

非破壊検査による溶接品質の管理

Quality Control of Welded Parts by Nondestructive Testing

海 野 友 孝*
Tomotaka Umino

妹 島 五 彦*
Itsuhiko Sejima

内 容 梗 概

昨今溶接技術の進歩は著しいが、さらに非破壊検査による品質管理を有機的に導入することにより、急速に溶接部の品質向上を推進することができる。本報では非破壊検査による溶接品質の管理法と、この結果による品質の推移を実例に基づいて述べ、あわせて十分な管理態勢が確立された後においては顕著な溶接品質の向上が見られることを明らかにした。

1. 緒 言

昨今における溶接技術の発展は著しく、あらゆる製品分野に溶接構造が採用されているといっても過言でない。一方高信頼度を要求される溶接部も、過去においてはボイラドラムなどの圧力容器を対象とする単純な突合せ継手が主体であったが、現在では一例として機械部品の溶接構造物をとりあげても回転部などの応力繰返し荷重を受けるような一般構造物溶接も加わり継手の形状も多種にわたっている。

これらの溶接製品の品質を維持、向上させるためには、設計、原料、管理、製造、検査の各技術陣の緊密なチームワークを保つことが不可欠な要素であるが、溶接部の品質は特別な検査手段を用いないと確認できない特異性をもっているため、この点に注目しなくてはならない。

日立製作所においては、これに対処して、近年鋭意非破壊検査法の一般技術の開発、および管理の確立に努力を重ね、すでに一般的な管理法、特殊継手に対する適用法なども数多くの実例から決定、実施している。

以下、これらの実施状況および実施結果についてその概要を紹介する。

2. 溶接部非破壊検査法

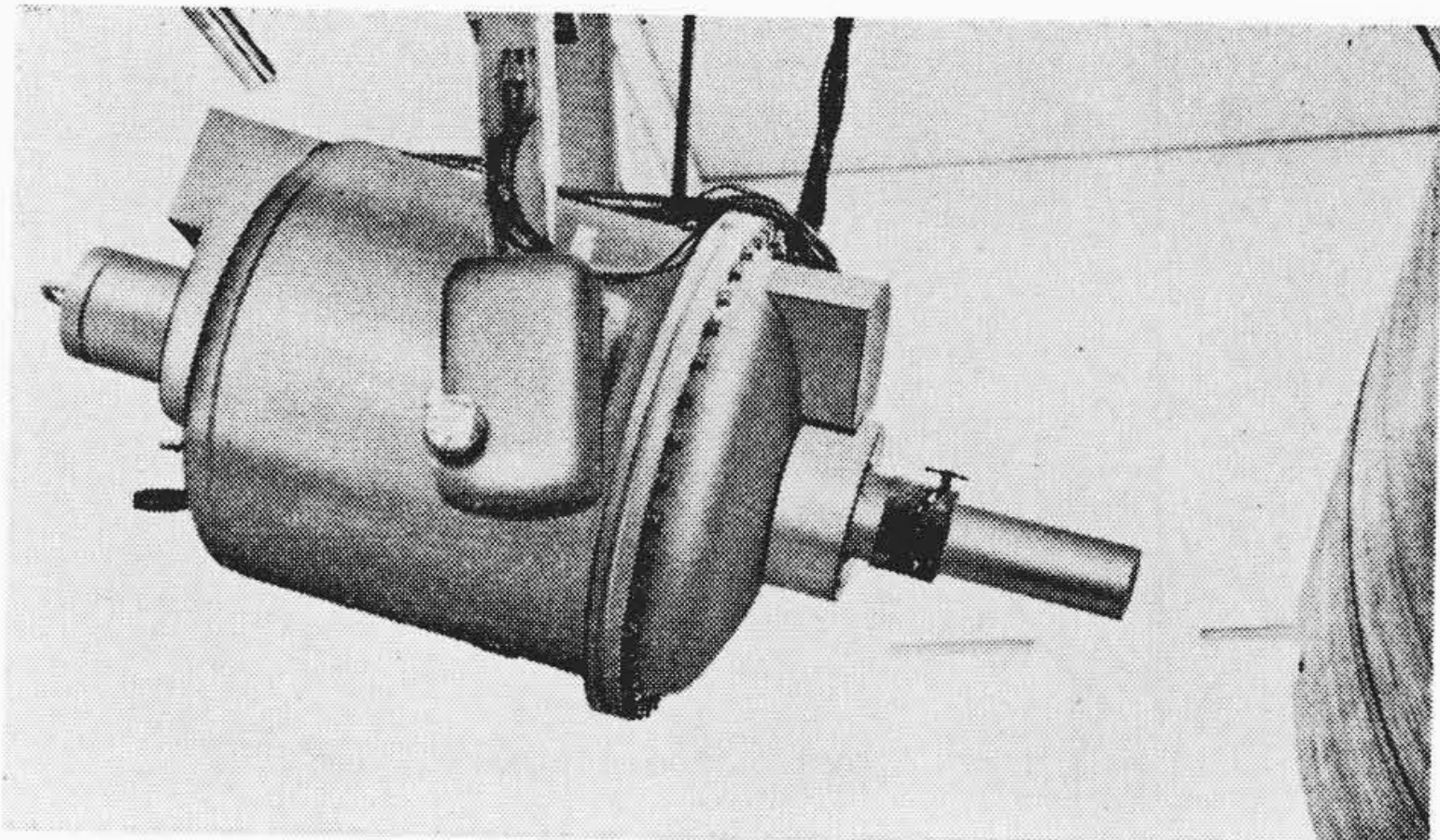
2.1 各非破壊検査法の特長

溶接部の欠陥検知を主目的として汎用される非破壊検査法は、その種類としては一般製品に使用される検査法と大差なく、放射線検査、超音波探傷、磁粉探傷、浸透探傷などで、これらの溶接部検査に対する特色を十分掌握して適正な検査法を選択し、必要に応じてはこれらを組み合わせて適用することが重要な点である。

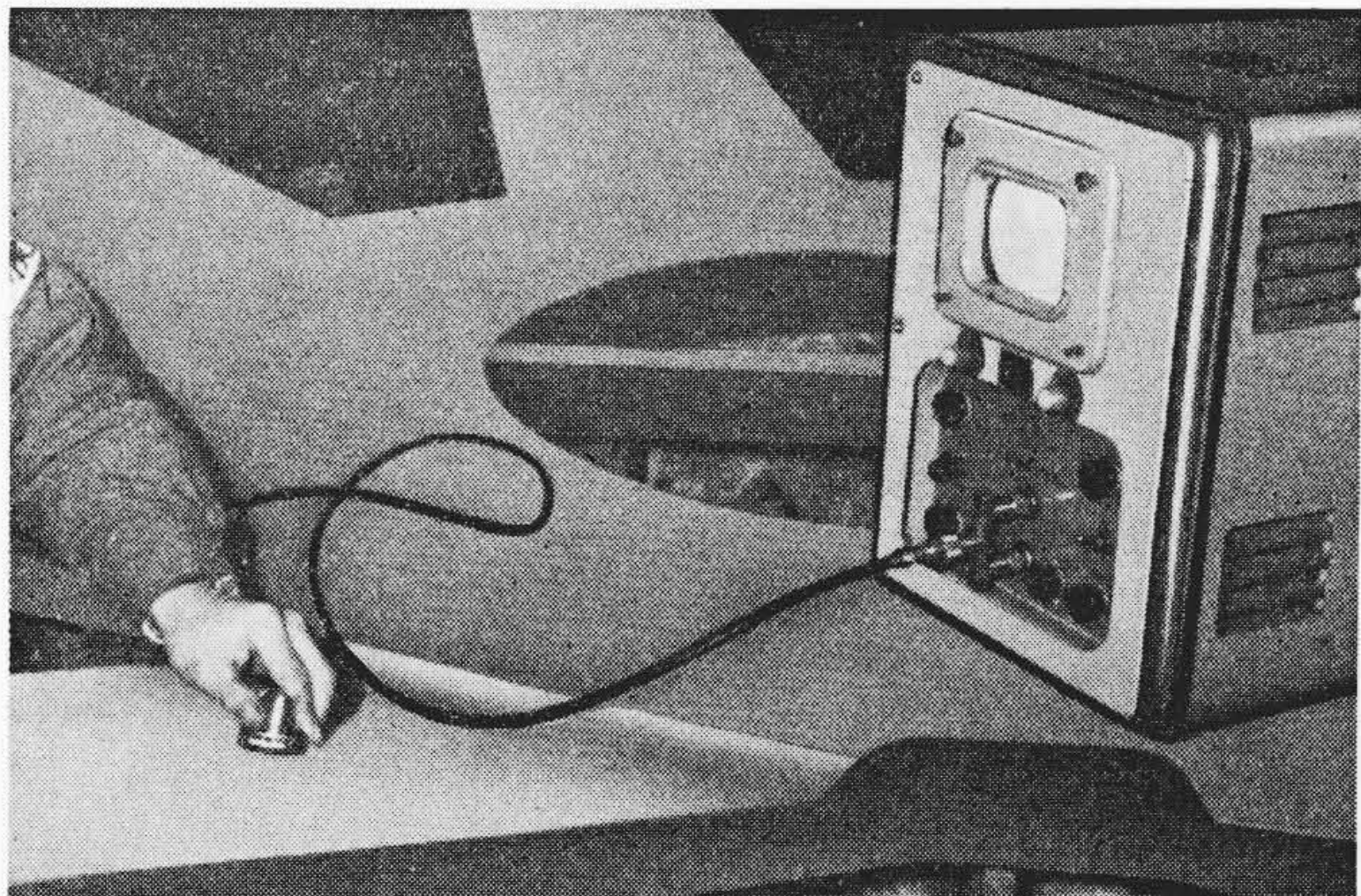
そこで、まず各検査法の特長について簡単に述べる。

2.1.1 放射線検査法

非破壊検査の主力として、一般に放射線透過法が利用される。線源にはX線または放射性同位元素を用い、材料内部を透過してフィルムあるいは蛍光板上に欠陥像を見るもので、検査の結果比較的明確に欠陥の大きさ、種類などの判別ができるため信頼性が高い反面、検査能率が悪い、被検部の厚さにより適用限界があるなどの欠点も持っている。欠陥の検知感度について特に注意しなくてはならない点は、ブローホール、スラグなど比較的立体的な空間を占める形状の欠陥は検知しやすいが、き裂のような平面的な欠陥は放射線の透過方向がよほど適切でない限り明確に検知しがたい。第1図は1,000 kV X線装置による溶接部のX線検査状況の一例を示す。



第1図 1,000 kV X線装置による溶接部放射線検査



第2図 垂直探傷法によるT継手部の超音波探傷

2.1.2 超音波探傷法

通常インパルス反射法が適用される。超音波を表面より材料中に入射し欠陥からの反射波をブラウン管上に表示させる方法で、検査部の厚さに制限なく適用できる、操作が簡便で能率的である。音波くさびを用いることにより任意の方向に入射し得る、材料深部の欠陥も高感度で検知し得るなど利点の多い反面、表面近くの欠陥の検知が不可能であることおよび欠陥の形状、大きさなどの判別が明確にできない欠点がある。第2図は垂直探傷法によるT継手部の超音波探傷の一例を示す。

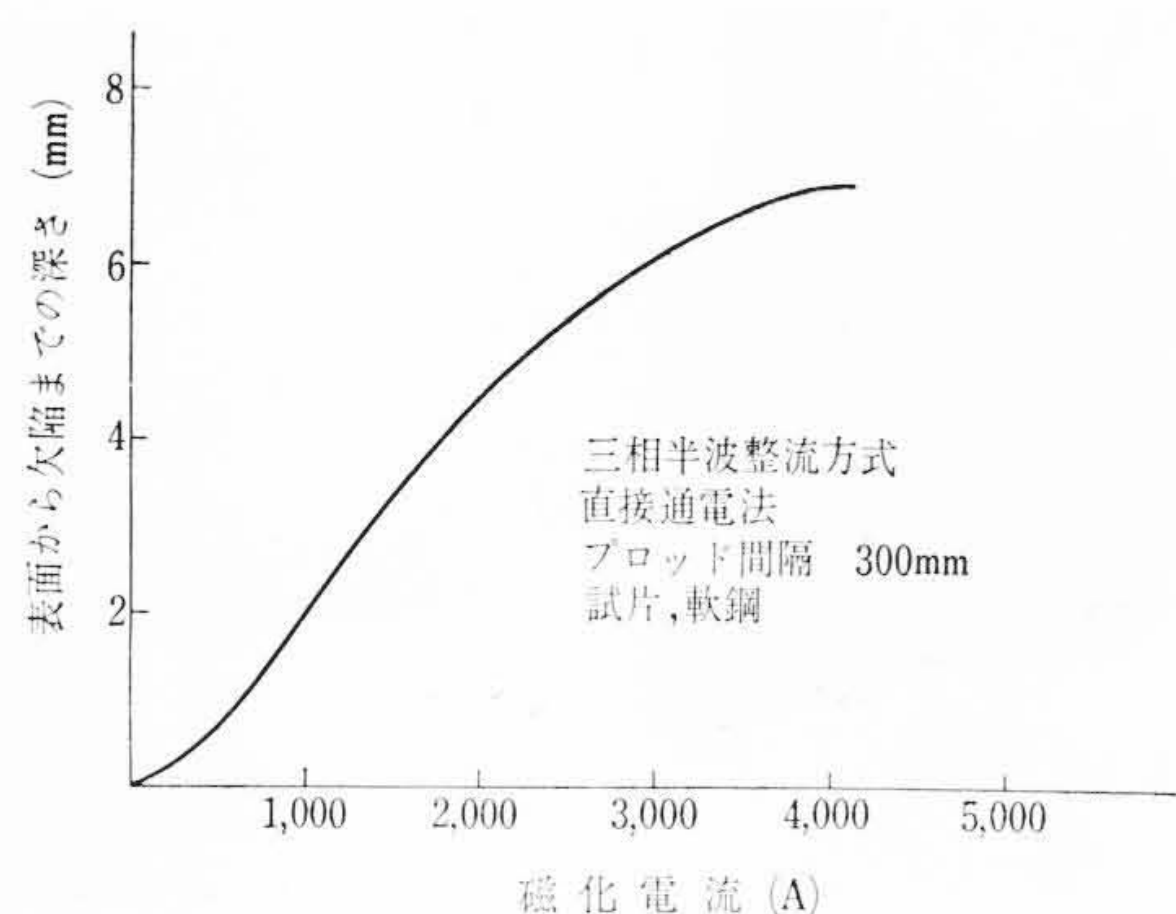
2.1.3 磁粉探傷法

検査対象が強磁性体の場合、被検部を磁化すると、欠陥部付近の磁界が局部的にひずみこのため表面近くの空間に漏えい磁界を生ずる。この状態で材料表面に磁性体粉末を散布すると欠陥個所に集中付着し容易に欠陥を検知することができる。第3図は溶接部の磁粉探傷の一例を示すが、この方法によると、初層溶接部によく現われる拘束割れなど製品として致命的な欠陥が確実に能率的に検知できるため非常に広汎に利用される。しかし欠陥の検

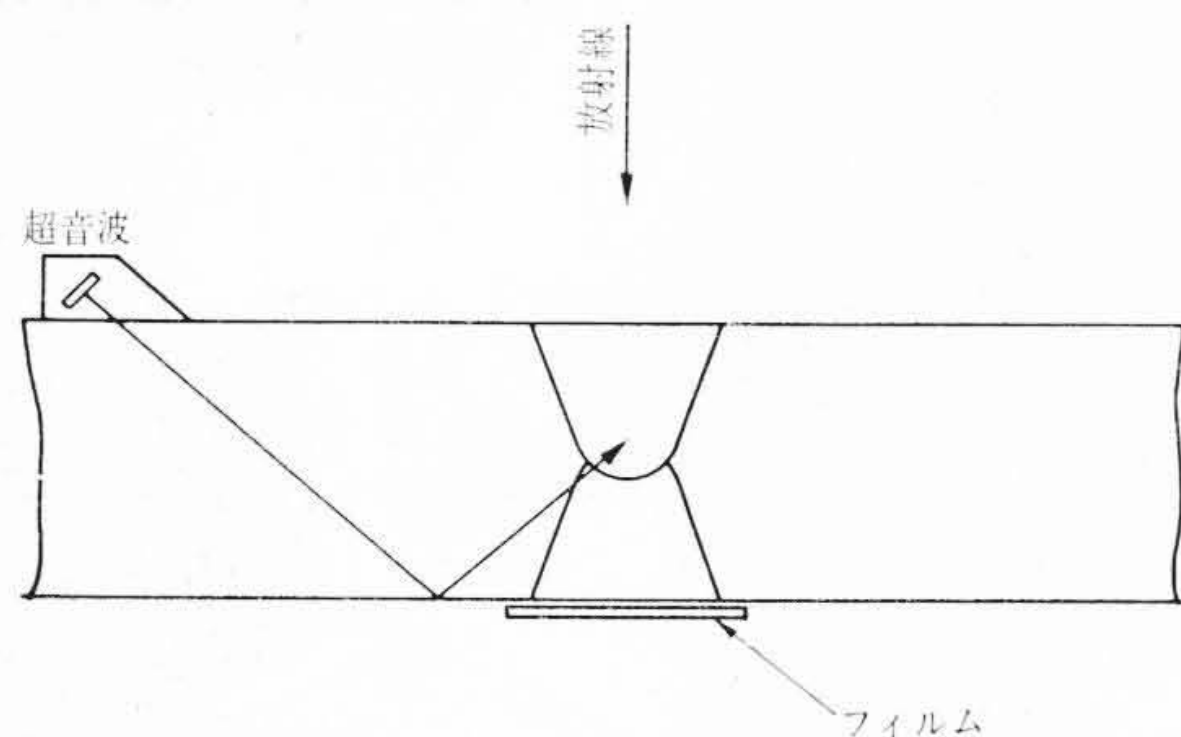
* 日立製作所日立工場



第3図 溶接部磁粉探傷



第4図 磁粉探傷による欠陥探傷可能な深さの限界



第5図 単純な突合せ継手

知限界は表面近傍に限られる。第4図は欠陥探傷の可能な深さの限界の一例を示したものである。

2.1.4 浸透探傷

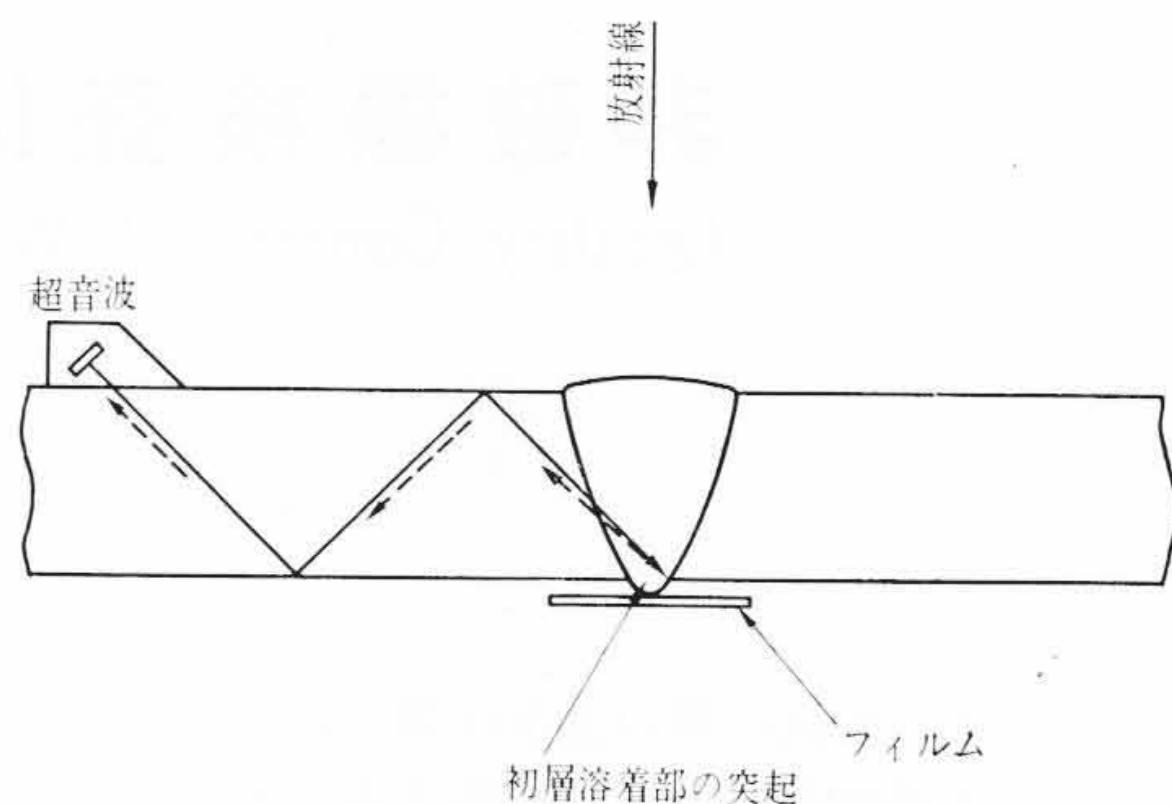
微細な表面傷に浸透性の高い蛍光または有色色素を浸透させ、吸湿性の現像料で現像したうえで、紫外線または肉眼で検査する方法で作業が簡便で広範囲に利用できるが、あくまで表面に発生した欠陥以外は検知の対象とはならない。

2.2 各検査法の選択、組合せ適用法

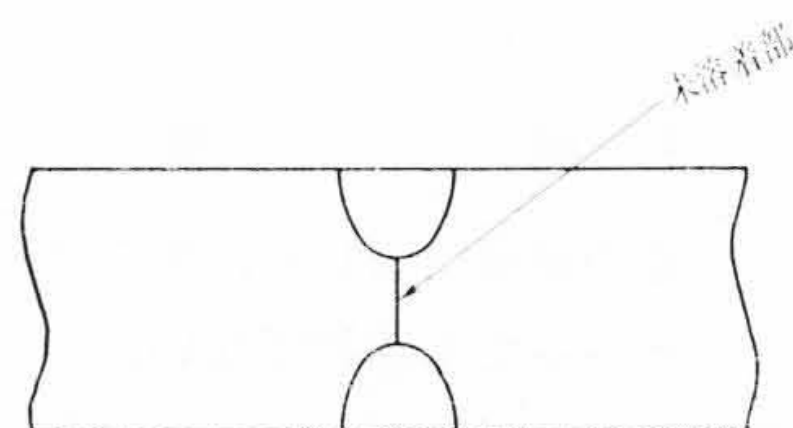
以上述べたように各検査法にそれぞれ長所、短所を有するため継手形状および品質の要求度に応じて検査の選択適用が必要となる。以下に代表的な継手形状に応じた検査の適用について検討してみることにする。

2.2.1 単純な突合せ継手

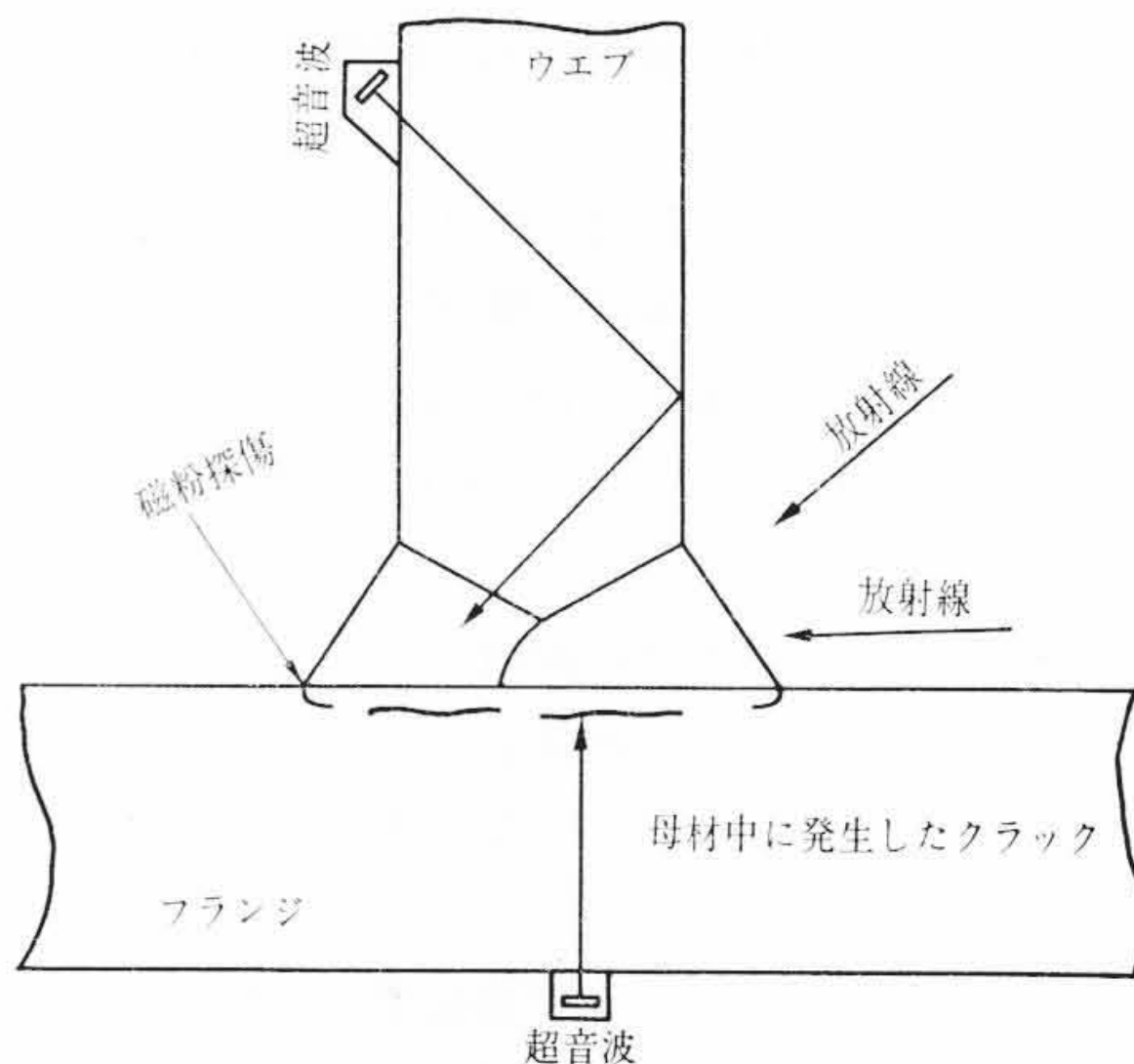
第5図に示すように、X形またはH形開先で、裏はつりを行なうが潜弧溶接などで完全溶込み溶接を行なった場合は、図中に示すように放射線検査、超音波探傷とも適用可能である。この種の継手では放射線検査の特長が十分発揮できるので最も信頼度の高い検査法といえる。超音波探傷法による場合は放射線判定でJIS 1～3級に分類される欠陥の範囲では欠陥反射波の大きさにあまり有意差を生じないので、大形欠陥検知を対象として能率的な検



第6図 初層に裏波溶接、不活性ガス溶接などを用いた片側開先突合せ継手



第7図 未溶着部を残す突合せ継手



第8図 T形突合せ継手で母材側に発生するはく離性のき裂

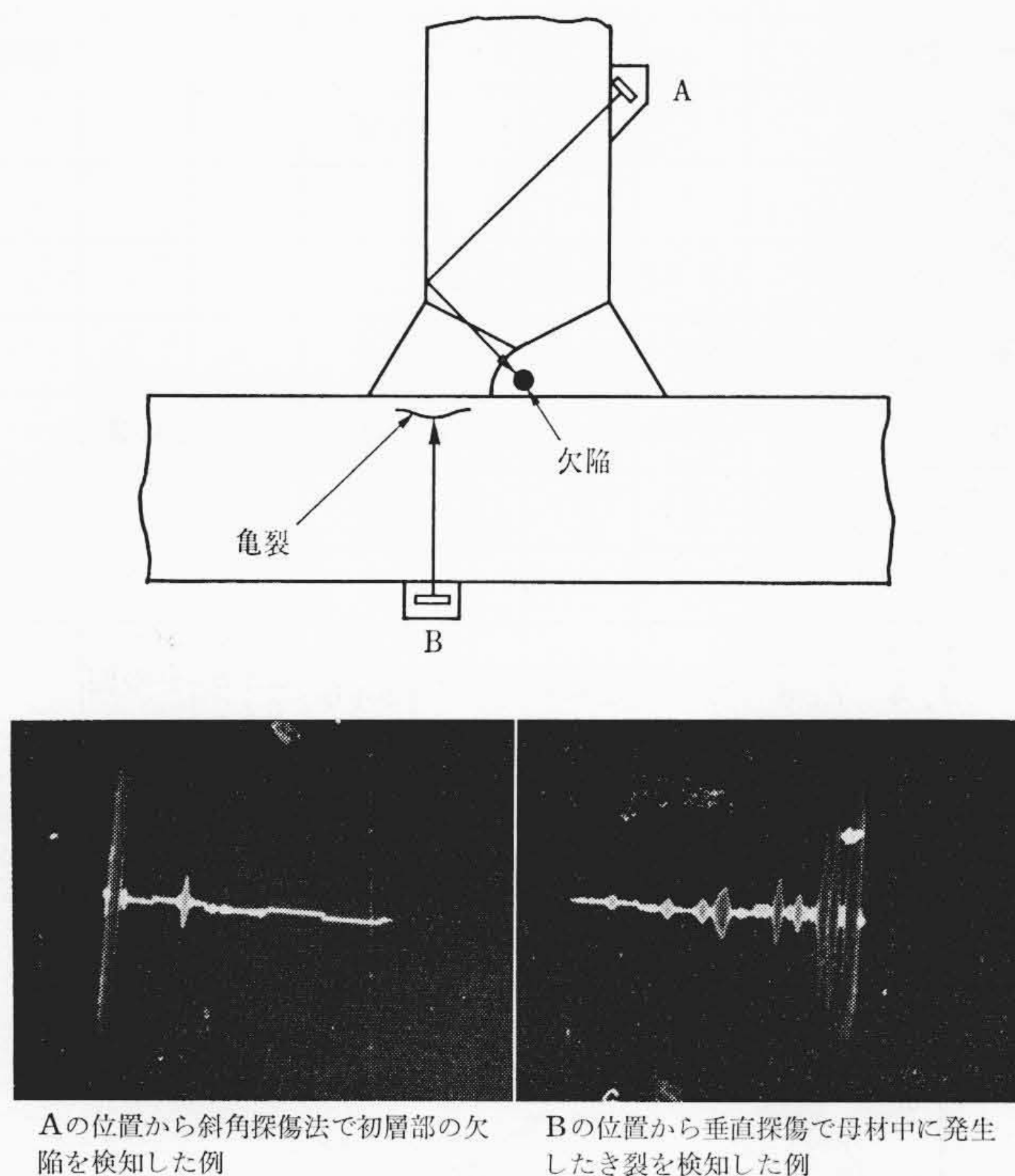
査を行なう場合、または超音波探傷で発見した欠陥部を放射線検査で再判定するなど、能率向上を主とした適用を考えるのが望ましい。また裏はつり部に浸透探傷法を適用したり、表面層の磁粉探傷を適用することも、特に高品質を要求される継手以外では大形欠陥を検知する手段として能率的である。

第6図に示すように、V形またはU形の開先で初層部を裏波溶接、不活性ガス溶接またはガス溶接などの方法で完全に裏側溶込みを図る場合も前述の例とほとんど変わりはないが、超音波探傷法を適用することは初層突起部の影響で欠陥の判別能力が著しく低下するためあまり望ましくない。

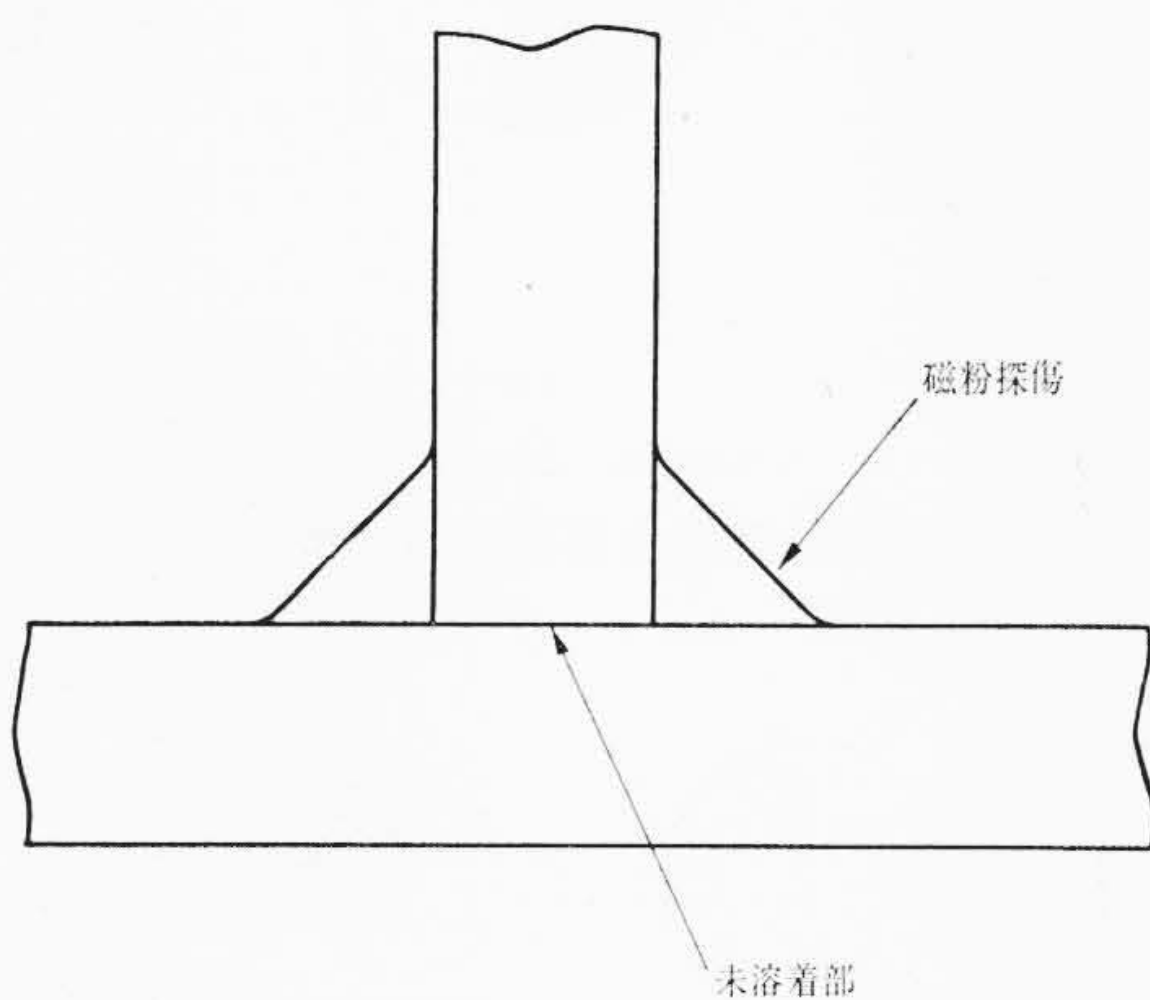
第7図に示すように、未溶着部を残す溶接の場合、放射線検査で像を見ることは可能であるが、溶接部のブローホールなどより未溶着部先端のノッチ効果のほうが強度を低下する大きな要素になることが多いこと、また未溶着部先端の溶け込み状況が明確に判定しがたいことなどから、放射線検査を適用してもあまり利益のない場合が多い。超音波探傷法でも、未溶着部からの反射波と欠陥反射波の判別が困難な場合が多くあまり効果は望まれない。この種の継手については表面の磁粉探傷を適用するにとどまるのが实际的である。

2.2.2 T 継手

第8図に示すように、K形または両面J形開先で内部に未溶着



第9図 超音波探傷法によるT突合せ継手の探傷例
(探傷図形中Fと記してある波形が欠陥反射波である)



第10図 不溶着部を残すT継手

部を残さない継手について放射線検査を行なう場合は、図中に示すように溶接部を垂直に透過するか、斜めに2方向から透過するかのいずれかの方法が考えられるが、この種の継手溶接の場合、使用材料の方向性から、溶接中にフランジ側の母材にはく離性の拘束き裂を発生する危険性が高い。この種の欠陥は溶着鋼内に存在するブローホール、スラグなどよりはさらに溶接継手の強度を低下せしめる要素となる。図より判断できるように、前記の放射線透過方向ではこの種のき裂は明確に検知することができない。そこでこの種の継手については図中に示すように、ウェブまたはフランジ側より超音波探傷を行なうのが適切である。ただし超音波探傷を適用しても表面付近の欠陥の分離、検知は困難であるから磁粉探傷法を併用することが望ましい。第9図は斜角探傷法により溶着金属内の欠陥を、また垂直探傷により母材のき裂を検知した場合の波形の一例である。

第10図に示すように、未溶着部を残すT継手に対しては前に単純突合せ継手の項に述べたと同様に継手強度低下に最も顕著な影響を与える表面層のき裂性の欠陥検知を主対象として、磁粉探傷法を適用するのが实际的で有効な手段である。以上述べた基本的手段を組み合わせて実際の製品に適用する場合はさらに複雑な

第1表 継手形状に合致した検査法の選択

継手の形状		非破壊検査の種類		
		放射線検査	超音波探傷	磁粉探傷
	単純な突合せ継手	適	(可)	—
	V開き突合せ継手	適	や、不適	—
	未溶着を残す継手	不適	不適	適
	T形突合せ継手	不適	適	適
	未溶着部を残すT継手	不適	不適	適

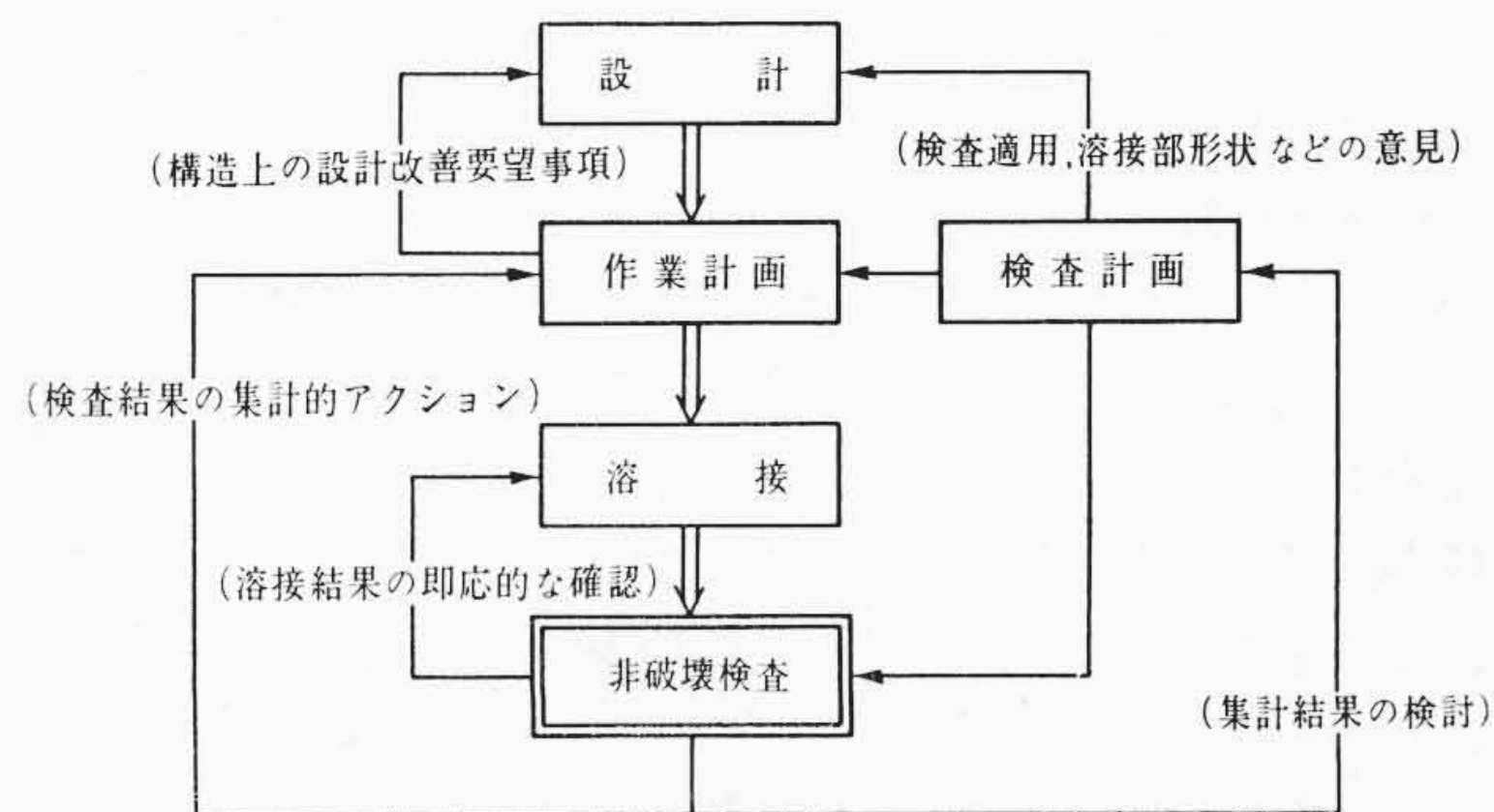
要素があり、一概に結論づけることはできないが、以上の事項を集約して、一般的に各継手形状別に第1表⁽²⁾に示す検査を適用するのが望ましい。

3. 非破壊検査の運営

以上非破壊検査の適用方法について概略を述べたが、前述のように溶接品質の維持、向上には関係部門の緊密な連携が必要である。この観点から非破壊検査も関係部門と直結した綿密な事前計画、検査の実施、フォローアップ、資料の集約、関係部門へのデータのフィードバックなど一貫した活動を行なう必要がある。第11図はこの関係をフローチャートとして示したものである。

一般に製作前に作業計画が練られると同様に、検査の事前計画も必要である。設計上要求される強度に応じた適切な検査法を計画すること、特に現状では、製品および継手の形状によっては、確実な非破壊検査の適用が困難な場合があるので、この点、常に設計者と緊密な連絡を保って主旨の統一を図らねばならない。また、検査を作業工程中に有機的に組み入れ有効な管理を図る必要がある。

このため、設計、検査法の標準化を図るとともに、筆者らは第12図に示すような管理票を作成、運営している。この管理票は特に次の点に留意して運営される。



第11図 非破壊検査運営のフローチャート

- (1) 製品の特性により、最も適確な検査の組み合わせを事前に十分検討すること。
 - (2) 検査工程が作業工程途上に最も有機的に組み入れられ、作業同様十分な工程管理ができること。
 - (3) 計画された検査項目が、漏れなく実施されたことを確実に把握すること。
 - (4) 工程途上において発見された事故は処理記録とともに確実に分類整理され、関係部門の対策資料としてすみやかにフィードバックすること。
- などである。

4. 非破壊検査結果の集約

溶接作業は、工作機械による切削作業などと異なり、その作業結果は往々にして作業施工者自身で直ちに確認できない欠点があり、他から指摘されて気付くような場合が多いのでこの点悪い方をすれば作業改善意欲に対する刺激が少なく、技術改善の進歩が遅れる一因となる。この欠点を補い、この盲点を打開するための一手段として前述のように溶接部に対する非破壊検査の適用、運営などにより該当個所の溶接品質の保証ができるとともに、これが溶接技術改善への糸口となることを見落してはならない。非破壊検査を実施すること自体、改善への刺激となるが、さらに一步進めて、検査結果が直ちに溶接改善の指針となるような資料を提供することが必要である。また、これらの結果を統計的に集約して、溶接部品質の推移から要点を把握して改善対策を実施することが望ましい。

4.1 非破壊検査結果の集約法

溶接品質を統計的に表示するため、その基礎となる品質を定量的に求めた例はあまり見ない。そこで、筆者らは今回、非破壊検査（ただしこの場合は放射線検査、超音波探傷、磁粉探傷のみを対象とした）により検出された欠陥をその大きさに従って係数を乗じたとえ、単位溶接長当たりの欠陥発生率を求めて、品質を表わす基礎数値とした⁽¹⁾⁽³⁾。この値は、厳密に言えば表面部のみを対象とした磁粉探傷の場合と、内部欠陥までを対象とした放射線検査、超音波探傷の場合とでは基本的に相異があるし、また、ビードの幅、溶接厚さなどによっても修正を加えなくてはならないが、本報に示す値はこれらの要素による修正は加えていない。

第 13 図は、前章までに述べた管理法を採用した初期における溶接品質の推移の実例である。この場合品質を表示する基礎数値は、単位長さ当たり検知された欠陥数（欠陥の検出率）で求めたもので、2mm 以下の欠陥はその個数、2mm を超える欠陥については、2mm につき 1 個の割合で個数の換算を行なっている。各円の面積は単位長さ当たりの欠陥数に比例し、初期 6 箇月の平均を基に以後 6 箇月ごとの平均値との比較を示す。

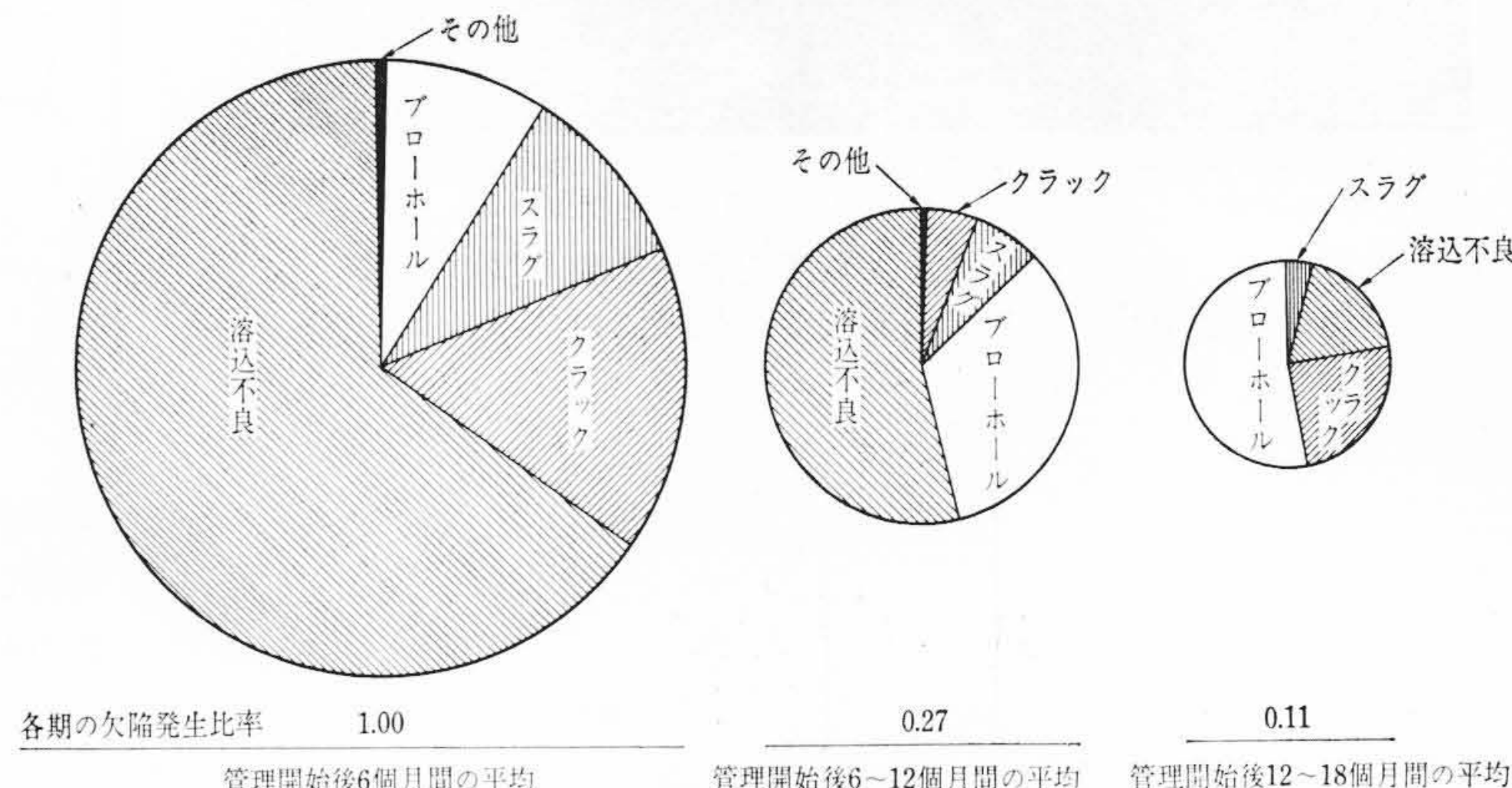
図に見られるように、管理を開始した初期においては、非常に顕著な品質の向上が見られる。欠陥検出率は実施後 1 個年の間に 1/3 弱に減少している。また、欠陥の種別を見ると溶込み不良、クラックなどの減少が目立つ、この種の欠陥は作業改善の結果即効的に働く要素が多いためと考えられる。

また、第 14 図は、第 13 図の内訳として、各検査種別の欠陥検出率を示す。放射線検査では初期において溶込

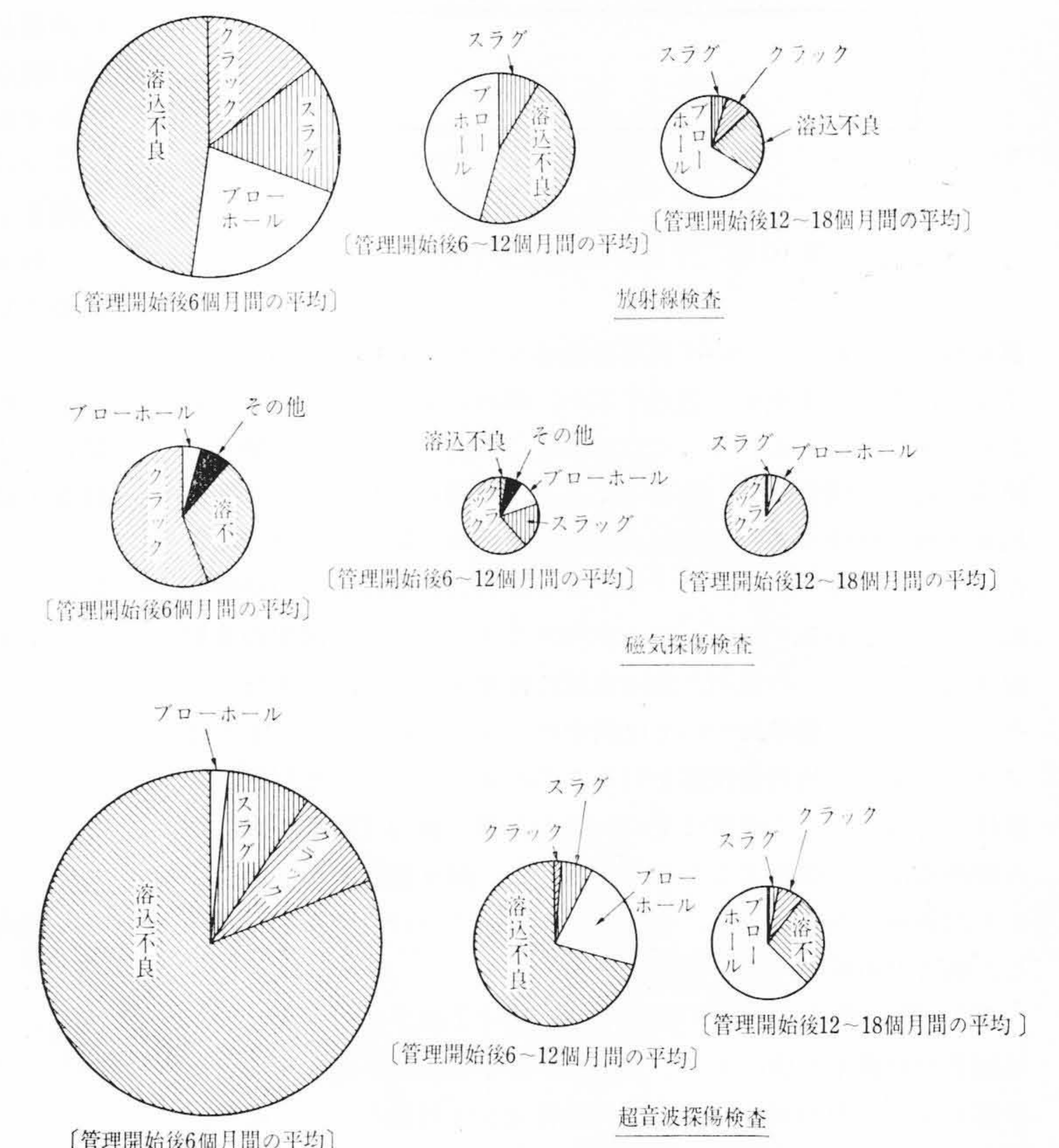
	素材								備考
材料試験確認	(記)								
開先検査									
放射線(X, γ線)	(記)		(R 2)	(R 1)	(R 2)				
浸透探傷	(記)		(BC)	(BC)					
磁気探傷			(GM)	(GM)	(GM)	(M 2)	(M 2)	(M 3)	
超音波探傷	(記)	(PU 1)	(U)	(U)	(U)	(U)	(U)		
外観検査									
検査項目		1, 2, 3, 4	5, 6, 7, 8	2+2	1+2 2+3	3+4	2+6 5+6	2+7 2+8 6+7	その他
検査箇所									
作番	253411	納先	A A W	品名	25	部品名	23	図番	H118-133
								員数	2

(記) 記録と照合 (R) 放射線検査 (BC) ウラハツリ (GM) 開先部磁粉探傷
(M) 磁粉探傷 (PU) 板の超音波探傷 (U) 超音波探傷 1, 2, 3 は各検査法の級別を示す

第 12 図 溶接構造部品非破壊検査管理票の一例



第 13 図 管理開始初期の溶接品質の推移



第 14 図 管理開始初期における検査種別欠陥検出率の推移
(円の面積が単位長さ当たりの欠陥数に比例し、各検査種別、期別の比較値として示す)

み不良、スラグなど大形の欠陥の検出率が高いが、1箇年後においては、これらの欠陥は極度に減少し、ブローホールが全体の70%を占め、これも強度を低下せしめるような密集発生はあまり見られず、安定した状態になっている。

超音波探傷においても、放射検査の場合と同様に、溶込み不良、き裂など大形欠陥の減少が著しい。特に継手強度を低下せしめるき裂について、作業方案、素材鋼板の管理など一貫して改善に努めた効果が見られる。

磁気探傷では、検査法自体が表面き裂を主対象とするため、全般的にき裂の検出率が高いが、絶対値は大幅に減少している。

5. 結 言

以上、非破壊検査による溶接品質の管理について述べたが、現在

溶接の信頼度が高くなればなるほど、より高度の製品に対する応用が要求される状況にある。また以上の結果にも見られるように非破壊検査は溶接の品質向上、維持のため不可欠の要素といえる。今後とも努力を重ね製品向上のかてとしたい所存である。

参 考 文 献

- (1) 妹島：重電機工場における溶接品質管理の実際，溶接界1月号，1964
- (2) 日立製作所：溶接部に対する非破壊検査適用基準，委員会報告第531号
- (3) 海野，鳥海，妹島：非破壊検査による溶接部品質管理，日立製作所日立工場研究報告，第1254号

Vol. 25

日立造船技報

No. 1

- ・三角形ブラケットの圧壊強さ
- ・耐食アルミニウム合金加工硬化材のMIG溶接における軟化域
- ・波形炉筒および鏡板接合部の強さ(第2報)
——接合部の応力解析——
- ・原油燃焼の前処理法(第1報)
——ガラス器具による前処理試験——

- ・主機ディーゼル機関の振動および騒音(第1報)
——排気騒音を中心にした実船騒音計測結果——
- ・高バナジウム鋼の研削条件
- ・国産シンクリッチエポキシプライマの性能試験
- ・8kWのZnC放電加工回路の試作

…………… 本誌に関する照会は下記に願います ……………

日立造船株式会社技術研究所
大阪市此花区桜島北之町 60

Vol. 46

日立評論

No. 9

目 次

- ・80~100キロ高張力鋼溶接割れに関する研究
- ・放射化分析法によるシリコン中の重金属元素の挙動の検討
- ・エレベータ全自動群管理
- ・機械工業への光弾性の応用
- ・ドラグショベルフロントの衝撃応力について
- ・I・B制御の応用
- ・電気圧接機について
- ・通信機器の信頼性
- ・HITAC 103 電子計算システム用 H-145 形磁気テープ記憶装置
- ・P M トランジスタについて
- ・トランジスタ特性自動測定装置
- ・日立蒸発冷却送信管
- ・セシウム 137 ガンマ線束の磁器による電子汚染の除去

- ・3心アルミ被OFケーブルの2, 3の特性
- ・架橋化ポリエチレン積層板および銅張積層板の特性について
- ・工作機械特集
- ・日立-VWF-ウエッツエルテーブル形横中ぐりフライス盤
- ・多重化方式数値制御工作機械
- ・電解加工法
- ・最近のトランスフォーマーマシン
- ・油圧駆動工作機のスティックスリップ
- ・工作機械の基礎
- ・GHL-500 S 形平面研削盤
- ・精密平面研削加工における問題点(研削温度)
- ・SCRによるプレーナの制御

発行所 日立評論社

東京都千代田区丸の内1丁目4番地
振替口座 東京 71824 番
東京都千代田区神田錦町3丁目1番地
振替口座 東京 20018 番

取次店 株式会社 オーム社書店