱伝導度の値そのものも全体に垂直配置の場合より高くなっている。

3.3 モデル解析との比較

垂直配置における有効熱伝導度の実測値と別報¹⁾で与えられたモデル解析による結果とを比較すると、図1に示されるように、体積率約0.002~0.01の範囲でわずかに実測値がモデル値より高めになるが、全体としてかな

り良好な一致が見られる。これらの傾向は別報^{1,2)}で示されたポリエステル繊維の一軸配向集合体の場合と全く同様に考察できる。

これに対し平行配置の場合の有効熱伝導度は図3に示されるように、全体的にモデル解析値が実測値を上回り、特に体積率の高い領域で大きな相違がある。このような実測値とモデル値に差が生じる大きな原因の一つは、前報に示された繊維と加熱面または冷却面との間の放射伝熱の評価に基づくものであると考えられる。すなわちこの放射伝熱の解析に際し、簡単化のためのいくつかの仮定を用いたことである。その一つは繊維表面の温度を一定と仮定したことである。これによって高温あるいは低温になっている繊維表面部分における放射伝熱量に誤差が生ずる。一方形態係数の評価に際しての他の繊維の妨害を均一に取扱い、平均値を用いたことによって誤差を生じさせると考えられる。さらに繊維は面に完全に垂直な直円柱とし、またその配置についても理想的な配置として解析しているが、実験技術的に見て現実の実験試料をこのような理想的な状態にすることが困難であるため、その配列や形態などの乱れに基づく誤差にも依存すると考えられる。このことは垂直配置の場合にも考えられることであるが、両配置におけるモデル解析の手順の違いによって、特に平行配置の場合に大きく影響される。

3.4 配置の影響について

垂直配置の場合の有効熱伝導度と平行配置の場合のそれとを比較すると、図1~図4に示されるように体積率が約0.005~0.01以上の領域において両者間に大きな差が生じる。すなわち平行配置の場合ではこの領域において、体積率の増加とともに有効熱伝導度が極小値を経て急激に上昇するが、垂直配置ではまだ減少しており、体積率約0.02~0.03で極小値に達する。しかもこの前後の変化は非常にゆるやかである。また体積率約0.005以下の低体積率領域では、両配置とも定性的に同じ傾向を有しているが、数値的には平行配置の場合が垂直配置よりも高くなり、一般に言われている傾向⁶⁾と一致している。

上述の両配置間の相違の大部分はモデル解析^{1,3)}からも推定できるように、繊維と加熱面または冷却面との間の放射伝熱の性質に依存するものと考えられる。垂直配置におけるこの放射伝熱は体積率の増加とともに低下し、その影響が小さくなっていく。これに対し平行配置の場合では理論上体積率の変化にかかわらずほぼ一定値であり、高い体積率においても同等の影響を持つことになる。ここでこの解析結果に対して、3.3節で述べた誤差を考慮しても、高い体積率においてこの放射伝熱は平行配置の場合にかなり大きな影響を与えるものと考えられる。

4. む す び

本報において、綿繊維の一軸配向集合体の有効熱伝導度を垂直配置および平行配置の両者について測定し、前報などで得られているモデル解析による計算値との比較を行った。その結果、つぎの事項が明らかになった。

(1) 綿繊維の一軸配向集合体の有効熱伝導度はいずれの配置の場合においても、体積率の増加とともに低下し、ある体積率で極小値をとり、そこを越えると体積率の増加とともに上昇する。しかしその上昇の割合は垂直配置の場合非常に小さいのに対し、平行配置ではかなり急速に上昇する。また有効熱伝導度が極小となる体積率はいずれの試料温度においても、平行配置の方が低い。

(2) モデル解析による計算結果と本報の実測値を比較した結果、垂直配置の場合には両者にかなり良好な一致が得られたが、平行配置の場合にはモデル値がかなり実測値より高くなった。これは繊維と加熱面または冷却面との間の放射伝熱の評価に用いた各種仮定と実際とのずれによるものであると考えられる。

(3) 両配置間の有効熱伝導度の相違はモデル解析により予想され、繊維と加熱面または冷却面との間の放射伝熱に基づくものであることも明らかにされていたが、本

報の実測値からも、数値的には若干の誤差はあるが、予想通り垂直配置の場合より平行配置の方が高い有効熱伝導度を持つことが明らかになった。

最後に、本研究を進めるに当り有益な御助言を頂いた東京工業大学石川欣造教授、測定に御協力頂いた静岡大学卒研究生大箸克己、橋本一郎、藤田和巳の諸君、また実験用原料の提供を頂いた日清紡績株式会社浜松工場各位に感謝の意を表します。なお本報の数値計算に使用した電子計算機はMELCOM-COSMO700 (三菱電機株式会社製：静岡大学西部地区電子計算機室)である。

本報の内容は繊維学会昭和55年秋季研究発表会(昭和55年10月4日)および繊維学会昭和56年年次大会(昭和56年5月22日)での発表をまとめたものである。

文 献

- 1) 野飼 享, 織学誌, **36**, T-324, T-389(1980)
- 2) 野飼 享, 井原素三, 織学誌, **36**, T-427(1980)
- 3) 野飼 享, 織学誌, **38**, T-413(1982)
- 4) たとえば, 堀川 明, 「基礎繊維工学[V]」(日本繊維機械学会編), 日本繊維機械学会, p.278(1971)
- 5) E. Gardner, P. L. Grady, M. Mohamed, *Trans. ASME Ser. B*, **102**, 13 (1980)