

溶接部超音波欠陥検査装置の開発

「その3 装置の改造とPMW、PRW及び
TIG溶接部の超音波探傷」

1996年2月

動力炉・核燃料開発事業団
東海事業所

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒319-11 茨城県那珂郡東海村大字村松 4-33

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所 技術開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section, Tokai Works, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation, 4-33 O-aza-Muramatsu, Tokai-mura, Naka, Ibaraki-ken, 319-11, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

1996年2月

溶接部超音波欠陥検査装置の開発

「その3 装置の改造とPMW、PRW及びTIG溶接部の超音波探傷」

実施責任者：上村勝一郎*

報告者：関 正之* 平子一仁** 西山元邦*

豊島光男* 石橋藤雄* 井坂和彦**

塚田竜也**

要旨

溶接部超音波検査法は、平成元年度よりPMW（パルス磁気溶接）法による固相接合法溶接部欠陥探傷および固相接合長さの測定を目的に検査法の確立と検査装置の開発を行ってきた。そしてこれら開発試験の中から装置のノイズ対策と探傷駆動条件の安定の2つを今後の課題とした。（PNC PN 8410 94-010、PN 8410 93-074にて報告。）

現在、新たに開発を進めているPRW（抵抗溶接）法の溶接部に発生する溶接欠陥は微細であり、クラック形状となるため、PMW法以上に現行のX線検査による検査が困難となる。そこでPMWと同様に超音波による溶接部検査法の開発を行うこととした。しかし、PRW溶接部の形状は、PMWのそれと異なっており、溶接部に発生する欠陥形状も異なることから溶接部超音波検査装置の改造を行い、新たな検査方法の開発に着手するとともに問題となっていた装置のノイズ対策と探傷駆動条件の安定性の確保についても解決を図った。また、今後、PMW、PRWの品質保証体制を確立する上で参考とするためTIG法溶接部の欠陥探傷についても試験を行い検討を加えた。

* 東海事業所 核燃料技術開発部 プルトニウム燃料開発室

** 原子力技術(株)

目 次

1. はじめに	1
2. 装置改造	2
2.1 試料形状と探傷方法	2
2.2 装置改造の要点	3
2.3 形状認識機能の改造	4
2.4 改造後の超音波検査装置の概要	5
3. 改造後の装置性能確認	9
3.1 PMW用STBによる探傷性能の確認	9
4. 探傷試験	13
4.1 PMW試料の探傷	13
4.2 PRW試料の探傷	13
4.3 TIG試料の探傷	21
5. 考 察	55
6. まとめ	57
7. 今後の課題	58
8. 参考文献	59

図リスト

図-1	P MW試料接合断面図と超音波ビームの入射方向（垂直探傷）	2
図-2	P RW試料接合断面図と超音波ビームの入射方向（斜角探傷）	3
図-3	従来の形状認識機構	4
図-4	超音波入射角と表面波の関係	5
図-5	改造後の形状認識機構	5
図-6	溶接部超音波検査装置本体概略図	6
図-7	超音波検査装置システム構成図	7
図-8	新・旧駆動範囲比較図	8
図-9	改造前のスリット型STB探傷結果	10
図-10	改造後のスリット型STB探傷結果	11
図-11	改造後のホール型STB探傷結果	12
図-12	P MW試料探傷結果	15
図-13	バリ付P MW試料探傷結果	17
図-14	バリ除去後のP MW試料探傷結果	18
図-15	垂直探傷における超音波の反射	14
図-16	斜角探傷における超音波の反射	14
図-17	波の分離とゲート管理	19
図-18	TIG溶接部の探傷方法	21
図-19	ATR実証炉用被覆管溶接試料探傷結果	23

図リスト

図-20 A T R 実証炉用被覆管溶接試料探傷結果	23
図-21 欠陥寸法減少要因図	26
図-22 I F A 5 9 0 燃料要素条件設定用溶接試料概略図	27
図-23 I F A 5 9 0 被覆管溶接部試料探傷結果	28
図-24 I F A 5 9 0 被覆管溶接部試料探傷結果と断面金相写真の比較	29
図-25 I F A 5 9 0 被覆管溶接部試料探傷結果-1	31
図-26 I F A 5 9 0 被覆管溶接部試料探傷結果-2	32
図-27 I F A 5 9 0 被覆管溶接部試料探傷結果-3	33
図-28 I F A 5 9 0 被覆管溶接部試料探傷結果-4	34
図-29 I F A 5 9 0 被覆管溶接部試料探傷結果-5	35
図-30 I F A 5 9 0 被覆管溶接部試料探傷結果-6	36
図-31 I F A 5 9 0 被覆管溶接部試料探傷結果-7	37
図-32 I F A 5 9 0 被覆管溶接部試料探傷結果-8	38
図-33 I F A 5 9 0 被覆管溶接部試料探傷結果-9	39
図-34 I F A 5 9 0 被覆管溶接部試料探傷結果-10	40
図-35 I F A 5 9 0 被覆管溶接部試料探傷結果-11	41
図-36 I F A 5 9 0 被覆管溶接部試料探傷結果-12	42
図-37 I F A 5 9 0 被覆管溶接部試料探傷結果-13	43
図-38 I F A 5 9 0 被覆管溶接部試料探傷結果-14	44

図リスト

図-39 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果-15	45
図-40 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果-16	46
図-41 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果-17	47
図-42 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果-18	48
図-43 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果-19	49
図-44 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果-20	50
図-45 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果-21	51
図-46 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果-22	52
図-47 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果-23	53
図-48 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果-24	54

写真リスト

写真-1	P R W溶接部断面金相写真	16
写真-2	A T R実証炉用被覆管溶接部断面金相写真	24
写真-3	欠陥左側波型	25
写真-4	欠陥中央波型	25
写真-5	欠陥右側波型	25
写真-6	端栓部波型	25
写真-7	被覆管部波型	25
写真-8	被覆管肉厚底面と接する溶接欠陥	26
写真-9	I F A - 5 9 0被覆管溶接部断面金相写真	29

表リスト

表- 1 使用探触子と探傷条件	9
表- 2 改造前後の人工欠陥探傷結果比較	9
表- 3 P R W試料探傷試験条件	13
表- 4 T I G溶接部の探傷試験条件	21
表- 5 HALDEN IFA-590 下部端栓溶接部X線検査結果と超音波 探傷試験結果の比較	30

グラフリスト

1. はじめに

溶接部超音波検査法の開発は、平成元年度にパルス磁気溶接装置（Pulsed Magnetic Welding 以下「PMW」と称する。）による端栓と被覆管の溶接部の欠陥およびPMW法溶接部の健全性を保証する上で最も重要な溶接部の接合長さの測定からスタートした。（社内資料「溶接部超音波検査装置の開発～その1 据付・試運転報告書～」
PNC PN 8410 91-010 にて報告。）

さらに平成2年度に溶接部の超音波データを画像出力するための画像処理システムの設計、製作を実施し、その試運転を行った結果、PMW法溶接部の検査として超音波法は有効かつ実用的であることを報告した。（社内資料「溶接部超音波検査装置の開発～その2 画像処理システムとSTBの製作およびPMW試料の超音波探傷～」
PNC PN 8410 93-074 にて報告。）

本報告書は、このPMW溶接法に加え、新たに開発が進められている抵抗溶接法（Pressurized Resistance Welding 以下「PRW」と称する。）の開発とともに溶接部検査法の開発とともに現在、X線検査で行われているTIG法溶接部の検査を可能とするための装置の改造とPMW、PRWおよびTIG法溶接部の超音波探傷試験結果について記するものであり、今後の課題についても検討を加えたものである。

2. 装置改造

2.1 試料形状と探傷方法

PMW試料の形状は、図-1に示す様に従来のTIG溶接部とは異なるテーパー形状を有しており、そのテーパー部の接合している長さが、溶接部の健全性に大きく影響するため、探傷の目的は主に未接合部の識別に主眼が置かれる。これら未接合部の発生は、常に溶接テーパー部と平行となるため、その接合部の接合長さを測定するには、接合面に常に垂直に超音波が入射する垂直探傷法が最も適している。

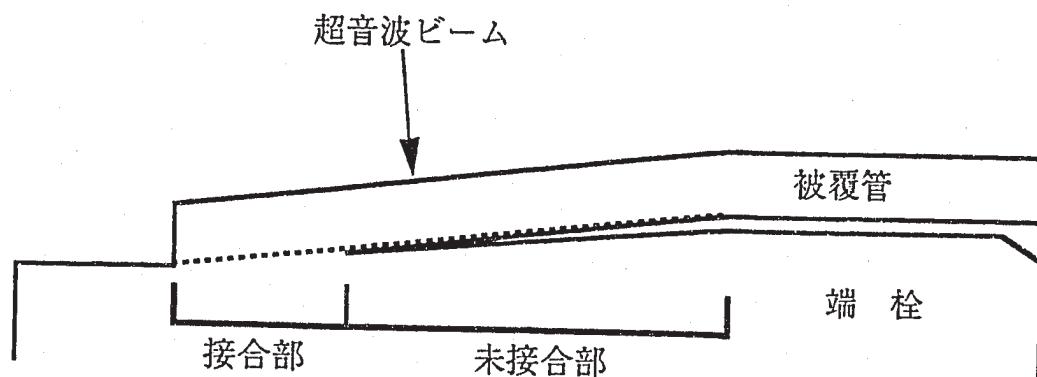


図-1 PMW試料接合部断面図と超音波ビームの入射方向（垂直探傷）

これに対し、PRW試料の形状は、図-2示す様に端栓と被覆管の突き合わせ部を溶接するため、発生する欠陥は、被覆管面に対して垂直に近い形となる。（端栓材質、被覆管材質及び溶接条件により接合部の傾斜は異なる。）この発生しうる欠陥に対してPMW試料と同様の垂直探傷を行うと欠陥の開口面積が超音波ビームに対して小さくなるため、欠陥からの反射が小さくなり有効な手段と言えない。また、接合に発生する溶接痕やバリも垂直探傷のビームの妨げとなる。

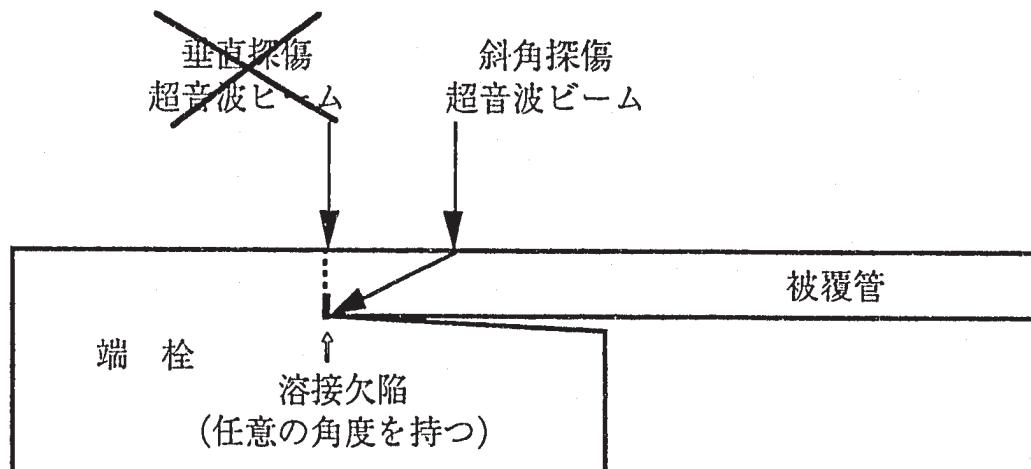


図-2 PRW試料接合部断面図と超音波ビームの入射方向（斜角探傷）

これらのことからPRW試料の探傷を行うには、任意の角度で超音波を入射させ、伝播させる斜角探傷が有効な手段と考えられる。

そこで従来のPMW法溶接部の検査を行う駆動機構にPRW試料の探傷を行うための駆動システムを組み込むための改造に着手した。

2.2 装置改造の要点

2.1項で述べた様に試料形状により探傷条件とそれによる探触子の駆動方法も変化する。そこで今回の改造は以下に示すことを踏まえ行うこととした。

- (1) PMW、PRW、TIG等の溶接部形状に対し、常に最適な探傷条件を確保するための探触子の駆動を行う。
- (2) 各種溶接部の個体差による探傷条件のバラツキをなくすための形状認識機能の精度向上。
- (3) 駆動操作系およびデータ処理系の操作を1本化し、操作性を向上。
- (4) モータおよび外部ノイズによる影響の低減。

2.3 形状認識機能の改造

本装置の駆動機構の大きな特徴は、試料形状を認識してその形状に合わせて探傷を行う形状認識機能を有しているところにある。PMW試料の場合、端栓のテーパー角度と被覆管収縮の個体差から製品のテーパー角度や端栓先端からの溶接部距離に微妙な差が生ずる。そこで超音波により試料の形状を測定、認識し、自動に探傷条件を設定する形状認識機能を開発した。従来の形状認識機能は、図-3に示す様に試料中心軸に対して探触子を水平に走査させることにより試料と探触子間の距離を測定、計算、認識させるものである。しかし、この方法では、溶接部の微妙な局面によりテーパー角度の計算に誤差を生じ、接合長さの測定精度が低下してしまう。

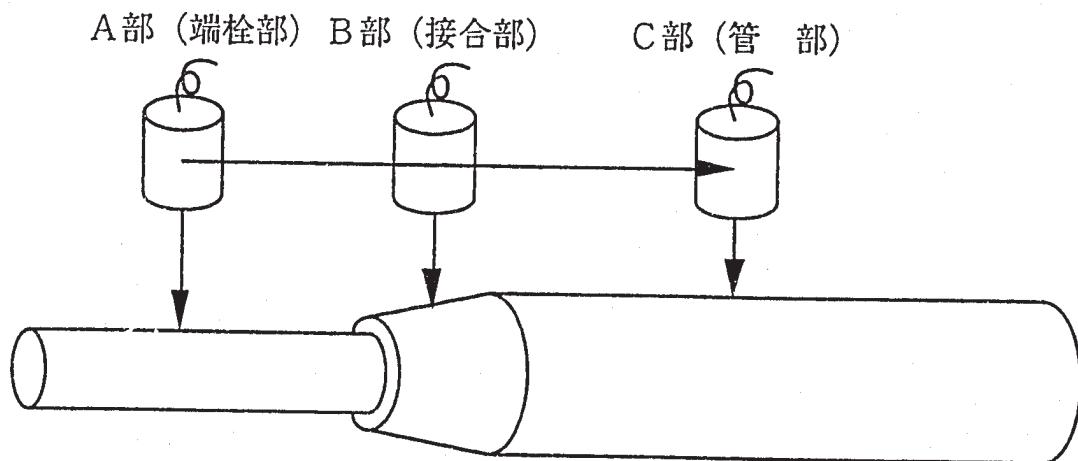


図-3 従来の形状認識機構

超音波は、図-4に示す様に試料に対して垂直に入射する程、表面のエコーが大きくなる性質を持っている。そこでこの性質を利用し、図-5に示す様に試料軸に対して探触子を平行に走査させながら任意点において探触子の角度を振ることにより表面エコーのピークを求め、常に試料面に対して探触子が垂直となる軸方向位置と角度により形状を認識する方法に改造を行った。

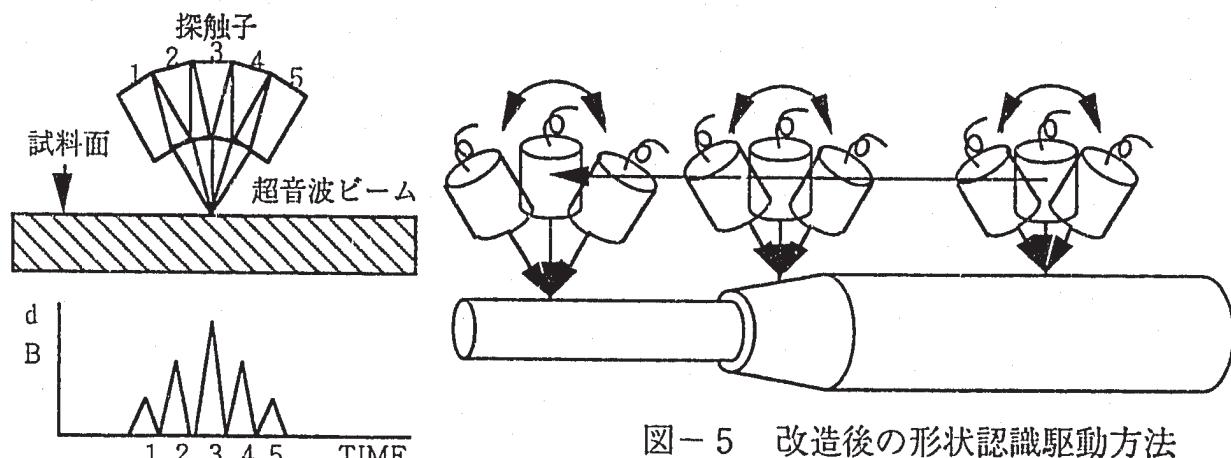


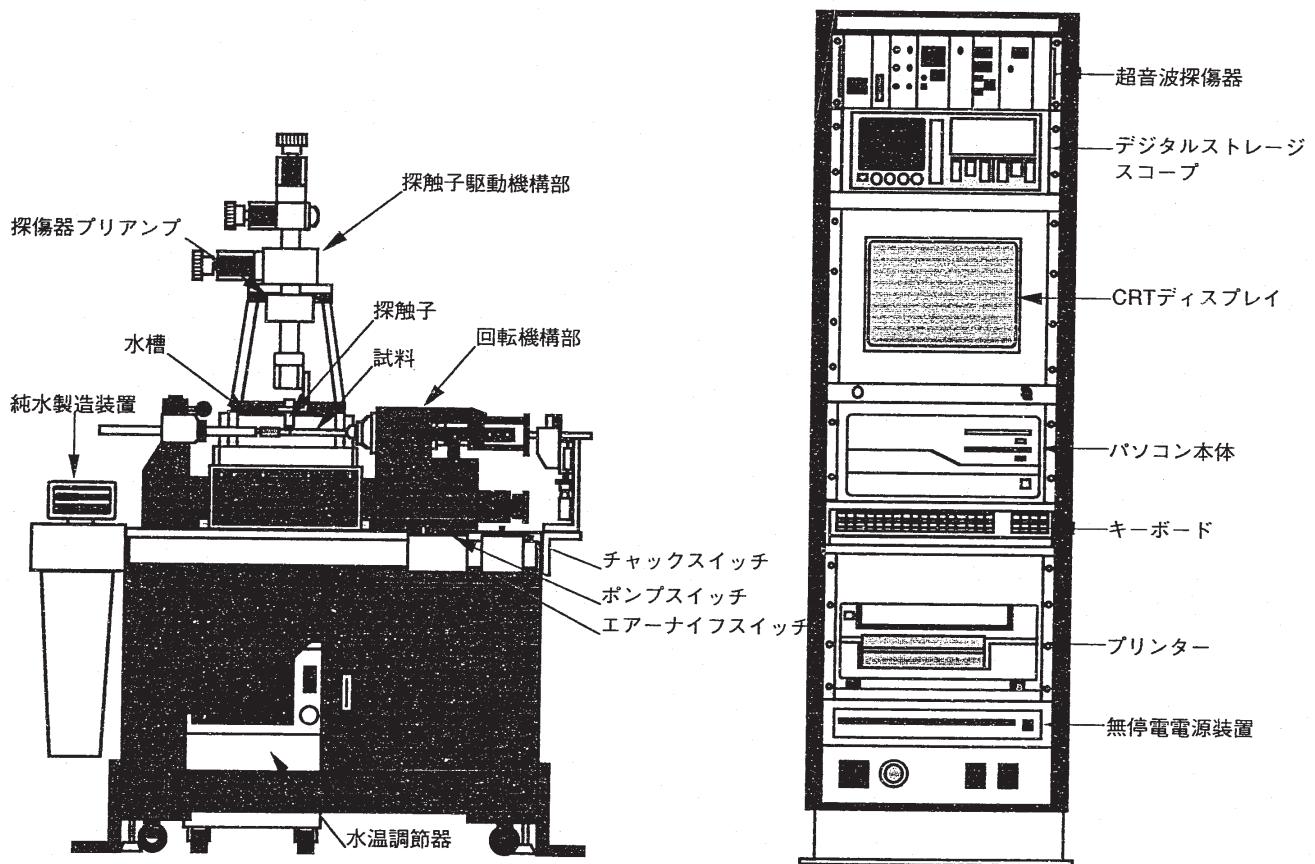
図-4 超音波の入射角と表面波の関係

図-5 改造後の形状認識駆動方法

2.4 改造後の溶接部超音波欠陥検査装置の概要

改造後の検査装置の概略を図-6にシステム構成図を図-7に示す。改造後の外観は、改造前とあまり変化はないが改造前の探触子駆動が4軸（上・下、左・右、前・後、探触子首振り θ 軸）であったのに対し、改造後は、探触子首振り用 θ 2軸が増え、5軸制御（図-8参照）となったため、装置全体の高さが、1,308mmから1,484mmと高くなった。この駆動系の改造により探触子および試料回転系のパルスモータとモータドライバーを変更したため、探傷分解能が、軸0.01mm、周 1° ピッチから軸0.005mm、周 0.36° ピッチへと向上した。それにともないモータ系のケーブルのシールドとアースを強化したことにより改造前の問題であった探傷中の外部ノイズにより影響も排除することができた。

また、改造前の操作系は、駆動系操作とデータ処理系操作の2系統に別れていたが、改造後は、操作系を1本化した。これによりソフトウェアの整理がされ、超音波のリアルタイム画像処理が可能となり、検査時間も30%程短縮した。



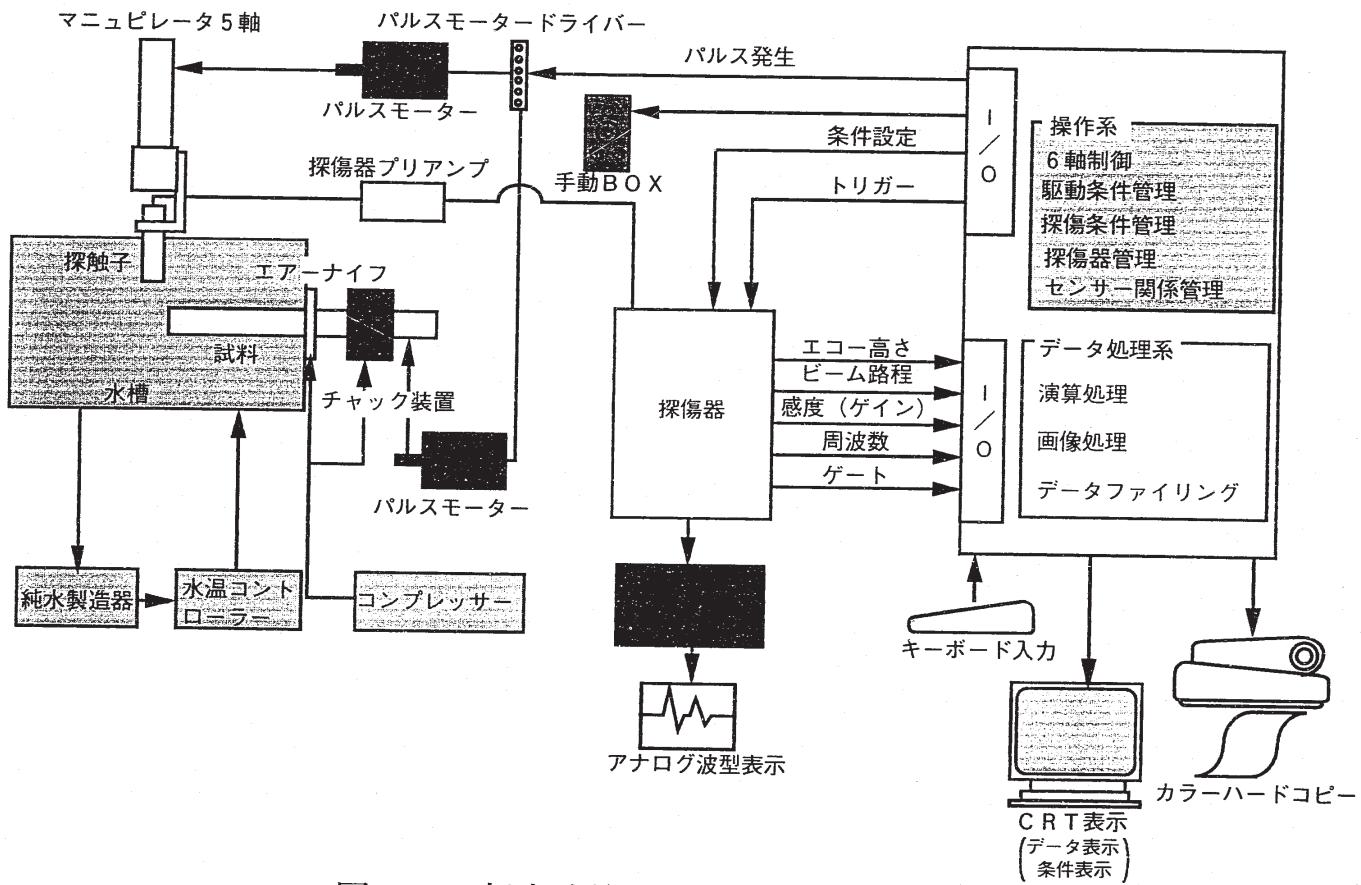
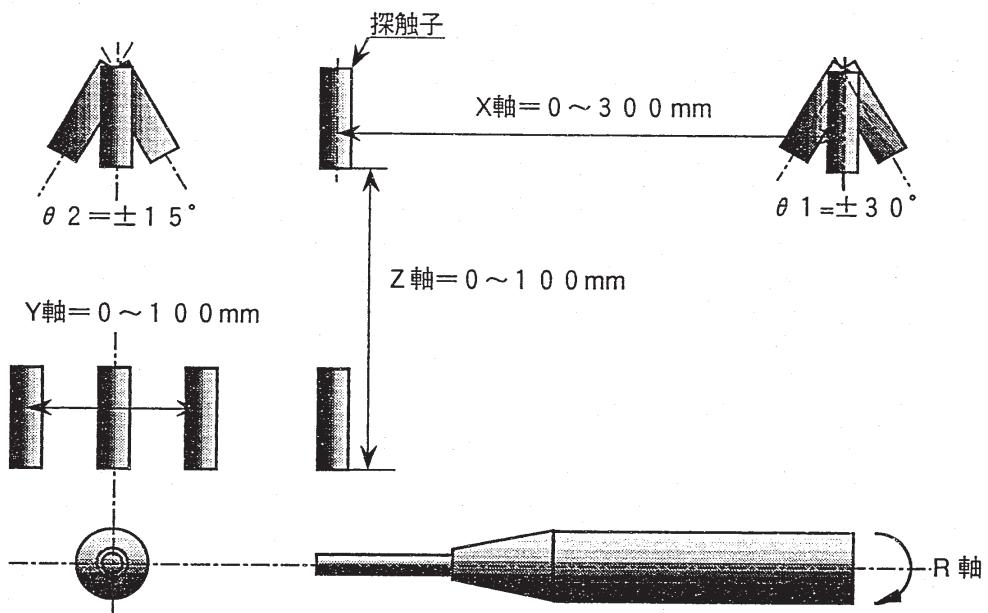


図-7 超音波検査装置システム構成図



	駆動範囲(旧)	駆動範囲(新)	分解能(旧)	分解能(新)	最大速度	駆動方式
X 軸	1~100mm	1~300mm	0.01mm	0.005mm	50mm/s	パルスモーター
Y 軸	1~25mm	1~100mm	0.01mm	0.005mm	50mm/s	
Z 軸	1~50mm	1~100mm	0.01mm	0.005mm	50mm/s	
$\theta 1$ 軸	$\pm 30^\circ$	$\pm 30^\circ$	0.1°	0.0186°	50mm/s	
$\theta 2$ 軸		$\pm 15^\circ$		0.0186°	50mm/s	
R 軸	1~500rpm	1~500rpm	1°	0.36°	500rpm	

図-8 新・旧駆動範囲比較図

3. 改造後の装置性能確認

3.1 PMW用STBによる探傷性能の確認

改造後の探傷性能を確認するためにPMW用標準試験片（以下「STB」と称する。）を用いて実施した。探傷条件は、表-1に示すように改造前と同様の条件とした。

表-1 使用探触子と探傷条件

使用探触子	駆動条件	探傷器条件
材質：高分子ポリマー	回転数：100rpm	パルスエネルギー：MAX
型式：ポイントフォーカス型	周方向送りピッチ：1°	ダンピング：MAX
周波数：80MHz	軸方向送りピッチ：0.1mm	繰返周波数：10KHz
ビーム径：φ0.1mm	水温：25°C	ゲイン：60dB
	水距離：10.5mm	

改造前のスリット型STBの探傷結果を図-8に改造後のスリット型STBの探傷結果を図-9にホール型STBの探傷結果を図-10に示す。また、STB加工寸法と画像処理によるスリット寸法測定値との比較を表-2に示す。

表-2 改造前後の人工欠陥探傷結果比較

STB欠陥 加工寸法	探傷結果 (改造前)	差	探傷結果 (改造後)	差
スリット	2.06	2.01	-0.05	2.05
	3.04	3.02	-0.02	3.05
ホール	0.305	0.300	-0.005	0.300
	0.201	0.180	-0.031	0.200
	0.108	0.110	-0.002	0.110

単位：(mm)

その結果、人工欠陥の加工寸法と超音波の測定結果の値は、改造前の最大-0.05mmから改造後は、±0.01mmへ性能が向上した。また、改造前に問題となっていた外部ノイズによる探傷結果への影響も認められなかった。

試料No. 80MSTB-2

超音波画像処理データ

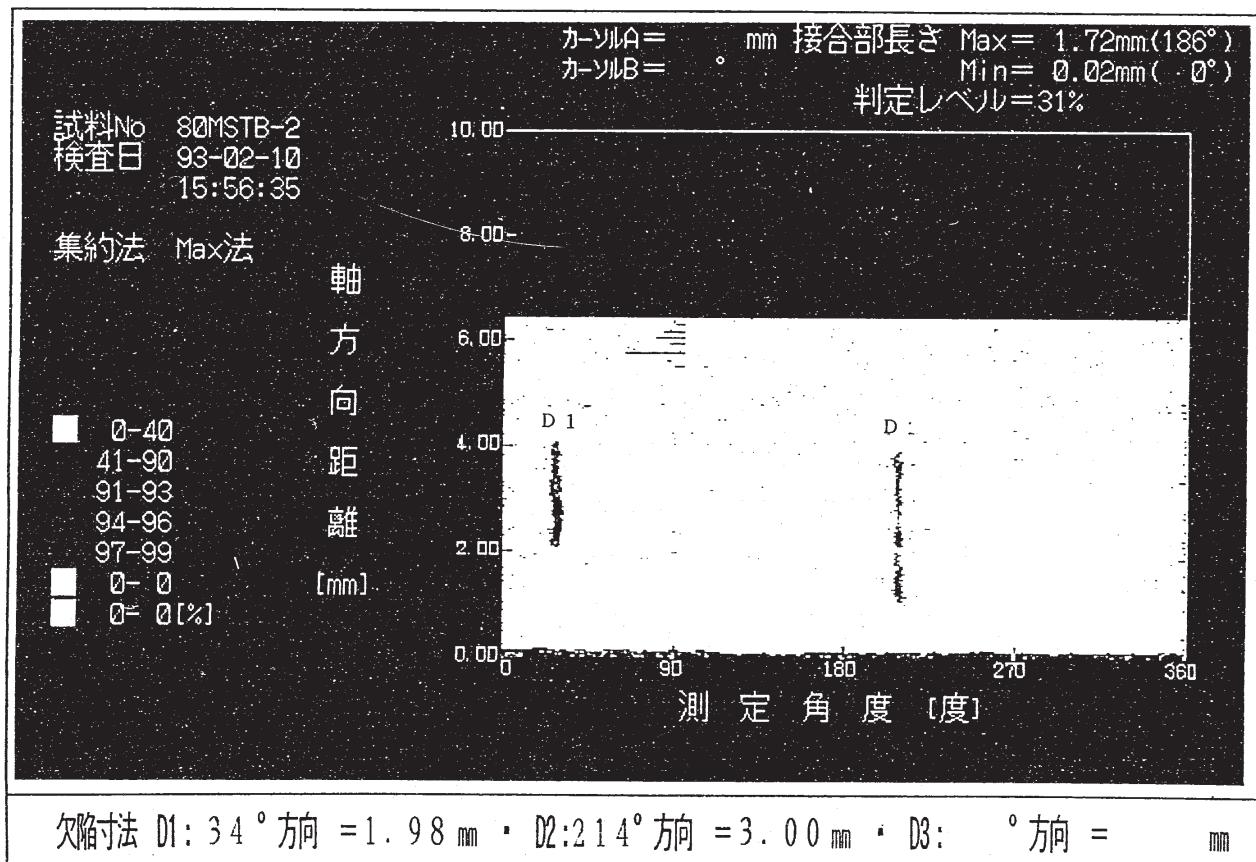


図-9 改造前のスリット型STB探傷結果

*** 平面図表示 ***
 円錐 走査(1.030×0.020)
 全波 工コ一高さ標準

 0 % ~ 16 %
 16 % ~ 32 %
 32 % ~ 48 %
 48 % ~ 64 %
 64 % ~ 80 %
 80 % ~ 96 %
 96 % ~ 112 %
 112 % ~ MAX
 TEST
 プローブ名 F25-80M
 年月日 93/08/19 15:15:24
 PULSE ENERGY 1 DAMPING 5
 GATE IF
 START 16 10ns 0.47 mm
 WIDTH 10 10ns 0.29 mm
 VELOCITY 5950m/s
 GAIN ATT 19 dB
 BAND BB
 X1-X2 4.0 - 0.0
 Y1-Y2 0.0 - 358.9

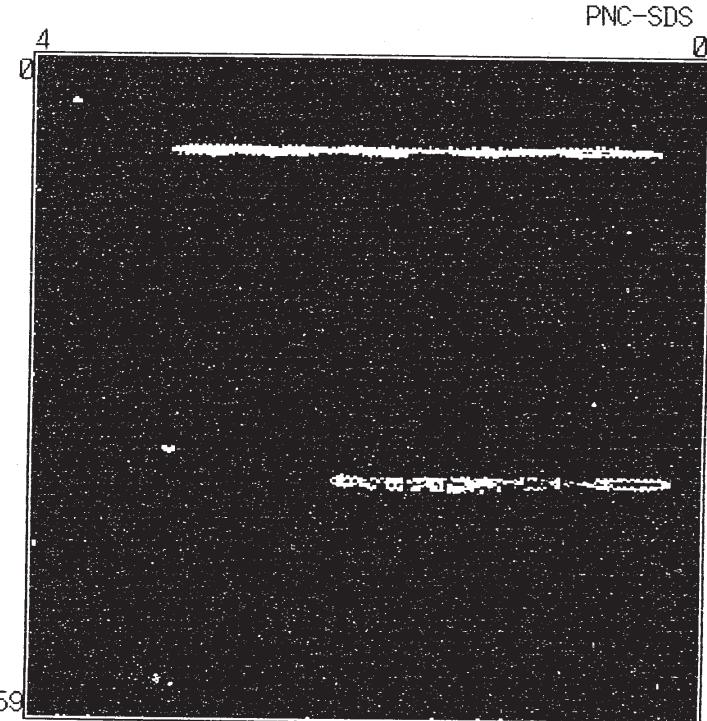


図-10 改造後のスリット型STB探傷結果

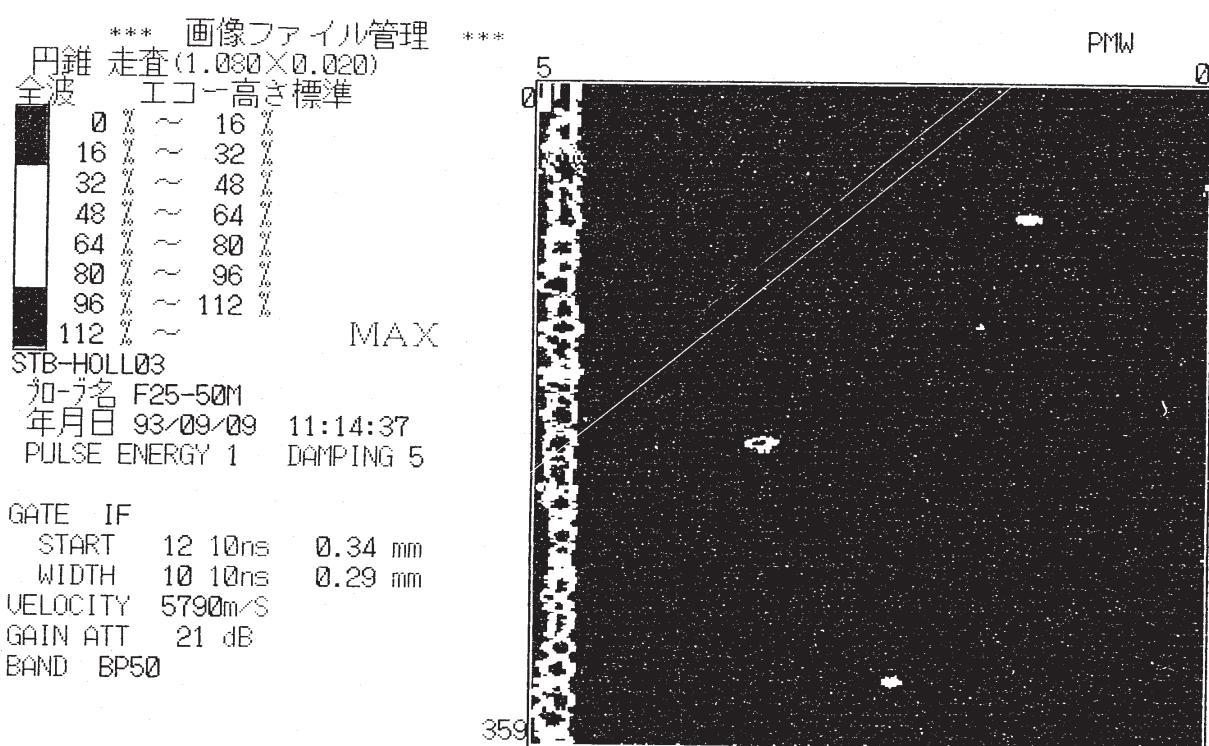


図-11 改造後のホール型STB探傷結果

4. 探傷試験

4.1 PMW試料の探傷

3項のPMW用STBによる探傷性能の確認試験の結果が良好であったことから次にPMWの実際の溶接試料を用いて探傷試験を行った結果を図-12に示す。PMW実試料の探傷においてもSTBの画像処理画面と同様に金属組織からの雑エコー及び外部ノイズの影響が消え、接合部と未接合部の区分が明確になり、接合部の状態がよりはっきりと確認できる。これら画像処理データの精度向上は、シールド強化によるノイズ対策とともに探傷条件の精度も向上したことが大きな要因であると考えられる。

4.2 PRW試料の探傷

PRW試料の探傷は、2.1項でも述べたように接合方法と接合状態から推測して斜角探傷法が適していると思われる。しかし、PRW試料における超音波のエコーの状態（欠陥部、健全部、雑エコー）等の基礎データもないため、今回は、垂直探傷法、斜角探傷法の両方において表-3に示す条件により試験を行いデータの収集を行った。

表-3 PRW試料探傷試験条件

使用探触子	駆動条件	探傷器条件
材質：高分子ポリマー	回転数：100rpm	パルスエネルギー：MAX
型式：ポイントフォーカス型	周方向送りピッチ：1°	ダンピング：MAX
周波数：80MHz	軸方向送りピッチ：0.1mm	繰返周波数：10KHz
ビーム径：φ0.1mm	水温：25℃	ゲイン：60dB
	水距離：10.5mm	

(1) 垂直探傷によるPRW試料の探傷

PRW試料の形状は、写真-1に示す様に溶接終了状態では溶接部周囲にバリが存在する。この状態で探傷を行うと図-13に示すようにバリ部分での超音波の反射が大きくなり、溶接部の状態を確認できなくなる。そこでバリを完全に除去した後に再度探傷を実施した。その結果を図-14に示す。

(2) 斜角探傷によるPRW試料の探傷

① 斜角探傷のメカニズムについて

斜角探傷は、垂直探傷よりも複雑な要素により探傷条件が成り立っている。垂直探傷の場合、図-15に示す様に発振された超音波は、試料の底面(空気)に反射し、そのままの状態で底面波としてエコーが、帰って来る。しかし、斜角探傷の場合、図-16に示す様に試料中を減衰するまで伝播し、底面波を捕らえることが出来ない。

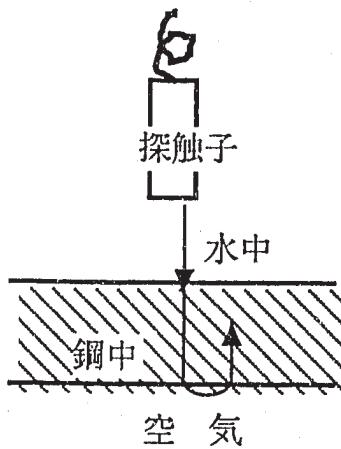


図-15 垂直探傷における超音波の反射

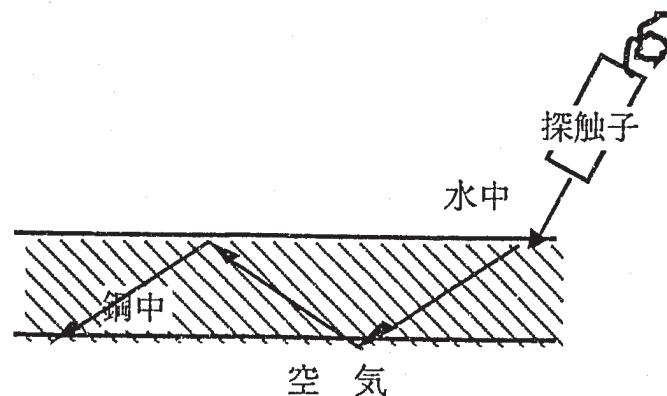


図-16 斜角探傷における超音波の反射

そのため、この伝播の回数(スキップ)分だけ1つの欠陥からエコーを拾うことになり、図-17に示すように数回の波が分離せず探傷ゲートを設定することが困難となる。

手動 *** 平面図表示 ***

 円錐 走査(1.080×0.010)

 全波 工コ一高さ標準

	0	~	16
	16	~	32
	32	~	48
	48	~	64
	64	~	80
	80	~	96
	96	~	112
	112	~	

 MAX

 ヨウセツシリョウ

 カーブ名 F12.5-80

 年月日 93/09/16 15:25:52

 PULSE ENERGY 1 DAMPING 5

 GATE IF

 START 13 10ns 0.37 mm

 WIDTH 10 10ns 0.29 mm

 VELOCITY 5790m/s

 GAIN ATT 21 dB

 BAND BP50

 X1-X2 3.0 - 0.0

 Y1-Y2 0.0 - 358.9

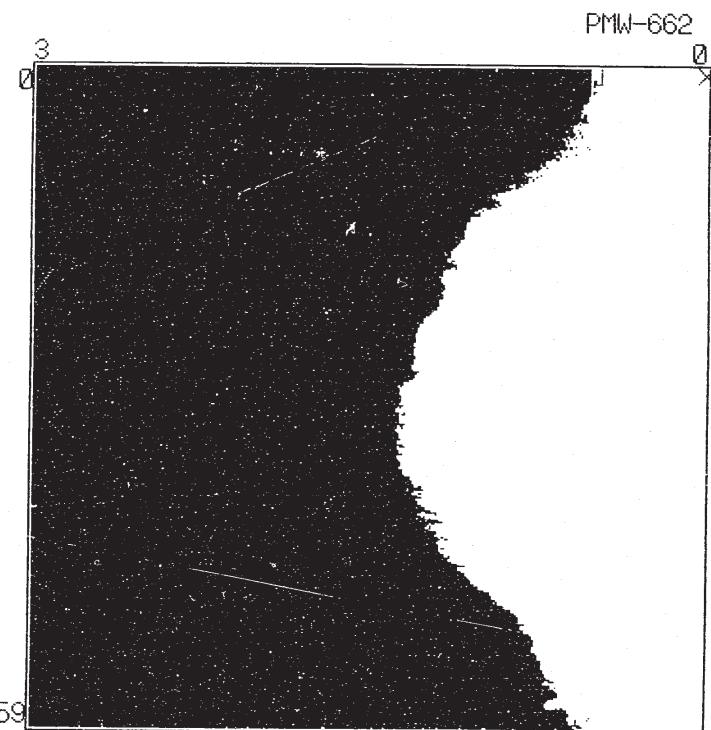
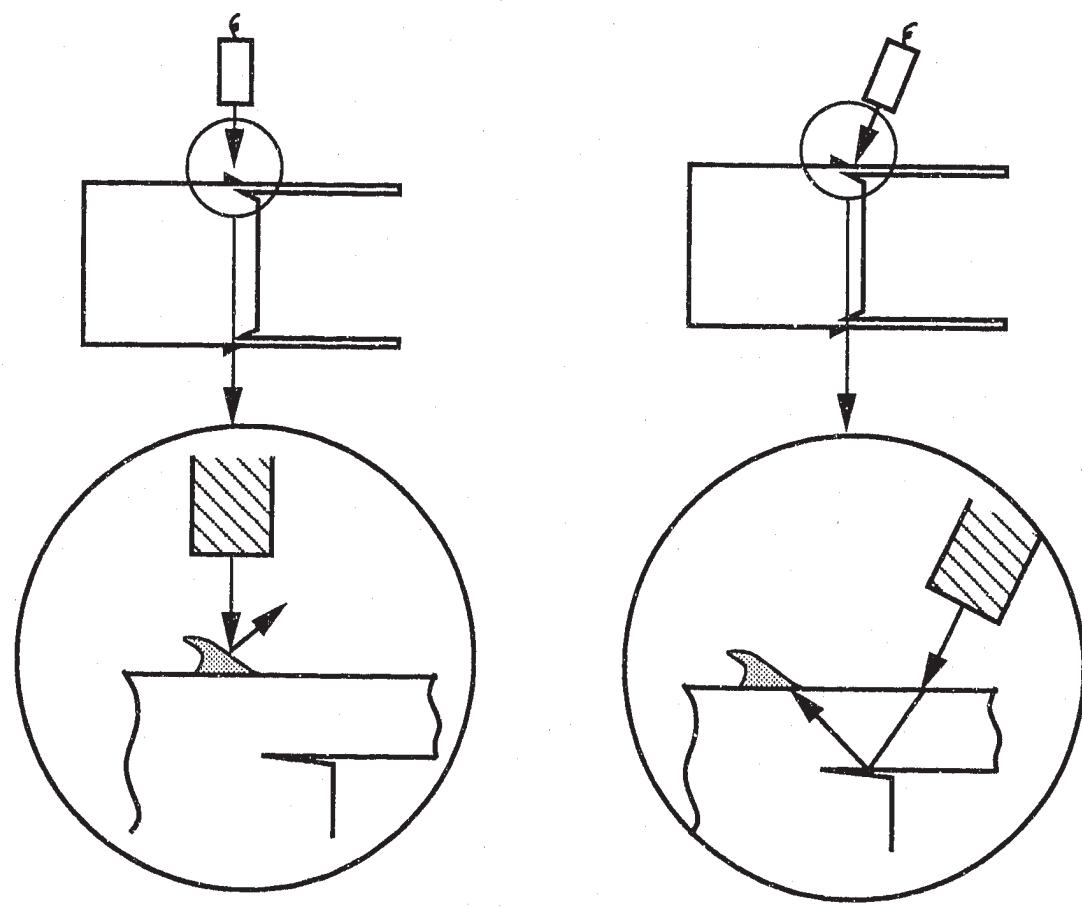


図-12 PMW試料探傷結果

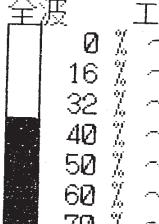
PRW試料の金相写真



PRW試料における垂直探傷

PRW試料における斜角探傷

写真一1 PRW溶接部断面金相写真

*** 平面図表示 ***
 円錐 走査(1.080×0.010)
 全波 工コ一高さ標準

 0 % ~ 16 %
 16 % ~ 32 %
 32 % ~ 40 %
 40 % ~ 50 %
 50 % ~ 60 %
 60 % ~ 70 %
 70 % ~ 100 %
 100 % ~ MAX
 PRW TEST
 ジローブ名 F12.5-80
 年月日 94/07/07 14:16:17
 PULSE ENERGY 1 DAMPING 5
 GATE IF
 START 15 10ns 0.43 mm
 WIDTH 9 10ns 0.26 mm
 VELOCITY 5790m/s
 GAIN ATT 28 dB
 BAND BP50
 X1-X2 2.50 - 0.00
 Y1-Y2 0.00 - 358.92

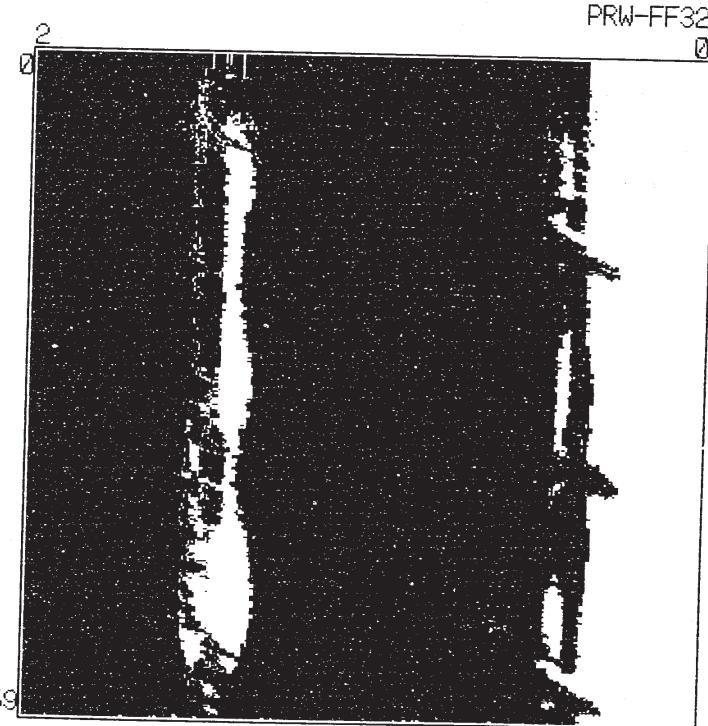


図-13 バリ付PRW試料探傷結果

*** 平面図表示 ***
円錐 走査(1.030×0.010)
全波 エコー高さ標準

0	~	16
16	~	32
32	~	40
40	~	50
50	~	60
60	~	70
70	~	100
100	~	MAX

PRW TEST
ゾーク名 F12.5-80
年月日 94/07/07 14:16:17
PULSE ENERGY 1 DAMPING 5

GATE IF
START 15 10ns 0.43 mm
WIDTH 9 10ns 0.26 mm
VELOCITY 5790m/s
GAIN ATT 28 dB
BAND BP50
X1-X2 1.50 - 0.00
Y1-Y2 0.00 - 358.92

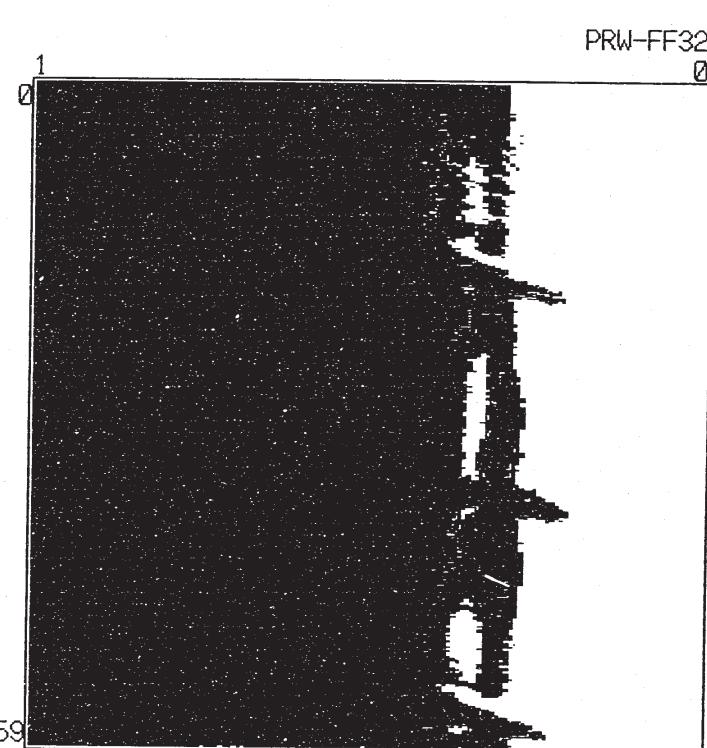


図-14 バリ除去後のPRW試料探傷結果

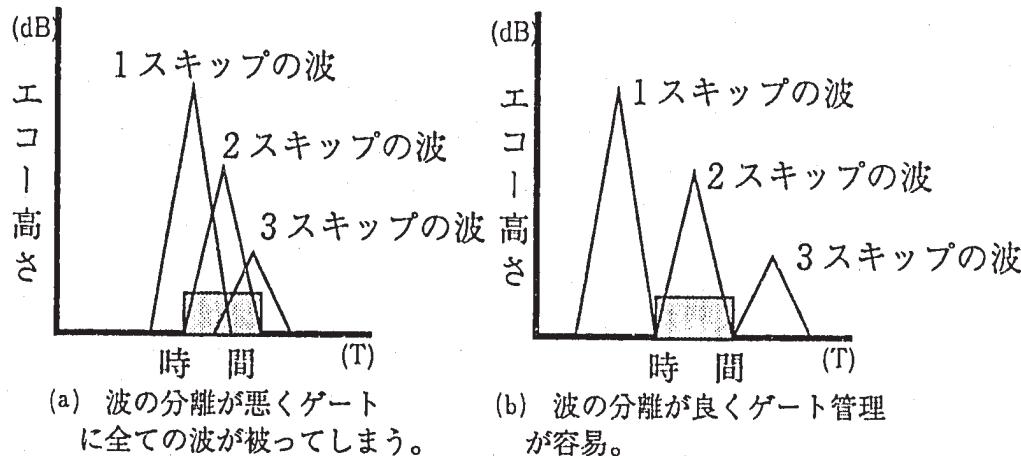


図-17 波の分離とゲート管理

② 斜角探傷における超音波の入射角度について・・1

固体にせん断応力が働き、液体や気体に存在しないように超音波も固体中では縦波と横波が存在する。この縦波(5900m/s)と横波(3200m/s)が同時に試料中に存在すると1つの欠陥に対して2つのエコーが得られることになり欠陥の識別が困難となる。そこで縦波のもつ臨界角度14.5°を利用して、鋼中に縦波が存在しない状態を作る必要が生ずる。しかし、同様に横波にも臨界角度27.5°が存在するため斜角探傷時の入射角は、14.5°～27.5°を用いることになる。

③ 斜角探傷における超音波の入射角度について・・2

超音波における入射角と屈折角は次式の関係にある。

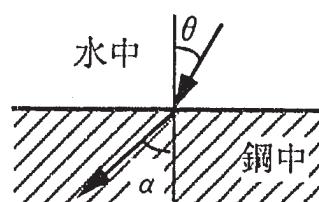
$$\alpha = \sin^{-1}(V_s / V_w \times \sin \theta) \cdots (1)$$

α : 屈折角

V_s : 鋼中音速 3230m/s

V_w : 水中音速 1480m/s

$\sin \theta$: 入射角



そこでこの式に $\theta = 19^\circ$ を代入すると

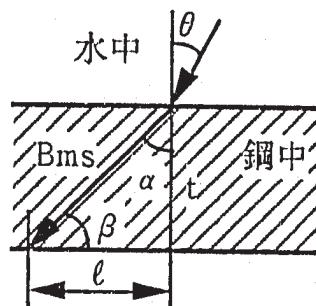
屈折角 $\alpha = 45.27^\circ$ となり最も理想とされる屈折角を得られることになる。

また、斜角探傷の場合、下に示すように欠陥の位置と探触子の位置には

ズレが生ずる。

$$B_{ms} = t / \cos \alpha \cdots (2)$$

- α : 屈折角
- B_{ms} : ビーム路程
- t : 肉厚 = 0.47mm
- α : 屈折角 = 45.27°



(2)式より入射点からスキップ点までの距離は、

$l = B_{ms} \times \cos \beta \cdots (3)$ となり、入射角19°の時には $l = 0.473\text{mm}$ となる。

従って、伝播（スキップ）回数が増す毎にこのズレは大きくなることになり、正確な欠陥位置を把握するためにはその距離を補正する必要がある。なお、本超音波検査装置では、この補正機能を有しており、入射角等の条件を入力することで画像出力の距離補正が行える。

④ 斜角探傷による P R W 試料の探傷結果

今回の斜角探傷試験は、同径の S T B (標準試験片) の製作が間に合わなかったこともあり、③項で示した入射角 = 19° (理想屈折角 = 45.27°) を用いて数本の探傷試験を行った。その結果、その結果、その内の 1 本に画像処理上で欠陥らしき表示が得られたが、それが溶接部欠陥であるか、内バリ等の接触によるものであるかの判断は、S T B による条件設定を行っていないため、断定するに至らなかった。

4.3 TIG 試料の探傷

現在、TIG溶接試料の欠陥検査は、X線検査により実施されており超音波による溶接部欠陥検査開発の緊急性は乏しいと思われる。しかし、今後、PMW、PRWによるピン製造を考えると現行のX線検査法との性能比較による超音波法の信頼性担保は重要な課題であると思われる。そこでATR実証炉用被覆管溶接部とHALDEN IFA-590用被覆管の溶接部の検査を超音波により実施し、X線検査との比較を行った。

(1) TIG溶接部の探傷方法

今回、探傷試験を行うATR実証炉用被覆管溶接部とHALDEN IFA-590用被覆管溶接部は、突き合わせ型の溶接となるため、図-18に示す様に探触子を試料軸と水平に一定水距離で走査させることにより垂直探傷が可能となる。そこで表-4に示す探傷条件を用いて溶接部の探傷試験を実施した。

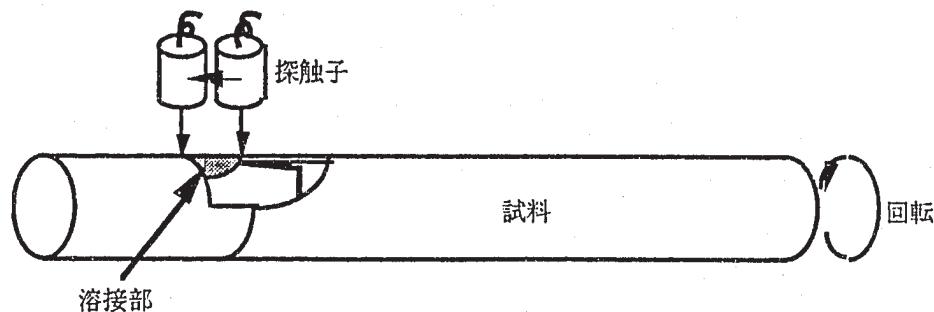


図-18 TIG溶接部の探傷方法

表-4 TIG溶接部の探傷条件

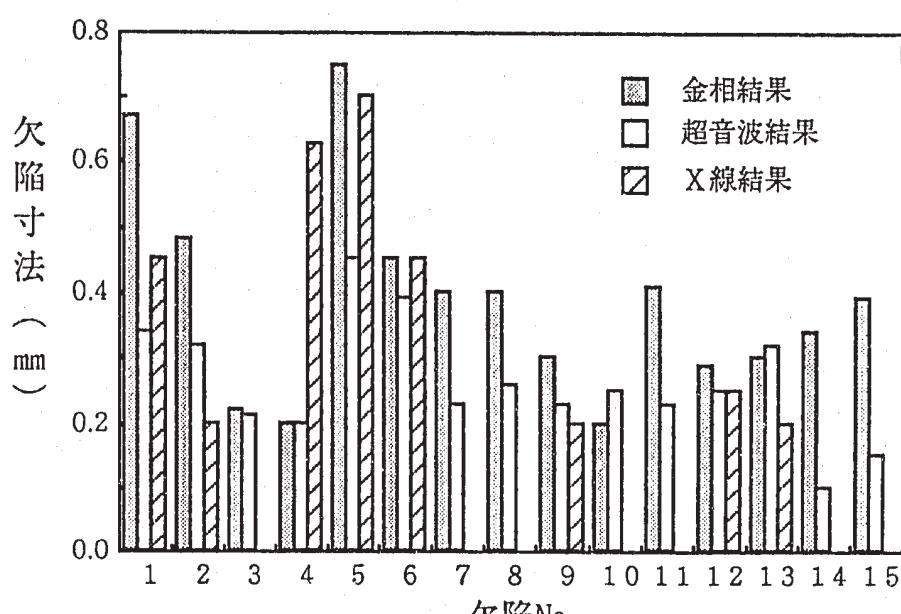
使用探触子	駆動条件	探傷器条件
材質：高分子ポリマー	回転数：100rpm	パルスエネルギー：MAX
型式：ポイントフォーカス型	周方向送りピッチ：0.36°	ダンピング：MAX
周波数：80MHz	軸方向送りピッチ：0.1mm	繰返周波数：10KHz
ビーム径：Φ0.1mm	水温：25°C	ゲイン：60dB
	水距離：10.5mm	

(2) ATR実証炉用被覆管溶接部の探傷試験

ATR実証炉用被覆管管端部に任意に傷を付け溶接し、故意に溶接欠陥を作った試料をX線と超音波により検査し、さらに金相試験を行い三者を比較した。

そのに超音波検査結果を図-19に金相試験結果を写真-2に示す。

グラフ-1に示したのは、その三者を比較した結果である。



グラフ-1 欠陥寸法比較 (L-19)

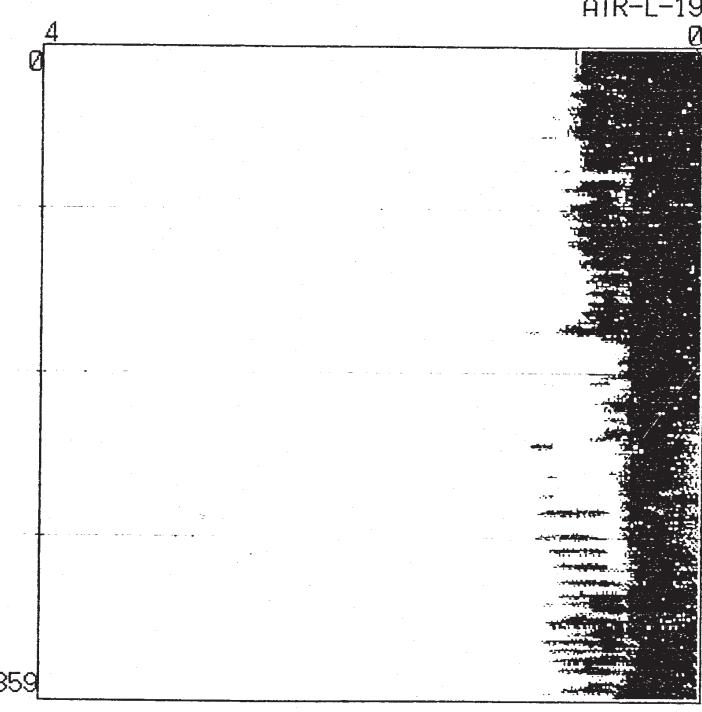
グラフからも分かるように欠陥の位置と大きさによりX線では検出されていない欠陥についても超音波では検出が可能であることが分かる。その反面、金相試験による欠陥寸法の比較では、欠陥寸法を欠陥実測値の30~50%の大きさでしか検出していなことが分かる。

(3) 探傷欠陥寸法減少の原因解析

これら欠陥寸法の減少原因は、欠陥検出のためのゲート位置の設定に起因すると思われる。写真-3~写真-7に示すように欠陥波は、左右両端で小さくなり、しかもゲート上の右端側に現れ、被覆管肉厚部エコーに近い位置で検出される。この欠陥波の状態は、欠陥自体が、球あるいは曲面状態であることを

*** 平面図表示 ***
円錐走査(1.080×0.010)
工口一高さ標準
手
16
32
48
64
80
96
112
MAX
ヨウセツシリョウ
ガローブ F12.5-80
年月日 93/11/11 13:44:45
PULSE ENERGY 1 DAMPING 5

GATE IF
START 13 10ns 0.37 mm
WIDTH 22 10ns 0.63 mm
VELOCITY 5790m/s
GAIN ATT 19 dB
BAND BP50
X1-X2 4.0 - 0.0
Y1-Y2 0.0 - 358.9



垂直探傷結果

図-19 ATR実証炉用被覆管溶接試料探傷結果

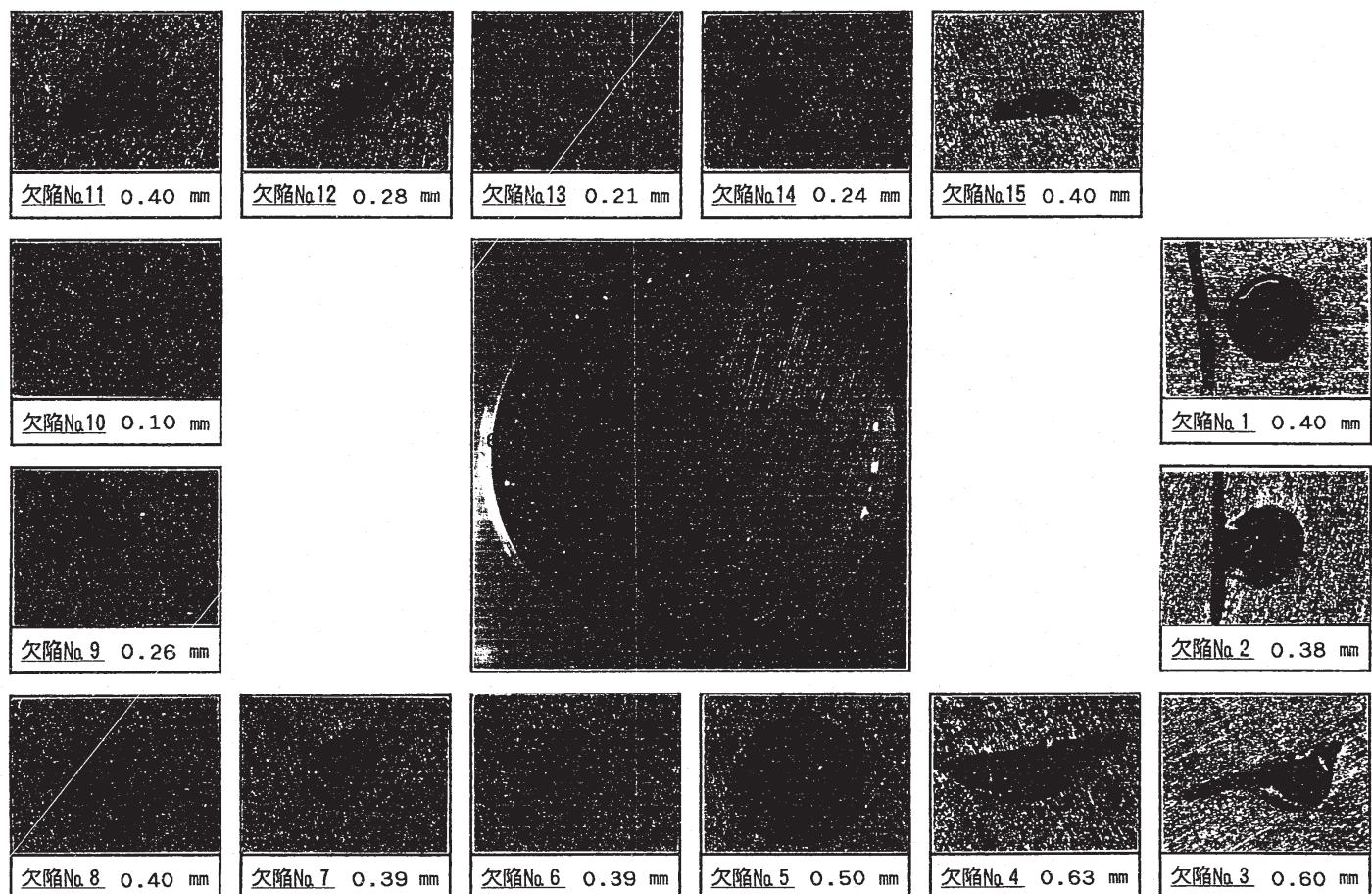
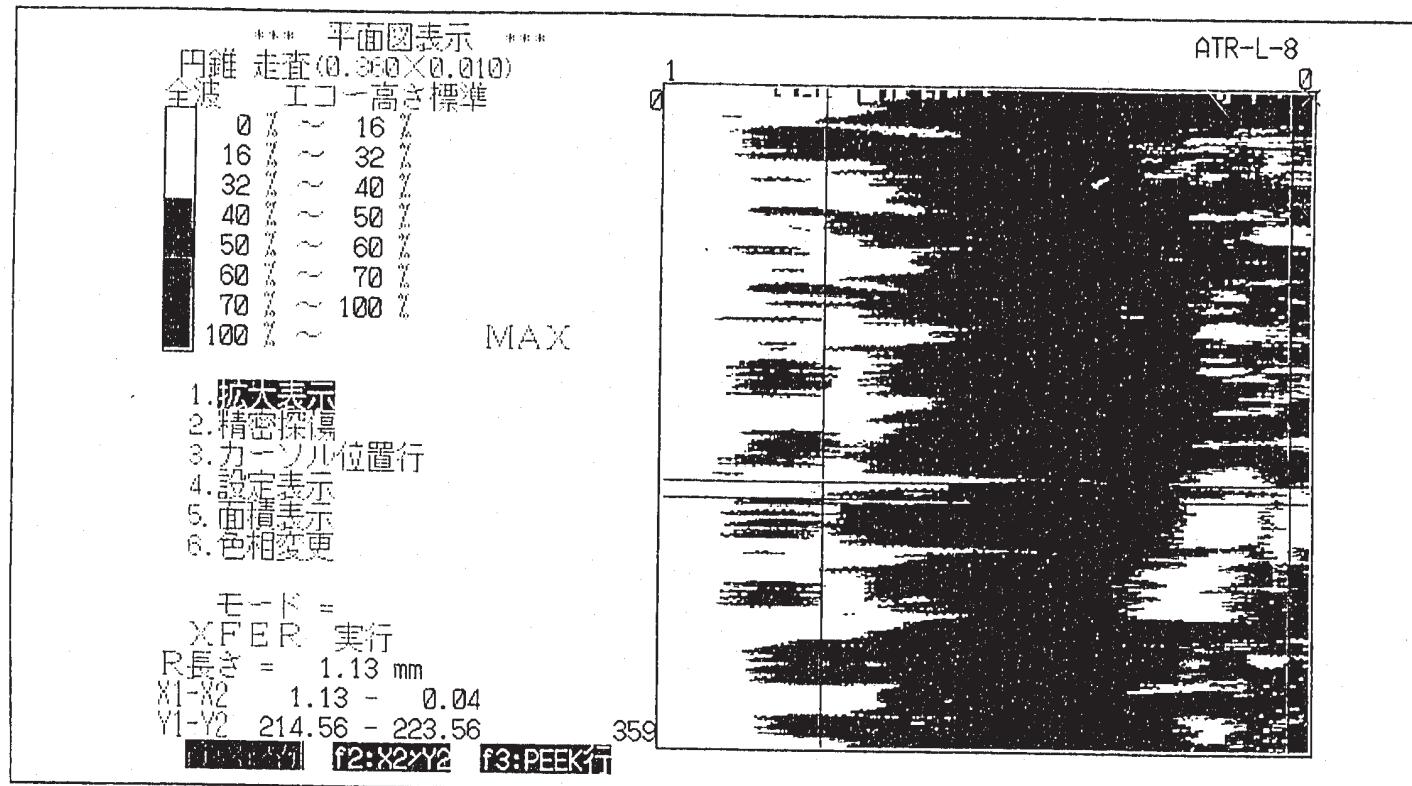


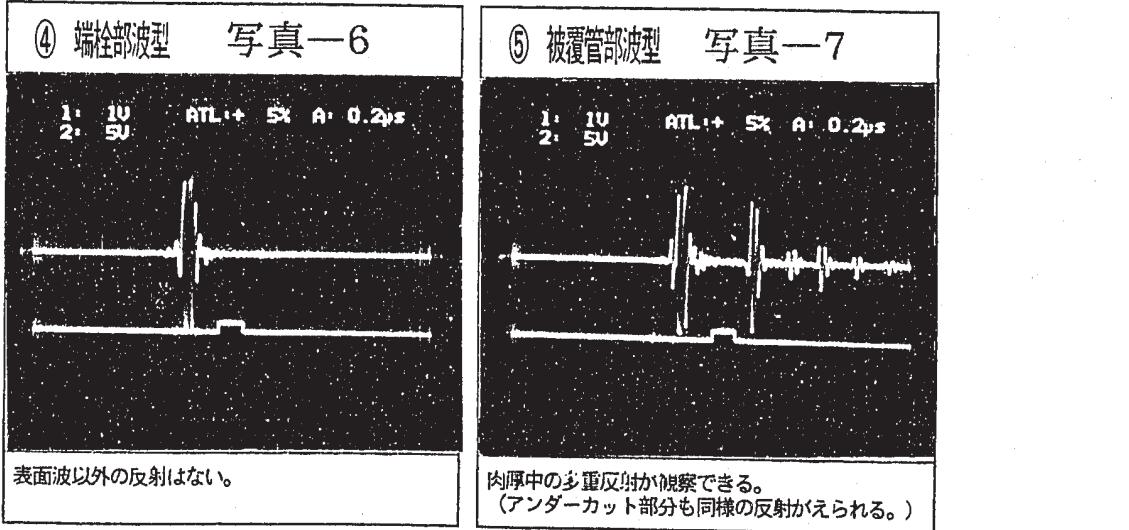
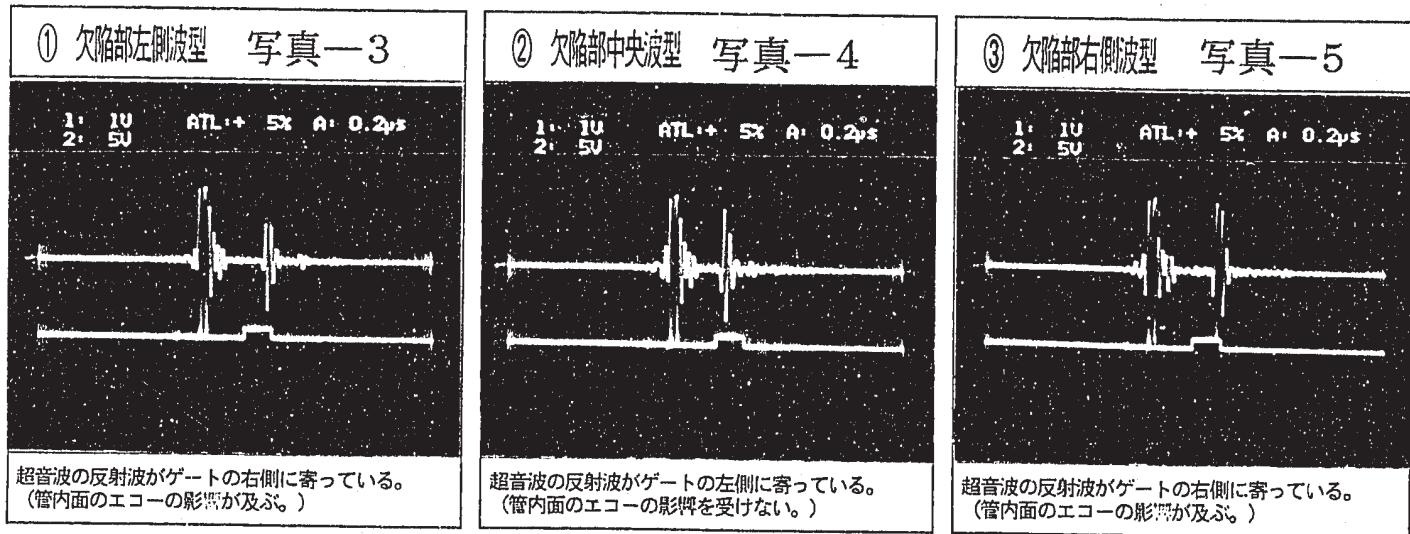
写真-2 ATR実証炉用被覆管溶接部断面金相写真

試料No. L-8 (ATR実証炉型被覆管接部・材質: Zry-II, 径: ϕ 14.5 mm)

超音波画像処理データ(図-20)



超音波波形データ



示している。そこでこの左右端の位置で欠陥検出を行うようにゲート位置を調整し、探傷を実施した結果を図-20に示す。画像処理結果からもわかるように溶接金属部の境界面で肉厚部エコーと欠陥エコーの分離が行えず欠陥位置の特定も困難となる。

以上のことから写真-8 及び図-21に示すように被覆管肉厚底面と端栓部の境界に欠陥が混在した場合、その欠陥部分のエコーのみを分離仕様とすると欠陥の上端部（上澄み）エコーのみを検出してしまい欠陥寸法が減少すると思われる。

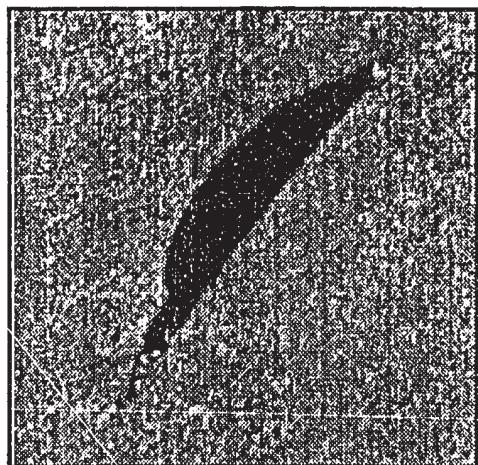


写真-8 被覆管肉厚底面と接する
溶接欠陥

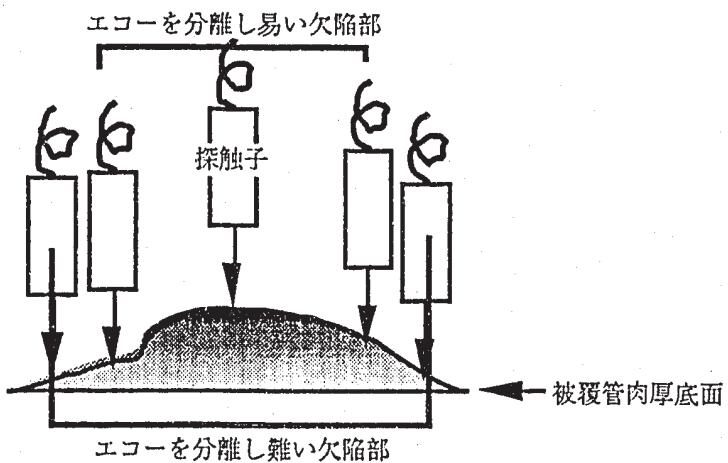
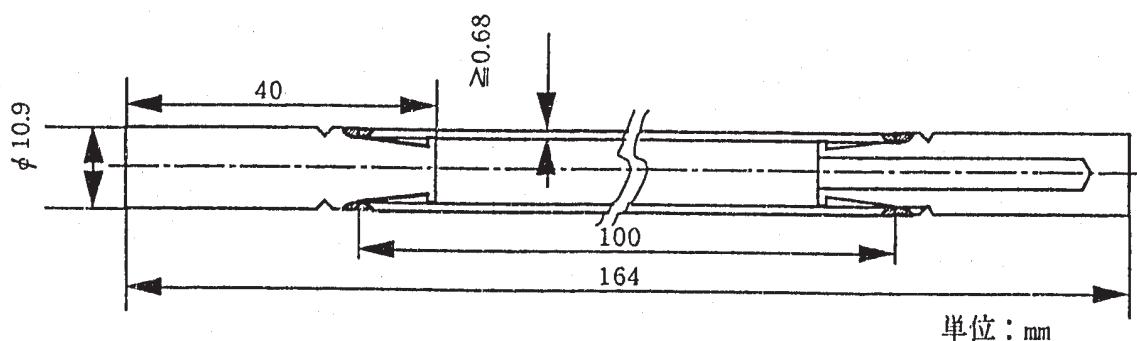


図-21 欠陥寸法減少要因図

(4) IFA-590燃料要素溶接部の探傷試験

(1)項で実施したATR実証炉用被覆管溶接部の探傷試験に使用した試料は、故意に溶接欠陥を製作したため、通常の溶接欠陥と比べ不自然な形状を有していたと考えられる。そこでHALDEN用IFA-590燃料要素製造用に実施した溶接条件設定用溶接試料、ピンパンクチャー試験用試料溶接部及び燃料要素本番製造用下部端栓溶接部の探傷試験を約100点について実施した。尚、図-22にIFA-590燃料要素条件設定用溶接試料の概略図を示す。



材質：ジルカロイ－Ⅱ

図-22 IFA-590燃料要素条件設定用溶接試料概略図

① 溶接条件設定用溶接試料の探傷試験

任意のパラメータで溶接されたIFA-590溶接条件設定用試料の超音波探傷試験を行い、欠陥判定が成された試料についてはその部位を切断、金相試験し、超音波探傷結果との比較を行った結果を図-23に示す。

図-24及び写真-9に示すように画像処理と金相結果で同一位置に欠陥が確認され、その欠陥寸法も画像解析値 0.09 mm と 0.11 mm であったのに対し、金相試験でも同一の 0.09 mm と 0.11 mm の寸法測定値であった。このことから超音波探傷は、TIG溶接部の欠陥探傷としてかなりの精度を有していると考えられる。

② IFA-590燃料要素本番製造用下部端栓溶接部の探傷試験

①項の探傷試験結果が良好であったことからIFA-590燃料要素本番製造用下部端栓溶接部24本についても超音波探傷試験を実施し、その探傷結果とX線による検査結果の比較を行った。超音波探傷結果についてのX線検査との比較について表-5に示し、図-25～図-48に超音波画像解析データを示す。

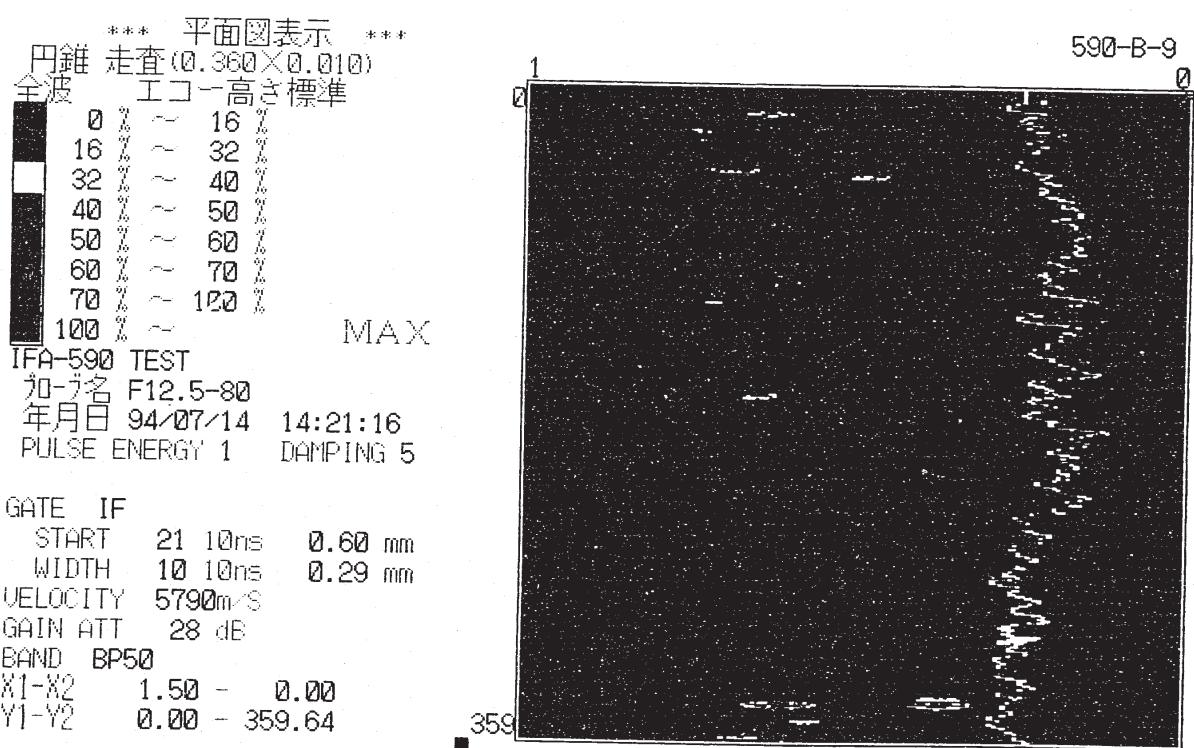


図-23 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果

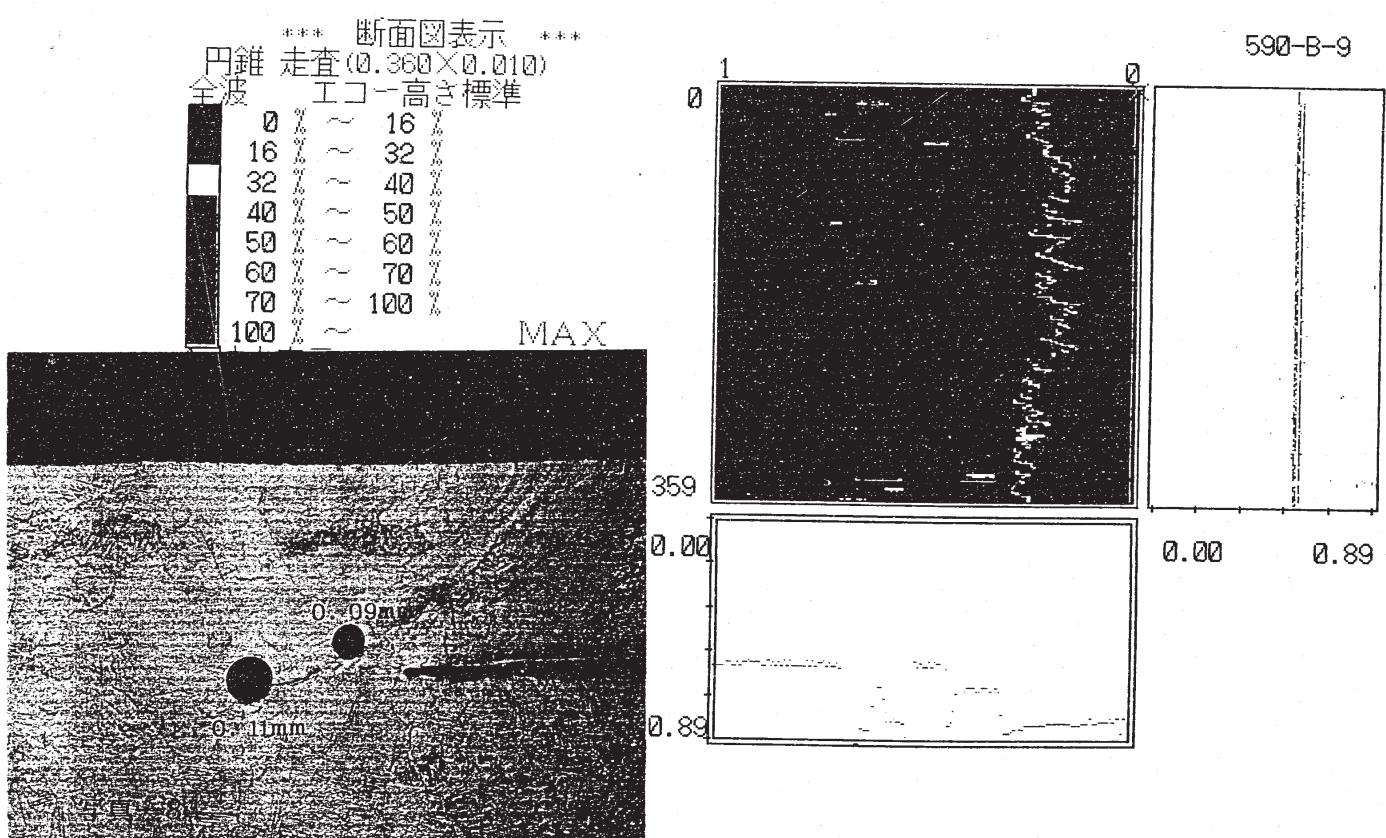


図-24 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果と断面金相写真の比較

表-5 HALDEN IFA-590 下部端栓溶接部 X線検査結果と超音波探傷結果の比較

試料 No	超音波検査結果		X線検査結果	
	判定	備 考	判定	備 考
590-1	A	0.12×4	A	
-2	A	0.2×2	A	
-3	B	0.16×2	B	プローホール $\phi 0.2 \times 2$
-4	A	0.14×2	A	
-5	A	≤ 0.1 点在	A	
-6	A	≤ 0.1 点在	A	
-7	A	なし	A	
-8	A	なし	A	
-9	A	≤ 0.1	A	
-10	A	$\leq 0.14 \times 3$	A	
-11	A	≤ 0.12 点在	A	
-12	A	≤ 0.1	A	
-13	A	≤ 0.12 点在	A	
-14	A	≤ 0.12 点在	A	
-15	A	0.16	A	
-16	A	≤ 0.1 点在	A	
-17	A	≤ 0.1 点在	A	
-18	A	$\leq 0.1 \times 3$	A	
-19	A	≤ 0.12 点在	A	
-20	A	なし	A	
-21	B	0.25, ≤ 0.15 点在	B	プローホール $\phi 0.25$
-22	A	≤ 0.12 点在	A	
-23	A	≤ 0.1 点在	A	
-24	A	≤ 0.1	A	
D-1	A	0.15×5		
D-2	A	$\leq 0.1 \times 2$		
D-3	A	なし		
D-4	A	なし		
D-5	A	≤ 0.1 点在		

*** 平面図表示 ***
 凸錐 走査(0.360×0.010)
 全波 工口一高さ標準

 IFA-590ホンバンカフ
 フローラ F12.5-80
 年月日 95/06/27 10:33:15
 PULSE ENERGY 1 DAMPING 5

GATE IF
 START 21 10ns 0.60 mm
 WIDTH 10 10ns 0.29 mm
 VELOCITY 5790m/s
 GAIN ATT 27 dB
 BAND BP50
 X1-X2 5.00 - 0.00
 Y1-Y2 0.00 - 359.64

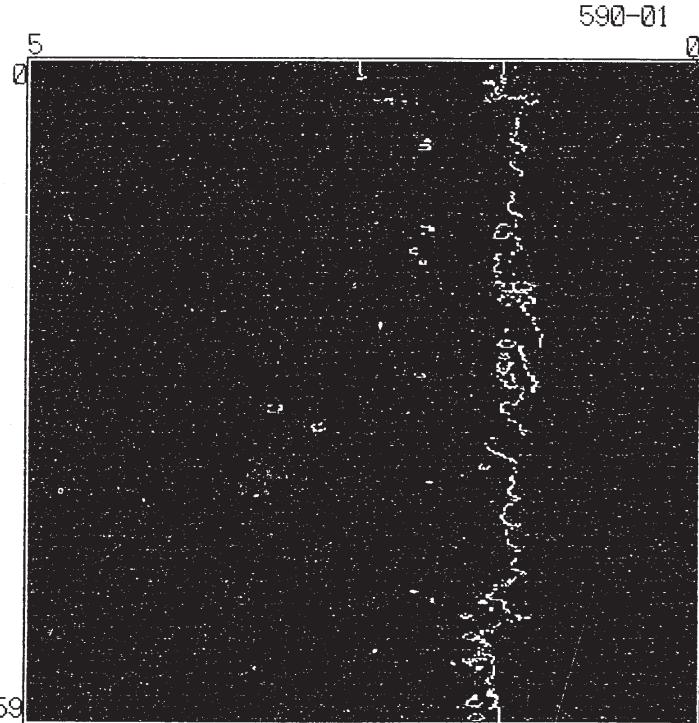
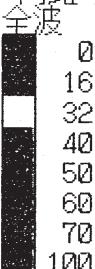


図-25 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果 -1

*** 平面図表示 ***
 円錐 走査(0.360×0.010)
 全波 工コ一高さ標準

 0 ~ 16
 16 ~ 32
 32 ~ 40
 40 ~ 50
 50 ~ 60
 60 ~ 70
 70 ~ 100
 100 ~ MAX
 IFA-590オシロスコープ
 加工名 F12.5-80
 年月日 95/06/27 11:09:04
 PULSE ENERGY 1 DAMPING 5

GATE IF
 START 21 10ns 0.60 mm
 WIDTH 10 10ns 0.29 mm
 VELOCITY 5790m/s
 GAIN ATT 27 dB
 BAND BP50
 X1-X2 5.00 - 0.00
 Y1-Y2 0.00 - 359.64

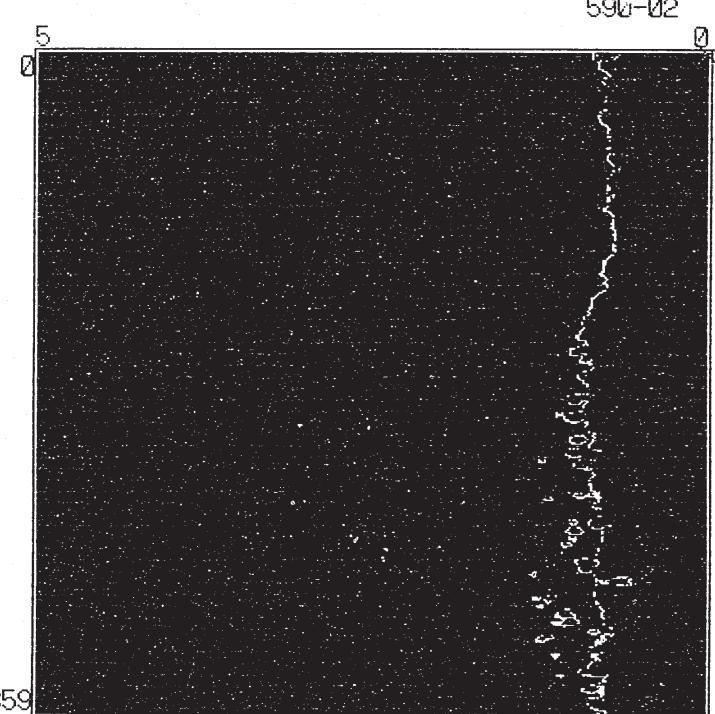


図-26 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果 -2

*** 平面図表示 ***
 円錐 走査(0.360×0.010)
 全波 工コ一高さ標準

 0 ~ 16
 16 ~ 32
 32 ~ 40
 40 ~ 50
 50 ~ 60
 60 ~ 70
 70 ~ 100
 100 ~ MAX
 IFA-590ホンバンカフ
 ジローブ名 F12.5-80
 年月日 95/06/27 11:31:09
 PULSE ENERGY 1 DAMPING 5
 GATE IF
 START 21 10ns 0.60 mm
 WIDTH 10 10ns 0.29 mm
 VELOCITY 5790m/s
 GAIN ATT 27 dB
 BAND BP50
 X1-X2 5.00 - 0.00
 Y1-Y2 0.00 - 359.64

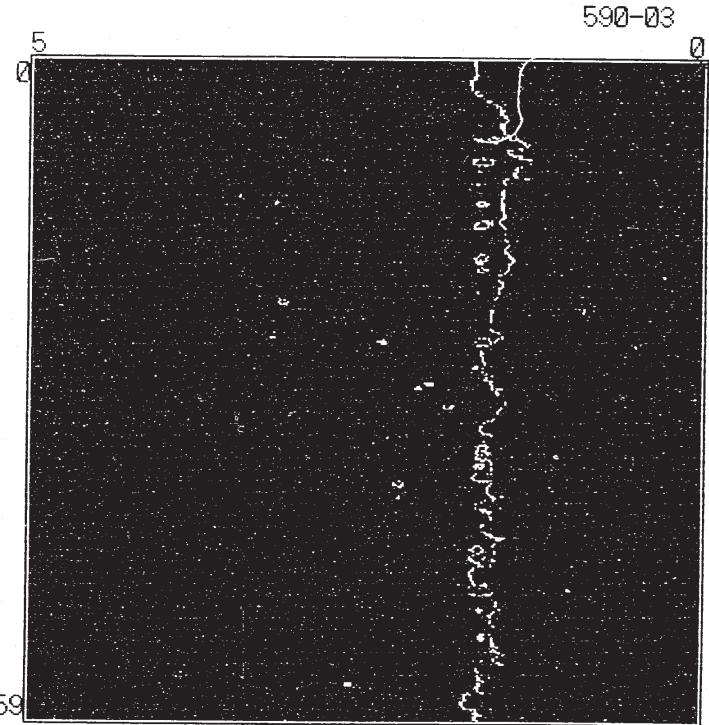


図-27 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果 -3

*** 平面図表示 ***
 円錐 走査(0.360×0.010)
 全波 工コ一高さ標準

 0 ~ 16
 16 ~ 32
 32 ~ 40
 40 ~ 50
 50 ~ 60
 60 ~ 70
 70 ~ 100
 100 ~ MAX
 IFA-590ホンバンカブ
 ブローバル F12.5-80
 年月日 95/06/27 11:46:36
 PULSE ENERGY 1 DAMPING 5

GATE IF
 START 21 10ns 0.60 mm
 WIDTH 10 10ns 0.29 mm
 VELOCITY 5790m/s
 GAIN ATT 27 dB
 BAND BP50
 X1-X2 5.00 - 0.00
 Y1-Y2 0.00 - 359.64

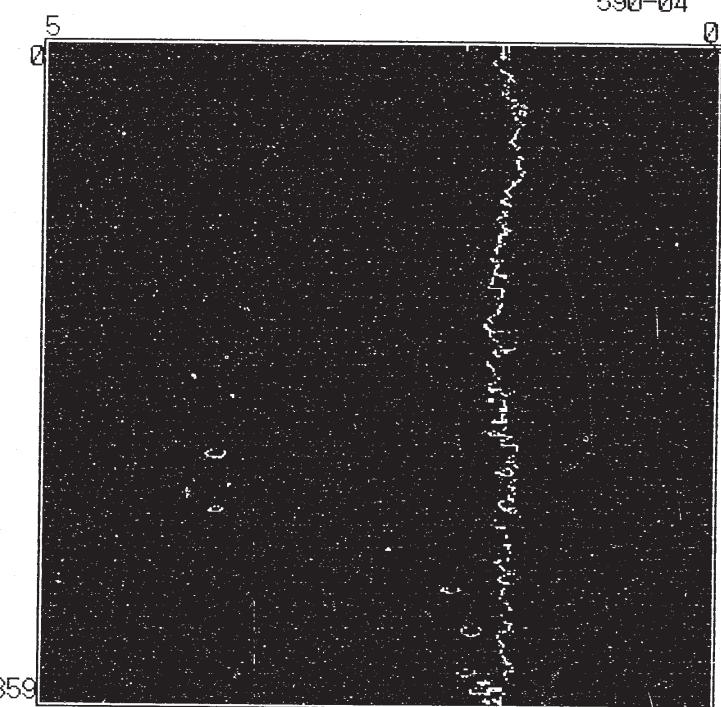


図-28 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果 -4

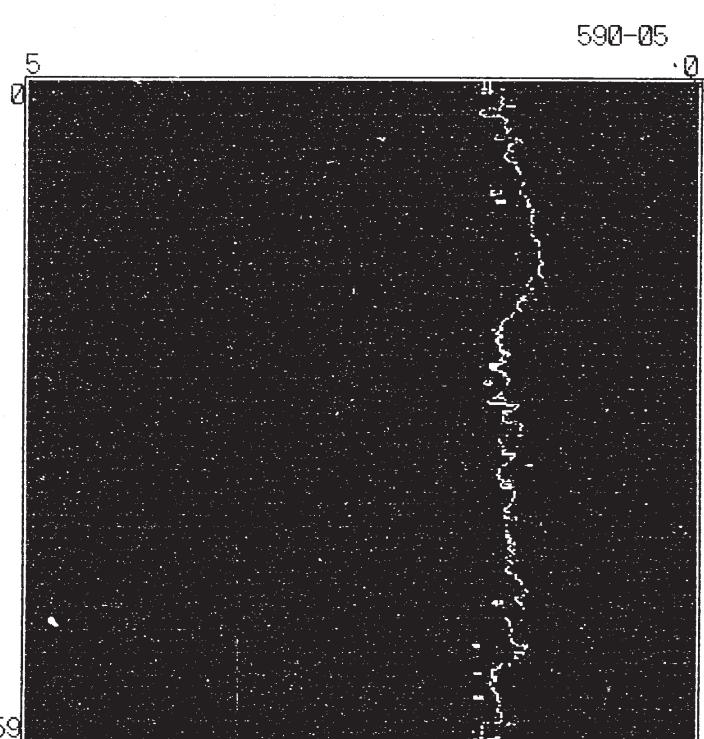
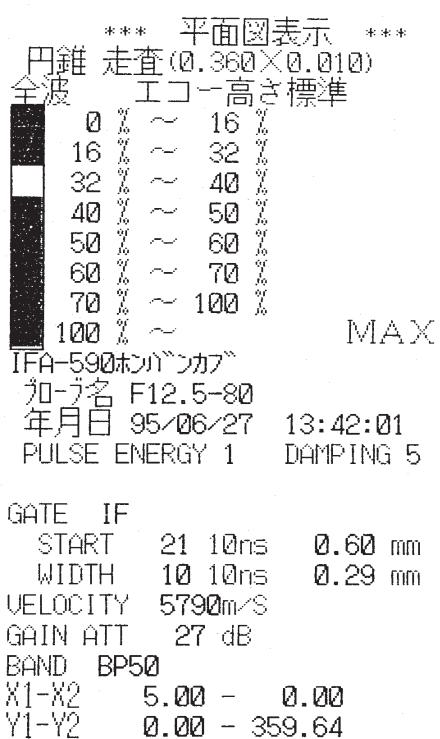


図-29 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果 -5

*** 平面図表示 ***
 巴錐 走査(0.360×0.010)
 全波 工口一高さ標準

 0 ~ 16
 16 ~ 32
 32 ~ 40
 40 ~ 50
 50 ~ 60
 60 ~ 70
 70 ~ 80
 80 ~ 90
 90 ~ 100
 100 ~ MAX
 IFA-590ホンバンカブ
 ジオ-7名 F12.5-80
 年月日 95/06/27 15:00:16
 PULSE ENERGY 1 DAMPING 5

GATE IF
 START 21 10ns 0.60 mm
 WIDTH 10 10ns 0.29 mm
 VELOCITY 5790m/s
 GAIN ATT 27 dB
 BAND BP50
 X1-X2 5.00 - 0.00
 Y1-Y2 0.00 - 359.64

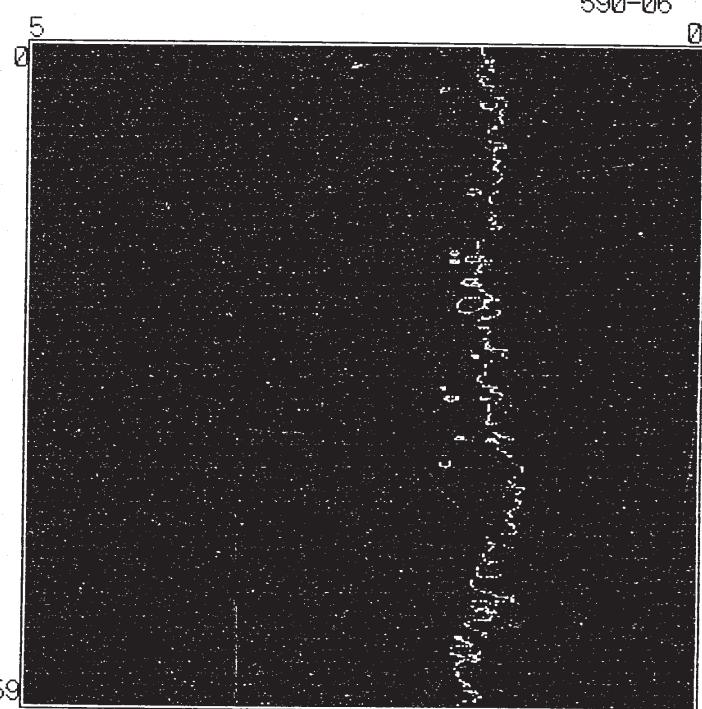
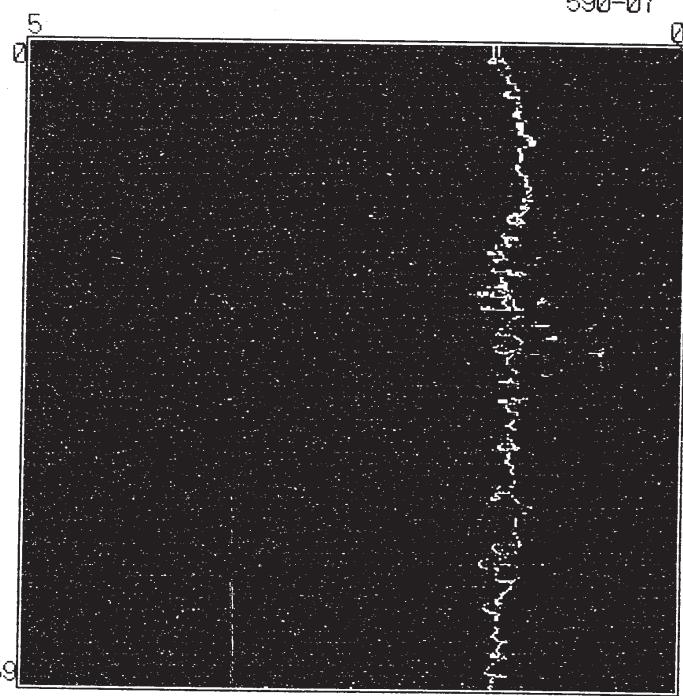


図-30 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果 -6

*** 平面図表示 ***
円錐走査(0.360×0.010)
半波 工口一高さ標準

MAX
IF A-590ホンリヤンカフ
70-7名 F12.5-80
年月日 95/06/27 14:11:53
PULSE ENERGY 1 DAMPING 5

GATE IF
START 21 10ns 0.60 mm
WIDTH 10 10ns 0.29 mm
VELOCITY 5790m/s
GAIN ATT 27 dB
BAND BP50
X1-X2 5.00 - 0.00
Y1-Y2 0.00 - 359.64

359

図-31 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果 -7

*** 平面図表示 ***
 円錐 走査 (0.360×0.010)
 全波 工コ一高さ標準

 100 % ~ MAX
 IFA-590ポンバンカブ
 ジローフ名 F12.5-80
 年月日 95/06/27 14:38:55
 PULSE ENERGY 1 DAMPING 5

GATE IF
 START 21 10ns 0.60 mm
 WIDTH 10 10ns 0.29 mm
 VELOCITY 5790m/s
 GAIN ATT 27 dB
 BAND BP50
 X1-X2 5.00 - 0.00
 Y1-Y2 0.00 - 359.64

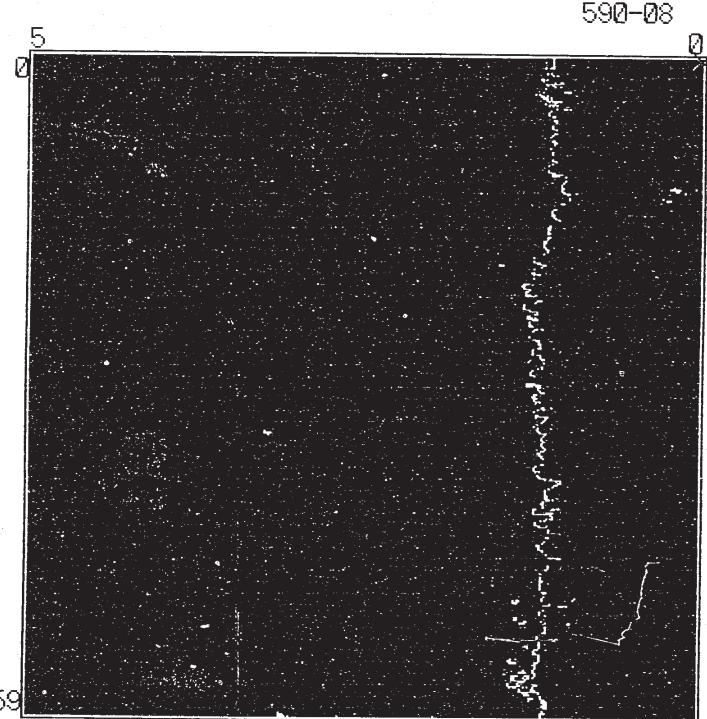


図-32 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果 -8

*** 平面図表示 ***
 円錐 走査(0.360×0.010)
 全波 工場高さ標準

 0 ~ 16 %
 16 ~ 32 %
 32 ~ 40 %
 40 ~ 50 %
 50 ~ 60 %
 60 ~ 70 %
 70 ~ 100 %
 100 % ~ MAX
 IFA-590ホンバングラ
 ブローラ名 F12.5-80
 年月日 95/06/27 15:16:11
 PULSE ENERGY 1 DAMPING 5

GATE IF
 START 21 10ns 0.60 mm
 WIDTH 10 10ns 0.29 mm
 VELOCITY 5790m/s
 GAIN ATT 27 dB
 BAND BP50
 X1-X2 5.00 - 0.00
 Y1-Y2 0.00 - 359.64

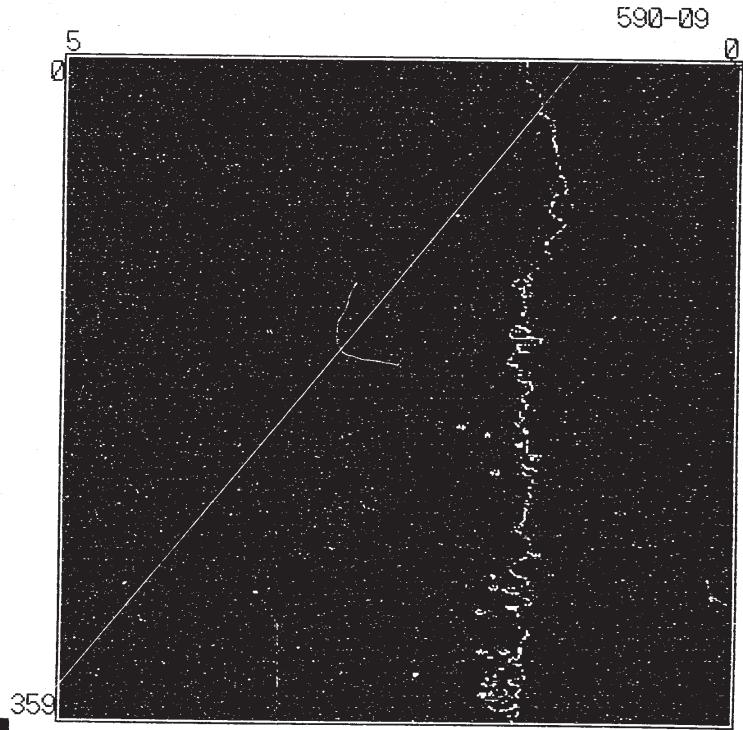


図-33 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果 -9

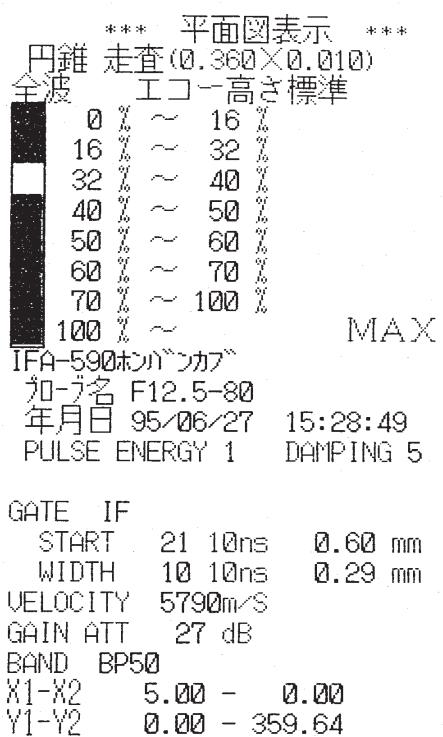


図-34 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果 -10

*** 平面図表示 ***
 円錐 走査(0.360×0.010)
 全波 工コ一高さ標準

 0 ~ 16
 16 ~ 32
 32 ~ 40
 40 ~ 50
 50 ~ 60
 60 ~ 70
 70 ~ 100
 100 % ~ MAX
 IFA-590ホンバンカブ
 ジロ-ジ名 F12.5-80
 年月日 95/06/29 09:47:37
 PULSE ENERGY 1 DAMPING 5
 GATE IF
 START 21 10ns 0.60 mm
 WIDTH 10 10ns 0.29 mm
 VELOCITY 5790m/s
 GAIN ATT 27 dB
 BAND BP50
 X1-X2 5.00 - 0.00
 Y1-Y2 0.00 - 359.64

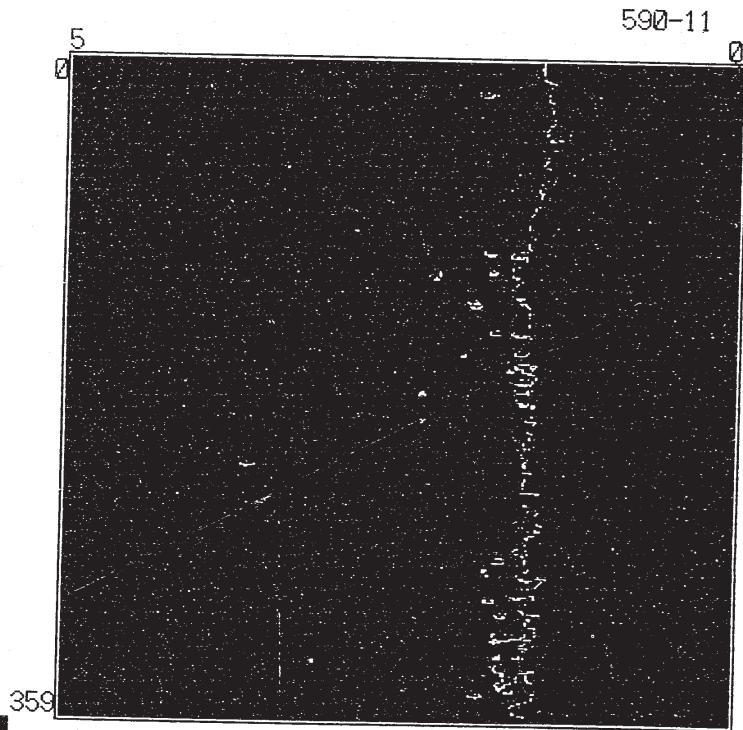
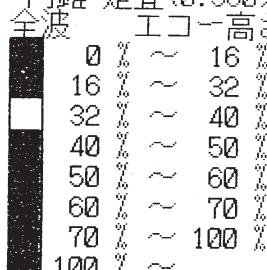


図-35 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果 -11

*** 平面図表示 ***
 円錐走査(0.360×0.010)
 全波 工口-高さ標準

 IFA-590ポンバンカフ
 フローラ名 F12.5-80
 年月日 95/06/29 13:19:48
 PULSE ENERGY 1 DAMPING 5

GATE IF
 START 21 10ns 0.60 mm
 WIDTH 10 10ns 0.29 mm
 VELOCITY 5790m/s
 GAIN ATT 27 dB
 BAND BP50
 X1-X2 5.00 - 0.00
 Y1-Y2 0.00 - 359.64

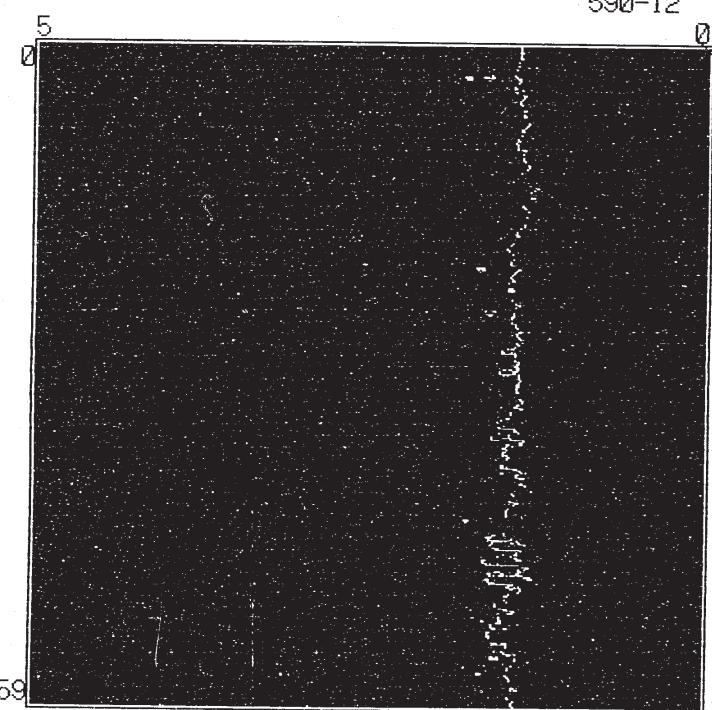


図-36 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果 -12

*** 平面図表示 ***
 円錐 走査(0.360×0.010)
 全波 工コ一高さ標準

 0 % ~ 16 %
 16 % ~ 32 %
 32 % ~ 40 %
 40 % ~ 50 %
 50 % ~ 60 %
 60 % ~ 70 %
 70 % ~ 100 %
 100 % ~ MAX
 IFA-590ホンバンカブ
 ジロ-ジ名 F12.5-80
 年月日 95/06/29 10:10:29
 PULSE ENERGY 1 DAMPING 5

GATE IF
 START 21 10ns 0.60 mm
 WIDTH 10 10ns 0.29 mm
 VELOCITY 5790m/s
 GAIN ATT 27 dB
 BAND BP50
 X1-X2 5.00 - 0.00
 Y1-Y2 0.00 - 359.64

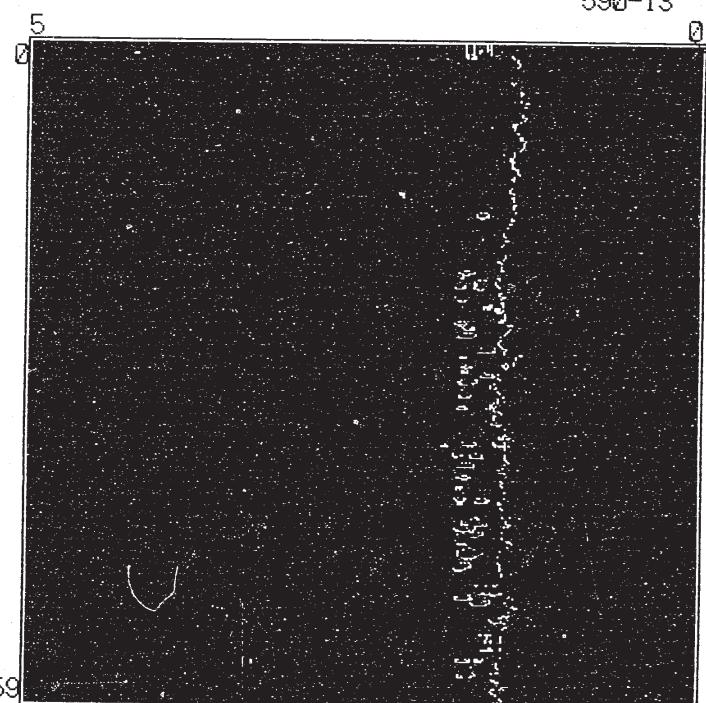
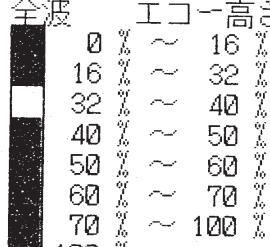


図-37 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果 -13

*** 平面図表示 ***
 円錐 走査 (0.360×0.010)
 全波 工コ一高さ標準

 IFA-590被覆管
 プローブ名 F12.5-80
 年月日 95/06/29 13:34:03
 PULSE ENERGY 1 DAMPING 5
 GATE IF
 START 21 10ns 0.60 mm
 WIDTH 10 10ns 0.29 mm
 VELOCITY 5790m/s
 GAIN ATT 27 dB
 BAND BP50
 X1-X2 5.00 - 0.00
 Y1-Y2 0.00 - 359.64

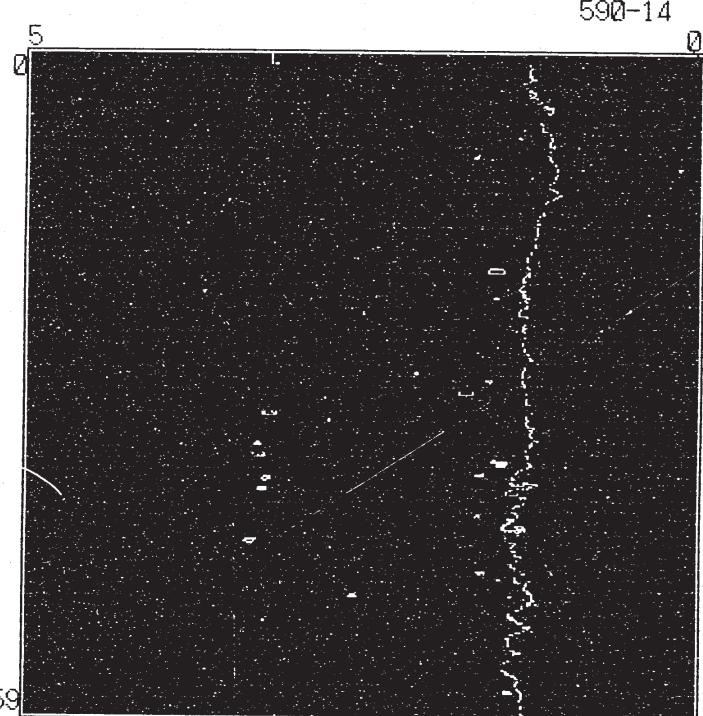
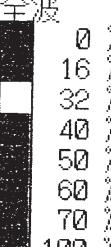


図-38 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果 -14

*** 平面図表示 ***
 円錐 走査(0.360×0.010)
 全波 工コ一高さ標準

 IFA-590ポンパンカブ
 ジローブ名 F12.5-80
 年月日 95/06/29 10:33:45
 PULSE ENERGY 1 DAMPING 5
 GATE IF
 START 21 10ns 0.60 mm
 WIDTH 10 10ns 0.29 mm
 VELOCITY 5790m/s
 GAIN ATT 27 dB
 BAND BP50
 X1-X2 5.00 - 0.00
 Y1-Y2 0.00 - 359.64

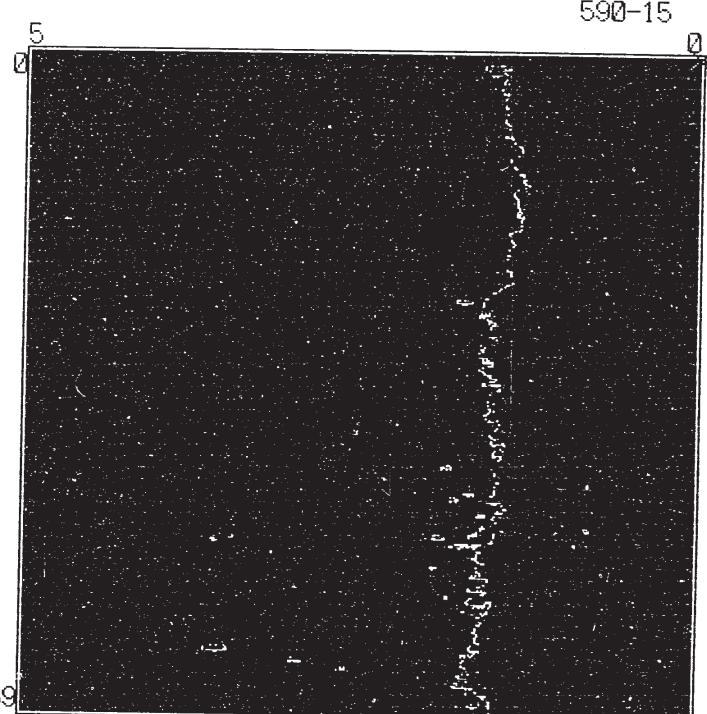


図-39 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果 -15

*** 平面図表示 ***
 円錐 走査 (0.360×0.010)
 全波 工コ一高さ標準

 0 ~ 16
 16 ~ 32
 32 ~ 40
 40 ~ 50
 50 ~ 60
 60 ~ 70
 70 ~ 100
 100 ~ MAX
 IFA-590ホンハシカフ
 ジ0-7名 F12.5-80
 年月日 95/06/29 13:52:34
 PULSE ENERGY 1 DAMPING 5

GATE IF
 START 21 10ns 0.60 mm
 WIDTH 10 10ns 0.29 mm
 VELOCITY 5790m/s
 GAIN ATT 27 dB
 BAND BP50
 X1-X2 5.00 - 0.00
 Y1-Y2 0.00 - 359.64

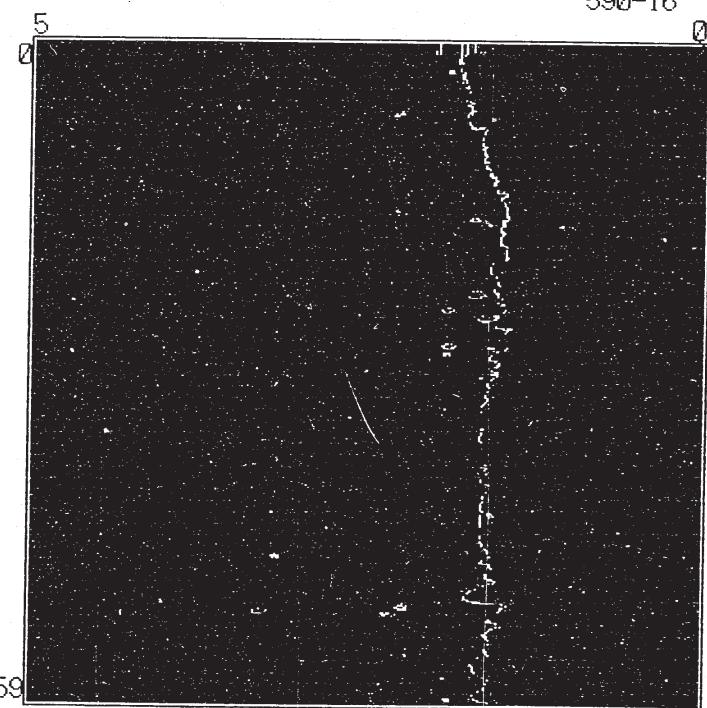
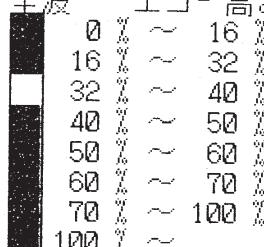


図-40 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果 -16

*** 平面図表示 ***
 円錐 走査(0.360×0.010)
 全波 工口一高さ標準

 IFA-590ホンバンカブ
 加工名 F12.5-80
 年月日 95/06/29 10:51:34
 PULSE ENERGY 1 DAMPING 5

GATE IF
 START 21 10ns 0.60 mm
 WIDTH 10 10ns 0.29 mm
 VELOCITY 5790m/s
 GAIN ATT 27 dB
 BAND BP50
 X1-X2 5.00 - 0.00
 Y1-Y2 0.00 - 359.64

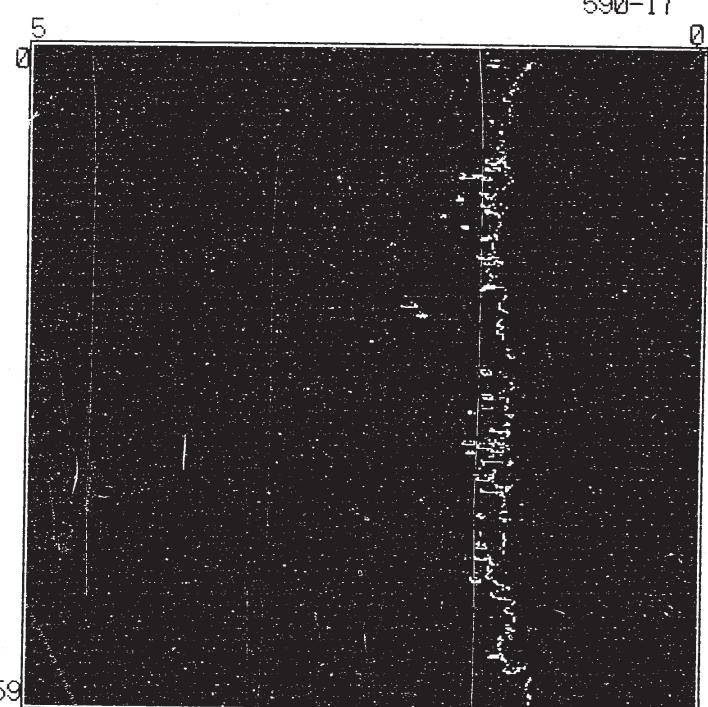


図-41 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果 -17

*** 平面図表示 ***
 円錐 走査(0.360×0.010)
 全波 工コ一高さ標準

 0 ~ 16
 16 ~ 32
 32 ~ 40
 40 ~ 50
 50 ~ 60
 60 ~ 70
 70 ~ 100
 100 ~ MAX
 IFA-590ホンバンカバ
 フローラ名 F12.5-80
 年月日 95/06/29 11:08:14
 PULSE ENERGY 1 DAMPING 5

GATE IF
 START 21 10ns 0.60 mm
 WIDTH 10 10ns 0.29 mm
 VELOCITY 5790m/s
 GAIN ATT 27 dB
 BAND BP50
 X1-X2 5.00 - 0.00
 Y1-Y2 0.00 - 359.64

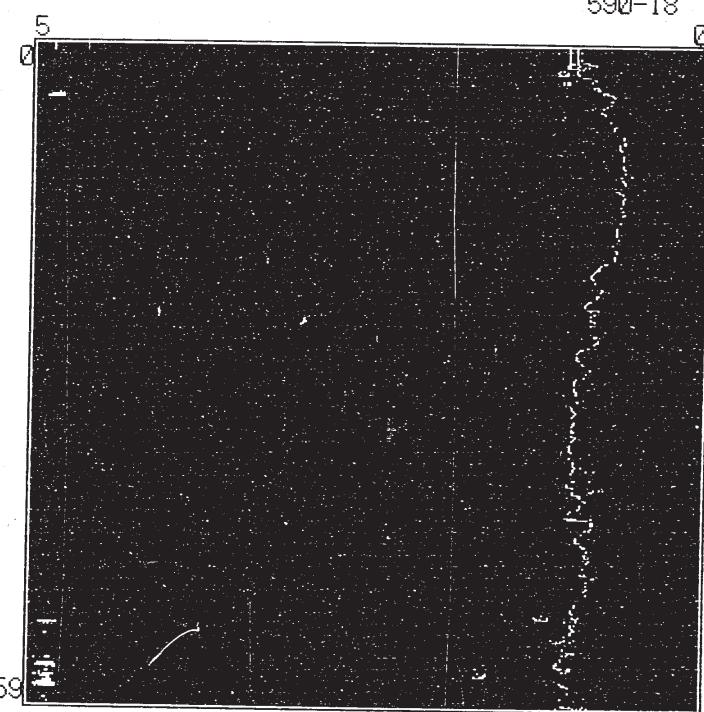


図-42 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果 -18

*** 平面図表示 ***
 円錐 走査(0.360×0.010)
 全波 工コ一高さ標準

 IFA-590ホンバンカフ
 ジローブ名 F12.5-80
 年月日 95/06/29 11:22:39
 PULSE ENERGY 1 DAMPING 5
 GATE IF
 START 21 10ns 0.60 mm
 WIDTH 10 10ns 0.29 mm
 VELOCITY 5790m/S
 GAIN ATT 27 dB
 BAND BP50
 X1-X2 5.00 - 0.00
 Y1-Y2 0.00 - 359.64

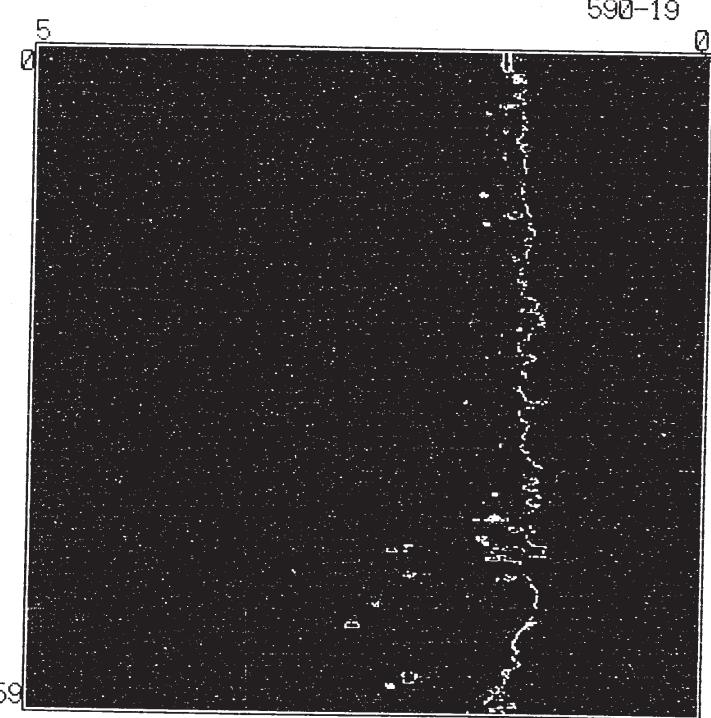
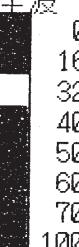


図-43 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果 -19

*** 平面図表示 ***
 円錐 走査(0.360×0.010)
 全波 工口一高さ標準

 IFA-590ポンバンカフ
 加工名 F12.5-80
 年月日 95/06/29 11:45:07
 PULSE ENERGY 1 DAMPING 5

GATE IF
 START 21 10ns 0.60 mm
 WIDTH 10 10ns 0.29 mm
 VELOCITY 5790m/s
 GAIN ATT 27 dB
 BAND BP50
 X1-X2 5.00 - 0.00
 Y1-Y2 0.00 - 359.64

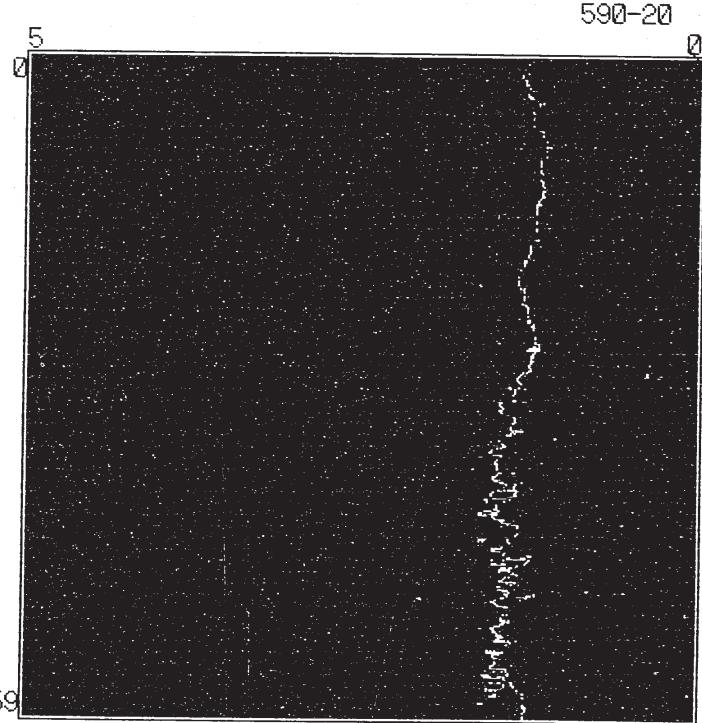
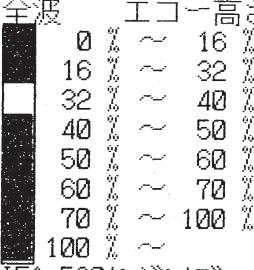


図-44 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果 -20

*** 平面図表示 ***
円錐 走査(0.360×0.010)
全波 工コ一高さ標準

0 ~ 16
16 ~ 32
32 ~ 40
40 ~ 50
50 ~ 60
60 ~ 70
70 ~ 100
100 ~ MAX
IF A-590ホンバンカフ
プローブ名 F12.5-80
年月日 95/06/29 15:11:42
PULSE ENERGY 1 DAMPING 5

GATE IF
START 21 10ns 0.60 mm
WIDTH 10 10ns 0.29 mm
VELOCITY 5790m/s
GAIN ATT 27 dB
BAND BP50
X1-X2 5.00 - 0.00
Y1-Y2 0.00 - 359.64

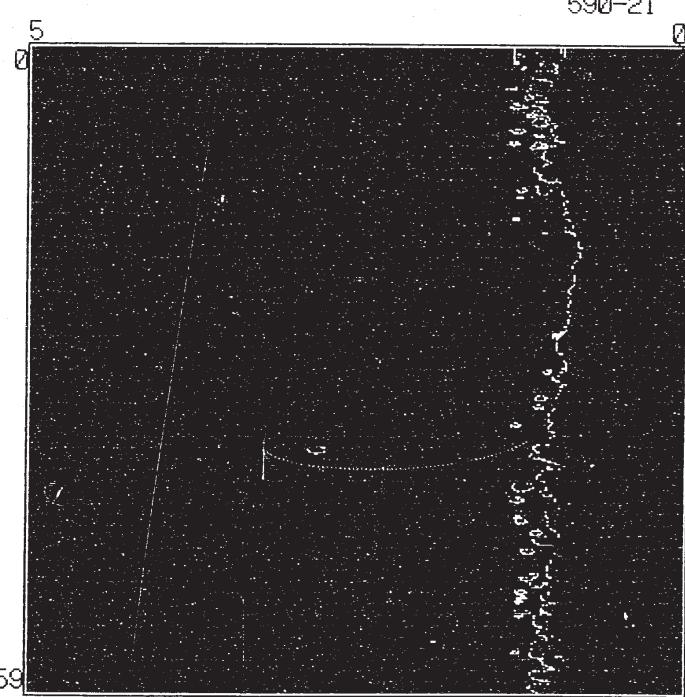


図-45 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果 -21

*** 平面図表示 ***
 円錐 走査(0.360×0.010)
 全波 工口一高さ標準

 0 ~ 16
 16 ~ 32
 32 ~ 40
 40 ~ 50
 50 ~ 60
 60 ~ 70
 70 ~ 100
 100 ~ MAX
 IFA-590ホンバ"ンカブ"
 加工名 F12.5-80
 年月日 95/06/29 15:28:35
 PULSE ENERGY 1 DAMPING 5

GATE IF
 START 21 10ns 0.60 mm
 WIDTH 10 10ns 0.29 mm
 VELOCITY 5790m/S
 GAIN ATT 27 dB
 BAND BP50
 X1-X2 5.00 - 0.00
 Y1-Y2 0.00 - 359.64

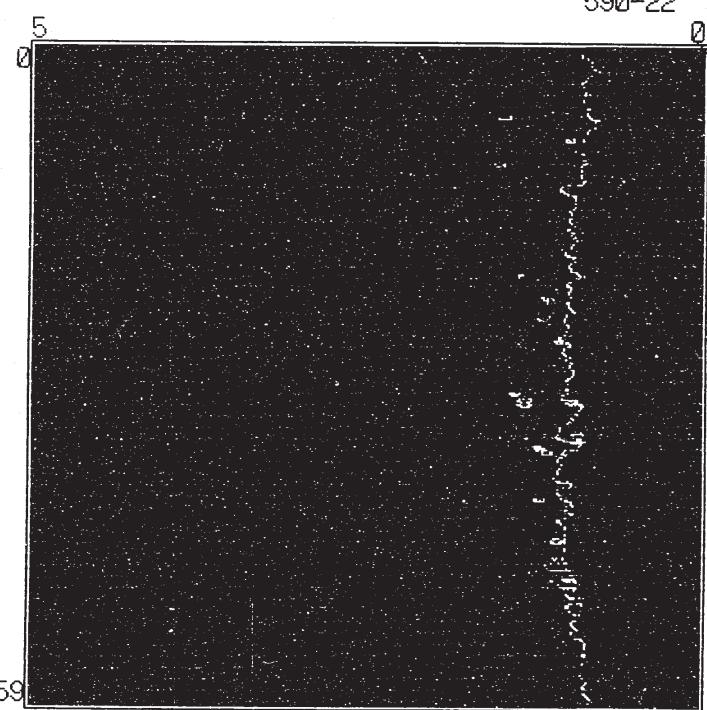
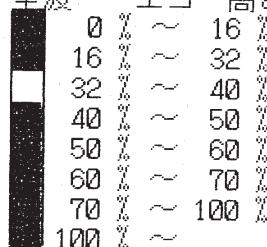


図-46 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果 -22

*** 平面図表示 ***
 円錐 走査(0.360×0.010)
 全波 工口一高さ標準

 IFA-590ホンバンカバ
 20-7名 F12.5-80
 年月日 95/06/29 15:43:17
 PULSE ENERGY 1 DAMPING 5

GATE IF
 START 21 10ns 0.60 mm
 WIDTH 10 10ns 0.29 mm
 VELOCITY 5790m/S
 GAIN ATT 27 dB
 BAND BP50
 X1-X2 5.00 - 0.00
 Y1-Y2 0.00 - 359.64

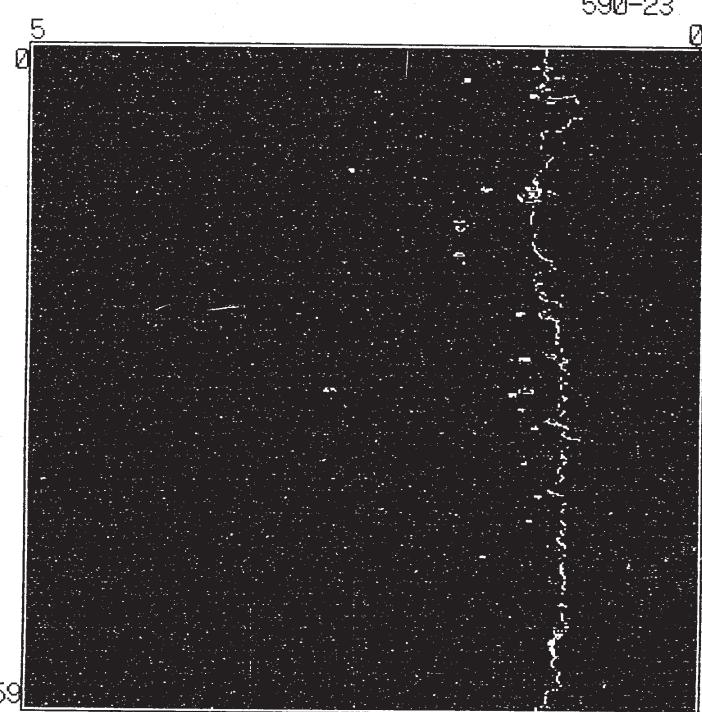
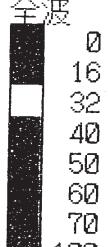


図-47 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果 -23

*** 平面図表示 ***
 円錐走査(0.360×0.010)
 全波 工コ一高さ標準

 0 ~ 16
 16 ~ 32
 32 ~ 40
 40 ~ 50
 50 ~ 60
 60 ~ 70
 70 ~ 100
 100 ~ MAX
 IFA-590ポンパンカフ
 加工名 F12.5-80
 年月日 95/06/29 15:57:49
 PULSE ENERGY 1 DAMPING 5

GATE IF
 START 21 10ns 0.60 mm
 WIDTH 10 10ns 0.29 mm
 VELOCITY 5790m/s
 GAIN ATT 27 dB
 BAND BP50
 X1-X2 5.00 - 0.00
 Y1-Y2 0.00 - 359.64

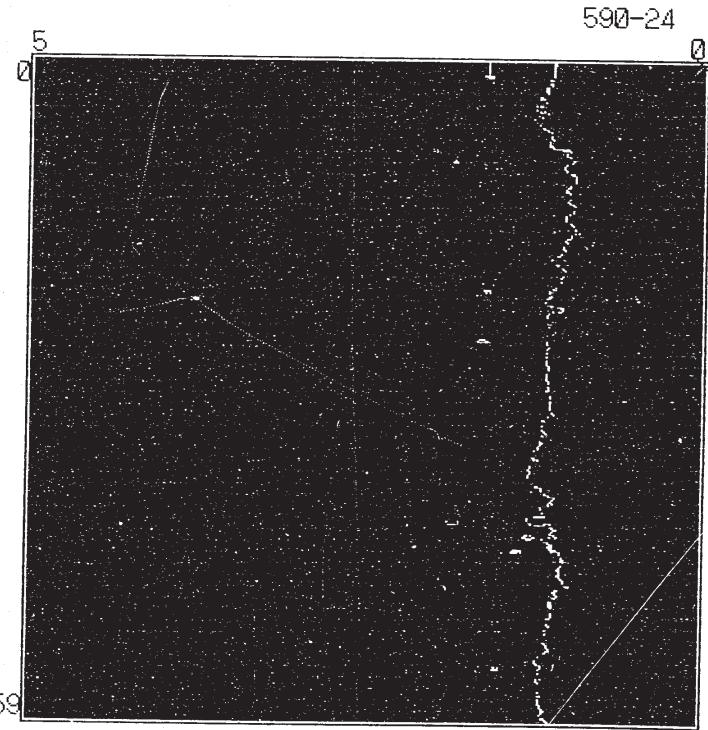


図-48 IFA590被覆管溶接部試料探傷結果 -24

5. 考 察

5.1 PMW溶接部探傷試験について

前回までの報告書でPMW溶接部探傷を行う上でノイズの除去と探傷条件の安定性の2つが問題となっていた。そこで今回の改造でノイズの除去については、モータと接続ドライバーのシールドとアースの強化を行うことでこの問題を解決した。探傷条件の安定性については形状認識方法の改造と専用探傷モードを付加することで探傷精度は、改造前の $+0.02\text{mm}$ 、 -0.05mm の誤差から $\pm 0.01\text{mm}$ まで向上した。これらの改造と探傷結果から見て、PMW溶接部の検査法として超音波による接合部長さの測定法は、ほぼ確立したと考えられる。従って今後は、検査本数の実績を積み上げ信頼性を向上することが課題であると思われる。

また、今後実機の検査を行う上では溶接条件が確立され、テーパー角度等の試料形状が限定されれば、現在の試験機よりも簡素化した安価な装置で探傷できると考えられる。

5.2 PRW溶接部探傷試験について

PRW溶接部の検査として超音波法を判断するには、データが不足していると思われる。欠陥探傷については、本文で述べたように溶接部の形状や欠陥の発生する位置から考え、斜角探傷法が適していると思われるが、バリ除去後の試料表面状態が良好であるならば垂直探傷法において欠陥探傷が行える可能性もあり、今後、両探傷法において試験を行いデータの解析を行う必要がある。

また、PRWの場合、欠陥探傷とともに溶接部強度の非破壊による定量化を行う必要もあり、金属組織の微妙な変化を超音波的に定量解析することも大きな課題のひとつになる。

5.3 TIG溶接部探傷試験について

HALDEN用 IFA-590の探傷結果から突き合わせ溶接部の超音波による探傷結果は、金相試験と比較して欠陥寸法、欠陥位置とも差はなく良好であった。また、X線との比較では、X線検査で判定されている欠陥については同様の欠陥検出が確認でき、超音波探傷では $\phi 0.08\text{ mm}$ 程度の欠陥検出が可能となっている。逆に画像上では、かなり微細な点まで表示されるため現行の探触子ビーム径 $\phi 0.1\text{ mm}$ よりも大きな径で現行（1本／分）よりも速度を上げ、どの程度の分解能が担保できるかが課題の一つとなる。

ATR実証炉型の被覆管溶接部の探傷において検出欠陥の寸法が減少した最も大きな要因は、試料の製造の仕方にあると考えられる。今回、製作した試料は、被覆管端面にヤスリ傷を付け溶接したため、欠陥が突き合わせ部に集中し、しかも被覆管の肉厚底面と同軸上に欠陥がヤスリ傷に対する溶け込み不足として発生したものが多くなったと考えられる。そのため、欠陥を分離しようとゲート処理を行うと結果的に欠陥の上端部のみの欠陥エコーとなり欠陥寸法が減少したと推測される。

しかし、この端栓と被覆管の境界面で被覆管の肉厚底面と同軸上に欠陥が発生することは今後、探傷試験を行う上で十分考慮する必要があり、これら欠陥エコーの分離を行う手段を考える必要がある。

また、ATR実証炉型の被覆管溶接部で行ったヤスリ傷等をつけた形での溶接では人工欠陥としても不適当であるため、標準試験片を製作する方法についても今後の課題の一つとなる。

今回は、突き合わせ溶接によるTIG溶接部の探傷試験を行ったが、今後、FBRで用いているつば型端栓溶接部についても探傷試験を行いたい。

6. まとめ

6.1 PMW溶接部探傷試験について

- (1) 今回の装置改造により改造前の問題であった探傷中の外部ノイズの影響をほぼ100%カットできた。
- (2) 外部ノイズの除去と駆動性能の向上から探傷条件も安定し、STBによる測定精度は、 $+0.02\text{mm}$, -0.05mm から $\pm 0.01\text{mm}$ に向上した。
- (3) 超音波検査法によるPMW溶接部の接合長さの測定は、確立したと思われる。

6.2 PRW溶接部探傷試験について

- (1) 今後も斜角探傷法及び垂直探傷法において試験を継続し、データの解析を行う必要がある。

6.3 TIG溶接部探傷試験について

- (1) HALDEN用 IFA-590の探傷結果から突き合わせ溶接部の超音波による探傷結果は、金相試験と比較して欠陥寸法、欠陥位置とも差はなく良好であった。
- (2) X線との比較では、X線検査で判定されている欠陥については同様の欠陥検出が確認できた。
- (3) 超音波探傷における欠陥改造度は、 $\phi 0.08\text{mm}$ 程度のであり、検査データの表示までおよそ1分で行える。
- (4) 端栓と被覆管の境界面で被覆管の肉厚底面と同軸上に欠陥が発生する場合、ゲート処理が難しく、欠陥の分離が行えない。

7. 今後の課題

7.1 PMW溶接部探傷試験について

- (1) 検査本数の実績を積み上げ信頼性の向上を図る。

7.2 PRW溶接部探傷試験について

- (1) 斜角探傷法及び垂直探傷法について探傷試験を行い、溶接部欠陥探傷方法の確立を行う。
- (2) 溶接部強度の非破壊検査方法を確立するために金属組織の微妙な変化を超音波的に定量解析する方法を解明する。

7.3 TIG溶接部探傷試験について

- (1) 検査本数の実績を積み上げ信頼性の向上を図る。
- (2) 端栓と被覆管の境界面で被覆管の肉厚底面と同軸上に発生する欠陥について分離方法を確立し、そのアルゴリズムを装置に組み込む。
- (3) 標準試験片の形状及び製作方法を検討し、試作を行う。
- (4) FBR用つば型端栓溶接部についても探傷試験を実施する。

8. 参考文献

1. 日本非破壊検査協会編；超音波探傷試験 A (1976)
2. 溶接部超音波欠陥検査装置の開発「その1 据付、試運転報告書」PNC PN8410 91-010
3. 溶接部超音波欠陥検査装置の開発「その2 画像処理システムとSTBの製作及びPMW試料の超音波探傷」PNC PN8410 93-074