

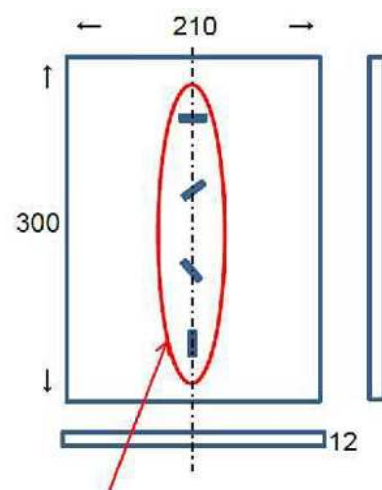
# 塗膜厚さの影響試験 結果

IHI

## 1. 試験体の製作

塗膜厚さの影響試験用試験体は、300mm×210mm×板厚12mmの試験体に放電加工による人工きず(長さ6mm×深さ3mm)を傾き角度0°、45°、-45°、90°の4か所加工し、0mm、0.7mm、1.0mm、1.5mm、2.0mmの塗膜を施した5体の試験体を製作した。(図1参照。)

また塗膜塗料は、一般的なタンクに施されているビニールエステルガラスフレークとした。



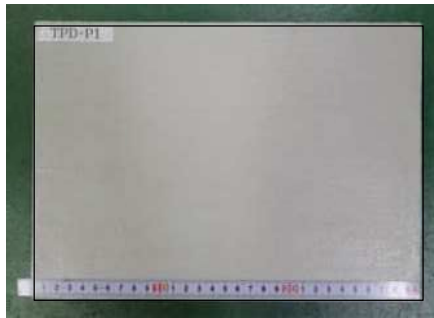
※1 : 模擬欠陥 (放電加工)  
サイズ: 幅1mm×長さ6mm×深さ3mm

ノッチ傾き確度 : 0°、45°、-45°、90°  
(上面に、4か所)

図1 塗膜厚さ影響確認試験体

IHI

## 1-1.試験体 外観写真

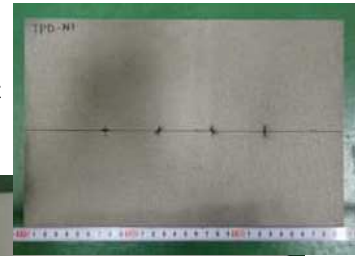


塗膜厚さ0.7mm試験体 (TPD-P1)

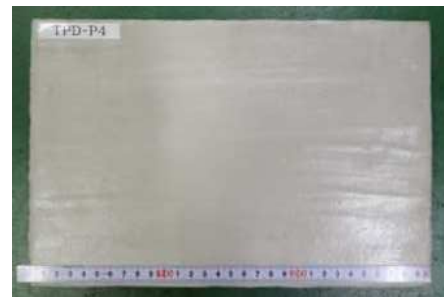


塗膜厚さ1.0mm試験体 (TPD-P2)

塗膜0mm試験体  
(TPD-N1)



塗膜厚さ1.5mm試験体 (TPD-P3)



塗膜厚さ2.0mm試験体 (TPD-P4)

図2 塗膜厚さ影響確認試験体外観写真

IHI

## 1-2.試験体の製作工程

試験体製作工程の写真を図3～図8に示す。

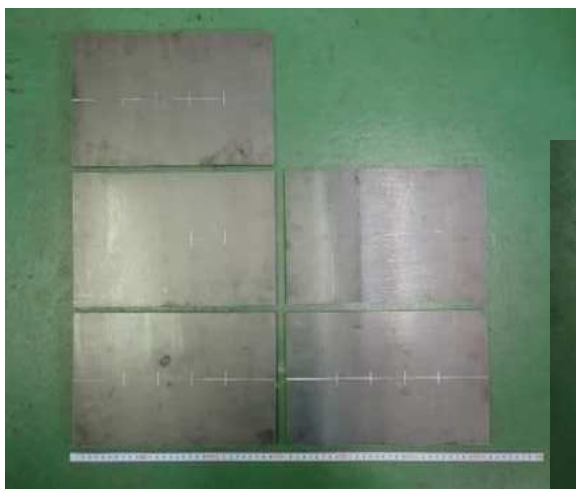


図3 試験体材料加工



図4 表面サンドブラスト処理

IHI

## 1-2.試験体の製作工程

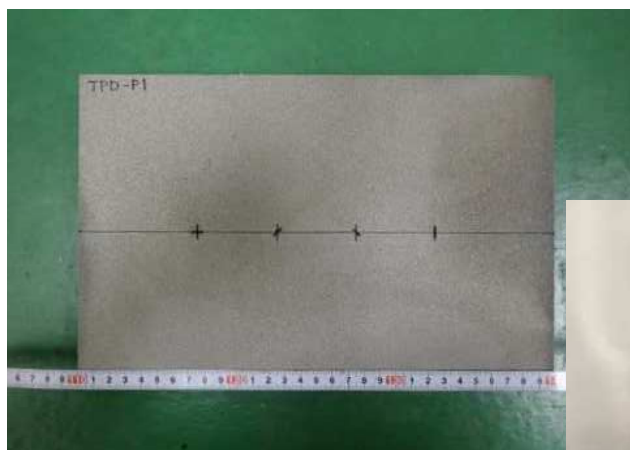


図5 人工きず加工後(放電加工)



図6 下塗り後(フレイクガードプライマー)

IHI

## 1-2.試験体の製作工程



図7 中塗り後(ビニールエステルガラスフレイク)



図8 上塗り後(ビニールエステルガラスフレイク)

IHI

### 1-3. 塗膜厚測定結果

塗膜厚さ測定は、図9に示すようにA部、B部の100mm四方で5点の測定を行った。その結果を表1に示す。

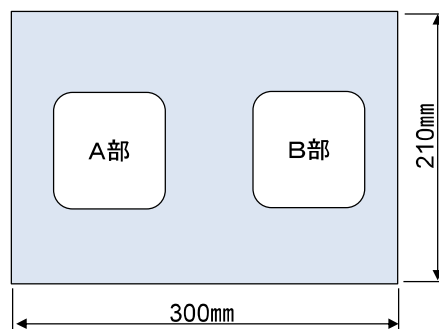


表1 塗膜厚さ測定結果

図9 塗膜厚さ測定部位

TP No. (膜厚)	測定箇所	膜厚[ $\mu\text{m}$ ]					平均	標準偏差
		1回	2回	3回	4回	5回		
TPD-P1 (0.7mm)	A部位	729	622	683	709	755	700	50.8
	B部位	705	736	722	644	748	711	40.7
TPD-P2 (1.0mm)	A部位	974	983	1045	1005	995	1000	27.6
	B部位	858	893	1041	901	1071	953	96.2
TPD-P3 (1.5mm)	A部位	1393	1447	1428	1484	1521	1455	49.6
	B部位	1510	1567	1534	1474	1601	1537	49.3
TPD-P4 (2.0mm)	A部位	1912	1865	1857	2013	2011	1932	76.3
	B部位	1944	1912	2062	1944	1865	1945	72.8

IHI

## 2. 超音波探傷試験

### (1) 試験方法

各探傷パターンに対して対象とした人工きずと探触子の走査方法を図10に示す。各塗膜厚さの異なる試験体での人工きずに対し、最大となる超音波反射波強度を80%に調整し、この時の探傷器の感度レンジ(アンプ)の値を記録し、塗膜と超音波減衰率の関係を確認した。また、この状態での20%を超える指示範囲の指示長さを求めた。

- ①Aパターン(A-R, A-L)探傷:0° きず
- ②Bパターン(B-R)探傷:45° きず
- ③Bパターン(B-L)探傷:-45° きず
- ④B-2パターン探傷:90° きず

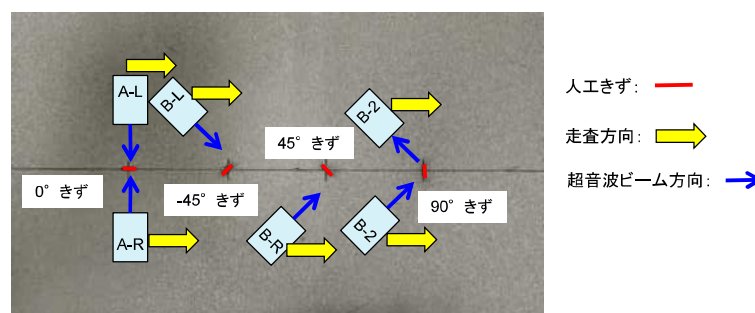


図10 探傷パターンとプローブ走査

IHI

## 2. 超音波探傷試験

### (1) 試験方法 (探傷状況写真)

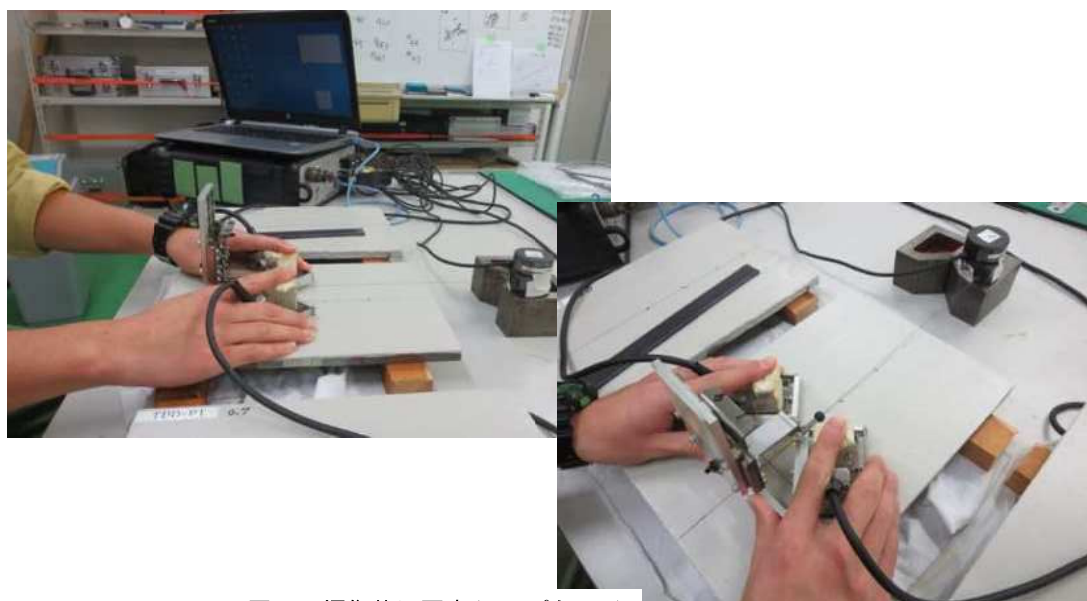


図11 探傷状況写真(B-2パターン)

## 2. 超音波探傷試験

### (2) 塗膜厚と超音波減衰率について

感度校正用試験片(CAL-TP)の6mm×3mmきずを80%に調整した場合と各塗膜厚試験体の人工きずを80%に調整し、塗膜厚さによる減衰を確認した。各探傷パターンにて、各塗膜厚さでの人工きずからの超音波反射強度を探傷器の感度レンジ(アンプ)から、dB値での減衰量を表2に示す。

表2 塗膜厚さによる減衰

塗膜試験体UTデータ											
試験体		A-R		A-L		B-R		B-L		B-2	
塗膜厚さ (mm)	試験片No.	80%感度 [dB]	CAL-TPとの 感度差[dB]	80%感度 [dB]	CAL-TPとの 感度差[dB]	80%感度 [dB]	CAL-TPとの 感度差[dB]	80% 感度 [dB]	CAL-TPとの 感度差[dB]	80% 感度 [dB]	CAL-TPとの 感度差[dB]
0	CAL-TP	30.2	0.00	31.9	0.00	41.6	0	47.4	0	38.2	0
0.7	TPD-P1	37.4	-7.20	39.2	-7.30	54.5	-12.90	59	-11.60	55.2	-17.00
1	TPD-P2	40.3	-10.10	43.4	-11.50	57.3	-15.70	61.9	-14.50	58.8	-20.60
1.5	TPD-P3	41.5	-11.30	43.3	-11.40	63.9	-22.30	64.7	-17.30	64	-25.80
2	TPD-P4	50.2	-20.00	48.2	-16.30	69	-27.40	72.1	-24.70	68.6	-30.40
0(サンブラ面)	TPD-N1	32.7	-2.50	34	-2.10	47.3	-5.70	47.9	-0.50	45	-6.80

### 3. 塗膜厚と超音波減衰カーブ

#### (1) Aパターンの塗膜厚と超音波減衰カーブ

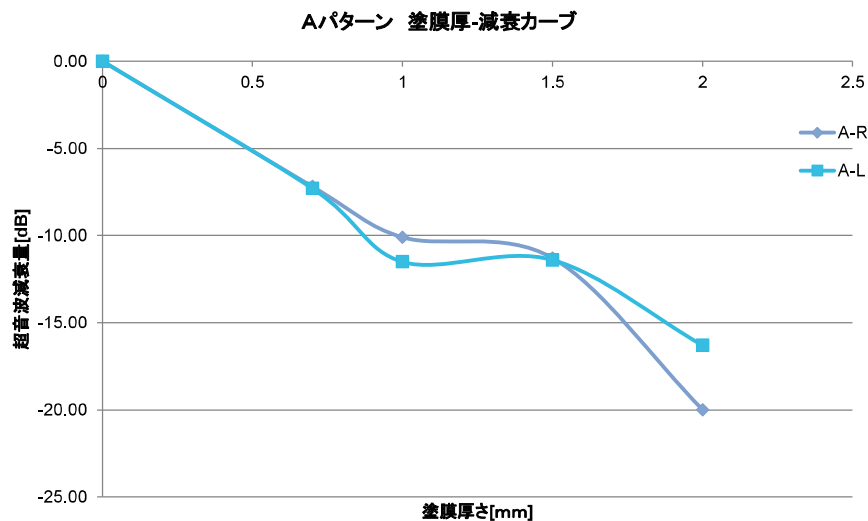


図12 Aパターン 塗膜厚-減衰カーブ

### 3. 塗膜厚と超音波減衰カーブ

#### (2) Bパターン, B-2パターンの塗膜厚と超音波減衰カーブ

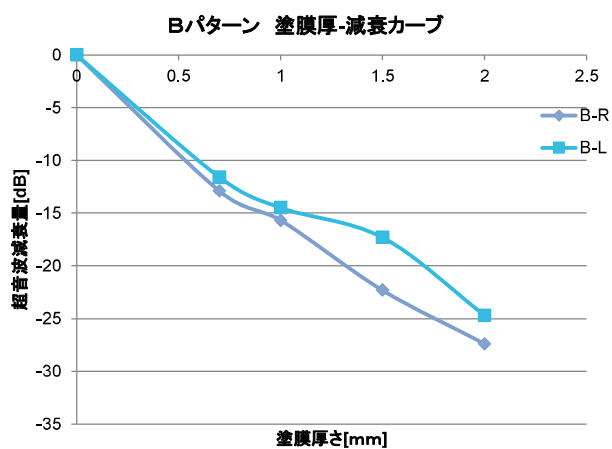


図13 Bパターン 塗膜厚-減衰カーブ

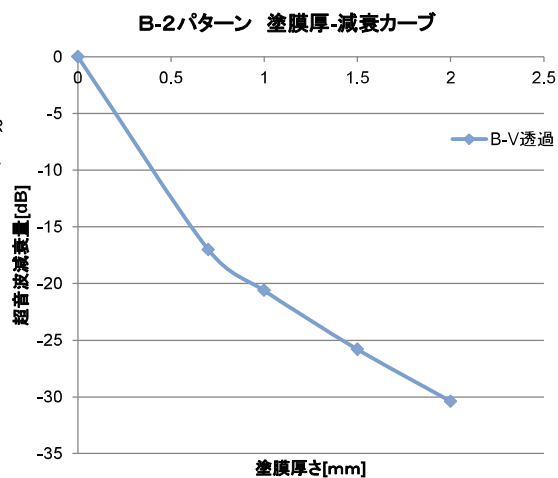


図14 B-2パターン 塗膜厚-減衰カーブ

## 4. 指示長さの検討

指示長さの検討として、各塗膜厚さの6mm×3mmきずからの反射エコーから、図15に示すように、反射強度20%を超える探触子の移動距離から指示長さを求めた。この結果を以降に示す。

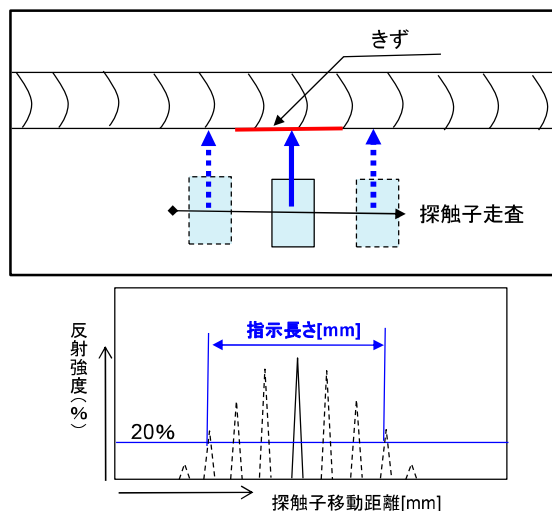


図15 指示長さの求め方

## 4. 指示長さの検討

感度校正用試験片の人工きず(6mm×3mm)の反射エコーを80%に調整した後、各パターン  
の感度補正を行い、各塗膜厚さでの6mm×3mmきずの指示長さを求めた結果を表3に示す。塗  
膜厚さ0.7mm~1.5mmに関しては、Aパターンは、8mm~10mmであり、Bパターンに関しては、  
14mm~20mm、B-2パターンでは、10mm~18mmであった。

塗膜厚さ2mmに関しては、A-Rにおいて指示長さ2mmで、6mmを下回る結果となったが、塗膜  
の凹凸の影響によるものと考えられる。その他については、指示長さ6mm以上の値が得られた。

表3 塗膜厚さによる指示長さ

試験体No.	塗膜厚 (mm)	Aパターン				Bパターン				B-2パターン(V透過)	
		R		L		R		L		-	
		エコー高さ [%]	指示長さ [mm]	エコー高さ [%]	指示長さ [mm]	エコー高さ [%]	指示長さ [mm]	エコー高さ [%]	指示長さ [mm]	エコー高さ [%]	指示長さ [mm]
CAL-TP	0	80	10	80	10	80	16	80	16	80	16
TPD-P1	0.7	100<	10	98	10	100<	20	100<	20	100<	18
TPD-P2	1	71	8	60	8	100<	18	100<	20	84	13
TPD-P3	1.5	62	8	61	8	100<	14	100<	18	46	10
TPD-P4	2	24	2	34	6	64	12	52	12	26	6
TPD-N1 サンブラ面	0	61	6	64	10	80	14	77	14	38	8

## 5. 指示長さCスコープ画像

### Aパターン指示長さCスコープ画像例

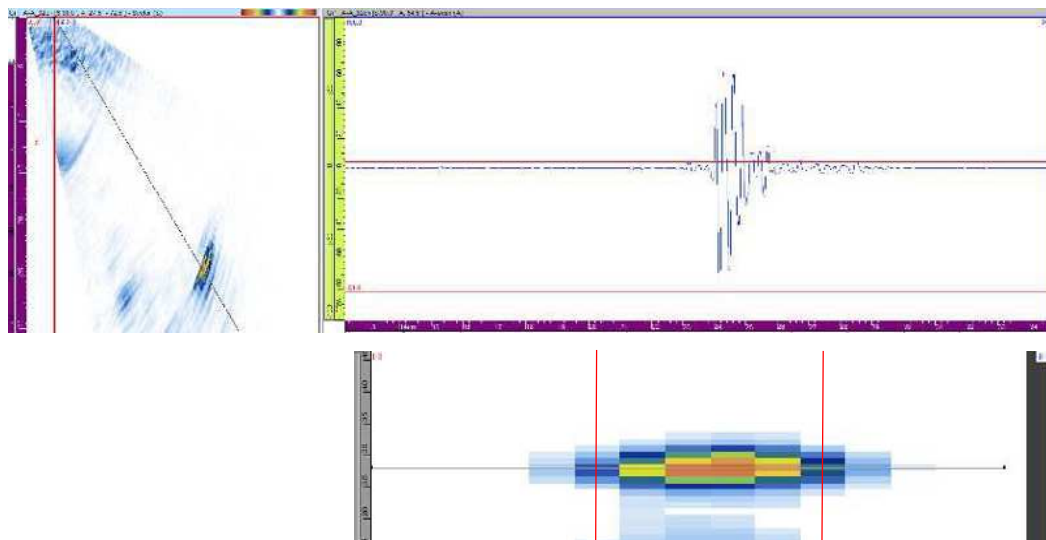


図16 Aパターン(A-R)塗膜厚さ1mmCスコープ画像

IHI

## 5. 指示長さCスコープ画像

### Bパターン指示長さCスコープ画像例

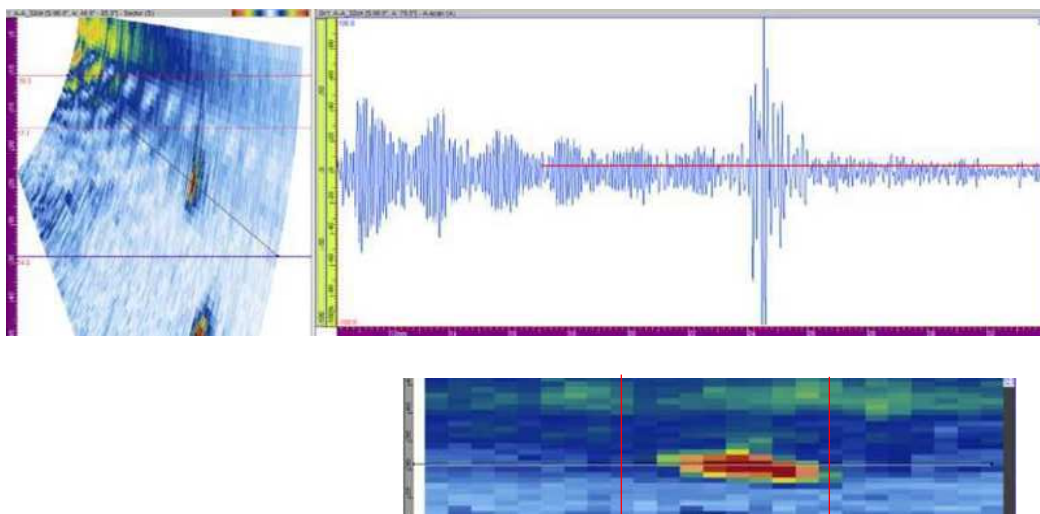


図17 Bパターン(B-R)塗膜厚さ1mmCスコープ画像

IHI



## 5. 指示長さCスコープ画像

### B-2パターン指示長さCスコープ画像例

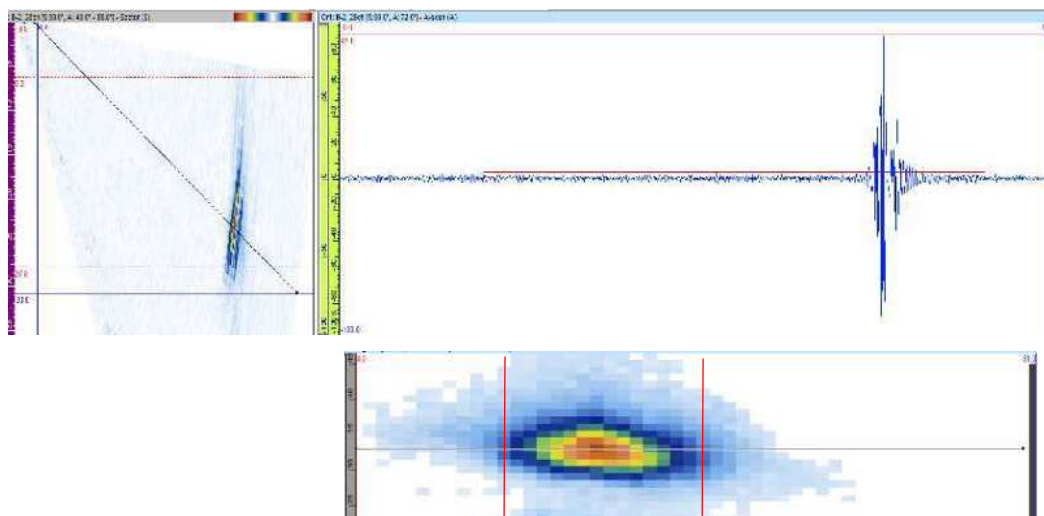


図18 B-2パターン塗膜厚さ1mmCスコープ画像

IHI

## 6. 探傷感度の設定

### (1) Aパターン探傷の感度補正

Aパターン探傷での塗膜厚さによる感度補正は、塗膜厚さ1mm相当の減衰分として感度校正用試験片の感度に**プラス9dB**を探傷感度としている。今回の塗膜厚さ1mmの試験体結果からもA-Rで-10dB,A-Lでは-11dBの結果であり、超音波探傷での一般的な誤差として±2dBとされるなかで、妥当な感度補正量と判断する。また、この探傷感度80%より、しきい値レベルを20%としている事から、80%に対し反射強度が1/4レベルを検出している点から、更に**プラス12dB(合計21dB)の検出感度**である。従って、**塗膜厚さ2mmにおいても6mm×3mmのきず検出が可能**である。(図19参照)

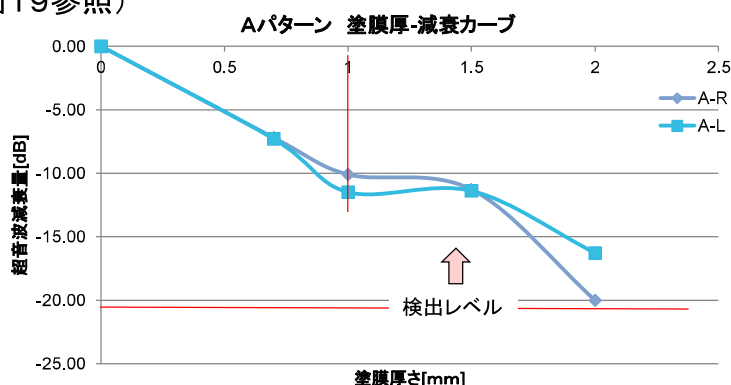


図19 Aパターン探傷感度補正(検出レベル)

IHI

## 6. 探傷感度の設定

### (2) Bパターン探傷の感度補正

Bパターン探傷での塗膜厚さによる感度補正は、塗膜厚さ1mm相当の減衰分として感度校正用試験片の感度に**プラス21dB**を探傷感度としている。今回の塗膜厚さ1mmの試験体結果からB-Rで約-16dB、B-Lでは約-15dBの結果であり、B-2では約-21dBであった。従ってBパターンにおいても、妥当な感度補正量と判断する。

また、この探傷感度(80%)より、しきい値レベルを20%としている事から、Aパターンと同様に、更に**プラス12dB(合計33dB)**の検出感度である。従って、**塗膜厚さが2mm以上においても6mm×3mmのきず検出が可能**である。(図20, 図21参照)

## 6. 探傷感度の設定

### (2) Bパターン探傷の感度補正

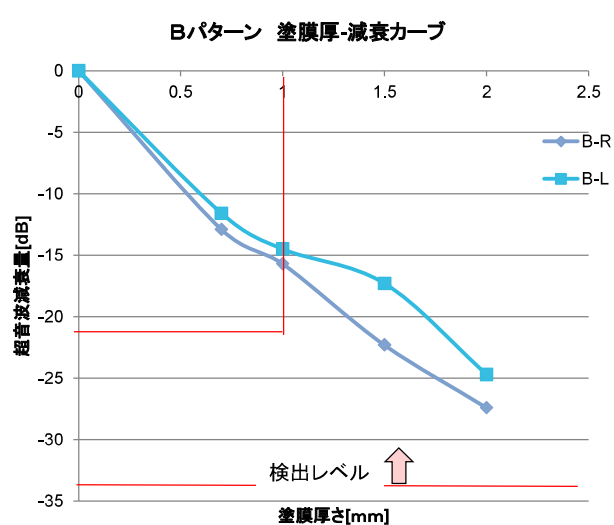


図20 Bパターン探傷感度補正(検出レベル)

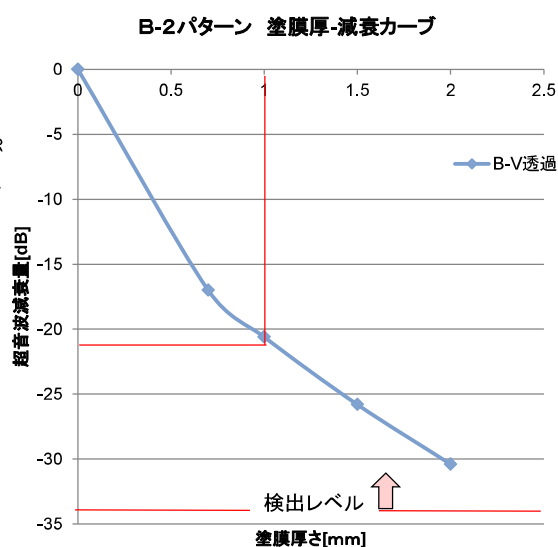
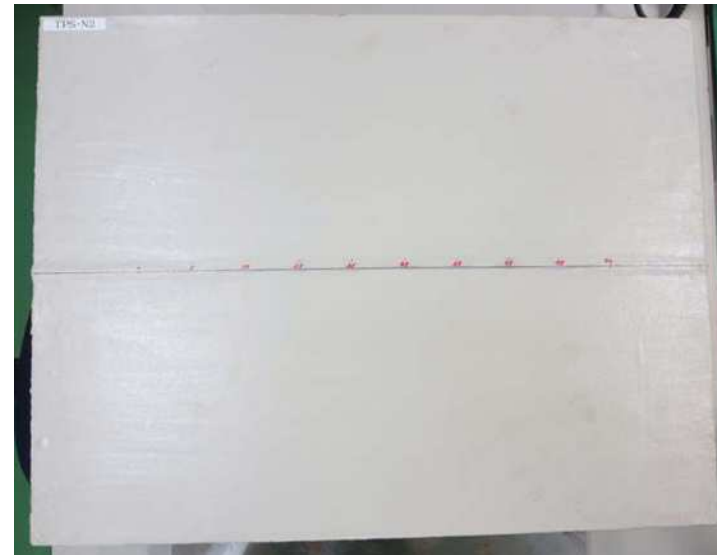
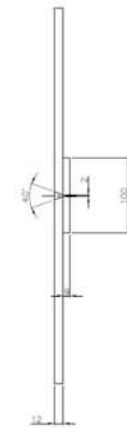
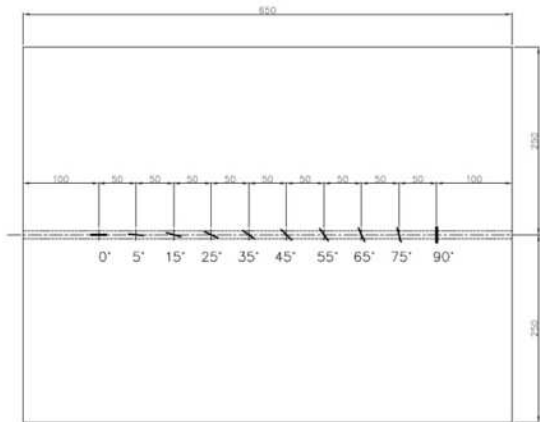
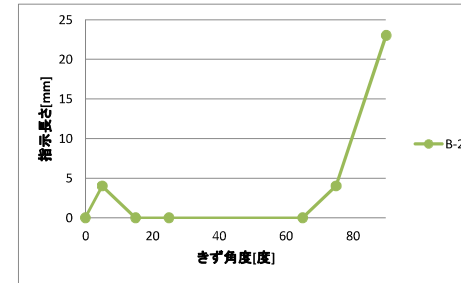
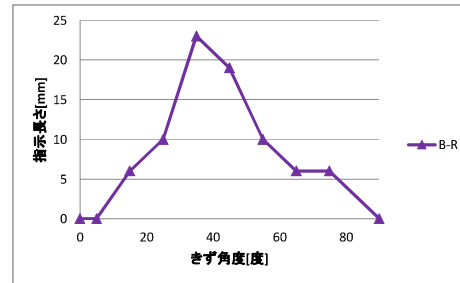
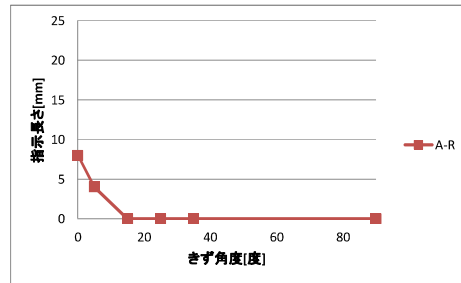
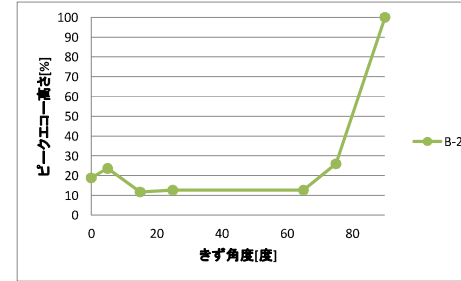
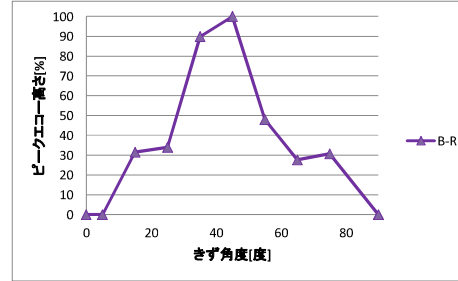
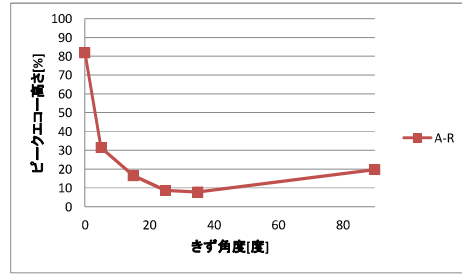


図21 Bパターン探傷感度補正(検出レベル)

試験体No.	塗膜厚[mm]	きず角度[度]	Aパターン				Bパターン				B-2パターン(V透過)	
			R		L		R		L		-	
			指示長さ[mm]	ピークエコー高さ[%]	指示長さ[mm]	ピークエコー高さ[%]	指示長さ[mm]	ピークエコー高さ[%]	指示長さ[mm]	ピークエコー高さ[%]	指示長さ[mm]	ピークエコー高さ[%]
TPS-N2	1.0	0	8	81.9	-	-	-	-	-	-	0	18.9
		5	4	31.5	-	-	-	-	-	-	4	23.6
		15	0	16.5	-	-	6	31.5	-	-	0	11.8
		25	0	8.7	-	-	10	33.9	-	-	0	12.6
		35	0	7.9	-	-	23	89.8	-	-	-	-
		45	-	-	-	-	19	100	-	-	-	-
		55	-	-	-	-	10	48	-	-	-	-
		65	-	-	-	-	6	27.6	-	-	0	12.6
		75	-	-	-	-	6	30.7	-	-	4	26
		90	0	19.7	-	-	-	-	-	-	23	100

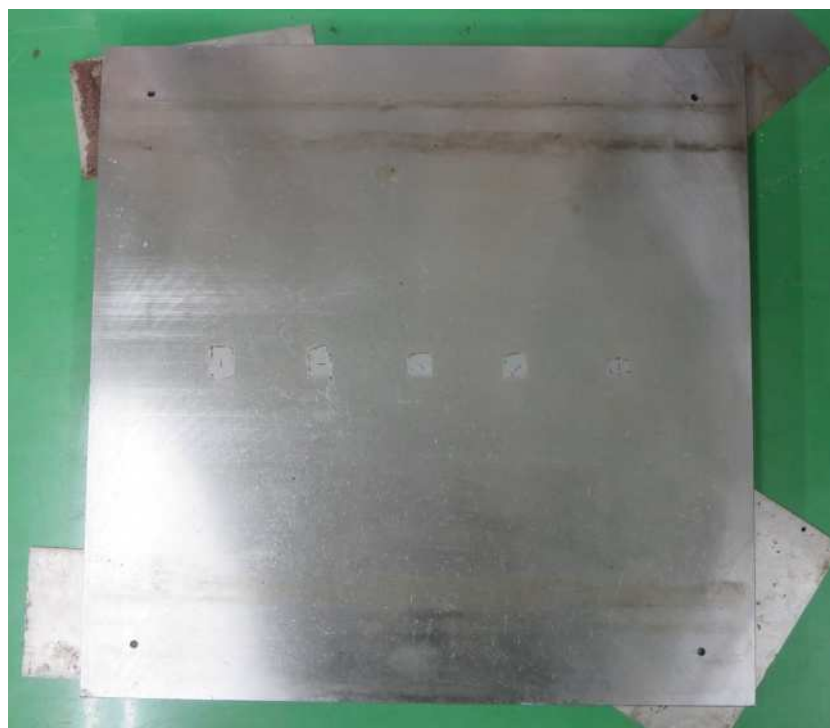
A-R  
A-L  
B-R  
B-2



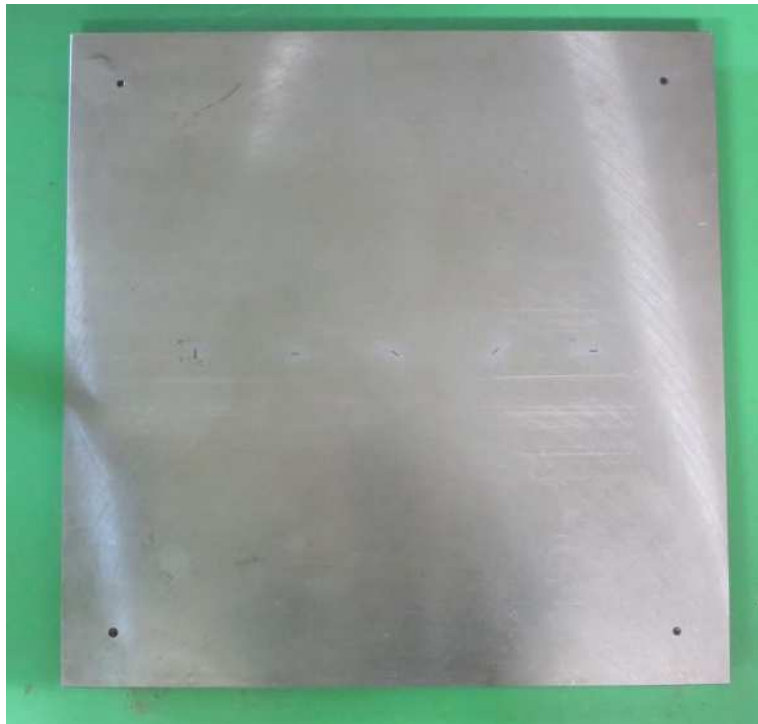
標識欠陥サイズ：幅1mm×長さ6mm×深さ3mm  
 標識欠陥傾き角度：0°、5°、15°、25°、35°、45°、55°、65°、75°、90°  
 (治具ビード中心に10箇所)  
 塗膜厚さ：1mm

## 7. 標準試験片の製作及び当該装置の校正方法の検討

超音波探傷装置は装置毎で信号強度にばらつきが存在する。そこで、各超音波探傷装置でのばらつきを低減するために超音波探傷を実施する際には装置感度の校正を行う必要がある。そこで、本検討では試験体表面の長さ6mm深さ3mmのきずを検出目標とし、試験体表面母材部に長さ6mm深さ3mmのスリットを加工して、このスリットを基準として装置感度の校正を行った。本検討では溶接線に対して傾きをもつ全ての角度のきずを検出可能とするため、縦割れきず探傷(Aパターン)、横割れきず探傷(B-2パターン)、角度付ききず探傷(B'-2パターン)の3種類の探傷方法を用いて探傷試験を実施した。そこで、基準感度は各探傷方法で反射強度が最も高くなる角度のスリットを用いてその反射エコーが80%となるように探傷装置の感度を校正した。例えば、縦割れきず探傷(Aパターン)では溶接線方向(探傷装置の走査方向)に長さをもつスリットを基準とし、横割れきず探傷(B-2パターン)では溶接線に直行する方向のスリットを基準とし感度の校正を行った。感度校正に用いるために作製した標準試験片を図7.1に示す。図7.1(a)はタンク底板を模擬した板厚12mmの標準試験片を、図7.1(b)はアニュラ部を模擬した板厚20mmの標準試験片を示している。図7.1の標準試験片は試験体中心の1ラインに角度の異なる長さ6mm深さ3mmのスリットを加工している。溶接線検査装置をこのライン上で走査することにより、Aパターン、B-2パターン、B'-2パターンすべての探傷方法で感度が校正可能である。



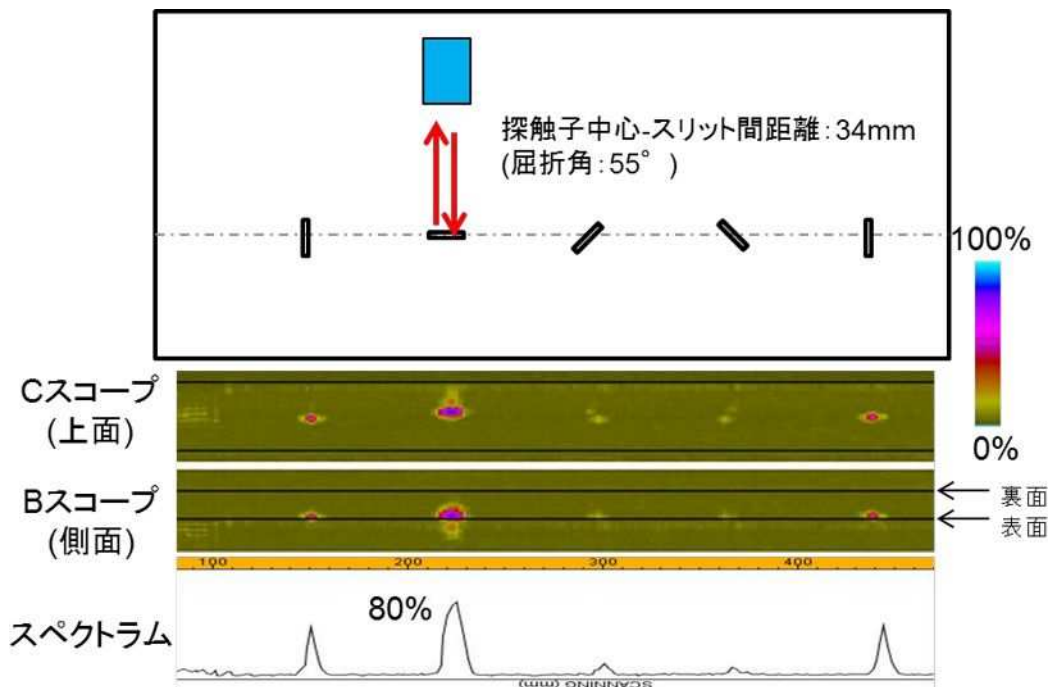
(a) タンク底板(板厚12mm)



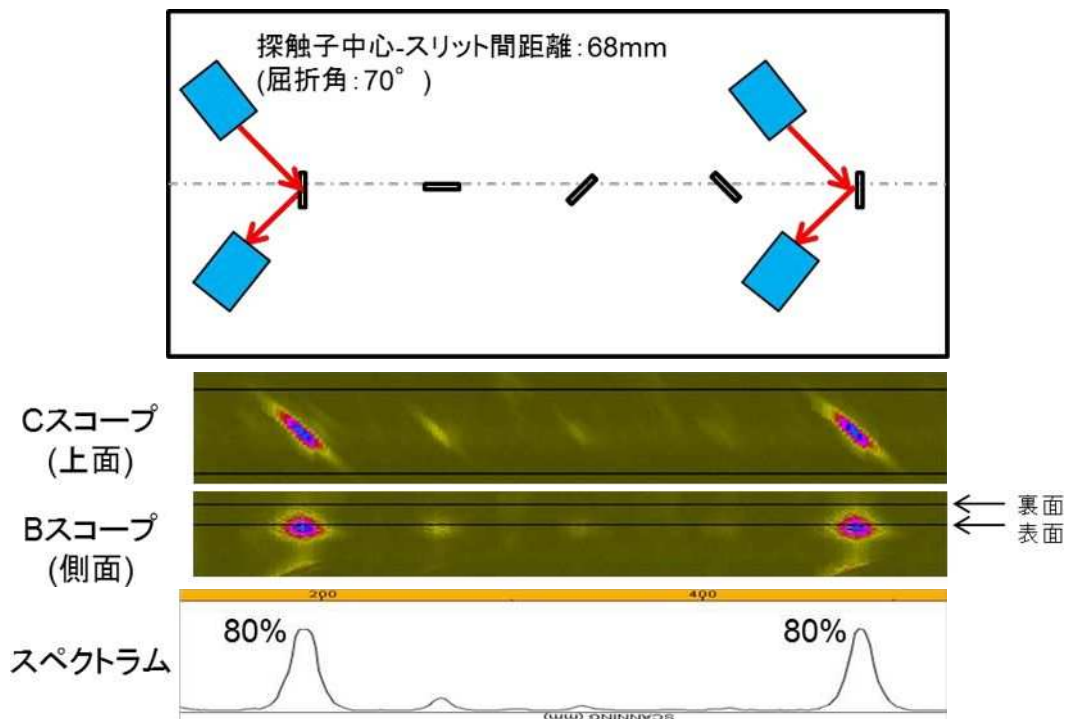
(b) アニュラ部(板厚20mm)

図7.1 標準試験片

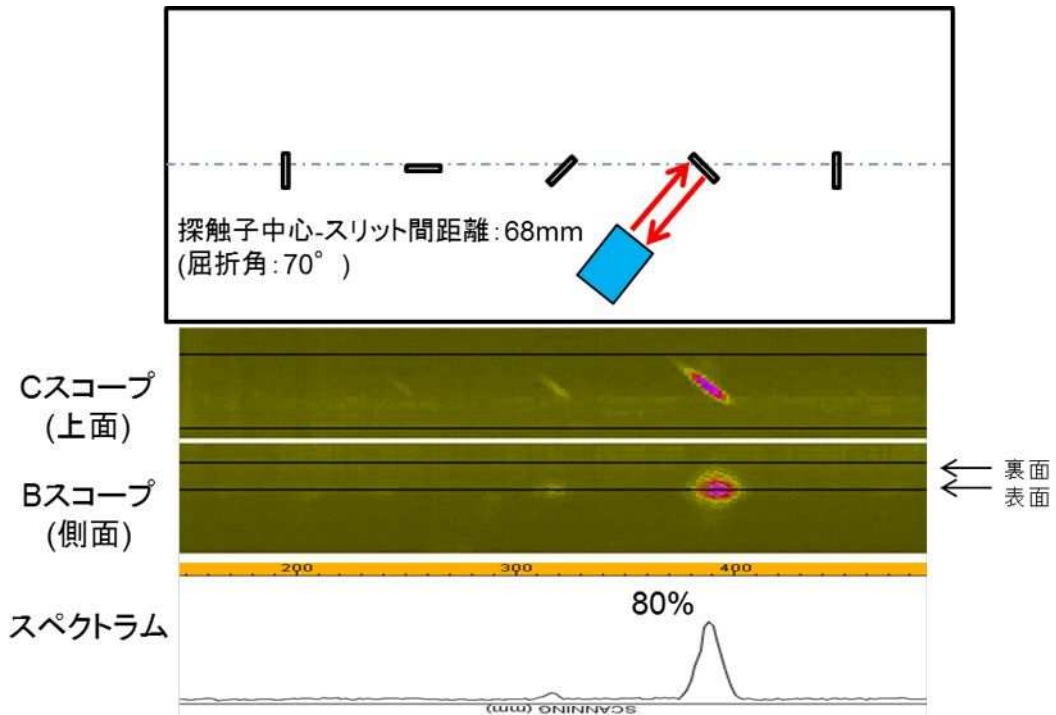
図7.1(a)のタンク底板(板厚12mm)を対象とした標準試験片を溶接線検査装置で探傷走査した結果を図7.2に、アニュラ部(板厚20mm)を対象とした標準試験片の探傷結果を図7.3に示す。(a)にAパターンでの探傷結果を、(b)にB-2パターンでの探傷結果を、(c)にB'-2パターンでの探傷結果をそれぞれ示している。なお、探傷感度はそれぞれの探傷パターンで反射エコーが最大となるスリットを80%となるように装置感度を校正している。スペクトラムは各探傷走査での探触子位置で超音波を複数の角度で電子走査し得られた最大の反射エコーの値をプロットしている。図7.2、図7.3よりそれぞれの探傷パターンで異なる角度のスリットからの反射エコーが最大となっていることがわかる。これらの3種類の探傷方法により溶接線方向に対する全ての角度の探傷が可能であると考えられる。



(a) 縦割れきず探傷 (Aパターン)

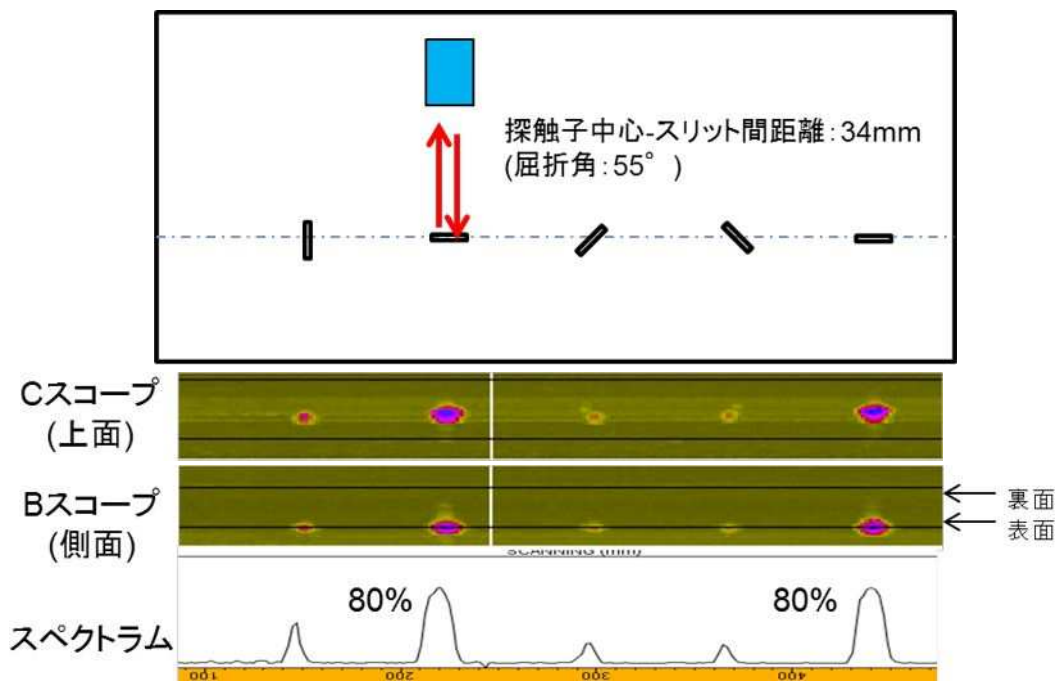


(b) 横割れきず探傷 (Bパターン)

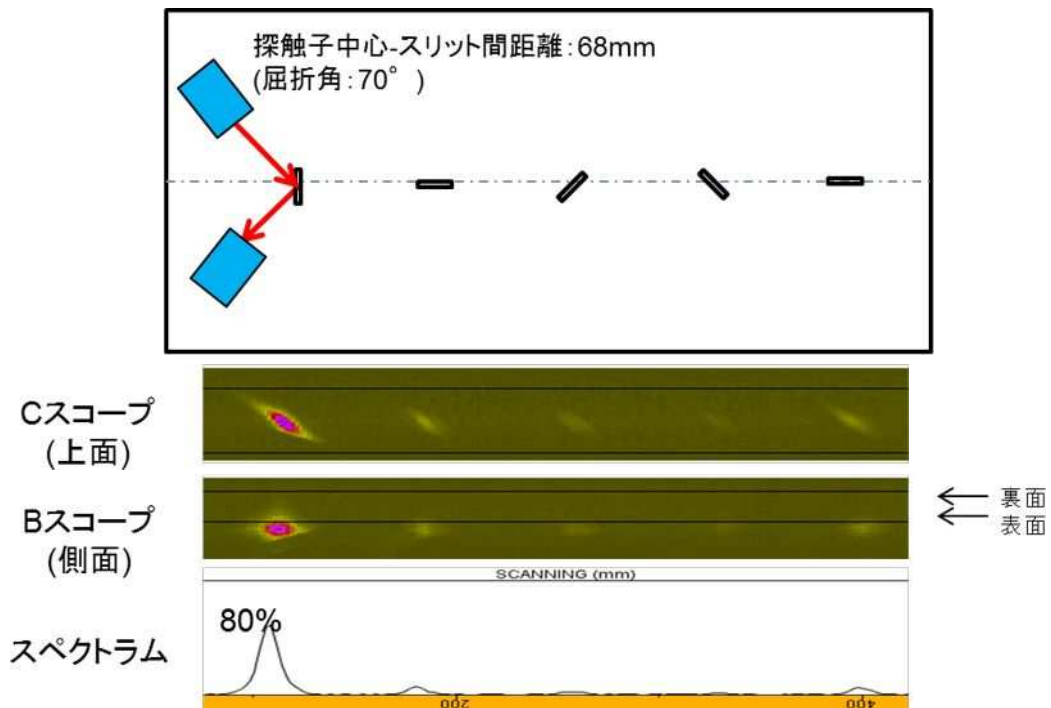


(c) 角度付き探傷(B'-2パターン)

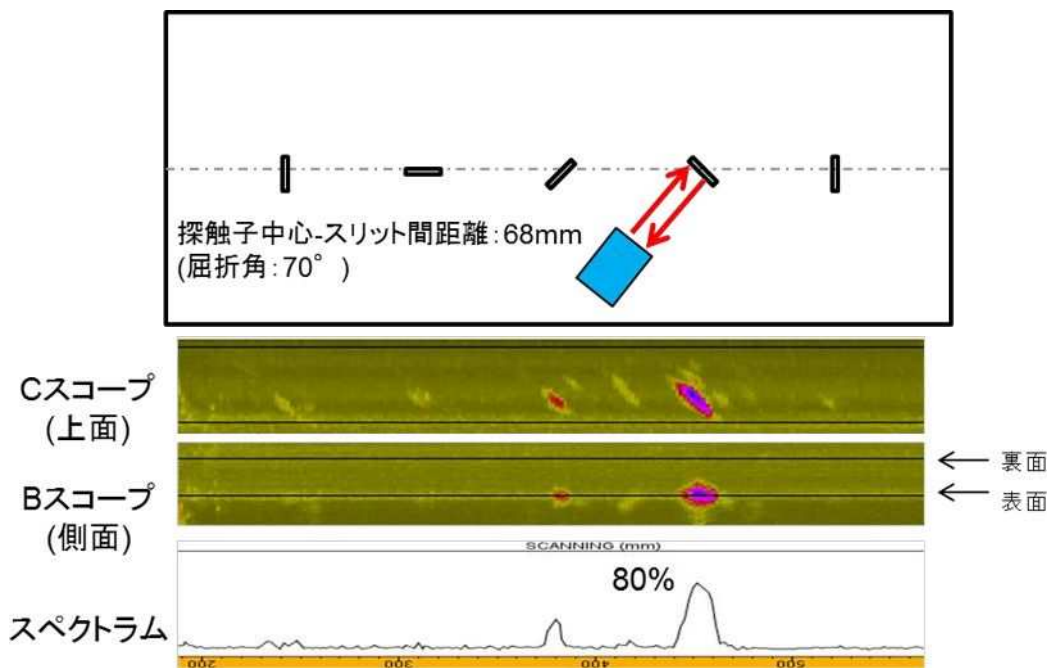
図7.2 標準試験片探傷結果(板厚12mm)



(a) 縦割れきず探傷(Aパターン)



(b) 横割れきず探傷 (Bパターン)



(c) 角度付ききず探傷 (B'-2パターン)

図7.3 標準試験片探傷結果 (板厚20mm)

本検討ではコーティング上からの探傷を対象としてきずの検出性を検討する必要がある。



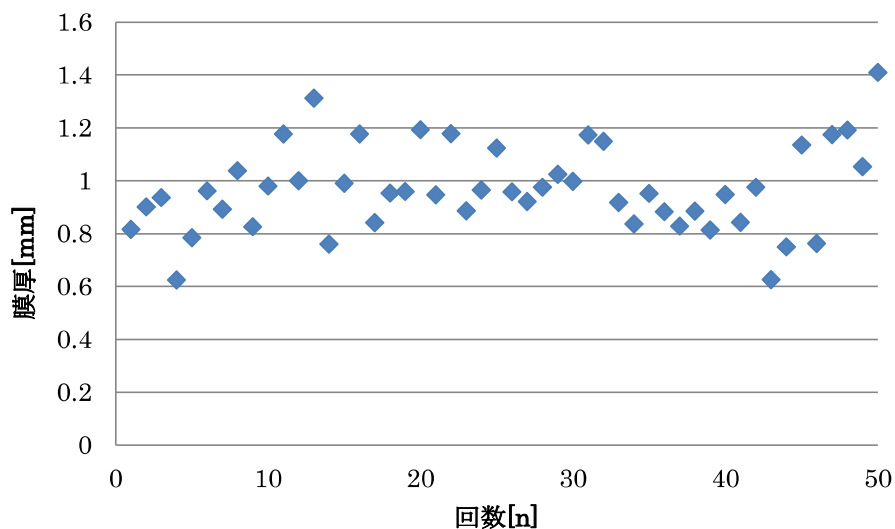
そこで、本検討ではタンク底板を模擬した標準試験片(板厚12mm)との比較を行うため、図7.1(a)と同形状の試験体を作製し、その上から塗装を行い、塗装が超音波探傷に及ぼす影響について検討を行った。作製した塗装試験片を図7.4に示す。実タンクでの塗装状況と同様するため、下記の手順にて塗装を実施した。

- ① サンドブラストによる表面処理：Ra30～100 $\mu$ m
- ② 下塗（フレークガードプライマ）約50 $\mu$ m
- ③ 中塗（ビニールエステルガラスフレーク）約500 $\mu$ m
- ④ 上塗（ビニールエステルガラスフレーク）約500 $\mu$ m

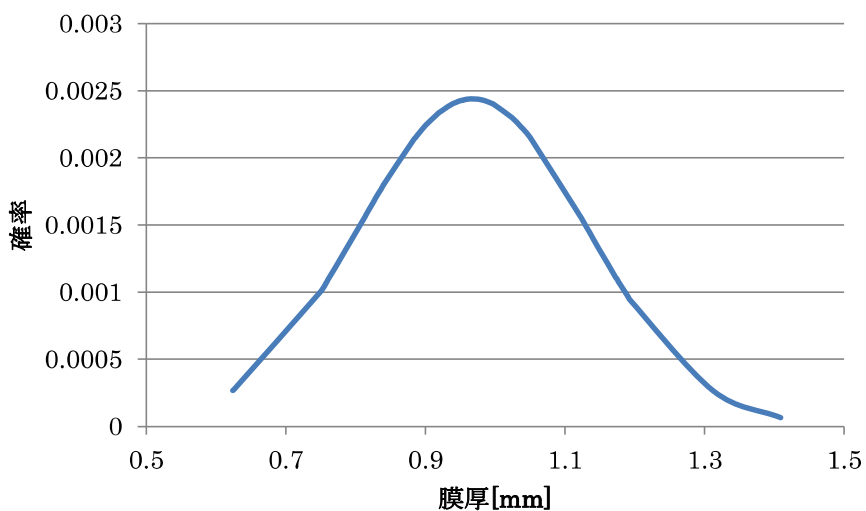
塗装した試験片の塗膜厚さを電磁膜厚計にて測定した結果を図7.5に示す。塗膜厚さは超音波探傷の際に探触子が接触する箇所を平均的に50回測定した。塗膜厚さ測定の結果、塗膜厚さ平均は0.968mm、標準偏差0.163mm、最大値1.41mm、最小値0.624mmであった。



図7.4 塗装試験片(板厚12mm)



(a) 測定値



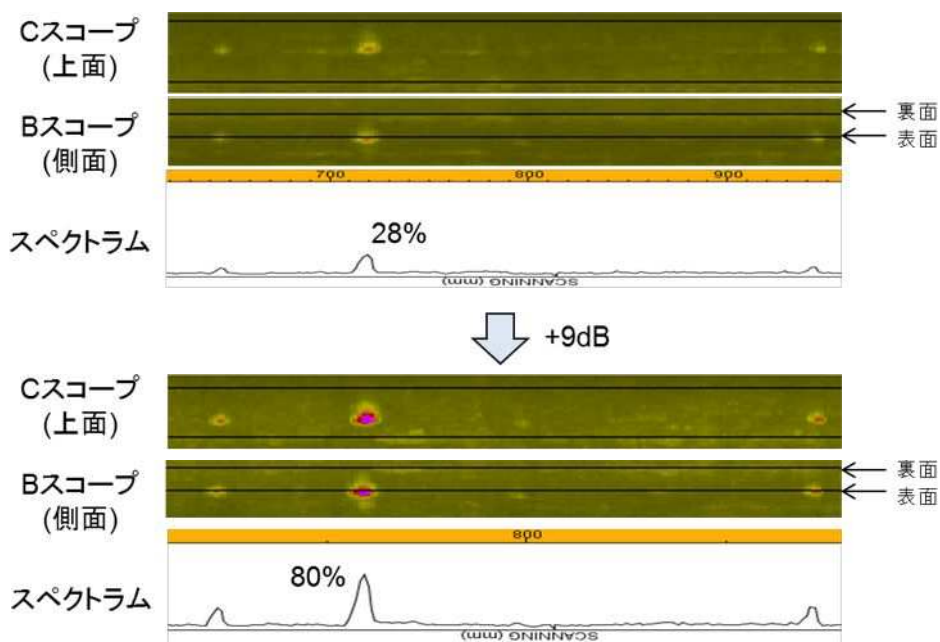
(b) 確率分布

図7.5 塗膜厚さ測定結果

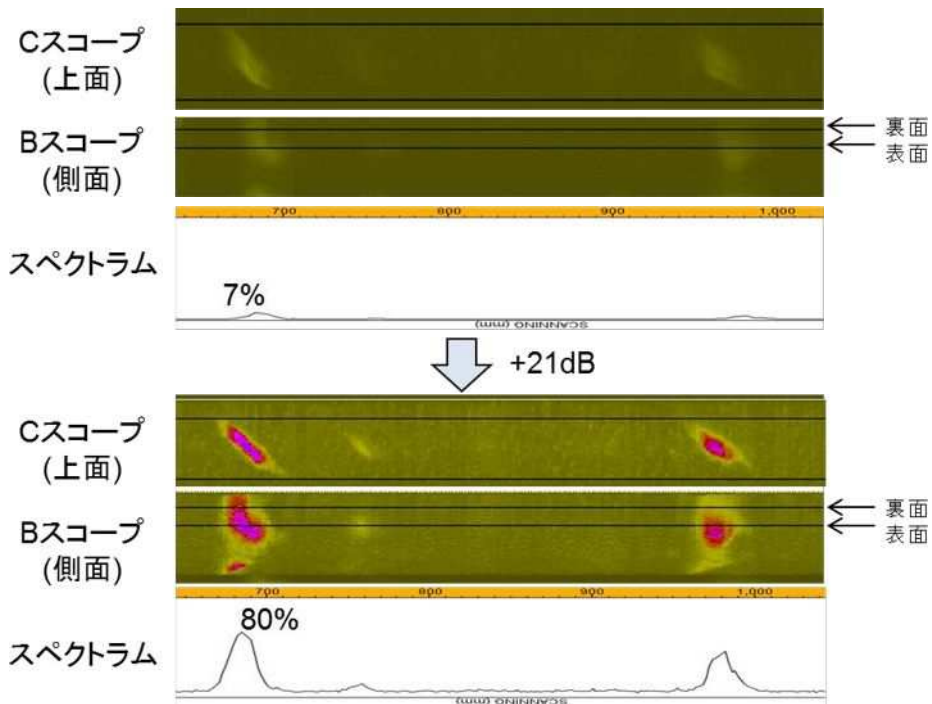
図7.4の塗装試験片を標準試験片で定めた感度で探傷した結果を図7.6に示す。図7.6より塗装の影響により全パターンでスリットからの反射エコー強度の低下を確認した。これは、試験体上の塗装により、塗装内での伝搬による減衰と塗装-試験片界面による試験片への透過率の低下によるものと考えられる。実タンクでは塗装されている面からの探傷となるため塗装条件下で検討を行う必要がある。そこで、各パターンで塗装の有無によるスリットからの反射エコー強度の差を把握し、塗装による減衰分を装置感度で補正する必要がある。標準試験片と塗装試験片の探傷比較の結果、縦割れきず探傷(Aパターン)では塗装によりスリットからの反射エコー強度が約9dB低下していることが確認された。また、横割

れきず探傷(B-2パターン)及び角度付き探傷(B'-2パターン)では約21dB低下した。各探傷パターンでの減衰率を比較するとAパターンと比較してB-2パターン、B'-2パターンでは塗装による減衰の影響が大きくなることが確認された。この原因として、塗膜内の伝搬距離の違いによる影響が考えられる。Aパターンは溶接線に垂直に探触子を配置しているが、B-2パターン、B'-2パターンは溶接線に対して45°に探触子を配置しているため超音波の伝搬距離が長くなっている。例えば、図7.2に示している探触子配置で塗膜厚さ1mmと仮定すると。縦割れきず探傷では塗膜内部を往復で3.5mm伝搬するのに対して、B-2パターン、B'-2パターンでは往復で5.8mm伝搬する計算となる。この塗膜内の伝搬により減衰率に違いが表れたと考えられる。また、探触子とスリットの距離が違ふことにより試験片内に透過した超音波の屈折角が変化する。この屈折角の違いにより塗装-試験体界面の入射効率が変化し減衰率の違いとして表れたことも要因の一つであると考えられる。図7.6には塗装試験片を標準試験片で定めた感度と塗装試験片での減衰を考慮して補正した際の探傷結果を併せて示している。

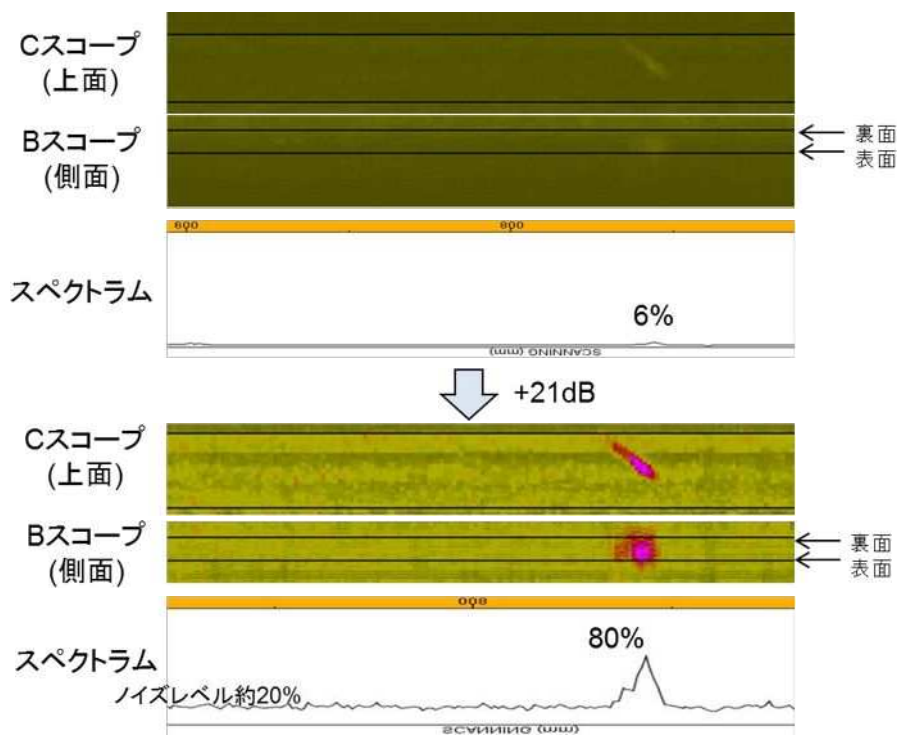
塗装による減衰を考慮して感度を補正した探傷結果は図7.2の標準試験片の探傷結果と同等の値を示している。このように、塗装による減衰分の感度を補正することで標準試験片での校正した結果と同等の結果を得ることが可能である。そこで、本試験及び実タンクでの運用の際には標準試験片による校正と感度補正を実施することで、異なるサイト毎での探傷の際の評価が可能であると考えられる。



(a) 縦割れきず探傷(Aパターン)



(a) 横割れきず探傷 (B-2パターン)



(a) 角度付ききず探傷 (B'-2パターン)

図7.6 塗装試験片探傷結果 (板厚12mm)