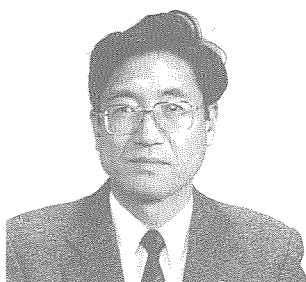
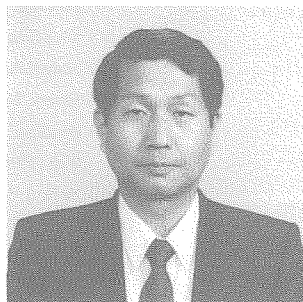


チタンの非破壊検査技術の進歩

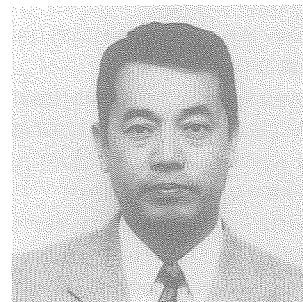
Development of Non-Destructive Inspection Technology of Titaniums



佐々木 武 志^{*(1)}
Takeshi SASAKI



阿 部 光 範^{*(2)}
Mitsunori ABE



福 田 真 一^{*(3)}
Shinichi FUKUDA

抄 録

チタン板、管、棒、線の非破壊検査について、日本チタン協会の活動を基に、最近の技術を紹介した。チタン管では、JIS、ASTM規格で超音波探傷試験、渦流探傷試験、気密試験が実施されるが、チタン板、棒、線では非破壊検査規格が無く、客先の要求又は自社仕様により非破壊検査が実施される。チタン板の場合、超音波探傷試験、浸透探傷試験が、チタン棒、線の場合、超音波探傷試験、浸透探傷試験、渦流探傷試験が実施される。

Abstract

This paper describes the recent technological advances on the nondestructive testing (NDT) of titanium products, which was surveyed through the activities of the Japan Titanium Society. Titanium tubes are tested by ultrasonic testing (UT), eddy current testing (ET) or leakage testing (LT) based on JIS or ASTM standards, whereas titanium sheets, rods or wires are tested according to the requirements of customers or the specifications of manufacturers themselves, because no standards are available. Titanium sheets are tested by UT or liquid penetrant testing (PT). Titanium rods and wires are tested by UT, PT or ET.

1. 緒 言

チタン製品は、高比強度、高耐食、高耐久性、比較的軽量の特徴から化学プラント、海水淡水化プラントの熱交換器、火力、原子力の復水器、航空機、自動車のエンジン等厳しい環境で使用されるため、品質要求は極めて厳しいものとなっている。このため、チタン製品は品質保証の上から製造中及び最終製品段階で厳密な検査を行って出荷されている。この検査の重要な手段として非破壊検査が行われる。

ここでは、新日本製鐵の主製品である板、管、棒、線の製造における品質管理、品質保証用として適用されている非破壊検査について、新日本製鐵の状況及び(株)日本チタン協会(以下、チタン協会という)非破壊検査分科会報告¹⁾から、チタンの非破壊検査技術の進歩について述べる。

2. 非破壊検査技術の現状

2.1 非破壊検査の目的と種類

非破壊検査は、その名のとおりに試験体を破壊することなく健全性を検査できることであり、適用方法の工夫により全数、全面、全長の検査ができるのが特徴である。非破壊検査の目的は、材料の表面きず(へげ、割れ、押し込み等)、内部きず(介在物、内部割れ等)を検出し、有害性などから決められた基準と照合して、合格、不合格の評価を行うことである。

非破壊検査のことを、NDI(Non-Destructive Inspection)、NDT(Non-Destructive Testing)、NDE(Non-Destructive Examination)等いろいろに呼んでいるが、使う機関、人により使い分けされている。ここでは一般的な呼び方としての非破壊検査(NDI)と試験評価としての非破壊試験(NDT)を適宜使用する。

次に、チタン製品の非破壊試験の種類について、略号と英文名を

^{*(1)} (株)日鐵テクノリサーチ 検査・計測事業部 技術主管
川崎市高津区坂戸3-2-1-KSP A101 ☎213-0012 ☎044-814-3460

^{*(2)} 光製鐵所 生産管理部 チタン管理グループ グループリーダー

^{*(3)} (株)日鐵テクノリサーチ 検査・計測事業部 光センター 技術主管

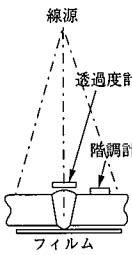
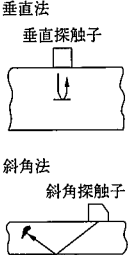
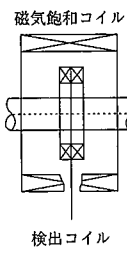
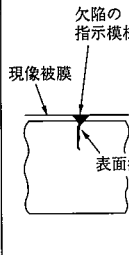
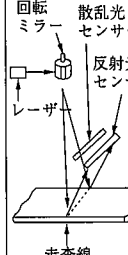
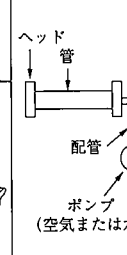
	放射線透過試験 Radiographic testing	超音波探傷試験 Ultrasonic testing	渦流探傷試験 Eddy current testing	浸透探傷試験 Penetrant testing	光学探傷試験 Optical testing	気密試験 Leakage testing
探傷方法の略図						
試験に使用する物理現象	電磁波	超音波 (弾性波)	電磁誘導	浸透 (毛細管現象)	光線	水または空気の流れ
探傷可能な材料	金属, 非金属材料	金属, 非金属材料	導電材料	金属, 非金属材料	金属, 非金属材料	金属, 非金属材料
検出可能な疵	表面, 肉質	表面, 肉質	表面 (ある程度内部まで)	表面	表面	貫通

図1 各種非破壊試験方法の比較(チタン, 46(2), 117(1998)より引用)

表1 各種非破壊検査方法の検出能力比較(チタン, 46(2), 117(1998)より引用)

きずの種類	非破壊試験方法						
	自動探傷					手動探傷	
	UT	ET	OPT	LT	RT	UT	PT
表面きず (へげ, 割れ, 押し込みなど)	○	○	○	×	△	○	○
内質きず (介在物, 内部割れ, ブローホール)	○	△	×	×	○	○	×
貫通きず (穴あき, 貫通割れ)	○	○	○	○	○	○	○

凡例 ○: 検出可, △: 検出困難, ×: 検出不可

記す。

- ・放射線透過試験(RT: Radiographic Testing)
- ・超音波探傷試験(UT: Ultrasonic Testing)
- ・渦流探傷試験(ET: Eddy Current Testing)
- ・浸透探傷試験(PT: Penetrant Testing)
- ・光学探傷試験(OPT: Optical Testing)
- ・気密試験(LT: Leakage Testing)

これらの各非破壊試験方法別の比較を図1に示す。また、きず検出能力の定性的評価を表1に示す。NDIの適用は、試験の種類によりきず検出の特徴があり、検出目的によって単独もしくは組合わせにより行われる。

2.2 NDIに関する規格

チタン製品に適用される国内外の規格例を表2に示す。これによるとチタン製品に対するNDIの規格は、JIS 6件、ASTM 1件である。JISでは、溶接部のRTと管のUT、ET、LTが規定されており、更に材料共通としてPTが規定されている。ASTMでは、熱交換器用チタン管のUT、ET、LTが規定されている。これらからみると管の規格が存在するが板、棒、線のNDI規格はない。

2.3 チタン製品に適用されているNDI

チタン製品の製造工程中及び最終製品で適用されるNDI方法を表3に示す。

2.3.1 チタン板

チタン板は、厚板と薄板に大別されるが、規格で製品NDIの実施を規定したものはない。素材スラブの段階でPTを行い、検出されなきずは手入れ後圧延工程に送られ、後工程のきず発生を防止している。厚板製品の場合、客先指定によりUT、PTが適用される。薄板の場合、切板製品でPTが実施されることがある。また近年、鉄鋼で行われている光学探傷試験は、チタン薄板の場合、検査速度が速くないこと、用途別検査基準が複雑なこと等から採用されておらず、目視検査を実施している。

2.3.2 チタン管

チタン管は、製造方法から溶接管と継目無管に大別されるが、溶

表2 チタン製品の非破壊試験適用規格例(チタン, 46(2), 118(1998)より引用)

試験の種類	規格名		対象製品
放射線透過試験	JIS Z 3107-1993	チタン溶接部の放射線透過試験方法及び透過写真の等級分類方法	平板及び管の溶接部(透過厚さ25mm以下)
超音波探傷試験	JIS H 0516-1992	チタン管の超音波探傷試験方法	継目無管及び溶接管
	ASTM B 338-1995	Seamless and Welded Titanium and Titanium Alloy Tubes for Condensers and Heat Exchangers	継目無管及び溶接管
渦流探傷試験	JIS H 0515-1992	チタン管の渦流探傷試験方法	継目無管及び溶接管
	ASTM B 338-1995	Seamless and Welded Titanium and Titanium Alloy Tubes for Condensers and Heat Exchangers	継目無管及び溶接管
浸透探傷試験	JIS Z 2343-1998	浸透探傷試験方法及び浸透指示模様分類	材料及び製品
気密試験	JIS H 4630-1994	配管用チタン管	継目無管及び溶接管
	JIS H 4631-1994	熱交換器用チタン管	継目無管及び溶接管
	ASTM B 338-1995	Seamless and Welded Titanium and Titanium Alloy Tubes for Condensers and Heat Exchangers	継目無管及び溶接管

表3 製造工程内における非破壊試験の適用状況(チタン, 46(2), 120 (1998)より引用)

品種		製造工程内の位置(非破壊試験を必要に応じて実施)		
		素材	圧延工程 (品質管理)	最終製品 (品質保証)
板	厚板	スラブのPT	—	UT, PT
	薄板, 薄板コイル		—	PT
管	継目無管	ビレットのUT, PT	—	UT, ET, LT
	溶接管	条のET	—	RT, UT, ET, LT
棒線	棒	ビレットのUT, PT	—	UT, PT
	線		ET(熱間)	ET

接管の場合は、素材である冷間圧延コイルをスリットした条にETを適用する例があるが、一般には実施されていない。成形、溶接、定型して造管された製品は、ET, UTを組み合わせる。必要に応じて抜取りにてRTが適用されることがある。更に貫通穴検出のためLT(この場合、空圧試験)が適用される。

継目無管の場合、素材ビレット段階でUT, PTを行うことがあり、この段階で検出されたきずは手入れ後熱間押出工程に送られる。押出及び押出後冷間圧延、引抜き加工を行った最終製品は、UT, ETを組み合わせる。必要に応じてLT(この場合、水圧試験)が適用される。内挿コイル渦流探傷試験は、出荷前検査として客先指定されることがある。

2.3.3 チタン棒、線

棒、線の場合、素材ビレット段階でUT, PTを行うことがある。棒製品ではUT, ETが適用される。線では圧延中に品質管理のため熱間ETが適用され、更に冷間引抜き加工した線製品はETが適用される。製品でのNDIの実施を規格で規定したものはなく、客先指定の場合実施される。

2.4 NDIの実際

2.4.1 チタン板のNDI

(1)超音波探傷試験

製品厚さ10mm前後のものは、オフラインで垂直反射法によるポータブル超音波探傷器を用いて手動にて直接接触方式により実施する。板厚0.2~2mmの薄板で熱交換器用途の場合、タイヤ回転探触子を使用した板波超音波探傷試験の試みが行われている。

(2)浸透探傷試験

溶剤除去性染色探傷液—速乾式現像法を適用し、板の全面探傷が実施されている。最近、作業性向上のため排水処理設備を設けて水洗性染色探傷—速乾式現像法を行う例もある。

2.4.2 チタン管のNDI

(1)放射線透過試験

溶接部の健全性を確認するためX線透過試験が行われる。JIS規格(Z 3107)で規定される撮影方法を図2に示す。この規格では、従来アルミニウム透過度計と線質計を使用していたが、これに代えてチタン透過度計を使用することになり、より簡便に試験できるようになった。チタン溶接管のX線フィルム写真例を写真1に示す。

(2)超音波探傷試験

チタン管の超音波探傷は、溶接管、継目無管とも探傷方法は同じである。探傷方法を図3に示すが、管を直送し、探触子が管の周りを回転しながら超音波の送受を行い、管周方向及び管軸方向の斜角探傷を行う。管の内外面を効果的に探傷するためには超音波

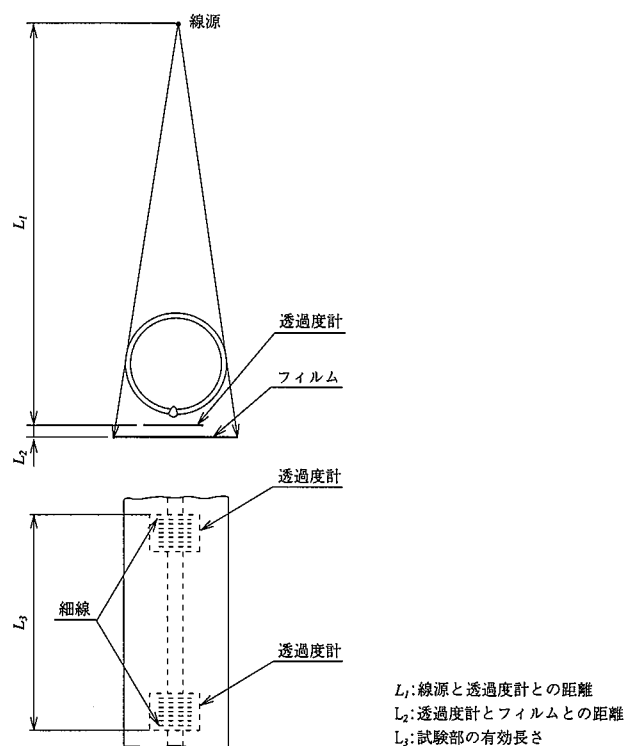


図2 管長手方向溶接部のX線透過試験の撮影配置(チタン, 46(2), 122(1998)より引用)

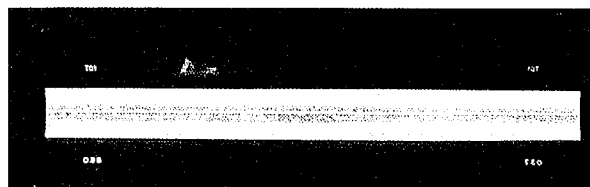


写真1 チタン溶接管のX線透過試験結果例(24.5mm径, 0.5mm肉厚)

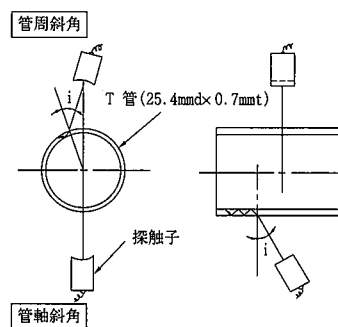


図3 超音波探傷方法

の入射角が大事であり、実験例を溶接薄肉管について図4に示す。これによると管周斜角法は横波(入射角 $i: 20^\circ \sim 24^\circ$), 管軸斜角法は板波($i: 29^\circ \sim 31^\circ$)が最適である。また、この時の人工きずによる検出特性について図5に示す。深さ0.1mmの角溝を $S/N \geq 10$ dBで検出しており、ASTM B 338をクリアする。0.79mm径貫通ドリル穴は検出が困難であるが、規格ではドリル穴の規定ない。

(3)渦流探傷試験

渦流探傷試験は、溶接管、継目無管とも実施されているが探傷方法は同じである。管の渦流探傷は、図6の貫通コイル法を用いて実施するが、自己誘導形または相互誘導形の自己比較方式により探傷する。検出能力の例を図7に示すが、0.79mm径のドリル穴、厚さの20%の角溝を $S/N \geq 3$ で検出しておりASTM B 338

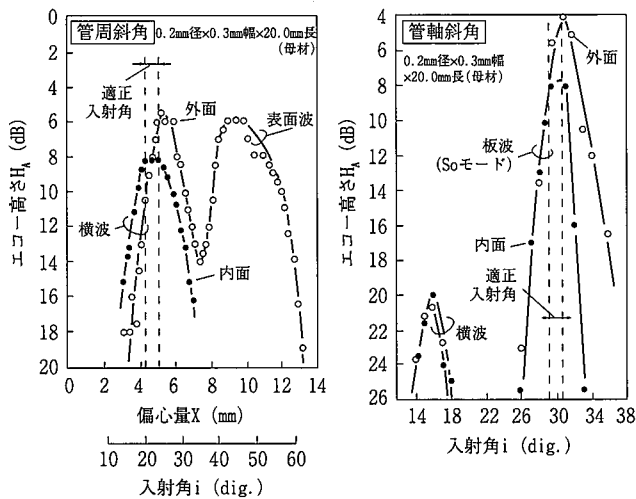


図4 入射角とエコー高さの関係

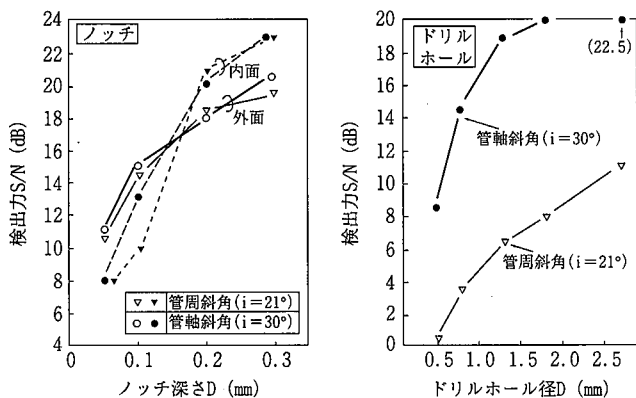


図5 超音波探傷試験の検出特性

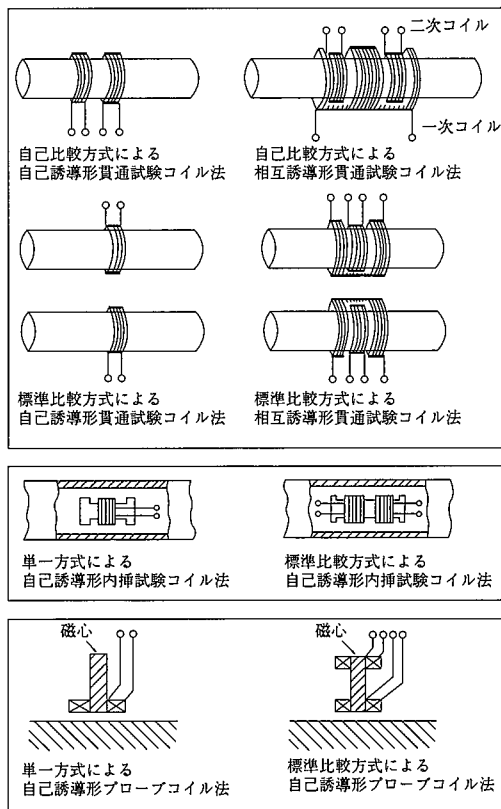


図6 渦流探傷試験の分類

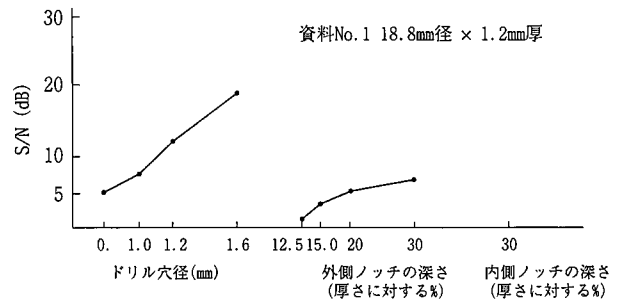


図7 渦流探傷試験の検出特性(共同試験)(チタン, 40(4), 220(1992)より引用)

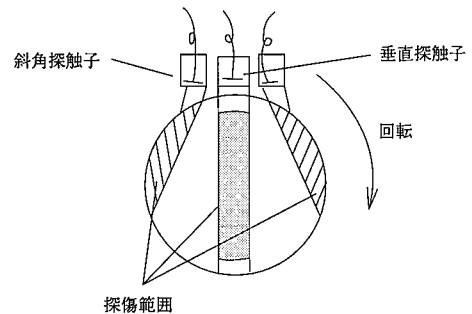


図8 丸棒の超音波探傷の原理(第140回西山記念技術講座「最近の非破壊検査技術の進歩」, 84(1991)より引用)

をクリアーしている。内挿コイル法は、自己誘導型・自己比較方式コイルを使用して多重周波数により探傷し、信号処理後きず判定を位相弁別法にて行う。

(4)気密試験

気密試験は、水圧試験あるいは空圧試験を選択して行われる。我国では溶接管の場合、水没式の空圧試験が行われる。JISでは認められていないが、ASTM B 338では2系列の管相互の圧力差を比較して漏れを検出する差圧試験が適用可能である。

2.4.3 チタン棒・線のNDI

(1)超音波探傷試験

丸棒の超音波探傷試験は、全断面を検査するため垂直探傷と斜角探傷を組み合わせ実施される。その探傷原理を図8に示す。丸棒を回転させながら直進させ、内部及び表面近傍を漏れなく探傷する。

(2)浸透探傷試験

浸透探傷は、出荷検査として行われ、溶剤除去性染色探傷―速乾式現像法を適用して全面探傷が実施される。

(3)渦流探傷試験

渦流探傷試験は、線材圧延中の品質管理として、熱間状態で貫通コイル法により探傷が行われる。また、冷間加工後の製品には、図6に示す貫通コイル法、回転プローブコイル法が単独もしくは合わせて実施され、貫通コイル法は押込みきず等の円周方向きずを、回転プローブコイル法は割れ等の軸方向きずの検出を目的とする。

2.5 チタン製品に対するNDI標準化

チタン製品に対するNDIのJIS化は、チタン協会が主体となって推進し、表2に示すRT, UT, ETの3種類の規格を、1992年及び1993年に制・改定した。また、JIS改訂にともないRT用チタン透過度計はチタン協会が製作、販売をしている。

3. 最近のNDIについて

新たな動きとして、国際標準創成型研究開発がある。この活動は、世界が単一市場化する方向にあることから国際規格化(ISO)が必要で、我国では官民一体となって推進されている。チタン協会では、国の助成により、平成10年度から12年度までに“純チタンの試験評価方法の標準化”について、分析試験と非破壊検査の2分野で標準化をすすめている。非破壊検査の開発テーマは、創成型開発の観点から、チタン分野では実用されていない新しい探傷法の標準化を開発することを目標とし、それは次の4項目である。

- 1)板表面きずの探傷方法…レーザ法, CCDカメラ法
- 2)板内部きずの探傷方法…板波超音波探傷試験法
- 3)棒表面きずの探傷方法…回転プローブ型渦流探傷試験法
- 4)溶接管の気密試験方法…差圧試験法

これまでの活動の概要を以下に紹介する。

(1)板表面きずの光学探傷方法

チタン板の各種自然きず検出性能を、レーザ法, CCDカメラ法についてメーカ5社で試験し実用レベルであることを確認した。

(2)板内部きずの板波超音波探傷方法

薄板0.5～1.5mmチタン板の板波超音波探傷にはタイヤ探触子が使用されるが、探触子の探傷感度を上げるためタイヤの工夫を行ない、検出能力及び減衰性能の点から最適周波数を求めた。

(3)棒表面きずの回転プローブ型渦流探傷方法

棒表面きずのプローブ型渦流探傷試験では、試験コイルは相互誘導型自己比較方式がよく角溝深さの人工きず0.05mmを検出できることが分かった。

(4)溶接管の気密試験方法…差圧試験法

人工貫通きずによる差圧試験において、差圧量ときずの断面積、リーク量、試験圧力、内容積の関係を求めた。0.03mm径貫通穴を検出できることが分かった。

今後は、ISOに提案できる規格原案の作成を行ない、すでにJIS規格となっている“管の超音波探傷試験”、“管の渦流探傷試験”とともにこの原案を国際規格とすべく活動することになっている。なお、国際標準創成型研究開発については、参照文献2)に詳しく述べられているので参照されたい。

4. 結 言

チタン製品は、優れた特性から産業用、民生用の用途で需要が拡大し、産業規模が拡大することが期待されている。需要拡大のためには国際貿易の活発化が必要で、このための国際標準がのぞまれる。現状、チタン製品の国際標準(ISO)は皆無であり、規格制定が期待される。チタン製品規格には、試験評価方法の規定が必要となり、非破壊検査もその一つである。

非破壊検査は、チタン製品の品質管理、品質保証に欠くことのできない製造技術であり、このためには製品形状ごとに適切なNDIを規定する必要がある。そこで、チタン協会が先頭にたって各社の協力のもと今回開発した板、棒、管の新規規格原案及び既存のJIS規格を含めたISO化を推進していくことになっている。

今後、関係者の理解と協力をお願いしたい。

参考文献

- 1) 佐々木武志 ほか:チタン製品の非破壊検査, チタン, 46 (2), 116 (1998)
- 2) 新規産業支援型国際標準開発事業“純チタンの試験評価方法の標準化”, 平成10年度及び11年度, 新エネルギー・産業技術総合開発機構研究受託成果報告書