

ファジー推論を用いたデンドライト主軸間隔測定

鈴木 宏^{*1} 田中俊行^{*2} 瀧澤弘二^{*3} 大塚直人^{*4} 伴野雄大^{*5}

Measurement of Primary Dendrite Arm Spacing using Fuzzy Inference

SUZUKI Hiroshi, TANAKA Toshiyuki, TAKIZAWA Kouji,
OTSUKA Naoto and TOMONO Yudai

So far, the measurements of the primary dendrite arm spacing have been carried out by average area method or Fourier transform method. These methods, however, have the difficulty for quantitative determination of the distribution of the arm. This paper presents the measurement system that infers primary dendrite arm spacing automatically. This system measures the number and distribution of the spacing quickly and correctly. In this system, we used the templates which consist of + points and are assumed that the dendrite arm changing density and distribution. This method has used the pattern matching by the fuzzy inference for the comparison data of a template and a measurement image.

キーワード: フーリエ変換, ファジィ推論, パターンマッチング, 材料, 結晶, 画像処理

1. はじめに

近年コンピュータの急速な発達により、応力・歪みなどの力学解析や設計・シミュレーションによる材料強度の評価などの構造力学の分野に加え、画像処理による材料の欠陥・亀裂の測定・破面・腐食面の解析や結晶粒の解析などの材料研究分野においても計算機は多く利用されてきている。特に画像処理技術は、材料評価の研究における重要性が極めて高いものとなっている。

この材料研究分野において、デンドライト（樹枝状晶）の成長理論は、与えられた凝固条件下において先端形状や先端温度などの基本的性質を予想することができるが、凝固組織や偏析形状を理解するために必要な配列や主軸間隔の測定は、条件による配列形態の変化などの複雑さにより困難である。このため、通常は平均面積法・フーリエ変換法などが考えられてきた。

本論文は、画像処理技術を鋳造による合金のデ

ンドライトの顕微鏡写真に適用して、結晶の主軸間隔計測を行った。フーリエ変換法では、定量的に主軸の分布を測定することは困難であった。そこでテンプレートパターンマッチング法を採用することにより、主軸間隔計測を考える。テンプレートは数多く用意するほど、より正確なマッチングができるが、どのテンプレートに何%の適合しているかを、ファジー推論より推定することで、より少ないテンプレートでより正確に主軸間隔を定量的に表すことができる。

2. テンプレートパターンマッチング

2.1 デンドライト結晶について

デンドライト（樹枝状晶）とは、雪の結晶のように中心の軸から多くの軸が、規則的に放射状に伸びている結晶構造をいう。金属のデンドライトは、結晶軸が直角に伸びているものが多く、顕微鏡写真（図1参照）は、結晶が「+」の形に見える。この+と+の間隔（主軸間隔）を求めることで、先端形状や先端温度などの基本的性質を予想することができる。

*1 電子制御工学科助教授

*2 平成10年度卒業生

*3 平成12年度卒業生（現：山形大学大学院学生）

*4 平成13年度卒業生（現：パイオニア（株））

*5 平成14年度卒業生（現：ネクストウェア（株））

原稿受付 2003年5月20日

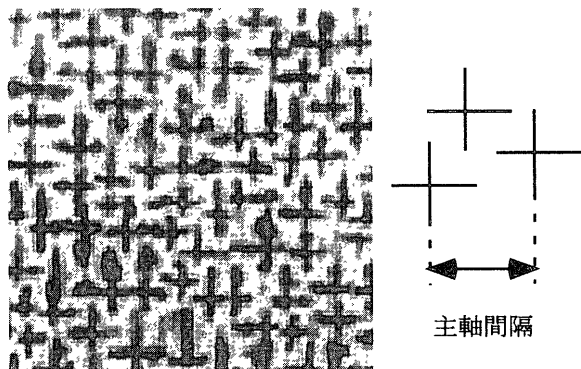


図 1: デンドライト結晶の原画像

2.2 テンプレートについて

図 1 の画像の 2 次元フーリエ変換を図 2 に示す。この図より定量的に主軸間隔を求めることは困難であるため、多くのテンプレートを用意しそれと比較して間隔の定量化を考える。すなわち主軸点数やばらつきの度合いの異なる画像パターンを用意し、それをテンプレートとして、測定された実際の顕微鏡写真とのパターンマッチングを行う。

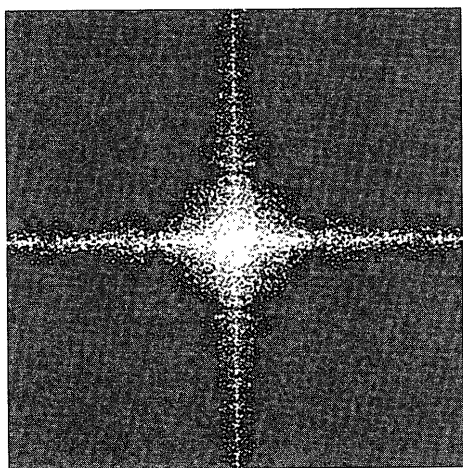


図 2: デンドライト結晶のフーリエ変換画像

テンプレートは、図 3 に示すように、主軸を+点に見立て、点数と分布状況の変化を、+点が均等に疎から密に分布する画像(図 3 の縦方向: Number of + point)と、規則的からランダムに分布する画像(図 3 の横方向: Regularity of distribution)の組み合わせで、様々なものを作成した。

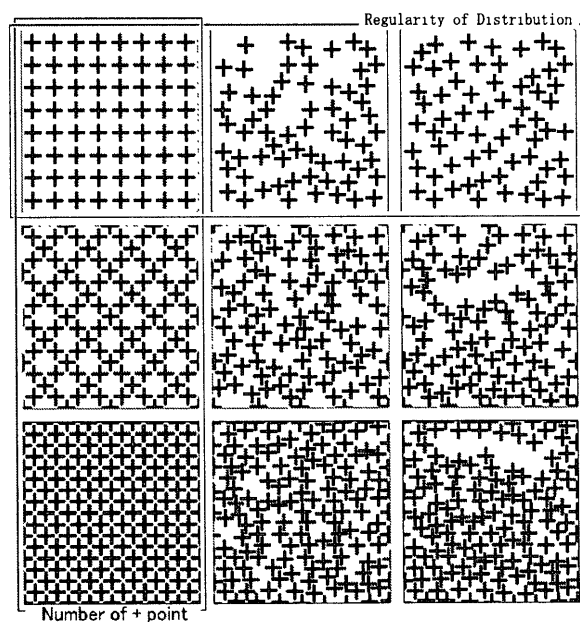


図 3: テンプレート画像

この画像をそれぞれ 2 次元フーリエ変換し、その結果より、均等に+点が疎に分布している画像は、+点が密になるにしがって、中心部に集中していた分布が高周波領域(画像の中心より離れる)に広がっていき、規則的からランダムになるにしたがって、ピーク値が高くはっきりしていた分布が裾野が広がり、フーリエ変換画像がぼやけだすという特徴が分かる。

しかし、テンプレートのフーリエ変換画像も情報が多くマッチングには適さないため、テンプレートのフーリエ変換画像を情報圧縮し、2次元情報として画像情報を簡素化し、画像の主軸点数やばらつきの度合いを求めることを考える。

すなわち図 4 に示すように、画像を X 軸方向にすべて代数的に足し合わせ、また同様な作業を Y 軸方向でも行い、それら計算された 2 つのデータをさらに足し合わせて、テンプレートのフーリエ変換画像を特有の 2 次元情報とした。周波数分布をデータ圧縮した各テンプレートの 2 次元情報を図 5 に示す。

図 5 の 2 次元情報は、図 3 のテンプレートと同様に、縦方向が+点が均等に疎から密に分布する画像で、横方向が規則的からランダムに分布する画像で、各々図 3 に対応している。

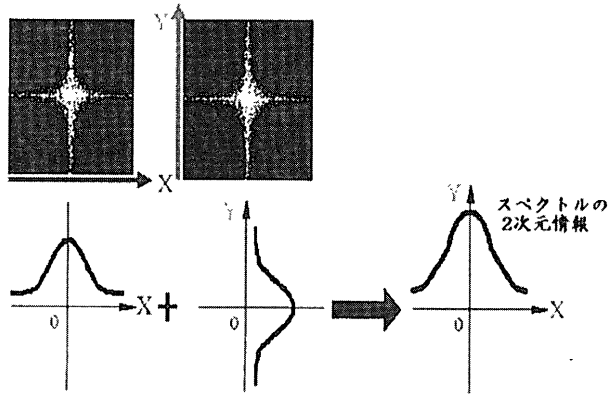


図 4: 周波数分布の2次元情報化

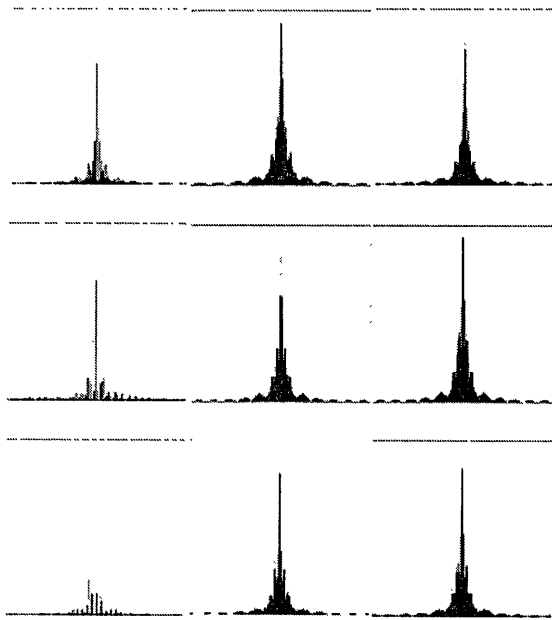


図 5: テンプレートの2次元情報

2.3 パターンマッチング

テンプレートと測定された画像のパターンマッチングの方法として、3つの値でのマッチングを考える。第1に画像信号の全パワー（すべてのデータを足し合せた値）より、画像の点数のマッチングを行う。画像は2値化画像とし、また結晶の大きさは大小はあるものの平均すればテンプレートの大きさとほぼ同程度と考え、全データを足すことで画像中で主軸がしめる割合が把握でき点数のマッチングができると思った。また2次元情報の分散値と最大値を、図6に示すように、最大値は分布の最大値を、分散値は単に統計的な標準偏差を採用した。この2点から画像の分布状況のマッ

チングができると思った。これらの手法により求めたテンプレートの2次元情報の全パワーと分散値・最大値を表1(a)~(c)に示す。分散の割合1~3は、図3および図5の横方向であるラングムの度合いを表すもので数値が高いほどランダムであり、低いと規則正しいとした。

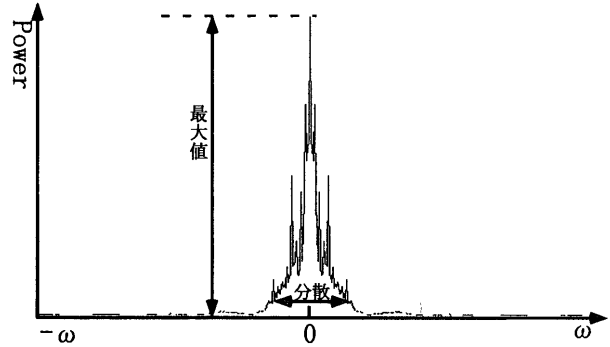


図 6: 2次元情報の最大値と分散値

表 1: テンプレートの2次元情報

(a) 全パワー

	+点の数		
	64	96	128
全パワー	57600	86348	115200

(b) 最大値 (×10⁶)

最大値		分散の割合		
		1	2	3
+点の数	64	8543.67	1878.15	1451.16
	96	5740.70	1538.27	1449.67
	128	7591.17	2528.70	2396.55

(c) 分散値

分散値		分散の割合		
		1	2	3
+点の数	64	1355.23	1355.70	1355.70
	96	1593.11	1582.18	1576.01
	128	1886.26	1869.29	1849.72

3. ファジー推論を用いたマッチング

少ないテンプレートでより正確にマッチングを行うために、ファジー推論を用いてテンプレート

と測定画像とのマッチングを考える。

表 1 をもとに、主軸数を求める多重ファジー推論を以下のようにした。

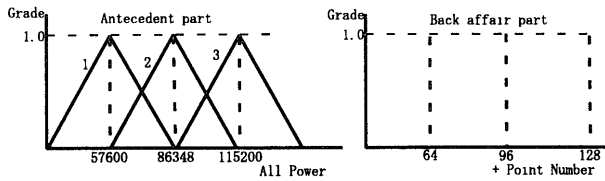
if $X_1=57600$ then $Z_1=64$

if $X_2=86348$ then $Z_2=96$

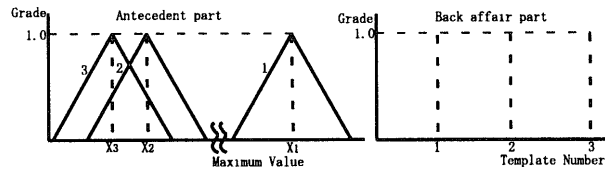
if $X_3=115200$ then $Z_3=128$

またばらつきを求める多重ファジー推論を主軸数ごとに同様に定義した。

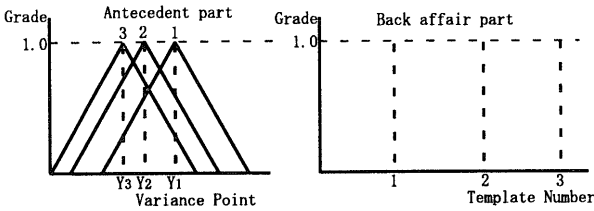
この多重ファジー推論をもとに最も簡単である三角ファジー集合を用いてメンバーシップ関数を図 7 (a)~(c) のように作成した。



(a) 主軸数によるメンバーシップ関数



(b) 最大値によるメンバーシップ関数



(c) 分散値によるメンバーシップ関数

図 7: 各メンバーシップ関数

後件部の処理では、非ファジー化を行い結果を定量的に表現する。主軸数の算出を行うメンバーシップ関数の後件部は、そのまま重心を求め、ばらつきを算出する 2 次元情報の最大値と分散値によるメンバーシップ関数の 2 つの後件部は、個々のテンプレートで論理積演算し、その重心を求めた。それぞれの重心を求める方法として、max-min 重心法、代数積加算重心法、簡略化推論法などがあるが、今回は簡略化推論法を用いて重心を求めた。

4. 解析結果

図 1 に示した測定画像の各パラメータは、以下のように計算された。

画像信号の全パワー = 87888

2 次元情報の最大値 = 1563.634×10^6

2 次元情報の分散値 = 1479.6958

これにファジー推論を用いて主軸数とそのばらつきを求める。

全パワーの 87888 を図 8 の入力値 A として主軸数を求めるメンバーシップ関数に入力すると、後件部の主軸数 96 個と 128 個の部分にそれぞれのグレードが立つ (図 8 の太線)、この後件部の重心 (この場合主軸数) を算出すると、103 個と判断できる。

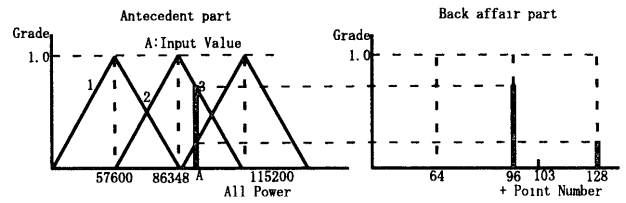


図 8: 主軸数のメンバーシップ関数

同様に 2 次元情報の最大値と分散値をそれぞれのメンバーシップ関数に入力する。ただしこのとき主軸数は 96 個に近いことが前段で分かっているため、主軸数が 96 個のばらつきを求める多重ファジー推論から作成したメンバーシップ関数を用いる。

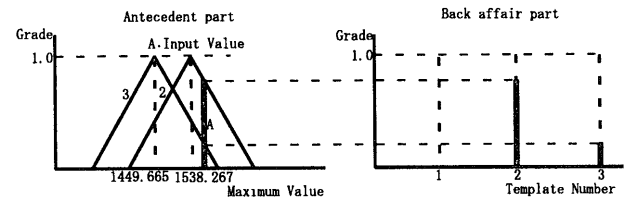


図 9: 最大値のメンバーシップ関数 (主軸数 96)

図 9 と図 10 の後件部を論理積演算し、その重心を図 11 のように算出すると、2.56 となる。

以上より、

結晶の数 = 103 個

画像のばらつき = 2.56

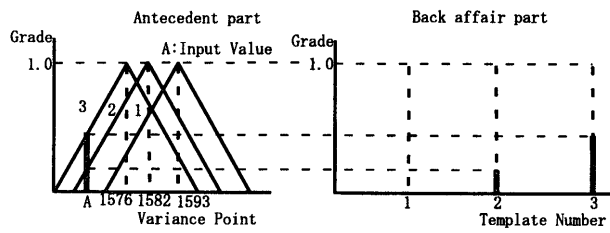


図 10: 分散値のメンバーシップ関数 (主軸数 96)

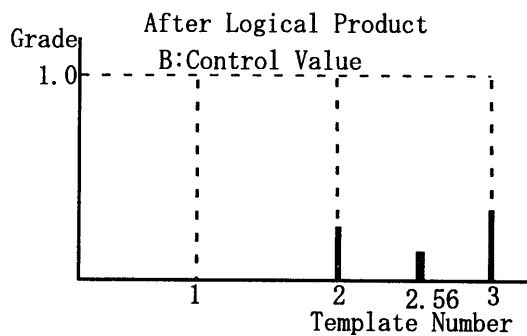


図 11: 後件部の論理積積後のメンバーシップ関数

テンプレートデータとの適合率

- ばらつきパターン1 0%
- ばらつきパターン2 43.7%
- ばらつきパターン3 56.3%

と求められた。これにより定量化ができたといえる。

5. おわりに

デンドライトの結晶画像の2次元フーリエ変換を2次元情報の圧縮データとし、そのデータをファジー推論を用いて、テンプレート画像の2次元情報とでパターンマッチングさせ、定量的に主軸間隔を表すことができた。

本手法は、デンドライトの結晶写真に対象を絞って内部処理を行っているが、結晶写真それらの特徴を定量的に求める処理は、材料解析で重要なことであり、同じ手法で他の結晶評価が可能であると考えられ、本手法のさらなる応用が期待でき、有効な手段であるといえる。

この一連のシステムは、自動化されており、スキャナーで読込んだ画像を選択するのみのみで、2値化処理・2次元情報へのデータ圧縮・ファジー推論を用いた定量化・結果の出力まで行える。

なお、本研究およびシステムの構築は、平成10・12・13・14年度に卒業研究で行われたものである。

参考文献

- [1] 田中俊行, 鈴木宏:デンドライト主軸の自動測定システムの開発, 日本機械学会北陸信越学生会第28回学生員卒業研究発表講演会講演論文集, 講演番号312, 1999.
- [2] 瀧澤弘二, 鈴木宏:デンドライト主軸間隔の測定システムの開発, 日本機械学会北陸信越学生会第30回学生員卒業研究発表講演会講演論文集, 講演番号405, 2001.
- [3] 大塚直人, 鈴木宏:デンドライト主軸間隔測定システムの開発, 日本機械学会北陸信越学生会第31回学生員卒業研究発表講演会講演論文集, 講演番号205, 2002.
- [4] 伴野雄大, 鈴木宏:デンドライト主軸間隔測定システムの開発. 日本機械学会北陸信越学生会第32回学生員卒業研究発表講演会講演論文集, 講演番号211, 2003.
- [5] 本多中二, 大里有生: ファジィ工学入門, 海文堂出版, 1989.