

ガス導管円周溶接部の超音波自動探傷方法 解説

この解説は、本体及び附属書に規定・記載した事柄、並びにこれらに関連した事柄を説明するもので、規格の一部ではない。

規定要素の規定項目の内容

1. 適用範囲 ガス導管耐震設計指針に基づいて設計され、かつ十分な施工管理のもと溶接や検査が行われているガス導管円周溶接部の検査に適用するものである。本規格は、呼び径 300A 以上、厚さ 9mm 以上 20mm 未満の鋼管を適用範囲として規定した。その理由は、以下の通りである。

呼び径 JIS Z 3060 附属書 2 では、試験体の曲率半径によって、探触子の接触面を曲面加工する等の規定が設けられており、「曲率半径が 150mm を超える試験体の円周継手溶接部を探傷する場合には、探触子の接触面の曲面加工は行わない。」と規定されている。そのため、探触子の曲面加工を必要としない 300A 以上の呼び径とした。厚さ 本規格は、ガス導管耐震設計指針を満足する検査基準を作成するための試験・解析の結果に基づいており、この際に検討した板厚の範囲が 9mm 以上 20mm 未満であり、かつ適用上十分な範囲であることから本体の通り規定した。なお、突き合わせる鋼管の母材の厚さは、それぞれ同じ厚さとする。

3. 定義

d) 収録ゲート JIS Z 2300 では“ゲート”という用語を「きずエコーなど必要なエコーだけを取り出す目的で、時間的に限定した範囲。」と定義しているが、本規格では波形を自動で収録するために設定されるという点で“ゲート”とは異なる概念で扱われているので、本体の通り規定した。

4. 技術者 超音波自動探傷試験に従事する技術者は、装置を操作する者と、装置の調整及び探傷画像より試験結果を読み取る技術者に大別される。

超音波自動探傷装置は、探傷中のデータ収録やカップリングチェックを自動で行うため、特に波形の観察を続ける必要はない。従って、装置を操作する者は、装置の操作に習熟し、かつ探傷についての知識と経験をもつことが必要である。これに対して、装置の調整及び探傷画像より試験結果を読み取る技術者は、判定を誤らないために、権威ある機関で行う超音波探傷試験の認定試験に合格し、登録された者でかつ、ガス導管円周溶接部、その超音波探傷の特質及び使用する装置について十分な知識と経験をもつ者が適当である。例えば、この条件を満たした 1 種技術者⁽¹⁾で超音波自動探傷試験を実施することができる。しかし、余盛や裏波のような溶接部形状によっては判定が困難な場合がある。そのようなときには、必要に応じて 2 種又は 3 種の技術者⁽¹⁾の指導、監督を受けられる体制にあることが望ましい。また、試験の立会者も同程度の知識を備えていることが望ましい。

注⁽¹⁾ 社団法人 日本非破壊検査協会における資格区分

5. 超音波自動探傷装置の構成

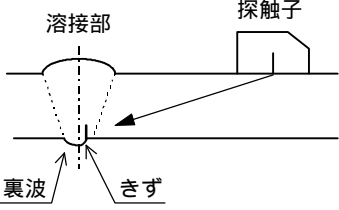
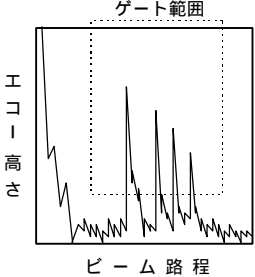
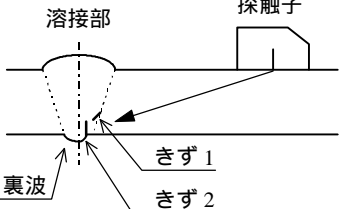
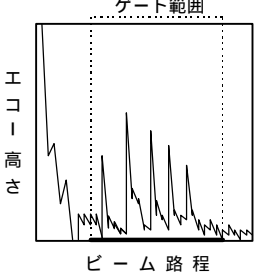
5.1 超音波自動探傷器

5.1.1 収録ゲート

b) 収録ゲートの方式 超音波自動探傷器の収録ゲートの方式は、収録範囲内の収録可能なエコーの数によって分類でき、一般的には 1 エコー方式及び複数エコー方式が用いられている。これらは比較的小型・簡便な装置で構成されてお

り、現場適用は容易であるが、ゲートのしきい値をきずの指示長さを評価するエコー高さレベルに設定し、それを超えるエコーのピークしか収録しない方式である。余盛付き試験体の探傷では、裏波の形状エコー及びきずエコーの他に、反射源で超音波ビームが反射する際の経路変化やモード変換により、反射源と異なる位置にゴーストエコーが出現することがよく知られている。手探傷ではこのゴーストエコーを確認することにより、溶接部の形状の適否、きずの種類の推定等を検査技術者は行うことができる。しかし、エコーのピークしか収録しない自動探傷では、きずのエコーとゴーストエコーとを区別して収録することは困難である。そこで、きずのエコー、裏波の形状エコー、ゴーストエコー及び材料ノイズを収録するため、本規格は収録ゲート方式に A スコープ波形方式を採用した。この方式を採用することで、きずのピークエコーを逃さないだけでなく、裏波の状況やカップリングの状態も知ることを可能にし、更に、同一断面上に存在する複数きずの識別能も向上する。収録方式別の探傷状況、探傷波形及び収録するデータを解説表 1 に示す。

解説表 1 収録ゲートの収録方式

収録ゲート方式	探傷状況	探傷波形	収録するデータ
複数エコー方式 (2エコータイプ)			きずのピーク 裏波による形状のピーク
A スコープ波形方式			A スコープ波形 きず 1 のエコー きず 2 のエコー 裏波による形状エコー 裏波による形状エコー (縦波ゴーストエコー) 裏波による形状エコー (横波ゴーストエコー) 林状エコー

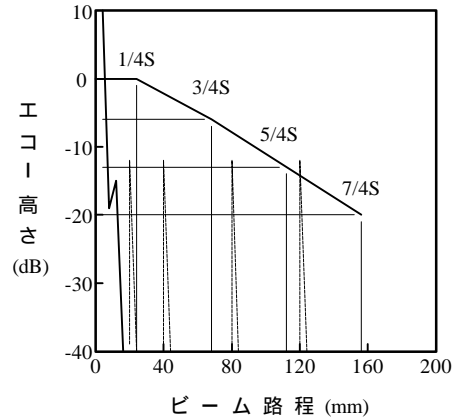
5.1.2 距離振幅の補正

a) 方式

- 2) 距離振幅補正方式 超音波が試験体中を伝搬する際は、遠距離音場では距離に従って単調に減衰していく。距離振幅補正方式は、エコー高さ区分線から補正式を作成し、ビーム路程毎の補正量をエコー高さに上乘せして距離振幅の補正を行う方式である。探傷屈折角 65° の探触子と RB-4 No.1 対比試験片を使用した距離振幅補正方式の適用例を解説図 1 に示す。

(1) エコー高さ区分線

スキップ点	ビーム路程 mm	感度 dB
1/4S	23.1	0
3/4S	67.4	-7
5/4S	112.1	-13
7/4S	157.6	-20



(2) スキップ区間別の距離振幅補正量

スキップ 区間	ビーム路程間隔 mm	補正量 H dB
0 ~ 1/4S	23.1	0
1/4S ~ 3/4S	67.4-23.1=44.3	$7 \times (W-23.1) / 44.3$
3/4S ~ 5/4S	112.1-67.4=44.7	$\{6 \times (W-67.4) / 44.7\} + 7$
5/4S ~ 7/4S	157.6-112.1=45.5	$\{7 \times (W-112.1) / 45.5\} + 13$

(3) 距離振幅補正の例

補正式： $H_T (dB) = H + H$

W=20mm, H=-12dB のエコーの場合, $H_T = -12dB$

W=40mm, H=-12dB のエコーの場合, $H_T = -9.3dB$

W=80mm, H=-12dB のエコーの場合, $H_T = -3.3dB$

W=120mm, H=-12dB のエコーの場合, $H_T = 2.2dB$

解説図 1 距離振幅補正方式の適用例

3) 距離振幅併用方式 起点と調整点を各1点しか持たないDAC回路を有する超音波自動探傷器では、所定の収録範囲において各スキップ点に於ける感度差が1dB以下の精度を満たさない場合がある。この時、距離振幅補正方式と組み合わせて距離振幅の補正を行うことで、必要な精度を確保してもいいこととした。また、これはエコー高さの情報をより精度良く収録する必要がある場合にも適用できる。

解説図2に距離振幅併用方式の適用例を示す。(a)に示すエコー高さ区分線が得られる探傷器を、DAC回路を用いて調整した結果、(b)(c)に示すエコー高さ区分線が得られたものとする。収録されたエコー高さデータから、ビーム路程の区間に応じて、(d)に示すような補正式を求め、これを用いてエコー高さの補正を行う。例えば、3/4~5/4スキップ点間の補正式では、(c)に示すDAC後のエコー高さから次のように求める。

補正量 H を (傾き) × (ビーム路程比) + (補正值) で表す。

(傾き)は、5/4及び3/4スキップ点の補正值の差で、+3.5 (dB) となる。

(ビーム路程比)は、 $(W-W_{3/4S}) / (W_{5/4S}-W_{3/4S})$ となる。

(補正值)は、3/4スキップ点の補正值より、-2 (dB) となる。

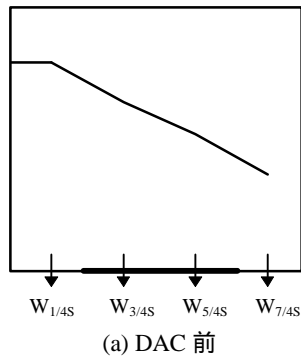
一方、検出したときエコーのビーム路程が4/4スキップ点で-3 (dB)である場合は、補正後のエコー高さは、次のように求める。

$$W=4/4S \quad H_0 = -3dB \quad (\text{補正前})$$

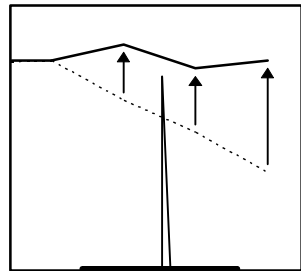
補正の区間として1.0~1.5スキップ区間を選択する。

$$\begin{aligned} H &= +3.5 \times \{(W-W_{3/4S}) / (W_{5/4S}-W_{3/4S})\} - 2 \\ &= +3.5 \times \{(4/4 - 3/4) / 2/4\} - 2 \\ &= -0.25 (dB) \end{aligned}$$

補正後のエコー高さは、 $H_T = H_0 + H = -3.25 (dB)$ となる。



(a) DAC 前



(b) DAC 後

(c) エコー高さ区分線

	エコー高さ DAC 前 (dB)	補正值 DAC 後 (dB)
1/4S	0	0
3/4S	-7	2
5/4S	-13	-1.5
7/4S	-20	0

(d) 併用する距離振幅補正方法

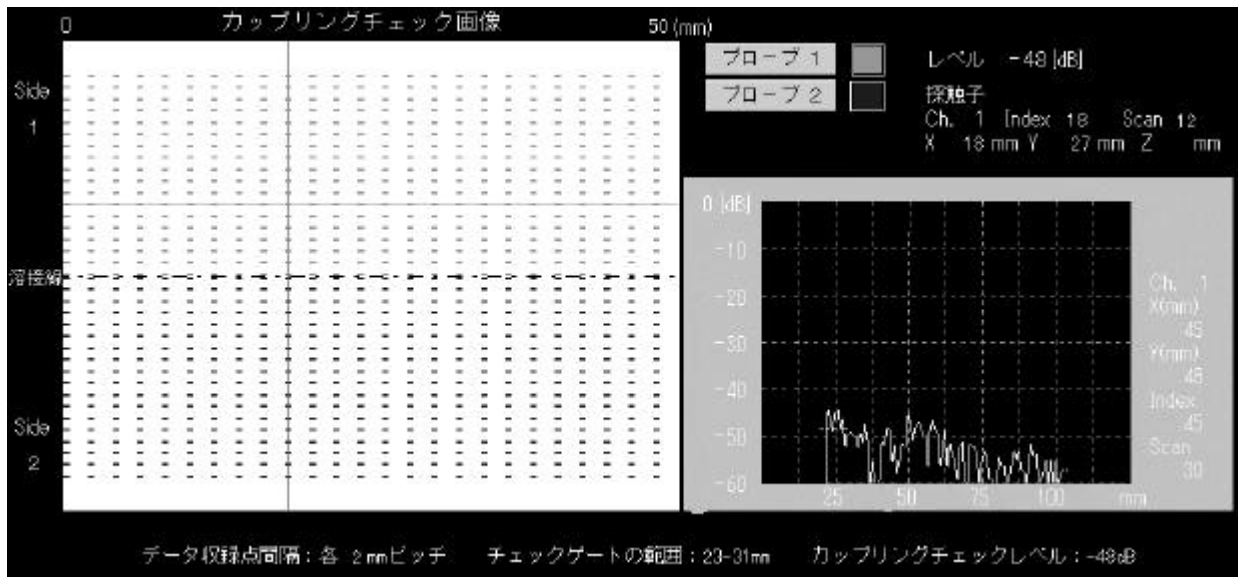
スキップ区間	補正量 (dB)
1/4 ~ 3/4	$-2 \times (W - W_{1/4S}) / W_{1/4S}$
3/4 ~ 5/4	$+3.5 \times \{(W - W_{3/4S}) / W_{1/4S}\} - 2$
5/4 ~ 7/4	$-1.5 \times \{(W_{5/4S} - W) / W_{1/4S}\} + 1.5$

解説図 2 距離振幅併用方式の例

5.1.3 カップリングチェック 超音波自動探傷試験では、音響結合が不良の場合には、きずが存在してもエコーが得られずにきず無しと判定されることがある。これに対して、手探傷では、試験技術者が不感帯領域の雑エコーや試験体の林状エコー等を常時モニターし、音響結合の状態を監視して、所定の探傷条件で探傷が行われていることを保証している。また、放射線透過試験では、透過写真の必要条件として、透過度計の識別最小線径、透過写真の濃度範囲及び階調計の濃度差 / 濃度を規定し、撮影された透過写真が必要とされる条件で行われたという記録を残してその保証を行っている。超音波自動探傷試験では、これに相当するものがカップリングチェックであり、試験結果を保証するという観点から記録すべき情報であるとした。この機能については、超音波自動探傷においては不可欠であると考え、詳細に規定した。

結晶粒界などの試験体内部にある多くの微小の境界面によるエコーを林状エコーといい、一般的にフェライト系鋼の林状エコーは、非常に小さい。そこで、ダイナミックレンジの大きい対数増幅器（概ね H 線から -40dB 以上）を用いることでこの林状エコーを観ることが可能となる。林状エコー方式とは、その林状エコーによりカップリングの状態を監視する方法である。なお、林状エコー方式の林状エコーを収録する範囲は、検査技術者が適宜設定した範囲で行って差し支えない。

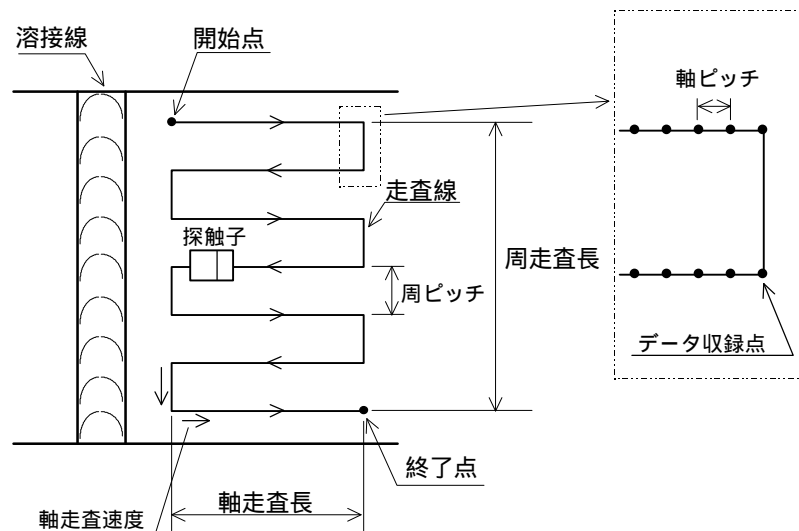
林状エコー方式の適用例を解説図 3 に示す。このカップリングチェック画像は、探触子の走査範囲のみが画像化されており、更に探触子位置における A スコープ表示と合わせて構成されている。この試験条件は、材質 SM490、探傷屈折角 65°、データ収録点間隔各 2mm ピッチ、収録ゲートの範囲 23-105mm、カップリングチェックレベル -48dB である。



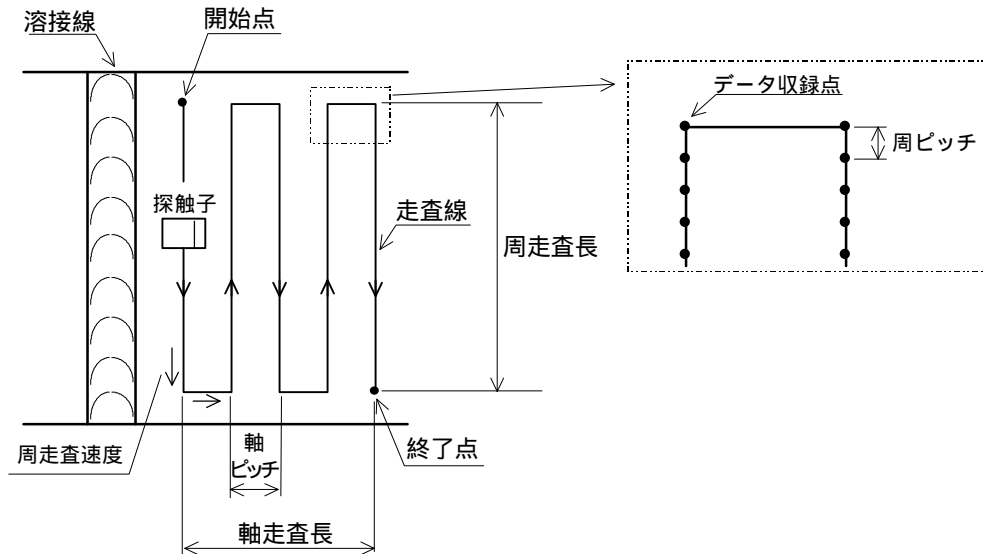
解説図3 林状エコー方式の例

5.2 走査装置 走査装置は、探傷の目的に応じて様々な走査方式が想定されるため、本体では特に規定していない。適用例が多く報告されている走査方式を次に示す。

- 1) 縦方形走査 溶接部の全断面を試験対象範囲とする超音波自動探傷試験で、最も普及している走査方式である。縦方形走査の例を解説図4に示す。
- 2) 横方形走査 溶接部の全断面又はきずの発生が予測される特定箇所に応用する超音波自動探傷試験で、普及している走査方式である。横方形走査の例を解説図5に示す。



解説図4 縦方形走査



解説図 5 横方形走査

5.3 画像表示装置 超音波自動探傷装置は、超音波自動探傷試験が適正に行われたことと必ずの有無を画像で表示することを詳細に規定した。

5.3.1 表示すべき画像 探傷画像となる C スコープ画像及び B スコープ画像は、表示する反射源のエコー高さを距離振幅の補正後に画像化することにより、探傷画像から試験結果を読み取る技術者のきずの誤認の防止及び負担を軽減することができる。また、試験溶接部の形状などにより、探傷画像に妨害エコーが不連続に出現する場合は、試験結果を読み取る技術者はきずの誤認及び見落としが無いように十分注意しなければならない。

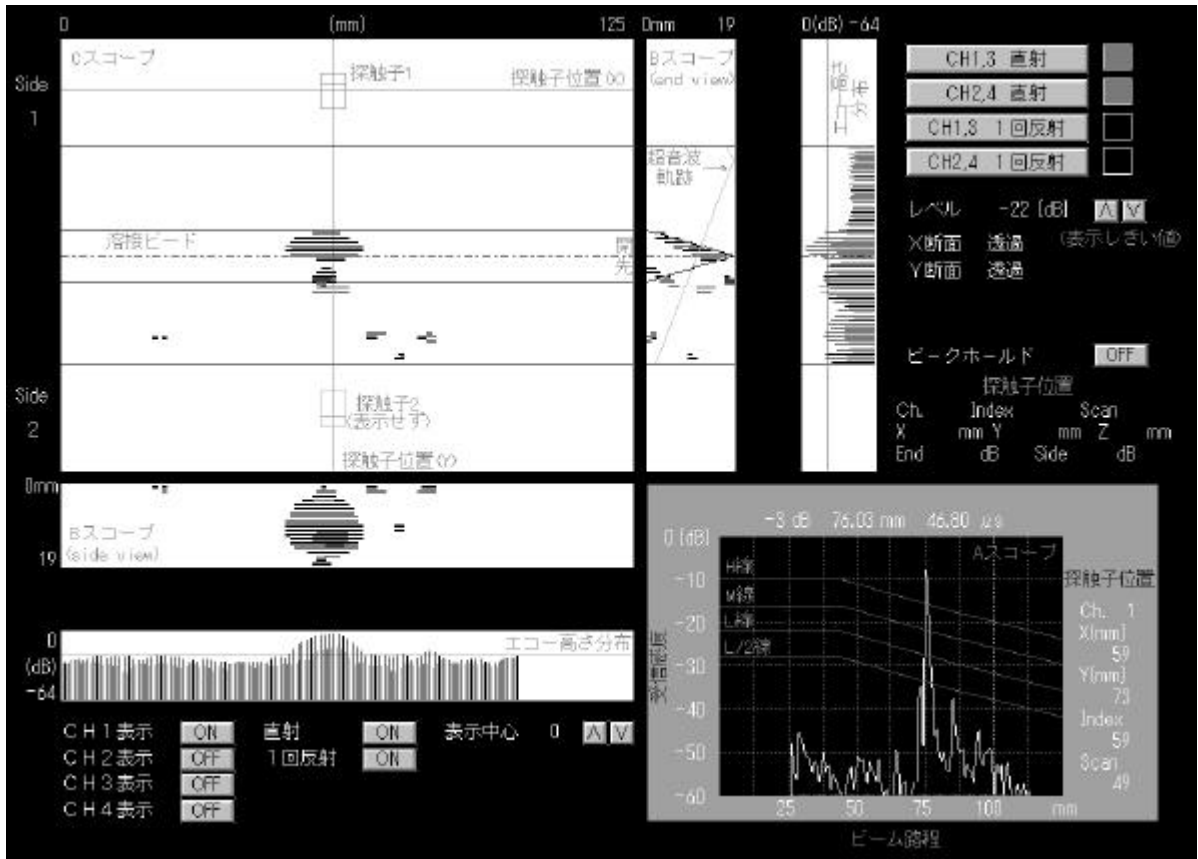
探傷画像の評価方法を、探傷屈折角 65° の探触子を使用した溶接部の探傷例を用いて、次に説明する。

解説図 6 は、探傷画像の構成例を示したもので、左上は C スコープ画像、右は B(S) スコープ画像とそのエコー高さ分布図、下は B(F) スコープ画像とそのエコー高さ分布図、右下は A スコープ波形により構成されている。C スコープ上の実線は探傷面側の溶接ビードを示し、B(S) スコープの実線は溶接部の開先形状を示している。プロットは、図中右の表示の通りレベル（表示しきい値 dB）以上の探触子別及びスキップ別の表示となっている。

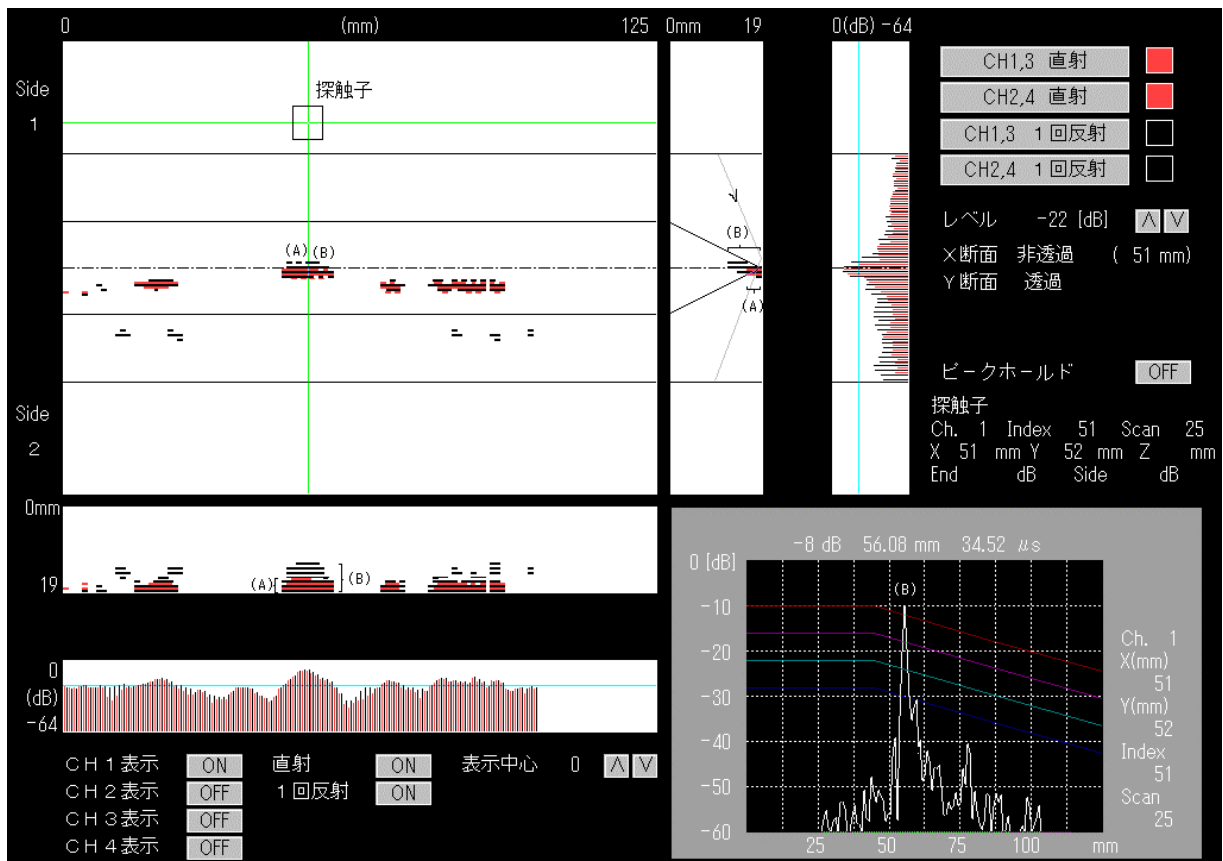
解説図 7 は、IP を有する試験体の探触子 1 側の探傷結果で表示させるエコー高さの下限値を -22dB （注：L 線は -22dB ）に設定した画像である。IP の裏面開口部を狙って配置した探触子の A スコープ波形中の (B) エコーは、解説図 8 に示す経路で得られたエコーであることがわかる。

解説図 9 は裏波による妨害エコーが著しい溶接部を探傷したもので、(C) は裏波から直接反射された形状エコーを、(D) はビード内で縦波にモード変換されて反射された形状エコーを、(E) は同じく横波で反射された形状エコーによる画像を示し、解説図 10 に示す経路で得られたエコーであることがわかる。

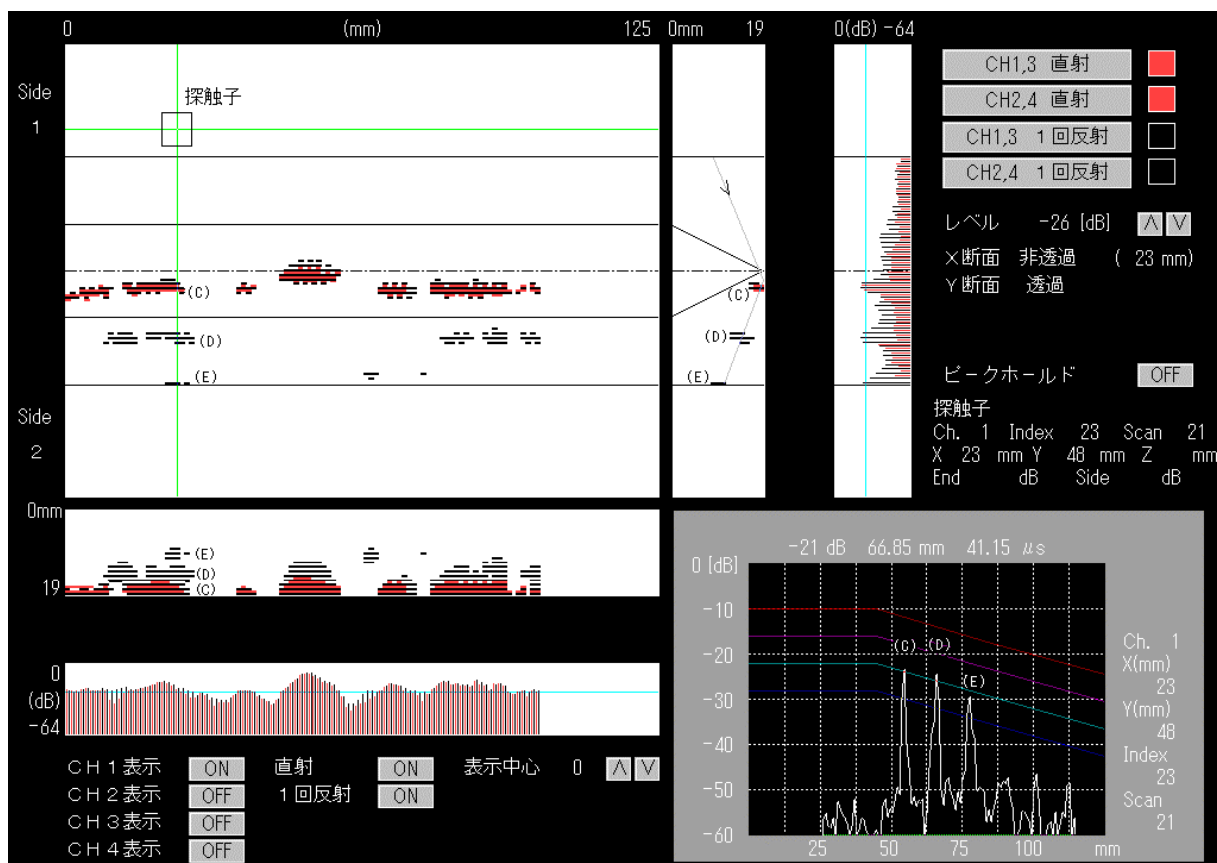
解説図 11 は、LF（傾いた内部面状きず）を有する試験体の探触子 2 側の探傷画像で、(F) は $0.5S$ （直射）のエコーを示し、(G) は $1S$ （1 回反射）のエコーを示している。それぞれのエコーは、解説図 12 に示す経路で得られたエコーであることがわかる。



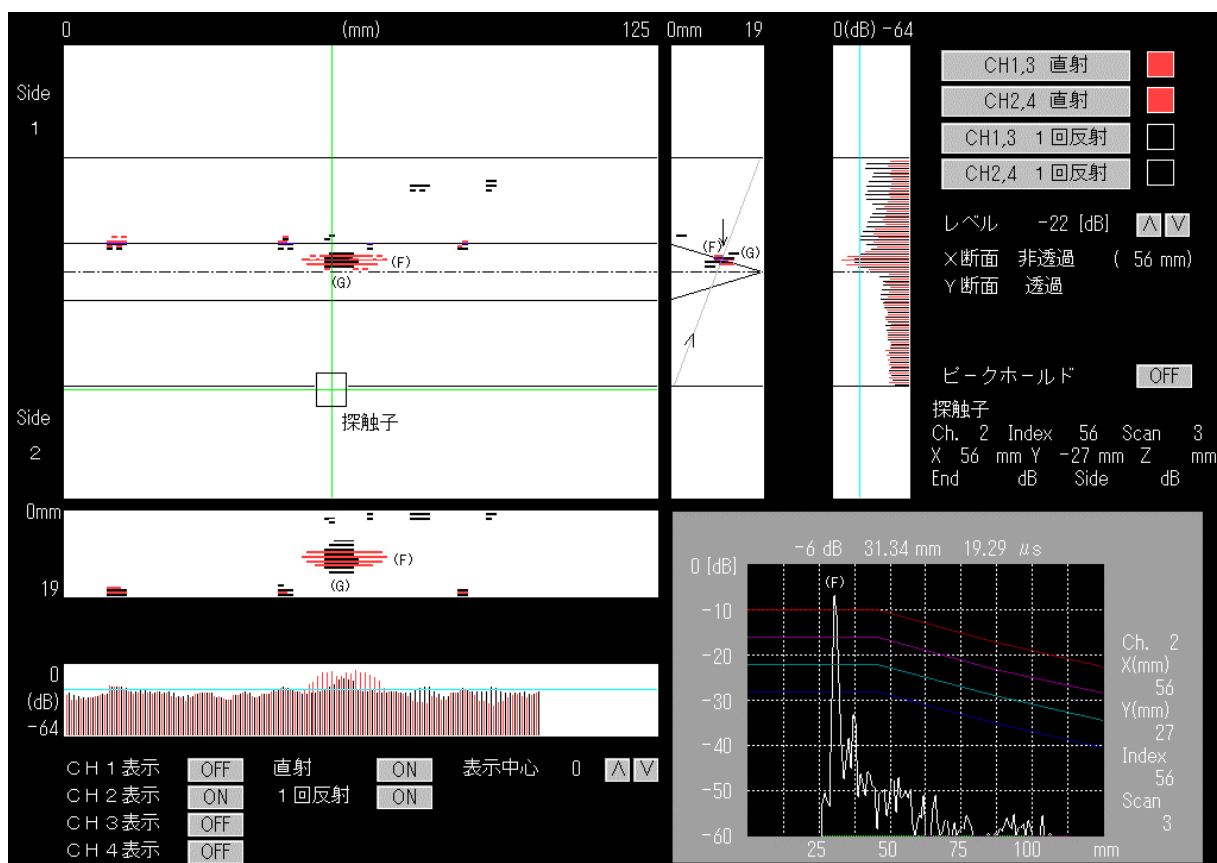
解説図 6 探傷画像の構成例



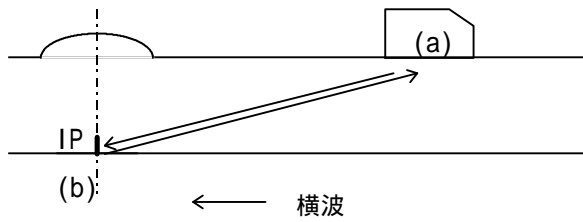
解説図 7 IP の探傷画像 (IP の表示 : L 検出レベル = - 22dB)



解説図 9 IP の探傷画像 (形状エコーの表示: -26dB)

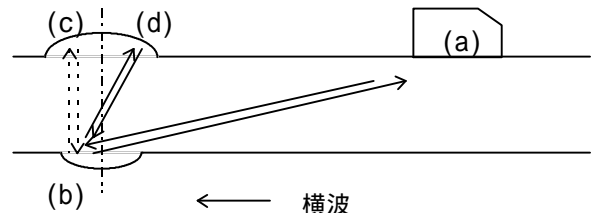


解説図 11 傾いた内部面状きずの探傷画像 (探触子 2 側:L 検出レベル=-22dB)



(A)(B):(a) (b) (a)

解説図 8 IPのエコー

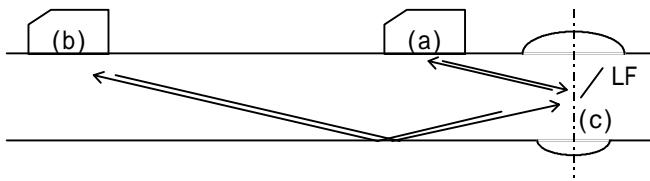


(C):(a) (b) (a)

(D):(a) (b) --(c) --(b) (a)

(E):(a) (b) (d) (b) (a)

解説図 10 裏波・余盛の形状エコー



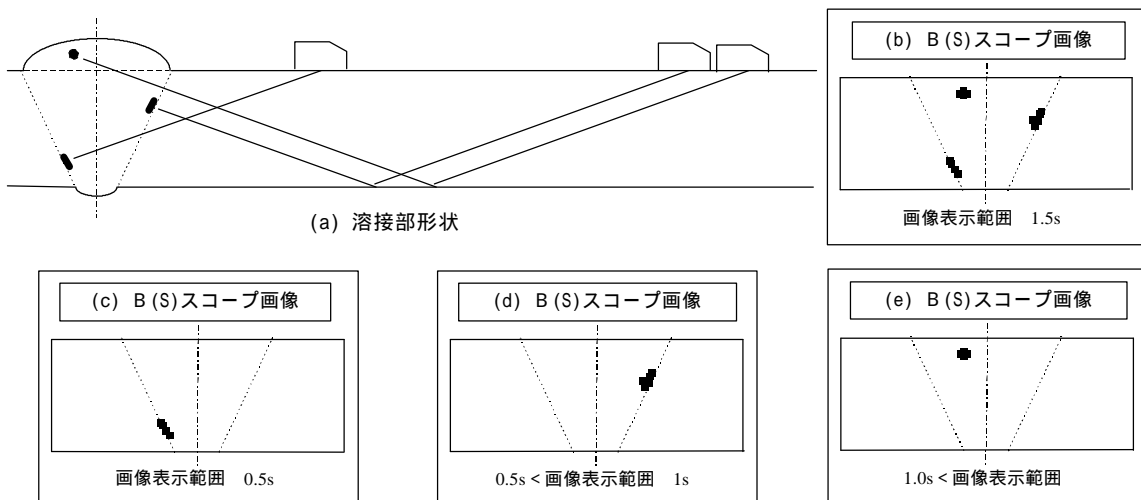
(F):(a) (c) (a)

(G):(b) (c) (b)

解説図 12 傾いた内部面状きずのエコー（探触子2側）

B(S)スコープ画像におけるきずの表示方法について解説図 13 により説明する。(a)の様な溶接部できずエコーが得られた場合、母材の板厚範囲を超えるビード内に発生したきずは、超音波の伝達経路上は1回反射後に得られているが、溶接部の実高さを考慮しない場合には(b)の様な位置に表示される。この時、きず画像をスキップ別で表示させることによりその位置を正確に評価することができたり、また時にはきずの形状に関する情報も得られる。(c)~(e)は直射、1回反射、1.5回反射で各々得られたきず画像のみを表示させたもので、各々きず、 \square 、 \square が表示され、そのエコー領域の変化や、表示の有無によって、きずの位置と形状が推定できる。この時、(e)のきずが1.5回反射で得られるためには、溶接ビードで反射するか、溶接余盛内に生じたきずのいずれかが考えられる。

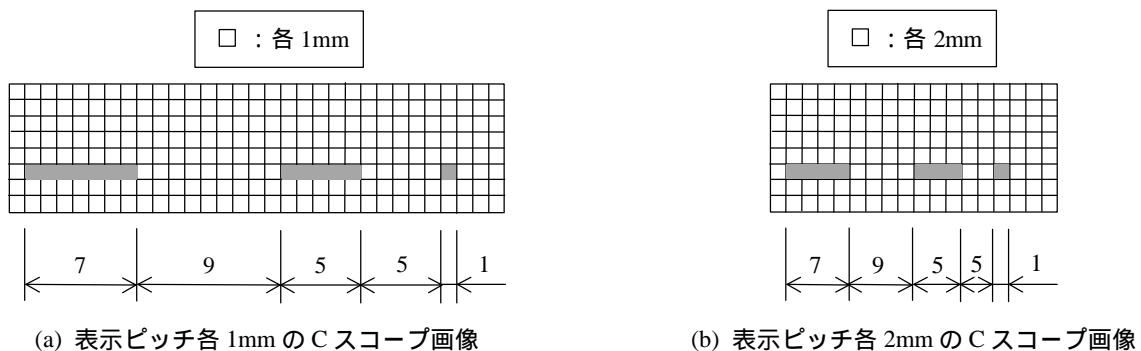
このように探傷画像を読み取る技術者は、各々の画像の位置関係、どの探傷方向で得られた画像か、及び溶接ビード形状などの探傷条件を勘案して、きずの有無と位置を評価する必要がある。



解説図 13 B(S)スコープ画像の表示方法

- 1) 反射源の表示方法 本規格の試験結果の合否判定は、きずの寸法（画像長さ及び画像高さ）を測定して行う。画像長さは、データ収録点間隔毎に表示されたきず像から読み取るので、C スコープ画像の反射源を表示する最小の単位はデータ収録点間隔としても差し支えない。これに対して画像高さは、収録ゲートに A スコープ波形方式を採用したのでデータ収録点間隔より更に細かく表示することができるため、B スコープ画像の肉厚方向の最小の単位は 1mm で表示することとする。

なお、C スコープ画像より画像長さを読み取る方法を解説図 14 に示す。(a)はデータ収録点間隔各 1mm で表示ピッチ（1 ピクセル）を各 1mm、(b)はデータ収録点間隔各 2mm で表示ピッチを各 2mm として画像表示した C スコープ画像である。(a)の画像長さはきず像を表示したピクセル数と等しい。これに対して(b)の画像長さは{(ピクセル数×2) - 1}となり、きずときずとの間隔は{(ピクセル数×2) + 1}となるので注意が必要である。



解説図 14 画像長さの測定方法

6. 超音波自動探傷器に必要な機能及び性能

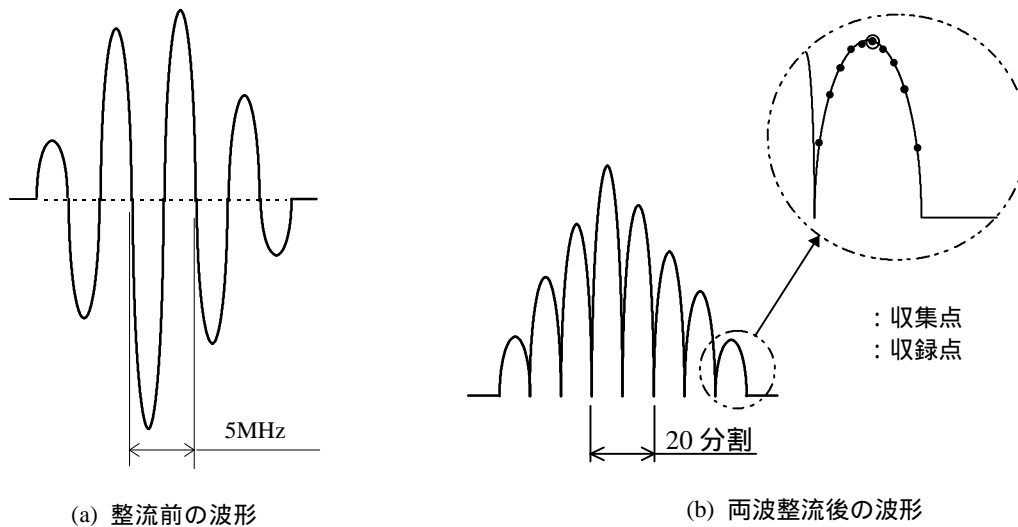
6.1 一般に必要な機能 本規格には規定しなかったが、JIS Z 3060 では 4.1.2 に探傷器に必要な性能に関する規定がある。参考までに本規格と関連する事項について次に示す。なお、各事項は、探傷器の購入時及び 12 か月以内毎に性能が維持されていることを確認することが望ましい。

- 1) 増幅直線性は、JIS Z 2352 の 4.1（増幅直線性）で測定し、 $\pm 3\%$ の範囲内とする。
 - 2) 時間軸の直線性は、JIS Z 2352 の 4.2（時間軸直線性）で測定し、 $\pm 1\%$ の範囲内とする。
 - 3) 電源電圧変動に対する安定度は、JIS Z 3060 の 4.1.2 (5)の規定による。
 - 4) 周囲温度に対する安定度は、JIS Z 3060 の 4.1.2 (6)の規定による。
- a) 本規格は、カップリングチェックに林状エコー方式を採用したので増幅器の種類は対数増幅器とした。また、林状エコーがカップリングチェックに支障のないエコー高さで収録されるように、感度の有効収録幅を規定した。
- なお、試験材によっては林状エコーの小さい場合があり、このような試験体の探傷には感度の有効収録幅が H 線 + 10dB ~ - 40dB 程度が望ましい。
- c) JIS Z 3060 は、探傷器のゲイン調整器は 1 ステップ 2dB 以下と規定しているが、これは試験結果に大きく影響する機能であり、かつ現状の超音波自動探傷器がこの機能を満足していることから 1 ステップ 1dB 以下とした。

6.2 収録ゲート

6.2.2 収録ゲートに必要な性能 収集周波数とは、A スコープ波形の A/D 変換を行う周波数であり、それを 100MHz 以上と規定したのは A/D 変換による探傷波形（両波整流された波形）のピークの誤差を無視できる程度に小さくできると考えられるからである。また、収録周波数とは、A スコープ波形をハードディスクや MO 等の記憶媒体へ記録する際の周波数である。ここで最も重要な探傷波形に現れる個々のピークを残すことができ、かつデータ容量を減らすために収録周波数を 10MHz 以上と規定し、少なくとも 1 波長中のピーク 2 点を収録できることを求めた。波形の収集周波数及

び収録周波数について、解説図 15 に示す。



解説図 15 波形の収集周波数及び収録周波数

7. 探触子に必要な機能及び性能

7.2 探触子に必要な性能

a) 試験体の肉厚が薄い場合は、探触子の接近限界長さを規定する限界値の 15mm とすると直射成分の探傷をほとんど行うことができない。このような肉厚の薄い試験体の探傷では、接近限界長さを可能な限り短くした探触子を製作し、探傷を行うことが望ましい。

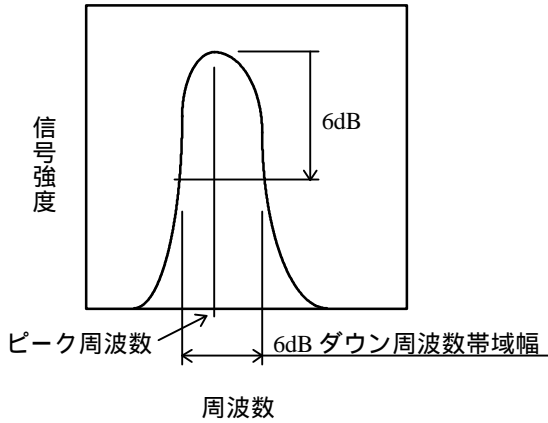
b) 探触子の探傷屈折角は、試験体の探傷位置による音響異方性及び使用環境温度を考慮して規定した。

本体の d), e), f) に規定される性能について次に示す。なお、これらの測定は対数増幅をした後では行えないため、対数増幅を行う直前で周波数分析器及びオシロスコープ等を用いて測定する。

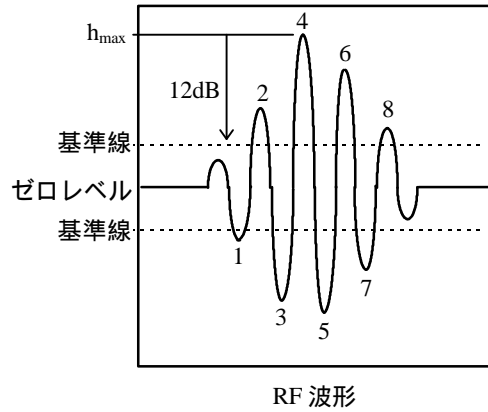
d) ピーク周波数は、解説図 16 に示す通り STB-A1 R100 の曲面からのエコー高さが最大となる探触子位置におけるピーク位置の周波数をいう。

e) 6dB ダウン周波数帯域幅は、解説図 16 に示す通り d) の状態でピークから -6dB に相当するレベルにおける周波数帯域幅をいう。

f) 12dB ダウンピーク数は、d) の状態でエコー波形の中で最も高いピーク値を h_{\max} とし、解説図 17 に示す通り h_{\max} から -12dB に相当するレベルとゼロレベルとの間隔で、ゼロレベルの両側に基準線を 2 本設定し、基準線を超えるピーク数をいう。



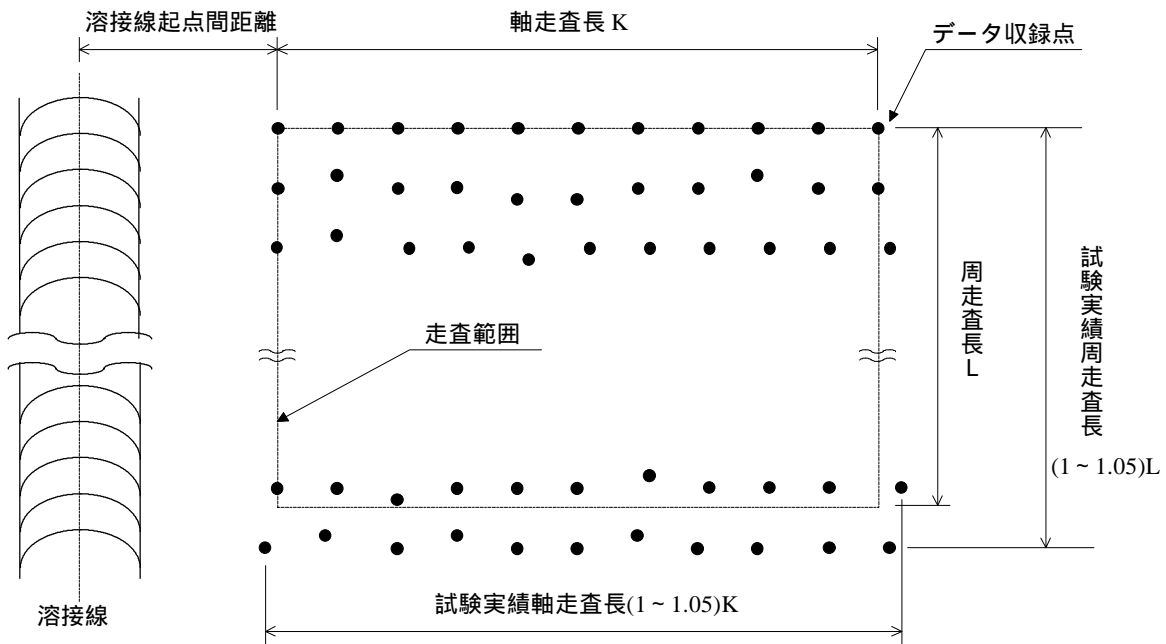
解説図 16 ピーク周波数及び 6dB ダウン周波数帯域幅の測定方法



解説図 17 12dB ダウンピーク数の測定方法 (8 波)

8. 走査装置に必要な機能及び性能

8.2 走査装置に必要な性能 試験実績の位置とは、試験を行った結果実際に探触子が走査された位置（距離）である。現状の走査装置を考慮し、許容範囲を規定した。注意すべき点は、周走査長にずれが生じた際でも探傷試験終了後に収録されたエコー（反射源）の位置を正確に把握できることである。位置ずれは溶接補修などの範囲指定に影響してくる。ここで規定した値は、探傷試験後に容易に反射源の位置を見つけることが可能であると考えたものである。走査範囲と試験実績走査長について解説図 18 に示す。



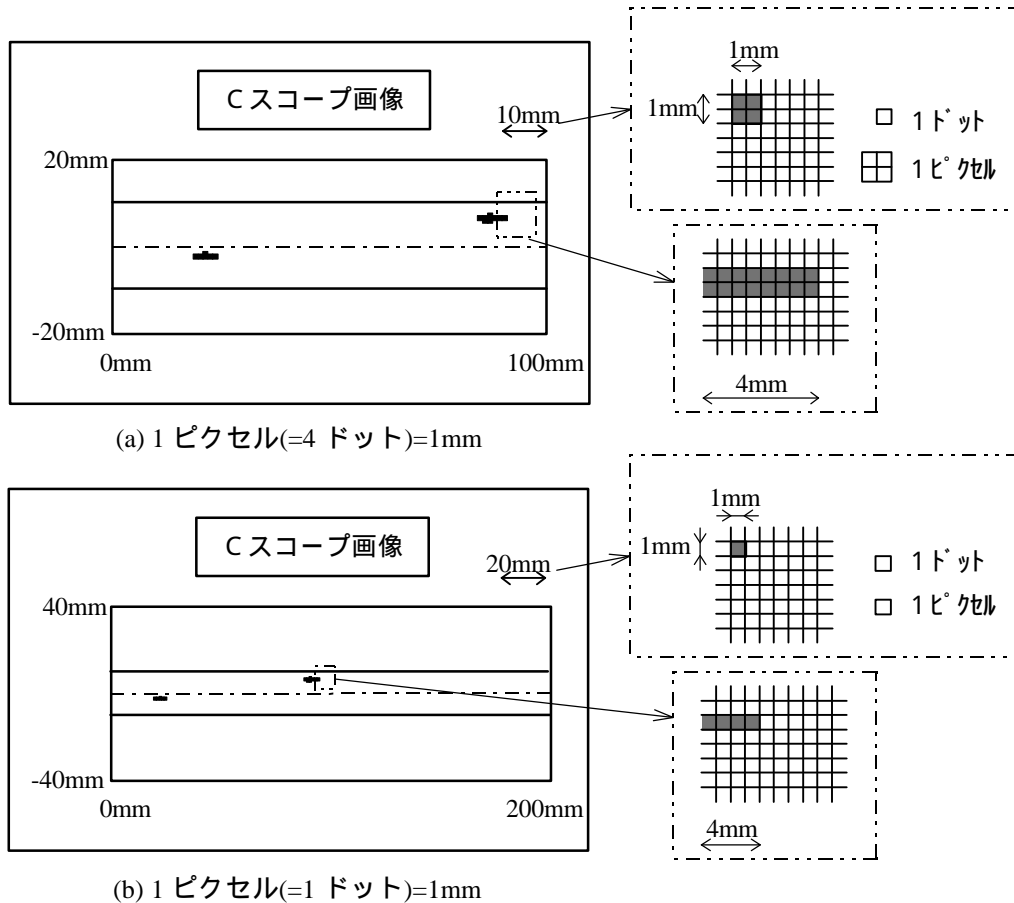
解説図 18 走査範囲と試験実績走査長

9. 画像表示装置に必要な機能及び性能

9.1 画像表示装置に必要な機能 カップリングチェック画像の軸方向を走査範囲の軸走査長以上としたのは、音響結合の良否を探触子の位置で評価するためである。

9.2 画像表示装置に必要な性能 試験結果の判定にはきずの寸法（画像長さ・画像高さ）及び最大エコー高さの測定が

必要であり、それらは探傷画像から読み取れなければならない。そこで、画像表示装置は、表示のための最小の単位である1ピクセルが視認でき、読み取り可能であることを要求した。なお、CRTやプリンター等の画像表示装置の画面の最小の表示分解能をドットといい、反射源を表示するための最小の単位(ドットの集合体)をピクセルという。解説図19は同一の探傷結果を表示させたものであるが、(a)は1ピクセルを4ドットで表示しこれが1mmに相当し、(b)は1ピクセルと1ドットが同一でこれが1mmに相当している。(b)は(a)と比べて4倍の情報を画面に表示することができるが、1ピクセルが視認できれば差し支えない。



解説図 19 Cスコープ画像の表示方法

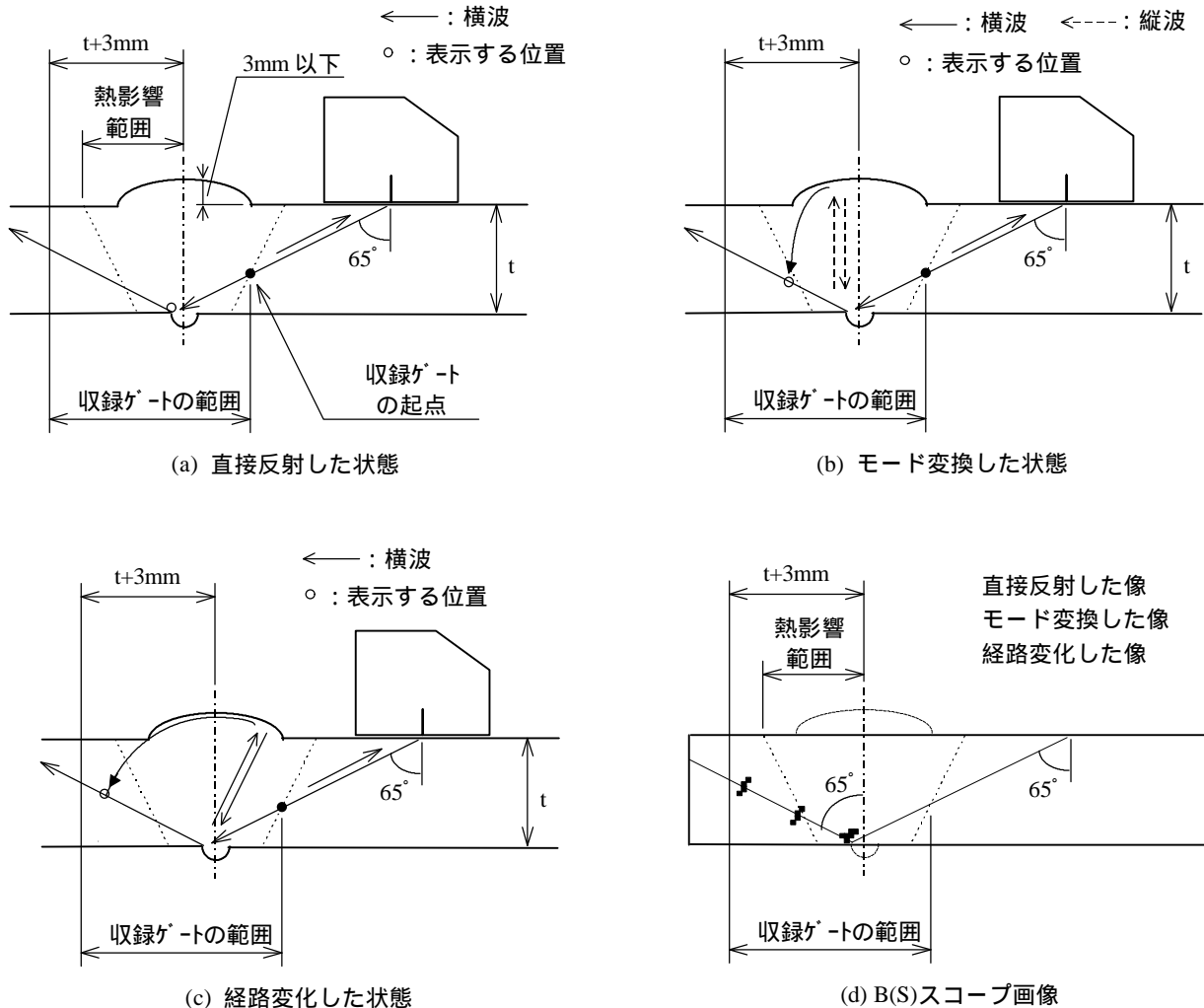
10. 超音波自動探傷試験の準備

10.1 走査範囲の選定 周方向走査範囲は試験体に対する走査範囲であって、データの収録は一定走査範囲毎に分割しても差し支えない。大口径管の全周のデータは大容量となり、携帯性のよい媒体(MO・PDなど)に全周分を保存することが困難な場合が考えられるからである。また、軸方向走査範囲は、直射の探傷不能領域を可能な限り小さくするため接近限界距離からとした。

10.4 収録ゲートの起点及び範囲 収録ゲートの起点は、使用する探触子の不感帯も影響するので探触子の製作の際は考慮すること。なお、熱影響部は、一般的な溶接入熱量の場合は5mm程度と考えて差し支えない。

収録ゲートの範囲は、きずや溶接部形状による反射源だけでなく反射源のゴーストエコー情報を収録できる範囲に設定する必要がある。ゴーストエコーを確認することで、きず種別の判定及び溶接部形状の状況を判断することができるからである。例えば、内部きずを探傷した場合、きず像のゴーストエコーが確認できなければこのきずは球状きず(BH)であろうと推定でき、それまで画像に表示されていた形状エコーのゴーストエコーが無くなれば溶接部形状に変化があ

ったことがわかる。溶接部裏波の形状エコーによるビームの反射の状態と B(S)スコープ画像を解説図 20 に示す。(a)は裏波から直接反射した状態,(b)は裏波で縦波にモード変換した状態,(c)は裏波で経路変化した状態を示している。モード変換及びビームの経路変化による画像は、溶接部の余盛及び裏波の高さを考慮して設定した収録ゲートの範囲に収まり、(d)の B(S)スコープ画像で表示される。



解説図 20 裏波による形状エコー

10.5 データ収録点間隔の選定 本規格作成の際に行われた試験・解析の結果より、データ収録点間隔は 3mm ピッチ以下で行えば、試験結果の合否に影響がないことが確認されている。本規格ではこの知見に基づきつつ厳しい要求として、両方向のピッチを各 2mm 以下とした。

10.6 試験片の選定

c) 探傷屈折角測定用対比試験片 JIS Z 3060 は、探傷面の曲率半径が 50mm 以上 1000mm 未満の円周継手溶接部を探傷する場合、入射点及び探傷屈折角の測定は対比試験片 (RB-4, RB-A6, RB-A8) を用いるように規定されている。超音波自動探傷試験では、探傷結果を画像で表示し評価を行うため反射源の位置精度が強く要求される。そこで本規格の探傷屈折角の測定は、縦穴及び横穴を用いることを規定外とし、試験体による V 透過法又は実際の開口きず (IP) に最も近似する人工きずのスリットを用いることにより、反射源の位置精度を高めた。

11. 超音波自動探傷装置の調整及び点検

11.2.1 屈折角の測定 STB 屈折角の測定は、 0.2° 単位で行うとしたが、装置による自動測定で例えば 0.1° 単位で正確に測定できるのであれば、小さい方が望ましい。

なお、探傷屈折角測定用対比試験片を用いる測定は、近距離音場の影響を受けないように肉厚が 15mm 未満の場合は、一回反射で行うこととした。

11.3 距離振幅の補正の調整

11.3.1 距離振幅補償方式の調整 (DAC) DAC 回路を作動させると、事前に調整した測定範囲にズレが生じることが一般に知られている。本文では、DAC 回路作動後に試験片を用いて、定められた測定範囲に時間軸が調整されていることを確認する事項を設けた。測定範囲にズレが生じていた場合は、DAC 回路作動後に再度測定範囲の調整を行う必要がある。

11.4 基準レベル (H 線) の調整 一般に使用されている感度調整用試験片は、A2 形系 STB に代表される縦穴タイプと RB に代表される横穴タイプに分類でき、これらの間では音圧反射率が異なり、感度調整の結果に差が生じることはよく知られている。また、材料の特性や音響異方性によっても感度差が生じる。従って、RB を使用する場合には標準穴のエコー高さが A2 形系 STB の H 線に一致するようにゲインを調整し、基準レベルとすることが適当であると考え、本体の通り規定した。

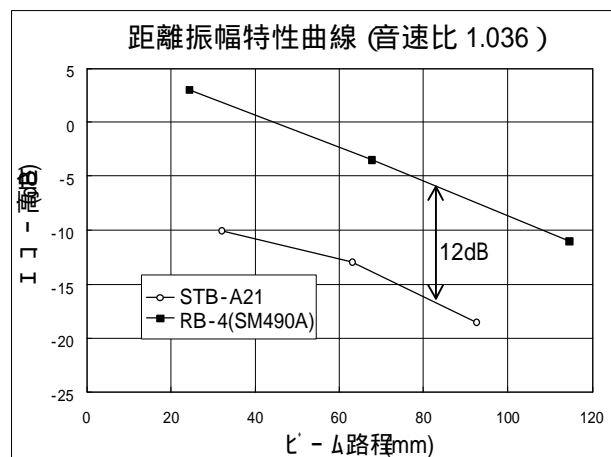
音響異方性を有する材料のエコー高さ区分線の例を解説図 21 に示す。(a)は RB/STB 音速比 1.036 の RB、(b)は RB/STB 音速比 1.003 の RB と A2 形系 STB のそれぞれのエコー高さ区分線を比較した結果である。探傷屈折角 65° の探触子の場合、STB-A2 の $4 \times 4\text{mm}$ の縦穴と RB-4 の横穴のエコー高さを比較すると、音響異方性が大きい(a)では 12dB、音響異方性が小さい(b)で 8dB の感度差があることがわかる。このことから、基準レベル (H 線) は、感度差に応じて調整する必要がある。

(1) STB-A21 (STB 屈折角 61.0°)

スキップ点	ビーム路程(mm)	エコー高さ(dB)
0.5S	32.0	-10
1.0S	63.0	-13.0
1.5S	92.5	-18.5

(2) RB-4 (材質 SM490A, 板厚 19mm, RB/STB 音速比 1.036)

スキップ点	ビーム路程(mm)	エコー高さ(dB)
1/4S	24.5	3.0
3/4S	67.5	-3.5
5/4S	114.5	-11.0



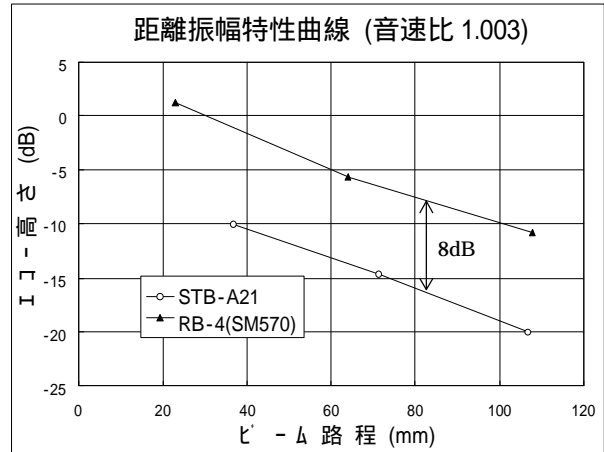
(a) 音速比 1.036 の対比試験片

(1) STB-A21 (STB 屈折角 64.6°)

スキップ点	ビーム路程(mm)	エコー高さ(dB)
0.5S	36.6	-10
1.0S	71.3	-14.7
1.5S	106.7	-20

(2) RB-4 (材質 SM570 , 板厚 19mm ,
RB/STB 音速比 1.003)

スキップ点	ビーム路程(mm)	エコー高さ(dB)
1/4S	22.9	1.2
3/4S	64.1	-5.6
5/4S	107.7	-10.8



(b) 音速比 1.003 の対比試験片

解説図 21 感度調整用試験片の感度差の例

11.5 カップリングチェックの調整

11.5.1 カップリングチェックレベルの設定

a) 人工きずを用いる場合 林状エコー方式の場合は、カップリングチェックに探傷用の超音波ビームを使うため、大きなきずなどの反射源がある探触子位置では、この反射源よりビーム路程が長い範囲でカップリング監視信号を求めると、到達する超音波ビームが少ないので、カップリングチェックレベルはことさら低く設定される場合がある。逆にきず等の反射源が無い位置のカップリング監視信号を基に評価すると、カップリングチェックレベルは極めて厳しいものとなる。そこで試験溶接部に予測されるきずと同程度のエコー高さを示す人工きずのある試験片を自動探傷し、人工きずが最大エコー高さを示す探触子位置の平均的なカップリング監視信号をカップリング基準レベルとするように規定した。

なお、カップリングチェックレベルは、カップリング基準レベルのエコー高さと同じに設定するのが理想だが、通常は探触子を走査するとカップリング監視信号のエコー高さは多少上下するため、許容できる範囲として規定した。

11.6 走査装置の調整 超音波自動探傷を行う前に走査装置を試験対象範囲に走査させることで、検査結果の位置の精度を向上させることができる。

11.7 超音波自動探傷装置の調整及び点検時期 超音波自動探傷装置は、収録ゲート・距離振幅の補正・カップリングチェック等、多数の機能を有しており、それら全てが正常に作動することで信頼性のある試験結果が得られる。定期点検時及び不具合が生じたときは速やかに調整・修理を行った後、性能評価用の試験片を用いて装置の総合的な性能評価試験を行い、きず画像の再現性を確認することが一般的に行われまた必要と考えられる。装置の性能評価試験は、出荷時は装置の製造者が行うべきものであるが、納入後はいずれでどのような点検を行うかを製造者と使用者で協議しておかなければならない。

点検時期を 8 時間以内と規定したが、点検時に所定の調整が維持されていない場合は、前点検時からの試験結果は信頼性が無く、装置の再調整並びに再探傷を行わなければならない。点検時期は、運用面及び装置の実績を考慮し、当事

者間協議により定める。

性能評価試験の内容は装置により様々であるが、参考として性能評価試験手順の例を次に示す。

試験片の選定 超音波自動探傷を行う試験体と板厚及び表面状態が同程度で形状が明らかなきずを有する試験片を用意する。

超音波自動探傷 試験片を超音波自動探傷を行う試験体と同一の条件により3回以上探傷する。

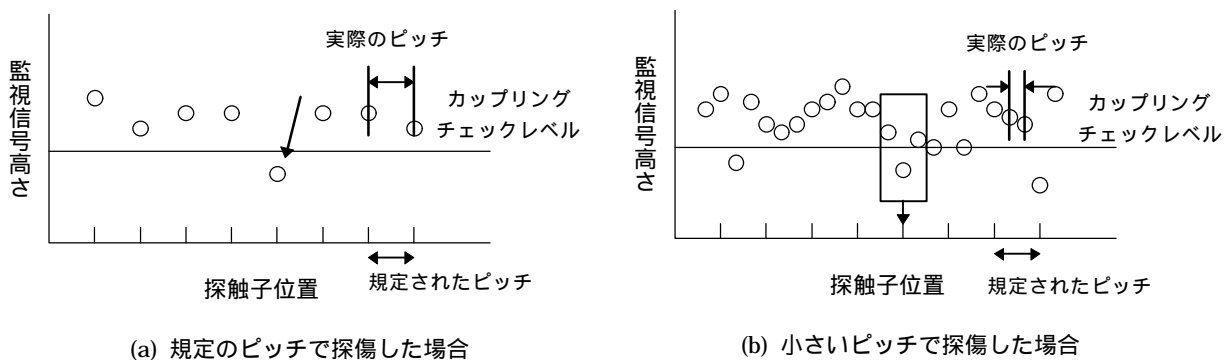
画像の確認 探傷画像によりきず画像（きずの画像長さ，画像高さ，最大エコー高さ）の再現性を確認する。再現性が認められない場合は，装置の再点検を実施する。

12. 超音波自動探傷試験

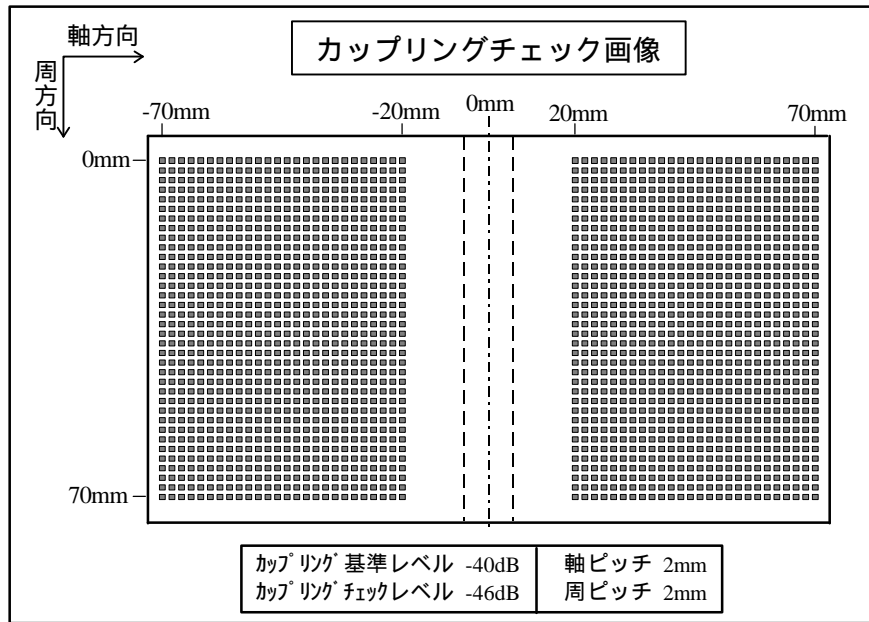
3) **カップリングチェック** 試験体の表面状態によっては、安定したカップリング監視信号を得られない場合がある。

このような試験体に自動探傷をしなければならない場合は、周・軸ピッチを規定しているピッチよりも小さく設定することで、規格を満足する探傷を行うことができる。同一箇所を探傷したときのカップリングの状態を解説図 22 に示す。(a)は規定のピッチ，(b)は実際のピッチを規定のピッチの 1/3 として探傷した結果である。(a)の様に規定のピッチで収録して矢印の位置にカップリングチェックレベルより低いカップリング監視信号が得られた場合には、この位置の探傷は再度行わなければならない。しかし、(b)の様に規定より小さいピッチで収録した場合には、当該位置では3点のカップリング監視信号を収録しており、かつ、カップリングチェックレベルを超えるものがあるので、この探傷は適切に行われたものと判断する。

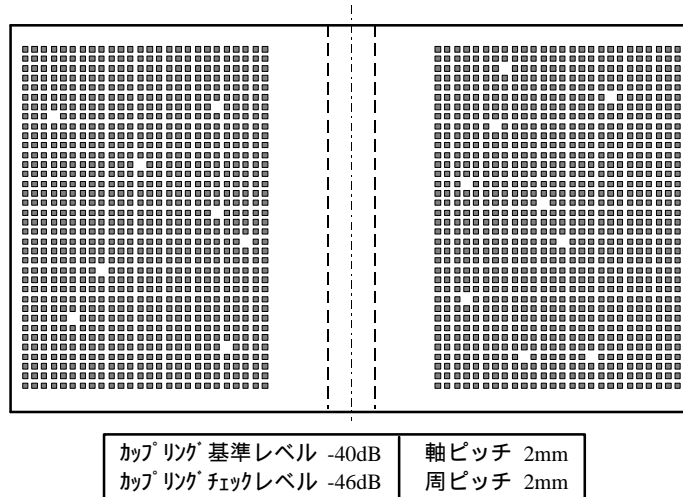
次にカップリング画像を用いたカップリングの良否について解説図 23 に示す。それぞれのカップリング画像のデータ収録点間隔は、(a)(b)は規定のピッチ，(c)は規定のピッチの 1/2 としている。(a)は、全てのデータ収録点でカップリング監視信号がカップリングチェックレベルより低い点がないので、音響結合の状態が良好であったことがわかる。(b)は、幾つかの点で音響結合の状態が不良であったことがわかり、規定ピッチで自動探傷を行っているために探傷結果の信頼性が無いので再探傷をしなければならない。これに対して(c)は、(b)と同様に幾つかの点で音響結合の状態が不良であるが、規定/2 ピッチのデータ収録点領域は4点(2×2)なので、この内1点でもカップリング監視信号が画像に表示されれば探傷結果の信頼性は確保されていると扱うことができる。



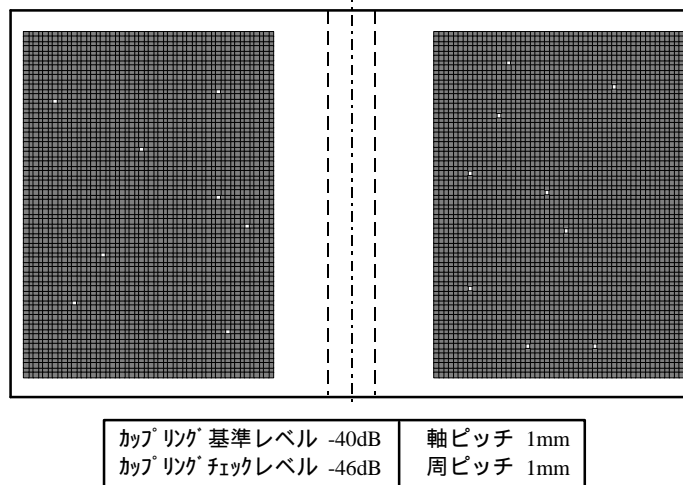
解説図 22 カップリング監視信号が十分に得られない場合の対応



(a) 良好なカップリングチェック画像 (規定ピッチ)



(b) 不良なカップリングチェック画像 (規定ピッチ)

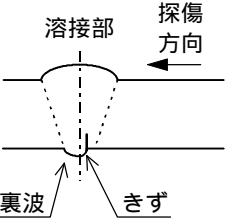
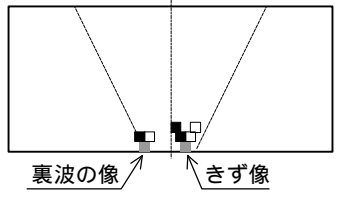
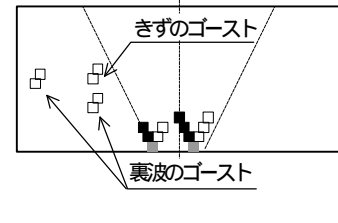
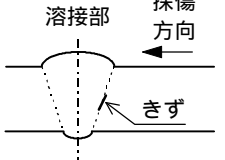
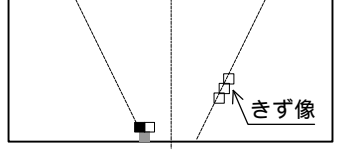
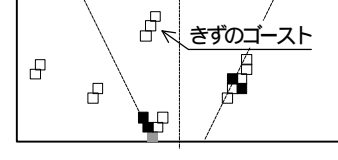
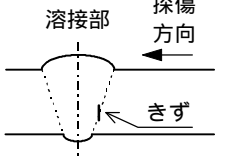
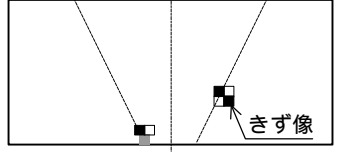
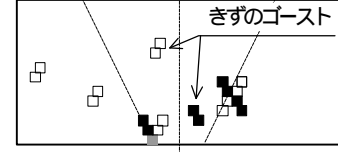
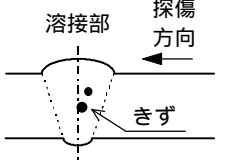
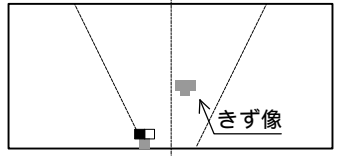
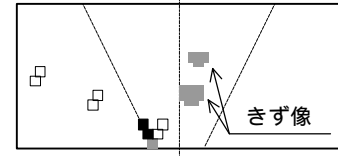


(c) 良好なカップリングチェック画像 (規定/2ピッチ)

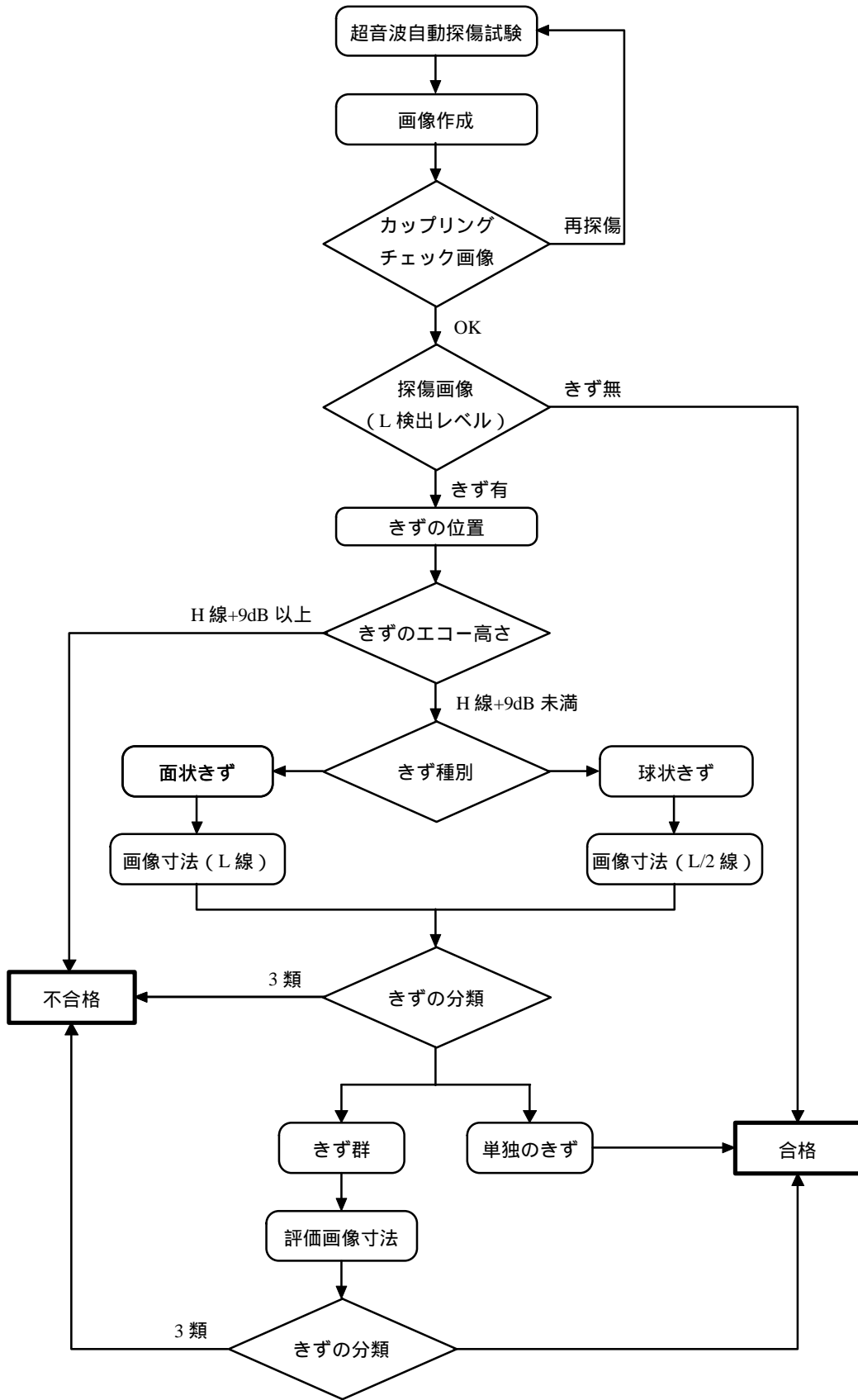
- 5) きず種別の判定 きず種別の判定は、探傷画像を読み取る訓練を受けた者が行う。きず像の形状・位置・分布状況から判断できない場合は、モード変換像の状況を確認したり、表示するエコー高さの下限値を上下しながらきず像の広がる状態を確認する方法が有効な場合がある。きず種別の判定方法の例を解説表 2 に示す。
- 8) きずの画像寸法の読み取り きず形状により音圧反射率は異なり、球状きずは面状きずと比べて小さい。そこできず形状による評価を同一とするため、面状きずは L 線で球状きずは L/2 線で画像寸法を読み取ることとした。
また、複数のきず像が認められ、きずときずとの間隔が軸方向、周方向及び深さ方向のいずれも 1 ピクセル以下の場合は同一きずと見なし、間隔を含めてきずの画像寸法とする。

附属書 試験結果の合否判定方法 合否判定のフローを解説図 24 に示す。

解説表 2 きず種別の判定方法の例

きず 種別	探傷 状況	代表的な画像		判定 方法	
		L線表示レベル	L/2線表示レベル		
面状開口きず				<p>きず像は直射と一回反射による像が同位置に表示され、試験体裏面で裏波の像よりは探触子側に表示される。</p> <p>L/2線表示では、ビーム経路上にきずのゴーストが出現する場合がある。</p>	
面状 内部 きず	傾き有				<p>試験体内部に、きず面の傾きに応じて表示区分毎に異なるエコー高さのきず像が表示される。</p> <p>L/2線表示では、一般にビーム経路上にきずのゴーストが出現する場合がある。</p>
	傾き無				
球状きず				<p>きず像は線状に表示されない。L/2線表示で比較的微小なきずも出現する。</p> <p>きずのゴーストは確認されない場合が多い。</p>	

(注) 表中の像の表示は、■: 直射 □: 一回反射 ■: 直射及び一回反射



解説図 24 合否判定のフロー