

6.3 離散的フーリエ画像変換による繊維強化複合材料配向組織の定量

藤川 貴朗、村川 悟、増田 峰知

Structure evaluation of fiber reinforced materials
by Discrete Fourier Transform

Takao Fujikawa, Satoru Murakawa, Takanori Masuda

It is important that evaluation of oriented structure on fiber reinforced materials, however, which must be required long time.

In this paper, we attempt to evaluate the oriented structure by Discrete Fourier Transform. The image of structure that inputed from hi-density image analyzing system was processed by program which made by SPIDER Subroutine Package. The orientation of structure was able to evaluated from spectral density on polar angle direction. In order to check this program, typical image calculated from Monte Carlo simulation and injection molded fiber reinforced plastics were evaluated, we got good results. In addition, we find the stable effect of zone-pass filter about this evaluation.

Keyword

fiber reinforced materials, structure, orientation, Discrete Fourier Transform, hi-vision, Monte Carlo simulation, zone-pass filter

1. 結 言

繊維強化複合材料はその組織、すなわち、強化繊維の含有率、繊維長、配向などによって機械的性質やその他の物性が支配されている。そのため、この強化繊維を含んだ組織を、定量的に測定することが重要となる。特に、この組織的特徴のうち、繊維の配向を定量することが困難である。従来より、配向分布関数、Hermansらの配向係数¹⁾などの定量法が用いられているが、その定量には多大な作業を要するものである。現在では、画像解析装置によって繊維を分離抽出し、定量するソフトウェアも現れてきているが、まだ限定的な状況にのみ対応したものであるといえる。

ここでは、離散的フーリエ画像変換法を用いて、その組織を評価定量することを試み、²⁾作業の迅速化と、適用範囲を検討した。

2. 実験方法

2.1 離散的フーリエ画像変換の基本的性質^{3) 4)}

2.1.2 光学的フーリエ変換について

フーリエ変換は2次元画像 $f(m, n)$ に対して、

$$F(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{m=-\frac{M}{2}}^{\frac{M}{2}-1} \sum_{n=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}-1} f(m, n) e^{-2\pi i (\frac{mu}{M} + \frac{nv}{N})} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $u = 0, 1, 2, \dots, M-1$, $v = 0, 1, 2, \dots, N-1$ で定義される。

項 $\exp\{-2\pi i (\frac{mu}{M} + \frac{nv}{N})\}$ が、 x 方向に $\frac{M}{u}$ 、 y 方向に $\frac{N}{v}$ の空間周期を持つとみると、 $F(u, v)$ はそのパターン成分が $f(m, n)$ にどのくらい含まれているかを示すものと考えられる。

例えば、画像 $f(m, n)$ に x 方向の周期 L の特性が図1のように存在しているとすれば、 $F(u, v)$ は、 $u_0 = \frac{M}{L} \cos \theta$ 、 $v_0 = \frac{N}{L} \sin \theta$ 付近に高い値を持つ。

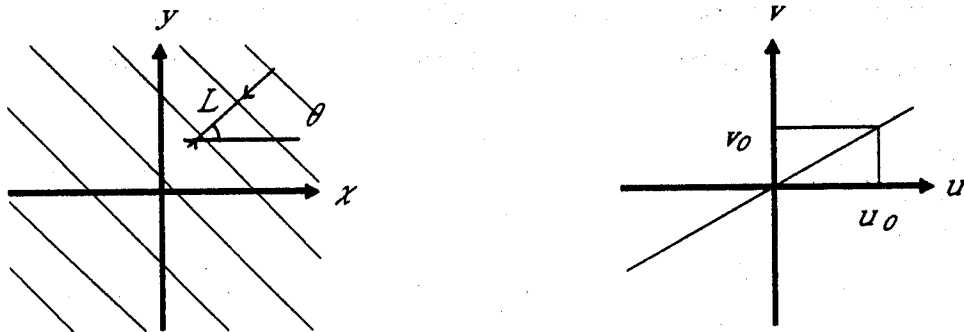


図1 フーリエ変換の基本的性質

2.1.1 画像の特徴量の解析

ここでさらに、 $|F(u, v)|^2$ はパワースペクトルと呼ばれ、画像 $f(m, n)$ に含まれる $\frac{M}{u}$ 、 $\frac{N}{v}$ の周期性の割合を表す。光学的フーリエ変換の場合には、図2のように、周波数原点を中央に持ち、中央が低周波成分、外側が高周波成分となる。

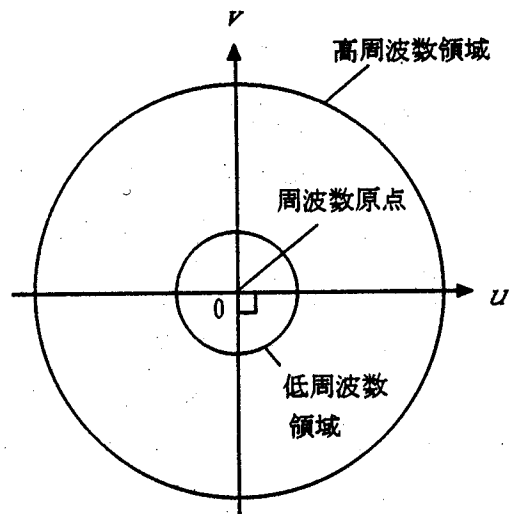


図2 光学的フーリエ変換

周波数画像を図3のように斜線部を積分することにより、半径、角度分布を解析すると、

$$Pr(n) = \Sigma |F(u, v)|^2 \dots \dots \dots (2)$$

領域 R について

$$P\theta(n) = \Sigma |F(u, v)|^2 \dots \dots \dots (3)$$

領域 L について

の特徴量が得られ、 $Pr(n)$ は原画像の周期性、 $P\theta(n)$ は方向性を表す。

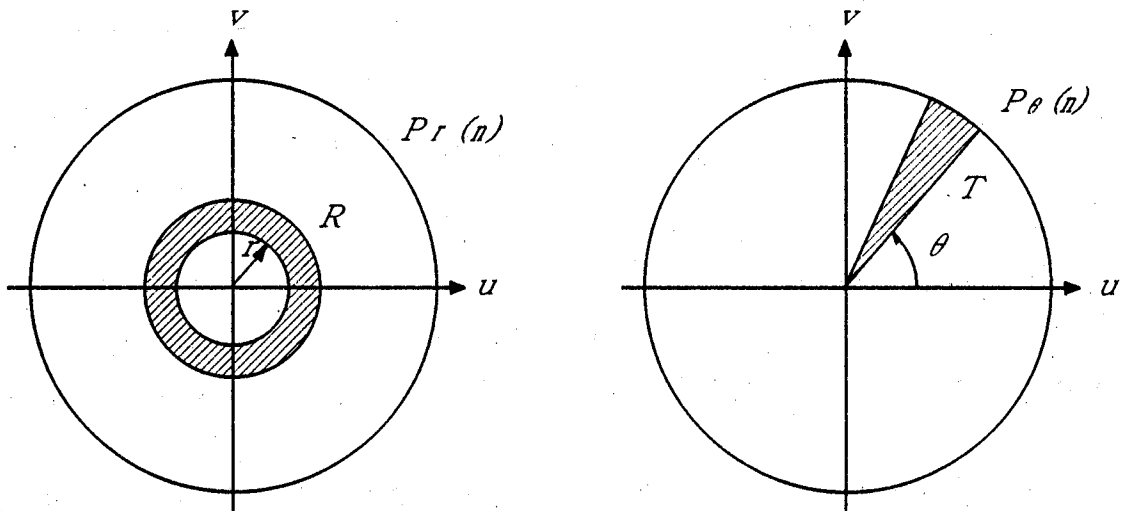


図3 画像の特徴量の解析

2.1.3 フィルタリング

2次元画像では、雑音除去やシェーディング補正、周期性の強調などにフィルタリングが行われるが、周波数画像 $F(u, v)$ 上では、それがフィルタとの単なる乗算になる。

2.2 画像解析システム

解析に使用したシステムブロック構成を図4に示す。金属顕微鏡または実態顕微鏡画像をハイビジョンCCDカメラで入力し、画像サイズ1920×1035、256階調で、デジタル化する。画像処装置本体は6枚のフレームメモリをもち、一般的な画像処理ルーチンとフーリエ画像変換機能を、付属のパーソナルコンピュータからコントロールできる。画像記録には光ディスクを、出力にはビデオプリンタを用いた。また、イーサネットを介して、UNIXワークステーション（処理速度25MIPS、メインメモリ64Mバイト）と接続しており、画像をワークステーション側に転送して、ここでもフーリエ画像変換とデータ処理が行える。本報では、画像を画像処理装置から入力し、ワークステーション側で、開発したプログラムにより処理した。

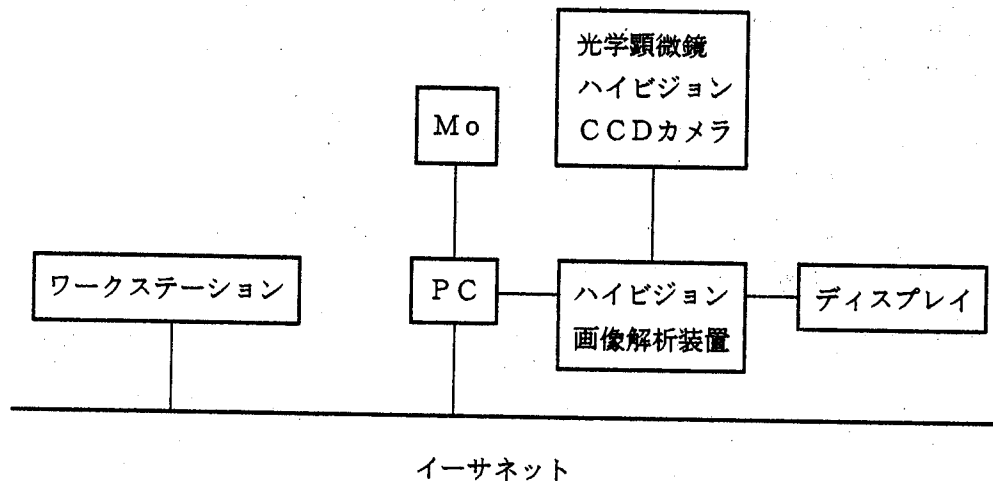


図4 システムブロック構成図

2.3 開発環境と解析プログラム

プログラム開発はC言語及びFORTRANを用い、画像処理サブルーチンSPIDER⁵⁾を使用した。フーリエ画像変換を行う画像サイズは、1024×1024、512×512とした。

画像の表面処理その他はX-Window環境上で実行するよう、ツール類を併せて作成し、最終的なデータは統計処理言語S上で処理する。

図5に開発したプログラムのフローチャートを示す。画像をファイルから入力した後、NTSC画像の場合は不完全データのカットなどの前処理をおこなう。基数2の2次元離散的フーリエ変換（光学的）を行い、パワースペクトルを計算する。ここで、帯域透過フィルタをかけ、シェーディング補正や、不必要な直流成分、また、CCDカメラのスキヤン時に生じる横方向のにじみなどの高周波成分を除去する。

画像の特徴量の解析は、半径、角度方向のパワースペクトルの強度分布を求めて行う。ここでの量子化レベル数は100または180とした。強度分布をテキストで、パワースペクトルを256階調で出力して終了する。

強度分布のデータは統計処理言語Sのオブジェクトに変換しデータの検討を行った。

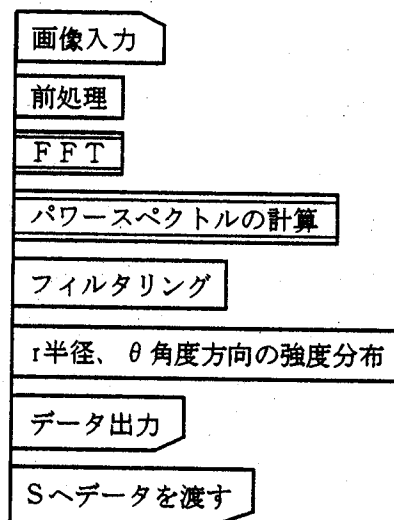


図5 開発したプログラムのPAD図

3. 解析結果

開発したプログラムの実行時間は、 1024×1024 画像の場合で、約180秒、その内FFTの実行時間は90秒であった。

3.1 モンテカルロシミュレーションによる模式画像の解析

開発したプログラムの特性を検討するためモンテカルロシミュレーション⁶⁾による模式画像の解析を行った。図6に配向係数 f_p を変化させた画像の解析結果を示す。配向係数の違いは、周波数画像の角度方向の強度分布によってよく定量されており、この手法が十分正当性を持つことがわかる。また、画像四辺の輪郭部の影響が強度分布に現れるなど、本プログラムの解析結果が敏感に画像特徴をとらえていることが明らかになった。

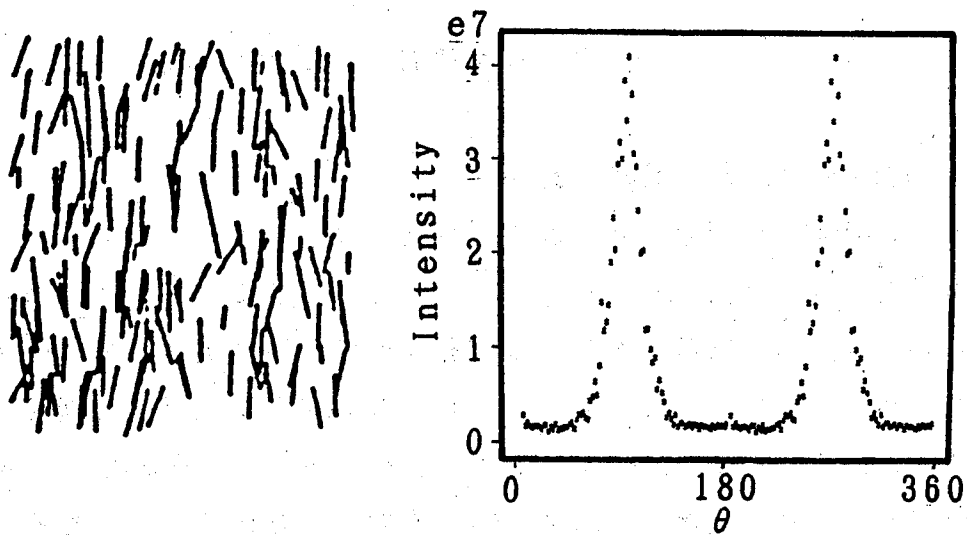
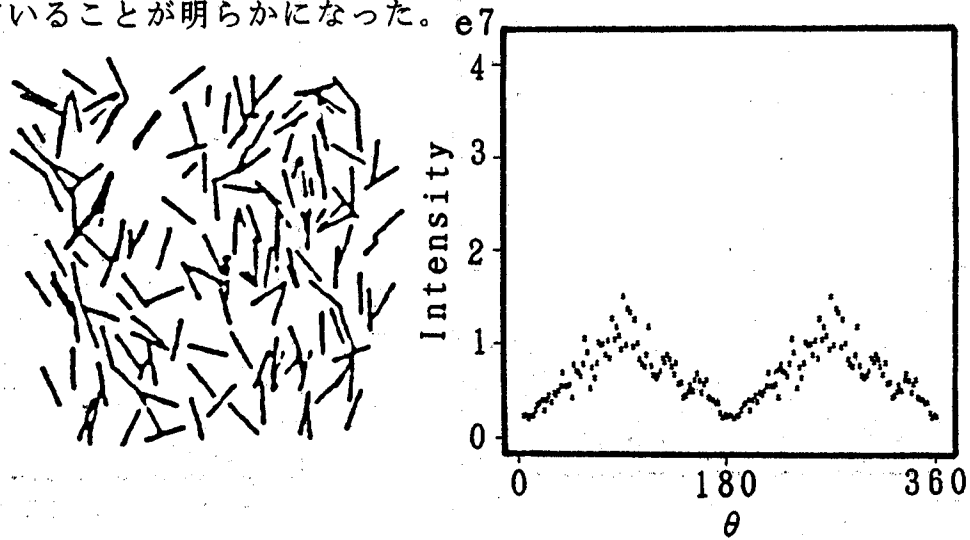


図6 モンテカルロシミュレーションによる模式画像の解析結果

3.2 帯域透過フィルタの効果

入力した画像のシェーディング補正や、繊維配向の評価に不必要な直流成分、また、CCDカメラのスキャン方向への画像にじみ、画像処理装置のノイズによる高周波成分などの、ここでは評価から除外したい成分の除去のために、周波数画像に帯域透過フィルタをかけることを試みた。図7にフィルタの効果を示す。

角度方向の強度分布はフィルタをかけることによって安定し、より正確な評価ができた。

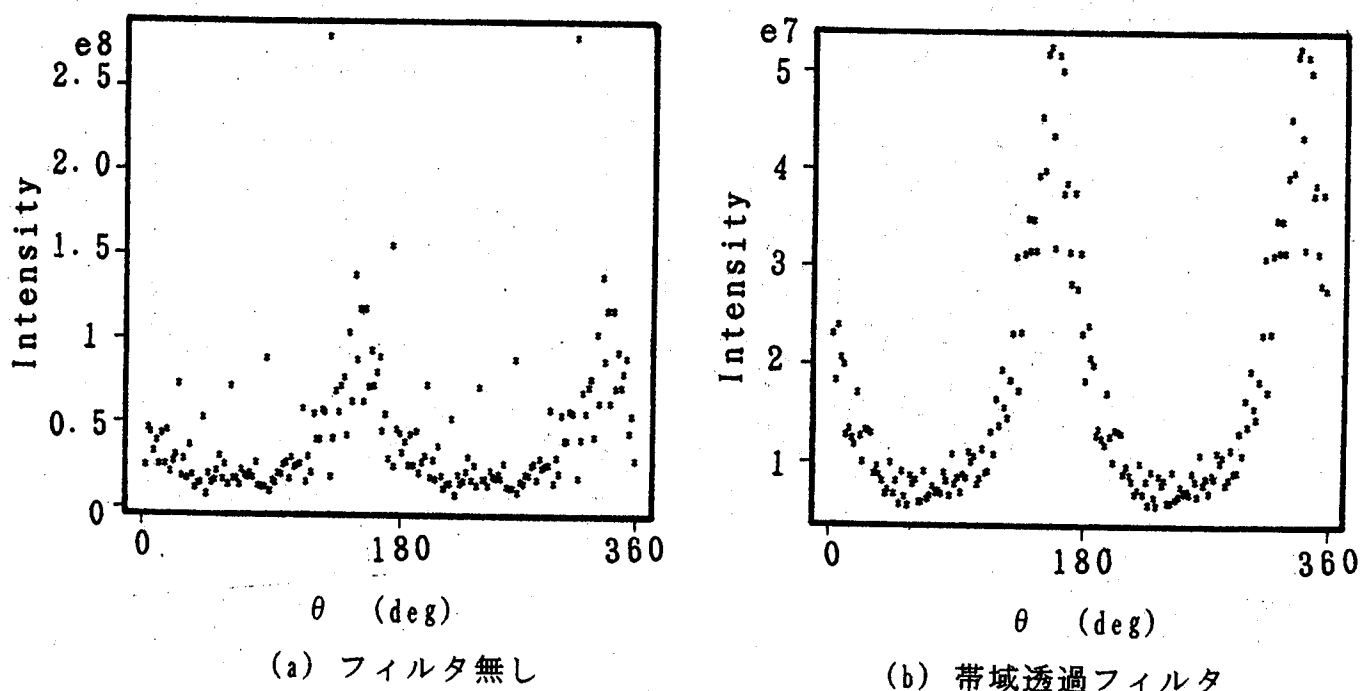
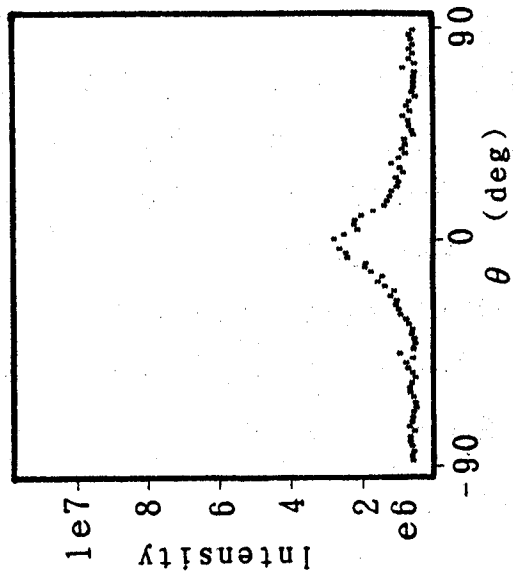
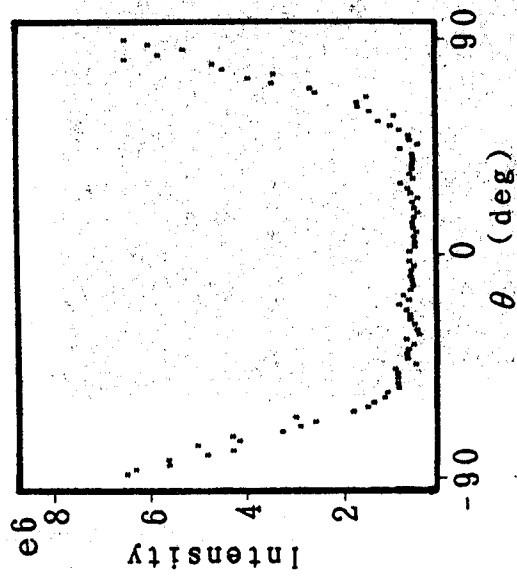
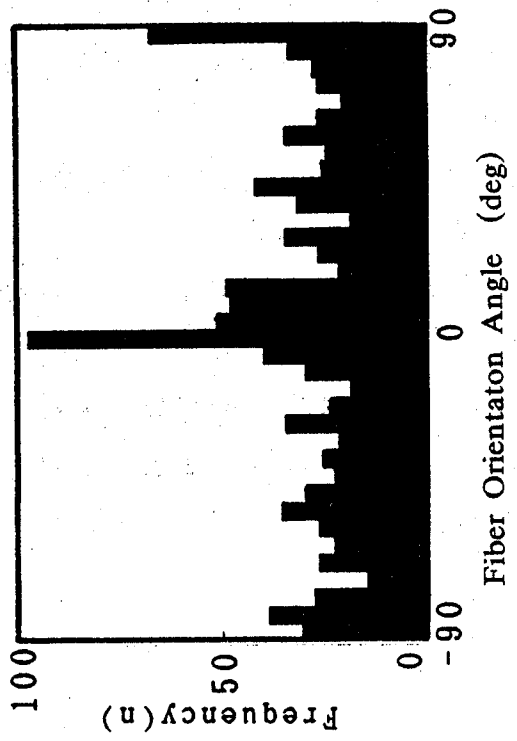
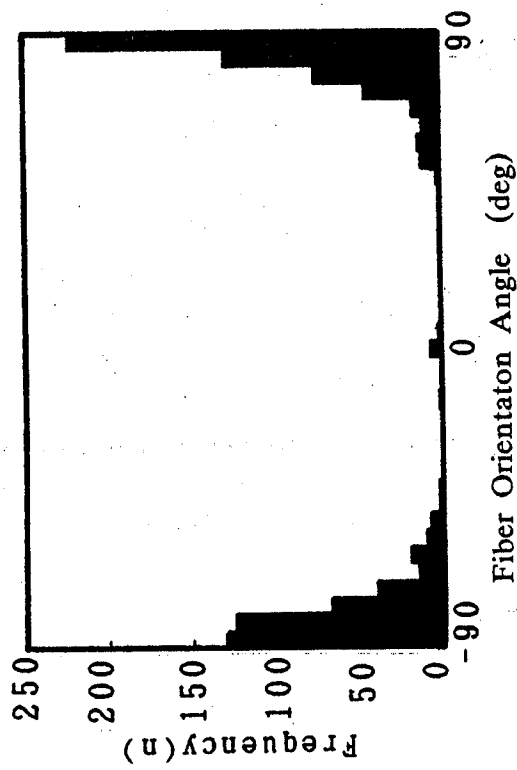


図7 帯域透過フィルタの効果

3.3 射出成形FRP組織の評価

実際の繊維強化複合材料の配向の評価対象として、プラスチック射出成形FRP組織をとりあげた。解析を行った材料は、ポリカーボネイト樹脂、カーボン繊維の射出成形品である。強化繊維の配合比は1%（重量）で、画像処理用に低く押さえたものである。これを薄片にし、顕微鏡観察を行った画像について、画像処理装置上で目視により繊維をピックしその傾きから繊維配向を測定したものと、直接フーリエ画像変換した角度方向の強度分布を比較する。図8にその比較結果を示す。両者はよく一致しており、繊維をピックすることの作業が多大な時間を要することから、フーリエ変換による評価には十分な実用性があるといえる。



フーリエ画像変換による解析結果 試料 (a)

フーリエ画像変換による解析結果 試料 (b)

図8 射出成形FRPの繊維配向の測定

3.4 繊維の分離が困難な画像についての評価

金属基の複合材料を製造する場合、あらかじめ繊維を所定の形状にセットし、後から熔融した金属を浸透複合させる方法⁸⁾がある。この繊維の予備的な成形体をプリフォームという。ここでは、チラノ短繊維を水に分散させ、吸引ろ過して成形したプリフォームの繊維配向組織の評価を試みた。

繊維の固定にはエポキシ樹脂を用い、これを薄片にして、透過光で観察した。画像は、繊維の体積率が高いことと、透過光による観察であることから、個々の繊維の分離が困難である。このような画像に対しても図9に示すように、問題なくその配向が評価できることがわかった。

繊維強化複合材料の組織においては、組織の配向と同時に、繊維長も重要な評価項目である。フーリエ変換による画像評価においては、周波数画像上で半径方向の強度分布に繊維長に関するパラメータが現れる。このパラメータの抽出が今後の検討課題となった。

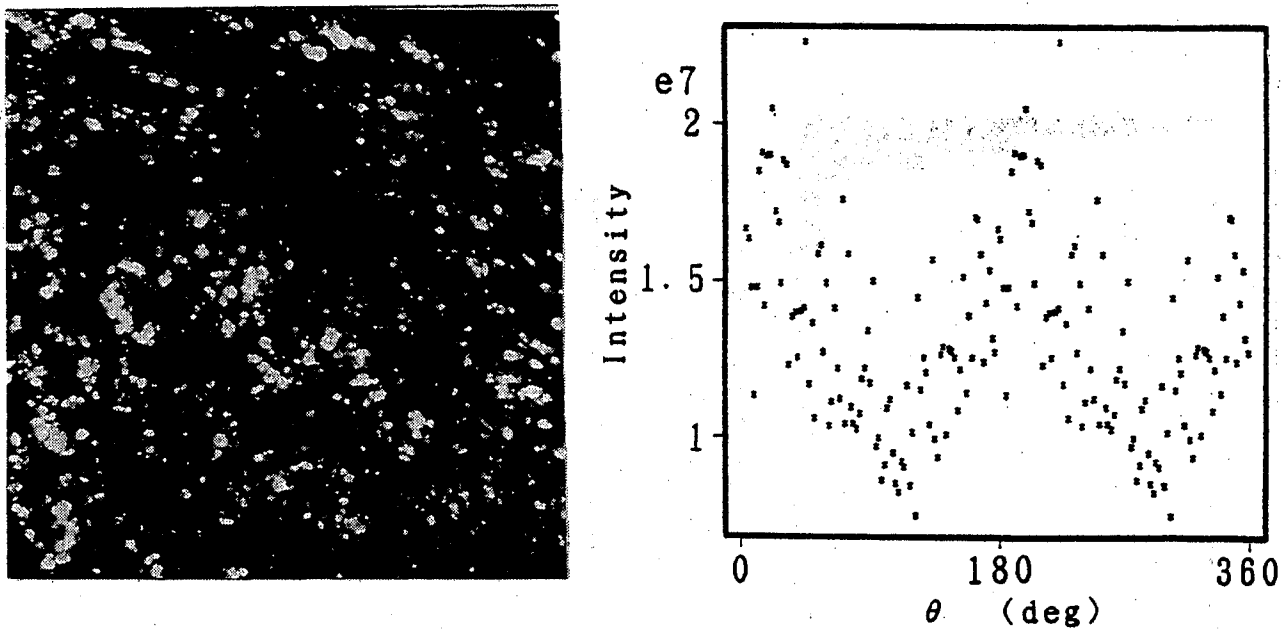


図9 繊維の分離抽出が困難な画像の解析

3.5 鑄鉄組織への応用

本研究で開発したプログラムで鑄鉄（特にFC）の組織解析を試みた。周波数画像上で、半径方向の強度分布によって評価した結果を図10に示す。強度分布

に現れるピークの位置と高さが、組織の形態を示し、このパラメータでF Cの組織を整理することを続けて検討したい。

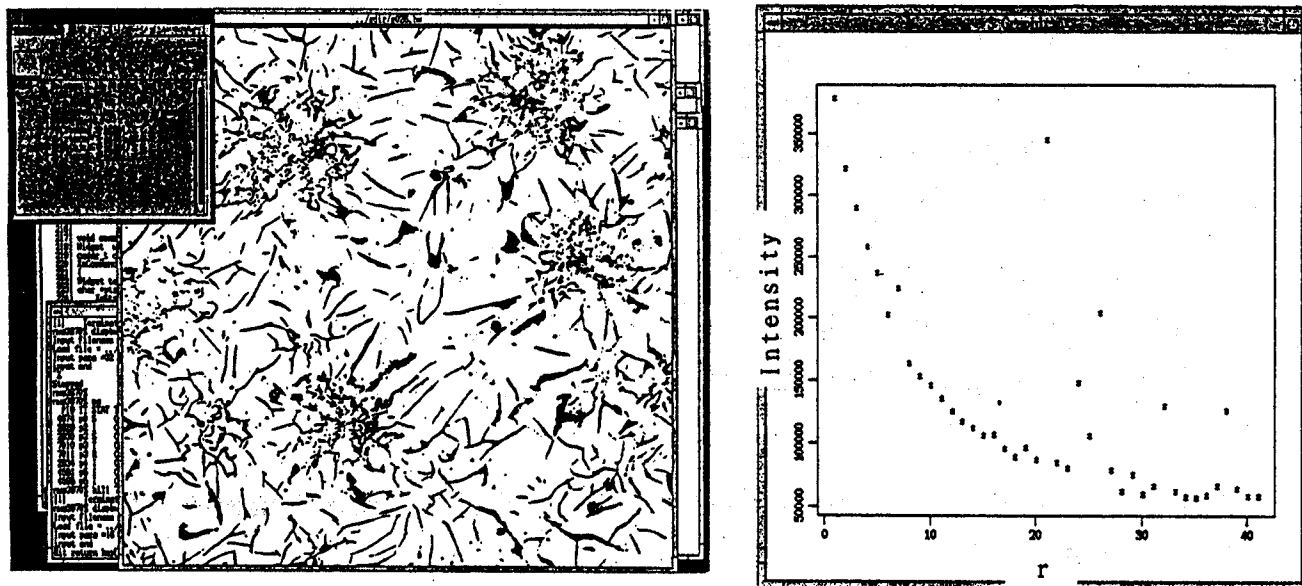


図 1 0 鑄鉄の組織の評価結果の例

4. 結 言

繊維強化複合材料の配向組織を分散的フーリエ画像変換によって評価定量することを、ハイビジョン画像処理システムで検討した結果は、以下の通りであった。

- 1) 繊維強化複合材料の配向組織は、光学的フーリエ画像変換のパワースペクトルの角度方向の強度分布によって評価できる。
- 2) モンテカルロシミュレーションによる模式画像を解析して、得られた結果は十分な正当性をもつ。
- 3) 周波数画像に対して、帯域透過フィルタをかけることによって、より安定した評価が行える。
- 4) 実際のFRP組織において、目視の配向分布測定結果と、パワースペクトルの角度方向の強度分布はよく一致した。
- 5) 開発したプログラムの実行時間は約180秒であり、作業時間を大幅に短縮できる。
- 6) 本手法は繊維の分離が困難な画像についても適用可能であり、さらに画像一般の方向性、周期性の評価に応用できる。

参 考 文 献

- 1) P.H.Hermans. Contributions to the physics of Cellulose Fibers. Elsevier, Amsterdam. (1946)
- 2) 舟窪、新山. 軽金属. 40(6), (1990)445
- 3) A.Rosenfeld, A.C.Kak 長尾他訳. デジタル画像処理 14(1978)
- 4) 田中弘. 画像処理応用技術. 62(1989)
- 5) 'SPIDER USER'S MANUAL'. (1982)
- 6) M.J.Bozarth. Polymer Composites. 8(2), 74(1987)
- 7) 田中、西川. 三重県工業技術センター報告. 15(1991)5
- 8) 柴田他. 三重県金属試験場業務報告. (1990)19

本研究は、日本自転車振興会から競輪収益の一部である機械工業振興資金の補助を受けて実施したものである。