

第 68 回 発電用設備規格委員会 核融合専門委員会 議事録

1. 日 時：2019 年 11 月 26 日（火）13:30～17:00
2. 場 所：日本機械学会 第 1 会議室
3. 出席者：委員 8 名、代理 1 名、欠席者 3 名、オブザーバー 4 名、事務局 1 名
橋爪委員長（東北大）、中平副委員長（QST）、清水幹事（三菱重工）、宮口（IHI）、
井岡（東芝 ESS）、宇野（金属技研）、鈴木（日立）、角舘（QST）
代理：黒木（中曽根委員代理）
オブザーバー：中嶋（QST）、宇藤（QST）、井口（QST）、河村（QST）、
欠席者：中田（金沢工大）、中村（IHI 検査計測）、一ノ瀬（日立化成テクノサービス）
事務局：中山

（以上敬称略）

4. 配布資料

- | | |
|-----------|--|
| 資料 68-1 | 第 68 回核融合専門委員会議事次第（案） |
| 資料 68-2 | 第 68 回核融合専門委員会配布資料リスト |
| 資料 68-3 | 第 67 回発電用設備規格委員会 核融合専門委員会 議事録（案） |
| 資料 68-4 | 第 91 回発電用設備規格委員会 議事録（案） |
| 資料 68-5 | 第 21 回金属構造物分科会 活動報告 |
| 資料 68-5-1 | 第 21 回金属構造物分科会 議事録（案） |
| 資料 68-5-2 | FMJJ1 の引張試験結果に基づく規格値の見直しについて |
| 資料 68-5-3 | HIP 継手の疲労試験結果に基づく設計疲労線図の見直しについて |
| 資料 68-5-4 | 核融合原型炉設計活動の概要 |
| 資料 68-5-5 | 原型炉 TF コイル用高強度構造材料の開発 |
| 資料 68-6 | 第 23 回非金属構造物分科会 活動報告 |
| 資料 68-6-1 | 第 23 回非金属構造物分科会 議事録（案） |
| 資料 68-7 | 金属構造物分科会の委員について |
| 資料 68-7-1 | 金属構造物分科会委員名簿 |
| 資料 68-8 | 非金属構造物分科会の委員について |
| 資料 68-8-1 | 非金属構造物分科会委員名簿 |
| 資料 68-9 | メール審議 No. 6 に対応するための全体計画 |
| 資料 68-9-1 | GFRP 試験片の損傷確認方法の検討について |
| 資料 68-9-2 | メール審議 No6 の回答に使用した試験データ（引張強さの及ぼす表面加工傷およびひずみ速度の影響、軸/周方向のポアソン比など）の確認結果 |
| 資料 68-9-3 | 核融合設備規格における試験・検査の定義について |
| 資料 68-9-4 | 引張試験片の形状について |
| 資料 68-9-5 | NBI 装置用絶縁構造体構造規格文案修正案（編集上の修正） |
| 資料 68-10 | HV プッシングの構造設計 |
| 資料 68-11 | 核融合専門委員会名簿 |

5. 議事

(1) 開会

橋爪委員長より開会が宣言され、定足数の確保を確認した。

(2) 議事次第確認、配付資料確認【資料 68-1, 68-2】

議事次第案の確認、および配付資料に過不足がないことを確認した。

(3) 前回議事録案の承認【資料 68-3】

事務局より第 68 回核融合専門委員会議事録案の報告が行われ、以下の修正を行う事を前提として、本

議事録案は承認された。

- [歪]は「ひずみ」に統一する。

(4) 報告事項

(4-1) 第 91 回発電用設備規格委員会報告【資料 68-4】

角館委員（橋爪委員長の代理出席）より 9/20(金)に開催された標記規格委員会の報告として、本専門委員会に関係する以下の活動報告があった。

- 核融合専門委員会委員の再任（井岡委員、中田委員）の確認
- NBI 絶縁構造体（GFRP）規格策定の進捗状況について、メール審議 No. 6（NBI 装置用絶縁構造体構造規格案に対するご意見伺い）の回答案が審議され、①回答案に従って規格案を修正すること、②規格の裏付けとなる試験を進めること、③規格の解説をつけること、などが決定された。
- 上記回答案の対応として、応力-ひずみ線図のヤング率の変化と損傷の指標となるフェリシテイ比 <0.95 に相関関係があることが示され、今後、GFRP の損傷状態とヤング率の変化との関係を検討し、設計係数の決定において規格に反映していく。また、せん断強さを求める試験について、現規格で定めるイオシペスク法と 45° 法を比較し、後者が保守的な結果を与えることから 45° 法の適用を考慮に入れて規格案を見直す。

(4-2) 第 21 回金属構造物分科会 活動報告【資料 68-5、68-5-1】

角館委員より資料 68-5 に従い 10/18 に開催された金属構造物分科会の活動として、超伝導マグネット構造規格の保守および原型炉の TF コイル開発計画などが報告された。続いて、報告内容の詳細が以下のように報告され、内容について協議した。

(4-2-1) 超伝導マグネット構造規格の保守

(4-2-1-1) FMJJ1 の引張試験結果に基づく規格値の見直しについて【資料 68-5-2】

FMJJ1（実機材）の強度について、前回の専門委員会のコメントを受け、実機 FMJJ1 の 1/4t の位置データのみで統計処理を行った結果が報告され、今後の対応について協議した。主なコメントおよび協議結果は以下のとおり。

- 今後、数本のデータを追加するが 4K での 2.33σ は 1000MPa を下回る見通しである。しかし、室温以外の S_u 値や S_y 値は設計で使用する値であって、保証値ではないため、規格値の変更はしない方針とする。
- 今後実施する成分微調整による 4K 強度の上昇の結果により化学成分の規格値を見直す提案がなされたが、室温での 2.33σ は規格値を満足しており、かつ、材料保証は室温の強度と材料の化学成分で行うため、化学成分の規格値も変更しない方針とする。
- 常温の引張強度から 4K の引張強度を推定するロジックの確認は引き続き行い、専門委員会で結果を報告する。

(4-2-1-2) HIP 継手の疲労試験結果に基づく設計疲労線図の見直しについて【資料 68-5-3】

HIP 継手の疲労試験結果に基づく設計疲労線図の見直しについて報告があり、設計疲労線図の表示範囲、および HIP による母材結晶粒の粗大化に関連する規格修正について協議した。主なコメントおよび協議結果は以下のとおり。

- 規格で規定している設計疲労線図は 10^3 回から 10^7 回の範囲で与えられている。3000 回から 10000 回の間は、全データの近似で求めた最適疲労曲線を強度で 1/2 下げて設計疲労線図を引いているが、試験の制約もあり、この間の実測データは最適疲労曲線の下側の応力レベルでしか測定されていない。このため、設計疲労線図の表示

範囲の下限を見直す必要があるかどうかを協議した。この結果、設計疲労線図は滑らかに連続であるべきであること、ITER の運転でも 10000 回以下の設計疲労線図が必要であることから、協議の結果、現状のままとすることとした。

- HIP による母材の粗粒化では、設計疲労線図を適用できる粒度の制限を設けるかどうかを協議した結果、新たな制約を入れると規格が煩雑になること、また、実測値は設計疲労線図を満足していることから、従来の方針どおり 4B を改訂し、詳細なデータを解説に入れることとした。

(4-2-2) 原型炉 TF コイルの開発計画

(4-2-2-1) 核融合原型炉設計活動の概要【資料 68-5-4】

原型炉研究開発ロードマップに基づいて、核融合出力 1.5～2GW の原型炉全体設計や原型炉超伝導コイル設計を産学官によるオールジャパン体制(原型炉設計合同特別チーム)で進行中であり、2025 年に原型炉設計の中間チェック&レビューが行われることが報告された。

(4-2-2-2) 原型炉 TF コイル用高強度構造材料の開発【資料 68-5-5】

核融合原型炉設計活動の概要および TF コイル構造材料(暫定目標として 4K 0.2% 耐力 1600 MPa)の開発計画について報告があった。今後、材料試験結果の進展に合わせ、専門委員会にて協議を行っていくこととした。主なコメントは以下のとおり。

- 低温での強度を上げるために N(窒素)や Mn、Cr の添加量を増やすことを計画されているが、併せて、溶接によって N が減少するため溶接性に関する確認も必要である。
- 材料の化学成分の微調整だけで強度を改善するには限界があるため、例えば、溶接部に荷重が負荷されないようにすることや、圧縮方向の荷重に対しては設計基準を緩和するなどの設計による対処も必要である。

(4-3) 第 22 回非金属構造物分科会報告【資料 68-6】

角館委員より資料 68-6 に従い 11/7 に開催された非金属構造物分科会の活動として、メール審議 No. 6 のご意見に対する対応などが報告された。続いて、報告内容の詳細が以下のように報告され、内容について協議した。

(4-3-1) GFRP の損傷観察方法の検討【資料 68-9-1】

引張試験の際の応力-ひずみ線図においてヤング率の変化と GFRP の損傷状態との関係を把握するための観察法として表面研磨法や X 線法、光学顕微鏡法が考えられる。これらの観察法について、引張試験にて損傷した試験片をそれぞれの観察法で観察し、損傷の見え方に関する得失比較を行った結果、GFRP の損傷の一つである「白化現象(繊維とマトリックス間の剥離などにより材料が白色化する)」を光学顕微鏡法(傾斜観察法)によって捉えることが可能であり、本手法が損傷状態の把握に有効であることが示された。主なコメントは以下のとおり。

- 引張試験の応力-ひずみ線図において、ヤング率が初期値の 95 %となる応力(0.05%オフセット応力と等価)を損傷の開始点と定義しており、この点をリミットセット 3 に割り当てることが考えられるので、この応力の前後での損傷状態の把握が重要である。
- ITER では、HV ブッシングの点検修理交換が事実上不可能であることから、損傷開始点をリミットセット 3 相当として定義し、そこから割り引く考え方でリミットセット 1 を定義し、リミットセット 2 は設定しない方が合理的である。

(4-3-2) メール審議 No6 の回答に使用した試験データの確認結果【資料 68-9-2】

前回の専門委員会(8/30 開催)のコメントを受けて、表面加工傷の有無および、軸/周方向のポアソン比やヤング率のばらつきが引張強さに及ぼす影響を再検討した結果が報告された。主なコメントは以下のとおり。

- 平織クロスの織目の大きさに対してひずみゲージが小さすぎるので、たまたまひずみゲージ直下が織目であって局所的なひずみを拾ったケースや、ひずみゲージ自体が剥がれたケースが考えられる。
- ひずみゲージの大きさを変えて影響を見るなどの検討が必要である。
- 加工有無しで引張強度に変化はないが、加工有の場合は、応力-ひずみ線図で裏表のひずみの出方の差が大きい傾向がある。試験片はすべて加工有の試験片であり、加工がばらつきに影響している可能性もある。
- ヤング率、ポアソン比の測定結果には大きなばらつきがみられるため、①ロット毎のばらつきについて整理することや、②ヤング率やポアソン比のばらつきが大きいことが規格(設計)にどのように影響するか検討・整理すること、との指摘があり、対応することとした。

(4-3-3) 核融合設備規格に使用される「試験」「検査」の定義について【資料 68-9-3】

「ISO-9001」や「超伝導マグネット構造規格」、「ASME 規格」などの「試験」「検査」の定義を整理し、NBI 絶縁構造体規格案の FN-5000「試験」に使用される用語をどのように定義するか、について検討案が示された。協議の結果、一律に「試験」「検査」を区分すれば、例えば、「引張検査」とい名称となる箇所があり、日本語の用語として馴染まないため、FN-5000「試験」の用語は、現案のとおりとし、変更しないこととなった。なお、FN-7000「用語」に「試験」「検査」の定義を記載することを検討する。

(4-3-4) 引張試験片の形状について【資料 68-9-4】

APPENDIX-41 の引張試験で使用する全長 150mm の試験片(標準試験片)を実規模プロトタイプから採取できない可能性があるため、試験片の断面形状は同じ(10mm の正方形断面)とし、絞り部の R と平行部の長さを縮小した全長 100mm の小型引張試験片が規格に適用できるかどうかについて妥当性確認試験が行われ、その結果が報告された。主なコメントは以下のとおり。

- 標準試験片と小型試験片の引張強度に大きな差はないが、すべての小型試験片の破断した位置がダンベル部近傍であり応力集中の影響が否定できない。このため、試験片の形状のさらなる検討が必要ではないかというコメントを受け検討することとした。
- 応力集中で破断しているとしても、得られた強度は低くなるため安全側の評価になる。このため、現在の試験片が使用できないということではない。

(5) 審議事項

(5-1) 委員の再任・退任

(1) 金属構造物分科会委員の退任、再任【資料 68-7、68-7-1】

- ・ 才田委員の退任が報告された。
- ・ 片山委員、井口委員、岡野委員、角館委員、笠井委員、北村委員の再任が全会一致で了承された。

(2) 非金属構造物分科会委員の退任、再任、新任【資料 68-8、68-8-1】

- ・ 梅田委員の退任が報告された。
- ・ 阪口委員の再任、戸張氏(QST)の新任が全会一致で承認された。

(5-2) 「メール審議 No. 6 (ご意見伺い)」の協議結果に対応するための全体計画【資料 68-9、68-9-5】

メール審議 No. 6 に対処し、規格案を最終化するために、いただいたコメントを 8 項目に分類した対処案が示され、本計画案の一つである規格案の「編集上の修正」が提案された。主なコメントは以下のとおり。

- 本規格を外部に公表できるのは、規格委員会で承認された後となる。これには時間を要するので、今後の工程を提示してほしい。工程に余裕がない場合は、メール審議を活用してスピードアップすることも可能である。

(6) その他

- 前回（8/30 開催）の専門委員会でのコメントである「GFRP 製品の設計基準はどのようなものが使われているのか」について、資料 68-10（HV ブッシングの構造設計、第三回非金属構造物分科会資料）に基づいて構造設計手法が紹介された。
- 次回の第 69 回核融合専門委員会は規格委員会の日程を考慮し 2020 年 2 月 18 日（火）とし、場所は別途連絡することとした。

以上