

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

第2回会合

1. 日時

令和5年4月10日（月）14：00～16：11

2. 場所

原子力規制委員会 13階A会議室

3. 出席者

原子力規制委員会

田中 知 原子力規制委員会委員

原子力規制庁

佐藤 暁 技術基盤グループ長

遠山 眞 技術基盤グループ 技術基盤課長

佐々木 晴子 技術基盤グループ 技術基盤課 企画調整官

小嶋 正義 技術基盤グループ システム安全研究部門 上席技術研究調査官

田口 清貴 技術基盤グループ システム安全研究部門 主任技術研究調査官

水田 航平 技術基盤グループ システム安全研究部門 技術研究調査官

東 喜三郎 技術基盤グループ 地震・津波研究部門 副主任技術研究調査官

宮崎 毅 原子力規制部 専門検査部門 企画調査官

南川 智嗣 原子力規制部 専門検査部門 上席原子力専門検査官

藤澤 博美 技術参与

菊池 正明 技術参与

高倉 賢一 技術参与

技術支援機関

知見 康弘 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 安全研究センター 経年劣化研究グループリーダー

山口 義仁 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 安全研究センター 耐震・構造健全性評価研究グループ研究副主幹

#### 外部専門家

大塚 雄市 国立大学法人長岡技術科学大学 技学研究院 准教授

深沢 剛司 学校法人東京電機大学大学院 工学研究科機械工学専攻 准教授

古川 敬 一般財団法人発電設備技術検査協会 溶接・非破壊検査技術センター  
所長

#### 一般社団法人日本機械学会

高橋 由紀夫 発電用設備規格委員会 副委員長

伊阪 啓 発電用設備規格委員会 幹事

松永 圭司 発電用設備規格委員会 原子力専門委員会 委員長

山田 浩二 発電用設備規格委員会 原子力専門委員会 副委員長 材料分科会 主査

朝田 誠治 設計・建設分科会 主査

高田 俊明 設計・建設分科会 容器作業会 主査

安田 俊一 設計・建設分科会 支持構造物作業会 主査

高橋 英則 材料分科会 幹事

豊田 昌紀 材料分科会 委員

大城戸 忍 材料分科会 委員

志田 康一 溶接分科会 副主査

望月 正人 溶接分科会 主査

藤田 善宏 溶接分科会 幹事

小口 力 溶接分科会 委員

#### 4. 議題

- (1) 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ついて
- (2) その他

#### 5. 配付資料

## 検討チーム構成員名簿

- 資料 2-1 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第2回検討チーム会合における日本機械学会への説明依頼事項への回答 設計・建設規格分
- 資料 2-2 技術評価に関する検討チーム会合における日本機械学会への説明依頼事項に対する回答
- 参考資料 2-1 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における日本機械学会への説明依頼事項 設計・建設規格分（改訂1）
- 参考資料 2-2 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第2回検討チーム会合における日本機械学会への説明依頼事項
- 参考資料 2-3 「設計・建設規格及び材料規格に関する日本機械学会への説明依頼事項（その1）（案）」に対する回答

## 6. 議事録

○田中委員 それでは、定刻になりましたので、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の第2回会合を開催いたします。

司会、進行を務めさせていただきます原子力規制委員会の田中でございます。よろしくお願いいたします。

本検討チームは、原子力規制委員会及び原子力規制庁職員のほかに、外部専門家及び技術支援機関職員に御参加いただきでございます。また、日本機械学会の方々に御出席いただきでございます。よろしくお願いいたします。

それでは、まず事務局のほうから議事運営についての注意事項等について、説明をお願いいたします。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁、佐々木です。

本日の会合の議事運営ですが、テレビ会議システムを用いて実施します。日本機械学会と外部専門家、原子力規制庁、JAEAをテレビ会議システムにて接続し実施いたします。

なお、政府のマスク着用の考え方の見直し等についてを踏まえまして、原子力規制庁の職員においては、マスク着用は個人の判断に委ねることになっておりますので、この点、御了承ください。

本日の配付資料は、議事次第の配付資料の一覧にて御確認ください。

なお、注意事項ですが、マイクについては発言中以外は設定をミュートにする、発言を希望する場合は大きく挙手する、発言の際はマイクに近づく、音声不明瞭な場合は相互に指摘するなど、円滑な議事運営に御協力をお願いします。また、発言するときには、必ずお名前を名のっていただきますようお願いいたします。それから、資料の説明の際には、資料番号及びページ番号も必ず発言いただき、該当箇所が分かるようにしてください。よろしく申し上げます。

○田中委員 よろしくお願いいたします。

それでは、早速ですが本日の議題に入りたいと思います。前回の検討チームより説明依頼事項を日本機械学会に提示し、その回答を資料2-1及び2-2として用意いただいております。まずは、資料2-1の設計・建設規格に関する説明を日本機械学会のほうからお願いいたします。

○日本機械学会（朝田主査） それでは、設計・建設分科会の朝田です。今日はよろしくお願いたします。

それでは、資料2-1のほうになります。説明依頼事項への回答の設計・建設規格分というところで御説明させていただきます。

まず、一つ目、2ページ目を開いていただきまして、まず一つ目、他規格の要求事項を取り込む際の考え方という（1）の質問でございます。御質問としまして、設計・建設規格は鋼構造設計規準、ASME SectionⅢを取り込んだ、告示501号（昭和55年通商産業省告示第501号「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」）の規定を残しているという説明がありました。例えば、ASMEのSectionⅢでは材料、設計、溶接の方法、検査が規定されまして、品質管理がトータルで行われるようになっています。どのような考え方で他の規格等を取り込んでいるのか、フローチャートで示してくださいという御質問です。

詳しくは3ページ目、次のページを開いていただきまして御説明させていただきたいと思います。

支持構造物につきましては、現地での施工、据付けがありますので、設計・建設規格の支持構造物の規定としましては鋼構造設計規準、日本建築学会の鋼構造設計規準を取り込んでおります。

下のほうに少しフローチャート的に書いてございます。クラス1支持構造物の場合、まず鋼構造設計規準というのがございまして、それが設計・建設規格であり、告示501号も

そうですけれども、それを取り込んでいるという状態になってございます。

告示501号でいきますと、材料なり、あと設計関係の規格が日本機械学会の設計・建設規格のほうに取り込んだといえますか、そのままそれを使いまして、我々で少し改良しながら使っているというところでございます。設計・建設規格のほうはSSA-1000が一般事項、2000が材料、3000が設計、5000が完成検査というような構成になってございます。

今回の極限解析につきましては、容器のほうのPVB-3160、炉心支持構造物のCSS-3160、これを取り込んで、設備はSSB-3140として新たに追加したというところでございます。これが3ページ目の説明でございます。

次に、4ページ目に行かせてもらいまして、今度はASME (The American Society of Mechanical Engineers) のほうの御説明を少しさせてもらいたいと思います。ASME Section III (Rules for Construction of Nuclear Facility Components) のNF、いわゆる支持構造物になりますけれども、これにつきましてもアメリカのほうのAISC、米国の鉄鋼協会の規格を参照にしておると。米国でも建築構造物に用いられているAISCをASME Section IIIの支持構造物に取り込んでおりまして、これにつきましては、日本での我々が日本建築学会の鋼構造設計規準を取り込んでいるというところと同様かと考えてございます。

下のほうに少しフロー図的に書いていますけれども、AISCをASME Section IIIの規格、一般事項、材料、設計、製造、検査、こちらのほうに取り込んでいるというのがASMEのSection IIIのほうの状態でございます。

次、5ページ目でございます。これは質問事項の(2)のクラス1支持構造物の極限解析による評価ということで、一つ目の(a)でございます。クラス1支持構造物には様々な構造・形状があり、どのような支持構造物を対象に適用性を確認したのかを質問したところ、構造・形状に依存するものではないとの説明がありました。ASME Section IIIのNF-3340 Limit Analysis for Class 1には、具体的な構造・形状の例が示され、適用できる範囲が示されています。極限解析による評価が構造・形状に依存するものではないとする技術的根拠を説明してくださいというところでございます。

回答につきましては、極限解析は、弾完全塑性体を仮定しまして崩壊荷重を求める構造解析の一つの手法となります。今回追加しました規定でいきますと、クラス1容器、炉心支持構造物と同様に、二倍勾配法により崩壊荷重を算出する手法として取り込んでおります。これは、原理的に適用性が構造・形状に依存するというものではございません。

ここで、SSB-3140極限解析による評価、これはSSB-3121の一次応力に対する許容応力の代替ということでございまして、SSB-3200のほうに許容荷重を適用する場合は対象外となります。

それから、6ページ目のほうに少し具体的な規格も含めて書いてございます。6ページ目に参考としまして、クラス1支持構造物のほうの極限解析による評価というところの各章のトピック的なところを書いてございます。

まず、SSB-3121が一次応力に対する許容応力というところになりまして、こちらがSSB-3121で一次応力に対する許容応力、それに関する代替が先ほどの極限解析になるというところでございます。

あと、SSB-3200に許容荷重という評価方法がございます。これはまた別の方法でございまして、SSB-3210のほうに、もう少し詳しく書いてございます。材料の許容荷重に関する次のSSB-3220～3240を満足する場合は、SSB-3100番台の材料の許容応力の規定に代えることができますよというところで、SSB-3100番台の許容応力を用いた設計の代替としまして、許容荷重による設計があるというところでございます。

このやり方は、荷重試験における供試体の個数は同一の材料及び形状を有する支持構造物ごとに3個としまして、供試体によって得られた値のうち最小の値を用いてSSB-3220～3240で許容荷重を計算しましょうというところで、実際の供試体、それを使って、それによって設計をしていくよというようなやり方になります。

これが許容荷重による設計というところでございます。例えば、SSB-3350に書いていますハンガーロッドとかばね、こういったものは基本的に許容荷重による設計になってきますので、こういった場合は対象外になりますよというところでございます。

これが、5ページ目のほうのところ書いている二つ目のポツがそのことでございます。あくまでも極限解析のほうはSSB-3100番台のほうの許容応力の評価と、こちらの代替になってくるということでございます。

あと、ASME SectionⅢのNF-3340につきましては、適用できる範囲、確かに形状は書いてございますけれども、適用できる範囲というよりは一般的な構造物の例というふうに理解してございます。

次が、飛んでもらいます7ページ目のところでございます。もう少し極限解析のほうの説明をさせてもらいたいと思ひまして、7ページ目のほうに、いわゆる一般的なはりの理論、これを用いた、はりに対する曲げの例を使いまして御説明させてもらいたいと思ひ

ます。

弾完全塑性体とした場合、表面が降伏点に達するとモーメント、左下に書いていますとおり、弾完全塑性体をこの場合、設計として仮定します。Syで降伏に達しましたら、それ以上応力は上がらないという弾完全塑性体を仮定します。これに対して、はりの曲げを考えた場合でいきますと、表面がSyになるまでは直線上の弾性の状態になってくると。さらにモーメントを上げていきますと塑性域が出てきて、全断面がSyになりますと塑性崩壊になるというのが塑性崩壊の状態になります。

これが、弾性のときのモーメントをMyとしますと塑性崩壊、矩形の場合でいきますと、Mpと書いていますけれども、これがMyの1.5倍になりますよというのが、いわゆる形状係数とかと呼んでいる係数になってきます。形状係数と呼んでいる、これにつきましては、設計・建設の一次の曲げプラス曲げ応力の許容値に採用してございまして、極限解析の場合でいきますと、構造を限定せずに計算することによって直接的に計算できてしまうというのが極限解析になってくるというところでございます。

8ページ目にもう少し具体的な、曲げモーメントと回転角の関係で御説明させていただきます。はりの曲げに対しまして、弾完全塑性体を仮定して曲げていくと。角度 $\theta$ ですね、右下に描いていますが、角度 $\theta$ とモーメントを図で表す、曲げモーメントと回転角の関係を示したのが横の赤線になってきます。二倍勾配法と呼んでいますのは、勾配の二倍ということになりますから、青点線のところになってくると。これでぶつかったところが崩壊荷重というふうに評価していくというのが、極限解析を使った場合の二倍勾配法というふうになります。

理論的には1.5Myまで認めますよということになりますけれども、二倍勾配法を使いますと少し保守側の値が得られるというところでございます。現行の許容体系の中で直接的に弾完全塑性体を用いた弾塑性解析で評価する手法なので、構造を限定せずに一般的な方法として採用可能というふうに考えてございます。

次が9ページ目、(b)の御質問でございます。(b)としまして、許容応力の考え方はASME Section IIIと鋼構造設計規準を取り入れたとありますが、何をどのように取り入れたのですかと。それと、その技術的妥当性を示してくださいと。例えば、鋼構造設計規準では材料として建築構造用圧延鋼材や一般構造用圧延鋼材等が対象で、ステンレス鋼は対象となっていないというところでございます。

回答としましては、設計・建設規格のほうのクラス1支持構造物でいきますと、ASME

SectionⅢの供用状態A、B、C、Dの区分に鋼構造設計規準の許容応力設計の長期、これは常時かかるような荷重を長期と呼んでおります、短期、具体的な例でいきますと地震なり暴風なり積雪というのが鋼構造設計規準で書かれておるといところでございます、こういう区分の考え方を鋼構造設計規準の中で取り込んでございますので、それを我々のほうに取り入れたといところでございます。

それにつきまして、具体的な一次応力につきましては、供用状態A、Bを長期と、事故事象の供用状態C、Dを短期というふうに区分しまして、それで鋼構造設計規準の考え方に合わせて短期の一次応力に対する許容応力は長期の1.5倍というふうな考え方も取り入れるといところでございます。

あと、基準値のF値、これにつきましては、終局耐力を構造物の安全性の基礎とする場合は、鋼材の降伏点のみに基づいて許容応力を定めたのでは高降伏点のものほど安全率が小さくなるということから、鋼材の降伏点と引っ張り強さの70%、いわゆる $0.7S_u$ のうち小さいほうの値をFとしましょうといところにしてございます。

ただし、供用状態Dにつきましては、ASME SectionⅢの考え方に基づきまして事故時の衝撃荷重が主で、ひずみ速度が大ということ踏まえまして、それと通常材料の実降伏点は設計値に対して余裕があることを考慮して、許容応力における $S_y$ を $1.2S_y$ に読み替えるということとしております。

このような供用状態の考え方から、これらの許容応力の取扱いは妥当というふうに考えてございます。

極限解析の規定で降伏点、許容荷重の係数につきましては、許容応力設計のF値、許容応力に対する係数と同じ値としているといところでありまして、もう少し、今のをフロー図で描いたのが次のページの10ページになります。

10ページの図でいきますと、左側が極限解析による評価の流れ、右側が許容応力法による評価の流れでございます。極限解析でいきますと、まず一番上が応力-ひずみ関係を設定すると。これは緑の線で描いてありますとおり、F値で塑性するという弾完全塑性体を仮定するといこととあります。それを使いまして弾塑性解析を行いまして構造体の荷重-変位を求めるといのが、青色の線の関係になってきます。それに対して二倍勾配法で設定するといので、それは緑の点線と、一点鎖線ですね。青と緑がぶつかったところが二倍勾配法による崩壊荷重といことで、 $P_{cr}$ が得られるといところでございます。

崩壊荷重に対して供用状態ごとの係数を考慮していくといところになりまして、降



伏点なり係数なりF値であり係数につきましては、右の許容応力法による評価で使っているF値、係数と同じになる、同じものを使うというところがございますので、最適にやれる、それを荷重で見るのか、荷重で見たのが左側、右で見たのが応力側というイメージになるかと思えます。基本的には、同じようなことを、同等のことを荷重で見るのが左側、応力で見ると右側というイメージになるかと思えます。

あと、11ページのほうにF値の具体的な規定もつけてございます。11ページでいきますと、これは規定分そのものでございます。Fは次のa~bというふうになりまして、aが溶接規格に従って非破壊検査をした場合でございます。bに関しましては、そうでない場合でございますと、0.45倍という係数をさらに掛けなさいというふうになります。

aのほうのF値でいきますと、まず (b) のほうが一般的な場合になりまして、基本的には $S_y$ が $0.7S_u$ というふうになります。(a) が $40^\circ\text{C}$ を超えるステンレス鋼及び高ニッケル合金になりまして、これにつきましては、 $1.35S_y$ と $0.7S_u$ と $S_y$ の室温と、いずれか小さいほうというような規定になってございます。SUSの場合ですと、少し加工硬化のほうも考慮した設定になっているというところがございます。

それに関する説明が、12ページのほうにもつけてございまして、12ページはもう少し表で整理させてもらいました。

まず、先に表のほうを説明させてもらいますけれども、表でいきますと左側のほうで供用状態A、B、C、Dというふうに分けてございます。それを許容応力の場合と極限解析による評価というところで整理させてもらってございまして、基準値、許容応力でいきますと基準値、極限解析でいきますと弾完全塑性体の降伏点と。それと、それに対する係数をそれぞれ整理させてもらっています。供用状態A、B、Cも、基本的に基準値なり降伏点は同じになってございまして、係数も同じというところがございます。

あと、F値の少し、供用状態Dのところでございますけれども、表の上のほうに少し書いてございますけれども、ステンレス鋼につきましては、炭素鋼の $S_m$ は $\frac{2}{3}S_y$ 、ステンレス鋼は $0.9S_y$ というような関係がございまして、炭素鋼の $S_y$ に対しまして、 $S_y$ で見ますと $S_y$ 割る $\frac{2}{3}$ の $0.9$ 倍ということで $1.35S_y$ というところにしてございます。これが先ほどのF値のステンレスの $S_y$ に相当する許容値の考え方になっております。こういった形で、ステンレスは $1.35S_y$ という値を用いるというふうにしてございます。

それと、すみません、供用状態Dのほうになりますけれども、基準値が $F^*$ になっていまして、アスタリスクのところを見てもらいまして、許容応力体系のほうで取り込み

ますと、Fを設定する場合、 $S_y$ は $1.2S_y$ に読み替えなさいというふうになってございますので、右のほうの極限解析によるミニマムの $1.2F$ 、 $0.7S_u$ の $1.2F$ というのは、結局、許容応力体系の、ここでは $F^*$ の $1.2S_y$ と同等ということになってございます。基本的には、こういう基準値であり係数につきましては、許容応力による設計と極限解析による評価につきましては同等のものを使っているというところでございます。

13ページが先ほどの規定分のところをつけてございます。御説明した内容ですので、ここは少し割愛させてもらいたいと思います。

次は、(2) クラス1支持の極限解析の(c)の御質問、制限値の考え方をクラス1容器、炉心支持構造物と比較して、その妥当性を示してくださいというところで、表につきましては原子力規制庁のほうでまとめていただいた表でございます。

具体的な御質問は15ページからになります。

一つ目の御質問、クラス1容器、炉心支持構造物の供用状態A、B、Cの制限値の $P_{cr}$ は、材料の降伏点を最高使用温度における $1.5S_m$ の弾完全塑性体として極限解析により求めた崩壊荷重の下限とされています。クラス1支持の制限値 $P_{cr}$ は、材料の降伏点を最高使用温度におけるSSB-3121.1(1)に示すF値の弾完全塑性体として極限解析により求めた崩壊荷重の下限とされていますと。クラス1支持の制限値 $P_{cr}$ をどのように定めたのか、その妥当性はという御質問でございます。

回答でございますけれども、支持構造物の許容応力設計、すみません、スライドのほうでございますけれども、支持構造物の許容応力設計はF値を降伏点相当の値として採用していますと。クラス1容器及び炉心支持構造物は、

回答のところでございます。支持構造物の許容応力設計は、F値を降伏点相当の値として採用しています。クラス1容器及び炉心支持構造物は、 $S_m$ は $\frac{2}{3}S_y$ と $\frac{1}{3}S_u$ の小さいほうなので、 $1.5S_m$ が降伏点相当になるということから、降伏点相当として $1.5S_m$ を採用しています。したがって、考え方はクラス1容器、炉心支持構造物と同等というふうに考えてございます。

具体的に降伏点を整理したものが16ページにまとめてございますけれども、結論としては概ね同等と。供用状態Dにつきましては、支持構造物のほうが少し低めというふうになってございます。

16ページを開いてもらいまして、SM400Cで炭素鋼のほうの例でございます。常温と $100^\circ\text{C}$ 、 $200^\circ\text{C}$ につきまして整理してみました。 $S_y$ 、 $S_u$ のほうの値も上に書いてございませ

て、これを使いまして設計状態、供用状態CとDですね、クラス1容器、炉心支持構造物、支持構造物で具体的な値を計算してございます。

棒グラフのほうを見ていただいたほうが分かりやすいかと思います。左から常温、100℃、200℃の比較でございまして、設計状態、供用状態C、Dというふうに棒グラフで整理してございます。青がクラス1、オレンジが炉心支持構造物のグレーが支持構造物というところございまして、設計状態と供用状態Cでいきますと少し差があるところはありますけど、それほど大きな差はないと思ってございます。Dのほうでいきますと、全般的に支持構造物のほうが低めになっているというところございまして。

次が18ページ目、2)のほうの御質問です。クラス1容器、炉心支持構造物の供用状態Dの制限値 $P_{cr}$ は、材料の降伏点をミニマムの $2.3S_m$ 、 $0.7S_u$ の弾完全塑性体として極限解析によって求めた崩壊荷重の下限とされていますと。クラス1支持の制限値 $P_{cr}$ は、材料の降伏点をミニマムの $1.2F$ 、 $0.7S_u$ と、これの弾完全塑性体として極限解析により求めた崩壊荷重の下限としています。クラス1支持構造物の制限値 $P_{cr}$ をどのように定めたのかと、その妥当性はという御質問でございまして。

回答でございましてけれども、許容応力設計法での供用状態DのF値を極限解析での供用状態Dの降伏点としておりますと。許容応力設計法と極限解析で表記は異なりますけれども、先ほども回答で示しましたとおり、両方で同等の評価結果になるというふうに考えてございます。1.2F自体は $2.3S_m$ よりも小さくなってございまして、容器の場合に比較して大きな保守性を持っているという状態になってございます。

次、19ページが3)でございまして。3)で、クラス1容器、炉心支持構造物の供用状態Dにおける荷重の $P_c$ は $0.9P_{cr}$ 以下とされておりまして。クラス1支持の荷重 $P_c$ は $P_{cr}$ 以下とされておりまして、クラス1容器、炉心支持構造物より高くなっていると。供用状態Dにおける荷重の $P_c$ をどのようにして決めたのかと、考え方を説明してくださいというところございまして。

回答としまして、クラス1支持構造物では、許容荷重の算出で $P_{cr}$ に乗じる係数は許容応力設計で許容応力に乗じる係数と同じ、つまり1.0にしていると。

クラス1容器、炉心支持構造物でいきますと、供用状態Dでの降伏点が支持構造物より大きく設定されておりまして。最終的な許容荷重に比例する降伏点と係数を掛けた場合、これの整理を次のページに示させてもらっています。若干差はあります、違いはありますけれども、支持構造物に対する値は同等、または小さめになっているというのが次の20ペー

ジの表でございます。

これもSM、先ほどの炭素鋼のSM400Cに対する常温100℃、200℃で整理させてもらっていきまして、横でいきますとクラス1容器、炉心支持構造物、支持構造物で整理させてもらっています。係数がクラス1と炉心支持構造物は0.9で支持構造物は1.0というところがございます。上の炭素鋼の例でいきますと、最終的に係数を掛けた結果でいきますと、常温でクラス1、炉心支持構造物が252に対して支持構造物は258で、温度が上がってくると若干、支持構造物のほうが下がってくる状態でございますけれども、概ね変わらないぐらいかなと思っているところがございます。

ステンレス鋼のほうでいきますと、全般的に支持構造物が低めになっているという傾向になっているところがございます。降伏点の係数を考慮した場合でも、このとおり、基本的には同等か低めになっているのが支持構造物というところで考えてございます。

次は21ページ目、(d)でございます。二倍勾配法で算出した崩壊荷重の下限値は、ほぼ降伏荷重相当なので、極限解析を適用する場合と適用しない場合でこの方法に違いはないということですが、これは、いずれの場合でも「極限解析を用いた場合でも弾性限度に収まる」という説明と理解してよいでしょうか。よい場合は、弾性限度に収まる根拠を説明してくださいということがございます。これにつきましては、もう少しこちらのほうで説明させてもらいたいと思います。

荷重の算定と許容値の設定が独立しておりまして、それぞれを保守的に設定しているというところで、次のページのほうにもう少し詳しく書かせてもらいました。

22ページのほうでございます。耐震評価の概要としまして、左上が地震応答解析、いわゆる弾性解析による発生荷重の評価を漫画的に描いたものがございます。右下の黄色のところは極限解析による許容荷重のほうの設定というところがございます。左上のほうの発生荷重のほうからいきますと、これにつきましては許容応力法であり、極限解析でも共通ですけれども、弾性解析によって計算するという前提でいきますと、変位と荷重でいきますと、オレンジのほうの線が弾性解析になりますから、解析するとオレンジの線に行きますというところがございます。青点線が例えば塑性、実際として塑性するというふう考えた場合は、青点線のイメージになってきます。

つまり、荷重で見ますと弾性解析のほうが高めになってくるというふうになってくるかと考えてございます。降伏点を越えた場合でも、降伏点を越えるような荷重になった場合は、弾性解析のほうが保守側になってくるというところがございます。

右側も少しイメージ図で描いてございます。弾性解析は、基本的に弾性解析も高めになってくるというところになりますので、それで弾性解析で得られた荷重を持ってきて評価するというのが下の極限解析になってきます。

それに対しまして、許容荷重のほうが弾完全塑性体に対して二倍勾配法で右のように、これも繰り返しですけれども設定していくと。青で描いていますけれども、実際の応力-ひずみ関係でいきますと、もう少し高くなってくるんでしょうけれども、規格上は、あくまでも弾完全塑性体で評価するというところ、それに対して二倍勾配法を用いまして $P_{cr}$ を求めていくというところでございます。それに対して係数を掛けて、最終的な許容荷重を求めにいくというところになります。

左側に描いています許容応力設計でいきますと、上の弾性解析でもって応答解析するとした場合を、応力を見て $\sigma$ を求めまして許容応力の $F$ で評価するというところになっています。これも繰り返しですけれども、ある弾性解析で地震応答を計算した場合を応力で見るとか荷重で見るとかという考え方になるかと思えます。

次、23ページ目でございます。多数の機器や部材を含んだシステムを対象とする耐震解析では弾性特性を仮定しまして、一部の応力が降伏応力を超えたとしても解析の中では塑性変形を考慮することはしないと。一方で、極限解析は、個別の部材に対して部材が耐えられる実荷重を加工硬化を無視して保守的に評価するという手法になっています。

現行の許容応力の範囲内では、実際のシステムの一部の部材で塑性変形が生じて、若干変形は大きくなるものの応力及び荷重は弾性と仮定した場合より下がる方向になると。実際に部材が受ける荷重や応力は、耐震解析で求めたよりも小さくなっていくというふうに考えてございます。

以上より、弾性解析による耐震解析で得られた応力、あるいは荷重を用いて塑性崩壊に対する健全性を評価することは、保守的であるというふうに考えてございます。極限解析により得られる許容荷重は、現行の許容応力が発生した場合に生じる荷重と等価になってきますので、上記の弾性解析に基づく耐震解析での評価体系に影響を与えるものではないというふうに考えてございます。

次、(3)は、今度はクラス1構造物に対しまして曲げ座屈評価式の見直しという項目の(a)でございます。曲げ座屈評価に対する許容応力 $F$ は、 $40^{\circ}\text{C}$ を超えるオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金以外について、鋼構造設計規準の許容応力を取り込んでいますと。その考え方と技術的根拠について説明してくださいと。特に、座屈式の適用範

囲、構造・形状、ステンレス鋼等への適用拡大、1.35Sy、0.7Su等とした妥当性について説明してくださいというところがございます。

回答としまして、一応、曲げに対する許容応力の見直しに対する質問として回答させていただきます。今回の曲げ応力に対する許容応力の規定の改定は、鋼構造設計規準、現在の鋼構造許容応力度設計規準に従いまして、本来の横座屈耐力式を基本としたものです。材質にかかわらず、いわゆる2軸対称段面に対して一般の、中空の矩形段面を除きますけれども、これらに適用できるという評価式になってございます。

25ページに、もう少し詳しく式を展開したものをつけさせてもらっています。許容曲げについて、規格では $\lambda_b$ ですね、細長比が3ケースで規定をしております。二つ目のポツにありますとおり、座屈モーメントが高い範囲、 $\lambda_b$ が $\rho\lambda_b$ よりも小さい場合で、二つ目が座屈モーメントが低い範囲、 $\rho\lambda_b$ が $\lambda_b$ よりも小さい範囲、その中間域という3パターンで規定してございまして、まずは二つ目のポツの座屈モーメントが高い範囲でいきますと、許容曲げ応力 $f_b$ は、少したくさん書いてございますけれども、このような式で決まっていると。 $f_b$ はF割る $\nu$ と。この $\nu$ が1.5プラス3分の2の $\lambda_b$ 割る $\rho\lambda_b$ の二乗というような式になってございます。安全域というイメージにはなってくるかと思えます。

$\rho\lambda_b$ なるものは弾性限界の細長比ということで、1割るルート0.6ということで、これは一定値というところになります。 $\lambda_b$ のほうが曲げ材の細長比になりますので、これがルートの降伏モーメント割る弾性の横座屈モーメントになります。降伏モーメントの $M_y$ は、F掛けるZというふうな式になりまして、弾性座屈モーメントの $M_e$ が下に書いていますとおり、少し細かい字になってございますけれども、ある係数Cに対してEとIですね、断面積モーメント、長さといったので決まってくるというところになりますので、荷重条件、 $M_1$ 、 $M_2$ が決まれば、あとは形状で決まってくるのが $M_e$ になってくるというところがございます。

あと、塑性の限界細長比が $\rho\lambda_b$ で、ここが0.6プラス、0.3の $M_2$ 割る $M_1$ という式になってございます。これを見ていただきますと、最終的に $f_b$ は分母のFで $\nu$ の中に入っています $\lambda_b$ 、 $\rho\lambda_b$ を見ますと、これもFが残ってくるというところになりまして、ほかは形状で決まってくるというところになってきますから、 $f_b$ は部材か形状が決まれば結局F値に支えるというような許容値になっているというところがございます。

次に、三つ目のポツでございまして、座屈モーメントが低い場合、 $\rho\lambda_b$ が $\lambda_b$ より小さいところ、これは $f_b$ が次式、下に書いていますとおり $\lambda_b$ の二乗分の1のF割る2.17というふうな式になってございまして、これを展開していきますと結局 $M_e$ がパラメータとし

が残ってくると。つまり、形状と弾性係数で決まってくるという式になってございます。

その間としましては、二つの間を両側を滑らかに結ぶ式というふうにしてございますので、基本的には座屈モーメントが高いところがFで支配されて、低くなってきますと、もう弾性係数と部材係数で決まってくるような関係になっているのが、この評価式の特徴でございます。

次、26ページにもう少し説明をつけさせてもらっています。ステンレス鋼を座屈モーメントが高い範囲に適用する場合でいきますと、F値で支配される範囲となってくるといところで、これも繰り返しになりますけど、F値の設定の考え方であり塑性変形特性によって支配されるということを考えますと、F値を適用するということは妥当と考えてございます。

ステンレス鋼を座屈モーメントが低い範囲に適用する場合は、材質の違いによる要素は縦弾性係数だけというところになりますので、ステンレス鋼の縦弾性係数を使用することは妥当というふうに考えてございます。

中間は両者を結ぶというところになりますので、先ほどの両者が妥当ということ的前提に同様に妥当というふうに考えてございます。

鋼構造設計規準2005年版の図の5.1.5、5.1.6に示されているとおり、先ほどの安全率 $\gamma$ を乗じる前でも材質の影響が大きいと考えられる実験値を保守側に評価しておりまして、材質の影響が小さいと考えられる解析値は安全率を乗じることで保守側に評価されているということを考えますと、鋼構造設計規準の評価式をステンレス鋼に適用するということは妥当というふうに我々は考えてございます。

次は(3)、失礼、(b)ですね、(3)の(b)でございます。鋼構造設計規準1973年版では、疲労の繰り返し数と応力比から定められる疲れ係数 $\gamma$ を応力振幅幅の上下限での絶対値が大きいほうの値に乗じた値が長期の許容応力以下とするものとしていました。実際の構造物において許容応力度以下の応力で疲労損傷が生じた事例や、変動応力に対する疲労の検討ができないことなどの問題点が存在していたことから、鋼構造設計規準2005年版では疲労設計が規定されていると理解しております。設計・建設規格のクラス1支持構造物の規定に疲労に対する規定を盛り込んでいない理由を説明してくださいということでございます。

回答としまして、鋼構造設計規準の疲労に関しましては、1973年版、2005年版とも規準に記載のとおりで、繰り返し回数が $10^4$ 回を超える高サイクル疲労を対象としたもので

ございます。これは、クレーンの支持架構とか機械の支持部などを対象としております。我々としては、実機で共振しないように機器は設置されておりまして、振動による影響は軽微というふうに考えてございます。

支持構造物につきましては、疲労に影響する熱伸び差などで生じる繰り返しの回数は限定的であることを踏まえますと、高サイクル疲労に対して規定は特に設けていないというところが今の状態でございます。

28ページ目、繰り返し荷重に対する規定について、少し説明を付け加えさせてもらっています。設計・建設規格のクラス1の支持構造物でいきますと、一次応力と機器の熱膨張により生じる二次応力の合計の変動に対しましては下に書いていますSSB-3122の規定がございまして、基本的な考え方として応力の変動に対して変動幅を弾性範囲に抑えましようというような規定になっておりますので、基本的に、こちらのほうで変動応力に関しては制限しているというところがクラス1の支持構造物の規定になってございます。

次が、29ページ目からは、クラス2、3の上位クラスの規定の適用でございます。この説明の前、参考資料2-1のほうを見ていただきたいと思います。参考資料2-1で、前回、第1回のときに御説明させてもらった設計・建設規格分の説明依頼事項に対する設計・建設規格分がございまして、間違いがないように少し修正をお願いしたいというところがございます。

25ページ目になります。今、これから御説明させていただきます25ページ目のクラス2、3容器の上位クラスの規定の適用に対する説明の中で、具体的な表を書いてございます。上のほうに書いていますとおり、材料及び構造設計をクラス1とするので、溶接部の材料、製造及び検査もクラス1に従うというふうになっていまして、こちらのほうに、こちらが回答なんでございますが、表のほうは、赤枠で書いていますけれども、前回、ここを「クラス2」と書いてございまして、ちょっと誤解がありましたので、これは「クラス1」というふうになります。説明を足してございまして、クラス1のDesign by Analysisで設計するので、クラス1で認められた溶接の設計だけが許容されることになるというふうに考えてございます。

こちらのほうは、このように修正させてもらいたいと思います。基本的に、最初の上に書いています材料及び構造設計をクラス1とするので、溶接部につきましてはクラス1に従うというのが基本的な考え方でございます。

もう一度、そうしたら資料の2-1に戻っていただきまして、29ページですね。御質問、



すみません、そこは我々の資料が少し分かりにくかったところもあって御質問をいただいたのかなと思っております。29ページの (a) のところ、クラス2、3容器に上位クラスの規定を適用した場合の考え方について、製作及び検査も上位クラスの規定に従うのか、従う場合、上位クラスの規定を下位クラスに適用するメリットは何かと、従わない場合は、その理由をとということでございます。

これも繰り返しですけれども、2、3で上位クラスの規定を適用した場合につきまして、製作、検査も上位クラスの規定に従うということになります。メリットという意味では、幾つかあると思いますけれども、使用者の方、例えば、事業者さんのほうで、やはり当該機器の重要度を踏まえまして上位クラスの設計を採用したいという場合にも対応できますし、例えば、クラス3になりますとDesign by Ruleのほうで設計することになりますけれども、複雑な形状に対する設計を考えた場合でいきますと上の規定のDesign by Ruleで設計できるとか、非常に設計としてフレキシブルに対応できるというところで上位クラスが使えるようにしておくというところでございます。

(b) のほうでございますけれども、30ページ目でございます。(b) で「PVC-1220クラス2容器の材料及び構造の特例」は、材料及び構造設計と溶接部の材料、製造及び検査はクラス1容器によることができ、その場合の溶接部の設計はクラス2容器の規定に従うという説明がありました。この規定は告示501号を踏襲しているという旨の説明がありました。電気工作物の溶接の技術規準の解釈（以下「溶技解釈」という。）の第114条にいきますと、クラス1容器の材料及び構造の規格に適合するクラス2容器の溶接につきましては、クラス1容器の溶接の規定によらなければならないとなっています。告示501号のみを取り込んだ理由を説明してくださいということで、これも先ほどのところでちょっと誤解を与えたかなと思っています。溶接に関するクラスも設計と同じになるというふうに考えてございます。

31ページ目、これも同様かと思えます。2) で、溶接規格に溶技解釈114条に対応する規定がある場合には、その規定とPVC-1220の規定との関係について説明してくださいというところでございます。これも繰り返しですけれども、溶接規格におけるクラスも設計・建設規格側で指定するクラスに従うことになるものと考えておるんですけれども、確かに不明確なところがあるというのは認識しておりまして、これは今後改定するというところで我々としても検討している最中というところでございます。

次、32ページ目、3) でございます。ASME Section IIIでは、NCD-3200の規定を用いた場

合は、溶接設計の規定はどのように規定されているのかを説明してくださいということでございます。

これにつきましては、NCD-3200だけじゃなくて、ASMEのSectionⅢのクラスのNCD-3200だけじゃなくて、NCD-3300とNCAも含めて整理させていただきました。NCD-3300のほう、これはクラス2容器としましてDesign by Ruleによる設計というところでございます。これでいきますと、NCD-3350というのが溶接設計でありまして、継ぎ手はNCD-4240と。設計・建設でいうクラス2容器の継ぎ手設計というのがNCD-3300、いわゆる普通のDesign by Ruleの設計がNCD-3300になります。

NCD-3200のほうでクラス2容器としてDesign by Analysisによる設計というところになりまして、これでいきますと、NCD-3250のほうに溶接設計というのがありまして、継ぎ手は別のNCD-4260というところを取り込んでいます。これは、基本的には突き合わせ完全溶け込み溶接でありまして、いわゆるクラス1容器相当という継ぎ手を指定しているということになります。

③のNCA-2134、これはQA上、クラス1規定で設計していいですよという考え方になります。これでいきますとクラス1として設計しなさいということになりますので、容器の溶接、継ぎ手ともクラス1になってくるところになります。

これをもう少し整理したのが33ページでございます。上が、①がNCD-3300、いわゆるクラス2の場合で、②がNCD-3200でクラス2規定の中で格上げするという設計の考え方、③がNCAですからQA上、もうクラス1としましょうという設計の規定になってきます。上から、許容応力体系、SかSmかと、それと継ぎ手区分Aの非破壊試験の要求の例です。溶接後熱処理を要しないものの条件ということで整理してみました。

①の場合は、いわゆるクラス2の設計になってきまして、②のところでは、ASME SectionⅢの場合、少し継手区分の非破壊検査がRTだけとかになってきて、溶接後熱処理も少し厚みが厚めになってくると。③でいきますと、完全にクラス1というふうな要求になってくるところでございます。

我々、今回、日本機械学会としてPVC-1210、1220というふうな規定でいきますと、赤枠のところ、完全にクラス1に格上げするのはPVC-1210で、青枠のクラス2ベースでクラス1に格上げするという規定がPVC-1220になってきます。結局、基本的には、我々として要求は一つになってくるといふ、設計はクラス1と同じというふうな考え方でおりまして、二つ目のポツですけれども、設計・建設のPVC-1220でいきますと、ASMEの②の規定を取り

込んだものですが、設計・建設規格ではNCD-3200が要求する検査等の個別規定は取り込んでいないので、検査等はクラス1になってくるというところ、溶接設計も実質的にはクラス1というふうに考えてございます。

③が基本的にクラス1とするという規定になりまして、今の我々の理解でいきますと、要求としましては同じものになってくるというところでございます。

以上が、長くなりましたけれども、すみません、質問に対する回答でございます。

追加でいきますと、前回、古川所長のほうから、もう一つの応力腐食割れの事例規格のほうで溶接、金属に対する非破壊の御質問があったかと思っておりますけれども、それにつきましては、また事例規格のときの回答の中で御説明させてもらいたいと思っています。

設計・建設からは以上でございます。

○田中委員 ありがとうございます。

それでは、今、説明がありました資料2-1につきまして、御質問または御意見がございましたら、お受けしたいかと思っております。いかがでしょうか。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁、佐々木です。

御説明、ありがとうございます。最初に御説明いただいた他規格等の要求事項を取り込む際の考え方なんですけれども、こちらは支持構造物の章について説明いただいたと思っています。

現地での施工、据付けがあるから、これを取り込んでいるのですということと、告示501号でも同じですという説明があったんですけれども、次のページに行ってください4ページのところに行きますと、ASME Section IIIも米国鉄鋼協会の規格を参照していますというふうに書いてありまして、こちらでも同じように強度のものを構造物の規格に取り込んでいるということなので、特に、こちらを使うということも選択肢としてはあると思うんですけれども。考え方としては日本のものを取り込んだほうが良いとしたという説明だったと思うんですけれども、それは、この規格と日本の鋼構造設計規準とは内容が違うからということなんですか。教えてください。

○日本機械学会（安田主査） 日本機械学会の安田ですが、そうですね、日本の鋼構造設計規準とAISCは、目的としているところは一緒ですけど、式とかは少しずつ違っているんで、従来から日本の設計の日本の規格のほうが良いということで鋼構造設計規準を取り込んだと考えております。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁、佐々木です。

分かりました。ありがとうございます。

○田中委員 あと、ございますか。

○南川上席検査官 専門検査部門の南川と申します。

理解のためにちょっとお伺いしたいのですけれども、資料の33ページの2行目に検査等ということが書かれていて、範囲を書かれているのですけれども、また、下に検査等というのが、あと2か所、表の下に書かれていて、この検査等というのは、どこまでの範囲を言われているのでしょうか。

○佐々木企画調整官 すみません。日本機械学会、音が出ているので、切っていただいてもいいですか。

○日本機械学会（高田主査） 日本機械学会の高田です。

ここで検査等と呼んでいるのは、例えば、上の表に書いています試験、溶接部の非破壊試験要求ですとか、あとは熱処理等の要求のことを指しています。

○南川上席検査官 3か所とも同じ理解でよろしいですかね。

○日本機械学会（高田主査） はい、3か所とも同じものを指しております。

○南川上席検査官 だから、検査というのは、等というのは、試験とか非破壊試験とかということ言われているということですか。

○日本機械学会（高田主査） はい、そうです。

○南川上席検査官 溶接検査も含んでいるということですよ。

○日本機械学会（高田主査） はい。その御理解です。

○南川上席検査官 はい、理解しました。

○田中委員 あと。はい、どうぞ。

○藤澤技術参与 原子力規制庁の藤澤です。

資料の5ページに三つポツがありますけれども、そのうちの2番目のポツ、ここでクラス1支持構造物の極限解析の評価はSSB-3100の許容応力による場合とSSB-3200の許容荷重を使う場合というのがあって、ハンガーロッドとかばねは、これは、SSB-3350という部分は許容荷重のものであって、SSB-3100の許容応力という部分は使いませんよというふうにおっしゃったんですけれども、規定を読みますと、SSB-3100というのは、別にハンガーロッドとかばねとかというものを使っては悪いと、どこにも書いていなくて、評価するときにはこういうふうの評価しなさいというふうに書いているわけですね。

それで、SSB-3200というのは、それを許容荷重として試験か何かを行って求めた場合

には、許容荷重を使っていいですよというふうなことで書いていまして、極限解析法の評価がSSB-3100番なんですけれども、それをハンガーロッドとかばねに適用することはできませんというのはちょっと理解できないんですけれども。それは、適用することがいいか悪いかじゃなくて、規定を適用できませんと書いていることについて、もう少し具体的に説明をお願いします。

○日本機械学会（安田主査） すみません。ちょっと書き方が誤解を与えたかもしれませんが、使えるのであればハンガーロッドとか、要は、工場で作ってくる既製品に使えるのであれば極限解析も使ってもいいんですけれども、通常、工業製品というのは荷重試験とかをやりますので、荷重試験とかで行っている、今まで行っているものに対してまで極限解析を無理に使うものではないという意味でして、御指摘のあったように規格として使ってはいけないという意味ではないです。

○藤澤技術参与 ありがとうございます。原子力規制庁の藤澤です。

そうすると、ここで質問したのは、極限解析法をどのような構造・形状の支持構造物に適用できるんですかということについての質問をしていまして、その回答に対して、具体的に、こういう構造だったら適用できますよ、これはできませんよというのが、もう少し具体的に示していただかないと、全てが適用できますよというふうにも読めちゃうので、やはり適用できないものもあると思うんですけれども、そういう意味で、もう少し説明を充実していただけないでしょうか。これは、まあ、今日は無理ですから次回で結構ですけど、お願いしたいと思います。

以上です。

○日本機械学会（安田主査） 承知いたしました。ありがとうございます。

○田中委員 あと、ございますか。はい。

○東京電機大学大学院 深沢准教授 東京電機大学大学院の深沢です。

御説明、ありがとうございました。16ページ、17ページ辺りの極限解析による評価について、お伺いさせていただきたいなと思います。炭素鋼による説明がございましたが、SUS304の値を見ますと、特に17ページですね、供用状態Dですと、支持構造物とクラス1、炉心支持構造物と比べて大体60MPaないし50MPaぐらい開きがあるのですが、これはこれで妥当であるという判断なのでしょうか。

○日本機械学会（安田主査） そうですね。やっぱり、すみません、日本機械学会の安田ですけれども、もともと持ってきている規格の違いからだと思っています。クラス1容器、

炉心支持構造物はASMEのほうから持ってきていまして、支持構造物のほうは鋼構造設計規準のほうから持ってきていますと。鋼構造設計規準のほうですと、もともとが長期、短期というものしかなくて、供用状態CとDに大きな違いはないんですけど、ASMEのNFのほうも同じような体系にはなっているんですけど、供用状態Dのところは、先ほど御説明させていただきましたように、衝撃的な短時間荷重というのと、まれなケースなんで、実際の強度を増して少し供用状態Cよりも大きくしているという程度ですので、もう、それは支持構造物のほうが結果だけで言うと保守的な設定になっていますし、規格の違いはあるんですけど、考え方というか体系の並びからすると、それぞれクラス1容器、炉心支持構造物も支持構造物も、それぞれCからDに供用状態で上げてくるのは、それぞれ考え方があるので、どちらも妥当だとは思っております。

○東京電機大学大学院 深沢准教授 東京電機大学大学院の深沢です。

ありがとうございます。そうですね。安全側に設定されているからいいという考え方もあるんですけども、逆の見方をすると、このクラス1容器と炉心支持構造物のほうが許容値が高くなってしまっているというふうにも見えてしまうんですが、この同じ規格の中で同じ材料、同じ温度でこれだけ開いてもいいのかなというのがちょっと疑問に思いました。コメントさせていただきました。

以上です。

○日本機械学会（朝田主査） どうもありがとうございます。設計・建設、朝田です。

基本的に支持構造物のほうは、ベースがやっぱり弾性ベースという大きな概念があると思います。それに対して圧力容器、容器関係、炉心支持構造物もそうですけども、供用状態Dはやっぱり3分のSuもあり得ますという世界なので、そこは思想が少し違っててもいいのかなと思っております。

以上です。

○田中委員 はい、どうぞ。

○発電設備技術検査協会 古川所長 発電設備技術検査協会の古川です。

御説明、ありがとうございます。今の質問と少し絡むのかもしれませんが、21ページのところでちょっと確認ですけれども、今、弾性域で全部、弾性範囲内ということでしたが、材料規格で、今度、SN材を入れるといいますか、そういったことになる。あちらは塑性変形能力というんですか、そういったのが規定されて建築のほうで使われていると思うんですけども、むしろ今現在じゃなくて、将来はそういう設計のほうにもそれがフィ

ードバックされるようなこともお考え、今、考えているかどうかというのは別としても、そういう余地はあるという、そんなことでよろしいのでしょうか。

○日本機械学会（朝田主査） 設計・建設、朝田です。

耐震のほうになってきますので、日本電気協会のほうに話はなってくるのかなとは思っております。ただ、おっしゃられるように、そういうのも基本的には我々としては選択肢はあるのかなと思いますけども、将来の議論かなというところかと思います。どうもありがとうございます。

○発電設備技術検査協会 古川所長 すみません、発電設備技術検査協会の古川です。ありがとうございます。ちょっと、どこで聞くかに、適切でなかったかもしれませんけれども、ありがとうございました。

以上です。

○田中委員 あと、ございますか。

○東技術研究調査官 すみません、原子力規制庁の東です。

8ページを御確認、お願いをいただきたいんですが、御説明の中で、これ今、単純なはりの説明で図示しているんですが、これは形状によっては恐らく塑性ヒンジの生じ方が異なったりして崩壊荷重が変わってくるのではないかなと予想できるんですが、そういった場合に形状によっては現行の許容応力評価よりも大きい荷重を許容されるような可能性ってないのでしょうか。

○日本機械学会（安田主査） 日本機械学会の安田です。

おっしゃられるとおり、一部降伏してても荷重が上がるような形状のものに関しては現在よりも結果として大きな荷重まで耐えられるようなことにはなりません。

○東技術研究調査官 ありがとうございます。そうすると、23ページ、先ほどの耐震の解析のところと関係してくるんですが、御説明いただいた内容だと、基本的には現行の許容応力と等価な荷重までしか許容されませんので耐震解析に影響ありませんという御回答だったんですが、形状によっては等価とは言いがたいということであれば、やはり形状についてもう少し説明を加えていただけたらいいなと思いました。

以上です。

○日本機械学会（松永委員長） はい、承知いたしました。原子力専門委員会、松永です。

今の御質問については、先ほど、最初の質問のところ为例示した、最初の8ページ目で、7ページ目かな、例示したのが、この矩形断面のはりの状態ですけど、それをFEM（有限要

素法)を用いて極限解析をすることによって同等の評価ができるようにするというのが極限解析の考え方ですので、その極限解析を用いることによって、そういう、この形状だけではなくて、あるいはその形状に合わせた効果ということを見込むことができるということになるというふうに考えてます。なので、その非保守になるというわけでは必ずしもないということには、実際のもので崩壊荷重、崩壊するというを適切に判定する手法だというふうに考えてますので、非保守になるということではないというふうに考えます。

以上です。

○田中委員 よろしいですか。

あと、ございませんか。

○東京電機大学大学院 深沢准教授 東京電機大学大学院の深沢です。

23ページで教えていただきたいんですけども、下から2ポツ目、これ言葉尻を取って申し訳ないんですけども、「以上より、弾性解析による解析で得られた応力あるいは荷重を用いて塑性崩壊に対する健全性を評価することは保守的である」とあるのですが、この保守的という意味はどういうことを意味しているのでしょうか。

○日本機械学会(朝田主査) 設計・建設の朝田です。

22ページの説明ですけども、荷重側が、例えば少し塑性域へ行っただとしても、荷重で見ると弾性解析で評価したほうが保守側で、高めですと。で、許容解析側でいきますと、基本的には同等ですけども、二倍勾配法で少し保守側の許容解析になるのであれば、トータルで見ると少し保守側になるのかなと、同等か保守側になるのかなということでございます。

○東京電機大学大学院 深沢准教授 東京電機大学大学院の深沢です。

ありがとうございます。その一方で、荷重、弾塑性解析をやって降伏点を超えると荷重が大きくなるのは、むしろ当たり前だと思うんですが、その反面で、ひずみが伸びてきますよね。そういった意味で、ここで構造健全性に対して保守的であると言い切れるのでしょうかね。

○日本機械学会(安田主査) ここで言ってますのは、荷重は小さい、実際よりも大きめで見えていますということで、塑性域へ入ると、今、御指摘いただいたように、変形は大きくなっていくということなんですけれど、そちらのほうは二倍勾配法のほうで崩壊までいかないところで抑えているということで、トータルで見ると保守、どちらかというと保守側かなという、そういう意味です。具体的に塑性崩壊して、その後の大きいひずみまでを見



ようとしている設計法ではないので、こういう書き方をさせていただいております。

○日本機械学会（朝田主査） 設計・建設、朝田です。

あくまでも、こういう基本値だけど抑えにいつてるといふ範囲でのことだと言つてますので、そういった意味では、その範囲でいく限り、極端にひずみがたくさん出てどうといふ世界ではないと思つています。

○東京電機大学大学院 深沢准教授 はい、ありがとうございます。そしたら保守的であるといふことは別に関係ないんじゃないのかなといふふうにおもいました。

○日本機械学会（朝田主査） ええ、ちょっと、はい、ありがとうございます。

○東京電機大学大学院 深沢准教授 以上です。

○田中委員 はい。

○菊池技術参与 原子力規制庁の菊池です。

27ページのところなんですけれども、疲労繰返し数の話で、高サイクルの話は、実際は「共振しないように機器は設置されており、振動による影響は軽微と考えられます」と書いておられますけれども、こういう原子力プラントでも結構いろいろな振動の発生するよふな機器があると思ふんですけれども、今までこういう振動による損傷はなかつたといふことなんでしょうか。

○日本機械学会（安田主査） 日本機械学会、安田ですけれども、支持構造物に関してはそのような疲労で損傷したといふようなことは聞いてはおりません。

○菊池技術参与 はい、分かりました。ありがとうございます。

○田中委員 あと、いかがですか。

○小嶋上席技術研究調査官 原子力規制庁の小嶋です。

33ページのクラス2の上位クラスでの規定の適用についてですけれども、33ページ、一番下のところで、と PVC-1220は実質的には同じ要求といふことなので、これを実際に現場で活用するときに混乱しにくいほうはPVC-1210のほうかなと思ふんですけれども、日本機械学会の見解といふか、考え方を共有させていただければと思ひます。

○日本機械学会（高田主査） 日本機械学会の高田です。

31ページで御説明してまふすけれども、30ページですか、30ページでも説明してまふすけれども、二つの規定、両方とも同じよふな規定となつています。御指摘のとおり、PVC-1210で設計したほうの方が分かりやすいといふことはありますし、規格のほうも今後、より記載の適正化については検討していきたいといふふうにおもっています。

以上となります。

○小嶋上席技術研究調査官 原子力規制庁の小嶋です。

分かりました。

○田中委員 あと、ございますか。

よろしいですか。

技術支援機関のほうから特に何かございませんか。いいですか。はい。

ないようですが、ちょっと何点かまた説明を求めたところがございますので、また次回、御説明をお願いできたらと思います。

それでは、続きまして、資料2-2の材料規格に関する説明を日本機械学会よりお願いいたします。

○日本機械学会（山田主査） 材料分科会、山田でございます。

それでは、資料2-2を用いまして、材料規格に対する、説明依頼事項に対する回答につきまして御説明いたします。

資料、1枚めくっていただきまして、目次で今回、大きく7項目、説明依頼事項を頂いております。順番に説明してまいります。

ページをめくっていただきまして、2ページをお願いいたします。まず、(1)他規格等の材料を取り込む際の考え方でございますが、材料規格はASMEのSec. II、Materialsです、とか、JIS B 8267「圧力容器の設計」を取り込んだとか、JISの圧力容器の規格、これはDesign by Ruleのほうですが、これの考え方に基づいて設計係数を見直ししなかった等の説明がありました。どのような考え方で他の規格等を取り込んでいるのか、フローチャートで示してくださいという説明依頼事項でございます。

1枚めくっていただきまして、3ページでございますが、まず、新規材料を取り込む場合と許容値等を見直す場合に分けて、我々のモチベーションをまとめております。

まず、例えばSS400に対しましては溶接を行う場合に化学成分に関する特別要求を課しておりますけれども、特別要求を課す必要がない材料を使えるようにしたいとか、二つ目ですけど、「原子力発電用規格材料」というのがありますが、これは特別注文品となりますので、同等のJIS材料を使えるようにしたいとか、あと、マーケットニーズに合った材料を使えるようにしたいといったようなモチベーションで新規材料を取り込んでおります。

なお、ですけれども、JISの圧力容器から材料を取り込むようなことは、これまでは行っておりません。

あと、許容値等を見直す場合、動機ですけれども、これは設定値根拠を明確にするとともに、国際規格とのハーモナイズを図りたいというモチベーションで規格の改定を行っております。

めくっていただきまして、4ページですが、それぞれ新規材料の取込で2ケース、許容値の見直しで1ケース。

新規材料の取込につきましては、①として、「新規材料採用ガイドライン」に基づき新規材料を取り込む場合が一つあります。二つ目として、相当材（又は同等材）の関係より新規材料を取り込む場合、この2ケースがこれまでありました。

あと、許容値の見直しにつきましては、③番ですが、相当材の関係よりASME規格と整合を図る観点から見直しを行っている、このような場合分けにしてまして、これらのそれぞれの場合について考え方を次のページにフローチャートとして示しております。

5ページを御覧ください。左側のフローが新規材料の取込。ここで言ってます新規材料というのは、材料規格の「Part2第1章 表1 使用する材料の規格」に記載のない材料のことを言っております。

新規材料の取込につきましては、左側のフローで、まず最初に、ASME相当材が存在するか否かということで、存在すれば、ASME相当材の許容値等を参照して取り込んでいる。これ括弧書きで「(NCF625が該当)」しますというふうに書いています。

その次のひし形で、「使用する材料の規格」に同等材があるかないか。ある場合でしたら、その同等材の許容値等を参照して材料を取り込んでいる。こちらは今回の場合、SCM435H等が該当するということになります。

上の二つのひし形に入らない場合は、一番下に下りてきまして、新規材料採用ガイドラインに従って材料を取り込むということで、今回はSN材が該当しますというものです。

一方、右側のフローが、許容値等の見直しということで、これは前回も御説明しております、2012年版の取り込みのときにもこのフローでやっていますということですので、今回はフローの細かい説明については割愛させていただきたいと思っております。

次の6ページに、それでは新規材料採用ガイドラインとはどういうものかということについて記載をしております。2012年版の技術評価のときにも新規材料採用ガイドライン自体は技術評価の対象にはしないという原子力規制庁の考えでしたので、今回はこれに基づいてSN材を取り込んでおりますので、まず、Part2「材料仕様」の「1章 機器等の区分と使用する材料の規格」の規定のところの抜粋を書いておりますけれども、この「使用す

る材料の規格」の表の中に記載のない材料、規定されていない新たな材料について材料規格に登録を希望する場合には、添付1の「新規材料採用ガイドライン」に従ってデータを整備して、発電用設備規格委員会へ提案することができるというふうに材料規格の本文に書いてあります。

ページをめくっていただきまして7ページ、これが添付の1、Mandatory Appendixという形で新規材料採用ガイドライン、今回は1章の一般事項の抜粋を添付させていただいております。

続きまして、シートの8ページ、「Part2第1章 表1 使用する材料の規格」の見直しにつきましては、ちょっと今回、説明、準備できておりませんでして、次回以降にさせていただきたいと考えております。この(2)番に関する質問が9ページのaと、それから10ページのbでありますけれども、こちらは次回以降にさせていただきたいと思っております。

それでは、ページ、11ページになりますが、ここから説明者が交代いたします。

○日本機械学会（大城戸委員） 日本機械学会の大城戸です。

11ページ以降、材料の許容引張応力（S値）の見直しについて回答させていただきます。

御質問いただきました内容、(a)に記載しておりますけれども、JIS G 3203「高温压力容器用合金鋼鍛鋼品」のSFVAF2については、クラス1機器、これは容器を除くに使用できると規定されていましたが、Su値及びSm値が規定されていません。その理由を説明してください。今後設定される予定であるかも併せて説明してくださいというような御質問です。

ほかにもJISにクラス1機器に使用していいよと言われているのにもかかわらず、S値もしくはSu値、Sm値が規定されていないというような材料について、下のほうにはSFVA1～SFVA5B、あとはSCMV-1といったところに関しても同様な状況になっておりますというような御質問を頂いております。それについて回答させていただきます。

12ページ目になります。設計・建設規格における強度設計について簡単に説明させていただきます。

解析による設計(Design by Analysis)、この場合は基本的にはSm値を使用します。

一方、公式による設計(Design by Rule)、これに関してはS値を使用して設計しております。

下のほうに、クラス1機器及び支持構造物の設計においてSm値、Sy値及びSu値を使用しない設計、その例外というのがありますので、次ページ以降、13ページ～16ページに示します。

13ページ目のところは、管の平板についてですけれども、これはクラス1機器でありながらS値を使って設計することになります。

次、14ページ目です。14ページ目は、ポンプのケーシングの構造強度です。これに関しましてもクラス1機器のポンプのケーシングですけれども、 $S_m$ ではなくS値を使って設計する仕様になっております。

三つ目、15ページ目になります。弁の管台を例に挙げておりますけれども、弁の管台の必要板厚も、これに関しましても同じように $S_m$ ではなくS値を使って評価しております。

次、16ページ目、クラス1の支持構造物の設計ですけれども、支持構造物としてハンガーロッドまたはばねを例にしておりますけれども、ここのところでも $S_u$ 、 $S_y$ を引用せずに設計することができるというのが設計・建設規格で定義されております。

このように例外が幾つかあるといったような事例を示させていただきました。

次、17ページです。じゃあ、こういったようなギャップに対して、どのようにしていくかといったことですけれども、これらの今、説明しました、13ページ目～16ページ目まで示しましたことを踏まえまして、クラス1機器・支持構造物設計の例外と材料規格との関係については「解説」といったようなことで今後の規格改定の中で検討していきたいというふうに考えております。

以上、(3)の質問に関して回答を終わります。

次、(4)の回答は回答者が交代します。

○日本機械学会（山田主査） 説明者が交代します。材料分科会、山田でございます。

(4) ASME相当材と同定した材料について、質問いただいております。

ASME相当材の同定方法に関する「図 ASME規格相当材同定フロー」、先ほども御説明しましたけど、これの2012年版制定時も同じでしたが、これについて以下の点を説明してくださいということで、「常温の $S_u$ 、 $S_y$ の差異が10MPa」で同等か否かという最初の判断をしておるんですけれども、この10MPaの理由ですね。この10MPaというのは、工学単位系では1.0197kgf/mm<sup>2</sup>程度となりまして、同等と判断するという事としております。

続いて、19ページ、お願いいたします。2)番で、高温の $S_y$ の差異が10MPaを超えたものについては、その差異の妥当性について、「高温の $S_y$ や $S_u$ のトレンドカーブ、値の保守性等を確認して専門家による合意の上でASME規格相当材と同定した。との協議のうえ同定した」とありますけれども、「保守性等」には何が含まれるのですかという質問です。

高温の $S_y$ 値の差異が10MPaを超えたものにつきまして相当材か否かを評価した観点とい

うものを二つ示しております。

まず、10MPaを超える温度範囲をまず確認をしました。それと、超えている差分の最大割合、パーセンテージを確認しております。

その上で、判断根拠とした内容として、四つほど書いておりますけれども、設計・建設規格の付録材料図表の値がASME規格値を上回っている。材料規格2012年版というのは、付録材料図表がベースになっておるんですけれども、付録材料図表の値がASMEの規格値を上回っている。それと、あと試験データのあるものがございまして、それがASMEの規格値を上回っているとか、化学成分、製造方法が同種の材料の $S_y$ 値をグラフ化し傾向を比較しているとか、最後になります、付録材料図表の $S_y$ 値及び $S_u$ 値とASMEの規格の $S_y$ 値及び $S_u$ 値をグラフ化し傾向を比較しております。

次のページなんです、20ページ、こちらの材料規格の解説-0-2というものがございまして、2011年版の改訂内容というふうに表示しておるんですけれども、これが高温の $S_y$ の差異が10MPaを超えるもので相当材と評価した材料ということで、こちらの表の一番左側にJISの規格番号、それからその次に記号、あとは10MPaを超える温度範囲と、それから差分の最大割合というものをこんな形で解説に載せてます。あと、判断根拠につきましても、先ほどの根拠というものを機学の解説のほうに載せてます。

同様に、相当材とは同定しなかったものも同じ解説の、この後のほうに掲載しております。

続いて、21ページ、bですけれども、「JIS B 8267圧力容器の設計」と「JIS B 8265圧力容器の構造—一般事項」を参考にして「材料規格においてS値の設計係数を4から3.5に見直さなかった材料に関する見解は、JIS圧力容器規格」、これは二つともJIS B 8267、JIS B 8265、Design by Ruleの考えに基づいたものですが、これらの規格は設計圧力が原則30MPa未満の圧力容器の設計についての規定であり、原子力分野への適用は除外しています。これらの規格を参考にする場合、設計圧力が30MPa未満とする等の適用制限が必要と考えられます。ここでいう「JIS圧力容器(Design by Rule)の考え方」とは何か説明してくださいということで、次のシートの22です。

これはASMEのBoiler & Pressure Vessel Codeと、それから国内規格、国内規格といいましても我々の日本機械学会とJISの関係について、ちょっと今回まとめさせていただきました。左側にASMEのBoiler & Pressure Vessel CodeのSection、これは全てではございませんけれども、今回、議論している関係するSectionのものを書いてまして、それに対応

する国内規格、我々の日本機械学会規格、あとJISの圧力容器ですね。ちょっと備考に非原子力、設計係数3.5みたいなことを書かせていただいていますけども、まずSection IIというのが材料に関するASMEの規定で、これは原子力、非原子力にかかわらず、全てこのSection IIで材料の許容値は定められております。これ、日本機械学会の規格でいいますと、今回、実用化していただいている材料規格ということで、材料規格の中には設計係数3のものも、それからS値で3.5のものも、4のものもあるというような状況になってます。

ASMEのSection IIIというのは、これは原子力の設計・建設規格ということで、日本機械学会で言うと、一緒に技術評価していただいている設計・建設規格になります。

Section Vが非破壊検査でして、日本機械学会の規格はSection IIIとSection Vが一緒になったような形になっているかなと考えてます。

Section VIIIが、これが非原子力の圧力容器の設計・建設規格でして、Division 1というのがDesign by Ruleの規格で、Division 2というのが、「Alternative」と書いてありますが、Design by Analysisの規格になってます。Division 1のほうがJIS B 8267（圧力容器の設計）で、こちらは非原子力、設計係数3.5のものです。Division 2がJIS B 8266という圧力容器の構造の特定規格というのがありまして、これも非原子力ですが、こちらはDesign by Analysisですので設計係数3という形になってます。

ページをめくっていただきまして、これは前回の説明資料の再掲なんですけれども、JIS B 8266、これは従来からあったJISのDesign by Analysisの規格でして、こちらは設計圧力100MPa未満まで使えるという設計係数3です。JIS B 8267というのは、ASMEのほうの規格の許容値体系が設計係数3.5になったタイミングで、その後にJIS B 8265とJIS B 8267、二つにJISの圧力容器のほうに分かれたということで、このような体系になってます。JISの圧力容器の規格は、その適用の中で原子力関係の圧力容器への適用を除外しておりますというのは前回御説明したとおりで、質問のところでも書かれているとおりです。

基本的に材料規格ではASME相当材に同定された材料について「Design by Rule」に基づく設計係数を3.5としておりまして、JIS B 8265、これは設計係数4のほうの、このJISの圧力容器にのみ記載のある材料に対して設計係数3.5を与えているようなことはしていないということを書かせていただいています。

それでは、シートの24ページ、またここから説明者を交代いたします。

○日本機械学会（豊田委員） 材料分科会の豊田です。

すみません、カメラのほうがつながりませんので、音声で御説明させていた

できます。

2. (5) JIS番号の異なる材料値の適用につきまして、まず(a)のほうですけれども、「JIS G 4052に焼入性を保証した構造用鋼鋼材 (H鋼)」のSCM435H、440H、445Hを取り込み、その規格値としたことについて、SCM435、440、445と同じとしたことについて、「質量効果を考慮された一定品質の機械的特性が確保されている。」等の定性的な説明がありました。常温・高温での機械特性を比較して示してくださいという御質問を頂いております。

これにつきまして、まずJIS G 4052、H鋼と、JIS G 4053、H鋼でない材料のJIS同士を比較しますと、JIS G 4052には次のような要求が追加されております。焼入れ性とオーステナイト結晶粒度の要求が追加されております。

ページ替わりまして、25ページのほうですけれども、こちらが焼入れ性の規定になります。JIS G 4052のほうには、焼入れ性の試験の要求がございます。焼き入れの試験の焼き入れ点からの距離に対して硬さの上限と下限、この下のグラフにあります2本の線で、上の線が上限、下の線が下限になっておりまして、この中に硬さ(HRC)が入っていることというような要求がなされております。

続きまして、26ページになりますが、こちらでオーステナイト結晶粒度です。こちらにつきましては、JIS G 4052のほうは結晶粒度試験の要求がございます。熱処理粒度試験によって求めた平均粒度番号が規定されております。

御説明しておりますSCM 435H、440H、445Hについては、平均粒度番号5.0以上ということが規定されております。

続きまして、27ページのほうですけれども、H鋼とH鋼でない材料の高温のSy値及びSu値のデータというのは特に持ち合わせてはいないんですけれども、材料規格では同一の常温最小引張強さ及び常温最小降伏点を要求しております。したがって、化学成分に若干の違いはあるものの焼入れ性の確認と平均粒度番号の規定がなされていることで、H鋼はH鋼でない材料と同等以上の機械的性質が保証されているというふうに考えております。

なお、マーケットニーズなんですけれども、こちらにつきましてはSCM435、440、445からH鋼、SCM 435H、440H、445Hへ移っておりまして、実際に市場に流通している材料は、こちらの焼入れ性が保証されたほうのH鋼でありまして、H鋼でないものは注文生産であるというように報告も上がっております。

また、このH鋼とH鋼でない材料の同等性につきましては、日本機械学会のほうにもこれまで複数の質問が寄せられているという状況でございます。



続きまして、28ページのほうに御参考ですけれども、SCM435の試験結果と材料規格SCM435並びにSCM435Hの規定値を比較しております。横軸は温度になってまして、縦軸がそれぞれ降伏点と引張強さになってます。これを見ていただきますと、材料規格で要求している規格値に対して実績が上回っているということが御確認いただけるかと思えます。

続きまして、29ページのほうの(b)になりますけれども、こちらのNCF750についての御質問なんですけれども、こちらのほうは今回、準備ができておりませんので、次回以降、御説明させていただきたいというふうに考えております。

○日本機械学会（高橋幹事） 材料分科会、高橋です。

では、30ページの2. (6)に関する御質問への御説明をさせていただきます。

電力中央研究所報告「高い安全性を有するSN材の高温強度特性の評価」を用いて、設計構造用圧延鋼材の規格への取り入れに関して説明がありましたが、市場では一般的にTMCP材、熱加工制御材が流通しています。電力中央研究所報告は、TMCP材とその他の材の結果が示されていますが、許容値に反映されたのはその他の材のものです。TMCP材をその他の材料と同等としてよい理由を説明してくださいという御質問でした。

これに対しましては、許容値策定におけるTMCP材の取扱いについては次ページ以降にお示ししておりますけれども、結論としまして、TMCP材のデータを含めて許容値を策定しますと通常材の許容値が非保守的に設定されることからTMCP材のデータを除いて許容値を策定しました。TMCP材の強度自身は通常材より高いことから、策定された許容値をTMCP材に適用することは全く問題ないというふうに考えております。

31ページは、第1回の会合でも御提示しました資料でございまして、日本機械学会内での検討資料の中の抜粋でございまして、TMCP材の取扱いとして、SN490ではTMCP材のデータが含まれていたが、TMCP材と通常材を一括して解析することで、通常材の許容値が非保守的な結果となるため、TMCP材を除いて評価することとした。

下のほうには考察として、日本機械学会内で検討した際の経緯等が記載してございます。

次に、32ページです。(7)のオーステナイト系ステンレス鋼もしくは高ニッケル合金のSm値及びS値に対するひずみ制限に関して説明を御依頼いただきました。

材料規格2012年版の技術評価書において、「フランジ等の変形が耐漏えい性に影響を及ぼす可能性がある部位に対する応力の制限について、JIS規格及びASME規格等の規定と材料規格の規定に差異が存在している。(中略)今後の材料規格の改訂に際し、これらの規格と整合させることの要否が検討されることを期待する。」としたことへの対応として、

第1回の会合におきまして「検討を継続しているところではあるが、解説に以下のように記載している。」とし、解説に記載することにとどめています。ASME Sec. II、それから「JIS B 8267圧力容器の設計」においても、ひずみ制限は許容値の設定の要件になっており、材料規格2020年版においても、幾つかの材料については新規に許容値が策定されています。ひずみ制限を規定することについての課題は何か具体的に説明してくださいということでした。

33ページでございます。「オーステナイト系ステンレス鋼、高ニッケル合金の永久ひずみを制限する係数」を設定することは、ASME規格を参照すれば可能であると考えており、特に課題意識は持っているわけではございません。

しかしながら、告示501号の時代から現在まで、この規定がないことによる漏れ等のトラブルが発生したという運転経験はなく、必要性を感じていないことから解説での紹介にとどめているという状況でございます。

最後の34ページは、前回の御説明でも、会合でもお示ししました解説の記載内容でございます。

以上でございます。

○田中委員 はい。御説明、ありがとうございます。

それでは、ただいまの説明資料2-2につきまして、御質問または御意見がございましたらお願いいたします。いかがでしょうか。

○佐々木企画調整官 御説明、ありがとうございます。原子力規制庁、佐々木です。

今、御説明いただいた資料2-2の一番最初の質問、2ページにある他規格等の材料を取り込む際の考え方のところ、御説明としては、3ページのところに書いていただいたんですけども、そのうちの下の方に書いてあります許容値等を見直す動機というところに「設定根拠を明確にするとともに国際規格とのハーモナイズを図りたい。」と書いてあるんですけども、見直す動機として設定根拠を明確にするというのはちょっとどうしてなのか分からないですけども、ここには「国際規格とのハーモナイズを図りたい」と書いてあります。一方で、同じところの質問が後ろにも出てきてまして、23ページには、JISの圧力容器の規格体系のところを書いてありまして、一番下のところに、材料規格ではASME相当材に同定された材料については設計係数を3.5としており、「JISのみに記載のある材料に対して設計係数3.5を与えていない。」と書いてあって、ちょっとその辺の関係が、御説明の内容が、同じところを指して質問していると思うんですけども、分からなかったの

もう一度御説明いただけますでしょうか。

○日本機械学会（山田主査） 材料分科会、山田です。

まず、23ページのほうから。23ページよりも22ページのほうがいいのかもかもしれませんけど、材料規格の設計係数としては、従来からの設計係数3、Design by Analysisのものと、それから従来は、2012年版よりも以前ですので付録材料図表ですね、設計・建設規格の、は4から3.5にASMEが切り替わったときに、ASME相当材と呼べるような材料であれば、Design by Ruleの際の設計係数3.5を与えることは妥当だという判断がありました。それでそのようにしてます。当然、その許容値のほうもASMEのSection IIを参照して、差異があればASMEのSection IIの許容値に合わせていくというような作業を2011年、12年版でやってきて、それ以降もその考えは踏襲しているところです。

一方、じゃあ、設計係数3.5にできなかった材料について、材料規格から落としてしまうといういろいろ困るところもあって、設計係数4のものも残しているということです。これはJISの圧力容器、非原子力の一般産業の圧力容器のJISの規格ですけれども、こちらも設計係数4のものも残していると。残しているというか、設計係数3.5のJIS B 8267が新たに作られて、そちらのほうにかなりの材料が移っていったけれども、JIS B 8266、設計係数、ごめんなさい、JIS B 8265ですね、設計係数4としては残している、その圧力容器の規格もあるというのが日本の国内の事情かなというふうに思ってます、なので今回、新規にSN材というのを取り込みましたけど、これについては高温の $S_y$ 、 $S_u$ まで求めて、新規材料採用ガイドラインに基づいて求めて、その結果に基づいて許容値を決めますし、そもそもSN材というのは今回の説明の中で引き合いに出したSS400なんかに比べれば不純物の規定なんかもありまして、材料の製作上というか、品質の高い材料であるので、ということと、あと、データも新規材料採用ガイドラインに基づいて決めているということで設計係数3.5のSN材を取り込んでいると。だけど、現時点でもSS400は落とせずに使えるようにしていて、それは設計係数4ですと。特別要求事項として、溶接する際には溶接割れなんかを起こさないような化学成分の特別容器を課している、そういうような使い方をしていう、そんなことになってます。なので、ASMEの規格に合わせたいところもありますし、かといって、今説明したような事情で、従来から使われている材料が引き続き使われるような追加の規定なんかを足して使えるような規格体系にしていると。ですけど、材料規格の2012年版も今回の2020年版も、設計・建設規格の中で使われるサービス規格ですので、耐圧試験圧力に対して、設計係数3.5で設計されたものが破損しないような規定の

ほうは設計・建設規格のほうで設けられています。なので、設計係数4で設計されている材料は全然問題なく、耐圧試験をやっても問題ないですけど、3.5をベースに設計規格のほうでは耐圧試験圧力なんかの規定も見直しを2012年版のときにやっていると、そんな状況になっています。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁、佐々木です。

御説明、ありがとうございました。この後、私たちは技術評価書案を作っていくんですけども、今、御説明いただいたような内容はこの中に多分書かれていなくて、表の側に書いてあった国際ハーモナイゼーションとか、そういうのよりももっとリアルな、いろんな考慮しなければいけない事項が御説明されたと思いますので、お手数なんですけど、もう一度、詳しい説明をしたものを次回提出していただければと思いますけど、よろしいでしょうか。

○日本機械学会（山田主査） 材料分科会、山田です。

承知いたしました。

○田中委員 あと、ございますか。

○藤澤技術参与 原子力規制庁の藤澤です。

資料の11ページのSFVAF2という材料についての質問です。この11ページで上から2行目のところに、「クラス1機器（クラス1容器を除く）に使用できると規定されました」とかになってるんですけど、SuとSm値が規定されてませんと。その理由を求めているんですけども、回答が12ページ以降にありますけども、この回答は、S値、ポンプとか弁とか、許容応力クラス1機器であってもS値を使ってる場合の例が、回答にはあるんですけども、私どもの趣旨は、クラス1機器のうちの配管、クラス1配管、この場合は許容応力はSm値です。クラス1配管にはこの材料は使用できると言ってるんですけども、Su値とSm値が規定されてないというのはおかしいんじゃないかということで質問しているわけです。そういうことですので、クラス1配管の場合のことを考えてでの回答にちょっと次回修正していただけるでしょうか。お願いします。

○日本機械学会（山田主査） 材料分科会、山田です。

Sm値があるのにSy、Suがそろってないんじゃないかという、そういう御指摘だということとで理解しましたので。

○藤澤技術参与 藤澤です。違います。クラス1配管に使っていいというふうに書いてるのに、仕様の中に入ってるんですけども、クラス1配管に使おうとしたらSm値とSu値が必

要なんですけど、Sm値とSu値は値が載ってませんよと。どうしてなんですかという質問をしているわけです。

○日本機械学会（大城戸委員） 日本機械学会の大城戸です。

質問の意図、拝承しました。次回の会合のときに説明するようにしたいと思います。

○藤澤技術参与 はい、お願いします。

○田中委員 あと、ございますか。

○藤澤技術参与 すみません、続けて藤澤ですけども、資料の33ページ、オーステナイト系ステンレス鋼と高ニッケル合金のSm値のひずみ制限の話ですけども、この回答は、これまでに漏れ等のトラブルが発生したという、その経験がなくて必要性を感じていないということなんですけど、変形が原因で機器を取り替えますよという、機器というのは一部ですけども、取り替えますというふうな事例はあるんじゃないでしょうか。特にフランジ部とか、溶接でもって構成されている部分には変形というのはあまり気にしないんですけども、フランジのボルト締結部のような部分にはこの変形というのが影響しますので、そういうところが過去に取替えというのは事例としてあるんじゃないでしょうか。そういうことを踏まえて必要性というのは本当はないんでしょうかということです。これも次回、追加説明をお願いします。

以上です。

○日本機械学会（山田主査） 材料分科会、山田です。

今回の説明依頼事項として質問を受けまして、今日、回答するべく過去のトラブル、確認したところではありますけれども、次回までに引き続き過去の調査を継続して、その結果と併せて御説明させていただきたいと思います。

○田中委員 あと、ございますか。

○発電設備技術検査協会 古川所長 発電設備技術検査協会、古川です。

27ページについて質問させてください。質問というか確認ですね。要はH材、H鋼ですか、Hがついてる、ついてないなんですけど、これは原子力規制庁のほうの質問で、多分、原子力規制庁の気にしてるのは、結局、同等かどうかというのを高温のところの、常温も含めてですね、そういう引張強さとか降伏点ということを気にして、その比較で同等かどうかという確認をされているんですが、どうもデータとしては、28ページのところでは、そのHがないほうの従来のデータが入っててというところで、ちょっとここが気になるところで、何といいますか、一般的にといいますか、この規格そのものを見ると、Hがついて

いるJIS G 4052のほうですか、ちょっと待ってください、JIS G 4052のほうがついてるでしたっけ。要はHがついてるほうが高品質ですよ、焼き入れ特性も決めてるし、オーステナイトの粒度もちゃんと決めてるので。多分、そちらのほう、それなので、多分、Hがないのよりは十分同等以上の性能だというふうなのは理解するんですが、そこを何か、例えば金属組織が同等だとか、そういったことを一言つけていただけると、多分、安心して妥当であるというふうに言えるんじゃないかなと思いますので、あるいは製造メーカーに聞くとか、JISのところでそのときにどういうふう考えたのかというのをちょっと説明していただけるとありがたいと思います。今日じゃなくて結構ですので、よろしくお願ひします。

○日本機械学会（山田主査） 材料分科会、山田です。

拝承いたしました。28ページの旧金材研（金属材料技術研究所）のデータ、現NIMS（物質・材料研究機構）のデータシートからH鋼でないものについては、これもかなり古いデータではあったんですけど、これはちょっと見つかったんですけど、H鋼のものが見つからなかったの、最近、シートの27ページにも書かせていただいたように、マーケットの関係から、そのH鋼とH鋼でない材料の同等性に関する質問を我々は何件も受けてまして、なので、ミルシートの値について、H鋼とH鋼でないものの常温の、ミルシートの値ではあるんですけど、ちょっとそれを調査しようということは内部では相談してましたけど、ちょっと今回、間に合わなかったの、また次回、その結果もそろえて説明性を上げるような資料に見直したいと思います。

以上です。

○発電設備技術検査協会 古川所長 発電設備技術検査協会の古川です。

御検討いただき、ありがとうございます。多分、きちんとデータをそろえろというよりも、あとはそういうデータがあった上で、あとは、いわゆる専門的な視点で、これこれこういう観点で見て同等以上だという御説明があればと思いますので、ぜひよろしくお願ひします。

○日本機械学会（山田主査） 承知しました。

○田中委員 あと、ございますか。

○南川上席検査官 専門検査部門の南川です。

5ページの他規格等の材料を取り込む際の考え方というのがあるのですけれども、この中に、一番右の「別の方法を検討（実績なし）」ということが書かれているのですけれど

も、ここをもう少し説明していただけないでしょうか。

○日本機械学会（山田主査） 材料分科会、山田です。

2011年版、2012年版以降、許容値の見直しといっても、専らS値を3.5にする、しないという話なんですけれども、許容値自体を見直すには、やっぱりそれなりの高温の引張試験データがないとなかなかできませんものですから、今回のSN材みたいに、実際に高温引張の試験データに基づいて決めるとか、見直すとか、そういったものであれば、そういうデータがあればそれによることができるんですが、そうでない場合は、ASMEは国際的に使われている規格ですので、そういった日本国内だけではなくて、国際的に使われている実績のある規格に基づいて、それをベースに見直しを図ってきた、整合化を行ってきたという流れがこれまでの流れでして、実際には今のところ、実績がなくて、どうしたものかというか、これ以上、現状、設計係数4で残っていて3.5に持っていくには何がしかのことを考えないとならないんですけれども、ちょっと現状は、まだノーアイデアというのが現状ではございます。

○南川上席検査官 今後、検討していくということによろしいでしょうか。

○日本機械学会（山田主査） はい、結構です。

○南川上席検査官 はい、理解しました。

○田中委員 あと、ございませんか。

○東京電機大学大学院 深沢准教授 御説明、ありがとうございます。東京電機大学大学院の深沢です。

3ページの下のところ、先ほども佐々木さんからお話がありましたけども、国際規格とのハーモナイズを図りたいということなんですけども、資料を散見すると、ASMEについてはよく分かるんですが、その他の規格について、どういった議論がされていたのかというところも踏まえて記載いただけると、この国際規格とのハーモナイズというのが分かりやすくなりますので、その点も加筆いただけるといいかなというふうに思いました。

以上です。

○日本機械学会（山田主査） 材料分科会、山田です。

承知いたしました。もう少し丁寧に書かせていただきます。

○東京電機大学大学院 深沢准教授 ありがとうございます。

○田中委員 あと、ございますか。

○発電設備技術検査協会 古川所長 発電設備技術検査協会、古川です。

今度は30ページのところで質問させてください。SN材を取り入れるということで、すごく精力的にデータを取られて、あと、この後の報告も拝見しまして、すごく高温のほうまでしっかり取られているということで感服しました。ちょっとここに書いてあるところで、TMCP材というのはいいんですが、ちょっと直接、材料規格に関係するしない、しないかもしれないけれども、この材料って多分、耐圧部に使うことはないのかもしれませんが、耐圧部につける、と溶接するようなところに使うのかな、場合があるんじゃないかなというふうに考えると、いわゆる溶接規格のときの母材の区分とかというのは、これってもう決まってるんでしょうか。すみません、ちょっと単純な質問になっちゃって申し訳ありませんけど、よろしくをお願いします。

○藤澤技術参与 原子力規制庁の藤澤です。

私のほうから回答しますが、今の材料規格の中では、TMCP材は耐圧部分に使っていいというふうに、クラス2、3容器、あと配管ですね、そういうふうなものには、クラス1は入ってませんが、使っていいよというふうになっております。TMCP材という区分は、溶接施工後の母材の区分に関して、TMCP材という区分はありませんので、SN400材という区分で、A、B、Cですね、それによって母材の区分は今は決まっております。ただ、それがいいかどうかはこれから溶接規格のほうの技術評価を今後しますので、そのときにまた議論したいと思います。

以上です。

○発電設備技術検査協会 古川所長 発電設備技術検査協会、古川です。

ここじゃなかったということで、すみません、溶接のときに確認しますが、TMCPかどうかで区分してないのは、SN材も今のSN材、SN490とか、あの辺はそうだと思いますので、そこはそのとおりだと思います。ちょっとSN材というのがまた、要はSNとしてちゃんとあるのかなというのは溶接規格のときに確認させていただきます。ありがとうございます。

○田中委員 はい。あと、ございますか。よろしいですか。

大塚先生、手を挙げられてるのかな。

○長岡技術科学大学 大塚准教授 すみません、よろしいですか。長岡技術科学大学の長岡先生ですが、ちょっと質問というか、5ページのフローチャートと、結局、相当材として判断した19ページとの判断根拠のところ、フローチャートのところは差異、特にSy値の差異を気にして判断しているというふうに書いてあるので、一方で、19ページにいく



と保守的である、つまり高いほうがいいとか、10%の差異がずれているというふうになって、ちょっとこのフローチャートのところと19ページの、特に判断根拠としたところというのが、対応してるのかどうかちょっと分からないんですけども、特にこの判断基準の書かれた四つのところがフローチャートのどこにどう出てくるのかというのをちょっと御説明いただきたいんですけども。

○日本機械学会（山田主査） 材料分科会、山田です。

今、御指摘のありました5ページの許容値の見直しのフローチャートの一番下のひし形です。「高温のSy値の差異は妥当な範囲内か？」というところですか。この妥当か妥当でないかというところをエンジニアリングジャッジしたというのが19ページになりまして、2011年版とか、設計・建設規格の付録材料図表から材料規格に規格を大きく見直したときに、最初は、上のひし形三つでいけるかと思ったんですが、よくよく見ると、高温のSyがずれている材料が幾つかあって、それを全部落としてしまうのも、というところがあって、その高温のSyの差異が工学的に妥当なのかどうか、同等材と、相当材とみなしていいのか、いけないのかという観点で拾ったのが5ページの一番下のひし形で、その具体的な判断根拠というのが19ページで今回御説明した内容になってます。そういう対応になっております。

○長岡技術科学大学 大塚准教授 分かりました。長岡技術科学大学の長塚です。

そういう御説明であれば了解したんですけども、フローチャートの内容でやると、Sy値がASME材より低くてもいけるのかということが見られるんですけども、一方で、19ページのところにいくと、同等以上なので基本的にSy値がASME材を下回った場合は採用しないという。

○日本機械学会（山田主査） はい、してないです。

○長岡技術科学大学 大塚准教授 ということの理解でよろしいですか。

○日本機械学会（山田主査） はい。

○長岡技術科学大学 大塚准教授 分かりました。ありがとうございます。

○日本機械学会（山田主査） 20ページにその解説を載せてますけれども、これは相当材として拾ったものでして、相当材とはみなさなかつたものはこの後に幾つもついてまして、こちらのほうに落としてます。

○長岡技術科学大学 大塚准教授 長岡技術科学大学の長塚です。

どうもありがとうございました。

○田中委員 あと、ございますか。よろしいですかね。はい。

あと何点か質問がございましたので、また次回に説明をお願いいたします。

また、あれですか、溶接のところはまた、はい。

○佐々木企画調整官 原子力規制庁、佐々木です。

今日、御説明いただいて、さらに御説明をお願いしたいところはありませんけれども、可能であれば、そろそろ溶接規格のほうも準備したいかなというような気はします。

それと、今日御説明いただいた内容は一回、この技術評価書のような形で書き下してみ、私どもがこの説明を納得したところと分からなかったところと限定が必要じゃないかというところが多分あると思いますので、そういうところも整理して、それで次回迎えられたほうがちょっと効率的かなと思っておりますので、ちょっとそういう準備をさせていただこうかなと思います。

○田中委員 はい、そういう準備をしてください。

あと、何か全体を通して、ほかに何か御質問とか御意見はございますでしょうか。よろしいですか。

○藤澤技術参与 原子力規制庁の藤澤です。

今日は説明はいただかなかったというか、参考資料の2-3のことについて、ちょっとコメントがありまして、それを見直してほしいということでこの場でお願いします。参考資料2-3の8ページ～9ページにかけてのことです。8ページ、9ページは、外圧チャートのデジタル値の話なんですけども、このデジタル値について、もともとの図とそのデジタル値の整合性の確認はどういうふうにしたのかということについての説明を求めています。9ページにその例がありまして、まず上のa. のところに、A値についての比較をしていますよというふうに書いているんですけども、これをよく見ますと、左側のアナログの図、この図は、一番右側が、 $\ell/Do$ というのが、横軸が $\ell/Do$ という値なんですけども、これが0.05の部分なんです。その0.05とかいう部分に対して、このアナログの図のほうは横軸が0.05のところ、ぴったりのところには線が引かれてないんですけども、右のデジタル値のほうは0.05のところにはプロットされております。それで、この図は、グラフが違うというふうに私は読むんですけど、これ、合ってるということであれば、この図を重ねたもの、要するにアナログの図にデジタル値を重ねた図を示していただいて、それで曲線とプロットが合っているということを示していただけないでしょうか。

それと、同じく下のb. のB値ですけども、このB値もよくよく見ますと、左のアナログの

図は上のB値の値、縦軸ですけど、これ一番最低が、ちょっと見づらいですけど12です。それで、一番上が120となってます。ところが、右のほうは、デジタル値が10と100というふうになっていまして合っておりません。特に右のデジタル値の場合、右のほうの水平になったところが引かれていますけど、そこは左側のアナログの図では線は引かれておりません。これも同じように合っているのかどうか、アナログの図にデジタル値をプロットしていただいて合っているということを示していただけないでしょうか。これは代表ではなくて、材料規格に載っている、今回、デジタル値を採用したというか併記したものについて全て、整合性が取れているという確認をしたいので、その資料の提出をお願いします。

以上です。

○日本機械学会（山田主査） 材料分科会、山田です。

御要望は承知しました。追加の説明依頼事項を頂けるとありがたいかなと思っているんですけど、趣旨は分かりました。

○田中委員 あと、ございますか。よろしいですか。

ないようですので、特にないようでしたら、これで議論を終了するというところでよろしいでしょうか。

では、次回の第3回会合の開催日時、場所等については、追って事務局のほうから調整、連絡をさせていただきます。どうもありがとうございました。

では、これをもちまして第2回の日本機械学会の規格の技術評価に関する検討チームを終了いたします。ありがとうございました。