

炉心シュラウドの健全性評価に関する用語集 (Ver.1)

東北電力株式会社
東京電力株式会社
中部電力株式会社

<ア行>

安全率 (S F : Safety Factor)

構造設計にあたり構造物が実際に壊れる荷重と設計上許容する荷重との比としてあらかじめ定める値であり、1より大きい値である。安全率は、材料の特性、荷重を含む評価手法の不確実性を考慮したもの。

インディケーション

非破壊検査において確認されたひびなどの欠陥あるいは、その徴候。

例えば目視検査では、ひびの兆候または水汚の痕跡等、何らかの模様などであり、超音波探傷検査では、形状の不連続や非均質な状態を指示する兆候のことなどである。

インディケーションがただちにひび割れ等の欠陥を意味するものではない。

運転状態

原子炉施設の通常運転時の状態。

運転状態

運転状態、運転状態、運転状態 および試験状態以外の状態。

<参考>

運転状態

原子炉施設の故障、異常な作動等により原子炉の運転の停止が緊急に必要とされる状態。

運転状態

原子炉施設の安全設計上想定される異常な事態が生じている状態。

試験状態

耐圧試験により原子炉施設に最高使用圧力を超える圧力が加えられている状態。

エコー

音響測深機などにより測定される反射波。

超音波探傷検査 (U T) では、受信されたエコーの高さ、あるいはエ

コーの出現する範囲から欠陥の大きさを測定する。

エッチング

金属の結晶の粒界形状を調べるために、酸などで極く表面を腐食させる方法。

マクロ組織試験では表面を腐食させると組織の違いが肉眼又は低倍率の拡大鏡で観察できるようになる。

ミクロ組織試験では結晶粒界、結晶方位、化学成分及び結晶構造の違いに応じた腐食作用を受け表面に凹凸が出来る。その凹凸に強い光を当てると粒界、結晶粒内の明細、介在物などが明暗で観察できる。また、微細割れの経路も確認できる。

遠隔肉眼試験

水中カメラ等光学装置を用いて点検対象表面の異常の有無を確認する試験。

オーステナイト系ステンレス鋼

18%クロム - 8%ニッケルを代表とする鋼で耐食性に優れ化学工業用を始め建築用、家庭用などで多く使用されている耐食鋼である。

応力

物体に外力が加わる際、その物体に生ずる単位面積当たりの力。物体内に応力が存在する場合、任意の面の両側の部分が互いに力を及ぼし合う。圧力・張力は応力の一例。

応力拡大係数

き裂の進展等を評価するパラメータであり、き裂の形状とき裂先端に加わる引張力（荷重条件）によって決まる。

応力腐食割れ（SCC：Stress Corrosion Cracking）

金属に腐食環境下で引張り応力が働いている場合、腐食環境にない場合に比べて低い応力で発生する腐食割れの形態。オーステナイト系ステンレス鋼では高温水下で応力腐食割れを起こすことがある。この発生原因は、材質的要因（材質の鋭敏化：溶接の熱影響によって結晶粒界にクロム欠乏層を生じ耐食性が劣化する現象等）、応力要因（溶接残留応力の存在）、環境要因（溶存酸素の存在）の3つの要因が重複した場合である。

< 力行 >

開先

溶接形状に合わせて母材溶接箇所先端を加工した場合の加工形状。

開先加工

溶接形状に合わせて母材溶接箇所先端を加工すること。

(社)火力原子力発電技術協会

昭和 25 年 8 月「火力発電研究会」として発足、昭和 29 年 5 月には「社団法人 火力発電技術協会」と改称、さらに昭和 55 年に原子力発電技術の事業を加え、火力・原子力発電技術の調査研究等を行っている社団法人。

機械加工

切削、研削その他の除去加工、鋳造、鍛造、プレスその他の変形加工及び溶接、被覆その他の付加加工。

基準ノッチ

超音波探傷検査 (UT) の感度校正に使用する試験片に付されている擬似欠陥。

強制破面

ひびの破面を観察するために、試料を強制的に開放した破面。もともとひびのある破面と区別するために用いる。

金相観察

金属及び合金の組成と組織について顕微鏡を用いて観察すること。

屈折角

光などの波が 2 つの媒質の境界面で屈折するとき、屈折した波の進行方向が境界面に垂直な線となす角。

グラインダー

円板形の砥石を回転させて、工作物の表面を研磨したり、削ったりする工作機械。

クラッド

原子炉冷却水中において、配管等の金属材料の腐食によって生ずる腐食生成物のうち、水に溶けずに分散している酸化物の総称。

クリープ

応力により、物体にひき起こされた時間とともに変化する変形。
金属が低い荷重で時間とともに変形増加する現象。温度・応力により変形の速度が異なる。

クロム濃度

金属中のクロム成分の濃度。

原研

「日本原子力研究所」の項目を参照。

光学顕微鏡

可視光線を利用した顕微鏡。

拘束治具

機器を固定させる治具。

高ノ低サイクル疲労

材料に繰返し応力または繰返しひずみを加えた結果、発生する材料の破壊現象を疲労破断または疲労破壊と呼び、破壊までの繰返し数が1万～10万回以上の場合を高サイクル疲労、それ以下を低サイクル疲労と言う。

鋼材検査証明書

鉄鋼メーカーが指定された規格などの要求事項を満足していることを証明した書類のこと。

高周波誘導結合プラズマ（ICP：Inductively Coupled Plasma）

アルゴンガスの周りに外部からの高周波による交流磁場誘導で発生する高温プラズマのこと。

高周波誘導結合プラズマ質量分析装置

（ICP-MS：Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer）

試料を高温プラズマ内で原子化し、その時に発生する発行スペクトル線を分解能の高い分光器で分離してその強度を測定し、定性・定量分析を行う装置。

構造健全性

構造体の各部に必要な強度などが満足されていること。

高ニッケル合金

ニッケルを30%以上含有する合金で、原子炉内ではシュラウドサポートなどに使用されている。

<サ行>

差圧

高圧側と低圧側の圧力の差であり、シュラウドの内側と外側の圧力の差によってシュラウドには差圧がかかる。

残留応力

外力に依存しない物体内の応力。

外部からの力が加えられた後や、温度分布が変化した後には物体内に残る応力。金属の溶接や表面を強い力で加工する際等に発生する。

座屈

細長い棒や薄肉円筒などで、縦方向に荷重を加えたとき、荷重がある限界値に達すると、急に横方向に湾曲が起こる現象。(図1参照)

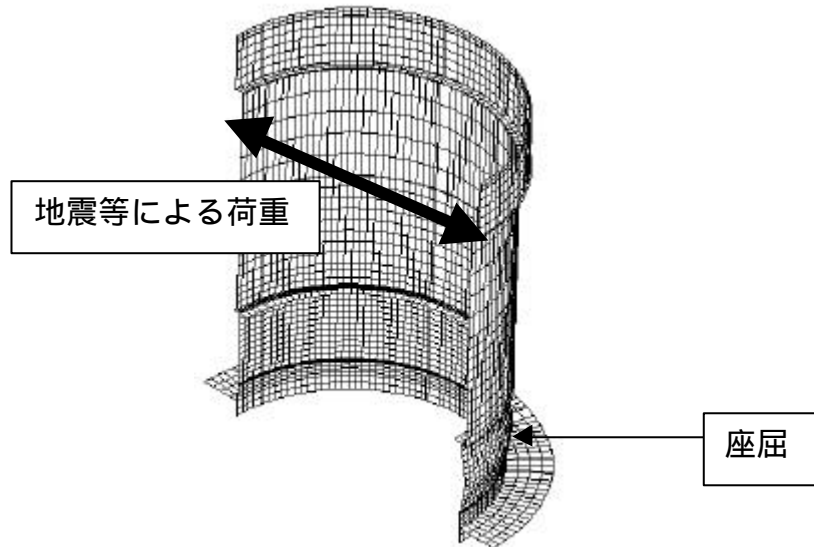


図1 炉心シュラウドの座屈イメージ

死荷重

構造物自体の重さ。

軸対象非定常温度解析

シュラウドなど円筒構造物は中心軸で対象であるため、簡略に断面の平面モデルで解析することができる。このモデルで溶接時の温度変化を求める手法。

軸方向残留応力

シュラウド中心軸方向に外部から力が加えられた後や、溶接などにより温度分布が変化した後に残る応力。

斜角探傷

試験体の表面に対して斜めに進行する超音波ビームを用いて試験体中の欠陥を探す方法で、垂直に進行する超音波では探傷できない溶接部などの検査に用いられている。

周方向残留応力

外部から力が加えられた後や、溶接などにより温度分布が変化した後シュラウドの水平方向に残る応力。

シュラウド

原子炉圧力容器内に取り付けられている燃料集合体(炉心)を囲むよ

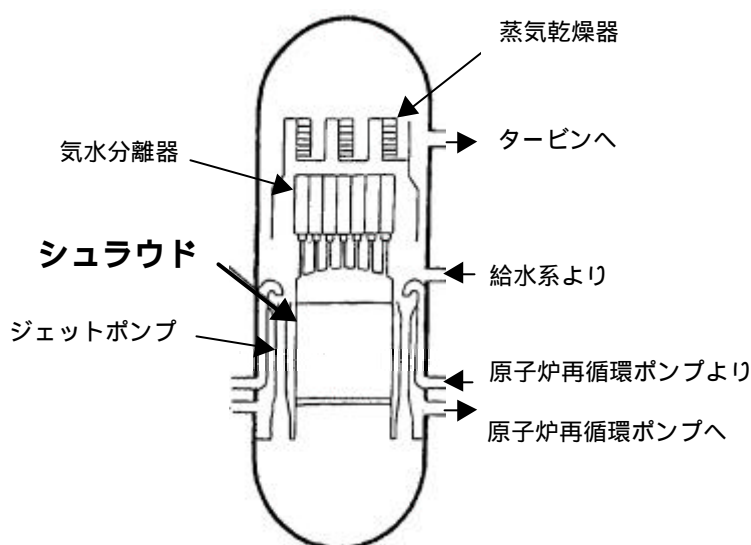
うに配置されている円筒状の機器で、原子炉内の冷却水の流れを分離する仕切板の役割を持ったもの。(図2参照)

シュラウド下部リング

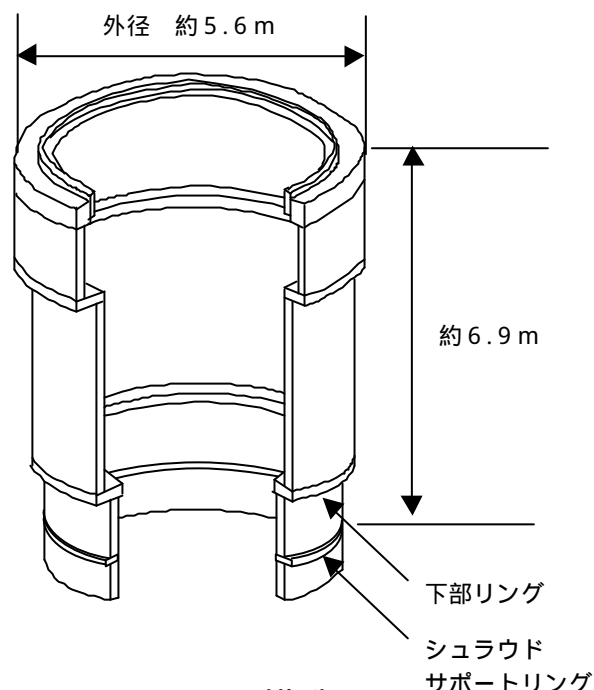
図2参照。

シュラウドサポートリング

図2参照。



原子炉压力容器概略図



シュラウド構造図

(寸法は110万kW級の例)

図2 シュラウド概略図

照射誘起型応力腐食割れ

(I A S C C : Irradiation-Assisted Stress Corrosion Cracking)

ステンレス鋼において、中性子照射を受け材料自身の応力腐食割れの感受性が高まるとともに、材料周辺の腐食環境も水の放射線分解により厳しくなり、これらが重畳して割れに至る現象。

初期欠陥

シュラウドのひびの進展評価をする際に設定する仮想欠陥(ひび)。

浸食

水流等により表面が削り取られること。

水浸パルス反射法

水中の試験体に対して水の層を介して超音波を伝搬させ、持続時間の極めて短い超音波パルスを試験体の内部に送り、試験体中の欠陥によって反射されてくる超音波（エコーという）を検出してエコーの大きさから欠陥の大きさを推定し、超音波を送信してから戻ってくるまでの時間を測定して欠陥までの距離を知る方法。

ステンレス鋼

鋼に耐食性を向上させる目的でクロムやニッケル等を含有させた合金鋼で、一般的にクロム含有量が約 11% 以上の鋼。

スパッタ

溶接時に飛散する金属くずやその他のゴミ。

すべり線

金属の結晶格子面が、外力によって生ずるせん断応力の作用によってずれをおこし、それによって結晶の表面に出来る模様。

施盤加工

施盤と呼ばれる工作機械で加工すること。施盤とは、機械の主軸に固定した工作物（金属）を回転させ、切削工具（バイト）をあてて自動または手動で送り、所定の形状に加工する機械。

走査型電子顕微鏡（SEM: Scanning Electron Microscope）

試料に電子ビームを当て、表面から放出された二次電子をとらえてブラウン管上に表示する顕微鏡。光学顕微鏡と比べて分解能が高く焦点深度が大きいいため、凹凸の激しい試料表面であってもほぼ全面に焦点が合い、微細な構造をとらえることが出来る。

塑性変形

物体に外力を加えて物体が変形した後、外力を除去しても物体の形状が元に戻らないような変形。

< 夕行 >

タイロッド工法

シュラウド全体を上下方向及び周方向に固定するための補修工法。
上下方向を固定する長尺の支柱（4本又は8本）と周方向を固定する、くさびを用いる。

弾性変形

物体に外力を加えて物体が変形した後、外力を除去すると物体の形状が元に戻るような変形。

弾塑性

「弾性」と「塑性」という二つの言葉をつなげたもの。弾性と塑性はいずれも材料の変形特性を表す言葉である。「弾性変形」、「塑性変形」の項目を参照。

弾塑性応力解析

計算等により荷重による物体の変形を弾性変形から塑性変形の範囲まで広げて解析すること。

端部エコー

ひび先端又は試験体の端部からの反射エコー。

断面観察

き裂断面を顕微鏡を用いて観察することで、ひびの深さ、ひびの進展する経路、粒内・粒界割れの判別が可能。

中性子照射量

一般的な照射条件の指標として幅広く利用されている物理量。この照射量として、中性子のエネルギーにより高速中性子と熱中性子に分けたものが用いられることが多く、材料については主に高速中性子照射量がデータ整理に利用されている。

中性子束

単位面積を単位時間に通過する中性子の数。

超音波探傷検査 (UT:Ultrasonic Testing)

非破壊検査の一つで、超音波により配管等、鋼材内部のきずを調べる検査。

超音波探触子

超音波探傷装置の超音波の発信及び反射波の受信を行う端末部分。

(株)ティー・アイ・シー

株式会社ティー・アイ・シーは、電力事業者が実施する溶接自主検査に立会う第三者検査機関として設立している。主な業務は、溶接設計の審査や実際の検査代行業務を行っている。

低サイクル疲労

「高/低サイクル疲労」の項目を参照。

低炭素ステンレス鋼

炭素含有量を 0.030%以下に抑え、クロム炭化物の析出による耐食性の劣化を改善したステンレス鋼。

ディンプル (dimple)

金属を強制的に引き裂いた際の破面をミクロ的に観察すると見られる多数の小さいくぼみ状の模様。

電界放出型透過電子顕微鏡

(F E - T E M : Field Emission Transmission Electron Microscope)

高速の電子線を薄膜試料に照射し、弾性散乱、非弾性散乱を起こして試料を透過することで、試料から各種電子線や特性 X 線、光などが発生し、透過電子や弾性散乱電子を用いて結像し観察することができる顕微鏡。

電子線プローブマイクロアナライザー

(E P M A : Electric Probe Micro-Analyzer)

電子線を物質に照射し、その時に発生する X 線の波長と強度を測定し、この中の固有エックス線を検出する事によりその物質の元素を定性、定量するもの。

導電率

電流の流れやすさを表す物質定数。原子炉水の場合は不純物の量や温度により変化する。

< ナ行 >

2次元輸送解析

水等の流体によって運ばれる物質の分散していく様子を2次元的に解析すること。

日本核燃料開発株式会社

(N F D : NIPPON NUCLEAR FUEL DEVELOPMENT CO., LTD)

原子力発電に用いられる燃料及び原子炉構造材料の研究・開発を行う目的で(株)東芝と(株)日立製作所の合弁会社として設立された株式会社。

(社)日本機械学会

機械及び機械システムとその関連分野に携わっている約41,000名の学術専門家集団で、明治30年(1897)に創立され、講演発表会、講習会、研究分科会などの企画実施、市民フォーラムによる社会の啓蒙活動、国際会議による世界への貢献を活発に行い、会員相互の学術の向上と社会への技術成果の還元社会貢献する機関。

日本原子力研究所(原研)

原子力基本法に基づき、原子力の開発に関する研究等を総合的かつ効率的に行い、原子力の研究、開発及び利用の促進に寄与することを目的として、1956年(昭和31年)に設立され、エネルギーの安定確保、地球環境の保全など人類共通の課題の克服、未知の世界の探究、安全で快適な暮らしの実現、新しい産業に役立つ技術の開発などを研究している国の中核

的な総合研究機関。

(社)日本電気協会

電気関係事業の進歩発展を図り、産業の振興、文化の進展に寄与することを目的とする、日本で唯一の総合的な団体。「原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G - 4 6 0 1)」等の規程を制定している。

(社)日本非破壊検査協会

「非破壊検査法に関する調査・研究を行い、技術水準の向上点普及を図り、もって学術文化の発展に寄与する」ことを目的として、1952年(昭和27年)に「非破壊検査法研究会」として創立され、1955年(昭和30年)の法人認可によって「社団法人 日本非破壊検査協会」として発足。

熱応力

構造物の拘束により熱による変形が出来ない場合に生じる応力。

物体が拘束されて温度変化が生じた場合、物体内に温度差が生じた場合、部材間に温度差が生じた場合、あるいは熱膨張係数の異なる部材の組み合わせ物体に温度変化が生じた場合には、物体の自由な膨張と収縮あるいは物体内の膨張と収縮が不均一となり物体内にひずみが生じる。

熱電対

熱電対は、2種類の異なる金属線を先端で接合した(対にした)温度センサで、両端の温度差に応じて発生する微弱な電圧(熱起電力)を利用している。2種類の金属線の組み合わせが同じならば、太さや形状などによる影響を受けないために加工性が良く広く産業用温度センサとして使用されている。

< 八行 >

(財)発電設備技術検査協会

原子力技術の進歩と原子力利用への国民的合意形成の増進に寄与すべく、各種工学試験、安全解析、情報の収集・分析等のほか、広く一般に正確な情報を提供する広報活動も行っている財団法人。透明性を高めるという観点から今回当社は、第三者機関として(財)発電設備技術検査協会の検査員により点検結果の確認を受けた。

破面観察

顕微鏡を用いてひびを観察し、金属の破壊様式を特定し、さらに構造物の使用環境なども考慮して破壊の原因を追究する。

ピーニング

鋼球やレーザなどを材料表面に当てることによって、材料表面の残留応力を圧縮応力に改善させる技術。

ビッカース硬さ（HV）

材料の硬さ試験法の一つで、正四角錐のダイヤモンド圧子を用い、ある一定荷重で試験面を押しつけた時、その荷重を生じた永久くぼみの表面積等より求める硬さのこと。

引張り応力

材料に生じる応力で部材を引伸ばす方向に働く応力。

非破壊検査

材料あるいは製品の材質や形状寸法に変化を与えないで、その材料の健全性を調べる試験。

表面粗さ

工業製品の固体表面の短い間隔に並んだ凹凸を表すパラメーターとして、算術平均粗さ(Ra)、最大高さ(Ry)、十点平均粗さ(Rz)、凹凸の平均間隔(Sm)、局部山頂の平均間隔(S)及び負荷長さ率(tp)の定義並びに表示について規定されており、表面粗さは、対象物の表面からランダムに抜き取った各部分におけるそれぞれの算術平均値である。

疲労

くり返し応力や同期応力から生じる材料の損傷。
金属材料が荷重を繰り返し受けた際に、表面からひびが開始し、損傷すること。

疲労割れ

振動等により応力が繰り返し加えられることにより発生するひび。

品質保証

施設の各部分が満身に機能するという適当な確信を与える目的で立案され体系化された行動。

フェーズドアレイ

UT検査用プローブ。他チャンネル振動素子に供給する高周波電圧の位相を変化させることにより、探触子を移動せずに広範囲の検査が実施できる。

腐食

金属がそれを取り囲む環境によって化学的あるいは電気化学的に浸食されること。

プラズマ切断

切断対象材とトーチ内の電極との間にアーク放電を行い、その熱を利用して切断する方式。アーク放電の熱がガスを高温のプラズマ状態にして

ノズルから高温・高流速なプラズマジェットを吹き出し、切断対象材(被切断材)を溶融して切断する。

ブラケット工法

シュラウドの周溶接部を対象とする補修工法。シュラウド周溶接部をはさむ様に上下の胴部をブラケットを介してボルト締付する工法。

プラント稼働率

旬又は月の発電時間を暦時間で除した値。月のプラント稼働率は1ヶ月を30日とするとプラント稼働率は、
$$\frac{(\text{1ヶ月の発電時間})}{(30 \times 24)} \times 100$$
で表される。

プログレスレプリカ

初期のレプリカを採取し、表面硬化層を除去した後にレプリカを採取すること。

放電加工 (EDM:Electric Discharge Machining)

電極からの放電により施工対象部位を溶融させて加工する工法。

ボートサンプル

金属部材を船の形(ボート)に切り取った試料(サンプル)。

母材部

溶接される材料を母材といい、溶接されたところで溶接金属以外の所を母材部という。

<マ行>

目視点検 (VT:Visual Testing)

肉眼にて調べる点検。

モックアップ試験

実物大の模型をモックアップ(模擬体)といい、モックアップを用いて行う試験をモックアップ試験という。

<ヤ行>

有限要素法 (FEM:Finite Element Method)

構造解析に用いられる数値解析手法の一つである。構造物を有限な大きさに分割し(有限要素)各要素の変位、ひずみ、応力を求める。構造解析以外にも熱伝導解析、電磁気解析、流体解析、中性子やガンマー線分布解析等の非構造解析分野にも広く使用されている。

溶接止端部

溶接部と母材境界の溶接端部。

溶接継手

部材と部材を溶接でつなぎ合わせるところ。

溶接割れ

溶接によって溶接部に生じる割れで、溶接割れは溶接金属割れと熱影響部割れに大別される。また、発生温度による分類として、室温付近で発生する低温割れと、溶融凝固にともなって生ずる高温割れに分類される。

溶存酸素

水中に溶解している分子状の酸素。

<ラ行>

リガメント

シュラウドなどの部材においてひび割れ部分を除いた健全な残存部分。

粒界

金属など多結晶体の各結晶粒間の境界面。結晶粒界。「粒界型応力腐食割れ」の項目を参照。

粒界型応力腐食割れ

(I G S C C : Inter-Granular Stress Corrosion Cracking)

結晶体の結晶粒界が選択的に浸食を受け、粒界に沿って枝分かれを伴った割れを起こす現象。ロックキャンディ状の特徴的な破面が観察される。「応力腐食割れ」の項目を参照。

流動応力

材料の強さを示す値で降伏応力と引張り応力から求められ、塑性変形する目安の負荷応力である。

粒内

結晶粒の内部。「粒内型応力腐食割れ」の項目を参照。

粒内型応力腐食割れ(T G S C C : Transgranular Stress Corrosion Cracking)

ステンレス鋼の応力腐食割れで、結晶粒を貫通して進展しているもの。T G S C C 破面の形成機構はステップとコロージョントネルにより形成される。ステップ型は不働態被膜が比較的安定に保たれる S C C に見られ、コロージョントネル型は硫酸などの強酸中で見られる場合があり、腐食の集中と被膜の性質によるところが大きいとされる。

炉心シュラウド

「シュラウド」の項目を参照。

炉内構造物

原子炉容器内に組み込まれていて、炉心の支持、炉内の冷却材流路の形成等の機能を持つ原子炉内の構造物の総称である。

レプリカ

複製または複製を作成することをいい、ひびのあるところに型をあて、そこに樹脂を流し込んでひびを転写したもの。

ロックキャンディ

S C Cによる結晶粒界破壊により呈される氷砂糖の様相の破壊様式。

< 英語 >

E D M

「放電加工」の項目を参照。

E P M A

「電子線プローブマイクロアナライザー」の項目を参照。

F E M

「有限要素法」の項目を参照。

F E - T E M

「電界放出型透過電子顕微鏡」の項目を参照。

H V

「ビッカース硬さ」の項目を参照。

I A S C C

「照射誘起型応力腐食割れ」の項目を参照。

I C P

「高周波誘導結合プラズマ」の項目を参照。

I C P - M S

「高周波誘導結合プラズマ質量分析装置」の項目を参照。

I G S C C

「粒界型応力腐食割れ」の項目を参照。

J I S

JIS（日本工業規格）とは、我が国の工業標準化の促進を目的とする工業標準化法（昭和24年）に基づき制定される国家規格。JISは、2001年3月末現在で、8932件が制定されている。

N F D

「日本核燃料開発株式会社」の項目を参照。

R a

算術平均粗さ。粗さ曲線から、その平均線の方向に基準長さだけ抜き取り、この抜き取り部分の平均線から測定曲線までの偏差の絶対値を合計し、平均した値。

S 1

原子炉施設の敷地の解放基盤表面において考慮する地震動のうち、過去にその近傍で影響を与えたと考えられる地震が再び起こり、周辺に同様の影響を与えるおそれのある地震のうち最も影響の大きいものを想定したときにもたらされる地震動。

S 2

原子炉施設の敷地の解放基盤表面において考慮する地震動のうち、地震学的見地に立脚しS 1をもたらず地震を上回るものについて、過去の発生状況、敷地周辺の活断層の性質及び地震地体構造に基づき工学的見地からの検討を加え、最も影響の大きいものを想定したときにもたらされる地震動。

S C C

「応力腐食割れ」の項目を参照。

S E M

「走査型電子顕微鏡」の項目を参照。

S m

材料の強さの制限値のひとつ。ステンレス鋼のS mは、 $S m = 0.9 \times S y$ 等で定められる。（S y：降伏強度）

S U S 3 0 4

オーステナイト系ステンレス鋼で、18%のクロムと8%のニッケルが主要成分であり、耐食性が優れていて、機械的性質も良好なステンレス鋼。

S U S 3 1 6

オーステナイト系ステンレス鋼（S U S 3 0 4）の耐食性を更に良くするため、ニッケルの含有量を増やしたステンレス鋼。

SUS316L

SUS316のクロム炭化物の析出による耐食性の劣化を改善するため、炭素含有量を減らしたステンレス鋼。主成分はクロム18%、ニッケル12%、モリブデン2%と炭素。SUS316よりも炭素の量が低く、炭素の含有量は0.03%以下である。「L」はローカーボンを表す。

TGSCC

「粒内型応力腐食割れ」の項目を参照。

TIG溶接 (Tungsten Inert Gas Welding)

非消耗のタングステン電極と母材の間で発生したアークの周囲を不活性ガスでシールドし、別に供給される溶加材をアーク熱で溶融して母材に投与する溶接方法。

UT

「超音波探傷検査」の項目を参照。

VT

「目視点検」の項目を参照。

<単位>

μm

1mの100万分の1の長さ。

$\mu\text{S}/\text{cm}$

導電率の単位で、断面積 1cm^2 の電極2枚を1cmの距離に離して置いたときの抵抗の逆数。

mil

1000分の1インチ (= 0.254mm)

MPa

圧力の単位で平成11年10月1日より従来の kgf/cm^2 に代わり用いられている。1 kgf/cm^2 は約0.098MPa。

$\text{n}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$

中性子束の単位で、単位面積を単位時間に通過する中性子の数。

N/mm^2

応力、強度の単位で $1\text{MPa} = 1\text{N}/\text{mm}^2$ 。応力は、直接に測定できないので、算出には試験片の横断面を長さ測定器で測定して求め、引張試験機で試験片に付加した力を読み取り、この力 (N) を断面積 (mm^2) で

除して求める。

ppb

質量十億分率 (parts per billion)。濃度や割合を表す単位で、1 ppbとは 1 m^3 中に 1 mm^3 含まれている場合をいう。