

試験片による探傷性能の確認試験結果について

IHI

株式会社 IHI検査計測

超音波とは、人間の耳では聞くことができない高い音のことで、約20KHz以上の音波のことを、総称して超音波と呼んでいます。高い周波数の音波は、直進性に優れ、小さな面積からの反射に優れています。

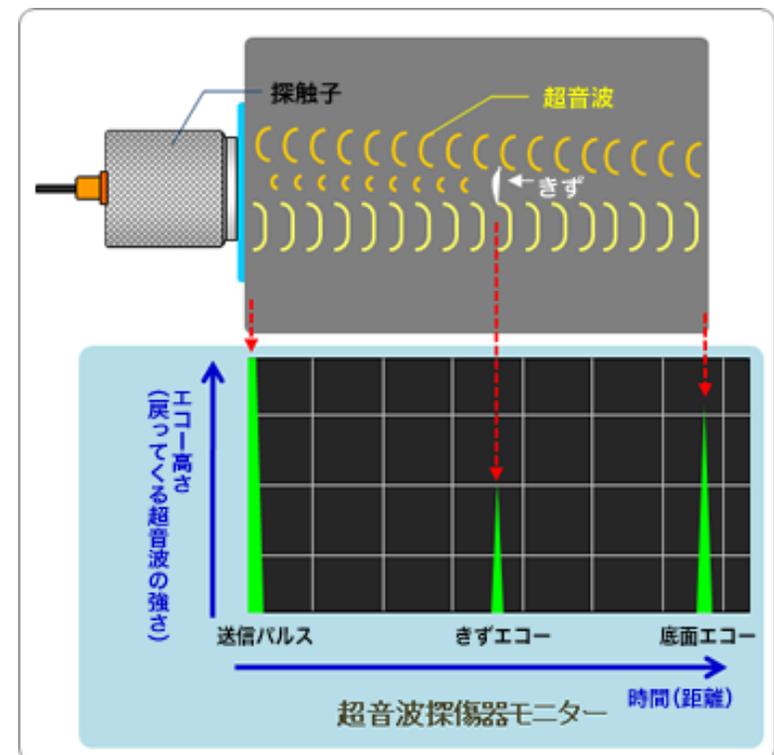


超音波探傷器は、探触子と呼ばれるセンサーから発信した超音波が、検査対象物の内部きずや反対面に反射し戻ってくる時間と強さを表示し、材料の内部の様子を計測するものです。

図に示すように、測定物に水、油などの接触媒質を塗り、探触子を接触させると、内部の傷や反対面から反射した超音波(エコー)が、探傷器のモニターに表示されます。

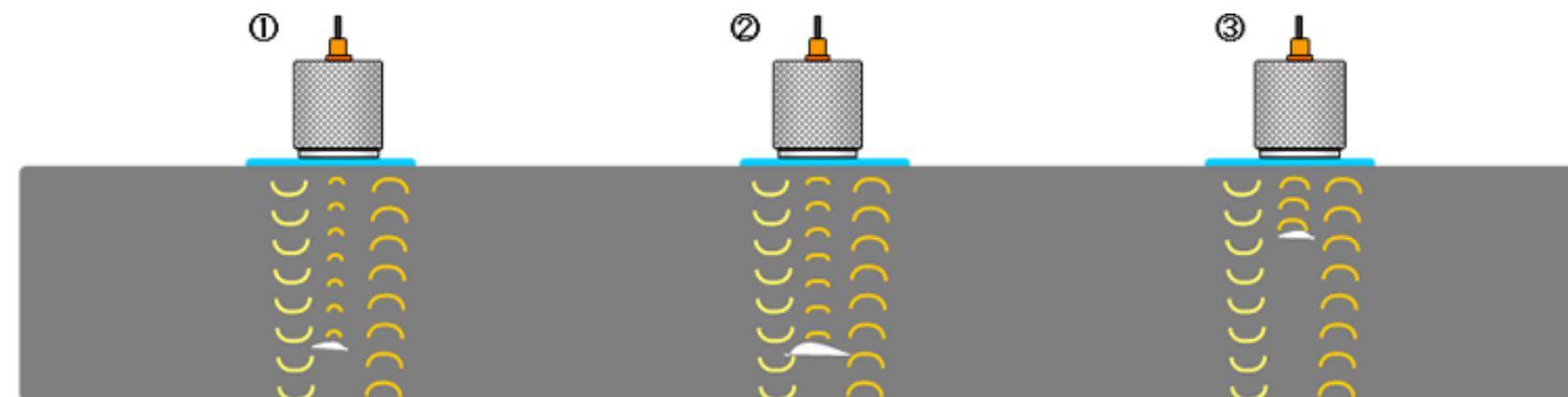
通常超音波探傷器は、モニターの縦軸にエコー高さを示し、戻ってくる超音波の強さを表します。高ければ高いほど、超音波の反射が強いことを意味します。

横軸は、発信された超音波が戻ってくるまでの時間(距離)を表します。右側にいくほど戻ってくる時間が遅くなり、探触子からの距離が遠いことを意味します。



エコーの高さと位置から、きずの大きさと深さを評価することができます。

エコーの高さは、きずが大きければ**大きいほど**、またきずの位置が探触子から近ければ**近いほど**、大きくなります。



① 材料内部にきずがあるため、モニターには、きずエコーが表示される。



② ①のきずと位置は同じだが、きずのサイズが大きいため、エコー高さは①よりも高くなる。

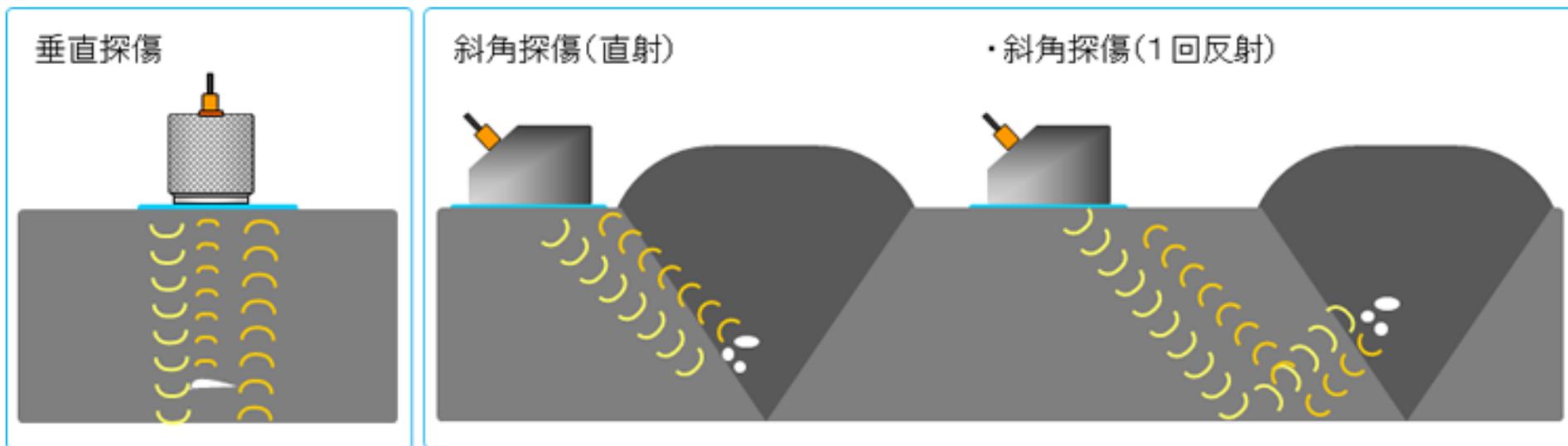


③ ①のきずと大きさは同じだが、きずの位置が探触子に近いので、エコー高さは①よりも高くなる。

探傷方法には、**垂直探傷**と**斜角探傷**の2つの方式があります。

垂直探傷とは、垂直に超音波を出力して探傷を行う方法です。試験体の表面が平滑な場合に適用します。

斜角探傷とは、斜めに超音波を発信して探傷を行う方法です。例えば、溶接部では余盛のため垂直探傷が行うことができません。このような場合に、余盛りを避けて斜めに超音波を発信することができる斜角探傷を使用します。超音波の発信角度(屈折角)は、主に45度、65度、70度が使用されています。



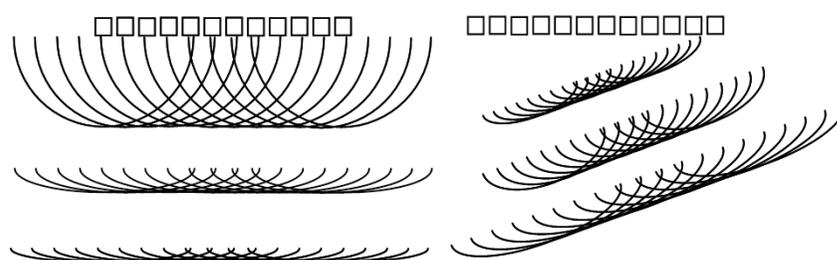
フェーズドアレイ探触子とは、一筐体の中に**超音波振動の素子**(振動子)を、**連続的に並べた**(例えば32個の素子)ものを言います。個々の振動子に加えるパルスのタイミングを電子的に制御することにより**超音波ビームを任意の方向に偏向**させたり、**集束**させたり、**連続的に移動**させたりできます。

複数の斜角探傷が単一で小型のフェーズドアレイ探触子とくさびを用いて可能となり、**広い視野角での探傷が可能**となります。また、全探傷データを保存し、探傷データから**探傷結果の画像(B, Cスコープ)**を表示することができます。

【振動子毎の遅延時間】



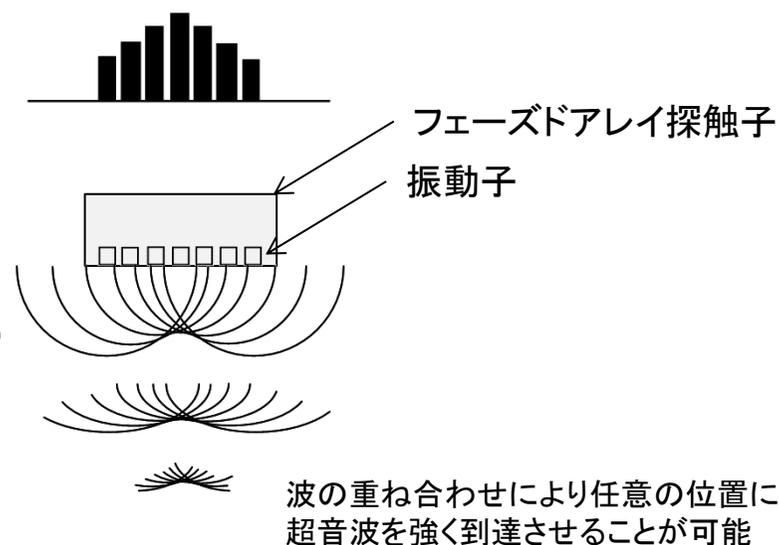
【超音波波面の進行状況(白四角が振動子)】



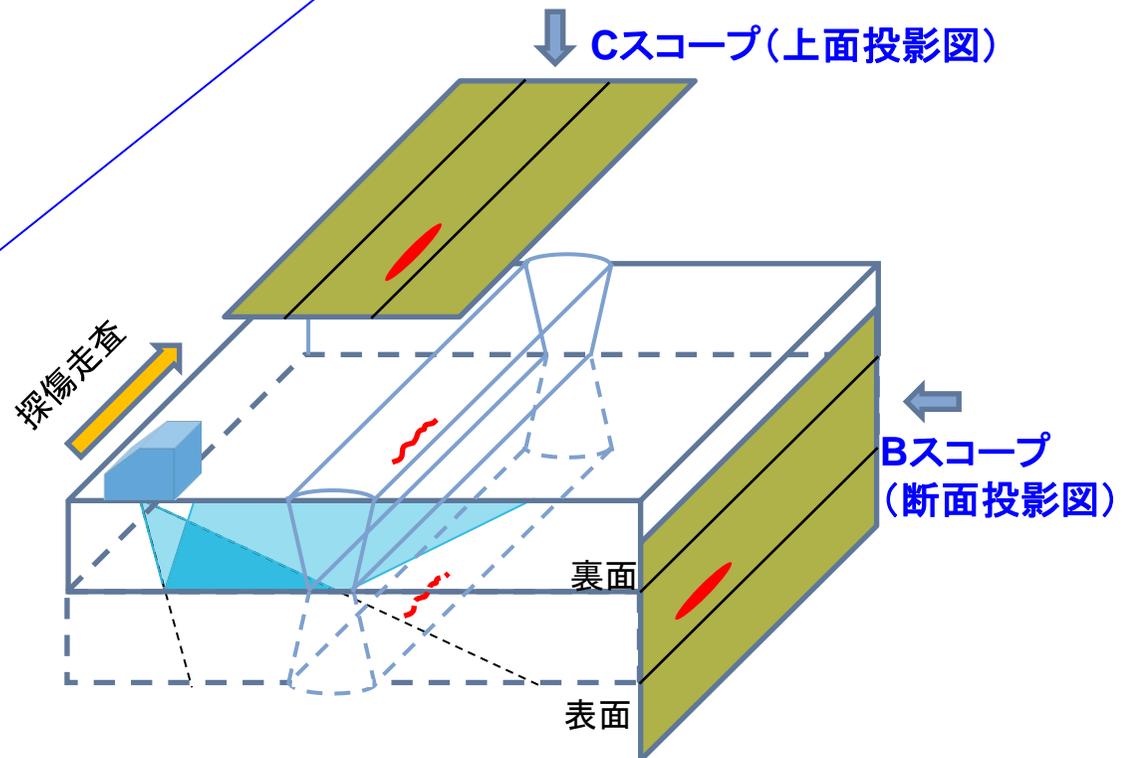
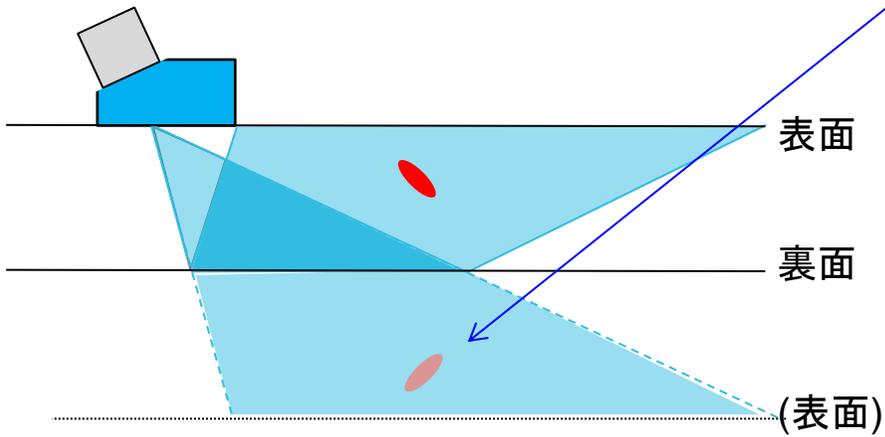
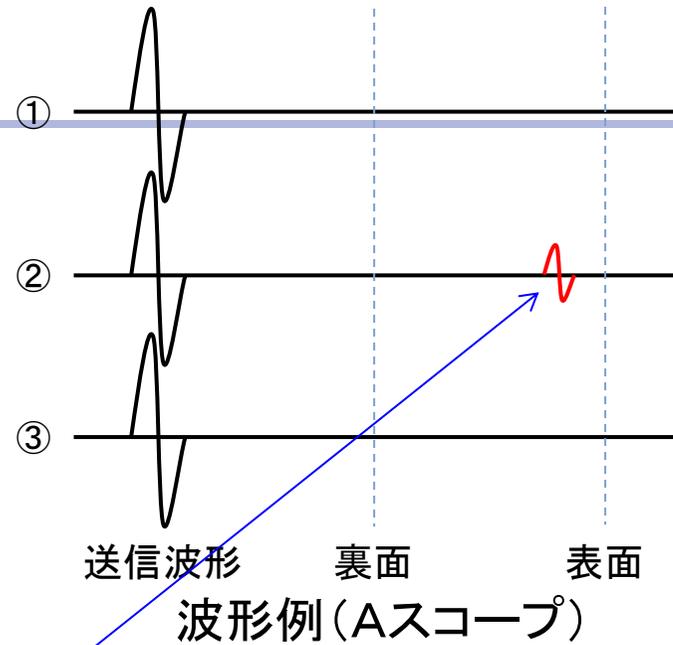
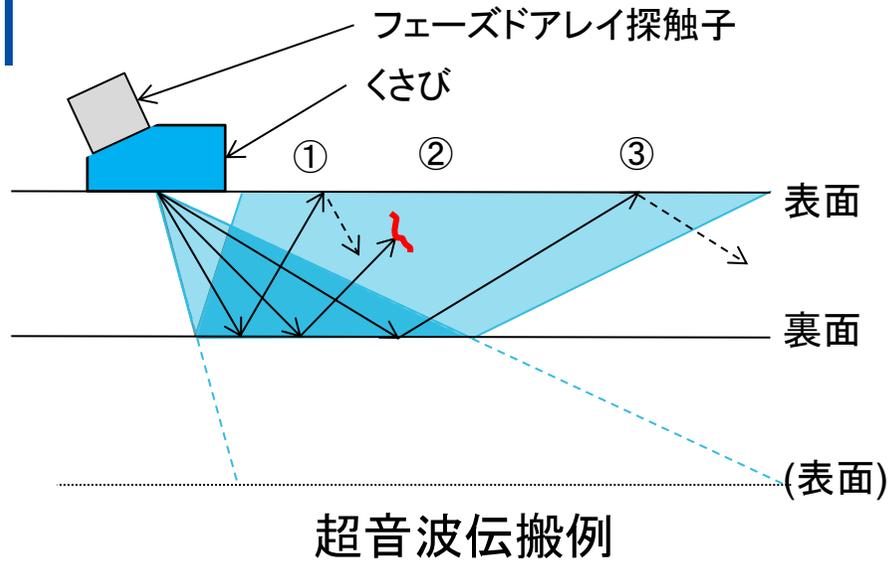
垂直

斜角

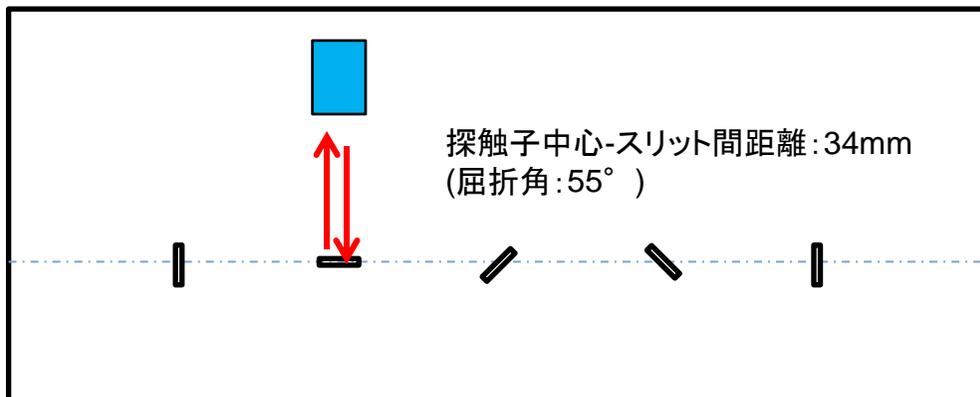
焦点



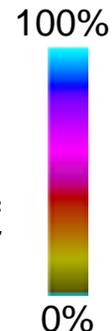
超音波フェーズドアレイによる結果表示例



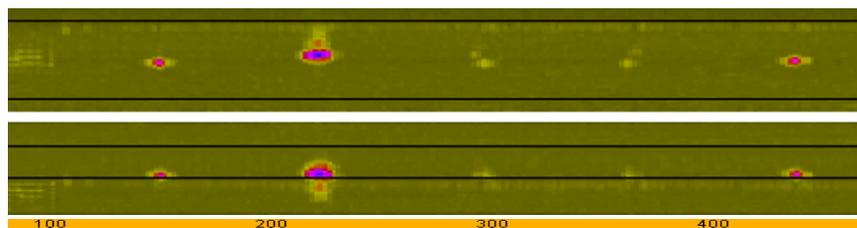
2.感度校正方法 縦割れきず探傷の感度校正方法



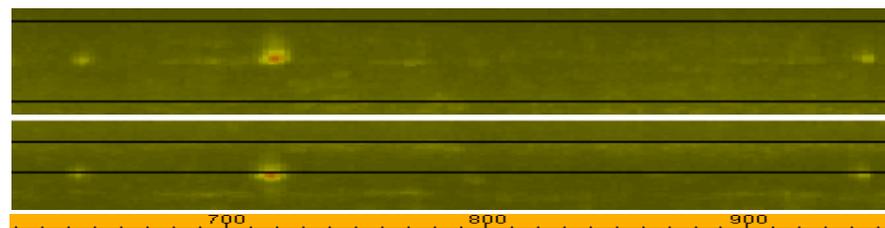
- ・スリット寸法
長さ6mm
深さ3mm
- ・探傷感度
スリット反射波を80%となる感度
- ・塗膜厚さ1mm



Cスコープ
(上面)
Bスコープ
(側面)
100%
↑
0%

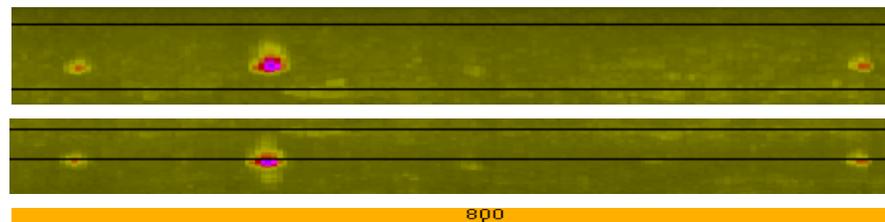


塗装なし



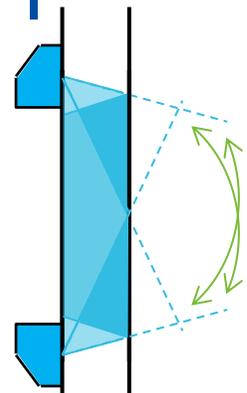
↓ +9dB

塗装の減衰によりスリットの反射強度が約9dB低下するため、塗装ありの条件では基準感度+9dBで探傷を実施。



塗装あり

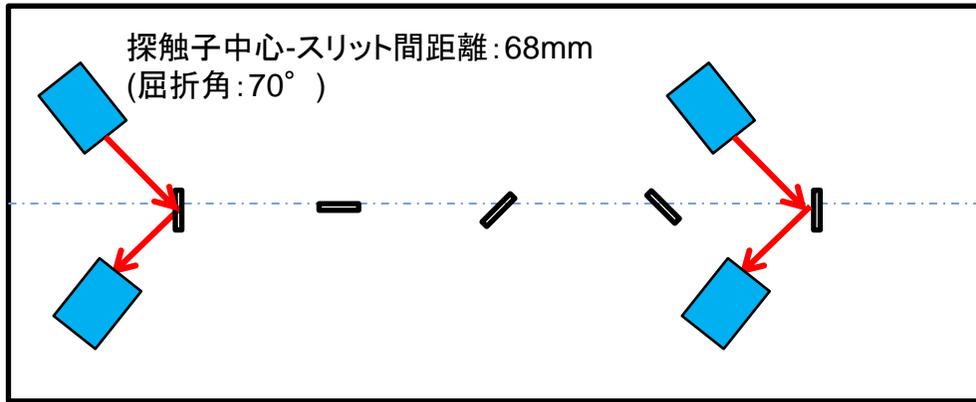
横割れきず探傷の感度校正方法



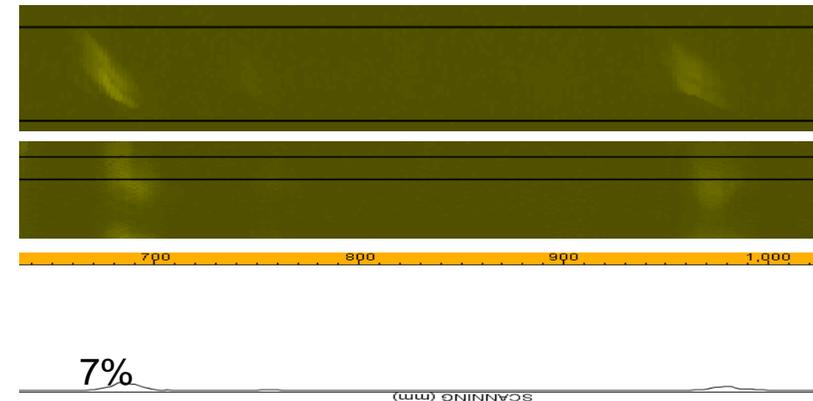
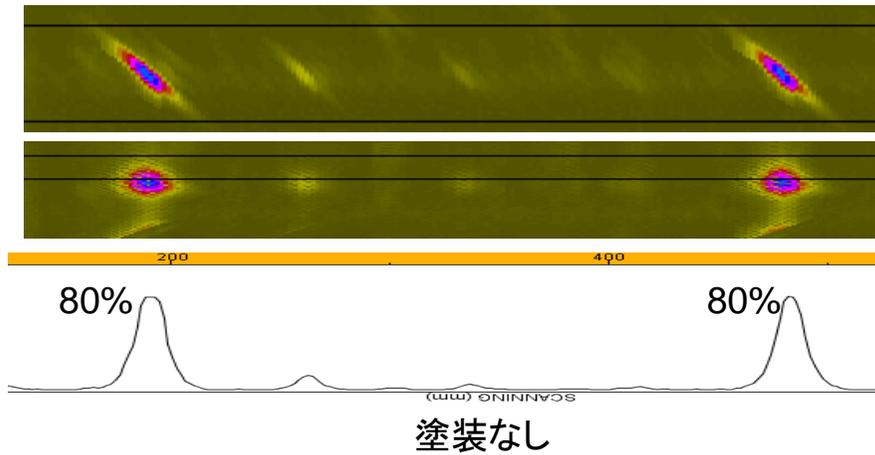
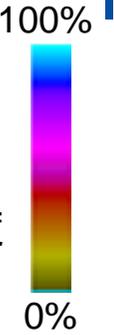
Cスコープ
(上面)

Bスコープ
(側面)

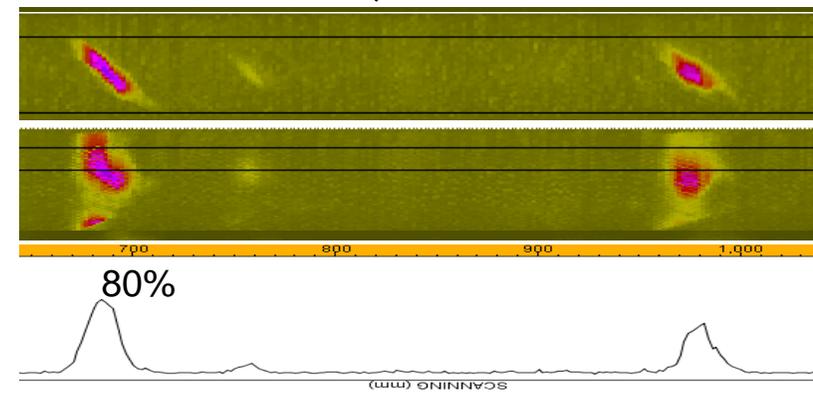
100%
↑
0%



- ・スリット寸法
長さ6mm
深さ3mm
- ・探傷感度
スリット反射波を80%となる感度
- ・塗膜厚さ1mm



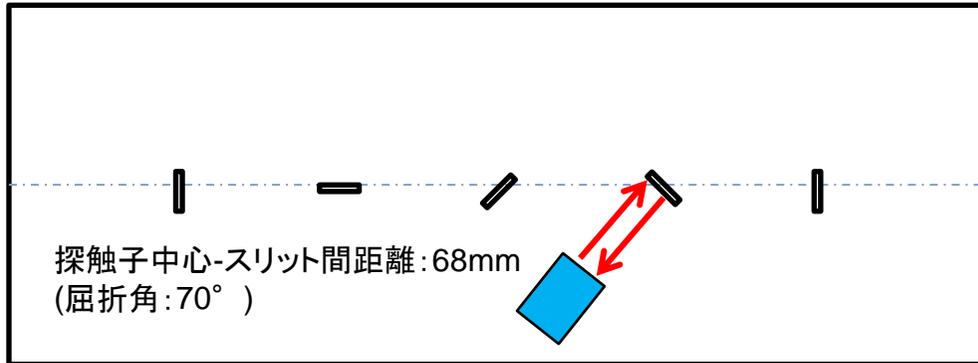
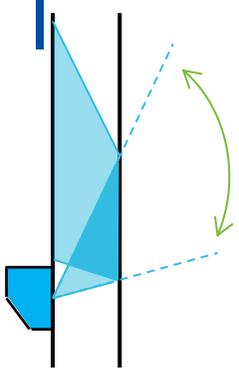
↓ +21dB



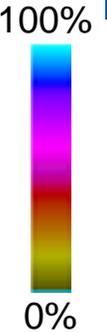
塗装の減衰によりスリットの反射強度が約21dB低下するため、塗装ありの条件では基準感度+21dBで探傷を実施。

塗装あり

角度付きず探傷の感度校正方法

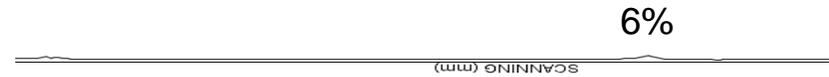
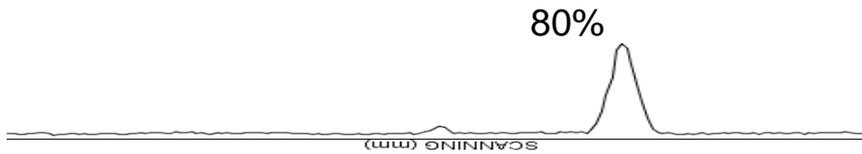
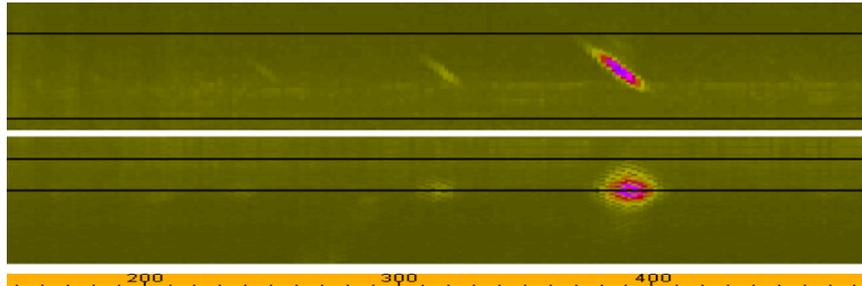


- ・スリット寸法
長さ6mm
深さ3mm
- ・探傷感度
スリット反射波を80%となる感度
- ・塗膜厚さ1mm



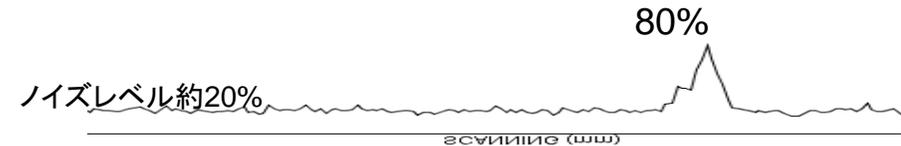
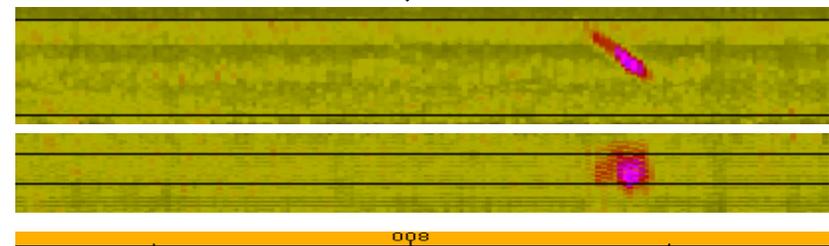
Cスコープ
(上面)

Bスコープ
(側面)



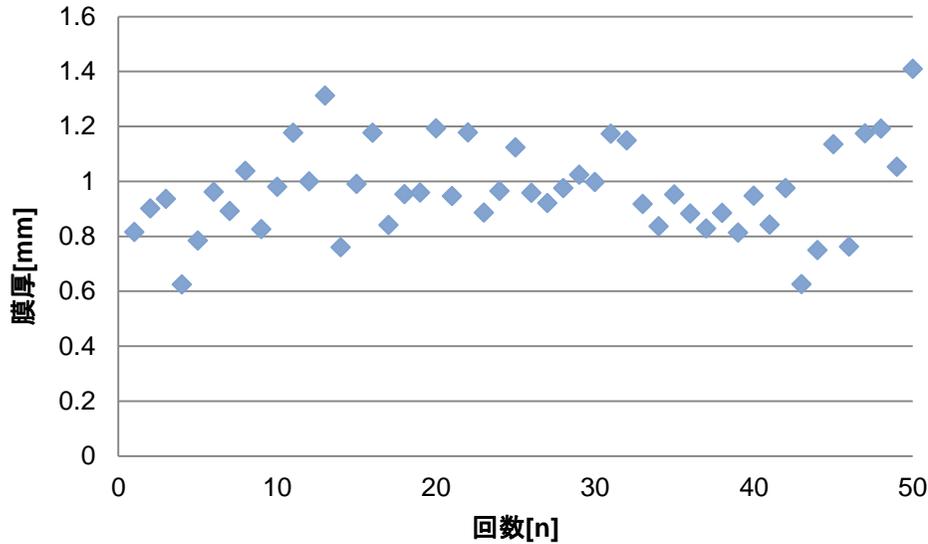
+21dB

塗装の減衰によりスリットの反射強度が約21dB低下するため、塗装ありの条件では基準感度+21dBで探傷を実施。

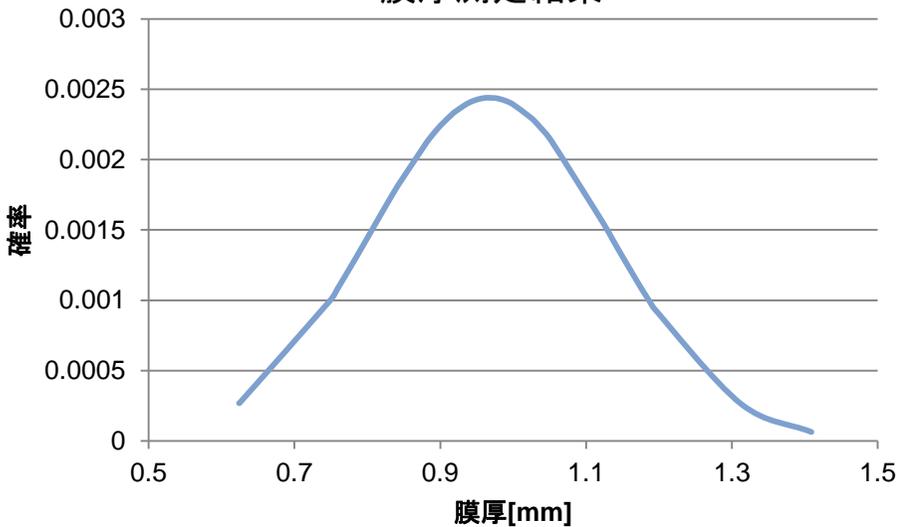


塗装あり

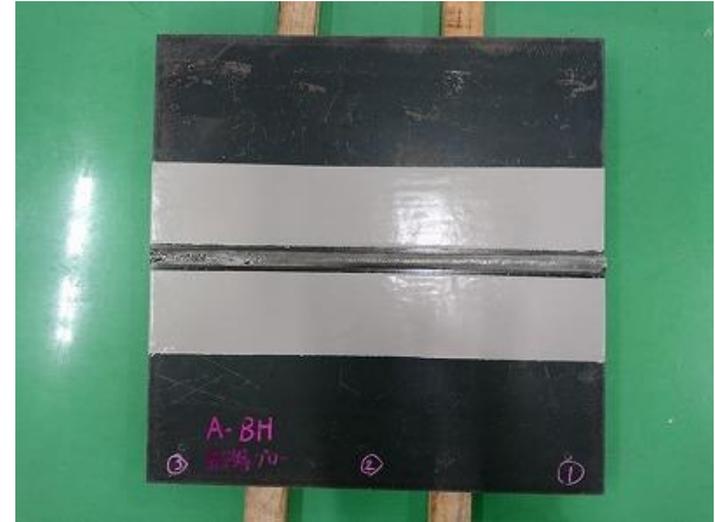
各試験体で探触子が接触するエリアをランダムで50回測定した。



膜厚測定結果



確率分布



塗装あり試験体写真

	塗膜厚さ (mm)
平均	0.968
標準偏差	0.163
最大	1.41
最小	0.624

塗膜厚さ測定の結果、平均塗膜厚さは0.968mmであった。塗膜厚さが超音波探傷に及ぼす影響については現地でのフィールド試験、塗装試験体での検証を行い検証する。

- 横割れきず探傷・角度付ききず探傷の感度補正量は、縦割れきず探傷と比較して塗装による減衰の影響が大きい。

縦割れきず探傷の感度補正量 = 基準感度 + 9dB (屈折角 55°)

横割れきず探傷・角度付ききず探傷の感度補正量 = 基準感度 + 21dB (屈折角 70°)

- 横割れきず探傷・角度付ききず探傷の方が屈折角が大きく、塗膜内を伝搬する距離が長くなることと屈折角が大きくなることで試験体への入射効率が低下したためであると考えられる。

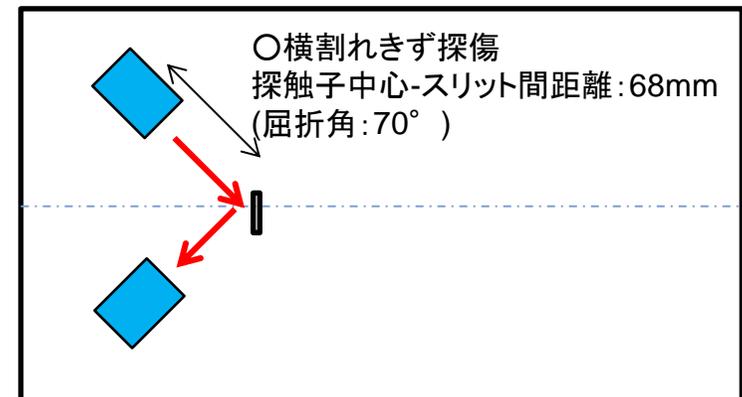
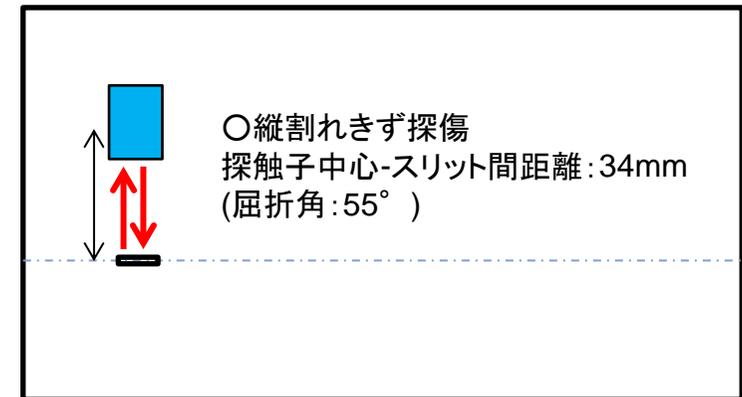
・塗膜内伝搬距離の違い (塗膜厚さ: 1mm)

縦割れきず探傷 (屈折角: 55°)

⇒ 3.5mm (往復)

横割れきず探傷・角度付ききず探傷 (屈折角: 70°)

⇒ 5.8mm (往復)



3.板厚12mm塗装あり試験片 探傷結果

試験片種類 \ 探傷結果	探傷結果	判定	備考
No.1(ブローホール)	縦割れきず探傷では、ビード中央部で数多くの表面指示が得られた事から表面に密集したブローホールが検出されたと考えられる。探傷側と反対の溶接止端部で指示が確認されたが溶接形状の影響であり評価体調外とする。特に角度付きず探傷法でブローホールが明瞭に検出された。	○	データシート 3,4
No.2(溶込不良)	縦割れきず探傷では、ビード中央部の表面からの指示が得られたが、RT結果が示す溶込不良の部位からは反射指示が得られなかった。また、横割れきず探傷、角度付きず探傷においても指示は確認できなかった。溶込不良試験片の断面観察の結果、裏当てまでの溶け込みを確認した。断面観察の結果は後程説明する。	×	データシート 5,6
No.3(内部割れ)	縦割れきず探傷では、ビード中央部で表面と内部からの複数の指示が得られた。また、横割れきず探傷で、ビード中央部で内部からの指示が確認されたが、この指示は試験片内を2回反射した後の指示のため評価対象外とする。	○	データシート 7,8
No.4(表面割れ)	縦割れきず探傷では、探傷側止端部で指示を検出した。表面割れがビード止端部まで進展していることが考えられる。角度付きず探傷にてビード中央部で表面からの指示が多く検出された。また、RT指示部以外の指示があり今後調査する予定である。	○	データシート 9,10
No.5(アンダーカット)	縦割れきず探傷において、ビード止端部表面からの強い指示を検出した。探傷側のビード止端部で指示が検出されていることからアンダーカットなどのきず指示であるとされる。また、角度付きず探傷では、ビード止端部で表面から高い指示が数か所確認されが、ビード形状からの反射と評価する。	○	データシート 11,12
No.6(無欠陥)	縦割れきず探傷において、ビード止端部で表面および余盛部からの指示が得られた。溶接形状の影響による指示が考えられるが、試験片表面を確認し最終評価とする。RTでは指示が無く、UTで指示が得られた箇所については今後調査を行う。また、横割れきず探傷、角度付きず探傷では、特に指示は確認されなかった。	—	データシート 13,14

RT,MT,PT指示部でUT指示あり:○ RT,MT,PT指示部でUT指示なし:× 評価対象外:—

4.板厚20mm塗装あり試験片 探傷結果

試験片種類	探傷結果	判定	備考
No.7(ブローホール)	縦割れきず探傷では、ビード中央部で数多くの表面指示が得られた事から表面に密集したブローホールが検出されたと考えられる。探傷側と反対の溶接止端部で指示が確認されたが溶接形状の影響であり評価対象外とする。特に角度付きず探傷法でブローホールが明瞭に検出された。	○	データシート 15,16
No.8(溶込不良)	縦割れきず探傷では表面からの指示は得られたが、RT結果が示す溶け込み不良の部位からは反射指示が得られなかった。また、角度付きず探傷においても表面からの指示を確認した。	×	データシート 17,18
No.9(内部割れ)	縦割れきず探傷では、ビード中央部・止端部で表面と内部からの複数の指示が得られた。また、角度付きず探傷で、ビード止端部内部からの指示を確認した。	○	データシート 19,20
No.10(表面割れ)	縦割れきず探傷では、ビード中央部で表面から連続的な指示が得られた。角度付きず探傷もビード中央部から止端部にかけて表面からの指示が多く検出された。これは、複数のきずからの反射が重なり広い範囲で指示が検出されたためだと考えられる。RT指示部以外の指示があり今後調査する予定である。	○	データシート 21,22
No.11(アンダーカット)	縦割れきず探傷において、ビード止端部で表面からの指示が得られた。探傷側の止端部で検出されていることからアンダーカットなどのきず指示と考えられる。また、角度付きず探傷では、ビード止端部で表面から高い指示が数か所確認されが、ビード形状からの反射と評価する。	○	データシート 23,24
No.12(融合不良)	縦割れきず探傷では、試験体の内部から裏面にかけて複数の指示を確認した。UTで検出された指示はRTと同様の結果を示している。	○	データシート 25,26
No.13(無欠陥)	縦割れきず探傷において、ビード止端部で表面および余盛部からの指示が得られた。溶接形状およびアンダーカットが考えられるが、試験体表面を確認し最終評価とする。RTでは指示が無く、UTで指示が得られた箇所についても、今後調査を行う。	—	データシート 27,28

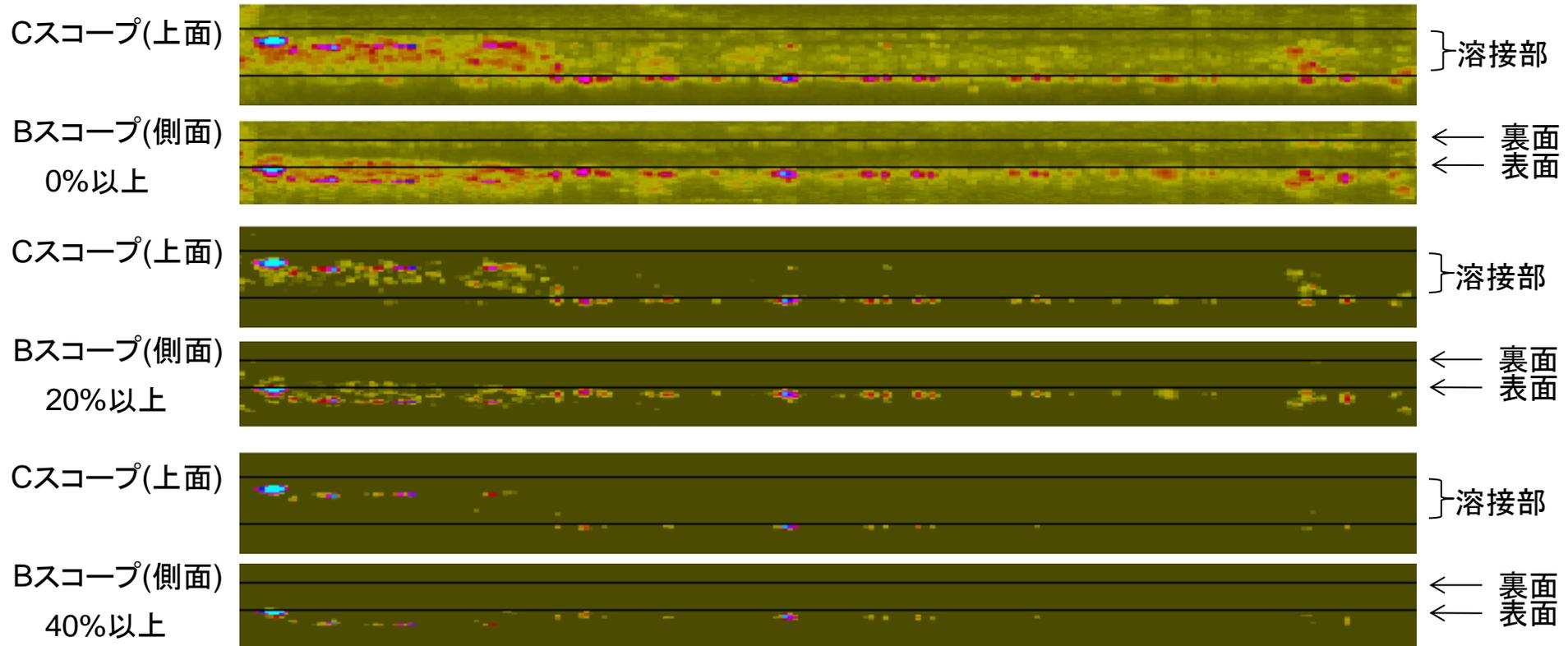
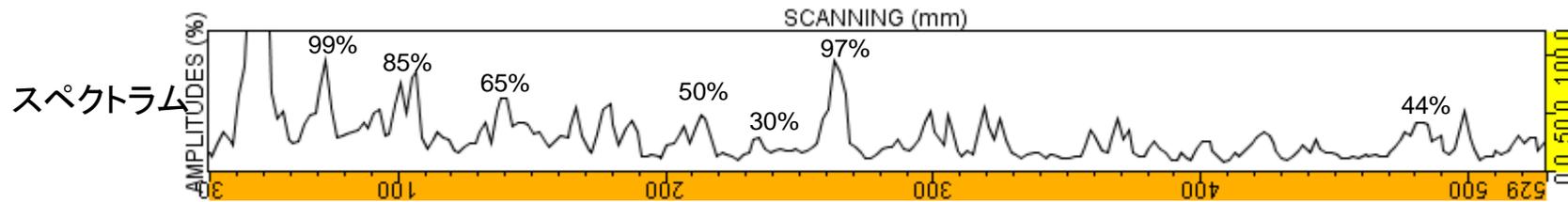
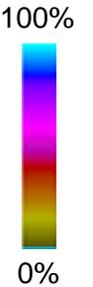
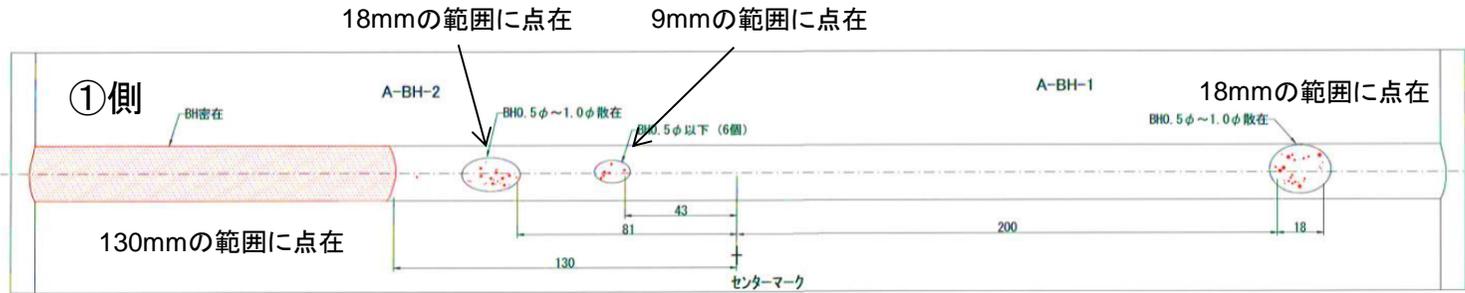
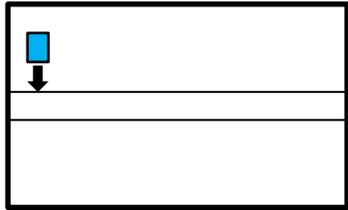
各種きずの検出を確認した。また、きずの形状および種類を識別することは困難である。

RT,MT,PT指示部でUT指示あり:○ RT,MT,PT指示部でUT指示なし:× 評価対象外:—

5.しきい値の検討

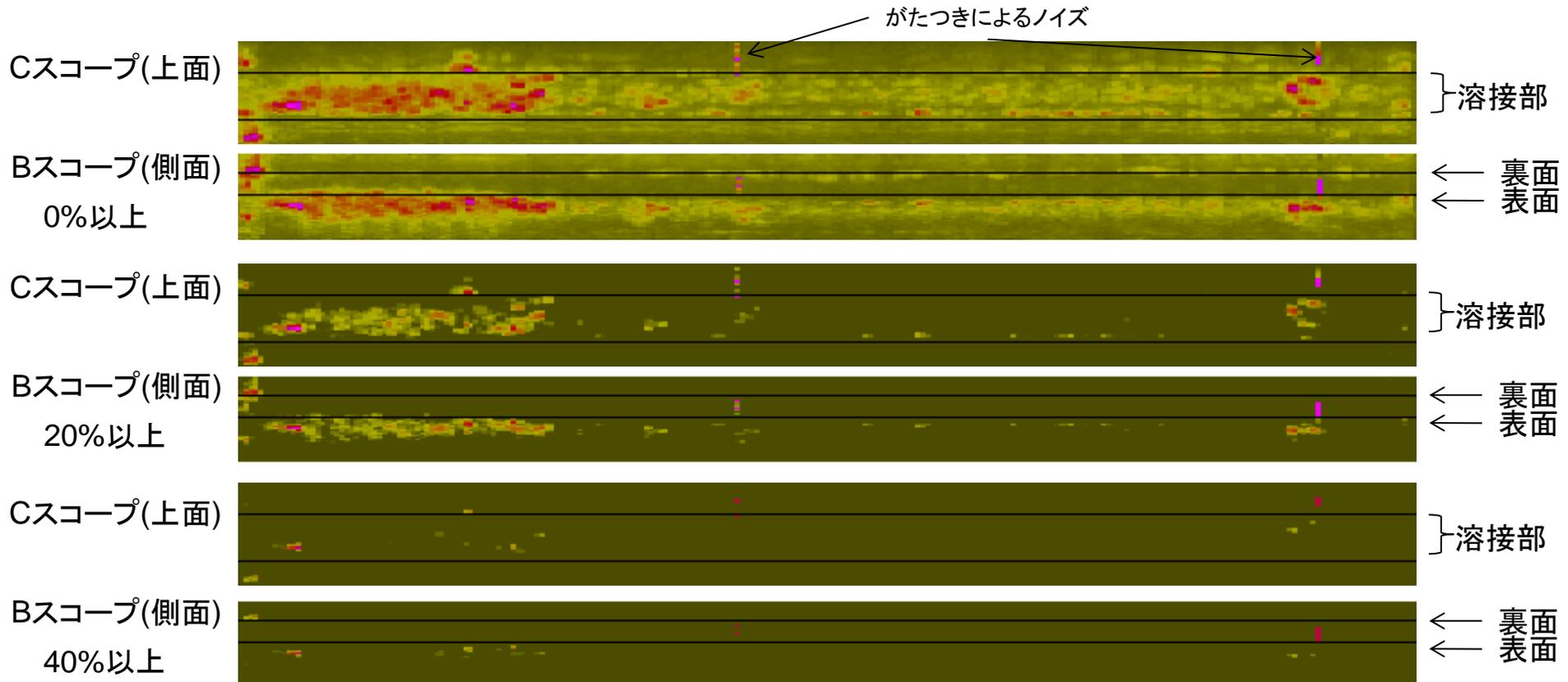
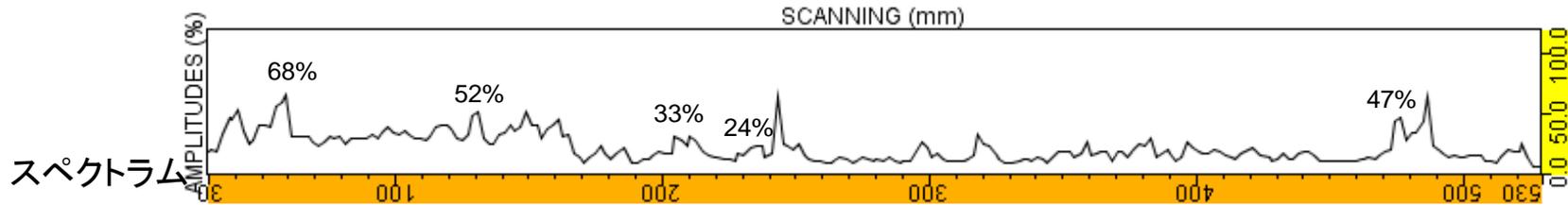
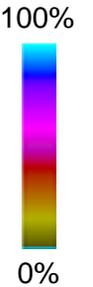
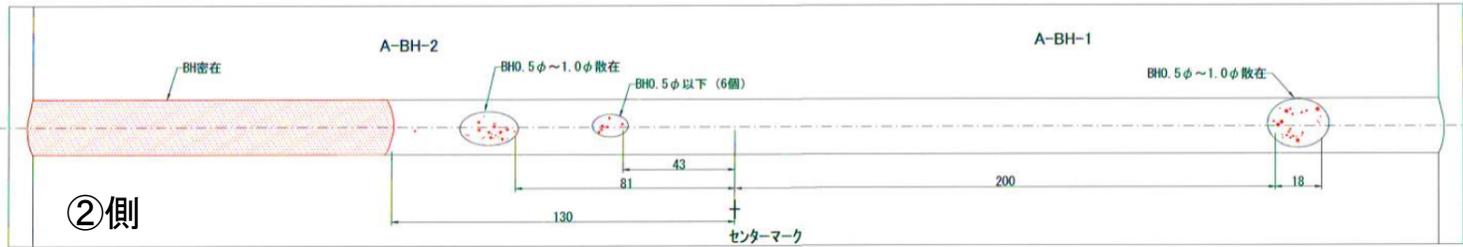
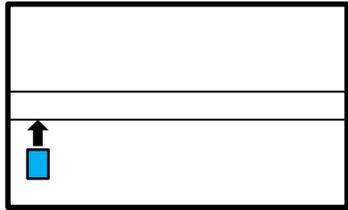
No. 1試験片 ブローホール 縦割れきず探傷 板厚12mm(その1)

塗装あり



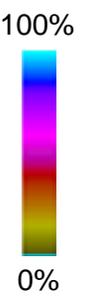
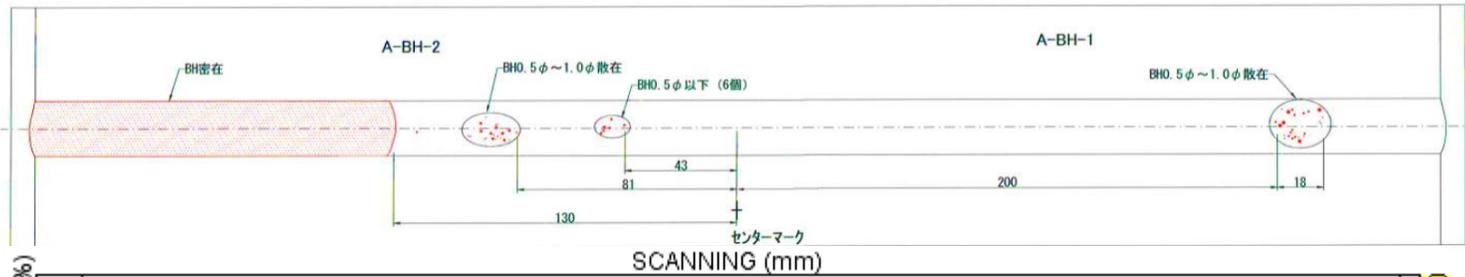
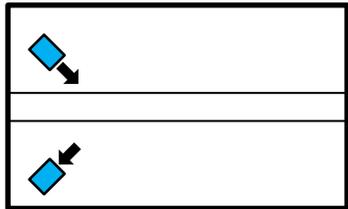
No. 1試験片 ブローホール 縦割れきず探傷 板厚12mm(その2)

塗装あり

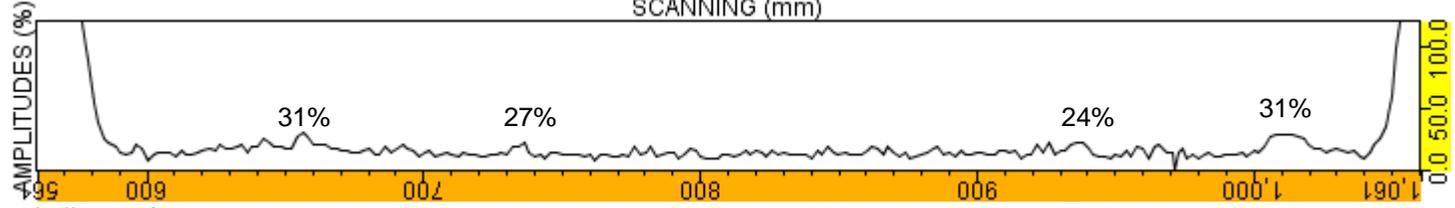


No. 1試験片 ブローホール 横割れきず探傷 板厚12mm

塗装あり



スペクトラム

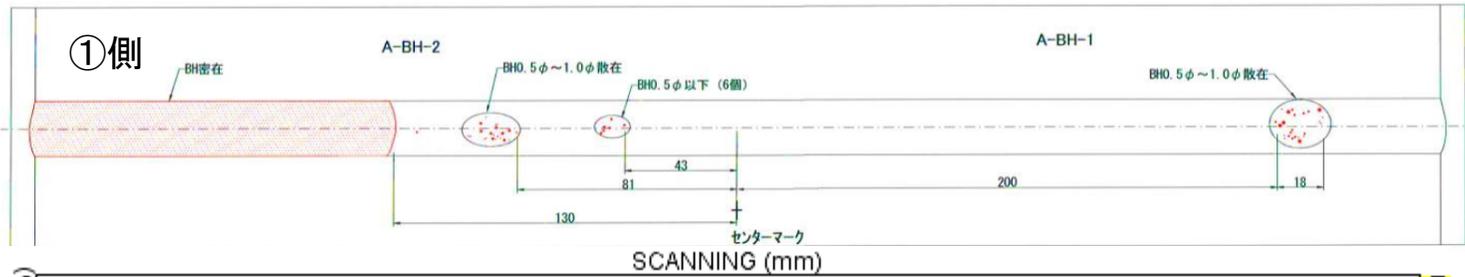
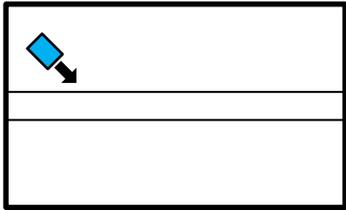


端部の擬似信号

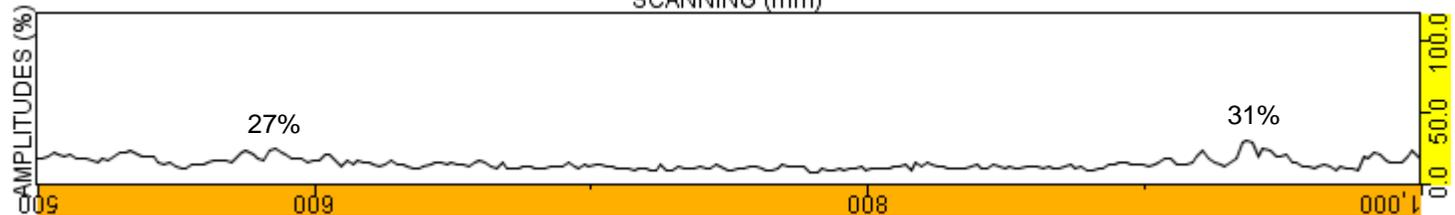
端部の擬似信号

No. 1試験片 ブローホール 角度付きず探傷 板厚12mm(その1)

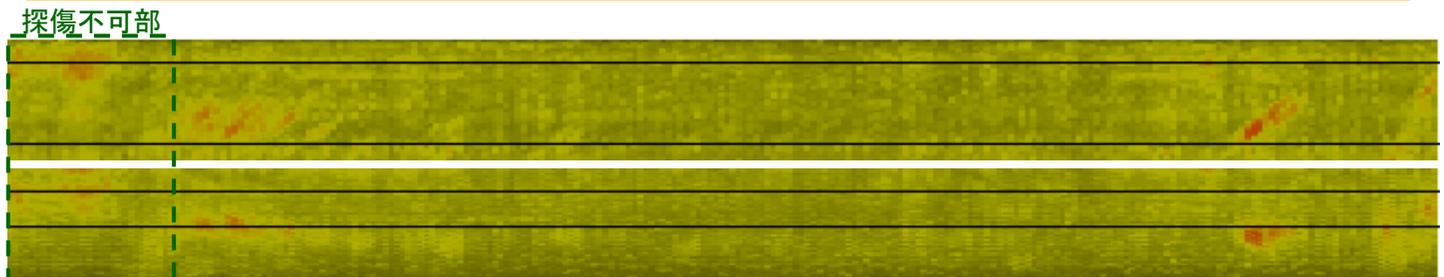
塗装あり



スペクトラム



Cスコープ(上面)



溶接部

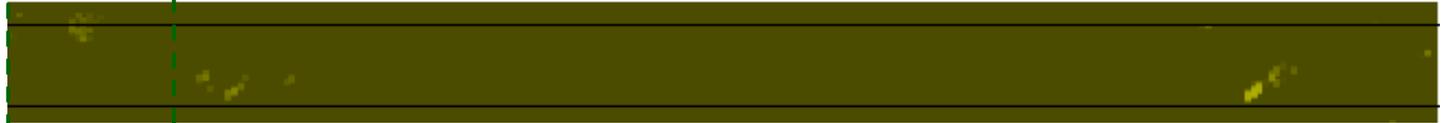
Bスコープ(側面)



裏面
表面

0%以上

Cスコープ(上面)



溶接部

Bスコープ(側面)



裏面
表面

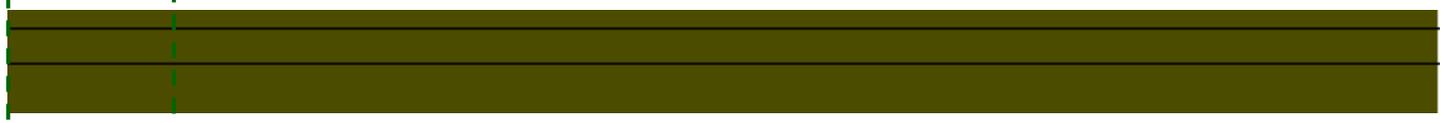
20%以上

Cスコープ(上面)



溶接部

Bスコープ(側面)



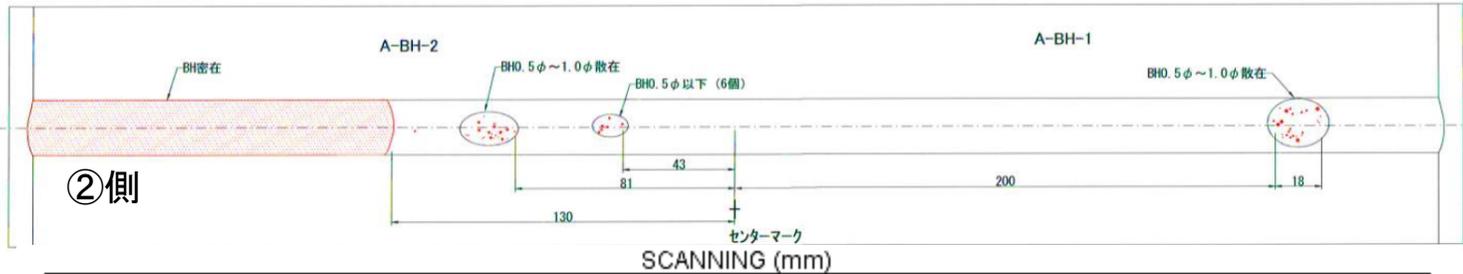
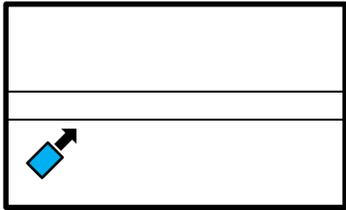
裏面
表面

40%以上

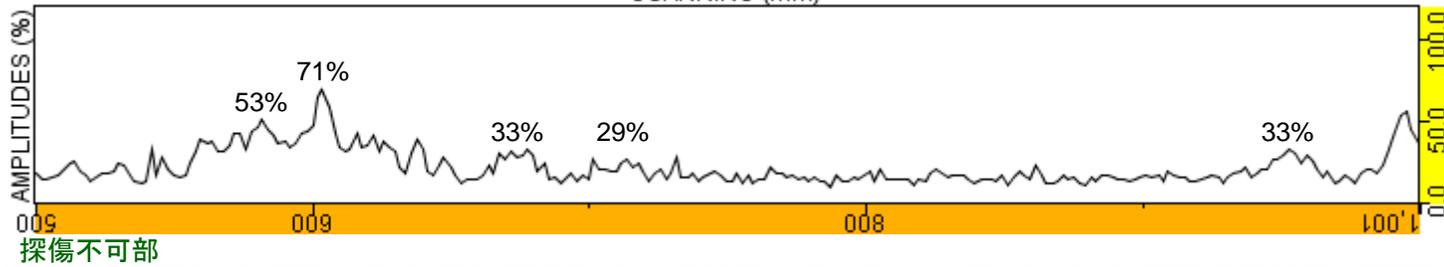
No. 1試験片 ブローホール 角度付きず探傷 板厚12mm(その2)

IHI

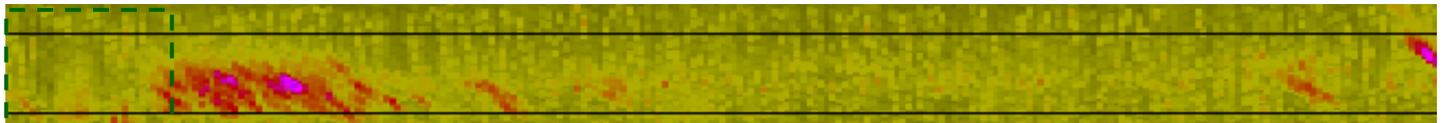
塗装あり



スペクトラム



Cスコープ(上面)



溶接部

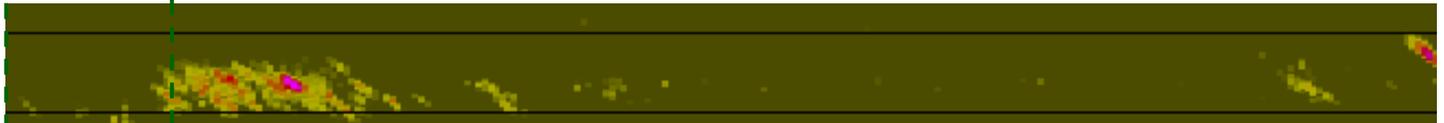
Bスコープ(側面)



← 裏面
← 表面

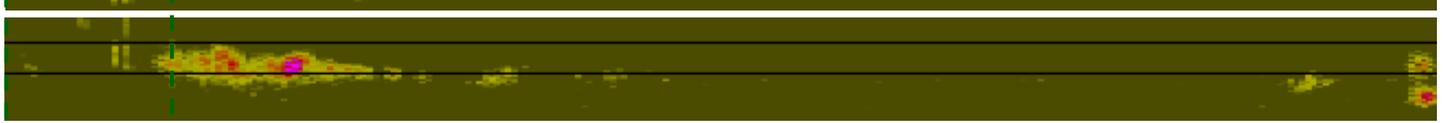
0%以上

Cスコープ(上面)



溶接部

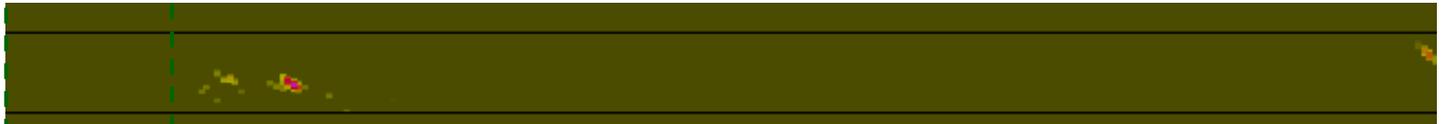
Bスコープ(側面)



← 裏面
← 表面

20%以上

Cスコープ(上面)



溶接部

Bスコープ(側面)

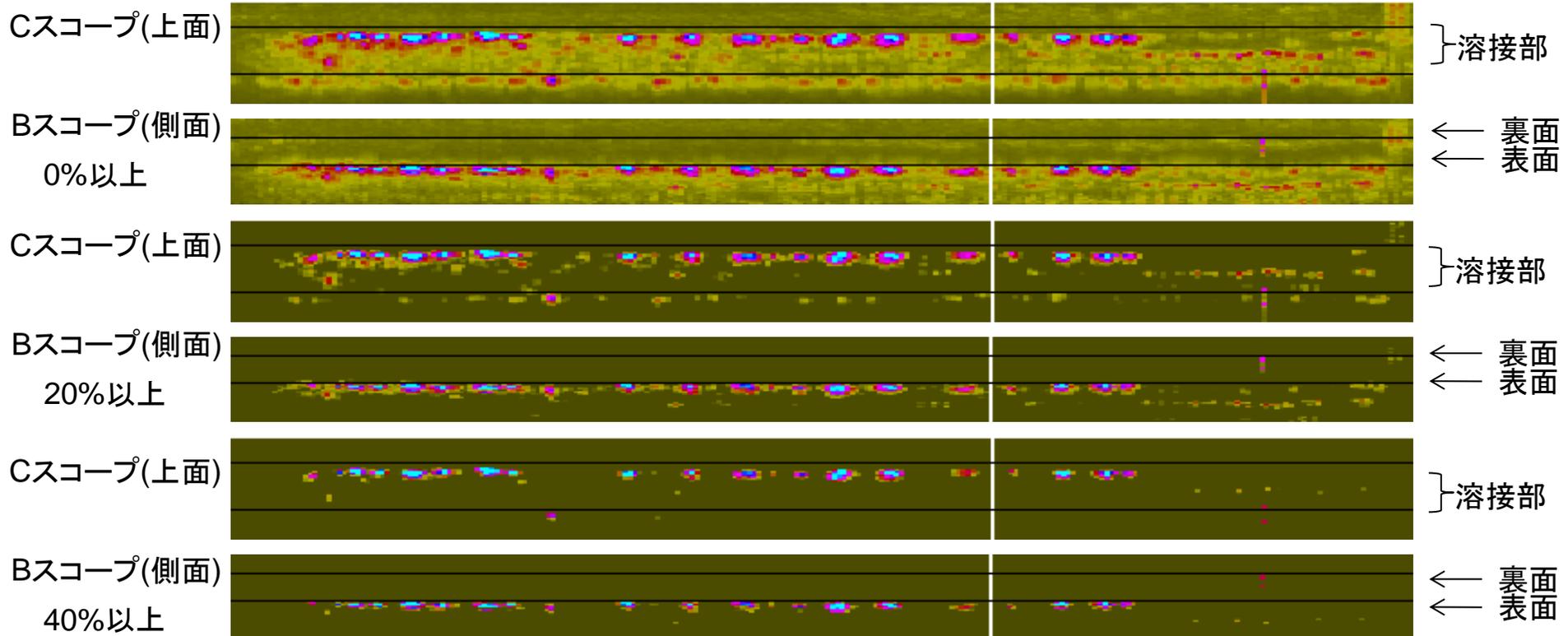
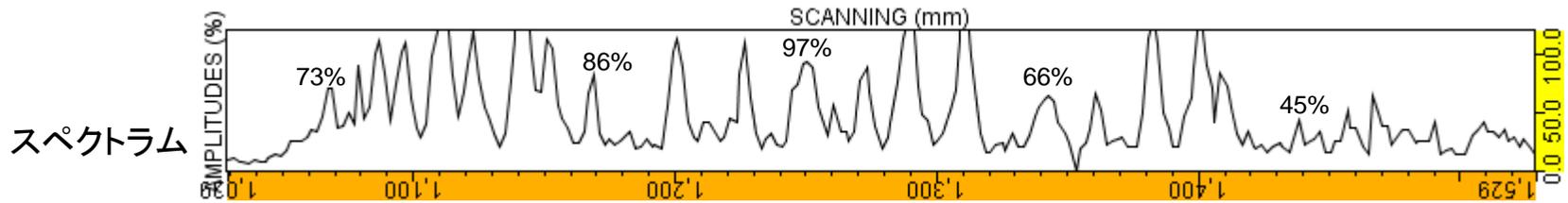
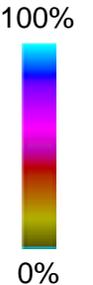
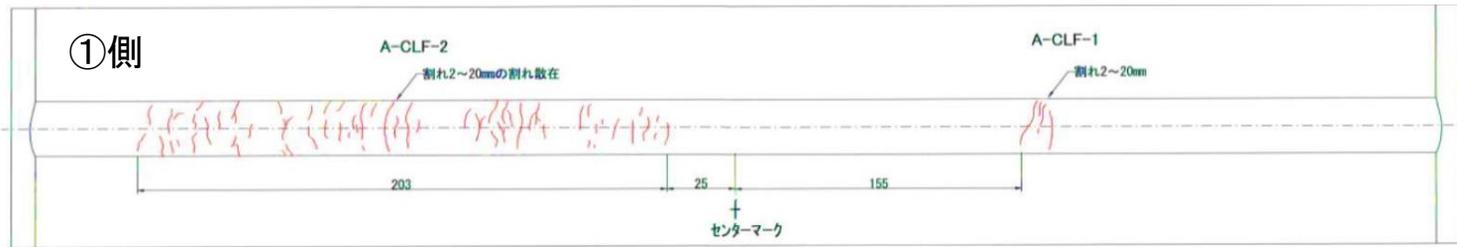
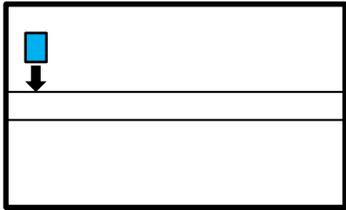


← 裏面
← 表面

40%以上

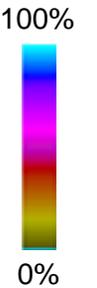
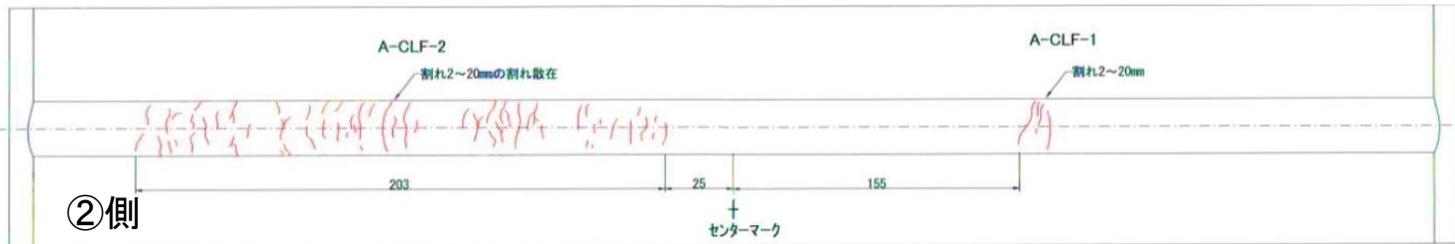
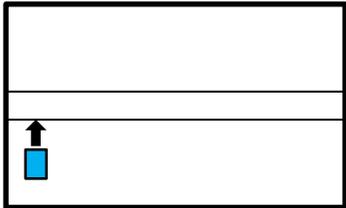
No. 4試験片 表面割れ 縦割れきず探傷 板厚12mm(その1)

塗装あり

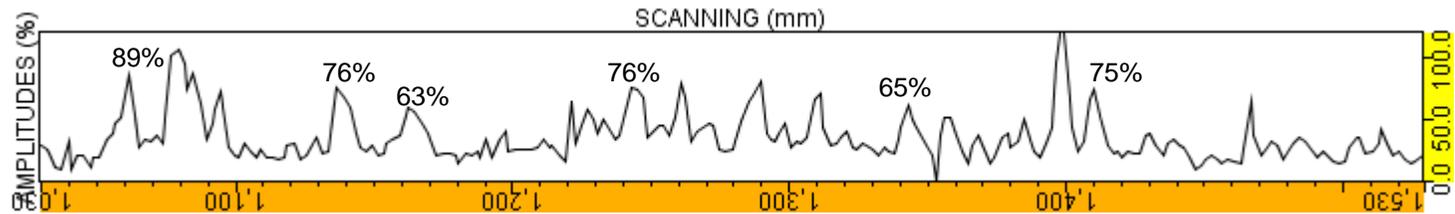


No. 4試験片 表面割れ 縦割れきず探傷 板厚12mm(その2)

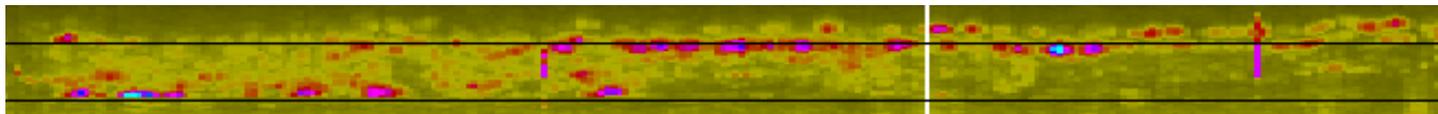
塗装あり



スペクトラム

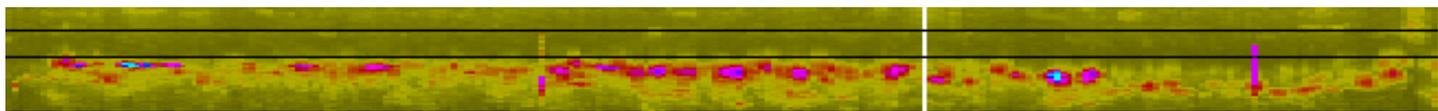


Cスコープ(上面)



} 溶接部

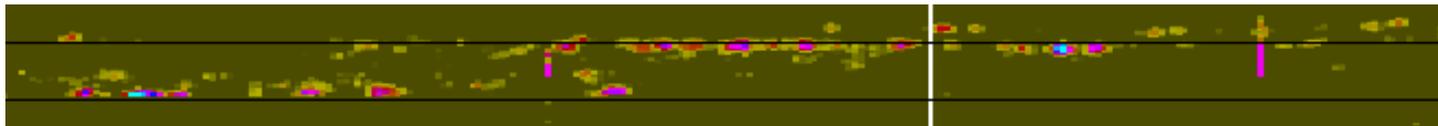
Bスコープ(側面)



← 裏面
← 表面

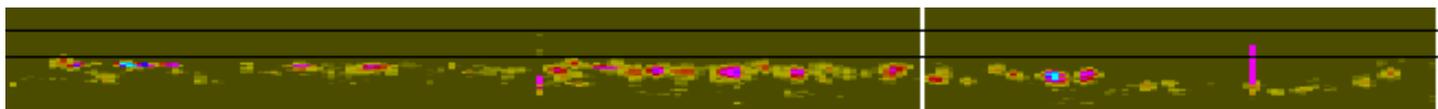
0%以上

Cスコープ(上面)



} 溶接部

Bスコープ(側面)



← 裏面
← 表面

20%以上

Cスコープ(上面)



} 溶接部

Bスコープ(側面)

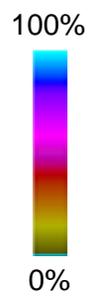
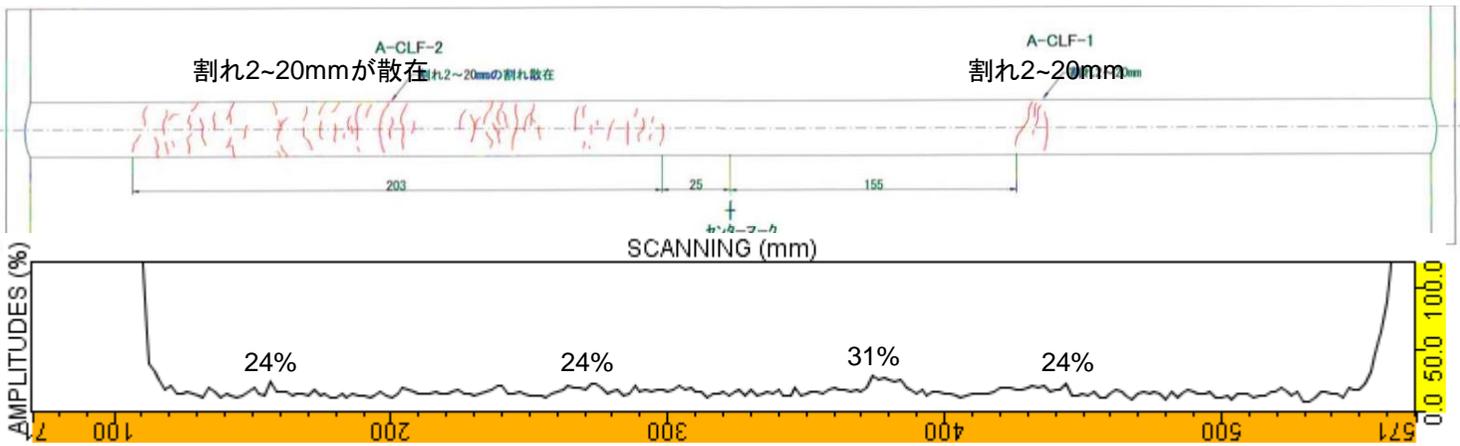
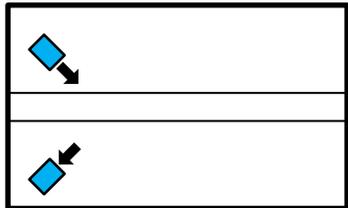


← 裏面
← 表面

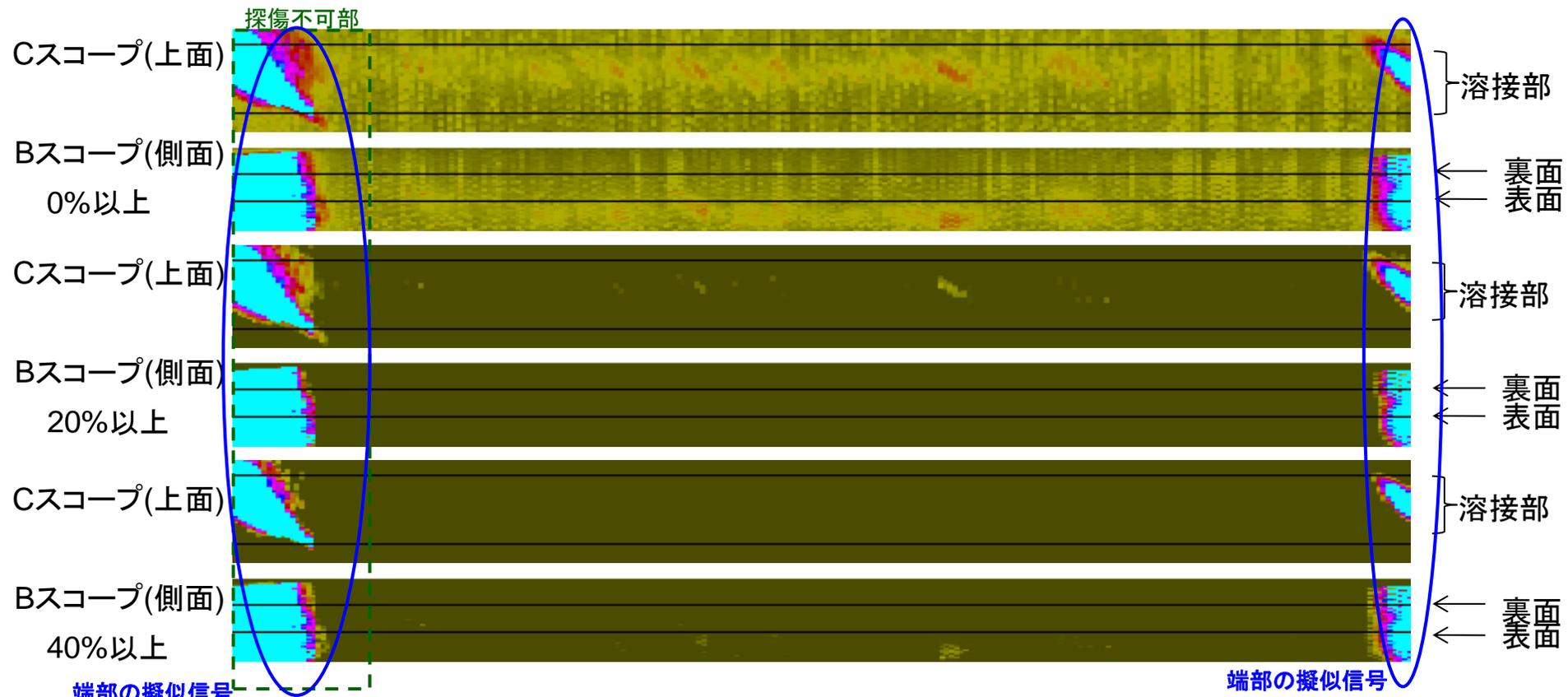
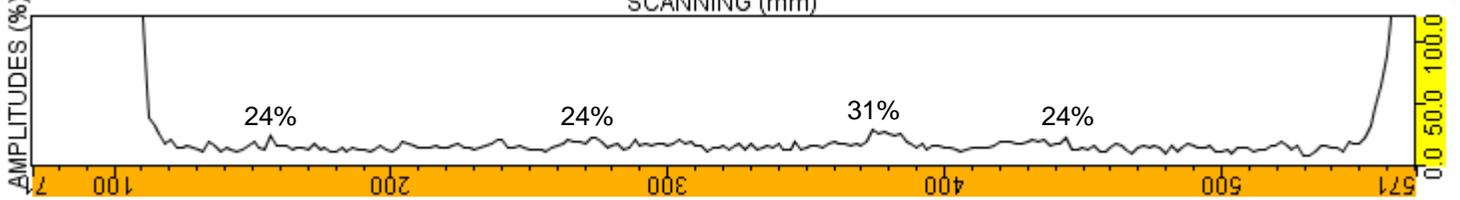
40%以上

No. 4試験片 表面割れ 横割れきず探傷 板厚12mm

塗装あり



スペクトラム

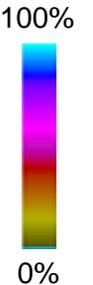
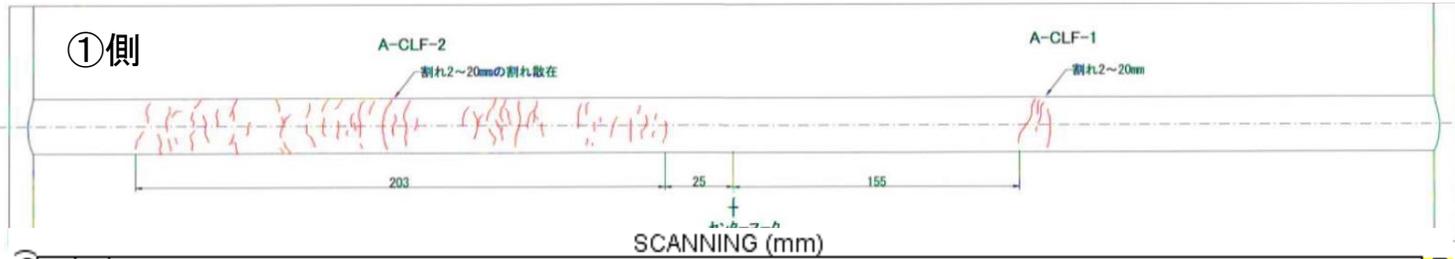
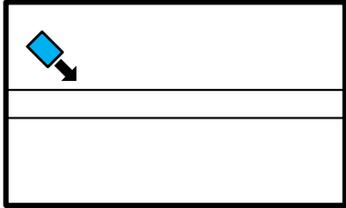


端部の擬似信号

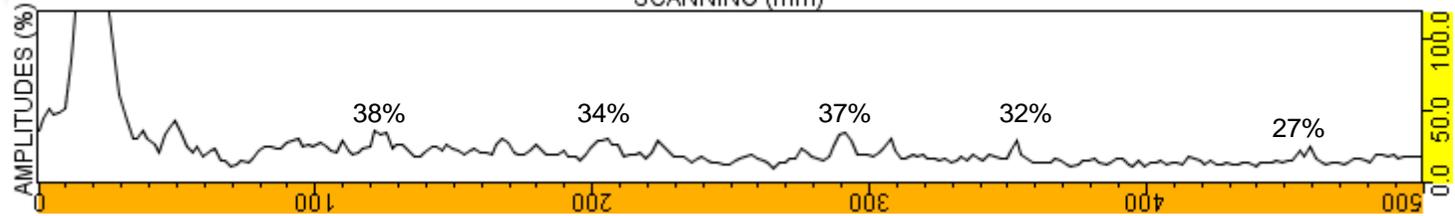
端部の擬似信号

No. 4試験片 表面割れ 角度付きず探傷 板厚12mm(その1)

塗装あり

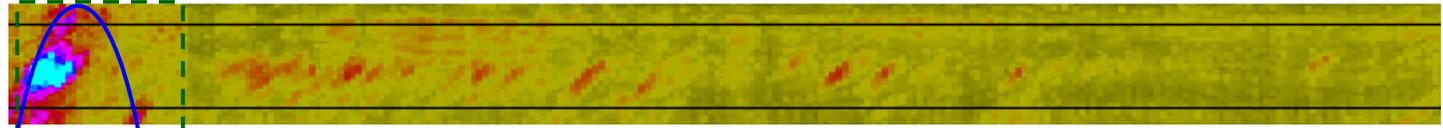


スペクトラム



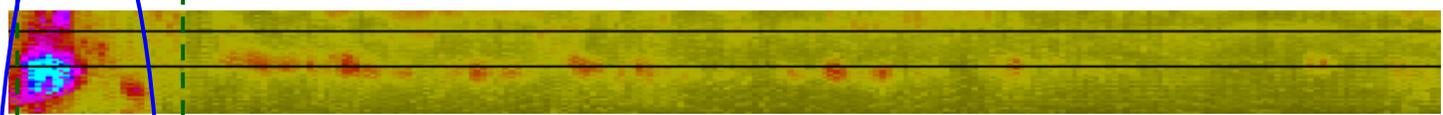
探傷不可部

Cスコープ(上面)



溶接部

Bスコープ(側面)



裏面
表面

0%以上

Cスコープ(上面)



溶接部

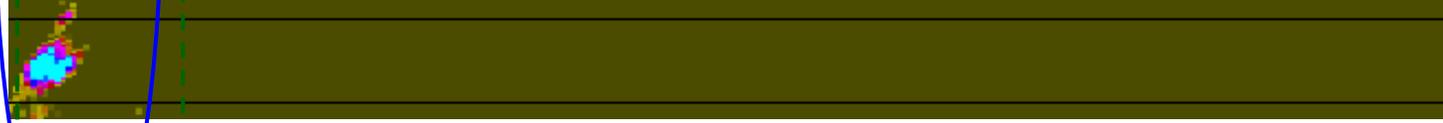
Bスコープ(側面)



裏面
表面

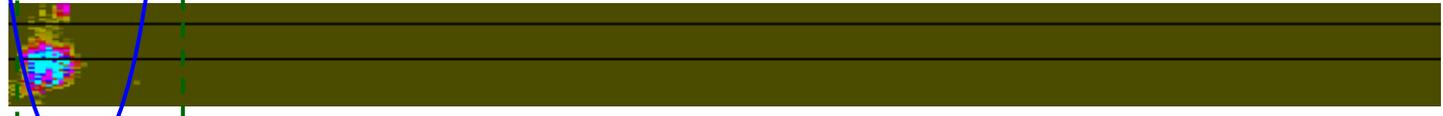
20%以上

Cスコープ(上面)



溶接部

Bスコープ(側面)



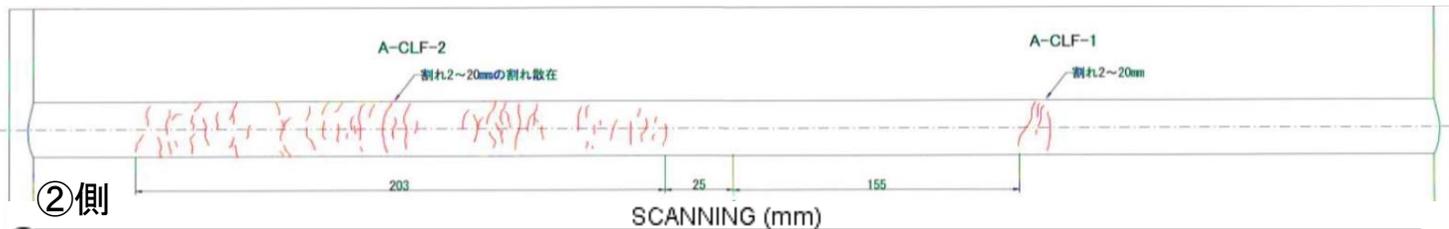
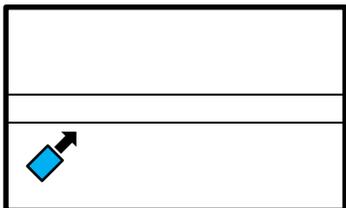
裏面
表面

40%以上

端部の擬似信号

No. 4試験片 表面割れ 角度付きず探傷 板厚12mm(その2)

塗装あり

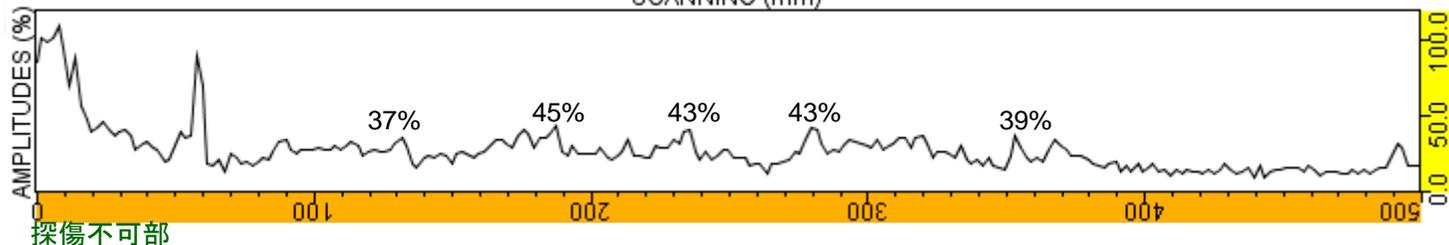


100%

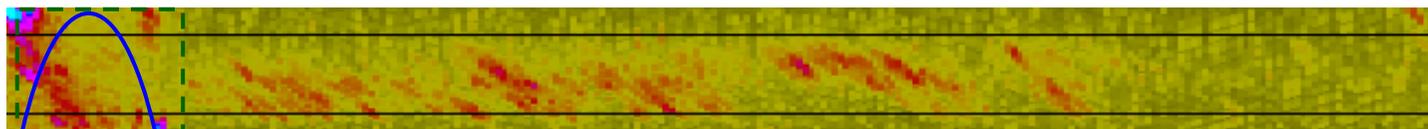


0%

スペクトラム

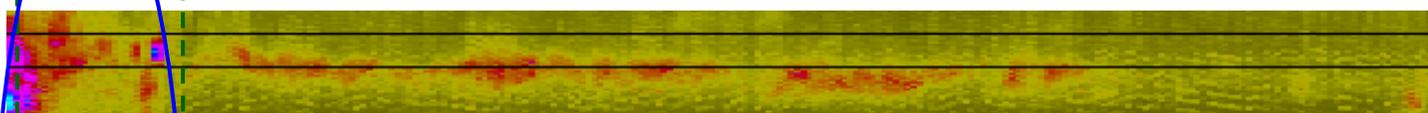


Cスコープ(上面)



} 溶接部

Bスコープ(側面)



← 裏面
← 表面

0%以上

Cスコープ(上面)



} 溶接部

Bスコープ(側面)



← 裏面
← 表面

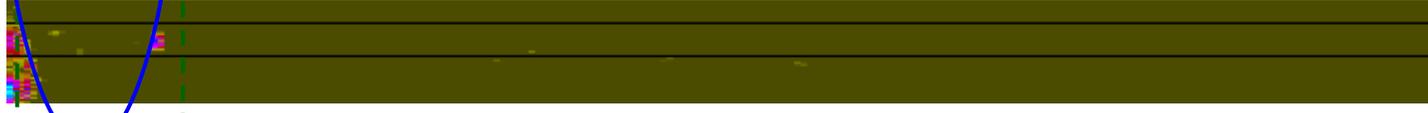
20%以上

Cスコープ(上面)



} 溶接部

Bスコープ(側面)



← 裏面
← 表面

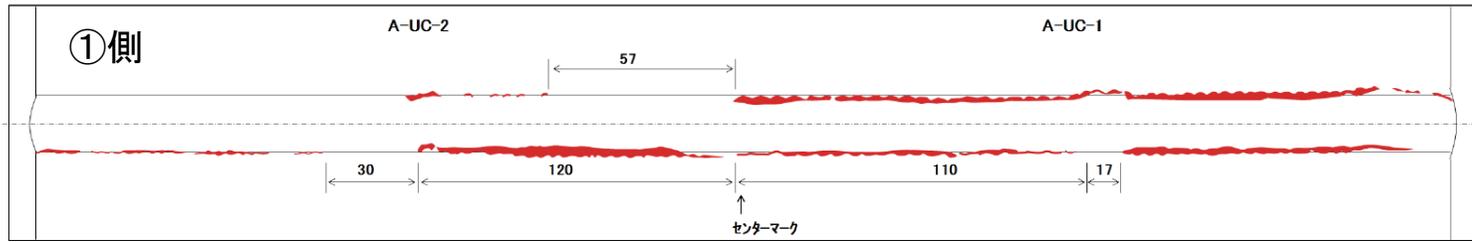
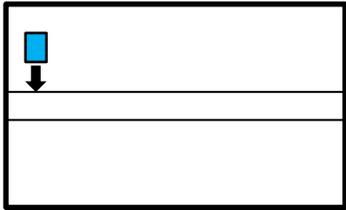
40%以上

端部の擬似信号

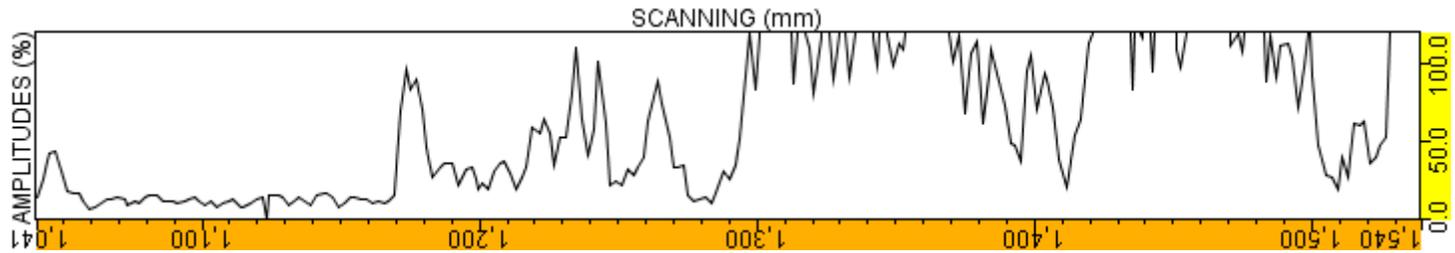


No. 5試験片 アンダーカット 縦割れきず探傷 板厚12mm(その1)

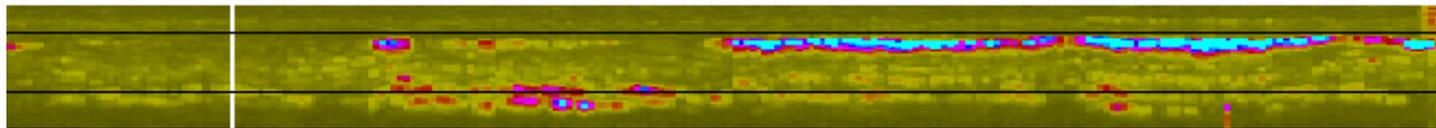
塗装あり



スペクトラム



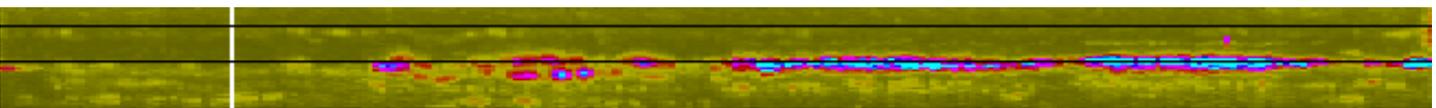
Cスコープ(上面)



} 溶接部

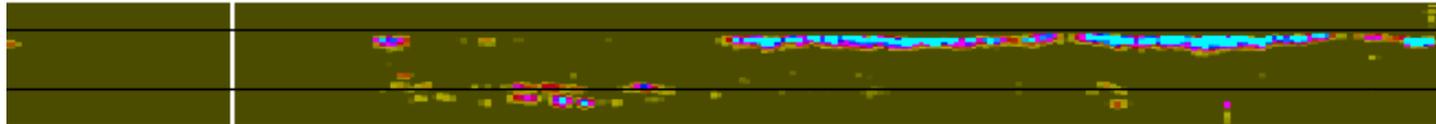
Bスコープ(側面)

0%以上



← 裏面
← 表面

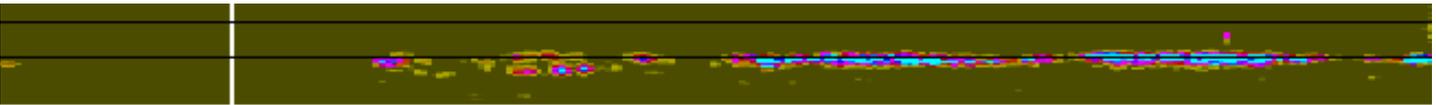
Cスコープ(上面)



} 溶接部

Bスコープ(側面)

20%以上



← 裏面
← 表面

Cスコープ(上面)



} 溶接部

Bスコープ(側面)

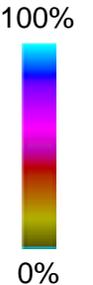
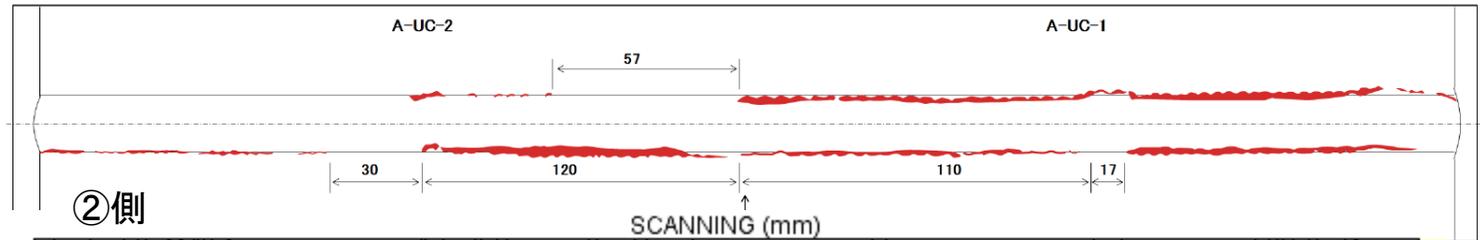
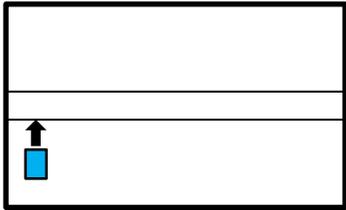
40%以上



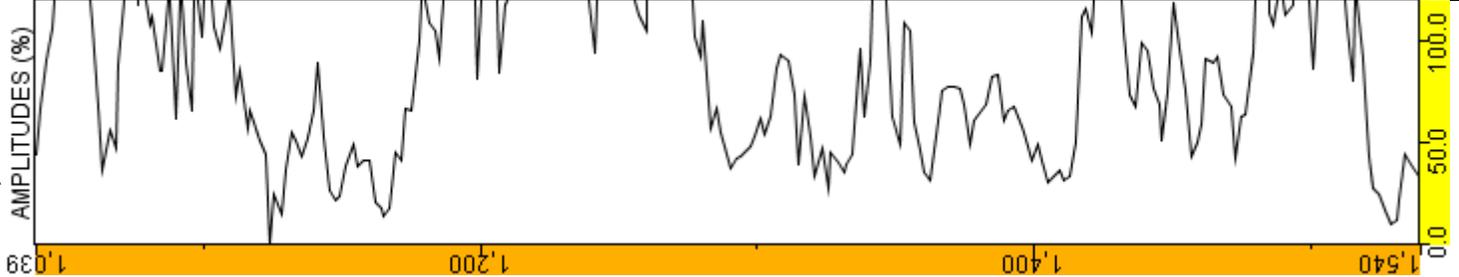
← 裏面
← 表面

No. 5試験片 アンダーカット 縦割れきず探傷 板厚12mm(その2)

塗装あり

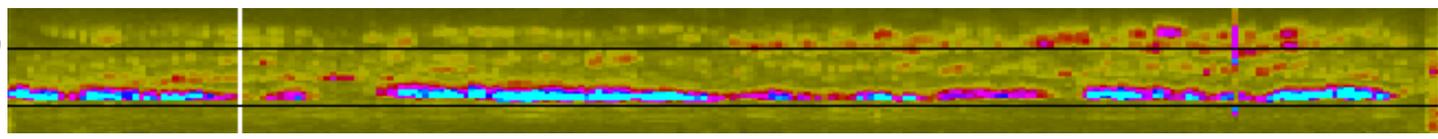


スペクトラム



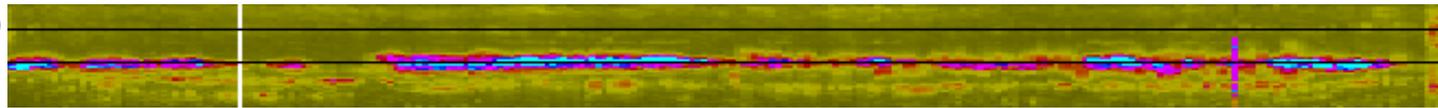
100%以上

Cスコープ(上面)



} 溶接部

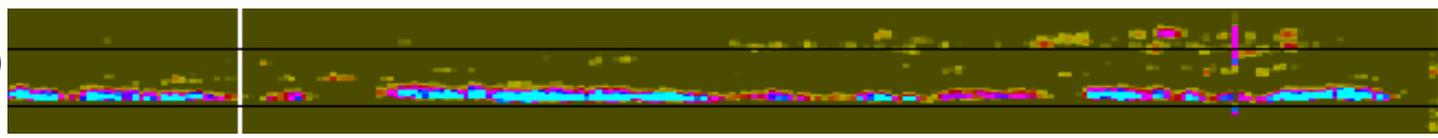
Bスコープ(側面)



← 裏面
← 表面

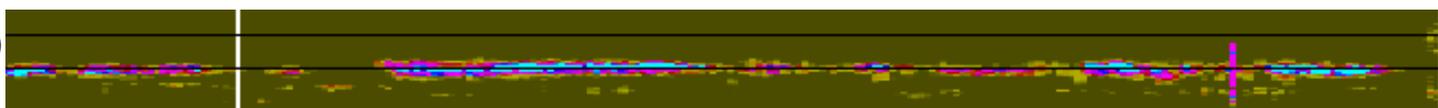
0%以上

Cスコープ(上面)



} 溶接部

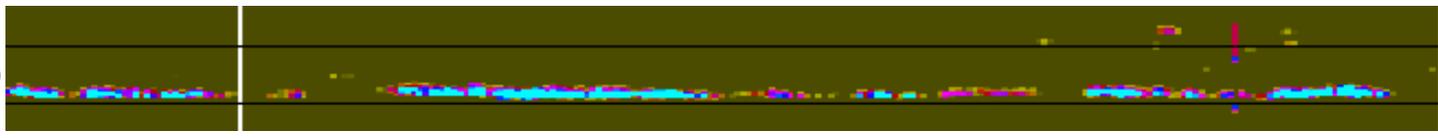
Bスコープ(側面)



← 裏面
← 表面

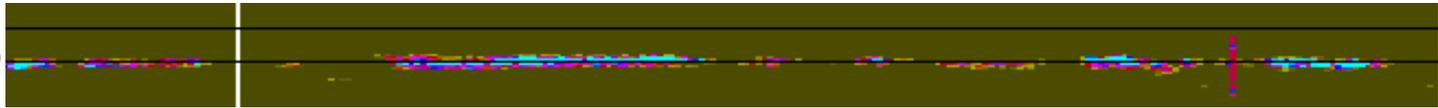
20%以上

Cスコープ(上面)



} 溶接部

Bスコープ(側面)

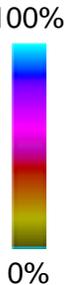
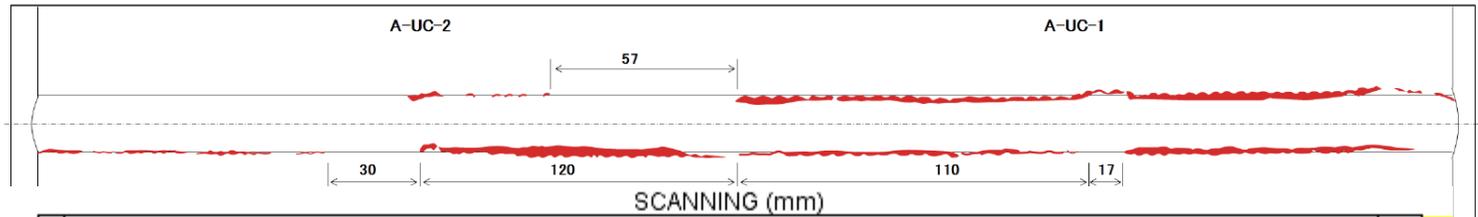
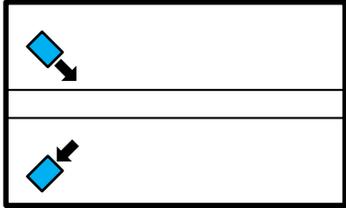


← 裏面
← 表面

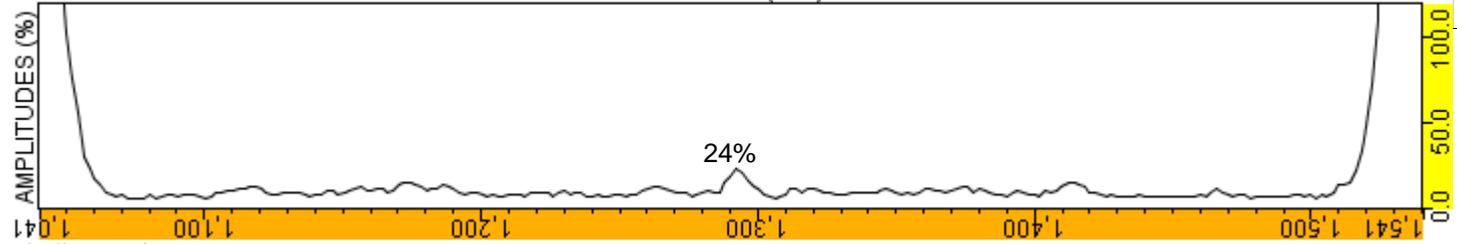
40%以上

No. 5試験片 アンダーカット 横割れきず探傷 板厚12mm

塗装あり



スペクトラム



Cスコープ(上面)

Bスコープ(側面)

0%以上

Cスコープ(上面)

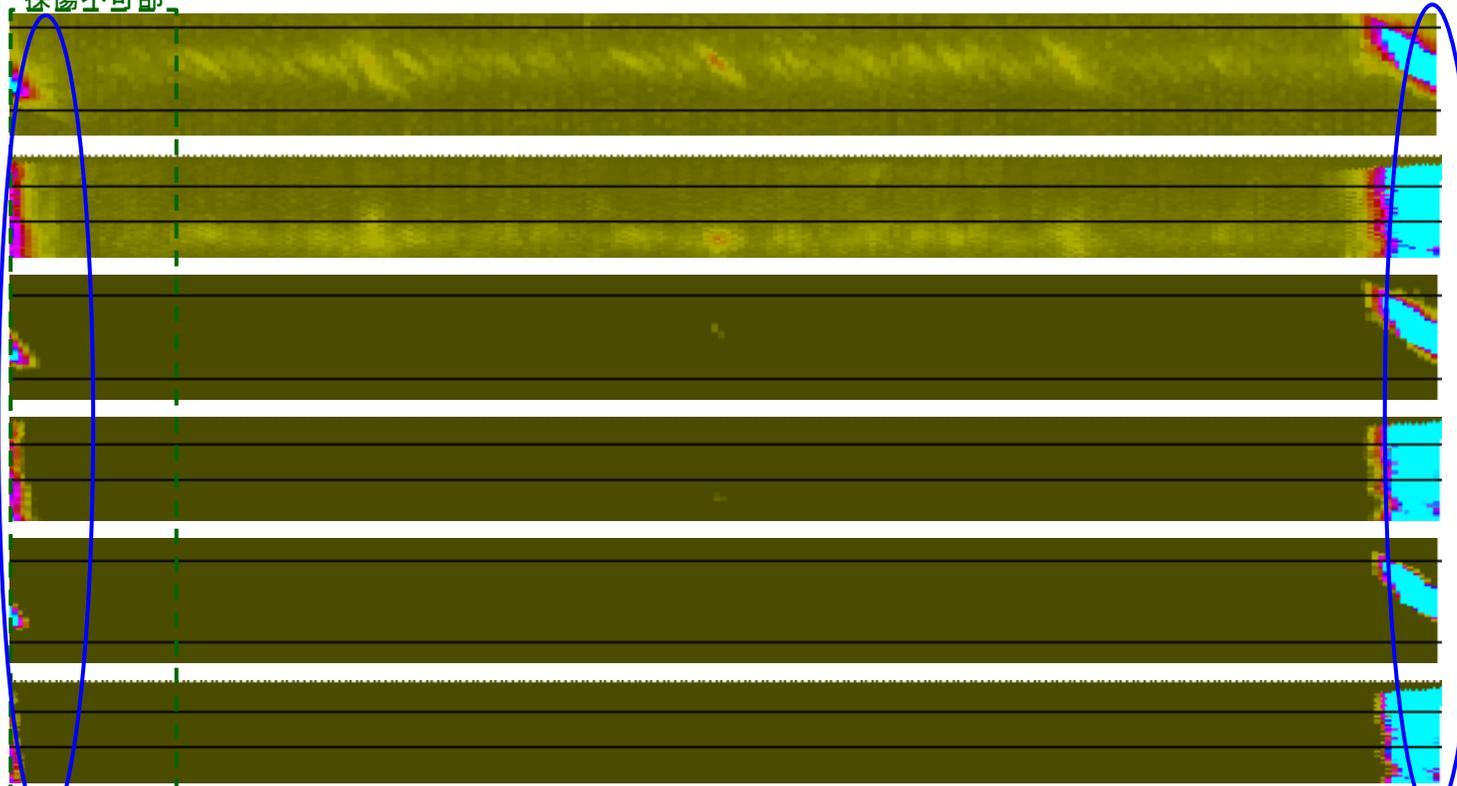
Bスコープ(側面)

20%以上

Cスコープ(上面)

Bスコープ(側面)

40%以上



溶接部

裏面

表面

溶接部

裏面

表面

溶接部

裏面

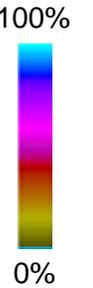
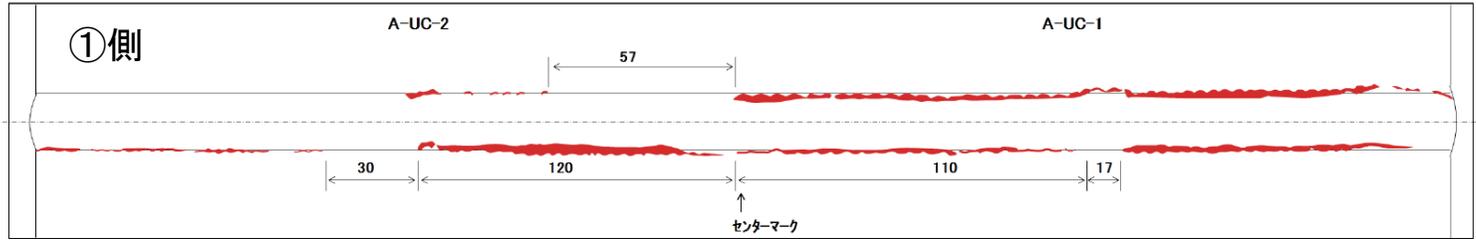
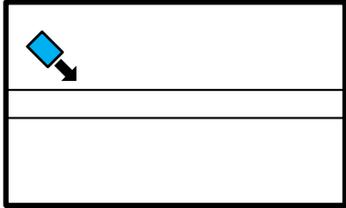
表面

端部の擬似信号

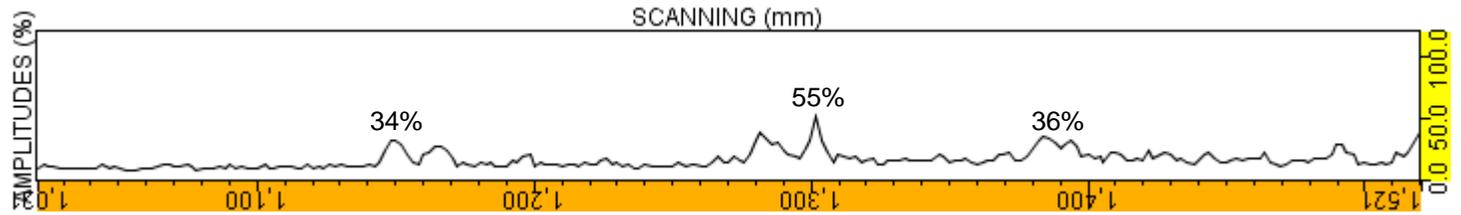
端部の擬似信号

No. 5試験片 アンダーカット 角度付きず探傷 板厚12mm(その1)

塗装あり

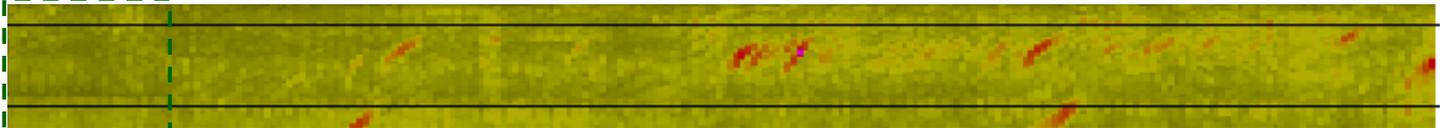


スペクトラム



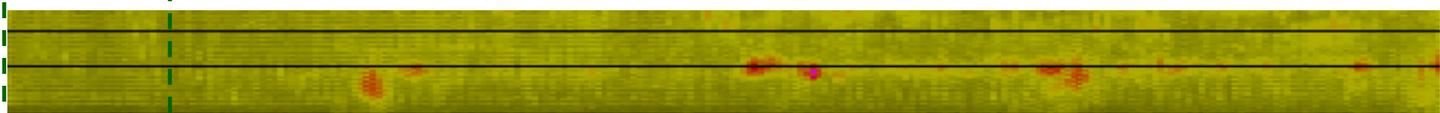
探傷不可部

Cスコープ(上面)



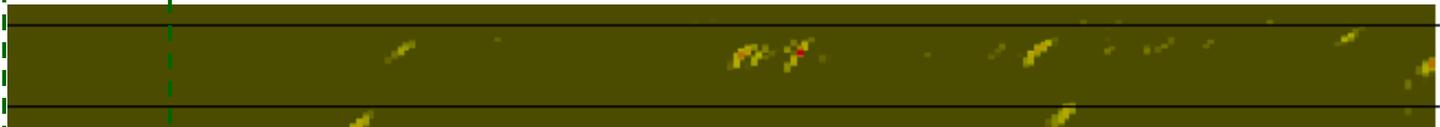
溶接部

Bスコープ(側面)
0%以上



裏面
表面

Cスコープ(上面)



溶接部

Bスコープ(側面)
20%以上



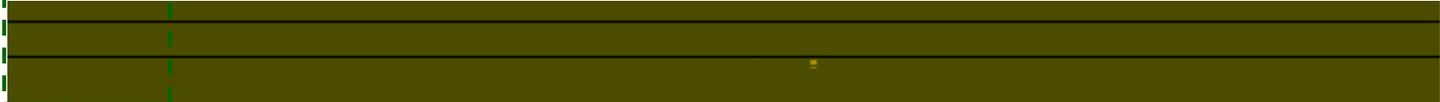
裏面
表面

Cスコープ(上面)



溶接部

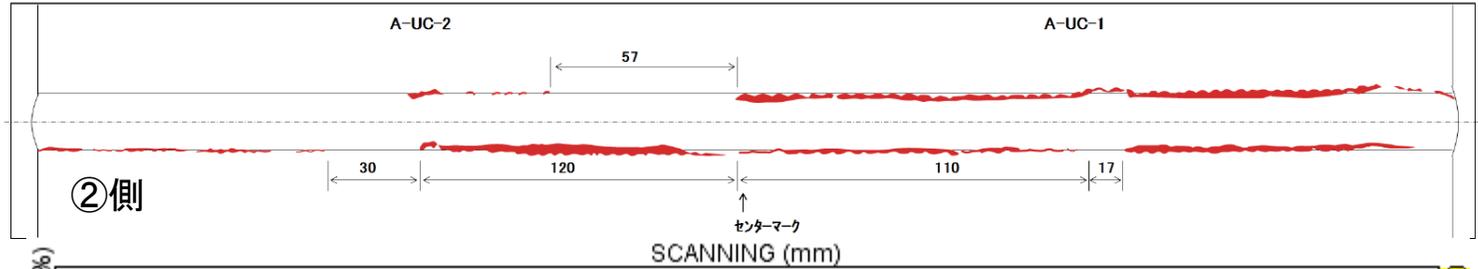
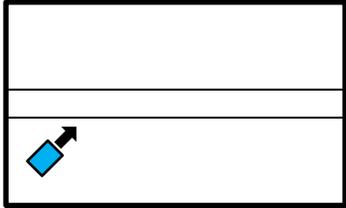
Bスコープ(側面)
40%以上



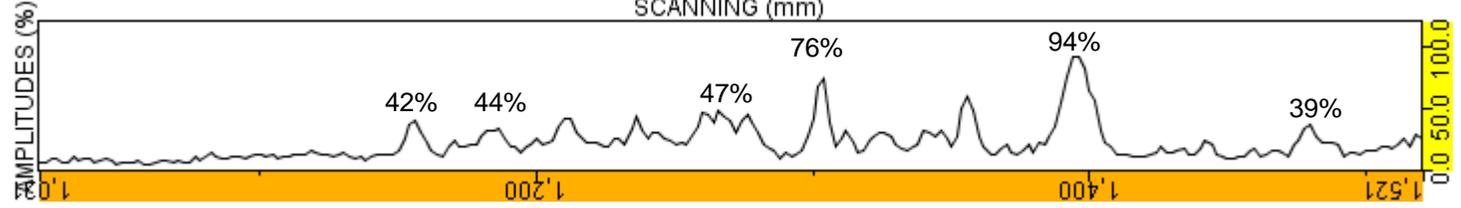
裏面
表面

No. 5試験片 アンダーカット 角度付きず探傷 板厚12mm(その2)

塗装あり

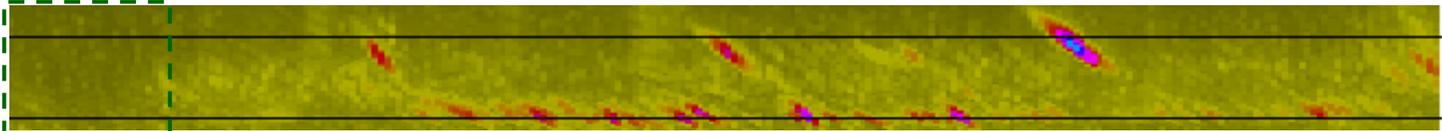


スペクトラム



探傷不可部

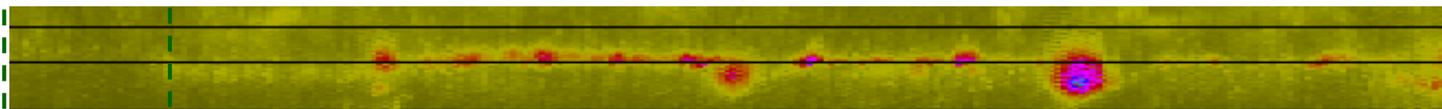
Cスコープ(上面)



溶接部

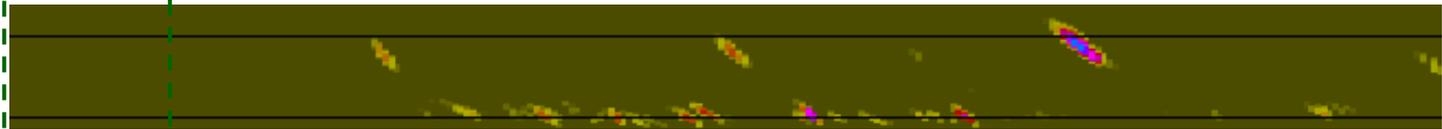
Bスコープ(側面)

0%以上



← 裏面
← 表面

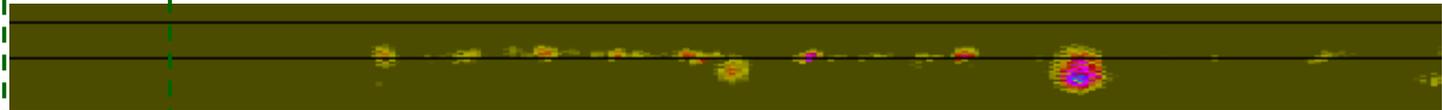
Cスコープ(上面)



溶接部

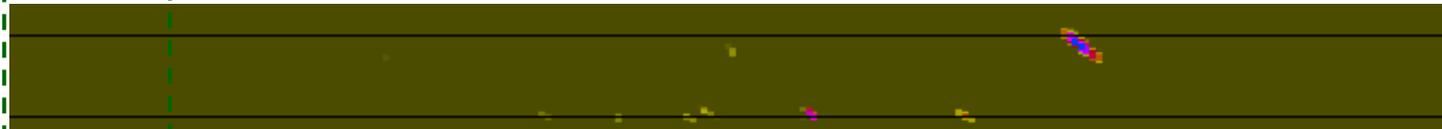
Bスコープ(側面)

20%以上



← 裏面
← 表面

Cスコープ(上面)



溶接部

Bスコープ(側面)

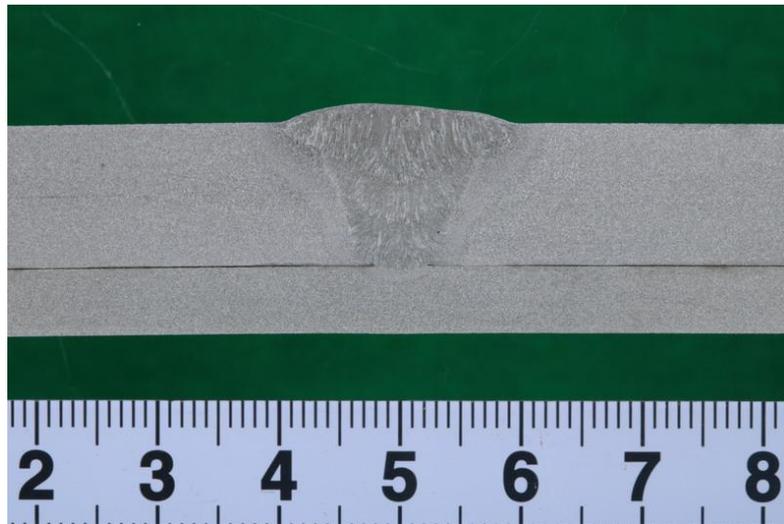
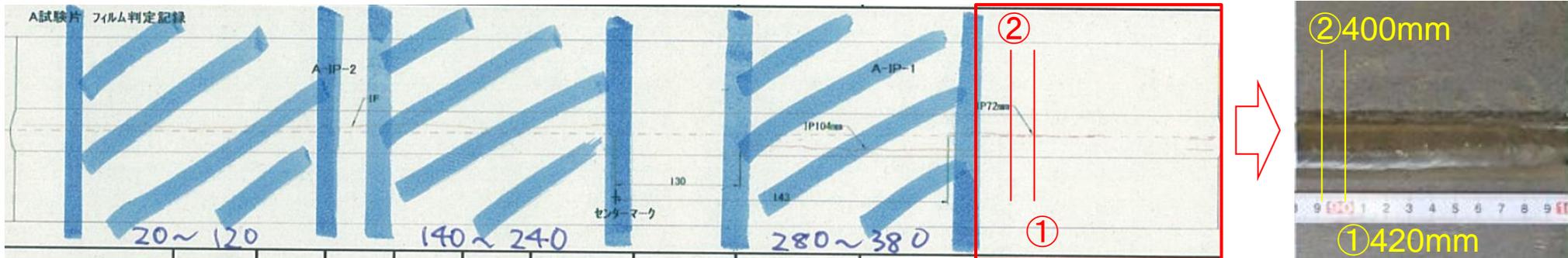
40%以上



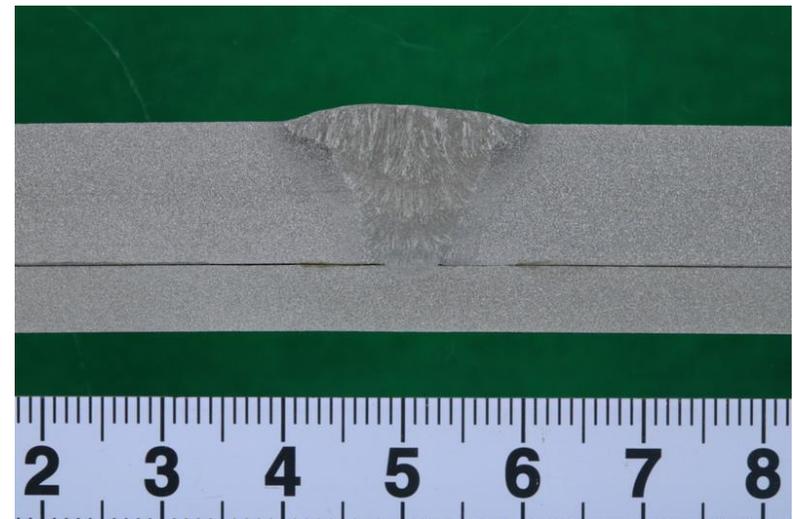
← 裏面
← 表面

6.試験結果の検討

板厚12mm溶込不良試験片断面確認結果

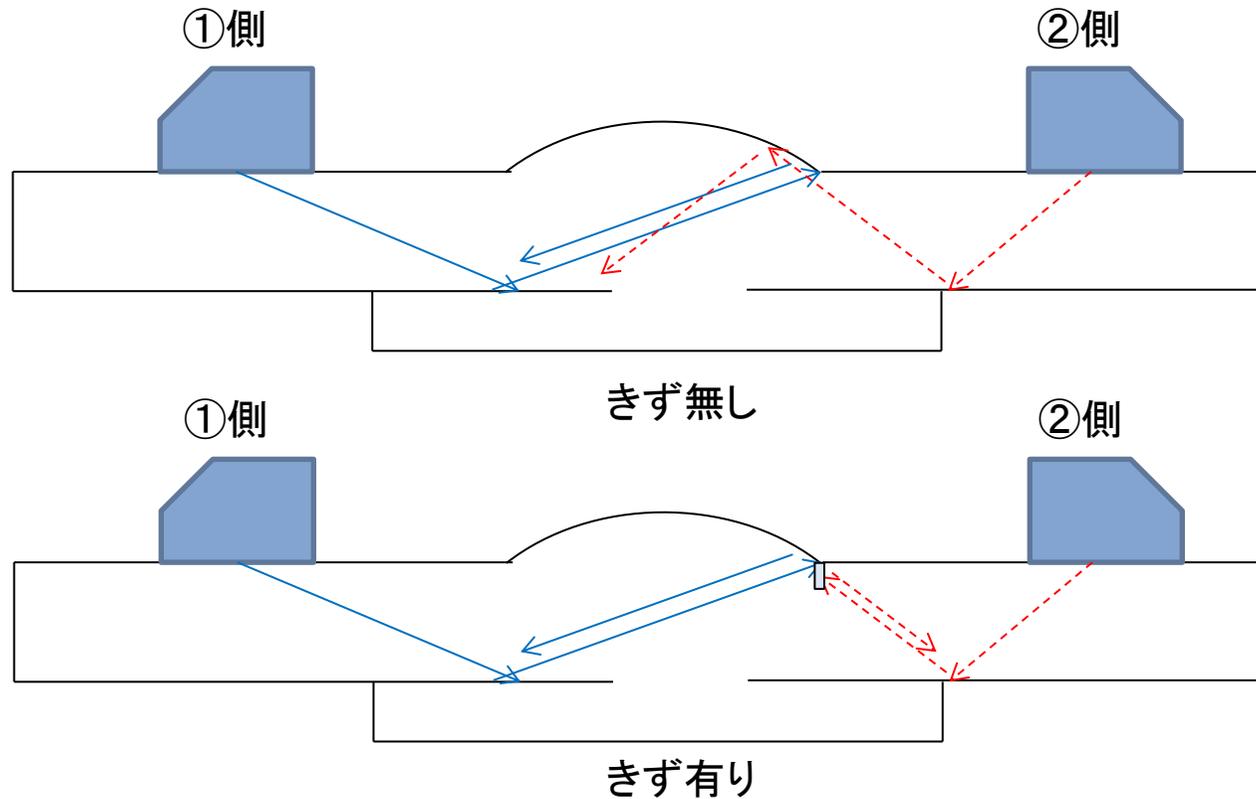


観察位置①(420mm) 断面マクロ写真



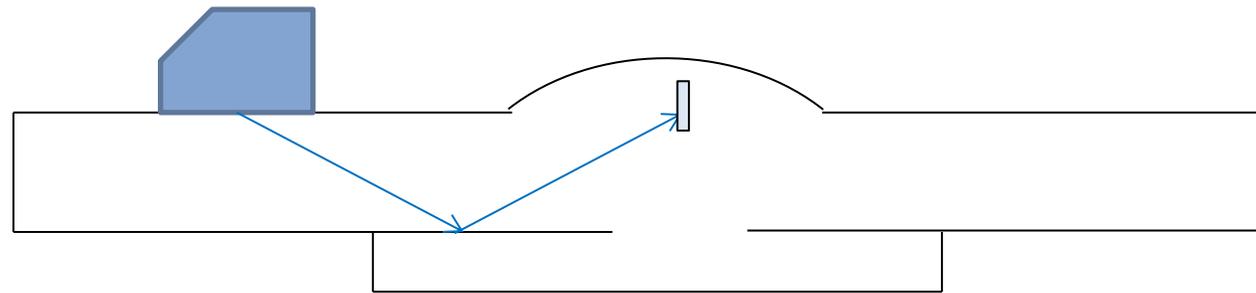
観察位置②(400mm) 断面マクロ写真

断面観察の結果、裏当てまで溶け込んでいることから溶け込み不良では無いと判断できる。
RTで一部指示が表れているが、これは裏当てと母材の隙間であると考えられる。

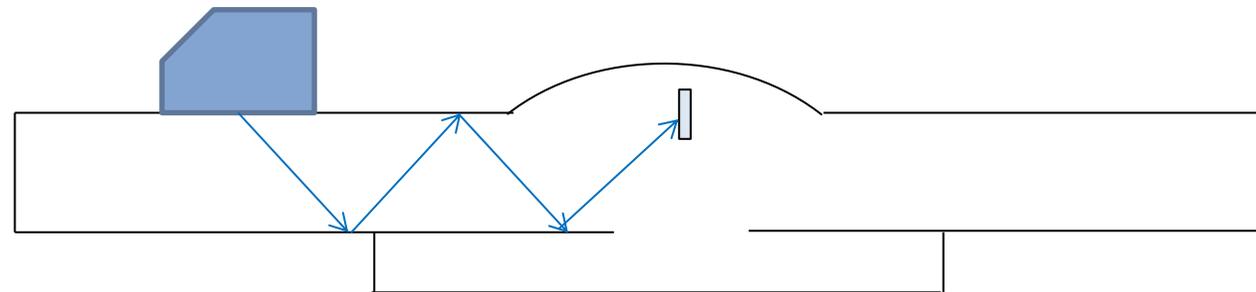


伝搬経路概要図

探傷側と反対側の溶接始端部からの形状による反射は余盛が存在する試験体では発生する可能性がある。また、この溶接始端部からの反射波の強度は余盛の形状や高さなどにより異なってくるため評価は困難である。そのため、実運用では探傷側と反対側の溶接始端部での指示は評価の対象外とし、探傷側と同じ側の結果により評価を行う。



直射および1回反射



2回反射

伝搬経路概要図

2回反射では伝搬経路が長くなり他の経路の反射やノイズの影響を受けやすい。また、本試験では1回反射の表面をターゲットとして感度校正を行っているため、伝搬距離が大きく異なる2回反射は評価が困難である。そこで、2回反射で得られた指示は評価対象外とする。

超音波の反射強度はきずが同位置に存在するときずの面積に比例する。

そこで、 $6 \times 3\text{mm}$ きずと比較して $4 \times 3\text{mm}$ きずは面積比 $2/3$ となり、きずからの反射強度も $2/3$ に減少する。

例えば、装置の感度校正には $6 \times 3\text{mm}$ のスリットを1回反射で80%となるように感度を調整している。同じ感度で測定すると $4 \times 3\text{mm}$ のスリットは1回反射で約53%になると推測する。

- (1) 実タンクでの試験実施、データの取りまとめ
国備基地のタンクにて試験を実施し探傷データの取りまとめ、当該装置の運用方法について実地確認を行う。

【実施予定の項目】

- ・対象とする基地は2基地。
- ・タンクは各基地1基(計2基)。
- ・MTとの検査結果比較、測定への影響調査(塗膜の状況、溶接余盛の形状)、UT実用機の運用時の課題(探傷できない箇所等)を確認する予定。

- (2) 性能規定の策定及び実運用のための課題抽出、解決策の提示
性能規定の策定及び実運用のための課題を抽出し、解決策を提示する。

【実施予定の項目】

- ・UT実用機における塗膜厚と減衰率の関係、適正なしきい値の設定について室内実験を実施する。
- ・UT実用機に求められる性能規定及び実運用の条件を提示する。