

東京電力(株)福島第一原子力発電所 4 号機、
福島第二原子力発電所 3 号機、同 4 号機、
柏崎刈羽原子力発電所 1 号機及び同 2 号
機の炉心シュラウドのひび割れについて

平成 1 5 年 3 月 1 0 日

原子力安全・保安院

目 次

	頁
要 約	1
1．ひび割れが確認された経緯	2
2．東京電力(株)の点検に対する評価	4
3．東京電力(株)の原因調査に対する評価	25
4．炉心シュラウドの健全性評価手法についての当院の考え方	32
5．東京電力(株)による炉心シュラウドの健全性評価手法と評価結果	49
6．東京電力(株)による炉心シュラウドの健全性評価に対する当院の見解	75

要 約

東京電力(株)は、平成14年9月以降、福島第一4号機、福島第二3号機、同4号機、柏崎刈羽1号機、及び同2号機の炉心シュラウドの点検を順次実施し、それぞれのプラントでひび割れを確認した。

東京電力(株)は、これらのひび割れが発生した原因調査を行った結果、過去に実施した炉心シュラウドのひび割れの原因調査結果等も勘案して、ひび割れは応力腐食割れによるものであると推定した。

これまでの「原子力発電設備の健全性評価等に関する小委員会」の検討において、ひび割れの原因である応力腐食割れの現状とその進展についての既存の知見に基づき、ひび割れの発生状況に応じて、現時点でひび割れが進展していない部分の面積（残存面積）と、5年後のひび割れの進展状況を予測して得られた残存面積を算定し、要求される構造強度を維持するために必要な必要残存面積と比較して十分に余裕があることを確認するとの評価手法は、適切であるとされた。また、累積の中性子照射量が高い場合は、念のため破壊力学的評価を併せて実施するとの考え方は妥当であるとされた。

原子力安全・保安院としては、東京電力(株)によるこれら5プラントの炉心シュラウドに対する健全性の評価手法は、この考え方に沿ったものであり、現時点及び5年後においてこれらの炉心シュラウドが十分な構造強度を有しているとの評価は妥当なものであると考える。

従って、当院としては、福島第一4号機、福島第二3号機、同4号機、柏崎刈羽1号機及び同2号機の炉心シュラウドで発生しているひび割れについては、直ちに補修等の対策を講じる必要はないが、この場合においても、今後適切な頻度で点検を実施し、ひび割れの実際の進展状況を把握していく必要があると考える。

1. ひび割れが確認された経緯

東京電力(株)は、平成14年8月29日に発覚した不正記録問題に関し、表-1に示すとおり、GEから炉心シュラウドにひび割れの兆候があることを指摘されていた福島第一原子力発電所(以下、「福島第一」という。)4号機、福島第二原子力発電所(以下、「福島第二」という。)3号機、同4号機、及び柏崎刈羽原子力発電所(以下、「柏崎刈羽」という。)1号機の炉心シュラウドの点検を行った。また、同社は、柏崎刈羽2号機についても運転を停止し炉心シュラウドの点検を行った。(炉心シュラウドについて：参考資料1参照)

表-1 炉心シュラウドに対する点検

発電所名	号機	停止時期	経緯	備考
福島第一	4	H14.9.16～	GEからひび割れの兆候の指摘	中間停止(H14.12.2より定期検査へ移行)
福島第二	3	H14.9.16～	GEからひび割れの兆候の指摘	中間停止(H14.12.10より定期検査へ移行)
	4	H14.10.13～	GEからひび割れの兆候の指摘	中間停止(H15.2.1より定期検査へ移行)
柏崎刈羽	1	H14.9.3～	GEからひび割れの兆候の指摘	定期検査
	2	H14.9.20～	自主点検	中間停止

注) GE:General Electric Co.米国ゼネラル・エレクトリック社

この結果、同社は、それぞれのプラントの炉心シュラウドにおいてひび割れを確認したため、これらのひび割れについて原因究明を含めた詳細調査を行うとともに、これらの炉心シュラウドの健全性について検討を行い、当院に対し報告した。

炉心シュラウドについて

1. 炉心シュラウドの概要

炉心シュラウドは、原子炉压力容器内に燃料集合体（炉心）を囲むように設置されている円筒状のステンレス製構造物であり、原子炉内の冷却水の流れを分離する仕切板の役割をするものである。

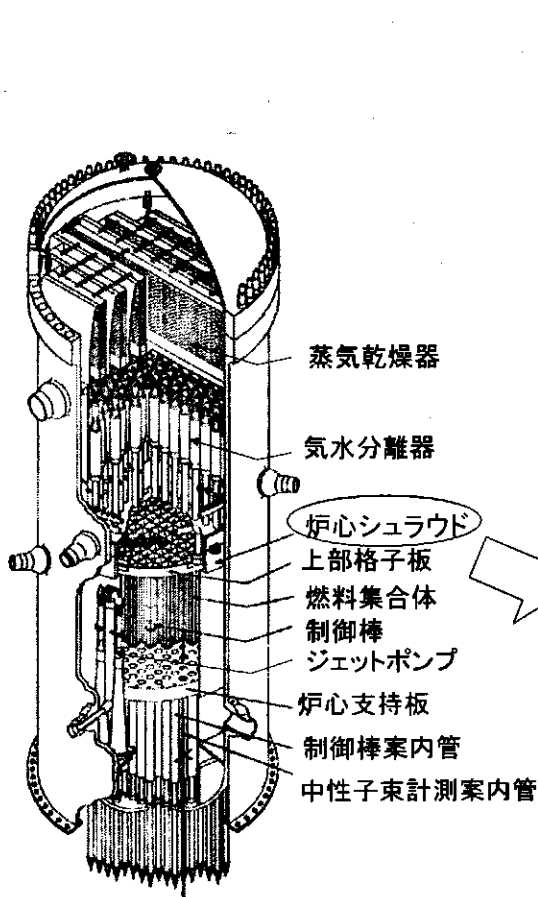


図2 原子炉压力容器鳥瞰図

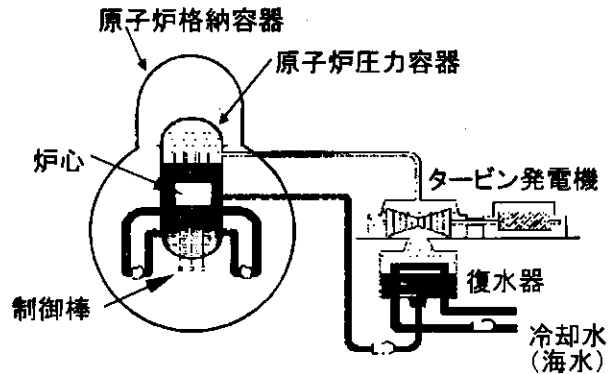


図1 原子力発電所全体系統概略図

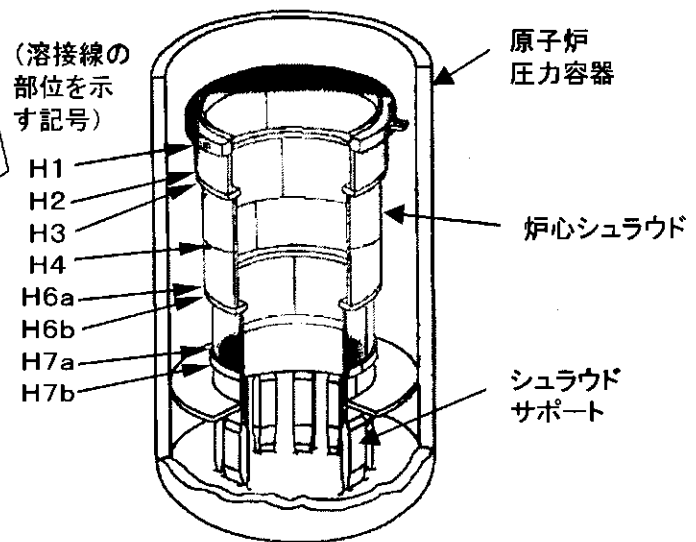


図3 炉心シュラウドの構造

2. 炉心シュラウドの安全機能

炉心シュラウドには、以下の二つの安全機能を有している。

①炉心の支持機能

想定される地震力に対し、炉心を支持し^{*1}、制御棒の挿入性を満足させる。

※1：燃料集合体に作用する水平方向地震荷重が主となる。なお、周辺部の燃料集合体を除く燃料集合体の鉛直地震荷重は、制御棒案内管が支持しており炉心シュラウドには作用しない。

②炉心冷却機能

原子炉容器内の冷却材流路を確保するとともに、事故時の炉水再冠水（事故時においても炉心を水で満たす）のための仕切り（隔壁）となる。

2. 東京電力(株)の点検に対する評価

東京電力(株)からは、今回実施した炉心シュラウドの点検は、(社)日本電気協会の技術規程等に基づきプラントメーカーの非破壊検査¹有資格者により行われ、また、点検結果の公正を期す観点から、第三者機関としてティアイシー(株)又は(財)発電設備技術検査協会の検査員による点検の現場作業立会と記録確認が行われた旨の報告があった。

この点検方法は、(社)日本電気協会の技術規程等に基づく十分な性能を有する水中カメラや超音波探傷²装置を用いるなど技術的に確立された手法を用いたものであるとともに、ひび割れの様相に対するブラッシング³や必要に応じた水中カメラによる接写等現場においてひび割れを的確に確認するための工夫がなされたものであり、妥当なものであると考えられる。(点検範囲と点検手法について：参考資料2-1、2-2参照)

また、当院としても、原子力保安検査官が目視点検及び超音波探傷検査の記録評価に立ち会い、点検の体制、作業内容、記録方法等の実施状況を確認しており、東京電力(株)の炉心シュラウドの点検は適切に行われたものとする。

こうした点検の結果、東京電力(株)の5プラントの炉心シュラウドにおいて、表-2に示すようなひび割れが確認された。

柏崎刈羽2号機では、下部リングの溶接線(H6a)外側近傍及びシュラウドサポートリングの溶接線(H7a)内側近傍に全周にわたるひび割れが確認された。またこれら5プラント全ての炉心シュラウドの胴部において、主として放射状の形状をもつひび割れが単発的に発生していることが確認された。さらに、福島第二3号機及び柏崎刈羽1号機では、中間部リングのアライナーブラケット⁴及び上部格子板用ベース⁵の直下部分にひび割れが確認され、また柏崎刈羽2号機では上部リングのシュラウドヘッドボルトブラケット⁶の直下部分に1箇所だけひび割れが確認された。

1 非破壊検査：材料や製品等の形や寸法を変えたり壊したりせずに、その内部の状態を調べる検査。

2 超音波探傷：非破壊検査方法の一つ。超音波により材料や製品の傷等を調べる検査方法。

3 ブラッシング：炉心シュラウド表面に付着した水垢等の汚れを取り除き、ひび割れの様相の有無を検査するためナイロン製等のブラシにより磨くこと。

4 アライナーブラケット：建設時に上部格子板の位置合わせを行うためのものであり、中間部リング上に4個設置されている。

5 上部格子板用ベース：上部格子板を載せる台座であり、中間部リング上に8個設置されている。別名「トップガイドベース」ともいう

6 シュラウドヘッドボルトブラケット：シュラウドヘッドとシュラウド本体をボルトにて接続するために、シュラウド本体にボルトを掛けるためのもの。上部リングの外側に36個取り付けられている。

表 - 2 炉心シュラウドひび割れ発生状況一覧

発電所名	号機	ひび割れの箇所		ひび割れの形状	箇所数	ひび割れの最大長さ (mm)	ひび割れの最大深さ (mm)	備考
		近傍溶接線	発生場所					
福島第一	4	H 4 (内側)	胴部	放射状	1	縦 80 横 180	13	参考資料2-3-(1)参照
福島第二	3	H 3 (内側)	アライブプレート、上部格子板用ベースの直下	平行	10	長さ 210	12	参考資料2-3-(2)参照
		H 3 (内側)	胴部及びリング部	平行	2	長さ 13	16	参考資料2-3-(3)参照
		H 4 (内側)	胴部	放射状	1	縦 30 横 16	23	参考資料2-3-(4)参照
	4	H 3 (内側)	胴部	平行	5	長さ 30	9	参考資料2-3-(5)参照
		H 4 (内側)	胴部	放射状	1	縦 19 横 31	11	参考資料2-3-(6)参照
		H 4 (外側)	胴部	放射状	1	縦 15 横 11	22	参考資料2-3-(7)参照
柏崎刈羽	1	H 3 (内側)	アライブプレート、上部格子板用ベースの直下	平行	9	長さ 145	10	参考資料2-3-(8)参照
		H 4 (内側)	胴部	放射状	1	縦 22 横 32	12	参考資料2-3-(9)参照
		H 4 (外側)	胴部	放射状	3	縦 20 横 10	15	参考資料2-3-(10)参照
	2	H 1 (外側)	シュラウドヘッドボルトプレート	平行	1	長さ 90	18	参考資料2-3-(11)参照
		V 1 6 (外側)	胴部	放射状	1	横 20	20	参考資料2-3-(12)参照
		H 6 a (外側)	リング部	平行	ほぼ全周	-	16	参考資料2-3-(13)参照
		H 7 a (内側)	リング部	平行	ほぼ全周	-	16	参考資料2-3-(14)参照

注) H 3 : 中間部リング溶接部

H 4 : 炉心シュラウド中間部胴溶接部

H 6 a : 下部リング溶接部

H 7 : シュラウドサポートリング溶接部

V 1 6 : 炉心シュラウド中間部胴縦溶接部

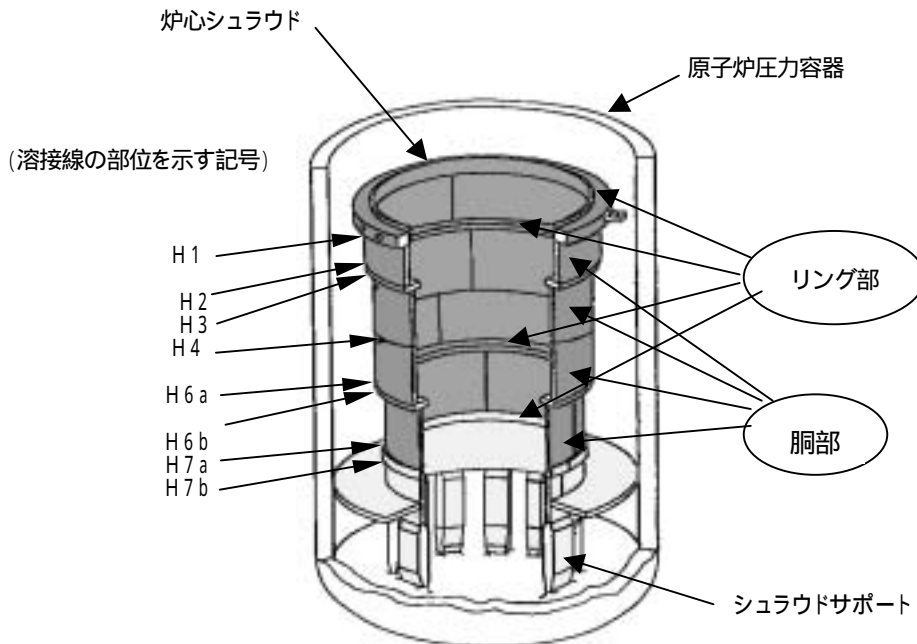
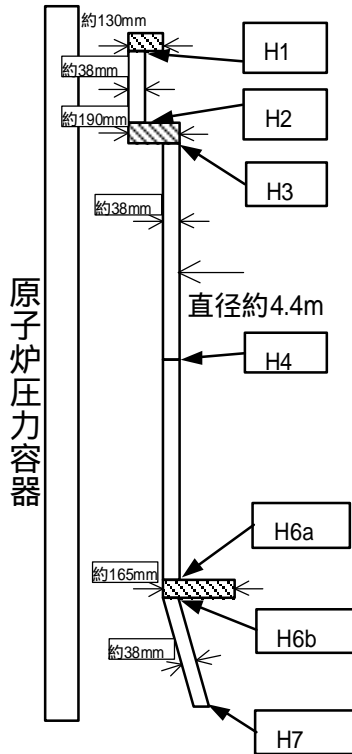


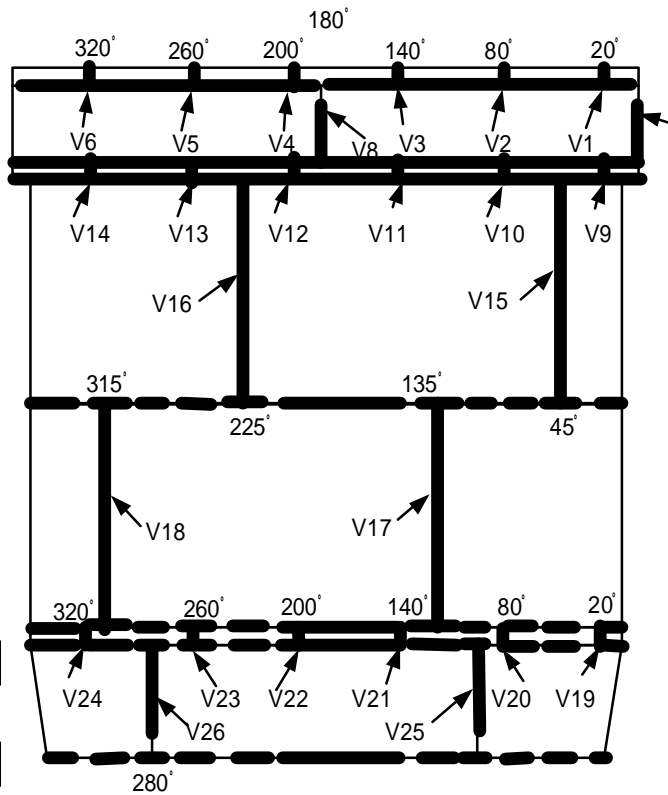
図 炉心シュラウドの構造

福島第一4号機炉心シュラウドの溶接線と目視点検範囲

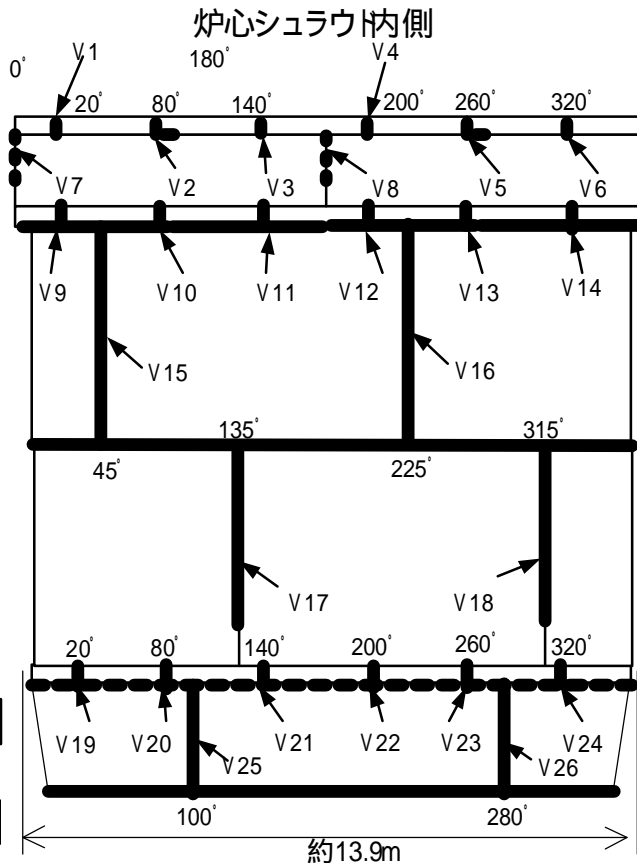
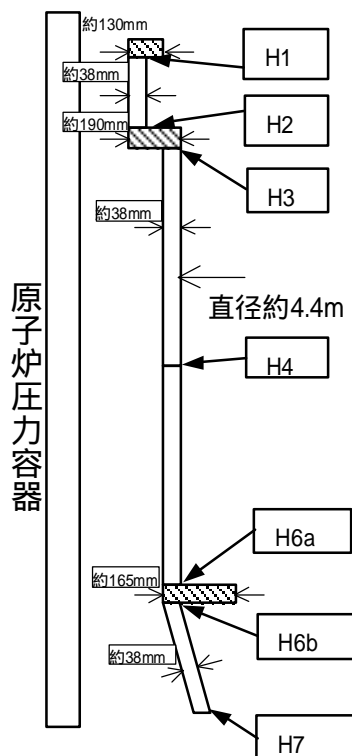
炉心シュラウド断面図





炉心シュラウド外側



炉心シュラウド内側

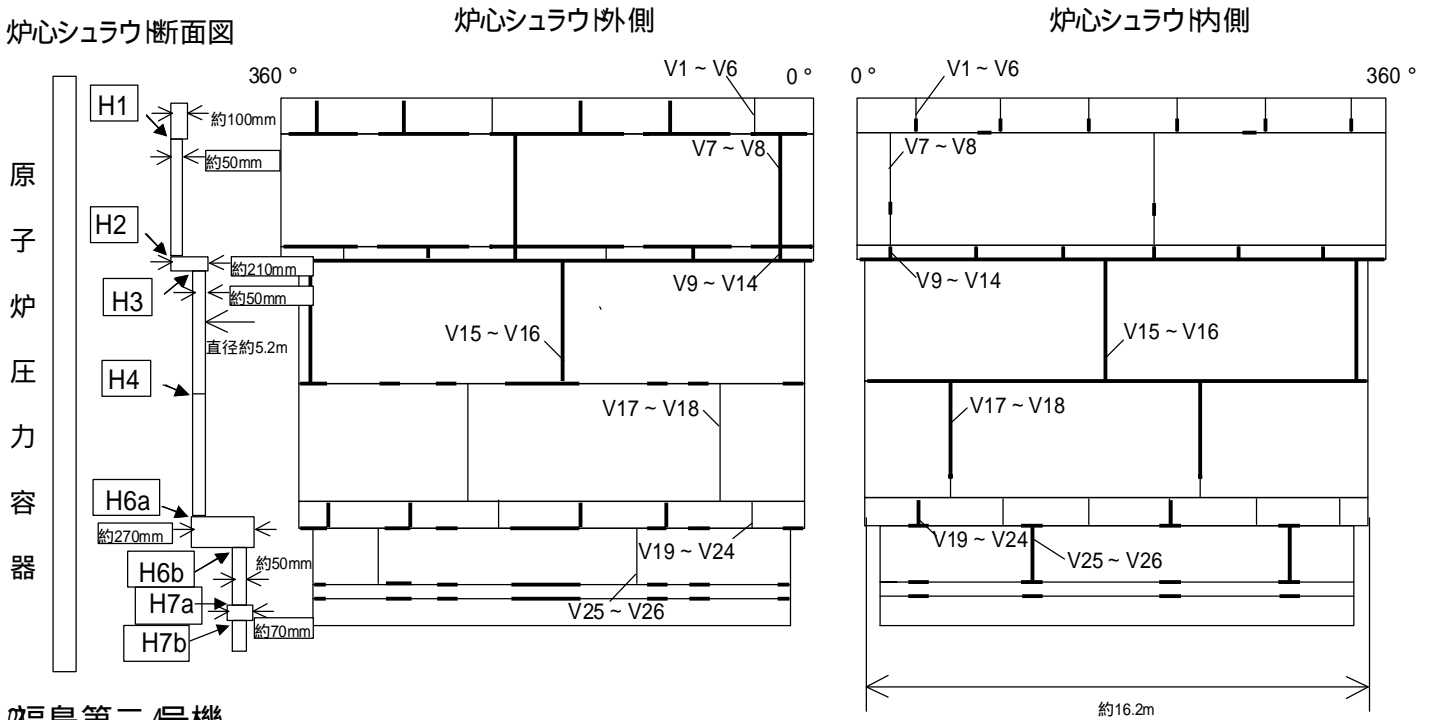


 目視点検範囲
 干渉物により目視点検できない範囲

福島第二3号機及び4号機 炉心シュラウトの溶接線と目視点検範囲

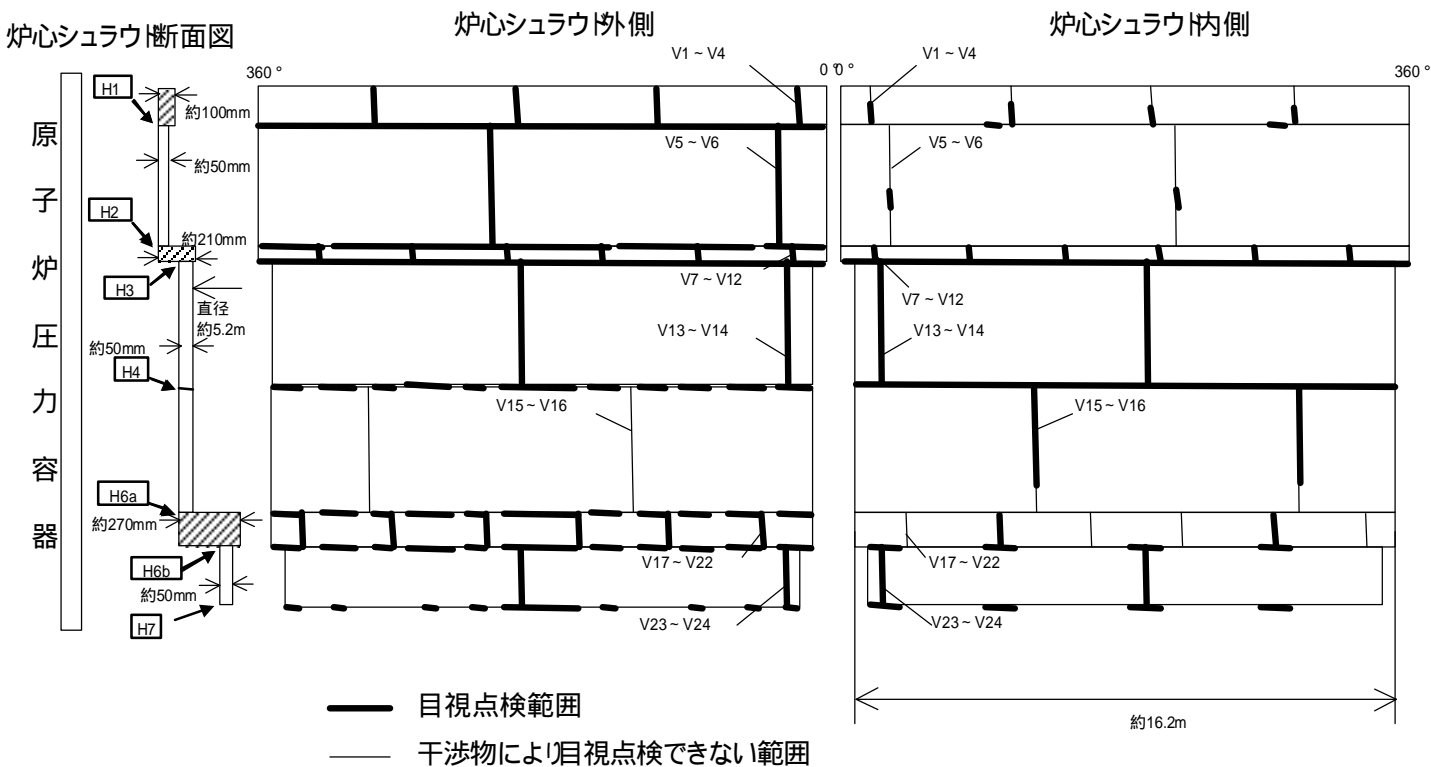
福島第二3号機

炉心シュラウト断面図



福島第二4号機

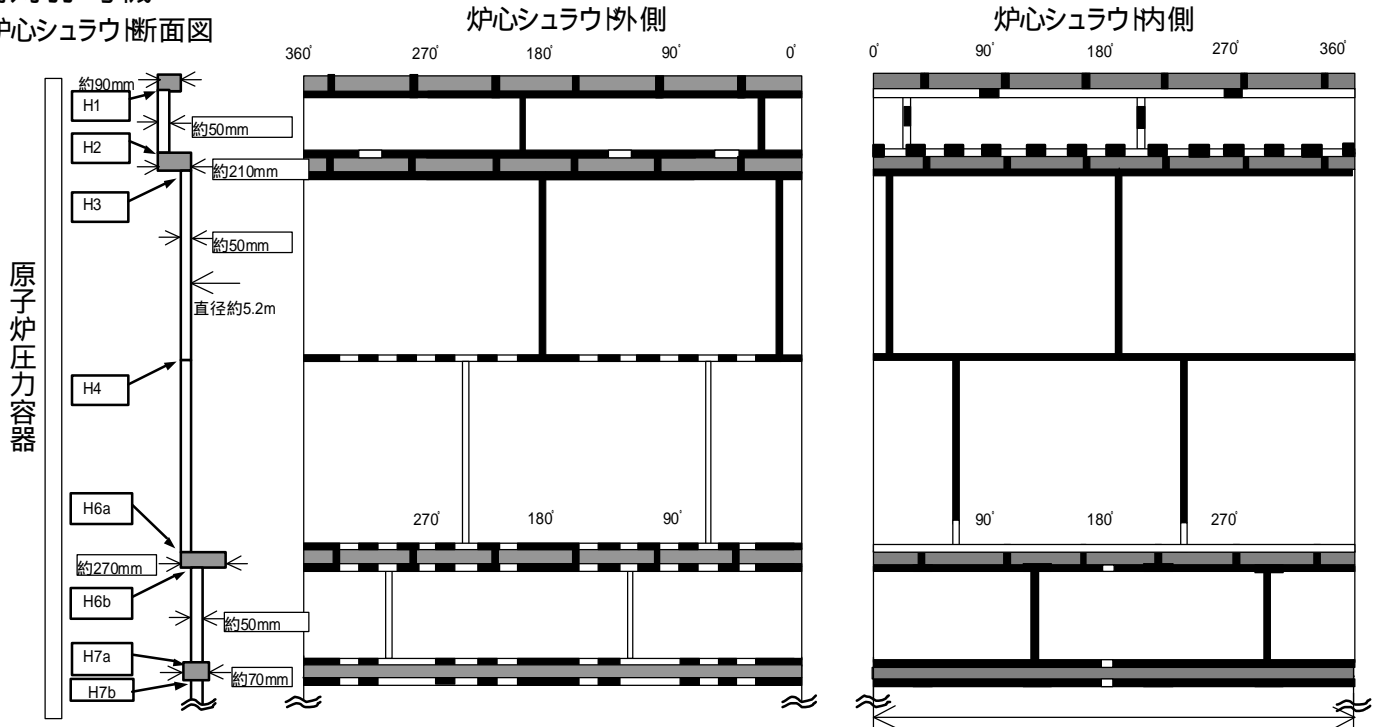
炉心シュラウト断面図



柏崎刈羽1号機及び2号機 炉心シュラウトの溶接線と目視点検範囲

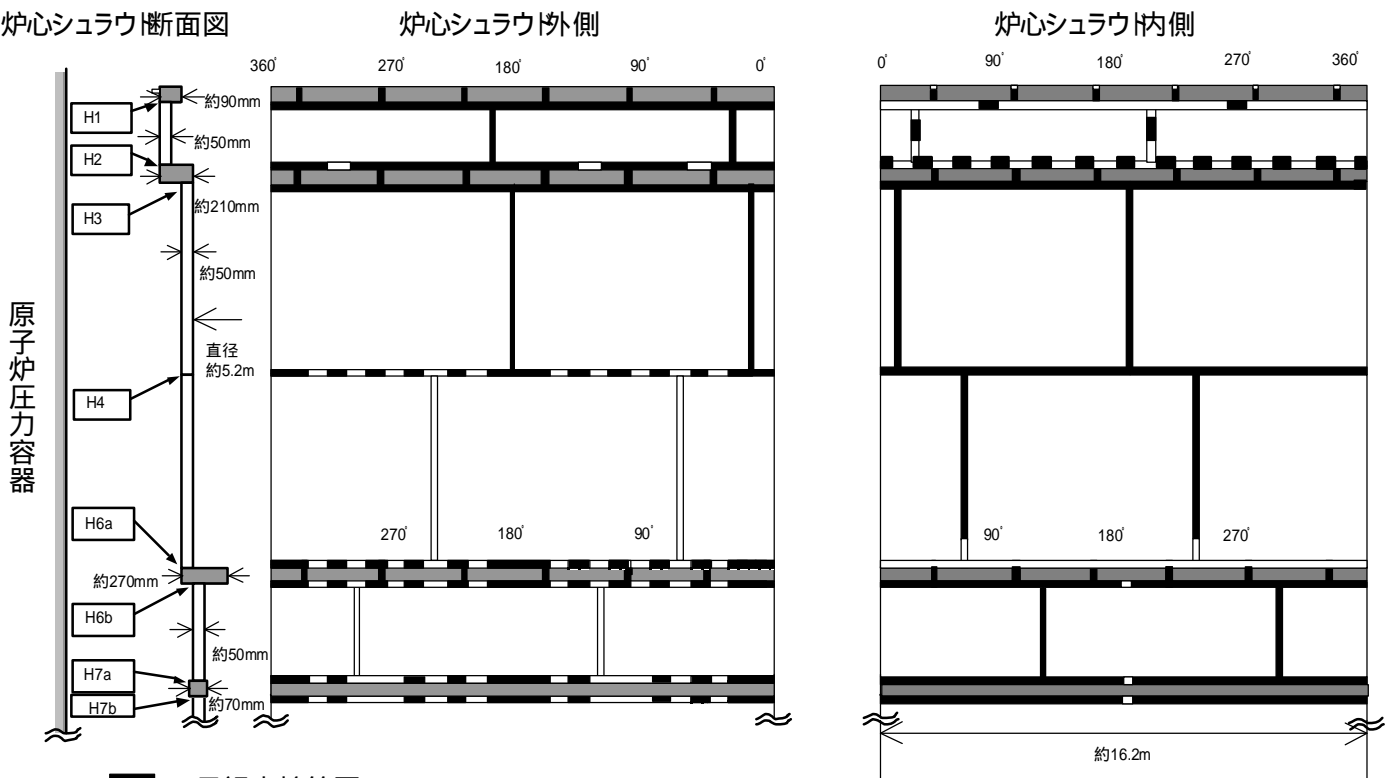
柏崎刈羽1号機

炉心シュラウト断面図



柏崎刈羽2号機

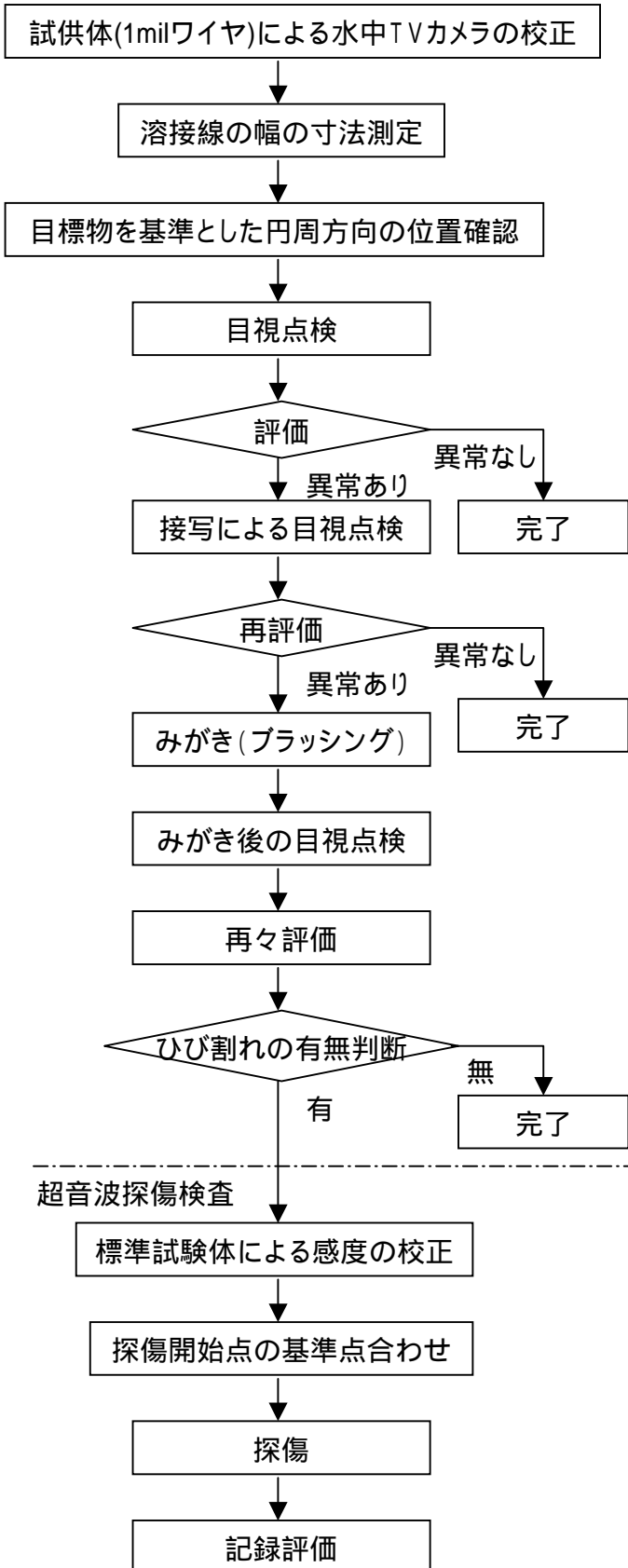
炉心シュラウト断面図



目視点検範囲
 干渉物により目視点検できない範囲

炉心シュラウドの点検方法

目視点検



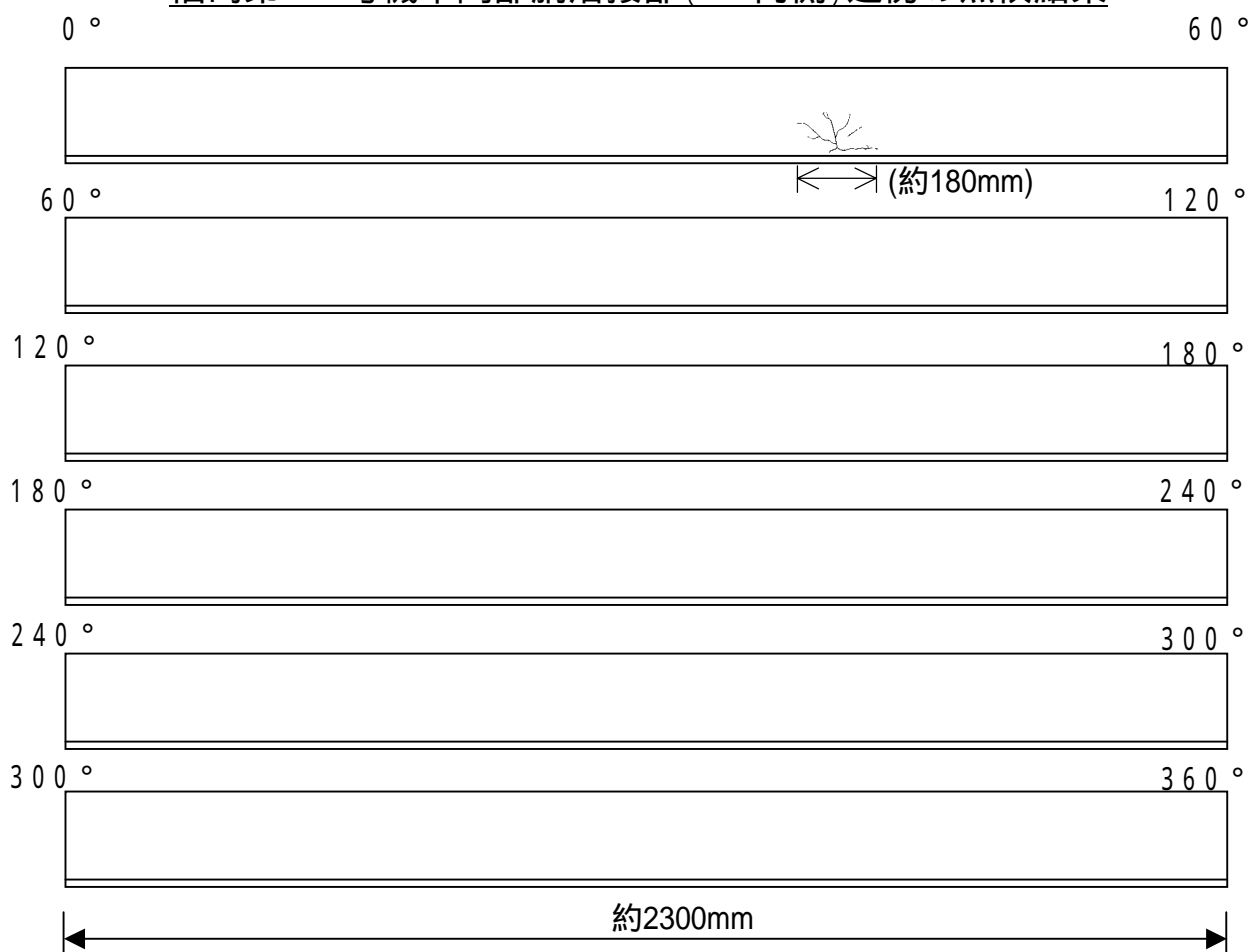
< 目視点検方法 >

- ・目視点検は、水中TVカメラによる遠隔肉眼試験による。
- ・水中TVカメラは、点検表面において太さ1mil(0.025mm)のワイヤの識別が可能なものを使用する。また、適切な照明装置を使用し、必要に応じ点検表面の付着物を除去する。
- ・クラッドの付着、機器等の摺動痕などひびとは性状を異なると判断できないものが認識された場合には、点検表面の異物をブラッシング等により除去して検査を実施する。
- ・クラッド等の付着、機器等の摺動痕等のように明らかにひび割れとは性状を異にすると判断されるインディケーション(指示模様)については、上記の限りではない。
- ・点検記録には、点検範囲におけるひび割れの有無、ひび割れがあった場合にはその位置、大きさ及び形状等を記録する

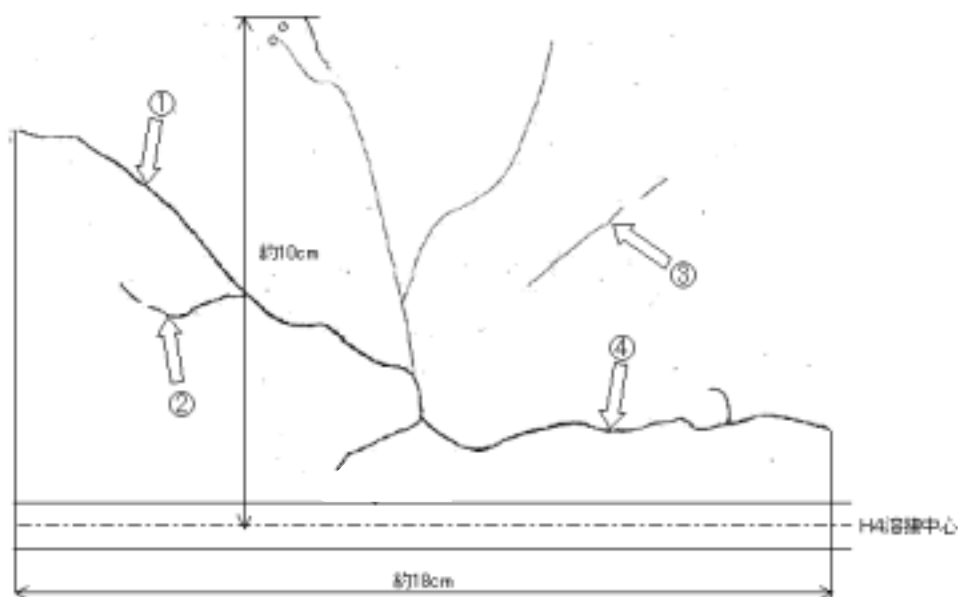
< 超音波探傷検査方法 >

- ・超音波探傷検査は水浸パルス反射法による。
- ・検査に先立ち、装置の校正を行うため、基準欠陥を有する対比試験片により、欠陥からの反射波(エコー)の大きさをフルスクリーン高さの50%程度になるよう基準感度調整を行う。
- ・周波数2MHz、屈折角60°の探触子により、金属材料内部のひび割れの深さを測定する。
- ・点検記録にはひび割れの深さを記録する。

福島第一4号機中間部胴溶接部(H4内側)近傍の点検結果



目視点検結果

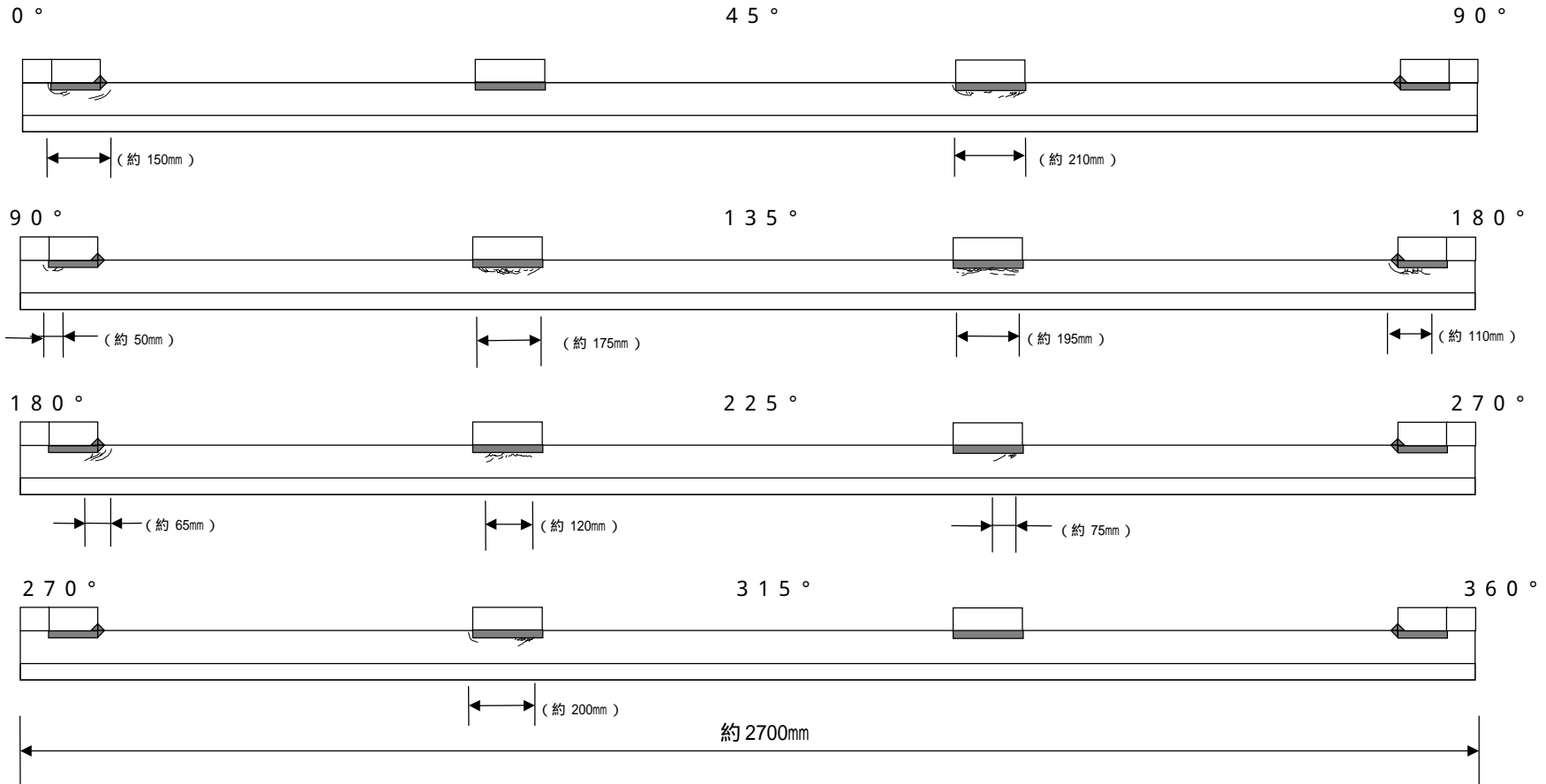


	最大深さ
①	約4mm
②	約12mm
③	約8mm
④	約13mm

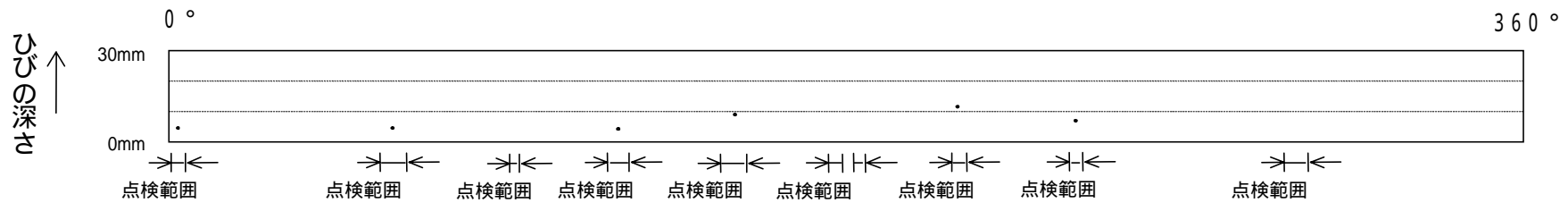
超音波探傷検査結果

福島第二3号機上部格子板用ベース及びアライナーブラケット溶接部近傍の点検結果

参考資料2 - 3 - (2)



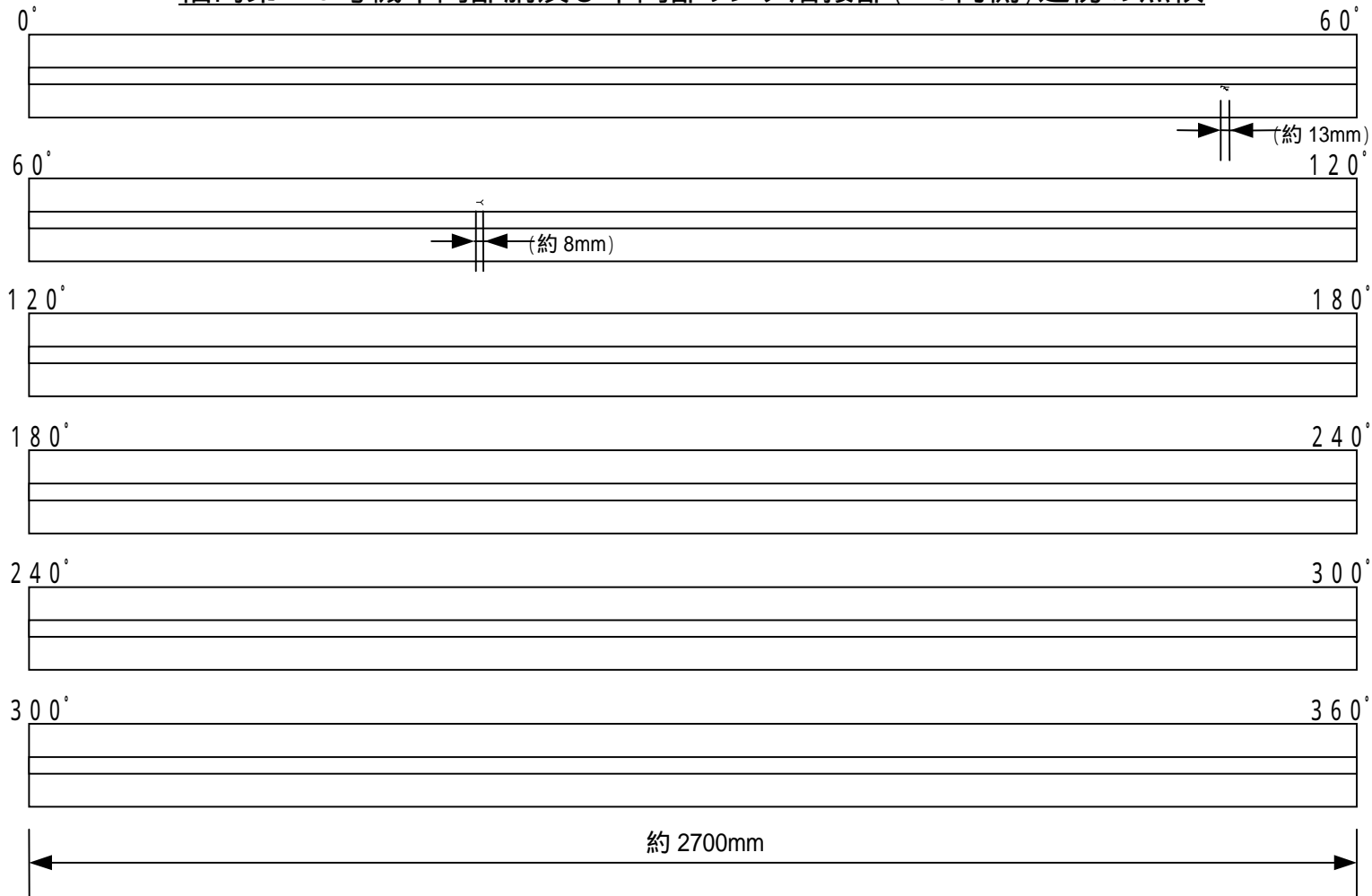
目視点検結果



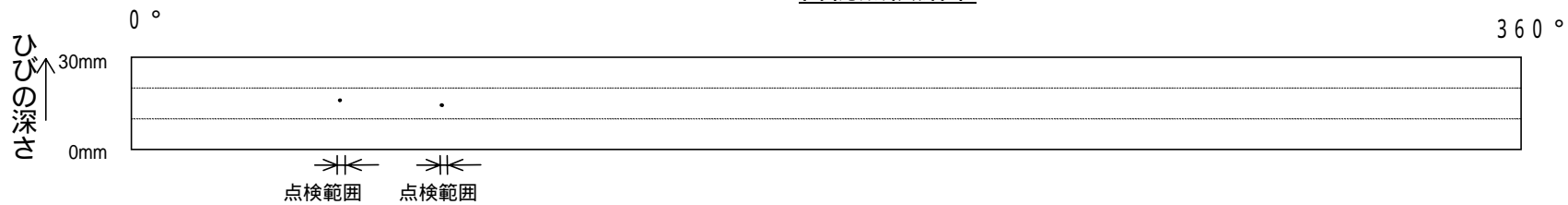
超音波探傷検査結果

福島第二3号機中間部胴及び中間部リング溶接部(H3内側)近傍の点検

参考資料2 - 3 - (3)



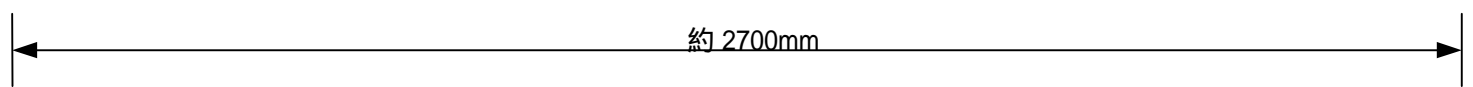
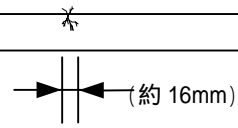
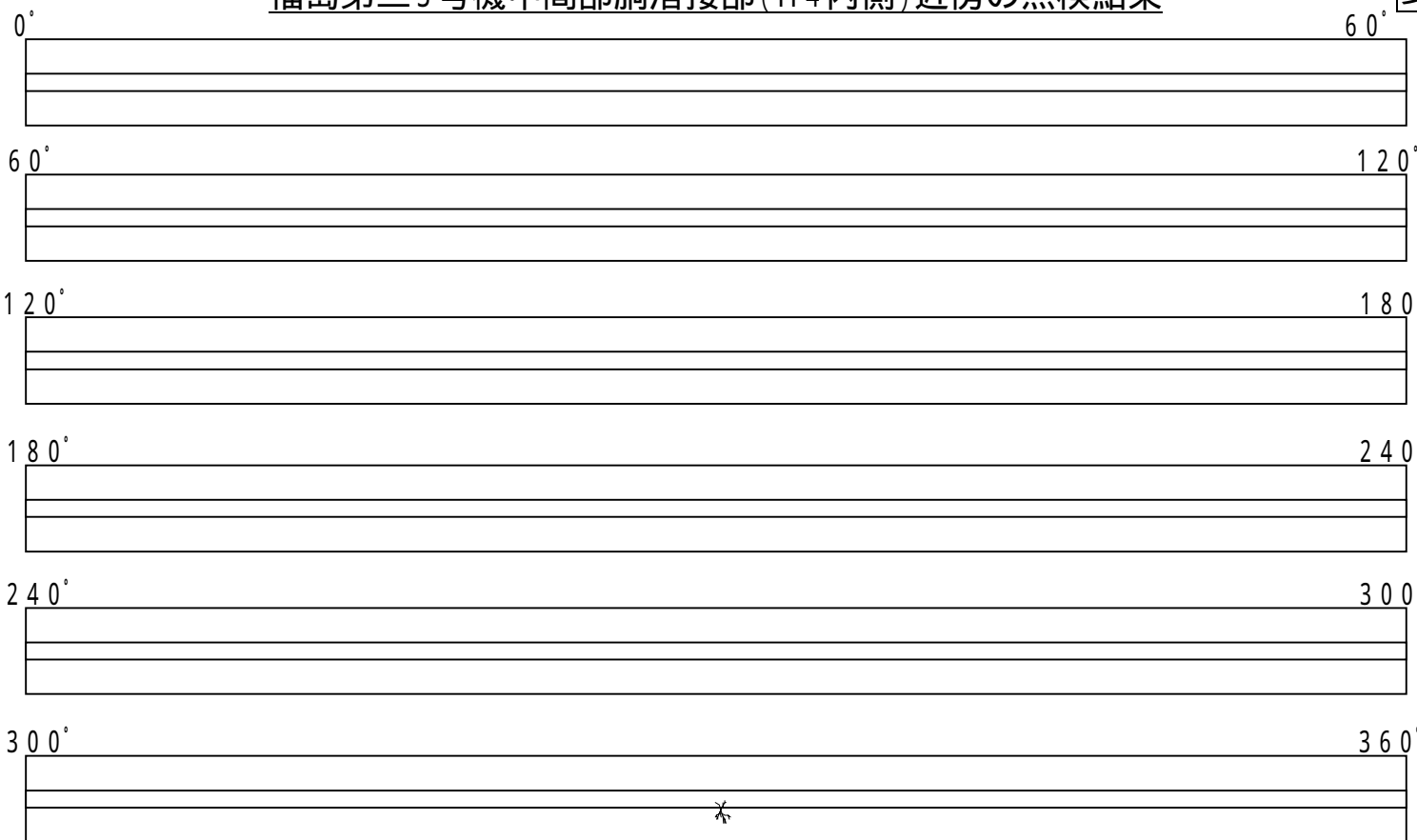
目視点検結果



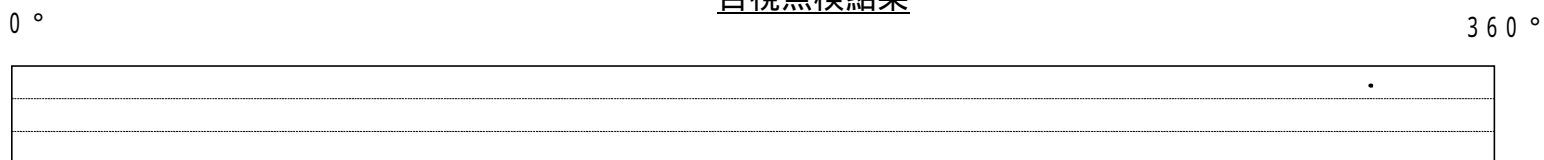
超音波探傷検査結果

福島第二3号機中間部胴溶接部(H4内側)近傍の点検結果

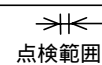
参考資料2 - 3 - (4)



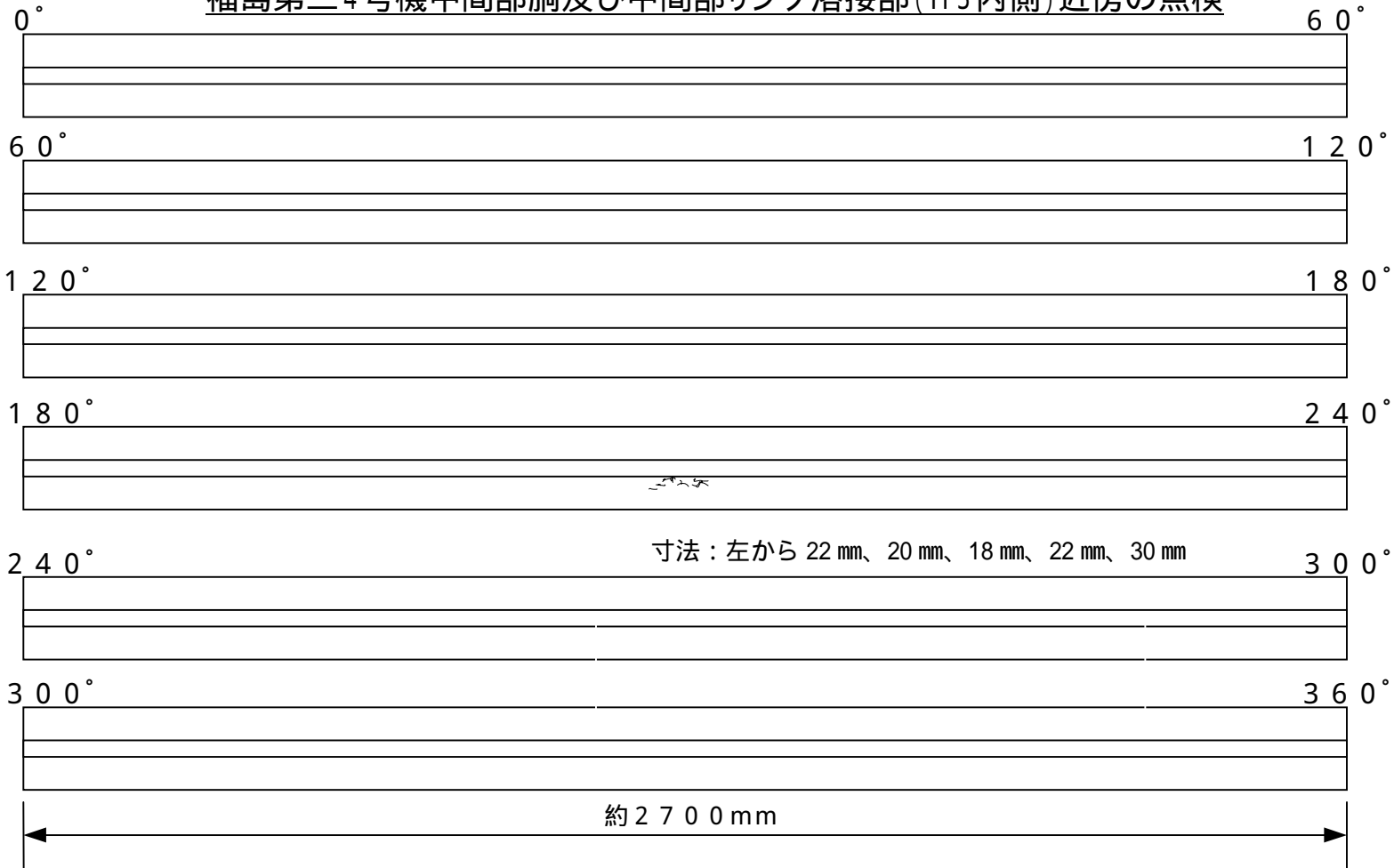
目視点検結果



超音波探傷検査結果

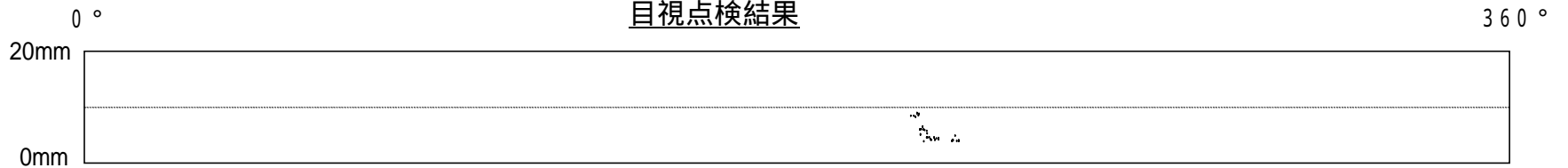


福島第二4号機中間部胴及び中間部リング溶接部(H3内側)近傍の点検



14

目視点検結果

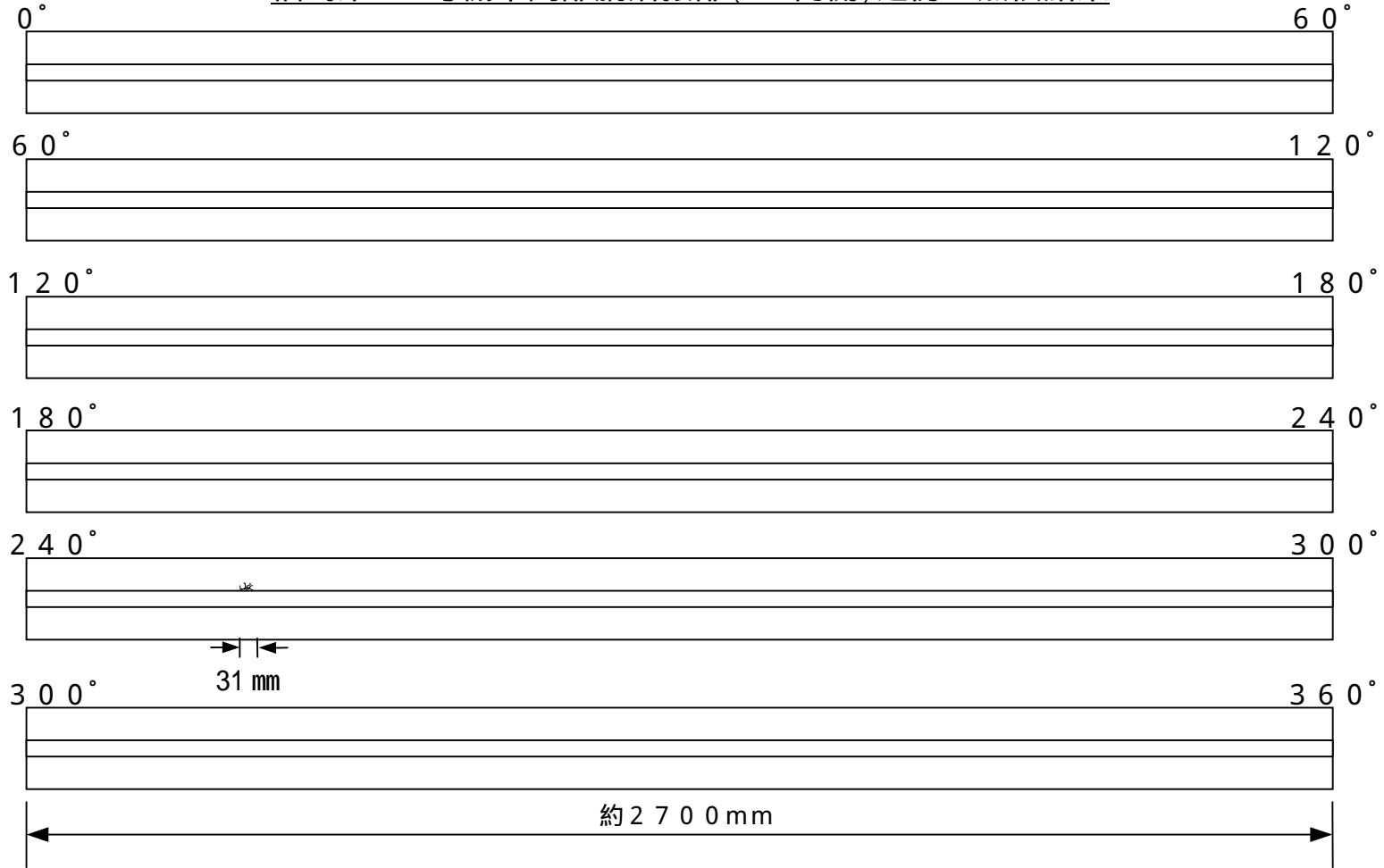


20mm ↑

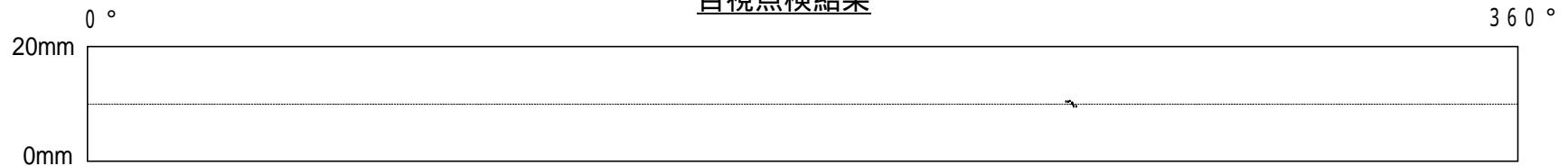
超音波探傷検査結果

点検範囲

福島第二4号機中間部胴溶接部(H4内側)近傍の点検結果



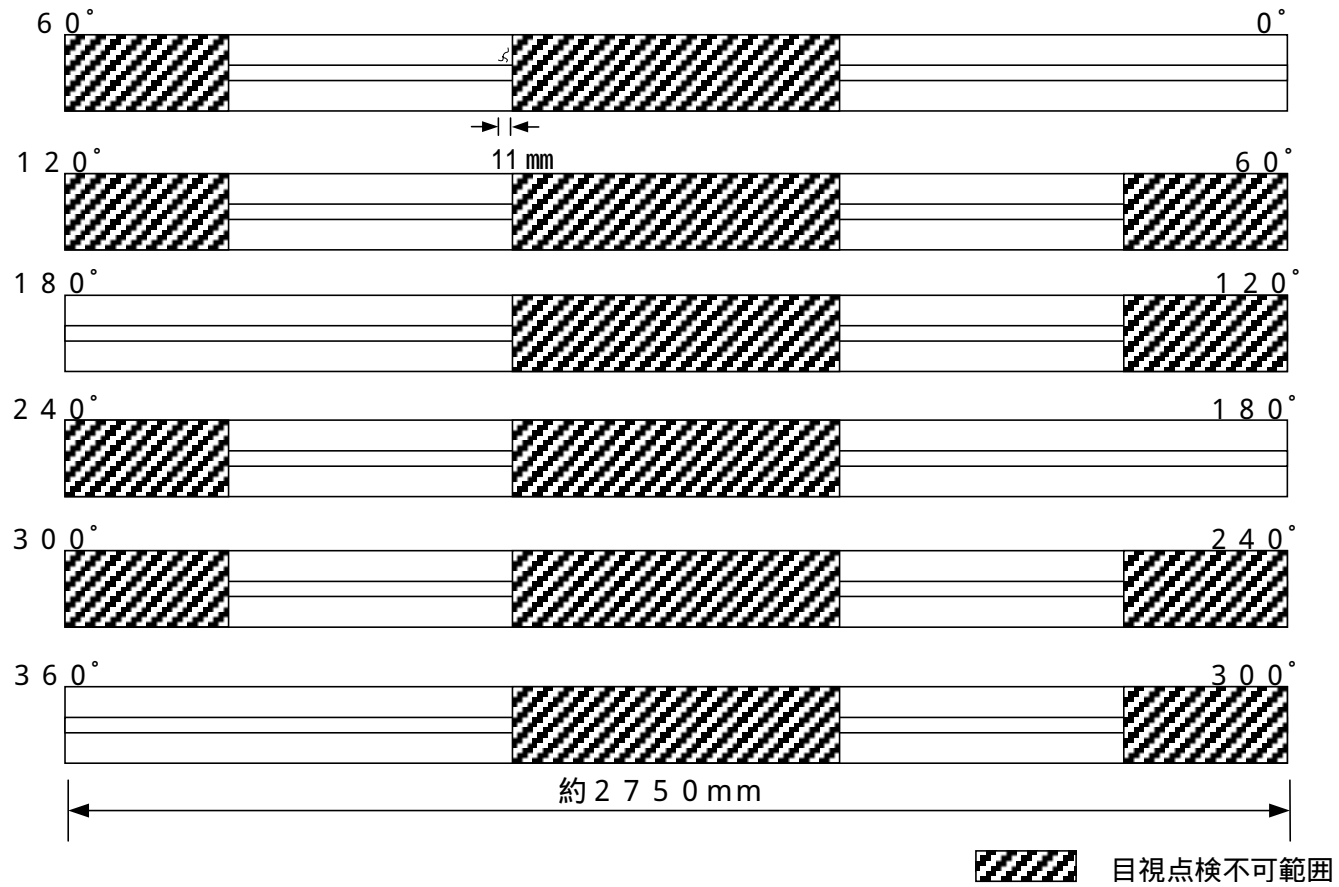
目視点検結果



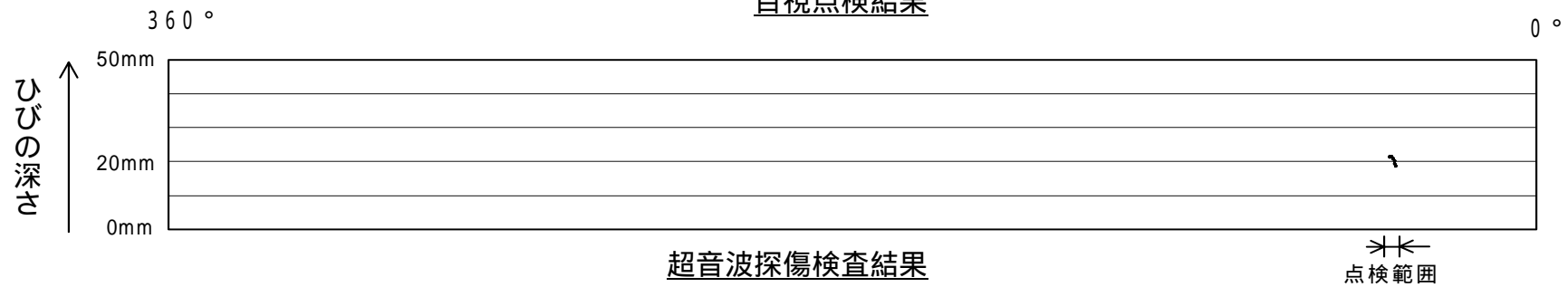
点検範囲

超音波探傷検査結果

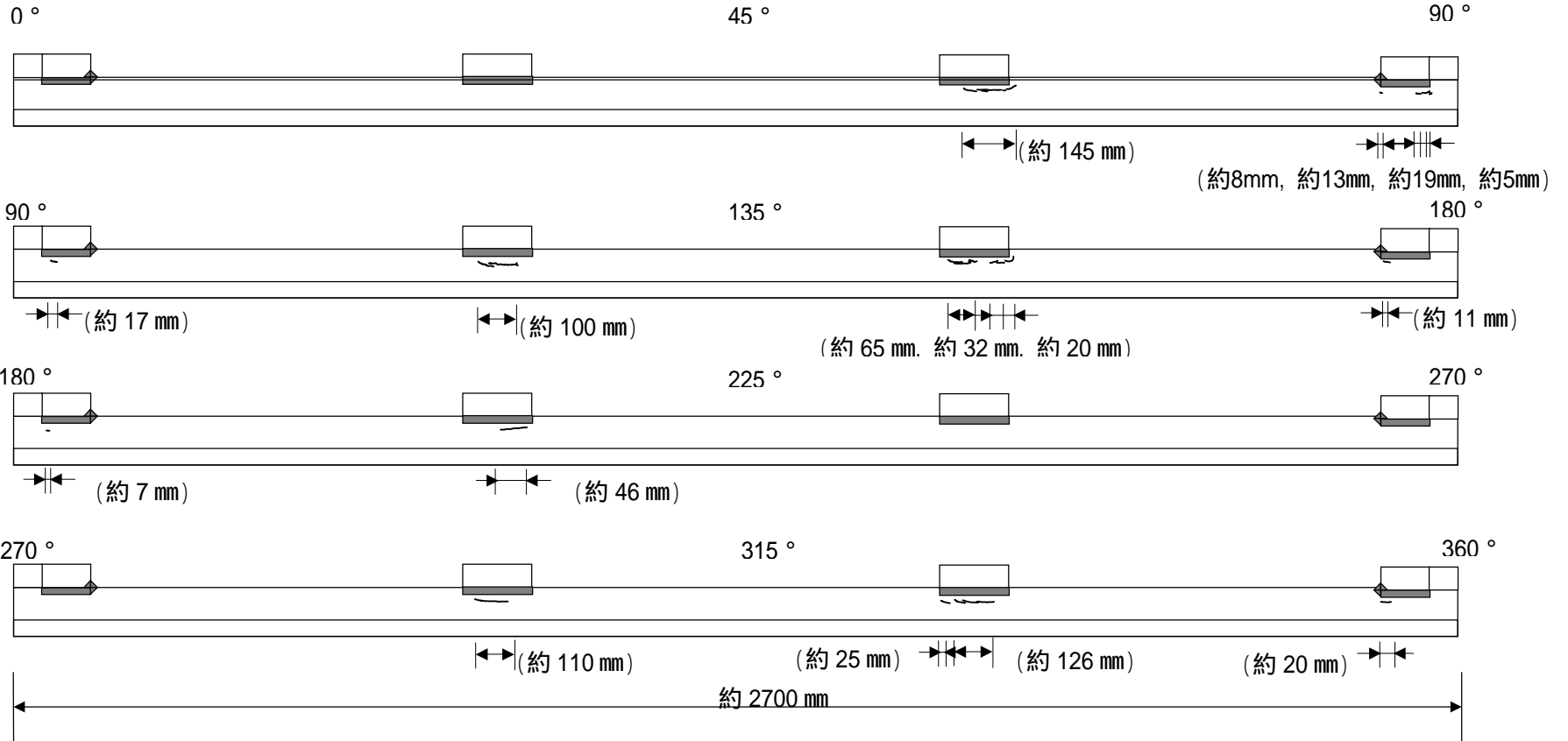
福島第二4号機中間部胴溶接部(H4外側)近傍の点検結果



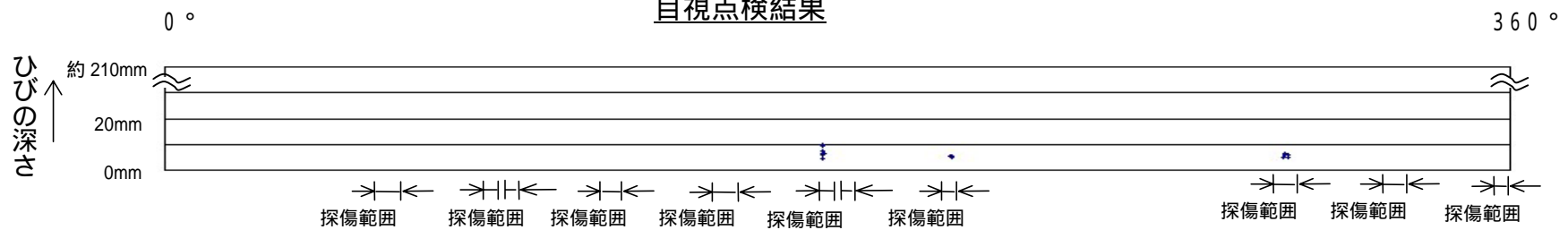
目視点検結果



柏崎刈羽1号機アライナーブラケット及び上部格子板用ベース溶接部近傍の点検結果



目視点検結果

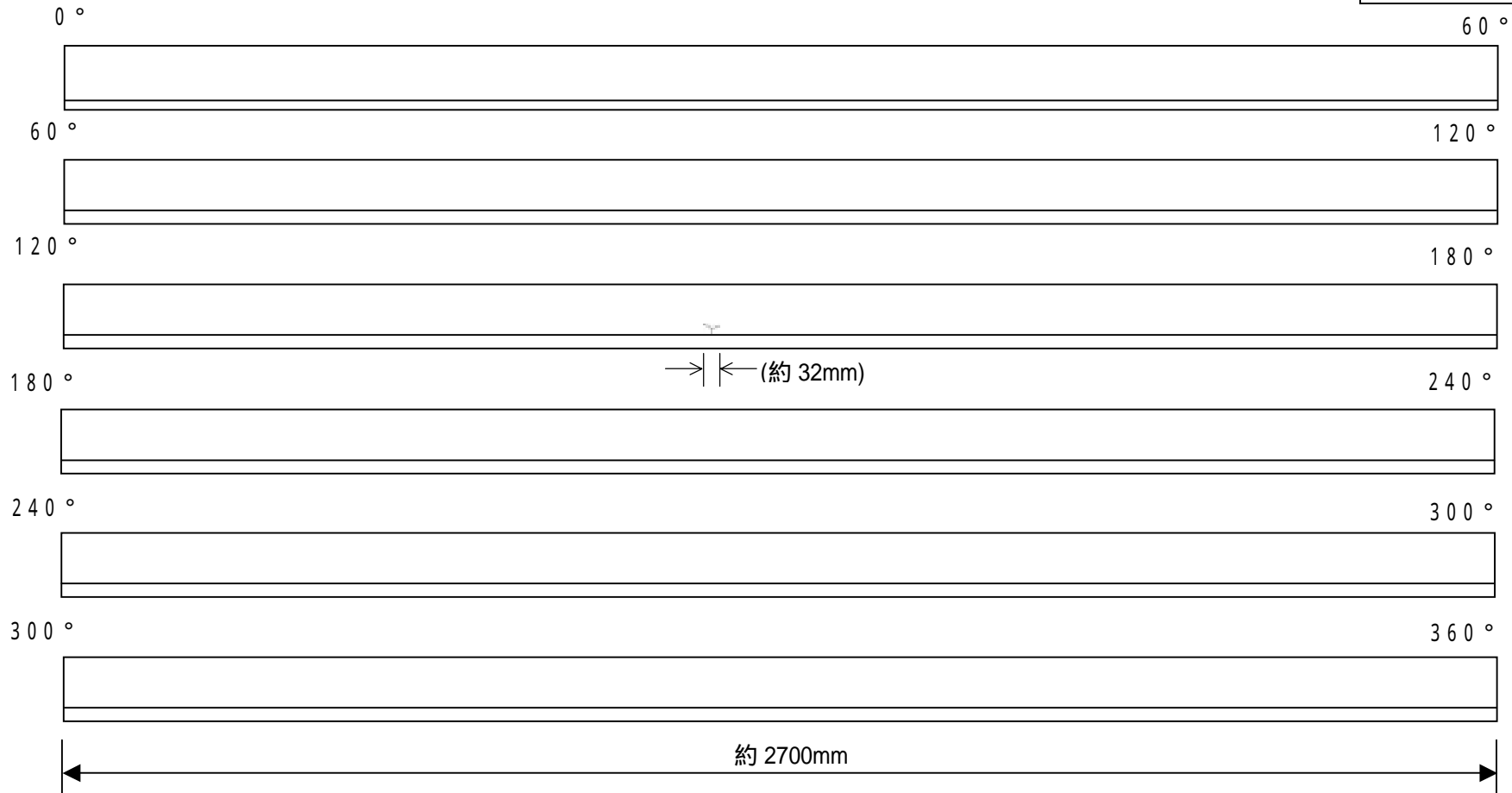


超音波探傷検査結果

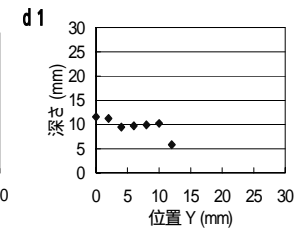
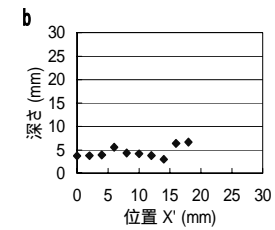
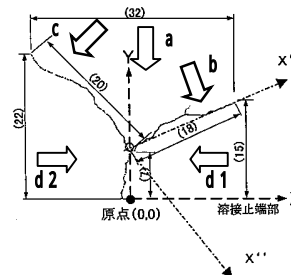
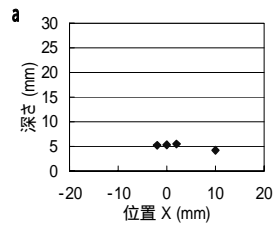
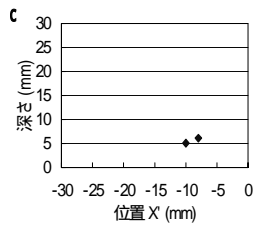
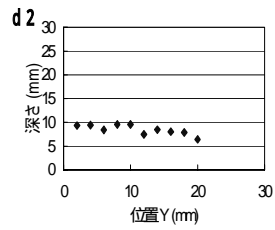
柏崎刈羽1号機中間部胴溶接部 (H4内側) 近傍の点検結果

参考資料2 - 3 - (9)

18



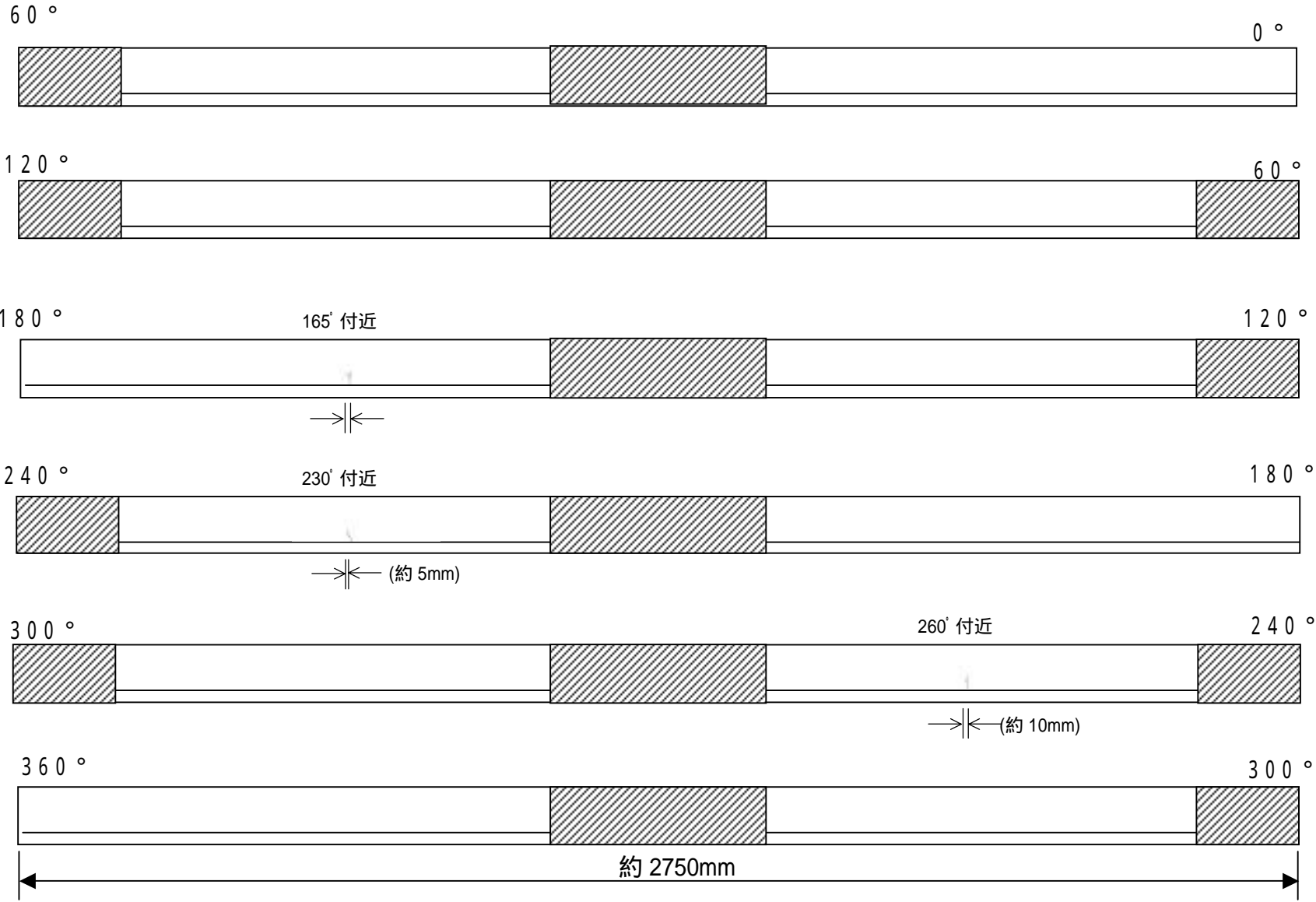
目視点検結果



超音波探傷検査結果

柏崎刈羽1号機中間部胴溶接部(H4外側)近傍の目視点検結果

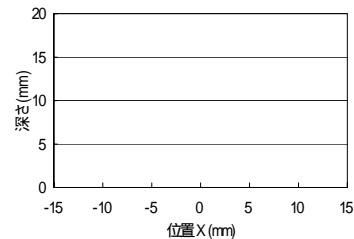
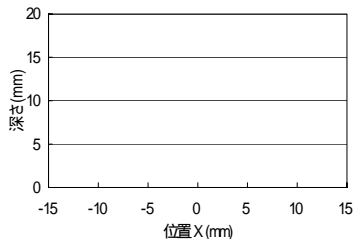
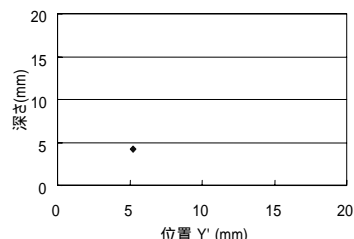
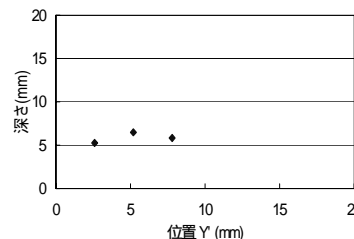
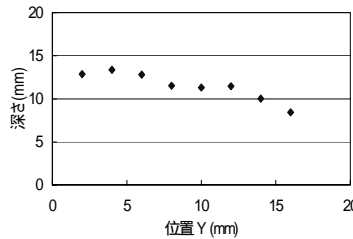
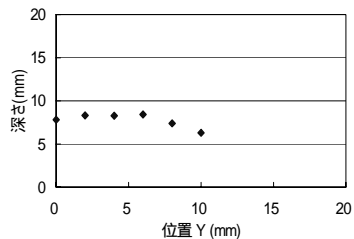
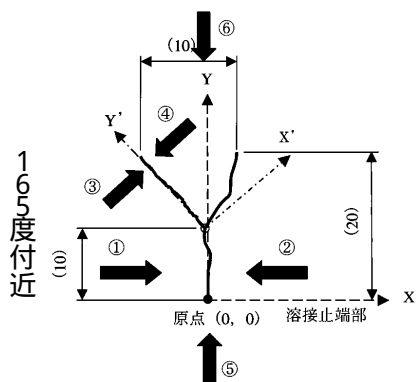
参考資料2-3-(10)



目視点検不可範囲

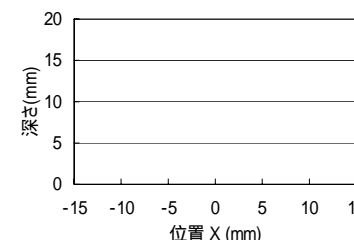
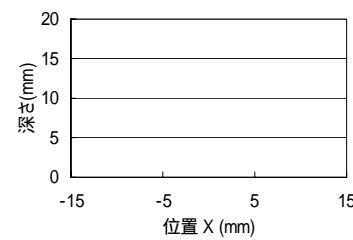
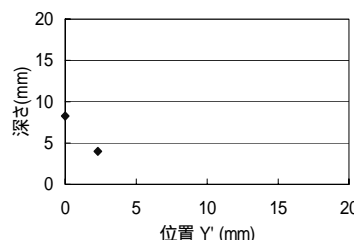
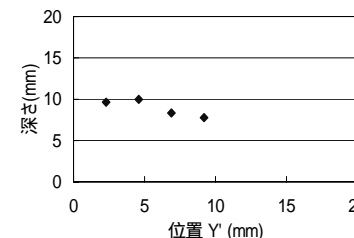
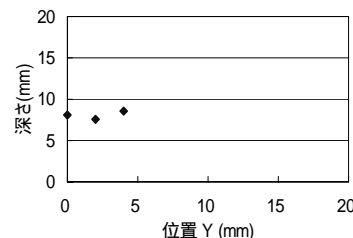
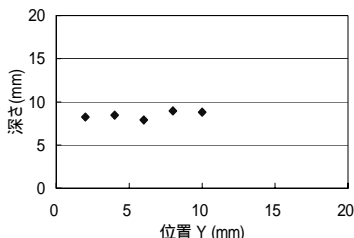
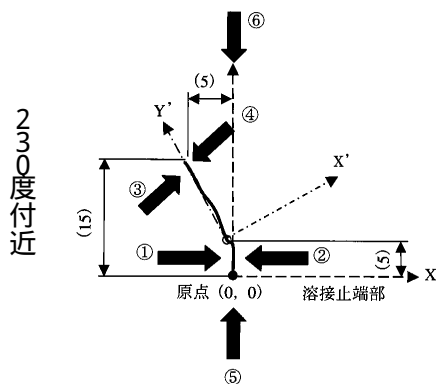
柏崎刈羽1号機中間部胴溶接部(H4外側)近傍の超音波探傷検査結果

16mm近傍

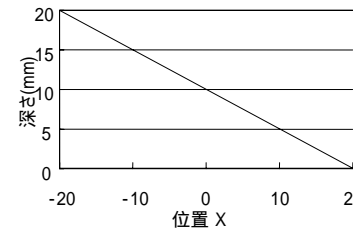
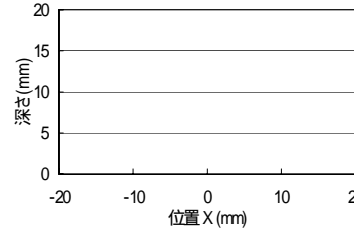
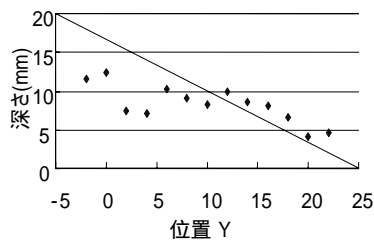
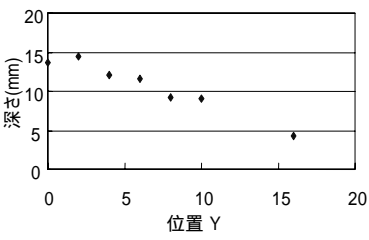
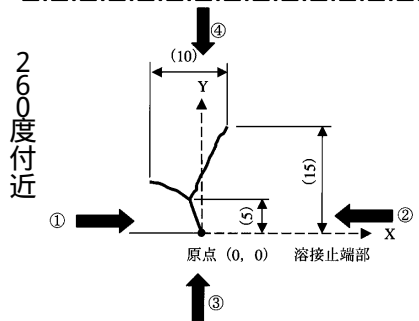


20

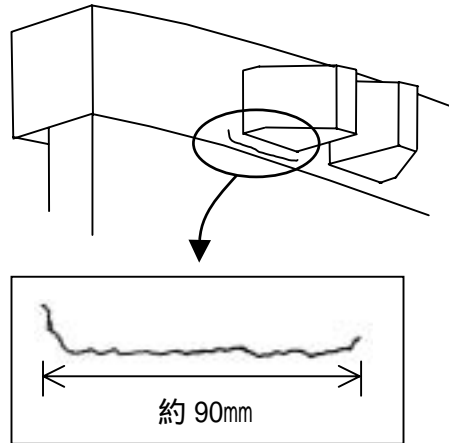
20mm近傍



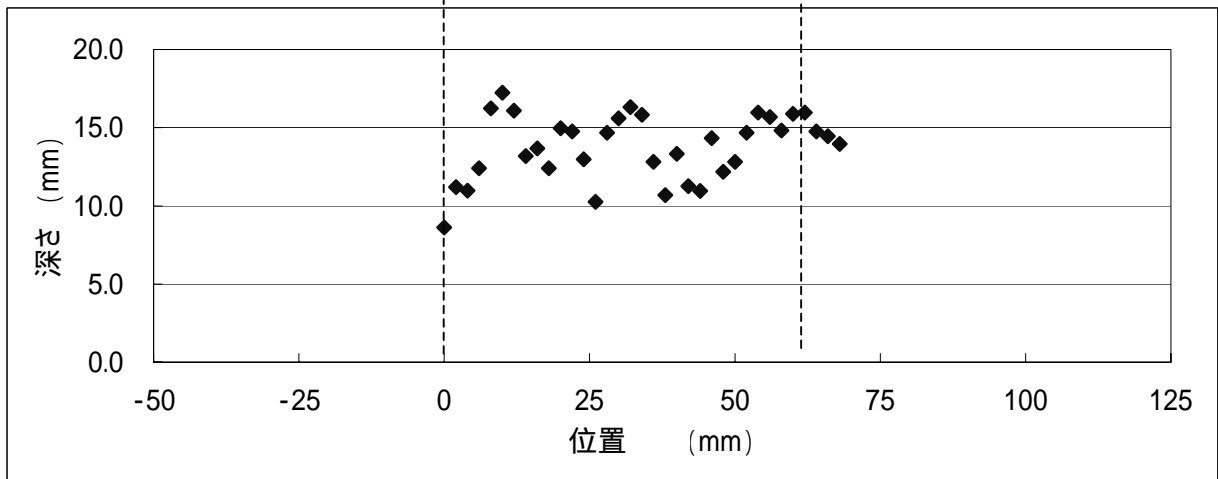
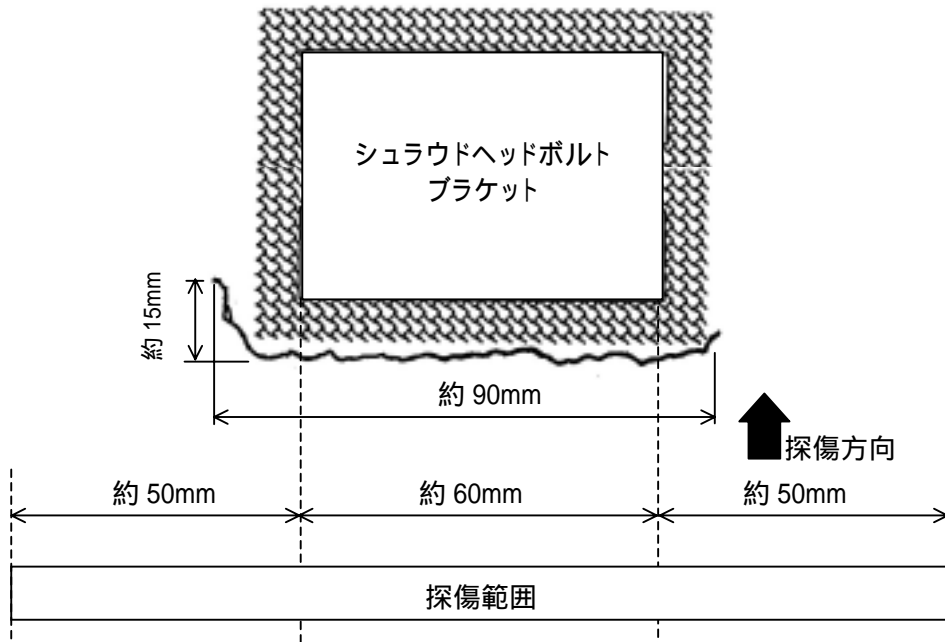
26mm近傍



柏崎刈羽2号機シュラウドヘッドボルトブラケット溶接部近傍の点検結果

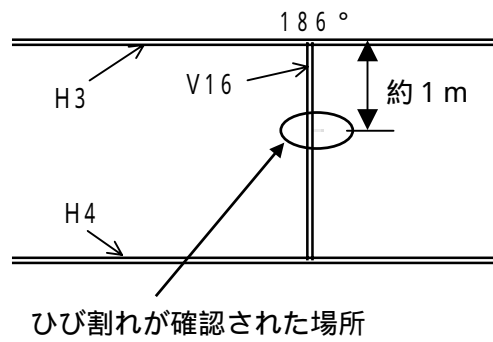


目視点検結果



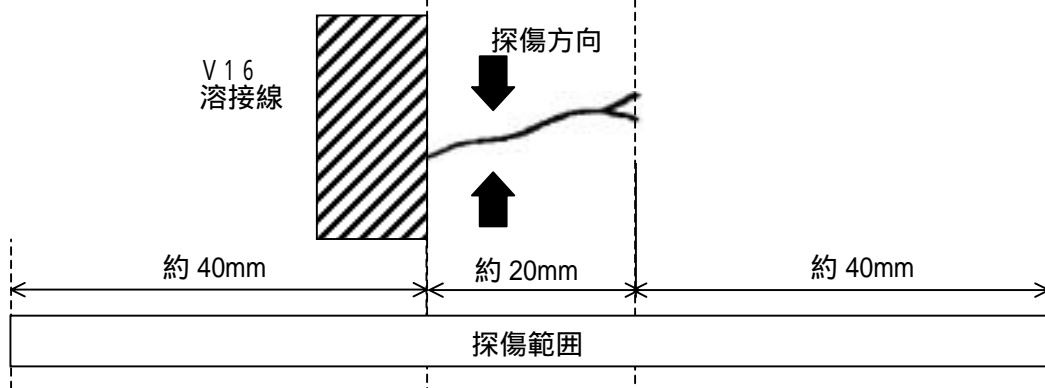
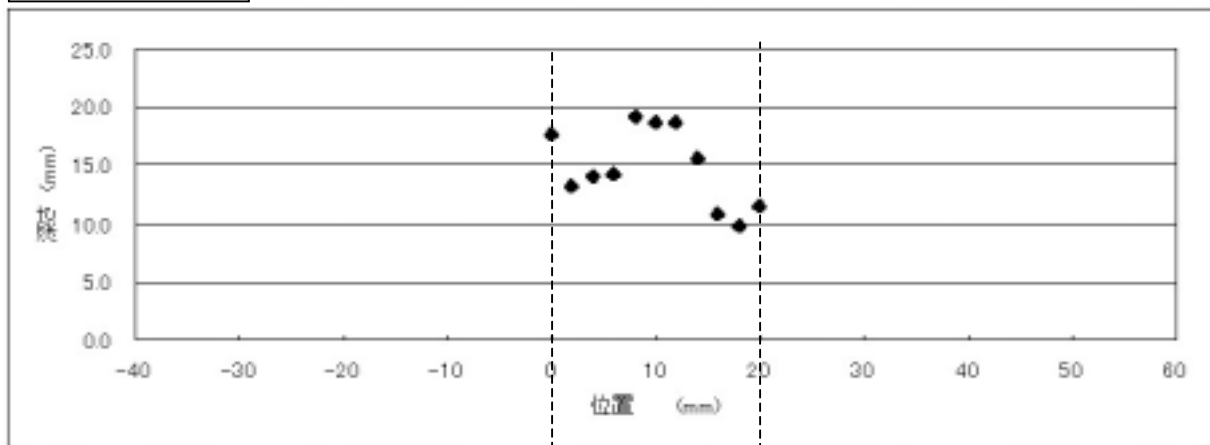
超音波探傷検査結果

柏崎刈羽2号機中間部胴縦溶接部(V16外側)近傍の点検結果

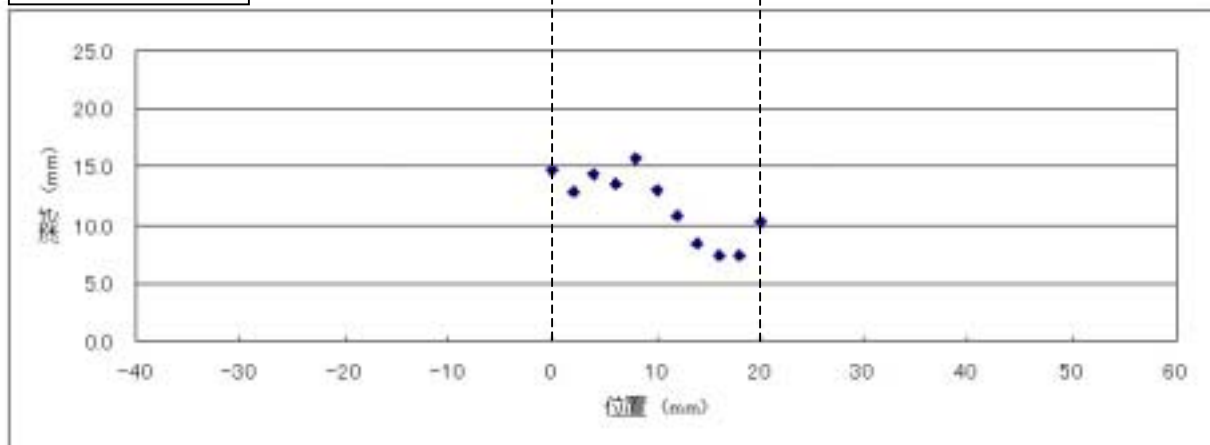


目視点検結果

上からの探傷

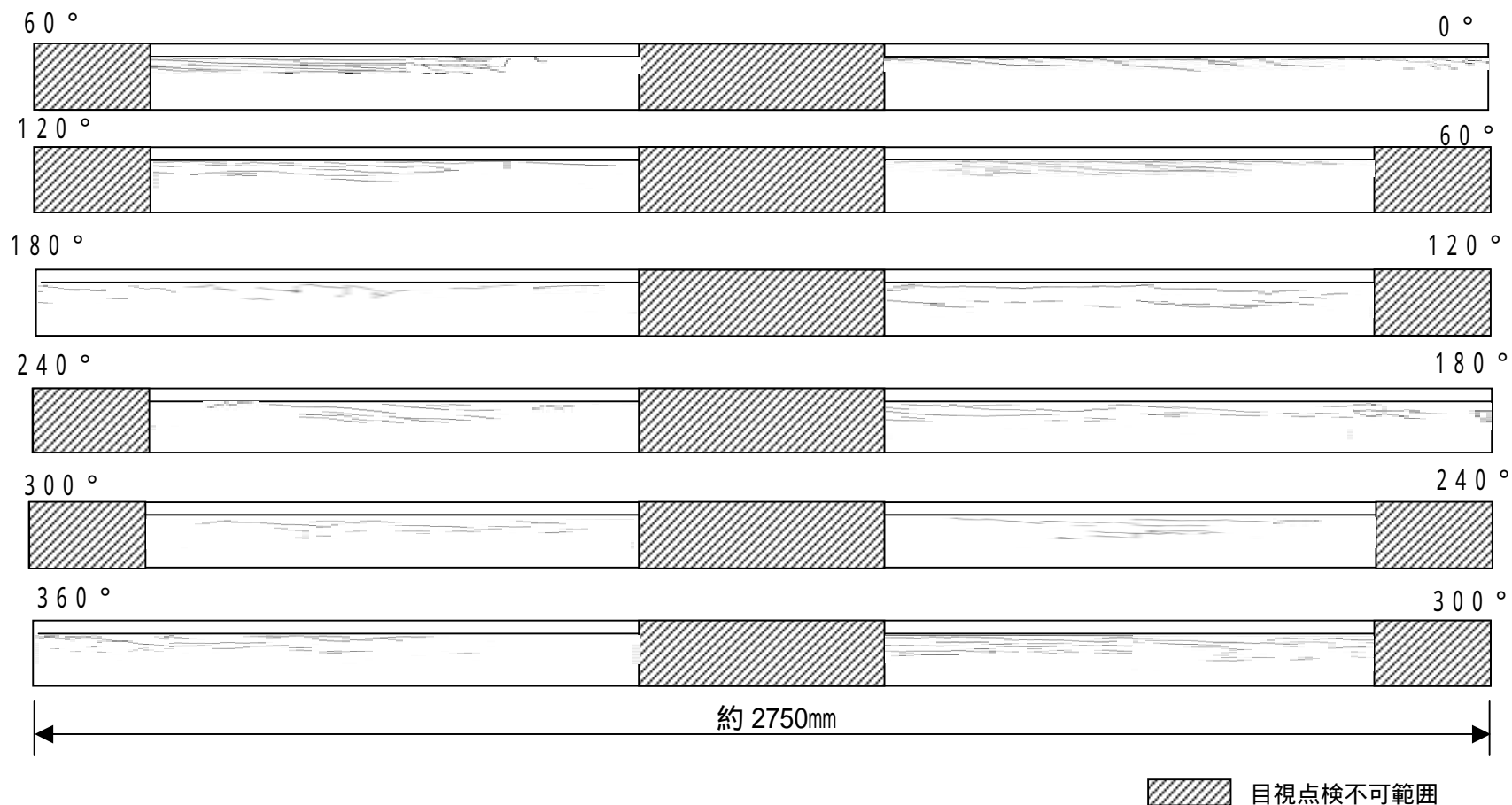


下からの探傷



超音波探傷検査結果

柏崎刈羽2号機下部リング溶接部(H6a外側)近傍の点検結果



目視点検結果

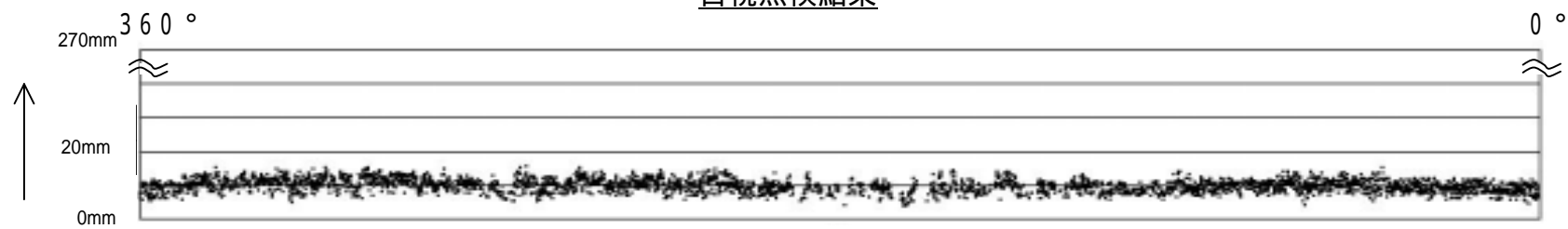
23

270mm

20mm

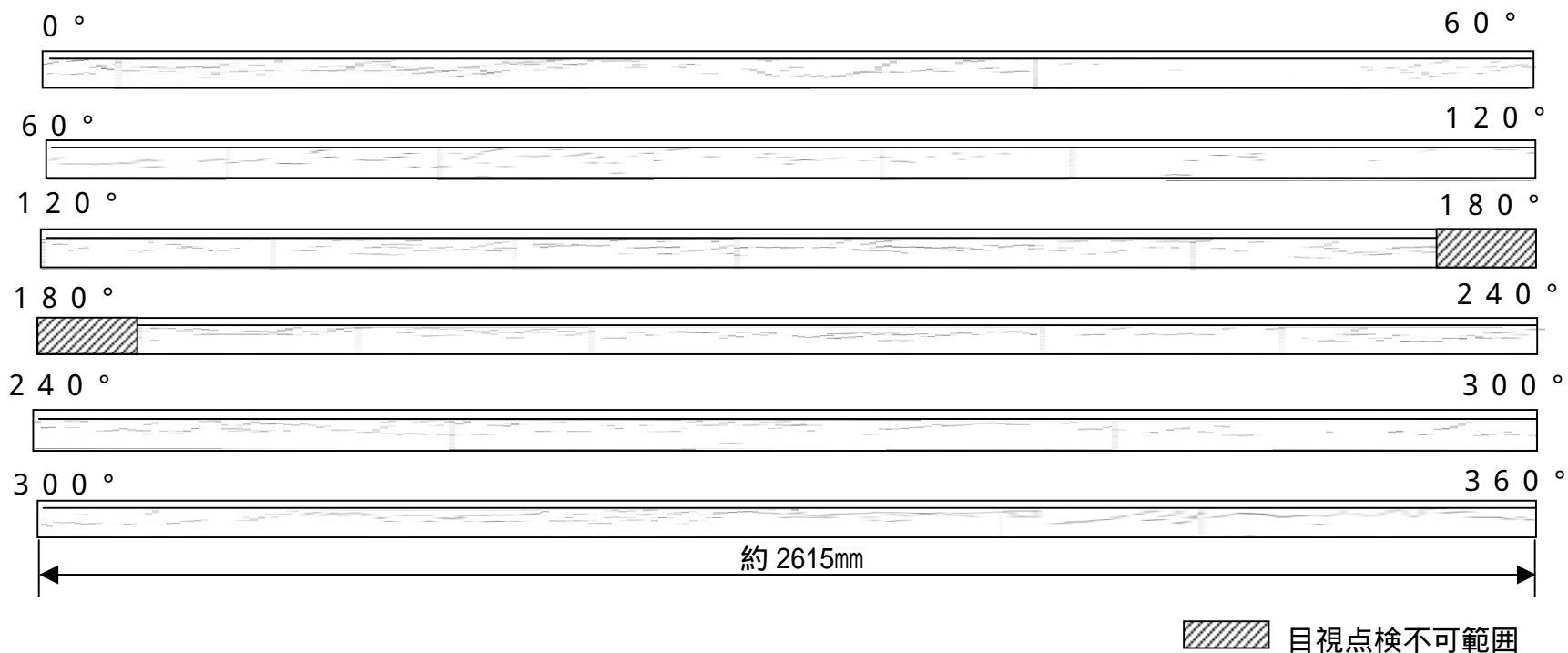
0mm

↑

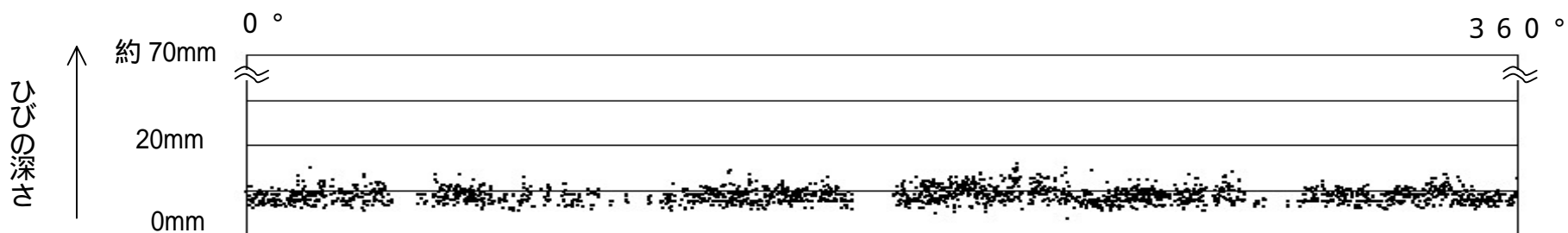


超音波探傷検査結果

柏崎刈羽 2 号機シュラウドサポートリング溶接部 (H 7 a 内側) 近傍の点検結果



目視点検結果



超音波探傷検査結果