

共同研究成果報告書

機器配管系の耐衝撃性及び耐震性に係る研究（その2）

原子力規制委員会 原子力規制庁

学校法人東京電機大学

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

令和8年7月

1. 研究目的

本共同研究は、設備の耐衝撃性及び耐震性に係る二種類の研究テーマからなる。設備の耐衝撃性に係る研究テーマは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下「JAEA」という。）、学校法人東京電機大学及び原子力規制委員会原子力規制庁（以下「規制庁」という。）の3機関で、設備の耐震性に係る研究テーマは学校法人東京電機大学及び規制庁の2機関で実施した。

1.1 耐衝撃研究

実用発電用原子炉に係る規制基準は、工場等には特定重大事故等対処施設を設けなければならないとし、原子炉建屋への故意による大型航空機の衝突その他のテロリズムに対して、その重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものであることを要求している。そこで、令和4年度までの共同研究¹では、飛翔体衝突を仮定した入力波を用いた衝撃加振試験を実施し、設備の衝撃応答に係る諸元（振動数特性、減衰、等）を把握した。また、衝撃応答解析による試験結果の再現解析を実施した。衝撃応答解析には地震応答解析手法を用い、その適用性を検証した。

本共同研究では、鉄筋コンクリート構造物への飛翔体衝突試験結果の分析及び建屋への飛翔体の衝突解析を実施することで、建屋及び建屋内設備への衝撃伝播特性を把握するとともに、設備への衝撃入力波を作成する。また、この衝撃入力波を用いて設備の衝撃加振試験及び衝撃応答解析を行い、飛翔体衝突時の衝撃振動に対する設備応答を明らかにするとともに、それを踏まえて衝撃入力波に対する地震応答解析手法の適用性を把握し、飛翔体衝突時の設備の健全性評価に資する知見を拡充する。

一方、令和2年度までに規制庁が実施してきた電気品等の設備の衝撃振動試験²では、ガタ系（複数の要素から構成される系のうち、要素間に間隙（ガタ）を有するもの）等を有する構造によって衝撃応答が増幅し、設備が損傷する事例を確認した。そこで、本共同研究では、上述に加え、その様な挙動を考慮した衝撃応答解析手法の適用性を確認し、ガタ系等を有する設備の健全性評価に資する知見を拡充する。

1.2 耐震研究

令和2年よりリスク情報を活用した原子力規制検査が開始され、規制庁は、地震リスクを考慮した検査での指摘事項の重要度評価を実施することになった。確率論的地震リスク評価を実施するに当たり、東北地方太平洋沖地震の本震に続いて大きな余震に直撃された女川原子力発電所の事例³を踏まえれば、繰り返し地震の影響を考慮する必要がある。繰り返し地震の影響が大きいと考えられる設備とその損傷モードに配管系の疲労が挙げられる。令和4年度までの共同研究¹では、基準地震動レベルの入力波が繰返された場合の配管系の疲労損傷裕度を把握した。

本共同研究では、設計を超える地震動に対する配管系について、一般社団法人日本

電気協会の原子力発電所耐震設計技術指針⁴に示された疲労評価手法（以下「既往の疲労評価手法」という。）の適用性を評価の保守性の観点から検証し、保守性の程度を定量的に把握することにより、確率論的地震リスク評価に資する知見を拡充する。

2. 研究内容

2.1 耐衝撃研究

(1) 建屋及び建屋内設備への衝撃伝播特性の把握

飛翔体衝突時における建屋及び建屋内に設置された設備への衝撃伝播特性を把握するため、JAEA が既往研究⁵で取得した衝突試験データを活用し、鉄筋コンクリート構造を主体とする建屋及び建屋内の設備への影響評価のための衝撃応答解析手法を整備する。さらに、整備した衝撃応答解析手法を用いて、衝撃振動に対する設備への衝撃入力波を作成する。

(2) 衝撃振動に対する設備応答の把握

(1)における成果を踏まえて、衝撃振動に対する設備応答について、電磁式振動試験装置による衝撃加振試験及び地震応答解析手法を用いた衝撃応答解析による再現解析を実施する。また、それらの結果を分析・整理し、衝撃入力波に対する地震応答解析手法の適用性を把握する。検討対象設備は、令和4年度までの共同研究¹「機器配管系の耐衝撃性及び耐震性に係る研究」で用いた試験体（以下「衝撃試験体」という。）とする。衝撃試験体は、電気盤を高さ方向に縮小したものであり、筐体の内部にリレー・指示計・電源装置等の内蔵機器が設置されている。

令和2年度までに規制庁が実施してきた電気品等の設備の衝撃振動試験²により、ガタ系を有する設備である計器用接地形変圧器（以下「GPT」という。）では、レールと台車間の衝突等の衝撃振動特有の挙動が生じることが明らかになっている。このようなガタ系を有する設備の衝撃振動特有の挙動を考慮した衝撃応答解析手法の適用性を確認する。

2.2 耐震研究

振動試験及び数値解析を用いて、配管要素の地震荷重に対する現実的耐力評価への既往手法の適用性を把握することで、確率論的地震リスク評価に用いる脆弱性評価に係る知見を拡充する。試験体は国内の原子力施設で広く用いられる炭素鋼及びステンレス鋼の配管要素（エルボ、ティー）とする。配管の損傷形態として、配管の損傷モードの一つである低サイクル疲労を想定する。低サイクル疲労試験及び解析の結果を分析・整理し、既往の疲労評価手法の適用性を検証する。

3. 実施方法

3.1 耐衝撃研究

(1) 建屋及び建屋内設備への衝撃伝播特性の把握

飛翔体衝突時の鉄筋コンクリート構造を主体とする建屋の衝撃応答解析手法を整備し、それを踏まえて設備への衝撃振動による入力レベル、入力継続時間、入力波形の振動数特性等（以下「衝撃入力」という。）について検討する。

A) 設備設置位置の床応答に関わる衝撃応答解析手法の整備

JAEA が既往研究⁵で取得した衝突試験データを活用し、設備設置位置の床応答に関わる衝撃応答解析手法を整備するとともに、衝撃応答解析結果と試験データ等を比較することにより衝撃応答解析手法の妥当性を確認する。

B) 衝撃振動に対する設備への衝撃入力の検討

A)で整備した飛翔体衝突時の衝撃応答解析手法に基づき、設置される設備への衝撃入力波を作成する。

(2) 衝撃振動に対する設備応答の把握

飛翔体衝突時の入力レベル、入力継続時間、入力波形の振動数特性等を踏まえた衝撃振動（以下「飛翔体衝突時の入力」という。）に対する設備応答を明らかにするとともに、それを踏まえて設備の衝撃応答解析手法の適用性を把握する。

A) 飛翔体衝突時の入力を用いた衝撃加振試験及び衝撃応答解析

3.1 (1) B)の検討結果を踏まえて、衝撃試験体の衝撃加振試験を行う。また、地震応答解析手法を用いた衝撃加振試験の再現解析を実施し、応答加速度時刻歴及び振動数応答特性等を衝撃加振試験結果と比較することで、衝撃入力波に対する地震応答解析手法の適用性を確認する。

B) ガタ系を組み込んだ衝撃応答解析

GPT の衝撃振動特有の挙動を考慮して、非線形要素を組み込んだ衝撃応答解析モデルによる衝撃応答解析を実施し、令和 2 年度までに規制庁が実施してきた電気品等の設備の衝撃振動試験²と比較することでガタ系を有する設備の衝撃振動特有の挙動を考慮した衝撃応答解析手法の適用性を確認する。

令和 4 年度までの共同研究¹で検討した衝撃試験体の衝撃応答解析モデルに、ガタ系を組み込んだ非線形解析モデルを作成し、衝撃応答解析を実施する。また、この衝撃応答解析結果と、ガタ系を有さない設備の衝撃応答解析の結果とを比較することで、ガタ系を有する設備による非線形挙動が設備全体の応答に及ぼす影響を把握する。

3.2 耐震研究

配管要素の地震荷重に対する現実的耐力評価への既往手法の適用性を把握するため、下記の検討を行う。

A) 予備解析

振動試験の入力条件を決定するため、有限要素法による振動解析を行う。入力する波形は地震波又は正弦波とし、入力と応答の関係を整理する。整理した内容から、配管要素試験体（エルボ、ティー）に低サイクル疲労損傷を生じさせる入力条件を決定する。

B) 振動試験

A)の結果に基づき、配管要素試験体の振動試験を行う。試験装置には一方向に十分大きな加振力が実現できる電磁式振動試験装置を用いる。配管要素試験体は振動台に固定し、地震波又は正弦波による加振を連続して行う。試験体に亀裂が貫通するまで加振を行い、貫通までに要した入力波のサイクル数を計測する。亀裂が外面に発生する場合には、試験を実施しながら非破壊的な手法により亀裂の発生・成長過程を観測する。なお、振動試験機の重量及び偏心モーメントの制限から、試験体には実機の配管要素を縮尺したものを用いることとする。

C) 既往の疲労評価手法の適用性の検証

弾塑性有限要素解析により、B)の試験結果の詳細な分析を行う。特に試験で観測された損傷箇所と解析で算出される累積ひずみ等のパラメータとの関係を調べる。また、試験で観測された損傷までのサイクル数と、既往の疲労評価手法から予測されるサイクル数を比較することで、その適用性を検証する。

4. 研究実施分担

項目		規制庁	学校法人 東京電機大学	JAEA
1. 耐衝撃 研究	(1) 建屋及び建屋内 設備への衝撃伝播 特性の把握	○	○	◎
	(2) 衝撃振動に対す る設備応答の把握	◎	○	○
2. 耐震 研究	配管要素の地震荷 重に対する現実的 耐力評価への既往 の疲労評価手法の 適用性の把握	◎	○	-

(◎：主担当、○：副担当)

5. 共同研究参加者

所 属	氏 名	所属部局・職名※	本研究における役割
規制庁	日比野 憲太	技術基盤グループ 地震・津波研究部門	研究統括 項目 4.2 項目 4.2 項目 4.1 研究指導 研究指導 研究指導
	東 喜三郎	総括技術研究調査官	
	藤原 啓太	技術研究調査官	
	永井 穰	技術研究調査官	
	高松 直丘	技術参与	
	石田 暢生	技術参与	
	吉村 英二	技術参与	
学校法人 東京電機大学	藤田 聡	東京電機大学 工学部 機械工学科 特別専任教授 耐震安全研究センター センター長	研究統括
	古屋 治	理工学部 機械工学系 教授 耐震安全研究センター 副センター長	項目 4.1, 4.2
	深沢 剛司	工学部 機械工学科 准教授	項目 4.2
JAEA	西田 明美 奥田 幸彦 康 作夷	安全研究センター 耐震・構造健全性評価研究グループ グループリーダー 研究副主幹 研究員	研究統括 項目 4.1 項目 4.1

※所属部局・職名等は共同研究開始時におけるものを記載した。

6. 研究実施工程

項 目			年 度				令 和 5 年 度				令 和 6 年 度				令 和 7 年 度			
1.	(1) 建屋及び	A) 設備設置位置の床応	耐 衝 撃 研 究	建屋内設備	答に関わる衝撃応答解	析手法の整備												
	への衝撃伝																	

続いて、設置される設備へのより現実的な衝撃入力を検討するため、A)で整備した衝撃応答解析手法に基づき、JAEA が既往研究で整備した建屋の 3 次元モデル⁶を活用し、飛翔体の衝突解析を実施した。衝突位置の異なる 6 ケースの解析を実施し、そのうち最も厳しいケースを代表ケースとして選定した。本代表ケースにおける加速度時刻歴を出力・整理し、代表的な衝撃応答波を(2)で実施する衝撃加振試験の入力波として活用した。この衝撃応答波を以下、「建屋衝突波」という。

(2) 衝撃振動に対する設備応答の把握

A) 飛翔体衝突時の入力を用いた衝撃加振試験及び衝撃応答解析

電気盤を模擬した衝撃試験体を製作し衝撃加振試験を実施した。衝撃試験体は、試験場の制約から実機電気盤筐体を高さ方向のみ約 1m に縮小したものとし、筐体の内部にファン、電源装置、指示計等の実機及びサーバ計算機を模擬したダミーウェイトを収納した。正弦波掃引試験、ショック波試験及びランダム波試験を実施した。正弦波掃引試験では、衝撃試験体の振動特性を明らかにするため、5Hz から 500Hz までの帯域で正弦波掃引を実施した。ショック波試験は、パルス的な衝撃振動に対する衝撃試験体の応答や、パルス幅の差異による応答の変化を把握するため、台形波を振動台により入力することで実施した。また、ランダム波試験は、衝撃の振動数範囲における衝撃試験体の応答や、入力振動数範囲の差異による応答の変化を把握するため、衝撃振動の振動数範囲が卓越するランダム波を振動台により入力することで実施した。さらに、上述の(1)において設定した、鉄筋コンクリート躯体内を伝播する衝撃応答波である模擬波を入力とした模擬波試験を実施した。ショック波試験、ランダム波試験及び模擬波試験では入力波の最大加速度を 20m/s^2 とした。衝撃加振試験には、東京電機大学千葉ニュータウンキャンパス内に設置された電磁式振動試験装置 (IMV 社製 K350) を使用した。

正弦波掃引試験では、衝撃試験体の固有振動数と減衰を把握し、筐体では明確に一次固有振動数の応答が卓越することが示された。これらは後述する再現解析モデルに反映した。また、ショック波試験、ランダム波試験及び模擬波試験では、筐体の一次固有振動数を含む振動数範囲の入力によって最大応答加速度が大きくなる傾向がみられた。この傾向は、一般に知られている振動論から導かれる傾向と一致していることから、衝撃振動の振動数範囲であっても、地震応答解析のような既存の振動論に基づいた手法を適用することができると考えられる。^{7,8}

続いて、地震応答解析手法を用いて衝撃加振試験の再現解析を実施し、試験結果と比較することで、地震応答解析手法の衝撃応答解析への適用性を確認した。ここでは、衝撃試験体の筐体に着目し、上述の正弦波掃引試験で得られた一次の固有振動数を再現できるよう、はり要素を用いて解析モデルを作成し、時刻歴応答解析を実施した。再現解析には加振試験と同一の入力波を用いた。その結果、いずれの入力波に対しても、

解析モデルの一次の固有振動数近傍で応答が増幅する傾向が見られ、加振試験結果と再現解析結果はおおむね一致し、衝撃振動に対する衝撃試験体筐体の応答を解析によって再現できることが示された。以上より、上述で考察したとおり、地震応答解析手法が衝撃振動に対しても適用できると考えられる。

ここで適用性を確認した衝撃応答解析手法を用いて、上述の(1)において実施した建屋への飛翔体の衝突解析から得られた床応答時刻歴である建屋衝突波を入力とした衝撃応答解析を実施し、現実的な入力に対する設備の衝撃応答を把握した。その結果、建屋衝突波に対してもショック波、ランダム波及び模擬波と同様に、解析モデルの一次の固有振動数近傍で応答が増幅する傾向が見られた。この傾向は、一般に知られている振動論から導かれる傾向と一致した。

さらに、これらの衝撃応答解析に用いた 4 つの入力波の差異に対する衝撃試験体の衝撃応答について考察するため、各入力波の応答スペクトルを比較した。ショック波、ランダム波は衝撃振動の振動数範囲全体にわたりスペクトル形状がおおむねフラットで一定の応答レベルを有するものであったが、模擬波は衝撃振動の振動数範囲内でスペクトル形状が急激に変化する特徴を有し、建屋衝突波も模擬波と同様の傾向を有することを確認した。ここから、建屋への飛翔体衝突を考慮した現実的な入力波は、このようにスペクトル形状が急激に変化する特徴を有すると考えられる。このような入力波を用いて設備の衝撃応答を評価する場合、実機と試験体及び実機と解析モデルの固有振動数のわずかな差異が応答の再現性に影響すると考えられる。そのため、応答スペクトルの拡張等の処理を行う、ショック波、ランダム波の様に現実的な入力波のスペクトル形状を十分に包絡する入力波を用いる等の配慮を行った上で、設備の衝撃応答の評価を実施する必要があると考えられる。

B) ガタ系を有する設備の衝撃振動に対する応答の把握⁷

ガタ系を有する設備である GPT を対象として、その衝撃加振試験²とガタ系を考慮した衝撃応答解析手法を用いた再現解析の結果を比較することで、その衝撃応答解析手法の適用性を確認した。その結果、ショック波試験のような比較的単純な入力に対しては、GPT におけるガタ部の剛体的挙動や最大応答加速度を再現できたが、ランダム波試験のような複雑な入力に対しては、GPT におけるガタ部の最大応答加速度は再現できたものの、ガタ部における繰り返しの衝突を再現することはできなかった。

上述のようにガタ系を有する設備のランダム波に対する衝撃応答を解析のみで評価することは難しいことから、このような設備を内蔵する電気盤の耐衝撃評価では、電気盤筐体の地震応答解析手法を用いた衝撃応答解析とそれに基づく内蔵機器単体での耐衝撃試験を分離して実施し、結果を組み合わせる必要があると考えられる。そこで、耐震性評価で用いられる電気盤筐体と内蔵機器を分離して評価する手法の耐衝撃性評価への適用性を確認した。電気盤筐体と内蔵機器を分離して評価する手

法を耐衝撃性評価に適用するためには、ガタ系を有する内蔵機器で生じた衝撃応答が筐体やその他の内蔵機器に伝播して影響を及ぼさないことを確認する必要がある。そのため、ガタ系を有する設備を電気盤筐体に組み合わせた解析を実施し、内蔵機器のガタ系の有無による筐体及びその他内蔵機器の衝撃応答を比較した。その結果、内蔵機器のガタ系の有無に関わらず筐体や他の内蔵機器の衝撃応答はほぼ同様であり、ガタ系を有する内蔵機器の衝撃応答が筐体や他の内蔵機器の衝撃応答に及ぼす影響が小さいことが示された。このことから、耐衝撃性評価においても耐震性評価と同様に、電気盤筐体とガタ系を有する内蔵機器を分離して評価する手法が適用できることを確認した。

7.2 耐震研究⁹

本研究では既往試験での報告例が少ない異径ティ（母管と分岐管でサイズが異なる分岐部）を含む 3 種類（エルボ、同径ティ及び異径ティ）の配管要素試験体（以下「試験体」という。）の振動試験を実施し、設計レベルを超える入力に対する既往の疲労評価手法の適用性を確認することで、確率論的地震リスク評価に資する基礎的データを収集した。振動試験には、東京電機大学千葉ニュータウンキャンパス内に設置された電磁式振動試験装置（IMV 社製 K350）を使用した。

振動試験は、上記 3 種類の配管要素の試験体を面内あるいは面外の一方向の正弦波で加振した。試験体には 0.5MPa の内圧を負荷し、加振時に試験体から加圧空気の漏洩が確認された時点で試験を終了とした。各試験体は配管要素に直管部を溶接したもので、管径、肉厚は BWR の給水系配管のサイズを参考に約 1/6 に縮小したものである。試験体の材質は炭素鋼及びステンレス鋼とした。試験の目標入力加速度は、最大 2000 サイクルで疲労破壊を誘発するように設定した。正弦波の振動数は、試験体の塑性化による固有振動数変化も加味して設定した。以下、炭素鋼試験体についての試験及び解析の結果を示す。

試験の結果、いずれの試験体においても加振中に圧力低下が生じ、貫通亀裂の発生を確認した。貫通亀裂発生位置は、エルボでは母材脇部、同径ティでは母材肩部、異径ティでは分岐管の溶接部止端部であった。損傷モードは、疲労損傷（低サイクル疲労）であることを確認した。ひずみ計測の結果から、大きな塑性ひずみの存在が、疲労亀裂の伝播を主に促進することが推察された。

上記の試験について、一般社団法人日本機械学会の事例規格¹⁰の解析事例を参考に、弾塑性有限要素解析を行った。まず、弾塑性有限要素解析で使用した解析モデルの形状は、同一ロットの試験体の 3 次元計測により実際の形状・肉厚分布を再現した。解析モデルに適用する材料特性は、一般社団法人日本機械学会の材料規格¹¹を、減衰比は事例規格を参照し、設定した。以上の解析モデルについて試験体支持架台で計測された加速度時刻歴を入力波として非線形時刻歴応答解析を実施し、ひずみ時刻歴を算

出した。弾塑性有限要素解析によるひずみ評価の結果、最大ひずみが発生した位置と試験体で亀裂が発生した位置は良く一致した。

続いて、一般社団法人日本機械学会の設計・建設規格¹²に示されている設計疲労曲線との比較を行った。その結果、設計疲労曲線はいずれの試験体に対しても十分な余裕を持っており、線形弾性を仮定した場合、応力振幅に対する設計疲労曲線の裕度は8.09倍よりも高くなっていた。これより、既往の疲労評価手法は、設計を超える入力地震動に対しても十分な保守性をもって適用可能なことが示唆された。また、設計疲労曲線の裕度は試験体の種類に強く依存し、荷重方向には依存しないという知見が得られた。

以上より、確率論的地震リスク評価に資する知見として、地震による配管の損傷モードを特定し、設計レベルを超える荷重に対する配管の疲労評価手法に含まれる裕度に関する基礎的データを得た。

8. 公表成果一覧

- 1) Nagai, M., Minakawa, Y., Hibino, K., Takamatsu, N., Ishida, N., Yoshimura, E., Maruyama, N., Furuya, O., Shaking Table Test of Electrical Cabinet Considering Shock Vibration, Transactions of the SMiRT 27, 2024.
- 2) Azuma, K., Fujiwara, K., Kai, S., Otani, A., Furuya, O., Experimental study on low cycle fatigue life of carbon steel pipe fittings by a uniaxial shaking table, Proceedings of the ASME Pressure Vessels & Piping Conference 2025, PVP2025-154587, 2025.

9. 参考文献

- 1 原子力規制委員会原子力規制庁，学校法人東京電機大学，共同研究成果報告書 機器配管系の耐衝撃性及び耐震性に係る研究，2023，
<https://www.nra.go.jp/data/000442637.pdf>, (2026-05-25 確認).
- 2 大橋守人，山崎宏晃，日比野憲太，北村俊也，田岡英斗，日高慎士郎，森和成，森谷寛，太田良巳，東喜三郎，市原義孝，鳥山拓也，永井穰，地震・津波及びその他の外部事象等に係る 施設・設備の脆弱性評価に関する研究，安全研究成果報告，原子力規制庁 長官官房技術基盤グループ 地震・津波研究部門，RREP-2021-4001，<https://www.nra.go.jp/data/000357836.pdf>, (2026-05-25 確認).
- 3 東北電力株式会社，女川原子力発電所における 2011 年 4 月 7 日宮城県沖の地震時に取得された地震観測記録の分析等について，https://www.tohoku-epco.co.jp/emergency/8/1183201_1800.html, (2026-07-10 確認).

- 4 一般社団法人日本電気協会,「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」,昭和 62 年.
- 5 Okuda, Y., Kang, Z., Nishida, A., Tsubota, H., Li, Y., Study on Influence Evaluation of Internal Equipment Installed in Structure Subjected to Projectile Impact, Transactions of the SMiRT 26, 2022.
- 6 崔炳賢, 西田明美, 川田学, 塩見忠彦, 李銀生, 原子炉建屋の 3 次元有限要素モデルを用いた地震応答解析手法に関わる標準的解析要領, 安全研究・防災支援部門 安全研究センター 材料・構造安全研究ディビジョン, JAEA-Research 2021-017, 2022.
- 7 山崎宏晃, 日比野憲太, 田岡英斗, 平松昌子, 太田良巳, 東喜三郎 高野雅美 森谷寛, 鳥山拓也, 永井穰, 藤原啓太, 山川光稀, 土屋隆, 外部事象に係る施設・設備の フラジリティ評価手法の高度化に関する研究, 安全研究成果報告, 原子力規制庁 長官官房技術基盤グループ 地震・津波研究部門, RREP-2025-4002, 2025, <https://www.nra.go.jp/data/000476439.pdf>, (2026-04-01確認).
- 8 Nagai, M., Minakawa, Y., Hibino, K., Takamatsu, N., Ishida, N., Yoshimura, E., Maruyama, N., Furuya, O., Shaking Table Test of Electrical Cabinet Considering Shock Vibration, Transactions of the SMiRT 27, 2024.
- 9 Azuma, K., Fujiwara, K., Kai, S., Otani, A., Furuya, O., Experimental study on low cycle fatigue life of carbon steel pipe fittings by a uniaxial shaking table, Proceedings of the ASME Pressure Vessels & Piping Conference 2025, PVP2025-154587, 2025.
- 10 一般社団法人日本機械学会,「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 事例規格 弾塑性応答解析に基づく耐震 S クラス配管の耐震設計に関する代替規定」, 令和元年.
- 11 一般社団法人日本機械学会,「発電用原子力設備規格 材料規格 (2012 年版)」, 平成 24 年.
- 12 一般社団法人日本機械学会,「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2012 年版)」,平成 25 年.