

金井宇宙飛行士の船外活動（EVA）概要（予定）

金井飛行士は、2018年2月16日（金）に予定されている国際宇宙ステーション（ISS）の米国側の48回目の船外活動(US EVA-48)を実施することになりました。この作業は、1月23日に行われたUS EVA-47の続きとなる作業ですので、この2回の作業概要を以下に紹介します。

この船外活動（Extravehicular Activity：EVA）は、2回ともアメリカ人のマーク・ヴァンデハイ飛行士がEV1として作業をリードします。1回目はEV2としてアメリカ人のスコット・ティングル飛行士が担当し1月23日に実施しました。2回目の船外活動では金井飛行士がEV2を担当します。なお、当日、NASAジョンソン宇宙センターでは星出飛行士が船外活動のEVA交信担当（Ground IV）を務める予定です。



図1 1月23日に予定されている船外活動（US EVA-47）のクルー
（左）マーク・ヴァンデハイ飛行士(EV1)(NASA)、(右)スコット・ティングル飛行士(EV2)(NASA)



図2 2月16日に予定されている船外活動（US EVA-48）のクルー
（左）マーク・ヴァンデハイ飛行士(EV1)(NASA)、(右)金井 宣茂 飛行士(EV2)(JAXA)

EV1とEV2の見分け方は？

船外活動は二人一組で実施するのですが、宇宙服を着てしまうと一見、どちらがEV1でどちらがEV2かわかりません。そのため、EV1の宇宙服には必ず赤い印（太もも部分）が取り付けられています(図8-6参照)。今回、金井飛行士はEV2となるので、赤い線が無い方（白い線）が金井飛行士になります。



図3 (左) EV2 (白い線)、(右) EV1 (赤い線)

<https://www.flickr.com/photos/nasa2explore/34865833081/>

星出飛行士の役割『EVA交信担当』とは？

EVA交信担当（Ground IV）は原則、宇宙飛行士が担当し、その役割は船外活動クルーとの交信を一手に担い、刻々と変化する状況の中で、適切なタイミングで作業指示を伝えることです。

2018年1月及び2月の2回にわたり実施するEVAは、ISSのロボットアーム「カナダアーム2」(SSRMS)の両端(A側、B側)にある把持機構(Latching End Effectors (LEE : 「リー」と発音))のうち、今後の運用を考慮してB側で使用しているLEE(LEE-B)を予備品のLEEと交換するのが目的です。

SSRMSは2001年4月にISSへ運ばれたもので、「こうのとりのり」などの補給船をキャプチャするために高い頻度で使われてきました。すでに2017年10月の船外活動時にA側のLEE (LEE-A) は交換を終えております。

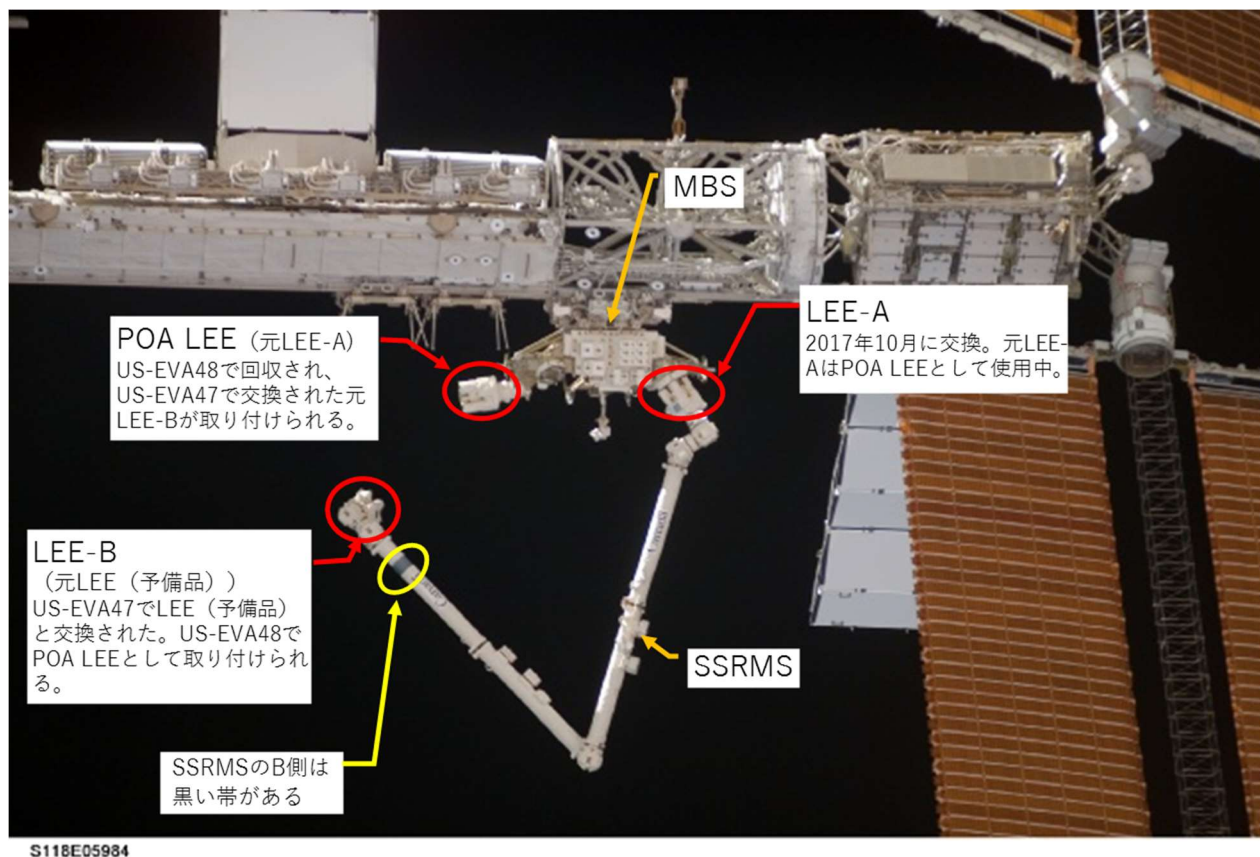


図4 ISSのロボットアーム (SSRMS) (NASA)

<https://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-15/html/s118e05984.html>

なお、宇宙服や工具、プリブリーズといった船外活動に関する共通的な解説は、星出宇宙飛行士のISS長期滞在プレスキットの4章で紹介していますので、ご参照下さい。

http://iss.jaxa.jp/iss/jaxa_exp/hoshide/library/presskit/

今回の船外活動で対象となる“LEE”とは？

今回の船外活動で交換がされるLEEは「こうのとり」などの補給船やISSの構造物を把持するための機構自体の名称です。

NASA TVでも“LEE-A”“LEE-B” “POA LEE”“Spare（予備品）LEE”などと呼ばれたりしておりますが、例えば“今回のEVAで交換されるLEE-BはLEE-Bとしてしか使えないのか？”と言われると、そうではなく、POAでも使えたり、LEE-Aでも使えたりします。

すなわち、どこに取り付けられるかで呼び方が変わります。

例えば、以下図8-4のLEEはSSRMSのA側に取り付けられれば“LEE-A”。B側に取り付けられていれば“LEE-B”となりますが、機能と構造は全く一緒です。（POAにつけば“POA LEE”）（図8-5参照）

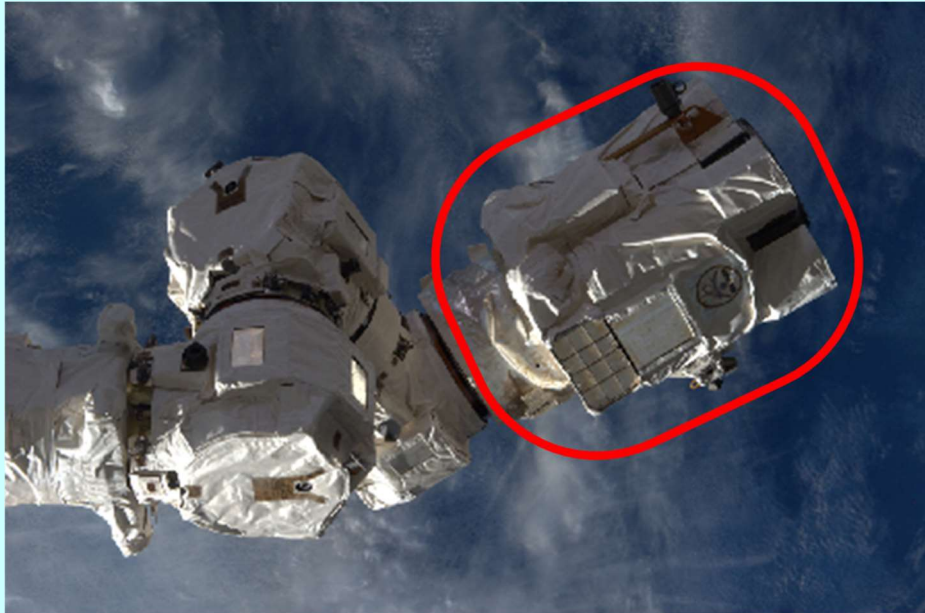


図5 SSRMS先端のLEE (ESA/NASA)

http://www.asc-csa.gc.ca/eng/iss/news.asp?utm_source=home-page#20180118

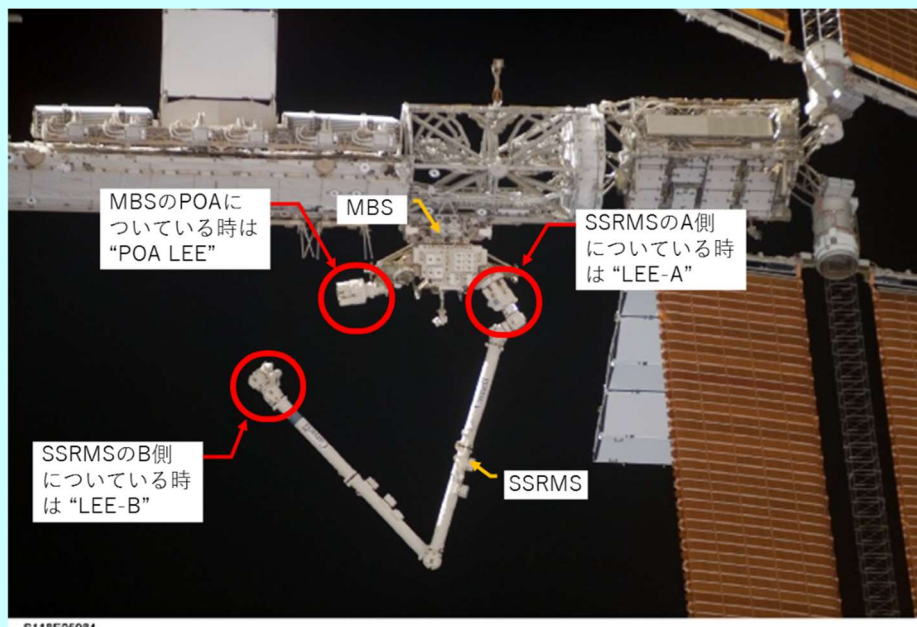


図6 LEEの呼び方は取り付けられた場所によって変わる

<https://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-15/html/s118e05984.html>

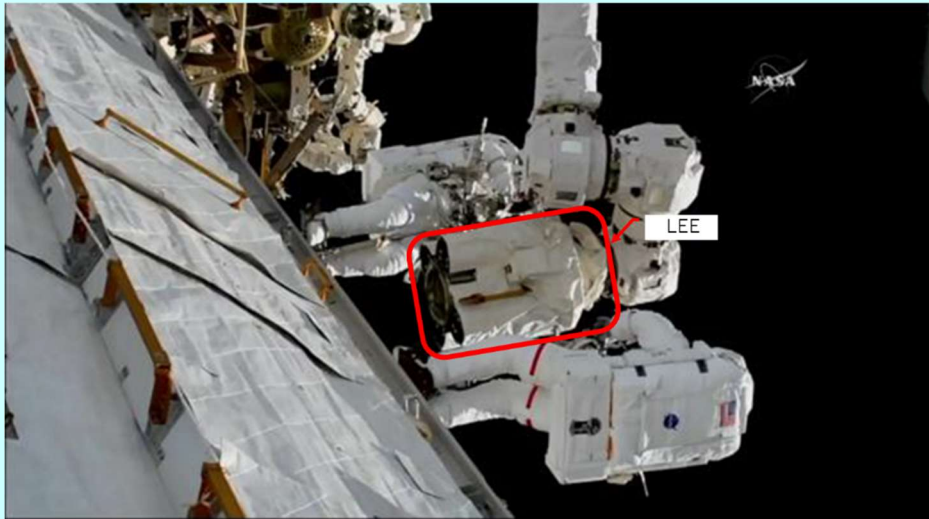


図7 LEEと宇宙飛行士のサイズ比較 (2017年10月 NASA TVより)
LEEの重量は約200kg。

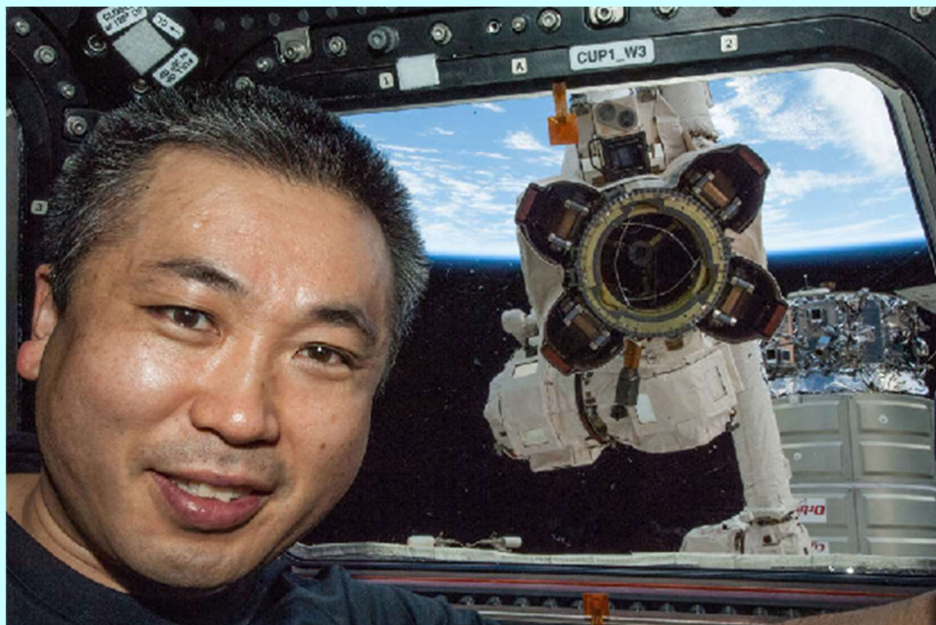


図8 LEEを正面から見た写真 (NASA)

<https://www.nasa.gov/content/astronaut-koichi-wakata-with-canadarm2>

LEEの中には3本のワイヤーがあり、これを狭めて締め付けることで対象物に取り付けられている棒を固定し、ロボットアームでつかむことができます。

1. US EVA-47の作業概要

US EVA-47では、現在SSRMSで使用されている**LEE**（LEE-B）を船外保管プラットフォーム（ESP2）に保管されていた**LEE**（予備品）に交換する作業を行いました。

以下、作業概要です。

(1) 船外保管プラットフォーム2(ESP2)に保管されていた**LEE**（予備品）を準備します。

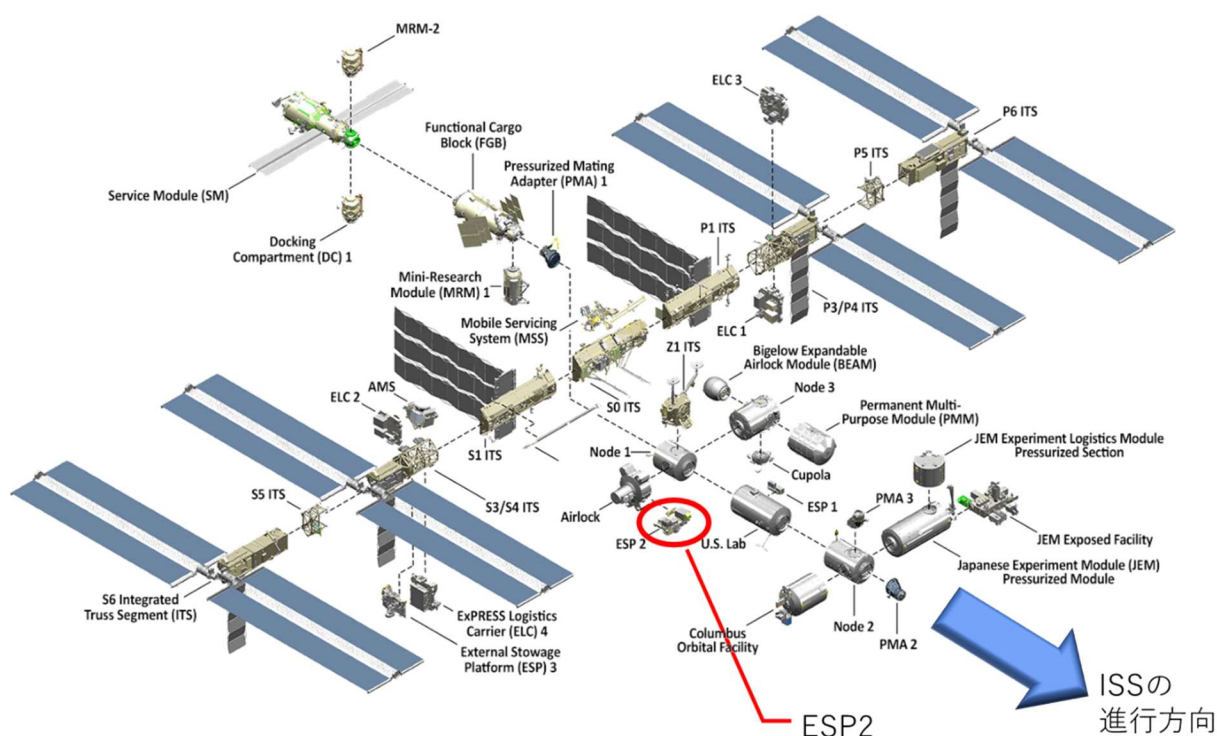


図9 予備品のLEEが保管されている船外保管プラットフォーム（ESP2：赤丸）

<https://www.nasa.gov/feature/facts-and-figures>

- (2) SSRMSのB側をESP2に移動させ、**LEE**（LEE-B）を固定している6本のボルト（EFD）を緩めて取り外します。（この際のロボットアーム(SSRMS)操作は金井宇宙飛行士が担当します。）
- (3) SSRMSから取り外した**LEE**（LEE-B）をESP2上に4本のボルト（EFD）で仮保管し、**LEE**（LEE-B）に取り付けられているTVカメラ（CLA）を取り外して**LEE**（予備品）に取り付けます。（**LEE**（予備品）にTVカメラ（CLA）が取り付けられていないため。）
- (4) **LEE**（予備品）をSSRMSのB側に6本のボルト（EFD）で取り付けます。（これで**LEE**（予備品）は“LEE-B”と呼ばれるようになる。）



図10 ESP-2上でのLEEの交換作業イメージ (NASA TVより)

2. US EVA-48の作業概要（金井宇宙飛行士がEV 2として対応するEVA）

US EVA-48では、ISSのトラス上にあるMBSのPOAで使用されているLEE（POA LEE：2017年10月に交換された元LEE-A）を地上整備のためエアロックからISS内に回収し、US EVA-47でESP2上に仮保管したLEE（元LEE-B）に交換します。

回収されたPOA LEE（元LEE-A）はドラゴン補給船で地上へ帰還させ、整備をしたのち、予備のLEEとして再び打ち上げられる予定です。

当日の作業分担は以下の通り：

	開始時間	ヴァンデハイ宇宙飛行士	金井宇宙飛行士
(1)	00:00	ISSエアロックから船外へ出て、EVA作業準備を実施（20分）	
(2)	00:20	SSRMSの先端に乗るための準備（30分）【ESP2】	MBSのPOA LEE※に取り付けられているカメラ取り外し（30分）【MBS】 ※2017年10月に交換されたモノ
(3)	00:50	MBSのPOA LEEを取り外す（1時間）【MBS】	
(4)	01:50	(3)のLEEをエアロックへ移動（30分）【MBS】【エアロック】	
(5)	02:20	ESP2に仮置きされていたLEEの取り外し（1時間）【ESP2】	
(6)	03:20	(5)のLEEをMBSのPOAに設置（50分）【MBS】	
(7)	04:10	SSRMSの片付け作業（30分）	MBSのPOAに設置したLEEに(2)で取り外したカメラの取付け（30分）【MBS】
(8)	04:40	Get Ahead（1時間25分）	SSRMSのLEE-Aに静電気防止用ストラップを取り付ける（30分）【トラス】
(9)			Get Ahead（55分）
(10)	06:00～	作業エリアの片付け、船内への帰還（25分）	

— SSRMS関連作業

— カメラ関連作業

— MBSのPOAにあるLEE関連作業

— EVA No.1で交換したLEE関連作業

— 静電気防止用ストラップ関連作業

(注1) 【 】内は作業場所

(注2) 記載されている時間は予定値の

ため進捗に応じて変わる可能性があります。

(注3) Get Aheadタスクの内容はEVAの進捗によりNASAが判断します。

図11 US EVA-48の作業分担

(注：作業状況によって内容が変わる可能性があります。)

(1) ISSのエアロックから出て、EVAの準備を行います。

(2) ヴァンデハイ宇宙飛行士は船外保管プラットフォーム2(ESP-2)のそばでSSRMSのB側先端に足場を取り付け、EV1がSSRMSの上に足を固定して作業が行えるようにします。

金井宇宙飛行士は自力で船外をトラス上のモービルベースシステム (Mobile Base System :MBS)まで移動 (20m程度) し、POA(Payload/Orbital Replacement Unit Accommodations) (「ポア」と発音)の一部として使用されているPOA LEE(昨年10月のEVA時に交換された元LEE-A)からTVカメラ (CLA) を取り外します。

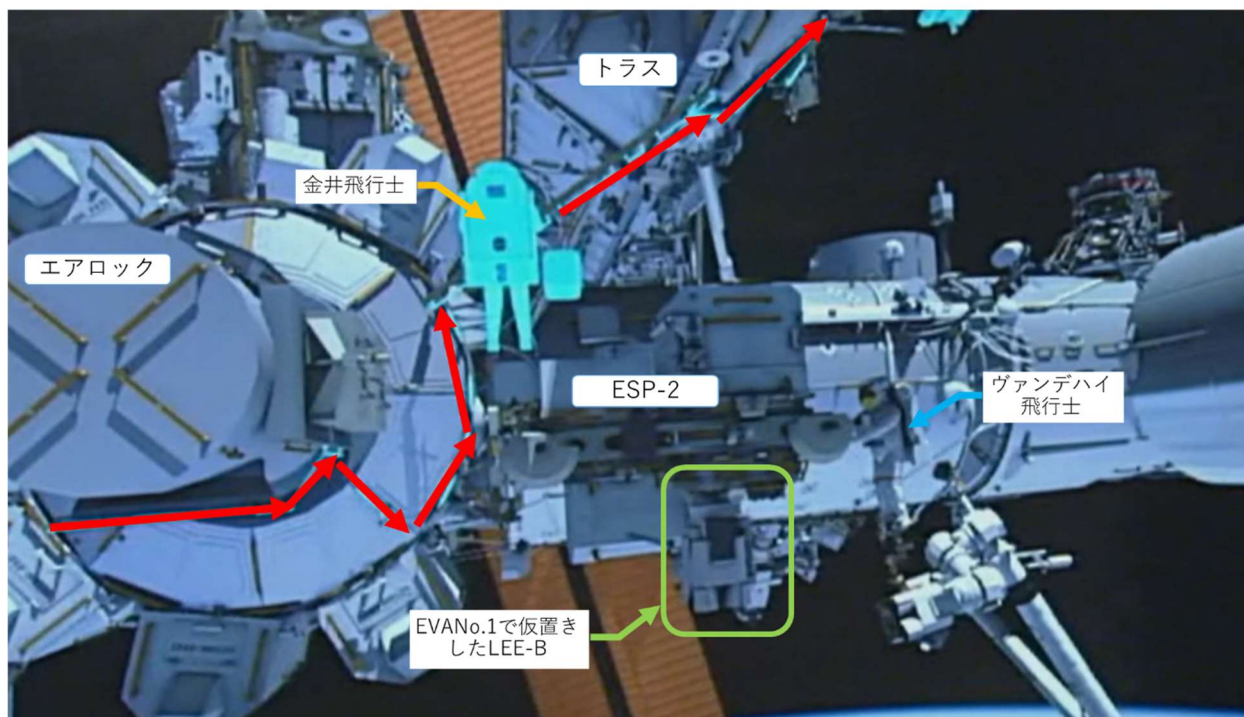


図12 エアロックからトラス上のMBSへ移動するためのルート (赤矢印)

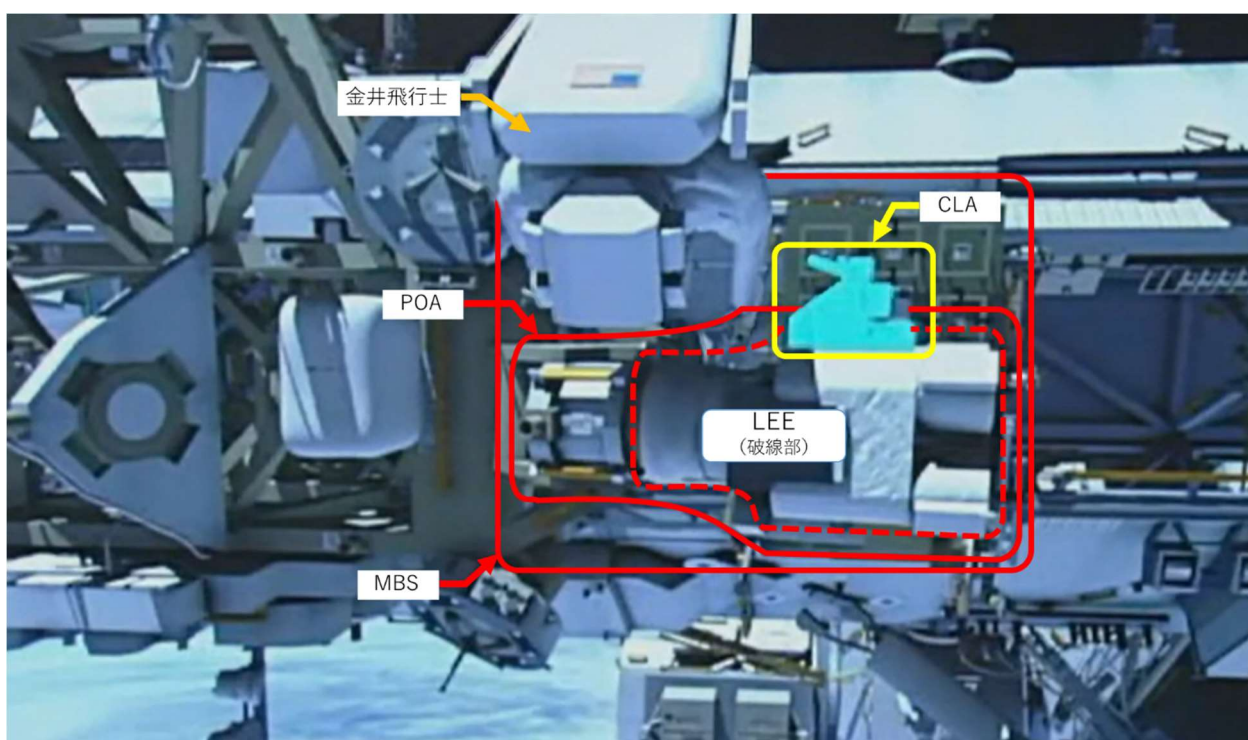


図13 MBSのLEE (POA LEE) (赤破線部) に取り付けられているCLA (黄色枠内)

(3) MBSのPOAの一部として使用されているLEE (POA LEE) をエアロックへ回収するために取り外します。(この時、6本のボルト (EDF) を緩めます。)

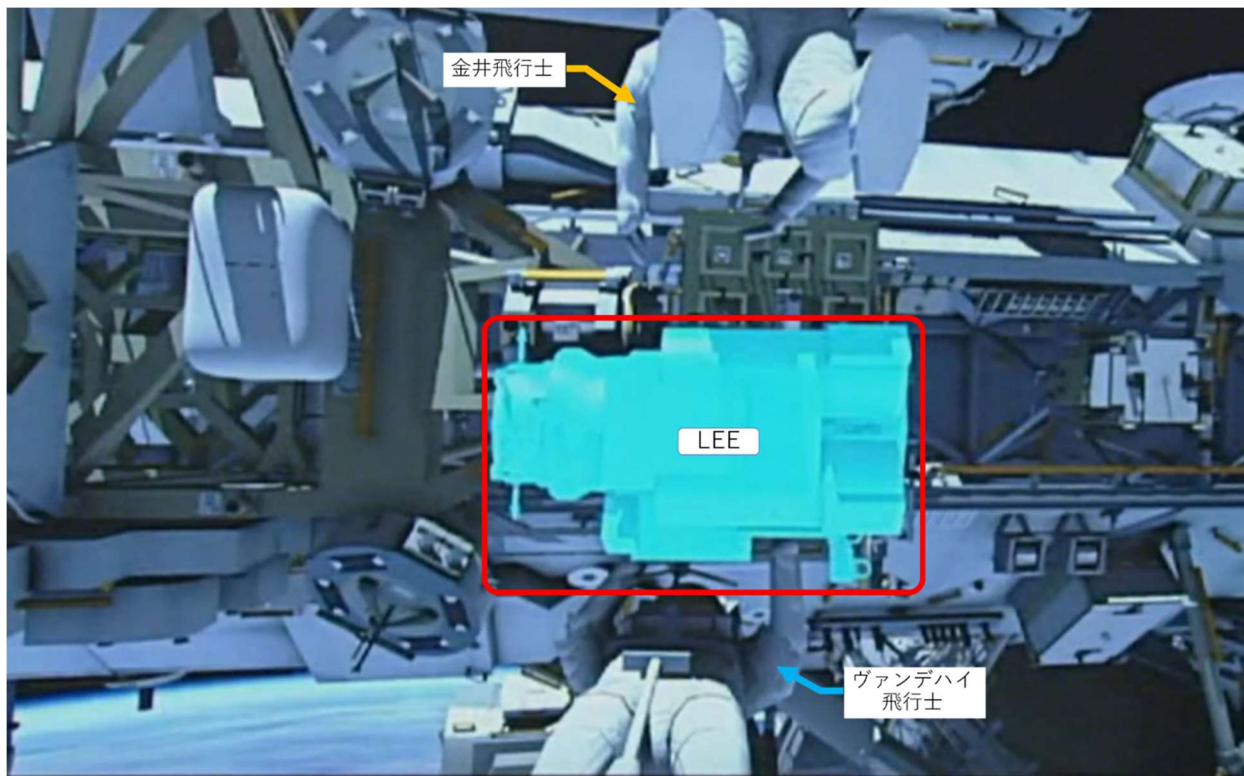


図14 MBSのPOAから取り外されたLEE (ヴァンデハイ飛行士が持っている状態)

(4) 取り外したLEE (POA LEE) をロボットアームで運びエアロックに回収します。

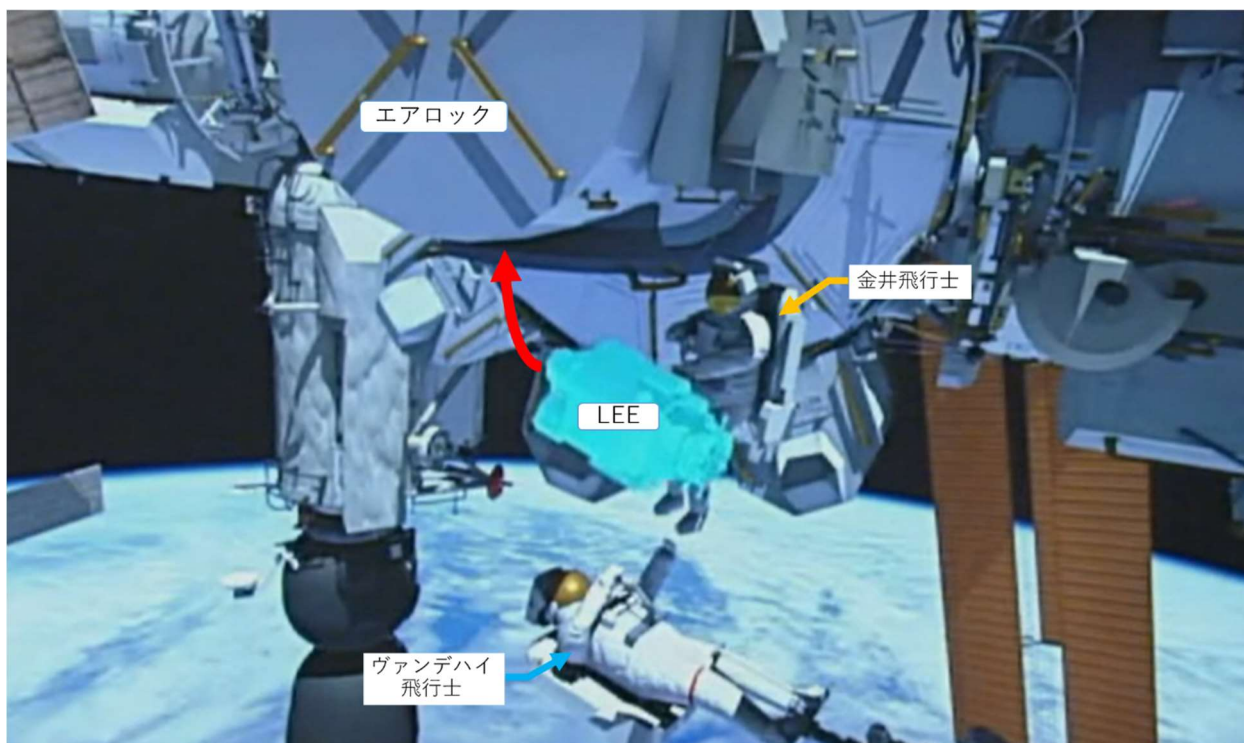


図15 MBSのPOAから取り外されたLEEをエアロックに回収する

(5) ESP2に4本のボルト（EDF）で仮置きしていたLEE（元LEE-B）を取り外し、MBSのPOAで使用するため、MBSまで移動し、設置します。LEE（元LEE-B）の移動はSSRMSに乗ったEV1が行います。

金井宇宙飛行士は再び自力で船外をトラス上のMBSまで移動します。

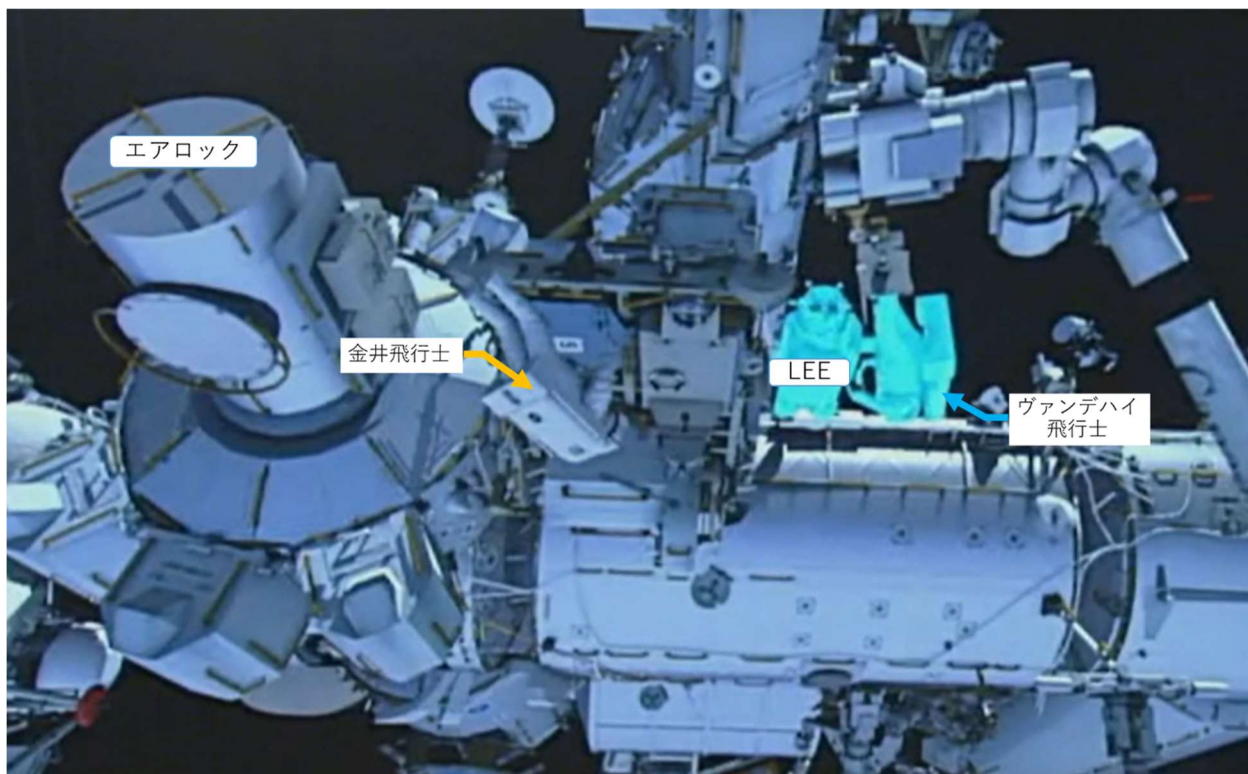


図16 ESP-2に仮置きされていたLEEをヴァンデハイ飛行士がSSRMSに乗って移動

(6) EV1がMBSへ運んできたLEEをPOAとして使えるように6本のボルト（EDF）で設置します。

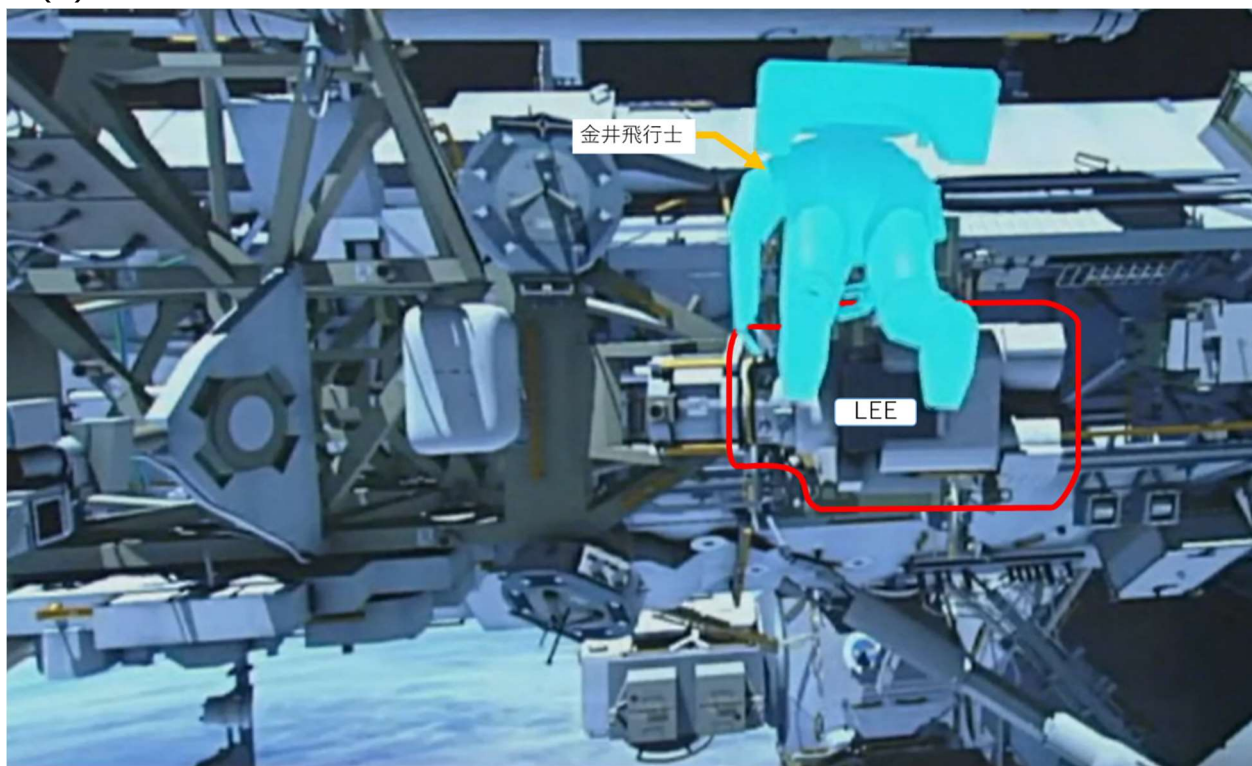


図17 MBSのPOAが使えるようにLEEを取り付ける

(7) 最後に、(2)でLEE (POA LEE) から外しておいたTVカメラ (CLA) をLEE (元LEE-B) に取り付けます(金井宇宙飛行士担当)。(これで元LEE-Bは“POA LEE”となります。)

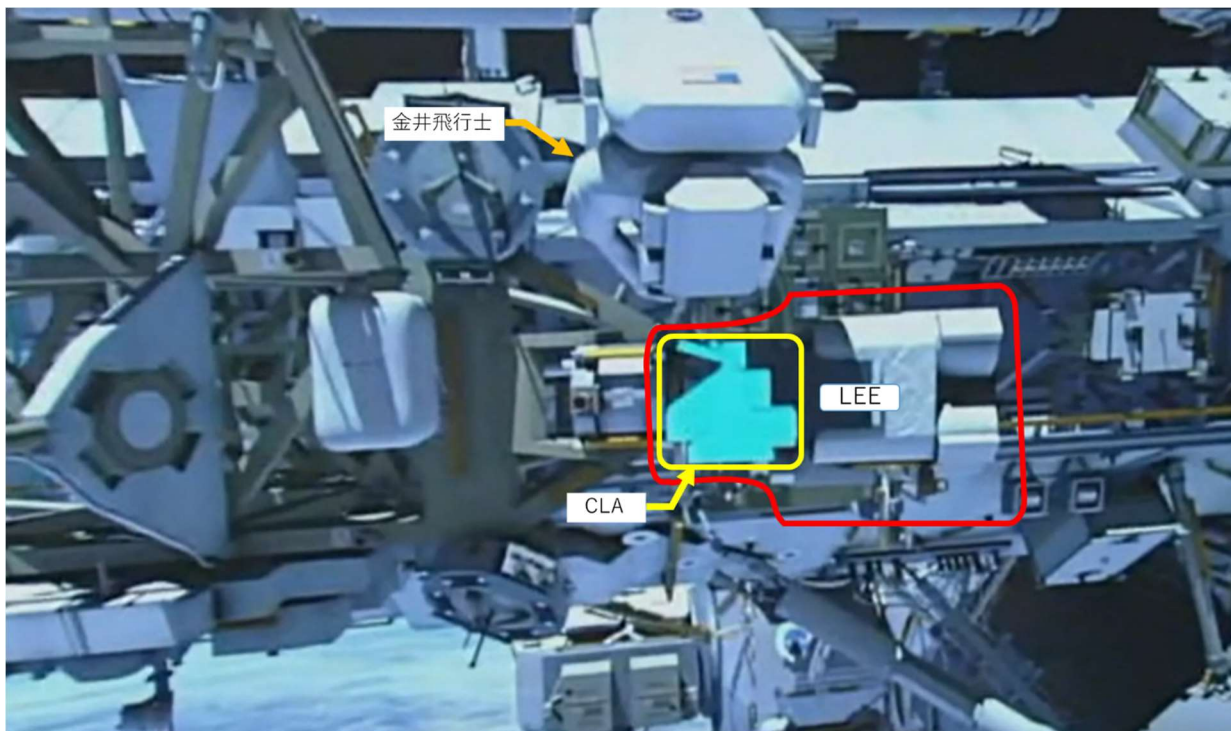


図18 (2)で取り外したCLAをLEEに取り付ける

(8) SSRMSをISSに固定しているA側のLEE (LEE-A) に移動し、接地ストラップを取り付ける作業を行います。これを行うことで、TVカメラ (CLA) が故障した時に必要であればロボットアーム (SPDM) でカメラを交換できるようにします(金井宇宙飛行士担当)。

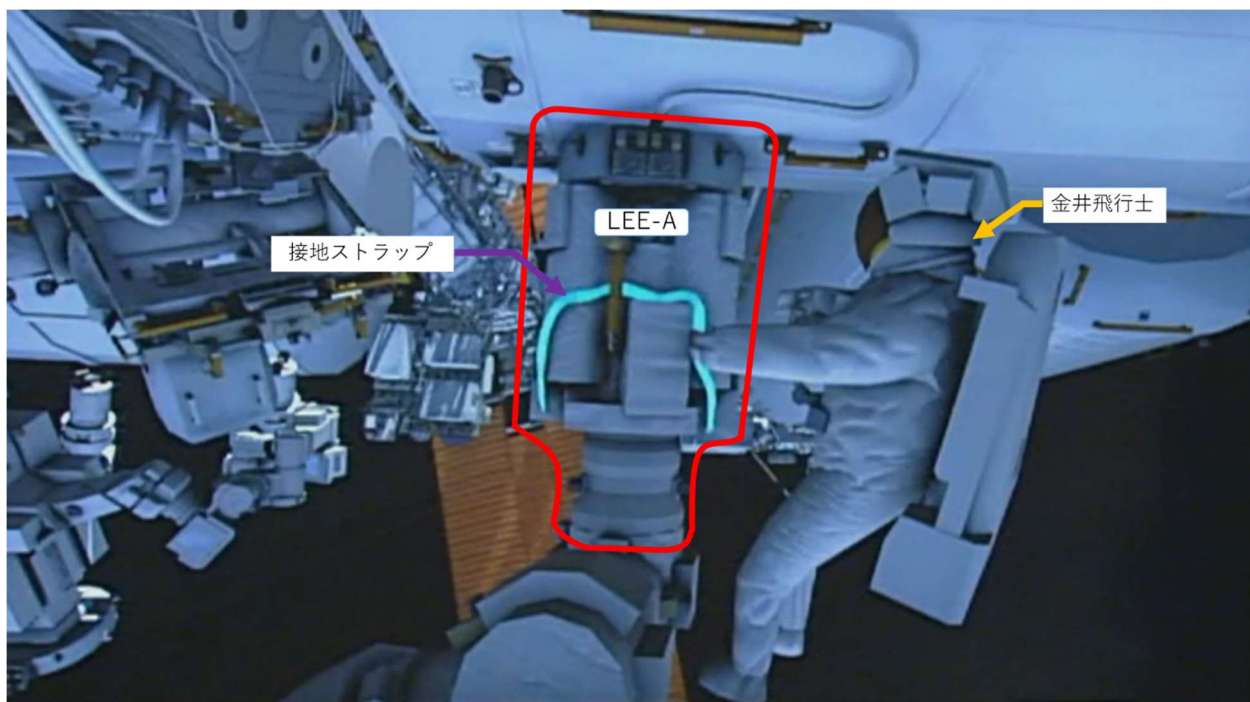


図19 LEE-Aに接地ストラップを取り付ける

LEEを取り付けているEDFとは？

LEEの取り付け／取り外しには、EDF(Expendable Diameter Fastener)という固定器具（6本）を使います。EDFは電動ドライバー(Pistol Grip Tool: PGT)を使ってボルトを回転させることでボルト径を大きくしたり、小さくすることができます。

固定用の穴にEDFを挿入した後、直径を増して押し付けることで固定する仕組みです。

SSRMSのA側に取り付けられていたLEE（LEE-A）は真空環境で16年間動かしてなかった（予備品のLEE-も2009年11月から7年間保管されていた）ため、固着している可能性もあることから、NASAは様々な対応策を検討していましたが、昨年10月の作業では問題は起きませんでした。

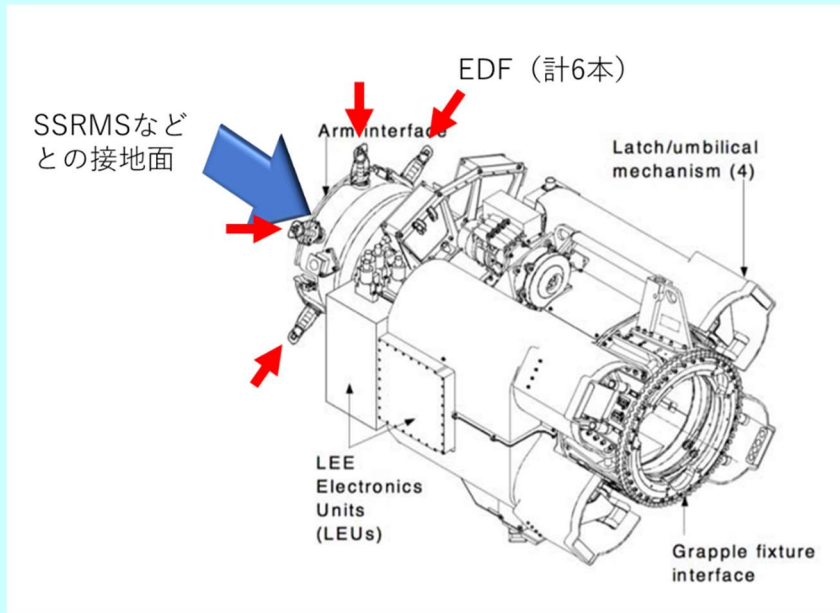


図20 LEEのEDFの場所（計6本） 普段はカバーで覆われていて見えない(NASA)

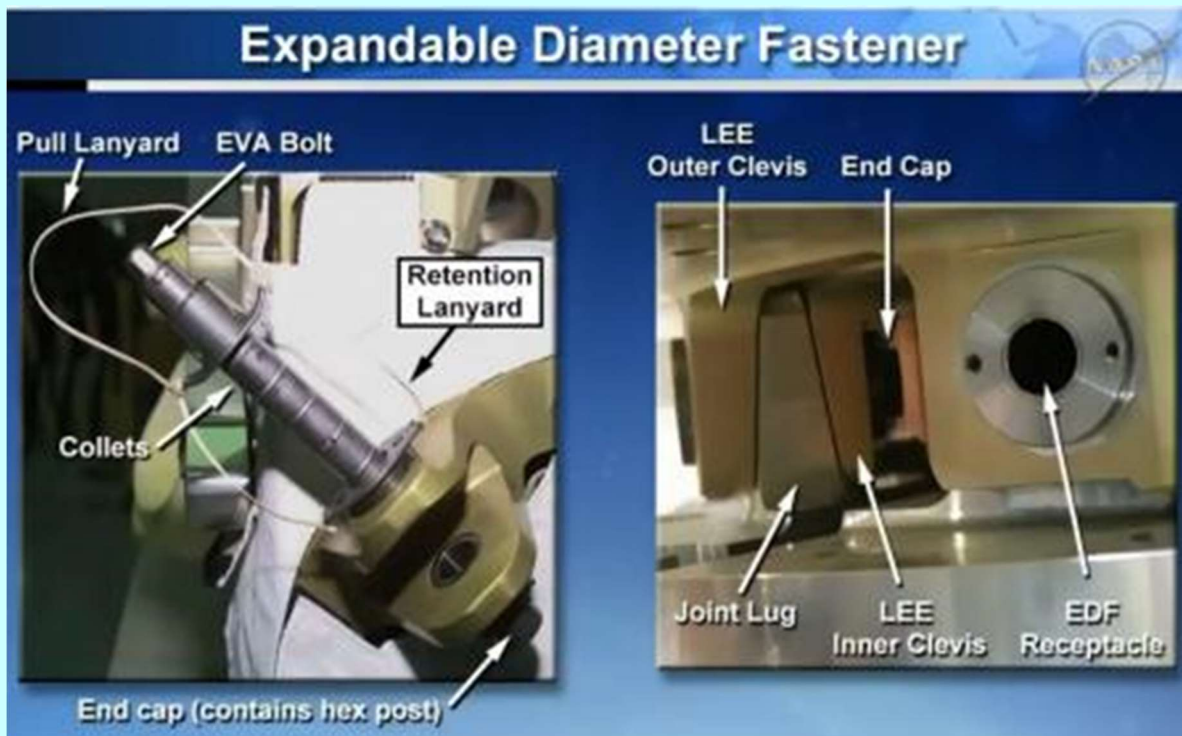


図21 EDF (NASA TVより)

なお、今回のUS EVA-47、48での作業イメージについては、以下のNASA TVの1時間の動画内(19:30-28:30)で紹介されています。 <https://www.youtube.com/watch?v=LdeI7An3EMk>

注：NASA TVの中では(8)の作業はEV1（ヴァンデハイ飛行士）が実施する、という説明がされていますが、実際にはEV2（金井宇宙飛行士）が予定されています。

船外活動（EVA）をする日はとても忙しい！

Extravehicular Mobility Unit（EMU）というアメリカの宇宙服を着て行うEVAですが、すぐに着て船外活動ができる、というわけではありません。

EMUの中は0.3気圧という低い気圧の環境のため、宇宙飛行士はEMUを着るためには体を慣らす必要があります。（人体はいきなり0.3気圧の環境に晒されると血中にある窒素が膨張し、潜水病と同じ症状が発症します。）

そのため、EVAを行う日は通常、船外活動をする6時間前くらいに起きて、準備をします。

おおよその流れは以下の通りです。（時間はGMT）

- ① 朝6時に起床。
- ② 約1時間程度で食事や身支度を行う。
- ③ 7時半ころから体を低圧に慣らすためのISLEプリブリーズ[※]の準備を行う。



図22 ISLEプリブリーズで酸素を吸っている（NASA Twitterより）

<https://twitter.com/AstroAcaba/status/931582483631554560>

- ④ 8時半ころにEMUを着用する。

- ⑤ 10時ころからEMUを着用した状態でISLEプリブリーズを継続する。



図23 EMUを着用した状態でのISLEプリブリーズ（写真奥が宇宙へ出るためのCrew Lock）

<https://www.flickr.com/photos/nasa2explore/34865833081/in/album-72157662007077323/>

- ⑥ 準備ができれば宇宙へ出るためのCrew Lockへ移動する。



ISS004E8038

図24 EVA開始に向けてCrew Lockに入っている状態（二人の飛行士は上下逆さまに入ります）

<https://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-4/html/iss004e8038.html>

- ⑦ Crew Lockを減圧する。

⑧ 12時から船外活動を開始。(手順については図8-10参照)



図25 Crew Lock減圧後、EVAを開始するために船外へ出るジェフ・ライリー宇宙飛行士（NASA）
<https://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/shuttle/sts-104/html/s104e5237.html>

- ⑨ 6時間半程度の船外活動を行う。
- ⑩ 船外活動の片付けを行う。
- ⑪ 寝る準備をする。
- ⑫ 21時半ころ就寝。

※ ISLE (In Suit Light Exercise) プリブリーズ

2011年のスペースシャトルミッション（STS-134）から使用を始めた新しい方法で宇宙服を着用した状態で、脚や手を軽く動かすプリブリーズの手法で、エクササイズ・プリブリーズの発展形。

低圧に体を慣らすために軽い運動でも十分な効果があると分かったため、以前の一晩エアロック内に隔離されている不便さが解消されるうえ、準備時間がさらに短縮化できることから、現在はこの方式が使われています。

具体的な手順としては：

- (1) 準備段階で100%酸素を吸いながら血中から窒素を追い出す。
- (2) エアロックの気圧を下げ（0.7気圧程度まで）酸素を吸い続ける。
- (3) EMU着用後、エアロックを1気圧に加圧し、軽い運動（両ひざをゆっくり曲げたり両腕を軽く回したりする程度の運動）を10セット繰り返す。（4分間動かしては1分間の休息が1セット※）

※ 星出飛行士が実施したISLEプリブリーズから更新（星出飛行士EVA時では“1分間動かしては1分間の休息を繰り返す。”）

船外活動（EVA）を確実に実施するために

EVAを実施する際にはさまざまなリスクがあります。ISLEプリブリーズを行わないと減圧症を発症してしまう、というのも一例ですが、ほかには例えば以下のようなリスクもあります。

- [1] 命綱が切れて宇宙に放出されてしまう。（ISSから離れて行ってしまう）
- [2] 宇宙ゴミが当たる。
- [3] 酸素が漏れる／足りなくなる。
- [4] 電池が切れる。
- [5] EVA用の道具を失ってしまう。

これらのリスクが起こらないように、また発生した場合にも飛行士が安全に帰還できるように様々な対策がEMU、地上管制官、訓練などでとられています。（以下、上記リスクに対する対応です）

- [1]については高所作業者が安全帯を装着して滑落を防ぐのと同様に、EMUとISSをSafety Tetherという安全帯でつなぐことにより宇宙飛行士がISSから離れてしまわないようにしております。
万が一このSafety Tetherが切れてしまった場合でも確実にISSへ戻れるようにSAFERという推進剤を積んだバックパックを装着して、戻れるようにしております。（星出宇宙飛行士ISS長期滞在プレスキットを合わせて参照してください。）
- [2]の宇宙ゴミ（デブリ）があたる可能性についてですが、地上からISSへ近づくデブリは常時レーダーでモニタされ、事前に回避するようにしています。EMU自体も、デブリ衝突による影響を軽減できるように生地や構造に工夫がされています。
- [3]のEMU内の酸素が漏れるリスクについてはEMUを着用する際に胴体と各パーツ（首、腰、手首）の結合部にほこりや冷却下着の挟み込みが無いかを確認しながらそれぞれのパーツをEMUの胴体につける。リークチェックをすることで酸素が漏れないか、ということを確認します。
EVA実施中は酸素の残量をモニタすることで、酸素が足りなくなる事態を回避するようにしております。また、万が一EMU内の酸素量が低下しても自動的に予備の酸素タンクから酸素が供給されるようになっています。
- [4]の電池がEVAの最中に切れてしまうと、冷却や通信などの機能が喪失され、それ以上の作業の継続が不可能になるので、EVAを中止しエアロックに戻るよう手順で定められており、宇宙飛行士もそれらの事態への対応を訓練で実施しています。
- [5]のEVA用の工具ですが、なくしてしまわないように常にデザー（フックがついたベルト）を付けた状態で作業することになっています。