

ITER ダイバータ不純物モニターの構造健全性評価 作業

仕様書

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

那珂フュージョン科学技術研究所

先進プラズマ研究開発部 先進プラズマ計測開発グループ

目次

1. 一般仕様	1
1.1 件名	1
1.2 目的及び概要	1
1.3 業務内容	1
1.4 納期	1
1.5 履行場所	1
1.6 納入場所及び納入条件	1
1.7 納入物	1
1.8 検査条件	2
1.9 提出図書	2
1.10 契約不適合責任	3
1.11 貸与品	3
1.12 品質管理	3
1.13 適用法規・規格規準	4
1.14 情報セキュリティの確保	4
1.15 知的財産権及び技術情報等の取扱い	4
1.16 グリーン購入法の推進	4
1.17 協議	5
1.18 その他	5
2. 技術仕様	6
2.1 解析対象機器	6
2.2 荷重条件	9
2.3 適用規格及び評価基準	9
2.4 熱解析に係る要求事項	10
2.4.1 一般事項	10
2.4.2 熱解析モデル	10
2.4.3 材料特性	11
2.4.4 熱解析ケース	11
2.4.5 熱荷重	11
2.4.6 境界条件	11
2.4.7 熱解析結果	12
2.4.8 熱解析モデルの検証	12
2.4.9 構造解析へのデータ受渡し	12
2.4.10 熱解析レポート	13
2.5 構造解析に係る要求事項	13
2.5.1 一般事項	13

2.5.2	構造解析モデル	14
2.5.3	材料特性	14
2.5.4	接触及び接合部のモデル化	15
2.5.5	拘束条件	15
2.5.6	モーダル解析	15
2.5.7	単独荷重解析	16
2.5.8	自重	16
2.5.9	冷却水圧及び耐圧試験圧力	17
2.5.10	熱荷重	17
2.5.11	地震荷重及び振動荷重	17
2.5.12	電磁力荷重	18
2.5.13	荷重組合せ	18
2.5.14	解析条件	19
2.5.15	構造解析結果	19
2.5.16	ボルト締結部の強度評価	19
2.5.17	解析モデル及び解析結果の検証	20
2.5.18	応力線形化及び規格評価	20
2.5.19	構造解析レポート	20
2.6	疲労評価に係る要求事項	22
2.6.1	一般事項	22
2.6.2	疲労評価条件	22
2.6.3	疲労評価箇所	22
2.6.4	疲労評価	22
2.6.5	ボルトの疲労評価	22
2.6.6	疲労解析結果	23
2.7	構造健全性レポート作成要求事項	23
2.7.1	一般事項	23
2.7.2	目的及び評価範囲	23
2.7.3	適用文書及び入力文書	24
2.7.4	解析方法の説明	24
2.7.5	座標系	24
2.7.6	材料特性及び機器分類	24
2.7.7	構造評価基準	25
2.7.8	有限要素モデル	25
2.7.9	接触及び接合部のモデル化	25
2.7.10	境界条件	26
2.7.11	荷重条件	26
2.7.12	荷重ケース及び荷重組合せ	26

2.7.13	解析設定	27
2.7.14	モーダル解析結果.....	27
2.7.15	荷重組合せごとの構造評価結果.....	27
2.7.16	ボルト締結部の評価結果.....	27
2.7.17	疲労評価結果	28
2.7.18	単独荷重結果	28
2.7.19	解析結果の検証	29
2.7.20	結論.....	29

添付資料

別添－1 『本契約において遵守すべき「情報セキュリティの確保」に関する事項』

別添－2 知的財産権特約条項

別添－3 System Load Specification for 55.E4 Divertor Impurity Monitor Components on
Divertor Cassette

別添－4 System Load Specification for 55.E4 Divertor Impurity Monitor Components on
Diagnostic Rack of Lower Port 2

別添－5 55.E4.L0 - System Load Specification (SLS) on ISS/PCSS

1. 一般仕様

1.1 件名

ITER ダイバータ不純物モニターの構造健全性評価作業

1.2 目的及び概要

ITER 計画において、日本は ITER ダイバータ不純物モニター（以下「DIM」という。）の調達責任を有し、国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構（以下「QST」という。）では DIM の開発を進めている。DIM は真空容器内・外（インタースペース及びポートセル）に配置され、ダイバータ付近のプラズマの発光を計測することによって、イオン化フロントの位置や、不純物量測定するものである。真空容器内には金属製のミラーが配置されるが、プラズマによる熱輻射や、核融合反応物である中性子による核発熱などが載荷される。このような環境下においても、構造強度を担保する必要がある、原子力コードに則った応力の評価が必要となる。

本件では、DIM が曝される様々な環境を考慮しつつ、原子力コードに則った応力評価を行い、評価結果をレポートにまとめることを目的とする。

1.3 業務内容

- (1) 解析
- (2) レポート作成

1.4 納期

令和 9 年 2 月 26 日

1.5 履行場所

受注者事業所

1.6 納入場所及び納入条件

- (1) 納入場所
〒311-0193 茨城県那珂市向山801番地1
QST那珂フュージョン科学技術研究所
ITER研究開発棟
- (2) 納入条件
持込渡し

1.7 納入物

- (1) 1.9項に定める提出図書 一式
- (2) 外付けハードディスクドライブ (HDD) 1台

1.8 検査条件

1.7 項に示す納入物の完納及び 1.9 項に定める提出図書を納入後、本仕様の内容を満たしていることを QST が確認したことをもって検査合格とする。

1.9 提出図書

図書名	提出時期	部数	確認
打合せ議事録	打合せ後 1 週間以内	1 部	不要
工程表	契約後速やかに	1 部	要
熱解析レポート①55.E4.L0 - Thermal analysis for 55.E4 on Divertor Cassette (英文)	納期までに	1 部	不要
熱解析レポート②55.E4.L0 - Thermal analysis for 55.E4 on Diagnostics Rack (英文)	納期までに	1 部	不要
熱解析レポート③55.E4.L0 - Thermal analysis for 55.E4 on ISS/PCSS (英文)	納期までに	1 部	不要
構造解析レポート①55.E4.L0 - Structural analysis for 55.E4 on Divertor Cassette (英文)	納期までに	1 部	不要
構造解析レポート②55.E4.L0 - Structural analysis for 55.E4 on Diagnostics Rack (英文)	納期までに	1 部	不要
構造解析レポート③55.E4.L0 - Structural analysis for 55.E4 on ISS/PCSS (英文)	納期までに	1 部	不要
構造健全性レポート①55.E4.L0 - Structural Integrity Report (STIR) for 55.E4 on Divertor Cassette (英文)	納期までに	1 部	不要
構造健全性レポート②55.E4.L0 - Structural Integrity Report (STIR) for 55.E4 on Diagnostics Rack (英文)	納期までに	1 部	不要
構造健全性レポート③55.E4.L0 - Structural Integrity Report (STIR) for 55.E4 on ISS/PCSS (英文)	納期までに	1 部	不要
各レポートに対するチェックリスト (指定様式あり) (英文)	納期までに	1 部	不要

再委託承諾願 (QST 指定様式)	作業開始の 2 週間前まで ※下請負等が ある場合に提 出のこと。	1 部	要
----------------------	---	-----	---

提出図書は電子メール又は QST のファイル共有システムを使用して電子ファイル（Microsoft Word、PDF 等）を提出すること。

本件において作成又は更新した解析ファイル（ANSYS プロジェクトファイル、解析結果ファイルその他解析の再現に必要な関連ファイルを含む。）については、受注者が用意する外付け HDD に保存し、納品すること。なお、当該外付け HDD は本契約の納入物として QST へ引き渡すものとする。

（提出図書の確認方法）

QST は、確認のために提出された図書を受領したときは、期限日を記載した受領印を押印して返却する。また、当該期限までに確認を完了し、受理しない場合には修正を指示し、修正等を指示しないときは、受理したものとする。ただし、再委託承諾願については、QST が確認後、書面で回答する。

1.10 契約不適合責任

契約不適合責任については、契約条項のとおりとする。

1.11 貸与品

以下の資料及び物品等は無償で貸与する。ただし、貸与品は作業完了時に全て返却することとし、貸与及び返却方法・場所・時期は、別途、QST と協議すること。

- a. 仕様書に示す CAD データ一式
- b. 熱解析に必要な核発熱、表面熱流束及び既存流体解析結果
- c. 構造解析に必要な電磁力解析結果
- d. 構造解析に必要な床応答スペクトル
- e. 本仕様書において QST が貸与すると定める資料

貸与品の取扱いについては、契約条項のとおりとする。なお、QST が貸与品の所在等の確認を求めた場合には、受注者はこれに協力するものとし、紛失等の異常時には速やかに報告することとする。

1.12 品質管理

受注者は、本契約の履行に当たり受注者が定める品質保証活動に係わる要求事項を文書化され

た手順により確立し、作業を行うこと。なお、受注者は、QST からの要求があった場合には、本契約の適切な管理運営を証明するために必要な文書及びデータを提供するものとする。

1.13 適用法規・規格規準

本契約に係る全ての作業工程において、以下の法規・規格基準等を適用又は準用すること。

- 1) 労働安全衛生法
- 2) RCC-MRx（フランス原子力・代替エネルギー庁が策定した高速炉などの機器設計及び製造のための技術規格）
- 2) その他受注業務に関し、適用又は準用すべき全ての法規・規格基準等

1.14 情報セキュリティの確保

情報セキュリティの確保については、別添－1『本契約において遵守すべき「情報セキュリティの確保」に関する事項』に示すとおりとする。

1.15 知的財産権及び技術情報等の取扱い

(1) 知的財産権等の取扱い

知的財産権等の取扱いについては、別添－2「知的財産権特約条項」に示すとおりとする。

(2) 技術情報

受注者は、本契約を実施することによって得た技術情報を第三者に開示しようとする際には、あらかじめ書面による QST の承認を得なければならない。

QST が本契約に関し、その目的を達成するため受注者の保有する技術情報を了知する必要が生じた場合は、QST と受注者の協議の上、受注者は当該技術情報を無償で QST に提供すること。

(3) 成果の公開

受注者は、本契約に基づく業務の内容及び成果について、発表若しくは公開し、又は特定の第三者に提供しようとする際は、あらかじめ書面による QST の承認を得なければならない。

1.16 グリーン購入法の推進

- (1) 本契約において、グリーン購入法（国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律）に適用する環境物品（事務用品、OA 機器等）が発生する場合は、これを採用するものとする。
- (2) 本仕様に定める提出図書（納入印刷物）については、グリーン購入法の基本方針に定める「紙類」の基準を満たしたものであること。

1.17 協議

本仕様書に記載されている事項及び本仕様書に記載のない事項について疑義が生じた場合は、QST と協議の上、その決定に従うものとする。

1.18 その他

- (1) 受注者は、QST を経由して IDM (ITER Document Management system) のアカウントを取得し、IDM にアクセスし ITER 機構発行図書を利用できるものとする。なお、IDM を利用する際は、ITER 機構の IDM 利用指針に従うとともに、ITER 計画の知的財産の管理条項を遵守すること。その他の ITER 機構が定めた規格などに関しては、QST と協議し、適用すべき規格・基準・ガイドラインを特定しながら作業を進めること。
- (2) 受注者は、業務の進行状況を随時報告し、必要に応じて打合せを行うこととする。
- (3) 受注者は QST が量子科学技術の研究・開発を行う機関であるため高い技術力及び高い信頼性を社会的に求められていることを認識し、QST の規程等を遵守し安全性に配慮し業務を遂行し得る能力を有する者を従事させること。

2. 技術仕様

2.1 に示す解析対象機器に対して、2.4 の熱解析、2.5 の静的構造解析、2.6 の疲労評価、2.7 の構造健全性評価を行い、各種レポートを作成すること。

2.1 解析対象機器

下部ポート内に配置される DIM の全体図を図 1 に示す。

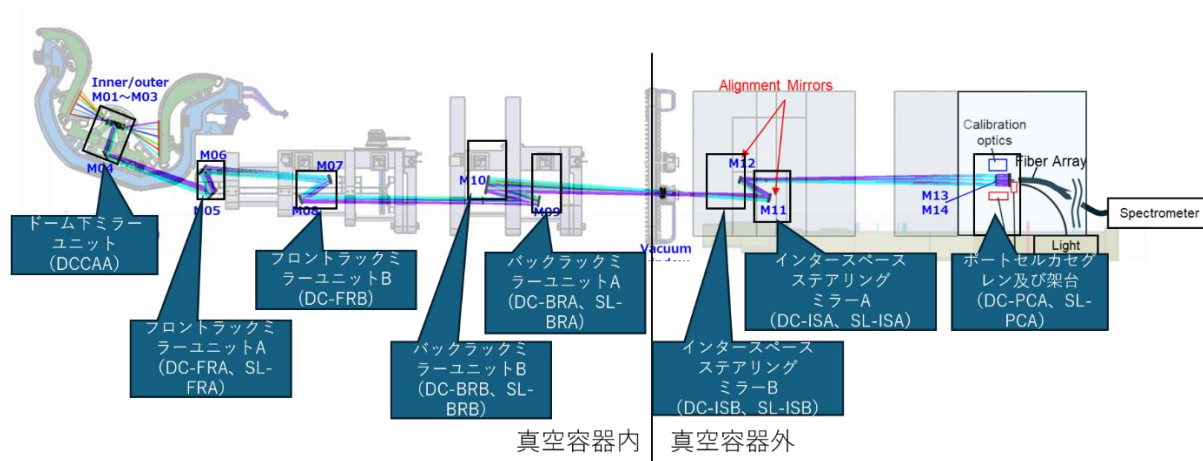


図 1 下部ポートに配置される DIM 全体図

解析対象は以下となる。

(1) ドーム下ミラーユニット

図 2 の通り、カバーと内部構造に分けられる。内部構造にはミラーが配置される。また、内部構造には図中暗黄色の長方形のプレマッチャーが取り付けられる。カバーと内部構造はそれぞれ冷却チャンネルを有する。DCCAA と呼ぶ。

図 2 ドーム下ミラーユニット (左：カバー、右：内部構造)

(2) フロントラックミラーユニット A 及び B

図 3 の通り、ミラーユニット A は DC (divertor cassette) 系と SL (side-lower) 系に二系統が一体構造になっている。ミラーは DC 系に二枚、SL 系に三枚ある。また冷却構造を有する。DC-FRA 及び SL-FRA と呼ぶ。ミラーユニット B は DC 系のミラー二枚を有する。冷却構造は持たない。DC-FRB と呼ぶ。フロントラックに係る解析は範囲外とする。

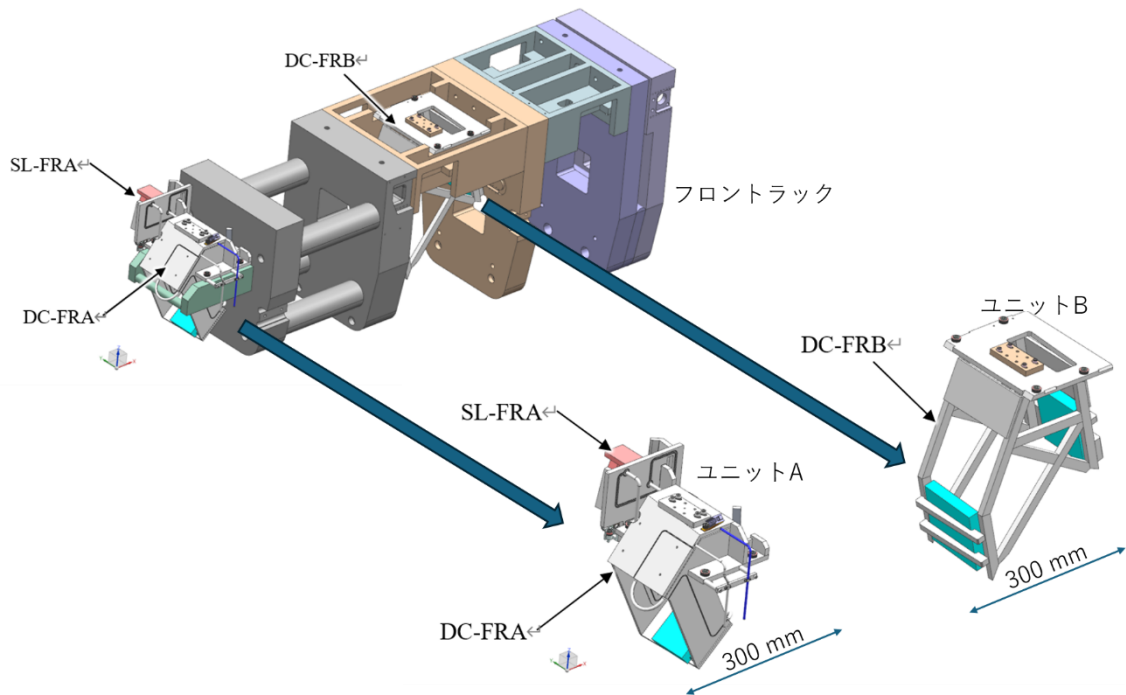


図 3 フロントラックミラーユニット (ユニット A については DC 系と SL 系は一体構造)

(3) DC 系バックラックミラーユニット A 及び B

図 4 の通り、DC 系バックラックミラーユニットはバックラックにボルト固定される。矩形形状の支持構造にミラーが配置される。冷却構造は持たない。ミラーユニット A を DC-BRA と呼び、ミラーユニット B を DC-BRB と呼ぶ。バックラックに係る解析は範囲外とする。

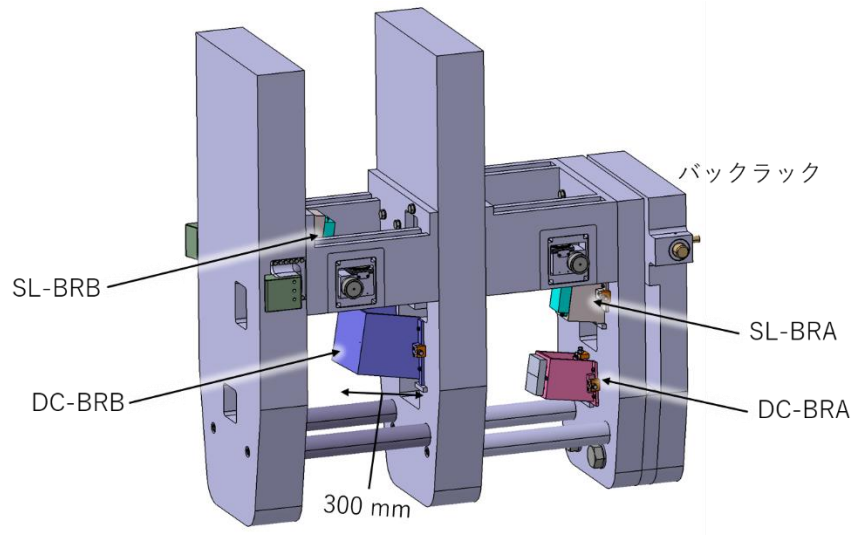


図 4 バックラックミラーユニット

(4) SL 系バックラックミラーユニット A 及び B

図 4 の通り、SL 系バックラックミラーユニットはバックラックにボルト固定される。矩形形状の支持構造にミラーが配置される。冷却構造は持たない。ミラーユニット A を SL-BRA と呼び、ミラーユニット B を SL-BRB と呼ぶ。

(5) DC 系インタースペースステアリングミラーA、B 及び支持構造

図 5 の通り、DC 系インタースペースステアリングミラーは駆動ステージ上に配置され、駆動ステージが支持構造で支持されている。ステアリングミラーA を DC-ISA、ステアリングミラーB を DC-ISB と呼ぶ。

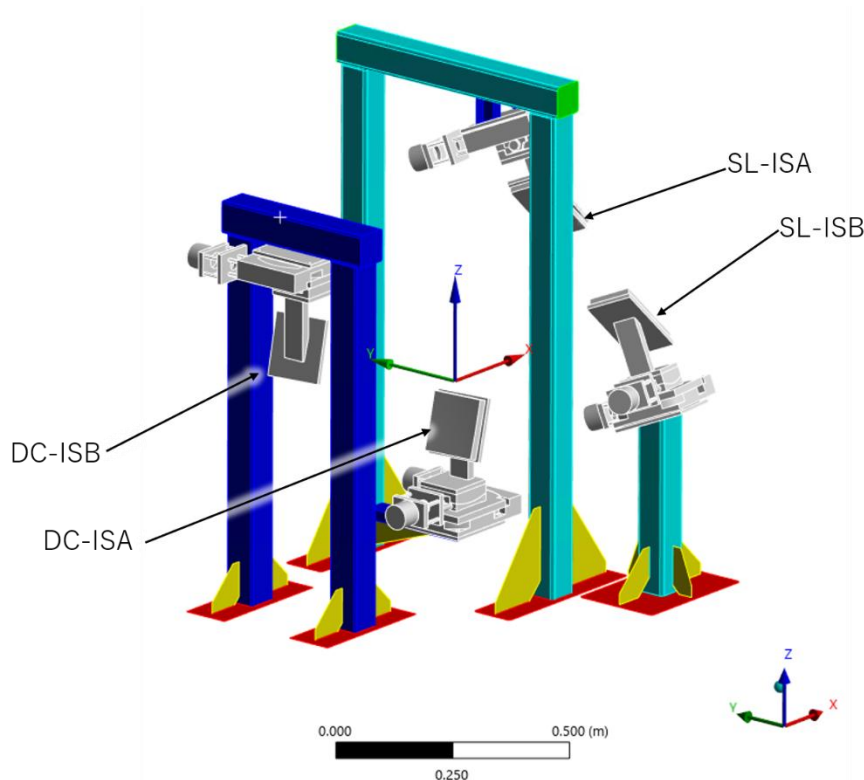


図 5 インタースペースステアリングミラー

(6) SL 系インタースペースステアリングミラーA、B 及び支持構造

図 5 の通り、SL 系インタースペースステアリングミラーは駆動ステージ上に配置され、駆動ステージが支持構造で支持されている。ステアリングミラーA を SL-ISA、ステアリングミラーB を SL-ISB と呼ぶ。

(7) DC 系・SL 系ポートセルカセグレン及び架台

図 6 の通り、DC 系・SL 系ポートセルカセグレンは同一架台上に設置される。カセグレンそれぞれを DC-PCA 及び SL-PCA と呼ぶ。

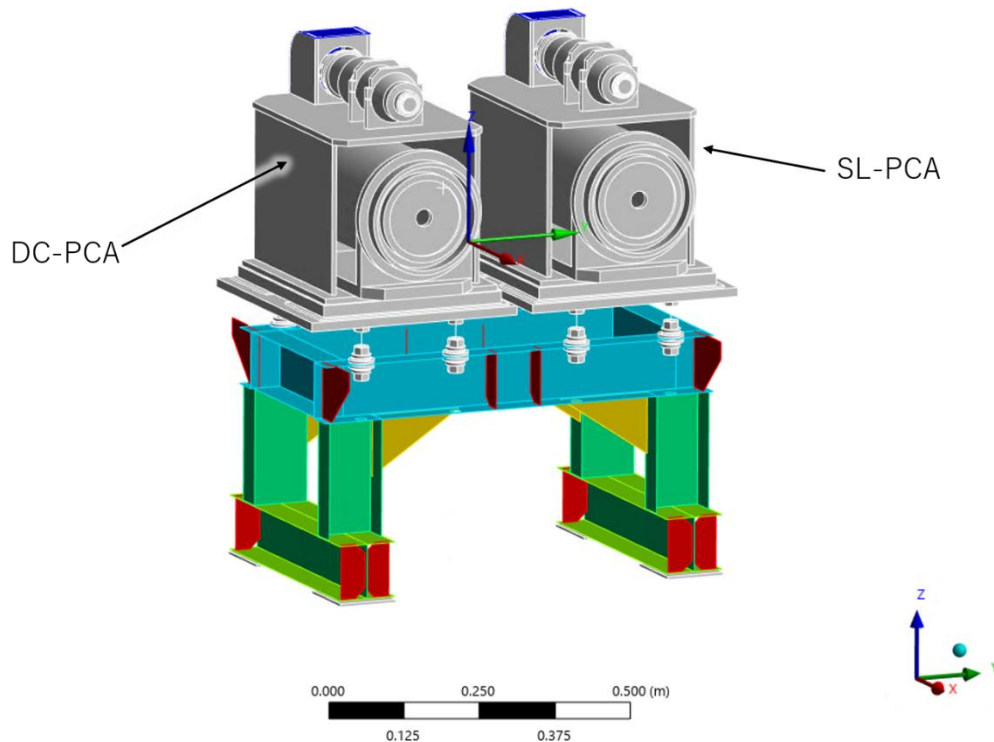


図 6 ポートセルカセグレン及び架台

2.2 荷重条件

考慮すべき荷重条件は添付する荷重条件定義書（Load specification）を参照すること。

別添－3 System Load Specification for 55.E4 Divertor Impurity Monitor Components on Divertor Cassette

別添－4 System Load Specification for 55.E4 Divertor Impurity Monitor Components on Diagnostic Rack of Lower Port 2

別添－5 55.E4.L0 - System Load Specification (SLS) on ISS/PCSS

別添－3 を適用する解析対象機器はドーム下ミラーユニットとする。

別添－4 を適用する解析対象機器はフロントラックミラーユニット A 及び B、DC 系バックラックミラーユニット A 及び B、SL 系バックラックミラーユニット A 及び B とする。

別添－5 を適用する解析対象機器は DC 系インタースペースステアリングミラー A、B 及び支持構造、SL 系インタースペースステアリングミラー A、B 及び支持構造、DC 系・SL 系ポートセルカセグレン及び架台とする。

2.3 適用規格及び評価基準

- (1) 対象機器の構造健全性評価は、Load Specification (2.2) 及び RCC-MRx に基づき実施すること。
- (2) RCC-MRx の適用版については、QST が指定する版を使用すること。
- (3) 各荷重ケースについて、Load Specification に規定される荷重カテゴリ及び運転状態を考慮し、

RCC-MRx に基づく構造健全性評価を実施すること。

- (4) P-type damage の評価については、RCC-MRx に基づき必要な応力分類を行い、一般一次膜応力、局部一次膜応力、一次曲げ応力その他必要な応力について許容基準との比較を行うこと。
- (5) S-type damage の評価については、RCC-MRx に基づき、一次応力及び二次応力を考慮した評価を実施すること。
- (6) 必要な箇所について応力線形化を実施し、評価に使用する膜応力、曲げ応力及び二次応力を算出すること。
- (7) 疲労評価については、RCC-MRx に基づき、評価対象となる応力又はひずみ範囲、許容繰返し回数及び疲労使用係数を算出し、許容基準との比較を行うこと。
- (8) ボルト締結部については、RCC-MRx のボルト締結部に関する規定に基づき、必要な強度評価を実施すること。
- (9) 材料の許容応力その他の評価に必要な設計値は、RCC-MRx 又は QST が貸与する材料データに基づき設定すること。
- (10) 適用した RCC-MRx の章、節、評価基準及び許容値を構造健全性レポートに明記すること。
- (11) RCC-MRx の適用方法について不明確な点がある場合は、QST と協議すること。

2.4 熱解析に係る要求事項

2.4.1 一般事項

- (1) 受注者は、対象機器の運転時及びベーキング時における温度分布及び除熱性能を評価するため、熱解析を実施すること。
- (2) 熱解析の対象範囲は、QST が貸与する 3 次元 CAD モデル、設計図書及び添付する Load Specification に基づき定めること。
- (3) 受注者は、熱解析の実施に先立ち、解析対象、解析ケース、入力条件、解析方法、評価項目及び判定基準を整理すること。
- (4) 使用する解析ソフトウェアの名称及びバージョンを熱解析レポートに記載すること。
- (5) 解析に使用した入力条件について、その出典となる文書名、文書番号及び改訂番号を明記すること。
- (6) 熱解析結果は、後続の構造解析及び構造健全性評価に使用可能なものとする。

2.4.2 熱解析モデル

- (1) 受注者は、貸与された 3 次元 CAD モデルを基に熱解析モデルを作成すること。
- (2) 熱解析モデルは、対象機器の温度分布、温度勾配及び最高温度を適切に評価できるものとする。
- (3) 対象機器を構成する主要構造物、冷却流路周辺部及び熱的に重要な部品を解析モデルに含めること。
- (4) 熱伝導上影響の小さい微細形状を省略する場合は、省略内容及びその妥当性を記載すること。

- (5) 部品間の接触、接合部その他の熱的接続条件を適切にモデル化すること。
- (6) 熱解析モデルの全体図及び主要部の拡大図を示すこと。
- (7) 各部品に割り当てた材料を一覧として示すこと。
- (8) 使用した要素タイプ、節点数及び要素数を記載すること。
- (9) 冷却流路近傍、熱流束の大きい箇所、異材接合部及び温度勾配が大きいと想定される箇所には、適切な要素分割を行うこと。

2.4.3 材料特性

- (1) 熱解析に使用する各材料の熱伝導率を設定すること。
- (2) 材料特性は、必要に応じて温度依存性を考慮すること。
- (3) 温度依存性を考慮しない場合は、使用した値及びその根拠を記載すること。
- (4) 過渡熱解析を実施する場合は、密度及び比熱を設定すること。
- (5) 各材料特性について、出典となる規格、材料特性文書又はメーカー資料を明記すること。
- (6) 使用する材料特性の適用温度範囲が、解析結果として得られる温度範囲を包含していることを確認すること。

2.4.4 熱解析ケース

- (1) 通常運転時について熱解析を実施すること。
- (2) Load Specification に複数のプラズマ運転条件が規定されている場合は、必要な各運転条件について解析を実施すること。
- (3) ベーキング時について熱解析を実施すること。
- (4) 各解析ケースについて、定常解析又は過渡解析のいずれを採用したかを明記すること。
- (5) 定常解析を採用する場合は、運転継続時間等を踏まえて定常解析の適用が妥当であることを示すこと。
- (6) 過渡解析を採用する場合は、初期温度、熱荷重履歴、解析時間及び時間刻みを明記すること。
- (7) 一つの解析ケースにより他の運転条件を包絡して評価する場合は、その根拠を記載すること。

2.4.5 熱荷重

- (1) Load specification で定義される核発熱を体積発熱として解析モデルに適用すること。
- (2) QST から貸与される表面熱流束を解析モデルに適用すること。
- (3) 各部品に適用した核発熱及び表面熱流束を図示すること。
- (4) 分布データを解析モデルへマッピングする場合は、マッピング方法を記載すること。
- (5) 熱荷重を一様化又は簡略化する場合は、その方法及び妥当性を記載すること。
- (6) 各部品への総入熱量を算出し、入力データとの整合性を確認すること。

2.4.6 境界条件

- (1) 冷却流路内面に、QST から貸与する既存の流体解析結果に基づく熱伝達境界条件を設定する

こと。

- (2) 冷却水温度、流量、代表流速、熱伝達率等について、使用した値及びその出典を明記すること。
- (3) 冷却水の流路方向の温度上昇を無視する場合は、その影響が小さいことを確認すること。
- (4) 必要に応じて、既存の流体解析結果に基づき、入口側と出口側の冷却水温度の差を考慮すること。
- (5) 断熱条件、対流条件その他の熱的境界条件を設定した位置を図示すること。
- (6) 既存の流体解析結果から得られた条件を変更して使用する場合は、その変更内容及び理由を記載すること。

2.4.7 熱解析結果

- (1) 各解析ケースについて、対象機器の温度分布を示すこと。
- (2) 各主要部品の最高温度及びその発生位置を記載すること。
- (3) 必要に応じて最低温度及び代表位置における温度を記載すること。
- (4) 最高温度発生位置について拡大図を示すこと。
- (5) 各部品への総入熱量を整理すること。
- (6) 材料、接合部その他に規定された温度制限と解析結果を比較すること。
- (7) 各評価項目について、判定基準への適合又は不適合を明記すること。
- (8) 温度制限を満足しない場合又は余裕が小さい場合は、原因及び必要な対応を記載すること。
- (9) 構造解析に使用する温度分布について、対象となる構造解析の荷重ケースとの対応を明記すること。

2.4.8 熱解析モデルの検証

- (1) 熱解析モデルについて、要素数又は要素寸法を変更した解析を実施し、温度評価結果に対するメッシュ依存性を確認すること。
- (2) メッシュ変更前後の要素数、最高温度及び差率を一覧として示すこと。
- (3) 採用したメッシュが温度評価に対して十分な精度を有することを示すこと。
- (4) 必要に応じて、総入熱量及び除熱量の整合性を確認すること。
- (5) 熱荷重をマッピングした場合は、マッピング前後の総熱量の整合性を確認すること。

2.4.9 構造解析へのデータ受渡し

- (1) 受注者は、構造解析に使用可能な形式で温度分布データを出力すること。
- (2) 温度分布データは、解析ケースごとに識別可能なものとする。
- (3) 熱解析モデルと構造解析モデルのメッシュが異なる場合は、温度分布を構造解析モデルへ適切にマッピングすること。
- (4) マッピング後の温度分布を図示すること。
- (5) マッピング前後の最高温度、最低温度及び主要部の温度分布を比較し、マッピングの妥当性

を確認すること。

- (6) 通常運転時及びベーキング時等の温度分布と、構造解析における荷重ケースとの対応を整理すること。

2.4.10 熱解析レポート

- (1) 受注者は、熱解析の条件、方法及び結果を取りまとめた熱解析レポートを作成すること。
- (2) 熱解析レポートには、少なくとも以下を含めること。

解析目的及び対象範囲

使用ソフトウェア

適用文書及び入力文書

材料特性

解析モデル

解析ケース

熱荷重

境界条件

既存流体解析結果から使用した入力条件

温度分布

最高温度及びその発生位置

総入熱量

判定基準との比較

解析モデルの検証結果

構造解析への受渡しデータ

結論

- (3) 未評価事項、解析上の仮定及び設計上の課題がある場合は、これらを明記すること。
- (4) レポートは英語で作成すること。
- (5) レポートはチェックリスト（解析の品質を担保するうえで一般的な項目）に基づいて内容を確認し、チェックリストを提出すること。
- (6) 必要に応じてチェックリストと共に解析者の力量を担保する目的で CV をチェックリストに添付すること。

2.5 構造解析に係る要求事項

2.5.1 一般事項

- (1) 受注者は、対象機器に作用する各荷重及びその組合せに対する変形及び応力を評価するため、静的構造解析を実施すること。
- (2) 静的構造解析は、後続する応力線形化、規格評価、疲労評価及び構造健全性レポートの作成に必要な解析結果を得ることを目的とする。
- (3) 静的構造解析は、添付した各機器の Load Specification、貸与する 3 次元 CAD モデル、熱解

析結果、電磁力解析結果その他の貸与資料に基づき実施すること。

- (4) 受注者は、解析の実施に先立ち、解析対象範囲、解析モデル、材料特性、拘束条件、接触条件、荷重条件、荷重組合せ及び解析方法を整理すること。
- (5) 使用する解析ソフトウェアの名称及びバージョンを解析レポートに記載すること。
- (6) 解析に使用した入力条件について、その出典となる文書名、文書番号及び改訂番号を明記すること。
- (7) 解析に用いた仮定、簡略化及び保守的な取扱いについて、その内容及び理由を記載すること。
- (8) 解析結果は、後続する応力線形化、規格評価及び疲労評価に使用可能なものとする。

2.5.2 構造解析モデル

- (1) 受注者は、貸与された 3 次元 CAD モデルを基に静的構造解析モデルを作成すること。
- (2) 解析モデルには、対象機器の構造健全性に影響する主要構造部、支持部、接合部、冷却流路、配管接続部その他必要な部位を含めること。
- (3) 解析対象に含めた部品及び除外した部品を明確にすること。
- (4) 構造評価への影響が小さい微細形状を省略又は簡略化する場合は、その内容及び妥当性を記載すること。
- (5) 解析モデルの全体図及び主要部の拡大図を示すこと。
- (6) 使用した要素タイプ、節点数及び要素数を記載すること。
- (7) 薄肉部、形状不連続部、開口部、接合部、支持部、冷却流路周辺その他応力集中が想定される箇所には、適切な要素分割を行うこと。
- (8) 後続する応力線形化を実施する箇所について、膜応力及び曲げ応力を適切に評価できる要素分割とすること。
- (9) 必要に応じて、板厚方向の要素数その他のメッシュ条件を設定すること。
- (10) 熱解析モデル及び電磁解析モデルと構造解析モデルで形状又はメッシュが異なる場合は、それぞれのモデル間の対応関係を明確にすること。

2.5.3 材料特性

- (1) 受注者は、静的構造解析に必要な各材料の密度、ヤング率、ポアソン比及び熱膨張係数その他必要な機械的材料特性を設定すること。
- (2) 熱荷重を考慮する解析については、必要に応じて材料特性の温度依存性を考慮すること。
- (3) 各解析ケースに使用する材料特性の温度及びその設定根拠を記載すること。
- (4) 材料特性の温度依存性を簡略化する場合は、その方法及び保守性を記載すること。
- (5) 各材料特性について、出典となる規格、材料特性文書又はメーカー資料を明記すること。
- (6) 解析に使用する材料特性と、後続する規格評価で使用する許容応力等との整合性を確認すること。

2.5.4 接触及び接合部のモデル化

- (1) 部品間の溶接部、ボルト締結部、ピン結合部、支持部その他の接合部について、実構造を踏まえた適切なモデル化を行うこと。
- (2) 構造上重要なボルト締結部については、ボルトに作用する軸力、せん断力及び曲げの影響を評価可能な方法でモデル化すること。
- (3) プリロードを付与するボルトについては、設計上規定されたボルトプリロードを解析モデルに適用すること。
- (4) ボルトプリロードの値、適用箇所及び設定方法を明記すること。
- (5) ボルトを簡略化してモデル化する場合は、そのモデル化方法及び妥当性を記載すること。
- (6) 各接触部について、Bonded、No Separation、Frictional その他使用した接触条件を明記すること。
- (7) 摩擦を考慮する場合は、使用した摩擦係数及びその根拠を記載すること。
- (8) 溶接部又はボルト締結部を Bonded 等で簡略化する場合は、その内容及び妥当性を記載すること。
- (9) 接触条件及び接合条件を一覧として整理すること。
- (10) 接触面及び接合箇所を図示すること。
- (11) 接触状態の変化が解析結果へ有意な影響を与えられ場合は、必要に応じてその影響を確認すること。
- (12) モーダル解析と静的構造解析で接触条件が異なる場合は、その相違及び理由を明記すること。

2.5.5 拘束条件

- (1) 対象機器の実機における支持状態及び取付状態を踏まえて拘束条件を設定すること。
- (2) 拘束位置及び拘束する自由度を図示すること。
- (3) 完全固定、変位拘束その他の理想化した拘束条件を使用する場合は、その内容及び理由を記載すること。
- (4) 上位構造の剛性を解析モデルに含めない場合は、その取扱い及び解析結果への影響を記載すること。
- (5) 荷重ケースにより拘束条件が異なる場合は、それぞれの条件を明記すること。
- (6) モーダル解析との拘束条件の整合性を確認すること。
- (7) 拘束条件により局所的な応力特異点が発生する場合は、規格評価における取扱いを明確にすること。

2.5.6 モーダル解析

- (1) 受注者は、地震荷重、プラズマ消失現象の一つである Vertical Displacement Event (以下「VDE」という。) 等の振動荷重に対する構造解析方法を決定するため、対象機器のモーダル解析を実施すること。
- (2) モーダル解析には、静的構造解析に使用する解析モデルを基本として使用すること。

- (3) モーダル解析に使用する材料特性、質量条件、拘束条件及び接触条件を明記すること。
- (4) モーダル解析と静的構造解析で解析条件が異なる場合は、その相違及び理由を明記すること。
- (5) 対象機器の固有振動数及び主要なモード形状を算出すること。
- (6) Load Specification 等に規定される評価対象周波数範囲を考慮し、必要な固有モードを抽出すること。
- (7) 最低固有振動数及び主要な固有振動数を、Load Specification 等に規定される限界周波数又は入力スペクトルと比較すること。
- (8) モーダル解析結果に基づき、地震荷重及び VDE 等の振動荷重に適用する ZPA 法、応答スペクトル解析その他の解析方法を選定すること。
- (9) モーダル解析結果として、少なくとも固有振動数一覧、主要なモード形状及び振動荷重評価方法の選定結果を示すこと。
- (10) モーダル解析結果は、静的構造解析レポートに含めること。

2.5.7 単独荷重解析

- (1) 受注者は、荷重組合せ解析に使用する各荷重について、必要に応じて単独荷重解析を実施すること。
- (2) 単独荷重解析の対象は、各機器の Load Specification に基づき決定すること。
- (3) 少なくとも、対象機器に適用される以下の荷重について考慮すること。

自重

通常運転時の冷却水圧

ベーキング時の冷却水圧

耐圧試験圧力

通常運転時の熱荷重

ベーキング時の熱荷重

地震荷重

VDE その他の事象に伴う振動荷重

電磁力荷重

ボルトプリロード

その他 Load Specification に規定される荷重

- (4) 各単独荷重について、変形分布及び応力分布を確認すること。
- (5) 各単独荷重解析の結果は、荷重組合せ解析及び後続する規格評価に利用可能な形で保存すること。
- (6) 単独荷重を線形重ね合わせによって荷重組合せ評価へ使用する場合は、解析が線形重ね合わせ可能であることを確認すること。

2.5.8 自重

- (1) 対象機器の質量及び設置方向を考慮して自重を設定すること。
- (2) 重力加速度の大きさ及び方向を記載すること。

- (3) 解析モデルの質量が 3 次元 CAD モデル又は質量管理情報と整合することを確認すること。
- (4) 解析モデルに含まれない機器又は部品の質量を付加質量として考慮する場合は、その質量、重心位置及び設定方法を記載すること。

2.5.9 冷却水圧及び耐圧試験圧力

- (1) Load Specification に基づき、通常運転時、ベーキング時及び耐圧試験時の冷却水圧を設定すること。
- (2) 圧力荷重を作用させる流路内面及び作用方向を図示すること。
- (3) 圧力条件及び使用した値の出典を明記すること。
- (4) 流路端部等に圧力による軸方向荷重が生じる場合は、その影響を適切に考慮すること。
- (5) 耐圧試験については、試験時の温度条件及び支持条件を考慮すること。

2.5.10 熱荷重

- (1) 本件で実施する熱解析から得られた温度分布を構造解析モデルへ入力すること。
- (2) 通常運転時及びベーキング時について、それぞれ必要な温度分布を構造解析へ反映すること。
- (3) 熱解析モデルと構造解析モデルのメッシュが異なる場合は、温度分布を適切にマッピングすること。
- (4) マッピング後の温度分布を図示すること。
- (5) マッピング前後の最高温度、最低温度及び主要部の温度分布を比較し、マッピングの妥当性を確認すること。
- (6) 構造解析に使用した参照温度、初期温度又は応力フリー温度を明記すること。
- (7) 温度依存材料特性を使用する場合は、熱解析結果との整合性を確認すること。
- (8) 熱膨張差によって生じる変形及び熱応力を算出すること。

2.5.11 地震荷重及び振動荷重

- (1) 本項において実施したモーダル解析結果及び Load Specification に基づき、地震荷重及び VDE 等に伴う振動荷重を設定すること。
- (2) モーダル解析結果に基づき、ZPA 法、応答スペクトル解析その他適切な評価方法を選定すること。
- (3) ZPA 法等により静的加速度荷重として評価する場合は、各方向の入力加速度及びその根拠を記載すること。
- (4) 動的増幅係数その他の倍率を適用する場合は、その値及び根拠を記載すること。
- (5) X、Y 及び Z 方向の荷重の符号組合せを考慮する必要がある場合は、必要な組合せについて解析を実施すること。
- (6) 複数の符号組合せを解析した場合は、評価上最も厳しい条件を選定すること。
- (7) 採用した符号組合せ及びその選定結果を解析レポートに記載すること。
- (8) 応答スペクトル解析等の動的構造解析が必要となった場合は、QST と解析方法を協議の上、

必要な解析を実施すること。

2.5.12 電磁力荷重

- (1) 受注者は QST から貸与された電磁力解析結果を構造解析に使用すること。
- (2) QST から貸与される電磁力密度、節点力その他の電磁力データを構造解析モデルへ適切にマッピングすること。
- (3) 電磁解析モデルと構造解析モデルとの座標系、位置、姿勢及び対象部品の対応を確認すること。
- (4) 使用した座標変換又は回転処理を記載すること。
- (5) 電磁力を構造解析モデルへマッピングした結果を図示すること。
- (6) マッピング後の節点力等から対象機器又は主要領域ごとの合力及びモーメントを算出すること。
- (7) マッピング前後の合力及びモーメントを比較し、電磁力マッピングの妥当性を確認すること。
- (8) 電磁解析モデルと構造解析モデルとの形状又はメッシュの違いにより差異が生じる場合は、その原因及び影響を記載すること。
- (9) 貸与された電磁力解析結果自体の再計算は、本件の対象外とする。
- (10) 電磁力解析結果に明らかな不足又は不整合がある場合は、QST へ確認すること。

2.5.13 荷重組合せ

- (1) 各機器の Load Specification に基づき、構造健全性評価に必要な荷重組合せを設定すること。
- (2) 各荷重組合せについて、荷重ケース番号、荷重カテゴリ、運転状態及び組み合わせる荷重を一覧として整理すること。
- (3) 通常運転、ベークイング、地震、VDE、耐圧試験その他の状態について、Load Specification で要求される荷重組合せを漏れなく考慮すること。
- (4) 各荷重ケースと Load Specification の要求との対応を明確にすること。
- (5) 一つの荷重ケースにより他の荷重ケースを包絡して評価する場合は、その根拠を示すこと。
- (6) より厳しい VDE 等の荷重によって他の事象を代表させる場合は、その大小関係及び妥当性を示すこと。
- (7) 実施しない荷重ケースがある場合は、その理由及び代替評価との関係を記載すること。
- (8) 荷重組合せに用いる各荷重の符号、方向及び組合せ方法を明記すること。
- (9) 疲労評価に使用する荷重ケースについては、事象回数及びサイクル数との対応を明確にすること。
- (10) ボルトプリロードを付与する締結部については、ボルトプリロードと各機械荷重を組み合わせた状態で評価すること。
- (11) ボルト評価に使用する荷重組合せは、Load Specification 及び適用規格に基づき設定すること。

2.5.14 解析条件

- (1) 解析は、評価目的及び適用規格に適した解析手法により実施すること。
- (2) 線形弾性解析を使用する場合は、その適用範囲及び妥当性を確認すること。
- (3) 幾何学的非線形、材料非線形又は接触非線形を考慮しない場合は、必要に応じてその影響を確認すること。
- (4) 使用したソルバー及び主要な解析設定を記載すること。
- (5) 荷重ステップ及び荷重の入力方法を記載すること。
- (6) 接触を含む解析については、解析の収束状態を確認すること。
- (7) 数値的不安定又は収束不良が生じた場合は、その原因及び対応を記載すること。
- (8) 荷重の線形重ね合わせを使用する場合は、解析条件が線形重ね合わせの前提を満足することを確認すること。

2.5.15 構造解析結果

- (1) 各単独荷重及び荷重組合せについて、対象機器の変形分布を示すこと。
- (2) 各解析ケースについて、等価応力分布を示すこと。
- (3) 必要に応じて、最大主応力、最小主応力その他の応力成分を出力すること。
- (4) 各解析ケースについて、最大変形量及びその発生位置を記載すること。
- (5) 各解析ケースについて、最大等価応力及びその発生位置を記載すること。
- (6) 最大応力発生位置及び構造上重要な箇所について、拡大図を示すこと。
- (7) 高応力箇所について、局部形状及びメッシュが確認できる図を示すこと。
- (8) 応力コンターには単位、表示範囲及び最大値を明記すること。
- (9) 変形図には必要に応じて変形倍率を明記すること。
- (10) 局部的な高応力が、形状不連続、拘束条件、接触端、点荷重その他に起因する応力特異点と考えられる場合は、その旨を明記すること。
- (11) 規格評価上詳細確認が必要な高応力箇所を抽出すること。
- (12) 各荷重ケースについて、後続する応力線形化及び規格評価に必要な応力結果を保存すること。

2.5.16 ボルト締結部の強度評価

- (1) 構造上重要なボルト締結部について、静的構造解析結果に基づきボルトの強度評価を実施すること。
- (2) 評価対象となるボルトの材質、寸法、使用箇所及びボルトプリロードを整理すること。
- (3) 同一又は類似する複数のボルトについて代表評価を行う場合は、最も厳しい荷重状態となるボルトを選定し、その選定根拠を示すこと。
- (4) ボルトプリロードによって発生する応力を算出すること。
- (5) ボルトプリロードと Load Specification に規定された機械荷重との組合せによるボルト応力を算出すること。
- (6) ボルトについて、適用規格に基づき平均応力、平均応力と曲げ応力の組合せ、せん断応力及

び支圧応力その他必要な評価を実施すること。

- (7) 必要に応じてボルト断面に対する応力線形化を実施すること。
- (8) 評価対象位置及び応力抽出位置を図示すること。
- (9) ボルトの各評価値を適用規格に基づく許容値と比較し、合否を示すこと。
- (10) ボルトごとに評価値、許容値及び評価結果を一覧として示すこと。
- (11) ボルトの疲労評価に必要な応力又はひずみ結果を、後続する疲労解析に使用可能な形で整理すること。

2.5.17 解析モデル及び解析結果の検証

- (1) 受注者は、静的構造解析モデル及び解析結果の妥当性を確認すること。
- (2) 解析モデルの総質量を CAD モデル又はその他の設計情報から得られる質量と比較すること。
- (3) 自重について、対象機器質量と重力加速度から算出される荷重と解析反力を比較すること。
- (4) 地震荷重及び VDE 等の加速度荷重について、質量と入力加速度から算出される合力と解析反力を比較すること。
- (5) 手計算値と解析値との比較結果及び差率を示すこと。
- (6) 電磁力荷重について、構造解析モデルへ入力された電磁力の合力及びモーメントと QST から貸与された電磁解析結果を比較すること。
- (7) 各方向の反力及びモーメントの釣合いを確認すること。
- (8) 必要に応じて、代表的な荷重ケースについてメッシュ依存性を確認すること。
- (9) メッシュ変更前後の要素数、最大変形量及び主要評価部の応力を比較すること。
- (10) 解析モデルの拘束不足、過拘束、剛体運動その他の不自然な挙動がないことを確認すること。
- (11) 検証結果及び確認方法を解析レポートに記載すること。

2.5.18 応力線形化及び規格評価

- (1) 構造解析結果から、RCC-MRx に基づく評価が必要となる箇所を抽出すること。
- (2) 必要な箇所について応力線形化を実施すること。
- (3) P-type damage 及び S-type damage について、2.3 項に基づく規格評価を実施すること。
- (4) 評価値、許容値、Margin of Safety 及び合否を整理すること。
- (5) 評価結果を構造健全性レポートに反映すること。

2.5.19 構造解析レポート

- (1) 受注者は、構造解析の条件、方法及び結果を取りまとめた構造解析レポートを作成すること。
- (2) 構造解析レポートには、少なくとも以下を含めること。

解析目的及び対象範囲

使用ソフトウェア及びバージョン

適用文書及び入力文書

解析モデル

材料特性
接触及び接合条件
拘束条件
単独荷重条件
熱荷重の入力方法
地震及び振動荷重の入力方法
電磁力荷重の入力方法及びマッピング結果
荷重組合せ
解析条件
変形分布
応力分布
最大変形及び最大応力発生位置
高応力箇所
解析モデル及び解析結果の検証
応力線形化及び規格評価への受渡し条件
モーダル解析条件
固有振動数
主要なモード形状
限界周波数等との比較
地震及び VDE 等の振動荷重評価方法の選定結果
結論

- (3) 解析上の仮定、簡略化、未評価事項及び設計上の課題がある場合は、これらを明記すること。
- (4) 構造解析の結果及び結論は、最終的に作成する構造健全性レポートへ反映すること。
- (5) レポートは英語で作成すること。
- (6) レポートはチェックリスト（解析の品質を担保するうえで一般的な項目）に基づいて内容を確認し、チェックリストを提出すること。
- (7) 必要に応じてチェックリストと共に解析者の力量を担保する目的で CV をチェックリストに添付すること。

2.6 疲労評価に係る要求事項

2.6.1 一般事項

- (1) 受注者は、対象機器に作用する繰返し荷重に対する疲労健全性を確認するため、疲労解析を実施すること。
- (2) 疲労評価は、Load Specification 及び RCC-MRx に基づき実施すること。
- (3) 疲労評価には、本件で実施する熱解析、構造解析及び応力線形化の結果を使用すること。
- (4) 疲労評価に使用した入力条件、評価方法及び判定基準を明記すること。

2.6.2 疲労評価条件

- (1) Load Specification に基づき、疲労評価対象となる運転状態及び過渡事象を整理すること。
- (2) 各過渡事象について、疲労評価に使用する荷重状態及び事象回数又は等価繰返し回数を設定すること。
- (3) 必要に応じて、過渡事象前後の荷重状態を Limiting Load Condition として整理すること。
- (4) より厳しい事象により他の事象を包絡して評価する場合は、その根拠を示すこと。

2.6.3 疲労評価箇所

- (1) 構造解析及び応力線形化結果を踏まえ、疲労上重要となる箇所を選定すること。
- (2) 高応力部、形状不連続部、接合部その他疲労評価上重要な箇所を考慮すること。
- (3) 評価対象箇所及びその選定根拠を示すこと。
- (4) 複数の同等箇所を代表して評価する場合は、その代表性を示すこと。

2.6.4 疲労評価

- (1) 各評価対象箇所について、疲労評価に必要な応力範囲又はひずみ範囲を算出すること。
- (2) RCC-MRx 及び QST が貸与する材料設計データに基づき、応力範囲又はひずみ範囲に対応する許容繰返し回数を求めること。
- (3) 各過渡事象について、許容繰返し回数及び設計上の等価繰返し回数から疲労使用係数を算出すること。
- (4) 複数の過渡事象を考慮する必要がある場合は、疲労使用係数を累積すること。
- (5) 算出した疲労使用係数を適用規格の許容基準と比較し、疲労健全性を確認すること。
- (6) 材料温度が疲労評価に影響する場合は、適切な温度条件を考慮すること。

2.6.5 ボルトの疲労評価

- (1) 繰返し荷重を受ける構造上重要なボルトについて、必要に応じて疲労評価を実施すること。
- (2) プリロードを付与するボルトについては、ボルトプリロードを考慮した応力又はひずみ状態を用いて評価すること。
- (3) ボルトについても、応力範囲又はひずみ範囲、許容繰返し回数、等価繰返し回数及び疲労使

用係数を算出し、許容基準との比較を行うこと。

2.6.6 疲労解析結果

- (1) 疲労評価結果について、少なくとも以下を整理して示すこと。

評価対象箇所
評価対象事象
応力範囲又はひずみ範囲
許容繰返し回数
等価繰返し回数
疲労使用係数
評価結果

- (2) 疲労上最も厳しい評価箇所及び事象を明記すること。
(3) 疲労評価結果は、構造健全性レポートに反映すること。
(4) 解析上の仮定、未評価事項又は追加評価が必要な事項がある場合は、その内容を明記すること。

2.7 構造健全性レポート作成要求事項

2.7.1 一般事項

- (1) 受注者は、対象機器の構造健全性を示す構造健全性レポートを作成すること。
(2) レポートには、文書番号、文書名、改訂番号、作成日、作成者、照査者及び承認者を記載すること。
(3) レポートには、改訂履歴を設け、各改訂における変更箇所及び変更内容を記載すること。
(4) レポートには、目次、図一覧、表一覧及び略語一覧を含めること。
(5) レポートに記載する解析条件、評価条件、解析結果及び結論について、相互に追跡可能な構成とすること。
(6) 図、表、数式、荷重ケース及び評価箇所には、一意の番号又は名称を付すこと。
(7) 使用する単位系を統一し、図表及び評価結果に単位を明記すること。
(8) レポートは、適用する構造解析指針、構造健全性レポート作成ガイドライン及び設計規格に従って作成すること。
(9) レポートは英語で作成すること。
(10) レポートはチェックリスト（解析の品質を担保するうえで一般的な項目）に基づいて内容を確認し、チェックリストを提出すること。
(11) 必要に応じてチェックリストと共に解析者の力量を担保する目的で CV をチェックリストに添付すること。

2.7.2 目的及び評価範囲

- (1) レポートの目的を記載すること。

- (2) 評価対象機器、対象構造及び評価対象範囲を明確にすること。
- (3) 対象機器の主要機能及び構造健全性上必要となる機能要求を記載すること。
- (4) 評価対象とする設計段階を明記すること。
- (5) 評価対象となる荷重、運転状態、異常事象及び試験状態を明記すること。
- (6) 評価対象とする損傷モードを明記すること。
- (7) 本レポートで評価しない項目又は未完了の評価項目がある場合は、その項目、除外理由及び今後の評価時期を明記すること。

2.7.3 適用文書及び入力文書

- (1) レポート作成に適用した規格、基準、ガイドライン及び設計要求文書を一覧として記載すること。
- (2) 材料特性、許容応力、機器分類、荷重条件及び荷重組合せの根拠となる文書を明記すること。
- (3) 電磁解析、熱解析その他の別解析から結果を受け渡す場合は、その解析文書の文書番号、改訂番号及び使用したデータを明記すること。
- (4) 使用した CAD モデル、解析モデル及び設計図書の版又は改訂状態を明記すること。
- (5) 各入力条件とその出典との対応関係を追跡可能にすること。

2.7.4 解析方法の説明

- (1) 使用した解析ソフトウェアの名称及びバージョンを記載すること。
- (2) 実施した解析の種類を記載すること。
- (3) 線形又は非線形、静的又は動的、弾性又は弾塑性等の解析上の前提を記載すること。
- (4) モーダル解析について、拘束条件、接触条件、考慮又は無視した効果及び固有振動数の抽出範囲を記載すること。
- (5) 構造解析について、解析次元、使用した要素、解法及び解析設定を記載すること。
- (6) 解析上の簡略化、仮定及び保守性の考え方を記載すること。

2.7.5 座標系

- (1) 機器の設置方向を含む全体座標系を図示すること。
- (2) 解析モデルで使用する局所座標系を図示すること。
- (3) 重力、地震加速度、振動加速度及び電磁力の各入力に使用した座標系を明記すること。
- (4) 別解析から荷重を受け渡す場合は、受渡元と構造解析モデルとの座標変換、回転角及び方向の対応を記載すること。
- (5) 荷重及び反力・モーメントの正負方向を明確にすること。

2.7.6 材料特性及び機器分類

- (1) 解析モデルを構成する各部品又は部品群の材料を一覧として記載すること。
- (2) 解析に使用した密度、ヤング率、ポアソン比その他必要な材料特性を記載すること。

- (3) 材料特性を設定した温度及び当該温度を採用した根拠を記載すること。
- (4) 運転時、ベーキング時及び耐圧試験時などで異なる材料特性又は許容値を使用する場合は、それぞれ明記すること。
- (5) 対象機器の安全分類、品質分類、耐震分類、圧力機器分類、真空分類及びトリチウム分類等を記載すること。
- (6) 各分類と適用する構造評価基準との関係を明記すること。

2.7.7 構造評価基準

- (1) 適用する設計規格及び構造設計基準を記載すること。
- (2) 各荷重ケースの荷重カテゴリ及び適用するサービスレベルを明記すること。
- (3) 評価対象とする P-type damage 及び S-type damage の定義を記載すること。
- (4) 一次一般膜応力、一次局部膜応力、一次曲げ応力及び二次応力範囲等、評価に用いる応力成分を定義すること。
- (5) 各損傷モードに対する許容基準を数式又は表で記載すること。
- (6) 材料及び評価温度ごとの許容応力 S_m を記載すること。
- (7) 運転、ベーキング及び耐圧試験等の状態ごとに適用する許容値を明記すること。
- (8) Margin of Safety の計算方法及び合否判定基準を記載すること。
- (9) 等価応力による一次スクリーニングと、応力線形化を用いた詳細評価との使い分けを記載すること。

2.7.8 有限要素モデル

- (1) 構造解析モデルの全体図を示すこと。
- (2) 解析モデルに含めた部品及び除外した部品を明記すること。
- (3) CAD モデルから解析モデルへの変更、簡略化、補強部材の追加等を記載すること。
- (4) 使用した要素タイプを記載すること。
- (5) 総節点数、総要素数及び要素種別ごとの要素数を記載すること。
- (6) 主要部、薄肉部、接合部、配管部及び応力集中が想定される箇所のメッシュを図示すること。
- (7) メッシュ品質の評価結果を記載すること。
- (8) 品質基準を満足しない要素が存在する場合は、その数量、位置及び解析結果への影響を記載すること。
- (9) 必要に応じて、メッシュサイズ又は要素分割の妥当性を示すこと。

2.7.9 接触及び接合部のモデル化

- (1) モデル内に設定した接触領域を一覧として記載すること。
- (2) 各接触領域について、Bonded、No Separation、摩擦接触等の接触形式を記載すること。
- (3) 溶接部、ボルト締結部、ピン結合部、支持部及び部品間接触のモデル化方法を記載すること。
- (4) 摩擦係数を使用する場合は、その値及び根拠を記載すること。

- (5) 実構造と異なる簡略化を行った場合は、その内容及び評価結果への影響を記載すること。
- (6) モーダル解析と静解析とで異なる接触設定を使用する場合は、その相違及び理由を記載すること。

2.7.10 境界条件

- (1) 拘束位置及び拘束面を図示すること。
- (2) 各拘束部について、拘束する並進及び回転自由度を記載すること。
- (3) 実機の支持構造、締結構造及び取り付け条件と解析上の拘束条件との対応を説明すること。
- (4) 完全固定等の保守的な仮定を用いた場合は、その理由及び影響を記載すること。
- (5) 荷重ケース又は解析種別によって境界条件が異なる場合は、それぞれ明記すること。

2.7.11 荷重条件

- (1) 固有振動数評価に使用する限界周波数及び評価方法の選定条件を記載すること。
- (2) 自重について、重力加速度の大きさ及び方向を記載すること。
- (3) 組立荷重、締結荷重又は予荷重を考慮しない場合は、その理由を記載すること。
- (4) 冷却水圧について、通常運転時、ベーキング時及び耐圧試験時の圧力を記載すること。
- (5) 圧力を付与する面及び圧力の作用方向を記載すること。
- (6) 地震荷重について、対象地震、入力加速度、方向、倍率、符号組合せ及びその根拠を記載すること。
- (7) プラズマディスラプション又はVDEに伴う振動荷重について、入力加速度、方向、倍率及び符号組合せを記載すること。
- (8) 電磁力について、電磁解析から取得した電磁力密度、合力及びモーメントを記載すること。
- (9) 電磁力を構造解析モデルへマッピングした方法及びマッピング結果を図示すること。
- (10) 通常運転時及びベーキング時の温度分布又は熱応力を熱解析結果から引用し、構造評価への反映方法を記載すること。
- (11) 各荷重の出典、入力値、単位及び座標系を一覧として記載すること。

2.7.12 荷重ケース及び荷重組合せ

- (1) 適用する全荷重ケースを一覧表として記載すること。
- (2) 各荷重ケースについて、荷重カテゴリ、運転状態、電磁事象、地震事象及び事象回数を記載すること。
- (3) 自重、冷却水圧、熱荷重、地震荷重、振動荷重及び電磁力の組合せを明記すること。
- (4) 同一又はより厳しい荷重ケースで代表評価する場合は、その包絡関係及び根拠を記載すること。
- (5) 実施しない荷重ケースがある場合は、その理由及び代替評価との関係を記載すること。
- (6) 疲労又は繰返し荷重評価に用いる事象回数及び1事象当たりの等価サイクル数を記載すること。

- (7) 静的手法を用いる場合は、必要な動的増幅の考慮方法を記載すること。

2.7.13 解析設定

- (1) 使用したソルバー及び解法を記載すること。
- (2) 時間刻み、収束条件その他の主要な解析設定を記載すること。
- (3) 荷重の入力方法及び荷重ステップを記載すること。
- (4) 荷重の符号組合せを複数解析した場合は、採用した組合せの選定方法を記載すること。
- (5) 解析結果の抽出方法及び最大値の探索方法を記載すること。

2.7.14 モーダル解析結果

- (1) 抽出した固有振動数を一覧として記載すること。
- (2) 少なくとも主要な低次モードのモード形状を図示すること。
- (3) 最低固有振動数と限界周波数を比較すること。
- (4) 比較結果に基づき、地震及び振動評価に使用する解析方法を記載すること。
- (5) モーダル解析時に静解析と異なる接触条件又は拘束条件を使用した場合は、その内容を明記すること。

2.7.15 荷重組合せごとの構造評価結果

- (1) 各荷重組合せについて、荷重ケース名、荷重カテゴリ及び適用評価基準を記載すること。
- (2) 各荷重組合せについて、全変形量分布を図示すること。
- (3) 各荷重組合せについて、等価応力分布を図示すること。
- (4) 最大変形量、最大等価応力及びその発生位置を記載すること。
- (5) 応力コンターの表示範囲、単位及び変形倍率を記載すること。
- (6) 最大応力位置周辺の拡大図及びメッシュ図を示すこと。
- (7) 等価応力がスクリーニング基準を超える場合は、評価断面及び Stress Classification Line 又は Path を設定すること。
- (8) 応力線形化結果を図示し、 P_m 、 P_L 、 P_b 及び ΔQ を記載すること。
- (9) P-type damage 及び S-type damage について Margin of Safety を算出すること。
- (10) 各荷重組合せについて、適用基準への適合又は不適合を明記すること。
- (11) 局所的な高応力が解析上の特異点、形状簡略化又は未確定形状に起因する場合は、その判断根拠を記載すること。
- (12) 基準を満足しない箇所又は設計変更を要する箇所について、位置、原因、必要な対策及び再評価方針を記載すること。

2.7.16 ボルト締結部の評価結果

- (1) 構造上重要なボルト締結部について、ボルト強度評価の結果を記載すること。
- (2) 評価対象としたボルトについて、材質、寸法、使用箇所及びボルトプリロードを記載すること。

と。

- (3) 複数の同一又は類似するボルトを代表して評価した場合は、代表ボルト及びその選定根拠を記載すること。
- (4) ボルト評価に使用した荷重条件及び荷重組合せを記載すること。
- (5) ボルトプリロードによって発生する応力及びボルトプリロードと機械荷重との組合せによって発生する応力を記載すること。
- (6) RCC-MRx に基づき評価した平均応力、平均応力と曲げ応力の組合せ、せん断応力、支圧応力その他必要な評価量を記載すること。
- (7) 必要に応じて、ボルトの応力分布、評価断面及び応力線形化結果を図示すること。
- (8) 各評価項目について、評価値、許容値及び合否を一覧として示すこと。
- (9) ボルト強度評価上最も厳しいボルト、荷重ケース及び評価項目を明記すること。
- (10) ボルトの疲労評価については、2.7.17 の疲労評価結果に含めること。

2.7.17 疲労評価結果

- (1) 2.6 に基づき実施した疲労評価の結果を記載すること。
- (2) 疲労評価対象とした過渡事象及び各過渡事象に対応する荷重状態を一覧として示すこと。
- (3) 各過渡事象について、設計上の事象回数又は等価繰返し回数を記載すること。
- (4) 疲労評価を実施した部位及び評価位置を図示し、その選定根拠を記載すること。
- (5) 各評価箇所について、疲労評価に使用した応力範囲又はひずみ範囲を記載すること。
- (6) 各評価箇所及び過渡事象について、許容繰返し回数、等価繰返し回数及び疲労使用係数を記載すること。
- (7) 複数の過渡事象を考慮した場合は、各過渡事象による疲労使用係数及び累積疲労使用係数を記載すること。
- (8) 構造上重要なボルトについて疲労評価を実施した場合は、その評価結果を併せて記載すること。
- (9) 疲労使用係数を RCC-MRx に基づく許容基準と比較し、適合又は不適合を明記すること。
- (10) 最大の疲労使用係数、その発生箇所及び支配的な過渡事象を明記すること。

2.7.18 単独荷重結果

- (1) 荷重組合せ評価に使用した各単独荷重の解析結果を付録等に示すこと。
- (2) 対象機器に適用される自重、冷却水圧、耐圧試験圧力、熱荷重、地震荷重、VDE 等の振動荷重、電磁力荷重及びその他 Load Specification に規定される荷重について、必要な単独荷重解析結果を示すこと。
- (3) 各単独荷重について、変形分布及び等価応力分布を示すこと。
- (4) 各単独荷重について、最大変形量、最大等価応力及びその発生位置を記載すること。
- (5) 通常運転時及びベーキング時の熱荷重については、構造解析に使用した温度分布及び熱応力分布を示すこと。
- (6) 地震荷重及び VDE 等の振動荷重については、入力条件と単独荷重解析結果との対応を明確

にすること。

- (7) 電磁力荷重については、構造解析モデルに入力した電磁力分布と単独荷重解析結果との対応を明確にすること。

2.7.19 解析結果の検証

- (1) 解析モデルの総質量又は CAD モデルから取得した質量を記載すること。
- (2) 自重及び加速度荷重について、質量と入力加速度から手計算した合力と解析反力を比較すること。
- (3) 手計算値、解析値、差及び差率を表で示すこと。
- (4) 電磁力について、構造解析モデルにマッピングされた節点力の合力及びモーメントを算出すること。
- (5) 構造解析モデル上の合力及びモーメントを、電磁解析から受け渡された目標値と比較すること。
- (6) 比較に使用する基準点及び座標系を図示すること。
- (7) 電磁解析モデルと構造解析モデルとのメッシュ差、形状差及び部材差による誤差を説明すること。
- (8) 熱解析モデルから構造解析モデルへ温度分布をマッピングした場合は、マッピング前後の温度分布及び代表値の比較結果を記載すること。
- (9) 差異が許容可能であることを示すか、再解析又は再マッピングが必要な場合はその対応方針を記載すること。

2.7.20 結論

- (1) 実施した解析及び構造評価の概要を記載すること。
- (2) 各荷重ケースの適合性を一覧表として整理すること。
- (3) P-type damage 及び S-type damage について、RCC-MRx に基づく評価結果及び構造健全性の成立性を記載すること。
- (4) ボルト締結部について評価を実施した場合は、その強度評価結果及び構造健全性の成立性を記載すること。
- (5) 疲労評価について、最大疲労使用係数及び RCC-MRx に基づく疲労健全性の成立性を記載すること。
- (6) 最小 Margin of Safety 及び支配的な荷重ケースを記載すること。
- (7) 最大応力又は最小 Margin of Safety が発生した部位を記載すること。
- (8) 設計変更又は補強が必要な箇所を記載すること。
- (9) 評価済み項目と未評価項目を明確に区分すること。
- (10) 未評価項目が残る場合は、「全設計基準への適合が完了していない」ことを明記すること。
- (11) 後続設計段階で実施する設計変更、追加解析及び再評価の内容を記載すること。

以上

別添－1

『本契約において遵守すべき「情報セキュリティの確保」に関する事項』

- 1 受注者は、契約の履行に関し、情報システム（情報処理及び通信に関わるシステムであって、ハードウェア、ソフトウェア及びネットワーク並びに記録媒体で構成されるものをいう。）を利用する場合には、QST の情報及び情報システムを保護するために、情報システムからの情報漏えい、コンピュータウィルスの侵入等の防止その他必要な措置を講じなければならない。
- 2 受注者は、次の各号に掲げる事項を遵守するほか、QST の情報セキュリティ確保のために、QST が必要な指示を行ったときは、その指示に従わなければならない。
 - (1) 受注者は、契約の業務に携わる者（以下「業務担当者」という。）を特定し、それ以外の者に作業をさせてはならない。
 - (2) 受注者は、契約に関して知り得た情報（QST に引き渡すべきコンピュータプログラム著作物及び 計算結果を含む。以下同じ。）を取り扱う情報システムについて、業務担当者以外が当該情報にアクセス可能とならないよう適切にアクセス制限を行うこと。
 - (3) 受注者は、契約に関して知り得た情報を取り扱う情報システムについて、ウィルス対策ツール及びファイアウォール機能の導入、セキュリティパッチの適用等適切な情報セキュリティ対策を実施すること。
 - (4) 受注者は、P2P ファイル交換ソフトウェア（Winny、WinMX、KaZaa、Share 等）及び SoftEther を導入した情報システムにおいて、契約に関して知り得た情報を取り扱ってはならない。
 - (5) 受注者は、QST の承諾のない限り、契約に関して知り得た情報を QST 又は受注者の情報システム 以外の情報システム（業務担当者が所有するパソコン等）において取り扱ってはならない。
 - (6) 受注者は、委任をし、又は下請負をさせた場合は、当該委任又は下請負を受けた者の契約に関する 行為について、QST に対し全ての責任を負うとともに、当該委任又は下請負を受けた者に対して、 情報セキュリティの確保について必要な措置を講ずるよう努めなければならない。
 - (7) 受注者は、QST が求めた場合には、情報セキュリティ対策の実施状況についての監査を受け入れ、これに協力すること。
 - (8) 受注者は、QST の提供した情報並びに受注者及び委任又は下請負を受けた者が契約業務のために収集した情報について、災害、紛失、破壊、改ざん、き損、漏えい、コンピュータウィルスによる 被害、不正な利用、不正アクセスその他の事故が発生、又は生ずるおそれのあることを知った場合は、直ちに QST に報告し、QST の指示に従うものとする。契約の終了後においても、同様とする。

以上

知的財産権特約条項

(知的財産権等の定義)

第1条 この特約条項において「知的財産権」とは、次の各号に掲げるものをいう。

- 一 特許法（昭和34年法律第121号）に規定する特許権、実用新案法（昭和34年法律第123号）に規定する実用新案権、意匠法（昭和34年法律第125号）に規定する意匠権、半導体集積回路の回路配置に関する法律（昭和60年法律第43号）に規定する回路配置利用権、種苗法（平成10年法律第83号）に規定する育成者権及び外国における上記各権利に相当する権利（以下総称して「産業財産権等」という。）
- 二 特許法に規定する特許を受ける権利、実用新案法に規定する実用新案登録を受ける権利、意匠法に規定する意匠登録を受ける権利、半導体集積回路の回路配置に関する法律に規定する回路配置利用権の設定の登録を受ける権利、種苗法に規定する品種登録を受ける地位及び外国における上記各権利に相当する権利
- 三 著作権法（昭和45年法律第48号）に規定する著作権（著作権法第21条から第28条までに規定する全ての権利を含む。）及び外国における著作権に相当する権利（以下総称して「著作権」という。）
- 四 前各号に掲げる権利の対象とならない技術情報のうち、秘匿することが可能なものであって、かつ、財産的価値のあるものの中から、甲乙協議の上、特に指定するもの（以下「ノウハウ」という。）を使用する権利

2 この特約条項において「発明等」とは、次の各号に掲げるものをいう。

- 一 特許権の対象となるものについてはその発明
- 二 実用新案権の対象となるものについてはその考案
- 三 意匠権、回路配置利用権及び著作権の対象となるものについてはその創作、育成者権の対象となるものについてはその育成並びにノウハウを使用する権利の対象となるものについてはその案出

3 この契約書において知的財産権の「実施」とは、特許法第2条第3項に定める行為、実用新案法第2条第3項に定める行為、意匠法第2条第2項に定める行為、半導体集積回路の回路配置に関する法律第2条第3項に定める行為、種苗法第2条第5項に定める行為、著作権法第21条から第28条までに規定する全ての権利に基づき著作物を利用する行為、種苗法第2条第5項に定める行為及びノウハウを使用する行為をいう。

(乙が単独で行った発明等の知的財産権の帰属)

第2条 甲は、本契約に関して、乙が単独で発明等行ったときは、乙が次の各号のいずれの規定も遵守することを書面にて甲に届け出た場合、当該発明等に係る知的財産権を乙から譲り受けないものとする。

- 一 乙は、本契約に係る発明等を行った場合には、次条の規定に基づいて遅滞なくその旨を甲に報告する。

- 二 乙は、甲が国の要請に基づき公共の利益のために特に必要があるとしてその理由を明らかにして求める場合には、無償で当該知的財産権を実施する権利を国に許諾する。
- 三 乙は、当該知的財産権を相当期間活用していないと認められ、かつ、当該知的財産権を相当期間活用していないことについて正当な理由が認められない場合において、甲が国の要請に基づき当該知的財産権の活用を促進するために特に必要があるとしてその理由を明らかにして求めるときは、当該知的財産権を実施する権利を第三者に許諾する。
- 四 乙は、第三者に当該知的財産権の移転又は当該知的財産権についての専用実施権（仮専用実施権を含む。）若しくは専用利用権の設定その他日本国内において排他的に実施する権利の設定若しくは移転の承諾（以下「専用実施権等の設定等」という。）をするときは、合併又は分割により移転する場合及び次のイからハまでに規定する場合を除き、あらかじめ甲に届け出、甲の承認を受けなければならない。
- イ 子会社（会社法（平成17年法律第86号）第2条第3号に規定する子会社をいう。以下同じ。）又は親会社（会社法第2条第4号に規定する親会社をいう。以下同じ。）に当該知的財産権の移転又は専用実施権等の設定等をする場合
- ロ 承認TLO（大学等における技術に関する研究成果の民間事業者への移転の促進に関する法律（平成10年法律第52号）第4条第1項の承認を受けた者（同法第5条第1項の変更の承認を受けた者を含む。））又は認定TLO（同法第11条第1項の認定を受けた者）に当該知的財産権の移転又は専用実施権等の設定等をする場合
- ハ 乙が技術研究組合である場合、乙がその組合員に当該知的財産権を移転又は専用実施権等の設定等をする場合
- 2 乙は、前項に規定する書面を提出しない場合、甲から請求を受けたときは当該知的財産権を甲に譲り渡さなければならない。
- 3 乙は、第1項に規定する書面を提出したにもかかわらず、同項各号の規定のいずれかを満たしておらず、かつ、満たしていないことについて正当な理由がないと甲が認める場合において、甲から請求を受けたときは当該知的財産権を無償で甲に譲り渡さなければならない。

（知的財産権の報告）

- 第3条 前条に関して、乙は、本契約に係る産業財産権等の出願又は申請を行うときは、出願又は申請に際して提出すべき書類の写しを添えて、あらかじめ甲にその旨を通知しなければならない。
- 2 乙は、産業技術力強化法（平成12年法律第44号）第17条第1項に規定する特定研究開発等成果に該当するもので、かつ、前項に係る国内の特許出願、実用新案登録出願、意匠登録出願を行う場合は、特許法施行規則（昭和35年通商産業省令第10号）、実用新案法施行規則（昭和35年通商産業省令第11号）及び意匠法施行規則（昭和35年通商産業省令第12号）

等を参考にし、当該出願書類に国の委託事業に係る研究の成果による出願である旨を表示しなければならない。

- 3 乙は、第1項に係る産業財産権等の出願又は申請に関して設定の登録等を受けた場合には、設定の登録等の日から60日以内（ただし、外国にて設定の登録等を受けた場合は90日以内）に、甲にその旨書面により通知しなければならない。
- 4 乙は、本契約に係る産業財産権等を自ら実施したとき及び第三者にその実施を許諾したとき（ただし、第5条第4項に規定する場合を除く。）は、実施等した日から60日以内（ただし、外国にて実施等をした場合は90日以内）に、甲にその旨書面により通知しなければならない。
- 5 乙は、本契約に係る産業財産権等以外の知的財産権について、甲の求めに応じて、自己による実施及び第三者への実施許諾の状況を書面により甲に報告しなければならない。

（乙が単独で行った発明等の知的財産権の移転）

- 第4条 乙は、本契約に関して乙が単独で行った発明等に係る知的財産権を第三者に移転する場合（本契約の成果を刊行物として発表するために、当該刊行物を出版する者に著作権を移転する場合を除く。）には、第2条から第6条まで及び第12条の規定の適用に支障を与えないよう当該第三者に約させなければならない。
- 2 乙は、前項の移転を行う場合には、当該移転を行う前に、甲にその旨書面により通知し、あらかじめ甲の承認を受けなければならない。ただし、乙の合併又は分割により移転する場合及び第2条第1項第4号イからハまでに定める場合には、この限りでない。
 - 3 乙は、第1項に規定する第三者が乙の子会社又は親会社（これらの会社が日本国外に存する場合に限る。）である場合には、同項の移転を行う前に、甲に事前連絡の上、必要に応じて甲乙間で調整を行うものとする。
 - 4 乙は、第1項の移転を行ったときは、移転を行った日から60日以内（ただし、外国にて移転を行った場合は90日以内）に、甲にその旨書面により通知しなければならない。
 - 5 乙が第1項の移転を行ったときは、当該知的財産権の移転を受けた者は、当該知的財産権について、第2条第1項各号及び第3項並びに第3条から第6条まで及び第12条の規定を遵守するものとする。

（乙が単独で行った発明等の知的財産権の実施許諾）

- 第5条 乙は、本契約に関して乙が単独で行った発明等に係る知的財産権について第三者に実施を許諾する場合には、第2条、本条及び第12条の規定の適用に支障を与えないよう当該第三者に約させなければならない。
- 2 乙は、本契約に関して乙が単独で行った発明等に係る知的財産権に関し、第三者に専用実施権等の設定等を行う場合には、当該設定等を行う前に、甲にその旨書面により通知し、あらかじめ甲の書面による承認を受けなければならない。ただし、乙の合併又は分割により移転する場合及び第2条第1項第4号イからハまでに定める場合は、この限りではない。
 - 3 乙は、前項の第三者が乙の子会社又は親会社（これらの会社が日本国外に存する場合に

限る。)である場合には、同項の専用実施権等の設定等を行う前に、甲に事前連絡のうえ、必要に応じて甲乙間で調整を行うものとする。

4 乙は、第2項の専用実施権等の設定等を行ったときは、設定等を行った日から60日以内（ただし、外国にて設定等を行った場合は90日以内）に、甲にその旨書面により通知しなければならない。

5 甲は、本契約に関して乙が単独で行った発明等に係る知的財産権を無償で自ら試験又は研究のために実施することができる。甲が 甲のために第三者に製作させ、又は業務を代行する第三者に再実施権を許諾する場合は、乙の承諾を得た上で許諾するものとし、その実施条件等は甲乙協議のうえ決定する。

（乙が単独で行った発明等の知的財産権の放棄）

第6条 乙は、本契約に関して乙が単独で行った発明等に係る知的財産権を放棄する場合は、当該放棄を行う前に、甲にその旨書面により通知しなければならない。

（甲及び乙が共同で行った発明等の知的財産権の帰属）

第7条 甲及び乙は、本契約に関して甲乙共同で発明等を行ったときは、当該発明等に係る知的財産権について共同出願契約を締結し、甲乙共同で出願又は申請するものとし、当該知的財産権は甲及び乙の共有とする。ただし、乙は、次の各号のいずれの規定も遵守することを書面にて甲に届け出なければならない。

一 乙は、甲が国の要請に基づき公共の利益のために特に必要があるとしてその理由を明らかにして求める場合には、無償で当該知的財産権を実施する権利を国に許諾する。

二 乙は、当該知的財産権を相当期間活用していないと認められ、かつ、当該知的財産権を相当期間活用していないことについて正当な理由が認められない場合において、甲が国の要請に基づき当該知的財産権の活用を促進するために特に必要があるとしてその理由を明らかにして求めるときは、当該知的財産権を実施する権利を甲が指定する 第三者に許諾する。

2 前項の場合、出願又は申請のための費用は原則として、甲、乙の持分に比例して負担するものとする。

3 乙は、第1項に規定する書面を提出したにもかかわらず、同項各号の規定のいずれかを満たしておらず、さらに満たしていないことについて正当な理由がないと甲が認める場合において、甲から請求を受けたときは当該知的財産権のうち乙が所有する部分を無償で甲に譲り渡さなければならない。

（甲及び乙が共同で行った発明等の知的財産権の移転）

第8条 甲及び乙は、本契約に関して甲乙共同で行った発明等に係る共有の知的財産権のうち、自らが所有する部分を相手方以外の第三者に移転する場合には、当該移転を行う前に、その旨を相手方に書面により通知し、あらかじめ相手方の書面による同意を得なければならない

ない。

(甲及び乙が共同で行った発明等の知的財産権の実施許諾)

第9条 甲及び乙は、本契約に関して甲乙共同で行った発明等に係る共有の知的財産権について第三者に実施を許諾する場合には、その許諾の前に相手方に書面によりその旨通知し、あらかじめ相手方の書面による同意を得なければならない。

(甲及び乙が共同で行った発明等の知的財産権の実施)

第10条 甲は、本契約に関して乙と共同で行った発明等に係る共有の知的財産権を試験又は研究以外の目的に実施しないものとする。ただし、甲は甲のために第三者に製作させ、又は業務を代行する第三者に実施許諾する場合は、無償にて当該第三者に実施許諾することができるものとする。

2 乙が本契約に関して甲と共同で行った発明等に係る共有の知的財産権について自ら商業的实施をするときは、甲が自ら商業的实施をしないことに鑑み、乙の商業的实施の計画を勘案し、事前に実施料等について甲乙協議の上、別途実施契約を締結するものとする。

(甲及び乙が共同で行った発明等の知的財産権の放棄)

第11条 甲及び乙は、本契約に関して甲乙共同で行った発明等に係る共有の知的財産権を放棄する場合は、当該放棄を行う前に、その旨を相手方に書面により通知し、あらかじめ相手方の書面による同意を得なければならない。

(著作権の帰属)

第12条 第2条第1項及び第7条第1項の規定にかかわらず、本契約の目的として作成され納入される著作物に係る著作権については、全て甲に帰属する。

2 乙は、前項に基づく甲及び甲が指定する 第三者による実施について、著作者人格権を行使しないものとする。また、乙は、当該著作物の著作者が乙以外の者であるときは、当該著作者が著作者人格権を行使しないように必要な措置を執るものとする。

3 乙は、本契約によって生じた著作物及びその二次的著作物の公表に際し、本契約による成果である旨を明示するものとする。

(合併等又は買収の場合の報告等)

第13条 乙は、合併若しくは分割し、又は第三者の子会社となった場合（乙の親会社が変更した場合を含む。第3項第1号において同じ。）は、甲に対しその旨速やかに報告しなければならない。

2 前項の場合において、国の要請に基づき、国民経済の健全な発展に資する観点に照らし、本契約の成果が事業活動において効率的に活用されないおそれがあると甲が判断したときは、乙は、本契約に係る知的財産権を実施する権利を甲が指定する者に許諾しなければならない。

3 乙は、本契約に係る知的財産権を第三者に移転する場合、次の各号のいずれの規定も遵守することを当該移転先に約させなければならない。

一 合併若しくは分割し、又は第三者の子会社となった場合は、甲に対しその旨速やかに報告する。

二 前号の場合において、国の要請に基づき、国民経済の健全な発展に資する観点に照らし本業務の成果が事業活動において効率的に活用されないおそれがあると甲が判断したときは、本契約に係る知的財産権を実施する権利を甲が指定する者に許諾する。

三 移転を受けた知的財産権をさらに第三者に移転するときは、本項各号のいずれの規定も遵守することを当該移転先に約させる。

（秘密の保持）

第14条 甲及び乙は、第2条及び第7条の発明等の内容を出願公開等により内容が公開される日まで他に漏えいしてはならない。ただし、あらかじめ書面により出願又は申請を行った者の了解を得た場合はこの限りではない。

（委任・下請負）

第15条 乙は、本契約の全部又は一部を第三者に委任し、又は請け負わせた場合においては、当該第三者に対して、本特約条項の各規定を準用するものとし、乙はこのために必要な措置を講じなければならない。

2 乙は、前項の当該第三者が本特約条項に定める事項に違反した場合には、甲に対し全ての責任を負うものとする。

（協議）

第16条 第2条及び第7条の場合において、単独若しくは共同の区別又は共同の範囲等について疑義が生じたときは、甲乙協議して定めるものとする。

（有効期間）

第17条 本特約条項の有効期限は、本契約の締結の日から当該知的財産権の消滅する日までとする。

以上



System Load Specification for 55.E4 Divertor Impurity Monitor Components on Divertor Cassette

ITER Project Japan Domestic Agency

Abstract

This document describes all relevant loads acting on components of the ITER Divertor Impurity Monitor (PBS.55.E4 DIM) on the divertor cassette. It is used for the design inputs of the preliminary design.

	Affiliation	Name	Date
Author	JADA	TERASAWA Atsumi	13 Jun. 2025
Co-Author	JADA	MARUYAMA Toshiyuki	13 Jun. 2025
Co-Author	JADA	TANAKA Suguru	13 Jun. 2025
Reviewer	JADA	YATSUKA Eiichi	02 Sep. 2025
Approver	JADA PRGL	NUNOYA Yoshihiko	04 Sep. 2025

Change Log

JADA Revision	IDM Version	Issue date	Description of Change	Author
R0	v1.0	13 Jun. 2025	First version	A. Terasawa T. Maruyama
R1		12 Mar 2026	• In “4. Reference”, the versions of reference documents were updated as the following. • [1] Load Specifications (LS) (222QGL v6.2) → v6.3 • [5] Codes and Standards for ITER Mechanical Components (25EW4K v4.0) → v5.0 • [7] ICD-17-55 Interface Control Document (ICD) for Diagnostics and Divertor (2N2DJV) → v4.9 • [11] IS-55.NE-55.E4-001 Interface Between the Diagnostics Electrical Services (PBS 55.NE) and Divertor Impurity Monitor (55.E4) (HXU9XS v2.6) → v2.9 • [13] 55.E4 - DIM Neutronics Analysis on Divertor Cassette (CC4NGT v1.0) → v1.1 • [14] 55.E4 - Plasma Radiation Heat Loads on Divertor Cassette (CQBDK7) → v1.0 • Figure 3 ~ 9: the figures were updated to the current design. • Table 15: for Load Case 8, the Note was added as “7) Selected VDE, this case was enveloped by Load Case 4.” • Table 16: Categories were added. • In 13.4 not Significant Load Cases, “Corrosion, wearing and internal vibration” was added as the section 13.4.7	A. Terasawa

Table of Contents

1	PURPOSE	5
2	SCOPE	5
3	SCOPE OF REVIEWERS	5
4	REFERENCES.....	6
5	SYSTEM CLASSIFICATIONS	6
6	CODES AND STANDARDS & STRUCTURAL DESIGN CRITERIA	7
6.1	CODES AND STANDARDS.....	7
6.2	STRUCTURAL DESIGN CRITERIA	7
7	DEFINITIONS	8
7.1	UNITS.....	8
7.2	COORDINATE SYSTEMS	8
7.3	ABBREVIATIONS	9
8	TYPES OF LOADS	10
9	MAIN LOADS.....	10
10	PATH OF THE MAIN LOADS.....	11
11	SYSTEM DESCRIPTION	11
11.1	DESIGN STATUS AND GEOMETRY	11
11.2	SYSTEM DESIGN DESCRIPTION.....	12
11.2.1	<i>System, Components, Parts.....</i>	<i>12</i>
11.2.2	<i>Fabrication and Assembly.....</i>	<i>16</i>
11.2.3	<i>Functions.....</i>	<i>16</i>
11.2.4	<i>Interfaces.....</i>	<i>16</i>
12	STATES OF SYSTEM AND COMPONENTS.....	17
13	SINGLE LOAD CASES	18
13.1	MECHANICAL LOADS.....	18
13.1.1	<i>Dead Weight.....</i>	<i>18</i>
13.1.2	<i>Assembly and Pretension Loads</i>	<i>18</i>
13.1.3	<i>Test Loads</i>	<i>18</i>
13.1.3.1	<i>Hydrostatic pressure test.....</i>	<i>18</i>

13.1.4	<i>Coolant Pressure</i>	19
13.1.5	<i>Seismic Loads</i>	19
13.1.5.1	Load categories of seismic loads	19
13.1.5.2	Floor Response Spectrum (FRS) in category IV (SL-2).....	20
13.1.6	<i>EM Loads</i>	24
13.1.6.1	EM volumetric loads during plasma disruption.....	24
13.1.6.2	Inertial loads during plasma disruption.....	24
13.2	THERMAL AND NUCLEAR LOADS	28
13.2.1	<i>Nuclear Loads</i>	28
13.2.2	<i>Plasma radiation heat loads</i>	28
13.2.3	<i>Background Power due to Electron Cyclotron Heating</i>	29
13.3	INTERFACES LOADS	29
13.3.1	<i>Mechanical Displacement at Interfacing Points of Divertor Cassette</i>	29
13.3.2	<i>Temperature at Interfacing Points of Divertor Cassette</i>	31
13.4	NOT SIGNIFICANT LOAD CASES	31
13.4.1	<i>Magnet fast discharge</i>	31
13.4.2	<i>Loads due to incident and accident</i>	31
13.4.3	<i>Helium ingress in the gallery</i>	32
13.4.4	<i>Fire loads</i>	32
13.4.5	<i>Maintenance</i>	32
13.4.6	<i>Charge-Exchange Neutrals</i>	32
14	LOAD COMBINATIONS	33
14.1	CATEGORIZATION OF LOAD COMBINATIONS.....	33
14.2	LIST OF LOAD COMBINATIONS.....	33

1 Purpose

The purpose of this load specification is to define and prescribe the loads used for the Integrity Justification of the 55.E4 Divertor Impurity Monitor (DIM) components on Divertor Cassette. Specifically, this document provides the following:

- A report of the SSCs classification (Safety, Quality and Seismic).
- The description of all states of the SSCs during their life (e.g. assembly, start-up, operation, maintenance, shut-down, et cetera).
- A report of the applicable codes and standards (e.g. ASME sect. III, B31.3, RCC-MR etc.) that will be used for the assessment of the design.
- The correlation between load categories and damage limits and the correlation between the damage limits and the structural design criteria (e.g. ASME Service Levels) in the applicable codes.
- The description of all events expected in each state (including normal, incident and accident conditions if needed).
- The specification of all load values to be considered to verify the structural integrity of the system and their categorization.
- The list of all load combinations to be considered to verify the structural integrity of the system and their categorization.
- The number of occurrences of each event during the life of the system and the number of load cycles.

2 Scope

The scope of this document is the PBS 55.E4 component installed on the divertor cassette #4, which is the mirror box.

The components other than the mirror box are not in the scope of this load specification.

The scope does not include PICs.

This document is prepared for PDR.

3 Scope of Reviewers

Reviewer	Scope
De Bock Maarten	55.E4 TRO
Ye Ce	QA RO
Ferrand Laurent	Interface loads with Divertor Cassette
Roccella Riccardo	Electromagnetic loads
Ruiz Pedro	IEA representative, SLS expertise
Zhang Xiaotan	Seismic loads
Loarte Alberto	SID expertise
Jourdan Thierry	PE/MPE representative
Ducarre Olivier	DI RO
Tian Kuo	SI RO
Reich Jens	MAP representative

Table 1 – Scope of the reviewers

4 References

- [1] Load Specifications (LS) ([222QGL v6.3](#))
- [2] Global Tokamak Seismic Analysis Report ([33W3P4 v2.1](#))
- [3] ITER Coordinate Systems ([2A9PXZ v3.7](#))
- [4] SDC-IC Structural Design Criteria for In Vessel Components ([222RHC v3.0](#))
- [5] Codes and Standards for ITER Mechanical Components ([25EW4K v5.0](#))
- [6] 55.E4 - SLS Basic Information Record - Central Divertor Cassette (number 4) components of LP2 ([9ZUZMU v1.0](#))
- [7] ICD-17-55 Interface Control Document (ICD) for Diagnostics and Divertor ([2N2DJV v4.9](#))
- [8] IS-17-55-000 General Interfaces of Diagnostics on CAs ([KR35FN v2.17](#))
- [9] IS-17-55-016 Impurity Influx Monitor ([NMW3S6 v1.1](#))
- [10] ICD-55.NE-55 Interface Control Document for Diagnostic Electrical System (PBS 55.NE) and PBS 55 client diagnostics ([U2AKLY v2.10](#))
- [11] IS-55.NE-55.E4-001 Interface Between the Diagnostics Electrical Services (PBS 55.NE) and Divertor Impurity Monitor (55.E4) ([HXU9XS v2.9](#))
- [12] Load Specification for the ITER Divertor System ([C9RF33 v1.2](#))
- [13] 55.E4 - DIM Neutronics Analysis on Divertor Cassette ([CC4NGT v1.1](#))
- [14] 55.E4 - Plasma Radiation Heat Loads on Divertor Cassette ([COBDK7 v1.0](#))
- [15] Part 1 CB Subparts 1.3-1.4 (Contract 43-1389 Final Report Phase 4) ([YUCB3S v1.2](#))
- [16] Displacements map of CB at CBIP at Room Temperature ([9E2XU4 v1.0](#))
- [17] Displacements map of CB at 7710s ([9E2PW3 v1.0](#))
- [18] Displacements map of CB at 9000s ([9E2WE5 v1.0](#))
- [19] Displacements of CB for Baking Regime #1 ([A4J8WQ v1.0](#))
- [20] Temperature data for CB at EoB t=7710s ([934ZS5 v1.0](#))
- [21] Temperature data for CB at EoP t=9000s ([93CMTK v1.0](#))
- [22] Stray RF power modeling in the Tokamak during EC operation ([4D377D v3.1](#))
- [23] IS-52-55-001 Functional Interface Sheet between EC and Diagnostics (Stray RF power management) ([U3CPP8 v2.4](#))
- [24] Evaluation of neutral heat loads to DIM ([W6SPQ v1.0](#))

5 System Classifications

The system classification of the components in the scope of this load specification is defined in BIR [6] and is summarized in Table 2.

Component	Safety Class	Quality Class	Seismic Class	ESP/ESPN	Vacuum Class	Tritium Class	RH Class
Water cooled components (Mirror box)	Non-PIC	QC1	NSC	Cat.II / level N2 (Mirror box)	VQC-1A	TC-1A	N/A
				Cat.0 / level N2 (Connecting pipes)			
Conventionally cooled components (Fixing elements, Shutter, Limit switch, etc.)	Non-PIC	QC1	NSC	N/A	VQC-1B	TC-1A	N/A

Table 2 – System components classification

6 Codes and Standards & Structural Design Criteria

6.1 Codes and Standards

SDC-IC [4] is used for designing the component on the divertor cassette. According to Codes and Standards for ITER Mechanical Components [5], the SDC-IC is applicable for irradiated items.

6.2 Structural Design Criteria

BIR [6] specifies the damage limits applicable to the components on the divertor cassette, and the damage limits are given by Table 3.

Component	Category I: Operational/ Design Loading	Category II: Likely Loading	Category III: Unlikely Loading	Category IV: Extremely Unlikely Loading	Test Loading
Water cooled components (Mirror box)	Normal	Normal	Normal	N/A	Normal /Test
Conventionally cooled components (Fixing elements, Shutter, Limit switch, etc.)	Normal	Normal	Normal	N/A	N/A

Table 3 – Damage Limits for Loading Condition Categories (adapted from [6])

Table 4 gives the structural criteria formulated in terms of service level assigned to the damage limits, in accordance with the SDC-IC.

Damage Limits	SDC-IC Service Level
Normal	A
Emergency	C
Test	C

Table 4 – Applicable structural criteria for the system components

7 Definitions

7.1 Units

All loads are provided using the International System (SI) base and derived units. The only exception to this rule is that degrees Celsius may be used instead of Kelvin. The complete list of units used in this document is provided in Table 5.

Quantity	Unit name	Unit symbol	In SI base units
Length	Meter	m	
Mass	Kilogram	kg	
Time	Second	s	
Temperature	Kelvin	K	
	Celsius	°C	
Acceleration			m/s^2
Angular acceleration			rad/s^2
Angular velocity			rad/s
Density			kg/m^3
Energy, Work	Joule	J	$\text{N}\cdot\text{m}$
Entropy			$\text{N}\cdot\text{m/K}$
Force	Newton	N	$\text{kg}\cdot\text{m/s}^2$
Frequency	Hertz	Hz	$1/\text{s}$
Moment			$\text{N}\cdot\text{m}$
Second moment of area			m^4
Power	Watt	W	$\text{N}\cdot\text{m/s}$
Pressure	Pascal	Pa	N/m^2
Stress	Pascal	Pa	N/m^2
Young's Modulus	Pascal	Pa	N/m^2
Thermal flux density			W/m^2
Velocity			m/s

Table 5 – List of Units used in this Load Specification

7.2 Coordinate systems

Unless stated otherwise all loads are specified in the ITER Tokamak Global Coordinate System (TGCS) [3]. The main direction and the nomenclature used in this load specification are shown in Figure 1.

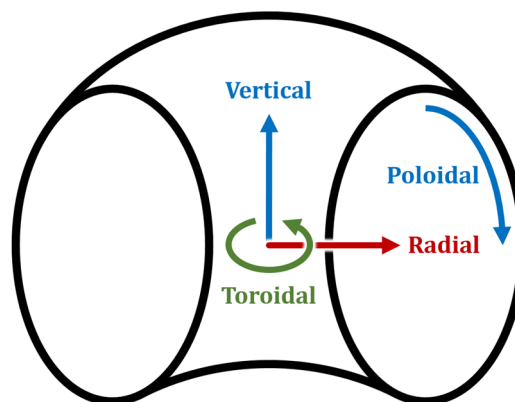


Figure 1 – Definitions of tokamak directions and global cylindrical coordinate system.

Some load conditions are defined in the local coordinate system, for example Floor Response Spectra (FRS). So, in accordance with necessary, the local coordinate system is defined to apply the loads.

7.3 Abbreviations

All abbreviations used in the document are listed in Table 6.

For a complete list of standard abbreviations, see ITER Abbreviations ([ITER_D_2MU6W5](#)).

DIM	Divertor Impurity Monitor
EM	Electromagnetic
EoB	End of Burn
EoP	End of Pause
FRS	Floor Response Spectrum
ICE	Ingress of Coolant Event
IVC	In-Vessel Components
LOCA	Loss of Coolant Accident
LOFA	Loss of Forced Flow Accident
MD	Major Disruption
MFD	Magnet Fast Discharge
NSC	Non-Seismic Class
PDR	Preliminary Design Review
PIC	Protection Important Component
SL-1	Seismic Level 1
SL-2	Seismic Level 2
SMHV	Séismes Maximaux Historiquement Vraisemblables
SSC	System, Structure and Component
THB	Thermal Baking
THO	Thermal Load Condition in Normal Operation
VDE	Vertical Displacement Event
VV	Vacuum vessel

Table 6 – Abbreviations.

8 Types of Loads

The following type of loads are covered in this Load Specification:

- Inertial loads: these are caused by accelerations of masses induced by gravity, seismic events and displacements of supporting structures imposed by plasma disruptions.
- Electromagnetic (EM) loads: volumetric forces and moments generated by the interaction between electric currents flowing through conductive materials and magnetic fields or by the presence of ferromagnetic materials.
- Pressure loads: forces distributed over surfaces due to coolant fluid or atmosphere acting on evacuated volumes or external pressure conditions caused by accidental events.
- Thermal and nuclear loads, due to direct irradiation from the plasma or due to the presence of radioactive/irradiated materials.
- Assembly or installation loads due to pretension and live loads.

9 Main Loads

The main loads prescribed in this load specification are listed in Table 7:

Load case	Chapter	Characteristic loads
Dead Weight	§13.1.1	Gravity acting on components masses (DW)
Test Loads	§13.1.3	Internal coolant channel water pressure during test
Coolant Pressure	§13.1.4	Inlet pressure load and temperature of coolant water during each operation
Seismic Loads	§13.1.5	Seismic accelerations of SL-1, SMHV, SL-2 events
EM Loads due to plasma transient events	§13.1.6	The dominant load is the electromagnetic (EM) load associated with plasma disruptions.
Thermal and Nuclear Loads	§13.2	Nuclear heat load, radiation heat load, temperature of coolant water, inlet pressure load of coolant water during normal operation
Interface Loads	§13.3	Loads induced due to deformation of supporting structures

Table 7 – Main loads acting on the system/components

10 Path of the Main Loads

The path of the main loads is shown in Figure 2.

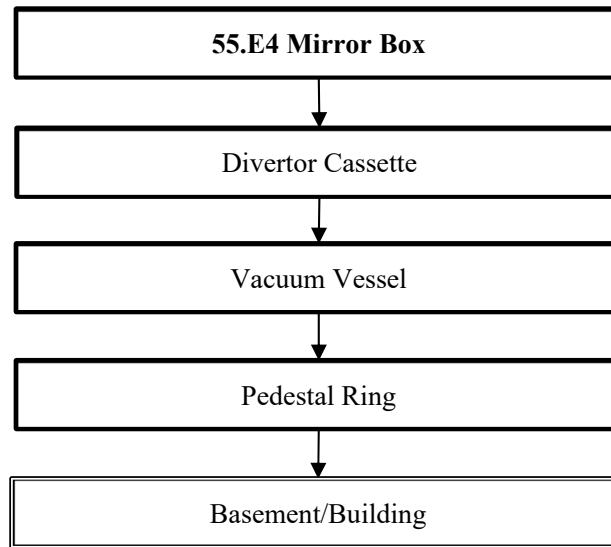


Figure 2 – Path of the main loads

11 System Description

11.1 Design Status and Geometry

The current design phase of the SSCs in the scope of this load specification is PDR.

Figure 3 shows the Enovia tree of the component in the scope of this document, where a Detailed Model (DM) will be uploaded.

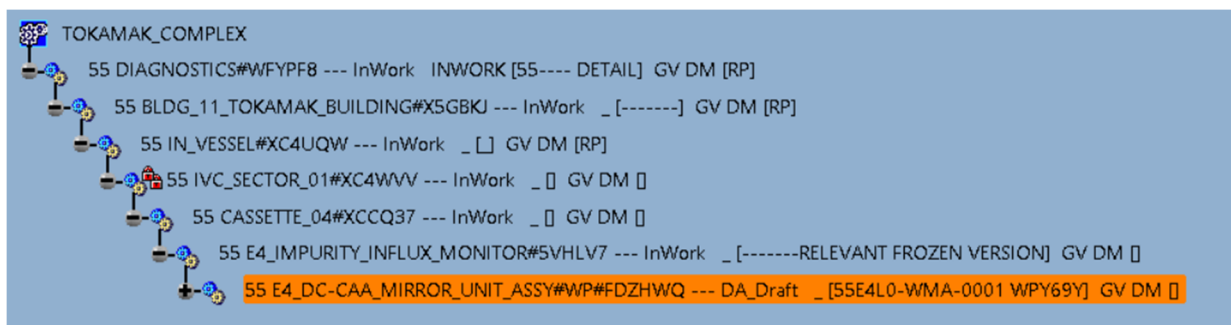


Figure 3 – Snapshot of the 55.E4 Model Enovia Tree

11.2 System Design Description

11.2.1 System, Components, Parts

Figure 4 shows the 55.E4 mirror box placed on the divertor cassette. Figure 5, Figure 6 and Figure 7 show overview and inside of the mirror box. Figure 8 shows anchor points of the mirror box.

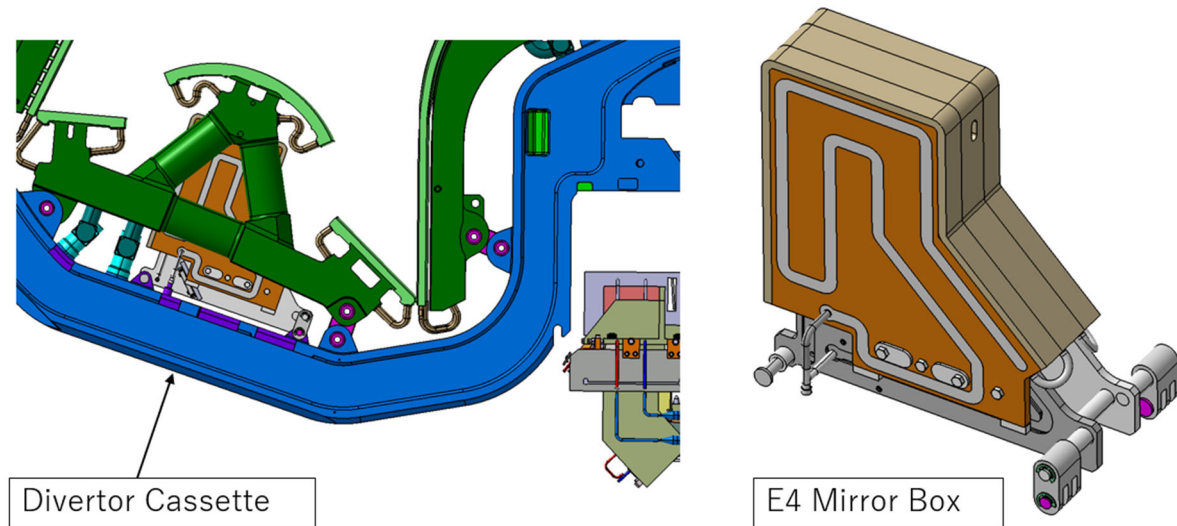


Figure 4 – 55.E4 Mirror Box on the Divertor Cassette

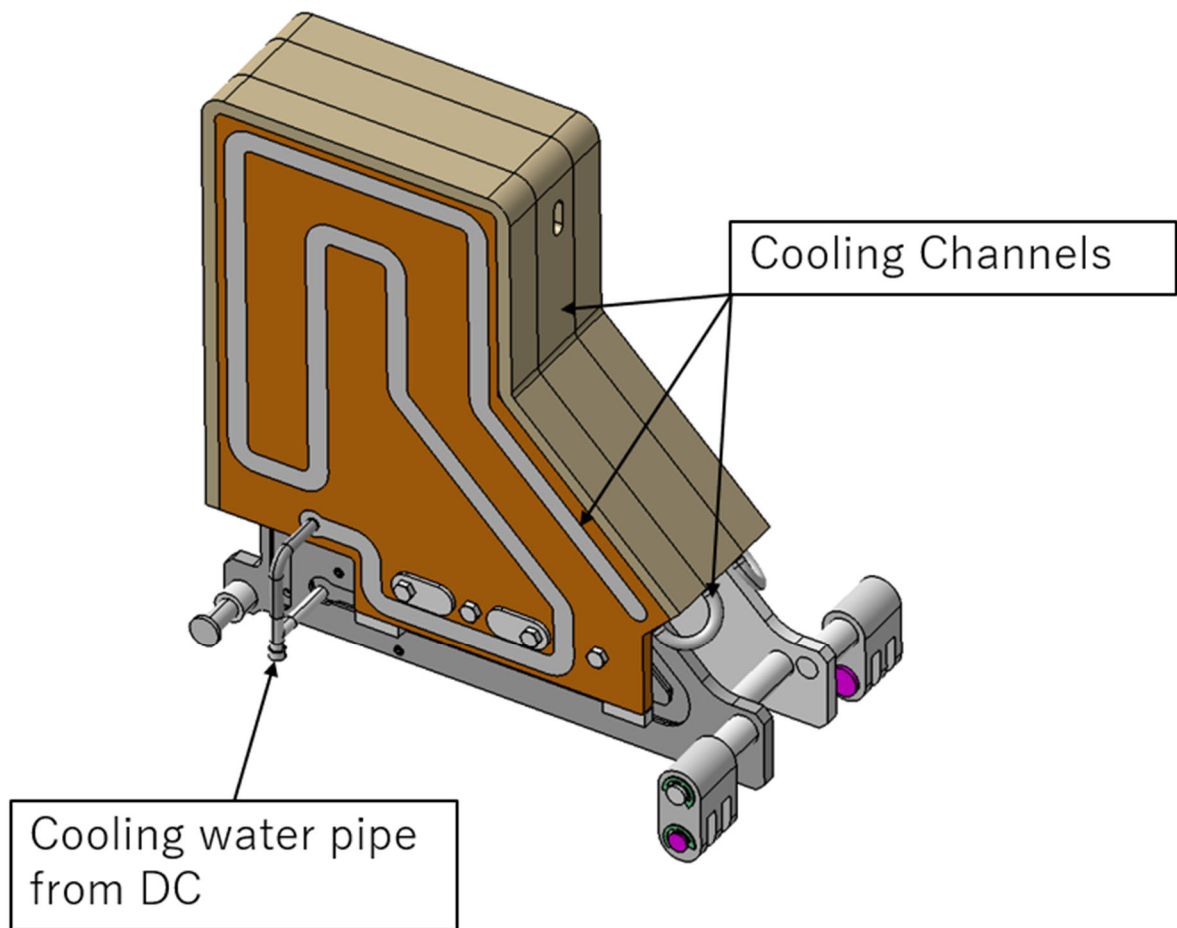


Figure 5 – Overview of Mirror Box

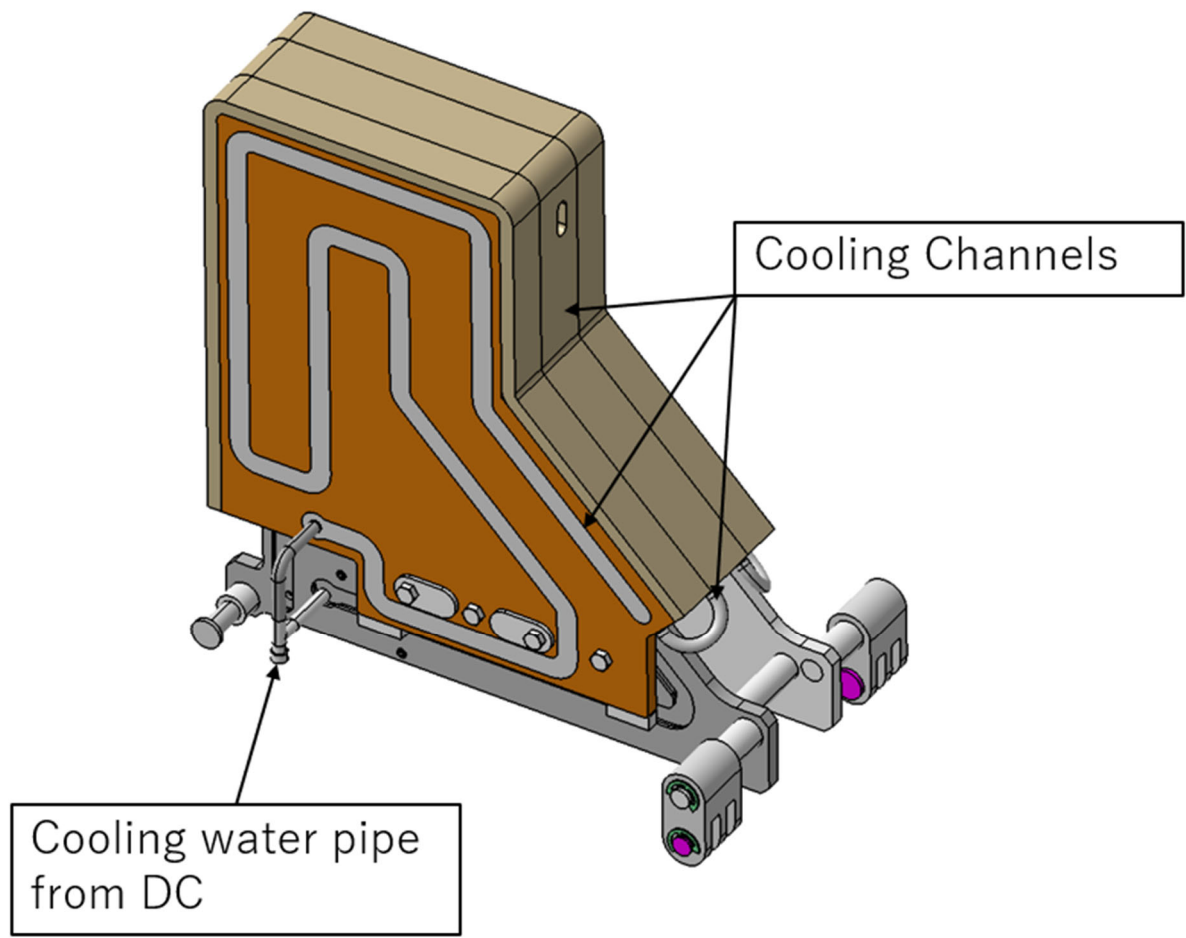


Figure 6 – Inside of Mirror Box

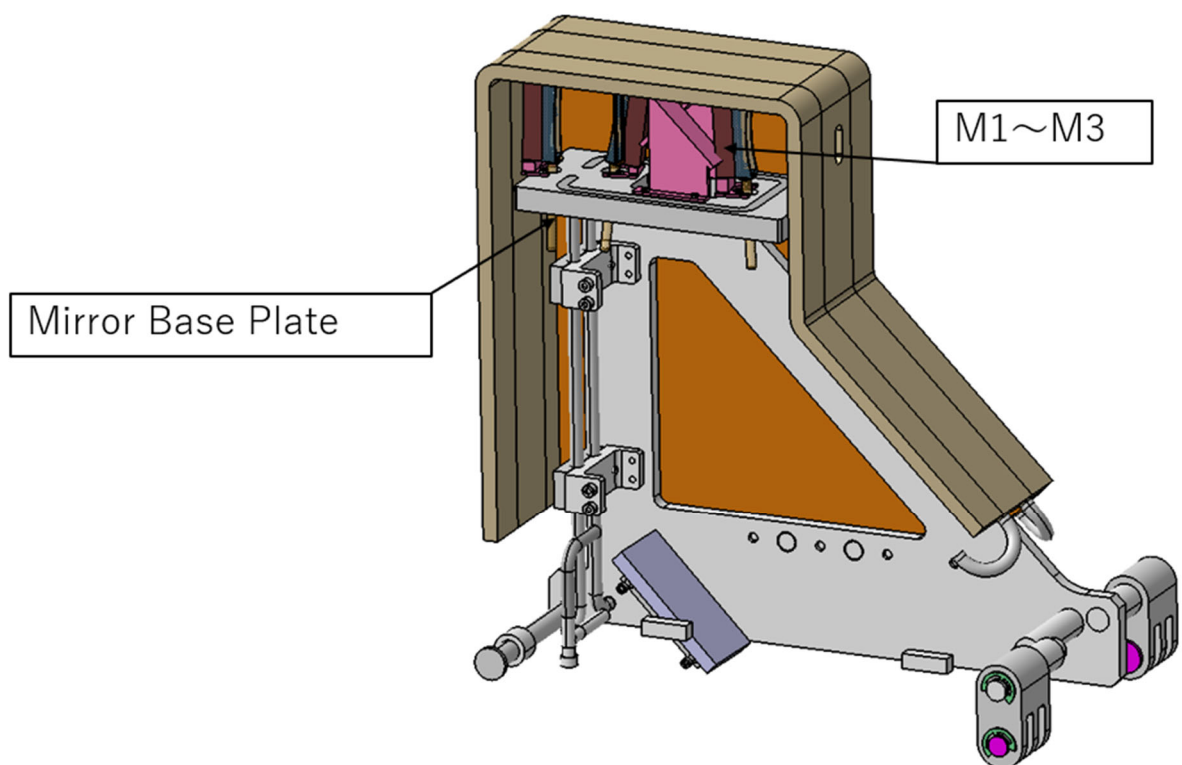


Figure 7 – Mirror base plate structure

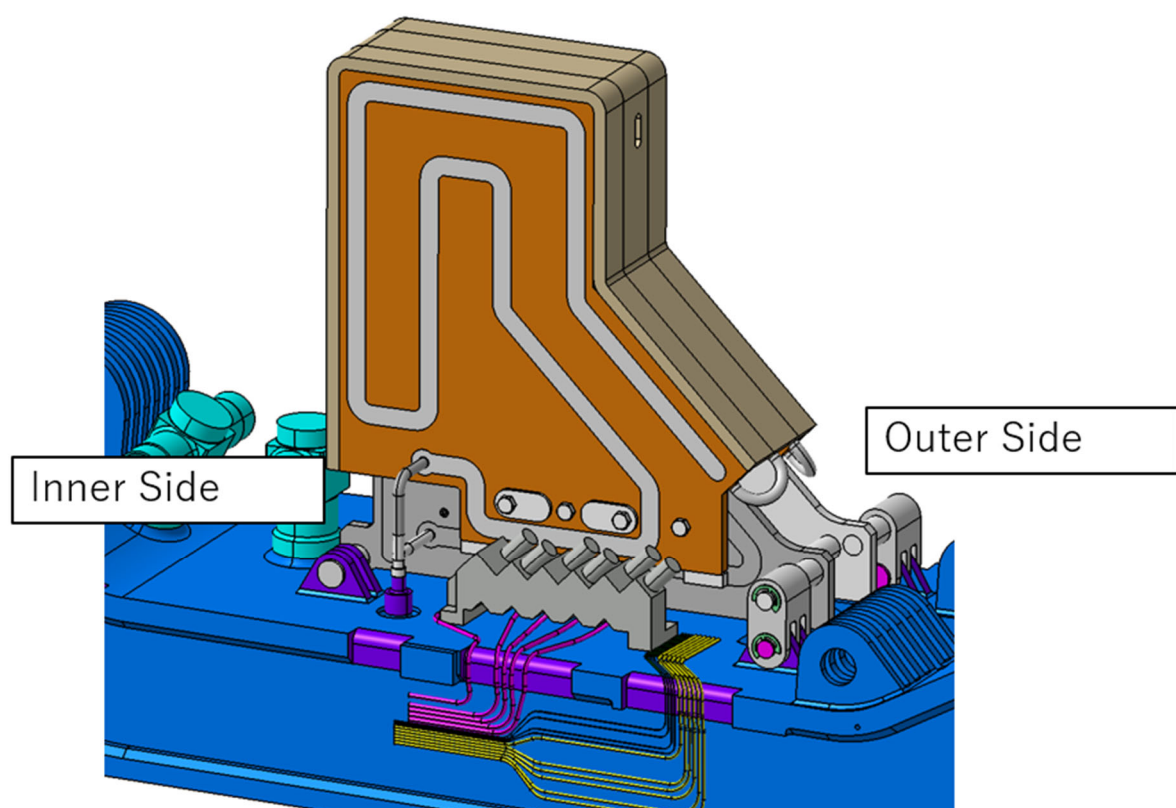


Figure 8 – Anchor points of Mirror Box

11.2.2 Fabrication and Assembly

Fabrication process:

Given the status of development, these questions have not been addressed yet.

Assembly process:

Assembly process is defined by interface sheet (IS-17-55-000 General Interface of Diagnostics in CAs [8]). Four tabs are used to fix the 55.E4 mirror box (see Figure 9).

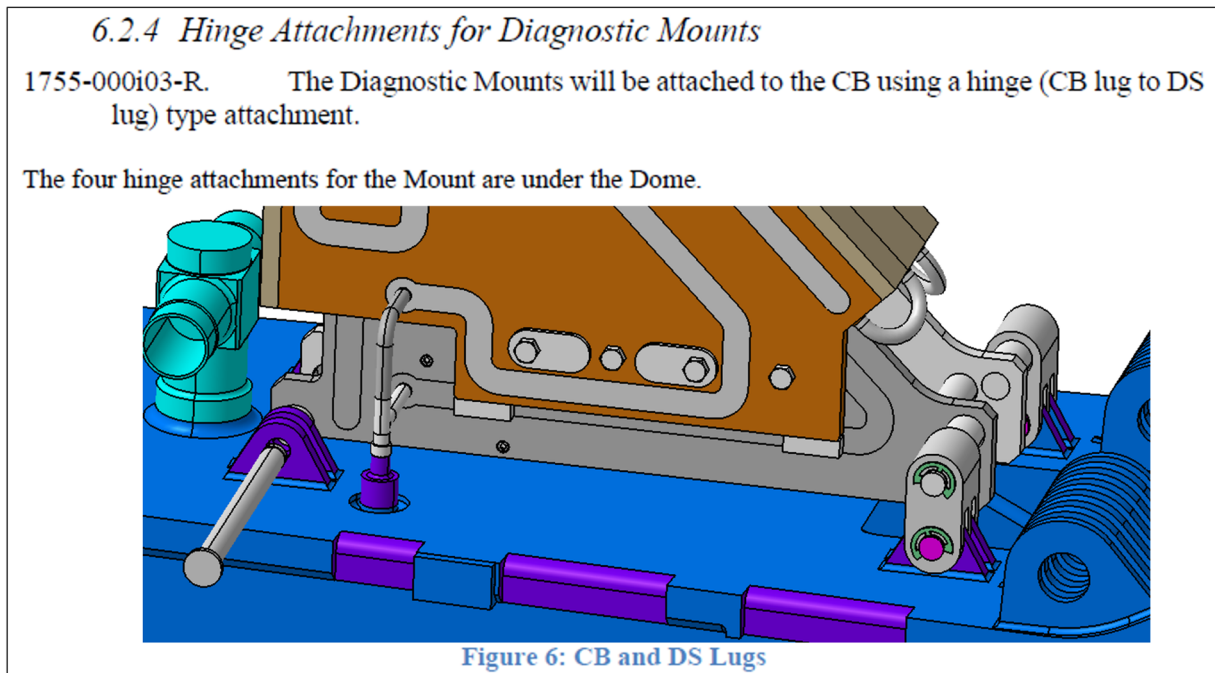


Figure 9 – Assembly procedure described in [8]

11.2.3 Functions

- (1) To collect and transmit visible & ultraviolet light waves from the divertor plasma region.
- (2) To cool optical components in order to minimize thermal deformation.
- (3) To protect mirrors against neutral particles during discharge cleaning.

11.2.4 Interfaces

Interfaces Control Documents (ICD) and Interface Sheets (IS) which are related to the 55.E4 mirror box on the cassette are listed in Table 8 below.

System	PBS	ICD	IS
Divertor	17	ICD-17-55 Interface Control Document (ICD) for Diagnostics and Divertor [7]	IS-17-55-000 General Interfaces of Diagnostics on CAs [8]
			IS-17-55-016 Impurity Influx Monitor [9]
Diagnostics	55	ICD-55.NE-55 Interface Control Document for Diagnostic Electrical System (PBS 55.NE) and PBS 55 client diagnostics [10]	IS-55.NE-55.E4-001 Interface Between the Diagnostics Electrical Services (PBS 55.NE) and Divertor Impurity Monitor (55.E4) [11]

Table 8 – Interfaces of the 55.E4 mirror box on the cassette

12 States of System and Components

With regards to the main loads referred in previous Sections, the applicable states/sub-states of the system for the loads allocation as well as for the identification of the limiting load cases defining the transient events to be considered in the assessment against Ratcheting and Fatigue damage, the following states and sub-states of the system are considered:

- Operation
 - a) Cool-down
 - b) Warm-up
 - c) Standby between plasma pulses
 - d) Normal plasma operation
 - e) Plasma instabilities
 - f) Baking
 - g) Shut-down for maintenance and upgrade
 - h) Incident and accident

13 Single Load Cases

13.1 Mechanical Loads

13.1.1 Dead Weight

The mass of the latest mirror box design is listed in Table 9, where Gxyz are the coordinates of the centre of gravity, relative to the coordinate system TGCS, defined in §7.2.

Part	Mass (kg)	Gx (m)	Gy (m)	Gz (m)
Mirror Box	130	4218.888	2440.926	-4341.156

Table 9 – Inertial properties of the system parts

13.1.2 Assembly and Pretension Loads

The anchor points of the mirror box are shown in Figure 8. For positioning purpose, the mirror box is fixed by inserting spring between the tabs of the cassette body. The spring restoring force is loaded onto the mirror box and the tabs as preload. The restoring force value is under study and final value will be available during the Final Design phase.

13.1.3 Test Loads

13.1.3.1 Hydrostatic pressure test

The hydrostatic test pressure P_{test} shall be the maximum value of:

- $1.43 \times P_{design} = 7.15 \text{ MPa}$: not depending on the pressure-boundary material
- $1.25 \times P_{design} \times \frac{S_m(T_{test})}{S_m(T_{design})}$
where:
 - P_{design} : Design pressure = $4.4 + 10\% = 5.0 \text{ MPa}$
 - $S_m(T_{test})$: Design stress intensity at test temperature 20°C (Room temperature)
 - $S_m(T_{design})$: Design stress intensity at baking temperature 240°C

The ratio $\frac{S_m(T_{test})}{S_m(T_{design})}$ shall be “the lowest ratio for the pressure-boundary materials” (excluding bolting materials, see SDC-IC [4] IC 3123.1 “Hydrostatic test”).

Pressure boundary materials in the mirror box are 316 L(N)-IG and 316L for the tubes. The values of hydrostatic test pressure, corresponding to the ratio for each material, are shown in the table below:

Pressure-boundary materials	Ratio $\frac{S_m(T_{test})}{S_m(T_{design})}$	Hydrostatic test pressure [MPa]
316 L(N)-IG	1.215	7.6
316 L “for the tubes”	1.114	7.0

Table 10 – Hydrostatic test pressure for pressure boundary materials

The lowest ratio for the pressure boundary materials is 1.12 for 316L tubes. So, the corresponding pressure 7.0 MPa shall be compared with $1.43 \times P_{\text{design}} = 7.15 \text{ MPa}$.

It gives finally, that the hydrostatic test pressure for the 55.E4 mirror box shall be performed at $P_{\text{test}} = 7.15 \text{ MPa}$.

13.1.4 Coolant Pressure

The coolant pressure and temperature in different operations are summarized in the following Table (data derived from [8]):

Operation	Pressure [MPa]	Allowable Pressure Drop [MPa]	Inlet Water Temperature [°C]
Normal operation	3.3	0.64	110
Baking	4.4	-	240
Hydrostatic pressure test (§13.1.3.1)	7.15	-	20 (Room temperature)

Table 11 – Coolant pressure and temperature at different operations

13.1.5 Seismic Loads

13.1.5.1 Load categories of seismic loads

Seismic load excitation corresponds to the site for the ITER construction (Cadarache). For components that are classified in seismic class 1 and 2 (SC1 and SC2) three levels (SL-2, SMHV, SL-1) of ground motion are considered.

The classification for the seismic conditions is:

- SL-2: Category IV (Extremely Unlikely)
- SMHV: Category III (Very Unlikely)
- SL-1: Category II (Likely Event)

According to Table 2, since seismic class of the components in the scope of this document is NSC (non-seismic class) and non-PIC, only SL-1 is required. For NSC components the seismic requirement is defined by Eurocode 8 and associated French Order.

Category IV Seismic Loads (SL-2): SL-2 corresponds to the seismic level required by French nuclear practice. In this event, it shall be demonstrated that all safety functions are maintained. For ITER site (Cadarache) the SL-2 (also called SSE – Safe Shutdown Earthquake) Design Response Spectra (DRS) is defined by two spectra: SMS and PALEO spectra. Both types of spectra (or the envelope) need to be analysed.

Category III Seismic Loads (SMHV): SMHV (Séismes Maximaux Historiquement Vraisemblables = Maximum Historically Probable Earthquakes) is the most penalizing earthquakes liable to occur over a period of about 1000 years. An SMHV Seismic Event load is taken to be 0.73 of an SL-2 load, unless a complete SMHV analysis is performed.

Category II Seismic Loads (SL-1): SL-1 corresponds to an event with a probability in the order of 10⁻² per year and represents an investment protection earthquake level (following the Nuclear Pressure Equipment regulation it corresponds to a foreseeable event). The facility has to be designed to restart and operate after an SL-1 event without special maintenance or test. As this event has a return period of more than 100 years it is expected to occur only once in the machine life. If required by investment protections and the sake of project risk reduction, SL-1 event shall be assumed to occur a maximum number of 5 times because, otherwise, no further operation may be allowed after its occurrence without the additional demonstration that the plan has not degraded the safety level of operation. An SL-1 Seismic Event load is taken to be as a first approximation 1/3 of an SL-2 load. See below.

13.1.5.2 Floor Response Spectrum (FRS) in category IV (SL-2)

The following paragraphs summarize the applicable response spectra at the location in which the component under study is placed for the SL-2 event.

The Global Tokamak Seismic Analysis report [2] calculated FRS (Floor Response Spectra) at several locations distributed along the VV and ports. The location of VV named points are shown below.

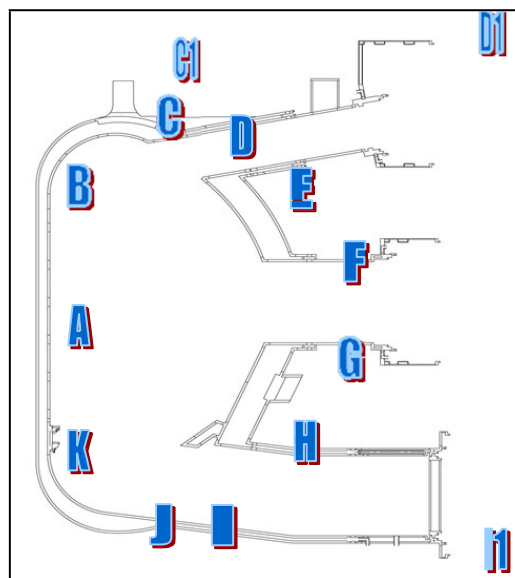


Figure 10 – Locations of the VV where FRS are reported

Table 12 shows Zero Period Acceleration (ZPA) at VV characteristic points related to Divertor Cassette.

Point on VV Perimeter	Ax [m/s ²]	Ay [m/s ²]	Az [m/s ²]
Divertor inboard point (Div_in: Point K)	1.54	1.42	27.70
Divertor outboard point (Div_out: Point J)	2.70	1.44	14.30

Table 12 – Maximum Acceleration of Divertor [2] (*)

(*) Values in the Table correspond to the results from the FE model. The factor of 1.25 to take into account the possible changes on the Building and Tokamak design is not applied.

In the figures below, the FRS for the relevant interest points are presented. Please note that the uncertainty factor of 1.25 should be applied to all the FRS values as well.

Spectra at Divertor inboard point (Div_int: Point K in Figure 10)

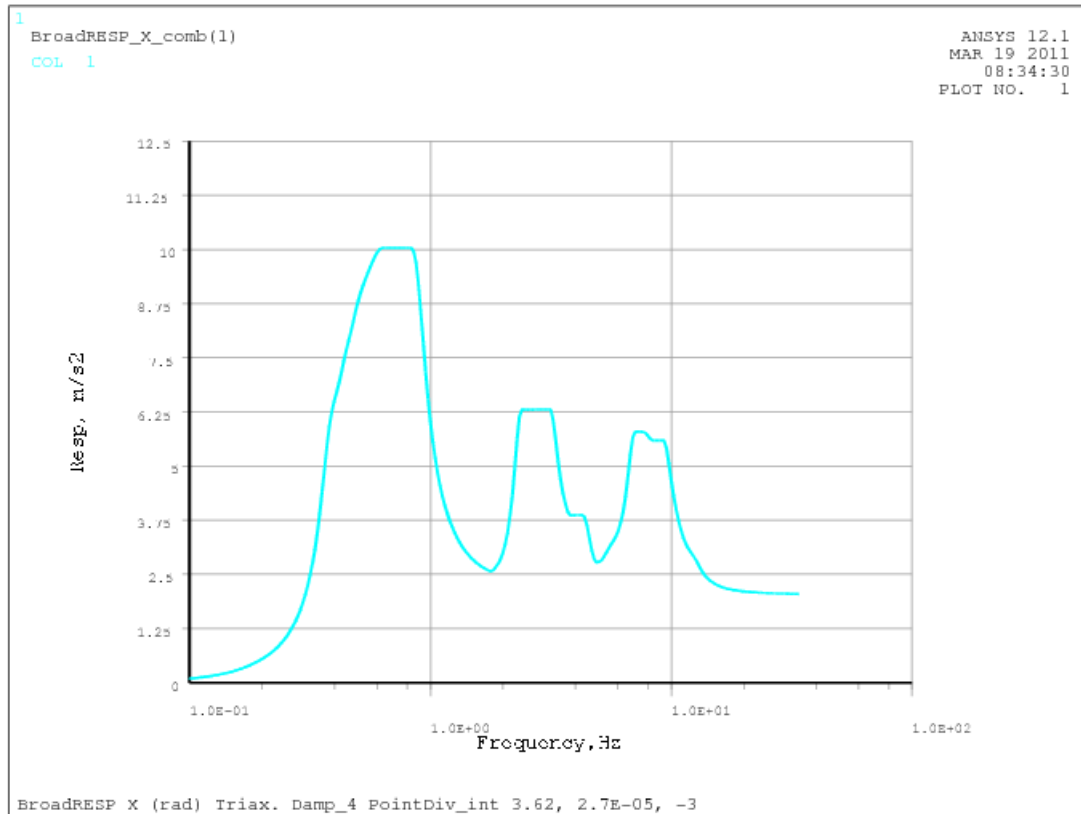


Figure 11 – SL-2 Triaxial, damp 4%; Broadened FRS at Divertor internal point in radial direction, m/s²

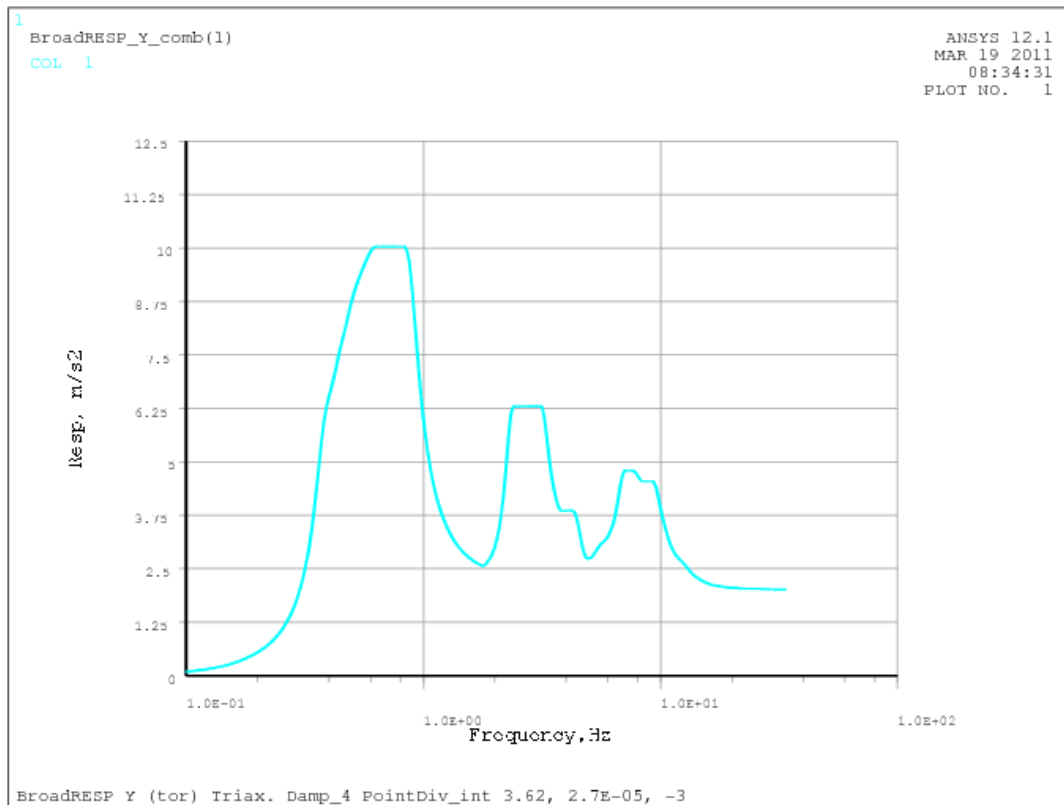


Figure 12 – SL-2 Triaxial, damp 4%; Broadened FRS at Divertor internal point in toroidal direction, m/s²

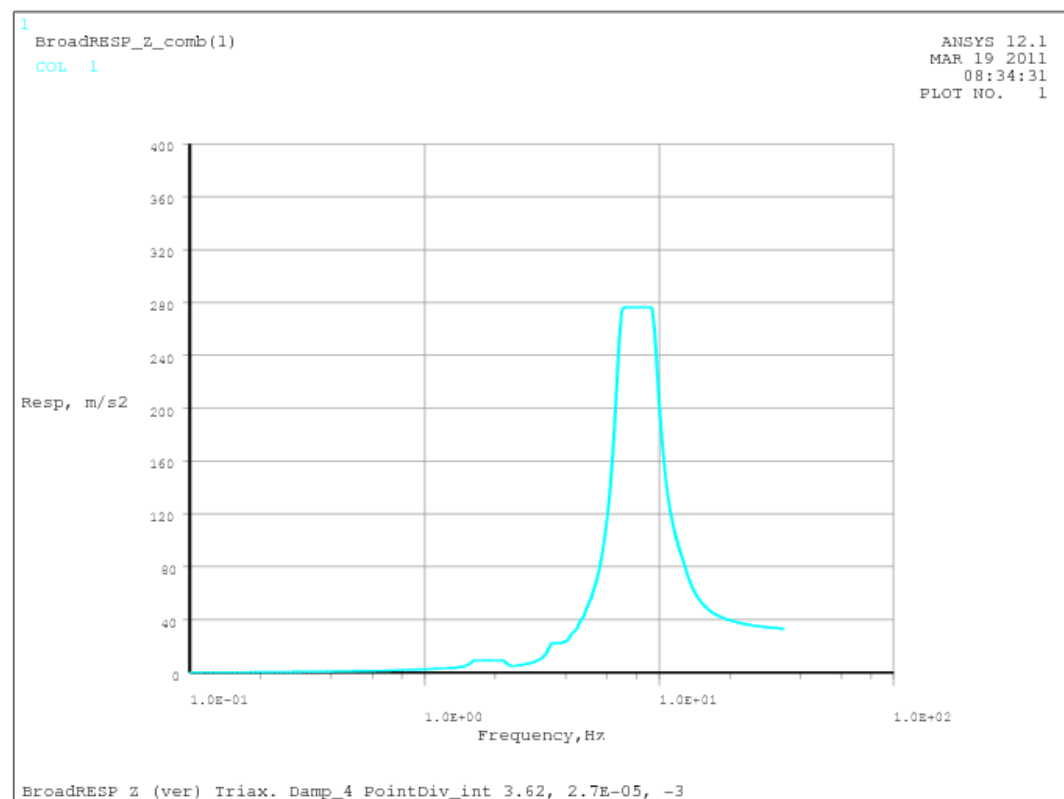


Figure 13 – SL-2 Triaxial, damp 4%; Broadened FRS at Divertor internal point in vertical direction, m/s²

Spectra at Divertor inboard point (Div out: Point J in Figure 10)

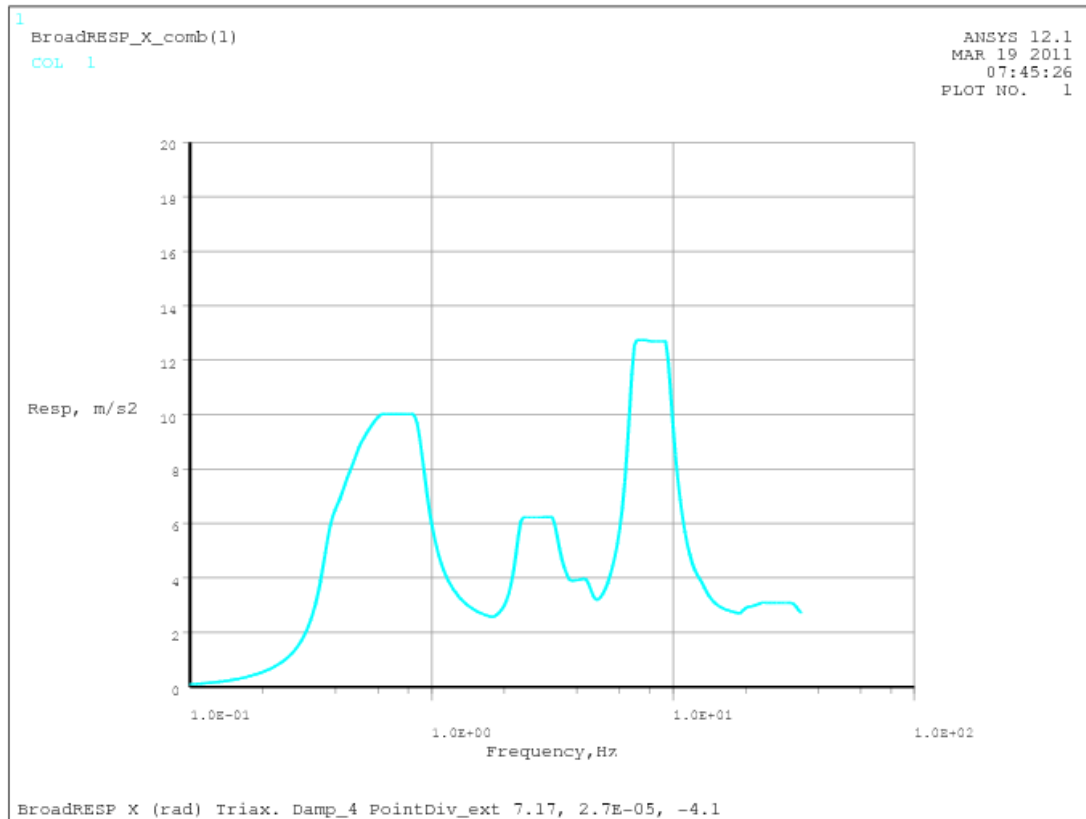


Figure 14 – SL-2 Triaxial, damp 4%; Broadened FRS at Divertor external point in radial direction, m/s²

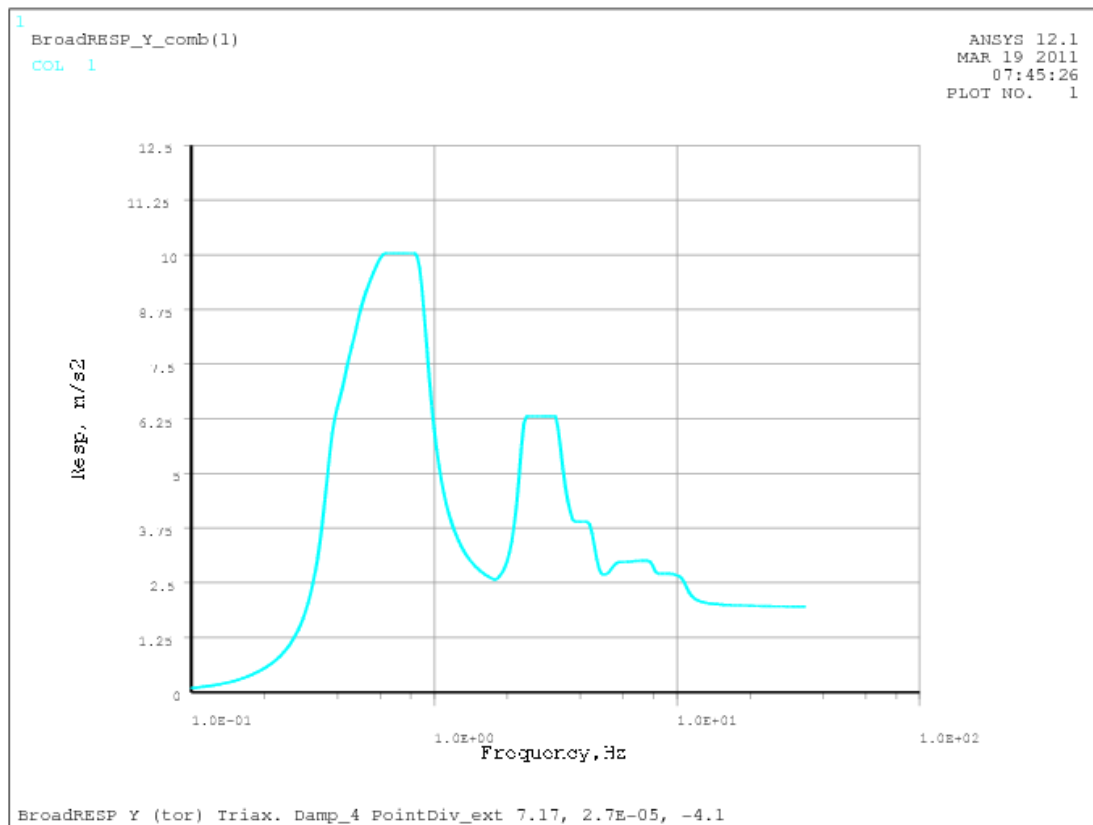


Figure 15 – SL-2 Triaxial, damp 4%; Broadened FRS at Divertor external point in toroidal direction, m/s²

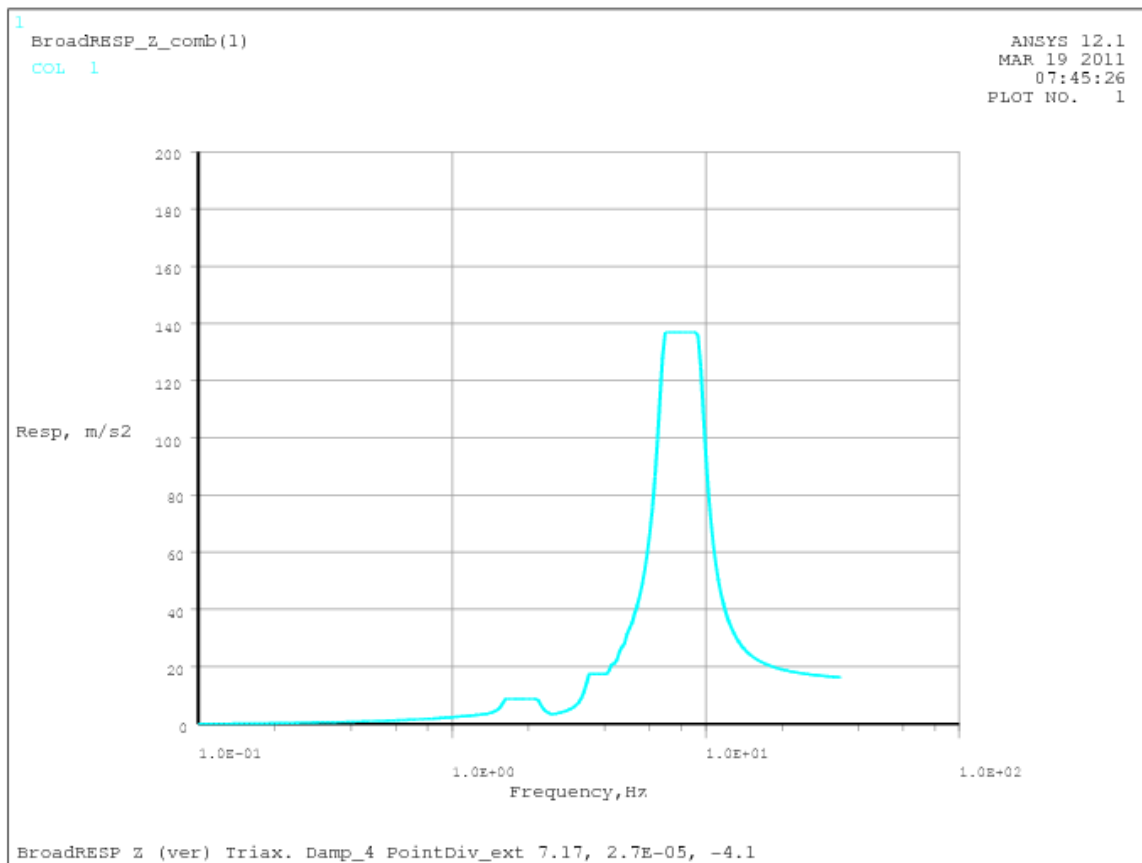


Figure 16 – SL-2 Triaxial, damp 4%; Broadened FRS at Divertor external point in vertical direction, m/s²

13.1.6 EM Loads

13.1.6.1 EM volumetric loads during plasma disruption

The rapidly changing magnet fields associated with plasma disruptions induce electrical eddy currents in the surrounding mechanical (metallic) structures which then interact with the remaining magnetic field, thus producing forces and torques. EM analyses using disruption scenarios mentioned below will be carried out to calculate the distribution of Lorentz force applied to the E4 mirror box.

The most severe disruption scenario applied to the mirror box was selected from Divertor Load Specification [12] which gives summary of EM analyses. Regarding Category II event, the largest torque occurs in the scenario “VDE II Fast Down with linear current decay 36 ms”. Regarding Category III event, the largest torque occurs in the scenario “VDE III Fast Down with linear current decay 36 ms”.

13.1.6.2 Inertial loads during plasma disruption

Inertial VDE loads in the ITER Tokamak are currently under finalization. Prior to these loads are baselined, IEA can, at the request of PBSs, define loads that can be used to create a provision. (See Figure 17 to Figure 20.)

Such provisional loads come from dynamic analyses performed on the tokamak machine under non-rotating VDE II and III excitations, both symmetric and asymmetric (dashed line in figure VDE II and figure VDE III).

To cope with asymmetric rotating VDE excitations of moderate severity, the solid lines in figure VDE II and figure VDE III have been proposed, where the acceleration above the peak has been flattened at the maximum value. In the case of VDE IV, the FRS curve is taken conservatively as twice that of VDE III (see figure VDE IV).

Since the classification of the E4 mirror box on the divertor cassette is “non-PIC” and “NSC”, only VDE-II is required.

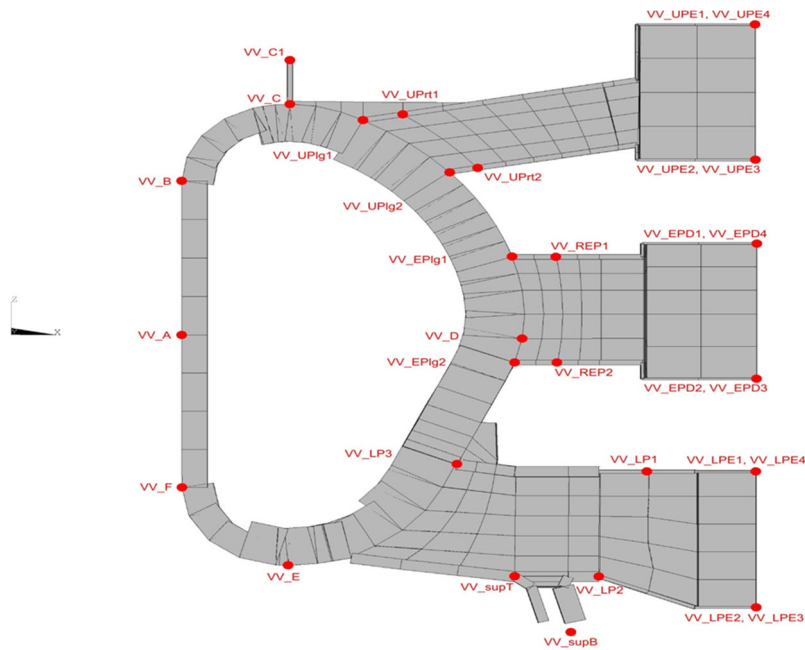


Figure 17 – Locations of the VV where FRS are reported

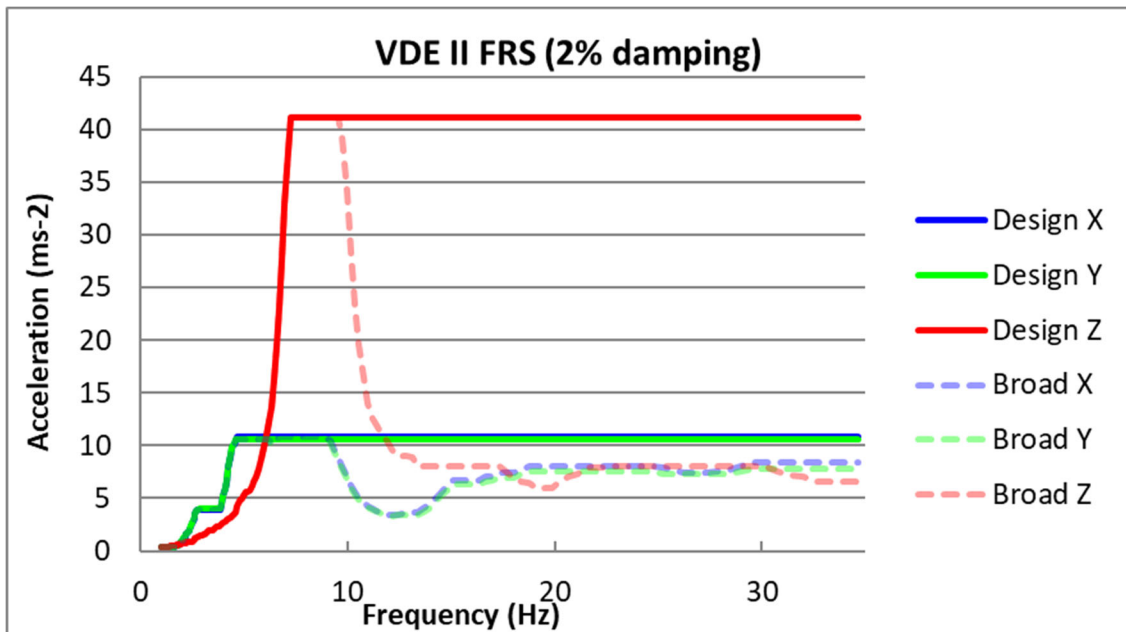


Figure 18 – FRS at VV_F for VDE-II events

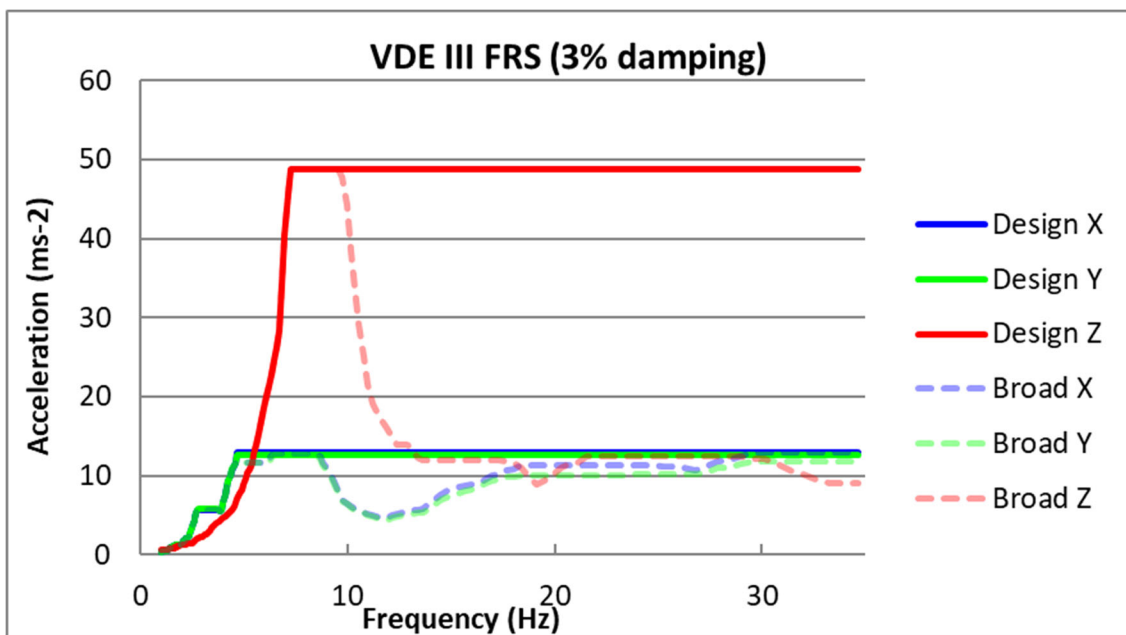


Figure 19 – FRS at VV_F for VDE-III events

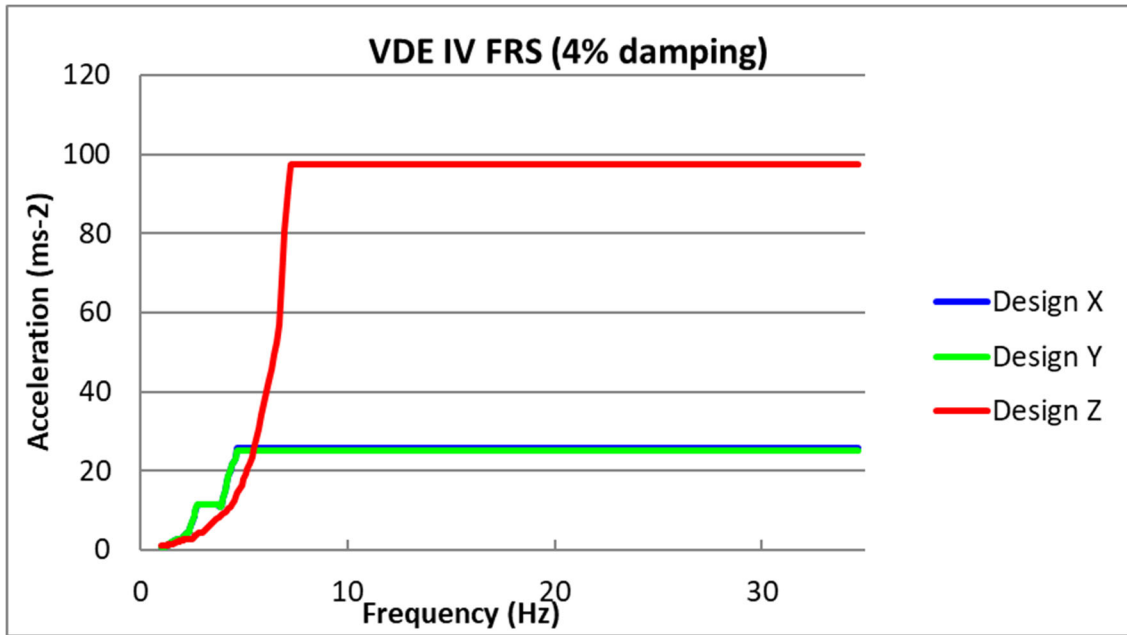


Figure 20 – FRS at VV_F for VDE-IV events

13.2 Thermal and Nuclear Loads

Coolant water temperatures and pressures are shown in §13.1.4 and summarized in Table 11.

13.2.1 Nuclear Loads

A neutronics assessment has been made for the mirror box in [13].. The result is as follows.

TEM (high-quality molybdenum) based mirror

- Parts made of TEM (mirrors and mirror base plates): <2.34 W/cc
- Parts made of SS316 (plates for mirror box): <1.47 W/cc
- Parts made of Aluminium Nitride (ceramic Insulator for mirror): <8.88x10⁻¹ W/cc

The analysis result of nuclear heat generation shown in below figure. (See [13] for more details.)

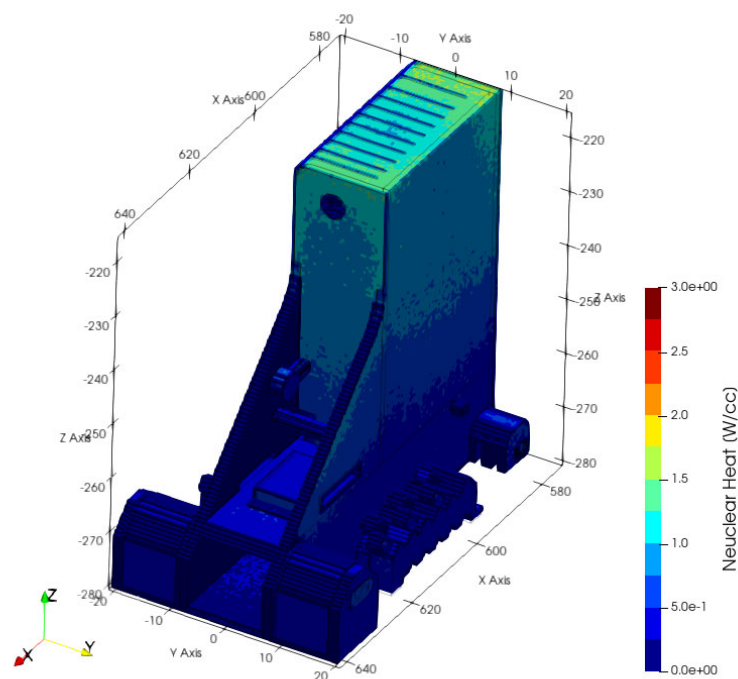


Figure 21 – Nuclear heat distribution on E4 mirror box

13.2.2 Plasma radiation heat loads

A plasma radiation heat assessment has been made for the mirror box in [14]. Some plasma scenarios (including both inductive and non-inductive) were assessed and a worst-case scenario was identified. The maximum plasma radiation heat load is 0.701 W/mm² on the outer plasma facing surface (see figure below). However, note that these analysis results assumes 70% absorption.

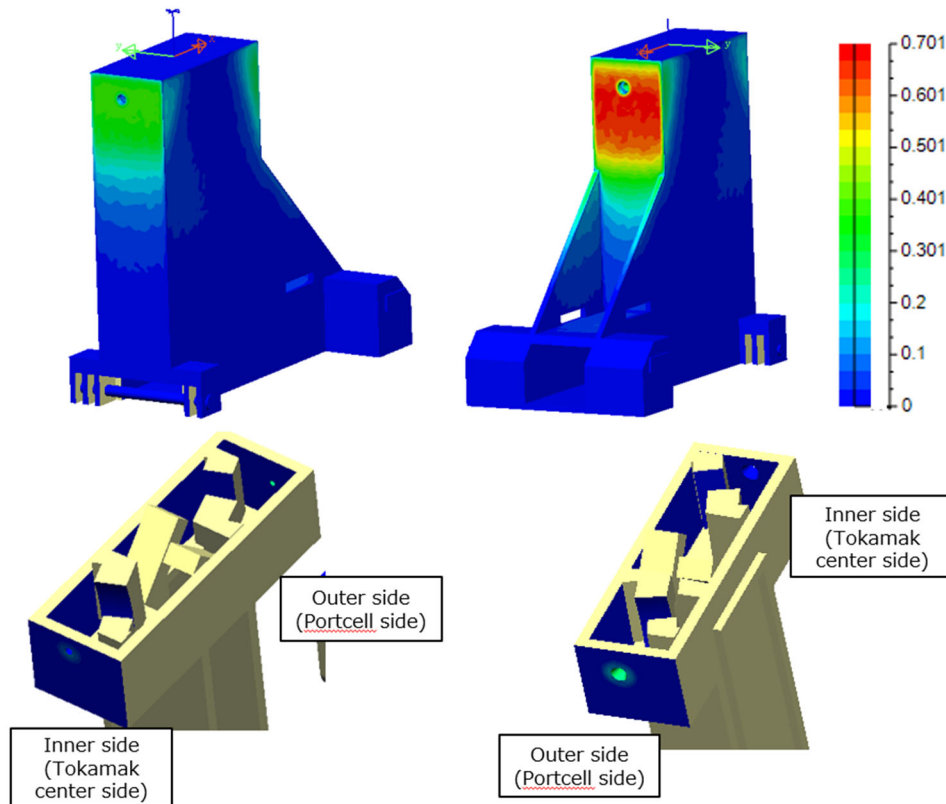


Figure 22 – Plasma radiation heat distribution on E4 mirror box (worst case scenario, assuming 70% absorption)

13.2.3 Background Power due to Electron Cyclotron Heating

Calculations estimate that during start-up, background Electron Cyclotron (EC) power in the vacuum vessel can reach up to 40 mW/mm² per injected MW. In a worst-case scenario with a small opening and blanket present, this could result in the output flux of 268 kW/m² for 6.7 MW injected during 5.5 seconds. [22]

The actual load on sensitive components depends on layout and surface absorption characteristics. Although such high loading won't occur everywhere in the vessel, the estimated value should be treated as a conservative upper bound. And it is assumed as the background power. [23]

13.3 Interfaces Loads

13.3.1 Mechanical Displacement at Interfacing Points of Divertor Cassette

The displacement values of the divertor cassette during each state can be seen in [15] and are provided in [16] to [19] as follows;

- At room temperature including initial loading (dead weight, preloads and internal hydraulic coolant pressure): [16]
- At operating temperature of the EoB (end of burn) of plasma pulse (7710 sec): [17]

- At operating temperature of the EoP (end of pause) of plasma pulse (9000 sec): [18]
- At Baking (Cassette Body is at 240 °C): [19]

The E4 mirror box shall be compliant with those displacement scenarios of the cassette body.

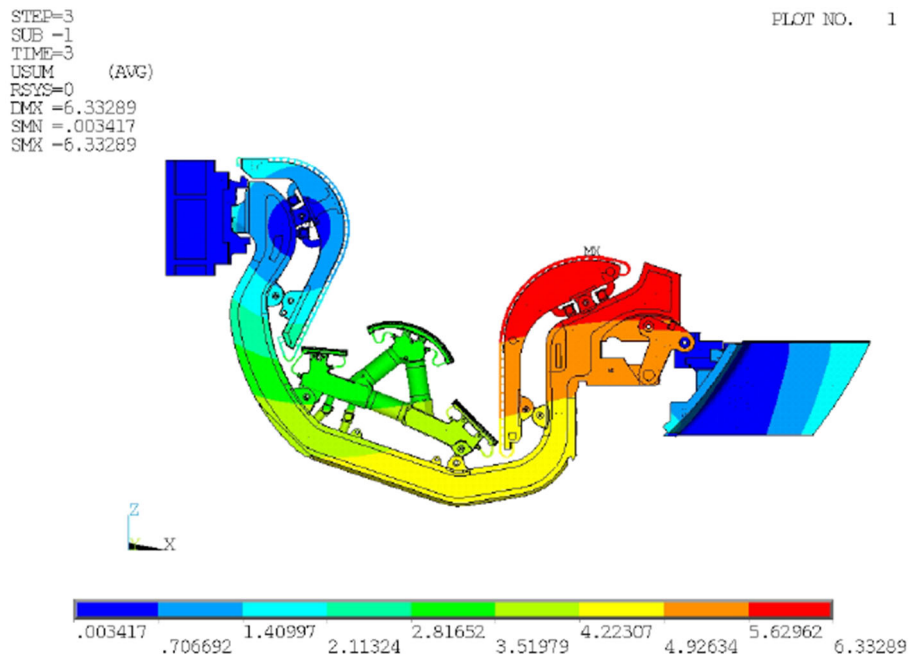


Figure 23 – Displacement (total) of Divertor Cassette at room temperature including initial loading (Unit: mm) [15]

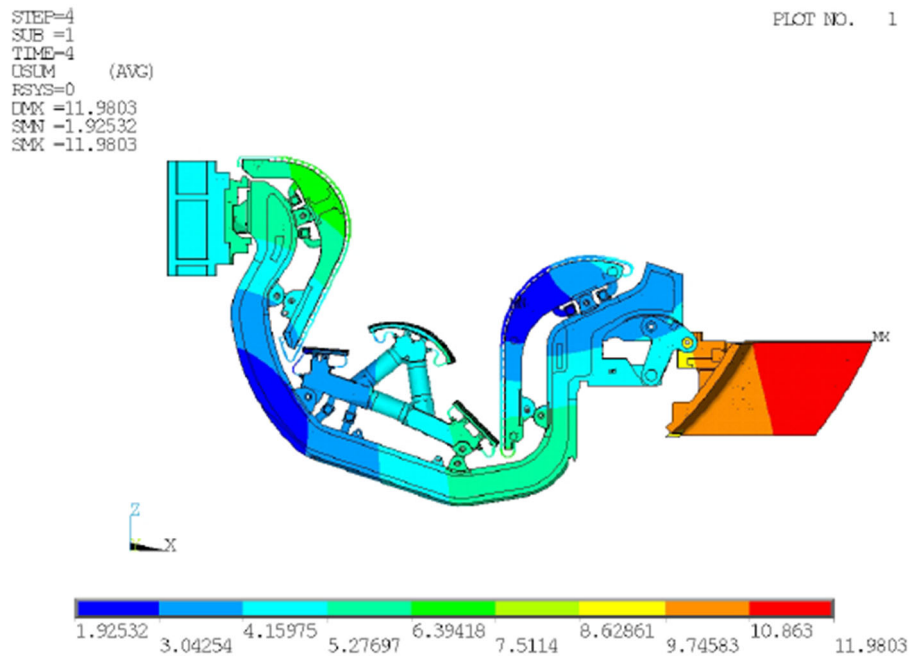


Figure 24 – Displacement (total) of Divertor Cassette at operating temperature of the EoB including initial loading (Unit: mm) [15]

13.3.2 Temperature at Interfacing Points of Divertor Cassette

The temperature values of anchor points during the plasma operation can be seen in [15] and are provided in [20] and [21] as follows;

- Operating temperature at the EoB of plasma pulse (7710 sec): [20]
- Operating temperature at the EoP of plasma pulse (9000 sec): [21]

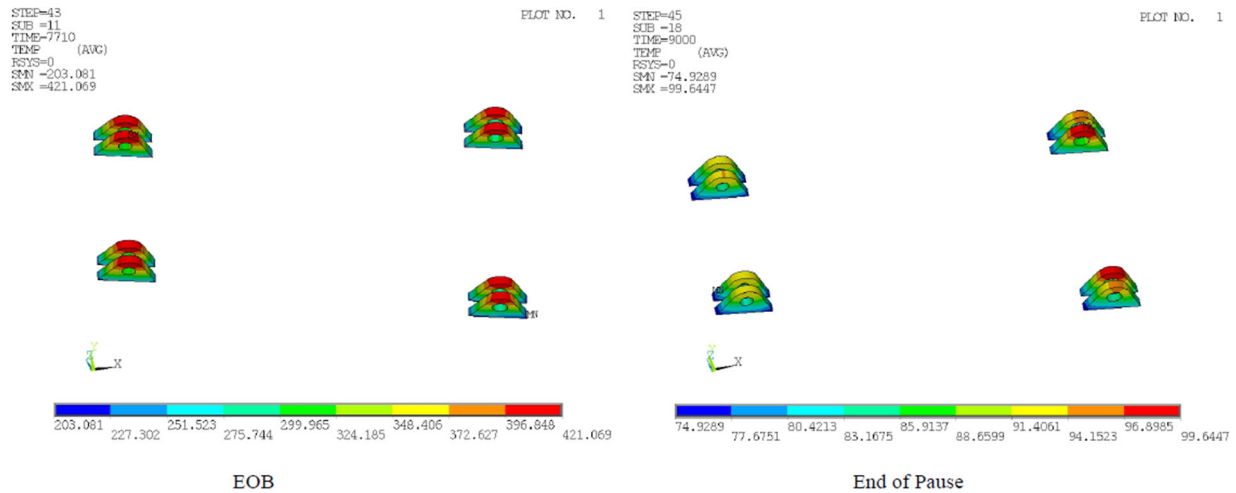


Figure 25 – Temperature in the anchor points of cassette body at the EoB (left) and EoP (right) (Unit: °C) [15]

13.4 Not Significant Load Cases

13.4.1 Magnet fast discharge

In general, the electromagnetic load acting on the IVCs due to Magnet fast discharge (MFD) is considered very small because the IVCs are not electrically connected in the toroidal and poloidal direction. Besides, the load due to MFD is not really superimposed on the disruption load because the current decay of MFD is much longer than the plasma disruption. As for the DIM in-vessel components, therefore, the loads due to MFD can be neglected.

13.4.2 Loads due to incident and accident

The following incidents and accidents related to cooling water and vacuum may happen in the vacuum vessel:

1. Ingress of coolant event (ICE)
2. Loss of coolant accident (LOCA)
3. Loss of forced flow accident (LOFA)
4. Loss of vacuum accident (LOVA)

The maximum pressure possible in the vacuum vessel is 0.2 MPa ([1]) in the cooling water accidents, which is negligible for the components that are designed to bear PLO, PLB, and inertial loads during disruption.

13.4.3 Helium ingress in the gallery

Not relevant to in-vessel components.

13.4.4 Fire loads

Since it is specified that no fire event will occur inside the bio-shield according to Ref [1], fire loads are not applicable to the DIM in-vessel components.

13.4.5 Maintenance

There is no information about the maintenance load; it must be typically smaller than other acceleration load such as EM load and seismic load. It can be neglected.

13.4.6 Charge-Exchange Neutrals

The heating load by the charge-exchange neutrals (CXN) is negligible compared with the plasma radiation heat fluxes. [24]

13.4.7 Corrosion, wearing and internal vibration

The mirror box has no moving and motorized parts, which means wearing should be negligible. Also, no internal vibration will be generated. Being constructed fully out of stainless steel and other non-corrosive materials, while also being in vacuum so not exposed to oxygen most of the time, also corrosion is expected to be negligible. Heat loads due to mirror cleaning operation are expected to be enveloped by the other heat loads (e.g. baking or neutron heating).

14 Load Combinations

14.1 Categorization of Load Combinations

Table 13 is based on the template provided in Table 4-2 of [1], and provides the damage limits that apply to each part in the scope of this load specification.

Component	Safety Class	Cat. I	Cat. II	Cat. III	Cat. IV	Test
Mirror box	Non-SIC	Normal	Normal	Normal ¹⁾	NA ²⁾	Test

Table 13 – Damage limits applicable to the scope of the load specification.

Notes:

- 1) Maintenance of this component is not possible since the component will not be accessible and therefore criteria that are more stringent have been selected.
- 2) Category IV events are not applicable to Non SIC/PIC - Non SR.

Table 14 shows the correlation between damage limits and the service levels defined by the codes prescribed in §6.

Damage Limit	SDC-IC Service Level
Normal	A
Emergency	C
Test	C

Table 14 – Correlation between damage limits and SDC-IC Service Levels

14.2 List of Load Combinations

Based on load cases and load combinations defined in the ITER load specification document [1], applicable load combinations for the 55.E4 DIM components are summarized in Table 15 and Table 16. Ignored loads will be explained in § 13.4.

Load Case	Category	Operating Conditions	EM event	Seismic events	Number of Events ⁶⁾
1	I	DW, CP, THO			30,000
2	I	DW, CP, THB			500
3	I	DW, CP, THO	MD I		2,600
4	II	DW, CP, THO	VDE II		300
5	II	DW, CP, THO	MD I	SL-1	5 ^{4,5)} (50 cycles)
6	II	DW, CP, THB		SL-1	5 ^{4,5)} (50 cycles)
7	III	DW, CP, THO	VDE III		-
8 ⁷⁾	III	DW, CP, THO	MD II / VDE II ^{2,3)}	SL-1	-
9 ⁸⁾	III	DW, CP, THB		SMHV	-
		TEST			-

Table 15 – List of events and load cases

Notes:

- 1) When the loads combinations are to be considered in the static cases, it is necessary to take into account the inertial effects. Dynamic Amplification Factors have to be taken into account.
- 2) Category II scenarios are used in order to reduce the total number of executions of EM analyses.
- 3) The more severe load case between MD and VDE will be applied.
- 4) As SL-1 event has a return period of more than 100 years, it is expected to occur only once in the machine life. But as required by the investment protection, it shall be assumed to occur at maximum number of N=5 times.
- 5) Unless a detailed dynamic analysis is performed and the number of cycles per event is directly calculated, it is recommended to assume for each seismic event N=10 equivalent maximum stress cycles whenever a fatigue or a cycle load analysis is required.
For disruption and VDEs, unless dynamic analyses performed showed that the stress - strain excursions during successive oscillations associated to the electromagnetic event may be reduced, N=5 cycles per VDE event can be conservatively assumed.
- 6) For the cycled loads, the load is cycled between the operating condition with and without the stated initiating + concatenated event.
- 7) Selected VDE, this case was enveloped by Load Case 4.
- 8) Because the classification of the E4 mirror box on the divertor cassette is “non-PIC” and “NSC”, only SL-I is required.

Load Case	Limiting Load Condition 1	Limiting Load Condition 2	Number of Events	Category	Comments
T1	DW, CP	DW, CP, THO	30,000	I	
T2	DW, CP	DW, CP, THB	500	I	
T3	DW, CP, THO	DW, CP, THO, MD/VDE II	3,300	II	
T4	DW, CP, THO	DW, CP, THO, SL-1, MD/VDE II	5 (50 cycles)	II	
T5	DW, CP, THB	DW, CP, THB, SL-1	5 (50 cycles)	II	

Table 16 – List of transient events and load cases for fatigue assessment

System Load Specification for 55.E4 Divertor Impurity Monitor Components on Diagnostic Rack of Lower Port 2

ITER Project Japan Domestic Agency

Abstract

This document describes all relevant loads acting on components of the ITER Divertor Impurity Monitor (PBS.55.E4 DIM) on the diagnostic rack of lower port #2. This document will be revised accordance with the upcoming design progress.

	Affiliation	Name	Date
Author	JADA Analyst	TERASAWA Atsumi	13 Apr. 2026
Co-Author	JADA TRO	TANAKA Suguru	13 Apr. 2026
Reviewer	JADA	YATSUKA, Eiichi	xx Apr. 2026
Approver	JADA PRGL	IMAZAWA Ryota	xx Apr. 2026

Change Log

JADA Revision	IDM Version	Issue date	Description of Change	Author
R0	CSBLMS v1.0	16 Sep. 2025	First version	A. Terasawa
1	CSBLMS v1.1	xx Apr. 2026	Side-Up Optics were abolished. -As reviewer, 2 officers were added. SRO: Haibo Liu Nuclear Load: Subhash Puthanveetil -Figure 3 and 9: Information of ENOVIA Tree was updated. -Figure 4, 5 and 6: Updated to the newest -Table 9: Updated by reflecting the newest design -13.4.2 Loads due to incident and accident: the water hammer was mentioned. -13.1.2 Assembly and Pretension Loads: “Those Loads are applied in the specified room temperature in the assembly phase.”	A. Terasawa

Table of Contents

1	PURPOSE	7
2	SCOPE	7
3	SCOPE OF REVIEWERS	8
4	REFERENCES.....	8
5	SYSTEM CLASSIFICATIONS	8
6	CODES AND STANDARDS & STRUCTURAL DESIGN CRITERIA	10
6.1	CODES AND STANDARDS.....	10
6.2	STRUCTURAL DESIGN CRITERIA	10
7	DEFINITIONS	11
7.1	UNITS.....	11
7.2	COORDINATE SYSTEMS	11
7.3	ABBREVIATIONS	12
8	TYPES OF LOADS	13
9	MAIN LOADS.....	13
10	PATH OF THE MAIN LOADS.....	14
11	SYSTEM DESCRIPTION	14
11.1	DESIGN STATUS AND GEOMETRY	14
11.2	SYSTEM DESIGN DESCRIPTION.....	15
11.2.1	<i>System, Components, Parts.....</i>	<i>15</i>
11.2.2	<i>Fabrication and Assembly</i>	<i>18</i>
11.2.3	<i>Functions.....</i>	<i>18</i>
11.2.4	<i>Interfaces.....</i>	<i>18</i>
12	STATES OF SYSTEM AND COMPONENTS.....	18
13	SINGLE LOAD CASES	19
13.1	MECHANICAL LOADS.....	19
13.1.1	<i>Dead Weight.....</i>	<i>19</i>
13.1.2	<i>Assembly and Pretension Loads</i>	<i>19</i>
13.1.3	<i>Test Loads</i>	<i>20</i>
13.1.3.1	<i>Hydrostatic pressure test</i>	<i>20</i>

13.1.4	<i>Coolant Pressure</i>	20
13.1.5	<i>Seismic Loads</i>	20
13.1.6	<i>EM Loads</i>	22
13.1.6.1	EM volumetric loads during plasma disruption	22
13.1.6.2	Inertial loads during plasma disruption	22
13.1.7	<i>Structural Loads due to Component Operation</i>	23
13.2	THERMAL AND NUCLEAR LOADS	23
13.2.1	<i>Nuclear Loads</i>	23
13.3	INTERFACES LOADS	25
13.3.1	<i>Interface Loads at Interfacing Points of Diagnostic Rack</i>	25
13.4	NOT SIGNIFICANT LOAD CASES	25
13.4.1	<i>Magnet fast discharge</i>	25
13.4.2	<i>Loads due to incident and accident</i>	25
13.4.3	<i>Helium ingress in the gallery</i>	25
13.4.4	<i>Fire loads</i>	25
13.4.5	<i>Maintenance</i>	25
14	LOAD COMBINATIONS	26
14.1	CATEGORIZATION OF LOAD COMBINATIONS	26
14.2	LIST OF LOAD COMBINATIONS	26

1 Purpose

The purpose of this load specification is to define and prescribe the loads used for the Integrity Justification of the 55.E4 Divertor Impurity Monitor (DIM) [1] components on Diagnostic Rack of Lower Port 2 (LP02). Specifically, this document provides the following:

- A report of the SSCs classification (Safety, Quality and Seismic).
- The description of all states of the SSCs during their life (e.g. assembly, start-up, operation, maintenance, shut-down, et cetera).
- A report of the applicable codes and standards (e.g. ASME sect. III, B31.3, RCC-MR etc.) that will be used for the assessment of the design.
- The correlation between load categories and damage limits and the correlation between the damage limits and the structural design criteria (e.g. ASME Service Levels) in the applicable codes.
- The description of all events expected in each state (including normal, incident and accident conditions if needed).
- The specification of all load values to be considered to verify the structural integrity of the system and their categorization.
- The list of all load combinations to be considered to verify the structural integrity of the system and their categorization.
- The number of occurrences of each event during the life of the system and the number of load cycles.

2 Scope

The scope of this document is the PBS 55.E4 components installed on the Diagnostic Rack, which consist of the mirror units.

The components other than the mirror unit are not in the scope of this load specification.

The scope does not include PICs.

This document is prepared for PDR.

3 Scope of Reviewers

Table 1 – Scope of the reviewers

Reviewer	Scope
De Bock Maarten	55.E4 TRO
Ye Ce	QA RO
Giacomin Thibaud	55.L2 TRO, Port Integrator
Roccella Riccardo	Electromagnetic loads
Ruiz Pedro	IEA representative, SLS expertise
Zhang Xiaotan	Seismic loads
Loarte Alberto	SID expertise
Jourdan Thierry	PE/NPE representative
Ducarre Olivier	DI RO
Haibo Liu	SRO
Tian Kuo	SI RO
Reich Jens	MAP representative
Subhash Puthanveetil	Nuclear Loads

4 References

- [1] 55.E4 - System Design Description (DDD) ([RYRFCU v1.0](#))
- [2] Load Specifications (LS) ([222QGL v6.3](#))
- [3] Global Tokamak Seismic Analysis Report ([33W3P4 v2.1](#))
- [4] ITER Coordinate Systems ([2A9PXZ v3.7](#))
- [5] 55.E4 - SLS Basic Information Record - Diagnostic Rack components of LP2 ([9ZVPQQ v1.0](#))
- [6] ICD-55.L2-55 Interface Control Document for Lower Port #2 Integration and all PBS-55 Tenant Diagnostics ([V3EJRR v1.0](#))
- [7] IS-55.L2-55.E4-001 Interface between 55.E4 Divertor Impurity Monitor and 55.L2 Lower Port #2 integration ([VQF9P2 v1.2](#))
- [8] Interfacing Loads with tenant in LP02 ([CJZP7J v1.0](#))
- [9] Significant EM Load Cases for the ITER Blanket with DINA-2010 scenarios ([33J5R4 v1.0](#))
- [10] 55.L2/L8/LE Lower Port Nuclear analyses for PDR ([5JSMRD v1.0](#))
- [11] Port Plugs Environmental Tests Procedure on the PPTF ([33AB4B v1.7](#))
- [12] WP4.16 & 4.18. Update of IBED PHTS & DYS water hammer analyses ([3S3YGB v7.0](#))
- [13] 55.L2 FRS Derivation Analysis Report for Lower Port 02 ([FC6DLZ v1.0](#))

5 System Classifications

The system classification of the components in the scope of this load specification is defined in BIR [5] and is summarized in Table 2.

Table 2 – System components classification

Component	Safety Class	Quality Class	Seismic Class	ESP/ ESPN	Vacuum Class	Tritium Class	RH Class
Water cooled components (Central optics relay mirror unit 1, Side-Low optics mirror unit)	Non-SIC	QC1	NSC	Cat.0 / Level N3 (TBD)	VQC-1A	TC-1A	RH-2 or 3
Conventionally cooled components (Central optics relay mirror unit 2, Fixing elements, etc.)	Non-SIC	QC1	NSC	N/A	VQC-1B	TC-1A	RH-2 or 3

6 Codes and Standards & Structural Design Criteria

6.1 Codes and Standards

RCC-MRx 2012 is used for designing the component on the diagnostic rack. The justification for using this code is that the components in scope are not plasma facing, and generally the nuclear load is small on them (see §13.2), so there no need to consider a code taking into account irradiated material conditions.

6.2 Structural Design Criteria

BIR [5] specifies the damage limits applicable to the components on the diagnostic rack, and the damage limits are given by Table 3.

Table 3 – Damage Limits for Loading Condition Categories (adapted from [5])

Component	Category I: Operational/ Design Loading	Category II: Likely Loading	Category III: Unlikely Loading	Category IV: Extremely Unlikely Loading	Test Loading
Water cooled components	Normal	Normal	Normal	N/A	Normal /Test
Conventionally cooled components	Normal	Normal	Normal	N/A	N/A

Table 4 gives the structural criteria formulated in terms of service level assigned to the damage limits, in accordance with the RCC-MRx.

Table 4 – Applicable structural criteria for the system components

Damage Limits	RCC-MRx Service Level
Normal	A
Emergency	C
Test	C

7 Definitions

7.1 Units

All loads are provided using the International System (SI) base and derived units. The only exception to this rule is that degrees Celsius may be used instead of Kelvin. The complete list of units used in this document is provided in Table 5.

Table 5 – List of Units used in this Load Specification

Quantity	Unit name	Unit symbol	In SI base units
Length	Meter	m	
Mass	Kilogram	kg	
Time	Second	s	
Temperature	Kelvin	K	
	Celsius	°C	
Acceleration			m/s^2
Angular acceleration			rad/s^2
Angular velocity			rad/s
Density			kg/m^3
Energy, Work	Joule	J	$\text{N}\cdot\text{m}$
Entropy			$\text{N}\cdot\text{m/K}$
Force	Newton	N	$\text{kg}\cdot\text{m/s}^2$
Frequency	Hertz	Hz	$1/\text{s}$
Moment			$\text{N}\cdot\text{m}$
Second moment of area			m^4
Power	Watt	W	$\text{N}\cdot\text{m/s}$
Pressure	Pascal	Pa	N/m^2
Stress	Pascal	Pa	N/m^2
Young's Modulus	Pascal	Pa	N/m^2
Thermal flux density			W/m^2
Velocity			m/s

7.2 Coordinate systems

Unless stated otherwise all loads are specified in the ITER Tokamak Global Coordinate System (TGCS) [4]. The main direction and the nomenclature used in this load specification are shown in Figure 1.

Regarding the Floor Response Spectra (FRS), these are applied in the local cartesian coordinate (X, Y, Z) which are defined by referring to TGCS. In this local coordinate, the Y=0 plane corresponds with the vertical cross section of the center of LP02. The direction of Z coordinate is the same as the vertical direction in TGSC. The direction of X coordinate corresponds with the radial direction of ITER. The direction of Y-coordinate is perpendicular to X, Z coordinates, and corresponds with the toroidal direction of ITER.

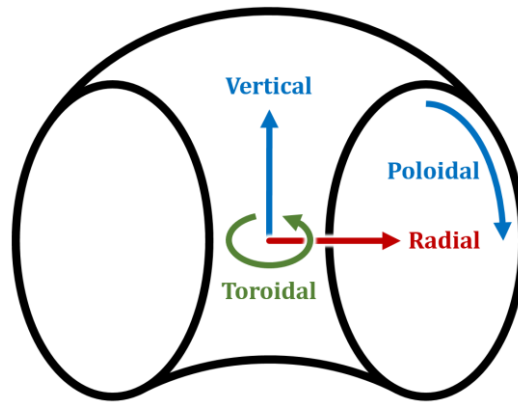


Figure 1 – Definitions of tokamak directions and global cylindrical coordinate system.

7.3 Abbreviations

All abbreviations used in the document are listed in Table 6.

For a complete list of standard abbreviations, see ITER Abbreviations ([2MU6W5 v1.19](#)).

Table 6 – Abbreviations.

DIM	Divertor Impurity Monitor
EM	Electromagnetic
EoB	End of Burn
EoP	End of Pause
FRS	Floor Response Spectrum
ICE	Ingress of Coolant Event
IVC	In-Vessel Components
LOCA	Loss of Coolant Accident
LOFA	Loss of Forced Flow Accident
LP	Lower Port
MD	Major Disruption
MFD	Magnet Fast Discharge
PDR	Preliminary Design Review
PIC	Protection Important Component
SL-1	Seismic Level 1
SL-2	Seismic Level 2
SMHV	Séismes Maximaux Historiquement Vraisemblables
SSC	System, Structure and Component
VDE	Vertical Displacement Event
VV	Vacuum vessel

8 Types of Loads

The following type of loads are covered in this Load Specification:

- Inertial loads: these are caused by accelerations of masses induced by gravity, seismic events and displacements of supporting structures imposed by plasma disruptions.
- Electromagnetic (EM) loads: volumetric forces and moments generated by the interaction between electric currents flowing through conductive materials and magnetic fields or by the presence of ferromagnetic materials.
- Pressure loads: forces distributed over surfaces due to coolant fluid or atmosphere acting on evacuated volumes or external pressure conditions caused by accidental events.
- Thermal and nuclear loads, due to direct irradiation from the plasma or due to the presence of radioactive/irradiated materials.
- Thermal loads due to coolant temperature or temperatures imposed by interfacing components or accidental events.
- Assembly or installation loads due to pretension and live loads.

9 Main Loads

The main loads prescribed in this load specification are listed in Table 7:

Table 7 – Main loads acting on the system/components

Load case	Chapter	Characteristic loads
Dead Weight	§13.1.1	Gravity acting on components masses (DW)
Test Loads	§13.1.3	Internal coolant channel water pressure during test
Coolant Pressure	§13.1.4	Inlet pressure load and temperature of coolant water during each operation
Seismic Loads	§13.1.5	Seismic accelerations of SL-1, SMHV, SL-2 events
EM Loads due to plasma transient events	§13.1.6	The dominant load is the electromagnetic (EM) load associated with plasma disruptions.
Thermal and Nuclear Loads	§13.2	Nuclear heat load, radiation heat load, temperature of coolant water, inlet pressure load of coolant water during normal operation
Interface Loads	§13.3	Loads induced due to deformation of supporting structures

10 Path of the Main Loads

The path of the main loads is shown in Figure 2.

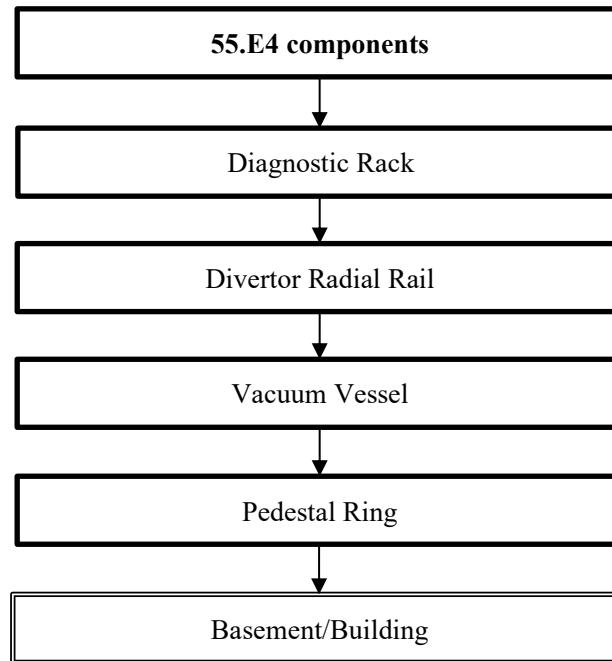


Figure 2 – Path of the main loads

11 System Description

11.1 Design Status and Geometry

The design phase of the SSCs in the scope of this load specification is PDR.

Figure 3 shows the Enovia tree of the Detailed Model (DM) of the DIM components and their space reservation in the scope of this document.

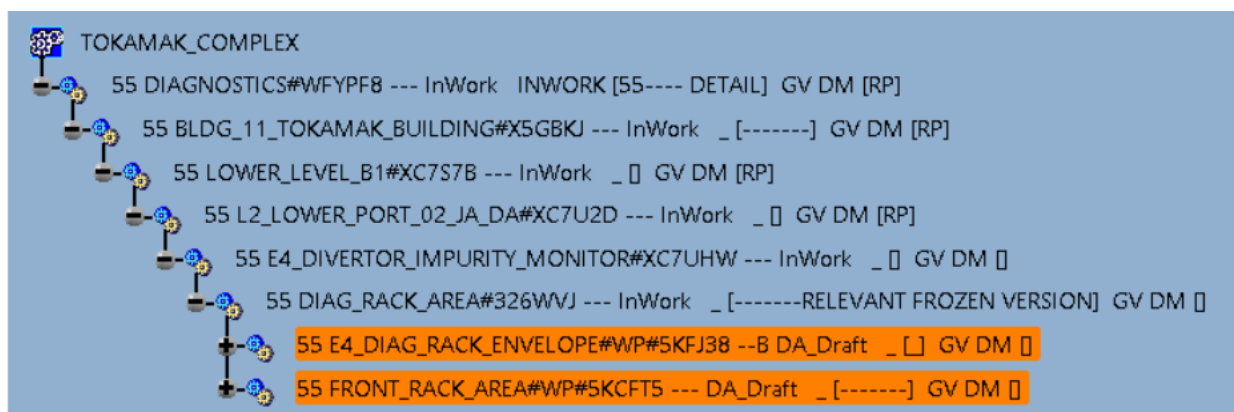


Figure 3 – Snapshot of the 55.E4 Model Enovia Tree

11.2 System Design Description

11.2.1 System, Components, Parts

Figure 4 shows the PBS 55.E4 components installed on the Diagnostic Rack. These mainly consist of mirror units mounted on the diagnostic front rack and the back rack. Figure 5 to Figure 7 show each mirror unit.

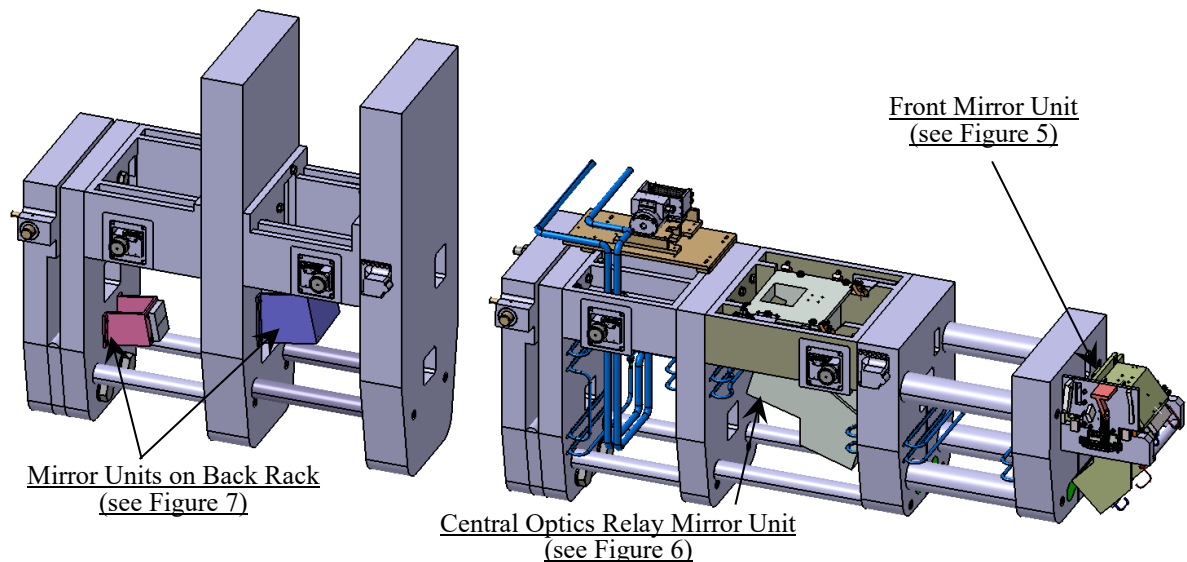
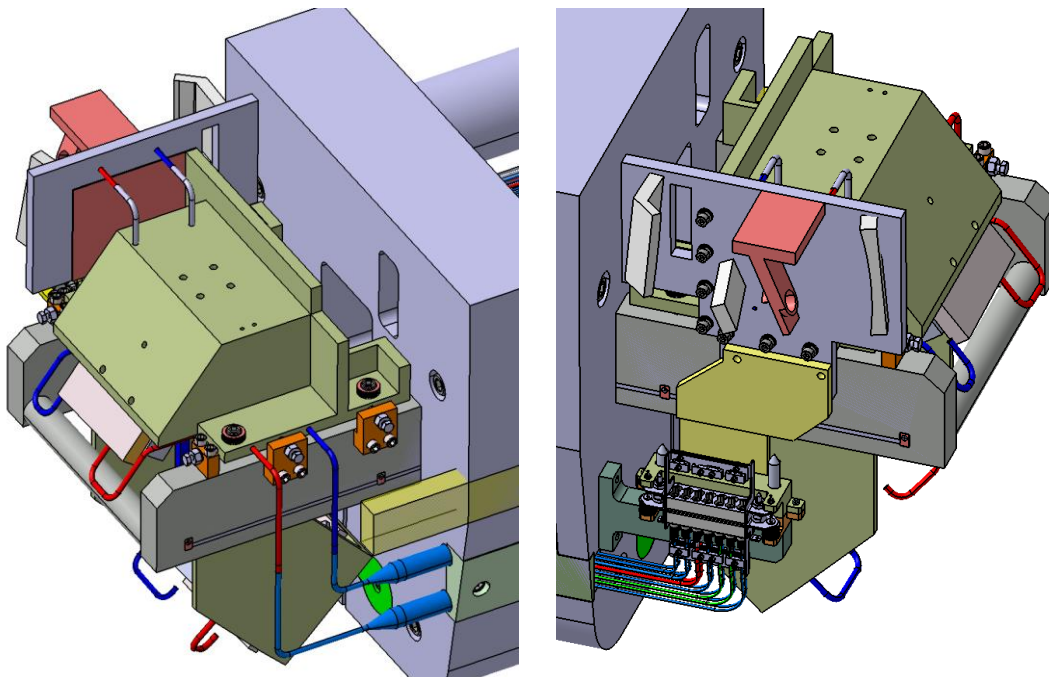


Figure 4 – 55.E4 Mirror Units on the Diagnostic Rack



**Figure 5 – Front Mirror Unit
(Side-Low Optics Mirror Unit and Central Optics Relay Mirror Unit 1)**

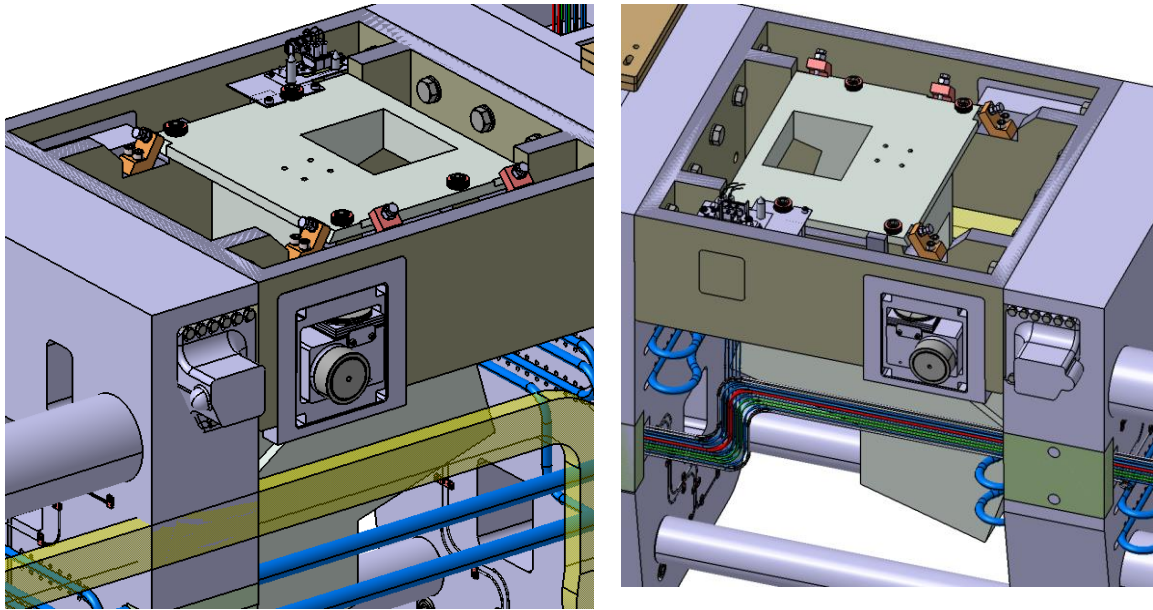


Figure 6 – Central Optics Relay Mirror Unit 2

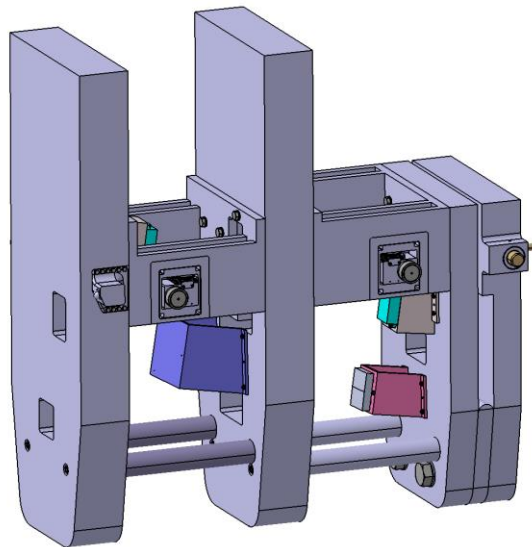


Figure 7 – Mirror Units on Back Rack

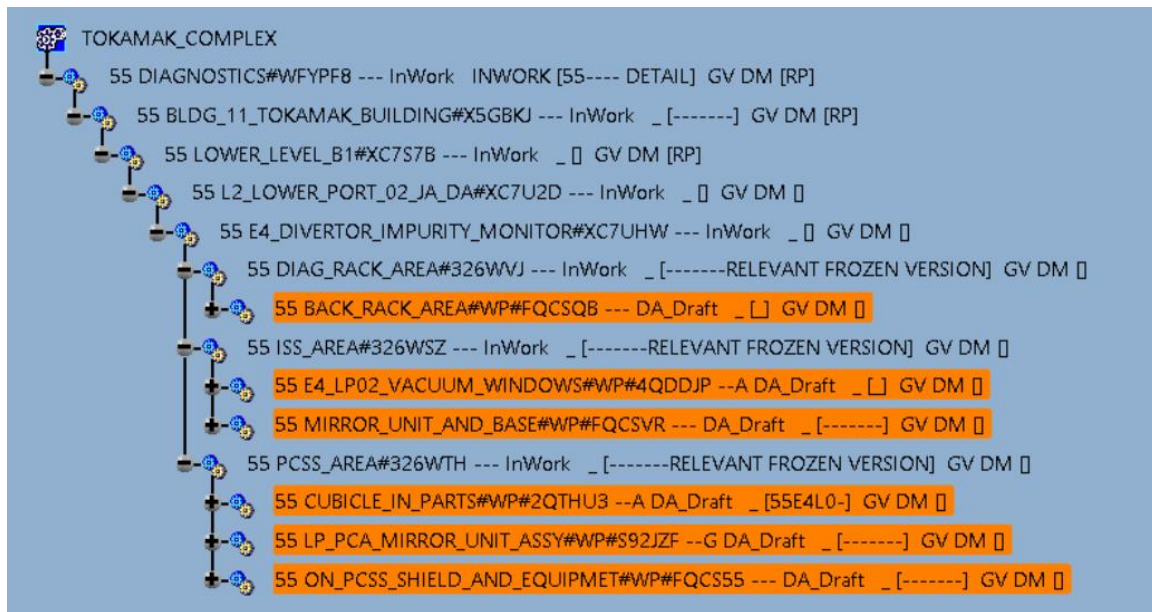


Figure 9 – Snapshot of the 55.BACK RACK Model Enovia Tree

11.2.2 Fabrication and Assembly

Given the status of development, these questions have not been addressed yet.

11.2.3 Functions

- (1) To collect and transmit visible & ultraviolet light waves from the divertor plasma region.
- (2) To cool optical components in order to minimize thermal deformation.
- (3) To protect mirrors against neutral particles during discharge cleaning. (For front-end mirrors. Side-low and Side-up optics shutters perform this function.)

11.2.4 Interfaces

Interfaces Control Documents (ICD) and Interface Sheets (IS) which are related to the 55.E4 components on the diagnostic rack are listed in Table 8 below.

Table 8 – Interfaces of the 55.E4 components on the diagnostic rack

System	PBS	ICD	IS
Diagnostics	55	ICD-55.L2-55 Interface Control Document for Lower Port #2 Integration and all PBS-55 Tenant Diagnostics [6]	IS-55.L2-55.E4-001 Interface between 55.E4 Divertor Impurity Monitor and 55.L2 Lower Port #2 integration [7]

12 States of System and Components

With regards to the main loads referred in previous Sections, the applicable states/sub-states of the system for the loads allocation as well as for the identification of the limiting load cases defining the transient events to be considered in the assessment against Ratcheting and Fatigue damage, the following states and sub-states of the system are considered:

- Operation
 - a) Cool-down
 - b) Warm-up
 - c) Standby between plasma pulses
 - d) Normal plasma operation
 - e) Plasma instabilities
 - f) Baking
 - g) Shut-down for maintenance and upgrade
 - h) Incident and accident

13 Single Load Cases

13.1 Mechanical Loads

13.1.1 Dead Weight

The mass of the latest design of each mirror Unit is listed in Table 9, where Gxyz are the coordinates of the centre of gravity, relative to the coordinate system TGCS, defined in §7.2.

Considering possible future design developments, including supports, cooling tube routing modifications, etc., a mass uncertainty factor of 1.2 shall be applied for load assessment purposes. The factor will be reviewed and updated as the design matures.

Table 9 – Inertial properties of the system parts

Part	Mass (kg)	Gx (m)	Gy (m)	Gz (m)
Front mirror unit (Side-low optics mirror unit and Central optics relay mirror unit 1)	130	5458.2mm	3208.6mm	-4766mm
Central optics relay mirror unit 2	220	6907.4mmmm	3968.8 mm	-4726.9mm
Side-low optics mirror SL-M05unit on back rack	28	10082.5 mm	5658.3 mm	- 4767.4 mm
Side-low optics mirror SL-M06 unit on back rack	17.5	9039.5 mm	5031.4 mm	- 4444.3 mm
Central optics optics mirror DC-M09 unit on back rack	26	9973mm	5728.9mm	-5228.7mm
Central optics optics mirror DC-M10 unit on back rack	81	9216.7mm	5275.1mm	-4964.3mm

13.1.2 Assembly and Pretension Loads

Bolt pretension needs to be taken into account. However, the pretension force value is under study.

Some specific assembly and maintenance loads will act on the Diagnostic Rack and services and need to be taken into account. At the time of the writing of this document these loads are not available yet.

For structural assessment purposes, those loads are assumed to be applied at a reference room temperature of 22 °C. The actual assembly temperature may vary depending on installation conditions.

13.1.3 Test Loads

13.1.3.1 Hydrostatic pressure test

According to tests procedure on the Port Plug Test Facility (PPTF) [11], the hydraulic circuit of the port components will be tested at 7.6 MPa at room temperature.

Pressure test by a manufacturer will be carried out under the same condition.

13.1.4 Coolant Pressure

The coolant pressure and temperature in different operations are summarized in the following Table (data derived from [7]):

Table 10 – Coolant pressure and temperature at different operations

Operation	Pressure [MPa]	Allowable Pressure Drop [MPa]	Inlet Water Temperature [°C]
Normal operation	4.0 (-0.2/+0.6)	0.9	70 (+/-5)
Baking	4.4 (+/-0.4)	-	240 (-5/+0)
Hydrostatic pressure test (§13.1.3.1)	7.6	-	20 (Room temperature)

13.1.5 Seismic Loads

FRSs due to seismic event at the interface points with the diagnostic rack have been provided by the port integrator [8] and are shown in Figure 9 and Figure 10. These FRSs are due to SL-2. As shown in Table 2, since the seismic class of the DIM components installed in the diagnostic rack is NSC, only SL-1 is applied for those components as the seismic load, Therefore, the seismic load can be obtained by multiplying factors of 0.33 to FRS of SL-2.

On the other hand, it should be noted that, a factor of 1.25 will be multiplied to FRS taking into account the possible changes on building and VV support design as per recommendations of [3].

Ten equivalent maximum stress cycles shall be considered for each seismic event whenever a fatigue or a cyclic load analysis is required.

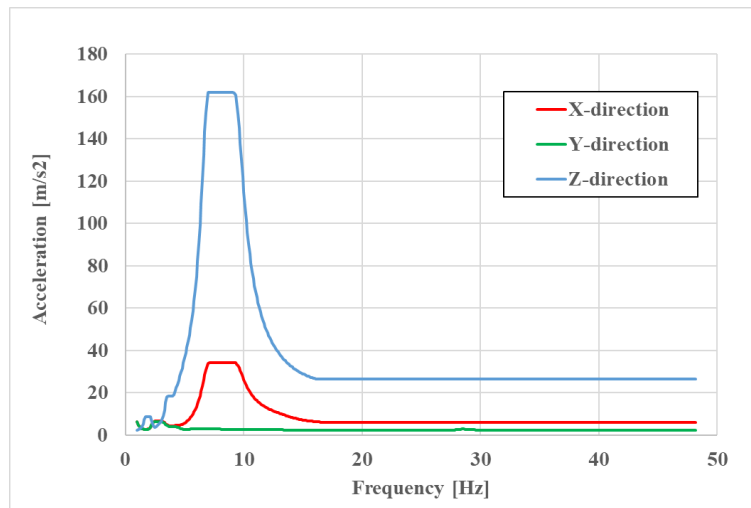


Figure 9 – FRS (SL-2, 4% damping) at attached point with the front mirror unit (Side-low optics mirror unit and Central optics relay mirror unit 1) [8]

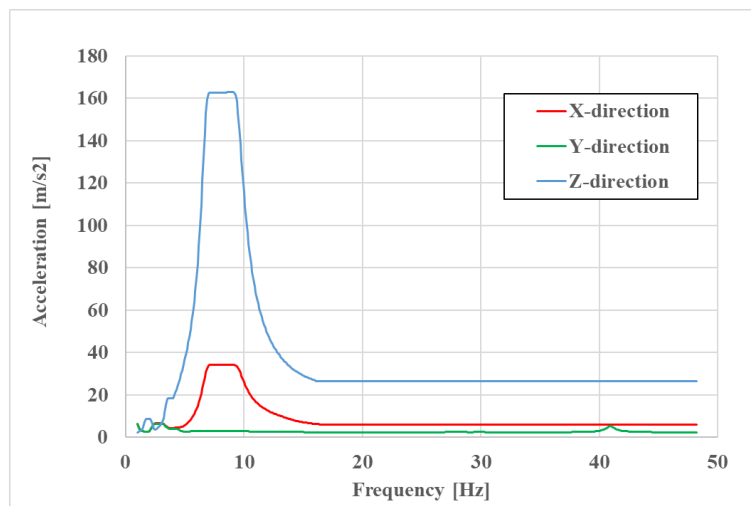


Figure 10 – FRS (SL-2, 4% damping) at attached point with the mirror unit on back rack [8]

13.1.6 EM Loads

13.1.6.1 EM volumetric loads during plasma disruption

The rapidly changing magnet fields associated with plasma disruptions induce electrical eddy currents in the surrounding mechanical (metallic) structures which then interact with the remaining magnetic field, thus producing forces and torques. EM analyses using disruption scenarios mentioned below will be carried out to calculate the distribution of Lorentz force applied to the E4 components.

The most severe disruption scenario applied to the LP in-vessel components was selected from

[9] which gives summary of EM analyses. Regarding The largest torque occurs in the scenario “VDE III Fast Downward with linear current decay 36 ms”.

13.1.6.2 Inertial loads during plasma disruption

FRSs due to plasma disruption at the interface points with the diagnostic rack have been provided by the port integrator [8] and are shown in Figure 11 to Figure 12.

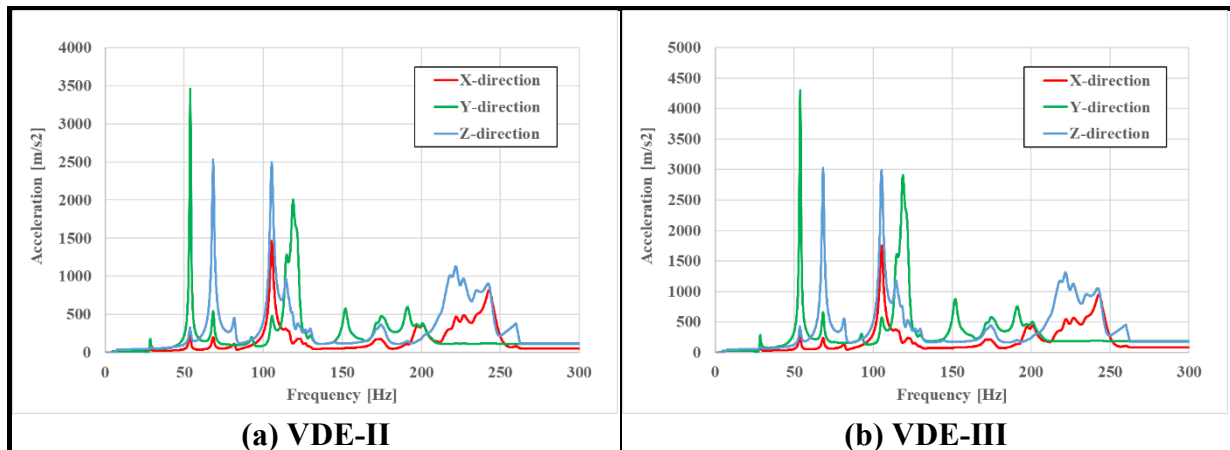


Figure 11 – FRS (4% damping) at attached point with the front mirror unit(Side-low optics mirror unit and Central optics relay mirror unit 1) [8]

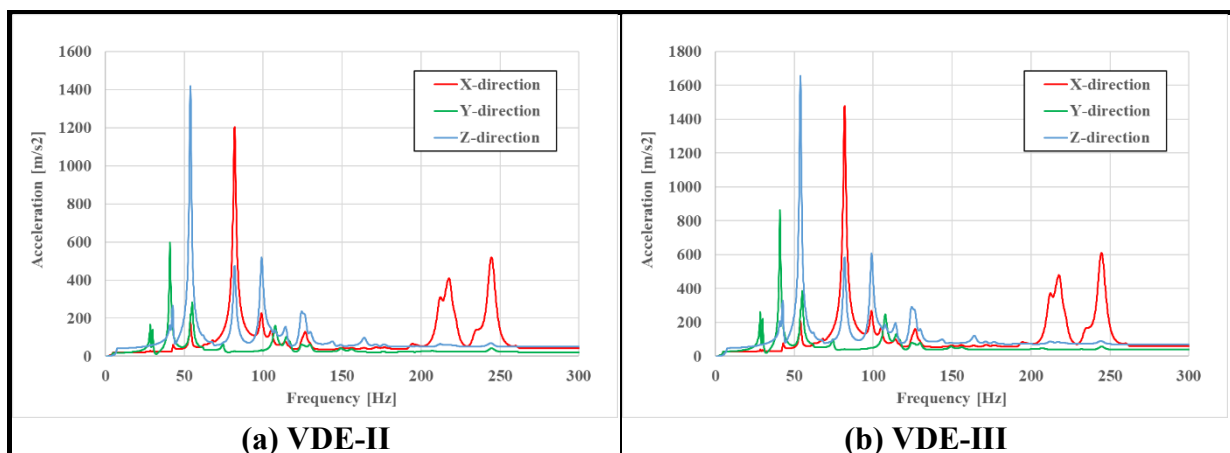


Figure 12 – FRS (4% damping) at attached point with the mirror unit on back rack [8]

13.1.7 Structural Loads due to Component Operation

Not applicable.

The system on the diagnostics racks doesn't contain active or moving components that generate structural load during operation.

13.2 Thermal and Nuclear Loads

Coolant water temperatures and pressures are shown in §13.1.4 and summarized in Table 10.

Plasma radiation heat on the diagnostic front rack and the back rack is negligible, because both are not plasma facing and generally the plasma heat load is quite small on them.

13.2.1 Nuclear Loads

A neutronics assessment has been made for the generic design of the diagnostic front rack and the back rack in [10]. Figure 15 shows the nuclear heating distribution of the DIM components installed in the diagnostic rack and the back rack. Maximum nuclear heat load is less than 0.1 w/cm^3 at the front end of the diagnostic front rack as shown in the figure below. For a conservative approach, the maximum load of each mirror unit is applied to the entire system of each mirror unit.

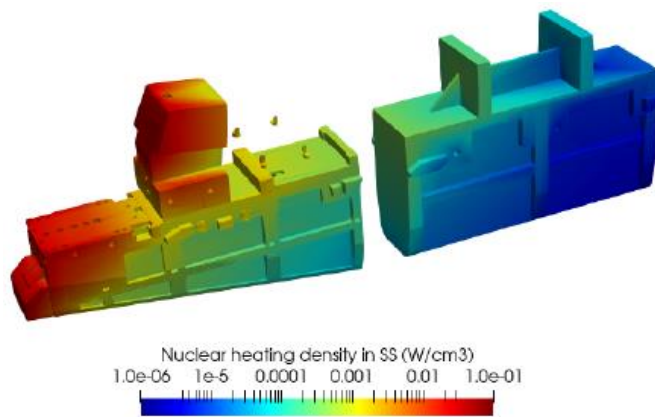


Figure 15 – Nuclear heating distribution on diagnostic rack and back rack [10]

13.3 Interfaces Loads

13.3.1 Interface Loads at Interfacing Points of Diagnostic Rack

Some interface loads (temperature and displacement) will act on the diagnostic rack and services and need to be taken into account. At the time of the writing of this document these loads are not available yet. Preliminary assessment is under study and will be available during the Preliminary Design phase.

13.4 Not Significant Load Cases

13.4.1 Magnet fast discharge

In general, the electromagnetic load acting on the IVCs due to Magnet fast discharge (MFD) is considered very small because the IVCs are not electrically connected in the toroidal and poloidal direction. Besides, the load due to MFD is not really superimposed on the disruption load because the current decay of MFD is much longer than the plasma disruption. As for the DIM in-vessel components, therefore, the loads due to MFD can be neglected.

13.4.2 Loads due to incident and accident

The following incidents and accidents related to cooling water and vacuum may happen in the vacuum vessel:

1. Ingress of coolant event (ICE)
2. Loss of coolant accident (LOCA)
3. Loss of forced flow accident (LOFA)
4. Loss of vacuum accident (LOVA)

The maximum pressure possible in the vacuum vessel is 0.2 MPa ([2]) in the cooling water accidents, which is negligible for the components that are designed to bear PLO, PLB, and inertial loads during disruption.

Water hammer waves can form in the cooling lines as a result of category II LOCA isolation events or category III pump seizure events. The order of magnitude of the category II LOCA isolation loads is a pressure gradient of 12000 Pa/m ([13]) applied on the wetted area of each cooling line/channel segment. In the case of pump seizure loads of Category III, the loads are estimated conservatively assumed to correspond to a pressure gradient of 14000 Pa/m ([13]).

13.4.3 Helium ingress in the gallery

Not relevant to in-vessel components.

13.4.4 Fire loads

Since it is specified that no fire event will occur inside the bio-shield according to Ref [2], fire loads are not applicable to the DIM in-vessel components.

13.4.5 Maintenance

There is no information about the maintenance load; it must be typically smaller than other acceleration load such as EM load and seismic load. It can be neglected.

14 Load Combinations

14.1 Categorization of Load Combinations

Table 11 is based on the template provided in Table 4-2 of [2], and provides the damage limits that apply to each part in the scope of this load specification.

Table 11 – Damage limits applicable to the scope of the load specification.

Component	Safety Class	Cat. I	Cat. II	Cat. III	Cat. IV	Test
Water cooled components	Non-SIC	Normal	Normal	Normal	NA ¹⁾	Test
Conventionally cooled components	Non-SIC	Normal	Normal	Normal	NA ¹⁾	N/A

Notes: 1) Category IV events are not applicable to Non SIC/PIC - Non SR.

Table 12 shows the correlation between damage limits and the service levels defined by the codes prescribed in §0.

Table 12 – Correlation between damage limits and Service Levels

Damage Limit	RCC-MRx Service Level
Normal	A
Emergency	C
Test	C

14.2 List of Load Combinations

Based on load cases and load combinations defined in the ITER load specification document [2], applicable load combinations for the 55.E4 DIM components are summarized in Table 13 and Table 14. Ignored loads will be explained in § 13.4.

Table 13 – List of events and load cases

Load Case	Category	Operating Conditions	EM event	Seismic events	Number of Events ⁶⁾
1	I	DW, CP, THO			30,000
2	I	DW, CP, THB			500
3	I	DW, CP, THO	MD-II / VDE II ^{2,3)}		3,300
4	II	DW, CP, THO	MD-II / VDE II ^{2,3)}	SL-1	5 ^{4,5)} (50 cycles)
5	II	DW, CP, THB		SL-1	5 ^{4,5)} (50 cycles)
6	III	DW, CP, THO	MD-III / VDE III		-
Enveloped by Load Case 4	III	DW, CP, THO	MD-II / VDE II	SL-1	-
Enveloped by Load Case 5 ⁷⁾	III	DW, CP, THB		SMHV	-

		TEST			-
--	--	------	--	--	---

DW: Dead Weight

CP: Coolant Pressure

THO: Temperature values and thermal loads (Nuclear Heating) during operation

THB: Temperature values and thermal loads during baking

TEST: Test Load

Notes:

- 1) When the loads combinations are to be considered in the static cases, it is necessary to take into account the inertial effects. Dynamic Amplification Factors have to be taken into account.
- 2) Category II scenarios are used in order to reduce the total number of executions of EM analyses.
- 3) The more severe load case between MD and VDE will be applied. As described in Sec. 13.1.6.1, VDE is the severest EM load for the DIM components installed in the Diagnostic Rack. There for VDE is applied for the load combination.
- 4) As SL-1 event has a return period of more than 100 years, it is expected to occur only once in the machine life. But as required by the investment protection, it shall be assumed to occur at maximum number of N=5 times.
- 5) Unless a detailed dynamic analysis is performed and the number of cycles per event is directly calculated, it is recommended to assume for each seismic event N=10 equivalent maximum stress cycles whenever a fatigue or a cycle load analysis is required.
For disruption and VDEs, unless dynamic analyses performed showed that the stress - strain excursions during successive oscillations associated to the electromagnetic event may be reduced, N=5 cycles per VDE event can be conservatively assumed.
- 6) For the cycled loads, the load is cycled between the operating condition with and without the stated initiating + concatenated event.
- 7) Because the classification of the E4 components on the diagnostic rack is “non-SIC” and “NSC”, only SL-I is required.

Table 14 – List of transient events and load cases for fatigue assessment

Load Case	Limiting Load Condition 1	Limiting Load Condition 2	Number of Events	Comments
T1	DW	DW, THO	30,000	
T2	DW	DW, THB	500	
T3	DW, THO	DW, THO, MD/VDE II	3,300	
T4	DW, THO	DW, THO, SL-1, MD/VDE II	5 (50 cycles)	
T5	DW, THB	DW, THB, SL-1	5 (50 cycles)	

55.E4.L0 - System Load Specification (SLS) on ISS/PCSS

ITER Project Japan Domestic Agency

Abstract

This document describes all relevant loads acting on components of the ITER Divertor Impurity Monitor (PBS.55.E4 DIM) on the diagnostic rack of lower port #2. It is used as a design input for the preliminary design.

	Affiliation	Name	Date
Author	JADA Analyst	TERASAWA Atsumi	17 Mar. 2026
Co-Author	JADA TRO	TANAKA Suguru	17 Mar. 2026
Reviewer	JADA	IMAZAWA Ryota	xx Mar. 2026
Approver	JADA PRGL	IMAZAWA Ryota	xx Mar. 2026

Change Log

JADA Revision	IDM Version	Issue date	Description of Change	Author
R0	xxxxxx v1.0	xx Feb. 2026	First version	A. Terasawa S. Tanaka

Table of Contents

1	PURPOSE	5
2	SCOPE	5
3	SCOPE OF REVIEWERS	6
4	REFERENCES.....	6
5	SYSTEM CLASSIFICATIONS	6
6	CODES AND STANDARDS & STRUCTURAL DESIGN CRITERIA	8
6.1	CODES AND STANDARDS ‘	8
6.2	STRUCTURAL DESIGN CRITERIA	8
7	DEFINITIONS	10
7.1	UNITS.....	10
7.2	COORDINATE SYSTEMS	10
7.3	ABBREVIATIONS	11
8	TYPES OF LOADS	12
9	MAIN LOADS.....	12
10	PATH OF THE MAIN LOADS.....	13
11	SYSTEM DESCRIPTION	13
11.1	DESIGN STATUS AND GEOMETRY	13
11.2	SYSTEM DESIGN DESCRIPTION.....	14
11.2.1	<i>System, Components, Parts.....</i>	<i>14</i>
11.2.2	<i>Fabrication and Assembly</i>	<i>17</i>
11.2.3	<i>Functions.....</i>	<i>17</i>
11.2.4	<i>Interfaces.....</i>	<i>17</i>
12	STATES OF SYSTEM AND COMPONENTS.....	17
13	SINGLE LOAD CASES.....	18
13.1	MECHANICAL LOADS	18
13.1.1	<i>Dead Weight.....</i>	<i>18</i>
13.1.2	<i>Assembly and Pretension Loads</i>	<i>19</i>
13.1.3	<i>Coolant Pressure</i>	<i>19</i>
13.1.4	<i>Seismic Loads.....</i>	<i>19</i>

13.2 LOADS IN INCIDENT AND ACCIDENT EVENTS	21
13.2.1 <i>Fire loads</i>	21
13.2.2 <i>Ex-Vessel Loss of Coolant Accident (LOCA) in Port Cell</i>	22
13.3 THERMAL AND NUCLEAR LOADS	23
13.3.1 <i>Thermal environmental Loads</i>	23
13.3.2 <i>Nuclear Loads</i>	24
13.4 INTERFACES LOADS	25
13.4.1 <i>Interface Loads at Interfacing Points of ISS and PCSS components</i>	25
13.5 NOT SIGNIFICANT LOAD CASES	25
13.5.1 <i>EM Loads Due to EM Transients and static fields</i>	25
13.5.2 <i>Loads due to incident and accident</i>	26
13.5.3 <i>Loss of Power</i>	26
13.5.4 <i>Internal Flooding</i>	26
13.5.5 <i>Helium ingress in the gallery</i>	26
13.5.6 <i>External Loads Acting on the Nuclear Buildings</i>	26
13.5.7 <i>ECH stray radiation</i>	27
13.5.8 <i>Maintenance</i>	27
13.5.9 <i>Internal explosion</i>	27
14 LOAD COMBINATIONS.....	28
14.1 CATEGORIZATION OF LOAD COMBINATIONS.....	28
14.2 LIST OF LOAD COMBINATIONS.....	29
14.3 FATIGUE CYCLES	30

1 Purpose

The purpose of this load specification is to define and prescribe the loads used for the Integrity Justification of the 55.E4 Divertor Impurity Monitor (DIM) [1] components on the 55.E4 DIM components installed on the ISS, PCSS, and in the port cell of Lower Port #2 (hereinafter referred to as the “DIM LP02 ISS, PCSS and port cell components”). Specifically, this document provides the following:

- A report of the SSCs classification (Safety, Quality and Seismic).
- The description of all states of the SSCs during their life (e.g. assembly, start-up, operation, maintenance, shut-down, et cetera).
- A report of the applicable codes and standards (e.g. ASME sect. III, B31.3, RCC-MR etc.) that will be used for the assessment of the design.
- The correlation between load categories and damage limits and the correlation between the damage limits and the structural design criteria (e.g. ASME Service Levels) in the applicable codes.
- The description of all events expected in each state (including normal, incident and accident conditions if needed).
- The specification of all load values to be considered to verify the structural integrity of the system and their categorization.
- The list of all load combinations to be considered to verify the structural integrity of the system and their categorization.
- The number of occurrences of each event during the life of the system and the number of load cycles.

2 Scope

The scope of this document is the DIM LP02 ISS, PCSS and port cell components.

- The components installed on the ISS and PCSS are 55.E4 diagnostic equipment which consist of optical systems and shielding materials
- The components installed in Port cell are Fibre box (storage or connectors), trays, and conduits with fibres.
- The components other than those on the DIM LP02 ISS, PCSS and port cell components are not in the scope of this load specification.

Note:

- Shielding assembly on the ISS and PCSS are classified as a non-PIC, but Safety Relevant (SR).
- Components related to fibre bundle in the port cell are also classified as a non-PIC, but Safety Relevant (SR). because those components cross multiple barriers separating different fire and radiological sectors
- All other components under the scope of this SLS are non-PIC and also non-SR.

3 Scope of Reviewers

Table 1 – Scope of the reviewers

Reviewer	Scope
De Bock Maarten	55.E4 TRO
Ye Ce	QA RO
Giacomin Thibaud	55.L2 TRO, Port Integrator
Roccella Riccardo	Electromagnetic loads
Ruiz Pedro	IEA representative, SLS expertise
Zhang Xiaotan	Seismic loads
Loarte Alberto	SID expertise
Jourdan Thierry	PE/NPE representative
Ducarre Olivier	DI RO
Tian Kuo	SI RO
Reich Jens	MAP representative

4 References

- [1] 55.E4 - System Design Description (DDD) ([RYRFCU v1.0](#))
- [2] Load Specifications (LS) ([222QGL v6.3](#))
- [3] Global Tokamak Seismic Analysis Report ([33W3P4 v2.1](#))
- [4] ITER Coordinate Systems ([2A9PXZ v3.7](#))
- [5] 55.E4.L0 - SLS Basic Information Record – ISS/PCSS/Port Cell components in LP2 ([FN285B v1.0](#))
- [6] [MinutesActions#Fibre_Safety_class_Fluor-doping_meeting#2018.01.11 \(VYQZLC\)](#).
- [7] ICD-55.L2-55 Interface Control Document for Lower Port #2 Integration and all PBS-55 Tenant Diagnostics ([V3EJRR v1.0](#))
- [8] IS-55.L2-55.E4-001 Interface between 55.E4 Divertor Impurity Monitor and 55.L2 Lower Port #2 integration ([VQF9P2 v1.2](#))
- [9] Design Seismic Floor Response Spectra in the Tokamak Complex ([SVBRJZ v1.1](#))
- [10] Significant EM Load Cases for the ITER Blanket with DINA-2010 scenarios ([33J5R4 v1.0](#))
- [11] Accident Analysis Report (AAR) Volume I - Event Identification and Selection ([2DPVGT v1.4](#))
- [12] Accident Analysis Report (AAR) Volume II - Reference Event Analysis ([2DJFX3 v4.10](#))
- [13] Accident Analysis Report (AAR) Volume III - Hypothetical Event Analysis ([2E2XAM v4.9](#))
- [14] Guideline for Port Cells fire risk management ([WM7PYF v2.2](#))
- [15] Safety assessment of fire risks in port cells and interspace ([TLCXT8 v2.0](#))
- [16] Safety Requirement Roombook ([KF63PB v2.16](#))
- [17] Appendix 1 to FF92TR – Nuclear Safety Defined Requirements (QDs) – Tokamak Complex PBS 62.11,12,14,19,74 inc. PBS 65 ([QE7VTS v4.9](#))
- [18] 55.L2/L8/LE Lower Port Nuclear analyses for PDR ([5JSMRD v1.0](#))
- [19] Port Plugs Environmental Tests Procedure on the PPTF ([33AB4B v1.7](#))

5 System Classifications

The system classification of the components in the scope of this load specification is defined in BIR [5] and is summarized in Table 2.

Table 2 – System components classification

<u>Diag Component</u>	<u>Safety Class</u>	<u>Seismic Class</u>	<u>ESP/ESP N Class</u>	<u>Quality Class</u>	<u>Vacuum Class</u>
Components on ISS					
Optical relay and compensation system assemblies	Non-PIC	NSC	N/A	QC-3	VQC-N/A
Electrical cables internal to ISS	Non-PIC	NSC	N/A	QC-3	VQC-N/A
Shielding assembly	SR ^I	SC2 ^I	N/A	QC-1 ^I	VQC-N/A
Components on PCSS					
Collection optics assembly	Non-PIC	NSC	N/A	QC-3	VQC-N/A
Spectrometers assembly	Non-PIC	NSC	N/A	QC-3	VQC-N/A
Electronics cubicle	Non-PIC	NSC	N/A	QC-3	VQC-N/A
Electrical cables and optical fibre internal to PCSS	Non-PIC	NSC	N/A	QC-3	VQC-N/A
Shielding assembly (incl. fibre connectors and Local Air Cooler)	SR ^I	SC2 ^I	N/A	QC-1 ^I	VQC-N/A
Component on Port Cell ceiling					
Fibre bundle support structure and conduits	SR ^I	SC2 ^I	N/A	QC-1 ^I	VQC-N/A
Fibre connector/storage box (attached to fibre bundle support structure)	SR ^I	SC2 ^I	N/A	QC-1 ^I	VQC-N/A
Fibre bundle (main bundle)	SR ^{II}	NSC ^{III}	N/A	QC-1 ^{II}	VQC-N/A

^I Classification driven by requirement of non-aggression to nearby PIC components.

^{II} Classification driven by confinement function as per agreement [6].

^{III} Because the fibre bundle supports are classified as SC-2, the fibre bundles itself can be classified as NSC.

6 Codes and Standards & Structural Design Criteria

6.1 Codes and Standards ‘

RCC-MRx 2012 is used for designing the component installed on the ISS and PCSS. The justification for using this code is that the components in scope are not plasma facing, and generally the nuclear load is small on them (see §13.2), so there no need to consider a code taking into account irradiated material conditions.

RCC-MRx 2012 is, however, most suitable for rigid, steel components and less suitable for flexible tubing, such as the cooling pipes used for the spectrometers assembly and the fibre bundle. For this the ISO standards ISO 10380 “Pipework – Corrugated metal hoses and metal hose assemblies” and ISO 10807 “Pipework – Corrugated flexible metallic hose assemblies for protection of electrical cables in explosive atmospheres or atmospheres where there is risk of fire” are more applicable.

Based on the above-mentioned considerations the Codes and Standards approach used for the different components under the scope of this SLS is given in Table 3 below.

For the spectrometers assembly, the cooling water pressure shall be considered according to the applicable provisions of RCC-MRx 2012.

Table 3 Component installed in the ISS/PCSS and Port Cell

Component installed on the ISS and PCSS	RCC-MRx 2012
Component on Port Cell ceiling	ISO 10380 (general) ISO 10807 (fire)
Cooling pipes for spectrometers assembly	ISO 10380

6.2 Structural Design Criteria

BIR [5] specifies the damage limits applicable to the components on the ISS and PCSS, and the damage limits are given by Table 4.

Table 4 – Damage Limits for Loading Condition Categories (adapted from [5])

<u>Diag Component</u>	<u>Cat I: Operational /Design Loading</u>	<u>Cat II: Likely Loading</u>	<u>Cat III: Unlikely Loading</u>	<u>Cat IV: Extremely Unlikely Loading</u>
Components on ISS				
Optical relay and compensation system assemblies	Normal	Normal	Faulted ^{III}	N/A
Electrical cables internal to ISS	Normal	Normal	Faulted ^{III}	N/A
Shielding assembly	Normal	Normal	Emergency	Faulted ^I
Components on ISS				
Collection optics assembly	Normal	Normal	Faulted ^{III}	N/A
Spectrometers assembly	Normal	Normal	Faulted ^{III}	N/A
Electronics cubicle	Normal	Normal	Faulted ^{III}	N/A
Electrical cables and optical fibre internal to PCSS	Normal	Normal	Faulted ^{III}	N/A
Shielding assembly (incl. fibre connectors and Local Air Cooler)	Normal	Normal	Emergency	Faulted ^I
Component on Port Cell ceiling				
Fibre bundle support structure and conduits (IO scope)	Normal	Normal	Emergency	Faulted ^I
Fibre connector/storage box (attached to fibre bundle support structure)	Normal	Normal	Emergency	Faulted ^I
Fibre bundle (main bundle)	Normal	Normal	Emergency	Faulted ^{II}

^I No damage to neighbouring PIC

^{II} At least on leak seal intact

^{III} Not impacting “Emergency” damage limit of surrounding Shielding assembly

Table 5 gives the structural criteria formulated in terms of service level assigned to the damage limits, in accordance with the RCC-MRx.

Table 5 – Applicable structural criteria for the system components

Damage Limits	RCC-MRx Service Level
Normal	A
Normal	A
Emergency	C
Faulted	D

7 Definitions

7.1 Units

All loads are provided using the International System (SI) base and derived units. The only exception to this rule is that degrees Celsius may be used instead of Kelvin. The complete list of units used in this document is provided in Table 6.

Table 6 – List of Units used in this Load Specification

Quantity	Unit name	Unit symbol	In SI base units
Length	Meter	m	
Mass	Kilogram	kg	
Time	Second	s	
Temperature	Kelvin	K	
	Celsius	°C	
Acceleration			m/s^2
Angular acceleration			rad/s^2
Angular velocity			rad/s
Density			kg/m^3
Energy, Work	Joule	J	$\text{N}\cdot\text{m}$
Entropy			$\text{N}\cdot\text{m/K}$
Force	Newton	N	$\text{kg}\cdot\text{m/s}^2$
Frequency	Hertz	Hz	$1/\text{s}$
Moment			$\text{N}\cdot\text{m}$
Second moment of area			m^4
Power	Watt	W	$\text{N}\cdot\text{m/s}$
Pressure	Pascal	Pa	N/m^2
Stress	Pascal	Pa	N/m^2
Young's Modulus	Pascal	Pa	N/m^2
Thermal flux density			W/m^2
Velocity			m/s

7.2 Coordinate systems

Unless stated otherwise all loads are specified in the ITER Tokamak Global Coordinate System (TGCS) [4]. The main direction and the nomenclature used in this load specification are shown in Figure 1.

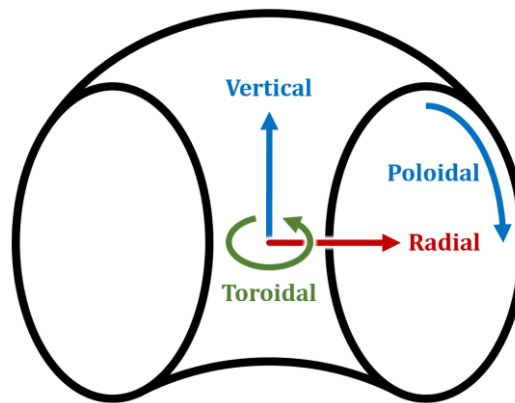


Figure 1 – Definitions of tokamak directions and global cylindrical coordinate system

Regarding the Floor Response Spectra (FRS), these are applied in the local cartesian coordinate (X, Y, Z) which are defined by referring to TGCS. In this local coordinate, the Y=0 plane corresponds with the vertical cross section of the center of LP02. The direction of Z coordinate is the same as the vertical direction in TGCS. The direction of X coordinate corresponds with the radial direction of ITER. The direction of Y-coordinate is perpendicular to X, Z coordinates, and corresponds with the toroidal direction of ITER.

7.3 Abbreviations

All abbreviations used in the document are listed in **Table 7**.

For a complete list of standard abbreviations, see ITER Abbreviations ([2MU6W5 v1.19](#)).

Table 7 – Abbreviations.

DIM	Divertor Impurity Monitor
DW	Dead Weight
EM	Electromagnetic
EoB	End of Burn
EoP	End of Pause
FRS	Floor Response Spectrum
ICE	Ingress of Coolant Event
IS	Inter Space
ISS	Inter Space Structure
IVC	In-Vessel Components
LOCA	Loss of Coolant Accident
LOFA	Loss of Forced Flow Accident
LP	Lower Port
MD	Major Disruption
MFD	Magnet Fast Discharge
PC	Port Cell
PCSS	Port Cell Support Structure
PDR	Preliminary Design Review
PIC	Protection Important Component
SL-1	Seismic Level 1
SL-2	Seismic Level 2
SMHV	Séismes Maximaux Historiquement Vraisemblables
SSC	System, Structure and Component(s)
VDE	Vertical Displacement Event
VV	Vacuum vessel

8 Types of Loads

The following type of loads are covered in this Load Specification:

- **Inertial Loads due to Dead Weight (DW):** The dead weight of the ex-vessel components must be considered.
- **Inertial Loads due to Seismic Events:** Seismic load excitation corresponds to the specific selected site (Cadarache) for the ITER construction. The ground acceleration can be both in the horizontal and in the vertical direction and typically has a spectra content which leads to some level of support reaction load amplification.
- **Plasma Disruption Electromagnetic Loads (MD and VDE):** Outside the vacuum vessel the actions derived from the electromagnetic (EM) transients should not lead to significant structural loads. For the DIM components on the ISS the EM fields could, however, impact the functioning of electronic components.
- **Incident and Accident Loads:** Correspond to accidental events during or outside the operation of the machine. The most critical accident is a fire event. Other incident/accident events that could impact ex-vessel components are pipe breaks and leakages near the ex-vessel components (ex-vessel loss of coolant accident or LOCA) leading to potential pipe whipping loads and potential internal flooding.
- **Thermal Loads:** Thermal loads on the ex-vessel components in the scope of this SLS come from the environmental conditions, where the highest environmental temperatures are reached in the interspace during baking of the vacuum vessel. Thermal loads lead to (differential) expansion and associated thermal stresses.
- **Nuclear Loads:** Nuclear loads could lead to heating, damage and component activation of the 55.E4 parts and supporting structures in the interspace and port cell. However, specifically the heat load is not considered significant for the ex-vessel components.
- **Interface loads:** They correspond to loads transmitted through the surrounding structures like vibrations and the relative displacements between anchorage points of the different components.
- **Assembly or installation loads:** due to pretension and live loads.

9 Main Loads

The main loads prescribed in this load specification are listed in Table 8:

Table 8 – Main loads acting on the system/components

Load case	Chapter	Characteristic loads
Dead Weight	§13.1.1	Gravity acting on components masses (DW)
Assembly and Pretension Loads	§13.1.2	Internal coolant channel water pressure during test (Not applicable for DIM)
Coolant Pressure	§13.1.3	Inlet pressure load and temperature of coolant water during operation (applicable only to the spectrometers assembly)
Seismic Loads	§13.1.4	Seismic accelerations of SL-1, SMHV, SL-2 events
Load in Incident and Accident Events	§13.2	Fire loads, LOCA
Thermal and Nuclear Loads	§13.3	Thermal environment load, nuclear heating,
Interface Loads	§13.4	Loads induced due to displacement between supporting structures

10 Path of the Main Loads

The path of the main loads is shown in Figure 2.

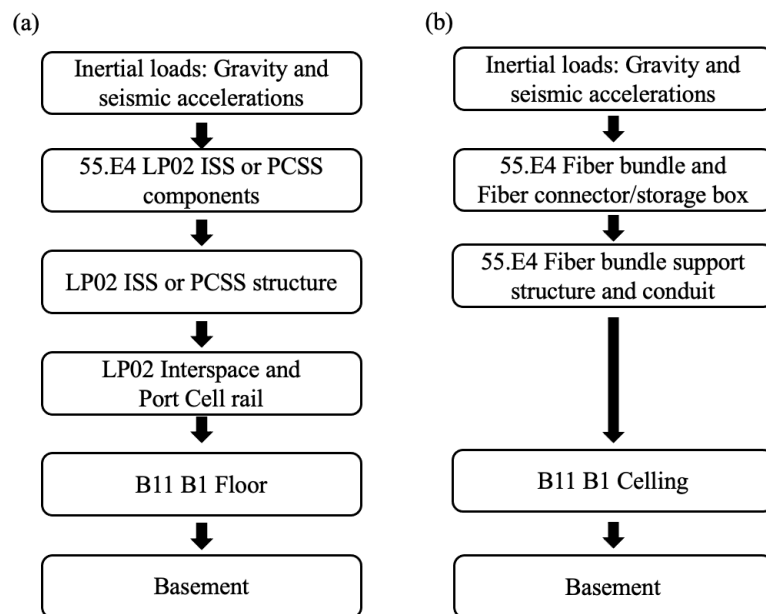


Figure 2 – Path of the main loads (a) ISS/PCSS components, (b) Port Cell component

11 System Description

11.1 Design Status and Geometry

The design phase of the SSCs in the scope of this load specification is FDR.

Figure 3 shows the Enovia tree of the Detailed Model (DM) of the DIM LP02 ISS, PCSS and port cell components and their space reservation in the scope of this document.

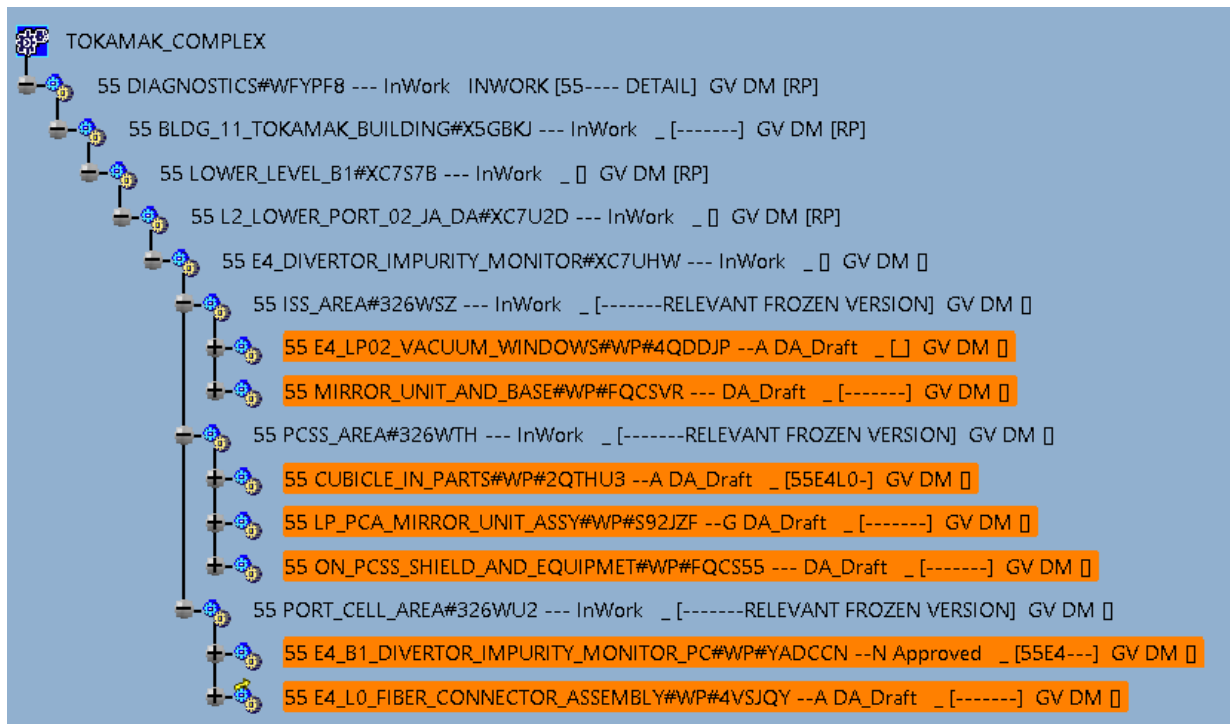


Figure 3 – Snapshot of the 55.E4 Model Enovia Tree

11.2 System Design Description

11.2.1 System, Components, Parts

Figure 4 shows the PBS 55.E4 components installed on the ISS and PCSS of LP02.

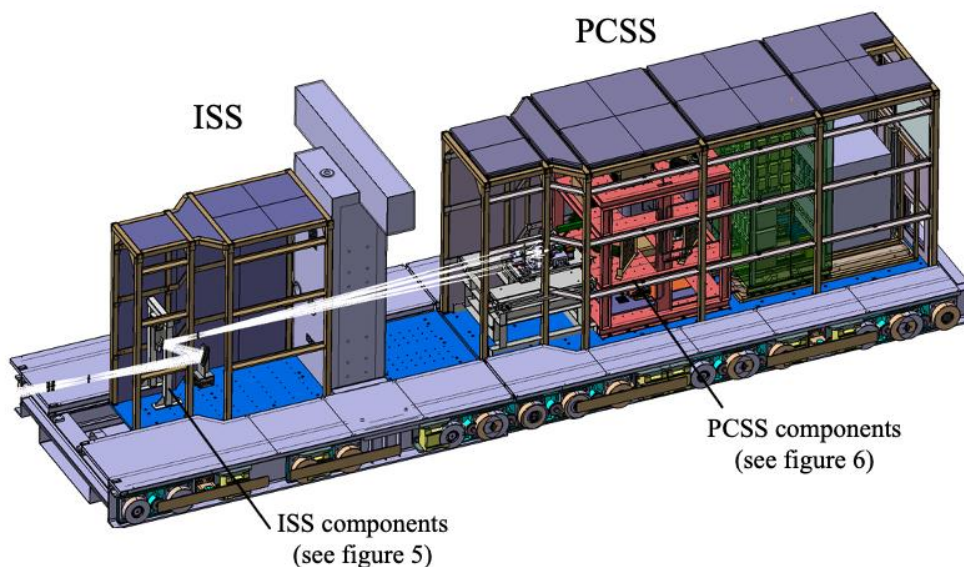


Figure 4 – 55.E4 Mirror Units on the Diagnostic Rack

Figure 5 shows ISS components. They consist of the optical relay and compensation system assemblies, the shielding assembly and the electrical cables and optical fibre. The electrical cables and optical fibre are not shown in Figure 5.

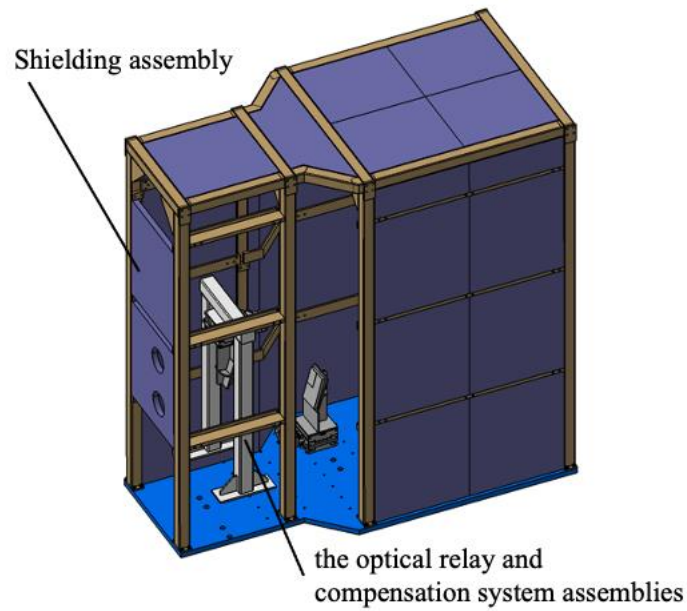


Figure 5 – ISS components

Figure 6 shows PCSS components. They consist of the collection optics assembly, the spectrometers assembly, the electronics cubicle, the shielding assembly and the electrical cables and optical fibre. The electrical cables and optical fibre are not shown in Figure 6.

The spectrometers assembly is water cooled during operation.

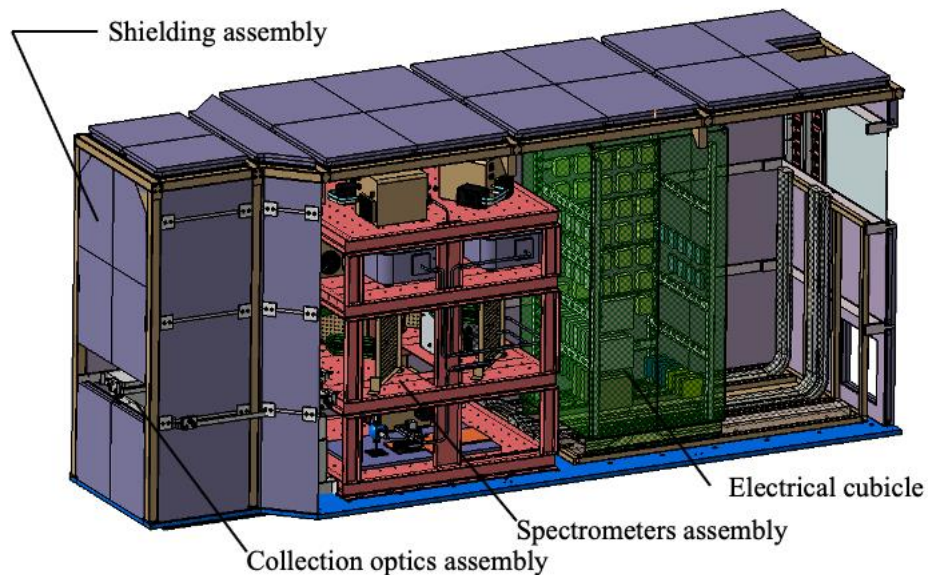


Figure 6 – PCSS components

Figure 7 shows components on the Port cell ceiling. They consist of Fiber bundle support structure and conduits, Fiber bundle and Fiber connector/storage box.

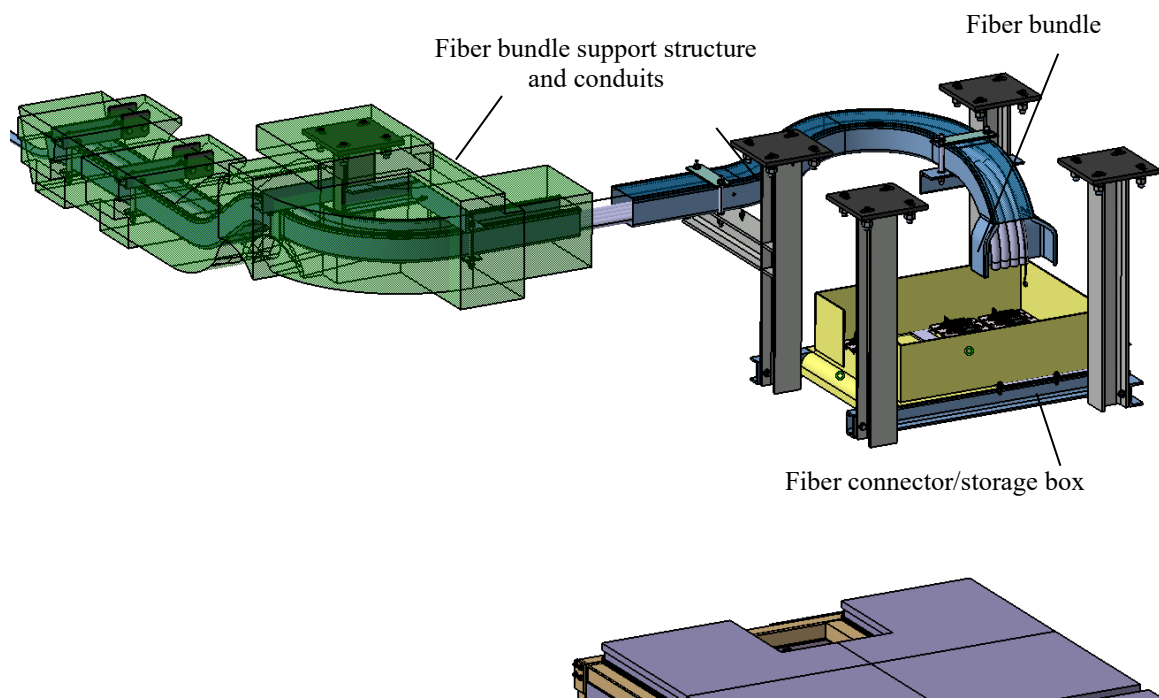


Figure 7 – Components on Port cell ceiling

11.2.2 Fabrication and Assembly

Only standard manufacturing and assembly techniques (milling, bending, welding, bolting ...) are needed for the 55.E4 ex-vessel components. The critical activities are related to optical alignment.

11.2.3 Functions

- (1) To collect and transmit visible & ultraviolet light waves from the divertor plasma region.
- (2) To distribute and detect visible & ultraviolet light waves
- (3) To provide diagnostic alignment
- (4) To provide diagnostic calibration

11.2.4 Interfaces

Interfaces Control Documents (ICD) and Interface Sheets (IS) which are related to the 55.E4 components on the diagnostic rack are listed in Table 9 below.

Table 9 – Interfaces of the 55.E4 components on the diagnostic rack

System	PBS	ICD	IS
Diagnostics	55	ICD-55.L2-55 Interface Control Document for Lower Port #2 Integration and all PBS-55 Tenant Diagnostics [7]	IS-55.L2-55.E4-001 Interface between 55.E4 Divertor Impurity Monitor and 55.L2 Lower Port #2 integration [8]

12 States of System and Components

With regards to the main loads referred in previous Sections, the applicable states/sub-states of the system for the loads allocation as well as for the identification of the limiting load cases defining the transient events to be considered in the assessment against Ratcheting and Fatigue damage, the following states and sub-states of the system are considered:

- Operation
 - a) Cool-down
 - b) Warm-up
 - c) Standby between plasma pulses
 - d) Normal plasma operation
 - e) Plasma instabilities
 - f) Baking
 - g) Shut-down for maintenance and upgrade
 - h) Incident and accident

13 Single Load Cases

13.1 Mechanical Loads

13.1.1 Dead Weight

The mass of the latest design of each mirror Unit is listed in Table 10, where Gxyz are the coordinates of the centre of gravity, relative to the coordinate system TGCS, defined in §7.2.

Table 10 – Inertial properties of the system parts

Part	Mass (kg)	Gx (m)	Gy (m)	Gz (m)
Components on ISS	1990	12981.2 mm	7496.7 mm	-4877.1 mm
Components on PCSS	16361	17569.2 mm	10142.1 mm	-4621.4 mm
Components on Port cell ceiling	261	20115.5 mm	11347 mm	-2406.2 mm

Part	Mass (kg)	Gx (m)	Gy (m)	Gz (m)
Components on ISS				
Optical relay and compensation system assemblies	231.3	12314.1 mm	7124.1 mm	-5267.8 mm
Electrical cables internal to ISS	13.5	13455.9 mm	7826.5 mm	-5063.8 mm
Shielding assembly	1745.2	13066 mm	7543.5 mm	-4823.8 mm
Components on PCSS				
Collection optics assembly	492	16825.2 mm	9733.7 mm	-5122.4 mm
Spectrometers assembly	1022.6	16275.7 mm	9190.4 mm	-4953.1 mm
Electronics cubicle	268.3	18326.4 mm	10466.4 mm	-4714.3 mm
Electrical cables and optical fibre internal to PCSS	623.5	18471.1 mm	10861.4 mm	-5182.1 mm
Shielding assembly (incl. fibre connectors and Local Air Cooler)	13954.6	17561.6 mm	10146.2 mm	-4547.1 mm
Component on Port cell ceiling				
Fibre bundle support structure and conduits (IO scope)	209.8	20107.6 mm	11397.4 mm	-2355.5 mm
Fibre connector/storage box (attached to fibre bundle support structure)	37.3	20040.4 mm	10706.4 mm	-2710.8 mm
Fibre bundle (main bundle)	14	20433.1 mm	12294.1 mm	-2353.3 mm

13.1.2 Assembly and Pretension Loads

Bolt pretension needs to be taken into account. However, the pretension force value is under study and final value will be available during the Final Design phase.

Some specific assembly and maintenance loads will act on the Diagnostic Rack and services and need to be taken into account. At the time of the writing this document these loads are not available yet.

13.1.3 Coolant Pressure

The structures under the scope of this SLS are passively cooled and heated through the conduction or radiation from the surrounding environment.

However, the spectrometers assembly installed on the PCSS requires active water cooling in order to maintain the operating temperature within allowable limits.

Therefore, coolant pressure (TBD) loads shall be considered only for the spectrometer.

13.1.4 Seismic Loads

Though it is planned that the FRSs due to the seismic event at the interface points on the ISS and PCSS will be provided by IO, they have not yet been provided.

On the other hand, the FRSs for the seismic event (SL-2) have already been provided by [9]. Therefore, based on the following assumptions, SL-2 is applied to assess the effects by the seismic event.

- The FRSs of SL-2 are extracted at the relevant points of IS and PC on the Lower Port 2 in the tokamak complex (B14) as shown in Figure 9.
- Those FRSs are not provided at the interface points with the DIM components because ISS and PCSS were not taken into account.
- Considering the above, the conversion factors specified in [3] to convert SL-2 to SL-1 are not applied in order to avoid underestimation.

The relevant points for ISS and PCSS are shown in Figure 9. The FRSs at those points are shown in Figure 10 and Figure 11, respectively.

Ten equivalent maximum stress cycles shall be considered for each seismic event whenever a fatigue or a cyclic load analysis is required.

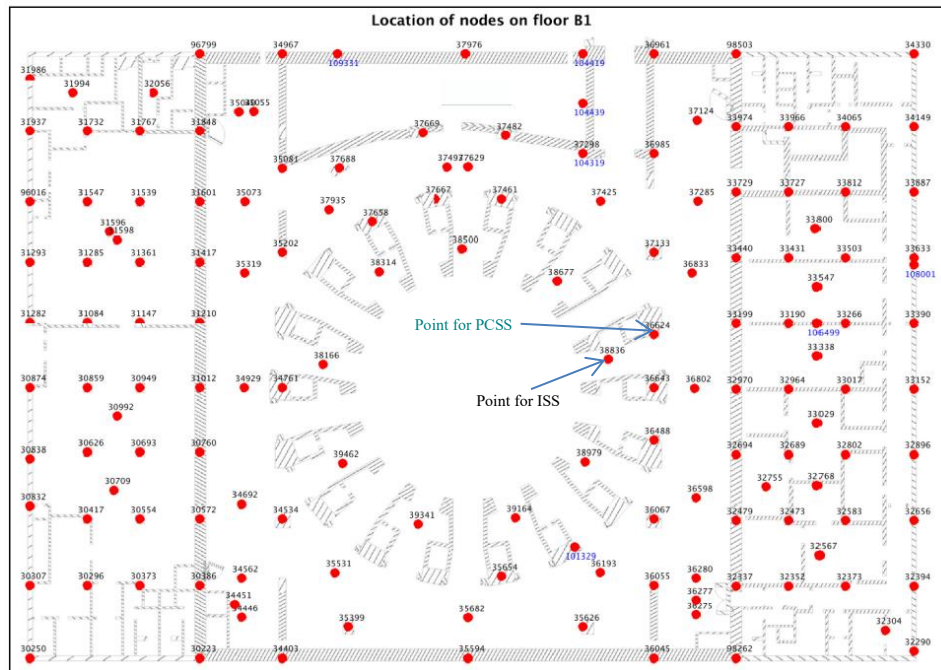


Figure 9 – Relevant Points for ISS and PCSS[9]

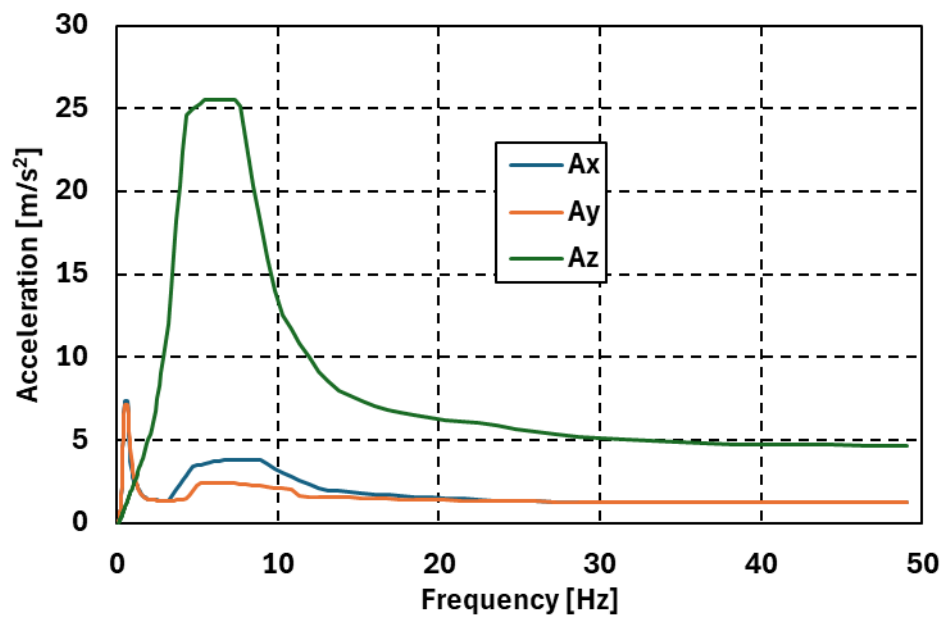


Figure 10 – FRS (SL-2, 4% damping) at the relevant point for ISS [9]

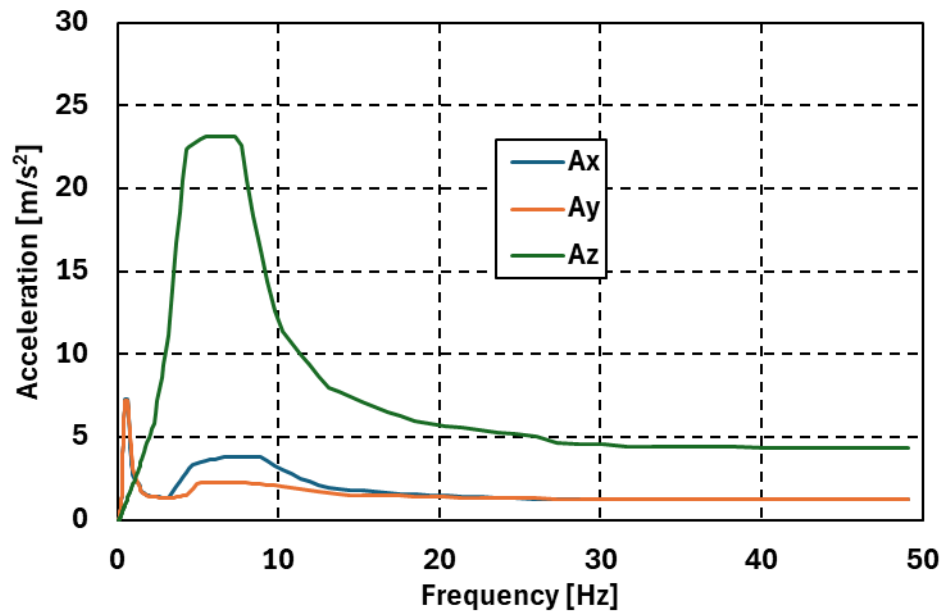


Figure 11 – FRS (SL-2, 4% damping) at the relevant point for PCSS [9]

13.2 Loads in Incident and Accident Events

An overview and reference analyses for incidents and accidents are provided in the Accident Analysis Report [11][12][13]. In the subsections below the relevant incidents and accident loads for the DIM LP02 ISS, PCSS and port cell components are discussed in more detail.

13.2.1 Fire loads

As defined in [2], internal fire is considered a Category IV event. As such:

- It applies to the fibre bundle as it is a non-PIC (SR) component that needs to maintain its confinement function during and after the event.
- It applies to all other DIM LP02 ISS, PCSS and port cell components only to ensure non-aggression to neighbouring PIC components.

Fire loads should be specified as maximum possible temperatures in components due to the increase of temperature in rooms.

The load temperatures, in case of fire, in the port cells, are given in Figure 12 ([14]). The DIM components located in the interspace and before the bioshield (optical relay and compensation system assemblies, electrical cables internal to ISS and Shielding assembly) will be exposed at 300 °C for 2 hours. Components in the port cell, but not on the ceiling (collection optics assembly, spectrometers assembly, electronics cubicle, electrical cables and optical fibre and shielding assembly), will be exposed to 805 °C for 2 hours. Finally, components near the ceiling of the port cell (fibre bundle support structure, fibre connector/storage box and Fibre bundle) will be exposed to 875 °C for 2 hours.

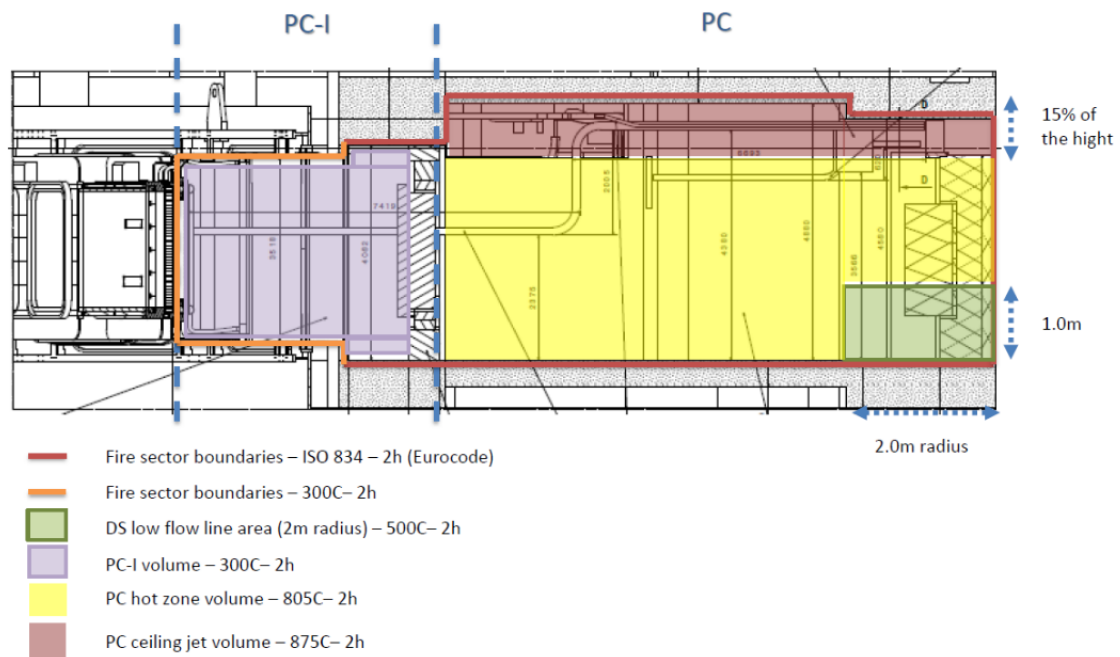


Figure 12 Fire load conditions [14]

For the non-PIC (SR) fibre bundle, however, a more conservative fire load should be considered, because in fibre bundle is likely to be outside the validity domain of the calculations presented in [15]: As the fibre bundle is routed near the ceiling, it could be above or in the flame or in the hot zone a few cm from the ceiling. It is also routed not only in the port cell but equally in the gallery and diagnostic building.

Therefore, the (conservative) fire load to consider for the fibre bundle is based on the Safety requirement Roombook [16], which states for the locations in which the fibre bundle is located (B11-B1-C02)

Table 11 Fire event loads for locations of fibre bundle as defined in the Safety requirement [16]

Port Cell B11-B1-C02	
ΔP (Pa)	5000
T (°C)	Eurocode 2h

Hereby, the Eurocode 2h corresponds to a 2-hour exposure to 1000°C.

13.2.2 Ex-Vessel Loss of Coolant Accident (LOCA) in Port Cell

Ex-vessel LOCA has an effect on the DIM LP02 ISS, PCSS and port cell components and are listed in Table 12 below. The values for the temperature and pressure load conditions for these events are taken from the Safety requirement Roombook [16]. They depend on the location where the LOCA takes places. As a result, the LOCA in the port cell itself (X8) has the largest loads in the port cell, whereas the load in the gallery is less. The load of a large DV ex-vessel coolant

pipe break has the lowest effect, despite being a category IV event, because it cannot take place in neither port cell nor gallery and has only a secondary effect there. The DIM components in the diagnostic building are not affected by ex-vessel LOCA events.

Table 12 Ex-vessel LOCA events applicable to DIM LP02 ISS, PCSS and port cell components

Category Components affected	LOCA III – X8 Loss of coolant in Port Cell
	III Fibre bundle (part in port cell) ISS/PCSS components
ΔP (Pa)	60000
T (°C)	145

The (dominant) LOCA III – X8 event is described in detail in section 3.3.5 of the Accident Analysis Report – Volume II [12]

Note that the LOCA III – X8 could be accompanied by an impact load on the ISS/PCSS components of DIM.

A local loss of coolant from the spectrometers assembly cooling system may occur, however it does not introduce governing mechanical loads.

13.3 Thermal and Nuclear Loads

Thermal loads consist of the calculated temperature distributions from thermal analysis. The presence of thermal gradients will lead to thermal stresses that have to be considered in the structural integrity evaluations.

The origin of the thermal loads used to calculate the temperature distributions in the region of interest is diverse.

13.3.1 Thermal environmental Loads

The standard thermal load conditions in the rooms where the DIM LP02 ISS, PCSS and port cell components are located are defined in [17] and summarized in below Table 13. They apply to both maintenance, operation (THO) and baking (THB) conditions.

Table 13 Environmental thermal conditions in the rooms where the DIM LP02 ISS, PCSS and Port Cell components are located

	Port Cell (excluding interspace)
T min. (°C)	5

The atmosphere of the interspace is shared with the Port Cell which itself is cooled by local air coolers to keep its temperature below the above mentioned 35°C.

The temperature in the interspace, however, depends on a number of factors such as:

- The condition of the tokamak: maintenance, operation or baking
- The thermal isolation of the port closure flange

A detailed analysis of the interspace thermal load is beyond the scope of this SLS and will be provided through upgrades of this SLS when available.

13.3.2 Nuclear Loads

A neutronics assessment for the DIM LP02 ISS, PCSS and port cell components has not yet been performed. On the other hand, that for the generic design of the diagnostic front rack and the back rack (in the LP02 port plug) has been made as shown in [18]. Figure 15 shows the nuclear heating distribution of the DIM components installed in the diagnostic rack and the back rack. As shown in Figure 13, The nuclear heating rate in the rear part of the back rack is 1.0×10^{-5} W/cm³ or less. The DIM components installed in the ISS and PCSS, which are within the scope of this SLS, are located farther from the plasma than the back rack. Therefore, the nuclear heat generation rate in these components will be lower than this value. For this reason, the nuclear heat generation in the DIM components installed in the ISS and PCSS can be regarded as negligible.

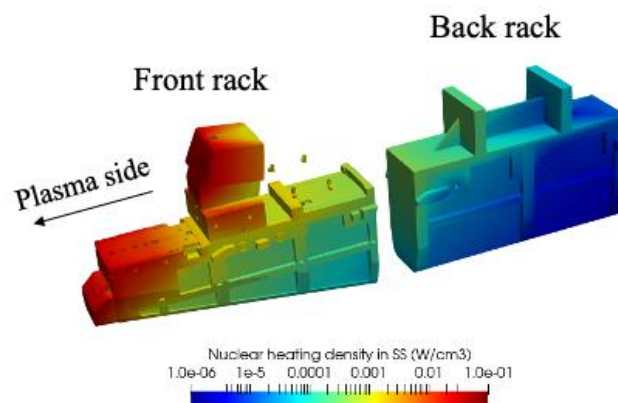


Figure 13 – Nuclear heating distribution on diagnostic rack and back rack [18]

13.4 Interfaces Loads

13.4.1 Interface Loads at Interfacing Points of ISS and PCSS components

The ex-vessel DM components under the scope of this SLS are anchored to either the ISS or PCSS (in 11-L1-C08), to the cable tray system (in 11-L1-02W) through several supports. In these cases, apart from the maximum inertial loads seen by the component, additional stresses may be induced by the relative displacements between supports.

Relative displacements between the attachment point for each component have been taking into account for thermal loads considering steel for ISS. For Seismic events, these interface loads are expected to be low due to the small distance between the nodes location in ISS used to extract the FRS results and the attachment points of the components. Therefore, the interface loads for the components within the scope of the SLS are negligible.

13.5 Not Significant Load Cases

This section includes events that may act on the ex-vessel DIM components, but those effects are not significant for the structural integrity assessment.

Events that don't generate mechanical loads on the ex-vessel components are considered out of scope and are not included in this section.

13.5.1 EM Loads Due to EM Transients and static fields

Electromagnetic loads will occur in ITER due to transient events such as Major Disruptions (MD) and Vertical Displacement Events (VDE). Disruptions in ITER are simulated with the DINA code and the results of the DINA simulations for ITER are stored in IDM [2].

The specification of loads caused by EM events on ex-vessel components may be divided into several parts:

- Volumetric loads from eddy currents (induced to conserve the magnetic fluxes crossing conductive parts in structures). Outside the Vacuum Vessel (VV) halo currents (intercepted by the plasma facing components of the first wall during the EM event and forming composite loops through the VV and the plasma edge) do not apply.
- Dynamic amplification effects due to the evolution of the EM event.
- Inertial loads associated to ISS/PCSS movements, who are also subject to EM loads themselves and transfer those loads (similar to seismic loads) to the DIM components.
- Interface loads due to the fact that the ISS/PCSS are deformable bodies which could lead to relative displacements between the anchorage points of DIM components.
- Eddy loops might occur in the components however the magnetic field in the interspace is relatively low, therefore these currents are expected to be low and also the components may be grounded to the ISS.

The EM loads due to EM transient only apply to the DIM components in the interspace and (to much lower extend) the port cell. The main fibre bundle and the components in the diagnostic building are too far from the tokamak to have any impact from EM transients. Nevertheless, EM Loads due to EM Transients (VDE, MD, MFD) are considered not significant for the DIM LP02 ISS, PCSS and port cell components, given the small magnetic fields and magnetic field transients are the location of the DIM LP02 ISS, PCSS and port cell components.

Note that apart from structural loads, the EM fields – both static and transient – could also affect the operation of electric/electronic components in the interspace and port cell. The compatibility of the components and subsystems to the external magnetic environment must be taken into account.

13.5.2 Loads due to incident and accident

The following incidents and accidents related to cooling water and vacuum may happen in the vacuum vessel:

1. Ingress of coolant event (ICE)
2. Loss of coolant accident (LOCA) in Gallery and Diagnostic Building
3. Loss of forced flow accident (LOFA)
4. Loss of vacuum accident (LOVA)

The maximum pressure possible in the vacuum vessel is 0.2 MPa ([1]) in the cooling water accidents, which is negligible for the components that are designed to bear PLO, PLB, and inertial loads during disruption.

13.5.3 Loss of Power

Not applicable in principle for the major part of the components. To be analysed if this event could damage any electronic equipment. Therefore, out of the scope of the SLS.

13.5.4 Internal Flooding

Following [2] internal flooding (Category IV) does not affect the design of component in the tokamak complex.

13.5.5 Helium ingress in the gallery

Not relevant to ISS/PCSS components.

13.5.6 External Loads Acting on the Nuclear Buildings

All load events listed in Table 14 are reacted by the building in such a way that no loads are seen in these events by the internal components.

Table 14 External loads on nuclear buildings

Load Event	Description
External fire	The external building walls are designed to withstand the specified external fire event
External flooding Water table	The foundation of the tokamak building is designed to withstand the specified water table and the specified type of external flooding.
External explosion	The external building walls are designed to withstand an overpressure of 50 mbar
Airplane crash	The external building walls are designed to withstand the general aviation.
Accidental temperature	Although an airplane crash event can cause an internal fire event, any propagation of fire is avoided through the collection of the fuel

13.5.7 ECH stray radiation

It has been reported that the amount of radiation that reaches the vacuum window is low and not expected to extend outside the vacuum vessel. Therefore, the ECH stray radiation is not significant for the ex-vessel DIM components.

13.5.8 Maintenance

There is no information about the maintenance load; it must be typically smaller than other acceleration load such as seismic load. It can be neglected.

13.5.9 Internal explosion

The category IV internal explosion events are only defined in the vacuum vessel (section 1.2.5 of the Accident Analysis Report – Volume III [13]) and in the tritium plant (section 1.2.11 of the Accident Analysis Report – Volume III [13]), and are hence out of the scope of this SLS for the ex-vessel DIM components.

14 Load Combinations

14.1 Categorization of Load Combinations

Table 15 is based on the template provided in Table 4-2 of [2], and provides the damage limits that apply to each part in the scope of this load specification.

Table 15 – Damage limits applicable to the scope of the load specification.

<u>Diag Component</u>	<u>Cat I: Operational /Design Loading</u>	<u>Cat II: Likely Loading</u>	<u>Cat III: Unlikely Loading</u>	<u>Cat IV: Extremely Unlikely Loading</u>
Components on ISS				
Optical relay and compensation system assemblies	Normal	Normal	Faulted ^{III}	N/A
Electrical cables internal to ISS	Normal	Normal	Faulted ^{III}	N/A
Shielding assembly	Normal	Normal	Emergency	Faulted ^I
Components on ISS				
Collection optics assembly	Normal	Normal	Faulted ^{III}	N/A
Spectrometers assembly	Normal	Normal	Faulted ^{III}	N/A
Electronics cubicle	Normal	Normal	Faulted ^{III}	N/A
Electrical cables and optical fibre internal to PCSS	Normal	Normal	Faulted ^{III}	N/A
Shielding assembly (incl. fibre connectors and Local Air Cooler)	Normal	Normal	Emergency	Faulted ^I
Component on Port Cell ceiling				
Fibre bundle support structure and conduits (IO scope)	Normal	Normal	Emergency	Faulted ^I
Fibre connector/storage box (attached to fibre bundle support structure)	Normal	Normal	Emergency	Faulted ^I
Fibre bundle (main bundle)	Normal	Normal	Emergency	Faulted ^{II}

Notes: 1) Category IV events are not applicable to Non SIC/PIC - Non SR.

Table 16 shows the correlation between damage limits and the service levels defined by the codes prescribed in §6.2.

Table 16 – Correlation between damage limits and Service Levels

Damage Limits	RCC-MRx Service Level
Normal	A
Normal	A
Emergency	C
Faulted	D

14.2 List of Load Combinations

Based on load cases and load combinations defined in the ITER load specification document [2], applicable load combinations for the [DIM LP02 ISS](#), [PCSS](#) and [port cell components](#) are summarized in Table 17. Ignored loads will be explained in § 13.5.

Table 17 – List of events and load cases

Load Case	Category	Operating Conditions	EM event	Seismic events	Number of Events
I-1	I	DW, CP ⁶⁾ , THO			30,000
I-2	I	DW, CP ⁶⁾ , THB			500
II-1	II	DW, CP ⁶⁾ , THB		SL-1	5 ^{1,2)} (50 cycles)
III-1	III	DW, CP ⁶⁾ , THO	LOCA Port Cell III		-
III-2 ³⁾	III	DW, CP ⁶⁾ , THO	SMHV		
IV-1 ^{4, 5)}	IV	DW, CP ⁶⁾ , THO	SL-2	Internal Fire	-

DW: Dead Weight

CP: Coolant Pressure

THO: Temperature values and thermal loads (Nuclear Heating) during operation

THB: Temperature values and thermal loads during baking

Notes:

- 1) As SL-1 event has a return period of more than 100 years, it is expected to occur only once in the machine lifetime. However, as required by the investment protection, it shall be assumed to occur at maximum number of N=5 times.
- 2) Unless a detailed dynamic analysis is performed and the number of cycles per event is directly calculated, it is recommended to assume for each seismic event N=10 equivalent maximum stress cycles whenever a fatigue or a cycle load analysis is required.
For disruption and VDEs, unless dynamic analyses performed showed that the stress – strain excursions during successive oscillations associated to the electromagnetic event may be reduced, N=5 cycles per VDE event can be conservatively assumed.
- 3) Applies to ISS components
- 4) Envelops “SL-2 only” and “SMHV plus fire”.
- 5) Not concomitant, applies only to the Fibre bundle (safety relevant component)
- 6) Coolant Pressure (CP) loads apply only to the spectrometers assembly.

14.3 Fatigue Cycles

For the assessment of ratcheting and fatigue damages, the following transients defined by their limiting load conditions as well as the number of occurrences in Service Level A will be considered (Table 18). Non-signification load cases for the ex-vessel DIM components have again been excluded.

Table 18 – List of transient events and load cases for fatigue assessment

Load Case	Limiting Load Condition 1	Limiting Load Condition 2	Number of Events	Comments
T1	DW	DW, THO	30,000	
T2	DW	DW, THB	500	
T3 ²⁾	DW, THO	DW, THO, VDE II ¹⁾	3,300	
T4	DW, THO	DW, THO, SL-1	5 (50 cycles)	
T5	DW, THB	DW, THB, SL-1	5 (50 cycles)	

1): The loads due to VDE-II are negligible at the locations of IS and PCSS components for fatigue assessment.

2): T3 is effectively represented by T1, as after removing VDE-II no additional load variation is introduced (DW, THO → DW, THO).