

# X線CTによる3次元構造解析

## はじめに

マイクロフォーカスX線CT法は材料にX線を色々な角度から照射して、透過像を撮影して、材料の中の空隙や異物などの位置や大きさを3次元的に知ることが出来る方法です。

図1に測定装置の配置図を示します。

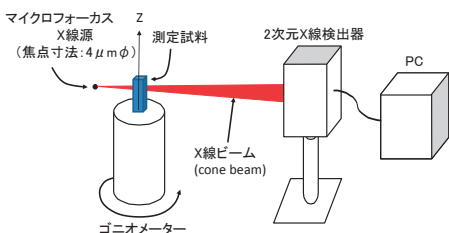


図1 マイクロフォーカスX線CT測定の配置図

微小焦点（4 μm φ）のX線源からコーンビーム状に放出された白色X線を試料に照射し、2次元検出器で測定試料を360°回転しながら、各角度でX線透過像を撮影し、たくさんの透過像から数学的に再構成して、X線CT（断層）像にします。

非破壊的な測定が出来るのが特徴で、厚さが40mm φ（鉄換算）までの試料中の10 μm φ以上の大きさの材料中の“異物”の同定や引け巣、ブローホール、内部欠陥等の検出が可能です。

最近では解析技術の進歩によって、“異物”の存在する位置、大きさ、それらの分布などの3次元的な定量解析が出来るようになりました。今回はそのような3次元解析の例を紹介いたします。

## 測定例

図2はマイクロフォーカスX線CT法で測定したセラミックス多孔体材料の断層像（3次元像の1断面）の例です。

材料中の黒い部分が空隙（孔）で、灰色の部分が母相（セメントバインダー）で、白い部分は鋳物です。たくさんの空隙があり、その位置や大きさも色々であることがわかります。

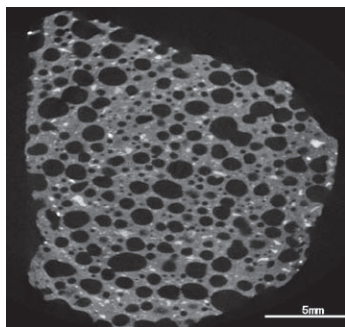


図2 断層像の例：空隙（黒）、母相（灰色）、鋳物（白）

## 解析例

このような空隙の位置や大きさは3次元構造解析ソフトを使うと“定量的に”解析することが出来ます。図3はその一例です。

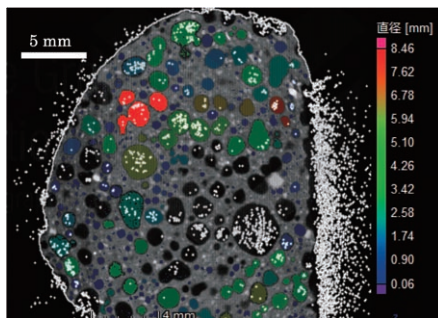


図3 空隙の3次元解析を行った例（VG STUDIO MAX 3.0を使用）：空隙体積（外接球直径）で色分け（外部と繋がっている空隙（黒）は解析対象から除外）

このような解析から、空隙の位置や体積などの数値を計算することが出来ます。表1に解析した項目の内で、主要なものを示します。

表1 検出された空隙の中心座標、体積、球相当直径、外接球直径

空隙中心座標[mm]	空隙体積	球相当直径	外接球直径
x y z	[mm <sup>3</sup> ]	[mm]	[mm]
12.0 18.9 4.9	15.40	1.54	6.51
14.0 17.0 3.2	13.96	1.49	6.73
7.1 19.4 5.7	13.74	1.49	8.46
8.1 15.3 6.2	10.61	1.36	6.19
12.5 21.0 3.7	9.70	1.32	7.13
11.1 17.0 7.6	9.63	1.32	5.57
15.8 6.7 11.3	8.92	1.29	5.68
6.7 12.5 8.2	8.76	1.28	5.6
15.7 18.9 6.4	8.01	1.24	7.5
7.7 15.7 9.4	6.88	1.18	4.39
9.8 19.2 2.5	6.86	1.18	4.98
8.2 10.0 3.4	6.77	1.17	3.94
6.8 7.7 4.7	5.91	1.12	4.98
13.4 6.8 5.6	5.89	1.12	6.24
16.1 10.2 8.8	5.47	1.09	4.1
16.2 5.8 5.8	5.25	1.08	4.7
15.2 9.9 11.0	5.23	1.08	4.88

また表1に示した量以外にも、重心位置、表面積、楕円体近似の主軸方向等の様々な量の解析が可能です。

さらに表1に計算された値から、色々な“統計的な量”を計算することが出来ます。一例として空隙の全体積、母相の体積の計算結果を表2に示します。

表2 試料中の体積が5mm<sup>3</sup>以上の空隙の体積の総計、母相（matrix）の体積、空隙率

空隙体積（5mm <sup>3</sup> 以上）総計	146.99
matrix体積（mm <sup>3</sup> ）	1339.5
空隙率（%）	9.9

そして図4はどのような大きさの体積の空隙が多いのかを示す空隙体積ヒストグラムです。

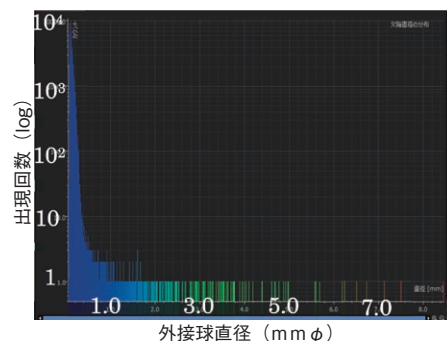


図4 空隙体積（外接球直径）分布ヒストグラム（色分けは図3と同じ）

図3では大きな空隙があるのが目立ちますが、実は小さな空隙の（< 1 mm φ）の方が数は圧倒的に多いことがわかります。また空隙が材料中の特定の位置に集まって存在するのか、またはバラバラに存在するのかを定量的に示す各空隙間距離の2体相関関数などの解析も可能です。

## おわりに

以上、今回は比較的球に近い形状の空隙の解析結果を紹介しましたが、スラブや機械部品の中に入っているひび割れなどのもっと複雑な形状の空隙の解析も出来ます。さらに外からは見えない部分の寸法の測定をCT像から3次元的に行い、機械設計の参考にすることも出来ます。

その上このような“3次元解析”は他の分析手法で測定した3次元データ（例えば、3D FIB/SEM, 3D EBSD）にも適用出来ます。今後、さらに高度な“3次元画像解析”手法を開発していきたいと思っております。

### お問い合わせ先

富津事業所

解析ソリューション部

高木 康夫

TEL : 0439-80-2866

FAX : 0439-80-2733

E-mail : takagi-yasuo@nsst.jp

## トピックス 外部表彰受賞 公益社団法人 日本分析化学会 2018年度技術功績賞

尼崎事業所 解析技術部 高山透 上席主幹が、上記技術功績賞を受賞いたしました。

「X線回折を主とした鉄鋼関連物質の高度解析技術の開発」の貢献が認められたものです。

