

フェーズドアレイ法を用いた高クロム鋼溶接部の 余寿命検査技術

引地 達矢^{*1} 梶ヶ谷一郎^{*2} 齋藤 規子^{*3}
Hikichi Tatsuya *Kajigaya Ichiro* *Saito Noriko*
中川 博勝^{*4} 塩田 佳紀^{*5}
Nakagawa Hirokatsu *Shioda Yoshiki*

国内のボイラプラントで運用されている超々臨界圧ボイラでは、主要耐圧部に高クロムフェライト耐熱鋼が用いられている。これは現在、長期にわたる運転と継手溶接部のクリープ破断強度低下の観点から、溶接部配管の余寿命評価法の精度向上が求められている⁽¹⁾⁽²⁾。IHI グループではクリープ損傷の早期発見を目的に、超音波フェーズドアレイ法の適用検討を行ってきた⁽³⁾。本稿では、クリープ試験体を用いたタイプIVき裂の検出結果、および余寿命検査技術としての超音波フェーズドアレイ法の有効性について紹介する。

キーワード：フェーズドアレイ法、高クロム鋼、余寿命評価、クリープ試験

1. はじめに

国内における超々臨界圧（USC）ボイラでは、主要耐圧部に高クロムフェライト耐熱鋼が用いられている。このプラントの多くが運転時間 10 万時間を超えており、近年では母材および溶接部のクリープ破断強度の低下が懸念されている。このことから、継手溶接部に対する健全性評価の重要性が高まってきている。このような状況から、火力発電プラントの保守点検においては、より精度の高い余寿命診断が求められている。IHI グループではその取組みの一つとして、超音波フェーズドアレイ法（以下、UPA）を用いたクリープ損傷検出技術の研究開発を行ってきた。

今回は、その研究成果である大型のクリープ試

験を用いた UPA によるクリープ損傷検出の有効性について紹介する。

2. 試験概要

試験には、クリープ試験体を用いた。評価方法は、時間とともに変化する損傷の状況を UPA にて比較評価することとした。なお、UPA の適用時期はクリープ試験前、試験中止時、破断時とし、中止時期は、予想される破断時間から任意の時間を選定した。また、寿命消費率は、破断時間を 100% とし、試験中止時の寿命消費率は破断時間の割合から求めた。したがって、UPA の画像比較は、試験前を寿命消費率 0% とした相対的な比較となり、クリープ試験条件が異なっても比較評価ができるようにした。

*1：検査事業部 第一検査部 品質管理グループ 課長

*2：フェロー 博士（工学）

*3：株式会社 IHI 資源・エネルギー・環境事業領域 ボイラ SBU ボイラ設計部 標準化・技術品質グループ 主査

*4：株式会社 IHI 資源・エネルギー・環境事業領域 ボイラ SBU ボイラ設計部 標準化・技術品質グループ 部長

*5：株式会社 IHI 技術開発本部 基盤技術研究所 材料研究部 材料評価グループ

3. クリープ試験概要

図1に試験体形状を示す。試験体は、火 SCM28の溶接継手部から製作した厚さ約60mmの狭開先クリープ試験体である。なお、試験体形状は実際の継手を模擬するため、外面の余盛りおよび内面のシーニング部を残した。また、クリープ試験条件は試験温度650℃および675℃、試験応力50MPaおよび60MPaをそれぞれ組み合わせた条件とした。この条件において、複数の試験体を用いて試験を行った。なお、試験体には探傷側を表す-側および+側の符号を便宜的に付けている。

4. フェーズドアレイ法の試験条件

UPAの探傷に使用した探触子は、超音波の波長が同程度となるよう横波5MHzおよび縦波10MHzの探触子を用いた。UPAのスキャンパターンは、図2に示す通りセクタスキャンとし、溶接部全体が確認できるような探触子配置とした。なお、探傷は-側および+側からそれぞれ行い、実機での探傷を想定し溶接線に対し平行方向に走査してデータ採取を行った。比較する画像は溶接部の断面が確認できる断面画像、および、溶接線の側面が確認できる側面画像の2面とし、それぞれの画像は一定のゲート幅を持った投影画像とした。

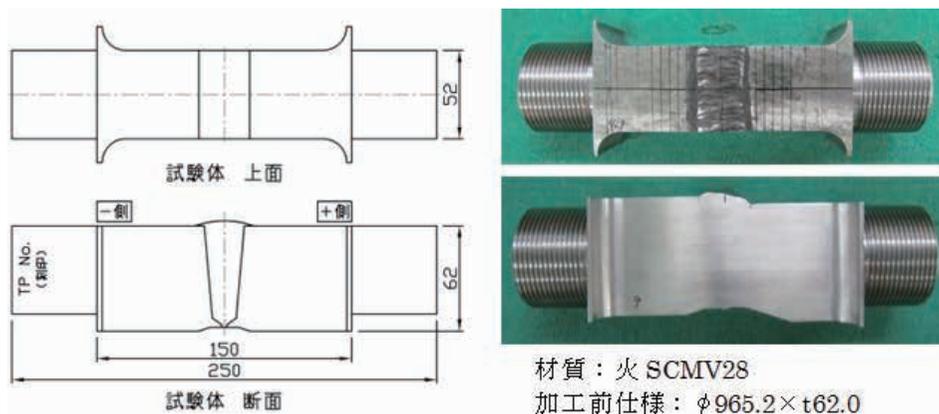


図1 クリープ試験体形状

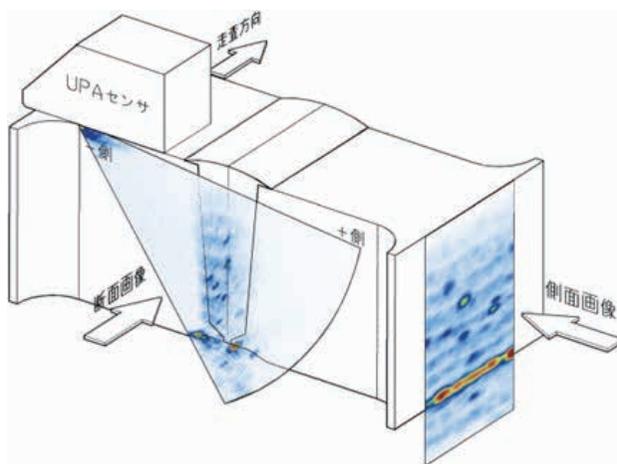


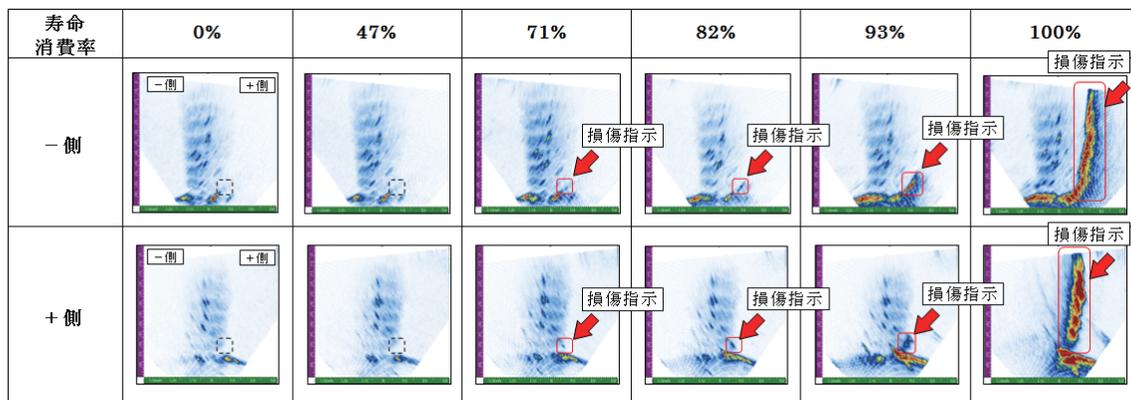
図2 探触子配置

5. 試験結果

図3にサンプルAの横波UPAの探傷結果を示す。画像は、-側および+側からの断面画像である。この図より、寿命消費率71%にて損傷による指示を検出し破断に至っていることがわかる。なお、寿命消費率71%では指示高さがなく、-側と+側では指示形状に大きな差はない。しかし、寿命消費率93%では、-側からの探傷では一つの大きな指示形状を示し、+側からは複数の小さな指示を示している。このことから、-側から反射しやすい性状、つまり+側の開先面に沿った面状の損傷であることが推測できる。また、図4は溶接線方向の指示長さに注目した比較画像である。この図より、寿命消費とともに指示の点在数が増え、その後、溶接線方向に指示の範囲が広が

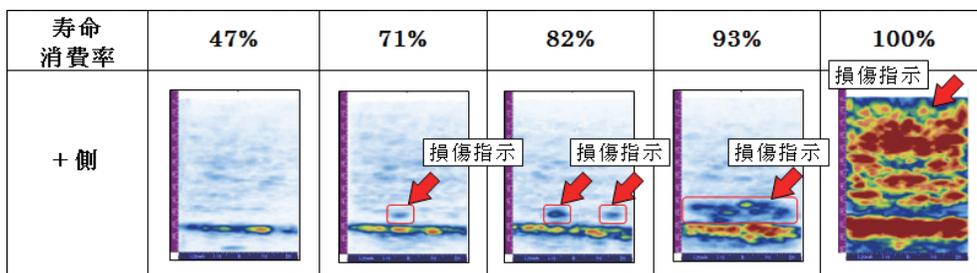
り、最後に高さ方向に指示範囲が広がっていることがわかる。これは、UPAにて損傷の起点と進展状況を推測できることを示している。

図5は横波と縦波の比較である。超音波の波長は横波も縦波も同程度であるが、横波は溶接部をノイズとして検出し、縦波は溶接部ノイズを検出しない結果となった。溶接熱影響部に損傷が発生するタイプIV損傷の検出評価においては、溶接部の形状が把握でき、指示が溶接部内にあるか、HAZにあるのかが判断できる横波が有効であるといえる。一方、縦波は溶接部ノイズの影響をあまり受けないため、横波よりもS/N比が良い。図5の側面画像は損傷部だけにゲートをかかけた投影画像である。この図より、横波は溶接部ノイズも同時に検出しておりS/N比低下の要因となっている。それに対し縦波は、損傷指示のみが明瞭に確



クリープ試験条件：675℃×50MPa

図3 クリープ試験体サンプルAの横波UPA探傷結果（断面画像比較）



クリープ試験条件：675℃×50MPa

図4 クリープ試験体サンプルAの横波UPA探傷結果（側面画像比較）

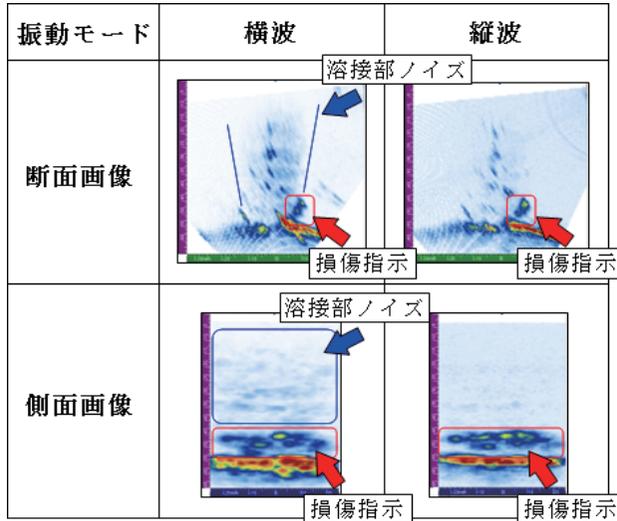


図5 横波と縦波の画像比較

認できる結果となった。反射強度の低い損傷指示や横波のみでは評価が困難な場合は、縦波の適用も有効であると考ええる。

図6は指示高さと寿命消費率の関係を示したグラフである。横波と縦波では指示高に計測性能の差はなかった。傾向として、寿命消費率70%程度から指示を検出し95%付近から急激に指示が大きくなる結果となった。寿命消費率に対する指示高さの傾向は、継手仕様によっても異なると考えられるが、寿命予測を行う上では、UPAは

損傷の変化や状態を確認することができる有用な検査技術であるといえる。

6. 断面組織観察結果

UPAで検出した指示の反射源を特定するため、中止め試験体サンプルBを約1mmピッチで切断し、断面観察を行った。図7および図8は、寿命消費率70%におけるUPA画像と断面組織観察の結果である。UPAにて検出した指示は、断面観察の結果、高さ約2mm長さ約4mmのHAZ細

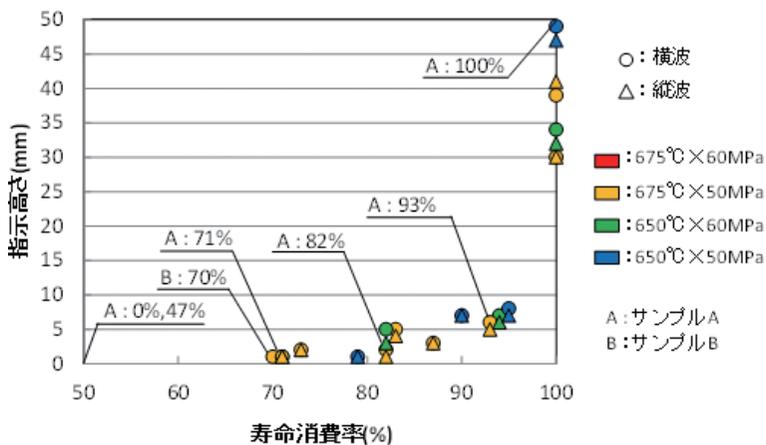
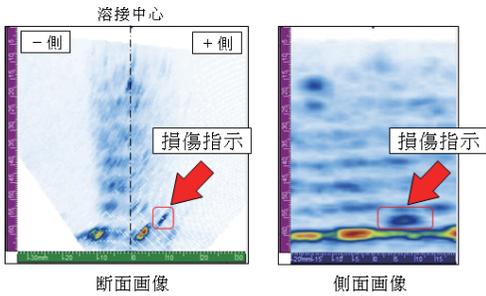
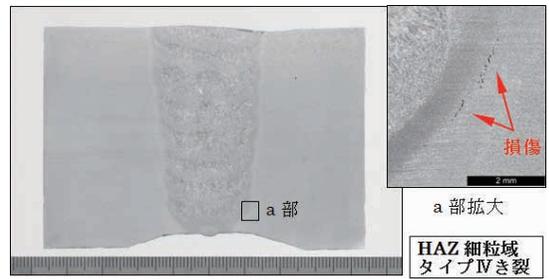


図6 UPAによる指示高さ計測結果

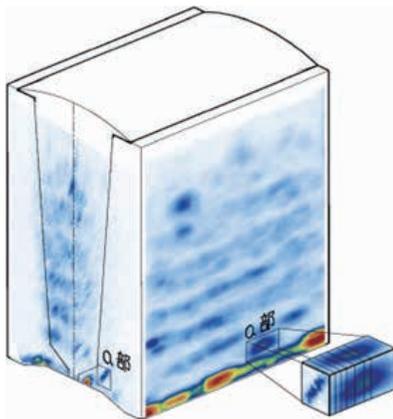


(a) UPA 探傷結果

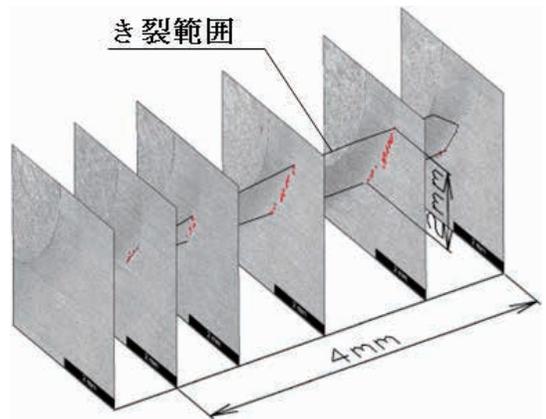


(b) 断面組織観察写真

図7 中止め試験体サンプルBの断面組織観察結果



(a) UPA におけるスライス断面位置



(b) スライス断面観察結果によるき裂範囲

図8 クリープ試験体サンプルBのき裂範囲

粒域のタイプIVき裂であった。なお、マイクロ観察結果では、き裂は完全に連結してはいなかったが、UPA では断続的な微視き裂全体を一つの反射源として捉えていたと考えられる。このように、超音波で損傷を反射面として捉えることができれば、微細な損傷であっても十分検出は可能であるといえる。

7. まとめ

フェーズドアレイ法を用いたクリープ試験体の探傷では、寿命消費率約70%の損傷を検出することができた。また、横波と縦波の比較では検出性能は同等であるものの、横波の方が溶接性状を視認しやすく損傷の位置特定に有効であることが

わかった。フェーズドアレイ法は、損傷を客観的に把握することができる手法である。本結果はあくまで一例であり材厚や材質、検出対象によって最適な検査条件が異なるので、対象に合った検討が必要である。

火力発電プラントにおける高クロム鋼主要耐圧部の健全性評価は、いまだ課題である。より寿命消費の少ない段階で損傷の兆候を捉えることができれば、より長期的なメンテナンス計画を立てることができ、火力プラントの安定運用に貢献することができる。

引き続き検査技術の向上とともに余寿命評価方法の精度向上に努めていきたい。

参考文献

- (1) 久布白圭司、齋藤規子：株式会社 IHI、改良 9Cr-1Mo 鋼溶接部のクリープ寿命評価、日本鉄鋼協会、2015、材料の組織と特性部会、高 Cr 鋼溶接部組織の基礎的理解とその応用自主フォーラム、シンポジウム「高 Cr 鋼溶接部のクリープ変形・破壊」
- (2) 火力設備における電気事業法施工規則第 94 条の 2 第 2 項第 1 号に規定する定期事業者検査の時期変更承認に係わる標準的な審査基準例及び申請方法等について（20120919 商局第 66 号）
- (3) 小林英男、大岡紀一、牧原善次：超音波による欠陥寸法測定 非破壊検査の新しい展開、共立出版、2009



検査事業部 第一検査部
品質管理グループ
課長

引地 達矢

TEL. 045-759-2553
FAX. 045-759-2146



フェロー
博士（工学）

梶ヶ谷 一郎

TEL. 045-791-3523
FAX. 045-791-3547



株式会社 IHI
資源・エネルギー・環境事業領域
ボイラ SBU ボイラ設計部
標準化・技術品質グループ 主査
齋藤 規子

TEL. 03-6204-7520
FAX. 03-6204-8790



株式会社 IHI
資源・エネルギー・環境事業領域
ボイラ SBU ボイラ設計部
標準化・技術品質グループ 部長
中川 博勝

TEL. 03-6204-7520
FAX. 03-6204-8790



株式会社 IHI 技術開発本部
基盤技術研究所 材料研究部
材料評価グループ

塩田 佳紀

TEL. 045-759-2806
FAX. 045-759-2627