

送受信分割型マトリクスアレイ超音波探触子の振動子配列、探傷条件による深さ測定精度等探傷結果への影響

Influence of Array of Elements and of Measurement Condition with Twin Matrix Array Ultrasonic Transducer on Flaw Depth Measurement

石田 仁志 (Hitoshi Ishida)*

要約 振動子をマトリクス状に配列したマトリクスアレイ超音波探触子を送信と受信にそれぞれ使用する送受信分割型マトリクスアレイ超音波探触子について、振動子の配列、屈折角、焦点深さによる深さ測定結果への影響を定量的に明らかにした。

振動子配列が、超音波入射方向に対して左右方向と前後方向において、1行×32列、2行×16列、4行×8列の3種類のマトリクスアレイ探触子により、横穴対比試験片の表面からの深さが24mmから40mmまでの横穴の深さ測定を行なった。3種類のマトリクス配列、30度から60度までの屈折角および24mmから36mmまでの焦点深さを組み合わせた条件において、横穴深さ測定精度、横穴反射波の強度、横穴反射波の出現範囲を測定した。マトリクス配列と探傷条件による測定結果への影響を定量的に評価し、以下のような結果を得た。(1)横穴深さに対して焦点深さが一致または4mm異なる条件の深さ測定の誤差は、屈折角を適切に選定することによって、1行×32列探触子で2.7mm、2行×16列探触子で1.9mm、4行×8列探触子で2.3mmであった。(2)横穴深さに対して焦点深さが一致する条件と4mm異なる条件の横穴からの反射波のエコー高さの差の最大は、1行×32列探触子で-3.7dB、2行×16列探触子で-2.4dB、4行×8列探触子で-5.1dBであった。(3)4mm毎に焦点深さを設定して深さ測定することは有効である。

キーワード 超音波探傷試験、フェーズドアレイ法、送受信分割型、マトリクスアレイ探触子、深さ測定精度、エコー高さ

Abstract Influence of array of elements, refraction angle and focal depth of twin matrix array transducer, which has two ultrasonic transducers with matrix array elements for transmitter and receiver, on flaw depth measurement was quantitatively evaluated.

Depth measurement of holes with a depth, from a scanning surface of the side drilled hole reference block, of 24 to 40mm were taken with three kinds of the twin matrix array transducers with 1 line x 32 columns, 2 x 16, 4 x 8 in back and forth and right and left direction respectively. Depth measurement accuracy, reflection echo height and length of reflection echo on combined condition with 3 kinds of array of elements, reflection angle of 30 ~ 60 degrees and focal depth of 24 ~ 36mm were analyzed. The influence of array of elements and measurement condition on measured results was evaluated. As the results; (1) The maximum measurement errors on the conditions that focal depth corresponds to the hole depth or differs by 4mm from the hole depth were 2.7mm with 1x32 transducer, 1.9mm with 2x16 and 5.4mm with 4x8. (2) The maximum differences of echo height on the conditions that the focal depth corresponds to the hole depth or differs by 4mm from the hole depth were -3.7dB with 1x32 transducer, -2.4dB with 2x16 and -5.1dB with 4x8. (3) Depth measurement with focal depth setting by 4mm is effective.

Keywords ultrasonic testing, phased array method, twin transducer, matrix array transducer, depth measurement accuracy, reflection echo height

1. はじめに

原子力発電所の設備の維持に関する規格⁽¹⁾によると、容器や配管などの供用期間中検査において検出された欠陥に対して、その設備の継続使用の可否を

評価するためには、その深さの同定が必要である。

加圧水型原子力発電所の1次系配管材料のひとつであるオーステナイト系ステンレス鋼配管の溶接部の欠陥に対して、超音波探傷試験によりその深さを測定する際、溶接金属部の柱状晶組織による超音波

* (株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所

の散乱減衰と伝播経路の曲がり⁽²⁾⁽³⁾によって、欠陥の深さ測定に不可欠である欠陥の端部エコーのノイズエコーからの識別が容易ではない。

このような探傷が困難な部位への適用を拡大するために、多数の振動子の駆動を電子的に制御させることによって超音波ビームの方向と集束の設定が自在に可能な、フェーズドアレイ法が開発され、実用に供されるに至っている。^{(4)~(6)}しかし、欠陥に対して溶接金属部を通過する側から入射させる方法による測定は、フェーズドアレイ法を用いても必ずしも容易ではない。実機配管の必ずしも両方向から探傷ができるとは限らないような多様な環境を想定すると、探傷方向に関わらず深さ測定ができるような技術の開発が望ましい。

前報⁽⁷⁾⁽⁸⁾において、(1)送受信ビームの交束範囲でのエコーのSN比向上を図るために、アレイ探触子を送信用と受信用に別個に使用すること、(2)超音波入射方向に対して振動子を前後左右方向に配列したマトリクスアレイ探触子を使用することを特徴とした、フェーズドアレイ法による欠陥深さ測定手法を開発し、欠陥に対して溶接金属部を通過する側からの測定も可能であることが確認された。

欠陥深さの測定のためには、端部回折波の検出が不可欠であり、これは使用する探触子の仕様、探傷条件に大きく依存する。そこで、横穴対比試験片の異なる深さの横穴に対して、異なる振動子配列のマトリクスアレイ探触子を用いて、異なる屈折角と焦点深さを組み合わせた条件により、横穴の深さ測定と横穴からのエコー高さを測定した。また、これにより、振動子配列、屈折角および焦点深さによる、深さ測定精度とエコー高さへの影響を定量的に評価した。測定精度については、国内外の超音波探傷試験に係る技術者の資格試験の判定基準を目安とした。すなわち、真の欠陥深さに対する過小測定の限度4.4mm⁽⁹⁾、真の欠陥深さに対する測定値のばらつきを示すRMS (root mean square) 誤差の限度3.2mm⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾に相当する、探触子と探傷条件による測定値の変化を評価した。また、エコー高さについては、ノイズとの識別の目安となるSN比 (signal to noise ratio) 2.0に相当する、エコー高さの変化 ± 6 dBを目安に評価を行った。

2. 実験装置

2.1 フェーズドアレイ装置

フェーズドアレイ法は、多数の微小な振動子を配列したアレイ探触子を使用して、各エレメントの励振の時期を電子的に制御することにより、各エレメントからの超音波を合成して種々の超音波ビームの発生が可能である。フェーズドアレイ装置の基本仕様を表1に示す。本装置は、同時に32個までの振動子を駆動可能な基本性能を持つ。さらに、後述のように、超音波入射方向に対して前後左右方向に配列したマトリクス配列型、または、前後方向のみの1行に配列したリニア配列型のアレイ探触子を、送信用と受信用に別個に使用する、送受信分割型アレイ探触子による測定が可能な機能を持たせた。この送受信分割型アレイ探触子を用いる探傷に関する機能の基本仕様を表2に示す。振動子の数が32個までの範囲内であらかじめ設定された行数と列数によるエレメント配置を選択可能とした。

超音波ビームの屈折角を変化させることにより入射点を要 (かなめ) とする扇形の範囲を走査するセクタ走査、超音波ビーム集束点の複数の異なる深さ

表1 フェーズドアレイ装置本体基本仕様

同時使用エレメント数	32 個
使用可能エレメント数	128 個
走査	リニア走査, セクタ走査
周波数帯域	0.5MHz ~ 15MHz
ゲイン設定	0 ~ 60dB/0.1dB ステップ
遅延時間	0 ~ 5 μ s (5ns ステップ)
サンプリング周波数	100MHz/50MHz/25MHz/12.5MHz

表2 マトリクスアレイ探傷機能に関する基本仕様

使用可能探触子	マトリクス配列型, リニア配列型
使用エレメント数	30, 32, 22 個 (マトリクス型使用時) 1 ~ 32 個 (リニア型使用時)
エレメントの行数 \times 列数*	2 \times 16, 2 \times 11, 3 \times 10, 4 \times 8, 5 \times 6 (マトリクス配列型) 1 \times 32 (リニア配列型)
探傷条件設定項目	屈折角, 集束点の深さ

* : 超音波入射方向に対して
左右方向のエレメント数 \times 前後方向のエレメント数を示す

への設定, さらにこれらの設定条件のすべてを組み合わせた条件で探傷することを可能とした. これにより, 設定した屈折角で構成される扇の広がりに対応する範囲を, 異なる深さ位置に集束点を持つ超音波ビームにより網羅的に探索が可能である.

2.2 フェーズドアレイ探触子

送受信分割型マトリクスアレイ探触子の概念図を図1に示す. 超音波の送信と受信を別個に行う送受信分割型探触子は, 送信と受信の超音波ビーム軸交点近傍での検出性の向上を期待できることから, アレイ探触子を送信用と受信用に別個に使用すること

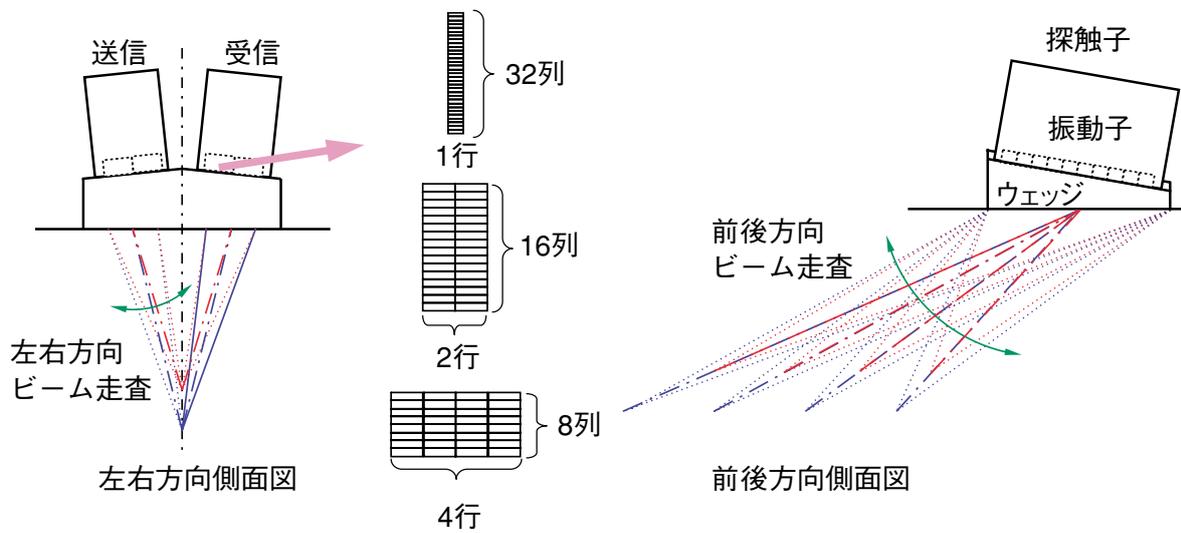
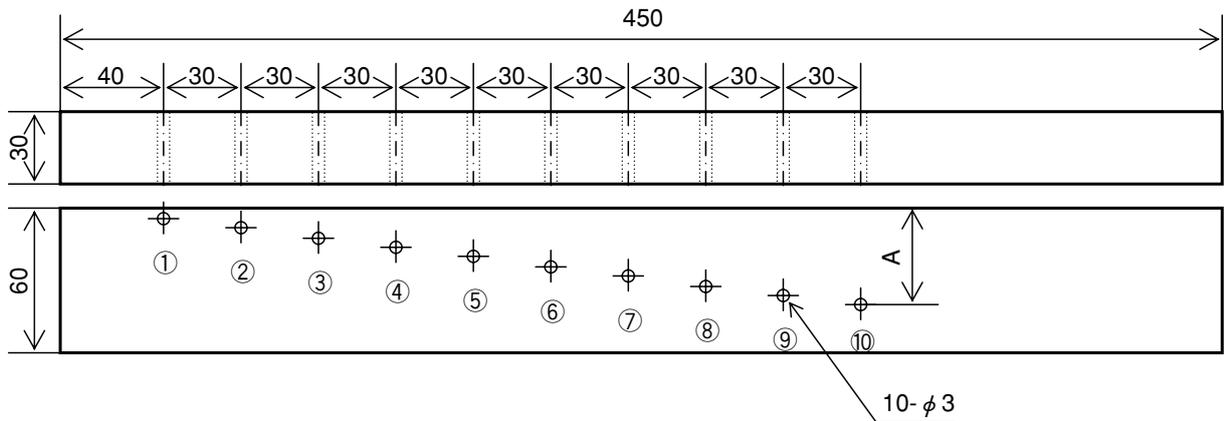


図1 送受信分割型マトリクスアレイ探触子の概念図



横穴	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
深さA(mm)	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40

図2 横穴対比試験片

表3 深さ測定の場合

使用探触子	(1) 周波数 2.25MHz, 縦波, 1 行× 32 列マトリクスアレイ探触子 (2) 周波数 2.25MHz, 縦波, 2 行× 16 列マトリクスアレイ探触子 (3) 周波数 2.25MHz, 縦波, 4 行× 8 列マトリクスアレイ探触子
使用エレメント数	32 個
測定試験片	横穴対比試験片
測定する横穴	試験体表面からの深さ 24, 28, 32, 36, 40mm の横穴
屈折角	30 ~ 60 度を含む範囲を探傷し, 5 度毎に測定データを解析
焦点深さ	試験体表面からの深さとして, 24, 28, 32, 36mm
探傷方向/走査方向	試験体横穴に対して垂直に超音波入射 試験体横穴に垂直に方向に移動走査
探傷データ採取ピッチ	1mm ピッチ
探触子の走査駆動	手動走査
探触子位置情報	ワイヤ巻き取り式エンコーダにより採取
測定項目	横穴深さ, 横穴反射波強度, 横穴反射波出現距離

とした。送信および受信のアレイ探触子からの超音波ビームの屈折角と集束点深さの設定は、超音波入射方向に対して前後方向に配列された振動子の駆動順序および時刻により制御する。さらに、送信と受信の探触子からの超音波ビームの集束点を左右方向において一致させるために、左右方向においても超音波ビームの角度と集束点を設定可能なように、超音波入射方向に対して左右方向にも振動子を配列させたマトリクスアレイ探触子を使用することとした。

振動子配列、屈折角および焦点深さによる、深さ測定精度とエコー高さへの影響を評価するために使用したマトリクスアレイ探触子の振動子の左右方向の行数および前後方向の列数は、1 行× 32 列、2 行× 16 列、4 行× 8 列とした。

2.3 試験体

深さ測定に使用した横穴対比試験片を図 2 に示す。JIS Z 2350「超音波探触子の性能測定方法」の付属書 1 に記載の対比試験片に準拠するもので、表面からの深さが既知の横穴の深さを測定することで、深さ測定精度の評価が可能である。材料は、ステンレス鋼 JIS SUS304 である。横穴の深さは、試験体表面から横穴の中心までの距離である。

2.4 実験の方法

送受信分割型マトリクスアレイ探触子による深さ測定の実験条件を表 3 に示す。振動子配列による影

響を調べるために、周波数と振動子数は同じで、行×列の配列が異なる、1 行× 32 列、2 行× 16 列、4 行× 8 列の 3 種類のマトリクスアレイ探触子を使用した。屈折角を 30 ~ 60 度までの範囲、焦点深さを 24, 28, 32 と 36mm に設定し、横穴対比試験片の表面からの深さが 24 ~ 40mm の横穴に対して測定データを採取した。採取データから、異なる焦点深さ条件ごとに、30 度から 5 度ごとの 60 度までの屈折角における、横穴の深さ、横穴のエコー高さを測定した。

横穴の反射波は直径 3mm の円周上において反射することから、測定により得られた深さ値は、横穴円周上の反射位置の深さである。さらに、屈折角により横穴の円周上の反射位置が異なり、その深さも異なる。屈折角ごとの円周上の反射位置の深さは、日本非破壊検査協会規格 NDIS-2418-1996「端部エコー法によるきず高さの測定方法」に従って算出し、これにより測定された横穴反射波の深さ値と比較した。屈折角が小さいほど横穴円周上の反射源の深さ値と横穴中心の深さ値の差は大きく、屈折角 30 度の場合に 1.3mm である。なお、以降この横穴円周上の反射源の深さを、横穴深さと記述する。

横穴のエコー高さを測定するとともに、探触子の前後方向すなわち横穴に対して垂直方向に探触子を移動走査させ、最大のエコー高さから 6dB 低下するまでの範囲の距離を測定した。

以上により、屈折角および焦点深さによる、横穴の深さ測定精度、横穴のエコー高さとその出現範囲への影響の評価を行う。

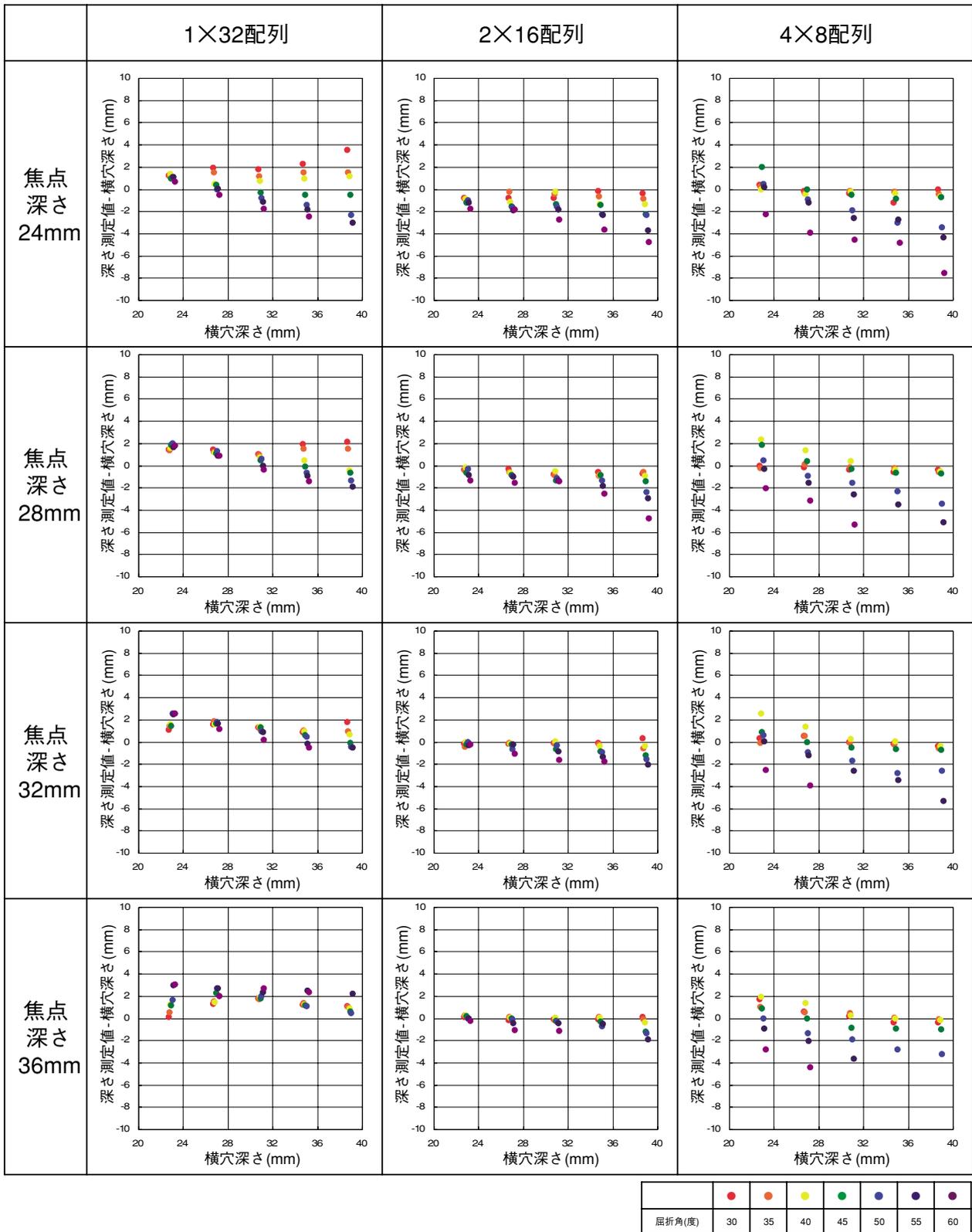


図3 異なるマトリクス配列, 探傷条件による横穴深さ測定結果

3. 実験結果および考察

横穴対比試験片の深さ 24mm から 40mm までの 5 個の横穴に対して、3 種類のマトリクスアレイ探触子を使用して、焦点深さを 24mm から 36mm まで、屈折角を 30 度から 60 度までを含む範囲で変化させ、横穴の深さと横穴からの反射波の測定を行なった。

3.1 深さ測定精度

3 種類の探触子の焦点深さと屈折角を変化させた条件の横穴の深さ測定結果を、図 3 に示す。それぞれのグラフの横軸は横穴深さを、縦軸は横穴の深さ測定値と横穴深さの差を示している。焦点深さおよび屈折角によって変化する横穴深さ測定値について、誤差とばらつきを検討した。

横穴深さと深さ測定値の誤差を、表 4 に示す。焦点深さ条件ごとに屈折角によって変化する横穴深さ測定値の最大の誤差を示している。その誤差が小さい条件は、焦点深さが横穴深さに一致または 4mm 異なる条件である。焦点深さが横穴深さに一致または 4mm 異なる条件の誤差の最小と最大は、1 行×32 列探触子の場合、1.0mm、2.7mm、2 行×16 列の場合 0.7mm、1.9mm、4 行×8 列の場合 2.3mm、

表 4 深さ測定値の屈折角による最大の誤差 (単位：mm)

マトリクス配列 (行×列)	焦点深さ (mm)	横穴深さ (mm)				
		24	28	32	36	40
1x32	24	<u>1.3</u>	1.9	1.8	2.5	3.5
	28	2.0	<u>1.4</u>	1.0	1.9	2.1
	32	2.6	1.8	1.3	<u>1.0</u>	1.8
	36	3.1	2.7	2.7	2.5	2.2
2x16	24	1.8	1.9	2.8	3.7	4.8
	28	1.4	1.6	1.5	2.6	4.8
	32	0.5	1.1	1.7	1.8	2.0
	36	0.3	1.1	<u>1.2</u>	<u>0.7</u>	1.9
4x8	24	<u>2.3</u> (2.0)	4.0 (0.5)	4.6 (0.5)	4.9 (1.2)	7.6 (0.7)
	28	2.3 (2.3)	<u>3.2</u> (1.3)	5.4 (0.4)	3.5 (0.6)	5.1 (0.7)
	32	2.6 (2.5)	4.0 (1.3)	<u>2.6</u> (0.5)	3.4 (0.6)	5.3 (0.7)
	36	2.9 (1.9)	4.5 (1.3)	3.6 (0.8)	<u>2.8</u> (0.9)	3.2 (1.0)

塗つぶし：横穴深さに対して焦点深さが±4mmの条件
 下線：横穴深さに対して、誤差が最小となる焦点深さ条件の測定値
 ()内：屈折角 45 度以下の条件の測定値

表 5 横穴深さ測定値の屈折角によるばらつき (単位：mm)

マトリクス配列 (行×列)	焦点深さ (mm)	横穴深さ (mm)				
		24	28	32	36	40
1x32	24	<u>0.3</u>	1.9	3.0	4.2	6.1
	28	0.9	<u>0.3</u>	0.8	2.8	3.6
	32	2.0	0.5	0.8	1.1	1.9
	36	3.5	1.7	<u>0.5</u>	<u>0.5</u>	0.9
2x16	24	<u>0.5</u>	1.3	2.1	2.9	3.8
	28	0.8	<u>0.7</u>	<u>0.7</u>	1.4	3.7
	32	0.7	0.7	1.3	1.1	1.9
	36	0.3	0.7	0.8	<u>0.6</u>	1.6
4x8	24	<u>3.9</u> (2.1)	<u>3.6</u> (0.5)	<u>3.9</u> (0.3)	4.1 (1.0)	7.0 (0.5)
	28	4.0 (2.7)	4.1 (1.7)	5.3 (0.9)	2.9 (0.4)	4.3 (0.1)
	32	4.7 (2.7)	4.9 (1.3)	<u>2.6</u> (0.7)	3.2 (0.6)	4.7 (0.3)
	36	4.4 (1.0)	5.4 (1.3)	3.7 (1.1)	<u>2.6</u> (0.8)	2.9 (0.8)

塗つぶし：横穴深さに対して焦点深さが±4mmの条件
 下線：横穴深さに対して、ばらつきが最小となる焦点深さ条件の測定値
 ()内：屈折角 45 度以下の条件の測定値

表 6 ステンレス鋼溶接部配管試験体 EDM スリット深さ測定値の屈折角による最大の誤差 (単位：mm)

焦点深さ (mm)	EDM スリット深さ (mm)			
	表面からの EDM スリット先端深さ (mm)			
	3.0	8.0	5.0	10.0
	13.0	8.2	19.8	15.2
10	1.4	3.2		
15	1.3	2.9		
20	0.9	2.4		
25			2.0	2.9
30			1.6	3.5

5.4mm であった。4 行×8 列探触子の場合、焦点深さが横穴深さに一致または近い条件でも、屈折角が 50 度以上の場合、深さ測定値と横穴深さとの差が大きい。屈折角 45 度以下の場合には、表 4 にカッコ書きで示すように、他の配列の探触子の場合と同等で、0.4mm、2.3mm である。

横穴深さ測定値の屈折角によってことなる測定値の最大値と最小値の差をばらつきとし、表 5 に示す。焦点深さが横穴深さと一致または 4mm 異なる条件の深さ測定値の屈折角によるばらつきは、1 行×32 列および 2 行×16 列の場合、それぞれ 0.3 ~ 1.9mm、0.5 ~ 1.6mm である。4 行×8 列探触子のばらつきは 2.6 ~ 5.3mm と大きい、これは屈折

角 50 度以上の測定値のばらつきが大きいためである。屈折角 45 度以下の場合の測定値のばらつきは、表 5 にカッコ書きで示すように、他の配列の探触子の場合と同等で、0.5 ~ 2.7mm である。

以上から、焦点深さを 4mm ごとに設定して測定し、深さ測定値が焦点深さに対して 4mm 以内である場合、RMS 誤差 ± 3.2 mm 以内、過小評価下限値 4.4mm 以内であることが期待できる。

ステンレス鋼溶接部配管試験体の放電加工 (electric discharge machining, EDM) スリットに対して、異なる焦点深さと屈折角条件による深さ測定値の最大の誤差を、表 6 に示す。板厚 15mm のステンレス鋼配管試験体の溶接熱影響部に加工した深さ 3mm と 5mm の EDM スリット、同じく板厚 25mm 試験体の深さ 5mm と 10mm の EDM スリットに対して、焦点深さ 10 ~ 30mm の条件で、屈折角を 30 ~ 60 度に変化させた場合の、EDM スリットの深さ測定値の誤差の最大値である。EDM スリットと先端深さと焦点深さが 4mm 以上異なるような条件でも、RMS 誤差 ± 3.2 mm 以内、過小評価下限値 4.4mm 以内の測定値を得ることができている。

3.2 エコー高さ

3 種類の探触子の焦点深さと屈折角を変化させた条件の横穴反射波の測定結果を、図 4 に示す。それぞれのグラフの横軸は横穴深さを、縦軸は横穴反射波の高さを、それぞれの探触子による屈折角 45 度、焦点深さ 32mm の条件で測定した深さ 32mm の横穴の反射波高さにより規格化した値を示している。これにより、焦点深さおよび屈折角による横穴反射波の変化を検討した。

1 行 \times 32 列探触子の場合、焦点深さが横穴深さと一致する場合にエコー高さが最も高く得られる傾向が、屈折角 30 ~ 50 度の範囲で顕著に現れている。焦点深さと横穴深さがずれるとエコー高さは 5.5 ~ 12.9dB の範囲で低下する。しかし、前述した焦点深さと横穴深さが 4mm ずれた場合のエコー高さの低下は最大で 3.7dB である。

2 行 \times 16 列探触子の場合には、焦点深さが横穴深さと一致する場合にエコー高さが高くなる傾向は、1 行 \times 32 列探触子に比べて弱い。焦点深さと異なる深さの横穴に対するエコー高さの変化は、屈折角 30 ~ 50 度の範囲で、1.9 ~ 7.6dB と小さい。焦点深さと横穴深さが 4mm ずれた場合のエコー高さの低下は

最大で 2.4dB である。4 行 \times 8 列探触子の場合も、屈折角 30 ~ 50 度の範囲で、4.5 ~ 11.7dB、焦点深さと横穴深さが 4mm ずれた場合のエコー高さの低下は最大で 5.1dB である。

以上から、焦点深さと横穴深さが 4mm ずれた場合のエコー高さの低下は 6dB 以内であり、焦点深さを 4mm ごとに設定して測定すれば、いずれかの焦点深さ条件で SN 比 2 以上でエコーが得られた場合、他の焦点深さ条件でも少なくともノイズレベル以上でエコーの検出が可能である。

横穴からの反射波の出現範囲を測定した結果を図 5 に示す。それぞれのグラフの横軸は横穴深さを、縦軸は探触子の前後方向すなわち横穴を垂直に横切る方向において反射波の出現する範囲の距離を示す。出現距離は、反射波の最大エコー高さから -6dB 低下する範囲とした。

1 行 \times 32 列探触子の場合、焦点深さが横穴深さと一致する場合、横穴反射波の指示長さは短く、横穴深さがずれると指示長さは長くなる。この傾向は屈折角に係らず観察され、その長さは屈折角の大きいほど長い。前述のエコー高さの測定結果から、焦点深さが横穴深さと一致する場合に、短い範囲において強い反射波が得られることを示している。

2 行 \times 16 列および 4 行 \times 8 列探触子の場合には、焦点深さが 24mm で屈折角が 30, 35 度の条件では、焦点深さと横穴深さがずれるにしたがい、指示長さが長くなる傾向が見られるが、他の条件では、焦点深さが深くなっても横穴深さに対する指示長さの変化は小さい。このことは、前述の異なる深さの横穴のエコー高さの変化が小さいことに対応する。

フェーズドアレイ装置による探傷画像の例を図 6 に示す。3 種類の探触子の屈折角を 30 度から 60 度まで変化させ、画像上の赤い斜線に相当する屈折角 45 度の位置で横穴反射波をとらえた画像である。深さ 24mm と 36mm の横穴に対して焦点深さが 24mm と 36mm、すなわち横穴深さと焦点深さが同じ場合と異なる場合に相当する条件である。

図 4 および 5 で示したように、1 行 \times 32 列探触子による横穴反射波は、横穴深さに対して焦点深さが同じ条件では狭い範囲に強く現れ、焦点深さがずれた条件では弱く広い範囲で出現することがわかる。2 行 \times 16 列および 4 行 \times 8 列探触子では、横穴深さと焦点深さによる横穴反射波の強さと出現範囲の差異は小さくなる。

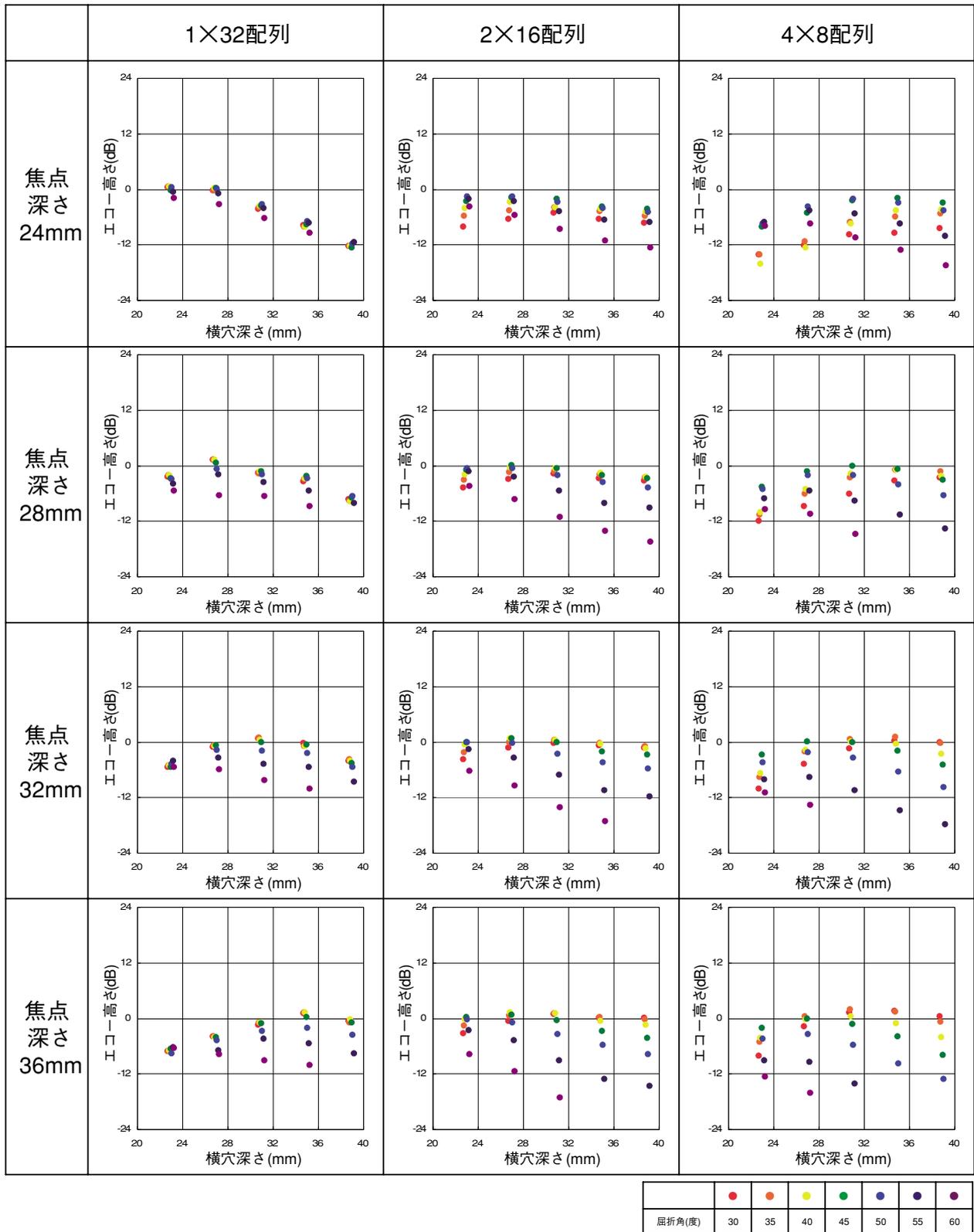


図4 異なるマトリクス配列, 探傷条件による横穴反射波測定結果 [エコー高さ]

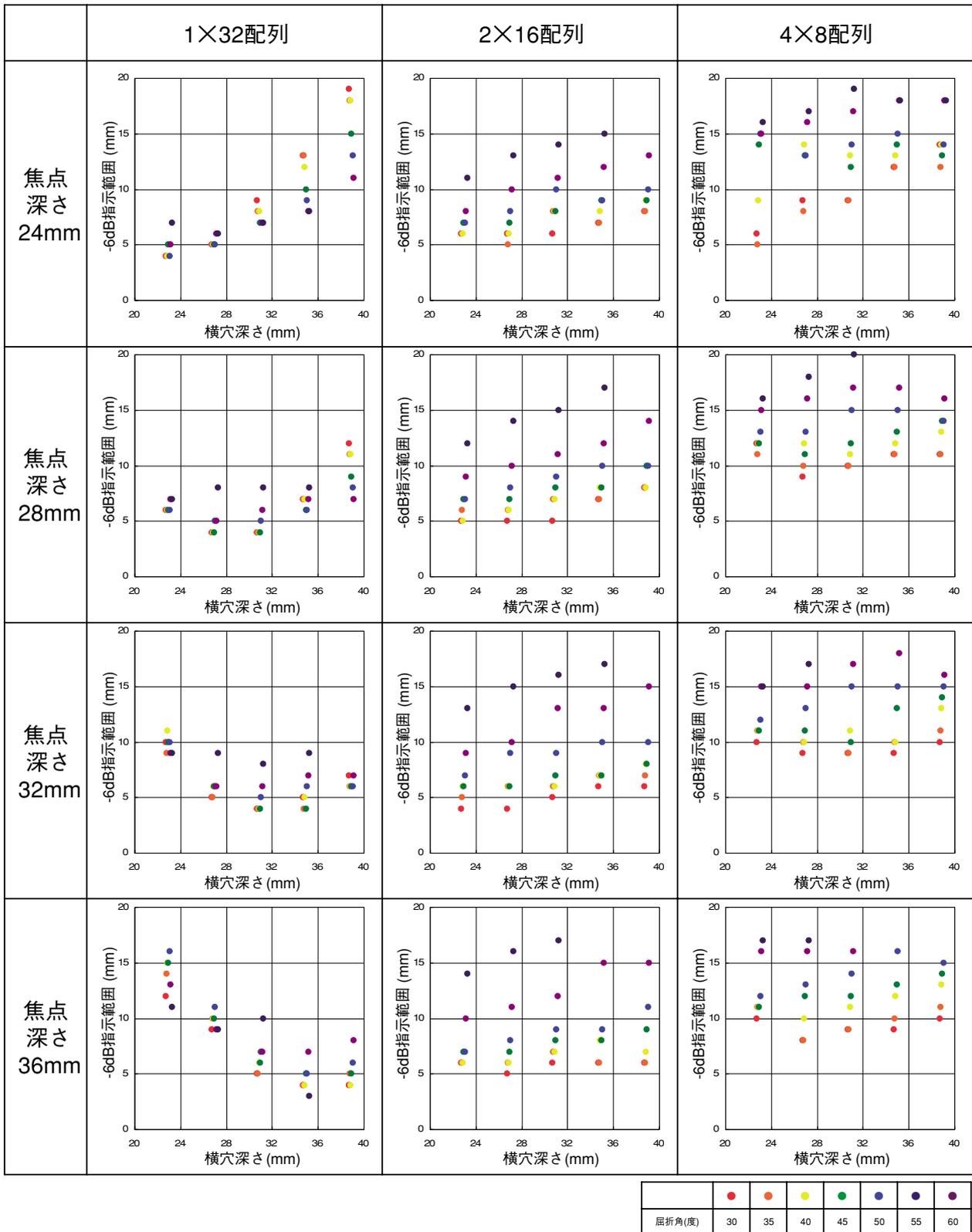


図5 異なるマトリクス配列, 探傷条件による横穴反射波測定結果 [指示範囲]

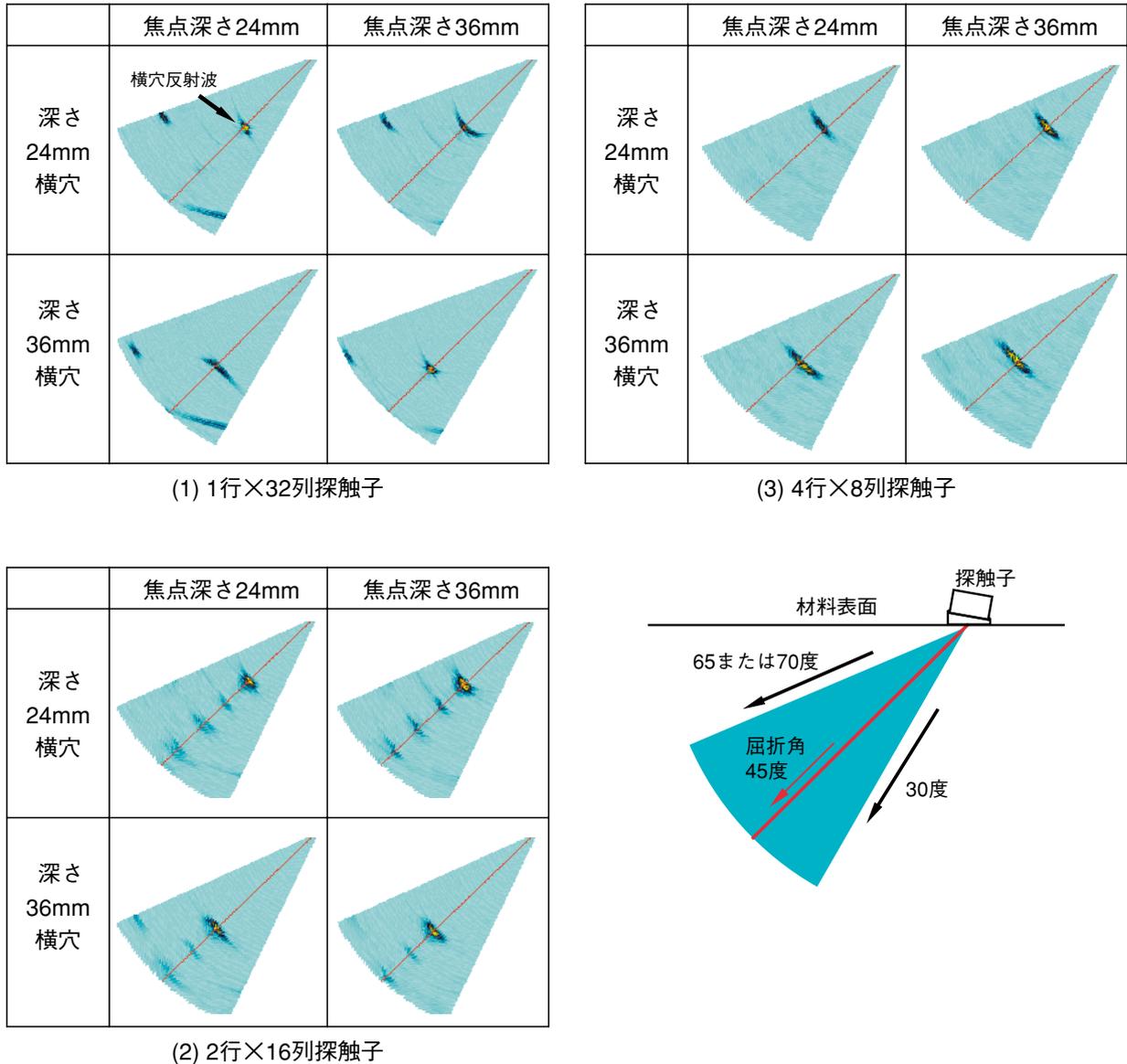


図6 横穴のフェーズドアレイ探傷画像

3.3 最適探傷条件

深さ測定は、焦点深さと反射源の深さの差が4mm以内の条件では、いずれの探触子でも誤差2mm以下の測定が期待できる。深さが未知の反射源に対して、焦点深さを4mm毎に設定して探傷することが有効である。この場合、エコー高さの低下は、最大で5.7dBである。このうち、2行×16列探触子は、横穴深さに対して焦点深さがずれた場合の反射波の低下度合が小さく、広い深さ範囲を対象にした反射源の探索に有効である。

4. おわりに

1行×32列、2行×16列、4行×8列の3種類の振動子配列をもつマトリクスアレイ探触子について、異なる屈折角と焦点深さを組み合わせた条件により、横穴対比試験片の異なる深さの横穴の深さ測定とそのエコー高さを測定した。これにより、振動子配列、屈折角および焦点深さによる、深さ測定精度とエコー高さへの影響を定量的に評価した。得られた主な成果は以下のとおりである。

- (1) 横穴深さに対して焦点深さが一致または4mm異なる条件の深さ測定の誤差の最大は、1行×32列探触子により2.7mm、2行×16列探

触子により 1.9mm, 4 行× 8 列探触子の場合, 屈折角を 45 度以下とすることで 2.3mm であった.

- (2) 横穴深さに対して焦点深さが一致する条件と 4mm 異なる条件の横穴からの反射波のエコー高さの差の最大は, 1 行× 32 列探触子で -3.7dB, 2 行× 16 列探触子で -2.4dB, 4 行× 8 列探触子で -5.1dB であった.
- (3) 4mm 毎に焦点深さを設定して深さ測定することは有効である.

深さ測定においては, 精度に加えて, 的確に反射源からのエコーをとらえることが不可欠であり, そのためには, 探傷条件の選定と探傷結果からのエコーの識別が重要である. 以上の成果は, 反射波の的確な検出と, 超音波探傷試験に係る判定基準を満足するような測定とその評価が期待できるような探傷条件や解析条件の選定, 解析結果の評価に役立つものである. 今後は, より実際の割れに近い面状反射源を用いた特性の評価と, さらに SCC などの自然欠陥に対する特性についてデータの拡充, 蓄積を図りたい.

文献

- (1) (社)日本機械学会, 発電用原子力設備規格 維持規格 (2004 年版), (2004).
- (2) J.A. Ogilvy, "Ultrasonic beam profiles and beam propagation in an austenitic weld using a theoretical ray tracing model," *Ultrasonics*, 24[11], 337-347 (1986).
- (3) E. Holmes, "Ultrasonic behaviour in austenitic stainless steel," *Applied Material Research*, 2[3], 181-184 (1963).
- (4) I. Komura, S. Nagai, H. Kashiwaya, T. Mori, M. Arii, "Improved ultrasonic testing by phased array technique and its application", *Nuclear Engineering and Design*, 87, 185-191 (1984)
- (5) M.T. Anderson, S.E. Cumblidge, S.R. Doctor, "Through weld inspection of wrought stainless steel piping using phased array ultrasonic probes," 16th World Conference on Nondestructive Testing, TS2. 11. 2, Aug. 30-Sep.3, 2004, Montreal, Canada (2004).
- (6) 独立行政法人 原子力安全基盤技術機構, JNES-SS レポート JNES-SS-0620 低炭素ステンレス鋼の非破壊検査技術, (2007)
- (7) 石田仁志, 黒住保夫, 藤井登, "送受信分割型マトリクスアレイ探触子によるステンレス鋼溶接部欠陥サイジング技術の開発," 日本保全学会第 3 回学術講演会要旨集, 369-372 (2006).
- (8) 石田仁志, 黒住保夫, 藤井登, "送受信分割型マトリクスアレイ探触子によるステンレス鋼溶接部欠陥深さ測定技術の開発," *INSS JOURNAL*, vol. 13, p.232-245 (2006).
- (9) (社)日本非破壊検査協会, 日本非破壊検査協会規格 NDIS 0603-2005 超音波探傷試験システムの性能実証における技術者の資格及び認証, (2005).
- (10) ASME, Boiler and Pressure Vessel Code Section XI, Division 1, Appendix VIII, Performance Demonstration for Ultrasonic Examination Systems, (2004).