



水浸 UPA による翼形状検査 フィージビリティスタディ

Hato Masahiro

鳩 昌洋^{*1}

翼形状製品の製造時や供用中に発生する層間剥離を非破壊検査によって、検出することを目的に、水浸法超音波探傷試験による一振動子探触子およびフェーズドアレイ探触子を用いた、模擬試験体（金属）のきず検出性比較結果について紹介する。

キーワード： 水浸法超音波探傷試験、フェーズドアレイ、翼形状製品

1. 緒言（はじめに）

航空機などに使用される複合材部品（Carbon Fiber Reinforced Plastics、以下、CFRP）の内部検査の手法として、超音波探傷試験や水浸法超音波探傷試験が適用されている。CFRP は製造時や供用中の負荷などにより、層間における接着力が低下し層間剥離が発生することがあるが、この層間剥離などの面状きずに対して、超音波が垂直に入射した際に最も検出性が高くなる。水浸法超音波探傷を用いる場合、スキャナは 2 次元スキャンが一般的で、航空機で使用されている翼型部品のような 3 次元形状では、被検体表面に対して、超音波を垂直に入射することが困難であり、それにより、きずに対して超音波の伝搬方向が垂直にならないことが懸念される。そこで本研究では、探触子の接触状態や検査者による技能のばらつきが生じない全没水浸法を用い、複数素子を電

子制御することで、超音波ビームを収束したり、任意の方向に制御することができる超音波フェーズドアレイ（Ultrasonic Phased Array、以下、UPA）法を適用して、きず検出性を確認した。なお、CFRP は音響異方性の影響を考慮する必要があり、単純なきず検出性の確認に適していないため、模擬試験体には材料組織が均質、等方的な金属材料を用いて試験した。

2. 一振動子型探触子と UPA 探触子の検出性比較

2.1 試験体製作

材質は切削加工性および耐食性の高いアルミニウムを採用した。翼の曲率部分を模擬するため、表面形状が凸 R 面（外側に向かって丸くなっている面）と凹 R 面（内側に向かって丸くなっている

*1：検査事業部 技術部 NDEグループ

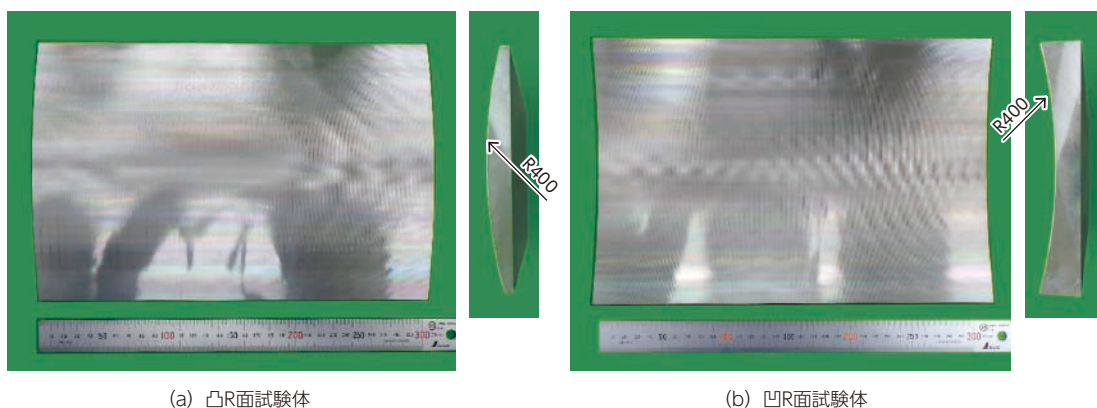


図 1 試験体写真

面) の 2 種類の試験体を製作した。表面の曲率半径は R400mm とし、きず仕様としては航空宇宙産業で定められている AMS-STD-2154 ⁽¹⁾ に準拠し、最小きずサイズの ϕ 0.4mm (1/64inch 相当) とした。また、形状は CFRP の層間剥離を模擬して平底穴形状とした。きずの深さは試験体表面から 10mm の位置とし、超音波がきずに対して垂直に入射しないようにきず角度を 45°、60° とし、これに加え垂直入射する 90° (垂直) の 3 種類とした。図 1 に試験体写真を示す。

2.2 使用機器および試験条件

(1) 使用機器

試験には 7 軸のスキュナを持つ水浸法超音波探傷試験装置およびフェーズドアレイ探傷器を

適用した。また、超音波探触子は一振動子型と 2 次元アレイ (以下、2D アレイ) を用い、周波数は (2.1) 式から ϕ 0.4mm のきず検出が可能な波長の 7.5MHz および 10MHz とし、2D アレイは 8 × 8 (64ch) の素子配列とした。使用探触子を表 1 に示す。

(2) 装置構成

装置構成を図 2 に示す。水浸装置制御 PC にて走査プランを設定するとともにスキュナを制御し、水浸装置のスキュナに取り付けた探触子を用いて、超音波を受発信し、探傷器にて信号の増幅および解析を行う構成とした。そこに、スキュナの位置情報をエンコードで取得し、探傷器制御 PC でデータを記録・可視化し、検査結果を出力した。

$$\text{波長} (\lambda) = \text{音速} (C) / \text{周波数} (f) \dots\dots\dots (2.1)$$

※音速 (C) はアルミニウムの音速を適用

表 1 使用探触子

タイプ	周波数	素子配列 /ch 数
一振動子型	7.5MHz および 10.0MHz	—
2D アレイ	7.5MHz および 10.0MHz	8 × 8/64

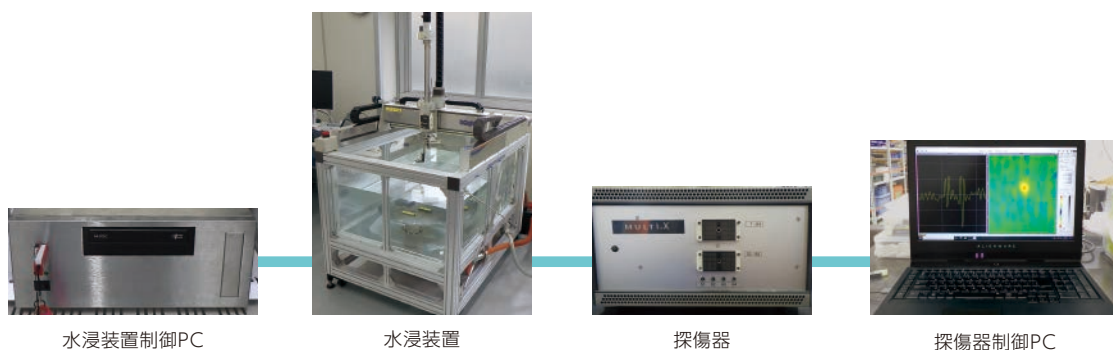


図 2 装置構成

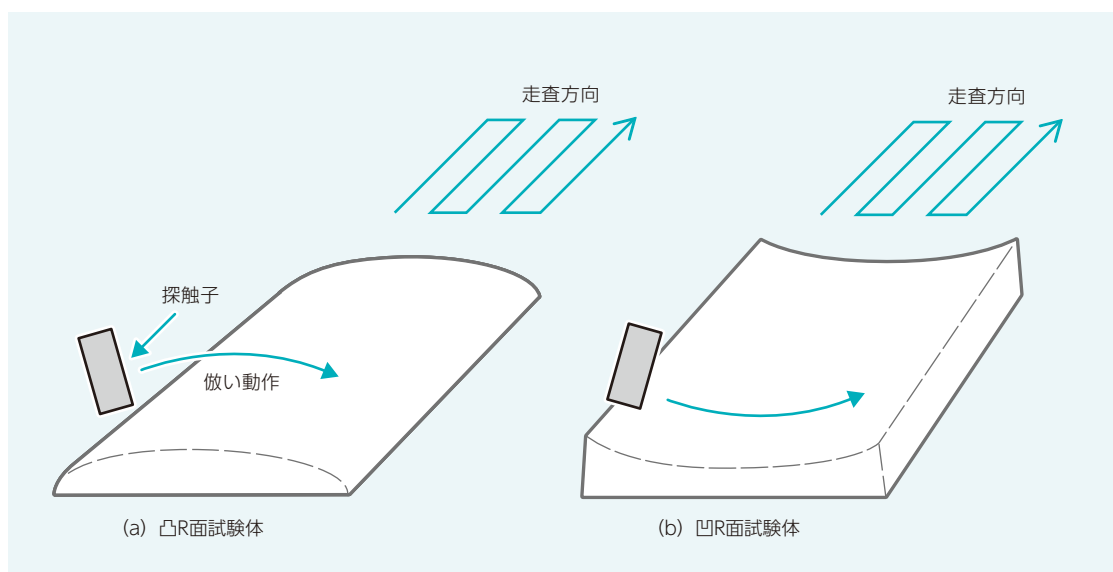


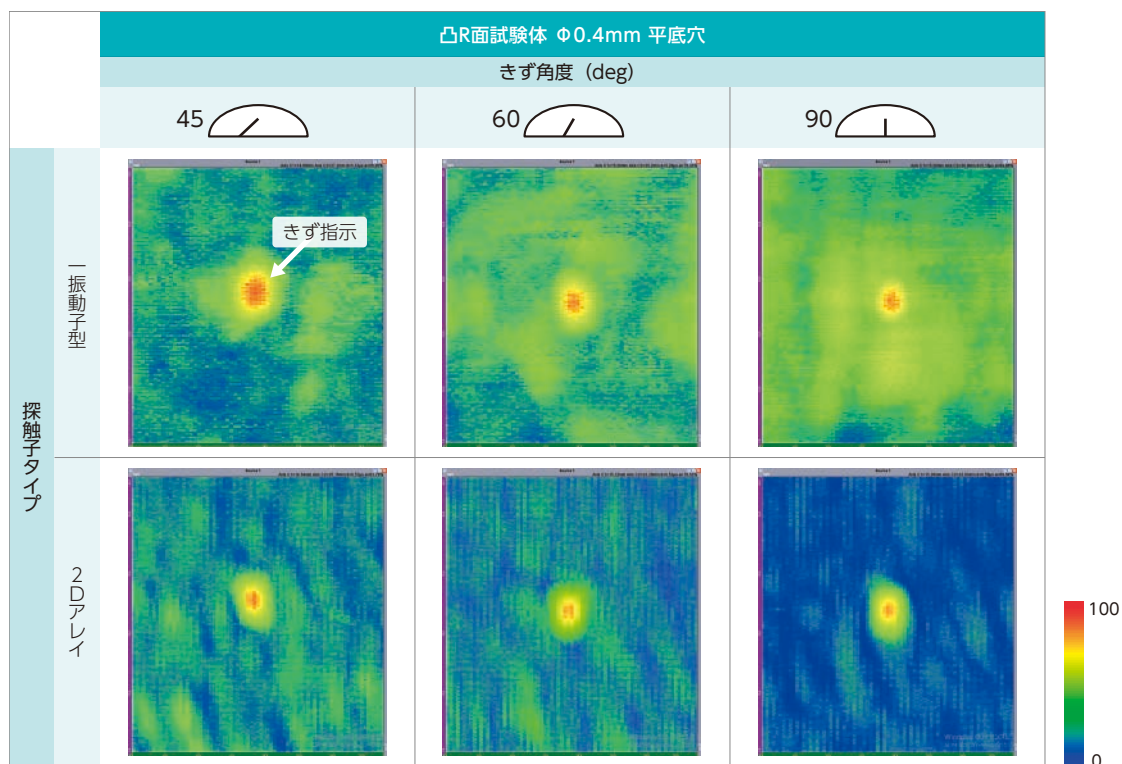
図 3 走査方法

2.3 試験条件

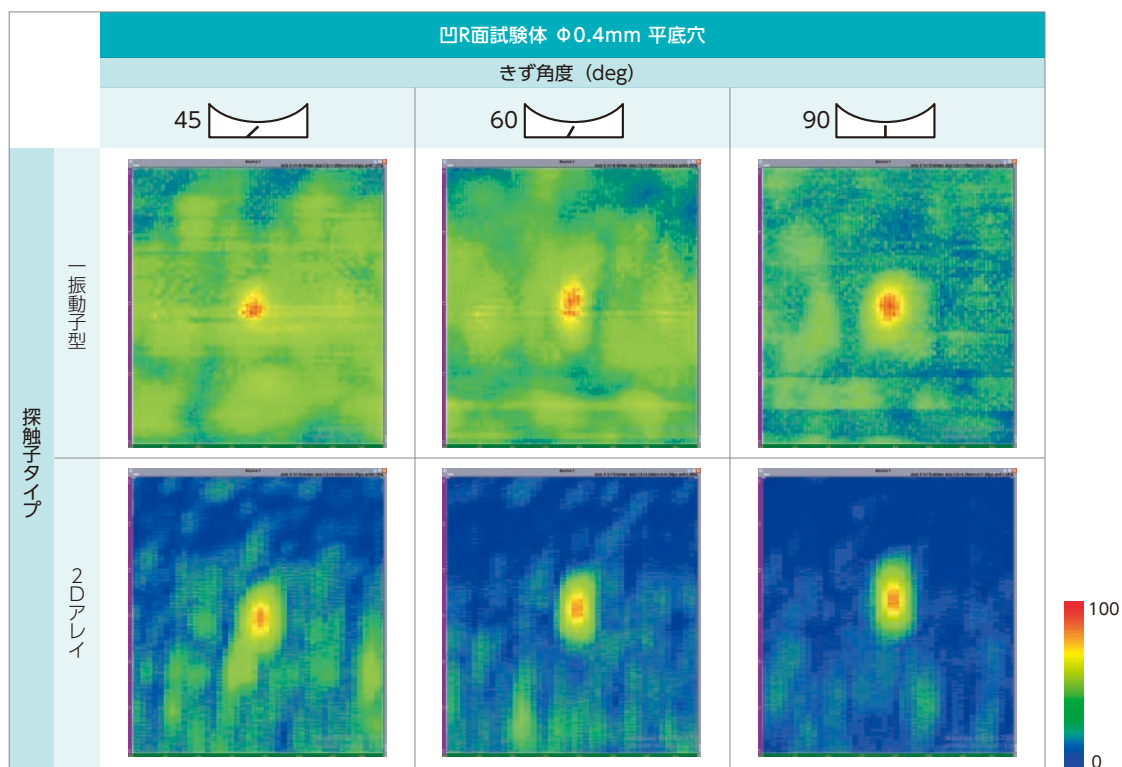
探触子の走査方法は図 3 に示すように、方形走査しながら試験体曲面面に倣うように制御した。また、装置感度は 90° の平底穴からの超音波の反射信号が表示器上 80 ～ 90% になるように設定し、一振動子型のフォーカス位置は試験体表面とした。また、2D アレイのフォーカス条件はマルチポイントフォーカスとし、板厚全体へフォーカスするよう設定した。

2.4 探傷結果

探傷結果は波形データを平面表示する C スコープにて評価とし、探触子周波数 7.5MHz の結果を図 4 に、10.0MHz の結果 (C スコープ) を図 5 に示す。また、図 6 に各きずに対する装置感度差を、図 7 に SN 比の比較結果を示す。なお、SN 比算出時のノイズ値は探傷結果内の最大値で算出した。

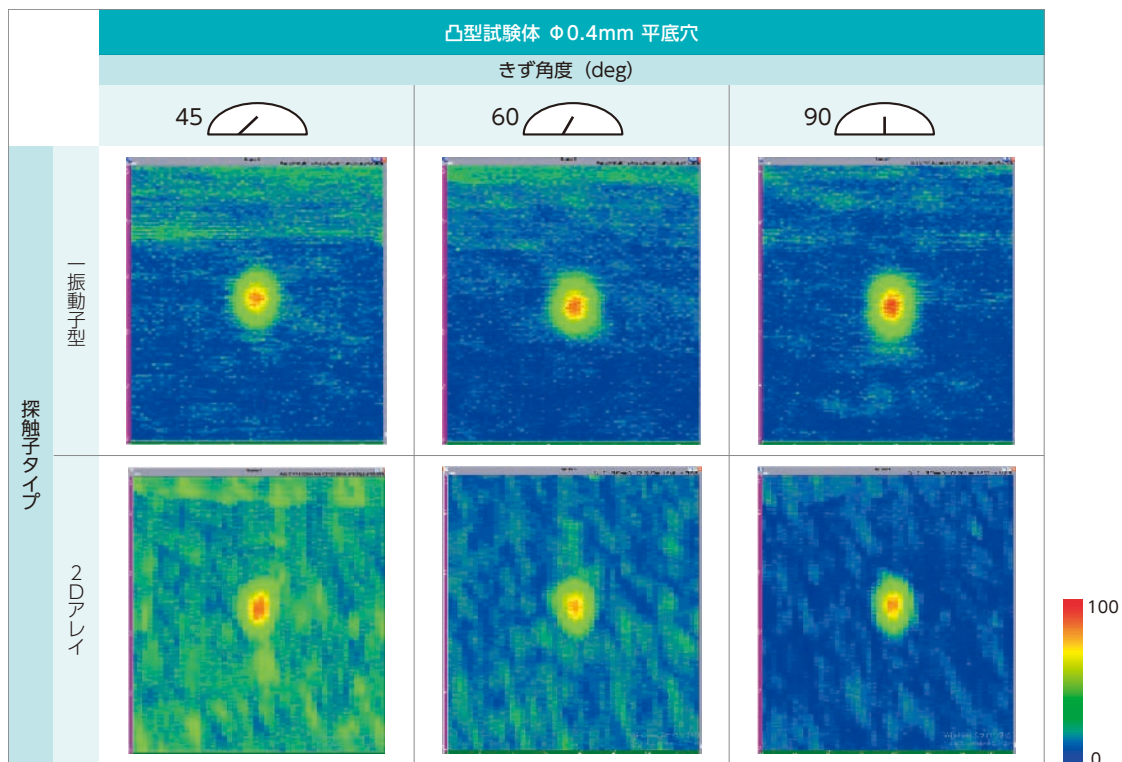


(a) 凸面探傷結果

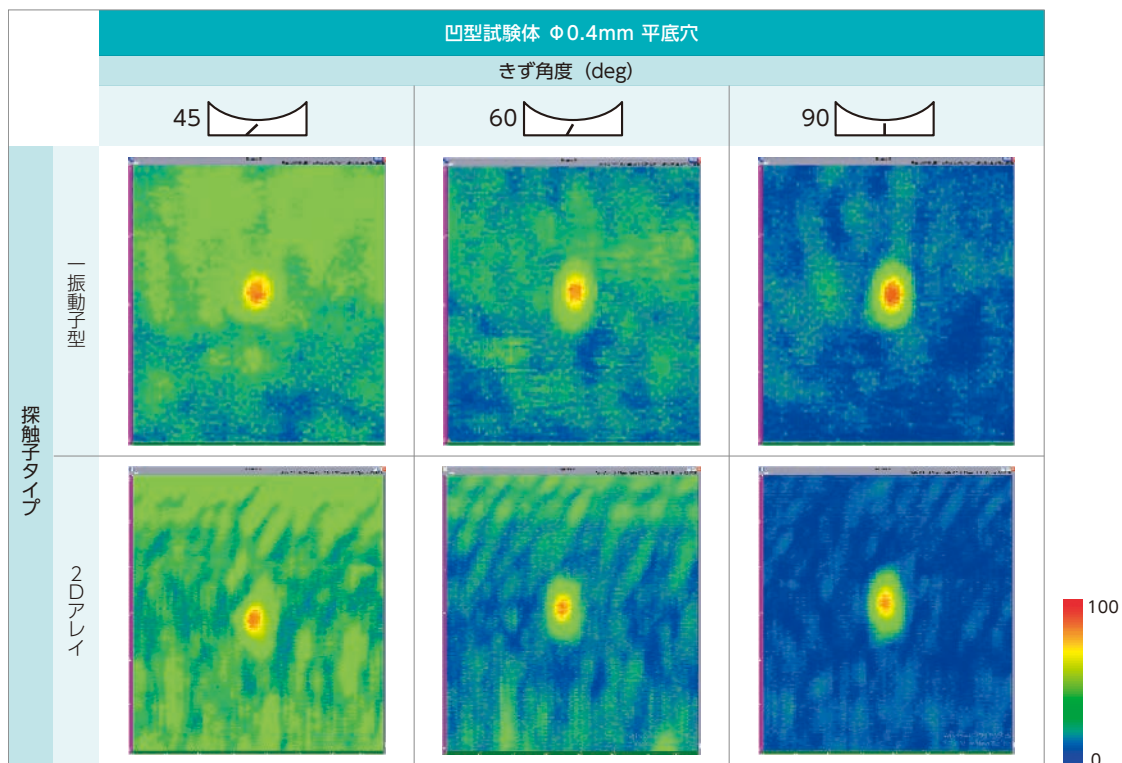


(b) 凹面探傷結果

図 4 探触子周波数 7.5MHz 探傷結果 (C スコープ)



(a) 凸面探傷結果



(b) 凹面探傷結果

図5 探触子周波数 10.0MHz 探傷結果 (Cスコープ)

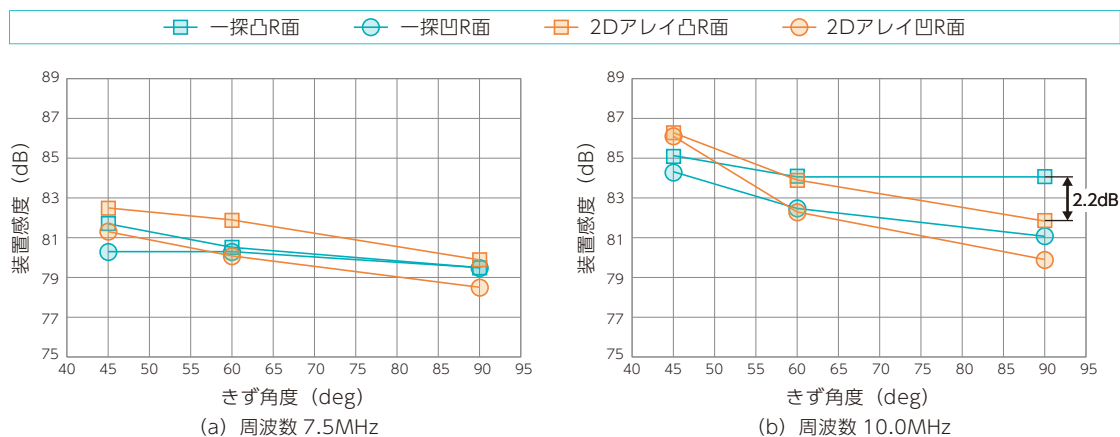


図6 各きずに対する装置感度比較

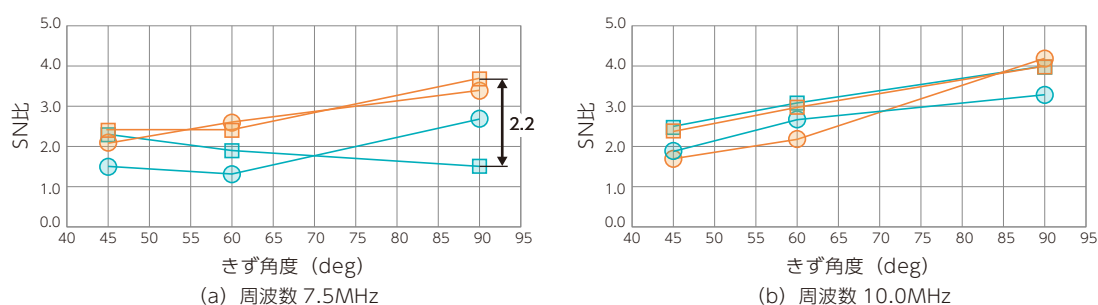


図7 SN比の比較

一振動子型探触子と2Dアレイ探触子の探傷結果を比較したところ、装置感度では最大で2.2dB（10MHz、凸R面、きず角度90°）の差が確認され、SN比では最大で2.2（7.5MHz、凸R面、きず角度90°）の差が認められた。この結果から、超音波が垂直に入射した際は、2Dアレイの方がより高い感度と優れたSN比を有していることが示された。しかし、超音波が平底面に対して垂直に入射しない条件については一振動子型探触子と比べ、顕著な差が見られなかった。この主な要因としては、きず角度90°の垂直きずは面反射のため、超音波の収束効果により反射強度に差が生じたが、45°、60°きずの斜めきずはエッジからの反射のため、反射面積が小さく、収束による効果が大きく得られなかったことが考えられる。

3. おわりに

本研究結果から、超音波を垂直に入射させた条

件では電子制御による焦点制御の効果があることが確認された。一方で、きずに対して斜めに超音波が入射する条件では顕著な差が認められなかった。このことから航空機などで使用されている翼形状部品の層間剥離には倣い走査による超音波の垂直入射が有効だと実証された。今後、UPAによるビームステアリング条件などの検討を重ね、スキャナによる倣い動作を必要としない翼形状製品への検査適用を目指す。

参考文献

- (1) AMS-STD-2154: Inspection, Ultrasonic, Wrought Metals, Process for, REV. E, Revised 2021-07, p.20



検査事業部 技術部
NDE グループ

鳩 昌洋

TEL 045-759-2120