

ITER マイクロフィッションチェンバーの
信頼性分析及びリスク評価更新作業

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

ITER プロジェクト部 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 作業範囲	1
1.4 作業実施場所	1
1.5 納期	1
1.6 検査条件	1
1.7 提出図書	1
1.8 支給品及び貸与品	2
1.9 品質保証	2
1.10 技術情報等	3
1.11 グリーン購入法の推進	3
1.12 特記事項	3
1.13 協議	3
2. 技術仕様	4
2.1 MFC の概要	4
2.2 RAMI 解析の概要	5
2.3 作業内容	6

1. 一般仕様

1.1 件名

ITER マイクロフィッションチェンバーの信頼性分析及びリスク評価更新作業

1.2 目的及び概要

ITER 調達活動における日本の調達担当機器の一つにマイクロフィッションチェンバー計測システム（以下「MFC」という。）がある。MFC は、ITER の中性子発生量を計測し、核融合出力を評価する重要な計測システムである。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。）と ITER 機構（以下「IO」という。）との間で平成 24 年に締結した調達取決めにに基づき、MFC の最終設計を進めている。

本件では、主に検出器や真空導入端子等真空容器内機器の最新の設計状況を反映させて、信頼性・可用性・保守性・検査性解析（以下「RAMI 解析」という。）を新たに実施し、技術的なリスク評価も行い、MFC システムの信頼性評価の更新を行うことを目的とする。

1.3 作業範囲

受注者は、「2. 技術仕様」に示す範囲の作業を実施するものとする。

1.4 作業実施場所

受注者の事業所 又は QST 那珂フュージョン科学研究所 ITER 研究開発棟等

1.5 納期

令和 8 年 2 月 20 日

1.6 検査条件

1.7 項に示す提出場所に同項に定める提出図書を納入後、仕様内容を満たしていることを QST が確認したときをもって検査完了とする。

1.7 提出図書

受注者は、表 1.1 に定める各種書類を提出すること。なお、電子ファイルの形式は、Microsoft Office 及び PDF とし、提出は受注者又は QST が管理するオンラインストレージサーバを使用して行うものとする。ただし、再委託承諾願は、紙での提出とする。

表 1.1 提出図書

	提出図書名	提出期限	部数	確認
1	打合せ議事録	打合せ後速やかに	1 部	不要
2	RAMI 解析更新図書（2.3 項参照） - 55.B3 - RAMI Functional Analysis Report（機能分析レポート） - 55.B3 - RAMI FMECA Report（FMECA 分析レポート） - 55.B3 - RAMI RBD Analysis	納期の 1 週間前まで	1 部	不要

	Report (RBD 分析レポート) - 55.B3 - RAMI Analysis Report (RAMI 最終報告書)			
3	作業報告書	納期まで	1 部	不要
4	再委託承諾願(QST 指定様式) ※下請負等がある場合に提出のこと。	作業開始 2 週間前まで	1 部	要

(提出場所)

QST 那珂フュージョン科学技術研究所 ITER研究開発棟 計測開発グループ

(確認方法)

「確認」は次の方法で行う。

QST は、確認のために提出された文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、当該期限までに審査を完了し、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、書面にて回答する。

1.8 支給品及び貸与品

(1) 支給品

なし

(2) 貸与品

次の貸与品を第 1 回目の打合せ時に打合せ場所にて無償貸与する。(各 1 式)

- [1] Project Requirements (PR) (ITER 文書番号 27ZRW8)
- [2] ITER RAMI ANALYSIS PROGRAM (ITER 文書番号 28WBXD)
- [3] MFC の設計文書(55.B3 Microfission Chambers System Design Description)
(ITER 文書番号 3T46BH)
- [4] 55.B3 - I&C System Requirement Specification (ITER 文書番号 UR8GZ3)
- [5] 55.B3 - I&C System Design Specification (ITER 文書番号 4MCQK8)
- [6] MFC の構成機器の故障率に関するデータ
- [7] 55.B3 - RAMI Functional Analysis Report (ITER 文書番号 WGNV2E)
- [8] 55.B3 - RAMI FMECA Report (ITER 文書番号 WGP7GS)
- [9] 55.B3 - RAMI RBD Analysis Report (ITER 文書番号 WGP8YA)
- [10] 55.B3 - RAMI Analysis Report (ITER 文書番号 8XPQPB)
- [11] RAMI 解析を実施するための PC

1.9 品質保証

受注者は、本契約の履行に当たり次に定める品質保証活動に係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。この手順には、受注者の品質保証プログラムを適用しても良い。なお、受注者は、QST から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。

受注者の管理すべき品質保証要求事項（本契約の履行に係る項目のみ適用）

- (1) 業務実施計画
- (2) 契約内容の確認（変更管理を含む。）

- (3) 設計管理（設計レビュー、設計変更管理を含む。）
- (4) 不適合の管理
- (5) 作業従事者の力量
- (6) 文書及び記録管理

1.10 技術情報等

(1) 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。

(2) 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。

1.11 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文書のうち印刷物については、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とする。

1.12 特記事項

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。

1.13 協議

- (1) 受注者は、本業務を円滑に進めるため **QST** と適宜打合せを行い、作業を進めるものとする。
- (2) 本仕様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。
- (3) **IO** 発行図書の利用に際しては、**QST** を経由して **ITER** 文書管理システム (**IDM**) のアカウントを取得し、常に **IDM** 上の最新版を適用すること。なお、**IDM** を利用する際は、**IO** 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 **IO** 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業務を進めること。

2. 技術仕様

受注者は、MFC の最新の設計状況をインプットとして、新たに RAMI 解析を実施し、MFC システムの信頼性評価の更新作業を行うこと。

2.1 MFC の概要

ITER のトカマク真空容器の水平断面の概念図を図 2.1 に示す。ITER の真空容器は 18 個のポートに分かれており、それぞれポート番号 1 から 18 までの番号付けがされている。MFC は図 2.1 に示すとおり、ポート番号 3 及び 11 の 2 か所に設置される。

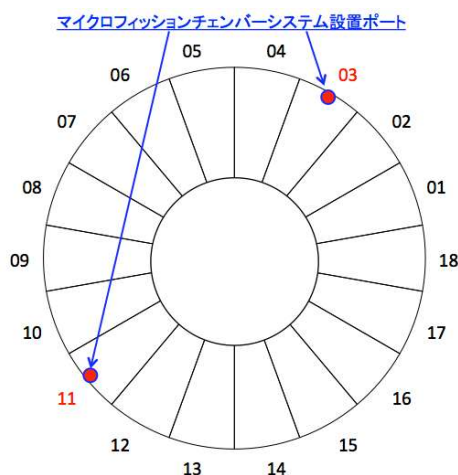


図 2.1 ITER トカマクの水平断面の概念図及び MFC の設置ポート（番号はポート番号を表している）

次に各設置ポートに設置される MFC システムの全体図を図 2.2 に示す。ITER で使用する MFC 検出器は核分裂物質（ウラン酸化物、 $^{235}\text{UO}_2$ ）が封入された小型の計数管であり、外側上部及び外側下部の 2 か所に設置される。信号ケーブルとして 3 軸同軸無機絶縁ケーブル（MI ケーブル）を使用し、図 2.2 に示す様に、上部ポートで真空導入端子を通して真空容器外の信号ケーブルに伝送される。検出器からの信号はプリアンプ、信号処理モジュールを経て、データ収集装置に伝送され、データ処理される。

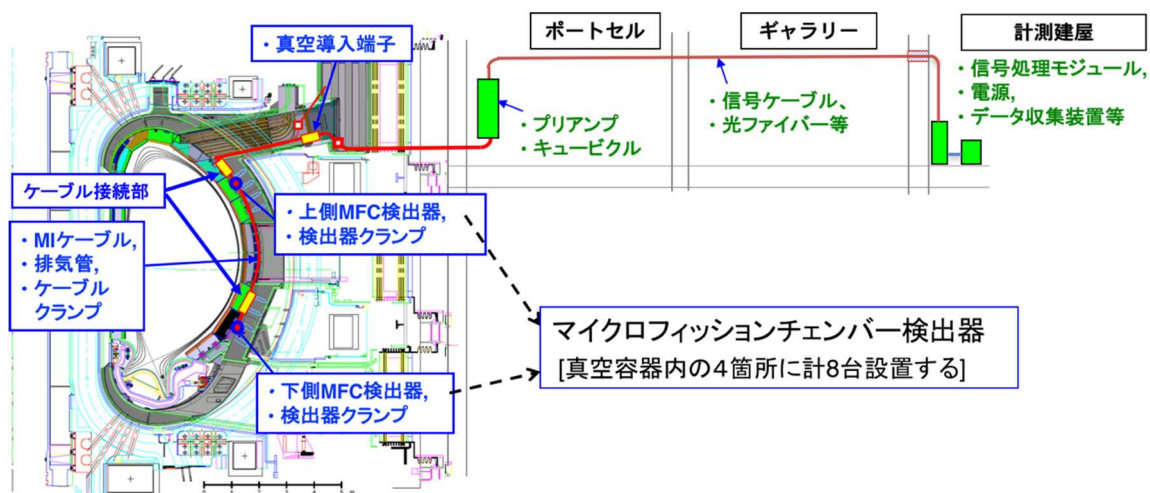


図 2.2 ITER 用 MFC の概要図

このように、MFC 検出器は、二つのポート（ポート番号 3 及び 11）のそれぞれ 2 か所（ITER トカマクポロイダル断面の外側上部及び外側下部）に設置されるため、合計 4 か所設置されることになる。それぞれの設置位置には MFC 検出器が 2 台設置され、ITER 全体では 8 台の検出器が設置される計画となっている。同様に、MI ケーブル、プリアンプ、信号ケーブル、電源等の真空容器外機器も個々の検出器に対応して設置する必要があるため、合計 8 台のシステムが必要となる。ただし、次項に示す通り、真空導入端子 1 台につき、2 本の MI ケーブルが設置されるので、真空導入端子の総数は 4 台となる。MFC に関する計測要求は次のとおりである。

- ① 全中性子発生率範囲 : $10^{17} \sim 10^{21}$ 個/秒
- ② 時間分解能 : 1 ms
- ③ 計測精度 : 統計誤差 < 10%
- ④ 測定モード : パルス計数モード及びキャンベルモード

計測したデータから全中性子発生量を求めるためには、データ処理を行う必要がある。低中性子束領域（計数率： $10^3 \sim 10^6$ 個/秒）ではパルス計数モード、高中性子束領域（計数率： $10^5 \sim 10^9$ 個/秒）ではキャンベルモードで計測データを処理する。

2.2 RAMI 解析の概要

RAMI 解析は、QST が 1.8 項(2)で貸与する[2] ITER RAMI ANALYSIS PROGRAM に従う必要がある。ITER RAMI ANALYSIS PROGRAM に基づいた主な作業は、以下のような手順となる。

(1) 解析に必要な入力情報の明確化作業

(a) 該当機器の最新設計文書レビュー

RAMI 解析の対象となる機器について、ITER の要求事項及び MFC の最新の設計文書（1.8 項(2)の貸与品 [3] に該当）をレビューし、対象機器のスコープについて理解し、分析すること。

(b) 現在までの解析結果レビュー

これまでの設計レビューにて行われた、RAMI 解析結果（レポート：英文）のレビューを行い、改善すべき点、ロジックの修正が必要な点などの洗い出しを行い、今後の作業に必要な課題リストを作成すること。

(c) 聞き取り調査

QST 担当者及び必要であれば IO 担当者、機器の供給元の設計者などに、電話またはテレビ会議システムでインタビューを行い、設計に関する要点をまとめ、設計要件メモを作成すること。

なお、RAMI 解析に必要な基本的情報（要求仕様、レイアウト図、部品リスト、故障率及び平均修理時間など）については QST 担当者が提供する。

(2) 機能分析（Functional Analysis）作業

事前分析結果、インタビュー結果に基づき、対象機器について機能を分解し、機能分析図（英文）、及び機能分析レポート（Functional Analysis Report(英文)）を改訂・作成すること。

(3) FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis) 作業

各最小機能単位について、故障モードを同定し、発生確率及びインパクト（リカバリに必要な時間）の推定を行い、FMECA チャート（英文）を Excel にて作成すること。

各故障モードをリスト化し、初期クリティカルチャート（英文）にまとめること。

メジャーなリスク要因に対しては、リスク低減措置を考案し、再度発生確率及びインパクトを推定し、期待クリティカルチャート（英文）を作成し、リスク低減措置リスト（英文）にまとめること。

リスク低減措置に対しては、以下のように各項目に分解し、それぞれ対応を行うこと。

- ・ 設計改善点に対して詳細を整理し、設計改善提案（英文）をまとめ、QST 担当者へとフィードバックする。
- ・ 試験項目に関する提案の詳細を試験項目案（英文）としてまとめ、設計者へとフィードバックする。
- ・ メンテナンスに関する項目の詳細を詰め、スペア戦略、定期点検案、レスキュープロセス、復帰プロセス、標準化提案などを含むメンテナンス計画リスト（英文）を作成する。

最終的に残ったメジャーなリスク要因を残存リスクリストとしてとりまとめ、QST 担当者等に周知し、回避策を再検討する。また、必要であれば再度の FMECA 分析を行うこと。

(4) RBD (Reliability Block Diagram) 分析作業

対象機器を RBD に落とし込み、各機器に故障確率と平均修理期間を割り当て、機器全体の稼働率を推定すること。

稼働率に最も影響を与える因子（機能）を特定し、稼働率改善案(英文)を提案する。

初期条件を複数仮定し、シナリオを作成し感度分析を行うこと。各シナリオについて稼働率を試算し、現実的な初期条件について設計へとフィードバックすること。

(5) RAMI 要求仕様定義作業

FMECA 及び RBD の結果を受け、対象機器に必要なリスク低減策を RAMI 要求仕様（英文）にまとめること。対象機器の故障率、平均修理時間、リスク低減策を整理し、詳細入力データシート（英文）、リスク低減策リスト（英文）を作成すること。各リスクは ITER RAMI ANALYSIS PROGRAM に則り、Required、Recommended、Optional の優先順位を付与し、必要に応じてリスク回避するための対処方針リストの作成を行うこと。

(6) 最終 RAMI 報告書の作成

上記に記載した作業について、IO に提出する最終レポート（英文）をまとめること。

2.3 作業内容

受注者は 2.2 項の概要に基づき、以下の作業を実施し、MFC の信頼性分析及びリスク評価更新作業を実施すること。

(1) MFC の信頼性解析に必要な入力情報の明確化作業

受注者は、2.2 項(1) (a)の作業に当たり、QST が 1.8 項(2)で貸与する以下の図書を確認し、ITER の要求事項及び MFC の最新の設計について理解し、信頼性分析及びリスク評

価作業のスコープについて分析すること。

- [1] Project Requirements (PR) (ITER 文書番号 27ZRW8)
- [3] MFC の設計文書 (55.B3 Microfission Chambers System Design Description) (ITER 文書番号 3T46BH)
- [4] 55.B3 - I&C System Requirement Specification (ITER 文書番号 UR8GZ3)
- [5] 55.B3 - I&C System Design Specification (ITER 文書番号 4MCQK8)
- [6] MFC の構成機器の故障率に関するデータ

続いて、受注者は、2.2 項(1) (b)の作業に当たり、1.8 項(2)で貸与する次の MFC の RAMI 解析結果のレビューを行い、改善すべき点、ロジックの修正が必要な点などの洗い出しを行うこと。

- [7] 55.B3 - RAMI Functional Analysis Report (機能分析レポート)
- [8] 55.B3 - RAMI FMECA Report (FMECA 分析レポート)
- [9] 55.B3 - RAMI RBD Analysis Report (RBD 分析レポート)
- [10] 55.B3 - RAMI Analysis Report (RAMI 最終報告書)

なお、受注者は、上記の作業を進めるに当たって、2.2 項(1) (c)に示す聞き取り調査を行い、MFC の信頼性分析及びリスク評価の更新作業に関する要点をまとめ、設計要件メモを作成すること。

(2) MFC 信頼性分析及びリスク評価図書の更新作業

受注者は、前項で実施した作業を踏まえ、2.2 項(2)から(6)に示した作業を実施して、MFC の最新の設計状況に基づいた信頼性分析及びリスク評価図書の更新作業を行い、1.8 項(2)で貸与する次の図書を更新し、QST に提出すること。

- [7] 55.B3 - RAMI Functional Analysis Report (機能分析レポート)
- [8] 55.B3 - RAMI FMECA Report (FMECA 分析レポート)
- [9] 55.B3 - RAMI RBD Analysis Report (RBD 分析レポート)
- [10] 55.B3 - RAMI Analysis Report (RAMI 最終報告書)

受注者は、本件の更新作業を実施する際は、QST が 1.8 項で貸与する「[2] ITER RAMI ANALYSIS PROGRAM」に従うこと。また、作業の実施に当たっては、同項で貸与する以下のソフトウェアを利用して良いものとする。

- [11] Microsoft 社製ソフトウェア Visio
- [12] ReliaSoft 社製ソフトウェア BlockSim

なお、参考として表 2.1 に RAMI 解析作業と提出図書との対応関係を示す。

表 2.1 RAMI 解析作業と提出図書との対応関係

	機能分析 レポート	FMECA 分析 レポート	RBD 分析 レポート	最終 RAMI 報告書
RAMI 用ブロック図案			X	X*
機能分解図案	X			
故障想定箇所案		X	X	
機能分析図	X			X*
機能分析レポート	X			X*
FMECA チャート		X		X*
初期クリティカルチャート		X		X
期待クリティカルチャート		X		X
リスク低減措置リスト		X		X
設計改善提案		X	X	X*
試験項目案		X		X*
メンテナンス計画リスト		X		X*
残存リスクリスト		X		X
稼働率			X	X*
稼働率改善案			X	X*
感度分析			X	X*
RAMI 要求仕様		X (FMECA より)	X (RBD よ り)	X
詳細入力データシート		X (FMECA table)	X (RBD table)	X*

※ 運転稼働率は機能分析、FMECA 分析及び RBD 分析を経て構築したシステムモデルを解析して算出するものであり、最終 RAMI 報告書は分析作業全体のサマリーという位置づけであることから、「*」の付いた項目は簡易版で良い。

(3) 作業報告書の作成

上記 2.3 項(1)及び(2)にて実施した業務の結果を作業報告書としてまとめ、QST へ提出すること。作業報告書には、更新した MFC 図書も含めること。報告書のフォーマットは、QST と協議し、決定するものとする。

以上