

# 遠隔配管工事システムに係る モックアップ試験

— 成 果 報 告 書 —

(動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書)

1992年3月

三菱電機株式会社

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)

1992年3月

遠隔配管工事システムに係るモックアップ試験  
成果報告書

田中 洋次\*1 長 沢 音 彦\*2  
杉 本 弘 竹 下 博 志\*3

要 旨

再処理工場のプロセス機器類の保守作業における作業員の被ばくの低減化と作業性の向上および再処理工場のより一層の安定運転の確保に寄与することを目的として、遠隔操作による配管の補修、交換を行うシステムの開発を進めている。

本モックアップ試験では、先に試作した基本作業ユニットの検査装置に関する評価試験を行い、検査装置の改良項目を抽出した。検査対象とする溶接配管として、管径25Aおよび50Aのステンレス配管を溶接接合し、ここに人工的な欠陥を設けるなどしたものをを用いた。欠陥の大きさは、基本的に、再処理施設等の溶接の技術基準に準じた。

また、試験の結果に基づき検査装置の改良案を立案した。これらの成果として次の事が得られた。

- (1) 試作した検査装置が、再処理施設等の溶接に関する技術基準に於ける合否の判定を行うに十分な欠陥検出能および再現性を有している事を確認した。
- (2) 配管の溶接に関する各部位（母材部、熱影響部、溶接部）について欠陥検出能および再現性を把握する事が出来た。
- (3) 遠隔配管工事システム開発の一環として製作した工具で溶接した試験片を用いて試験を行い、欠陥検出性の信頼性が高いことを確認した。
- (4) 検査装置の改良についての案を作成することが出来た。

この報告書は上記モックアップ試験内容および成果について報告するものである。

本報告書は、三菱電機株式会社が動力炉・核燃料開発事業団との契約により実施した業務の成果である。

契 約 番 号 : O 3 C 3 2 3 7

事業団担当部課室 : 再処理技術開発部 機器材料開発室

\* 1 : 三菱電機(株) 鎌倉製作所 応用機器部 技術第2課

\* 2 : 三菱電機(株) 鎌倉製作所 応用機器部 品質管理課

\* 3 : 三菱電機(株) 制御製作所 原子力部原子力情報通信システム技術グループ

Mar. 1992

## REPORTS OF RESULTS OF MOCK-UP TEST CONCERNING THE REMOTE PIPING WORK SYSTEM

Yoji Tanaka \*1

Otohiko Nagasawa \*2

Hiroshi Sugimoto \*3

Hiroshi Takeshita \*3

## Abstract

We are now developing a system for realizing repair and replacement of piping by remote control, aiming at contributing to reducing the risk of exposure of workers to radiation during the maintenance work of processing apparatuses, improving work performance, and securing more stable operation of the processing plant.

For this mock-up test, we realized an evaluation test concerning the device for checking the basic work unit, which had trial-made previously, thus selecting the items of improvement of the said checking device. For the object sample of checking, stainless steel pipes of diameter 25A and 50A were joined by welding, then artificial faults were created. The size of the fault was determined based, in principle, on the technical standard of welding for reprocessing plants.

And, based on the results of the test, proposal for improving the checking device was worked out; as a result we reached to the following conclusion:

- (1) The trial-made checking device was confirmed to possess sufficient ability to detect or reproduce fault so as to enable realizing judgment of approval in the technical standard concerning the welding of reprocessing facility, etc.
- (2) We could grasp the fault detecting capability and reproducibility about various parts (base metal part, part affected by heat, and welded part) regarding the welding of piping.
- (3) A test was carried out by using a test piece, which has not been specially prepared for testing purpose; and, we could confirmed that the fault detecting property was sufficiently reliable.
- (4) We could work out a proposal regarding the improvement of the checking device.

---

This report summarizes the results of the work realized by Mitsubishi Electric Corporation in line with the contract signed with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation (PLN).

Contract No. : D3C3237

Section in charge at PLN : Components and Materials Development Section  
Reprocessing Technologies Development Dept.

- \*1 : Mitsubishi Electric Corp., Kamakura Works, Applied Equipment and Apparatus Dept., 2nd Technical Section
- \*2 : Mitsubishi Electric Corp., Kamakura Works, Applied Equipment and Apparatus Dept., Quality Control Section
- \*3 : Mitsubishi Electric Corp., Power & Industrial Systems Center, Nuclear Information & Communication Engineering Group

遠隔配管工事システムに係るモックアップ試験  
 成果報告書

目 次

1. ま え が き .....	1
2. 実 施 計 画 .....	2
2.1 目 的 .....	2
2.2 内 容 .....	2
2.3 モックアップ試験の位置付け .....	3
2.4 期 間 .....	4
2.5 体 制 .....	4
2.6 工 程 .....	5
3. 経過および成果の概要 .....	6
3.1 遠隔配管工事システムの開発経過 .....	6
3.2 成 果 の 概 要 .....	8
3.2.1 再処理施設等の溶接に関する技術基準に於ける合否の判定を行 うに十分な欠陥検出および再現性を有することの確認について .....	8
3.2.2 母材部における各種人工欠陥の欠陥検出能および再現性の把握 について .....	8
3.2.3 熱影響部における各種人工欠陥の欠陥検出能および再現性の把 握について .....	8
3.2.4 溶接部における各種人工欠陥の欠陥検出能および再現性の把握 について .....	9
3.2.5 配管工事システムの溶接ユニットで製作した溶接試験片を用い た欠陥検出性の信頼性の確認について .....	9
3.2.6 改良検討 .....	9
4. 実施内容及び成果 .....	10
4.1 実 施 内 容 .....	10
4.1.1 試験片の製作 .....	10
4.1.2 検査試験の実施 .....	10
4.1.3 改良検討の実施 .....	10
4.2 試 験 設 備 .....	11
4.2.1 試験対象試験片とその仕様 .....	11
4.2.2 試験設備の概要 .....	15
4.3 試 験 項 目 .....	16

4.3.1	再処理施設等の溶接に関する技術基準に於ける合否の判定を行うに十分な欠陥検出能および再現性を有する事の確認について	16
4.3.2	母材部における各種人工欠陥の欠陥検出能および再現性の把握について	16
4.3.3	熱影響部における各種人工欠陥の欠陥検出能および再現性の把握について	16
4.3.4	溶接部における各種人工欠陥の欠陥検出能および再現性の把握について	16
4.3.5	配管工事システムの溶接ユニットで製作した溶接試験片による欠陥検出性の信頼性の確認について	17
4.4	試験要領	18
4.4.1	試験フロー	18
4.4.2	試験方法	19
4.5	試験結果	22
4.5.1	試験結果	22
4.5.2	試験項目別成果	96
4.6	評価検討	98
4.7	改良検討	101
5.	まとめ	106
6.	あとがき	107
7.	謝辞	108

添付資料1

加工施設、再処理施設及び使用施設等の溶接に関する技術基準を定める規則（抜粋）

## 図, 表 目 次

図1	遠隔配管工事システム全体概念図	3
図2	評価試験用試験片人工欠陥加工図(新規加工分) 溶接部・母材部	13
図3	評価試験用試験片人工欠陥加工図(新規加工分) 熱影響部	14
図4	欠陥位置表示シート1の例	21
図5	50A溶接部欠陥検出能データ	25
図6	50A熱影響部欠陥検出能データ	26
図7	50A母材部欠陥検出能データ	27
図8	25A溶接部欠陥検出能データ	28
図9	25A熱影響部欠陥検出能データ	29
図10	25A母材部欠陥検出能データ	30
図11	50A溶接部軸方向再現性データ(0mm)	35
図12	50A溶接部軸方向再現性データ(5mm)	36
図13	50A溶接部軸方向再現性データ(10mm)	37
図14	50A溶接部軸方向再現性データ(15mm)	38
図15	50A溶接部軸方向再現性データ(20mm)	39
図16	50A溶接部周方向再現性データ(0°)	40
図17	50A溶接部周方向再現性データ(45°)	41
図18	50A溶接部周方向再現性データ(90°)	42
図19	50A溶接部周方向再現性データ(135°)	43
図20	50A溶接部周方向再現性データ(180°)	44
図21	50A熱影響部軸方向再現性データ(0mm)	45
図22	50A熱影響部軸方向再現性データ(5mm)	46
図23	50A熱影響部軸方向再現性データ(10mm)	47
図24	50A熱影響部軸方向再現性データ(15mm)	48
図25	50A熱影響部軸方向再現性データ(20mm)	49
図26	50A熱影響部周方向再現性データ(0°)	50
図27	50A熱影響部周方向再現性データ(45°)	51
図28	50A熱影響部周方向再現性データ(90°)	52
図29	50A熱影響部周方向再現性データ(135°)	53
図30	50A熱影響部周方向再現性データ(180°)	54
図31	50A母材部軸方向再現性データ(0mm)	55
図32	50A母材部軸方向再現性データ(5mm)	56
図33	50A母材部軸方向再現性データ(10mm)	57
図34	50A母材部軸方向再現性データ(15mm)	58
図35	50A母材部軸方向再現性データ(20mm)	59
図36	50A母材部周方向再現性データ(0°)	60

図37	5 0 A 母材部周方向再現性データ ( 45° )	6 1
図38	5 0 A 母材部周方向再現性データ ( 90° )	6 2
図39	5 0 A 母材部周方向再現性データ ( 135° )	6 3
図40	5 0 A 母材部周方向再現性データ ( 180° )	6 4
図41	2 5 A 溶接部軸方向再現性データ ( 0mm )	6 5
図42	2 5 A 溶接部軸方向再現性データ ( 5mm )	6 6
図43	2 5 A 溶接部軸方向再現性データ ( 10mm )	6 7
図44	2 5 A 溶接部軸方向再現性データ ( 15mm )	6 8
図45	2 5 A 溶接部軸方向再現性データ ( 20mm )	6 9
図46	2 5 A 溶接部周方向再現性データ ( 0° )	7 0
図47	2 5 A 溶接部周方向再現性データ ( 45° )	7 1
図48	2 5 A 溶接部周方向再現性データ ( 90° )	7 2
図49	2 5 A 溶接部周方向再現性データ ( 135° )	7 3
図50	2 5 A 溶接部周方向再現性データ ( 180° )	7 4
図51	2 5 A 熱影響部軸方向再現性データ ( 0mm )	7 5
図52	2 5 A 熱影響部軸方向再現性データ ( 5mm )	7 6
図53	2 5 A 熱影響部軸方向再現性データ ( 10mm )	7 7
図54	2 5 A 熱影響部軸方向再現性データ ( 15mm )	7 8
図55	2 5 A 熱影響部軸方向再現性データ ( 20mm )	7 9
図56	2 5 A 熱影響部周方向再現性データ ( 0° )	8 0
図57	2 5 A 熱影響部周方向再現性データ ( 45° )	8 1
図58	2 5 A 熱影響部周方向再現性データ ( 90° )	8 2
図59	2 5 A 熱影響部周方向再現性データ ( 135° )	8 3
図60	2 5 A 熱影響部周方向再現性データ ( 180° )	8 4
図61	2 5 A 母材部軸方向再現性データ ( 0mm )	8 5
図62	2 5 A 母材部軸方向再現性データ ( 5mm )	8 6
図63	2 5 A 母材部軸方向再現性データ ( 10mm )	8 7
図64	2 5 A 母材部軸方向再現性データ ( 15mm )	8 8
図65	2 5 A 母材部軸方向再現性データ ( 20mm )	8 9
図66	2 5 A 母材部周方向再現性データ ( 0° )	9 0
図67	2 5 A 母材部周方向再現性データ ( 45° )	9 1
図68	2 5 A 母材部周方向再現性データ ( 90° )	9 2
図69	2 5 A 母材部周方向再現性データ ( 135° )	9 3
図70	2 5 A 母材部周方向再現性データ ( 180° )	9 4
図71	信頼性試験 ( ブローホールの検出例 )	9 5



表1	モックアップ試験実施体制表	4
表2	実施工程表	5
表3	予備試験結果	2 2
表4	欠陥検出能試験結果	2 4
表5	再現性試験結果	3 1
表6	5 0 A 溶接部の再現性試験データ	3 2
表7	5 0 A 熱影響部の再現性試験データ	3 2
表8	5 0 A 母材部の再現性試験データ	3 3
表9	2 5 A 溶接部の再現性試験データ	3 3
表10	2 5 A 熱影響部の再現性試験データ	3 4
表11	2 5 A 母材部の再現性試験データ	3 4
表12	A スコープ表示型超音波探傷器を用いた人手による 欠陥検出能試験結果	1 0 0
写真1	人工欠陥付き試験片外観図	1 2
写真2	溶接試験片外観図	1 2
写真3	試験設備の全体図	1 5
写真4	自動溶接ユニットによる5 0 A 垂直姿勢溶接試験片 RT記録(0時方向)	2 3

## 1. ま え が き

再処理工場では高放射性物質を取り扱うため、主要なプロセス機器類はコンクリートのセル内に設置され、多数の配管により接続されている。従って、これらプロセス機器類の保守に伴う交換等の作業は、被ばく防止の観点から長期間と多大の作業員を要し、結果として施設稼働率の低下とメンテナンス費用の増大をもたらすこととなる。

特にプロセス機器類の交換に不可欠な配管の切断、溶接作業は、機器に接続する配管数も多くかつ極めて作業性の悪い状況下で実施することから、全体の作業期間の中でも大きなウエイトを占めるものであり、作業員の被ばくの低減および溶接等の熟練作業者の確保の観点からも早急な対応が必要である。

この観点から再処理工場の配管作業を対象とし、その遠隔化を高める目的で「遠隔操作による配管工事システムの開発〔Ⅰ〕」（以後“開発〔Ⅰ〕”と称す）によってシステム概念を設計し、以後設計試作Ⅱ，Ⅲ，Ⅳおよび評価試験などを行ってシステムの完成に必要な機器を順次開発して来た。本「遠隔配管工事システムに係るモックアップ試験」では、「遠隔配管工事システムに係る試作〔Ⅳ〕」で製作した基本作業ユニットの検査装置に関するモックアップ試験を行い、検査装置による欠陥検出法の評価・検討及び検査装置の改良項目を抽出する。

## 2. 実施計画

### 2.1 目的

本モックアップ試験では「遠隔配管工事システムに係る試作〔Ⅳ〕」で製作した基本作業ユニットの検査装置に関する評価試験を行い、検査装置による欠陥検出能について評価検討を行い、検査装置の改良項目を抽出する事を目的とした。

### 2.2 内容

本モックアップ試験は、本検査装置が、再処理施設等の溶接に関する技術基準（添付資料1参照）に対して、周方向の再現性については判定基準をオーバーするが、その他の項目については十分に超音波探傷試験の合否判定が行える欠陥検出能を有することと共に、信頼性を有していることの確認と、その再現性が有ることを確認する。

モックアップ試験では、25Aと50AのSUS配管の溶接部・熱影響部および母材部の三カ所に人工欠陥を設けた模擬試験片を用い、欠陥検出能とその再現性試験を行う。

また、このモックアップ試験には溶接ユニットで製作した試験片を用い、技術基準に従い実際に欠陥評価（大きさ、形状および位置について）を行い、その欠陥検出性の信頼性を評価した。

### 2.3 モックアップ試験の位置付け

本モックアップ試験が、遠隔配管工事システムにおいてどのような位置付けとして実施するものであるか概要を以下に示す。

遠隔配管工事システム全体概念を図1に示す。

図1に示す基本作業ユニット（切断ユニット、開先加工ユニット、溶接ユニット、クランプユニット、把持治具、検査装置、溶接仕上装置）、補助作業ユニット（作業アーム、視覚専用アーム、リフター、ステーション、視覚モジュール）および遠隔操作ユニット（遠隔操縦装置、作業ビジョン、検査データ処理装置）を順次試作し評価試験を実施してきた。

本モックアップ試験は開発（Ⅳ）にて製作し、評価を実施していない検査装置について評価するものである。

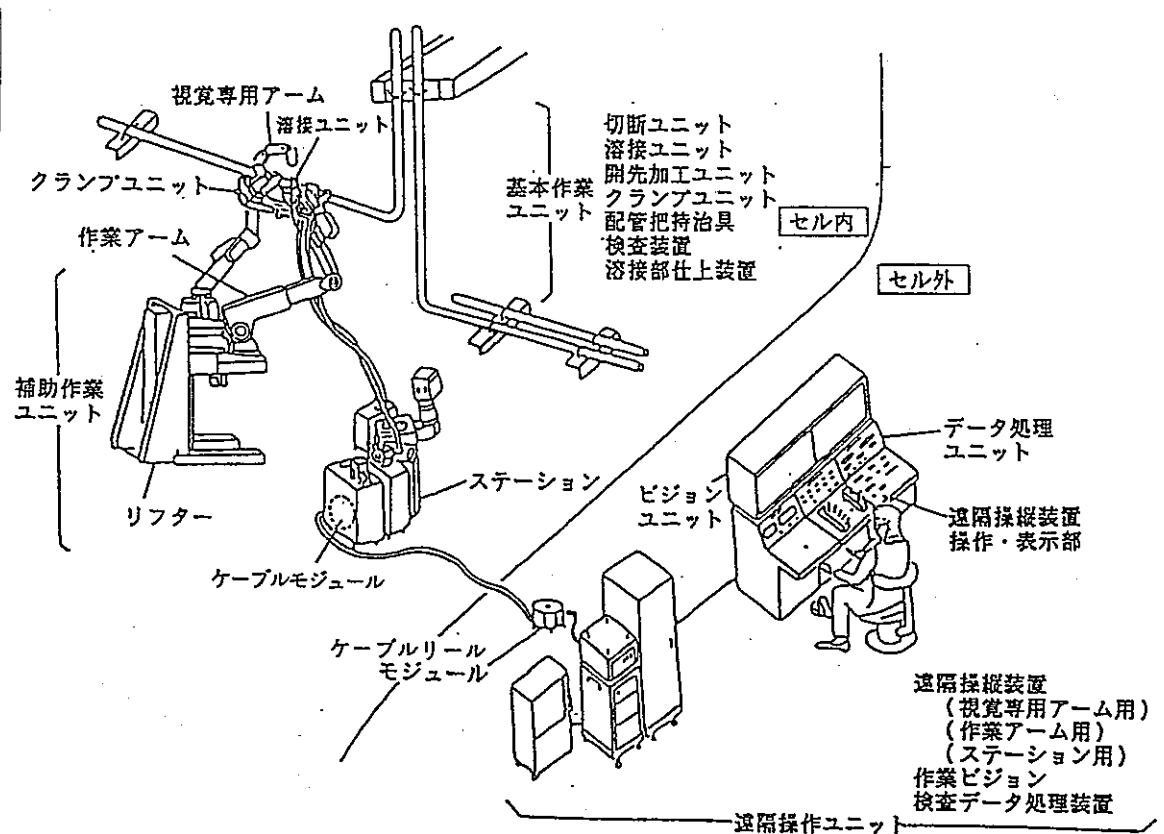


図1 遠隔配管工事システム全体概念図

## 2.4 期 間

本モックアップ試験は下記の期間で実施した。

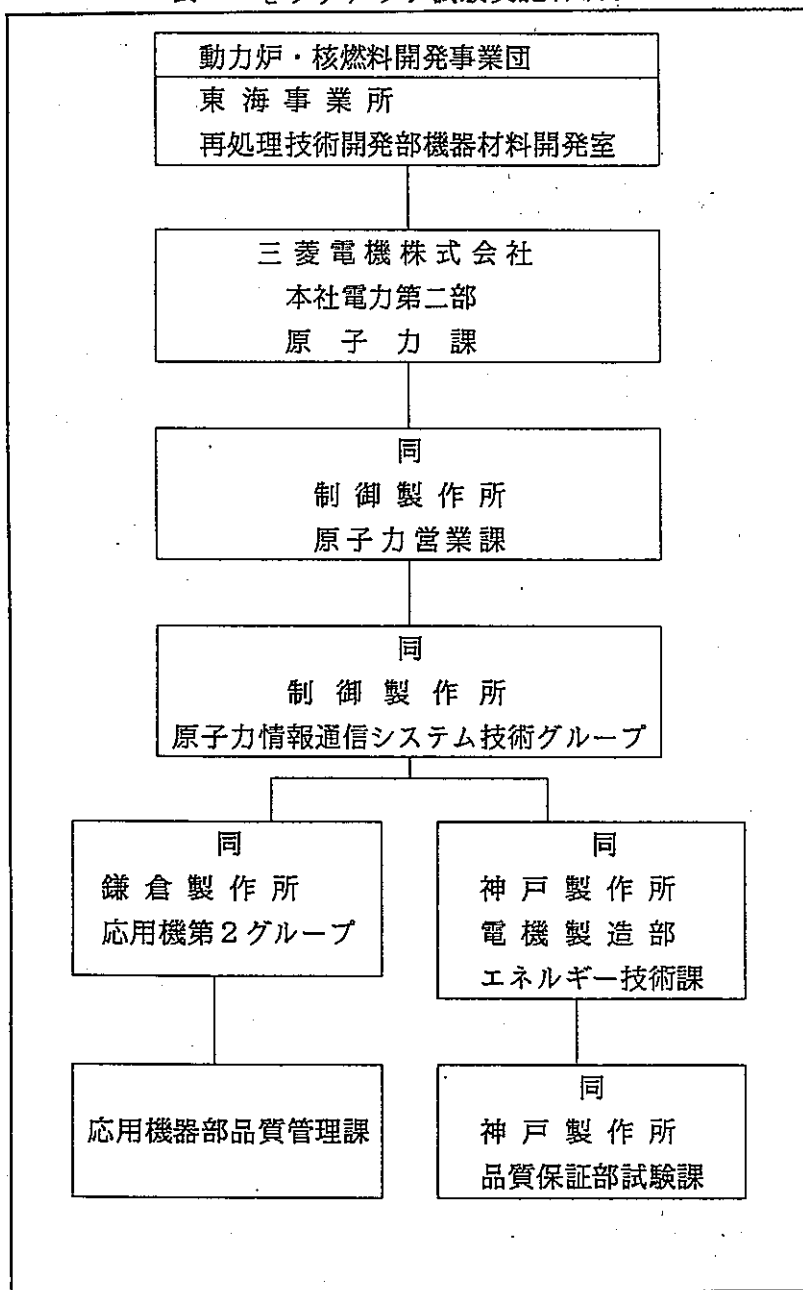
自 平成3年12月10日

至 平成4年3月13日

## 2.5 体 制

本モックアップ試験は表1に示す実施体制で実施した。

表1 モックアップ試験実施体制表



2.6 | 工 程

本モックアップ試験は表2に示す工程で実施した。

表2 実施工程表

項 目	年月	H3 12	H4 1	H4 2	H4 3
モックアップ試験全体の 計画検討		—			
テストサンプル工場製作		—	—		
テストサンプル現地製作			—		
テストサンプル予備検査			—		
検査現地試験			—	—	
改良検討				—	
報告書作成					—

### 3. 経過および成果の概要

遠隔配管工事システムの開発の経過および成果の概要について以下に示す。

#### 3.1 遠隔配管工事システムの開発経過

再処理工場では高放射性物質を取り扱うため、主要なプロセス機器類はコンクリートのセル内に設置され、多数の配管により接続されている。

従って、これらプロセス機器類の保守に伴う交換作業は、被ばく防止の観点から長時間と多大の作業員を要し、結果として施設稼働率の低下とメンテナンス費用の増大をもたらすこととなる。

特にプロセス機器の交換に不可欠な配管の切断、溶接作業は機器に接続する配管数も多くかつ極めて作業性の悪い状況下で実施することから、全体の作業期間の中でも大きなウェイトを占めるものであり、作業員の被ばく低減および溶接等の熟練作業者の確保の観点からも早急な対応が必要となる。

この観点から再処理工場の配管作業を対象とし、その遠隔化を高める目的で以下の研究を実施して来た。

- 「遠隔操作による配管工事システムの開発〔Ⅰ〕」
- 「遠隔配管工事システムに係る機能評価試験」
- 「遠隔配管工事システムに係る基本作業ユニットの改造」
- 「遠隔配管工事システムに係る設計試作〔Ⅱ〕」
- 「遠隔配管工事システムに係る設計試作〔Ⅲ〕」
- 「遠隔配管工事システムに係る設計試作〔Ⅲ〕－評価試験」
- 「遠隔配管工事システムに係る設計〔Ⅳ〕」
- 「遠隔配管工事システムに係る試作〔Ⅳ〕」

これらの研究で実施した内容を以下に述べる。

「遠隔操作による配管工事システムの開発〔Ⅰ〕」では本システム概念として、装置の基本的な構成を「基本作業ユニット」（いわゆる工具に該当する部分）、「補助作業ユニット」（いわゆる作業用アームに該当する部分）、「搬送ユニット」（上記各ユニットおよび必要物品を作業場所へ搬送するもの）、および各ユニットを制御、運転するための「遠隔操作ユニット」の四つのユニットから構成するものとした上で、基本作業ユニットの主要装置の試作を行った。

「遠隔配管工事システムに係る機能評価試験」および「遠隔配管工事システムに係る基本作業ユニットの改造」では基本作業ユニットの機能の評価と、これにもとづく改良等を行い、「遠隔配管工事システムに係る設計試作〔Ⅱ〕」では、補助作業ユニットの内の視覚専用アームおよび基本作業ユニットのクランプユニット、把持ユニット等の試作と単体試験を実施した。

「遠隔配管工事システムに係る設計試作〔Ⅲ〕」では、上記に述べた概念設計などの成果を踏まえ遠隔配管工事システムを構成する「補助作業ユニット」および「遠隔操作ユニット」の内、遠隔作業の中心となる作業アームリフター、視覚モジュール、ステーション等あるいはその操縦装置等、遠隔配管工事システムの主要構成部分で、システム完成に必要な機器を順次開発した。

「遠隔配管工事システムに係る設計試作〔Ⅲ〕－評価試験」では、以上に示す試作

機器を用いて配管作業試験を行い、その機能性および操作性が所定のものである事を評価した。

「遠隔配管工事システムに係る設計〔Ⅳ〕」および「遠隔配管工事システムに係る試作〔Ⅳ〕」では当初のシステム概念設計の基本作業ユニットに掲げられていた検査装置の設計、試作を行った。



### 3.2 成果の概要

本モックアップ試験により得られた成果の概要を以下に示す。

#### 3.2.1 再処理施設等の溶接に関する技術基準に於ける合否の判定を行うに十分な欠陥検出能および再現性を有することの確認について

再処理施設等の溶接の技術基準に準じた深さ1mm長さ5mmの角溝の人工欠陥（注1：同基準の直径2.4mm長さ40mmの横穴人工欠陥に相当）の検出能を母材部で有し、また、再現性は評価基準とした電気技術指針原子力編J E A G 4 2 0 7に示される±20%以内を母材部の軸方向移動走査で有することを確認した。

（注1）直径2.4mm長さ40mmの横穴人工欠陥の反射率 $r_1$ と深さ1mm長さ5mmの角溝人工欠陥の反射率 $r_2$ は理論的には以下に示す式で比較でき、ほぼ同じ反射率を示すことがわかる。

$$\text{横穴の反射率 } r_1 = \sqrt{a / (a + x)} = 0.187$$

$$\text{角溝の反射率 } r_2 = \sqrt{4t^2 / \lambda X \times \sqrt{1/2} \times \sin \theta} = 0.171$$

ここで $a$ は横穴の半径（=1.2mm）、 $x$ はビーム路程（=33mm）、 $t$ は角溝の深さ（=1mm）、 $\lambda$ は波長（=1.03mm）、 $\theta$ は屈折角（=45）である。

#### 3.2.2 母材部における各種人工欠陥の欠陥検出能および再現性の把握について

母材部における欠陥検出能は深さ1mm長さ5mmの角溝で25Asch10が12dB、50Asch40が10dBであり、判定基準とした10dB以上を確保することができた。

母材部における再現性は深さ1mm長さ5mmの角溝で25Asch10が軸方向9%、周方向39%、50Asch40が軸方向17%、周方向33%であり、周方向における再現性が20%以内に入らなかった。

#### 3.2.3 熱影響部における各種人工欠陥の欠陥検出能および再現性の把握について

熱影響部における欠陥検出能は深さ1mm長さ5mmの角溝で25Asch10が5.3dB、50Asch40が3.5dBであり、判定基準とした6dB以上を確保することができなかった。

熱影響部における再現性は深さ1mm長さ5mmの角溝で25Asch10が軸方向21%、周方向39%、50Asch40が軸方向20%、周方向36%であり、25Aは軸方向と周方向の両方向で、50Aは周方向でそれぞれ判定基準とした20%以内を確保できなかった。

### 3.2.4 溶接部における各種人工欠陥の欠陥検出能および再現性の把握について

溶接部における欠陥検出能は深さ1mm長さ5mmの角溝で25Asch10が1.2dB、50Asch40で-1.5dBであり、判定基準とした6dB以上を確保できなかった。

溶接部における再現性は深さ1mm長さ5mmの角溝で25Asch10が軸方向11%、周方向31%、50Asch40が軸方向8%、周方向42%であり、25A、50Aとも周方向において20%以内を確保できなかった。

### 3.2.5 配管工事システムの溶接ユニットで製作した溶接試験片を用いた欠陥検出性の信頼性の確認について

溶接ユニットを用いて溶接した配管を用いた検査の結果、事前に行った予備試験(VT、RT、PT)の結果と一致した。

すなわち、溶接ユニットで製作された6本の溶接試験片において、表面検査手段のVT、PTでは表面に露出した欠陥の存在は確認されなかった。しかし、体積検査手段であるRTでは6本の中の1本にブローホールが存在していることが確認された。また、体積検査手段の検査装置(UT)では6本の溶接試験片中の1本だけに欠陥指示が確認され、この1本はRTで検出されたブローホールの存在する試験片であり、本検査装置(UT)の試験結果は他の検査手段による試験結果と一致することが確認できた。

### 3.2.6 改良検討

検査装置の性能として再処理施設等の溶接の技術基準に示された探傷感度の設定が十分なレベルで行えることがわかった。しかし、3.2.2項から3.2.4項に示した様に欠陥検出能では熱影響部と溶接部においてS/N比の低下が認められ、再現性では特に周方向におけるバラツキの大きいことが確認された。従って、これを解決するために改良検討が必要となった。検討の概要を以下に記述する。

#### (1) 欠陥検出能の向上について

欠陥検出能(S/N)の低下要因はステンレス溶接部及び熱影響部における金属組織の変化と考えられる。すなわち、オーステナイト系ステンレス鋼は溶接熱によって溶着金属に隣接して組織が粗粒化する。冷却時間が長くなると熱影響部に炭化物の粒界析出が生じる。さらに溶着金属部は結晶が連続して大きい柱状晶となる。これらはいずれも超音波の反射源となり得る。この影響を軽減させるためには超音波の波長を長くさせることが必要であるが、対象配管の肉厚が薄いため肉厚と波長がほぼ等しくなり、配管を伝わる超音波の伝搬モードが複雑となり信号解析を困難にさせる欠点があり、実現は難しいと考える。

## (2) 再現性の向上について

配管の管周方向における再現性が低下する要因は検査センサの表面に設けられている曲率と配管の外径曲率とが超音波の送受信領域全域（90°）において一致しないためと考えられ、確実に検査センサの超音波送受波面と配管表面とを接触させるためには1ブロック2チャンネル構成のセンサで2面接触方式とすることにより再現性を向上させることが可能と考える。

## 4. 実施内容及び成果

### 4.1 実施内容

評価試験は試験片を製作する作業、試験検査を行う作業、試験結果を検討して改良項目を抽出する作業を実施した。

#### 4.1.1 試験片の製作

検査装置の評価試験用の試験片として人工欠陥付き試験片と人工欠陥を加工しない溶接試験片を製作した。人工欠陥付き試験片は欠陥検出能と再現性を確認するために使用した。また、溶接試験片は他の検査手段（VT、PT、RT）と検査装置（UT）との検査結果の比較による信頼性（検査結果の一致性）を確認するために使用した。

#### 4.1.2 検査試験の実施

この評価試験は検査装置の性能試験が目的であるため、作業中の検査装置を配管に取り付けるのは手作業で実施し、以後の試験は全て遠隔操作で検査試験を行った。

#### 4.1.3 改良検討の実施

改良検討は試験データの分析により欠陥検出能と再現性の性能向上に関する改良項目を抽出し、それぞれの項目に対して改良方策の検討を行った。

尚、改良方策の検討にあたっては遠隔配管工事システムに共通な小形軽量であること、補助作業ユニットか人手で容易に作業が可能なこと、セル内の配管配列に適用可能なこと、高度な技量を要せずに取扱いが可能なことの条件を留意して行った。

## 4.2 試験設備

試験設備としては人工欠陥付き試験片と溶接試験片と検査装置（検査センサ、センサ移動装置、データ処理装置、ケーブルモジュール）を使用した。

### 4.2.1 試験の対象試験片とその仕様

試験の対象とした配管は再処理工場のセル内で使用されているステンレス配管であり、人工欠陥を加工した試験片と既に開発済みの溶接ユニットで自動溶接した溶接試験片の合計10本の配管とした。人工欠陥付き試験片の外観を写真1に、溶接試験片の外観を写真2にそれぞれ示す。

対象試験片の仕様を以下に示す。

配管仕様	人工欠陥付き試験片	溶接試験片
25A sch 10	2本	3本
50A sch 40	2本	3本

注1) 人工欠陥は25Aと50Aの配管の溶接部、熱影響部及び母材部にそれぞれ図2、3に示す欠陥を加工した。

尚、再処理施設等の溶接に関する技術基準を定める規則（別表.9）によると、溶接部の超音波探傷試験における感度基準は直径2.4mm長さ40mmの横穴であるが、今回の試験対象配管の肉厚は2.8mm～3.9mmと薄くて直径2.4mmの横穴を加工できない。そこで直径2.4mmの横穴と同等の検出感度が得られる欠陥として深さ1mmの角溝欠陥（3.2.1項の注1を参照）を加工して感度基準とした。また、欠陥検出能の限界を把握するために、上記深さ寸法よりも浅い欠陥も加工した。

注2) 試験片の溶接条件

人工欠陥付き試験片と溶接試験片は以下の条件で製作した。

項目	人工欠陥付き試験片	溶接試験片
溶接方法	TIG溶接	TIG溶接 (溶接ユニット)
溶接姿勢	水平	水平及び垂直
開先形状	U型開先	U型開先
ルートギャップ	0mm	0mm
バス肉盛り	5バス	5バス

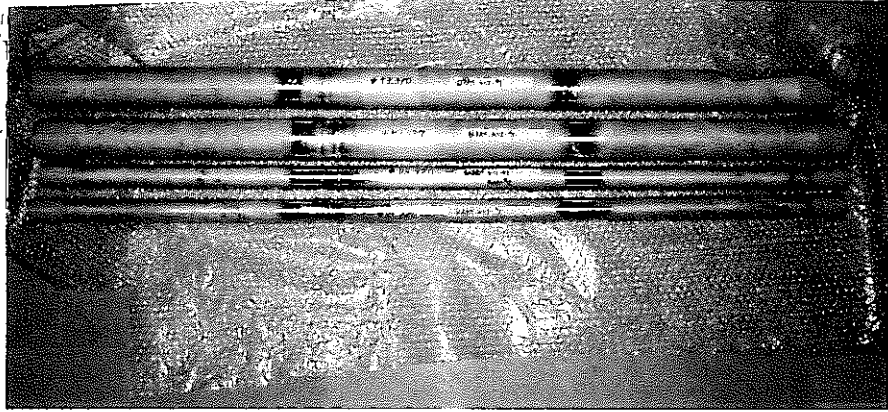


写真1. 人工欠陥付き試験片外観図

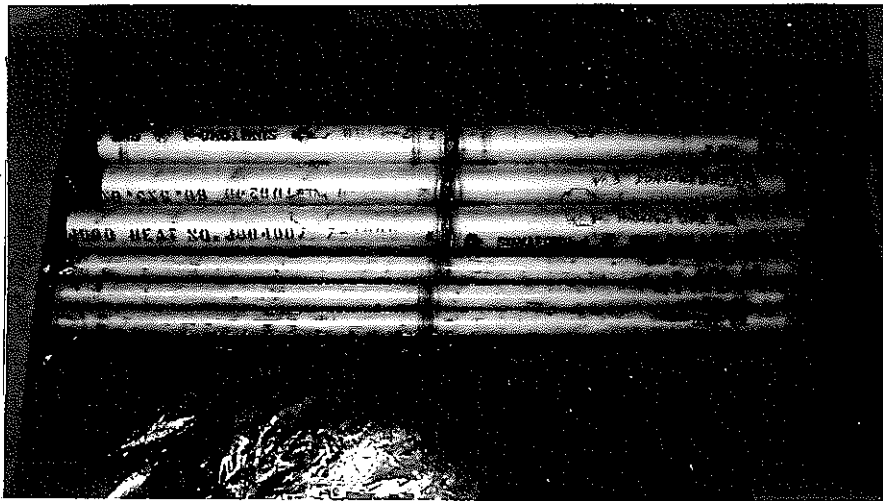


写真2. 溶接試験片外観図

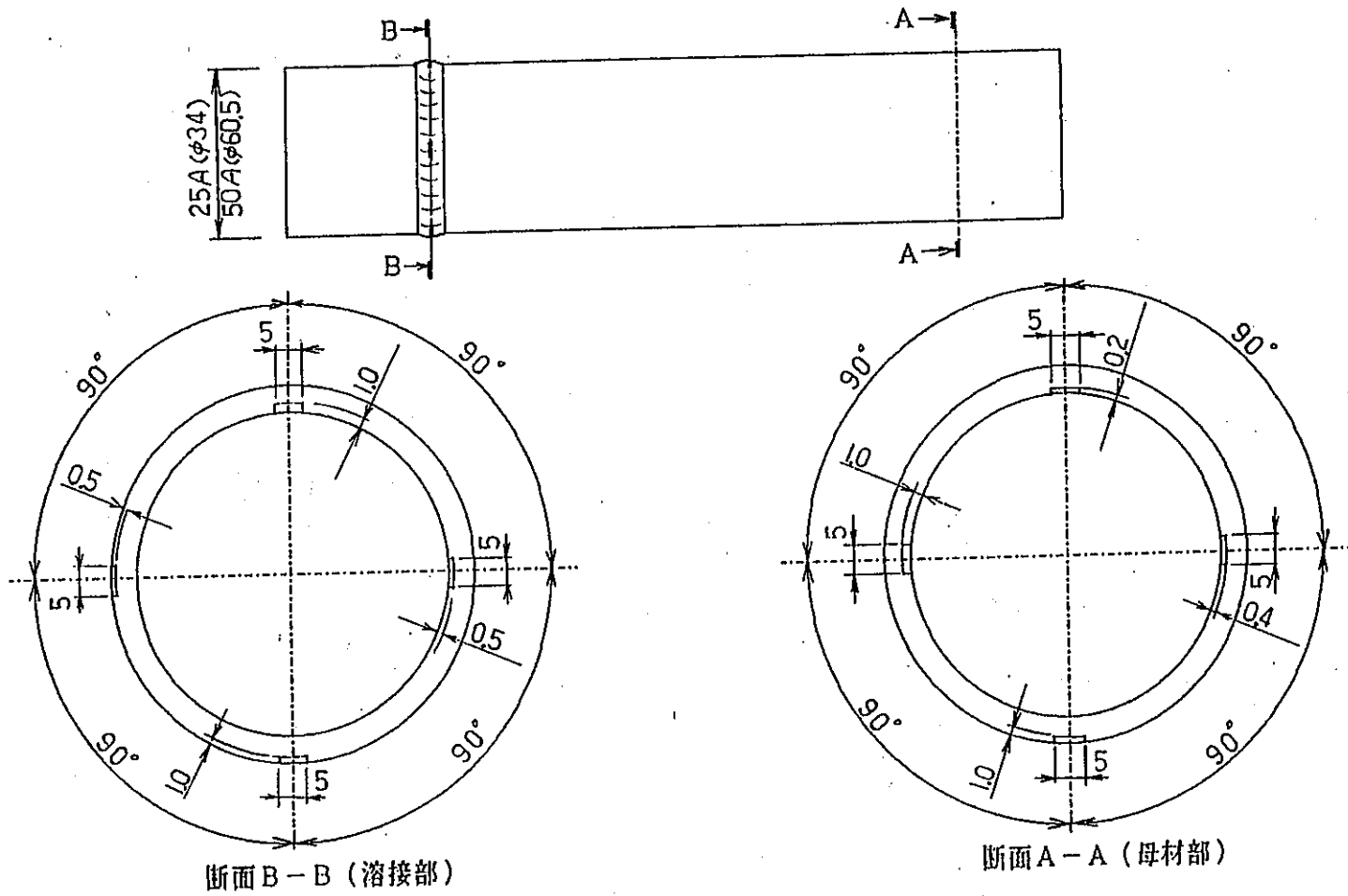
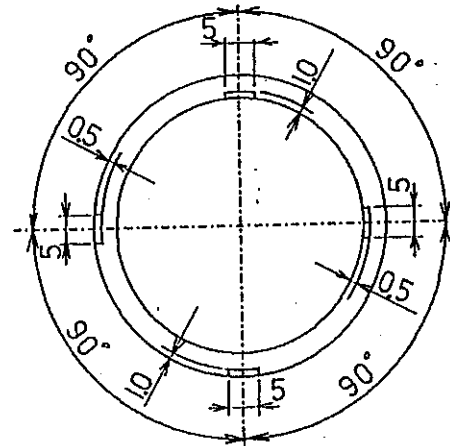
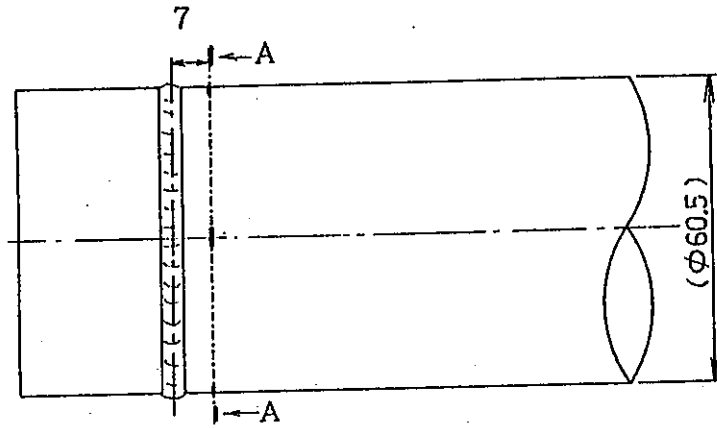


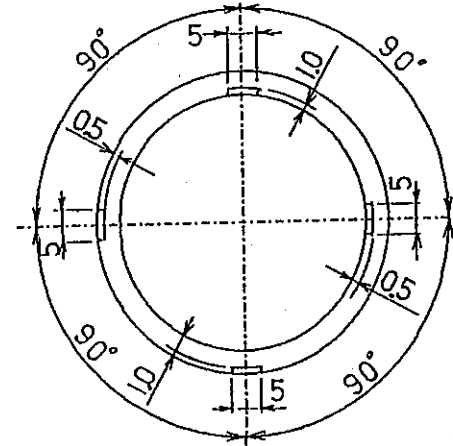
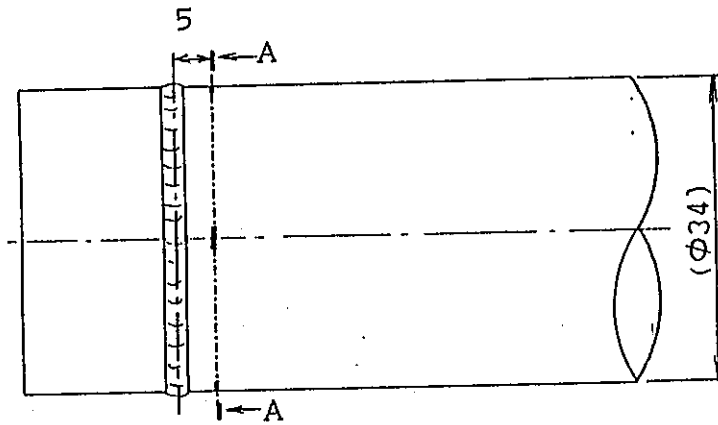
図2 評価試験用試験片人工欠陥加工図 (新規加工分)  
溶接部・母材部

50A SCH40



断面A-A

25A SCH10



断面A-A

図3 評価試験用試験片人工欠陥加工図 (新規加工分)  
熱影響部

#### 4.2.2 試験設備の概要

試験に使用した設備は既に製作済みの検査センサ、検査センサ移動装置、データ処理装置、ケーブルモジュールである。これらの設備の主な仕様を以下に示す。  
また、試験設備の全体図を写真3に示す。

- ①検査センサ (25A 用、50A 用) ・周波数 : 3 MHz
  - ・屈折角 : 45°
  - ・振動子配列 : 8個
  - ・寸法・重量 : 32Lx82Wx45H mm(50A) 、 383 g
- ②検査センサ移動装置
  - ・管軸移動ピッチ : 0.5 mm
  - ・管軸移動距離 : 70 mm
  - ・管周移動角 : 90° ± 2°
  - ・寸法・重量 : 430Lx227Wx315H mm 、 21kg
- ③データ処理装置
  - ・周波数 : 0.4/1/2/3/5/10 MHz
  - ・チャンネル数 : 16 ch.
  - ・パーソナルコンピュータ : (32ビット CPU)
  - ・コントローラ : (シケンサ MELSEC-A)
  - ・寸法・重量 : 1200Lx700Wx150H mm、 150 kg
- ④ケーブルモジュール
  - ・ケーブル長さ : 5 m
  - ・寸法・重量 : 900Lx550Wx970H mm 、 135 kg

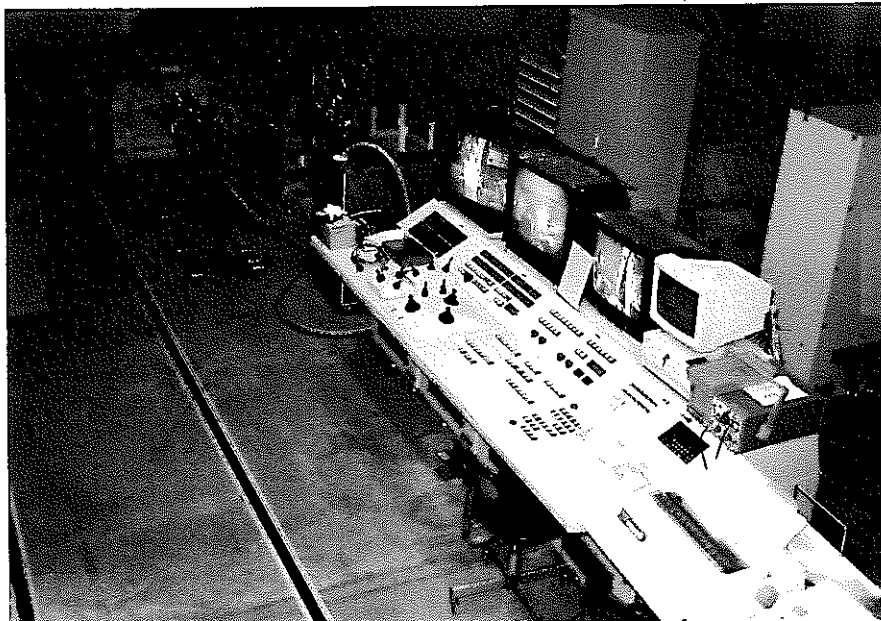


写真3. 試験設備の全体図



#### 4.3 試験項目

試験項目は配管の溶接部、熱影響部及び母材部のそれぞれに設けられた人工欠陥に対する欠陥検出能と再現性の確認試験と、溶接ユニットで製作された配管溶接部に対する予備試験結果と本検査装置による試験結果との比較である。

以下にその試験項目の内容を示す。

##### 4.3.1 再処理施設等の溶接に関する技術基準における合否の判定を行うに十分な欠陥検出能および再現性を有することの確認について

再処理施設等の溶接に関する技術基準に従って直径2.4mm長さ40mmの横穴欠陥と等価な感度を有する人工欠陥（深さ1mm長さ5mmの角溝）で感度校正を行い、上記感度基準による欠陥検出能が十分であることを確認する。

また、試験対象の配管に対して検査センサの位置を相対的に変化させて、欠陥レベルの再現性試験を行い、電気技術指針原子力編J E A G 4 2 0 7を参考とした±20%以内の再現性があることを確認する。

##### 4.3.2 母材部における各種人工欠陥の欠陥検出能および再現性の把握について

母材部では金属組織的に超音波の反射に悪影響を与える要因がないことから、深さ1mm長さ5mmの角溝より小さい欠陥まで検出できる可能性があるため、深さ1mm長さ5mmの角溝の他に深さ0.4mm長さ5mmと深さ0.2mm長さ5mmの角溝をそれぞれ加工して、それぞれの欠陥に対する欠陥検出能および再現性の把握を行う。

##### 4.3.3 熱影響部における各種人工欠陥の欠陥検出能および再現性の把握について

熱影響部では溶接時の熱により金属組織が粗大化して超音波の反射を生じさせ、その結果欠陥検出能が低下することが予想されるが、基準となる深さ1mm長さ5mmの角溝とそれより小さい欠陥として深さ0.5mm長さ5mmの角溝の2種類の欠陥を加工して、それぞれの欠陥に対する欠陥検出能および再現性の把握を行う。

##### 4.3.4 溶接部における各種人工欠陥の欠陥検出能および再現性の把握について

ステンレス配管の溶接部では溶接金属部が柱状組織となり、超音波の反射を生じさせたり、屈折を生じさせたり、あるいはビード部の反射が生じたりして最も欠陥検出能が低下することが予想されるが、基準となる深さ1mm長さ5mmの角溝とそれより小さい欠陥として深さ0.5mm長さ5mmの角溝の2種類の欠陥を加工して、それぞれの欠陥に対する欠陥検出能および再現性の把握を行う。

#### 4.3.5 配管工事システムの溶接ユニットで製作した溶接試験片による欠陥検出性の信頼性の確認について

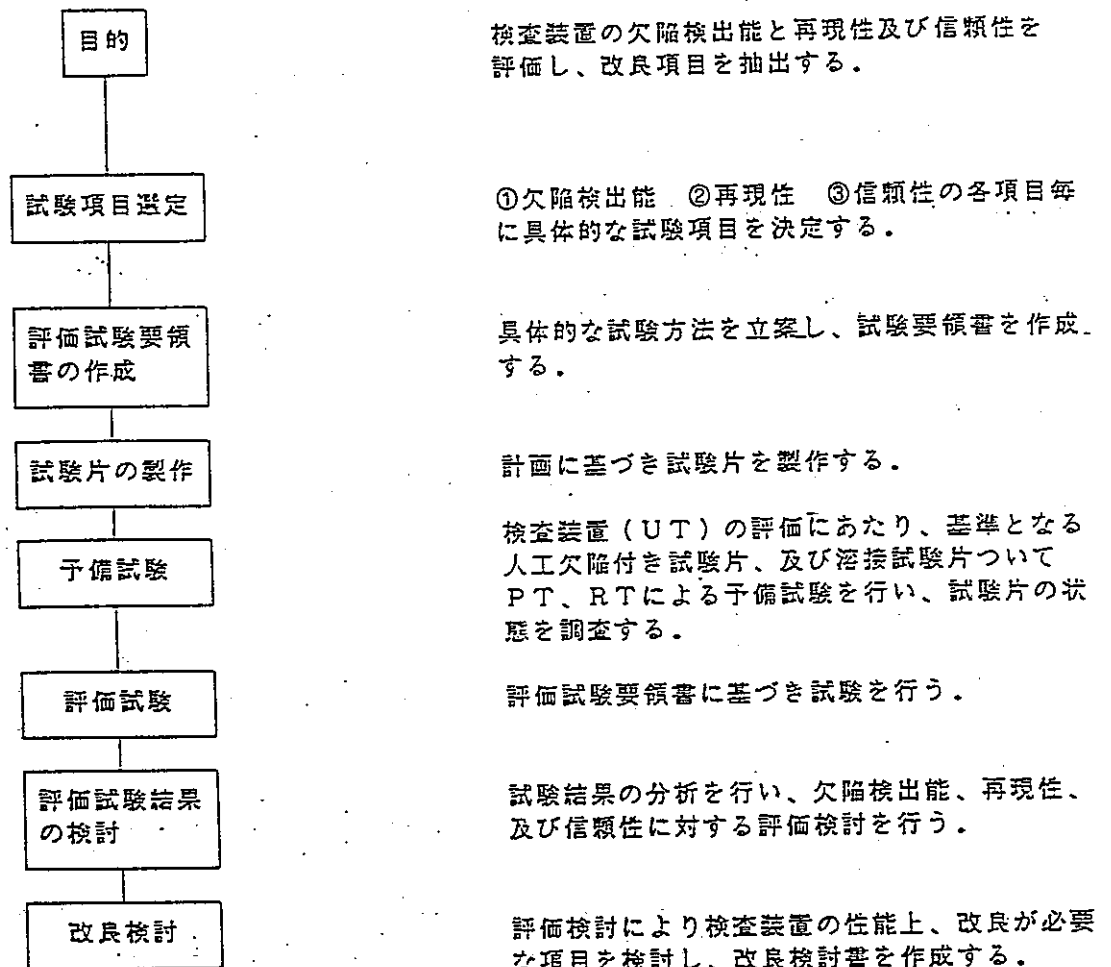
溶接ユニットで製作した溶接試験片には人工欠陥は設けなくて、溶接したままの状態ですべてVT、RT、PT検査を行い、その検査結果と本検査装置（UT）による試験結果の対応性を信頼性の確認として評価する。

尚、この溶接試験片の溶接姿勢は水平と垂直が無作為に混入しており、その中には偶然に発生したブローホールが存在したものが1本含まれている。

## 4.4 | 試験要領

### 4.4.1 | 試験フロー

評価試験にあたって以下に示すフローを作成し計画的に試験を行った。



#### 4.4.2 試験方法

評価試験は試験片の溶接部分について予備試験を行い、その後に検査装置の性能評価試験として欠陥検出能試験、再現性試験、欠陥検出性の信頼性試験を行った。それぞれの試験の実施方法を以下に述べる。

##### (1) 予備試験

試験片の全ての溶接部分全周について放射線透過試験（RT）と浸透探傷試験（PT）を予備試験として実施した。試験方法は「加工施設、再処理施設及び使用施設等の溶接に関する技術基準」に従って行った。

##### (2) 欠陥検出能試験

人工欠陥を加工した試験片を用いて、配管の溶接部、熱影響部、および母材部にそれぞれ加工された人工欠陥からの超音波反射波の最大値（S）と欠陥のない部分からの超音波反射波の最大値（N）との比から欠陥検出能（S/N）を以下の式により求めた。

$$S/N = 20 \log(S/N) \text{ dB}$$

尚、試験は全て検査センサ移動装置による自動走査とし、測定結果はデータ処理装置に表示される欠陥位置表示シート1（円周断面表示）の指示値を使用した。図4に欠陥位置表示シート1の例を示したが、この図は配管の円周断面上のどの角度の位置にどれだけの大きさの反射波が現れたかを示すもので、この例では25°の方向に95%レベルの反射波と、310°の方向に120%レベルの反射波が検出されており、それぞれの欠陥は深さ1mm長さ5mmの角溝欠陥である。また、130°と220°付近にも人工欠陥の存在は図2、3よりあらかじめわかっているため、上記4つの角度に挟まれたほぼ中央の角度付近（70°と160°と260°と350°付近）に発生する反射波がノイズであると特定できる。欠陥検出能を最もきびしく評価する意味からこのノイズの中でもっとも高い反射波をノイズとして測定すると260°と350°付近が高くて30%レベルとなる。これらの値を上記式に代入すると25°位置の欠陥はS/Nが95%/30%=3.2となり、次に $\log 3.2$ の値を求めると0.5となる。そして最後に $\log 3.2 = 0.5$ の値に20を掛けることによりS/Nとして10dBという結果が得られる。同様に310°位置の欠陥についてS/Nを求めるとS/N=120%/30%=4となり、 $\log 4 = 0.6$ に20を掛けると12dBのS/Nが得られる。

### (3) 再現性試験

人工欠陥を加工した試験片を用いて、配管の溶接部、熱影響部、および母材部にそれぞれ加工された人工欠陥に対して、検査センサ移動装置の取り付け位置を配管の軸方向で約5mm間隔でずらしながら欠陥位置表示シート1（円周断面表示）に指示される欠陥エコー高さ（％）の再現性を確認した。また、同様に配管の円周方向で約45°間隔で検査センサ移動装置の取り付け角度を変えながら欠陥位置表示シート1（円周断面表示）に指示される欠陥エコー高さ（％）の再現性を確認した。

再現性はそれぞれ軸方向と円周方向とで独立に再現性を求めることとして、それぞれの方向で測定した5回のデータの平均値を基準にバラツキが±20％以内となるかどうかを評価した。

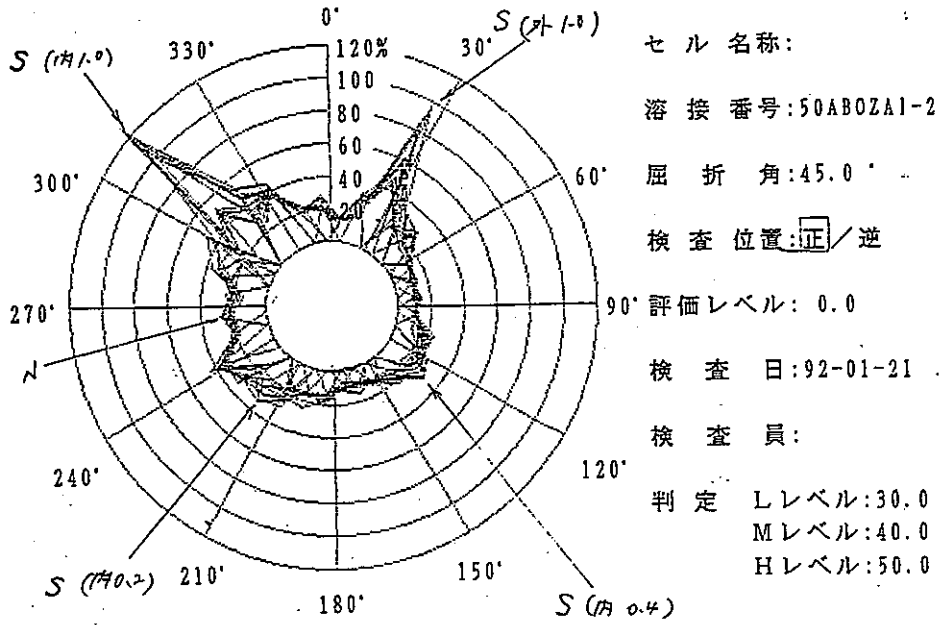
### (4) 欠陥検出性の信頼性試験

配管工事システムの溶接ユニットで製作した人工欠陥を加工していない溶接試験片について、予め目視（VT）、放射線（RT）、浸透（PT）検査を行い、その試験結果と、検査装置（UT）により試験を行った結果とを比較してそれぞれの検査手段による検査結果が同一であったかどうかを評価することで信頼性試験とした。

但し、VTとPTは表面検査手段であるのに対して、RTとUTは体積検査手段であるため、内部に存在する欠陥の対比はRTとUTのみの比較しかできないことを考慮した上でそれぞれの検査手段による検査結果の同一性評価を行った。

欠陥位置表示シート 1

全集約



F1:部分表示 F10:終了

図4. 欠陥位置表示シート1の例

## 4.5 試験結果

### 4.5.1 試験結果

#### (1) 予備試験結果

予備試験の結果、人工欠陥付き試験片の4本（25A及び50Aが各2本）には溶接欠陥のないことがPTとRT試験で確認できた。

一方、溶接ユニットで製作した溶接試験片には6本（25Aが3本、50Aが3本）のなかで50Aの垂直姿勢で溶接した試験片の1本の溶接部分（内部）に約1mm程度のブローホールの存在がRTにより確認された。この様子を写真4に示す。また、検査の結果を表3にまとめた。表の中で欠陥の存在が確認されなかったものは「良」と欠陥の存在が確認されたものは欠陥の種類をそれぞれ記述した。

表3 予備試験結果

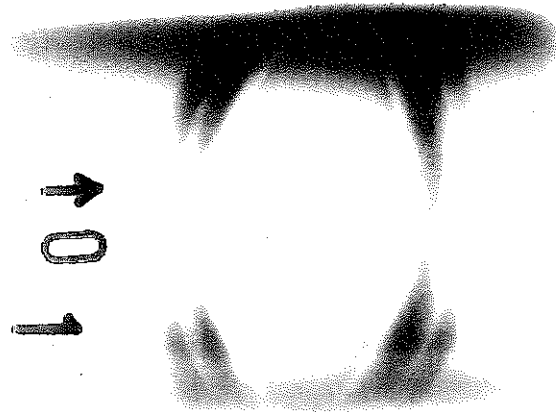
試験片の名称			試験結果	
			RT	PT
人工欠陥付き試験片	50A	No.1	良	良
〃	50A	No.2	良	良
〃	25A	No.1	良	良
〃	25A	No.2	良	良
溶接試験片	50A	No.1	良	良
〃	50A	No.2	ブローホール有	良
〃	50A	No.3	良	良
〃	25A	No.1	良	良
〃	25A	No.2	良	良
〃	25A	No.3	良	良

(参考) 溶接試験片の溶接条件

試験片の名称	溶接姿勢	溶接時のNo.
50A No.1	水平姿勢	No.2
50A No.2	垂直姿勢	No.2
50A No.3	垂直姿勢	No.3
25A No.1	垂直姿勢	No.1
25A No.2	水平姿勢	No.2
25A No.3	垂直姿勢	No.2

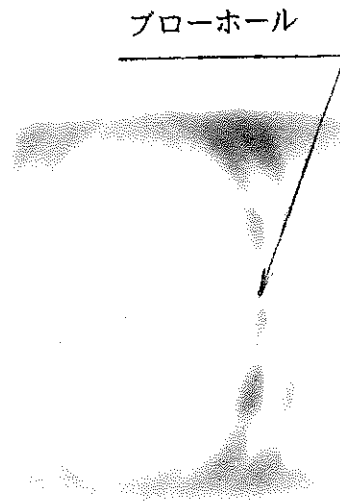
No. 1

↑  
01



No. 2

↑  
02



No. 3

↑  
03



写真4 自動溶接ユニットによる50A垂直姿勢溶接試験片RT記録(0時方向)



(2) 欠陥検出能試験

欠陥検出能試験は人工欠陥を設けた試験片で行われ、欠陥が加工されている位置が溶接部、熱影響部、母材部の3か所で、欠陥の寸法は溶接部、熱影響部が同じで深さ1mm長さ5mmの角溝を外表面と内表面に加工し、さらに深さ0.5mm長さ5mmの角溝を外表面と内表面に加工した。母材部は深さ1mm長さ5mmの角溝を外表面と内表面に加工し、さらに深さ0.4mm長さ5mmの角溝と深さ0.2mm長さ5mmの角溝とを内表面に加工した。

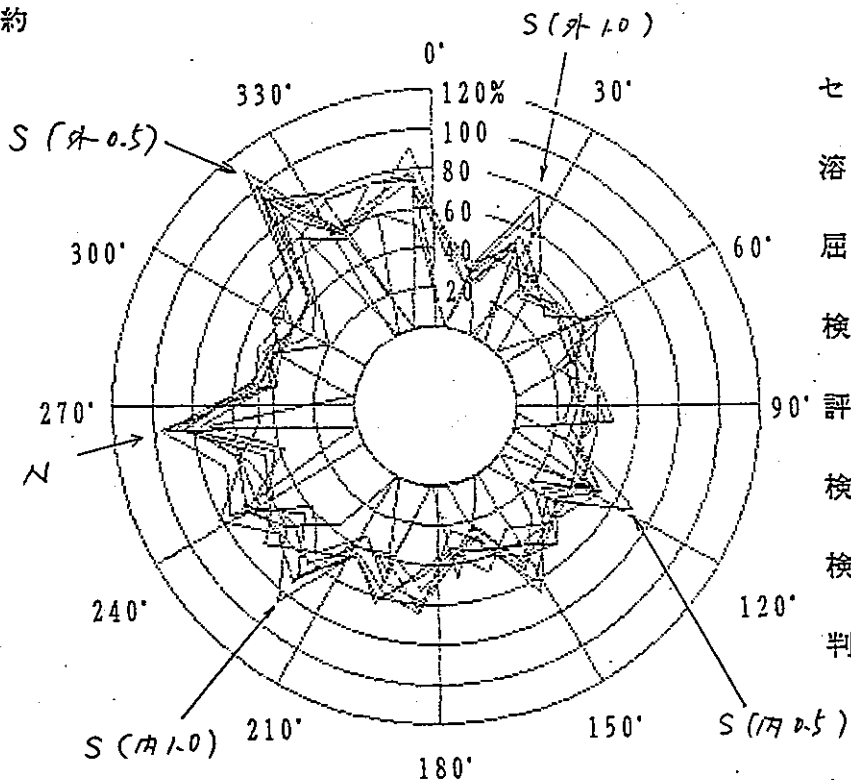
試験データを表4にまとめて記述したが、欠陥検出能(S/N)の算出根拠は図5～10の中においてSの値とNの値を矢印で示した部分のレベルをそれぞれ読取り $20 \log(S/N)$ で算出した。

表4 欠陥検出能試験結果

試験結果					
50A		表面深さ0.5mm	表面深さ1.0mm	裏面深さ0.5mm	裏面深さ1.0mm
	溶接部	1.3dB	-1.5dB	-2.7dB	-0.9dB
	熱影響部	6.0dB	11.5dB	8.8dB	3.5dB
		表面深さ1.0mm	裏面深さ0.2mm	裏面深さ0.4mm	裏面深さ1.0mm
	母材部	10.0dB	0.0dB	0.0dB	12.0dB
25A		表面深さ0.5mm	表面深さ1.0mm	裏面深さ0.5mm	裏面深さ1.0mm
	溶接部	0.0dB	1.2dB	0.0dB	3.0dB
	熱影響部	4.6dB	5.3dB	5.3dB	5.3dB
		表面深さ1.0mm	裏面深さ0.2mm	裏面深さ0.4mm	裏面深さ1.0mm
	母材部	12.0dB	4.4dB	5.3dB	12.0dB

欠陥位置表示シート 1

全集約



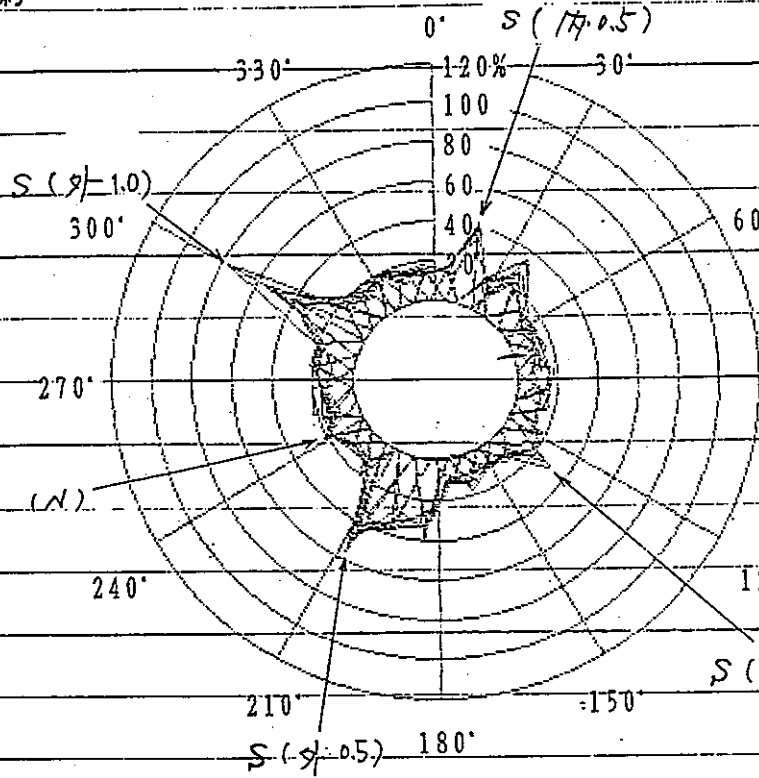
セル名称:  
 溶接番号:50ABED0-1  
 屈折角:45.0°  
 検査位置:正 / 逆  
 評価レベル: 0.0  
 検査日:92-01-22  
 検査員:  
 判定 Lレベル:40.0  
 Mレベル:50.0  
 Hレベル:60.0

F 1 : 部分表示 F 1 0 : 終了

図5. 50A溶接部欠陥検出能データ

欠陥位置表示シート1

全集約



セ-ル名称:

溶接番号:50ANETU-10

屈折角:45.0°

検査位置:  正 /  逆

90° 評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-30

検査員:

判定 Lレベル: 70.0

Mレベル: 80.0

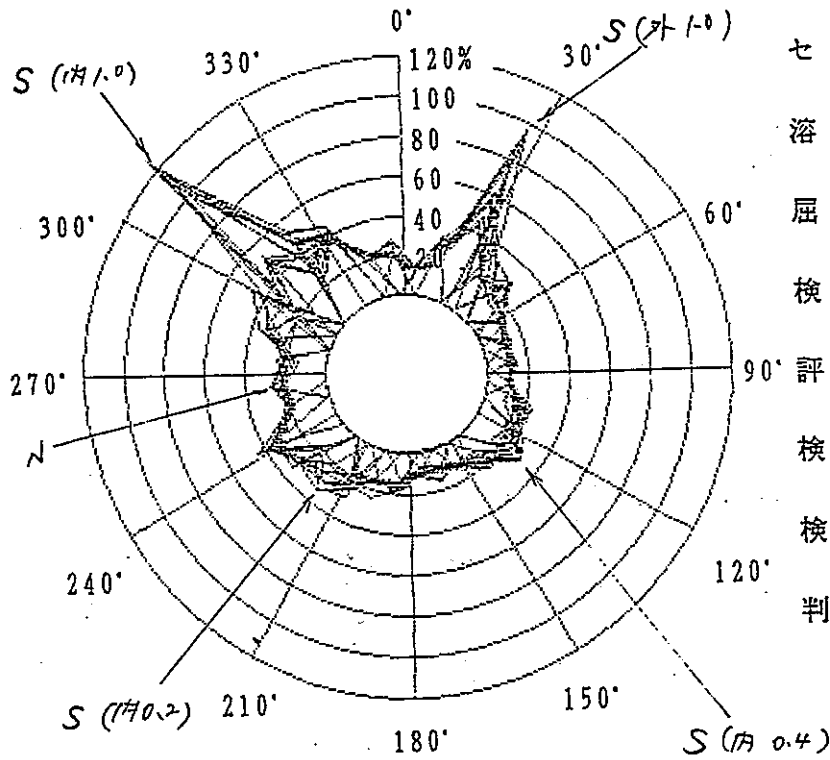
Hレベル: 90.0

F1:部分表示 F10:終了

図6. 50A熱影響部欠陥検出能データ

欠陥位置表示シート 1

全集約



セル名称:

溶接番号: 50ABOZA1-2

屈折角: 45.0°

検査位置:  正 /  逆

評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-21

検査員:

判定 Lレベル: 30.0

Mレベル: 40.0

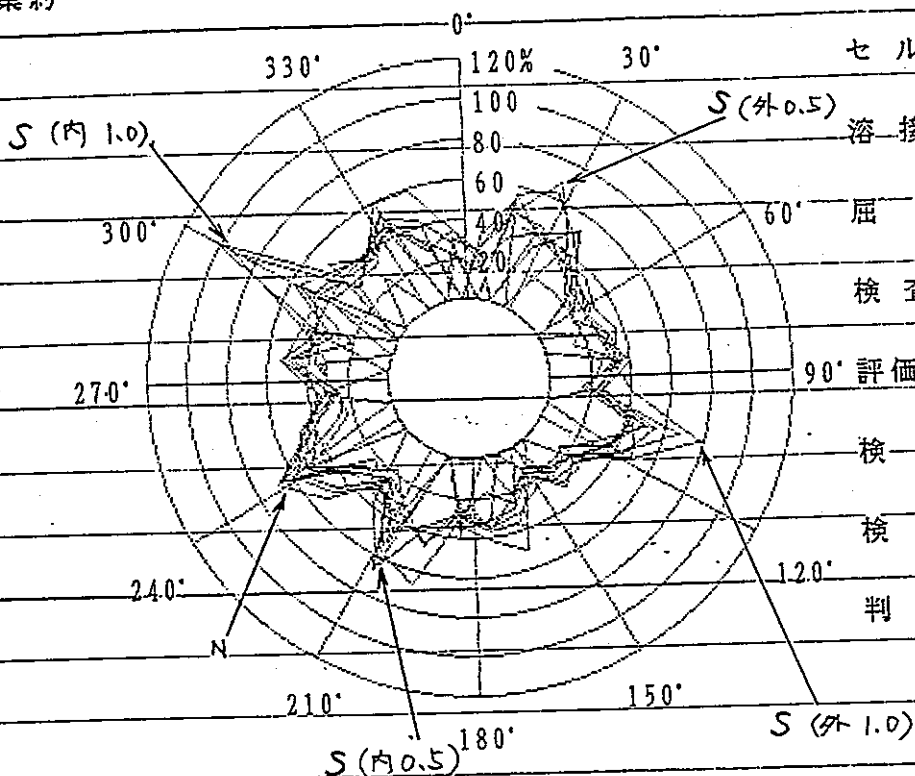
Hレベル: 50.0

F 1 : 部分表示 F 1 0 : 終了

図 7. 50A 母材部欠陥検出能データ

欠陥位置表示シート 1

全集約



セル名称:

溶接番号: 25ABED0=3

屈折角: 45.0

検査位置:  正 /  逆

90° 評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-27

検査員:

判定 Lレベル: 40.0

Mレベル: 60.0

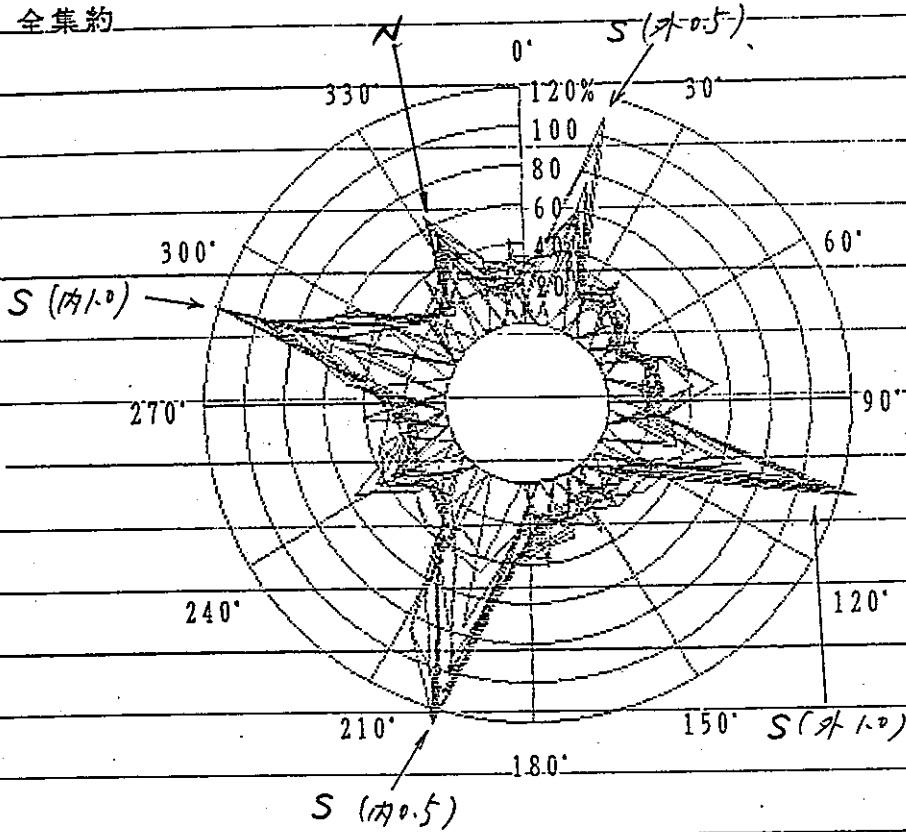
Hレベル: 80.0

F1: 部分表示 F10: 終了

図8. 25A溶接部欠陥検出能データ

欠陥位置表示シート1

全集約



セル名称:

溶接番号: 25ANETU-3

屈折角: 45.0°

検査位置:  正 / 逆

90° 評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-24

検査員:

判定 Lレベル: 30.0

Mレベル: 45.0

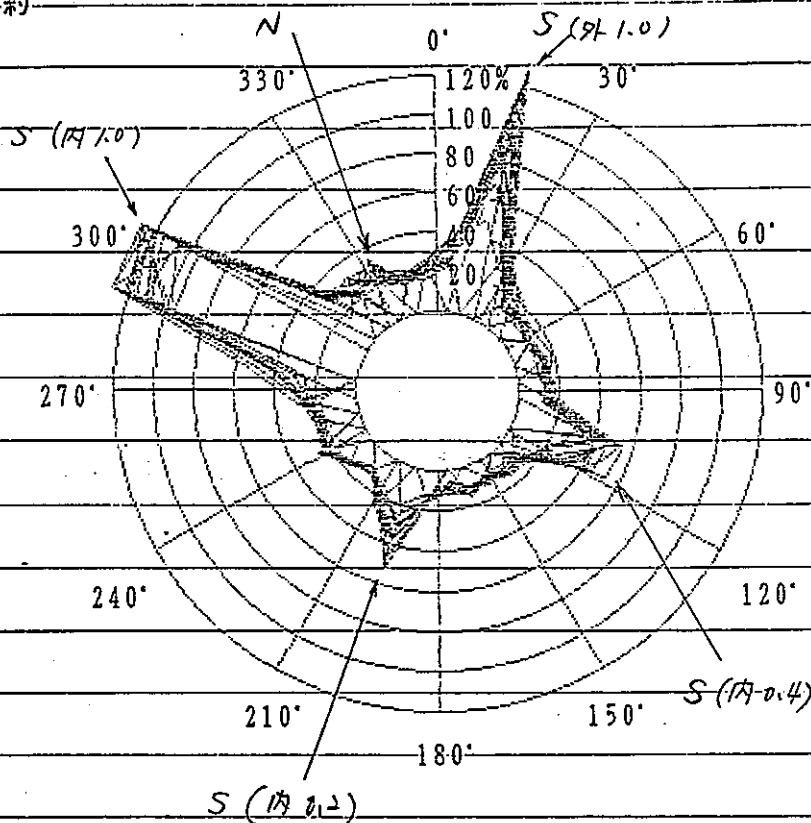
Hレベル: 60.0

F1: 部分表示 F10: 終了

図9. 25A熱影響部欠陥検出能データ

欠陥位置表示シート 1

全集約



セル名称:

溶接番号: 25ABOZA-3

屈折角: 45.0°

検査位置:  正 /  逆

90° 評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-24

検査員:

判定 Lレベル: 30.0

Mレベル: 45.0

Hレベル: 60.0

F 1 : 部分表示 F 1 0 : 終了

図10. 25A母材部欠陥検出能データ

(3) 再現性試験

再現性試験は人工欠陥付き試験片に設けられたそれぞれの角溝欠陥のレベルの再現性として測定し、配管の軸方向に5mmずつ5回ずらしながら欠陥位置表示シート1から欠陥レベルを測定した。同様に配管の周方向に約45°ずつ5回ずらしながら欠陥位置表示シート1から欠陥レベルを測定した。

再現性試験結果のまとめを表5に示した。表5の算出根拠としてそれぞれの測定ごとに得られた欠陥レベルを読み取った値を表6～11に示した。また、その根拠データとして欠陥位置表示シート1を図11～70に示した。

表5 再現性試験結果

試 験 結 果					
50A		表面深さ0.5mm	表面深さ1.0mm	裏面深さ0.5mm	裏面深さ1.0mm
	溶接部	周方向	41%	13%	24%
軸方向		17%	8%	14%	8%
熱影響部	周方向	16%	36%	12%	10%
	軸方向	12%	20%	9%	3%
		表面深さ1.0mm	裏面深さ0.2mm	裏面深さ0.4mm	裏面深さ1.0mm
母材部	周方向	33%	7%	28%	32%
	軸方向	17%	11%	0%	0%
25A		表面深さ0.5mm	表面深さ1.0mm	裏面深さ0.5mm	裏面深さ1.0mm
	溶接部	周方向	21%	18%	12%
軸方向		3%	11%	8%	11%
熱影響部	周方向	35%	39%	12%	32%
	軸方向	6%	13%	0%	21%
		表面深さ1.0mm	裏面深さ0.2mm	裏面深さ0.4mm	裏面深さ1.0mm
母材部	周方向	34%	21%	18%	39%
	軸方向	9%	12%	13%	3%



表6. 50A溶接部の再現性試験データ

試験結果													
	管周方向					平均値 ( $\bar{x}$ ) 最大偏差 $\sigma$	管軸方向					平均値 ( $\bar{x}$ ) 最大偏差 $\sigma$	
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		
表面 0.5mm	110	120	55	60	50	$\bar{x}$ 79 % $\sigma$ 41 %	110	90	95	80	90	$\bar{x}$ 93 % $\sigma$ 17 %	
表面 1.0mm	80	55	60	70	70	$\bar{x}$ 67 % $\sigma$ 13 %	80	70	80	80	80	$\bar{x}$ 78 % $\sigma$ 8 %	
裏面 0.5mm	70	70	80	110	100	$\bar{x}$ 86 % $\sigma$ 24 %	70	70	70	80	60	$\bar{x}$ 64 % $\sigma$ 14 %	
裏面 1.0mm	85	90	80	95	35	$\bar{x}$ 77 % $\sigma$ 42 %	85	75	80	70	80	$\bar{x}$ 78 % $\sigma$ 8 %	

表7. 50A熱影響部の再現性試験データ

試験結果													
	管周方向					平均値 ( $\bar{x}$ ) 最大偏差 $\sigma$	管軸方向					平均値 ( $\bar{x}$ ) 最大偏差 $\sigma$	
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		
表面 0.5mm	40	20	30	30	50	$\bar{x}$ 34 % $\sigma$ 16 %	40	40	60	60	60	$\bar{x}$ 52 % $\sigma$ 12 %	
表面 1.0mm	75	35	20	30	35	$\bar{x}$ 39 % $\sigma$ 36 %	75	50	40	40	70	$\bar{x}$ 55 % $\sigma$ 20 %	
裏面 0.5mm	55	40	50	30	40	$\bar{x}$ 43 % $\sigma$ 12 %	55	50	45	40	40	$\bar{x}$ 46 % $\sigma$ 9 %	
裏面 1.0mm	30	25	40	40	40	$\bar{x}$ 35 % $\sigma$ 10 %	30	30	25	25	30	$\bar{x}$ 28 % $\sigma$ 3 %	

表8. 50A母材部の再現性試験データ

試験結果												
	管周方向					平均値 ( $\bar{x}$ ) 最大偏差 $\sigma$	管軸方向					平均値 ( $\bar{x}$ ) 最大偏差 $\sigma$
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	
表面 1.0mm	95	110	120	120	70	$\bar{x}$ 103 % $\sigma$ 33 %	95	85	85	80	65	$\bar{x}$ 82 % $\sigma$ 17 %
裏面 0.2mm	30	25	20	20	20	$\bar{x}$ 23 % $\sigma$ 7 %	30	25	30	20	40	$\bar{x}$ 29 % $\sigma$ 11 %
裏面 0.4mm	30	30	70	75	30	$\bar{x}$ 47 % $\sigma$ 28 %	30	30	30	30	30	$\bar{x}$ 30 % $\sigma$ 0 %
裏面 1.0mm	120	120	80	70	120	$\bar{x}$ 102 % $\sigma$ 32 %	120	120	120	120	120	$\bar{x}$ 120 % $\sigma$ 0 %

表9. 25A溶接部の再現性試験データ

試験結果												
	管周方向					平均値 ( $\bar{x}$ ) 最大偏差 $\sigma$	管軸方向					平均値 ( $\bar{x}$ ) 最大偏差 $\sigma$
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	
表面 0.5mm	70	85	50	90	60	$\bar{x}$ 71 % $\sigma$ 21 %	70	65	65	70	70	$\bar{x}$ 68 % $\sigma$ 3 %
表面 1.0mm	80	45	80	55	55	$\bar{x}$ 63 % $\sigma$ 18 %	80	65	65	70	65	$\bar{x}$ 69 % $\sigma$ 11 %
裏面 0.5mm	70	60	50	70	60	$\bar{x}$ 62 % $\sigma$ 12 %	70	70	70	70	60	$\bar{x}$ 68 % $\sigma$ 8 %
裏面 1.0mm	100	85	50	55	55	$\bar{x}$ 69 % $\sigma$ 31 %	100	90	85	90	80	$\bar{x}$ 89 % $\sigma$ 11 %

表10. 25A熱影響部の再現性試験データ

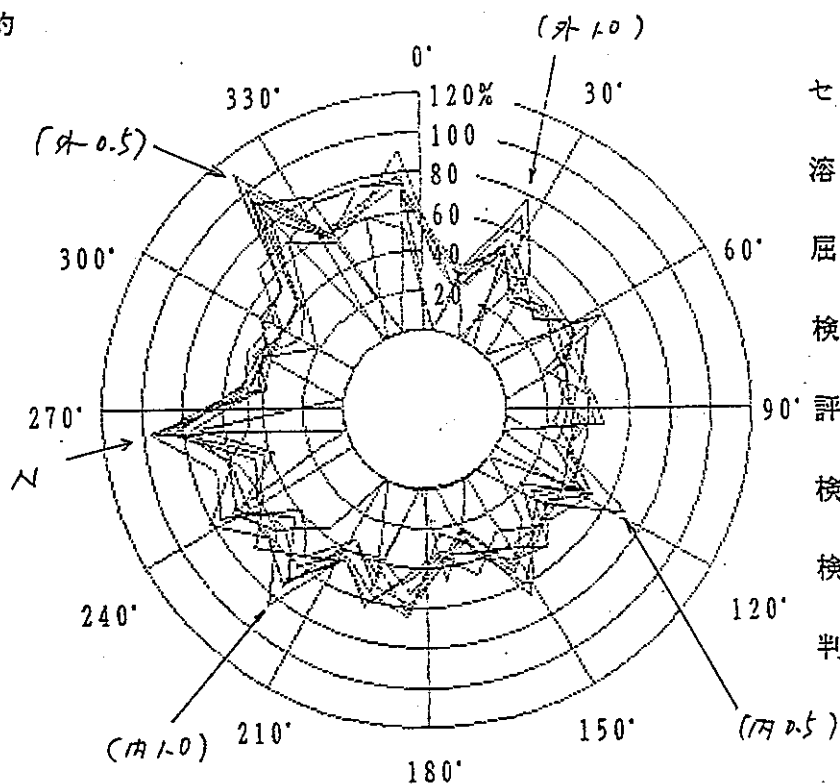
試験結果													
	管周方向					平均値 ( $\bar{x}$ ) 最大偏差 $\sigma$	管軸方向					平均値 ( $\bar{x}$ ) 最大偏差 $\sigma$	
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		
表面 0.5mm	110	65	120	60	120	$\bar{x}$ 95 % $\sigma$ 35 %	110	120	120	110	120	$\bar{x}$ 116 % $\sigma$ 6 %	
表面 1.0mm	120	120	80	115	60	$\bar{x}$ 99 % $\sigma$ 39 %	120	120	100	120	105	$\bar{x}$ 113 % $\sigma$ 13 %	
裏面 0.5mm	120	120	120	120	105	$\bar{x}$ 117 % $\sigma$ 12 %	120	120	120	120	120	$\bar{x}$ 120 % $\sigma$ 0 %	
裏面 1.0mm	120	120	80	120	120	$\bar{x}$ 112 % $\sigma$ 32 %	120	120	90	120	105	$\bar{x}$ 111 % $\sigma$ 21 %	

表11. 25A母材部の再現性試験データ

試験結果													
	管周方向					平均値 ( $\bar{x}$ ) 最大偏差 $\sigma$	管軸方向					平均値 ( $\bar{x}$ ) 最大偏差 $\sigma$	
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		
表面 1.0mm	120	80	65	120	110	$\bar{x}$ 99 % $\sigma$ 34 %	120	115	115	115	105	$\bar{x}$ 114 % $\sigma$ 9 %	
裏面 0.2mm	50	30	25	20	20	$\bar{x}$ 29 % $\sigma$ 21 %	50	40	35	35	30	$\bar{x}$ 38 % $\sigma$ 12 %	
裏面 0.4mm	55	40	30	65	50	$\bar{x}$ 48 % $\sigma$ 18 %	55	50	50	30	30	$\bar{x}$ 43 % $\sigma$ 13 %	
裏面 1.0mm	120	80	65	60	80	$\bar{x}$ 81 % $\sigma$ 39 %	120	120	115	115	120	$\bar{x}$ 118 % $\sigma$ 3 %	

欠陥位置表示シート 1

全集約



セル名称:

溶接番号: 50ABED0-1

屈折角: 45.0°

検査位置:  正 /  逆

評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-22

検査員:

判定 Lレベル: 40.0

Mレベル: 50.0

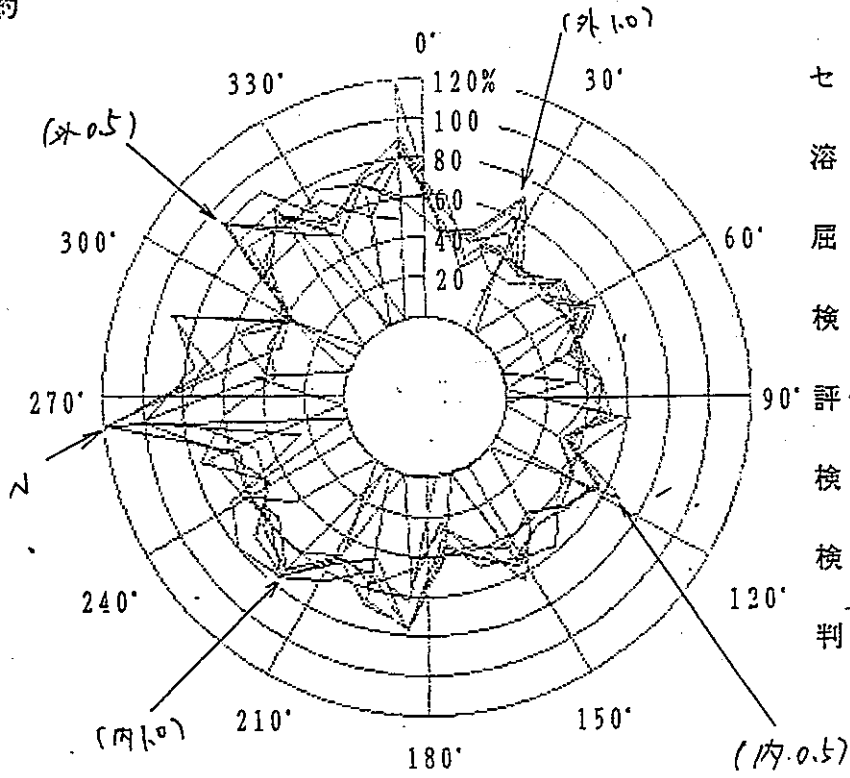
Hレベル: 60.0

F 1 : 部分表示 F 1 0 : 終了

図11. 50A溶接部軸方向再現性データ (0mm)

欠陥位置表示シート 1

全集約



セル名称:

溶接番号: 50ABED0-5mm

屈折角: 45.0°

検査位置: 正 / 逆

評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-23

検査員:

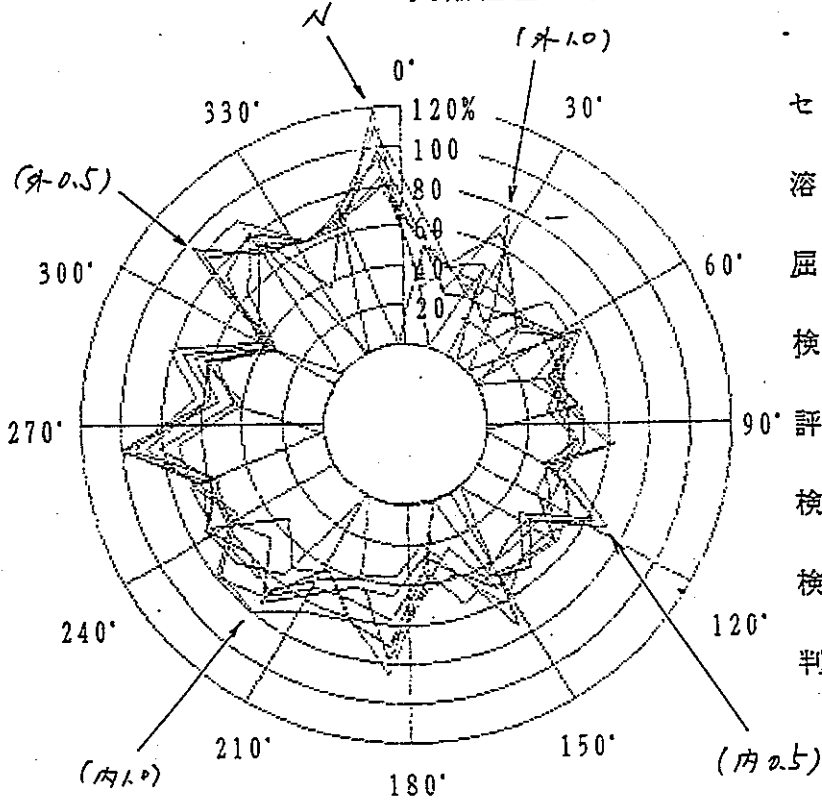
判定 Lレベル: 40.0  
Mレベル: 60.0  
Hレベル: 80.0

F1: 部分表示 F10: 終了

図12. 50A溶接部軸方向再現性データ (5mm)

全集約

欠陥位置表示シート 1



セル名称:

溶接番号: 50ABED0-10mm

屈折角: 45.0°

検査位置: 正 / 逆

評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-23

検査員:

判定 Lレベル: 40.0

Mレベル: 60.0

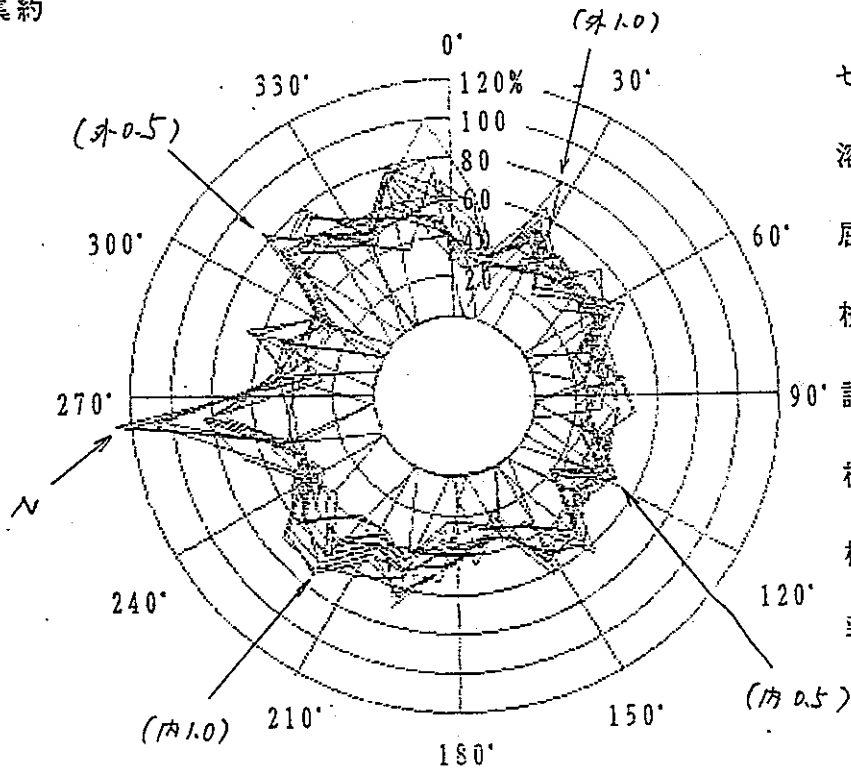
Hレベル: 80.0

F1: 部分表示 F10: 終了

図13. 50A溶接部軸方向再現性データ (10mm)

欠陥位置表示シート 1

全集約



セル名称:

溶接番号: 50ABED0-15mm

屈折角: 45.0°

検査位置:  正  逆

評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-23

検査員:

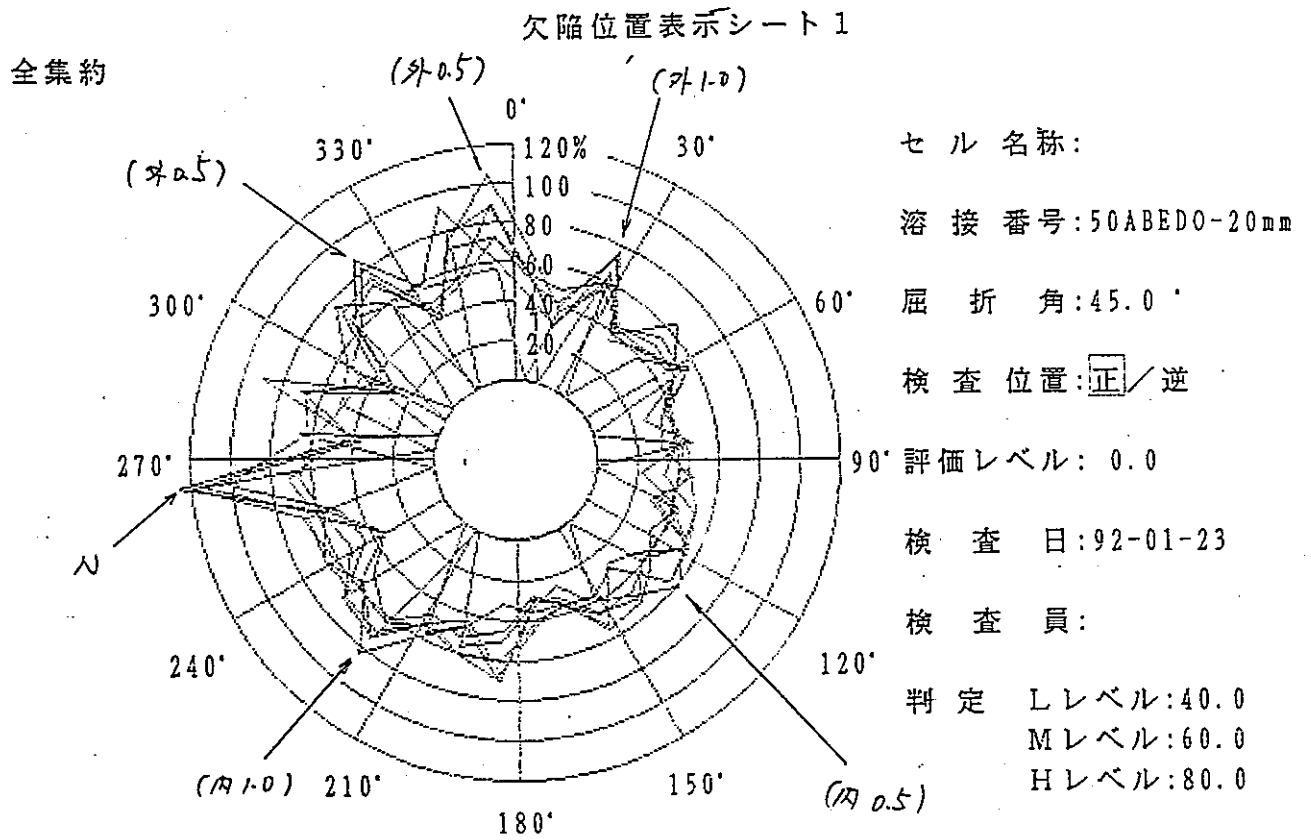
判定 Lレベル: 40.0

Mレベル: 60.0

Hレベル: 80.0

F1: 部分表示 F10: 終了

図14. 50A溶接部軸方向再現性データ (15mm)



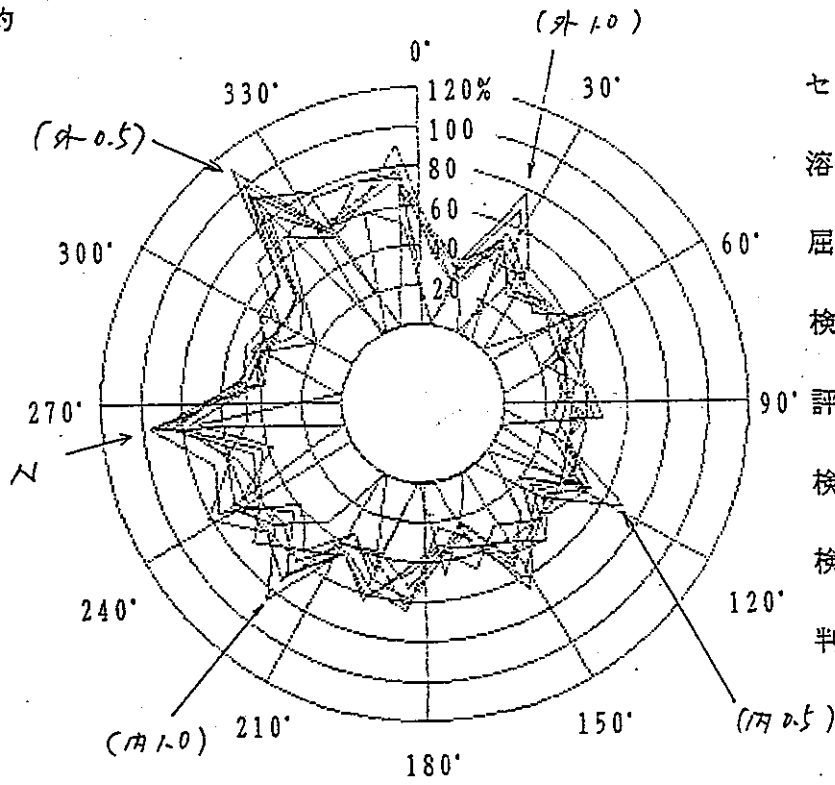
F 1 : 部分表示 F 1 0 : 終了

図15. 50A溶接部軸方向再現性データ (20mm)



欠陥位置表示シート 1

全集約



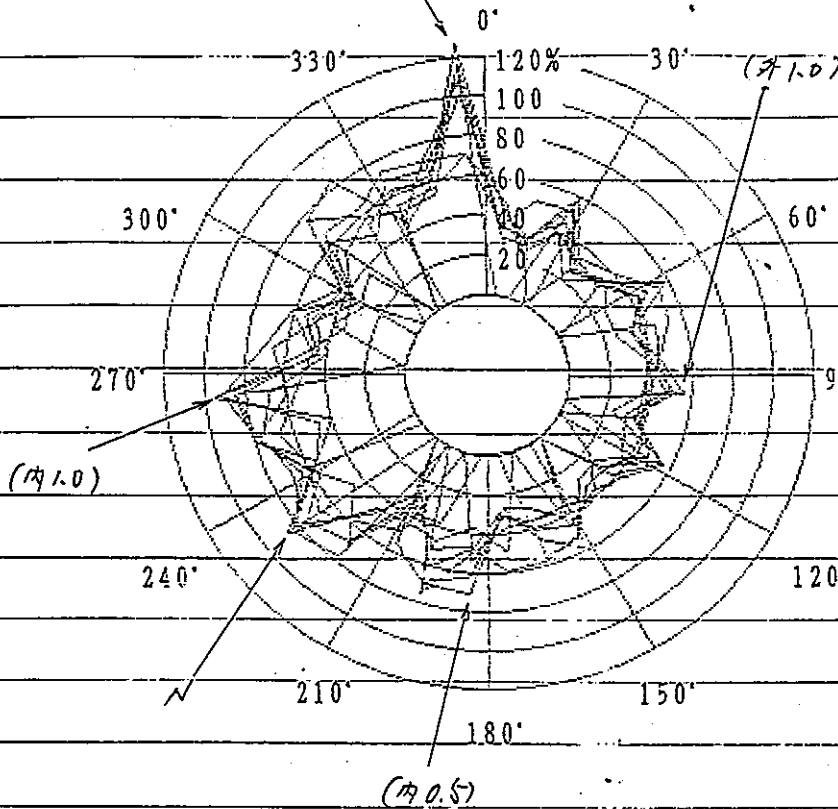
セル名称:  
 溶接番号: 50ABED0-1  
 屈折角: 45.0°  
 検査位置:  正 /  逆  
 評価レベル: 0.0  
 検査日: 92-01-22  
 検査員:  
 判定 Lレベル: 40.0  
 Mレベル: 50.0  
 Hレベル: 60.0

F 1 : 部分表示 F 1 0 : 終了

図16. 50A溶接部周方向再現性データ (0°)

全集約

(外0.5) 欠陥位置表示シート1



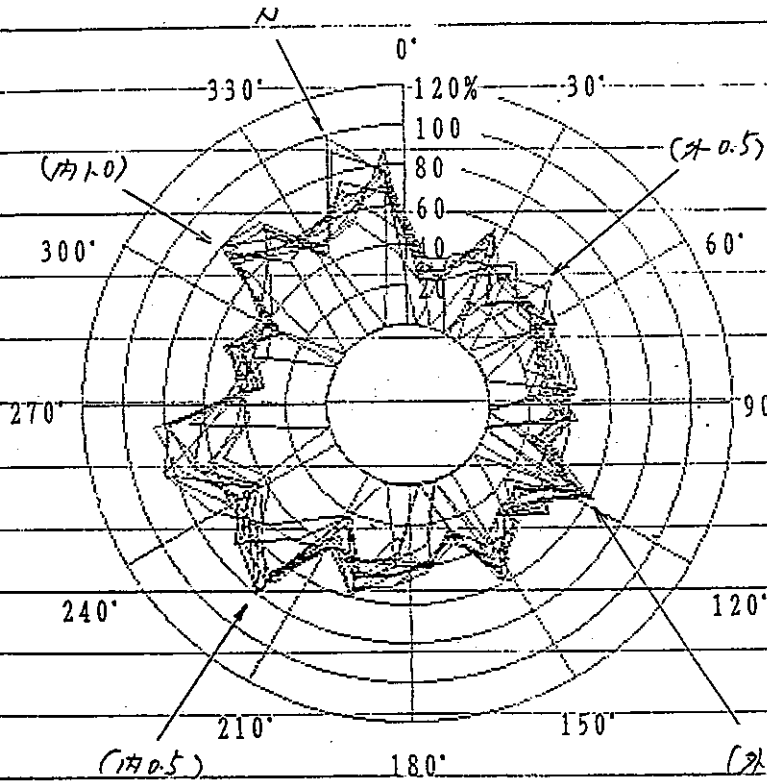
セル名称:  
溶接番号:50ABED0-45  
屈折角:45.0°  
検査位置:正/逆  
評価レベル:0.0  
検査日:92-01-23  
検査員:  
判定 Lレベル:40.0  
Mレベル:60.0  
Hレベル:80.0

F1:部分表示 F10:終了

図17. 50A溶接部周方向再現性データ(45°)

欠陥位置表示シート1

全集約



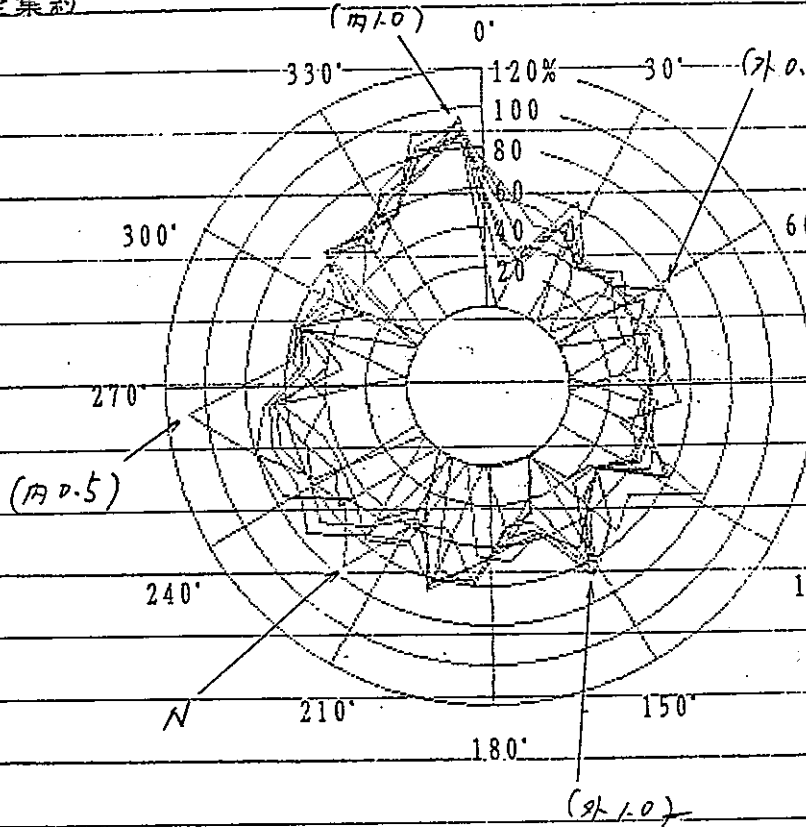
セル名称: -  
 溶接番号: 50ABED0-90  
 屈折角: 45.0°  
 検査位置:  正 /  逆  
 評価レベル: 0.0  
 検査日: 92-01-23  
 検査員: \_\_\_\_\_  
 判定 Lレベル: 40.0  
 Mレベル: 60.0  
 Hレベル: 80.0

F1: 部分表示 F10: 終了

図18. 50A溶接部周方向再現性データ(90°)

欠陥位置表示シート1

全集約



セル名称:  
溶接番号: 50ABED0-135

屈折角: 45.0°

検査位置:  正 /  逆

90°評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-23

検査員:

判定 Lレベル: 40.0

Mレベル: 60.0

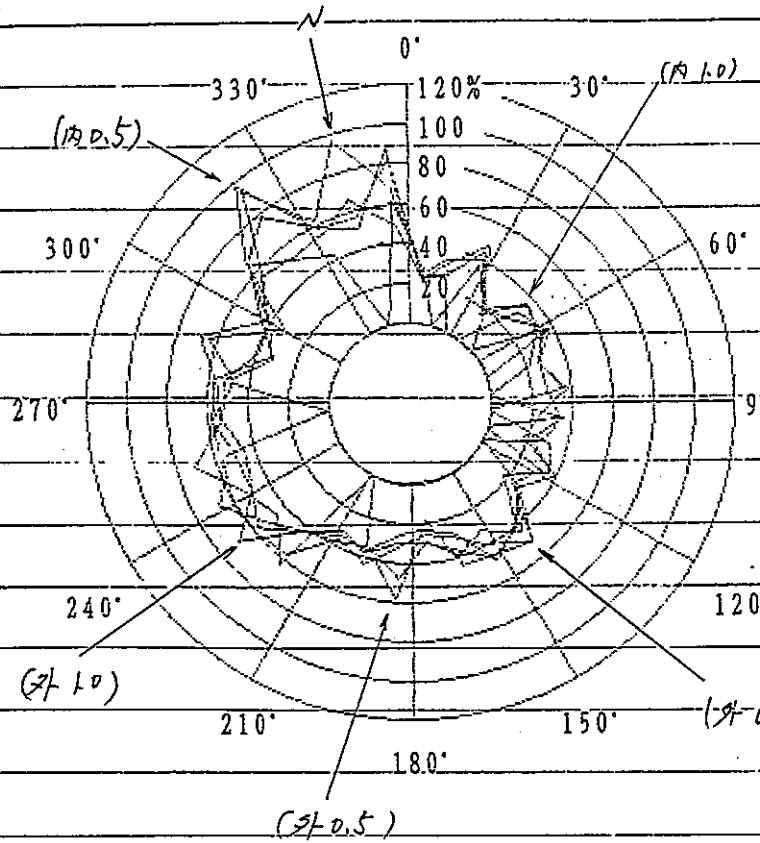
Hレベル: 80.0

F1:部分表示 F10:終了

図19. 50A溶接部周方向再現性データ (135°)

欠陥位置表示シート1

全集約



セル名称:

溶接番号: 50ABED0-180

屈折角: 45.0°

検査位置: 正 / 逆

90°評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-23

検査員:

判定 Lレベル: 40.0

Mレベル: 60.0

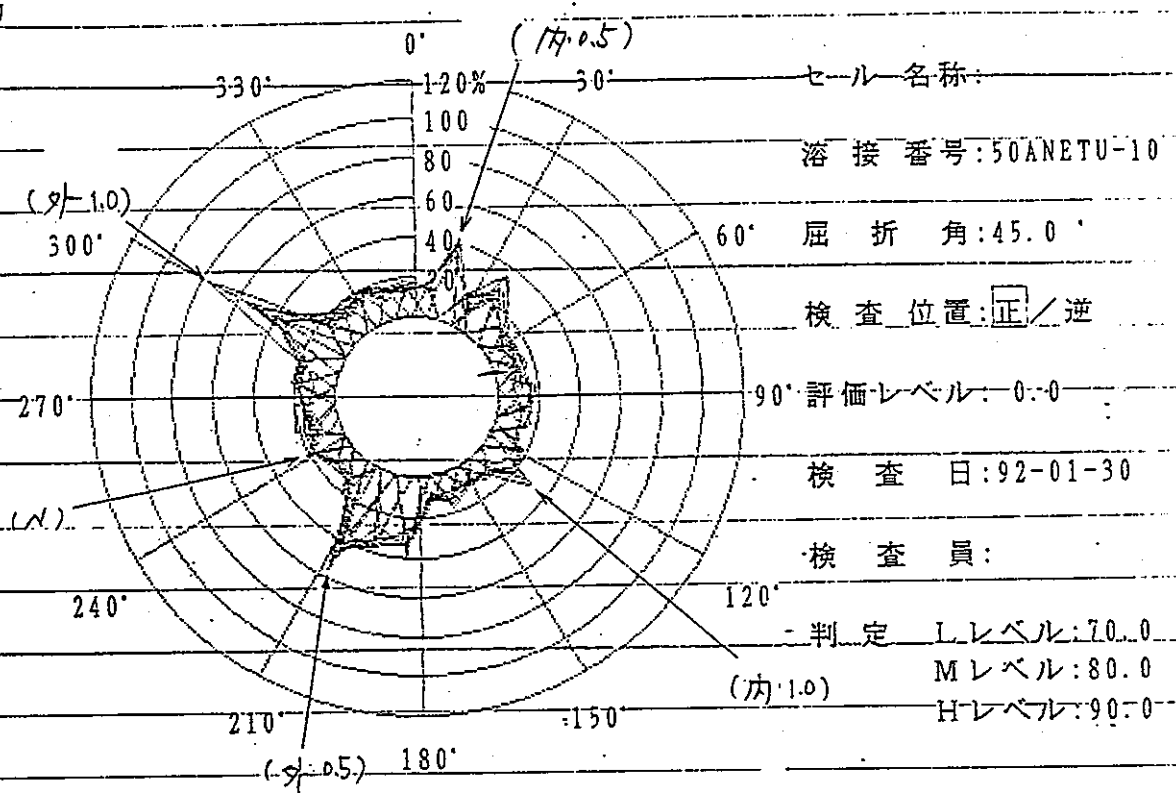
Hレベル: 80.0

F1:部分表示 F10:終了

図20. 50A溶接部周方向再現性データ (180°)

欠陥位置表示シート1

全集約

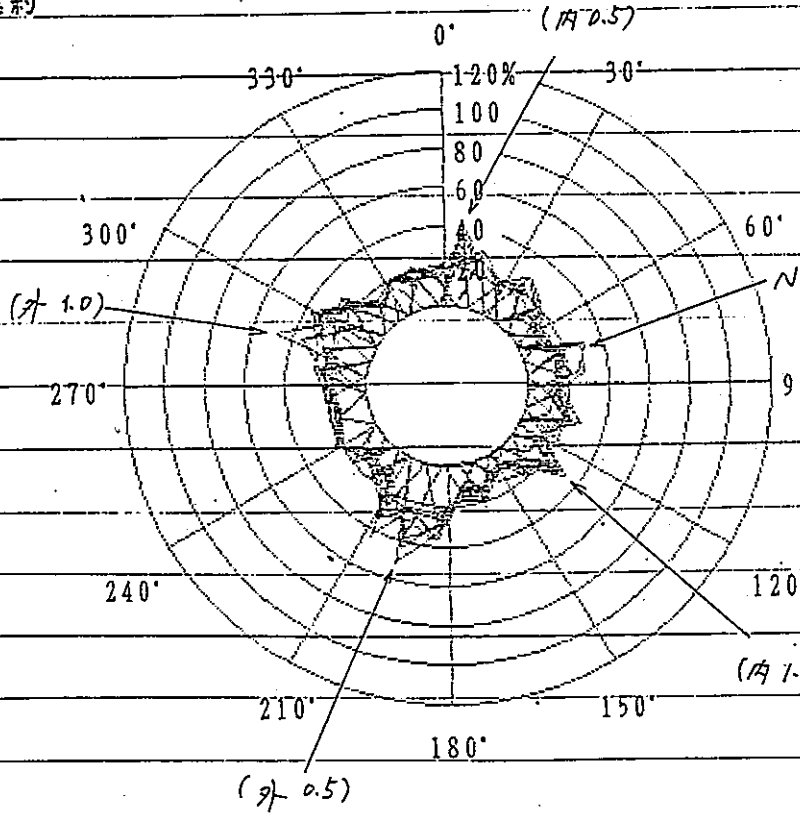


F1:部分表示 F10:終了

図21. 50A熱影響部軸方向再現性データ (0mm)

欠陥位置表示シート1

全集約



セーラー名称:

溶接番号: 50ANETU-12-5

屈折角: 45.0°

検査位置: 正 / 逆

90°評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-30

検査員:

判定 Lレベル: 70.0

Mレベル: 80.0

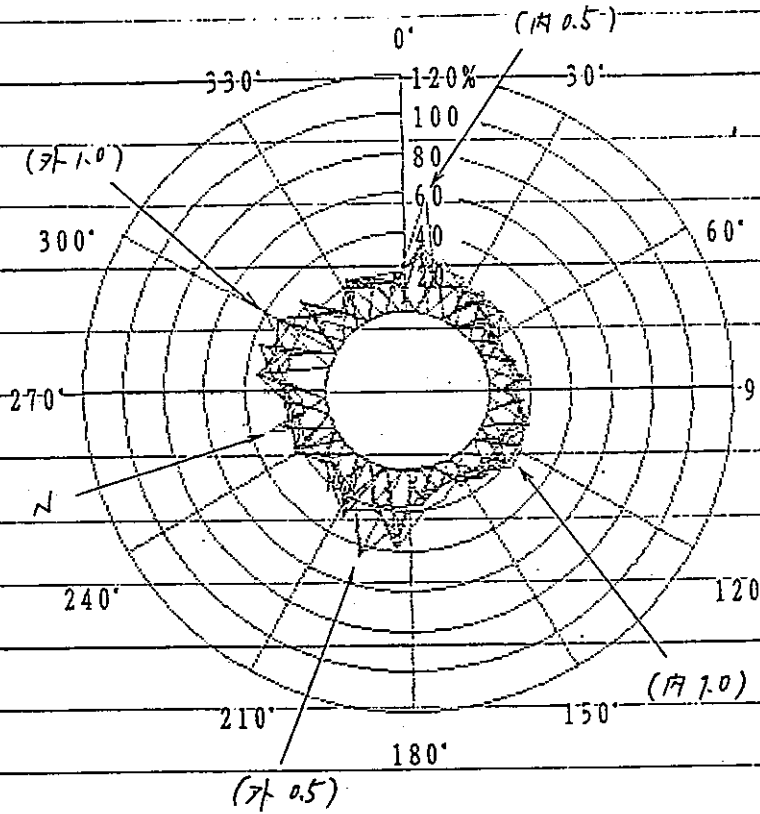
Hレベル: 90.0

F1: 部分表示 F10: 終了

図22. 50A熱影響部軸方向再現性データ (5mm)

欠陥位置表示シート1

全集約



セル名称:

溶接番号: 50ANETU-12-10

屈折角: 45.0°

検査位置:  正 /  逆

90° 評価レベル: 0-0

検査日: 92-01-30

検査員:

判定 Lレベル: 70.0

Mレベル: 80.0

Hレベル: 90.0

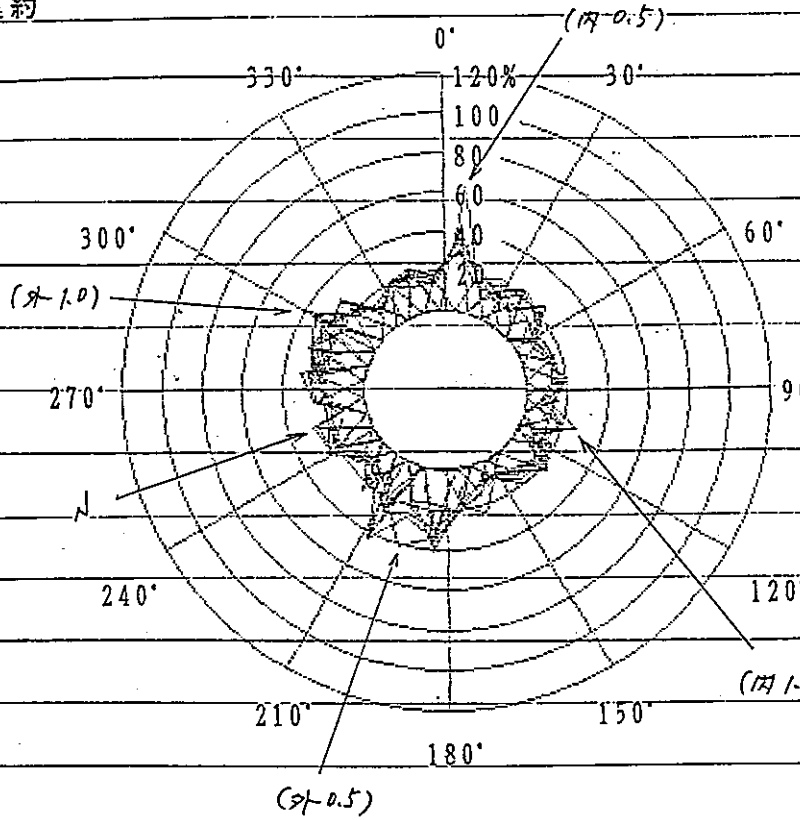
F1: 部分表示 F10: 終了

図23. 50A熱影響部軸方向再現性データ (10mm)



欠陥位置表示シート1

全集約



セル名称:

溶接番号: 50ANETU-12-15

屈折角: 45.0°

検査位置: 正 / 逆

90°評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-30

検査員:

判定 Lレベル: 30.0

Mレベル: 40.0

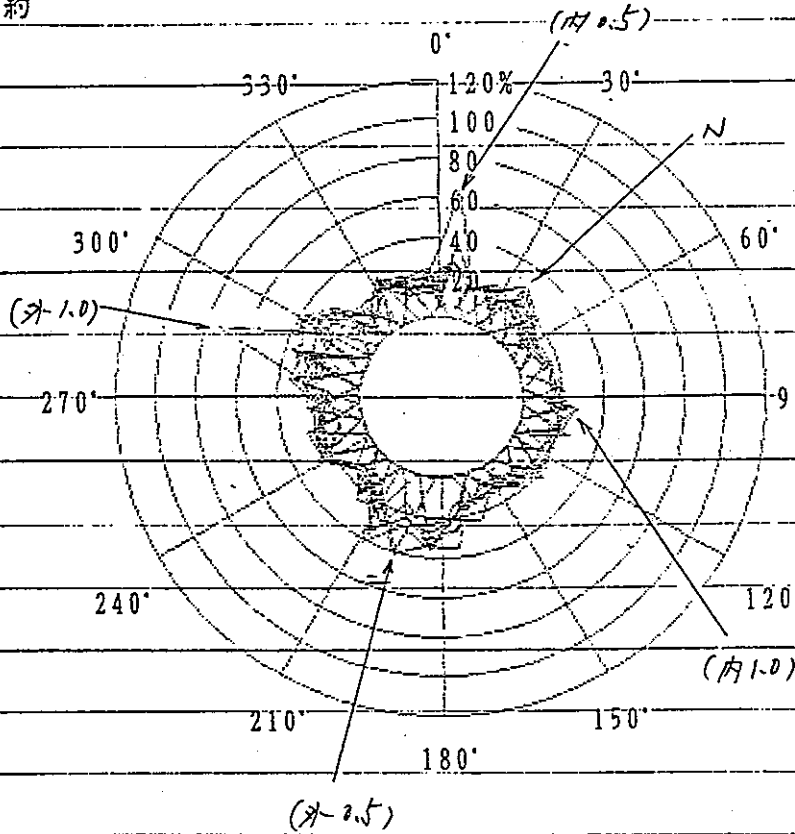
Hレベル: 50.0

F1:部分表示 F10:終了

図24. 50A熱影響部軸方向再現性データ (15mm)

欠陥位置表示シート-1

全集約



セル名称:

溶接番号: 50ANETU-12-20

屈折角: 45.0°

検査位置: 正 / 逆

評価レベル: 0-0

検査日: 92-01-30

検査員:

判定 Lレベル: 30.0

Mレベル: 40.0

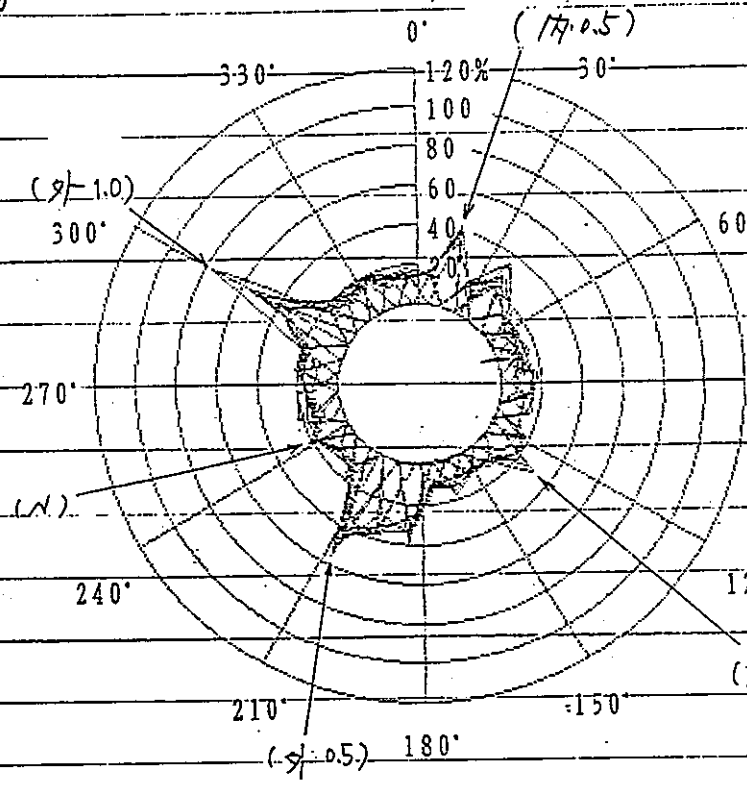
Hレベル: 50.0

F1: 部分表示 F10: 終了

図25. 50A熱影響部軸方向再現性データ (20mm)

欠陥位置表示シート1

全集約



セル名称:

溶接番号: 50ANETU-10

屈折角: 45.0°

検査位置:  正 /  逆

評価レベル: 0:0

検査日: 92-01-30

検査員:

判定 Lレベル: 70.0

Mレベル: 80.0

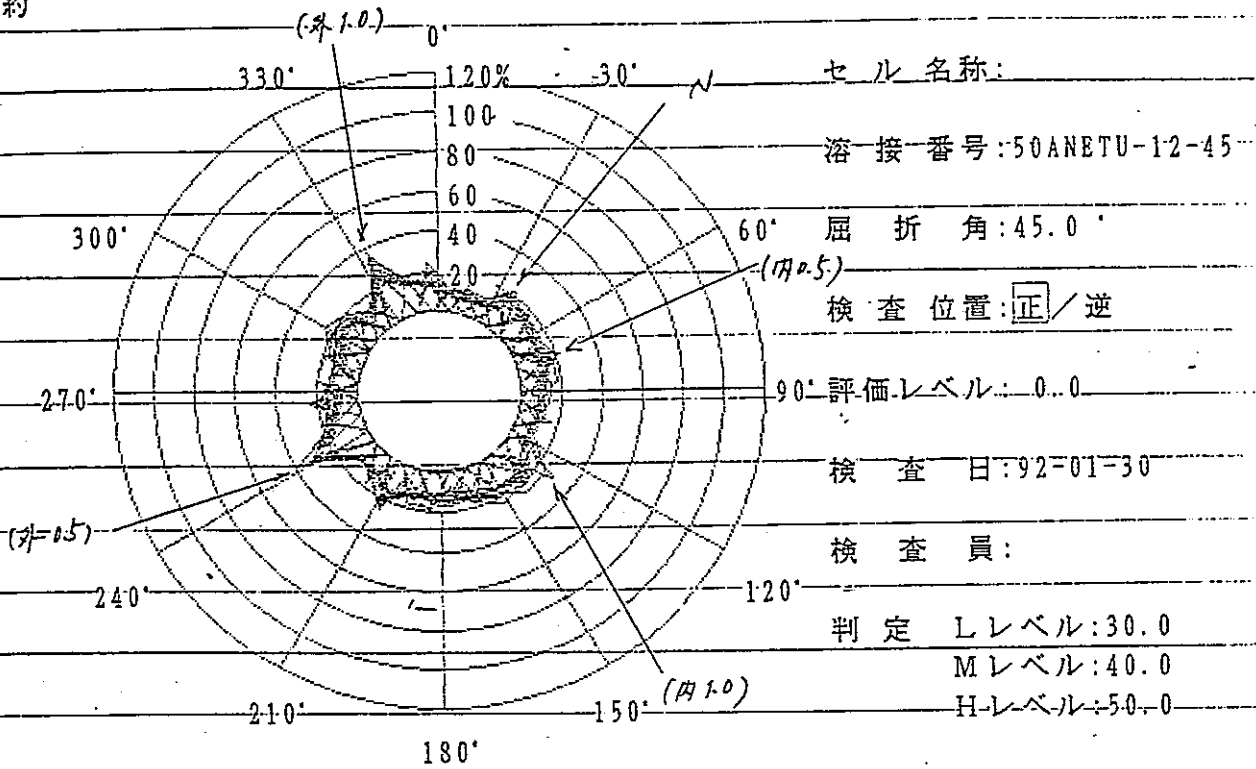
Hレベル: 90.0

F1:部分表示 F10:終了

図26. 50A熱影響部周方向再現性データ(0°)

欠陥位置表示シート1

全集約

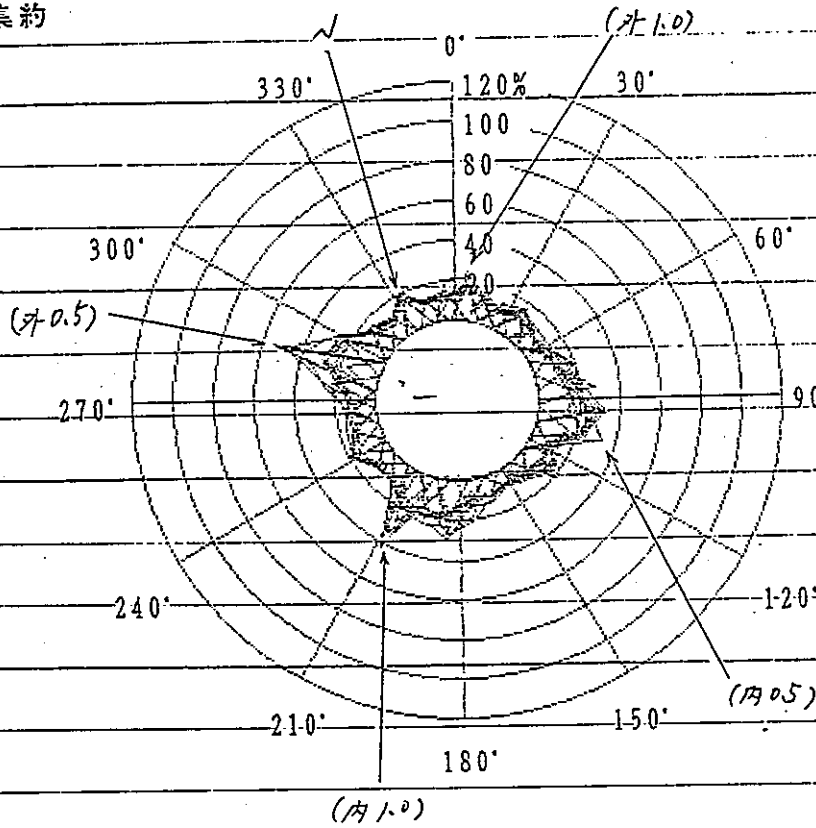


F1:部分表示 F10:終了

図27. 50A熱影響部周方向再現性データ(45°)

欠陥位置表示シート 1

全集約



セル名称:

溶接番号: 50ANETU-12-9.0

屈折角: 45.0

検査位置:  正 / 逆

90° 評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-30

検査員:

判定 Lレベル: 30.0

Mレベル: 40.0

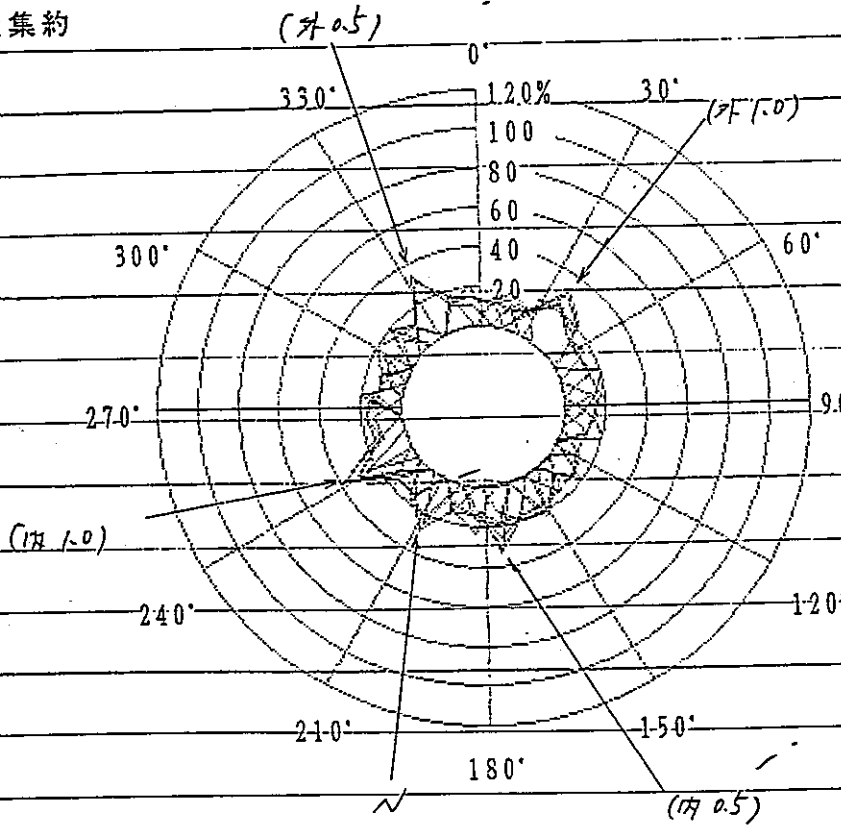
Hレベル: 50.0

F 1 : 部分表示 F 1 0 : 終了

図28. 50A熱影響部周方向再現性データ (90°)

欠陥位置表示シート1

全集約



セル名称:

溶接番号: 50ANETU12-135

屈折角: 45.0°

検査位置:  正 /  逆

9.0° 評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-30

検査員:

判定 Lレベル: 30.0

Mレベル: 40.0

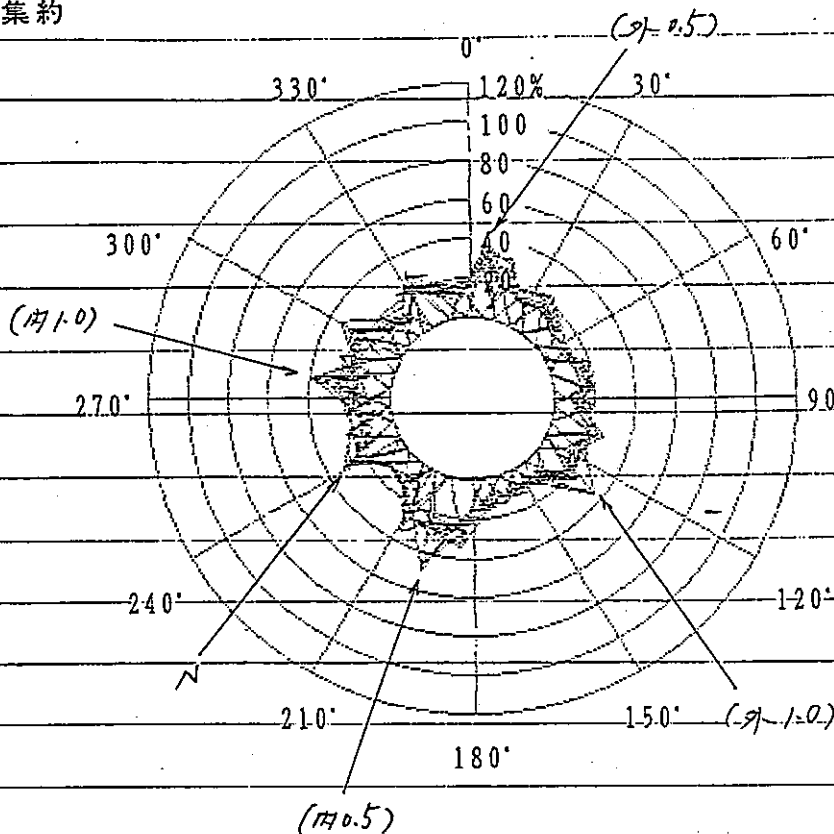
Hレベル: 50.0

F1: 部分表示 F10: 終了

図29. 50A熱影響部周方向再現性データ (135°)

欠陥位置表示シート-1

全集約



セル名称:

溶接番号: 50ANETU12-180

屈折角: 45.0

検査位置:  正 / 逆

90° 評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-30

検査員:

判定 Lレベル: 30.0

Mレベル: 40.0

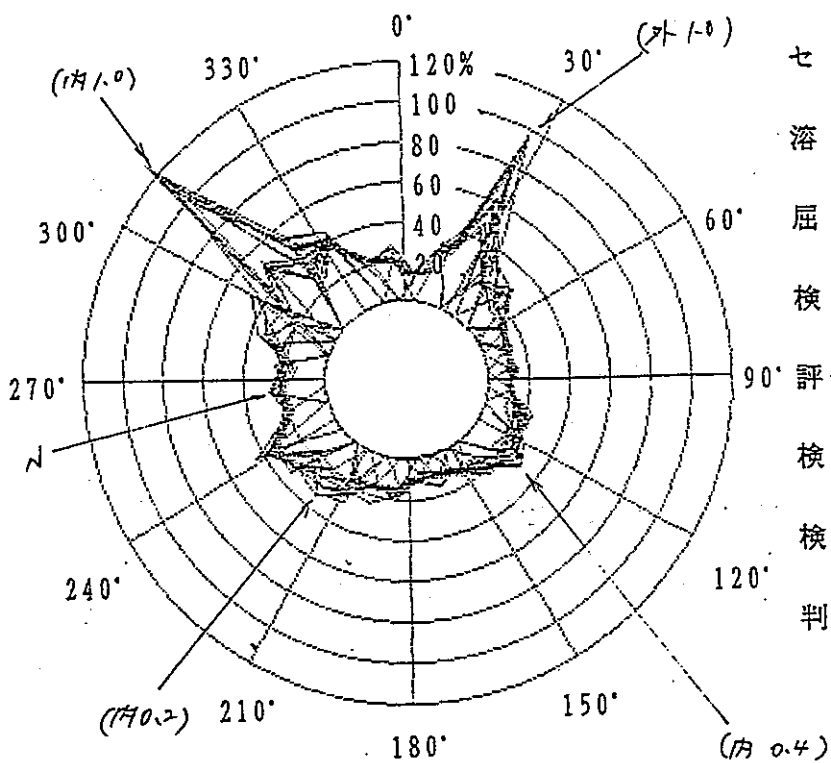
Hレベル: 50.0

F1: 部分表示 F10: 終了

図30. 50A熱影響部周方向再現性データ (180°)

欠陥位置表示シート 1

全集約



セル名称:

溶接番号: 50ABOZA1-2

屈折角: 45.0°

検査位置:  正 /  逆

評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-21

検査員:

判定 Lレベル: 30.0

Mレベル: 40.0

Hレベル: 50.0

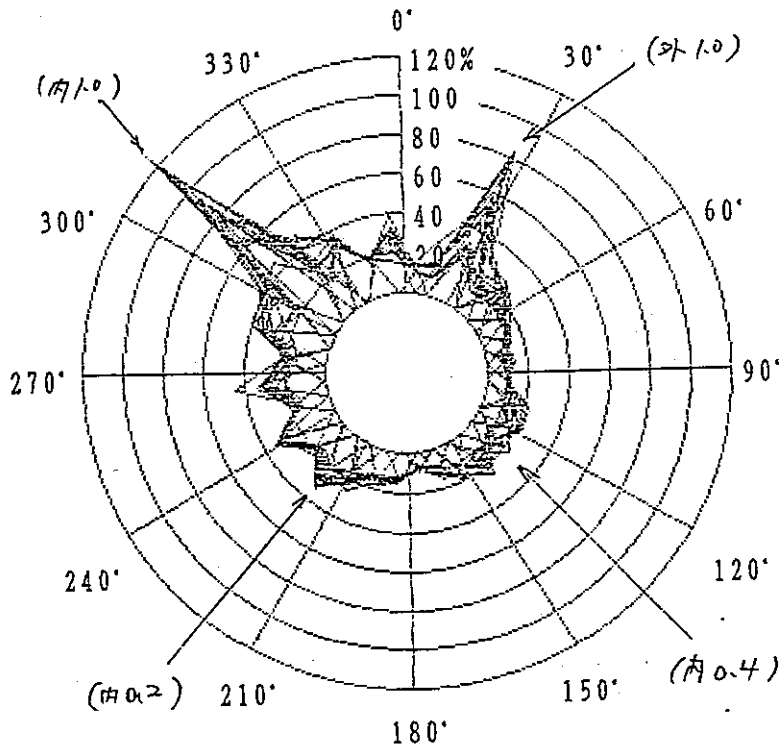
F 1 : 部分表示 F 1 0 : 終了

図31. 50A母材部軸方向再現性データ (0mm)



欠陥位置表示シート 1

全集約



セル名称:

溶接番号:50ABOZA1-5mm

屈折角:45.0°

検査位置:正 / 逆

評価レベル: 0.0

検査日:92-01-21

検査員:

判定 Lレベル:30.0

Mレベル:40.0

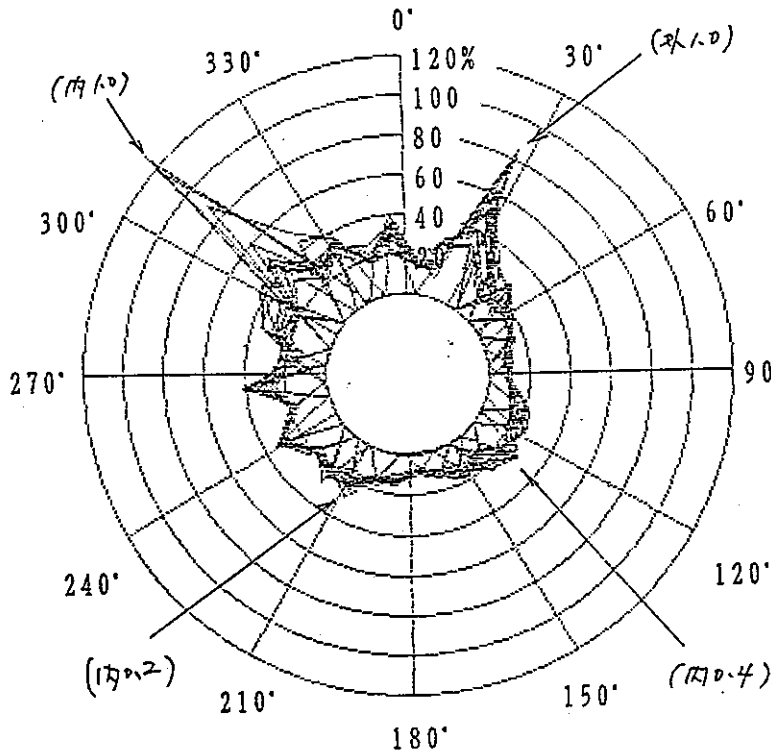
Hレベル:50.0

F 1 :部分表示 F 1 0 :終了

図32. 50A母材部軸方向再現性データ (5mm)

欠陥位置表示シート 1

全集約



セル名称:

溶接番号: 50ABOZAI-10mm

屈折角: 45.0°

検査位置:  正 /  逆

評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-21

検査員:

判定 Lレベル: 30.0

Mレベル: 40.0

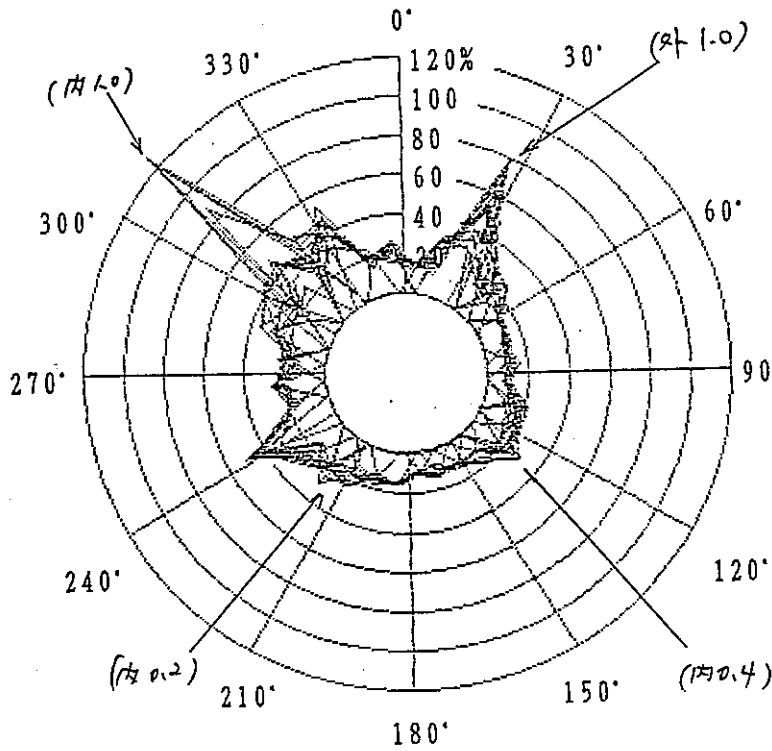
Hレベル: 50.0

F 1 : 部分表示 F 1 0 : 終了

図33. 50A母材部軸方向再現性データ (10mm)

欠陥位置表示シート 1

全集約



セル名称:

溶接番号: 50ABOZA1-15mm

屈折角: 45.0°

検査位置: 正 / 逆

評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-21

検査員:

判定 Lレベル: 30.0

Mレベル: 40.0

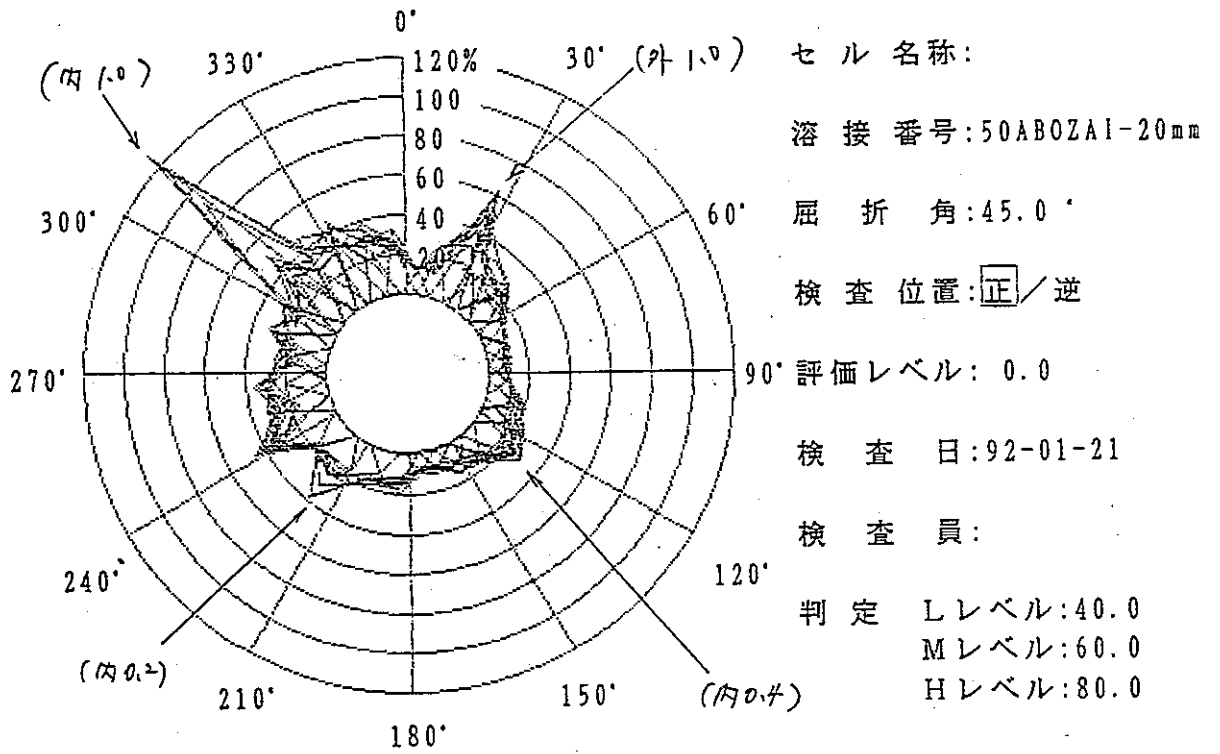
Hレベル: 50.0

F1: 部分表示 F10: 終了

図34. 50A母材部軸方向再現性データ (15mm)

欠陥位置表示シート 1

全集約

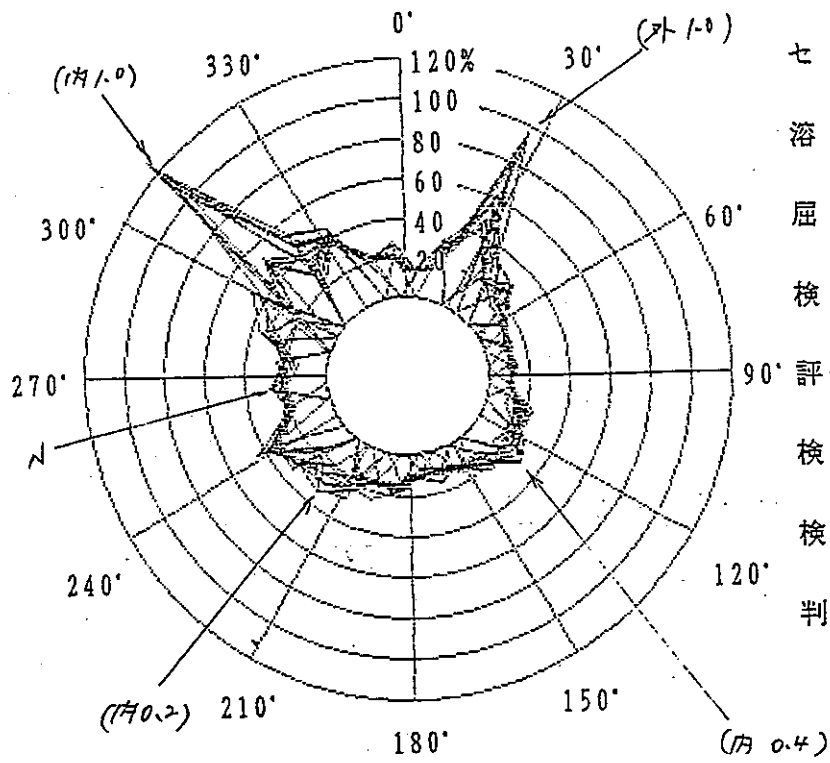


F 1 : 部分表示 F 1 0 : 終了

図35. 50A母材部軸方向再現性データ (20mm)

欠陥位置表示シート 1

全集約



セル名称:

溶接番号: 50ABOZA1-2

屈折角: 45.0°

検査位置:  正 / 逆

評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-21

検査員:

判定 Lレベル: 30.0

Mレベル: 40.0

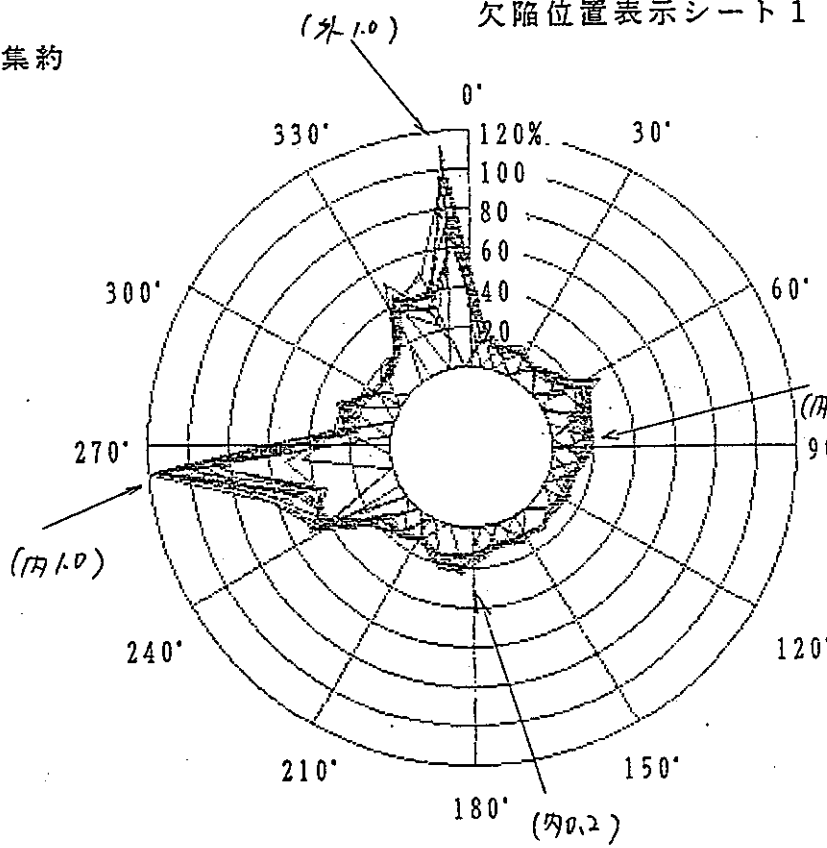
Hレベル: 50.0

F1: 部分表示 F10: 終了

図36. 50A母材部周方向再現性データ (0°)

全集約

欠陥位置表示シート 1



セル名称:

溶接番号: 50ABOZA1-45

屈折角: 45.0°

検査位置: 正 / 逆

90° 評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-21

検査員:

判定 Lレベル: 30.0

Mレベル: 40.0

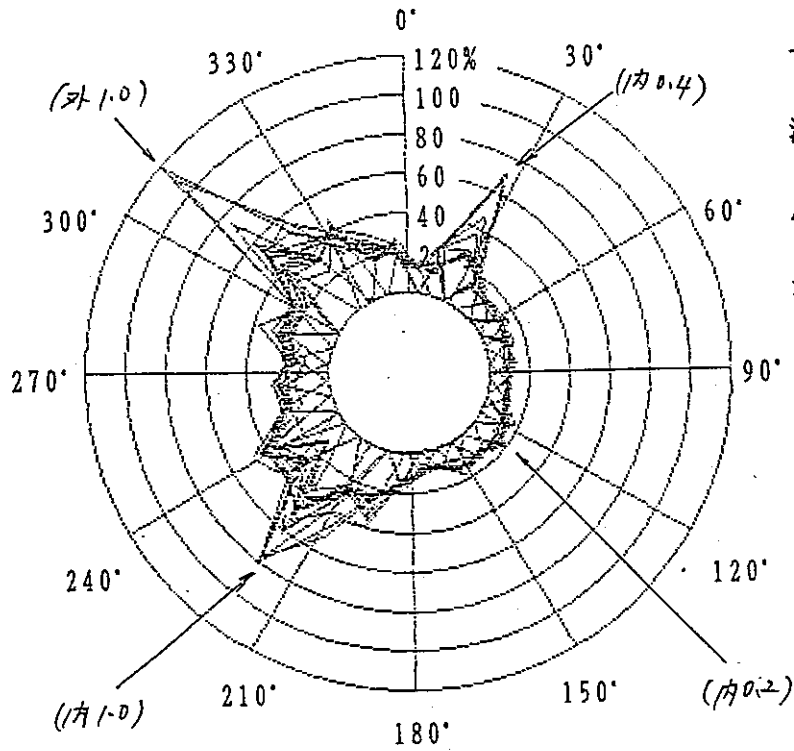
Hレベル: 50.0

F 1 : 部分表示 F 1 0 : 終了

図37. 50A母材部周方向再現性データ (45°)

欠陥位置表示シート 1

全集約



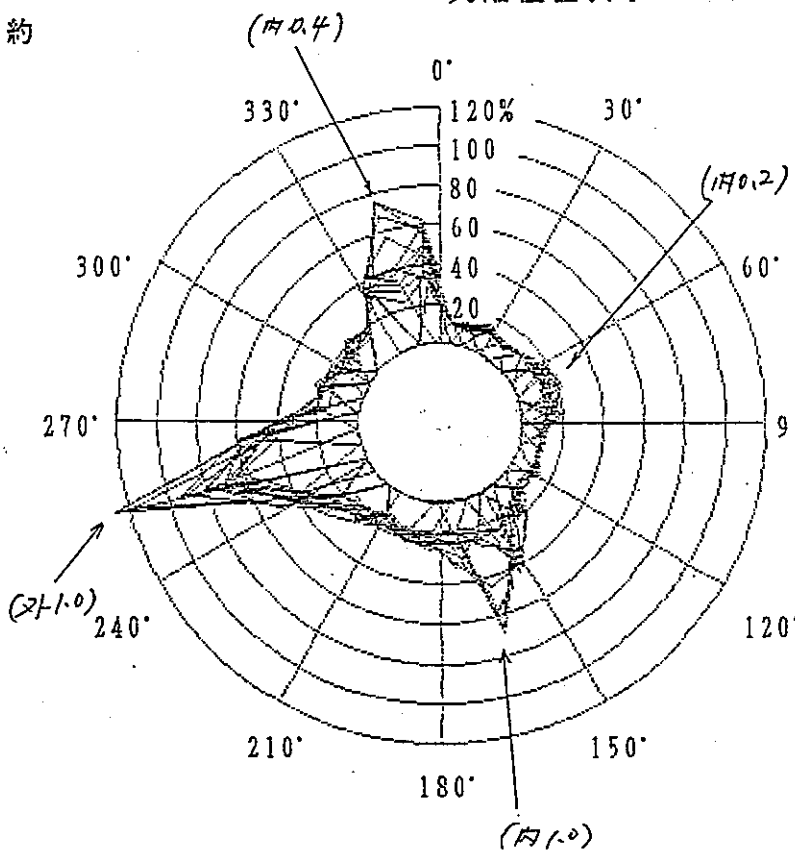
セル名称:  
 溶接番号:50ABOZA1-90  
 屈折角:45.0°  
 検査位置:正/逆  
 評価レベル:0.0  
 検査日:92-01-21  
 検査員:  
 判定 Lレベル:30.0  
 Mレベル:40.0  
 Hレベル:50.0

F1:部分表示 F10:終了

図38. 50A母材部周方向再現性データ(90°)

欠陥位置表示シート 1

全集約



セル名称:  
 溶接番号:50ABOZA1-135  
 屈折角:45.0°  
 検査位置:正/逆  
 評価レベル:0.0  
 検査日:92-01-21  
 検査員:  
 判定 Lレベル:30.0  
       Mレベル:40.0  
       Hレベル:50.0

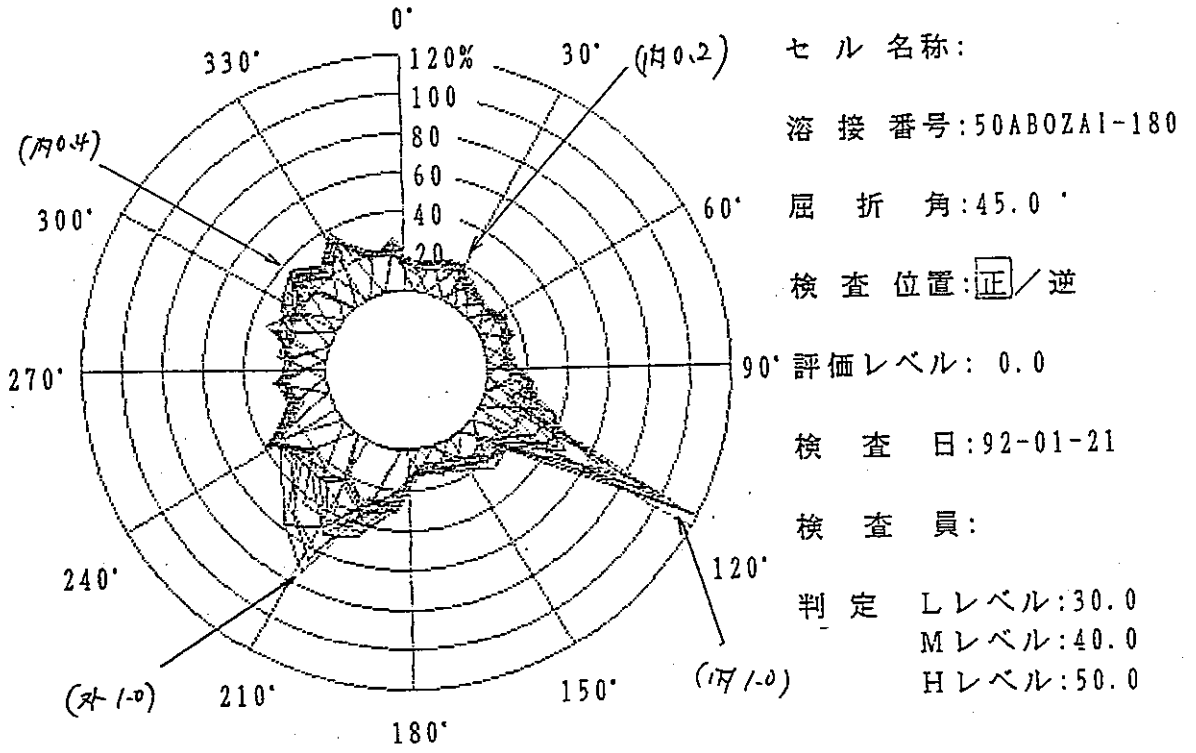
F 1 : 部分表示 F 1 0 : 終了

図39. 50A母材部周方向再現性データ (135°)



欠陥位置表示シート 1

全集約

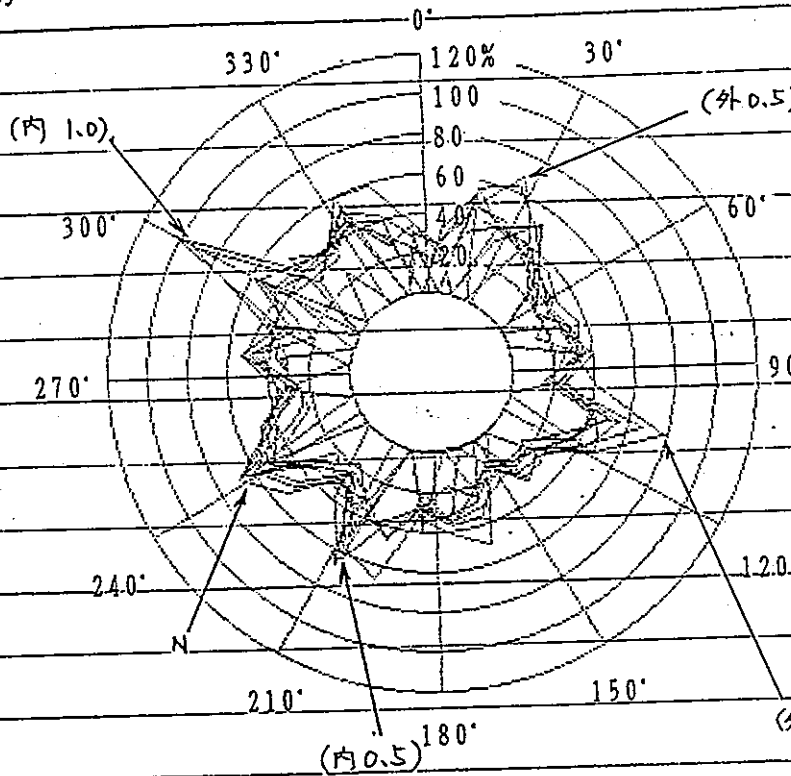


F1: 部分表示 F10: 終了

図40. 50A母材部周方向再現性データ (180°)

欠陥位置表示シート 1

全集約



セル 名称:

溶 接 番 号 : 25ABED0=3

屈 折 角 : 45.0

検 査 位 置 :  正 /  逆

90° 評 価 レベル : 0.0

検 査 日 : 92-01-27

検 査 員 :

判 定 Lレベル: 40.0

Mレベル: 60.0

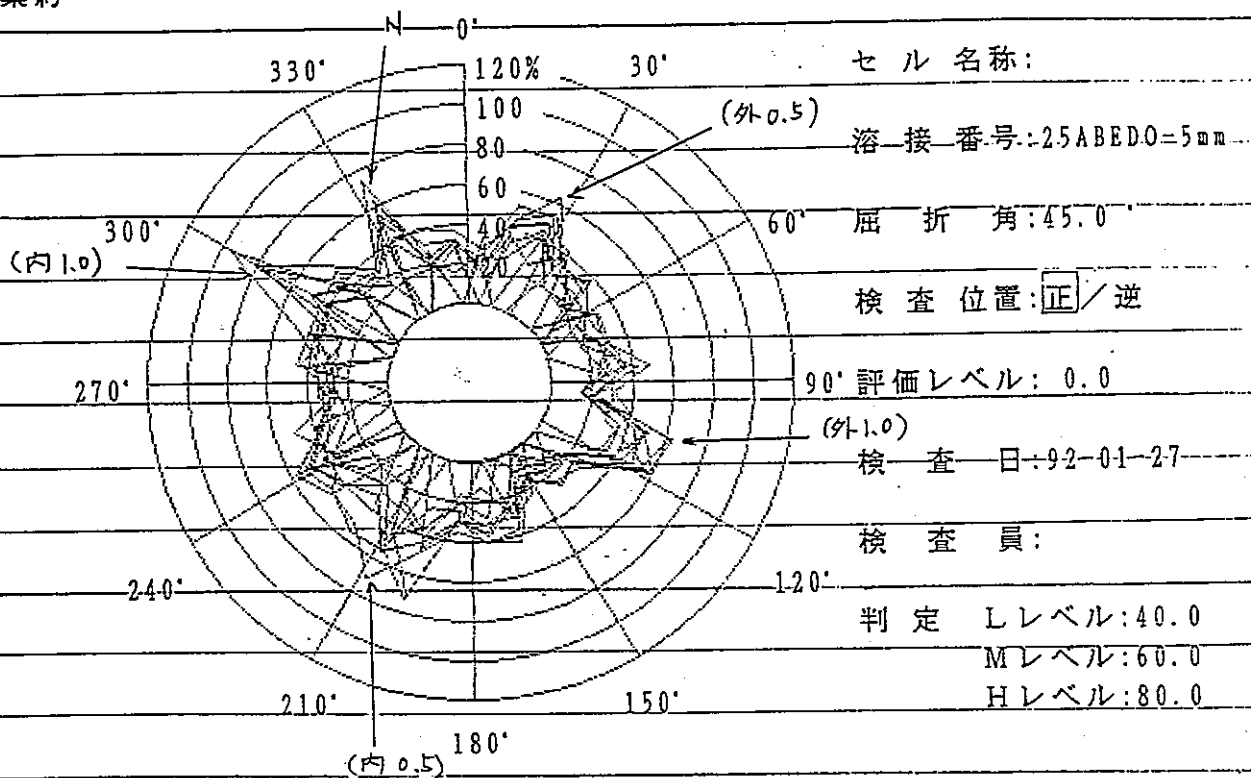
Hレベル: 80.0

F 1 : 部分表示 F 1 0 : 終了

図41. 25A溶接部軸方向再現性データ (0mm)

欠陥位置表示シート 1

全集約

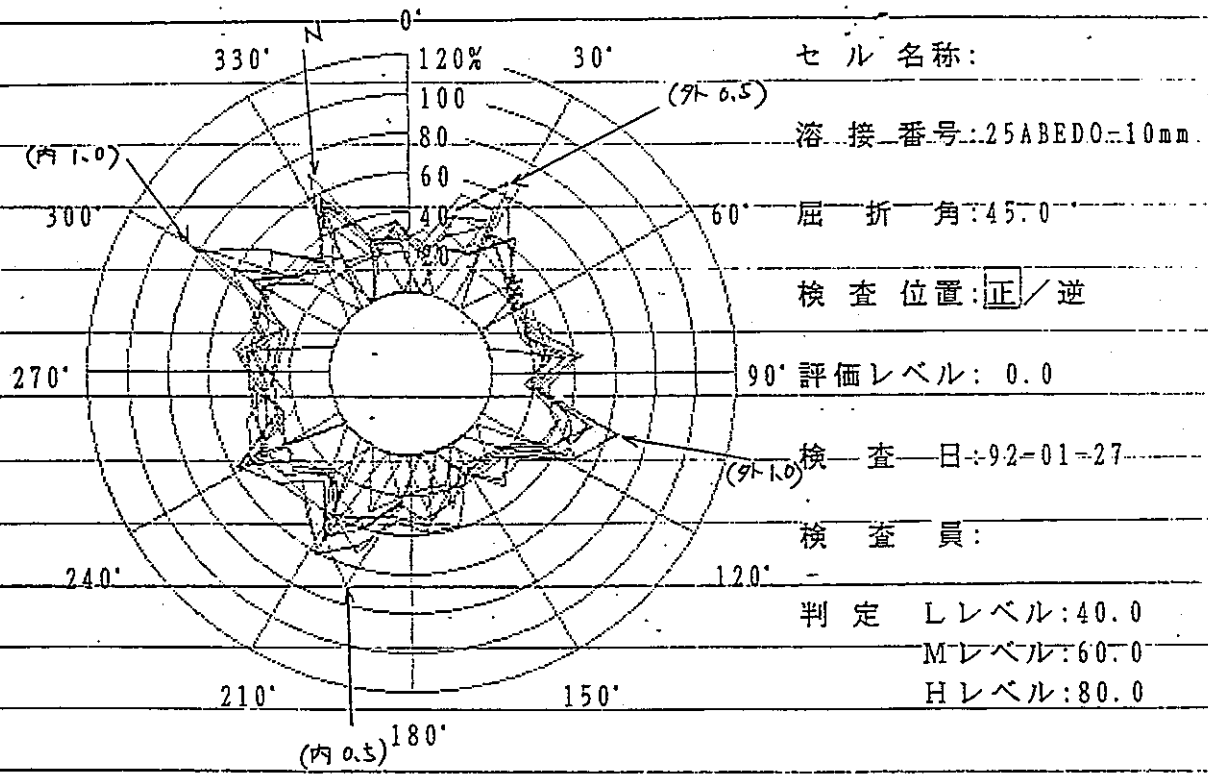


F 1 : 部分表示 F 1 0 : 終了

図42. 25 A溶接部軸方向再現性データ (5mm)

欠陥位置表示シート 1

全集約

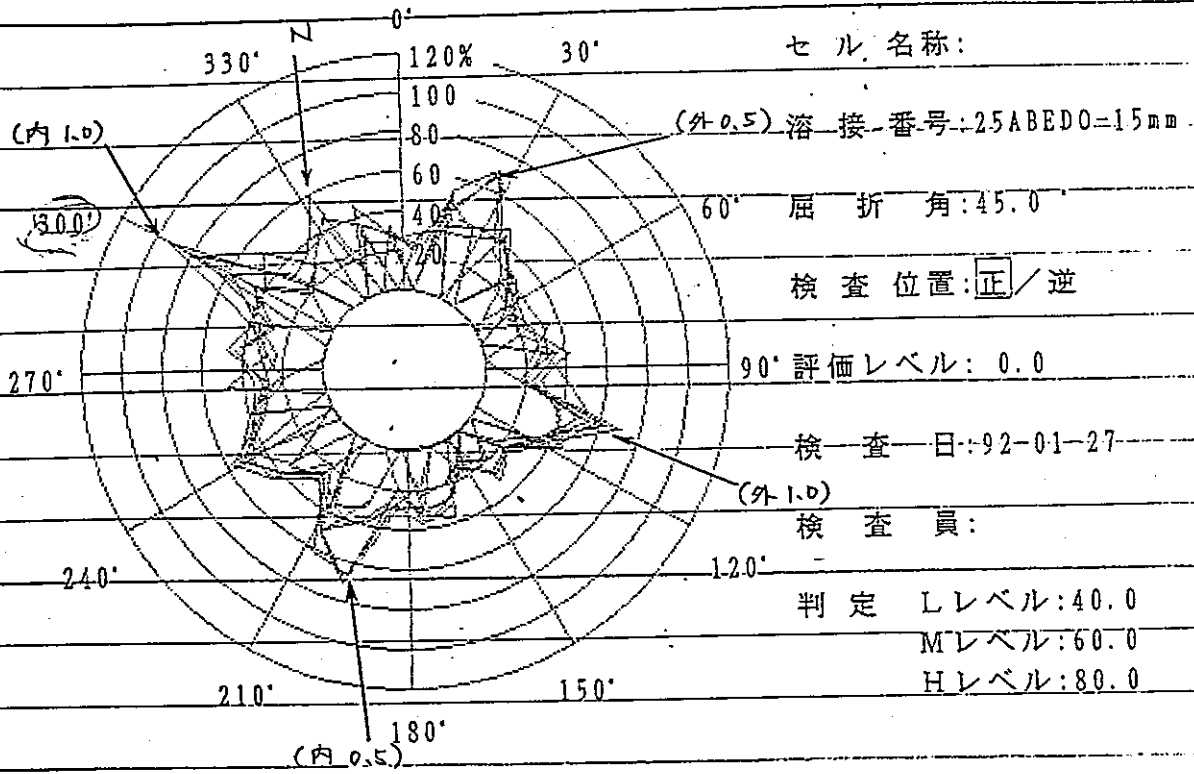


F 1 : 部分表示 F 1 0 : 終了

図43. 25A溶接部軸方向再現性データ (10mm)

欠陥位置表示シート 1

全集約

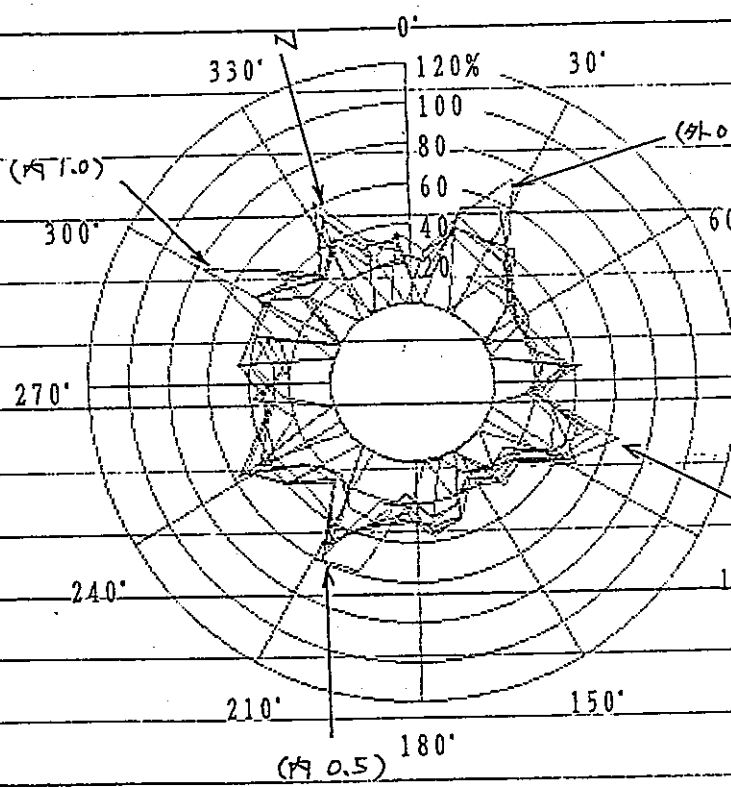


F 1 : 部分表示 F 1 0 : 終了

図44. 25 A 溶接部軸方向再現性データ (15mm)

欠陥位置表示シート1

全集約



セル名称:

(外0.5) 溶接番号: 25ABED0-20mm

屈折角: 45.0

検査位置: 正 / 逆

90° 評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-27

検査員:

判定 Lレベル: 40.0

Mレベル: 60.0

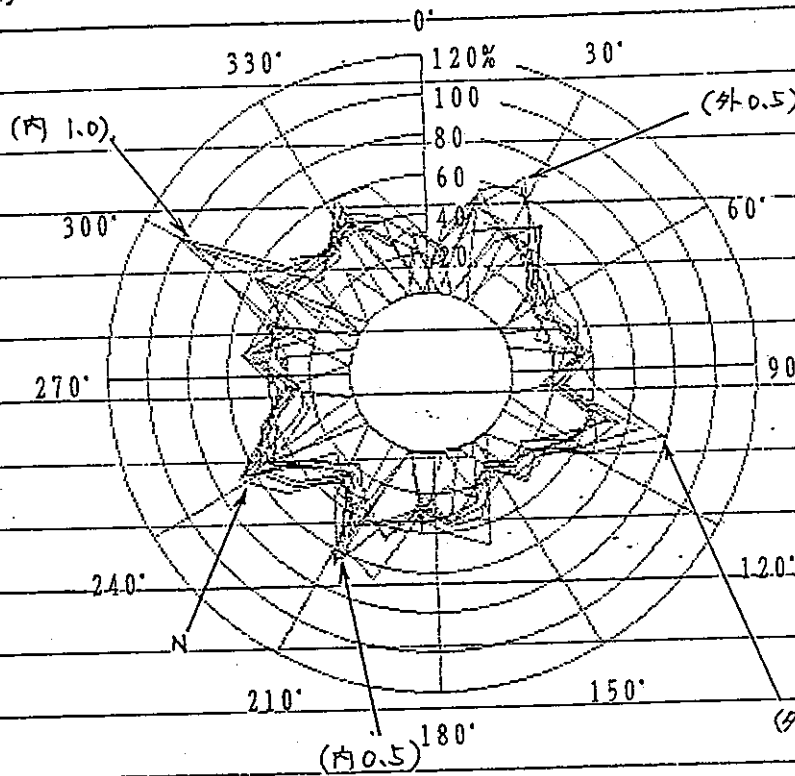
Hレベル: 80.0

F1: 部分表示 F10: 終了

図45. 25A溶接部軸方向再現性データ (20mm)

欠陥位置表示シート 1

全集約



セル名称:

溶接番号: 25ABED0=3

屈折角: 45.0

検査位置:  正 /  逆

90° 評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-27

検査員:

判定 Lレベル: 40.0

Mレベル: 60.0

Hレベル: 80.0

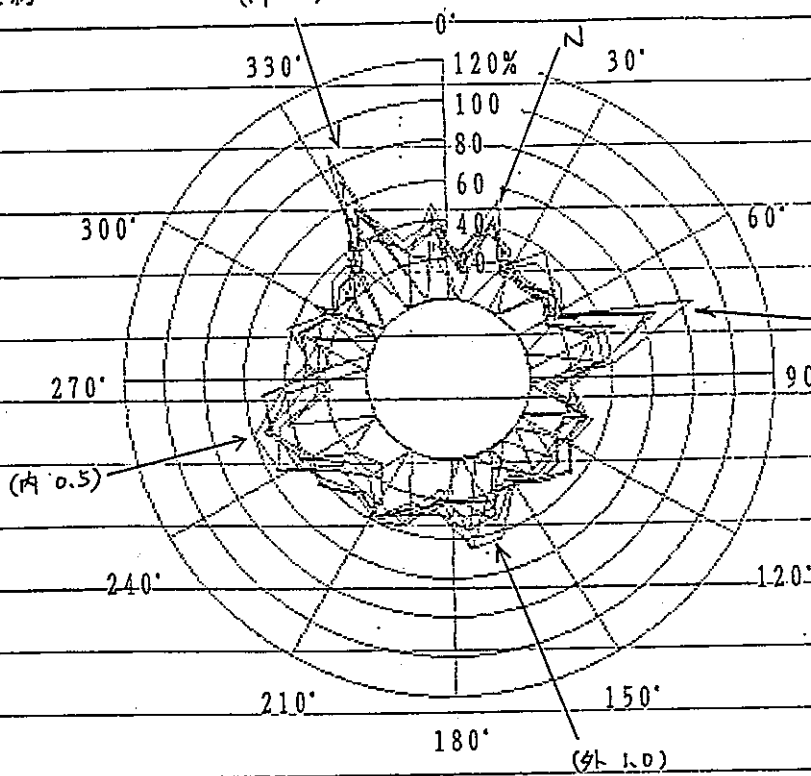
F1: 部分表示 F10: 終了

図46. 25A溶接部周方向再現性データ (0°)

欠陥位置表示シート 1

全集約

(内 1.0)



セル名称:

溶接番号: 25ABED0-45

屈折角: 45.0

検査位置: 正 / 逆  
(外 0.5)

90° 評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-27

検査員:

判定 Lレベル: 40.0

Mレベル: 60.0

Hレベル: 80.0

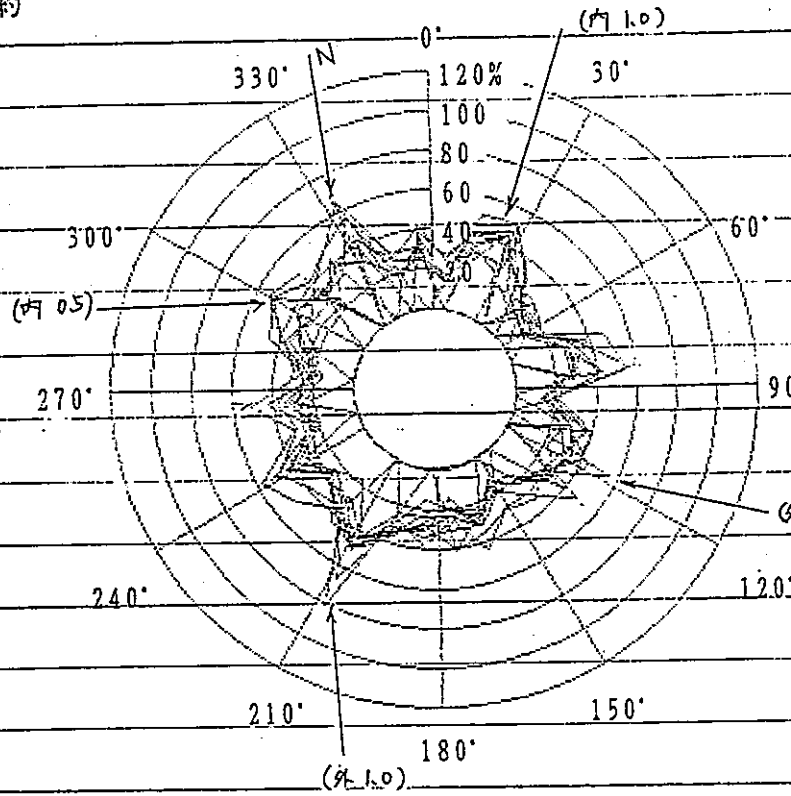
F 1 : 部分表示 F 1 0 : 終了

図47. 25 A溶接部周方向再現性データ (45°)



欠陥位置表示シート 1

全集約



セル名称:

溶接番号: 25ABED0-90

屈折角: 45.0

検査位置: 正 / 逆

90° 評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-27

検査員:

判定 Lレベル: 40.0

Mレベル: 60.0

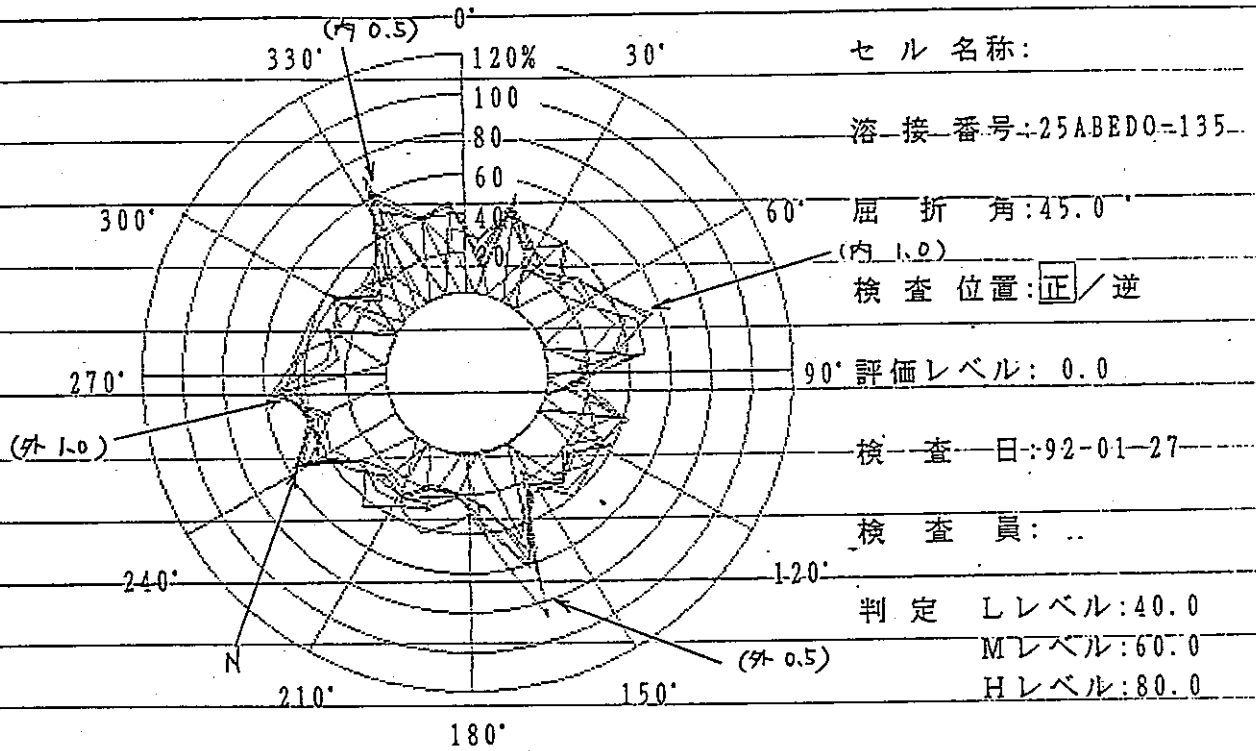
Hレベル: 80.0

F 1 : 部分表示 F 1 0 : 終了

図48. 25A溶接部周方向再現性データ (90°)

欠陥位置表示シート 1

全集約

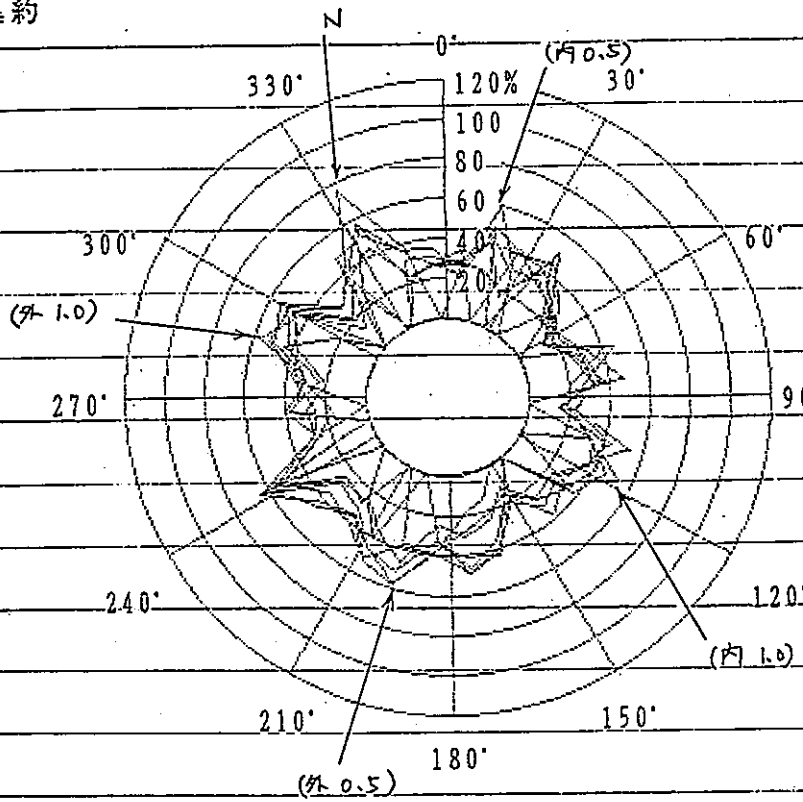


F 1 : 部分表示 F 1 0 : 終了

図49. 25 A 溶接部周方向再現性データ (135 °)

欠陥位置表示シート 1

全集約



セル名称:

溶接番号: 25ABED0-180

屈折角: 45.0

検査位置:  正 / 逆

90° 評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-27

検査員:

判定 Lレベル: 40.0

Mレベル: 60.0

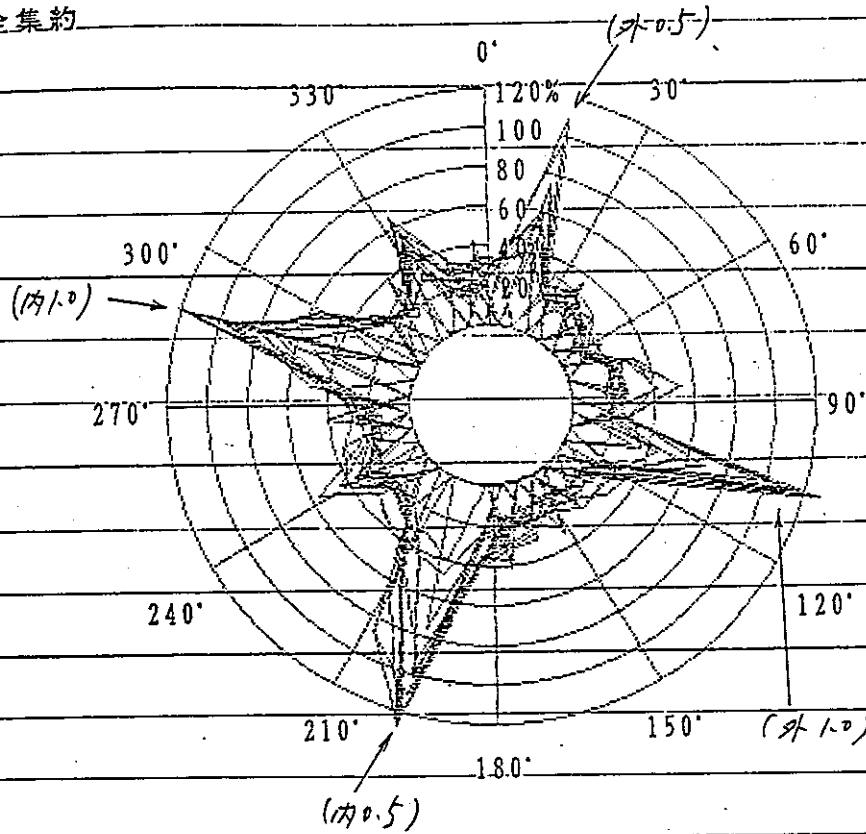
Hレベル: 80.0

F1: 部分表示 F10: 終了

図50. 25A溶接部周方向再現性データ (180°)

欠陥位置表示シート 1

全集約



セル名称:

溶接番号: 25ANETU-3

屈折角: 45.0°

検査位置:  正 /  逆

90° 評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-24

検査員:

判定 Lレベル: 30.0

Mレベル: 45.0

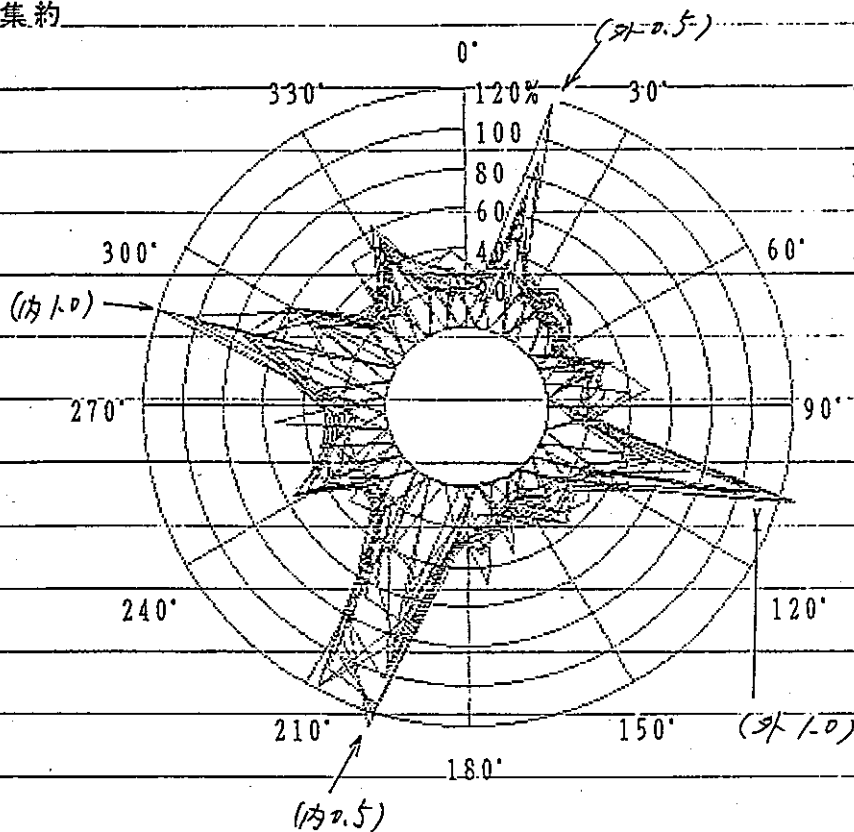
Hレベル: 60.0

F1: 部分表示 F10: 終了

図51. 25A熱影響部軸方向再現性データ (0mm)

欠陥位置表示シート 1

全集約



セール名称:

溶接番号: 25ANETU-5mm

屈折角: 45.0°

検査位置: 正 / 逆

90° 評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-24

検査員:

判定 Lレベル: 30.0

Mレベル: 45.0

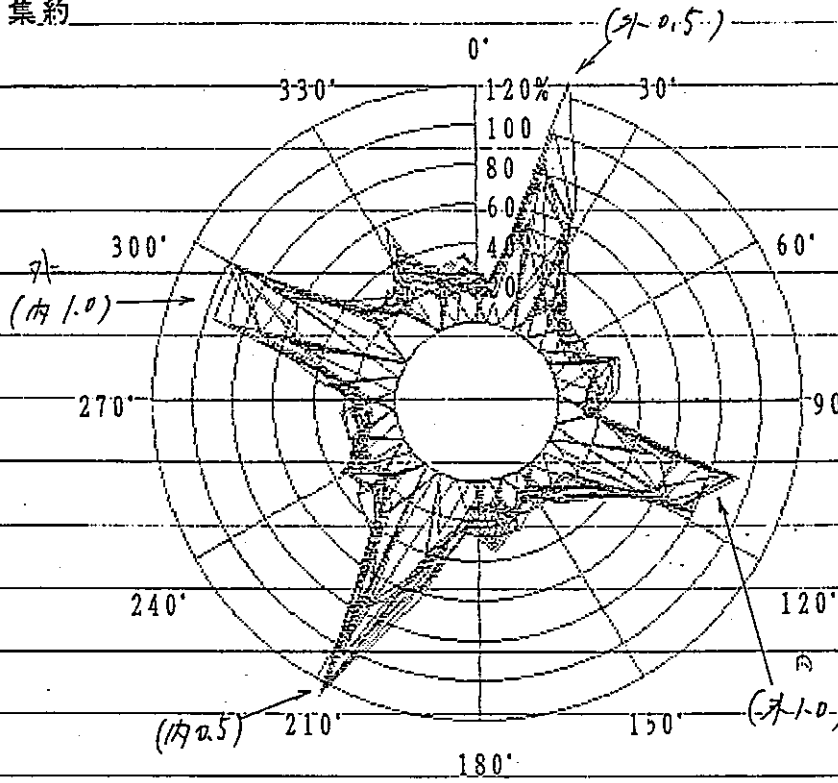
Hレベル: 60.0

F1: 部分表示 F10: 終了

図52. 25A熱影響部軸方向再現性データ (5mm)

欠陥位置表示シート 1

全集約



セル名称:

溶接番号: 25ANETU-10mm

屈折角: 45.0°

検査位置:  正 /  逆

90° 評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-24

検査員:

判定 Lレベル: 30.0

Mレベル: 45.0

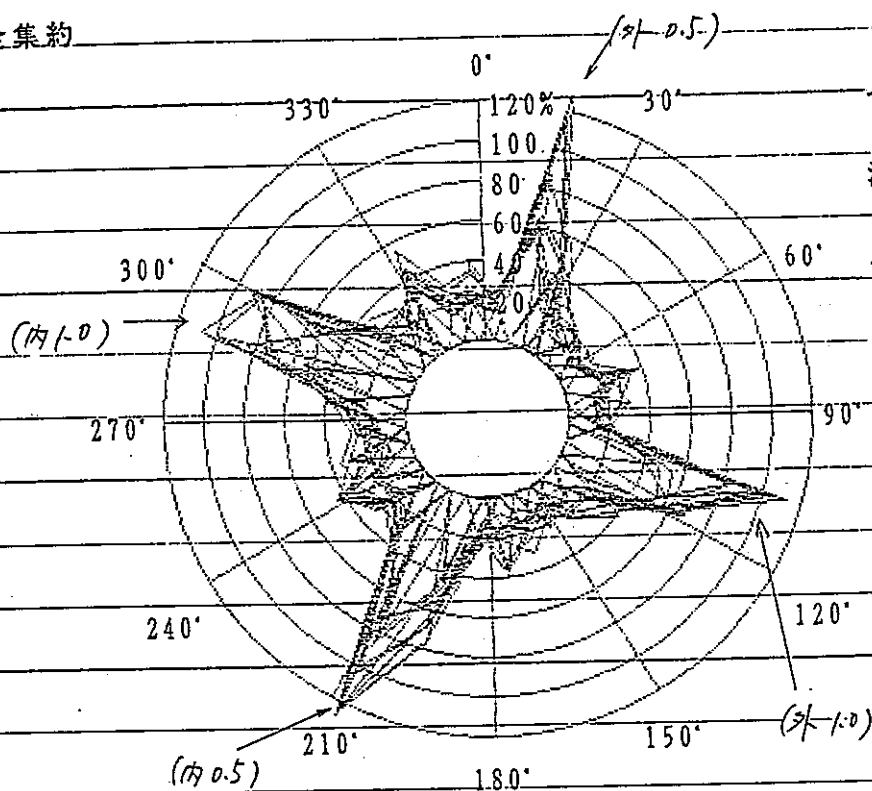
Hレベル: 60.0

F1: 部分表示 F10: 終了

図53. 25A熱影響部軸方向再現性データ (10mm)

欠陥位置表示シート 1

全集約



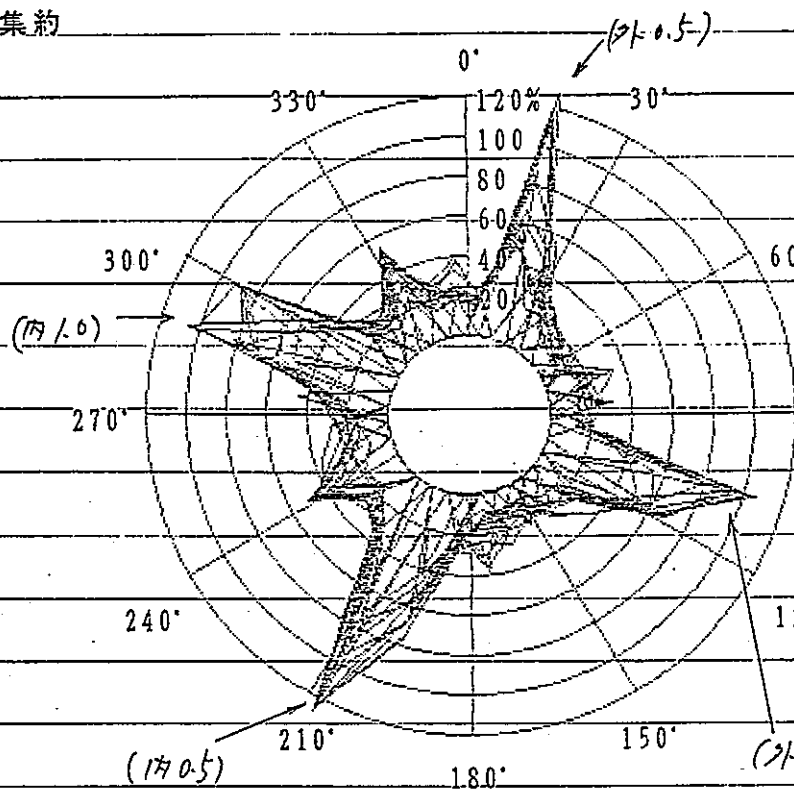
セル名称:  
 溶接番号: 25ANETU-15mm  
 屈折角: 45.0°  
 検査位置:  正 /  逆  
 評価レベル: 0.0  
 検査日: 92-01-24  
 検査員:  
 判定 Lレベル: 30.0  
 Mレベル: 45.0  
 Hレベル: 60.0

F1:部分表示 F10:終了

図54. 25A熱影響部軸方向再現性データ (15mm)

欠陥位置表示シート1

全集約



セル名称:  
 溶接番号: 25ANETU-20mm  
 屈折角: 45.0°  
 検査位置: 正 / 逆  
 評価レベル: 0.0  
 検査日: 92-01-24  
 検査員:  
 判定 Lレベル: 30.0  
       Mレベル: 45.0  
       Hレベル: 60.0

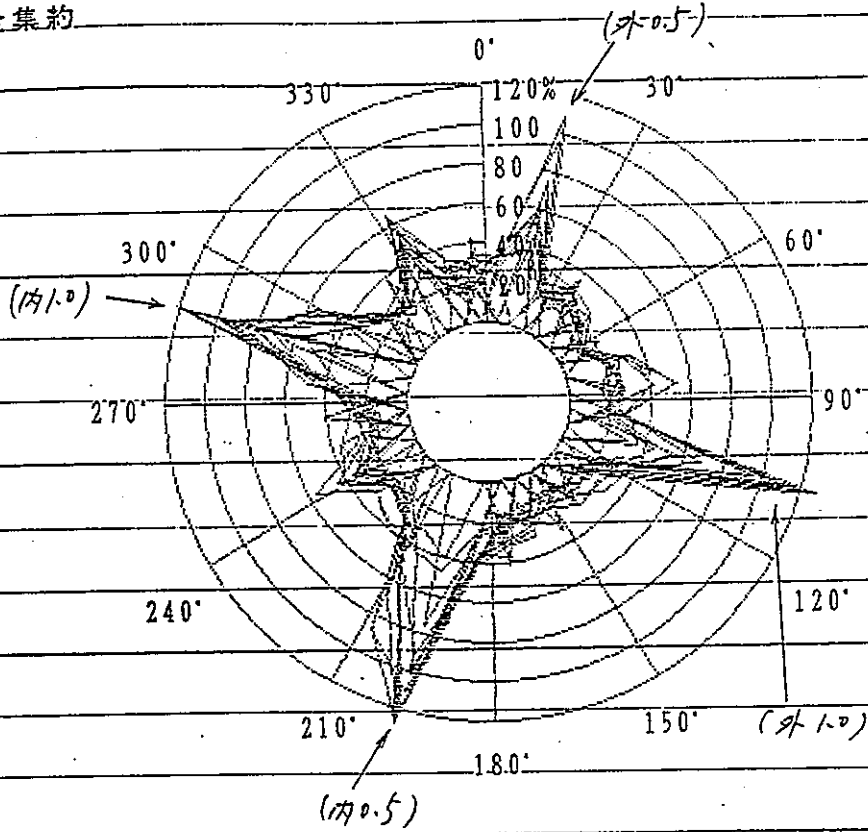
F1: 部分表示 F10: 終了

図55. 25A熱影響部軸方向再現性データ (20mm)



欠陥位置表示シート1

全集約



セル名称:

溶接番号: 25ANETU-3

屈折角: 45.0°

検査位置: 正 / 逆

90° 評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-24

検査員:

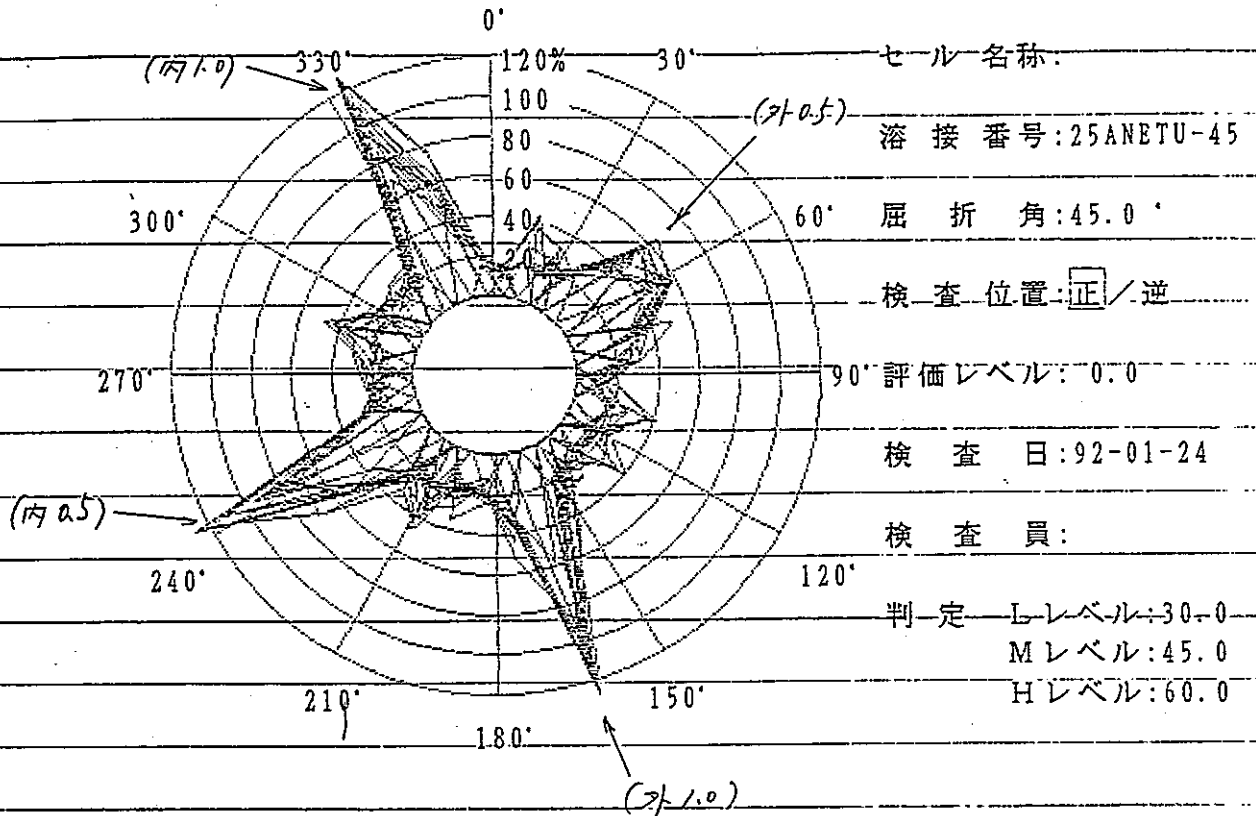
判定 Lレベル: 30.0  
Mレベル: 45.0  
Hレベル: 60.0

F1: 部分表示 F10: 終了

図56. 25A熱影響部周方向再現性データ(0°)

欠陥位置表示シート 1

全集約

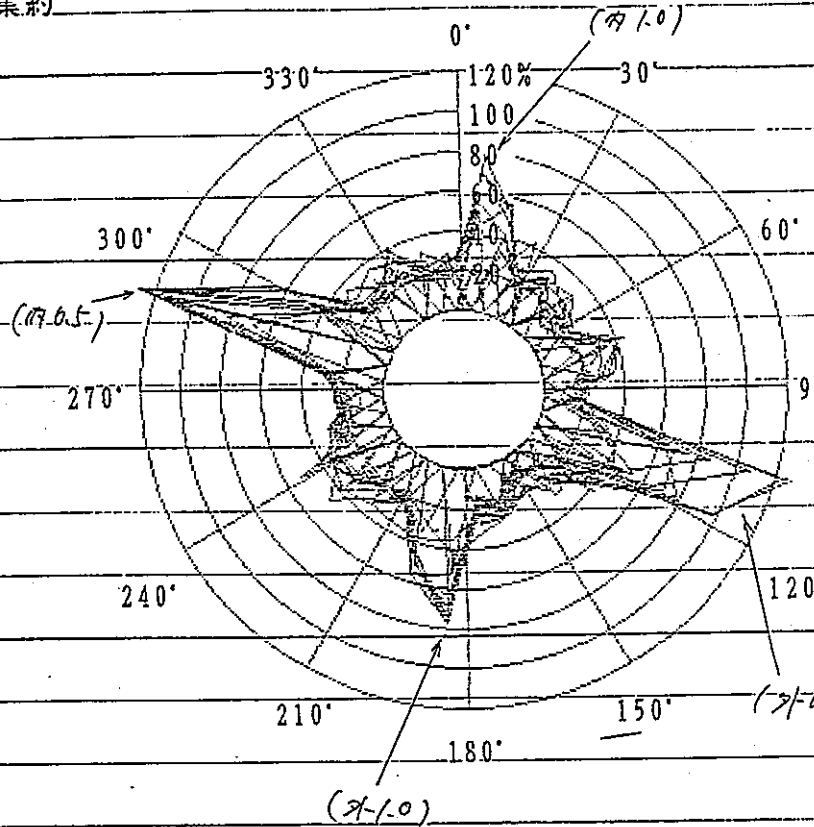


F 1 : 部分表示 F 1 0 : 終了

図57. 25 A熱影響部周方向再現性データ (45°)

欠陥位置表示シート 1

全集約



セル名称:

溶接番号: 25ANETU-90

屈折角: 45.0°

検査位置:  正 /  逆

90°評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-24

検査員: 、

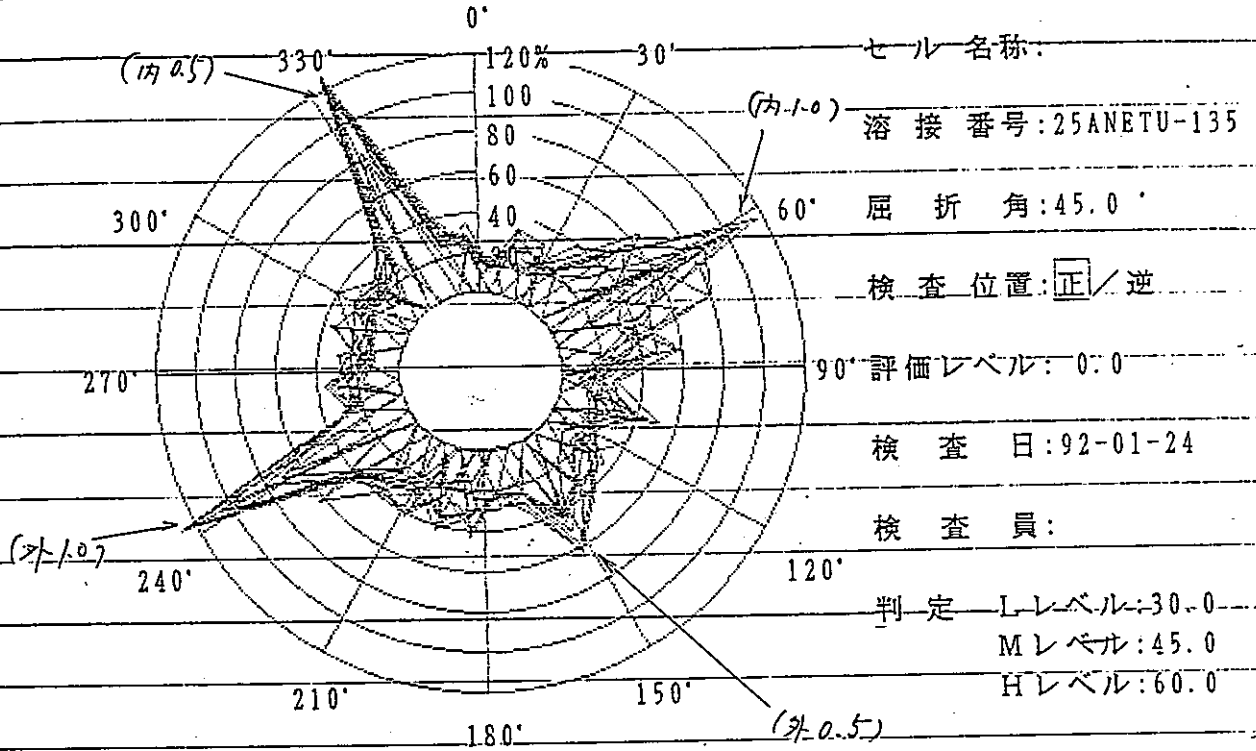
判定 Lレベル: 30.0  
Mレベル: 45.0  
Hレベル: 60.0

F 1 : 部分表示 F 1 0 : 終了

図58. 25A熱影響部周方向再現性データ (90°)

欠陥位置表示シート1

全集約

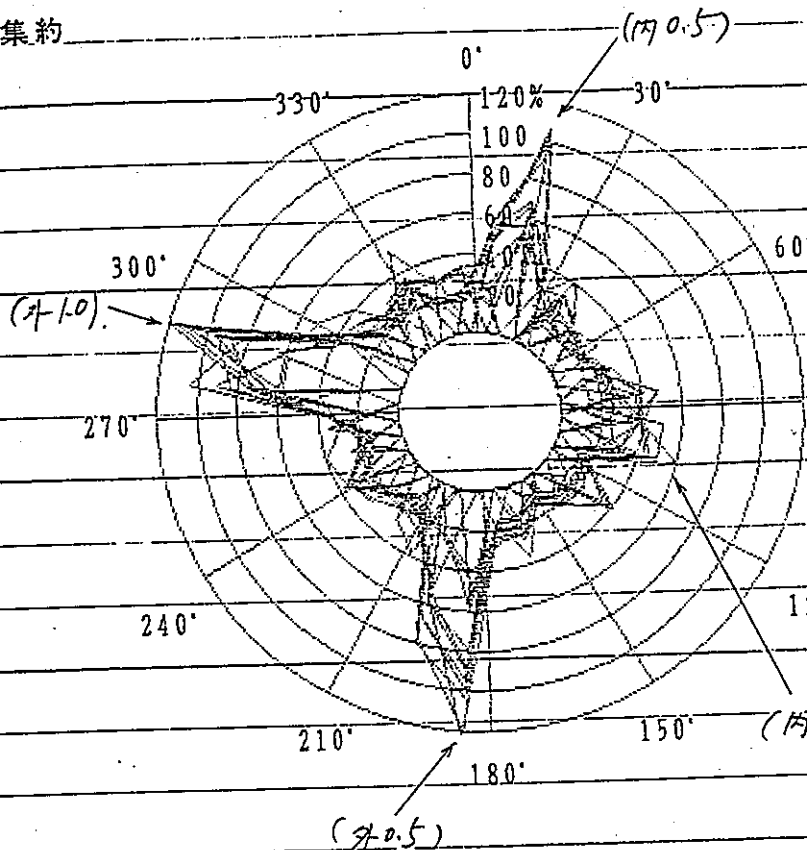


F1:部分表示 F10:終了

図59. 25A熱影響部周方向再現性データ(135°)

欠陥位置表示シート1

全集約



セル名称:

溶接番号: 25ANETU-180

60° 屈折角: 45.0°

検査位置:  正 /  逆

90° 評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-24

検査員:

判定 Lレベル: 30.0

Mレベル: 45.0

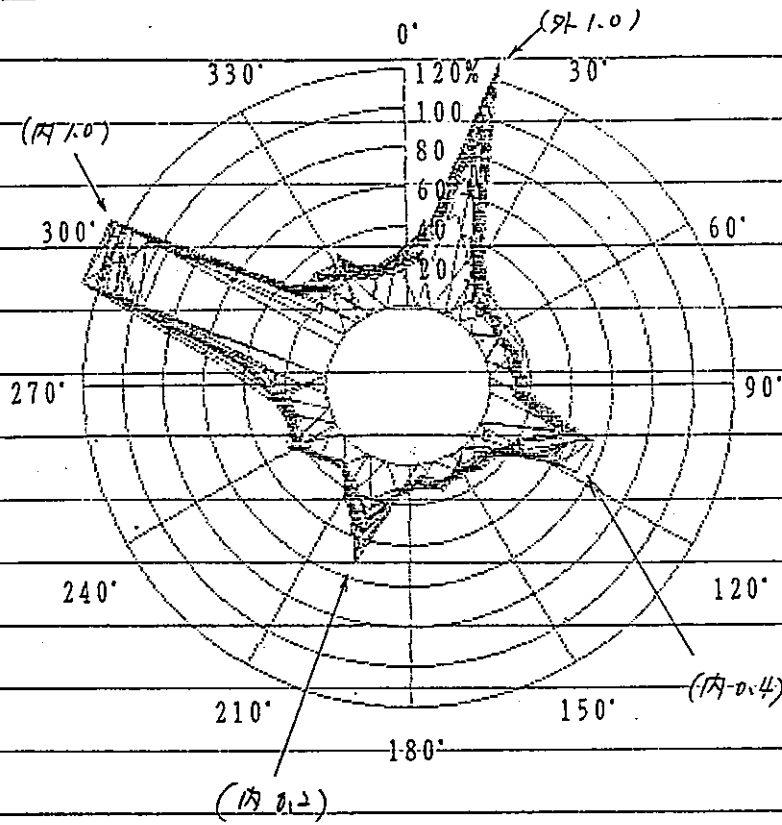
Hレベル: 60.0

F1: 部分表示 F10: 終了

図60. 25A熱影響部周方向再現性データ(180°)

欠陥位置表示シート 1

全集約



セル名称:

溶接番号: 25ABOZA-3

屈折角: 45.0°

検査位置:  正 /  逆

90° 評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-24

検査員:

判定 Iレベル: 30.0

Mレベル: 45.0

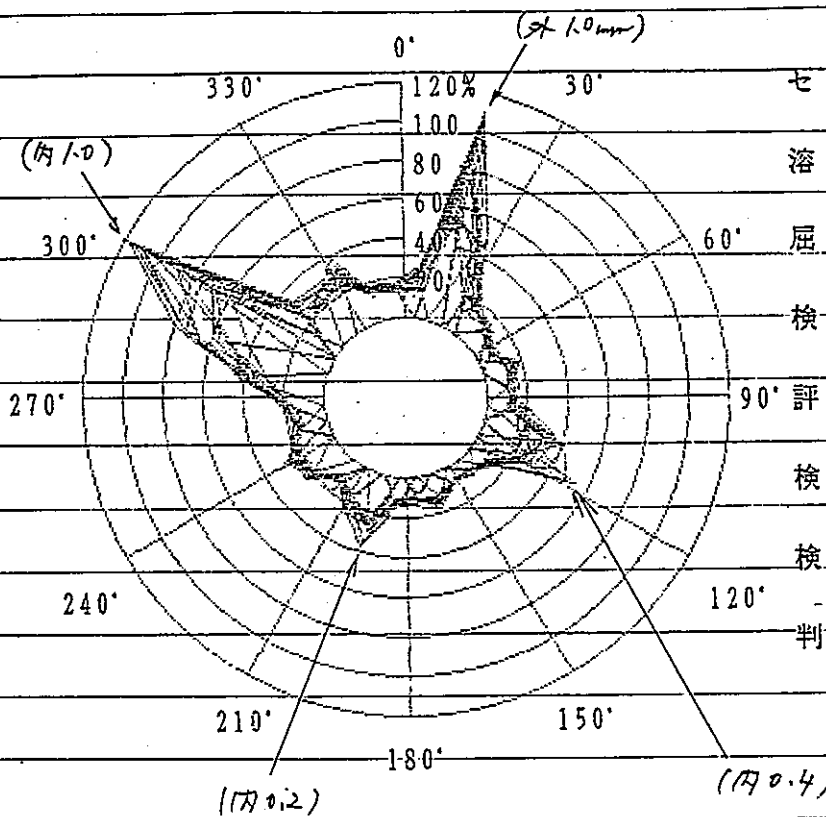
Hレベル: 60.0

F 1 : 部分表示 F 1 0 : 終了

図61. 25A母材部軸方向再現性データ (0mm)

欠陥位置表示シート 1

全集約



セル 名称:

溶 接 番 号: 25ABOZA-5mm

屈 折 角: 45.0°

検 査 位 置:  正 /  逆

90° 評価レベル: 0.0

検 査 日: 92-01-24

検 査 員:

判 定 Lレベル: 30.0

Mレベル: 45.0

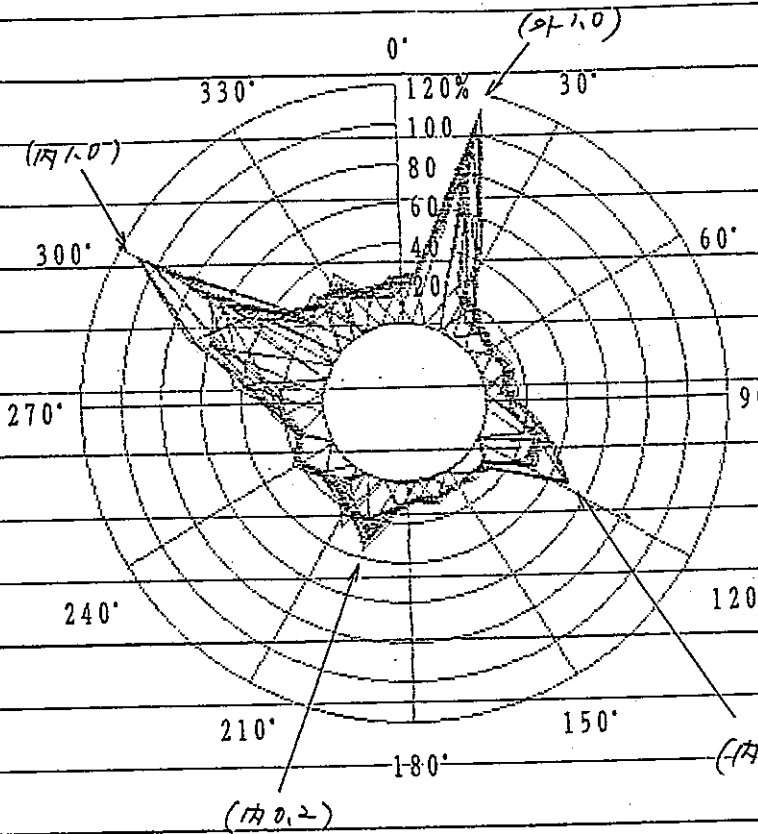
Hレベル: 60.0

F 1 : 部分表示 F 1 0 : 終了

図62. 25A母材部軸方向再現性データ (5mm)

欠陥位置表示シート 1

全集約



セル名称:

溶接番号: 25ABOZA-10mm

屈折角: 45.0°

検査位置:  正 /  逆

90° 評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-24

検査員:

判定 Lレベル: 30.0

Mレベル: 45.0

Hレベル: 60.0

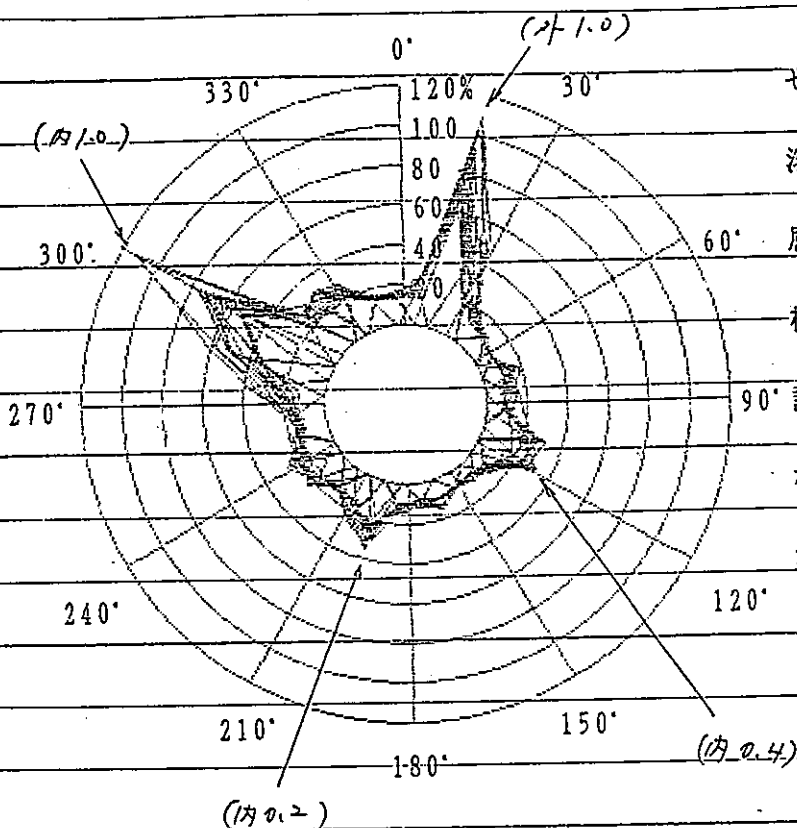
F 1 : 部分表示 F 1 0 : 終了

図63. 25 A 母材部軸方向再現性データ (10mm)



欠陥位置表示シート 1

全集約



セル名称:

溶接番号: 25ABOZA-15mm

屈折角: 45.0°

検査位置:  正 /  逆

90° 評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-24

検査員:

判定 Lレベル: 30.0

Mレベル: 45.0

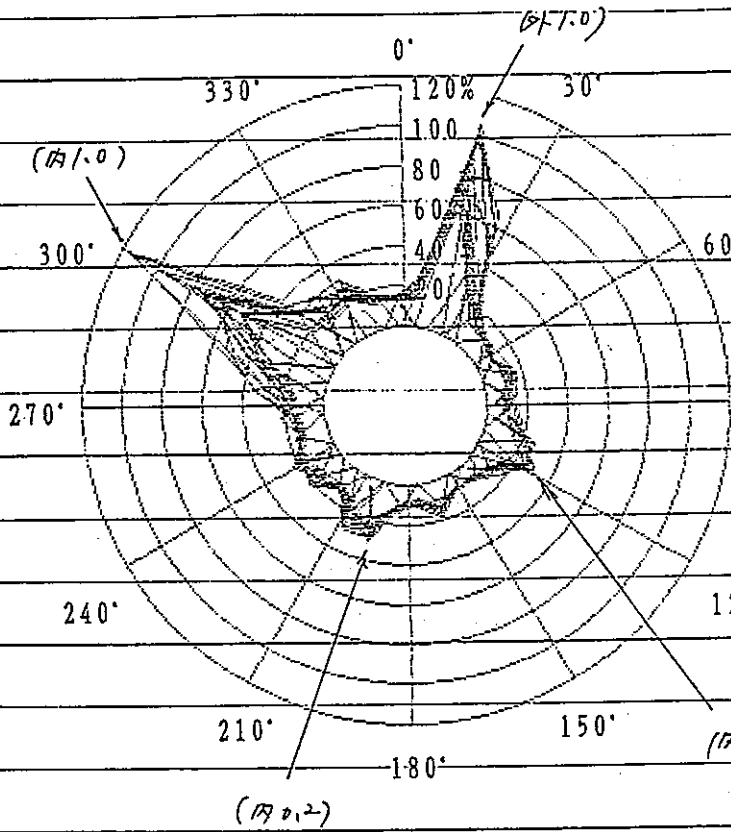
Hレベル: 60.0

F 1 : 部分表示 F 1 0 : 終了

図64. 25A母材部軸方向再現性データ (15mm)

欠陥位置表示シート 1

全集約



セル 名称:

溶 接 番 号: 25ABOZA-20mm

屈 折 角: 45.0°

検 査 位 置:  正 / 逆

90° 評 価 レ ベ ル: 0.0

検 査 日: 92-01-24

検 査 員:

判 定 レ ベ ル: 30.0

M レ ベ ル: 45.0

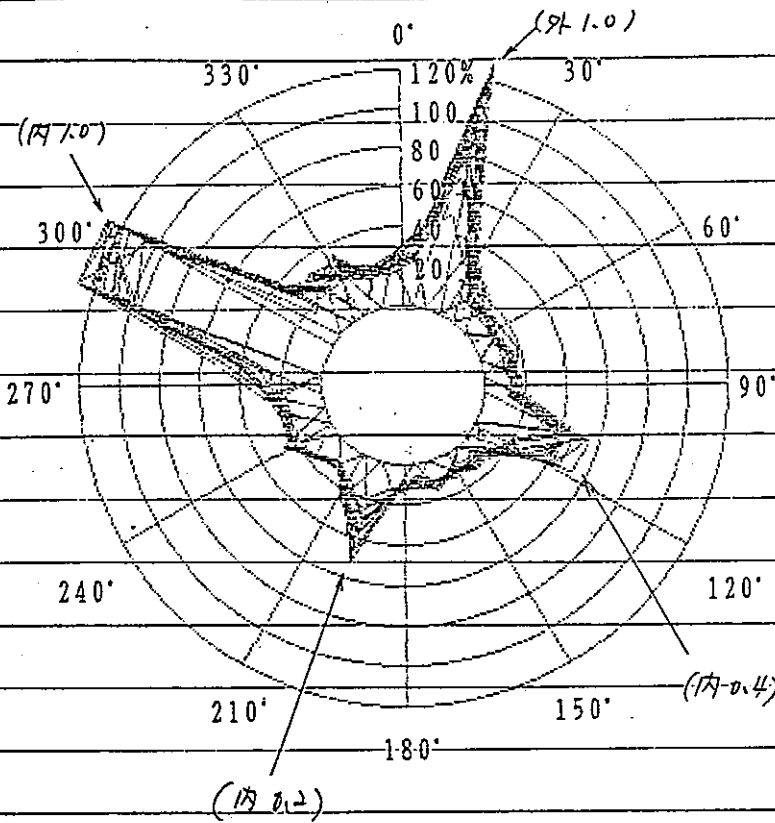
H レ ベ ル: 60.0

F 1 : 部 分 表 示 F 1 0 : 終 了

図65. 25A母材部軸方向再現性データ (20mm)

欠陥位置表示シート 1

全集約



セル名称:

溶接番号: 25ABOZA-3

屈折角: 45.0°

検査位置:  正 /  逆

90° 評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-24

検査員:

判定 Lレベル: 30.0

Mレベル: 45.0

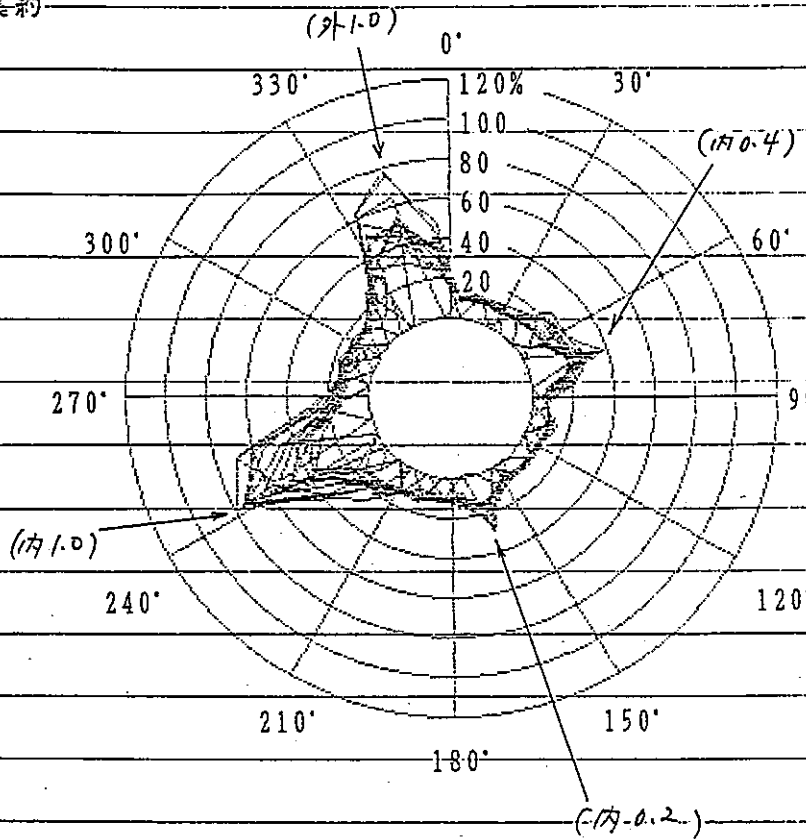
Hレベル: 60.0

F 1 : 部分表示 F 1 0 : 終了

図66. 25A母材部周方向再現性データ (0°)

欠陥位置表示シート 1

全集約



セル名称:

溶接番号: 25ABOZA-45

屈折角: 45.0°

検査位置: 正 / 逆

90° 評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-24

検査員:

判定 Lレベル: 30.0

Mレベル: 45.0

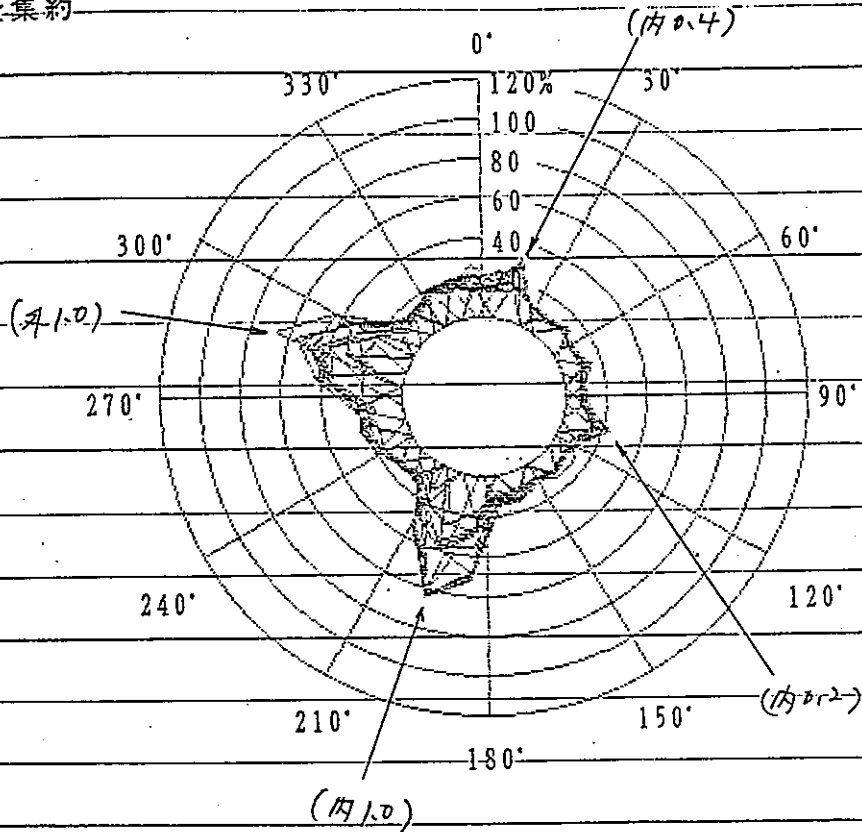
Hレベル: 60.0

F 1: 部分表示 F 1 0: 終了

図67. 25A母材部周方向再現性データ (45°)

欠陥位置表示シート 1

全集約



セル名称:

溶接番号: 25ABOZA-90

屈折角: 45.0°

検査位置:  正 /  逆

90° 評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-24

検査員:

判定 Lレベル: 30.0

Mレベル: 45.0

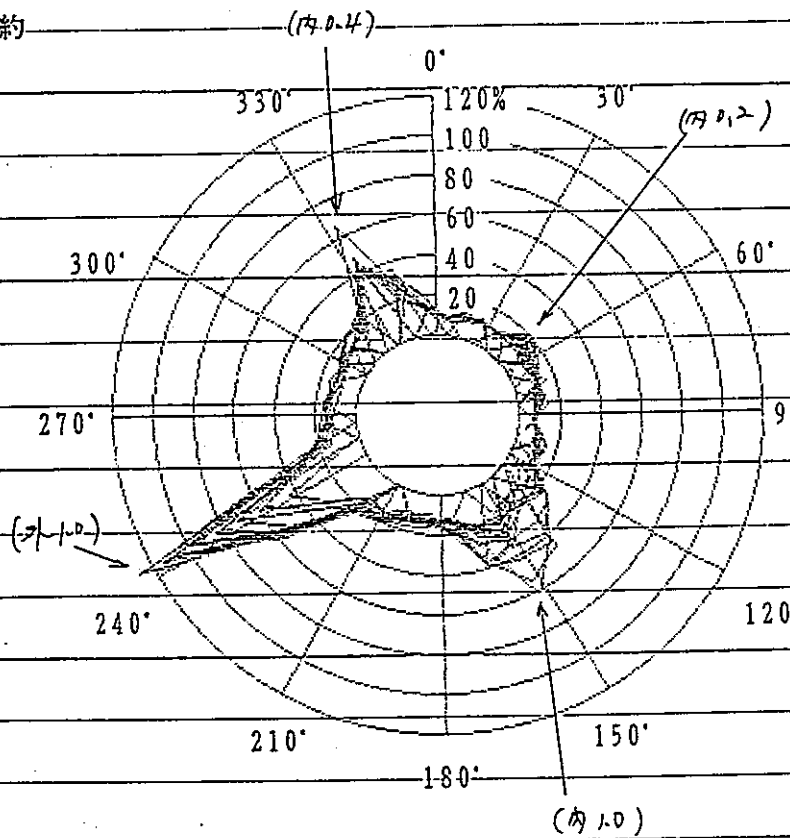
Hレベル: 60.0

F1: 部分表示 F10: 終了

図68. 25A母材部周方向再現性データ (90°)

欠陥位置表示シート 1

全集約



セル名称:

溶接番号: 25ABOZA-135

屈折角: 45.0°

検査位置: 正 / 逆

90°評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-24

検査員:

判定 Lレベル: 30.0

Mレベル: 45.0

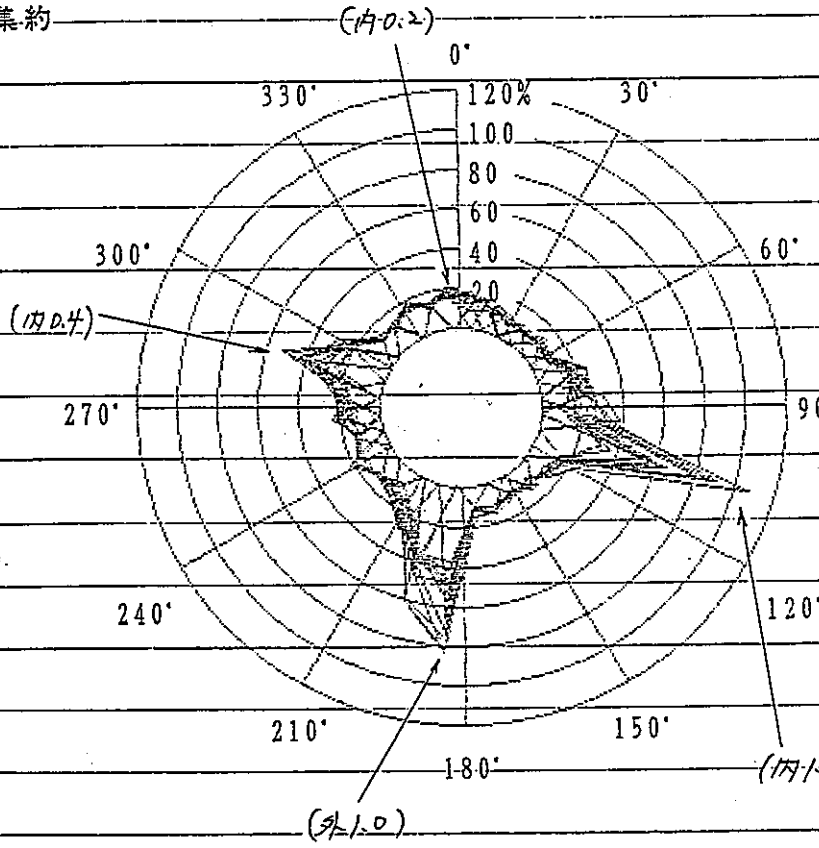
Hレベル: 60.0

F 1 : 部分表示 F 1 0 : 終了

図69. 25A母材部周方向再現性データ (135°)

欠陥位置表示シート 1

全集約



セル名称:

溶接番号: 25ABOZA-180

屈折角: 45.0°

検査位置:  正 /  逆

90° 評価レベル: 0.0

検査日: 92-01-24

検査員:

判定 Lレベル: 30.0

Mレベル: 45.0

Hレベル: 60.0

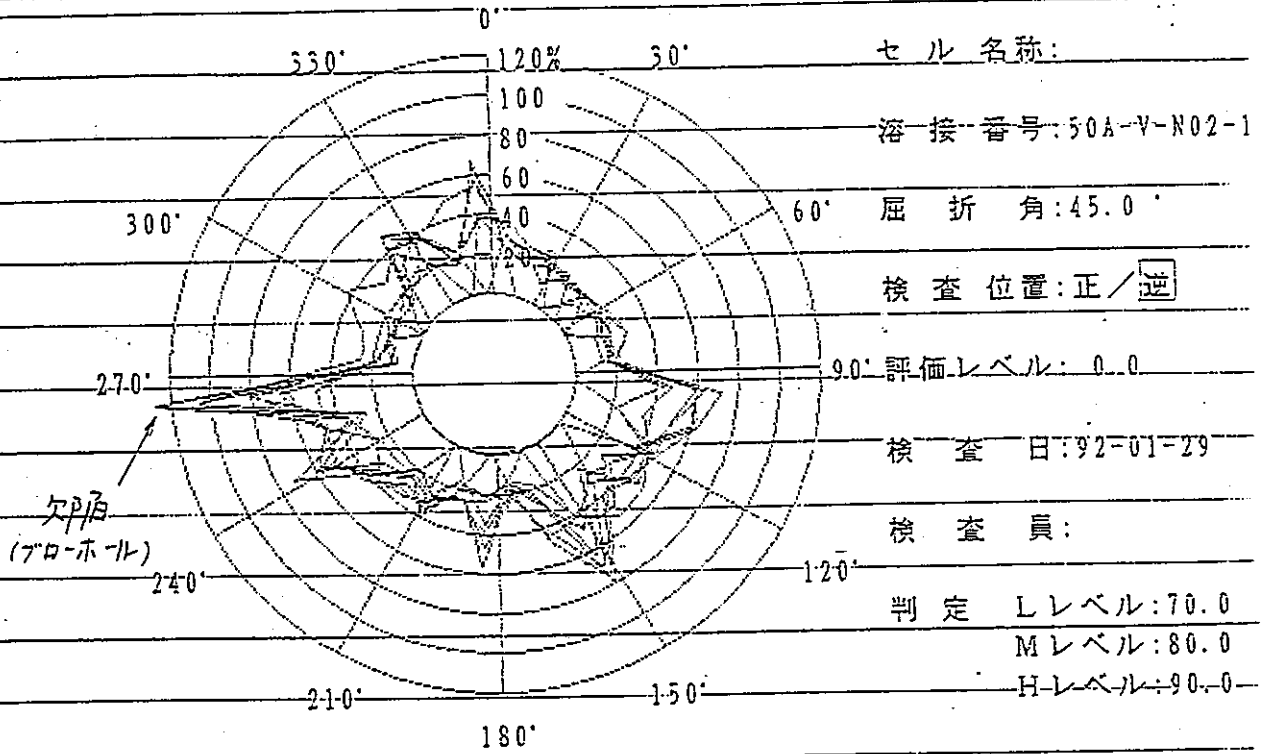
F1: 部分表示 F10: 終了

図70. 25A母材部周方向再現性データ (180°)

溶接試験片：50A No. 2

欠陥位置表示シート 1

全集約



F1:部分表示 F10:終了

図71. 信頼性試験 (ブローホールの検出例)



#### (4) 欠陥検出性の信頼性試験

予め行ったVT、PT試験では表面に露出した欠陥は全ての試験片について確認されなかった。しかし、予め行ったRT試験では50Aの垂直姿勢で溶接を行った試験片1本に約1mm程度の直径を有するブローホールが1箇所確認されており、検査装置(UT)による試験結果でもこのブローホールの存在が明確に確認できた。また、その他の試験片については欠陥と見なせる指示はまったく現れず、VT、PT、RTの試験結果と一致した結果が得られた。

### 4.5.2 試験項目別成果

#### (1) 予備試験

検査装置(UT)による試験結果の信頼性を評価するために事前に行われた予備試験において、欠陥が存在する試験片と、欠陥が存在しない試験片を明確に識別することができ、後の試験(欠陥検出能、再現性及び信頼性)のために有効なデータが得られた。

#### (2) 欠陥検出能の試験

溶接ビード中心部に加工した人工欠陥については50Aの最大値が1.3dB(図5)で、25Aの最大値が3.0dB(図8)の欠陥検出能しか得られず、深さ1mm長さ5mmの角溝欠陥の検出は困難であった。また、熱影響部に加工した人工欠陥については50Aの裏面に加工した深さ1mmのデータのみが3.5dB(図6)と低い値であったが、その他の欠陥については50A、25Aとも深さ0.5mm以上の欠陥を検出できる性能(4dB以上)のあることが確認できた(図6、9)。さらに、母材部に加工した人工欠陥については深さ1mm以上の欠陥の場合には50A、25Aとも10dB以上で検出できる性能のあることが確認され(図7、10)、25Aでは深さ0.2mmの欠陥まで4dB以上で検出できることが確認できた(図10)。

#### (3) 再現性の試験

溶接部に対する検査装置のクランプ位置を変えた場合の欠陥検出データの再現性を確認したところ、管周方向における変化に対してデータがばらついて50Aでは最大42%(表6)、25Aでは最大39%(表11)であり、他にも41%、24%(表6)、36%(表7)、33%、28%、32%(表8)、21%、31%(表9)、35%、39%、32%(表10)、34%(表11)のデータが確認され、再現性に乏しい結果となった。しかし、管軸方向では50Aが最大20%(表7)、25Aが最大21%(表10)であり、25Aの1点のデータを除けば20%以内の再現性を有していることが確認された。

#### (4) 欠陥検出性の信頼性試験

予め行ったVT、PT、RT試験では50Aの垂直姿勢で溶接を行った試験片1本に直径約1mm程度のブローホールが1箇所確認されており、他には欠陥が確認されなかった。この試験結果をふまえて検査装置(UT)による試験を行った結果、ブローホールの存在する試験片では欠陥指示が明確に確認できた(図71)。また、その他の試験片については欠陥と見なせる指示はまったく現れず、予備試験(VT、PT、RT)で得られた結果と検査装置(UT)による試験結果が一致することが確認できた。この結果より検査装置(UT)の性能は他の検査手段と同等と評価される。

#### 4.6 評価検討

今回の評価試験の判定基準は再処理施設等の溶接に関する技術基準と、電気技術指針原子力編J E A G 4 2 0 7を参考として定めたものであるが、特に欠陥検出能については具体的な基準が示されておらず、超音波探傷における基準感度の規定から、欠陥検出能の期待値を含めた基準として定めた。

その結果は4.5.1項に示した通りであるが、母材部と熱影響部については感度基準とした深さ1mm長さ5mmの半分の大きさの深さ0.5mm長さ5mmの欠陥を検出できる能力のあることが確認された。しかし、溶接部では金属組織の影響で感度基準とした深さ1mm長さ5mmの欠陥が検出困難であり、安定に検出できる欠陥としては今回の試験結果から推定すると、深さ2mm長さ5mm以上の大きさの欠陥の検出が可能と考えられる。尚、この現象はその後に行われたAスコープ表示型超音波探傷器による手探傷結果でも類似した結果(表12)が得られていることからこの検査装置特有の課題ではなく、今回製作した試験片の特性に起因している可能性が大きい。すなわち、溶接ユニットで製作した試験片においては直径が1mm程度のブローホールを確実に検出している(図71)状況を分析すると、人工欠陥付き溶接試験片の溶接部で発生するノイズレベルは約90%から125%であるのに対して溶接ユニットで製作した溶接試験片の溶接部で発生するノイズレベルは約50%から70%程度と低いことがわかる。これは、溶接条件の違い(例えば溶接時の温度、溶接速度、冷却時間)によって金属組織の形成状態が異なっているものと考えられる。しかし、このことは溶接ユニットで製作される溶接部はほぼ一定の条件で製作できると考えられることから、本検査装置(UT)は既に開発済みの溶接ユニットで製作された配管溶接部に対しては1mm程度の大きさの欠陥を検出できる可能性があるとして評価できる。

尚、検査装置の最終的な欠陥検出能の評価としては対比試験片として安定に製作できる条件のもとで行われる必要がある(溶接部や熱影響部では溶接条件で金属組織が変化し、超音波の伝搬特性に変化を与えるため正確な評価ができない)、この条件を満足するのは母材部に加工した人工欠陥で評価する方法しかない。この考え方は再処理施設等の溶接に関する技術基準をはじめ、ASME規格、JIS規格、J E A G規格でも同様であり、すべて母材部に人工欠陥を加工した対比試験片を基準とした評価基準が定められている。このことから、母材部において欠陥検出能を評価すると評価基準である深さ1mm長さ5mmの角溝は10dB以上のS/N(欠陥検出能)の試験結果が得られている。

また、再現性の試験結果では管周方向に検査センサを移動させた時の再現性が特に悪い結果となった。これは現状の検査センサが管周方向に多チャンネル化したアレイ構造としているために検査センサの表面に設けられた曲率と試験片の外径の真円度との相違から生じるものと思われる。つまり、現状の検査センサは1ブロックで配管の管周90°以上を一度に検査できるように設計されており、かつ、センサの配管への接触部では接触の安定性を図るために1.5mm厚さのコンタクトラバーが取り付けられているが、センサ表面の曲率と配管の外径寸法とが部分的に合わなかったために再現性が低下したのと考えられる。

従って、再現性の向上を図るためには検査センサの方式（多チャンネルアレイ方式）の見直しを含め、配管との接触の安定性を向上させる必要がある。

尚、欠陥検出性の信頼性については、他の検査手段（VT、PT、RT）との比較において、本検査装置（UT）においても同様な試験結果が得られることが確認された。すなわち、欠陥の存在しない溶接試験片では欠陥レベルの基準値である80%を越える指示値は確認されず、欠陥の存在する溶接試験片では欠陥レベルの基準値である80%を越える指示値が確認できた。

表12. Aスコープ表示型超音波探傷器を用いた人手による欠陥検出能試験結果

試験結果					
50A		表面深さ0.5mm	表面深さ1.0mm	裏面深さ0.5mm	裏面深さ1.0mm
	溶接部	0.0dB	2.8dB	0.0dB	0.0dB
	熱影響部	3.0dB	6.0dB	1.0dB	2.4dB
		表面深さ1.0mm	裏面深さ0.2mm	裏面深さ0.4mm	裏面深さ1.0mm
	母材部	14.0dB	4.4dB	6.0dB	10.9dB
25A		表面深さ0.5mm	表面深さ1.0mm	裏面深さ0.5mm	裏面深さ1.0mm
	溶接部	3.5dB	4.4dB	7.4dB	4.4dB
	熱影響部	5.4dB	8.0dB	8.0dB	10.5dB
		表面深さ1.0mm	裏面深さ0.2mm	裏面深さ0.4mm	裏面深さ1.0mm
	母材部	14.0dB	4.4dB	7.0dB	13.0dB

## 4.7 改良検討

評価試験により検査装置の欠陥検出能、再現性、信頼性を評価してきたが、欠陥検出能では人工欠陥付き溶接試験片の溶接部に加工された深さ1mm長さ5mmの欠陥に対する検出能が不足していることが確認された。また、再現性については配管の管周方向に対して検査センサの位置を変えたときの再現性が不足していることが確認され、それぞれの項目に対して改良の必要があり、以下に検討結果を記述する。

### (1) 欠陥検出能の向上について

ステンレス溶接部において、欠陥検出能を左右する大きな要因は溶接金属組織が母材部に比べて大幅に変化することである。つまり、溶接熱の影響を受けた部分では組織が粗大化し、溶接部では柱状組織を形成することになり、それぞれの境界面で超音波の反射波を生じやすくさせる結果となっている。この反射波を軽減させることが欠陥検出能の向上に大きく寄与できることから、これに関する方策を以下に記述する。但し、この欠陥検出能の向上方策は今回の制約条件（配管肉厚が薄いか、作業アームで支えられる重量に制限がある）を考えると実現は難しいと思われるが、検討結果のみを記述する。

#### ① 周波数を低くする（現状3MHzを1～2MHzにする）。

周波数を低くすることは波長が長くなることと同じである。すなわち、波長は（音速）／（周波数）で決定されるからである。

波長を長くすることにより金属組織の粒界からの散乱波を減少させる効果が期待できるが、現在検査の対象に考えている配管では肉厚が薄いために肉厚と波長がほぼ等しくなり、複雑な超音波伝搬モードが発生し、試験結果の解析を難しくさせる欠点があり、現実には使用できないと考えられる。

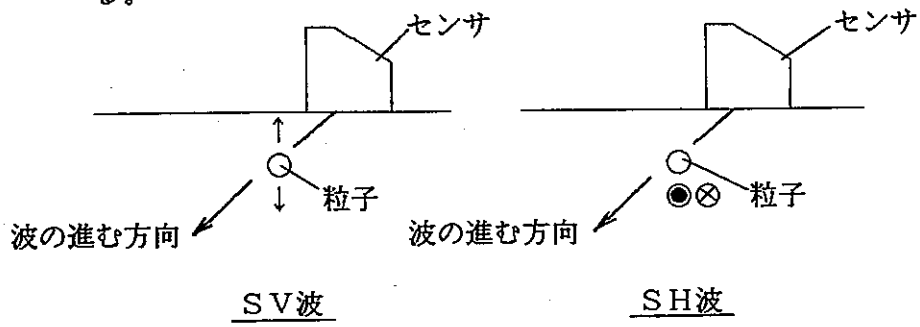
#### ② 縦波を使用する（現状は<sup>x1</sup>SV横波）

①と同様の効果と欠点がある。

#### ③ <sup>x2</sup>SH波（横波）を使用する（現状はSV横波）

異種金属の境界面でも超音波のモード変換が生じない特性を有していることから、ステンレスの溶接部には適していると思われるが、SH波（横波）の発生方式として電磁石や永久磁石が必要となり、現状の検査センサの寸法で1チャンネルの機能の条件で重量が2kgfから3kgf程度になることが予測される。また、センサとしての変換効率（電気→超音波）が著しく低いためにセンサの送信部としても大容量の特別なものを用意しなければならず、現状の作業アームで支えられる重量を越えてしまう欠点があり、現実には使用できないと考えられる。

- \* 1) SV波とは超音波の伝搬方向に対して粒子の運動が垂直に変位する波である。
- \* 2) SH波とは超音波の伝搬方向に対して粒子の運動が水平に変位する波である。



(2) 再現性の向上について

評価試験の結果、管周方向における再現性が悪いことがわかり、自動化された検査装置における試験結果の信頼性を十分なものとするためには再現性を向上させることが不可欠であり、以下に改良のための方策を記述する。

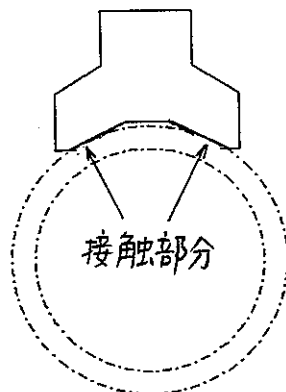
[課題] センサの超音波送受信領域(約 $90^\circ$ )が配管表面に均一に接触しない。

[解決の方策] 配管に対するセンサの接触面積を少なくする(管周方向)。

センサに内蔵されている超音波の送受信素子である振動子の数を現状(8チャンネル)より減らし2チャンネルとして、確実な2点接触方式とする。このことにより配管の外形形状が変化してもセンサの配管への接触面は2面であるため、確実にこの2面を配管に接触させることができる。

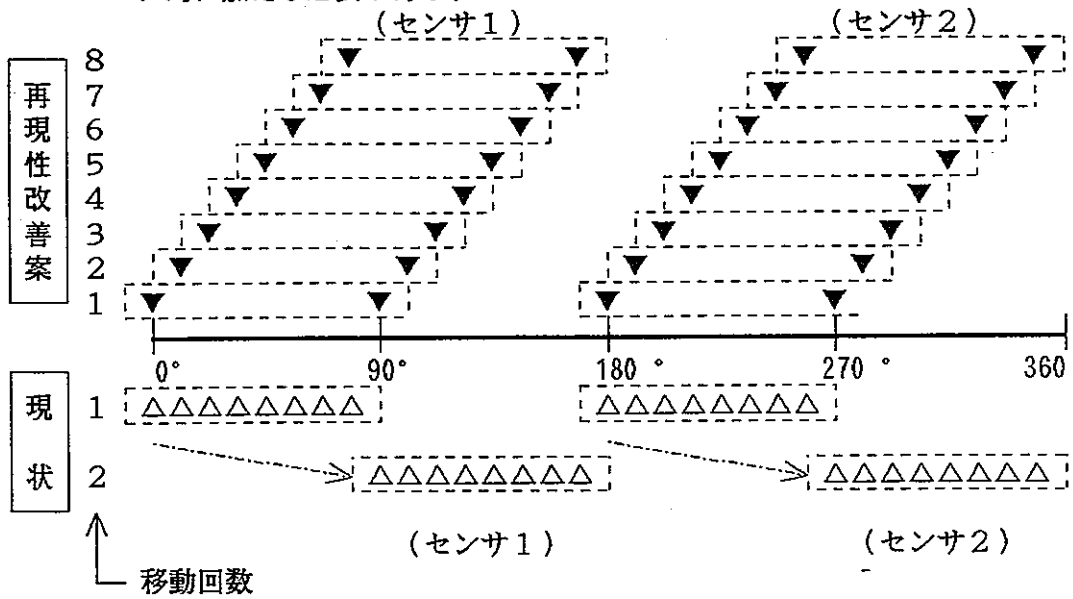
この接触面の部分で超音波の送受信ができるようにすることにより管周上でセンサの位置が変化しても配管に対して安定に超音波を送受信でき、その結果再現性が向上が見込まれる。

しかし、この反面管周方向へのセンサの移動回数がこれまでは1回であったのが8回に増えるため検査に要する時間が現状の約4倍必要となる。





上記センサの1ブロック当たりのチャンネル数を減らしたことにより、配管の全周を検査するために現状90°回転モードをステップ回転方式に変更する。すなわち、現状はセンサ1ブロックで90°の範囲を一度に検査できるセンサが2ブロックあるので1回の90°回転操作を加えるだけで全周の検査ができたが、接触の安定性を確保するためにセンサを2面当たり構造に変更すると1回の軸方向操作で1ブロックが検査できる領域は約24°で、これが2ブロックあることから48°の領域が検査可能となるだけで、全周(360°)を検査するためには7回の回転操作をステップ的に加える必要がある。



(3) その他の改良検討について

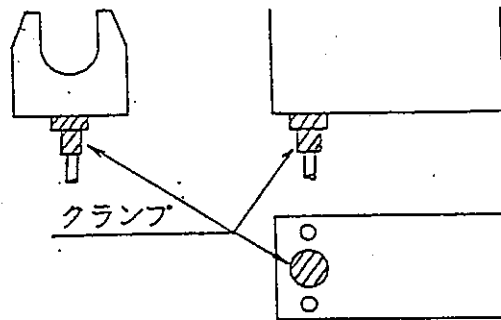
評価試験を実施した際に生じた検査装置の超音波探傷試験性能以外の課題点について改良検討を行った。

以下にその課題の内容と改良方策について記述する。

① センサ用ケーブルのクランプ取付け

〔課題〕 ケーブルクランプがないため、センサ側コネクタ部分でケーブルの断線が生じる。

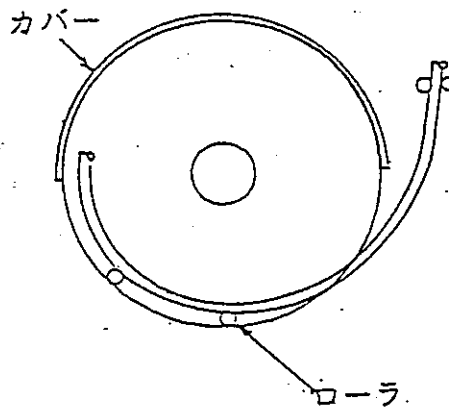
〔解決の方策〕 軽量で強固なケーブルクランプをセンサ移動装置に取り付けて、ケーブルの重量をクランプで確実に受けるようにする。



② ケーブルモジュール内でのケーブルの引っ掛かり防止策 -

〔課題〕 ケーブルモジュール内部でドラムにケーブルが引っ掛かり、ケーブルの引出し、及び巻戻しができなくなる。

〔解決の方策〕 ケーブルの落下防止カバーの内側2~3か所にローラーを設けて、ケーブルと落下防止カバー間の摩擦係数を軽減させると同時にケーブルドラムの上部180°の範囲にもケーブルゆるみどめカバーを設けて、ケーブルがドラムの外径より外側に出ないようにすることにより引出し時に発生するケーブルのたるみによる引っ掛かりを防止する。



## 5. ま と め

今回の評価試験の対象となった検査装置は再処理施設等の溶接に関する技術基準による超音波探傷試験の基準感度の設定（直径2.4mm長さ40mm横穴欠陥を75%以上で設定できること）は十分な余裕値を有してできることが明らかとなった。

また、検査の最終目的である溶接部における欠陥検出能は、今回製作された人工欠陥付き溶接試験片では溶接金属の組織変化が大きいためと思われる反射波（ノイズ）が発生して、深さ1mm長さ5mmの角溝のS/Nは3dB以下の値となり検出が困難であった。

しかし、溶接ユニットで製作した試験片においては直径約1mmのブローホールを検出できた。尚、人工欠陥付き溶接試験片の熱影響部と母材部においては深さ1mm長さ5mmの角溝を検出できることが確認できた。

再現性については管軸方向でのセンサ取付け位置可変ではほぼ20%以内の再現性が得られたが、管周方向でのセンサ取付け位置可変条件では30%から40%程度の結果しか得られなかった。

上記結果から溶接部における欠陥検出能と、管周方向に対するセンサの取付け位置可変条件による再現性について改良の必要性が認められ、改良検討を行った。その結果、再現性の向上に対して具体的改善方策を提示することができた。

## 6. あとがき

再処理工場でのプロセス機器類の保守に伴う交換等の作業は、被ばく防止の観点から長い作業時間と多大な作業員とを要し、結果として施設稼働率の低下とメンテナンス費用の増大をもたらす。

特にプロセス機器の交換に不可欠な配管の切断、溶接とこれに伴う検査等の作業は、全体の作業期間の中でも大きなウエイトを占めるものであり、早急な対応が必要である。

この観点から再処理工場の配管作業を対象とし、遠隔および機械化を高めることにより、作業員の被ばく低減および溶接等の作業者確保の観点で開発 [ I ] 設計試作 [ II ] [ III ] および [ IV ] とシステム完成に必要な機器を順次開発してきた。

今回の「遠隔配管工事システムに係るモックアップ試験」では試作 [ IV ] にて製作した基本作業ユニットの検査装置のモックアップ試験を行い、欠陥検出能、再現性および信頼性について評価し、欠陥検出能については母材部で1 mm以上の欠陥は50 A、25 Aとも検出できる性能を有していることを確認した。

再現性については管周方向に関してデータのばらつきが見られたが、管軸方向では50 A、25 A（1点のみ21%であった）とも20%以内の性能を有していることを確認した。

また、検査装置（UT）の信頼性については1 mm程度の直径を有するブローホールが確認でき、予備試験（VT、PT、RT）で得られた結果と一致することを確認した。

今後、さらに欠陥検出能および再現性を向上させるために、改良検討で提案した項目の実施を推奨する。

## 7. 謝 辞

「遠隔配管工事システムに係るモックアップ試験」の実施、および本成果報告をまとめる上で、動力炉・核燃料開発事業団東海事業所関係各位の熱心な御指導をいただきましたことを厚く御礼申し上げます。

添付資料 1 加工施設、再処理施設及び使用施設等の溶接に関する技術基準を定める

規則 別表第 9 表 超音波探傷試験

使用すべき装置	方 法		斜角法又は垂直法によること。
	種 類		パルス反射法によるものであること。
	増 幅 直 線 性		増幅直線性は、ブラウン管上の可読波高値の20%以上80%以下の範囲内において、±5%以内であること。
	周 波 数		超音波の周波数は、0.5 MHz以上5 MHz以下のものであること。ただし、超音波の周波数が5 MHzを超えるものであつて、十分な探傷能力を有する場合にあつては、この限りでない。
	斜角探触子の屈折角		斜角法による場合は、探触子の屈折角は、溶接部の表面の凹凸等からの反射波により試験に支障を及ぼさないものであること。
	基 準 感 度	斜 角 法	対比試験片の標準穴又はこれと同等の反射効果を有する反射体からの反射波（以下この表において「標準穴反射波」という。）の伝ば距離が肉盛り部の厚さが25mm以下のものにあつては、4分の1スキップ、25mmを超えるものにあつては、8分の3スキップのときにおいて、標準穴反射波のブラウン管上の高さが飽和値又は可読波高値の高さの75%以上であること。
		垂 直 法	溶接部の厚さが25mm以下のものにあつては、対比試験片の厚さの2分の1、25mmを超えるものにあつては、対比試験片の厚さの4分の1の深さにある試験片の標準穴反射波のブラウン管上の高さが飽和値又は可読波高値の高さ50%以上であること。
	接 触 媒 質		液体状又はのり状の媒質を用いること。
	探 傷 面		探傷面は、清浄で、かつ、滑らかであること。ただし、探傷面に固着したスケール又は塗料であつて、その表面が滑らかで、はく離するおそれがなく、かつ、超音波の伝ばを妨げるおそれのないものは、取り除くことを要しない。
	走 査		走査は、次の1及び2により行うこと。 1 反射波の高さが基準感度の2倍以上（自動超音波探傷試験装置を用いる場合を除く。）の感度で行うこと。ただし、欠陥の評価は、基準感度で行わなければならない。 2 超音波が試験部全体に伝ばするように行うこと。

試験の方法

材 質

対比試験片の材質は、超音波伝ばに関して、探傷部の材質と同等のものであること。

形状、寸法

対比試験片の形状及び寸法は、次の図1又は図2によること。この場合において、標準穴は、探触子を接触させる面と直角の面に設けなければならない。

図1 接触部の半径が 254mmを超える場合

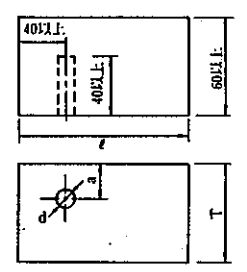
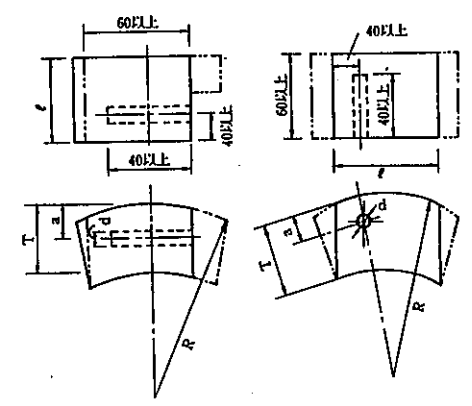


図2 接触部の半径が 254mm以下の場合



- (備考)
- (1) 寸法の単位は、mmとする。
  - (2)  $l$  は、試験に必要な長さとする。
  - (3)  $T$ 、 $a$ 及び $d$ は、それぞれ次の表のとおりとする。

- (備考)
- (1) 寸法の単位は、mmとする。
  - (2)  $R$  は、接触部の半径の0.7倍から1.1倍までの値とする。
  - (3)  $l$ 、 $T$ 、 $a$ 及び $d$ は、図1に定めるところによる。

溶接部の厚さ (mm)	T (mm)	a	d (mm)
25以下	溶接部の厚さ又は19	Tの2分の1	2.4
25を超え 51以下	溶接部の厚さ又は38	Tの4分の3又はTの4分の1	3.2
51を超え 102以下	溶接部の厚さ又は76	Tの4分の3又はTの4分の1	4.8
102を超え 152以下	溶接部の厚さ又は127	Tの4分の3又はTの4分の1	6.4
152を超え 203以下	溶接部の厚さ又は178	Tの4分の3又はTの4分の1	8.0
203を超え 254以下	溶接部の厚さ又は229	Tの4分の3又はTの4分の1	9.6
254を超えるもの	溶接部の厚さ	Tの4分の3又はTの4分の1	9.6 に厚さが 254 を超える51又はその端数ごとに1.6を加えた値

	複 数 の 穴	1つの試験片に複数の穴を設ける場合は、標準穴以外の穴からの反射波の影響を受けないようそれぞれの穴間に十分な距離を置くこと。								
	表 面	探触子を接触させる表面は、清浄で、かつ、滑らかであること。								
合 格 基 準	<p>次の1又は2のいずれかに適合すること。</p> <p>1 溶接部の欠陥からの反射波（以下この表において「欠陥部反射波」という。）のブラウン管上の高さが、標準穴反射波のブラウン管上の高さを探触子と欠陥との間の距離について補正した値以下であること。</p> <p>2 欠陥部反射波のブラウン管上の高さが、標準穴反射波のブラウン管上の高さを探触子と欠陥との間の距離について補正した値を超える部分の長さが、次の表の左欄に掲げる溶接部の厚さの区分に応じ、それぞれ同表の右欄に掲げる値以下であること。</p> <table border="1" data-bbox="423 847 1046 1080"> <thead> <tr> <th>溶接部の厚さ (mm)</th> <th>長 さ (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>18以下</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>18を超え57以下</td> <td>溶接部の厚さの3分の1</td> </tr> <tr> <td>57を超えるもの</td> <td>19</td> </tr> </tbody> </table>		溶接部の厚さ (mm)	長 さ (mm)	18以下	6	18を超え57以下	溶接部の厚さの3分の1	57を超えるもの	19
溶接部の厚さ (mm)	長 さ (mm)									
18以下	6									
18を超え57以下	溶接部の厚さの3分の1									
57を超えるもの	19									

(備 考)

「自動超音波探傷試験装置」とは、探触子の走査及び試験結果の記録が自動的に行われるものをいう。