



溶接・非破壊検査技術センター

技術レビュー

Vol. 1 2005

(財) 発電設備技術検査協会

目次

巻頭言	● 技術レビュー発刊にあたって	1
	理事長 向 準一郎	
トピックス	● 溶接・非破壊検査アカデミーが開講	2
研究報告	● 溶接継手の健全性確保に関する研究	
	原子炉圧力容器鋼 (SQV2A) のテンパービード溶接法に関する研究	3
	水野亮二 Peter BRZIAK (Industrial Institute of Slovak Republic) Mirosław ŁOMOZIK (Polish Institute of Welding) 松田福久	
	● 欠陥検出評価技術に関する研究	
	炉内構造物検査への渦流探傷技術の適用性評価	8
	程衛英, 古村一朗, 志波光晴	
	Phased array 超音波探触子音場の数値シミュレーション	14
	古川敬, 山田晶宏, 古村一朗	
	● 材料劣化評価技術に関する研究	
	交流磁化を用いた溶接構造物の非破壊による健全性評価方法の開発	19
	志波光晴, 程衛英, 糸亮一, 堀井行彦	
	● 材料劣化事象に関する研究	
	放射光による高温高圧純水中 in-situ での応力測定	24
	中東重雄 山本厚之, 寺澤倫孝, 三田村 徹, 山田孝幸, 劉 莉, 椿野晴繁 (兵庫県立大学) 秋庭義明 (名古屋大学)	
	● 技術基準・規格化関連調査関係	
	ASME 規格委員会でのボイラ規格に係る検討の状況	29
	吉田和夫	
	P D 認証制度の動向について	32
	山口篤憲	
成果	● 出願特許一覧	36
	● 学協会誌等への論文発表	37
	● 学協会等への口頭発表	39
	● 論文等表彰	47

技術レビュー発刊にあたって

当協会は、昭和45年6月、発電設備の品質維持・向上及びこれに係る技術の進歩、発展を図り、人命及び財産の安全の確保に寄与すると共に、電気事業及び電気工業の発展に資することを目的とする公益法人として設立されました。現在では、火力発電所の安全管理審査を行う指定機関業務、原子力発電所の定期検査の技術支援等を行う検査・技術サービス業務、発電設備の溶接製品認証制度に基づく溶接製品認証業務、ISO9001と14001に基づく品質及び環境に対するISOマネジメント審査登録業務、確性試験による新しい技術の検証、並びに発電設備に関する調査研究業務等を積極的に実施しています。

特に調査研究業務としては、昭和47年以来発電設備の信頼性、検査技術、品質管理等について多くの調査研究を実施しておりましたが、現在ではそのノウハウを十二分に発揮するため、研究部門を溶接・非破壊検査技術センターに集約し、研究分野を競争力を有する溶接管理技術、非破壊検査技術、及び評価技術に絞り込み、協会が提供する検査、技術サービス等の技術基盤を支える調査研究等を行っております。さらに、それら調査研究等で培ってきた技術に基づき、国や民間からの受託調査研究等にも積極的に取り組むと共に、同センターに溶接・非破壊検査アカデミーを付設し、発電設備の保守等に関する技術研修、講習会等を定期的実施し、それらの技術普及にも貢献しております。

本技術レビューは、これらの調査研究業務に携わる研究者等が2004年度に協会独自の研究として実施した、溶接部の健全性に関する研究、非破壊検査技術に対する研究並びに技術基準、規格関連調査等の主要な調査研究内容を取り纏めたものであります。従来、年度業務報告として発刊しておりました発電技検レビューの内容を調査研究等に絞込み、技術報告書としてかたちを整え、当協会の技術的なポテンシャルを多くの方に知っていただくことを目的としています。

本技術レビューをご一読いただき、皆様方から今まで以上のご指導をいただけることになれば、幸いと存じます。



理事長
向 準一郎

溶接・非破壊検査アカデミーが開講

平成16年4月1日付けで、溶接・非破壊検査技術センターに溶接・非破壊検査アカデミーが付設され、研修事業を開始しました。

研修コースは、定期研修コースと個別研修コースを設けています。定期研修コースでは、「超音波探傷試験(UT)欠陥検出コース(Dコース)」、「超音波探傷試験(UT)欠陥寸法測定コース(Sコース)」、「JIS Z 2305 におけるUT受験資格取得のための訓練コース(Pコース)」及び「溶接関連の技術基準・規格講座(Wコース)」の4コースを定期的に開催しました。また、個別研修コースでは依頼に添った個別の研修内容と日程で研修を実施しました。

Dコース及びSコースは、ステンレス鋼配管溶接継手に疲労き裂とSCCを付与した試験体を使用した各5日間の実技訓練コースで、隔月で開講しました。両コースとも最終日にはブラインド試験で研修成果の確認を行い、技量の向上を定量的に評価しています。また、Wコースは、溶接の技術基準等の内容や技術的根拠等をわかりやすく解説する1日コースで、東京と大阪で1回ずつ開講しました。Dコース、Sコース及びWコースでは、初回(Wコースは東京と大阪)に、当アカデミーの宮名誉アカデミー長(東京大学名誉教授)、小林招聘講師(東京工業大学教授[現横浜国立大学教授])及び松田招聘講師(大阪大学名誉教授)が、原子力発電所の健全性確保を目指した取り組み等や最新の溶接技術についての特別講演を行いました。

個別研修コースでは、経済産業省、(独)原子力安全基盤機構や電力等の個別の依頼により、各種非破壊検査技術の実習や、材料、溶接技術に関する講義を行いました。

初年度ではありますが、延べ287名の研修生を受け入れて、当初の目標を上回る成果を得ることができました。



向理事長のアカデミー開講挨拶



講演をされる宮名誉アカデミー長



講演をされる小林招聘講師



講演をされる松田招聘講師とWコース講座風景



ブラインド試験に取り組む研修生

原子炉压力容器鋼(SQV2A)の テンパービード溶接法に関する研究

Appropriate Welding Conditions of Temper Bead Welding for SQV2A Pressure Vessel Steel

溶接・非破壊検査技術センター
Welding Research Institute-
Industrial Institute of Slovak Republic
Polish Institute of Welding
大阪大学名誉教授

水野 亮二
Peter BRZIAK
Miroslaw LOMOZIK
松田 福久

Temper bead welding technique is one of the most important repair welding methods for large structures for which it is difficult to perform the specified post weld heat treatment. Appropriate temper bead welding conditions to improve the characteristics of heat affected zone (HAZ) are investigated for pressure vessel steel SQV2A corresponding to ASTM A533 Type B Class 1.

A thermal/mechanical simulator is used to give specimens welding thermal cycles from single to quadruple cycle. Charpy absorbed energy and hardness of simulated CGHAZ by first cycle were degraded as compared with base metal. A behavior of improvement for these degradations by subsequent cycles is discussed and appropriate temper bead thermal cycles are suggested. When the peak temperature lower than Ac1 and near Ac1 in the second thermal cycle is applied to CGHAZ simulated by first thermal cycle, the characteristics of CGHAZ are improved enough. When the other peak temperatures (that is, higher than Ac1) in the second thermal cycle are applied to the CGHAZ, third or more thermal cycle with temper bead process should be applied to improve the properties.

Ranges of appropriate welding condition are selected based on the above results. The validity of the selected ranges is verified by the temper bead welding test.

Keyword: Temper bead welding, Repair welding, Low alloy steel, Pressure vessel steel, Welding thermal cycle, Toughness, Hardness, PWHT

1.....はじめに

テンパービード溶接法は溶接後にPWHTを行えない構造物等を補修溶接する場合、その初層溶接のHAZ硬化部を次層以降の溶接熱サイクルによりHAZ組織を改善し、硬さの低減や靱性の回復を行うことを目的とする溶接施工法である。テンパービード溶接法は補修溶接法としてASME B&PV code, Section XI Division1 IWA-4600等に規定されている。近年、このASMEコードにおいてGTAWのテンパービード溶接層が6層から3層に改定されている。また、JSME発電用原子力設備規格維持規格(2004年版)においては6層に規定されている。しかしながら、テンパービード溶接法における初層と次層以後の溶接条件の関係は必ずしも一般的な形で確立されておらず、又どのような熱サイクルを与えると最

適なテンパー処理ができるかという加熱、冷却条件も不明確である。このためには、テンパービード溶接法における熱サイクル条件とHAZ硬化部の冶金的性質を明確にし、その性質を定量化することが必要である。これによりテンパービード溶接条件の最適化が可能となる。本研究では、原子力压力容器鋼SQV2Aを用い溶接熱サイクル再現試験により硬さ低減、靱性改善のための適正溶接熱サイクルを明らかにし、これを行うための適正溶接条件範囲を検討した。また、適正溶接条件範囲の妥当性を確認するためにテンパービード溶接試験を行った。

2.....溶接熱サイクル再現試験

2.1 試験方法

SQV2A (JIS G 3120)の化学組成をTable 1に示す。この材料はASTM A533 Type B Class 1に相当

するMn-Mo-Ni低合金鋼である。Fig.1に試験片の形状を示す。試験片を板厚36mmの板材より試験片の長手方向が圧延方向に対して平行になるように加工した。熱サイクル付与後靱性評価のために試験片をシャルピー衝撃試験片(JIS Z 2202 4号試験片)に再加工した。シャルピー衝撃試験は20にて実施した。また、硬さ評価のために、試験荷重1kgにてビッカース硬さ測定を行った。

Table 1 Chemical composition of SQV2A used (wt%). (36mmt)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo
0.18	0.28	1.43	0.006	0.002	0.69	0.51

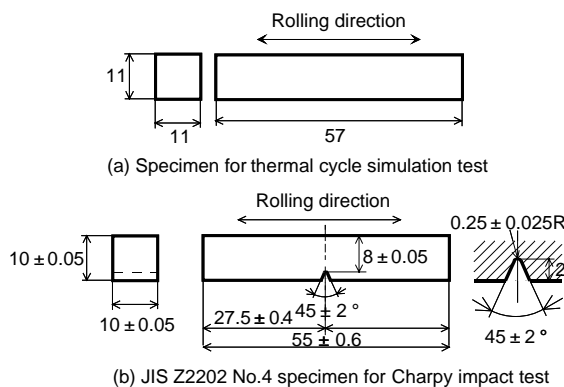


Fig.1 Shape of specimens to simulate welding thermal cycles and Charpy impact test.

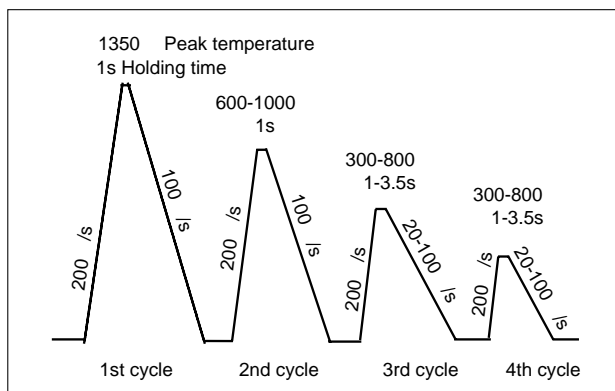


Fig.2 Simulated welding thermal cycle.

Fig.2に付与した熱サイクルを示す。熱サイクルは1～4重サイクル付与した。第1熱サイクルは粗粒熱影響部(CGHAZ)を模擬するためにピーク温度1350の熱サイクルを付与した。第2サイクルにはピーク温度が600～1000の範囲の熱サイクルを付

与した。第3, 4サイクルにはピーク温度300～800間の熱サイクルを付与した。

2.2 試験結果

CGHAZを模擬した1サイクル後のシャルピー吸収エネルギーとビッカース硬さはそれぞれ100J, 457Hv1であり、母材の297J, 227Hv1に比べて吸収エネルギーは1/3に硬さは2倍に劣化した。

Fig.3に2サイクル付与した場合の試験結果を示す。第1サイクルで模擬したCGHAZの靱性、硬さの劣化は第2熱サイクルにおいてピーク温度550～Ac1温度の熱サイクルを付与することによって靱性で母材の70%、硬さで350Hv1以下まで回復する。しかしながら、ピーク温度がAc1～Ac3温度の熱サイクルでは靱性は更に70J以下にまで低下した。硬さは750以下では350Hv1以下にまで回復した。第2サイクルにおいてAc3～1000の熱サイクルを付与した場合、靱性は母材の70～95%まで回復するが、硬さはほとんど回復しなかった。

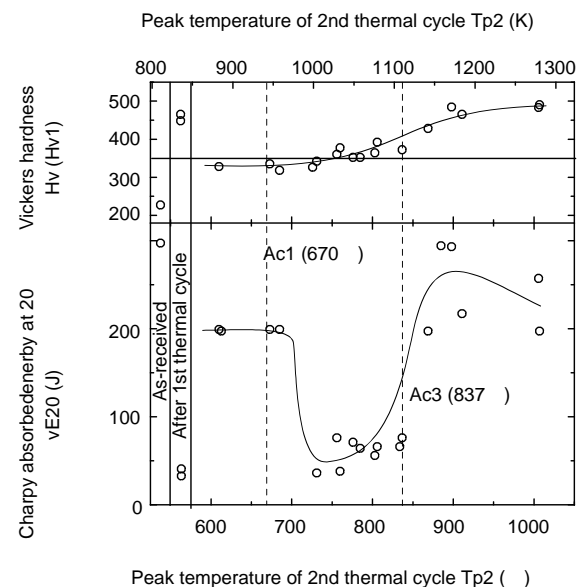


Fig.3 Charpy absorbed energy and Vickers hardness for double thermal cycle.

Fig.4に3サイクル付与した場合の試験結果を示す。第2熱サイクルのピーク温度はAc1温度以下の650, Ac1～Ac3温度の790, Ac3温度以上の930の3通りである。第3サイクルにはピーク温度300～800の熱サイクルが付与された。第2サイクルにピーク温度650の場合(図中), 第3サ

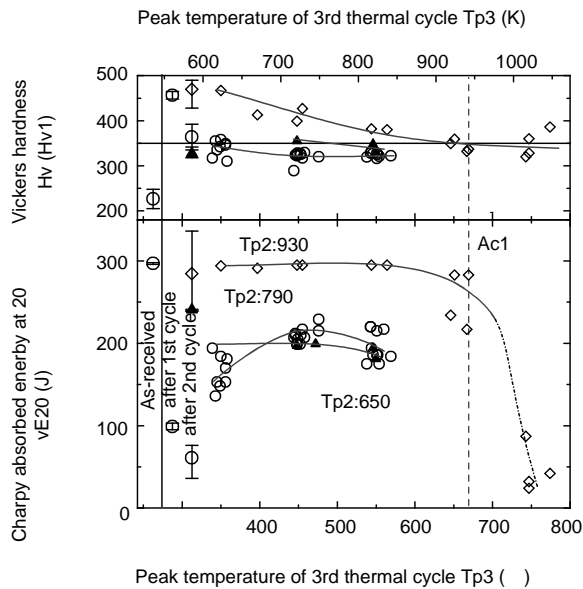


Fig.4 Charpy absorbed energy and Vickers hardness for triple thermal cycle.

イクルでピーク温度 450, 550 の熱サイクルを付与しても靱性、硬さ共にほとんど変化は無かった。第 2 サイクルにピーク温度 790 の熱サイクルを付与した場合 (), 第 3 サイクルでピーク温度 350 ~ 450 の熱サイクルを付与することによって、靱性は母材の 50 ~ 70%まで回復した。第 3 サイクルのピーク温度 450 が最も増加し 200J 以上まで靱性は回復した。また、硬さは 350Hv1 以下まで軟化した。第 3 サイクルのピーク温度 930 の場合 (), 第 2 サイクルのピーク温度が Ac1 温度以下で靱性は母材と同程度まで回復するが、硬さは第 3 サイクルのピーク温度が上昇するにつれて回復度合いは高くなるが 350Hv1 より高いままであった。

Fig.5 に 4 サイクル付与した場合の試験結果を示す。第 2 サイクルのピーク温度は第 3 サイクルにおいて硬さが十分回復しなかった Ac3 温度以上の 900 で模擬された。Tp3 が 750 の場合、第 2 サイクルで約 250J まで回復した吸収エネルギーは第 3 サイクルで約 50J まで劣化するが、第 4 サイクルでピーク温度 450 ~ 550 の熱サイクルを付与することによって再び 250J 程度まで回復した。CGHAZ より FGHAZ の方が回復度合いに高い傾向が見られた。Tp3 が 560 と 650 の場合、第 3 サイクルにおいて吸収エネルギーは更に増加しないが、硬さは回復傾向を示すものの 350Hv1 以下まで回復しなかった。

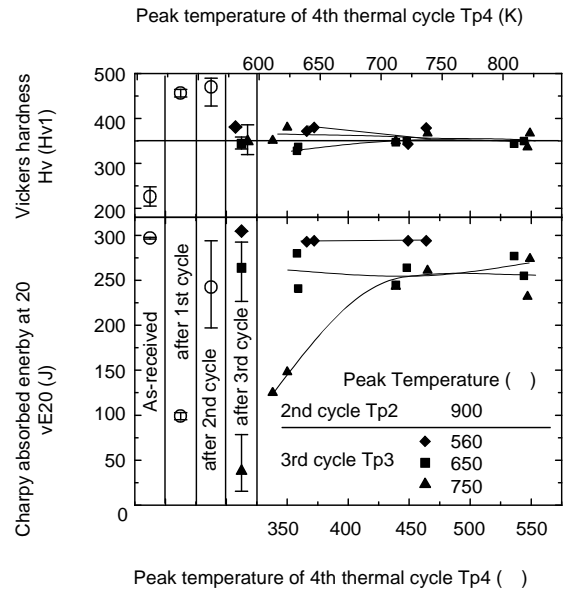


Fig.5 Charpy absorbed energy and hardness for quadruple thermal cycle at peak temperature Tp2 higher than Ac3.

第 4 サイクルでも同様に吸収エネルギーは変わらず硬さも若干回復傾向を示すが完全に 350Hv1 以下まで低下しなかった。

2.3 靱性、硬さ回復のための適正溶接熱サイクル

溶接熱サイクル再現試験により溶接熱サイクルと HAZ の吸収エネルギーと硬さの関係について調査してきた。テンパービード溶接における CGHAZ の健全性の判断基準として、硬さに関しては水素割れ感受性を考慮して 350Hv1 以下とした。また、吸収エネルギーに関してはもちろんより高い方が良いが、ここでは母材の 70%とした。第 1 サイクルで再現された CGHAZ の回復挙動は第 2 サイクルのピーク温度 Tp2 によって 3 通りに分類される。すなわち、Ac1 温度以下の場合、Ac1 ~ Ac3 温度間の場合、Ac3 温度以上の場合である。Tp2 が Ac1 温度以下の場合、CGHAZ の吸収エネルギーはピーク温度 550 ~ Ac1 温度の熱サイクルによって母材の 70% 程度まで回復し、硬さは 350Hv1 以下まで低下する。この場合、HAZ の健全性は 2 サイクルによって満足される。Tp2 が Ac1 ~ Ac3 温度の場合、吸収エネルギーは更に母材の 25% 以下まで低下し、硬さはピーク温度によっては 350Hv1 以下まで低下しない。第 2 サイクルでピーク温度 Ac1 ~ Ac3 の熱サイクルを受け更に靱性、硬さが劣化したとしても、その

後第3サイクルとしてピーク温度450 ~ Ac1 温度の熱サイクルを付与することによって韌性は母材の70%、硬さは350Hv1以下まで回復する。この場合、HAZの健全性は3サイクルによって満足される。Tp2がAc3温度以上の場合、吸収エネルギーは大きく増加し、母材の70%以上場合によっては母材と同程度まで回復する。しかしながら、硬さはほとんど回復せず、350Hv1以上のままである。これに第3サイクルとしてピーク温度Ac1温度以下の熱サイクルを付与することによって、吸収エネルギーは変わらず母材の70%以上であるのが、硬さは350Hv1程度まで低下する傾向にある。しかし、完全には回復しない。更に第4サイクルにおいてピーク温度Ac1温度以下の熱サイクルによって硬さは若干減少し、ほぼ350Hv1以下まで回復する。この場合、3サイクルあるいは4サイクルでHAZの健全性は満足される。

3.....適正溶接条件確認試験

3.1 適正溶接条件

テンパービード溶接法における初層CGHAZの韌性、硬さ回復のための適正溶接熱サイクルについて検討し、前章において適性溶接熱サイクルを示した。著者らはこの適正溶接熱サイクルを適用するための溶接条件を検討し、SQV2Aにおいて2層或いは3層でテンパービード溶接が可能な溶接条件範囲を示してきた[1]。Fig.6にTIG溶接の3層同一溶接条件による予熱ありの場合の溶接条件範囲を示す。横軸は溶接電流、縦軸はワイヤ送給速度を示す。この条件範囲では溶接電圧と溶接速度は一定でそれぞれ10V、8 cm/minである。2層テンパービード条件は初層のCGHAZに2層目においてピーク温度550 ~ Ac1温度の熱サイクルが付与される溶接条件であり、3層テンパービード条件は3層目においてピーク温度550 ~ Ac1温度の熱サイクルが付与される溶接条件である。3層テンパービード条件範囲において点線より上部領域は2層目において初層CGHAZがピーク温度Ac1 ~ Ac3温度領域の熱サイクルになる範囲であり、下部領域は2層目において初層CGHAZピーク温度がAc3温度以上の熱サイクルになる範囲である。CGHAZが第2サイクルでAc3温度以上に再加熱されたとき硬さを350Hv1以下に低減するた

めにはその後ピーク温度Ac1温度以下の熱サイクルが2サイクル以上必要であることが示唆された。この場合、2層目の隣接ビード及び3層目においてこれら熱サイクルが適用されるので、3層で十分硬さ回復が可能であると考えられる。

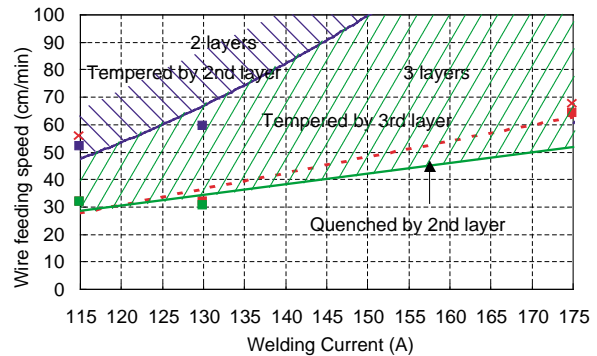
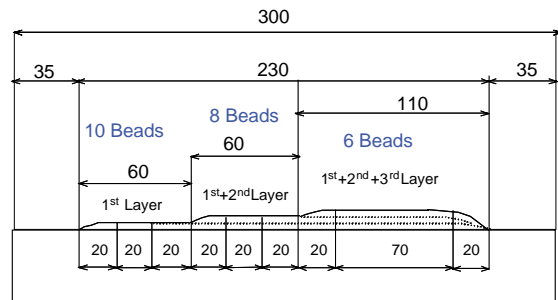


Fig.6 The map of selection for temper bead welding condition. Preheating (150)
Welding voltage: 10V, welding speed: 8cm/min

3.2 溶接方法

Fig.6の適正溶接条件範囲の妥当性を確認するためにテンパービード溶接試験を行った。ビードオンプレートで3層の積層溶接し、硬さ測定によりテンパー効果を評価し溶接条件の妥当性を確認した。その溶接条件をFig.6中のx印に示す。積層方法をFig.7に示す。溶接後テンパー効果を評価するためにFig.8に示す位置においてピッカース硬さを測定した。硬さは溶融境界から約0.5 mmで0.5 mm間隔にて測定した。



Bead overlap: 50%, Lamination shift: 0%

Fig.7 Welding assembly.

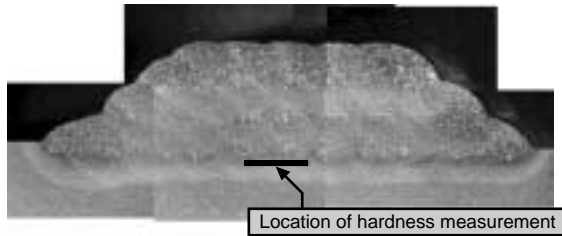


Fig.8 Location of hardness measurement.

3.3 試験結果

Fig.9に予熱ありの場合の硬さ測定結果を示す。全ての溶接条件において初層溶接後の硬さが350HV1以上の領域があるが、一部は隣接ビードの熱サイクルによるテンパー効果により350HV1以下まで低下している。2層テンパービード条件では2層溶接後に硬さは350HV1以下にまで低下しており、また3層テンパービード条件では3層溶接後に硬さは350HV1以下にまで低下した。以上の結果により、溶接条件範囲の妥当性及び2層あるいは3層でテンパービード溶接が可能であり、この溶接条件範囲より溶接条件を選定することにより適正にテンパービード溶接が可能と考えられる。

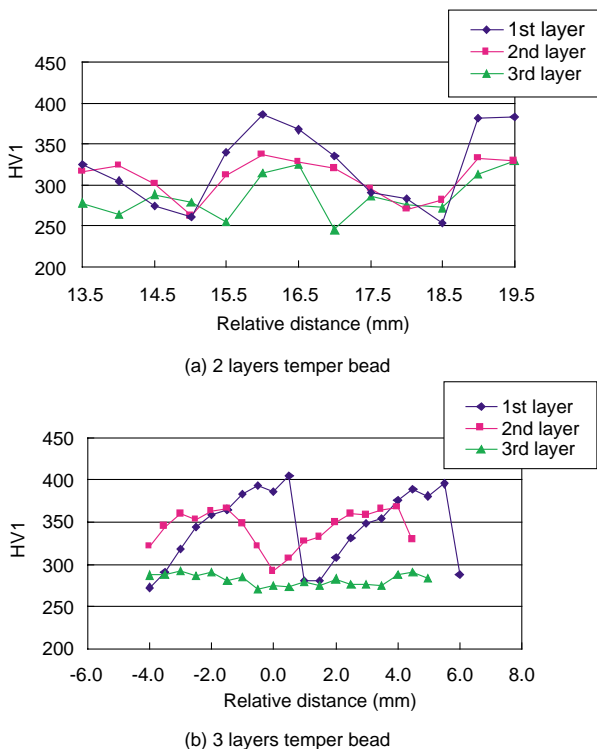


Fig.9 Results of hardness measurement.

5.....まとめ

原子炉圧力容器鋼 (SQV2A) の適正テンパービード溶接条件に関して、再現溶接熱サイクルとシャルピー吸収エネルギー及び硬さの関係を明らかにし、適正溶接条件を検討し、溶接試験によりその妥当性を確認し、以下の結果を得た。

- (1) Tp2が600 ~ Ac1温度の熱サイクルによって再現CGHAZの吸収エネルギーは母材の約70%まで回復し、硬さは350HV1以下まで軟化した。
- (2) Tp2がAc1 ~ Ac3温度の熱サイクルによって再現CGHAZの吸収エネルギーは母材の約25%まで更に劣化し、硬さはTp2がAc1温度 ~ 750では350HV1以下まで回復したが、それ以上では回復しなかった。更にTp3が450 ~ Ac1温度の熱サイクルによって、吸収エネルギーは母材の約70%まで回復し、硬さは350HV1以下まで軟化した。
- (3) Tp2がAc3 ~ 1000の熱サイクルによって再現CGHAZの吸収エネルギーは母材の約70%以上まで回復するが、硬さはほとんど変わらなかった。更にTp3が600 ~ Ac1温度の熱サイクルによって、硬さはほぼ350HV1以下まで軟化するが、完全に350HV1以下にするためには、更にピーク温度550 ~ Ac1温度の熱サイクルが必要である。
- (4) 2層或いは3層で初層CGHAZの靱性、硬さ回復を回復するための適正溶接条件範囲を示し、その妥当性を溶接試験により確認した。

参考文献

- [1] P. Brziak, R. Mizuno, et al., IIW Doc. IX-2076-03, 2003
- [2] R. Mizuno, et al., IIW Doc. IX-2062-03, 2003



水野 亮二

炉内構造物検査への渦流探傷技術の適用性評価

Application of Eddy Current Testing Technology to the Inspection of Nuclear Power Plants

溶接・非破壊検査技術センター 程 衛英
古村 一朗
志波 光晴

Various cracking phenomena in nickel alloy welded joints (Inconel welds) in nuclear power plants have been reported in recent years. Basic studies on the eddy current examination of flaws in nickel alloy welds are carried out. The detecting and sizing capability of eddy current method is investigated through analytical and experimental approaches. Probe's detectability is evaluated numerically, and appropriate probe and examination conditions are selected correspondingly. Numerical signal calculation and crack reconstruction approach is confirmed by the study of eddy current examination on the EDM notched alloy 600 base metal specimens and fatigue cracked alloy 82 weld specimens. The profiles of these defects have reconstructed. The depths of cracks assessed from ECT reconstruction agree well with that from ultrasonic testing. The research presented in this paper shows that by choosing a proper testing situation, eddy current examination is feasible for detecting and sizing of surface-breaking cracks in nickel alloy welds.

Keyword: Eddy Current Examination, Fatigue Crack, Nickel Alloy Weld, Crack Profile, Reconstruction

1.....背景・目的

近年、国内外の原子力プラントにおいて多数の損傷事例が発見され、原子力発電設備の健全性と安全性を確保するために非破壊検査が重要な役割を担っている事が再認識された。なかでも溶接部のき裂等欠陥の検出及び寸法評価は重要な課題である^{1,2)}。本研究では、最近、損傷事例が増加しつつあるBWR炉内構造物やセーフエンド異材継手部・圧力容器貫通部等のニッケル基合金（通称インコネル）溶接部をとりあげ、渦流探傷法（以下ECT法と略記）によるき裂の検出及びサイジング技術を検討した。

2.....数値解析によるプローブの性能評価

ECT法に用いられるプローブにはコイルの巻き方等により種々のタイプがあるが、なかでもプラスポイントプローブはリフトオフや材質変化によるノイズを受けにくいために、溶接部の探傷に適する事が知られている³⁾。本研究では、二種類のプラスポイントプローブ、即ち、プローブZ（外径は約5mm、励

磁周波数は50kHzと100kHz）とプローブB（外径は約8mm、励磁周波数は5kHzと25kHz）を用いた。

これらのプローブの特性を調べるため、き裂の無いニッケル基合金アロイ600（インコネル600相当材）における渦電流分布の解析を有限要素法電磁気シミュレーションにより行なった。アロイ600の導電率と比透磁率には、それぞれ 9.7×10^6 S/mと1.0を用いた。Fig.1に試験片の表面に流れる渦電流分布の解析結果のうち、虚数部の分布を示す。渦電流値の最大値の10%以上の領域をプローブの影響範囲と定義すると、プローブZの影響範囲はおよそ15mm×15mm、プローブBではおよそ30mm×30mmである。Fig.2には渦電流の虚数部の深さ方向の分布を示す（プローブは断面の真上の中心に位置する）。比較的サイズが大きく周波数が低いプローブBでは渦電流はプローブZより深く浸透している事が分かる。渦電流の実数部の解析結果も、虚数部より影響範囲は小さいものの同様の分布を示した。

これらのプローブのき裂深さサイジング性能を評価するために、深さを1, 2, 3, 4, 5, 6mmと変化させたEDMノッチ（長さ16mm、幅0.2mm）に対

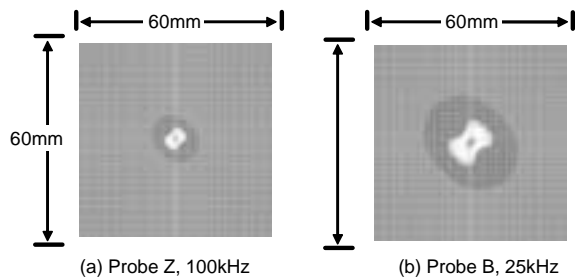


Fig.1 Distribution of eddy current (imaginary part) on the surface of a flaw-free specimen

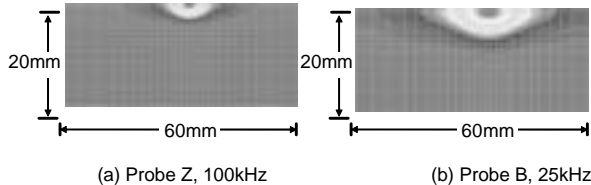


Fig.2 Distribution of eddy current (imaginary part) along the depth direction in a flaw-free specimen

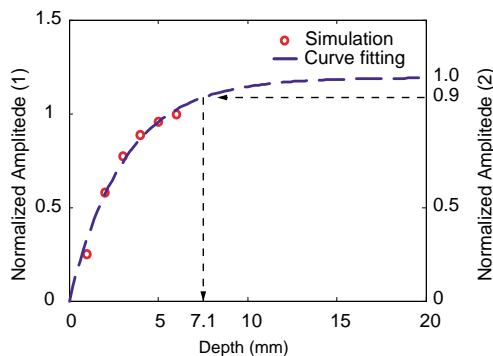


Fig.3 Depth sizing capability of Probe Z (100kHz), estimated from simulation

する ECT 探傷信号を計算した。Fig.3 に示す印は 100 kHz 励磁のプローブ Z の ECT 探傷信号をノッチ深さに対して示したもので、左側の縦軸 (1) は解析した最大深さの EDM ノッチ (深さ 6 mm) の探傷信号振幅値を 1 として規格化して示してある。また、図中の曲線は、それら印のデータを指数関数で曲線近似したものである。この曲線近似の結果を見ると、ノッチ深さ 10 mm 程度以降は ECT 信号振幅値は飽和に近づいており、この飽和値を規準にして規格化した値を右側の縦軸 (2) に示した。この結果から、このプローブ Z を 100 kHz 励磁の条件で用いる場合の深さサイジング性能を、ECT 信号出力の飽和値の 90% までとして考えれば、約 7 mm までの深さサイジングが可能であると言える。

3.....ニッケル基合金母材の ECT 探傷試験

前項で述べた数値解析 (シミュレーション) によるき裂深さサイジング性能の評価結果を確認するために、アロイ 600 母材に付与した EDM ノッチの ECT 探傷試験による検出性と深さサイジング性を評価した。用いた試験片 (200 × 220 × 20 t) には、長さ 16 mm、幅 0.3 mm、深さが 2, 5, 7, 10, 13 mm の半楕円状の EDM ノッチを付与した。各ノッチの間隔は、ECT 探傷試験時に隣接するノッチの影響が出ないように十分離し、単一き裂と認めてよい間隔とした。また、エッジ効果についても考慮し、試験片端部からも 50 mm 程度離れた位置に EDM ノッチを付与した。

ECT 探傷試験はプローブ B とプローブ Z を X-Y-Z スキャナーに取り付けて自動走査により行なった。まず EDM ノッチの無い部分で計測系のバランスを取った後に、EDM ノッチの長さ方向と平行方向にスキャンし、これと直角方向にステップ送りする矩形走査により ECT 探傷信号を収録した。

Fig.4 および Fig.5 に、プローブが EDM ノッチの真上をノッチの長さ方向に走査した場合の ECT 信号変化を示す。図中の「D13」等の記述は EDM ノッチの深さを示している。

Fig.4 は前項で述べた解析シミュレーションの際に適用した 100kHz 励磁のプローブ Z による探傷試験結果を示しており、EDM の深さが 2, 5, 7 mm までは ECT 信号振幅値の増加が明瞭であるが、深さ 7, 10, 13 mm に関しては信号は飽和傾向にあり変化は少ない。Fig.5 は 25 kHz 励磁のプローブ B による探傷結果を示しており、ECT 信号振幅値の変化は深さ 2, 5, 7, 10 mm の範囲では区別することができる。

これらの ECT 信号振幅値の測定値を EDM ノッチ深さに対して示した結果を、プローブ Z の場合とプローブ B の場合をあわせて Fig.6 に示す。ここでは、それぞれのプローブで得られた実測値を近似して得られた曲線の飽和値を用いて規格化し、プローブ Z の結果を左側の縦軸で示し、プローブ B の結果を右側の縦軸で示した。プローブ Z の場合は、飽和値の 90% までの信号が得られる EDM ノッチ深さは図中に示すように 6.3 mm であり、Fig.3 において述べた解析値の 7.1 mm とほぼ対応しており、解析シミュ

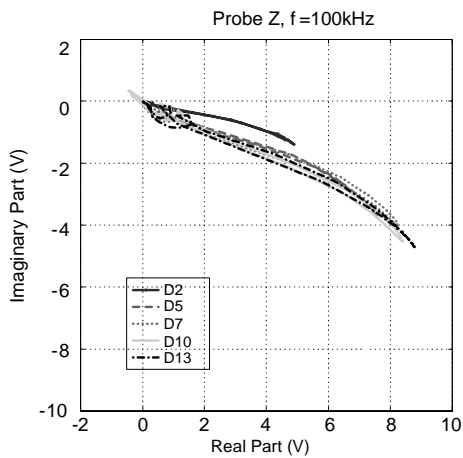


Fig.4 Probe Z response to EDM notches in alloy 600 specimen at 25kHz.

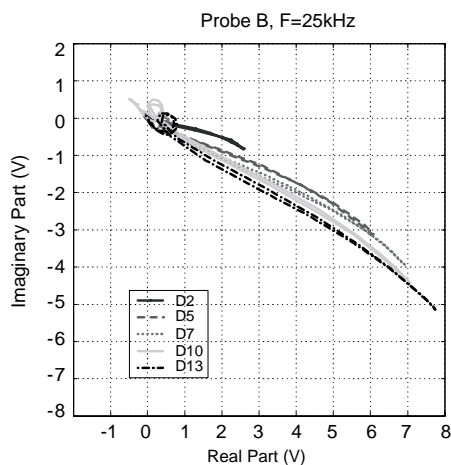


Fig.5 Probe B response to EDM notches in alloy 600 specimen at 25kHz.

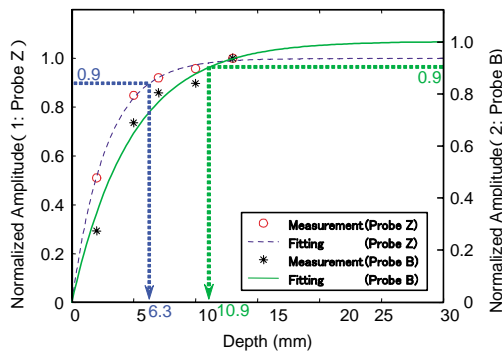


Fig.6 Depth sizing capability of probe Z (100kHz) and probe B (25kHz) in alloy 600 specimen, estimated from measurement result.

レーションによりき裂深さサイジングに関するプローブ特性を評価できることが分かる。また、プローブBにおいては、飽和値の90%までの信号が得られるEDMノッチの深さは10.9mmであり、プローブZに比べて寸法が大きく励磁周波数の低いプローブB

の方が深い欠陥のサイジングに対する適用範囲が広いこと分かる。

なお、解析シミュレーションの結果と実測の結果を比較するためには、標準となる試験片の測定結果からECT信号振幅値とその位相を実測値と合わせるための、振幅値および位相の双方に対する補正係数定める必要がある。Fig.7は長さ16mm、深さ6mmの半楕円EDMノッチを用いて上述の補正係数を求めた後に、EDMノッチ上をスキャンした場合の実測のリサージュと解析で求めたリサージュを比較したもので、振幅値と位相だけでなくリサージュの全範囲で両者が良好に対応している事が分かる。

4.....ニッケル基合金溶接部のECT探傷試験

溶接部の探傷試験には全体がアロイ82溶接金属からなる試験片(Fig.8)を用いた。試験片製作上の都

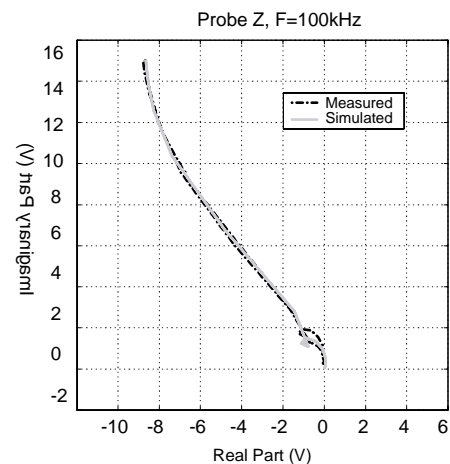


Fig.7 Comparison of Probe Z responses between measurement and simulation for an EDM notch at 100 kHz in alloy 600 specimen.

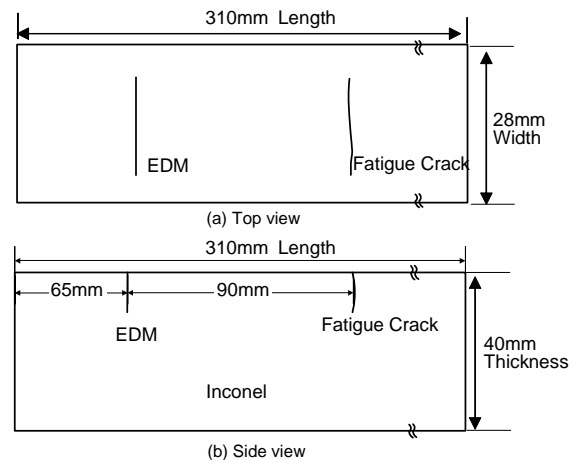


Fig.8 Configuration of alloy 82 weld specimen.

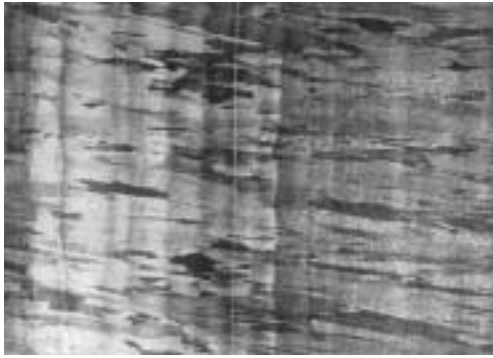


Fig.9 Microstructure of alloy 82 welds on top surface.

合から幅は28mmであり、それぞれの試験体に半楕円のEDMノッチと疲労き裂が幅方向に付与されている。試験体の組織はFig.9に示すようにアロイ82溶接金属が粗大な柱状晶(平均幅は0.7mm)となっており、その成長方向は欠陥の長手方向と平行である⁴⁾。

このような組織異方性が強い材料の超音波探傷(UT)においては、超音波の伝播特性が異方性の影響を受け、また、ノイズ信号も大きいため、欠陥検出および深さサイジングが困難な場合があり、相互補完する技術としてUT以外の他の探傷法も確立する事が重要である。

溶接部におけるECT探傷法のき裂検出および深さサイジング性能を評価するために、まず解析シミュレーションで必要になる溶接部の電磁気特性の測定を行なった。試験体の異なる場所からそれぞれX, Y, Z三方向に導電率と比透磁率測定用試験片を取り出して測定した結果、比透磁率は母材と同じ1であり、導電率は 8.7×10^5 S/mから 8.9×10^5 S/mまで変化していたが、探傷用プローブの有効範囲内における渦電流の積分効果を考慮すると、溶接金属の電磁気特性はほぼ均一であると言える。

一方、溶接金属試験片の幅はFig.8に示すように28mmしかなく、き裂はこの幅方向に付与されているために、き裂の長さ方向の両端付近ではエッジ効果はかなり大きいと考えられる。そこで、この試験片の探傷試験には、プローブ寸法が小さく周波数が高いために影響範囲が小さいプローブZを用いた。Fig.10に、試験片幅方向に長さが14mmで深さが4mmの半楕円EDMノッチから得られたECT探傷の実測信号と、試験片が大きくエッジが無い場合の解析結果を比較して示す。実測値はEDMノッチの

端部すなわち試験片幅方向の側面に近づくにつれ、解析結果から大きくずれている事がわかる。

このエッジ効果を含んだ実測値からエッジ効果を含まない信号を抽出する目的で空間フィルター処理を行なった。Fig.11は、Fig.10の測定信号に空間フィルターをかける前後の結果(虚数成分の場合)を示す。空間フィルターによりEDMノッチの近傍にエッジが存在する場合に、その影響を大幅に低減させることができた。

5.....逆解析によるEDMノッチ形状の再構成

次に、エッジ効果を取り除いた測定信号から、き

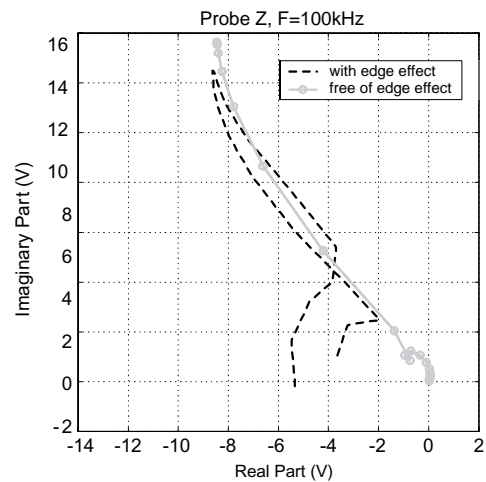


Fig.10 Comparison of signals free of and with edge effect.

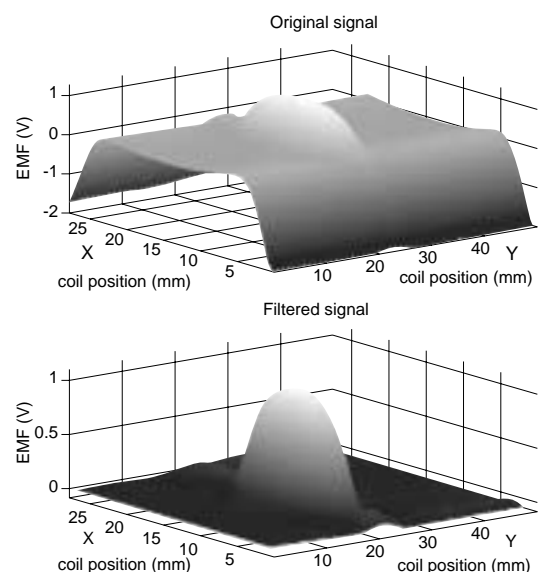


Fig.11 C-scan measurement signal of a close to edge EDM notch, before and after filtering (Imaginary part. Probe Z. 100kHz)

裂寸法・形状を求めるための逆解析を行い、き裂形状の再構成を行った。逆解析の目標関数は

$$J(c) = \sum_{m=1}^M |S_m(c) - S_m^{mea}|^2$$

である。ここで、 c はき裂の形状を表示するベクトルパラメータであり、 $S_m(c)$ と S_m^{mea} は第 m サンプル点の想定き裂に対応して解析した信号と測定信号である。また M は総サンプル数である。測定信号と最も合致する信号を発生する欠陥形状を得るまで、すなわち目標関数の残差が最小になるまで、又は所定のしきい値以下になるまで反復計算を行って、き裂形状パラメータを修正することによりき裂形状を再構成する⁵⁾。なお、ここでは対象とするき裂は平面状のき裂と仮定し、き裂形状は段階状としてき裂形状パラメータをモデリングした。

Fig.12 に、空間フィルターかけた後の信号を用いて、再構成した EDM ノッチの形状を示す。破線で示した矩形の初期ノッチ形状が、反復計算を行なうに従って斜線で示した実際の EDM ノッチ形状に近づいてゆき、最終的にグレーの太線で示した再構成結果が得られた。実際の EDM ノッチが長さ14mm、深さ4mmであるのに対し、再構成結果は長さ14mm、深さ3.6mmであり、逆解析により実際のノッチ形状をよく再構成できていることが分かる。

6.....逆解析による溶接金属中の疲労き裂のサイジング及び超音波 TOFD との比較

Fig.8 に示した試験片に付与されている疲労き裂の逆解析による再構成を行ない、疲労き裂の深さサイジング性能を評価した。この試験片は、まだ切断調査を行っていないため、真のき裂深さが不明であり、ECT法の逆解析によるサイジング結果の精度の評価は、TOFD-UT法による深さサイジング結果と対比することで行なった。

Fig.13 に、ECT法の探傷信号から逆解析により再構成した疲労き裂の形状を示す。この解析においてもエッジ効果を取り除くために空間フィルター処理を行なっている。なお、3項で述べたようにプローブ Z を 100 kHz の探傷周波数で用いた場合は、深さ 6 mm 程度までが探傷可能深さであることから、

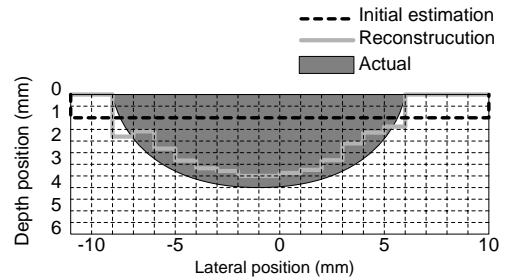


Fig.12 Reconstruction of Inconel weld lodging EDM notch, from filtered signal.

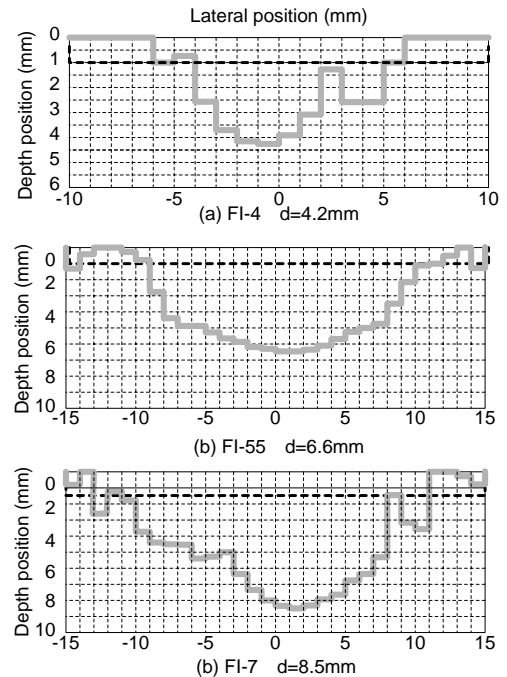


Fig.13 Reconstruction results of fatigue cracks in alloy 82 welds.

(a) : Reconstructed from 100 kHz signals of probe Z
(b) & (c) : Reconstructed from 50 kHz signals of probe Z

Fig.13(a) に示した FI-4 試験片では 100 kHz の探傷信号を用いたが、探傷結果から、き裂がもっと深いと推定された Fig.13(b) 及び(c) の FI-55 試験片と FI-7 試験片では 50kHz の探傷信号を用いて解析した。

ECT法の逆解析による疲労き裂の深さサイジング結果と、TOFD-UT法による深さサイジング結果を対比して Table 1 に示す。三つの疲労き裂のいずれにおいても、TOFD法とECT法が良好に対応していることが分かる。

7.....まとめ

原子炉炉内構造物の随所に用いられているアロイ 600 母材やアロイ 182 および 82 ニッケル基合金溶接

金属部の探傷に対する ECT 法の適用性を評価するために、電磁気シミュレーションと渦流探傷試験およびその逆解析技術を用いてアロイ 82 溶接金属試験片に付与された人工き裂（EDM ノッチと疲労き裂）の形状再構成・深さサイジング性能を評価した。その結果、今回用いたプローブで深さ 10mm 程度のき裂の検出及び深さサイジングが可能であり、その結果は TOFD-UT 法による結果と良好に対応しており、ECT 法の適用性が高いことが判った。現在、応力腐食割れ（SCC）についての試験も実施中である。

参考文献

- [1] 古村一朗，原子力発電設備の非破壊検査技術，日本エネルギー学会誌第 83 巻，第 7 号
- [2] (財) 発電設備技術検査協会，平成 14 年度炉内構造物等特殊材料溶接部検査技術に関する事業報告書，平成 15 年 3 月
- [3] 日本 AEM 学会，ECT 検査技術の高度化研究調査報告書 JASEM-R-9502，1996
- [4] 程衛英 ほか，超音波と渦電流探傷によるインコネル溶接金属の欠陥検出，第 12 回 MAGDA コンファレンス（電磁現象及び電磁力に関するコンファレンス）講演論文集，2003 年 3 月
- [5] Chen, Z., Miya, K., Kurokawa, M., An Approach to Reconstruction of Natural Cracks Using Signals of Eddy Current Testing, Studies in Applied Electromagnetics and Meshanics, Vol. 15. IOS Press

Table 1 Comparison of crack sizing between ECT reconstruction results and TOFD-UT results.

No.	Dimension	ECT	TOFD-UT
FI-4	Length (mm)	12	-
	Depth (mm)	4.2	3.2
FI-55	Length (mm)	23	-
	Depth (mm)	6.6	7.1
FI-7	Length (mm)	25	-
	Depth (mm)	8.5	9.2



程 衛英



古村 一朗



志波 光晴

Phased Array超音波探触子音場の数値シミュレーション

Sound Field Analysis of Ultrasonic Phased Array Probe with Numerical Simulation

溶接・非破壊検査技術センター 古川 敬
山田 晶宏
古村 一朗

A sound field in austenitic stainless steels generated from a phased array probe was calculated using numerical simulation. A large-scale two dimensional finite element method and an array probe model were applied. The sound fields of pulsed wave were analyzed under the different conditions of array probe parameters such as element pitch, center frequency and the wave number. The simulation results of the sound fields were compared with the results of the conventional basic array theory for continuous wave.

Keyword: Ultrasonic Testing, Phased array, Sound field, F.E. M., Simulation

1.....背景・目的

超音波探傷試験によるきず高さ測定精度を改善した改良UT法の一つとして、Phased array (フェーズドアレイ) 法が注目されている。フェーズドアレイ法では、探傷結果を画像化するという特徴に加えて、電子的な設定により超音波の屈折角や集束深さを任意に変えることができる。

アレイ探触子から発生する超音波の音場については、理論的な研究が従来から行われており、超音波医療の分野で広く活用されている。この解析解は、ピストン運動をした振動子から発生する縦波の音場を解いたものである¹⁾。金属材料を対象とした超音波探傷への適用を考えた場合、固体内で縦波と横波の双方の振動が存在するため、固体内での超音波の縦波及び横波の双方の音場を確認する必要があると考えられる。

本研究では有限要素法 (FEM) を用いて、アレイ探触子の振動子ピッチ、中心周波数、波数 (周波数帯域) を変えた条件で固体内の音場を解析し、各因子が音場に与える影響について調査するとともに、連続波の理論による音場の解析解との比較を行った。また、アレイ探触子を用いた斜角探傷を模擬して横穴からの反射エコーのシミュレーション解析を

行い、探傷時の留意点を示した。

2.....シミュレーション解析の原理

アレイ探触子をモデル化した模式図を図1に示す。パラメータは、振動子の幅を d 、ギャップを a (振動子のピッチは $d+a$ の値)、振動子の総数を N として設定した。超音波の送信は、個々の振動子の部分を構成する要素に、図2(a)に示す様に個々に遅延時間と波形を設定して振動を与えることで行い、受信についても個々の振動子の部分での振動を、図2(b)に示すよう時系列で表し受信波としている。探傷波形は、個々の振動子の部分での受信波形に送信時の遅延時間を加えて合成することで算出した。

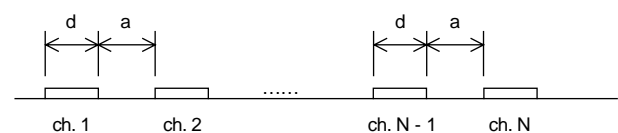
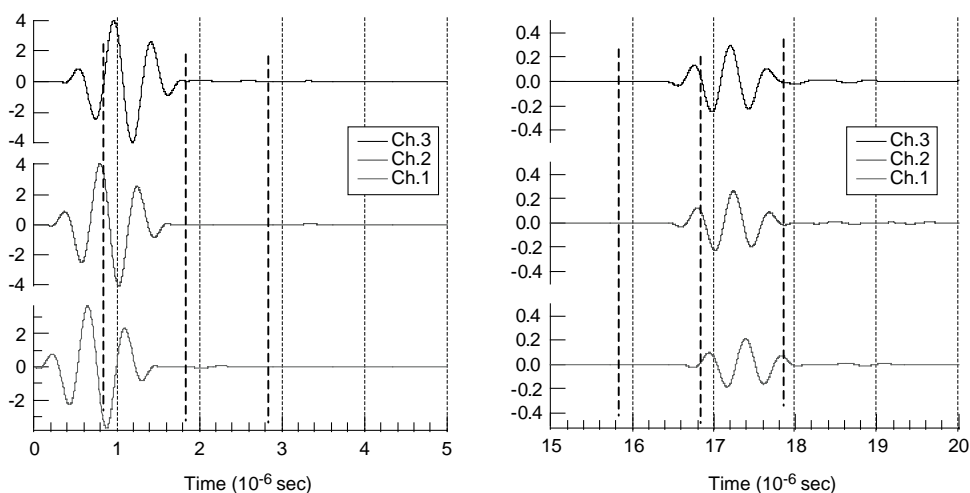


図1 アレイ探触子のモデルの模式図

FEMは陽解法のコードを用い、解析領域を正方要素として要素形状を画一化し、また、部分マトリックス法を用いることで、大規模解析においても、計算時間の短縮と計算機資源の削減を図っている²⁾。



(a)各振動子での送信波の例 (b)各振動子での受信の例

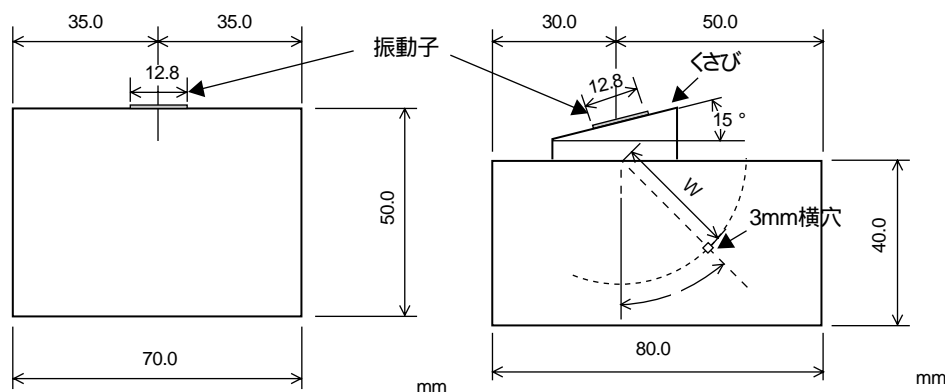
図2 超音波の送受信波形の例

3.....FEM解析モデル及び条件

FEMの解析モデルの模式図を図3に示す。アレイ探触子の開口幅は12.8mmとし、音場解析においては、図3(a)に示す様に試験体へ直接接触させた状態とした。斜角探傷の解析では、図3(b)に示す様に、アクリルのくさびを介して超音波を送受信するモデルとした。試験体はオーステナイト系ステンレス鋼の母材を模擬し、縦波及び横波の音速を各々5,800m/秒、3,100m/秒、密度を $7.9 \times 10^6 \text{g/m}^3$ とした。

アレイ探触子の音場のFEM解析において、周波数の条件は中心周波数を2MHz、3MHz、4MHz及び5MHzの4条件、波数を2波、4波、20波の3条件とした。送信波形の例として中心周波数2MHzでの波数2波と4波の波形ならびにパワースペクトルを図4に示す。また、振動子のピッチは、0.8mm ($d=0.7 \text{mm}$, $a=0.1 \text{mm}$)及び0.2mm ($d=0.15 \text{mm}$, $a=0.05 \text{mm}$)の2条件とした。振動子の総数Nは、0.8mmピッチでは16個、ピッチ0.2mmでは64個とし、開口寸法が12.8mmで同じになる様にした。遅延時間は、縦波の屈折角が10度、45度、60度、70度で非集束の設定とした。ただし、実際の探傷装置の電子回路を考慮し、一例として遅延時間の最小単位を10ナノ秒(AD/DAクロック100MHz相当)とした。

斜角探傷のFEM解析では周波数の条件は、波数を2波、中心周波数が2MHzと5MHzの2条件とした。遅延時間は、屈折角が縦波10度、縦波45度、縦波70度、縦波85度及び横波45度で非集束の条件とし、各々3mmの横穴からの最大エコーが得ら



(a)音場解析における解析モデル (b)斜角探傷の解析モデル

図3 解析モデルの模式図

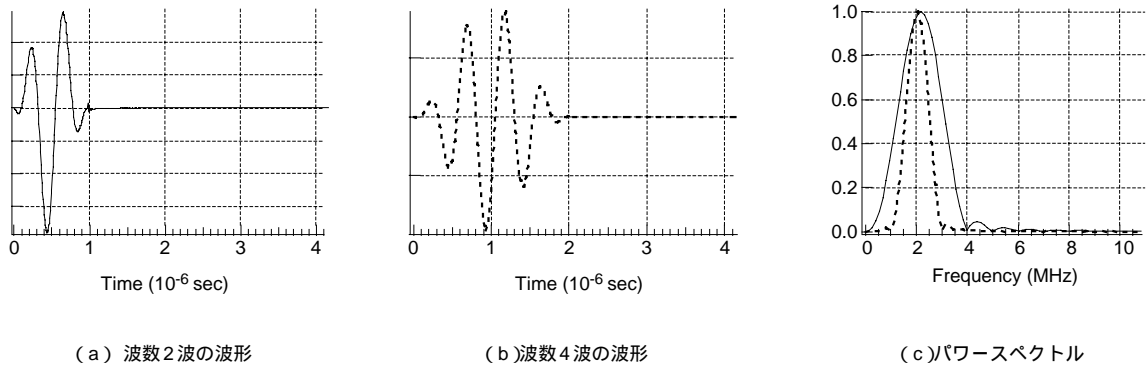


図4 中心周波数2MHzでの送信波形の例

れる条件で探傷波形（反射エコー）を計算した。各々横穴までの距離(W)を25 mm, 30 mm, 35 mmと変えて計算し、角度毎の距離振幅特性についてのデータを得た。

4.....解析結果

4.1 アレイ探触子の音場解析結果

解析結果の例として、図5から図7に振動子ピッチ0.8mm、縦波斜角45度において、中心周波数を2 MHzから5 MHzまで変えた時のFEM解析結果を示す。各図の(a)及び(b)がFEM解析により得られた超音波の波面を示しており、図(a)は波数が2の場合、図(b)は波数が4の場合の結果である。また、各条件で計算した連続波の理論による音場の解析解も各々図の(c)に示す。図中の白色は超音波の振幅が0を示し、黒色のグラデーションに応じて振幅が大きい音場であることを示している。各図ともに、向かって右側45度方向の超音波が縦波のメインローブである。各周波数ともに、波数が20波ではメインローブの脇にサイドローブが観察できる。しかし、波数2ではメインローブの広がり（指向性）は波数20の結果と同程度であるものの、サイド

ローブは確認されない。また、縦波については周波数が4 MHzと5 MHzで向かって左側に進む超音波（設定外の方向に進む超音波：グレーディングローブ）が確認できる。しかし、波数20と解析解では周波数4 MHz以下ではグレーディングローブが発生しない。グレーディングローブの状況について、図(c)に示した解析解と音場を比較すると、周波数2 MHzと5 MHzでは、波数2の場合でも解析解と同様の傾向であったが、周波数4 MHzでは波数2ではグレーディングローブが発生しており解析解と異なる結果であった。

これらの相違は、送信波形がパルス状か連続波かの違いによるものと考えられる。パルス状の送信波形では、探傷条件によってはサイドローブやグレーディングローブの状況が連続波の理論による解析解とは異なる場合があることが本解析結果より示された。通常の超音波探傷試験では、パルス状の送信波形が用いられており、アレイ探触子を用いた探傷においては実際の探触子音場を評価することが重要であるとされる。

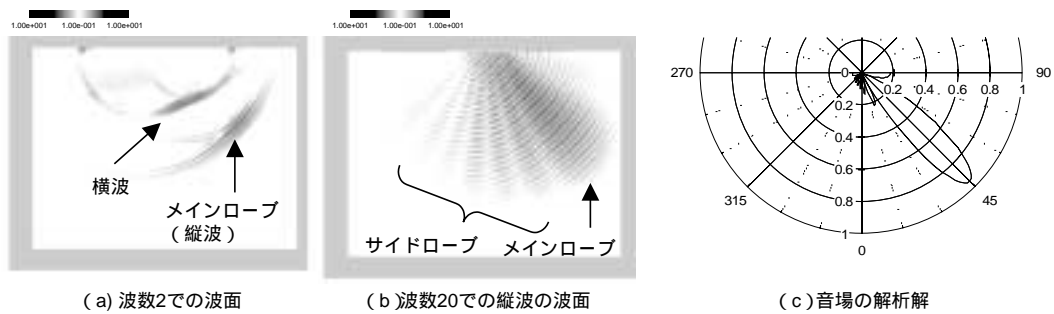


図5 中心周波数2MHz, 振動子ピッチ0.8mm, 縦波斜角45度における音場

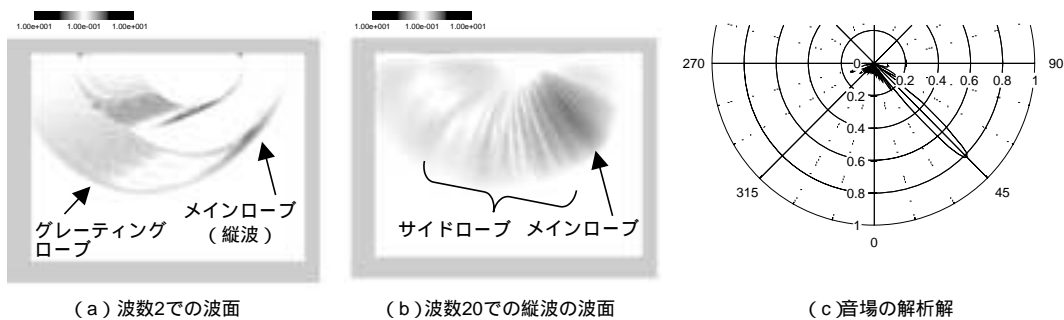


図6 中心周波数4 MHz, 振動子ピッチ0.8 mm, 縦波斜角45度における音場

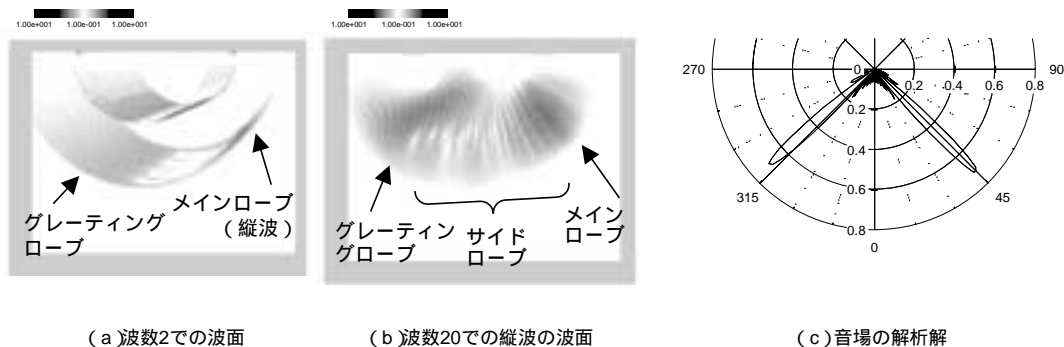


図7 中心周波数5 MHz, 振動子ピッチ0.8 mm, 縦波斜角45度における音場

4.2 アレイ探触子による斜角探傷の解析結果

振動子ピッチが0.8 mmでは、試験体に直接接触させて屈折角を大きく変えた時にグレーティングローブが発生する解析結果となったため、通常の探触子と同様に、くさびを介した斜角探傷として、くさび内に発生させる超音波の角度を変え、セクター走査を模擬したシミュレーション解析を行った。結果の例として図8及び図9に、それぞれ屈折角が縦波45度及び縦波70度でのFEM解析結果を示す。中心周波数は2MHz、横穴までの距離(W)が30mmの結果である。各々図の(a), (b)が超音波の波面を、図

の(c)が横穴を探傷した時の波形を示す。超音波の波面は、灰色が振幅0で、黒・白色のグラデーションはそれぞれ横波と縦波を示す。同一のくさびを用いて送信した縦波45度及び70度ともに、超音波のメインローブだけが発生していることが確認できる。

探傷波形については、個々の振動子へ与えた振幅が同じ条件であったものの、図(c)に示す様にエコー高さが異なり、これは他の角度(屈折角10度及び85度)でのエコー高さとも異なっていた。また、横穴までの距離(W)が25 mmと35 mmの場合においても、エコー高さの変化率は屈折角ごとに異なっ

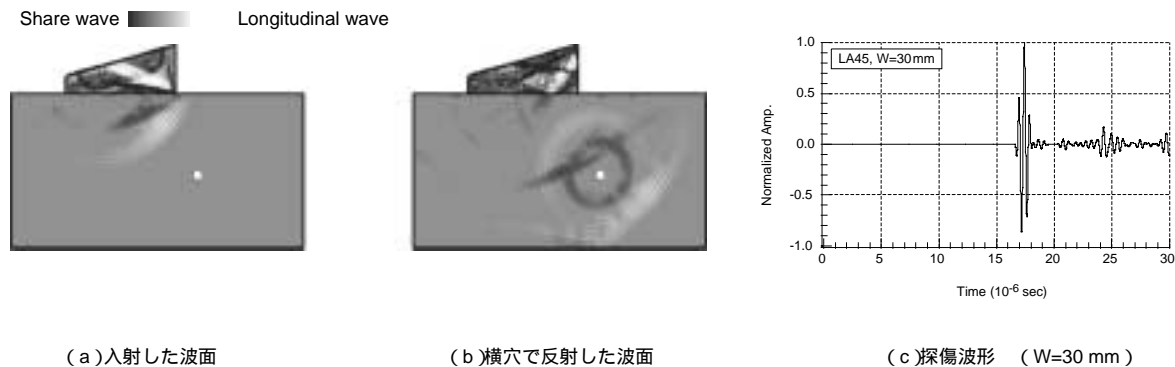


図8 アレイ探触子による縦波45度斜角探傷のシミュレーション結果

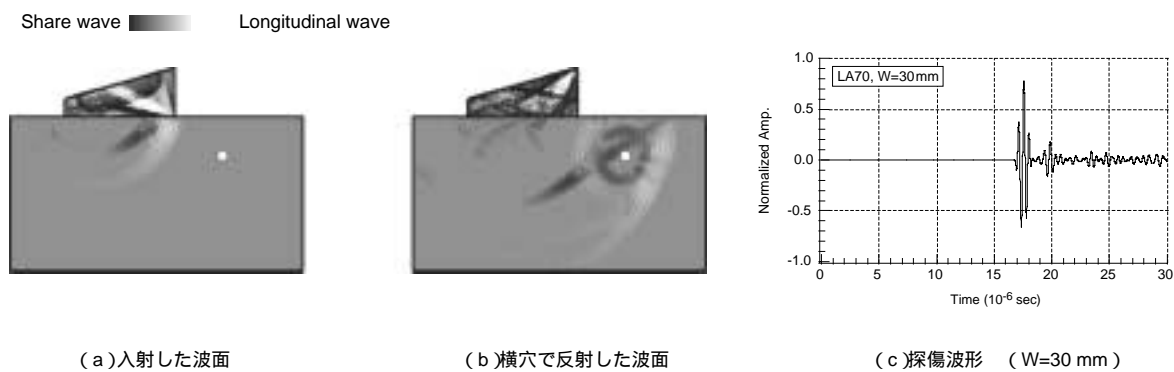


図9 アレイ探触子による縦波70度斜角探傷のシミュレーション結果

いた。これは通常の探触子と同様に、角度によって見かけの開口寸法が異なるためと考えられ、フェーズドアレイ探傷でも角度ごとに感度補正が必要であることを示している。

5.....まとめ

アレイ探触子の振動子ピッチ，周波数，波数（周波数帯域）を変えて，有限要素法により音場を解析した結果，波数が少ないパルス状の条件ではサイドローブ及びグレーティングローブの様子が解析解とは異なる結果となった。今後，アレイ探触子の音場についての評価方法ならびにセクター走査における感度設定方法の検討が重要ではないかと考えられる。

参考文献

- [1] 永井啓之亮：超音波ホログラフィー，日刊工業新聞社，pp.64-67（1989）
- [2] 古村一朗 他：超音波探傷シミュレーション大規模コードの開発，日本工業出版「超音波TECHNO」第13巻第2号，pp. 10-15（2001）



古川 敬



山田晶宏



古村一朗

交流磁化を用いた溶接構造物の非破壊による健全性評価方法の開発

Development of Structural Integrity Evaluation Technique for Weldment by AC Magnetic Method

溶接・非破壊検査技術センター 志波 光晴
程 衛英
堀井 行彦

An AC magnetic testing method was proposed to evaluate the PWHT temperature of the low alloy steel welded joints and the creep damage of the simulated HAZ specimens nondestructively. A normalized 3rd harmonic intensity of the detected signals could be used to identify the PWHT temperature after applying PWHT. Test results of creep damage measurement showed that a hysteresis was sensitive both to the microstructure change by aging and to the damage by applied stress. In order to evaluate creep damage, stress-induced damage (SID) parameter was proposed to remove aging factor of materials from HL. Creep void were observed by scanning electron microscope (SEM) for all creep damage samples of SID value under 0.8.

Keyword: AC magnetic method, Low alloy steel, Welded joint, PWHT temperature, Creep damage

1.....緒 言

溶接構造物の健全性を保証するには、製造時における溶接後熱処理（PWHT）の妥当性評価や供用時におけるクリープ損傷評価が重要であるが、いずれもレプリカ法などの組織観察などの手法が用いられており、簡便に現地で評価を行うことはできなかった。そこで溶接構造物の簡便な健全性評価方法として、強磁性材を弱い磁場で磁化したときの磁化特性の変化に注目し^{1,2)}、新たに交流磁化法による装置を開発して溶接構造物の非破壊による健全性評価として、溶接後熱処理温度の推定方法³⁾、やクリープボイド検出方法の試みについて報告する⁴⁾。

2.....交流磁化法の原理⁵⁾

構造材料に用いられる金属の磁化特性は強磁性と常磁性という2種類に大別でき、図1に示すようにコイル等を用いて試験片を磁化すると表1に示すように強磁性材料では磁束と渦電流が発生し、常磁性材料では渦電流のみが発生する。

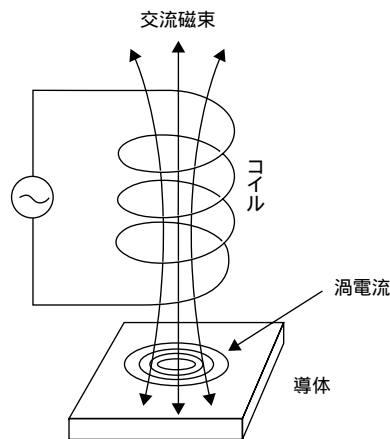


図1 コイルによる試験片の磁化

表1 金属の磁化特性

特 性	材料例	磁化特性	
		渦電流	磁束変化
金 属	強磁性 炭素鋼 合金鋼	中	大
	非磁性 ステンレス鋼 アルミニウム	大	小

渦電流に注目した探傷方法は渦流探傷（ECT）として、磁束に注目した探傷法は漏洩磁束探傷として知られている。

強磁性材の磁化過程においてヒステリシスを生じ

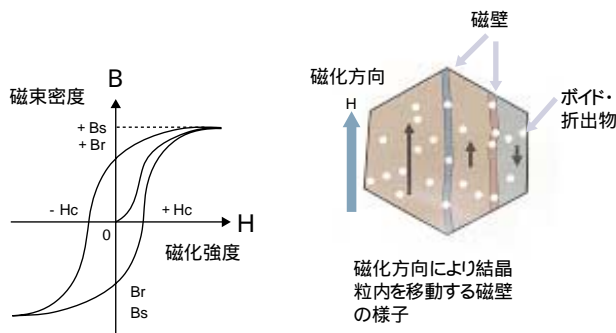


図2．磁化過程と磁壁及び材料組織

た磁化曲線 (B-H カーブ) が見られる。このヒステリシスの形状は、磁化過程において、結晶内に生成された磁壁の移動や回転の状況により変化する。このとき、材料組織内の空孔や析出物が磁壁の移動や回転の障害となることが知られている。

材料の高温クリープは、高温による組織変化である熱時効と応力負荷による損傷の組み合わせで発生する。熱時効では、軟化、析出、粒粗大化が起こり、応力損傷では塑性変形や粒形状の変形が起こる。

鉄鋼や合金鋼などの強磁性におけるクリープや照射脆化現象の検出法として、磁化曲線を用いた研究は、Dobmann や Jile, 荒らにおいて行われてきたが、飽和磁束近傍まで磁化を行う手法であることからいづれも U 字型の大型コイルを用いており、ボイラ等の配管のクリープ損傷を対象に現場で簡便に測定を行うには困難があった。一方、著者らが開発した小型上置コイルをプローブとした交流磁化法では、レーリーループ近傍の弱い磁場を与えたときの磁化特性の高調波に注目した。代表的な磁化特性である B-H カーブは、J-A モデルにおいて材料の転位密度や残留応力などのピンニング強度や析出物により変化することが示されており、電磁気分野においては B-H カーブと高調波との関係は良く知られている。一方、レーリーループ近傍の弱い磁場における J-A モデルと高調波の対応は、Chen らにより行われピンニング強度と第三高調波比に良い相関が得られている。これまでの飽和磁束近傍まで磁化を行う手法を強電(電力)トランス的手法とすれば、レーリーループ近傍の弱い磁場における手法は弱電(信号)トランス的手法といえる。本手法による第三高調波を用いた研究では、熱処理による組織変化やクリープ損傷検出に有効であることを実験とシミュレーション

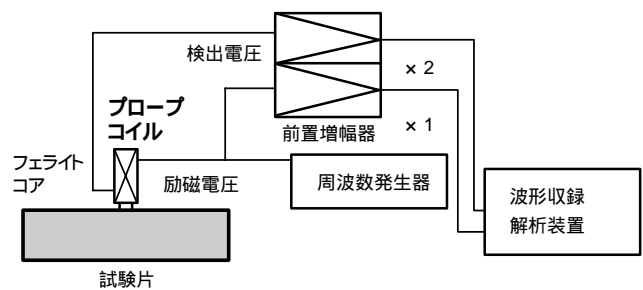


図3 交流磁化測定装置のブロック図

より求めている⁵⁾。

3.....交流磁化測定装置

図3に交流磁化測定装置のブロック図を示す。励磁及び検出には同軸コイルを差動接続したのを用い、励磁周波数は60 kHz及び10 kHzである。励磁及び検出電圧は2チャンネルの波形収録装置で記録され、周波数領域による解析として基本波と第三高調波の強度比(第三高調波比)及び時間領域ではリサージュ波形の面積(ヒステリシスロス(HL))の解析が可能である。

4.....溶接後熱処理(PWHT)温度の評価

4.1 実験方法

2.25Cr-1Mo及び1.25Cr-0.5Mo鋼溶接継手の溶接金属を対象に交流磁化の測定を行った。試験片のPWHTは、電気炉を用いて853 Kから1063 Kで1 H保持により行った。交流磁化の測定時には、継手試験片余盛部を酸洗(CP)及び機械研削(MP)を行い2種類の表面状態で測定を行った。

4.2 結果と考察

図4に、2.25Cr-1Mo及び1.25Cr-0.5Mo鋼溶接継手のPWHT温度と第三高調波比の関係を示す。いずれの試験片もPWHT温度の上昇に比例して第三高調波比が増加する傾向が見られ、PWHT実施の有無は明瞭に判別可能であった。

また、表面性状を考慮して、材質ごとにPWHT温度と第三高調波比のマスターカーブを作成することで、測定結果からPWHT温度を非破壊的に評価できる可能性が示された。

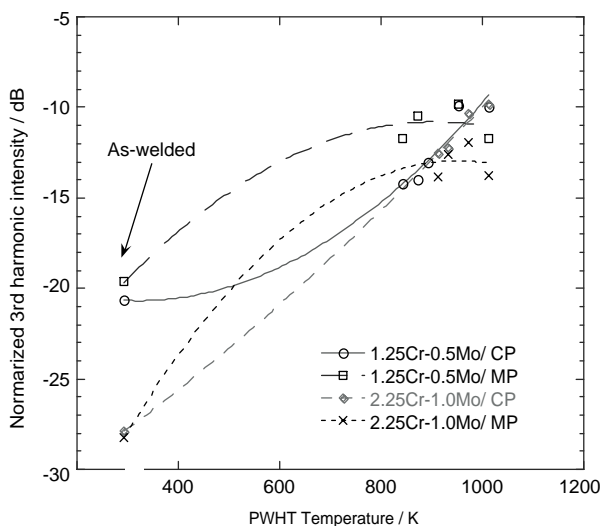


図4 2.25Cr-1Mo 及び 1.25Cr-0.5Mo 鋼溶接金属の PWHT 温度と第三高調波被の関係

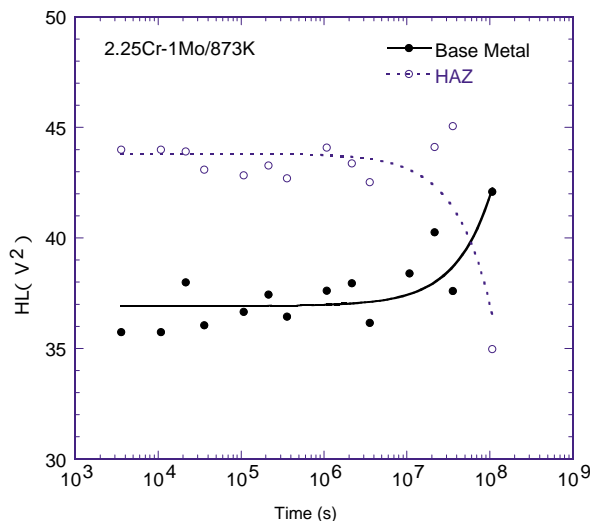


図5 2.25Cr-1Mo 鋼の母材及び再現 HAZ 材の熱時効時間とヒステリシスロスの関係

5.....クリープ損傷評価

5.1 実験方法

クリープ損傷の評価に用いて試験片は、2.25Cr-1Mo 鋼母材 (BM) 及びグリーンブル試験機で作製された再現 HAZ 材 (HAZ) である。クリープ損傷評価用では、異なる 4 つの初期材条件として PWHT 温度 (1H 保持) を変えたものを用意し、再現 HAZ のまま (Type B-I), 953K (Type B-II), 993K (Type B-III), 1033K (Type B-IV) を用い、熱時効 (873K) 及びクリープ (873K, 39MPa 及び 54MPa) 破断及び途中止め試験を行った。クリープ破断及び途中止め試験体は、試験片断面の鏡面研磨を行ったものを用い、走査型電子顕微鏡 (SEM) による組織観察後に交流磁化の測定を行った。

5.2 結果と考察

図 5 に、2.25Cr-1Mo 鋼の母材及び再現 HAZ 材の熱時効時間とヒステリシスロス HL の関係を示す。熱時効では、母材は熱時効時間に比例して HL が増加したのに対し、再現 HAZ 材では HL が低下する傾向を示した。一方、クリープ損傷では、図 6(a)(b) に示すように、熱時効と異なり母材、再現 HAZ 材とも 39MPa 及び 54MPa において時間と共に HL は低下した。その変化の傾向は、熱時効試験片とほぼ同様に 10⁵s 前後で大きな変化として見られた。

クリープ損傷は、熱時効による組織変化と応力による損傷の複合効果であることが知られている。こ

こで、材料の許容温度範囲におけるクリープ損傷量は、ある熱時効時間における組織状態において一定の応力負荷によって発生する損傷量と等しいと想定し、以下の式による応力誘起損傷比 (SID) を定義した。

$$SID = \frac{(HL^c(L, \sigma) / HL_i)}{(HL^A(L) / HL_i)} = \frac{HL^c(L, \sigma)}{HL^A(L)} \quad (1)$$

ただし、 $HL^c(L, \sigma)$ は L をラーソンミラーパラメータ、 σ を応力としたときのクリープ時の HL、 $HL^A(L)$ は、熱時効時の HL、 HL_i は初期材の HL である。(1) 式より、あらかじめクリープ測定時の L 及び L における熱時効時の HL が既知であれば、測定された $HL^c(L, \sigma)$ より SID を求めることができる。

図 7 に、ラーソンミラーパラメータ (LMP) を横軸に、SID を縦軸とし、母材及び各再現 HAZ 材の 39 及び 54MPa におけるクリープ試験片の結果をプロットした図を示す。SEM による組織観察の結果、いずれの試験片も $SID < 0.8$ においてクリープポイドが観察された。

以上より、交流磁化の測定結果より SID を用いて評価することで、異なる材質、初期条件 (PWHT 温度等) や負荷応力におけるクリープ損傷が共通のマスターカーブを用いて検出ができる可能性が示された。

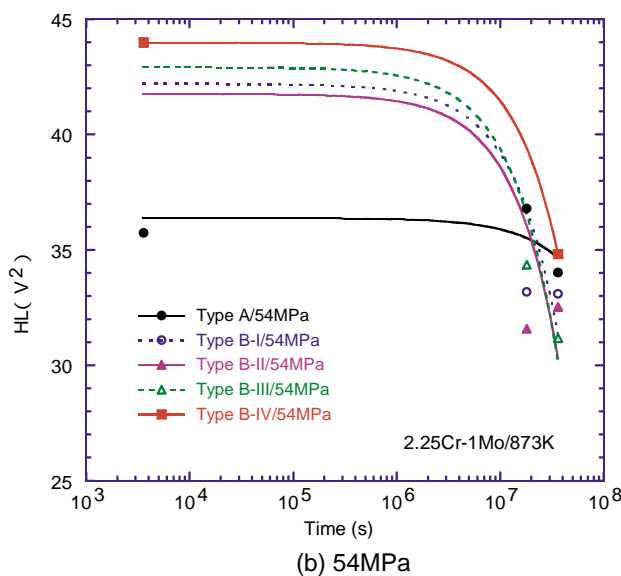
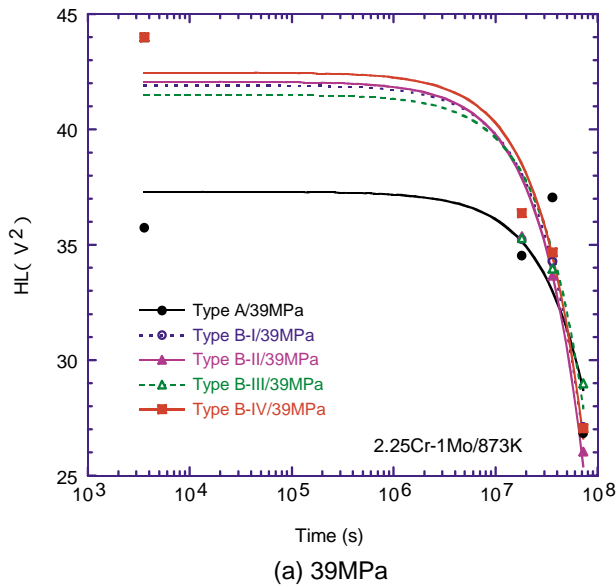


図6 2.25Cr-1Mo鋼の母材, HAZ部のクリープ時間とHL (a) 39MPa, (b) 54MPa

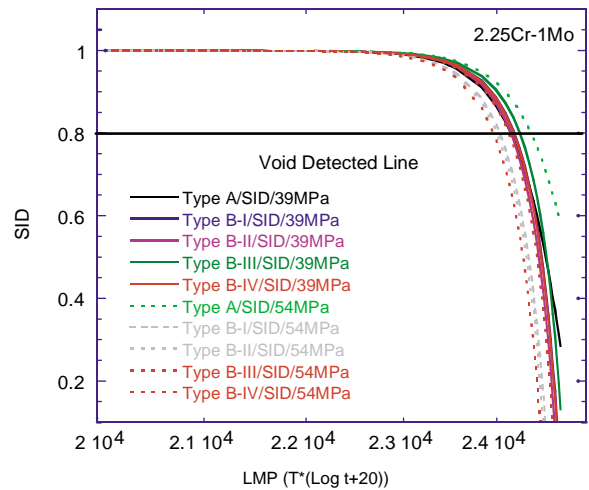


図7 2.25Cr-1Mo鋼の母材, HAZ部のクリープ時のラーソンミラーパラメータとSID

等を電磁界シミュレーションを用いて行う方法の検討も進めている⁶⁾。

さらに、低合金鋼の照射損傷検出を対象に本手法を応用した研究も実施している⁷⁾。

今後、これらの基礎的な成果を基に、本交流磁化法を実機に適用するにあたっては、

現場で簡便かつ測定の再現性が得られる表面処理方法の検討。

複雑形状等の測定対象部位に対応したプローブ開発。

各材料に対応したマスターカーブ(データベース)の充実。

本手法の信頼性向上(交流磁化法シミュレーションの開発)。

などを対象に適用化研究への進展が望まれる。

5.....まとめ

低合金鋼における交流磁化特性の変化は、PWHT温度や熱時効、クリープ損傷において見られた。PWHT温度では、第三高調波比と高い相関が見られた。クリープ損傷では、初期材や熱時効の影響によりその傾向が異なった。そこで、クリープ時の測定量から余寿命評価を行うため、初期材や熱時効の影響を除いた損傷量評価法としてSIDを提案し、異なる材質、初期材及び応力負荷条件においても損傷評価が可能となり、交流磁化法による溶接構造物の非破壊的な健全性評価方法の基礎が示された。

また、交流磁化パラメータのマスターカーブ作成

参考文献

- [1] D. Jiles and D. Atherton. J. of Magnetism and Magnetic Materials, 61, (1986), 48-60.
- [2] Z. Chen, M. Govindaraju, et al, IEEE Transaction on Magnetics, 30, 6 (1994), 4596-4598.
- [3] Nondestructive Characterization of Materials X, Ed. By Green et al., (2001), Elsevier Science Ltd., p341-347.
- [4] M. Shiwa, et al, Review of Quantitative Nondestructive Evaluation, Vol. 23, American Institute of Physics, (2004) , 1336-1343.
- [5] 石上秀之, 志波光晴, 小池高雄, 桑 亮一: 火力・原子力発電, Vol. 55, No. 8 (2005), p26-32.
- [6] W. Cheng, et al.; Review of Quantitative Nondestructive Evaluation, Vol. 24, American Institute of Physics, (2005) , 1204-1211.
- [7] 程, 中東, 他: 日本原子力学会「2005年秋の大会」予講集, 八戸工業大学 ,(2005) , p531.

特 許

- 1) 平成14年12月 特許3355322号「交流磁化を用いた強磁性体の溶接物の溶接後熱処理評価装置および方法」
- 2) 平成15年8月 特許3461781号「交流磁化を用いた強磁性体構造物のクリープ損傷評価方法および装置」
- 3) 平成17年9月 特許3728286号「非破壊高温クリープ損傷評価方法」
- 4) 特願2002-308129号「クリープボイドの非破壊検出方法」



志波 光晴



程 衛英



堀井行彦

放射光による高温高压純水中in situでの応力測定

High Temperature and High Pressure in-situ SCC Equipment for Synchrotron Radiation Diffraction Experiments and an Application for an Austenitic Stainless Steel

溶接・非破壊検査技術センター 中東 重雄
 兵庫県立大学 山本 厚之 寺澤 倫孝 三田村 徹
 名古屋大学 山田 孝幸 劉 莉 椿野 晴繁
 秋庭 義明

Suppressing the stress corrosion cracking by reducing carbon contents in austenitic stainless steels seem to be not effective on core shroud used in boiling water reactor in Japan. Trans-granular cracking was found out in the shrouds. To clarify a mechanism of the cracking, stress measurement on specimens under stretched condition in hot water has been attempted in the present study. An in-situ equipment for diffraction measurements in synchrotron radiation facility has been developed by the present authors, and the experiments have been carried out in SPring-8.

Keyword: in-situ experiment, SCC, SUS316L, stress measurement, SPring-8

1.....緒 言

最近，沸騰水型軽水炉（以下BWR）発電プラントの低炭素ステンレス鋼製炉心シュラウド（以下シュラウド）や原子炉再循環系配管（以下PLR系配管）に多く見られた割れは，接液表面層は粒内割れを示し，その後粒界に沿ってき裂が進展している。粒内割れが生じている表面層100 μm 程度までの硬さはHv 300以上と高い。これは製造時の機械加工や溶接施工後のグラインダー仕上げによるものと考えられている。また粒界割れ領域では，粒界にはCr炭化物やCr欠乏層の形成がないいわゆる非鋭敏化組織をしている。調査の結果，これらの割れは，応力腐食割れ（以下SCC）と断定されたが，従来BWR炉水環境中で粒内割れや非鋭敏化組織での粒界型応力腐食割れ（IGSCC）の事例報告はない。したがってこのSCCは，1970年代にBWRのPLR配管で問題となった溶接熱影響による熱鋭敏化に起したSCC理論では説明できず，新しいメカニズムによるものと考えられ，多くの研究者によって原因究明に関する研究が精力的に進められている。

SCCの発生は，応力と腐食環境および材料の鋭敏化との相互作用によって生じることが知られている

が，割れ発生と応力との相関についてはよく分かっていない。NDEセンターでは，低炭素ステンレス鋼に発生したSCCについて，表層部に発生した粒内型応力腐食割れ（TGSCC）の発生原因を明らかにすることを目的に研究を進めている。特に割れ発生起点と応力との相関に注目しており，表面残留応力の性状，ミクロ的な表面残留応力分布を調べ，割れ発生と応力との相関，応力分布と割れ発生サイトとの相関について調べている。

本報では，BWR炉水環境を模擬した高温高压純水中にてin - situで表面残留応力測定を可能とする「高温高压水中応力測定装置」を設計・製作し，試作した装置を用い，SPring - 8の放射光を用いて表面残留応力および残留応力分布を測定した結果について報告する。

2.....高温高压純水中応力測定装置の試作

BWR炉水環境中での割れ発生と応力との相関を調べるには，高温高压模擬純水中にて応力を負荷しin-situで表面の応力変化挙動を測定することが望ましい。そこでより実機環境に近い条件で表面残留応力を測定するため，放射光（以下SR光）を用い，

高温高圧純水中にて in-situ で測定することができる「高温高圧純水中応力測定装置」を設計，製作した（株東伸工業製作）。

目的とする結晶粒径サイズ領域の応力を測定するには高輝度，高指向性を持った SR 光が最適である。また高温高圧純水環境を作るにはオートクレーブが必要である。そのオートクレーブには応力を測定するための SR 光の導入窓と回折光を検出するための窓が必要である。窓は，573K (300)，9MPa の高温高圧純水に最低 1000 時間程度は耐えることができ，かつ SR 光の減衰率が極力小さいこと，目視観察ができるよう透明であること等の厳しい特性が要求される。候補材としてジルコニア，パイレックス，サファイア，アルミニウムを選定した。それら候補材について，10 KeV から 100 KeV エネルギーの SR 光に対する透過能（入射 X 強度比 I_0 / I_x ）を測定した。その結果使用を予定している 70 KeV の SR 光に対し I_0 / I_x が 0.48 と最も大きい値を示したサファイアを最有力候補とした。サファイアの特性より強度，耐食性を検討し，厚さ 10 mm で十分強度が確保されること，1000 時間以内では耐食性には問題はないことを確認した。その他 SR 光の入射角度，回折光の取出角度，減衰率およびステンレス鋼製オートクレーブとの取付け，シール性等を考慮し，サファイアの大きさは，直径 110 mm，厚さ 10 mm とした。

高温高圧純水循環系およびパイプは，すべてオーステナイト系ステンレス鋼 SUS316L 製で，試料を取付けるオートクレーブ本体は，低炭素ステンレス鋼 SUS316L 製とし，容量は使用温度を考慮し小型圧力容器仕様とした。

装置は放射線管理区域内での運転を前提としていることから，全自動運転システムとした。運転中，設定範囲外の異常温度，圧力，液面低下のいずれかの異常を検知した場合，直ちに計測系を除き自動停止する。装置の主要な仕様を以下に示す。

Figure 1 に SPring-8 BL02B1 実験セル内に設置された装置の全体外観を示す。装置はオートクレーブを含む高温高圧純水循環系とオートクレーブに付設されたサファイア窓の冷却水循環系を含む装置制御系とから構成されている。試験片をセットするオートクレーブは 3 軸ゴニオメータの台上に設置されている。

装置の主な仕様

設計温度	573K(300)
設計圧力	10 MPa
最高使用温度	561K(288)
最高使用圧力	9 MPa
オートクレーブ容量	約200cc
試験片形状	平板
応力負荷方式	内圧式定荷重 + バネ
観察窓材質及びサイズ	2個, サファイア 10 mm × 10 mm
配管容量	約 15cc
装置材質	SUS316L
配管径	3.2 mm

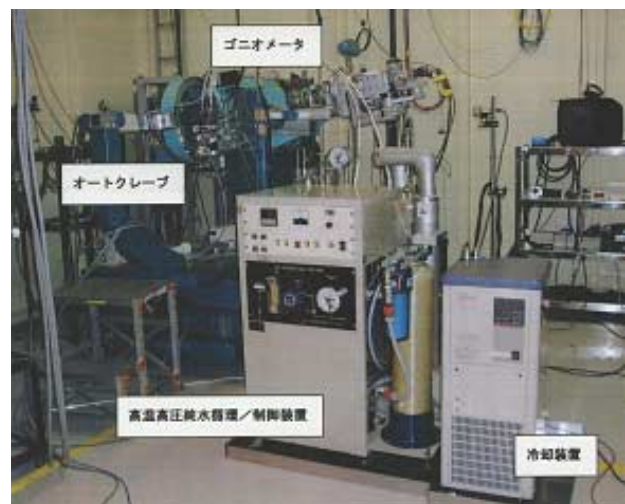


Fig. 1 Setting up of the chamber and other apparatus at BL02B1

Figure 2 には，オートクレーブの外観 (a) と外から見たオートクレーブ内の試験片 (b) の設置状態をそれぞれ示す。オートクレーブの大きさは，約 100 L × 50 W × 50 H mm で，容量は約 200cc である。

試験片への応力負荷方法は，内圧式で，561K (288)，8.4 MPa の場合，試験片には約 240 N の引張応力が負荷される。さらに本装置では外部よりスプリングによる応力負荷が可能で，最大約 120 N の引張応力が負荷できる。

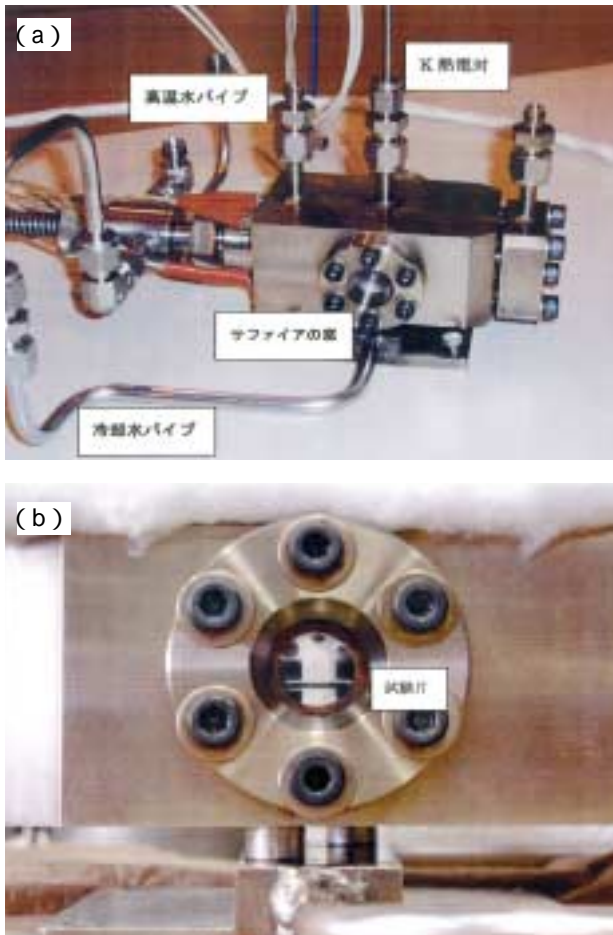


Fig. 2 Whole view of the specimen chamber (a) and the specimen set in the chamber (b)

3.....実験方法

3.1 供試材と試験片

供試材は、低炭素ステンレス鋼SUS316Lで、その化学成分をTable 1に示す。

Table 1 chemical composition of the specimen (Mass%)

C	Si	Mn	P	Ni	Cr	Mo
0.015	0.52	0.96	0.020	12.39	16.28	2.12

Figure 3に試験片形状を示す。試験片は板状試験片で7 W × 20 L × 1 tmmで、平行部は1 × 1 mmである。試験片の保持法は、ピン止めで、両端の穴に2 mmのピンにて固定する。

試験片は、1323K(1050) × 900s.(15 min.)の溶体化処理後、表面をエメリー紙で# 1000まで研磨した後、パフ研磨仕上げた。その後、# 30から# 100までの砥石によりそれぞれ研削加工を施した。本試験では、561K(288)、8.4MPaの高温高压純

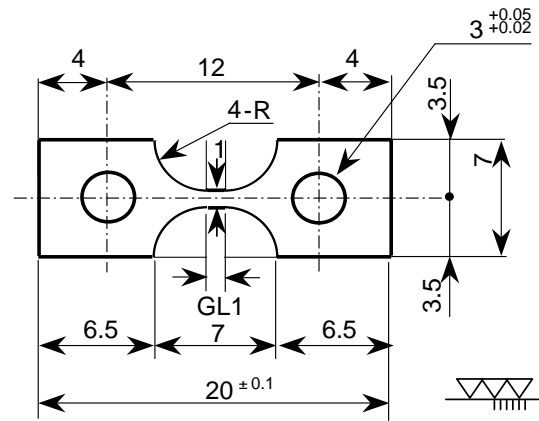


Fig.3 Shape and sizes of the specimen for in-situ experiments

水中(8 ppmD.O)にて低ひずみ速度試験法により1 μm/min.のひずみ速度で破断時間の約80%まで変形させ、予き裂を付与した。

3.2 試験方法

応力測定試験は、高温高压純水中応力測定測定装置をSPring-8の兵庫県有ビームラインBL02B1に設置して行った。このビームラインは、17 KeV ~ 72 KeVのエネルギーを持つ高輝度X線が利用可能であるとともに、高精度の多軸ゴニオメータが整備されている。またこのラインのSR光は、Si(311)の2結晶分光器を用いて単色化されており、平行性、単色性が極めて高い。SR光の回折線の検出には、蛍光X線等の影響を取り除くためシンチレーションカウンタ検出器を用いた。

3.3 高エネルギー放射光を用いた応力測定

X線による応力測定法には並傾法と側傾法とがある。Figure 4に、並傾法と側傾法の回折系のレイアウトを模式的に示す。並傾法では試料のY軸を中心に回転させるが、側傾法ではX軸を中心に回転させる。高エネルギーX線(SR光)を用いた応力測定では、並傾法ではsin²の測定範囲が狭くなることから側傾法(一定法)が用いられる¹⁾。本試験においても側傾法を用いて測定した。

測定に用いたSR光のエネルギーは、72KeVで、垂直方向0.2 mm、水平方向1.0 mmにスリットにて調整した。測定に用いる回折面はステンレス鋼の{311}である。入射光と試料表面との初期角度を

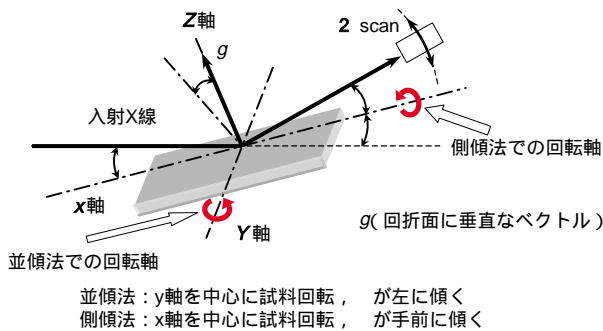


Fig.4 Schematic illustration of X-ray stress measurement by synchrotron radiation

4.5°に調整したことからSUS316 L鋼の{311}の回折光の最も深い位置からの反射は0.28 mmとなる。また回折光の検出は、0.2 mmのダブルスリットによってコリメートされていることからシンチレーション検出器が受ける回折光は0.2 mmの深さの位置からの応力情報を受けることになる。測定は、 2θ は8.95から9.2まで、 ψ は0から56.29°まで測定した。

測定試料は、561K(288 MPa), 8.4 MPaの高温高圧純水環境(8 ppmD.O)のオートクレーブ内に設置されており、試料には約240 Nの引張応力が負荷されている。測定はin-situで行った。応力測定領域は、試験片平行部1 mm × 1 mm全領域の場合と3等分した範囲の場合とについてそれぞれ行った。

3.....結果と検討

表面を#30砥石にて研削加工したSUS316L鋼について $\sin^2\psi$ を0から0.7まで測定した結果、{311}のピーク値は、低角度側にシフトしていることが分かった。Figure. 5に $2\theta - \sin^2\psi$ 線図を示す。勾配は約-0.041となり、引張応力が発生していることを示している。ヤング率(197 GPa)とポアソン比(0.29)とから応力を計算すると、約690 MPaとなる。同じ表面処理をした試料で、無負荷状態での応力は430 MPaという値を得ており³⁾、今回得られた値は約240 Nの引張応力を負荷していることを考慮すると妥当な値と言える。

Figure. 6には、561K(288 MPa)の高温高圧純水中にてin-situで表面の応力変化挙動を調べた結果を示す。試料は、SUS316L鋼で、表面を#30で研削加工した後1 $\mu\text{m}/\text{min}$ のひずみ速度で破断時間の約

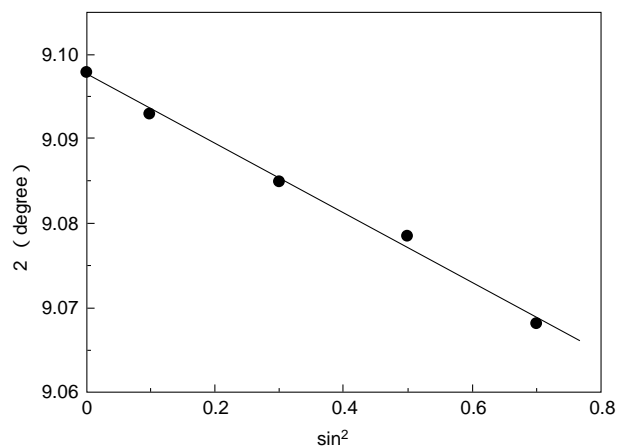


Fig. 5 $2\theta - \sin^2$ plot obtained by in-situ high temperature and high pressure SCC experiment

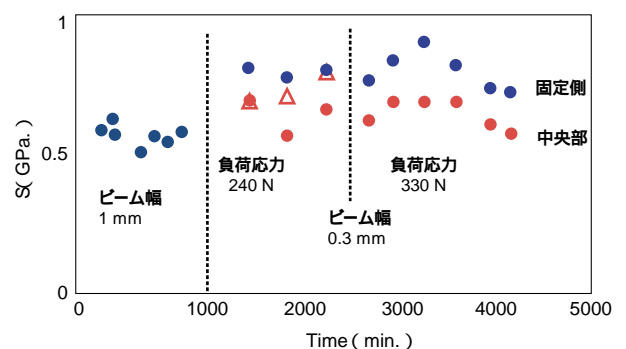


Fig. 6 Change of stress on the surface grinding SUS316L steel sample

80%まで変形させたものである。試験片には内圧により約240 Nの引張応力が負荷されている。SR光のビームサイズを試験片平行部全域に相当する1 × 1 mmで測定した場合、時間による応力変化はほとんど認められない。そこでビームサイズを平行部の1/3に相当する0.3 × 1 mmに絞り測定した。その結果、試験片をピンに固定している側(固定側と称す、○)と平行部中央(中央部と称す、△)とでは引張応力値が明確に異なっていることが分かった。すなわち測定場所によって応力値が異なることが明らかになった。

さらに、スプリングにより約120 Nの引張応力を追加負荷した。固定側(○)は約3200分までは引張応力は漸増挙動を示すが、その後漸減挙動に転じている。中央部(△)も酷似の挙動を示している。これはこの測定領域それぞれに存在する予き裂が進展し、割れ周辺の応力が緩和された結果引張応力が漸減しはじめたと考えられるが、今後さらに解析を進

める予定である。ちなみに試験後、予き裂長さを測定した結果、導入されていた4つの予き裂の長さは、いずれも11%から17%長くなっていることが分かった。

本基礎試験の結果、 0.3×1 mm領域の表面残留応力測定が可能であることが確認できた。また、測定領域を小さくすることにより表面残留応力の経時変化を明確に捉えることができることが分かった。

今後さらに測定領域を小さくし、結晶粒サイズ領域の表面残留応力測定が可能となれば、より詳細な応力分布図が得られ、き裂発生起点との相関が明らかになると期待される。また、応力挙動の経時変化が明確に捉えることができれば、き裂発生挙動をin-situで観察、評価することが可能となると期待される。

5.....まとめ

低炭素ステンレス鋼の表面に発生した粒内型応力腐食割れ(TGSCC)のき裂発生起点と残留応力との相関を調べるため、放射光を用いin-situで測定可能な「高温高压純水中応力測定装置」を試作した。装置は、561K(288℃)、9MPaのBWR炉水環境を模擬することができるオートクレーブで、オートクレーブには放射光の入射及び回折光を検出するための10 mm、厚さ10 mmのサファイヤ製窓が2個設けられている。製作した装置をSPring-8の兵庫県有ビームラインBL02B1に設置し、561K(288℃)、

8.4MPaの高温高压純水を約90時間連続運し、表面研削加工を行った低炭素ステンレス鋼表面の残留応力を72KeVの放射光によりin-situで測定することができた。また、 0.3×1 mm領域の表面残留応力の経時変化挙動を捉えることもできた。

6.....結 言

高温高压純水中にてin-situで表面残留応力を測定することが可能な装置ができたことにより、SCCのき裂発生起点の特定と残留応力との相関が明らかになることが期待される。また、き裂発生とその周辺の応力分布やき裂進展挙動の経時変化が明確になることから、SCCに対する対応技術、保全技術等に関する基礎的知見が得られると期待される。

参考文献

- [1] 柳瀬悦也, 西尾光司, 楠見之博, 新井和夫, 鈴木賢治, 秋庭義明, 来海博央, 田中啓介, “放射光高エネルギーX線を用いたショットピーニング処理した鉄鋼の残留応力分布の評価”, 材料 Vol. 51 No. 7 (2002), pp. 756 ~ 763
- [2] Hanker, P., Palanichaamy, P., Jayakumer, T., B. & Ranbanathan, S. Metall. Mater. Trans. A, 32A, 2959-2968 (2001)
- [3] Yamamoto, A., Yamada, T., Nakahigashi, S., Liu, L., Terasawa, M., & Tsubakino, H., ISIJ Inter. 44, 1780-1782 (2004)



中東 重雄

ASME規格委員会でのボイラ規格に係る検討の現況

Current Topics in Business Items referred in ASME Power Boiler Code Subcommittee

溶接・非破壊検査技術センター 吉田 和夫

Power boilers code has been developed in subcommittee I of boiler and pressure vessel committee under board of pressure technology codes and standards. The code was originally approved on December 1914 after succeeding meetings and public hearings. Current boiler code subcommittee consists of five subgroup and one task group. New rules for construction of heat recovery steam generators are discussed at present in the task group. This note introduces current topics and discussions, which are just suitable to boiler subcommittee code making.

1.....はじめに

ご存知のとおり，ASME（米国機械学会）は「技術者が会合を持ち，意見交換，論文発表等を行い，機械工学分野の発展に関する意見交換を促進すること。」を目的として1880年に設立された米国で第3番目に歴史のある工学分野の学会です。ASMEの設立当時は蒸気機関の全盛の時代であると同時にボイラ破裂事故が多発する時代でした。それらの事故発生防止を目的にASMEは「ボイラの性能試験に関する標準」他を発行した。1900年代に入ってボイラ製造技術の改良他があり，**図1**に示すとおりボイラ破裂事故件数に減少の傾向が認められたものの，1905年にはマサチューセッツ州で起きた58名の死者を出したボイラ破裂事故が生じてしまった。この大惨事が引き金になって1907年に同州で安全法令が公布さ

れた。ボイラに関する安全法令はこの法令が最初のものであり，同州の安全法令の1909年版は米国の他の州，市に広がり，様々な安全法令が作成されるに至った。

1911年にASMEのMeier会長は，ボイラ製造に関する統一した規格を作成することを宣言し，1912年に第1回目のボイラ規格委員会を開催した。規格委員会にはボイラ製造者だけでなく，使用者，材料製造者，保険会社，公益機関，行政機関等の様々な分野の技術者が参加し，より公平な規格の制定が意図された。1914年に発行されたボイラ規格は全114頁の規格であり，設計係数は数々の議論の末5とされた（当時の蒸気機関車用ボイラの安全係数は4）。また，この1914年版の序文には，ボイラ破裂事故による甚大な人命の損失，財産の損失を糧としてボイラ規格が編纂され，多くのヒアリングの成果が反映されたボイラ規格の適用によってボイラ破裂事故が回避されることを願うという意見が付された。

1915年6月にボイラ規格発行後の初めてのボイラ規格委員会が開催され，10件のCase（現在のCode Caseに相当）が採択された。また，1918年には規格本体の改訂版の発行が承認され，Edition発行形式の現在のASME規格の原型が整ったといえる。

ASMEにおける規格化・標準化に関する現在の活動の中で，ボイラ規格（ボイラ・圧力容器規格）は圧力機器技術規格委員会（BPTCS）の分担となっていて，この委員会の下にボイラ建造規格（Sec.I），

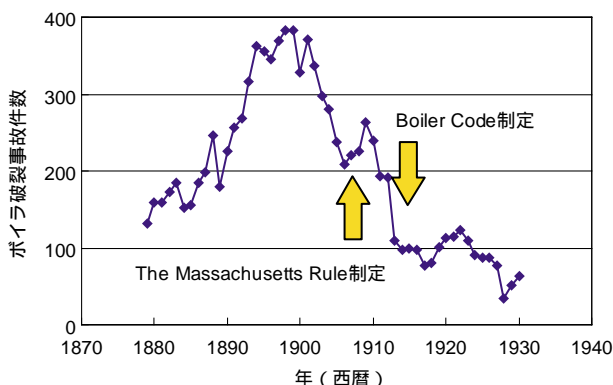


図1 米国におけるボイラ破裂事故件数の変遷

圧力容器建造規格 (Sec.VIII) 等の分科会が組織され、分科会の下に組織された専門の作業会等で規格改訂等の具体的検討が行われている。なお、ボイラ配管の建造規格である B31.1 規格はボイラ・圧力容器規格と同様に圧力機器技術規格委員会の分担の委員会である圧力配管規格委員会で検討が行われているものである。本書ではボイラ建造規格に関連する規格改訂に係る最近の ASME 規格委員会での検討の状況を概説するものとする。

2.....ボイラ建造規格に係る検討の状況

ここで記述のボイラ建造規格に係る検討の状況は、発電用火力設備の技術基準の解釈又は電気工作物の溶接の技術基準の解釈に密接に関係するものを選択して行ったものではなく、規格委員会での検討課題の中で ASME 規格委員会での検討らしさのある「規格内部での整合性」、「規格間の比較」、「新しい規格の制定」について絞り込んである。検討課題の重要度に従った選択ではないので、それを留意の上、読んで頂ければ幸いである。

2.1 Sec.I規格内での厚さ (Thickness) の使い方

厚さ「Thickness」を規定の仕方を考慮して「Required Thickness (必要厚さ)」、「Minimum Thickness (最小厚さ)」、「Nominal Thickness (公称厚さ)」等の使用に関する変更案が準備されたが、その変更案に合理性があるか否かの検討が行われた。一部の検討事項を次に示す。

- (a) 必要厚さには腐食代が入るか否か、腐食代は外面側にも考慮されるかの議論。
- (b) 最小厚さと必要厚さを分離する明解な判断は困難であるが、最小厚さは基本的に圧力から決定される値とする議論
- (c) 所謂最小必要厚さは正式な用語として必要厚さで統一すること。ただし、誤用に注意して、最小厚さが正しい場合には最小厚さに変更する議論
- (d) 規格中の「Wall (厚さ)」は誤用であり、「Thickness」に統一する議論
- (e) 容器、鏡板の設計では、必要厚さ、実厚さ、公称厚さの使い分けを徹底する議論

2.2 厚さ計算式の規格間の相違の議論

Sec.I では PG-27.2 に円筒殻部品の厚さ計算式が与えられているが、その計算式は B31.1, Sec.VIII Div.1 (設計係数 3.5 の圧力容器建造規格), Div.2 (設計係数 3.0 の圧力容器建造規格) 又は Div.2-Rewrite (設計係数 2.4 の圧力容器建造規格) と整合していない。新しく Div.2-Rewrite で採用された計算式 (Sec.VIII Div.2 AD-20(a) に規定の式と同じ) が最新のものであることから、この式との計算値の比較がなされ、規格間の厚さの計算式の統合の検討が必要との見解が示された。ただし、Sec.I としての規格改訂は PG-27 で規定する計算式を 1 種類に絞込み、他の設計式の全てを Appendix に掲載して、その使用についての条件を記するようである。

2.3 B16規格のSec.Iとの整合性検討

B16.5 規格 (管フランジ及びフランジ継手規格) の SI 表示化の検討が進行中であって、この 2003 年版を採用するべきか否かが大きな論題となっている。B16.5 の単位改訂が不完全であること及び B31 や B&PV 規格との整合性が図れていないことがあり、B16.5-2003 版の採用が見送られている。また、設計係数を 3.5 として表の再構築を行った結果、フランジ・レーティングの変更が生じてしまった例もあって、B16 規格委員会での再検討を待って、Sec.I でも再検討する予定である。

2.4 溶接士技量認定記録の電子媒体化

手溶接士及び自動溶接士の技量認定記録の電子媒体化が進んできたことから、ASME として電子媒体の記録を認めるかの判断が迫られている。一方、認定記録には製造者又は請負業者による証明 (Certify) が必要である。電子媒体化を認めるため、「記録には、サインあるいは製造者又は請負業者の品質管理システムに記載された別の方法で証明され、公認検査官がアクセス可能なものであること。」とする模様である。

2.5 Niobium と Columbium

CC2475 (18Cr-9Ni-2.5W-V-Cb) の審議において、コード・ケース案の中に Niobium なる単語が使用されていた。米国 ASTM での規定に従って Nb は Cb に

即座に変更された。

2.6 廃熱回収ボイラ (HRSG) の規格策定

廃熱回収ボイラ (HRSG) の定義・範囲, 規定内容の検討が行われていて, Sec.I とは異なる建造規格を作成するか Sec.I の Part にするかとの議論がなされているが, 現状では Sec.I の Part とする方向が勝っている。規定内容として, 熱源, 後熱サイクル, 最高ガス温度, 疲労設計, クリーブ疲労設計, 管と管板の溶接設計他が検討されている。疲労設計の検討に当たっては欧州 EN12952 規格 (ボイラ規格) を参照した検討が行われたが, EN 規格では疲労評価が十分にカバーできないとの意見があり, Sec.III 又は Sec.VIII Div.2 を参考にした検討を再開している。EN 規格を参照できないとの議論は, 考慮すべき負荷サイクルに全ての運転履歴を考慮しないことが問題とされている。また, 設計疲労線図は EN 規格の方が ASME Sec.VIII Div.2 よりも保守的ではないものの, EN 規格における力学的取扱いが合理的であるとの議論もされた。

蒸気凝縮のための水注入, 過熱低減器のスプレー等を考慮した熱衝撃についての検討も行われていて, B31.1 122.4(A.1) に規定の水スプレー系統及び PG-59.4.1 に規定の蒸気凝縮を参考にして, 具体的な熱衝撃規定を検討し始めている。設計圧力が 400psi を超える場合に熱衝撃を避けるためにサーマル・スリーブ等を設置することが PG-59.2 に規定されているが, この規定は HRSG にはシステム的に不要なこともあって, Sec.I の個々の規定の参照について詳細な検討が進みつつある。

過圧防止及び水位系に関する規定の検討では, Sec.I の関連する規定に基づいて HRSG に必要な規定

を検討始めている。HRSG 用の材料に関しては, 温度制限のある材料の上限撤廃と Sec.II Part D に記載の備考 G24, G32, W41 の扱いが課題となっている。材料規定に関しては従来とは異なる代替規定を導入する可能性が高い。建造された HRSG の Data Report 及びスタンプの観点から HRSG 境界限とスタンプする圧力についての検討も行われていて, HRSG の組織だった規格 Part が近々に姿を現す可能性が高い。

3.....まとめとして

平成 16 年 5 月には ASME 規格委員会にボイラ規格の改訂課題が 9 件上程されたが, その中の 6 件は反対意見付きで上程されたものであった。8 月には 10 件上程 (反対意見付き: 4 件), 12 月には 18 件上程 (反対意見付き: 10 件) であった。この 3 回分の上程案件は全て承認されたが, 実のところ審議課題として提案されたものの約 1/3 ~ 1/2 は分科会審議又は作業会審議の段階で取り下げになっている。この結果をもって, 規格委員会が有効に作用しているか, 十分な審議が尽くされていないとみるかには大きな議論が必要である。しかしながら, ASME 規格委員会が産み出しているボイラ規格の規定で機器を設計・製作しようとする場合に, 現時点で大きな不都合を規格に対して感じることはないと思われる。これは, ASME 規格委員会での規格改訂の検討が機能している結果と考えることができる。規格基準を少しは読むようになった・読めるようになった者として, 今後も規格の検討状況をフォローしたいと考えている。小文をお読みなってご叱責を頂ければ幸いです。



吉田 和夫

PD認証制度の動向について

Present Status of PD Certification System

溶接・非破壊検査技術センター 山口 篤憲

The revised Electricity Enterprises Act was enforced in 2003 and the electric enterprise companies are obliged to evaluate the structural integrity of nuclear power component in case some defect is detected in the component. Sizing of the defect is essential for the evaluation and the accuracy of sizing depends on not only the skill of inspector but the inspection procedure and the equipment. So performance of the inspector combined with the procedure and the equipment is necessary to be demonstrated. Performance Demonstration Certification System will be put in practice in Japan. Present status of PD Certification System developed in Japan is presented

Keyword: PD, maintenance code, SCC, advanced UT, sizing, stainless steel

1.....背景

平成15年10月に施行された改正電気事業法により事業者新たに実施することが義務付けられた定期事業者検査において、欠陥が検出された場合に、その設備の健全性を評価しなければならないこととなった。これは、健全性が確認できれば補修や取替を行わずに運転継続が可能となることであり、発電プラントの合理的な運転に大きく寄与するものである。

健全性評価は、「日本機械学会 発電用原子力設備規格 維持規格（2002年改訂版）JSME S NA1-2002」（以下「維持規格」という。）に従って行うこととなっており、評価の流れを図1に示す。この評価を適切に行うためには、超音波探傷試験（以下「UT」と言う。）等による欠陥の寸法測定が適切に実施され、一定の精度で欠陥深さが測定されることが極めて重要であることは論を待たない。ところで、寸法測定の精度は、検査員の技量は当然のことであるが、測定に用いる探傷装置及び探傷要領にも左右されることは、これまでの試験等から明らかとなっている（例えば、PISCプログラム）。従って、寸法測定性能を評価する上では、検査員、探傷装置及び探傷要領を一体として評価することが必須である。

海外では、既に米国及び欧州で欠陥の検出性及び寸法測定精度に関する資格認証試験（Performance Demonstration（以下「PD」という。））制度が構築

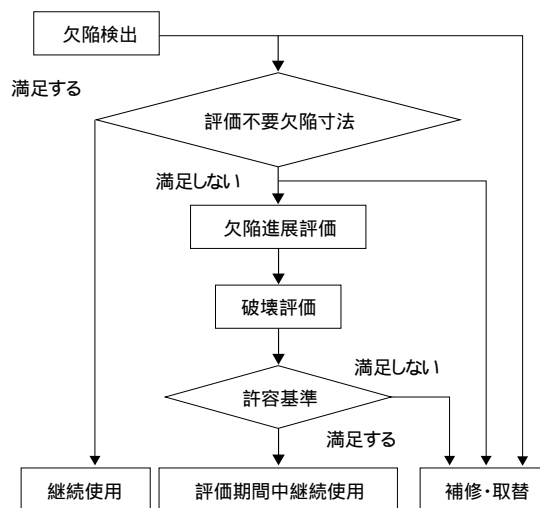


図1 健全性評価の流れ¹⁾

され運用されている。日本でも漸くPD制度構築のための検討が開始され、平成17年度からの運用開始を目指して検討が進められている。以下に、その動き等を解説する。

2..... PD制度の必要性

平成14年に、BWRの原子炉再循環系（以「PLR」という。）配管（材質SUS316L系）でSCCが検出され、横波を用いた端部エコー法（以下「従来UT」という。）により欠陥寸法の測定が行われた。測定した配管を切断し欠陥寸法を実測したところ、従来

UTにより測定した深さが過小評価となる欠陥がいくつか認められた。これは、SCCが屈曲し複雑な形状となっていることに加え、SUS316L系配管溶接部では、SCCの先端部が溶接金属内部にまで進展している場合があった²⁾ことに起因している。SCCの形状が複雑なことから超音波のエコーが散乱しやすく先端部からのエコーを捉えることが困難な上に、当時の知見では、SCCは溶接継手の溶接熱影響部で発生して溶接熱影響部の中を進展すると理解されており、検査員はSCCの先端が溶接金属中にあることなど夢にも思わず、ひたすら溶接熱影響部内で先端を探していたためである。

上記に記すように、従来UTでは先端が溶接金属内部まで進展したSCCの深さを十分な精度で測定できない場合があったことから、欠陥の先端が溶接金属部に達していても十分な深さ測定精度が得られるように改良したUT手法（以下「改良UT」という。）の適用が検討された。改良UTとは、横波に比べて溶接金属内の透過性に優れた縦波と反射特性の優れた横波を組み合わせ、欠陥の先端部からの散乱波/回折波を捉えて欠陥形状の把握が容易になるようにした手法である。

改良UTによる欠陥深さの測定に当たっては、横波を用いた従来法の超音波探傷により欠陥エコーがあると判定されたものについて、2次クリーニング波法で欠陥があることの確認を行い、欠陥が確認された場合にその深さをフェーズドアレイ法又は端部エコー法により測定する。その際、UTを使用してSCCを含む欠陥の深さの測定を系統立てて実施した我が国最初のプロジェクトといえる「超音波探傷試験による欠陥検出性及びサイジング精度に関する確証試験」（以下「UTS」という。）等における経験を踏まえ、モード変換波法により欠陥形状の大まかな把握を行う、超音波の複数の入射角により探傷しデータを比較する、などを行い測定精度の向上を図ることとしている。

改良UTによるBWRのPLR配管等におけるSCCの深さ測定及び切断による深さの実測は、東京電力(株)柏崎刈羽原子力発電所1号機における「超音波探傷試験による再循環系配管サイジング精度向上に関する確証試験」並びに東北電力(株)、東京電力(株)及び中部電力(株)の各プラントにおいて実施されている。

これらの深さ測定精度は、UTSで平成14年度までに得られた従来UTによる深さ測定精度（「平均 - 2」 = - 4.4 mm）を超えるものはなく、改良UTは、SUS316L系材製の原子炉再循環系配管等のSCCによる欠陥深さの測定に有効であると評価された³⁾。図2に上記確証試験及び各プラントにおける測定結果を示す。

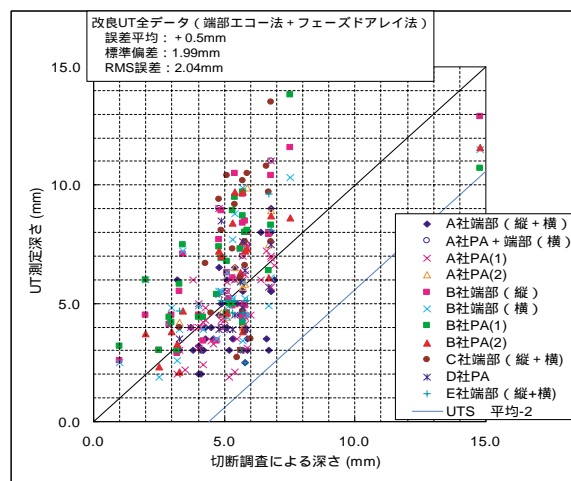


図2 確証試験及びプラント個別試験における寸法測定データの分布³⁾

しかしながら、改良UTによるSCC深さの測定は、複数の測定手法を組み合わせるなど高度な技術を要するものであり、しかも上記結果は十分に訓練を積んで高い技量を有する検査員によって得られた結果であることから、実機で検査を行う場合は、検査員の技量が一定レベルに達していることが必要となってくる。

こうした経緯を踏まえて、原子力安全・保安院は、総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会原子炉安全小委員会（平成16年8月10日開催）に提出した報告書「原子炉再循環系配管等の検査への改良超音波探傷試験の適用について」の中で、PD制度構築の必要性を「……我が国においてもこれ（筆者注：PD認証制度）を構築し、当該試験（筆者注：PD試験）によるひび割れの寸法測定等に係る能力を確認する必要がある。これまで、改良UTを含むUTによるひび割れの寸法測定に係る試験の手法及びデータが蓄積されてきており、これこれを踏まえたPD制度の構築が望まれる。」と記述している。

上記報告書の中で、教育・訓練は一定の能力があることを確保するために重要な役割を果たすとし

て、このPD制度の中に、教育・訓練機関を位置付けている⁴⁾。当協会の溶接・非破壊検査アカデミーでは、疲労き裂やSCCを付与した実規模のSUS配管試験体を用いたUT欠陥検出/寸法測定の実習コースを開設しているが、訓練を積み重ねることによって検出性及び深さ測定精度は確実に向上しており⁵⁾、上記の訓練の重要性を裏付けるものと考えられる。

このように、PDという資格認証試験によって技量を評価するとともに、訓練によって技量の維持向上を図ることが、健全性評価の基となる欠陥寸法の測定精度を向上させ一定水準に保持する上で必須と考えられる。

3.....海外におけるPD制度の動向⁶⁾

海外では、既にPD制度が運用されており、その概要は以下の通りである。

3.1 米国

ASME Sec.XI 1989年版のAddenda に、Appendix VIII “PERFORMANCE DEMONSTRATION FOR ULTRASONIC EXAMINATION SYSTEMS”としてPDが取り入れられたことから、米国産業界は、1991年EPRI（米国電力研究所）においてPDI（Performance Demonstration Initiative）プログラムの検討を開始し、EPRI/PDIプログラムを開発した。これは、ASME Sec. XI Appendix VIII を実施するに当たったの問題点等を検討し、改良したものである。

一方、NRCは、1997年12月のASME Sec.XI Appendix VIII の法律化案の発表以降、実施に当たったの問題点等やEPRI/PDIプログラムとの調整等についてEPRIと協議を重ね、連邦規則10CFR50.55aに、ASME Sec.XI Appendix VIII 又はEPRI/PDIプログラムを反映しAppendix VIIIを補足、修正した規定のいずれかでPDを実施することを定めた（1999年9月）。これにより、米国の原子力発電所のISIにおいては、実施に当たって対象部位のPD認証を取得することが必要となった。

認証試験は、超音波探傷装置、手順書及び検査員の技量を一括した形で行われ、試験体に付与されている欠陥の検出性、欠陥の寸法測定精度について判定が行われる。試験は、試験体に付与された欠陥に

関する情報が受験者には知らされない形（ブラインド試験）で行われる。

EPRI/PDIプログラムには、ベルギーや韓国、台湾といった国々も参加している。

3.2 欧州

欧州では、ISIで行われる非破壊検査の評価と資格に関する欧州における共通の枠組みを構築するという目的のもと、ENIQ（European Network for Inspection Qualification）の取り組みが、ECのネットワークプロジェクトとしてECの共同研究機関であるJRC（Joint Research Center）で1993年に開始された。当初ENIQは、JRCが管理する試験体を欧州各国に回送するラウンドロビン試験による資格認定システムを構築することを目標にしていたが、その後、各国が実情に合った資格認定制度の構築を行うのをサポートすることに主眼を移し、そのための共通の考え方や手順を示すこととし、推奨手法（Recommended Practice）が1998年以降順次発行されている。

ASMEと異なり、認証は技術確認（Technical Justification）と試験体による評価（Practical Assessment）の二つの方法を組み合わせて実施している。技術確認は、試験が要件に適合可能であることを示す根拠（実験または理論による）や測定に当たった重要なパラメータ及びその有効範囲等を申請者が提示し、その妥当性を確認するもので、装置と手順書の認証に用いられる。検査員は、認証された探傷装置と手順書を用いて、欠陥が付与された試験体によるブラインド試験等により認証を受けるもので、試験体による評価を最小限ですませる意図があるとされている。

4.....日本におけるPD認証制度の構築

日本におけるPD認証制度の構築の必要性を記述した上記報告書「原子炉再循環系配管等の検査への改良超音波探傷試験の適用について」が原子炉安全小委員会です承されたことから、PD制度構築に向けての動きが加速された。

原子力安全・保安院が「経済産業省のNews Release ひび割れ深さの測定能力に関するPD認証

制度発足のための検討開始について（平成16年11月30日）」で、「……PD 認証制度の確立が喫緊の課題となっている。……PD 認証制度について、中立性、透明性及び関係機関の独立性が確保される限り、国の認証制度として設ける必要はなく、民間主体で構築、運営されればよい。……」と述べており、これを受けて、制度検討のためのPD 認証制度準備委員会（(社)日本非破壊検査協会に設置。以下「PD 準備委員会」という。）が平成16年12月1日に関係機関を集めて開催された。

学識経験者、国及び関係機関が参加して平成16年12月から平成17年3月まで審議を重ね、PD 認証制度の骨格を形成した。規格については、平成17年度からの運用を目指して早急に制定する必要があることから、日本非破壊検査協会規格（NDIS）として作成することとした。

PD 認証制度の全体構成を図3に示す。、PD 認証機関として(社)日本非破壊検査協会、PD 資格試験機関/PD 試験センターとして(財)電力中央研究所、PD 研修センターとして(財)発電設備技術検査協会等が役割を分担する案で検討が進められている。

5..... おわりに

日本において、漸くPD 制度が構築されることとなった。原子力プラントの高経年化が進む中で、「検査」の重要性が認識されるようになり、原子力プラントの保全において「検査」は欠かせない存在となりつつある。これまでどちらかと言うと縁の下の力持ちであった「検査」が、機器の健全性評価

の要に位置することとなり、「検査」に対する社会的な評価もより高まってくるものと思われる。

こうした背景を踏まえ、「検査員」は自らの仕事の重要性を認識するとともに、それが社会に与える責任を自覚して、自己研鑽に励むことが肝要と思われる。

PD 制度は、原子力プラントの健全性確保に貢献する「検査員」の資質向上に大いに寄与するものである。そして、PD 制度の発足が、単なる資格認証ということだけに留まらず、「検査員」の自覚を促し、延いては「検査員」の社会的地位の向上につながるものとなることを願う次第である。

参考文献

- [1] 日本機械学会「発電用原子力設備規格 維持規格（2002年改訂版）JSME S NA1-2002」
- [2] 鈴木俊一 他6名「原子炉再循環系配管のSCC 損傷評価」保全学 Vol.3 No.2 pp65 - 70
- [3] 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会 原子力発電設備の健全性評価等に関する小委員会（第8回）資料8-2「(財)発電設備技術検査協 “超音波探傷試験による再循環系配管サイジング精度向上に関する確性試験について”」平成15年6月
- [4] 原子力安全・保安院「原子炉再循環系配管等の検査への改良超音波探傷試験の適用について」（平成16年8月10日）
- [5] 米山弘志他2名「超音波探傷試験による疲労き裂とSCCの検出及び深さ測定に関する教育訓練の効果」平成16年度火力原子力発電大会論文集 平成17年2月
- [6] 古賀功介「欧米における認証システムPerformance Demonstration (PD) の調査報告」火力原子力発電, Vol.54, No.560, pp.615-624, 2003

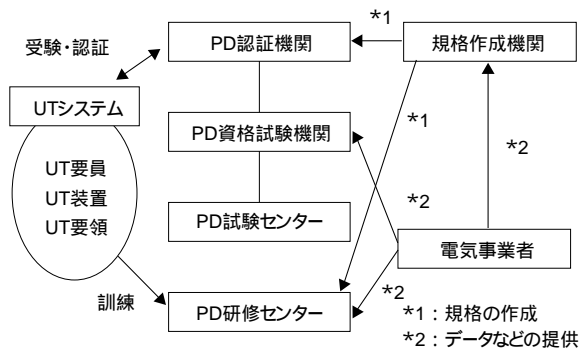


図3 PD社会の全体構成



山口 篤憲

出願特許一覧

1	特許件名	皮膚切断法による微粉末積層皮膜厚測定法	発明者	三好 滋
	出願番号・出願日	特願平5-271499 H5.10.29	登録番号・登録日	特許第2522635号 H8.5.31
	概要	浸透探傷試験用現像剤を塗布したときの積層皮膜の厚さを、切断法により測定する方法		
2	特許件名	膜厚指示計を用いた微粉末積層皮膜厚測定法	発明者	三好 滋
	出願番号・出願日	特願平5-271500 H5.10.29	登録番号・登録日	特許第2506557号 H8.5.31
	概要	浸透探傷試験用現像剤を塗布したときの積層皮膜の厚さを、膜厚指示計を用いて測定する方法		
3	特許件名	非破壊検査用標準試験体及び製造方法	発明者	岸上守孝 他 (IHIと共同出願)
	出願番号・出願日	特願平7-217539 H7.8.25	登録番号・登録日	特許第3314849号 H14.6.7
	概要	熱間静水圧プレス又はホットプレスによる拡散接合を用いて製作した、標準欠陥を内在する非破壊検査用標準試験体及びその製造方法		
4	特許件名	交流磁化を用いた強磁性体の溶接物の溶接後熱処理評価装置	発明者	志波光晴 他
	出願番号・出願日	特願2000-62964号 H12.3.4	登録番号・登録日	特許第3355322号 H14.9.27
	概要	強磁性体の溶接構造物が熱処理されたかどうか及び熱処理した時の温度を、非破壊的に簡単に評価できる装置		
5	特許件名	交流磁化を用いた強磁性体構造物のクリープ損傷評価方法及び装置	発明者	志波光晴 他
	出願番号・出願日	特願2000-62965号 H12.3.4	登録番号・登録日	特許第3461781号 H15.8.15
	概要	特許第3355322号の装置を、強磁性体金属材料及び溶接構造物のクリープ損傷評価に適用		
6	特許件名	固体内弾性波伝搬の可視化方法及び装置	発明者	古川 敬 他
	出願番号・出願日	特願2000-111003号 H12.4.12 (出願) H13.12.14 (審査請求)	登録番号・登録日	—
	概要	超音波が固体内を伝わる様子を、目に見えるようにした(可視化)手法及び装置		
7	特許件名	Method and Apparatus for Visualizing Elastic Wave Propagation in a Solid Substance (米国特許出願)	発明者	古川 敬 他
	出願番号・出願日	09/695,911 2000.10.26	登録番号・登録日	US6,535,828 B1 2003.3.18
	概要	超音波が固体内を伝わる様子を、目に見えるようにした(可視化)手法及び装置		
8	特許件名	超音波探触子の位置・首振り量の測定方法及び装置	発明者	古川 敬 他
	出願番号・出願日	特願2002-29015号 H14.3.1	登録番号・登録日	特許第3585467号 H16.8.13
	概要	超音波探触子の相対的な位置(または移動量)及び探触子の首振り量を自動的に測定する方法及び装置		
9	特許件名	超音波探傷方法および超音波探傷装置	発明者	古川 敬 他
	出願番号・出願日	特願2002-30618号 H14.3.1	登録番号・登録日	—
	概要	超音波探傷試験で測定した波形と解析により予測した波形を比較し、欠陥からの信号のみを検出可能にした方法及び装置		
10	特許件名	非破壊高温クリープ損傷評価方法	発明者	志波光晴 他
	出願番号・出願日	特願2002-308126号 H14.11.14	登録番号・登録日	—
	概要	供用中のボイラなどの高温機器において、非破壊的に測定された物理量を用いて、クリープ損傷率を評価し、余寿命時間を求める方法		
11	特許件名	クリープポイドの非破壊検出方法	発明者	志波光晴 他
	出願番号・出願日	特願2002-308129号 H14.11.14	登録番号・登録日	—
	概要	供用中のボイラなどの高温機器において、交流磁化測定により、簡便かつ非破壊的に現地においてクリープポイドを検出する方法		

学協会誌等への論文発表

学協会誌名	著者	論文名称	掲載誌発行年月
INSIGHT	陳 鋼珠 山口篤憲 他	Signal processing for detection and characterization of defects from composite eddy current signals	Vol.39, No.11, p.785-789, 1997
IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS	陳 鋼珠 山口篤憲 他	A Novel Signal Processing Technique for Eddy -Current Testing of Steam Generator Tubes	Vol.34, No.3, p.642-647, May, 1998
WELDING journal	堀井行彦 糸 亮一 上杉信夫 他	Thermal Embrittlement of Simulated Heat-Affected Zone in Cast Austenitic Stainless Steels	Vol.77, No.8, p.350-360, August, 1998
Journal of Nuclear Materials	中東重雄 中村治方 上杉信夫 他	Effect of weld thermal cycle on helium bubble formation in stainless steel	Vol.258-263, p.2013-2017 1998
	中東重雄 上杉信夫 中村治方 他	Weldability of helium-containing stainless steels using a YAG laser	Vol.258-263, p.2018-2022, 1998
火力原子力発電	陳 鋼珠 米山弘志 山口篤憲 上杉信夫	ウェーブレット解析の渦電流探傷法への適応	Vol.49, No.507, p.70-78, 1998
Journal of Pressure Vessel Technology	志波光晴 山口篤憲 佐藤正信 村尾周仁 永井正雄	Acoustic Emission Waveform Analysis From Weld Defects in Steel Ring Samples	Vol.121, p.77-83, February 1999
圧力技術	堀井行彦 西川 聡 糸 亮一 他	鑄造2相ステンレス鋼の溶接熱影響部の熱時効脆化 第1報 溶接熱影響部の熱時効脆化挙動	Vol.39, No.3 第1報 p.2-8 第2報 p.9-15 2001
	堀井行彦 西川 聡 上杉信夫 他	鑄造2相ステンレス鋼の溶接熱影響部の熱時効脆化 第2報 溶接熱影響部の熱時効脆化の機構	
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics	陳 鋼珠	Theoretical Investigation of Change of Magnetic Property due to Creep Damage using Jiles-Atherton Magnetization Model	Vol.16, p.189-196, 2002
	程 衛英	"Finite Element Simulation of Magneto inductive Evaluation of PWHT Temperature of Cr-Mo Steel Welded Joints"	Vol.19(2004)125-130
非破壊検査	古川 敬 志波光晴 他	超音波可視化法を用いた等方性黒鉛内の超音波の伝播特性評価	2004.4.5 投稿
火力原子力発電	志波光晴 糸 亮一 他	高Cr鋼の交流磁化法によるクリープ損傷評価技術の開発	Vol.55, No 8, p.830-836
保全学	古川 敬 古村一朗 他	原子炉再循環系配管のSCC深さサイジング技術	Vol.3, No.3(2004), p.51-55
Journal of Synchrotron Radiation	中東重雄 他	High temperature and high pressure in-situ SCC device for SR diffraction Experiments and application for an austenitic stainless steel	2004.9.17 投稿

学協会誌名	著者	論文名称	掲載誌発行年月
平成16年度 火力原子力発電大会論文集	程 衛英 古村 一朗 志波光晴 他	炉内構造物検査への渦流探傷技術の摘要評価	広島大会1-2-6 (2004年10月)
日本鉄鋼協会「鉄と鋼」	中東重雄 他	Effects of surface grinding hardness distribution and residual stress in low carbon Austenitic stainless steel SUS316L	Vol.44(2004)No.10
火力原子力発電	西川 聡 堀井行彦 佐藤正信 他	配管周継手の局部後熱処理の適正施工条件について	Vol.56 No.6

学協会等への口頭発表

平成16年度

学協会名	開催日時・場所	発表者等	発表テーマ名	
〔非破壊〕	5th International Workshop on Integrity of Nuclear Components	2004/4/21 京都	古川 敬 他	SCC Experience and NDE Technologies on Recirculation Piping in BWRs
	非破壊検査協会 超音波分科会	2004/6/24 仙台	古川 敬 古村一朗	欠陥深さ予備測定に関するシミュレーション解析
	日本保全学会 第1回学術講演会	2004/7/9 東京(東京大学)	志波光晴 他	交流磁化プローブを用いた鑄鉄構造物の材料評価
	日本機械学会 2004年次大会	2004/9/6 札幌(北海道大学)	志波光晴 程 衛英 衆 亮一 堀井行彦	交流磁化を用いた溶接構造物の非破壊による健全性評価方法の開発
	平成16年度 火力原子力発電大会	2004/10/27 広島(厚生年金会館)	米山弘志	超音波探傷試験による疲労き裂とIGSCCの検出及び深さ測定に関する教育訓練の効果について
			程 衛英 古村一朗 志波光晴	炉内構造物検査への渦流探傷技術の適用性評価
	第4回 NDE国際会議	2004/12/6 イギリス	志波光晴 程 衛英 衆 亮一 堀井行彦	Development of Structural Integrity Evaluation Technique for Weldments by AC Magnetic Method
	非破壊検査協会 超音波シンポジウム	2005/1/27 東京 (アルカディア市ヶ谷)	古川 敬 山田晶宏 古村一朗	Phased array超音波探触子音場の数値シミュレーション
JNES規格基準部セミナー 「応力腐食割れき裂進展評価と検出技術」	2005/1/31 東京(自転車会館)	古川 敬	Ni基合金溶接金属における欠陥検出及びサイジング特性	
〔材料〕	腐食防食協会 第51回材料と環境討論会	2004/9/8 名古屋 (大同工業大学)	中東重雄 他	高温高圧水中における強加工316Lステンレス鋼 応力腐食割れのSSRTによる評価
	熱処理学会平成16年 秋季(第59回)講演大会	2004/12/7 大阪(関西大学)	中東重雄 他	加工熱処理した極低炭素ステンレス鋼の 残留応力評価と析出物
	日本鉄鋼協会 「中性子および放射光散乱を用いる鉄鋼材料の研究フォーラム」	2004/7/20 兵庫 (先端科学技術センター)	中東重雄 他	冷間加工を施したオーステナイト系ステンレス鋼の組織および残留応力
	第18回 日本放射光学会年会・ 放射光化学合同シンポジウム	2005/1/7 佐賀(サンメッセ鳥栖)	中東重雄 他	放射光を利用したステンレス鋼SUS316Lの 高温高圧水中その場応力測定
	日本原子力学会 2005年春の年会	2005/3/29 横浜(横浜国大)	中東重雄 他	放射光を用いたステンレス鋼の高温高圧水中その場観察
〔溶接〕	平成16年度 火力原子力発電大会	2004/10/28 広島(厚生年金会館)	西川 聡 堀井行彦 他	Cr-Mo系耐熱鋼管の局部溶接後熱処理施工条件の適正化について
	第30回MPAセミナー	2004/10/6 ドイツ シュツットガルト	松田福久 水野亮二 他	Appropriate Welding Conditions of Temper Bead Weld Repair for SQV2A Pressure Vessel Steel

平成15年度

学協会名	開催日時・場所	発表者等	発表テーマ名	
「非破壊」	ISEM2003, Paris	2003/5/12-14 Paris, France	程 衛英 志波光晴 陳 鋼珠 米山弘志 他	Finite Element Simulation of Magneto inductive Evaluation of PWHT Temperature of Cr-Mo Steel Welded Joints
	eNDE2003, Paris	2003/5/15-16 Paris, France	志波光晴 程 衛英 衆 亮一 米山弘志	Non-destructive Detection of Creep Void Using AC Magnetic Method
	平成15年度 非破壊検査協会春季大会	2003/5/27-28 東京 (アルカディア市谷)	志波光晴 程 衛英 衆 亮一 米山弘志	交流磁化時の波形解析による低合金鋼のクリープ損傷の非破壊評価
			志波光晴 程 衛英 米山弘志 他	インコネル溶接金属の渦電流と超音波探傷による欠陥検出・評価
	(社)日本非破壊検査協会 超音波分科会	2003/7/16 北海道	古川 敬	改良UT手法による欠陥高さサイジング試験の紹介 (超音波探傷試験による再循環系配管サイジング(寸法測定)精度向上に関する確認試験について)
	QNDE2003,	2003, 7/27-8/1 Green Bay	志波光晴 程 衛英 衆 亮一	Creep Void Detection for Low Alloy Steel Using AC Magnetic Method
	平成15年度 火力原子力発電秋季大会	2003/10/15-17 福岡	古川 敬 西川 聡 堀井行彦	オーステナイト系鋼溶接部の超音波探傷結果の評価手法
			石上秀之、 小池高雄 (中部電力) 志波光晴 衆 亮一	高Cr鋼の交流磁化法によるクリープ損傷評価技術の開発
	平成15年度 NDI秋季大会	2003/11/8 東京	志波光晴 他	「円柱グラファイトノズルスロット素材の全没水浸型超音波自動探傷法による全方位欠陥の体積検査方法」規格について
	第5回 構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム (日本学術会議)	2003/11/26-28 東京(六本木)	古川 敬 志波光晴 他	等方性グラファイトの超音波可視化法による伝搬特性評価
	第14回 AEコンファランス	2003/11/18-19 熊本(熊本大学)	志波光晴 他	「JIS Z 2342-2002圧力容器の耐圧試験等におけるAE試験方法及び試験結果の等級分類方法」におけるAE試験方法
	第11回 超音波による非破壊評価 シンポジウム	2004/1/26-27 東京 (ぎゅうりあんホール)	米山弘志	NDIS 2424 オーステナイト系ステンレス鋼溶接部の超音波探傷試験方法
(社)日本非破壊検査協会 表面分科会・渦流探傷研究会	2004/1/23 横浜(鶴見)	志波光晴 程 衛英 衆 亮一 米山弘志	交流磁化法による材料評価	

学協会名	開催日時・場所	発表者等	発表テーマ名	
【非破壊】	日本金属学会 平成15年度春季大会	2004/3/30 東京(東京工業大学)	志波光晴 他	「グラファイト素材の超音波自動探傷方法」規格化
	(社)日本溶接協会 「原子力発電設備の非破壊 検査技術と認証システム」 シンポジウム	2004/2/5 東京(化学会館)	古村一郎	超音波探傷試験の最新技術動向
	第13回MAGDA	2004/3/26 仙台(東北大学)	志波光晴 程 衛英 西川 聡 堀井行彦 他	Ni基合金の熱処理における電磁気基礎特性
【材料】	日本金属学会 平成15年度春季大会	2004/3/30 東京(東京工業大学)	中東重雄 他	低合金鋼中のヘリウムバブル挙動

平成14年度

学協会名	開催日時・場所	発表者等	発表テーマ名	
【非破壊】	The 8th International Workshop on Electromagnetics Nondestructive Evaluation	2002/6/ 12-14 Saarbrucken, Germany	志波光晴 陳 鋼珠 堀井行彦 米山弘志	"Evaluation of PWHT Temperature for Cr-Mo Steel Welded Joint by AC Magnetic Signal Analysis"
	平成14年度 火力原子力発電大会	2002/10/25,26 札幌 (北海道厚生年金会館)	古川 敬 西川 聡 青野健二郎 米山弘志 他	超音波の可視化と簡易シミュレーションによる 超音波探傷試験の支援技術
	(財)溶接接合工学振興会 平成14年度セミナー	2002/10/22 東京(ゆうぽうと)	中田志津雄 三原田八水 青野健二郎 米山弘志 他	原子力発電設備溶接部の製造時検査方法-溶接欠陥と 機械強度及び非破壊試験との関係 (SGF-SUNの成果)-
	平成14年度 宇宙構造・材料シンポジウム	2002/11/8 東京 (宇宙科学研究所)	古川 敬 志波光晴	グラファイトノズルスロット材料の超音波伝播特性評価
			志波光晴 古川 敬 他	グラファイトノズルスロット材料の超音波反射源の評価
			志波光晴 他	パルス反射・全方位垂直探傷・全没水浸法による グラファイトノズルスロットの超音波自動探傷方法(規格)
	The First International Workshop on Hierarchical Life Cycle Evaluation of Complex Systems	2002/12/5 仙台(東北大学)	志波光晴 程 衛英 糸 亮一	"Evaluation of creep damage by AC Magnetic Signal Analysis"
	日本金属学会 2003年春期大会	2003/3/27~29 千葉(千葉大学)	志波光晴 古川 敬 他	固体ロケットモータノズルスロット用グラファイトの 超音波伝播特性
			志波光晴 他	固体ロケットモータノズルスロット用グラファイトの アレイ型超音波探傷システム
	第12回MAGMAコンファレンス	2003/3/27,28 大分(大分大学)	程 衛英 志波光晴 古川 敬 他	超音波と渦電流探傷によるインコネル溶接金属の 欠陥検出評価

学協会名	開催日時・場所	発表者等	発表テーマ名	
【材料】	日本電子顕微鏡学会	2002/5/14~16 大阪 (国際交流センター)	中東重雄 他	「EDSマッピングによる照射された鉄合金中のナノクラスタの同定」
	日本金属学会 2003年春期大会	2003/3/27~29 千葉(千葉大学)	山田晶宏 中東重雄 他	「圧力容器鋼に注入したヘリウムの挙動」
【溶接】	日本溶接学会秋季全国大会 高山 (高山市民文化会館)	2002/10/3~5	西川 聡 堀井行彦 他	Cr-Mo系耐熱鋼溶接部の残留応力パイプ突き合わせ継手に対する局部溶接後熱処理(第5報)
			陸 皓 西川 聡 堀井行彦	円周局部加熱を受けるパイプの応力履歴に及ぼす材料特性の影響—パイプ突き合わせ継手に対する局部溶接後熱処理(第6報)

平成13年度

学協会名	開催日時・場所	発表者等	発表テーマ名	
【非破壊】	International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (ISEM-TOKYO)	2001/5/ 14-16 東京 (都市センターホール)	陳 鋼珠 杉林卓也 志波光晴 米山弘志	Investigation of Subsurface Flaw Detectability of Magnetic Flux Leakage Testing
	原子力発電安全月間 記念講演会	2001/5/23 東京(JEMAホール)	三原田八水	原子力発電設備溶接部の製造時検査方法
	The 3rd Asian Symposium on Applied Electromagnetics (ASAEM-2001)	2001/5/ 28-30 Hangzhou, China	陳 鋼珠 志波光晴 米山弘志	Theoretical study of effect of creep damage on magnetic property
	日本非破壊検査協会 平成13年度春季大会	2001/5/30,31 東京 (アルカディア市ヶ谷)	古川 敬 米山弘志 三原田八水 石田仁志	超音波探傷シミュレーションのための3次元レイトレース法解析コードの開発
	The 8th Japanese-German Joint Seminar on Structural Integrity and NDE in Power Engineering (日独セミナー)	2001/5/ 31 東京(東大 山上会館)	志波光晴 陳 鋼珠 堀井行彦 米山弘志	Non-destructive Evaluation for PWHT Temperature of Low Alloy Steel Welded Joints by Using AC Magnetic Method
			古川 敬 米山弘志 堀井行彦 他	A New System for visualization of propagating ultrasonic Pulse wave in austenitic stainless steel welds
			中田志津雄 青野健二郎 古川 敬 他	Research on Standards Unified for Non-Destructive Inspection of Welded Components (SUN)
	13回 AE総合コンファレンス	2001/10/2,3 北九州 (九州工業大学)	志波光晴 他	JIS-Z 2342:1991「圧力容器の耐圧試験時のアコースティック・エミッション試験方法」改正原案について
	3rd International Conference on NDE in Relation to Structural Integrity for Nuclear and Pressurized Components	2001/11/ 14-16 Seville Spain	志波光晴 陳 鋼珠 堀井行彦 米山弘志	EVALUATION OF PWHT TEMPERATURE FOR LOW ALLOY STEEL GIRTH WELD BY USING AC MAGNETIC PROBE METHOD
	第9回超音波による 非破壊評価シンポジウム	2002/1/30,31 東京 (ぎゅりあん小ホール)	陳 鋼珠 杉林卓也 米山弘志	"Enhancement of Signal-To-Noise Ratio of UT Signals from Stainless Steel Welds Signals by Using Wavelet Transform"

学協会名	開催日時・場所	発表者等	発表テーマ名	
〔材料〕	82nd American Welding Society (AWS) Convention	2001/6/6 Cleveland, Ohio, USA	山田晶宏 齋藤利之 中東重雄 他	Analysis and Proof of Hot Strain Behavior during Welding
	機械学会M&M2001 材料力学部門講演会	2001/8/1~3 北見(北見工大)	山田晶宏 齋藤利之 中東重雄 他	溶接施工中の溶融部近傍におけるひずみ挙動
	29th Nuclear Safety Research Conference	2001/10/ 22-24 Washington D.C.,USA	山口篤憲	Aging Evaluation of Cables in Japan
	環太平洋先端材料国際会議	2001/12/ 11-15 Hawaii, USA	中東重雄 他	Radiation Effect on Corrosion Susceptibility of Heat Affected Zone in Weld Stainless Steels
	日本金属学会2002年春期大会	2002/3/28~30 東京(東京理科大)	中東重雄 他	TEMによる照射された低合金モデル鋼中の微小クラスタの評価
〔溶接〕	火力原子力発電大会	2001/9/19,20 大阪 (大阪国際会議場)	堀井行彦	炭素鋼配管の局部PWHT時の有効加熱範囲について
	溶接学会秋期大会	2001/10/10~12 盛岡 (ホテル東日本盛岡)	西川 聡 志波光晴 堀井行彦 米山弘志	熱処理条件の非破壊評価手法の検討 —局部PWHT溶接部の性能評価に関する研究(第1報)—
			西川 聡 古川 敬 米山弘志 堀井行彦	オーステナイト系SUS溶接継手の超音波伝搬特性と組織 —オーステナイト系溶接継手の超音波特性に関する研究(第1報)—
	溶接学会第7回国際シンポジウム	2001/11/20~22 神戸 (神戸国際会議場)	堀井行彦 古川 敬 西川 聡 米山弘志 他	Study on Improvement of Weld Metal Structures Suitable for Ultrasonic Testing of Austenitic Stainless Steels

平成12年度

学協会名	開催日時・場所	発表者等	発表テーマ名
〔非破壊〕	日本非破壊検査協会 平成12年度 春季大会	米山弘志 妹尾 誠 三原田八水 上杉信夫	同形状・同寸法の放電加工ノッチと疲労クラックにおけるエコー高さの比較
		古川 敬 米山弘志 堀井行彦	オーステナイト系SUS溶接部の超音波伝搬の特性と溶接条件等の関係—超音波探傷性能の改善に関する基礎研究(第2報)—
〔非破壊〕	2nd International Conference on NDE in Relation to Structural Integrity for Nuclear and Pressurized Components	米山弘志 妹尾 誠 三原田八水 上杉信夫	Comparison of Echo Height between Fatigue Crack and EDM Notch
		志波光晴 山口篤憲 米山弘志 他	Evaluation of Creep Damage and PWHT Temperature of Low Alloy Steel Using AC Magnetic Method
		古川 敬 米山弘志 堀井行彦 他	Measurement of Ultrasonic Wave Propagation in Austenitic Stainless Steel Welds—(1)

学協会名	開催日時・場所	発表者等	発表テーマ名	
〔非破壊〕	21世紀に向けた材料研究に関する第10回池谷コンファレンス	2000/6/26~30 軽井沢 (軽井沢プリンス)	志波光晴 堀井行彦 糸 亮一 米山弘志 他	EVALUATION OF POST WELD HEAT TREATMENT TEMPERATURE OF LOW ALLOY STEEL WELD JOINTS USING AC MAGNETIC METHOD
	日本非破壊検査協会 平成12年度 秋季大会	2000/11/8~10 仙台 (仙台市戦災復興 記念館)	米山弘志 妹尾 誠 杉林卓也 他	TOFD法によるノズルコーナの探傷試験
			中田志津雄 青野健二郎 米山弘志 中東重雄 他	溶接欠陥の機械強度及び非破壊試験との関係調査(その1)
			青野健二郎 古川 敬 米山弘志 中田志津雄	溶接金属内部欠陥とUTおよびRTによる非破壊信号量との関係(溶接欠陥の機械強度及び非破壊試験との関係調査(その2))
	8回超音波による 非破壊評価シンポジウム	2001/1/22,23 東京 (ぎゅりあんホール)	志波光晴 米山弘志	NDIS 2113に基づく斜角探触子のビーム特性評価
			陳 鋼珠 杉林卓也 米山弘志	ウェーブレット解析を用いたSUS溶接部UT信号のSN比改善(3)
古川 敬 青野健二郎 米山弘志			金属単結晶内の超音波伝搬の可視化	
〔溶接〕	Fifth International Conference on Engineering Structural Integrity	2000/9/19-21 Cambridge, England	中田志津雄 三原田八水 中東重雄 他	“FATIGUE STRENGTH OF WELDED JOINT INCLUDING THE WELD DEFECT IN THE WELD METAL”
	溶接学会平成12年度 秋季全国大会	2000/9/28~30 高知(高知大)	糸 亮一 佐藤正信 他	「内圧クリープ試験によるMod.9Cr-1Mo鋼溶接継手部のクリープ損傷評価」
	PVRC年次大会	2001/1/19-22 San Diego, USA	堀井行彦	“JAPEIC Project on local PWHT”

平成11年度

学協会名	開催日時・場所	発表者等	発表テーマ名	
〔非破壊〕	The 7th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE-7)	1999/4/19-23 東京(京王プラザ)	山口篤憲 河野克巳 杉林卓也 松坂 矯	DEVELOPMENT OF NONDESTRUCTIVE DEGRADATION EVALUATION TECHNIQUE FOR NUCLEAR POWER PLANT
	ASME Code Committee	1999/5/16-22 Greensboro, USA	山口篤憲 河野克巳 杉林卓也 松坂 矯	Development of Nondestructive Degradation Evaluation Technique for Nuclear Power Plant Structure
	A Workshop on Nondestructive Characterization of Embrittlement in Reactor Pressure Vessel Steels	1999/7/21-23 Boulder, USA	山口篤憲	Evaluation of Irradiated Pressure Vessel Steel by Non-destructive Methods

学協会名	開催日時・場所	発表者等	発表テーマ名	
〔非破壊〕	日本機械学会 1999年度年次大会	1999/7/27-29 東京(慶応大)	中田志津雄 三原田八水 中東重雄 他	溶接金属内に面状欠陥を有する溶接継手の 疲労強度評価
	平成11年度 火力原子力発電大会	1999/10/6-8 仙台(仙台プラザ)	青野健二郎 古川 敬 米山弘志 他	斜角探触子の距離振幅特性曲線(DAC)と 欠陥検出能力の研究
	日本非破壊検査協会 平成11年度秋季大会	1999/10/27-29 札幌(札幌サンプラザ)	古川 敬 米山弘志 堀井行彦 他	オーステナイト系ステンレス鋼溶接部の超音波伝搬の 測定—超音波探傷性能改善に関する基礎研究(第一報)—
	第12回アコースティック・エミッション 総合コンファレンス	1999/11/18,19 東京(東京都立大)	志波光晴 米山弘志	波形解析による耐圧試験中の溶接欠陥からのき裂進展 及び漏洩時のAE特性
	第7回超音波による 非破壊評価シンポジウム	2000/1/27,28 東京 (飯田橋レインボーホール)	古川 敬 米山弘志 他	二探触子法を用いた固体内超音波の直接可視化法
			陳 鋼珠 米山弘志	超音波信号のウェーブレット解析による欠陥エコーの検出
			青野健二郎 古川 敬 米山弘志 他	斜角UTによる溶接金属内部面状欠陥の検出性及び サイジング精度
妹尾 誠 米山弘志 他			炭素鋼における人工ノッチと疲労き裂の 超音波エコー特性の比較	
〔材料〕	日本原子力学会1999年 秋の大会	1999/9/10-12 新潟(新潟工大)	中東重雄 他	He含有ステンレス鋼へのYAGレーザ溶接の適用性検討
	日本原子力学会2000年 春の大会	2000/3/28-30 愛媛(愛媛大)	中東重雄 他	改良型陽電子消滅法による原子炉圧力容器鋼の 劣化評価
	日本金属学会2000年 春期大会	2000/3/29-31 神奈川(横浜国大)	中東重雄 他	中性子照射した溶接304鋼の熱影響部の析出挙動
			中東重雄 上杉信夫 他	SUS304鋼の損傷組織に及ぼすHe同時注入効果
〔溶接〕	ASME Pressure Vessel and Piping Conference	1999/8/ 1- 5 Boston USA	堀井行彦 (村川助教授代読)	Influence of Heating Condition on Temperature Distribution During Local PWHT
	Pressure Vessel Research Council Meeting	1999/10/ 18, 19 Huston USA	堀井行彦	Verification Test of FEM Analysis on optimum heating width for local PWHT(Carbon Steel Pipes, STPT480) (Phase II Mod.9Cr-1Mo Steel Pipe,T91)
	溶接学会平成11年度 秋季全国大会	1999/11/10~12 沖縄(琉球大)	堀井行彦 佐藤正信 陸 皓 他	熱処理中の温度分布の実測及び推定 —パイプ突合せ継手に対する局部後熱処理—第3報—
	溶接構造シンポジウム99	1999/12/1,2 大阪(大阪大)	堀井行彦 佐藤正信	配管局部PWHT時の温度分布及び残留応力について

平成10年度

学協会名	開催日時・場所	発表者等	発表テーマ名	
【非破壊】	日本機械学会 第75期通常総会講演会	1998/3/31～4/3 東京(東京工大)	山口篤憲 志波光晴 米山弘志	磁気光学素子を用いた表面微小欠陥の検出と定量化
	日本非破壊検査協会 平成10年度春季大会	1998/5/26,27 東京 (アルカディア市ヶ谷)	河野克巳 杉林卓也 松坂 矯	渦電流法による原子力プラント材料の非破壊劣化評価
			河野克巳 杉林卓也 松坂矯	超音波減衰係数及び後方散乱強度測定による 原子力プラント材料の非破壊劣化検出技術
	1st International Conference on NDE in Relation to Structural Integrity for Nuclear and Pressurized Components	1998/10/ 20-22 Amsterdam Netherland	米山弘志 青野健二郎 中田志津雄 井桁正巳	A study of capability of flaw detection and accuracy of flaw sizing using ultrasonic testing (The 1st report)
	日本非破壊検査協会 平成10年度秋季大会	1998/11/11,12 名古屋 (名古屋国際会議場)	杉林卓也 米山弘志	TOFD法による炭素鋼及びステンレス鋼内 人工きずのサイジング
			志波光晴 米山弘志 他	耐圧試験時に漏洩を生じる溶接欠陥を導入した 圧力容器のAE特性
			青野健二郎 米山弘志 中田志津雄 井桁正巳	斜角UTによる溶接金属内部欠陥のサイジング精度に 関する一実験(第1報)
	第6回超音波による 非破壊評価シンポジウム	1999/1/21,22 東京(工学院大)	妹尾 誠 三原田八水 河野克巳	TOFD法及び端部エコー法による人工きずのサイジング
			志波光晴 米山弘志	使用中の斜角探触子の寸法測定精度評価方法
			古川 敬 陳 鋼珠 米山弘志 上杉信夫	ウェーブレット解析を用いた超音波信号のSN比改善(1)
【材料】	日本金属学会1998年 秋期大会	1998/9/28—30 愛媛(愛媛大)	中東重雄 上杉信夫 他	SUS304鋼の溶接部における照射損傷組織
	日本金属学会1999年 春期大会	1999/3/29—31 東京(東京工大)	中東重雄 他	Fe—Cuモデル合金の陽電子捕縛微小析出物と硬化
【溶接】	MPA Seminar	1998 /10/ 8,9 Stuttgart Germany	堀井行彦 佐藤正信 他	Research on Suitable Heating conditions during Local PWHT (Report I)

論文等表彰

氏名	受賞名等	機関等・受賞日	受賞内容
青野健二郎	平成13年度新進賞	(社)日本非破壊検査協会 平成13年5月31日 (NDI協会春季大会)	この新進賞は、平成13年度に行なわれたNDI協会各大会での発表の中から、特に優れた発表を行なった若手研究者に送られる賞である。 受賞対象: 「溶接金属内部欠陥とUT及びRTIによる非破壊信号量との関係」(H13年度秋季大会で発表)
西川 聡	研究発表賞	(社)日本溶接学会 平成14年4月25日	35歳未満の若手研究者に対する賞で、発表論文「熱処理条件の非破壊的評価手法の検討—局部PWHT溶接部の性能評価に関する研究(第1報)」に対して受賞したものである。
西川 聡	科学技術奨励賞	(社)日本高圧力技術協会 平成14年5月24日	若手研究者に対する賞で、発表論文「鍛造2相ステンレス鋼の溶接熱影響部の熱時効評価—第1・2報—」に対して受賞したものである。
志波光晴他	技術賞 開発奨励賞	(社)日本溶接協会 平成14年5月29日	研究成果報告「交流磁化法による施工後の溶接熱処理温度評価」に対して受賞したものである。
青野健二郎	「火力原子力発電」 掲載論文賞	(社)火力原子力発電技術協会 平成14年9月25日	掲載論文「斜角探触子の距離振幅特性曲線と欠陥検出能力の評価」に対して受賞したものである。
水野亮二	木原奨励賞	(財)溶接接合工学振興会 平成16年5月13日	木原奨励賞は、(財)溶接接合工学振興会の事業の一つとして毎年1回、溶接接合工学の分野における新進気鋭の研究者、技術者に授与されるもので、受賞候補者は原則として35歳以下であり(財)溶接接合工学振興会会員、会社及び理事会が認める関連団体並びにその理事会の推薦により与えられるものである。今回評価を受けた水野研究員の主な研究テーマ等は、原子炉圧力容器等原子力プラント溶接部の品質保証溶接施工法に関する研究開発として ●応力腐食割れ発生防止適正溶接条件の監視技術 ●テンパービード溶接工法による圧力容器の適正補修条件の確立 ●その他学会発表等6件



溶接・非破壊検査技術センター 技術レビュー Vol. 1 2005 (非売品)

発行編集人●..... 山本 孝(溶接・非破壊検査技術センター業務グループ長)
発行所●..... 財団法人発電設備技術検査協会 溶接・非破壊検査技術センター
〒230-0044横浜市鶴見区弁天町14-1
TEL(045)511-2751 FAX(045)511-2750
編集・協力●..... 電気新聞総合メディア局

印刷 (株)新晃社(東京・中央区)

《無断転載を禁じます》

本誌は古紙再生紙を使用しています。