

機械加工部品の空隙検査方法

電子部 仮屋一昭，久保 敦，伊藤博雅，市来浩一*

Study on Detecting Void of Aluminum Die Cast

Kazuaki KARIYA, Atushi KUBO, Hiromasa ITO and Kouichi ICHIKI

ダイキャストを用いた機械加工部品等では，内部空隙の深さ位置が問題になることがある。今回，その内部空隙の検出に超音波顕微鏡を用い，表面から空隙までの深さの計測を行った。超音波顕微鏡の画像から，空隙等と推定される部位の超音波波形データを処理し，表面波から計測範囲内の最大値までの時間を計測する手法を用いた。この手法をプログラム化したところ，深さ位置の推定及び計測が簡易になった。

1. 緒 言

機械加工部品等では，内部空隙の有無と深さ位置が問題になることがある。例えば，アルミダイキャストを用いた機械加工部品等は，鋳造，熱処理，表面処理，切削加工，検査等を経て製品となる。ダイキャストの内部空隙は鋳造時に発生するものの，現在の工程では，切削加工後の検査でしか発見されない。このため，内部空隙を鋳造直後に計測できれば，不良として工程から取り除くことができ，大きなコスト削減となる。また，機械加工部品に限らず，内部の状態が製品の性能，機能に影響を与えるおそれのある電子デバイス，材料等では，非破壊による内部の状態観察が必須となっている。現在では，非破壊による内部観察の方法として，X線，X線CT，超音波，近赤外線（農産物等）等が広く利用されているが，今回は，内部空隙の深さ位置の推定を行うため，超音波顕微鏡を用いた手法について検討した。

2. 方 法

2.1 超音波顕微鏡の概要

超音波は，液体，気体，固体中でも伝搬が良好。欠陥，接合部の界面等の不連続部でよく反射する。指向性が鋭く直進する。人間に無害である。などの理由から広く非破壊検査の手法として用いられている。超音波顕微鏡（日立フラインテック製）の特徴は，図1のように探触子が点集束型であり，また，高周波数（10MHz～200MHz）のため，微細な空隙（10μm以上）の観察が可能であることである。図2は，超音波顕微鏡計測部である。水槽内に設置した被検体を，探触子が左右に走査し計測する構造である。また，図3は，観察した電子デバイスの内部イメージである。図4は，超音波エコーの一般的な波形のタイムチャートである。

探触子から送信された超音波は，被検体の表面，界面，底面で反射し探触子に戻ってくる。超音波顕微鏡で得られる画像は，計測したい各エコーにゲート（例えば，図4のタイムチャートのような計測範囲）を設定し，ゲート内の反射強度の最大値を画像構成時の各画素の濃度値に変換し

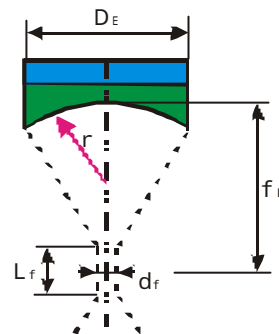
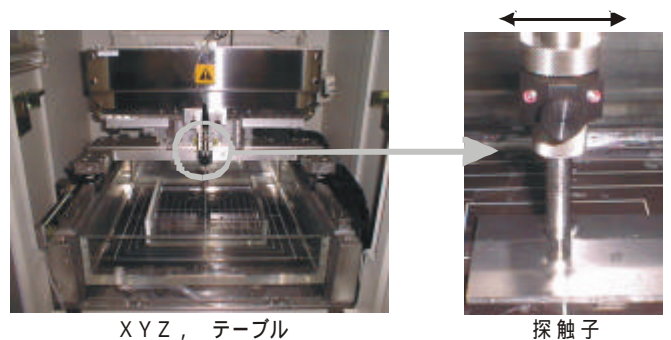


図1 探触子の構造



XYZ, テーブル

探触子

図2 超音波顕微鏡の構造

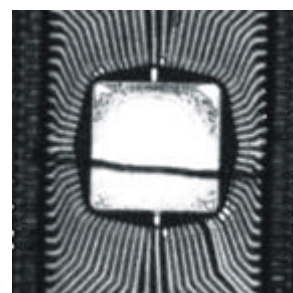


図3 内部イメージ

ている。このため、画像上からは、空隙等の横、縦方向の位置しか確認できず、深さ位置の推定には、表面エコーから界面エコーまでをオシロスコープ等で計測し、算出しなければならない。また、最新の超音波顕微鏡では、深さ位置を推定するために表面エコーから界面エコーまでの時間を画像化したツールも備わっている。このツールは、実時間計測を行う必要から、設定したしきい値を反射強度が越えたポイントまでの時間を計測しているため、波形の形状によっては、界面エコーの強度画像と異なった波形を計測する場合があります。深さ画像上から空隙等の深さ位置を推定するには熟練を必要とする。

これらのことから、反射強度の画像上で空隙等と推定されるポイントを、反射強度の画像濃度値と反射エコーの波形データから、簡易に深さ位置を推定する方法を検討した。

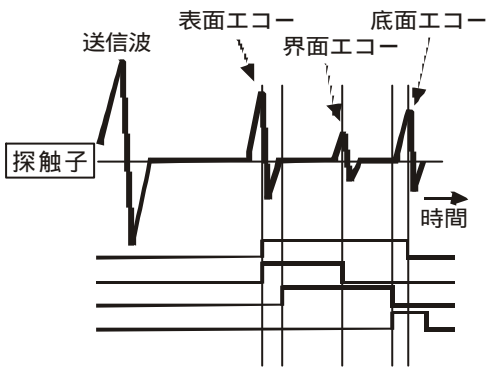


図4 タイムチャート

2.2 計測方法

図4のタイムチャートは、表面から底面までの時間差、タイムチャートは、表面から界面（空隙等）までの時間差である。タイムチャートの底部の反射エコーは、タイムチャート間の情報が積算されているため、内部空隙等の検出には適している。しかし、この計測範囲には界面の深さ情報が含まれず、深さ位置の推定は困難である。計測の目的は空隙等の位置（縦、横、深さ）を計測することであるため、タイムチャートで計測した。

実験では、アルミダイキャストの代わりに図5のようなエンドミルで穴の深さを1mmずつ変化させて、空隙の深さ位

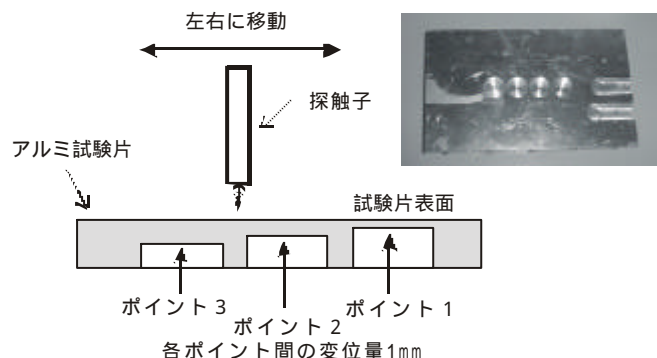


図5 使用した試験片

置を変えたアルミ製試験片を作成し、周波数25MHz、焦点距離17mmの探触子を用い、各ポイントを計測した。図6は、超音波顕微鏡で観察した画像である。図の右からポイント1, 2, 3である。図7は、アルミ製試験片のポイント1, 2, 3を計測した波形データである。波形は表面波を基準としている。ポイント1の0.5μs付近の波形が界面エコーで0.7μs, 1.0μs付近に現れているエコーは、2次反射波、および3次反射波である。ポイント2, および3の界面エコーは、0.8μs, 1.1μs付近である。

界面の計測には、各ポイントの計測範囲内の波形の最大

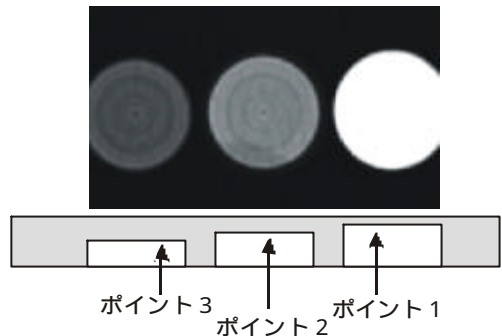


図6 試験片の超音波画像

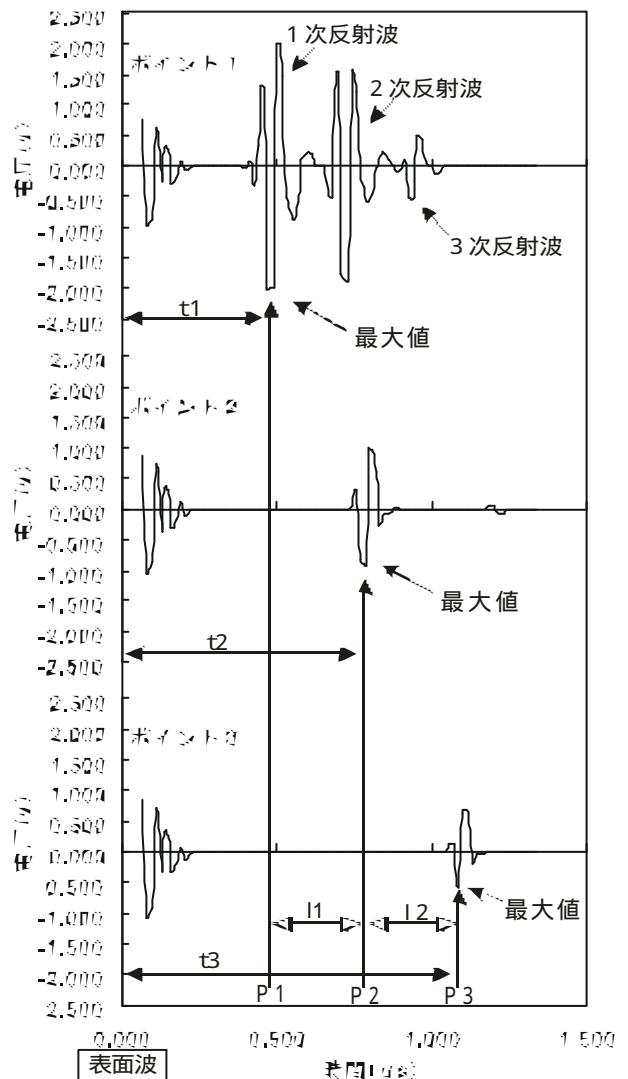


図7 波形データ

値を用いた。図7のP1, P2, P3は、各ポイントの最大値である。アルミ製試験片では、各ポイントの深さの差が1mmであるため、I1, I2は同じ時間差になり、表面波(時間軸0)から各ポイントの界面までの時間t1, t2, t3までを計測すれば、深さ距離を計測できるはずである。

2.3 距離の算出法

表面波から界面(空隙等)までの時間をt, 被検体の音速をc, 表面波から界面までの距離をLとすれば

$$L=ct/2 \quad \text{-----式1}$$

である。

音速は、一般的には表1の示すように、材質で決まっている。しかし、金属材料などは、試料の純度、加工方法、熱処理などにより、音速が変化している場合が多い。このため、アルミ製試験片の音速を計測し、各ポイントまでの距離を算出した。

表1 物質の音速

物質	音速(m/s)
アルミニウム	6260
鋳鉄	4800
銅	4700
黄銅	4640
水	1480
空気	344

図5右上に示すアルミ製試験片写真の右側部は、音速の計測用に加工したものである。加工は、超音波顕微鏡画像上で底面のどの部位を計測しているか把握するために施した。

図8は、音速計測用に加工した試験片の超音波顕微鏡画像である。3次元測定機で、数ポイント計測し、その平均

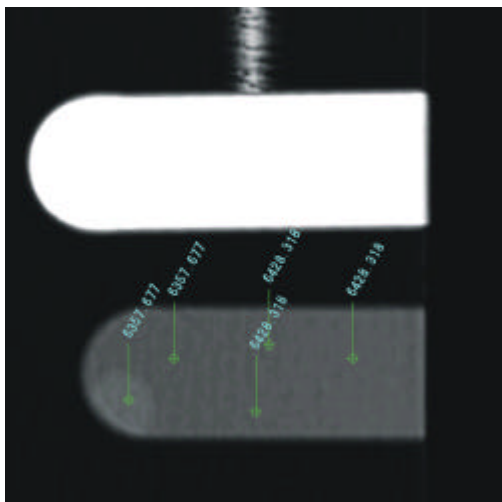


図8 平均音速の測定

値をアルミ製試験片の厚さとした。また、超音波では、5点を計測し、式1により算出し、平均値を試験片の音速とした。算出結果は、6400m/sであり、この音速を採用した。

2.4 アルミ製試験片での結果

アルミ製試験片のポイント1を4カ所、ポイント2を5カ所、ポイント3を4カ所、ポイント1とポイント2の間(図9D5)とポイント2とポイント3の間(図9D11)を計測した結果が図9である。計測ポイントの中で、ポイント1が約1.4mm、ポイント2が約2.4mm、ポイント3が約3.4mmで各ポイント間が1mmとなっており試験片とポイント変位量と概ね一致した。

図9のD5およびD11は、内部に空隙等の無いと推測される部位の計測値である。計測範囲が、図4で示すタイムチャートであるため、内部に空隙等の欠陥が無い場合は図9D11のように計測値が表示されない(波形の最大値が無い)はずであるが、図9D5においてはポイント2と同程度の計測値が示された。

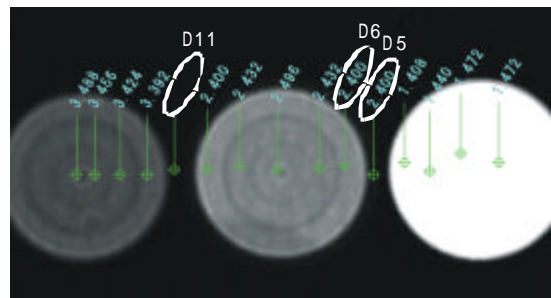


図9 超音波での計測値

図10は、図9D5, D6, D11の超音波波形のグラフである。図9D5とD6は、同じ計測値となっているため、D5と比較のため示した。

空隙等の無い部位(図9D5, D11)においては、計測範囲内でエコーが発生しないために、図10のD11のような、ピークの無い波形を示すはずである。しかし、図9D5では、図10D5のように図10D6の最大値と同じ場所に、微少なピークが現れていた。これは、計測上のノイズか、または、画像上に表示されない程度の微少な空隙と推測される。本手法では計測範囲内の電圧の最大値を求め、界面までの距離を計測しているため、図10D5のような、微少なピークでも計測値が示される。このような微少なピークは、ノイズとして除去できるが、画像と比較しながら計測値の確認が行え問題は少ないと思われる。また、どの程度のピークをノイズとするかは、被検体の種類、内部観察の目的によって異なることから一様に除去することは危険と思われる。

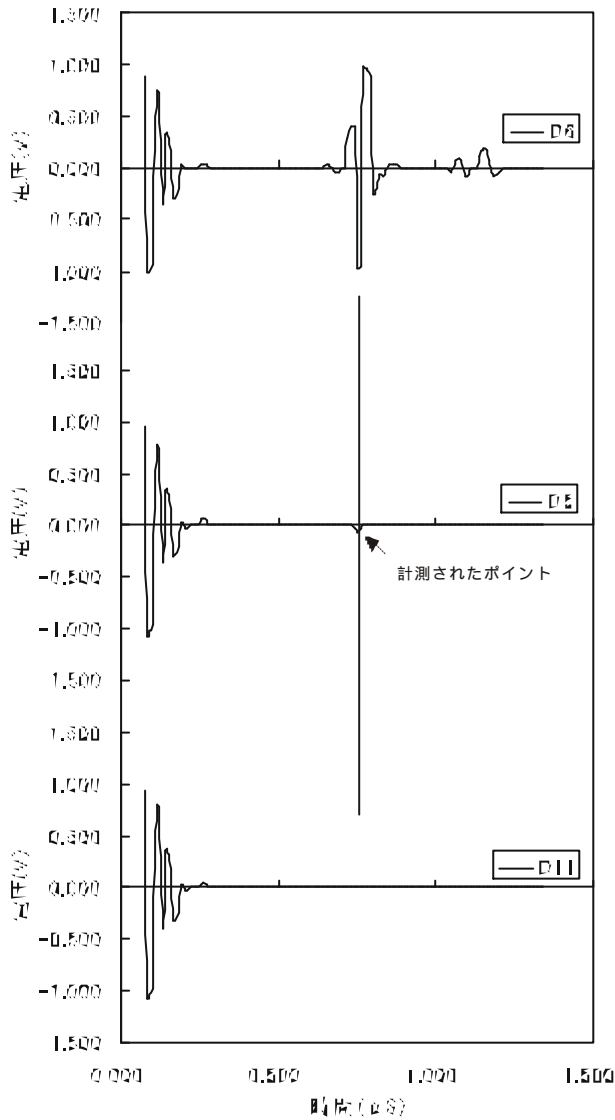


図 10 計測波形

超音波顕微鏡で得られた画像から空隙等の大きさを推定する場合、次のような理由から注意が必要である。アルミ製試験片においては、ポイント 1, 2, 3 は、同径のエンドミルを用いて加工しているため、各ポイントは、同じ径である。しかしながら、図 9 の計測された超音波顕微鏡の画像では、各ポイントで大きさが異なっている。これは、探触子が図 1 探触子の構造で示したような点集束型のためであり、焦点から離れた計測ポイントほど画像上で大きくなる。このため、空隙等の大きさを、超音波顕微鏡で得られる画像上から推定または計測するためには、界面位置に正確に焦点をあわせることが必要になる。

表 2 は、超音波の計測結果と 3 次元測定機の比較である。この結果、3 次元測定機での計測値を真の値とすると平均で 0.008mm の誤差であった。超音波データの A/D 変換時のサンプリングは、時間間隔で 0.01 μs、アルミ製試験片の音速が 6400m/s であるため、最小間隔が 0.032mm である。超音波と 3 次元測定機の差の最大値が 0.053mm であったが、その他は、サンプリングの最小間隔である 0.032mm の範囲内である

ため、このサンプリング間隔内の誤差で空隙等の計測が可能と思われる。

表 2 3次元測定機との比較

波形データ	超音波	3次元測定機	差	(mm)	
				最大	最小
1	1.472	1.491	-0.019	0.019	0.007
2	1.472	1.453	0.019		
3	1.440	1.422	0.018		
4	1.408	1.415	-0.007		
6	2.400	2.411	-0.011	0.053	0.001
7	2.432	2.430	0.002		
8	2.496	2.443	0.053		
9	2.432	2.404	0.028		
10	2.400	2.401	-0.001	0.017	0.001
12	3.392	3.397	-0.005		
13	3.424	3.413	0.011		
14	3.456	3.439	0.017		
15	3.488	3.487	0.001		
			0.008	0.053	0.001

アルミ (音速6400m/s) での最小計測間隔 0.032mm

3. アルミダイキャストへの応用と結果

アルミ製試験片でもちいた手法をアルミダイキャストに応用し、その手法の有効性を確かめるため、

音速の測定。

超音波による空隙の計測。

研削後、空隙位置、形状の確認。

を行った。

アルミダイキャストの音速を計測するために、超音波画像から底面が明確にわかるようにエンドミルで加工後、3次元測定機で数点計測し、アルミダイキャストの厚さを求めた。その後、超音波で 5 点計測し、平均値をアルミダイキャストの音速とした。その結果、音速は 6490m/s となった。図 11 は、アルミダイキャストでの音速の計測結果である。

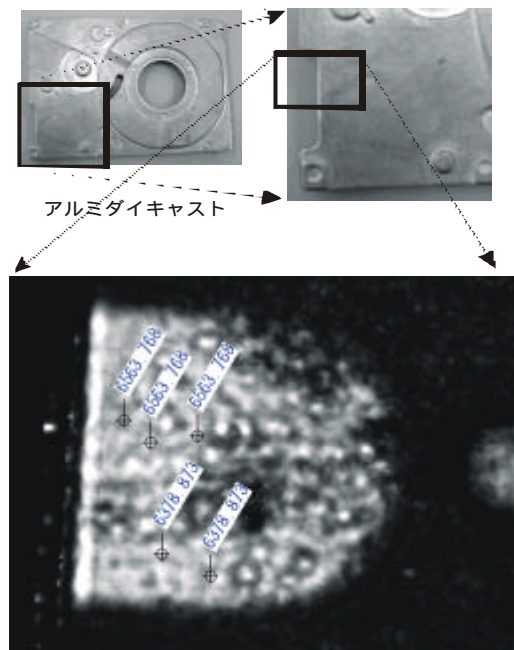


図 11 アルミダイキャストで音速計測

図12は、アルミダイキャストの計測結果である。超音波顕微鏡画像中で白い部位が内部空隙と推定される。アルミダイキャストの内部においては、大小様々な形状の空隙があり、超音波顕微鏡で計測された画像と内部空隙の形状を比較するため、画像と同様な加工面になるように、平面研削盤で研削した。研削方法は、アルミダイキャストの表面の基準を設定し、0.500mmまで、研削した後、0.01mm間隔で研削し観察した。空隙の深さ位置は、浅い部位で0.681mm、深い部位で0.811mmあった。空隙の大きさは目安として約4mmである。

図13は、0.600mm研削後の状態である。計測結果から表面からの深さ0.680mm程度で空隙が現れると思われたが、0.600mm研削後に出現した。図13の空隙では、空隙内部に

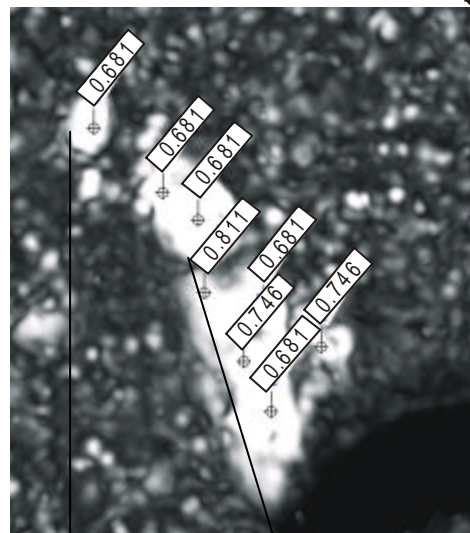
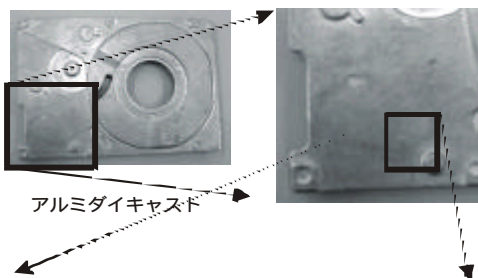


図12 アルミダイキャストで計測結果

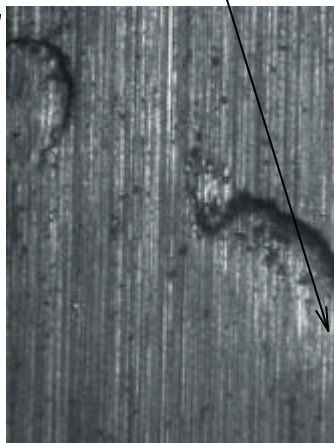


図13 0.600mm研削後

研削傷と同じ研削傷がある。これは研削力の法線分力により、薄くなった空隙の上部が陥没したためと推測される。図14は、0.800mm研削後の状態である。図12の顕微鏡画像の右下の黒い部位は、アルミダイキャストの突起の部位である。超音波顕微鏡画像からは、この部位の内部空隙は、観察されていないが、図14から突起の下にも空隙が発生していることがわかった。この部位が計測されなかった原因として、突起の円周部が斜面になっており、超音波が内部に入らなかったと推測される。

研削後に観察された空隙の形状は、概ね超音波顕微鏡画像と一致した。また、深さ位置の確認は、研削結果から正確な比較が行えなかったが、陥没した空隙の上部にも厚さがあることから、0.081mmより誤差は小さいと推定される。



図14 0.800mm研削後

4. 結 言

超音波顕微鏡は、どのような被検体を計測しても、何らかの計測画像が得られ、この画像情報が、観察の目的と一致するか見極めるには、熟練を要する。特に深さ方向の情報を得ようとすると、様々な知識が必要になる。本計測法をプログラム化したところ、画像上で観察される空隙等の深さ位置の計測が簡易になった。

超音波顕微鏡は、波形の処理方法によって、標準画像、(+)画像、深度画像等、いくつかの計測法があり、被検体の特徴によって使い分ける必要があるが、基本的には、本手法を応用でき、また、作成したプログラムも対応している。

しかしながら、被検体の表面形状、材質、空隙等の形状等で計測結果が異なることがあり今後の課題である。

参 考 文 献

- 1) 超音波探傷法 日本学術調査会
- 2) 日立超音波探傷映像装置 上級編テキスト ほか

