

## ますます重要となる非破壊検査



一般財団法人  
電力中央研究所  
特別顧問

新田 明人

これまで国内外の主に火力発電プラントの事故事例の調査に長年携わってきたが、非破壊検査の手を抜くと後で痛い目に遭うという事例が多いことに気付かされた。例えば、米国で多数の死傷者を出したボイラ蒸気配管の噴破事故が起こった(1985年)が、これは非破壊検査(超音波探傷)を行わなかったため溶接部近傍の内部欠陥を見落としていたことが最大の原因であった。この事例からもわかるように、機器の内面や内部に発生する欠陥や損傷をいかに早くよりの確に検出できるかが事故防止の要であると言える。

さて、未曾有の大災害をもたらした東日本大震災と福島第1原子力発電所事故から2年4カ月を経た、本年(2013年)7月8日に改正原子炉等規制法が施行され、シビアアクシデント対策等を盛り込んだ新規規制基準の適用が始まった。これにより、わが国の原子力発電に世界最高水準の安全性を確保すべく、その第一歩が踏み出されたことになる。また、同時に、運転期間延長認可制度が導入され、科学的根拠の乏しさは残るが、40年と定められた発電用原子炉の運転期間を20年を上限に1回に限り延長することが認められた。その認可要件の一つとして「特別点検」の実施が求められている。

この特別点検では、プラントの安全性確保に必要な設備・機器や構造物のなかで、これまで劣化に関する点検の不実施あるいは一部実施のものを抽出し、詳細に点検することを要求している。例えば、原子炉圧力容器については、これまで対象としていた溶接部に加え、母材部の欠陥の有無を超音波探傷検査(UT)で確認しなければならない。この他にも、点検部位によっては表面検査や渦流探傷試験なども求められており、非破壊検査の果たす役割がますます大きくなっている。

ところで、わが国では、2002年の所謂「東電問題」を契機に、欠陥許容運転を可能にする、応力腐食割れ(SCC)等の欠陥評価のための「維持規格」の適用が認められた(2003年)が、その評価の入力条件となる欠陥寸法のUT測定に関しては、十分な精度を保証することが求められた。そのため、特にUTによるSCCの寸法測定(サイジング)が難しいとされていたオーステナイト系ステンレス鋼(SUS)配管の溶接部を対象に、探傷装置・手順書・試験技術者を三位一体で性能実証するPD(Performance Demonstration)認証制度が民間自主基準として2005年度に導入された。同制度は、その運用に当たりUT技術の研修・試験・認証をそれぞれ独立した機関が担うことで、公正・公平・透明性を担保しつつ、これまでに50名近い合格者を輩出するなどの実績を挙げってきた。

しかしながら、現在PDの対象となっているのはSUS配管溶接部のSCCのサイジングのみであるが、上述した特別点検への的確な対応には、対象部位を増やすとともに、欠陥の検出(有無の判定)も対象とするなど、今後PD認証制度の充実が望まれる。また、UT等の非破壊検査の自動化に関する研究開発は進められているものの、現状では、当面人を介して行わざるを得ないことを考え合わせると、このようなPD認証制度の充実は不可欠であると言える。即ち、人を介せば、人によって欠陥を過大あるいは過小に評価するリスクが存在し、そのリスクを軽減するには、非破壊検査の精度を許容できる範囲内に維持する必要がある。さらに、この非破壊検査の不確かさを補完するものとして、見落とす可能性のある最大欠陥の破壊力学的評価による健全性の確認が挙げられ、ここに上述した維持規格が担うべき大きな役割がある。そして、このような検査体系の構築が取りも直さず世界最高水準の安全性の確保につながることになる。最後に、現行のPD認証制度のなかで研修機関として多大な貢献をされている発電設備技術検査協会には、同制度の充実により一層寄与されるとともに、プラントの安全性確保の要となる非破壊検査技術の更なる発展にもご尽力いただけるよう期待したい。

## ご挨拶

一般財団法人 発電設備技術検査協会  
理事長

藤富 正晴



本年7月に理事長に就任いたしました藤富です。

2012年度における協会、溶接・非破壊検査技術センター（NDEセンター）の研究活動と成果を技術レビュー Vol.9として取りまとめましたのでご覧いただきたいと思います。

当協会は、昨年春に一般財団法人に生まれ変わるとともに、本年春には「専門性に基づく高品質の業務提供」を目指した新たな行動規範を定めました。顧客の皆様が直面する多様な課題について丁寧な対応に努め、審査、検査、認証、規格基準、非破壊検査・研修の業務分野や、規格基準における自主調査、試験研究における自主調査研究で、更に一層確実・的確に業務を遂行していく所存です。

「技術が支える安全と信頼」を基本理念とし、エネルギー環境が大きく変化している時代の流れに即応した新たなフロンティアにも対応できる実力をつけ、トップマネジメントの下で組織を挙げてコンプライアンスを重視し、顧客の皆様が直面する多様な課題に、丁寧に対応してまいりたいと思います。

試験研究における自主研究では、NDEセンターにおいて、①超音波可視化技術、②超音波シミュレーション技術、③フェーズドアレイ法、3DUT法、ガイド波などの超音波探傷技術、④渦電流シミュレーション技術、⑤パルス渦電流探傷技術、⑥残留応力評価技術、⑦溶接部析出予測技術、⑧耐熱鋼寿命予測技術、⑨溶接部検査e-ラーニング教材 等のセンターが保有しているコア技術をより一層深化・進化させ、現場ニーズに適合できるような視点から研究活動に取り組んできました。

これまで、NDEセンターの研究基盤を支えてきた公的機関からの研究資金が大幅に減少していく中、NDEセンターは、自主調査研究にて、保有するコア技術に一層の深みと独自性を追求しつつ、その成果をもとにした提案を通じて受託事業の受注確保に努めるとともに、現場での実機適用評価、火力分野や船舶、航空、社会インフラ等発電以外の他分野での非破壊評価技術の提案など、新しい分野にも積極的に取り組んでいく所存です。

規格基準における自主調査では、米国機械学会（ASME）規格の改正動向調査をはじめ国内外の関連技術情報をいち早く入手し、技術情報の検討結果を規格・基準等へ反映してきました。今後も自主調査活動を継続し、我が国における溶接等に関する規格基準の作成維持に貢献していく所存です。

関係各位の一層のご指導、ご理解を賜りますようお願い申し上げます。

<b>巻頭言</b>	<b>「ますます重要となる非破壊検査」</b> .....	1
	一般財団法人 電力中央研究所 特別顧問 新田 明人	
<b>ご挨拶</b>	一般財団法人 発電設備技術検査協会 理事長 藤富 正晴 .....	2
<b>トピックス</b>	・NDEシンポジウム2012を開催 .....	4
	・一般社団法人火力原子力発電協会 平成24年度 論文賞を受賞 .....	5
	・技術士(金属部門)資格を取得 .....	5
<b>研究報告</b>	欠陥検出評価技術に関する研究	
	<b>超音波の可視化技術を用いたフェーズドアレイUT法の適用性評価</b> .....	6
	上山 芳教, 古村 一郎, 古川 敬	
	<b>ねじりモードガイド波を用いたエルボ越え探傷への挑戦</b> .....	11
	古川 敬, 山本 敏弘 (シーエックスアール) 金原 了二, 池田 隆	
	<b>EMATが発生する超音波の可視化</b> .....	17
	山本 敏弘, 古川 敬, 古村 一郎 (東北大学流体科学研究所) 浦山 良一, 内一 哲哉, 高木 敏行	
	<b>多次元渦電流信号の活用によるき裂評価</b> .....	22
	程 衛英, 古川 敬	
	溶接継手の健全性確保に関する研究	
	<b>応力改善工法で付与された圧縮残留力の持続性(2012火原協発表&amp;論文)</b> .....	26
	西川 聡	
	技術基準・規格化に関する調査研究	
	<b>オーステナイト系耐熱材料に対するPWHTのルール改正の動向</b> .....	34
	大石 勇一	
	<b>火技解釈におけるボイラー等に係る放射線透過試験除外条件の見直し</b> .....	38
	長谷川忠之	
	<b>火技解釈第10章溶接部の改正要請の状況</b> .....	41
	佐藤 長光	
<b>成果</b>	(1)出願特許一覧 .....	46
	(2)学協会誌等への論文発表 .....	47
	(3)学協会等への口頭発表 .....	51
	(4)論文等表彰 .....	56

# NDE シンポジウム2012を 開催

平成24年11月29日(木)

東京大学  
山上会館大会議室



シンポジウム会場の様子

当協会は、平成24年11月29日(木)に東京大学山上会館大会議室において、NDEシンポジウム2012を開催しました。

本シンポジウムはテーマを「構造健全性と非破壊評価」と題し、原子力発電設備の安全性を維持するうえで溶接継手部の健全性を確保するため、構造健全性を評価する分野ときずの有無や材質変化を非破壊評価(NDE)する分野の研究者/技術者の緊密な連携が必要不可欠であり、両分野の関係者が一堂に会して、研究開発や実機適用事例に係る現状及び課題を共通に認識し、今後の研究開発課題や方向性を議論することで、原子力設備の安全性の維持・向上に大きく貢献することが期待されるという趣旨に基づいて企画したものです。

当協会の佐々木理事長(当時)より開会の挨拶が行われた後、基調講演として、東京大学 関村直人教授より「巨大複雑システムの保全、安全とレジリエンス」、東京大学 栗飯原周二教授より「材料の破壊とその破壊力学的評価」について貴重なご講演をいただきました。

セッション1：非破壊評価では、(独)原子力安全基盤機構 荒井氏より「非破壊検査分野における国際共同研究」、(株)東芝 安達氏より「曲面形状に対するビーム制御方式フェーズドアレイUT技術」、日立GEニュークリア・エナジー(株)江原氏より「フェーズドアレイUTによる探傷結果の3次元表示技術の開発」、三菱重工業(株)小橋氏より「アレイ型ECTプローブを用いたSG二次側管支持板評価技術」についてそれぞれ発表が行われました。

セッション2：構造健全性評価では、(独)日本

原子力研究開発機構 森下氏より「システム化規格－安全余裕の最適配置を目指す新しい規格概念－」、(一財)電力中央研究所 西ノ入氏より「大型実証試験設備を用いた火力発電所実機配管溶接部のクリープ損傷評価」について発表が行われました。

その他当協会から、セッション1では「パルス渦電流試験法による保温材付炭素鋼配管の減肉評価」、セッション2では「応力改善工法で付与した圧縮残留応力の持続性評価」に関する2件の技術報告をいたしました。



講演される関村教授



講演される栗飯原教授



# 一般社団法人火力原子力発電協会 平成24年度 論文賞を受賞

平成24年10月3(水)～4日(木)  
一般社団法人火力原子力発電協会  
火力原子力発電大会



表彰された古村一朗参与(右)

当協会職員の古村一朗参与、古川 敬非破壊評価グループ長(現副所長)が、平成24年10月3～4日に開催された一般社団法人火力原子力発電協会の火力原子力発電大会において論文賞を受賞しました。

論文賞表彰論文は、会誌「火力原子力発電」平成23年1月号から12月号及び平成23年度火力原子力発電大会論文集に掲載された論文から優秀論文として選出されたもので、古村参与、古川非破壊評価

グループ長による「開口合成3次元超音波探傷法によるNi基金溶接部SCCの探傷特性評価」が火力原子力発電大会において表彰されました。

なお、本受賞に関連する論文は、平成23年度火力原子力発電大会論文集(CD-ROM)及び会誌「火力原子力発電」平成24年11月号に掲載されています。

# 技術士(金属部門)資格を 取得

当協会職員の西川 聡研究員が、平成25年3月に国家資格である技術士(金属部門)の第二次試験に合格及び登録し、技術士資格を取得しました。

技術士制度は、「科学技術に関する技術的専門知識と高等の応用能力及び豊富な実務経験を有し、公益を確保するため、高い技術者倫理を備えた、優れた技術者の育成」を図るための国による資格認定制

度(文部科学省所管)です。

技術士とは、豊富な実務経験、技術的専門知識及び高度の応用能力を有するとして、国家から認定を受けた高級技術者に与えられる資格であり、国内最難関資格の一つといわれているものです。

西川研究員は協会プロパー職員で初の技術士資格取得となりました。

# 超音波の可視化技術を用いた フェーズドアレイUT法の適用性評価

Evaluation of Phased Array UT Applicability using Ultrasonic Visualization Technique

溶接・非破壊検査技術センター 上山 芳教, 古村 一朗, 古川 敬

Phased array provides many advantages over conventional ultrasonic testing method, but phased array has also limitations. This paper describes typical results of the experimental sound field analysis generated from the array probe. A photo-elastic ultrasonic visualization technique was applied in this study. The sound field of shear wave generated from the array probe was equivalent to that from the fixed angle probe.

**Keywords** *Phased array, Ultrasonic testing, Photo-elasticity, Visualization*

## 1 はじめに

フェーズドアレイ法を用いた超音波探傷試験(UT)では、探傷結果を画像化して表示することに加え、超音波ビームの方向、ビームの集束の有無、集束の深さを任意に設定することが可能という特長があり、近年、欠陥検出及びサイジングに適用されてきている<sup>[1]</sup>。フェーズドアレイ法を適用する上で探傷結果の信頼性を確保するという観点から、設定通りに超音波ビームが送信されていることの検証や、設定上の制限を把握することが重要である。さらに継続的な検査等へ適用する場合には、従来 UT 法との同等性の確認や従来 UT 法による探傷結果との整合性等の検討が不可欠である。

フェーズドアレイ法における設定条件の制限という観点で、著者らは以前アレイ探触子の振動子(素子)ピッチ、中心周波数、周波数帯域及び超音波ビームの振り角を変え、パルス状の超音波を金属内に送信したときの音場をシミュレーション解析で評価した。その結果、通常使用する条件においては金属内

の音場であっても従来理論による解析解(水中の連続波の解析解)と大きな差異が無く、従来の知見を有効に活用できることを示した<sup>[2]</sup>。

本報では、実験的な超音波の可視化技術を用いてアレイ探触子から発生する音場を直接観察し、通常斜角探傷で使用する屈折角 45 度から 70 度においてメインローブやグレーティングローブの発生の状況の評価した。また、屈折角 70 度を超える特殊な条件では、従来 UT 用の固定角の斜角探触子において、スネルの法則に基づく設計では作製が難しいことが指摘されており<sup>[6,7]</sup>、屈折角や音場を推定する解析解が提示されている<sup>[7,8]</sup>。そこで、屈折角が 70 度より大きい特殊な条件に対して、従来 UT 用の固定角の斜角探触子における音場の解析解と、フェーズドアレイ法による音場の観察結果を比較して違いを評価すると共に、フェーズドアレイ装置に設定した屈折角と実際の屈折角を比較して適用性を確認した。

## 2 測定方法及び条件

音場の観察には、光弾性超音波可視化装置<sup>[3]</sup>を用いた。この装置ではカメラに入射する輝度（撮影した画像の明るさ）が超音波の音圧すなわち最大せん断応力に対応している<sup>[4]</sup>。試験片は光弾性超音波可視化法を適用するため、透明体かつ光弾性効果があり音速が鋼材に近い、耐熱ガラスとした。試験片は、板厚 50mm、奥行き 20mm、長さ 300mm の板で、板厚の 1/4 と 3/4 深さ位置にφ 3.2mm の貫通横穴を設けたものと、裏面に深さ 15mm の貫通ノッチを設けた 2 種類を使用した。

アレイ探傷器及び従来 UT 用の探傷器は市販品（MC64: 栄進化学製，USIP12: クラウトクレーマ製）を用い、表 1 に示す市販の探触子から発生する超音波の音場を観察した。アレイ探触子はクサビを介して超音波を送信し、同一のクサビで遅延設定のみを変更して屈折角 45 度から 70 度の送信条件を与えた。2 次クリーピング波法<sup>[5]</sup>用の探触子から発生する超音波ビームは、縦波が 70 度から 90 度程度の範囲に発生しているが、このとき横波も約 30 度から 35 度程度に発生している。ここでのフェーズドアレイ法では代表的な条件として横波斜角 33 度の設定とした。また、アレイ探触子の仕様の表記方法の国内規格が無い場合、素子幅 x 素子長さ - 総素子数、同時駆動素子数の順に記載し、カッコ内には、屈折角以外は従来 UT 用の探触子と同様な内容を記載した。

屈折角 70 度を超える大きな屈折角においては、従来 UT 法の固定角による斜角探触子の設計において提示されている解析解と、フェーズドアレイ法による実際の音場を比較した。

## 3 測定結果

### 3.1 横波斜角45度法

アレイ探触子及び従来 UT 用の固定角の斜角探触子から発生した横波斜角 45 度の音場を図 1 から図 3 に示す。各々アレイ探触子 1、アレイ探触子 2 及び 2Z10x10A45 から発生した超音波パルスを送信した結果を光弾性超音波可視化装置で観察した結果である。周波数や開口寸法が異なるため、超音波ビームの指向性は比較の対象にせず、以下、屈折角の違いやグレーディングローブの発生状況を中心に同等性を評価した。

超音波ビームの伝搬方向（屈折角）はガラスと鋼材の音速の違いのため約 50 度になっているが、ともに同じ屈折角であることが確認できる。縦波斜角用のクサビを装着したアレイ探触子 2 においても、素子ピッチ及び音速に対して周波数が十分に低いため、グレーディングローブの様な異常な波面は観察されなかった。

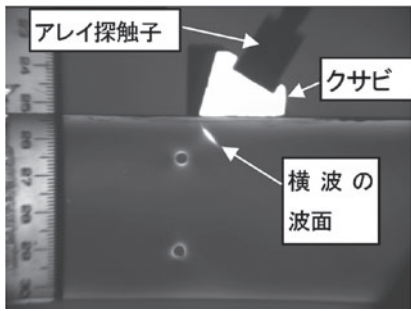
### 3.2 横波斜角60度法

次に、遅延設定を横波 60 度に設定したアレイ探触子 1 及び 2、そして固定角の横波斜角 60 度探触子から発生した超音波パルスの観察結果を各々図 4 から図 6 に示す。図 4 及び図 5 では、図 1 及び図 2 と各々同一のクサビを使用して 60 度の横波を送信していることが確認できる。前述の横波斜角 45 度の結果と同様に、超音波の屈折角はガラスと鋼材の音速の違いのため約 70 度になっているが、ともに同じ屈折角であり、アレイ探触子から発生した音場と固定角の探触子から発生した音場は、ほぼ同等であった。

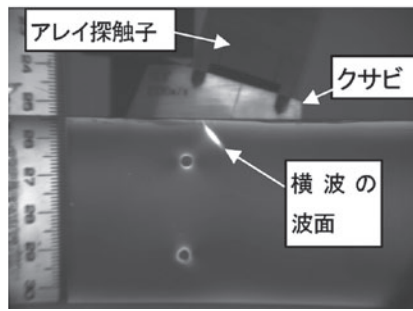
表1 超音波ビームの送信条件及び探触子の仕様

送信条件	アレイ探触子	従来 UT 用探触子	備考
横波斜角 45 度法	アレイ探触子 1:5K 0.5x4-16ch 16ch <sup>*1</sup> クサビの角度 30.7 度 (5K 8x4 相当, 横波斜角用のクサビ)	2Z10x10A45 <sup>*1</sup>	従来 UT 用探触子と比較するため、アレイ探触子の送信条件の設定には鋼材の音速を用いた。
横波斜角 60 度法		4Z8x9A60 (MWB60-4 <sup>*2</sup> )	
2 次クリーピング波法 (横波斜角 33 度)		2M10LA70 (WSY70-2 <sup>*2</sup> ) 4M10LA70 (WSY70-4 <sup>*2</sup> )	

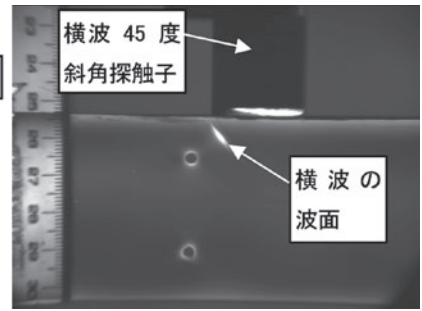
(※ 1 検査技術研究所製, ※ 2 クラウトクレーマ製)



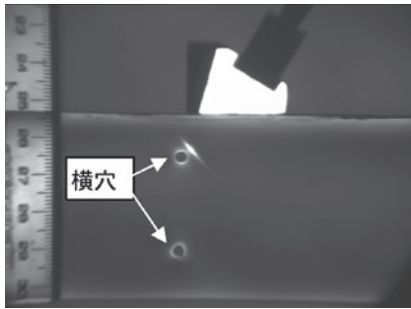
(a)送信後の波面



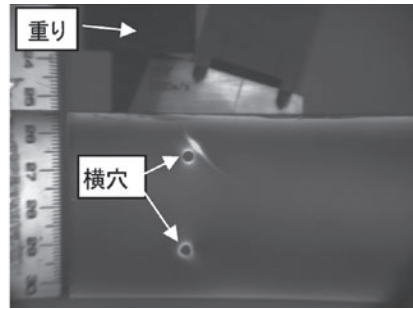
(a)送信後の波面



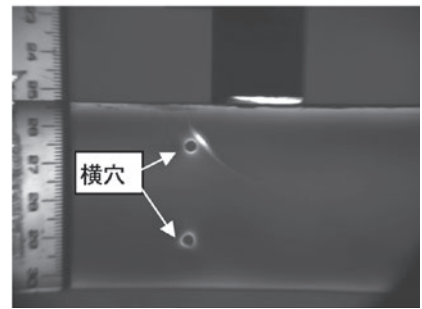
(a)送信後の波面



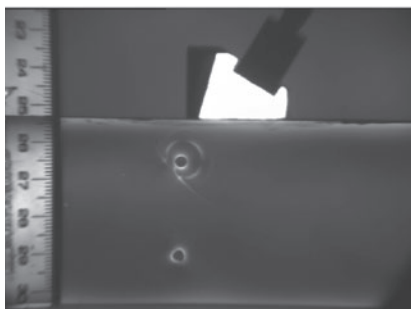
(b)横穴で反射直前の波面



(b)横穴で反射直前の波面



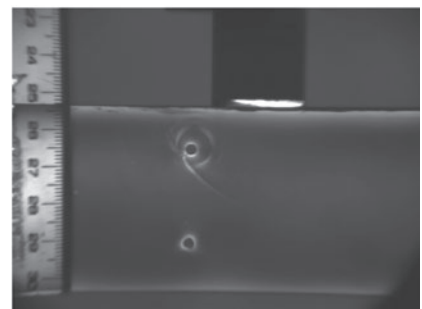
(b)横穴で反射直前の波面



(c)横穴で反射後の波面



(c)横穴で反射後の波面



(c)横穴で反射後の波面

図1 横波斜角45度の設定でアレイ探触子1から発生した超音波パルスの光弾性可視化結果

図2 横波斜角45度の設定でアレイ探触子2から発生した超音波パルスの光弾性可視化結果

図3 横波45度斜角探触子(2Z10x10A45)から発生した超音波パルスの光弾性可視化結果

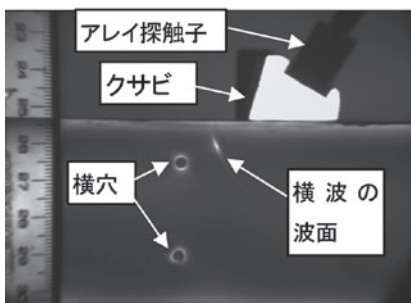


図4 横波斜角60度の設定でアレイ探触子1から発生した超音波パルスの光弾性可視化結果

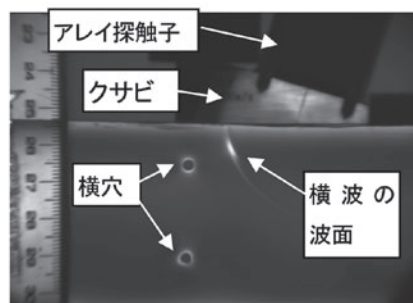


図5 横波斜角60度の設定でアレイ探触子2から発生した超音波パルスの光弾性可視化結果

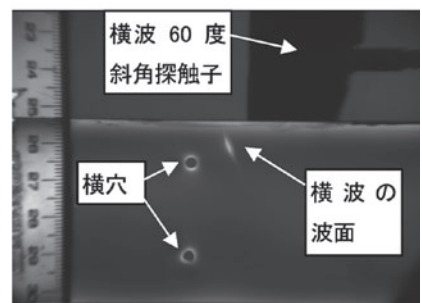


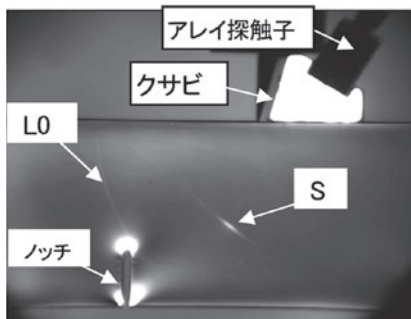
図6 横波60度斜角探触子(4Z8x9A60)から発生した超音波パルスの光弾性可視化結果



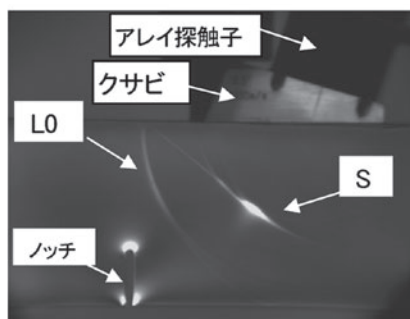
### 3.3 2次クリーピング波法

図7及び図8は、各々アレイ探触子1及び2から2次クリーピング波法の条件で発生させた超音波パルスの観察結果である。ともに各々前述の横波45度及び横波60度と同じクサビを使用している。図9は2次クリーピング波用の探触子から発生した超音波パルスの例として4M10LA70(WSY70-4)の音場を観察した結果である。探触子によって超音波の強度は異なるものの各々図(a)では、図中にL0と記した縦波と、同時に発生した横波(図中にSと記す)の波面が観察されており、図(b)では裏面で反射した横波(Sと記す)と反射の際に振動の種類が縦波に

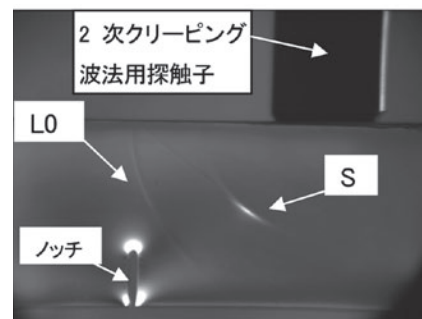
モード変換した波面(Lと記す)が観察できる。裏面で反射した横波は入射角と同じ角度で反射するが、モード変換した縦波は90度(裏面近傍)から約70度程度の方向に広く伝搬している。この縦波は2次クリーピング波と呼ばれているものである。図(c)はノッチで反射後の波面であり、ノッチで反射した縦波(Lと記す)及びこの縦波がノッチで反射する際にモード変換した横波(S1と記す)、そしてノッチで反射した縦波が裏面近傍を伝搬する際に横波へモード変換した波面(S2と記す)が観察されている。2次クリーピング波法では縦波と横波が複雑な波面を示しているが、アレイ探触子と固定角の2次クリー



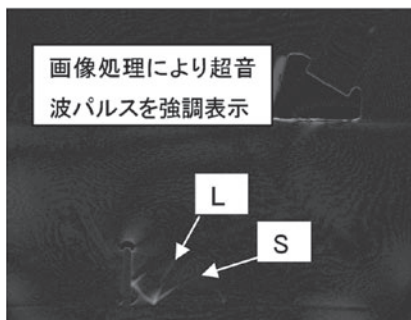
(a)送信後の波面



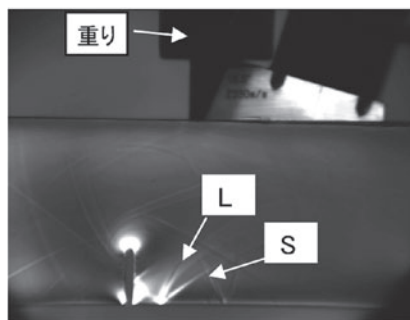
(a)送信後の波面



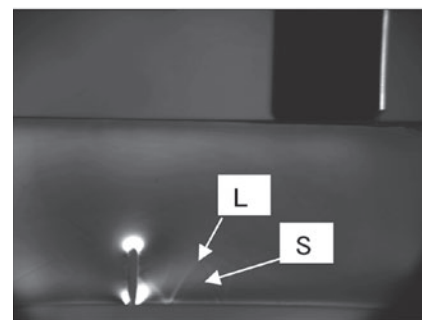
(a)送信後の波面



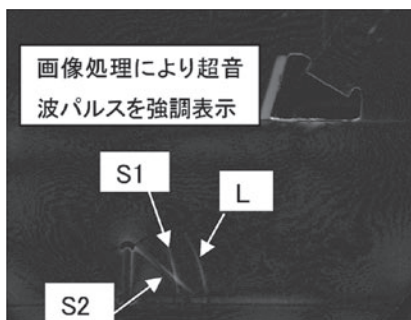
(b)横波が裏面で反射した時の波面



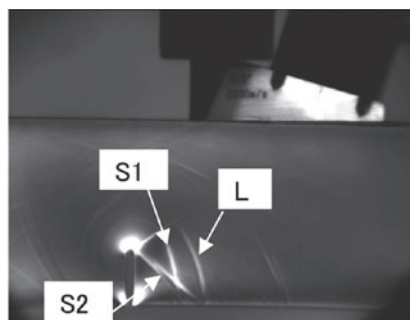
(b)横波が裏面で反射した時の波面



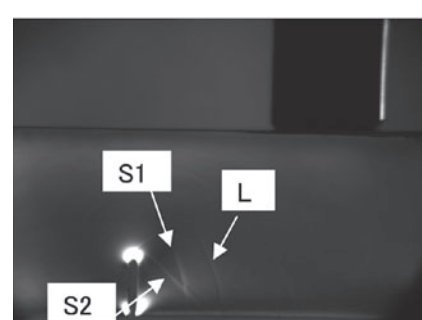
(b)横波が裏面で反射した時の波面



(c)縦波(2次クリーピング波)がノッチで反射した直後の波面



(c)縦波(2次クリーピング波)がノッチで反射した直後の波面



(c)縦波(2次クリーピング波)がノッチで反射した直後の波面

図7 横波斜角33度(2次クリーピング波法)の設定でアレイ探触子1から発生した超音波パルスの光弾性可視化結果

図8 横波斜角33度(2次クリーピング波法)の設定でアレイ探触子2から発生した超音波パルスの光弾性可視化結果

図9 2次クリーピング波法用探触子(4M10LA70; WSY70-4)から発生した超音波パルスの光弾性可視化結果

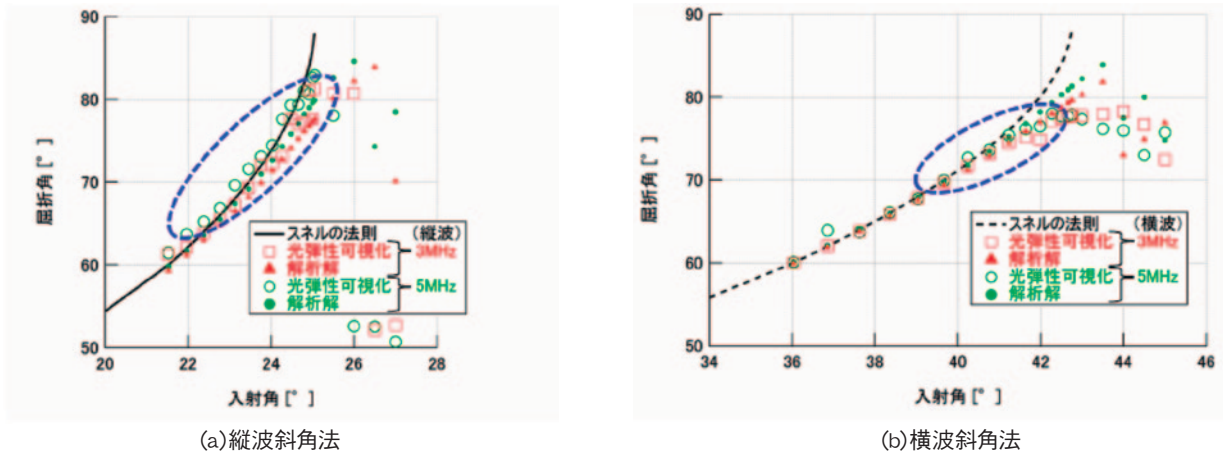


図10 フェーズドアレイ法における設定した入射角と実測屈折角の関係

ピング波法用探触子から発生した音場及びノッチで反射する超音波の伝搬状況や発生する波面の様子は、ほぼ同等であった。

### 3.4 屈折角70度を超える場合

図10は、設定した入射角と実測した屈折角の関係を示す。各々縦波及び横波の結果である。図中に示す黒実線及び黒点線は、スネルの法則で算出される屈折角であり、白抜きマークが実測した屈折角である。屈折角70度以下ではスネルの法則通りの屈折角であるが、屈折角が70度を超えると差異が生じはじめ、屈折角80度以上の角度にはならないことが確認された。しかし、これらの屈折角の実測値は、図中に塗りつぶし記号で示した既往の研究で知られている従来UT法における解析解<sup>[7,8]</sup>と同様の結果を示しており、フェーズドアレイ特有の現象ではなく従来UT法で知られている知見と同じ結果であると言える。

## 4 まとめ

従来UT法で欠陥検出等に用いられている代表的な条件である横波斜角45度、60度法及び2次クリーニング波法の条件で、フェーズドアレイ法により発生させた音場を実験的に観察した結果、従来用いられてきた固定角の斜角探触子から発生する音場と同等であることを確認した。また、70度を超える大きな屈折角においては、スネルの法則から計算した屈折角と差異を生じることも確認した。この差異は、

従来UT法の固定角の斜角探触子の設計方法で判明している結果と同様であることも確認できており、フェーズドアレイ法において、従来UT法の知見が十分に活用できるものと考えられる。

### 参考文献

- [1] 日本電気協会 技術規定 JEAC 4207-2008
- [2] 古川, 山田, 古村: Phased Array 超音波探触子音場の数値シミュレーション, 非破壊検査協会第12回超音波による非破壊評価シンポジウム講演論文集, 平成17年1月27日, 28日, P.1
- [3] 伊達, 島田: 固体内超音波の光弾性可視化法による定量評価, 非破壊検査, Vol.36 No.9, 1987, P.605
- [4] 古川, 伊達: 超音波探傷試験の簡易的シミュレーション, 非破壊検査, Vol.43 No.4, 1994, P.223
- [5] 日本電気協会 技術規定 JEAG 4207-2004
- [6] 木村: 超音波探傷用点集束斜角探触子の設計方法, 非破壊検査, Vol.31, No.1, P.2, 1982
- [7] 木村, 岡, 林, 非破壊検査, 第53巻12号, P.763, 2004
- [8] 間野, 鉄道技術研究所報告, No.276, 1962



# ねじりモードガイド波を用いた エルボ越え探傷への挑戦

Challenge for torsional guided wave testing beyond elbows

溶接・非破壊検査技術センター 古川 敬, 山本敏弘  
株式会社シーエックスアール 金原了二, 池田 隆

Ultrasonic guided waves have been widely applied to the long-range inspection of piping. Because of having many wave modes with different sound velocity, guided wave testing beyond elbows is very difficult to interpret testing data. This paper shows the computer simulation results of guided wave propagation and prediction of signals from reflectors beyond elbows. The simulation results indicate that amplitude of the torsional guided wave propagating in an elbow part and straight pipe beyond elbows takes the distribution due to the shape of the elbow. The prediction of torsional guided wave propagation and reflected signals beyond two elbows is presented.

**Keywords** Guided Wave, Piping, Elbow, Wave Propagation, FEM

## 1 はじめに

配管の減肉検査において、ガイド波を用いた探傷は広い範囲を一括して探傷可能という特長があるため、ガイド波に関する基礎的な研究から応用研究が盛んに行われている<sup>[1][2]</sup>。しかし、形状が変化する部位に対してはまだ課題が多い。配管を伝搬するガイド波には、多数の伝搬モードが存在することに加え、各モードの速度が異なる性質を示すため、ガイド波の伝搬時間から反射源の位置を推定する際に、どのモードで伝搬しているかを把握しておくことが重要となる。エルボ部を通過する際には特に複雑なモード変換が生じる<sup>[3][4]</sup>ため、エルボ部及びエルボ部を超えた探傷が課題の一つとなっている。

本研究ではガイド波を用いた探傷において事前に探傷結果を予測したり、探傷結果の解釈に活用できるようなシミュレータの検討を行っており、エルボ部を通過したガイド波の波形が実験結果を再現することを確認してきた<sup>[5]</sup>。本報は、エルボ部を越えた位置にある模擬欠陥からの反射波の波形をシミュ

レーション解析し、実験結果と比較した妥当性検証を行うとともに、シミュレーションによるガイド波の伝搬状況の可視化結果を踏まえ、エルボ越え探傷に関する可能性を考察した。

## 2 解析条件及び実験条件

図1は解析モデルの形状及び寸法であり実験に用いた試験体の寸法を基にモデル化した。管の外径と肉厚は各々114mmと4.5mmであり、長さ1,000mmの2本の鋼管を90°エルボと長さ500mmの垂直管を介して接合したものである。解析モデルでは溶接部の余盛形状は省略し、またエルボ管の肉厚も一定でモデル化した。図中に示したaからiの位置に反射源を設置して、これら反射源からの受信波形をシミュレーション解析した。

反射源のモデルは、幅24mm、厚さ1mmで外径を増肉させた形状で、全周に設置した全周増肉モデルと1/4周のみに設置した局部増肉モデルとした。局部増肉モデルはその中心が0°(-45°から45°)、90°(45°から135°)及び180°(135°から225°)



に各々設置した。実験ではニッケル箔を貼付けた反射源を増肉モデルとし、設置方法は解析モデルと同様とした。実験では270°(225°から315°)にも増肉モデルを設置したが、解析では90°に設置した結果と270°に設置した結果がほぼ同じであることを代表位置で確認したため、270°の解析を割愛し90°の結果を示した。

ガイド波の送受信方法は、解析ではセンサから発生していると考えられる振動を初期変位として与え、受信位置で変位の時間変化を出力する方法でモ

デル化した。本報ではT(ねじり)モードのガイド波を伝搬させる条件としており、外周上に設置した送信部に円周方向の初期変位を与えた。受信方法は、特定の位置のFEM要素の変位を時系列で出力するモデルとしており外周上に等間隔で8箇所受信部を設置した。今回はねじりの基本モードを選択して受信するため円周方向の成分を合成して受信波形を出力した。作成した解析モデルの例を図2に示す。図2(a)はモデルの全体像、送信部及び受信部の拡大図であり、図2(b)は局部増肉モデルの例である。解析

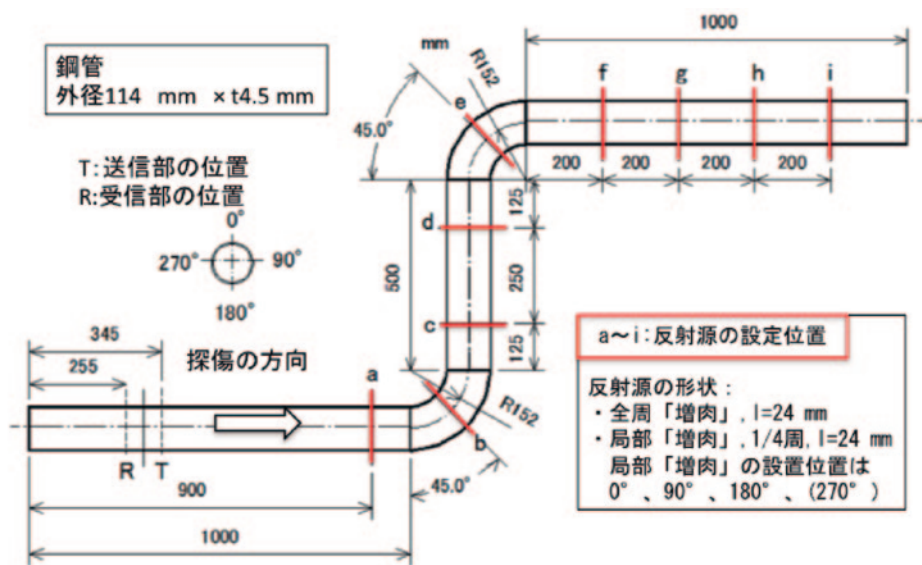


図1 解析モデルの形状及び寸法

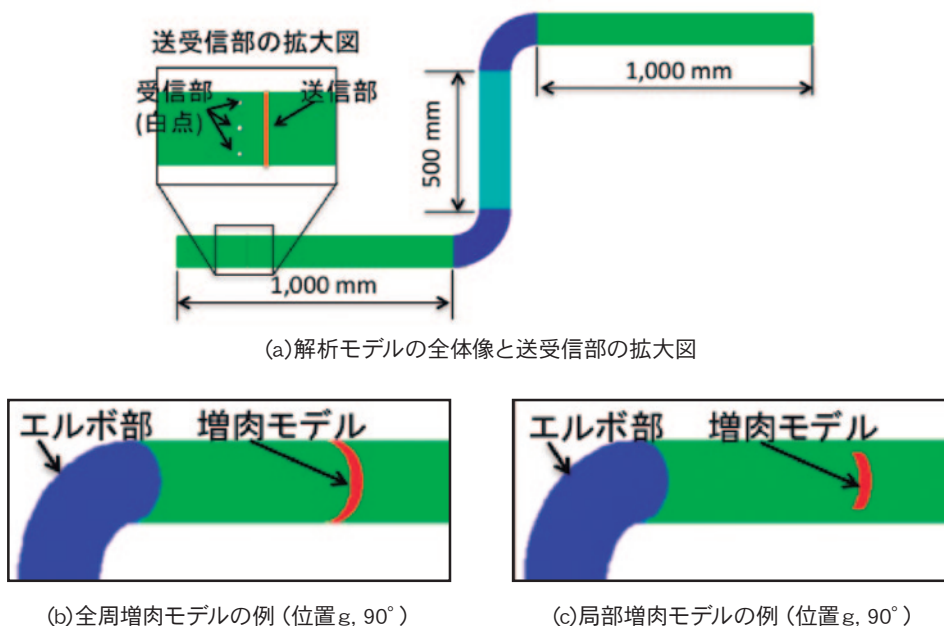


図2 解析モデルの例



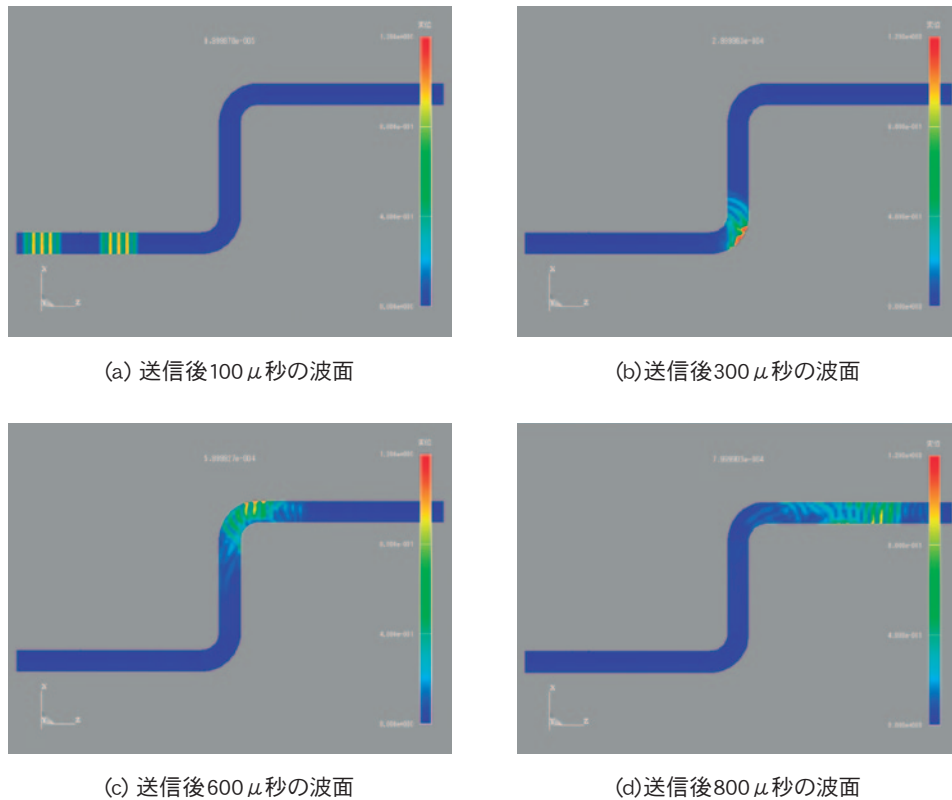


図3 波面の伝搬状況のシミュレーション解析結果

コードは三次元有限要素コード（伊藤忠テクノロジーソリューションズ社製 ComWAVE Ver.4）を用いた。

ガイド波の送信条件はシミュレーション解析及び実験ともに中心周波数 36kHz のトーンバースト波であり、シミュレーションでは前述のモデルで送受信し、実験ではニッケルの磁わいによる送受信方法<sup>[6]</sup>を用いた。主要な解析条を表 1 に示す。

表1 主な解析条件

項目	条件
音速, 密度	鋼 VI=5.9m/sec., Vs=3.23km/sec, $\rho=7.9 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ Ni VI=5.2m/sec., Vs=3.1km/sec, $\rho=8.2 \times 10^3 \text{kg/m}^3$
口径, 肉厚	呼び径100A (外径114.0 mm)、 肉厚4.5 mm
周波数	36kHz-トーンバースト2.5波
要素寸法	0.5mm x 0.5mm x 0.5mm

### 3 解析結果及び考察

図 3 に反射源を設定しないモデル（無欠陥モデルと呼ぶ）での解析結果の例を示す。各々ガイド波を送信後図中に示した伝搬時間における波面のスナッ

プショットであり、ガイド波が伝搬する様子を示している。これらのスナップショットは、解析モデルを真横から見た図であり表面の変位の絶対値を色合いで示した。図 3(a) に示す様に送信部から直管を伝搬するガイド波は、円周上に均一な強度であるが、エルボ部では図 3(b) の様に強度に偏りが生じることが確認できる。この条件ではエルボの背側の強度が大きい結果である。エルボ部通過後も偏った強度分布で強度の大きい位置が移動しながら伝搬し、図 3(c) から (d) に示す様に 2 個目のエルボ部を通過した後も強度分布が偏って伝搬していることが確認できる。この様な波面の乱れや強度分布の偏りはあるものの、無欠陥モデルにおいて 2 つのエルボ部を越えてガイド波が伝搬の様子が確認された。

次に、図 1 に示した a から i の各位置に反射源を設置し反射波形を解析した結果を示す。図 4 は a から i 位置に全周増肉モデルを設置した時の解析結果であり、無欠陥モデルでの波形との差分を示す。図中に示した矢印位置の波形が増肉モデルからの反射波である。また、約 1.8 から 1.9 ms に現れている波形はモデル端からの反射波の差分で除去しきれないものである。体積波を用いた通常の超音波パルス反

射法では、一般に反射源が遠くなる程エコーの振幅は低下するが、エルボ越えのガイド波では図4に示す様に、振幅の変化が距離以外にも依存していることが確認できる。また、送信部から同じ距離であっても、円周上の位置の違いによっても振幅が変動した。図5は、増肉モデルの設置位置ごとの反射波形の振幅を示したグラフである。解析結果の妥当性を検証するため、実験結果も図中に示した。横軸は設

置位置であり縦軸は反射波形の振幅である。各位置の振幅は位置aでの振幅値で正規化して整理した。前述の通り設置位置によって振幅は異なるものの、位置ごとの振幅の大小関係に着目すると解析結果は実験結果と同様の傾向であることが確認できる。

図6は位置gにおける部分増肉モデルからの反射波形の解析結果である。1/4周分の局部増肉モデルを各々0°、90°、180°に設置した結果であり、比較

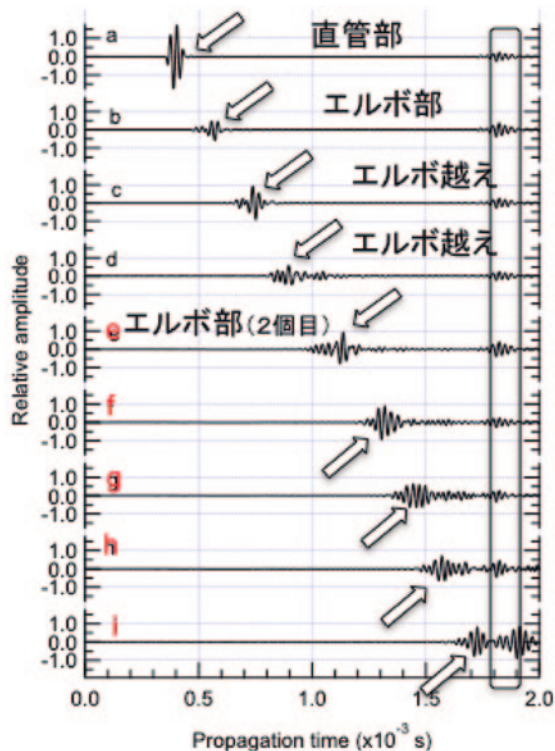


図4 全周増肉モデルからの反射波形

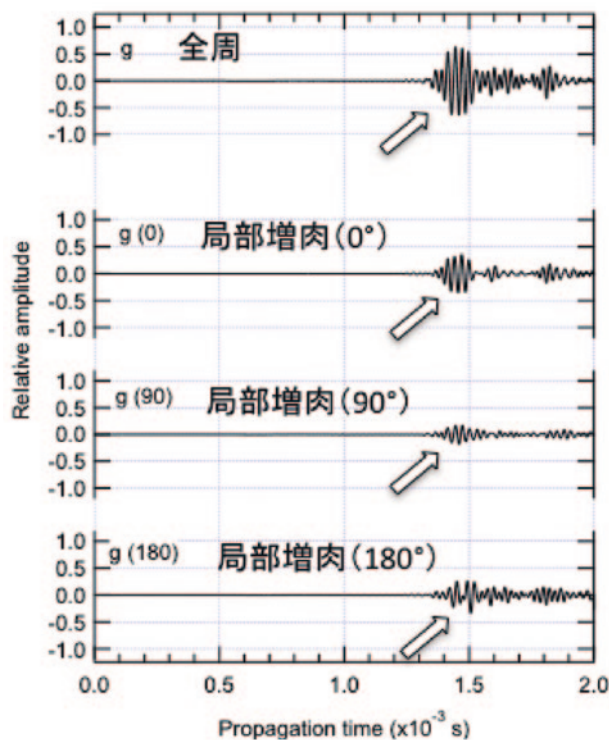


図6 局部増肉モデルからの反射波形の例 (位置g)

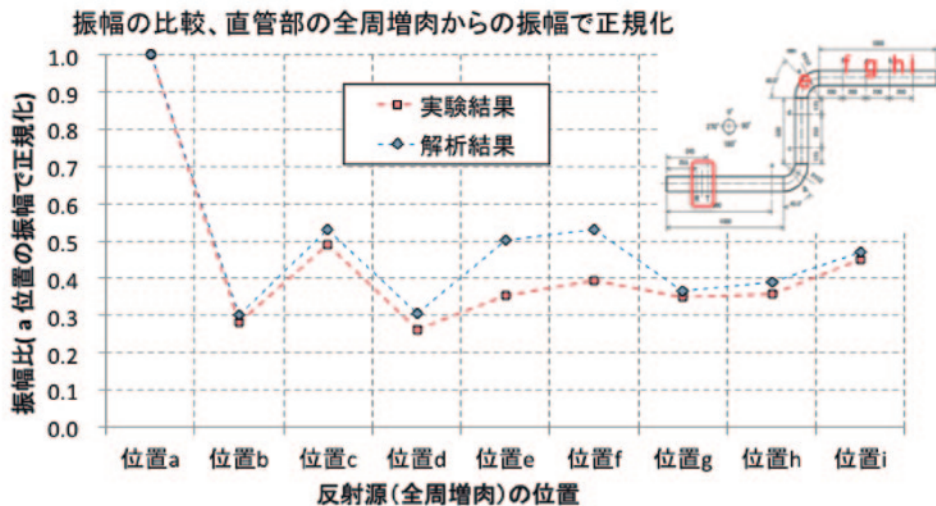


図5 全周増肉モデルからの反射信号の振幅

のために同位置での全周増肉モデルの反射波形と並べて示す。局部増肉モデルからの反射波形の伝搬時間はほぼ同じであるが、円周上の位置によって振幅が異なる結果であった。図7は局部増肉モデルにおける反射波形の振幅を設置位置ごとに示したグラフであり、実験結果も図中に示した。横軸は設置位置(軸方向の位置及び円周上の位置)であり、縦軸は反射波形の振幅である。各位置の振幅は位置aの全周増肉モデルでの振幅値で正規化して整理した。局部増肉モデルに対しても設置位置によって振幅は異なるものの、位置ごとの振幅の大小関係に着目すると解析結果は実験結果と同様の傾向であることが確認でき、解析モデル及び解析結果の妥当性が検証された。

エルボ通過後の反射源からの波形の振幅が変動する主な原因は、図3に示す様にガイド波の強度に偏りが生じるためと考えられる。この様に反射源の位置によって振幅が変化する影響は、探傷において振幅に基づく評価が困難であるだけでなく、欠陥の位置によっては検出が困難な場合があることが考えられる。しかし、実験結果を再現できる解析手法を活用することで、エルボ越え探傷の可能性が得られるのではないかと考えられる。

図8はシミュレーション解析結果から算出した受信波の伝搬時間と各反射源までの伝搬距離をプロットしたグラフである。伝搬距離は管の中心軸上の値であり、伝搬時間は各反射波の振幅の最大値を計測

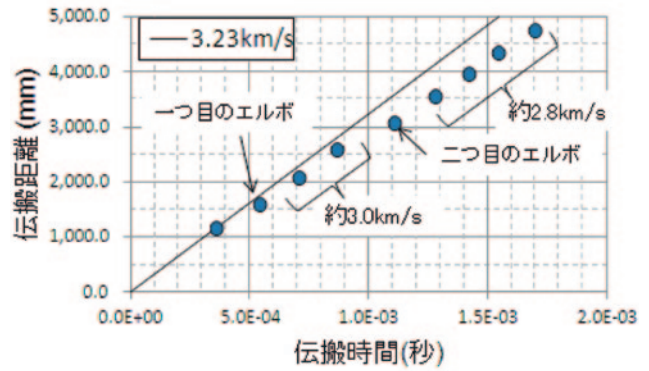


図8 各反射源からの受信波の音速

した。グラフの傾きが音速に相当し、図中の直線は送信したガイド波(T(0,1)モード)の設定音速である。直管部の反射源aからの受信波については直線上にプロットされており、送信波と同じ音速である。それに対してエルボ部及びエルボ通過後の反射源からの受信波では、音速が遅くなることが解析結果より予測された。この音速の遅延は、最も遠い位置iにおいてで約700mmの位置誤差となる。今後この現象を実験で確認するとともに、原因分析等を行う予定である。

#### 4 まとめ

ガイド波の探傷シミュレーション解析においてエルボ管通過後の反射源からの波形を解析した結果、実験結果を再現する結果が得られ、解析モデル及び解析方法の妥当性が確認された。一方で、エルボ越

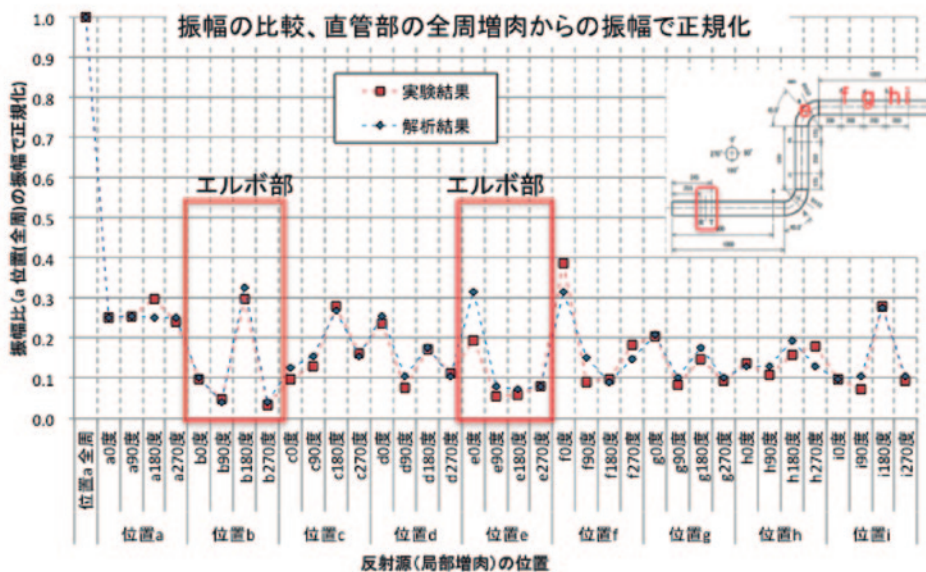


図7 局部増肉モデルからの反射信号の振幅



え探傷において振幅に基づく評価が難しいこと、音速の遅延による反射源位置の誤差を生じることなども再確認された。今後シミュレーション解析を基に、これらの原因分析、対策方法の検討、探傷条件の最適化や探傷結果の解釈へ展開できるのではないかと考える。

#### 参考文献

- [1] 川嶋編:特集 ガイド波による探傷, 非破壊検査, Vol.52, No.12, pp.653-682, 2003
- [2] 西野編:特集 ガイド波による探傷 II, 非破壊検査, Vol.54, No.11, pp.585-611, 2005
- [3] Takahiro Hayashi and Joseph L. Rose : Guided wave Simulation and Visualization by a Semianalytical Finite Element Method, Materials Evaluation Vol.61, No.1, pp.75-79, 2003
- [4] Hideo Nishino, et al. : Experimental Investigation of Mode Conversions of the T (0,1) Mode Guided Wave Propagating in an Elbow Pipe, JJAP Vol.50, p.046601-1, 2011
- [5] 古川, 古村:エルボ部におけるねじりモードガイド波伝搬の数値シミュレーション, 平成 22 年春季講演大会講演概要集, pp.71-72, 平成 22 年 5 月
- [6] 池田, 金原 他:プラント配管の検査実務におけるガイド波技術の展開, 非破壊検査, Vol.54, No.11, pp.595-600, 2005



古川 敬



山本敏弘



# EMATが発生する 超音波の可視化

Visualization of ultrasound generated by an EMAT

溶接・非破壊検査技術センター 山本 敏弘, 古川 敬, 古村 一郎  
東北大学流体科学研究所 浦山 良一, 内一 哲哉, 高木 敏行

This study shows a visualization method for ultrasonic propagation generated by an electromagnetic transducer (EMAT) and confirms actual behavior of ultrasonic waves generated by an EMAT inside a test object. In this method, a scanning mechanism which can hold a piezoelectric ultrasonic transducer is mounted on the specimen surface parallel to the traveling direction of the ultrasound generated by an EMAT. The piezoelectric ultrasonic transducer scans a two-dimensional area on the side surface of the specimen to obtain images that represent transient changes in the intensity distribution of ultrasound on the surface.

**Keywords** *electromagnetic acoustic transducer, EMAT, ultrasonic, visualization*

## 1 はじめに

超音波探傷試験では、探触子により試験体に超音波を入射し、試験体の欠陥表面で反射または回折して戻ってくる超音波を捉えることにより、試験体の欠陥の有無を評価する。しかし、欠陥の表面状態や試験体の材料特性によっては超音波が予期しない伝播経路で戻ってくることがあり、その結果、誤った評価をしてしまうことがある。このため、超音波の可視化により実際の超音波の伝播を確認することは、正しい欠陥評価を保証する上で重要である。超音波の可視化手法としては、数値シミュレーションによる可視化とともに、計測によって実際の超音波の伝播を捉える手法があり、溶接・非破壊検査技術センターにおいても計算と計測の両方の手法による超音波の可視化を活用した研究を行っている。

超音波探傷試験に用いられる探触子には、超音波の発信と受信を行うために、一般に圧電素子が利用されている。これに対して、電磁超音波探触子 (Electromagnetic Acoustic Transducer, EMAT) は

コイルと磁石により構成され、電磁的な相互作用を利用して金属中に超音波を発生させる<sup>[1]</sup>。これまで、EMATの伝播特性を調べるために、数値計算によってこの現象を再現し、さらに、実際の実験と受信波形を比較することなどが試みられてきた<sup>[2]</sup>。ただし、この計算には、電磁相互作用により入力信号が力へと変換され、それにより金属表面に生じた振動が超音波として伝播するという連成解析が必要となり、この複雑な計算がどこまで実際のEMATによる超音波の伝播を再現しているかは確かめられていない。そのため、本研究では実際のEMATによる超音波の伝播を直接計測することを試みた。

計測による可視化手法の一つとして、光弾性可視化法と呼ばれるものがあり、ガラスの光弾性効果を利用し、ガラス製の試験体に超音波を入射しつつ、伝播する超音波の側面からストロボ光を当て、超音波の伝播に伴うガラス内の応力変化が引き起こすストロボ光の複屈折をとらえることにより超音波の伝播を可視化する<sup>[3, 4]</sup>。不透明な材料にも適用できる手法としては、レーザー超音波による可視化法があ

り、超音波が伝播する試験体表面をレーザー変位計で2次元走査し、各点の表面弾性変位の時間変化を測定することにより、試験体表面に現れる超音波の伝播の様子を可視化する<sup>[5]</sup>。このとき、レーザービームは試験体表面に対して常に垂直になるようにして、焦点距離を一定に保ったまま走査を行わなければならない、高度な機器調整が必要である。この問題を解決するため、文献<sup>[6,7]</sup>では、超音波伝播における送信点と受信点の相反性を前提とし、パルスレーザーで試験体に超音波を発生させ、その発振点を試験体表面で移動させつつ、試験体に固定した受信センサーで超音波を計測することにより上記と同様の結果を得ている。溶接・非破壊検査技術センターの成果である文献<sup>[8]</sup>では、圧電型の超音波探触子を保持して平面走査できるスキャン装置を試験体側面に取り付け、別の送信用の探触子により試験体に超音波を入射しながら、この超音波の進行方向に平行な面をスキャン装置で2次元走査することにより超音波の伝播を可視化した結果を紹介した。

EMATで超音波を送信するには、コイルに流すパルス電流により試験体表面に誘導電流を発生させる必要があるため、試験体は導体である必要があり、光弾性可視化法は適用できない。本研究では、残った手法のうち、より簡易な装置で行える圧電型の超音波探触子での側面走査による超音波可視化法を採用した。以下では、EMATにより金属ブロックに超音波を発生させ、そのブロック側面を圧電型の超音波探触子で2次元走査することにより、ブロック内に伝播する超音波の可視化した結果を紹介する。

## 2 実験装置の構成

文献<sup>[8]</sup>で紹介された超音波の可視化のための測定方法を図1に示す。試験体の上面から送信探触子で超音波を入射しつつ、試験体側面を小型の受信探触子で2次元走査する。このとき、なるべく超音波ビームの中心軸に近い伝播挙動を得るため、図1のように送信探触子はなるべく走査面に寄せて設置する。各走査点で得られた超音波の振幅の時間変化を集めて再構成することにより、各時刻における走査面全体での超音波の振幅の2次元分布画像を得ることができる。

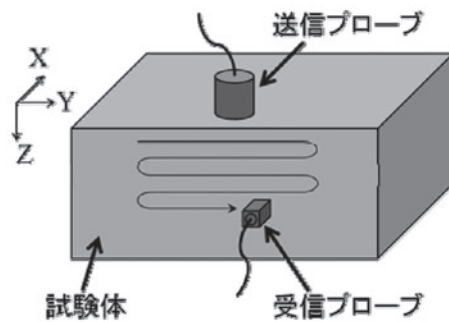


図1 超音波可視化のための測定装置の構成

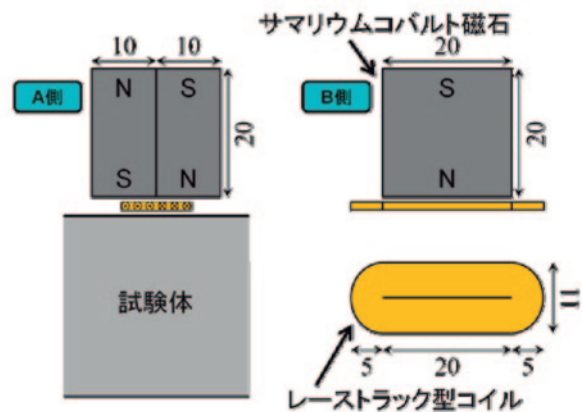


図2 EMATの構造

使用した試験体は直方体で、長さ200mm、幅50mm、厚さ30mmであり、材料は炭素鋼SS400とオーステナイト系ステンレス鋼SUS316の2種類を用意した。超音波の可視化のための測定では、200mm×50mmの面から超音波を入射し、200mm×30mmの面を2次元走査した。

図2に送信探触子として使うEMATの構造を示す<sup>[9]</sup>。冒頭で述べたとおり、EMATはコイルと磁石で構成される。コイルにパルス電流を流すと、コイルが作る磁場の変化により試験体表面に誘導電流が生じ、この誘導電流と磁石が作る磁場によって試験体表面にローレンツ力が作用し、この力による振動が超音波となって試験体内を伝播する。また、この逆過程により、コイルの電圧変化としてEMATの受信波形を得ることができる。

EMATを構成するコイルは、レーストラック型のコイルで、径0.12mmのコイル線を1層のみ40回巻いている。超音波の発生に利用するのは直線部分の20mm×11mmの部分である。磁石は、サマリウムコバルト磁石で、図2のように10mm×20mm

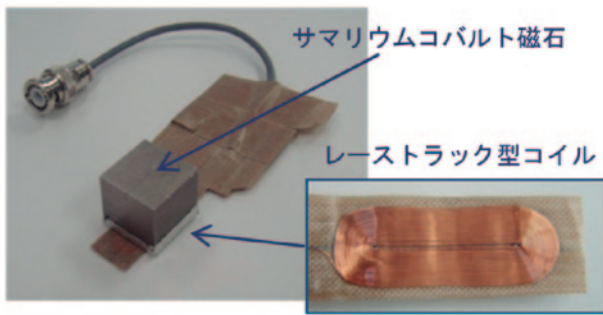


図3 使用したEMAT

× 20mm のもの 2 個を上下逆さにして合わせて使用している。EMAT を図 1 のように配置するとき、EMAT が作る横波の振動方向が走査面に対して垂直になるようにするため、図 2 における B 面を走査面に向けた。図 3 は、実際に使用した EMAT の写真である。

測定では、上記の EMAT のコイルに RITEC 製のパルサー・レシーバー RPR-4000 により 700V のパルス電圧をかけ、試験体に超音波を入射した。また、EMAT による超音波の送信、圧電型探触子による超音波の受信とスキャン装置の同期をとるために、(株) ジャスト研究所製のマルチ超音波自動探傷器 UT ステーションを使用した。UT ステーションは、スキャン装置を制御しながら受信波形を収録することができる。このとき、UT ステーションが出力する送信パルスを変換して RPR-4000 のトリガー入力とすることで、UT ステーションと EMAT との同期をとった。受信探触子は、公称周波数が 2MHz の縦波探触子で、振動子寸法が 2mm × 2mm のものを使用した。

EMAT が発生する超音波は、圧電型の超音波探触子によるものに比べて振幅が小さく SN 比が悪くなる傾向があり、今回の超音波の可視化においてもこのことが問題となった。そのため、受信探触子で得られた受信波形は、RPR-4000 のプリアンプと本体の増幅回路を使って増幅し、NF 製の広帯域ディケードフィルター FV-628B で不要な周波数成分を除去した上で UT ステーションに入力して記録した。

図 4 は、使用したスキャン装置の写真である。実験では走査面を上に向けており、試験体はその断面と同寸法の穴をあけた薄板にはめ込み、試験体端部

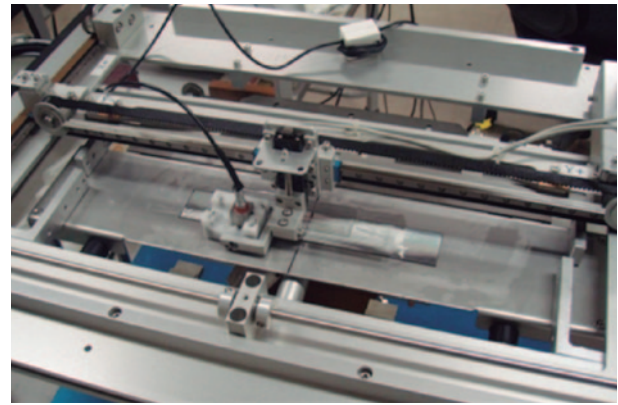
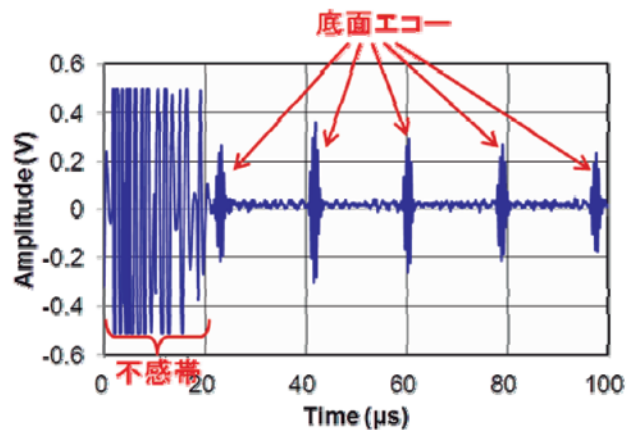


図4 超音波可視化のためのスキャン装置

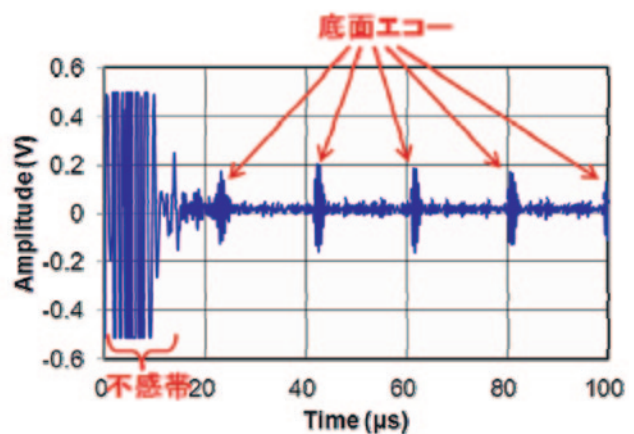
で受信探触子が傾くのを防いでいる。写真中央の探触子の保持部が走査面上を移動する。データの取り込み間隔は 1mm である。

### 3 実験結果

図 5 は、第 2 節の実験構成において、EMAT で送信した超音波を EMAT 自身で受信した波形図であ



(a) 炭素鋼SS400



(b) オーステナイト系ステンレス鋼SUS316

図5 EMAT により得られた波形 (2 MHz, 3 cycles)



る（超音波探傷試験で得られる通常の波形図に相当する）。図 5(a) は SS400 の試験体より得られたもので、図 5(b) は SUS316 の試験体より得られたものである。送信波を出すために、EMAT には 2MHz で 3 周期分のパルスを入力した。圧電型の探触子では主に探触子の仕様で出力される超音波の特性が決まってしまうが、EMAT ではコイルに入力する励磁信号により送信波の周波数や長さを制御することができる。図を見てわかるように、装置の構成上、送

信直後の 20  $\mu$ s 程度は受信波形が乱れてしまう。図 5(a) では音速が 3200 m/s 程度の底面エコーが現れており、音速値より横波であることがわかる。図 5(b) でも音速が 3100 m/s 程度の底面エコーが現れており、これも音速値より横波であることがわかる。

次に、図 6 と図 7 は、それぞれ上記と同じ条件で、試験体側面の 2 次元走査により得られた超音波の振幅分布である。EMAT の中心位置を原点とし、長さ方向に 100mm、厚さ方向に 30mm の範囲を走査し

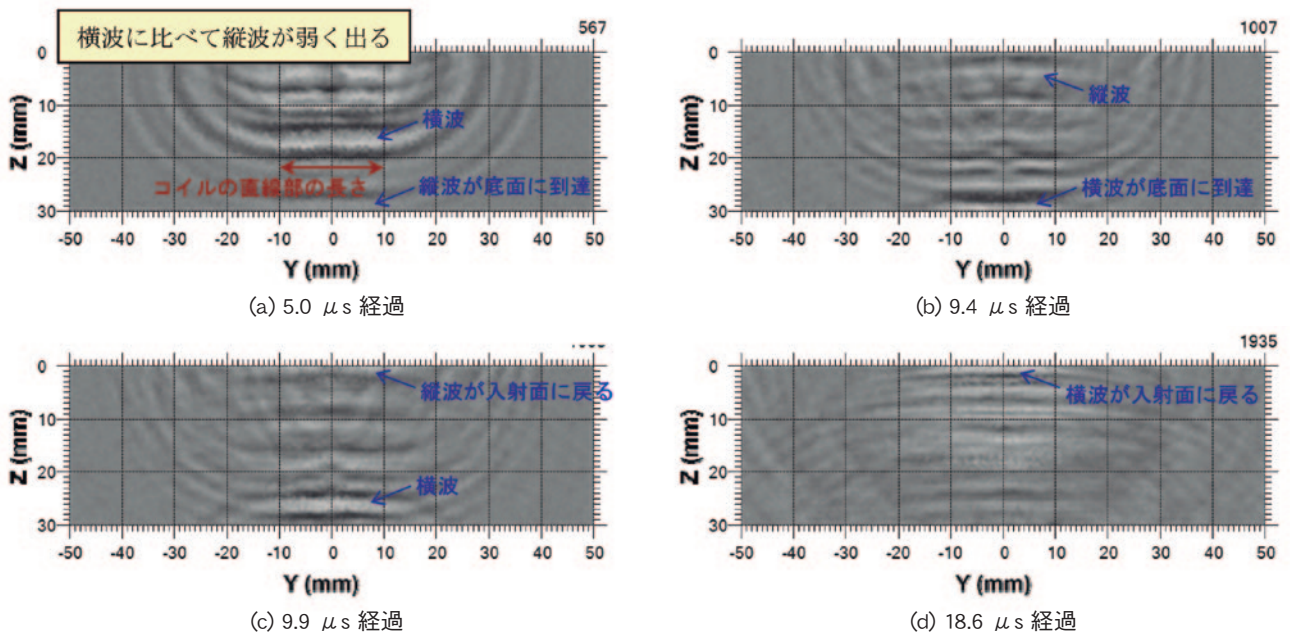


図6 炭素鋼におけるEMAT による超音波伝播の可視化

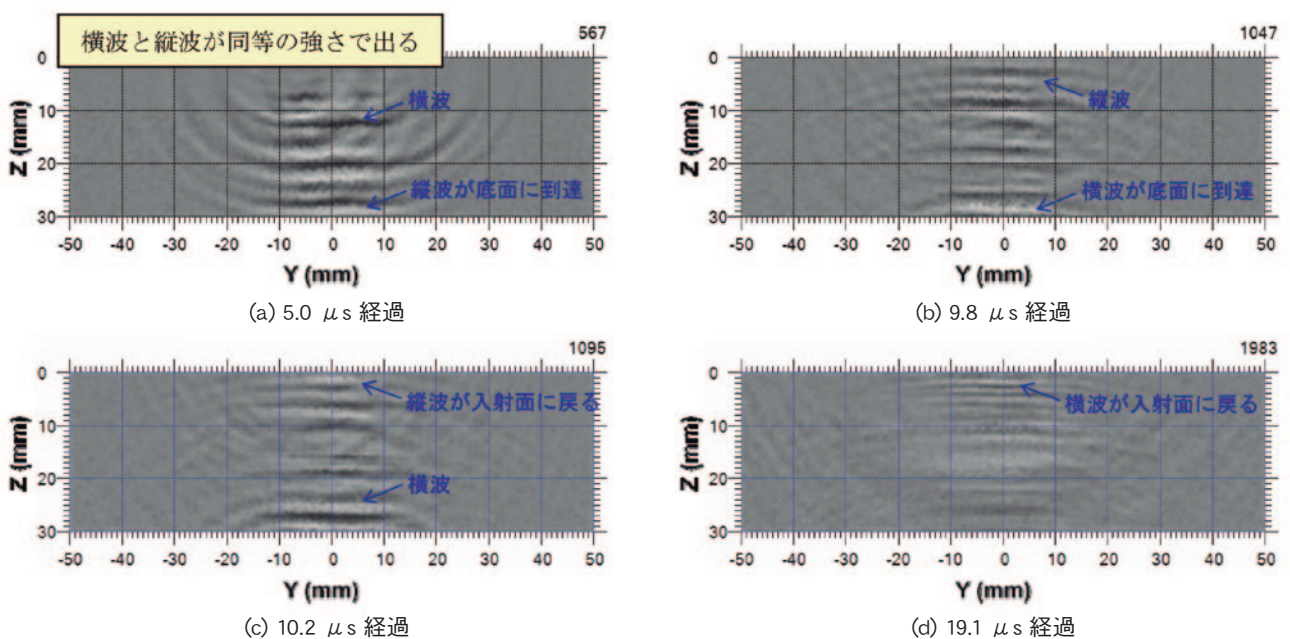


図7 オーステナイト系ステンレス鋼におけるEMAT による超音波伝播の可視化



ている。図6はSS400の試験体より得られたもので、図7はSUS316の試験体より得られたものである。

図6と図7の両方で底面までの30mmを約5 $\mu$ sで到達している縦波が観測されている。文献<sup>[1]</sup>の第2.1節によると、図8に示すように、EMATの磁石が作る磁場はコイル中心付近で試験体表面に平行な成分が強くなり、これにより、試験体表面に垂直なローレンツ力が生じ、EMATにより縦波も発生している。ただし、SS400のような強磁性体では、ローレンツ力に加え、磁歪による横波も発生するため、相対的に縦波が目立たなくなるといえる。この可視化結果でも、強磁性体のSS400に比べ、非磁性体のSUS316の方で縦波が強く表れている。しかしながら、図5では、どちらの場合もEMATの受信波形で縦波がはっきりと見えてはいない。これは、この構造のEMATは縦波に対応する面積が小さく、受信に関しても縦波に関して感度が低いと推測される。

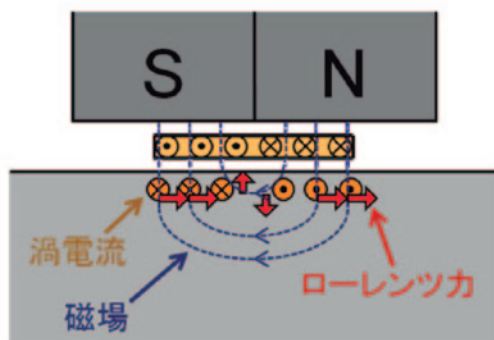


図8 EMATによるローレンツ力の発生

#### 4 終わりに

本稿では、圧電型の超音波探触子で超音波の進行方向に平行な面を2次元走査することによりEMATが発生する超音波を可視化する手法を紹介した。これにより、EMATが発生する実際の超音波の伝播がある程度明確に観測することが可能となった。

この手法では複雑形状の試験体への適用は難しいため、この手法で得られた結果と数値シミュレーションで得られた結果を比較し、数値シミュレーションの妥当性を検証した上で、より複雑な問題に対しては、数値シミュレーションを活用していく方法が考えられる。当センターでは、数値計算によるEMATが発生する超音波の可視化にも取り組んでお

り、今後、計測との比較や数値計算結果を利用した詳細な分析などを発表していく予定である。

#### 参考文献

- [1] M. Hirao and H. Ogi, EMATs for science and industry : Noncontacting ultrasonic measurements, Kluwer Academic Publishers, Boston/Dordrecht/London, pp. 39-42, 2003.
- [2] 丸山真一, 杉浦壽彦, 吉沢正紹, 電磁超音波探触子による超音波受信過程に関する研究, 日本機械学会論文集C編, Vol. 66, No. 642, pp. 390-397, 2000.
- [3] 伊達和博, 伊東義晃, 島田平八, 光弾性を用いた固体内弾性波の観察, 非破壊検査, Vol. 33, No. 7, pp. 513-519, 1984.
- [4] 伊達和博, 島田平八, 固体内超音波の光弾性可視化法による定量評価, 非破壊検査, Vol. 36, No. 9, pp. 605-612, 1987.
- [5] 高坪純治, 今出政明, 范秋林, 山本茂之, デジタル・レーザー超音波法による弾性波の可視化, 日本機械学会論文集C編, Vol. 65, No. 639, pp. 4299-4304, 1999.
- [6] 高坪純治, 王波, 津田浩, 遠山暢之, 発信レーザー走査法による三次元任意形状物体を伝わる超音波の可視化, 日本機械学会論文集A編, Vol. 72, No. 718, pp. 945-950, 2006.
- [7] 高坪純治, 宮内秀和, 卜部啓, 津田浩, 遠山暢之, 王波, レーザー超音波同期差分法による裏面スリット散乱波の画像化, 日本機械学会論文集A編, Vol. 75, No. 750, pp. 211-218, 2009.
- [8] K. Furukawa, H. Yoneyama, Y. Horii and N. Uesugi, Measurement of ultrasonic wave propagation in austenitic stainless steel welds— (I) , *Proceedings of the Second International Conference on NDE in Relation to Structural Integrity for Nuclear and Pressurized Components*, EPRI, Palo Alto, pp. B195-201, 2000.
- [9] 浦山良一, 内一哲哉, 高木敏行, 電磁超音波 - 渦電流複合プローブの高温モニタリングへの適用に関する検討, 日本機械学会論文集A編, Vol. 76, No. 765, pp. 587-593, 2010.



山本敏弘



古川 敬



古村一朗

# 多次元渦電流信号の活用による き裂評価

Enhancement of Defect Sizing Ability by ECT Data Fusion

溶接・非破壊検査技術センター 程 衛英, 古川 敬

In eddy current testing, the distribution of eddy current is disturbed in the presence of cracks. An equivalent solenoid model and a loop current model were proposed respectively to model the bypasses of eddy currents to the underside and longitudinal ends of a crack. Eddy current testing signals were qualitatively analyzed by using the equivalent current models. Simulation showed that the signal due to the bypass of eddy current to the under side of a crack was appropriate for the crack depth, evaluation and the signal due to the bypass of eddy current to the longitudinal ends of a crack was appropriate for crack length evaluation. The reliability of crack sizing is enhanced by using the fused signals.

**Keywords** Eddy Current Testing, Sizing, Magnetic Field, Data Fusion

## 1 はじめに

渦電流探傷は、励磁コイルで試験体に渦電流を誘導させ、き裂が存在するとき渦電流の乱れが生じる磁束密度変化を検出することにより、き裂の有無を判断し、また、き裂の寸法を評価する手法である。

欠陥の検査に用いるプローブには、欠陥に対する高感度とリフトオフ変動や材質の影響などへの低感度な性能が要求される。また、欠陥の長さや深さ評価において、深さや長さの変化に対応した信号成分の検出が求められる<sup>[1]</sup>。本研究では、渦電流の流れと磁束分布に着目し、ベクトル量の磁束密度の各成分信号、即ち、多次元信号の活用により、き裂評価の信頼性を高めることを図る。

## 2 渦電流の乱れ、等価電流モデル及び磁束密度信号

### 2.1 渦電流の乱れと等価電流モデル

渦電流の乱れは励磁コイルと欠陥の相対関係によるものである。渦電流の流れはき裂面と垂直な場合、き裂による渦電流の乱れは最も大きくなり、き裂の

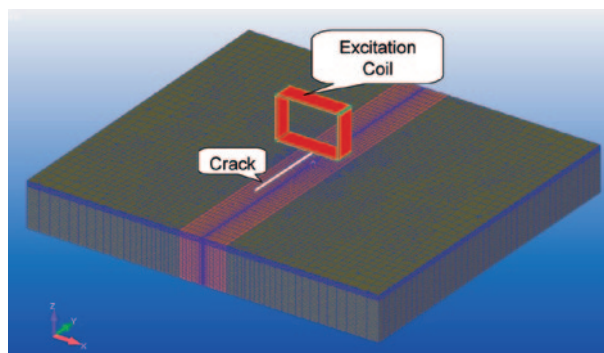
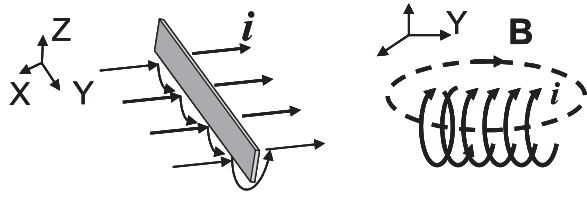


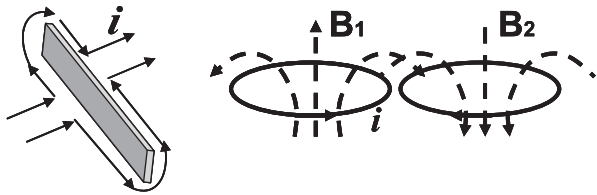
Fig. 1 Excitation coil and crack.

検出感度は高い。き裂に阻まれた渦電流はき裂の周辺、主にはき裂下面やき裂の側面へ回りこむ。ここでは、Fig. 1 に示す一様渦電流プローブを用いて、渦電流の乱れと等価電流モデルを説明する。

Fig. 2 は一様渦電流コイルが、欠陥長手中心上方に位置しているときの渦電流変化の等価電流及びその磁界分布の概念を示した図である。渦電流のき裂の下面へ回り込みによる変化は等価ソレノイドコイル、また、渦電流のき裂の側面への回り込みによる変化は等価楕円ループ電流で近似できる。渦電流探



(a) Bypassing of eddy current to the underside of a crack and the equivalent solenoid coil model.



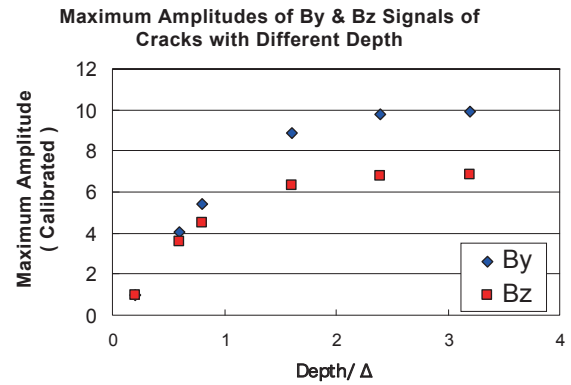
(b) Bypassing of eddy current to the longitudinal ends of a crack and the equivalent circular coil model.

Fig. 2 Perturbation of eddy current and the equivalent current model.

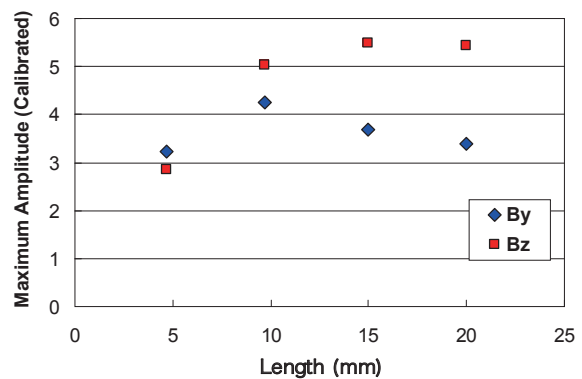
傷が計測するのは、等価ソレノイドコイルと楕円ループ上方の磁束密度である。

等価ソレノイドコイルが生じた磁束密度は欠陥長手方向（ここでは、Y方向）に平行であり、その方向を+Yと仮定する場合、コイル端部の磁束密度は-Y方向である。励磁コイルは欠陥長手中心上方に位置するとき、ソレノイドコイルに流れる等価電流は最も大きいため、それが生じた磁束密度のY成分信号は最も大きくなる。ソレノイドコイルを構成する各リング電流はき裂下面へ回り込む電流に対応しているため、この等価ソレノイドコイルが生じた磁束密度は主にき裂の深さを反映すると考えられる (Fig. 2(a))。

一方、渦電流のき裂端部へ回りこむことによる変化は二つ逆向きの電流ループで等価できる (Fig. 2 (b))。励磁コイルが欠陥長手中心上方に位置しているとき、この二つの電流ループは等しくなり、この二つ等しい且つ電流は逆向きの等価電流ループによって、き裂長手中心上方の磁束密度のZ方向成分は0になる。励磁コイルを欠陥長手方向へ移動すると、二つの電流ループは等しくなくなり、それらが作った磁束が合成され、励磁コイルがき裂の端部に近いほど磁束密度のZ方向成分は大きくなる。また、励磁コイルは欠陥長手端部の上方に位置すると、等



(a) Maximum amplitudes of magnetic flux density signals of 15mm long cracks, the depth varies from 0.2 ~ 3.3 skin depth.



(b) Maximum amplitudes of magnetic flux density signals of 4mm deep cracks, the crack length varies from 5mm to 20mm.

Fig. 3 Maximum Amplitude of magnetic flux density signal and the depth & length of crack.

価ループ電流は一個となり、信号は最も大きくなる。この信号の大きさは楕円ループの長さ、近似的には欠陥の長さ、に関係しており、欠陥長さをよく反映すると考えられる。また、励磁コイルが欠陥長手の両端に位置するときの信号は逆向きとなる。

## 2.2 各磁束密度成分信号と欠陥の長さ・深さ

ここでは、Fig. 1 に示す一様渦電流プローブによるシミュレーションを用いて、前節に述べた定性的な分析に基づいた欠陥長さ・深さと各磁束密度成分信号の関係を検証する。

Fig. 3(a) に長さ 15mm、幅 0.2mm、深さをそれぞれ 1mm、4mm、6mm、8mm と変えたノッチからの磁束密度 Y 方向成分 (By) 及び Z 方向成分 (Bz) 信号の最大振幅値と深さの関係を示す。図中横軸の Δ は標準浸透深さを表記する (導電率 1 Ms/m、比透



磁率 1, 励磁周波数 20kHz の場合, 渦電流の標準浸透深さは約 5mm である)。欠陥深さは標準浸透深さほどになると, Bz 信号は飽和値のおよそ 70% になるのに対し, By 信号は飽和値のおよそ 55% である。即ち, By 信号は欠陥深さに対し飽和しにくく, 欠陥の深さサイジングに適している。なお, 全ての信号値は 1mm 深さ欠陥の最大振幅値を 1 にして校正したものである。

Fig. 3(b) は深さ 4mm, 幅 0.2mm, 長さをそれぞれ 5mm, 10mm, 15mm, 20mm と変えたノッチの信号最大振幅値と長さとの関係を示す (励磁コイルの長さは 12mm である)。欠陥は励磁コイルの長さより長くなると, By 信号では, 欠陥長さと信号最大振幅値の単調関係は崩れるのに対し, Bz 信号では, 欠陥が長くなるにつれ, 信号の最大振幅値は大きくなる。したがって, Bz 信号は By 信号より欠陥の長さサイジングに適していると考えられる。

したがって, 節 2.1 の分析どおり, 欠陥の底面への回りこみによる渦電流信号はよりよく欠陥深さを反映しており, 欠陥長手端部へ回りこむ渦電流が生じる磁束密度信号はより欠陥の長さを反映している。

### 3 多次元信号によるき裂サイジング

一様渦電流プローブによる各磁束密度成分信号は, き裂の長さ, 深さをそれぞれ反映しており, ここでは, それぞれの信号の特徴を活かした欠陥サイジング信頼性の向上策を検討する。

この検討では, モデルフリーの Similarity-based Modeling (SBM) 法を用いて, 欠陥の長さ・深さを推定する。SBM アルゴリズムでは, 多変量を用い, “類似度” に基づいた識別手法である [2]。

このアルゴリズムを実施するために, 学習用のデータベースを用意する必要がある。一様渦電流プローブによる磁束密度成分信号  $S_y$  及び  $S_z$  を計算し, それらの特徴量を抽出し, 学習用入力信号  $X_{tr}$  を構築する。学習用データの出力信号  $Y_{tr}$  はこれらのき裂の長さ, 長さで構築する。また, 長さ・深さが未知のき裂の観測信号から得られた特徴量によって  $X_{est}$  を構築して, 求めたいパラメータ (これらのき裂の長さ, 深さ)  $Y_{est}$  は以下の計算で求められる。

ここで,  $Y_{est} = Y_{tr} \cdot w$

$$w = \frac{W}{\sum \hat{W}}$$

$$\hat{W} = (X_{tr}^T \otimes X_{tr})^{-1} \cdot (X_{tr} \otimes X_{est})$$

上の式中の  $\otimes$  は非線形類似度計算式である。

$$U \otimes V = \frac{1}{\sqrt{2\pi h^2}} e^{-\frac{(U-V)^2}{2h^2}}$$

磁束密度信号の Y 方向成分信号と Z 方向成分信号の特徴量はそれぞれの最大振幅値, 最大振幅点の位相及び最大振幅値になる走査点位置である。

各方向の信号のき裂サイジングへの適用性及び多次元信号の活用によるサイジングの向上性を評価するために, ここでは, Y 方向成分信号のみ, Z 方向成分信号のみ及び Y 方向と Z 方向成分信号を融合して共使用するといった 3 条件で欠陥サイジングを行うことを想定した。

Fig. 4 にこの 3 条件における欠陥深さサイジング結果を示す。図中に表記した ‘Y’, ‘Z’ 及び ‘Y & Z’ はそれぞれ Y 成分信号のみ, Z 成分信号のみ及び Y, Z 成分信号を融合して使用したことを表す。‘Y’ と ‘Z’ の場合, 欠陥深さの推定値は妥当な深さ範囲外になることがあるのに対し, ‘Y & Z’ 信号を使う場合, 欠陥深さの推定値は妥当な範囲に抑えられた。

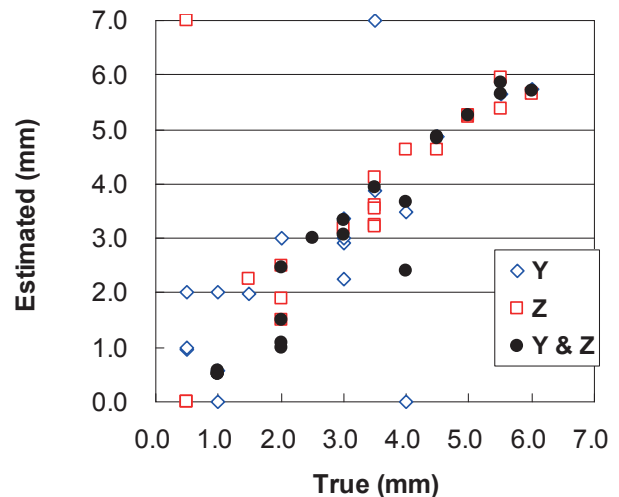


Fig. 4 The estimated crack depth.

また、‘Y’、‘Z’及び‘Y & Z’の深さ推定値と実際の深さの偏差はそれぞれ1.2mm, 2.5mm, 0.6 mmである。したがって、YやZ成分信号を単独に用いて、欠陥深さを評価する場合、欠陥底面に回りこむ電流によるY方向成分信号を使った場合の深さ推定は欠陥長手方向の回りこむによるZ方向成分信号を用いた場合より有効であることを確認された。さらに、Y成分とZ成分信号を融合した多次元信号の活用によって、欠陥サイジングの信頼性が向上されたことを示した。

#### 4 結言

本研究では、励磁コイルとき裂の相対関係から、渦電流探傷信号としての磁束の方向性、振幅変化などを分析し、磁束密度の各方向成分信号及びそれら

の組み合わせたデータによるサイジング性を評価し、多次元信号の融合によるき裂サイジングの基礎検討を行った。その結果、多次元信号の活用によりき裂サイジングの信頼性が向上する可能性を確認した。今後、多周波数・多センサーデータなどを含め、この手法のさらなる高度化を図り、実測データによるサイジングを行う予定である。

#### 参考文献

- [1] 程衛英, “渦電流の乱れと磁束分布に着目した電磁誘導試験”, 日本非破壊検査協会平成25年度春季大会講演概要集, pp.127 – 128.
- [2] Stephan WEGERICH, “Condition Based Monitoring using Nonparametric Similarity Based Modeling”, 日本保全学会第3回学術講演会 要旨集, 2006, pp.308 – 313.



程 衛英

古川 敬

# 応力改善工法で付与された 圧縮残留応力の持続性

Sustainability of compressive residual stress by stress improvement processes

溶接・非破壊検査技術センター 西川 聡

Stress improvement processes are countermeasures against stress corrosion cracking in nuclear power plant components. It is necessary to confirm whether compressive residual stress induced by stress improvement processes can be sustained under operation environment. In order to evaluate stability of the compressive residual stress in 60-year operating conditions, the 0.07% cyclic strains of 200 times at 320°C were applied to the welded specimens, then a thermal aging treatment for 461 hours at 400°C was carried out. As the result, it was confirmed that the compressive residual stresses were sustained on both surfaces of the dissimilar welds of austenitic stainless steel (SUS316L) and nickel base alloy (NCF600 and alloy182) processed by laser peening (LP), water jet peening (WJP), ultrasonic shot peening (USP), shot peening (SP) and polishing under 60-year operating conditions.

**Keywords** Stress improvement processes, Sustainability of the compressive residual stress, Austenitic stainless steel, Nickel base alloy, LP, WJP, USP, SP, Polishing

## 1 緒言

原子力発電プラントの炉内構造物における応力腐食割れ (SCC) の予防保全対策の一つに応力改善工法, すなわちレーザピーニング (LP) やウォータージェットピーニング (WJP) 等の各種ピーニング工法, および磨きがある。これらは, SCC の発生要因である「材料」, 「環境」, 「応力」の三要因の中で, 「応力」面からの対策として, 溶接や表面研削で生じた引張残留応力を圧縮残留応力に転換して SCC の発生を予防するものである。しかし, SCC 対策として圧縮残留応力の付与を行う場合, 実機の高経年化を考慮した上で圧縮残留応力の持続性を確認する必要がある。

これまでに, 圧縮残留応力の持続性について種々の検討がなされており, これらは以下の①～⑥の要因に分類することができる。ここで評価対象としている材料は, 母材 (SUS304, SUS316L, NCF600) と溶接金属 (132 合金と 182 合金) である。

- ① 熱処理による熱緩和<sup>1) -5)</sup>
- ② 応力 (ひずみ) 付与<sup>1), 6) -9)</sup>
- ③ 熱緩和と応力 (ひずみ) 付与との重畳<sup>3), 6), 10)</sup>
- ④ 溶接残留応力が存在する状態での熱緩和<sup>3), 4), 8), 11)</sup>
- ⑤ 溶接残留応力が存在する状態での応力 (ひずみ) 付与<sup>12), 13)</sup>
- ⑥ 溶接残留応力が存在する状態での熱緩和と応力 (ひずみ) 付与との重畳<sup>3), 13)</sup>

しかし, これら①～⑥の要因において, 個々の試験で圧縮残留応力の持続が確認されているものの, その試験は工法毎に試験条件や試験片形状が異なることから, これまでに圧縮残留応力の持続に関して統一的な見解を得るには至っていない。そこで本研究では, LP, WJP, 超音波ショットピーニング (USP), ショットピーニング (SP), および磨きの五工法について実機環境 (温度条件, ひずみ条件) を踏まえた同じ試験条件, および試験片形状で応力緩和試験を行って圧縮残留応力の持続性を調査したので, その結果を紹介する。



表1 供試材料の化学成分 (mass%)

材料	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cu	Cr	Fe	Mo	Nb+Ta	Ti	その他
SUS316L	0.015	0.66	1.21	0.035	0.003	12.24	-	17.41	Bal	2.08	-	-	-
NCF600	0.08	0.23	0.25	0.008	0.001	73.54	0.07	16.77	9.05	-	-	-	-
182合金	0.058	0.76	7.38	0.007	0.004	68.3	0.03	14.30	7.08	-	1.52	0.37	<0.50

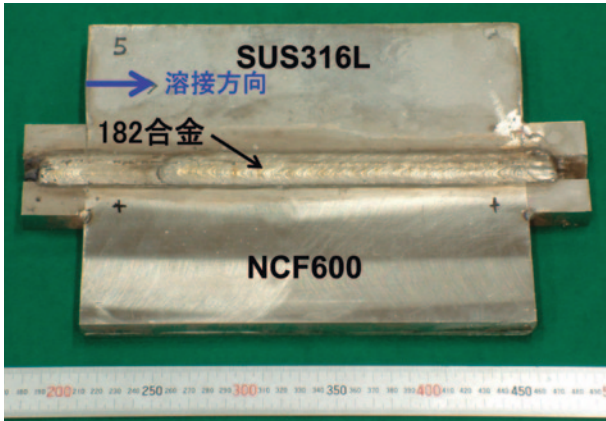


図1 製作した溶接継手の外観写真

表2 応力改善工法の施工条件

LP	パルスエネルギー	60mJ
	スポット径	0.7mm
	パルス回数	7000pulse/mm <sup>2</sup> (SUS316L) 1800pulse/mm <sup>2</sup> (NCF600, 182合金)
WJP	流量	800cm <sup>3</sup> /s
	入射時間	24s/cm
	入射距離	140mm
	入射角	90°
	ノズル径	2mm
USP	振幅	50μm
	ボール径	4mm
	投射時間	150s
SP	カットワイヤ材質	SUS304
	カットワイヤ寸法	φ0.8mm×0.8mmL
	投射角度	90°

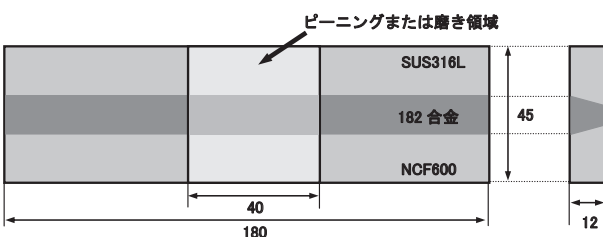


図2 ピーニングまたは磨きを施した領域の模式図

## 2 実験方法

### 2.1 評価試験片の製作

表1に試験体の製作に用いた材料の化学成分を示す。また、図1に製作した溶接継手の外観写真を示す。母材がSUS316LとNCF600、溶接金属が182合金からなる板厚15mm、幅200mm、長さ250mmの異材溶接継手を製作した。溶接条件は、直流で溶接棒をプラス極として電流110-140A、溶接速度2.0-4.1mm/sで行った。また、積層数は5層9パスとして、溶接の棒継部が残留応力を評価する試験体中央部付近に重ならないようにした。溶接継手の余盛部を機械研削して平坦にし、その後、初層部を機械研削して板厚を12.1mmとした。そして、板厚12.1mm、幅45mm、長さ180mmの試験片を溶接金属が中心になるよう長手方向から採取し、表面の機械加工層を除去するため、最終層側の面を電解研磨で0.1mm以上研磨した。図2に応力改善工法を施した場所を示す。電解研磨した最終層側の面に45mm×40mmの領域に応力改善工法を施した。表2にWJP, LP, USP, およびSPの施工条件を示す。これらの応力改善工法に磨きを加えた五工法について検討を行った。

### 2.2 ひずみ負荷

実機の起動・停止に伴う応力変動の影響を評価するため、製作した試験片にひずみを複数回負荷した。SUS316L, NCF600, および182合金の降伏応力は、温度上昇に伴い低下する<sup>14)</sup>。そのため、実機起動の昇温時に負荷される応力を運転温度で負荷すれば、圧縮残留応力の緩和に対してより厳しい評価になる。PWRの運転温度に相当する320℃でひずみ量0.07%を負荷した場合、実機起動時に負荷される応力と同等以上の応力が各々の材料に負荷されるため、320℃で0.07%のひずみを試験片の長手方向に

繰返し負荷した。ひずみの負荷速度は、JIS規格における引張試験のひずみ速度の範囲内である  $6.67 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  とし、三角波でひずみを負荷した。そして、実機 60 年運転を想定した設計上の繰返し数以上となる 200 回までひずみを負荷した。なお、BWR は運転温度が  $290^\circ\text{C}$  程度で、起動時に同等のひずみが負荷されるため、この条件で圧縮残留応力が持続すれば BWR 環境下においても圧縮残留応力は持続すると言える。

### 2.3 熱時効処理

実機条件の中でピーニングによる圧縮残留応力の持続性に影響を及ぼす因子として、応力負荷以外に運転温度に長期間曝されることに伴う熱緩和が考えられる。したがって、両方の因子を考慮した場合に圧縮残留応力が持続することを確認するため、2.2 節でひずみを 200 回負荷した後、長期間の運転を模擬した熱時効処理を行った。PWR の 60 年運転、100%稼働率を想定した場合、 $320^\circ\text{C}$  で 525,600hrs 相当の熱履歴を受けることになる。この熱履歴は、 $T$  を温度 (K)、 $t$  を時間 (hr) とした場合のラーソンミラーパラメータ  $P=T(20+\log t)$  で加速条件を算出すると  $400^\circ\text{C}$ 、461hrs に相当するため、この条件で熱時効処理を行った。なお、BWR は運転温度が  $290^\circ\text{C}$  程度であり PWR より低温になるため、この条件で圧縮残留応力が持続すれば BWR 環境下においても圧縮残留応力は持続すると言える。

### 2.4 残留応力測定

ひずみ繰返し数 1, 2, 5, 10, 50, 200 回負荷後、および熱時効処理後の残留応力を X 線回折法で測定した。残留応力の測定条件を表 3 に示す。 $2\theta - \sin^2 \psi$  法<sup>15)</sup>を用いて室温の残留応力を測定した。残留応力測定点は SUS316L と NCF600 は 1 点として、182 合金は測定のばらつきを考慮して同じ点を 2 回測定した。図 3 に残留応力の測定箇所を示す。溶融線から 2mm 離れた SUS316L と NCF600 の溶接熱影響部、および 182 合金中央部の表面残留応力を測定した。政木ら<sup>7)</sup>の結果では、応力負荷方向の垂直方向は残留応力がほとんど変化せず、応力負荷方向で残留応力の緩和が生じることから、溶接線方向(試験片長手方向)の残留応力を測定した。さらに、板

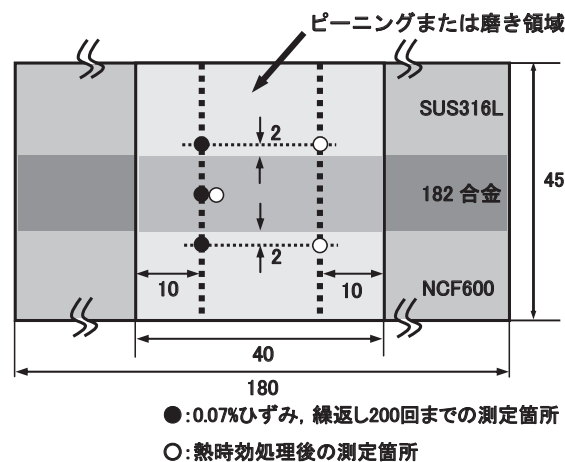


図3 残留応力測定箇所の模式図

表3 X線回折法による残留応力測定条件

	SUS316L	NCF600と182合金
特性X線	Cr-K $\beta$	Cr-K $\beta$
管電圧/管電流	40 kV/30 mA	40 kV/30 mA
電解研磨領域	$\phi$ 3 mm (SUS316LとNCF600)	
コリメータ径	$\phi$ 2 mm	$\phi$ 2 mm (NCF600, およびWJPとLPを除く182合金) $\phi$ 4 mm (WJPとLPの182合金)
回折面	311	311
回折角 ( $2\theta$ )	$148.52^\circ$	$153.6^\circ$

厚内部における圧縮残留応力の持続性を評価するため、繰返しひずみ 200 回負荷後、および熱時効処理後において、表面を電解研磨して深さ  $10 \sim 200 \mu\text{m}$  の箇所を残留応力測定した。磨き以外の工法は、SUS316L は深さ  $100 \mu\text{m}$  を、NCF600 では深さ  $200 \mu\text{m}$  を残留応力測定した。磨きは圧縮残留応力の付与深さが約  $50 \mu\text{m}$  であるため<sup>16)</sup>、SUS316L、NCF600 とともに深さ  $10 \mu\text{m}$  の箇所を測定した。なお、SUS316L と NCF600 は電解研磨により表面に凹部が形成されるため、熱時効処理後の残留応力測定は、図 3 に示すようにひずみ 200 回負荷後の測定位置と反対側の箇所で行った。

## 3 実験結果および考察

### 3.1 SUS316L, およびNCF600の表面残留応力の持続性

図 4 に各応力改善工法における SUS316L と NCF600 の溶融線から 2mm 離れた位置のひずみ負荷と熱時効処理による表面残留応力の変化を示す<sup>17)</sup>。

なお、正值は引張残留応力を、負値は圧縮残留応力を示している。溶接のままでは、溶接による引張残留応力が表面に生じているが、応力改善工法を施すことで圧縮残留応力が付与される。そして、SUS316L、NCF600ともに全ての応力改善工法にお

いて、320℃で0.07%のひずみを繰返し200回負荷した場合、さらにその後400℃で461hrs熱時効処理を施した場合においても表面に圧縮残留応力が持続していた。応力改善工法や材料の種類で傾向は異なるものの、多くの場合、1回目のひずみ負荷で圧

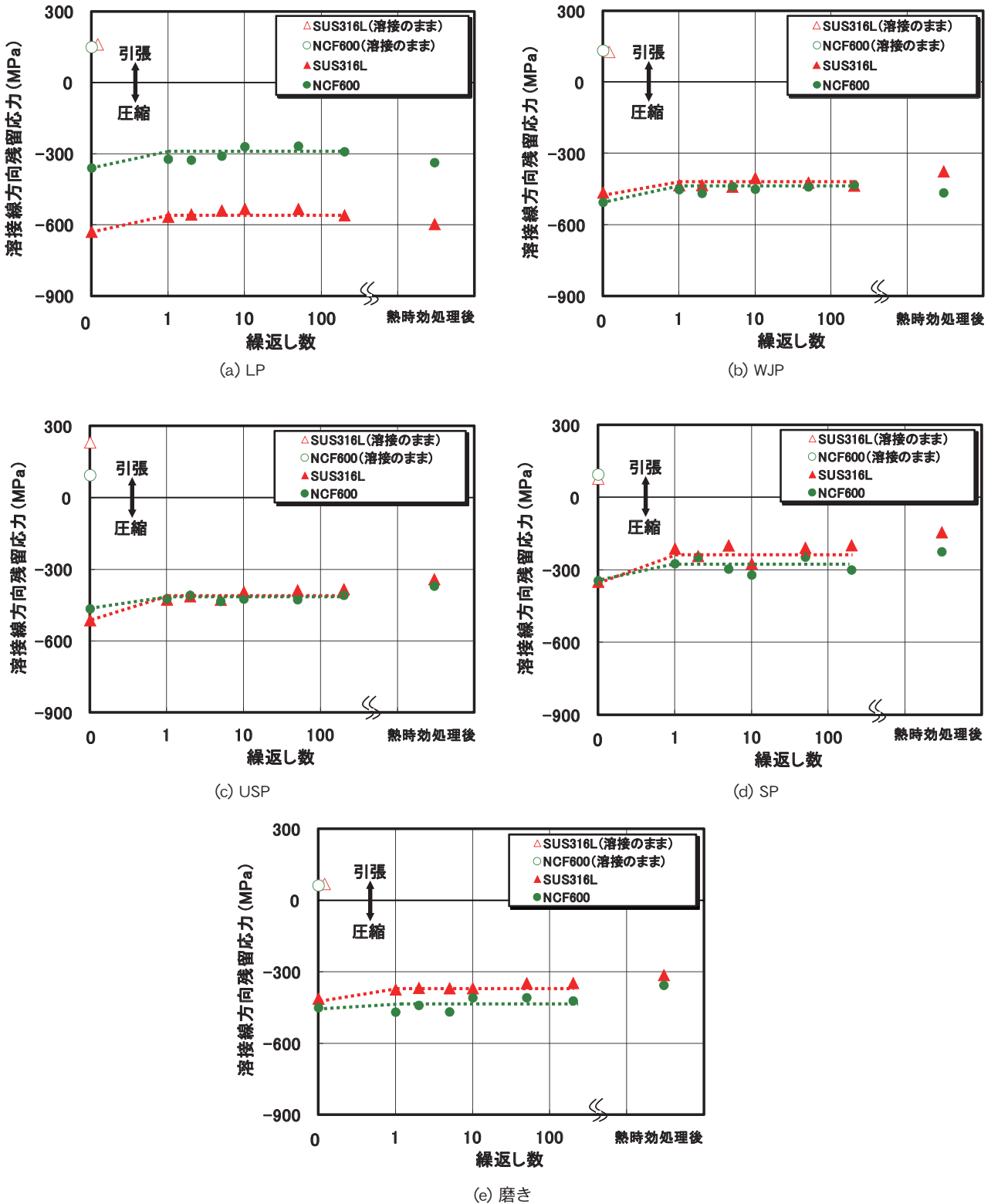


図4 SUS316LとNCF600の溶接熱影響部における表面残留応力の変化：(a)LP、(b)WJP、(c)USP、(d)SP、(e)磨き



縮残留応力が比較的大きく緩和し、その後 200 回目まで大きな変化は見られなかった。このことから、1 回目のひずみ負荷時に昇温とひずみ負荷に伴う応力再配分が生じて圧縮残留応力の緩和が生じるが、その後は同等の熱的、および力学的な負荷に対して

圧縮残留応力の変化は少なくなると考えられる。

### 3.2 182合金の表面残留応力の持続性

図 5 に各応力改善工法における 182 合金中央部のひずみ負荷と熱時効処理による表面残留応力の変化

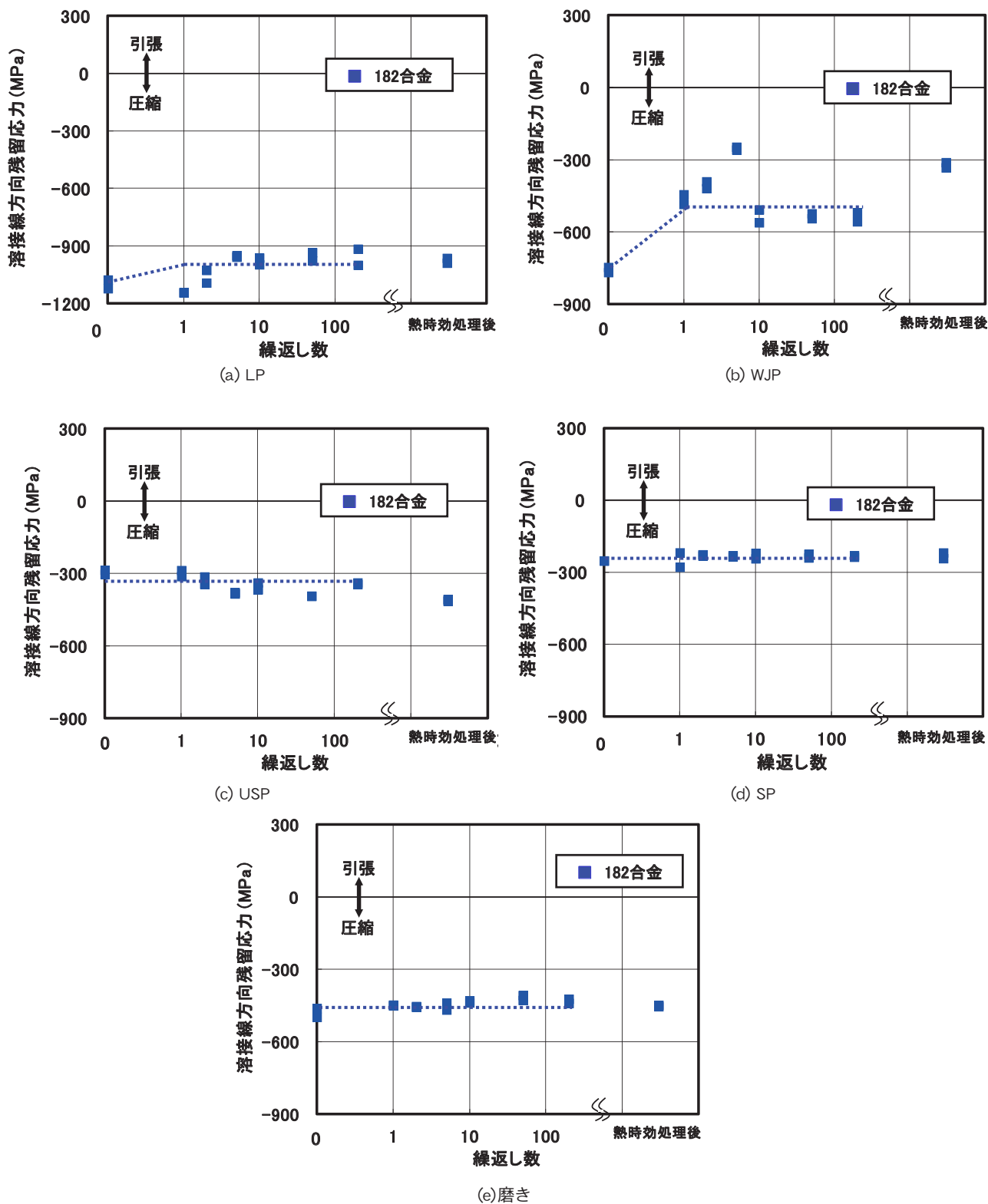


図5 182合金中央部における表面残留応力の変化：(a)LP、(b)WJP、(c)USP、(d)SP、(e)磨き

を示す<sup>17)</sup>。施工のままでは、全ての応力改善工法において圧縮残留応力になっていた。そして、320℃で0.07%のひずみを繰返し200回負荷した場合、さらにその後400℃で461hrs熱時効処理を施した場合においても、SUS316L、およびNCF600と同様に

に圧縮残留応力が表面で持続していた。(b)に示すWJP施工材では5回目のひずみ負荷まで圧縮残留応力の緩和が見られたが、10回目以降は圧縮残留応力が高くなり、-500 MPa 近くになった。このように、他の工法と比較して圧縮残留応力の変化が著しいの

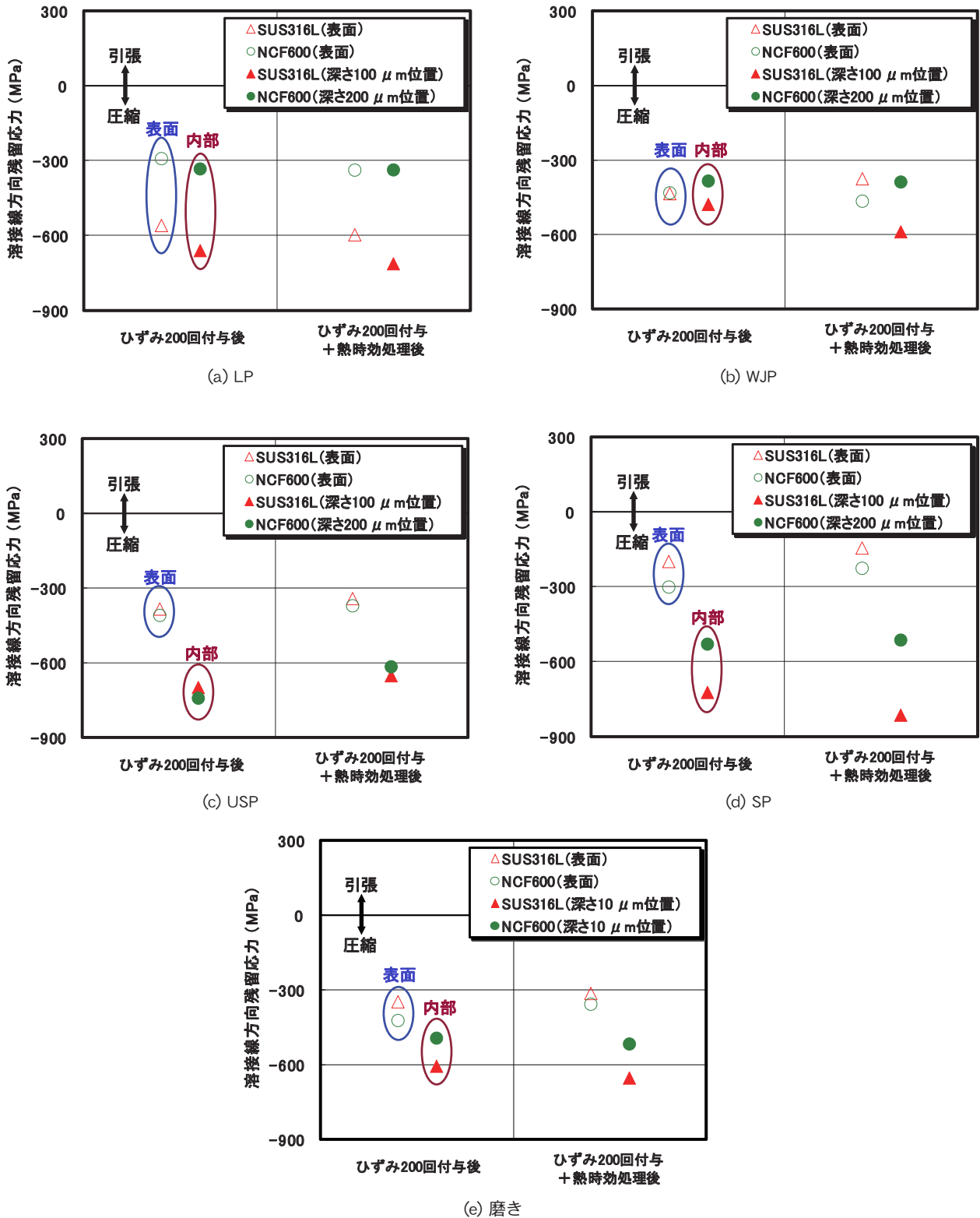


図6 SUS316LとNCF600の板厚内部の残留応力: (a)LP, (b)WJP, (c)USP, (d)SP, (e)磨き

は、測定誤差が大きいことに起因すると考えられる。182合金は溶接のままでは母材と比べて結晶粒が粗大になり<sup>18)</sup>、かつ凝固過程において結晶成長方向が<100>に優先配向する。このため、X線の照射領域に含まれる結晶粒数が減少し、かつ特定の方向にX線のピークが出やすいために十分な測定精度が得られず、残留応力の測定が困難になることが知られている<sup>19)</sup>。よって、WJPのような加工度の小さい工法では<sup>20)</sup>、粗大な結晶粒が残存して測定誤差が大きくなるため、(b)に示すように圧縮残留応力の変化が他の工法と比較して著しくなったものと推察される。なお、USPやSPのような加工度の大きい工法では、182合金の粗大な結晶粒が微細化されることでX線回折の測定領域に含まれる結晶粒数が見かけ上多くなり、WJPより測定精度が高くなるものと推察される。

### 3.3 板厚内部での圧縮残留応力の持続性

図6に溶融線から2mm離れたSUS316LとNCF600の表面および10～200 $\mu$ mの板厚内部における残留応力測定結果を示す(17)。320 $^{\circ}$ Cで0.07%のひずみを繰返し200回負荷した場合、さらにその後400 $^{\circ}$ Cで461hrs熱時効処理を施した場合においても圧縮残留応力が持続し、磨き以外の工法では、SUS316Lは表面から深さ100 $\mu$ mで、NCF600は深さ200 $\mu$ mで圧縮残留応力が持続していた。また、磨きはSUS316L、NCF600ともに表面から深さ10 $\mu$ mで圧縮残留応力が持続していた。

以上より、LP、WJP、USP、SP、および磨きの五種類の工法について、SUS316L、NCF600、および182合金からなる溶接試験片に付与される圧縮残留応力は、実機の60年運転を想定した条件下で持続すると考えられる。

## 4 結論

本研究は、原子力発電プラントにおいてSCCを予防するために行われる応力改善工法(LP、WJP、USP、SP、および磨き)で付与される圧縮残留応力について、実機の60年運転を想定した条件下における持続性の評価結果を紹介した。得られた結果を以下に示す。

1) 応力改善工法を施したSUS316L、NCF600、お

よび182合金からなる溶接試験片は、320 $^{\circ}$ Cで0.07%のひずみを繰返し200回負荷した場合、さらにその後400 $^{\circ}$ Cで461hrsの熱時効処理を施した場合においても表面に圧縮残留応力が持続する。

- 2) LP、WJP、USP、およびSPを施した溶接試験片のSUS316LとNCF600は、320 $^{\circ}$ Cで0.07%のひずみを繰返し200回負荷した場合、さらにその後400 $^{\circ}$ Cで461hrsの熱時効処理を施した場合においても、SUS316Lは表面から深さ10 $\mu$ mで、NCF600は深さ200 $\mu$ mで圧縮残留応力が持続する。
- 3) 磨きを施した溶接試験片のSUS316LとNCF600は、320 $^{\circ}$ Cで0.07%のひずみを繰返し200回負荷した場合、さらにその後400 $^{\circ}$ Cで461hrsの熱時効処理を施した場合においても、SUS316LとNCF600は表面から深さ10 $\mu$ mで圧縮残留応力が持続する。

なお、本研究は国内電力10社(関西電力、北海道電力、東北電力、中部電力、北陸電力、中国電力、四国電力、九州電力、日本原子力発電、電源開発)、および国内プラントメーカー3社(東芝、日立GEニュークリア・エナジー、三菱重工業)の共同研究成果の一部である。関係各位の御討論に深謝する。

### 参考文献

- 1) 小畑稔、久保達也、依田正樹、佐伯綾一、石川達也：“レーザーピーニングにより形成した圧縮残留応力の緩和特性評価”，M & M2009 材料力学カンファレンスCD-ROM論文集，pp.343-344 (2009)。
- 2) 齋藤昇、波東久光、吉久保富士夫、守中廉：“WJPによる残留応力改善効果の持続性評価”，日本材料学会第59期学術講演会講演論文集，pp.307-308 (2010)。
- 3) 前口貴治、堤一也、豊田真彦、太田高裕、岡部武利、佐藤知伸：“ピーニングによる応力腐食割れ防止効果に関する研究”，日本保全学会第7回学術講演会要旨集，pp.568-571 (2010)。
- 4) 西川聡、中田志津雄、堀井行彦、古村一朗、山口篤憲：“圧縮残留応力付与部の熱時効による応力緩和挙動”，日本保全学会第4回学術講演会要旨集，pp.276-279 (2007)。
- 5) 瀬良健彦、平野伸朗、千種直樹、岡野成威、才田一幸、望月正人、西本和俊：“表面加工による



- 残留応力改善の長期信頼性評価について”，保全学，Vol.11, No.3, pp.79-85 (2012).
- 6) 角谷利恵，田澤俊幸，榑崎千尋，齋藤利之：“レーザーピーニング施工面の圧縮残留応力に及ぼす外部応力負荷の影響”，M & M2009 材料力学カンファレンス CD-ROM 論文集，pp.340-342 (2009).
  - 7) 政木清孝，若林豊，越智保雄，松村隆，佐野雄二，久保達也：“レーザーピーニング処理した SUS316L 鋼の高サイクル疲労挙動”，M & M2004 材料力学カンファレンス講演論文集 (2004).
  - 8) K. Okimura, T. Ohta, T. Konno, M. Narita and M. Toyoda “Reliability of Water Jet Peening as Residual Stress Improvement Method for Alloy 600 PWSCC Mitigation”, Proceeding of the 16th International Conference on Nuclear Engineering, ICONE16, May11-15, 2008, Orlando, Florida, USA.
  - 9) 佐川渉，吉久保富士夫，守中康，菅野明弘，波東久光，齋藤昇：“ウォータジェットピーニング (WJP) 技術の BWR 炉内構造物への適用”，保全学，Vol.7, No.4, pp.69-76 (2009).
  - 10) 吉村敏彦，大城戸忍，榑本邦夫，守中廉，平野克彦，黒澤孝一，林英策：“ウォータジェットピーニングによる原子炉内機器溶接部の残留応力低減”，日本材料学会第 38 回 X 線材料強度に関する検討会，2001 年 11 月 30 日，pp.38-44 (2001).
  - 11) 橋本匡史，大沢悠介，伊藤真介，才田一幸，望月正人，西本和俊：“ウォータジェットピーニングによる残留応力低減効果の全施工プロセスを考慮した長期安定性評価”，第 204 回溶接冶金研究委員会資料 (2011).
  - 12) 田澤俊幸，角谷利恵，榑崎千尋，齋藤利之：“レーザーピーニング施工をした溶接部の圧縮残留応力に及ぼす外部応力負荷の影響”，M & M2010 材料力学カンファレンス CD-ROM 論文集，pp.1263-1265 (2010).
  - 13) 齋藤昇，榑本邦夫，黒澤孝一，守中康，林英策，石川哲也，吉村敏彦：“原子力プラントの炉内機器に対するウォータジェットピーニング技術の開発”，噴流工学，Vol.20, No.1, pp.4-12 (2003).
  - 14) 小川和夫，中田志津雄，西川聡，堀井行彦，村川英一：“材料物性値および FEM 要素が溶接残留応力解析へ及ぼす影響”，溶接構造シンポジウム 2006 講演概要集，No.2, pp.705-712 (2006).
  - 15) 日本材料学会 X 線材料強度部門委員会：“X 線応力測定法標準 (2002 年版) - 鉄鋼編 - (JSMS-SD-5-02)” (2002).
  - 16) 日本原子力技術協会：“予防保全工法ガイドライン [研磨による応力改善工法]”，pp.5 (2009).
  - 17) 西川聡，大北茂，山口篤憲：“応力改善工法で付与される圧縮残留応力の持続性”，保全学，Vol.11, No.4, pp.69-76 (2013).
  - 18) 西川聡：“ニッケル基 600 合金溶接部の高温高圧純水中における応力腐食割れ特性と超音波探傷による割れ検出性の向上”，大阪大学工学博士論文 (2010).
  - 19) 秋田貢一，吉岡靖夫，佐野雄二，小川和夫，久保達也，小畑稔，田中寛大：“Ni 基合金溶接金属の X 線残留応力測定”，材料，Vol.54, No.7, pp.710-716 (2005).
  - 20) 波東久光，大橋健也，松井祐二，深谷征史，齋藤昇，黒澤孝一，金田潤也，酒井英明：“ウォータジェットピーニング”，レーザ加工学会誌，Vol.17, pp.29-36 (2010).



西川 聡

# オーステナイト系耐熱材料に対する PWHT のルール改正の動向

The Movement of PWHT Requirements for Austenitic Materials for High Temperature Service

規格基準室 大石 勇一

PWHT for the welding joint of austenitic materials is not mandatory in several construction Codes. However, some kinds of materials, such as alloys 617, 800, 800H and 800HT have susceptibility to Stress Relaxation Cracking (SRC) in the temperature range between 550°C through 750°C. Since these materials are expected to apply to the components for high temperature service, it can be the serious matter of welding constructions. According to the results of recent research on this matter, PWHT is the important process to avoid SRC. Then, it has been examined at the ASME Code meetings to provide PWHT requirements for austenitic materials at issue.

**Keywords** PWHT, Austenitic materials, Stress relaxation cracking, ASME Code

## 1 はじめに

我が国の「発電用火力設備の技術基準の解釈（以下、火技解釈と記載する）」の場合、オーステナイト系ステンレス鋼やニッケル基合金等の溶接部に対する PWHT は、必須要求になっていない。これは、フェライト系鋼材の溶接部で問題となる低温割れや脆性破壊等の生じる恐れがないことが、その主な理由である。火技解釈の参考とされた ASME<sup>[1]</sup> Section I（パワーボイラー）や Section VIII（圧力容器）においても同様に、従来は PWHT が必須要求になっていなかった。しかし、近年、高温で使用される機器において、オーステナイト系材料の溶接部や冷間曲げ加工部に割れが発生するという損傷事例が多数報告されており、その発生メカニズムや対策等に関する調査研究が盛んに行われている。近年の調査研究によると、損傷防止のために PWHT 等の熱処理が有効であることが判明しており、その結果を受けて、ASME では、高温で使用される特定のオーステナイト系材料について、溶接部に対する PWHT を必須

要求とするルール改正の検討が行われている。

以下に、その検討経緯及び動向について説明する。

## 2 損傷メカニズム

現在、欧米では、700°C までは P-No. 8（オーステナイト系ステンレス鋼）に区分される Type 347、700°C を超える温度範囲では P-No. 45（Fe-Ni-Cr 合金）に区分される 800 合金シリーズ（800, 800H, 800HT）、さらには P-No. 43（Ni-Cr-Fe 合金）に区分される 617 合金を使用することが計画されている。たとえば、800°C における Type 304 の許容応力と比較すると、800H/800HT 合金は約 1.5 倍、617 合金に至っては、約 2.8 倍の強度を有するという利点がある。このため、1990 年代に入って、これら材料が高温で運転される機器に適用され始めた。特に 800H 合金及び 800HT 合金は、高温の石油化学プラント機器に多く使用されている。しかし、運転開始後 1～2 年以内に、溶接部又は冷間成形部に SRC（Stress Relaxation Cracking）が発生するという損傷事例が多数報告されたため、Section VIII

の委員会では、これに対応するためのルール改正について検討が行われた。800 合金シリーズの化学成分及び機械的性質を、各々表 1 及び表 2 に掲げる。また、800H 合金の管寄せ溶接部に発生した SRC の例を写真 1 に示す。

表1. 800 合金シリーズの化学成分 (%)

Ni	30.0 ~ 35.0	Cu	0.75 max.
Cr	19.0 ~ 23.0	Si	1.0 max.
Fe	39.5 min.(残部)	S	0.015 max.
Mn	1.5 max.	Al	0.15 ~ 0.60 <sup>注2</sup>
C	注1	Ti	0.15 ~ 0.60 <sup>注2</sup>

(注)

1. 800 合金 : 0.10% 以下、800H 合金 : 0.05 ~ 0.10%、800HT 合金 : 0.06 ~ 0.10%
2. 800HT 合金 : Al + Ti = 0.85 ~ 1.20%

表2. 800 合金シリーズの機械的性質

材料	800	800H/800HT
引張強さ	450 (520) <sup>注</sup> MPa 以上	450 MPa 以上
0.2%耐力	170 (205) <sup>注</sup> MPa 以上	170 MPa 以上
伸び	30% 以上	30% 以上

(注) ( ) 内は冷間仕上材の値

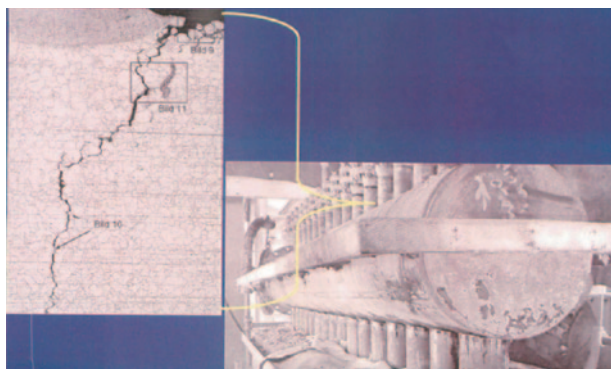


写真1. 800H 合金製管寄せ溶接部のSRC<sup>[2]</sup>

SRC に見られる主な特徴は、以下のとおりである。

- ・ 割れの形態は粒界割れであり、割れの前方には孤立した小さなキャビティーが存在する。(写真 2 参照)
- ・ 割れが生じた部位の結晶粒界には、Ni 及び Fe の量が多く、かつ、Cr 量が少ないメタリックフィ

ラメントが形成され、その周囲を囲むように Cr 酸化物の層が形成される。(写真 2 参照)

- ・ 割れは、HAZ、溶接金属、冷間成形部等、残留応力の高い部位に発生する。
- ・ 割れは、硬化した領域 (> 200HV) にだけ存在する。
- ・ 運転中のメタル温度は、550 ~ 750℃ である。

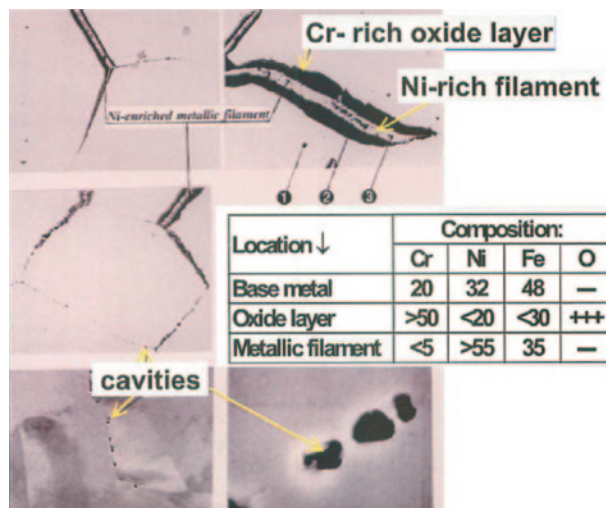


写真 2. 800H 合金溶接部に生じたSRCの拡大写真<sup>[2]</sup>

このオーステナイト系材料の溶接部や冷間成形部に割れが生じる現象は、かなり以前から知られており、特に 500 ~ 600℃ 以上の高温で運転されている化学プラント機器を中心に損傷事例の調査が行われてきた。この結果、多数の論文が発表されたが、以前は、その中で応力腐食割れ、応力誘起腐食割れ、応力アシスト粒界酸化割れ等、様々な異なる名称が用いられていた。その理由として、割れが生じた材料の組織観察から腐食割れが疑われたものの、発生メカニズムが十分に解明されなかったことが考えられる。しかし、材料の化学成分、温度、残留応力の条件がそろえば、腐食環境になくとも必ず割れが発生することが再現試験で確認されており、現在では機械的メカニズムのみで進展する SRC である (腐食割れの類ではない) と結論付けられている。また、割れの発生メカニズムは、次のように考えられている。

- ① 550 ~ 750℃ に加熱されると、残留応力の解放と同時に炭化物 ( $M_{23}C_6$  等) や  $\gamma$  プライム相 ( $Ni_3(Al, Ti)$ ) が析出する。



- ② 結晶粒界にも炭化物等の析出が生じ、その近傍には“析出のない領域”が速やかに形成される。
- ③ 結晶粒内は、析出により強度及び硬さが上昇する。一方、“析出のない領域”は、析出の生じた結晶粒内及び結晶粒界と比較して強度が著しく低い。
- ④ 溶接部や冷間成形部には、高い転位密度の領域が存在し、微細な析出物の析出が促進される。
- ⑤ 溶接や冷間加工により蓄積されたひずみは、“析出のない領域”にポイドを形成し、割れを引き起こす。ポイドやキャビティーは、割れ先端に先行して発生する。
- ⑥ 割れは、結晶粒界に沿って成長、進展（場合によっては分岐）し、数千時間内に脆性破壊に至る。

そして、溶接部に対する PWHT や、冷間成形部に対して行われる応力除去を主目的とした熱処理を行うことにより、問題の割れの発生を防止できることが実証されている。

### 3 800合金シリーズに対するPWHT

上述の SRC に関する調査結果を受けて、Section VIII の委員会では、800 合金シリーズ（800, 800H, 800HT）に対する PWHT のルールについて検討が行われ、1997 年版の Division 1 UNF-56(e) にその要求事項が規定された。主な要求事項は以下のとおりであり、その後、PWHT を行った溶接部に SRC が発生したという報告はない。

- ・設計温度が540℃より高い場合は、PWHTを必須とする。
- ・保持温度は、885℃以上とする。
- ・保持時間は、溶接部の厚さ25mmまでは1.5hr、25mmを超えると、1.5hr + 1hr/25 mm（25mmを超える毎に1 hrを加算）とする。

### 4 617合金に対するPWHT

ASME Section I の場合、PWHT に関する要求事項は、PW-39 に与えられているが、2011 年以前の年版には、P-No. 43（Ni-Cr-Fe 合金の母材区分）に

関する要求事項が規定されていなかった。火技解釈の場合、規定がなければ PWHT は要求されないと解釈されるところだが、Section I の場合、P-No. 毎に要求事項及び免除条件が規定されているため、「要求されない」の他に「免除条件が与えられていないため、熱処理（材料仕様で指定されたもの）が必須である」とも解釈され得る。このため、他のオーステナイト系材料と同様に、「PWHT は要求も禁止もされない」ということを明確にする改正提案が行われた。ところが、700℃超級の高効率ボイラーの研究開発において、高温機器への適用が期待されている耐熱合金の溶接部及び冷間成形部に、割れが発生するという問題が報告されていたことから、提案は否決された。そして、損傷を防ぐために有効と考えられる PWHT の要求事項を明確にする検討が開始された。

Section I の場合、P-No. 43 に区分される材料であって、600℃以上の高温での使用が認められているものには、617 合金、230 合金、601 合金がある。その内、SRC による損傷事例の報告があった材料は、617 合金（UNS N 06617）だけであった。617 合金の化学成分及び機械的性質を、各々表 3 及び表 4 に掲げる。

表3. 617 合金の化学成分 (%)

Ni	44.5 min.	C	0.05 ~ 0.15
Cr	22.0 ~ 24.0	Cu	0.5 max.
Fe	3.0 max.	B	0.006 max.
Mn	1.0 max.	Si	1.0 max.
Mo	8.0 ~ 10.0	S	0.015 max.
Co	10.0 ~ 15.0	Ti	0.06 max.
Al	0.8 ~ 1.5		

表4. 617 合金の機械的性質

引張強さ	665 MPa以上
降伏点又は耐力	240 MPa以上
伸び	35%以上

調査の結果、割れは 800 合金シリーズの溶接部等で確認された SRC と同じ特徴を有することがわかり、同じメカニズムで生じた割れであると同定された。ただし、材料の成分構成が異なる（Ni がベース

である) ため、結晶粒界に生じるメタリックフィラメントは観察されない。

溶接部に発生するSRCを防止するために策定されたPWHTの条件は、次のとおりであり、2012年11月に可決され、2013年版に反映されている。

- ・最低保持温度：885℃
- ・保持時間：1hr/25mm以上（最低1 hr）
- ・代替として、材料仕様で要求される条件の固溶化焼きなまし（1150～1230℃に保持後急冷）を行っても良い。

PWHTを行わなかった溶接部と行った溶接部について、SRCに対する感受性の比較試験を行った結果を写真3に示す。写真からもわかるように、SRCを防ぐためにPWHTが極めて有効である。

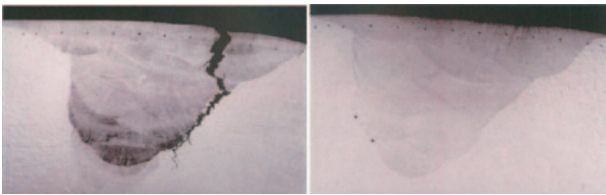


写真3. 617合金に対するPWHTの効果<sup>[2]</sup>  
(左はPWHTなし、右はPWHTあり)

PWHTは、基本的にSRCの発生因子の1つである残留応力レベルを下げるものであり、報告<sup>[3]</sup>によると、析出を促進する効果のある転位密度も十分に低減されている（写真4参照）。代替として、固溶化焼きなましが規定されているが、これは溶接部をオリジナルの母材の状態に戻す操作である。

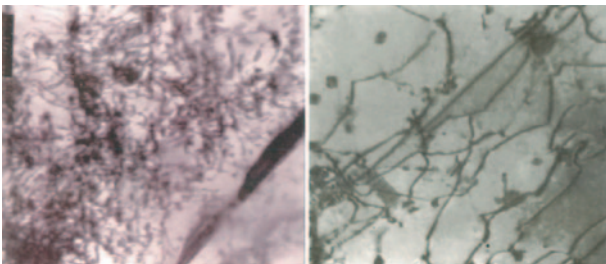


写真4. 617合金の転位密度の変化<sup>[3]</sup>  
(左は熱処理前、右は900℃×24hrの熱処理後の状態を示す。)

一方、SRCは鋭敏化領域で使用される機器に発生することから、設計温度がそれより低い場合、すな

わち、設計温度が540℃以下の場合は免除することができる。また、溶接残留応力が割れの発生因子の1つであり、溶接部の厚さが薄くなると残留応力レベルが低くなることから、周継手については、「溶接部における母材の公称厚さが13mm以下」の場合は、同様にPWHTを免除することができる。

## 5 今後の動向

現在、Section Iの委員会では800合金シリーズに対するPWHTの要求事項を、そしてSection VIIIの委員会では617合金に対するPWHTの要求事項を、双方の委員会メンバー間で情報交換しながらルール化の検討が進められている。さらに、Type 347等のオーステナイト系ステンレス鋼もSRCに対する感受性を示すことが報告されているため、P-No. 8に対するPWHTの要求事項についても見直しが行われる可能性がある。

### 参考文献

- [1] American Society of Mechanical Engineers
- [2] Hans Van Wortel, Control of Relaxation Cracking in Austenitic High Temperature Components
- [3] Rengang Zhang, Sam Kiser, Lew Shoemaker and Brain Baker, Stress Relaxation Cracking in Fabricating Nickel Alloys for High Temperature Applications



大石勇一

# 火技解釈におけるボイラー等に係る放射線透過試験除外条件の見直し

Revision on Limitation to exclude Radiographic Testing Applicable to Boiler or the like for Domestic Code.

規格基準室 長谷川 忠之

Japan Power Engineering and Inspection Corporation (JAPEIC) has contributed to the activity for the revision of domestic code known as “Kagi-Kaishaku” (“Interpretation on Technical Codes to Thermal Installations for Power Generation”) more than ten years. Several standards of other domestic or overseas one are adopted or quoted in “Kagi-Kaishaku”. Therefore, it is necessary to discuss that the revision should be adopted in the code or not, when those standards are revised.

In this report, the proposal concerning the limitation to exclude Radiographic Testing applied to the boiler is introduced, which currently discusses in the committee for “Kagi-Kaishaku” revising.

**Keywords** ASME Code, Kagi-Kaishaku, Radiographic Testing

## 1 はじめに

規格基準室では、国内外の規格委員会（JIS 規格、JSME 規格、ASME 規格等）に参加し、規格作成や改訂作業を行っている。

中でも、日本電気技術規格委員会（JESC）の溶接専門部会では、火力発電設備の溶接に関する規格基準の策定および改訂業務に従事している。

JESC の溶接専門部会では、「発電用火力設備の技術基準の解釈」（以下、火技解釈）について、その適用の実情や他の規格／基準との整合、新技術等の基準への反映、基準を最新状態に維持すること等を念頭に改訂および新規規定の策定作業を行っている。

現在、溶接専門部会では多くの案件について審議が行われているが、本稿では審議案件の一つである、放射線透過試験の除外条件の見直しについて紹介する。

## 2 火技解釈について

現在の火技解釈は、昭和 28 年 12 月に制定された

「発電用ボイラ技術基準（暫定）」が起源となっている。この基準は 1949 年版の ASME Sec.I, Power Boilers 規格に 1951 年版 Addenda までの内容を取り込んで制定された。

火技解釈は ASME 規格をベースに作成され、他法規や JIS 規格に代表される国内規格等を引用する体裁となっていることから、それらが改訂または新たな規定が盛り込まれた場合には、火技解釈への取り入れ性が検討される。

この際、技術的根拠や背景が明らかになっていない、または公表されない場合がある。また、ASME 等の海外規格の取り込みや改訂を行う場合は、日本国内の実情を考慮することが必要な場合があることから、取り入れ性の検討に当たっては十分な議論が求められる。

## 3 放射線透過試験除外条件の見直し

火技解釈の第 127 条（非破壊試験）に係る別表第 24 では、溶接部の区分に応じた非破壊試験方法がまとめられている。この中で、ボイラー等の突合せ溶



接部に対しては放射線透過試験が規定されているが、同時に除外条件が規定されている<sup>[1]</sup>。

放射線透過試験除外条件の見直しとは、除外条件中の「温度が450℃以上の燃焼ガスに触れ」という文言を削除し、放射熱を受けるか受けないか、および内部流体が水または蒸気かに条件を簡素化することを目的としている。

除外条件中の文言を削除する主な理由は以下のとおりである。

① ASME 2005 Addendaにおいて、Sec.I TABLE PW-11（突合せ溶接継手に要求されるRTおよびUT試験）より、除外条件である「850°Fを超える燃焼ガスに触れるもの」という表現が削除された。この規定が設けられた技術的根拠はASMEにも残されていないが、委員会では以下のように推測された。

- ・ 前述の表現は1959 Addendaから設けられたが、当時は、耐熱合金として現在一般的に使用されている適切な合金鋼がなく、炭素鋼が主に用いられていた。炭素鋼は850°F（約450℃）を超えるとクリープや黒鉛化、炭化物の生成等により劣化する傾向がある。

450℃以上の燃焼ガスに触れると、その箇所のメタル温度が450℃を超えることが懸念されるが、その当時は温度分布モニタリング技術や正確にシミュレーションする技術が無かったことから、保守的な判断により、この区分を設けた。

- ・ 現在では、温度分布をモニタリングする技術やシミュレートする技術が発展しており、当時に比べて正確な測定、予測が可能となっている。また、鋼材の発展に伴い、850°F（約450℃）を超える温度域で炭素鋼が使用されていることはない。

② 我が国においても、米国と同様にモニタリングやシミュレーション技術が導入されており、特に炭素鋼が850°F（約450℃）を超えて使用されることはなく、この温度を超える場合は合金鋼やオーステナイト系鋼材が用いられる。した

がって、前述のような劣化の可能性は極めて低い。

③ 450℃以上の燃焼ガスに触れる環境でのP-1材の使用事例（図1.参照）はあるが、火技解釈の別表第1の備考(1)に、「450℃を超える温度で、長時間使用する場合は材料の黒鉛化に注意しなければならない」と規定されている。また、使用材料の選定は一般に最高使用温度<sup>(注)</sup>にて評価されている。

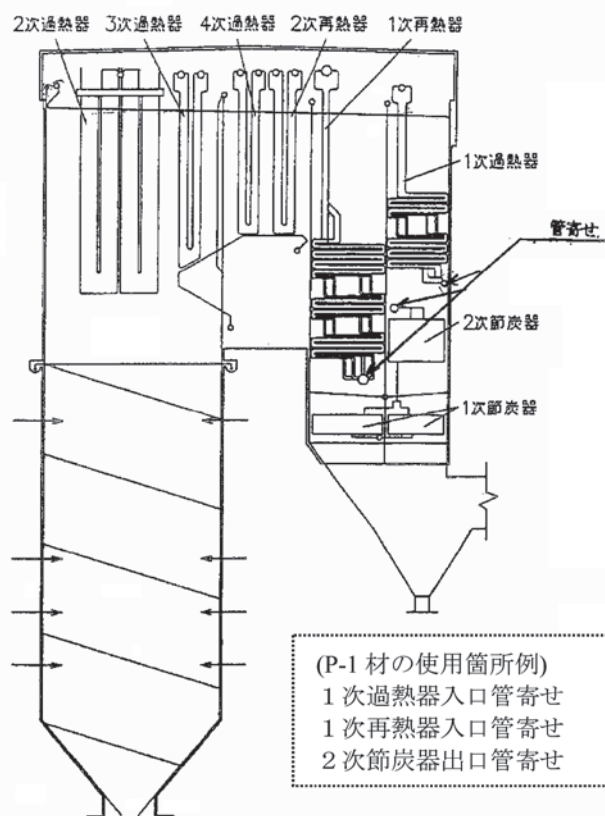


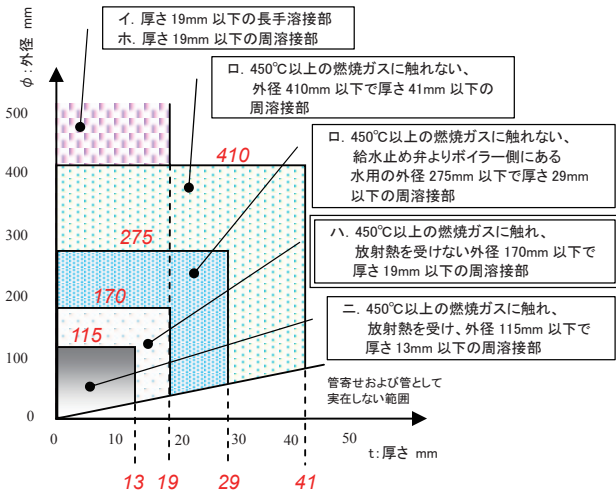
図1 P-1材の使用事例（600℃級USCボイラー）

注) 最高使用温度の定義

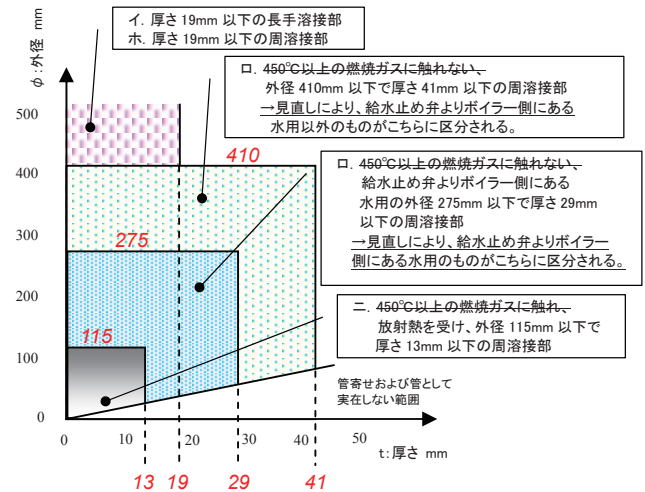
（発電用火力設備の技術基準 省令・告示及び解釈より）

解釈において、「最高使用温度」とは機器の運転において当該機器の構成材料が受けると予想される最高の温度であって、構成材料の計算上必要な厚さを求める際に用いる、当該材料の許容応力を算出する際の温度であり、所謂、設計温度と同義語である。

- a. ボイラーにあっては次の通りとしている。
  - イ. 熱の授受を行わないもの（胴、管寄せ、管等）にあっては、内部流体の最高温度とする。
  - ロ. 燃焼による放射熱又は燃焼ガスと熱の授受を行うもの（水管、過熱器管、再熱器管、節炭器等）にあっては、管壁の平均温度の最高値とする。



(a) 現行の火技解釈の別表第24



(b) 見直した場合の火技解釈の別表第24

図2. 除外条件見直し前後の別表第24の適用の関する比較

すなわち、材料仕様の面から材料選定に対する制約がかかっているため、ガス温度の判定条件が削除されても、影響は極めて少ない。

- ④「温度が450℃以上の燃焼ガスに触れるもの」の区分を削除し、放射線透過試験の免除範囲を拡大した場合、強度計算で用いられる配管の継手効率は100%から70%へ低下するが（JIS B8201:2005,「表8.2 溶接継手の効率」参照）、周断面の軸方向応力は長手断面の周方向応力に比べて約半分であることから、免除範囲の拡大に伴う影響は極めて低い。

図2に火技解釈の別表第24について、P-1材を例に除外規定の見直し前後の比較を示す。見直しによって現行規定の「温度が450℃以上の燃焼ガスに触れ」の表現が削除されると共に、「ハ」が削除され、

現行で「ハ」に区分されていたものは、水用か水用以外によって、「ロ」のいずれかに区分される。

#### 4 終わりに

本稿では、JESC 溶接専門部会で議論されている、放射線透過試験の除外規定の見直しについて紹介した。今後は母材の区分に応じた見直しに関する検討を行う予定である。なお、溶接専門部会については、次のURLから、検討課題や検討要望等にアクセスできるので、一読頂ければ幸いです。

<http://www.japeic.or.jp/gyoumu/kikakukijyun/shinsei/shinsei.htm>

#### 参考文献

- [1]「発電用火力設備の技術基準の解釈」, 20130507 商局第2号, 平成25年5月17日



長谷川忠之

# 火技解釈第10章溶接部の 改正要請の状況

Situation of revision request in "the Interpretation chapter 10 weldment to technical standard of thermal power plant"

規格基準室 佐藤 長光

“The Interpretation chapter 10 weldment” is revised in 2007. However, “the Interpretation chapter 10 weldment” is not revised afterwards. It is necessary to maintain “the Interpretation chapter 10 weldment” to the latest. Therefore, we are submitting the revision request of 22 to the electric power safety division. The outline of the revision request is introduced. The revision schedule of the Interpretation has not been clarified yet. About five years pass from the first revision request, and as early a revision as possible is hoped for. Additionally, we are always raising the revision demand for “the Interpretation chapter 10 weldment” from you. It is possible to demand from the homepage of JAPEIC if there is a demand.

**Keywords** Interpretation, Weldment, Thermal power plant

## 1 はじめに

「発電用火力設備の技術基準の解釈（以下、火技解釈という）」第10章溶接部は、昭和28年「発電用ボイラ技術基準（暫定）<sup>[1]</sup>」の一部と「溶接の方法の認可について（以下、通達という）」を源流として幾多の制定と改正を経て現在に至っている。通達の初年版はよくわかっていない。

火技解釈第10章溶接部は、「発電用火力設備に関する技術基準を定める省令（以下、省令という）」第10章溶接部に定める技術的要件を満たすべき技術的内容を具体的に例示したものであり、火技解釈に限定されるものではなく、省令に照らして十分な保安水準の確保が達成できる技術的根拠があれば、省令に適合するものと判断するものであるとされている。しかし、その具体的な判断基準はなく、ケースバイケースで判断しなければならない。

また、火技解釈は、電気事業法に基づく経済産業大臣の電気工作物の修理命令、使用停止命令等の発動にあたっての判断基準としての側面も有している。

これらのことから、省令に照らして十分な保安水準の確保が達成できる技術的根拠を示し積極的に活用している例は見当たらない。この事は、実質的に火技解釈は規格として用いられていることができ、最新の状態に維持する必要がある。

以下では、その内の第10章溶接部を最新の状態に維持するための改正要請の状況について概説する。

## 2 JESC/WSでの改正要請検討について

日本電気技術規格委員会（以下、JESCという）は、電気保安に係る多くの民間団体の賛同を得て設立され、公正・中立な立場で民間規格を策定・評価することにより、新たな知見や新技術の規格への迅速な反映、公共の安全の確保を目指している。

### 2.1 JESCの目的と組織<sup>[2]</sup>

JESCは、電気工作物の保安確保や電気関係事業の効率化を目的として、電気事業法に定める技術基準の性能規定化が図られたのを機に、中立、公正な立場から電力分野の民間規格・基準を策定するため



に、平成9年6月30日に設立された。

平成16年に原子力安全・保安院より「民間規格評価機関の要件」が公表されたことに伴い、要件を満足するようJESCの委員会規約の改正や委員会運営方法の見直しを行い、民間規格評価機関となっている。ここでは、民間で自主的に使用される規格・基準の評価・承認などの活動を行うとともに、電気事業法に基づく技術基準の解釈に引用される規格・基準の策定や技術基準等に関する民間の改正要望を取りまとめ、関係官庁に技術基準等の改正要請を行っている。JESCと下部組織であり原案を作成する15の専門部会と運営会議及び技術会議で組織されている。

15の専門部会の内の1つに一般財団法人発電設備技術検査協会で組織する溶接専門部会（以下、WSという）があり、火技解釈第10章溶接部について、改正要請の原案作成を行っている。

## 2.2 WSでの検討とJESCへの提案

火技解釈第10章溶接部は、例示とはいえ、上述の状態 で用いられており、実質的には規格の性格を有しているため、最新の状態に維持しておく必要がある。そのため、WSでは、常に火技解釈第10章溶接部の見直しを実施しており、見直し内容を分類すると図1に示すように7つに分けられる。幸運にも「損傷事例の反映」実績は無い反面、残念ながら「研究開発成果の反映」実績もない。多くは、「引用JIS規格等の反映」、「記載内容の明確化」及び「現場からの要望の反映」に分類される。

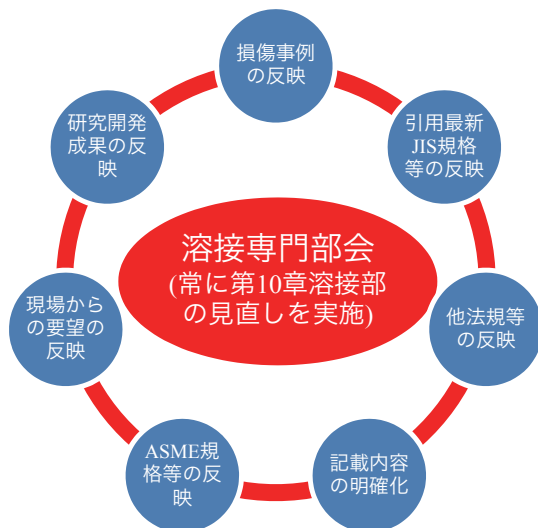


図1 見直し内容の分類

平成17年度から現在までにWSで検討している66件について改正要請状況を図2に示す<sup>[3]</sup>。約1/3は改正要請済み、約1/3は改正不要、約1/3は検討中という状況になっている。

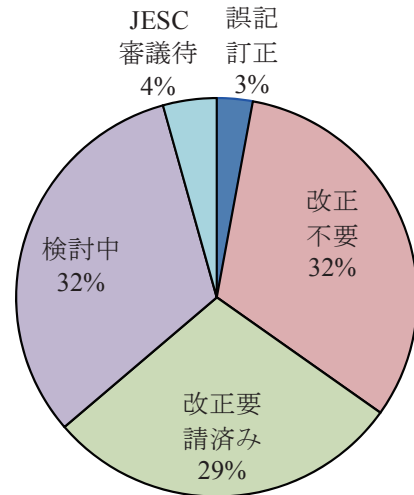


図2 WSでの改正要請状況

## 3 現在までの制定改正概要

火技解釈は、平成17年12月14日に制定され、平成17年12月27日に電気工作物の溶接の技術基準の解釈（以下、電技解釈という）の内、火力発電設備に関する内容を改正し編入され、以降、4回改正されている。その後、平成25年5月17日に再度制定されている。平成17年以降の制定改正の来歴を表1に第10章溶接部の改正の有無と共に示す。

表1 火技解釈の制定改正の来歴

	発出番号 年月日 制定改正	第10章 改正の有無
1	平成17・11・17原院第3号 (平成17年12月14日) 制定	無 (第1～9章制定)
2	平成17・12・21原院第1号 (平成17年12月27日) 改正	有 (解釈に編入)
3	平成18・09・21原院第3号 (平成18年10月27日) 改正	無 (第1～9章改正)
4	平成19・06・06原院第1号 (平成19年7月10日) 改正	有
5	平成19・08・10原院第3号 (平成19年9月3日) 改正	無 (第1～9章改正)
6	平成23・09・05原院第1号 (平成23年9月30日) 改正	無 (第1～9章改正)
7	20130507商局第2号 (平成25年5月17日) 制定	無 (第1～9章改正)

火技解釈第10章溶接部について、平成17年改正の主な内容を表2に、平成19年改正の主な内容を表3に示す。技術的な改正は、平成17年の改正によるのみで、平成19年の改正は編集上の改正がなされている。

表2 平成17年改正の主な内容

	火技解釈第10章改正の主な内容 (溶技解釈からの主な改正内容)	条項等
1	一般要求事項の追加	第106条
2	自動溶接士への試験要求の追加、溶接施工法での自動溶接士への要件適用の追加及び自動溶接士のみなし期間を10年に変更	第110条
3	突合せ溶接による継手面の食違い値の規定の変更	第122条 第140条 第158条
4	溶接後熱処理を要しないものの除外規定としての要求を「曲げ加工」から「冷間曲げ加工」に限定	第126条 第144条 第162条
5	溶接金属の区分の「A-1からA-4-2までの区分による溶接金属にあつては、当該試験に適合した溶接金属とそれよりA-No.区分の小さい溶接金属は、同一区分とする」規定を削除 予熱の区分の「試験に適合した下限温度より50℃の範囲で下回る予熱温度の下限は、同一区分とする」規定を削除	別表第10
6	解釈とJIS規格の溶接士資格区分の対応からJIS Z 3811を削除	別表第16
7	溶接後熱処理炉の炉内に入れる場合及び炉内から取り出す炉内の温度を「300℃」から「425℃」に変更 管理する溶接後熱処理の最低温度を「300℃」から「425℃」に変更	別表第22
8	ボイラー等及び熱交換器等の管寄せ又は管への機械試験要求の削除 P-1(JIS G 3101「一般構造用圧延鋼材」は除く)で作られたボイラー等及び熱交換器等の容器(管寄せを除く)への機械試験要求の削除 ボイラー等及び熱交換器等の試験版の作成方法の同一条件でのただし書きを追加	別表第29
9	ボイラー等及び熱交換器等の管寄せ又は管への機械試験要求の削除 P-1(JIS G 3101「一般構造用圧延鋼材」は除く)で作られたボイラー等及び熱交換器等の容器(管寄せを除く)への機械試験要求の削除	別表第30

10	(5)及び(8)をフランジの開先コーナーにRを設けた形状に変更	別図第2
11	平板を取付ける継手(13)を追加	別図第3
12	水管、過熱管等の取付けに適用が限定されていた(25)～(27)の継手形状について適用の限定を削除し、取り付けられる管の外径を166mm以下にした	別図第4
13	P-4の種類に「クロムニッケル鋼又はニッケルモリブデン鋼」を追加	別図第9

表3 平成19年改正の主な内容

	火技解釈第10章改正の主な内容	条項等
1	溶接施工法試験における第三者確認及び客観性を有した認定試験の要求の削除	第107条
2	アルミニウムの溶接に係る溶接士の認定に関してJIS Z 3811(2000)「アルミニウム溶接技術検定における試験方法及び判定基準」を引用 溶接士試験における第三者確認及び客観性を有した認定試験の要求の削除	第110条
3	母材の厚さが異なる場合の厚さの取扱いについての記載を備考欄に移動	第154条
4	各溶接方法について、手溶接、半自動溶接、自動溶接の別を明記	別表第7
5	水分除去のための加熱は、予熱としないことを明記 フラックスの1区分について、「種類及び成分の組合わせ」を「銘柄(種類及び成分の組合わせを含む)」に変更	別表第10
6	溶接棒、溶加材及び心線の区分の表を追加 曲げ試験における判定基準に縁角部に発生する割れは除くことを明記	別表第14
7	JIS Z 3811の資格区分に対応する解釈の溶接士資格区分の表を追加	別表第16
8	「外径」及び「溶接部の厚さ」の定義について備考欄に記載し、明確化	別表第24
9	JIS Z 3106(2001)「ステンレス鋼溶接継手の放射線透過試験」を引用	別表第25
10	機械試験板の作成方法について、「溶接施工法」「母材の区分」「母材の厚さ」「溶接後熱処理」のそれぞれについての溶接が同一な条件として取扱う区分を備考欄に規定	別表第29
11	各図毎に溶込み方法等(例:完全溶込み突合せ溶接によるもの)を明記	別図 第1～9

## 4 JESC/WSからの改正要請の概要

WSで検討し、第52回（平成20年9月17日）、第58回（平成22年4月15日）及び第68回（平成24年8月10日）のJESCで評価承認された20件の改正要請が通商産業省商務流通グループ電力安全課（以下、電安課という）に提出されている。その概要を表4に示す<sup>[4-6]</sup>。

表4 改正要請の概要

	火技解釈第10章改正要請の概要	条項等
1	溶接士技能試験において、溶接のままでは溶接部が著しく硬化する場合（例：9% Cr鋼の溶接のまま）はPWHTを許容	別表第11
2	曲げ試験におけるローラ曲げ試験適用の追加	別表第11 別表第30
3	JIS G 3101(1995)「一般構造用圧延鋼材」の年版の見直し	別表第11 別表第29 別表第30 別表第31
4	JIS G 4304「熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯」の年版の追加	別表第23
5	JIS Z 2242(2005)「金属材料のシャルピー衝撃試験方法」の引用	別表第11 別表第31
6	附表第1「溶接部の最小引張強さ」を別表第1及び別表第2により整理	別表第31 附表第1
7	溶接士の有壁固定での拘束条件から高所作業を削除し、狭所作業を定量化	別表第17
8	JIS Z 3801によりみなされる溶接士資格区分の見直しによるティグ溶接の追加	別表第16
9	継手接続箇所へのRT要求の明確化	別表第24
10	ペローズを取付ける継手の容器胴への適用拡大	第136条 別図第7
11	地下式液化ガス貯槽のリングプレートを溶接部の設計に追加	第154条
12	(28)管台図で適用できる管外径の下制限の解除	別図第4
13	PWHTの保持時間を延長できる対象母材区分をP-1, P-3, P-9A, P-9Bに限定	別表第22

14	手溶接士の技量試験事項、試験方法及び資格表示を明確化すると共に厚板の試験片(W-2)厚さを19mmに変更	第110条 第113条 別表第13 別表第14 別表第17
15	管台を取り付ける継手の溶接部備考の $t_{min}$ の必要厚さを $t$ 又は $t_n$ のうちの何れか小さい方以上に変更	別図第4
16	日本非破壊検査規格NDIS 0601(1991)「非破壊検査技術者技量認定規程」の削除	第127条 第145条 第163条
17	P-11A Gr. 1のPWHT温度を550～585°Cに変更	別表第21
18	RT方法への全面的なJIS規格の引用 ただし、JIS規格による撮影が困難な場合、別途条件を規定	別表第25
19	JIS規格のきずの像の分類方法に基づいたRTの判定基準とし、基本的には1類又は2類を合格としたが、溶込み不良又は融合不良は許容しない	別表第25
20	初層ティグ溶接による溶接施工法確認試験での全数裏曲げ試験を削除	附図第1 附図第2

## 5 JESC/WS以外での改正要請

電安課から受託した電気施設技術基準国際化調査（発電設備）（以下、ITEという）の成果による火技解釈第10章溶接部への改正要請2件が電安課に提出されている。その概要を表5に示す。

表5 ITE 成果による改正要請の概要

	ITE成果による改正要請の概要	条項等
1	(23-ハ)管台図ののど厚を6 mm又は $0.7t_{min}$ のいずれか小さい値以上にする	別図第4
2	ISO 9712(2005), ASNT-TC-1A(2006), ASNT CP-189(2006), ASNT ACCP-CP-1(Revision 7), EN 473(2008)の引用	第127条 第145条 第163条

## 6 JESCへの上程予定

WSで審議が終了し、JESC 上程待ちが3件ある<sup>[3]</sup>。3件の概要を表6に示す。ある程度の件数がまとまった段階でJESCに上程する。



表6 JESCへの上程待ちの概要

	JESCへの上程待ちの概要	条項等
1	JIS Z 2320-1(2007)[非破壊試験－磁粉探傷試験－第1部：一般通則]の引用	別表第27
2	JIS Z 2343-5(2012)[非破壊試験－浸透探傷試験－第5部：50℃を超える温度での浸透探傷試験]の引用	別表第28
3	JIS Z 2343-6(2012)[非破壊試験－浸透探傷試験－第6部：10℃より低い温度での浸透探傷試験]の引用	別表第28

## 7 おわりに

火技解釈第10章溶接部については、平成19年以降改正されていない。最新の状態に維持する必要があることから、JESC/WS等から22件の改正要請が電安課に提出されている。その概要について紹介した。

ただし、火技解釈第10章溶接部の改正予定は明確にされていない。最初の改正要請からも約5年が経過しており、上述の必要があることから、出来るだけ早い改正が望まれる。

なお、WSでは、火技解釈第10章溶接部に対する改正要望を常時一般から募集しており、要望の有る方は、発電技検のホームページ<sup>[7]</sup>から要望することができる。

### 参考文献

- [1] 相部嘉輔，火力発電技術行政の経緯について，平成18年8月，発電用火力設備の技術基準省令告示及び解釈〔解説〕（平成17年度改訂版），社団法人火力原子力発電技術協会，pp 357-364
- [2] 日本電気技術規格委員会，<http://www.jesc.gr.jp/>
- [3] 溶接専門部会（WS）火技解釈 第10章 検討課題，<http://www.japeic.or.jp/gyoumu/kikakukijyun/pdf/kadai.pdf>
- [4] 第52回JESC資料No. 3-1，発電用火力設備の技術基準の解釈 第10章溶接部の改正提案の審議，承認のお願いについて
- [5] 第58回JESC資料No. 2-1，火技解釈第10章【溶接部】の改正要請
- [6] 第68回JESC資料No. 2-1，発電用火力設備の技術基準の解釈第10章溶接部の改正要請の審議，承認のお願いについて
- [7] 規格基準調査，<http://www.japeic.or.jp/gyoumu/kikakukijyun/shinsei/shinsei.htm>



佐藤長光

## 出願特許一覧

1	特許件名	高Cr系鋼構造物のじん性評価方法		発明者	西川 聡 他	
	出願番号-出願日	特願2008-198193	2008/7/31	登録番号-登録日	特許第4664399号	2011/1/14
	概要	Cr含有量が8～14wt%のラーベス相が析出する高Cr系鋼構造物で、アノード分極曲線を利用してじん性を評価する方法				
2	特許件名	渦電流探傷信号処理方法		発明者	兼本 茂 他	
	出願番号-出願日	特願2006-027648	2006/1/6	登録番号-登録日	特許第4235648号	2008/12/19
	概要	検査対象物表面の金属組織内部の自然欠陥を非破壊で外部から計測するための渦電流探傷信号処理方法				
3	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	2002/10/23	登録番号-登録日	特許第3803314号	2006/5/12
	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				
4	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	2002/10/23	登録番号-登録日	特許第3728286号	2005/12/21
	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				
5	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	2002/2/6	登録番号-登録日	特許第3585467号	2004/8/13
	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				
6	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				
7	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	2000/3/8	登録番号-登録日	特許第3461781号	2003/8/15
	概要	特許第3355322号装置を、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				
8	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	2000/3/8	登録番号-登録日	特許第3355322号	2002/9/27
	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、非破壊的で簡単に評価できる装置				
9	特許件名	皮膜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	1993/10/29	登録番号-登録日	特許第2522635号	1996/5/31
	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				
10	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	1993/10/29	登録番号-登録日	特許第2506557号	1996/4/2
	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				

## 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
月刊 検査技術	西川 聡	応力改善工法のSCC予防効果の長期持続性	2013年7月号
超音波テクノ誌	古川 敬 他	ねじりモードガイド波によるエルボ部の減肉計測手法の新展開	2013年5-6月誌 Vol.25, No.3, P.45-48
火力原子力発電大会論文集	西川 聡 大北 茂 山口篤憲	ショットピーニングで異材溶接部に付与した圧縮残留応力の長期安定性	火力原子力発電 大会論文集 (CD-ROM)
非破壊検査	程 衛英	高性能磁気センサによる損傷検出・評価	第61巻 (2012) 9号 P.468-474
Proceedings of the 9 <sup>th</sup> International Conference on NDE in Relation to Structural Integrity for Nuclear and Pressurized Components	程 衛英 古村一朗	Pulsed Eddy Current Testing of a Carbon Steel Pipe's Wall-thinning	EUR 25752 EN-2012 P.336-342
保全学	西川 聡 大北 茂 山口篤憲	応力改善工法で付与される圧縮残留応力の持続性	保全学 Vol.11, No.4, P.69-76
E-Journal of Advanced Maintenance	古川 敬 古村一朗	Simulation and visualization of guided wave propagation by large scale 3D FEM	Vol. 3, No. 3, AA36 November,2011
火力原子力発電大会論文集	古村一朗 古川 敬	開口合成3次元超音波探傷法によるニッケル基合金溶接部 SCC探傷特性評価	福岡大会 CD-ROM 2011年10月
Journal of Nondestructive Evaluation	程 衛英	Pulsed Eddy Current Testing of Carbon Steel Pipes' Wall-thinning Through Insulation and Cladding	Vol.31, No.3 p215-224 2012
Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation	程 衛英	Simulation for the assessment of Wall thinning Using Eddy Current Method	Vol.30A(2011) p.372-379
E-Journal of Advanced Maintenance	古村一朗 古川 敬	Visualization Method of UT Wave Propagation Phenomena for assisting The Better Understanding of Inspection Results	Vol. 2, No. 2, NT25 August,2010
火力原子力発電大会論文集	長谷川忠之 西川 聡	FEMを用いた溶接終端部の残留応力評価	大阪大会 CD-ROM 3-4 2009年10月
Proceeding of the 7 <sup>th</sup> Int. Conf. on NDE in Relation to Structural Integrity for Nuclear Pressurized Components.	古川 敬 古村一朗	Numerical simulation of guided wave propagation using large scale FEM code	EUR 24115 EN-2009 p.252-259
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics	程 衛英 古村一朗	Optimum Inducement of Eddy Current for NDE of Deep Lying Defects : an Analytical Approach	33(2010) p.377-385
圧力技術	西川 聡 堀井行彦 他	高温高圧純水環境下の600合金用被覆アーク溶接金属の 応力腐食割れ感受性に及ぼす化学成分、熱処理の影響	Vol.48, No.1 p.26-39 2010
溶接学会論文集	西川 聡 堀井行彦 他	高温高圧純水環境下の600合金用被覆アーク溶接金属の 応力腐食割れ感受性に及ぼすPの影響	第27巻 (2009) 第4号 p.287-296



非破壊検査	関野晃一 他	ガラス板に挿入した表面楕円き裂の光干渉法による破壊挙動の解析	第59巻(2010) 第3号 p.138-144
E-Journal of Advanced Maintenance	古村 一朗 古川 敬	Simulation technique for UT wave propagation as an effective tool for predicting the inspection results and interpreting the root cause of unexpected indications	Vol. 1, No. 1, NT1 May,2009
溶接学会論文集	西川 聡 堀井行彦 他	高温高圧純水環境下の600合金用被覆アーク溶接金属の応力腐食割れ感受性に及ぼすC,Nbの影響	第27巻(2009) 第3号 p.274-260
溶接学会論文集	西川 聡 堀井行彦 他	高温高圧純水環境下の600合金用被覆アーク溶接金属の応力腐食割れ感受性に及ぼすCrの影響	第27巻(2009) 第4号 p.278-286
Electromagnetic Nondestructive Evaluation(XII)	程 衛英 古村一朗	'Ac Magnetization and Barkhausen Noise Measurement for the Characterization of Degradation of Ferromagnetic Steels'	32.IOS Press 2009 p.215-223
IEEE Trans. Magnetics	程 衛英 古村一朗	'Simulation of Transient Eddy-Current Measurement for the Characterization of Depth and Conductivity of a Conductive Plate'	Vol. 44, No.11, November, 2008, p.3281-3284
保全学	中東重雄 古村一朗 山口篤憲 他	放射光による原子炉材料のSCCき裂観察	Vol.8, No.3, p.69-75, 2009
Advanced Materials Research	中東重雄 他	EFFECT OF COLD-ROLLING ON PRECIPITATION PHENOMENA IN 316L AUSTENITIC STAINLESS STEEL	Vo1.26-28(2007) p.1287-1290
平成20年度 火力原子力発電大会論文集	古川 敬 古村一朗 他	超音波伝搬シミュレーション解析を用いた超音波探傷の支援技術	仙台大会 CD-ROM 3-5 2008年10月
平成20年度 火力原子力発電大会論文集	西川 聡 大北 茂 堀井行彦	長期間使用した改良9Cr-1Mo鋼溶接部のじん性評価方法	仙台大会 CD-ROM 3-3 2008年10月
溶接学会論文集	西川 聡 堀井行彦 他	高温高圧純水環境下の600合金用被覆アーク溶接金属の応力腐食割れ形態	第27巻(2009) 第1号 p.67-72
溶接学会論文集	西川 聡 大北 茂 堀井行彦	長時間熱時効された改良9Cr-1Mo鋼溶接金属のじん性回復と電気化学計測による評価	第26巻(2008) 第3号 p.220-226
保全学	中東重雄 程 衛英 古村一朗 山口篤憲 他	原子炉圧力容器鋼の照射による組織変化と磁気構造変化	Vol.7, No.3, p.47-55, 2008
Int. J. Nuclear Knowledge Management	兼本 茂 程 衛英 古村一朗	Intelligent system supporting defect identification and sizing using eddy current testing signals in nuclear power plants	Vol.2, No. 4, 2007, p.396-408
IEEE, Transaction on Magnetics	程 衛英 兼本 茂 古村一朗	Numerical Evaluation of the Depth of Branched-off Cracks using Eddy Current Testing Signals	Vol. 44, No. 6, June, (2008), p.1030-1033.

日本実験力学学会	関野晃一 他	種々の形状を有する自然き裂の耐熱ガラス板への付与とその き裂開口変位の光干渉法による評価	p.59-64 2008年
SPring-8 Research Frontiers 2007	中東重雄 他	Detection of Cracks due to SCC in Ni-base Alloys by Synchrotron Radiation CT Imaging	p.158-159 2008年7月
平成19年度 先端大型研究施設戦略活用 プログラム成果報告書 (Spring-8戦略活用プログラム 2007B)	中東重雄 他	放射光CTによるステンレス鋼中SCCき裂の検出とサイジング	p.191-194 2008年3月
平成19年度 火力原子力発電大会論文集	米山弘志 杉林卓也	PD研修とその実績	高松大会 CD-ROM 3-4 2007年10月
平成18年度 火力原子力発電大会論文集	古川 敬 古村一朗 米山弘志 山口篤憲	超音波探傷試験によるき裂深さ測定精度の評価	名古屋大会 CD-ROM 3-4 2006年10月
溶接学会論文集	西川 聡 古川 敬 古村一朗 堀井行彦	ニッケル基合金の溶接金属組織と超音波探傷による 欠陥検出性の関係	第25巻(2007) 第1号 p.179-186
平成18年度 火力原子力発電大会論文集	大石勇一 吉田和夫 他	発電用火力設備に関する外国規格の適用調査 (その3:構造関係)	名古屋大会 CD-ROM 8-1 2006年10月
Studies in Applied Electromagnetic and Mechanics 28 Electromagnetic Nondestructive Evaluation(X)	程 衛英 古村一朗 兼本 茂	Identification of Defects from ECT Signals using Linear Discriminant Function	No.28 p.251-258 2007
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics	程 衛英 中東重雄 志波光晴 古村一朗 他	Investigation of the Micro-structural Dependence of the Magnetic Properties of SQV2A Steel for NDE	Vol.125, p.145-149, 2007
保全学	兼本 茂 程 衛英 志波光晴 古村一朗	部分接触SCCの渦電流探傷による新しいサイジング法	Vol.5, No.4 p.51-58 2007年1月号
Science & Technology of Welding and Joining	堀井行彦 他	Recent Development of Repair Welding Technologies in Japan	Vol.11, No.3, p.255-264 May 2006
平成17年度 火力原子力発電大会論文集	水野亮二 松田福久 他	原子炉圧力容器鋼(SQV2A)のテンパーヒード溶接法に 関する研究	東京大会CD-ROM 3-2 2005年10月
Review of Quantitative Nondestructive Evaluation	志波光晴 程 衛英 中東重雄 古村一朗 他	Nondestructive Evaluation of irradiation embrittlement of SQV2A Steel by using Magnetic Method	Vol.25, p.1163-1170, 2006

NDT&E International	程 衛英 兼本 茂 古村一朗 志波光晴	Depth sizing of partial-contact stress corrosion cracks from ECT signals	Vol.39, p.374-383, 2006
保全学	兼本 茂 程 衛英 志波光晴 古村一朗	渦電流探傷における欠陥形状復元のための新しい信号処理法の提案	Vol.5, No.1, p.63-70, 2006年4月号
Review of Quantitative Nondestructive Evaluation	程 衛英 志波光晴 古村一朗 他	FINITE ELEMENT ANALYSIS FOR THE VERIFICATION OF POSTWELD HEAT TREATMENT OF 9Cr-1Mo WELDS	Vol.24, p.1204-1211, 2005
保全学	古川 敬 古村一朗 米山弘志 山口篤憲	超音波探傷試験による応力腐食割れ深さサイジングにおける教育訓練目標の指標について	Vol.4, No.3, p.50-55, 2005
PROGRESS REPORT ON NEUTRON SCIENCE	水野亮二 他	中性子回折によるNCF600-SQV2Aの異材溶接継手部の残留応力評価	JAERI-Review 2005-045, p.136, September, 2005
Journal of Pressure Vessel Technology	程 衛英 古村一朗 志波光晴 兼本 茂	Eddy Current Examination of Fatigue Cracks in Inconel Welds	Vol. 129, p.169-174 February 2007
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.585, p.43-52, 2005
日本鉄鋼協会「鉄と鋼」 欧文誌	中東重雄 他	Effects of surface grinding hardness distribution and residual stress in low carbon Austenitic stainless steel SUS316L	Vol. 44, No.10, 2004
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CD-ROM 1-2-6 2004年10月
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	13, p.13-18, 2006年
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, p.51-55 2004
火力原子力発電	志波光晴 桑 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, No.575 p.26-32 2004
Recent Advances in Nondestructive Evaluation Techniques for Material Science and Industries PVP2004-2836	程 衛英 古村一朗 志波光晴	Analytical and Experimental Approaches for the Sizing of Fatigue Cracks in Inconel Welds by Eddy Current Examination	PVP-Vol.484, p.191-197 2004



## 学協会等への口頭発表

### 平成24年度

	学協会名等	開催日時・場所	発表者等	発表テーマ名
非破壊	広島県立総合技術研究所 西部工業技術センター講演会	2012/5/18 広島県立 総合技術研究所 西部工業技術センター	古川 敬	超音波検査へのシミュレーション解析の活用 (バルク波とガイド波)
	日本保全学会 第9回 学術講演会	2012/7/25-27 国立大学財務 ・経営センター	古川 敬 他	ねじりモードガイド波によるエルボ部の減肉の 最適計測手法
	日本保全学会 第9回 学術講演会	2012/7/25-27 国立大学財務 ・経営センター	程 衛英	パルス渦電流試験法による保温材付配管の肉厚評価の 基礎検討
	産業技術総合研究所	2012/8/27 産業技術総合研究所	程 衛英	パルス渦電流試験法による保温材付配管の減肉評価の 基礎検討
	法政大学 理工学部電気電子工学科 斎藤兆古研究室	2012/10/5 法政大学 理工学部 電気電子工学科 斎藤兆古研究室	程 衛英	電磁気非破壊検査法及び構造物健全性評価～活用 パルス渦電流試験法による保温材付配管の減肉評価の 基礎検討
	日本非破壊検査協会 秋季講演大会	2012/10/22-24 アルカディア市ヶ谷	上山芳教 古川 敬	フェーズドアレイ法における表面近傍を伝搬する 超音波の音場の観察
	日本非破壊検査協会 秋季講演大会	2012/10/22-24 アルカディア市ヶ谷	程 衛英	AMRセンサを用いたパルス渦電流試験法による 保温材付き炭素鋼配管の減肉評価の基礎検討
	MAGDAコンファレンス	2012/11/21-22 仙台市戦災復興記念館	山本敏弘 古川 敬 古村一朗 他	超音波探触子での側面走査によるEMATが発生する 超音波の伝播の可視化
	日本非破壊検査協会 第20回超音波による 非破壊評価シンポジウム	2013/1/28-29 きゅりあん(大井町)	古川 敬 山本敏弘 他	T(0,1) モードガイド波を用いたエルボ超え探傷の 数値シミュレーション
	日本原子力学会 2013春の年会	2013/3/26-28 近畿大学	古川 敬 他	使用済燃料貯蔵施設用コンクリートキャスクの キャニスタ蓋溶接部のUT検査方法 その2
溶接	日本保全学会 第9回 学術講演会	2012/7/25-27 国立大学財務・ 経営センター	西川 聡 他	ショットピーニングを施したニッケル基金溶接部の 熱履歴による圧縮残留応力と耐粒界腐食性の変化
	平成24年度 火力原子力発電大会	2012/10/4 さっぽろ芸術文化の館	西川 聡	ショットピーニング施工した異材溶接部における 圧縮残留応力の長期安定性

### 平成23年度

	学協会名等	開催日時・場所	発表者等	発表テーマ名
非破壊	平成23年度電気学会 基礎・材料・共通部門大会	2011/9/21 東京工業大学	程 衛英	パルス渦電流試験法による減肉評価
	平成23年度 第1回非線形超音波の基礎と 応用に関する研究会	2011/8/10 徳島大学	古川 敬	現行UT法(基本波を用いたフェーズドアレイ及び固定角 UT)によるき裂高さサイジング技術の現状
	平成23年度 火力原子力発電大会	2011/10/13 福岡国際会議場	古村一朗 古川 敬	開口合成3次元超音波探傷法によるニッケル基金溶接 部SCC探傷特性評価
	第2回 次世代高温センサ研究会	2011/11/18 東北大学流体科学 研究所 大会議室	古村一朗	開口合成3次元UT法と高温用マトリックスアレイセン サー

溶接	平成23年度 溶接学会秋季全国大会	2011/9/7-9 皇學館大学	西川 聡 他	ショットピーニングが施された異材溶接継手における 圧縮残留応力の持続性
----	----------------------	---------------------	-----------	--

## 平成22年度

	学協会名等	開催日時・場所	発表者等	発表テーマ名
非破壊	QNDE2010(37 <sup>th</sup> Annual of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation)	2010/7/18-23 米国サンディエゴ	程 衛英 古村一朗	Simulation for the Eddy Current Method Measurement of Pipe-wall Thinning
	The 15 <sup>th</sup> International Workshop on Electromagnetic Nondestructive Evaluation (ENDE2010)	2010/6/14 ポーランド シュチェチン	山本敏弘 他	An ECT probe with widely spaced coils for local wall thinning in nuclear power plant
	日本保全学会 第7回 学術講演会	2010/7/14.15 浜岡原子力館	程 衛英 古村一朗	渦電流探傷法による配管減肉評価のシミュレーション
			小林輝男	ステンレス鋼溶接金属を透過したUT確認試験研究成果
			古村一朗 古川 敬	超音波探傷における結果の評価、結果の推定、及び探傷条件の最適化を支援するシミュレーション技術
	創立60周年記念 火力原子力発電大会	2010/10/14 東京フォーラム	小林輝男	ステンレス鋼溶接金属を透過したUT確認試験研究成果
	平成22年度 非破壊検査協会秋季講演大会	2010/10/27-29 沖縄県市町村自治会館	古川 敬 古村一朗	大規模FEM解析を用いたガイド波の伝搬及び探傷波形シミュレーション
	第8回 NDE国際会議	2010/9/29-10/1 ドイツ ベルリン	古村一朗 古川 敬	Improvement of SCC depth sizing capability by 3D-SAFT UT method in Ni alloy weld
			古川 敬 古村一朗	Numerical simulation of guided wave propagation in elbow pipe and welds
	第18回 超音波による非破壊評価 シンポジウム	2011/1/27 きゅりあんホール	古川 敬 南 康雄 杉林卓也 古村一朗	音響異方性を有する材料へのPhased array UTの適用
日本非破壊検査協会 「電界計測に基づく非破壊評価 応用研究会」	2011/3/11 日本非破壊検査協会	程 衛英	渦電流探傷技術への取り組みとその新展開	
溶接	日本保全学会 第7回 学術講演会	2010/7/14.15 浜岡原子力館	西川 聡 大北 茂 山口篤憲 他	ニッケル基600合金用被覆アーク溶接金属の高温高圧純水中の応力腐食割れ感受性に及ぼすCr濃度の影響
			西川 聡 大北 茂 山口篤憲 他	ニッケル基600合金用被覆アーク溶接金属の高温高圧純水中の応力腐食割れ感受性に及ぼすC、Nb濃度の影響
	平成22年度 溶接学会秋季全国大会	2010/9/7～9 日本大学工学部 (福島県郡山市)	西川 聡 水野亮二 大北 茂 他	残留応力解析用材料物性値の取得 -原子炉圧力容器クラッド境界部の残留応力評価(第1報)-
			水野亮二 西川 聡 他	低合金鋼の相変態が溶接残留応力に及ぼす影響についての感度解析 -原子炉圧力容器クラッド境界部の残留応力評価(第2報)-

溶接	防食腐食協会 第57回 材料と環境検討会	2010/10/20 ~ 22 沖縄県市町村自治会館	西川 聡 山口篤憲 他	ニッケル基合金溶接金属/低合金鋼境界部における 微視的残留応力評価手法の検討
	溶接冶金研究委員会 50周年シンポジウム	2010/10/7 ~ 8 大阪大学	西川 聡 大北 茂 山口篤憲 他	ニッケル基600合金用被覆アーク溶接金属の高温高圧 純水中の応力腐食割れ感受性に及ぼす化学成分、 熱処理の影響

## 平成21年度

	学協会名等	開催日時・場所	発表者等	発表テーマ名
非破壊	JIMA2009 総合検査機器展 「アカデミックコーナー」	2009/4/8 ~ 10 東京ビックサイト	関野晃一	光学的応力・ひずみ測定法の非破壊検査法への適用例
	KOREA-JAPAN JOINT WORKSHOP on Inspection and Mitigation of Dissimilar Metal Welds	2009/7/1 ~ 3 Gyeongju KyoYuk MunHwa HoeKwan, Gyeongju, Korea	古村一朗	DMW Inspection by Real Time 3D-SAFT Technique
	Short Course on Quantitative NDE for Life Extension in Power Plants University of Rhode Island Ballentine Hall	2009/7/25 ~ 26 Kingston, Rhode Island,	古川 敬 古村一朗 山口篤憲	Verification of Inspection Performance of Phased Arrays under Different Inspection Parameters by an Ultrasonic Visualization Technique
	日本金属学会 2009 秋期 (第145回) 大会	2009/9/15 ~ 17 京都大学: 吉田キャンパス	中東重雄 長谷川忠之 他	放射光CTによるステンレス鋼中のSCCき裂観察
	日本原子力学会2009 秋の大会	2009/9/16 ~ 18 東北大学・青葉山 キャンパス	中東重雄 長谷川忠之 他	γ線イメージングによるSCCき裂の観察
	「第6回SPring-8 産業利用報告会 ポスター発表」	2009/9/3 東京ステーション コンファレンス (東京丸の内)	中東重雄 長谷川忠之 他	放射光CTイメージングによるステンレス鋼応力腐食 割れ(SCC) き裂の観察
	ISME'2009(The 14 <sup>th</sup> International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics)	2009/9/20 西安、中国	程 衛英 古村一朗	Optimum Inducement of Eddy Current for NDE of Deep Lying Defects
	第17回 超音波による非破壊評価 シンポジウム	2010/1/28 ~ 29 きゅりあん	古川 敬 古村一朗 古川 敬 古村一朗	エルボ管及び溶接部におけるガイド波伝搬シュミレー ション 可視化法を用いたフェーズドアレイによる集束音場の 観察
	日本原子力学会2010 春の年会	2010/3/26 ~ 28 茨城大学 ・水戸キャンパス	中東重雄、 長谷川忠之 古村一朗 山口篤憲 他	X線イメージングによるステンレス鋼中SCCき裂の観察
	兵庫県立大学 高度産業科学技術研究所 先端技術セミナー 2010	2010/3/11 イーグレ姫路 あいめっせホール	中東重雄	ステンレス鋼中SCCのコンプトン散乱γ線イメージングに よる観察
	SPring-8 金属材料評価研究会 (第2回)	2010/3/1 五反田 ゆうぼうと	中東重雄	ステンレス鋼溶接部のSCCのき裂観察における 高エネルギー X線利用における試験片寸法拡大の検討

成 果 学協会等への口頭発表

非破壊	平成22年度 非破壊検査協会 春季講演大会	2010/5/25 ~ 26 TFT (江東区 有明)	古川 敬 古村一朗	エルボ部におけるねじりモードガイド波伝搬の 数値シミュレーション
	溶接学会 秋季全国大会	2009/9/9 ~ 11 徳島大学	西川 聡 堀井行彦 他	高温高圧純水環境下の600合金用被覆アーク溶接金属 の応力腐食割れ感受性に及ぼすCrの影響
溶接	火力原子力発電大会	2009/10/8 大阪国際会議場	長谷川忠之 西川 聡 他	溶接始末端部の残留応力解析
	溶接構造シンポジウム2009	2009/11/17 ~ 18 大阪大学銀杏会館	水野亮二 他	中性子回折による配管周溶接部の残留応力測定
			長谷川忠之 西川 聡 他	平板試験体を用いた溶接始末端部の残留応力評価
		西川 聡 他	Ni基合金溶接金属部のCBB試験における 微視的応力分布の数値解析	

平成20年度

	学協会名等	開催日時・場所	発表者等	発表テーマ名
非破壊	The 13 <sup>th</sup> International Workshop on Electromagnetic Nondestructive Evaluation	2008/6/11 Seoul, Korean	程 衛英	'Ac Magnetization and Barkhausen Noise Measurement for the Characterization of Degradation of Ferromagnetic Steels'
	神奈川県非破壊試験技術交流会 第13回技術研究会	2008/6/13KGU 関内メディアセンター	関野晃一 古川 敬 古村一朗	振動モードの異なる超音波のき裂先端近傍の挙動
	日本原子力学会 2008年 秋の大会	2008/9/4-6 高知工科大	中東重雄 他	放射線CTによる鋼中SCCき裂の観察
	日本保全学会 第5回学術講演会	2008/7/10-12 水戸市民会館	古川 敬 古村一朗	超音波の可視化技術を用いたフェーズドアレイUT条件の 評価
			程 衛英 古村一朗	パルスECTによる肉厚及び導電率測定の シミュレーション
	平成20年度 火力原子力発電大会	2008/10/22-23 仙台サンプラザ	古川 敬 古村一朗 他	超音波伝搬シミュレーション解析を用いた 超音波探傷の支援技術
	溶接学会 第8回国際溶接シンポジウム	2008/11/16-18 国立京都国際会館	関野晃一 古川 敬 古村一朗 他	Visualaization of ultrasonic Wave around the crack by photoelasticity
	日本非破壊検査協会 平成20年度秋季講演大会	2008/11/5-7 東北歴史博物館	古川 敬 古村一朗	現行の規格に準拠したきず検出へのPhased array UT の適用
古川 敬			擬似SCC探傷研究委員会の活動概要と作成した試験体、 擬似SCC探傷研究委員会でのSCC試験体の探傷結果	
日本非破壊検査協会 第16回超音波による非破壊評価 シンポジウム	2009/1/29 ~ 1/30 東工大：デジタル 多目的ホール	古川 敬 古村一朗	大規模FEM解析によるガイド波の 伝搬経路シミュレーション	



非破壊	日本原子力学会 2009 春の年会	2009/3/23 ~ 3/25 東工大・ 大岡山キャンパス	中東重雄 長谷川忠之 古村一朗 山口篤憲	放射光CTによるステンレス鋼中のSCCき裂観察
			古川 敬 古村一朗	原子力機器の超音波探傷への 大規模シミュレーションの適用
溶接	日本保全学会 第5回学術講演会産学協同 セッション	2008/7/10-12 水戸市民会館	西川 聡 大北 茂 山口篤憲	長期間使用した9Cr-1Mo系鋼構造物の電気化学計測を 用いたじん性評価
	溶接学会 平成20年度秋季全国大会	2008/9/10-12 北九州国際会議場 (小倉)	長谷川忠之 西川 聡 中田志津雄 他	溶接始末端部の残留応力に関する基礎的検討
	第193回 溶接冶金研究委員会	2008/8/26 大阪市立大学文化交流 センター	西川 聡 堀井行彦 他	高温高圧純水環境下の600合金系溶接金属の 応力腐食割れに及ぼすCr,Pの影響
	平成20年度 火力原子力発電大会	2008/10/22-23 仙台サンプラザ	西川 聡 大北 茂 堀井行彦	長期間使用した改良9Cr-1Mo鋼溶接部の じん性評価方法
	溶接学会 第8回国際溶接シンポジウム	2008/11/16-18 国立京都国際会館	西川 聡 堀井行彦 他	Stress Corrosion Cracking Morphology of the Alloy 600 Type Shielded Metal Arc Weld Metals in Pressurized Hot-Water
			水野亮二 他	Residual stress measurement using neutron diffraction for girth-welded type 304 pipes with weld metal deposited up to half and full pipe thickness
	溶接学会 平成21年度春季全国大会	2009/4/22 ~ 4/24 アルカディア市ヶ谷	長谷川忠之 西川 聡 他	溶接始末端部の残留応力解析
水野亮二 他			配管周溶接始末端部の残留応力に関する基礎的検討	

## 論文等表彰

氏名	受賞名等	機関等・受賞日	受賞内容
古村一朗 古川 敬	平成24年度 論文賞	(一社)火力原子力発電 協会 平成24年10月3～4日	論文賞表彰論文は、会誌「火力原子力発電」平成23年1月号から12月号及び平成23年度火力原子力発電大会論文集に掲載された論文から優秀論文として選出された賞である。 受賞対象論文：「開口合成3次元超音波探傷法によるNi基合金溶接部SCCの探傷特性評価」
西川 聡	平成21年度 溶接学会論文奨励賞	(社)溶接学会 平成22年4月21日	本賞は、溶接学会論文集に掲載された論文の中からとくに優秀な一連の論文を対象に授与されるものであり、学術上大いに貢献があったとして送られる賞である。 受賞対象研究：「高温高圧純水環境下の600合金用被覆アーク溶接金属の応力腐食割れ形態」
関野晃一	第12回技術研究会 奨励賞	神奈川県非破壊試験技術 交流会 平成20年6月13日	本賞は、第12回技術研究会において優れた発表を行いその努力が非破壊検査技術の向上に寄与するところ大と評価された者に送られる賞である。 受賞対象研究：「光学的ひずみ測定法の非破壊検査法への応用について」
関野晃一 古川 敬	平成19年度 学術奨励賞	(社)日本非破壊検査協会 平成20年5月21日	本賞は、研究報告の内容が非破壊検査技術の向上に寄与するところが大きいと評価された者に送られる賞である。 受賞対象研究：「硝子板に付与したき裂近傍における超音波の可視化」
西川 聡	平成19年度 溶接冶金研究委員会 優秀研究賞	(社)溶接学会 平成20年5月14日	本賞は、溶接冶金研究委員会で発表された研究が優秀であり、今後の発展性が高いと評価された者に送られる賞である。 受賞対象研究：「改良9Cr-1Mo鋼溶接金属の靱性影響因子と電気化学計測を用いた簡易評価方法の提案」
大北 茂	溶接学術振興賞	(社)溶接学会 平成20年4月9日	本賞は、溶接学会会員として永年にわたり優れた学術業績を積み、所属支部の活性化にその識見を発揮し溶接の学術振興に大きく貢献した者として贈呈されたものである。
古村一朗 古川 敬	平成19年度第4回学術講演会 第1回産学協同セッション銅賞	NPO法人日本保全学会 平成19年7月3日	産学協同セッションは、『研究者が提案する研究成果を商品とみなし、企業や国などを購買者と位置づけ、研究成果を売買する市場を保全学会が提供するという市場原理に近い新しい試み』として初めて開催されたものである。当センターは、超音波探傷シミュレーション技術を「実機探傷で得られるエコー群が、欠陥かどうかの評価を可能にする技術」として発表し、非常に完成度の高い技術として銅賞を授与されたものである。
関野晃一	平成18年度 新進賞	(社)日本非破壊検査協会 平成18年10月27日 (NDI協会秋季大会)	本賞は、平成18年度に行なわれたNDI協会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。 受賞対象論文：「光干渉法と超音波可視化法を併用した手法によるき裂の評価」
象 亮一 志波光晴	優秀論文賞	(社)火力原子力発電技術 協会 平成17年10月12日	優秀論文表彰は、平成17年度に会誌「火力原子力発電」に掲載された論文の中から、優秀であった論文に対して授与されるもので「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」が対象となった。

水野亮二	平成15年度 木原奨励賞	(財)溶接接合工学振興会 平成16年5月13日	本賞は、毎年1回、溶接接合工学の分野における新進気鋭の原則として35歳以下の研究者、技術者に授与されるもので、(財)溶接接合工学振興会会員、関連団体及び理事会の推薦によるものである。 今回原子炉圧力容器等原子カプランド溶接部の品質保証溶接施工法に係る研究開発に関する論文、学会発表等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	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。
志波光晴 西川 聡 米山弘志 山口篤憲	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。
西川 聡	平成14年度 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「鋳造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—」に対して与えられたものである。
西川 聡	平成13年度 溶接学会 研究発表賞	(社)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)」に対して与えられたものである。
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)	本賞は、平成13年度に行なわれたNDI協会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与えられる賞である。 受賞対象論文:「溶接金属内部欠陥とUT及びRTによる非破壊信号量との関係」