

大飯発電所 3号機  
加圧器スプレイライン配管溶接部における  
事象の水平展開について

# 供用期間中検査の有効性について

- 供用期間中検査（I S I）では維持規格に基づき、非破壊試験・漏えい試験を実施することで設備の健全性に問題のないことを確認している。
- 検査に当たっては、経年変化の有無を確認することが重要であるため、**系統を代表する箇所を定点として選定**し、繰り返し検査を行う。

＜定点選定の考え方＞

損傷が発生する可能性が比較的高いと想定される部位を優先的に選定

- ・相対的に応力の高くなるターミナルエンド等の構造不連続部
- ・使用環境条件（温度、水質等）の厳しい部位
- ・過去の損傷発生部位 等



**当該箇所は、**構造不連続部であって運転時の発生応力が高くなる箇所として**定点選定された箇所**であり、今回事象を発見できたことから**I S I は有効に機能**していたものとする。



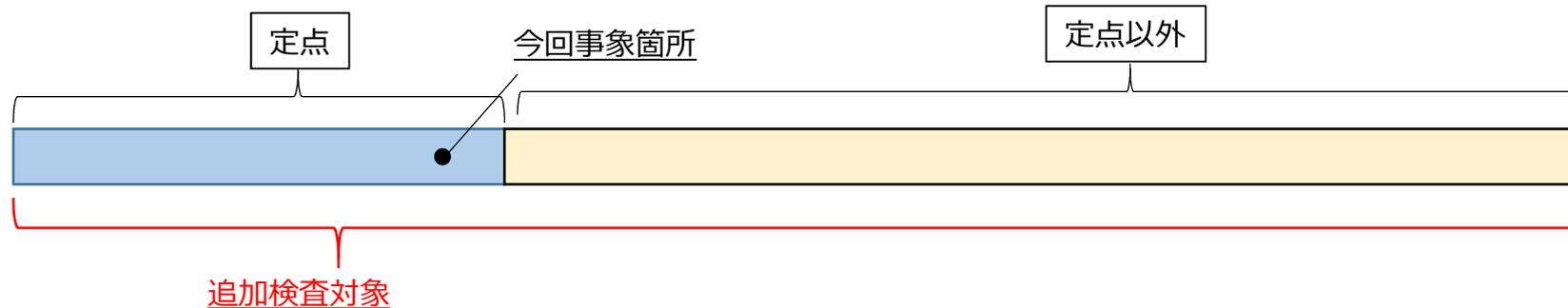
JSME維持規格の追加試験規定では、判定基準に適合しない欠陥指示等を検出した場合、「原則として材料と使用条件が類似な溶接継手、部品または範囲から選定する」とあることから、今回事象の**水平展開**においても**類似性を考慮して検査対象を選定**する。

## 原因調査結果を踏まえた検査対象の考え方について

- 原因調査の結果、今回の事象は「溶接時の過大入熱による硬化に起因するS C C」と判断しており、溶接時の過大入熱は溶接影響（T I G + S M A W溶接）によって生じたものと推定し、**「溶接時の過大入熱による硬化に起因するS C C」の観点でも設備の健全性確認を行う必要がある。**
- 当該事象の水平展開については、以下の考え方で実施し、設備の健全性を確認していくこととする。

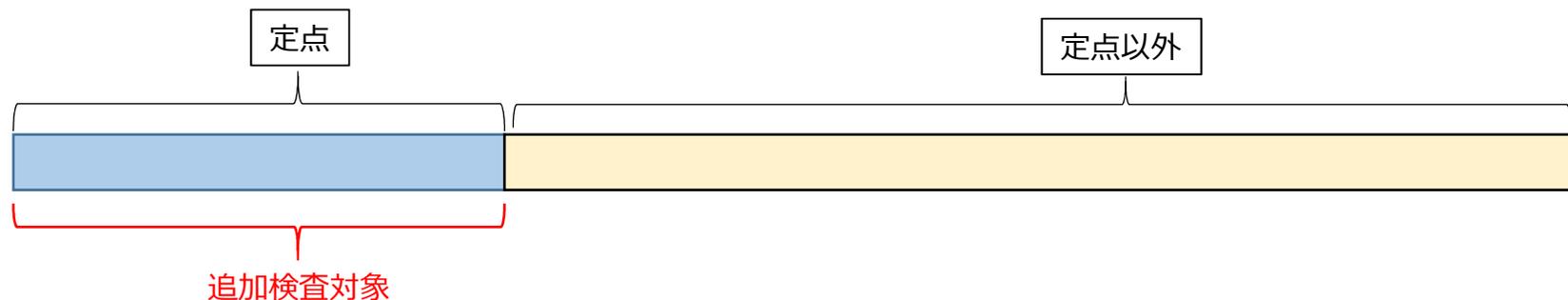
### <①大飯3号機 加圧器スプレイライン>

- 当該系統は定点で傷が確認されていたことから、**全ての溶接箇所を対象に溶接影響が懸念される箇所を抽出し、追加検査を実施**する。



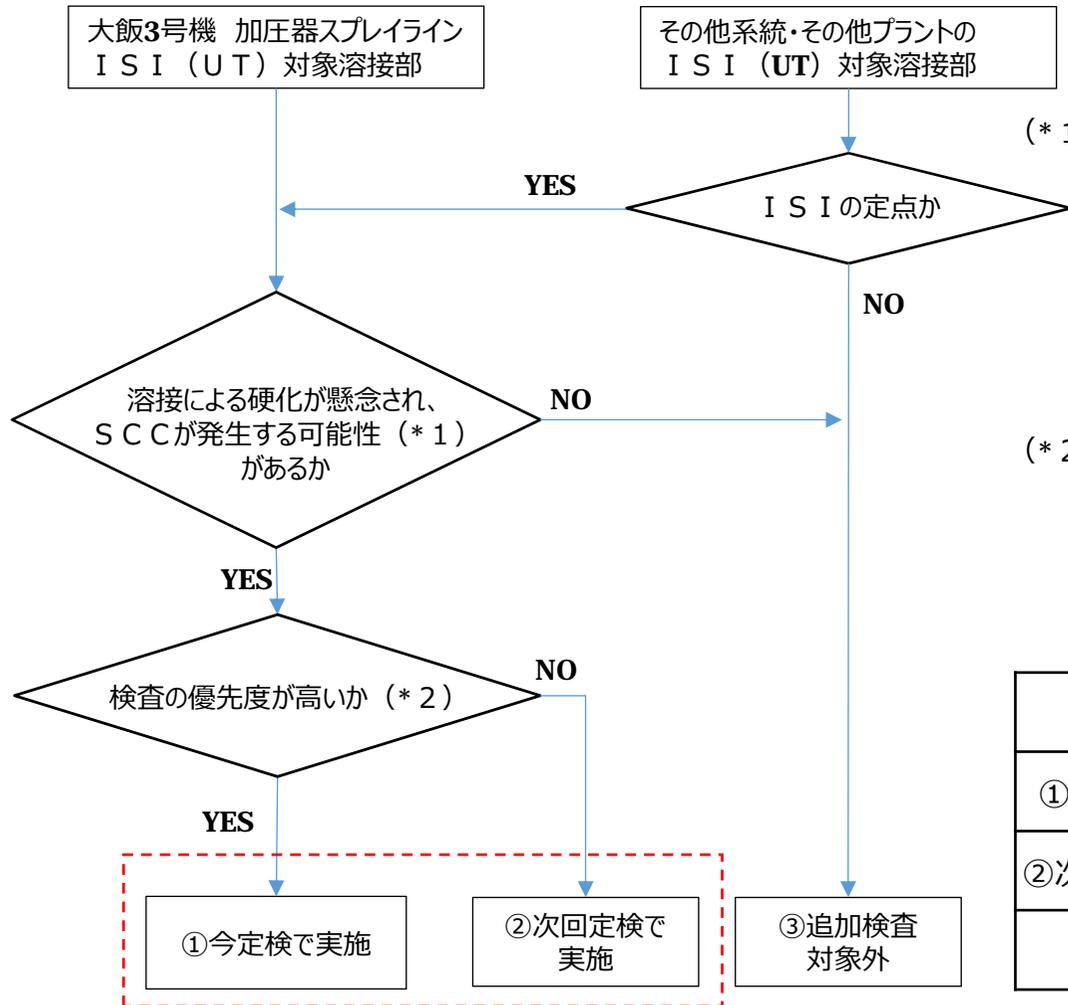
### <②大飯3号機 その他系統、他プラント>

- 大飯3号機のおもな系統および他プラントについては、I S I が有効に機能していることから、**系統を代表する定点を対象に溶接影響が懸念される箇所を抽出し、追加検査を実施**する。
- 追加検査の結果、**同様の傷が確認された場合は、①と同様の対応を行う。**



# 対象箇所を選定フロー

○ 追加検査の対象箇所の抽出は以下フローによる。



- (\* 1) 溶接による硬化に起因するSCCの発生及び進展の要因は以下の重畳と考えられる。
- ・運転温度200℃以上  
(温度の影響を考慮、[4] 参照)
  - ・溶接後の応力改善 (バブ研磨やピーニング) を実施していない  
(残留応力の影響を考慮、[5]参照)
  - ・TIG+SMAW溶接  
(初層溶接において入熱が大きくなる可能性を考慮、[6][7] 参照)

(\* 2) 前回定検で検査を実施し問題のないことを確認している箇所および板厚の大きい1 2, 1 4 Bの配管は、仮に傷が生じていた場合においても裕度が大きいことから、次回定検での実施とする。  
[8] 参照)

フローによる想定箇所数

	M3	T1	T2	T3	T4	O3	O4	合計
①今定検	14	18	23	9	11	9	5	89
②次回定検	10	9	18	9	6	6	7	65
合計	24	27	41	18	17	15	12	154

追加検査

## PWRの温度環境（200℃）とSCC進展との関係

- 電共研において、PWR環境中のSCC亀裂進展速度の温度依存性を検証しており、図1のとおり200℃での進展速度は、硬度300HVの場合10年で2mm程度、250HVの場合100年で1mm程度の進展速度である。
- 配管の硬さについては、今回事象の発生箇所のように極表層では300HVを超える硬さが生じる可能性は有るが、一方、配管内面においては当該箇所においても図2の通り、250HVを下回る硬さであることを確認している。

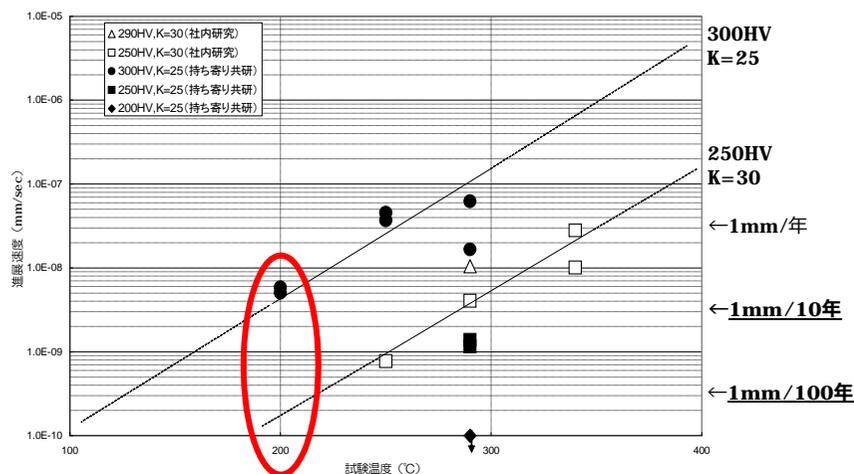


図1 SCC進展速度の温度依存性

出典；寄り共研「維持規格導入に向けたステンレス配管のSCC評価に関する研究」

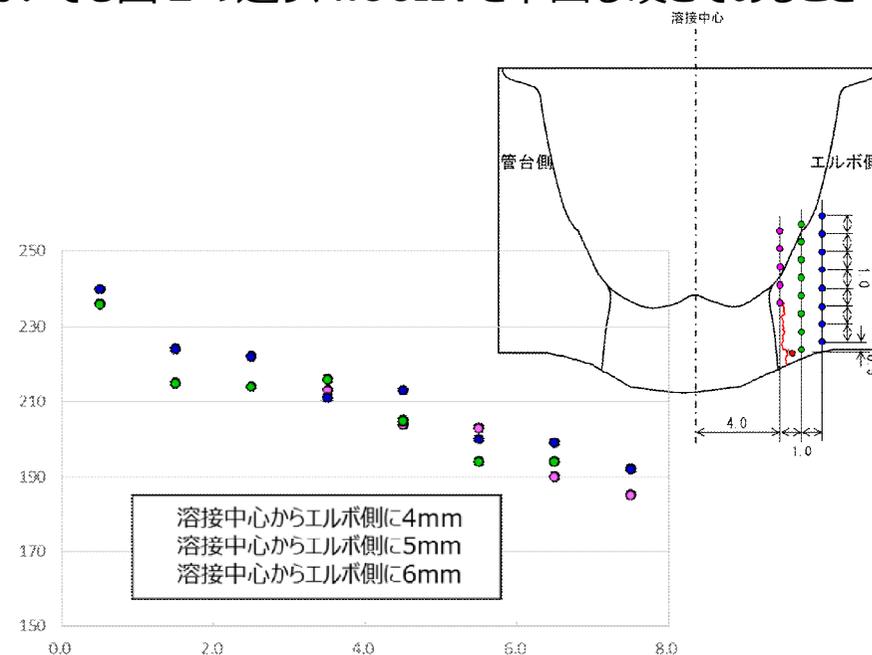


図2 実機硬さ計測結果（溶接部近傍）

- 配管の内面の硬度を踏まえ、仮にSCCが生じた場合でもプラントライフに対し想定される傷は小さいことから、**200℃未満の箇所は対象外**とする。

## 残留応力の改善

○ 応力改善（バフ研磨、ピーニング）を行うことで、表面の残留応力は引張りから圧縮方向へ改善できる。



図1 応力改善バフ研磨の効果（三菱重工資料）

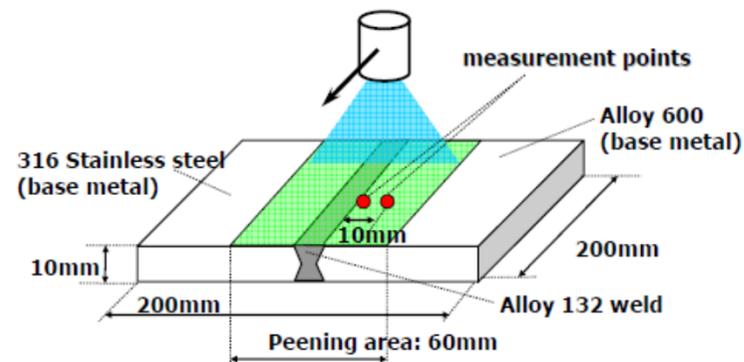


Fig.5 The mockup of butt weld for RV Nozzle safe-end

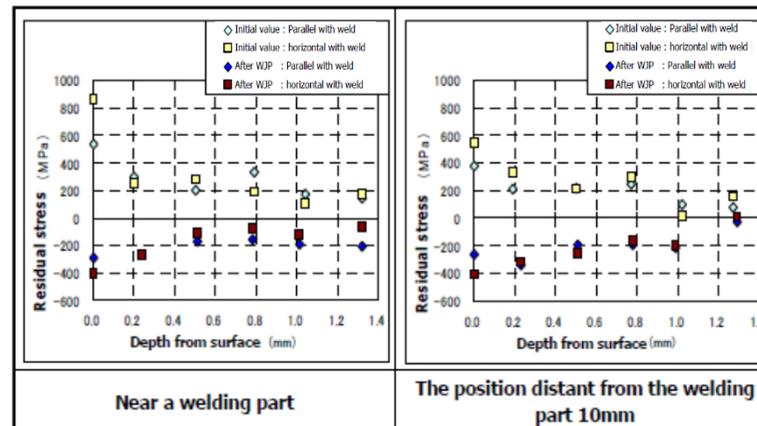


Fig.6 Results of residual stress improvement effect of butt weld mockup

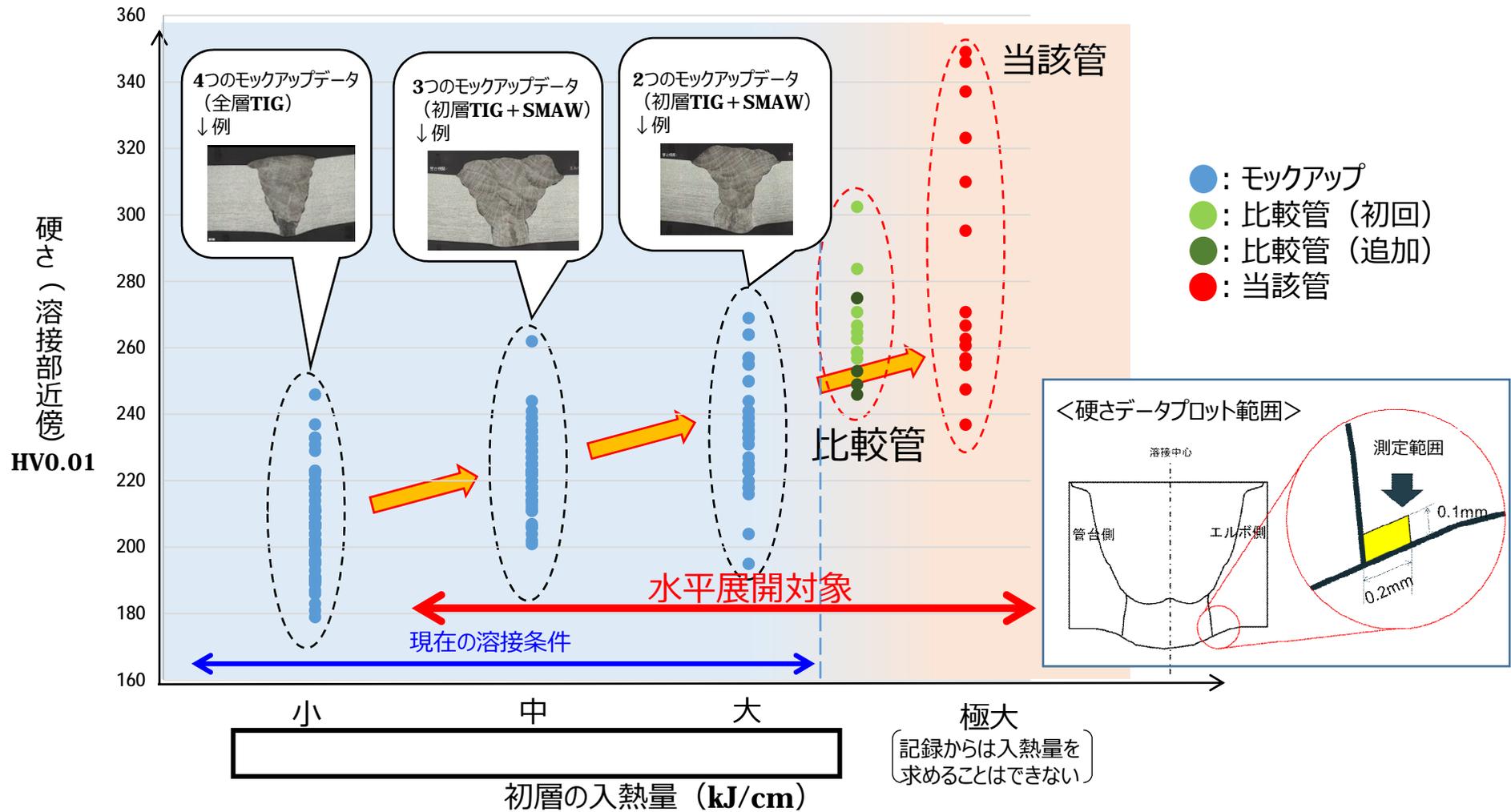
図2 応力改善W J Pの効果

出典 ; Koji Okimura, : ReLIABILITY OF WATER JET PEENING AS RESIDUAL STRESS IMPROVEMENT METHOD FOR ALLOY 600 PWSCC MITIGATION

○ SCCは引張りの応力環境下で生じることから、溶接後に表面の残留応力改善を実施している箇所は対象外とする。

□: 枠組みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

## 溶接影響による硬化について

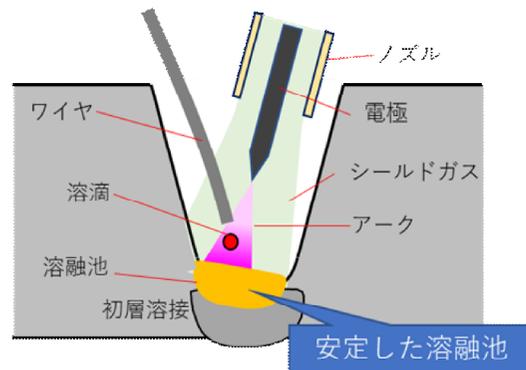


- モックアップ試験により、溶接時の入熱量の増加に伴い硬くなる傾向が認められた。
- 比較管については追加で硬さデータを採取し、**270HV**程度であることを確認されているが、施工性の観点（現地溶接と工場溶接の差異）での当該管との差別化は難しいと考える。
- 一方、全層Tigの硬さデータは**250HV**以下であるが、硬さの高い溶接部は、いずれも初層Tig+SMAWで施工されていることから、溶接方法が同じ箇所については水平展開対象とする。

## 溶接手法による初層溶接の入熱について

- 当該箇所及び比較管の溶接部について、硬化の原因を検討したところ、両溶接部は「初層TIG+SMAW」で溶接されていることから、溶接手法による初層の入熱について以下の通り検討した。

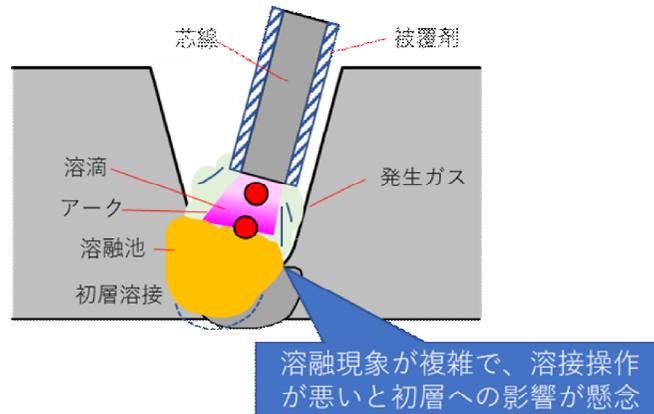
### 【2層目：TIG】



### <全層TIG>

- TIG溶接では、被覆剤なしのワイヤ、シールドガスを用いた非消耗電極式溶接法のため、2層目以降の溶接においても比較的安定した溶融池が形成される。

### 【2層目：被覆アーク】



### <初層TIG+SMAW>

- 被覆アーク溶接は被覆剤を塗布した溶接棒による消耗電極式溶接法であり電流値により溶接棒の溶融量が影響されるとともにスラグやスパッタ発生で溶融現象が複雑となる。
- このため溶接棒の操作次第では2層目の溶接時に初層への影響が生じ、初層の再溶融による裏波のへこみや溶け落ちを発生させる可能性がある。



溶接士は被覆アーク溶接に置ける上記の現象を避けるため、**初層TIG+SMAWでは全層TIGの初層よりも厚めの初層溶接を行うことで、入熱が大きくなる傾向**がある

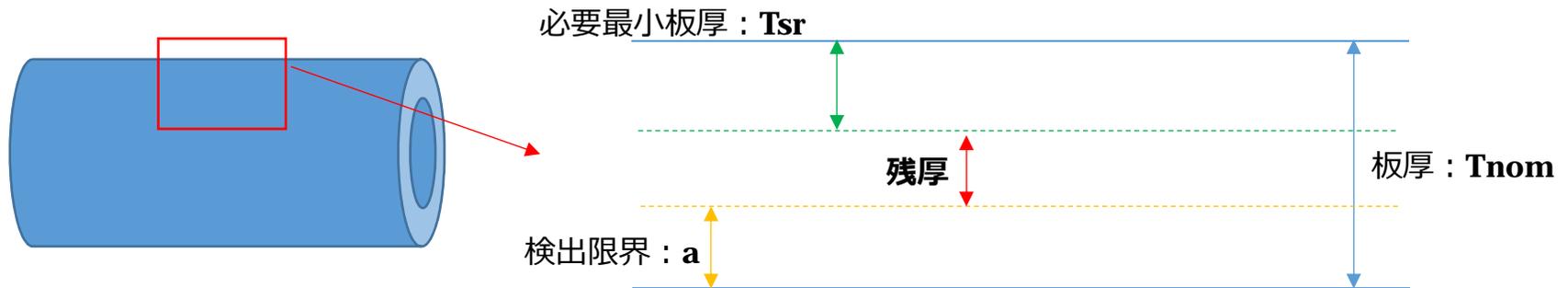
硬化が認められた当該箇所及び比較管に用いられている溶接手法であること及び、初層の入熱が過大となる懸念があることから、**初層TIG+SMAW溶接は追加検査の対象**とする。

## 大口径における板厚の裕度について

○ 過去国プロにて検証した超音波探傷試験の検出限界<sup>※</sup>と必要最小板厚との関係は下表のとおり。

口径	板厚 Tnom (mm)	UT検出 限界深さ <sup>※</sup> a (mm)	必要最小板厚 Tsr (mm)	Tsrに対する残厚 Tnom-Tsr (mm)	UT検出時に、 Tsrに至る迄の残厚 Tnom-Tsr-a (mm)
4B	13.5	2.8	8.2	5.3	2.5
6B	18.2	1.4	11.8	6.4	5
12B	33.3	1.7	22.7	10.6	8.9
14B	35.7	1.7	25.3	10.4	8.7

※「原子力発電施設検査技術事象に関する事業報告書」において100%の検出確率となる欠陥寸法



○ 超音波探傷試験の検出限界と必要最小板厚の残厚は、小口径の配管ほど小さくなるため、**仮に傷が検出された場合の余裕が小さい4, 6 B 配管については優先して実施**する。