

第26回

千葉県非破壊検査研究会・研究発表会

講演資料

日時 平成24年2月7日(火)  
10:10~17:00

場所 千葉県産業支援技術研究所

## 目 次

### I 研究発表

1. CND Iにおける最近の資格取得講習会の現状 ..... 1  
千葉県非破壊検査研究会 立川克美
2. 低温及び高温の浸透探傷試験の紹介 ..... 9  
栄進化学(株) 茨城工場化学技術課 斎藤他忠
3. デジタル超音波探傷器の機能と応用例の紹介 ..... 15  
菱電湘南エレクトロニクス(株) 検査計測事業部システム部 岡本 実
4. 石油・プラント業界におけるNDTの現状 ..... 25  
出光エンジニアリング(株)エンジニアリング部 設備技術グループ 長谷川勝宣
5. 航空機におけるCFRP検査の現状 ..... 37  
—航空機構造のCFRP部位非破壊評価—  
宇宙航空研究開発機構 松嶋正道
6. 鉄鋼業におけるNDTの現状 ..... 43  
JFE テクノリサーチ(株) 高田 一
7. 建築鉄骨業界におけるNDTの現状 ..... 45  
エンジニアリングサービス(株) 上平綱昭

### II. 特別講演会

- 演 題: 東日本大震災からの復興を目指して ..... 59  
地域の自然・文化を考慮した個性ある街づくり提案  
講 師 千葉県非破壊検査研究会 会長 北東北歴史懇話会 会長 藤盛紀明

# CNDIにおける最近の 資格取得講習会の現状

千葉県非破壊検査研究会 立川克美

## CNDIと講習会

- 講習会開催は千葉県非破壊検査研究会設立目的の一つであった。
- 県内企業のNDT技術の普及講習を行った。
- 会員である検査会社、検査機器メーカーと協力し、県内各地を会場として、RT, UT, PT, MTの講習会を実施した。
- 昭和60年代からは、UTはCNDI, MT,PTは栄進化学(CNDIは共催として)が受け持つ体制が固まった。
- UTは協同組合千葉県鉄骨工業会との共催となり、鉄骨関連企業の資格取得に協力する体制できあがった。

## CNDI 講習会の歴史

- 第1回講習会 昭和56年9月 中央技能開発センター（現<sup>o</sup>リテセンター）  
テーマ超音波2級技術講習会 参加者数の記録無し
- 第2回講習会 昭和57年7月 市原市中村ビル  
超音波2級技術講習会 参加者数の記録無し
- 第3回講習会 昭和57年10月（4日間） 千葉市共済会館  
浸透探傷試験  
磁気探傷試験  
放射線探傷試験  
超音波探傷
- 第4回講習会 昭和61年5月 中央技能開発センター  
浸透探傷試験技術講習会

以下省略



栄進化学(株)柏工場にて開催, NDI 二次試験対策講習会

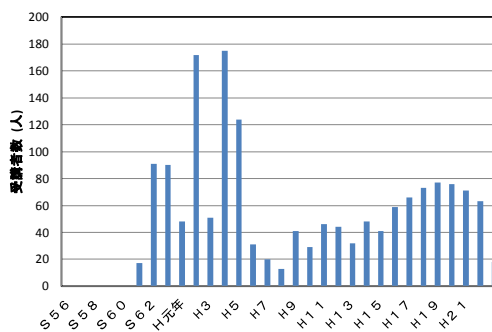
## 研究会が実施した講習会参加者数

総計: 1610名

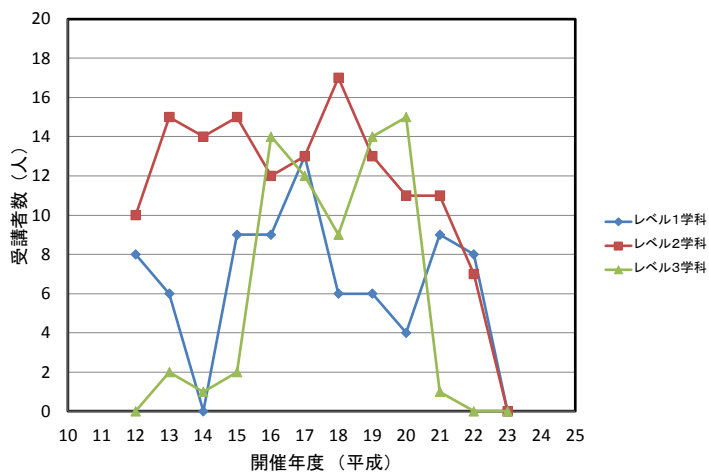
概算 800名以上の有資格者を養成した



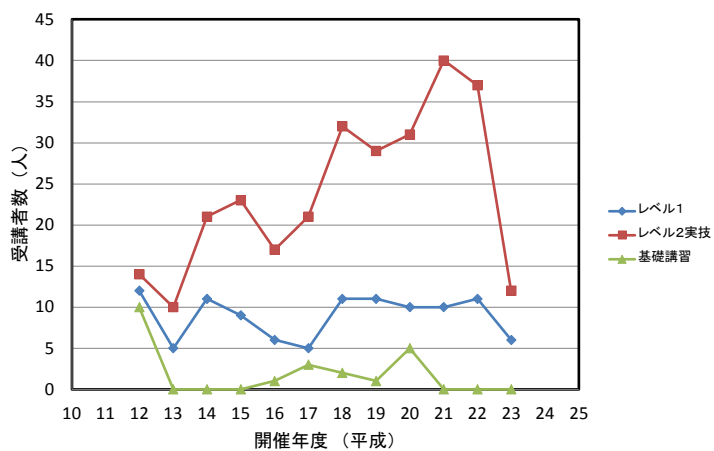
### 超音波探傷技術講習会参加者数



### 年度別一次試験(学科)受講者数



年度別二次試験(実技)受講者数



## UTレベル1, レベル2一次試験対策講習会

NDIテキスト, 問題集を用いる

- ・UTレベル1: NDI発行の問題集を2日間で, 全問解く。
- ・UTレベル2: NDI発行の問題集を2日間で, ほぼ全問解く。

NDIの試験は問題集の範囲から出題されるので, 受講者の合格率は高い。



講習風景

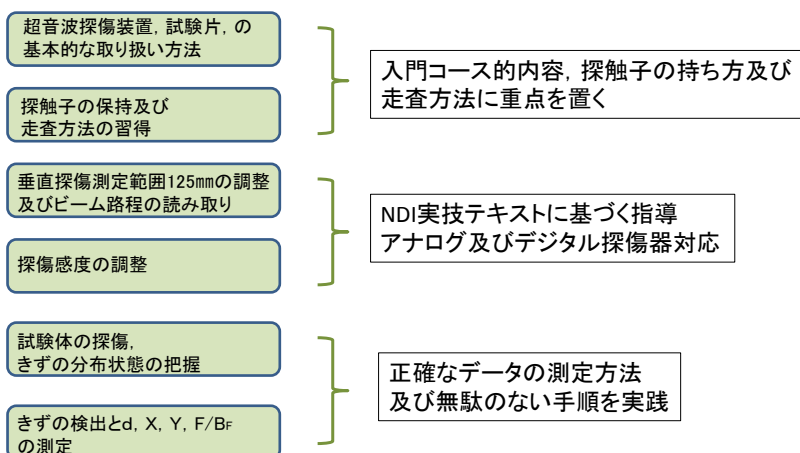
## UTレベル1, レベル2 二次試験対策講習会

探傷器は1人1台を準備するため、2日間独占的に使用できる。

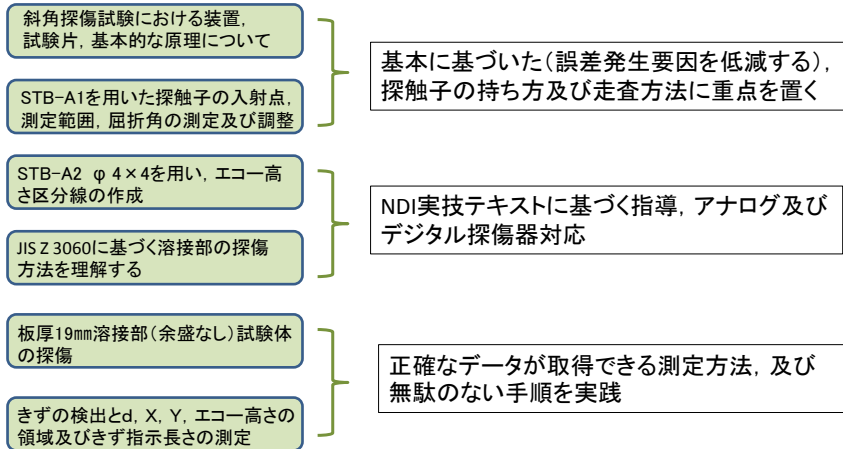
NDIが認めたデジタル探傷器の持込み受験に対応した講習会を実施。  
探傷器の持込み受講にも対応している。



### UTレベル1 (垂直探傷試験)実技カリキュラム (1)



## UTレベル1 (斜角探傷試験)実技カリキュラム (2)



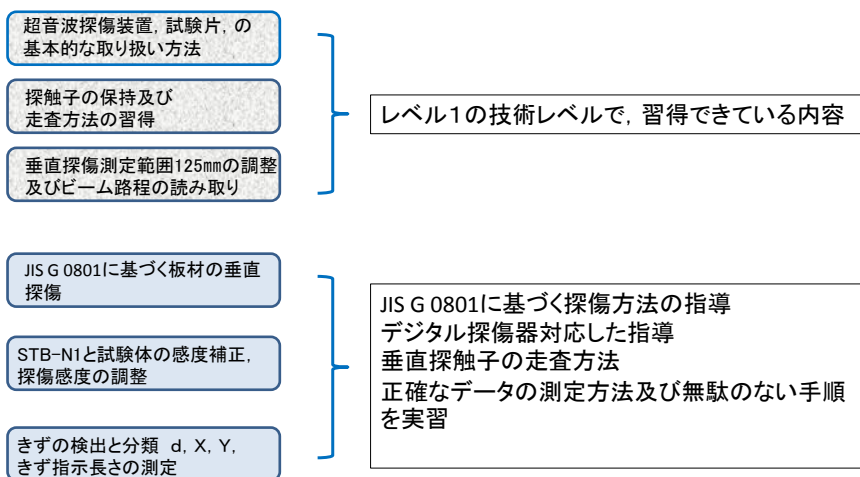
## UTレベル1 実技カリキュラム (3)

### レベル1の実技講習は1日コース

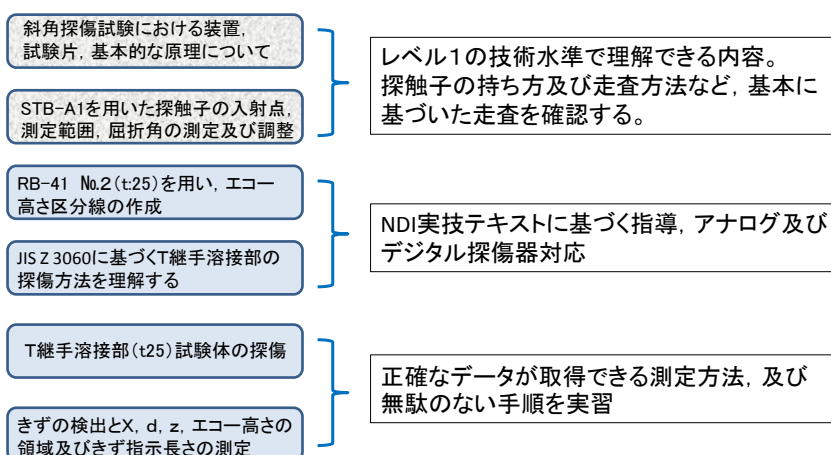
1. 実技カリキュラム(1)及び(2)を午前中、3時間でマスターさせる。
  2. 垂直探傷、斜角探傷の模擬試験体を用いる。  
 垂直探傷試験 15分  
 斜角探傷試験 30分
- 16時半まで繰り返しデータ収録を行う。



## UTレベル2 (垂直探傷試験)実技カリキュラム (1)



## UTレベル2 (斜角探傷試験)実技カリキュラム (2)



## UTレベル2 実技カリキュラム (3)

### レベル2の実技講習は2日間コース

#### 1日目

- 午前:JIS G 0801に基づき, 垂直探傷試験の手順及びデータ記録方法をマスターする。
- 午後:JIS Z 3060に基づき, 斜角探傷試験の手順及びデータ記録方法をマスターする。

#### 2日目

- 垂直探傷, 斜角探傷の模擬試験体を用い, 実技試験の時間に合わせたデータ収録を繰り返し行う。  
     垂直探傷試験 15分  
     斜角探傷試験 40分
- 指示書の作成について, 解説を行う。

## CNDI講習会実施についての今後の課題

- 一次学科講習会受講者の減少
  - ・自社で教育を行うようになった。
  - ・講習を実施するか団体が増加(溶接技術センター, 検査工業会, etc)
- 実技講習の開催が困難になりつつある
- NDIの持込み受験制度は今年度で終了する
  - ・NDI仕様デジタル探傷器の借用が困難
  - ・現在は会員の菱電湘南エレクトロニクス(株), GEセンシング&インスペクション・テクノロジーズ(株)などから借用しているが, 試験直前の時期にまとまった台数を長期間(7日~10日)借用するのは困難
  - ・NDI支部等への貸出制度はあるが, 試験直前の借用は困難?

# 低温及び高温の浸透探傷試験の紹介

栄進化学㈱ 茨城工場 相村英行 池田和男 相澤栄三 高橋信好 ○齋藤忠

## 概要

浸透探傷試験に関連した JIS 規格は、2000 年以降、ISO 規格に準拠又はこれを取り込んだ規格に改訂されている。2006 年頃からこれらに関連する ISO 規格の改訂や新規制定が行われ、これに伴い JIS 規格の改訂・新規制定作業が進んでいる。2012 年 1 月新規に、低温・高温時の浸透探傷試験として、JIS Z 2343-5:2012 浸透探傷試験—第 5 部：50℃を超える温度での浸透探傷試験 と JIS Z 2343-6:2012 浸透探傷試験—第 6 部：10℃より低い温度での浸透探傷試験 が制定された。ここでは、この新たに制定された低温及び高温の浸透探傷試験の紹介をする。

## 1. はじめに

浸透探傷試験に関する JIS 規格として、JIS Z 2343-1~4 浸透探傷試験—第 1 部~第 4 部は ISO 3452-1~4:1998 に準拠した内容に改訂され 2001 年に発行された。最近、改訂された或いは新規制定のものには表 1 に示す 3 規格※がある (表 1)。

表 1 浸透探傷試験における JIS 規格一覧

JIS Z 2343-1: 2001	浸透探傷試験—第 1 部：	一般通則：浸透探傷試験方法及び浸透指示模様の分類
<b>JIS Z 2343-2: 2009</b>	<b>浸透探傷試験—第 2 部：</b>	<b>浸透探傷剤の試験※</b>
JIS Z 2343-3: 2001	浸透探傷試験—第 3 部：	対比試験片
JIS Z 2343-4: 2001	浸透探傷試験—第 4 部：	装置
<b>JIS Z 2343-5: 2012</b>	<b>浸透探傷試験—第 5 部：</b>	<b>50℃を超える温度での浸透探傷試験※</b>
<b>JIS Z 2343-6: 2012</b>	<b>浸透探傷試験—第 6 部：</b>	<b>10℃より低い温度での浸透探傷試験※</b>

## 2. 新たに制定された低温・高温時の浸透探傷試験の規格

これまで JIS Z 2343-1 で不足していた使用温度領域(JIS Z 2343-1 における試験面の温度は通常 10℃~50℃)をカバーするため、新たに低温、高温時の浸透探傷試験の規格が制定された。

**JIS Z 2343-5:(2012)浸透探傷試験—第 5 部：50℃を超える温度での浸透探傷試験**

**JIS Z 2343-6:(2012)浸透探傷試験—第 6 部：10℃より低い温度での浸透探傷試験**

### 1) JIS Z 2343-6:浸透探傷試験—第 6 部：10℃より低い温度での浸透探傷試験

この規格は試験面の温度が 10℃より低い温度で適用する場合の、特殊要求事項について規定している。規格では各探傷剤の低温での格付け試験を要求している。

又、低温時 (-5℃~10℃) の探傷について、新たに湿気や霜又は氷対策用の洗浄液 (前処理用洗浄液であり、例えばアセトン、IPA などの水溶性揮発溶剤) が要求されている。他にも、探傷条件として浸透時間は常温の 2 倍を推奨しており、現像については速乾式が最良の適用方法であり、さらにスプレー缶は 10℃以上に保持しておくことや、現像塗膜の乾燥は 3 分以内とすること、現像塗膜の乾燥を速めるために暖かい空気をゆっくり当ててもよいこと、現像時間は従来の 2 倍まで許容されることなどが規定されている。

低温時の探傷剤の感度レベルの確認は、タイプ 1 対比試験片を用いて行われる。

## 低温時の湿気、氷対策用の洗浄液（前処理用洗浄液・探傷用洗浄液/除去液）の紹介

### ①品名：

分類/名称	
・レッドマーク 低ハロゲン・低イオウ	洗浄液/除去液 R-1ML(NT)Special
・レッドマーク 一般用	洗浄液/除去液 R-1ML(NT)

### ②特徴：

- ・紹介する洗浄液/除去液は、水との相溶性、氷の溶解作用があるため、JIS Z 2343-6 の要求事項を満足する低温時の湿気、氷結対策用の洗浄液（前処理用洗浄液）として使用が可能です。JIS Z 2343-1、JIS Z 2343-6、JIS Z 2343-5 の浸透探傷試験の探傷用洗浄液/除去液としても使用が可能です。
- ・JIS Z 2343-2 の洗浄液/除去液の分類では、クラス 2 に格付けされます。
- ・有機則、PRTR 法には、該当していません。
- ・消防法上では、危険物 第 4 類 第 1 石油類（非水溶性）に該当します。
- ・現状の浸透液、速乾式現像剤との組合せにて探傷可能です。

### ③R-1ML(NT)の性能試験

#### a)氷の除去試験

表面が凍っている試験片に R-1ML(NT)を適用し、氷を除去できるか試験を行った。比較として一般的な洗浄液/除去液を用いて同様の操作を行った。試験方法は表面が凍った試験片に R-1ML(NT)及び一般的な洗浄液/除去液を適用し数秒おいてから乾いたウェスで拭き取るという作業を数回繰り返した。

試験結果：別紙写真参照（図 1）

一般的な洗浄液/除去液では氷を除去することができなかったが、R-1ML(NT)では氷を溶解し除去することができた。

#### b)検出性能

試験片としてレーザー加工により人工きずを作成したアルミ試験片を用いた。試験方法は、表面が水で濡れている試験片に R-1ML(NT)及び一般的な洗浄液/除去液を適用し前処理を行った後、染色浸透探傷試験を行った。

試験結果：別紙写真参照（図 2）

一般的な洗浄液/除去液では試験片表面及びきずの中の水が除去出来ないため、きずの中に浸透液が浸透しづらくなり指示模様が不明瞭である。一方 R-1ML(NT)では試験体表面及びきず内部の水が除去され、明瞭なきずを検出することができた。

a)氷の除去試験

図 1

(a)洗浄液適用前

(b)洗浄液適用後



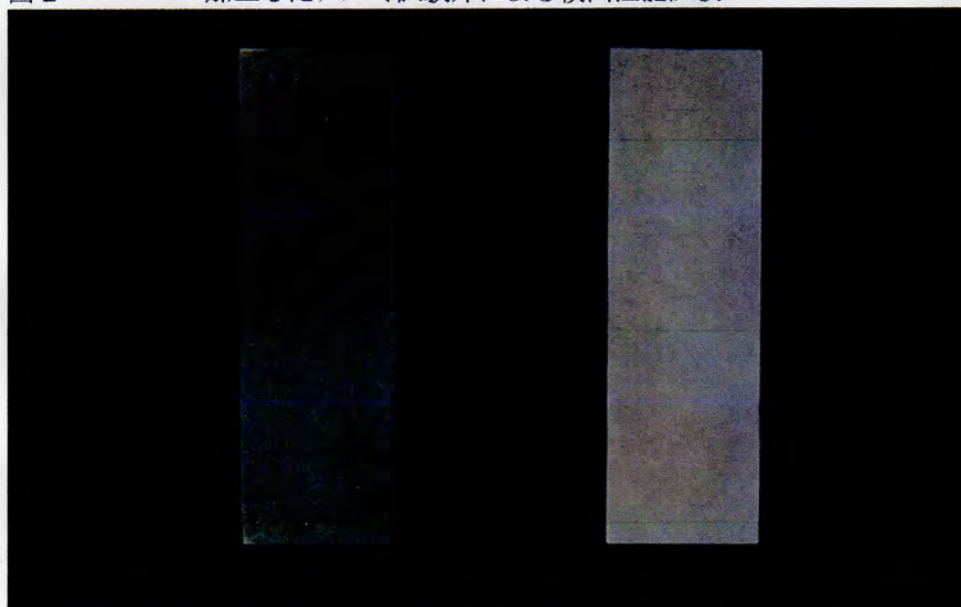
(左)一般的な洗浄液/除去液  
(右)R-1ML(NT)

(左)一般的な洗浄液/除去液  
(右)R-1ML(NT)

b)検出性能

図 2

加工したアルミ試験片による検出性能試験



(左)R-1ML(NT)を適用後に探傷を行った結果

(右)一般的な洗浄液/除去液を適用後に探傷を行った結果

2) JIS Z 2343-5:浸透探傷試験—第5部：50℃を超える温度での浸透探傷試験

この規格は試験面の温度が 50℃を超える場合の、特殊要求事項について規定している。規格ではタイプ 1 対比試験片（定量評価用）又は分割したタイプ 3 対比試験片（定性評価用）を用い、常温で探傷した場合の感度と高温時での感度を比較し、高温時の探傷条件を最大 50℃毎に確認するように規定している。又、高温用に使用される探傷剤は、その推奨使用温度範囲により次の 3 種類に分類される。

M：中温度 50℃～100℃

H：高温度 100℃～200℃

F：探傷剤製造業者が定める温度範囲 a℃～b℃ a、b 及びその間 50℃毎  
高温用の探傷剤の格付けはタイプ 1 対比試験片を用いて行われる。

高温時の浸透探傷剤の紹介

○当社の各探傷剤の組合せによる高温時の使用温度

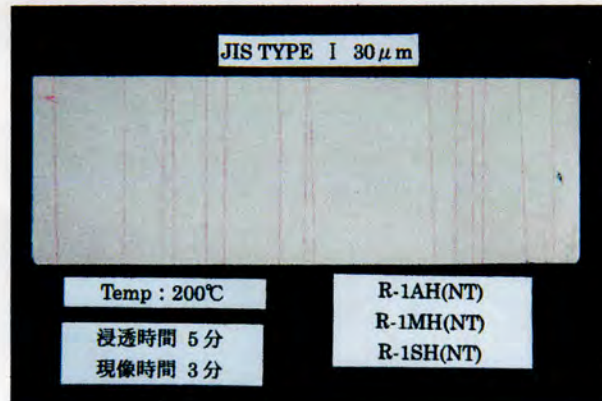
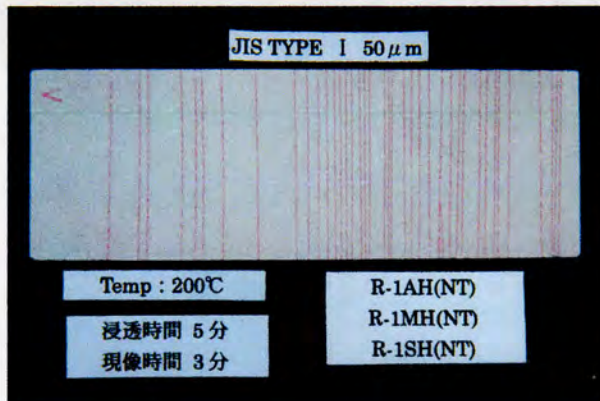
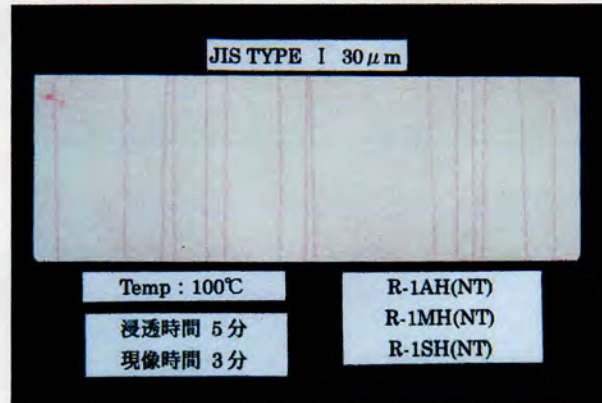
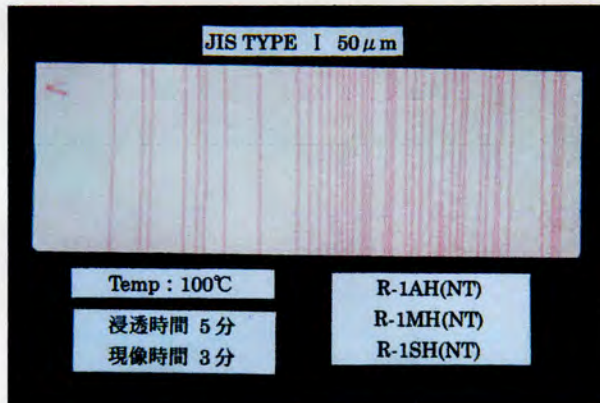
①高温用探傷剤		JIS Z 2343-5 による高温時の使用温度と分類
・浸透液	R-1AH(NT)	・使用温度：90℃～200℃ ・分類：F(90℃～200℃) ・使用温度内で、感度レベル 2 に格付けされる
・洗浄液/除去液	R-1MH(NT)	
・現像剤	R-1SH(NT)	

②その他の探傷剤(1例：標準品)		JIS Z 2343-5 による高温時の使用温度と分類
・浸透液	R-1A(NT)	・使用温度：50℃～100℃ ・分類：M(50℃～100℃) ・使用温度内で、感度レベル 2 に格付けされる
・洗浄液/除去液	R-1M(NT)	
・現像剤	R-1S(NT)	

\*②その他の探傷剤としては、従来の当社、高温時の感度試験報告書に示された探傷剤の標準的な組合せなどがある。

検出性能

①高温用探傷剤



### 3. まとめ

#### (1) JIS Z 2343-6:浸透探傷試験—第6部：10℃より低い温度での浸透探傷試験

- ①紹介した洗浄液/除去液は、水との相溶性、氷の溶解作用があるため、JIS Z 2343-6の要求事項を満足する低温時の湿気、氷結対策用の洗浄液（前処理用洗浄液）として使用が可能です。
- ②現状の浸透液、速乾式現像剤との組合せにて、JIS Z 2343-1、JIS Z 2343-6、JIS Z 2343-5の浸透探傷試験の探傷用洗浄液/除去液としても使用が可能です。

#### (2) JIS Z 2343-5:浸透探傷試験—第5部：50℃を超える温度での浸透探傷試験

- ①高温用探傷剤(R-1AH(NT)、R-1MH(NT)、R-1SH(NT))の組合せでは、使用温度：90℃～200℃、分類：F(90℃～200℃)、使用温度内で、感度レベル1に格付けされ使用できます。
- ②その他の従来の探傷剤(1例：弊社標準品)の組合せでは、使用温度：50℃～100℃、分類：M(50℃～100℃)、使用温度内で、感度レベル2に格付けされ使用できます。

# 超音波を使用した検査装置

## <最新のデジタル超音波探傷器の機能と応用例の紹介>

菱電湘南エレクトロニクス (株)  
岡本実 後藤智信 大橋利明

### 1. はじめに

近年のデジタル超音波探傷器は、受信部において高周波増幅器の出力信号を直接デジタル信号に変換し、高周波成分を含んだRF受信信号の高速デジタル信号処理化が図られ、エコー高さやビーム路程のみではなくエコー信号からデジタル高速フーリエ変換処理による受信波形の周波数スペクトルを瞬時に演算することが可能となっている。

ここでは、最近バージョンアップしたデジタル超音波探傷器「U I - S 7」を例に、デジタル超音波探傷器の機能とその応用例を紹介する。

### 2. デジタル超音波探傷器の機能

#### 2. 1 周波数分析機能による送受信条件の最適化

探傷器の送信パルスには、スパイクパルス、スクエアパルス及びトーンバースト波などがある。

この中でトーンバースト波は、ある特定の周波数にエネルギーが集中しており探触子の中心周波数と一致させることで効率的に送信エネルギーを探触子に供給できるが、他の方法に比べると距離分解能が劣るので限られた用途でしか用いられていない。

U I - S 7は、スクエアパルスを採用しており、その幅を探触子の振動の1/2サイクルに一致させることで1回の送信パルスで2回探触子を励振し大きな送信エネルギーを与えることにより高感度化を図っている。探触子の公称周波数は、J I S Z 2 3 5 0 : 2 0 0 2で測定方法が規定されており、例えばJ I S Z 3 0 6 0 : 2 0 0 2では「試験周波数は、公称周波数の90~110%以内とする。」と規定している。実際の探傷試験では、試験体の超音波特性に影響される場合があるので試験に使用する探触子と探傷器を組み合わせたときに得られる試験周波数の測定がトレサビリティの観点から必要となる。

U I - S 7は、周波数分析機能で求めた中心周波数から最適な送信パルス幅を算出し、送信パルスのパルス幅と受信帯域の最適化を自動で調整する機能を持っている。図1に公称周波数5MHzの探触子でV8標準試験片の平底穴の反射波形を周波数分析した結果を示す。図2は、周波数分析結果の中心周波数を探傷器の試験周波数に反映する機能の操作画面である。

中心周波数を試験周波数に反映するときに表示するガイダンス

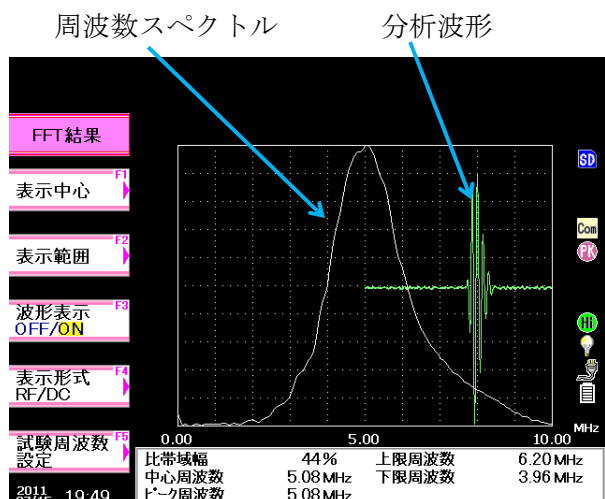


図1 周波数分析結果

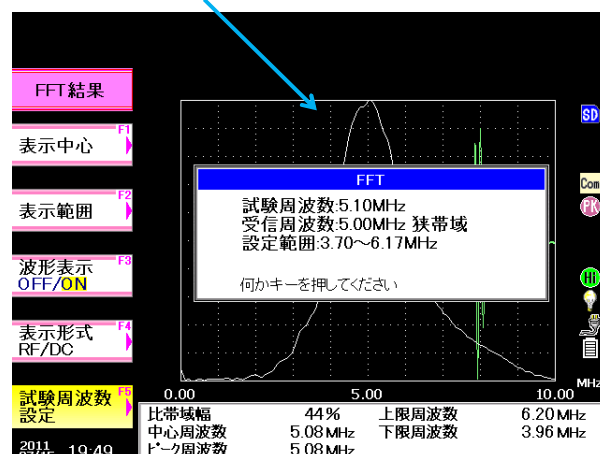


図2 試験周波数に反映



## 2. 2 EDAC (Electronic Distance Amplitude Compensation) 機能

JIS G0901:2010「建築用鋼板及び平鋼の超音波探傷試験による等級分類と判定基準」において「距離振幅補正機能をもつ探傷器では、使用する最大厚さでの補償後の底面エコー高さが、距離振幅特性曲線における最大エコー高さより-6 dB以内でなければならない」と規定されている。

UI-S7は、この規定に対応したEDAC機能を持っている。図3にEDAC OFF時の波形を、図4にON時の波形を示す。この例は、板厚25mmの底面からの多重エコーB1からB5エコーを13dB補正してエコー高さをフラットにしたものである。

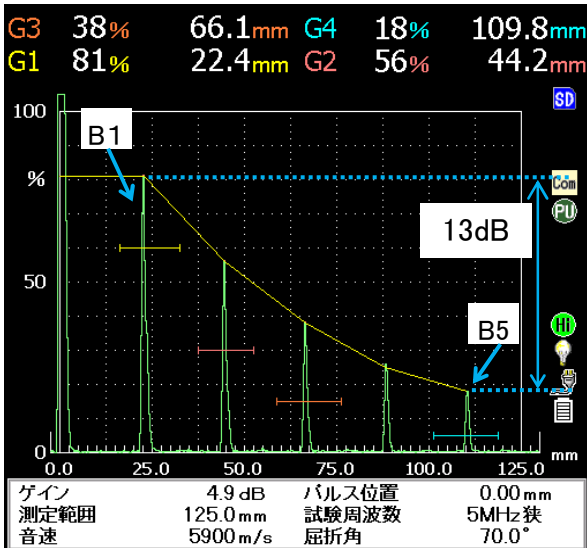


図3 EDAC OFF時のBエコーの減衰波形

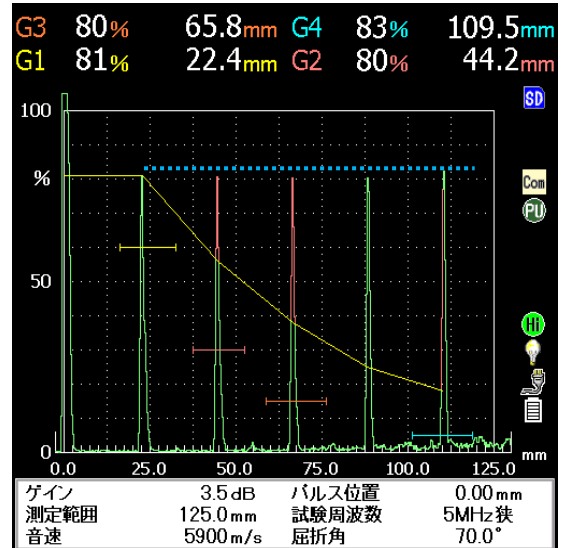


図4 EDAC ON時のBエコーの減衰波形

## 2. 3 DGS (Distance Gain Size)機能

DGS線図を用いてきずの大きさを推定する機能を紹介する。

UI-S7では探触子の周波数と振動子径及び縦波、横波の条件と、表1に示す試験体の反射源形状(円形平面、横穴、縦穴)、反射源の径をパラメータとし、参考文献<sup>(1)</sup>で示された手法を採用して近距離での演算精度を向上した距離振幅特性の演算機能を持っている。

表1 試験体の反射源形状の条件

縦波		横波		
横穴	円形平面	横穴	円形平面	縦穴

DGS線図は、パソコン上で専用のDGS線図作成ソフトを使ってSDカード内にDGS線図ファイルを作成しUI-S7でこのファイルを取り込んで表示する。

図5にDGS線図を作成した例を示す。

(a)は、STB-G-V15のφ5.6mm平底穴を使って作成したDGS線図例を示す。

(b)は、STB-G-V15のφ2.8mmを採傷したときのエコー高さから等価反射源の大きさを表示した例を示す。

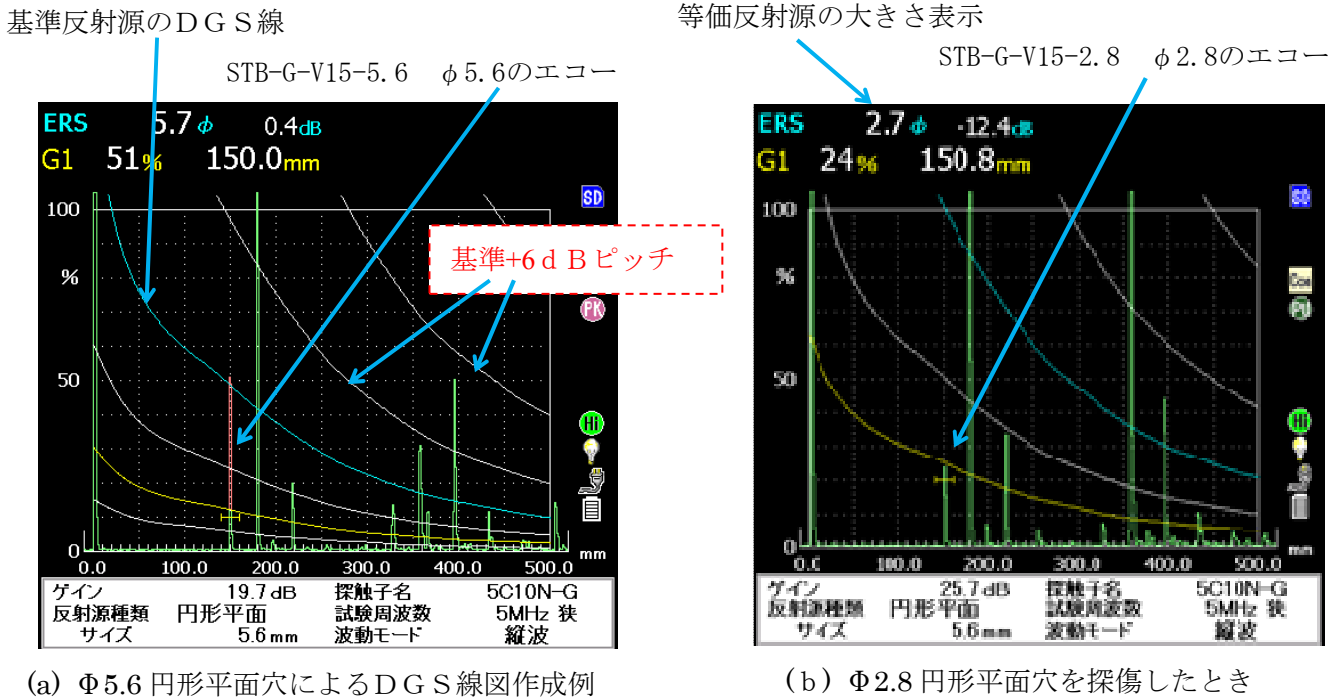


図5 DGS線図例

## 2.4 DAC作成支援機能

UI-S7は、JIS Z3060で規定されているエコー高さ区分線の作成を支援する機能として、図6に示すように、STB-A2及びRB試験片の標準穴からの反射エコー位置（ビーム路程、y、d）を画面上部に参考値として表示し、画面下部には探触子と反射源の位置関係を表示する機能を持っている。

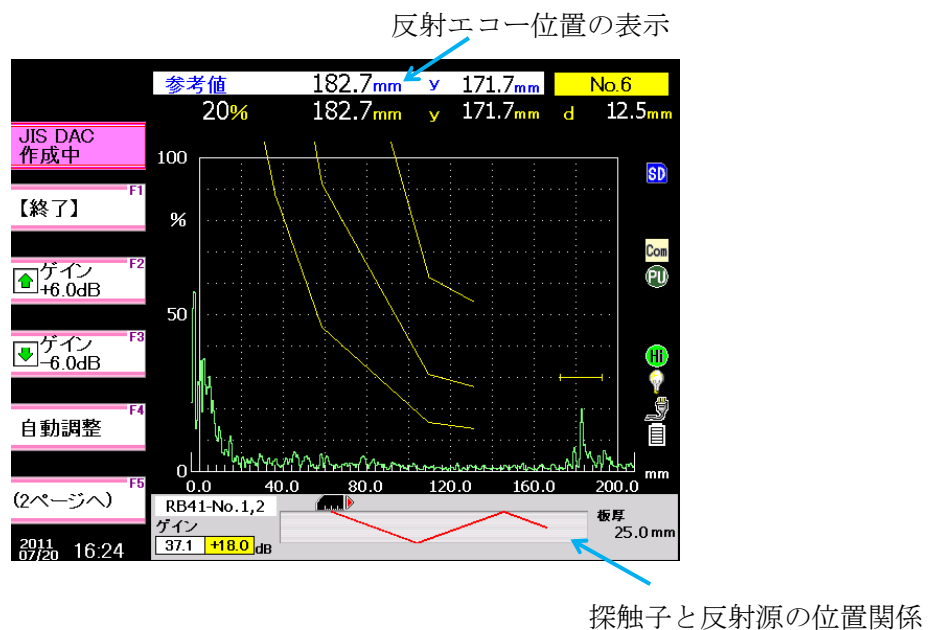


図6 DAC作成支援機能

## 2. 5 斜角探傷時の支援機能

### (1) 屈折角の自動測定機能

斜角探傷子の屈折角の測定は、探傷子の入射点位置とSTB-A1側面目盛が一致する点を $0.5^\circ$ 以下の精度で読み取る方法があるが、ここでは横穴反射源の中心位置と反射源からの最大エコー高さ位置のビーム路程から屈折角を自動計算する機能を紹介する。

図7に示すように、事前に横穴中心位置（穴深さ）と横穴径（穴径 $\phi$ ）を入力しておき、探傷子を前後走査して横穴からの反射エコー高さが最大になるように走査すると、探傷器の画面上に屈折角の演算結果が表示される。

屈折角の演算結果を $0.1^\circ$ 単位で表示

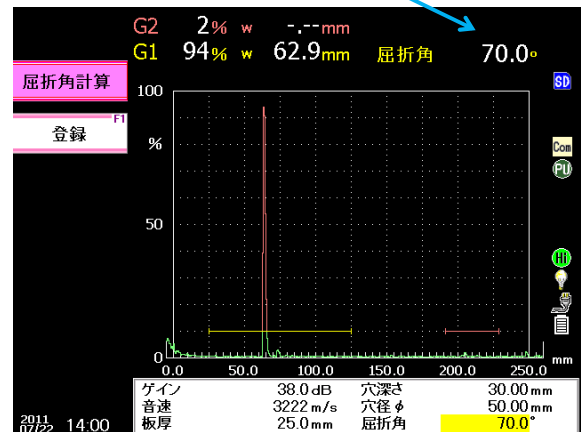
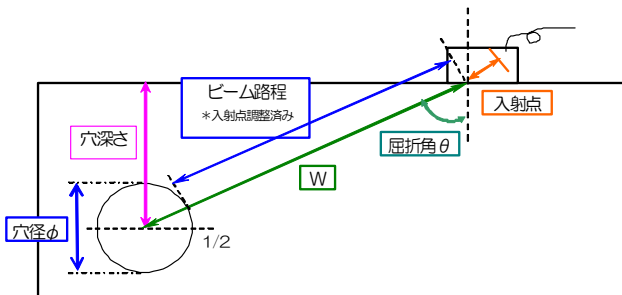


図7 屈折角自動測定機能

### (2) スキップ点表示と2ゲートの斜角探傷結果の表示機能

検査、試験作業時における欠陥判定の補助機能として、斜角探傷においてスキップ距離に応じた検査範囲を2区分設定することができ、区分毎に欠陥位置（ビーム路程、 $y$ 、 $d$ ）を表示する機能を紹介する。

図8に、1スキップの前後でゲートの設定を分けて設定することで、区分毎に結果を表示する例を示す。

スキップ点マーカ表示

斜角探傷2ゲートの $w$ 、 $y$ 、 $d$ 表示

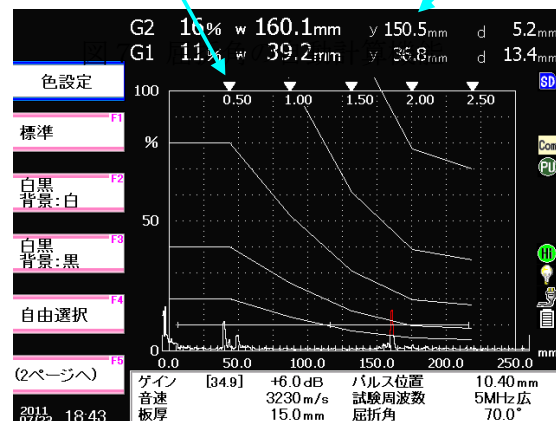


図8 斜角探傷画面表示例

## 2. 6 入射点と音速の自動調整機能

反射源の位置が分かっている試験片を用いて超音波ビームの入射点（探傷面）から反射源までの超音波伝搬距離と探傷、計測表示エリアに表示される反射源からのビーム路程を一致させるためには、入射点（ゼロ点）と音速を調整する必要がある。

図9にSTB-A1試験片を使って、反射源（R100）からの多重エコーの伝搬時間と試験片の反射源位置の距離（板厚）から音速を求め、多重エコーの伝搬時間からゼロ点を求め自動調整する例を示す。

探傷器画面右下のゼロ点位置の調整は、多重エコーの時間（b）を計測し、ゼロ点からR100のエコー間の距離（a）が同じ時間（ $a = b$ ）になるように探傷器のゼロ点を調整するもので、音速を使用しないで計測した伝搬時間だけを使ってゼロ点調整するため精度の良い調整ができる。

音速は、多重エコーの時間（b）とR100の長さから求める。

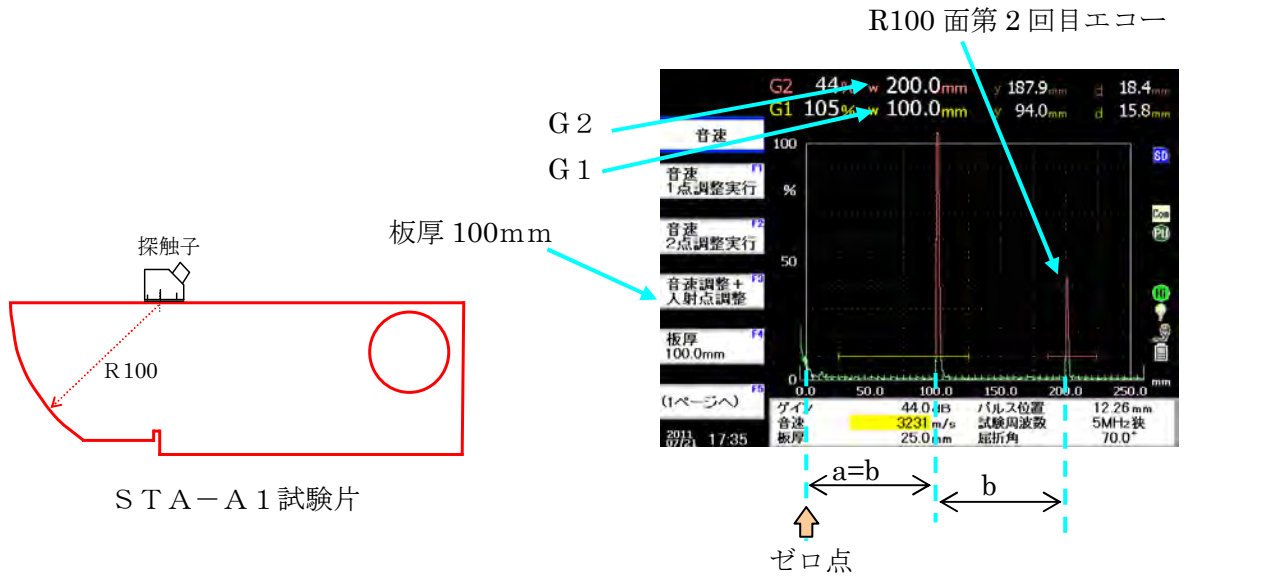


図9 入射点と音速の自動調整機能

## 2. 7 操作メニューのカスタマイズ機能

探傷器のユーザビリティ<sup>(2)</sup>の更なる向上が今後とも求められるものと考えられる。

UI-S7は、探傷器の操作性を向上させるために使用頻度の高いファンクションキーを登録する機能を持っている。図10に示す画面で各機能をF1～F5のファンクションキーに登録することで図11に示すように「My Menu」の中に各機能が表示され検査作業手順に合わせた操作ができるようになり、操作性を向上させることができる。



図10 ファンクション登録画面

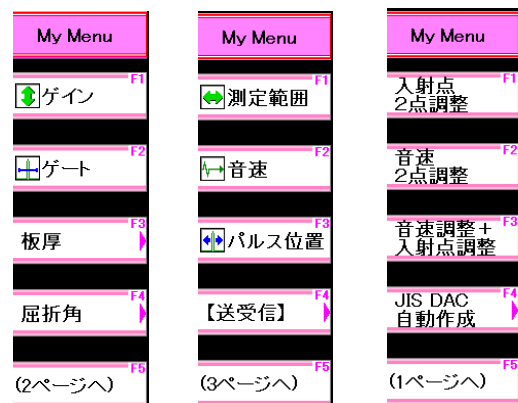


図11 My Menu画面

### 3. 応用例の紹介

次にデジタル超音波探傷器の応用例を紹介する。

#### 3. 1 丸棒φ18mm 長さ4000mmの長さ計測

図12に公称周波数5MHzの垂直探触子による外径φ18mm長さ4mの丸棒の長さ測定例を示す。

図13(a)は、このときの底面波形である。この底面エコーを拡大した波形を(b)に示す。

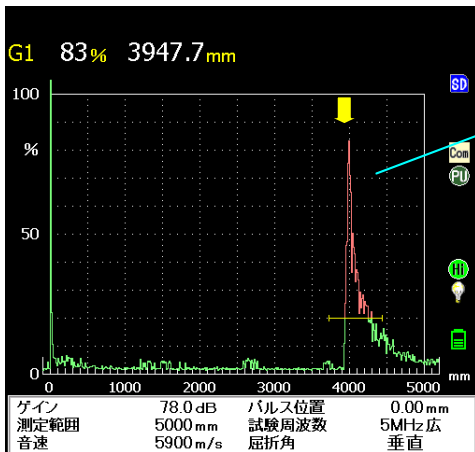
この例では、丸棒側面の影響による遅れエコーが多重エコーとして発生していることが分かる。

この波形を周波数分析した結果を(c)、(d)に示す。

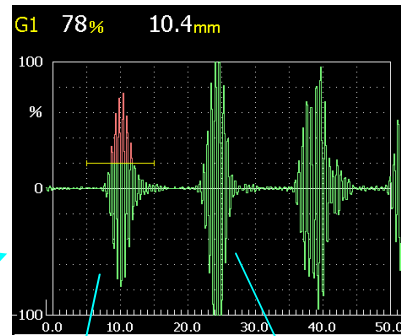
(c)は底面第一波のFFT結果で中心周波数が5.21MHzであった。(d)は、その後に受信した丸棒の側面からの遅れエコーで、中心周波数が4.93MHzであった。これは、試験体内を伝搬した超音波の周波数が長さや径の影響により変化することを示している。



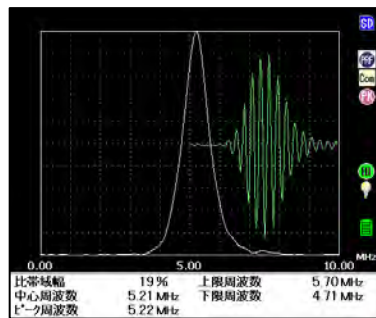
図12 外径18φ長さ4mの長さ測定例



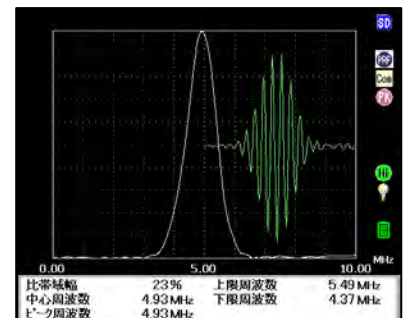
(a)測定範囲 4 m



(b) 拡大画像



(c)底面エコーの FFT 結果



(d)遅れエコーの FFT 結果

図13 外径18φ長さ4mの底面反射波形と周波数分析結果

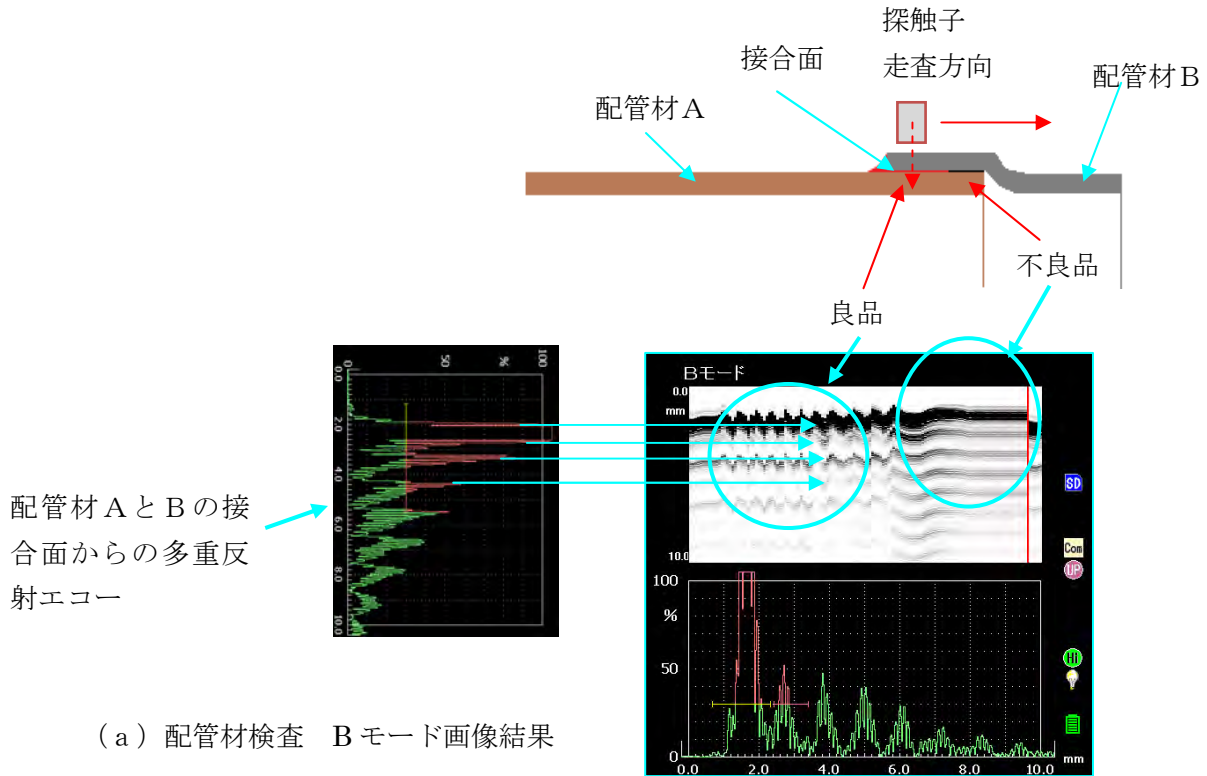
### 3. 2 Bモード機能の活用例

UI-S7にはBモード機能が搭載されている。

図14に本機能による良否判定の一例を示す。

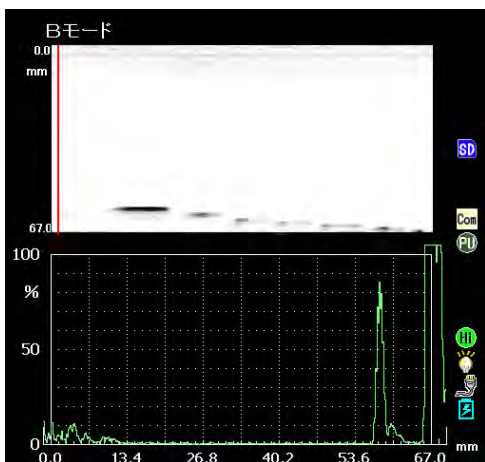
(a)の検査例は、材料の異なる配管材をロウ付けで接合した部位の密着度を検査するもので良品の場合は配管材Aの底面から反射し不良品の場合は配管材Bの底面から反射する。

この時間軸上で変化する底面エコーの反射位置を画像化することで良否の判定が容易にできる。

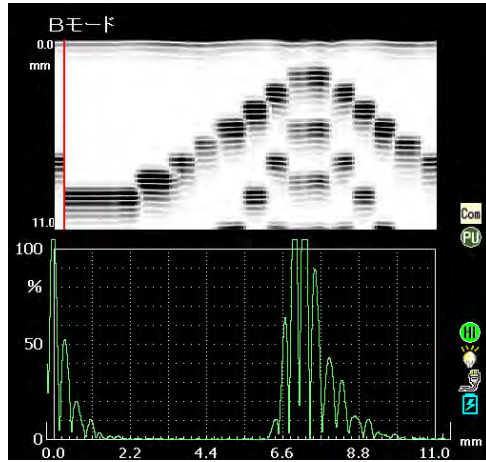


(b)の画像例は、底面に $\phi 3\text{mm}$ 深さ $1\text{mm}\sim 7\text{mm}$ で $1\text{mm}$ ピッチで加工された平底穴を探傷したときのBモード画像を示す。

(c)の画像例は、厚さ $10\text{mm}$ のRB-E対比試験片 $3\text{mm}\sim 10\text{mm}$ の $1\text{mm}$ ピッチの段差をBモード画像で表示したものである。



(b) 平底穴 Bモード画像結果



(c) RB-E対比試験片 Bモード画像結果

図14 Bモード画像結果

### 3. 3 ゲートトラッキング機能

水浸法や水ギャップ方式による肉厚計測や垂直探傷時に使用するゲートトラッキング機能について紹介する。

図15に、S（表面）エコーとB（底面）エコーのトラッキング機能を使って、表面に凹凸がある鋼管材料の肉厚と内部欠陥の検査例を示す。図16には、このときのSエコーとBエコーの時間軸変動に対応したゲートのトラッキングの様子を示す。

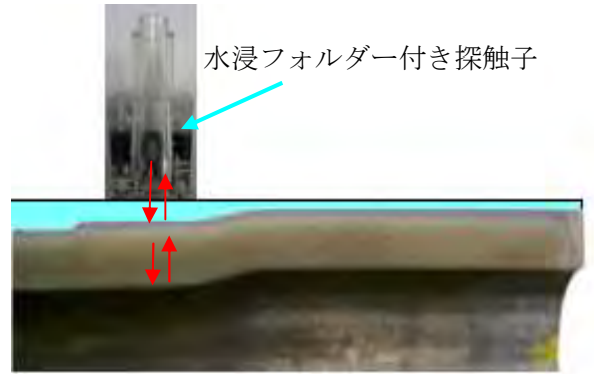
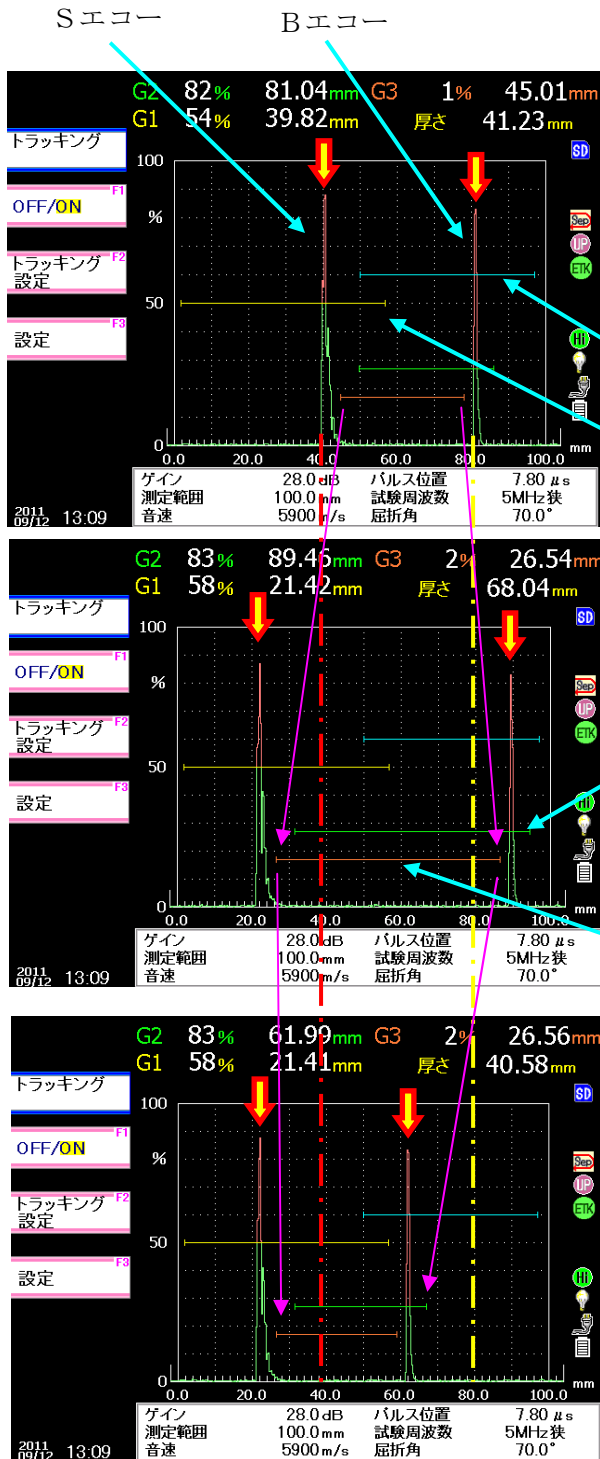


図15 水浸式肉厚測定例

Bエコー変動監視用ゲート

Sエコー変動監視用ゲート

肉厚測定用ゲート

- ・ゲート起点は、Sエコーに追従する。
- ・ゲート終点は、Bエコーに追従する。

欠陥検出用ゲート

- ・ゲート起点は、Sエコーに追従する。
- ・ゲート終点は、Bエコーに追従する。

このゲート追従機能により、表面や底面の変動に対応してゲート位置の調整を行う必要がないため検査作業の効率化が図られる。

図16 ゲートトラッキング機能

### 3. 4 ボルト軸力計測機能

図17に示すボルト軸力計は、ナット対面の超音波の透過量を計測して軸力に換算するもので、締め付けによるボルト長さの微小な変化を検出する方式と異なり、ボルト長さの初期値を測定する必要がなく、ボルト先端の形状に影響されないなどの利点がある。

本機能は、UI-S7にチャンネル切替BOXを増設することで3チャンネルの探触子を自動で切替ながら超音波の透過量を計測し軸力値を算出するものである。

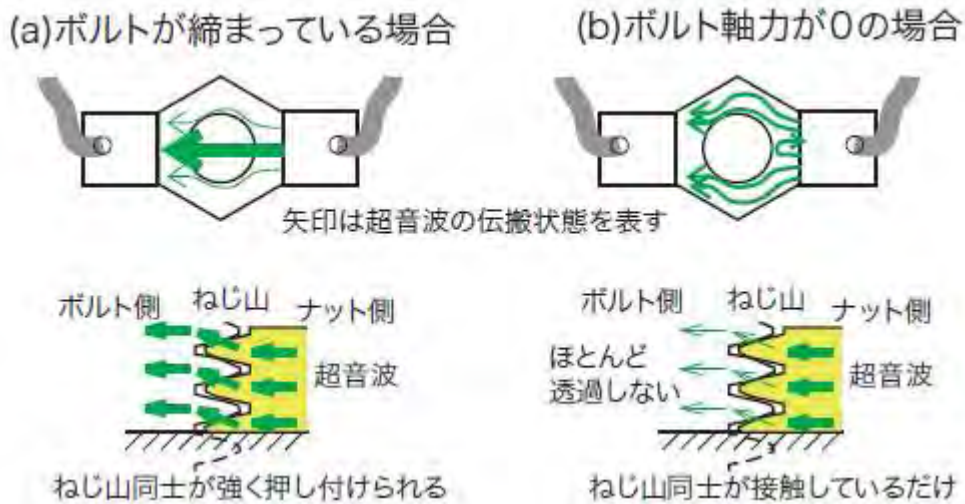


図17 ボルト軸力計（株）ジャスト殿との技術提携により製品化）

### 4. まとめ

最近のデジタル超音波探傷器の特長を活かした機能や操作性について、その一部を紹介した。

今後、最新のテクノロジーを活用した更に信頼性の高い高性能で、ネットワーク対応型の汎用探傷器の提供を予定している。これらの性能向上により検査ニーズに応えられる新たな検査技術や検査結果の管理など、品質と信頼性の向上に活用されることが期待される。

### 参考文献

- (1) 山田尚男、岡本実、石田司：「きずの形状に対応した DGS 線図と演算の高速化」 JSNDI 第18回超音波による非破壊評価シンポジウム (pp.87-92)
- (2) 岡本実、石田司、鈴木健嗣：「デジタル超音波探傷器のユーザビリティの向上」 JSNDI 第15回超音波による非破壊評価シンポジウム (pp.123-128)





## 石油・化学プラント業界におけるNDTの現状

2011年 2月 7日

出光エンジニアリング(株)

長谷川 勝宣

出光

提示内容

出光

1. 業界の現状
2. 外面腐食検査
3. 埋設配管、加熱炉管のピグ検査
4. 結言

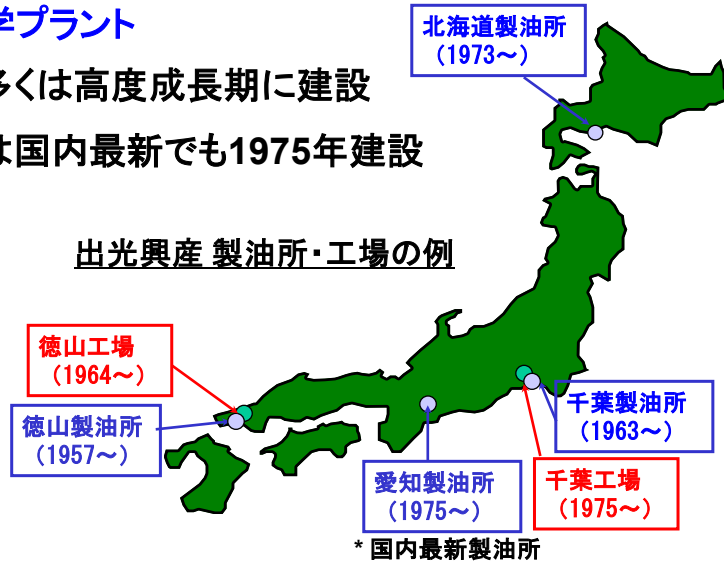
# 1. 業界の現状

出光

## 石油・化学プラント

設備の多くは高度成長期に建設

製油所は国内最新でも1975年建設



IDEMITSU ENGINEERING CO.,LTD.

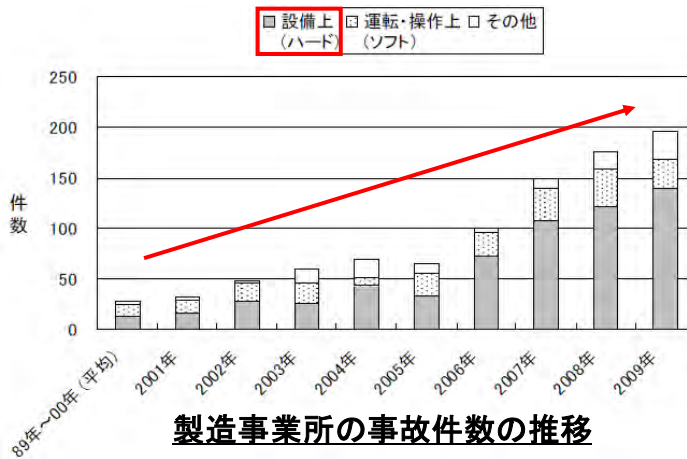
Confidential Copyright © 2012 by IDEMITSU ENGINEERING CO., LTD. (IEC)  
To be reproduced and used only in accordance with written permission of IEC 3

# 1. 業界の現状

出光

製造事業所の事故件数は上昇傾向を継続している

その原因として特に設備(ハード)上の問題が顕著になっている



出典: 平成21年度経済産業省委託 石油精製業保安対策 石油精製プラント等の事故情報調査に関する報告書

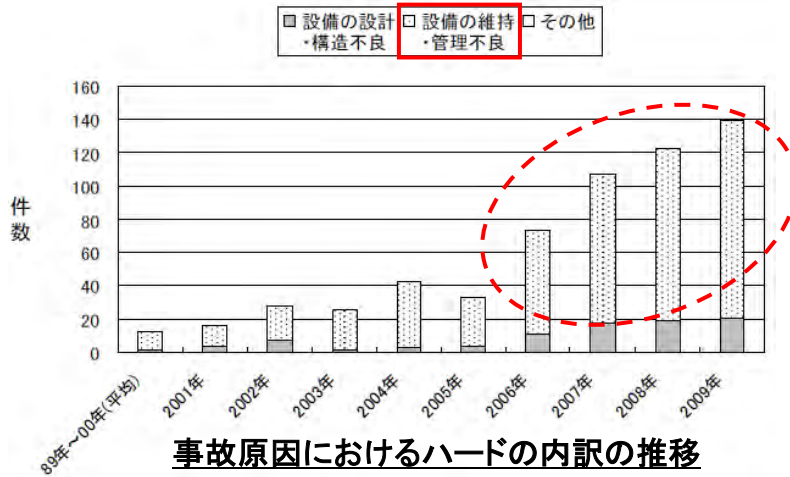
IDEMITSU ENGINEERING CO.,LTD.

Confidential Copyright © 2012 by IDEMITSU ENGINEERING CO., LTD. (IEC)  
To be reproduced and used only in accordance with written permission of IEC 4

# 1. 業界の現状

出光

事故原因に占める「設備の維持管理不良」の増加が著しい



出典：平成21年度経済産業省委託 石油精製業保安対策 石油精製プラント等の事故情報調査に関する報告書

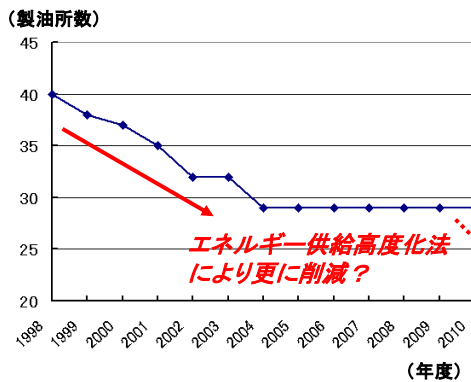
IDEMITSU ENGINEERING CO.,LTD.

Confidential Copyright © 2012 by IDEMITSU ENGINEERING CO., LTD. (IEC)  
To be reproduced and used only in accordance with written permission of IEC

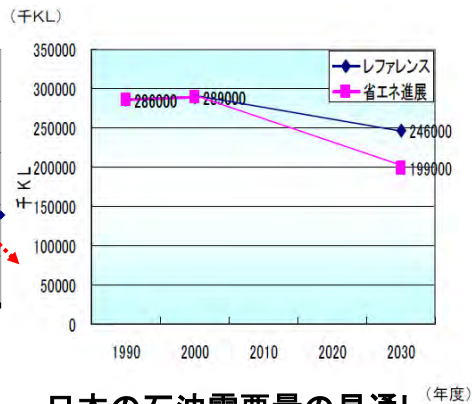
# 1. 業界の現状

出光

国内マーケット縮小、国際競争によるコスト削減も大きな課題  
⇒ 設備信頼性も確保した合理的な維持管理コストが必須



日本の製油所数の推移



日本の石油需要量の見通し

出典：平成19年9月 資エネ庁 石油精製分野の現状と課題について

IDEMITSU ENGINEERING CO.,LTD.

Confidential Copyright © 2012 by IDEMITSU ENGINEERING CO., LTD. (IEC)  
To be reproduced and used only in accordance with written permission of IEC

# 1. 業界の現状

出光

## 業界の現状のまとめ

- 高経年化と共にプラントの事故が増加傾向
- 一方で維持管理費も含めたコスト競争力が課題
- ⇒ 効率的な保守検査(≒非破壊検査)技術の活用が重要

本日は高経年化対応が特に課題となっている事例を紹介

- 機器・配管等の外面腐食
- 埋設配管の内外面腐食
- 加熱炉管の内外面腐食

IDEMITSU ENGINEERING CO.,LTD.

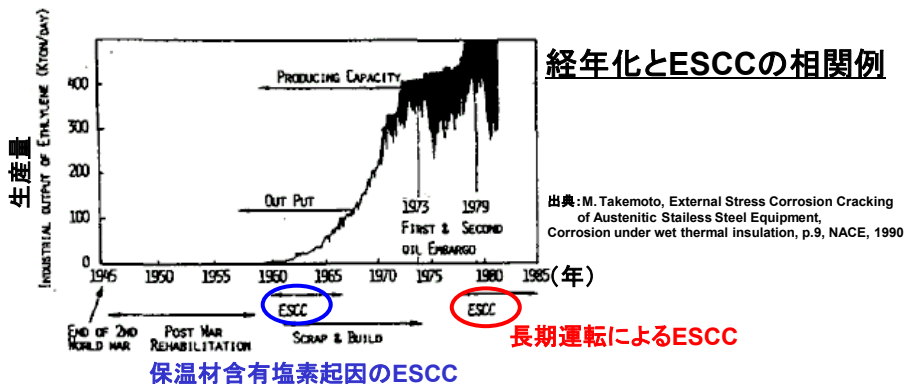
Confidential Copyright © 2012 by IDEMITSU ENGINEERING CO., LTD. (IEC)  
To be reproduced and used only in accordance with written permission of IEC 7

# 2. 外面腐食検査

出光

外面腐食の問題がプラント使用年数の長期化に伴い増大

- 特に ● 炭素鋼の保温材下の腐食
- オーステナイト系ステンレス鋼の応力腐食割れ(ESCC)



近年は装置によっては保全検査費用の30~50%を外面腐食対応につき込んでいる

IDEMITSU ENGINEERING CO.,LTD.

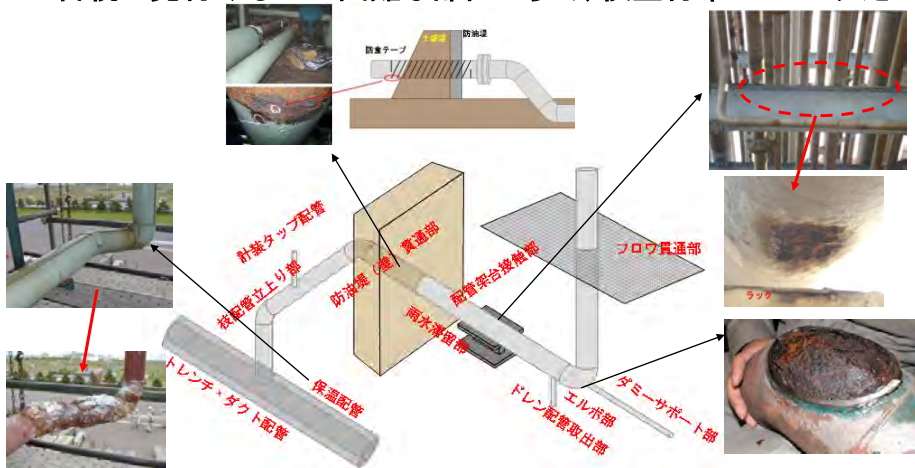
Confidential Copyright © 2012 by IDEMITSU ENGINEERING CO., LTD. (IEC)  
To be reproduced and used only in accordance with written permission of IEC 8

## 2. 外面腐食検査

出光

### 外面腐食の特徴

- ・発生可能性のある範囲が広い（特に常温から150°Cの設備）
- ・目視で見付けるのが困難な部位が多く、検査付帯コストが大きい



IZ IDEMITSU ENGINEERING CO.,LTD.

Confidential Copyright © 2012 by IDEMITSU ENGINEERING CO., LTD. (IEC)  
To be reproduced and used only in accordance with written permission of IEC 9

## 2. 外面腐食検査

出光

目視では直接観察困難な外面腐食(特に保温材下)の発生部位をスクリーニングできれば、保守検査の大幅な効率化と設備信頼性向上への寄与は大きい

そのためのNDTが下図例を含め、多々提案されている

Thru-VU		FCR	
中性子水分計		ラックスキャン	
パルス渦流探傷		ガイド波UT	

IZ IDEMITSU ENGINEERING CO.,LTD.

Confidential Copyright © 2012 by IDEMITSU ENGINEERING CO., LTD. (IEC)  
To be reproduced and used only in accordance with written permission of IEC 10

## 2. 外面腐食検査

出光

しかしながら、以下のような理由例により、現場の実態としては  
NDTの使用は少ない → 結局は目視検査

### (1) 期待性能がでない

- (例) **ガイド波UT** 特徴: 長距離を一度に検査できる  
⇒ 構造不連続部や溶接部は超音波が減衰する  
→ 現場は構造不連続や溶接が多々ある

### (2) 適用範囲が限られる

- (例) **パルス渦流探傷** 特徴: 保温板金下の腐食を検出  
⇒ 板金や突起物の磁性体の影響が実際には無視できない  
→ 検査しても何の信号を拾っているのか評価できない

### (3) 検査信号の解釈が困難である

- (例) **中性子水分計** 特徴: 保温吸湿度から腐食箇所を推定  
⇒ どの検出値までが腐食リスクが高いと判断するのか？  
→ 色々なケースで検出値との相関検証が必要(コスト、時間を要す)

IZ IDEMITSU ENGINEERING CO.,LTD.

Confidential Copyright © 2012 by IDEMITSU ENGINEERING CO., LTD. (IEC)  
To be reproduced and used only in accordance with written permission of IEC 1

## 2. 外面腐食検査

出光

外面腐食に開発されたNDTを現場での実用ベースに乗せるため  
には以下の課題をクリアにする必要がある

- ◆ 特徴、長所だけでなく、**適用限界を定量的に明確にする**
- ◆ 検出データ(値)が何を意味するのか、**判断基準値を含め、  
解釈までを検査者は提供する**  
(腐食？材質変化？障害物？など)
- ◆ 検査結果の**信頼性はどこまであるのか、過去の実機検査  
データも含めて明確にする**

検査会社とプラントユーザーが一体となった検証が望まれる

IZ IDEMITSU ENGINEERING CO.,LTD.

Confidential Copyright © 2012 by IDEMITSU ENGINEERING CO., LTD. (IEC)  
To be reproduced and used only in accordance with written permission of IEC 2

### 3. 埋設配管、加熱炉管のピグ検査

出光

石油精製、化学プラント等の重要設備の中で、

- ① 3, 4インチの小口径の高圧ガス導管や移送取扱設備の配管
- ② 加熱炉コンベクションチューブ

は、検査技術がなく、検査できない設備であった。

この全長検査を可能とするために、米国クエスト社でインテリジェント・ピグによる検査技術が開発され、出光エンジで、この検査技術導入を図り、小口径導管の検査に適用している。

この検査技術と検査事例について紹介する。

IZ IDEMITSU ENGINEERING CO.,LTD.

Confidential Copyright © 2012 by IDEMITSU ENGINEERING CO., LTD. (IEC)  
To be reproduced and used only in accordance with written permission of IEC 3

### 3. 埋設配管、加熱炉管のピグ検査

出光

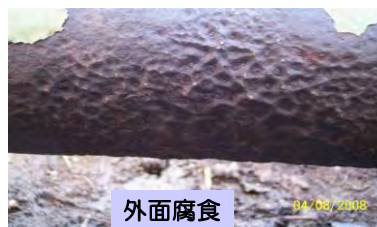
小口径パイプライン(高圧ガス導管等)

- 構外に敷設され事業所、企業間を結ぶパイプライン
- 原料や製品を安全且つ安定して移送する重要な役割
- パイプライン漏洩が発生すると重大災害となる可能性大

敷設後、30～40年以上経過している配管が多いが、防食方法として当時一般的に採用されていたアスファルトジュートの寿命は20年前後と言われている



外面腐食



外面腐食

IZ IDEMITSU ENGINEERING CO.,LTD.

Confidential Copyright © 2012 by IDEMITSU ENGINEERING CO., LTD. (IEC)  
To be reproduced and used only in accordance with written permission of IEC 4

### 3. 埋設配管、加熱炉管のピグ検査

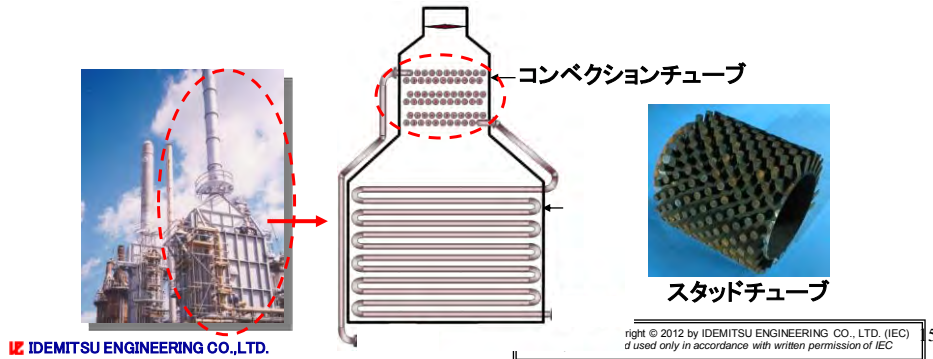
出光

#### 加熱炉 コンベクションチューブ

炉外へ出ているベンドのNDT又はベンドを切断して行う部分検査のみで全長検査は不可能

#### 【検査上の問題点】

- ・構造的制約によりアクセス不可
- ・アクセスできたとしてもフィン、スタッドにより外面からの検査不可



IZ IDEMITSU ENGINEERING CO.,LTD.

5

### 3. 埋設配管、加熱炉管のピグ検査

出光

#### 従来のピグ検査の問題点

- 直径の大きな(6インチ以上)の管の全長検査

インテリジェント・ピグを適用可能



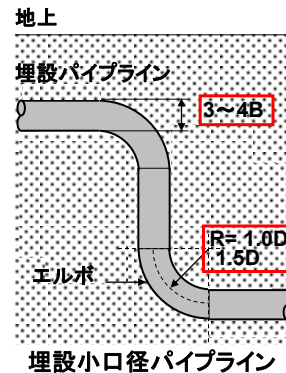
英国PII社のインテリジェント・ピグの例

- 小口径管 (3、4インチ)

導管や移送取配管等重要パイプライン  
掘削などによる部分検査のみ  
全長検査は不可能

#### 【検査上の問題点】

- ・配管直径が小
- ・エルボ曲率が1.5D、1.0Dと小(D:管の外径)



IZ IDEMITSU ENGINEERING CO.,LTD.

Confidential Copyright © 2012 by IDEMITSU ENGINEERING CO., LTD. (IEC)  
To be reproduced and used only in accordance with written permission of IEC

6



### 3. 埋設配管、加熱炉管のピグ検査

出光

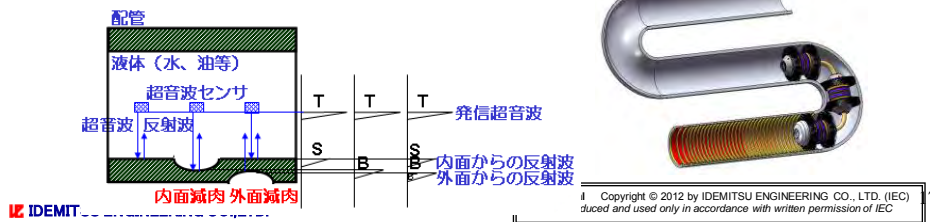
#### 小口径管の全長検査技術の開発

◆ 開発目標

- 小口径パイプライン:
  - ・埋設配管では掘削せずに、
  - ・保温保冷材施工配管では取外が不要、
- 加熱炉チューブ:
  - ・炉内へ入らずに、
  - ・チューブを切断せずそのままの状態、
- ・管の内外面を100%カバーでき、
- ・全長の定量検査が可能な技術

◆ 検査方式: インテリジェント・ピグ方式 (小型化)

◆ 検査原理: 水浸超音波法



### 3. 埋設配管、加熱炉管のピグ検査

出光

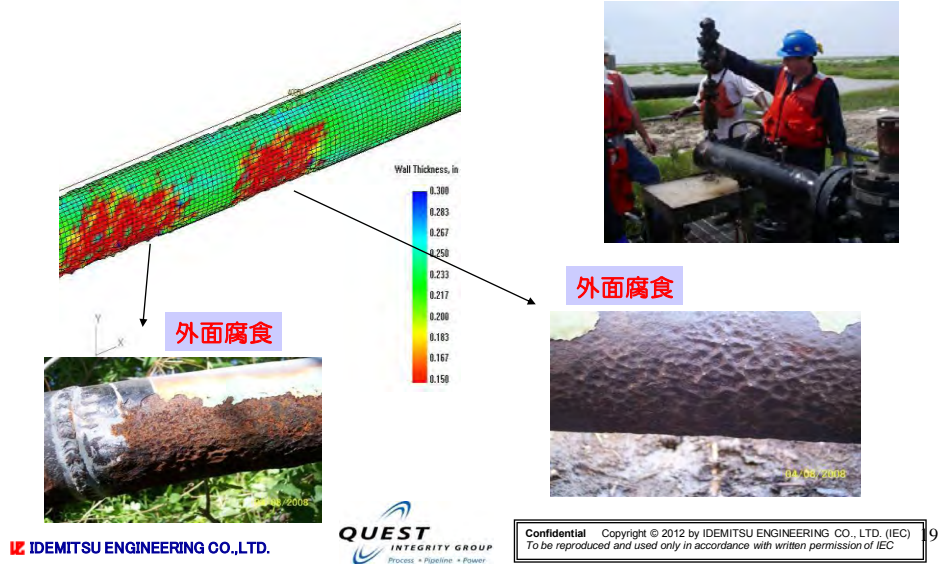
#### 開発装置 (InVista / FTIS) 仕様

項目	性能仕様
検査装置名(パイプライン/加熱炉)	InVista/FTIS
サイズ	3B~14B
肉厚	≦25.4 mm
適用パイプライン長さ(確認長さ)	≦42 km (26 miles)
管内圧力	≦4.1 MPa
管内温度	-18~60℃
通過可能エルボ(バンド)曲げ半径	≧1.0D (D: 管の外径)
通過可能エルボ(バンド)曲げ角度	≦180°
検査速度	≦0.61 m/s
検査カバー率(直管部)	管軸方向、周方向100%
走行方向	両方向(前進後進)

### 3. 埋設配管、加熱炉管のピグ検査

出光

#### InVista™ によるパイプライン検査例 - 4B原油配管



IDEMITSU ENGINEERING CO.,LTD.

QUEST  
INTEGRITY GROUP  
Process • Pipeline • Power

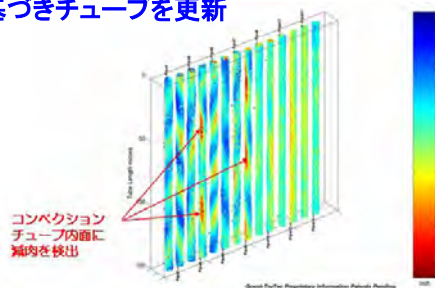
9

### 3. 埋設配管、加熱炉管のピグ検査

出光

#### FTIS™ による加熱炉管検査例 - Crude Furnace

- ・チューブサイズ: 6B
- ・材質: ASTM A-106 Grade B (STPT相当)
- ・肉厚: Sch40
- ・設備上の問題点: 加熱炉に関して設備上の問題なし(当初)
- ・検査: 当初FTIS™による検査技術を検証するために検査に採用
- ・検査結果: コンパクションチューブに広範囲の内面減肉を検出
- ・対応: 検査結果に基づきチューブを更新



IDEMITSU ENGINEERING CO.,LTD.

QUEST  
INTEGRITY GROUP  
Process • Pipeline • Power

10

## 4. 結言

出光

- ◆ 石油・化学プラント業界では高経年化と共にプラントの事故が増加傾向にある一方で、維持管理費も含めたコスト競争力が課題となっており、**効率的な保守検査を実施するための非破壊検査技術の導入・活用がより重要になっている。**
- ◆ 保守管理に占める外面腐食対応の割合が増大しているが、**効率的で信頼性の高い非破壊検査技術の実用化が進んでいない**状況である。検査会社、ユーザーが協業してデータを蓄積し、実用化に取り組んでいく必要がある。
- ◆ **小口径(3, 4インチ)のパイプラインのピグ検査を、出光エンジニアがQUEST社より導入し、国内でもサービスを適用している。**検査困難箇所に対する解決策として貢献していきたい。

出光

以上

## InVista™ によるパイプラインの検査実績

出光

InVista 検査実績

(2009年11月現在)

No.	検査年月	場所	顧客名	プロダクト	外径	長さ	スケジュール/肉厚	検査用流体
1	2003.05	米国テキサス	ConocoPhillips	重質サイクル油	48/114.3 mm	1,981 m	Sch 40	水
2	2004.09	米国ルイジアナ	Citgo	ベンゼン	68/168.2 mm	739 m	Sch 40	水
3	2005.04	米国モンタナ	CHS	重質サイクル油	68/168.2 mm	46 m	Sch 40, 80	水
4	2006.06	米国テキサス	Pasadena Refining	軽質原油	48/114.3 mm	2,897 m	Sch 40	水
5	2006.06	米国テキサス	Pasadena Refining	軽質原油	48/114.3 mm	2,897 m	Sch 40	水
6	2006.08	米国テキサス	ConocoPhillips	ガソリン	88/219.1 mm	4,877 m	Sch 40, 20	水
7	2006.12	米国インディアナ	BP	DGO	68/168.2 mm	情報未開示	情報未開示	水
01	2008.07	日本	出光グループ	プロピレン	48/114.3 mm	4,668 m	Sch 40/6.0 mm	水
9	2008.08	米国カリフォルニア	Chevron	硫酸	68/168.2 mm	2,606 m	Sch 80/12.7 mm	水
02	2008.10	日本	出光グループ	プロピレン	48/114.3 mm	2,389 m	Sch 40/6.0 mm	ベースオイル
11	2008.10	米国カリフォルニア	Chevron	硫酸	68/168.2 mm	2,606 m	Sch 80/12.7 mm	水
12	2008.10	カナダケベック	Shell Montreal	ベンゼン	48/114.3 mm	2,601 m	Sch 40	水
13	2008.10	米国ルイジアナ	Swift Energy	原油	48/114.3 mm	2,722 m	Sch 40	水
14	2008.11	米国アラスカ	BP	製造水	68/168.2 mm	5,367 m	9.5 mm	水
15	2008.12	米国カリフォルニア	BP	石油	88/219.1 mm	1,867 m	5.1 mm	ディーゼル油
16	2008.12	米国カリフォルニア	BP	石油	68/168.2 mm	1,867 m	5.6 mm	ディーゼル油
17	2008.12	米国テキサス	Pasadena Refining	プロパン/プロピレン	48/114.3 mm	4,695 m	Sch 40	水
18	2008.12	米国テキサス	Pasadena Refining	プロパン/プロピレン	68/168.2 mm	4,695 m	Sch 40	水
19	2008.12	米国テキサス	Pasadena Refining	プロパン/プロピレン	88/219.1 mm	4,695 m	Sch 40	水
20	2009.08	米国ミシシッピ	Chevron	硫酸	88/219.1 mm	1,781 m	Sch 40,80,20,10	水
21	2009.08	カナダアルバータ	Interpipeline	原油	48/114.3 mm	1,188 m	3.2 mm	原油
22	2009.08	カナダアルバータ	Interpipeline	原油	38/88.9 mm	1,188 m	3.2 mm	原油
23	2009.09	米国カリフォルニア	BP	石油	128/323.9 mm	4,440 m	9.5/8.4/7.1 mm	ディーゼル油
24	2009.09	米国アラスカ	ConocoPhillips	水	88/219.1 mm	5,641 m	9.5/11.1 mm	水
25	2009.10	米国アラスカ	BP	水	68/168.2 mm	14,967 m	9.5/10.3 mm	水
26	2009.10	米国アラスカ	BP	水	68/168.2 mm	4,506 m	9.5/10.3 mm	水
03	2010.08	日本	某石油会社	潤滑油ベースオイル	128/318.5 mm	960 m	6.9 mm	ベースオイル
04	2010.10	日本	出光グループ	ブタン	68/165.2 mm	8,650 m	7.1 mm	水
05	2011.09	日本	某化学会社	C4	58/139.8 mm	5,262 m	6.6 mm	水
06	2011.10	日本	出光グループ	ブタン	48/114.3 mm	5,671 m	6.0 mm	水

## FTIS™ による加熱炉の検査実績

出光

FTIS 検査実績

(2007年現在)

No.	検査年月	場所	顧客名	装置名	外径	材質	スケジュール/肉厚	検査用流体
1	1998.10	米国テキサス	Agrium - Borger					
2	2004.06	米国テキサス	Agrium - Borger					
3	2004.01	ドイツ	Bayern Oil					
...								
	2003.10	米国ワシントン	BP Cherry Point					
	2004.10	米国カリフォルニア	BP					
	2005.02	米国カリフォルニア	BP West Coast Products					
...								
	2007.02	米国カリフォルニア	Chevron - Richmond					
	2007.02	英国ウェールズ	Chevron - Pembroke					
	2007.04	英国ウェールズ	Chevron - Pembroke					
...								
	2007.05	米国テキサス	ConocoPhillips - Borger					
	2007.06	カナダ	ConocoPhillips - Wembley					
	2007.07	米国ワシントン	ConocoPhillips LTD					
...								
	2006.03	ベルギー	Esso (Turbinate) - Antwerp					
	2007.03	オランダ	Esso Rotterdam (Turbinate)					
	2003.11		Esso Imperial Oil Sarnia (DDT)					
	2007.02		Esso Refinery (Turbinate)					
...								
	2006.05	米国イリノイ	ExxonMobil Joliet					
	2006.07	米国カリフォルニア	ExxonMobil Torrance					
...								
200	2001.07	オーストラリア	WMC Fertilizer - Phosphate Hill					
201	2001.08	オーストラリア	WMC Nickel - Kwinana					

QUEST  
INTEGRITY GROUP 24  
Process • Pipeline • Power

## 航空機構造のCFRP部位非破壊評価

### Non-destructive Evaluation on CFRP Parts of Aircraft Structure

宇宙航空研究開発機構 松嶋 正道

はじめに

繊維強化複合材料は、炭素繊維複合材料(Carbon Fiber Reinforced Plastics)が広く知られており、軽くて強く剛性も高い性質を持っているので航空機・宇宙機の一次構造部材に適用されている。航空機で考えると、重量軽減による燃料の効率が向上し、耐疲労特性が高いので整備回数も少なくできるといったコスト削減が生まれる特長がある。宇宙機構造でも、軽量化によるペイロード増加が見込まれる。ただし、複合材料構造を成型する時には、構造部材全体を一体成型するための特殊な型が必要であり成型技術も必要とされている。製品検査は、超音波透過法を用いて行っていたが、現在は反射法を用いて検査を行っている。しかし、運用中のCFRP部材整備検査法は確立されておらず、各種検査方法が考え試みられている。

複合材料とは

「異なる種類の材料を組み合わせることによって、特性の向上が得られる事ができた材料」と定義すると、古くは「干しレンガ」にみられるような、植物の繊維と土を混ぜ合わせて乾燥させた建築資材や「和紙」のように、こうぞ・みつまたなどと糊を組み合わせ乾燥させたものや「土壁」のように、土に麦藁を練りこませた建築資材である。近年は、インフラのダムなどに使われる、「鉄筋コンクリート」はセメントに細かい砂利をかき混ぜて、設計時の強度計算結果からの、荷重方向に鉄筋を繋ぎ合わせて強度部材（プリフォーム：大枠で最終形状に形をつくったもの）に注入して建造物を作っている。FRP（繊維強化複合材プラスチック）も同様に、あらかじめ設計段階で考えられている荷重方向に繊維を多く並べて、エポキシ樹脂で固めている。ただし、ここで用いられている強化繊維は炭素繊維が多く使われている、この炭素繊維はアクリル繊維系のポロアクリロニトリル繊維を高温（1100℃）で延伸しながら、炭素原子を繊維長手方向に均一に並べて強度を高くしている。繊維単体（モノ・フィラメント）の直径は7ミクロン程度であり、このフィラメント数千本を単位として、束（トウ）にして6K、9K、12K、24K（24000本）にしたものを、一定幅方向に引きそろえた一方向材（UD）や織物形状に編みこんだ布材（cloth）で製品化している。複合材料は、金属材料と大きく異なっている性質があり、直交異法性と呼ばれている。これは、繊維方向には、強いが直角方向は極端（15%程度）に弱い性質をもっており、FRPにしたときでも同様な事が起こる。また、エポキシ樹脂は熱硬化の性質を持っており、120℃程度で固まってしまうので再融着は不可能とされている。この再融着に関しては、熱可塑樹脂 PEEK（ポリ・エーテル・エーテル・ケトン）

を用いると熱可塑の性質を利用して再融着を行うことができる。ただし、融着温度は、230℃以上が必要となり特別な成型装置が必要であり、成型ノウハウも必要となる。近年では、低コスト複合材料として熱硬化樹脂のオートクレーブ、熱可塑樹脂のホットプレス成型から、常温硬化樹脂を用いて、金型に繊維を積層したのちにバグgingを行って真空中に引いて繊維を金型に密着させた状態にして樹脂を流し込む VaRTM 成型が開発されており、真空樹脂含浸成型 (Vacuum-assisted Resin Transfer Molding) と呼ばれている。これは、繊維束を 12K、24K の太いものを用いて織物形状として、厚さ方向にナイロン糸で工業用ミシンを用いて編みこんでいる形状となっている。

### 航空機の構造様式の変遷

戦後初めての国産旅客機 YS-11 は、耐疲労性を考えた「安全率」を考慮した機体設計で作られており、現在にいたるまで疲労破壊による事故の報告がなく、経年機体の構造を調査しても大きなクラックなどは見つからない実績がある。B-737 は、アルミ合金の機体構造で薄いスキンの補強平板構造でフェールセーフの考え方で設計されている、補強材（ストリンガー）とスキンをファスナーで固定した構造で補強リブとストリンガーで囲まれた区間（ベイ）内で発生したクラックが隣の区間に伝播する前に検査で発見できる様式をとっている。疲労試験機（シェンク）に横長の有孔アルミ合金板をセットして引張り疲労試験をおこなってクラック進展を顕微鏡で観察しながら実験をして、K 値や応力拡大係数などの検証をおこなって設計資料としていた。また、アルミ合金補強平板の圧縮試験、シェル構造の振動解析の実験がおこなわれた。このような、破壊様相や構造解析をもとに B-747 も同様な様式で設計されていた。ただし、ここでの 737、747 は旧型タイプであって現在の一（ダッシュ）600 とか 400 ではありません。B-767 は、FRP を 2 次構造部材に適用をはじめており、主翼付け根フェアリングや内装材に KFRP ハニカム構造が適用されている。B-777 は、一次構造部材に CFRP が適用されており、垂直尾翼、水平尾翼、床補強材が複合材一体成型部材となっている。B-787 は主翼が CFRP 一体成型部材で翼長 40 メートルもある構造様式となっている。金属部材では湿気が腐食の原因となっていたが、胴体構造に CFRP が適用されて機内の加湿が可能となった。A-380 は主翼付け根キャリスルー、胴体後部、後部隔壁、上階床構造が CFRP 適用部材となっている。現在のエアラインは中央コンピューターによる集中管理体制をもっており、パイロットや乗務員からの異常報告があると記録されて、機種・年式・運用実績から対象機種を選び出して整備作業をおこなっている。

### 複合材料の適用

航空機や宇宙機の構造部材は付加価値が高い部材であるので、熱硬化樹脂をもちいて繊維束が 6K (6000 本) を使用しており、1 プライ (1 層) の厚みが 0.12mm 程度である。この薄い一方向 UD 繊維シート (実際は、樹脂を含浸させて半乾燥させた、プリプレグシ

ートと呼ばれている)を荷重方向に対して $-45^\circ$ 、 $0^\circ$ 、 $+45^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $+45^\circ$ 、 $0^\circ$ 、 $-45^\circ$ に積層して擬似等方性としている、これを $(-45,0,+45,90)_{\text{sym}}$ と表示しており、板厚みが $0.12\text{mm} \times 8$ 層で約 $1\text{mm}$ 程度となる、実際には、 $(-45,0,+45,90)_{\text{sym}.4}$ などと表示しており32層のCFRP擬似等方性板で板厚みが約 $4\text{mm}$ 程度である。布(クロス)材は、 $(0 \cdot 90)$ 、 $(\pm 45)$ の組み合わせで、積層層数が $1/2$ となり、積層工程が半分で済むことになる。CFRP胴体模型と補強外板を図1(a,b)に示した。表面板(スキン)とハット型補強材(ストリンガー・スティフナー)が一体成型による部材である。表面板はプリプレグ材を用いており、補強材はハットフランジ部が貼り合わせあり、補強材全体を布材で覆いかぶせて補強している構造である。

この構造様式は、翼の表面板や胴体構造に適用されている。翼の主構造は箱型(box-structure)で強度や剛性を持たされており、この主構造にもCFRPが適用されている。新型旅客機(ボーイング787)の主翼、尾翼、機体に適用されており、全体重量が $1/3$ 以上の機体軽量化がなされている。宇宙機は、衛星を大気圏外に運搬するロケット本体と衛星本体に分類されており、ロケット本体構造を軽量化するとペイロードを大きくすることができるのでSRB構体や段間部にCFRP構造やCFRP/Alハニカムサンドイッチ構造が適用されている。衛星本体は強度よりも剛性計算で設計されており、振動減衰、熱変形制御を主にした構造様式をとっている。このように、航空機や宇宙機の構造部材軽量化が進められており、燃料消費効率化やペイロード(積載貨物重量)効率化が進められている。

#### 適用部材の非破壊評価

代表的複合材料のCFRPは、前述したように薄いシート( $0.12\text{mm}$ )や織物( $0.25\text{mm}$ )を最適積層構成で成型されており、積層数や積層角度が部材により異なっている。板厚も数 $10\text{cm}$ ~数 $\text{mm}$ となっており、部材が一体成型の構造となっている。このような、多層のわたる構造部材をひとつの非破壊検査法で判断することは不可能であり、各種検査法の特長を活かして組み合わせて行う必要がある。

また、各々の構造部材に加わる外力(引張り、圧縮、曲げ、せん断)により、破壊様相が異なっている。引張り外力であれば、引張り応力が発生し主応力方向に沿った積層角度の繊維が大きな力を受けることになり、繊維特性の強弱と積層数が疲労も含めてかかわっている。圧縮外力も同じように主応力に沿った繊維に圧縮応力が発生するが、面内変形から面外変形に移行する座屈現象が発生するので表裏の積層角度は $45^\circ$ に成型されている。主翼構造は、飛行中に曲げ変形とねじり変形が発生するので、補強材(ストリンガ・スティフナ)と表面板(スキン)が一体成型されており、曲げ変形に対しては補強材の長手方向に繊維が多く使用されており、表面板には、ねじり変形に対応するために、 $\pm 45^\circ$ 方向に繊維が配向されている。

このような積層構造では、金属材料にみられるクラックが進展して、ある長さになった

ときに破断するような様式ではなく、FRPはクラック先端から応力方向に直角に進むクラック進展はせずに、積層間のはく離や繊維方向に沿ったクラック発生という複合材特有の破壊様相をしめす。特筆すべきCFRP特有の破壊様相として、衝撃を受けた時の損傷形態がある、金属構造であれば塑性変形が起きることにより、凹んだ窪みができて目視により確認することができるが、CFRPは炭素繊維が黒色で体積含有率が60%も含まれており真っ黒で目視では損傷形態を確認することは無理である。CFRP板は衝撃後圧縮残留強度がエポキシ樹脂を用いた場合に半分以下となってしまう、このために衝撃による損傷（はく離面積）を定量的に探傷することは重要であり、超音波探傷による検査の重要性が高いと評価されている。

また、FRPの表面板とハニカムをコアとしたサンドイッチ構造が航空機の二次構造部材である内装部材、フェアリング、フラップなどに適用されている。ハニカムサンドイッチ構造の比重は0.08であり、水没して探傷をおこなうと浮き上がるのを防ぐジグが必要であり、超音波反射法ではなく透過法が使われている。探傷方法も水をノズルを用いた水柱中を伝播させてハニカムコアとスキンの接着不良によるはく離を観察できる透過法が適用されている。この特有な損傷形態に適用する非破壊検査方法は、組み合わせで行う必要があり、部材構造全体を広く見るためにはサーモグラフィを適用してφ3cm以上の表面近傍のはく離確認をおこない、はく離部位をアレイプローブにより超音波探傷を行って同定する。はく離の厚み方向位置は手探傷によるAスコープではく離エコーを確認することが必要である。繊維に沿ったクラックは、軟X線透過による画像観察が優れた検査法である。しかし、この場合には、造影剤を浸透させる必要がある。

これらの検査法を用いた結果を図2～6に示した。図2はパルスサーモグラフィで人工欠陥（裏側から直径と深さを変えた平底穴）を有するCFRP平板表面からの探傷を行った画像であり、リアルタイムで表面の温度変化を観察することができ、表面から2mm程度までの微少な温度変化が確認できるので、深さ方向や穴径の変化を観察できる特長がある。この検査法を応用すると、ハニカムサンドイッチ構造表面を広範囲に表面温度分布を数秒間で観察できるので、ハニカムコアに水が停留していないかが判断できる有力な検査法といえる。図3はCFRP平板に衝撃損傷を与えた時に起きる層間のはく離が明確に判断できて3次元画像として観察することができる、64素子アレイプローブ超音波探傷画像である。ハンドスキャンを1回操作することによりアレイプローブ幅でCスキャン画像が取り込める機能を有している、左上がCスキャン画像を示しており、左下と右上に横断面画像を表示できる機能を有しており、今後発展が期待できる探傷法と言える。図4は軟X線透過による、衝撃損傷部の透過フィルム画像で損傷範囲と繊維に沿った $-45^{\circ}$ 方向繊維に沿ったクラックが明確に判断できる。この軟X線透過画像はフィルムを用いているので微細なクラックや損傷を確認できる特長がある。検査ノウハウは損傷端面から造影剤をしみ込ませる必要があり、これにより鮮明な画像が得られる。図5は衝撃損傷を受けたCFRP平板を水没させて超音波反射法によって得られたCスコープ画像であり、中央に損傷



部はく離範囲を確認することができる。

おわりに

ここでは、複合材料の特有な損傷形態に適用する非破壊検査法の一例を紹介したが、使用した検査機器は高価であり、ノウハウも必要としている。軽量化・燃料効率化を目的として鉄道車体や台車部材、自動車ボディや車体部材に多く適用が進められており、安価で簡便な非破壊検査機器の開発が望まれている。修理技術も金属材料とは異なっており、板金塗装や溶接による結合は無理であるので、損傷部を円錐状に切り出して、プリプレグを決められた積層方向にしき並べて成型する方式である。航空機の場合には、製造メーカーから指定された検査法や修理方法が細かく決められている。

リサイクルを考えた場合でも、損傷程度を非破壊検査で定量的に判断することにより、廃棄せずに再利用を考えてゆくことが必要と考えている。

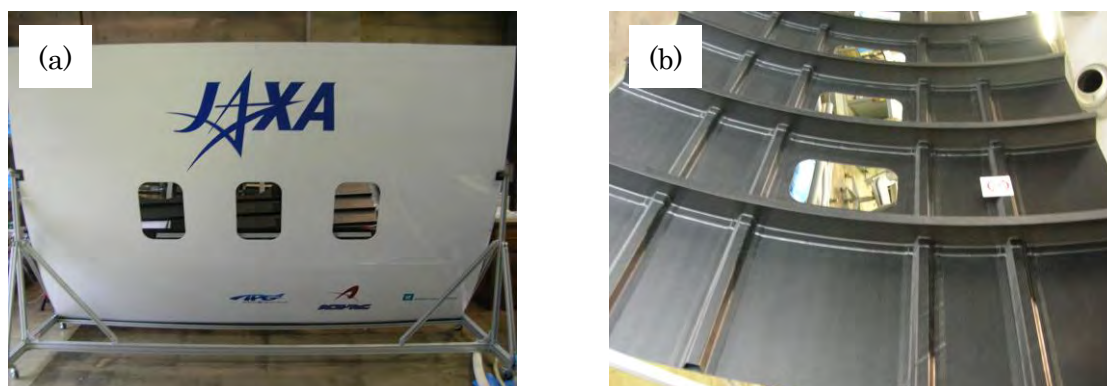
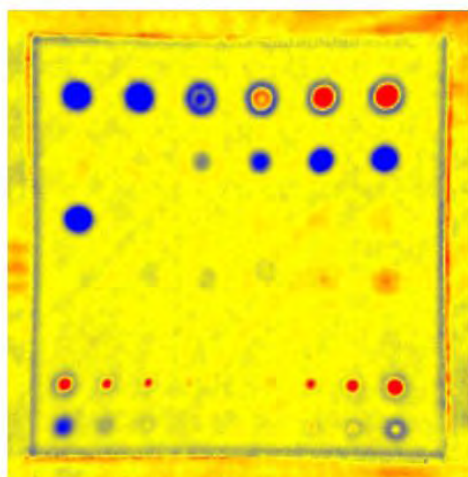


Fig.1 ハイブリッド成型法による航空機胴体模型 (a: 表面、b: 裏面)



2階微分画像 (0.483 sec)

Fig.2 パルスサーモグラフィ法による平底穴付 CFRP 板の探傷結果

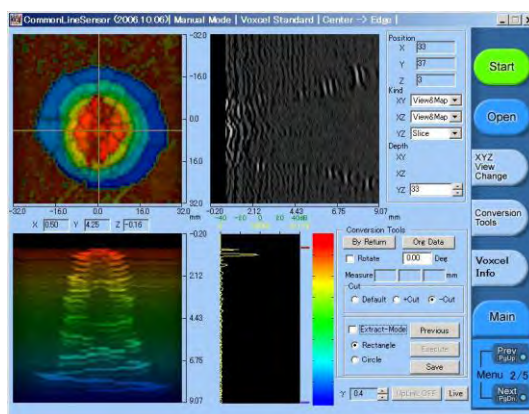


Fig.3 アレイ型超音波探傷法による衝撃はく離の三次元画像

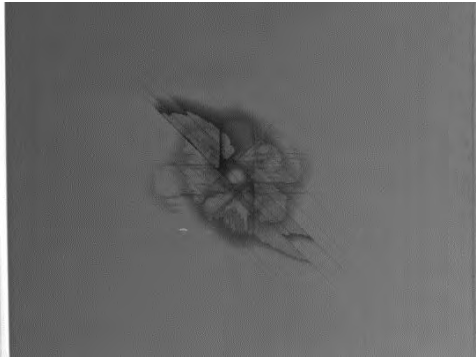


Fig.4 軟 X 線透過法による衝撃はく離の探傷結果

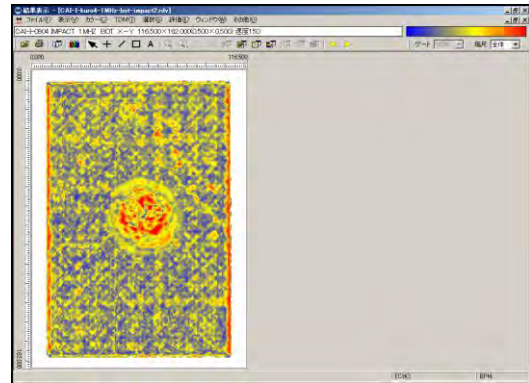


Fig.5 超音波探傷反射法による衝撃はく離の C スキャン画像

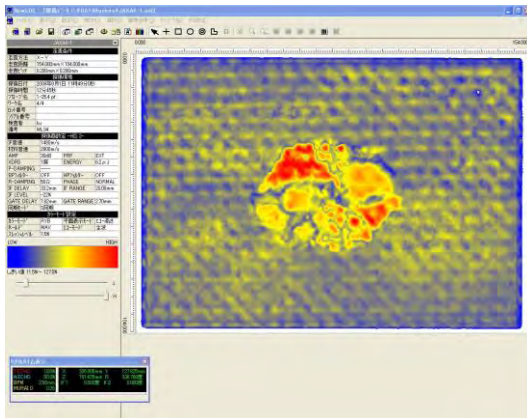


Fig.6 1MHz プロブを用いた VaRTM 平板の衝撃はく離探傷結果

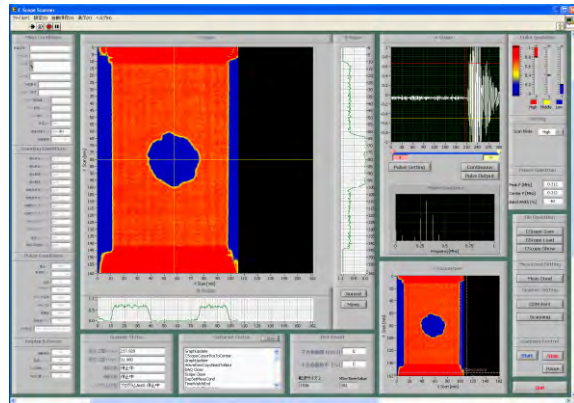


Fig.7 空中超音波探傷透過法による衝撃はく離の B スキャン画像

最新の超音波探傷法として、図6，7を紹介する。図6は低コスト成型法によるVaRTM成型CFRP平板に衝撃損傷を与えた、はく離画像を示した。VaRTM成型CFRP平板は超音波エコーの減衰が大きく明瞭な画像を得ることが困難であったが、1MHz $\phi$ 40mmフォーカスタイプのプロブを適用することによりCスキャン画像を得ることができた。図7はノンカプラントで空気伝播超音波透過法による、はく離面積の同定結果を示した。特に宇宙機体構造は水分が含浸することが問題となるために水没による超音波探傷がすることができずに苦労していたが空気伝播超音波透過法によりはく離面積の同定をおこなうことができた。

これらの探傷画像は、(株)東芝、(株)クラウトクレマ、(株)KGG、(株)ジャパンプローブの探傷機メーカー、プローブメーカーとの協力を得てまとめたものであり感謝の意を表します。

# 鉄鋼製造業におけるNDT(超音波)技術の現状 (Review)

February 7, 2012

- 概況
- 技術開発事例
- 今後の課題・展望

# 概況

- 高検出能化(高分解能化), 高速化, ロバスト化への流れ
  - キーワード: 高周波数, 集束ビーム, フェイズドアレイ, 送波・受波分離, 3次元イメージング
  - 開発形態: 原理から自社独自開発, 機器メーカー技術の対象に合わせたカスタマイズ
  - 開発の目的: QA・QCに加え, 新商品開発を支える評価技術(新しい流れ), ユーザーの課題解決
  - 制約: 一部メーカーの社外発表禁止方針により, 全貌を知ることが困難な状況

## ■ 論文

- 鉄と鋼
- 非破壊検査
- Materials Transactions

## ■ 講演大会

- 日本非破壊検査協会(春・秋), 超音波による非破壊評価シンポジウム
- 日本鉄鋼協会

# 技術事例とその流れ

★フェイズドアレイを用いた点集束ビームタンデム探傷技術(2012)

★集束ビームを用いた微小欠陥3D形状再構成(2011)

☆丸棒鋼用フェイズドアレイ自動超音波探傷装置(2011)

☆ボリュームフォーカスフェイズドアレイ丸棒鋼自動探傷装置(2010)

★Parallel Receiving Needle Beam Ultrasonic Testing Technique(2011)

★On-Line Detection System for Internal Flaws in As-Hot-Rolled Steel Strip Using Ultrasonic Probe Array(2011)

★Ultrasonic Method for Testing Spot-Welds(2011)

高検出能化

高速化

ロバスト化

※2010~2012: 発表多い

# 点集束ビームタンデム探傷技術(1)

- 開発目的: 電縫(ERW)鋼管の散在ペネトレータ評価
- フェイズドアレイ利用, 送受波分離

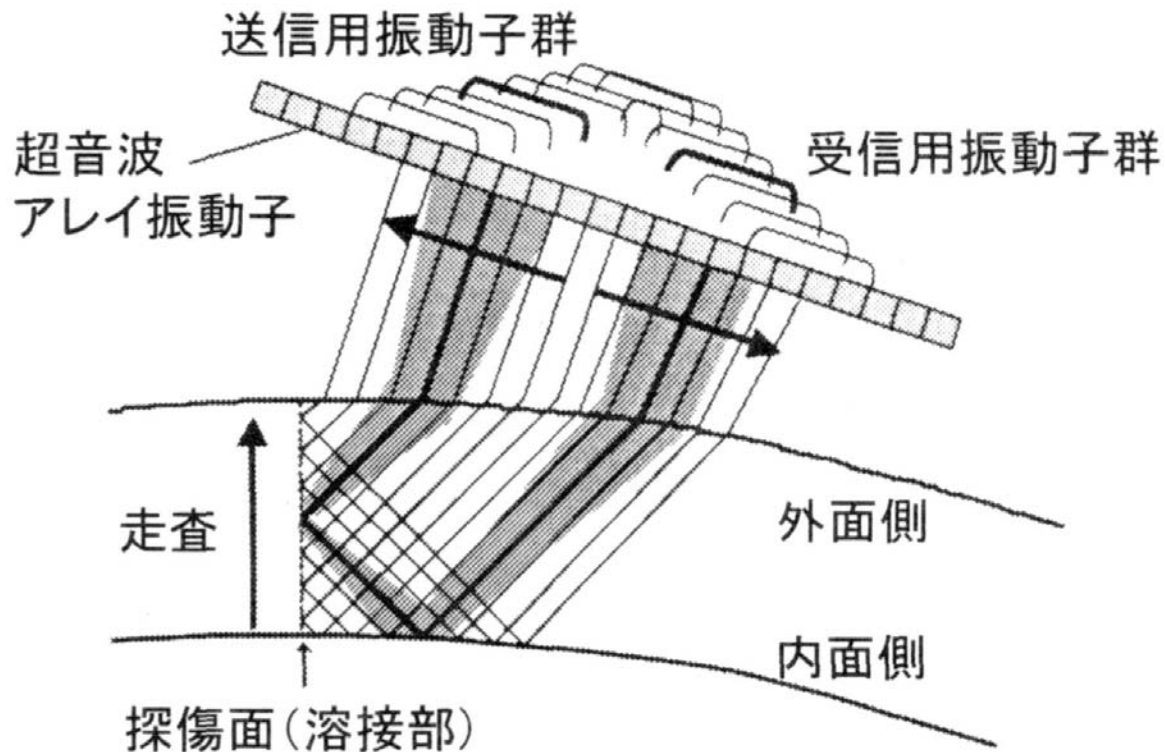


図8. 点集束ビームタンデム法



# 点集束ビームタンデム探傷技術(2)

- 縦穴を明瞭に検出，S/Nも十分。

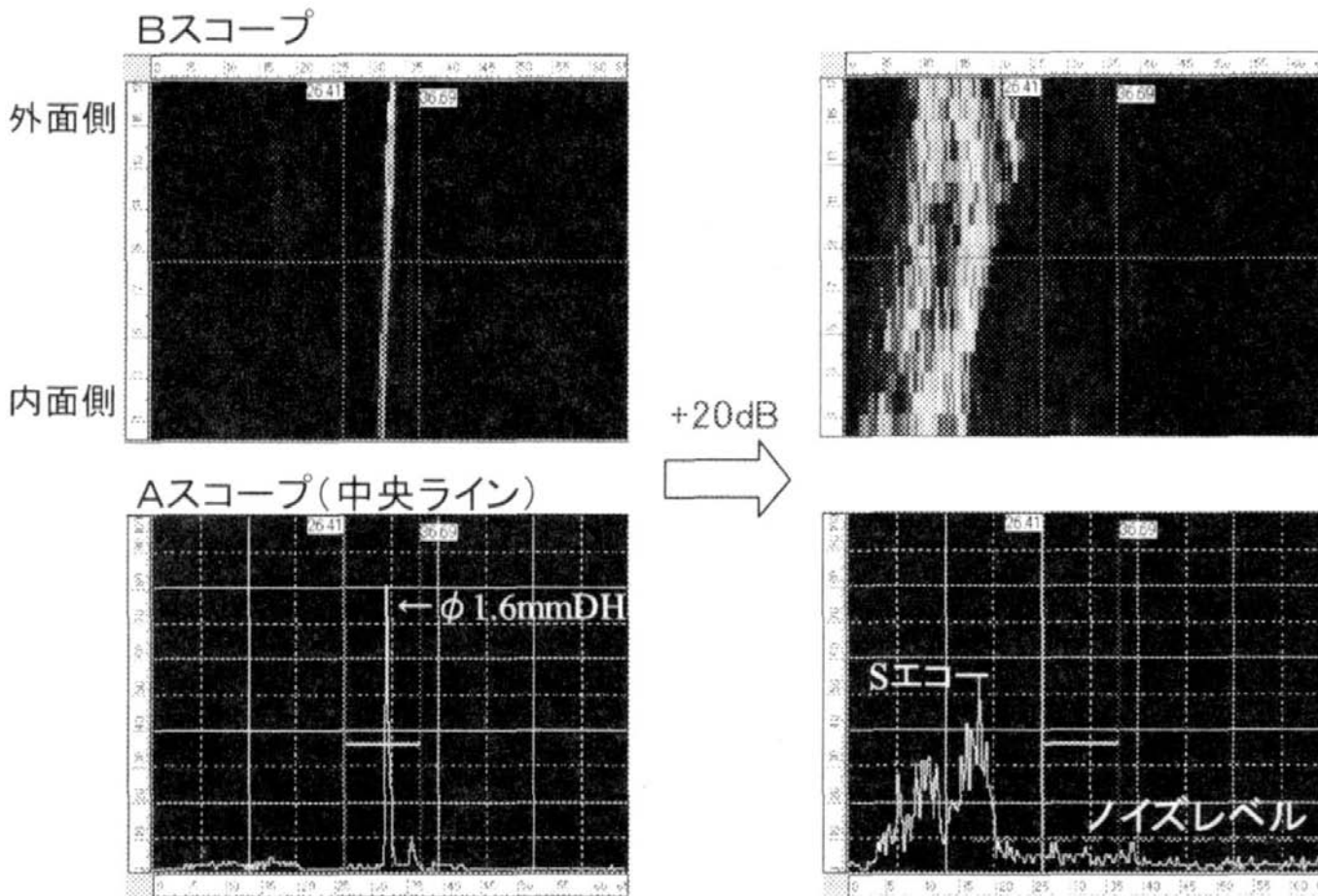
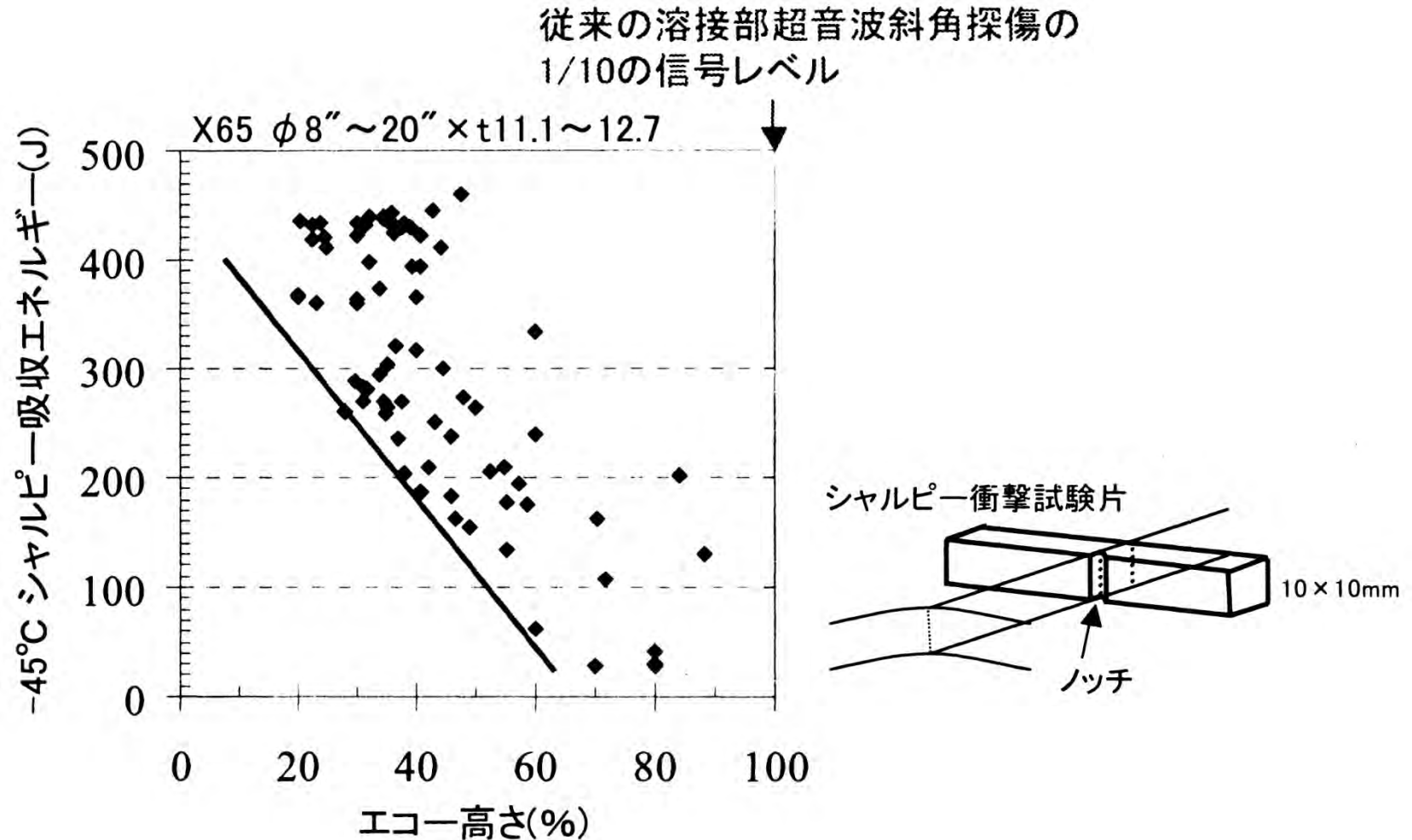


図9. 探傷波形例

# 点集束ビームタンデム探傷技術(3)

- 非破壊検査によりシャルピー吸収エネルギーの下限を予測可能



# 点集束ビームタンデム探傷技術(4)

- オンラインへの実装状況:新商品「マイティーシーム」の開発, QA・QCに大きく貢献

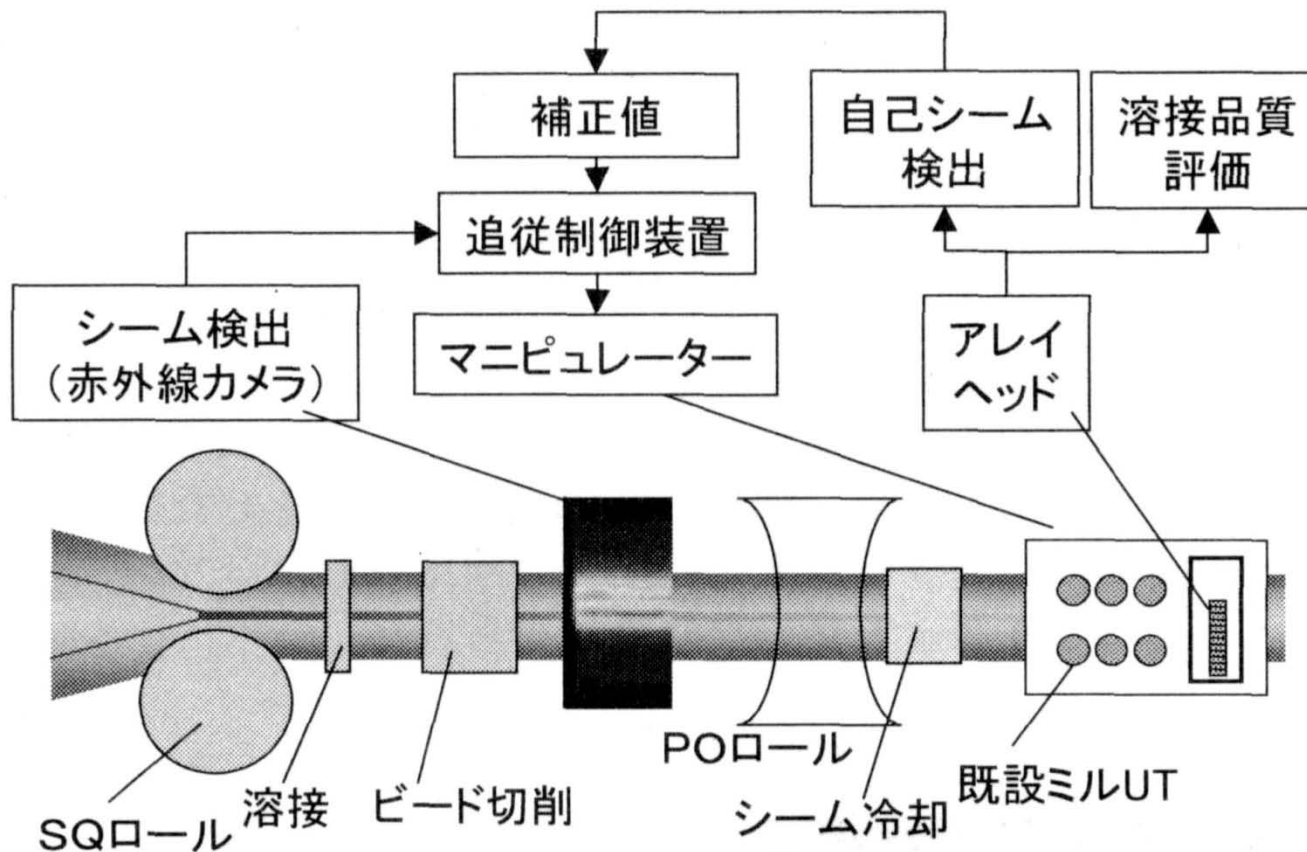
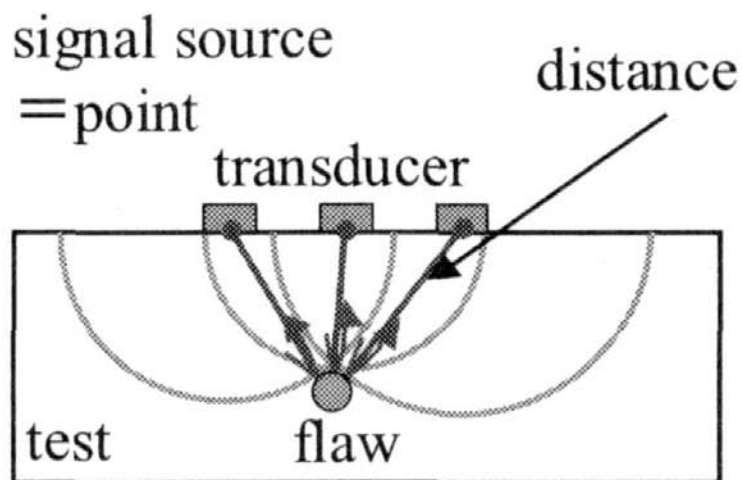


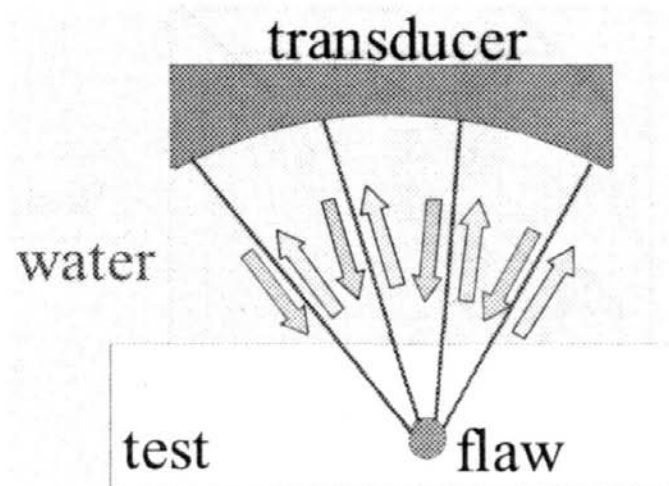
図8 シームトラッキングのシステム構成

# 集束ビームを用いた微小欠陥3D形状再構成(1)

- ニーズ: 高集束ビームを用いて, 微小欠陥を形状(3D)まで映像化したい(欠陥判別)



Synthetic aperture method



Wave propagation of focused beam

図1 従来の開口合成法とその問題点

# 集束ビームを用いた微小欠陥3D形状再構成(2)

- 手法: 欠陥までの距離情報を用いて3D映像化
  - 欠陥深さと焦点位置との関係に応じて, プローブ走査時の伝搬時間プロフィールが異なることを発見。予めプロフィール計算をしておき, 欠陥映像化

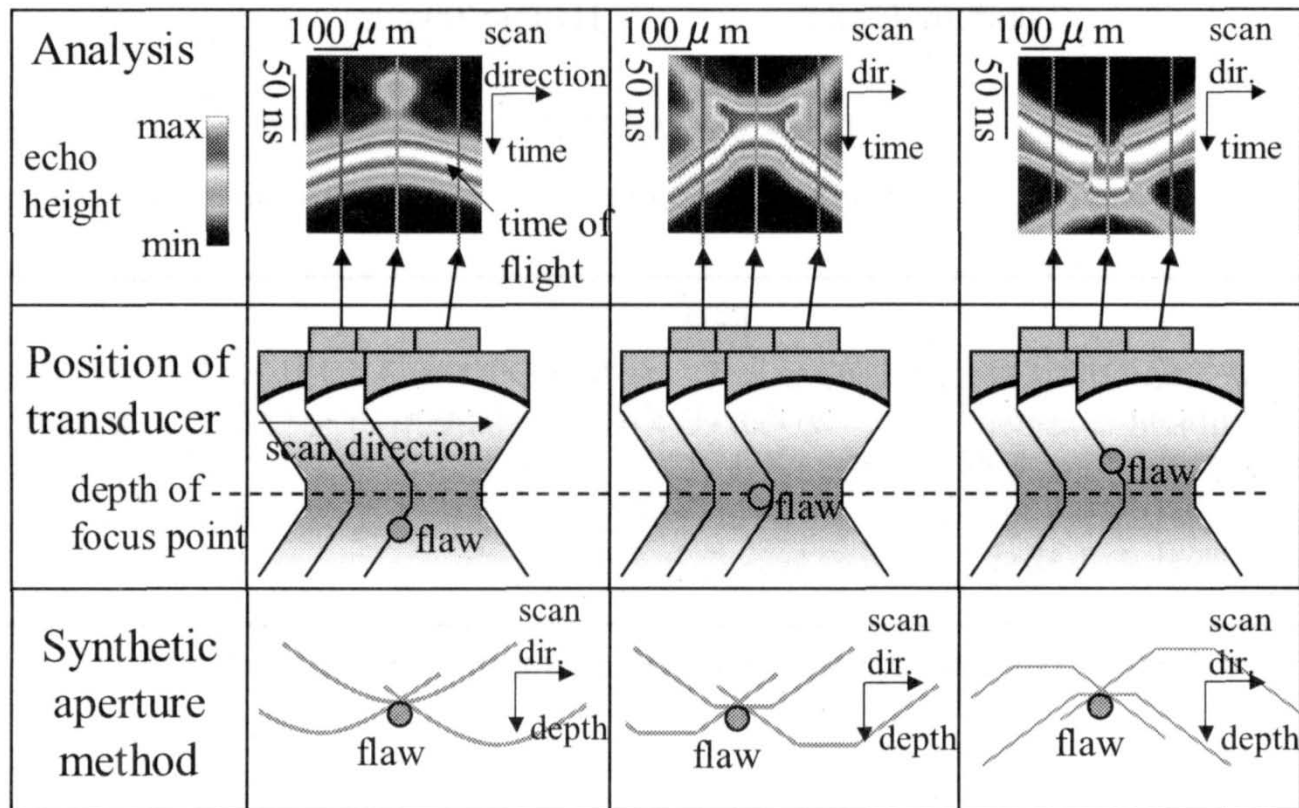


図2 高集束ビームを用いた開口合成法の概要

# 集束ビームを用いた微小欠陥3D形状再構成(3)

- 実物に忠実な微小径横孔の再構成像が得られることを確認。

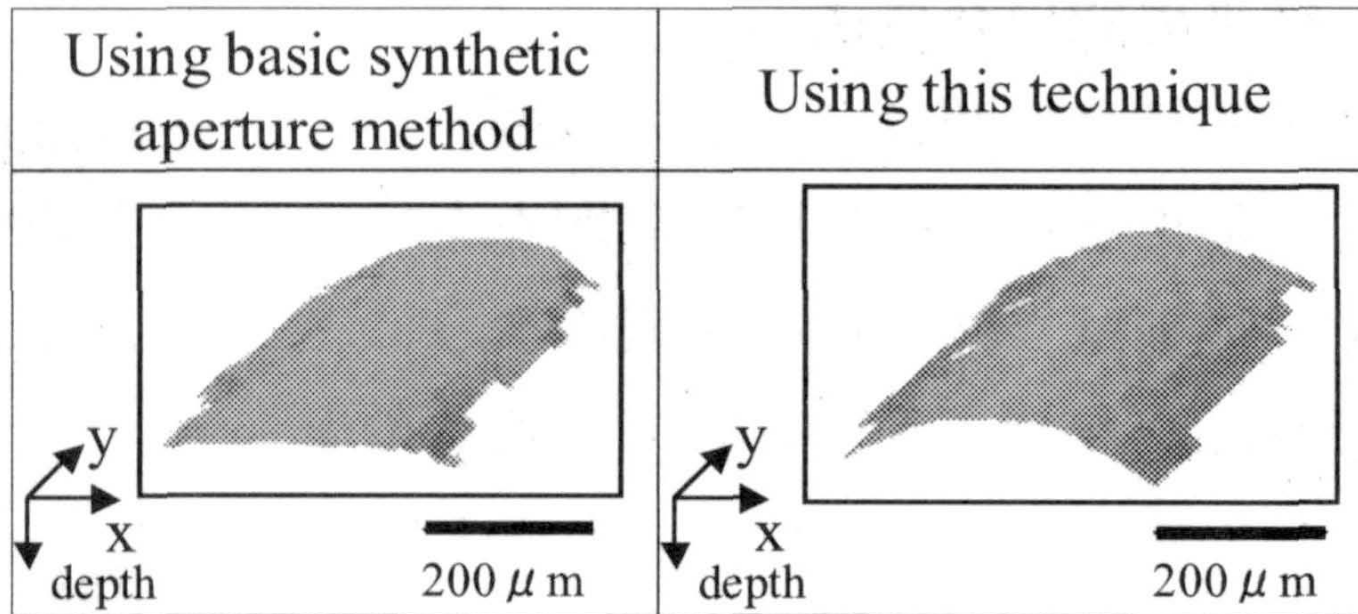


図4 人工欠陥の再合成画像

# Parallel Receiving Needle Beam UT Technique(1)

- 焦点が連続した受波ビーム（受波ニードルビーム）をリアルタイム並列形成して、きずエコーを効率よく検出。

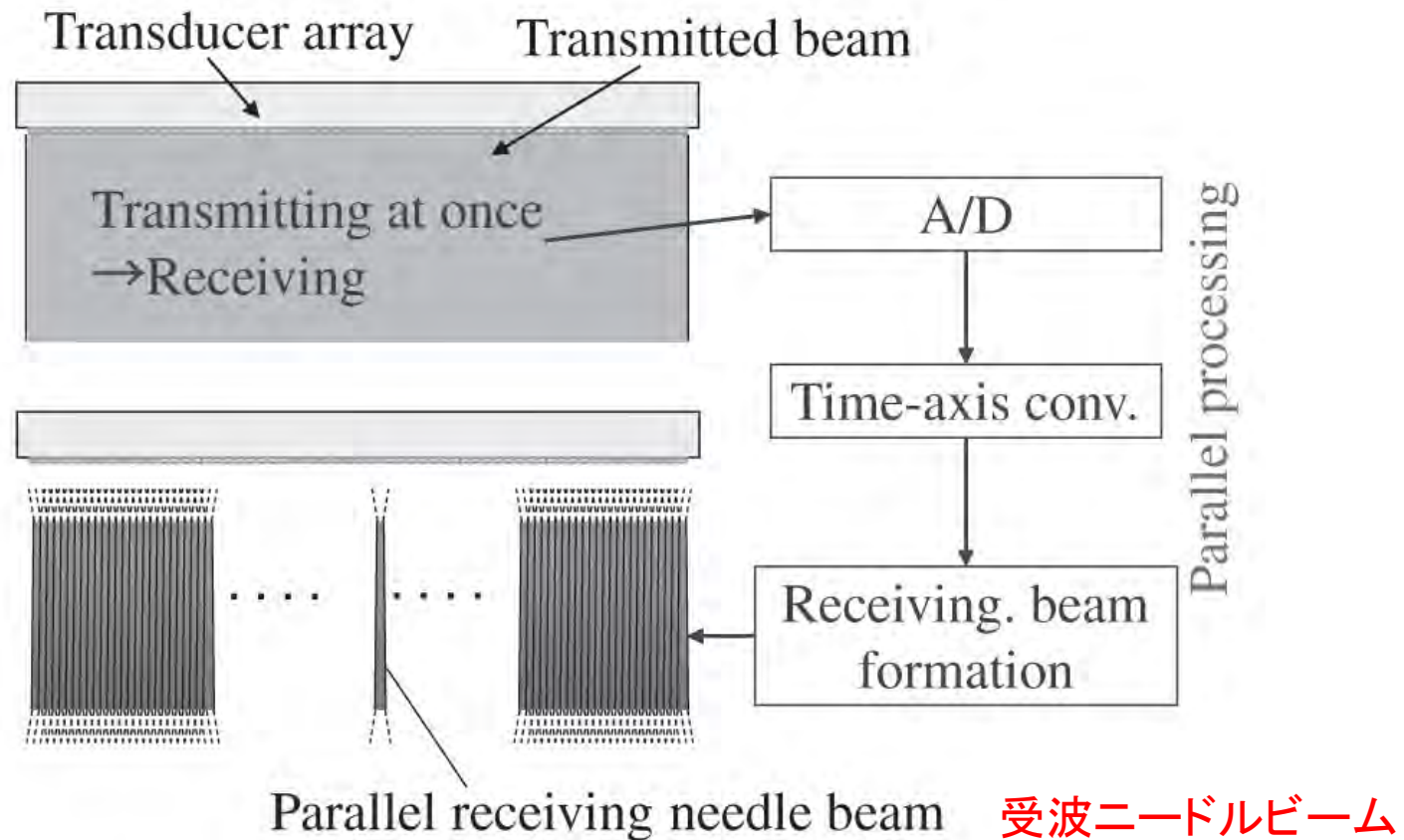


Fig. 10 Concept of parallel needle beam testing.

- 超音波ビーム = 送波ビーム (物理的)  
+ 受波ビーム (仮想的な場)

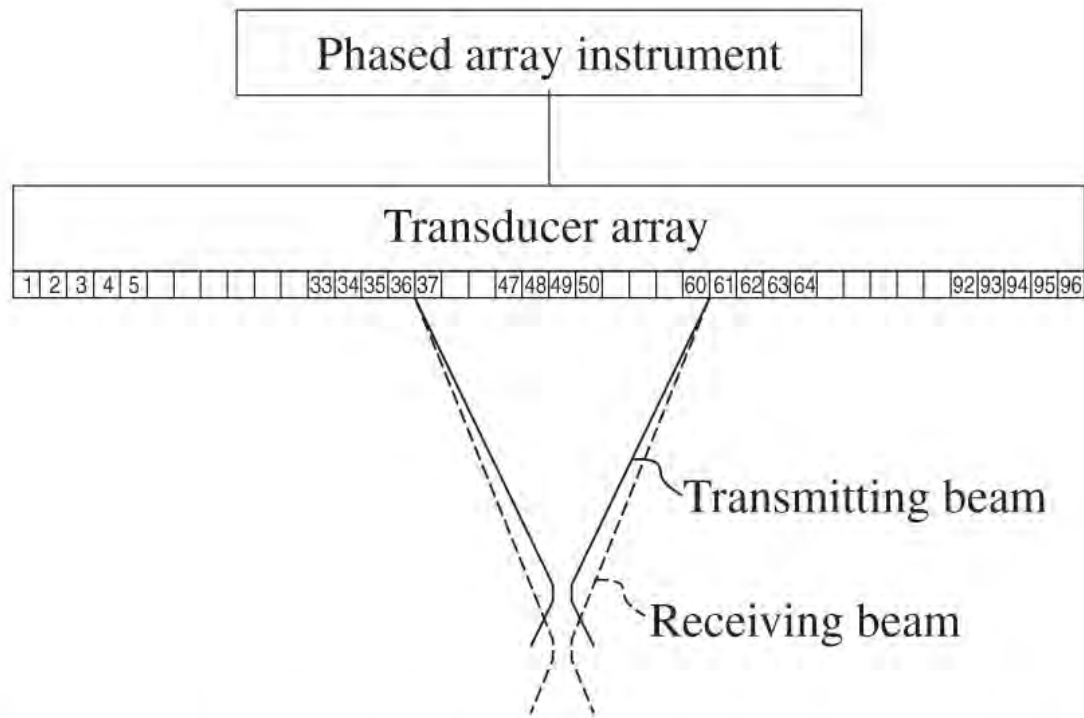


Fig. 2 Combination of the transmitting beam and receiving beam whose focal length differs from that of the transmitting beam.

Focal law と Delay Law とを異ならせた場合



## ■ ボリュームフォーカスとの違い

- ボリュームフォーカス: 2次元波形メモリに全受波データを一旦収容。メモリ内を2次元スキャンして受波信号を作成。
- パラレル受波ニードルビーム: 信号を受波した直後に、ニードルビーム形成に必要な時間軸変換を行い、データを加算するだけで受波信号を作成。→**きわめて高速**。

## ■ 最高73本の受波ニードルビームを同時形成可能

Table 1 Specifications of the developed system.

Item	Specification
Test frequency	25–50 MHz
Number of elements usable at the same time	96
Pulser/Receiver	96
Number of elements usable for receiving needle beam formation	Max. 32
Number of receiving needle beams formed at the same time	65–73
Repetition rate of parallel receiving needle beam formation	Max. 10 kHz
Farthest position for receiving needle beam formation in steel	16 mm
Display	A-scan, B-scan, C-scan

# Parallel Receiving Needle Beam UT Technique(6)

17

- データスループット : max. 2GB/s, FPGA4個利用



Fig. 11 Appearance of developed system.

## ■ 時間軸変換 (Time-axis Conversion) の並列実行がキー

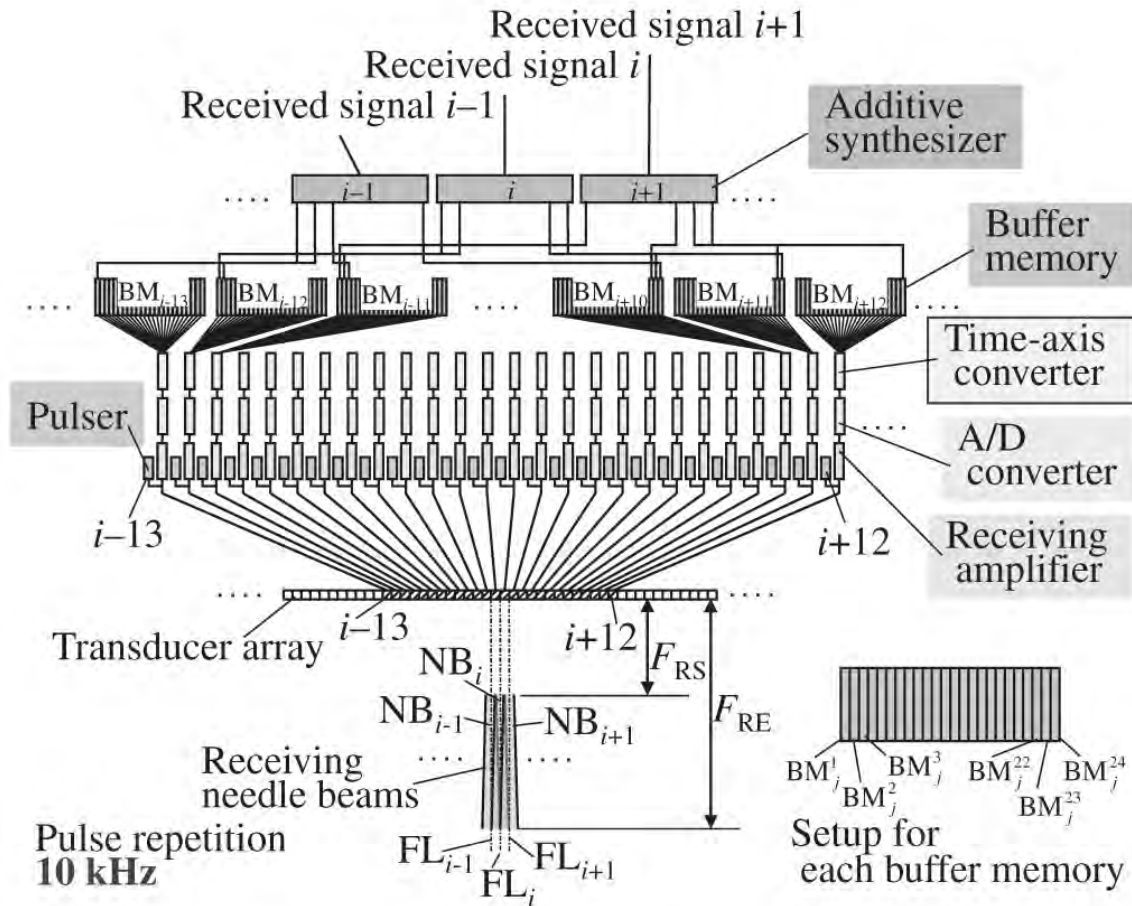


Fig. 9 Setup for parallel needle beam system.

# Parallel Receiving Needle Beam UT Technique(8)

- 1000mm/sで走査しても、既存超音波探査映像装置と比べても、遜色ない検出能。

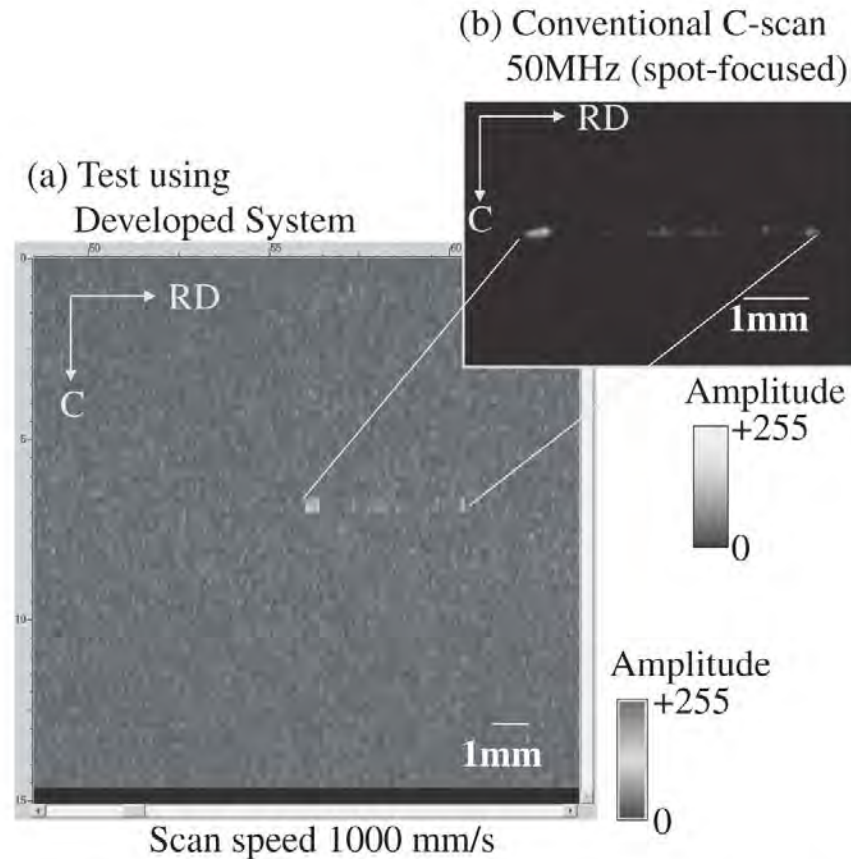


Fig. 15 Comparison of C-scan presentation of the same internal flaw between (a) in the test using developed system and (b) in the conventional 50-MHz C-scan. RD: Rolling direction of the strip, C: Width direction of the strip.

# Parallel Receiving Needle Beam UT Technique(9)

20

- $\phi 20\mu\text{m}$ 程度の欠陥検出可能(走査速度:1000mm/s)

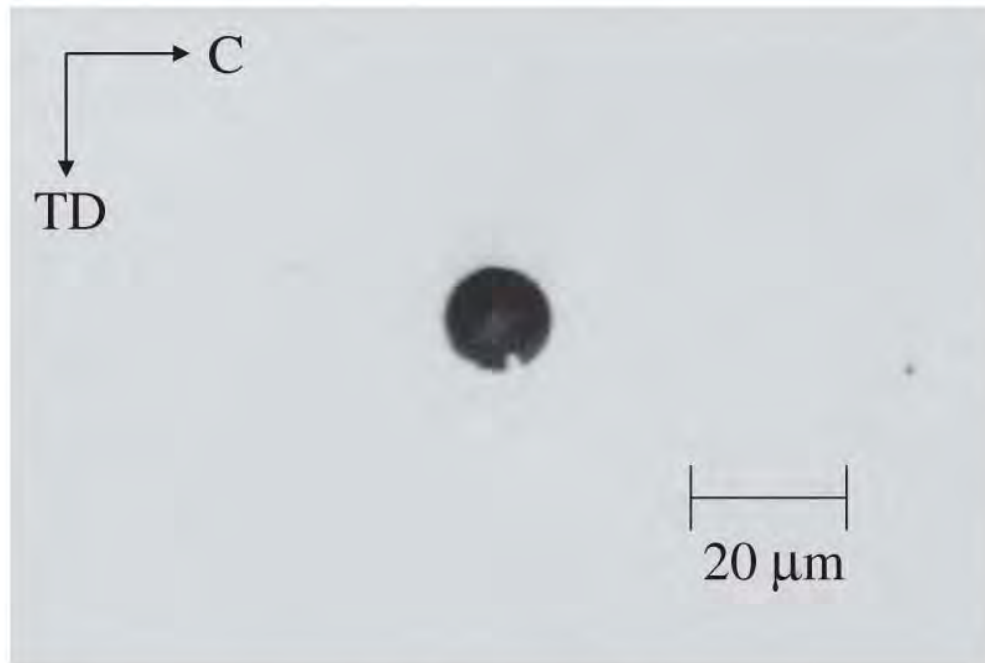


Fig. 16 Optical micro-graph of detected flaw. TD: Thickness direction, C: Width direction of the strip.

## ■ 問題点

- 経営環境の悪化→会社の体力は確実に疲弊
  - リーマンショック
  - 東日本大震災
  - 急激な円高, タイの洪水
- 生き残りをかけた激しい競争→技術開示・交流の希薄化

## ■ 必要な視点

- 「ものづくりの国を守る」という日本トータルをみる視点  
→積極的な技術交流, 高度技術開発の産官学共同推進,  
専門研究開発機関設立

*Fin*



# メモ

# メモ

## 千葉県非破壊検査研究会

### 建築鉄骨業界におけるNDTの現状



2012年2月7日  
エンジニアリングサービス株式会社 上平綱昭

### 中規模の鉄骨工事



## 建築鉄骨溶接部の特徴

- 製作工場は大企業から町工場まで
  - 品質管理にバラツキが大
- 溶接はCO2半自動溶接が主流
  - 溶接技能者の技量によるところが大
- 溶接形状はT継手裏当て金付きが多い
  - 溶接内部の検査にRTは不向き(UTがメイン)
- 溶接長さが短くて箇所数が多い
  - 溶接も検査も自動化しにくい

## 建築鉄骨に関する基準 (種類)

- 国(国土交通省)
  - 建築基準法／建築基準法施行令／告示第1464号
- 自治体(東京都の場合)
  - 鉄骨造等の建築物の工事に関する東京都取扱要綱
- 鉄骨業界
  - 日本建築学会(AIJ) 建築工事標準仕様書 JASS6

## 建築鉄骨溶接部で実際に行われている検査

国、自治体、業界の基準をすべてを満足するために

- 溶接部の表面の検査
  - 外観検査(告示1464号、JASS6精度検査基準)
- 溶接内部の検査
  - 超音波探傷検査(AIJ-UT規準)
- 溶接部の強度の確認
  - 内質検査(示温塗料、硬さ計、プロセス検査)

## 内質検査の必要性

パス間温度の影響

建築鉄骨の溶接部は溶接長が短い

連続溶接



パス間温度が上昇



溶着金属の冷却速度が低下



組織の結晶粒が肥大化



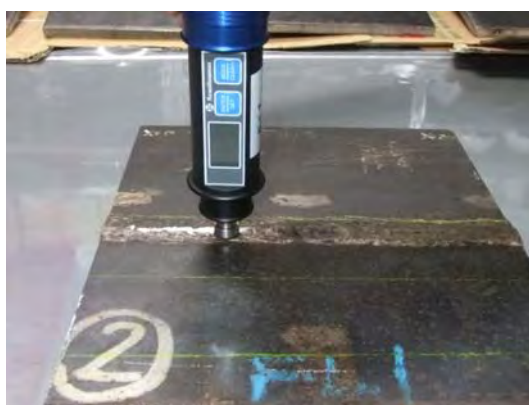
溶着金属の機械的性質が低下

## 入熱・パス間温度の管理 (示温塗料)



溶接前に塗布し、溶接後に変色範囲を測定する

## 入熱・パス間温度の管理 (硬さ試験)



溶接後にポータブル形の硬さ試験機で測定する

## 入熱・パス間温度の管理 (プロセス検査)



現場溶接



工場溶接(パス間温度測定中)

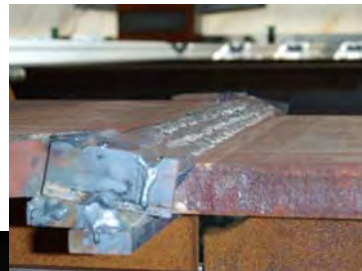
溶接施工中に立ち会って状況を確認する

## 鉄骨溶接部の外観検査

食い違い・仕口のずれの例



↑仕口のずれ



↑食い違い



←仕口のずれ

## 鉄骨溶接部の超音波探傷検査

### AIJ-UT規準改定の歴史

1973年 初版（JIS Z 3060はまだ発行されていない）  
1979年 第2版（合否判定基準が改定され現在に至る）  
1989年 第3版（STBとの音速差のある鋼材の探傷法）  
1996年 第4版（JSNDI指針の紹介）

2008年 第5版

- 適用できる板厚が9mm以上から6mm以上に拡大した。
- 屈折角70度と65度の両方の探触子が標準となった。
- 付則2 固形エンドタブを用いた梁端フランジ溶接始末端部の探傷方法が規定された。

## 溶接部の品質向上はUT規準とともに

AIJ UT規準の制定(1973)

- 完全溶込と隅肉の区別が明確に認識された。
- 異材の混入などの不具合が激減した。

JSNDI T継手ルート部の指針(1995改正)

- 初層の欠陥対策が向上した。

JSNDI 角形鋼管角部の指針(1996改正)

- 角部に仮付溶接(組立溶接)をしなくなった。

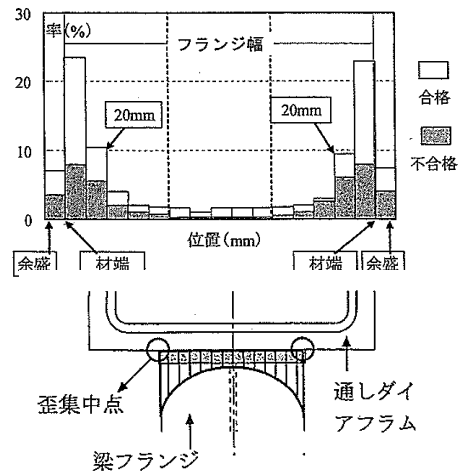
AIJ 付則2 端部探傷の規準(2008)

- 固形タブの溶接端部の品質が向上する？



## 付則2 固形エンドタブを用いた梁端フランジ溶接始末端部の 超音波探傷検査方法(端部探傷)

固形エンドタブを使用したときの欠陥発生位置の分布と応力分布



欠陥の発生しやすい  
位置と応力の集中する  
位置が重なる

## 端部探傷の概要

- 端部探傷の範囲
  - 端部から25mmかつ板厚の大きい方の値でフランジの側面余盛りを含む
- 使用する探触子
  - 5M5 × 10A65
- 欠陥評価高さにより判定
  - 5mm以上あるとみなされると不合格
- 欠陥評価長さにより判定
  - 溶接形式により限界長さを分類

## 欠陥高指示さの規定

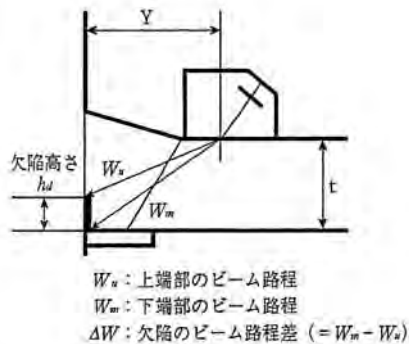
JSSCの検討(実験と理論)で欠陥高さが5mm以上の欠陥は許容できないとされた。



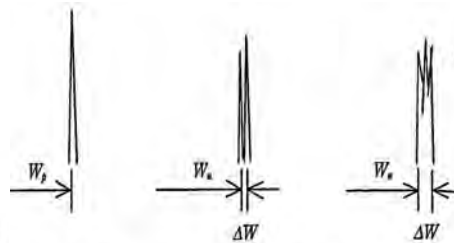
次の場合欠陥高さが5mm以上あるとみなして不合格

- 同時端部エコー法で $\Delta W$ が2mm以上の場合
- 欠陥が同一断面上に複数ある場合
- 欠陥エコー高さの領域がVの場合

## 同時端部エコー法

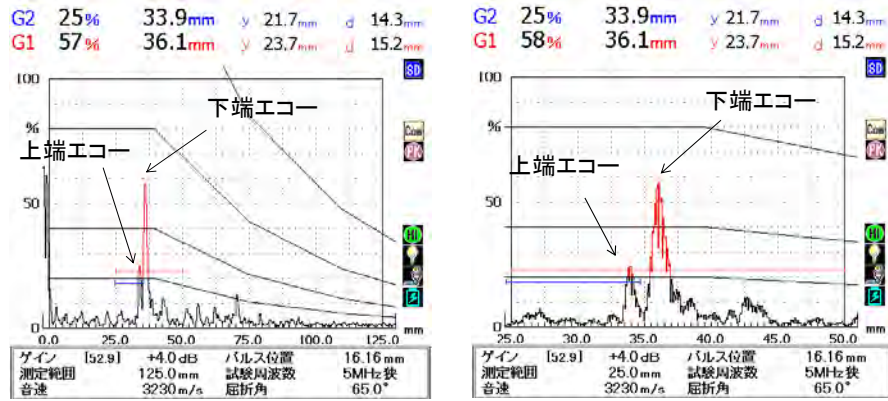


付則2図1 同時端部エコー法



付則2図2 ビーム路程およびビーム路程差

## 同時端部エコー法の探傷画面



測定範囲125mmの表示

ズーム機能による表示

## 同時端部エコー法が採用された理由

- 深さ位置に合わせ複数の焦点形探触子を用意することは難しい。
- 板厚、開先形状、余盛の幅の関係から45度の探触子も適用困難。
- その他特殊な装置や探触子は使用しない。
- UT技術者にとって実務的に適用可能であること。
- 欠陥高さ5mmが判別できること。

## 5M5 × 10A65が採用された理由

- 接近限界距離を短くする。
- ビーム幅を拡大し上端と下端エコーを同時に検出しやすくする。
- 屈折角65度は、70度に比べ先端エコーを検出しやすい。

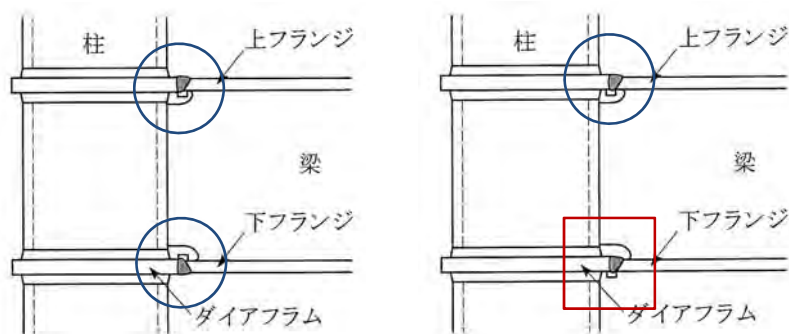
## 欠陥評価長さの規定

表の境界値以上あると不合格

板厚	(mm)	
	裏当て金がフランジ外面に取り付かない場合	裏当て金がフランジ外面に取り付く場合
16以上20以下	15	10
20を超え40以下	3t/4	

最端部に欠陥があればNG

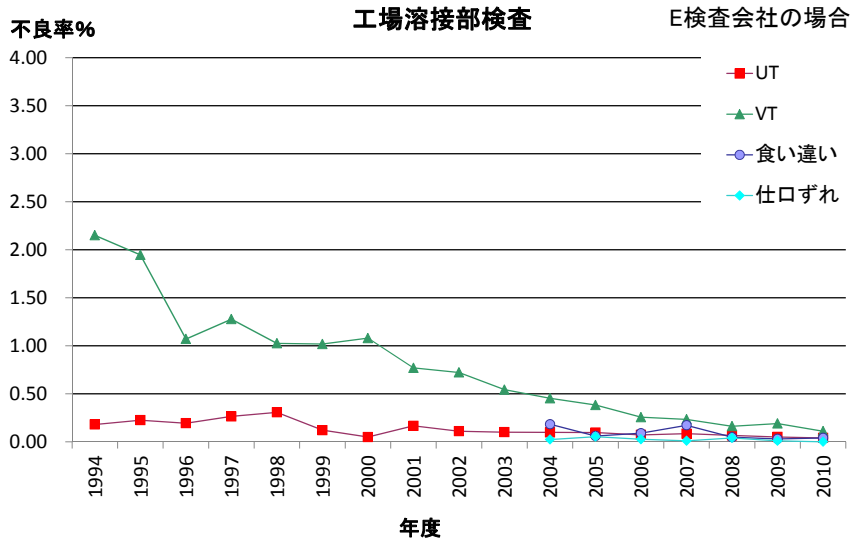
## 溶接形式



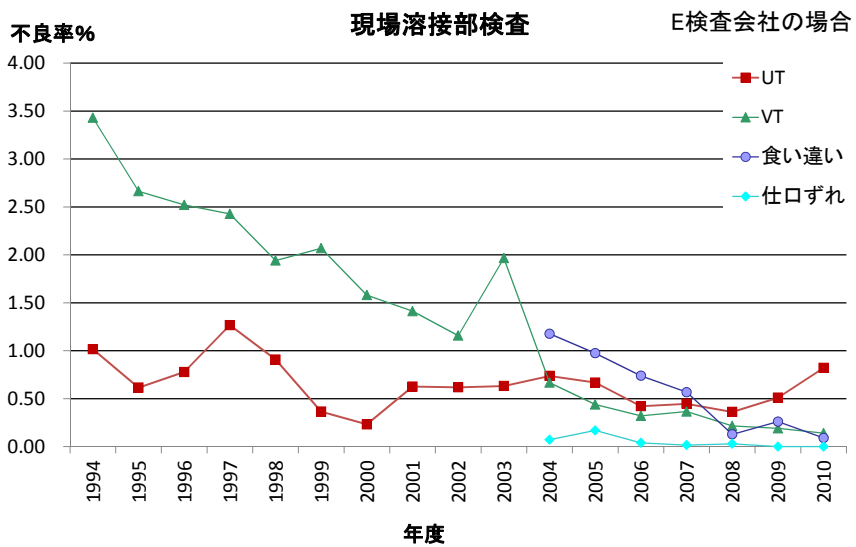
○ 裏当て金が梁の内面に取り付く場合

□ 裏当て金が梁の外面に取り付く場合

## 鉄骨溶接部の受入検査の状況



## 鉄骨溶接部の受入検査の状況



## 鉄骨溶接部のUTの今後の課題

－多様化する構造体に対応できるか－

- 鋳鋼
- FR鋼
- 小径厚肉鋼管
- 丸鋼、角鋼
- 極軟鋼
- ステンレス鋼

## 鉄骨溶接部のUTの今後の課題

－サイジングが可能か－

欠陥の高さを含む寸法を定量的に測定できれば

- 破壊力学に基づいた欠陥の許容限界寸法で合否判定をおこなうことができる。
- より経済的な設計が可能になる。

この方向に進む？

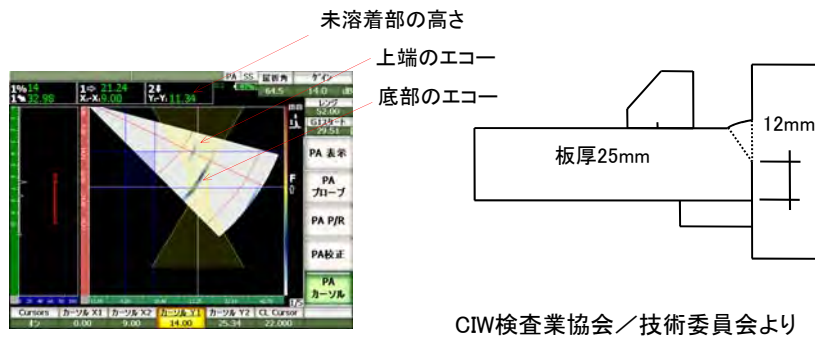
## 鉄骨溶接部のUTの今後

－研究活動例－

フェイズドアレイ探傷を鉄骨溶接部に適用できないか

のど厚の測定(隅肉溶接部・部分溶込溶接部)

➤ 耐震診断に適用できそう

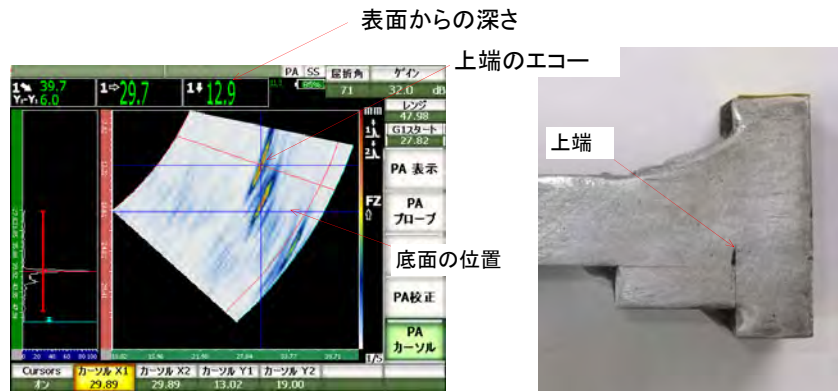


## 鉄骨溶接部のUTの今後

－研究活動例－

欠陥高さの測定が精度よくできれば

➤ 合否判定基準の改定へ



A light blue silhouette map of Japan serves as the background for the text.

**CSDI 研究発表会**

**—東日本大震災からの復興を目指して—**

**地域の自然・文化を考慮した個性ある街づくり提案**

**2012年 2月7日**

**千葉県非破壊検査研究会 会長**

**北東北歴史懇話会 会長**

**藤盛紀明**



# 東日本大震災 田老町の万里の長城(防潮堤)の被害



# 環境技術と建築・街並み・地域のあり方についての提言

2010年3月社団法人 日本建築学会

## 1. 環境技術と建築・街並み・地域のあり方 特別調査委員会について

## 2. 街づくりの基本思想

## 3. 都市環境・エネルギー利用

## 4. 伝統環境技術と文化形成

## 5. 都市・地域環境評価

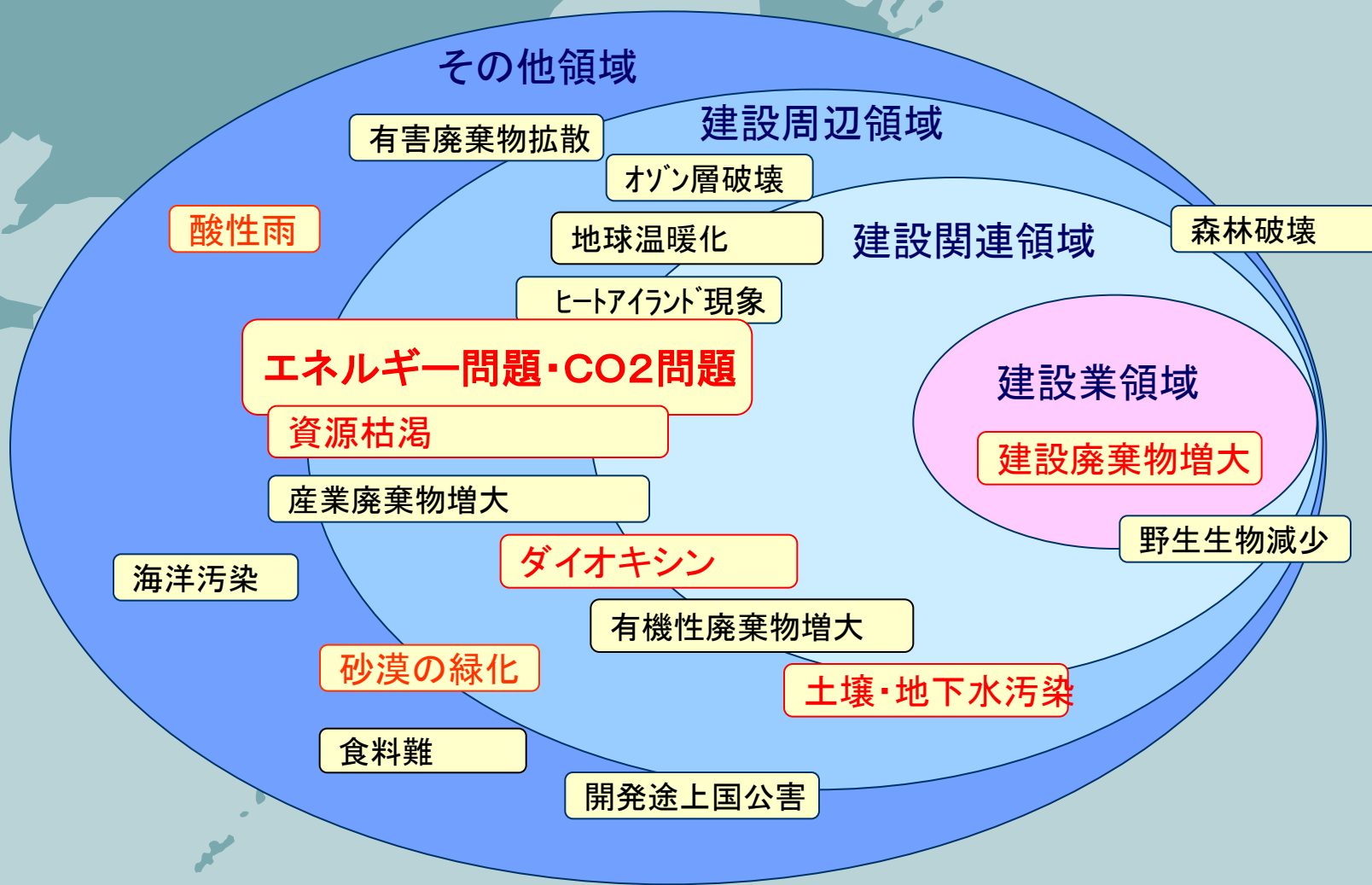
## 6. 都市・地域への環境技術応用

### 引用文献

1. 『歩きたくなるまちづくり』社団法人新都市ハウジング協会 都市居住環境研究委員会2006年4月
2. 『環境技術と建築・街並み・地域のあり方特別調査委員会 報告』日本建築学会 2010年3月
3. 『我が国の都市・建築の景観・文化力の向上を目指して』日本学術会議 2011年9月

## 2. 街づくりの基本思想

### 1) 都市・地域・街を取り巻く多様な地球環境問題を考慮する



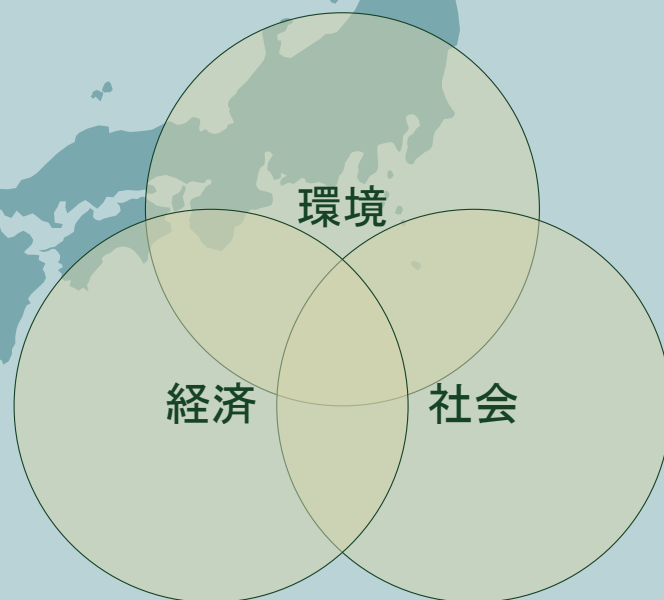
街・都市・県・国を越えて検討する

## 2) 科学技術偏重からの脱却 (科学技術は重要)

自然・文化・景観・歴史・  
心・生活態度  
の考慮



### 3) 都市・地域環境評価、環境技術導入は総合的であるべき



### 3. 都市環境・エネルギー利用

国とは：  
山・海・川・湖・森  
都市・地域・街・人  
の集合

# 低炭素国家政策の戦略単位は自然・都市・地域・街！



# 都市環境の多角的考慮



## 1. 外部空間環境

風・水空間・熱・空気・光・音

## 2. 自然・緑地・生物環境

## 3. 未利用エネルギー

## 4. 衛生環境

## 5. 防災機能

## 6. 交通環境

## 7. 景観・歴史・文化

## 8. 人間コミュニティー




# 京町家の伝統的住環境技術

1. 明るさ: 明るいことが快適とは限らない
2. 暑さ: 夏を旨とする
3. 寒さ: しつらいにより身の回りだけを快適に
4. 風・通風: 連担を前提にした都市居住
5. 湿気・結露・腐食: 結露を防ぐ自然換気
6. 雨・雪・地下水: むくり屋根、ケラバ、
7. 音: 鳥のさえずり、風雨の音を楽しむ 市中の山居
8. 安全・安心: 格子とお町内による防犯
9. 資源・流通: 資材再利用・節約、地産地消
10. 設計・建設・維持・管理: 脇を見て建てる

京町家の奥庭・秦家(武庫川女子大岡崎甚幸教授提供)



A traditional Japanese building with a thatched roof is nestled in a lush garden. The building is surrounded by various trees, including a large tree with yellowing leaves on the right. A pond in the foreground reflects the scene. The text is overlaid in the center of the image.

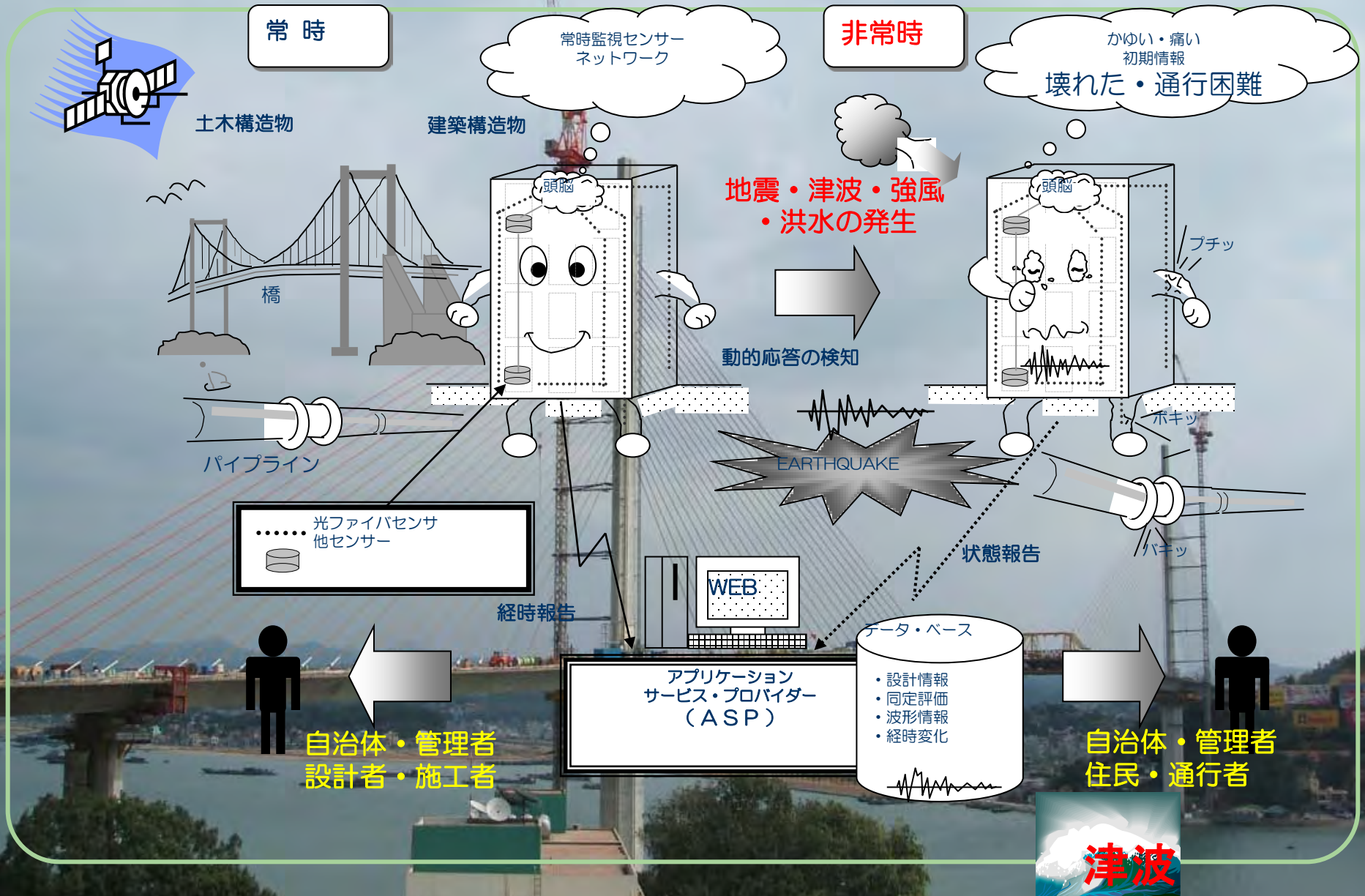
日本人の美意識・文化・生活  
自然適応・融合生活



姫路城



# 図1 大災害から都市全体を守るモニタリングシステムのイメージ -Smart Safety City(スマート・セーフティ・シティ)構想



# 日本人の生活・文化と先端技術を活用した低炭素社会！ 自然・文化・景観・技術・経済のベストバランス



**世界への提案：  
科学技術と共に  
各国・地域に根差した伝統の活用**