

日本機械学会 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (JSME S NC1-2020)、材料規格 (JSME S NJ1-2020)、溶接規格 (JSME S NB1-2020) 及び設計・建設規格 事例規格 発電用原子力設備における「応力腐食割れ発生抑制に対する考慮」(JSME S NC-CC-002 (改定)-2)に関する技術評価書 (案)

(第5分冊)

令和 年 月

原子力規制委員会

目次

4. 4	SCC 事例規格 2022.....	1077
4. 4. 1	総則	1077
4. 4. 1. 1	事例規格の位置付け.....	1077
4. 4. 1. 2	「応力腐食割れ発生の抑制に対する考慮」の規定.....	1077
4. 4. 1. 3	応力腐食割れ発生の抑制に対する考慮.....	1078
4. 4. 2	溶接材料 ERNiCrFe-7A	1079
4. 4. 3	SCC 事象の概要の見直し	1086
4. 4. 4	SCC 発生の抑制	1088
4. 4. 4. 1	SCC 発生の抑制への対応	1088
4. 4. 4. 2	SCC 発生抑制のための材料（オーステナイト系ステンレス鋼）	1089
4. 4. 4. 3	SCC 抑制のための材料の略称名と具体的な材料名	1090
4. 4. 4. 4	高ニッケル合金の BWR プラントにおける SCC 感受性.....	1091
4. 4. 4. 5	SCC 発生抑制のための材料（炭素鋼及び低合金鋼）	1092
4. 4. 4. 6	応力低減のための構造設計、溶接部の設計等に対する配慮....	1094
4. 4. 4. 7	応力低減のための加工等に対する配慮.....	1095
4. 4. 4. 8	材料表面の応力改善方法.....	1095
4. 4. 5	材料の略称名と具体的な材料名の対応.....	1098
4. 4. 6	付録 2「SCC 対応フローチャート」の規定内容.....	1106
4. 4. 7	SCC 事例規格 2022 の適用に当たっての条件	1107
4. 4. 8	SCC 事例規格の策定に関し望まれる事項	1108

4. 4 SCC 事例規格 2022

4. 4. 1 総則

4. 4. 1. 1 事例規格の位置付け

本規格は事例規格の位置付けについて、「事例規格について」(2)に規定している。

(1) 変更点以外の評価

(a) SCC 事例規格の位置付け及び設計・建設規格に取り込んでいない理由

事例規格は、「事例規格について」において、次のとおりとしている。

- ① 適用対象設備等に限定的な制限を付けることにより、本文に規定されるものとは別の方法を適用する場合の規格
 - ② 規格には含まれていない新規の材料、設計、施行又は検査等の適用実績を、ある期間にわたって得ようとする場合の規格
- SCC 事例規格は上記①、②のいずれに当たるのかについて、日本機械学会は次のように説明している¹。

SCC 事例規格は、①適用対象設備等に限定的な制限を付けることにより、本文にされるものとは別の方法を適用する場合の規格に該当します。

また、設計・建設規格に取り込んでいない理由について、日本機械学会は次のように説明している²。

本事例規格は、設計者が SCC 発生抑制に役立てるための基本的な考え方を示すものです。一方で SCC のメカニズムは現在も検討がなされており、また PWR 環境でのステンレス鋼溶接部における SCC の事例も報告されています。

引き続き知見を収集し、将来的に本体の取り込みを検討します。本体の取り込みの一案としては、Non-Mandatory Appendix にする方法があります。

SCC 事例規格の位置付けを明確にするよう要望する。

(2) 適用に当たっての条件

なし

(3) 要望事項

- SCC 事例規格の位置付けを明確にするよう要望する。

4. 4. 1. 2 「応力腐食割れ発生抑制に対する考慮」の規定

本規格は応力腐食割れ発生抑制に対する考慮について、「2. 「応力腐食割れ発生抑制に対する考慮」の規定」に規定している。

(1) 変更点以外の評価

¹ 第5回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合資料 5-2, 4 ページ

² 第5回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合資料 5-2, 5 ページ

(a) 「材料選定においては注意深い考慮をすること」における考慮すべき事項

「2. 「応力腐食割れ発生の抑制に対する考慮」の規定」には、「材料選定においては注意深い考慮をすること」と規定されているが、本文規定には考慮すべき事項が規定されていない。考慮すべき事項とは何かについて、日本機械学会は次のように説明している³。

応力腐食割れを抑制するための規定は材料・設計・製作・運転の状況で異なることから一義的な防止の規定を設けていません。

SCC の発生は、三つの因子（材料、応力、環境）の重畳により発生するものであり、対応としては、三因子が重畳して SCC の発生する条件が形成されないようにすることとなります。

SCC に関しては、近年、国内外で SCC が発生しないと考えられていた PWR 環境下のオーステナイト系ステンレス鋼で発生事例があり、そのメカニズムは明らかにされていない。そのため、継続して SCC に係る最新知見を収集し、SCC 発生の抑制に対する材料選定において考慮すべき事項について検討することが望まれる。

また、過去の BWR 耐圧部において、炭素量の低減のみでは SCC を抑制できず、接液部表面の残留応力低減も併せて行われたことを踏まえると、少なくとも二因子以上の対応が必要になることから、「XX-2100 事象の概要」に記載されている「・三因子のうちの二因子以上を取り除けば SCC は発生しない。」は誤解を与えないように修正することを要望する。

(2) 適用に当たっての条件

なし

(3) 要望事項

- 過去の BWR 耐圧部において、炭素量の低減のみでは SCC を抑制できず、接液部表面の残留応力低減も併せて行われたことを踏まえると、少なくとも二因子以上の対応が必要になることから、「XX-2100 事象の概要」に記載されている「・三因子のうちの二因子以上を取り除けば SCC は発生しない。」は誤解を与えないように修正することを要望する。

4. 4. 1. 3 応力腐食割れ発生の抑制に対する考慮

本規格は応力腐食割れ発生の抑制に対する考慮について、「添付：応力腐食割れ発生の抑制に対する考慮」に規定している。

(1) 変更点以外の評価

(a) 改訂に当たって取り入れた最新知見

改訂に当たって収集した最新知見と取り入れた最新知見について、日本機械学会

³ 第 5 回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合資料 5-2, 6 ページ

は次のように説明している⁴。

変更点は、第1回設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合資料1-1-5のとおりです。

改訂にあたっては、様々な52合金の応力腐食割れ特性を収集し、得られた最新知見を基に赤字で囲む範囲を本事例規格に取り込んでいます。

最新知見の収集範囲が52合金⁵のSCC特性とのことだが、SCC事例規格全体について最新知見を収集することが望まれる。

(b) SCC事例規格の対象とする知見の収集方法

日本機械学会は、「対象規格の改定は以下の目的で継続的に実施」するものの一つとして「新知見の取り込み」を掲げている⁶。SCC事例規格の対象とする知見の収集方法について、日本機械学会は次のように説明している⁷。

定期的に国内外の規格・基準の動向 (ASME Sec. III, JIS 規格, 電気協会規格等)、国内外の研究動向 (ASME PVP Conference, ICONE 等)、国内外の規制動向 (NRA 新規規制基準審査会合、規格類協議会等)、国内外のプラント運転経験 (NUCIA, NRA 指示文書等) を調査し、SCC事例規格に対する改定要否を検討しています。

SCCに関する最新知見の入手に際しては、適切な国内外の規格・学協会（例えば、Fontevraud、International Conference on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power System、防食腐食学会等）を対象に含めることが望まれる。

(2) 適用に当たっての条件

なし

4. 4. 2 溶接材料 ERNiCrFe-7A

本規格は溶接材料 ERNiCrFe-7A について、「付録 1A：材料の略称名と具体的な材料名の対応（その1）「設計・建設規格」（JSME S NC1-2001）、（JSME S NC1-2005）、（JSME S NC1-2005 (2007 追補版を含む)）の場合」及び「付録 1B：材料の略称名と具体的な材料名の対応（その2）、「設計・建設規格」（JSME S NC1-2008）以降の規格から「材料規格」が準用される場合」に規定している。

(1) 変更の内容

- ① 52 合金に UNS Number の N06054 (AWS クラス ERNiCrFe-7A) 溶接材料を追加

⁴ 第5回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合資料5-2, 7ページ

⁵ UNS (Unified Numbering System: ASME 規格等において用いられている材料の標準番号体系) の Number で N06052 (AWS クラス ERNiCrFe-7) に区分される母材が 690 合金用の溶接材料 (溶加棒及びソリッドワイヤ)

⁶ 第1回設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合資料1-1-1 (2020年版の概要) 6頁において

⁷ 第6回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合参考資料6-1-6: I. (1)

表 4.4.2 溶接材料 ERNiCrFe-7A に関する変更点

SCC 事例規格 2022		SCC 事例規格 2006	
付録 1A：材料の略称名と具体的な材料名の対応（その 1） (3/3) 「設計・建設規格」（JSME S NC1-2001）、（JSME S NC1-2005）、（JSME S NC1-2005(2007 追補版を含む)）の場合		付録 1：材料の略称名と具体的な材料名の対応 (3/3)	
材料略称	説明と具体的な対応材料名	材料略称	説明と具体的な対応材料名
(略)		(略)	
52 合金	UNS Number で N06052 (AWS クラス ERNiCrFe-7) 及び N06054 (AWS クラス ERNiCrFe-7A) に区分される 690 合金用の溶接材料 (溶加棒及びソリッドワイヤ) である。	52 合金	UNS Number で N06052 (AWS クラス ERNiCrFe-7) に区分される 690 合金用の溶接材料 (溶加棒及びソリッドワイヤ) である。
付録 1B：材料の略称名と具体的な材料名の対応（その 2） (3/3) 「設計・建設規格」（JSME S NC1-2008）以降の規格から「材料規格」が準用される場合			
材料略称	説明と具体的な対応材料名		
(略)			
52 合金	UNS Number で N06052 (AWS クラス ERNiCrFe-7) 及び N06054 (AWS クラス ERNiCrFe-7A) に区分される 690 合金用の溶接材料 (溶加棒及びソリッドワイヤ) である。		

(2) 日本機械学会による変更の理由

- ① 現行の事例規格では、52 合金として、UNS Number N06052 (AWS クラス ERNiCrFe-7) のみを対象としているが、海外では N06054 (AWS クラス ERNiCrFe-7A) が実機で適用されており、耐 PWSCC 性も ERNiCrFe-7 と同等である結果が得られている。国内で使用可能となるように、付録 1B で 52 合金として取り込む⁸。

(3) 検討の結果

- ① 技術基準規則第 17 条第 1 号イにおいて、クラス 1 機器、クラス 1 支持構造物及び炉心支持構造物に使用する材料は、「その使用される圧力、温度、水質、放射線、荷重その他の使用条件に対して適切な機械的強度及び化学的成分（使用中の応力その他の使用条件に対する適切な耐食性を含む。）を有すること」とされている。また、技術基準規則第 17 条第 15 号ハにおいて、クラス 1 容器及びクラス 1 管のうち主要な耐圧部の溶接部（溶接金属部及び熱影響部をいう。）は、「適切な強度を有するもの

⁸第 1 回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合資料 1-1-5, 19 ページ

であること」とされ、技術基準規則解釈において、「適切な強度を有する」とは、母材と同等以上の機械的強度を有するものであることをいう」とされている。したがって、溶接部は、溶接規格第1章クラス1容器「N-1040 溶接部の強度等」等の規定を満足する必要がある。

ERNiCrFe-7A を用いた溶接部が、技術基準規則第17条の要求を満足する技術的根拠について、日本機械学会は次のように説明している⁹。

溶接部の強度は溶接施工法確認試験で確認していますが、ERNiCrFe-7A を用いて溶接施工法確認試験と同等の試験を実施して、規格を満足することを確認しています¹⁰。また、ERNiCrFe-7 と ERNiCrFe-7A を比較すると、成分に大きな差は無く、金属組織に有意な差は認められないため、他の特性にも差異はないと考えます。

日本機械学会は、SCC 発生試験の結果として FONTEVRAUD 9 の文献¹¹を引用し、ERNiCrFe-7 と ERNiCrFe-7A の PWSCC 発生特性は同等としている¹²。

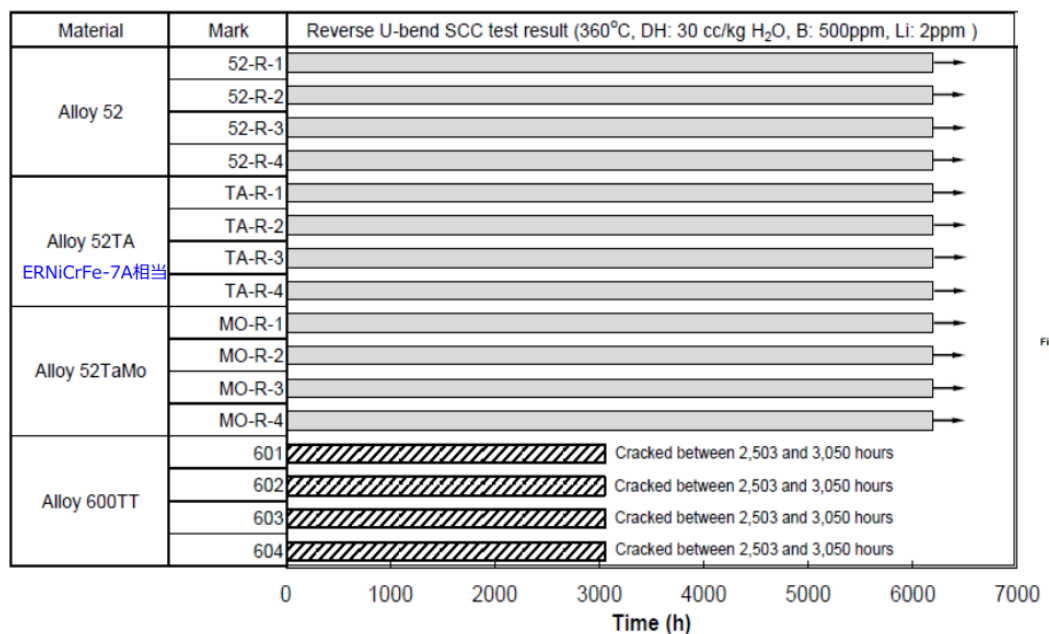


Figure 12: SCC initiation test results

文献は6,191時間（9ヶ月弱）の試験結果であるが、その後の長時間試験結果について、日本機械学会は次のように説明している¹³。

⁹ 第5回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合資料 5-2, 9 ページ

¹⁰ 保田ら；“改良 52 合金溶接材料の開発と適用”、日本機械学会関西支部第 98 期定期総会講演会 [No. 234-1] (2023)20306

¹¹ Takaharu Maeguchi et.al, Environmentally Assisted Cracking Susceptibility of Alloy 690 Weld Metals, FONTEVRAUD 9, 2018

¹² 第1回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合資料 1-1-5, 21 ページ

¹³ 第5回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合資料 5-2, 14 ページ

現時点では、FONTEVRAUD 9 で引用している文献に記載の 6191 時間以上のデータはございません。ただし、690 合金、152 合金、52 合金等の耐 PWSCC 性の高い材料は、PWSCC が発生しないため、SCC 進展試験により耐 PWSCC 性を評価することが一般的です。

なお、耐 SCC 性を向上するためには、Cr 量が影響することが一般的に知られており、従来使用している ERNiCrFe-7 と同量の Cr を含有する ERNiCrFe-7A は、ERNiCrFe-7 と同等の耐 SCC 性を有するものと考えられます。ERNiCrFe-7 の耐 PWSCC 性については、事例規格 解説図 XX-2212-5 に記載しているとおり、360℃ の温度加速した条件下で 8 万時間以上の定荷重 SCC 試験を実施し、PWSCC が発生していないことを確認しております。

日本機械学会は、SCC 進展特性に関して、国内知見によれば ERNiCrFe-7 系は定荷重試験により SCC 進展が確認できないとしている。他方、EPRI¹⁴の MRP-386¹⁵によれば有意な進展が示されている。国内と米国における試験条件及び材料の差異について、日本機械学会は次のように説明している。

(独)原子力安全基盤機構の平成 16 年度「高経年化対策関連技術調査等（ニッケル基合金応力腐食割れ（SCC）進展評価手法の調査研究）に関する報告書」（平成 17 年 7 月）によれば、当時の定荷重試験では、ERNiCrFe-7 系の明確な PWSCC 進展は確認されませんでした。当時の手法は、大気中で予亀裂導入後、アルカリ環境中で粒界またはデンドライト境界の予亀裂を導入し、その後、定期的除荷（周波数一定）を与えて定荷重試験を実施するというものでした。その後、EPRI が新たな SCC 進展試験の手法を確立し、2020 年にガイドラインが発行されました。この手法を適用することで ERNiCrFe-7 系の PWSCC 感受性が低い材料でも SCC 進展試験が可能となりました。

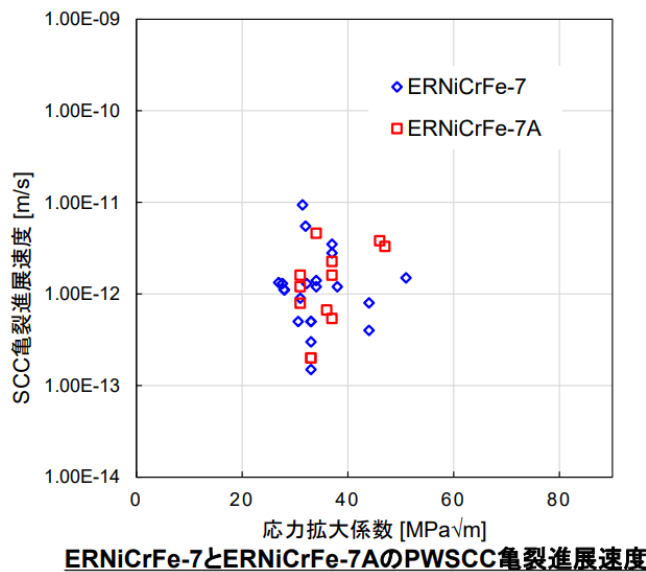
EPRI が開発した手法は、亀裂進展試験の初期に、PPU(Periodic Partial Unloading, 周期的な部分的除荷)と称する方法により、環境疲労の成分を交えながら亀裂先端を結晶粒界に導く処置を行っています。具体的には、周波数を徐々に下げ、かつ三角波から台形波として負荷保持時間を徐々に長くしながら、定荷重に移行させます。これにより、試験のための保守的な負荷条件を与えることで、平成 16 年当時の試験で PWSCC が進展しなかった ERNiCrFe-7 系でも SCC 進展試験が可能となりました。

日本機械学会は、SCC 進展試験結果として、EPRI の MRP-386 を引用し、ERNiCrFe-7 と ERNiCrFe-7A の SCC 進展特性は同等としている¹⁶。

¹⁴ Electric Power Research Institute

¹⁵ Materials Reliability Program: Recommended Factors of Improvement for Evaluating Primary Water Stress Corrosion Cracking (PWSCC) Growth Rates of Thick-Wall Alloy 690 Materials and Alloy 52, 152, and Variants Welds (MRP-386), 2017

¹⁶ 第 1 回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合資料 1-1-5, 22 ページ



- MRP-386において、52合金 (ERNiCrFe-7 相当) 及び 52M合金 (ERNiCrFe-7A相当)のSCC亀裂進展速度データが取得されている。
- 左図に示すとおり、両材料のSCC亀裂進展速度は同等である。

上図は、MRP-386 を元に日本機械学会において作成したものと思われるが、上図の詳細について、日本機械学会は次のように説明している¹⁷。

引用文献の EPRI MRP-386 には、690 系の母材と溶接金属を対象として、各国の研究機関等で測定された PWR1 次系模擬環境中での SCC 進展速度のデータが素材や試験条件の詳細と共にデータシートとなって掲載されています。

その試験方法は、全て予亀裂入り CT 型試験片を用いたもので、詳細な試験手順は EPRI が定めたガイドラインに沿ったものとなっています。このデータシートの中から ERNiCrFe-7 と ERNiCrFe-7A の亀裂進展速度データを抜き出し、横軸に応力拡大係数を取って表示したものが資料に掲載したグラフです。

データの引用元である EPRI MRP-386 にも同様のグラフが掲載されていますが、溶接金属は 52 系 (ERNiCrFe-7 と ERNiCrFe-7A) 及び 152 系を区別せずにプロットされていることから、機械学会にて 52 系のみを取り出した上、さらに ERNiCrFe-7 と ERNiCrFe-7A の区別も行なってプロットしたものです。

海外では N06054 (AWS クラス ERNiCrFe-7A) が実機に適用されている¹⁸とのことであるが、海外における ERNiCrFe-7A の実機適用実績について、日本機械学会は次のように説明している¹⁹。

海外での ERNiCrFe-7A の適用例としては以下のものがあります。

• Limeric-2 (BWR、2017)

改良 52 合金を用いた原子炉压力容器計装用ノズル部の補修

<https://www.nrc.gov/docs/ML1718/ML17187A261.pdf>

• Fitzpatrick (BWR、2017)

¹⁷ 第 5 回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合資料 5-2 : 1. (3) 16 頁

¹⁸ 第 1 回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合資料 1-1-5 : 10. 20 頁

¹⁹ 第 5 回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合資料 5-2 : 1. (3) 18 頁

残留熱除去系低圧冷却配管－原子炉冷却材再循環系配管継手の改良 52 合金を用いた肉盛補修

<https://www.nrc.gov/docs/ML1708/ML17081A553.pdf>

・Palisades (PWR、2014)

加圧器セーフエンド継手の改良 52 合金を用いた肉盛補修

<https://www.nrc.gov/docs/ML1408/ML14086A627.pdf>

・Vogtle-3 (PWR/AP-1000、2012)

原子炉圧力容器入口管台異材継手部に改良 52 合金を使用

<https://www.nrc.gov/docs/ML1315/ML13150A405.pdf>

ERNiCrFe-7A は ERNiCrFe-7 と比べて溶接スケールが少なく、施工時の手入れが容易であるとのことである²⁰。その具体的な技術的根拠について、日本機械学会は次のように説明している²¹。

肉盛溶接試験を実施し、ERNiCrFe-7A は ERNiCrFe-7 と比較して、溶接ビード表面の酸化スケール面積率が大きく低下できることを確認しています²²。

また、日本機械学会は、超音波透過性に関して ERNiCrFe-7A 系の超音波探傷試験の結果（溶接金属 7mm）を示している²³が、実機の補修溶接では 7mm を超える溶接金属が考えられる。より厚肉で複雑な形状の溶接金属部への超音波透過性について、日本機械学会は次のように説明している²⁴。

ERNiCrFe-7 および ERNiCrFe-7A を用いて製作した実機相当の厚板異材継手溶接試験体(図 1 参照)を用いて、垂直及び斜角探傷のエコーの感度差を比較した結果、表 1 に示すとおり、垂直/斜角ともに感度差はなく、超音波探傷性は同等であることを確認しています。

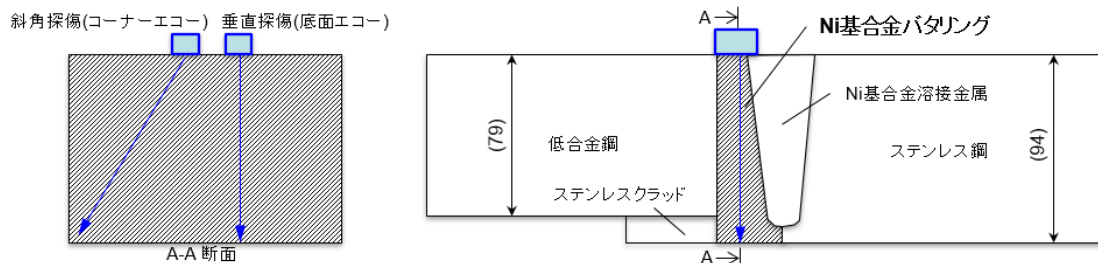


図 1 厚板継手溶接試験体

表 1 コーナーもしくは底面エコーの感度比較結果

²⁰ 第 1 回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合資料 1-1-5、20 ページ

²¹ 第 5 回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合資料 5-2、20 ページ

²² Nishijima et.al. "IMPROVEMENT OF ALLOY52 FILLER METAL FOR WELDABILITY", Proceedings of ICAPP 2017 April 24-28, 2017 - Fukui and Kyoto (Japan)

²³ 第 5 回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合資料 5-2 : 1. (3) 12 頁

²⁴ 第 6 回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合参考資料 6-1-6 : I (3)

	ERNiCrFe-7	ERNiCrFe-7A
縦波斜角30°(1C35×20LAD30)の コーナーエコー高さ【感度51.0dB】	80%	80%
垂直(V102(1C25N))の 底面エコー高さ【感度14.5dB】	82%	80%

使用装置:縦波斜角30°プローブ:1C35×20LAD30 (JDS 1617)

垂直プローブ:V102(1C25N) (534246)

超音波探傷器:ZIRCON

SCC 事例規格では、ERNiCrFe-7A が使用できる環境について限定していない。米国では、BWR の補修溶接に ERNiCrFe-7A が使われている。ERNiCrFe-7A の BWR 環境における耐 SCC 性に関するエビデンスについて、日本機械学会は次のように説明している²⁵。

ご指摘の通り米国では 52 系材料が BWR の補修溶接に使われており、公開文献(文献 1, 文献 2)にて、52 系材料は BWR 環境でも良好な耐 SCC 性を示しています。(52M が ERNiCrFe-7A に相当)

事例規格では 52 系合金は PWR プラント (XX-2212. 2)にて言及していますが、今後 BWR プラント (XX-2212. 1)への記載を検討します。

文献 1. 榊原洋平, 中村元, 平野隆: BWR 模擬環境における Ni 基合金の SCC 感受性に及ぼす強加工の影響, 材料と環境 2012 講演集, pp. 97-98, 2012.

文献 2. 林貴広, 片山義紀, 河野渉, 土屋由美子, 高橋英則: 高耐食性 Ni 基合金溶接金属の原子力構造物への適用性評価, 材料と環境 2020 講演集, pp. 135-138, 2020.

日本機械学会が示した ERNiCrFe-7A を BWR 環境下で使用可とする技術的根拠は、試験時間が 2,000 時間と短く、妥当性を確認するには十分とは言えない。また、事業者は、BWR 環境下での ERNiCrFe-7A の適用の可能性を検討するとしており²⁶、その結果を踏まえて適用の可否を判断する必要がある。以上より、UNS Number の N06054 (AWS クラス ERNiCrFe-7A) 溶接材料を BWR 環境に適用することは、妥当とは判断できない。

したがって、ERNiCrFe-7A は PWR に限ることとし、以下に規定される「UNS Number で N06052 (AWS クラス ERNiCrFe-7) 及び N06054 (AWS クラス ERNiCrFe-7A) に区分される 690 合金用の溶接材料 (溶加棒及びソリッドワイヤ) である。」は「UNS Number で N06052 (AWS クラス ERNiCrFe-7) 及び N06054 (AWS クラス ERNiCrFe-7A (PWR 環境に限る。)) に区分される 690 合金用の溶接材料 (溶加棒及びソリッドワイヤ) である。」に読み替える。

- ・ 「付録 1A: 材料の略称名と具体的な材料名の対応 (その 1) (3/3)」の「設計・建設規格」(JSME S NC1-2001)、(JSME S NC1-2005)、(JSME S NC1-2005 (2007

²⁵ 第 6 回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合参考資料 6-1-6: I (2)-2

²⁶ 第 1 回安全研究及び研究開発に関する原子力事業者との技術的な意見交換全体会合資料 2, スライド No. 6

追補版を含む)) の場合」

- ・ 「付録 1B：材料の略称名と具体的な材料名の対応（その 2）（3/3）」の「設計・建設規格」（JSME S NC1-2008）以降の規格から「材料規格」が準用される場合」の「材料略称」が「52 合金」の「説明と具体的な対応材料名」

（４）適用に当たっての条件

①

読み替える規定	読み替えられる字句		読み替える字句	
付録 1A：材料の略称名と具体的な材料名の対応（その 1）（3/3）	「設計・建設規格」（JSME S NC1-2001）、（JSME S NC1-2005）、（JSME S NC1-2005（2007 追補版を含む））の場合		「設計・建設規格」（JSME S NC1-2001）、（JSME S NC1-2005）、（JSME S NC1-2005（2007 追補版を含む））の場合	
	材料略称	説明と具体的な対応材料名	材料略称	説明と具体的な対応材料名
	52 合金	UNS Number で N06052（AWS クラス ERNiCrFe-7）及び N06054（AWS クラス <u>ERNiCrFe-7A</u> ）に区分される 690 合金用の溶接材料（溶加棒及びソリッドワイヤ）である。	52 合金	UNS Number で N06052（AWS クラス ERNiCrFe-7）及び N06054（AWS クラス <u>ERNiCrFe-7A</u> （PWR 環境に限る。））に区分される 690 合金用の溶接材料（溶加棒及びソリッドワイヤ）である。
付録 1B：材料の略称名と具体的な材料名の対応（その 2）（3/3）	「設計・建設規格」（JSME S NC1-2008）以降の規格から「材料規格」が準用される場合		「設計・建設規格」（JSME S NC1-2008）以降の規格から「材料規格」が準用される場合	
	材料略称	説明と具体的な対応材料名	材料略称	説明と具体的な対応材料名
	52 合金	UNS Number で N06052（AWS クラス ERNiCrFe-7）及び N06054（AWS クラス <u>ERNiCrFe-7A</u> ）に区分される 690 合金用の溶接材料（溶加棒及びソリッドワイヤ）である。	52 合金	UNS Number で N06052（AWS クラス ERNiCrFe-7）及び N06054（AWS クラス <u>ERNiCrFe-7A</u> （PWR 環境に限る。））に区分される 690 合金用の溶接材料（溶加棒及びソリッドワイヤ）である。

4. 4. 3 SCC 事象の概要の見直し

本規格は SCC 事象の概要について、「XX-2100 事象の概要」に規定している。

（１）変更の内容

- ① SCC 発生には三因子の影響度が特定できず複雑、としていたものを、割れ破面の形態は複雑、に変更
- ② SCC の発生を排除、としていたものを、SCC の発生を抑制する、に変更

表 4. 4. 3 SCC 事象の概要の見直しに関する規定内容に関する変更点

SCC 事例規格 2022	SCC 事例規格 2006
XX-2100 事象の概要 (略) SCC は、割れ破面の形態により、割れが結晶粒界に沿って優先的に進展する粒界型応力腐食割れ (IGSCC: Intergranular Stress Corrosion Cracking) と結晶粒内を進展する粒内型応力腐食割れ (TGSCC: Transgranular Stress Corrosion Cracking) に分類される (文献 1) しながら、<u>現実には両者の破面形態が混在するなど、割れ破面の形態は複雑なものとなることも多い。</u> 本添付では、SCC に関して、試験研究やプラントの運転経験などから、<u>SCC の発生を抑制するために考慮すべき事項を示している。</u>	XX-2100 事象の概要 (略) SCC は、割れ破面の形態により、割れが結晶粒界に沿って優先的に進展する粒界型応力腐食割れ (IGSCC: Intergranular Stress Corrosion Cracking) と結晶粒内を進展する粒内型応力腐食割れ (TGSCC: Transgranular Stress Corrosion Cracking) に分類される (文献 1) しながら、<u>SCC の発生には、発生までの時間の要素が加わるため、三因子のそれぞれの影響度を明確に特定できない場合が多く、さらに複雑なものとなっている。</u> 本添付では、SCC に関して、試験研究やプラントの運転経験などから、<u>SCC の発生条件を排除していくために考慮すべき事項を示している。</u>

(2) 日本機械学会による変更の理由

- ①、② 用語や表現を適切に見直した²⁷。

(3) 検討の結果

- ① 「SCC の発生には、発生までの時間の要素が加わるため、三因子のそれぞれの影響度を明確に特定できない場合が多く、さらに複雑なものとなっている。」が「現実には両者の破面形態が混在するなど、割れ破面の形態は複雑なものとなることも多い。」に変更されている。この直前には、粒界型応力腐食割れと粒内型応力腐食割れに分類されることが記載されているため、変更後の記載は粒界型応力腐食割れと粒内型応力腐食割れが混在していると読める。応力腐食割れ破面と疲労割れの進展破面の混在については理解することができるが、加工硬化層を除いて粒界型応力腐食割れと粒内型応力腐食割れの破面形態が混在して割れ破面の形態は複雑なものとなることも多いとする事例の知見について、日本機械学会は次のように説明している²⁸。

BWR のシュラウドで確認()された表面加工硬化層での粒界型応力腐食割れと粒内型応力腐食割れが混在した知見を踏まえ、記載を見直しています。*

()高守他, 高温純水中における低炭素ステンレス鋼の SCC 発生感受性に及ぼす表面加工の影響評価, 圧力技術, 第 44 巻第 3 号*

変更は記載の適正化であり、妥当と判断する。

- ② SCC の発生は排除できるものではなく、その発生を抑制するとしたものであり、変更は妥当と判断する。

(4) 適用に当たっての条件

²⁷ 第 58 回原子力規格委員会資料 58-18-3 DC05-066

²⁸ 第 6 回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合参考資料 6-1-6: II 1. (1)

なし

4. 4. 4 SCC 発生抑制

4. 4. 4. 1 SCC 発生抑制への対応

本規格は SCC 発生抑制への対応について、「XX-2200 SCC 発生抑制への対応」に規定している。

(1) 変更の内容

- ① 炉水環境で接液部に準じた取り扱いが必要と考えられる気相部は接液部として扱うことを追加
- ② ステンレス鋼において、高照射部位で、中性子照射の影響によると推定される SCC を、本添付では扱わない旨の規定を削除

表 4. 4. 4. 1 SCC 発生抑制への対応に関する変更点

SCC 事例規格 2022	SCC 事例規格 2006
XX-2200 SCC 発生抑制への対応 (略) また、環境は接液部固有のものと接液部と接液部以外とも共通で注意すべきことに分けて記載している。ここで、炉水環境で、接液部に準じた取り扱いが必要と考えられる気相部は接液部として取り扱う。接液部以外で、製作中に使用した副資材(梱包材、養生材等)による SCC を経験していることから、材料の外面からの SCC 発生抑制に対する考慮についても言及している。	XX-2200 SCC 発生抑制への対応 (略) また、環境の問題では、製作中に使用した副資材(梱包材、養生材等)による SCC を経験していることから、材料の外面からの SCC 発生抑制に対する考慮についても言及している。 <u>ステンレス鋼において、高照射部位で、中性子照射の影響によると推定される SCC を経験している。現時点では、中性子照射による SCC 発生抑制に関する知見が少ないことから、本添付では扱わないが、中性子の照射にも注意を払うことが必要である。</u>

(2) 日本機械学会による変更の理由

- ① 炉水環境の気相部は接液部に準じた取り扱いをする旨を明確にした。「接液部以外」としていた適用範囲の規定を「接液部と接液部以外との共通」の規定とした²⁹。
- ② 用語や表現を適切に見直した³⁰。

(3) 検討の結果

- ① 接液部に準じた取り扱いが必要と考えられる気相部の取り扱いは接液部とするこ

²⁹ 第 58 回原子力規格委員会資料 58-18-3 DC05-066

³⁰ 第 58 回原子力規格委員会資料 58-18-3 DC05-066

とを明確にしたものであり、変更は妥当と判断する。

- ② 「「XX-1000 はじめに」において中性子照射による SCC に関しては取り扱わないことを明記したことから削除ステンレス鋼において、高照射部位で中性子照射の影響によると推定される SCC も本添付で扱うことを明確にしたものであり、変更は妥当と判断する。

(4) 適用に当たっての条件
なし

4. 4. 4. 2 SCC 発生抑制のための材料（オーステナイト系ステンレス鋼）

本規格は BWR プラントにおける SCC 発生を抑制する材料としてのオーステナイト系ステンレス鋼について、「XX-2211.1 BWR プラント」に規定している。

(1) 変更の内容

- ① 「原子力用 304、原子力用 316、原子力用 347、304L 及び 316L のような低炭素オーステナイト系ステンレス鋼（炭素量が 0.020wt% 以下である、原子力用 304、原子力用 316、原子力用 347 及び炭素量 0.020wt% 以下に制限した 304L 及び 316L）」に変更

表 4. 4. 4. 2 SCC 発生抑制のための材料（オーステナイト系ステンレス鋼）に関する変更点

SCC 事例規格 2022	SCC 事例規格 2006
XX-2211.1 BWR プラント (1) <u>低炭素オーステナイト系ステンレス鋼（炭素量が 0.020wt% 以下である、原子力用 304、原子力用 316、原子力用 347 及び炭素量 0.020wt% 以下に制限した 304L 及び 316L）</u> 、SCS19A 及び SCS16A のようなステンレス鋼、並びに GXM などのような耐熱ステンレス鋼は、BWR 炉水環境下における耐 IGSCC 性が高いと報告されている（文献 3、4、5、6、7、8）。IGSCC 発生の可能性が高い環境（100℃以上）では、上記のような耐 IGSCC 性の高い材料の選定が望ましい（文献 9）。	XX -2211.1 BWR プラント (1) <u>原子力用 304、原子力用 316、原子力用 347、304L および 316L のような低炭素オーステナイト系ステンレス鋼（C ≤ 0.020wt%）</u> 、SCS19A および SCS16A のようなステンレス鋼、並びに GXM などのような耐熱ステンレス鋼は、BWR 炉水環境下における耐 IGSCC 性が高いと報告されている（文献 3、4、5、6、7、8）。IGSCC 発生の可能性が高い環境（100℃以上）では、上記のような耐 IGSCC 性の高い材料の選定が望ましい（文献 9）。

(2) 日本機械学会による変更の理由

- ①低炭素オーステナイトステンレス鋼の記述を明確にした³¹。

(3) 検討の結果

- ①原子力用の材料と一般材料に分けた記載としたもので、内容は同じであることから、変更は妥当と判断する。

³¹ 第 58 回原子力規格委員会資料 58-18-3 DC05-066

材料規格と規格名称を統一し、「原子力用 304」、「原子力用 316」及び「原子力用 347」を適切な材料名称に修正することを要望する。

(4) 変更点以外の評価

(a) オーステナイト系ステンレス鋼の溶接材料は耐 SCC の観点からデルタフェライト量の下限を規定しているが、母材と同様な化学成分の制限をしない根拠

「XX-2211.1 BWR プラント」(3)において、オーステナイト系ステンレス鋼の溶接材料は耐 SCC の観点からデルタフェライト量の下限を規定している。母材と同様な化学成分の制限をしない根拠について、日本機械学会は次のように説明している³²。

SCC 対策としては δ フェライト量が影響するので最小値を記載しています。

解説図 XX-2211-5 に示すように、 δ フェライト量が 5%以下³³であれば耐 SCC 性は十分と考えられることから、母材と同様の $C \leq 0.020$ 制限までは推奨していません。

デルタフェライト量を含む、より適切な化学成分の制限について、検討を続けることが望まれる。

(5) 適用に当たっての条件

なし

(6) 要望事項

- 材料規格と規格名称を統一し、「原子力用 304」、「原子力用 316」及び「原子力用 347」を適切な材料名称に修正することを要望する。

4. 4. 4. 3 SCC 抑制のための材料の略称名と具体的な材料名

本規格は SCC 抑制のための材料の略称名と具体的な材料名について、「付録 1A：材料の略称名と具体的な材料名の対応（その 1）」に規定している。

(1) 変更の内容

- ① 「原子力用 304」及び「原子力用 316」の母材化学成分の制限を $C \leq 0.020\%$ から $C \leq 0.020\%$ 、 $N \leq 0.12\%$ 、 $C+N \leq 0.13\%$ に変更

表 4. 4. 4. 3 SCC 抑制のための材料の略称名と具体的な材料名に関する変更点

SCC 事例規格 2022		SCC 事例規格 2006	
付録 1A：材料の略称名と具体的な材料名の対応（その 1） (1/3)		付録 1：材料の略称名と具体的な材料名の対応 (1/3)	
材料略称	説明と具体的な対応材料名	材料略称	説明と具体的な対応材料名
原子力用 304	$C \leq 0.020\%$ 、 $N \leq 0.12\%$ 、 $C + N \leq 0.13\%$ にした SUS304。強度は	原子力用 304	C 量を 0.020% 以下にした SUS304。強度は SUS304 と同じ

³² 第 6 回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合参考資料 6-1-6：II 1. (2)

³³ 「5%以上」の誤り

	SUS304 と同じ (略)		(略)
原子力用 316	$C \leq 0.020\%$ 、 $N \leq 0.12\%$ 、 $C + N \leq 0.13\%$ にした SUS316。強度は SUS316 と同じ (略)	原子力用 316	C 量を 0.020% 以下にした SUS316。強度は SUS316 と同じ (略)
(略)		(略)	

(2) 日本機械学会による変更の理由

- ① 材料規格側の記載を反映した。

(3) 検討の結果

- ① 材料名称の欄に掲げる「原子力用 304」及び「原子力用 316」の化学成分が $C \leq 0.020\%$ から $C \leq 0.020\%$ 、 $N \leq 0.12\%$ 、 $C + N \leq 0.13\%$ に変更されている理由について、日本機械学会は次のように説明している³⁴。

材料規格側の記載を反映し、見直しています。

材料規格には「原子力用 304」及び「原子力用 316」という名称の材料はなく、JSME-N15 原子力発電用規格「压力容器用耐食ステンレス鋼鍛鋼品」、JSME-N16 原子力発電用規格「配管用耐食ステンレス鋼管」、JSME-N17 原子力発電用規格「ボイラ・熱交換器用耐食ステンレス鋼鋼管」、JSME-N18 原子力発電用規格「耐食ステンレス鋼棒」及び JSME-N19 原子力発電用規格「熱間圧延耐食ステンレス鋼板」のことと思われる。これらの規格は、「Part2 第3章 原子力発電用規格材料仕様」において、化学成分が $C \leq 0.020\%$ 、 $N \leq 0.12\%$ 、 $C + N \leq 0.13\%$ と規定されている。これらを反映したものであり、変更は妥当と判断する。

また、材料規格と規格名称を統一し、「原子力用 304」、「原子力用 316」及び「原子力用 347」を適切な材料名称に修正することを要望する。

(4) 適用に当たっての条件

なし

(5) 要望事項

- 材料規格と規格名称を統一し、「原子力用 304」、「原子力用 316」及び「原子力用 347」を適切な材料名称に修正することを要望する。

4. 4. 4. 4 高ニッケル合金の BWR プラントにおける SCC 感受性

本規格は高ニッケル合金の BWR プラントにおける SCC 感受性について、「XX-2212.1 BWR プラント(3)」に規定している。

(1) 変更の内容

³⁴ 第6回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合参考資料 6-1-6：II 1.(7)

- ① 高ニッケル合金 X-750 の SCC 感受性に対する環境条件を酸化性環境から BWR 炉水環境に変更

表 4.4.4.4 高ニッケル合金の BWR プラントにおける SCC 感受性に関する変更点

SCC 事例規格 2022	SCC 事例規格 2006
XX-2212 高ニッケル合金 XX-2212.1 BWR プラント (3) 高ニッケル合金 X-750 は、BWR 炉水環境中では、SCC 発生の可能性はあるが、固有の熱処理と応力の管理とを組み合わせることが有効な対策となることが知られている（文献 28）。 XX-2212.2 PWR プラント (4) 高ニッケル合金の X-750 合金は、高い応力で使用される場合には、SCC 発生の可能性はあるが、SCC 発生の可能性を低下させるための固有の熱処理と応力の管理とを組み合わせることが有効な対策となることが知られている（文献 29、30）。	XX-2212 高ニッケル合金 (3) 「ボルト材料等として使用される高ニッケル合金 X-750 は、BWR 冷却材のような酸化性の環境中では、SCC 発生の可能性はあるが、固有の熱処理と応力の管理とを組み合わせることが有効な対策となることが知られている（文献 22）。 <u>PWR においても、高ニッケル合金の X-750 合金は、高い応力で使用される場合には、SCC 発生の可能性はあるが、SCC 発生の可能性を低下させるための固有の熱処理と応力の管理とを組み合わせることが有効な対策となることが知られている（文献 23、24）</u>

- (2) 日本機械学会による変更の理由

- ① 用語や表現を適切に見直した³⁵。

- (3) 検討の結果

- ① 高ニッケル合金 X-750 の SCC 感受性に対する環境条件を酸化性環境から BWR 炉水環境に変更した理由について、日本機械学会は次のように説明している³⁶。

PWR 炉水環境は還元性環境のため、対象が BWR であることを明確にする目的で” BWR 炉水環境” と記載を見直しています。

変更は記載の明確化であり、妥当と判断する。

- (4) 適用に当たっての条件

なし

4.4.4.5 SCC 発生抑制のための材料（炭素鋼及び低合金鋼）

本規格は SCC 発生抑制のための材料（炭素鋼及び低合金鋼）について、「XX-2213 炭素鋼及び低合金鋼」に規定している。

- (1) 変更の内容

- ① 「極めて高い応力と高濃度の溶存酸素が存在する場合には、SCC が発生することが

³⁵ 第 58 回原子力規格委員会資料 58-18-3 DC05-066

³⁶ 第 6 回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合参考資料 6-1-6：II 1. (3)

知られている」との記載を削除

- ② ステンレス鋼に代えて炭素鋼を用いる場合は靱性の高い炭素鋼を用いることが重要、との規定を削除

表 4.4.4.5 SCC 発生抑制のための材料（炭素鋼及び低合金鋼）に関する変更点

SCC 事例規格 2022	SCC 事例規格 2006
XX-2213 炭素鋼及び低合金鋼 炭素鋼および低合金鋼は、高温高压水環境中において <u>も</u> 、過大な荷重がかからない限り、実際には割れは生じにくい(文献 5)。 ただし、 <u>設計、製作においては、隙間が存在するような特殊な構造を避け、かつ、材料が著しく硬化するような製作方法を避けることが望ましい。</u>	XX-2213 炭素鋼及び低合金鋼 炭素鋼および低合金鋼は、高温高压環境中において <u>は</u> 、過大な荷重がかからない限り、実際には割れは生じにくい(文献 5)。ただし、 <u>実験室的に実施した極めて高い応力と高濃度の溶存酸素が存在する場合には、SCC が発生することが知られていることから(文献 25)、隙間が存在するような特殊な構造を避け、かつ、材料が著しく硬化するような製作方法を避けることが望ましい。</u> <u>なお、SCC 対応として、ステンレス鋼に代えて炭素鋼を用いる場合には、靱性の高い炭素鋼を用いることが重要である。</u>

(2) 日本機械学会による変更の理由

- ①、② 用語や表現を適切に見直した³⁷。

(3) 検討の結果

- ① ステンレス鋼に代えて炭素鋼を用いる場合は靱性の高い炭素鋼を用いることが重要との規定を削除した根拠について、日本機械学会は次のように説明している³⁸。

靱性の高い材料を用いることと耐 SCC 性には直接の関係はないため記載を削除しました。

ただし書に「設計、製作においては、隙間が存在するような特殊な構造を避け」が突然出てくるが、特殊な構造を避ける理由が明確でなく、前文と関係がないにもかかわらず「ただし」としている。2006 年版は「実験室的に実施した極めて高い応力と高濃度の溶存酸素が存在する場合には、SCC が発生することが知られていることから」との記載となっており、理由が記載されていたため「ただし」が生きていた。2022 年版の「ただし、」は記載されていない方が明確であることから、「ただし、」は削る。

「隙間が存在するような特殊な構造を避け」については、その根拠を明示するよう要望する。また、2006 年版にあったなお書きの削除は、靱性と耐 SCC に直接関係はない記載を削除したものであり、変更は妥当と判断する。

(4) 適用に当たっての条件

³⁷ 第 58 回原子力規格委員会資料 58-18-3 DC05-066

³⁸ 第 6 回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合参考資料 6-1-6：II 1. (4)

①

読み替える規定	読み替えられる字句	読み替える字句
XX-2213 炭素鋼 及び低合金鋼	ただし、設計、製作においては、 隙間が存在するような特殊な構造 を避け、かつ、材料が著しく硬化 するような製作方法を避けること が望ましい。	設計、製作においては、隙間が存 在するような特殊な構造を避け、 かつ、材料が著しく硬化するよう な製作方法を避けることが望まし い。

(4) 要望事項

- XX-2213 炭素鋼及び低合金鋼の「隙間が存在するような特殊な構造を避け」につい
ては、その根拠を明示するよう要望する。

4. 4. 4. 6 応力低減のための構造設計、溶接部の設計等に対する配慮

本規格は応力低減のための構造設計、溶接部の設計等に対する配慮について、「XX-2221
構造設計、溶接、加工等に対する配慮(1)」に規定している。

(1) 変更の内容

- ① 溶接部分の少ない設計とすることも有効とする規定を追加

表 4. 4. 4. 6 応力低減のための構造設計、溶接部の設計等に対する配慮に関する変更点

SCC 事例規格 2022	SCC 事例規格 2006
XX-2221 構造設計、溶接、加工等に対する配慮 (1) 構造設計、溶接部の設計においては、運転中 の応力が高くなるような設計を避け、切欠き、 形状不連続部等の応力集中を生じさせる構造 <u>も避けることが望ましい。また、残留応力の低 減の観点から、溶接部分の少ない設計とす</u> <u>ことも有効な方法である。</u>	XX-2221 構造設計、溶接、加工等に対する配慮 (1) 構造設計、溶接部の設計においては、運転中 の応力が高くなるような設計を避け、切欠き、 形状不連続部等の応力集中を生じさせる構造 <u>は避けることが望ましい。</u>

(2) 日本機械学会による変更の理由

- ① 用語や表現を適切に見直した³⁹。

(3) 検討の結果

- ① SCC は溶接部近傍で発生するため、溶接部分を少なくすることは実効性のある対策
であることから、変更は妥当と判断する。

(4) 適用に当たっての条件

なし

³⁹ 第 58 回原子力規格委員会資料 58-18-3 DC05-066

4. 4. 4. 7 応力低減のための加工等に対する配慮

本規格は応力低減のための加工等に対する配慮について、「XX-2221 構造設計、溶接、加工等に対する配慮(3)」に規定している。

(1) 変更の内容

- ① 特殊な研磨材を用いて極表面の残留応力を圧縮に変える方法の規定を削除

表 4. 4. 4. 7 応力低減のための加工等に対する配慮に関する変更点

SCC 事例規格 2022	SCC 事例規格 2006
XX-2221 構造設計、溶接、加工等に対する配慮(3) 表面の強加工を避けること、または、強加工を行った場合には、高い残留応力が生じている表面領域を研磨等により取り除く、または、XX-2222 に従い残留応力を低減することが望ましい。	XX-2221 構造設計、溶接、加工等に対する配慮(3) 表面の強加工を避けること、または、強加工を行った場合には、高い残留応力が生じている表面領域を研磨等により取り除く、 <u>あるいは、XX-2222 に従い残留応力を低減することが望ましい。</u> また、この場合、特殊な研磨材を用いて、 <u>極表面の残留応力を圧縮に変える方法が知られている。</u>

(2) 日本機械学会による変更の理由

- ① 用語や表現を適切に見直した⁴⁰。

(3) 検討の結果

- ① 特殊な研磨材を用いて極表面の残留応力を圧縮に変える方法の規定を削除した理由について、日本機械学会は次のように説明している⁴¹。

XX-2221 (3) の解説及び XX-2222 に記載を移動しました。

解説には、「表面を研磨すること及び残留応力を低減する方法がある。残留応力を低減する方法としては XX-2222 に示す表面を研磨する方法及びピーニングによる方法がある。」とあり、「XX-2222 材料表面の応力改善方法」に「特殊な研磨材を用いる方法」が規定されていることから、変更は妥当と判断する。

(4) 適用に当たっての条件

なし

4. 4. 4. 8 材料表面の応力改善方法

本規格は材料表面の応力改善方法について、「XX-2222 材料表面の応力改善方法」に規定している。

(1) 変更の内容

⁴⁰ 第 58 回原子力規格委員会資料 58-18-3 DC05-066

⁴¹ 第 6 回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合参考資料 6-1-6：II 1. (5)

- ① 材料表面の応力改善方法として、特殊な研磨材を用いる方法、超音波ショットピーニング及びレーザー外面照射応力改善法を追加

表 4.4.4.8 材料表面の応力改善方法に関する変更点

SCC 事例規格 2022	SCC 事例規格 2006
XX-2222 材料表面の応力改善方法 材料表面の応力改善方法としては、以下のよう に、<u>表面を研磨する方法、外部からのエネルギーで材料表面の残留応力を改善する工法及び温度差を利用して管内面の残留応力を改善する工法</u>が知られている。 (1) <u>表面を研磨する方法</u> <u>表面を研磨することにより、表面の残留応力を圧縮に変える方法であり、以下のような例がある。</u> ・特殊な研磨材を用いる方法（文献 41） (2) <u>外部からのエネルギーで材料表面の応力を改善する工法（ピーニング）</u> (略) ・ショットピーニング（維持規格 JSME S NA1 NA1-2008 RB -24502450） ・ウォータージェットピーニング（維持規格 JSME S N NA1 -2008 RB -2450450） ・レーザーピーニング（文献 41、42） ・超音波ショットピーニング（文献 43） (3) <u>管内面の応力を改善する工法</u> (略) ・水冷グループ溶接方法（維持規格 JSME S NA1-2008 RB-2410） ・水冷溶接方法（維持規格 JSME S NA1-2008 RB-2420） ・外面バタリング溶接方法（維持規格 JSME S NA1-2008 RB-2430） ・高周波誘導加熱方法（維持規格 JSME S NA1-2008 RB-2440） ・<u>レーザー外面照射応力改善法（維持規格 JSME S NA1-2008 RB-2460、文献 44）</u>	XX-2222 材料表面の応力改善方法 材料表面の応力改善方法としては、以下のよう に、外部からのエネルギーで材料表面の残留 応力を改善する工法と、温度差を利用して管内 面の残留応力を改善する工法が知られている。 (1) <u>外部からのエネルギーで材料表面の応力を改善する工法（ピーニング）</u> (略) ・ショットピーニング（維持規格 JSME S NA1 NA1-2008 RB -24502450） ・ウォータージェットピーニング（維持規格 JSME S N NA1 -2008 RB -2450450） ・レーザーピーニング（文献 41、42） (2) <u>管内面の応力を改善する工法</u> (略) ・水冷グループ溶接方法（維持規格 JSME S NA1-2008 RB-2410） ・水冷溶接方法（維持規格 JSME S NA1-2008 RB-2420） ・外面バタリング溶接方法（維持規格 JSME S NA1-2008 RB-2430） ・高周波誘導加熱方法（維持規格 JSME S NA1-2008 RB-2440）

(2) 日本機械学会による変更の理由

- ① 応力改善が図れる手法として超音波ショットピーニングとレーザー外面照射応力改善法を追加した。

(3) 検討の結果

- ① 材料表面の応力改善方法として、特殊な研磨材を用いる方法、超音波ショットピーニング法及びレーザー外面照射応力改善法が追加されている。その根拠について日本

機械学会は次のように説明している⁴²。

特殊な研磨材を用いる方法については（文献 41）、超音波ショットピーニングは（文献 43 及び参考文献(*)）、レーザ外面照射応力改善法については、（維持規格 JSME S NA1-2008 RB-2460、文献 44）が根拠となります。

・文献 41： 田中他，“BWR 型炉心シュラウドの補修および予防保全工法”，保全学，Vol. 3 No3，（2004）。

・文献 43： 沖村浩司，“加圧水型原子炉発電プラントに対する予防保全・補修技術”，保全学，Vol. 7，No. 4（2009）pp. 27-31.

・文献 44： 太田他，“レーザ外面照射応力改善法の開発”，溶接学会誌，第 75 巻 第 8 号，（2006）。

なお、文献 43 の著者名に誤記があり、追って正誤表を発行します。

(*) 亀山他，超音波ショットピーニングの BWR 炉内構造物への適用に向けた取組，第 7 回学術講演会，日本保全学会，2010.

特殊な研磨材を用いる方法については、「XX-2221 構造設計、溶接、加工等に対する配慮」（3）に規定していたものである。超音波ショットピーニング法は、複数の原子力発電所で実績があり、効果が知られている方法である。しかし、レーザ外面照射応力改善法については、文献 42 において効果が確認されたとあり、実際に原子力発電所の機器に使用されているが、経時後の施工部位の健全性は確認されていない。レーザ外面照射応力改善法は効果や問題点が不明であり、現時点では技術的妥当性が判断できないため、追加が妥当とは判断できない。

したがって、「（3）管内面の応力を改善する工法」からレーザ外面照射応力改善法は削る。

（4）適用に当たっての条件

①

読み替える規定	読み替えられる字句	読み替える字句
XX-2222 材料表面の応力改善方法	（3）管内面の応力を改善する工法 （略） ・水冷グルーブ溶接方法（維持規格 JSME S NA1-2008 RB-2410） ・水冷溶接方法（維持規格 JSME S NA1-2008 RB-2420） ・外面バタリング溶接方法（維持規格 JSME S NA1-2008 RB-2430） ・高周波誘導加熱方法（維持規格 JSME S NA1-2008 RB-	（3）管内面の応力を改善する工法 （略） ・水冷グルーブ溶接方法（維持規格 JSME S NA1-2008 RB-2410） ・水冷溶接方法（維持規格 JSME S NA1-2008 RB-2420） ・外面バタリング溶接方法（維持規格 JSME S NA1-2008 RB-2430） ・高周波誘導加熱方法（維持規格 JSME S NA1-2008 RB-

⁴² 第 6 回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合参考資料 6-1-6：Ⅱ 1. (6)

	2440) ・レーザ外面照射応力改善 法（維持規格 JSME SNA1- 2008RB-2460、文献 44）	2440)
--	--	-------

4. 4. 5 材料の略称名と具体的な材料名の対応

本規格は材料の略称名と具体的な材料名について、「付録 1A：材料の略称名と具体的な材料名の対応（その 1）」、「付録 1B：材料の略称名と具体的な材料名の対応（その 2）」に規定している。

（1）変更の内容

- ① 「付録 1：材料の略称名と具体的な材料名の対応」を「付録 1A：材料の略称名と具体的な材料名の対応（その 1）」の「設計・建設規格」（JSME S NC1-2001）、（JSME S NC1-2005）、（JSME S NC1-2005(2007 追補版を含む)）の場合」と「付録 1B：材料の略称名と具体的な材料名の対応（その 2）」の「設計・建設規格」（JSME S NC1-2008）以降の規格から「材料規格」が準用される場合」に分割
- ② 「付録 1：材料の略称名と具体的な材料名の対応」の「原子力用 304」及び「原子力用 316」の材料名を「付録 1B：材料の略称名と具体的な材料名の対応（その 2）」において JIS から対応する原子力発電用規格に変更
- ③ 「付録 1：材料の略称名と具体的な材料名の対応」に規定していた JIS G 4305「冷間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯」の SUS304 及び SUS316 並びに JIS G 3468「配管用溶接大径ステンレス鋼管」の SUS304TP 及び SUS316TPY を「付録 1B：材料の略称名と具体的な材料名の対応（その 2）」から削除

表 4. 4. 5. a 付録 1A 及び付録 1B の規定内容に関する変更点

SCC 事例規格 2022		SCC 事例規格 2006	
付録 1B：材料の略称名と具体的な材料名の対応（その 2） 「設計・建設規格」（JSME S NC1-2008）以降の規格から「材料規格」が準用される場合		付録 1：材料の略称名と具体的な材料名の対応	
材料略称	説明と具体的な対応材料名	材料略称	説明と具体的な対応材料名
原子力用 304	C ≤ 0.020%、N ≤ 0.12%、C+N ≤ 0.13% にした SUS304。強度は SUS304 と同じ。 材料規格では以下の材料となる。（ ）内は参照の JIS 規格。 JSME-N15 原子力発電用規格「圧力容器用ステンレス鋼鍛鋼品」GSUSF304（JIS G 3214） JSME-N16 原子力発電用規格「配管用ステンレス鋼管」GSUS304TP（JIS G 3459） JSME-N17 原子力発電用規格	原子力用 304	C 量を 0.020% 以下にした SUS304。強度は SUS304 と同じ。 設計・建設規格の付録材料図表では以下の材料となる。 JIS G 3214「圧力容器用ステンレス鋼鍛鋼品」SUSF304 JIS G 3459「配管用ステンレス鋼管」SUS304TP

	<u>「ボイラ・熱交換器用ステンレス鋼管」GSUS30 4TB (JIS G 3463)</u> <u>JSME-N18 原子力発電用規格「ステンレス鋼棒」GSUS304B (JIS G 4303)</u> <u>JSME-N19 原子力発電用規格「熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯」GSUS304HP (JIS G 4304)</u>		<u>JIS G 3463「ボイラ・熱交換器用ステンレス鋼管」SUS304TB</u> <u>JIS G 3468「配管用溶接大径ステンレス鋼管」SUS304TPY</u> <u>JIS G 4303「ステンレス鋼棒」SUS304</u> <u>JIS G 4304「熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯」SUS304</u> <u>JIS G 4305「冷間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯」SUS304</u>
原子力用 316	<u>$C \leq 0.020\%$、$N \leq 0.12\%$、$C+N \leq 0.13\%$にした SUS316。強度は SUS316 と同じ。</u> <u>材料規格では以下の材料となる。()内は参照の JIS 規格。</u> <u>JSME-N15 原子力発電用規格「圧力容器用ステンレス鋼鍛鋼品」GSUSF316 (JIS G 3214)</u> <u>JSME-N16 原子力発電用規格「配管用ステンレス鋼管」GSUS316TP (JIS G 3459)</u> <u>JSME-N17 原子力発電用規格「ボイラ・熱交換器用ステンレス鋼管」GSUS316TB (JIS G 3463)</u> <u>JSME-N18 原子力発電用規格「ステンレス鋼棒」GSUS316B (JIS G 4303)</u> <u>JSME-N19 原子力発電用規格「熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯」GSUS316HP (JIS G 4304)</u>	原子力用 316	<u>C 量を 0.020% 以下にした SUS316。強度は SUS316 と同じ。</u> <u>設計・建設規格の付録材料図表では以下の材料となる。</u> <u>JIS G 3214「圧力容器用ステンレス鋼鍛鋼品」SUSF316</u> <u>JIS G 3459「配管用ステンレス鋼管」SUS316TP</u> <u>JIS G 3463「ボイラ・熱交換器用ステンレス鋼管」SUS316TB</u> <u>JIS G 3468「配管用溶接大径ステンレス鋼管」SUS316TPY</u> <u>JIS G 4303「ステンレス鋼棒」SUS316</u> <u>JIS G 4304「熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯」SUS316</u> <u>JIS G 4305「冷間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯」SUS316</u>

(2) 日本機械学会による変更の理由

①～③ 用語や表現を適切に見直した⁴³⁾。

⁴³⁾ 第 58 回原子力規格委員会資料 58-18-3 DC05-066

(3) 検討の結果

- ① 「付録 1：材料の略称名と具体的な材料名の対応」を設計・建設規格 2001 年版から 2005 年版(2007 追補版を含む)と設計・建設規格 2008 年版以降の表に分割したものであり、変更は妥当と判断する。
- ②、③ 「付録 1A：材料の略称名と具体的な材料名の対応(その 1)」における「原子力用 304」及び「原子力用 316」には 7 種類の JIS 規格材料の化学成分を制限したものが規定されているが、「付録 1B：材料の略称名と具体的な材料名の対応(その 2)」における「原子力用 304」及び「原子力用 316」には材料規格に規定する原子力発電用規格材料の JSME-N15～JSME-N19 が規定され、「付録 1A：材料の略称名と具体的な材料名の対応(その 1)」に規定する JIS G 4305「冷間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯」の SUS304 及び SUS316 並びに JIS G 3468「配管用溶接大径ステンレス鋼管」の SUS304TP 及び SUS316TPY が削除されている。一方で「原子力用 347」は「付録 1A：材料の略称名と具体的な材料名の対応(その 1)」及び「付録 1B：材料の略称名と具体的な材料名の対応(その 2)」とも 7 種類の JIS 規格材料の化学成分を制限したものが規定され、内容は同じである。

「原子力用 304」及び「原子力用 316」の「付録 1A：材料の略称名と具体的な材料名の対応(その 1)」及び「付録 1B：材料の略称名と具体的な材料名の対応(その 2)」間での差異について、また、「原子力用 347」の適用状況について、日本機械学会は次のように説明している⁴⁴。

付録 1A は設計・建設規格 2005(2007 追補版を含む)まで、付録 1B は設計・建設規格 2008 以降に対応します。付録 1A と付録 1B の引用される材料の差異は、設計・建設規格の年版の違い(そこから引用される材料規格の違い)によるものです。原子力用 347 材については、炉心支持構造物の一部として適用実績はありました。

規格の年版の違いから生じた差異であり、実質的な変更ではないことから、変更は妥当と判断する。

材料規格と規格名称を統一し、「原子力用 304」及び「原子力用 316」を適切な材料名称に修正することを要望する。

(4) 変更点以外の評価

(a) 母材及び溶接材料の JIS 規格名称の材料規格 2020 との相違

以下の JIS 規格名称は、材料規格 2020 の規格名称と異なっている。

JIS 番号	材料規格 2020	SCC 事例規格
JIS G 3459	配管用ステンレス鋼管	配管用ステンレス鋼鋼管
JIS G 3463	ボイラ・熱交換器用ステンレス鋼管	ボイラ・熱交換器用ステンレス鋼鋼管
JIS G 3468	配管用溶接大径ステンレス鋼管	配管用溶接大径ステンレス鋼鋼管
JIS G 4902	耐食耐熱超合金板	耐食耐熱超合金、ニッケル及び

⁴⁴ 第 6 回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合参考資料 6-1-6：II 1. (8)

		ニッケル合金―板及び帯
--	--	-------------

その理由について、日本機械学会は次のように説明している⁴⁵。

ご指摘の通り JIS 規格名称が見直されていますので、今後、正誤表を発行します。

ステンレス鋼溶接材料のうち、下記の JIS 規格名称は変更されている。

JIS 番号	SCC 事例規格	JIS 規格名称
JIS Z 3321	溶接用ステンレス鋼溶加棒及びソリッドワイヤ	溶接用ステンレス鋼溶加棒, ソリッドワイヤ及び鋼帯
JIS Z 3322	ステンレス鋼帯状電極肉盛溶接材料	ステンレス鋼帯状電極肉盛溶接金属の品質区分及び試験方法
JIS Z 3323	ステンレス鋼アーク溶接フラックス入りワイヤ	ステンレス鋼アーク溶接フラックス入りワイヤ及び溶加棒
JIS Z 3324	ステンレス鋼サブマージアーク溶接ソリッドワイヤ及びフラックス	サブマージアーク溶接によるステンレス鋼溶着金属の品質区分及び試験方法

JIS 規格名称と異なることについて、また、JIS Z 3322「ステンレス鋼帯状電極肉盛溶接金属の品質区分及び試験方法」及び JIS Z 3324「サブマージアーク溶接によるステンレス鋼溶着金属の品質区分及び試験方法」を溶接材料の規格として規定する必要性について、日本機械学会は次のように説明している⁴⁶。

JIS Z3321 及び JIS Z3323 については、今後正誤表を発行します。

JIS Z3322 はステンレス鋼帯が JIS Z 3321 に、フラックスが JIS Z3352 にそれぞれ規定されることになったため、それらを参照するように見直すことを、今後検討します。

JIS Z3324 はサブマージアーク溶接用のステンレスソリッドワイヤが JIS Z3321 に、フラックスは JIS Z 3352 にそれぞれ規定されることとなったため、それらを参照するように見直すことを、今後検討します。

材料規格と SCC 事例規格との間で、規格名称を統一することを要望する。

JIS 規格の規格名称の改定を確認し適切に改定すること、不要な規格は規定しないことが望まれる。

溶接材料については、材料規格に規定されておらず、SCC に関する溶接材料が SCC 事例規格に規定されている。発電用原子力設備規格において、SCC に関する溶接材料だけを規定する妥当性について検討することを要望する。

(b) GXM 材及び 690 合金の「～を示す」の意味

「付録 1A：材料の略称名と具体的な材料名の対応（その 1）」において、「GXM 材」は「原子力発電用規格「耐熱ステンレス鋼」GXM1、GXM2 を示す。」と規定し、「690 合金」は「原子力発電用規格「ニッケル・クロム・鉄合金 690」GNCF690H、GNCF690C、GNCF690HYS を示す。」と規定しているが、下線部の意味について、日本機械学会は次

⁴⁵ 第 6 回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合参考資料 6-1-6：Ⅱ 2. (1)

⁴⁶ 第 6 回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合参考資料 6-1-6：Ⅱ 2. (2)

のように説明している（「付録 1B：材料の略称名と具体的な材料名の対応（その 2）」も同じ）⁴⁷。

“に該当する”との意味になります。

「示す」は「該当する」等、分かりやすい記載に変更することを要望する。

(c) 「付録 1B：材料の略称名と具体的な材料名の対応（その 2）」の 690 合金に関する JSME-N13「ニッケル・クロム・鉄合金 690」の材料種別

「付録 1B：材料の略称名と具体的な材料名の対応（その 2）」において、「690 合金」は「材料規格 原子力発電用規格 JSME-N13「ニッケル・クロム・鉄合金 690」GNCf690H、GNCf690C、GNCf690HYS を示す。」と規定しているが、材料規格 2012 及び材料規格 2020 とも 1 種 GNCf690HL、2 種 GNCf690HM、3 種 GNCf690CM 及び 4 種 GNCf690HYSH と規定されている。この点について、日本機械学会は次のように説明している⁴⁸。

材料規格 2011Ed で JSME-N13 の記載を見直していますので、今後、記載の適正化を検討します。

材料規格における見直しは 2011 年版で行われており 10 年以上前である。関連規格の改定内容は、速やかに反映することが望まれる。

(d) 132 合金及び 182 合金として規定する JIS Z 3224 並びに 82 合金として規定する JIS Z 3334 の溶接材料記号

132 合金及び 182 合金の溶接材料について、JIS Z 3224「ニッケル及びニッケル合金被覆アーク溶接棒」の「DNiCrFe-1」及び「DNiCrFe-3、DNiCrFe-1J（182 合金相当材）」とあるが、材料記号は当該 JIS 規格で改定されている。「DNiCrFe-1」及び「DNiCrFe-3、DNiCrFe-1J（182 合金相当材）」とは下記の材料と思われる。

- ・ DNiCrFe-1 → ENi6062
- ・ DNiCrFe-3 → ENi6182
- ・ DNiCrFe-1J（182 合金相当材） → ENi6094

これに関し、日本機械学会は次のように説明している⁴⁹。

JIS 規格にあることを条件としているわけではありませんが、該当する JIS 規格が併記できる溶材については JIS 規格での改定内容も踏まえ記載を見直すことを、今後検討します。

82 合金の溶接材料について、JIS Z 3334「ニッケル及びニッケル合金溶加棒及びソリッドワイヤ」の YNiCr-3 とあるが、当該 JIS 規格名称及び表示方法は改定されている。JIS Z 3334「ニッケル及びニッケル合金溶加棒及びソリッドワイヤ」の YNiCr-3 は JIS Z 3334「ニッケル及びニッケル合金溶接用溶加棒、ソリッドワイヤ及び帯」の SNi6082 と思われる。これに関し、日本機械学会は次のように説明している⁵⁰。

⁴⁷ 第 6 回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合参考資料 6-1-6：Ⅱ 1. (9)

⁴⁸ 第 6 回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合参考資料 6-1-6：Ⅱ 2. (5)

⁴⁹ 第 6 回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合参考資料 6-1-6：Ⅱ 2. (3)

⁵⁰ 第 6 回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合参考資料 6-1-6：Ⅱ 2. (4)

ご指摘の通り JIS 規格名称が見直されていますので、今後、正誤表を発行します。

関連規格の改定内容は、速やかに反映することが望まれる。

(e) 改良 182 合金と DNiCrFe-1J(182 合金相当材)との関係、DNiCrFe-1J(182 合金相当材)の UNS Number の適否及び 182 合金相当材とする根拠

「付録 1A：材料の略称名と具体的な材料名の対応（その 1）」及び「付録 1B：材料の略称名と具体的な材料名の対応（その 2）」に規定する 132 合金及び 182 合金の溶接材料について、高ニッケル合金に関する「XX-2212.1 BWR プラント」(1)の解説では改良 182 合金の規定があるが、「付録 1A：材料の略称名と具体的な材料名の対応（その 1）」及び「付録 1B：材料の略称名と具体的な材料名の対応（その 2）」には規定されていない。逆に「付録 1A：材料の略称名と具体的な材料名の対応（その 1）」及び「付録 1B：材料の略称名と具体的な材料名の対応（その 2）」に規定されている DNiCrFe-1J(182 合金相当材)は「XX-2212.1 BWR プラント」(1)の解説に規定されていない。

改良 182 合金と DNiCrFe-1J(182 合金相当材)との関係（「解説表 XX-2212-1 高ニッケル合金の材料組成」に規定する改良 182 合金の化学成分と DNiCrFe-1J の化学成分は同じではない。）について、日本機械学会は次のように説明している⁵¹。

本事例規格における表記”182 合金”とは、基本仕様を確立した米国インコ社の製品名に由来して呼称されている高ニッケル合金溶接金属を指します。したがって、事例規格における表記”182 合金”には、JIS Z 3224(1999) DNiCrFe-1J も含まれます。JIS Z 3224(1999) DNiCrFe-1J の化学成分は ASME ENiCrFe-1(132 合金)、ASME ENiCrFe-3(182 合金)の何れの規格にも完全には合致しませんが、後述のとおり、BWR 炉水環境における SCC 感受性が”182 合金”と同等と考えられるため、慣例として 182 合金相当材と呼称されています。応力腐食割れ発生の抑制に対する考慮を示す本事例規格では、便宜上 182 合金相当材(DNiCrFe-1J)も”182 合金”と表記しています。この点を明確にするため、付録 1A の下段”注*”にて本内容を記載しています。

本事例規格における表記”改良 182 合金”とは、”182 合金”に対し、SCC 発生を抑制することを目的として化学成分を調整した溶接金属を指します。上述のとおり”182 合金”には JIS Z 3224(1999) DNiCrFe-1J も含まれますので、本事例規格における表記”改良 182 合金”には、化学成分を調整した DNiCrFe-1J も含まれます。化学成分調整の指標については、p. CC-002(改定)-2-添付-16 の式(1)(2)(3)をご参照ください。

「付録 1A：材料の略称名と具体的な材料名の対応（その 1）」の「182 合金」には、以下の様に規定されている。

UNS Number で W86182 (AWS クラス ENiCrFe-3) に区分される 600 合金用の溶接材料（被覆アーク溶接）である。

⁵¹ 第 6 回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合参考資料 6-1-6：II 1. (10)①

182 合金の JIS 規格は以下のとおりである。

JIS Z 3224 「ニッケル及びニッケル合金被覆アーク溶接棒」 DNiCrFe-3、
DNiCrFe-1J (182 合金相当材)*

注* : DNiCrFe-1J は 132 合金、182 合金いずれの規格にも完全には合致しないが、BWR 炉水環境における SCC 感受性が 182 合金と同等と考えられることから、慣例として 182 合金相当材と呼称されてきている。本事例規格においては便宜上 182 合金相当材も 182 合金と表記する。

これに対し、「52 合金」は、以下の様に規定されている。

UNS Number で N06052 (AWS クラス ENiCrFe-7) 及び N06054 (AWS クラス ENiCrFe-7A) に区分される 690 合金用の溶接材料 (溶加棒及びソリッドワイヤ)

DNiCrFe-1J は UNS Number で W86134 (AWS クラス ENiCrFe-4) に該当すると考えられ「(182 合金相当材)」としているが、「52 合金」で N06054 (AWS クラス ENiCrFe-7A) は「(52 合金相当材)」ではなく「52 合金」とされている。この違いについて、日本機械学会は次のように説明している⁵²。

ご質問の「UNS Number で W86182 (AWS クラス ENiCrFe-3) に区分される」の記載の意図は、DNiCrFe-1J は JSME 維持規格 2012 年版に記載の通り、182 合金相当材と呼称されているため、182 合金の区分である AWS クラス ENiCrFe-3 相当という意図です。そのため、DNiCrFe-1J については、「(182 合金相当材)」と記載するこのままの記載で良いと判断します。

ご質問の AWS クラス ENiCrFe-4 は Mo を含んでおり、DNiCrFe-1J は Mo を含まないため、AWS クラス ENiCrFe-4 には該当しません。

DNiCrFe-1J を 182 合金相当材とする根拠について、日本機械学会は次のように説明している⁵³。

公開論文 (*) において、材料記号・銘柄を指定せず、DNiCrFe-1J も含む“182 合金” (論文: Table1) として、SCC 感受性 (粒界腐食感受性) の試験結果 (論文: Fig. 7) が記載されています。Fig. 7 は、本事例規格の解説図 XX-2212-3 です。論文では、AWS NiCrFe-1、-3 及びその両者からやや逸脱したものをまとめて 182 系材 (182 合金) と称し、AWS ENiCr-3 及びやや逸脱したものをまとめて 82 系材 (82 合金) と称しています。Fig. 7 において、高ニッケル合金溶接金属の粒界腐食感受性の試験結果はいずれも、Fig. 7 中の実線で示されている傾向線の周辺にプロットされていることが確認されます。このため、DNiCrFe-1J の BWR 炉水環境における SCC 感受性は 182 合金と同等と判断しています。

[*] 山内他, “安定化パラメータのコントロールによるニッケル基溶接金属の耐粒界腐食性並びに耐粒界型応力腐食割れ性の向上”, 防食技術, Vol. 35, No. 11, 1986.

⁵² 第 6 回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合参考資料 6-1-6 : II 1. (10) ②

⁵³ 第 6 回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合参考資料 6-1-6 : II 1. (10) ③

182 合金は何を指すのか、及び DNiCrFe-1J (182 合金相当材)は 182 合金に該当するののかについて整理することを要望する。

(f) 152 合金及び 52 合金として規定する溶接材料の JIS 規格

「付録 1A：材料の略称名と具体的な材料名の対応（その 1）」及び「付録 1B：材料の略称名と具体的な材料名の対応（その 2）」に規定する 152 合金及び 52 合金の溶接材料については、UNS Number と AWS クラスでの区分が説明され、対応する JIS 規格が規定されていないが、次の対応関係が考えられる。

SCC 事例規格	JIS 規格
152 合金 AWS クラス ENiCrFe-7	JIS Z 3224「ニッケル及びニッケル合金被覆アーク溶接棒」ENi6152
52 合金 AWS クラス ERNiCrFe-7	JIS Z 3334「ニッケル及びニッケル合金溶接用溶加棒、ソリッドワイヤ及び帯」SNi6052
52 合金 AWS クラス ERNiCrFe-7A	JIS Z 3334「ニッケル及びニッケル合金溶接用溶加棒、ソリッドワイヤ及び帯」SNi6054

これに関し、日本機械学会は次のように説明している⁵⁴。

JIS 規格にあることを条件としているわけではありませんが、該当する JIS 規格が併記できる溶材については JIS 規格での記載を追加することを今後検討します。

国内での材料調達に JIS 規格がベースになると考えられることから、152 合金及び 52 合金として規定する溶接材料の記載の見直しを要望する。

(g) JIS Z 3322 及び JIS Z 3324 を溶接材料の規格として記載する理由

(a)で述べたとおり、ステンレス鋼溶接材料のうち、JIS Z 3322 及び JIS Z 3324 の規格名称は下記のように変更されている。

- ・ JIS Z 3322「ステンレス鋼带状電極肉盛溶接材料」→「ステンレス鋼带状電極肉盛溶接金属の品質区分及び試験方法」
- ・ JIS Z 3324「ステンレス鋼サブマージアーク溶接ソリッドワイヤ及びフラックス」→「サブマージアーク溶接によるステンレス鋼溶着金属の品質区分及び試験方法」

これらを溶接材料の規格として記載する必要性について日本機械学会は次のように説明している⁵⁵。

JIS Z3322 はステンレス鋼帯が JIS Z 3321 に、フラックスが JIS Z3352 にそれぞれ規定されることになったため、それらを参照するように見直すことを、今後検討します。

JIS Z3324 はサブマージアーク溶接用のステンレスソリッドワイヤが JIS Z3321 に、フラックスは JIS Z 3352 にそれぞれ規定されることとなったため、それらを参照するように見直すことを、今後検討します。

日本機械学会の説明は、溶接金属又は溶着金属の品質区分及び試験方法の適用要

⁵⁴ 第 6 回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合参考資料 6-1-6：Ⅱ 1. (11)

⁵⁵ 第 6 回 設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チーム会合参考資料 6-1-6：Ⅱ 2. (2)

否については触れていないが、フラックスとソリッドワイヤの規定を見直し JIS Z 3322 及び JIS Z 3324 は引用しないことに見直すとしている。JIS 規格等は規格番号が変わることや規格番号が同じでも題目と内容が異なる場合もあるため、適用年版を明確にすることが望まれる。

(4) 適用に当たっての条件

なし

(5) 要望事項

- 過去の BWR 耐圧部において、炭素量の低減のみでは SCC を抑制できず、接液部表面の残留応力低減も併せて行われたことを踏まえると、少なくとも二因子以上の対応が必要になることから、「XX-2100 事象の概要」に記載されている「・三因子のうちの一因子以上を取り除けば SCC は発生しない。」は誤解を与えないように修正することを要望する。
- 材料規格と規格名称を統一し、「原子力用 304」及び「原子力用 316」を適切な材料名称に修正することを要望する。
- 材料規格と SCC 事例規格との間で規格名称を統一することを要望する。
- 溶接材料については、材料規格に規定されておらず、SCC に関する溶接材料が SCC 事例規格に規定されている。発電用原子力設備規格において、SCC に関する溶接材料だけを規定する妥当性について検討することを要望する。
- 「示す」は「該当する」等、分かりやすい記載に変更することを要望する。
- 182 合金は何を指すのか、及び DNiCrFe-1J (182 合金相当材)は 182 合金に該当するのかについて整理することを要望する。
- 国内での材料調達に JIS 規格がベースになると考えられることから、152 合金及び 52 合金として規定する溶接材料の記載の見直しを要望する。

4. 4. 6 付録 2「SCC 対応フローチャート」の規定内容

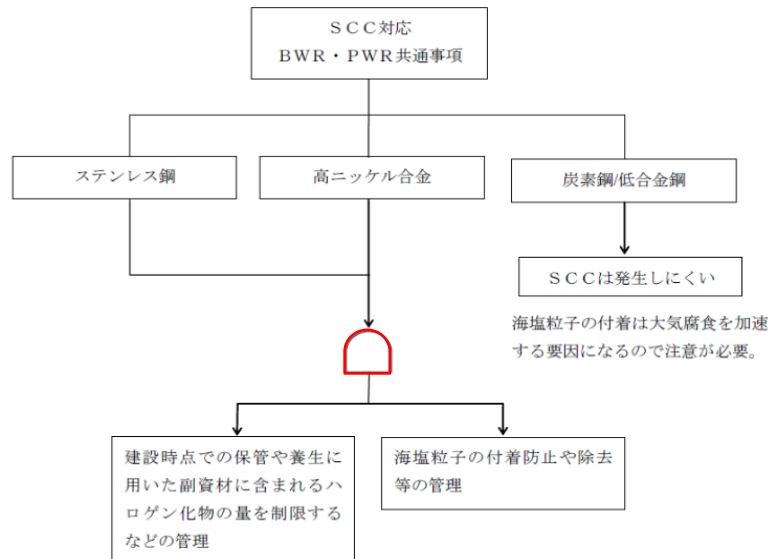
本規格は SCC 対応フローチャートについて、「付録 2：SCC 対応フローチャート」に規定している。

(1) 変更点以外の評価

(a) フロー図に示す記号

「付録 2「SCC 対応フローチャート」に関する確認項目」の「(6) 環境に関するフローチャート」等におけるかまぼこ型の記号 (赤線) がある。

(6) 環境に関するフローチャート
BWR・PWR 共通 管理事項
(建設中・保管中の SCC 対応)
接液部及び接液部以外とも共通



記号の意味について、日本機械学会は次のように説明している⁵⁶。

下段の 2 つの管理を両方とも実施したほうが良いとの意味です。

この記号は、例えば、JIS Z 8206(1982)「工程図記号」では、「原料、材料、部品又は製品が計画に反して滞っている状態を表す。」とされている。かまぼこ形の記号から「下段の 2 つの管理を両方とも実施したほうが良いとの意味」と理解するのは困難であり、説明を加える等明確化することを要望する。

(2) 適用に当たっての条件

なし

(3) 要望事項

- かまぼこ形の記号から「下段の 2 つの管理を両方とも実施したほうが良いとの意味」と理解するのは困難であり、説明を加える等明確化することを要望する。

4. 4. 7 SCC 事例規格 2022 の適用に当たっての条件

SCC 事例規格 2022 の適用に当たっての条件を以下に示す。

読み替える規定	読み替えられる字句	読み替える字句
XX-2213 炭素鋼 及び低合金鋼	ただし、設計、製作においては、 隙間が存在するような特殊な構造 を避け、かつ、材料が著しく硬化	設計、製作においては、隙間が 存在するような特殊な構造を避 け、かつ、材料が著しく硬化する

⁵⁶ 設計・建設規格 事例規格に関する日本機械学会への説明依頼事項（その 1）への回答：II
1. (12)

	するような製作方法を避けることが望ましい。	ような製作方法を避けることが望ましい。												
XX-2222 材料表面の応力改善方法	・高周波誘導加熱方法（維持規格 JSME S NA1-2008 RB-2440） ・レーザ外面照射応力改善法（維持規格 JSME SNA1-2008RB-2460、文献 44）	・高周波誘導加熱方法（維持規格 JSME S NA1-2008 RB-2440）												
付録 1A：材料の略称名と具体的な材料名の対応（その 1）（3/3）	<table><tr><th>材料略称</th><th>説明と具体的な対応材料名</th></tr><tr><th>（略）</th><th>（略）</th></tr><tr><td>52 合金</td><td>UNS Number で N06052（AWS クラス ERNiCrFe-7）及び N06054（AWS クラス ER-NiCrFe-7A）に区分される 690 合金用の溶接材料（溶加棒及びソリッドワイヤ）である。</td></tr></table>	材料略称	説明と具体的な対応材料名	（略）	（略）	52 合金	UNS Number で N06052（AWS クラス ERNiCrFe-7）及び N06054（AWS クラス ER-NiCrFe-7A）に区分される 690 合金用の溶接材料（溶加棒及びソリッドワイヤ）である。	<table><tr><th>材料略称</th><th>説明と具体的な対応材料名</th></tr><tr><th>（略）</th><th>（略）</th></tr><tr><td>52 合金</td><td>UNS Number で N06052（AWS クラス ERNiCrFe-7）及び N06054（AWS クラス ER-NiCrFe-7A（PWR 環境に限る。））に区分される 690 合金用の溶接材料（溶加棒及びソリッドワイヤ）である。</td></tr></table>	材料略称	説明と具体的な対応材料名	（略）	（略）	52 合金	UNS Number で N06052（AWS クラス ERNiCrFe-7）及び N06054（AWS クラス ER-NiCrFe-7A（PWR 環境に限る。））に区分される 690 合金用の溶接材料（溶加棒及びソリッドワイヤ）である。
材料略称	説明と具体的な対応材料名													
（略）	（略）													
52 合金	UNS Number で N06052（AWS クラス ERNiCrFe-7）及び N06054（AWS クラス ER-NiCrFe-7A）に区分される 690 合金用の溶接材料（溶加棒及びソリッドワイヤ）である。													
材料略称	説明と具体的な対応材料名													
（略）	（略）													
52 合金	UNS Number で N06052（AWS クラス ERNiCrFe-7）及び N06054（AWS クラス ER-NiCrFe-7A（PWR 環境に限る。））に区分される 690 合金用の溶接材料（溶加棒及びソリッドワイヤ）である。													
付録 1B：材料の略称名と具体的な材料名の対応（その 2）（3/3）														

4. 4. 8 SCC 事例規格の策定に関し望まれる事項

(1) 最新知見の取り込みに関すること

- SCC に関する最新知見の入手に際しては、適切な国内外の規格・学協会（例えば、Fontevraud、International Conference on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power System、防食腐食学会等）を対象に含めることが望まれる。
- JIS 規格等は規格番号が変わったり規格番号が同じでも題目と内容が異なる場合もあるため、適用年版を明確にすることが望まれる。
- JIS 規格の規格名称の改定を確認し適切に改定すること、不要な規格は規定しないこと、及び関連規格の改定内容を速やかに反映することが望まれる。
- 本事例規格の技術評価においては、個別の変更理由を改定審議資料から抽出することが困難なものが少なからずあった。審議経過を見ると、分科会、原子力専門委員会及び発電用設備規格委員会から提案内容以外の部分についての委員意見が多くあり、これを踏まえて改定したと思われるものが散見された。また、JIS 規格等が旧版のまま改定発行されたことも、改定案策定作業会としての引用 JIS 規格等の最新版確認作業が十分に行われないうま上部委員会に上程され、上部委員会の委員は JIS 規格等の年版までは確認せず、そのまま審議終了・発刊に至ったためであると思慮される。規格の改定作業にあつては、作業会及び分科会レベルで引用規格の最新版確認を含めた提案内容の過不足を十分審議することが望まれる。

(2) 技術的検討に関すること

- デルタフェライト量を含む、SCC の抑制の観点から、より適切な化学成分の制限について、検討を続けることが望まれる。
- 規格として溶接材料を規定するには化学成分や強度等の要求事項が明確にされている必要がある。「UNS Number で〇〇に区分される溶接材料」という表現は、厳密には化学成分等の範囲が異なっていることを暗示させる記載であり、規格の記載としては適切でない。UNS Number で指定される溶接材料と何が異なるのかを明確にすることが望まれる。
- SCC に関しては、近年、国内外で SCC を発生しないと考えられていた PWR 環境下のオーステナイト系ステンレス鋼で発生事例⁵⁷があり、そのメカニズムは明らかにされていない。そのため、継続して SCC に係る最新知見を収集し、SCC 発生 の抑制に対する材料選定において考慮すべき事項について検討することが望まれる。

⁵⁷ 第 54 回技術情報検討会 資料 54-1-2-4「PWR 1 次系におけるステンレス鋼配管粒界割れに関する事業者からの意見聴取結果について（案）」、第 58 回技術情報検討会資料 58-2-3「仏国 PWR の安全注入系ステンレス鋼配管で見つかった応力腐食現象（速報）」等