

2016年3月~2018年3月：RFP1 全固体リチウムイオン二次電池の開発 （日立造船）

全固体リチウムイオン二次電池の 宇宙実証

JAXA 宇宙探査イノベーションハブ
宮澤優

目次

- はじめに
- 探査ハブにおける全固体リチウムイオン二次電池研究
- 全固体リチウムイオン二次電池の宇宙実証
 - 宇宙実証の概要
 - 得られたデータの紹介
- まとめ

目次

- はじめに
- 探査ハブにおける全固体リチウムイオン二次電池研究
- 全固体リチウムイオン二次電池の宇宙実証
 - 宇宙実証の概要
 - 得られたデータの紹介
- まとめ

小型月着陸実証機SLIM



LEV-2「SORA-Q」が撮影・送信した月面画像
(クレジット：JAXA/タカラトミー/ソニーグループ(株)/同志社大学)

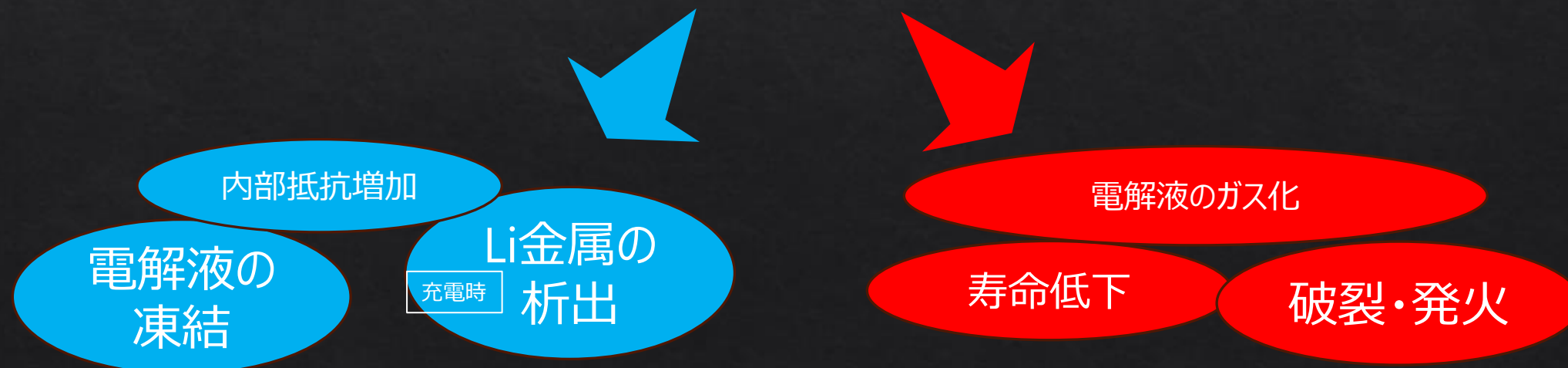
着陸後、3回の越夜後の動作を確認

リチウムイオン二次電池



SLIM プレスキットより

一般的なリチウムイオン二次電池(電解液：有機溶媒)の動作温度範囲は、**5°C ~ +40 °C**程度



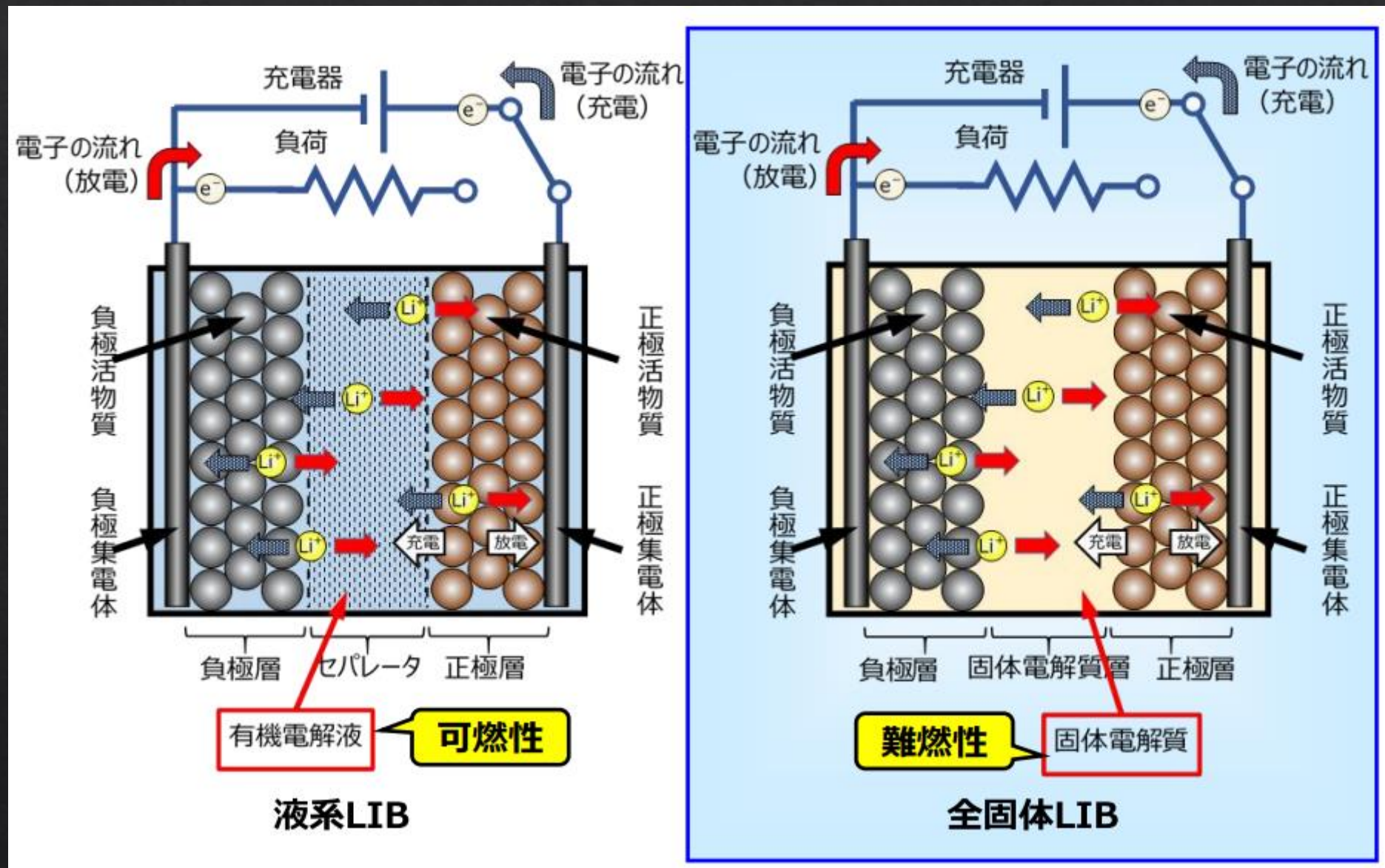
有機溶媒を電解液に用いたリチウムイオン二次電池は、月表面温度が-170°C ~ +120°Cになる月面での本格的使用が困難

目次

- はじめに
- 探査ハブにおける全固体リチウムイオン二次電池研究
- 全固体リチウムイオン二次電池の宇宙実証
 - 宇宙実証の概要
 - 得られたデータの紹介
- まとめ

宇宙探査イノベーションハブでの全固体電池開発

2016年3月~2018年3月：RFP1 全固体リチウムイオン二次電池の開発（日立造船）



©日立造船

液体電池 vs 全固体電池

液系LIB		項目	全固体LIB	
・有機電解液が可燃性 ・液漏れの可能性あり	△	安全性	○	・固体電解質は難燃性 ・液漏れなし
・低温で電解液が凍結し、動作困難 ・高温で電解液がガス化し、危険	△	使用温度範囲	◎	・固体電解質は固体であり、凍結しない ・無機物系固体電解質は高温下でも動作
・電解液/材料間で副反応が発生し、劣化要因になる	△	寿命	○	・固体電解質では副反応が抑制され、比較的劣化が少ない
・使用可能な活物質に一部制限あり ・限界値近くまで性能向上しており、現状は全固体LIBよりも高性能	○	エネルギー密度	◎ (現状△)	・より高容量な活物質を使用可能 ・高容量活物質の適用検討中だが、現状は液系LIBに及ばない
・電解液のガス化を考慮し、電池を拘束する場合あり	△	拘束	×	・硫化物系では、粒子間接触維持のため、電池を拘束する必要あり
・プロセスが洗練され、スケール効果で材料単価も安く、コスト安	○	製造単価	×	・開発途上であり、コスト高

※硫化物系は水分との反応で H_2S を発生するため、特に製造時に留意が必要

©日立造船

宇宙探査イノベーションハブでの全固体電池開発

AS-LiB[®]の特長

— AS-LiB[®]は、電解液未使用の完全固体電池です —

安全性

- 液体の材料を使用していないため液漏れの心配がない
- 固体電解質が難燃性のため、発熱などによる可能性ガスの発生がない

広い動作温度範囲

- 固体電解質を用いるため、低温で凝固することがない
- 高温でも固体電解質が分解しないため、通常の電解液系リチウムイオン電池が動作困難な高温環境下でも充放電が可能

耐環境性

- 固体電解質を用いるため、揮発成分を極小化した電池構成を実現でき、真空下でも大きく膨張することがない
- 当社では、**独自の製造技術**を適用し、 1.0×10^{-2} Paという環境下でも安定動作が可能

拘束不要！



©日立造船

宇宙探査イノベーションハブでの全固体電池開発

< RFP1での研究実施内容 >

- 極限環境下での特性評価、性能改善
 - ✓ +120℃での保管特性、充放電特性評価
 - ✓ -100℃での保管特性、-40℃での放電特性
 - ✓ -40℃での放電、+120℃での充電でのサイクル特性
- 高容量電池の試作（5Ah級セル）
- 高エネルギー密度化の検討

日立造船製AS-LiB[®]電池技術が-40℃～120℃において1年以上の運用に耐える性能を有することを確認 &

5Ah級のAS-LiB[®]の試作に成功

日立造船製AS-LiB®電池

AS-LiB®140mAh

安全性認証IEC62133規格取得
国連勧告輸送試験UN38.3合格
UL62133規格取得

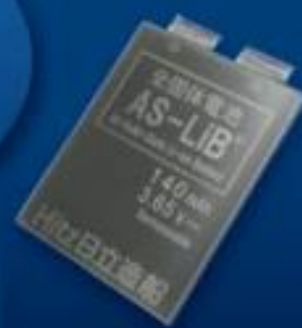
140mAh

1000mAh

55mAh

5000mAh

開発品

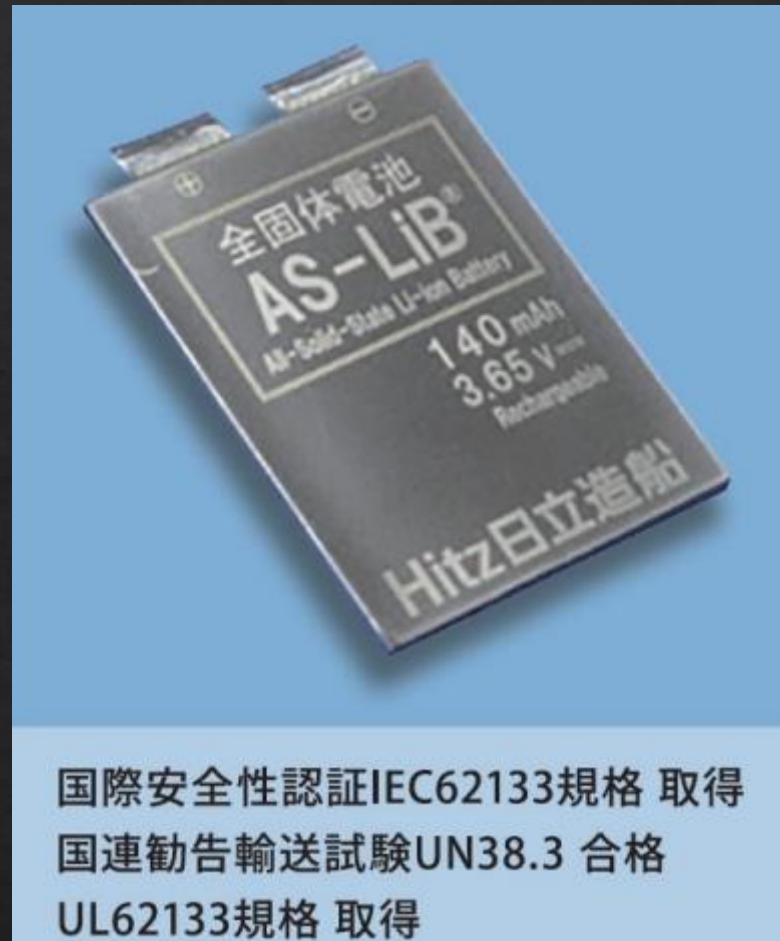


コンパクトになりました!

寸法(mm)	幅×高さ(タブ含まず) 厚み	52×65.5	50×67	58×69	47×50	58×132
		2.7	12	8	2	16
充電(CC)	最大電圧(V)	4.15	4.15	4.25	4.15	4.25
	最大電流(mA)	14 (0.1C)	100 (0.1C)		5.5 (0.1C)	500 (0.1C)
放電(CC)	終止電圧(V)	2.70	2.70		2.70	2.70
	最大電流(mA)	140 (1.0C) ^{※1}	1,000 (1.0C) ^{※1}		55 (1.0C) ^{※1}	5,000 (1.0C) ^{※1}
定 格	平均電圧(V)	3.65 ^{※2}	3.65 ^{※2}		3.65 ^{※2}	3.65 ^{※2}
	容量(mAh)	140 ^{※2}	1,000 ^{※2}		55 ^{※2}	5,000 ^{※2}
使用温度範囲(℃)	充 電	20~120 ^{※3}	20~100 ^{※3}		20~130 ^{※3}	
	放 電	-40~120 ^{※3}	-40~100 ^{※3}		-40~130 ^{※3}	

※1：使用条件によって変化いたします ※2：25℃、常圧、0.1Cでの値です
※3：容量や最大電流、寿命などは変化いたします

AS-LiB®電池の仕様



©日立造船

140mAh級 AS-LiB®

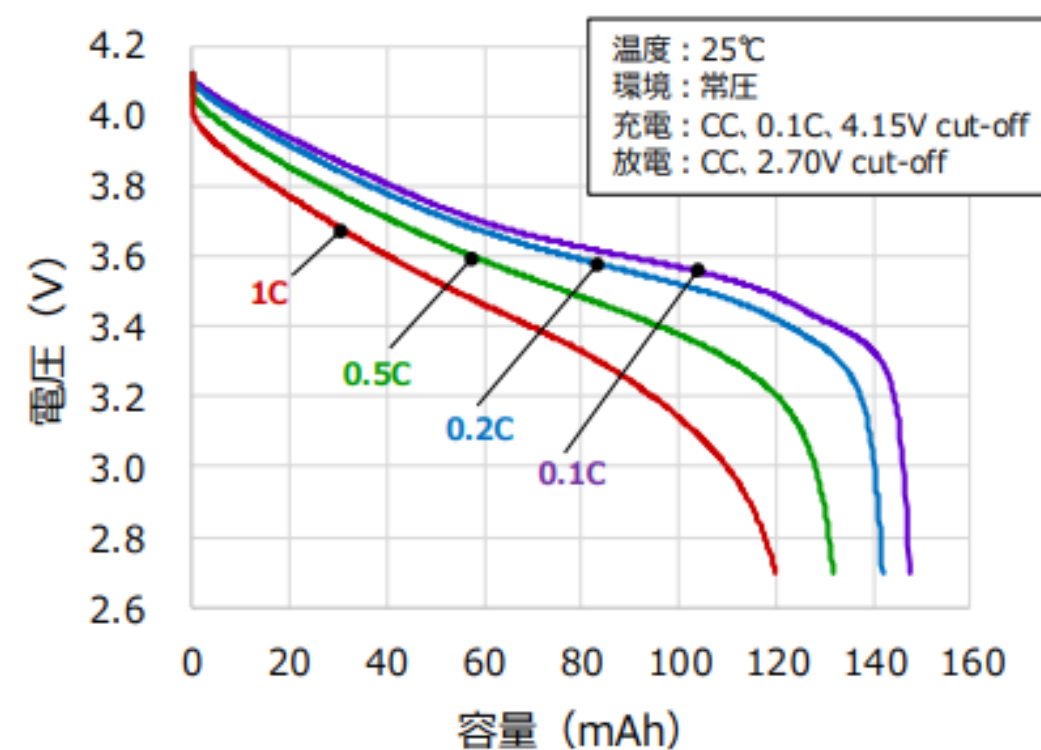
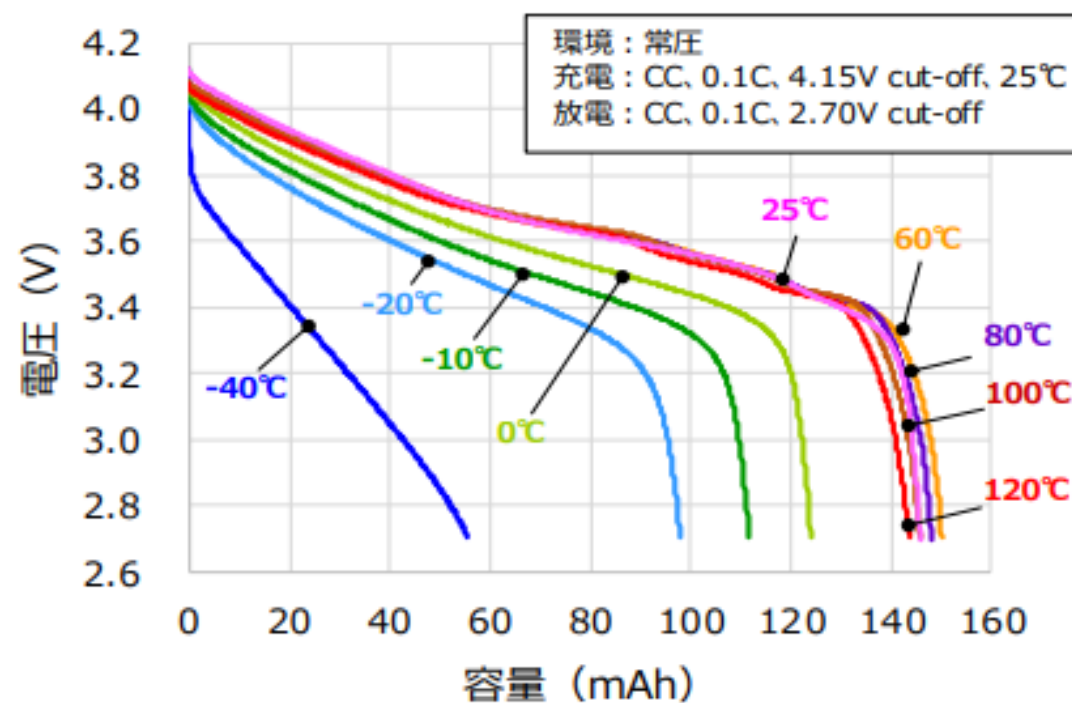
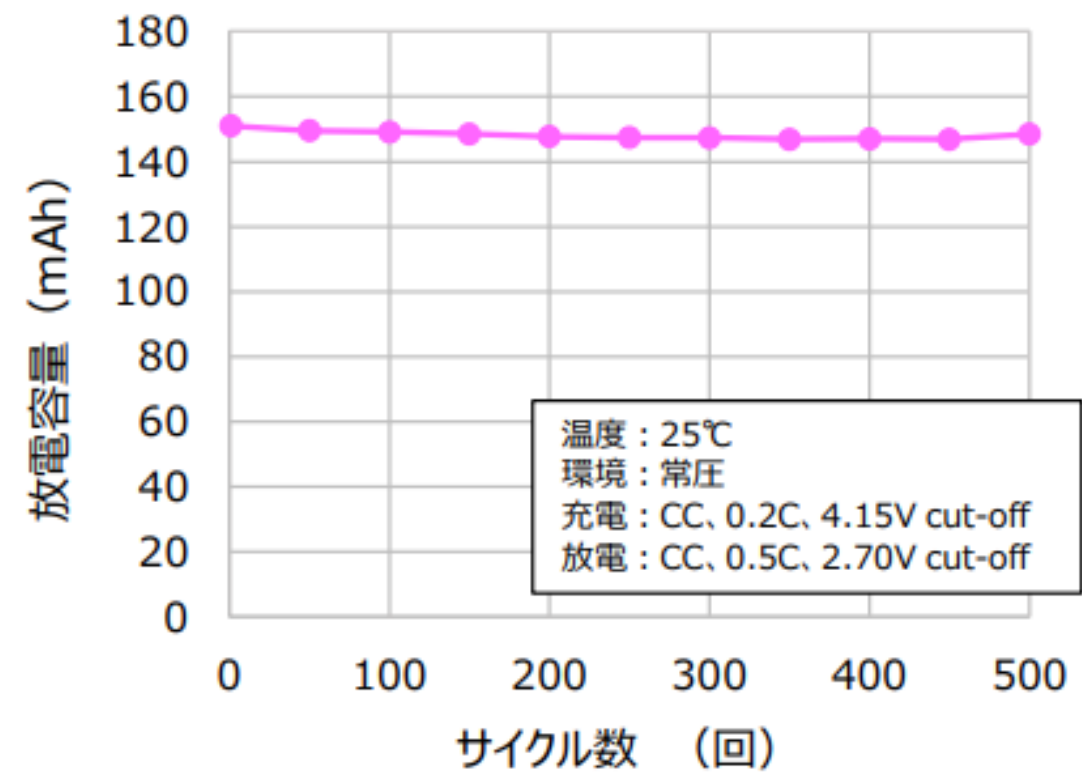
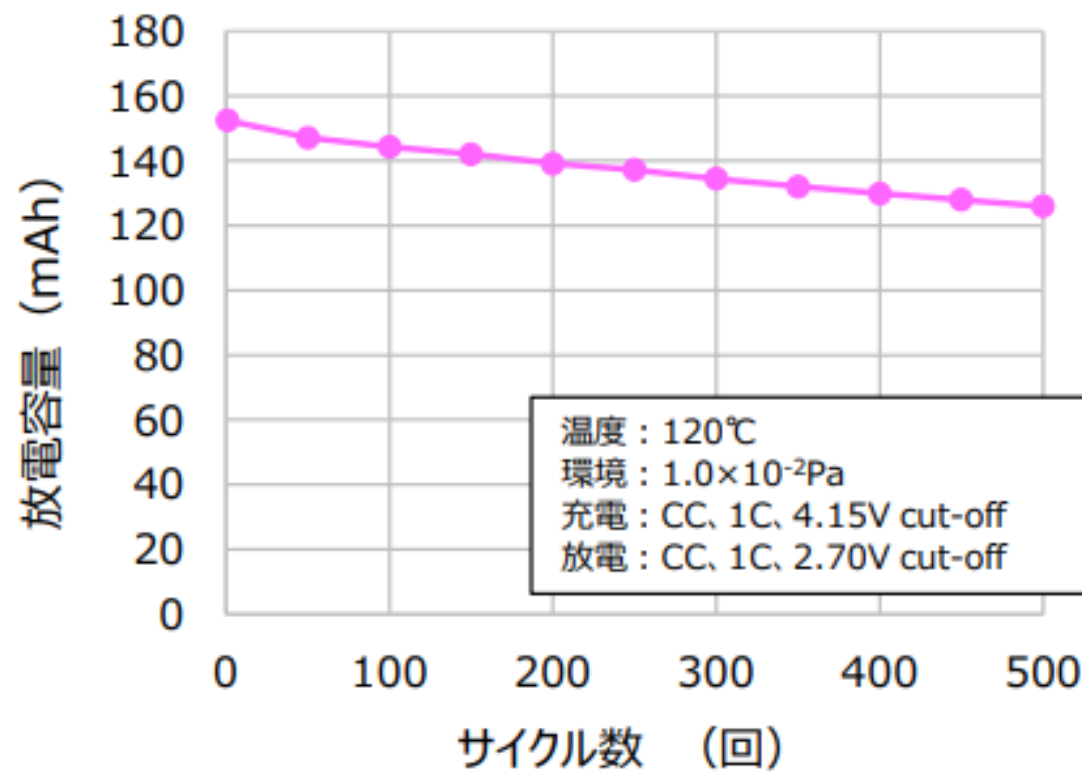
項目		数値
寸法 (mm)	幅	52
	高さ(タブ含まず)	65.5
	厚み	2.7
質量(g)		25
充電 (CC)	最大電圧(V)	4.15
	最大電流(A)	0.014 (0.1C)
放電 (CC)	終止電圧(V)	2.70
	最大電流(A)	0.14 (1.0C)※1
定格	平均電圧(V)	3.65 ※2
	定格容量(mAh)	140 ※2
使用温度 範囲(℃)	充電温度範囲	20~120 ※3
	放電温度範囲	-40~120 ※3

※1 使用条件によって変化

※2 25℃、常圧、0.014Aでの容量

※3 容量や最大電流は温度に応じて変化

AS-LiB[®]電池の特性



目次

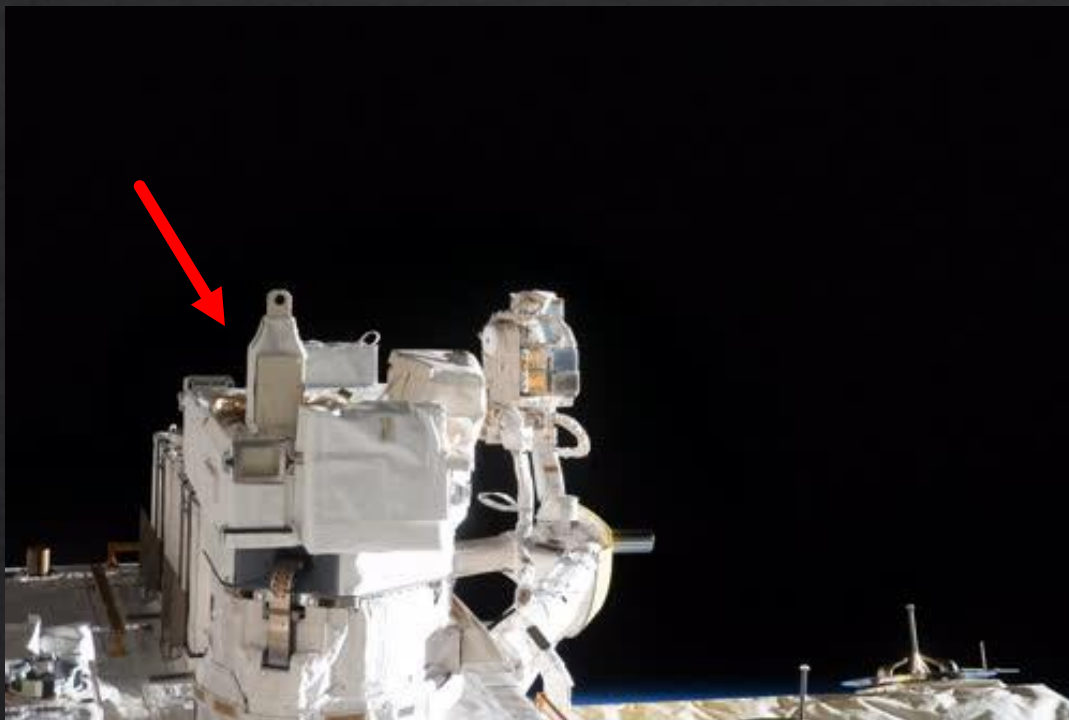
- はじめに
- 全固体リチウムイオン二次電池とは
- 探査ハブにおける全固体リチウムイオン二次電池研究
- 全固体リチウムイオン二次電池の宇宙実証
 - 宇宙実証の概要
 - 得られたデータの紹介
- まとめ

宇宙実証スケジュール

- 2016.3～2018.3 RFP1での研究開発
- 2018～ フォローアップ共同研究
- 2020～ ISSでの宇宙実証にむけた調整・準備開始
Space AS-LiB（全固体電池宇宙実証装置）の設計・製造・試験、
安全審査、SPySE（実証IF装置）との適合性試験等
- 2021.9 開発完了→有人部門に引き渡し
- 2022.2 NG-17によってISSに運ばれる
- 2022.3 Space AS-LiBの初期動作確認
- 2022.3～ 軌道上運用（船内保管期間あり）
- 2023.11 軌道上運用終了
- 2023.12 SpX-29 によって米フロリダ沖に帰還
- 2024.3～ 帰還後の評価（現在進行中）

宇宙実証の概要

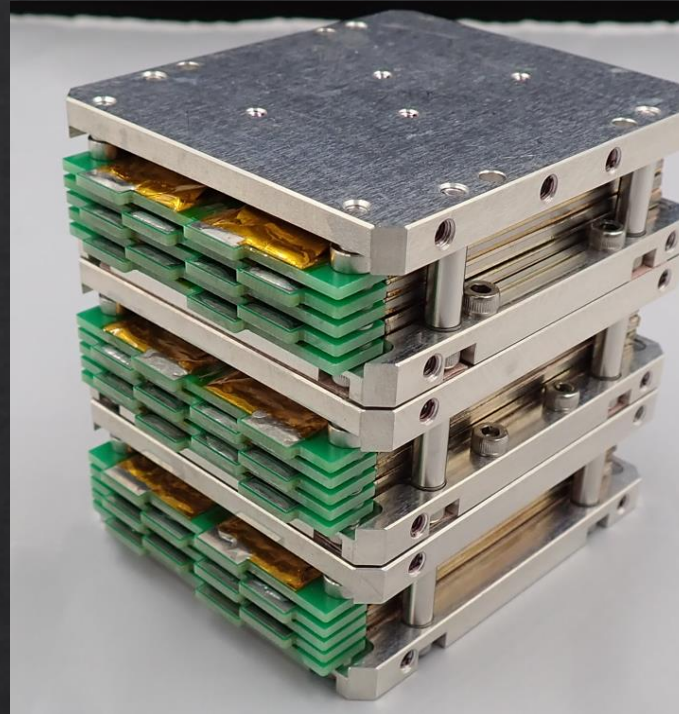
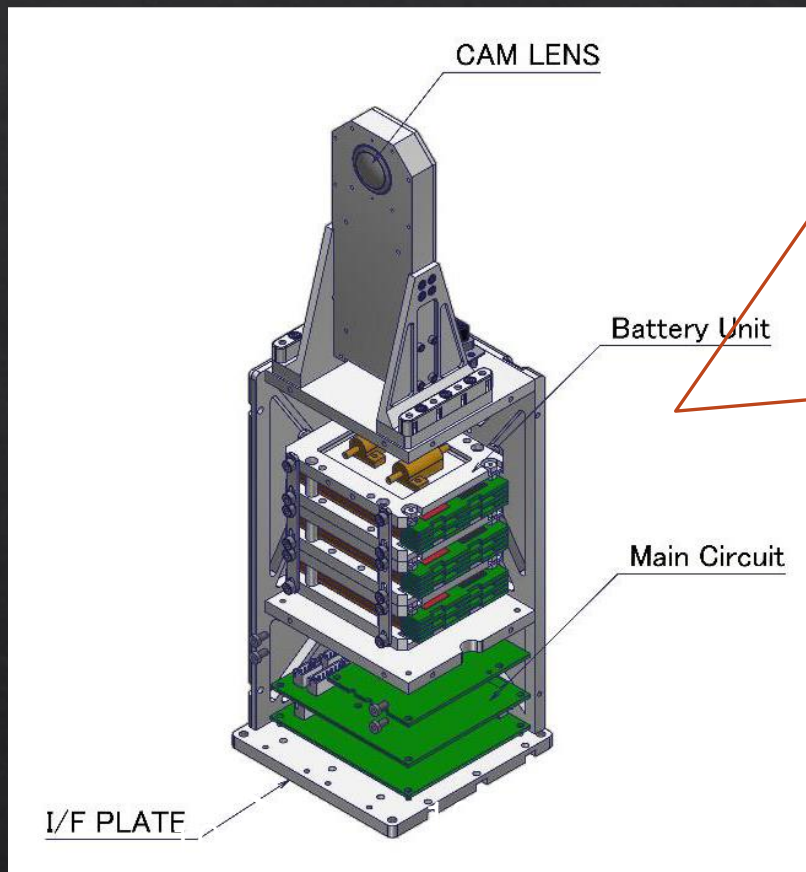
- ISSの中型曝露実験アダプタ(i-SEEP)に設置された拡張機能(SPySE)を利用



- 宇宙実証装置をSPySEに設置
- 地上からのコマンド運用により充放電を実施、ISS経由でデータを取得
※外部運用システムの活用により、ISS管制室外での運用が可能
- 実験終了後は、実験装置を地球に持ち帰り、現物を用いたその場評価を行う

高真空・放射線等の複合的影響を受ける
宇宙環境によるAS-LiB®への影響を評価する

宇宙実証試験装置Space AS-LiB



- 構成：1直列15並列
- バッテリ容量：2.1Ah
(140mAh×15)

- 定電流充電機能：0.1C, 0.2C
- 定電流放電機能：放電レート0.1C, 0.5C, 1.0C 相当 ※定抵抗放電
- 連続充放電動作機能
- バッテリ安全保護機能：過電流保護, 過充電保護, 過放電保護
- バッテリ温度制御機能
- 組バッテリーを用いたミッション運用：RICOH THETA撮像機能

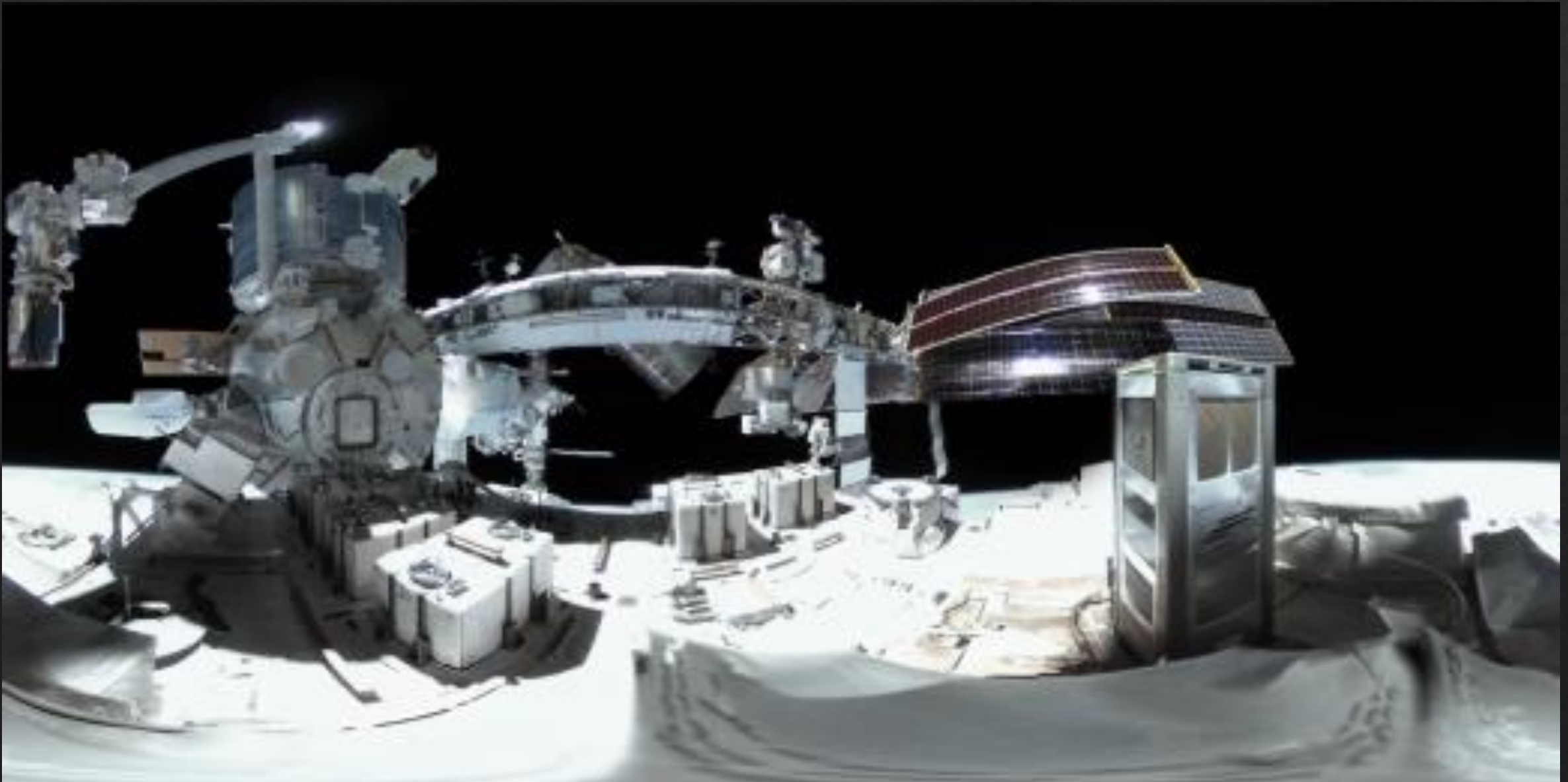
運用

- 初期チェックアウト(充放電機能、シータ撮像機能、昇温機能確認)
- 基本充放電特性評価 (ケース0～ケース10)
- 充放電サイクル実施による寿命特性評価 (ケース11)

ケース	充電			放電			サイクル数
	温度	レート	SOC	温度	レート	DOD	
0	23℃	0.1C	100%	20℃	0.1C	100%	1
1	20℃	0.1C	100%	20℃	0.1C	100%	1
2	20℃	0.1C	100%	20℃	0.5C	100%	1
3	20℃	0.1C	100%	20℃	1C	100%	1
4	20℃	0.2C	100%	20℃	0.5C	100%	1
5	20℃	0.2C	100%	20℃	1C	100%	1
6	40℃	0.1C	100%	40℃	0.1C	100%	1
7	40℃	0.1C	100%	40℃	0.5C	100%	1
8	40℃	0.1C	100%	40℃	1C	100%	1
9	40℃	0.2C	100%	40℃	0.5C	100%	1
10	40℃	0.2C	100%	40℃	1C	100%	1
11	20℃	0.2C	100%	20℃	0.5C	100%	50サイクル/ 3 か月以上

実証中の全固体電池の電力を供給したシータカメラで撮像した画像

2019年に実施した小型衛星光通信実験装置「SOLISS」でのJAXA探査ハブとリコーの共同開発の成果を活用

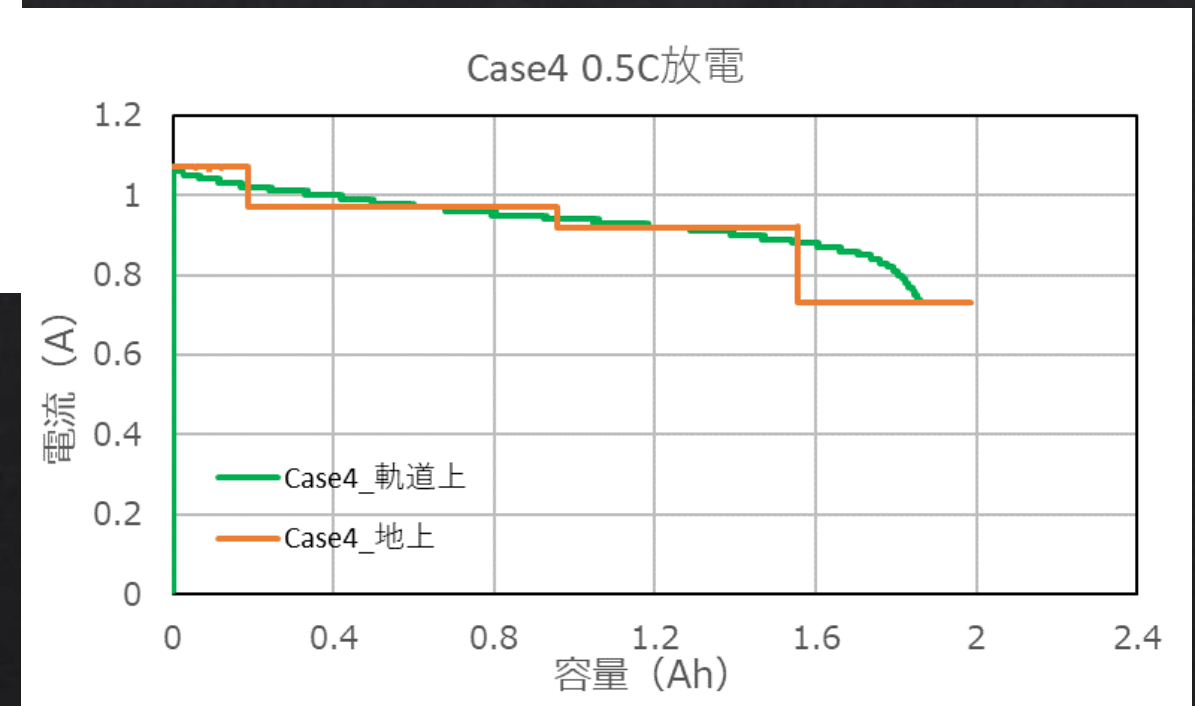
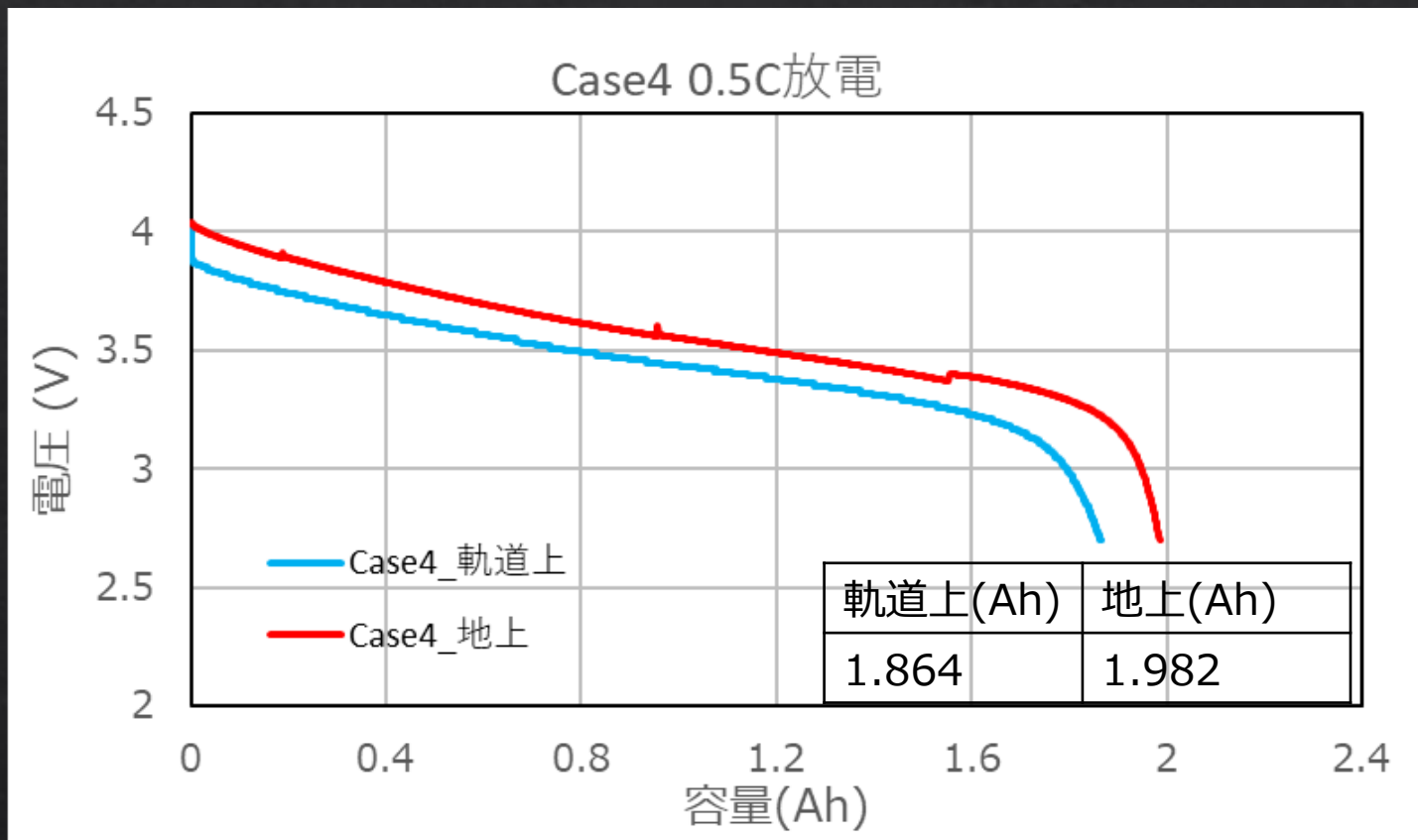


軌道上データの紹介

① 基本充放電特性評価 (ケース0～ケース10)

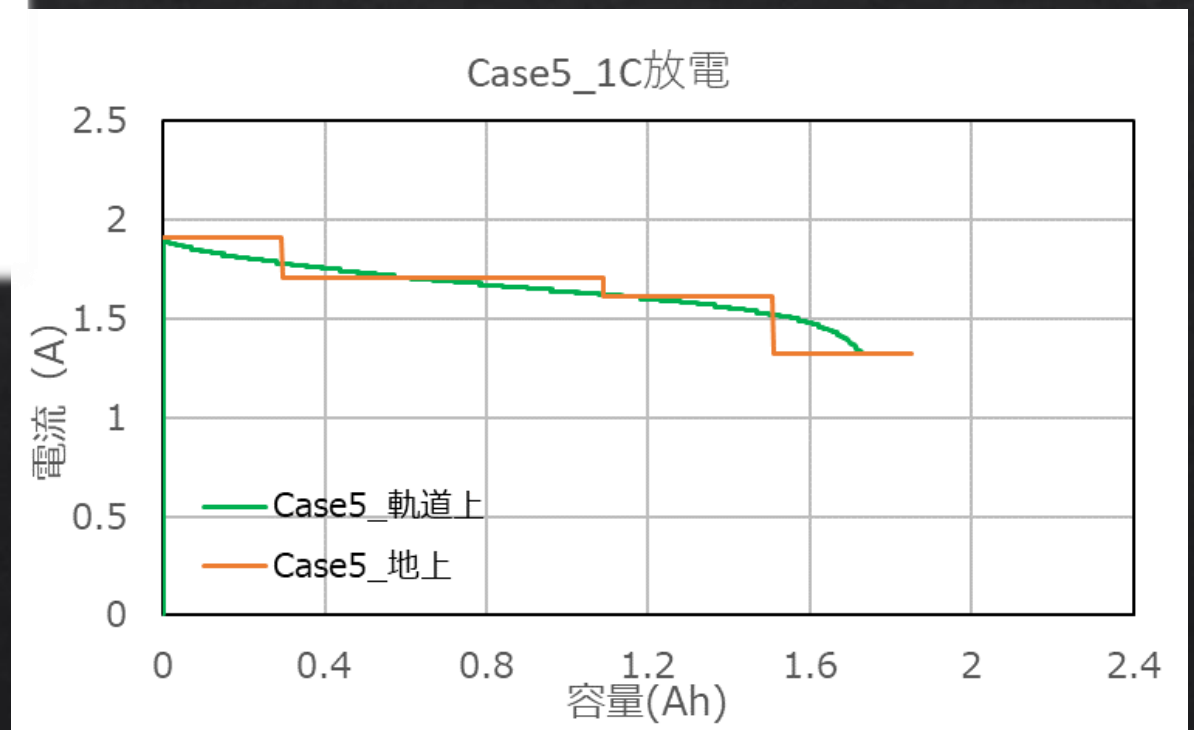
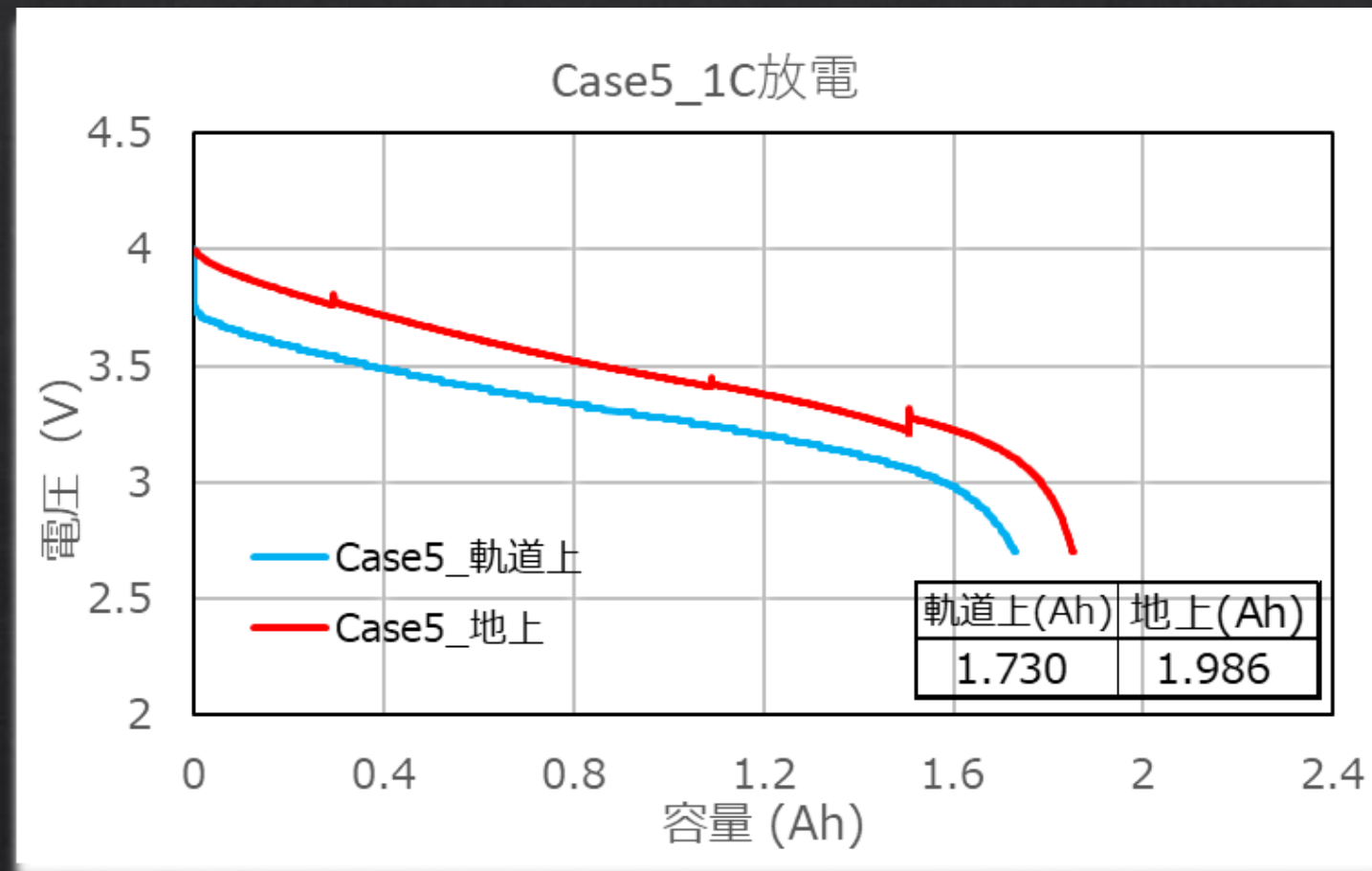
- 各充放電特性を地上で模擬試験※したデータを比較

※同時期に製造された単セルを使用。容量と電流は×15とし軌道上とデータと比較



軌道上データの紹介

① 基本充放電特性評価 (ケース0～ケース10)

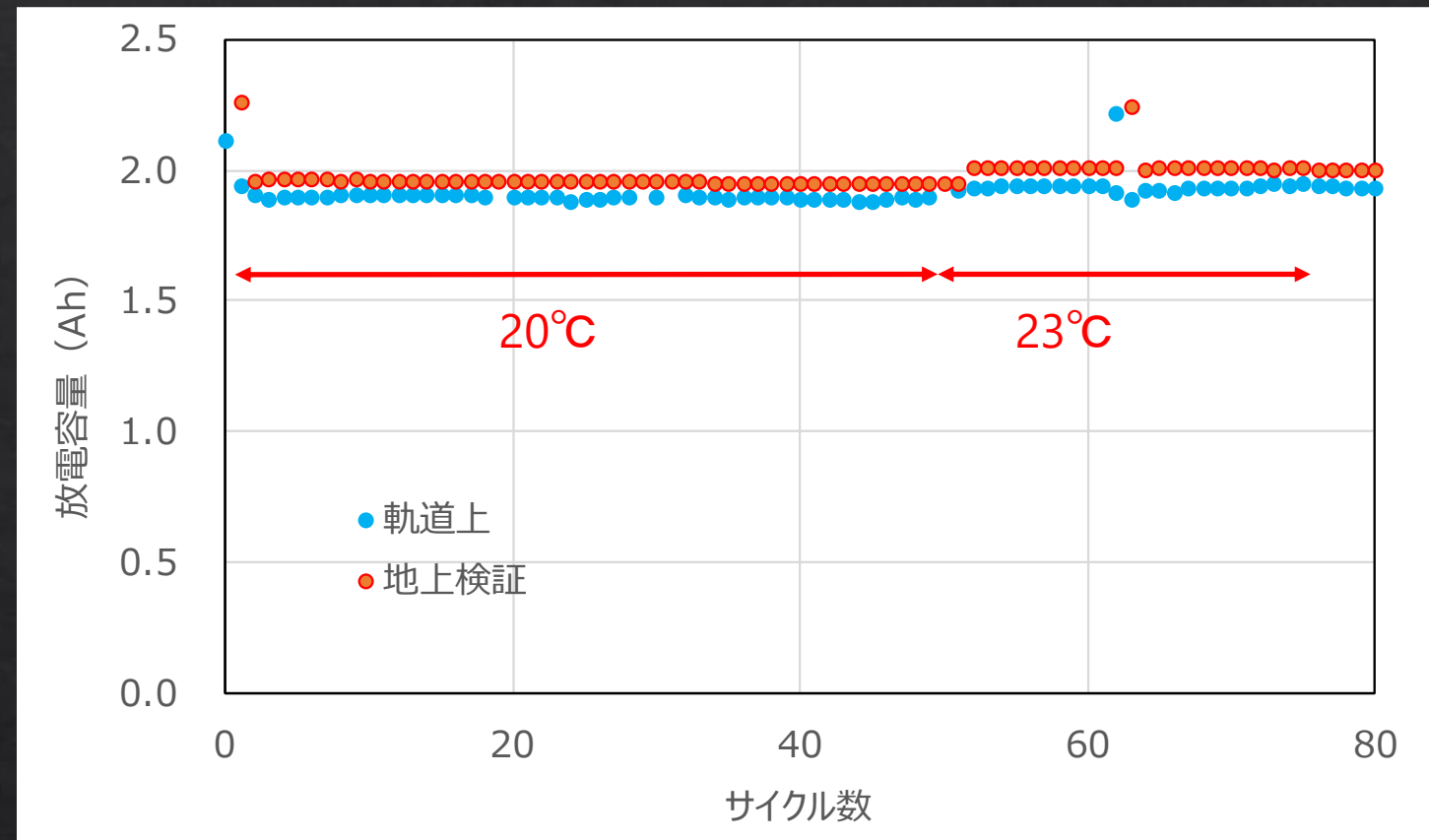


電圧降下に差異があるものの、軌道上と地上で放電プロファイルは同等であり、放電カーブへの宇宙環境による有意な影響は見られない

軌道上データの紹介

②充放電サイクル実施による寿命特性評価 (ケース11)

● 0.2C充電/0.5C放電

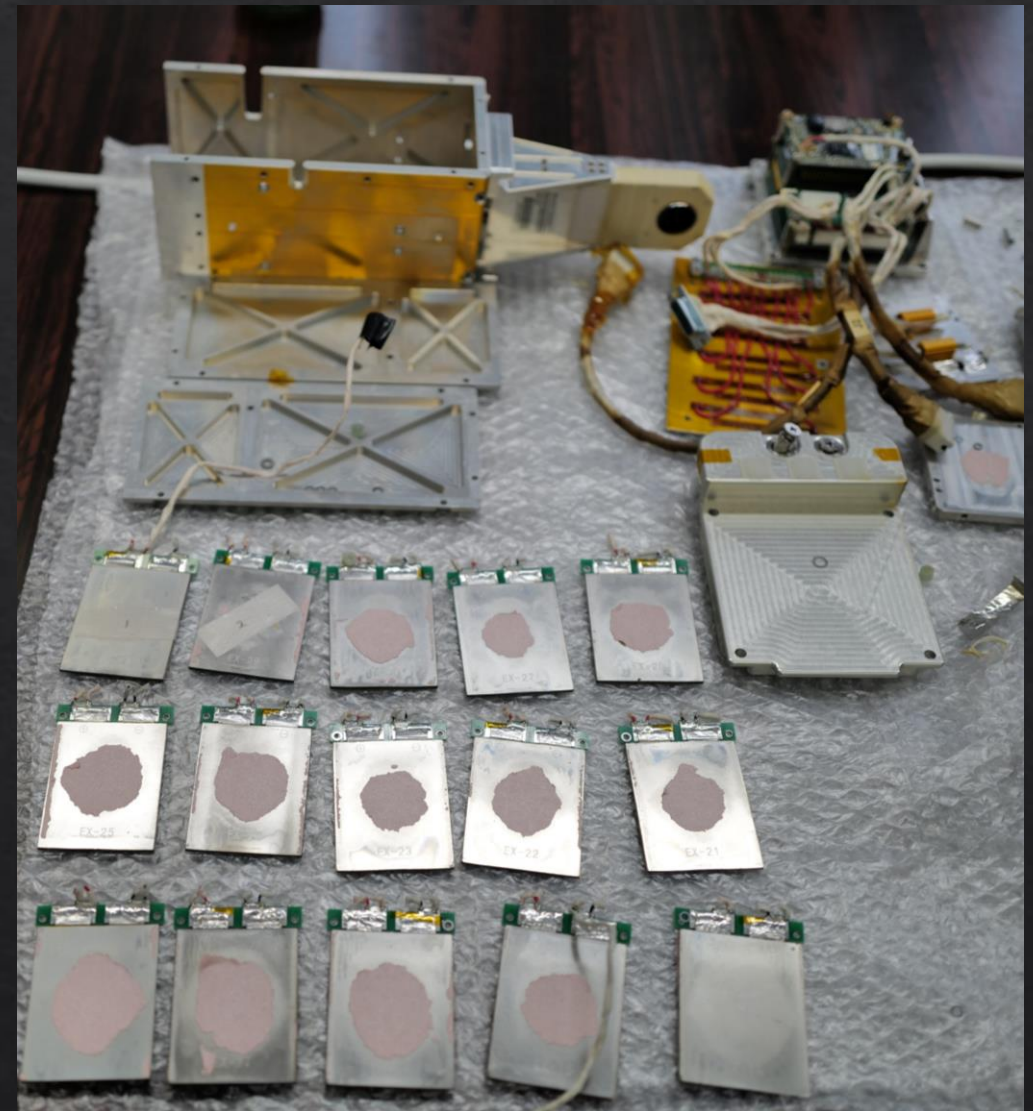
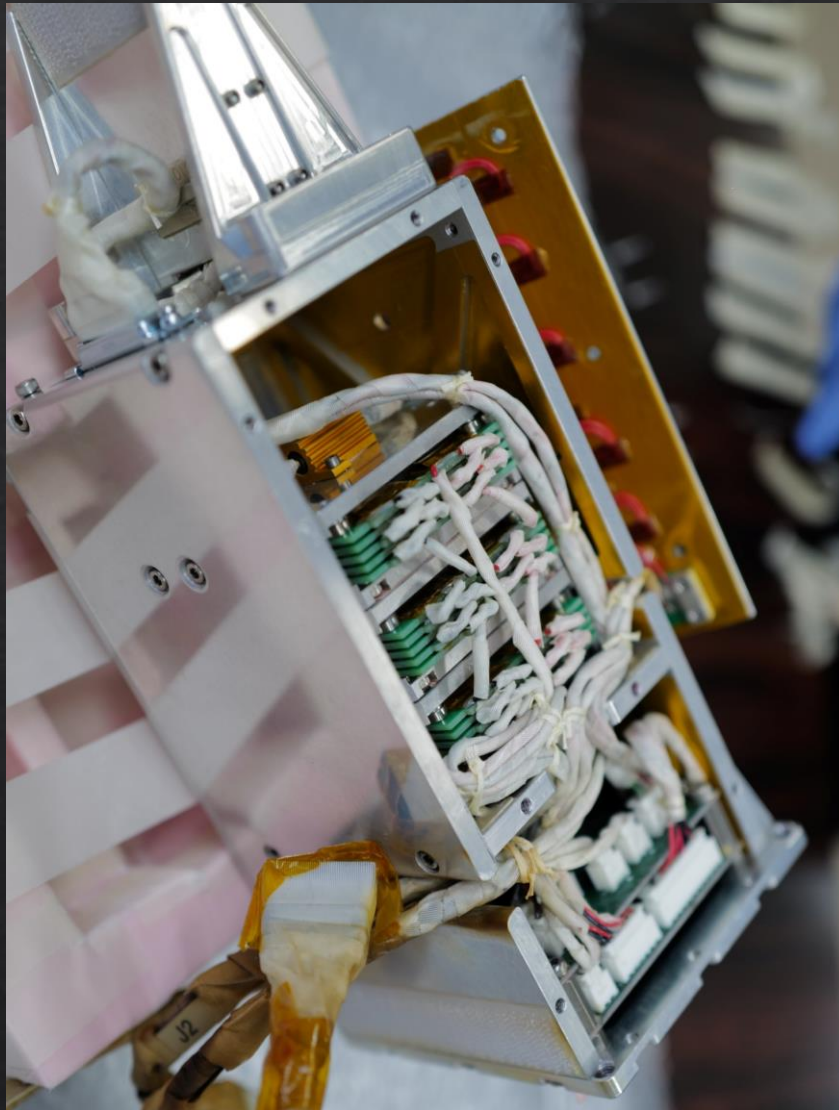


軌道上と地上試験での容量推移の比較

- 軌道上での放電容量は環境温度に合わせて推移しているが、顕著な容量低下は見られず、地上試験でのトレンドとの有意な差異は見られない
- 計562サイクルの軌道上での充放電特性データの確認からも有意な劣化はみられていない

帰還後評価

- Space AS-LiB搭載状態での充放電特性評価
- 電池セル単体での充放電特性評価・外観評価等



目次

- はじめに
- 全固体リチウムイオン二次電池とは
- 探査ハブにおける全固体リチウムイオン二次電池研究
- 全固体リチウムイオン二次電池の宇宙実証
 - 宇宙実証の概要
 - 得られたデータの紹介
- まとめ

まとめ

- 全固体電池が宇宙空間においても地上と同様の良好な充放電特性、寿命特性を示し、従来採用されている宇宙用電池と同様に、地上試験データを用いて軌道上運用状況を類推することが可能であることを確認した
- 成果はスターダストプログラム“次世代の電源システム基盤技術獲得に向けた検討”に引き継がれ、全固体電池の軽量小型化並びに2~5Ah級の試作を実施中。
(FY2023~2024)

月から火星への段階的发展を目指す 「Moon to Mars Innovation」

★Space Dual Utilization（宇宙探査と宇宙事業）

次世代エネルギー (パワーノード&グリッド)

- ・ 月面上のユーザーへの電力供給サービスを提供することを目的
- ・ 小規模・近距離から、将来の月面インフラへの発電、蓄電、送配電サービスの提供へ規模と範囲の拡張を目指す

次世代モビリティ

- ・ 月面上のモビリティシステムとして、移動・運搬サービスを提供することを目的
- ・ 小型・少数・近距離のモビリティシステムによる探査(調査、観測等)から、将来の月面上の物資と人の輸送に繋がるようなサービス拡張を目指す

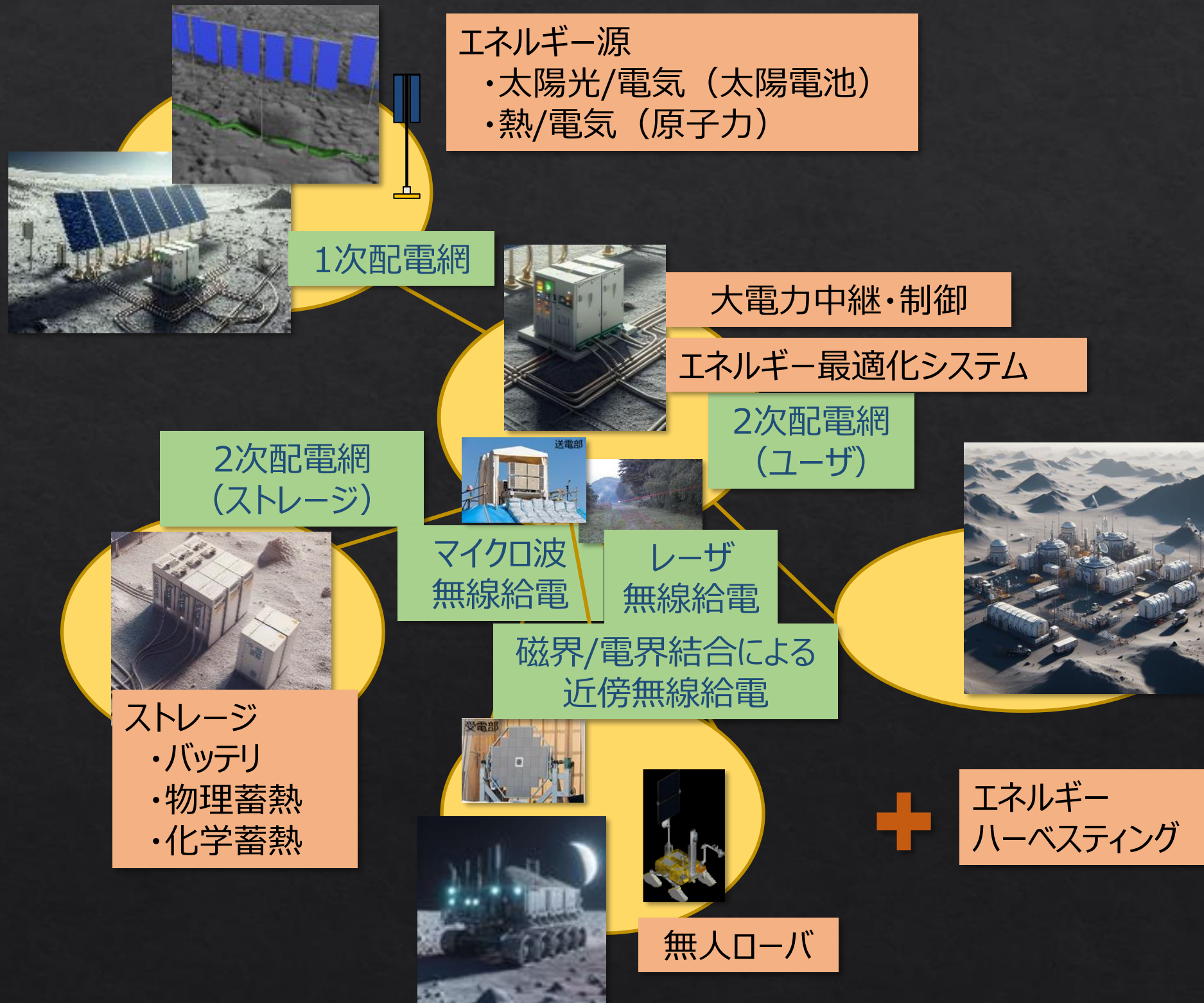
アセンブリ& マニファクチャリング

- ・ 月周回、月面における製造、組立、生産サービスを提供することを目的
- ・ 地球近傍での軌道上製造実証から、月周回、そして将来的には月面資源をも活用した製造、組立、生産サービスの提供を目指す

ハビテーション (衣食住)

- ・ 月面上での有人滞在を可能とするサービス提供を目的
- ・ ISSにおける実証や月面の環境把握等を通じ、将来の有人長期滞在を可能とする総合的な衣食住サービスの提供を目指す

次世代エネルギー (パワーノード&グリッド)



ご清聴ありがとうございました

本研究は、JST イノベーションハブ構築支援事業に基づくJAXA 宇宙探査イノベーションハブ共同研究「全固体電池リチウムイオン二次電池の開発」の成果を用いて実施したものです