

ITER 遮蔽ブロック遠隔保守用フレキシブルボルト 締結ツールのプロトタイプに関する設計及び製作

Design and Manufacture of Flexible Bolt Torquing Tool Prototype for ITER
Shield Block Remote Handling

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 遠隔保守機器開発グループ

目次

1. 一般仕様	4
1.1 件名	4
1.2 目的及び概要	4
1.3 契約範囲	4
1.4 作業実施場所	4
1.5 納期及び納入物	4
1.6 納入場所及び納入条件	6
1.7 提出図書	6
1.8 検査条件	7
1.9 貸与品	7
1.10 品質保証	7
1.10.1 一般事項	7
1.10.2 本件に係る品質保証	7
1.10.3 品質保証に関する情報の提供等	7
1.10.4 品質監査について	8
1.10.5 品質計画書 (Quality Plan) について	8
1.10.6 提出図書について	9
1.11 適用法規等	10
1.12 打合せ	10
1.13 知的財産権・技術情報の取り扱い・成果の公開	11
1.14 情報セキュリティの確保	11
1.15 グリーン購入法の推進	11
1.16 協議	11
2. 機器設計条件	12
3. 技術仕様	13
3.1 略語	13
3.2 検討対象の BM 及びツールの保守プロセス	14
3.2.1 検討対象の BM 及び保守作業プロセス	14
3.2.2 FB の締結工程	16
3.3 保守作業時に使用されるツール	18
3.4 設計仕様	18
3.4.1 適用図書	18
3.4.2 FBT の設計仕様	19
3.4.3 プロトタイプ BM 保守ツール設計全般の要求事項	24
3.4.4 初期組立における関連機器及び制御機器	28

3.5	FBT プロトタイプ的设计・製作	37
3.5.1	FBT プロトタイプ及び試験架台的设计	37
3.5.2	FBT プロトタイプ及び試験架台の製作	41
3.6	FBT プロトタイプを用いた試験の実施	41
3.6.1	試験 : Phase-1	41
3.6.2	試験 : Phase-2	42
3.7	図書類の作成	43

別紙1 イーター調達取決めに係る品質保証に関する特約条項

別紙2 知的財産権特約条項

別紙3 イーター実施協定の調達に係る情報及び知的財産に関する特約条項

別紙4 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

別紙5 ITER 第一壁及び遮蔽ブロックの遠隔保守ツール設計製作仕様

別紙6 コンピュータプログラム作成等業務特約条項

1. 一般仕様

1.1 件名

ITER 遮蔽ブロック遠隔保守用フレキシブルボルト締結ツールのプロトタイプに関する設計及び製作

1.2 目的及び概要

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。）は、ITER 機構と締結した調達取決めにに基づき、ITER ブランケット遠隔保守システム（Blanket Remote Handling System、以下「BRHS」という。）の設計及び製作を進めている。

BRHS は、核融合反応により高放射線環境となる真空容器内において、遠隔操作によりブランケットモジュールの交換を行うものである。ブランケットモジュールは、第一壁と遮蔽ブロックで構成され、遮蔽ブロックは真空容器に、第一壁は遮蔽ブロック上に固定される。遮蔽ブロックを真空容器に固定する際には、遮蔽ブロック電気ストラップボルト及びフレキシブルボルトを締結し、第一壁を遮蔽ブロックに固定する際には、第一壁電気ストラップボルト及びセントラルボルトを締結する。

本件では、遮蔽ブロックを真空容器に固定する際の主要なボルトであるフレキシブルボルトを締結するためのフレキシブルボルト締結ツールのプロトタイプに関する設計及び製作を実施し、検証試験を行う。

1.3 契約範囲

本件では、以下の作業を実施する。

- (1) 遮蔽ブロック遠隔保守用フレキシブルボルト締結ツールプロトタイプの設計・製作
- (2) 遮蔽ブロック遠隔保守用フレキシブルボルト締結ツールプロトタイプの試験
- (3) 図書類の作成

1.4 作業実施場所

受注者事業所内

1.5 納期及び納入物

受注者は、下表 1 及び表 2 に示す納入物を指定の納期までに納入すること。

その際、紙媒体(各 1 部)の他、電子ファイル(正式版の PDF ファイルに加え、Microsoft Word, Excel, Power Point ファイルなど編集可能な元ファイル)は CD などの記録媒体に格納すること。

なお、使用言語は表内に示す言語欄に従うこととするが、日本語で作成する図書においても図表のキャプションは原則英語で表記すること。

(1) 令和8年3月23日：表1に示す納入物

表1 令和8年3月23日納期の納入物

納入物名	言語	確認
Design Description	英語	要
CAD Bill of Materials	英語	要
CAD models	英語	要
Assembly Drawings	英語	要
Component Drawings	英語	要
Structural Integrity Report	英語	要
Cabling Diagram (CBD)	英語	要
Detailed Wiring Diagram (WD)	英語	要
Single Line Diagram or One Line Diagram	英語	要
Design Compliance Matrix (DCM) or VCM	英語	要

(2) 令和9年3月19日：表2に示す納入物

表2 令和9年3月19日納期の納入物

納入物名	言語	確認
Factory Acceptance Test Plan (FATP)	英語	要
Site Acceptance Test Plan (SATP)	英語	要
Factory Acceptance Test Report (FATR)	英語	不要
Equipment Operation and Maintenance Manual	英語	要
Declaration of compliance	英語	要
Release Note	英語	要
フレキシブルボルト締結ツール (FBT) プロトタイプ1式 (3.5項)	-	-

1.6 納入場所及び納入条件

(1) 納入物：

- (a) 1.5 項に示す納入物のうち、フレキシブルボルト締結ツールプロトタイプ 1 式
- (b) 1.5 項に示す納入物のうち、(a) 以外のもの全て

(2) 納入場所：

- (a) 受注者工場
- (b) 1.7 項(1)参照

(3) 納入条件：

- (a) 持込渡し
- (b) 持込渡し

1.7 提出図書

受注者は、表 3 に示す図書を作成し提出すること。

提出方法は、紙媒体(各 1 部を郵送)の他、電子ファイル(PDF ファイルをメール送付)を提出すること。なお、使用言語は表の言語欄に従うこととする。

表 3 提出図書

図書名	提出時期	言語	確認
体制表及び工程表	契約締結後速やかに	日本語	要
品質計画書 (Quality Plan)	契約締結後速やかに	英語	要
打合せ議事録	打合せ後 2 週間以内	日本語	不要
月間報告書 (Monthly Report)	翌月 25 日以前の平日まで (当月分の活動についてまとめる)	英語	要
再委託承諾願 (QST 指定様式)	作業開始 2 週間前 ※下請負等がある場合に QST 提出のこと。	日本語	要

(1) 提出場所

QST 那珂フュージョン科学技術研究所 ITER プロジェクト部
遠隔保守機器開発グループ R134

- (2) 確認方法：QST は、確認のために提出された図書を受理したときは、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、確認したものとする。
- ただし、「再委託承諾願」は、QST の確認後、書面にて回答するものとする。

1.8 検査条件

1.5 項に示す納入物及び 1.7 項に示す提出図書がそれぞれ納入され、本仕様書に定める業務が実施されたこと及び 1.9 項(1) (1)に定める貸与品が返却されたことを QST が確認したときをもって検査合格とする。

1.9 貸与品

(1) 品名 (いずれも無償)

- (a) 1.10.5 項及び 3.4.1 項に示す適用図書：1 式
- (b) ブランケットモジュールの 3D CAD データ：1 式
- (c) 保守ツール設計に関わる図書 (JADA-23162-04DE3002)：1 式
- (d) ツールチェンジャーの情報 (可搬モーメント含む)：1 式

(2) 引渡場所及び方法

QST 那珂フュージョン科学技術研究所 ITER 研究開発棟 R134 室にて手渡し・メール送付・郵送 (着払い) のいずれかによる。

(3) 返却方法

1.5 項(2)に定める最終納期までに上記(2)に示した引渡場所にて手渡し・メール送付・受注者負担による郵送のいずれかによる。

1.10 品質保証

1.10.1 一般事項

(1) 受注者は、下記に示す項目を保証するよう適切な品質システムを遂行すること。

- (a) 契約要求事項に実施内容が合致していること。
- (b) 規格等に準拠していることを示す証拠が維持/保存されること。

(2) 受注者の遂行する上記の品質システムは下記を満たすこと。

- (a) 契約に基づき実施される設計等すべての行為を網羅するものであること。
- (b) 作業の開始に際して、QST に提出する Quality Plan に記載されていること。

(3) 受注者は、再委託先についても有効な品質システムを備えることを保証すること。 再委託先業者がこれを満たさなかった場合、受注者は再委託先の施設などにおいて品質を確立/維持するために必要な全ての活動の責任を負うものとする。

1.10.2 本件に係る品質保証

品質保証については、「イーター調達取決めに係る調達契約の品質保証に関する特約条項」(別紙 1)に定められたとおりとする。

なお、本契約の設計対象機器の品質等級は「クラス 2 (SR)」である。ただし、本契約において製作するプロトタイプの品質等級は「クラス 3」とする。

1.10.3 品質保証に関する情報の提供等

(1) 本仕様に関し、QST (ITER 機構含む)は、受注者に対し検討内容の進捗状況の報告依頼

を書面にて通知することにより、受注者(受注者の再委託先も含む)の施設などにおいて、作業の進捗状況確認及び試験検査に立ち会う権利を有するものとする。なお、上記を実施する日時については協議の上決定する。

- (2) 受注者(受注者の再委託先も含む)は、QST(ITER 機構含む)に対し、その要求があった場合、本契約の適切な管理運営を証明するために必要な文章及びデータを提供又は提示するものとする。

1.10.4 品質監査について

- (1) QST は、本契約締結後 1 年以内に受注者における品質保証に係る監査を実施することがある。
- (2) 受注者が ISO9001 未承認の場合、QST の判断に基づき、契約締結後速やかに監査を実施することがある。
- (3) 契約締結後の当初監査から 14 カ月以内に再度監査を実施する。
- (4) 2 回目以降の監査では、対象分野を限定して実施する。
- (5) 受注者が品質に係る重要業務をアウトソースする場合は、必要に応じて当該業務のアウトソース先の業務の実施状況の確認を監査に含むことができることとする。
- (6) 監査の時期及び実施する範囲は、監査を実施する少なくとも 14 営業日より前に受注者に通知されるものとする。

1.10.5 品質計画書 (Quality Plan) について

受注者は、本仕様書による要求事項をどのように満足させるかを示す Quality Plan を ITER 機構指定様式(QP Template for suppliers and subcontractors, ITER_D_2MLX45)を用いて、英語により作成し提出すること。

Quality Plan には以下の内容を含む。

- (1) 品質目標・適用範囲
- (2) 品質保証体制(資源配分、義務、責任、権限など)
- (3) 図書管理
- (4) 記録及びその管理方法
- (5) 変更管理
- (6) 逸脱管理
- (7) 不適合管理
- (8) 情報交換の方法

Quality Plan は、原則として受注者のみならず品質に係る重要業務を実施する下請業者を含む供給者が提出しなければならない。品質に係る重要業務については QST と受注者の協議の上決定する。契約締結後速やかに QST に Quality Plan を提出し確認を受けること。

ただし、下請業者の Quality Plan は、下請業者決定後 2 週間以内に QST へ提出し確認

を受けること。

QST は、ITER 機構の了解を得るため、供給者の Quality Plan を ITER 機構に提出する。

Quality Plan を変更しようとする場合、Quality Plan を再提出し、再度 QST の確認を得ること。

詳細は、Requirement for Producing a Quality Plan (ITER_D_22MFMW v4.0) を参照すること。

1.10.6 提出図書について

(1) 提出図書の文書管理

文書管理は、受注者の品質マネジメントシステムに従うものであるが、それに加えて以下に定める文章番号及び電子版の送付方法に従うこと。

提出図書には、JADA 文書番号を付与するとともに文書番号を管理すること、文書番号の付与及び送付方法は下記に従うこと。なお、PDF 形式の提出図書には、JADA の文書番号を表紙右上に記載すること。

(JADA 文書番号の例)

JADA 文書番号は「JADA-23162-YYZZ3xxx-r」という様式である。

上述の「YY」は契約締結後に QST から提示する。

ZZ は表 4 に示す分類記号 (JADA 文書番号下線朱書き太字箇所)、xxx は通し番号、r は改訂記号である。

表 4 提出図書の分類記号 (ZZ)

図書名	JADA 文書番号
各種計画書・Quality Plan	JADA-23162-YY <u>PL</u> 3xxx
工程表	JADA-23162-YY <u>WS</u> 3xxx
打合せ議事録	JADA-23162-YY <u>MI</u> 3xxx
各種報告書 (月間報告書等 (設計、試作・製作、試験検査報告書は除く))	JADA-23162-YY <u>PR</u> 3xxx
設計報告書	JADA-23162-YY <u>DE</u> 3xxx
図面	JADA-23162-YY <u>DW</u> 3xxx
逸脱許可	JADA-23162-YY <u>DR</u> 3xxx
不適合の報告	JADA-23162-YY <u>NR</u> 3xxx
全般的な資料	JADA-23162-YY <u>GD</u> 3xxx
連絡票	JADA-23162-YY <u>NO</u> 3xxx
報告書の技術的根拠となった技術資料、データ	JADA-23162-YY <u>TS</u> 3xxx

JADA 文書番号を付与した図書の電子ファイル名は、JADA 文書番号「JADA-23162-」から始めること。

(2) 提出図書の輸出管理

提出図書及び打合せ資料の ITER 機構への技術提供に関しては、受注者として必要な輸出管理を行い、QST から ITER 機構への図書及び資料の提供が遅滞なく行えるようにすること。

1.11 適用法規等

遠隔保守システムは、「機械指令 2006/42EC」に記載される要件に従うこととする。

なお、BRHS の構造要素は、以下に従って設計されるものとする。

- (1) EN 13001-1:2015 Cranes - General design - Part 1: General Principles and Requirements
- (2) EN 13001-2:2014 Cranes - General design - Part 2: Load actions
- (3) EN 13001-3-1:2012+A2:2018 Cranes - General design - Part 3-1: limit states and proof of competence of steel structures、あるいは国際的に認められた同等の規格・基準。
- (4) 設計には上記(1)～(3)に示す EN 規格を適用すること。以下を含めた他の工業規格及び基準は、BRHS の設計や製作及び試験のガイドラインとして使用してもよい。
 - (a) Control system standards (IEC 204-1, 1992) Electrical equipment of industrial machines
 - (b) Safety (JIS B 8433: 2000, JIS B 8433-1: 2015, JIS B 8433-2: 2015)は、上記(1)と同等であるため代替して適用可能である。
- (5) CE マーキングを取得すること。

1.12 打合せ

打合せの実施にあたっては、以下の要領に従うこと。

- (1) QST との打合せ
 - (a) 受注者は、原則として 1 カ月あたり 1 回以上の頻度で QST 担当者と打合せを実施すること。QST 那珂フュージョン科学技術研究所への来所による対面打合せ又はリモート打合せによる。
 - (b) アクションリストを作成し、管理すること。打合せ前にアクションリストの改訂版を提出すること。
 - (c) 打合せにおいて、最新版の工程表を提出すること。
 - (d) 打合せ後 2 週間以内に受注者内で審査及び承認された議事録を提出し、QST の確認を受けること。
- (2) ITER 機構との打合せ
 - (a) QST は ITER 機構と進捗会合を実施している。受注者は、進捗会合にリモート参加し、必要に応じて技術情報の説明を行うこと。
 - (b) 受注者は、打合せまでに実施した検討作業について、ITER 機構との協議に使用

するための各種資料（英語）の作成を行うこと。なお、作成に当たっては QST 担当者と協議を行い、ヒアリング及び協議実施前に都度合意を得ること。

(c) 本会議の議事録作成は不要とする。

1.13 知的財産権・技術情報の取り扱い・成果の公開

(1) 知的財産権等の取扱い

知的財産権の取扱いについては「知的財産権特約条項」（別紙 2）及び「インターネット実施協定の調達に係る情報及び知的財産に関する特約条項」（別紙 3）に定められたとおりとする。

(2) 技術情報の取り扱い

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ときは、あらかじめ書面による QST の承認を得なければならないものとする。

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ある場合は、QST と受注者協議の上、決定するものとする。

(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ときは、あらかじめ書面による QST の承認を得なければならないものとする。

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、『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』（別紙 4）に示すとおりとする。

1.15 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。

1.16 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。

2. 機器設計条件

現設計におけるブランケット遮蔽ブロック遠隔保守用フレキシブルボルト締結ツールに求められる固有の機器設計条件については別紙 5「ITER 第一壁及び遮蔽ブロックの遠隔保守ツール設計製作仕様」を参照すること。

3. 技術仕様

受注者は、3.2～3.4項に示す内容を十分理解し3.5項以降に示す作業を実施すること。

3.1 略語

本件における略語を表 5 に示す。

表 5 略語一覧

略語	正式名称	日本語訳
BRHS	Blanket Remote Handling System	ブランケット遠隔保守システム
VV	Vacuum Vessel	真空容器
BM	Blanket Module	ブランケットモジュール
FW	First Wall	第一壁
SB	Shield Block	遮蔽ブロック
SBG	Shield Block Gripper	遮蔽ブロック把持部
SBTB	Shield Block Tool Base	遮蔽ブロックツールベース
VMNP	Vehicle Manipulator	ビークルマニピュレーター
TMNP	Tool Manipulator	ツールマニピュレーター
EE	End Effector	エンドエフェクタ
ESB	Electrical Strap Bolt	電気ストラップボルト
FB	Flexible Bolt	フレキシブルボルト
FBT	Flexible Bolt Tool	フレキシブルボルト締結ツール
CC	Coaxial Connector	同軸コネクタ
MC	Monoaxial Connector	単軸コネクタ
FS	Flow Separator	水流分離器
CB	Central Bolt	セントラルボルト
IVDT	In-Vessel Deployment Trolley	真空容器内展開台車
IVTC	In-Vessel Tower Crane	真空容器内搭形クレーン
BAT	Blanket Assembly Transporter	ブランケット組立運搬機
PHS	Passive Holding System	受動把持機構
15NDG	15ND Gripper	15ND 把持部
15NDTB	15ND Tool Base	15ND ツールベース

3.2 検討対象の BM 及びツールの保守プロセス

3.2.1 検討対象の BM 及び保守作業プロセス

本件で設計する遠隔保守用ツールの検討対象となる BM 及び各種保守プロセスを以下の通り記載する。

図 1 に示す通り BM は VV 内に配置され、SB 及び FW で構成されている。各 SB は、フレキシブルカートリッジ及びキーという機械的な凹凸形状を介して VV に取り付けられている。図 2 は、図 1 を Z 方向から見た VV 断面図であり、SB 及び FW の形状は、基本形状 18 種類に中性粒子ビームポート (NB Port : 図 2 内参照) 等の各種ポート周辺に存在する特殊形状のバリエーション (派生型) 17 種類を加えた計 35 種類が存在する (詳細は 3.4.1 項の適用図書#1 参照)。本件は SB 全 35 種のうち、BM15ND・BM15NDL・BM15NDV と呼ばれる 3 種のバリエーションを除いた 32 種の SB を対象とする。

FW 表側から見た SB #4 (図 2 内参照) の正面図を図 3 に示す。SB 上の各導入孔 (FB、SB ESB、CB) にそれぞれツールを固定又は挿入することにより各種保守作業を行う。本契約の対象となる FB は 1 つの SB につき 4 本あり、SB の 4 隅に位置する。

SB を VV に設置するプロセスでは、まず SBG で SB を把持して VV 内に設置し、SB ESB を締結することで一時的な固定状態とし、その後 SB に FBT を設置し、先端部のレンチを SB の FB 導入孔へ差し込む (図 4 「B-B 断面」 参照)。

図 5 に、FB の形状及び FBT 先端部のレンチによる FB 締結後の状態を示す。レンチの先端には Torx (凸形状; ヘキサロビュラ/六角星形の意) とその中央軸内の受動把持機構 (PHS) が具備されている (後述)。レンチを FB 導入孔の奥にある FB ソケット (FB の SB 側に Torx の受け (凹形状) を具備するソケット部) に嵌合させ反時計回しにすることで、FB は VV 側に仮保持されている FB 待機用ねじ構造から外れながら SB 側へ並進移動し、SB 円錐状ナットへ締結される。最後にレンチを引き抜き、FB の締結作業は完了する。

FB の締結後、SB 側と VV 側の各冷却水配管を溶接することで、VV への SB 設置が完了する。

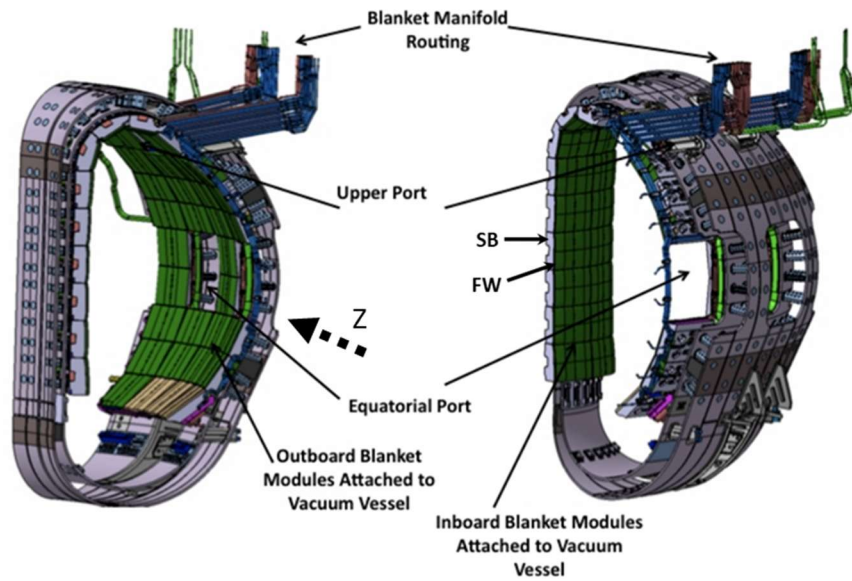


図 1 VV 内 BM 構成

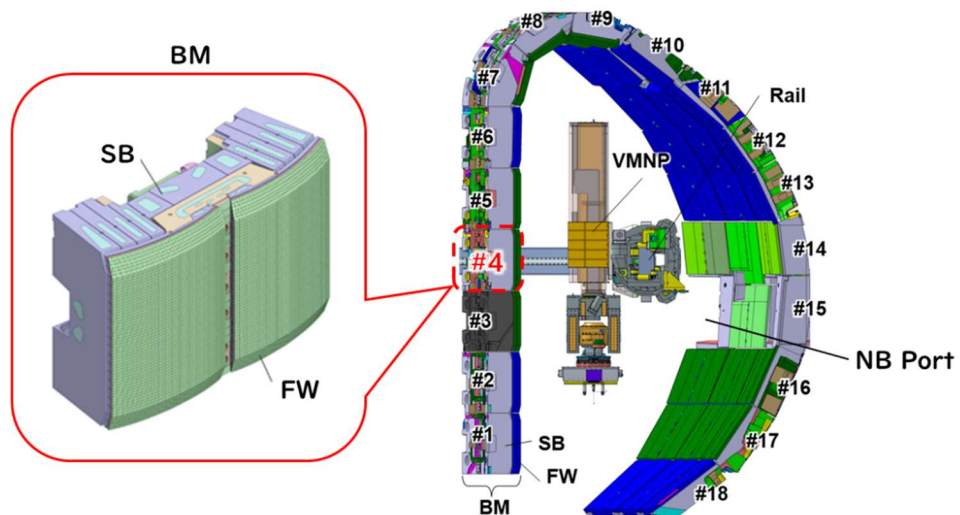


図 2 VV 断面図及び BM(SB+FW) #4 の外形

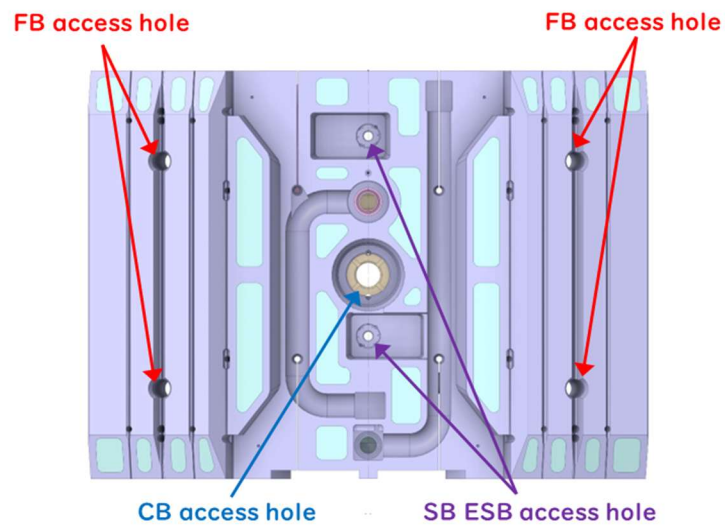


図 3 SB#4 の各導入孔 (FB、SB ESB、CB)

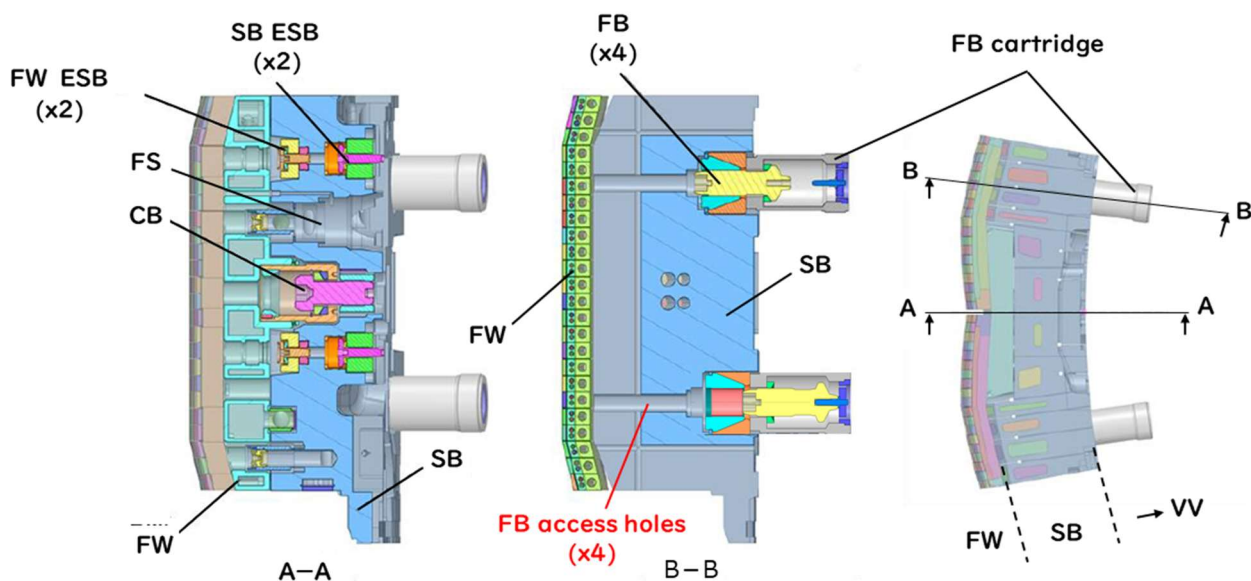


図 4 BM#4 の断面図

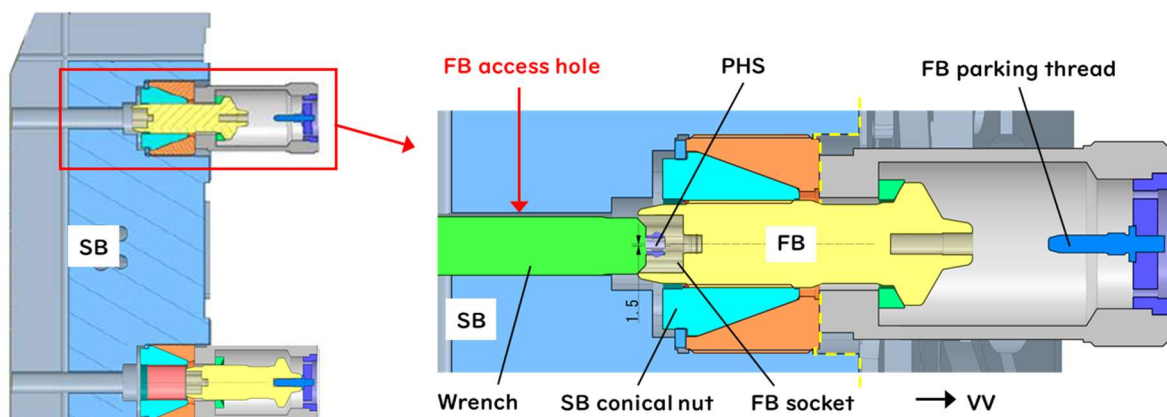


図 5 SB#4ー保守対象部 (FB) 形状、FB 締結後の状態

3.2.2 FBの締結工程

本項では、保守プロセスのひとつであるFBTによるFB締結工程について、レンチのFBへの嵌合と締結時のレンチ及びボルトの挙動を中心に詳述する(図6参照)。

- (1) SBをVVに設置しSB ESBで固定された状態で行う (FB締結の前工程)。
- (2) SB表側にあるFB導入孔からレンチを挿入し、Torx形状が具備されたレンチの先端部をFBソケットへ押し付ける。
- (3) レンチをFBソケットに押し付けた状態で回転させる。レンチとソケットの位相が合った時、レンチが押し込まれ嵌合する。レンチ先端のTorx中央軸内に具備されたPHSが、FBソケットの奥の位置に嵌合する。
- (4) レンチを回転させながらSB方向に並進移動させ、FBのVV側にあるFB待機用ねじ構造からFBを緩めて抜く。
- (5) レンチにセットされたままのFBをSBの主ねじ構造であるSBナットに締結する。

- (6) レンチを回転させず無負荷状態でSB 方向に並進移動させ、レンチの先端にある Torx 及び PHS を FB ソケットから引き抜いて締結作業が完了する。

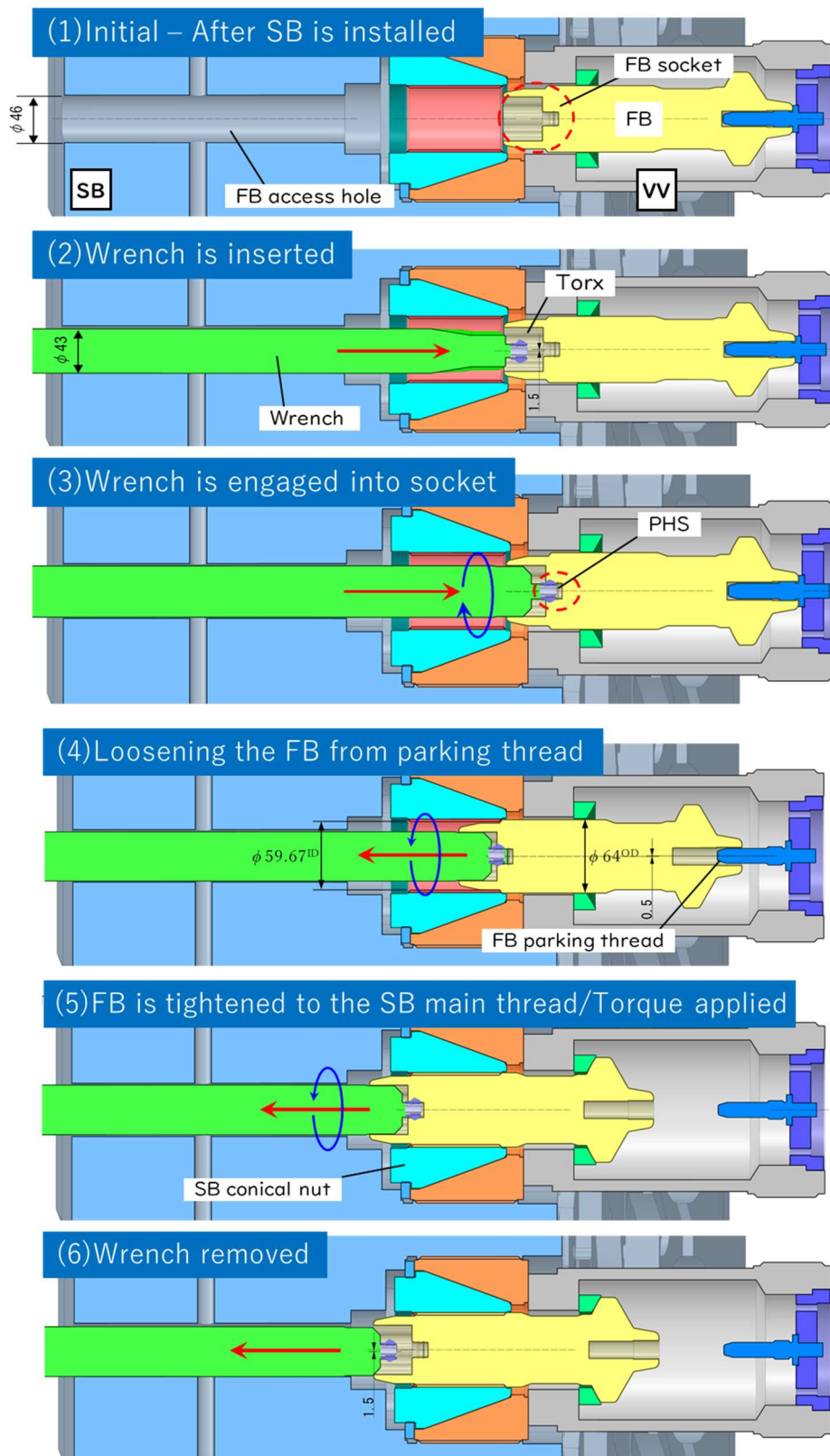


図 6 FB 締結手順

3.3 保守作業時に使用されるツール

保守作業時に使用される BM 保守ツールは、主に重量ツールと軽量ツールに大別され、保守プロセスは各ツールの作業内容や重量によって次のように異なる。

BM 交換時には、VV 内の放射線環境において、重量ツール（40kg 超）は大型マニピュレーターである VMNP を用いて BM 上に固定され作業を行い、軽量ツール（40kg 以下）は、小型マニピュレーターである TMNP を介して作業を行う。これらのマニピュレーターは BRHS の一部である。

一方、BM の初期組には、非放射線下の VV 内において作業員が BM 近傍にアクセスすることが可能である。このため、重量ツールはツールチェンジャーと呼ばれる把持機構を具備したブランケット組立運搬機（BAT）を用いて取り扱われる一方、軽量ツールは、ゼロ G アーム（ZERO G Arm/荷重補償装置）という重量を軽減する補助装置を用いて運搬され、IVTC に接続されたナセル(Nacelle)と呼ばれる作業用ゴンドラ上で作業員が作業を行う（詳細は3.4.4項参照）。これらの BAT や補助装置の製作は本契約範囲外である。

本件の検討対象となる FBT は重量ツールに分類され、BM 交換時及び初期組立時の両プロセスにおいて SB を VV に固定する際に共通して必要となるツールである。

3.4 設計仕様

本項では、検討を実施するにあたり考慮すべき点を示す。受注者は、0 項に示す BM 保守プロセスを理解して FBT に関する設計検討を実施すること。

3.4.1 適用図書

SB ツール設計に関して、表 6 に示す適用図書を参照すること。

表 6 SB 設計に関わる適用図書

#	図書名	図書番号
1	IS-16-23-002 Interface between Shield Block (PBS 16.SB) and Blanket Remote Handling System (PBS 23.01)	ITER_D_33TYJV_v5.1
2	2D model - SB#05 Type A	ITER_D_LYDJ28_v2.0
3	2D model - Flexible to SB Interface	ITER_D_UGC3KZ_v1.0
4	2D_model - Inboard flexible cartridges	ITER_D_T2ZX4A_v2.0
5	2D_model - Outboard flexible cartridges	ITER_D_VVVAFR_v1.0
6	2D_model - BM 18 Flexible cartridges	ITER_D_VVVGf8_v1.0
7	RH Flexible - Cartridge Tolerance Built-up	ITER_D_X8D4RR_v2.1
8	Technical Specification for Blanket First Assembly Tooling	ITER_D_2F6S75 v2.0
9	Blanket First Assembly Tooling Requirements	ITER_D_2F6UJT v2.0

3.4.2 FBTの設計仕様

(1) FBT の目的：(図 6 参照)

- (a) FBT のレンチを SB に設置された FB 導入孔から挿入し、レンチ先端部の Torx を FB ソケット部に押し当ててセンタリングを行う。レンチを回転させ、FB 待機用ねじ構造から FB を緩めて引き抜く。
- (b) そのままレンチを FB ごと回転させ、FB を SB の主ねじ構造である SB 円錐状ナットに締め付ける。

(2) FBT の機器構成：

FBT は主に次のレンチ位置決めアーム(Wrench positioning arm)、トルク印加システム(Torque application system)、ベースプレート(Base plate) から構成される。

(a) レンチ位置決めアーム(Wrench positioning arm)：(図 7 参照)

- ・ 接続アーム (Arm links)：レンチ位置決めのアームは、主要構成である 3 軸のアームで構成されており、複数形状の SB 上に配置された全ての FB 導入孔に到達可能な可動範囲を具備すること。
 - － 接続アームの各接続部はゼロバックラッシ仕様であり、締結が可能である。接続部内に具備されたクランプ機構を緩めて接続アームを伸縮し、締めて位置を固定できること。
 - － SB 表面に対して 360° 回転可能であり、複数の角度に対応するよう回転できる。その際、ツールチェンジャーのツール側など、FBT 内の他要素と干渉無きこと。
 - － 稼働部にグリスを使用する場合は、シール構造を設けること。
- ・ ゼロバックラッシねじ (Zero backlash screws)：
 - － 接続アームの各接続部及びアーム固定システム (後述) の回転部に組み込まれたねじ機構は、反動を最小限に抑えることでトルク印加時のズレを防ぎ、高精度な位置決めを実現すること。
 - － 稼働部にグリスを使用する場合は、シール構造を設けること。
- ・ 関節内蔵レゾルバ (Resolver at each joint)：
 - － 位置確認用のレゾルバを各関節部に内蔵具備すること。

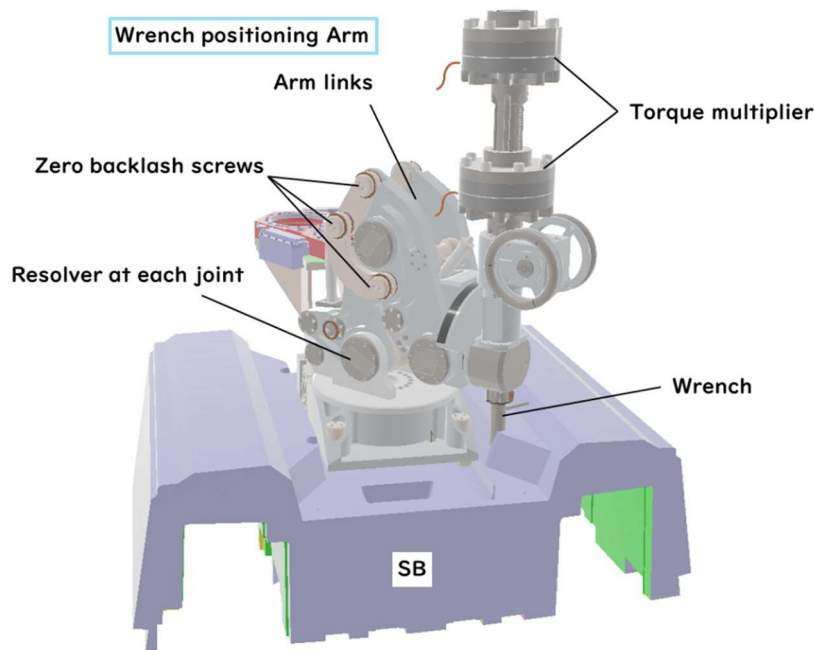


図 7 SB に固定した FBT による FB 締結状態

(b) トルク印加システム (Torque application system) : (図 8 参照)

- 長さ 486mm、外接円 $\phi 43$ mm のレンチ装着が可能なこと。
- In ボード用 (M64) と Out ボード用 (M52) の 2 種類のレンチに交換可能とする。
- 稼働部にグリスを使用する場合は、シール構造を設けること。
- トルク増幅器 (Torque multiplier) :
 - ハーモニックドライブモーター及びトルク増幅器を組み合わせること、規定トルクを印加できること。
 - トルク増幅器は A GEDORE DVV-100ZRS (gear ratio 1:28.5) 相当品を採用すること。
 - トルク増幅器の入力軸及び出力軸には、グリス封じ込めのためのハウジングを設けること。
 - 印加トルクを確認するためのトルク計測器を有すること。
- レンチ (Wrench) : (図 9 参照 ※レンチ形状は参考情報)
 - トルク印加システムに挿入され、レンチ先端部に具備された Torx 形状により FB の締め込みを行う機構であること。
 - レンチ長さ : $L=486\text{mm}$ ※レンチ長は SB 側の寸法に合わせる。
 - レンチ径 : $\phi 43\text{mm}/\phi 34\text{mm}$ 、(外接円 : In ボード/Out ボードの 2 種類)。
 - レンチを挿入する SB 上の FB 導入孔内径 : $\phi 46$ mm
 - 材質 : 印加トルク $8.4\text{kNm}+10\%$ に耐えうる強度が確保されていること。
 - FB ソケット (凹形状) に嵌合する Torx 凸形状を先端部に具備すること。
 - レンチの仮締めは T 字型ハンドルを有した手持ちツールにて実施可能なこと。

- ・ PHS : (図 10 参照 ※寸法は参考情報)
 - 手持ちによる仮締め用のレンチ先端に具備された PHS を FB ソケット奥に差し込むことで FB を把持し、FB を FB 待機用ねじ構造から緩め引き抜くことで FB を SB の方向に引込むことができる機構であること。
 - PHS は手持ちツールのみに具備される。

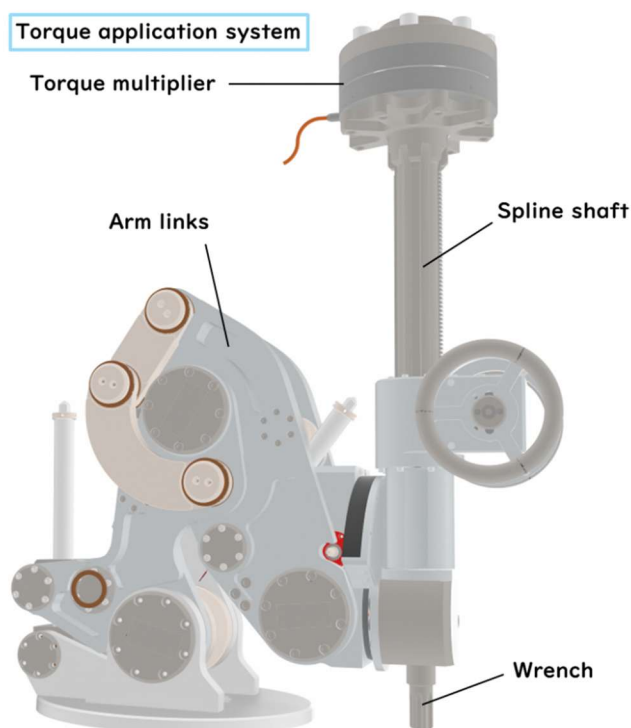


図 8 FBT の接続アーム先端に取り付けたトルク印加システム

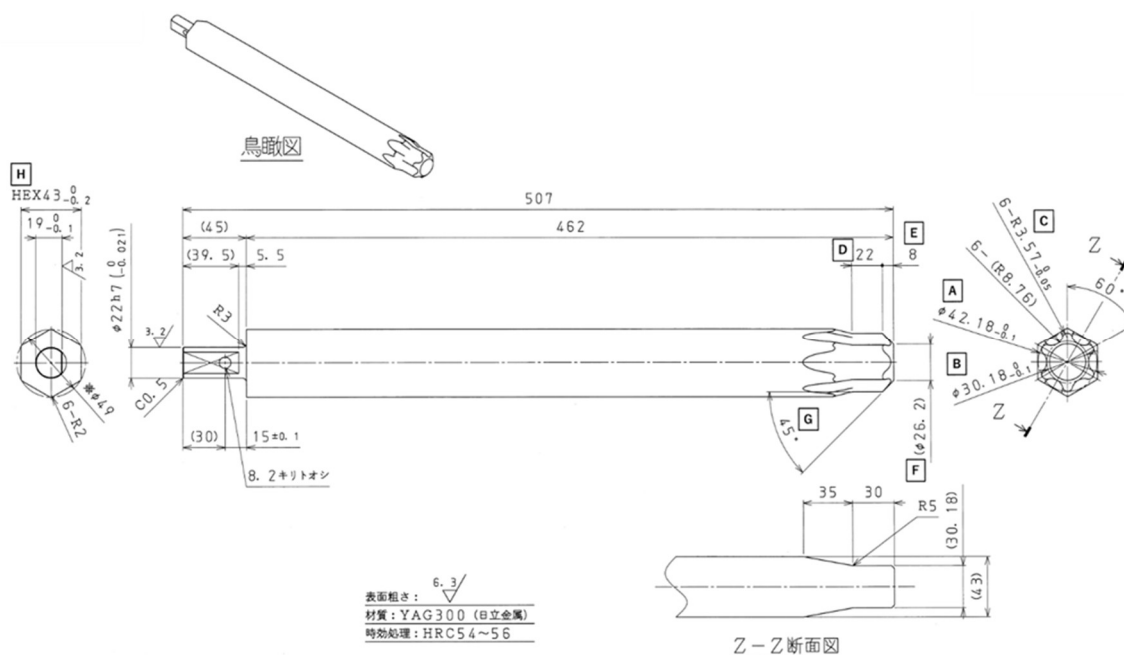


図 9 FB 締結用レンチの形状・寸法 (参考情報)

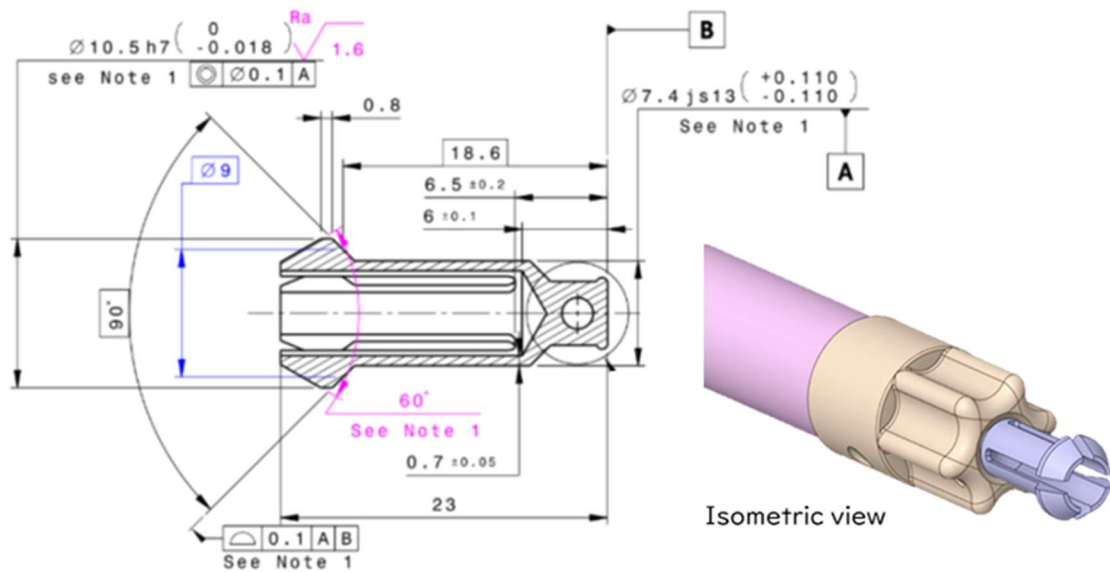


図 10 レンチ先端部 PHS の形状・寸法（参考情報）

(c) ベースプレート (Base plate) : (図 11 参照)

- ・ アーム固定システム (Arm fixing mechanism system) : (図 12 及び図 13 参照)
 - SB 上の CB 導入孔の奥に配置される CB/M64 ねじを使用し、円周方向に前進、後退が可能なねじ山形状を有する把持機構 (Jaw) によるクランプ機構で FBT を SB に固定する機能を具備すること。
- ・ ツールチェンジャーのツール側 (Tool changer tool side) : (図 11 参照)
 - BAT によるハンドリングを可能とする、ツールチェンジャーのツール側を有すること。
 - 稼働部にグリスを使用する場合は、シール構造を設けること。
- ・ カメラ (Camera) : (図 13 参照)
 - SB に対し FBT の位置を確認するためのカメラを 2 視点分設置すること。
- ・ 組み込みコントローラー (Embedded controller) : (図 11 参照)
 - FBT 上に組み込みコントローラーを搭載すること。
- ・ 反力受け :
 - トルク増幅器によるトルク印加時に掛かる反力を SB 配管溝部と接触することで受ける構造を有すること。

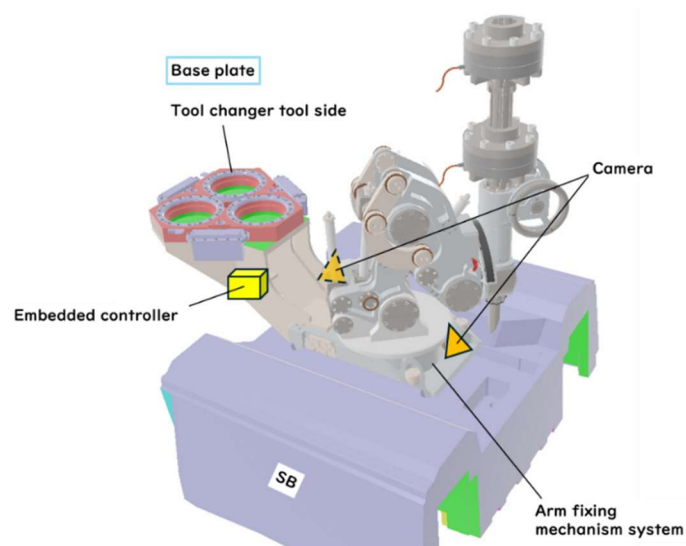


図 11 SB に固定した FBT のベースプレート

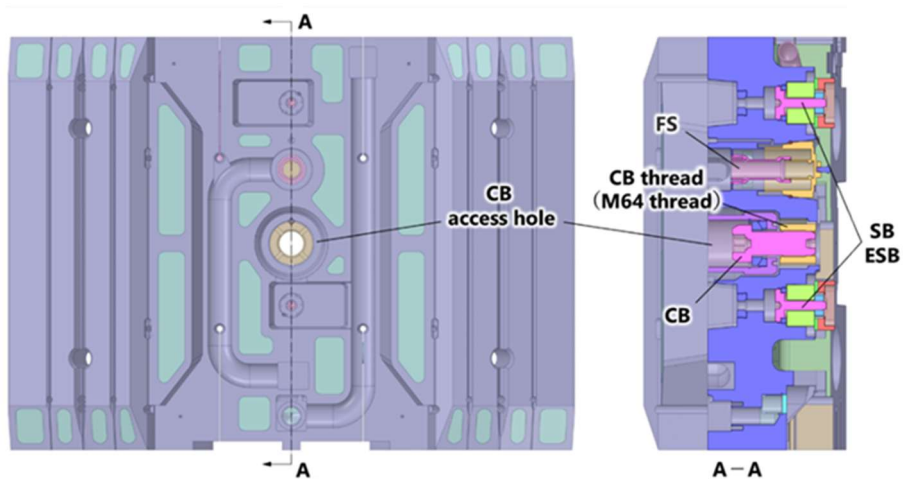


図 12 SB(#4)上の CB 導入孔(CB/M64 ねじ)の正面と断面図

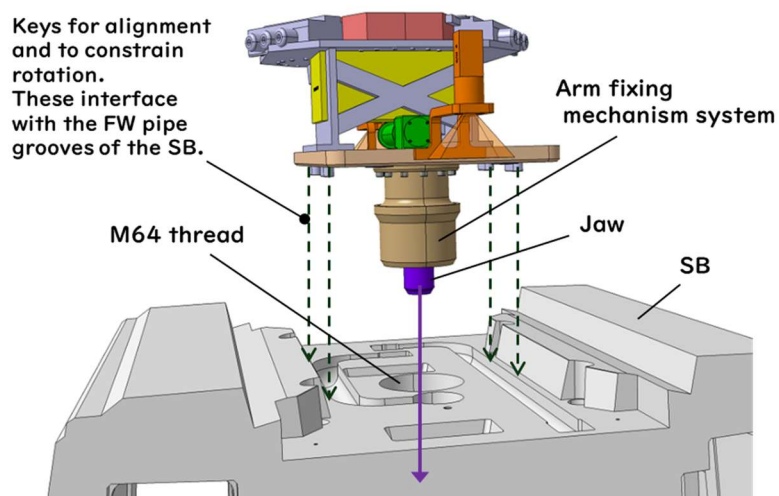


図 13 SB に固定するアーム固定システム及びジョー

3.4.3 プロトタイプBM保守ツール設計全般の要求事項

本項では、各種 BM 保守ツールのプロトタイプに適用される一般的な要求事項、BM 保守ツールのプロトタイプのうち保守対象物に直結するインターフェースを有するエンドエフェクタ（EE）全般に適用される要求事項及び EE に大別される FBT に適用される要求事項を以下に記載する。

3.4.3.1 ツール全体に適用される要求事項

- ・ 自動プロセスの場合、各機能の状態及び/又は位置はセンサーによって監視されるものとする。
 - ・ 手動で操作する動作には、視覚的指標（刻印、マーク、フラグなど）を使用するものとする。
 - ・ ツール及び EE は、VV 内での取扱いや操作中に物体を紛失または落とすリスクがないように設計されるものとする。EE は、ツールチェンジャーとの取合いにより固定されるものとする。ツールは、ゼロ G アームツールチェンジャーにより固定されるものとする。手動ツールは、テザーによって固定するものとする。露出したボルトは、ボルトの緩みを防止する設計にすること（例：Loctite、SpiraLock、NordLock、ワイヤー等）。
 - ・ 使用される材料は、以下の仕様に準拠するものとする：
 - － 構造及びボルトには、ステンレス鋼、アルミニウム青銅、またはアルミニウムが推奨される。トルクツールのレンチには、マルエージング鋼の使用を許可する。炭素鋼の使用は、腐食防止コーティング又は塗装が施され、VV 内部品と直接摩擦接触しない場所に限定される。
 - － シール部には FKM（バイトン）シール又は EPDM シールを使用すること。
 - ・ 潤滑は密閉された空間内で行い、シールで保護するものとする。その際、以下の点に留意すること。
 - － 油の使用は認められない。油の使用を避けられない場合は、I0 と合意の上使用すること。
 - － グリースのシールは、グリース漏れの可能性が非常に低い場合にのみ 1 箇所に限り許可される。それ以外の場合は、二重封じ込めとすること。グリースを部品に注入する場合は、二重封じ込めを施すこと。真空グリースを薄層で塗布する場合は、一箇所で封じ込めてよい。
- 潤滑を密閉空間内で行えない場合は、ダイヤモンドライクコーティング（DLC）や S コンパウンドフィルムなどの乾式潤滑を施すものとする。
- ・ EE 及びツールの外形寸法は、VV 内へ搬送する大型収納ボックスに適合するよう制限されるものとする。
 - ・ 技術的に可能な場合、EE 及びツールの外形寸法は、VV 内へ搬送する小型収納ボックスに適合するよう制限されるものとする。
 - ・ EE 及びツールのすべてのロック機能は、電源やサービスが途絶えた場合でもロックされたままであるものとする。

- ・ トルクツール、トルク機能を備えた EE、及び切断ツールは、ツールが詰まった場合に復旧のため両方向へ移動できるものとする。
 - ・ トルクツール及びトルク機能を備えた EE は、レンチに加えられたトルクを解除できるものとする。
 - ・ トルクツール及びトルク機能を備えた EE は、工具の再校正が必要となるまでに最低 10 回の使用が可能であるよう設計されるものとする。トルク偏差が許容値（±10%）外の場合は再校正を行うこと。
 - ・ 自動的にレンチを嵌合させる EE は、トルク操作を開始する前にレンチ先端が、FB ソケットに完全に嵌合していることを確認する位置フィードバック機能を備えるものとする。
 - ・ BM 及び工具の溶接プロセスは、以下の規格に準拠して認定されるものとする：
 - － EN ISO 15609-1
 - － EN ISO 15614-1
- VV 内容接用溶接試験装置（WPS）の準備及び認定は JADA の管轄外とする。JADA は、製造された機器の検証の一環として、試験サンプルを用いた溶接試験及び溶接品質評価を実施するものとする。
- ・ ブランケットツールによって発生し、火災のリスクを引き起こす可能性のあるすべての局所熱源または電気アーク・火花の発生源を特定するものとする。火災を引き起こす可能性のある局所熱源が特定された場合、そのリスクを軽減する対策を定めるものとする。
 - ・ プロトタイプ的设计・製作にあたっては、以下の指令に適合すること。
 - － Electromagnetic Compatibility (EMC) Directive 2014/30/EU
 - － Low Voltage Directive (LVD) 2014/35/EU
 - － Machinery Regulation 2023/1230/EU
 - － RoHS Directive 2011/65/EU

3.4.3.2 エンドエフェクタに適用される要求事項

- ・ SB 用 EE は、可能な限り FW のインターフェースを模倣するものとする。
- ・ EE は、コンポーネントとの接続をより剛性の高いものとするためにプレスパッドを使用するものとする。パッドは能動式（スプリング式）又は受動式（静的）であってもよいが、EE の主要な支持点となるものとする。
- ・ SB と EE のインターフェースは、すべての EE で共通のものとし、バリエーションの数を最小限に抑えるものとする。
- ・ EE（FW にロックされていない FWCBT を除く）が VV 内コンポーネント（SB、FW など）に機械的にロックされた状態を監視するものとする。
- ・ FWG/SBG の場合、保持されるコンポーネント（FW 又は SB）と、それが取り付けられる VV 内コンポーネント（VV 又は SB）との機械的ロック状態を監視するものとする。
- ・ FWG/SBG の場合、VV 内コンポーネントの把持に関連する機能（レンチ/把持部の嵌合）、

コンポーネントの固定に関連する機能、及び新しいターゲットコンポーネントへの再構成に関連する機能（レンチ/把持部の移動）は自動化され、遠隔操作制御室から制御されるものとする。

- ・ EE の機能のうち、故障時（制御システム又は機械システムの故障時）に EE を安全に取り外すことが不可能となりえるものはすべて、手動で作動する回収手段を備えるものとし、BAT によって取り外し可能であること。
- ・ EE は、ツールチェンジャーのツール側と接続するためのインターフェースを備えるものとする。
- ・ ツールチェンジャーのツール側は、可能な限り EE の対称面に固定し、セントラルバレルと同軸にするものとする。実現不可能な場合は、ターゲットコンポーネントと整列した際に横側に配置するものとする。
- ・ 技術的に可能な場合、EE の設計には BAT によって両側から掴むことができる機能を含めるものとする（ターゲットコンポーネント（SB 又は FW）と整列した際の横側）。これには以下の 2 つの選択肢がある。
 - － 1. EE は対称形であり、反転が可能であること。
 - － 2. EE には 2 つのツールチェンジャー、又は少なくとも両側にツールチェンジャー固定用ブラケットがあること。
- ・ EE の機能はモジュール化され、特定のターゲットに合わせて再構成可能であること。可能な限り EE を標準化するものとする。
- ・ EE とツールチェンジャーのツール側の接続は、可能な限り剛性の高いものとし（例：スプリング機構を導入しない）、EE の先端位置を正確に制御できるようにすること。
- ・ EE が VV 内コンポーネント（SB、FW）に固定される場合、以下の要件を満たすこと。
 1. 一度設定すればよい機能（例：TFU の位置決め）は手動操作とし、自動化しない。
 2. 周期的な動作や繰り返し発生する機能（例：工具の回転）はモーター駆動とし、自動化すること。これらの自動機能は、ナセル上のオペレーターによって、スクリーンまたはキーパッドインターフェースを介し制御されるものとする。
- ・ EE を作業位置（SB、FW）に配置及び固定するために必要な機能は、遠隔操作制御室から制御されるものとし、汎用 EE に接続された状態で制御されるものとする。
- ・ すべての EE は、ツールチェンジャーコネクタにおいて、サービス種類（制御、センサー、空気、ガスなど）毎に 1 つのコネクタのみを持つように設計されるものとする。
- ・ EE 内の組み込み駆動ユニットへのサービス供給は、EE 内部で行い、組み込みコントローラーボックスを使用するものとする。
- ・ ケーブルの絡まりのリスクを回避するため、可動ケーブルはケーブルチェーンを通すか、保護カバーで覆うものとする。非可動ケーブルは、その配線に沿ってツールベースに固定するものとする。
- ・ メインサービスラインは、ツールチェンジャーのツール側の自動コネクタに接続するものとする。その後、サービスは EE 内の組み込みコントローラーに配線されるものとし、この組み込みコントローラーはツールにサービスを提供するために十分な数のソ

ケットを備えるものとする。

- すべての EE には、照明を含む 2 つのロボットビジョンカメラを取り付けるものとし、各 EE に適した構成を持つものとする。詳細な参照文書：未定。
- すべての EE の重量は 1ton 以下に制限されるものとする。
- VV 内コンポーネント（例：把持部）を運ぶことを目的とするすべての EE の重量は、500kg 以下に制限されるものとする。
- EE によって汎用 EE のツールロール軸にかかるねじりモーメントは、7.5kNm に制限されるものとする。
- ツールベースは、いかなる SB においても、CC または MC 導入孔付近のバックガスチャネル開口部を妨げないものとする。すべての SB 設計を調査し、バックガスホールの位置を特定し、ツールベースの設計を適応させて明確なアクセスを確保するものとする。
- これら EE（SBG、SB ツールベース、FBT、ツール収納ラック）は、SB との接続インターフェースを共通とするものとする。これには、EE を SB に固定するための静的キーと CB にクランプするインターフェースが含まれること。
- 上記で定義された EE は、中央バレルインターフェースを介して、SB の中央ホールに適合するものとし、バレルと SB ホールの間には 1.0~1.5mm の隙間を設けるものとする。なお、SB の 3-5、7-9、14-17 列は中央ホール径が 180mm であり、1, 2, 6, 10-13, 18 列は 190mm であることに留意すること。
- EE は、SB の CB 挿入部に接続するものとし、中央バレルアセンブリに組み込まれた中央クランプ機構を介して固定されるものとする。
- EE の中央クランプ機構は、クランプによって CB 挿入部のネジに嵌合するものとし、クランプヘッドに引張荷重（プリロード）を適用するものとする。これらのすべての動作は SBG に組み込まれた機構によって行われるものとする。
- EE の中央クランプ機構は、中央バレルインターフェースに完全に格納可能であるものとする。
- EE のロックインターフェースは、SB の M64x4 ネジ挿入部への損傷を回避または最小限に抑えることを目的とするものとする。
- EE を SB に配置するために、EE は SB の FW パイプグループと接続する静的キーを備えるものとする。

3.4.3.3 FBT に適用される要求事項

- FBT は EE の 1 種である。したがって、すべての汎用 EE 要件が適用されるものとする。
- FBT は、他の EE が基本形状の SB に接続するのと同じインターフェースを SB に持つものとする。
- 1 種類の FBT は、設計を過度に複雑にすることなく、できるだけ多くの SB と互換性を持つものとする。
- FBT は、マルエージング鋼 18Ni1900 製のレンチを使用して、FB を所定のトルク 8.4kNm

まで締め付けるものとする。

- ・ FBT のレンチ軸部（レンチ先端とトルク変換器）の間の部分）は、円筒形状とし $\phi 42.8 \pm 0.1\text{mm}$ とすること。
- ・ PHS は、FBT のレンチ先端に固定されるものとする。
- ・ FBT は、トルク増幅装置（例：GEDORE DVV-100ZRS）と、モーター（例：SHA-32A（ギア比 101）ハーモニックドライブ）を組み合わせて、レンチにトルクを適用するものとする。
- ・ トルク増幅装置とレンチの間にトルク変換器を組み込み、出力トルクを直接測定できるようにするものとする。市販のトルク変換器が大きすぎてアームと干渉する場合、モーターとトルク増幅装置の間に小型のトルク変換器を使用することができるものとする。
- ・ トルク増幅装置とその標準反力アームの接続は、円筒形の歯状形状を介して行われるものとする。トルク増幅装置の標準リアクションアームは取り外され、FBT のアーム部分には、トルク増幅装置の歯状形状付きオス機構に適合する穴を設けるものとする。
- ・ FBT のアームは、8.4kNm の反力トルクをツールベースのベースプレートに伝達し、最終的に SB の前面溝とインターフェースを有する静的キーを介して SB に伝達できるものとする。
- ・ FBT アセンブリ全体が収納ボックス内に収まらない場合は、レンチ、トルク増幅装置及びモーターは、荷重支持アームの端から手動で取り外し可能なものとする。
- ・ FBT に設置される個別に取り扱われるコンポーネント（例：レンチ、モーター、トルク増幅装置を含むユニット）の重量は、最大 40kg 以下に制限されるものとする。
- ・ FBT に設置される個別に取り扱われるコンポーネント（例：レンチ、モーター、トルク増幅装置を含むユニット）は、ゼロ G アームとのインターフェース機能を備えるものとする。

.

3.4.4 初期組立における関連機器及び制御機器

本項では、BM の初期組立時に用いられる関連機器として VV 内展開台車 (IVDT)、VV 内塔形クレーン (IVTC)、ナセル、ナセルツール収納及びゼロ G アームの概要並びにこれら機器を監視操作するための制御機器について記載する。なお、本契約においてこれら関連機器及び制御機器は対象外であり、以下は参考情報である。

3.4.4.1 IVDT

重量ツール（40kg 超）は IVDT の収納ボックスに搭載された状態で VV に搬送され、VV 内で BAT によって把持される設計仕様になっている（図 14 参照）。

このため FBT などの重量ツールは、BAT に接続できるようツールチェンジャーを具備するものとする。

BAT が重量ツールをツールチェンジャー経由で把持する際は、作業者が傍にてツールの状態を確認しながら作業を実行すること。

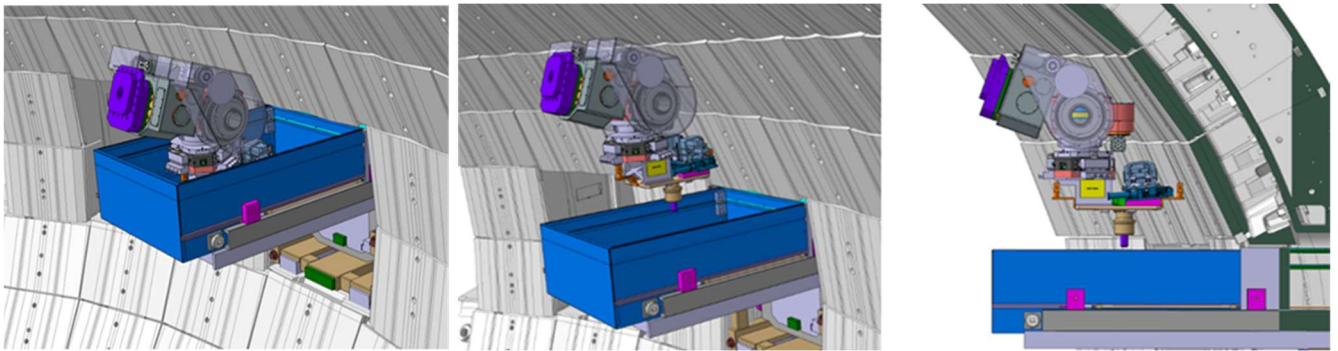


図 14 IVDT から FBT の取り出し (BAT のアームの残り部分は非図示)

3.4.4.2 IVDT 設計制約

各種ツールはツールチェンジャーを含めて、IVDT の収納ボックス (長さ×幅×高さ : 2100mm×1310mm×665mm) 内に収まるものとする。

IVDT 収納ボックスの形状を図 15 に示す。

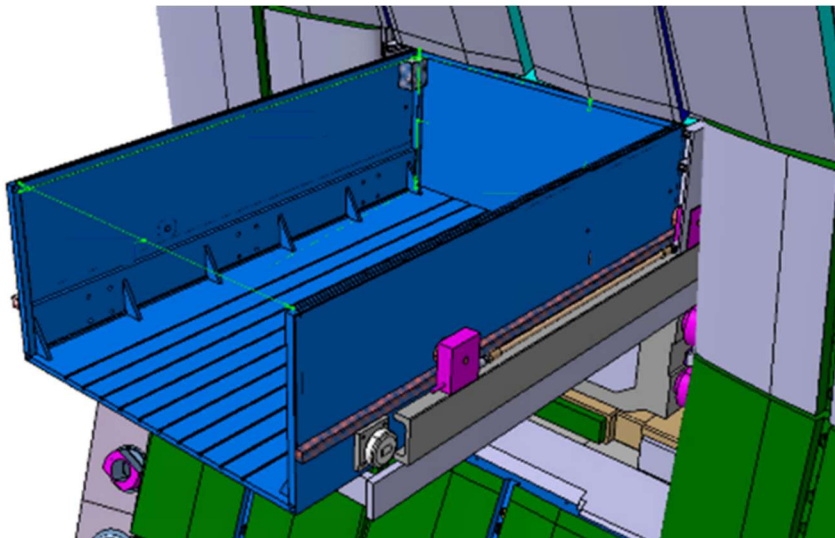


図 15 IVDT の収納ボックスのアイソメ図

3.4.4.3 IVTC 及びナセル (Nacelle)

IVTC は VV 内でのツール搬送や設置を担い、IVTC のアーム先端部に作業用ゴンドラであるナセルを接続し、作業員による保守作業に適応できるものとする (図 16 参照)。

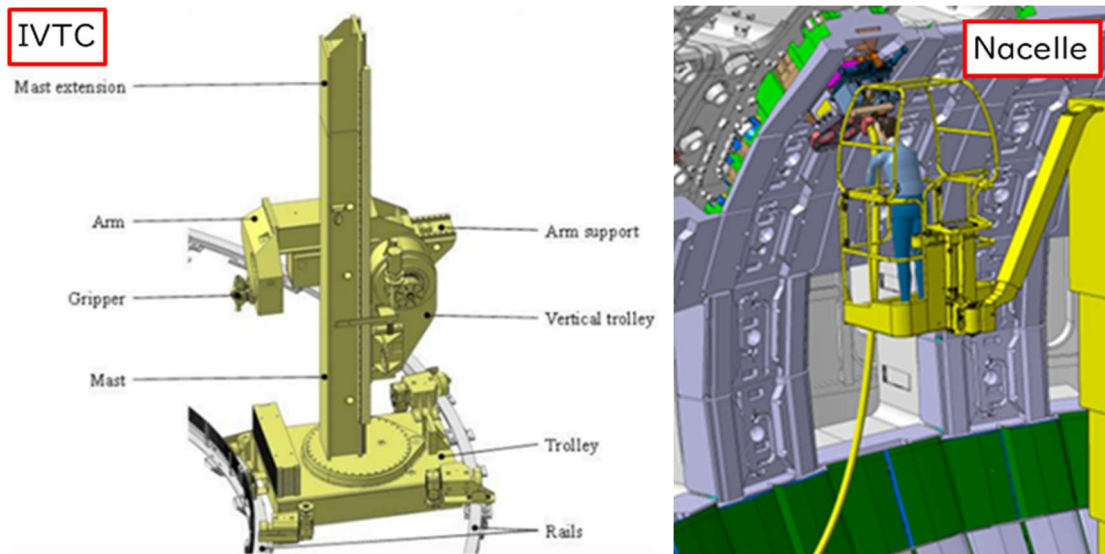


図 16 IVTC とナセル

3.4.4.4 ナセルツール収納 (Nacelle tool storage)

ナセル上には、作業に使用する軽量ツールを収納するためのナセルツール収納部を設置するものとし、当該収納部は、作業時の取り出し易さや収納の安定性を考慮し、軽量ツールが確実に納まる設計となっている（図 17 参照）。

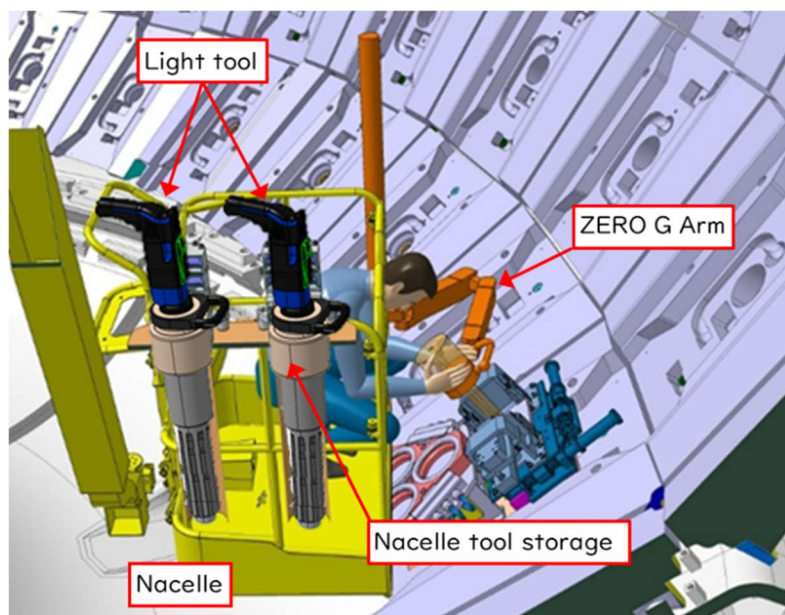


図 17 ナセル上のナセルツール収納部

3.4.4.5 ゼロ G アーム (ZERO G Arm)

BAT で把持しない 40kg 以下の軽量ツールは、ゼロ G アームによりハンドリングされるものとする。ゼロ G アームは、重量物や工具の取り扱いを容易にするための装置であ

り、バランス機構やスプリングなどを用いて把持対象の重量を軽減し、作業者が負荷を感じることなく操作できるよう設計されるものとする（図 18 参照）。

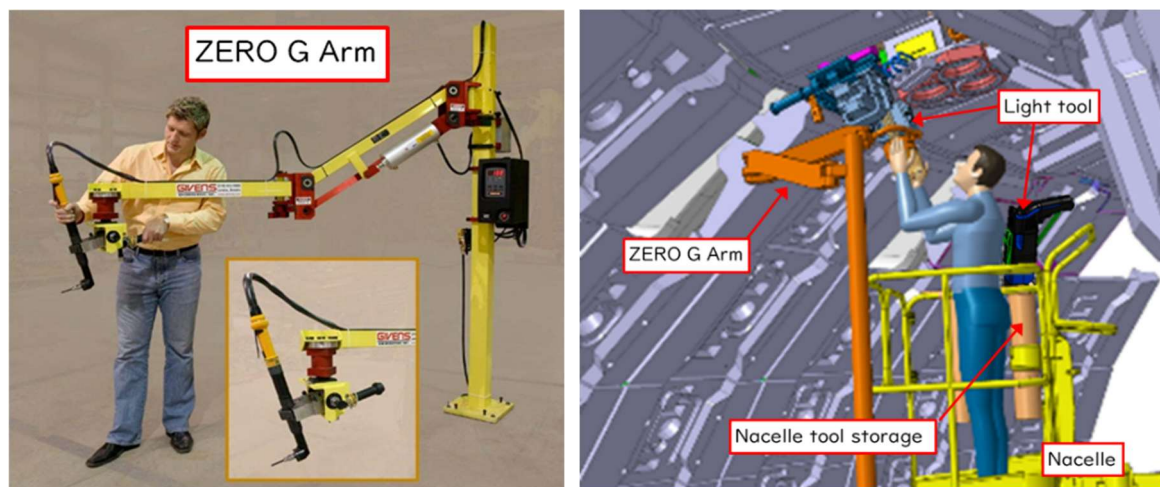


図 18 ゼロ G アームのナセル上における使用例

3.4.4.6 制御機器

制御装置の構成は、大きく上位制御系（High-Level Control System, 以下 HLCS）と下位制御系（Low-Level Control System, 以下 LLCS）に分類される。HLCS は、主に運転員とのインターフェースの役割を担い、操作監視に関わるヒューマンマシンインターフェース（Human Machine Interface, 以下 HMI）及びそれに付随するアプリケーションを有する。LLCS は制御対象機器との直接のインターフェースを有する制御装置であり、各種ドライバやコントローラー等が実装される。

各種ツールの制御系は、その運用タイミングによって、2つの制御系統の接続を有する。図 19 にその概略図を示す。各種ツールに関わる運用フェーズとして、EE が BAT に接続された状態で所望の位置まで移動する Transporter mode と、EE が BM に固定された後にツール等により各種作業を行う Skid mode が挙げられる。

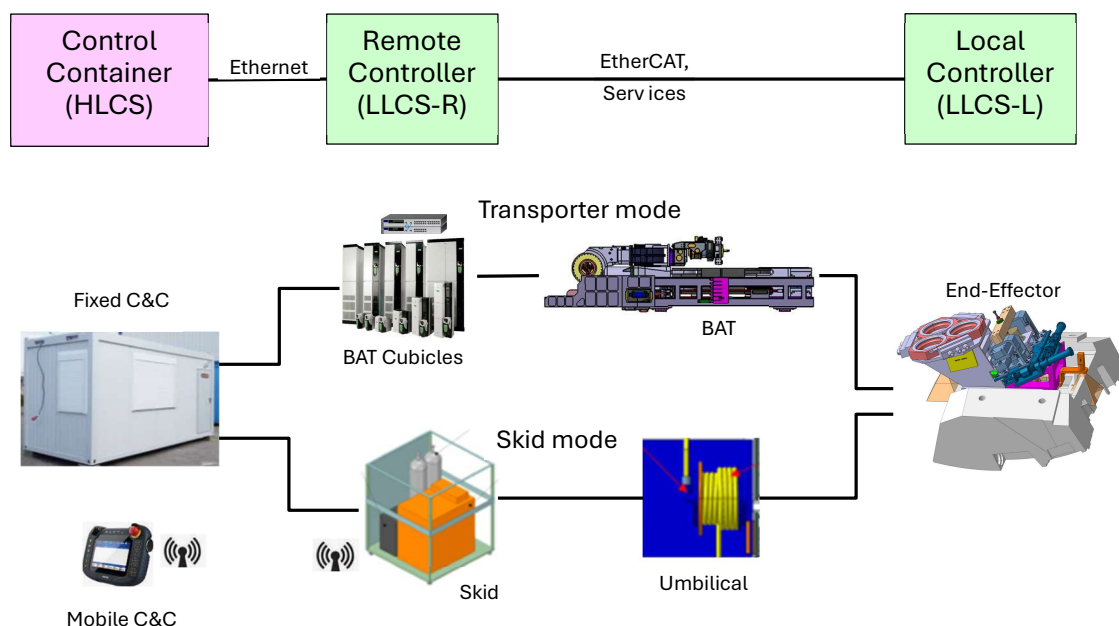


図 19 EE に接続される制御システム構成概要

Transporter mode の場合、BAT 内を経由するケーブル配線に厳しい制約がある。EE には最小限のケーブルが接続されるという前提で、Transporter mode における EE の設計と運用を検討する必要がある。Transporter mode 時、EE の主な取り合いは以下となる。

- EE のローカルコントローラー用の電源
- 通信 (EtherCAT)
- カメラネットワークリンク

Skid mode においては、EE が BM に固定された状態で EE とツールの運用を行う。Skid 及び複合ケーブルは、ツールの運用（例：溶接作業）に必要なユーティリティを提供する。

- EE のローカルコントローラー用の電源
- 通信 (EtherCAT)
- 圧縮空気
- 溶接ガス
- 溶接電力

Skid mode では、コントロールコンテナ（運転室）から有線、又はモバイルコントローラーにより無線での制御を可能にする。

モバイルコントローラーには、コントロールコンテナからの有線制御とモバイルコントローラーからの無線制御の切り替えを行うキースイッチを実装する。これにより、双方の制御指令の競合を回避することができる。

注意:EE には、BAT による EE の正確な位置決めのために必要なカメラが実装されている。これらのカメラは、BAT ビジョンシステムに直接インターフェースされる必要がある。（ツール用制御システムへの接続は不要）

High-Level Control System (HLCS)

ツールに関わる制御系は、以下の HLCS HMI を実装する。

- Command and Control (C&C) : EE/ツールを操作するための HMI。
 - コントロールコンテナ内の固定 PC の HMI (有線 Ethernet 接続)
 - ナセル上で使用するモバイルコントローラー HMI (無線 Ethernet 接続)

ツール制御システムは、仮想現実 HMI (本契約の範囲外) とインターフェースする。また、ツール制御システムの運用手順は、Operation Management System (本契約の範囲外) によって管理される機器全体の制御系に統合される。

Low-Level Control System (LLCS)

ツール制御系には、2 つの運用モードのためのリモートコントローラーがある。

- 制御盤筐体の実装するリモートコントローラー : BAT に取り付けられた EE の遠隔制御のための制御モジュール (Transporter mode)
- Skid に実装するリモートコントローラー : EE とツールの遠隔制御のための制御モジュール (Skid mode)

また、以下の EE は各オンボードローカルコントローラーを持つ。

- SBG : Transporter mode のみ
- FBT : Transporter mode 及び Skid mode
- SBTB : Transporter mode 及び Skid mode
- 15NDG : Transporter mode のみ
- 15NDTB : Transporter mode 及び Skid mode
- FWG : Transporter mode のみ
- FWCBT : Transporter mode のみ

ツール制御システムの主構成要素を図 20 に示す。(グレーアウト箇所は対象外)

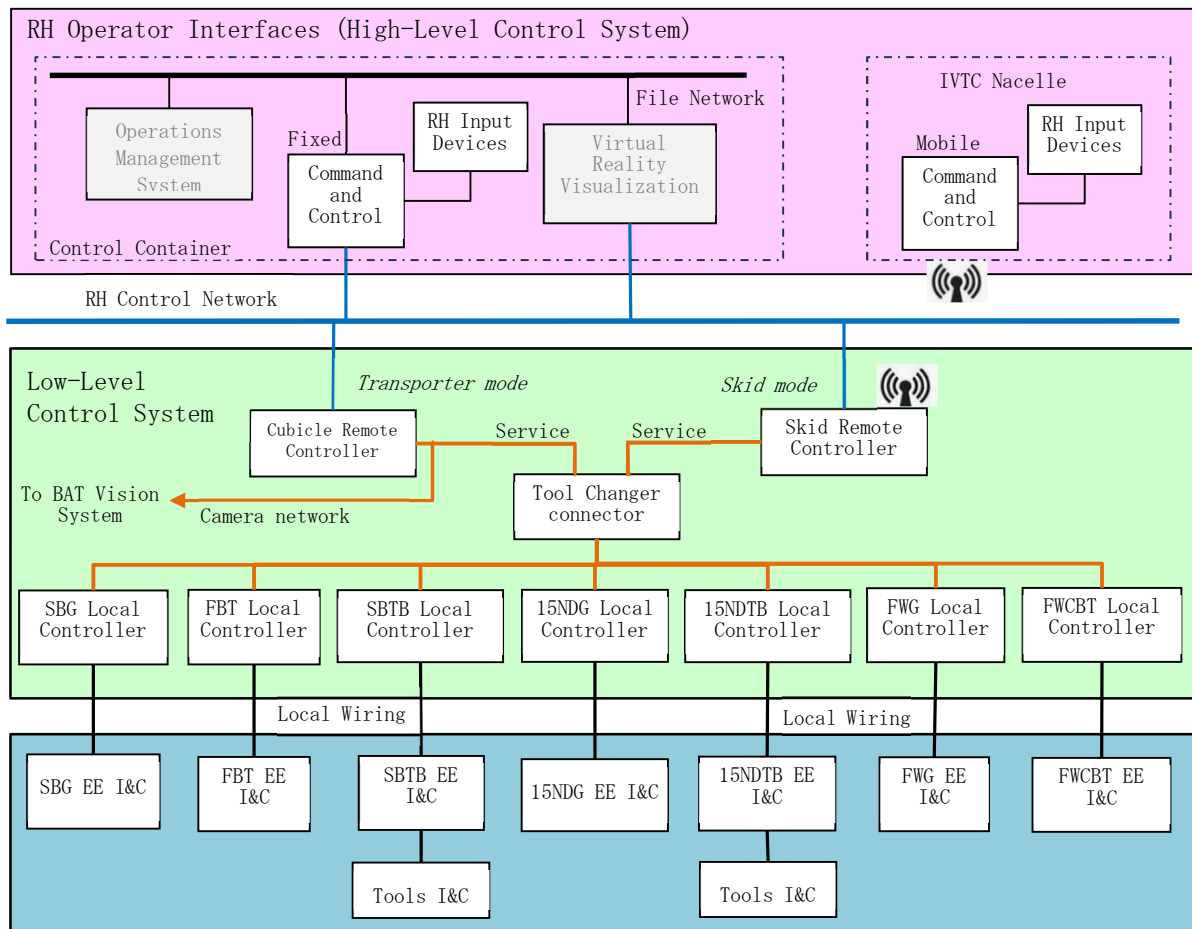


図 20 ツール制御システムの概略構成

Transporter mode

Transporter mode の場合、EE はツールチェンジャーを介して BAT の先端に取り付けられる。BAT を介して EE への電氣的な接続が成立し、EE のカメラは BAT ビジョンシステムに接続される。

Transporter mode における操作では、BAT と EE の順次操作が必要である。例えば以下のフロー等が想定される。

- BAT が BM に対してスタンドオフ位置に移動する。
- ビジョンシステムのフィードバックにより、BAT が EE を BM に合わせて配置し、接続する。
- EE が BM を把持する。
- EE が VV に対する BM の固定を解除する。
- BAT が BM の荷重を BAT に移すために移動する。
- BAT が BM を VV 壁から移動させる。

操作シーケンスは、正確に検証された順序で実行されなければならない。これは、BAT とツールの制御シーケンスを共通の再生ファイルに実装することによって確立される。

Skid mode

Skid mode では、EE が BM に固定された状態となる。この時ツールは、コントロールコンテナから遠隔で操作するか、IVTC ナセル内の作業員によってローカルに操作することが可能である。これを可能にするために、リモートコントローラーは無線通信をサポートする必要がある。この構成により、C&C HMI を、VV 内の IVTC ナセル内で運用されるモバイルコントローラー上で実行することができる。

C&C HMI

C&C GUI アプリケーションは、ツールシステムを操作するために必要となる。C&C は、Red Hat Enterprise Linux (CODAC で使用される最新バージョン) 上で動作可能となるように実装する。C&C は、コントロールコンテナ内の PC または VV 内で運用されるモバイルコントローラー上で実行可能となるように設計する。C&C は、運転員に対して、ツールシステムを操作するために以下の機能を提供する。

- ・ ステータスデータの表示
- ・ 操作コマンドを構築して送信するためのインターフェース
- ・ 事前に記録された操作シーケンスの実行

C&C (PC 実装及びモバイルコントローラー実装) は、IO が提供するプロトコル (Low-Level CIP API) により、下位制御系と通信を行う。コントローラーの各種通信データ (ステータスデータ、コマンド、アラーム、イベント) は、IO に提供する。

Transporter mode では、BAT と EE を制御するために、両者の機能が統合された単一の C&C GUI (図 21 参照) が必要となる。BAT C&C と EE 用 C&C の統合は IO により実施する。C&C HMI は、Structured Language フォーマットにより、BAT と EE の順次操作を含む事前プログラムされたシーケンスを実行する機能を有する。ツール操作の FAT で使用された C&C のソースコードは、ITER 運用チームに提供される。

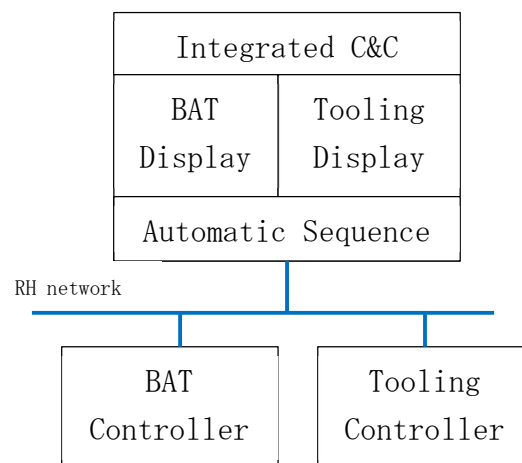


図 21 BAT 及び EE の C&C 統合の概略図

Skid mode では、BM に固定されたツールシステムを操作するために、C&C は堅牢なポータブルコントローラー上で操作指令を実行する必要がある。ポータブルコントローラーは、リモートコントローラーとの無線通信機能を有する。また、システムを安全な状態にトリップさせるための非常停止ボタンを実装する。(図 22 参照)

C&C はポータブルコントローラー上で実行され、EE 及びツールを操作するために必要な機能を提供する。C&C HMI は、人間工学を考慮して設計する必要がある、C&C レイアウトの設計は、開発ライフサイクルの適切な時期に ITER 運用チームとのレビューを行う。VV 内では作業員が手袋を着用してポータブルコントローラー操作することを考慮に入れて、C&C の設計を行う。



図 22 ポータブルコントローラー参考図

キュービクルリモートコントローラー

ツール制御システムには、BAT (Transporter mode) に取り付けられた EE を制御するためのキュービクルリモートコントローラーが含まれる。キュービクルリモートコントローラーの機能は以下の通りである。

- C&C HMI とのインターフェースを提供すること。
 - 定期的にステータスデータを HMI に送信すること。
 - HMI コマンドを処理すること。
- ツール用ステートマシンを実行すること。
 - ツールの全体的な機能（動作及びツールプロセス）を管理すること。
- EE に実装されるアクチュエータドライバとのインターフェースを提供すること。
 - EtherCAT を介して動作コマンドを送信し、センサーデータを監視すること。
- 非常停止回路を実装すること。
 - トリップ及びリセットが可能であること。
 - 外部保護システムによるトリップ用の I/O を提供すること。

キュービクルリモートコントローラーは、標準の CODAC キュービクルに設置できるように構築されるものとする。キュービクルリモートコントローラーは BAT キュービクルに取り付けられ、BAT キュービクルから AC 電源及び RH ネットワークへの接続を受けることを想定している。

スキッドリモートコントローラー

ツールシステムには、Skid mode 時、BMに取り付けられた EE 及びツールを制御するためのスキッドリモートコントローラーが含まれる。スキッドリモートコントローラーの機能は以下の通りである。

- ・ C&C HMI とのインターフェースを提供すること。
 - 定期的にステータスデータを HMI に送信すること。
 - HMI コマンドを処理すること。
- ・ ツール用ステートマシンを実行すること。
 - ツールの全体的な機能（動作及びツールプロセス）を管理すること。
- ・ EE に実装されるアクチュエータドライバとのインターフェースを提供すること。
 - 動作コマンドを送信し、センサーデータを監視すること。
- ・ 非常停止回路を実装すること。
 - トリップ及びリセットが可能であること。
 - 外部保護システムによるトリッピング用の I/O を提供すること。
- ・ ツールのプロセスコントローラー（例：溶接コントローラー）とのインターフェースを提供すること。

スキッドリモートコントローラーは、C&C との有線イーサネット通信及び無線イーサネット通信の両方をサポートするものとする。スキッドリモートコントローラーは、キュービクルリモートコントローラーと同じハードウェアを利用するものとする。スキッドリモートコントローラーは、Skid に設置されるものとする。

Skid には、ツール特有のコントローラーが実装されるものとする。これらは COTS 製品であることを想定する。溶接ツールなどの場合、電力及び信号はツールチェンジャー及び EE 上のローカルコントローラーを経由せずに直接ツールに接続されることがある。

ローカルコントローラー

ローカルコントローラーは、各 EE に対応した構成とする。ローカルコントローラーは、特定の EE 及びツール（該当する場合）の動作を制御するものとする。ローカルコントローラーは、VoIP カメラとのインターフェースをサポートするものとする。イーサネットアップリンクは、BAT ビジョンシステムに接続されるものとする。EE アクチュエータドライバとの通信は EtherCAT を使用するものとする。ローカルコントローラーのコンポーネントは、各 EE の特性に依存するものとする。

3.5 FBT プロトタイプ的设计・製作

0～3.4 項、別紙 5 の 8.6 項（ボルト締結ツールの機能仕様）に示す要求項目を考慮し、3.5.1 項及び 3.5.2 項に示す FBT プロトタイプ的设计・製作を実施すること。

3.5.1 FBT プロトタイプ及び試験架台的设计

図 23 及び以下に記す機能を有する FBT プロトタイプ、SB モックアップ（模擬体）、試験

架台（図 23 参照）及び制御装置及びソフトウェアを設計すること。

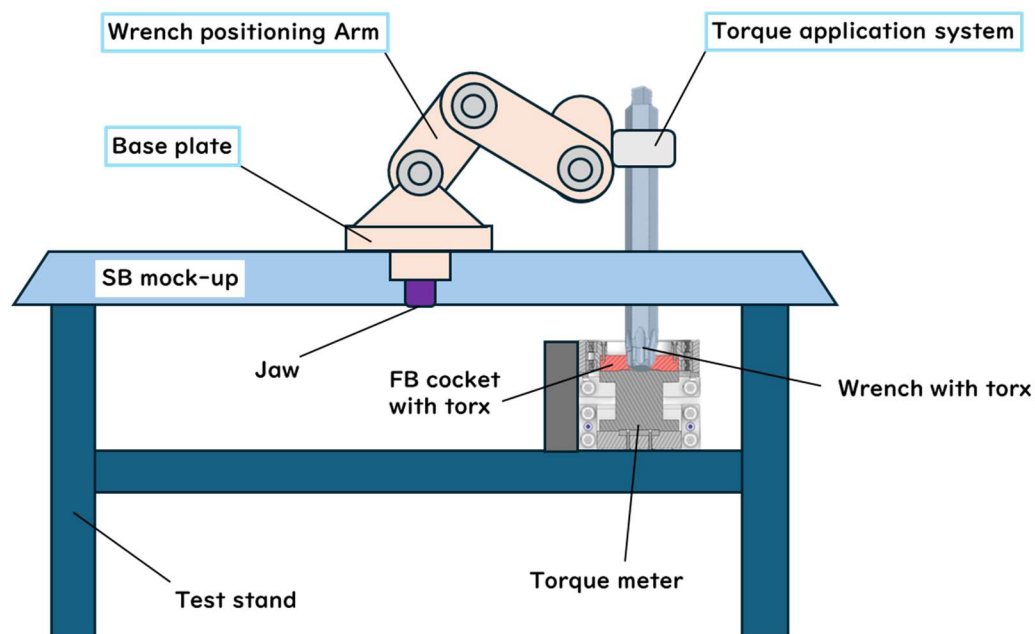


図 23 FBT（レンチ位置決めアーム）と試験架台及びトルクメーター設置の概念図

3.4.2 項に示す FBT プロトタイプ設計仕様を基本とし、本項に示す機能を追加、又は変更した FBT プロトタイプを設計すること。また、FBT プロトタイプの図面を取り纏め、提出すること。本試験では、SB 及び FBT を試験架台に対して垂直に配置すること（図 23 参照）。

(1) FBT プロトタイプ：

レンチ位置決めアームとトルク印加システム（レンチ含む）とベースプレートから構成され、それぞれ以下に示す機能を有すること。

(a) レンチ位置決めアーム(Wrench positioning arm)：

－トルク印加システムを装着した状態で、FB 導入孔上に設置される位置を計算により算出可能な構造を有すること。

(b) トルク印加システム (Torque application system)：

－レンチは手作業にて交換可能な構造とすること（工具の使用可）。

(c) ベースプレート (Base plate)：

－ジョーによるクランプ機構で SB モックアップに固定する機能を有すること。

(2) SB モックアップ (SB mock-up)：

FBT プロトタイプを固定できるインターフェース（CB ねじ構造、配管経路溝）を有すること。試験架台に固定できるインターフェースを有すること。

(a) FB 導入孔：

－各 SB バリエーションの複数形状をふまえて、FB 導入孔の位置は M64 固定部から最短と最長距離の 2 ヲ所を模擬すること（図 24 参照）。

- レンチが挿入される FB 導入孔の径は $\phi 46$ とすること。
 - FB 導入孔の位置及び角度は任意に変更し、固定可能なこと。
- (b) トルクメーター：
- 導入孔の奥（VV 側）に、試験架台側に設ける FB ソケット構造とトルクメーターを配置可能な構造とすること（図 25 及び図 26 参照）。
 - FB 導入孔の位置及び角度は任意に変更し、固定可能なこと。
- (c) 搬送治具：
- 設置時クレーンの吊り具であるアイボルト構造などを具備すること。

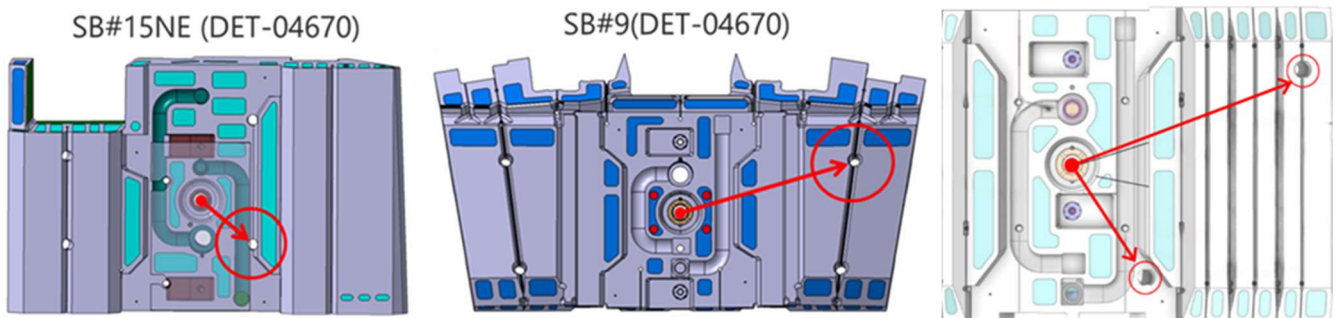


図 24 SB バリエーションの例（最短/最長距離）と 2 ヶ所を模擬した SB モックアップ

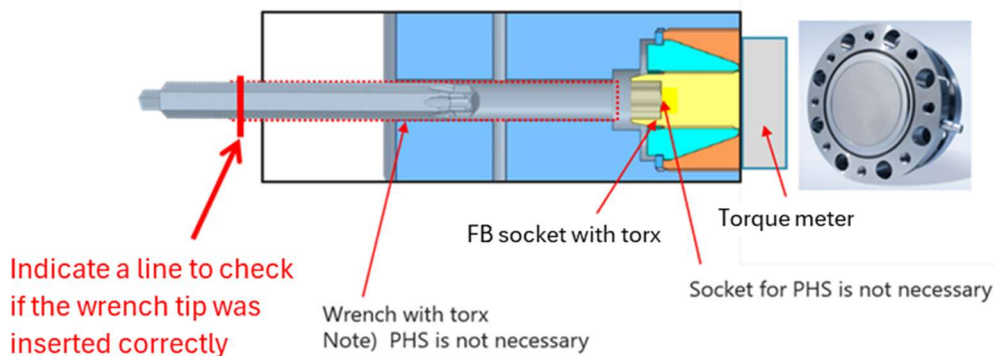


図 25 レンチと FB ソケット (Torx) 及びトルクメーター設置の概念図

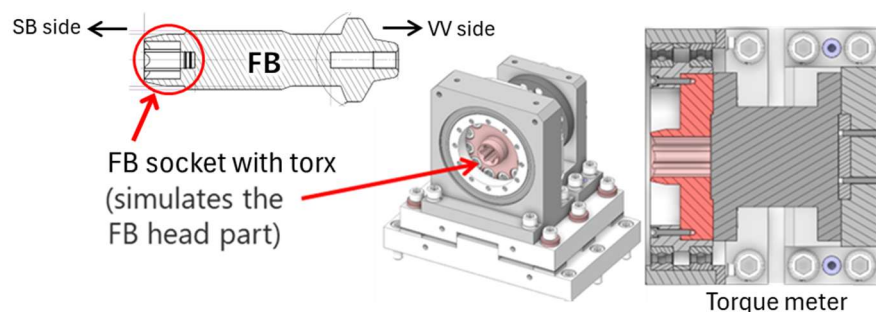


図 26 FB ソケット（FB の SB 側）とトルクメーター

(3) 試験架台 (Test stand) : (図 23 参照)

床面と試験架台を固定するためのインターフェースを設けること。

(a) FB ソケット構造及びトルクメーター：(図 26 参照)

- 定格容量 10 kNm のトルクメーターを具備すること。
- 試験架台上に固定可能なこと。
- シムにより試験架台上で並進、角度を調整可能とし、SB モックアップの FB 導
入孔に対し、位置及び角度誤差を設定可能なこと。
- FB ソケット構造に、PHS のインターフェースは不要とする。

(b) 搬送構造：

- 試験架台下面にリフター爪が挿入可能な空間を設けるなどし、リフターで搬送
するための構造を有すること。
- 搬送時 SB モックアップを固縛できるインターフェースを有すること。
- その際、FB ソケット構造、トルクメーターの並進及び角度を調整した場合でも
SB モックアップとの干渉無きこと。

(4) 制御装置及びソフトウェア：

トルク印加システムを動作させるための制御装置及びソフトウェアを設計する
こと。

(a) 締結時のトルク、回転数、締結速度等を任意に設定可能なこと。

(b) 締結時の角度とトルク、モーター電流値をモニタリング可能なこと。

上記機能を実現させるため、以下の構成による制御システムを設計すること。

- ・ ベースプレートに実装されるローカルコントローラー
- ・ Transporter mode 及び Skid mode で使用するリモートコントローラー
 - Transporter mode 用リモートコントローラー、Skid mode 用リモートコン
トローラーについて、実機では実装場所がそれぞれ異なるため、個々の別
デバイスとして設計すること。
 - FBT プロトタイプとしては、Transporter mode 用リモートコントローラー、
Skid mode 用リモートコントローラー、またそれに付随する電源装置等を
1 つの制御 BOX 内に実装すること。
- ・ 制御コンテナ内からの操作監視を想定した機能を有する PC (C&C を実装)
 - 当該 PC に実装する C&C について、ソースコードを提示すること。
- ・ Skid mode 用のポータブルコントローラー (C&C を実装)

(5) 備考：

(a) 構成部品の耐放射線性仕様化は不要のこと。

(b) FB ソケット構造と、トルクメーター固定部の材質はアルミ合金、ステンレス
鋼又は防錆処理した炭素鋼とし、極力軽量化すること。

(c) 各種設計・製作にあたっては、以下の指令に適合すること。

- Electromagnetic Compatibility (EMC) Directive 2014/30/EU
- Low voltage Directive (LVD) 2014/35/EU
- Machinery Regulation 2023/1230/EU

(d) その他、受注者側検討により提案がある場合は、適宜協議の上決定とする。

3.5.2 FBTプロトタイプ及び試験架台の製作

上記設計結果を基に、設計仕様を満足する形で以下に示す FBT プロトタイプ及び、試験架台他（以下「FBT プロトタイプ 1 式」という。）を製作すること。製作着手前に、Assembly Drawing（1.5 項参照）を作成して QST の確認を得ること。

- (1) FBT プロトタイプ：
 - (a) レンチ位置決めアーム：1 台
 - (b) トルク印加システム：1 台、レンチ：合計 2 本（M64/M52 用の各 1 本を含む）
- (2) SB モックアップ：1 台
- (3) 試験架台：1 台
- (4) 制御装置及びソフトウェア：1 式

3.6 FBT プロトタイプを用いた試験の実施

上記で設計・製作した FBT プロトタイプ 1 式を用い、以下に示す締結試験を行うこと。試験実施前には、試験の実施手順、作業内容、結果（データ）の取得方法及び判定方法等に関する要領を定めた Factory Acceptance Test Plan (FATP)（1.5 項参照）を作成して QST の確認を得ること。

また、試験実施後には、試験結果を Factory Acceptance Test Report (FATR)にとりまとめるとともに、実施中の機器の操作手順をまとめた Equipment Operation and Maintenance Manual を作成すること（1.5 項参照）。

なお、ITER 現地サイトにて実施予定の同様の試験（本契約の対象外）にむけて、FATP の内容を基に Site Acceptance Test Plan (SATP) を作成すること。併せて、FBT プロトタイプ一式をサイトへ運搬する準備として、別途 QST から受注者に提供する様式に従い、Declaration of compliance 及び Release Note を提出し、QST の確認を得ること。

3.6.1 試験：Phase-1

- (1) ツール動作に関する確認項目：
 - (a) FBT プロトタイプのアーム固定システムを用いて、SB モックアップへの取付け作業を実施し、設計通りの取り付け可否を試験・評価すること。
 - (b) 固定後の安定性や取付け精度について、定性的・定量的な評価を実施すること。
 - (c) FBT が 360° 回転機能について、回転動作を実施し、制約なく回転可能か試験を行うこと。
- (2) 位置精度に関する確認項目：
 - (a) トルク印加システムの取付け位置（レンチ位置決めアーム先端）について、設計上の理論座標と実測値を比較し、FB 導入孔に対する位置決め精度を計測・評価すること（図 27 参照）。

- (b) 実測値と設計値との差分を算出し、ずれ量を計測するとともに、その妥当性及び修正量の適否を検討すること。
- (c) 測定データを統計的に分析し、位置ずれ量を定量化し、その要因を特定すること。
- (3) 位置再現性に関する確認項目：
 - (a) トルク印加システムの設置位置における繰り返し動作の精度と再現性を確認し、動作の安定性と一貫性が確保されていることを検証すること。
 - (b) 同一条件下での複数回試験を実施し、位置再現性及びばらつきの範囲が許容誤差内に収まっていることを確認し、必要に応じて補正・調整の検討を行うこと。

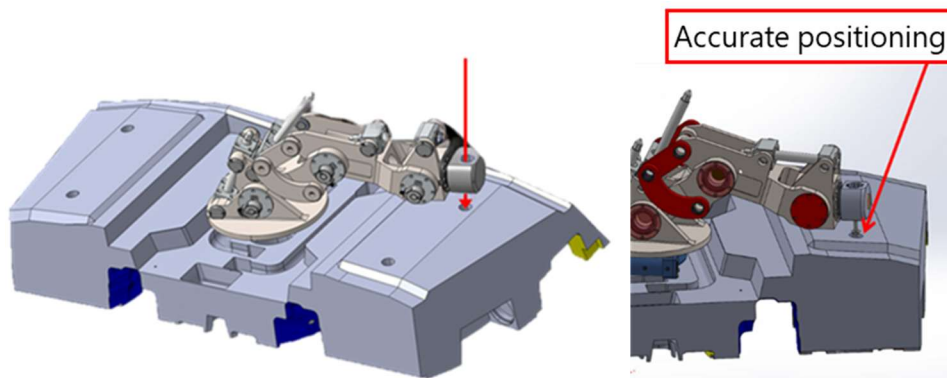


図 27 FB 導入孔に対するレンチ位置決めの簡略図

3.6.2 試験：Phase-2

- (1) トルク印加に関する確認項目：
 - (a) SB モックアップに対し、FB ソケット及びトルクメーターの位置・角度誤差が無い状態で、レンチの挿入及びトルク $8.4\text{kNm} \pm 10\%$ の印加が可能であることを評価すること。目標値未達の場合は、課題及び改善案を提示すること。
 - (b) 締結後における締結トルクの再現性を評価すること。基準トルク $8.4\text{kNm} \pm 10\%$ を基本とし、複数条件下での締結トルク再現性を検証すること。
 - (c) 連続 10 回の締結試験において、トルク誤差 5% 以下であることを目標とし、誤差を測定・記録すること。目標値を超過した場合は、課題と改善案を提示すること。
 - (d) 締結時の負荷をトルクメーターでモニタリングし、選定した駆動系の妥当性を評価すること。
 - ・ 負荷が定格の 40% 未満または 80% 以上となる場合は、設計上適切な余裕度を考慮し、課題及び改善案を提示すること。
 - (e) レンチ回転条件と、発生する締結トルクの関係性を整理すること。
- (2) トルク印加作業時間確認項目：
 - (a) FB 締結完了までの各作業時間の計測し、平均作業時間を算出すること。
 - ・ 各作業フェーズを以下に区分し、それぞれについて計測を行うこと。
 - ① アーム折り畳み状態（スタート）から FB 導入孔に到達まで。
 - ② FB 導入孔にレンチ挿入から FB ソケット嵌合まで。
 - ③ レンチによるトルク印加開始から $8.4\text{kNm} \pm 10\%$ の締結完了まで。

- ④ 締結後、FB 導入孔からレンチ抜去まで。
 - ⑤ アームが始動位置復帰まで（参考値：通常は次の FB 締結に移行するため）。
- (3) ツールアライメントに関する確認項目：
- (a) トルク印加システムに装着したレンチを FB 導入孔に挿入した状態で、FB ソケット及びトルクメーターの位置・角度を変化させた際の締結可否を評価すること。
嵌合状態の観察を行い、各組み合わせにおける締結限界（許容位置・角度）を特定すること。
 - (b) トルク印加時におけるレンチのスプラインシャフトと FB 導入孔の干渉有無を、応力測定シートを用いて確認すること（図 28 参照）。
 - ・ 干渉が確認された場合、位置・範囲・応力を記録し、結果として整理すること。
 - (c) 試験後の FBT プロトタイプ及び SB モックアップの損傷有無を確認すること。
 - ・ 損傷が認められた場合は、その位置・範囲・影響を記録・整理し、結果としてまとめること。
 - (d) 挿入したレンチが設計仕様通りのアライメントであるか確認すること。
- (4) その他確認項目：
- (a) 試験全体の結果を基に抽出された課題とその対策案を整理すること。
 - (b) その他受注者による提案がある場合は、適宜協議を行うこと。

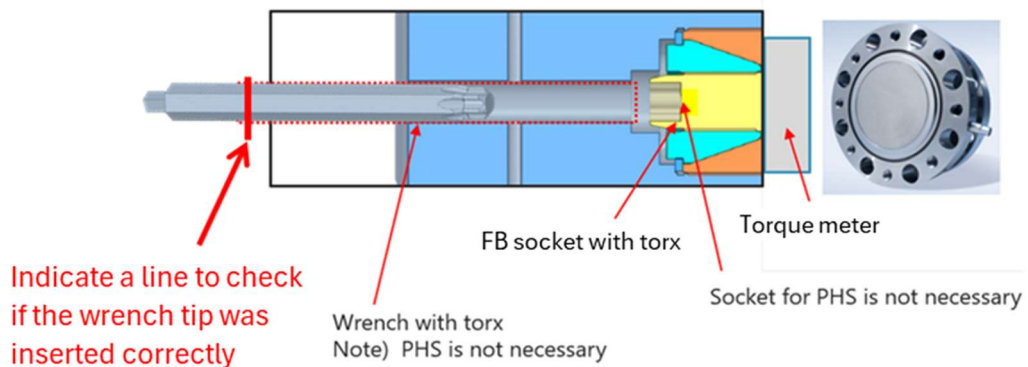


図 28 FB ソケット締結時におけるレンチ先端の嵌合確認基準

3.7 図書類の作成

受注者は、3.5 項で実施した作業及び 3.6 項の試験結果について、1.5 項及び 1.7 項に基づく納入物及び図書類一式を作成し、納入すること。

以上