

解説 記事

欧州の軽水炉機器非破壊検査能力認証制度

一般財団法人電力中央研究所 材料科学研究所 PD センター
渡辺 恵司 Keiji WATANABE

1. はじめに

非破壊検査結果の信頼性は、各種プラント設備全般の健全性の基礎である。一般的に ISO 9712[1] や JIS Z 2305[2] に従った非破壊試験技術者の資格保持者が検査作業に従事することで、その信頼性を確保している。特に高い安全性、信頼性が要求される原子力発電所の供用期間中検査 (Inservice Inspection, 以下 ISI) における超音波探傷試験 (Ultrasonic Testing, 以下 UT) に対しては、前述の資格保持に加えて実際の検査作業により近い状態での検査能力認証制度が各国で実施されている。

検査能力認証制度には、主に米国機械学会規格 (ASME) に従った ASME 方式と ENIQ (European Network for Inspection and Qualification) 方式がある。ASME 方式は探傷装置、検査手順書、試験技術者を一括して実証する方式で、米国等で採用されている。現在国内で実施中のステンレス鋼配管溶接部の亀裂高さ (深さ) に対する UT 測定に対する PD (Performance Demonstration) 制度もこの方式を基にしている。ASME 方式には、認証制度自体の客観性・透明性確保が容易という長所がある一方で、試験片を多数要する為に試験片の製作・管理コストがかかるという欠点もある。

一方 ENIQ 方式は、検査手順書及び探傷装置の技術的妥当性の評価に重きを置き、必要に応じて試験技術者の探傷技量を確認する方式で、主に欧州で採用されている。古賀による解説 [3] では、ENIQ 方式は ASME 方式に比べて試験片による評価が最小で済むと紹介されているが [3]、技術的妥当性の評価に多くの時間とコストがかかると言われている。また、各国の実情に応じて運用されており、実際の運用がわかりにくかった。

本解説では、これまで調査した ENIQ 方式の概要と具体的な運用を紹介する。

2. ENIQ の設立とその変遷

ENIQ は、1992 年に欧州の軽水炉構成機器の非破壊検査の評価と資格に関する共通の枠組み構築を目的に設立された。当初 ENIQ は、JRC-IET (Joint Research Center, Institute for Energy and Transport: 欧州エネルギー・輸送研究所 共同研究センター) が管理する試験片を欧州各国に回送するラウンドロビン試験による資格認証システムの構築を目指していた [3]。しかしながら、各々の国の法律や規制、認証に対する要求事項が異なること等の課題が多数あったことから、各々の国の実情に合った認証制度の構築へのサポート及びその為の共通の考え方を示すことに目的が変更された。この共通の考え方の構築に欧州・北米等 15 か国の関係機関が参加した。その成果は 1995 年に「European Qualification Methodology Document (EUR16139EN)」[4]、1997 年に「European Qualification Methodology for Qualification of Non-destructive Testing (EUR17299)」[5] という報告書に纏められている。この 2 つの報告書を基にした研究が 1996 年より実施され、その成果が検査結果の信頼性向上の為の推奨案 (Recommended Practice, 以下 ENIQ RP) として発行されている。2019 年 12 月現在、表 1 に示す 12 の ENIQ RP が発行されている。設立当初の ENIQ は単独の組織であったが、2012 年に NUGENIA (NUclear GENeratluon II & III Association) に統合された。NUGENIA は軽水炉プラントに関する 8 つの技術分野 (Technical Area, 以下 TA) で構成されており、ENIQ 方式による検査システム認証や ISI、非破壊検査は TA8 に分類されている。なお 2019 年 5 月に NUGENIA は、SNETP (Sustainable Nuclear Energy Technology Platform, 欧州持続的原子力技術プラットフォーム) と統合することが承認されたが、統合以降も同様の組織として運用される見込みである。

表 1 発行済 ENIQ RP 一覧(2019 年 12 月現在)

	Report Title (和訳)
1	Influential / Essential Parameters (非破壊検査に影響する重要なパラメータ)
2	Strategy and Recommended Contents for Technical Justifications (TJ 評価書に関する推奨内容)
3	Strategy Document for Technical Justification (TJ に関する詳細文書)
4	Recommended Contents for The Qualification Dossier (認証書類に含まれるべき内容)
5	Guidelines for the Design of Test Pieces and Conduct of Test Piece Trials (認証試験用試験片の設計及び試験実施に関する指針)
6	The Use of Modelling in Inspection Qualification (TJ におけるシミュレーションの使用)
7	Recommended General Requirements for a Body Operating Qualification of Non-Destructive Tests (認証試験実施機関への要求事項)
8	Qualification Levels and Approaches (認証レベルの選択と認証の過程)
9	Verification and Validation of Structural Reliability Models and Associated Software to be Used in Risk-Informed In-Service Inspection Programmes (RI-ISI で用いられる構造信頼性モデル 及び関連ソフトウェアの妥当性評価)
10	Personnel Qualification (試験技術者の認証)
11	Guidance on Expert Panels In RI-ISI (RI-ISI 専門家委員会)
12	Strategy and Recommended Contents for Inspection Procedures (検査手順書に関する推奨内容)

3. ENIQ 方式について

3.1 ENIQ 方式の概要

ENIQ 方式は、代表的な試験片を用いて試験技術者の探傷技量を確認する Practical Assessment (以下 PA) と検査手順書、装置及び PA の実施方法の技術的な評価を行う Technical Justification (以下 TJ) から構成されている。

TJ は、申請した検査システムのうちの検査手順書と探傷装置が要求事項に適合可能であることを示す証拠(実験または理論による)や測定に際しての重要なパラメータ及びその有効範囲に関する情報の妥当性を確認する。その際に PA 実施の要否、PA 実施の場合はその方法の妥当性も確認する。一方 PA は、代表的な試験片(実際に検査を行う場合に最も困難なケースを想定した欠陥を導入した試験片)を用いて、試験技術者が確実に探傷できる技量を有するかを確認する試験であり、必要に応じて実施される。

図 1 は、ENIQ 方式による資格認証取得までの推奨手

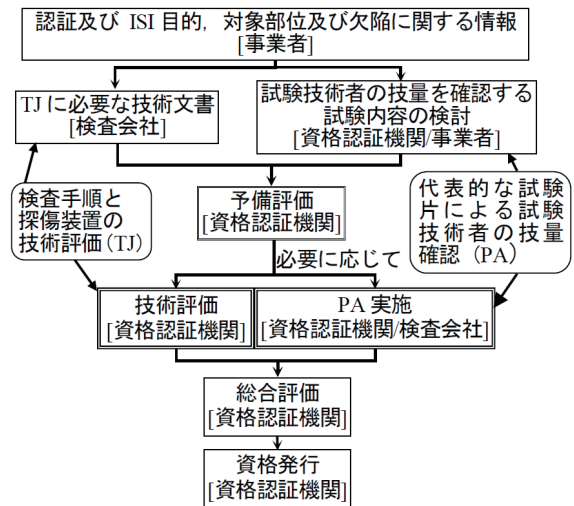


図 1 ENIQ 方式による資格認証取得までの推奨手続き及びその手続きの実施機関

続き及びその手続きの実施機関を纏めたフローチャート [6] である。認証手続きは、一旦予備評価を行なったのちに、TJ に必要な技術文書の評価及び必要に応じて PA を実施する。また、資格認証機関から示される TJ の予備評価及び総合評価を踏まえて、資格認証機関と申請者(検査会社)との間で、申請した内容の見直し等のフィードバックが認められている。このフィードバックによって、申請した検査システムが要求事項を満足させるものに向いていくという考え方である。

3.2 TJ (Technical Justification)

ENIQ RP 2 では TJ を次のように定義している [7]。

定義 1：検査システムが要求水準まで実行可能であることをあらゆる証拠を用いてその能力を評価する。

定義 2：検査システムの重要なパラメータ及びその有効範囲に関する技術的証拠を提示する。

定義 3：試験片に付与した特定の欠陥について得られた探傷結果が、他の可能性のある欠陥でも同様に良好な結果が得られることを確認する。これらの結果により、実際の検査結果を補完し一般化する。

定義 4：試験に用いる試験片の効率的な設計の為の技術的証拠を提示する。

ここで、定義 2 にある重要なパラメータについては以下の 2 種類に大別されている [8]。

- a) 許容範囲内で考慮すべきパラメータ：許容範囲を超えると当該検査結果に影響を及ぼすパラメータ。
- b) 許容範囲内での変化においても検査結果に影響を

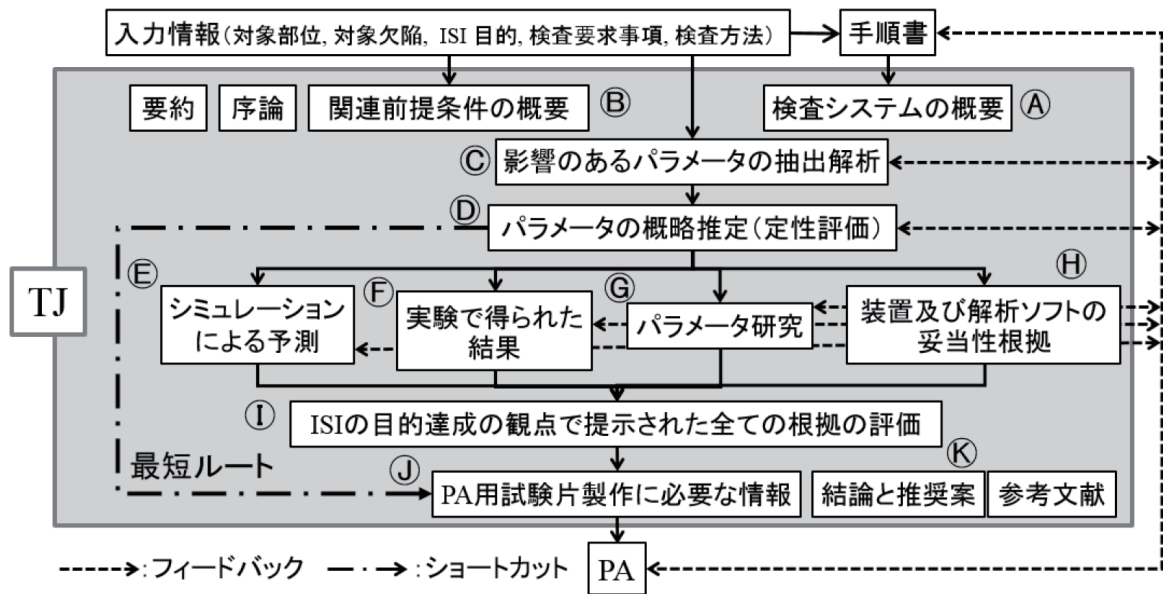


図2 ENIQ方式における検査システム認証プロセス

及ぼすパラメータ。

これら何れのパラメータに関しても、設定した許容範囲に関する技術的証拠も併せて提示する必要がある。TJにおける技術的証拠については、基本的に既存の証拠(公開文献、以前の研究データ等)であるが、既存の証拠では当該技術との関連性が不十分と判断された場合には、その関連性を満たす目的で新たに行った実験結果を証拠として提示することもできる[9]。また実験結果以外にも、数学的モデルを用いた定量的モデリング(シミュ

レーション)結果を技術的証拠として示すことも可としている。図2は、ENIQ RP2に示されている検査システムの認証におけるPAまでのプロセスである[10]。ここで示す(A~K)は、TJ評価書に記載される項目である。これらのうちD~Gの項目については、既存の証拠若しくは新規証拠の何れでも良いとされている。E~Hの項目については必ず記載すべき項目と記載を省略しても可とする項目がある。これは個々のケースに必要な(入手可能な)証拠の量が異なる為と説明している[9]。

表2 フィンランドでのTJ評価書の記載推奨項目

記載推奨項目	記載推奨内容	ENIQ RP との比較
概要	• TJの目的, 適用範囲	○
緒言	• TJの対象部位, 検査範囲, 検査方法, 対象欠陥, 適用目的 • TJの構成	○
主な前提条件	• 認証された情報の概要	○
検査システムの概要	• 認証の為の検査手順, 探傷装置及び試験技術者	○
影響のあるパラメータの抽出解析	• 検査手順及び探傷装置パラメータの選択 • 必須パラメータ値とその許容範囲	○
パラメータの概略推定(定性的評価)	• 検査手順/探傷装置のパラメータの選択及びその証拠(入力情報が検査の領域と検査の目的を相補する場合) • 想定される最悪のケースの欠陥 • 試験片の設計及び製造方法の妥当性の理由	○
シミュレーションによる予測(定量的評価)	• 概要 • パラメータ抽出 • 結果・シミュレーション	○
試験技術者の探傷技量確認用試験	• 試験片, 導入欠陥の詳細 • サイジング方法及びその結果 • 結果の要約	○
パラメータスタディ	• 予測モデル及び実験の証拠を示すパラメータの識別	○
装置及びソフトウェアの妥当性評価	• 評価及び分析システムの妥当性の理由	○
提出された技術的証拠の総括評価	• 検査システムが検査目的を達成する能力の評価 • 試験技術者の必須パラメータ及びTJの予備評価に関する訓練	○
探傷技量確認用試験片製作	• 試験片形状及び製造に関する必要情報	○
結論と推奨事項		○
参考文献		○

TJ 評価書の実際の記載内容は、各国ともに ENIQ RP 2 に従っている。フィンランドの例を表 2 に示す [11]。フィンランドでは原子力規制当局である STUK (Säteilyturvakeskus : Radiation and Nuclear Safety Authority in Finland) が、原子力安全・保安に関する 5 つのグループのガイドラインを規定し、そのグループ E (原子力施設の構造と設備) 中の YVL E.5 (In-Service Inspection of Nuclear Facility Pressure Equipment with Non-Destructive Testing Methods) で非破壊検査の認証について規定している [12]。その内容は ENIQ RP の記載に従っている。これに加えて各々の項目には、ENIQ RP には規定されていない項目の記載が規定されている。具体例として「検査システムの概要」、「影響のあるパラメータの抽出解析」及び「結論と推奨事項」の項目には、以下の内容を記載することが規定されている [13]。

- 検査システムの概要：当該 TJ に関する試験技術者の資格要件の妥当性評価。必要に応じて試験技術者の経験、訓練及びその証明方法。
- 影響のあるパラメータの抽出解析：結果に影響を与えるパラメータを「対象部位に関するパラメータ」及び「検査システムパラメータ」の 2 種類に分類し、それぞれに設定した許容範囲。
- 結果と推奨事項：資格認証機関と申請者（検査会社）のフィードバックで明らかになった内容。

このように、各国ともに ENIQ RP の内容に従った運用をした上で、軽微な追加要求を付している。

3.3 PA (Practical Assessment)

PA は、ENIQ 方式において TJ とともに重要な資格認証プロセスである。なお比較的簡単な探傷では、TJ において PA が不要とされることもある。この PA で重要な役割を担うのが試験片製作である。対象部位の形状や材料組成を模擬して製作したのち、実際に検査を行う場合に最も困難なケースを想定した欠陥を導入した試験片を用いて PA を実施することとしている。ENIQ RP 5 には、PA 用試験片製作に関して以下のような管理項目が示されている [14]。

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • 試験片形状 • 試験片材料の適合性 • 熱処理条件を含む材料条件 • 溶接工程 • 表面の形状、仕上げ及び被覆 • 欠陥の仕様 • 試験片製造業者の確認検査の要件 | <ul style="list-style-type: none"> • 導入欠陥の詳細 (位置、寸法等) • 許容可能な補修工程 • 試験片製造に関する工程の文書化 • 追加検査 • 検取作業 • 製造、保管、使用中の試験片の保安対策 |
|---|--|

資格認証機関はこれらの項目を盛り込んだ試験片製作仕様書を製造業者に提示して、事前に合意を得たのち、製作者は当該試験片の工程を資格認証機関に提示することを推奨している [13]。もし製作段階で試験片製作仕様書からの逸脱が見られた場合、資格認証機関から製造業者に是正を指示することとしている [14]。

(a)



(b)



図 3 (a) スウェーデン、(b) フランスの認証機関に保管されている PA 用試験片

図 3 は (a) スウェーデン及び (b) フランスの資格認証機関に保管されている PA 用試験片である [15]。何れの機関も、普段は試験片保管庫で厳重に保管されており、PA の実施内容に応じて試験片が取り出されて、別室で PA を実施する。1 章で ENIQ 方式の特徴として ASME 方式に比べて必要な試験片の数が最小で済むと述べたが、図 3 のように一定数の試験片の準備は必要である。

3.4 資格認証書類

TJ の最終評価及び PA の実施結果を踏まえ、申請された検査システムが対象部位の検査において所定の目的が達成可能と判断された場合に、資格認証機関から認証書類及び試験技術者に対する要員資格の書類が発行される。ENIQ RP 4 には、認証書類が ENIQ 方式採用国の間で円滑に移行可能にする為の推奨案が示されている [16]。表 3 は、認証書類への記載が推奨されている項目及び主な記載内容の一覧である [17]。必須記載項目及び内容は、ENIQ 採用国内の法律、規制内容及び技術的要件に従ってケースバイケースとなる。

表3 資格認証書類の記載推奨項目と主な記載内容

記載推奨項目	主な記載内容
要約	資格認証に関する要約。資格認証の適用事項及び制限事項。
緒言	資格認証申請の目的、対象部位、検査方法、検査システムの摘要
入力情報	<ul style="list-style-type: none"> 資格認証の対象部位に関する情報（形状、材料、溶接・パタリング工程、表面形状、アクセス制限、放射線レベル等の環境条件） 対象欠陥に関する情報（形状、寸法、向き、当該プラント若しくは同様の発電プラントで発生した欠陥に関する情報） 申請した検査システムの詳細 評価基準（検出基準、深さ/長さサイジング精度等）
資格認証機関が定める品質保証内容	<ul style="list-style-type: none"> 資格認証機関が定める品質保証計画の概要（資格認証結果及び PA 用試験片に関する秘密保持管理体制） PA の実施体制
資格認証実施前に検査会社が準備する文書	<ul style="list-style-type: none"> 品質保証スキーム、試験技術者の経験と証明に関する文書等
資格認証手続内容	<ul style="list-style-type: none"> 資格認証過程の詳細（TJ による評価範囲と評価方法、[PA 実施の場合]目的、実施内容、評価方法等）
検査システムの詳細	<ul style="list-style-type: none"> 検査手順（対象部位/欠陥の探傷手順、データの記録方法及び解析方法） 探傷装置及び付属品の詳細（構成、装置の校正の許容条件等）
TJ 最終評価	(3.2 節参照)
PA 用試験片	<ul style="list-style-type: none"> 試験片及び試験片に導入した欠陥に関する情報（形状、材料、溶接手順、導入欠陥の数及び寸法、欠陥導入方法、品質確認結果、[可能であれば]実際に発電プラントで検出された対象部位での欠陥に関する文書等）
PA 試験及びその結果	<ul style="list-style-type: none"> 試験実施要領（日時、試験手順）、試験結果
資格認証過程で得られた結果の評価	<ul style="list-style-type: none"> 申請した検査システムが所定の目的を満たすことができるかの検証（提示された証拠の正当性、対象検査目的と PA 試験結果との比較、TJ と PA との間の相補性評価）
認証結果	<ul style="list-style-type: none"> TJ 評価及び PA 結果から総合的に評価した資格認証可否の結論。 [必要に応じて]審査過程で抽出された資格の有効性範囲
認証書類の帰属	<ul style="list-style-type: none"> 認証書類の帰属に関する資格認証機関からの勧告
資格の更新・修正	<ul style="list-style-type: none"> 認証された検査システムを実機で適用している時に所定の結果が得られないことが発覚した場合の認証の有効性取消に関する手順（資格認証機関、電気事業者及び検査会社との間の合意した内容であること）
結論及び勧告	<ul style="list-style-type: none"> 上記内容から得られた結論、資格認証書類の適用範囲に関する勧告

3.5 資格認証機関の種類

ENIQ 方式における資格認証機関は、ENIQ RP 7 では以下の3つのタイプに分類されている [18]。

タイプ1：軽水炉構成機器の検査システムに関連する組織から独立した第三者機関

タイプ2：軽水炉構成機器の検査システムに関連する組織から構成される委員会方式の機関

タイプ3：特定の認証を目的に設置した機関(アドホック組織)

スウェーデン (Swedish Qualification Centre) やフィンランド (Kiwa Inspecta)、イギリス (WOOD IVC) 等はタイプ1の機関に該当する一方で、フランス (EDD Qualification Center) はタイプ2の機関である。なお、現時点でタイプ3に該当する機関は見当たらない。このような違いは、各々の国の原子力発電所の稼働状況や運営形態、原子力規制当局からの ISI に関する要求事項の違い等に因るところが大きい。但し何れのタイプも、以下の事項が ENIQ RP 7 で推奨されている [18]。

- 公平性、資格認証に必要な技術的能力及び経営資源を有する。
- 資格認証に関する評価や判断に影響を与える可能性の

ある商業的、財政的、業務上のその他の圧力から束縛されない組織である。

- 資格認証活動に関連して、その独立性と矛盾する可能性のある活動に従事してはならない。

4. まとめ

ENIQ 方式は、代表的な試験片を用いて試験技術者の探傷技量を確認する PA と、探傷装置、検査手順書及び PA の実施方法に関する内容の技術的な評価を行う TJ から構成されている。各国で TJ 評価書の記載内容や運用等に若干の違いはあるが、概ね ENIQ RP に準拠している。また ASME 方式よりは少ないものの、一定数の探傷技量確認用試験片の準備は必要である。

参考文献

- [1] ISO 9712: Non-destructive testing – Qualification and certification of NDT personnel (2012)
- [2] JIS Z 2305: 非破壊試験技術者の資格及び認証 (2013)
- [3] 古賀功介：“欧米における認証システム Performance

- Demonstration (PD) の調査報告” , 火力原子力発電. Vol. 54, No. 6, pp.615-624 (2003)
- [4] The NUGENIA Association: European Methodology for Qualification of Non-destructive Testing Issue 4, ENIQ report No. 61, (2019)
- [5] The NUGENIA Association: European Framework Document for Risk Informed In-Service Inspection Issue 2, ENIQ report No. 51, (2019)
- [6] 渡辺恵司：“国内軽水炉機器探傷技量実証制度制定に向けた諸外国の実施状況調査 - 欧州 ENIQ 方式全体の枠組み -” , 電力中央研究所研究報告. Q16002, p.4 (2016)
- [7] Steering Committee of ENIQ, Strategy and Recommended Contents for Technical Justifications. ENIQ Recommended Practice 2, ENIQ Report No. 39, EUR 24111 EN, p. 7 (2010)
- [8] Steering Committee of ENIQ, Influential / Essential Parameters. ENIQ Recommended Practice 1, ENIQ report No. 24, EUR 21751 EN, p. 4 (2005)
- [9] Steering Committee of ENIQ, Strategy Document for Technical Justification, ENIQ Recommended Practice 3, ENIQ report No. 5. EUR 18100 EN, p. 7 (1998)
- [10] 渡辺恵司：“国内軽水炉機器探傷技量実証制度制定に向けた諸外国の実施状況調査 - 欧州 ENIQ 方式全体の枠組み -” , 電力中央研究所研究報告. Q16002, p.7 (2016)
- [11] 渡辺恵司：“欧州軽水炉機器検査能力認証 (ENIQ) 方式の調査” , 電力中央研究所研究報告. Q18004 p.6 (2018)
- [12] 渡辺恵司：“欧州軽水炉機器検査能力認証 (ENIQ) 方式の調査” , 電力中央研究所研究報告. Q18004 pp.3-4 (2018)
- [13] STRÅLSÄKERHETSCENTRALEN (Radiation and Nuclear Safety Authority in Finland), In-Service Inspection of Nuclear Facility Pressure Equipment with Non-Destructive Testing Methods, GUIDE YVL E.5, p. 28 (2014)
- [14] Steering Committee of ENIQ, Guidelines for the Design of Test Pieces and Conduct of Test Piece Trials. ENIQ Recommended Practice 5, ENIQ report No. 42, EUR 24866 EN, pp. 13-14 (2011)
- [15] 渡辺恵司：“欧州軽水炉機器検査能力認証 (ENIQ) 方式の調査” , 電力中央研究所研究報告. Q18004 pp.9, 14 (2018)
- [16] Steering Committee of ENIQ, Recommended Contents for The Qualification Dossier. ENIQ Recommended Practice 4, ENIQ report No. 13, EUR 18685 EN, pp. 4-6 (1999)
- [17] 渡辺恵司：“国内軽水炉機器探傷技量実証制度制定に向けた諸外国の実施状況調査 - 欧州 ENIQ 方式全体の枠組み -” , 電力中央研究所研究報告. Q16002, p.9 (2016)
- [18] Steering Committee of ENIQ, Recommended General Requirements for A Body Operating Qualification of Non-Destructive Tests, ENIQ Recommended Practice 7, ENIQ report No. 22. EUR 20395 EN, p. 4 (2002)

(2019年12月27日)

著者紹介



著者：渡辺 恵司
 所属：(一財) 電力中央研究所 材料科学
 研究所 PDセンター
 専門分野：軽水炉機器配管の検査能力認証
 制度