

原子力分野（第二検査部）の「売りの技術」

1. 検査技術の伝承

国内における原子力発電所は60基（廃炉、建設中を含む）あるが、2011年の福島第一原子力発電所の事故以降は運転が停止していた。いろいろな対策を講じた結果、加圧水型炉では、原子力規制委員会による新規制基準適合性の審査で合格となった、川内原子力発電所、伊方発電所、高浜発電所、大飯発電所、玄海原子力発電所の9基が現在稼働している。一方、当部が主として携わる沸騰水型炉では、柏崎刈羽原子力発電所の2基で適合性の審査を通過したが運転へは至っていない。また他の発電所では、現在も12基が適合性審査中となっている（2018年7月12日時点）。

各電力会社は適合性審査で重要となる安全対策・津波対策工事を行っており、主な工事は緊急時に原子炉圧力容器内の圧力をフィルタに通して屋外へ逃すフィルタベントや配管等を地震の揺れから守る耐震補強、また津波による海水の浸入を防ぐ止水対策など、より強固により安全な発電所となるよう工事を展開している。これらの設備は発電所の安全運転に不可欠であり、高い品質が求められるため我々は設備に合った的確な検査と品質管理を行う必要がある。

検査を行うためにはさまざまな法令・規格がある。溶接事業者検査を代表例に挙げると、『原子炉等規制法（通称）』を基に、省令の『実用発電用原子炉の設置、運転に関する規則』や委員会規則の『技術基準（通称）』、一般財団法人日本機械学会の『設計・建設規格、溶接規格、維持規格』、さらに一般財団法人日本規格協会の各JISなどの民間規格とつながっている（図1）。我々はそれらの法令・

規格を読みほどこし解釈することも業務の一環であり仕事に結び付けることが技術である。

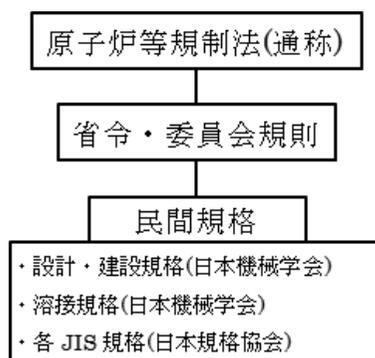


図1 法令および規格⁽¹⁾

また、各『法令・規格』や設計部門が作成した各種図書類から施工される構造物に対して、どのような検査項目があるのかを確認・準備しなければならない。一例として工事で使用する計測器類は、国家標準器を基に校正された有効期限内で、かつ校正記録が完備されていることを確認した後、計測器リストとして準備する必要がある。

代表的な溶接事業者検査の流れを図2に示す。なお検査開始には、事前に図面などが出図され溶接事業者検査の計画書が承認されている必要がある。

材料検査①：溶接後は収縮応力による溶接部の割れが生じやすくなるため、母材の炭素含有量が0.35%以下と規定されている。炭素含有量は材料が製造された段階で作成される、化学成分や機械的性質などが記載されているミルシートより確認を行う。一方で手配された材料や既設材料の識別番号を材料の刻印などから確認・照合も実施している。

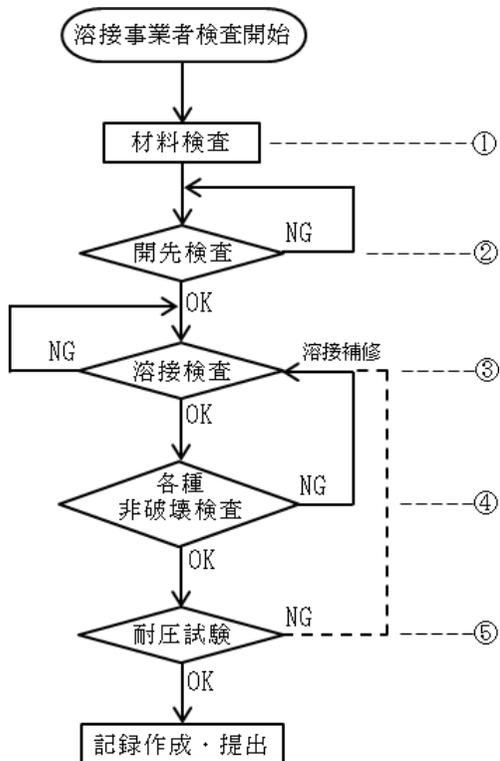


図2 溶接事業者検査の流れ⁽²⁾

開先検査②：溶接の際に欠陥の要因となる水分、塗料、油脂、きずなどが開先部にないこと、開先角度が指定された角度であることを確認し、さらに突合せ溶接継手では、材料同士の食い違い量を確認する必要がある。開先角度や食い違い量は継手の種類や溶接施工法、母材の厚さなどによって変わることから、開先検査実施前に十分に確認し

ておくことが重要である（図3）。また弁や付属品などの取付け角度や流れ方向が要求されている場合は、その取付け状態を図面にて確認・照合する。

溶接検査③：溶接施工時は、手溶接であれば母材の材質や板厚、作業姿勢などによって溶接士が保有しなければならない資格が異なることから、施工法と保有資格との照合を必ず実施する。また施工法によっては予熱管理やバックシールドガスなどを要するものがあるので、施工法の十分な理解と作業進捗の把握が必要である。

非破壊検査④：溶接規格などで規定された各種非破壊検査を実施する。ここでは、溶接規格に規定されている方法で実施し判定をしなければならない。また溶接規格に記載の仕様を満足する機材を用意しなければならない（図4）。



図4 非破壊検査機材例

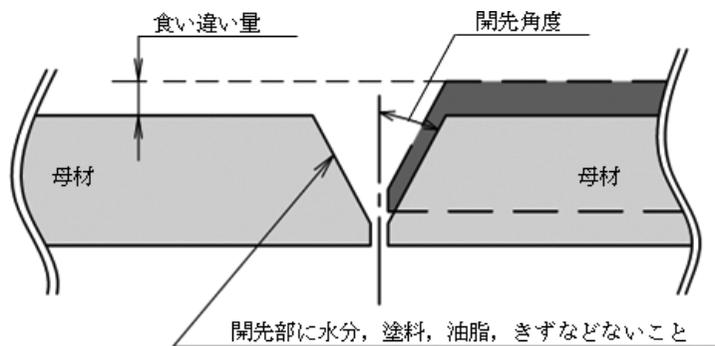


図3 突合せ溶接継手の開先検査

非破壊検査は検査箇所現場環境によっては、実施方法を変える必要がある。特に放射線透過試験(図5)では、近傍に干渉物があることにより、撮影に必要な距離を確保できない場合フィルムに写った欠陥が不鮮明になる。このような場合は、撮影時のフィルム枚数を増やすことにより、規定を満足できるように対応する。

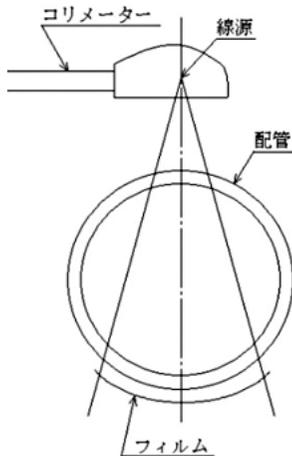


図5 放射線透過試験撮影例

耐圧試験⑤：試験箇所の受ける圧力が内圧もしくは外圧、試験方法が水圧もしくは気圧などで試験圧力が変わってくる。また外観検査も行うため溶接部の脚長、余盛の確認をしなければならない。そのため余盛の確認をする計測器も耐圧試験時に用意しなければならない。当然、耐圧試験で検査が完了するため耐圧試験までに、対象となるすべての継手の検査が完了していることを確認しておく必要がある。

耐圧試験が完了したら記録を編集し、品質管理記録としてお客様へ提出する。これが代表的な一連の流れとなるが、実際には詳細な確認項目や記録のWチェックなどの作業も含まれる。また溶接検査以外に配管を支える配管支持構造物検査や、施工した構造物を使用する前に検査する使用前検査、寸法検査、スパンチェックなどの検査も行い、

プラント起動後には定期検査を行うため幅広い知識と技術が必要となる。これら一連の検査を実施するためには、資格を所持した非破壊検査員と溶接事業者検査の実施にかかわる技術および力量を有した指名検査員の両者がJIS規格と溶接規格の両方に精通していることが必須である。

一方で、若手はこのような検査業務をベテランの指導、ノウハウなど教わりながら作業を進めると共に、チェックシートや資料等の作成を行うことで、より検査内容、手順、注意事項など理解するべく活動している。

2. ISIについて

先に記載した溶接検査技術の一方で、運転後の我々の大きな役割として、発電所の運転休止期間中に、供用期間中検査(In-Service Inspection: ISI)を実施している。

これは各種設備に要求される安全上の機能を確認するための検査であり、各種規格・規定など(※1)に従って検査範囲・検査方法が定められ各種非破壊検査(※2)を実施している。

※1：・発電用原子力設備規格維持規格：日本機械学会

・軽水型原子力発電所用機器の供用期間中検査における超音波探傷試験規程：一般社団法人日本電気協会

※2：・目視試験(VT)：Visual Testing

・浸透探傷試験(PT)：Penetration Testing

・磁粉探傷試験(MT)：Magnetic Particle Testing

・超音波探傷試験(UT)：Ultrasonic Testing

・放射線透過試験(RT)：Radiographic Testing

なお表1に示すように検査の対象となる範囲は、クラス1～3および容器と構造物に分類される。この中でも特にクラス1機器は、最も検査グレードの高い位置付けとなり、非破壊検査には体積検査としてUTも要求される。

表1 ISIにおける検査対象範囲
(発電用原子力設備規格維持規格 2008 より)⁽³⁾

機器等の区分	(※4) 要求される試験	具体的範囲の例
クラス1機器	a	原子炉冷却材圧力バウンダリ ^(※3) を構成する機器
クラスMC容器	a	原子炉格納容器
クラス2機器	a	工学的安全施設のうち直検系に属する機器 原子炉緊急停止系に属する機器 原子炉の停止に直接必要な冷却系に属する機器
	c	タービンを駆動させること主目的とする流体が循環する回路に属する機器 格納容器バウンダリの範囲に属する機器
クラス3機器	c	工学的安全施設の直検系に属する機器 使用済み燃料貯蔵設備およびその冷却系設備に属する機器
支持構造物	b	クラス1~3機器およびクラスMC容器(非破壊試験要求機器)に取り付けられた支持構造物
炉内構造物	b	原子炉圧力容器内の燃料体を支持する構造物 (炉心支持構造物および原子炉圧力容器内部の構造物・取り付け物)

※3：原子炉冷却材を高温度と高圧に保持するための器壁や管壁。

※4：・a：非破壊試験および漏えい試験を要求する範囲

・b：非破壊試験を要求する範囲

・c：漏えい試験を要求する範囲

また上記の規格・規定には、試験方法および試験範囲の詳細が記載されており、検査員はこの規格の^{のつと}段階を踏んで検査を実施していく。

なおISI実施時には、品質を確保するための品質管理員および非破壊検査を実施する非破壊検査員、そしてISI記録の結果を評価する評価員が分担ごとに業務を実施していく。

3. ISI 検査装置

ISI対象箇所の中には、検査員の立入ることが不可能な^{あい}狭隙部と原子炉内がある。また高線量区域のため、長時間の探傷が困難な箇所も含まれる。

上記の検査箇所に対しては、検査員の被ばくがない場所から遠隔操作によって各種検査デバイスを用いた自動超音波探傷検査を実施している。

検査員の代わりに検査デバイスが探傷するこれらの主な対象は、クラス1および2の機器であり、原子炉圧力容器のノズルを含む胴板の溶接部そして高線量の配管溶接部などに適用している(図6、図7)。

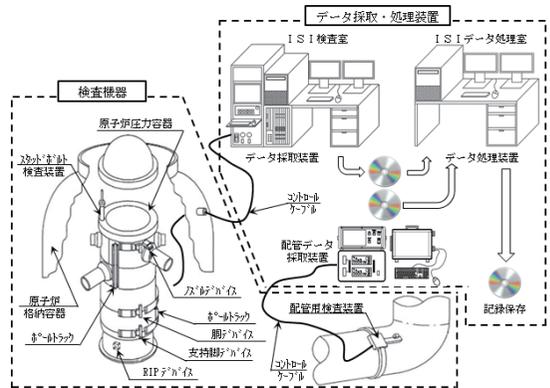


図6 ISI自動UT検査機器イメージ

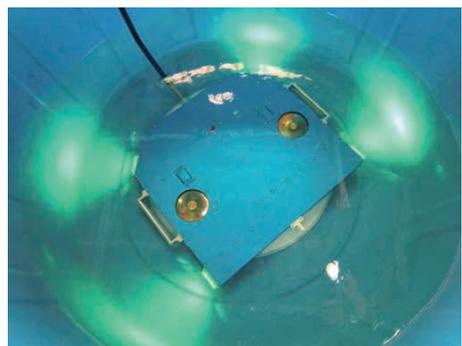


図7 原子炉内UT検査装置(AIRIS21)

業務内容は、機材一式の製作から現地検査業務、そして機材の改造やオーバーホールなどを実施している。自動超音波探傷検査で使用する装置は、制御盤を含む各種検査デバイスとUT装置一式が100m以上のケーブル長で構成されている。発電所停止中の現在は、次のISIに備えて、より一層の作業効率の改善と向上を目指して、新型制御装置の開発を実施中である。

4. ISI 技術伝承について

ISI業務はまさに当部のキーとなる主力業務である。しかしながら経験と技術をもつ熟練したエキスパートが徐々に定年の年を迎えている。このようなベテラン検査員は若手の指導員・模範となり、現場で手取り・足取り現場指導を実施してきた。対して若手は、その技術を覚えようと必死になって学んだ。

しかしベテランも定年を迎える中、発電所の定期検査に備えて万全を期すための準備が必要である。

そこで我々はまずベテラン協力のもと、ISIの各種工事について要領書・技術基準などからは学べない、発電所ごとのノウハウを盛り込んだ、活きた手順書の作成と図書整備の充実を図ってきた。

また主要な非破壊検査手法の中でも、特に我々が配管などの非破壊検査を実施する上で重要な、UTレベル2 (JSNDI 認定資格) の2次試験合格を目的として、必要な機材の準備と対策資料を整備した。この中でも、特に2次試験を合格する上で必須条件となる3種類の試験体について、詳細な説明が付いたDVDビデオを作成している。これは個人の好きな時間に学べる教材として、また試験直前のイメージトレーニングとして活用されており、既に新規および再認証受験者の合格に一定の成果をあげるに至った。また、現在はMTレベル2のDVD資料も完成させ、今後より一層の充実を図っていく (図8)。

我々は非破壊検査の資格を取得して、晴れて現場で実機を探傷することができる。しかし現場で探傷する前に、OJTとして社内で訓練する設備も設けている。その中でも、特にUTを用いたモックアップ探傷には、オーステナイト系ステンレス鋼管も準備している (図9)。オーステナイト系配管の継手探傷には、裏波止端部近傍の熱影響部に発生する応力腐食割れ (SCC) の検出が重要となる。検出するためには、きずからの反射エコーと形状エコーおよび柱状晶伝搬エコーとの識別が難しく、また高線量区域での作業となることから、探傷には熟練したスキルが必要となる。このことから、まずは線量のないトレーニング室内で、実機同様の手順に従いながら探傷することで、体感的に会得することができる。また詳細探傷として使用する、縦波探傷やクリーピング探傷、フェーズドアレイ探傷器なども整備しトレーニングを通して各人がスキルアップできる環境を備えている。

一方で、自動超音波探傷検査についても熟練し



図8 UTレベル2実技訓練風景



図9 配管モックアップ探傷訓練風景

た経験者を必要とすることから、ISIを実施していない現在でも、1～2回/年のペースで熟練者と若手を交えた再確認教育を実施して技術の伝承と若手の育成に努めている。

文責

検査事業部 第二検査部 次長

宇田川 洋一

検査事業部 第二検査部

高橋 勇貴

参考文献

- (1) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格：一般社団法人日本機械学会、2005/2007
- (2) 発電用原子力設備規格 溶接規格：一般社団法人日本機械学会、2007
- (3) 発電用原子力設備規格 維持規格：一般社団法人日本機械学会、2008