

(エネルギーイノベーションプログラム／航空機・宇宙産業
イノベーションプログラム)

「次世代衛星基盤技術開発プロジェクト」

(衛星搭載用リチウムイオンバッテリー要素技術開発)

公開事業原簿

公開資料

担当部署

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
機械システム技術開発部

概 要	vii
プロジェクト基本計画	x
I. 事業の目的・政策的位置付けについて	1
1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性	1
1.1 NEDOが関与することの意義	1
1.2 実施の効果（費用対効果）	3
1.2.1 エネルギーイノベーションプログラム（旧新エネルギー技術開発プログラム）	3
1.2.2 航空機・宇宙産業イノベーションプログラム（旧；宇宙産業高度化基盤技術プログラム）	3
2. 事業の背景・目的・位置付け	5
2.1 事業の背景	5
2.1.1 エネルギーイノベーションプログラム（旧：新エネルギー技術開発プログラム）	5
2.1.2 航空機・宇宙産業イノベーションプログラム（旧；宇宙産業高度化基盤技術プログラム）	6
2.2 事業の目的及び意義	8
2.2.1 エネルギーイノベーションプログラム（旧：新エネルギー技術開発プログラム）	8
2.2.2 航空機・宇宙産業イノベーションプログラム（旧；宇宙産業高度化基盤技術プログラム）	9
2.3 事業の位置付け	10
II. 研究開発マネジメントについて	11
1. 事業の目標	11
1.1 全体目標	11
1.2 最終達成目標	14
1.3 目標設定理由	14
1.4 中間目標	20
2. 事業計画内容	20
2.1 研究開発の内容	20
2.1.1 事業計画（研究開発）の内容	20
2.1.1.1 リチウムイオンバッテリーの開発	20

2.1.1.2	大容量・高密度化技術の開発	20
2.1.1.3	高信頼性化技術の開発	21
2.1.1.4	基盤技術調査研究	21
2.1.1.5	リチウムイオンバッテリー技術等の調査・検討	22
2.1.2	全体スケジュールと予算	24
2.2	研究開発の実施体制	26
2.2.1	実施体制	26
2.2.2	研究員	37
2.3	研究開発の運営管理	47
2.3.1	事業実施における運営方針・方法	47
2.3.2	技術委員会の組織・役割	47
3.	情勢変化への対応	50
4.	中間評価時の指摘事項反映	50
Ⅲ.	研究開発成果について	53
1.	目標の達成度	53
1.1	第一期（中間目標の達成度）	53
1.2	第二期（最終目標の達成度）	53
2.	成果概要	54
2.1	リチウムイオンバッテリーの開発	66
2.1.1	リチウムイオンバッテリーシステムの構成	68
2.1.2	BCM ASSY と BIM ASSY の機能分担	70
2.2	大容量・高密度化技術の開発	71
2.3	高信頼性化技術の開発	72
2.4	基盤技術調査研究	72
2.5	リチウムイオンバッテリー技術等の調査・検討	73
3.	成果の詳細	75
3.1	リチウムイオンバッテリーの開発	75
3.1.1	4セルモジュールの開発	76
3.1.2	炭素繊維強化プラスチック（CFRP）モジュール	77
3.1.3	リチウムイオンバッテリーアセンブリ（LIBA）の開発	80
3.1.3.1	開発モデル	80
3.1.3.2	認定モデル（アルミシャーシ）	82
3.1.3.3	認定モデル（CFRP シャーシ）	86

3.1.3.4	安全性評価モデル	89
3.1.3.5	構成要素安全性評価モデル（4セル）	94
3.1.3.6	寿命評価モデル	102
3.1.3.7	検証モデル	111
3.1.4	バッテリー制御モジュール（BCM）の開発	120
3.1.4.1	開発モデル	120
3.1.4.2	検証モデル	132
3.1.5	リチウムイオンバッテリーシステム（LIBS）の試験	137
3.1.5.1	組み合わせ試験	137
3.1.5.2	総合評価試験	138
3.1.6	検証モデルと衛星システムとの適合性確認	139
3.1.6.1	検証モデルの製造の再現性確認	139
3.1.6.2	衛星システムとの適合性確認	139
3.1.6.3	電氣的噛みあわせ試験	141
3.1.6.4	まとめ	141
3.2	大容量・高密度化技術の開発	142
3.2.1	正極活物質の選定	142
3.2.1.1	目的	142
3.2.1.2	内容	142
3.2.1.3	結果と考察	142
3.2.1.4	まとめ	145
3.2.2	負極炭素材料の選定	146
3.2.2.1	目的	146
3.2.2.2	内容	146
3.2.2.3	結果と考察	146
3.2.3	セパレータの選定	148
3.2.3.1	目的	148
3.2.3.2	内容	148
3.2.3.3	結果と考察	149
3.2.4	極板厚みの最適化	150
3.2.4.1	目的	150
3.2.4.2	内容	150
3.2.4.3	結果と考察	150

3.2.5	エレメント製造方法の最適化	152
3.2.5.1	目的	152
3.2.5.2	内容	152
3.2.5.3	結果と考察	152
3.2.6	ケースの軽量化	153
3.2.6.1	アルミニウムケースの問題点	153
3.2.6.2	ケース外面の腐食防止技術	153
3.2.6.3	ケース内面腐食防止技術	154
3.2.7	熱均一化解析	155
3.2.7.1	目的	155
3.2.7.2	内容	155
3.2.7.3	結果と考察	156
3.2.8	電池構造開発	159
3.2.8.1	端子設計	159
3.2.8.2	安全弁設計	159
3.2.9	セルの評価	160
3.2.9.1	175Ah セル	160
3.2.9.2	初期特性試験結果	161
3.2.9.3	エネルギー密度解析	165
3.2.9.4	寿命解析	166
3.2.10	認定試験	168
3.2.11	安全性評価試験	169
3.2.12	寿命評価試験	174
3.2.12.1	寿命試験計画	174
3.2.12.2	寿命試験結果	179
3.3	高信頼化技術の開発	196
3.3.1	過電圧保護回路の開発	196
3.3.1.1	性能評価試験	202
3.3.1.2	認定試験	203
3.3.2	バイパススイッチの開発	204
3.3.2.1	バイパススイッチの必要性	204
3.3.2.2	動作概要	204
3.3.2.3	セルバイパス方式の検討	205

3.3.2.4	開発内容	206
3.3.2.5	動作特性	206
3.3.2.6	評価検討	208
3.3.2.7	認定試験	216
3.4	基盤技術調査研究	217
3.4.1	電極／ガラス電解質の界面抵抗を詳細評価するための全固体薄膜リチウム二次電池の開発	217
3.4.2	LiMn ₂ O ₄ を用いた全固体薄膜リチウム二次電池 (Li/LiPON/LiMn ₂ O ₄) の開発とその電気化学的挙動	219
3.4.3	界面抵抗測定に適した薄膜電池作製	221
3.4.4	異なる薄膜電極を用いた薄膜電池の電気化学的応答	222
3.4.5	表面修飾による界面抵抗の低減	223
3.4.6	新規全固体リチウムイオン電池の創成	224
3.4.7	まとめ	225
3.5	リチウムイオンバッテリー技術等の調査・検討	225
3.5.1	実用化動向・技術動向調査	225
3.5.2	2007年度の各社動向	226
3.5.3	宇宙技術と民生技術の往復	226
4.	成果の意義	228
5.	特許の取得	235
6.	論文発表・成果の普及	236
7.	その他の公表 (プレス発表等)	244
8.	受賞実績	244
IV.	実用化、事業化の見通しについて	245
1.	事業化までのシナリオ	245
1.1	実用化・事業化の定義	245
2.	成果の実用化の状況	246
3.	事業化の状況	247
3.1	大型商用静止衛星への適用	247
4.	宇宙以外の分野への適用の検討	251
4.1	想定される用途	251
4.1.1	公知・公開情報の収集	251
4.1.2	調査対象範囲	251

4.1.3 特殊な要求条件を有する応用	252
4.1.3.1 長期に渡る開発期間が必要な機器	252
4.1.3.2 製造物責任が問われる可能性のある機器	253
4.1.3.3 コストおよび電力容量からの検討	254
4.1.4 調査対象用途の絞込み	254
4.1.5 ユーザー調査	255
4.1.5.1 航空業界に対するインタビュー調査	255
4.1.5.2 電気自動車業界に対するインタビュー調査	265
4.1.5.3 成層圏プラットフォーム業界に対するインタビュー調査	270
4.1.5.4 無停電電源装置への適用	273
4.1.6 調査結果と適用性検討	273
4.1.7 175Ah セルの改良提案	274
4.1.8 むすび	277
プロジェクト用語集	278

参考

1. エネルギーイノベーションプログラム
2. 航空機・宇宙産業イノベーションプログラム

概要

		作成日	平成21年 月 日
制度・施策(プログラム)名	エネルギーイノベーションプログラム/航空機・宇宙産業イノベーションプログラム		
事業(プロジェクト)名	次世代衛星基盤技術開発(衛星搭載用リチウムイオンバッテリー要素技術開発)	プロジェクト番号	P03001
担当推進部/担当者	機械システム技術開発部/北村 斉		
0. 事業の概要	<p>国際商業市場における我が国衛星メーカーの競争力強化を図るため、準天頂衛星システムを初めとする次世代衛星の高度化、ミッションの大型化・高度化による消費電力の増大および軽量化、長寿命化等に対処するために不可欠な、衛星搭載用リチウムイオンバッテリー要素技術として、大容量化、高密度化及び高信頼性化の開発を行う。</p> <p>さらに、地球温暖化を防止すべく二酸化炭素の排出削減が大いに期待される燃料電池自動車等の電気系自動車について効率等の更なる向上を実現するとともに、蓄電技術の用途拡大を促進するために、蓄電池の中で最も高いエネルギー効率を持つ高出力・長寿命のリチウムイオン電池の開発を実施する。</p>		
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>次世代衛星ではミッションの大型化にともない、従来の衛星より大型・大電力のミッション機器の搭載及び長寿命化が要求されている。これに対し、従来型バッテリーを使った場合、バッテリーが占める容積が大型化し衛星構体の排熱面確保に制約を与えるとともに、バッテリーだけでミッション機器質量に近い質量となることから小型かつ軽量で大容量・長寿命なリチウムイオンバッテリーの実現が求められている。特に、総務省、文部科学省、国土交通省、経済産業省の4省連携のもとに研究開発が進められている準天頂衛星システムを実現するためには、この高性能のリチウムイオンバッテリーが不可欠であり、そのため準天頂衛星システム開発との連携を図りつつ開発を推進することが必要である。</p> <p>リチウムイオンバッテリーは、そもそも従来のニッケルカドミウムバッテリー等に比べエネルギー密度が高く、単位エネルギーあたりの質量を1/2、体積を1/3、に抑えることができることから、携帯電話やパーソナルコンピュータ等の小型軽量バッテリーとしての利用が拡大しつつあるが小型のものが中心であった。航空機・宇宙産業イノベーションプログラム(旧宇宙産業高度化基盤技術プログラム)における本研究開発は、この特色を生かしたまま大容量化・長寿命化のリチウムイオンバッテリーを実現するもので、その成果は航空機、高速車両、電気系自動車等の輸送機器の軽量化・効率化に繋がることから、輸送系のエネルギー使用効率の向上への寄与も期待されている。</p> <p>さらに、21世紀に向けて、化石エネルギーの高効率利用、石油代替エネルギーの導入促進は、わが国のエネルギー政策の重要な柱であり、また窒素酸化物(NOx)等環境汚染物質低減などの環境問題への貢献も強く求められている。石油代替、省エネルギーの促進及び環境保全の観点から、また、我が国の産業競争力強化及び新規産業創出の観点から、燃料電池自動車を中心とするクリーンエネルギー自動車の技術開発及び導入促進は喫緊の課題である。燃料電池は、ガソリンエンジンより十分高効率であり、特に低負荷域で最大の効率を示すという特性を持つ。エネルギーイノベーションプログラムにおける本研究開発は、その燃料電池車の高効率性を最大限に生かすために、加速時等における高負荷時の駆動出力のサポートや制動時の回生エネルギーを効率よく利用するための必要不可欠な蓄電技術の確立を目指すものである。</p> <p>よって本研究開発はエネルギーイノベーションプログラム及び航空機・宇宙産業イノベーションプログラムの目的達成に寄与するものである。</p>		

II. 研究開発マネジメントについて								
事業の目標	準天頂衛星システムを初めとする次世代衛星の産業競争力強化にも直結する衛星の高度化、長寿命化等に関する基盤技術として、衛星搭載用リチウムイオンバッテリー要素技術開発を行う。 具体的には、エネルギー密度 120Wh/kg 以上、電力容量 30kWh 以上、質量 250kg 以下、寿命 15 年以上の性能を有するリチウムイオンバッテリー技術を開発する。							
事業の計画内容	主な実施事項	FY15	FY16	FY17	FY18	FY19	FY20	
	1. リチウムイオンバッテリーの開発							→
	2. 大容量・高密度化技術の開発							→
	3. 高信頼性化技術の開発							→
	4. 基盤技術調査研究				→			
	5. 次世代衛星技術等の調査検討							→
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位：百万円)	会計・勘定	FY15	FY16	FY17	FY18	FY19	FY20	総額
	一般会計	0	0	0	0	0	0	0
	特別会計 (電多・高度化・石油の別)	649	569	984	469	622	52	3,345
	総予算額	649	569	984	469	622	52	3,345
開発体制	経産省担当原課	製造産業局 航空機武器宇宙産業課						
	プロジェクトリーダー	財団法人 無人宇宙実験システム研究開発機構 顧問 金井 宏 (平成 19 年度～平成 20 年度) 新衛星ビジネス株式会社 上席常務 鳥山 潔 (平成 15 年度～平成 18 年度)						
	委託先 (* 委託先が管理法人の場合は参加企業数も記載)	委託先 : 財団法人 無人宇宙実験システム研究開発機構 新衛星ビジネス株式会社 (平成 15 年度～平成 17 年度) 再委託先 : 国立大学法人 京都大学 (平成 16 年度～平成 18 年度) 共同実施先 : 独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 (平成 20 年度)						
情勢変化への対応	準天頂衛星システムに関連する研究開発については、総務省、文部科学省、国土交通省、経済産業省の 4 省連携のもとに準天頂衛星システム開発側との連携を図りながら本研究開発を実施することとし、準天頂衛星システムに係わる関係府省庁連絡会議、準天頂衛星システム開発・利用推進協議会、技術調整ワーキング部会に参加すると共に、計画を推進する新衛星ビジネス株式会社との連携を密にし、本研究開発と準天頂衛星システムとの整合性を図って来た。外部環境の変化により ASBC が準天頂衛星の事業計画を見直した結果、放送・通信事業を含んだ計画から測位事業に専念した計画に変更することを表明した。これを受けて平成 18 年 3 月 31 日の「測位・地理情報システム等推進会議」において平成 18 年度から官主導による計画遂行が決定され、準天頂衛星のとりまとめが新衛星ビジネス株式会社から独立行政法人宇宙航空研究開発機構 (JAXA) に変わった。また、経済産業省が進める研究開発項目①衛星構体の高排熱型熱制御技術開発、②次世代イオンエンジン技術開発、③測位用擬似時計技術開発、④異種材料を含む大型構造体用複合材料製造設計技術開発とも連携を図り、かつ衛星システムを取りまとめている JAXA と連携を図りながら本研究開発を推進した。							

Ⅲ. 研究開発成果について	バッテリーの最終目標である、エネルギー密度：120wh/kg 以上、電力容量：30kWh 以上、質量 250kg 以下、寿命 15 年以上を達成した。	
	投稿論文	「査読付き」 21 件、「その他」 58 件
	特許	「出願済」 3 件、「登録」 0 件、「実施」 0 件（うち国際出願 1 件）
Ⅳ. 実用化, 事業化について	準天頂測位衛星の初期フェーズでの実証により衛星としての実績を積み、実用化・事業化を展開する予定である。また、平成 20 年度に海外衛星メーカーから商用衛星用リチウムイオンバッテリーとして第 1 号の受注を果たし、事業化の緒に就いている。	
Ⅴ. 評価に関する事項	事前評価	平成 14 年度実施
	中間評価以降	平成 17 年度 中間評価実施 平成 21 年度 事後評価実施 予定
Ⅵ. 基本計画に関する事項	作成時期	平成 15 年 3 月 作成
	変更履歴	(1)平成 16 年 3 月 研究開発項目の一部が経済産業省直轄になったことに伴い改訂。 (2)平成 16 年 6 月 研究開発の具体的内容に調査研究を行うことを追加したことに伴い改訂。 (3)平成 17 年 3 月 中間及び最終目標値について、単位及び項目を適正な文言に改訂。 (4)平成 19 年 4 月 プロジェクトリーダー交代に伴い、改訂。 (5)平成 20 年 3 月 実施期間延長に伴い改訂。 (6)平成 20 年 7 月 イノベーションプログラム基本計画制定により改訂

(エネルギーイノベーションプログラム／航空機・宇宙産業イノベーションプログラム)

「次世代衛星基盤技術開発プロジェクト

(衛星搭載用リチウムイオンバッテリー要素技術開発に係るもの)」基本計画

機械システム技術開発部

(適用範囲)

この基本計画は、研究開発項目に関する事項については、次に掲げる次世代衛星基盤技術開発プロジェクトを構成する研究開発項目のうち⑤に掲げるものに適用する。

- ① 衛星構体の高排熱型熱制御技術開発
- ② 次世代イオンエンジン技術開発
- ③ 測位用擬似時計技術開発
- ④ 異種材料を含む大型構造体用複合材料製造設計技術開発
- ⑤ 衛星搭載用リチウムイオンバッテリー要素技術開発

上記の研究開発項目のうち①から④に掲げるものについては、経済産業省が定める基本計画を適用する。

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

大きな技術波及効果を有し、国民の安全にも密接に関わるだけでなく、高度情報化社会の実現、地球環境の保全、資源開発等多様な社会ニーズに応える基盤となる宇宙産業の国際競争力の強化を図るため、次世代の宇宙機器の開発及び宇宙利用の促進に資する技術を強化することにより、我が国における宇宙開発利用の産業化を促進し、自立的な宇宙産業を育成することで、世界の宇宙機器マーケットにおける我が国のシェア拡大を図ることを目標とする航空機・宇宙産業イノベーションプログラムの一環として本プロジェクトを実施する。

我が国の宇宙開発利用は、これまでの研究開発中心から、産業化を通じた国民生活の質の向上や経済の活性化、産業競争力の向上を目指す時代への転換期を迎えている。総合科学技術会議による第3期基本技術計画（平成18年～22年度）の「分野別推進戦略」（平成18年3月22日決定）においても、「我が国の宇宙開発利用は、これまでの研究開発、技術開発を重視した「宇宙開発」の時代から、安全・安心や国民生活の質の向上、総合的な安全保障の確保等を目的とし、地球観測衛星、通信放送衛星、測

位衛星等の社会インフラとして「宇宙の利用・産業化」を図る時代に移ってきている」と宇宙開発利用の産業化の促進、宇宙利用の戦略的拡大の必要性が明記されているところ。

本プロジェクトでは、国際商業市場における我が国衛星メーカーの競争力強化を図るべく、次世代の衛星として期待されている準天頂衛星システム(*)を用いて、移動中の利用者等に対して、米国が運用する GPS (Global Positioning System: 全地球測位システム) との補完による高精度な位置情報システムの構築と高品質の移動体用ブロードバンド・サービスの提供を可能にするために不可欠な衛星の高度化、軽量化、長寿命化に関する基盤技術として産業競争力強化にも直結する、①衛星構体の高排熱型熱制御技術、②次世代イオンエンジン技術、③測位用擬似時計技術の開発を行う。さらに、準天頂衛星等の次世代衛星に要求されるミッションの大型化・高度化による重量・消費電力の増大等に対処するために不可欠な、④異種材料を含む大型構造体用複合材料製造設計技術、⑤衛星搭載用リチウムイオンバッテリー要素技術の開発を行う。

* 静止軌道と一定の角度をなす傾斜軌道に複数の衛星を配置し、見かけ上、常に天頂付近に1つの衛星を位置させるシステム

本技術の確立により、高精度測位を行うための基盤技術、産業競争力強化にも直結する衛星の軽量化、高度化等に関する基盤技術の形成が見込まれることから、我が国衛星メーカーの国際市場における競争力強化に繋がる。また、複合材料製造設計技術や衛星搭載用リチウムイオンバッテリー要素技術に関する基盤技術の成果は、需要増加の割合が高い運輸部門(航空機、高速車両、電気系自動車等)の輸送機器の軽量化・効率化に繋がることから、これら輸送系のエネルギー使用効率の向上にも資するものである。

上記①、②、③に係る研究開発事業は、経済産業省において研究開発の成果が迅速に事業化に結びつき、産業競争力強化に直結する「経済活性化のための研究開発プロジェクト(フォーカス 21)」と位置付けられており、次の条件のもとで実施する。

- ・ 技術的革新性により競争力を強化できること。
- ・ 研究開発成果を新たな製品・サービスに結びつける目途があること。
- ・ 比較的短期間で新たな市場が想定され、大きな成果と経済波及効果が期待できること。
- ・ 産業界も資金等の負担を行うことにより、市場化に向けた産業界の具体的な取組が示されていること。

具体的には、成果の実用化に向けた、実施者による以下のような取組を求める。

- ・ 民間は、国の研究開発事業と同時並行的にビジネスプランに合わせた研究開発・製造を実施し、これらの成果を活用した事業化を推進する。

なお、適切な時期に、実用化・市場化状況等について検証する。

*実用化とは、試作品の作製、サンプル出荷等を言う。

(2) 研究開発の目標

準天頂衛星システムの構築に不可欠な基盤技術として産業競争力強化にも直結する衛星の高度化、長寿命化等に関する技術及び我が国の次世代を担う衛星に不可欠な基盤技術として異種材料を含む大型構造体用複合材料製造設計技術、衛星搭載用リチウムイオンバッテリー要素技術の開発を行う。

(3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。

- ・ 衛星搭載用リチウムイオンバッテリー要素技術開発

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

本技術開発は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO技術開発機構」という。）が、単独ないし複数の原則本邦の企業、研究組合、公益法人等（委託先から再委託された研究開発実施者を含む。）を選定し、それらの企業等が、NEDO技術開発機構が指名した研究開発責任者（プロジェクトリーダー）の下に、研究テーマの達成目標を実現すべく研究開発を実施する方式を採用する。（原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別の研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点から国外企業との連携が必要な部分はこの限りではない。）

(2) 研究開発の運営管理

研究開発の管理・執行に責任を有するNEDO技術開発機構は、経済産業省及び研究開発責任者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標、並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて、NEDO技術開発機構に設置する委員会及び技術検討会等、外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、四半期に一回程度プロジェクトリーダー等を通じてプロジェ

クトの進捗について報告を受けること等を行う。

3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は、平成 15 年度から平成 20 年度までの 6 年間とする。

4. 評価に関する事項

NEDO 技術開発機構は、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義ならびに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を平成 17 年度、事後評価を平成 21 年度に実施する。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

5. その他重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

① 知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第 27 条の規定等に基づき、原則として、すべて委託者に帰属させることとする。

(2) 基本計画の変更

NEDO 技術開発機構は、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、内外の研究開発動向、政策動向、プログラム基本計画の変更、第三者の視点からの評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

(3) 根拠法

本プロジェクトは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第 15 条第 1 項第 1 号ハに基づき実施する。

(4) その他

本プロジェクトにおいて、準天頂衛星システムに関連する研究開発については、総務省、文部科学省、国土交通省による 4 省庁連携のもとに準天頂衛星システム開発側

との連携を図りながら本研究開発を実施する。また、経済産業省が進める研究開発項目①衛星構体の高排熱型熱制御技術開発、②次世代イオンエンジン技術開発、③測位用擬似時計技術開発、④異種材料を含む大型構造体用複合材料製造設計技術開発とも連携を図りながら本研究開発を推進する。

6. 基本計画の改訂履歴

- (1) 平成 15 年 3 月策定。
- (2) 平成 16 年 3 月研究開発項目の一部が経済産業省直轄になったことに伴い改訂。
- (3) 平成 16 年 6 月研究開発の具体的内容に調査研究を行うことを追加したことに伴い改訂。
- (4) 平成 17 年 3 月中間及び最終目標値について、単位及び項目を適正な文言に改訂。
- (5) 平成 19 年 4 月プロジェクトリーダー交代に伴い改訂。
- (6) 平成 20 年 3 月実施期間延長に伴い改訂。
- (7) 平成 20 年 7 月、イノベーションプログラム基本計画制定により改訂。

(別紙) 研究開発計画

研究開発項目 「衛星搭載用リチウムイオンバッテリー要素技術開発」

1. 研究開発の必要性

リチウムイオンバッテリーは、従来のニッケルカドミウムバッテリー等に比べエネルギー密度が高く重量を 1/2、体積を 1/3、価格を約半額に抑えることができ、携帯電話やパーソナルコンピュータ等の小形軽量バッテリーとしての利用が拡大しつつある。また電気自動車、次世代衛星等の分野では、寸法・重量・コストの増加を低く抑えたまま所要電力の大容量化・長寿命化への対応が可能となるため、エネルギー密度を更に高めてバッテリー容量・寿命の向上を図ったりリチウムイオンバッテリーの開発及びそれにもなうエネルギー効率の向上が期待されている。次世代衛星では、提供サービスの高度化にともない従来の静止衛星より大型・大電力のミッション機器の搭載及び長寿命化が要求されている。これに対し、従来型バッテリーを使った場合、バッテリーが占める容積が大型化し衛星構体の排熱面確保に制約を与えるとともに、バッテリーだけでミッション機器重量に近い重量となり、衛星全体重量が打ち上げ予定機である H-II A の許容ペイロード重量を超えてしまうことが予想される。このため大容量・長寿命なりチウムイオンバッテリーを開発してバッテリーの小型化・軽量化が求められている。

本技術開発では、準天頂衛星を始めとする次世代衛星搭載を想定して大容量・長寿命かつ小形・軽量のバッテリーの実現を図るため、最も高いエネルギー密度を有するリチウムイオンバッテリーの更なるエネルギー密度の向上と大容量化技術、及びバッテリーセルの電圧・温度の均一化等による高信頼性化技術の開発を行う。

本技術の確立により、大容量・長寿命バッテリーの利用が必要な電気自動車への適用範囲の拡大に繋がることから、更なるエネルギー効率の向上に資することが期待される。

2. 研究開発の具体的内容

準天頂衛星との適合性を考慮して以下の研究開発を行う。

また、研究開発の効率的な実施を行うため、国内外の技術動向等の情報収集及び分析等を行い、必要に応じて新たな技術を研究開発に採り入れることに関し、フィージビリティの確認を行うための調査研究を実施する。

(1) リチウムイオンバッテリーの開発

以下の(2)～(3)の技術開発を行い、その成果を反映したリチウムイオンバッテリーを設計・製作して、地上検証試験により性能等を実証する。

(2) 大容量・高密度化技術の開発

重量単位当たりのバッテリー容量を向上させて大容量・高密度化を実現するため、大容量・高密度化に対応した発生熱量の低減及び排熱を実現するとともに充放電にともなうバッテリーセルの膨張・収縮によるバッテリーの劣化を抑える技術の開発を行う。

(3) 高信頼性化技術の開発

故障や劣化を軽減してバッテリーの高信頼性化を図るため、バッテリーセルの電圧・温度の均一化等の特性維持管理技術及びバッテリーセルや電子部品の一部に故障が発生してもバッテリーとして一定の機能を継続させる技術の開発を行う。

3. 達成目標

(中間目標)

2. (1)、(2)、(3)項に関して、平成16年度までに、以下の仕様を満足させるバッテリーセル技術を開発する。

a) エネルギー密度：170 Wh/kg 以上

b) 容量：175Ah 以上

(最終目標)

2. (1)、(2)、(3)項に関して、以下の仕様を満足させるリチウムイオンバッテリー技術を開発するとともにその実現性を地上検証試験で実証する。

a) エネルギー密度：120 Wh/kg 以上

b) 電力容量：30kWh 以上

c) 質量：250kg 以下

d) 寿命：15年以上

次世代衛星基盤技術開発プロジェクト
(衛星搭載用リチウムイオンバッテリー要素技術開発)

(参考)

目的

準天頂衛星等の次世代衛星に要求されるミッションの大型化・高度化による質量・消費電力の増大等に対処するために不可欠な、衛星搭載用リチウムイオンバッテリーの要素技術を開発し、国際商業市場における我が国衛星メーカーの競争力強化を図るとともに、電気自動車など大容量・高密度な用途への利用拡大を図る。

研究開発内容

1. 大容量・高密度化技術開発

重量単位当たりのバッテリー容量を向上させて大容量・高密度化を実現するため、大容量・高密度化に対応した発生熱量の低減及び排熱を実現するとともに充放電にともなうバッテリーセルの膨張・収縮によるバッテリーの劣化を抑える技術の開発。

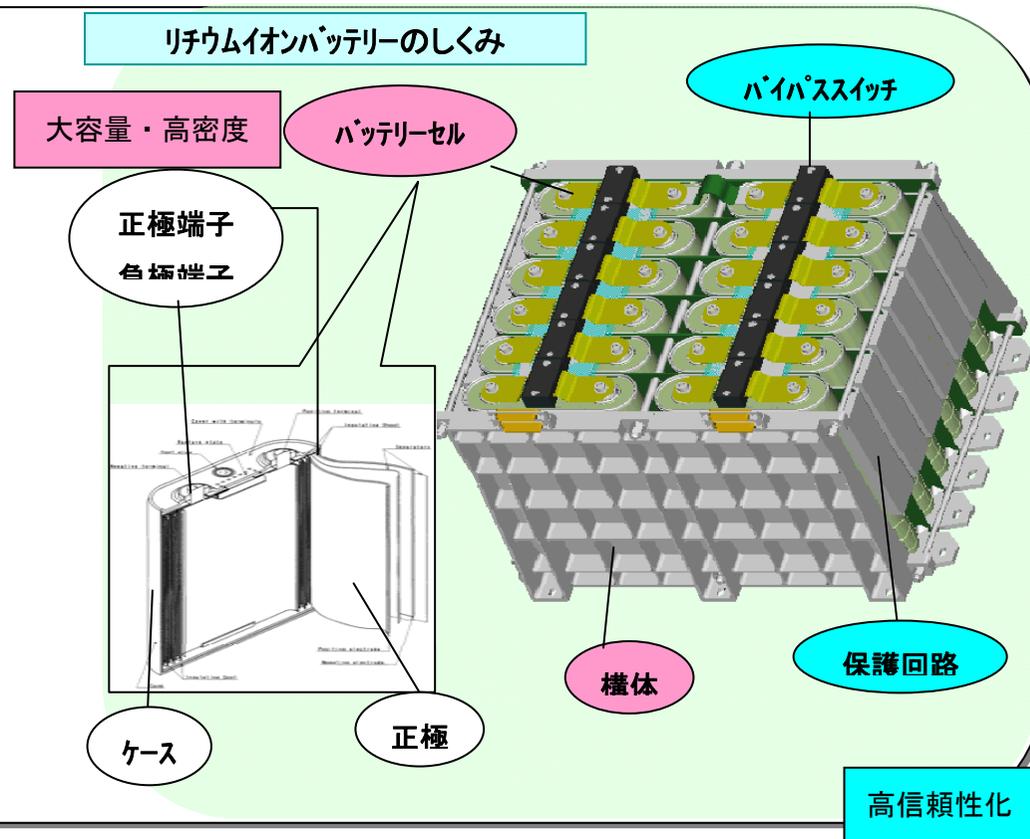
2. 高信頼性化技術の開発

故障や劣化を軽減してバッテリーの高信頼性化を図るため、バッテリーセルの電圧・温度の均一化等の特性維持管理技術及びバッテリーセルや電子部品の一部に故障が発生してもバッテリーとして一定の機能を継続させる技術の開発。

目標

120Wh/kg、30kWh、寿命 15 年以上の性能を有するリチウムイオンバッテリー技術を開発し、実現性を地上検証試験で確認する。

リチウムイオンバッテリーのしくみ



I. 事業の目的・政策的位置付けについて

本プロジェクトは、①から⑤の研究開発項目から構成される。

- ① 衛星構体の高排熱型熱制御技術開発
- ② 次世代イオンエンジン技術開発
- ③ 測位用擬似時計技術開発
- ④ 異種材料を含む大型構造体用複合材料製造設計技術開発
- ⑤ 衛星搭載用リチウムイオンバッテリー要素技術開発

上記①～③は航空機・宇宙産業イノベーションプログラム（旧宇宙産業高度化基盤技術プログラム）下で実施されるものであり、④、⑤についてはエネルギーイノベーションプログラム（旧新エネルギー技術開発プログラム）及び航空機・宇宙産業イノベーションプログラム（旧宇宙産業高度化基盤技術プログラム）の下で実施されるものである。

注：平成20年4月に既存のプログラムが整理統合され、7つのイノベーションプログラムとなった。

上記の研究開発項目のうち①から③に掲げるものについては、経済産業省産業技術環境局研究開発課及び経済産業省製造産業局航空機武器宇宙産業課宇宙産業室が定める基本計画を、④に掲げるものについては、経済産業省製造産業局航空機武器宇宙産業課宇宙産業室が定める基本計画を適用するものである。また、⑤に掲げるものについては、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）機械システム技術開発部が定める基本計画を適用するものである。

本事業原簿は上記⑤項の開発状況について記述するものである。

1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性

1.1 NEDOが関与することの意義

本研究開発は、エネルギーイノベーションプログラム及び航空機・宇宙産業イノベーションプログラムの下で実施するものであり、NEDOが関与する内容は次の2項目である。

- (1) 蓄電技術の用途拡大を促進し、広範な分野への利用拡大に向けて、質量・体積エネルギー密度が高く、高信頼性・大容量のリチウム電池の開発
- (2) 次世代測位システムをベースとした、主として移動体（自動車・航空機・船舶から歩行者まで）向けの高付加価値を持つサービスを提供出来るものと期

待されている準天頂衛星システム等の次世代大型衛星に適用することを目的とする共通基盤技術に対する研究開発

上記(1)項は、石油代替エネルギーの探求、省エネルギーの促進及び環境保全を目指すことを目的とし、上記(2)項は適用される準天頂衛星システムが来るべき高度情報化社会におけるインフラ基盤の整備を目的のひとつとしていることから公共性が高い。また、これらの開発には高度な技術が要求されており、実用化に向けて実証するには投資規模が非常に大きくかつ長期間に亘る。そのため民間のみで研究開発を進めることは難しく、産官の連携の下で効率的な研究開発を実施することが不可欠である。

- * 静止軌道と一定の角度をなす傾斜軌道に3機の衛星を配置し、見かけ上常に天頂付近に1つの衛星を位置させるシステム。右図に見られるように、8の字軌道を持つ3機の準天頂衛星(QZS-1~3)を、アクティブアーク内で8時間毎に順次ハンドオーバーし運用することにより、24時間の連続運用が可能となる。ユーザは高仰角(約70度以上)での衛星利用が可能となることから、衛星からの電波がビルや山陰に遮られることなくサービスを受けることができる。図1.1-1にそのサービスイメージを示す。

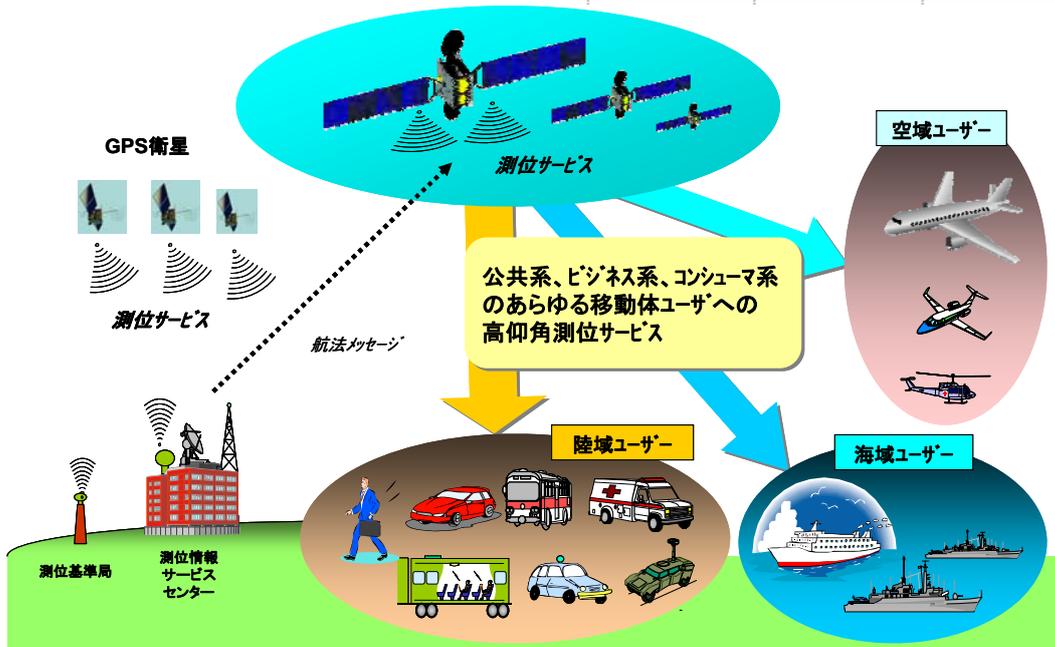
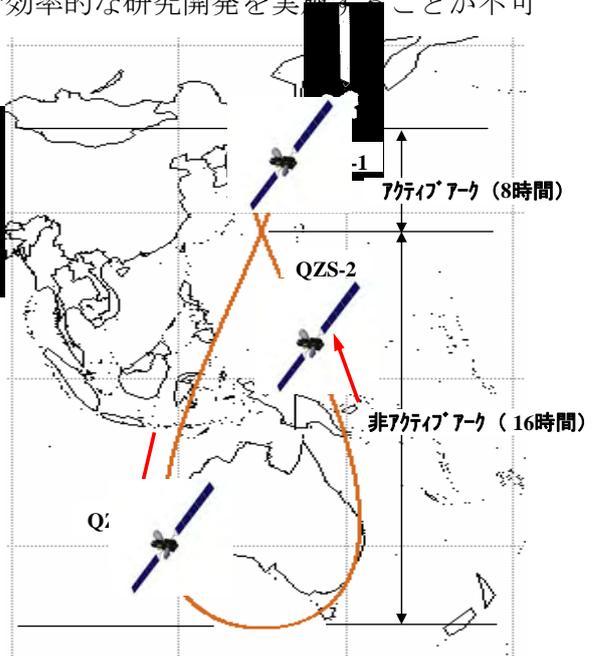


図 1.1-1 準天頂衛星システムによるサービスイメージ

1.2 実施の効果（費用対効果）

1.2.1 エネルギーイノベーションプログラム（旧新エネルギー技術開発プログラム）

リチウムイオンバッテリーはその利用段階ではゼロエミッションのエネルギー媒体であり、衛星搭載用リチウムイオンバッテリー要素技術に関する基盤技術の成果は、需要増加の割合が高い運輸部門（航空機、高速車両、電気系自動車等）の輸送機器の軽量化・効率化にも繋がる。したがって、その技術の確立は我が国産業全体へ相当程度の波及効果が見込まれ、新規産業雇用の創出及びこれら輸送系のエネルギー使用効率の向上にも資するものである。また、地球温暖化抑制等の環境保全への貢献が期待できる。

（平成 20 年 4 月のイノベーションプログラム基本計画適用により以下を追記）

特に 2008 年秋に始まった世界同時不況の影響により自動車の販売が激減し、それがさらに経済を冷え込ませている。そこでリチウムイオンバッテリーを使用した燃費の良いハイブリッド車や電気自動車に景気浮揚の大きな期待が寄せられている。

ハイブリッド車の予測（平成 21 年 5 月 6 日 朝日新聞）に基づく 2008 年から 2018 年の約 10 年間の省エネルギー効果、炭酸ガス排出抑制量の試算を表 1.2-1 に示す。

表 1.2-1 2030 年までの省エネルギー/炭酸ガス削減効果の推定

	累積普及台数	省エネルギー効果		炭酸ガス(CO ₂)排出抑制量
		ガソリン換算	原油換算	
1997 年	28 万台 実績	11.6 万 k L/年	12.7 万 k L/年	26.7 万 t-CO ₂ /年
2008 年	57 万台実績	23.7 万 k L/年	26.0 万 k L/年	54.7 万 t-CO ₂ /年
2018 年	900 万台予測	374.4 万 k L/年	65.9 万 k L/年	864.8 万 t-CO ₂ /年

尚、2008 年～2018 年の経済効果を算出するとガソリン価格 150 円/L として、
 $(23.7 \text{ 万 k L} + 374.4 \text{ 万 k L}) / 2 \times 150 \text{ 円/L} = 2985 \text{ 億円/年}$ となる。

1.2.2 航空機・宇宙産業イノベーションプログラム（旧；宇宙産業高度化基盤技術プログラム）

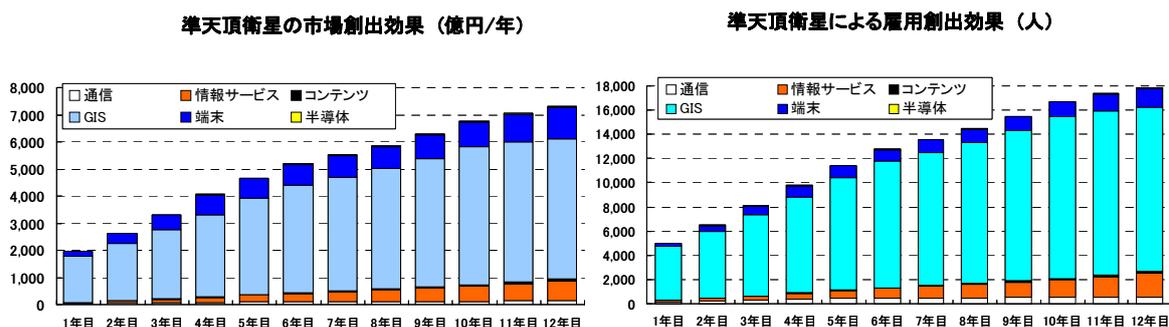
本プロジェクトでは、次世代衛星として期待されている準天頂衛星システム（利用者に対し、米国が運用する GPS との補完による高精度な位置情報等の提供を可能にするシステム）の構築に不可欠な衛星の高度化、軽量化、長寿命化につながる ①衛星構体の高排熱型熱制御技術、②次世代イオンエンジン技術、③測位用擬似時計技術、更に、準

天頂衛星等の次世代衛星に要求されるミッションの大型化・高度化による質量・消費電力の増大等に対処するための、④異種材料を含む大型構造体用複合材料製造設計技術、⑤衛星搭載用リチウムイオンバッテリー要素技術等の基盤技術を研究開発することから、将来の我が国の宇宙産業に対する国際競争力の強化に繋がることが期待される。

静止衛星の場合、静止軌道までの遷移に多くの推進薬を必要とし、構造重量の重量軽減 1 kg に対して推進薬の軽減等も含めて、衛星全体で 2~3 kg の重量軽減効果を生む一といわれているが、ここでは 30kWh 電力容量における SERVIS-1 使用のバッテリーからの 140kg の搭載部品の軽減と単純に考えてみる。一般的に商用衛星市場におけるロケット打ち上げ費用は 1 kg 当り 200 万円と言われており、本研究開発における打ち上げ費用削減効果は 2.8 億円、冗長性をもたせ 2 台搭載すると 5.6 億円に達する。

本研究開発の成果は準天頂衛星に適用され、準天頂衛星の打ち上げ費用削減等にも大きな効果を生むとともに今後の次世代衛星の打ち上げ費用削減にも効果を生む。このことが今後の世界の商用衛星市場において我が国の衛星産業の国際競争力を増加させる大きな要因となると考えることができる。

開発当初の準天頂衛星システムによる市場創出、雇用創出効果を図 1.2.2-1 に示す。新衛星ビジネス(株)によると通信・放送・測位を融合した新しいビジネスはシステム構築に係わる部分のみでも 2000 億円、経済波及効果や社会的利便性向上効果まで含めると準天頂衛星システム全体では 12 年間で約 30 兆円になると算定している。



GIS(地理情報システム):企業・政府にGIS関連システムを提供する事業者、GISでは準天頂衛星の測位機能を利用するため、準天頂衛星の実現により創出される市場とみなした

(新衛星ビジネス研究会資料より抜粋)

図 1.2.2-1 準天頂衛星システムによる市場創出、雇用創出効果

2. 事業の背景・目的・位置付け

2.1 事業の背景

2.1.1 エネルギーイノベーションプログラム(旧：新エネルギー技術開発プログラム)

21世紀に向けて、化石エネルギーの高効率利用、石油代替エネルギーの導入促進は、わが国のエネルギー政策の重要な柱であり、また窒素酸化物(NO_x)等環境汚染物質低減などの環境問題への貢献も強く求められている。さらに、1997年12月には気候変動枠組条約第3回締約国会議(COP3)において温室効果ガス(特に二酸化炭素(CO₂))排出量削減量が規定され、この目標達成が喫緊の課題となっている。また、平成13年6月に取りまとめられた総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会においては、「クリーンエネルギー自動車本体の価格が競合する一般自動車の価格と比較して割高であることに加え、走行距離など自動車の性能や燃料供給インフラの整備が不十分といった解決すべき課題がある」と記載されており、更には、2001年8月に開催された第10回燃料電池実用化戦略研究会において審議された固体高分子形燃料電池/水素エネルギー利用技術開発戦略においても、「燃料電池自動車用蓄電池の技術開発に取り組むことが必要」と記載されており、推進する意義がある。

石油代替、省エネルギーの促進及び環境保全の観点から、また、我が国の産業競争力強化及び新規産業創出の観点から、燃料電池自動車を中心とするクリーンエネルギー自動車の技術開発及び導入促進は喫緊の課題である。

燃料電池は、ガソリンエンジンより十分高効率であり、特に低負荷域で最大の効率を示すという特性を持つ。その高効率性を最大限に生かすために、加速時等における高負荷時の駆動出力のサポートや制動時の回生エネルギーを効率よく利用できる蓄電技術の確立は燃料電池自動車にとって必要不可欠である。

こうしたニーズを十分満足させるために、次世代のバッテリーとして高いエネルギー密度を有するリチウムイオンバッテリーの実現が期待されており、エネルギー密度向上および高信頼度・長寿命化が求められている。

(平成20年4月のイノベーションプログラム基本計画適用により以下を追記)

2007年3月閣議決定されたエネルギー基本計画において、重点的に研究開発のための施策を講ずべきエネルギーに関する技術及びその施策として、「総合エネルギー効率の向上に資する技術」、「運輸部門のエネルギー多様化に資する技術」が位置づけられている。

前者においてはエネルギー資源の約8割を海外に依存する我が国にとって、これ

を効率的に利用すること、即ち「省エネ」を図ることはエネルギー政策上の重要課題である。また、後者においては、ほぼ 100%を石油に依存する運輸部門は我が国エネルギー需給構造上、最も脆弱性が高く、その需給構造の次世代化は将来に向けた対策が不可欠な課題となっている。

一方、2005年4月閣議決定された「京都議定書目標達成計画」に於いては、「京都議定書の約束を達成するとともに、更に「脱温暖化社会」に向けて長期的・継続的な排出削減を進めるには、究極的には化石燃料への依存を減らすことが必要である。環境と経済の両立を図りつつ、これらの目標を達成するため、省エネルギー、未利用エネルギーの利用等の技術革新を加速し、効率的な機器や先進的なシステムの普及を図り、世界をリードする環境立国を目指す。」とされている。

以上のことから、石油代替、省エネルギーの促進及び環境保全の観点、また、我が国の産業競争力強化及び新規産業創出の観点から、ハイブリッド車や電気自動車を中心とするクリーンエネルギー自動車の技術開発及び導入促進は喫緊の課題である。

こうしたニーズを十分満足させるために、次世代のバッテリーとして高いエネルギー密度を有するリチウムイオンバッテリーの実現が期待されており、エネルギー密度向上および高信頼度・長寿命化が求められている。

2.1.2 航空機・宇宙産業イノベーションプログラム（旧；宇宙産業高度化基盤技術プログラム）

現在我が国では、米国のGPS衛星を利用した関連商品として、カーナビ・携帯ナビ等が普及しているが、これまでの静止衛星システムとは異なり高仰角からのサービスが可能となる特長を持ち、次世代衛星の一つとして注目されている準天頂衛星システムは、次世代測位システムをベースとした移動体（自動車・航空機・船舶から歩行者まで）向けの高付加価値を持つサービスを提供出来るものと期待されている。

我が国の宇宙開発利用は、これまでの研究開発中心から、産業化を通じた国民生活の質の向上や経済の活性化、産業競争力の向上を目指す時代への転換期を迎えており、平成14年6月の内閣府の総合科学技術会議による「今後の宇宙開発利用に関する取組みの基本について」においても、我が国宇宙産業の基幹産業への育成を図るべく、宇宙開発利用の産業化の促進、宇宙利用の戦略的拡大の必要性が明記されているところである。特に、準天頂衛星システムについては、「準天頂衛星システ

ムの開発・整備を産官の連携の下に推進する。推進に当たっては、関係の産官から成るプロジェクトチームを設置し、そのあり方を検討し具体化を図る。このシステムにより、新たなビジネス機会の創出による経済の活性化と国民生活の質の向上を目指す」旨が明記されている。

上記の総合科学技術会議の方針を受け、総務省・文部科学省・国土交通省・経済産業省の関係 4 省と産業界で準天頂衛星システム開発・利用推進協議会が設置され、国が研究開発の観点から、産業界が事業化の観点から、産官連携によるプロジェクトして準天頂衛星システムの実利用を目的とする事業企画の検討が産業界に委ねられることになり、日本経団連指導の下、平成 14 年 7 月にまず準天頂衛星システム推進検討会が設置され、同年 11 月に民間企業約 40 社の出資により事業企画会社である新衛星ビジネス株式会社が設立された。

以上の経緯から、準天頂衛星を初めとする次世代大型衛星に要求される前述 5 項目の基盤技術に関する研究開発について本プロジェクトは実施されることになったものである。

注：なお、外部環境の変化により ASBC が準天頂衛星の事業計画を見直した結果、放送・通信事業を含んだ計画から測位事業に専念した計画に変更することを表明した。これを受けて平成 18 年 3 月 31 日の「測位・地理情報システム等推進会議」において平成 18 年度から官主導による計画遂行が決定された。

(平成 20 年 4 月のイノベーションプログラム基本計画適用により以下を追記)

2006 年 3 月に閣議決定された「第 3 期科学技術基本計画」に於いて、宇宙分野は推進分野である「フロンティア」分野で、国家基幹技術、戦略重点科学技術及び重要な研究開発課題に位置付けられた。また、2007 年 6 月に閣議決定された「経済財政改革の基本方針 2007」では宇宙分野については、宇宙の利用・産業化を推進することとされている。

同プログラムでは、国際商業市場における我が国衛星メーカーの競争力を強化するべく、準天頂衛星システム（利用者に対し、米国が運用する GPS との補完による高精度な位置情報等の提供を可能にするシステム）の構築に不可欠な基盤技術（産業競争力強化にも直結する衛星の軽量化、長寿命化に関する技術等）の開発を行うことが示されている（研究開発期間；2003 年度～2010 年度）。本プロジェクトの一部については、他部門と比較して需要増加の割合が高い運輸部門のエネルギー消費を抑制すべく、自動車、高速車両等の輸送機器の軽量化・効率化にも資する複合材料製造設計等の基盤技術を確立するためのものであり、エネルギー需給構造の高度

化を図る観点から行うものである。

2.2 事業の目的及び意義

2.2.1 エネルギーイノベーションプログラム(旧：新エネルギー技術開発プログラム)

新エネルギーは、エネルギー自給率の向上や地球温暖化対策に資するほか、分散型エネルギーシステムとしてのメリットも期待できる貴重なエネルギーであるが、現時点では、出力の不安定性や高コスト等の課題を抱えている。従って、当面は補完的なエネルギーとして位置付けつつも、安全の確保に留意しつつ、コスト低減や系統安定化、性能向上等のための技術開発等について、産学官等関係者が協力して戦略的に取り組むことにより、長期的にはエネルギー源の一翼を担うことを目指す。

衛星搭載用リチウムイオンバッテリー要素技術開発に関しては、クリーンエネルギー自動車等の実用化に向けても期待できる。したがって、石油代替エネルギーの探求、省エネルギーの促進及び環境保全を目指すことを目的とする、新エネルギー技術開発プログラムの下で実施する研究開発としても意義がある。

(平成20年4月のイノベーションプログラム基本計画適用により以下を追記)

資源に乏しい我が国が、将来にわたり持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。他方、エネルギー技術開発は、長期間を要するとともに大規模投資を伴う一方で将来の不確実性が大きいことから、民間企業が持続的な取組を行うことは必ずしも容易ではない。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、将来の不確実性に対する懸念が緩和され、官民において長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となる。

本研究開発の「衛星搭載用リチウムイオンバッテリー要素技術開発」の目的は、その要素技術がハイブリッド車や電気自動車の実用化を促進し、「新・国家エネルギー戦略」に掲げる、2030年までにGDPあたりのエネルギー利用効率を約30%向上および、運輸部門の石油依存度が80%程度となることを目指す一翼を担うことである。

したがって、石油代替エネルギーの探求、省エネルギーの促進及び環境保全を目指すことを目的とする、エネルギーイノベーションプログラムの下で実施する研究開発としても意義がある。

2.2.2 航空機・宇宙産業イノベーションプログラム（旧；宇宙産業高度化基盤技術プログラム）

高度情報化社会の実現、地球環境の保全等多様な社会ニーズに応える基盤となる我が国宇宙産業の国際競争力の強化を図るため、次世代の宇宙機器開発に向けた基盤技術及び宇宙利用を促進するための基盤技術を確立することにより、我が国における宇宙利用の産業化を促進し、宇宙産業の規模拡大を目指すことを目的とする宇宙産業高度化基盤技術プログラムの一環として本プロジェクトを実施する。

本プロジェクトでは、準天頂衛星システムを用いて移動中の利用者等に対して、米国が運用する GPS 衛星との補完による高精度な位置情報システムの構築を可能にするとともに、次世代衛星の高度化、軽量化、長寿命化に対する基盤技術として産業競争力強化にもつながる、①衛星構体の高排熱型熱制御技術、②次世代イオンエンジン技術、③測位用擬似時計技術の開発を行う。更に、準天頂衛星等の次世代衛星に要求されるミッションの大型化・高度化による質量・消費電力の増大等に対処するために必要な、④異種材料を含む大型構造体用複合材料製造設計技術、⑤衛星搭載用リチウムイオンバッテリー要素技術の開発を行う。

本技術の確立により、高精度測位を行うための基盤技術、産業競争力強化にも直結する衛星の軽量化、高度化等に関する基盤技術の形成が見込まれることから、我が国衛星メーカーの国際市場における競争力強化にも繋がる。また、複合材料製造設計技術や衛星搭載用リチウムイオンバッテリー要素技術に関する基盤技術の開発成果は、需要増加の割合が高い運輸部門（航空機、高速車両、電気系自動車等）の輸送機器の軽量化・省エネルギー化にも繋がり、地球温暖化問題等の環境保全の面からも国際貢献が可能である。

（平成 20 年 4 月のイノベーションプログラム基本計画適用により以下を追記）

大きな技術波及効果を有し、国民の安全にも密接に関わるだけでなく、高度情報化社会の実現、地球環境の保全、資源開発等多様な社会ニーズに応える基盤となる宇宙産業の国際競争力の強化を図ることを目的とする。

本プロジェクトの、⑤衛星搭載用リチウムイオンバッテリー要素技術開発の開発成果は宇宙産業はもとより、航空機産業にも寄与できる。また、同成果は我が国衛星メーカーの国際市場における競争力強化にも繋がる。したがって、航空機・宇宙産業イノベーションプログラムの下で実施する研究開発としても意義がある。

2.3 事業の位置付け

本プロジェクトにおける前述の基盤技術に関する研究開発は、経済産業省が掲げるエネルギーイノベーションプログラム／航空機・宇宙産業イノベーションプログラムの一環として位置付けられている「次世代衛星基盤技術開発プロジェクト（準天頂衛星システム等開発プロジェクト）」の大意に沿うものであり、また実施に当たっては、経済産業省と準天頂衛星システム開発側と連携を図りながら進めて行くものである。準天頂衛星システムは来るべき高度情報化社会におけるインフラ基盤の一つとして、実利用に向けての事業化を目指した産官連携の下に推進されるプロジェクトとして、総務省・文部科学省・国土交通省の関係3省とも連携の下に進めて行くものであったが、外部環境の変化によりASBCが準天頂衛星の事業計画を見直した結果、放送・通信事業を含んだ計画から測位事業に専念した計画に変更することを表明した。これを受けて平成18年3月31日の「測位・地理情報システム等推進会議」において平成18年度から官主導による計画遂行が決定された。

II. 研究開発マネージメントについて

1. 事業の目標

1.1 全体目標

石油代替、省エネルギーの促進及び環境保全の観点から燃料電池自動車を中心とするクリーンエネルギー自動車の技術開発及び導入促進が喫緊の課題となっており、燃料電池の持つ高効率性を最大限に生かせる蓄電技術の開発が求められている。

燃料電池自動車等リチウム電池技術開発においては、軽量・コンパクトで、かつ低コストな高出力・長寿命リチウム電池の開発を推進する。

また、我が国の経済活性化に寄与すると期待されている準天頂衛星システムの早期実用化並びに事業化を推進し、我が国の経済再生への貢献と共に国際商業市場における我が国衛星メーカーの競争力強化を図るとともに運輸部門など他産業への応用に資するものである。このうち実用化については、我が国政府の総合科学技術会議の方針を受け、民間による準天頂衛星システムの事業化推進を目的として、平成14年11月1日に民間企業の出資により設立された新衛星ビジネス株式会社が主体となり、同社にて策定する事業計画に基づいて実現するものとして始めたが、外部環境の変化によりASBCが準天頂衛星の事業計画を見直した結果、放送・通信事業を含んだ計画から測位事業に専念した計画に変更することを表明した。

これを受けて平成18年3月31日の「測位・地理情報システム等推進会議」において平成18年度から官主導による計画遂行が決定された。

また、次世代衛星への適用による国際競争力向上と他産業への応用検討については、現在までに多くの宇宙システムプロジェクトの研究開発を実施してきた実績*をもつ財団法人無人宇宙実験システム研究開発機構において実施し、研究開発成果が広く、有効に応用されるよう推進する。

*SERVIS-1でリチウムイオンバッテリーを開発・搭載した実績を含む。

本プロジェクトにおける具体的な研究開発の目標は以下の通りである。

エネルギーイノベーションプログラムでは、燃料電池自動車等の電気系自動車について効率化等の更なる向上を実現するとともに、蓄電技術の用途拡大を促進するために、蓄電池の中で最も高いエネルギー効率を持つ高出力・長寿命のリチウム電池の開発を行う。

一方、航空機・宇宙産業イノベーションプログラムでは、準天頂衛星システムを構築するとともに、次世代衛星の高度化、軽量化、長寿命化に関する基盤技術として産業競争力強化につながる、①衛星構体の高排熱型熱制御技術、②次世代イオン

エンジン技術、③測位用擬似時計技術の開発を行う。更に、準天頂衛星等の次世代衛星に要求されるミッションの大型化・高度化による質量・消費電力の増大等に対処するために必要な、④異種材料を含む大型構造体用複合材料製造設計技術、⑤衛星搭載用リチウムイオンバッテリー要素技術の開発を行う計画である。

本要素技術開発では、エネルギーイノベーションプログラム及び航空機・宇宙産業イノベーションプログラムの下で、上記⑤衛星搭載用リチウムイオンバッテリーに関する開発を行う。尚、この要素技術は、図 1.1-1 に示すように衛星システムにおいてバス系の電源系サブシステムに適用される。

平成 15～16 年度の研究開発期間（第 1 期）における成果の評価（中間評価）を受け、平成 17～~~19~~20 年度の研究開発期間（第 2 期）における成果の評価（事後評価）に係る最終達成目標は以下に示す通りである。

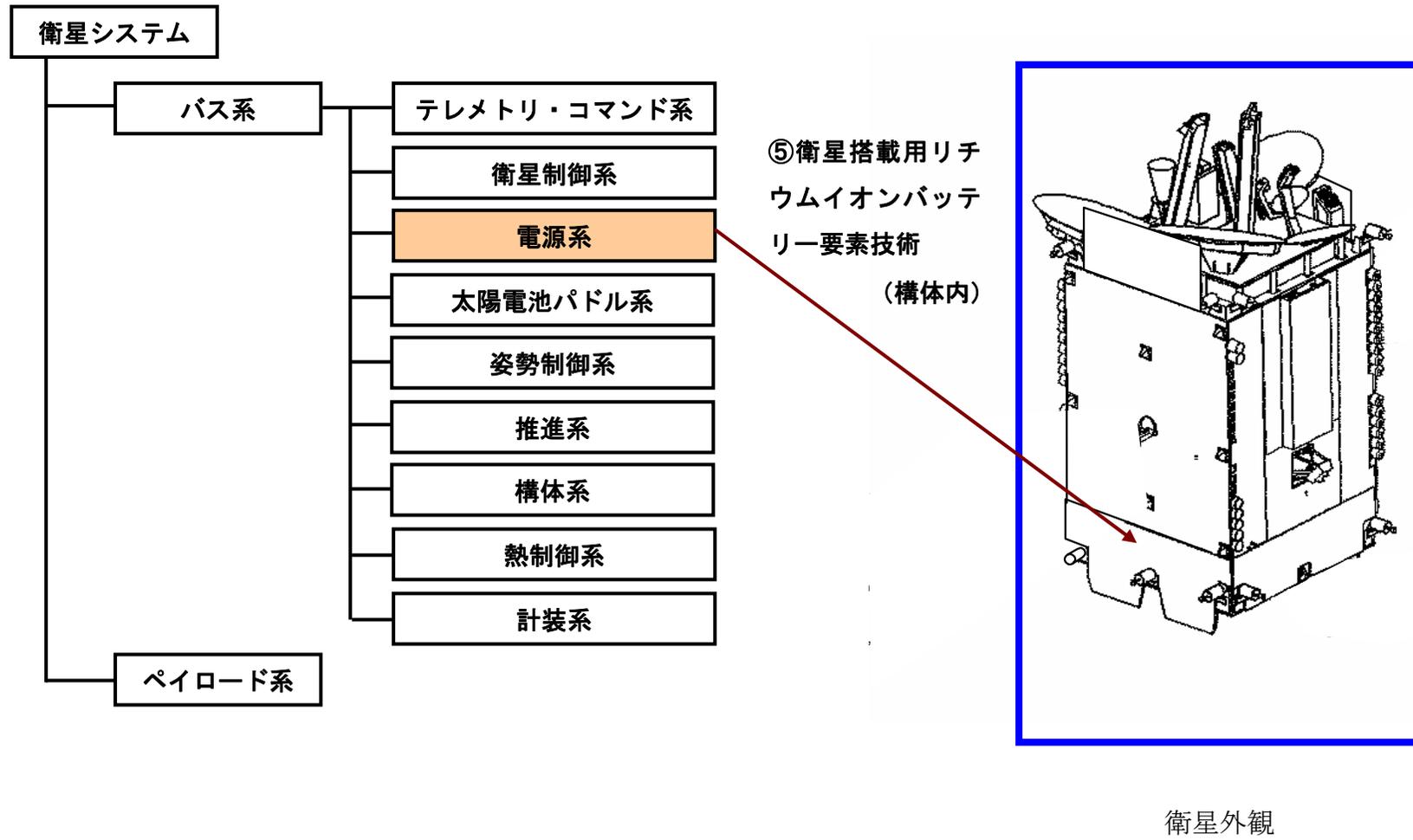


図 1.1-1 要素技術開発成果の適用部

1.2 最終達成目標

⑤衛星搭載用リチウムイオンバッテリー要素技術開発

第1期の技術開発成果を反映し、以下の仕様を満足させるリチウムイオンバッテリー技術を開発するとともにその実現性を地上検証試験で実証する。

- a) エネルギー密度：120Wh/kg 以上
- b) 電力容量：30kWh 以上
- c) 質量：250kg 以下
- d) 寿命：15年 以上

1.3 目標設定理由

1) 本目標値の定義

バッテリー電力容量30kWh以上b)を達成するバッテリーのアセンブリに関して、その質量が250kg以下c)であり、その結果としてエネルギー密度：120Wh/kg以上a)を達成するものとする。このバッテリーアセンブリを衛星に搭載した状態にて軌道上で運用する条件下に於いて15年以上d)の期間に渡って機能・性能を維持するものとする。

2) 本目標の導出根拠

現状のリチウムイオンバッテリー技術では、主に比較的バッテリー容量の小さい(0.5Ah～数Ah程度)携帯電話やパーソナルコンピュータの二次電池としての使用に留まっている。そのため、その他の用途ではニッカドバッテリーやニッケル水素バッテリーが主流となっている。しかし、リチウムイオンバッテリーは、ニッカドバッテリー、ニッケル水素バッテリー等、他のバッテリーに比べ、エネルギー密度が高いという特長から、人工衛星、電気自動車をはじめ様々な用途での実用化が期待されている。

リチウムイオンバッテリーの使用が期待される市場として、図1.3-1に示すものがある。

世界の商用衛星の発生電力は、図1.3-2に示すように数kW～15kW程度である。将来的には20kW超の衛星も計画されている。現在はニッケル水素バッテリーが主流であるが、衛星のハイパワー化要求の高まりとともに、小型・軽量化が出来るリチウムイオンバッテリーのニーズが高い。図1.3-3に各種バッテリーのエネルギー密度を示しているが、リチウムイオンバッテリーは従来のバッテリーに比べて飛躍的にエネル

ギー密度が高くなっている。特に、現在商用衛星で主流となっている 8kW を越える衛星 (4ton クラス) においては、ニッケル水素バッテリーをリチウムイオンバッテリーに替えることによる軽量化の効果が大きく、静止衛星市場については、図 1.3-5 に示すように、今後、半数以上の静止衛星に搭載されるバッテリーがリチウムイオンバッテリーに置換えられることが期待される。

我が国では、低軌道衛星用としてセル容量 50Ah リチウムイオンバッテリー (エネルギー密度 : 77Wh/kg、寿命 : 5 年) が 2003 年に実証衛星 SERVIS-1 に搭載され、軌道上に於ける実証が行われた。又、静止衛星用 100Ah リチウムイオンバッテリーも米国製商用衛星 (iPSTAR) に搭載され 2005 年に打上られた。

一方、仏国メーカーは 40Ah リチウムイオンバッテリーを仏国技術実証衛星 Stentor に搭載して 2002 年末の打上げを目指したがロケットの不調により、軌道上に於ける実証機会を得るに至らなかった。

国内外の主要な研究機関の動向として、リチウムイオンバッテリーのエネルギー密度を比較したものを図 1.3-4 に示す。

上記の従来開発実績を考慮し、本技術開発では、エネルギー密度 : 120Wh/kg 以上 (SERVIS-1 用リチウムイオンバッテリーの 1.6 倍)、電力容量 : 30kWh 以上、質量 : 250kg 以下、寿命 : 15 年以上のリチウムイオンバッテリー技術の開発を目標に設定した。

また、セル容量は 175Ah を中間目標とした。

表 1.3-1 にバッテリー性能比較表を示す。

表 1.3-1 バッテリー性能比較表

		NiCd	NiH2	Li-ION		
				自動車用	SERVIS-1	次世代衛星
エネルギー密度 (Wh/Kg)	バッテリーセル	50	65	110	132	170
	バッテリーパッケージ	35	40	70	77	120
質量 (Kg) バッテリー容量30kWhの場合		857	750	—	390	250
寿命 (年)		~10 (静止軌道)	~10 以上 (静止軌道)	5 (地上)	5 (低高度軌道)	15 以上 (静止軌道)

3) 本目標値の達成の意義

本目標値を達成することにより、世界トップレベルのエネルギー密度を有する大容量バッテリーを実現し、大型衛星市場に於ける製品価値を高めることによって市場競争力を高めることが出来る。

また、燃料電池車の高効率性を最大限に引き出すことが可能となり、NOx 等の環境汚染物質低減や石油代替エネルギーの導入促進をはかることができる。

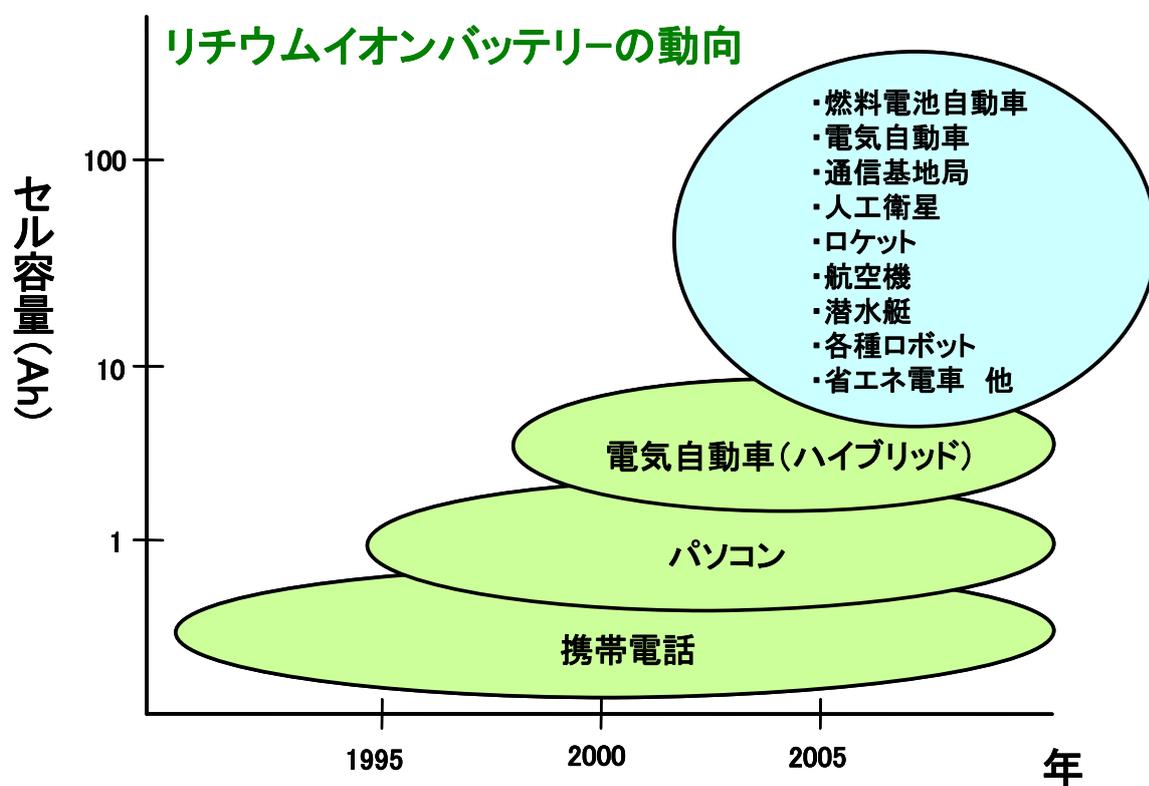


図 1.3-1 リチウムイオンバッテリーの市場ニーズ

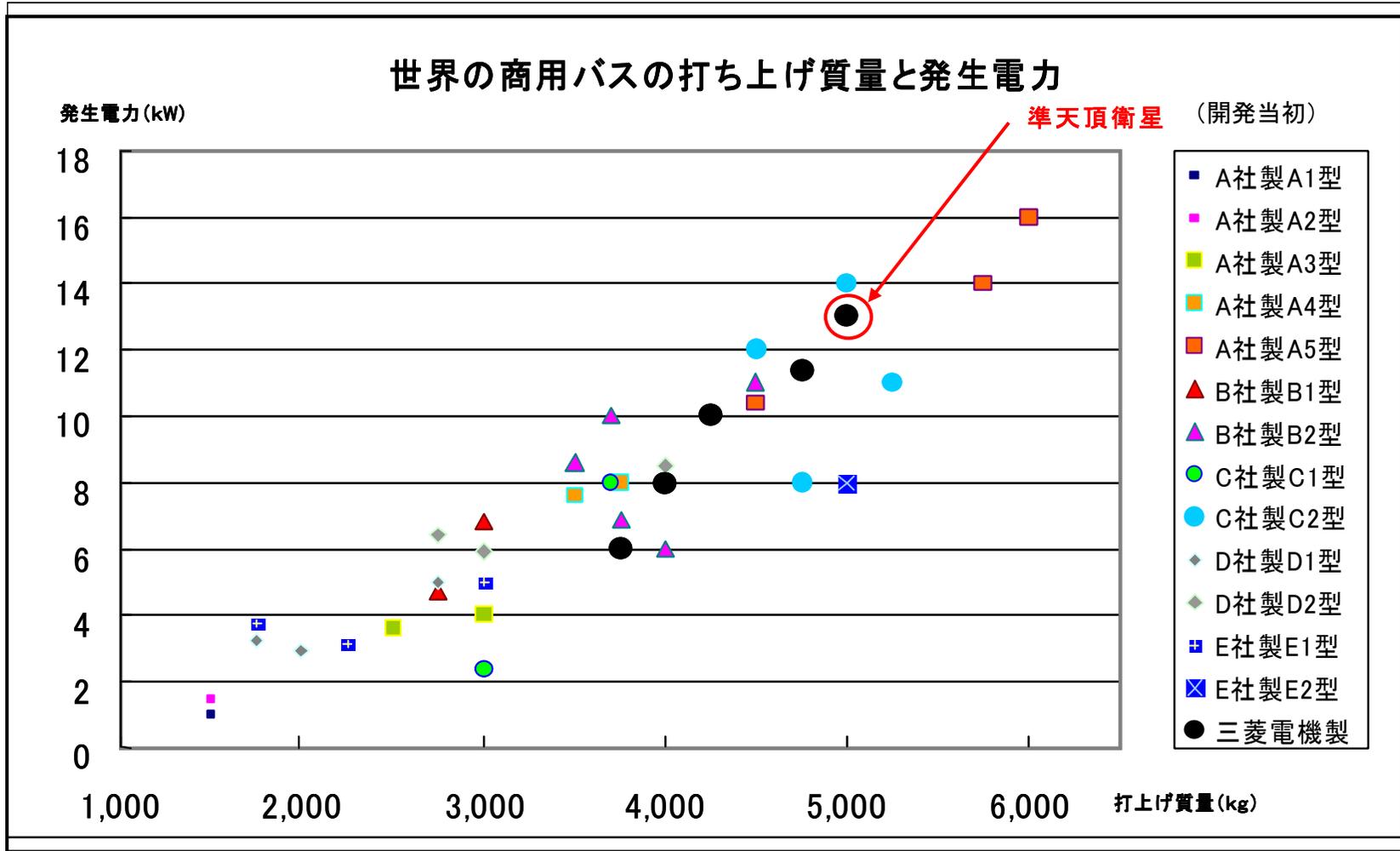


図 1.3-2 衛星の発生電力の分布

A～Eは外国メーカー

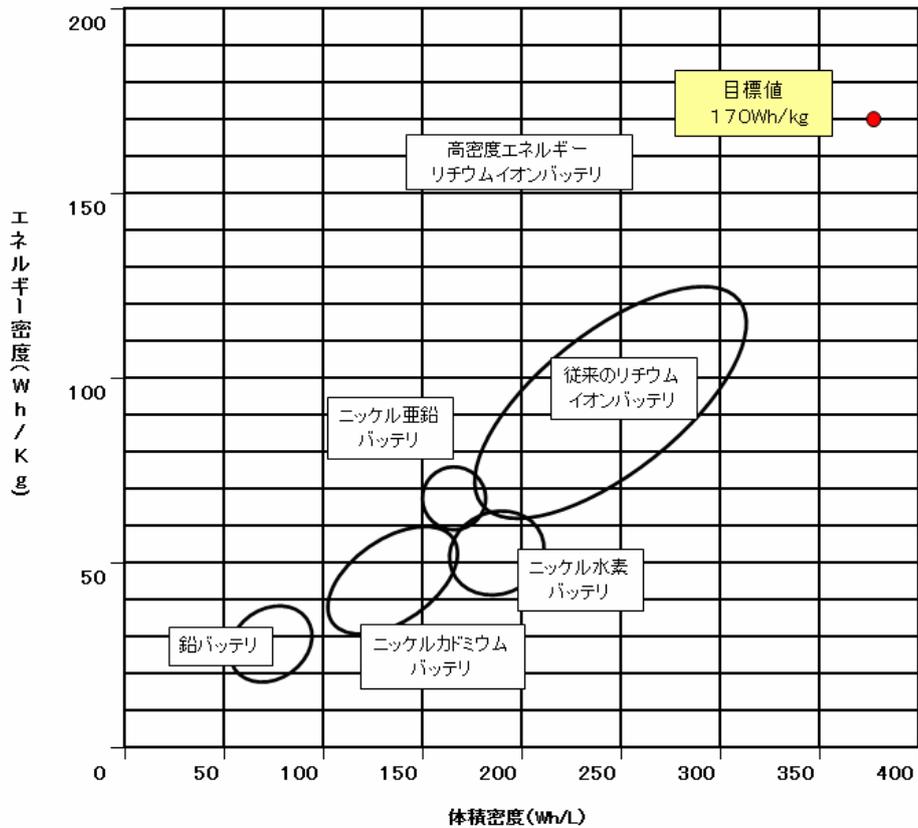


図 1.3-3 バッテリー（セル）エネルギー密度の分布

国内外の主要な研究開発の動向

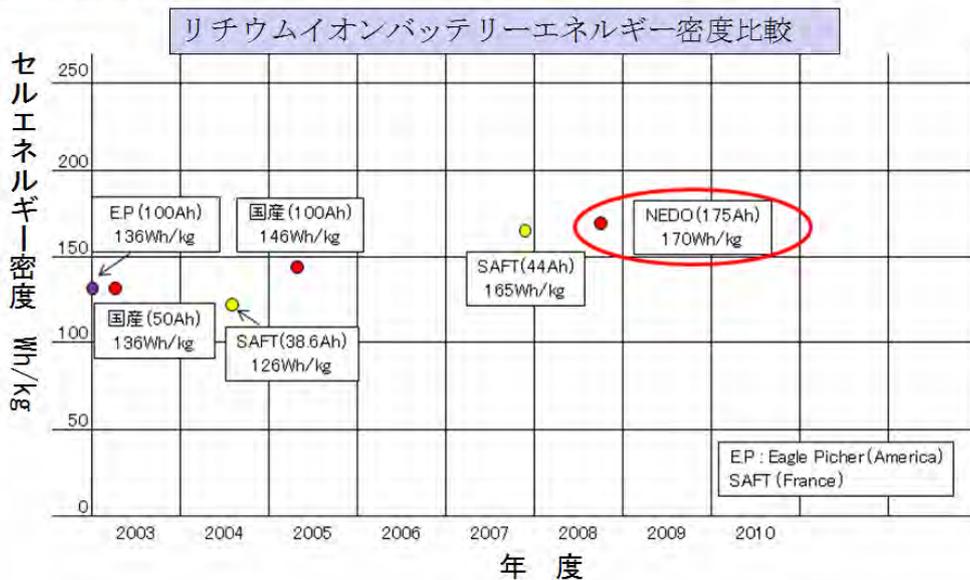


図 1.3-4 リチウムイオンバッテリーのエネルギー密度比較

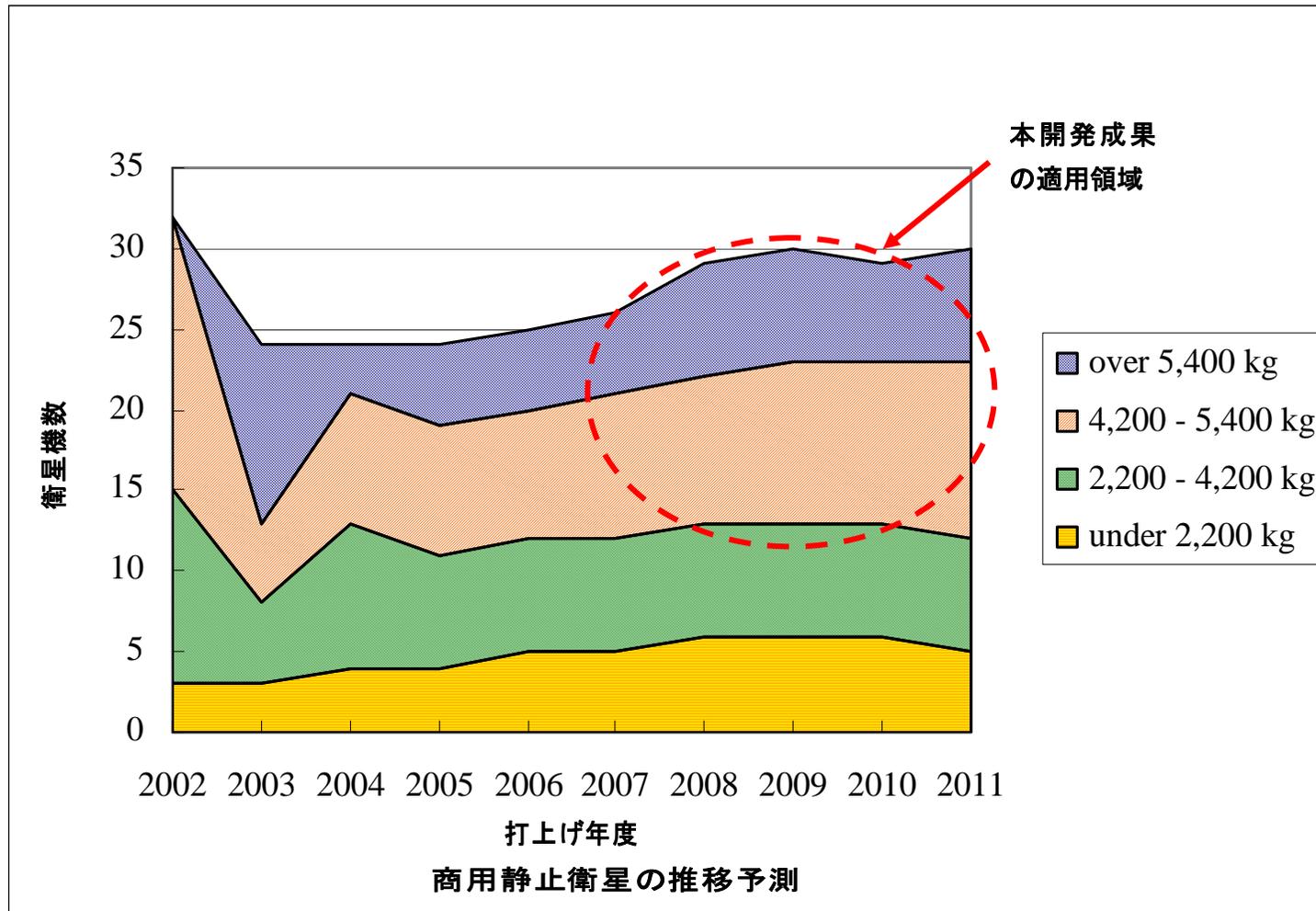


図 1.3-5 衛星規模の推移予測 (出典: FAA and COMSTAC Report: 2002 Commercial Space Transportation Forecasts, May 2002)

1.4 中間目標

平成 15～16 年度の研究開発期間（第 1 期）における成果の評価（中間評価）に係る達成目標は以下に示す通りである。

質量単位当たりのバッテリー容量を向上させて大容量・高密度化を実現するため、大容量・高密度化に対応した発生熱量の低減及び排熱を実現するとともに充放電にともなうバッテリーセルの膨張・収縮によるバッテリーの劣化を抑える技術の開発を行う。また、故障や劣化を軽減してバッテリーの高信頼性化を図るため、バッテリーセルの電圧・温度の均一化等の特性維持管理技術及びバッテリーセルや電子部品の一部に故障が発生してもバッテリーとして一定の機能を継続させる技術の開発を行う。上記の技術開発を行い、エネルギー密度：170wh/kg 以上、容量：175Ah 以上のバッテリーセル技術を開発する。

2. 事業計画内容

2.1 研究開発の内容

2.1.1 事業計画（研究開発）の内容

リチウムイオンバッテリーに対する市場ニーズに応えるとともに、準天頂衛星への適合性を考慮して以下の必要な新技術の研究開発を行う。

これらの新技術の衛星搭載用リチウムイオンバッテリーへの適用例を図 2.1.1-1 に示す。

2.1.1.1 リチウムイオンバッテリーの開発

リチウムイオンバッテリーに関する基本仕様の設定を行い、バッテリーセル及びバッテリーアセンブリの開発モデルの製作・試験を行う。

また、これに続き、バッテリーアセンブリ安全性/寿命評価モデル（性能評価装置を含む）、及びバッテリーアセンブリ認定モデルの製作・試験を行った後、リチウムイオンバッテリーシステム検証モデルの製作・試験、及び総合評価試験を行う。

これらの試験により組セルレベルでの電気性能、機械的性能、安全性、寿命等の評価を行う。

2.1.1.2 大容量・高密度化技術の開発

バッテリーの大容量化、高密度化のために、下記①～④の技術開発を行う。

①熱・機械応力歪みのない電極技術の開発：リチウムイオンバッテリーのセルは正極の構成によって大きくエネルギー密度が異なるため、正極材料の選定と形状（含む厚さ）の決定が重要である。

また、この電極は、正極と負極の間に多孔質絶縁シートを介してロール上に巻いて構成されるがこの巻き方によっては熱的／機械的応力（中心方向に応力が加わる）により、寿命特性に大きな違いが発生する。

特に、大容量・高密度エネルギー化を図ると、充放電時に熱応力や残留歪みによって生じる繰り返し応力により、電極の劣化を招き、性能の劣化、寿命の低下につながるため、本技術の開発が必要である。

②ケース腐食防止技術の開発：高密度エネルギー化のために、セルケースをアルミニウム化し軽量化を図るが、アルミニウムケースの場合、正極と負極の間の電位設定が外れた場合、アルミニウムに腐食が発生するため、本技術の開発が必要である。

③温度均一化技術の開発：バッテリーの寿命はバッテリーの温度に依存して決まり、バッテリーが高温状態になると寿命が著しく劣化する。（特に同一セル内での温度ばらつきは偏位電流が流れることもあり一層顕著になる）。
バッテリーを長寿命化するには、バッテリーセルの発熱による温度上昇を最小限にし、セルケースからバッテリーの構体に最大限排熱することが必要である。
このためバッテリーセルと構体の熱抵抗が放電時／充電時でも均一にするようにした本技術の開発が必要である。

④防爆・気密構造化技術の開発：バッテリーセルの中の電解液がリークすると、バッテリーの容量・寿命の劣化を招く。
長寿命化のためには、電解液の漏洩を防止し、セルの状態を長期間一定に保つ本技術の開発が必要である。15年以上の長寿命化を図るためには、高い気密性（ 10^{-6} Torr＝水銀柱圧力）を確保する必要がある。

2.1.1.3 高信頼性化技術の開発

バッテリーの高信頼性化のために、下記⑤～⑦の技術開発が必要である。

⑤回路のハイブリッド IC 化技術の開発：過電圧保護を実現する回路は、バッテリーの直近に配置することが望ましいため、小型化と高放熱化を実現する本技術の開発が必要である。

⑥セル故障時のバイパス技術の開発：リチウムイオンバッテリーは多数のセルの集合体であり、その一部のセルに不具合が生じると、直列に接続された全ての機能が失われてしまう。

このため、一部のセルに不具合が生じた際に当該セルを自動的に回路からバイパスさせるため、本技術の開発が必要である。

⑦過電圧保護技術の開発：リチウムイオンバッテリーセルはバッテリー充電電圧が高いと経年変化による容量劣化が増加する傾向がある。バッテリー容量を長寿命に維持するには、この電圧管理を行う本技術の開発が必要である

2.1.1.4 基盤技術調査研究

可燃性の有機溶媒を含まない全固体リチウム二次電池は、安全性・信頼性を究極

的に確保できるのみならず、電池システムとして見た時の電池のエネルギー密度を飛躍的に向上できる“次世代バッテリーシステム”である。現在、全固体リチウム電池の実用化に向けて、イオン伝導率が高い高性能な固体電解質材料が各種開発されている。一方、電池の出入力密度に直結する「電極／固体電解質界面の抵抗」を低減することが大きな課題として残されている。電極／固体電解質界面で起こる反応（電荷移動反応）に関する研究は極めて少なく、その基礎的な反応メカニズムと共に、その抵抗（界面抵抗）を低減するための具体的な手法についても明らかにされていない。

本研究では、酸化物系のガラスの固体電解質に着目し、電極／ガラス電解質界面での界面抵抗（電荷移動抵抗）を低減するための「界面制御技術のフィージビリティスタディ」を行うため、界面が制御された全固体薄膜リチウム二次電池の製作を行い、構築した界面の抵抗評価と安定性を試験し、基礎データを取得している。これらの結果から、界面抵抗の支配因子を明確化し、そのアウトプットから、界面抵抗を低減するための具体的な手法を明らかにする。最終的には、上記知見の集大成として超高性能・超長寿命の全固体薄膜リチウム二次電池を創成し、その性能の実証試験を行う。

2.1.1.5 リチウムイオンバッテリー技術等の調査・検討

上記研究開発項目に関して、次世代衛星システム、航空機、自動車等に係る実用化動向及び技術動向の進捗確認等を実施し、航空機、自動車を初めとする他産業の類似技術の適用例及びその性能等について調査を行う。

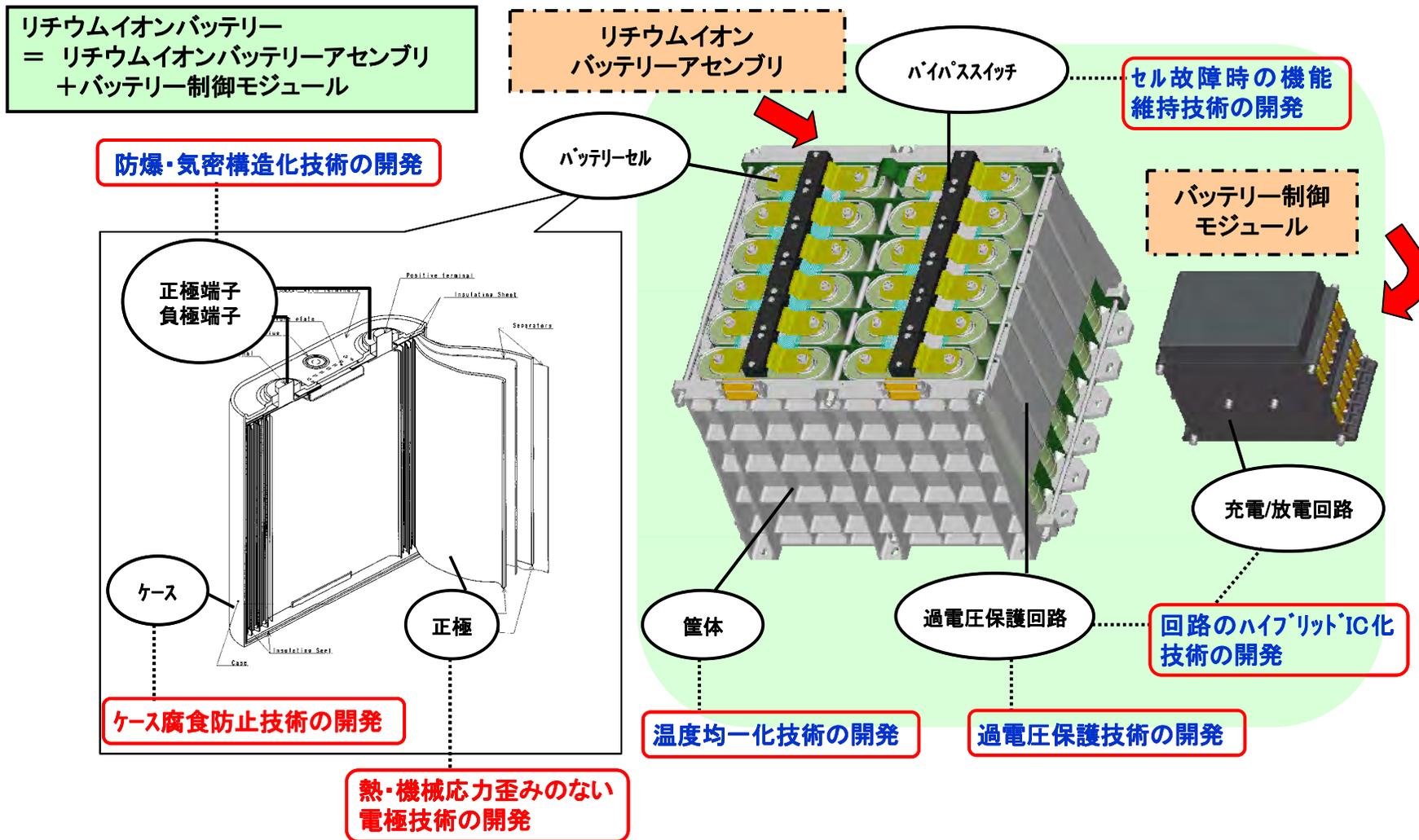


図 2. 1. 1-1 本研究開発による新技術の衛星搭載用リチウムイオンバッテリーへの適用

2.1.2 全体スケジュールと予算

本研究開発の期間は、平成 15 年度から平成 ~~19~~20 年度までの ~~5~~6 年間とする。この全期間の内、平成 15～16 年度の研究開発期間を第 1 期とし、第 1 期の研究開発完了後に中間評価を実施するものとする。また、平成 17～~~19~~20 年度の研究開発期間を第 2 期とし、第 2 期の研究開発完了後に事後評価を実施するものとする。

図 2.1.2-1 に上記 ~~5~~6 ケ年計画の全体スケジュールを示す。

また、上記スケジュールに基づく、年度毎の経費実績を表 2.1.2-1 に示す。

(平成 21 年 5 月以下を追記)

当初は 5 ケ年の計画で研究開発を開始したが、バッテリー制御モジュール (BCM) に使用している米国輸入品である長納期部品 (ダイオード) の調達が間に合わないことが判明し、当初の平成 19 年度開発期間終了を平成 20 年度に延長した。

表 2.1.2-1 衛星搭載用リチウムイオンバッテリー要素技術開発経費実績

単位:百万円

研究開発項目	15年度	16年度	17年度	18年度	19年度	20年度	計
衛星搭載用リチウムイオンバッテリー要素技術開発	649	569 (37)*	984	469	622	52	3,345

注:()内加速財源(内数)

加速財源により、「リチウムイオンバッテリーアセンブリ筐体評価モデル試作・試験」を実施した。

研究開発項目	第1期研究開発		第2期研究開発				平成21年度	平成22年度	
	平成15年度	平成16年度	平成17年度	平成18年度	平成19年度	平成20年度			
			▲ 中間評価			▲ 準天頂衛星 への引渡し	▲ 事後評価	▲ 準天頂衛星 打ち上げ	
②衛星搭載用リチウムイオンバッテリー要素技術開発									
(1) リチウムイオンバッテリーの開発	<ul style="list-style-type: none"> 基本仕様の設定 バッテリー4セルモジュール 製作・試験 	<ul style="list-style-type: none"> バッテリーアプリ 開発モデル製作・試験 	<ul style="list-style-type: none"> バッテリーアプリ安全性/寿命評価モデル製作・試験 	<ul style="list-style-type: none"> モデル性能評価装置の製作・試験 バッテリーアプリ認定モデル製作・試験 	<ul style="list-style-type: none"> リチウムイオンバッテリーシステム検証モデル製作試験 	<ul style="list-style-type: none"> 検証モデルの総合評価試験 			
(2) 大容量・高密度化技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 要素技術方式リードオフ 要素モデル(バッテリーセル) 製作・試験 	<ul style="list-style-type: none"> 性能評価モデル 試作(バッテリーセル) 認定モデル製作・試験(バッテリーセル) 	<ul style="list-style-type: none"> 構成要素寿命試験(バッテリーセル) 構成要素安全性試験(バッテリーセル) 	<ul style="list-style-type: none"> 構成要素寿命試験(バッテリーセル) 	<ul style="list-style-type: none"> 検証モデル製作・試験(バッテリーセル、バイパススイッチ、過電圧保護回路) 【リチウムイオンバッテリーシステム検証モデルへ流用】 				
(3) 高信頼性化技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 要素技術方式リードオフ 要素モデル(バイパススイッチ、過電圧保護回路) 製作・試験 	<ul style="list-style-type: none"> 性能評価モデル(バイパススイッチ、過電圧保護回路) 試作・試験 認定モデル(バイパススイッチ、過電圧保護回路) 試作・試験 	<ul style="list-style-type: none"> 構成要素安全性試験(異常時を想定した機能維持確認試験)(バイパススイッチ、保護回路) 						
(4) 基盤技術調査研究		<ul style="list-style-type: none"> 基盤技術調査研究 	<ul style="list-style-type: none"> 基盤技術調査研究 	<ul style="list-style-type: none"> 基盤技術調査研究 					
(5) リチウムイオンバッテリー技術等の調査・検討	<ul style="list-style-type: none"> リチウムイオンバッテリー技術等の調査・検討 	<ul style="list-style-type: none"> リチウムイオンバッテリー技術等の調査・検討 	<ul style="list-style-type: none"> リチウムイオンバッテリー技術等の調査・検討 	<ul style="list-style-type: none"> リチウムイオンバッテリー技術等の調査・検討 (波及効果の調査検討) 	<ul style="list-style-type: none"> リチウムイオンバッテリー技術等の調査・検討 	<ul style="list-style-type: none"> リチウムイオンバッテリー技術等の調査・検討 			

図 2.1.2-1 全体スケジュール

2.2 研究開発の実施体制

本プロジェクトを以下に示す体制により実施した。

2.2.1 実施体制

(1) 研究開発責任者（プロジェクトリーダー）：

所属：新衛星ビジネス株式会社 役職：上席常務（当時）

氏名：鳥山 潔（とりやま きよし）（平成 15 年度～平成 18 年度）

所属：財団法人 無人宇宙実験システム研究開発機構 顧問

氏名：金井 宏（平成 19 年度～平成 20 年度）

(2) 年度毎の実施体制（全体）：

図 2.2.1-1 に平成 15 年度の実施体制を示す。

図 2.2.1-2 に平成 16 年度の実施体制を示す。

図 2.2.1-3 に平成 17 年度の実施体制を示す。

図 2.2.1-4 に平成 18 年度の実施体制を示す。

図 2.2.1-5 に平成 19 年度の実施体制を示す。

図 2.2.1-6 に平成 20 年度の実施体制を示す。

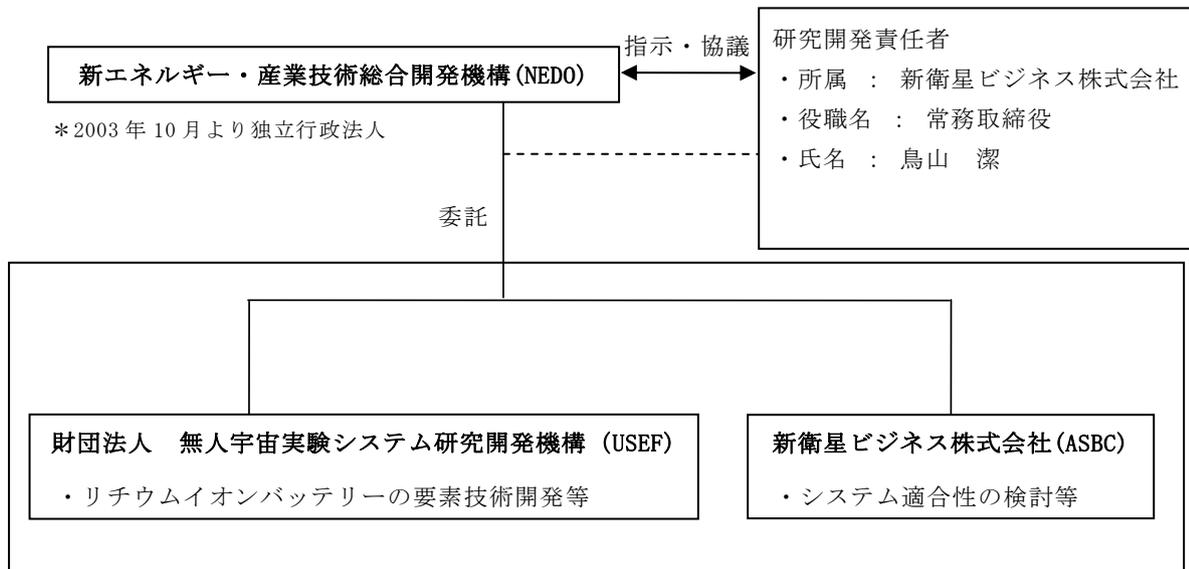


図 2.2.1-1 平成 15 年度の実施体制図

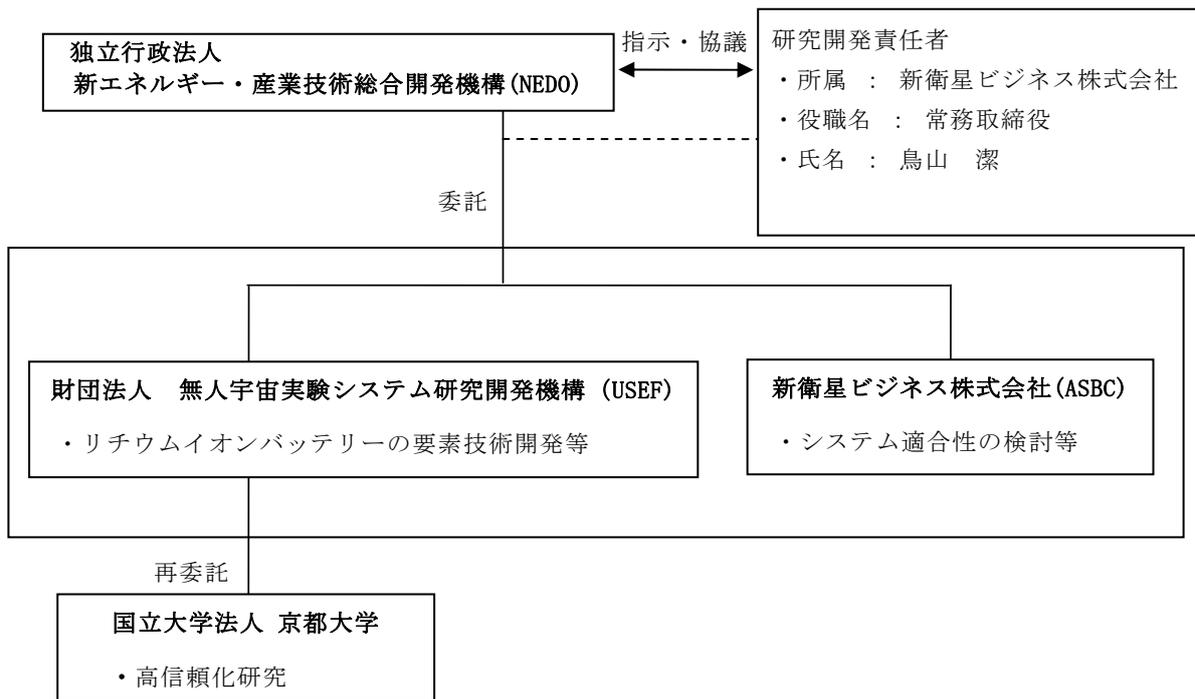


図 2.2.1-2 平成 16 年度の実施体制図

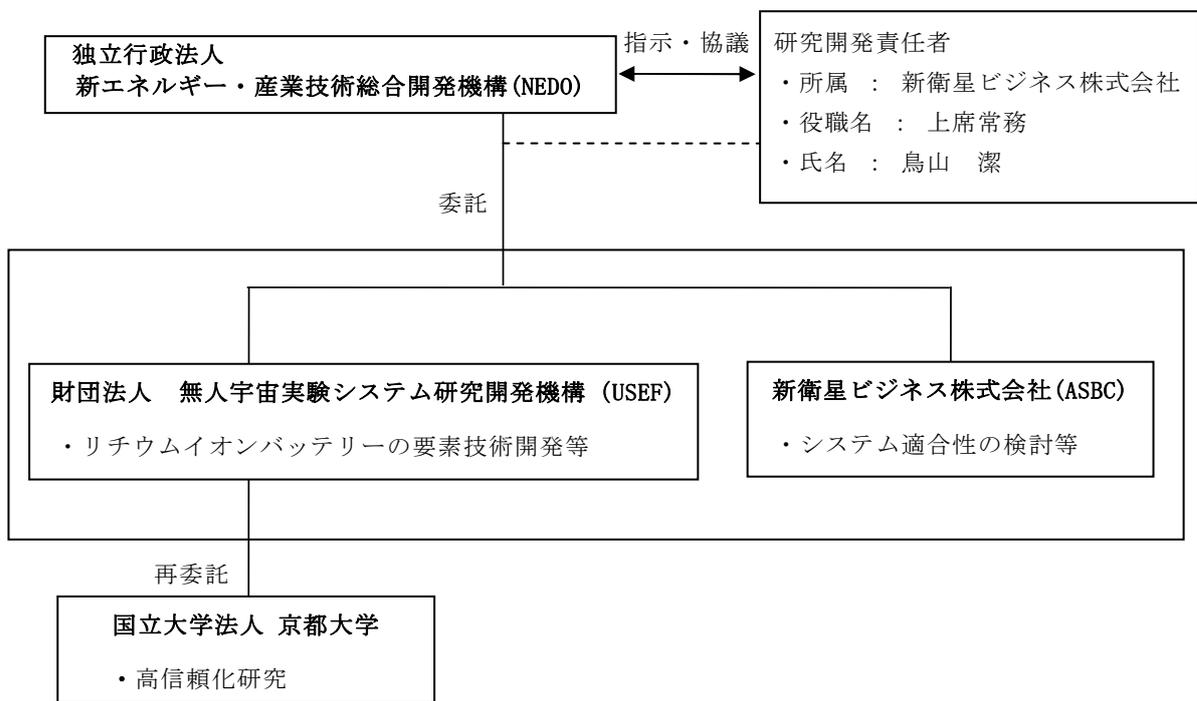


図 2.2.1-3 平成 17 年度の実施体制図

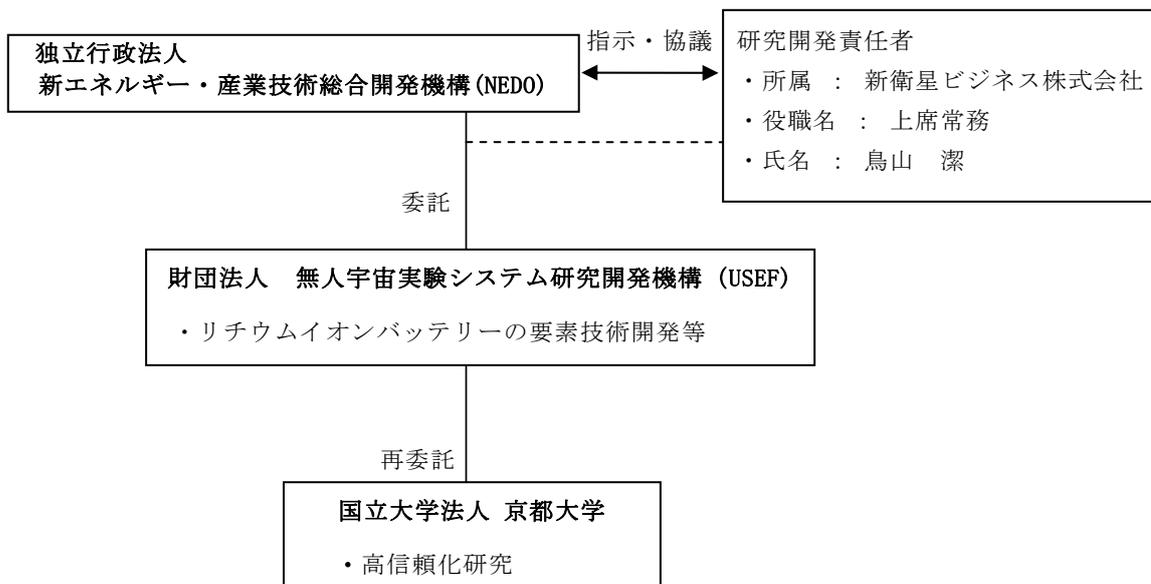


図 2.2.1-4 平成 18 年度の実施体制図

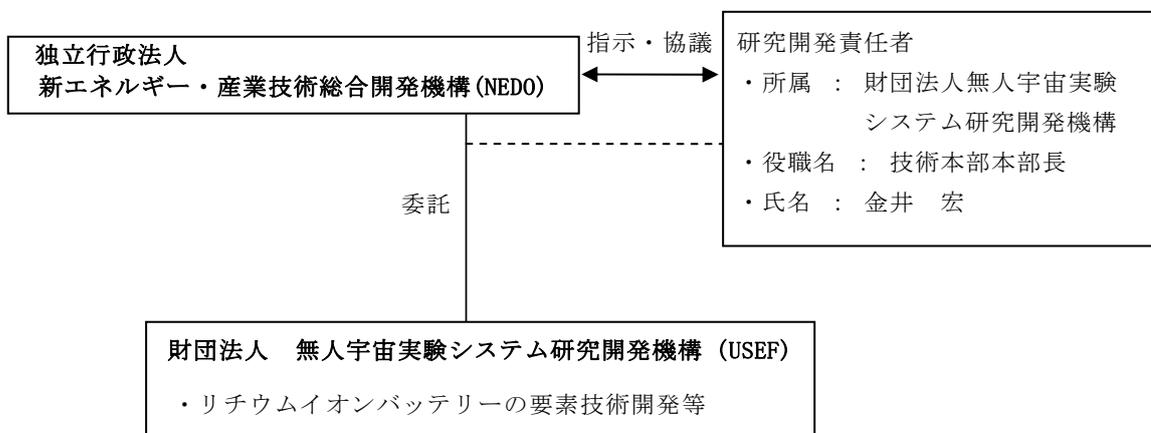


図 2.2.1-5 平成 19 年度の実施体制図

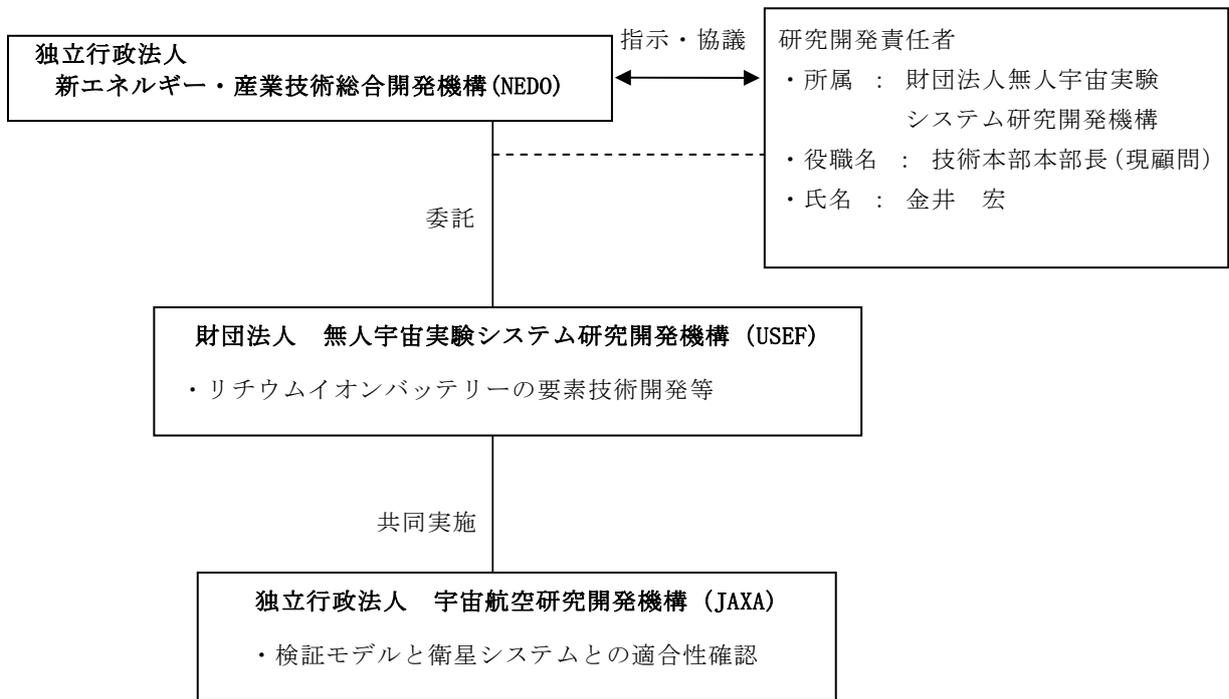


図 2.2.1-6 平成 20 年度の実施体制図

(3) 財団法人無人宇宙実験システム研究開発機構の実施体制：

財団法人無人宇宙実験システム研究開発機構の平成15年度～平成20年度の実施体制を図2.2.1-7～図2.2.1-9に示す。

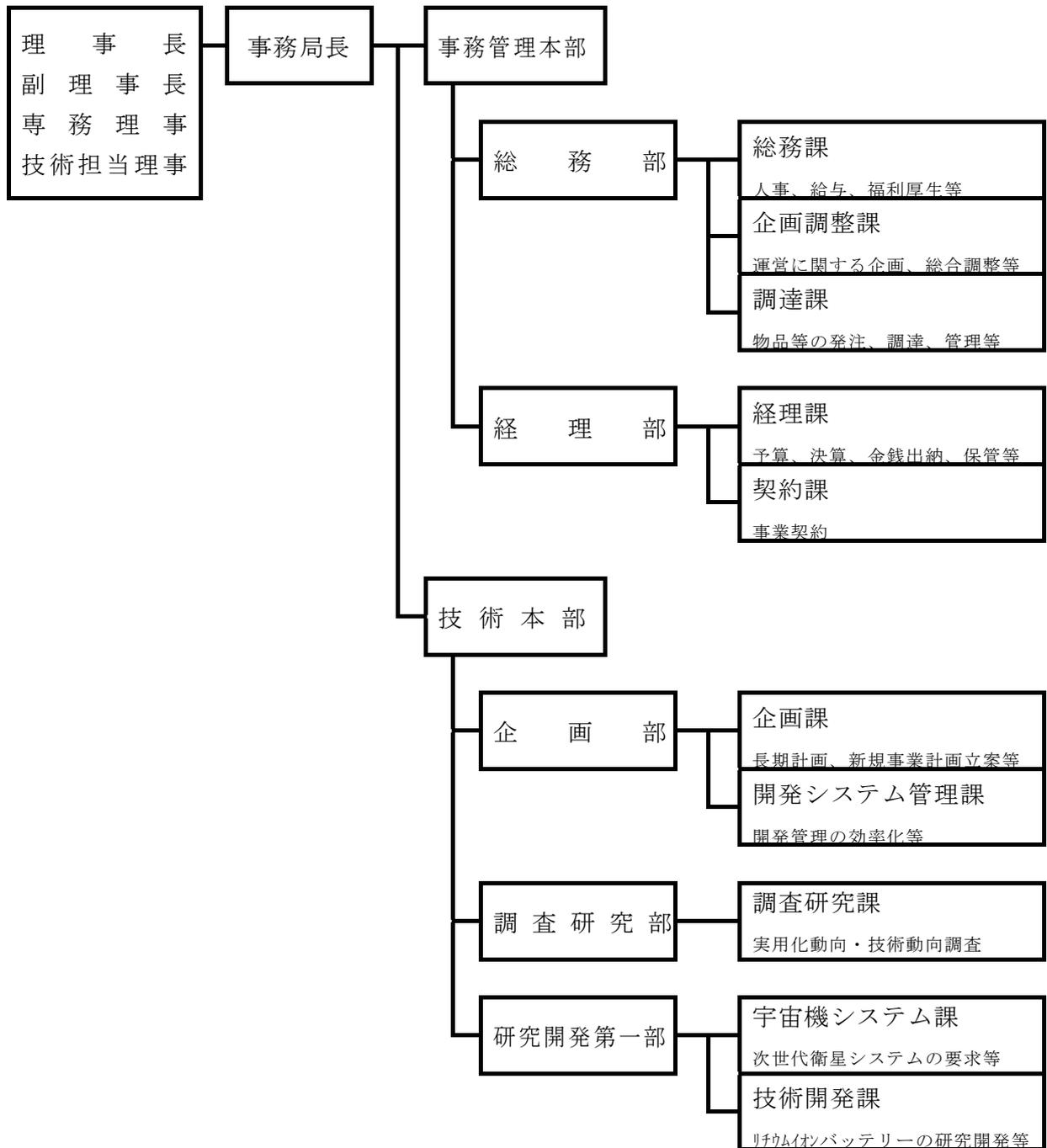


図 2.2.1-7 平成15年度、平成16年度

財団法人無人宇宙実験システム研究開発機構 実施体制

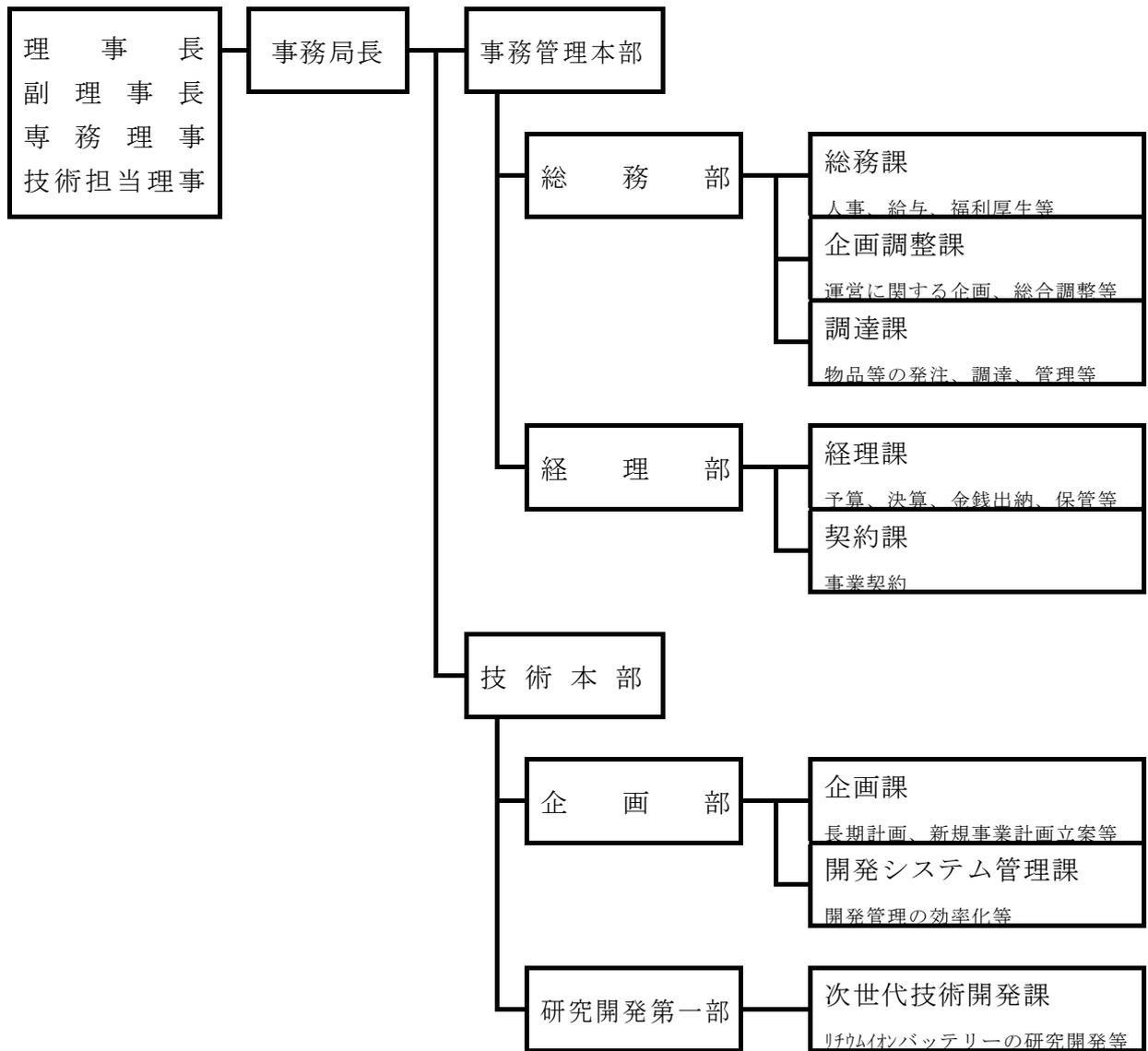


図 2.2.1-8 平成 17 年度、平成 18 年度、平成 19 年度、平成 20 年 6 月までの
財団法人無人宇宙実験システム研究開発機構 実施体制

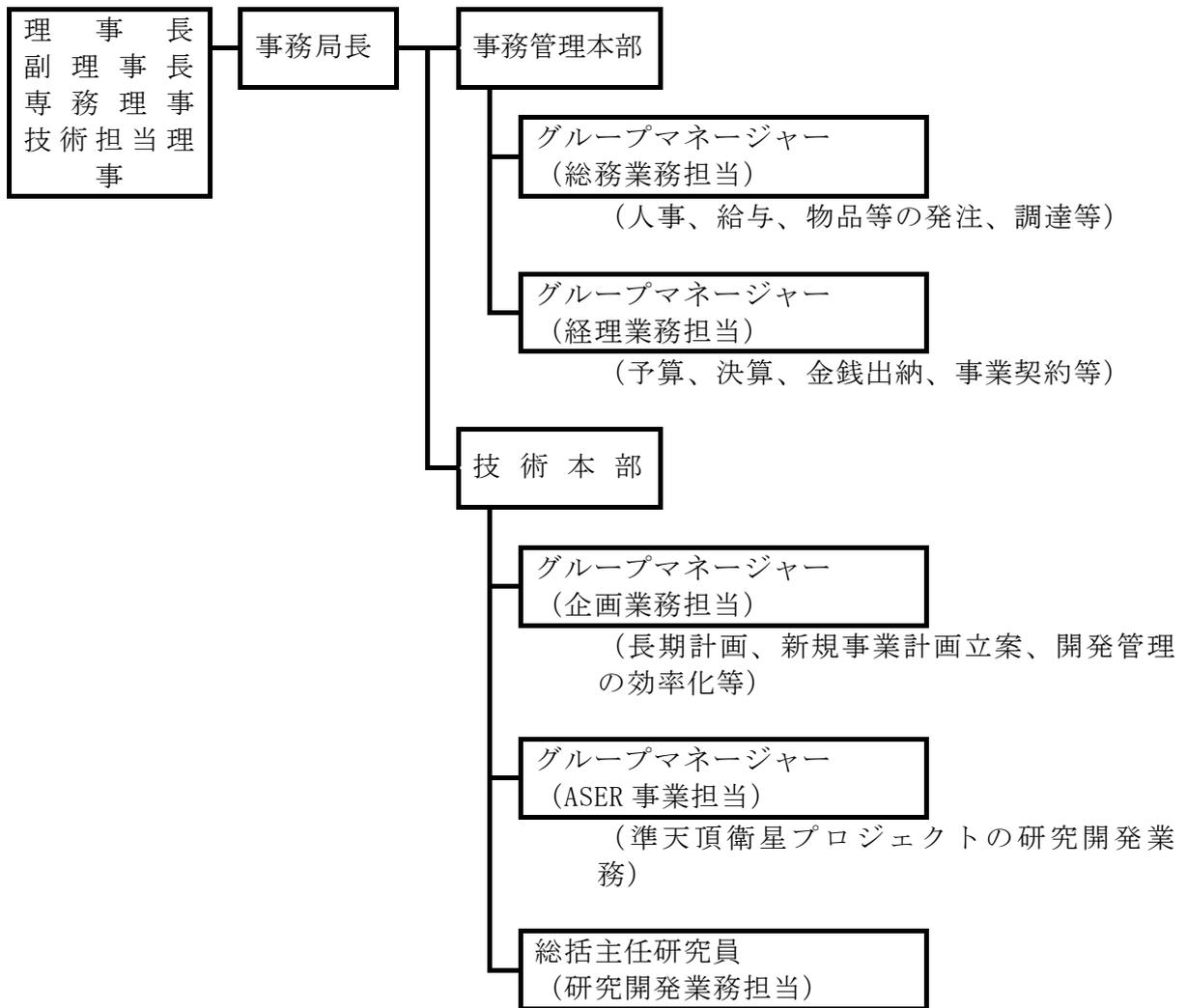


図 2.2.1-9 平成 20 年度 財団法人無人宇宙実験システム研究開発機構 実施体制
(平成 20 年 7 月～平成 21 年 3 月まで)

(4) 新衛星ビジネス株式会社の実施体制：

新衛星ビジネス株式会社の平成 15 年度、平成 16 年度、及び平成 17 年度の実施体制を図 2.2.1-10～図 2.2.1-12 に示す。

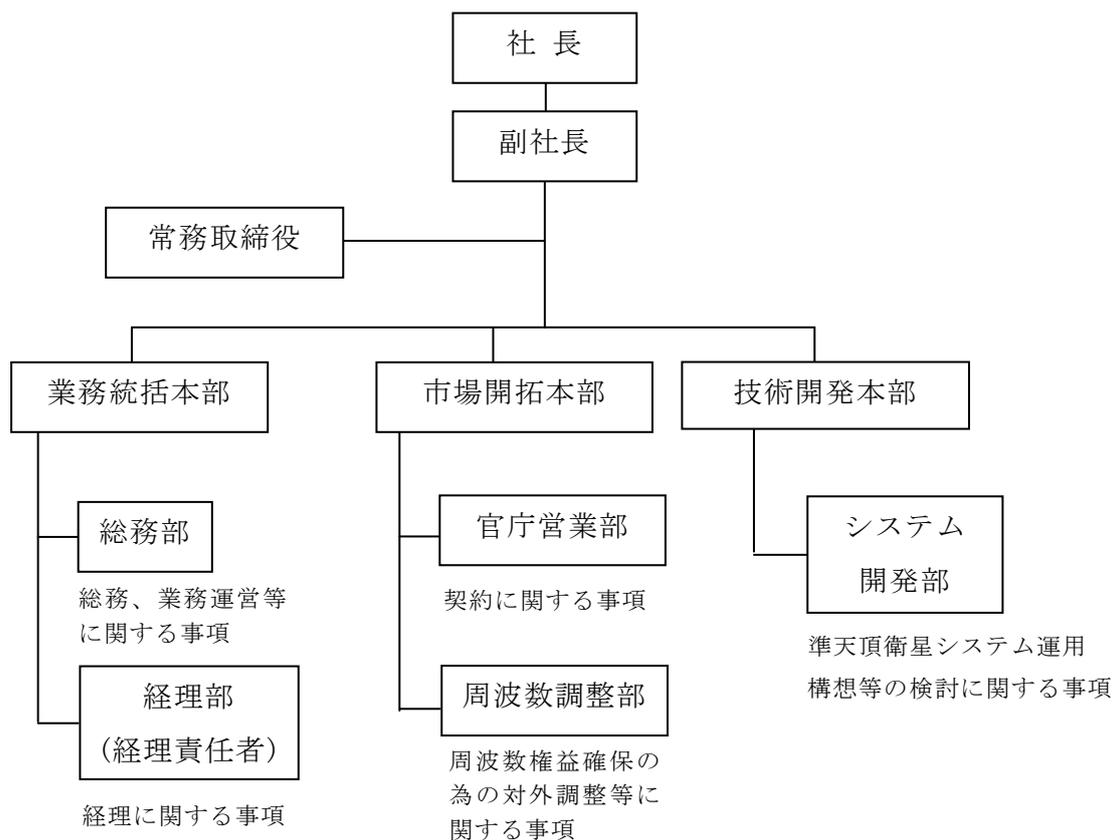


図 2.2.1-10 平成 15 年度 新衛星ビジネス株式会社 実施体制

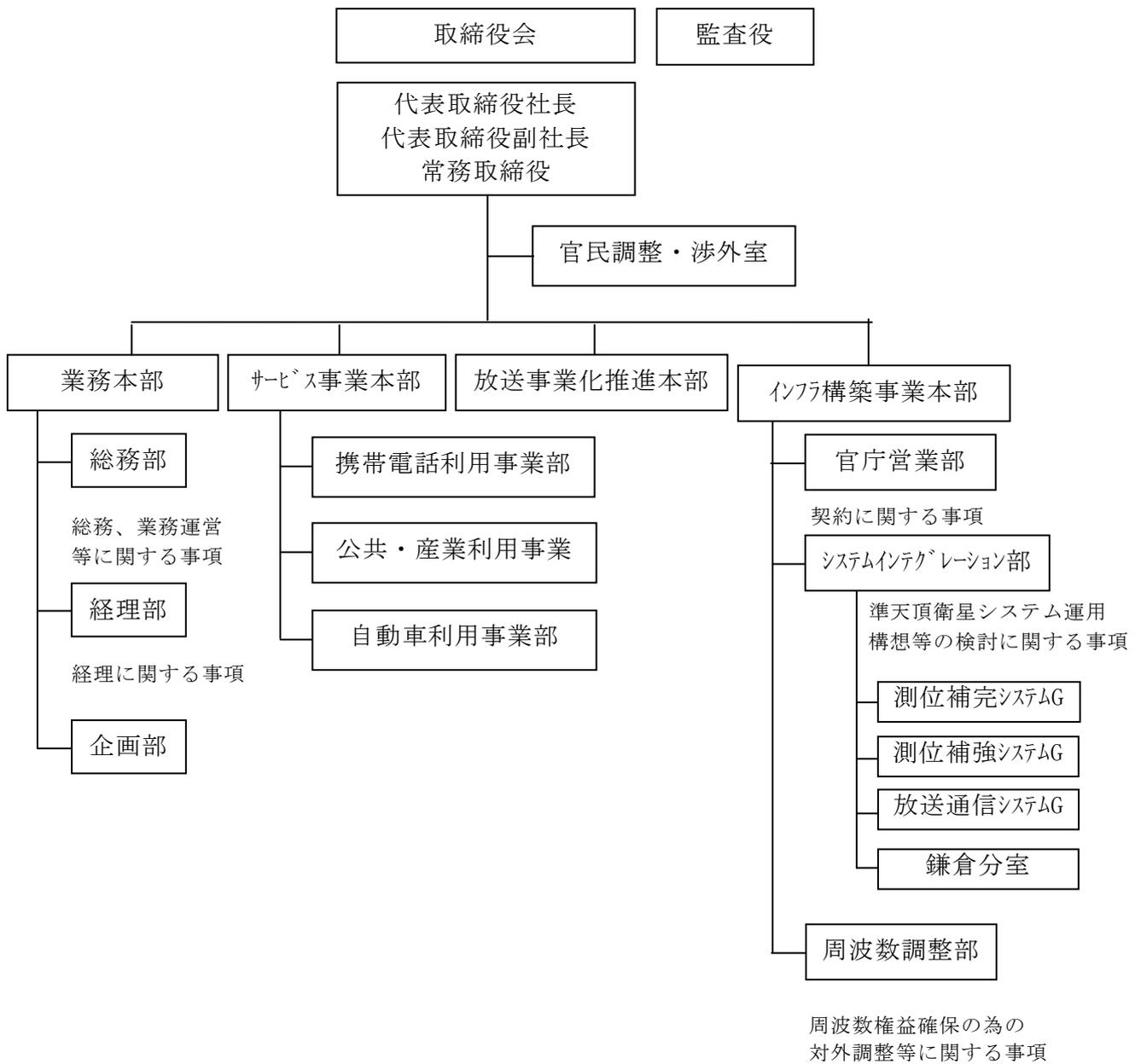


図 2.2.1-11 平成 16 年度 新衛星ビジネス株式会社 実施体制

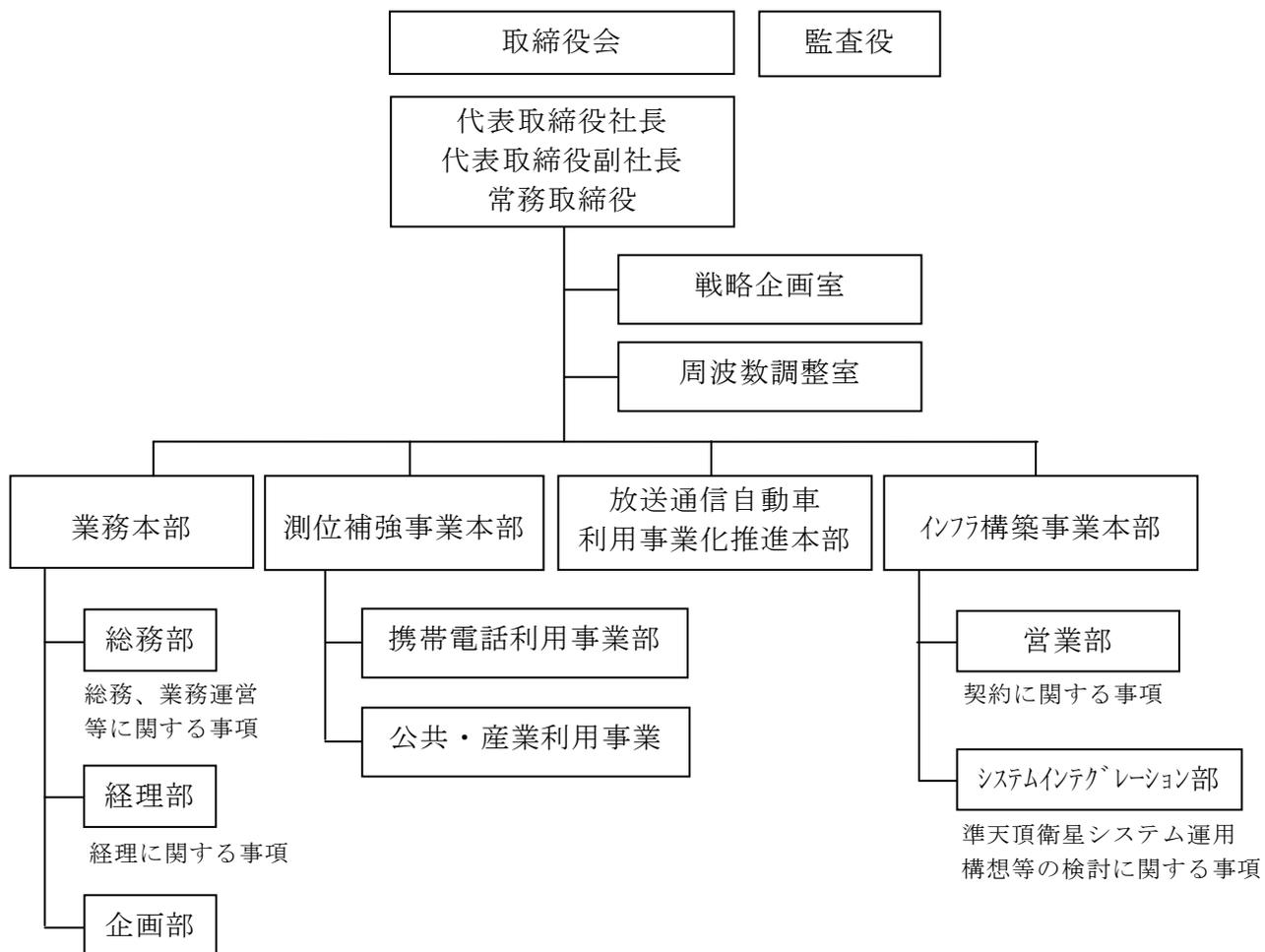


図 2.2.1-12 平成 17 年度 新衛星ビジネス株式会社 実施体制

(5) 国立大学法人京都大学の実施体制：

国立大学法人京都大学の平成 16 年度～平成 18 年度の実施体制を図 2.2.1-13 に示す。

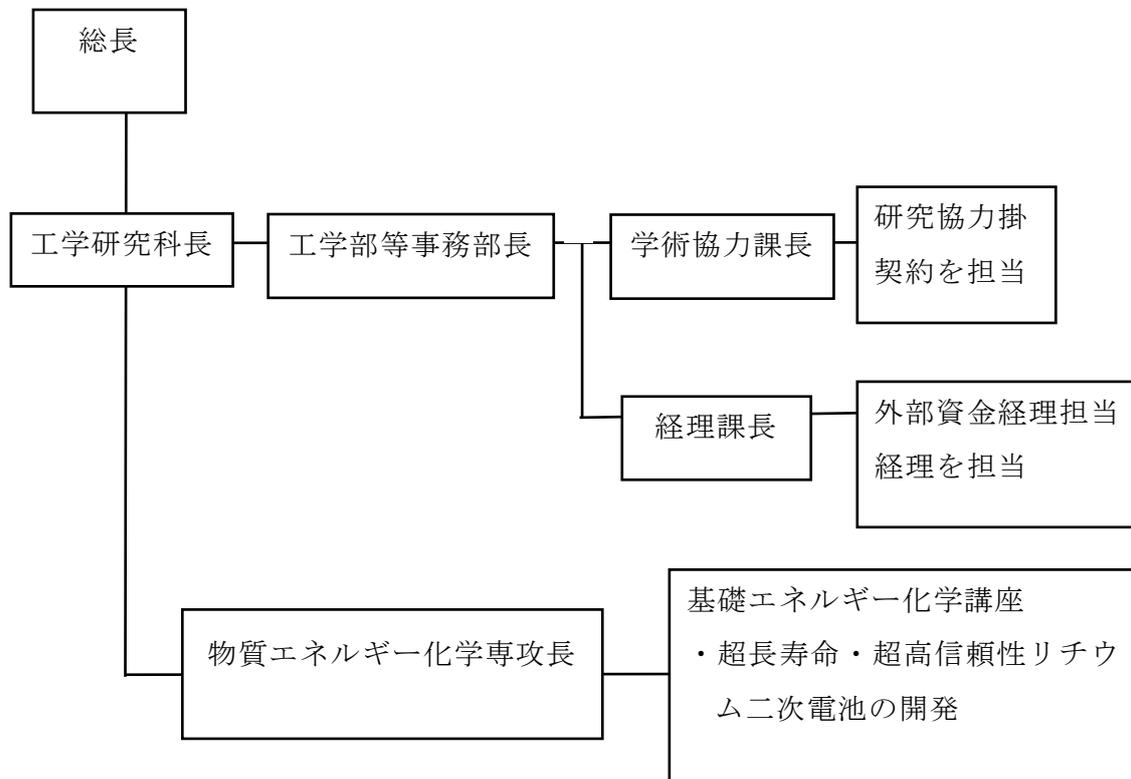


図 2.2.1-13 平成 16 年度、17 年度、18 年度 国立大学法人京都大学 実施体制

2.2.2 研究員

(1) 財団法人無人宇宙実験システム研究開発機構：

財団法人無人宇宙実験システム研究開発機構の研究員の所属先及び主要担当業務を表 2.2.2-1～表 2.2.2-7 に示す。

表 2.2.2-1 平成 15 年度の研究員一覧

【財団法人無人宇宙実験システム研究開発機構】

(平成 16 年 3 月 31 日現在)

氏 名	所 属 ・ 役 職	主要担当業務
金井 宏	技術本部 本部長	全体とりまとめ
富士 隆義	企画部 部長	事業計画・開発計画等
藤井 誠一	企画部 開発システム管理課 課長	開発管理の効率化等
佐々木 謙治	企画部 企画課 課長代理	事業計画・開発計画等
小林 裕太郎	調査研究部 部長	基本仕様検討等、 動向調査・検討
大村 勝敏	調査研究部 次長	基本仕様検討等、 動向調査・検討
斉藤 孝	調査研究部 調査研究課 課長	基本仕様検討等、 動向調査・検討
伊地智 幸一	研究開発第一部 部長	技術とりまとめ
小野 達朗	研究開発第一部 総括主任研究員	モデル製作・試験・評価等
秋山 雅胤	研究開発第一部 次長	モデル製作・試験・評価等
小番 光也	研究開発第一部 総括主任研究員	要求性能検討等
新嘉喜 眞治	研究開発第一部 総括主任研究員	モデル製作・試験・評価等
若林 昭	研究開発第一部 宇宙機システム課 課長代理 兼 技術開発課 課長代理	衛星適合性検討等

表 2.2.2-2 平成 16 年度の研究員一覧

【財団法人無人宇宙実験システム研究開発機構】

(平成 17 年 3 月 31 日現在)

氏 名	所 属 ・ 役 職	主要担当業務
金井 宏	技術本部 本部長	全体とりまとめ
富士 隆義	企画部 部長	事業計画・開発計画等
佐々木 謙治	企画部 企画課 課長代理	事業計画・開発計画等
小林 裕太郎	調査研究部 部長	基本仕様検討等、 動向調査・検討
斉藤 孝	調査研究部 調査研究課 課長	基本仕様検討、 動向調査・検討
伊地智 幸一	研究開発第一部 部長	技術とりまとめ
小野 達朗	研究開発第一部 総括主任研究員	モデル製作・試験・評価等
秋山 雅胤	研究開発第一部 次長	モデル製作・試験・評価等
小番 光也	研究開発第一部 総括主任研究員	要求性能検討等
松井 捷明	研究開発第一部 総括主任研究員	モデル製作・試験・評価等
中村 修治	研究開発第一部 総括主任研究員	モデル製作・試験・評価等
牛越 淳雄	企画部 開発システム管理課 課長	開発管理の効率化等
三浦 末志	研究開発第一部 次世代技術開発課 課長	モデル製作・試験・評価等

表 2.2.2-3 平成 17 年度の研究員一覧

【財団法人無人宇宙実験システム研究開発機構】

(平成 17 年 9 月 30 日現在)

氏 名	所 属 ・ 役 職	主要担当業務
金井 宏	技術本部 本部長	全体とりまとめ
富士 隆義	企画部 部長	事業計画・開発計画等
佐々木 謙治	企画部 総括主任研究員	事業計画・開発計画等
牛越 淳雄	企画部 開発システム管理課 課長	開発管理の効率化等
伊地智 幸一	研究開発第一部 部長	技術とりまとめ
小野 達朗	研究開発第一部 総括主任研究員	モデル製作・試験・評価等
紀野 哲郎	研究開発第一部 総括主任研究員	モデル製作・試験・評価等
松井 捷明	研究開発第一部 総括主任研究員	モデル製作・試験・評価等
中村 修治	研究開発第一部 総括主任研究員	モデル製作・試験・評価等
三浦 末志	研究開発第一部 次世代技術開発課 課長	モデル製作・試験・評価等

表 2.2.2-4 平成 18 年度の研究員一覧

【財団法人無人宇宙実験システム研究開発機構】

(平成 19 年 3 月 31 日現在)

氏 名	所 属 ・ 役 職	主要担当業務
金井 宏	技術本部 本部長	全体とりまとめ
富士 隆義	企画部 部長	事業計画・開発計画等
佐々木 謙治	企画部 総括主任研究員	事業計画・開発計画等
伊地智 幸一	研究開発第一部 部長	技術とりまとめ
小野 達朗	研究開発第一部 総括主任研究員	モデル製作・試験・評価等
紀野 哲郎	研究開発第一部 総括主任研究員	モデル製作・試験・評価等
松井 捷明	研究開発第一部 総括主任研究員	モデル製作・試験・評価等
三浦 末志	研究開発第一部 総括主任研究員	モデル製作・試験・評価等

表 2.2.2-5 平成 19 年度の研究員一覧

【財団法人無人宇宙実験システム研究開発機構】

(平成 20 年 3 月 31 日現在)

氏 名	所 属 ・ 役 職	主要担当業務
金井 宏	技術本部 本部長	全体とりまとめ
富士 隆義	企画部 部長	事業計画・開発計画等
佐々木 謙治	企画部 総括主任研究員	事業計画・開発計画等
伊地智 幸一	研究開発第一部 部長	技術とりまとめ
小野 達朗	研究開発第一部 総括主任研究員	モデル製作・試験・評価等
紀野 哲郎	研究開発第一部 総括主任研究員	モデル製作・試験・評価等
松井 捷明	研究開発第一部 総括主任研究員	モデル製作・試験・評価等
三浦 末志	研究開発第一部 総括主任研究員	モデル製作・試験・評価等
中村 修治	研究開発第一部 総括主任研究員	モデル製作・試験・評価等

表 2.2.2-6 平成 20 年度の研究員一覧

【財団法人無人宇宙実験システム研究開発機構】

(平成 20 年 6 月 26 日現在)

氏 名	所 属 ・ 役 職	主要担当業務
金井 宏	技術本部 本部長	全体とりまとめ
富士 隆義	企画部 部長	事業計画・開発計画等
佐々木 謙治	企画部 総括主任研究員	事業計画・開発計画等
伊地智 幸一	研究開発第一部 部長	技術とりまとめ
紀野 哲郎	研究開発第一部 総括主任研究員	モデル製作・試験・評価等
松井 捷明	研究開発第一部 総括主任研究員	モデル製作・試験・評価等
三浦 末志	研究開発第一部 総括主任研究員	モデル製作・試験・評価等
中村 修治	研究開発第一部 総括主任研究員	モデル製作・試験・評価等

表 2.2.2-7 平成 20 年度の研究員一覧

【財団法人無人宇宙実験システム研究開発機構】

(平成 20 年 6 月 27 日～平成 21 年 3 月 31 現在)

氏 名	所 属 ・ 役 職	主要担当業務
伊地智 幸一	技術本部 本部長 *1	全体とりまとめ
富士 隆義	グループマネージャー (企画業務担当) *2	事業計画・開発計画等
佐々木 謙治	総括主任研究員 *2	事業計画・開発計画等
紀野 哲郎	グループマネージャー (ASER 事業担当) *2	技術とりまとめ
松井 捷明	総括主任研究員 *2	モデル製作・試験・評価等
三浦 末志	総括主任研究員 *2	モデル製作・試験・評価等
中村 修治	総括主任研究員 *2	モデル製作・試験・評価等

*1) 平成 20 年 6 月 27 日変更

*2) 平成 20 年 7 月 1 日変更

(2) 新衛星ビジネス株式会社：

新衛星ビジネス株式会社の研究員一覧を表 2.2.2-8～表 2.2.2-10 に示す。

表 2.2.2-8 平成 15 年度の研究員一覧【新衛星ビジネス株式会社】

(平成 16 年 3 月 31 日現在)

氏 名	所 属 ・ 役 職	主要担当業務
岸本 仁	技術開発本部長	プログラム全体とりまとめ
二川 憲夫	技術開発本部 副本部長	技術とりまとめ
牛島 英紀	技術開発本部 システム開発部長	衛星システム設計とりまとめ
迎 雅宏	技術開発本部 システム開発部 部長代理	衛星システム設計
川口 佳久	技術開発本部 システム開発部 部長代理	衛星システム設計
中山 純一	技術開発本部 システム開発部 部長代理	衛星システム設計
小勝 國弘	技術開発本部 システム開発部 部長代理	衛星システム設計
杉本 修	技術開発本部 システム開発部 部長代理	衛星システム設計

表 2.2.2-9 平成 16 年度の研究員一覧【新衛星ビジネス株式会社】

(平成 17 年 3 月 31 日現在)

氏名	所属・役職	主要担当業務
岸本 仁	インフラ構築事業本部本部長	プログラム全体とりまとめ
二川 憲夫	インフラ構築事業本部副本部長	技術とりまとめ
牛島 英紀	システムインテグレーション部 部長	衛星システム設計とりまとめ
迎 雅宏	システムインテグレーション部 部長代理	衛星システム設計
中山 純一	システムインテグレーション部 部長代理	衛星システム設計
杉本 修	システムインテグレーション部 部長代理	衛星システム設計
小林 基宏	システムインテグレーション部 部長代理	衛星システム設計

表 2.2.2-10 平成 17 年度の研究員一覧【新衛星ビジネス株式会社】

(平成 17 年 9 月 30 日現在)

氏名	所属・役職	主要担当業務
二川 憲夫	インフラ構築事業本部 副本部長	技術とりまとめ
迎 雅宏	インフラ構築事業本部 システムインテグレーション部長	衛星システム設計とりまとめ
野口 龍宏	インフラ構築事業本部 部長	衛星システム設計

(3) 国立大学法人 京都大学

京都大学の研究員一覧を表 2.2.2-11 に示す。

表 2.2.2-11 平成 16 年度～18 年度の研究員一覧【国立大学法人 京都大学】
(平成 19 年 3 月 31 日現在)

氏 名	所 属 ・ 役 職	主要担当業務
入山 恭寿	京都大学大学院工学研究科 物質エネルギー化学専攻助手	超高寿命・超高信頼性リチウム二次電池の開発。研究総括、研究の策定。
小久見 善八	京都大学大学院工学研究科 物質エネルギー化学専攻教授	超高寿命・超高信頼性リチウム二次電池の評価。

2.3 研究開発の運営管理

2.3.1 事業実施における運営方針・方法

本プロジェクトは、2.2.1項に示した実施体制並びに表2.3.1-1、表2.3.1-2に示す役割分担にて実施した。

表 2.3.1-1 平成15年度～17年度体制における役割分担

<p>● 新衛星ビジネス株式会社 (ASBC)</p> <ul style="list-style-type: none">① 準天頂衛星システムの事業化検討② 準天頂衛星システムと個別研究開発とのインタフェース条件設定③ 個別研究開発の事業化検討
<p>● 財団法人 無人宇宙実験システム研究開発機構 (USEF)</p> <ul style="list-style-type: none">① 次世代衛星基盤技術の調査・検討② 技術委員会の設置・運営③ 個別研究開発の実施<ul style="list-style-type: none">・ 衛星搭載用リチウムイオンバッテリー要素技術開発

表 2.3.1-2 平成18年度～平成20年度における役割分担

<p>● 財団法人 無人宇宙実験システム研究開発機構 (USEF)</p> <ul style="list-style-type: none">① 次世代衛星基盤技術の調査・検討② 技術委員会の設置・運営③ 個別研究開発の実施<ul style="list-style-type: none">・ 衛星搭載用リチウムイオンバッテリー要素技術開発

外部環境の変化により ASBC が準天頂衛星の事業計画を見直した結果、放送・通信事業を含んだ計画から測位事業に専念した計画に変更することを表明した。

これを受けて平成18年3月31日の「測位・地理情報システム等推進会議」において平成18年度から官主導による計画遂行が決定された。これに伴い、役割分担を上記のように変更した。

また、NEDO、実施者間で四半期毎に確認シートにより進捗状況と課題の把握に努めた。

2.3.2 技術委員会の組織・役割

研究開発を確実に推進するために、外部有識者からなる技術委員会を組織し、技術的助言を頂き、研究開発に反映している。本技術委員会には、専門的事項を審議するために、リチウムイオンバッテリー技術委員会を設けた。

表2.3.2-1～-3に技術委員会名簿を示す。

表 2.3.2-1 技術委員会メンバリスト
(平成 15 年度、平成 16 年度)

リチウムイオンバッテリー技術委員会 平成 17 年 3 月現在

氏名	機関・役職
小久見 善八	国立大学法人 京都大学 大学院工学研究科 物質エネルギー化学専攻 教授
佐藤 祐一	学校法人 神奈川大学工学部 教授
田島 道夫	独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部 宇宙探査工 学研究系 教授
辰巳 国昭	独立行政法人 産業技術総合研究所 生活環境系特別研究体 次世代電池研究 グループ長
山木 準一	国立大学法人 九州大学 先導物質化学研究所 教授
事務局	財団法人 無人宇宙実験システム研究開発機構

表 2.3.2-2 技術委員会メンバリスト (平成 17 年度)

リチウムイオンバッテリー技術委員会 平成 17 年 6 月現在

氏名	機関・役職
小久見 善八	国立大学法人 京都大学 大学院工学研究科 物質エネルギー化学専攻 教授
佐藤 祐一	学校法人 神奈川大学 工学部 教授
田島 道夫	独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部 宇宙探査工学研究系 教授
辰巳 国昭	独立行政法人 産業技術総合研究所 ユビキタスエネルギー研究部門研究グループ長
山木 準一	国立大学法人 九州大学 先導物質化学研究所 教授
事務局	財団法人 無人宇宙実験システム研究開発機構

表 2.3.2-3 技術委員会メンバリスト
(平成 18 年度、平成 19 年度、平成 20 年度)

リチウムイオンバッテリー技術委員会 平成 21 年 3 月現在

氏名	機関・役職
小久見 善八	国立大学法人 京都大学 大学院工学研究科 物質エネルギー化学専攻 教授
佐藤 祐一	学校法人 神奈川大学 工学部 応用化学科 教授
田島 道夫	独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部 宇宙探査工学研究系 教授
辰巳 国昭	独立行政法人 産業技術総合研究所 ユビキタスエネルギー研究部門研究グループ長
山木 準一	国立大学法人 九州大学 先導物質化学研究所 先端素子材料部門 教授
事務局	財団法人 無人宇宙実験システム研究開発機構

各委員会は各開発項目に対する、開発の意義、開発状況、開発仕様、開発の進め方、宇宙実証の必要性、衛星システムとの各種インタフェース等に関する審議を行なう。

技術委員会に於いて委員からの提言（審査）を受けて開発に反映した事項を以下に示す。

- ・安全性試験に関する提言
- ・寿命評価試験に関する提言
- ・設計確認会に於ける審議（検証モデルの製作を開始して良いかの審議）
- ・品質確認会に於ける審議（検証モデルの製作・試験が終わり、フライト品質を有しているかの審議）

表 2.3.2-4 に各技術委員会の開催実績を示す。

表 2.3.2-4 リチウムイオンバッテリー 技術委員会開催実績

開催日	審議内容
平成15年9月16日	第1回 技術委員会。委員会設置、各基盤技術の開発計画審議
平成16年3月3日	第2回 技術委員会。技術開発内容、開発状況、技術動向調査などの審議
平成16年9月9日	第3回 技術委員会。衛星システムとのインタフェース調整状況、試験結果などの審議
平成17年3月9日	第4回 技術委員会。開発状況、構成品の単体試験結果などの審議
平成17年9月16日	第5回 技術委員会。開発状況、構成品の認定試験結果、中間目標達成状況などの審議
平成18年3月13日	第6回 技術委員会。リチウムイオンバッテリーアセンブリ開発試験、認定試験結果等の審議
平成18年10月24日	第7回 技術委員会。リチウムイオンバッテリーシステムへの要求事項の変化等の審議
平成19年4月16日	第8回 技術委員会。リチウムイオンバッテリーシステム検証モデルの設計等の審議
平成19年7月26日	第9回 技術委員会。リチウムイオンバッテリーシステム検証モデルの製作開始にあたり設計の妥当性等の審議
平成20年4月8日	第10回 技術委員会。リチウムイオンバッテリーアセンブリ検証モデル試験結果等の審議
平成20年11月27日	第11回 技術委員会。リチウムイオンバッテリーシステム検証モデルの試験結果の審議、品質管理状況などの審議。
平成21年3月3日	第12回 技術委員会。6ヵ年の研究開発の総括、最終目標の達成状況、寿命試験の評価など。

3. 情勢変化への対応

平成 17 年 12 月の中間評価終了後、平成 18 年 3 月の準天頂衛星システム開発は民
主導から官主導へと変更された。準天頂衛星システムの取りまとめが新衛星ビジネ
ス株式会社 (ASBC) から文部科学省所管の独立行政法人宇宙航空研究開発機構 (JAXA)
へ変更になり、衛星の名称も準天頂衛星から準天頂測位衛星に変わった。

本研究開発のバッテリーの準天頂測位衛星への適用のためと準天頂測位衛星シス
テムとの技術的なインタフェース及び引渡し時期等のスケジュールを調整するため、
JAXA と月 1 回の定期連絡会を開催し、問題点を洗い出し問題がでない様対処した。
さらに、平成 20 年度衛星システムへの引渡し後 USEF と JAXA 間でより確実に衛星
との適合性をとるべく共同研究契約を締結した。

製造において平成 19 年 6 月頃にバッテリー制御モジュール (BCM) に使用してい
る長納期輸入部品であるダイオードの入荷が遅れる問題が発生し、この問題に対し、
代替え部品を使用し平成 19 年度に開発を終える案、準天頂測位衛星に搭載するため
の品質を重視するため部品を待つ案などをトレードオフした結果、品質重視の観点か
ら開発期間を平成 20 年度まで延長することとした。

ダイオードも入手され平成 20 年 11 月にリチウムイオンバッテリーシステム
(LIBS) 検証モデルが完成した。品質確認会を実施、品質確認後 JAXA へ引き渡し
た。引渡し後 LIBS と準天頂測位衛星システムとの適合性を確認した結果問題はなく、
引渡しは完了した。

4. 中間評価時の指摘事項反映

中間評価で指摘された項目と処置内容を表 4-1 に示す。

表 4-1(1/2) 中間評価時の指摘事項と処置内容

評価書指摘 No	件名	指摘	対応
1	波及効果	他用途への応用に関してはやや不明確であること。	平成18年度の実施計画書に「他産業への適用の検討」を明記して対応することとした。上記実施計画書に従い、平成18年度に電気自動車業界、航空業界などの分野の適合性を検討した。その結果、電気自動車や航空機への搭載に向けての改良点を見出し、本研究開発のバッテリーの適用の可能性があることが分かった。
2	目標設定	目標設定は妥当であるが、詳細な目標値等は今後とも検討することが必要である。	国内外の衛星分野、自動車分野、リチウムイオンバッテリーの技術動向に詳しい調査会社と共同で技術動向を把握した。その結果、本研究開発の目標は世界の最高水準であること(単一セル容量175Ahでかつエネルギー密度が170Wh、これに匹敵するバッテリーは現在見当たらない)、かつ準天頂測位衛星はセル数を減らすことで技術要求を満たすため目標の変更は不要と判断した。
3	今後の課題に対する努力	例えばバッテリーセルアセンブリ時の性能低下への対処等、今後の課題に対する努力は必要である。	バイパススイッチ、過電圧保護回路、バッテリーアセンブリのシャーシについて、各々の性能要求を満たしつつ重量軽減化を行い、質量250kg以下の目標に対し、247.8kgを達成し、目標を遵守した。

表 4-1 (2/2) 中間評価時の指摘事項と処置内容

評価書指摘 No	件名	指摘	対応
4	寿命評価	加速試験に加え、他の条件による寿命評価も実施し、予測検証していくことも望まれる。	静止軌道、準天頂衛星軌道等の衛星軌道を模擬した試験や、一定充電終止電圧 (EOCV) サイクル試験、一定放電終止電圧 (EODV) サイクル試験、温度を変えての保管試験などを実施し、寿命予測に必要なデータを取得し予測検証を実施した結果、寿命15年 (静止衛星) を確認した。
5	故障モード	電子回路の技術については、バッテリーの故障モードとの相関性を見極めによる改善が期待されると共に、現在迄に明示されている故障モードでバッテリーシステム全体の故障を制御可能なのかの疑問も残る。	平成17年度に、発生確率が極めて低いバッテリーセルの故障モードを作りだしてバイパススイッチや過電圧保護回路の動作を確認する安全性評価試験を実施した。その結果問題なく動作することを確認した。

Ⅲ. 研究開発成果について

1. 目標の達成度

1.1 第一期（中間目標の達成度）

衛星搭載用リチウムイオンバッテリーに関しては、コバルトタイプセルを選定し、中間目標としてセル容量：175 Ah 以上、エネルギー密度 170 Wh/kg 以上のセルの技術を得ることを設定した。開発成果として、(1)セル容量 217 Ah、セル質量 4.68 kg を実測し、(2)エネルギー密度 174 Wh/kg を確認した。この結果より、全体目標の達成度としては十分に第一期目標を達成したと判断する。表 1-1 に達成表を示す。

表 1-1 中間目標達成表

目標値	成果	達成度
セル容量 175 Ah 以上の容量を実現する	目標のセル容量を得るため、セルの電極板厚みの最適化、セル形状を長円形にし、大容量化で発生する発熱/排熱対策を実施し 217Ah 以上のセル容量を実測し、目標を達成した。 3.2.9.2 項及び図 3.2.9-5 参照	○
エネルギー密度 170 Wh/kg 以上を実現する	目標のエネルギー密度を得るため、正極材料、負極材料のトレードオフ及び選定を行い、更に軽量化のため、ケース材料にアルミニウム材を採用し、セル容量 217Ah、平均放電電圧 3.75V 及び質量 4.68kg を実測し、この計測を基に算出したエネルギー密度 174Wh/kg を確認し、目標を達成した。 3.2.9.2 項及び図 3.2.9-5 参照	○

凡例 達成度： ○：達成、△：概ね達成、×：課題有り

達成度

セル容量 175 Ah 以上及びセルのエネルギー密度 170 Wh/kg の中間目標を達成したこと、さらにリチウムイオンバッテリーアセンブリの開発も予定どおり進捗していることにより最終目標に対する達成度は 60%程度と考える。（中間評価実施時点）

1.2 第二期（最終目標の達成度）

第一期までは本研究開発の要となるセルを中心に要素技術を開発した。

第二期（中間評価以降）では組セルにした場合の課題解決を中心に開発し、12セル～24セル構成のリチウムイオンバッテリーアセンブリ（LIBA）を容易に構築できる技術を確立した。

また、セル単体の寿命試験、LIBA 寿命試験を実施した結果、寿命 15 年の要求を満たすことを確認した。

LIBA 認定モデルで設計の妥当性を確認した後準天頂測位衛星搭載の検証モデル（16セルモデル）を製作し、エネルギー密度、バッテリー容量、質量を測定した。そのデータを基に電力容量 30kWh 以上をもつ 20 セル直列モデル（仮想モデル）に於いて最終目標を達成することを確認した。

表 1-2 に達成表を示す。

表 1-2 最終目標達成表

最終目標値	成果	達成度
エネルギー密度 120 Wh/kg 以上	中間目標で達成したセル単体レベルでの高エネルギー密度化技術を基に、20セル直列構成のバッテリーアセンブリでの質量軽減化策により、128.5Wh/kg を確認した。	○
バッテリー電力容量 30 kWh 以上	16セル直列構成のバッテリーアセンブリ（検証モデル）で 12.7 k Wh のバッテリー容量が得られ、この結果に基づき、20セル直列構成のバッテリーアセンブリ 2 台で 31.9 k Wh のバッテリー容量を達成できることが確認できた。	○
質量 250 kg 以下	バイパススイッチ、過電圧保護回路、バッテリーアセンブリのシャーシについて、各々の性能要求を満たしつつ質量軽減化を行い、バッテリー容量 30 k Wh 以上に相当する 20セル直列構成のバッテリーアセンブリ 2 台換算で 247.8kg となることを確認した。	○
寿命 15 年 以上	セル単体及びバッテリーアセンブリの寿命試験（充放電サイクル試験及び保管試験）の結果、寿命 15 年に対して、バッテリー容量の保持率要求（試験開始時の 70%以上）を満たす 79%を達成していることを確認した。図 3.1.3.6-8 参照。	○

凡例 達成度： ○：達成、△：概ね達成、×：課題有り

2. 成果概要

<研究開発全体の流れ>

6ヶ年の本研究開発の流れを図 2-1 に示す。

研究開発は概略以下の 3 つのフェーズに分けられる。

(1) 要素技術開発フェーズ (第一期)

このフェーズは本研究開発を開始した平成 15 年から中間評価を実施した、平成 17 年 12 月頃の時期である。(図 2-1 の破線で示す部分)

この期間では主にセル、バイパススイッチ、過電圧保護回路の要素技術開発を行い、主要な構成要素であるセル単体の中間目標を達成した。

(2) 次世代衛星に対応可能な技術開発フェーズ (第二期)

このフェーズでは組セルとしてのリチウムイオンバッテリーアセンブリ (LIBA) およびリチウムイオンバッテリーシステム (LIBS) が準天頂衛星を初めとする次世代衛星に対応可能となる技術開発を行った。具体的には LIBA として以下の試験を実施した。

- 1) 開発試験
- 2) 寿命評価試験
- 3) 安全性評価試験
- 4) 構成要素安全性評価試験 (4 セルモジュール)
- 5) 認定試験

また、この時期にセル単体の寿命評価試験、安全性評価試験及びバイパススイッチの認定試験を行い、問題ないことを確認した。

LIBS を構成する BCM は開発モデルの試験を行い、その後 LIBA と組み合わせて組み合わせ試験を行い、機能・性能を満足していることを確認した。なお、BCM 開発モデルは開発当初の日陰時負荷要求 10 kW クラスに対応したものである。

(3) 検証モデル製作による実用化を目指したフェーズ (第二期)

上記のフェーズで次世代衛星に対応が可能な技術開発の見通しを得た後、その成果の適用として準天頂測位衛星の要求に適合した LIBA、BCM の検証モデルを製作した。準天頂測位衛星システム側との細かい技術仕様の調整は

技術要求書により実施した。

(図 2-1 の右側の水色の枠で囲った部分)

LIBA、BCM 検証モデルの試験を実施したあと LIBS としての総合評価試験を実施し、平成 20 年 11 月に衛星システム側へ引き渡した。

また、平成 20 年度に JAXA と USEF で共同研究を実施し、本研究開発品の LIBS 検証モデルと JAXA が製作する 2 台目の LIBS のデータを比較した結果、再現性があることが確認された。さらに LIBS を準天頂測位衛星システムに搭載後、機械的、電気的確認を行った結果、適合性に問題ないことを確認した。

<最終目標の確認>

最終目標の、①エネルギー密度、②バッテリー容量、③質量は検証モデルで、④寿命 15 年は寿命評価モデルで確認し、目標を達成した。(表 1-2 参照)

<各モデルの説明>

要素技術評価モデル：目標達成上クリティカルな技術要素に着目し、性能評価を行うために該当部分のみを製作したモデル

性能評価モデル：対象機器を特徴付ける主要な性能目標が達成できることを確認する試験に供するモデル。一般的にセル、バイパススイッチ、過電圧保護回路等の部品レベルに適用され、認定モデルの試験により製品として認定される。(開発モデルは製作しない)

開発モデル：開発対象製品にほぼ近い形で製作され、製造プロセスを含む設計が妥当であり、実用に供しうる製品を製作できる目処を得るための試験に供するモデル。

寿命評価モデル：製品が使用される全期間を通して運用状態をシミュレートした運転を行い、故障を生じることなく機能・性能を維持できることを評価する試験に供するモデル。本研究開発ではバッテリーに関

して劣化の特性を評価するために寿命試験を適用している。

認定モデル：実用に供する製品と同一の材料、同一の部品、同一のプロセスで製作され、設計が確立されたことを認定する試験に供されるモデル。認定試験では、熱・振動環境条件などの全ての設計条件に対して適切なマージンを持って適合することを立証することを目的として実施される。

検証モデル（＝衛星搭載モデル）

認定試験により確立された設計・製造プロセスに基づき製作され、製造プロセスの品質安定性を検証するための試験に供されるモデル。試験後、衛星システムに搭載される。

上記モデルの試験説明表を表 2-1 に示す。

<年度毎の実施結果>

大型化・大電力化に向かう次世代衛星（発生電力 12～15kW、打上質量 5～6 トン級）に要求される大容量化/高信頼性バッテリーの技術開発を行った。計画の前半では、このバッテリーの要素開発として大容量バッテリーセル及びこのセルの機能を最大限発揮できる様な周辺構成要素の開発を進め、最終目標達成の見通しを得た。

平成 15 年度では①リチウムイオンバッテリーの開発としてバッテリー要求性能等の検討、バッテリー基本仕様の設定を行い、バッテリーとして大容量化セルに対応する軽量化と排熱を実現する筐体の試作、評価を行った。②バッテリー大容量・高密度化技術の開発としてセルの要素開発及びこれらを適用したセルの設計、試作、試験及び評価を行った。③高信頼性化技術の開発として過電圧保護回路・バイパススイッチの要素試作を行った。

平成 16 年度では前年度の結果をベースに①リチウムイオンバッテリーの設計を実施し、バッテリー要素として 4 セルモジュールを製作、試験及び評価を実施した。更に軽量化のため CFRP を適用した 4 セルモジュールの製作、試験及び評価を実施した。②バッテリー大容量・高密度化技術の開発として開発したセルの認定試験を行った。③高信頼性化技術の開発として過電圧保護回路の電力ハイブリッド IC 化及びバイパススイッチの性能確認と小型軽量化を行った。

これらの設計、製作試験及び評価を実施することにより、本研究開発の中間目標である、170Wh/kg 以上、175Ah 以上の性能を有するリチウムイオンバッテリーセルの目標を達成した。又、バッテリーの基本構成とするこのセルを用いた4セルモジュールの試作試験結果に基づいて、30kWhの電力を供給するバッテリー構成の検討を行い、バッテリーとしてのエネルギー密度が120Wh/kg以上を達成する見通しを得た。さらに、バッテリーセルの初期容量劣化特性曲線を外挿することにより、静止衛星軌道上での典型的な運用条件下に於いて寿命15年を達成する見通しを得た。

(平成21年5月、以下を追記)

平成17年度では③高信頼性化技術の開発として過電圧保護回路の性能評価試験、認定試験およびバイパススイッチの認定試験を行った。また、②バッテリー大容量・高密度化技術の開発として開発したセル単体の安全性試験（UN試験を含む）を実施した結果、175Ahリチウムイオンバッテリーセルは危険物クラス9として輸送可能であることが確認された。

さらに、セル単体の寿命評価試験を開始した。

上記②、③の要素技術の開発終了後、①リチウムイオンバッテリーの開発としてリチウムイオンバッテリーアセンブリ（LIBA）の開発試験、認定試験、安全性評価試験および構成要素安全性評価試験を4セルモジュールで実施した。その結果、組みセルとしてのLIBAの性能、耐宇宙環境性能が設計どおりであることを確認した。またLIBAの安全性評価試験の結果、取り扱い時の落下や過充電を行っても問題がないことを確認した。さらにLIBAの寿命評価試験を開始した。

平成18年度では平成17年度に実施したLIBAの開発試験、認定試験結果を基に検証モデルの設計を実施した。また、LIBAの充放電を効率良く行う装置としてバッテリー制御モジュール(BCM)の開発モデルを製作・電気性能試験を実施した。

さらに、LIBA開発モデルとBCM開発モデルの組み合わせ試験を行い、リチウムイオンバッテリーシステム(LIBS)としての機能・性能が問題ないことを確認した。

平成19年度ではLIBAの検証モデル試験を行い、性能・対環境性能が設計どおりであることが確認された。また平成18年度に製作・電気性能試験を行ったBCM開発モデルの環境試験を実施し、性能・耐環境性が設計どおりであることが確認された。

平成20年度ではBCM検証モデルの環境試験を行い、性能・耐環境性が設計どおりであることが確認された。また、LIBA検証モデルとBCM検証モデルを組み合わせた総合評価試験を行い、LIBSとしての機能・性能が問題ないことを確認した。

LIBS検証モデルの品質確認会を平成20年11月末に開催し、フライト品としての

品質が確認され、準天頂測位衛星初号機システムへ引き渡した。その後 LIBS 検証モデルと準天頂測位衛星システム初号機との適合性確認試験を実施した結果が問題ないことが確認された。また本研究開発品の LIBS 検証モデルと独立行政法人宇宙航空研究開発機構（以下、JAXA という）が製作する 2 台目の LIBS のデータを比較した結果、再現性があることが確認された。

開発日程（実績）については図 2-2 参照。

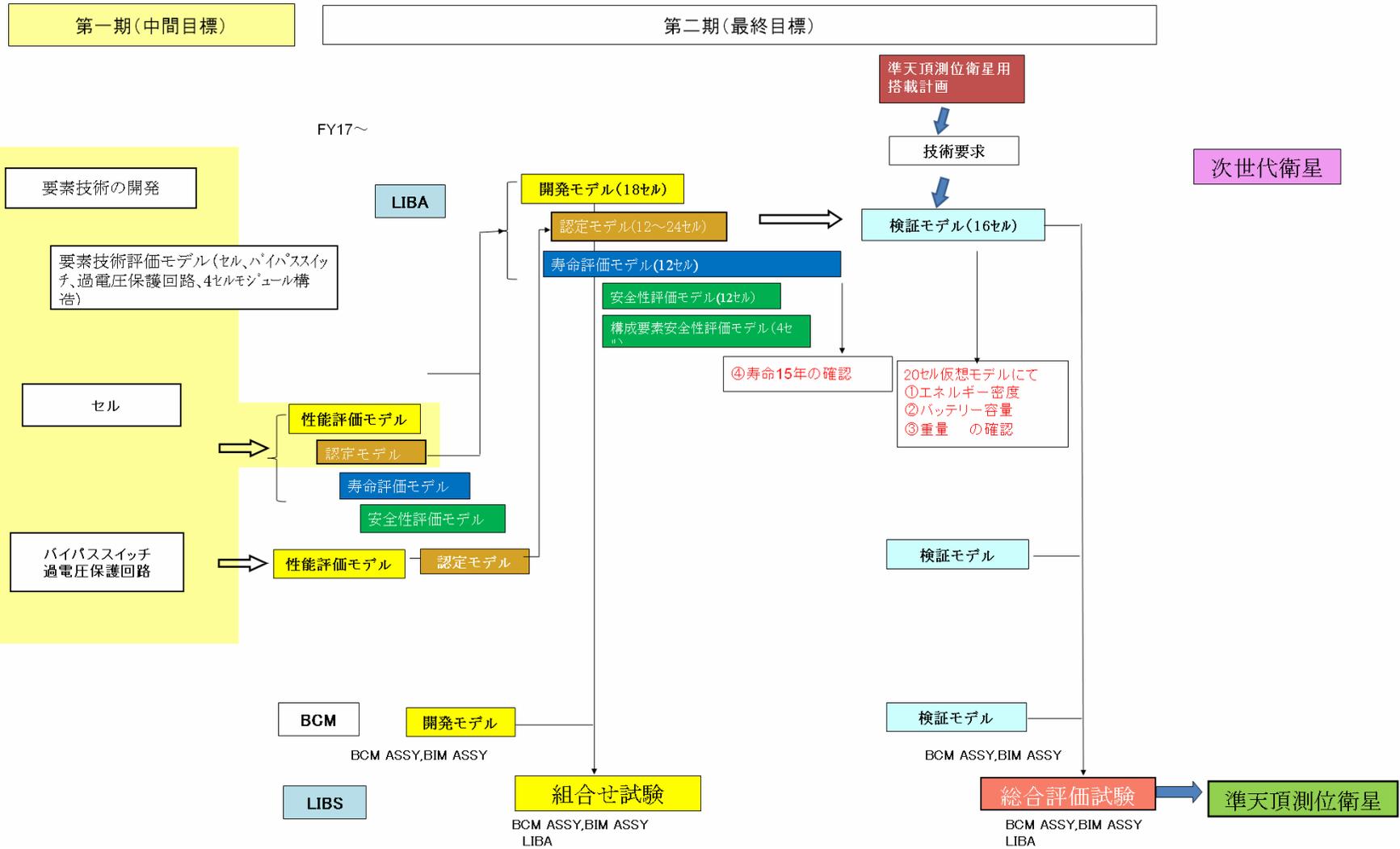


図 2-1 研究開発の流れ

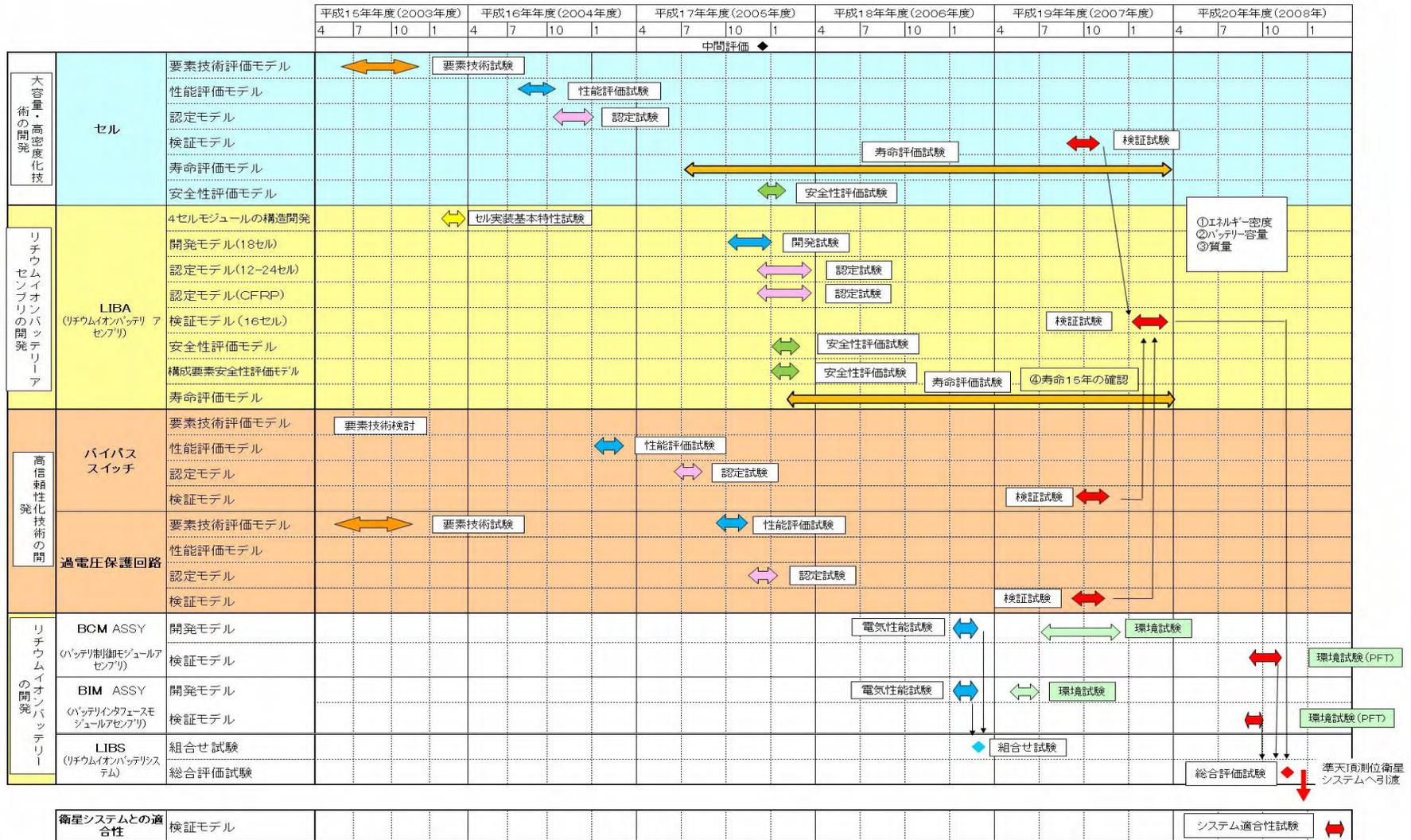


図 2-2 開発日程 (実績)

表 2-1 モデルの試験説明表 (1/4)
平成15年度～平成17年度 成果報告書より引用

製品名	モデル名	試験名等	事業原簿の 項番	事業原簿 の頁No	試験の目的等	試験項目、検討項目	備考	
セル	要素技術評価モデル	要素技術方式	3.2	142	検討した右記要素技術の方式検討	・正極物性の選定 ・負極炭素材料の選定 ・セパレータの選定 ・リソット製造方法の最適化 ・熱均一化解析 (端子、安全弁)	・負極炭素材料の選定 ・極板厚みの最適化 ・ケースの軽量化 ・電池構造開発	
		要素技術試験	3.2.9	161	検討した上記要素技術の方式検証	・初期特性試験 ・容量確認試験	・初期容量試験 ・寿命試験	
	性能評価モデル	性能評価試験	-	-	セルの基本的な電気性能を試験し、セル設計の妥当性を確認する。	・電圧測定 ・リーク検査 ・X線検査 ・容量試験		
	認定モデル	認定試験	3.2.10	168	セルの基本特性、電気的特性、耐環境性の各試験で要求値(規格)をクリアしセルの設計が妥当であることを確認する。	・電圧測定 ・リーク検査 ・X線検査 ・ACインピーダンス測定 ・容量試験 ・充電貯蔵試験 ・熱真空試験 ・充電貯蔵試験	・ACインピーダンス ・高率放電試験 ・振動試験 ・衝撃試験	
	寿命評価モデル	寿命評価試験	3.2.12	179	175Ahバッテリーセルが準天頂衛星をはじめとする宇宙機用途に適した寿命性能を有していることを確認する。	・初期特性試験 ・容量試験 ・寿命試験	・寿命試験(一定EVD試験、保管試験) ・最終特性試験	(平成17年度～平成19年度に実施した。)
	安全性評価モデル	安全性評価試験	3.2.11	172	①危険物輸送に関する国連勧告を遵守しているかを確認する。 ②バッテリー実装上は起こり得ない事象(異常モード)が仮に起こった場合に、セルが示す現象を確認する。	①高度Simulation試験、温度、振動、外部短絡試験等 ②過充電試験、過放電試験、釘さし試験、異常温度放置試験等		

表 2-1 モデルの試験説明表 (2/4)
平成15年度～平成17年度 成果報告書より引用

製品名	モデル名	試験名等	事業原簿の 項番	事業原簿 の頁No	試験の目的等	試験項目、検討項目	備考
LIBA	4セルモジュールの構造開発	実装基本特性試験	3.1.1	76	4セルモジュールを構成単位とする構造方式の見通しを確認する。	構造特性、熱特性試験	
	開発モデル(18セル)	開発試験	3.1.3.1.2	81	基本的な電気性能を確認する。	セル・バッテリー電圧測定、電気性能 (AC・DCインピーダンス、温度特性特定、過電圧保護回路動作特性、充放電特性)	
	認定モデル(12-24セル)	認定試験	3.1.3.2.2	83	電気性能に加え、打上機械環境、軌道上の熱真空環境に耐えうるかを確認する。	電気性能、振動、衝撃、熱真空、電磁適合性、最終電気性能試験	電気性能は基本構成の12セルで、機械性能は12セル～24セルで確認した。
	認定モデル(CFRP) (12セル)	認定試験	3.1.3.3.2	87	軽量化を目指したCFRPシャーシのLIBAがアルミシャーシのLIBAと同等な電気的・機械的性能を有しているかを確認する。	電気性能、振動、衝撃、熱真空、最終電気性能試験	
	安全性評価モデル (12セル)	安全性評価試験	3.1.3.4.2	90	①LIBAの取り扱いや輸送等に関する国内外の安全規定を満足することの確認 ②バッテリーとしての絶対的安全性(保護回路が機能すること)の確認	過充電試験、落下試験	
	構成要素安全性評価モデル (4セル)		3.1.3.5.2	95	BCMの故障、セルの故障、構成部品(保護回路等)の故障を人為的に引き起こし、潜在的危険に対する安全性を組電池で確認する。	過電圧保護回路動作試験、セル解放故障時動作試験、過放電試験、ノイズスイッチ誤動作試験、過充電試験	
	寿命評価モデル (12セル)	寿命評価試験	3.1.3.6.2	105	①LIBAが最終目標の寿命15年(静止軌道)を有しているかを確認する。 ②電気的・機械的、化学的劣化耐性を確認し、LIBAを安全に使用する指針とする。	初期電気性能試験、寿命試験(容量確認、寿命サイクル試験)、最終電気性能試験	平成17年度～平成19年度に実施した。

表 2-1 モデルの試験説明表 (3/4)

平成15年度～平成17年度 成果報告書より引用

製品名	モデル名	試験名等	事業原簿の項	事業原簿の頁	試験の目的等	試験項目、検討項目
ハイパススイッチ	要素技術評価	要素技術方式	3.3.2.3 ～ 3.3.2.6	205～ 215	検討した右記要素技術の方式検討	・技術調査 ・作動時間 ・質量 ・短絡抵抗
	性能評価モデル	性能評価試験			検討した右記要素技術の方式検証	・スイッチの 端子間抵抗の低減 ・放電検討 ・クープに対する検討
	認定モデル	認定試験	3.3.2.7	216	ハイパススイッチの基本特性、電気的特性、耐環境性の各試験で要求値(規格)をクリアしハイパススイッチの設計が妥当であることの確認	・地上保管試験 ・振動中作動試験 ・作動特性試験 ・放射線耐性試験
過電圧保護回路	要素技術評価モデル	要素技術方式	3.3.1(1), (2)	196 ～ 199	検討した右記要素技術の方式検討	・過電圧保護機能 ・オーバervoltage検出機能 ・バランス機能
		要素技術評価試験	3.3.1(3)	200	検討した上記要素技術の方式検証	・V-I 特性 ・過電圧保護回路消費電流 ・シャットスイッチ1 故障時 動作特性 ・セル電圧バランス試験
	性能評価モデル	性能評価試験	3.3.1.1	202	衛星搭載用に小型軽量化する為気密モジュール化された過電圧保護回路の開発試験	・温度サイクル試験 ・電気性能試験 ・パージ試験 ・気密性試験 ・放射線試験
	認定モデル	認定試験	3.3.1.2	203	過電圧保護回路の基本特性、電気的特性、耐環境性の各試験で要求値(規格)をクリアし過電圧保護回路の設計が妥当であることの確認	・気密性試験、内部水蒸気量検査、電気性能試験、 温度サイクル試験、PIND試験

表 2-1 モデルの試験説明表 (4/4)

平成15年度～平成17年度 成果報告書より引用

製品名	モデル名	試験名等	事業原簿 の項番	事業原簿 の頁No	試験の目的等	試験項目、検討項目
セル	検証モデル	検証試験	-	-	ワークマンシップ（正しく製造されたかを）を確認する。	外観検査、寸法・質量測定、電解液漏れ検査、X線検査、ヘリウムリーク試験、セル電位測定、容量測定
LIBA	検証モデル(16セル) (準天頂衛星仕様の16セル)	検証試験	3.1.3.7.2(1)	114～119	①最終目標のエネルギー密度、電力容量、質量が達成できるか確認する。 ②準天頂測位衛星の要求仕様を満足することを確認する。(プロトフライト試験)	・ベースライン試験、振動試験、熱真空試験、最終試験
ハイパススイッチ	検証モデル	検証試験	-	-	ワークマンシップ（正しく製造されたかを）を確認する。	寸法検査、質量検査、外観検査、作動前電気特性(漏れ電流、電圧降下)
過電圧保護回路	検証モデル	検証試験	-	-	ワークマンシップ（正しく製造されたかを）を確認する。	温度サイクル試験、微粒子衝撃雑音検出、定加速度試験、電気性能試験、バーンイン試験、温度試験、気密性試験、X線写真検査、外観検査
BCM ASSY	開発モデル	電気性能試験	-	-	環境試験を行う前の電気性能が規格を満足し、設計が妥当である事を確認する。	電気性能試験
		環境試験	3.1.4.1.2(2)	123～127	LIBS性能要求を満たすことを確認するとともに、準天頂衛星を含む次世代衛星を模擬した環境条件に適合していることを確認する。	・ベースライン電気性能試験、振動試験、熱真空試験、衝撃試験、EMC試験、最終試験
	検証モデル	環境試験	3.1.4.2.2(1)	135	技術要求書に規定される環境条件下での電気性能、機械性能が規格を満足している事の確認	・ベースライン試験、振動試験、熱真空試験、最終試験
BIM ASSY	開発モデル	電気性能試験	-	-	環境試験を行う前の電気性能が規格を満足し、設計が妥当である事の確認	電気性能試験
		環境試験	3.1.4.1.2(3)	129～132	LIBS性能要求を満たすことを確認するとともに、準天頂衛星を含む次世代衛星を模擬した環境条件に適合している事の確認	・ベースライン電気性能試験、振動試験、熱真空試験、衝撃試験、EMC試験、最終試験
	検証モデル	環境試験	3.1.4.2.2(2)	136	技術要求書に規定される環境条件下での電気性能、機械性能が規格を満足している事の確認	・ベースライン電気性能試験、振動試験、熱真空試験、最終試験
LIBS	組合せ試験		3.1.5.1	137	開発モデルのBCMとLIBAをくみあわせBCMのバッテリーファースと基本性能を確認	放電制御試験、充電制御試験
	総合評価試験		3.1.5.2	138	検証モデルのBCMとLIBAをくみあわせBCMのバッテリーファースと基本性能を確認	放電制御試験、充電制御試験
	検証モデル	システム適合性試験	3.1.6	139	衛星システムとの機械的、電氣的適合性を確認する。	機械的噛み合わせ、電氣的噛み合わせ(消費電力、出力電圧)

2.1 リチウムイオンバッテリーの開発

衛星システムと整合するバッテリーの仕様設定、バッテリーアセンブリの開発を実施した。このバッテリーの構成を 2.1.1 項に、BCM ASSY と BIM ASSY の機能分担を 2.1.2 項に、バッテリーアセンブリを図 2.1.1-1 に示す。このバッテリー大容量・高密度化技術の開発として、まず、バッテリーを構成する 4 セルモジュールの試作試験を行い、大容量・高密度化するに伴って発生する放熱、機械特性の把握のため試作品を作成し構造的特性、熱特性試験を実施した。その結果、4 セルモジュールを構成単位とする組立方式の実現見通しを得た。

更に筐体の軽量化を図るため使用する材料として高熱伝導の特性を有する炭素繊維強化プラスチック (CFRP) の適用を検討し、試作試験を実施した。

バッテリーアセンブリ (LIBA) は、構成要素であるセル、バイパススイッチ、過電圧保護回路の開発の目処が立ったあとに開発モデルの製作・試験を実施した。開発モデルでは LIBA の基本性能を満足することおよび、最終目標のひとつであるエネルギー密度が達成できる目処が立つことを確認した。

LIBA 認定モデルでは、打ち上げ時の振動や軌道上の宇宙空間を模擬する環境試験を実施した結果全て性能を満足した。この環境試験レベルは世界の主要な衛星バスの機械環境、熱環境を包絡したものであり、世界市場へ売り込む条件が整った。また、認定モデルでは 12 セルから 24 セルまでの振動試験を実施し、問題ないことを確認した。その結果、設計を変えることなく柔軟に衛星規模の大小に対応可能となった。また更なる LIBA の軽量化を目指して CFRP 筐体で 12 セル構成の LIBA を製作し、認定試験を実施した。その結果、アルミ筐体と同等の電気性能、剛性、排熱能力を持ちながら、12 セルあたり 1.9kg の軽量化を実現した。

CFRP 筐体を LIBA 検証モデルへ適用可能か検討したところ、CFRP シャーシ底面の平面度改善等の課題があり開発日程が間に合わないため検証モデルへの適用は見送った。

LIBA 検証モデルは準天頂測位衛星の技術要求に対応してセル数を 16 個として製作・試験を実施し、問題ないことを確認した。検証モデルの試験の結果をもとに、20 セルにおける最終目標のエネルギー密度、電力容量、質量が達成できることを確認した。

12 セル構成の LIBA 安全性モデルでは、取り扱い時の過充電や落下を想定した結果、問題ないことを確認した。また 4 セルモジュールの構成要素安全性評価モデルでは、通常の手続きでは起こりえない異常な状態を作り出して試験した結果、バ

イパスイッチや過電圧保護回路が正常に動作し、設計どおりの非常に優れた安全性を持っていることが確認された。

12セル構成のLIBA寿命評価モデルでは平成17年度から平成19年度にかけて寿命試験を実施した結果、最終目標である静止軌道15年（初期容量の70%保持）を達成できることを確認した。

バッテリーの充放電を最適に管理するバッテリー制御モジュール（BCM）の開発に於いては当初の準天頂衛星の日陰時の負荷要求10kWを想定して開発された。

BCM開発モデルでは打ち上げ時の振動や軌道上の宇宙空間を模擬する環境試験を実施した結果全て性能を満足した。

BCM検証モデルはLIBA検証モデルと同様準天頂測位衛星の仕様要求に適合応じた日陰時約3kWの負荷で開発した。

LIBA開発モデルとBCM開発モデルを組み合わせた組み合わせ試験に於いてはリチウムイオンバッテリーシステム（LIBS）としての総合性能とインタフェースの整合性を確認できた。またLIBA検証モデルとBCM検証モデルを組み合わせた総合評価試験を実施した結果インタフェース適合性を確認できた。

LIBS検証モデルを準天頂測位衛星システムへ引き渡した後、LIBS検証モデルと準天頂測位衛星システムとの適合性確認試験を実施した結果、問題ないことが確認された。また本研究開発品のLIBS検証モデルと独立行政法人宇宙航空研究開発機構（以下、JAXAという）が製作する2台目のLIBSのデータを比較した結果、再現性があることが確認された。



図 2.1-1 バッテリーアセンブリ（開発モデル：18 セル）

2.1.1 リチウムイオンバッテリーシステムの構成

バッテリー制御モジュール（BCM）の設計進捗に伴い、以下の理由により同モジュールを BCM ASSY と BIM ASSY の二つのモジュールに分けることにした。

理由：リチウムイオンバッテリーは従来のニッカド電池やニッケル水素電池と異なり、完全に放電できない。そのため組セルにすると高電圧になり、バッテリーを取り扱う作業者にとって危険である。（16セル構成の LIBA では 64V）

このような危険作業を防ぐため、LIBA の高電圧をスイッチで切り離す機能を持たせる BIM ASSY（バッテリーインタフェースモジュールアセンブリ）を新たに設けることにした。（従来は BCM の中にこの機能を持っていた）

リチウムイオンバッテリーシステム（LIBS）の構成を図 2.1.1-1 に示す。

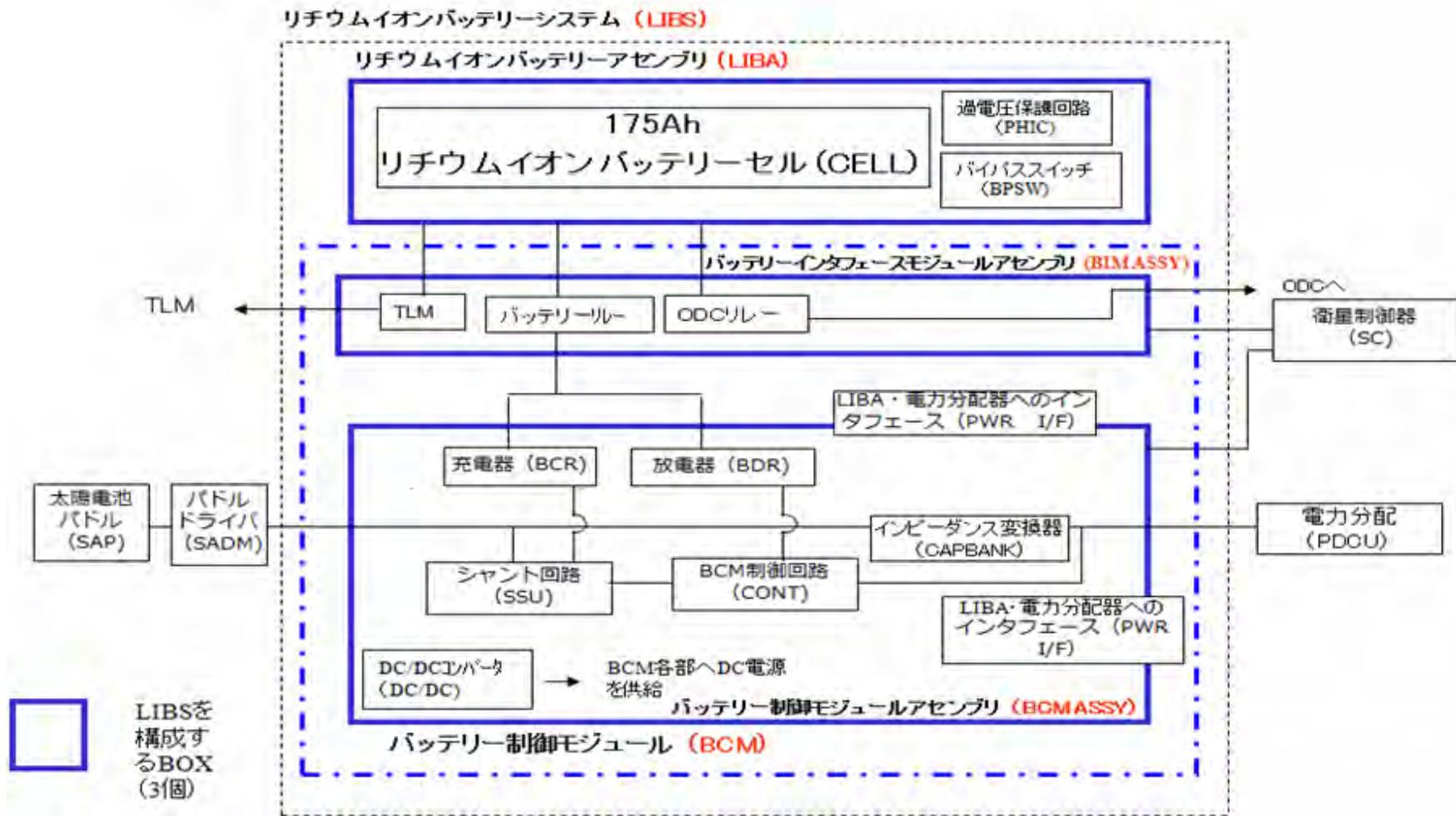


図 2.1.1-1 リチウムイオンバッテリー構成図

2.1.2 BCM ASSY と BIM ASSY の機能分担

バッテリー制御モジュール (BCM) は、充放電量を最適に管理し、衛星の運用 (負荷) に合わせて充電電圧を変え、寿命を最大にすることを目的として開発された。

BCM ASSY と BIM ASSY の主要な機能を以下に示す。

(1) BCM ASSY

BCM ASSY の主要な機能を以下に示す。

a. バス電圧制御・供給

日照時、日陰時のバス電圧を所定の範囲内に維持すると共に衛星負荷へ供給し、日照時は太陽電池アレイ余剰電力の制御を行う。

b. 電力の蓄積・供給

バッテリーは、日照時太陽電池アレイ発生電力の一部を用いて BCM ASSY を介して充電され、日陰時に所要電力を負荷に供給する。

c. バッテリーの管理

充電制御機能 (定電流充電制御及び定電圧充電制御) を有する。

d. 地上支援装置とのアクセス

BCM ASSY は地上電源からのバスライン用電力供給を受けられること。

e. テレメトリ・コマンド機能

BCM ASSY の主要機能をモニタし、テレメトリを送出すること。

必要なコマンドを受けること。

(2) BIM ASSY

BIM ASSY の主要な機能を以下に示す。

a. バッテリーリレーの ON/OFF

バッテリーリレーによるバッテリー電力ラインと BCM ASSY との分離・接続を行う。ただし、バッテリーリレーの ON/OFF は、BCDR DIS 信号を受けた状態での

み可能であること。

- b. ODC バスリレーの ENA/DIS
ODC バスリレーによる ODC バスラインと ODC との分離・接続を行う。
- c. バッテリーの管理
バッテリーのバッテリー電圧およびセル電圧モニタ機能を有する。
- d. 地上支援装置とのアクセス
地上支援装置からバッテリー充電用電力供給、バッテリーリレーの ON/OFF 信号、ODC バスリレーの DIS 信号を受けられること。
また、地上支援装置へバッテリーリレーのステータス信号、ODC バスリレーのステータス信号、バッテリー電圧信号を送出すること。
- e. テレメトリ・コマンド機能
BIM ASSY の主要機能をモニタしテレメトリを送出すること。
必要なコマンドを受けること。
- f. BAT 電圧信号の供給
BCM ASSY へ BAT 電圧信号を供給すること

2.2 大容量・高密度化技術の開発

大容量・高密度化バッテリーを実現するには、バッテリーとしてこれを構成する①セルの大容量化・高密度技術の開発もしくは②小容量セルを多数で構成するバッテリーとしての大容量化・高密度技術の開発がある。しかしながら、小容量バッテリーセルを構成するバッテリーの場合にはこのセルのエネルギー密度に限界があり、バッテリー目標値として設定されている 120Wh/kg を実現することは困難である。このことから、①バッテリーセルの大容量・高密度化の開発を実施した。開発したバッテリーセルの分解図を図 2.2-1 に示す。

バッテリーセルの開発に於いては試作品で中間目標値であるエネルギー密度 174Wh/kg（目標 170 Wh/kg 以上）を達成した。

その後セルの性能評価試験、認定試験、検証モデル試験を実施した。さらに安全

性試験および寿命試験を行った。

安全性試験（UN 試験を含む）を実施した結果、175Ah リチウムイオンバッテリーセルは危険物クラス 9 として輸送可能であることが確認された。

寿命試験では準天頂衛星を始めとする次世代衛星に搭載するため各衛星の特殊な運用条件での要求寿命を満足していることを評価解析にて確認するためのパラメータをセルレベルで取得した。

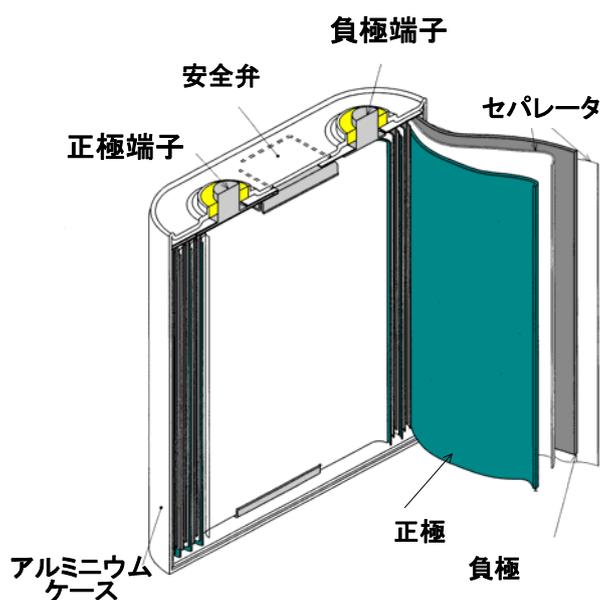


図 2. 2-1 バッテリーセルの分解図

2.3 高信頼性化技術の開発

高信頼性化技術として目標寿命 15 年を得るため、セル単体の高信頼性・長寿命化はもちろんのこと、過充電によるセルの劣化を防ぐ過電圧保護回路の開発、セルが故障した場合でもバッテリーの機能を維持するバイパススイッチの開発を実施した。

過電圧保護回路、バイパススイッチでは各々開発試験、認定試験、検証モデル試験を実施し、問題ないことを確認した。

2.4 基盤技術調査研究

全固体リチウム二次電池の高性能化に於いて、電極/固体電解質界面の抵抗を低減し、反応を繰り返したときの安定性を高めることは極めて重要である。一方、リチウム二次電池の電極活物質の多くは、電気化学的なりチウム挿入脱離に伴って体積

の膨張・収縮を起こす。このような観点から、本研究では、体積膨張・収縮のストレスを緩和できると期待できる“ガラス電解質”に着目した。

リン酸リチウムオキシナイトライドガラス電解質 (LiPON) をガラス電解質のモデルとして用い、様々な薄膜電極と組み合わせた薄膜電池を作製して界面抵抗を評価した。その結果、界面抵抗が電極種に強く依存することを見だし、熱力学的な評価の結果からは、LiPON と接合する電極との界面での反応サイトに違いが生じることが原因と示唆された。即ち、固体リチウム電池の界面抵抗を低減するには、界面でリチウムイオンが通りやすい接合性を高められる中間層を入れることが、抵抗低減に効果的であることを見いだした。

薄膜電池を用いて界面抵抗の安定性を評価した結果、LiPON を用いた場合には体積変化が 2%程度以内の材料だと比較的安定であったが、7%になると界面抵抗がサイクルごとに増大していく挙動が認められた。これに対し結晶性固体電解質を用いると、界面抵抗は 2%の体積変化に対しても安定ではなく、初期の段階で界面にクラックが生じることがわかった。この場合、固体電解質極表面をアモルファス化すると、界面抵抗が安定化した。上記の結果から、固体リチウム二次電池の界面抵抗の抵抗低減と安定化を実現するための界面制御の基礎的指針を明確化した。条件がほぼ最適化された薄膜電池は、レート特性が液体電解質と同程度まで向上し、フル充電-放電の条件でもサイクル効率が 99.99%以上まで向上した。また、 LiMn_2O_4 のように高温で容量劣化しやすい材料の場合でも、固体電解質を用いると溶出が抑制されるため、容量保持率を改善できることもわかった。

これとは別に、固体電解質から電極活物質を自己形成する新しい固体電池の作製法についても検討した。固体電解質を部分的に分解した材料を電極活物質に用いた新しい電池を提案し、国際特許を申請中である。

界面の抵抗低減、安定化あるいは自己形成手法など、固体リチウム二次電池開発の鍵である高機能界面の開発を中心に、薄膜材料を用いて研究を進めた。この手法の有用性が認知され、現在固体電池の研究をしている多くの機関が系を変えて追随するように発展している。本研究は次世代のバッテリーを目指すもので、現在のリチウムイオンバッテリーの製造には関係しない。

2.5 リチウムイオンバッテリー技術等の調査・検討

上記研究開発項目に関して、次世代衛星システム、航空機、自動車等に係る実用化動向及び技術動向の進捗確認等を実施し、航空機、自動車を初めとする他産業の類似技術の適用例及びその性能等について調査を行った。また、人工衛星用電池が搭

載される可能性が有望と考えられるユーザーに対してインタビュー調査を行いユーザーのニーズを把握し、衛星用電池が他用途展開するための要件を明らかにした

最近の各社動向は、宇宙市場では SAFT と ABSL が実績ベースで圧倒的優位を確保しており SAFT は（エネルギー密度 126 Wh/kg）を使用したリチウムイオン電池システムをメーカーへ納入する一方、高エネルギー密度（165 Wh/kg）を使用した静止衛星用リチウムイオン電池システムの市場投入を始めている。

ABSL Space Products は民生セル（SONY-18650HC セル）を使用していたが、近年はセルの世代交代を進めている。また韓国ロケット KSLV 搭載電池の開発を進めている。

厳しい宇宙環境で使用する高い信頼性電池技術を自動車や他の民生品分野へ移転して使用することで、高い品質を維持 EaglePicher では宇宙認定技術を EV や HEV へ転用する研究を発表している。

世界が欲しているものは「SPACE 並の信頼性で、価格は民生価格（COTS）」ということで、宇宙技術から（EV や HEV という自動車などの）民生品分野へ技術移転を実施した後に、その民生価格技術を宇宙へ展開するという、技術の往復関係が必要になると考えられる。最終的に「信頼性は宇宙レベル」、「価格は量産民生品ベース」へと近づけたバッテリーセル、バッテリーシステムが市場競争で優位に立てると考えられる。

この開発競争において市場の優位性を高めるにはセルのエネルギー密度が高く、寿命も長いセルモジュール型設計によりパワーレンジが広い電池パッケージ宇宙実証の経験が必要であると考えられる。

また、人工衛星用電池が搭載される可能性が有望と考えられるユーザーとしては UAV を除き技術的な課題がそれぞれの用途に存在した。中・大型航空機は容量帯がマッチせず、非常に高いレベルでの高出力化が求められる。回転翼航空機では、現在使用されている電池の容量は高いもので 52Ah であり質量の観点から 175Ah の衛星用リチウムイオン電池が採用される可能性は低い。UAV では UAV が要求する事項を現在の衛星用リチウムイオン電池がほぼ満足していることによると考えられるが。日本においては、まだ研究段階にあるためコストについての要求レベルも明確でなく早期の実用化、市場展開が難しいことを示唆している。

電気自動車については、コスト（80 円/Wh）の観点から採用が非常に厳しい。飛行船については、エネルギー密度 350Wh/kg の問題をクリアーすることが非常に難しい事が判明した。

3. 成果の詳細

本研究のこれまでの具体的内容は以下の通りである。

3.1 リチウムイオンバッテリーの開発

衛星システムと整合するバッテリーシステムの仕様の設定、バッテリーシステムの開発として以下を実施した。

(1) バッテリー要求性能等の検討

衛星用バッテリー、電源系の性能を整理し、バッテリー構成品リスト作成及び構成品への機能配分を行う。それに基づき次世代衛星搭載のための要求性能等を検討した。

(2) バッテリー基本仕様の設定

リチウムイオンバッテリーに要求される性能等に関する基本仕様を設定した。

(3) リチウムイオンバッテリーアセンブリ (LIBA)

リチウムイオンバッテリーに関する基本仕様の見直し、以下の LIBA の製作・試験を行った。 (下記 3) 以外はアルミシャーシ)

- 1) 開発モデル(18 セル)
- 2) 認定モデル(12-24 セル)
- 3) 認定モデル(12 セルの CFRP 筐体)
- 4) 検証モデル(16 セル)
- 5) 安全性評価モデル(12 セル)
- 6) 寿命評価モデル(12 セル)

(4) バッテリー制御モジュール(BCM)の開発

BCM の構成・機能分担を見直し、BCM を BCM ASSY と BIM ASSY に分けることにし、以下の製作・試験を実施した。

- 1) BCM ASSY 開発モデル
- 2) BIM ASSY 開発モデル
- 3) BCM ASSY 検証モデル
- 4) BIM ASSY 検証モデル

上記開発モデルは当初の準天頂衛星の日陰時負荷要求 10kW に対応、検証モデルは準天頂測位衛星の日陰時負荷要求 3kW に対応している。

(5) リチウムイオンバッテリーシステム (LIBS) の開発

LIBA 開発モデルと BCM 開発モデルによる組み合わせ試験を実施し、LIBS とし

での機能・性能を確認した。また、LIBA 検証モデルと BCM 検証モデルによる総合評価試験を実施し、LIBS としての機能・性能を確認した。

(6) LIBS 検証モデルと準天頂測位衛星との適合性

平成 20 年度に JAXA と USEF で共同研究を実施し、本研究開発品の LIBS 検証モデルと JAXA が製作する 2 台目の LIBS のデータを比較した結果、再現性があることが確認された。さらに LIBS を準天頂測位衛星システムに搭載後、機械的、電气的確認を行った結果、適合性に問題ないことを確認した。

3.1.1 4 セルモジュールの開発

バッテリーの開発にあたり、ユニット単位による解析手法を採用した。ユニット単位の構造を採用することにより、

- 1) 充放電によりセル外形が伸縮するなど、機械特性が複雑なセルを主構造から外すことにより、構造数学モデルをシェル*と等分布質量で表す事が出来る。
- 2) 構造数学モデルによる解析が実現象に合致する。

最適ユニット単位として構造的バランスを考慮し、4セルを1つの筐体の実装し、モジュール化した。

*：シェル構造とは貝殻の様に外郭構造を持ち内部に電子部品（セル）を格納する構造（図 3.1.1-1 に示す）

4 セルモジュールの試作試験を行い、セルが大容量・高密度化するに伴って発生する構造的特性、熱特性試験を実施した。その結果、4 セルモジュールを構成単位とする組立方式の実現見通しを得た。図 3.1.1-1 に試作した 4 セルモジュールを示す。

バッテリーの組立方式として、下記特長を有する 4 セルモジュールを単位構成とし、これを組合せて一体とするバッテリー構成方式を採用した。

(1) 4 セルモジュールの特長

- 1) 4 セルモジュール単独で耐環境性、排熱能力を満足するように設計することにより、バッテリーアッセンブリは複数個の 4 セルモジュールを電气的、物理

的に一体化可能である。理論的には無限の4セルモジュールを1つのバッテリーアセンブリに実装可能となる。

- 2) セルの製造ばらつきによらず、バッテリーアセンブリの機械特性の再現性が良い。
- 3) セルの寸法ばらつきを気にせずにバッテリーアセンブリを組立てられるため、組立性が向上する。
- 4) 同一形状の連続であるため、セルアセンブリ内での温度ばらつきが抑制される。

(2) 試験結果

- 1) セル間の温度分布の定量的なデータが得られた（実力値約3℃以下）
- 2) 真空環境下においても所望の熱経路にて十分な排熱が可能であることが実証された。
- 3) 定量的にも、セルの上昇温度が予測値に対して妥当であることを確認した。
- 4) その他

質量：4セルモジュールで23.3 kg（シャーシ：4.5 kg）

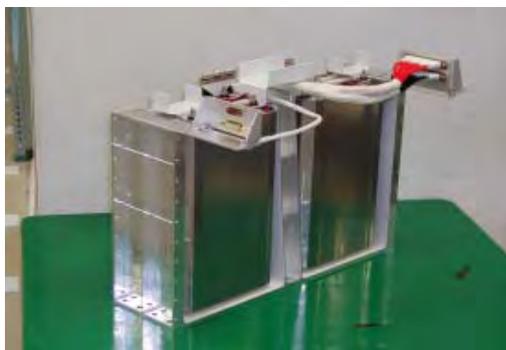


図 3.1.1-1 試作4セルモジュール（シェル構造）

3.1.2 炭素繊維強化プラスチック（CFRP）モジュール

バッテリーの軽量化を図るため、バッテリー筐体に高熱伝導の特徴を有する炭素繊維強化プラスチック（CFRP）を適用することを検討し試作試験を実施した。

本試作・試験は平成16年度に加速財源（実績：37百万円）により実施した。

アルミ製シャーシを高い比熱伝導率のCFRPに置き換えることで、同一排熱特性で軽量化を図る。基本的にはアルミシャーシで構成した4セルモジュールと同一なモジュールを作成、排熱特性を評価し、質量軽減を図る。

バッテリー4セルモジュール筐体を高熱伝導型CFRPを用いて製作した筐体評価

モデルに対して熱真空試験及び振動試験を行って熱・構造特性に関わる評価を行った。

この結果、必要な強度・剛性を有するとともに、従来材料であるアルミニウムに比べて熱伝導率が 20%向上する筐体を実現できる見込みを得た。特にアルミニウム製筐体に比べて、熱伝導率が約 20%高く、約 12%の軽量化が達成（シャーシレベル：4.0 k g）できた。

但し、実用化に踏み切るには下記課題を克服する必要があることがわかった。

開発により明確となった主要課題

- (1) 筐体底面の平面度要求値を達成するための CFRP 筐体成形法の改善
- (2) バッテリーセルの短絡防止のための電気絶縁用カプトンフィルム一体成形に於ける電気絶縁強度と熱抵抗のバランスを考慮した最適化設計

図 3.1.2-1 に炭素繊維強化プラスチック（CFRP）モジュールの分解図、図 3.1.2-2 に写真を示す。

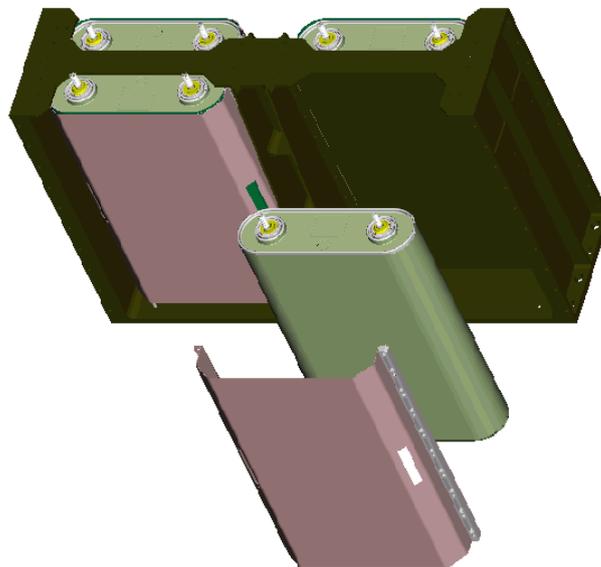


図 3.1.2-1 炭素繊維強化プラスチック（CFRP）モジュール分解図

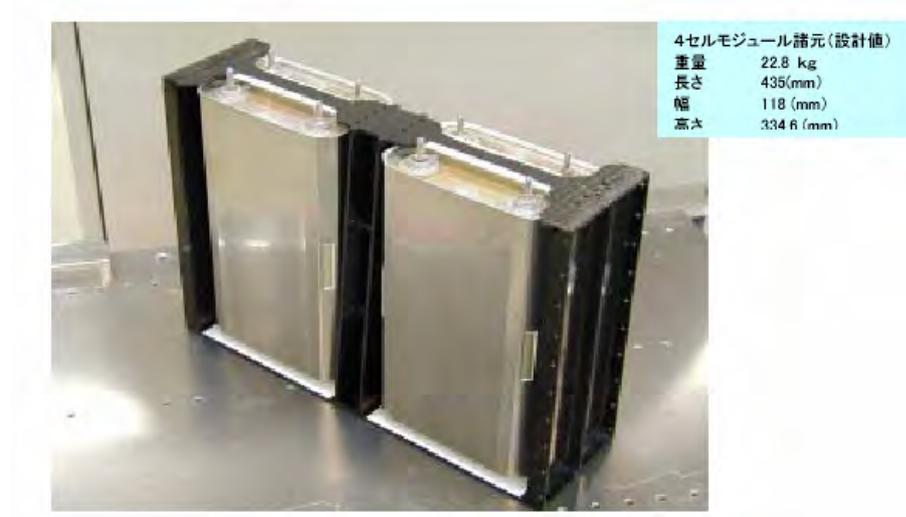


図 3. 1. 2-2 炭素繊維強化プラスチック (CFRP) モジュールの写真

(平成 21 年 5 月 以下を追記)

<中間評価以降の取り組みについて>

- (1) CFRP 筐体を衛星に採用すべく、平成 17 年度に CFRP シャーシ製 LIBA (12 セル) の認定試験を実施した。その結果電氣的・機械的性能はアルミとほぼ同等で、12 セルあたり 1.9kg の軽量化を実現した。衛星搭載可能かを検討したところ、CFRP シャーシ底面の平面度改善、取り付けネジ穴まわりの強度改善等の課題があるため検証モデルへの採用は見送った。
- (2) その後継続的に上記課題解決に取り組んだ結果、他プロジェクトの 35 Ah バッテリーセルで構成されるバッテリーアセンブリ用シャーシに採用された。平成 21 年度現在は認定試験中であり、来年度にフライト品製作着手予定となっており、ほぼ実用化のめどが立っている。

なお、CFRP による衛星搭載品のシャーシ実用化は世界で初めてである。

3.1.3 リチウムイオンバッテリーアセンブリ (LIBA) の開発

3.1.3.1 開発モデル

3.1.3.1.1 製造品外観

製作した LIBA 開発モデル (略号: DM) の外観を図 3.1.3.1-1 に示す。



図 3.1.3.1-1 LIBA 開発モデル

3.1.3.1.2 LIBA 開発モデルの試験

(1) LIBA 開発モデルの試験計画

a. LIBA 開発モデルの概要

LIBA 開発モデルの概要および構成を以下に示す。

ア. セル

バッテリーセルは、175Ah セルを 18 セル直列構成である。

イ. 過電圧保護回路

過電圧保護機能及びバランスング機能を有した過電圧保護回路 (PHIC) を、各セルに並列接続している。

ウ. バイパススイッチ

セル開放故障時にバッテリー機能を維持するためのバイパススイッチを各セルに並列接続している。

b. 試験の目的

本試験により、LIBA の基本性能評価及び設計仕様を満足することを確認することを目的とする。

c. 試験項目

試験として外観検査、寸法・質量測定、導通・セル絶縁検査、セル電圧測定、電気性能試験を実施した。

(2) LIBA 開発モデルの試験結果

試験結果として全ての試験項目に関し、特に問題はなく所望の結果が得られた。

a. エネルギー密度の算出

LIBA を下記条件で 74.7V (4.15V/セル) 充電した場合のエネルギー密度を、以下の試験結果より算出した。

[試験条件]

充電：35.0A(CC-CV 充電)、LIBA 電圧 (EOCV) 74.7V-18 時間

放電：35.0A(CC 放電)、セル電圧 (EODV) 2.75V

温度：15°C

[質量]

セル 18 個：4.69kg×18=84.42kg

バイパススイッチ 18 個：48g×18=0.86kg

PHIC18 個：44.3g×18=0.80kg

PHIC 用抵抗：5.4g×72=0.39kg

シャーシ：20.42kg

その他（ハーネス等）：3.91kg

合計：110.80kg

[電力]

放電電力：13.9kWh

試験実測データ (LIBA 電圧×放電電流の積分値) より算出

放電時間：5.9 時間

[エネルギー密度解析結果]

$$\begin{aligned} \text{エネルギー密度} &= 13.9 \times 10^3 \text{Wh} / 110.80 \text{kg} \\ &= 125.5 \text{Wh/kg} \quad (\text{目標 } 120 \text{Wh/kg}) \end{aligned}$$

b. まとめ

LIBA 開発モデルの製作及び開発試験の結果により、LIBA の基本性能を確認し、LIBA 認定モデルの設計、製造パラメータの確認、検証（構造、熱、配線方法、保護回路との組合せ特性）を行い、貴重なデータを収集した。

また、LIBA のエネルギー密度が 120Wh/kg を超える結果となり、開発目標を達

成できる見通しを得た。

3.1.3.2 認定モデル（アルミシャーシ）

3.1.3.2.1 製造品外観

製作した LIBA 認定モデル、2 セルモジュール、4 セルモジュールを図 3.1.3.2-1～3 に示す。



図 3.1.3.2-1 LIBA 認定モデル

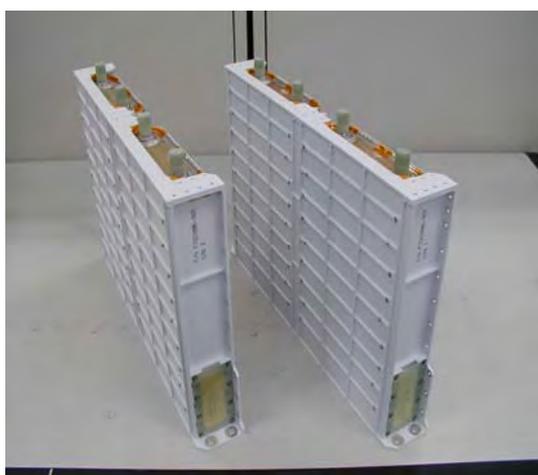


図 3.1.3.2-2 2セルモジュール



図 3.1.3.2-3 4セルモジュール

3.1.3.2.2 LIBA 認定モデルの試験

(1) LIBA 認定モデルの試験計画

a. LIBA 認定モデルの概要

LIBA 認定モデルは組立ハンドリングの制約から、最大 12 セル構成のリチウムイオンバッテリーモジュールとし、このモジュールを 2 台直列構成することにより、最大 24 セルの LIBA を構成する。電気特性試験は基本構成の 12 セルモジュールで実施し、機械環境試験は 12 セルモジュールを基本として、振動試験時に 12 セルモジュールに 2 セルモジュール、4 セルモジュールを組み合わせて 14、16、18、20、22、24 セルモジュールのモダルサーベイを実施する。

本 LIBA 認定モデルの構成を下記に示す。

ア. セル

バッテリーセルは、175Ah セルを 12 セル直列構成である。

イ. 過電圧保護回路

過電圧保護機能及びバランス機能をもつた過電圧保護回路 (PHIC) を、各セルに並列接続している。

ウ. バイパススイッチ

セル開放故障時にバッテリー機能を維持するためのバイパススイッチを各セルに並列接続している。

b. 認定試験の目的

本試験は、世界の主要衛星を包絡する環境条件下における LIBA の電気性能及び機械性能を基本構成の 12 セルモジュールにて評価し、LIBA の柔軟性の確立として、14、16、18、20、22、24 セルモジュールにて評価し、さらに耐環境設計仕様を満足することを確認することを目的とする。

c. 試験項目

認定試験として初期検査、電気性能試験、ベースライン試験、振動試験、衝撃試験、熱真空試験、電磁適合性試験、最終試験、最終検査を実施した。

(2) LIBA 認定モデルの試験結果

試験項目に示した各試験において問題がないことを確認した。

振動試験・熱真空意試験については以下に詳細を述べる。

a. 振動試験

ア. X軸

1次共振周波数変動は全てにおいて規格（100Hz以上）を満たし、また変動幅も約5%程度であり、変動はないと判断する。

イ. Y軸

1次共振周波数は全てにおいて規格（100Hz以上）を満たし、またQTレベル加振前後での変動幅も5%以内であり機械的な破壊やすべりは起こっていないと判断できる。セル数を増やしていった場合でも、1次共振周波数は10%以下しか変わらず、機械特性は12セルから24セルの間でほぼ同一と考えてよい。

ウ. Z軸

1次共振周波数変動は全てにおいて規格（100Hz以上）を満たし、また変動幅も約5%程度であり、変動はないと判断する。

b. 熱真空試験

各電圧、温度は規格値を全て満足し、容量値も規格値以上が得られており、問題ない。宇宙環境の高真空中を模擬した状態でも、QT温度範囲において設計通りの排熱能力が得られ、予測どおりの電気性能が得られることを確認した。

主要なデータとして熱サイクル後のデータを図3.1.3.2-4に示す。

熱サイクル後[15°C]

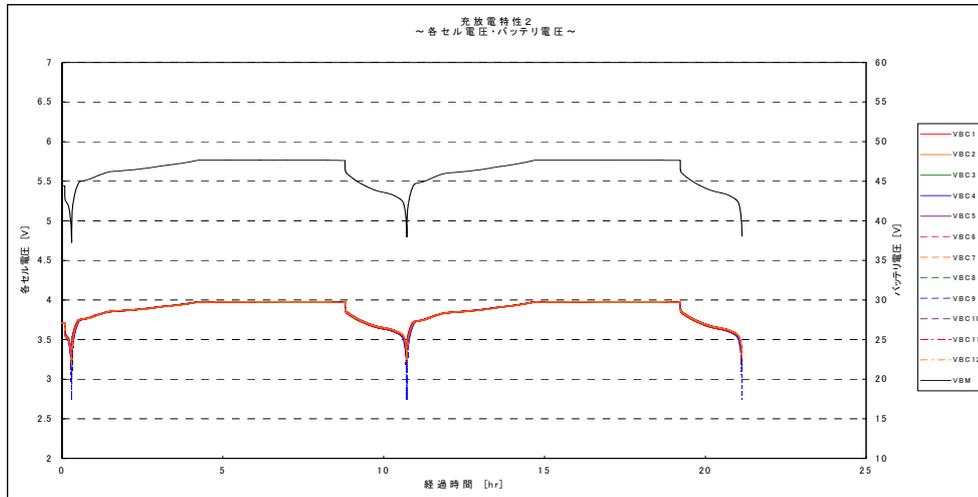


図 3.1.3.2-4
充放電特性(1/2)

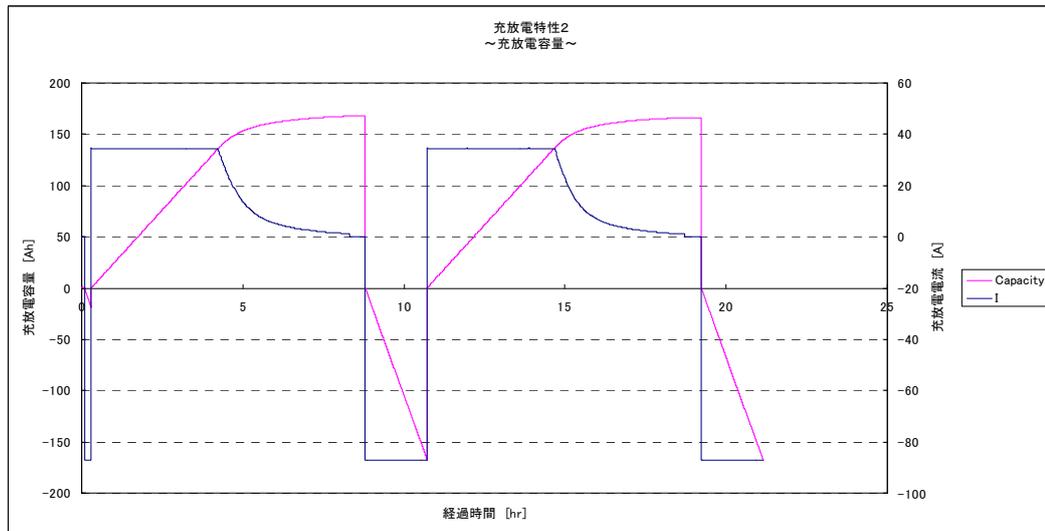


図 3.1.3.2-4 充放電特性(2/2)

3.1.3.2.3 まとめ

LIBA 認定モデルを製作し、認定試験を実施した。その結果、衛星搭載時の電気特性が得られ、また、世界主要衛星バスの機械環境条件を包括する機械耐性、高真空下における熱サイクル等の宇宙環境特性の規格をクリアし、設計が妥当であることが確認された。

3.1.3.3 認定モデル (CFRP シャーシ)

3.1.3.3.1 製造品外観

製作した LIBA 認定モデル (CFRP シャーシ) を図 3.1.3.3-1 に示す。



図 3.1.3.3-1 LIBA 認定モデル (CFRP シャーシ)

3.1.3.3.2 LIBA 認定モデル (CFRP シャーシ) の試験

(1) LIBA 認定モデル (CFRP シャーシ) の試験計画

a. LIBA 認定モデル (CFRP シャーシ) の概要

LIBA 認定モデル (CFRP シャーシ) についての概要および構成を以下に示す。LIBA 認定モデル (CFRP シャーシ) は組立ハンドリングの制約から、最大 12 セル構成のリチウムイオンバッテリーモジュールとし、このモジュールを 2 台直列構成することにより、最大 24 セルのバッテリーを構成する。電気性能や機械性能の設計妥当性はアルミシャーシにて確認されているので、ここでの認定試験は基本構成の 12 セルモジュールでの機械特性に着目して試験、評価を実施する。

ア. セル

バッテリーセルは、175Ah セルを 12 セル直列構成である。

イ. 過電圧保護回路

過電圧保護回路 (PHIC) は、各セルに電気的には接続せずに、質量ダミーとして実装している。

ウ. バイパススイッチ

バイパススイッチは、各セルに並列接続している。

b. 認定試験の目的

準天頂衛星を始めとした次世代衛星に搭載するリチウムイオンバッテリー（CFRP シャーシ）の環境条件下における電気性能及び機械性能を基本構成の12セルモジュールにて評価し、耐環境設計仕様を満足することを確認する。

c. LIBA 認定モデル（CFRP シャーシ）試験内容

本 LIBA 認定モデル（CFRP シャーシ）は、初期検査、ベースライン試験、振動試験、衝撃試験、熱真空試験、最終試験、最終検査を実施した。

バッテリー全体の性能評価はアルミ製シャーシモデルにて総合的に評価を実施しているため、CFRP シャーシモデルでは機械耐性および熱特性に着目して評価を行っている。

ベースライン試験と最終試験における電気特性試験はアルミ製シャーシモデルと同様の規格を設けているが、機械特性に異常が無いことを確認するための参照として実施している。

(2) LIBA 認定モデル（CFRP シャーシ）の試験結果

認定試験を通じ、問題がないことを確認した。

質量、絶縁に関し、アルミシャーシと CFRP シャーシの比較について以下に述べる。

a. 質量

質量は 72.8kg とアルミ製シャーシ（74.7kg）に比べて 1.9kg（2.5%）バッテリー全体で軽量化できている（12セルあたり）。セルを除いたシャーシ部分だけで考慮すると、 $74.7\text{kg} - (4.5\text{kg} \times 12 \text{セル}) = 20.7\text{kg}$ が、 $72.8\text{kg} - (4.5\text{kg} \times 12 \text{セル}) = 18.8\text{kg}$ となっており、9.2%の軽量化となっている。4セルモジュールで試作した時にはシャーシ部分で約20%の軽量化が可能との予測であったが、その後振動耐性を向上するために金属ブラケットを各セル毎に追加したことと、CFRP シャーシ同士を連結するためにチタン製インサートを挿入したことにより、軽量化の比率が下がっている。ここまでの開発アプローチはアルミ製シャーシをそのまま CFRP 化する方針であったため、最終的に10%程度の軽量化に留まったが、更なる軽量化のためには主要構造以外の金属部品を CFRP 化することと、

CFRP の特性を積極的に生かした構造設計を実施してインサート数を削減することが必要である。この場合は根本的にアルミ製シャーシとは異なった構造となる。

b. 絶縁検査

全て規格を満足しており、設計通り製造されていることが確認された。上記導通とは逆に、絶縁に対しては十分な性能を有している。製造性の観点から見てもアルミ製の場合は手間と時間のかかる絶縁塗装処理が必要であるのに対し、CFRP はカプトンフィルムをコキュアすることにより表面の絶縁処理が成型と同時に可能であることから絶縁に関しては CFRP の方が優れているとあって良い。

3.1.3.3.3 まとめ

LIBA 認定モデル (CFRP シャーシ) を製作し、認定試験を実施した。その結果、衛星搭載時の電気特性、世界主要衛星バス搭載の機械環境条件を包括する機械特性の規格をクリアし、電気設計及び機械設計の妥当性は検証できた。CFRP シャーシモデルの認定試験の結果、設計どおりにアルミシャーシと同等の電気性能、剛性、排熱能力を保ちながら、12 セルあたり 1.9 kg の軽量化を実現した。フライト設計にあたってはインサート形状と適切配置により不要な質量増を抑制するとともに、シャーシ帯電防止のために、接地処理を施す必要がある。

3.1.3.4 安全性評価モデル

3.1.3.4.1 製造品外観

製作した LIBA 安全性評価モデルを図 3.1.3.4-1 に示す。

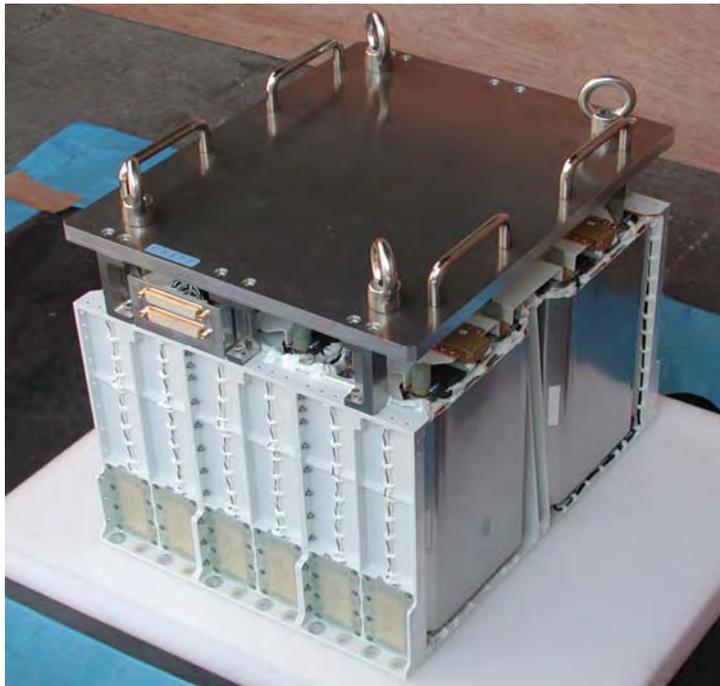


図 3.1.3.4-1 LIBA 安全性評価モデル

3.1.3.4.2 LIBA 安全性評価モデルの試験

(1) LIBA 安全性評価モデルの試験計画

a. LIBA 安全性評価モデルの概要

LIBA 安全性評価モデルについての概要および構成を以下に示す。LIBA 安全性評価モデルは基本構成の 12セル構成のリチウムイオンバッテリーモジュールとする。

ア. セル

バッテリーセルは、175Ah セルを 12 セル直列構成である。

イ. 過電圧保護回路

過電圧保護機能及びバランスング機能を有した過電圧保護回路 (PHIC) を、各セルに並列接続している。

ウ. バイパススイッチ

セル開放故障時にバッテリー機能を維持するためのバイパススイッチを各セルに並列接続している。

b. 試験の目的

準天頂衛星を始めとする次世代衛星に LIBA を搭載する際に、設定仕様以上の充電状態に曝されても異常を発生しないこと及びハンドリング時の作業ミスによる落下により発煙、発火等の人的、物的異常を発生しないことを基本構成の 12 セルモジュールにて評価し、十分な安全性を確保していることを確認する。

c. LIBA 安全性評価モデル試験試験項目

安全性評価試験として、過充電試験、落下試験を実施した。

(2) 試験結果

a. 過充電試験

SOC(State Of Charge)100%から 175Ah 充電し、過電圧保護回路により過充電されないことを確認した。具体的には図 3.1.3.4-2 に示すように、バッテリーへの定電流充電を継続しても各セルの過電圧保護回路が作動してセル電圧が一定値に保たれており、バッテリー外部にある充電器の CV 機能が故障した場合でも、バッテリー自身で過充電を防止して安全が保たれることが確認された。

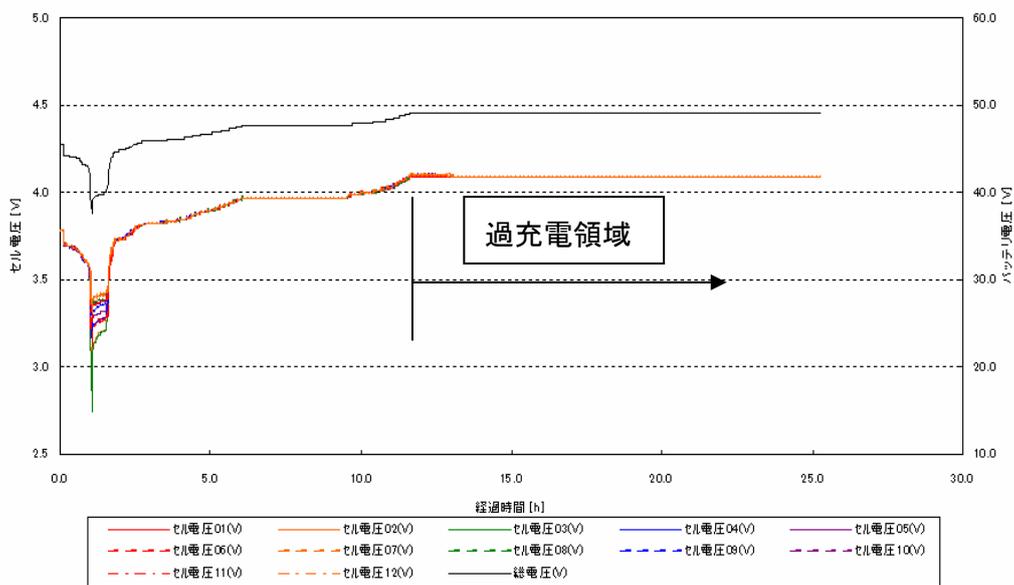


図 3. 1. 3. 4-2 セル/バッテリー電圧モニタ・充電容量モニタ（過充電試験）（1/2）

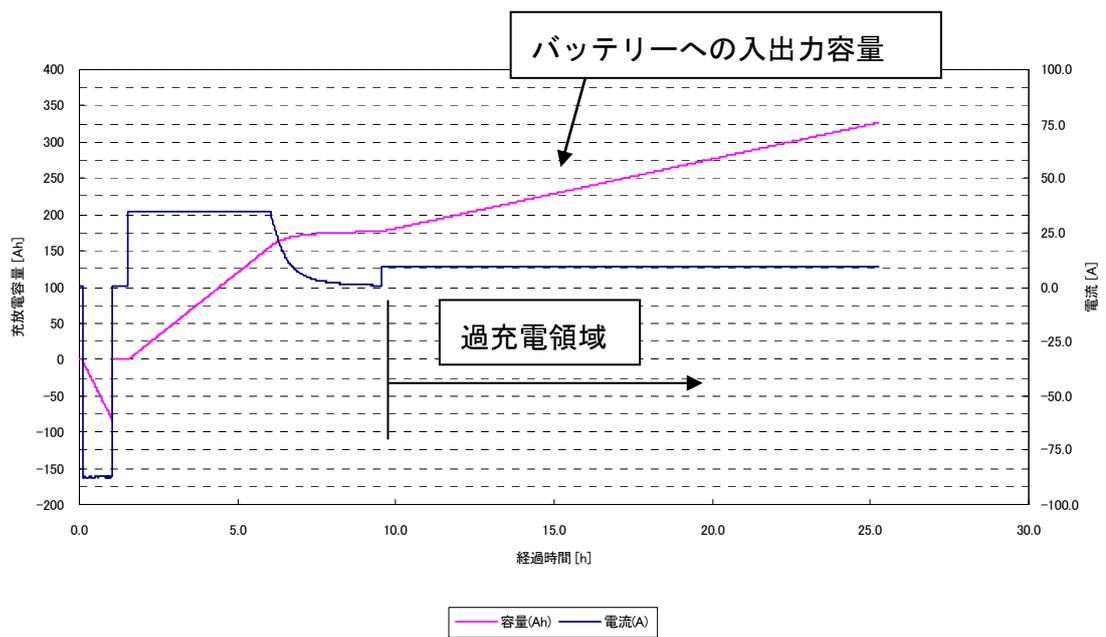


図 3. 1. 3. 4-2 セル/バッテリー電圧モニタ・充電容量モニタ（過充電試験）（2/2）

b. 落下試験

図 3. 1. 3. 4-3 に落下試験状況の外観を示す。

LIBA は、ほとんど回転することなく自由落下し、鉄板上で微小に 2 回バウンドして停止した。図 3. 1. 3. 4-5 の落下後の写真は見やすくするために吊綱をや

や引っ張っているが、落下時は張力なしで LIBA 自由落下の妨げにはなっていない。また、静的な状態から並進落下できたことにより、吊り下げ治具が安全性の観点からも適切に設計されていることが確認できた。

落下から 3 時間放置後の LIBA 外観検査結果を以下に示す。電池の異常発熱や発煙も見られず、発火火災の 2 次被害は観測されなかった。

[結果] (3 時間放置後)

- ・発熱、発火、発煙なし(合格)
- ・シャーシ等構造物の破壊 変形なし

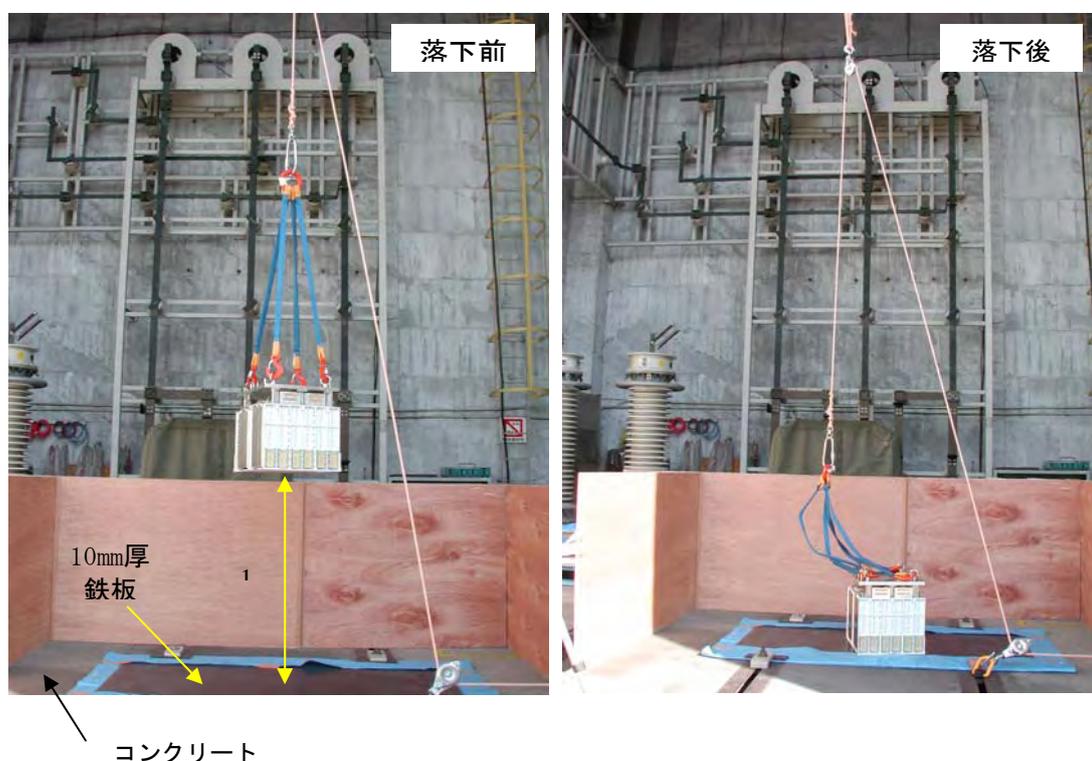


図 3.1.3.4-3 落下試験状況の外観

3.1.3.4.3 まとめ

以下の文書に準拠した過充電試験及び落下試験を実施した結果、LIBA の取り扱いや輸送等でも問題ないことを確認した。

過充電試験；

UN ST/SG/AC 10/27 : Amendments to the third revised edition of the Recommendations on the Transportation of Dangerous Goods, Manual of Tests and Criteria(国連勧告事項)

落下試験：

EWR127-1： Eastern and Western Range 127-1(NASA 射場安全規格)

また、LIBA は以下の国内外の安全規定を満足することを確認した。

<国内>

- ① 航空法
- ② 航空法施工規則
- ③ 船舶安全法
- ④ 危険物船舶運送および貯蔵規則
- ⑤ 国際海上危険物規定

<海外>

- ① IATA： Dangerous Goods Regulations 43edition
- ② ICAO： Technical Instructions for the Safe Transport of Dangerous Goods
by Air

さらに、バッテリーとしての重要な安全性（バッテリーの過充電を防ぐ、過電圧保護回路が機能すること）を確認した。

LIBA 安全性評価試験の結果により、LIBA の安全性が保証できること及び今後の LIBA 使用時の安全性指針のための基礎データが取得できた。

3.1.3.5 構成要素安全性評価モデル（4セル）

3.1.3.5.1 製造品外観

構成要素安全性評価モデルを図 3.1.3.5-1 に示す。

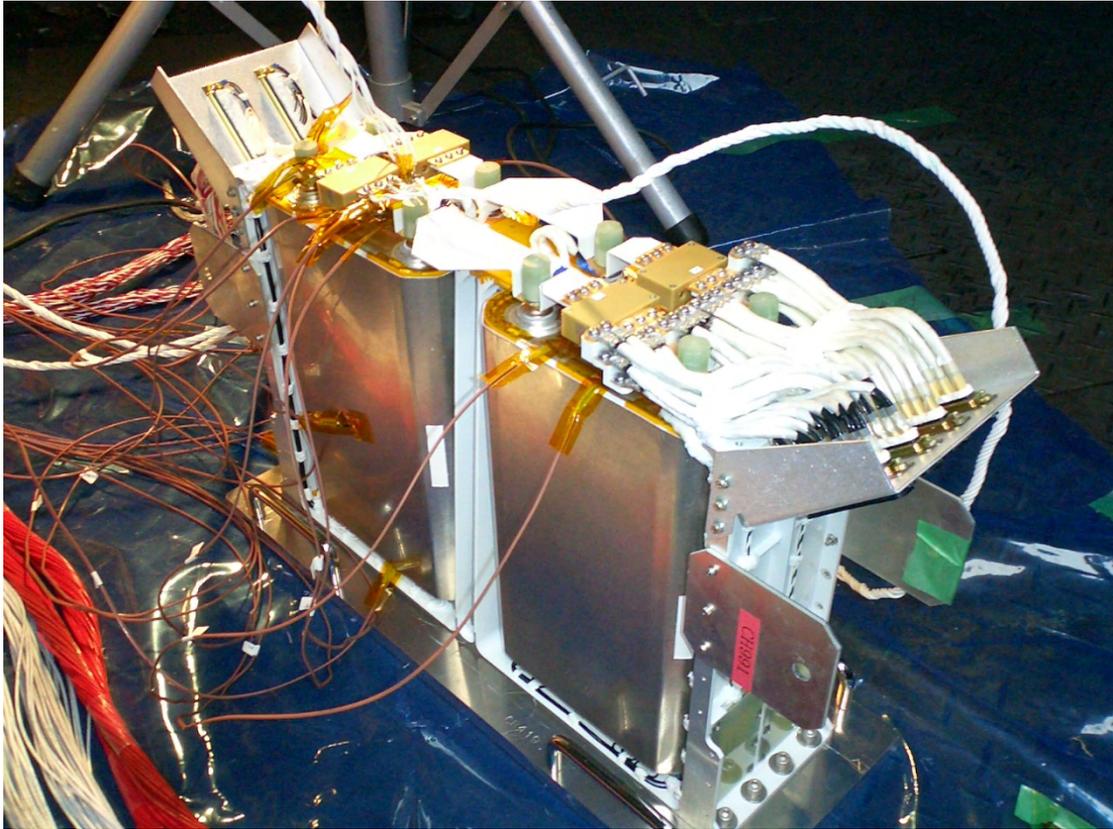


図 3.1.3.5-1 構成要素安全性評価モデル

3.1.3.5.2 構成要素安全性評価モデルの試験

(1) 試験計画

a. 構成要素安全性評価モデルの概要

構成要素安全性評価モデルについての概要および構成を以下に示す。構成要素安全性評価モデルは 4 セル構成のリチウムイオンバッテリーモジュールとする。

ア. セル

バッテリーセルは、175Ah セルを 4 セル直列構成である。

イ. 過電圧保護回路

過電圧保護機能及びバランシング機能を有した過電圧保護回路（PHIC）を、各セルに並列接続している。

ウ. バイパススイッチ

セル開放故障時にバッテリー機能を維持するためのバイパススイッチを各セルに並列接続している。

b. 試験の目的

準天頂衛星を始めとする次世代衛星にリチウムイオンバッテリーを搭載する際に、バッテリーの設定仕様以上の充電状態に曝されても異常を発生しないこと、バッテリー異常時に付属している保護回路（過電圧保護回路、バイパススイッチ）によりバッテリー機能が正常に保たれること、保護回路が誤動作した際の発煙、発火等の人的、物的異常を発生しないことを4セルモジュールにて評価し、十分な安全性を確保していることを確認する。

c. 試験項目

構成要素安全性評価試験として、過電圧保護回路動作試験、セル開放故障時動作試験、過放電試験（逆充電試験）、バイパススイッチ誤作動試験、過充電試験を実施した。

(2) 試験結果

a. 過電圧保護回路動作試験

過電圧保護回路が故障する等の異常動作は見られず、バッテリーとして正常に動作した。充電器の過充電保護機能が故障した場合でもバッテリー自身で過充電を防止できることが確認された。

図 3.1.3.5-2 に過電圧保護回路動作試験時の電圧特性を示す。

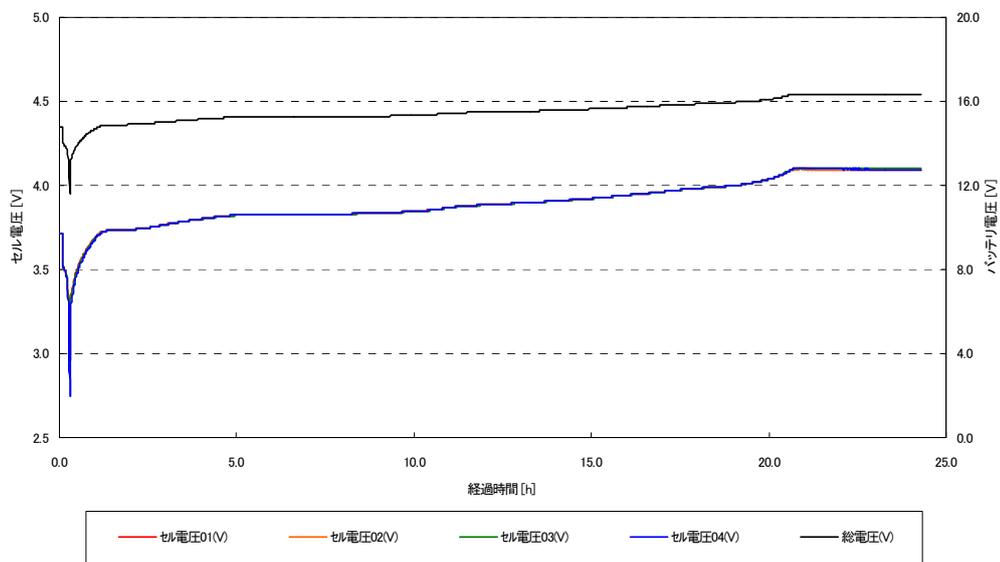


図 3. 1. 3. 5-2 過電圧保護回路動作試験時の電圧特性

b. 開放故障時動作試験

充電時に過電圧保護回路を経由して充電され、放電時にはバイパススイッチを経由して放電を継続することができた。バイパススイッチは予想通り動作したが、動作時間はバイパススイッチ認定試験時に部品単体で動作試験を行った時よりも長くなった。これはバッテリーに実装した際にバイパススイッチ内部のダイオードの発熱がバッテリー側に放熱して、動作温度となるまでに時間がかかったものと推測される。

本試験により、バッテリー内に開放故障セルが発生しても、過充電保護回路およびバイパススイッチにより、バッテリー機能が継続されることが確認された。

バイパススイッチ動作時間を表 3. 1. 3. 5-1 に示し、図 3. 1. 3. 5-3 にセル開放故障時動作試験のセル／バッテリー電圧モニタ結果を示す。

表 3. 1. 3. 5-1 バイパススイッチ動作時間

放電電流	動作時間
175A	2.4sec
87.5A	5.8sec
10A	246.2sec

[例. 87.5A 放電時]

(バイパススイッチ作動時拡大)

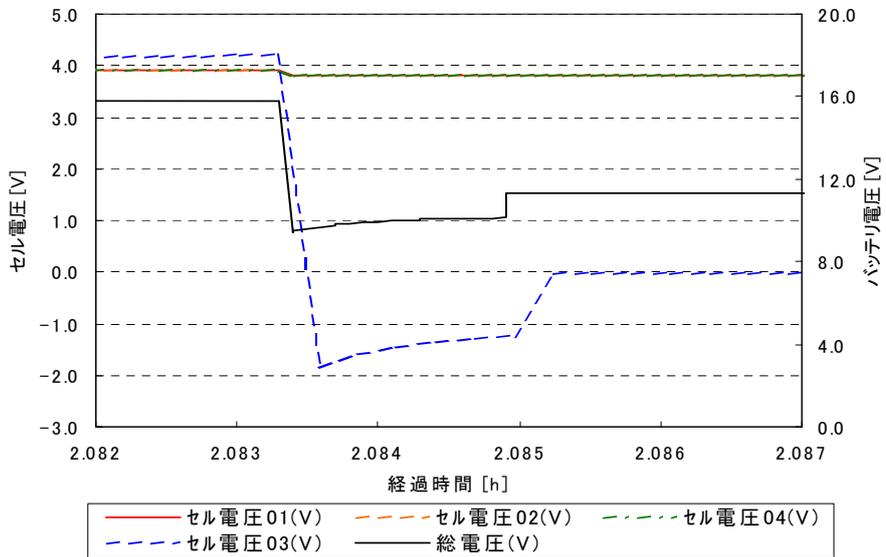
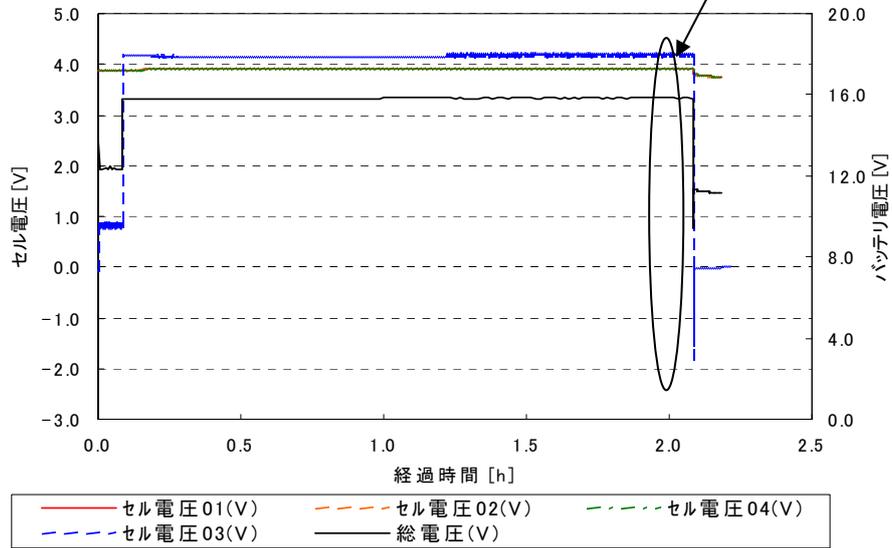


図 3.1.3.5-3 セル/バッテリー電圧モニタ (セル開放故障時動作試験)

c. 過放電試験(逆充電試験)

セル単体の過放電試験は逆充電時には最後にセルが内部短絡を起こす結果となっていたため、当初の予測ではセル内部短絡がスイッチの役割を果たすことによってバッテリー機能を継続させると考えていた。本試験の結果は、セルが内部短絡する前にバイパススイッチが動作して短絡状態となった(図3.1.3.5-4)。

セル自身も短絡現象を開始してはいたが、低抵抗状態(7Ω程度)で留まっていた。セルの化学反応に頼った機能維持よりも、抵抗値が安定しているバイパススイッチ動作の方がバッテリー機能上は望ましいと言える。本結果より、バッテリー内において極端に容量の少ないセルが存在し、なおかつ充電器の低電圧保護機能が作動しない場合においてもバイパススイッチは過放電時の保護機能を果たし、バッテリー機能を継続可能であることが確認された。

過放電試験時のセル/バッテリー電圧モニタ結果を図3.1.3.5-5に示す。

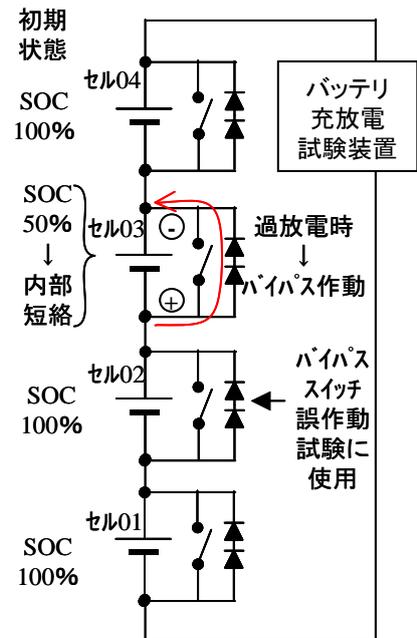


図 3. 1. 3. 5-4 バイパススイッチ作動の原理

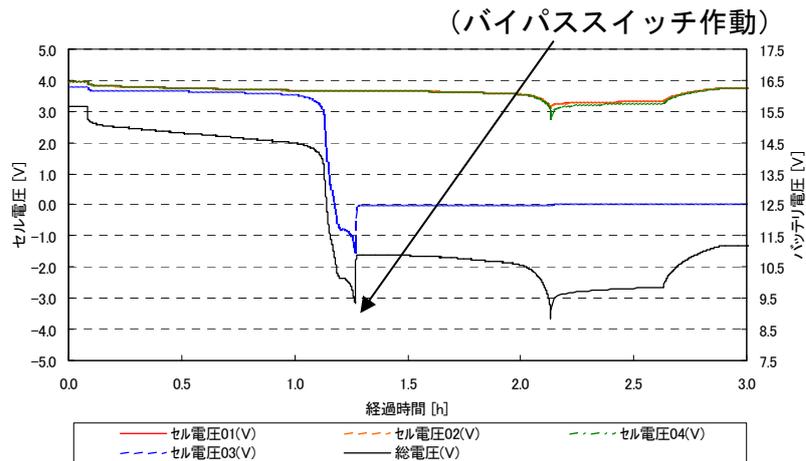


図 3. 1. 3. 5-5 セル/バッテリー電圧モニタ(過放電試験)

d. バイパススイッチ誤作動試験

バイパススイッチが誤作動した場合にはセルの外部短絡状態となるが、セル内部のヒューズリンク機能が働き、安全にセル開放故障状態となることが判明した。試験データからバイパススイッチが誤作動してからセル開放故障するまで、0.49秒であった。また、バイパススイッチについては短絡電流が数百から数千アンペア流れていたと予測されるが、端子の溶着や熱変形等の異常は発生していなかった。

本試験により、バッテリー内で任意のバイパススイッチが誤動作を起こし、健全なセルを短絡させた場合でも、セルのヒューズリンク機能が働き、バッテリー機能が安全に維持されることが確認された。

バイパススイッチ動作試験時のセル/バッテリー電圧モニタ結果を図3.1.3.5-6に示す。

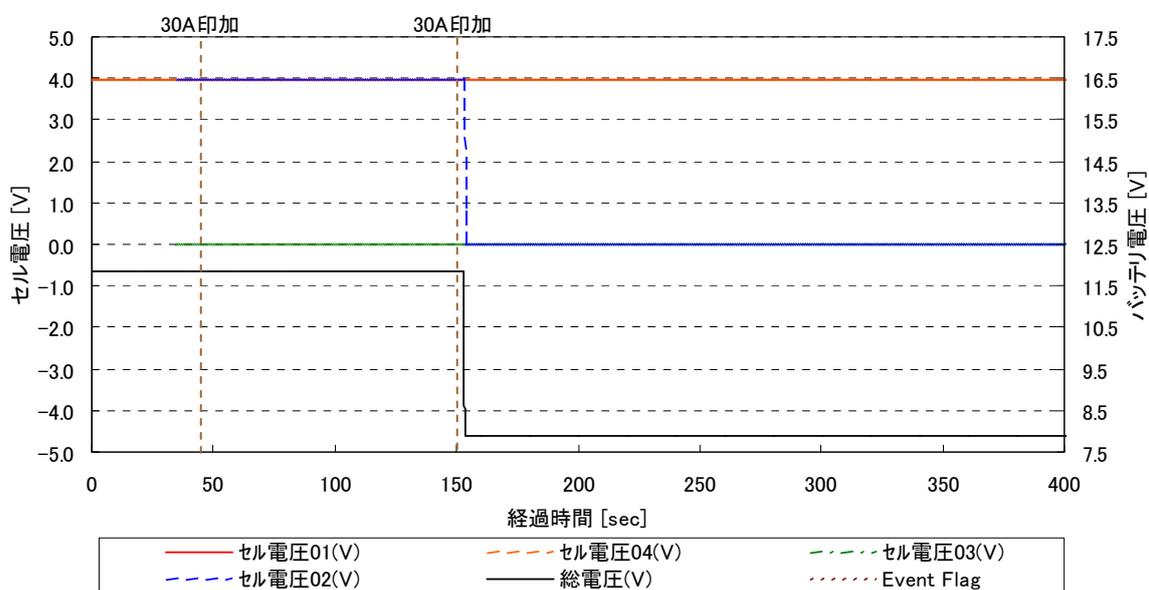


図 3.1.3.5-6 セル/バッテリー電圧モニタ(バイパススイッチ誤作動試験)

e. 過充電試験

SOC 200%の過充電を行ったが、セルが多少膨張したものの、セルからの電解液漏れ、破裂、発火、ケース破損等は一切発生しなかった。この結果から、本バッテリーは200%までの過充電耐性を持っていることが証明された。

参考として記すが、試験後の処置として200%過充電状態からSOC 0%まで完全放電してから解体処理を実施したが、放電は安全に実施することができた。ただし、この時の電気、機械、温度特性は保証しうるものでなく、一度200%まで過充電させたセルの再使用（再充放電）は危険であるためセルの製造メーカーより禁止事項として挙げられている。

図 3.1.3.5-7 にセル/バッテリー電圧モニタ・充電容量モニタ（過充電試験）結果を示す。

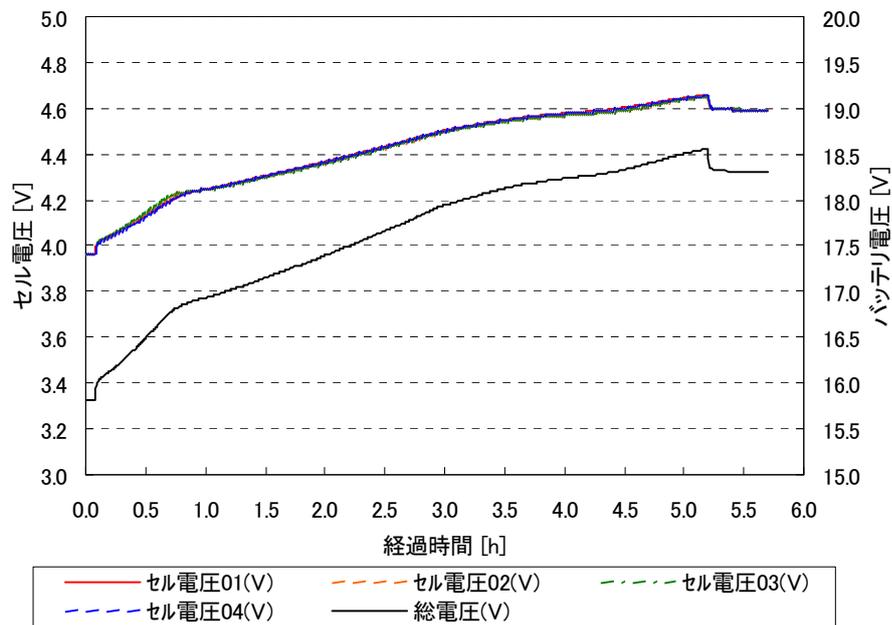
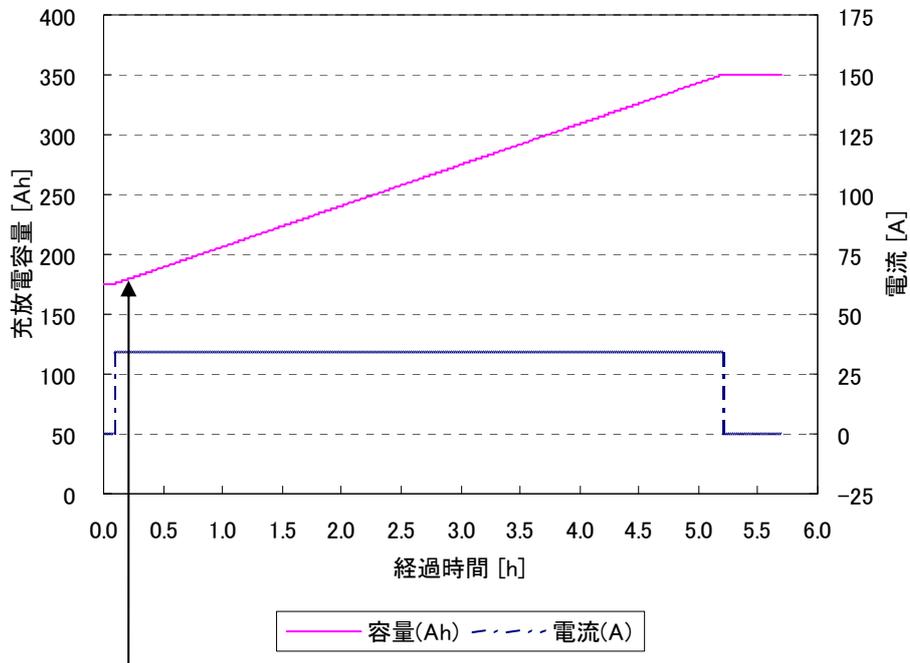


図 3.1.3.5-7 セル/バッテリー電圧モニタ（過充電試験）（1/2）

充電容量モニタ



注) バッテリーは SOC100%状態から充電開始

図 3.1.3.5-7 セル/バッテリー電圧モニタ・充電容量モニタ(過充電試験) (2/2)

3.1.3.5.3 まとめ

構成要素安全性評価試験での試験条件は、通常設計においては二重故障対策を実施しているために実際には起こりえない。また、検証試験にはある程度の危険が予測されるため、通常は構成要素（セル、保護回路等）単独で検証を行うものである。本試験ではこれら構成要素を実機どおりに組合わせた状態で、なおかつ起こりえない潜在的危険状態を人為的に作り出し、安全であることを確認するという他に例を見ない貴重な試験を実施した。

結果から、本バッテリーは BCM の故障、セルの故障、構成品（保護回路等）の故障等の潜在的危険に対して設計通りの非常に優れた安全性（電氣的、機械的）を持っていることが確認された。

3.1.3.6 寿命評価モデル

3.1.3.6.1 製造品外観

製作した LIBA 寿命評価モデルの外観を図 3.1.3.6-1 に示す。

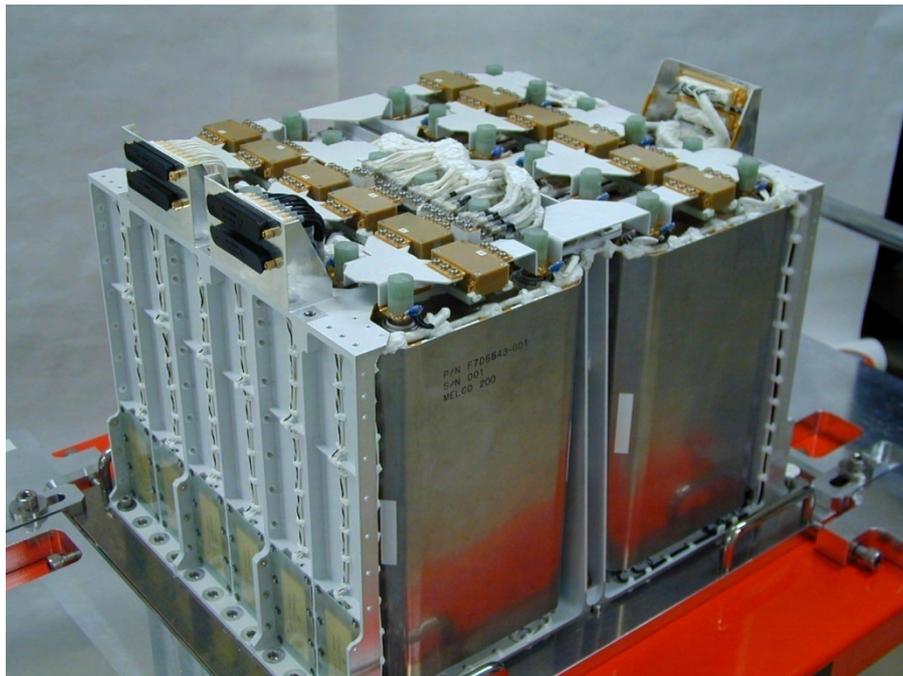


図 3.1.3.6-1 LIBA 寿命評価モデル

3.1.3.6.2 LABA 寿命評価モデルの試験

(1) LIBA 寿命評価モデルの試験計画

a. LIBA 寿命評価モデルの概要

LIBA 寿命評価モデルは基本構成の 12 セル構成のリチウムイオンバッテリーモジュールとする。本 LIBA 寿命評価モデルの構成を下記に示す。

ア. セル

バッテリーセルは、175Ah セルを 12 セル直列構成である。

イ. 過電圧保護回路

過電圧保護機能及びバランス機能をもつた過電圧保護回路 (PHIC) を、各セルに並列接続している。

ウ. バイパススイッチ

セル開放故障時にバッテリー機能を維持するためのバイパススイッチを各セルに並列接続している。

b. 試験の目的

本研究開発の最終目標のひとつである LIBA の寿命 15 年（静止軌道）を確認する。また、準天頂衛星を始めとした次世代衛星に LIBA を搭載する際に、LIBA が設計寿命を満足することを解析するために、準天頂衛星の特殊な運用条件を評価・解析するためのパラメータを取得する。

c. 試験項目

寿命評価モデルの試験として、初期性能試験（検査、初期電気性能試験）、寿命試験（容量確認試験、サイクル試験）、最終性能試験（検査、最終電気性能試験）を実施した。

ア. 寿命試験条件

寿命試験は図 3.1.3.6-2 のフローチャートのように容量確認試験と寿命サイクル試験を交互に繰り返して行う。寿命サイクル試験 300 サイクル毎に容量確認試験を行い、300 サイクル毎にサイクル条件を変更する。寿命サイクル試験はトータル 1500 サイクル以上を目標とし、可能な限り継続する。

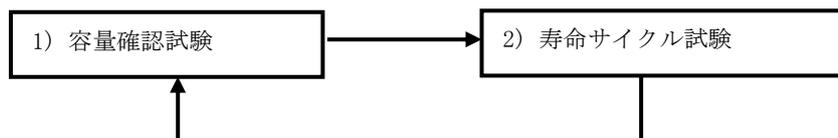


図 3.1.3.6-2 寿命試験フローチャート

イ. 試験プロファイル

寿命サイクル試験は、表 3.1.3.6-1 のプロファイルにて試験を行う。

表 3.1.3.6-1 寿命サイクル試験プロファイル

No	サイクル数	動作モード	電流設定	CV設定	移行条件	備考
1	300	CC 放電	87.5A	—	(*2) (*3)	温度：15°C 300 サイクル終了後容量 確認試験を実施する。 約 7.3 時間/サイクル 約 92 日/300 サイクル
2		CC/CV 充電	35.0A	46.8V (*2)	(*4)	
3		CC 放電	87.5A	—	(*2) (*5)	
4		CC/CV 充電	35.0A	46.8V (*2)	4 時間 (*1)	
5		休止	—	—	(*6)	

(*1)：充電時間が達した時点で移行する。

(*2)：いずれかのセル EODV 値(放電終止電圧)が 3.50V を下回った場合に、次サイクルから充電時の LIBA_EOCV 値(初期値 46.8V)を 0.1V 上昇させて試験を継続する。LIBA_EOCV 上限値は 48.8V とし、以降は LIBA_EOCV 値を変更せず、セル EODV 値を 2.75V に設定変更して試験を継続する。

(*3)：指定時間経過後移行する。

(*4)：時間ではなく、充電容量値を移行条件とする

(*5)：指定時間経過後移行する。各サイクルにおける条件は表 3.1.3.6-2 による。

(*6)：指定時間経過後移行する。各サイクルにおける条件は表 3.1.3.6-2 による。

表 3.1.3.6-2 寿命サイクル試験移行条件

移行条件	サイクル数					
	1~300	301~600	601~900	901~1200	1201~1500	1501~
(*3)	72 分	72 分	72 分	36 分	36 分	最初に戻る
(*4)	+87.5Ah	+70.0Ah	+52.5Ah	+35.0Ah	+17.5Ah	最初に戻る
(*5)	36 分	36 分	36 分	60 分	48 分	最初に戻る
(*6)	0 分	0 分	0 分	42 分	84 分	最初に戻る

(2) 試験結果

a. 初期性能試験

試験に関し特に問題はなく、所望の結果が得られた。

b. 初期容量確認試験

初期容量確認（平成 17 年度実施）を実施し、セル電圧、バッテリー総電圧、各温度、DC インピーダンス、充放電容量を確認した。

取得結果については規格設定を行っていないが、LIBA の他モデル（認定モデル等）と比較しても遜色のない結果が得られており、初期データとしては所望の結果が得られた。今後、本結果が基準となり、寿命試験を継続する。

c. 寿命サイクル試験

平成 18 年度で 600 サイクルまで終了した寿命サイクル試験を継続し、データの取得を行った。平成 19 年度は寿命サイクル試験を 1500 サイクルまで終了した。なお、900 サイクル終了後には寿命サイクル試験の EOCV 値を 48.8V まで上昇させたために容量確認の CV 値も 48.8V として実施したが、300 サイクル終了後、600 サイクル終了後の容量確認試験とのトレンドがわかりにくいため、1200 サイクル終了後では容量確認の CV 値を 47.8V と 48.8V として実施している。

ア. 容量低下特性

図 3.1.3.6-3 に LIBA の容量低下特性を示す。同図には、容量確認 CV 値：47.8V に対するシミュレーション結果を示している。試験結果とシミュレーション結果を比較すると、試験結果の方がシミュレーション結果を下回っており、300 サイクル時には約 5Ah の差であったものが目標サイクル数の 1500 サイクル時には約 10Ah の差になっており、その差が広がる傾向が得られた。

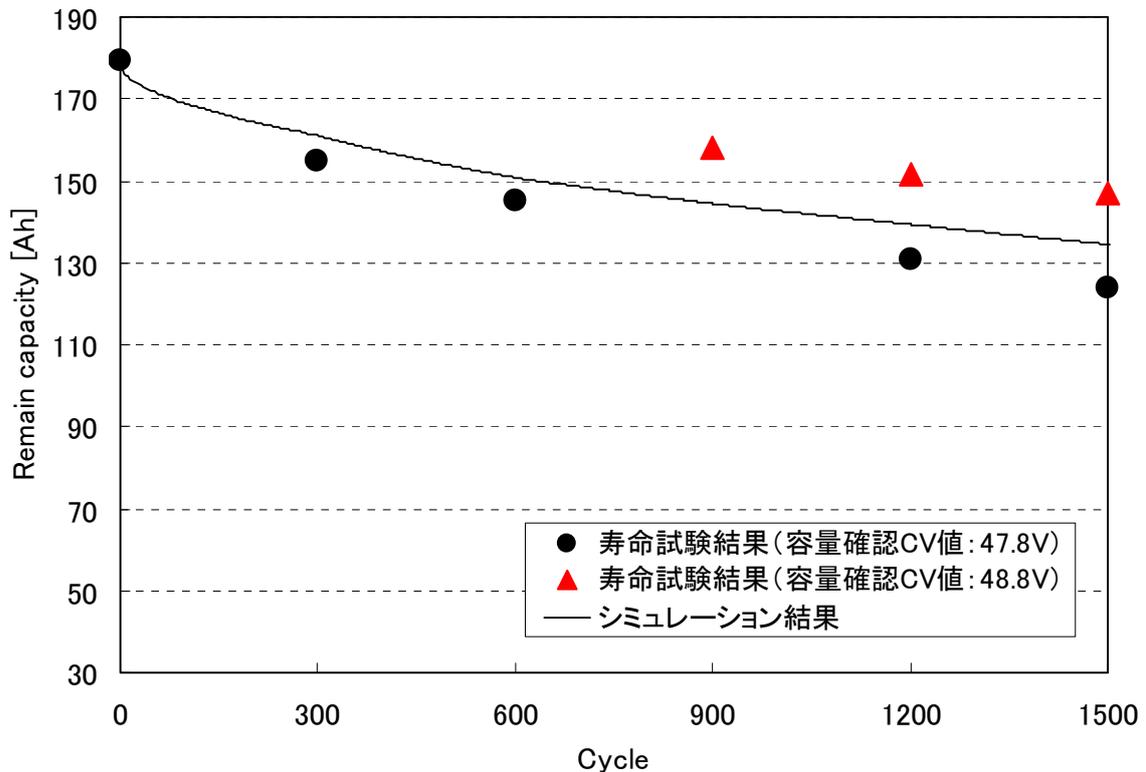


図 3.1.3.6-3 LIBA の容量低下特性

(3) 容量低下を考慮した 15 年寿命に対する評価

LIBA の寿命試験結果より、セル特性のバラツキによってバッテリー容量が 7～8%程度減少したように見えることがわかった。これを考慮して準天頂衛星模擬試験パターンおよび静止衛星模擬パターンに対するシミュレーションを行った。目標およびシミュレーション条件は以下のとおりである。

a. 準天頂衛星模擬試験

<目標>

- ・ 準天頂衛星模擬試験条件における 15 年 (90 サイクル/年×15 年=1350 サイクル) の運用
- ・ 残存容量 140Ah+バラツキ分約 10Ah を考慮して 150Ah
- ・ 最大電圧 4.13V 以下

[シミュレーション条件]

- ・ 期間：30 シーズン (15 年)
- ・ 1 シーズン条件

日陰期：45 日間（温度 15℃；ノミナル運用として設定）

充放電パターン：準天頂衛星模擬試験パターン
（DOD60%+DOD30%の組合せ）

日照期：137.5 日間（温度 0℃；AT 温度下限値を設定）

- EOCV 初期値：47.76V（3.98V/セル×12セル）

- ステップチャージ条件

EOCV 電圧：49.56（4.13V/セル）まで 0.6V ずつ段階的に上昇

図 3.1.3.6-4 にシミュレーション結果を示す。同図からわかるように、約 6 年目で 47.76V→48.36V（4.03V/セル）に、約 11 年目で 48.96V（4.08V/セル）に、約 14 年目で 49.56V（4.13V/セル）に LIBA の電圧を上昇させることで寿命シミュレーションを実施した結果、目標 15 年後において十分な容量（140Ah+バラツキ分 10Ah を考慮）を確保できることを確認した。

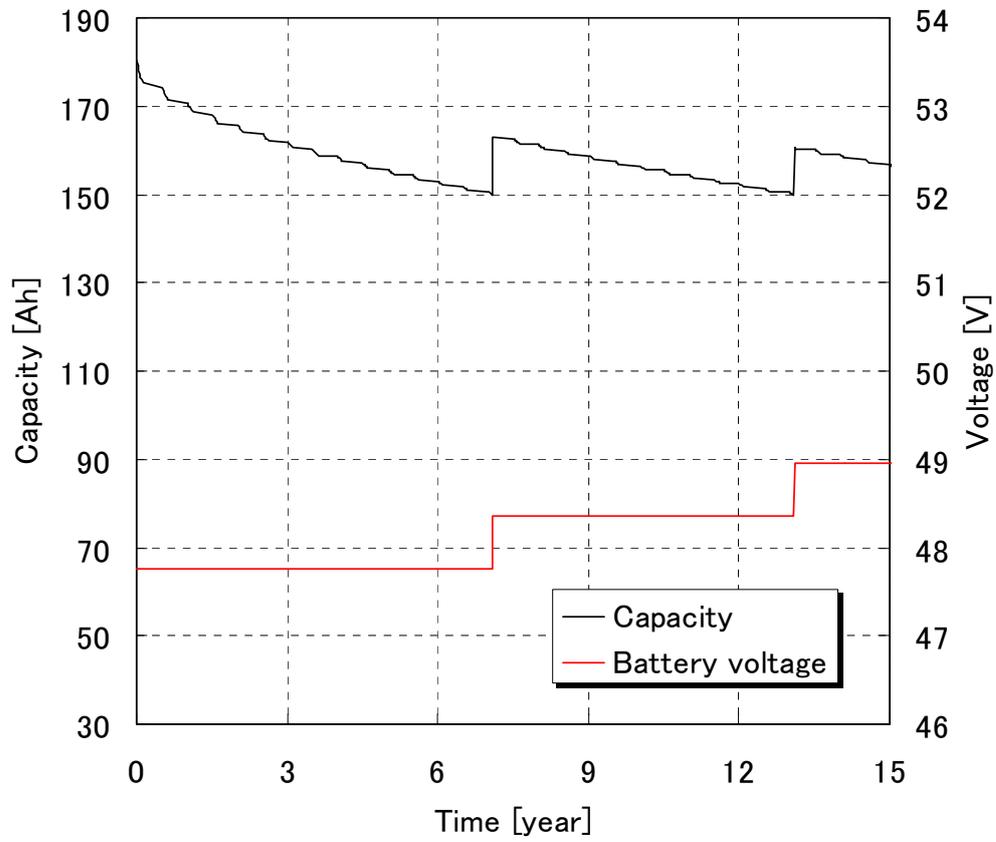


図 3.1.3.6-4 準天頂衛星模擬シミュレーション

b. 静止衛星模擬試験

<目標>

静止軌道衛星条件における15年(90サイクル/年×15年=1350サイクル)後に、容量保持率70%(122.5Ah)以上の確保

・シミュレーション条件

日陰期：45日@15℃

充放電パターン：DOD60%

日照期：137.5日@0℃

図3.1.3.6-5にシミュレーション結果を示す。

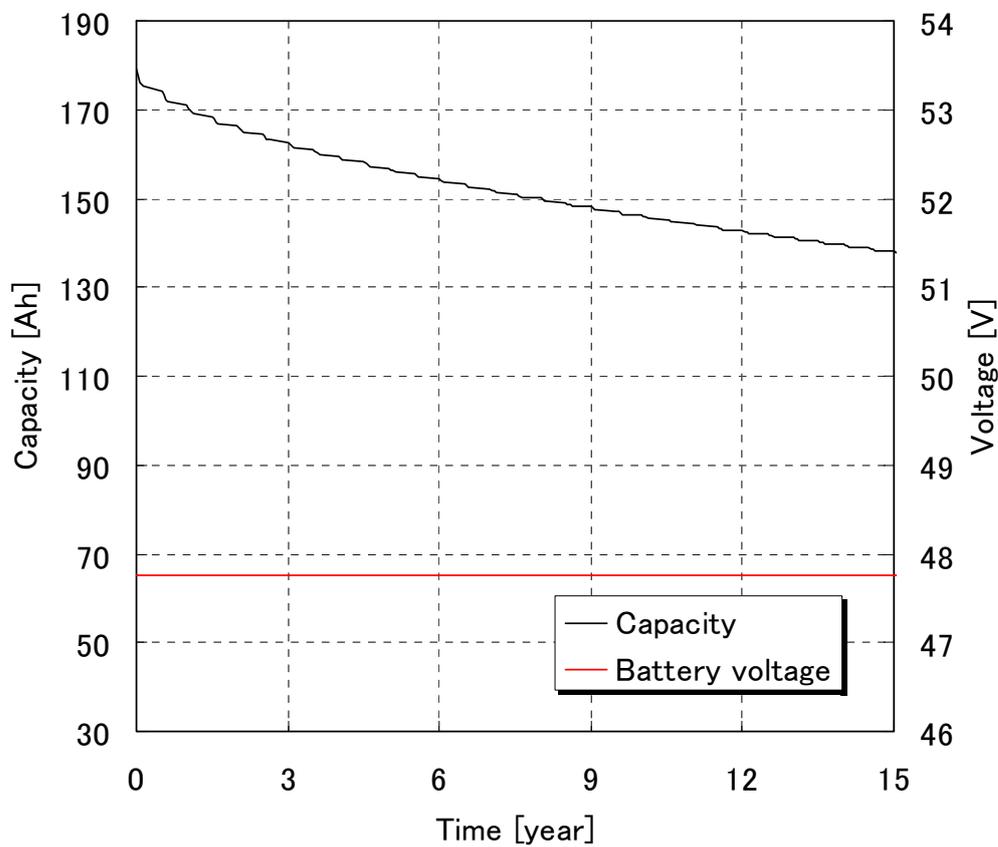


図3.1.3.6-5 静止衛星模擬シミュレーション

セル特性のバラツキを考慮して準天頂衛星模擬条件よりも運用条件が軽い静止軌道衛星条件についても寿命シミュレーションを実施した結果、目標15年後において十分な容量(容量保持率70%+バラツキ分10Ahを考慮)を確保できることを確認した。

15年経過時：138.6 Ah、

容量保持率：138.6Ah／175Ah＝79 %

(4) 最終性能試験

最終性能試験は、寿命評価試験の最後に LIBA 寿命末期の電気性能を確認するために実施した。

初期性能試験とデータをよく比較評価した結果有意な差はなく、LIBA 寿命評価モデルは正常であることを確認した。

(5) 最終検査

a. 外観検査

外観検査の結果、寿命試験後においても外観に異常がないことを確認した。

b. 寸法・質量測定

寸法・質量測定の結果、寸法・質量ともに寿命試験後においても規格を満たしており、有意な変化がないことを確認した。

c. 導通検査

導通検査の結果、セル端子及びジャンに接続されている配線の断線がないことを確認し、寿命試験後においても有意な変化がないことを確認した。

d. 絶縁検査

絶縁検査の結果、LIBA が設定の絶縁を確保していることを確認し、寿命試験後においても有意な変化がないことを確認した。

3.1.3.6.3 まとめ

- (1) LIBA 寿命評価モデル試験の結果、目標値である 1500 サイクル（15 年間のサイクル数に相当する 1350 サイクル以上）を完了した。
- (2) 充放電サイクルが増加することによって、セルの容量バラツキや自己放電量のバラツキが現れてくる。運用末期でのセル容量のバラツキとしては約 10Ah 発生している。
- (3) 運用末期でのセル容量のバラツキを考慮した寿命シミュレーションの結果、準天頂衛星模擬試験条件における 15 年（90 サイクル/年×15 年=1350 サイクル）の運用を達成できる結果を得た。
- (4) LIBA の準天頂衛星模擬試験の結果、セルの準天頂模擬試験結果と同様に 15 年寿命を達成できることを確認した。
- (5) セル単体の寿命試験、LIBA 寿命試験の結果を基に静止軌道での寿命シミュレーションを行った結果、15 年寿命を達成できることを確認した。
- (6) LIBA の最終性能試験の結果、上記(2)に記載したように充放電サイクルの増加のためにセル容量のバラツキが発生し、その影響によって予測されたバッテリー容量よりも低下が見られているが、バッテリー性能においては寿命試験後も有意な変化がないことを確認した。

3.1.3.7 検証モデル

3.1.3.7.1 LIBA 検証モデルの製作

(1) 製造品外観

LIBA 検証モデルの製品外観を図 3.1.3.7-1 に示す。

バッテリーは、下記から構成される。

- ・ 175Ah セルの 16 セル直列構成。
- ・ 過電圧保護回路（各セルに並列接続）
- ・ バイパススイッチ（各セルに並列接続）



図 3.1.3.7-1 LIBA 検証モデル外観

3.1.3.7.2 LIBA 検証モデルの試験

次世代衛星に要求されるミッションの大型化・高度化に対して適合させるために開発を行った衛星搭載用リチウムイオンバッテリーについて、以下を試験目的として初期検査、ベースライン試験、振動試験、熱真空試験、最終試験、最終検査を行った。

<試験の目的>

- 最終目標のエネルギー密度、電力容量、質量が達成できることを確認する。
- 準天頂測位衛星の要求仕様を満足することを確認する
-

試験マトリクスを表 3.1.3.7-1 に示す。

表 3.1.3.7-1 LIBA 試験/検査マトリクス

試験/検査名称 試験/検査項目	プロトフライト試験						
	初期検査	ベースライン試験	振動試験 (*3)	振動後試験 (*3)	熱真空試験	最終試験	最終検査
外観検査	○			○			○
寸法・質量測定	○						○
導通検査	○						○
絶縁検査	○						○
セル電圧/バッテリー電圧		○		○		○	
セル電位測定		○		○		○	
AC インピーダンス		○		○		○	
充放電特性		○ (*1)			○ (*2)	○ (*1)	
パルス放電特性		○					
DC インピーダンス		○			○	○	
温度センサー特性		○			○	○	
充電リテンション						○ (*4)	
過電圧保護回路動作特性						○	
エネルギー密度特性						○	
正弦波振動試験			○				
ランダム振動試験			○				

(*1) 試験は 15°C の温度環境下で測定すること。

(*2) 試験は -10°C、15°C、35°C の温度環境下で測定すること。

(1) LIBA 検証モデルの試験結果

a. 初期検査

ア. 外観検査

外観検査の結果、外観に異常がないことを確認した。

イ. 寸法・質量測定

寸法・質量ともに規格を満たしていることを確認した。

ウ. 導通検査

導通検査の結果、セル端子及びシャシに接続されている配線の断線がないこと、また、サーミスタ・ヒータにおいても断線がないことを確認し、設計どおりに製造されていること確認した。

エ. 絶縁検査

絶縁検査の結果、LIBA が設定の絶縁を確保していることを確認し、設計どおりに製造されていること確認した。

b. ベースライン試験

ア. セル電圧／バッテリー電圧

セル電圧／バッテリー電圧測定の結果、各セル電圧およびバッテリーの電圧は規格を満たしており、正常であることを確認した。

イ. セル電位測定

セル電位測定の結果、+端子～セルケース間の電位、およびセルケース～端子間は規格を満たしており、正常であることを確認した。

ウ. AC インピーダンス

AC インピーダンス測定の結果、バッテリーの AC インピーダンスは規格を満たしており、正常であることを確認した。

エ. 充放電特性

温度 15°Cにおける充放電特性は、規格の容量 (175Ah) 以上であり、正常であることを確認した。図 3.1.3.7-2 に充放電特性を示す。

オ. パルス放電特性

パルス放電試験の結果、各 DOD (DOD5%毎)のタイミングでパルス放電が可能であることを確認した。

カ. DC インピーダンス

DC インピーダンス測定の結果、各温度において規格を満たしており、問題ないことを確認した。

キ. 温度センサー特性

温度センサー特性は、各温度設定に対して全て規格を満たしており、問題ないことを確認した。

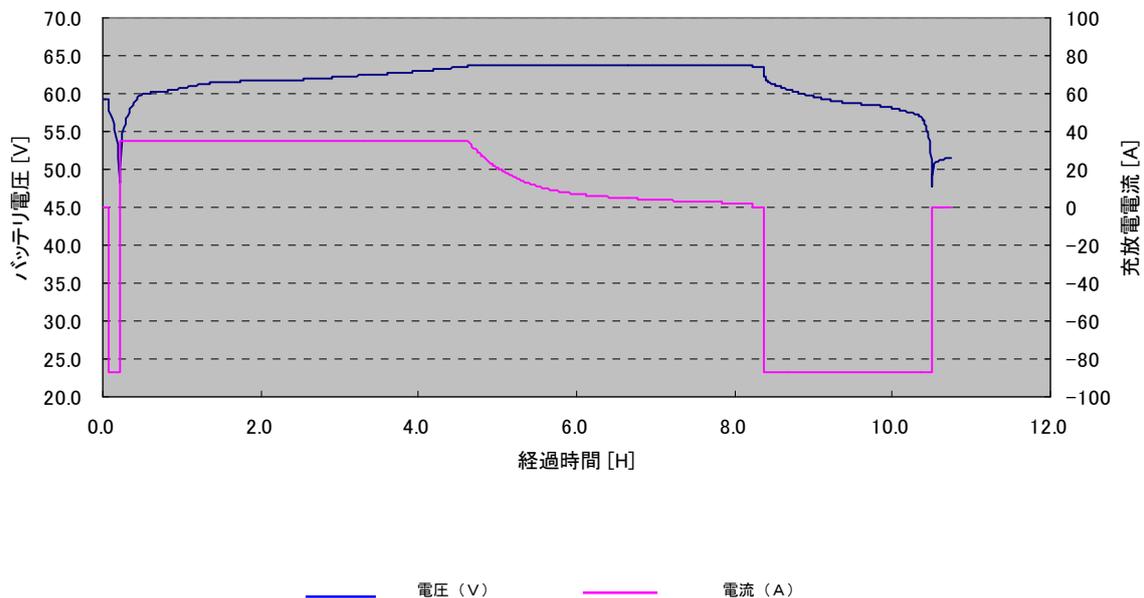


図 3.1.3.7-2 充放電特性

c. 振動試験

振動試験は準天頂測位衛星システムからの要求レベルにより実施した。

ア. 正弦波振動試験

正弦波振動試験の結果、X 軸、Y 軸、Z 軸の全てにおいて、加振前後および加振中の電圧変動は規格値を十分満足しており、問題ないことを確認した。また、正弦波振動試験の前後で実施したモダルスurveyにより 1 次共振周波数が規格の 120Hz 以上を全ての軸で満たしていること、正弦波振動によって 1 次共振周波数の変動率も 10%以下の規格を満たしていることを確認した。正弦波振動試験後の外観検査においても異常がないことより、バッテリーが設計上の機械強度を有することを確認した。

イ. ランダム振動試験

ランダム振動試験の結果、X 軸、Y 軸、Z 軸の全てにおいて、加振前後および加振中の電圧変動は規格値を十分満足しており、問題ないことを確認した。また、ランダム振動試験の前後で実施したモダルスurveyにより 1 次共振周波数が規格の 120Hz 以上を全ての軸で満たしていること、ランダム振動によって 1 次共振周波数の変動率も 10%以下の規格を満たしていることを確認した。ランダム振動試験後の外観検査においても異常がないことより、バッテリーが設計上の機械強度を有することを確認した。

d. 振動後試験

ア. 外観検査

振動試験後の外観検査の結果、外観に異常がないことを確認した。

イ. セル電圧／バッテリー電圧

セル電圧／バッテリー電圧測定の結果、各セル電圧およびバッテリーの電圧は規格を満たしており、正常であることを確認した。

ウ. セル電位測定

セル電位測定の結果、+端子～セルケース間の電位、およびセルケース～端子間は規格を満たしており、正常であることを確認した。

エ. AC インピーダンス

AC インピーダンス測定の結果、バッテリーの AC インピーダンスは規格を満たしており、正常であることを確認した。

e. 熱真空試験

熱真空試験の結果、大気中と同様の充放電特性を有することを確認した。

ア. 充放電特性

温度 15°Cにおける充放電特性は、規格の容量 (175Ah) 以上であり、正常であることを確認した。なお、温度-10°Cおよび 35°Cの容量は参考値扱いである。図 3. 1. 3. 7-3 に充放電特性を示す。

イ. DC インピーダンス

DC インピーダンス測定の結果、各温度において規格を満たしており、問題ないことを確認した。

ウ. 温度センサー特性

温度センサー特性は、各温度設定に対して全て規格を満たしており、問題ないことを確認した。

f. 最終試験

ア. セル電圧／バッテリー電圧

セル電圧／バッテリー電圧測定の結果、各セル電圧およびバッテリーの電圧は規格を満たしており、正常であることを確認した。

イ. セル電位測定

セル電位測定の結果、+端子～セルケース間の電位、およびセルケース～端子間は規格を満たしており、正常であることを確認した。

ウ. AC インピーダンス

AC インピーダンス測定の結果、バッテリーの AC インピーダンスは規格を満

たしており、正常であることを確認した。

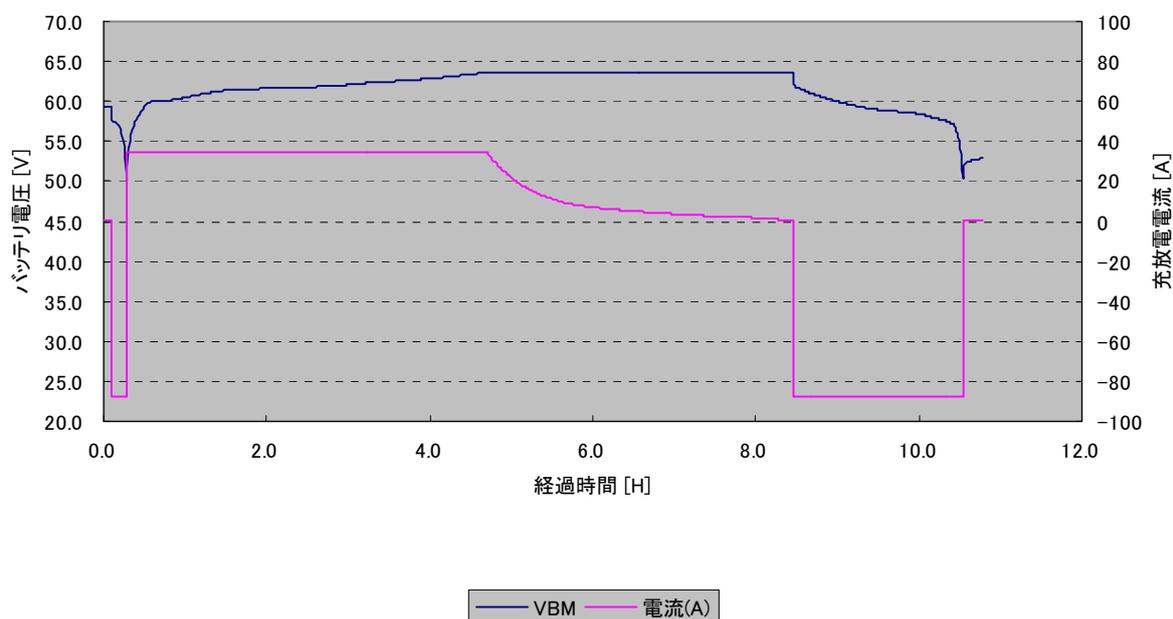


図 3. 1. 3. 7-3 充放電特性 (初期サイクル@15°C)

エ. 充放電特性

温度 15°Cにおける充放電特性は、規格の容量 (175Ah) 以上であり、正常であることを確認した。

オ. DC インピーダンス

DC インピーダンス測定の結果、各温度において規格を満たしており、問題ないことを確認した。

カ. 温度センサー特性

温度センサー特性は、各温度設定に対して全て規格を満たしており、問題ないことを確認した。

キ. 過電圧保護回路動作特性

過電圧保護回路動作試験の結果、全 PHIC の動作信号状態は正常に HIGH から LOW へ移行した。また、その時のバッテリー電圧は 66.56V、各セル電圧は 4.156~4.159V の範囲で安定した結果が得られ、規格値であるバッテリー電圧 66.2~66.8V、セル電圧 4.14~4.18V を満足したことより、正常に動作していることを確認した。

ク. エネルギー密度算出

バッテリーの放電容量およびバッテリー質量の計算結果からエネルギー密度を算出した結果、LIBA のエネルギー密度は 120Wh/kg 以上であり、目標値を達成した。算出条件を以下に示す。

バッテリー充電電圧：66.4V（1セルあたりの充電電圧：4.15V）
放電電力容量：12.74kWh
バッテリー計算質量：99.2kg（衛星特有部品として ODC 用部品を除く質量）
（LIBA 検証モデルの実測質量：99.52kg）
エネルギー密度： $12.74 \times 10^3 \text{Wh} / 99.2 \text{kg} = 128.4 \text{Wh/kg}$
（LIBA 検証モデル： $12.74 \times 10^3 \text{Wh} / 99.5 \text{kg} = 128.0 \text{Wh/kg}$ ）

ケ. 充電リテンション

充電リテンション試験の結果、規格を満足しており問題ないことを確認した。

g. 最終検査

ア. 外観検査

外観検査の結果、外観に異常がないことを確認し、試験後の状態において問題のないことを確認した。

イ. 寸法・質量測定

寸法・質量測定の結果、寸法・質量ともに規格を満たしており、試験後の状態において問題のないことを確認した。

ウ. 導通検査

導通検査の結果、セル端子及びシャシに接続されている配線の断線がないこと、また、サーミスタ・ヒータにおいても断線がないことを確認し、試験後の状態において問題のないことを確認した。

エ. 絶縁検査

絶縁検査の結果、LIBA が設定の絶縁を確保していることを確認し、試験後の状態において問題のないことを確認した。

3.1.3.7.3 まとめ

LIBA 検証モデルを製作し、試験（プロトフライト試験）を実施した。以下に結果をまとめる。

今回製作した LIBA 検証モデルのエネルギー密度測定の結果、128.4Wh/kg であった。この結果、最終目標値であるエネルギー密度 120Wh/kg 以上を達成した。

LIBA 検証モデルでは 16 セルモジュール構成であるが、最終目標値としては 20 セルモジュール 2 台構成を想定して設定している。表 3.1.3.7-2 に 20 セルモジュール構成の質量の内訳（計算値）を示す。この結果、20 セルモジュール 1 台あたりの質量は 123.9kg、2 台では 247.8kg となり、質量においても目標値である 250kg 以下を達成できる見通しを得た。

なお、放電容量については、16セルモジュールの放電電力容量 12.74kWh であるので、20セルモジュール1台あたりの放電電力容量は、

$$12.74\text{kWh}/16\text{セル}\times 20\text{セル}=15.925\text{kWh}$$

となる。

最終目標を設定した時のモデルでは20セルモジュール2台であるため、

$$15.925\text{kWh}\times 2\text{台}=31.85\text{kWh}$$

となり、放電電力容量 30kWh 以上になることを確認した。

表 3.1.4.7-3 に研究開発目標に対する評価結果を示す。

表 3.1.3.7-2 20セルモジュール質量

構成品	ノミナル質量	数量	16セルモジュール	20セルモジュール
リチウムイオンセル	4.69kg	20個	75.0kg	93.8kg
バイパススイッチ	47g	20個	0.8kg	0.9kg
過電圧保護回路	48.2g	20個	0.8kg	1.0kg
その他			22.6kg	28.2kg
LIBA 質量合計 (1台あたり)			99.2kg	123.9kg
LIBA 20セルモジュール、2台の質量合計			—	247.8kg

表 3.1.3.7-3 研究開発目標に対する評価結果

	検証モデル	最終目標仮想モデル
バッテリー構成	16セルモジュール(1台)	20セルモジュール(2台)
質量	99.2kg	247.8kg
放電電力容量	12.74kWh	31.85kWh
エネルギー密度	128.4Wh/kg	128.5Wh/kg

準天頂測位衛星の環境条件下における LIBA の電気性能及び機械性能を評価した。その結果、電気特性は規格値を満たしており、また機械耐性、高真空下における熱サイクル等の耐環境設計仕様を満足することを確認した。これより、LIBA 検証モデルは準天頂測位衛星搭載バッテリーとして問題ないことを確認した。

3.1.4 バッテリー制御モジュール（BCM）の開発

3.1.4.1 開発モデル

3.1.4.1.1 BCM 開発モデルの製作

BCM 開発モデルは、バッテリー制御モジュールアセンブリ（BCM ASSY）とバッテリーインタフェースモジュールアセンブリ（BIM ASSY）から構成されている。

(1) バッテリー制御モジュールアセンブリ製作

バッテリー制御モジュールアセンブリの外観写真を、図 3.1.4.1-1 に示す。



図 3.1.4.1-1 バッテリー制御モジュールアセンブリの外観写真

(2) バッテリーインタフェースモジュールアセンブリ (BIM ASSY) 製作

バッテリーインタフェースモジュールアセンブリの外観写真を、図 3.1.4.1-2 に示す。



図 3.1.4.1-2 バッテリーインタフェースモジュールアセンブリ外観写真

3.1.4.1.2 BCM 開発モデル試験

(1) 目的・仕様

BCM ASSY 及び BIM ASSY が LIBS 性能要求を満たすことを確認するとともに、準天頂衛星を含む次世代衛星を模擬した環境条件に適合していることの確認を目的とする。

BCM 開発モデルの仕様を表 3.1.4.1-1 に示す。

(項目の LIBA については適用するリチウムイオンバッテリーの仕様を示す。)

表 3.1.4.1-1 BCM 開発モデルの仕様

項目	性能要求
電力の供給	5000W 以上 (BCM 出力端)
電力制御方式	(1) 日照時：フルシャント型デジタルシーケンシャルシャント方式及びバッテリー充電レギュレータによるバス電圧安定化 (2) 日陰時：バッテリー放電レギュレータによるバス電圧安定化
バス電圧制御	(1) 日照時：100.0 ~ 103.0 V @BCM 出力端 (BCR モード、SSU モード) (2) 日陰時：97.0 ~ 100.0 V @BCM 出力端 (BDR モード)
リチウムイオンバッテリーアセンブリ (LIBA)	(1) バッテリーセル : リチウムイオンバッテリー 175Ah (2) バッテリーセル段数 : 18 段/台 (3) 台数 : 1 台 (4) 最大放電深度 : 70% (5) 寿命 : 15 年以上
充電制御	バッテリー充電方式 : 定電流/定電圧制御 両端制御モード間の切替え設定電圧 (BVL) は、コマンドにより切替え可変のこと。 (2) バッテリー充電電流 : ノーマル充電時 9.8 ± 1.0 A トリクル充電時 2.8 ± 0.8 A
放電制御	(1) バッテリー放電制御 : 定電圧制御 (2) バッテリー放電電圧 : 56.1 ~ 73.8 V (3) BDR 出力電圧 : 100 +0/-3 V
シャント能力	最大 2.64A (シャント 1 素子当り) × 28 段

(2) BCM ASSY 開発モデル試験

a. BCM ASSY 開発モデルの概要

BCM ASSY は従来の静止衛星に搭載されていた電力制御器と同等の機能を有するコンポーネントであり、バス電圧制御、バッテリー充放電制御、シャント機能を有する。BCM ASSY は準天頂衛星を含む次世代衛星への搭載を念頭に設計されたものであり、放電器(BDR)の小型軽量化などがおこなわれている。

b. BCM ASSY 試験内容

BCM ASSY の試験内容を表 3.1.4.1-2 に示す。

なお、環境試験は準天頂測位衛星で要求されている環境レベルを基に実施した。

表 3.1.4.1-2 試験内容

項目	大項目									
小項目	外観検査	ベースライン試験	振動試験	振動後試験	衝撃試験	衝撃後試験	熱真空試験	電磁適合性試験	最終試験	外観検査
外観検査	○									○
導通検査		○								
絶縁検査		○								
バス電圧制御		○		○		○	○		○	
余剰電力制御		○		○		○	○		○	
充電制御		○		○		○	○		○	
BIM ASSY 駆動用電源供給		○		○		○	○		○	
消費電力測定		○		○		○	○		○	
バス電圧リップル		○		○		○	○		○	
トランジェント		○							○	
正弦波振動試験			○							
ランダム振動試験			○							
衝撃試験					○					
RE02								○		
RE01								○		
RS02								○		
RS03								○		
RS11								○		

(注) ○は適用を示す。

c. BCM ASSY 試験結果

ア. 試験サマリ

BCM ASSY 開発試験においては、規格を満足しており、測定結果はほぼ設計値通りである。また、データトレンド上も妥当な変動であり問題ない良好な結果である。

イ. 外観検査

外観に異常はなく試験実施に際して問題がないことを確認した。

ウ. ベースライン試験

① 導通検査評価

すべて規格を満足しており問題がないことを確認した。

② 絶縁検査評価

すべて規格を満足しており問題がないことを確認した。

③ バス電圧制御

・SSU モード

バス電圧はシャント段数に対応した値で制御され、規格を満足しており良好な結果であることを確認した。また、電力供給能力が 5000W 以上であり規格を満足していることを確認した。

・BCR モード

バス電圧は正常に制御され、規格を満足しており良好な結果であることを確認した。

・BDR モード

バス電圧は正常に制御され、規格を満足しており良好な結果であることを確認した。また、発熱量についても規格を満足していることを確認した。

電力供給能力が 5000W 以上であり規格を満足していることを確認した。

④ 余剰電力制御評価

余剰電力制御評価：2.64A 以上×28 段のシャント能力があることを確認した。

⑤ 充電制御評価

充電電流は充電モード 1 及び充電モード 2 共に規格を満足しており良好な結果であることを確認した。また BVL コマンドに対して正常に設定電圧で充電電流が絞られ、定電圧制御モードに移行することを確認した。

⑥ BIM ASSY 駆動用電源供給評価

29V、15V 共に規格を満足しており良好な結果であることを確認した。

- ⑦ 消費電力測定評価
消費電力は規格を満足しており良好な結果であることを確認した。
- ⑧ バス電圧リップル評価
バス電圧リップルは規格を満足しており良好な結果であることを確認した。
- ⑨ トランジェント評価
バス電圧変動は規格を満足しており良好な結果であることを確認した。

エ. 正弦波振動試験評価

- ① モーダルサーベイ
各軸において 1 次共振周波数は 100Hz 以上を満足しており、問題ないことを確認した。
- ② 正弦波振動
各軸において加振前後及び加振中に BCM ASSY のバス電圧に異常な変動がないことを確認した。
- ③ 加振後外観検査
各軸において加振後の外観に異常がないことを確認した。

オ. 振動後試験

- ① バス電圧制御評価
 - ・SSU モード
バス電圧はシャント段数に対応した値で制御され、規格を満足しており良好な結果であることを確認した。また、電力供給能力が 5000W 以上であり規格を満足していることを確認した。また、振動印加前の特性と有意な差がないことを確認した。
 - ・BCR モード
バス電圧は正常に制御され、規格を満足しており良好な結果であることを確認した。また、振動印加前の特性と有意な差がないことを確認した。
 - ・BDR モード
バス電圧は正常に制御され、規格を満足しており良好な結果であることを確認し、発熱量についても規格を満足していることを確認した。また、振動印加前の特性と有意な差がないことを確認した。
- ② 余剰電力制御評価
2.64A 以上×28 段のシャント能力があることを確認した。また、振動印加前の特性と有意な差がないことを確認した。
- ③ 充電制御評価
充電電流は充電モード 1 及び充電モード 2 共に規格を満足しており良好な結果であることを確認した。また BVL コマンドに対して正常に設定電圧で

充電電流が絞られ、定電圧制御モードに移行することを確認した。また、振動印加前の特性と有意な差がないことを確認した。

④ BIM ASSY 駆動用電源供給評価

29V、15V 共に規格を満足しており良好な結果であることを確認した。
また、振動印加前の特性と有意な差がないことを確認した。

⑤ 消費電力測定評価

消費電力は規格を満足しており良好な結果であることを確認した。
また、振動印加前の特性と有意な差がないことを確認した。

⑥ バス電圧リップル評価

バス電圧リップルは規格を満足しており良好な結果であることを確認した。また、振動印加前の特性と有意な差がないことを確認した。

イ. 衝撃試験

① 衝撃試験評価

・ 衝撃試験

衝撃中に BCM ASSY のバス電圧に異常な変動がないことを確認した。

・ 衝撃後外観検査

衝撃後の外観に異常がないことを確認した。

ウ. 衝撃後試験

① バス電圧制御評価

・ SSU モード

バス電圧はシャント段数に対応した値で制御され、規格を満足しており良好な結果であることを確認した。また、電力供給能力が 5000W 以上であり規格を満足していることを確認した。

衝撃印加前の特性と有意な差がないことを確認した。

・ BCR モード

バス電圧は正常に制御され、規格を満足しており良好な結果であることを確認した。

衝撃印加前の特性と有意な差がないことを確認した。

・ BDR モード

バス電圧は正常に制御され、規格を満足しており良好な結果であることを確認した。また、発熱量についても規格を満足していることを確認した。

衝撃印加前の特性と有意な差がないことを確認した。

② 余剰電力制御評価

2.64A 以上×28 段のシャント能力があることを確認した。また、衝撃印加前の特性と有意な差がないことを確認した。

③ 充電制御評価

充電電流は充電モード 1 及び充電モード 2 共に規格を満足しており良好な結果であることを確認した。また BVL コマンドに対して正常に設定電圧で充電電流が絞られ、定電圧制御モードに移行することを確認した。

衝撃印加前の特性と有意な差がないことを確認した。

④ BIM ASSY 駆動用電源供給評価

29V、15V 共に規格を満足しており良好な結果であることを確認した。

また、衝撃印加前の特性と有意な差がないことを確認した。

⑤ 消費電力測定評価

消費電力は規格を満足しており良好な結果であることを確認した。

また、衝撃印加前の特性と有意な差がないことを確認した。

⑥ バス電圧リップル評価

バス電圧リップルは規格を満足しており良好な結果であることを確認した。また、衝撃印加前の特性と有意な差がないことを確認した。

エ. 熱真空試験

① 放電チェック

BDR モード/負荷電力 450W において、真空度移行中のバス電圧をモニタし、異常な変動の無いことを確認した。

② ターンオン試験

図 3.1.5.1-4 に示すプロファイルにおいて、ターンオンを実施し、問題なく動作することを確認した。

③ 余剰電力制御評価

2.64A 以上×28 段のシャント能力があることを確認した。また、常温環境下の特性と有意な差がないことを確認した。

④ 充電制御評価

充電電流は充電モード 1 及び充電モード 2 共に規格を満足しており良好な結果であることを確認した。また BVL コマンドに対して正常に設定電圧で充電電流が絞られ、定電圧制御モードに移行することを確認した。

⑤ BIM ASSY 駆動用電源供給評価

29V、15V 共に規格を満足しており良好な結果であることを確認した。

また、常温環境下の特性と有意な差がないことを確認した。

⑥ 消費電力測定評価

消費電力は規格を満足しており良好な結果であることを確認した。

また、常温環境下の特性と有意な差がないことを確認した。

⑦ バス電圧リップル評価

バス電圧リップルは規格を満足しており良好な結果であることを確認し

た。また、常温環境下の特性と有意な差がないことを確認した。

⑧ RE01(磁界放射雑音限界)測定評価

BCM ASSY から発せられる磁界放射雑音は各モードにおいて規格値以下であり、問題ないことを確認した。

⑨ RS02(磁界放射感受性限界)測定評価

誘導磁界放射印加前後及び印加中、各モードにてバス電圧に異常な変動がないことを確認した。

⑩ RS03(電界放射感受性限界)測定評価

電界放射印加前後及び印加中、各モードにてバス電圧に異常な変動がないことを確認した。

⑪ RS11(静電干渉限界)測定評価

アーク放電印加前後及び印加中、各モードにてバス電圧に異常な変動がないことを確認した。

オ. 最終試験

最終試験は衝撃後試験結果を参照。但し、トランジェンと試験結果については、バス電圧変動が規格を満足しており良好な結果であることを確認した。

カ. 外観検査

① 外観検査評価

すべての環境試験終了後、外観に異常はなく問題がないことを確認した。

d. まとめ

BCM ASSY 開発モデルを製作し、準天頂測位衛星の環境条件下における環境試験を実施し、BCM ASSY の電気性能及び機械性能の規格をすべて満足し、設計が妥当であることが確認された。その結果、準天頂衛星を含む次世代衛星を模擬した環境条件に耐環境性を有しており問題ないことを確認した。

(3) BIM ASSY 開発モデル試験

a. BIM ASSY 開発モデルの概要

BIM ASSY は準天頂測位衛星を含む次世代衛星への搭載を念頭に設計されたものであり、セル電圧モニタ機能、バッテリー電圧モニター機能、バッテリー出力切り替え機能(リレースイッチ)を有する。

試験内容を表 3.1.4.1-3 に示す。

表 3.1.4.1-3 試験項目

項目	大項目									
小項目	外観 検査	ベース ライン 試験	振動 試験	振動 後試験	衝撃 試験	衝撃 後試験	熱真空 試験	電磁 適合性 試験	最終 試験	外観 検査
外観検査	○									○
導通検査		○								
絶縁検査		○								
セル電圧テレ メトリ測定		○		○		○	○		○	
バッテリー電 圧テレメトリ 測定		○		○		○	○		○	
バッテリーリ レーON/OFF 確 認		○		○		○	○		○	
ODC バス ENA/DIS 確認		○		○		○	○		○	
消費電力測定		○		○		○	○		○	
正弦波 振動試験			○							
ランダム 振動試験			○							
衝撃試験					○					
RE02								○		
RE01								○		
RS02								○		
RS03								○		
RS11								○		

(注)○は適用を示す。

b. BIM ASSY 試験結果

ア. 外観検査評価

外観に異常はなく試験実施に際して問題がないことを確認した。

イ. ベースライン試験

① 導通検査評価・絶縁検査評価

すべて規格を満足しており問題がないことを確認した。

② セル電圧テレメトリ測定評価

セル電圧テレメトリは直線性を示しており、正確なモニタが可能であることを確認した。また、各々のセル電圧テレメトリ特性に差異がないことを確認した。

③ バッテリー電圧テレメトリ測定評価

バッテリー電圧テレメトリは直線性を示しており、想定されるバッテリー電圧の範囲内で正確なモニタが可能であることを確認した。

④ バッテリーリレーON/OFF 確認評価

バッテリーリレーON/OFF が正常に動作することを確認した。また、プリチャージ特性は、SLA-S の設定をプリチャージ抵抗とほぼ同負荷設定(CR モード)で確認したところ、プリチャージ期間はバッテリー電圧のほぼ半分の電圧が出力されており、正常であることを確認した。

⑤ ODC バス ENA/DIS 確認評価

ODC バス ENA/DIS コマンドにより ODC バス ENA/DIS 機能が正常に動作することを確認した。

⑥ 消費電力測定評価

消費電力測定結果は、設計値通りで正常であることを確認した。

また、各試験毎に有意な変化が無く、正常であることを確認した。

ウ. 正弦波振動試験評価

① モーダルサーベイ

各軸において 1 次共振周波数は 100Hz 以上を満足しており、問題ないことを確認した。

② 正弦波振動

各軸において加振前後及び加振中に BIM ASSY の出力電圧に異常はなく、バッテリーリレーのチャタリング・トランスファがないことを確認した。

③ 加振後外観検査

各軸において加振後の外観に異常がないことを確認した。

エ. ランダム振動試験評価

① ランダム振動

各軸において加振前後及び加振中に BIM ASSY の出力電圧に異常はなく、バッテリーリレーのチャタリング・トランスファがないことを確認した。

② 加振後外観検査

各軸において加振後の外観に異常がないことを確認した。

オ. 振動後試験

① セル電圧テレメトリ測定評価

セル電圧テレメトリは直線性を示しており、正確なモニタが可能であることを確認した。また、振動印加前の特性と差異がないことを確認した。

② バッテリー電圧テレメトリ測定評価

バッテリー電圧テレメトリは直線性を示しており、想定されるバッテリー電圧の範囲内で正確なモニタが可能であることを確認した。また、振動印加前の特性(4.1.2.4.3項(4))と差異がないことを確認した。

③ バッテリーリレーON/OFF 確認評価

バッテリーリレーON/OFF が正常に動作し、プリチャージ特性が正常であることを確認した。また、振動印加前の特性と差異がないことを確認した。

④ ODCバス ENA/DIS 確認評価

ODCバス ENA/DIS コマンドにより ODCバス ENA/DIS 機能が正常に動作することを確認した。また、振動印加前の特性と差異がないことを確認した。

⑤ 消費電力測定評価

消費電力は正常であることを確認した。また、振動印加前の特性と差異がないことを確認した。

カ. 衝撃試験

① 衝撃試験評価

・ 衝撃試験

衝撃前後及び衝撃中に BIM ASSY の出力電圧に異常はなく、バッテリーリレーのチャタリング・トランスファがないことを確認した。

・ 衝撃後外観検査

衝撃後の外観に異常がないことを確認した。

キ. 衝撃後試験

① セル電圧テレメトリ測定評価

セル電圧テレメトリは直線性を示しており、正確なモニタが可能であることを確認した。また、衝撃印加前の特性と差異がないことを確認した。

② バッテリー電圧テレメトリ測定評価

バッテリー電圧テレメトリは直線性を示しており、想定されるバッテリー

一電圧の範囲内で正確なモニタが可能であることを確認した。また、衝撃印加前の特性と差異がないことを確認した。

③ バッテリーリレーON/OFF 確認評価

バッテリーリレーON/OFF が正常に動作し、プリチャージ特性が正常であることを確認した。また、衝撃印加前の特性と差異がないことを確認した。

④ ODC バス ENA/DIS 確認評価

ODC バス ENA/DIS コマンドにより ODC バス ENA/DIS 機能が正常に動作することを確認した。また、衝撃印加前の特性と差異がないことを確認した。

⑤ 消費電力測定評価

消費電力は正常であることを確認した。また、衝撃印加前の特性と差異がないことを確認した。

ク. 熱真空試験

熱真空試験の各測定項目において、常温環境下の特性と差異がないことを確認した。また、放電チェック、ターンオン試験結果(低温、高温)について異常が無いことを確認した。

① セル電圧テレメトリ測定評価

セル電圧テレメトリは直線性を示しており、正確なモニタが可能であることを確認した。また、常温環境下の特性と差異がないことを確認した。

② バッテリー電圧テレメトリ測定評価

バッテリー電圧テレメトリは直線性を示しており、想定されるバッテリー電圧の範囲内で正確なモニタが可能であることを確認した。また、常温環境下の特性と差異がないことを確認した。

③ バッテリーリレーON/OFF 確認評価

バッテリーリレーON/OFF が正常に動作し、プリチャージ特性が正常であることを確認した。また、常温環境下の特性と差異がないことを確認した。

④ ODC バス ENA/DIS 確認評価

ODC バス ENA/DIS コマンドにより ODC バス ENA/DIS 機能が正常に動作することを確認した。また、常温環境下の特性と差異がないことを確認した。

⑤ 消費電力測定評価

消費電力は正常であることを確認した。また、常温環境下の特性と差異がないことを確認した。

⑥ RS02(磁界放射感受性限界)測定評価

誘導磁界放射印加前後及び印加中、セル電圧テレメトリに異常な変動がないことを確認した。

ケ. 最終試験

試験設備の都合により試験順序を変更したため、最終試験は衝撃後試験と兼ねている。

コ. 外観検査

① 外観検査評価

すべての環境試験終了後、外観に異常はなく問題がないことを確認した。

c. まとめ

BIM ASSY 開発モデルを製作し、準天頂衛星の環境条件下における環境試験を実施した。その結果、BIM ASSY の電気性能及び機械性能の規格をすべて満足し、設計が妥当であることが確認された。

3.1.4.2 検証モデル

3.1.4.2.1 検証モデルの製作

BCM 検証モデルは、バッテリー制御モジュールアセンブリ (BCM ASSY) とバッテリーインターフェースモジュールアセンブリ (BIM ASSY) から構成されている。

(1) バッテリー制御モジュールアセンブリ (BCM ASSY) の制作

バッテリー制御モジュールアセンブリ (BCM ASSY) の写真を、図 3.1.4.2-1 に示す。



図 3.1.4.2-1 BCM ASSY 外観写真

- (2) バッテリーインタフェースモジュールアセンブリ (BIM ASSY) の製作
BIM ASSY の写真を、図 3.1.4.2-2 に示す。



図 3.1.4.2-2 BIM ASSY 外観写真

3.1.4.2.2 BCM 検証モデルの試験

(1) BCM ASSY 検証モデルの試験

a. 目的

バッテリー制御モジュールアセンブリ (以下「BCM ASSY」という) の試験 (プロトフライト試験) は、準天頂測位衛星リチウムイオンバッテリーシステム技術要求書に規定される環境条件下において、BCM ASSY の設計及び製造方法が該当する全ての仕様書の要求事項を満足させるに十分であり、かつフライトに供するモデルとしての適合性を有していることを立証する。

b. BCM ASSY 検証モデルの主要機能

BCM ASSY はバス電圧制御・供給機能、電力の蓄積・供給機能、バッテリーの管理機能、テレメトリ・コマンド機能、地上支援装置とのインタフェース機能を有する。

c. 試験内容

BCM ASSY 試験の試験マトリクスを表 3.1.4.2-1 に示す。

表 3.1.4.2-1 BCM ASSY 試験マトリクス

		試験／検査名	初期検査	ベースライン試験	振動試験	振動後試験	熱真空試験	最終試験	最終検査
項目番号	項目								
1	外観検査 I		○						
2	外観検査 II				○		○		○
3	導通検査			○		○	○	○	
4	絶縁検査			○		○	○	○	
5	バス電圧制御			○		○	○	○	
6	余剰電力制御			○		○	○	○	
7	定電圧充電制御			○		○	○	○	
8	BIM 駆動用電源確認			○		○	○	○	
9	校正カーブ			○					
10	AA テレメトリ確認試験					○	○	○	
11	AB/PB テレメトリ確認試験			○		○	○	○	
12	AGE 機能			○		○	○	○	
13	消費電力、発熱量			○		○	○	○	
14	バス電圧リップル			○		○	○	○	
15	出力インピーダンス							○	
16	トランジェント							○ (*1)	
17	振動試験				○				
18	熱真空試験						○		

注 1) ○は適用を示す。

注 2) * 1 は電磁干渉限界要求 CS01, CS02, CS06 を兼ねる。

d. 試験結果

試験および検査データは、全ての規格を満足しており、測定結果は設計値通りである。また、データトレンド上も妥当な変動であり問題ない良好な結果であった。従って、BCM ASSY の機能・性能及び耐環境性に問題なく、フライト品に供給し得る品質を有していることが確認された。

e. まとめ

BCM 検証モデル構成品のうち、BCM ASSY を準天頂測位衛星、リチウムイオンバッテリーシステム技術要求書に規定される環境条件下において試験を実施した。BCM ASSY の電気性能及び機械性能の規格をすべて満足し、設計が妥当であることが確認された。その結果、BCM ASSY はフライトに供するモデルとして適合性を有していることが確認された。

(2) BIM ASSY 検証モデルの試験

a. 目的

バッテリーインタフェースモジュールアセンブリ（以下「BIM ASSY」という）の試験（プロトフライト試験）は、準天頂測位衛星、リチウムイオンバッテリーシステム技術要求書に規定される環境条件下において、BIM ASSY の設計及び製造方法が該当する全ての仕様書の要求事項を満足させるに十分であり、かつフライトに供するモデルとしての適合性を有していることを立証する。

b. BIM ASSY 検証モデルの主要機能

ア. BIM ASSY はバッテリーリレーの ON/OFF、ODC バスリレーの ENA/DIS、バッテリーの管理、地上支援装置とのインタフェース機能を有する。

c. 試験内容

BIM ASSY 試験の試験マトリクスを表 3.1.4.2-2 に示す。

表 3.1.4.2-2 BIM ASSY 試験マトリクス

(注) ○印は適用を示す。		大項目	プロトフライト試験						
			初期検査	ベースライン試験	振動試験	振動試験後試験	熱真空試験	最終試験	最終検査
項目番号	小項目								
1	外観検査		○		○		○		○
2	寸法・質量検査		○						
3	導通/絶縁検査			○		○		○	
4	セル電圧テレメトリの確認			○		○	○	○	
5	バッテリー電圧テレメトリの確認			○		○	○	○	
6	バッテリーリレーON/OFF 試験			○		○	○	○	
7	パワーラインの電力通電確認			○		○	○	○	
8	ODC バスラインの電力通電確認			○		○	○	○	
9	外部充電バス I/F 確認			○		○	○	○	
10	消費電力測定			○		○	○	○	
11	コマンド設定							○	
12	振動試験				○				
13	熱真空試験						○		

d. 試験結果およびデータ評価

BIM ASSY 試験における不具合の発生はなく、良好な結果が得られている。

BIM ASSY の機能・性能及び耐環境性に問題なく、フライト品に供給し得る品質を有していると判断する。

e. まとめ

BCM 検証モデル構成品のうち、BIM ASSY を準天頂測位衛星、リチウムイオンバッテリーシステム技術要求書に規定される環境条件下において試験を実施した。その結果、BIM ASSY の電気性能及び機械性能の規格をすべて満足し、設計が妥当であることが確認された。その結果、BIM ASSY はフライトに供するモデルとして適合性を有していることが確認された。

3.1.5 リチウムイオンバッテリーシステム (LIBS) の試験

3.1.5.1 組み合わせ試験

3.1.5.1.1 目的

BCM 開発モデルと LIBA 開発モデルを組み合わせで試験を行うことで、BCM のバッテリーインタフェース適合性と基本性能評価及び設計仕様を満足することを確認する。

3.1.5.1.2 組合せ試験内容

組合せ試験として、大気圧、室温の条件下で放電試験、充電試験を実施した。

3.1.5.1.3 試験結果および評価

(1) 放電制御試験評価

放電制御試験では BCM の負荷電流を 24A に設定して試験した。バッテリー放電電流は約 37A であり、BCM 単体試験時の最大 48A と比べて小さい値となっている。

これは組合せ試験のバッテリーセル数が 18 で、16 セル対応とした BCM 単体試験とバッテリー電圧が異なるためであり、電流値としては正常な値である。

放電開始前のセル電圧テレメトリ測定では BIM 単体試験時のセル電圧テレメトリ測定と有意差ないことを確認した。

(2) 充電制御試験評価

定電流充電制御はノーマル充電 (9.8A)、トリクル充電(2.8A)とも正常な電流値で制御できていることを確認した。

定電圧充電制御は LIB 上限電圧を 71.63V とし、71.63V に相当する BVL コマンド「C3h」を送信して試験した。公差の範囲内で正常に定電流→定電圧の充電制御移行がおこなわれている。

定電流充電制御、定電圧充電制御とも BCM のバス電圧制御モードとしては SSU モードとなる。バス電圧は SSU モードの範囲内であり、異常はない。

充電後に実施したセル電圧テレメトリ測定結果も正常であった。

3.1.5.1.4 まとめ

BCM 開発モデルと LIBA 開発モデルの組合せ試験において、測定されたデータは全ての規格を満足し良好な結果が得られている。

電気性能試験として機能、性能に問題が無いことが確認された。

また、BCM 開発モデルと LIBA 開発モデルの組合せ試験を実施することにより、LIBS としての総合性能とインタフェース整合性を確認できた。実バッテリーを使用する試験は制約が多く、今回組合せ試験が実施できたことは、試験コンフィギュレーションの確立や実施手順の確立という意味でも大きな成果を得たと言える。

本成果を生かし、検証モデルの製造、試験計画に反映した。

3.1.5.2 総合評価試験

3.1.5.2.1 目的

本総合評価試験（電気性能試験）は BCM 検証モデルと LIBA 検証モデルを組み合わせ、試験を行うことで BCM 検証モデルのバッテリーインタフェース適合性を確認する。

3.1.5.2.2 LIBS 検証モデルの主要機能

LIBS は太陽電池パドルからの充電機能、衛星負荷への電力の供給機能、電圧安定化制御機能、バッテリーセルの開放故障の対応機能、バッテリーセルの過充電防止機能、リチウムイオンバッテリーの温度制御機能、火工品点火電流の供給機能、バッテリーの管理とテレメトリ・コマンド機能、地上支援装置とのインタフェース機能を有する。

3.1.5.2.3 試験内容

LIBS 総合評価試験の試験としては放電制御と充電制御の確認を行った。

3.1.5.2.4 試験結果およびデータ評価

LIBS 総合評価試験における不具合の発生はなく、良好な結果が得られている。LIBS 総合評価試験と各コンポーネント試験の結果より、LIBS としてフライトに供して問題ない機能性能を有していると判断する。

3.1.5.2.5 まとめ

BCM 検証モデルと LIBA 検証モデルを組み合わせ、試験を行うことで BCM 検証モデルのバッテリーインタフェース適合性が確認できた。LIBS 総合評価試験と各コンポーネント試験の結果より、LIBS 電気性能及の規格をすべて満足し、設計が妥当であることが確認された。

3.1.6 検証モデルと衛星システムとの適合性確認

独立行政法人宇宙航空研究開発機構（以下 JAXA という）が開発中の準天頂測位衛星システム（以下「衛星システム」という）との適合性確認及び検証モデルの製造の再現性確認を行った。

3.1.6.1 検証モデルの製造の再現性確認

LIBS#1（本研究開発品）と2台目である LIBS#2（JAXA 製作品）のデータを比較した結果、データに殆ど差がなく製造の再現性を確認できた。

3.1.6.2 衛星システムとの適合性確認

衛星システムと LIBS#1 の適合性確認につき、機械的適合性 DC インテグレーション試験に於ける機械的および電氣的噛みあわせ試験を実施した。

3.1.6.2.1 機械的噛みあわせ試験

LIBS#1 の構成部品であるバッテリー制御モジュールアセンブリ（BCM ASSY）を衛星システムのパネルに搭載し、パネルおよび衛星システムハーネスとの結合試験を行った。この結果、BCM ASSY は衛星システムに問題なく結合することを確認した。

衛星の外観を図 3.1.6.2-1 に、BCM ASSY の取り付け位置を図 3.1.6.2-2 に、BCM ASSY のパネル結合時の外観写真を図 3.1.6.2-3 に示す。

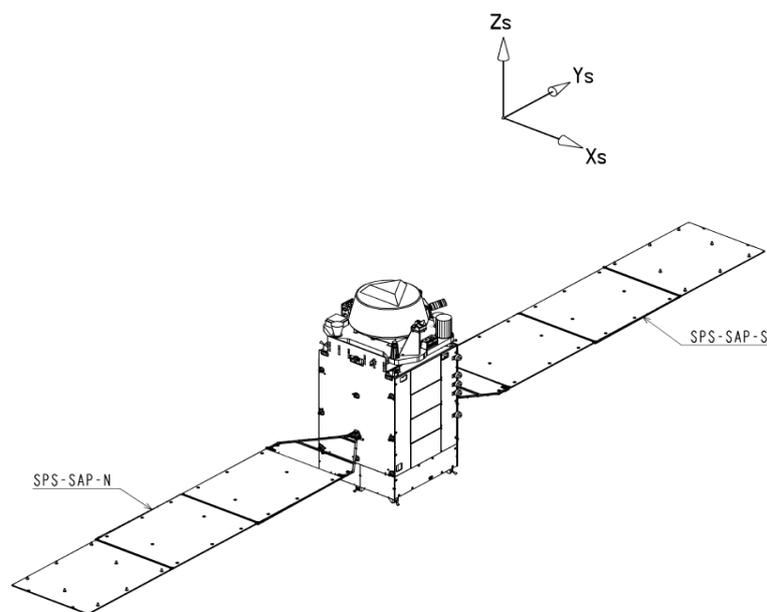


図 3.1.6.2-1 衛星外観（軌道上コンフィギュレーション）（図 JAXA 提供）

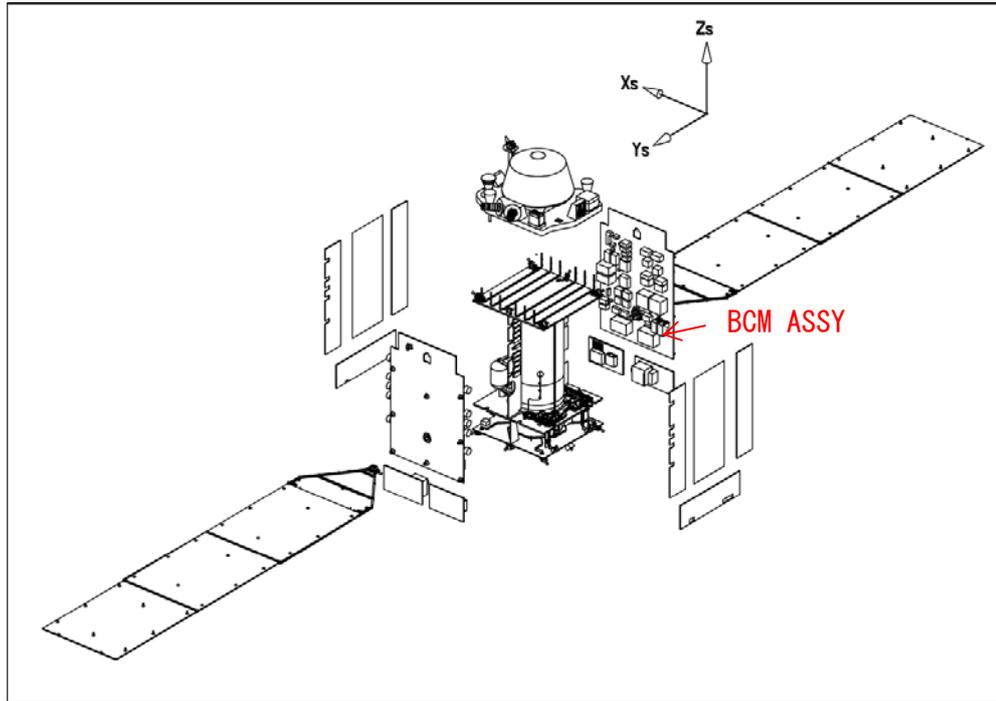


図 3.1.6.2-2 外部搭載機器および構体パネル内構成図 (図 JAXA 提供)



図 3.1.6.2-3 BCM ASSY の衛星システムパネルの搭載写真 (図 JAXA 提供)

3.1.6.3 電氣的噛みあわせ試験

試験装置から外部バスを供給し、衛星メインバス電圧を所定の電圧に設定できることを確認した。また、消費電力・BCM ASSY 出力電圧（開放電圧）を測定した結果、すべて規格内であり、問題ないことを確認した。

以上の電氣噛みあわせ試験の結果として、LIBS 検証モデルの BCM ASSY は衛星システムに適合していることを確認した。

3.1.6.4 まとめ

JAXA と USEF が共同で LIBS の製造・試験に関する再現性確認、および LIBS#1 の衛星システムへの適合性確認に関する共同研究を行った。この結果、再現性確認については、リチウムイオンバッテリーセルの単体試験の結果から、LIBS#1 と LIBS#2 の再現性を確認することができた。また、衛星システムへの適合性確認については、LIBS#1 の BCM ASSY が機械的および電氣的に衛星システムに適合していることを確認できた。

以上の結果、共同研究の目的が達成された。

3.2 大容量・高密度化技術の開発

大容量・高密度化技術はセルの大容量・高密度化の開発となり、ここではこの開発ポイント、開発結果について記述する。

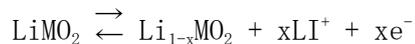
3.2.1 正極活物質の選定

3.2.1.1 目的

現在製品化されているリチウムイオン電池の正極活物質として、Co系、Ni系およびMn系の3種類がある。これらの正極活物質について、電池性能に影響を与える諸特性の比較をおこない、特にバッテリーセルの軽量化の観点から高性能極板に最も適した正極活物質の選定をおこなった。

3.2.1.2 内容

リチウムイオン電池の正極活物質にはLiMO₂ (Mは金属元素)であらわされるリチウム遷移金属化合物が用いられている。これらの材料の特徴は、結晶構造を大きく変えることなく可逆にリチウムイオンを放出・吸蔵できる点である。正極単極での充放電反応は以下の式で表される。



充電時には活物質中のリチウムがリチウムイオンとなって負極に移動し、放電時には負極から移動してきたリチウムイオンが活物質中に戻る。現在製品化されているリチウムイオン電池の正極活物質にはCo系のLiCoO₂、Ni系のLiNiO₂およびMn系のLiMn₂O₄がある。このうちNi系については、主に後述する安全性の問題から、純粋なLiNiO₂ではなくCoとAlを添加したものが用いられている。

3.2.1.3 結果と考察

正極活物質の代表的な特性として、以下のものが挙げられる。

- ・ 理論容量/実用容量
- ・ 平均放電電位
- ・ 放電電位の平坦性
- ・ 安全性
- ・ 化学的安定性

上記の各々の特性が電池性能に与える影響に関して、各正極活物質材料の特性比較を行った。

(1) 理論容量と実用容量

活物質の理論容量は、 LiMO_2 の Li がすべて充放電反応に参画した場合に得られる最大容量で、活物質の質量あたりの容量 (Ah/kg) で表される。理論容量は LiMO_2 の分子量によって決定される。 LiMO_2 の分子量が小さいほど分子に占める Li の割合が大きくなり、理論容量が大きくなる。しかしながら、 LiMO_2 を理論容量いっぱいまで充電すると、結晶構造が変化して活物質の可逆性が失われたり、電極電位が高くなるため電解液の分解が生じたりして、電池性能が劣化する。可逆な充放電を行うためには、 $\text{Li}_{1-x}\text{MO}_2$ の x を 1 よりも小さい値にとどめる必要がある。それぞれの活物質には電池として実用的に充放電が可能な範囲があり、この範囲に相当する容量を活物質の実用容量という。活物質の選定においては、この実用容量が大きいことがひとつの判断材料となる。

この結果、実用容量では Ni 系 (LiNiO_2) が最も大容量となり、Co 系は (LiCoO_2) はほぼ Ni 系と同等で Mn 系 (LiMn_2O_4) は理論容量の段階で既に Ni 系、Co 系の実用容量を下回っていることから、高容量化・高エネルギー密度化には不利であることがわかる。

(2) 平均放電電位と放電電位の平坦性

電池電圧は正極活物質の電位と負極活物質の電位の差である。したがって、同じ負極活物質を使用した場合には、正極活物質の電位が高いほど電池電圧が高くなる。電池のエネルギーは電池電圧と容量との積であることから、電池の高エネルギー密度化のためには活物質の平均放電電位が高いほうが有利である。

電池電圧は放電が進んで充電状態が低くなるにつれて低下する。消費電力が一定の場合には、放電の進行による電圧の低下を補うために電流が増大する。電流が増大すると、電池の内部インピーダンスによってさらに電圧が低下する。放電電位曲線の傾きが大きいものほど電流の増大と内部インピーダンスによる電圧降下の影響も大きくなるため、特にサイクルを繰り返してインピーダンスが増大した電池での電圧降下が大きくなる。したがって、放電電位曲線は平坦であるほうが好ましい。

正極活物質の単極の放電曲線を図 3.2.1-1 に示す。 LiCoO_2 の実用放電領域での平均放電電位は、約 3.9 V である。また、電位の平坦性もよく、放電の中期から末期までほぼ同じ高電位を維持している。これに対して、 LiNiO_2 の平均放電電位は約 3.7 V と低い。また、電位の平坦性が悪く、放電が進むと電極電位が降下しつづける。両者の差は電池電圧に反映されるため、Ni 系の電池は放電中の電圧降下が Co 系と比較して大きくなる。さらに、充放電サイクルが進行して電池の内部抵抗が大きくなると、Ni 系の電圧降下がより大きく現れるため、寿命末期での Co 系の優位性はより大きくなる。 LiMn_2O_4 の平均放電電位は約 4.0 V であ

り、3種類の中では最も高い、また、放電の中間付近に段がある点を除けば非常に電位の平坦性が高い。

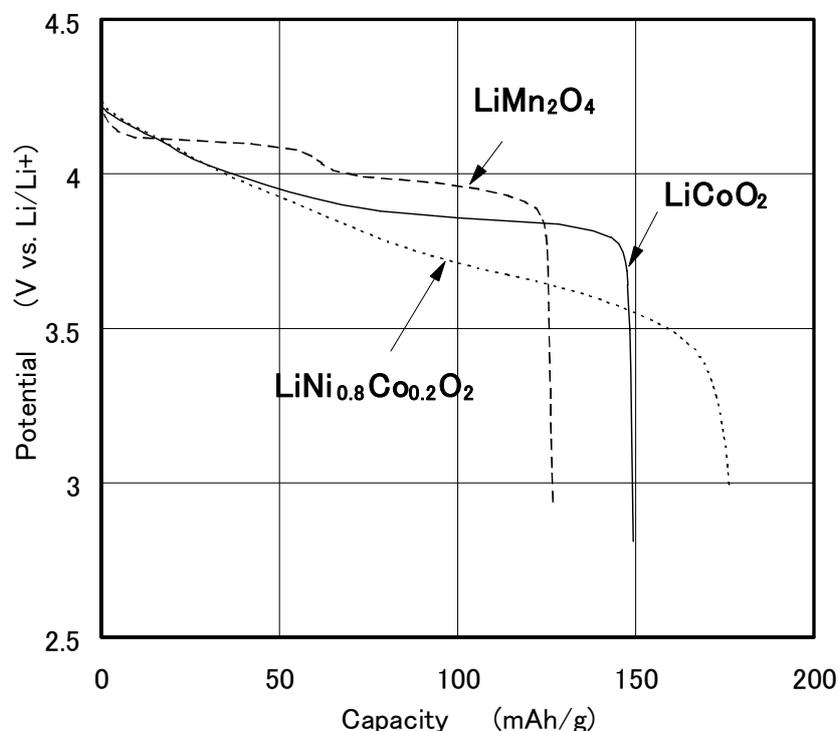


図 3.2.1-1 活物質の単極での放電曲線

(3) 安全性

リチウムイオン電池は、過充電や高い充電状態での釘さしのような過酷な状況におかれると、電池温度が上昇して熱逸走状態となる場合がある。熱逸走状態とは、温度上昇によって電池の構成材料が分解し、その際の発熱によって電池温度がさらに上昇するというように、電池の温度が加速度的に上昇する現象である。軌道上での運用時には管理装置による保護があるため、このような異常が生じる可能性はほとんどないが、地上での試験等においては取り扱いを誤ると、電池が危険な状態におかれる恐れがある。活物質の種類によって温度上昇に伴う熱挙動が異なるため、同じ条件であっても熱逸走状態が変わることより、発煙・発火の有無が異なる。電池の安全性に大きな影響を与える活物質の特性は、熱分解温度と、分解時に発生する熱量である。熱分解温度が高く、発生する熱量が小さいほど電池の安全性は向上する。

この熱分解温度はNi系が最も低く、順にCo系、Mn系と高くなっている。

(4) 化学的安定性

活物質の化学的安定性は電池の寿命特性に大きな影響を与える。化学的安定性

の低い活物質は、時間の経過とともに分解や組成変化をおこして、電池の容量が低下する原因となる。長寿命が要求される人工衛星のようなアプリケーションでは、化学的安定性の高い活物質を選定することが長期間の性能維持には重要である。

3種類の活物質の中では、 LiNiO_2 の化学的安定性が LiCoO_2 、 LiMn_2O_4 と比較して低い。 LiNiO_2 は水分との反応性が高いため、微量でも水分が存在すると放電性能が劣化する。したがって、極板性能の安定性の点で LiCoO_2 、 LiMn_2O_4 のほうが優れている。

3.2.1.4 まとめ

正極活物質の特性の一覧を表 3.2.1-1 に示す。

表 3.2.1-1 正極活物質の特性

	LiCoO_2	$\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_z\text{O}_2$	LiMn_2O_4
平均放電電位 (V vs Li/Li^+)	3.9	3.7	4.0
理論容量 (Ah/kg)	274	277	148
20°C 実用放電容量 (Ah/kg)	150	154	120
エネルギー密度 (Wh/kg)	585	570	480
放電電位の平坦性	○	△	○
安全性	○	○	◎
化学的安定性	○	△	○

バッテリーセルの軽量化のためには高エネルギー密度化が不可欠である。 LiMn_2O_4 は実用放電容量が低いため高エネルギー密度化が困難であることから高性能極板の活物質としては不相当である。実用放電容量の近い LiCoO_2 と $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_z\text{O}_2$ とを比較すると、 LiCoO_2 のほうが実用放電容量はわずかに小さいものの、平均放電電位が高く、電位の平坦性も良好である。電池の活物質単体での Li/Li^+ 基準のエネルギー密度を比較すると、 LiCoO_2 が 585 Wh/kg となり、 $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_z\text{O}_2$ の 570 Wh/kg を上回ることがわかる。

以上の検討結果から、高性能極板に適した正極活物質として LiCoO_2 を選定した。

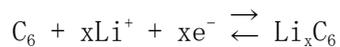
3.2.2 負極炭素材料の選定

3.2.2.1 目的

リチウム二次電池の研究は、負極に金属リチウムを用いたものから始まった。しかしながら、金属リチウムは溶解析出により充放電を行うため、充電時の析出形態の制御が困難でサイクル寿命が短く、短絡が生じやすいという問題点があった。リチウムイオン電池では負極に炭素材料が用いられている。炭素材料は層間にリチウムを可逆に吸蔵・放出することが可能である。リチウムイオン電池の負極に用いられる炭素材料はグラファイト(黒鉛)系とハードカーボン系の2種類に大別される。これらの負極炭素材料について充放電特性特性の比較を行い、人工衛星用電池の高性能極板に適した負極炭素材料の選定を行った。

3.2.2.2 内容

リチウムイオン電池の負極炭素材料は、リチウムがグラファイト層の層間に入り出すことで充放電を行う。負極単極での充放電反応は以下の式で表される。



グラファイト系材料とハードカーボン系材料では、反応式は同一であるが、その電位挙動が大きく異なる。それぞれの材料の電位挙動が電池特性にどのような影響を与えるかを考察した。

3.2.2.3 結果と考察

グラファイト系とハードカーボン系の充放電電位曲線を図 3.2.2-1 に示す。電池電圧は正極と負極との間の電位差で決まるため、負極電位が低くなると電池電圧は高くなる。そのため、負極は充電とともに電位が低くなり、放電とともに電位が高くなる。

グラファイト系は放電電位が平坦で、放電終止の直前まで 0.3V 以下の低い電位を保っている。これに対して、ハードカーボン系は放電初期の電位はグラファイトよりも低いものの、放電と共に電位曲線の傾きが大きくなり、電位が上昇している。

グラファイト系とハードカーボン系の負極を用いた電池の充放電容量曲線を図 3.2.2-2 に示す。

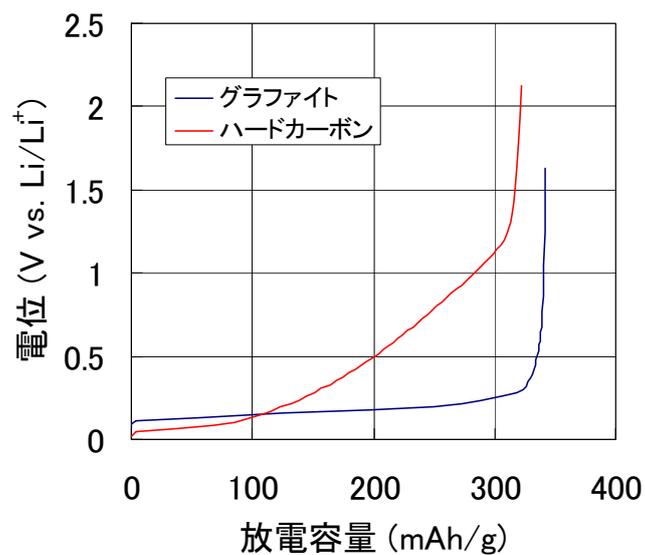


図 3. 2. 2-1 負極炭素材料の放電電位曲線

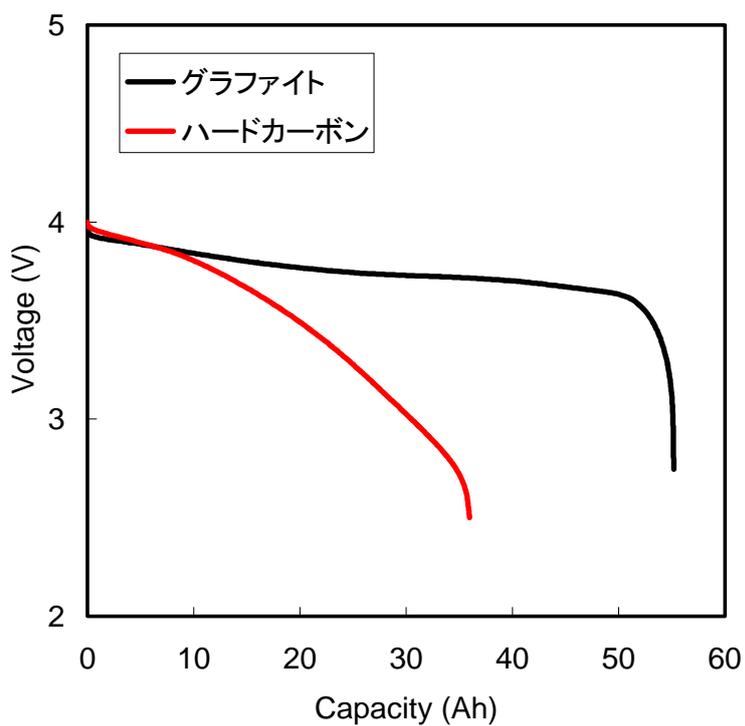


図 3. 2. 2-2 負極が異なる電池の放電電位曲線

グラファイトを用いた電池では負極の電位が安定しているため、電池の放電曲線が正極活物質である LiCoO_2 の電位曲線に近い形のものとなった。一方、ハードカー

ボンを用いた電池では、負極の電位上昇によって電池電圧が低下し、放電曲線の傾きが大きくなっている。

グラファイトの利点は、電池の高エネルギー密度化が可能な点である。グラファイトは放電電位が低い値で安定しているため、電池電圧を高い値に保つことができる。したがって、電池電圧の低下が大きいハードカーボンを使用した電池よりも高エネルギー密度が得られる。

一方、ハードカーボンの利点は、電池の急速充電が可能な点である。充電電流が大きくなると、分極によって負極電位が低下する。負極電位が 0 V 以下になると金属リチウムの析出が生じる可能性がある。金属リチウムの析出は容量低下や短絡の原因となるので、充電時には負極が 0 V 以上になるように電流を制限しなければならない。グラファイトは低い充電状態においても電位が低く、大電流での充電には適さない。ハードカーボンは充電状態が低くなるほど電位が高くなるため、充電初期にはグラファイトよりも大電流での充電が可能である。したがって、ハードカーボンは充電時間が限られた用途ではグラファイトよりも有利である。

上記のことから、高エネルギー密度が求められる用途にはグラファイト系材料が、高率充電が求められる用途にはハードカーボン系材料が適しているといえる。したがって、バッテリーセルの軽量化の目的にはグラファイト系材料が適している。また、衛星運用で求められる充電電流は、グラファイト系材料でも十分対応できる範囲である。

以上の検討結果から、高性能極板に適した負極炭素材料としてグラファイト系材料を選定した。

3.2.3 セパレータの選定

3.2.3.1 目的

セパレータの役割は電池の正極板と負極板とが接触しないようにすることである。さらに、リチウムイオン電池の場合にはセパレータが安全性にも大きな影響を与える。種々のセパレータ材料の特性を検討し、高性能極板に最適なセパレータの選定を行った。

3.2.3.2 内容

リチウムイオン電池のセパレータにはポリエチレン(PE)またはポリプロピレン(PP)製の微多孔膜が用いられている。セパレータにはPEまたはPP単体のものと両者を組み合わせたものがある。そこで、組成の違いがリチウムイオン電池の特性にどのような影響を与えるかを考察した。

3.2.3.3 結果と考察

セパレータの最も重要な役割は、正極と負極とを電氣的に絶縁するとともに、充放電に関与するイオンを透過させることである。リチウムイオン電池の場合には、正負極間をリチウムイオンが移動することで充放電が行われる。実際には、リチウムイオンを溶解した電解液がセパレータを通過して正負極間を移動することが必要である。したがって、リチウムイオン電池のセパレータにはPE またはPP 製の微多孔膜が用いられる。

セパレータの物性のなかで、リチウムイオン電池の性能に影響を与える主なものは多孔度、厚み、材質である。

多孔度は、セパレータ中に占める空孔体積の割合を示す値である。一般に多孔度が高いほど空間が多くなるため、リチウムイオンが透過しやすくなる。しかしながら、多孔度を高くするとセパレータの強度が低下するという欠点がある。現在市販されているリチウムイオン電池では多孔度が30%程度のものが用いられている。

セパレータの厚みは、正負極間の距離を決めることになるため、薄くするほどリチウムイオンが移動しやすくなる。しかしながら、多孔度の場合と同様に、セパレータは薄くなるほど強度が低下する。また、リチウムイオン電池の電極表面には微細な凹凸があるため、セパレータを極端に薄くすると短絡する恐れがある。現在市販されているリチウムイオン電池では、厚みが20 から40 μm 程度のものが多く用いられている。

材質は、リチウムイオン電池の安全性に大きな影響を与える。リチウムイオン電池においては、セパレータは正負極間の隔離体としてだけでなく、一種の温度ヒューズとして安全機構の役割も果たしている。電池が外部短絡や過充電のような異常な環境におかれると、電池の温度が上昇する。もしも、そのまま温度が上昇し続けると電池材料が熱分解を起こして熱逸走状態となり、電池が破裂・発火する恐れがある。リチウムイオン電池のセパレータは、熱逸走状態になるような高温になる前に電流を遮断する、シャットダウン機能を有している。シャットダウンとは、電池温度がセパレータの融点付近まで上昇するとセパレータの膜としての形状は保ったままで孔が塞がる現象である。孔が塞がることによって正負極間をリチウムイオンが移動できなくなり、外部短絡や過充電の電流が遮断されて温度上昇が止まる。結果として電池としての機能は失われるものの、破裂・発火という最悪の事態を回避することができる。

充電状態の負極を電解液共存下で昇温すると、140°C 付近で発熱反応がはじまることがわかっている。この反応を防止するためには、140°C 以下でセパレータのシャットダウンが働くことが好ましい。PP 単層のセパレータではシャットダウン温度が155°C と高く、シャットダウン前に負極の発熱反応が始まる恐れがある。PE は125°C

でシャットダウンが始まることから、PE を含むセパレータの方が安全性が高いと考えられる。

PE 単層と PE/PP 積層のセパレータを比較すると、積層品のほうが常温でのインピーダンスが高い。これは、積層品では積層界面での抵抗が大きいためと考えられる。セパレータのインピーダンスが高いと通常放電における電池の内部抵抗が高くなり、高率放電性能が低下する。したがって、電池の高率放電性能を維持するためには、PE 単層をもちいることが好ましいと考えられる。

以上の検討結果から、高性能極板用のセパレータの材質として、PE 単層のものを選定した。

3.2.4 極板厚みの最適化

3.2.4.1 目的

極板厚みは電池の性能やエネルギー密度に影響を与える因子のひとつである。電極厚みが性能に及ぼす影響を明らかにして、高性能極板に要求される性能を満たすために厚みの最適化を図る。

3.2.4.2 内容

極板厚みを増減することによって電池の性能やエネルギー密度がどのように変化するかを考察し、極板厚みの最適値を検討した。

3.2.4.3 結果と考察

図 3.2.4-1 に厚みを変えた極板の模式図を示す。

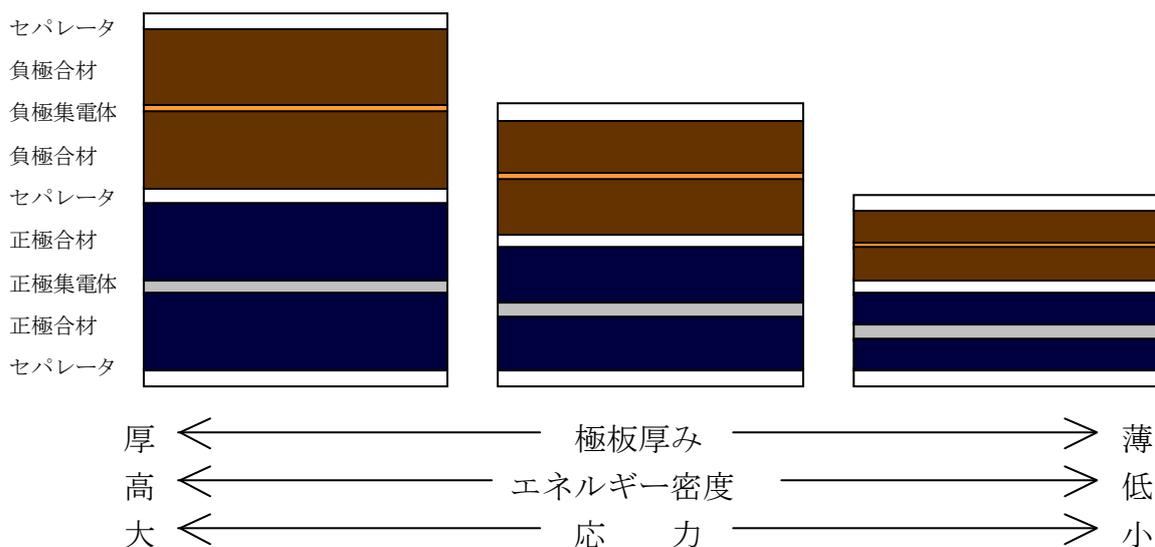


図 3.2.4-1 極板厚みの異なる電極の模式図

リチウムイオン電池のエレメントは、セパレータ、正極合剤層、正極集電体、負極合剤層、負極集電体からなる。このうち、セパレータ、正極集電体、負極集電体の厚みは一定であり、正極合剤層、負極合剤層の塗工質量を変化させることで電極厚みが変わる。

電池の大きさが一定の場合、電極厚みを厚くすると巻き数あるいは積層枚数が少なくなる。巻き数が少なくなると、電池のエレメントに占めるセパレータ、正負極集電体の割合が少なくなるため、電池のエネルギー密度は高くなる。一方、巻き数が少なくなると電極の対向面積が少なくなるため、高率放電特性は悪くなる。電極厚みを薄くすると、逆にエレメントに占めるセパレータと集電体の割合が高くなるとともに巻き数が増えて対向面積が大きくなるため、エネルギー密度が下がり、高率放電特性はよくなる。

また、電極厚みを厚くした場合には、電極折り曲げ時の応力が問題になる。図 3.2.4-2 に折り曲げ応力による活物質の割れ（クラック）発生の様式図を示す。巻回式電池で極板を折り曲げる場合には、極板は集電体に沿って曲がる。その際に、集電体の内側の合剤層は圧縮され、外側の合剤層は引き伸ばされる。合剤層が厚いほど外側の電極表面の伸びが大きくなり、ついには合剤層に割れ（クラック）が生じる。極板は塗布後にプレスされて固くなっているため、クラックが生じると集電体ごと裂けるため、電極が破断する。

以上のように、電極厚みの最適値はエネルギー密度とレート性能および機械的応力集中のバランスを考慮して決定する必要がある。高性能極板開発においては、従来の衛星用電池の実績をもとにして、エネルギー密度が最大になる電極厚みを採用した。

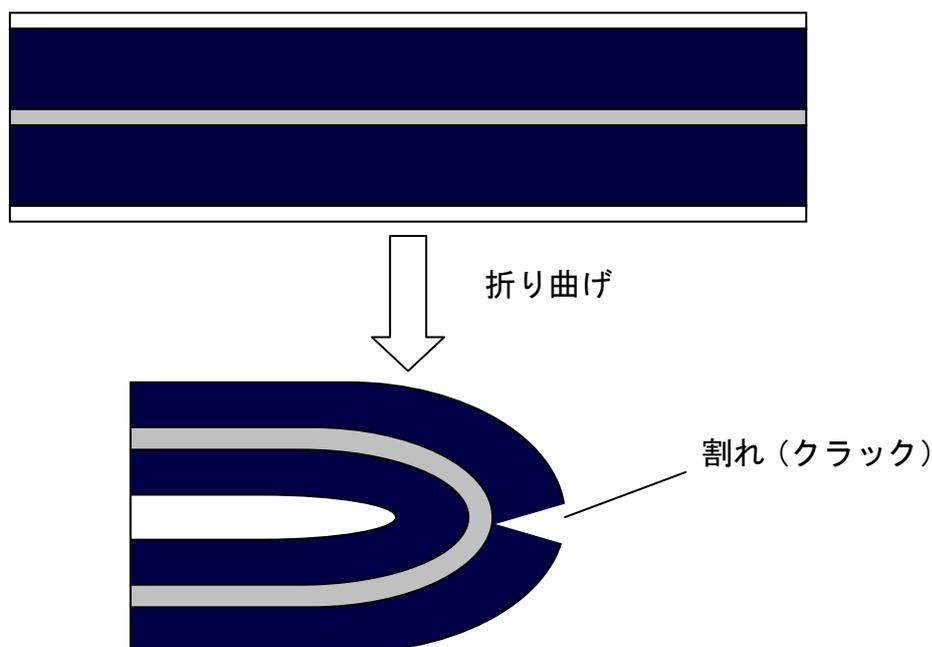


図 3.2.4-2 折り曲げ時の応力による活物質の割れ

3.2.5 エレメント製造方法の最適化

3.2.5.1 目的

エレメントの製造方法は、電池の性能や生産性に大きな影響を与える。高性能極板に適したエレメントの製造方法の検討をおこなった。

3.2.5.2 内容

リチウムイオン電池のエレメント製造方法としては、巻回式と積層式とがある。それぞれの製造方法の特徴と電池性能に与える影響を考察し、エレメント製造方法を選定した。

3.2.5.3 結果と考察

巻回式は、長い帯状の正極板、負極板およびセパレータを重ねながら巻き取ってエレメントにする方法である。

巻回式の主な利点は、生産性が高いこととエレメントの形状保持性が高いことである。巻回式の極板は、集電体のアルミニウム箔あるいは銅箔に極板材料を連続塗工することにより、容易に大量生産することができる。エレメントの製造には巻回装置を利用することができ、品質の高いエレメントが製作可能である。電池の容量も塗工幅を広くしたり、巻き数を増やしたりすることで比較的容易に大きくすることができる。また、巻回後の極板は筒状になっているため形状保持性が高く、取り扱いが容易である。さらに、極板の角部が巻き始めと巻き終わりにしかないために、電極の角がセパレータを突き破って短絡する可能性が低く、セパレータを薄くすることが可能である。

積層式は、短冊状の正極板、負極板をセパレータを挟んで積層することによってエレメントにする方法である。

積層式極板の利点は、電池の厚みを自由に変えられる点である。積層枚数を変えることによって正負極1枚ずつの超薄型電池から数十枚積層した箱型電池まで対応することができる。

しかしながら、積層式にはいくつかの欠点がある。積層式極板は短冊状の極板を使用するため、連続塗工した極板を加工する必要がある。加工の際には集電体や活物質の微粉が多く発生するため、これらが正負極に混入して短絡が生じる可能性が高くなる。また、リチウムイオン電池では正極板を負極板よりも小さくする必要がある。これは、正極に対向する部分に負極板がないと、充電時に正極から放出されたリチウムが負極のエッジ部に金属リチウムとして析出するためである。積層式の極板では、正極板の角部が負極板上に位置することになる。したがって、角部がセパレータを突き破って短絡することを防止するために、セパレータの厚みを厚くす

る必要があり、エネルギー密度が低下する。また、電池の容量を大きくするために積層する極板の枚数を多くすると、中央部の極板の位置ずれが生じやすく、エレメントの取り扱いが難しい。

以上のことから、リチウムイオン電池のエレメント作成方法としては、巻回式の生産性が高く、エレメントの取り扱いが容易で、電池の高エネルギー密度化が可能であることがわかった。特に容量の大きな電池の場合、積層式には問題点が多い。したがって、高性能極板のエレメント製造方法として、巻回式を採用することとした。

3.2.6 ケースの軽量化

3.2.6.1 アルミニウムケースの問題点

バッテリーセルの高エネルギー密度化のために、セルケースをアルミニウム合金化し軽量化を図るが、アルミニウム合金は傷つきやすく、かつステンレス鋼等に比べて腐食が進行しやすいため、腐食防止対策が必要である。ケースの腐食が進行するとケースに穴が開き、電解液が流出して周辺機器を故障させる可能性がある。また、ケース内への水分浸入により水分と活物質とが反応し、電池容量の低下や、内部抵抗の増大を招く。ケースの腐食には、ケース外面と、ケース内面にて発生するものの二種類がある。それぞれ、発生メカニズムが異なるため、メカニズムに応じた対策を実施する必要がある。ここでは、上記二種類の腐食発生メカニズムについて説明し、その対策について述べる。ケース内面の腐食対策については、175Ah セルを用いて効果を確認した結果を述べる。

3.2.6.2 ケース外面の腐食防止技術

(1) 目的

アルミニウムの腐食メカニズムを明らかにし、その腐食対策を検討する。

(2) ケース表面の腐食メカニズム

図 3.2.6-1 にアルミニウムの腐食メカニズムを示す。アルミニウムは、よりイオン化傾向が低い異種金属と接触すると局部電池を構成し、アルミニウムが陽性となり溶解することにより腐蝕が進行する(ガルバニックコロージョン：表面の酸化皮膜が水酸化物になり、白色状の腐食が発生する)。このことから、アルミニウム(合金)の腐食は、異種金属との接触を防ぐことにより防止できることがわかる。

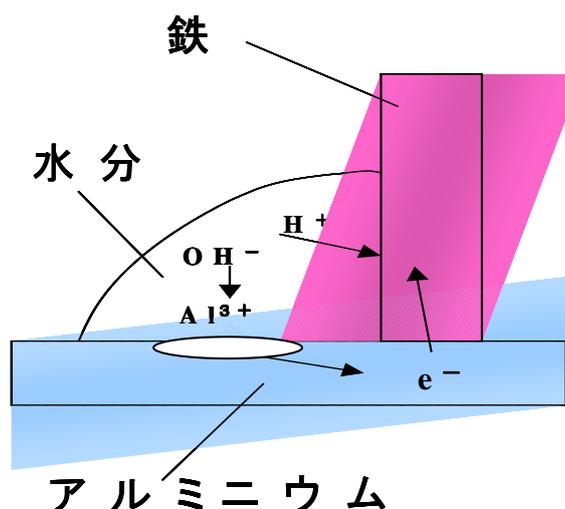


図 3.2.6-1 アルミニウムの腐食メカニズム

(3) 考察

アルミニウムと異種金属との接触を防ぐ方法として、下記に示す3通りの方法を検討した。表 3.6.2-1 に各方法のトレードオフをまとめる。アルマイト処理は、アルミニウム表面の腐食防止処理方法として一般的な技術であり、耐食性、耐候性、耐汚染性を向上させる目的で用いられている。アルマイト皮膜は硬度が高く揮発成分を含まないため、宇宙環境下（高真空下）での脱ガス性において優れ、すべての項目においてバランスのよい表面処理方法であることがわかる。樹脂コート（樹脂の吹き付け塗装）は簡便でコスト的に有利であるが、強度がアルマイト層に比べて低く、揮発性の溶剤を含むという問題がある。セラミックの吹き付け塗装は、作業工数が多くコストが高い。われわれは、3通りの方法を検討した結果、アルミニウムと異種金属との接触を防ぐ方法として、アルマイト処理を採用した。

表 3.2.6-1 アルミニウム表面処理方法のトレードオフ

方法	絶縁性	硬度	脱ガス性	コスト	総合評価
アルマイト処理	○	◎	◎	○	◎
樹脂コート	○	△	×	◎	×
セラミックコート	◎	◎	○	×	×

◎優、○良、△可、×不可

3.2.6.3 ケース内面腐食防止技術

ケース内面の腐食メカニズムを明らかにし、腐食防止対策について検討した。この結果、次の対策を実施することにより腐食を防止できることがわかった。

ケースと正極端子とを数 $k\Omega$ の高抵抗体で接続したセルは、負極端子とケース間

の絶縁が低下しても、ケースの電位は正極と同一に保たれる（正極／ケース間電圧が約 0V で安定）ことを実験にて検証した。高抵抗体による接続には、黒鉛粉末を用いた導電性皮膜を用いて実施した。

3.2.7 熱均一化解析

3.2.7.1 目的

リチウムイオン電池の長寿命化のためには、電池内部での温度分布がなるべく均一であることが望ましい。運用時には、電池の温度管理は電池を固定する締結板の温度を制御することでおこなわれる。電池の形状によって、締結板との熱伝導性が異なるため、最適な電池形状の検討を行った。

3.2.7.2 内容

高性能極板のエレメント製造方法として、巻回式を採用した。この巻回式の極板を収納するケースの形状としては、長円筒形と円筒形とがある。長円筒形のケースをもちいる場合には、円筒形に巻回した極板をプレスして扁平にするか、板状の巻き芯をもちいて扁平状に巻回するかして極板を作成する。携帯電話等にもちいられている小型の角形電池は長円筒形の一つで、R部分を極板形状にあわせずに四角のままにしたものである。

電池形状による熱伝導特性を解析するために、2種類の形状で電池の容積と高さを同じにしたモデルを製作した。このモデルを電池の実装状態を模擬した締結板とセルを組合せて解析を行った。長円筒形は平側面を締結板と接触させた。円筒形は、電池を締結板に押し付けて側面の一部が細い帯状に接触するようにした。モジュールの底部の温度を一定に保ち、電池を定電流放電したときの平均発熱量をエレメントに与えて熱伝導解析を行った。解析条件を表 3.2.7-1 に示す。

表 3.2.7-1 熱伝導解析の解析条件

	長円筒形	円筒形
寸法 (mm)	165(W)×50(T)×263(H)	99(φ)×263(H)
容量 (Ah)	175	175
初期温度 (°C)	10	10
放電電流 (A)	100	100
放電時間 (分)	72	72

3.2.7.3 結果と考察

長円筒形電池および円筒形電池の熱伝導解析の結果を図 3.2.7-1 および図 3.2.7-2 にそれぞれ示す。これらの図は、放電終了時の電池内部の温度分布を同一スケールで示したものである。

長円筒形では、電池上部のエレメント中心付近の温度が最も高かった。締結板と反対側の平側面部分の温度は、熱がケースを通過して締結板に流れるため、中心付近よりも低かった。最も温度が低いのは、電池下部の締結板に近い部分であった。電池内部での温度のばらつきを見ると、最も高い部分が約 23℃、最も低い部分が約 18℃で、電池内温度差は約 5℃であった。

円筒形においても、温度が最も高いのは電池上部のエレメント中心付近で、温度が最も低いのは電池下部の締結板に近い部分であった。電池内部での温度ばらつきを見ると、最も高い部分が約 28℃、最も低い部分が約 18℃で、電池内温度差は 10℃であった。

電池は温度が高いほど劣化が早く進む。電池内部での温度ばらつきが大きいと、温度の高い部分と低い部分で劣化速度に差が出て、劣化が大きい部分と劣化が小さい部分とに分かれる。その結果、劣化が小さい部分の負荷が相対的に高くなり、この部分の劣化速度が速くなる。

解析結果から、長円筒形の電池は円筒形の電池と比べて電池内部での温度ばらつきが小さく、また、最高温度も低いことがわかった。したがって、長円筒形電池のほうが円筒形よりも長寿命になることが期待できる。そこで、電池形状として、長円筒形を採用することとした。

長円筒-伝熱 :: 熱伝導解析 時間ステップ : 24
単位 : Celsius 変形スケール : 1 : 0

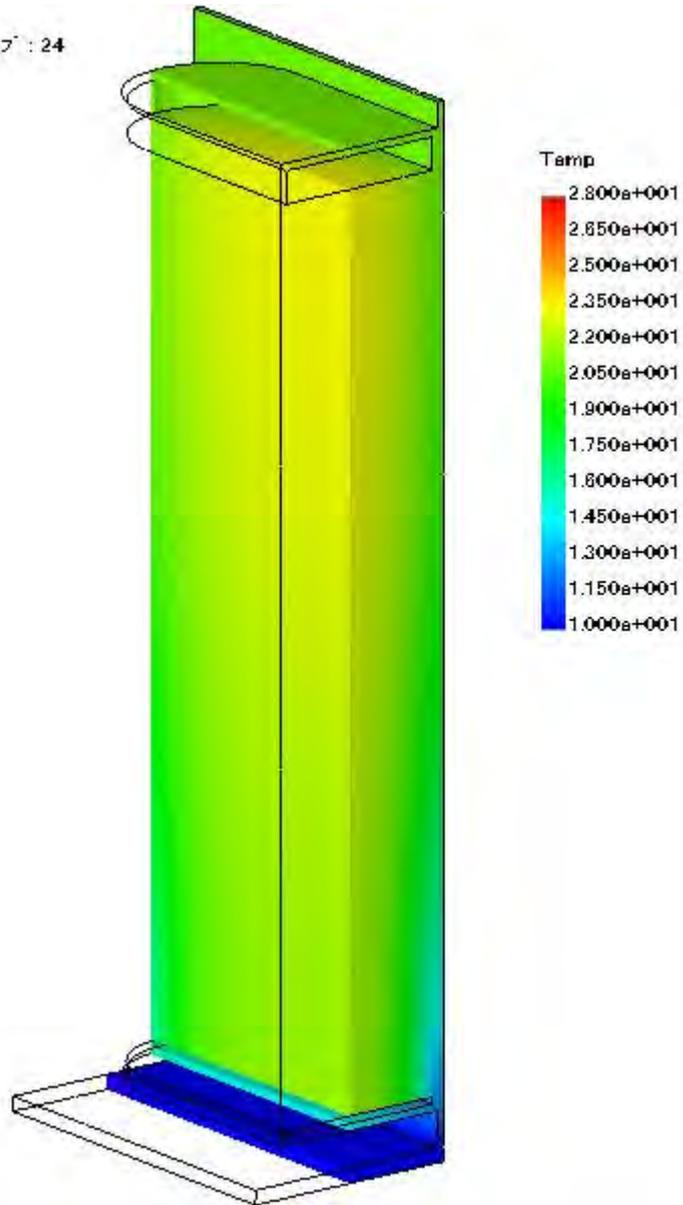


図 3. 2. 7-1 長円筒形電池の熱伝導解析結果

円筒熱伝導 :: 熱伝導解析 時間ステップ : 24
単位 : Celsius 変形スケール : 1 : 0

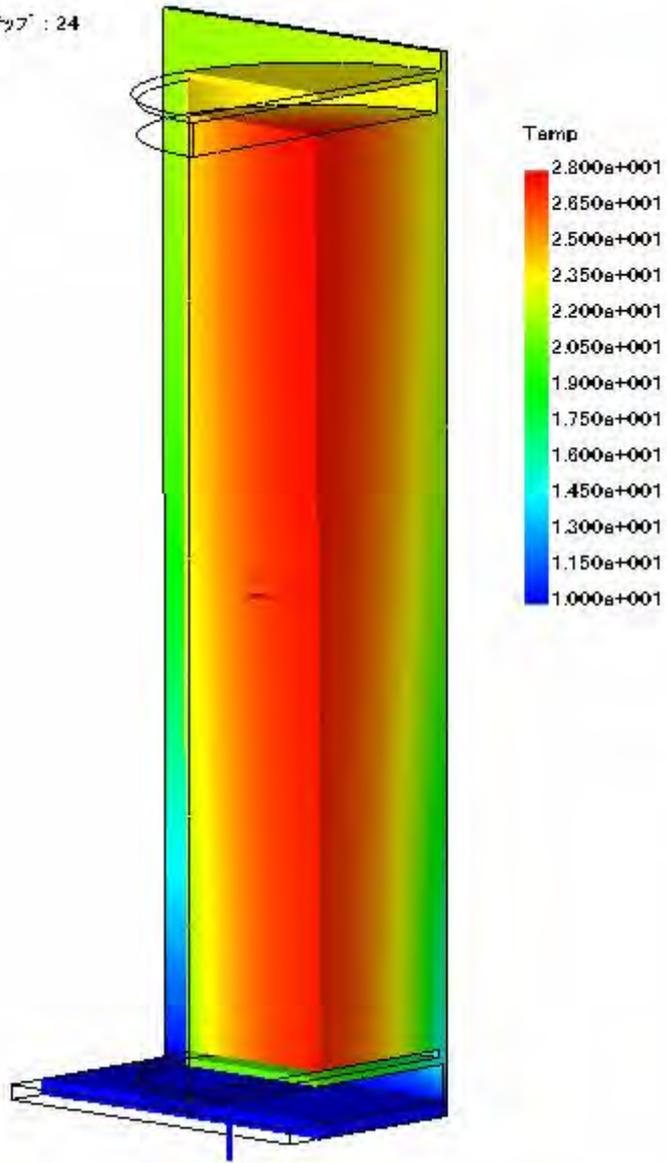


図 3. 2. 7-2 円筒形電池の熱伝導解析結果

3.2.8 電池構造開発

3.2.8.1 端子設計

(1) 目的

宇宙用の電池は真空状態で使用されるため、気密が保てないと電解液が著しく蒸発していく。また、地上保管中においても気密性が悪いと、電池内に水分が混入し、性能低下を招く。ここでは宇宙環境においても電池性能を維持できるような高气密構造端子を設計開発した。

(2) 結果と考察

試作した端子について、以下の項目について性能を検討した。

① 絶縁性

1000V、 $1 \times 10^6 \text{M}\Omega$ 以上の絶縁性を有しており、十分である。

② 気密性

ヘリウムリーク検査により気密性を確認し、宇宙の高真空下で使用しても問題のないことを確認した。

③ 強度試験

端子に対して強度試験を行った。端子に使用時に加わる3倍以上のストレスを印加した後に端子の気密性を評価した。評価は、圧縮、引張り、曲げ、トルクの4方向で実施した。各試験の結果、本端子は十分な強度を有していることが分かった。

以上のことから当該端子は宇宙用の端子として十分な性能を有していると判断した。

3.2.8.2 安全弁設計

(1) 目的

過充電などの異常時には電池内圧が上昇し、電池ケースが破裂する恐れがある。これを回避するために、上昇した内圧を速やかに解放する必要がある。ここでは、通常使用時には誤作動は起こらず、異常時にはケースが破裂する前に内圧を解放し、破裂を防げるような安全弁を備える。

(2) 検討

バッテリーの構造から、安全弁は電池上部と底部に設置することとした。当該部に安全弁を設置することのメリットとして、加工精度が高いことによる安全弁作動圧の安定化が上げられる。従来はケースサイドの曲面部に安全弁を有していたが、曲面部への切削加工精度向上が難しかった。蓋板とケース底部への安全弁を設置によって、平面部への切削加工であるので精度が上がるため、安全弁の作動圧のばらつきを少なくすることが可能となる。

3.2.9 セルの評価

3.2.9.1 175Ah セル

175Ah セル供試体の特性を以下外観図を図 3.2.9-1 に示す。

放電容量	: 175Ah (公称)
形状	: 長円筒型
質量	: 4690±150g
電池エレメント	正極 LiCoO ₂ 負極 グラファイト
セパレータ	: ポリエチレン製微多孔フィルム
電池ケース	: アルミニウム合金
端子気密	: セラミックスハーメチックシール



図 3.2.9-1 175Ah セルの外観写真

3.2.9.2 初期特性試験結果

試作品 5 セル分の初期特性データを表 3.2.9-1 に示す。初期容量確認試験時の充電曲線を図 3.2.9-2、温度をパラメータとした放電曲線を図 3.2.9-3、放電電流をパラメータとした放電曲線を図 3.2.9-4 に示す。

表 3.2.9-1 175Ah セル試作品の初期特性データ.

S/N	AC 内部抵抗 (mΩ)	0.5C 放電容量 (Ah)
001	0.45	183.6
002	0.46	182.6
003	0.47	185.0
004	0.45	182.5
005	0.45	182.5
規格値	0.60 以下	178 以上

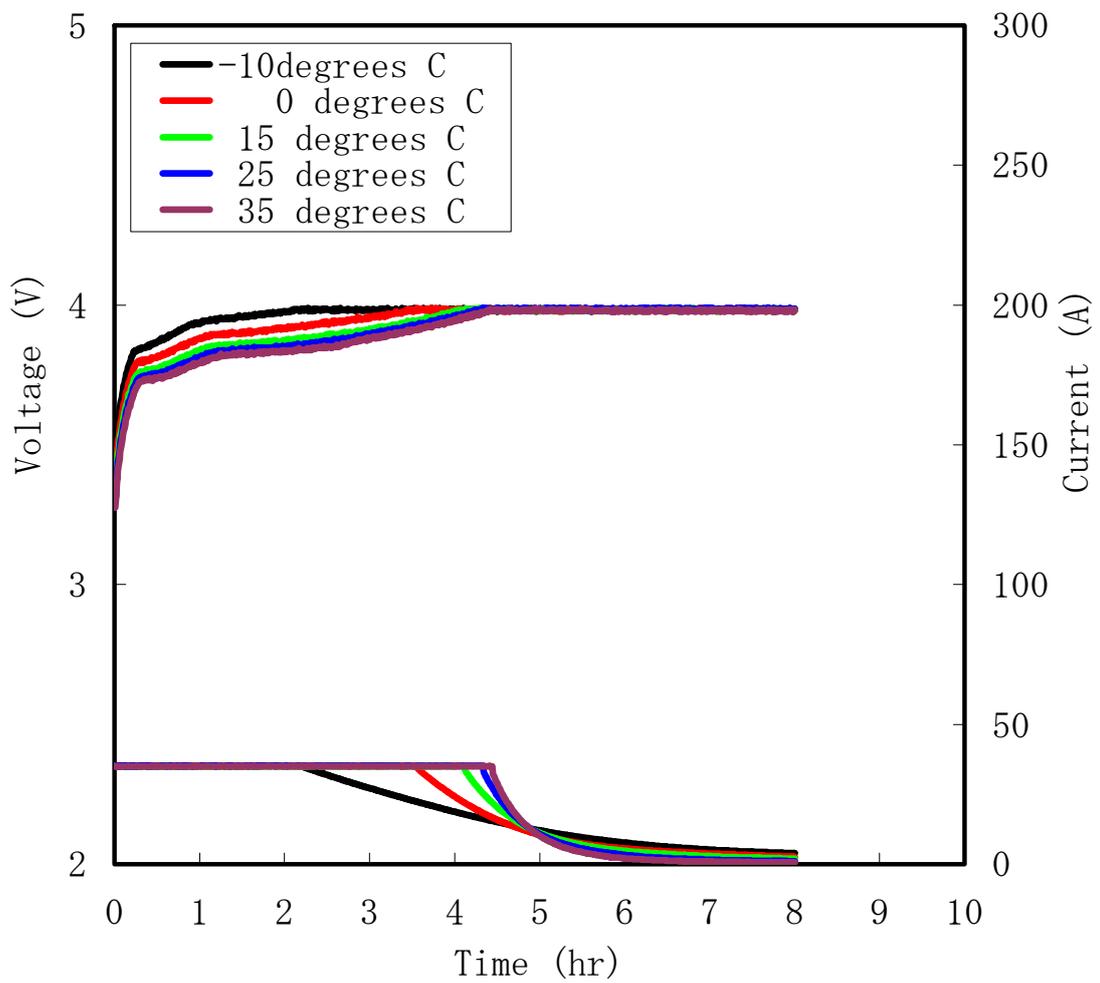


図 3.2.9-2 LFS175 セル試作品の充電温度特性

試験条件(各温度)

充電：35A/3.98V (CC/CV), 8時間

放電：87.5A, 2.75V

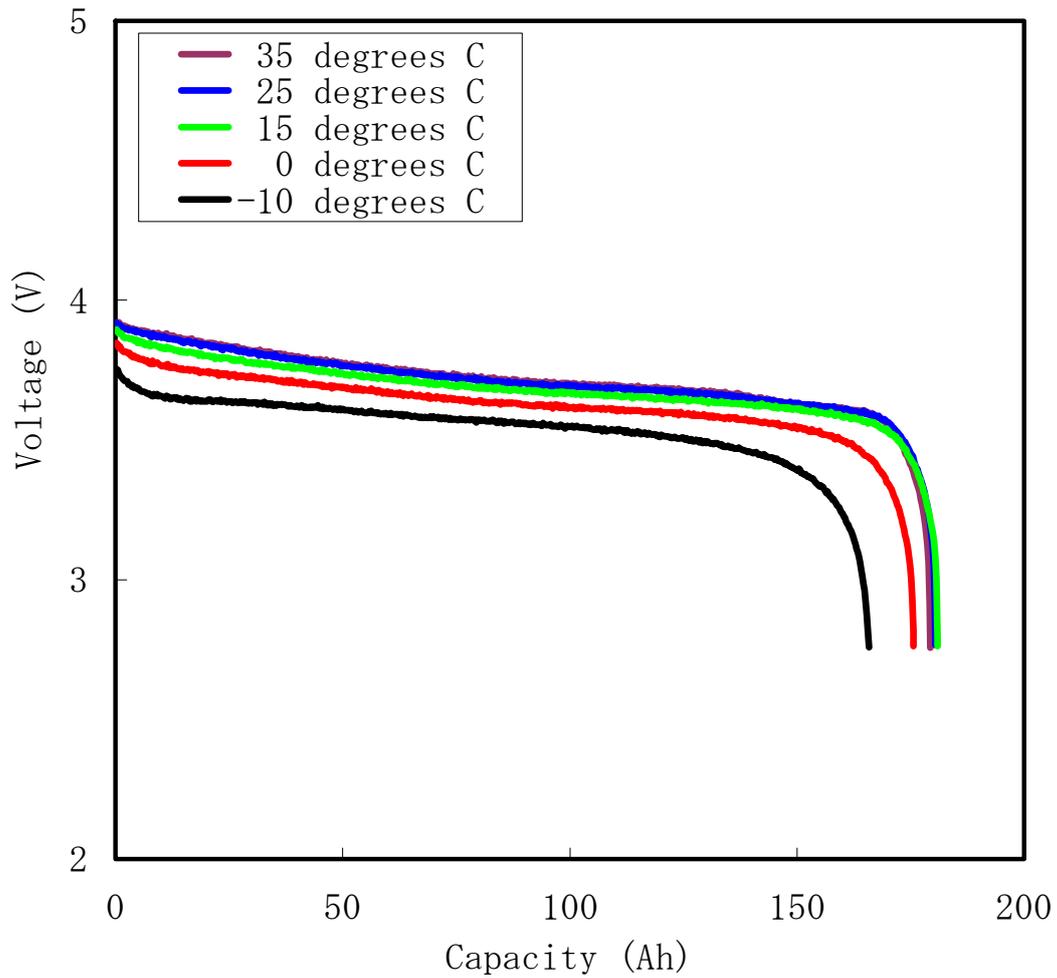


図 3.2.9-3 LFS175 セル試作品の放電温度特性

試験条件(各温度)

充電 : 35A/3.98V (CC/CV), 8 時間

放電 : 87.5A, 2.75V

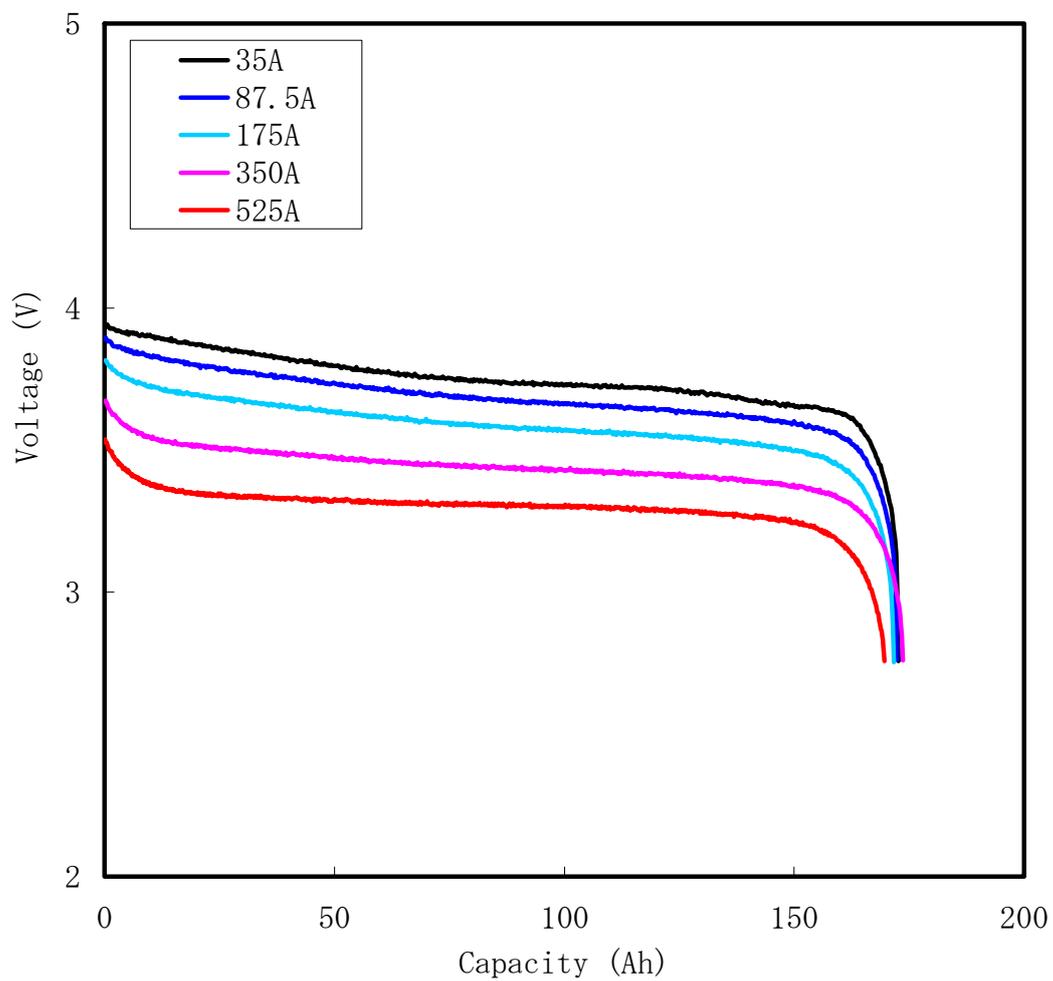


図 3.2.9-4 LFS175 セル試作品の放電レート特性

試験条件(15°C)

充電：35A/3.98V (CC/CV), 8時間

放電：各設定電流、2.75V

3.2.9.3 エネルギー密度解析

初期容量確認試験では充電終止電圧を 3.98V としている。上述の 5 セルの平均放電容量は 182Ah であり、エネルギー密度は 142Wh/kg であった。この充電条件は電池寿命を優先したものであり、実力的には充電電圧を 4.10V とした場合、容量は約 20% 増加する。この値から 4.10V 充電でのエネルギー密度を計算すると、 $142\text{Wh/kg} \times 1.2 = 170.4\text{Wh/kg}$ となる。

これらの設計の集大成としてバッテリーセルを製造し、性能評価試験を実施し、中間目標の性能確認を実施した。

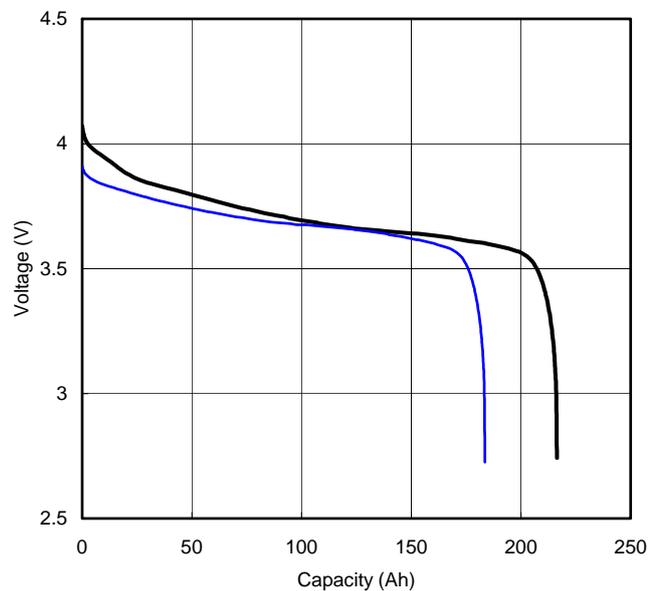
結果を、図 3.2.9-5 に示す。

試験条件 (15°C)

充電 : 35 A / 4.15 V (CC/CV)

10 時間

放電 : 87.5 A、2.75 V 終止



実測値は中間目標値を達成した。

セル容量 : 217 (175) Ah

エネルギー効率 : 174 (170) Wh/kg

() は中間目標値を示す

図 3.2.9-5 セルの容量確認データ

3.2.9.4 寿命解析

準天頂衛星では、軌道上 15 年という長寿命を要求される。このような長期間の寿命要求について実試験での評価を待つことはできないため、175Ah セルと同一の極板と電解液を使用している他のセルを用いて寿命試験を実施し、その結果から寿命予測方法を確立し、容量低下の計算式を得た。この式を用いることによって、様々な運用パターンにおけるこの宇宙用リチウムイオン電池の容量低下をシミュレーションできることが判明した。ここでは寿命予測方法について記述し、準天頂衛星における運用パターンでの容量推移シミュレーションを示した。

(1) リチウムイオン電池の容量低下メカニズム

図 3.2.9-6 にリチウムイオン電池の容量低下メカニズムの体系を示す。リチウムイオン電池の容量低下は、貯蔵劣化と充放電サイクル劣化という 2 つの因子からなっていると考えられる。

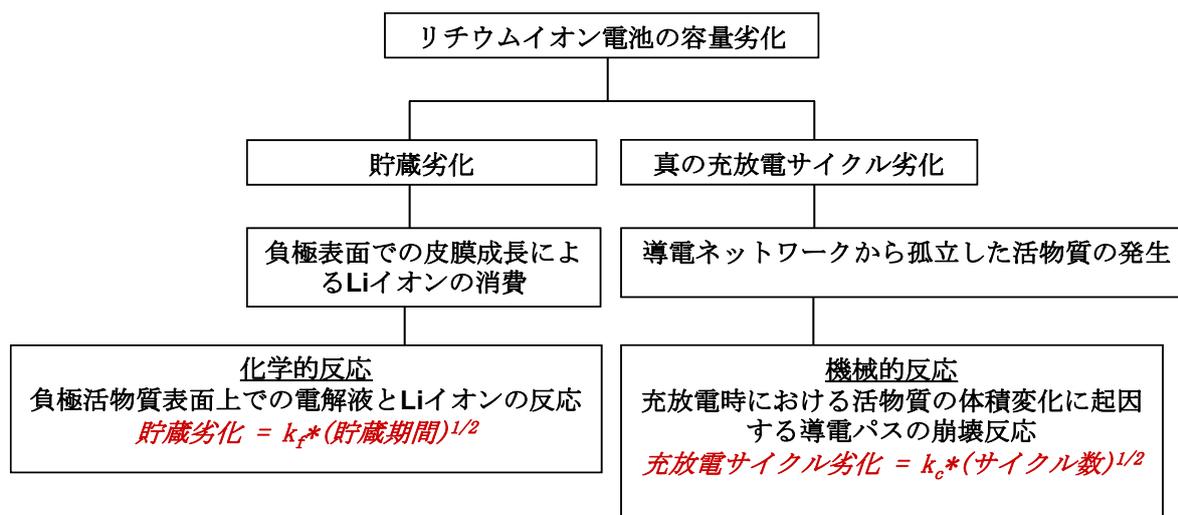


図 3.2.9-6 リチウムイオン電池容量低下の体系

貯蔵劣化は、負極活物質表面での皮膜形成によるリチウムイオンの消費が原因であると考えられる。負極表面皮膜(SEI)は、SEI と透過してきた電解液と負極との反応であると仮定すると、皮膜の形成速度は、膜厚に反比例すると考えられる。

この SEI は貯蔵期間の関数となる。この関係は下記の通り導かれる。

$$(\text{貯蔵劣化}) = k_f \times \sqrt{(\text{貯蔵期間})} \quad \dots (2)$$

ここで、 k_f は充電レベルと貯蔵温度に依存する貯蔵劣化反応定数である。

充放電サイクル劣化は、正極板の導電ネットワークの崩壊によるものと考えられる。正極板は正極活物質、バインダー、導電助材からなっている。充放電サイクルを行うと、正極活物質が体積変化を起こす。これを繰り返すと、バインダー、導電助材から孤立する正極活物質が生じ、正極活物質は充放電に寄与できないため容量低下の原因になると考えられる。この容量低下反応は機械的な反応で、これによる容量低下は、充放電深度とサイクル数に依存する。後述する実験結果から、充放電サイクル劣化は以下のように示すことができる。

$$(\text{充放電サイクル劣化}) = k_c \times \sqrt{(\text{サイクル数})}$$

ここで k_c とは、充放電サイクル深度に依存する係数である。

実際の電池容量低下はこれら容量劣化の和で表すことができる。

$$(\text{電池容量低下}) = (\text{貯蔵劣化}) + (\text{充放電サイクル劣化})$$

(2) 静止軌道運用パターンでの容量推移シミュレーション

準天頂衛星運用での電池寿命を検討するため、参考として、静止軌道衛星の典型的なパターンの寿命シミュレーションを行った。

図 3.2.9-7 に典型的な静止軌道運用パターンでの寿命シミュレーション結果を示す。シミュレーションによると軌道上 15 年後の容量保持率は 77% と推定され、要求される容量保持率(70%)に対してマージンを持って寿命を達成できることが分かった。

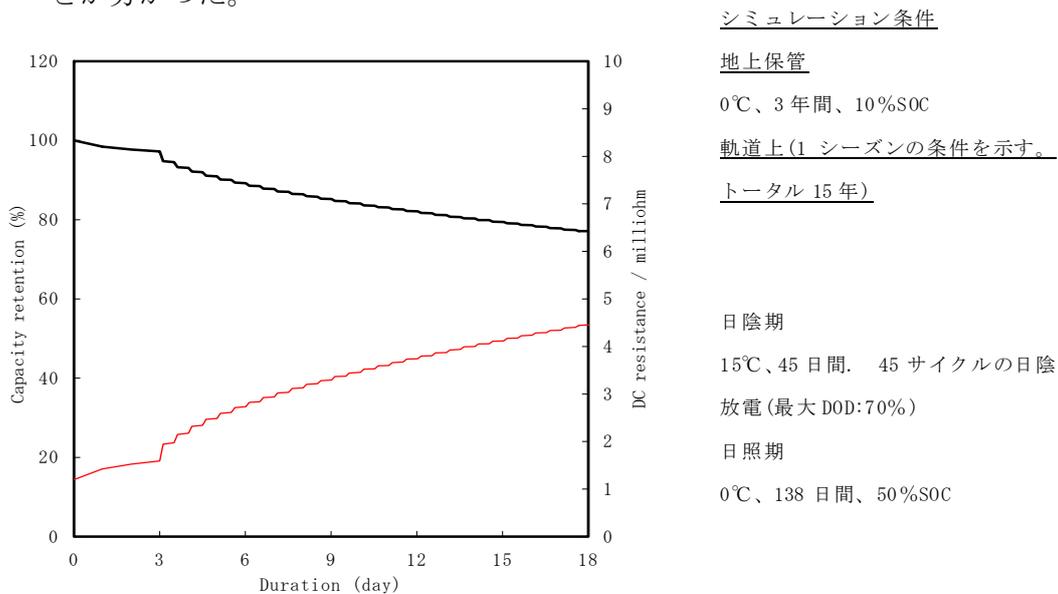


図 3.2.9-7 典型的な静止軌道運用パターンでの寿命シミュレーション結果

3.2.10 認定試験

準天頂衛星用 175Ah リチウムイオンバッテリーセルの認定試験を実施し、本セルは基本特性、電気的特性、耐宇宙環境の各試験全てにおいて規格（要求値）をクリアし、当セルの設計が妥当であることが確認された。

認定試験として以下の試験及び検査を実施した。

- a) 完成品検査 寸法・質量・外観
- b) 電圧測定
- c) リーク検査
- d) X線検査
- e) AC インピーダンス測定
- f) 容量試験 $-10^{\circ}\text{C}/0^{\circ}\text{C}/15^{\circ}\text{C}/25^{\circ}\text{C}/35^{\circ}\text{C}$
- g) 高率放電試験
- h) 充電貯蔵試験
- i) 振動試験 正弦波振動
ランダム振動
- j) 加速度試験
- k) 衝撃試験
- l) 熱真空試験
- m) 充電貯蔵試験
- n) 完成品検査

3.2.11 安全性評価試験

(1) 目的

本試験で実施する安全性試験の目的は、下記のとおりである。

- 1) 安全性試験 1：危険物輸送に関する国連勧告試験（UN 試験）を実施し、175Ah リチウムイオンバッテリーセルが輸送可能かの合否判定を行う。
- 2) 安全性試験 2：バッテリー実装後は起こり得ない事象（異常モード）が、仮に起こった場合にセルが示す現象を確認する。

(2) 試験項目

試験マトリクスを表 3.2.11-1 に示す。

表 3.2.11-1 試験マトリクス

区分	試験項目	供試体数	
初期検査	完成品検査 (寸法、質量、外観、電圧測定)	20	
	ヘリウムリーク検査	20	
	X線検査	20	
安全性試験 1 (UN 試験)	高度シミュレーション試験 (T1)	4	
	温度試験 (T2)		
	振動試験(T3)		
	衝撃試験 (T4)		
	外部短絡試験(T5)		
	内部短絡試験(T6)	2	
	過充電試験(T7)	—*	
	強制放電試験 (T8)	2	
安全性試験 2	外部短絡試験	(1) 1.00mΩ	1
		(2) 2.00mΩ	1
	過充電試験	(1) 連続	1
		(2) 200% SOC → 連続	1
	過放電試験 (逆充電試験)	(1) 短絡まで	1
		(2) -1.0V まで	1
		(3) -0.5V まで	1
		(4) 0V まで	1
	内部短絡試験 (釘刺し)	(1) SOC100%	1
		(2) SOC125%	1
	異常温度放置試験	(1) +85℃	1
		(2) -40℃	1

*T7 はバッテリーのみに適用される試験であるため、本試験では実施しない。

a. 安全性試験 1 (UN 試験)

UN 試験の概要を表 3.2.11-2 に示す。

表 3.2.11-2 UN 試験の概要

試験 No.	試験名	試験内容	合否判定基準
T1	高度シミュレーション	室温(20±5℃)において、11.6kPa 以下で少なくとも 6 時間放置する。	質量減少、漏液、弁作動、破裂、破断および発火がなく、試験後の OCV (開路電圧) が試験前の 90%以上あること。(*)
T2	温度	“75℃±2×12 時間、-40±2℃×12 時間” のサイクルを各移行時間 30 分以内で 10 サイクル。その後、20±5℃で 24 時間放置。	質量減少、漏液、弁作動、破裂、破断および発火がなく、試験後の OCV (開路電圧) が試験前の 90%以上あること。(*)
T3	振動	★サイン振動時間 7~200Hz (15 分/1 往復) 各軸 12 回繰り返す。 ★サイン振動レベル 7~18Hz : 1G 18~約 50Hz : 振幅 0.8mm 約 50Hz~200Hz : 8G	質量減少、漏液、弁作動、破裂、破断および発火がなく、試験後の OCV (開路電圧) が試験前の 90%以上あること。(*)
T4	衝撃	★ピーク加速度: 50G ★パルス持続時間: 11 ミリ秒 ★回数: 各軸正方向 3 回、負方向 3 回	質量減少、漏液、弁作動、破裂、破断および発火がなく、試験後の OCV が試験前の 90%以上あること。(*)
T5	外部短絡	ケース温度 55±2℃において 100mΩ の抵抗で外部短絡。 発熱が収まり、55±2℃に戻ってからさらに短絡状態を 1 時間持続後、さらに 6 時間観察。	外部温度が 170℃を越えず、本試験後 6 時間以内に破裂、破断、発火が見られないこと。
T6	内部短絡	9.1kg の錘を 61±2.5cm の高さからサンプルに落下させる。サンプルの中央部には直径 15.8mm の棒を横たえる。	外部温度が 170℃を越えず、試験後 6 時間以内に破裂や発火なきこと。
T8	強制放電	12V の直流電源にて放電許容最大電流 (175 A) にて定格容量の 1 倍分 (175Ah) の放電を行う。	7 日以内に破裂や発火なきこと。

(*) 完全放電の供試体については“試験後の OCV が試験前の 90%以上”の要求は適用しない。

以下に各試験の目的を示す。

ア. 高度シミュレーション (T1)

低圧の状態において航空輸送をする場合を想定している。

イ. 温度試験 (T2)

密封性及び内部電気接続を調べるものである。本試験は、急速かつ極端な温度変化を用いて行われる。

ウ. 振動試験 (T3)

輸送中の振動を想定している。

以下のサイン振動を 3 軸それぞれに印加する。

★サイン振動時間

7～200Hz (15分/1往復) 各軸12回繰り返す。

★サイン振動レベル

7～18Hz : 1G、18～約50Hz : 振幅0.8mm、約50Hz～200Hz : 8G

エ. 衝撃試験 (T4)

輸送中の衝撃を想定している。

以下の衝撃を3軸それぞれに印加する。

ピーク加速度 : 50G

パルス持続時間 : 11ミリ秒 回数

正方向3回、負方向3回

オ. 外部短絡試験 (T5)

外部短絡(抵抗値は100mΩ)を想定している。

外部温度が許容値を越えず、破裂、破断、発火が見られないことを確認する。

カ. 内部短絡試験(鉄球落下試験) (T6)

衝突を想定している。

外部温度が許容値を越えず、破裂、破断、発火が見られないことを確認する。

キ. 強制放電試験 (T8)

強制放電(放電許容最大電流、175A)を想定している。

b. 安全性試験 2

安全性試験 2 は、バッテリーの実装上起こり得ない事象が、仮に起こった場合にどのような現象が起こるかを確認するための試験である。

ア. 外部短絡試験

100%SOCのセルに対してそれぞれ1.0mΩ(表3.2.11-3の試験①)、2.0mΩ(表3.2.11-3の試験②)の抵抗値で外部短絡試験を実施する。

イ. 過充電試験

100%SOCの2セルを用いて2通りの過充電試験(表3.2.11-3の試験①および試験②)を実施する。

1) 試験①(連続過充電)

充電試験を実施し、セルがベントする(安全弁が開く)まで継続する。

2) 試験② (間欠過充電)

87.5A で過充電試験を実施し、2 時間後に一旦停止させる。その後、24 時間以上、異常が無いことを確認し、さらにベントするまで 87.5A で過充電試験を実施する。

ウ. 過放電試験 (逆充電試験)

20% 充電状態の 4 セルを用いて、4 通りの逆充電試験 (試験①～試験④) を実施する。

87.5A で過放電試験を実施する。終了条件を表 3.2.11-3 に示す。

表 3.2.11-3 過放電試験終了条件

試験 No.	終了条件
①	セル内での短絡を確認後、さらに 1 時間後。
②	-1.0V に到達した時点。
③	-0.5V に到達した時点。
④	0V に到達した時点。

エ. 内部短絡試験 (釘刺し試験)

100%SOC、125%SOC のセルに対して内部短絡試験 (釘刺し試験) を実施する。釘刺し位置はセル平側面部中央とする。締め付け板として、セル平面中央部に釘刺し用の穴を開けた板を用いる。

オ. 異常温度放置試験

100%SOC の 2 セルに対して、それぞれ、 -40°C 、 $+85^{\circ}\text{C}$ の異常温度放置試験を実施する。

(3) 試験結果

安全性試験 1 (UN 試験) を実施し、すべての要求を満たし合格した。175Ah リチウムイオンバッテリーセルは、危険物クラス 9 として輸送可能であることが確認された。すなわち、国連認定コンテナを使用すれば、国土交通大臣の特別許可不要で通常輸送が可能である。

安全性試験 2 を実施し、セルの潜在危険の事象確認として、セルが異常にさらされた場合に起こる事象を確認した。表 3.2.11-4 に各試験結果の要約を示す。

表 3.2.11-4 安全性試験 2 の結果要約

試験項目	試験条件	結果
外部短絡試験	1.00mΩ	セルのヒューズ機能が作動し、異常は起こらない。
	2.00mΩ	セルのヒューズ機能が作動し、異常は起こらない。
過充電試験	連続(87.5A)	トータルの充電電気量が定格容量の約 241%に到達したところで、発火を伴って上下安全弁が作動した。
	200%充電後 24 時間放置。以降連続充電(87.5A)	200%充電後の 24 時間放置では、異常は起こらない。その後の連続充電において、トータルの充電電気量が定格容量の約 248%に到達したところで、発火を伴って上下安全弁が作動した。
逆充電試験	連続 (87.5A)	セル内で短絡を生じるため、OCV は 0V となるが異常は起こらない。
	-1.0V まで(87.5A)	セル内で短絡が生じるため、OCV は 0V となるが異常は起こらない。
	-0.5V まで(87.5A)	異常は起こらない。試験後のセルの OCV は 3V 程度まで回復し、充放電も可能である (ただし、寿命性能は未検討)。
	0.0V まで(87.5A)	異常は起こらない。試験後のセルの OCV は 3V 程度まで回復し、充放電も可能である (ただし、寿命性能は未検討)。
釘刺し試験	100%SOC	釘刺し後、1 秒以内に発煙を伴って上下安全弁が作動した。発火までは至らない。
	125%SOC	釘刺し後、1 秒以内に発煙を伴って上下安全弁が作動した。発火までは至らない。
異常温度放置試験	+85℃	85℃にさらされたことによる容量低下は見られるが、異常は起こらない。
	-40℃	異常は起こらない。

3.2.12 寿命評価試験

3.2.12.1 寿命試験計画

(1) 目的

LIBA の設計寿命は静止軌道で 15 年である。この寿命評価試験は準天頂衛星を始めとする次世代衛星に LIBA を搭載するにあたり、各衛星の特殊な運用条件での要求寿命を満足していることを評価解析にて確認するためのパラメータをセルレベルで取得することである。

(2) 試験項目

- ・試験フローを図 3.2.12.1-1 に示す。

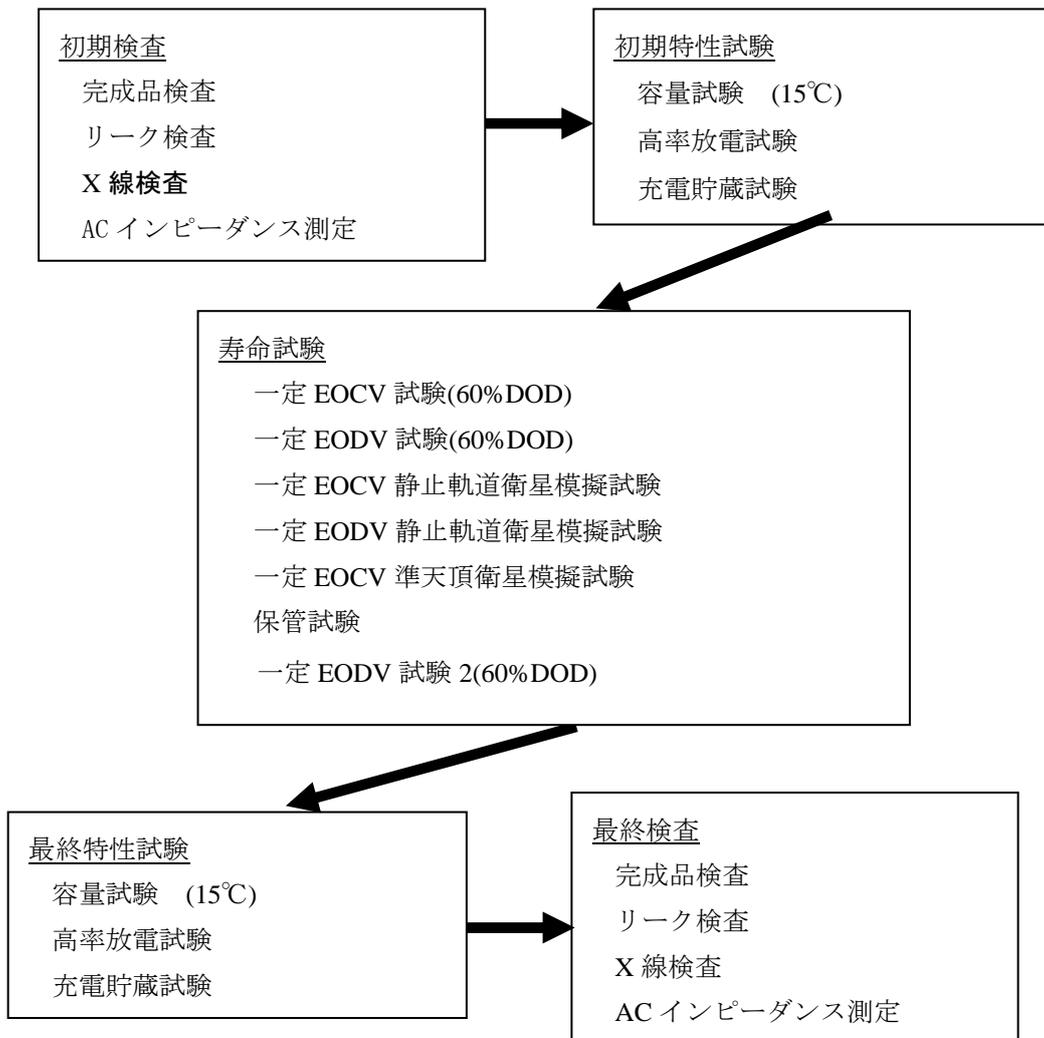


図 3.2.12.1-1 寿命評価試験フロー

- ・ 寿命試験条件の概略を表 3.2.12.1-1 に示す。

表 3.2.12.1-1 寿命試験条件の概略

	寿命試験項目	試験条件				試験セル数
		放電深度	放電電流	充電条件	温度条件	
1	一定 EOCV 試験 (60%DOD サイクル)	60%	C/2	C/5	+15°C	3 セル
2	一定 EODV 試験 (60%DOD サイクル)	60%	C/2	C/5	+15°C	3 セル
3	一定 EOCV 静止軌道衛星模擬試験	静止軌道 パターン Max. 70%	0.57C	C/20	日照(加速) : +25°C 日陰 : +15°C	3 セル
4	一定 EODV 静止軌道衛星模擬試験	静止軌道 パターン Max. 70%	0.57C	C/20	日照(加速) : +25°C 日陰 : +15°C	3 セル
5	準天頂衛星模擬試験	10~70%	C/2	C/5	+15°C	2 セル
6	保管試験	-	-	-	0°C、+15°C、+25°C	3 セル
7	一定 EODV 試験 2 (60%DOD サイクル)	60%	C/2	C/5	+15°C	1 セル

以下に各試験の目的と試験手順を示す。

a. 一定 EOCV 試験 (60%DOD)

ア. 試験目的

本試験は 60%DOD 充放電サイクルを実施するに当たって、EOCV を固定する方式で実施し、後述する一定 EODV 試験と結果を比較し、寿命性能を評価する。

イ. 試験手順

図 3.2.12.1-2 に示すフローにより一定 EOCV 試験 (60%DOD) を行う。300 サイクル毎に容量確認試験を行う。

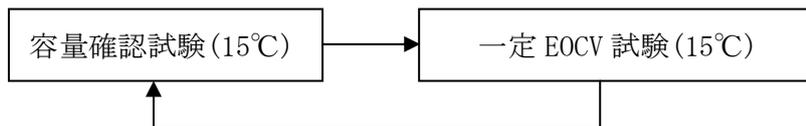


図 3.2.12.1-2 一定 EOCV 試験フロー

b. 一定 EODV 試験 (60%DOD)

ア. 試験目的

本試験は 60%DOD 充放電サイクルを実施するに当たって、放電末期に電池の残存容量が 35Ah になるように EODV を設定する。前述の一定 EOCV 試験と結果を比較し、寿命性能を評価する。

イ. 試験手順

図 3.2.12.1-3 に示す条件で一定 EODV 試験 (60%DOD) を行う。300 サイクル毎に容量確認試験を実施する。

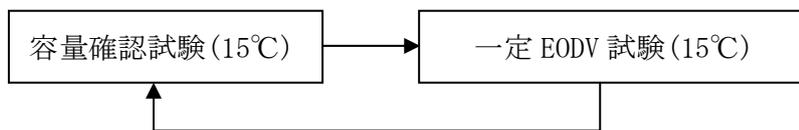


図 3.2.12.1-3 一定 EODV 試験フロー

c. 一定 EOCV 静止軌道衛星模擬試験

ア. 試験目的

静止軌道衛星での運用パターンを模擬した試験を行う。日陰充放電の制御方法は一定 EOCV とする。後述する一定 EODV 静止軌道衛星模擬試験での結果と比較し、寿命特性を評価する。

イ. 試験手順

図 3.2.12.1-4 に試験フローを示す。一定 EOCV 日陰期試験と加速日照期試験を繰り返す。それぞれ 1 回合わせたものを 1 シーズンと称する。1 シーズン毎に容量確認試験を行う。



図 3.2.12.1-4 一定 EOCV 静止軌道衛星模擬試験フロー

一定 EOCV 日陰期試験では、日陰期を模擬した 45 日間の充放電試験を実施する。

d. 一定 EODV 静止軌道衛星模擬試験

ア. 試験目的

静止軌道衛星での運用パターンを模擬した試験を行う。日陰充放電の制御方法は一定 EODV 方式とする。前述の一定 EOCV 静止軌道衛星模擬試験での結果と比較し、寿命特性を評価する。

イ. 試験手順

図 3.2.12.1-5 に試験フローを示す。一定 EODV 日陰期試験と加速日照期試験を繰り返す。それぞれ 1 回合わせたものを 1 シーズンと称する。1 シーズン毎に容量確認試験を行う。



図 3.2.12.1-5 一定 EODV 静止軌道衛星模擬試験フロー

一定 EODV 日陰期試験では、日陰期を模擬した 45 日間の充放電試験を行う。

e. 準天頂衛星模擬試験

ア. 試験目的

一定 EODV 方式にて、実際の運用パターンである準天頂衛星パターン試験を実施し、性能を評価する。

イ. 試験手順

図 3.2.12.1-6 に試験フローを示す。準天頂衛星運用パターンを模擬した充放電試験を行う。1 パターン毎に容量確認試験を実施する。

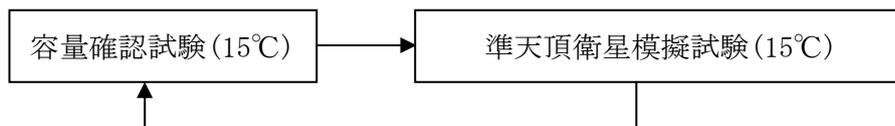


図 3.2.12.1-6 準天頂衛星模擬試験フロー

準天頂衛星模擬試験では、実際の運用パターンである準天頂衛星の運用プロフィールに対して寿命評価を行えるように、通常の一定 EODV 試験の中にパルス放電を織り交ぜた試験を実施し、性能を評価する。

f. 保管試験

ア. 試験目的

本試験は、地上における打上前の保管状態を模擬したものである。また、供試体には、正極端子とケース間を高抵抗体で接続したセルを用いる。これによって、ケース腐食防止技術の長期的信頼性を確認する。

イ. 試験手順

図 3.2.12.1-7 に試験フローを示す。所定期間の貯蔵試験と容量確認試験とを繰り返し実施する。貯蔵時は SOC100%、開放状態とする。



図 3.2.12.1-7 保管試験フロー

また、容量確認試験の step2 の放電容量を測定することによって、貯蔵期間中の自己放電量を算出する。

保管試験では、SOC 調整を実施した後、電池を表 3.2.12.1-2 に示す温度にて保管する。定期的に容量確認試験を実施する。

保管前 SOC 調整充電 (15°C)

充電： 17.5A/3.98V (CC/CV) 15 時間

表 3.2.12.1-2 保管温度条件

供試体 S/N	保管温度
016	0°C
017	15°C
018	25°C

3.2.12.2 寿命試験結果

3.2.12.2.1 一定 EOCV 試験

図 3.2.12.2-1 に EOCV と EODV の推移を示す。EOCV : 3.98V の条件で 1968 サイクルにて EODV が 2.75V となった。その後引き続き 1969 サイクル以降、EOCV を 4.03V に変更して試験を継続した。また、No.10 の EODV が 2.75V に到達したため、2620 サイクルから EOCV を 4.08V に切り上げて試験を継続している。EOCV を切り上げる直前の EODV のばらつきが大きい原因は放電終了時の残存容量のばらつきによるものである。リチウムイオン電池は、放電中、平坦な電圧特性が得られるが、放電末期に急激に電圧が低下する。このため、放電終了時の残存容量が少ない領域では、セル間のわずかな残存容量差でも EODV に大きな差が生じる。2778 サイクル時の EODV は 3.208~3.241V とばらつきが小さくなっている。これは EOCV を切り上げたことによって、放電後の残存容量が増加したためである。

図 3.2.12.2-2 に一定 EOCV 試験の容量確認試験での容量推移を示す。2700 サイクル経過時の容量は平均で 130Ah であった。なお、図中の Estimation 曲線は今回の試験結果を基に見直した寿命予測曲線である。

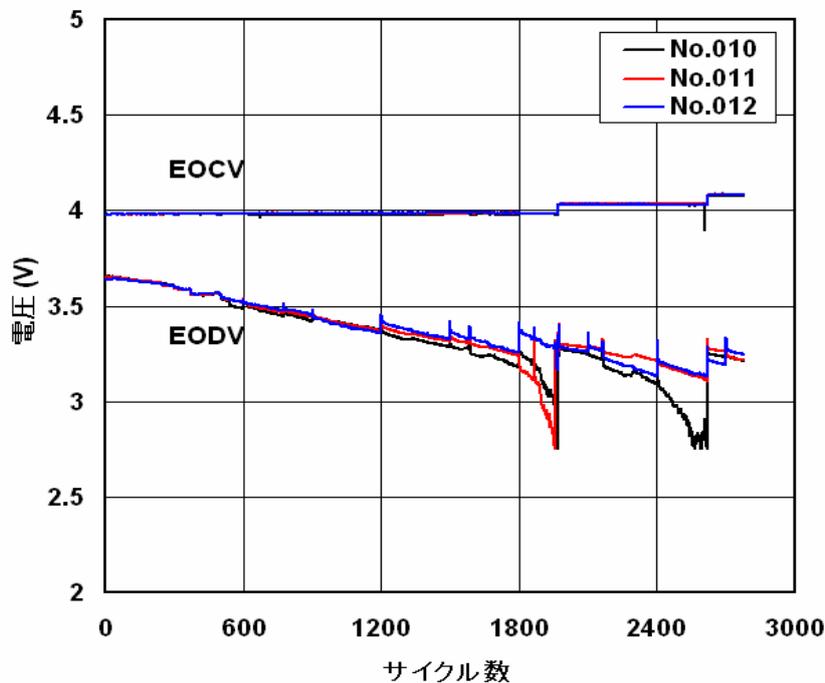


図 3.2.12.2-1 一定 EoCV 試験中の EoCV と EoDV の推移

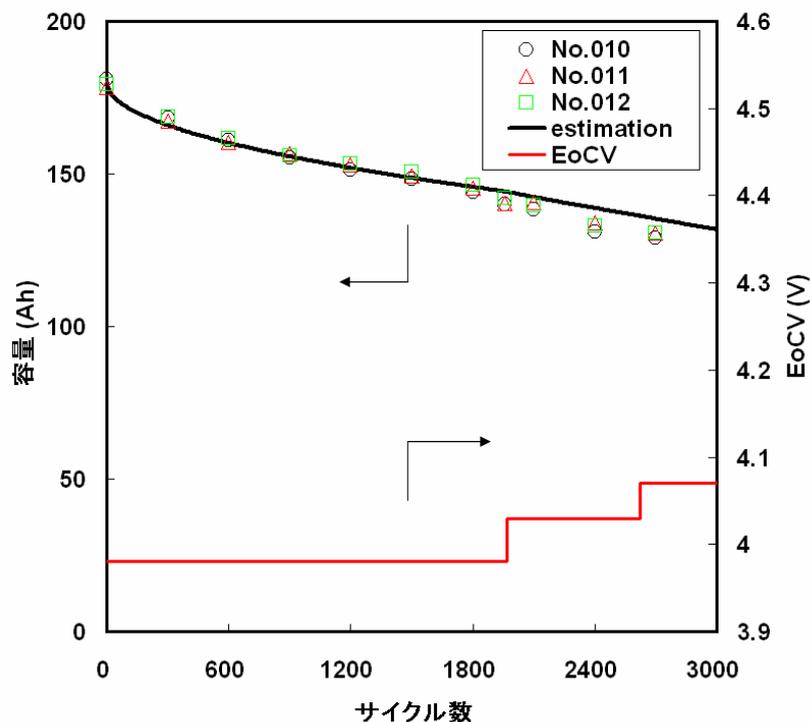


図 3. 2. 12. 2-2 一定 EOCV 試験の容量確認試験での容量

3. 2. 12. 2. 2 一定 EODV 試験

(1) 一定 EODV 試験 1

図 3. 2. 12. 2-3 に一定 EODV 試験 1 での EOCV と EODV の推移を示す。EODV が 3. 60V に到達したことを確認した時点で EOCV を 10mV ずつ切り上げたが、550 サイクル目に EOCV の設定上限である 4. 18V に到達した。それ以降、EoCV を 4. 18V に固定して試験を継続した。2450 サイクルで No. 15 の EODV が 2. 75V に到達したため試験を終了した。寿命末期にかけて EODV のばらつきが大きくなっている。これは一定 EOCV 試験でも述べたように放電終了時の残存容量が少ない領域では、セル間のわずかな残存容量差でも EODV に大きな差が生じるためである。

一定 EOCV 試験では 2778 サイクルを経過しても EOCV : 4. 08V で試験継続中であることに比べて短寿命であった。一定 EOCV 試験と比べて EOCV が高いことが原因であると考えられる。

図 3. 2. 12. 2-4 に一定 EoDV 試験の容量確認試験での容量推移を示す。2450 サイクル時の容量は約 100Ah であった。一定 EoCV 試験が 2400 サイクル時に約 132Ah あったことと比較して、容量低下が大きいことが分かる。前述のように一定 EOCV 試験よ

りも EOCV が高いことで容量低下が大きくなったと考えられる。なお、図中の Estimation 曲線は今回の試験結果を基に見直した寿命予測曲線である。

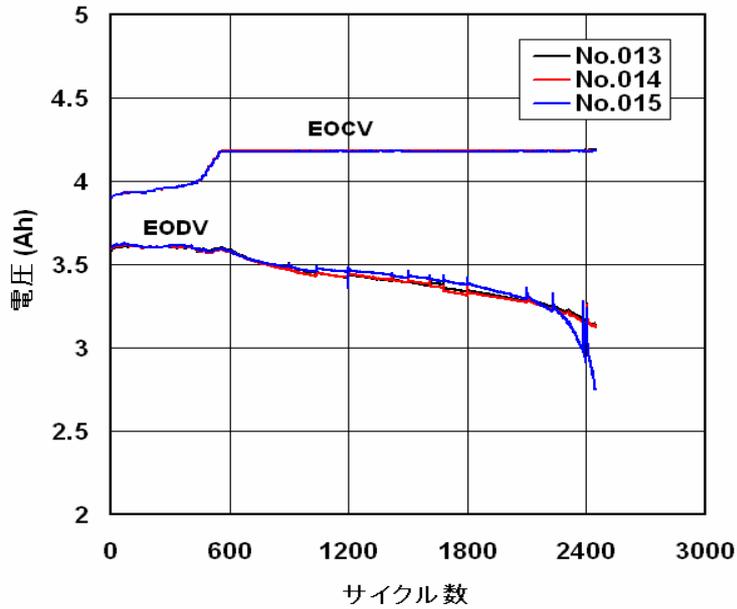


図 3.2.12.2-3 一定 EODV 試験 1 中の EOCV と EODV の推移

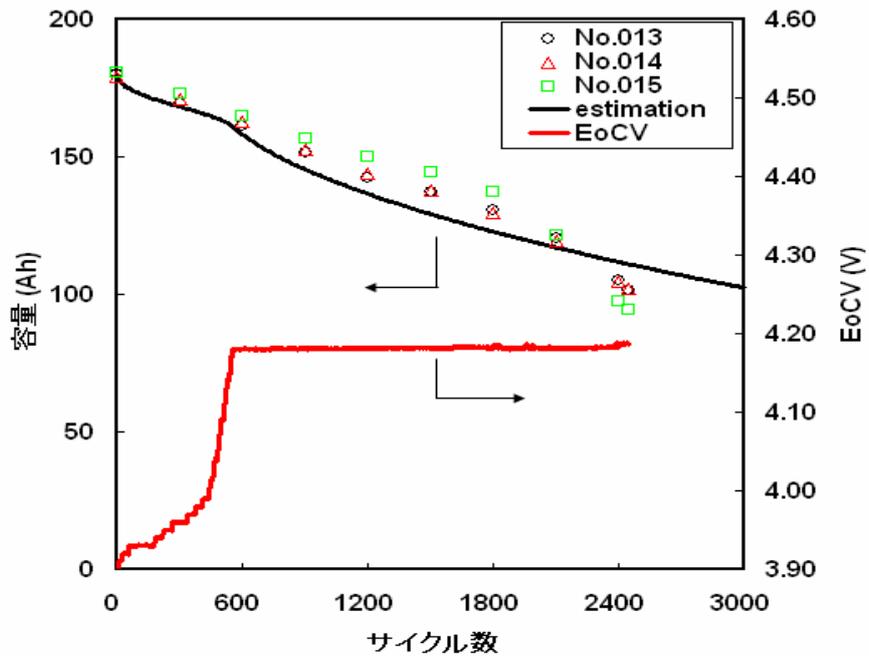


図 3.2.13.2-4 一定 EODV 試験 1 の容量確認試験での容量推移

(2) 一定 EODV 試験 2

図 3.2.12.2-5 に一定 EODV 試験 2 の EOCV と EODV の推移を示す。初期 EOCV は 3.90V とし、放電終止電圧が 3.50V に到達したことを確認した時点で充電終止電圧を 10mV ずつ切り上げて試験を継続している。645 サイクルで最初に 3.50V に到達し、以降、EOCV を切り上げて試験を継続している。1885 サイクルで EOCV は上限の 4.07V となった。2400 サイクルまで試験の結果、EODV は 3.419V であった。

図 3.2.12.2-6 に一定 EODV 試験の容量確認試験での容量推移を示す。2400 サイクル経過時の容量は 140Ah であった。これは一定 EOCV 試験の 2400 サイクル時の容量が約 132Ah であることよりも良好である。この原因として本試験の初期 EOCV が 3.90V と一定 EOCV 試験の EOCV : 3.98V よりも低かったことが考えられる。なお、図中の Estimation 曲線は今回の試験結果を基に見直した寿命予測曲線である。

一定 EOCV 試験、一定 EODV 試験 1 および 2 の結果から、運用条件の設定として以下の指針が得られた。

- ・ 初期 EOCV の設定は低いほど良い。
- ・ EODV の下限値を固定するとサイクルの進行に伴い、残存容量が増加する。残存容量を一定に保つためには EODV 設定を徐々に下げていく必要がある。また、寿命予測式を用いた推定容量を考慮しながら、EOCV を設定することが好ましい。

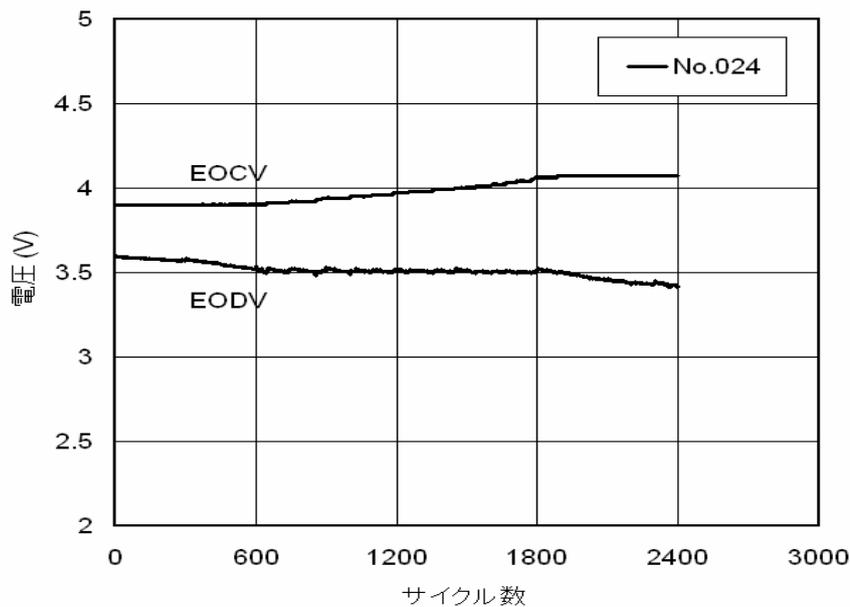


図 3.2.12.2-5 一定 EODV 試験 2 中の EOCV と EODV の推移

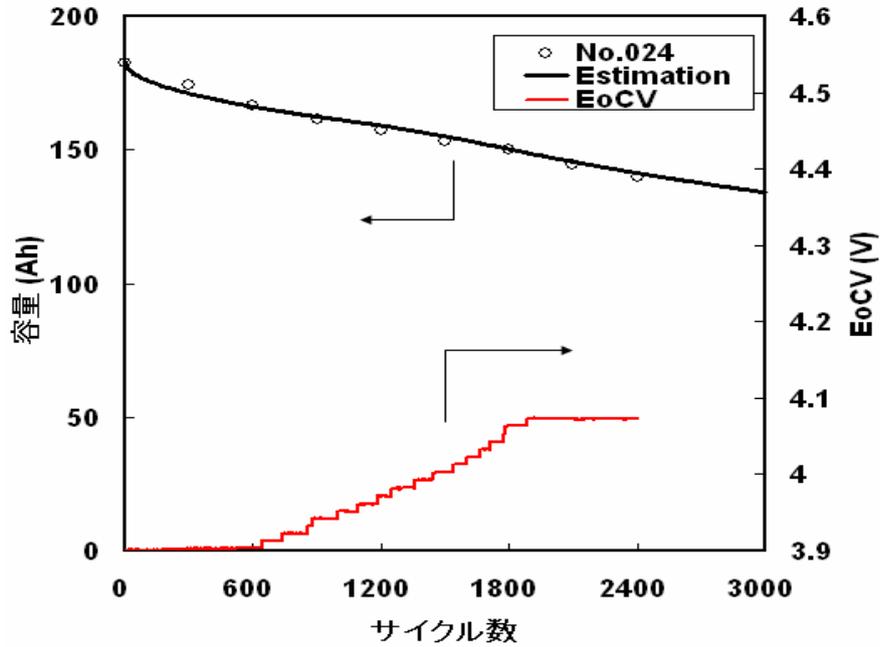


図 3.2.12.2-6 一定 EODV 試験 2 の容量確認試験での容量推移.

3.2.12.2.3 一定 EOCV 静止軌道衛星模擬試験

一定 EOCV 日陰期試験中の充電終止電圧と放電終止電圧の推移を図 3.2.12.2-7 に示す。14 シーズン目の 25 日目 (70.5%DOD) の放電終止電圧は 3.204~3.287V であった。図 3.2.12.2-8 に容量確認試験時の容量推移を示す。なお、図中の Estimation 曲線は今回の試験結果を基に見直した寿命予測曲線であるが、本試験は 3.98V 充電であるため、見直しの影響はない(従来と同様の結果となる)。容量推移は寿命予測曲線と良く一致していることが分かる。

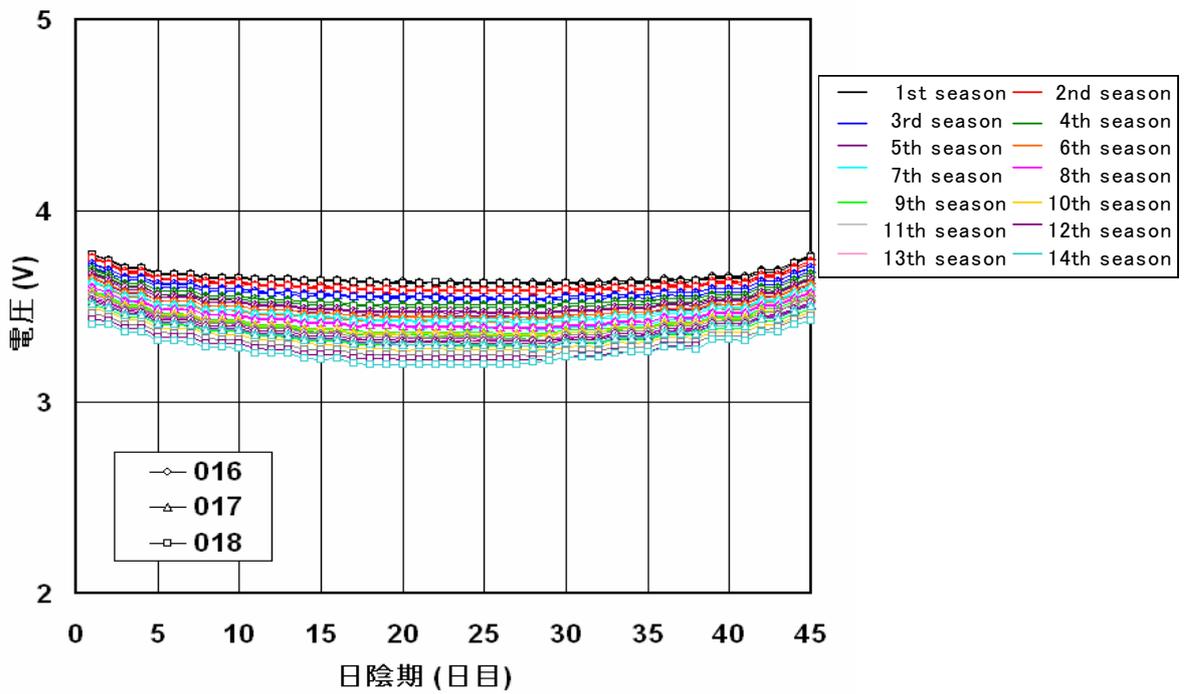


図 3. 2. 12. 2-7 一定 EOCV 静止軌道模擬試験の EODV 推移.

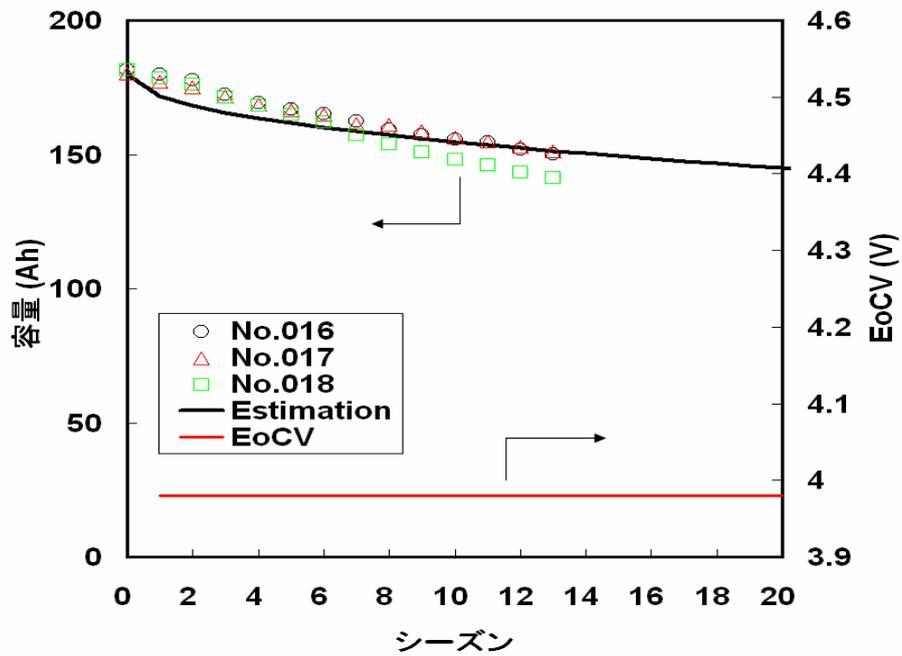


図 3. 2. 12. 2-8 一定 EOCV 静止軌道模擬試験セルの容量推移.

3.2.12.2.4 一定 EODV 静止軌道衛星模擬試験

一定 EODV 日陰期試験中の充電終止電圧と放電終止電圧の推移を図 3.2.12.2-9 に示す。放電終止電圧が 3.60V に到達を確認した時点で充電終止電圧を 10mV ずつ切り上げている。4 シーズン目以降は EOCV の上限値である 4.18V で試験を継続している。12 シーズン目の 25 日目 (70.5%DOD) の放電終止電圧は 3.287~3.324V であった。

容量確認試験での容量推移を図 3.2.12.2-10 に示す。12 シーズン後の容量は平均 128Ah と一定 EOCV 静止軌道衛星模擬試験の平均 149Ah よりも小さい。EOCV が高くなっていることが原因である。なお、図中の Estimation 曲線は今回の試験結果を基に見直した寿命予測曲線である。

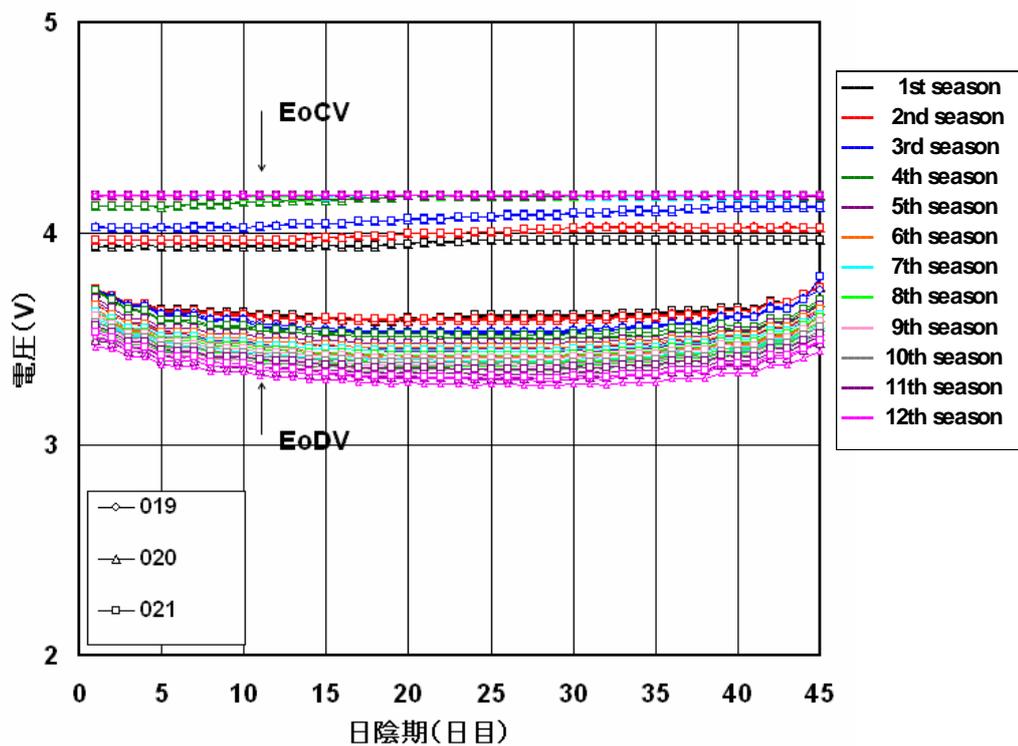


図 3.2.12.2-9 一定 EODV 静止軌道模擬試験セルの EOCV、EODV の推移。

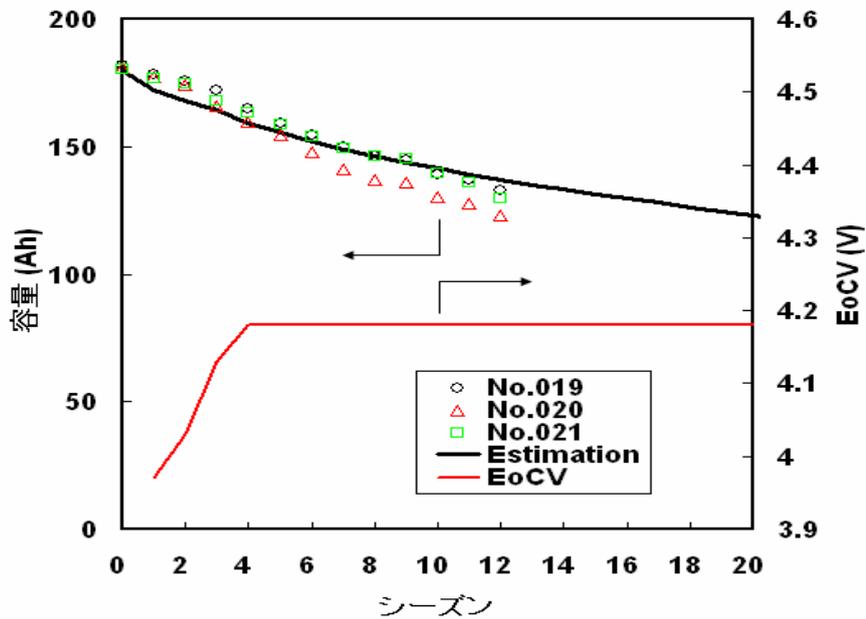


図 3.2.12.2-10 一定 EODV 静止軌道模擬試験セルの容量推移.

3.2.12.2.5 準天頂衛星模擬試験

図 3.2.12.2-11 と図 3.2.12.2-12 に試験①と試験②の容量確認試験での容量推移を示す。なお、図中の Estimation 曲線は今回の試験結果を基に見直した寿命予測曲線である。試験②の方がわずかに容量低下が大きい明確な差とは言えない。

(1 サイクルの基本は DOD 60%+DOD 30%とし、試験①、試験②は DOD 30%の開始位置を可変している)

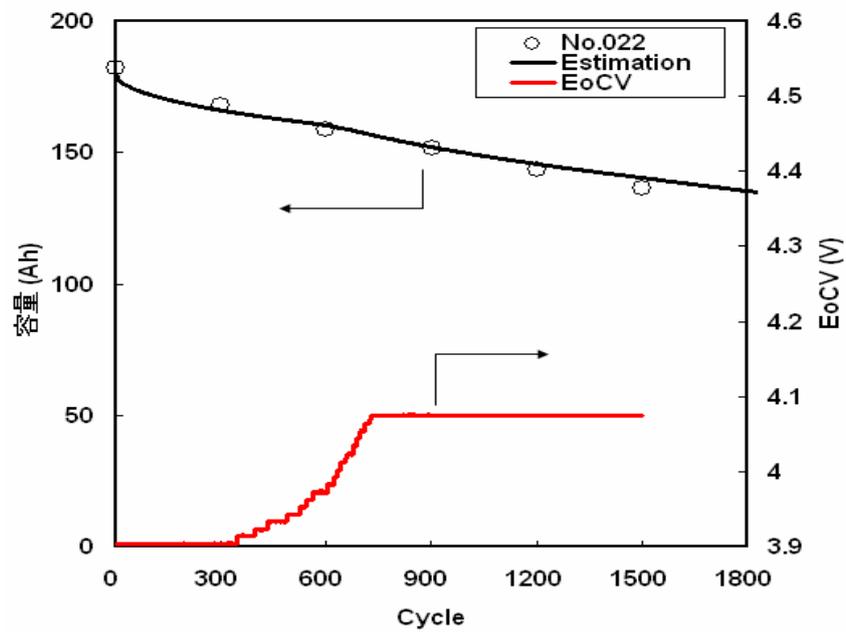


図 3.2.12.2-11 準天頂衛星模擬試験①容量推移.

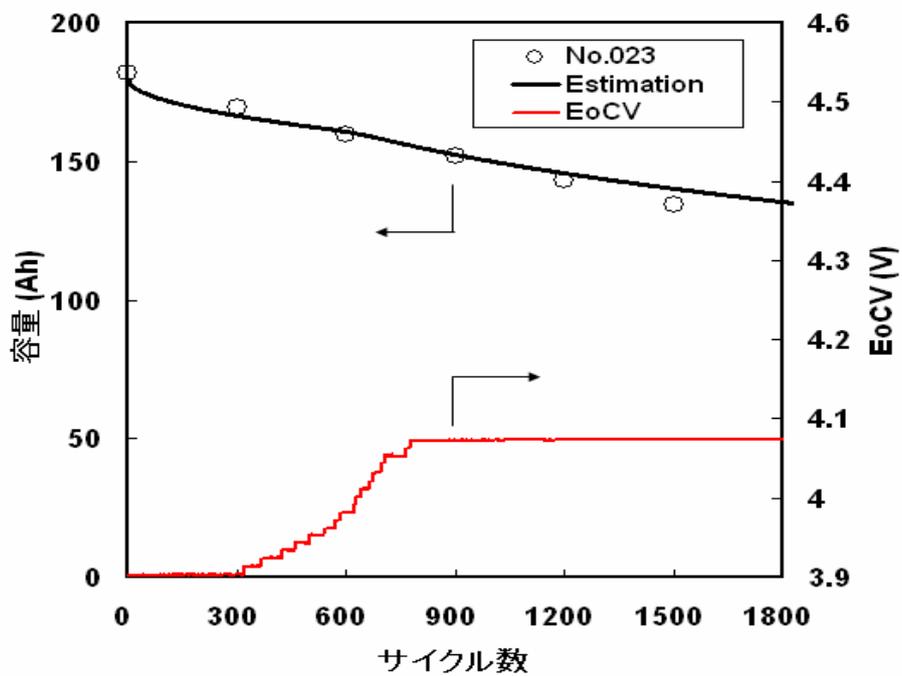


図 3.2.12.2-12 準天頂衛星模擬試験②容量推移.

3.2.12.2.6 保管試験

ケースの腐食を防止し、かつバッテリー組立時の安全性を確保するために、セルは初期特性試験後にセルの正極端子とケース間を高抵抗体で接続した。ケース-端子間電圧を表 3.2.12.2-1 に示す。ケースは正極と同電位になっていることが分かる。保管試験中の容量と自己放電率の推移を図 3.2.12.2-13 に示す。保管温度 0℃、15℃では、初期の自己放電率は約 0.3%/日であった。これは 100Ah セルの初期データとほぼ同等であった。保管温度 25℃では、初期の自己放電率は約 0.7%/日であった。25℃では容量低下が大きいために自己放電率が高くなったと考えられる。12ヶ月目の自己放電率は0.02%/日程度であり、100Ahセルのデータと同等の結果であった。図 3.2.12.2-14 に容量確認試験での容量と寿命予測結果を示す。試験結果は寿命予測とほぼ一致しており、妥当な性能推移を示していると考えられる。なお、図中の Estimation 曲線は今回の試験結果を基に見直した寿命予測曲線であるが、本試験は 3.98V 充電であるため、見直しの影響はない。(従来と同様の結果となる)

表 3.2.12.2-1 供試体の端子-ケース間電圧 (貯蔵前充電後に測定)

S/N	025		026		027	
	正極- ケース	ケース -負極	正極- ケース	ケース -負極	正極- ケース	ケース -負極
0 日	0.00	3.98	0.00	3.98	0.00	3.98
7 日	0.00	3.98	0.00	3.98	0.00	3.98
30 日	0.00	3.98	0.00	3.98	0.00	3.98
6 ヶ月	0.00	3.98	0.00	3.98	0.00	3.98
12 ヶ月	0.00	3.98	0.00	3.98	0.00	3.98
18 ヶ月	0.00	3.98	0.00	3.98	0.00	3.98
24 ヶ月	0.00	3.98	0.00	3.98	0.00	3.98
30 ヶ月	0.00	3.98	0.00	3.98	0.00	3.98
36 ヶ月	0.00	3.98	0.00	3.98	0.00	3.98

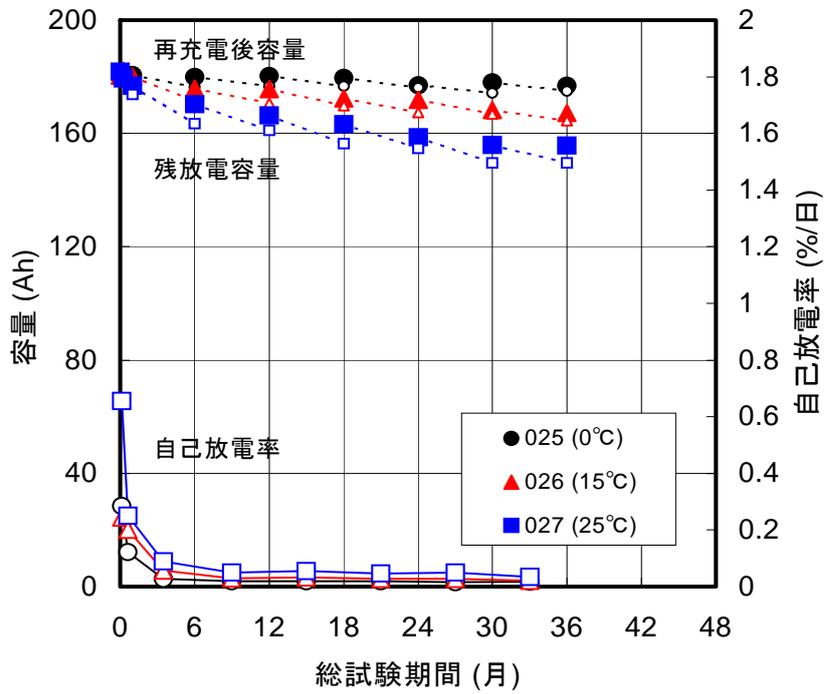


図 3.2.12.2-13 保管試験での容量と自己放電率の推移。

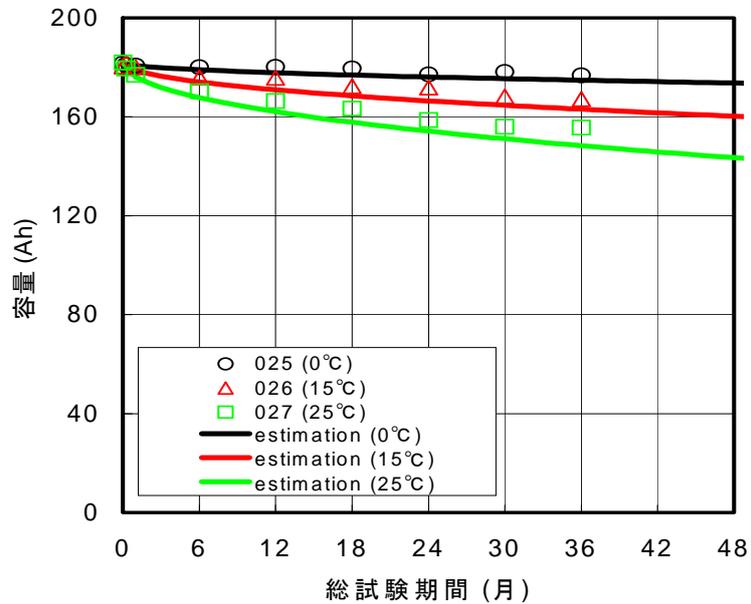


図 3.2.12.2-14 保管試験での容量推移とシミュレーション。

3.2.12.2.7 15年寿命に対する評価

セルの寿命試験結果から準天頂衛星模擬試験パターンおよび静止衛星模擬パターンに対するシミュレーションを行った。目標およびシミュレーション条件は以下のとおりである。

(1) 準天頂衛星模擬試験

175Ah バッテリーセルの寿命試験で得られた結果から、3.98V を超える EOCV での寿命予測式の劣化係数の見直しを行った。この見直した寿命予測式により、準天頂衛星運用のシミュレーションを行った。寿命目標およびシミュレーション条件は以下のとおりである。

[目 標]

- ・ 15年間 (90 サイクル/年×15年=1350 サイクル) での運用
- ・ 放電末期での残存容量 20% (35Ah) 以上
- ・ 最大電圧 : 4.13V

[シミュレーション条件]

- ・ 期間 : 30 シーズン (15年)
- ・ 1 シーズン条件

日陰期 : 45 日間 (温度 15°C)

充放電パターン : 準天頂衛星模擬試験 1 の 5 パターン×各 9 サイクル

日照期 : 137.5 日間 (温度 0°C)

- ・ EOCV 初期値 : 3.98V
- ・ ステップチャージ条件

EOCV 電圧 : 4.13V まで 0.05V ずつ段階的に上昇

EOCV 切り替え条件 : 残存容量 35Ah 以上 (容量 140Ah 以上)

図 3.2.12.2-15 にシミュレーション結果を示す。同図からわかるように、約 14 年の段階で放電後の残容量が 35Ah に達するため、そこでステップチャージ (EOCV : 3.98V→4.03V) することで 15 年以上の寿命を満足することができる。

以上より、準天頂衛星模擬試験の条件のような 1 サイクル中の 2 回の放電 (静止軌道衛星レベルの 60%DOD にパルス放電 30%を織り交ぜたパターン) が発生する場合においても 15 年の運用を達成できるという結果が得られた。

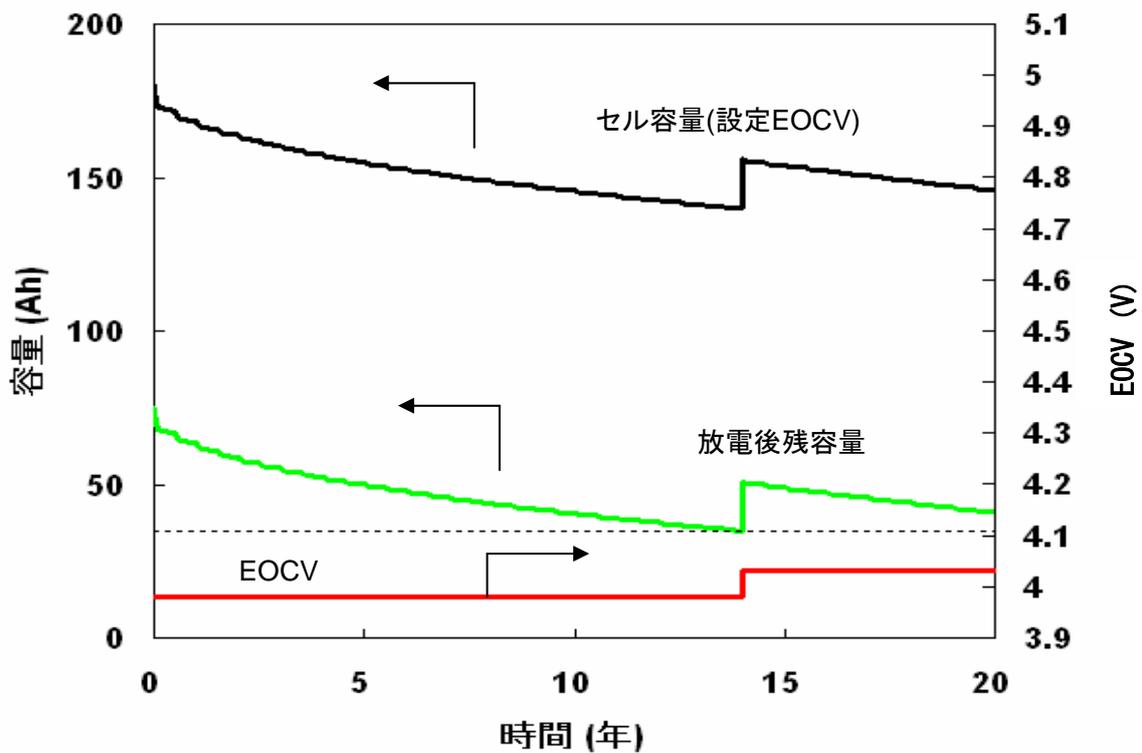


図 3. 2. 12. 2-15 準天頂衛星模擬試験条件における寿命シミュレーション

(2) 静止衛星模擬試験

図 3.2.12.2-2 の実データを基に 15 年分のカレンダー劣化を加味したシミュレーション結果を図 3.2.12.2-16 に示す。同図に示すように目標を達成した。

[シミュレーション条件]

日陰期：一定 EOCV 静止軌道衛星模擬試験による。(15°C)

日陰期：0°C ×137.5 日/シーズン

結果：15 年後 135Ah (目標達成)

目標；15 年後の初期容量の容量保持率 70%以上

$180\text{Ah} \times 0.7 = 126 \text{ Ah}$ 以上

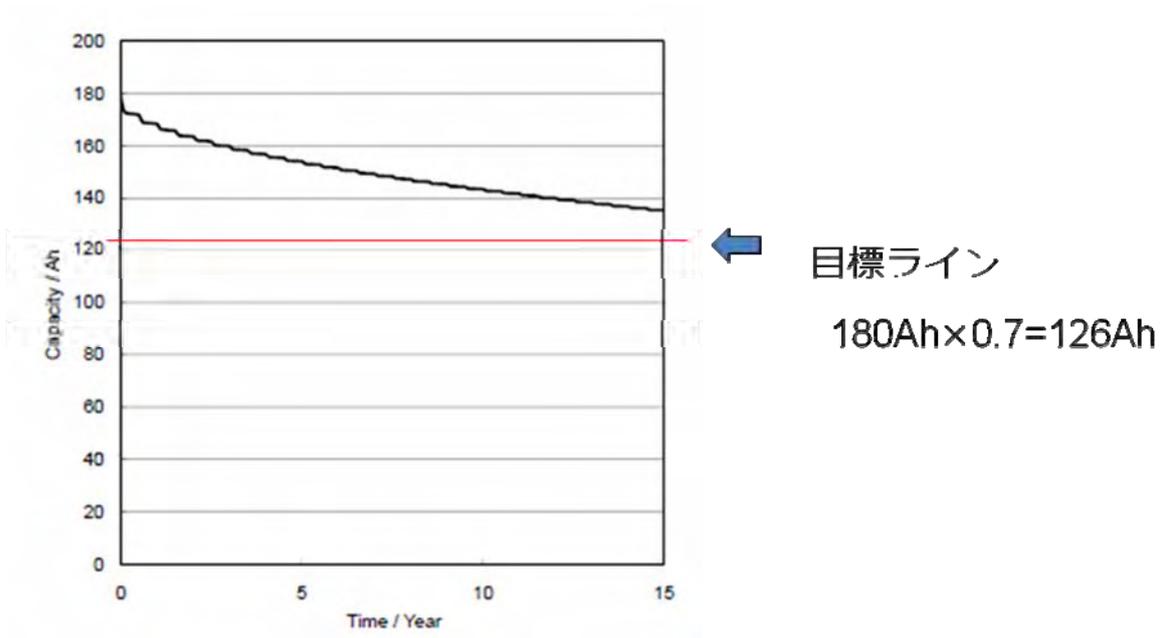


図 3.2.12.2-16 静止衛星模擬試験条件に於ける寿命シミュレーション

3.2.12.2.8 最終特性試験

寿命試験を終了した全てのセルに対して、最終特性試験として下記の試験を実施した。

(1) 容量試験(15°C)

容量試験における全セルの充放電曲線の代表例を図 3.2.12.2-17 に示す。寿命試験の内容の違いによって容量は異なっているが、寿命試験後も正常に充放電可能であることを確認した。

(2) 高率放電試験

高率放電試験では、DOD50%と80%において5秒間のパルス放電を行うが、保管試験(0°C)のS/N025を除く全てのセルでは、寿命進行にともなうDC抵抗の増大により、高率放電5秒以内に放電電圧が2.75Vとなったため、高率放電5秒後の放電電圧を測定することができなかった。

(3) 充電貯蔵試験

充電貯蔵試験では、全セルとも容量保持率が95%以上であることを確認した。一定EODV試験1のセル(S/N013~015)は容量保持率が95.2~96.0%と、他の

セルと比べて低かった。これらのセルは DC 抵抗が高いために電圧降下が大きく、放電容量測定時の放電レート 0.5C (87.5A) では充電電気量分を放電しきれなかったためである。なお、ローレート放電を加えればその他のセルと同等の保持率が得られると考えられる。

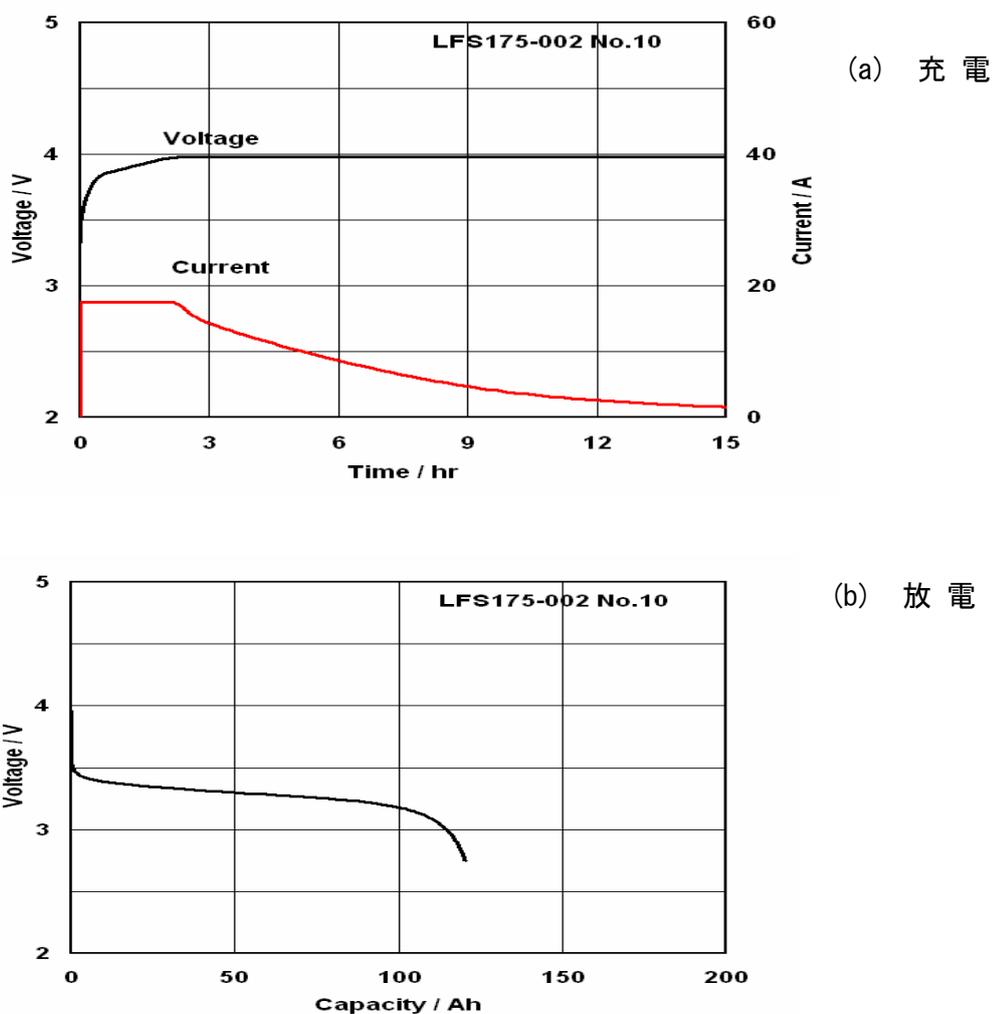


図 3.2.12.2-17 S/N010 の容量試験(15°C)での充放電曲線

(a) 充電 (b) 放電

容量確認試験条件 (15°C)

充電 : 17.5A/3.98V (CC/CV) 15 時間

放電 : 87.5A 2.75V

3.2.12.2.9 最終検査

最終特性試験後に実施した最終検査結果を下記に示す。

(1) 完成品検査

a. 寸法測定

寸法測定の結果、全てのセルは規格を満たしており、寿命試験後においても有意な変化がないことを確認した。

b. 質量測定

質量測定の結果、全てのセルは規格を満たしており、寿命試験後においても有意な変化がないことを確認した。

c. 外観検査

外観検査の結果、寿命試験後においても全てのセルは外観に異常がないことを確認した。

d. 電位測定

電位測定の結果、全てのセルは規格を満たしており、寿命試験後においてもセル内部の絶縁状態に異常がないことを確認した。

なお、保管試験を実施した S/N 025～027 については、正極端子とケース間を高抵抗体で接続した供試体を使用しているため、正極～ケース間電圧は 0V となっている。

(2) ヘリウムリーク検査

ヘリウムリーク検査の結果、全てのセルにおいて規格を満足しており、寿命試験後においても異常がないことを確認した。

(3) X線検査

X線検査によりセルの内部状態を確認した結果、全てのセルにおいて異物の混入などなく、また極板、セパレータ、集電体に有意なズレや変形等も見られなかった。これより、寿命試験後においても異常がないことを確認した。

(4) ACインピーダンス測定

ACインピーダンス測定の結果、寿命試験の進行に伴う性能低下により初期検査時（初期検査でのACインピーダンス値0.45～0.51mΩ）と比較してACインピーダンスが増加していた。寿命試験の進行による40～50%容量低下時のACインピーダンス値は、初期検査時と比較して約1.5倍に増加すると予測しており、ACインピーダンスの測定結果が妥当な値であることを確認した。

3.2.12.2.10 まとめ

衛星搭載用 175Ah リチウムイオンバッテリーセルの寿命試験を実施し、以下の結果が得られた。

- 60%DOD 試験(一定 EOCV、一定 EODV1、一定 EODV2)および準天頂衛星模擬試験は、15 年間のサイクル数に相当する 1350 サイクルを達成した。
- 充電電圧を 3.98V 以上とした場合の寿命予測式係数の見直しを行い、容量推移の予測精度が上がった。
- 一定 EOCV 試験、一定 EODV 試験 1 および 2 の結果から、運用条件の設定として以下の指針が得られた。
 - ・ 初期 EOCV の設定は低いほど良い。
 - ・ EODV の下限値を固定するとサイクルの進行に伴い、残存容量が増加する。残存容量を一定に保つためには EODV 設定を徐々に下げていく必要がある。また、寿命予測式を用いた推定容量を考慮しながら、EOCV を設定することが好ましい。
- 一定 EOCV 静止軌道衛星模擬試験では、容量推移は従来の寿命予測と一致していることが確認できた。一定 EODV 静止軌道衛星模擬試験では、早期に EOCV が上限の 4.18V に達しており、容量低下が大きくなった。
- 準天頂衛星模擬試験では、放電が入る SOC が異なっても、セルの性能には有意な差はないことが明らかになった。
- 保管試験では、温度が高いほど容量低下が大きくなるが、その程度は寿命予測と一致しているという結果が得られた。
- 見直した寿命予測式を基に準天頂衛星模擬の寿命シミュレーションをした結果、準天頂衛星模擬試験条件のような 1 サイクル中の 2 回の放電が発生する静止軌道衛星よりも厳しいパターンにおいても、15 年間の運用を達成できるという結果が得られた。
- 試験データを基に静止衛星模擬の寿命シミュレーションをした結果、寿命 15 年の運用を達成できるという結果が得られた。
- 最終試験の結果、寿命進行にともなう DC 抵抗の増大の影響によって高率放電試験を測定できなかったが、セルの性能そのものは寿命試験後も有意な変化がないことを確認した。

3.3 高信頼化技術の開発

3.3.1 過電圧保護回路の開発

(1) 目的

バッテリーはセルを直列に複数接続して構成し、充放電はバッテリー一括で行われる。バッテリーの充電制御は、バッテリー充電電圧が設定値に到達するまでは、一定電流で充電し、設定値に達すると充電電圧が一定となるように充電電流が制御される (CC/CV 制御)。表 3.3.1-1 に過電圧保護回路の故障事象と改善効果を示す。

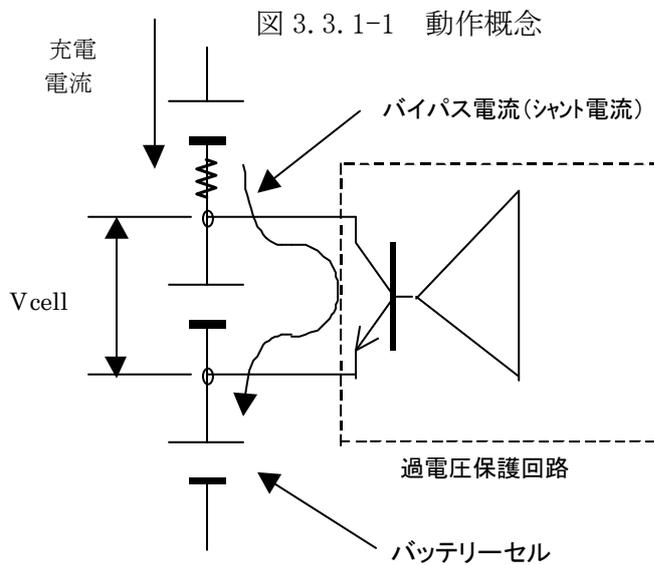
表 3.3.1-1 過電圧保護回路の必要性

故障事象	過電圧保護回路が無い場合の故障事象	過電圧保護回路が有る場合の改善効果
セル過充電	充電装置の定電圧充電機能が故障した場合、定電流充電が継続され、バッテリーアセンブリの各セルが過充電される。過充電の結果、内部短絡や熱暴走を引き起こし、セルが破壊される。	充電装置の定電圧充電機能が故障した場合、定電流充電が継続されても、過電圧保護回路へ電流がバイパスされるため、セルが過充電されることはない。その結果、セル破壊も回避される。
1 セル開放故障	バッテリー一括充電を適用しているバッテリーアセンブリが充電中または充電開始直前に 1 セル開放故障が発生すると充電経路が遮断されるため、各セルへの充電が不可能となる。	バッテリーアセンブリが充電中または充電開始直前に 1 セル開放故障が発生しても過電圧保護回路を充電経路として、各セルへの充電可能となる。
セル劣化	定電圧充電を適用しているバッテリーアセンブリの各セル間に電圧アンバランスが発生すると、高電圧のセルの劣化速度が速くなる。その結果、設計よりも早い段階でバッテリー寿命が尽きる。	バッテリーアセンブリの各セル間に電圧アンバランスが発生しても、セルバランシング機能によりセル電圧を揃えることができるため、各セルの劣化速度を均一にできる。その結果、設計通りのバッテリー寿命で運用できる。
電力不足	定電圧充電を適用しているバッテリーアセンブリの各セル間に電圧アンバランスが発生すると、低電圧のセルの充電容量がバッテリーの充電容量となるため結果的に電力不足となる。	バッテリーアセンブリの各セル間に電圧アンバランスが発生しても、セルバランシング機能によりセル電圧を揃えることができるため、各セルの電圧を均一に保つことができる。その結果、設計通りの電力で運用できる。

(2) 機能

① 過電圧保護機能

過電圧保護機能はバッテリーセルの充電電圧が設定電圧（4.15 V）を越えないように保護するための機能である。定電流充電時にバッテリーセル電圧が規定電圧（ 4.10 ± 0.02 V）に達した場合に過電圧保護回路が動作し、セル電圧を一定に保つためにセルへの充電電流を徐々に減らすように過電圧保護回路へバイパス（シャント）させて、バッテリーセルの過充電を防止する機能である。動作概念を図 3.3.1-1、電圧－電流特性を図 3.3.1-2 に示す。



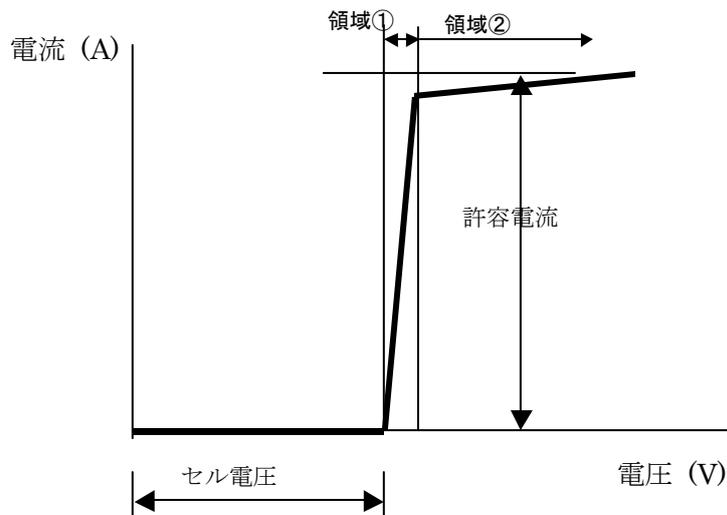


図 3.3.1-2 電圧－電流特性

② オーバーチャージ検出機能

バッテリーセル電圧が規定電圧に達していることを検出して、オーバーチャージ信号 (SIGNAL OUTPUT) を出力する機能である。

③ バランシング機能

バッテリーの寿命は最も劣化の進行したセルに影響され、他のセルよりも充電終止電圧の高いセルが劣化の進行も早くなる。バランシング機能は各セル電圧のアンバランスを均一に補正し、セル劣化の進行を揃えて抑制する機能である。

リーク電流が大きいセルは正常セルよりセル電圧が低い状態
(アンバランス)



正常なセル電圧が早く保護回路規定電圧に到達し、保護回路で充電電流をバイパスし、規定電圧を維持



セル電圧の低いセルは充電を続け、最終的に規定電圧に到達



各セルの電圧アンバランスの補正完了

balancing機能の概略を図 3. 3. 1-3 に示す。

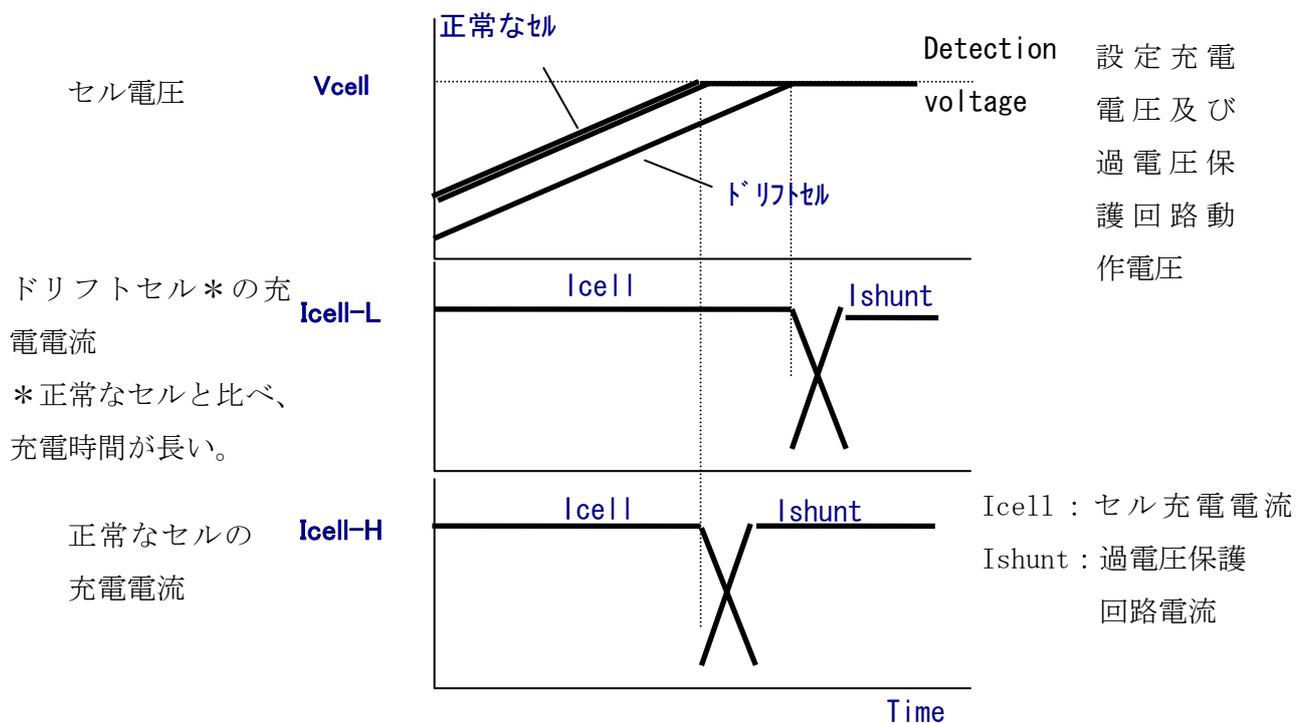


図3. 3. 1-3 バランシング機能の概略

(3) 回路特性

試作回路により検証した過電圧保護回路の特性を以下に示す。

試作回路のシャント電流値は回路の排熱能力の関係で最大 6 A 程度に調整している。

① 基本仕様

-過電圧保護電圧	: 4.10±0.02 V
-シャント電流	: 0～6 A
-電源電圧範囲	: 2.50～5.00V
-使用温度範囲	: -15～+60℃
-消費電流	: 5 mA以下 (待機状態)

② V-I 特性

図 3. 3. 1-4 過電圧保護回路単体試験の結果 (V-I 特性) を示す。シャント電流に関しては回路部品の温度特性の影響から流せる電流値に幅を持っているが、電圧値は揃った値で動作していることを確認した。

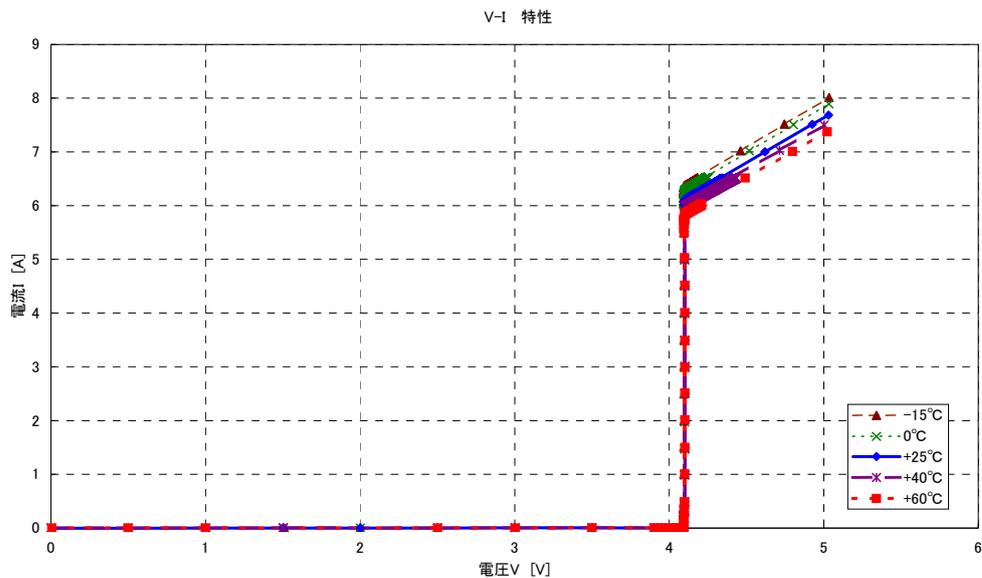


図 3.3.1-4 過電圧保護回路 V-I 特性 (単体試験)

③ 過電圧保護回路消費電流

表 3.3.1-2 に各条件における過電圧保護回路消費電流を示す。高温で若干低い値となっているが、それ以外は仕様値を満足し、揃った電流値を示している。

表 3.3.1-2 過電圧保護回路消費電流表 (単体試験)

		セル過電圧保護回路消費電流[mA] (各温度条件別)					備考
		-15°C	0°C	+25°C	+40°C	+60°C	
電源電圧	3.98V	3.8	3.6	3.8	3.8	3.0	過電圧保護回路待機状態
	4.10V	19.8	19.8	19.8	19.8	19.6	過電圧保護回路動作状態

但し、過電圧保護回路動作状態の消費電流は参考データ

④ シャントスイッチ 1 故障時動作特性

本過電圧保護回路は部品の単一故障時でも安全に動作するように設計されており、特にシャント制御のトランジスタは短絡故障した場合バッテリーセルを短絡するよう動作するため、独立した 2 個直列構造となっている。ここではこの安全動作を確認するため 2 個直列接続されているシャントスイッチ (トランジスタ FET) の 1 個が開放及び短絡故障した場合の特性を確認した。短絡故障の場合は故障していない方のシャントスイッチにより充電電流を制御しながらバイパスすることが可能であり、故障前の性能を維持することを確認した。

⑤ セル電圧バランスング試験

図 3.3.1-5 にセル電圧バランスング動作特性を示す 1 回目のセルバランスング動作では十分なセル電圧補正が成されない。しかし、2 回目のセルバランスング動作によってセル電圧は十分に補正される。

⑥ 試作回路試験のまとめ

過電圧保護回路の試作回路による検証結果は良好であり、目標仕様を満足した。過電圧保護回路を衛星搭載用として小型軽量化するため、気密モジュール化された過電圧保護回路の開発を実施した。

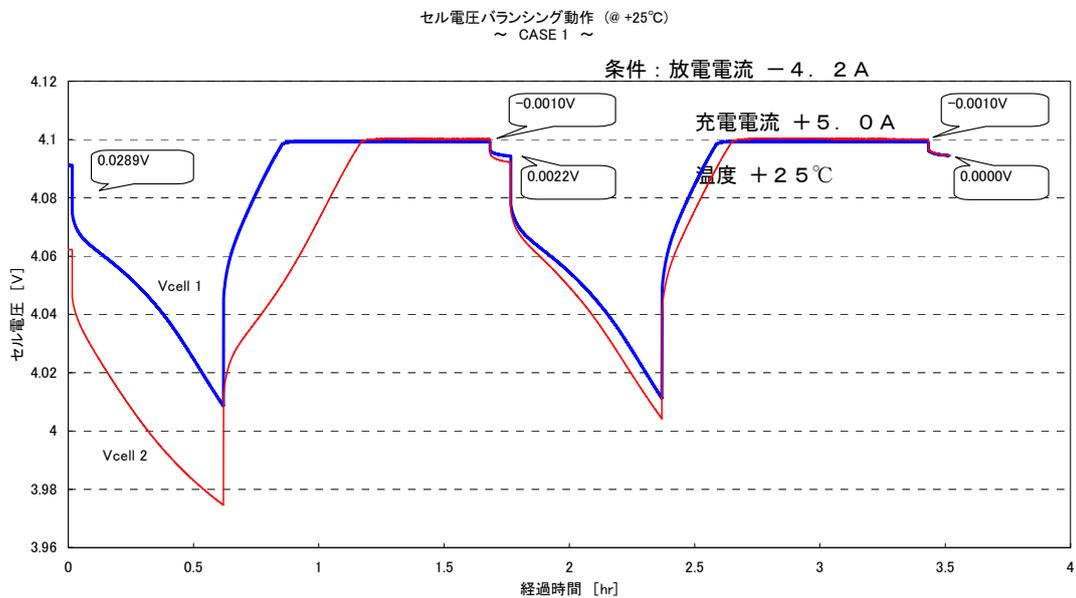


図 3.3.1-5 セル電圧バランスング動作特性

(4) 気密モジュール化

① 設計

設計した過電圧保護回路の外形図を図 3.3.1-6 に示す。

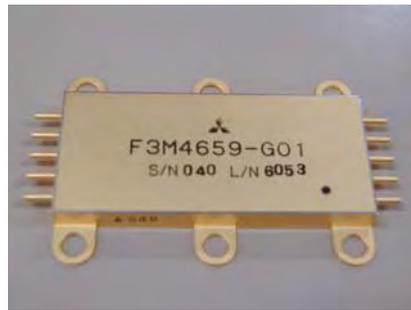


図 3.3.1-6 過電圧保護回路外形図

3.3.1.1 性能評価試験

開発した過電圧保護回路全数に対して性能評価試験を実施した。

この試験フローを図 3.3.1.1-1 に示す。

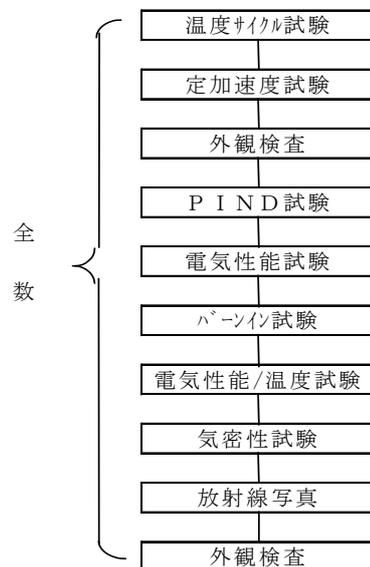


図 3.3.1.1-1 性能評価試験フロー

① 試験結果

特に問題なく、設計どおりの性能が出ていることを確認した。

3.3.1.2 認定試験

(1) 認定モデルの試験

ロケット打ち上げ時の振動・衝撃等の機械環境や、軌道上の熱真空環境下で正常に動作することを確認するため、認定モデルを製作し認定試験を実施した。

a. 試験フロー

図 3.3.1.2-1 に認定試験フローを示す。

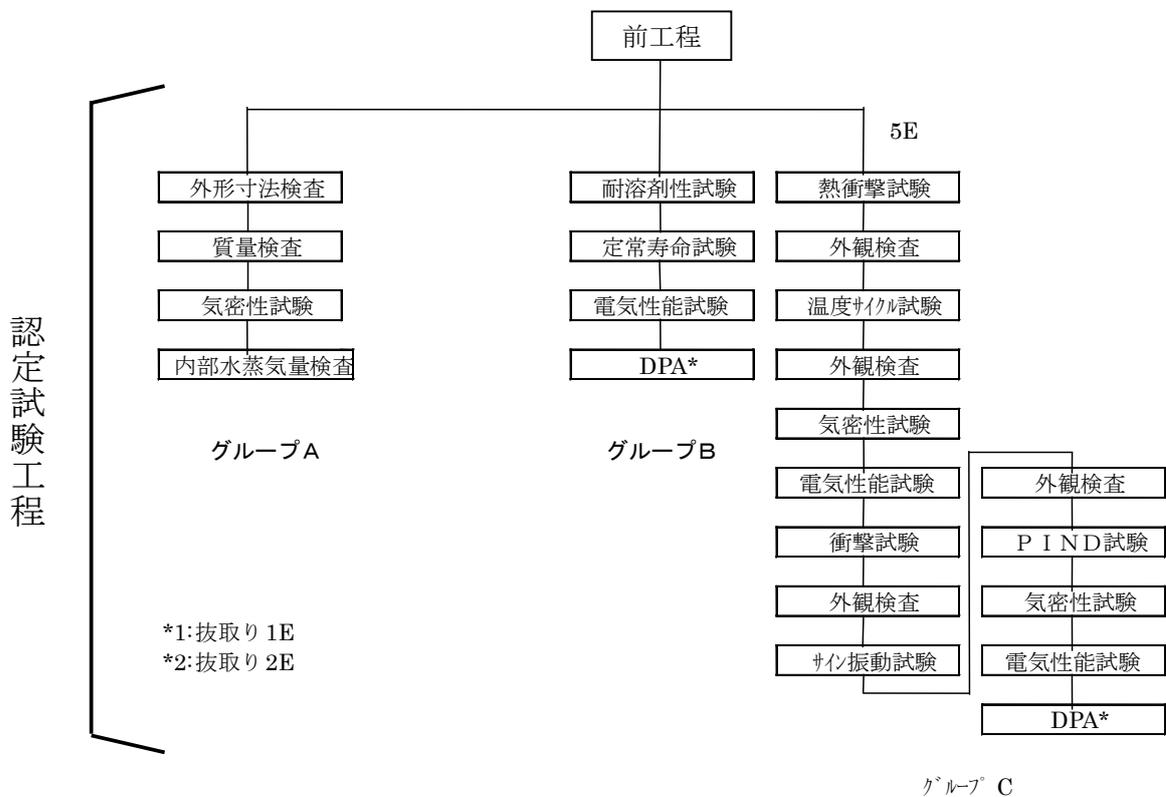


図 3.3.1.2-1 認定試験フロー

b. 試験結果

基本特性、電気的特性、耐宇宙環境の各試験全てにおいて規格（要求値）をクリアし、過電圧保護回路の設計が妥当であることが確認された。

3.3.2 バイパススイッチの開発

3.3.2.1 バイパススイッチの必要性

人工衛星用バッテリーは、セルを直列に接続して構成するため、このセルのひとつが開放故障を起こした場合、充放電電流の経路がなくなってしまう、バッテリーの機能が喪失してしまう。バイパススイッチはこの機能喪失を防止するため、各セル毎にスイッチを並列に接続し、セルが故障を起こした場合に充放電電流をバイパスさせ、バッテリーの機能を維持できるようにするためのスイッチである。

3.3.2.2 動作概要

バイパススイッチは、図 3.3.2-1 に示されるように各セルに並列に接続する構成となる。バイパススイッチの動作について以下に示す。

- (a)セル開放故障が発生すると、放電電流は、バイパススイッチ内のダイオードを経由して流れる。
- (b)ダイオードは、放電電流により発熱し、熱結合されたスイッチ (Sw1) が動作し、故障セル端子間を永久に短絡させる。
- (c)バイパススイッチによって、充放電が継続できることによりバッテリー機能を維持することができる。

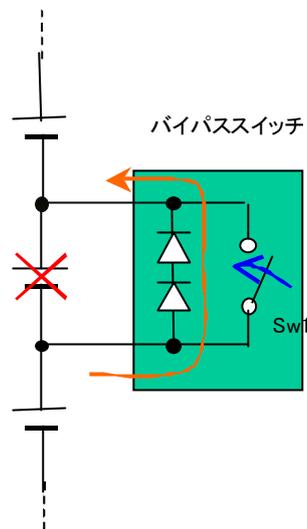


図 3.3.2-1 バイパススイッチの接続

3.3.2.3 セルバイパス方式の検討

(1) 技術調査

準天頂衛星に搭載が計画されているリチウムイオンバッテリーのキー部品であるバイパススイッチの要素開発先として検討している米国のメーカー3社を調査し、電気/機械特性、開発性についての技術調査を行なった。各社がそれぞれ開発している既存のバイパススイッチの主要性能の比較を表3.3.2-1に示す。

表 3.3.2-1 バイパススイッチの開発性の比較

主要仕様	A社	B社	C社
作動の安定性	接点のはんだ付けされており誤動作の可能性は少ない。	機構部分は比較的安定しているが、パラフィンの作動温度が80℃であり、スイッチの動作温度範囲に非常に近いため、誤作動の心配がある。	ヒューズの溶断電流（エネルギー）が比較的小さく、またコマンドで作動させる場合には、コマンドご送信による誤作動が考えられる。
作動前 スイッチ損失	スイッチの接触抵抗は無い	スイッチの接触抵抗は無い	常時、接触抵抗による発熱、損失が発生する。
作動後の接触の安定性	接触後もはんだ付けされるため、接触後の安定性は高い。	スプリングの反発力により接触状態が維持される。	端子部のシリンダ及びピストン構造部の多点接点により低インピーダンス状態を維持。
特徴（長所）	<ul style="list-style-type: none"> ・作動後は、はんだにより接続固定されるため、振動等により外れることはない。また接触抵抗が小さい。（作動後の損失、発熱が低い。） ・作動後は、セルの端子間を短絡する接続（non-isolation）状態となる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・スイッチ自身の短絡故障（接触部、ダイオード）によって正常なセルの外部短絡故障を起こさないようにヒューズを設けている。 ・作動後は、セルの端子間を短絡する接続（non-isolation）状態となる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・作動電流範囲が広い。 ・バッテリーの放電電流量にかかわらずスイッチを作動させることができる。 ・作動後は、セルへの接続ラインを切り離すように接続（isolation）状態となる。
開発性/適合性	<p><u>作動電流の拡張性</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ダイオードのVf、電流容量、接続構成により最大電流に対応できるよう検討が必要。 ・最小電流値は、ダイオードの発熱量とはんだの融点の関係から決まる。 <p><u>環境条件</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・耐振性の向上（端子の強度） ・周囲温度の影響や、セル実装時の熱特性による作動時間への影響の確認が必要。 	<p><u>作動電流の拡張性</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ダイオードのVf、電流容量、接続構成をにより最大電流に対応できるよう検討が必要。 ・最小電流値は、ダイオードの発熱量とパラフィンの膨張率の関係から決まる。 ・接点部の接触抵抗を小さくするための形状等の検討が必要。 <p><u>物理的要素</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・軽量化が必要。 	<p><u>誤作動に対する強化</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ヒューズ部の冗長化が必要。 ・ヒューズの耐性、寿命等を確認する必要がある。 ・コマンドによる作動かダイオードによる放電電流の自動検出のどちらが最適な作動方法であるか検討する必要がある。 <p><u>物理的要素</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・実装位置を考慮した端子形状、ダイオード（必要な場合）の実装位置を最適化する必要がある。

これらの調査の中から共通圧力容器（CPV）形のNi-H₂バッテリー（100Ah）用としてA社のタイプを採用した。

準天頂衛星用バッテリーはセル容量が175Ahと大きく、かつバッテリーセルがリチウムイオン電池であることより、通過電流、セル電圧が大きくなることから、

改良の必要があった。このため A 社の得意分野であるダイオード製造技術を用いたダイオードアセンブリの技術と三菱電機の機械技術及び遮断器等に用いられているコンタクタ技術を合わせることで開発を進めた。前述の表 3.2.2-1 に記載された開発課題は、認定試験を実施した結果解決されたことを確認した。

3.3.2.4 開発内容

- ・ 作動時間

コンタクト部と発熱部を熱的に分離、はんだ溶融時間を一定化するために熱容量を設ける。これによるはんだ溶融温度の均一化、安定化を図る。ダイオードの発熱とはんだ溶融関係を明確にし、ダイオードのパッケージ化を実施する。

- ・ 質量

ケースの強度設計を行い、余分な部位を極力削減した。

- ・ 短絡抵抗

コンタクト形状、表面仕上の方法等の再設計による試作改善を実施し接触抵抗の低減化を実現した。

3.3.2.5 動作特性

(1) 電流と作動時間の関係

温度 20～25℃の条件で、電流 8、10、20、50、100、150、175 A の場合のバイパススイッチの作動時間を測定した。図 3.3.2-2 にバイパススイッチの電流と作動時間の関係を示す。最小作動電流 10 A での作動時間の平均は 105 秒である。また、作動電流が 50 A を超えるとバイパススイッチの作動時間は 10 秒以下になる。

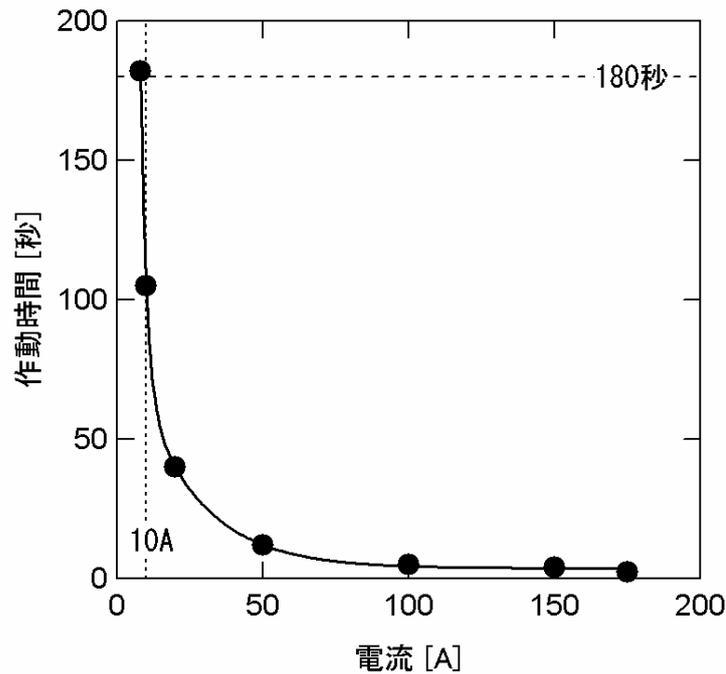


図 3.3.2-2 電流と作動時間の関係

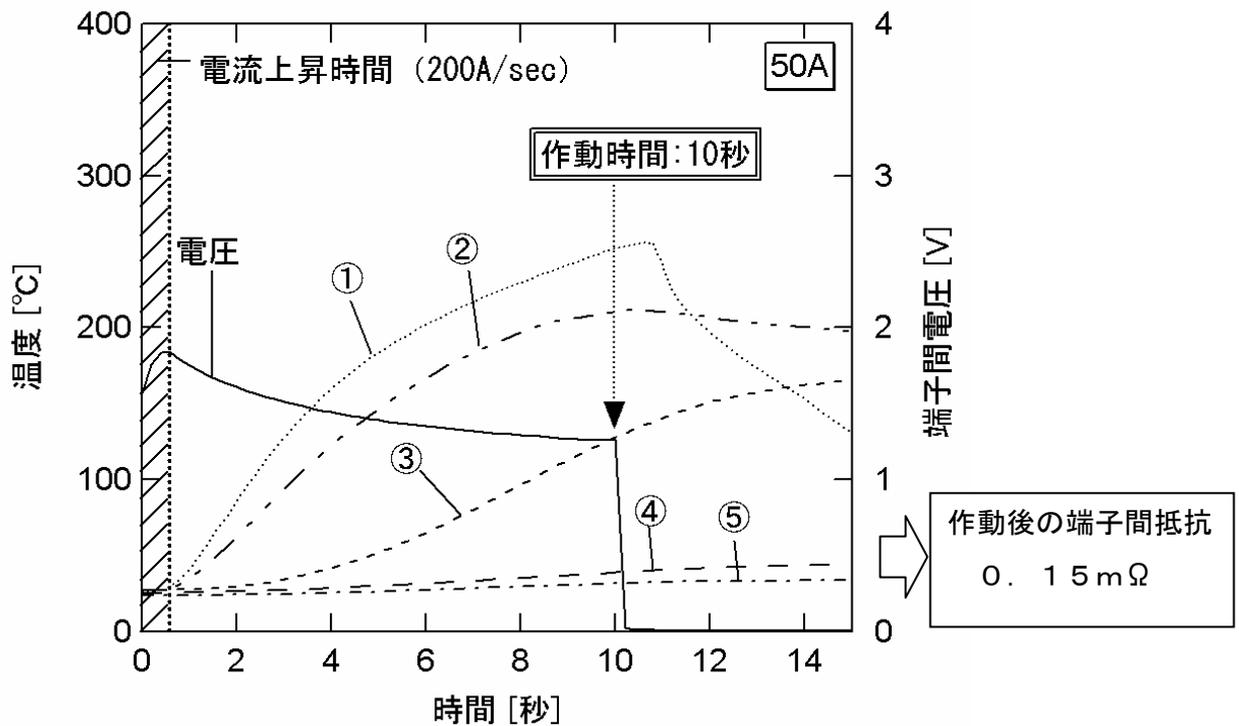
(2) 温度特性

熱電対 (K 熱電対) を用いて、バイパススイッチ作動時における各部の温度変化を測定した。測定場所は以下の各場所である。

- ① ダイオードの外部壁
- ② はんだ上部の金属プレート
- ③ はんだ下部の金属プレート
- ④ ダイオードチェック端子
- ⑤ 固定電極

なお、熱電対が充電部による影響を受けるため、熱電対にはフッ素樹脂テープで絶縁して測定を実施した。

図 3.3.2-3 にバイパススイッチ作動特性 (50 A 動作) 示す。同図には端子間電圧 (固定電極間の電圧) も示しており、端子間電圧が急激に変化する (ほぼゼロになる) 時間がバイパススイッチの作動時間である。この結果より、作動電流に依存せずバイパススイッチ作動時にはダイオードの外部温度が最大となり、約 250°C でほぼ一定であることがわかる。



作動電流 50 A

図 3. 3. 2-3 バイパススイッチ作動時の温度変化

3. 3. 2. 6 評価検討

3. 3. 2. 6. 1 スwitchの端子間抵抗の低減に対する検討

バイパススイッチの作動後の抵抗を低減するために、接触部に関する以下の5項目について検討を行った。また、これらの試作・検証に可動電極、固定電極を使用した。

- (1) ケースと固定電極のはめ合い
- (2) 電極材料および形状
- (3) 対称性
- (4) 可動電極接触部のエッジR
- (5) 表面処理

(1) ケースと固定電極のはめ合い

図 3. 3. 2-4 に、はめ合い寸法の大小による端子間抵抗の変化を示す。ケースに固定電極をはめ合いで固定している部分の隙間が大きくなると、バイパススイッ

チ作動後の可動電極と固定電極の接触点にばらつきが生じて、端子間抵抗が大きくなった。このため、ケースと固定電極のはめ合い寸法を小さくするようにコントロールすることによって、接触抵抗を小さく安定させることができた。

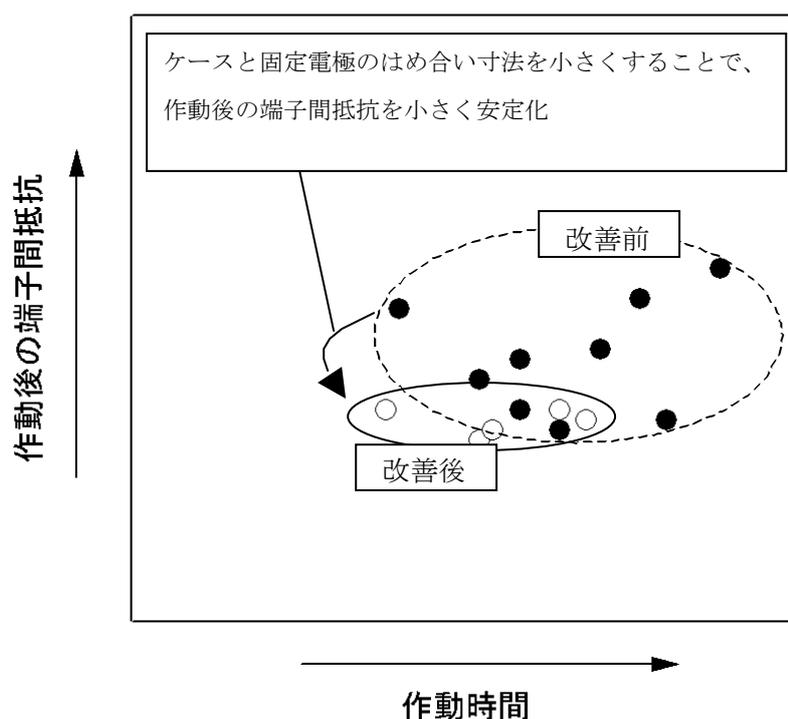


図 3.3.2-4 はめ合い寸法の大小による端子間抵抗の変化

(2) 電極材料および形状

可動電極に使用している銅合金の導電率および硬度に対して検討を行った。また、可動電極の厚さ方向のスリットの有無について検討を行った。図 3.3.2-5 に電極の導電率とバイパススイッチ作動後の端子間抵抗の関係と電極の硬度とバイパススイッチ作動後の端子間抵抗の関係を示す。

図より、電極の導電率が高い材料で端子間抵抗が小さくなり、硬度が小さい材料で端子間抵抗が小さくなる傾向がわかる。なお、可動電極のスリットの有無については、スリットの無い形状の端子間抵抗が小さく、ばらつきも小さくなった。

以上の結果を考慮し、ばね力に対して可動電極の材料および形状の最適化を行い、バイパススイッチ作動後の抵抗を低減することができた。

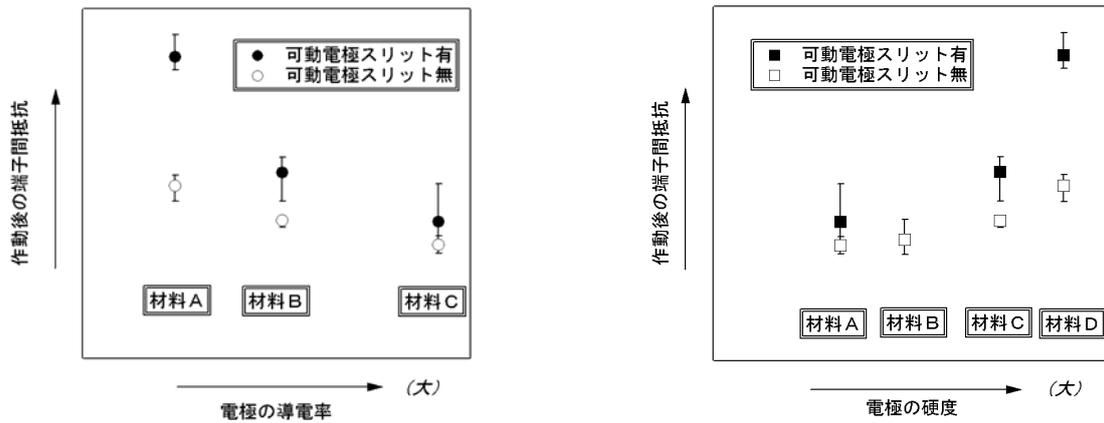


図 3. 3. 2-5 電極の形状と端子間抵抗の関係

(3) 対称性

バイパススイッチの接触部を構成している固定電極、可動電極は左右対称の形状になっている。このため、接触部品の対称性が悪くなると、片当たりが発生しやすくなり、その結果接触抵抗が不安定になる。このため、接触部の形状、接触位置を決定する部分の対称性を考慮した製作を行った。

(4) 可動電極接触部のエッジR

可動電極先端部のエッジRと作動後の端子間抵抗の関係について試験を行った。この結果を図 3. 3. 2-6 に可動電極先端部のエッジRと作動後の端子間抵抗の関係を示す。接触部のエッジRを変化させると、作動後の端子間抵抗はある領域で極小値を持つ。これはエッジRが小さいと可動電極と固定電極の接触面積が十分でないために抵抗が増大し、また、エッジRが大きすぎると接触面積は十分であるが、面圧力が低下して接触部を十分に加圧できないため、接触状態が安定せず抵抗が増大したと考えられる。このように可動電極先端部のエッジRを所定のばね力に対して最適化することによって、端子間抵抗を低減した。

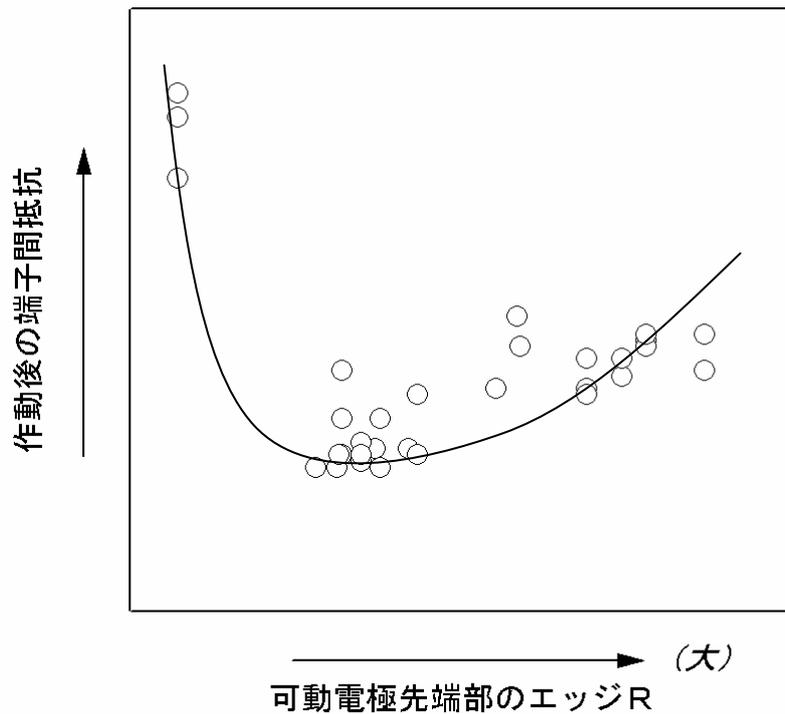


図 3.3.2-6 可動電極先端部のエッジRと作動後の端子間抵抗の関係

(5) 表面処理

バイパススイッチで使用している銅合金部材の表面処理行っており、このプロセスによっても端子間抵抗が大きく変化する。この表面処理プロセスの違いにより、端子間抵抗に大きな差が発生した、このため各プロセスを確認を実施し、表面処理プロセスの最適化を行い、図 3.3.2-7 に示すように端子間抵抗を低減した。

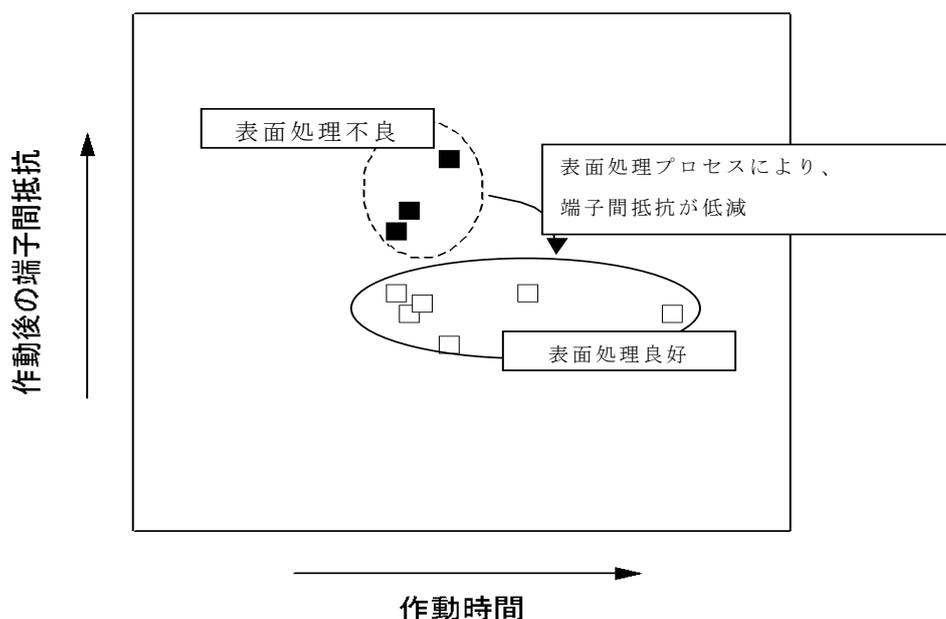


図 3.3.2-7 表面処理プロセスによる端子間抵抗の低減

3.3.2.6.2 放電検討

(1) ギャップ間放電

ギャップ間放電はパッシェンの曲線できまり、この曲線ではパッシェンミニマムと呼ばれる極小値が存在し、これ以下の電圧では持続放電しないため、動作電圧がこの電圧以下である必要がある。この電圧はガスの種類にもよるが、150V以下であればどのようなガスでも放電は発生しないと言われている。

バイパスの動作電圧は4.2Vであるが、ダイオードに要求される正方向極性電圧特性が60Vであるので、バイパススイッチに必要とされる最大電圧は60Vである。しかし、この値は火花放電電圧150Vよりも十分小さい値であるので、バイパススイッチにおいて放電は発生しない。

(2) 沿面放電

バイパススイッチの最大電圧60Vに対して、可動電極と固定電極間の沿面放電電界に対して検討を行う。一般に真空沿面放電のトリガになると言われている電極、真空、ケースのトリプルジャンクション電界を求めた。電界解析の結果、トリプルジャンクションの最大電界は280V/mmであった。一般にセラミックのトリプルジャンクションでの沿面放電電界は約16kV/mmと言われており、バイパススイッチでの最大電界280V/mmと比較すると、十分に小さいことがわかる。

この結果より、バイパススイッチにおいて沿面放電も発生しない。

3.3.2.6.3 クリープに対する検討

(1) ケース

ケースにはバイパススイッチの作動前後で常にばね力が加わるため、計算によるケース強度検討を行った。また、この結果を用いてケースの試作を行い、検証した。

(a) バイパススイッチ作動前

バイパススイッチ作動前の圧縮ばね力 (44 N) によるケースの強度を検討した。計算結果は以下ようになった。図 3.3.2-8 に応力分布図を示す。

相当応力 : 6.01 MPa

安全率 : 28.2 (@23°C)

10.0 (@190°C)

相当ひずみ : 0.67×10^{-3} mm/mm

全変形量 : 0.015 mm (@23°C)

ばね力に対する安全率は温度 190°C の場合の引張強度と比較して 10 であり、ケースは十分な強度を有している。

(b) バイパススイッチ作動後

バイパススイッチ作動後の圧縮ばね力 (28N) によるケースの強度を検討する。計算結果は以下ようになった。図 3.3.2-9 に応力分布を示す。

相当応力 : 6.08 MPa

安全率 : 27.9 (@23°C)

9.8 (@190°C)

相当ひずみ : 0.67×10^{-3} mm/mm

全変形量 : 0.01mm (@23°C)

ばね力に対する安全率は温度 190°C の場合の引張強度と比較して 9.8 であり、ケースは十分な強度を有している。

このように、バイパススイッチの作動前後のひずみ率としては、約 0.07 である。ケース材料のクリープ特性値 0.25 に比べて十分に小さく、クリープの問題はない。

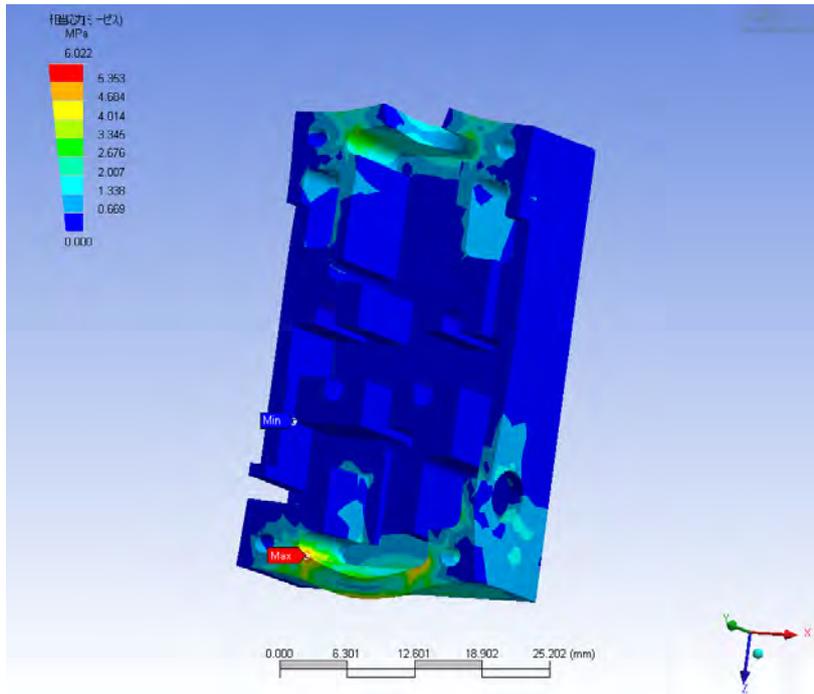


図 3. 3. 2-8 相当応力 (バイパススイッチ作動前)

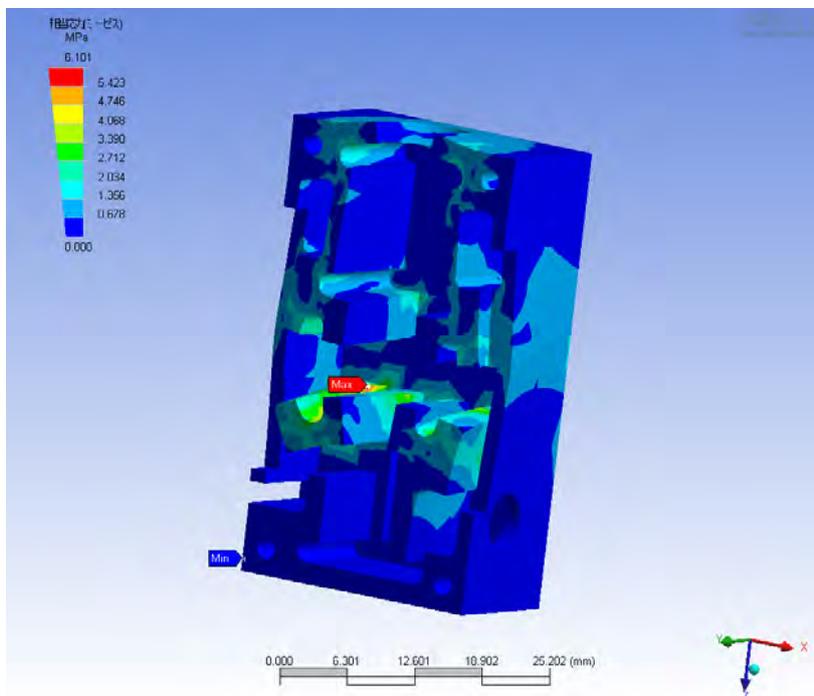


図 3. 3. 2-9 相当応力 (バイパススイッチ作動後)

(2) 鉛フリーはんだ

鉛フリーはんだのクリープ特性について検討する。バイパススイッチ作動前のばね力は 44 N であり、はんだの断面積は 33.2 mm^2 であるので、はんだ部の応力は約 1.5 MPa となる。はんだ部の応力 1.5 MPa の場合における定常クリープ速度を外挿して求めると $10^{-18} (\text{s}^{-1})$ である。これより 20 年後のひずみ量を計算すると、約 10^{-9} mm となる。この結果、Sn-Ag 系はんだにおいては、バイパススイッチ作動前の応力が十分に小さいので、クリープによる誤作動はないと推測される。

また、温度（マージンを含め 75°C で算出）を考慮して場合の 20 年後のクリープひずみ量を求めると、約 10^{-5} mm となる。この結果、Sn-Ag 系はんだにおいては、バイパススイッチ作動前の温度が 75°C であっても、クリープによる誤作動はないと推測される。

(3) シャフト

シャフト材のクリープ特性について検討する。シャフトに加わる最大ばね力は 44 N であり、シャフト部の断面積の最小部分が 14 mm^2 であるので、圧縮応力としては 3.1 MPa である。クリープ特性を用いて外挿すると、20 年後の圧縮変形量は約 1.6% であるので、シャフト長 12.3 mm に対しては 20 年後約 0.19 mm 圧縮変形すると予想される。

バイパススイッチの接点部の鉛直方向ギャップ長は 1.4 mm であるので、20 年後には 1.2 mm の鉛直方向ギャップ長になる。しかし、この値は放電特性を考慮すると十分に安全な値といえるため、クリープによるバイパススイッチの誤作動はないと推測される。

3.3.2.7 認定試験

供試体

認定試験に供するバイパススイッチの外形を図 3.3.2-10 に示す。

- ・品名 : バイパススイッチ
認定モデル
- ・質量 : 48 ± 2.5 g



図 3.3.2-10 バイパススイッチの外観写真

(1) 試験結果

バイパススイッチは、実使用に耐える事を確認するため、認定試験を実施した。認定試験は、大きく 4 つのグループにより構成されている。

(a) 地上保管模擬試験

地上保管を模擬する加速湿度試験と前後に実施する外観検査、電気試験を実施した結果、規格（要求値）を満足していることを確認した。

(b) 振動中作動試験

振動中のスイッチ作動特性の確認と作動後の振動試験及び作動後特性の確認を実施した結果、問題ないことを確認した。

(c) 作動特性試験

- ・静止軌道上に 15 年間さらされることを想定した温度サイクル試験の後に、スイッチの作動特性データを取得する試験（温度、電流条件を替えて作動データを取得）を実施した結果、規格（要求値）を満足していることを確認した。
- ・作動試験の後に、静止軌道上に 15 年間さらされることを想定した温度サイクル試験を実施した結果、規格（要求値）を満足していることを確認した。

(d) 放射線耐性試験

静止軌道で 15 年レベルの放射線の照射を実施した結果、特に問題はなく宇宙環境で使用できることを確認した。

3.4 基盤技術調査研究

3.4.1 電極／ガラス電解質の界面抵抗を詳細評価するための全固体薄膜リチウム二次電池の開発

電極／ガラス電解質界面の界面抵抗を正確に評価するための反応システムを構築するために、はじめに界面抵抗成分のみを正確に抽出できる薄膜電池を製作した。

パルスレーザーアブレーション法を用いて LiCoO_2 薄膜電極を製作した後、この上に、高周波マグネトロンスパッタ法を用いてリン酸リチウムオキシナイトライドガラス電解質 (LiPON) 薄膜を構築した。 LiCoO_2 薄膜の上に LiPON を形成後、適当な温度で熱処理することにより界面制御を行い、電極／ガラス電解質界面の抵抗を低減した。この過程で、ガラス電解質表面に抵抗層が形成されるが、 N_2 スパッタリングを用いてこの抵抗層を除去し、その後大気中へ出すことなくリチウム金属を LiPON 上へ蒸着することで、LiPON/ LiCoO_2 の界面抵抗成分のみを抽出できる界面制御全固体薄膜電池を製作した。

図 3.4.1.-1 は製作した薄膜電池の充放電曲線であり、理論容量を示す薄膜電池が製作できていることを示す。この薄膜電池の等価回路には

- ①Li/LiPON 界面の電荷移動反応
 - ②LiPON 内のリチウムイオン移動
 - ③LiPON/ LiCoO_2 界面の電荷移動反応
- の3つの反応過程が含まれると考えられる (図 3.4.1-2)。Li/LiPON/Li、及び Pt/LiPON/Pt の対称薄膜セルを構築し、これらのインピーダンススペクトル

を取得して①及び②の過程が薄膜電池のインピーダンススペクトルに寄与する影響を分離測定した。図 3.4.1-3 が薄膜電池のインピーダンススペクトルである。 LiCoO_2 のリチウム挿入脱離反応が起こる電位 (4.0 V) で低周波数側に認められる半円弧成分が、③の反応に起因する半円弧成分であり、このスペクトルでは約 1200 Ω

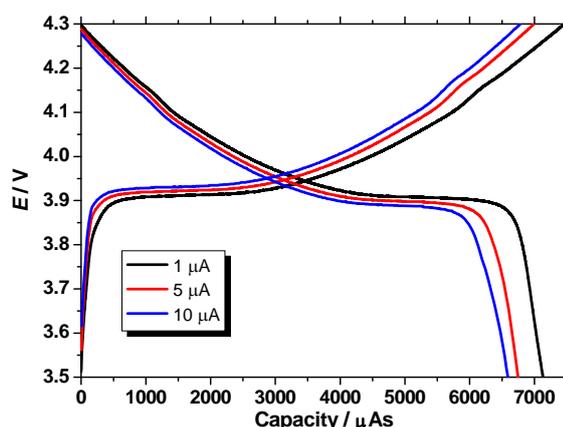


図 3.4.1-1 製作した全固体薄膜電池 (Li/LiPON/LiCoO₂) の充放電曲線

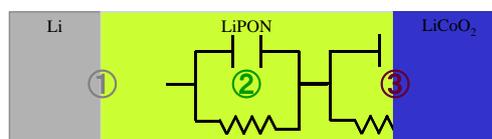


図 3.4.1-2 薄膜電池の等価回路
①Li/LiPON 界面の電荷移動反応
②LiPON 内のリチウム移動
③LiPON/ LiCoO_2 の電荷移動反応

である。上記対称セルのインピーダンススペクトルの結果から、高周波数側の半円弧成分が②の反応に起因する抵抗成分に帰属でき、①の反応に起因する半円弧成分は極めて小さく（約 85 Ω）、このスペクトルの中では明確な円弧としては現れない。

LiPON/LiCoO₂ 界面の抵抗値は熱処理条件に依存する。一例として、200 度で熱処理時間を変えた時の界面抵抗値の変化（最小値）と、比較のために有機電解質（1 mol dm⁻³ LiClO₄-PC）を用いた時の値を表 3.4.1-1 にまとめる。熱処理時間を 60 分にした時の界面抵抗率（125 Ω cm²）は、有機電解質を用いた場合（25 Ω cm²）の 5 倍まで低減できていることがわかる。

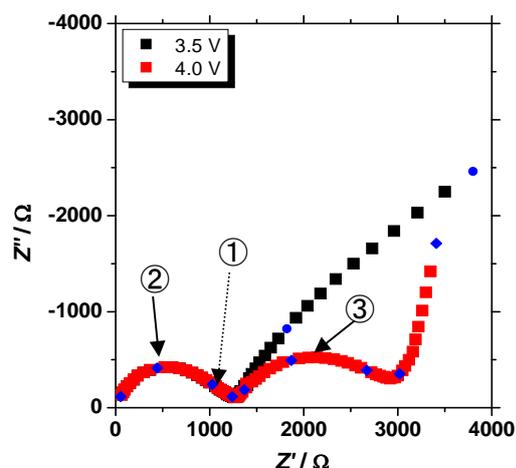


図 3.4.1-3 薄膜電池 (Li/LiPON/LiCoO₂) の 3.5 V (黒) 及び 4.0 V (赤) での Cole-Cole プロット。

表 3.4.1-1 LiCoO₂ 薄膜の界面抵抗率の変化

界面	LiPON/LiCoO ₂			PC/LiCoO ₂
熱処理時間 (分)	15	30	60	-
電荷移動抵抗値 (Ω)	31700	5500	500	125
電極面積 (cm ²)	0.25			0.20
界面抵抗率 (Ω cm ²)	7500	1375	125	25

熱処理による界面抵抗低減の原因を明らかにするために、LiPON/LiCoO₂ 界面の電荷移動抵抗の熱温度依存性を測定した結果を図 3.4.1-4 に示す。アレニウス形の温度依存性を示したことから、次の関係式が導出できる。

$$\frac{T}{R_{CT}} = A \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$$

ここで、 R_{CT} : LiPON/LiCoO₂ の電荷移動抵抗、 T : 絶対温度、 A : 前指数項、 E_a : 電荷移動反応の活性化エネルギー、 R : 気体定数である。熱処理前後で電荷移動反応の活性化エネルギーが変わらないという結果から、熱処理による界面抵抗の低減は、前指数項の増大に起因するといえる。また、この活性化エネルギーの値は LiPON 内

でのリチウムイオン移動の活性化エネルギー (57 kJ mol^{-1}) と同じ値を示した。この結果は、用いる電極活物質の種類に依存しなかった。即ち、電極/ガラス電解質界面で起こる電荷移動反応の活性化エネルギーは、ガラス電解質側のリチウムイオン移動の活性化エネルギーによって決定されることを見出した。即ち、バルク内でのリチウムイオン移動の活性化障壁が低いガラス電解質を用いることが、電極/ガラス電解質界面の電荷移動反応を高速化し、界面抵抗を低減するために重要な要素の一つである。

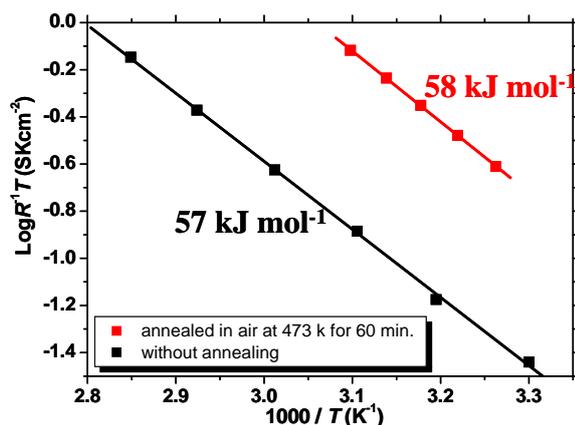


図 3.4.1-4 電荷移動抵抗の温度依存性
黒：熱処理前、赤：熱処理後

3.4.2 LiMn₂O₄ を用いた全固体薄膜リチウム二次電池 (Li/LiPON/LiMn₂O₄) の開発とその電気化学的挙動

前述の結果を用いて、正極に LiMn₂O₄ 薄膜を用いた全固体薄膜リチウム二次電池を製作した。製作した LiMn₂O₄ 薄膜電極のサイクリックボルタモグラムを図 3.4.2-1 に示す。また、熱処理前後における薄膜電池の電位挿引曲線を図 3.4.2-2 に示す。図 3.4.2-1 では LiMn₂O₄ に特有の電流ピーク (4.00 V, 4.15 V) が酸化側・還元側に二本認められ、X 線回折測定及び ICP 発光分析の結果と併せて、高結晶性の LiMn₂O₄ 薄膜が製作できていることがわかった。一方、薄膜電池の電位挿引曲線では、図

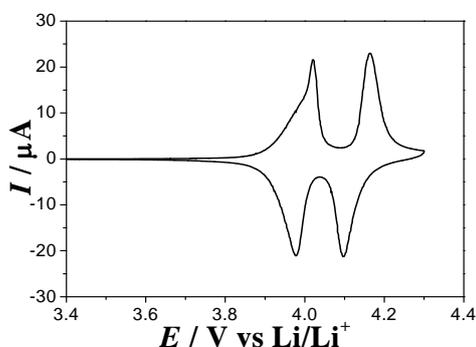


図 3.4.2-1 LiMn₂O₄ 薄膜の $1 \text{ mol dm}^{-3} \text{ LiClO}_4\text{-PC}$ 中でのサイクリックボルタモグラム。 $\nu = 1 \text{ mV s}^{-1}$

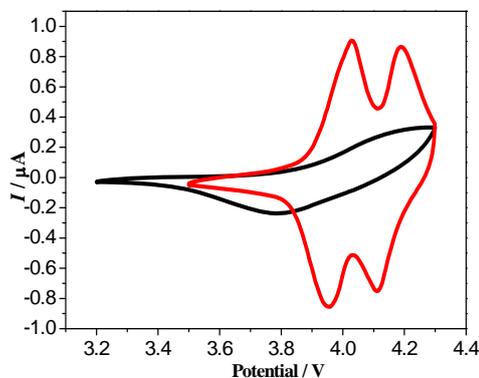


図 3.4.2-2 薄膜電池 (LiPON/LiMn₂O₄) の電位挿引曲線。
黒：熱処理前、赤：熱処理後。
 $\nu = 0.1 \text{ mV s}^{-1}$ 。

3. 4. 2-2 に示すように、熱処理前には図 3. 4. 2-1 に示すような LiMn_2O_4 の電流ピークが明確に認められないのに対し、熱処理後には図 3. 4. 2-1 と同じ形状のスペクトルが得られている。熱処理した薄膜電池の交流インピーダンス測定を行い、 $\text{LiPON}/\text{LiMn}_2\text{O}_4$ 界面での電荷移動抵抗の測定を行った結果、界面抵抗率が $2500 \ \Omega \text{ cm}^2$ であり、 LiCoO_2 を電極に用いた場合よりも約 20 倍大きく、有機電解質を用いた場合よりも約 100 倍大きな値であった。 LiCoO_2 の系よりも界面抵抗率が大きいのは、前指数項 A の違いに起因する問題であり、ガラス電解質と組み合わせる電極活物質の種類に依存する因子がこの項に含まれていることを示している。

LiMn_2O_4 を用いて製作した薄膜電池の充放電反応を室温及び 60 度で繰り返した時の放電容量の変化を図 3. 4. 2-3 に示す。また、比較のために $1 \text{ mol dm}^{-3} \text{ LiClO}_4\text{-PC}$

中で室温にて同条件で充放電測定した時の放電容量の変化も示す。PC 中では、500 サイクル後に放電容量が初期の 20%程度まで低下するのに対し、全固体薄膜電池では室温及び高温下においても安定したリチウム挿入脱離反応を繰り返し行うことがわかる。特に高温では、初回から 100 サイクルまでに初期容量の 75%までサイクル毎に容量が低下するが、100 サイクル以降は安定したリチウム挿入脱離反応が繰り返され、その容量保持率は $99.98\%/\text{cycle}$ である。高温においても高い容量保持率が保持されるのは、ガラス電解質を用いることによって Mn の溶出反応が抑制されたためと推測される。

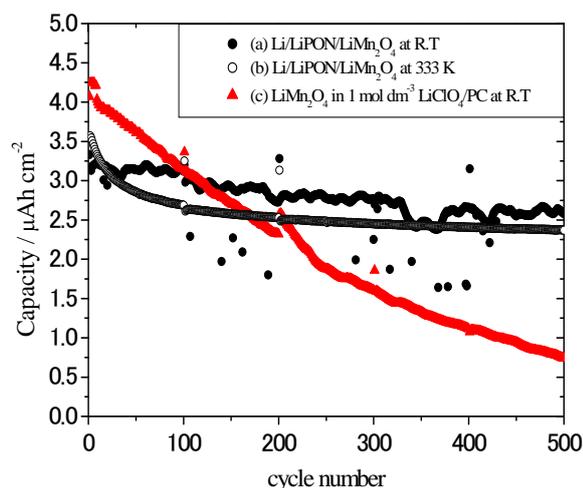


図 3. 4. 2-3 全固体薄膜電池 ($\text{Li}/\text{LiPON}/\text{LiMn}_2\text{O}_4$) の充放電サイクルに伴う放電容量の変化 ($I = 1 \ \mu\text{A}$, $3.50\text{--}4.25 \ \text{V}$)
 ● 室温 ○ 60 度 ▲ 1 mol dm^{-3}
 $\text{LiClO}_4\text{-PC}$ 中 (室温) での LiMn_2O_4 の放電容量の変化

3.4.3 界面抵抗測定に適した薄膜電池作製

作製した薄膜電池 (Li/LiPON/LiCoO₂) は全体の厚みが 5 μm 程度である。PLD 法を用いて LiCoO₂ 薄膜を作製した後、反応性スパッタリング法を用いて LiPON 薄膜を形成した。この電池系では、電極/LiPON 界面の形成後に熱処理をすると反応性が増大する。実際、熱処理の有無による薄膜電池の放電曲線を 1 μA (4 μA/cm²) で測定すると、熱処理していない薄膜電池では放電容量が 3260 μAs であったのに対して、熱処理した薄膜電池では 7050 μAs と約 2 倍大きな放電容量を示す。この値は LiCoO₂ 薄膜電極の膜厚 (0.1 μm) から求めた理論放電容量約 7000 μAs とほぼ一致している。(図 3.4.3-1)

熱処理した薄膜電池の界面抵抗を交流インピーダンス法を用いて測定すると、図 3.4.3-2 に示すスペクトルが得られ、10⁴Hz に特性周波数を有する半円弧が LiCoO₂/LiPON の“電荷移動抵抗”に帰属できる。熱処理有無の薄膜電池を用いて同様に界面抵抗を測定し、その温度依存性を測定すると、図 3.4.3-3 に示すアレニウス型の温度依存性をいずれも示す。ここから、LiCoO₂/LiPON 界面でのリチウムイオン移動抵抗 (R_{CT}) と界面イオン移動反応の活性化エネルギー (E_a) との関係は

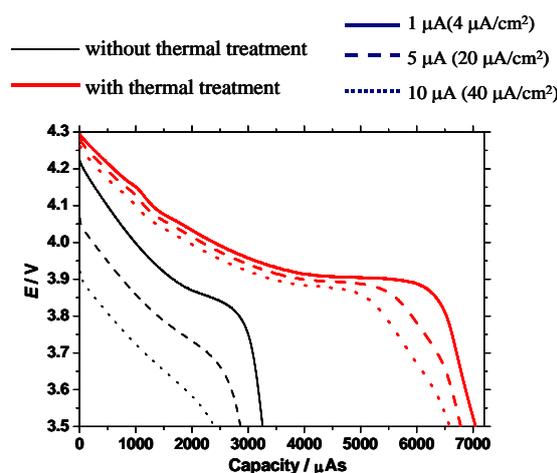


図 3.4.3-1 薄膜電池の充放電曲線.

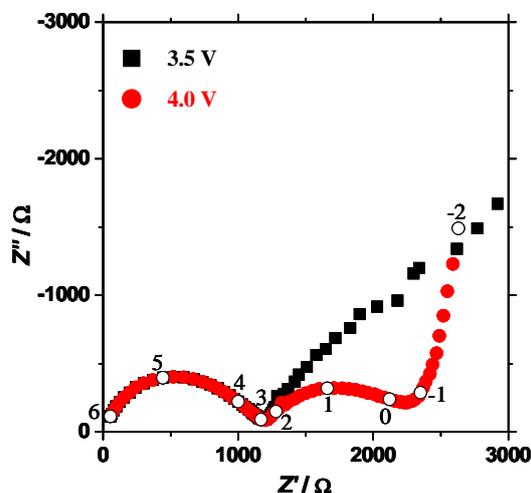


図 3.4.3-2 薄膜電池の Cole-Cole plot. 黒：3.5V、赤：4.0V. 白抜きデータポイントは 10⁴Hz で測定された点.

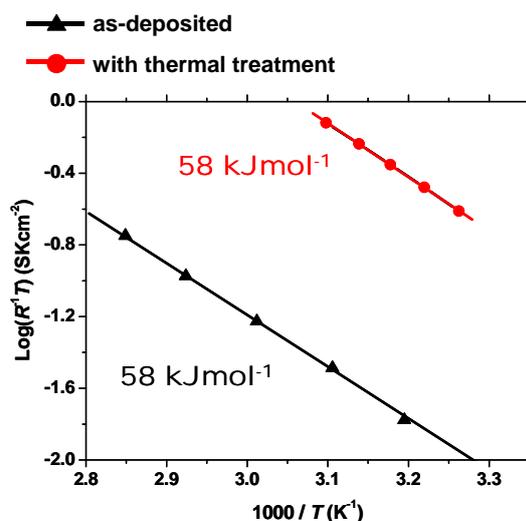


図 3.4.3-3 LiCoO₂/LiPON 界面のイオン移動抵抗の温度依存性. 黒：熱処理なし、赤：熱処理あり.

$$T/R_{CT} = A \exp(-Ea/RT) \cdots (1)$$

と関係づけられる。ここで、 T 、 A 、 R はそれぞれ温度、前指数項、気体定数を表す。この式に従って、直線の傾きから求めた界面リチウムイオン移動反応の活性化エネルギーは熱処理後では 58 kJ mol^{-1} であった。この値は、LiPON 内でのリチウムイオン移動の活性化障壁 (57 kJ mol^{-1}) とよい一致を示し、LiCoO₂/LiPON 界面では活性化障壁が存在せず、界面ではスムーズにリチウムイオンが移動することがわかる。一方、熱処理前の LiCoO₂/LiPON 界面のリチウムイオン移動の活性化エネルギーも 58 kJ mol^{-1} であることから、熱処理前後では界面イオン移動の活性化障壁は変化しないことがわかった。従って、熱処理によって LiCoO₂/LiPON 界面でのリチウムイオン移動抵抗が低減したのは、LiCoO₂/LiPON 界面でのリチウムイオン移動反応の活性化障壁の低減に起因するものではなく、前指数項 A が増大したためといえるが、主に界面での反応活性点の増大に起因すると考えられる。

3.4.4 異なる薄膜電極を用いた薄膜電池の電気化学的応答

薄膜電極に LiCoO₂、LiMn₂O₄、Li_{4/3}Ti_{5/3}O₄を用いた時の充放電反応を繰り返したときの放電容量を $4 \mu\text{A cm}^{-2}$ の電流密度で測定した結果を図 3.4.4-1 に示す。また、この電流密度で測定された容量を 100 として、電流密度を変えたときの放電要領の変化を表 3.4.4-1 にまとめる。図に示されるように、LiCoO₂と Li_{4/3}Ti_{5/3}O₄では容量保持率に優れている。一方、LiMn₂O₄を用いると、液体電解質系に比べると容量保持率は優れるが、充放電反応を繰り返すと、界面抵抗の増大とともに、容量低下が起こる。また、レート特性を比較すると、LiCoO₂と Li_{4/3}Ti_{5/3}O₄薄膜電極を用いると、高電流密度にも対応し、では非水電解質を用いた場合よりも容量保持率が高くなる。

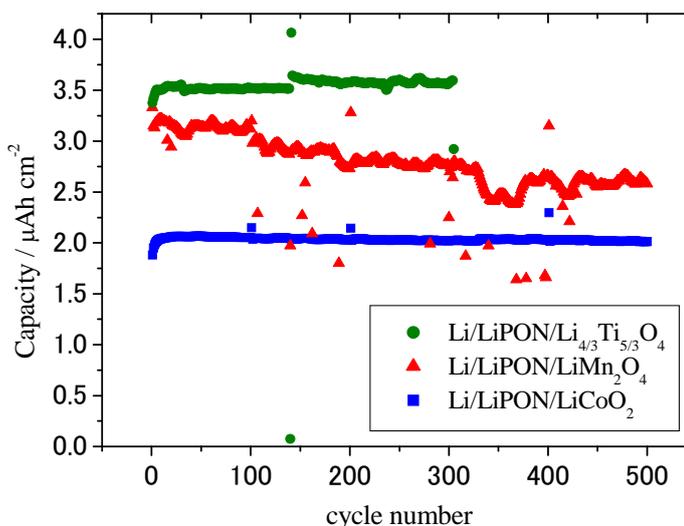


図 3.4.4-1 各種薄膜電池の放電容量の変化

作製される薄膜電極はいずれも極めて薄く、リチウムイオンの拡散定数にも大き

な差はない。薄膜電池を構成するその他の部分はいずれも全く同じ条件で作製している。

表 3.4.4-1 薄膜電池の放電容量変化の電極種依存性
($4 \mu\text{A cm}^{-2}$ の値を 100 としたときの相対的な値)

電極種	電流密度 ($\mu\text{A cm}^{-2}$)		
	4	20	40
LiCoO_2	100	96.3	93.4
LiMn_2O_4	100	81.2 (at $8 \mu\text{A cm}^{-2}$)	-
$\text{Li}_{4/3}\text{Ti}_{5/3}\text{O}_4$	100	97.3	94.2
$\text{Li}_{4/3}\text{Ti}_{5/3}\text{O}_4$ in PC	100	97.5	92.3

従って、 LiMn_2O_4 のレート特性が低いのは、薄膜電池の内部抵抗のうち、電極/LiPON 界面の抵抗が極めて大きいことに起因するといえる。同時に、同じスピネル型構造で多結晶薄膜であっても、 $\text{Li}_{4/3}\text{Ti}_{5/3}\text{O}_4$ 薄膜では高速なりチウム挿入・脱離反応が起こるのに対し、 LiMn_2O_4 薄膜では起こらない。従って、この内部抵抗の違いは、結晶構造や薄膜電極のラフネスによる影響ではないと言える。

また、 $\text{Li}_{4/3}\text{Ti}_{5/3}\text{O}_4$ を用いた薄膜電池の CV 測定を 300 回行ったが、CV 形状は初期の形状を保ち、内部抵抗がほとんど変化しないことがわかった。これは LiCoO_2 を用いた薄膜電池の場合の挙動と類似しており、 LiMn_2O_4 を用いた薄膜電極の結果とは大きく異なる。界面抵抗の安定性の違いは、電極活物質の体積の膨張・収縮率の違い (LiCoO_2 : -2%、 LiMn_2O_4 : 7%、 $\text{Li}_{4/3}\text{Ti}_{5/3}\text{O}_4$: 0%) に起因すると考えられる。 LiCoO_2 も約 2% の体積変化を示すが、この程度であれば界面反応を安定に保つことが可能であることを示している。一方、結晶性の固体電解質を用いると、 LiCoO_2 程度の体積膨張収縮率でも界面に“われ”が生じることも見いだしている。

3.4.5 表面修飾による界面抵抗の低減

LiPON と接合する電極活物質の種類で界面抵抗の値が大きく異なるが、界面抵抗が大きい材料系を用いたい場合に、界面抵抗を低減する手法として、界面修飾する手法を検討した。 LiMn_2O_4 薄膜電極を用いて、こ

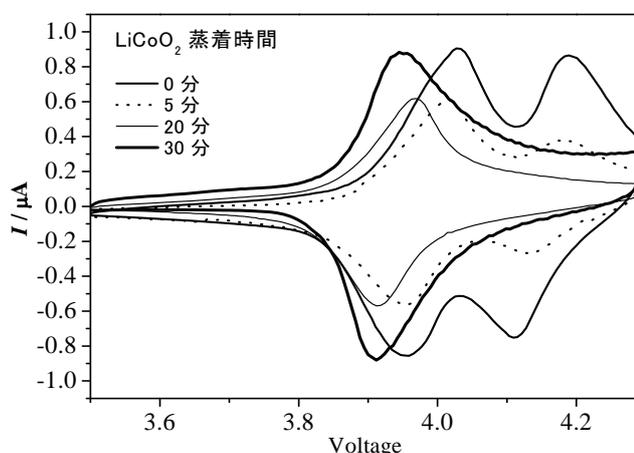


図 3.4.5-1 HT-Co LiMn_2O_4 (5, 20, 30) / LiPON / Li薄膜電池の電位挿引曲線。

の上に LiCoO_2 薄膜を異なる時間蒸着した薄膜電極を作製した。以後、この薄膜電極を HT-Co LiMn_2O_4 と標記する。

HT-Co LiMn_2O_4 (x=5, 10, 20, 30 min) を用いた薄膜電池の電位挿引測定の結果を図 3.4.5-1 に示す。液体電解質を用いた系と同様に、 LiCoO_2 の蒸着時間の増大に伴って LiMn_2O_4 に特有の 4.2V の酸化還元ピークが小さくなった。サイクリックボルタンメトリーの測定を 3 サイクル後に行った界面抵抗率の測定結果を表 3.4.5-1 に示す。HT-Co LiMn_2O_4 (x=5, 10, 20 min) を用いた系においては、 LiMn_2O_4 薄膜を用いた場合と同じオーダーの電荷移動抵抗を示したのに対して、HT-Co LiMn_2O_4 (x=30 min) を用いた系では、電荷移動抵抗がそれらより一桁減少して $3.9 \times 10^2 \Omega \text{ cm}^2$ の値を示した。この値は同じ電位で液体電解質を用いて測定した値よりも小さい。液体電解質を用いた場合には抵抗層として働いていた部分が、LiPON を形成し加熱処理を加えることで電荷移動抵抗を低減させる役割をもつと考えられる。

一方、常温で Li-Co-O 薄膜を微量被覆した LiMn_2O_4 薄膜電極の場合も界面抵抗が低減するが、これは被覆していないものに比べて半分程度の値を示した。Co の被覆条件と界面抵抗の低減には相関性があると考えられる。

3.4.6 新規全固体リチウムイオン電池の創成

OHARA sheet の片方に集電体として銅薄膜、反対側に amorphous の Li-Mn-O 薄膜を蒸着し、その後集電体として白金薄膜を蒸着して形成した積層体に高電圧を数秒印可すると、図 3.4.6-1 に示すような機構で全固体リチウムイオン電池を製できることを見いだした。この高電圧印可により形成される電池では、銅集電体近傍の固体電解質が部分的に還元分解され、“その場”で負極活物質が形成される。

表 3.4.5-1 界面抵抗率のまとめ

Depositing time	Interfacial resistivity LiPON/ $\text{LiCo}_y\text{Mn}_{2-y}\text{O}_4$ ($\Omega \text{ cm}^2$)	Interfacial resistivity PC/ $\text{LiCo}_y\text{Mn}_{2-y}\text{O}_4$ ($\Omega \text{ cm}^2$)
5 min	4.0×10^3	5.6×10^1
10 min	—	1.7×10^1
20 min	3.8×10^3	3.3×10^1
30 min	3.9×10^2	5.6×10^2

* PC : $1 \text{ mol dm}^{-3} \text{ LiClO}_4$ dissolved in propylene carbonate

c.f.

LiPON/ LiMn_2O_4	LiPON/ LiCoO_2
$2.5 \times 10^3 \Omega \text{ cm}^2$	$3.0 \times 10^2 \Omega \text{ cm}^2$

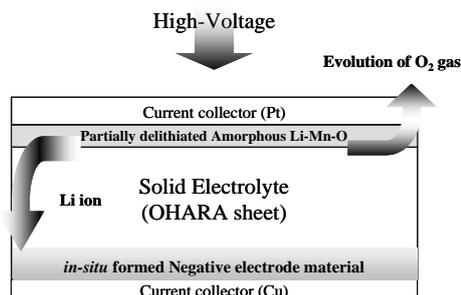
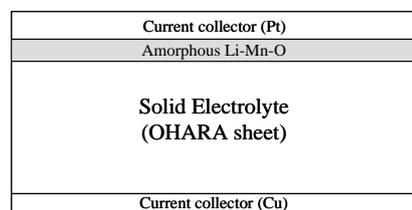


図 3.4.6-1 高電圧印加によって形成する全固体薄膜型リチウムイオン電池 (Cu/OHARA sheet/amorphous Li-Mn-O/Pt) の形成機構の模式図。

上記の結果を基に、更に安価な材料で簡便に形成できる全固体薄膜型リチウム電池を検討した。その結果、OHARAsheet を単純に金属薄膜で挟んだ積層体 (Cu/OHARAsheet/Mn) に高電圧を印可すると、約 0.5V 程度で充放電反応が起こる薄膜電池が形成できることも実証した。

3.4.7 まとめ

全固体リチウム二次電池の高性能化に向けて、電極活物質/固体電解質の界面抵抗に着目した基板技術開発を行った。抵抗値の熱力学的な解析結果を元に、抵抗値に電極種依存性が生じる要因を調べ、抵抗低減への手法と抵抗安定化のための条件を見いだした。また、界面をその場形成するという新しい固体電池の形成手法を提案することができた。

これらの成果から期待できる“積層型全固体リチウム二次電池”が実現すれば、現行よりも体積エネルギー密度を4倍以上に向上できることが試算できる。

3.5 リチウムイオンバッテリー技術等の調査・検討

3.5.1 実用化動向・技術動向調査

リチウムイオン電池は、日本が技術的に先行していたものの、航空宇宙では幅広い実績を挙げているフランス SAFT と英国 ABSL Space Products が市場の多くを支配していた。しかしアメリカでも航空宇宙用電池市場を目指して巻き返しの動向が見られる。米国では軍事系と NASA ミッションで実績を挙げた Yardney-Lithion 以外にも『日系技術者が設立した Quallion』、『MIT 大学ベンチャー A123』、『米独合弁企業 LTC/GAIA』、『日米合弁企業の EaglePicher/GS-YUASA』の技術開発動向が見られた。

そしてリチウムイオン電池開発企業も大きく分けて2つの経営方針が存在する動向が見られる。それはフルサービス型とパッケージ納入型である。このフルサービス型はセル開発からバッテリーシステムの設計・製造・試験まで実施する企業であり、パッケージ納入型はセルを開発することなく他社から購入、バッテリーシステムの設計・製造・試験を実施する企業である。具体的にはフルサービス型が Quallion、Yardney-Lithion、A123、GAIA、SAFT、GS-YUASA、古河電池であり、パッケージ納入型が LTC、EaglePicher、ABSL Space Products、MELCO である。

このリチウムイオン電池企業が増大したことにより、NASA ではリチウムイオン電池への宇宙機適用を推進するためガイドラインを作成、各々リチウムイオンセルを購入、ライフサイクル試験を実施してセル特性の情報収集を重ねながら、リチウム

イン電池の利用促進を促している。近年では低温時（ -20°C ～ -50°C まで）の特性試験を実施している。

3.5.2 2007年度の各社動向

2007年の各社動向は、SAFTが静止衛星用セルVES-140(エネルギー密度126 Wh/kg)を使用したリチウムイオン電池システムをBoeing Satellite System, Orbital Sciences, EADS Astrium, Thales Alenia Spaceなどへ納入する一方、次世代型で高エネルギー密度(165 Wh/kg)を使用した静止衛星用リチウムイオン電池システムの市場投入を始めている。SAFTはセルのエネルギー密度を最大で250Wh/kgとする方針を発表している。対象市場は宇宙・航空・自動車と規模が大きい。

ABSL Space Productsは民生セル(SONY-18650HCセル)を使用していたが、近年はセルの世代交代を進めるべく、様々なセルを購入してスクリーニングを実施している。また2007年は韓国ロケットKSLV搭載電池の開発を進めている。

Yardney-Lithionでは、米国のRESPONSIVE SPACE政策に伴い、モジュールパッケージ設計で様々なニーズに対応できるリチウムイオン電池開発を進めている。

A123は宇宙用認定試験をNASAが進めているが、GMやFORDなど電気自動車やハイブリッド自動車向けの開発を積極的に進めている。同社の特徴は急速充電能力と発火などがない安全性を有している。

また、日系米国企業のQuallionではセル開発を積極的に進める一方でDELTA-IVロケットの搭載電池開発を受注している。

米独合弁企業のLithium Technology Corp (LTC) /GAIAは、ドイツの民生用リチウムイオンセルをロケット用へ採用し、低コストのATLAS-Vバッテリーを開発、納入を進めている。

米国のEaglePicher Technologies, LLCでは、日本のGS-YUASAからセル提供を受けてリチウムイオン電池システムを構築、Orbital Sciencesへ初納入している。また近年では電気自動車及びハイブリッド車への搭載電池開発を進めている。

3.5.3 宇宙技術と民生技術の往復

宇宙空間は真空に加え熱環境も厳しいため、宇宙環境で使用する電池は高い信頼性が要求されている。よって宇宙用バッテリー技術を自動車や他の民生品分野へ移転して使用することで、高い品質を維持することは道理に適っている。EaglePicherでは宇宙認定技術をEVやHEVへ転用する研究を発表している。しかし、民生品分野に宇宙価格を適用すれば、市場競争では厳しくなる。

よって、世界が欲しているものを究極論で述べると「SPACE 並の信頼性で、価格は民生価格（COTS）」ということになる。この目標を実現するには、宇宙技術から（EV や HEV という自動車などの）民生品分野へ技術移転を実施した後に、その民生価格技術を宇宙へ展開するという、技術の往復関係が必要になると考えられる。この異なる技術トレンドが行き着くところは最終的に、「技術は民生品ベース」で「信頼性は宇宙レベル」、「価格は量産民生品ベース」へと近づけたバッテリーセル、バッテリーシステムが市場競争で優位に立てると考えられる。

宇宙市場では SAFT と ABSL が実績ベースで圧倒的優位を確保していたが、開発企業の増加によるアメリカ企業の参入により開発企業が増加、市場競争が激化している。この開発競争において市場の優位性を高めるには、

- ・セルのエネルギー密度が高く、寿命も長いセル
- ・モジュール型設計によりパワーレンジが広い電池パッケージ
- ・宇宙実証の経験がある
- ・低価格・短納期

という要素が必要であり、政府の技術開発プログラムを実施する際には、当該目標（宇宙ミッション目的）へ向けた技術開発を進めながら、開発技術の波及性を意識して5年後、10年後の市場ニーズを意識した上で開発を進める必要があると考えられる。

4. 成果の意義

準天頂衛星をはじめとする高機能、高密度の次世代衛星搭載に対処できる大容量（170Ah, 長寿命（15 年）かつ小型軽量（30kWh で 250kg）なバッテリーの実現を図るため、エネルギー密度の高いリチウムイオンバッテリーを開発した。（現時点ではバッテリー容量及びエネルギー密度とも世界最高レベルである）

リチウムイオンバッテリー新技術としては①寿命特性を作用する熱的/機械的応力歪の少ない電極の開発、②質量軽減のために使用したアルミケースの腐食防止技術、③バッテリー長寿命化のためのバッテリー温度均一化技術、④安全性確保のための防爆・気密構造化技術を確立した。またリチウムイオンバッテリーとして装着された時に、セルの過電圧の管理を行う過電圧保護回路、セル不具合時における機能維持機能をもつバイパススイッチ、さらに衛星の運用において負荷にあわせて充放電量を最適に管理し寿命を最大に引き伸ばすバッテリー制御モジュールの開発も行った。またこのリチウムイオンバッテリーは 4 セルモジュールを基本とした組み合わせで構成され、12 セルから 24 セルまでの組み合わせの認定試験を行った。同時にセル数にあわせたバッテリー制御モジュールも小型化可能である。

成果の意義としては以下がある。

（1）衛星質量低減による打ち上げ費用の削減

高機能、高密度機器搭載の質量増が見込まれる将来の大型衛星に対し、宇宙用バッテリーとしては従来の（1/3 から 2/3）の質量で同等レベルの容量を得ることが出来た。具体的には 10kW 級衛星（静止軌道衛星）におけるバッテリー質量は、30kWh において従来の NiH2 タイプバッテリーで 750kg、SERVIS-1 のリチウムイオンバッテリー390kg を 250kg に軽減できる。この質量軽減は、衛星単体の質量軽減に寄与するばかりか、1kg あたり 200 万円と言われる衛星打ち上げ費用の軽減にもつながり、ちなみに本ケースにおける質量軽減（140kg）が実現した場合には打ち上げ費用としても 2 億 8 千万円、準天頂測位衛星並みに 2 台搭載すると 5 億 6 千万円コスト減が可能となる。

（2）寿命試験、耐宇宙環境試験、安全性試験にて静止軌道 15 年の寿命を保証

運用条件が異なる SERVIS-1（低軌道周回衛星）のリチウムイオンバッテリーの寿命は 5 年、従来の NiH2 の寿命は 10 年程度である。175Ah セルの静止衛星の運用パターンを模擬した寿命試験および温度 0℃、15℃、25℃での保管試験を実

施した。静止軌道衛星の12年運用に相当する1080サイクルの約2倍の充放電サイクル寿命を有しており、100Ahセルの寿命試験データと同等の寿命性能をもつ。175Ahと大容量・高密度でありながら、100hAのセルと同等の寿命をもつことは大きな意義がある。

(3) 衛星の規模に応じセル数を変更対応、幅広い衛星への適用が可能

(12セルから24セル)

実際には準天頂測位衛星初号機に4セルモジュールx4の16セルを搭載、海外衛星用には4セルモジュールx3の11セルを販売した。

さらに、平成21年には海外衛星向けの商用衛星として2機目の、衛星1機分のLIBA搭載が決定した。

4セルモジュールの試作試験を行い、セルが大容量・高密度化するに伴って発生する構造的特性、熱特性試験を実施し、その結果、4セルモジュールを構成単位とする組立方式を実現した。

4セルモジュールを基本としたリチウムイオンバッテリーは以下の特長をもつ。

- a. 4セルモジュール単独で耐環境性、排熱能力を満足するように設計したことにより、複数個の4セルモジュールを電氣的、物理的に一体化して希望する数のバッテリーアセンブリを容易に実現できる。
- b. 充放電によりセルの外形が伸縮するなど、機械特性が複雑なセルを1つの筐体に格納して主構造から外すことによりセルの製造ばらつきによらず、バッテリーアセンブリの機械特性が安定しており、セルの寸法ばらつきを気にせずバッテリーアセンブリを組立てられるため、組立性が向上する。
- c. 排熱経路に於いても十分な排熱が可能でセル間の温度分布、セルの温度上昇は妥当な範囲に抑えられている。

(4) 非常に優れた安全性を保証するバイパススイッチ、過電圧保護回路

安全性試験は通常、セル、保護回路、バイパススイッチ等の部品単位で行うものである。構成要素安全性評価試験(4セルモジュール)での試験は、LIBA等の組セルになると過電圧保護回路等が働いて実際には起こりえない潜在的危険状態を人為的に作り出し、かつ構成要素を実機どおりに組合わせた状態で、安全であることを確認するという他に例を見ない厳しい試験を実施した。

その結果から、本バッテリーは BCM の故障、セルの故障、構成品（保護回路等）の故障等の潜在的危険に対して設計通りの非常に優れた安全性（電氣的、機械的）を持っていることが確認された。安全でしかも小型である過電圧保護回路は自動車への波及効果調査に於いてインタビューした企業が強い興味を示した。ハイブリッド車をはじめリチウムイオンバッテリーは昨今急激な拡がりを見せ始めている。過電圧保護回路はリチウムイオンバッテリーに不可欠なため、衛星のみならずバッテリー安全性の観点から他の分野への適用も期待される。

またバイパススイッチの誤作動試験に於いては 175Ah セルを満充電（SOC100%）した状態でバイパススイッチを通じて電流を流した結果、数百アンペアから数千アンペア流れたと推定されるが、端子の溶着や熱変形等の異常は発生しなかった。

このように小型・堅牢・高信頼性が評価され、バイパススイッチ単独での海外メーカーの採用につながったと自負している。衛星分野以外では火災発生時のシャッター自動作動用など、大電流を必要とする用途が期待される。

(5) この開発における上記①から④の技術の 100Ah, 50Ah リチウムイオンバッテリーへの適用

a. 100Ah, 50Ah リチウムイオンバッテリーへの成果の反映

上述「②質量軽減のために使用したアルミケースの腐食防止技術」を人工衛星用 50Ah、100Ah リチウムイオンバッテリーへ適用することにより、さらなる長寿命・高信頼性が期待できる。これによりリチウムイオンバッテリーの付加価値が高まり、受注の増加が期待される。

(6) 175Ah セルの電気自動車、航空機の分野等への波及

波及効果の調査で明確になった電気自動車に適用する場合の本研究開発のリチウムイオンバッテリー課題を改善し、ハイブリッド車へ適用することによりガソリン消費量の削減、炭酸ガス(CO2)の削減が期待できる。これにより地球温暖化抑制等の環境保全に貢献できる。

ハイブリッド車の予測（平成 21 年 5 月 6 日 朝日新聞）に基づく 2008 年から 2018 年の約 10 年間の省エネルギー効果、炭酸ガス排出抑制量の試算を表 4-1 に示す。

表 4-1 2030 年までの省エネルギー/炭酸ガス削減効果の推定

	累積普及台数	省エネルギー効果		炭酸ガス (CO ₂) 排出抑制量
		ガソリン換算	原油換算	
1997 年	28 万台 実績	11.6 万 k L/年	12.7 万 k L/年	26.7 万 t-CO ₂ /年
2008 年	57 万台実績	23.7 万 k L/年	26.0 万 k L/年	54.7 万 t-CO ₂ /年
2018 年	900 万台予測	374.4 万 k L/年	65.9 万 k L/年	864.8 万 t-CO ₂ /年

尚、2008 年～2018 年の経済効果を算出するとガソリン価格 150 円/L として、
 $(23.7 \text{ 万 k L} + 374.4 \text{ 万 k L}) / 2 \times 150 \text{ 円/L} = 2985 \text{ 億円/年}$ となる。

上記費用算出の詳細を以下に示す。

ガソリン車から電気自動車（ハイブリッド車）への代替によるガソリン消費量および CO₂ の削減

ガソリン消費量の削減

ハイブリッド車の台数

1997 年・・・28 万台 2008 年 57 万台 2018 年 900 万台

ハイブリッド車の燃費 高性能 40km/L

普通乗用車の燃費 15km/L

自動車 1 台当りの削減できるガソリン量は、年間走行距離を 10,000km とすると、
 年間消費量は以下のとおりとなる。

普通乗用車 $10,000 \div 15 = 666 \text{ L/年}$

高性能ハイブリッド車 $10,000 \div 40 = 250 \text{ L/年}$

その差は $666 \text{ L/年} - 250 \text{ L/年} = 416 \text{ L/年}$ である。

これに普及台数を乗じると、省エネ効果（削減ガソリン量）は、

1997 年 28 万台 $416 \text{ L/年} \times 28 \text{ 万} = 11.6 \text{ 万 kL/年}$ 。

2008 年 57 万台 $416 \text{ L/年} \times 57 \text{ 万} = 23.7 \text{ 万 kL/年}$

2018 年 900 万台 $416 \text{ L/年} \times 900 \text{ 万} = 374.4 \text{ 万 kL/年}$

となる。

炭酸ガス削減量

ガソリンの削減量に炭酸ガスの換算係数 2.31 を乗じて求める炭酸ガスの削減量は、
 以下のとおりである。

1997	28万台	11.6万kL/年 x 2.31=26.7万t-CO2/年
2008	57万台	23.7万kL/年 x 2.31=54.7万t-CO2/年
2018	900万台	374万kL/年 x 2.31=863.9万t-CO2/年

(7) 衛星へのリチウムイオンバッテリー採用による競争力強化

30kWhの電力容量のバッテリーを搭載する際、従来のNiH2タイプバッテリーで750kg、SERVIS-1のリチウムイオンバッテリーの場合で390kgとなるバッテリーを本研究開発のバッテリーでは250kgに軽減できる。

これは140kg～500kgの質量軽減になり、その分トランスポンダ等のミッションを余分に搭載できるため大型静止衛星にとっては有効である。

大型商用静止衛星への採用にあたっては衛星への搭載実績を積むことが課題であったが、最近では準天頂測位衛星への搭載および海外商用衛星2社への採用が決まった。今後はこれらの衛星搭載実績が評価され、さらなる受注が期待できる。

(8) リチウムイオンバッテリーとセントラルシリンダ及びヒートパイプ埋め込み型パネル一体販売

本研究開発のリチウムイオンバッテリーだけでも上述のとおりかなり質量軽減のインパクトがあるが、さらなる受注増加を目指し、リチウムイオンバッテリーの開発と同じプログラム計画で開発されたセントラルシリンダ及びヒートパイプ埋め込み型パネルの3点セットで販売することによりさらに質量が軽減される。これにより衛星バスの国際競争力強化につながり、海外の商用衛星受注が期待できる。

(9) リチウムイオン電池技術のかさ上げ

本研究開発により次のリチウムイオン電池技術のかさ上げが図られた。

1) 単一セルの大容量化 (175Ah)

寿命に悪影響を与えないように電池エレメントの巻き方を工夫し、50Ahや100Ahと同等の寿命を達成できた。

2) エネルギー密度の向上

大型のアルミケースを採用することにより、50Ahや100Ahセルよりもエネ

ルギー密度 (Wh/kg) の向上が図られた。

3) 質量軽減

質量軽減のために使用したアルミケースの腐食防止技術を確立した。

(10) 組セル (LIBA) レベルでの技術レベルのかさ上げ

1) 大容量/高密度化

セルの高エネルギー密度化とバッテリーアセンブリの筐体の最適軽量化設計により、バッテリーレベルでの大容量化/高密度化を実現した。

2) 実装技術

① 排熱技術

セルの大容量化に伴い発熱量が大きくなるため、電池の熱設計は非常に重要である。

セル内部の温度均一化が可能となるセル形状最適化と、組セルレベルでのセル間温度ばらつきの均一化を図る筐体構造およびセルと筐体間の熱抵抗均一化を可能としたセル実装方式の採用により、大容量バッテリー (組セル) での排熱技術を確立した。

② 機械的実装技術

セル大型化に伴い厳しさを増す耐振動性に対して、セルを確実に機械的に保持する機械実装設計技術を確立。これにより、世界の主要7商用衛星バスに対応できる耐振動性を実現した。

3) 長寿命化、

セル構成材料選定 (トレードオフ) とバッテリー電圧制御方式 (ステップチャージ) を採用し、長寿命化、高信頼性化を実現した。

加速寿命試験結果に基づいた高度な寿命予測式を導出により、衛星搭載バッテリーとして長寿命化 (15 年以上) を達成できることを確認した。

4) 高信頼性化

過電圧保護回路/バイパススイッチの開発およびバッテリーへの適用によ

り、

バッテリーアセンブリとして高信頼性バッテリーを実現した。

5) 安全性

ハンドリング方式を含めて、3つの独立した方式を備えた安全性（3重のインヒビット）を実現した。

バッテリーアセンブリの安全性試験では、セル故障、構成部品（保護回路等）の故障を人為的に引き起こして潜在的危険に対する安全性をバッテリーアセンブリとして確認した。

(1 1) 本研究開発に於ける新しいコンセプト

1) バッテリー構成として2セル/4セル単位のモジュールの複数個の組合せ構成

とすることにより、衛星が要求する電力容量に対応してフレキシブルに対応できるバッテリーを実現した。

2) バイパススイッチの開発

セル故障時においてもバッテリー機能を維持するためのバイパススイッチを、

はんだ溶解制御技術と接点技術を組み合わせた独自構造により開発を行い、バイパススイッチの高性能/低コスト化を実現した。

5. 特許の取得

国内特許 2件

国際特許 1件

出願済

No	件名	出願国	出願番号	出願日	契約・年度	出願人	審査請求日	最新状況	備考（ライセンス、譲渡、他）
1	リチウム電池	JP	2004209577	2004/7/16	2004	国立大学 法人京都 大学	2006/12/21	特許庁で 審査中	研究成果の事業化 策定中：譲渡未定
2	リチウム電池及び その製造方法	PCT	PCT/JP2005/020695	2005/11/11	2005	国立大学 法人京都 大学	2007/10/10	特許庁で 審査中	研究成果の事業化 策定中：譲渡未定
3	全固体リチウムイ オン電池	JP	特願2006-294576	2006/10/30	2006	国立大学 法人京都 大学	2009/10/30 (審査請求期 限)	出願公開 中	研究成果の事業化 策定中：譲渡未定

6. 論文発表・成果の普及

論文 58 件

査読付き 21 件

計 79 件

No.	発表年月日	論文名	発表先	著者(機関)	口頭	論文
1	平成 16 年 6 月 6 日	Lithium-ion-transfer on carbonaceous electrode	9th Asian Conference on Solid State Ionics	Kyoto Univ.	○	○
2	平成 16 年 6 月 27 日	Lithium-ion transfer at electrode/electrolyte interface	12th International Meeting on Lithium Batteries	Kyoto Univ.	○	○
3	平成 16 年 6 月 27 日	Lithium-ion transfer at the interface between electrolyte / non-graphitizable carbon electrode (2)	12th International Meeting on Lithium Batteries	Kyoto Univ.	○	○
4	平成 16 年 6 月 27 日	Lithium-ion transfer between ionic liquid and carbon electrode	12th International Meeting on Lithium Batteries	Kyoto Univ.	○	○
5	平成 16 年 6 月 27 日	Ion transfer at interface between lithium conductive electrolytes	12th International Meeting on Lithium Batteries	Kyoto Univ.	○	○
6	平成 16 年 6 月 27 日	Electrochemical properties of LiFePO ₄ thin films prepared by pulsed laser deposition	12 th International Meeting on Lithium Batteries	Kyoto Univ.	○	○
7	平成 16 年 6 月 27 日	Preparation of all-solid-state thin film rechargeable lithium-ion batteries (Li/LiPON/LiCoO ₂) and their electrochemical properties	12 th International Meeting on Lithium Batteries	Kyoto Univ.	○	○
8	平成 16 年 6 月 27 日	Ion transfer at interface between lithium conductive electrolytes	12 th International Meeting on Lithium Batteries	Kyoto Univ.	○	○
9	平成 16 年 7 月 5 日	リチウムイオン電池の界面イオン移動とその高速化	科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業第 5 回公開シンポジウム	京都大学	○	○

10	平成 16 年 10 月 4 日	Effects of surface modification by metal oxides on interfacial reaction of lithium cobalt oxide thin film electrode	206 th Meeting of the Electrochemical Society	Kyoto Univ.	○	○
11	平成 16 年 10 月 4 日	Preparation of all-solid-state thin film rechargeable lithium batteries and their electrochemical properties	206 th Meeting of the Electrochemical Society	Kyoto Univ.	○	○
12	平成 16 年 10 月 5 日	Ionic conductivity of phospho-olivine compounds measured by AC impedance spectroscopy	206 th Meeting of the Electrochemical Society	Kyoto Univ.	○	○
13	平成 16 年 10 月 5 日	Ion transfer between lithium-ion conductive electrolytes under DC polarization	206 th Meeting of the Electrochemical Society	Kyoto Univ.	○	○
14	平成 16 年 10 月 5 日	Lithium-ion transfer at the interface between electrolyte / non-graphitizable carbon electrode (3)	206 th Meeting of the Electrochemical Society	Kyoto Univ.	○	○
15	平成 16 年 10 月 24 日	Lithium-ion-transfer on carbonaceous electrode	2nd Japanese-Chinese Seminar on Advanced Battery materials	Kyoto Univ.	○	○
16	平成 16 年 11 月 16 日 - 18 日	Cell Over Voltage Protection and Balancing Circuit of The Lithium Ion Battery	NASA Aerospace Battery workshop	三菱電機(株)	○	
17	平成 16 年 11 月 27 日	全固体薄膜リチウム二次電池の界面制御とその電気化学的挙動	第 45 回電池討論会	京都大学	○	○
18	平成 16 年 11 月 29 日	Lithium ion transfer through interfaces of solid-electrolytes / soft-electrolytes	German-Japanese Meeting of Electrochemists Abstract	Kyoto Univ.	○	○
19	平成 16 年 12 月 1 日	リチウム二次電池正極薄膜/ガラス電解質界面のイオン移動と抵抗低減	第 30 回固体イオニクス討論会	京都大学	○	○
20	平成 17 年 4 月 1 日	LiMn ₂ O ₄ 薄膜/水溶液界面で起こる界面イオン移動	第 72 回電気化学会	京都大学	○	○
21	平成 17 年 4 月 2 日	全固体薄膜リチウム二次電池 (Li/LiPON/LiMn ₂ O ₄) の作製とその電気化学的挙動	第 72 回電気化学会	京都大学	○	○

22	平成 17 年 7 月 7 日	Rate Characteristic of Non-Graphitizable Carbon for Lithium-Ion Batteries	ICMAT2005	Kyoto Univ.	○	○
23	平成 17 年 7 月 8 日	Charge transfer reaction at the lithium phosphorus oxynitride glass electrolyte/lithium cobalt oxide thin film interface	ICMAT2005	Kyoto Univ.	○	○
24	平成 17 年 7 月 18 日	Preparation of All-Solid-State Thin Film Rechargeable Batteries (Li/LiPON/LiFePO ₄) and Their Electrochemical Properties	15 th International Meeting on Solid State Ionics	Kyoto Univ.	○	○
25	平成 17 年 7 月 19 日	Charge transfer reaction at the lithium phosphorus oxynitride glass electrolyte/lithium cobalt oxide thin film interface	15 th International Meeting on Solid State Ionics	Kyoto Univ.	○	○
26	平成 17 年 9 月 8 日	噴霧熱分解法を用いたコバルト酸化物微粒子の合成とその電気化学的挙動	2005 年電気化学会秋季大会	京都大学	○	○
27	平成 17 年 9 月 8 日	LiMn ₂ O ₄ 薄膜/水溶液界面で起こる界面イオン移動 II	2005 年電気化学会秋季大会	京都大学	○	○
28	平成 17 年 9 月 8 日	全固体薄膜リチウム二次電池 (Li/LiPON/LiMn ₂ O ₄) の界面制御とその電気化学的挙動	2005 年電気化学会秋季大会	京都大学	○	○
29	平成 18 年 11 月 9 日	軽量・高熱伝導 CFRP リチウムイオンバッテリーシャーシ	第 49 回宇宙科学技術連合講演会	三菱電機(株)/(財)無人宇宙実験システム研究開発機構	○	○
30	平成 17 年 11 月 19 日	Li-V-Si-O 系固体電解質薄膜の充放電挙動	第 46 回電池討論会	京都大学	○	○
31	平成 17 年 11 月 19 日	全固体薄膜リチウム二次電池 (Li/LiPON/LiMn ₂ O ₄) の作製とその電気化学的挙動	第 46 回電池討論会	京都大学	○	○
32	平成 17 年 11 月 19 日	自己形成電極を用いた新規全固体リチウ	第 46 回電池討論会	京都大学	○	○

	日	ム二次電池の創成				
33	平成 17 年 11 月 19 日	LiMn ₂ O ₄ 薄膜/水溶液界面における界面イオン移動(3)	第 46 回電池討論会	京都大学	○	○
34	平成 17 年 11 月 29 日	全固体薄膜リチウム二次電池(Li/LiPON/LiMn ₂ O ₄)の作製とその電気化学的挙動	第 31 回固体イオニクス討論会	京都大学	○	○
35	平成 17 年 11 月 29 日	遷移金属酸化物を用いた水溶液系リチウムイオン電池の界面イオン移動反応	第 31 回固体イオニクス討論会	京都大学	○	○
36	平成 17 年 11 月 30 日	Li-V-Si-O 系固体電解質薄膜の電気化学的還元分解を利用した電極/固体電解質界面のその場形成	第 31 回固体イオニクス討論会	京都大学	○	○
37	平成 17 年 11 月 29 日	噴霧熱分解法を用いた遷移金属酸化物微粒子の合成とその電気化学的挙動	第 31 回固体イオニクス討論会	京都大学	○	○
38	平成 17 年 11 月 30 日	Development on large capacity battery using 175Ah cell	2005 NASA Aerospace Battery Workshop	三菱電機(株)	○	○
39	平成 17 年 11 月 30 日	Development of bypass switch for the large capacity battery	2005 NASA Aerospace Battery Workshop	三菱電機(株)	○	○
40	平成 18 年 4 月 1 日	その場形成電極を備えた新規全固体リチウムイオン電池の創成	第 73 回電気化学会	京都大学	○	○
41	平成 18 年 4 月 1 日	リン酸リチウムオキシナイトライドガラス電解質/遷移金属酸化物薄膜電極界面で起こる電荷移動抵抗の電極手依存性	第 73 回電気化学会	京都大学	○	○
42	平成 18 年 5 月 10 日	Interfacial lithium ion transfer at LiMn ₂ O ₄ thin film electrode/aqueous solution	209 th Electrochemical Society meeting	Kyoto Univ.	○	○
43	平成 18 年 6 月 6 日	衛星搭載用 CFRP バッテリーシャーシの開発	日本複合材料学会 2006 年度研究発表講演会	三菱電機(株)/(財)無人宇宙実験システム研究開発機構	○	○

44	平成 18 年 6 月 20 日	Preparation of lithium manganese oxide fine particles by spray pyrolysis and their electrochemical properties	13 th International Meeting on Lithium Batteries	Kyoto Univ.	○	○
45	平成 18 年 10 月 2 日	リチウム二次電池の全固体化と界面制御	第二回関西電気化学研究会	京都大学	○	
46	平成 18 年 10 月 30 日	A new kind of all-solid-state thin-film-type lithium-ion battery with in-situ formed electrode active material	210 th Electrochemical Society meeting	Kyoto Univ.	○	○
47	平成 18 年 11 月 22 日	リン酸リチウムオキシナイトライドガラス電解質/遷移金属酸化物薄膜電極界面で起こる電荷移動反応の電極種依存性Ⅱ	第 47 回電池討論会	京都大学	○	○
48	平成 18 年 11 月 22 日	鉄系アモルファス正極を用いた全固体薄膜リチウムイオン電池の作製とその電気化学的挙動	第 47 回電池討論会	京都大学	○	○
49	平成 18 年 11 月 28 日	硫化物固体電解質薄膜/LiCoO ₂ 薄膜の界面イオン移動	第 32 回固体イオニクス討論会	京都大学	○	○
50	平成 18 年 11 月 28 日	その場形成電極を備えた新規全固体リチウムイオン電池の創成Ⅱ	第 32 回固体イオニクス討論会	京都大学	○	○
51	平成 18 年 11 月 28 日	噴霧熱分解法を用いたリチウムマンガン酸化物微粒子の合成とその電気化学的挙動	第 32 回固体イオニクス討論会	京都大学	○	○
52	平成 19 年 10 月 31 日	大容量バッテリーの開発	第 51 回宇宙科学技術連合講演会	三菱電機(株)/(財)無人宇宙実験システム研究開発機構	○	○
53	平成 19 年 10 月 31 日	大容量バイパススイッチの開発	第 51 回宇宙科学技術連合講演会	三菱電機(株)/(財)無人宇宙実験システム研究開発機構	○	○

54	平成 19 年 10 月 31 日	リチウムイオンバッテリーセルの開発	第 51 回宇宙科学技術連合講演会	三菱電機(株) / (財) 無人宇宙実験システム研究開発機構	○	○
55	平成 19 年 11 月 28 日	Light Mass of Li-ion battery using material of CFRP for space.	2007 NASA Aerospace Battery Workshop	三菱電機(株) / (財) 無人宇宙実験システム研究開発機構	○	○
56	平成 19 年 12 月 6 日	鉄系その場正極を備えた全固体電池の作製とその電気化学的挙動 II	第 33 回 固体イオニクス討論会	京都大学	○	○
57	平成 19 年 12 月 6 日	界面修飾による全固体リチウム二次電池の抵抗低減	第 33 回 固体イオニクス討論会	京都大学	○	○
58	平成 20 年 9 月 30 日	全固体リチウム二次電池の高性能化に向けた基盤技術開発	電気化学会東海支部ヤングエレクトロケミスト研究会	静岡大学	○	○

査読付き論文

No.	発表年月日	論文名	発表先	著者(機関)	口頭	論文
1		Solvated Lithium Ion Transfer at Interface between Graphite and Electrolyte	Journal of the Electrochemical Society, 151(8) (2004) A1120-A1123	Kyoto Univ.		○
2		Preparation of LiFePO ₄ Thin Films by Pulsed Laser Deposition and Their Electrochemical Properties	Electrochemical and Solid State Letters, 7(10) (2004) A340-A342	Kyoto Univ.		○
3		Lithium Ion Transfer at Interface between Lithium-Ion-Conductive Solid Crystalline Electrolyte and Polymer Electrolyte	Journal of the Electrochemical Society, 151(11) (2004) A-1950-A1953	Kyoto Univ.		○
4		Effects of Surface Modification by MgO on Interface Reactions of Lithium Cobalt Oxide Thin Film	Journal of Power Sources, 137(1) (2004) 111-116	Kyoto Univ.		○

		Electrode				
5		Lithium-ion Transfer at the Interface between Electrolyte / Non-graphitizable Carbon Electrode	Carbon, 42 (15) (2004) 3183-3187	Kyoto Univ.		○
6		Lithium-ion transfer at an electrolyte/non-graphitizable carbon electrode interface	Carbon, 42, 3183-3187 (2004)	Kyoto Univ.		○
7		Pulse voltammetric and ac impedance spectroscopic studies on lithium-ion transfer at an electrolyte / Li ₄ /3Ti ₅ /3O ₄ electrode interface	Analytical Chemistr, 77 (2005) 1696-1700	Kyoto Univ.		○
8		Electrochemical insertion and extraction of lithium-ion at uniform nano-sized Li ₄ /3Ti ₅ /3O ₄ particles prepared by a spray pyrolysis method	Chemistry of Materials, 17 (2005) 1580-1582	Kyoto Univ.		○
9		Lithium-ion transfer at a solid polymer electrolyte/non-graphitizable carbon electrode interface	Journal of Power Sources, 142 (2005) 329-332	Kyoto Univ.		○
10		無機固体電解質を用いた全固体リチウム二次電池の可能性	未来材料 4月号 (2004年) 14-20	京都大学		○
11		Lithium-ion Transfer at a Solid Polymer Electrolyte / Non-graphitizable Carbon Electrode Interface	Journal of Power Sources, 149, 329-332(2005)	Kyoto Univ.		○
12		Pulse voltammetric and ac impedance spectroscopic studies on lithium-ion transfer at an electrolyte	Analytical Chemistry, 77(6), 1696-1700	Kyoto Univ.		○
13		Reduction of Charge Transfer Resistance at the Lithium Phosphorus Oxynitride/Lithium Cobalt Oxide Interface by Thermal Treatment	Journal of Power Sources, 146, 745-748 (2005).	Kyoto Univ.		○

14		Li ⁺ and Na ⁺ Transfer through Interfaces between Inorganic Solid Electrolytes and Polymer or Liquid Electrolytes	Journal of Power Sources, 146, 749-752 (2005).	Kyoto Univ.		○
15		Electrochemical Insertion and Extraction of Lithium-ion at Uniform Nano-size Li _{4/3} Ti _{5/3} O ₄ Particles Prepared by a Spray Pyrolysis Method	Chemistry of Materials, 17 (6), 1580-1582 (2005)	Kyoto Univ.		○
16		Charge transfer reaction at the lithium phosphorus oxynitride glass electrolyte/lithium cobalt oxide thin film interface	Solid State Ionics, 176, 2371-2376 (2005).	Kyoto Univ.		○
17		Lithium-ion transfer at interface between lithium-ion conductive ceramic electrolyte and liquid electrolyte - a key to enhance the rate capability of lithium-ion batteries -	Journal of the Electrochemical Society, 152, 2151-2154 (2005) .	Kyoto Univ.		○
18		Charge Transfer Reaction at the Lithium Phosphorus Oxynitride Glass Electrolyte/Lithium Manganese Oxide Thin Film Interface and Its Stability on Cycling	Journal of the Electrochemical Society, 153 A821 (2006)	Kyoto Univ.		○
19		Amorphous Li-V-Si-O thin film solid electrolyte as high-voltage negative electrode material for thin-film rechargeable lithium-ion batteries	Journal of the Electrochemical Society, 153, A1148-A1153 (2006).	Kyoto Univ.		○
20		A New Kind of All-Solid-State Thin-Film-Type Lithium-Ion Battery Developed by Applying a D.C. High	Electrochemistry Communication, 8, 1287-1291 (2006)	Kyoto Univ.		○

		Voltage				
21		Preparation of lithium manganese oxide fine particles by spray pyrolysis and their electrochemical properties	Journal of Power Sources, 174, 1057 (2007).	Kyoto Univ.		○

7. その他の公表（プレス発表等）

成果の普及（展示）

No.	発表年月日	展示品	発表先	著者(機関)	口頭	論文
1	平成 16 年 10 月 6 日～ 平成 16 年 10 月 10 日	リチウムイオンバッテリーセル・パネル展示	2004 年国際宇宙展（ジャパンエアロスペース 2004/JA2004）	NEDO/USEF	—	—
2	平成 17 年 10 月 16 日 ～平成 17 年 10 月 21 日	リチウムイオンバッテリーセル	第 56 回国際宇宙会議福岡大会 56th International Astronautical Congress, 2005, Fukuoka	NEDO	—	—
3	平成 20 年 10 月 1 日～ 平成 20 年 10 月 5 日	リチウムイオンバッテリーアセンブリ	2008 年国際宇宙展（ジャパンエアロスペース 2008/JA2008）	NEDO/USEF	—	—

8. 受賞実績

社団法人電気化学会 電池技術委員会から「電池技術委員会賞」を受賞した。

（平成18年度 国立大学法人京都大学 入山 恭寿）

社団法人電気化学会 佐野進歩賞受賞。

（平成19年度 国立大学法人京都大学 入山 恭寿）

IV. 実用化、事業化の見通しについて

1. 事業化までのシナリオ

1.1 実用化・事業化の定義

実用化：本研究開発のリチウムイオンバッテリーが準天頂測位衛星に搭載され、軌道上における性能が確認され、実用に供する事が証明できた時点で完了。

事業化：実用化完了後、衛星（実用衛星、静止衛星、低軌道衛星）、宇宙機、ハイブリッド車、電気自動車、燃料電池自動車、航空機等、無停電電源などに採用されること。

実用化・事業化までのシナリオを図 1.1-1 に示す。

事業化の見通しとしては、本研究開発でのリチウムイオンバッテリーが準天頂測位衛星に搭載され、実用化の目処が立ち、まずは衛星分野における事業化を目指す。

一方においてその実績を基に電気自動車、燃料電池自動車等の車載分野および航空機分野の動向をみて改修箇所を探りながら事業化へのターゲットにしたいと考えている。

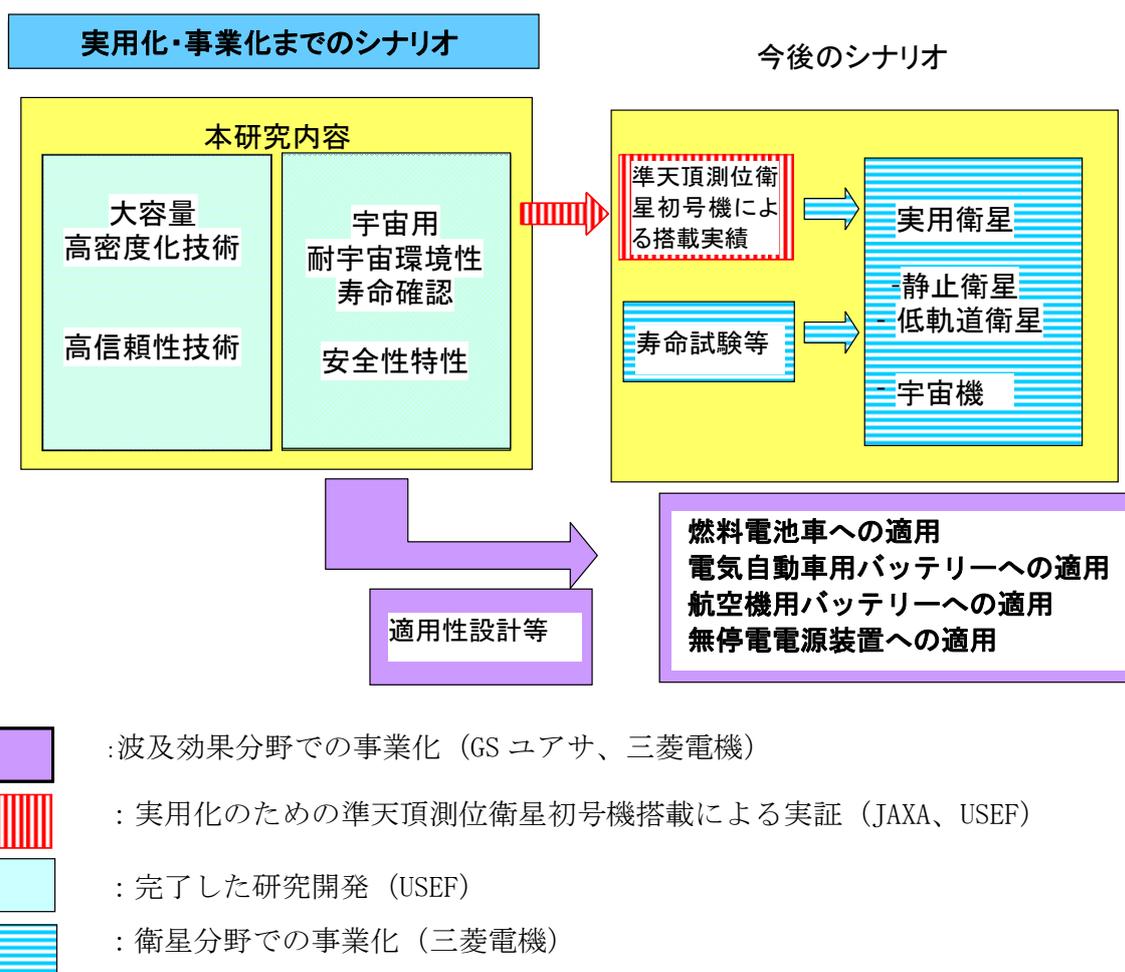


図 1.1-1 事業化までのシナリオのイメージ

2. 成果の実用化の状況

リチウムイオンバッテリーとしてバッテリーの認定試験を実施（フレキシビリティを考慮して12直列から24直列までの認定試験を実施）。また、リチウムイオンバッテリーアセンブリ（LIBA）とバッテリー制御モジュール（BCM）とを組合せたことにより、軌道上での消費電力管理とリチウムイオンバッテリーの容量管理により弾力的な運用が可能となっている。

本研究開発終了時における実用化確認事項の実施状況を表2-1に示す。表から明らかかなように全ての事項が確認され、地上における実用化は完了した。次の段階としては平成22年度に予定される準天頂衛星の打ち上げによる軌道上実証である。

(1) 準天頂測位衛星搭載における実用化

基本的なバッテリーの課題である耐宇宙環境性、寿命確認及び安全性特性が試験により確認され、準天頂測位衛星への搭載が可能となった。次世代衛星を目指して開発した16セル構成のリチウムイオンバッテリーシステム検証モデルを準天頂測位衛星初号機用バッテリーとして平成20年11月末に引き渡した。準天頂測位衛星の試験は順調に進み、本研究開発のリチウムイオンバッテリーの適合性も確認された。準天頂衛星については平成22年度に打ち上げられる予定であり、打ち上げに向けて順調に準備が進められていることから、本バッテリーの実用化の見通しはたっている。

また、独立行政法人宇宙航空研究開発機構（以下JAXAという）が製造した2式目のリチウムイオンバッテリーは本研究開発の成果が適用された。

表2-1 成果の実用化までの確認実施状況

項目	内容	確認実施状況
宇宙空間に対する耐環境性	耐環境性として、衛星システムから耐環境性設計基準書に示された ・ 機械環境試験要求 ・ 熱真空試験要求 を平成17年度に認定試験を行い宇宙環境に適合することを確認した。	実施済み
衛星システムとのインタフェース	平成18年度に衛星搭載のためにバッテリー制御モジュール(BCM)との組合せ試験を実施し、衛星システムとのインタフェース確認を行った。その結果として、運用のフレキシビリティを確認した。特にシステムサバイバビリティとしての	実施済み

	残容量管理の把握、リチウムイオンバッテリーの軌道上での容量増加運用、リチウムイオンバッテリー容量把握等衛星システムとして大きなメリットとなる特性確認を行った。また、平成20年度にはLIBA 検証モデルと BCM 検証モデルを組み合わせた総合評価試験を実施した。これによりリチウムイオンバッテリーシステム (LIBS) 検証モデルと準天頂衛星システムとのインタフェースが確認できた。	
寿命・信頼度	平成17年度～平成19年度に渡り、バッテリーセル単体としての寿命試験、リチウムイオンバッテリーとしての寿命試験を実施し、静止軌道上15年運用相当の検証を行った。	実施済み
安全性確認	平成17年度にNASA等の安全基準に対する適合性試験を実施し、全ての安全性基準に合致するバッテリーであることを確認した。(セル単体) また取り扱い時の落下や過充電を想定した安全性試験を実施し、問題ないことを確認した。(LIBA)	実施済み

3. 事業化の状況

準天頂衛星による宇宙実証後の事業化への第1歩は本研究開発のターゲットであった大型商用静止衛星である。

3.1 大型商用静止衛星への適用

(1) 需要見通し

現在商用衛星で主流となっている発生電力8kWを超える衛星(4tonクラス)においては、ニッケル水素バッテリーが使用され、これをリチウムイオンバッテリーに替えることによる軽量化の効果は大きい。静止衛星市場については、図3-1に示すように、今後毎年13機相当が打上られ、その半数以上がリチウムイオンバッテリーに置き換えられることが期待される。実際2008年度に海外衛星メーカーから、発生電力8kWを超える商用衛星用バッテリーとして第1号の受注を果たし製造を開始している。

今後の目標としては、50Ah～175Ahセルのラインナップを揃えて、シェア40%以上獲得することを目標としたい。

特に、図3-1中の大型衛星(打上げ質量5400kg以上)ではリチウムイオンバッテリーにほぼ100%置き換わり、このクラスでは175Ahの大容量リチウムバ

バッテリーの需要は高いと推測しており、本研究開発の先行性を活かしてシェア60%以上を獲得することを目標としたい。

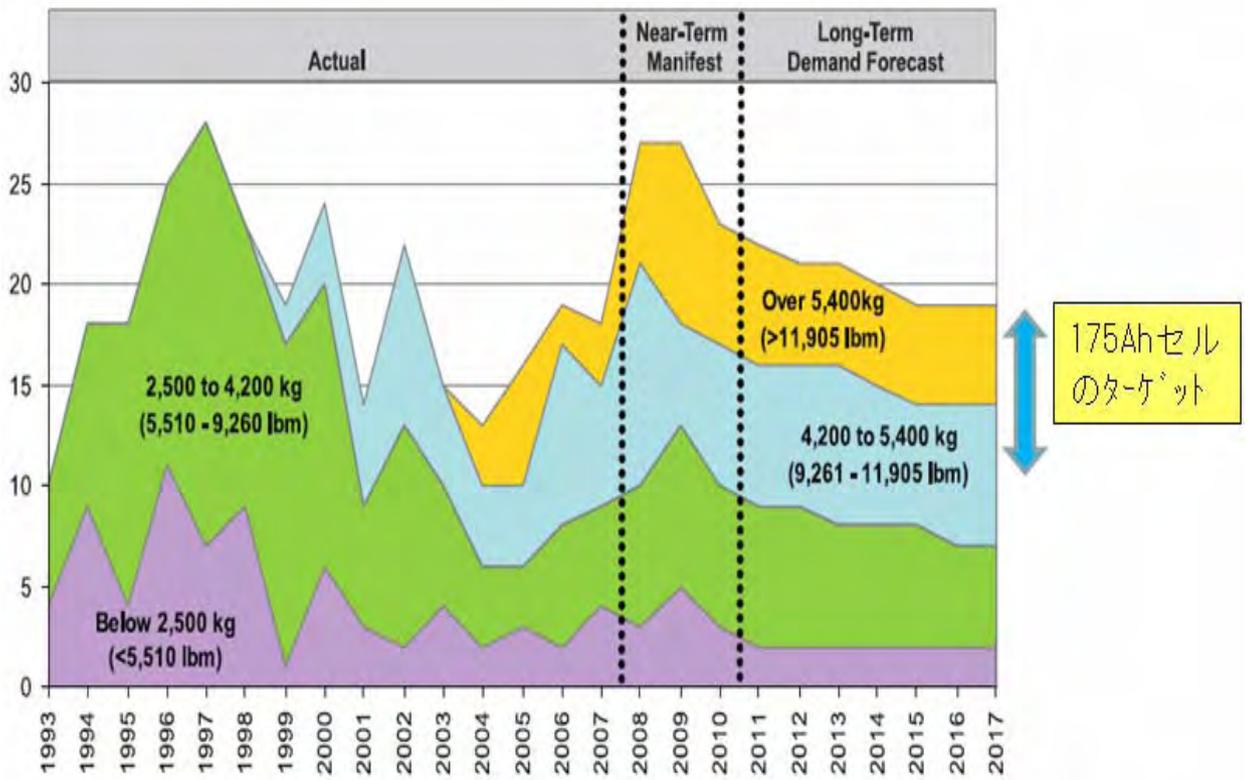
衛星用バッテリーの事業化のスケジュールを表 3-1 に示す。

準天頂測位衛星初号機用バッテリーとして 2008 年 11 月末に JAXA への引渡しを完了し、同衛星は 2010 年に打上られ宇宙実証が行われる予定である。宇宙実証に先立って 2008 年度に海外衛星メーカーから商用衛星用バッテリーとして LIBA2 台、バイパススイッチ 22 個の受注を果たしその設計・製造を開始した。準天頂衛星が 16 セル x 2 式であるのに対し、受注した海外衛星メーカーのバッテリーは 11 セル x 2 式という構成であり、本研究開発で確立した最大 24 セルまで搭載可能な組立て方式の有効性が実証された。

今後の海外の衛星メーカーの打ち上げスケジュールにあわせ、受注が増える事が期待される。現在はバッテリー単体としての受注だけであるが、高信頼性を実現するために開発したバイパススイッチおよび過電圧保護回路等の部品レベルの受注形態に加え、バッテリー制御システムである BCM までを含む電源系としてのリチウムイオンバッテリーシステム、さらに 3 次元ヒートパイプパネルを含むバス構体全体を受注する事業化への発展が望まれる。

リチウムイオンバッテリーセルとしても、今回開発した技術は大容量・高密度化技術に加えて防爆・気密構造技術、ケース腐食防止技術、熱・機械応力歪のない電極技術等が盛り込まれておりこれらの特性を活かした応用が期待される。

打上衛星機数 (機)



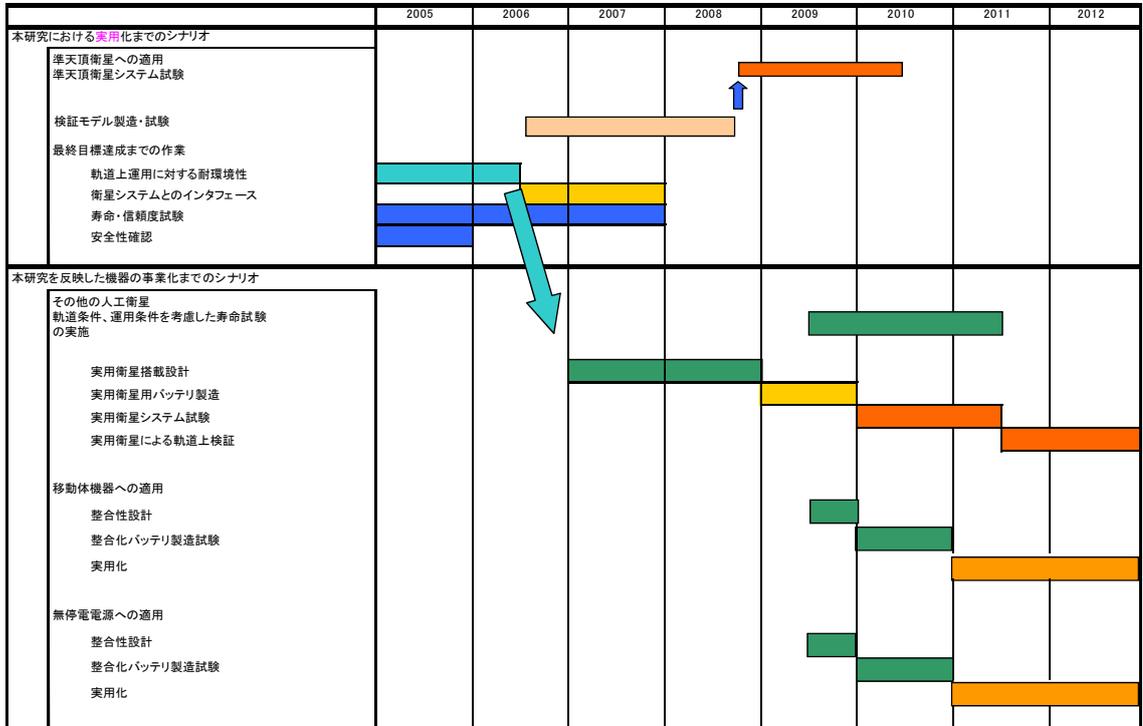
静止衛星の打ち上げ予測

打上年 (西暦)

	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total 2008 to 2017	Avg 2008 to 2017	% of Total	
Below 2,500 kg (<5,510 lbm)	4	9	4	11	7	9	1	6	3	2	4	2	3	2	4	3	5	3	2	2	2	2	2	2	2	2	25	2.5	11%
2,500 to 4,200 kg (5,510 - 9,260 lbm)	6	9	14	14	21	14	16	14	6	11	6	4	3	6	5	7	8	7	7	7	6	6	6	5	5	64	6.4	29%	
4,200 to 5,400 kg (9,261 - 11,905 lbm)	0	0	0	0	0	0	2	4	5	9	5	4	4	9	6	11	5	7	7	7	8	7	6	7	7	72	7.2	33%	
Over 5,400 kg (>11,905 lbm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	2	3	6	9	6	6	5	5	5	5	5	5	57	5.7	26%	
Total	10	18	18	25	28	23	19	24	14	22	15	13	16	19	18	27	27	23	22	21	21	20	19	19	19	218	21.8	100%	

図 3-1 静止衛星打ち上げ実績・今後の見込み (出典: COMSTAC, 2008)

表 3-1 衛星用バッテリーの事業化までのスケジュール



(2) 今後の要検討事項（寿命試験の継続）

本開発では、準天頂衛星用及び典型的な静止衛星用運用パターンでの寿命データを取得しているが、低軌道衛星等、衛星軌道条件・衛星運用条件（消費電力等）が異なる場合は、本開発での寿命試験データが適用できない可能性がある。それらの衛星に対応するためには、その衛星の運用パターンでの寿命試験の実施が必要となるケースも出てくる。

4. 宇宙以外の分野への適用の検討

人工衛星以外のバッテリーを使用する産業への波及効果としては、燃料電池自動車/電気自動車への適用、航空機用バッテリーへの適用、無停電電源装置への適用が考えられる。

4.1 想定される用途

4.1.1 公知・公開情報の収集

まず、用途の検討のために、各種二次電池が使用される用途を整理した（表 4.1.1-1）。

表 4.1.1-1 各種二次電池の用途

	現行用途	将来用途
鉛蓄電池	自動車用 SLI、非常用電源、UPS、コードレス掃除機、ゴルフカート、芝刈り機、耕運機、航空機、船舶、工業用運搬車、フォークリフト、電気自動車、潜水艦、海洋ブイ	42V 用電池、電気自動車
Ni-Cd 電池	電動工具、コードレス電話、雑貨、家電、航空機、鉄道、スイッチギア、警報機、信号機、非常灯	ロボット
Ni-MH 電池	携帯機器、デジタルカメラ、HEV、携帯電話	電気自動車、ロボット
リチウムイオン電池	携帯電話、ノートパソコン、カムコーダー、デジタルカメラ、PDA、ポータブル AV 機器	HEV、EV、電力貯蔵、ロボット
NaS 電池	ロードレベリング用	新エネルギー発電の発電平準化
電気二重層キャパシター	携帯電話、玩具、AV 機器、道路鋸	工場装置、医療装置

4.1.2 調査対象範囲

用途をユーザー、代替/新規の二軸で分類した。表 4.1.2-1 に分類結果を示す。

表 4.1.2-1 電池用途の分類

	代替	新規
公共用	非常用電源、UPS	軍用ロボット、太陽光発電バックアップ、がけ崩れセンサ、潜水艦・潜水艇
産業用	非常用電源、UPS、大型劇場・ドーム型球状の天井照明や非常灯、AGV、フォークリフト、航空機、船舶、鉄道、病院バックアップ、エレベーター	自動販売機、半導体製造装置用 Pod、光ケーブルのアンプ、埋め込み型医療機器、産業用ロボット
民生用	乗用車、シルバーカー、自転車、携帯 AV 機器	電気自動車、スポーツカー、冷蔵庫、トイレ、サービス系ロボット

4.1.3 特殊な要求条件を有する応用

4.1.3.1 長期に渡る開発期間が必要な機器

将来的な普及が見込めるが今後 5 年以内に普及が見込めない機器として、サービス系ロボット（図 4.1.3-1）があげられる。経済産業省などが数 10 億円規模の大規模プロジェクトを実施しており研究開発が進むと予想されるが、ロボット政策研究会の報告によるとサービス系ロボットの本格的な普及は 2025 年以降とされており、機器に対する電池を開発したとしても採用は先になると予想される。



三菱重工 wakamaru



テムザック 番竜

図 4.1.3-1 サービス系ロボットの開発例

4.1.3.2 製造物責任が問われる可能性のある機器

医療機器では、主にペースメーカー、除細動器、人工臓器など埋め込み型医療機器で電池が使用されている（図4.1.3.2-1）。使用される電池としては、例えばLi-I電池など低出力を長時間維持し続けられることが出来る電池が検討されている。医療機器用電池に求められる寿命年数は20年で衛星用電池との親和性は高いものの、要求される容量は1Ah以下であり、本調査で検討している175Ah電池では容量が大き過ぎる。また、埋め込み型であり、超小型であることが求められるという点からも適用は困難であると予想される。



出所) Wilsongreatbatch 社 HP より

図 4.1.3.2-1 医療用電池の実用化例

さらに、医療用部品は人命に関わる機器であるために事故発生時に多額の補償を求められるケースもある。また、一度採用されると部品交換のための供給保証期間が長く、部品メーカーは参入後医療機器本体の新規販売が減少した後も長期間におよぶ部品供給のための設備を維持せざるを得ない。

従って、製造物責任が強すぎる機器に対して電池を搭載することを目指しても、参入が難しいばかりでなくその後のビジネスが困難になる。

4.1.3.3 コストおよび電力容量からの検討

衛星用リチウムイオン電池は、高い信頼性を確保するために民生用では使用されていない多くの高度技術を使用しており民生用の電池と比較すると高コストになっている。また、175Ah は多くの電池と比較すると高容量電池の領域に属する。そのため、電池が使用されているあるいは使用される可能性がある用途で比較した場合にも、当該電池が活用される可能性のある用途は限られるものと予想される。

コストについては一般的に公開されている情報が少なく、メーカー、ユーザーともに秘匿性の高い情報であるので明らかにしない。そこで、各種調査レポートの数値を参考に議論を行い電池のコストに関する推計を行った。

分析の結果、衛星用リチウムイオン電池は現在確認されている多くの用途と比較してコストが割高になっており、低コスト化が用途展開のための必要条件となると想定される。しかし、これは衛星用リチウムイオン電池活用によるメンテナンスコストの取り込みなどによりある程度許容範囲が変化するものと予想される。許容範囲の変化として簡単な思考実験を行ってみる。例えば、現在2年の寿命の電池を使用していた用途があったとする。衛星用リチウムイオン電池を採用することで電池寿命が5倍の10年に延長されたとすると電池の許容コストは単純計算で5倍になる。さらに、交換のための人件費を考慮するとさらに許容コストは増加するが、最大で10倍と見積もるのが妥当と考えられる。

4.1.4 調査対象用途の絞込み

表 4.1.4-1 に衛星用リチウムイオン電池の適用可能性が考えられる用途と評価結果を示す。

市場要求の強さでは、既にリチウムイオン電池を搭載した例がある応用分野は○、リチウムイオン電池の搭載が研究されている分野には△、リチウムイオン電池の搭載の必要性が5～10年後になる場合には×とした。

製造物責任が強いかどうかについては、電池の不具合が人の生命に関わる場合を×、それ以外を△とした。

コストの○、△、×は電池専門メーカーの判断に依った。

容量については、今回検討した衛星用リチウムイオン電池は1セル当りの容量が175Ah、電圧が3.7V あるので650Wh が適切な容量となる。適用されている電池の容量が650Wh 以上の製品については○、10Wh～650Wh の製品は技術的な改善により適用が可能として△、10Wh 以下の容量は×とした。

以上の各観点について、形式的に一律に点数付けをしたのちに各機器の総合点数を比較し調査対象用途を航空機（固定翼機、回転翼機、無人機）、電気自動車、飛行船に絞り込んだ。

表 4.1.4-1 衛星用リチウムイオン電池の適用可能性が考えられる用途

用途	市場要求	製造責任	コスト	容量帯	総合評価
航空機	○	△	○	○	11
飛行船	△	△	○	○	10
電気自動車	○	△	△	○	10
バイク	○	△	△	△	9
鉄道車両	△	△	△	△	8
HEV(ハイブリッド自動車)	△	△	△	△	8
AGV(無人搬送車)	△	△	×	○	8
太陽光発電バックアップ	△	△	×	○	8
船舶	△	△	×	○	8
自動販売機	△	△	×	○	8
UPS(無停電電源装置)	○	△	×	△	8
工場バックアップ	○	△	×	△	8
フォークリフト	△	△	×	○	8
自転車	○	△	×	△	8
エレベーター	○	△	×	△	8
携帯AV機器	○	△	×	×	7
冷蔵庫	△	△	×	△	7
産業用ロボット	△	△	×	△	7
シルバーカー	△	△	×	△	7
非常用電源	○	△	×	×	7
病院バックアップ	○	×	×	△	7
産業用ロボット	△	△	×	△	7
乗用車	△	△	×	△	7
天井照明	△	△	×	×	6
非常灯	△	△	×	×	6
サービス系ロボット	×	△	△	○	8
埋め込み型医療機器	△	×	○	×	7

注) ○=3点、△=2点、×=1点との換算の基総合評価を算出した。

上記の検討の結果、総合評価で高い得点が得られた航空機、飛行船、電気自動車の分野についてユーザーインタビューを実施し、それを元にして技術検討を行った。

4.1.5 ユーザー調査

4.1.5.1 航空業界に対するインタビュー調査

4.1.5.1.1 調査の概要

(1) 調査の方法

表 4.1.5.1.1-1 に航空機業界のインタビュー企業を示す。

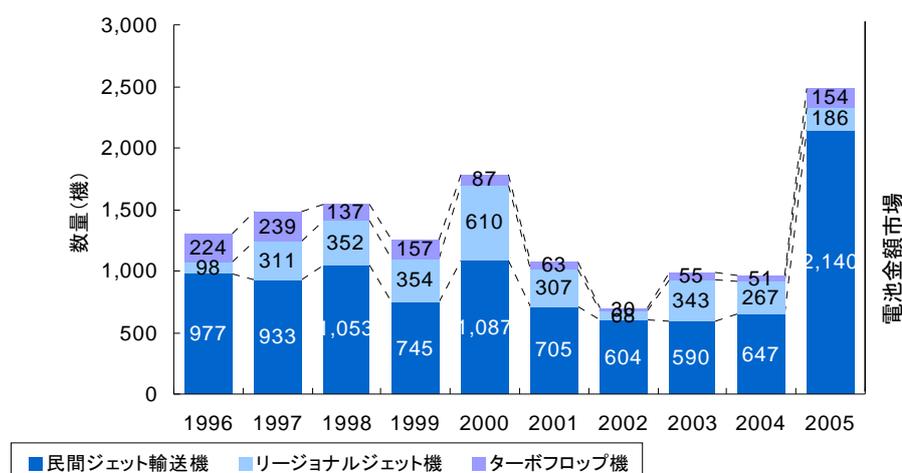
表 4.1.5.1.1-1 インタビュー企業（航空機業界）

機体分類	企業
大型旅客機	民間航空会社の整備子会社 A 社
中・小型旅客機	民間航空会社の整備子会社 A 社
回転翼航空機	機体メーカー B 社
無人航空機	機体メーカー B 社
飛行艇	機体メーカー C 社

大型旅客機は、国内に機体メーカーが存在しないことと、電池の使用方法や電池に対するニーズについては機体メーカーより電池を利用しているユーザーの立場からの方が多くの知見が得られるため整備会社に対してインタビューを実施した。

(2) 航空機市場の概観

航空機の市場は大きく民間ジェット輸送機、リージョナルジェット機、ターボプロップ機に分類し、図 4.1.5.1.1-1 に航空機市場の推移を示す。



出所) 財団法人日本航空機開発協会「平成 17 年度版 民間航空機関連データ集」

図 4.1.5.1.1-1 航空機市場の推移 (台数および電池金額)

(3) 使用している電池の性能

それぞれの用途で使用している電池の種類、用途、性能を表 4.1.5.1.1-2 に、Boeing 777 で使用されているバッテリーの外観を図 4.1.5.1.1-2 に示す。

表 4.1.5.1.1-2 各機体で使用されている電池の概要

機体分類	電池の用途	電池種類	電池の性能	
			容量	質量
中・大型旅客機	航空機のエンジン始動用（APU）と緊急時のバックアップ ^o	ニッケルカドミウム電池	50 Ah×2個	50kg
小型旅客機	〃	ニッケルカドミウム電池	～50Ah×2個	～50kg
回転翼航空機	〃	ニッケルカドミウム電池	30Ah～50Ah	35kg～
UAV（無人航空機）	ラジコン大の小型機は動力用を含み、バッテリーのみ。大半はエンジンとバッテリー（制御用）の併用。	ニッケルカドミウム電池	150Ah	不明
飛行艇	航空機のエンジン始動用（APU）と緊急時のバックアップ ^o	ニッケルカドミウム電池	50Ah×2個	50kg



出所) Acme Electric HP より抜粋

図 4.1.5.1.1-2 Boeing 777 で使用されているバッテリーの外観

現在、航空機で使用されている電池は、高出力に強みを持つニッケルカドミウム電池であるが、徐々にリチウムイオン電池へのシフトが進んでいくものと予想される。具体的な動きとしては、Boeing は 2007 年から実用化される B787 に (株) ジーエス・ユアサ コーポレーション (以下「GYC」とする) のリチウムイオン電池を搭載することを表明している。また、Air Bus も欧州の有力電池メーカーである SAFT 社と次世代の大型旅客機向けリチウムイオン電池の研究を進めている。

4.1.5.1.2 中・大型旅客機（含飛行艇）

衛星用リチウムイオン電池のメリットとして、中・大型旅客機のユーザーはニッケルカドミウム電池と比較して、以下の点を指摘した。

軽量であるため機体の燃費向上に貢献できる

メンテナンスが容易になる

自己放電が少ない

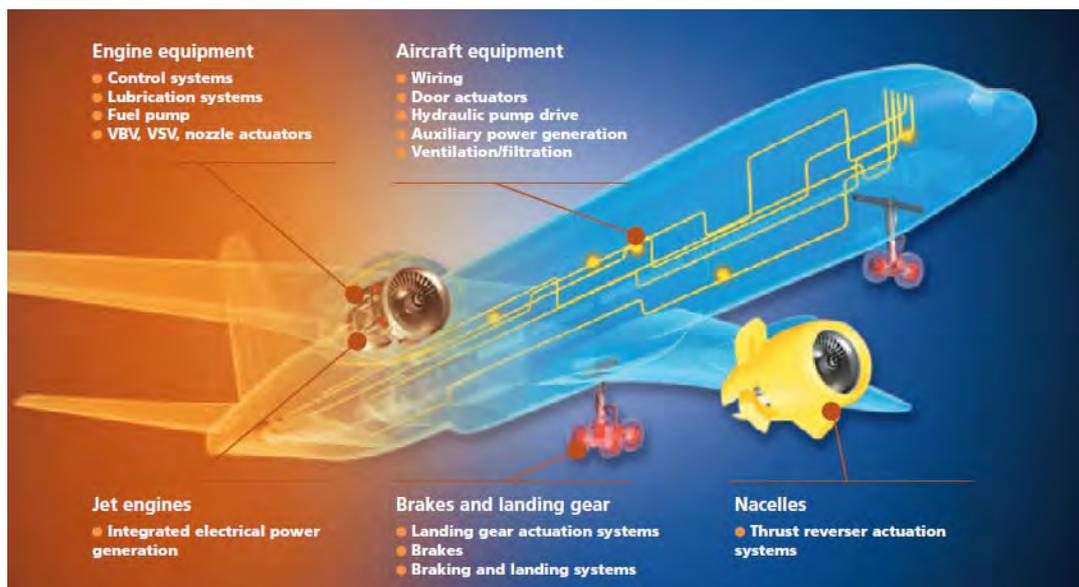
一方、デメリットとして、以下の点を指摘された。

現在使用している電池と比較して容量が大きい

1000A 程度の高出力が困難

容量が過剰であることに関しては、衛星用リチウムイオン電池は一セル当りの容量が 175Ah あり、通常航空機用で使用される電池である 50Ah と比較すると過剰な大容量を持っているということである。この点については、既開発の 100Ah のセルの適用を検討するとともに、低容量の電池を開発するか、航空機の使用電力量が増加すれば解決される。

旅客機の世界においては機内環境の改善や信頼性の向上を目的とした「More Electronic」や「All Electronic」などの研究がなされており旅客機が使用する電力量が増加する可能性がある。図 4.1.5.1.2-1 に航空機の各要素の構成図を示す。現在は、降着装置や揚降装置などのアクチュエータの電動化が検討されている。降着装置は、前脚ステアリング・アクチュエータの駆動、車輪ブレーキの作動及び揚降アクチュエータや各種アクチュエータの駆動に油圧を用いている。今後は、油圧系の電動化、防除氷装置の電氣化などが検討されている。過去の検討としては、ヨーロッパにおいては、2002 年に Power Optimized Aircraft プロジェクトがある。



出所) Hispano-Suiza

図 4.1.5.1.2-1 航空機の各要素の構成図

このプロジェクトはエアバスが中心となり機械、油圧、空圧、電気の四つの動力に分散した現状の航空機のシステムを見直し効率のよい航空機システムの開発を目標に進められている。日本では経済産業省より委託を受けて、(財)日本航空機開発協会が中心となり、「航空機用先進システム基盤技術開発事業」が2004年度から進められており、燃費向上・環境負荷低減を目標にアクチュエータの Electro Hydrostatic Actuator 化や Electro Mechanical Actuator 化の技術開発が進められている。各国でも航空機システムの電動化の研究開発が進められており、今後油圧アクチュエータ (図 4.1.5.1.2-2) は電動化の方向に進むと予想される。そのため、将来において高容量電池が求められる可能性はある。ただし、現在検討中の技術であり、実用化は2020年程度と予想されている。

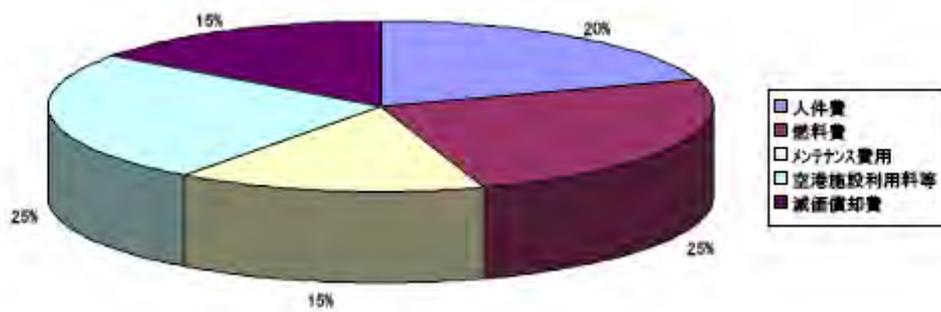


出所) ナブテスコ

図 4.1.5.1.2-2 エレクトロメカニカルアクチュエーター

ニッケルカドミウム電池から衛星用リチウムイオン電池への転換を促進する一つの要素として、衛星用リチウムイオン電池が長寿命で電池交換頻度が少ないことが考えられる。この際に、重要になるのは衛星用リチウムイオン電池の採用が航空会社の収益性にどれほど影響を及ぼすかである。

図 4.1.5.1.2-3 に航空機の直接運航費の内訳（航空機を運航する上で直接の関係をもつ経費。燃料費、乗員人件費、整備費、訓練費、公租公課、減価償却費、保険料などが含まれる。）を示す。これらの中で、メンテナンスに関わる費用は全体の 15% と比較的大きい。15%の内電池に関するメンテナンスがどれほどの比率を占めるかは不明であるが、衛星用リチウムイオン電池を採用するのに追い風となると言える。



出所) 三菱総合研究所 「平成 15 年度 長期エネルギー技術戦略策定等調査 調査報告書」

図 4.1.5.1.2-3 直接運航費の内訳

容量に関しては既に衛星用電池のラインナップには 50Ah 品がありこれを活用することにより対応可能である。従って、取り組むべき開発課題は 1,000A の高出力化であるが、仮に 50Ah 品の電池を搭載した場合、1,000A を実現するには 20C ものハイレート放電が可能となる必要がある。現在の衛星用リチウムイオン電池は、3C (525A) までの放電は可能であるが、それ以上の放電は困難である。高エネルギー密度を維持したまま、レート特性を向上することは一般的に困難であると言われており開発の難易度は非常に高いと予想される。

4.1.5.1.3 回転翼航空機

衛星用リチウムイオン電池のメリットとして、回転翼航空機のメーカーはニッケルカドミウム電池と比較して、以下の点を指摘した。

容量が大きい

軽量

一方、デメリットとしては以下の点を指摘した。

コストが高い

回転翼航空機は、防衛・防災などの分野で使用されているが、ミッションの高度化に伴い機体の総消費電力量が増加している。現在、54Ahでも不足感があり、更に必要容量が高まっていくことが予想される。しかし、175Ahまで求められるかはどのようなミッションを帯びるかに依存しており、機体メーカーの開発者にも予測が困難であった。

回転翼航空機についても、中・大型旅客機向けでの検討と同様に出力が大きな課題となると考えられる。エネルギー密度を維持したまま、出力密度を向上するという非常に困難な開発を行う必要がある。

4.1.5.1.4 UAV（無人航空機）

(1) UAVの概要

UAVとは

UAV（無人航空機）は、人間が搭乗することなしに、自律あるいは遠隔操縦による飛行が可能であり、所定の任務を遂行するためのペイロードの搭載、および機体の投棄あるいは回収が可能な航空機である。これにはいわゆるミサイルや砲弾に類する飛行体は含まれない。（出所：日本機械工業連合会「平成17年度無人機(UAV)の汎用化に伴う防衛機器産業への影響調査報告書」）。

UAVの用途

表4.1.5.1.4-1に軍事用、非軍事用におけるUAVの利用用途を示す。無人機はこれまでに様々な用途のために使用されてきたが、現在までのところ多くは軍事目的で使用されている。第一次大戦では戦闘用無人機として、その後射撃訓練用の標的機として、第二次大戦後は標的機にカメラや電子機器を搭載した偵察機として利用されてきた。また、近年では敵防空網制圧といった有人機にとって危険

な任務に無人機を使用するUCAVの開発が米国を中心に行われている。

一方、こうした軍事用途への適用に比べ、軍事以外の分野への無人機の適用は一部を除いて遅れているのが現状である。既に利用されている用途としては、農薬散布、資源探査、沿岸監視などのほか、学術機関において、有人機では危険な実験などに無人機を利用するケースが見られる。

表 4.1.5.1.4-1 軍事用、非軍事用における UAV の利用用途

	軍事用	非軍事用
用途	<ul style="list-style-type: none"> ① 偵察・監視 ② 目標捕捉 ③ 目標指定 ④ 通信中継 ⑤ 戦果評価 ⑥ 通信・電子情報収集 ⑦ 電子妨害 ⑧ 化学・生物兵器探知 	<ul style="list-style-type: none"> ① 農薬散布 ② 農作物監視 ③ 環境管理／気象観測 ④ 鉱物探査 ⑤ 沿岸監視 ⑥ 通信中継 ⑦ ニュース取材 ⑧ 海洋資源探査 ⑨ 不発弾探知 ⑩ 航空交通管制 ⑪ 陸上交通管制

日本の UAV の現状

日本では、農薬散布用、災害監視用などで約 2000 機以上の無人ヘリコプターが運用され、8000 を超える運用者によって運用されている。農薬散布用途については、現在の農薬空中散布面積の半分以上は無人機が担っている。また、2000 年の三宅島、有珠山といった火山噴火災害、自然災害により、災害用途における無人機の民間需要も高まってきた。この用途では、危険な地域かつ有人機の運用が制限される空域での情報収集活動をして注目された。三宅島では 2001 年の噴火直後から気象庁が富士重工業製の RPH 2 UAV を使用して観測を行っている。また、北海道開発局は有珠山での噴火災害でヤマハ発動機製の無人ヘリコプターを監視任務に利用した。

こうした状況から、日本はオーストラリアとともにアジア地域における無人機技術のリーダーであるといえる。この高水準の技術レベルは 2015 年頃まで続くと予測されている。

主な無人機としては、回転翼機では、YAMAHA の RMax や富士重工業の RPH-2 などがあり農薬散布や災害情報監視に用いられている。固定翼機では、カイトプレーンシステムと呼ばれる国産無人機があり、火山観測や大気観測に使用されている（図 4.1.5.1.4-1）。

農業用 UAV について、YAMAHA 社製の UAV RPH-2 も含めた保有台数を図 4.1.5.1.4-2 にまとめた。市場は順調に拡大しているが、YAMAHA 発動機の外為法違反の影響がどのように出るかを注視する必要がある。

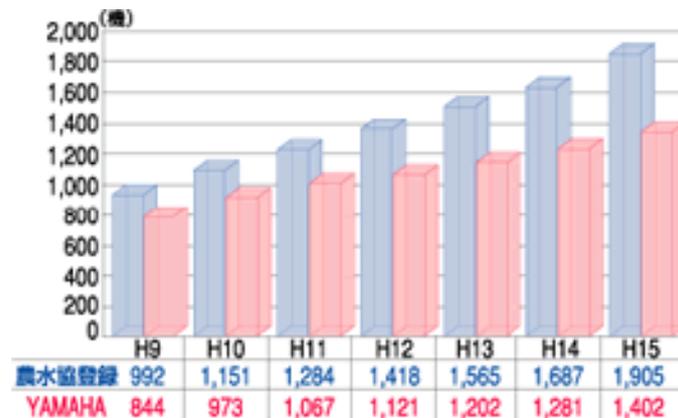


RPH-2



カイトプレーン

図 4.1.5.1.4-1 日本の無人機の例



出所) YAMAHA 発動機 HP

図 4.1.5.1.4-2 農業用無人ヘリコプターの機体登録状況

(2) 衛星用リチウムイオン電池適用の可能性

UAV 用電池として衛星用リチウムイオン電池を考えた場合、UAV 開発者はメリットとして以下の点を指摘した。

- ・容量がマッチしている。
- ・要求されるエネルギー密度 200Wh/kg を実現している。

デメリットは現時点ではあまり指摘されなかったが、国内の民生用 UAV は農薬散布用の無人ヘリコプターを除き普及していない。地域警戒、災害被害の確認などの民生用は開発が進められている最中であり、実用化には数年を要する。

無人機で要求されている容量帯および出力特性は、衛星用リチウムイオン電池の性能にマッチしており、先端航空用途であるのでコストに対する要求レベルも他の用途に比べて低いと予想される。

従って、実用性が出るのは数年先になると見られるものの衛星用リチウムイオン電池の特性が活かせる最も有望な用途であると考えられる。

4.1.5.1.5 航空機用バッテリーへの適用

衛星用リチウムイオン電池の展開先の有望度は以下の通り UAV (Unmanned Aerial Vehicle 自律無人航空機) への適用可能性はあるが、他の回転翼航空機、中・大型航空機・飛行船への適用・事業化には表 4.1.7-1 に示す改良が必要である。

- 1) UAV : 適用性高い (コスト許容性が高く、性能値の適合度が高い)
- 2) 回転翼航空機 : 設計変更により適用可能 (コスト許容性は高いが、ミッショ

ン高度化に伴う必要容量の増大が採用の条件)

- 3) 中・大型航空機： 設計変更により適用可能（全電氣化になり搭載容量が向上した際に搭載の可能性が出る）
- 4) 飛行船： 適用困難（理論値に迫るエネルギー密度の実現が事実上不可能）

(1) 175Ah セルの改良提案

中・大型航空機、回転翼航空機において、現状の電池要求に適合させるためには、容量 50Ah 程度にスケールダウンする必要がある。また、容量 50Ah の電池で電流 1000A の出力を供給するために、極板の薄型化と大電流に耐える集電構造／リード構造／端子構造への改良が必要となる。

（開発した衛星搭載用リチウムイオンバッテリーは、航空機の始動用のような大電流の要求はなく、3C(525A)が最大放電電流として設計している。また、大電流を流すためには集電構造／リード構造／端子構造も大きくする必要があるが、衛星搭載用バッテリーは軽量化も重要であるため、3C（525A）の放電電流に合うように小型・軽量化している。）

成層圏プラットフォーム（飛行船）に関しては、350Wh/kg のエネルギー密度要求は最高レベルのリチウムイオン電池の理論値に近く、既存の系での達成は不可能である。よって、材料系および構造の変更による適用は困難と判断する。

上記の調査結果としては課題が多いが、本バッテリーは軽量化、長寿命、高い安全性が期待できるため、航空機用電力供給源として適用できる潜在的可能性は十分にある。今後はさらに安全性試験などを行って航空機への適用に向けた活動が必要である。

4.1.5.2 電気自動車業界に対するインタビュー調査

4.1.5.2.1 調査の概要

(1) 調査の方法

電気自動車のユーザーおよび研究者に対してインタビュー調査を行った。

表 4.1.5.2.1-1 にインタビューを実施した対象企業・研究機関を示す。

表 4.1.5.2.1-1 インタビューを実施した対象企業・研究機関（電気自動車業界）

機体分類	企業・研究機関
業務用電気自動車	D 社
エリーカ	慶応大学 清水教授

業務用電気自動車は D 社が業務で使用する自動車を電気自動車化したもので、一日当りの走行距離が短いことと、自社内利用であることから比較的導入しやすいものと想定される。

業務用電気自動車のスペックは以下の通り

- ✓ 定員：2名
- ✓ 走行距離：80km
- ✓ 充電（急速）：15分で0%～80%
- ✓ 目標台数：3,000台
- ✓ 最高速度：100km/h
- ✓ モーター出力：40kW
- ✓ 電池：Mn系リチウムイオン電池 346V

エリーカは慶応大学の清水教授を中心に、電池は GYC が提供し、合計 38 社が協力して研究を進めている。電気自動車に対する世間の常識を覆し、電気自動車の最高性能を追求するためのプロジェクトである。

エリーカのスペックを下記に、外観を図 4.1.5.2.1-1 に示す。

最高速度挑戦車

- ✓ 定員：5名
- ✓ 走行距離：200km
- ✓ 充電（急速）：4分で0%～70%
- ✓ 目標台数：200台
- ✓ 最高速度：400km/h
- ✓ モーター出力：60kW×8輪（ホイールインモーター）
- ✓ 電池：リチウムイオン電池 332V、31kWh

高加速性能挑戦車

- ✓ 定員：5名
- ✓ 走行距離：320km
- ✓ 充電（急速）：30分で0%～70%
- ✓ 目標台数：200台
- ✓ 最高速度：190km/h
- ✓ モーター出力：60kW×8輪（ホイールインモーター）

✓ 電池：リチウムイオン電池 328V、55kWh



出所) 慶応大学 清水研究室 HP

図 4.1.5.2.1-1 エリーカの外観

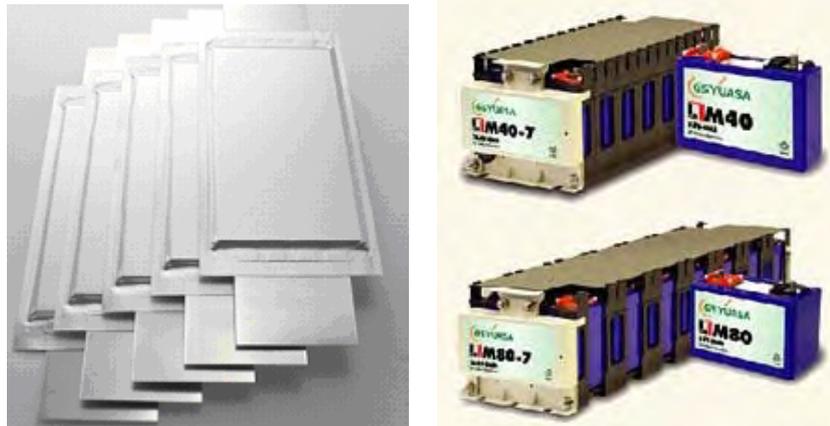
(2) 使用している電池の性能

それぞれの用途で使用している電池の種類、性能を表 4.1.5.2.1-2 に示す。

表 4.1.5.2.1-2 各機体で使用されている電池の概要

機体分類	電池種類	電池の性能	
		モジュール容量	セル容量
業務用電気自動車	リチウムイオン電池	10kWh	15Ah
エリーカ	リチウムイオン電池	31kWh 55kWh	40Ah

電気自動車で使用されているリチウムイオン電池の例として図 4.1.5.2.1-2 に NEC ラミリオンエナジーと GYC のリチウムイオン電池のイメージを掲載する。



出所) NEC ラミリオンエネルギーHP、GYPS HP より抜粋

図 4.1.5.2.1-2 NEC ラミリオンエネルギーと GYC のリチウムイオン電池のイメージ

上記、2 バッテリーはいずれも低価格化を目指して安価な原料である Mn 系の正極を使用しており、コストに対する意識の高さが伺える。

4.1.5.2.2 業務用電気自動車への適用性

電池のコストターゲットを 80 円/Wh に設定しており、衛星用リチウムイオン電池の現状コストとの乖離が大変大きく、適用は困難と予想される。

衛星用リチウムイオン電池の持つ高信頼性、長寿命のメリットを活かしたライフサイクルコストでの検討についても、業務用電気自動車のユーザーは低コスト、低ライフで電池メーカーの投資回収を容易にし、電池メーカーの積極的な参加を促す戦略であるのでメリットとして訴求しにくい。

さらには、充電速度の点でも 20C という急速充電性が求められており、衛星用リチウムイオン電池にとって非常に厳しい要求となっている。

以上から、業務用電気自動車に対して衛星用リチウムイオン電池を適応するためには 20C の急速充電性能と 80 円/Wh のコストターゲットを実現するための大幅な設計変更が必要となる。

4.1.5.2.3 エリーカへの適用性

既に合格点をもらっている今のマンガン系リチウムイオン電池に対して、コストアップになるが、性能は良いという衛星用リチウムイオン電池が今のマンガン系リチウムイオン電池に代わって採用されるかどうかについて調査した。

現在の清水教授の電池に対する課題は性能よりもコストである。従って、性能が

良くてもコストが安くなければ導入されないと予想される。

衛星用リチウムイオン電池の性能値は全く問題がないとのことから、スペック的には搭載可能であるが、現在のコストであれば搭載することは難しいと見られる。

4.1.5.2.4 燃料電池自動車/電気自動車用バッテリーへの適用

燃料電池は高エネルギー密度であり自動車用の動力源として検討されている。しかしながら自動車は発進時、加速時、登坂時などで高出力を必要とするため、出力密度の低い燃料電池のみでは対応できない。したがって高出力を補うためのアシスト電源が必要となる。このアシスト電源として、最も瞬間電力を供給できるキャパシタ（含む電気二重層キャパシタ）やリチウムイオン電池とのハイブリッドが考えられている。この関係図を図 4.1.5.2.4-1 に示す。

この関係図でエネルギー密度が高い程小型軽量化ができ、出力密度が高いほど高出力となる。特に本研究で開発したリチウムイオンバッテリーは燃料電池よりは高出力であり、キャパシタよりは長時間のエネルギー供給が可能となるため発進時の加速が持続できスムーズな加速性能が維持できる。特にブレーキ等で減速した場合でもこのリチウムイオンバッテリーの場合は回生電力によって充電できるためエネルギーの節約に寄与する。この組合せによる性能補完図を図 4.1.5.2.4-2 に示す。

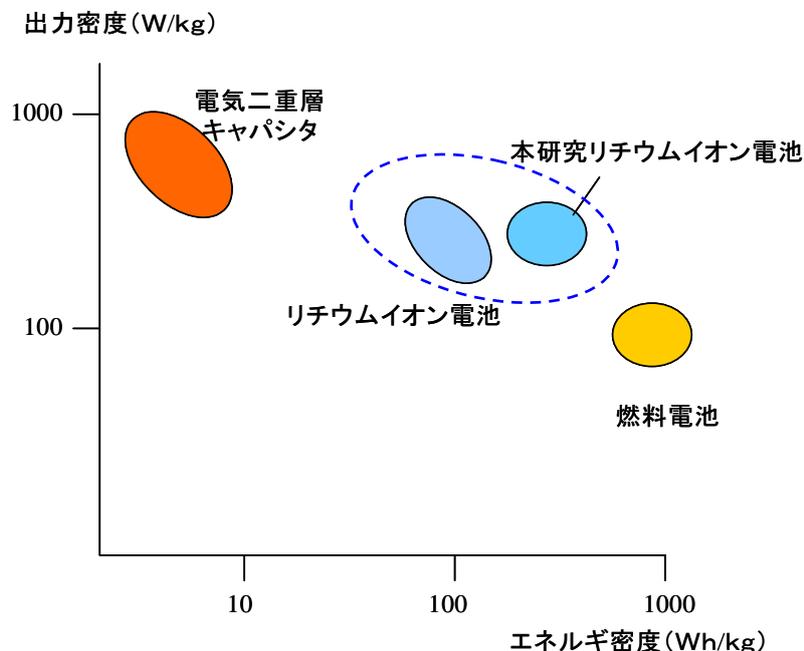
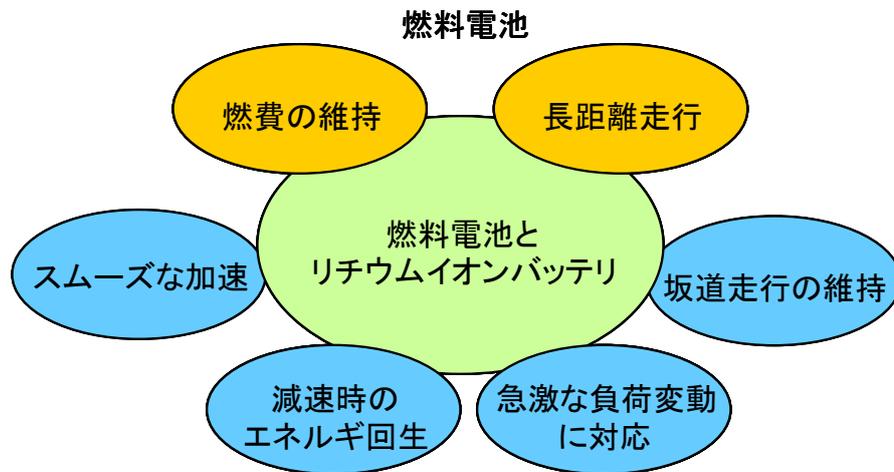


図 4.1.5.2.4-1 エネルギー密度/出力密度関係図



本研究リチウムイオン電池

図 4.1.5.2.4-2 燃料電池／リチウムイオン電池合成による性能補完

このように燃料電池との組合せはお互いに性能欠点を補完でき非常に有効となる。さらに完全を期するためにはキャパシタとの組合せ^(*)も有効な手段となる。

この応用ではリチウムイオン電池が主たる電源ではないことから小規模で良く、コストの観点からも有利となる。

* キャパシタ＋燃料電池＋本研究リチウムイオン電池

4.1.5.3 成層圏プラットフォーム業界に対するインタビュー調査

4.1.5.3.1 成層圏プラットフォームプロジェクトの概要

図 4.1.5.3.1-1 に成層圏プラットフォームプロジェクトの流れを、表 4.1.5.3.1-1 に成層圏プラットフォーム飛行船用 1kW 再生型燃料電池の研究開発推移を示す。

成層圏プラットフォームは、地球観測や通信・放送等のミッションに利用することを旨として、総務省と文部科学省が連携し、平成 10（1998）年度より研究開発プロジェクトに取り組んできた。これまで平成 10 年度から平成 16 年度まで投入された予算額は約 210 億円に上る。現在は、電源系の目標（450Wh/kg）の達成が課題になっており、解決が望まれている。

成層圏プラットフォームにおける電池の用途は以下のとおりである。

- ・電池出力の大部分は成層圏で静止位置を維持するためのプロペラ、推進系統に使用される。

<滞空時の例> プロペラ、推進系統 : 約7割
 ミッション機器、制御器 : 約2割
 その他 : 約1割

表 4.1.5.3.1-1 成層圏プラットフォーム飛行船用 1kW 再生型燃料電池の研究開発推移

平成 10～13 年度	平成 14～15 年度	平成 16 年度	平成 17 年度
<u>実用機電源 FS</u>	<u>1kW 一体型モデル試作/試験</u> 要素軽量化		
<u>1kW 研究モデル試作/評価</u>		低温・揺動環境評価/SC・RFC 統合試験	
<u>15kW 級実用システム概念設計</u>		<u>1kW 搭載型モデル試作</u>	

出所) JAXA 資料より NRI 作成

年度	平成10年度	平成11年度	平成12年度	平成13年度	平成14年度	平成15年度	平成16年度	総額
飛行船システム								
システム研究	成定性検討		システム最適化検討					
要素技術開発 費用実績(百万円)	141	350	121	395	268	23	188	1,486
成層圏滞空飛行試験 費用実績(百万円)			飛行試験機の設計・製作・要素技術試験			飛行試験		1,252
定常滞空飛行試験 費用実績(百万円)			飛行試験機の設計・製作・要素技術試験			飛行試験		4,178
費用実績(百万円) (その他を含む合計)	169	421	909	1,460	1,926	2,518	1,228	8,631
追跡管制システム 追跡管制システム (ITACS)	概念設計		基本設計	詳細設計				
追跡管制設備 (TTRAC)				設計・製作・試験・総合調整			システム 実証試験	飛行試験 ・評価
風観測・予測システム (MEWS)	基本モデル試作	評価・改良	観測設備整備/局地最適化・総合調整					
飛行・運用シミュレータ (FLOPS)	基本プログラム試作・評価・改良	詳細プログラム製作・総合調整						
費用実績(百万円)	183	639	654	1,550	919	1,150	347	5,442

出所) 文部科学省 第2回成層圏プラットフォーム研究開発に関する懇談会 より

図 4.1.5.3.1-1 成層圏プラットフォームプロジェクトの流れ

安全要求

安全要求は航空法に従う。水素の使用などは発火性の観点からできないが、その点リチウムイオンバッテリーは燃料電池より有利である。

4.1.5.3.2 衛星用リチウムイオン電池適用の可能性

飛行船の要求性能の内、最も厳しい性能はエネルギー密度に関する要求である。現状のエネルギー密度は 450Wh/kg であるが、再生型燃料電池では 230Wh/kg まで達成された。現在達成されているエネルギー密度でもまだ目標数字との乖離がある。これは、再生型燃料電池の発電効率が 40~50% であるために、大型の太陽発電パネルを設置しなければならないことによる。クーロン効率で 99% 以上を誇るリチウムイオン電池での JAXA 側の研究者の試算では要求エネルギー密度は 350Wh/kg 程度になると推計された。その他の性能については、衛星用リチウムイオン電池はクリアーしていることから、衛星用リチウムイオン電池を飛行船に適用することを考えた場合には、衛星用リチウムイオン電池がクリアーしている 170Wh/kg を約 2 倍まで高める研究が必要となる。通常の電池系での研究から構造的な工夫でエネルギー密度を約 2 倍まで高めることは難しく、材料系を変更しても難易度が非常に高いと判断される。

4.1.5.4 無停電電源装置への適用

本バッテリーは衛星搭載用として開発されたことからメンテナンスフリーで高性能・長寿命を実現しているため、以下の場所等における無停電電源装置に使用することにより、メンテナンス費用を大幅に削減できる効果が得られる。

- (1) 人のアクセスが困難な山間、離島等
- (2) 火山観測等
- (3) その他危険な場所

この場合はバッテリーの費用がメンテナンス費用より安いことが必要であり、今後、事業化のためにはコスト低減を行う必要がある。

4.1.6 調査結果と適用性検討

本調査では、UAV を除き技術的な課題がそれぞれの用途に存在した。中・大型航空機は容量帯がマッチせず、非常に高いレベルでの高出力化が求められる。すでにラインアップにある 50Ah の電池を使用するとしても、1,000A の放電特性を実現しようとするとは 20C の出力密度となる。これは、既存のリチウムイオン電池の中でも非常にハイレートな電池に分類され、現在 3C 放電の衛星用リチウムイオン電池の改良には極板面積を広くし、電極の膜厚を薄くするなどの対応が必要となる。一般的に、高エネルギー密度と高出力は電極の膜厚を厚くすることと薄くすることの全く正反対の設計が要求される。そのため、高エネルギー密度と高出力はトレードオフの関係になる。衛星用リチウムイオン電池の特徴である高エネルギー密度を活かしたままで高出力化する開発は現段階では非常に難しいと考えられる。

回転翼航空機では、現在使用されている電池の容量は高いもので 52Ah である。ミッションの高度化により消費電力は増加する傾向にあるが、52Ah の現要求が 175Ah まで増えることは考えにくい。また、52Ah の電池を搭載している回転翼航空機に 175Ah の電池を搭載した場合はエネルギー密度が高いが、質量が 2 倍以上になることが予想される。電池質量が増加することは望ましくない。従って、質量の観点から 175Ah の衛星用リチウムイオン電池が採用される可能性は低い。回転翼航空機は、ミッションの高度化による消費電力の増加をトレースしながら、容量増加による質量の問題が顕在化した際に搭載を再度検討することが望ましい。

UAV では、技術課題はあまり指摘されなかった。これは、UAV が要求する事項

を現在の衛星用リチウムイオン電池がほぼ満足していることによると考えられる。UAV は日本においては、まだ研究段階にあるためコストについての要求レベルも明確でない。このことは、UAV 用の電池として衛星用リチウムイオン電池の可能性が高いことを示す一方で、早期の実用化、市場展開が難しいことを示唆している。しかし、UAV は本調査の範囲内ではもっとも衛星用リチウムイオン電池の性能との適合性が高く、コストに対する要求の低い用途であった。UAV 用電池は衛星用リチウムイオン電池の将来の展開先として有望であるといえる。

電気自動車については、コストの観点から採用が非常に厳しい。電気自動車が求めるコストは 80 円/Wh であり、これは既存の衛星用リチウムイオン電池と比較して数桁異なっている。また、電気自動車は 20C の急速充電が求められており、高エネルギー密度を志向する衛星用リチウムイオン電池を適応するには設計変更が必要と判断された。（本研究開発の衛星搭載用リチウムイオンバッテリーは衛星用に特化しているため急速充電は必要がなく、1/2C (87.5A) が最大充電電流である）

飛行船については、エネルギー密度の問題をクリアすることが非常に難しい。エネルギー密度 350Wh/kg は最高レベルのリチウムイオン電池の理論値に近く、既存の系での達成が不可能であるばかりではなく、材料系の変更によっても達成は難しい。（仏国 SAFT 社が 2007 年に次世代のリチウムイオンバッテリーの開発を表明したが、それでも 250Wh/kg であり、飛行船が要求する 350Wh/kg には遠く及ばないのが実情である）

4.1.7 175Ah セルの改良提案

175Ah セルの各用途におけるメリット、課題、適用可能性、適用するための改良提案を表 4.1.7-1 にまとめた。

中・大型航空機、回転翼航空機において、現状の電池要求に適合させるためには、容量 50Ah 程度にスケールダウンする必要がある。また、容量 50Ah の電池で電流 1000A の出力を供給するために、極板の薄型化と大電流に耐える集電構造／リード構造／端子構造への改良が必要となる。

電気自動車については、コストが重視されることから、容量を 50Ah 程度にスケールダウンする必要があると考える。充電レート 20C の急速充電性能を得るために、極板の薄型化と大電流を許容する集電構造への変更に加えて、負極材料に充電受け入れ性に優れるハードカーボンを採用する必要がある。また、厳しいコスト要求に対応するため、安価な Mn 系正極活物質、樹脂シール端子、鉄系ケースの採用が必須と考える。

成層圏プラットフォーム（飛行船）に関しては、350Wh/kg のエネルギー密度要求は最高レベルのリチウムイオン電池の理論値に近く、既存の系での材料系および構造の変更による適用は困難と判断する。

表 4.1.7-1 175Ah セルの各用途におけるメリット、課題、適用可能性、適用するための改良提案

用途	メリット	課題	適用可能性	適用するための改良提案
中・大型航空機	<ul style="list-style-type: none"> ・軽量 ・メンテナンス容易 ・自己放電が少ない 	<ul style="list-style-type: none"> ・要求容量 50Ah に対し、容量が過大 (約 4 倍) ・要求電流 1,000A に対し、実力は約 500A 	右記の改良を行えば、適用可能	<ul style="list-style-type: none"> ・中容量化する (約 1/4 へ) ・高出力化のために極板を超薄型化する ・大電流を許容する集電構造へ改良する
回転翼航空機	<ul style="list-style-type: none"> ・軽量 ・大容量 (将来要求に対応できる) 			
UAV	<ul style="list-style-type: none"> ・軽量 ・適切な容量帯 	特になし	そのまま適用可能	(耐宇宙環境のために装備しているセラミックシール端子を低コストな樹脂シール端子に改良するとより好ましい)
電気自動車	軽量	<ul style="list-style-type: none"> ・要求容量 50Ah に対し、容量が過大 (約 4 倍) ・充電速度要求 20C に対し、実力は約 0.5C と低い ・低コスト要求 (80 円/Wh) に対し、現状は数桁高コスト 	右記の改良を行えば、適用可能	<ul style="list-style-type: none"> ・中容量化する (約 1/4 へ) ・高入力化のために極板を超薄型化する ・大電流を許容する集電構造へ改良する ・負極材料を変更する (ハードカーボン) ・正極活物質を変更する (Mn 系等の低コスト品) ・樹脂シール端子へ変更する (低コスト) ・鉄系ケースへ変更する (低コスト)
成層圏プラットフォーム用飛行船	高い充電効率	高エネルギー密度要求 (350Wh/kg) に対し、現状は 170Wh/kg	困難	要求エネルギー密度は、最高レベルのリチウムイオン電池の理論値に近く、既存の系での達成は不可能である。材料系および構造の変更による適用は困難と判断する

4.1.8 むすび

175Ah 衛星搭載用リチウムイオン電池の他用途への展開を図るため、波及効果調査を実施した。開発したリチウムイオン電池はエネルギー密度が高く、長寿命の特徴を持つ。本電池の他用途への展開可能性の検討に際しては、現在電池が使用されている用途にとらわれない幅広い視点からの検討および想定ユーザーの直接のニーズを把握する調査を実施した。その結果、一部航空機などへの応用に期待できるものはあったが全般的にはそのまま応用することは難しいことが明らかとなった。

高性能、大容量、大容量密度、高信頼度、耐環境性、メンテナンスフリーなど、衛星搭載機器の特徴を持つ本バッテリーであるが、自動車、航空機などの運輸関連機器への適用に関してはコスト、高い充放電特性など、性能的には衛星機器として要求されない特性が重要であったり、性能よりコスト重視、という民生機器の要求を満たすことが困難であったりと、むしろ得意とする面が評価点としては重要でなく、高コストなど不得意とする面が評価のキーポイントであることが分かった。

しかしながら本開発を通じて高性能セルとしての多くの高度な要素技術を開発・習得し、またバッテリーシステムとしての性能・信頼性を保つための周辺機器の開発も達成した。これらの要素技術を今後はそれぞれの特定の用途に対して最適化するように組み合わせることによって本開発の成果を色々な分野に適用していくことは可能であると考え。さらに、コストに関しては将来量産化することによって抜本的に低減化されるものと期待される。

以上のことから、本リチウムイオンバッテリーの開発で習得した技術は準天頂衛星に始まる諸衛星における実用化から、将来多くの運輸機器、地上装置分野に波及効果をもたらす可能性を持っているものと考え。

プロジェクト用語集

用語集 1 : 準天頂衛星システム

用語集 2 : リチウムイオンバッテリー要素技術開発

用語集 1 : 準天頂衛星システム

用語	説明
アクティブアーク	準天頂衛星が、会合点から北の日本上空に位置する 8 時間を指し、サービスを実施する運用領域。
会合点	アクティブアーク内において運用を終えた衛星と、これからアクティブアークに入り運用を開始しようとする 2 機の準天頂衛星が交差するポイント。
準天頂衛星	日本上空で 8 の字軌道を描く衛星を 3 機用いることで、24 時間日本の天頂付近に衛星を配置することが可能な衛星システムと衛星本体。
静止衛星軌道	人工衛星において、地球の自転周期と同じ周期で赤道上空高度約 36,000km を周回する軌道（衛星は常に赤道上同一地点の上にあることになり、あたかもその地点の上に静止するように見える）。
通信衛星	主に通信サービスにおける電波の中継を行う衛星（受信機能と送信機能を持つ）。
通信帯域	通信サービスにおいて使用する電波の使用周波数帯域（～GHz 等）。
ハンドオーバ	アクティブアークを出る準天頂衛星が、これからアクティブアークへ入ろうとする準天頂衛星へ運用を引き継ぐこと。
Q Z S	準天頂衛星 (Quasi-Zenith Satellite)
S E R V I S - 1	宇宙環境信頼性実証システム (SERVIS : Space Environment Reliability Verification Integrated System) は、経済産業省の監督のもとに新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託を受けて財団法人無人宇宙実験システム研究開発機構 (USEF) が開発を進めている宇宙実証システムである。このプロジェクトは、我が国の民生部品・民生技術を宇宙環境下で使用するための知的基盤として各種ガイドライン類を作成し、また民生部品・民生技術データベースを構築することを目的としている。

用語集 2 : リチウムイオンバッテリー要素技術開発

用語	説明
異種間金属腐食	異種金属を接触させた部位に溶媒が存在すると、異種金属間腐食が発生する。
エネルギー密度	バッテリーもしくはセルの評価基準のひとつで単位質量あたり、あるいは単位体積あたりのエネルギー量を示し、単位は Wh/kg や Wh/l 等で表す。
界面抵抗率	電極／電解質界面で起こる電荷移動抵抗の値に幾何学的な有効電極面積をかけた値。単位は $\Omega \text{ cm}^2$ 。
過充電	規定された充電電圧を超えた充電。
活性化エネルギー	ある出発物質が反応生成物を形成する際に、超えなければならないエネルギー障壁。
活物質	正極または負極の起電反応の元になる物質。正極活物質は酸化力の強い物質で、負極は還元力の強い物質からなる。
外部短絡	バッテリー及びセルの外部で正極、負極が短絡すること。
機械環境試験	機械環境設計の検証を行うための試験。衛星搭載機器には、機械設計基準の中で、一般的に機械環境試験として、衝撃試験、振動試験等を実施する。
高率放電試験	通常流しうる電流の数倍電流を流すことにより、瞬間的な過負荷特性を確認する試験。
固体電解質	電解質は通常液体であり、イオン解離した陽イオンと陰イオンが液体中を移動することで電流が流れるが、ある種の物質中では固体中をイオンが移動する。このような物質の中で電子伝導性のない物質を固体電解質と呼ぶ。
放電深度 (DOD)	バッテリーの放電量を表すもので放電容量をバッテリー公称容量で除したもの。
シャント制御	バッテリーセルの電圧が閾値を超えた場合にその電圧が一定になるように充電電流をバイパス制御すること。
シャント電流	バッテリーセルの電圧が閾値を超えた場合にその電圧が一定になるようにバイパスする電流。
入出力密度	電池の単位質量あるいは単位体積当りに取り出せる出力。W/kg や W/l 等の単位が用いられる。
実用容量	可逆な充放電をおこなうために活物質には電池として実用的に充放電が可能な範囲があり、この範囲に相当する容量を活物質の実用容量という。
充電貯蔵試験	充電状態で保存したときの容量の変化を確認する試験。
正極	バッテリーセルを構成する電極のひとつで正電位を出力する。

セパレータ	バッテリーセルを構成する部材のひとつで正極と負極を絶縁する絶縁材であるがリチウムイオンの通過をおこなう微孔を有している。
耐宇宙環境試験	人工衛星で遭遇する全ての環境を模擬した試験で、機械環境試験、耐放射線性試験、熱真空試験を含む。
耐放射線性試験	衛星搭載機器で、設計上考慮した放射線環境による部品材料の劣化特性を確認する試験。
太陽電池パドル	太陽電池を直並列に接続して板状のもの(パドル)に貼り付けたもので、太陽光により発電し、人工衛星に電力を供給する装置。
定電圧制御 (CV)	定電圧電力源で出力電圧を一定に制御する。
定電流制御 (CC)	定電流電力源で出力電流を一定に制御する。
定電流/定電圧制御 (CC/CV)	充電方式のひとつで充電開始時には出力電流を一定に制御し、規定電圧に到達したあとは出力電圧を一定に制御する充電方式。
電解液	電解質を溶媒に溶かしたもの。リチウムイオン電池では容器溶媒が使用される。
電荷移動抵抗	電極/電解質の界面では電子或いはイオンによる“電荷”のやりとりが行われ、これを電荷移動反応と呼ぶ。リチウムイオン電池では界面をリチウムイオンが移動するため、イオンの相間移動反応として解釈することもできる。
内部短絡	単セルの内部でセパレータが貫通するかまたはその周囲で電子電導物質によって正極、負極が短絡すること。
バイパススイッチ	バッテリーが開放故障したときに、そのセルをバイパスするように構成するスイッチ。
バス電圧	人工衛星各部に供給する電力の供給電圧。
バス方式	人工衛星各部に供給する電力の供給構成方式。
バランスング	直列に接続されたセルの電圧を均一にする操作。
パルスレーザーアブレーション法	パルス状のレーザーを物質の上に集光し、ある敷居値を超えると、その物質の原子・イオン・クラスター等を放出し、これを基板の上に堆積させることで、一般には薄膜を合成する手法。
負極	バッテリーセルを構成する電極のひとつで負電位を出力する。
二次電池	繰返し、外部からの二次的な電気エネルギーを貯め、必要に応じて取り出すことができる電池。
二重絶縁	絶縁材の単一欠陥でこの機能が失われないように、異種材料、異種方法で電極間を絶縁すること。

熱真空試験	衛星搭載機器で、軌道上で遭遇する、高真空化での高温/低温試験。
有機電解液	電解質を有機溶媒に溶かしたもの。リチウム電池では、プロピレンカーボネート、エチレンカーボネートなどの可燃性の有機溶媒が一般に用いられている。
余剰電力	太陽電池パドルの発生電力から人工衛星の消費電力を差し引いた電力。
リチウムイオンバッテリーアセンブリ	リチウムイオンバッテリーセル、過電圧保護回路、バイパススイッチから構成されている装置。
リチウムイオンバッテリー	バッテリーセルの性能を最大限活かすべく、バッテリー充放電制御回路、モニタ回路をリチウムイオンバッテリーアセンブリに付加した装置。
リチウム電池	リチウムイオンを電気化学活性種とする電池の総称。一次電池、二次電池とがある。高い電池電圧を示し、高エネルギー密度が特徴。特に、負極にリチウム金属を利用するものをリチウム金属電池、リチウムインサージョン材料を利用するものをリチウムイオン電池という。
理論容量	Li がすべて充放電反応に参画した場合に得られる最大容量で、活物質の質量あたりの容量(Ah/kg)であらわされる。
ACインピーダンス	特定の周波数でのセルのインピーダンス。
CFRP	炭素繊維で構成しプラスチック成型された基材。剛性があり、軽量化できる部材として利用される。
Co系	正極を構成する活物質のひとつで、その組成がコバルトで構成されている (LiCoO ₂)。
I/F	インタフェース (Interface)。
Mn系	正極を構成する活物質のひとつで、その組成がマンガンで構成されている (LiMn ₂ O ₄)。
Ni系	正極を構成する活物質のひとつで、その組成がニッケルで構成されている (LiNiO ₂)。
ON/OFFコマンド	人工衛星搭載機器の通電 (ON) と電力遮断 (OFF) を指示する信号。
SOC	State Of Charge 充電の状態を表す。100%が満充電。

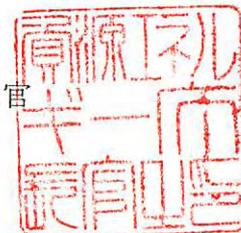
経済産業省

平成20・03・25産局第5号
平成20年4月1日

経済産業省産業技術環境局長



経済産業省資源エネルギー庁長官



エネルギーイノベーションプログラム基本計画の制定について

上記の件について、イノベーションプログラム実施要領（平成16・07・27産局第1号）第4条第1項の規定に基づき、別添のとおり制定する。

エネルギーイノベーションプログラム基本計画

1. 目的

資源に乏しい我が国が、将来にわたり持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。他方、エネルギー技術開発は、長期間を要するとともに大規模投資を伴う一方で将来の不確実性が大きいことから、民間企業が持続的な取組を行うことは必ずしも容易ではない。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、将来の不確実性に対する懸念が緩和され、官民において長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となる。以下に 5 つの政策の柱毎に目的を示す。

1 - . 総合エネルギー効率の向上

1970年代以来、官民をあげて省エネルギーに取り組み、産業構造の転換や新たな製造技術の導入、民生機器の効率改善等により世界最高水準の省エネルギーを達成している。今後、「新・国家エネルギー戦略」に掲げる、2030年までにGDPあたりのエネルギー利用効率を約30%向上を実現していくためには、産業部門はもとより、全部門において、総合エネルギー効率の向上に資する技術開発とその成果の導入を促進する。

1 - . 運輸部門の燃料多様化

ほぼ100%を石油に依存する運輸部門は、我が国エネルギー需給構造上、最も脆弱性が高く、その需給構造の次世代化は、将来に向けた早急な対策が不可欠な課題となっている。

「新・国家エネルギー戦略」に掲げる目標（2030年に向け、運輸部門の石油依存度が80%程度となることを目指す）の実現のためにも、官民が中長期的な展望・方向性を共有しつつ、技術開発と関連施策を推進する。

1 - . 新エネルギー等の開発・導入促進

太陽光、風力、バイオマスなどの新エネルギーは、エネルギー源の多様化や地球温暖化対策の観点から重要である。しかし、現時点では経済性や出力安定性といった普及へ向けての課題が存在する。

そのため、これらの課題解決に向けた技術開発の推進及び新エネルギーの導入促進のための関連施策の実施により、更なる新エネルギーの普及を推進する。

1 - . 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

原子力発電は供給安定性に優れ、運用時にCO₂を排出しないクリーンなエネルギー源である。安全確保を大前提に核燃料サイクルを含む原子力発電を着実に推進する。

1 - . 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

化石燃料資源の大宗を輸入に依存する我が国にとって、その安定供給の確保は国家安全保障に直結する課題である。このため、石油・天然ガス等の安定供給確保を目指し、我が国企業による資源国における資源開発等に対する支援等の施策を進めるとともに、その有効かつクリーンな利用を図る。

2. 政策的位置付け

エネルギー基本計画（2007年3月閣議決定）

重点的に研究開発のための施策を講ずべきエネルギーに関する技術及びその施策として、

1. 総合エネルギー効率の向上に資する技術
2. 原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保に資する技術
3. 運輸部門のエネルギー多様化に資する技術
4. 新エネルギーに関する技術
5. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用に資する技術

以上が位置づけられている。

新・国家エネルギー戦略（2006年5月）

世界最先端のエネルギー需給構造の実現を図るため

1. 省エネルギーフロントランナー計画
2. 運輸エネルギーの次世代化計画
3. 新エネルギーイノベーション計画
4. 原子力立国計画

以上の計画が位置づけられている。また、資源外交、エネルギー環境協力の総合的な強化を図るため、「総合資源確保戦略」が位置づけられている。

第3期科学技術基本計画（2006年3月閣議決定）

国の存立にとって基盤的であり国として取り組むことが不可欠な研究開発課題を重視して研究開発を推進する「推進4分野」であるエネルギー分野、分野別推進戦略（2006年3月総合科学技術会議）における「推進4分野」であるエネルギー分野に位置付けられている。

経済成長戦略大綱（2006年7月財政・経済一体改革会議）

資源・エネルギー政策の戦略的展開として

1. 省エネルギーフロントランナー計画
2. 次世代自動車・燃料イニシアティブ等による運輸エネルギー次世代化
3. 新エネルギーイノベーション計画
4. 原子力立国計画
5. 資源外交、環境・エネルギー協力等の総合的な強化

以上が位置づけられている。

京都議定書目標達成計画（2005年4月閣議決定）

「京都議定書の約束を達成するとともに、更に「脱温暖化社会」に向けて長期的・継続的な排出削減を進めるには、究極的には化石燃料への依存を減らすことが必要である。環境と経済の両立を図りつつ、これらの目標を達成するため、省エネルギー、未利用エネルギーの利用等の技術革新を加速し、効率的な機器や先進的なシステムの普及を図り、世界をリードする環境立国を目指す。」とされている。

3. 達成目標

3-1. 総合エネルギー効率の向上

転換部門における「エネルギー転換効率向上」、産業部門における「製造プロセス向上」、民生・運輸部門における「省エネルギー」などにより、エネルギー消費効率を2030年度までに少なくとも30%改善することを目指す。

3-2. 運輸部門の燃料多様化

バイオマス由来燃料、GTL、BTL、CTLなどの新燃料、電気自動車や燃料電池自動車などの導入により、現在ほぼ100%の運輸部門の石油依存度を2030年までに80%程度とすることを目指す。

3-3. 新エネルギー等の開発・導入促進

太陽光、風力、バイオマスなどの新エネルギーの技術開発や燃料電池など革新的なエネルギー高度利用を促進することにより、新エネルギー等の自立的な普及を目指すことで、エネルギー源の多様化及び地球温暖化対策に貢献する。

3-4. 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

2030年以降においても、発電電力量に占める比率を30～40%程度以上とすることを目指すため、高速増殖炉サイクルの早期実用化、既設軽水炉代替へ対応する次世代軽水炉の開発、軽水炉技術を前提とした核燃料サイクルの確立、放射性廃棄物対策などの技術開発を推進する。

3-5. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

石油・天然ガスの化石燃料の安定供給確保を目指し、資源獲得能力の強化に資する先端的な技術開発を推進するとともに、環境負荷低減のために化石燃料の効率的かつクリーンな利用を促進するための技術開発・導入を目指す。

4．研究開発内容

4 - . 総合エネルギー効率の向上

4 - - . 共通

(1) エネルギー使用合理化技術戦略的開発(運営費交付金)

概要

省エネルギー技術開発の実効性を高めるために、シーズ技術の発掘から実用化に至るまで、民間団体等から幅広く公募を行い、需要側の課題を克服し得る省エネルギー技術開発を戦略的に行う。

技術目標及び達成時期

中長期的視点に立った省エネルギー技術戦略を構築し、技術開発の相互連携によりシナジー効果が発揮され技術開発が促進されるよう、超燃焼システム技術、時空を超えたエネルギー利用技術、省エネ型情報生活空間創生技術、先進交通社会確立技術、次世代省エネデバイス技術の技術群に重点化して、省エネルギー技術戦略に沿った技術開発を戦略的に推進する。

研究開発時期

2003年度～2010年度

(2) エネルギー使用合理化産業技術研究助成事業(運営費交付金)

概要

産業界や社会のニーズに応える省エネルギー技術のシーズの発掘とその育成、並びに、省エネルギー技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。この目的のため、産業界からの期待が高い技術領域・課題を提示した上で、大学や独立行政法人の研究者等から研究開発テーマを募集する。厳正な外部評価によって省エネルギー効果があり且つ独創的・革新的なテーマを選定し、研究者代表者個人を特定して助成金を交付する。

技術的目標及び達成時期

独創性のある研究者等を助成すると共に、中間評価ゲート方式が醸成する競争的環境の下で企業との連携を強化させることにより、10～15年後の実用化が有望な革新的省エネルギー技術の研究開発を促進する。本事業では革新的省エネルギー技術の実用化への第1歩となる特許について、助成期間終了後の出願比率を100%とすることを目標とするとともに、省エネルギー技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。

研究開発期間

2000年度～

(3) 研究開発型中小企業挑戦支援事業(スタートアップ支援事業)

概要

省エネルギー対策に資する中小企業の優れた技術シーズ、ビジネスアイデアの事業化による創業・新事業展開を促進するため、実用化研究開発に要する経費(原材料費、直接人件費、機械装置費、知的財産取得費等)の一部を補助するとともに、補助事業を行う中小・ベンチャー企業等に対して中小企業基盤整備機構によるビジネスプランの具体化・実用化に向けたコンサルティング等を一体的に実施

する。

技術的目標及び達成時期

中小企業の技術開発を推進し、産業におけるエネルギー使用合理化技術の利用を図り、もって、中小企業の振興と経営の安定を促進する。

補助事業期間終了後2年後の採択企業の研究開発成果の事業化率50%を目標とするとともに、省エネルギー技術開発の高度化を戦略的に推進する。

研究開発期間

2004年度～

(4) 地域イノベーション創出エネルギー研究開発

概要

地域において新産業の創出に貢献し得るような最先端の技術シーズを基に、企業、公設試、大学等の研究開発資源を最適に組み合わせて形成された共同研究体が行うエネルギー使用の合理化並びに非化石エネルギーの開発及び利用に寄与する実用化研究開発の実施。

技術的目標及び達成時期

研究開発終了後3年後における成果の事業化達成率30%以上を目標とする。

研究開発期間

2008年度～2012年度

(5) イノベーション実用化補助事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

(6) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

4 - - . 超燃焼システム技術

(1) 環境調和型製鉄プロセス技術開発(運営費交付金)(再掲)

概要

高炉ガスからの効率的な二酸化炭素分離と中低温排熱の有効活用及び水素を炭素(コークス)の一部代替として鉄鉱石を還元する革新的製鉄プロセスの開発を行う。

技術的目標及び達成時期

最終的な技術開発目標として製鉄プロセスにおけるCO₂排出量を30%削減することを目指し、2050年までに実用化する。

研究開発期間

2008年度～2017年度

(2) 革新的ガラス溶融プロセス技術開発(運営費交付金)

概要

プラズマ等による高温を利用し瞬時にガラス原料をガラス化することにより、極めて効率的にガラスを気中で溶融(インフライトメルティング法)し省エネに資する革新的ガラス溶融プロセス技術を開発する。

技術的目標及び達成時期

2012年度までに、インフライトメルティング法により原料を溶解する技術、

カレットをガラス原料として利用するため高効率で加熱する技術、カレット融液とインフライトメルティング法による原料融液とを高速で混合する技術を開発する。

研究開発期間

2008年度～2012年度

(3) 革新的マイクロ反応場利用部材技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、マイクロリアクター、ナノ空孔などの精密反応場を利用し、反応分子の自由な運動を活性種レベルで制御した革新的な化学反応プロセスと新機能材料創成技術の確立を目指す。さらに、マイクロリアクターとナノ空孔反応場の組み合わせ、各反応場とマイクロ波等のエネルギー供給手段との組み合わせにより協奏的反応場を構成し、さらなる高効率生産等を可能にする基盤技術を開発する。これらの技術の確立により、反応システムの小型化、多段プロセスの簡略化等を通じた化学産業の製造工程等の省エネルギー化を図る。

技術的目標及び達成時期

2010年度までに、マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術を軸とし、これらに更にマイクロ波、超臨界流体等のエネルギー供給手段を組み合わせた協奏的反応場を構成することにより、これまでにない革新的な化学反応プロセスを確立し、新機能材料創成技術を実現する。さらに、これらの技術を用いて高性能・高機能電子材料、医薬中間体などの部材を開発する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

(4) 植物機能を活用した高度モノ作り基盤技術開発

i) 植物利用エネルギー使用合理化工業原料生産技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、現在の化学工業プロセスに代わる、植物の有する有用物質生産能を活用した省エネルギー・低環境負荷型の工業原料生産プロセスへの変換を促進する。具体的には、工業原料の生産に関わる重要な物質生産プロセスに関する代謝系をゲノム情報に基づき解析するとともに、有用物質生産制御に必要な一連の代謝遺伝子群の発現を統一的に制御する技術の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、工業原料として有望なバイオマスとしてイソプレノイド、油脂などの有用物質生産に関わる代謝経路とその調節メカニズム及び生産物質の蓄積・移動に係るメカニズムの解析を行い、関連遺伝子情報を整備するとともに、統括的発現制御技術を開発する。

研究開発期間

2002年度～2009年度

(5) 鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発(運営費交付金)

概要

プラント、構造物や自動車等の革新的な高効率化、省エネルギー化、長寿命化、安全・安心化を図るため、最新の科学的知見を導入し、鉄鋼材料及び鋼構造体を超高機能化する基盤的研究開発を行う。具体的には、高強度鋼、高機能鋼の実用化拡大の基盤となる(1)高級鋼厚板(高強度鋼、極低温用鋼、耐熱鋼)溶接部の信頼性・寿命を大幅に向上する溶接施工技術(高密度・清浄熱源溶接技術)及びクリープ破壊、金属組織制御技術を基本とする溶接材料技術(クリープ破壊及び水素破壊の機構解明等を踏まえた)の開発、(2)部材の軽量化を図るために強度、加工性等の最適機能傾斜を付与する機械部品鍛造技術(駆動部材の信頼性確保のための耐疲労破壊特性の向上を踏まえた)の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、高級鋼厚板(高強度鋼・極低温用鋼・耐熱鋼)の溶接を予熱・後熱なしに可能とする溶接技術と材料技術を開発するとともに、傾斜機能部材の鍛造技術を開発する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(6) 高機能チタン合金創製プロセス技術開発プロジェクト

概要

大量の電力を必要とする従来のバッチ処理方式のチタン製錬法(クロール法)を、エネルギー効率の高い連続処理方式へ転換する抜本的なプロセス改善のための技術を開発する。また、併せて、成形性の高いチタン合金設計技術及び成形プロセス技術を開発する。

技術目標及び達成時期

2008年度までに省エネ型チタン新製錬プロセスの基盤技術を開発し、2010年までに実用化を目指す。また、本製錬技術により得られるチタンをベースとして、加工性、強度等をさらに向上させた合金設計・成形プロセス技術を確立する。

研究開発期間

2005年度～2008年度

(7) 革新的分離膜技術の開発

概要

河川水等の浄水工程における、微量の有害物質、微生物等の除去に係る水処理技術のうち、分離膜方式による高効率(省エネ)な分離技術を開発する。

技術目標及び達成時期

2013年度末までに、現行の分離膜に比較して単位処理水量当たり50%のエネルギー削減を図る技術を確立する。

研究開発期間

2008年度～2012年度

(8) 微生物機能を活用した環境調和型製造基盤技術開発

i) 微生物機能を活用した高度製造基盤技術開発 (運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、省エネルギーかつ環境負荷が少ないといった特徴を有する微生物機能を活用した有用物質の革新的な生産プロセス (モノ作り) の技術を構築するため、産業用途に必要な機能既知遺伝子で構成されたゲノムを持ち、物質生産性向上につながる性能を備えた高性能宿主細胞の創製や、微生物反応の多様化・高機能化技術を開発するとともに、バイオマスを原料として有用物質を体系的かつ効率的に生産する (バイオリファイナリー) ための基盤技術を開発する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、物質生産性向上につながる性能を備えた高性能宿主細胞を創製するとともに、バイオプロセスの実用化適用範囲の拡大のための微生物反応の多様化・高機能化技術の開発を行う。バイオリファイナリー技術については、バイオマスを高効率で糖化し、糖から高効率で各種化成品の基幹物質を生産するバイオプロセス体系を構築する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

ii) 微生物群のデザイン化による高効率型環境バイオ処理技術開発 (運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、従来エネルギー多消費・廃棄物多排出型であった廃水・廃棄物処理において、微生物群の構成及び配置等を人為的に制御 (デザイン化) することで、その処理効率を大幅に向上させ、省エネルギーで廃棄物も少ない高効率型廃水、廃棄物処理の基盤技術を確立する。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、特定有用微生物群を人為的に安定導入・維持もしくは人為的に空間配置・優先化させる等のデザイン化技術を開発し、従来の廃水、廃棄物処理に比べより高効率で省エネルギーな処理技術を開発するとともに、実用化に資するための実証可能なテストプラント規模にて評価する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(9) 省エネルギー型化学技術創成研究開発補助事業

概要

化学産業はそれ自身が裾野の広い産業というだけでなく、自動車、IT機器等の川下製品の部材として産業界・国民生活の様々な分野に深く関連している。従って化学業界において、省エネポテンシャルの大きい有望な技術シーズがありながら民間だけでは十分な研究開発投資が行われていない技術について、戦略的な研究開発支援を実施することにより、化学産業のみならず、各種最終製品、他産業においてエネルギー効率の改善を促進する。

技術的目標及び達成時期

2007年度までに、化学分野の生産プロセスや、製品等に関する環境に配慮した省エネルギー技術の革新に向けて、国内・国際市場の創出・拡大も見据えつつ、将来の発展が有望な技術に関する研究開発を行うことにより、化学産業のみならず、我が国の省エネルギー対策に一層寄与する。

研究開発期間

2004年度～2010年度

(10) 高効率酸化触媒を用いた環境調和型化学プロセス技術開発プロジェクト

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、N-オキシ系触媒等の炭素ラジカル創生触媒を化学反応プロセスに適用し、製造工程の短縮や製造効率の向上を図ることで、温暖化効果ガスの排出抑制や省エネルギー効果など総合的なプロセスコストを低減させるため要素技術の開発を行う。

技術的目標及び達成時期

2008年度までにカルボン酸、アルコール、ケトンなどの含酸素化合物製造プロセスに対し、N-オキシ系触媒を適用していくため、現状の触媒活性・選択性の向上、触媒の安定性・寿命の改善、触媒分離プロセスの効率化等を開発する。

研究開発期間

2005年度～2008年度

(11) エネルギー使用合理化繊維関連次世代技術開発

概要

製造エネルギーの低減を図ることができる革新的な繊維製品製造技術の開発や、使用することでエネルギー消費の低減が可能となる新たな繊維製品を開発。

技術的目標及び達成時期

2009年度までに、以下の開発を行う。

炭素繊維製造エネルギー低減技術の研究開発

廃棄衣料のリサイクル技術及び高付加価値商品の開発

排水処理における余剰汚泥の減容化技術開発

次世代資材用繊維の開発

ポリエチレンテレフタレート製造エネルギー低減技術の開発

VOC含有廃棄物の溶剤回収及び再利用処理技術の開発

研究開発期間

2005年度～2009年度

(12) 無曝気・省エネルギー型次世代水資源循環技術の開発（運営費交付金）

概要

所用動力が少なく、汚泥発生も少ない嫌気性処理の利点と、良好な水質が得られる好気性処理の利点の双方の特長を生かし、かつ双方の欠点を克服した、省エネルギー性に優れた廃水処理技術を開発する。

技術目標及び達成時期

2008年度までに、既存技術で廃水処理を行った際に発生する汚泥量の70%削減を実現し、廃水処理に要するエネルギーの70%削減を実現する廃水処理システムを開発する。

研究開発期間

2006年度～2008年度

(13) 高効率ガスタービン実用化技術開発

概要

省エネルギー及びCO₂削減の観点から電力産業用高効率ガスタービンの実用化を目指し、大容量機(25万kW程度(コンバインド出力40万kW))の高効率化(52%～56%)のために1700級ガスタービンの実用化に必要な先端要素技術を適用した各要素モジュールの検証等を実施する。また、小中容量機(10万kW程度)の高効率化(45%～51%)のために有望とされている高湿分空気利用ガスタービンの実用化に必要な多段軸流圧縮機、多缶燃焼器等の開発を行うとともにシステムの信頼性等の検証を行う。

技術的目標及び達成時期

1700級ガスタービン実用化技術開発：先端要素技術を活用した燃焼器、タービン、圧縮機等各モジュールの検証等を行い、送電端熱効率56%以上の達成が可能なことを確認する。

高湿分空気利用ガスタービン実用化技術開発：2011年までに軸流圧縮機の3.5%(空気重量比)吸気噴霧冷却技術、低NO_x燃焼技術(運用負荷帯で10ppm以下)等を開発すると共に、実機に近い条件での要素機器の信頼性・耐久性を確認する。

研究開発期間

2008年度～2011年度

(14) エネルギー使用合理化高効率パルプ工程技術開発(運営費交付金)

概要

紙パルプ産業では、環境に関する自主行動計画に基づき、2010年度までに製品当たり化石エネルギー原単位を1990年度比13%削減し、CO₂排出原単位を10%削減することを目指し、紙パルプ工程における省エネルギー対策を着実に進めているものの、より一層の省エネルギー対策を進めるためには、技術開発によるブレークスルーが必要となっている。紙パルプ産業は、エネルギー多消費型産業のひとつであり、紙パルプ工程での省エネルギー対策は波及効果が大いことから、紙パルプ工程におけるエネルギー使用合理化に資する技術開発を提案公募により実施する。

技術的目標及び達成時期

京都議定書の第1約束期間中、又は、第2約束期間中を目途として実用化に至るような技術開発を行うことで、京都議定書の第1約束期間の目標を着実に達成するとともに、現在、検討が行われている第2約束期間に向けた省エネルギー対策の更なる深化を進めていく。

研究開発期間

2005年度～2010年度

- (15) 発電プラント用超高純度金属材料開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (16) 先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発(4 - - 参照)
- (17) 噴流床石炭ガス化発電プラント開発(4 - - 参照)
- (18) 石油精製高度機能融合技術開発(4 - - 参照)

4 - - . 時空を超えたエネルギー利用技術

- (1) カーボンナノチューブキャパシタ開発プロジェクト(運営費交付金)

概要

従来の活性炭電極では不可能な高出力かつ高エネルギー密度の電気二重層キャパシタを実現するため、高度に配向した長尺の単層カーボンナノチューブの大量合成技術を開発するとともに、これを用いたキャパシタ電極の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、単層カーボンナノチューブの高度配向技術及び大量生産技術を確立するとともに、キャパシタ製造技術を確立することで、20Wh/Kgの高エネルギー密度と耐久性を有する電気二重層キャパシタを開発する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

- (2) イットリウム系超電導電力機器技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (3) 高温超電導電力ケーブル実証プロジェクト(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (4) 固体酸化物形燃料電池実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (5) 燃料電池先端科学研究(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (6) 新利用形態燃料電池技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (7) 固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (9) 水素貯蔵材料先端基礎研究事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (8) 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (10) 固体酸化物形燃料電池実証研究(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (11) 風力発電電力系統安定化等技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (12) 大規模電力供給用太陽光発電系統安定化等実証事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (13) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)

4 - - . 省エネ型情報生活空間創生技術

- (1) グリーンITプロジェクト(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、IT化の進展により、ネットワークを流れるデータ量が大幅に増加する中で、IT機器による消費電力量の大幅な増大に対応し、環境調和型IT社会の構築を図るため、個別のデバイスや機器に加え、ネットワーク全体での革新的な省エネルギー技術の開発を行う。

技術的目標及び達成時期

2012年度までに、IT機器・システムのエネルギー消費効率を2倍に向上させる基盤技術を開発する。

研究開発期間

2008年度～2012年度

(2) 次世代高効率ネットワークデバイス技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、ネットワークで伝送されるデータ量の爆発的増加に伴い、関連機器の消費エネルギーが増大している中で、ネットワーク全体の消費電力量を抑制することが喫緊の課題であり、消費エネルギーの低減に大きく貢献するルータ・スイッチの高速化のための研究開発を実施するとともに、機器そのものの消費エネルギーを低減するための研究開発を実施する。

技術的目標及び達成時期

2011年度までに、1チャンネルあたり40Gbps超の通信速度に対応するトラフィック計測・分析・管理技術や40Gbpsのインターフェース、さらなる通信速度向上(100Gbps超)を実現するハードウェア技術、SFQ(単一磁束量子)スイッチに関する実現を可能とするための基盤技術を開発する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(3) 次世代大型低消費電力ディスプレイ基盤技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、次世代の大型液晶及び大型プラズマディスプレイに関する低消費電力ディスプレイを実現するための研究開発を行う。

技術的目標及び達成時期

2011年度までに、液晶に関しては、高効率バックライト、革新的なTFTアレイプロセス技術・製造装置及び低消費電力型の画像処理エンジン等に係る技術を確立する。また、プラズマディスプレイに関しては、超低電圧駆動等に係る技術を確立する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(4) 有機発光機構を用いた高効率照明の開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、蛍光灯に代わる高効率照明として有機EL発光機構を用いるための技術開発課題(発光効率、演色性、面均一性、生産コスト)等を明らかにし、それをブレークスルーしうる技術シーズを抽出する。

技術目標及び達成時期

2009年までに現在一般に普及している蛍光灯照明に代わる高効率照明としての必要スペックを達成するとともに、次世代照明として同じく期待されているLEDとの差別化要素を技術的に達成し、大面積/高スループット/低コストで量産するプロセス技術を開発する。また、現在蛍光灯の間接・拡散照明が用いられている照明機器を代替する有機EL照明を実用的なコストで製造できる技術を確立する。

研究開発期間

2007年度～2009年度

(5) マルチセラミックス膜新断熱材料の開発(運営費交付金)

概要

住宅やビルなどの冷暖房における大幅な省エネを実現する画期的な断熱性能を示す壁および窓材料を、セラミックスのナノ多孔体構造やナノ羽毛状構造およびセラミックス・ポリマー複合化構造などからなるマルチセラミックス膜アセンブリ技術によって開発する。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、熱貫流率(熱の伝わりやすさ)が $0.3\text{ W/m}^2\text{K}$ 以下、壁厚さ10mm程度の超断熱壁材料および熱貫流率が $0.4\text{ W/m}^2\text{K}$ 以下、光(可視光)透過率が65%以上(Low-Eガラス使用)、ヘイズ率が1%以下の超断熱窓材料を実現する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(6) 超フレキシブルディスプレイ部材技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から、製造工程等の省エネルギー化を実現するために行う。従来、表示デバイスの製造には、真空蒸着と高温下での焼成と、それに伴う排ガス排水処理が必須であった。これを、ロールtoロール方式に代替することで常圧、常温下での製造を実現し、フレキシブルな薄型ディスプレイを効率よく製造する。そのために、有機TFT材料およびコンタクトプリント技術等を開発する。

技術的目標及び達成時期

2009年度までに、実用化に向けた実証のための巻き取り方式ディスプレイのプロトタイプを試作する。またフレキシブルデバイス材料開発に貢献する部材ならびに薄膜複合化技術を開発し、これらをパネル化するための実用化技術を確立する。

研究開発期間

2006年度～2009年度

(7) 低損失オプティカル新機能部材技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、近接場光の原

理・効果を応用した低損失オプティカル新機能部材技術を開発し、実用化の目処を得ることを目的とする。動作原理に近接場光を用いるオプティカル新機能部材は、従来の材料特性のみに依存した光学部品では不可能な機能・性能を発揮し、液晶プロジェクター・液晶ディスプレイなど情報家電の省エネルギー、高性能・高信頼化を図る上でのキーデバイスとなることが期待できる。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、共通基盤技術として、ナノ構造部材の設計・作製・評価技術を開発するとともに、ナノ構造部材に発現する近接場光の機能を動作原理とする低損失オプティカル新機能部材を検討し機能を確認する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

(8) 高環境創造高効率住宅用VOCセンサ等技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、住宅における換気負荷を最小化することによって省エネルギーを達成するため、VOCセンサ及びモニタリング併用型換気システム等を開発する。

技術目標及び達成時期

2008年度までに、VOCに対して高選択性・高感度性・即応性を有するVOCセンサ及びVOCセンサを用いたモニタリング併用型換気システム等を開発する。

研究開発期間

2005年度～2008年度

(9) 革新的構造材料を用いた新構造システム建築物研究開発

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、我が国鉄鋼業の約50%を占める建設市場において、建築物のメインフレームに高強度鋼を用いることで、鉄鋼部材の軽量化(リデュース)とそれに伴う輸送効率の向上、高強度化、非溶接化に伴う部材のリユース促進、製造・施工の省エネ・省力化等を図る。

同時に、柔剛混合構造(高強度鋼とダンパーの組み合わせ)技術の確立、関連法規への対応等により、震度7にも耐えうる新構造システム建築物の建設が可能となり、我が国で大きなリスクである大規模地震災害から国民を守り、安心安全社会の実現に寄与する。

技術目標及び達成時期

2013年度までに、最大規模の地震(震度7)に対しても倒壊・損壊しない建築物を高強度鋼(800N/mm²級鋼材)とダンパーの組み合わせによる柔剛混合構造により実現を図るものであり、国土交通省や民間企業と連携してこの建築物のメインフレームに必要な高強度鋼部材、接合法等の開発を行う。主な研究開発目標は以下の通りである。

・震度7弾性新構造システム開発

- ・高強度部材の製造技術開発
- ・超高強度接合部品開発
- ・高強度部材の接合技術開発

研究開発期間

2006年度～2008年度

(10) 次世代光波制御材料・素子化技術（運営費交付金）

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、ガラス材料に関する精密モールド技術を確立し、機能性の高い光波制御素子を低コストで生産できるプロセス技術を開発することで部材の小型化・高機能化を図りつつ、省エネを実現する。

技術目標及び達成時期

2010年度までにサブ波長レベルの微細構造をガラス表面にモールド成形する技術を実現し、実装可能な具体的なデバイスを作製する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

4 - - . 先進交通社会確立技術

(1) エネルギーITS（運営費交付金）

概要

平成19年5月の「次世代自動車・燃料イニシアティブ」に基づき、運輸部門のエネルギー消費効率改善のため、自動運転・隊列走行技術、高度交通流制御技術等の省エネルギーに資するITS技術の開発を行う。

技術的目標及び達成時期

2012年度までにプローブ情報を利用した信号制御機能の実用化を図るとともに、2020年代に実用化が見通せる運転制御、隊列走行の基盤技術の確立を目指す。

研究開発期間

2008年度～2012年度

(2) 革新的次世代低公害車総合技術開発（運営費交付金）

概要

大気環境・地球温暖化・エネルギー問題の同時解決に向けて、次世代の低公害車の技術開発を実施する。

特に、都市間の輸送に用いられる「都市間トラック・バス」を中心とした分野における要素技術の開発を自動車技術・燃料技術の両面から実施していく。

技術目標及び達成時期

平成20年度において、都市間の輸送に用いられる「都市間バス・トラック」を中心とした分野における次世代低公害車の要素技術を確立する。具体的には、以下のとおり。

- ・燃費向上率

貨物車 現行基準値に対して10%

乗用車 2015年基準値に対して20%

・排出ガス

貨物車 NOx：ディーゼル重量車のポスト新長期（挑戦目標）規制値

PM：ディーゼル重量車のポスト新長期規制値

乗用車 NOx：ガソリン車のポスト新長期規制値

PM：ガソリン車のポスト新長期規制値

研究開発時期

2004年度～2008年度

(3) サステナブルハイパーコンポジット技術の開発（運営費交付金）

概要

炭素繊維複合材料は、軽量、高強度等の優れた特性を有している。従来の熱硬化性樹脂を用いた炭素繊維複合材料では成形性・加工性に乏しくリサイクルが困難であったため、熱可塑性樹脂を用いた炭素繊維複合材料（CFRP）の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、炭素繊維と熱可塑性樹脂との中間基材を開発し、熱可塑性CFRP加工技術を開発する。

研究開発時期

2008年度～2012年度

(4) 次世代構造部材創製・加工技術開発（次世代航空機用）

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、航空機、高速車両等の輸送機器への先進材料の本格導入を加速させるため、先進複合材料及び先進金属材料について部材開発、設計試作及び評価を実施することで、軽量化によりエネルギー使用効率を大幅に向上させる革新的な構造部材の創製・加工技術の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、複合材の構造健全性診断技術、チタン合金の創製・加工技術を確立するとともに、航空機用エンジンへの適用を目指し、耐熱・耐衝撃性に優れた複合材料を開発する。

研究開発期間

2003年度～2012年度

(5) 環境適応型小型航空機用エンジン研究開発（運営費交付金）

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、エネルギー使用効率を大幅に向上し、環境対策にも優れた次世代の小型航空機用エンジンの開発にとって重要な要素技術の研究開発を行う。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、エネルギー使用効率を大幅に向上する構造設計技術、騒音、NOx等の環境負荷対応に優れた環境対策技術、インテグレーション技術、高バイパス比化等の高性能化技術といった要素技術の研究開発・実証を行う。

研究開発期間

2003年度～2010年度

(6) 省エネ用炭素繊維複合材技術開発

概要

航空機、自動車、鉄道、船舶等の輸送機械等における炭素繊維複合材の適用範囲を拡大し、省エネルギーの促進を図るため、先進的な炭素繊維複合材成形技術や、耐雷対策の低コスト化技術等の研究開発・実証を行う。

技術目標及び達成時期

2013年度までに、従来の方法に比べ低コストであり、曲率の大きな部位の成形も行うことができるVaRTM（バータム）法等の炭素繊維複合材成形技術や、炭素繊維複合材を用いた製品の耐雷性能を低コストで確保する技術の研究開発・実証を行う。

研究開発期間

2008年度～2013年度

(7) 燃料電池システム等実証研究（4 - - 参照）

4 - - . 次世代省エネデバイス技術

(1) パワーエレクトロニクスインバータ基盤技術開発（運営費交付金）

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、省エネルギーを進めるために、シリコンよりも材料特性に優れたワイドギャップ半導体デバイスを用いた高効率インバータ等の実用パワーエレクトロニクス機器システムの基盤技術の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2008年度までに、ワイドギャップ半導体デバイスを用いた高効率インバータ等の実用パワーエレクトロニクス技術を開発する。

研究開発期間

2006年度～2008年度

(2) ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発 - うち窒化物系化合物半導体基板・エピタキシャル成長技術の開発（運営費交付金）

概要

窒化物系化合物半導体は日本が強みを有し、パワーデバイス、高周波デバイス、発光デバイス等、今後のIT社会を支えとなることを期待されている分野である。しかし、既存のバルク単結晶基板成長技術やエピタキシャル成長技術では、従来の半導体では実現できない領域で動作可能なハイパワー、超高効率デバイス性能を十分に引き出すには至っていない。

これを突破するため、大学あるいは研究所を拠点に材料メーカー、デバイスメーカー、装置メーカー等が相互連携して、窒化物半導体の結晶欠陥低減技術やナノ構造作製技術等の革新を図り、これらデバイスの飛躍的な性能向上と消費電力削減の実現を図る。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、次世代窒化物系半導体デバイスを実現する以下結晶作製技術を開発する。

- ・ 基板技術（GaN、AlNバルク結晶作製技術）
 - 口径2～4インチで高品質エピ成膜を可能とする低コストの単結晶基板作製技術の確立。
- ・ エピ技術（エピタキシャル成膜及び計測評価技術）
 - 低欠陥高品質エピ層を実現する成膜技術及び膜成長過程を計測評価する技術の確立。
 - 高出力かつ高安定動作可能なエピ層の実現
 - 高耐圧超高速な新しいデバイス構造の開発

研究開発期間

2007年度～2011年度

(3) 次世代低消費電力半導体基盤技術開発（MIRAI）(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、IT化の進展、IT利活用の高度化を支え、あらゆる機器に組み込まれている半導体の低消費電力化を図るため、テクノロジーノード（微細化レベル）45nm以細の次世代低消費電力半導体を実現するため、微細加工の基盤技術やマスク（半導体素子製造過程で用いる原板）の低コスト化・製造時間短縮に必要な基盤技術の開発等を行う。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、マスク設計・描画・検査の各工程に共通的なマスクデータ処理技術、繰り返しパターンやパターン重要度を利用した描画・検査高速化技術等の基本的な開発及びEUVLマスク基盤技術として、許容欠陥の指標明確化、ブランクスの位相欠陥検査技術の確立等を完了する。

研究開発期間

2001年度～2010年度

(4) 半導体アプリケーションチッププロジェクト（運営費交付金）

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、IT化の進展、IT利活用の高度化を支え、あらゆる機器に組み込まれている半導体の低消費電力化を図るため、情報通信機器、特に、情報家電の低消費電力化を実現できる半導体アプリケーションチップ技術の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、情報家電の低消費電力化を実現できるアプリケーション

チップ技術を開発する。

研究開発期間

2003年度～2009年度

(5) 次世代高度部材開発評価基盤の開発(CASMAT2)(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。半導体産業分野で、集積回路の消費電力低減に必要な配線形成用各種材料等の開発のネックとなっているナノレベルでの材料間の相互影響を評価可能な統合部材開発支援ツールを開発する。これにより、集積回路の種類やデザインルールに応じて、配線形成用各種材料とプロセスの最適な組み合わせの提案技術(統合的材料ソリューション提案技術)を確立する。

技術的目標及び達成時期

2008年度までに、半導体材料開発に貢献する材料評価基盤を構築するとともに、上記の統合的材料ソリューション提案技術を確立する。また、本プロジェクトを通して得られた基礎データ等については、プロジェクト実施期間中にデータを体系的に整理し、幅広く社会に提供を図る。

研究開発期間

2006年度～2008年度

(6) 次世代プロセスフレンドリー設計技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、IT化の進展、IT利活用の高度化を支え、あらゆる機器に組み込まれている半導体の低消費電力化を図るため、テクノロジーノード45nm以降の半導体に対応するSoC(System on Chip)設計技術を開発する。具体的には、テクノロジーノード45nm以細の半導体の共通設計基盤技術開発として、DFM(Design For Manufacturing)基盤技術の中核とした設計及び製造の全体最適を確保する全く新しいSoC製造フローを開発する。

技術目標及び達成時期

テクノロジーノード45nm以細のSoC開発において製造性を考慮した共通設計基盤技術を確立し、システムLSIデバイスの省エネルギーを実現するとともに、設計生産性を従来予想に比べ2倍にすることを目標とする。

研究開発期間

2006年度～2010年度

4 - - . その他

(1) 希少金属等高効率回収システム開発

概要

小型電子・電気機器にはベースメタルや、金、銀等の貴金属の他、インジウム、ニッケル等の希少金属等を含有している。現状では、これらの機器が廃棄された後は、非常に高温で処理する乾式製錬技術を用いてリサイクル・処理されている

ため、多大なエネルギーを消費するばかりか、回収可能な金属が銅、金、銀等に限定されており、その他の希少金属等は回収できずに廃棄処分されている。このため、湿式製錬技術を活用した高効率な最適技術の開発等を通じて、回収工程の省エネルギー及び希少金属等の回収率向上を図る。

技術目標及び達成時期

- ・ 従来方法（乾式製錬）で処理する場合に比べて、大幅な省エネルギーの実現（省エネルギー効果：原油換算で約78万kl/年削減）
- ・ 廃小型電子・電気機器、廃超硬工具等中に含まれる希少金属等の回収率の向上（インジウム0% 90%、ニッケル50% 95%、コバルト0% 95%、タンタル0% 80%、タングステン90% 95%、レアアース0% 80%）

研究開発期間

2007年度～2010年度

（2）次世代構造部材創製・加工技術開発（次世代衛星基盤）

概要

国際商業市場における我が国衛星メーカーの競争力を強化するべく、次世代の衛星技術として期待されている、準天頂衛星システム（移動中の利用者等に対し、米国が運用するGPSとの補完による高精度な位置情報等の提供を可能にする新システム）の構築に不可欠な基盤技術（産業競争力強化にも直結する衛星の軽量化、長寿命化に関する技術等）の開発を行う。本プロジェクトの一部については、他部門と比較して需要増加の割合が高い運輸部門のエネルギー消費を抑制すべく、航空機、自動車、高速車両等の輸送機器の軽量化・効率化にも資する複合材料製造設計のための基盤技術を確立するためのものであり、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

静止軌道と一定の角度をなす傾斜軌道に複数の衛星を配置し、見かけ上、常に天頂付近に最低1つの衛星を位置させるシステム。

技術的目標及び達成時期

2010年度までに、準天頂衛星システムの構築に不可欠な基盤技術（産業競争力強化にも直結する衛星の軽量化、長寿命化に関する技術等）の開発を行う。

研究開発期間

2003年度～2010年度

（3）高効率重金属処理剤研究開発

概要

重金属等によって汚染された土壌、飛灰、ばいじん、排水・廃液等を安全かつ経済的に処理する技術開発として、少量の使用で重金属等を安定的かつ効率的に捕捉できる複合金属汚染土壌のオンサイト処理に適した高性能の無機系重金属等処理剤及び自然環境への負荷が少ない新規有機系処理剤を開発する。

技術的目標及び達成時期

2008年度までに、飛灰における金属選択性が高く安価な重金属等処理・回収剤及び排水中における亜鉛や6価セレンなどを処理できる重金属等処理剤を開発する。

研究開発期間

2003年度～2008年度

4 - . 運輸部門の燃料多様化

4 - - . 共通

- (1) イノベーション実用化補助事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (2) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

4 - - . バイオマス由来燃料

- (1) 新エネルギー技術研究開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (2) E3地域流通スタンダードモデル(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (3) バイオマス等未活用エネルギー実証事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (4) バイオマスエネルギー地域システム化実験事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

4 - - . G T L等の合成液体燃料

- (1) 革新的次世代低公害車総合技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (2) 天然ガス未普及地域供給基盤確立実証試験(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (3) 天然ガスの液体燃料化(G T L)技術実証研究(運営費交付金)(4 - - 参照)

4 - - . 燃料電池自動車および水素関連技術

- (1) 固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (2) 燃料電池先端科学研究(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (3) 新利用形態燃料電池技術開発(運営費交付金)(4 - 参照)
- (4) 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (5) 水素貯蔵材料先端基盤研究事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (6) 水素社会構築共通基盤整備事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (7) 燃料電池システム等実証研究(4 - - 参照)

4 - - . 電気自動車

- (1) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)

4 - . 新エネルギー等の開発・導入促進

4 - - . 共通

- (1) 新エネルギー技術研究開発(運営費交付金)

概要

新エネルギーの自立的普及に向けて、太陽光、風力、バイオマスなど新エネルギー分野でのイノベーションを促進すべく、高効率かつ低コストを目指した先進的技術開発を実施する。具体的には以下の研究開発を実施する。

- A. 革新的な太陽電池の開発を実施する研究拠点を形成し、海外との研究協力等を行いながら、超長期の視野に立って、飛躍的な性能向上を目指した太陽光発電技術の開発を推進する。(革新型太陽電池国際研究拠点整備事業)
- B. 中長期的に、より一層の高効率化と低コスト化を目指して、革新的な材料、構造等を採用した太陽光発電技術の開発を推進する。(太陽光発電システム未来技術研究開発)

- C．2020年の目標発電コスト14円/kWhおよび太陽光発電システムの大幅な効率向上を実現すべく、未来技術研究開発などで得られた要素技術開発の成果の内、実用化が期待できる太陽電池作製に係る技術について課題を設定し早期実用化を助成する。(太陽光発電システム実用化促進技術開発)
- D．電力供給源としての太陽光発電の信頼性を確立し、今後の太陽光発電システムの円滑な普及促進を図るため、太陽光発電システムの大量普及時に不可欠な性能評価技術やリサイクル・リユース技術等システムの共通基盤技術に係る研究等を実施する。(太陽光発電システム共通基盤技術研究開発)
- E．PVシステムの普及拡大のため、「集中連系型太陽光発電システム実証研究」の設備を有効利用しながら、認証制度にも資する複数台連系に係わる試験方法を確立する。(単独運転検出装置の複数台連系試験技術開発研究)
- F．風力発電技術の国際的な動向を把握しつつ、我が国の複雑地形における風力発電利用上の各種課題を克服するための基礎から応用までの技術について研究開発を行う。具体的には我が国の厳しい風特性を反映した風特性モデルの確立及び高々度風況観測を簡便に行うためのリモートセンシング技術の精度検証・評価を行う。
- また、全国規模での落雷電流計測、落雷様相観測による雷特性の把握、落雷特性・落雷保護対策と被害実態との相関把握、上記を踏まえた効果的な落雷保護対策の検討及び実機規模での実雷による保護対策検証等を実施し、高精度落雷リスクマップを作成するとともに、風力発電設備へのより効果的な落雷等に対する対策を策定する。(次世代風力発電技術研究開発事業)
- G．我が国特有の海上特性や気象・海象条件を把握し、これらの自然条件に適した洋上風況観測法や風力発電システムに関する技術開発とその実証を行なうと共に、環境影響評価システム手法を確立する。(洋上風力発電技術研究開発)
- H．バイオマスのエネルギー利用の促進を図るためには、発生地域が分散し、形状・性状が多種多様にわたるバイオマス資源を利用しやすい形態の有用エネルギーへ効率的に転換できる技術を開発する。(バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発)
- I．世界的にもベンチャー企業による太陽光発電、新型風力発電、燃料電池、バイオ燃料分野におけるイノベーション活動が活発化していることを踏まえ、詳細目標設定・多段階選抜形の米国S B I R制度を参考に特定のキーテクノロジーに対するベンチャーのチャレンジを強力に支援する。(新エネルギーベンチャー技術革新事業)

技術目標及び達成時期

- A．2050年までに「変換効率が40%超」かつ「発電コストが汎用電力料金並み(7円/kWh)」の太陽電池を実用化することを目指した研究開発の中で、変換効率40%超の実現に向けた技術の基礎・探索研究段階と位置づけて研究開発を実施する。
- B．2020年頃に業務用電力料金並の発電コスト(14円/kWh、モジュール製造原価として75円/W程度)、2030年頃に火力発電の発電コスト(7円/kWh、モジュール製造原価として50円/W程度)の実現に向けた中・長期的な技術開発を行う。

- C . 2015年に向けて市場競争力を備えた本格生産・商用化を目指す。
- D . 2020年度の技術開発目標である発電コスト14円/kWhを目指し、中期的な視点での太陽光発電の普及拡大に資する。
- E . 2009年度末までに、電力系統側が受け入れ可能な、導入台数の制限のない能動型単独運転検出装置の試験方法を確立する。
- F . 2012年度までに、風力発電の基礎から応用までの技術について、国際的な動向を把握しつつ、我が国特有の気象・地形に起因する各種問題(風車耐久性等)を克服するための研究開発を行って、我が国の風車産業の振興に資するとともに、IEA RD&D WINDなどの最先端の国際的風力発電共同研究に研究成果を反映させる。
また、2012年度までに、高精度落雷リスクマップを作成するとともに、風力発電設備へのより効果的な落雷等に対する対策を策定する。
- G . 2013年度までに、我が国の海象・気象条件に適した、洋上風況観測システム、洋上風力発電システム及び環境影響評価の手法等の技術を確立する。
- H . 2004年度より、バイオマスエネルギー転換プロセスにおける各工程のボトルネックを抽出し、2008年度までに開発が完了するよう、それぞれのボトルネックをブレイクスルーする要素技術開発を提案公募方式により実施する。更に、2005年度より2009年度まで、バイオマスのエネルギー転換・利用技術等の分野において2030年の普及を目指した新規な革新的技術を開発するための先導技術研究開発を提案公募方式により実施する。
- I . 潜在的なオプションの顕在化や関連産業分野の技術開発による技術革新により、新エネルギー導入促進技術オプションの多様化と経済性の向上に寄与する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(2) 新エネルギー技術フィールドテスト事業(運営費交付金)

概要

2010年度の新エネルギー導入目標達成に向け、新技術を活用した太陽光発電及び太陽熱利用システムの有効性の検証、バイオマス熱利用システムの性能・経済性等の検証、風車立地に必要な高所の風況データの収集・解析など総合的な新エネルギーフィールドテストを実施する。具体的には以下のフィールドテストを実施する。

- A . 新技術を活用した太陽光発電システム等を設置し、出力特性等の情報収集及び分析を行うことで、その有効性を確認するとともに、ガイドラインの策定等により広く情報発信を行う。(太陽光発電新技術等フィールドテスト事業)
- B . 新利用形態の太陽熱利用システムや未利用分野においてシステムを設置し、出力特性等の情報収集及び分析を行うことで、その有効性を確認するとともに、ガイドラインの策定等により広く情報発信を行う。(太陽熱高度利用システムフィールドテスト事業)
- C . 広く薄く賦存するバイオマスを、民間企業や研究機関等において研究開発が終了段階をむかえた高効率に熱利用できるシステムを設置し、設置場所の熱需要に合わせたフィールドテストを実施することにより、実運転におけるバイオマス熱

利用転換システムとしての課題抽出、解決を行い、早期実用化を図り、バイオマスエネルギーの導入促進を行う。(地域バイオマス熱利用フィールドテスト事業)

- D. 風力発電の導入目標(2010年度300万kW)を達成するため、共同研究事業者と大型風車の導入普及に必要な高所の風況データの収集・解析・評価を行い、公開する。(風力発電フィールドテスト事業)

技術目標及び達成時期

- A. 設置システムについて、2007年度に策定したガイドラインを2009年度、2012年度及び2015年度に見直し改訂する。
- B. 設置システムについて、2007年度に策定したガイドラインを2009年度に改訂する。また、2012年度及び2015年度に見直し改訂する。
- C. 一定レベルまで確立されたバイオマス熱利用技術について、性能や経済性等の状況・データを収集・分析し、熱利用システムの有効性を実証するとともに、これらの結果を公表することで汎用性の高い熱利用システムの確立し、2010年度のバイオマス熱利用の導入目標(308万KL)達成を目指す
- D. 2010年度までに、高所の風況データの解析・評価を行い、導入普及に有用な資料の取りまとめを行い、これらの結果を風力発電事業者、研究機関や風力発電事業を計画している各種団体等に公開することにより、風力発電導入の素地を形成し、風力発電の導入を拡大する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(3) イノベーション実用化補助金(運営費交付金)

概要

科学技術基本計画における戦略的技術領域・課題にかかる技術課題等で石油代替エネルギーの製造・生成・利用に資する実用化開発を行う民間企業に対し助成支援する。

技術目標及び達成時期

助成事業終了後3年以上を経過した時点で25%の実用化達成率。加えて、知的資産経営の方針に対する審査時の評価を通じて、「技術等の知的資産を活かす経営の下で収益拡大を図る(技術を経営、収益につなげる)」意識を普及させる。

研究開発期間

2000年度～

(4) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業(運営費交付金)

概要

産業界や社会のニーズに応える石油代替技術のシーズの発掘とその育成、並びに、石油代替技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。この目的のため、産業界からの期待が高い技術領域・課題を提示した上で、大学や独立行政法人の若手研究者等から研究開発テーマを募集する。厳正な外部評価によって石油代替効果があり且つ独創的・革新的なテーマを選定し、研究者代表者個人を特定して助成金を交付する。

技術目標及び達成時期

独創性のある若手研究者等を助成すると共に、中間評価ゲート方式が醸成する競争的環境の下で企業との連携を強化させることにより、10～15年後の実用化が有望な革新的石油代替技術の研究開発を促進する。本事業では革新的石油代替技術の実用化への第1歩となる特許について、助成期間終了後の出願比率を100%とすることを目標とするとともに、石油代替技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。

研究開発期間

2000年度～

4 - - . 太陽・風力

(1) 太陽光発電無線送受電技術の研究開発

概要

新たな電力供給方式として地上において様々な用途への応用が見込まれ、また、長期的には将来の新エネルギーシステムとして期待される宇宙太陽光発電システムの中核的技術として応用可能な太陽光発電無線送受電技術を確立するため、安全性等を確保しつつ、太陽エネルギーを効率良く伝送するための要素技術等について研究開発を行う。

技術目標及び達成時期

2010年度までに高効率半導体増幅回路の開発、複数フェーズドアレイパネルの統合による精密ビーム制御技術の開発、高効率受電整流回路の開発を目指すことにより、無線送受電技術の高効率化を図る。

研究開発期間

2008年度～2010年度

4 - - . 電力系統制御・電力貯蔵

(1) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)

(2) 風力発電電力系統安定化等技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)

(3) 大規模電力供給用太陽光発電系統安定化等実証事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

4 - - . バイオマス・廃棄物・地熱等

(1) E3地域流通スタンダードモデル創成事業(運営費交付金)

概要

離島(全域)におけるエタノール3%混合ガソリン(E3)の製造から給油までの大規模なフィールドテストを通じ、E3利用に関する社会システムモデルの構築と一般社会へ適用する際の技術課題の抽出を行う。

技術目標及び達成時期

2010年の「京都議定書目標達成計画」の導入目標(50万kl)に資するため、2009年度にE3利用の社会モデルを構築し、2011年度までにその検証を行う。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(2) バイオマス等未活用エネルギー実証事業(運営費交付金)

概要

地域に賦存する未活用の資源であるバイオマスをエネルギーとして有効活用するため、溶融ガス化等熱化学的変換技術による燃料化システムやメタンガス等生物化学的変換技術による燃料化システム等の実証試験事業、事業可能性調査等を実施し、利用ノウハウ等を蓄積、本格的なバイオマス等エネルギーの導入を推進する。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、バイオマス等の種別やエネルギー変換手法、更には地域特性を加味した一連のエネルギー転換システム毎のフィージビリティスタディや試験設備の設置により、バイオマス等の運搬・収集、エネルギー転換及びエネルギー利用に係るデータの収集、分析、評価を実施し、その結果をフィードバックすることによって本格的なバイオマス等エネルギーの導入を目指す。

研究開発期間

2001年度～2009年度

(3) バイオマスエネルギー地域システム化実験事業(運営費交付金)

概要

バイオマスエネルギーの資源収集・運搬、転換、残渣処理、利用までの一連の利活用システムについての、各要素の連携の最適化を図るための実証を実施することによって、地域特性に適合した地域主導によるバイオマスの地産地消・地域循環型の先導的モデルシステムを構築することによりバイオマスエネルギーの導入を促進する。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、国内バイオマス資源の安定的かつ経済的な供給システム、最適なエネルギー転換技術、エネルギー転換後に発生する残渣の処理等の一連の地産地消型エネルギー転換システムについて、ノウハウ蓄積、課題抽出及びその対策方法の策定、技術確立を行う。また、ここで確立されたバイオマスエネルギーシステムは他地域への波及を先導する事例となることを目標とする。

研究開発期間

2005年度～2009年度

4 - - . 燃料電池

(1) 固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発(運営費交付金)

概要

自動車用、家庭・業務用等に利用される固体高分子形燃料電池(PEFC)の実用化・普及に向け、要素技術、システム化技術及び次世代技術等の開発を行うとともに、共通的な課題解決に向けた研究開発の体制の構築を図る。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、固体高分子形燃料電池の経済性・耐久性の向上や高性能

化のための技術開発を行い、燃料電池の普及段階へ向けて必要な基本的技術を確立する。

研究開発期間

2005年度～2009年度

(2) 燃料電池先端科学研究(運営費交付金)

概要

燃料電池の基本的反応メカニズムについての根本的な理解を深めるために、高度な科学的知見を要する現象解析及びそのための研究体制の整備を行い、現状の技術開発における壁を打破するための知見を蓄積する。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、燃料電池内における反応機構を電気化学(電極触媒反応、イオン移動、分子移動等)及び材料化学(溶解・腐食反応、錯形成反応、ラジカル反応、固相内拡散等)の観点から解明する。また、燃料電池新技術の性能を適切に評価・実証するための基本システムを構築する。

研究開発期間

2005年度～2009年度

(3) 新利用形態燃料電池技術開発(運営費交付金)

概要

ユビキタス社会に対応する燃料電池の実用化・普及拡大を図るため、小型可搬電源となり得る小出力燃料電池等の安全性確保等を目的とする基準・標準化研究開発及び燃料電池の用途開拓のための技術開発を行う。

技術目標及び達成時期

2010年までに、燃料電池の新利用形態、使用環境の拡がり等を考慮した高出力特性等の性能特性向上によって必要となる燃料容器等の周辺機器を含めたシステムの安全・環境基準の設定・標準化、規制緩和に資する試験データの取得、試験方法の開発及びこれらの規格・標準化に準じた新利用携帯用燃料電池技術を開発する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

(4) 高耐久性メンブレン型LPガス改質装置の開発(運営費交付金)

概要

高耐久性の水素透過型メンブレン(膜)を開発し、家庭用LPガス供給システムから高純度の水素を供給可能な高効率LPガス改質装置を開発する。

技術目標及び達成時期

2008年度までに、家庭用LPガス供給システムから燃料電池へ高純度の水素を供給する高効率かつ低コストでコンパクトなメンブレン型LPガス改質装置を開発する。

研究開発期間

2006年度～2008年度

(5) 固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発(運営費交付金)

概要

固体酸化物形燃料電池(SOFC)は発電効率が高く、分散型電源として期待されるが、実用化・普及のためには耐久性・信頼性向上、低コスト化等の課題を解決することが必要であり、材料開発や劣化要因解明など基盤的な要素技術の研究を行う。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、耐久性・信頼性の向上のための劣化要因解明等の基礎研究、低コスト化のための材料等や高出力セルスタックの開発、起動停止対応等の実用性向上のための技術開発を実施する。

研究開発期間

2008年度～2012年度

(6) セラミックリアクター開発(運営費交付金)

概要

電気化学的に物質やエネルギーを高効率で変換する次世代型セラミックリアクターの実現のため、低温作動と急速作動停止を可能とする材料の開発とマイクロセルの集積構造化技術等の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、新電解質材料の適用や電極反応の高効率化等による、低温作動時(650以下)での出力性能を向上させる材料技術と共に、マイクロセルの集積構造化や精緻なインターフェース構築のための製造プロセス技術を開発。そして、これらの技術を統合することにより、次世代型セラミックリアクターとしてのプロトタイプモジュール実証(出力性能2kW/部等)を行う。

研究開発期間

2005年度～2009年度

(7) 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発(運営費交付金)

概要

水素の製造・輸送・貯蔵等に係る機器やシステムについて、性能・信頼性・耐久性の向上や低コスト化を目指す水素利用技術の研究開発を行い、水素社会の実現に必要な基盤技術の確立を図る。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、水素製造・貯蔵・輸送・充填に関する機器やシステムの信頼性・耐久性向上、低コスト化、性能向上等実用化検証や要素技術開発、及び当該技術を飛躍的に進展させることができる革新的技術開発や調査研究などを行い、その成果を産業界に提供することにより、水素エネルギー初期導入間近の関連機器製造・普及技術として完成させ、水素社会の真の実現に必要な基盤技術の確立を図る。

研究開発期間

2008年度～2012年度

(8) 水素貯蔵材料先端基盤研究事業(運営費交付金)

概要

世界トップ水準の優れた研究者を中核に、国内外の研究機関・企業のバーチャルな連携の下、高圧水素貯蔵に比べよりコンパクトかつ効率的な水素貯蔵を可能とする水素貯蔵材料の性能向上に必要な条件等を明らかにすることにより、燃料電池自動車の航続距離の飛躍的向上を図る。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、水素貯蔵材料の基本原理、さらには水素貯蔵能力の革新的向上に必要な条件を明らかにすることにより、水素をより安全・簡便・効率的かつ低コストに輸送・貯蔵するための技術基盤を確立する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(9) 水素先端科学基礎研究事業(運営費交付金)

概要

水素の輸送や貯蔵に必須な材料に関し、水素脆化等の基本原理の解明及び対策の検討を中心とした高度な科学的知見を要する先端的研究を、国内外の研究者を結集し行うことにより、水素をより安全・簡便に利用するための技術基盤を確立する。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、水素脆化、水素トライボロジーの基本原理の解明及び対策の検討等を行い、水素をより安全・簡便に利用するための技術指針を産業界に提供する。

研究開発期間

2006年度～2012年度

(10) 水素社会構築共通基盤整備事業(運営費交付金)

概要

燃料電池の導入・普及に資する基盤整備のため、製品性能の試験・評価手法及び国内外の基準・標準の確立を図る。

技術目標及び達成時期

2009年度を目途に、安全性等に係るデータを取得し、そのデータを基に試験・評価手法の確立、国際標準の確立、規制の再点検を三位一体で進める。

研究開発期間

2005年度～2009年度

(11) 固体酸化物形燃料電池実証研究(運営費交付金)

概要

発電効率が高く、分散型電源として期待される固体酸化物形燃料電池(SOFC)の研究開発・実用化の促進のため、耐久性を始めとしたデータの取得・課題

抽出等のための実証を実施する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、SOFCシステムの実証試験を数十～数百台規模で実施し、蓄積が不足している耐久性を始めとした実証データの取得・課題抽出等を行い、SOFC技術開発等へのフィードバックを行う。

研究開発期間

2007年度～2010年度

(12) 定置用燃料電池大規模実証事業(運営費交付金)

概要

定置用燃料電池コージェネレーションシステムの実用化開発を支援するため、量産技術の確立と実用段階に必要なデータ収集を行う大規模実証を実施する。

技術目標及び達成時期

2008年度までに、定置用燃料電池を大規模かつ広域的に設置し、実使用条件下における耐久性等の運転データを取得・分析、コストダウンに向けた課題抽出を行い、製品改良へのフィードバックを行う。

研究開発期間

2005年度～2008年度

(13) 燃料電池システム等実証研究

概要

実条件に近い中での燃料電池自動車等の実証走行や、高圧水素貯蔵システム、多角的な燃料供給システムの検証を進め、水素エネルギー社会における水素利用の課題等を抽出するとともに、燃料電池・水素に対する国民的理解の醸成を図る。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、実使用条件下における技術的課題を抽出するとともに、環境特性、エネルギー総合効率、安全性、耐久性等に関する基準・標準に資するデータを取得し、燃料電池自動車、水素ステーションの研究開発等へのフィードバックを行う。

研究開発期間

2006年度～2010年度

4 - . 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

4 - - . 軽水炉・軽水炉核燃料サイクル

< 新型軽水炉 >

(1) 次世代軽水炉等技術開発

概要

2030年前後に見込まれる大規模な代替炉建設需要に対応するため、安全性・経済性、信頼性等に優れ、世界標準を獲得し得る次世代軽水炉の技術開発を行う

技術目標及び達成時期

2010年度までに、次世代軽水炉の実現に必要な要素技術開発等及びプ

ラント概念の成立性について見通しを得るための概念設計検討を行う。

研究開発期間

2008年度～2010年度（見直し）

< プルサーマルの推進 >

(2) 全炉心混合酸化物燃料原子炉施設技術開発

概要

プルサーマルが当面のプルトニウム利用策として期待されていることを踏まえ、既存の軽水炉に比べ約3倍のプルトニウムを装荷することができる全炉心混合酸化物燃料原子炉に必要な技術開発を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、原子炉の開発に必要な設計、解析、試験等を行い、全炉心混合酸化物燃料原子炉技術を確立する。

研究開発期間

1996年度～2011年度

< 軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの円滑な移行のための技術開発 >

(3) 高速炉再処理回収ウラン等除染技術開発

概要

FBR実証炉及び関連サイクル施設の早期実現を図るため、文部科学省と連携し、「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」を推進する。そのなかで、次世代再処理工場から発生する高線量回収ウラン等を既存軽水炉燃料製造施設で取扱可能とする、次世代再処理工場と調和可能な回収ウラン等の除染技術について、調査・基礎試験等を行い、商業的に利用可能な除染技術候補の検討等を実施する。選定された技術については、プロセス試験等を実施する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、回収ウラン等の除染プロセスの候補技術の洗い出し及び候補プロセス技術の基礎試験を終了し、次世代再処理技術との適合性の検証を行い、プロセス試験を実施すべき除染プロセス技術を選定する。

また、2015年までに、選定した除染プロセス技術について工学化規模でのプロセス試験を行い、商業的に利用可能な転換前高除染技術としての実効性を検証する。

研究開発期間

2007年度～2015年度

< ウラン濃縮技術の高度化 >

(4) 遠心法ウラン濃縮技術開発

概要

我が国におけるウラン濃縮技術や生産能力の維持・向上のため、世界最高水準の性能を有するなど国際的に比肩し得る経済性と性能を有する新型遠心分離機を開発する。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、国際役務価格\$100/kg SWU相当を目指して、現在実用化している金属胴遠心分離機の約5倍という高い分離性能や同遠心分離器を上回る寿命など国際的に比肩し得る技術レベルを有する新型遠心分離機の開発を目指すとともに、最終仕様の新型遠心分離機を多数台用いたカスケード試験の実施により商用プラントとしての信頼性を確立し、運転要領の策定を行う。

研究開発期間

2002年度～2009年度

< 回収ウラン >

(5) 回収ウラン利用技術開発

概要

六ヶ所再処理工場で回収される回収ウランを再濃縮し、再び軽水炉で利用するため、濃縮施設等既存施設への影響等を把握し、転換プロセスを中心とした回収ウラン利用技術を開発する。併せて劣化ウラン酸化固形化についても検討を行う。

技術目標及び達成時期

2012年頃までに、劣化ウランの取扱・管理の容易さや貯蔵効率を向上させるための劣化ウラン酸化固形化（再転換を含む）技術の研究開発を行い、同技術に係る基礎プロセスを確立する。2015年度頃までに、再処理により回収される回収ウランの濃縮が可能な商用遠心分離機の設計を確定する。

研究開発期間

2008年度～2015年度

< 共通基盤技術開発 >

(6) 革新的実用原子力技術開発費

概要

原子力発電及び核燃料サイクルに関する革新的かつ基盤的技術であって実用化につながる研究開発テーマを競争的環境の下で広く提案公募方式により募集し、将来の原子力技術の発展及び技術の多様化につながる研究開発を行う。

なお、実施に当たっては、研究開発の特性に応じて既存技術分野、基盤技術分野、国際協力技術分野の3分野を設け事業を実施する。

技術目標及び達成時期

2012年まで、既存技術分野、基盤技術分野、国際協力技術分野において個別テーマ毎に研究開発を実施する。

なお、既存技術分野は2008年度で終了となる。

研究開発期間

2000年～2010年（見直し）

4 - - . 高速増殖炉（FBR）サイクル

(1) 発電用新型炉等技術開発

概要

FBR実証炉及び関連サイクル施設の早期実現を図るため、文部科学省と連携し、「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」を推進する。具体的には、実証炉に必

要な要素技術のうち、設計・建設段階において必要となる実プラント技術として、格納容器設計技術、耐震性評価技術、高温材料設計技術、保守技術の試験等を実施する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、実証炉の概念設計へ反映しうる設計基準データ等の技術的根拠を得る。

研究開発期間

2007年度～2010年度

(2) 高速炉再処理回収ウラン等除染技術開発(4 - - 参照)

4 - - . 放射性廃棄物処理処分

(1) 地層処分技術開発

概要

) 地層処分共通技術開発

高レベル放射性廃棄物等の地層処分における共通的技术として、今後段階的に進められる処分地選定の際に重要となる地質等調査技術の高度化開発を行う。

) 高レベル放射性廃棄物関連処分技術開発

高レベル放射性廃棄物処分に係る基盤技術として、人工バリア等の長期性能評価技術、処分場操業の際のオーバーパック溶接や搬送・定置等の遠隔操作技術の開発を行う。

) TRU廃棄物処分関連技術開発

TRU廃棄物の地層処分に係る基盤技術として、高レベル放射性廃棄物との併置処分の可能性も念頭に、TRU廃棄物に固有に含まれる核種の閉じ込め技術や人工バリア等の長期性能評価技術の開発を行う。

技術目標及び達成時期

) 地層処分共通技術開発

2011年度までに、処分地選定の初期段階で必要となる地上からの調査技術のうち、特に沿岸域の環境や高精度での地下水評価等に係る調査評価技術の高度化・確証を行う。

) 高レベル放射性廃棄物関連処分技術開発

2011年度までに、人工バリア等の長期性能評価技術や遠隔操作等の工学技術について高度化を図り、幅広い地質環境に対応可能な技術選択肢と成立性を提示する。

) TRU廃棄物処分関連技術開発

2011年度までに、TRU廃棄物に固有に含まれるヨウ素129や炭素14の閉じ込め、高アルカリ環境下での人工バリアの性能評価等に関し、幅広い地質環境に対応可能なデータ・モデルの整備と技術選択肢の提示を行う。

研究開発期間

1998年度～2011年度

(2) 管理型処分技術開発

）地下空洞型処分施設性能確認試験

概要

T R U廃棄物や発電所廃棄物等の余裕深度処分において検討されている「地下空洞型処分施設」の成立性確認のため、実規模大の空洞を利用した総合的な確認試験を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、実規模大の空洞内にコンクリートピット等からなる地下空洞型処分施設を構築し、施工性や初期性能の総合的な確認を行う。

研究開発期間

2006年度～2011年

(3) 放射性廃棄物共通技術開発

概要

）放射性廃棄物重要基礎技術研究調査

放射性廃棄物処分に係る国内外の最新知見の収集・分析、重要かつ基礎的な課題の抽出並びに研究を実施し、長期に及ぶ処分事業等を支える技術基盤の拡充を図る。

）放射性核種生物圏移行評価高度化調査

放射性廃棄物処分の安全評価に共通的な基盤情報として、生物圏における核種移行プロセスを評価するため、日本の風土を反映した核種移行パラメータ・モデルを整備する。

技術目標及び達成時期

）放射性廃棄物重要基礎技術研究調査

2011年度までに、放射性廃棄物処分に共通的な重要基礎技術として、地質環境の長期安定性評価、人工バリアや岩盤の長期挙動評価等に係る知見を整備する。

）放射性核種生物圏移行評価高度化調査

2011年度までに、沿岸域の環境も含めたわが国表層環境への適用とT R U廃棄物に固有の核種等を考慮した、生物圏核種移行のモデルとデータベースを構築する。

研究開発期間

2001年度～2011年度

4 - - . 原子力利用推進に資する電力系統技術

(1) イットリウム系超電導電力機器技術開発(運営費交付金)

概要

世界的にも我が国が最先端の技術力を有する次世代高温超電導線材を活用し、経済社会の基盤となる電力の安定的かつ効率的な供給システムを実現するため、系統を適正に制御し、電力供給を安定化させるための技術及び発電電力を無駄なく輸送するための高効率な送電技術の確立を目指す。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、イットリウム系超電導線材を用いたS M E S、電力ケー

ブル、変圧器実現のための重要な技術開発を行い、各機器の成立性を実証する。

研究開発期間

2008年度～2012年度

(2) 高温超電導ケーブル実証プロジェクト(運営費交付金)

概要

革新的な超電導送電技術を確立するため、工業生産プロセスで実用化レベルに達している高温超電導線材を活用し、実用化のための実証試験及び評価を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、200MVA級の中間接続部を有した三心一括型高温超電導ケーブルを、冷却装置や保護装置などの付帯設備とともに66KV実系統に接続して、12ヶ月以上の長期連系試験を行うことによって総合的な安全性や信頼性を実証する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

4 - - . その他電力供給安定化技術

(1) 風力発電電力系統安定化等技術開発(運営費交付金)

概要

大規模風力発電所等の普及拡大時において懸念される周波数変動等系統上の問題対策として、蓄電システムの併設による出力安定化技術を開発し、実態に応じたシステム稼働データの抽出や当該システムの有効性の検証を行う。

技術目標及び達成時期

長期実証運転を強いられた大容量システムの耐久性や信頼性を評価するため解体分析調査を行うことにより、当該技術の有効性を検証するとともに、そのシステムを確立する。

研究開発期間

2003年度～2008年度

(2) 大規模電力供給用太陽光発電系統安定化等実証事業(運営費交付金)

概要

大規模太陽光発電を電力系統に連系した場合に課題となる系統安定化対策やピーク対策のための技術等を開発するとともに、その有効性を実証する。

また、国内外の先進的な次世代技術の価格性能を比較することを通じて技術開発を加速する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、下記の実証研究を行い、その有効性を確認する。

(イ) 蓄電池等を組み合わせた出力変動抑制システムの有効性。

(ロ) 発電出力のピーク制御(午後のピーク帯へのシフト)の有効性。

(ハ) 大型インバータによる高調波抑制システムの有効性。

(ニ) 国内外メーカーの太陽電池モジュールの特性比較を行い、性能、経済性等を比較・検証。

研究開発期間

2006年度～2010年度

(3) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発(運営費交付金)

概要

蓄電池技術は、新エネルギーの出力安定化や燃料電池自動車(FCEV)・ハイブリッド自動車(HEV)・電気自動車(EV)等の高効率次世代自動車に共通する重要なコア技術である。そこで、高性能蓄電システムに係る要素技術開発、新材料開発及び基盤技術の開発を行う。

A. 系統連系円滑化蓄電システム技術開発

B. 次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発

技術目標及び達成時期

A. 2010年度末において、寿命10年、コスト4万円/kWh、1MW規模のシステムおよび要素技術の確立と2030年において寿命20年、コスト1.5万円/kWh、20～30MW規模の蓄電システムを見通せる技術開発。また、新エネルギー対応の充放電パターン等、基礎データの整備、大型化に伴う安全性や寿命等の評価手法の確立。

B. 2011年度末において、電池開発では、0.3kWhモジュールを作製し、重量エネルギー密度100Wh/kg、出力密度2000W/kg、寿命10年、コスト4万円/kWhを達成すること(条件:3kWhの組電池、100万台生産ベース)。電池構成材料及び電池反応制御技術の開発では重量エネルギー密度200Wh/kg、出力密度2500W/kg、コスト3万円/kWhを小型単電池で達成すること(上記と同条件)。また、電池周辺機器開発では、格段の高性能化、コンパクト化、低コスト化を達成すること。さらに、重量エネルギー密度500Wh/kgを見通せる新規概念・構造の蓄電池基礎開発の他、劣化・寿命診断法、安全性評価などの各種試験法等の開発およびそれら共通基盤技術の基準・標準化。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(4) 発電プラント用超高純度金属材料の開発(運営費交付金)

概要

従来の金属材料と比べ耐食性、耐久性、加工性などの飛躍的な向上が期待できる超高純度金属材料の発電プラント部材としての実用化を目指し、低コスト・量産化製造プロセス、及び加工・溶接技術等の開発を行い、部材としての実用特性の評価・検証を行う。

また、実用化に向けたフィージビリティ調査を行い経済性の評価等を実施するとともに、材料特性に関するデータベースの整備及びそれに必要な試験研究を行う。

技術目標及び達成時

2009年までに、不純物総量100ppm未満、溶解量数100kg以上の低コスト・量産化技術製造技術を開発するとともに、製造された超高純度材料が発電プラントの各種機器に適用でき、本材料の持つ優れた特性を長期に亘って

発揮できることを確認する。

研究開発期間

2005年度～2009年度

4 - . 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

4 - - . 石油・天然ガス・石炭の探鉱・開発・生産技術

(1) 石油・天然ガス開発・利用促進型大型ノ特別研究(運営費交付金)

概要

石油及び可燃性天然ガス資源の開発に係る技術の振興を図る観点から、大水深、複雑な地層といった悪条件化が進む石油・天然ガスの探鉱・開発技術、利用拡大が見込まれる天然ガス田の開発促進に資する天然ガス有効利用技術等について、短期間で実用化が期待され、民間ニーズに直結した研究開発を提案公募により実施する。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、我が国の石油・天然ガスの探鉱・開発技術力の向上、及び天然ガスの利用の促進に向けた天然ガスの有効利用技術の開発を行う。

研究開発期間

2001年度～2012年度

(2) 石炭生産技術開発(クリーン・コール・テクノロジーの研究開発の一部)

概要

石油代替エネルギーである石炭の安定供給を図るため、低品位炭の有効利用、石炭生産性の向上のための研究開発等を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、インドネシアにおいて低品位炭の有効利用を図ることを目標に、低品位炭の発熱量を高め、自然発火性を抑制する低品位炭改質技術を確立する。

研究開発期間

2001年度～2009年度

(3) 石油精製物質等簡易有害性評価手法開発(運営費交付金)

概要

石油の生産及び流通の合理化を図る観点から、石油製品等に含まれる化学物質によるリスクを把握し、必要な対策を適切に行うことを可能とするため、*in vitro*培養系技術等の活用により遺伝子組換え細胞等を用いた*in vitro*系簡易有害性予測手法、また、トキシコゲノミクスを活用した短期動物試験結果と相関する遺伝子発現データセットを開発する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、遺伝子導入技術、幹細胞分化誘導技術、生物発光技術等を適用した培養細胞を用いて、試験期間1ヶ月程度、発がん性、催奇形性及び免疫毒性を予測評価できる試験手法を開発し、また、遺伝子発現解析技術を短期動物試験に適用し、28日間反復投与試験結果と相関する遺伝子発現データセット

を完成させる。また、標準的な試験プロトコルを策定する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

(4) 石油資源遠隔探知技術の研究開発

概要

我が国が開発・運用する多様な地球観測センサ(ASTER、PALSAR等)の地球観測データを用いて、石油・天然ガス等の安定供給確保のため、資源開発・探査、環境観測等に有効なデータの処理解析手法の研究開発を行う。また、地球観測データのような大容量のデータを容易に扱えるシステムの研究開発を実施することで資源開発・探査、環境観測を含む多様な分野でのリモートセンシングの利用拡大を図る。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、資源開発・探査、環境観測等の分野における地球観測データ処理・解析技術の向上及び地球観測データの利用の拡大を図る。

研究開発期間

1981年度～2010年度

(5) ハイパースペクトルセンサ等の研究開発(運営費交付金)

概要

資源開発に有効な岩石・鉱物や地質構造解析の高次元解析を可能とするハイパースペクトルセンサの開発を行うとともに、軌道上におけるデータ取得の実証を行い、センサ技術の確立を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度までにスペクトル分解能200バンド前後のハイパースペクトルセンサを開発し、地表面のスペクトル情報を取得して資源開発に有効なセンサ技術の実証を行う。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(6) 次世代合成開口レーダ等の研究開発

概要

石油の生産及び流通の合理化を図る観点から行うものであり、石油及び可燃性天然ガス資源等の開発に資するため、資源探査能力を格段に向上した合成開口レーダである次世代合成開口レーダ(PALSAR)の健全性評価やセンサを維持することにより、取得される画像データを用いた石油・天然ガス資源の遠隔探知を行う技術を確立する。

技術目標及び達成時期

PALSARの開発、健全性の評価・維持を実施することにより、2010年度までに、レーダ技術の高度化(アンテナ指向の電子制御化、分解能の向上、多偏波観測等)を図る。

研究開発期間

1993年度～2010年度

(7) 極軌道プラットフォーム搭載用資源探査観測システムの研究開発

概要

石油の生産及び流通の合理化を図る観点から行うものであり、石油及び可燃性天然ガス資源等の開発に資するため、資源探査能力を格段に向上した光学センサである資源探査用将来型センサ(ASTER)の健全性評価やセンサを維持することにより、取得される画像データを用いた石油・天然ガス資源の遠隔探知を行う技術を確立する。

技術目標及び達成時期

ASTERの開発、健全性の評価・維持を実施することにより、2010年度までに、センサ技術の高度化(ポインティング機能の追加、分解能の向上、熱センサの搭載等)を図る。

研究開発期間

1987年度～2010年度

4 - - . 石油・天然ガスの有効利用技術

(1) 石油燃料次世代環境対策技術開発

概要

バイオマス燃料から製造した石油製品が自動車排出ガスに及ぼす影響、新たな自動車燃焼技術(自着火燃焼(着火までに燃料と空気を十分に混合し、その混合気体を点火プラグの使用なしで圧縮することにより着火させる燃焼法でNOx排出低減、熱効率が高い等の利点がある))に適応した燃料に関する技術開発を実施する。

また、建設機械、発電機等のオフロードエンジンの排ガスによる環境負荷低減や石油燃焼機器の効率的な利用を進めるための技術開発を実施する。

技術目標及び達成時期

バイオマス燃料の利用時における、燃料と自動車エンジン技術の両面の影響評価を進め、技術的課題を解決し、運輸部門における燃料多様化を目指す。

また、オフロードエンジンの規制は欧米が先行していることから、2012年頃、欧米において規制強化が予定されている排ガス規制に対応した技術を確立し、我が国における規制強化に対応可能な燃焼技術を実現することを目指す。

研究開発期間

2002年度～2011年度

(2) 石油精製高度機能融合技術開発

概要

石油精製業を中心とする石油コンビナート全体の横断的かつ高度な運営機能の融合を図り、単独企業のみでは達成困難なコンビナート域内の省資源、省エネルギーの向上を進めるため、異業種異企業間における限りある貴重なエネルギー資源の利用効率の高い生産技術に関し技術の開発・実証を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、我が国における他のコンビナートへの波及効果を含め、CO₂排出量を63万トン/年削減可能とする技術を確立する。

研究開発期間

2006年度～2009年度

(3) 将来型燃料高度利用技術開発

概要

省エネ、二酸化炭素削減効果が見込まれる燃料電池自動車の燃料である高純度(99.99%以上)水素を安定的かつ経済的に供給することは重要である。石油は、その長所として豊富な水素供給余力と安価な水素製造技術及び全国に展開した災害に強いガソリンスタンドを保有している。これら石油の長所を活かした水素供給システムの確立により、水素社会の早期実現に貢献するものである。本事業では、製油所からの高純度水素供給技術開発とガソリンスタンドを拠点とする高純度水素製造技術開発を行う。

技術目標及び達成時期

コスト低減のため製油所におけるナフサから高効率(80%以上)な高純度水素製造を可能とする新たな技術を開発する。また、供給地のガソリンスタンドにおいて有機ハイドライドから高純度の水素を高効率(80%)に取り出すための水素発生装置を開発する。また、脱硫後の灯油硫黄分を検出限界以下の10ppb以下とする脱硫剤の開発を行うとともに、貴金属使用量を2-3wt%から0.5wt%以下まで低減しても、従来と同等の高い性能が維持できる改質触媒を開発する。さらに、膜分離型反応器を用いた99.99%高純度水素の製造効率を80%、4万時間の耐久性が期待できる水素製造システムを開発する。

研究開発期間

2008年度～2010年度

(4) 革新的次世代石油精製等技術開発

概要

原油価格の高騰・高止まりや原油の重質化と製品需要構造変化等の石油を巡る大きな環境変化のなか、連産品である石油製品を今後とも長期的に安定化かつ効率的に供給するためには、製油所の更なる高度化に向けた技術の開発実用化が必要である。このため、非在来型原油を含めた重質油を原料として、製油所におけるボトムレス化、余剰となる分解留分の高付加価値等のためのプロセスや触媒技術等の開発を行う。また、次世代の技術シーズ創出のため、これまでの技術とは異なる発想により我が国唯一の革新的な新規触媒研究、新規膜分技術研究、新規製造プロセス研究等を産官学の連携等により実施する。

技術目標及び達成時期

2011年度までに重質油対応型高過酷度接触流動分解技術(HS-FCC)については、3千BD規模(商業レベルの1/10規模)の実証研究を通じ、プロピレン収率20%以上(既存技術4%程度)、将来不足が予想される高オクタン価ガソリン基材(RON98(既存技術92程度))の製造を可能とする技術を確立する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(5) 次世代高信頼性ガスセンサー技術開発

概要

一酸化炭素中毒やガス漏れなどのガス事故を限りなくゼロに近づけるため、センサー素子のナノレベルでのメカニズム解析及び開発設計を行い、コードレスで高信頼性を有する次世代高信頼性ガスセンサー（COセンサー・メタンセンサー）を開発する。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、最先端のナノテクノロジーおよびMEMS技術を導入し、電池駆動で5年以上の長寿命、高信頼性（数百PPM以下の故障率）、低コストなCOとメタンのセンサを開発する。

研究開発期間

2008年度～2011年度

(6) 天然ガス未普及地域供給基盤確立実証試験（運営費交付金）

概要

天然ガスの供給手段が存在せず（パイプラインはもとよりサテライト供給でも採算が合わないため）石油等の燃料に依存している地方都市部の中小規模の天然ガス需要に対し、天然ガスハイドレートを利用した、新たな輸送技術を確認する。

技術目標及び達成時期

従来のLNGチェーンによる供給に係る投資コストに対し、そのコストを約1/4に低減する事が可能な天然ガスハイドレート（NGH）供給システムを2008年度までに確立する。

研究開発期間

2006年度～2008年度

(7) 天然ガスの液体燃料化（GTL）技術実証研究（運営費交付金）

概要

硫黄等を含まず排出ガスがクリーン、着火性が高いという特徴を有することから石油系燃料代替として期待されるGTLについて、天然ガス中に含まれるCO₂を除去せず、原料として積極的に活用することから、従来利用が困難であったCO₂を多く含むガス田からの天然ガスが利用可能、CO₂除去装置が不要であることによる生産設備コストの低減が可能、といった強みを有する我が国独自のGTL製造技術の確立を図る。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、実証プラントによる運転研究（500バレル/日）を行い、商業規模でのGTL製造技術を確認する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

- (8) 高耐久性メンブレン型 L P ガス改質装置の開発 (運営費交付金) (4 - - 参照)
- (9) 石油・天然ガス開発・利用促進型大型 / 特別研究 (運営費交付金) (4 - - 参照)
- (1 0) 高効率ガスタービン実用化技術開発 (4 - - 参照)

4 - - . オイルサンド等非在来化石資源の利用技術

(1) メタンハイドレート開発促進委託費

概要

日本周辺海域に相当量の賦存が見込まれ、国産のクリーンなエネルギー資源として有望なメタンハイドレートを利用可能とするため、資源量評価手法、生産手法及び環境影響評価手法等の確立のための技術開発を行う。

技術目標及び達成時期

2 0 1 6 年度までに、商業的産出のための技術を整備することを目指し、日本周辺海域におけるメタンハイドレートの賦存状況と特性の明確化、有望賦存海域からのメタンハイドレート資源フィールドの選択及び現場産出試験等による生産手法の確立等を推進する。

研究開発期間

2 0 0 1 年度 ~ 2 0 1 6 年度

(2) 革新的次世代石油精製等技術開発 (4 - - 参照)

4 - - . 石炭クリーン利用技術

(1) 革新的ゼロエミッション石炭火力発電プロジェクト

概要

石炭の高効率な利用を図るために、

- ・ 酸素吹きによる石炭ガス化発電 (I G F C) の開発実証
- ・ 化学吸収法による C O 2 の分離・回収技術の実証
- ・ C O 2 を輸送するための船舶の設計
- ・ C O 2 を貯留するための発生源近傍における貯留ポテンシャルやコストの評価
- ・ 石炭ガス化から CCS まで一貫したトータルシステムの設計等を行う。

技術目標及び達成時期

石炭ガス化については、2 0 0 9 年度までに、パイロットプラントにおいて、高圧の石炭ガスから C O 2 の分離・回収技術の確立及びガス化炉の信頼性向上へ向けて、3 炭種以上の適応炭種拡大試験を実施する。また、C C S については、2 0 1 6 年度頃から C O 2 地中貯留の実証試験に着手する。

研究開発期間

2 0 0 7 年度 ~ 2 0 1 2 年度

(2) 国際革新的ゼロエミッション石炭火力発電プロジェクト補助金

概要

石炭火力発電から排出されるCO₂の削減技術について諸外国との実証普及事業等を実施し、当該技術の普及基盤を整備することにより、エネルギー供給に対する環境上の制約を取り除き、もって我が国エネルギー需給構造の安定化を図る。

技術目標及び達成時期

石炭ガス化技術等実証普及事業では、ゼロエミッション型石炭火力発電の実証プロジェクト(Future Genプロジェクト)への参画を通じた石炭ガス化・発電技術、CO₂分離回収技術、CO₂輸送貯留技術等に関する情報収集や関連する技術調査の実施等により、我が国におけるゼロエミッション型石炭火力発電の実用化開発に資する技術・知見を得る。また、将来のCO₂の地中貯留に際しては、国民の正しい理解が不可欠であり、これを念頭においたゼロエミッション型石炭火力発電に係る普及啓蒙活動を積極的に実施する。

酸素燃焼国際共同実証事業では、既存の微粉炭火力発電の改造による酸素燃焼方式のゼロエミッション型石炭火力発電プラントの実用化を目標とするものであり、既存のプラントの改造により対応可能であること、酸素燃焼を行うことにより、燃焼ガスからCO₂を分離する装置が不要であることから、比較的低コストで極めて大きなCO₂削減効果が期待できる。

研究開発期間

2007年度～2016年度

(3) 先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発費補助金

概要

従来の超々臨界圧火力発電(USC)は、蒸気温度の最高温度は630程度が限界で、送電端熱効率も42～43%が原理的限界といわれてきた。しかしながら、近年の材料技術の進歩により、700以上の蒸気温度を達成できる可能性が見えてきたことから、これらの材料を活用した先進超々臨界圧火力発電技術(A-USC)の開発を行うものである。A-USCは、蒸気温度700級で46%、750級で48%の高い送電端熱効率の達成が可能な技術であり、2020年以降増大する経年石炭火力発電のリプレイス需要に対応するため、早急に技術開発を進める必要がある。そのため、ボイラーメーカー、タービンメーカー及び材料メーカーが共同でA-USCの技術開発に取り組む。

技術目標及び達成時期

平成22年度までにシステム基本設計を完了し、シミュレーションにより送電端熱効率46%～48%の達成が可能なことを確認する。平成24年度までにボイラー、タービン部材等が700以上の蒸気温度に耐えられるかどうかを試作、評価し、経済性を含めたシステム成立性への見通しを得る。平成27年～平成28年度に実缶試験、回転試験を実施し、蒸気温度700以上の条件下でボイラー、タービンの信頼性を確認する。また、ボイラー、タービン部材について3万～7万時間の長期信頼性試験を実施し材料特性を検証する。

研究開発期間

2008年度～2016年度

(4) 石炭利用技術開発(一部、運営費交付金)(クリーン・コール・テクノロジーの

研究開発の一部)

概要

環境適合的な石炭利用の拡大を図るため、石炭ガス化、無灰化技術による転換効率向上に資する技術や石炭からの水素製造技術等、クリーン・コール・テクノロジーの開発を行う。

技術目標及び達成時期

2008年度までに、

- ・ 石炭から合成ガスや軽質オイルを併産する高効率な石炭部分水素化プロセス技術を20t/日のパイロットプラント規模で確立する(石炭部分水素化熱分解技術の開発)

2009年度までに、

- ・ 化学原料等に利用可能な合成用ガスを石炭乾留ガスから無触媒で製造する技術をパイロットプラントで確立する(無触媒石炭乾留ガス改質技術開発)

2011年度までに、

- ・ 石炭利用プロセスにおいて、環境分析技術の高精度化、環境影響成分の挙動解析のためのモデルの構築等により、環境への影響低減手法を開発する(戦略的炭素ガス化・燃焼技術開発)

研究開発期間

1995年度～2008年度(2008年度見直し)

- ・ 戦略的炭素ガス化・燃焼技術開発 2007年度～2011年度
- ・ 無触媒石炭乾留ガス改質技術開発 2006年度～2009年度
- ・ 石炭部分水素化熱分解技術 2003年度～2008年度

(5) 噴流床石炭ガス化発電プラント開発費補助金

概要

供給安定性に優れた石炭の高効率かつ低環境負荷での利用を図るため、石炭をガス化して燃料とし、コンバインドサイクル(ガスタービンと蒸気タービンの組合せ)を駆動する高効率発電技術(石炭ガス化複合発電技術(IGCC: Integrated coal Gasification Combined Cycle)の実証試験を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、25万kWの実証機を用いた実証試験により、熱効率40.5%(送電端、高位発熱量ベース)を目指す。この目標は50万kWの商用機における熱効率46～48%に相当する。本技術は実証試験終了後の2010年度より商用化が可能である。

研究開発期間

1999年度～2009年度

(6) 環境調和型製鉄プロセス技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)

4 - - . その他共通

(1) イノベーション実用化補助事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

- (2) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業 (運営費交付金)(4 - - 参照)
- (3) 固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (4) 燃料電池先端科学研究 (運営費交付金)(4 - - 参照)
- (5) 新利用形態燃料電池技術開発 (運営費交付金)(4 - - 参照)
- (6) 高耐久メンブレン型 L P ガス改質装置の開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (7) 固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (8) 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発 (運営費交付金)(4 - - 参照)
- (9) 水素貯蔵材料先端基礎研究事業 (運営費交付金)(4 - - 参照)
- (10) 水素社会構築共通基盤整備事業 (運営費交付金)(4 - - 参照)
- (11) 水素先端科学基礎研究事業 (運営費交付金)(4 - - 参照)
- (12) 固体酸化物形燃料電池実証研究 (運営費交付金)(4 - - 参照)
- (13) 定置用燃料電池大規模実証事業 (運営費交付金)(4 - - 参照)
- (14) 燃料電池システム等実証研究 (4 - - 参照)

5．政策目標の実現に向けた環境整備（成果の実用化、導入普及に向けた取組）

5 - ．総合エネルギー効率の向上

- 事業者単位の規制体系の導入
- 住宅・建築物に係る省エネルギー対策の強化
- セクター別ベンチマークアプローチの導入と初期需要創出（高効率機器の導入補助等）
- トップランナー基準の対象機器の拡充等
- アジアにおける省エネルギー対策の推進を通じた我が国の国際競争力の向上
- 国民の省エネルギー意識の高まりに向けた取組

5 - ．運輸部門の燃料多様化

- 公共的車両への積極的導入
- 燃費基準の策定・改定
- アジアにおける新エネルギー協力
- 国際標準化による国際競争力向上

5 - ．新エネルギー等の開発・導入促進

- 事業者支援補助金等による初期需要創出
- 新エネルギーベンチャービジネスに対する支援の拡大
- 新エネルギー産業構造の形成
- 電気事業制度・ガス事業制度の在り方の検討

5 - ．原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保

- 電力自由化環境下での原子力発電の新・増設の実現
- 資源確保戦略の展開
- 次世代を支える人材育成
- 中小型炉の海外市場への展開、我が国原子力産業の国際展開支援
- 原子力発電拡大と核不拡散の両立に向けた国際的枠組み作りへの積極的関与
- 国と地域の信頼強化

5 - ．化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

- 資源国等との総合的な関係強化（研究開発の推進・協力、人材育成・技術移転、経済関係強化など）
- 化石燃料のクリーンな利用の開拓

6．研究開発の実施に当たっての留意事項

事業の全部又は一部について独立行政法人の運営費交付金による実施されるもの（事業名に（運営費交付金）と記載したもの）は、中期目標、中期計画等に基づき、運営費交付金の総額の範囲内で当該独立行政法人の裁量によって実施されるものである。

また、事業名に（採択テーマ）と記載された事業は、提案公募事業により採択されたテーマを記載したものであり、その採択や評価等は、提案公募事業の実施機関の責任の下、実施されるものである。

7. 改訂履歴

- (1) 平成16年7月7日付け、省エネルギー技術開発プログラム基本計画、新エネルギー技術開発プログラム基本計画、燃料技術開発プログラム基本計画、電力技術開発プログラム基本計画、原子力技術開発プログラム基本計画制定。固体高分子形燃料電池/水素エネルギー利用プログラム基本計画(平成16・02・03産局第6号)は、新エネルギー技術開発プログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (2) 平成17年3月31日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第8号)、新エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第10号)、燃料技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第12号)、電力技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第11号)、原子力技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第13号)は、廃止。
- (3) 平成18年3月31日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第14号)、新エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第9号)、燃料技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第17号)、電力技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第12号)、原子力技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第13号)は、廃止。また、次世代低公害車技術開発プログラム基本計画(平成17・03・29産局第2号)は、省エネルギー技術開発プログラム基本計画及び燃料技術開発プログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (4) 平成19年4月2日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成17・03・31産局第19号)、新エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成18・03・31産局第15号)、燃料技術開発プログラム基本計画(平成18・03・31産局第18号)、電力技術開発プログラム基本計画(平成18・03・31産局第17号)、原子力技術開発プログラム基本計画(平成18・03・31産局第16号)は、廃止。
- (5) 平成20年4月1日付け、エネルギーイノベーションプログラム基本計画制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成19・03・26産局第1号)、新エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成19・03・20産局第4号)、燃料技術開発プログラム基本計画(平成19・03・19産局第7号)、電力技術開発プログラム基本計画(平成19・03・16産局第3号)、原子力技術開発プログラム基本計画(平成19・03・23産局第2号)は、本プログラム基本計画に統合することとし、廃止。

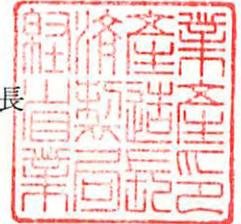
経済産業省

平成20・03・31産局第5号
平成20年3月31日

経済産業省産業技術環境局長



経済産業省製造産業局長



航空機・宇宙産業イノベーションプログラム基本計画の制定について

上記の件について、イノベーションプログラム実施要領（平成16・07・27産局第1号）第4条第1項の規定に基づき、別添のとおり制定する。

航空機・宇宙産業イノベーションプログラム基本計画

1. 目的

今後、市場規模の拡大が見込まれるとともに、その先端的な部品、材料、システム技術の波及効果を通じて我が国製造業全体の高度化をもたらし、また安全保障上の重要な基盤である航空機産業に関連する技術開発を積極的に推進する。

また、大きな技術波及効果を有し、国民の安全にも密接に関わるだけでなく、高度情報化社会の実現、地球環境の保全、資源開発等多様な社会ニーズに応える基盤となる宇宙産業の国際競争力の強化を図る。

2. 政策的位置付け

第 3 期科学技術基本計画（2006 年 3 月閣議決定）

航空機分野は、先端技術と高度な材料・部品等をシステム統合する分野であり、重点推進 4 分野及び推進 4 分野のうち、「情報通信」、「環境」、「ナノテクノロジー・材料」、「ものづくり技術」、「社会基盤」、「エネルギー」といった複数の分野にまたがる技術開発課題を有している。航空機分野の技術は他分野への技術波及効果も高く、その開発は産業技術政策上も極めて重要であり、特に、環境負荷低減を実現するための技術課題については、地球温暖化対策等の観点からも積極的に取り組むべきである。

第 3 期科学技術基本計画を踏まえて策定された分野別推進戦略では、航空機分野に関連するプロジェクトは主に「社会基盤」分野に位置づけられており、「高速輸送を可能とし、大量運航によって社会生活を支えているのみならず、産業政策上、安全保障上も重要な役割を担っており、諸外国と同様に研究開発リスクを国が負担しつつ、国民の航空輸送ニーズの多様化に応え、安全や環境問題に配慮した技術開発に取り組む必要がある。特に、我が国主導で航空機およびエンジンをインテグレーションできる技術を向上させるとともに、中長期的に技術を育成するための課題に取り組む必要がある」とされている。本プログラム基本計画に含まれる各研究開発事業についても、戦略重点科学技術及び重要な研究開発課題として指定されている。

宇宙分野は、推進分野である「フロンティア」分野において、国家基幹技術、戦略重点科学技術及び重要な研究開発課題に位置付けられた。また、総合科学技術会議において「我が国における宇宙開発利用の基本戦略」（2004 年 9 月総合科学技術会議）が決定されている。

21 世紀環境立国戦略（2007 年 6 月閣議決定）

世界最高水準にある我が国の優れた省エネ技術等の普及、更なる技術開発により、エネルギー効率の一層の改善を図るため、次世代環境航空機の開発・普及などによる航空機からの CO₂ 排出抑制対策等、物流分野のエネルギー効率の改善を進め、運輸部門にお

ける省エネ対策を推進することとされている。

経済成長戦略大綱（2007年6月改定）

産学官連携により世界の潜在需要を喚起する新産業群を創出するため、特に、極限状態における高信頼性が求められる次世代環境航空機など、我が国の製造業の更なる発展に必要な部品・材料産業の高度化にも大きく貢献する新産業群の実現に向けた環境整備や研究開発を推進することとされている。

また、宇宙分野については、宇宙の利用・産業化を推進することとされている。

経済財政改革の基本方針2007（2007年6月閣議決定）

次世代環境航空機等の戦略的分野の研究開発プロジェクトを推進することとされている。

また、宇宙分野については、宇宙の利用・産業化を推進することとされている。

「e-Japan戦略」（2003年7月、IT戦略本部とりまとめ）

宇宙分野は、新しいIT利活用戦略〔衛星測位システム（GPS等）の高度な活用と、準天頂衛星システム等の測位システムや地理情報システム（GIS）の研究開発や整備を統合的に推進し、我が国の国土空間における正確な位置を知ることができる環境の整備〕、「e-Japan重点計画2004」（平成2004年6月、IT戦略本部とりまとめ）における重点政策5分野の1つに対応するものである。

3. 達成目標

大きな技術波及効果によって環境をはじめ、情報、材料等の分野に高付加価値を生み出す航空機関連技術について、材料・構造・システム関連等の中核的要素技術力を一層強化・保持するとともに、機体及びエンジンの完成機関連技術を強化する。

我が国宇宙産業の国際競争力強化に向け、次世代の宇宙機器の開発及び宇宙利用の促進に資する技術を強化する。これにより、我が国における宇宙開発利用の産業化を促進し、自立的な宇宙産業を育成することで、世界の宇宙機器マーケットにおける我が国のシェア拡大を図る。

4. 研究開発内容

【プロジェクト】

- ・航空機関連（広く産業技術を対象とした研究開発であって航空機関連技術にも裨益するものを含む）

（1）省エネ用炭素繊維複合材技術開発

概要

航空機、自動車、鉄道、船舶等の輸送機械等における炭素繊維複合材の適用範囲を拡大し、省エネルギーの促進を図るため、先進的な炭素繊維複合材成形技術や、耐雷対策の低コスト化技術等の研究開発・実証を行う。

技術目標及び達成時期

2013年度までに、従来の方法に比べ低コストであり、曲率の大きな部位の成形も

行うことができるV a R T M (バータム)法等の炭素繊維複合材成形技術や、炭素繊維複合材を用いた製品の耐雷性能を低コストで確保する技術の研究開発・実証を行う。

研究開発期間

2008年度～2013年度

(2) 次世代航空機用構造部材創製・加工技術開発

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、航空機、高速車両等の輸送機器への先進材料の本格導入を加速させるため、先進複合材料及び先進金属材料について部材開発、設計試作及び評価を実施することで、軽量化によりエネルギー使用効率を大幅に向上させる革新的な構造部材の創製・加工技術の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、複合材の構造健全性診断技術、チタン合金の創製・加工技術を確立するとともに、航空機用エンジンへの適用を目指し、耐熱・耐衝撃性に優れた複合材料を開発する。

研究開発期間

2003年度～2012年度

(3) 航空機用先進システム基盤技術開発

概要

航空機の環境適合性、運行経済性、安全性といった要請に対応した、軽量・低コストかつ安全性の高い先進的な航空機用システムを開発する。

技術目標及び達成時期

通信アンテナ、気象用レーダ等の高性能化等を実現する航空機システム先進材料技術を2010年度までに開発する。また、航空機エンジンについても、低損失ギアボックスシステムを2011年度までに開発する。さらに、航空機の安全性向上及び運航コスト低減に資する先進パイロット支援システムを開発し、飛行試験等を通じた技術実証を2012年度までに行う。

研究開発期間

1999年度～2012年度

(4) 空力設計、開発・生産システム、操縦システム等研究開発

概要

空力設計、開発・生産システム、操縦システム等に係る先進的技術の研究開発・実証を通じて、製造業全体の開発・生産プロセス等の高度化等を図る。

技術目標及び達成時期

2013年度までに、空力設計、開発・生産システム、操縦システム等に係る先進的技術の研究開発・実証を行う。

研究開発期間

2008年度～2013年度

(5) 環境適応型小型航空機用エンジン研究開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、エネルギー使用効率を大幅に向上し、環境対策にも優れた次世代の小型航空機用エンジンの開発にとって重要な要素技術の研究開発を行う。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、エネルギー使用効率を大幅に向上する構造設計技術、騒音、NOx等の環境負荷対応に優れた環境対策技術、インテグレーション技術、高バイパス比化等の高性能化技術といった要素技術の研究開発・実証を行う。

研究開発期間

2003年度～2010年度

(6) 小型民間輸送機等開発調査

概要

我が国主導の機体開発を実現するため、小型民間輸送機等の開発可能性を検討すべく、市場調査及び要素技術開発等を実施する。

技術目標及び達成時期

次期輸送機(C-X)、救難飛行艇(US-2)等の防衛省機の民間転用を含め、我が国における民間航空機開発を促進するため、市場動向調査や要素技術開発を実施する。

研究開発期間

1989年度～2011年度

(7) 超高速輸送機実用化開発調査

概要

将来の国際共同開発においても、我が国産業界が然るべき役割を果たすため、遷・超音速領域の飛行を想定した超高速機について、市場ニーズ及び経済性への要求に関する検討を行うとともに、技術的課題の抽出、各種要素技術開発等を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、遷・超音速域(マッハ0.9～1.6程度)を飛行する超高速機の実現のために解決すべき技術的課題を抽出する。また、実現にあたり特に重要となる空力及び材料・構造技術について、超高速機の低抵抗化に資する数値流体(CFD)解析手法や軽量かつ製造コストの低い超高速機用機体構造(胴体・主翼等)の検討を行う。

研究開発期間

2002年度～2009年度

・宇宙産業関連

1．輸送系産業競争力向上基盤技術開発

(1) 次世代輸送系システム設計基盤技術開発プロジェクト(運営費交付金)

概要

国際ロケット市場における我が国宇宙産業の競争力確保を図るため、ロケットを効率的に開発・運用し、ロケットの開発、衛星の受注から打上までの期間を大幅に短縮する基盤技術開発を行う。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、ロケットの設計及び衛星対応設計の効率化技術等を確立する。

研究開発期間

2001年度～2010年度

2．衛星系産業競争力向上基盤技術開発

(1) 次世代衛星基盤技術開発プロジェクト(準天頂衛星システム等開発プロジェクト)

概要

国際商業市場における我が国衛星メーカーの競争力を強化するべく、準天頂衛星システム(利用者に対し、米国が運用するGPSとの補完による高精度な位置情報等の提供を可能にするシステム)の構築に不可欠な基盤技術(産業競争力強化にも直結する衛星の軽量化、長寿命化に関する技術等)の開発を行う。本プロジェクトの一部については、他部門と比較して需要増加の割合が高い運輸部門のエネルギー消費を抑制すべく、自動車、高速車両等の輸送機器の軽量化・効率化にも資する複合材料製造設計等の基盤技術を確立するためのものであり、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

静止軌道と一定の角度をなす傾斜軌道に複数の衛星を配置し、見かけ上、常に天頂付近に最低1つの衛星を位置させるシステム。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、準天頂衛星システムの構築に不可欠な基盤技術(産業競争力強化にも直結する衛星の軽量化、長寿命化に関する技術等)の開発を実施し、宇宙空間での技術実証を行う。

研究開発期間

2003年度～2010年度

(2) SERVICEプロジェクト(運営費交付金)

概要

我が国宇宙産業の国際競争力を強化するため、衛星製造の低コスト化、短納期化及び高機能化を実現すべく我が国産業が有する優れた民生用電子部品の活用に向け、耐放射線試験、高温/低温・振動等の地上試験を行う。また、地上試験結果を踏まえ選定した

民生用電子部品を実証衛星に搭載し、宇宙における放射線、高温/低温・真空等の複合環境への耐環境性能を実証するとともに、これら地上試験及び宇宙実証により取得されたデータを知的基盤（データベース、ガイドライン）として整備する。

技術目標及び達成時期

地上試験及び宇宙実証の結果を踏まえ、2010年度までに民生部品・民生技術の活用のための知的基盤（データベース、ガイドライン）を整備することにより、我が国における衛星製造等の低コスト化、短納期化及び高機能化を図るとともに、国際標準化提案についても検討を行う。

研究開発期間

1999年度～2010年度

（3）小型化等による先進的宇宙システムの研究開発（運営費交付金）

概要

我が国宇宙産業の国際競争力強化や国内宇宙産業基盤維持を図るために、低コスト化・短納期化・小型化等による先進的宇宙システムを構築する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、我が国の既存衛星システムに比べ、開発・製造コスト約15分の1、重量約10分の1、開発期間約3分の1を目標とする超高性能小型衛星（光学分解能1m以下）を開発する。また、設計思想の標準化を図るなど、今後の我が国衛星開発の基盤となる開発思想を構築する。

研究開発期間

2008年度～2010年度

（4）ASTERプロジェクト

概要

石油の生産及び流通の合理化を図る観点から行うものであり、石油及び可燃性天然ガス資源等の開発に資するため、資源探査能力を格段に向上した光学センサである資源探査用将来型センサ（ASTER）の健全性評価やセンサを維持することにより、取得される画像データを用いた石油・天然ガス資源の遠隔探知を行う技術を確立する。

技術目標及び達成時期

ASTERの開発、健全性の評価・維持を実施することにより、2010年度までに、センサ技術の高度化（ポインティング機能の追加、分解能の向上、熱センサの搭載等）を図る。

研究開発期間

1987年度～2010年度

（5）PALSARプロジェクト

概要

石油の生産及び流通の合理化を図る観点から行うものであり、石油及び可燃性天然ガス資源等の開発に資するため、資源探査能力を格段に向上した合成開口レーダである次世代合成開口レーダ(PALSAAR)の健全性評価やセンサを維持することにより、取得される画像データを用いた石油・天然ガス資源の遠隔探知を行う技術を確立する。

技術目標及び達成時期

PALSAARの開発、健全性の評価・維持を実施することにより、2010年度までに、レーダ技術の高度化(アンテナ指向の電子制御化、分解能の向上、多偏波観測等)を図る。

研究開発期間

1993年度～2010年度

(6) ハイパースペクトルセンサ等の研究開発(運営費交付金)

概要

資源開発に有効な岩石・鉱物や地質構造解析の高次元解析を可能とするハイパースペクトルセンサの開発を行うとともに、軌道上におけるデータ取得の実証を行い、センサ技術の確立を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度までにスペクトル分解能200バンド前後のハイパースペクトルセンサを開発し、地表面のスペクトル情報を取得して資源開発に有効なセンサ技術の実証を行う。

研究開発期間

2007年度～2011年度

3. 宇宙利用促進基盤技術の開発

(1) 次世代地球観測センサ等の研究開発

概要

我が国が開発・運用する地球観測センサや2007年度よりNEDOOにて開発が始まったハイパースペクトルセンサ等により得られる地球観測データから、有用な情報を効果的・効率的に抽出するため、スペクトルデータの収集と蓄積、物質ごとの特徴的なスペクトルデータの研究、衛星から得られたデータと地上データと比較・処理解析し、対象物を特定する解析手順・手法、多様なデータとの融合処理等の高付加価値データの処理解析技術等の研究開発を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、環境観測、災害監視、資源探査、農林水産等の分野におけるハイパースペクトルセンサにより得られる地球観測データ処理・解析技術の向上及び地球観測データ利用の拡大を図る。

研究開発期間

2006年度～2011年度

(2) 石油資源遠隔探知技術の研究開発

概要

我が国が開発・運用する多様な地球観測センサ(ASTER、PALSAR等)の地球観測データを用いて、石油・天然ガス等の安定供給確保のため、資源開発・探査、環境観測等に有効なデータの処理解析手法の研究開発を行う。また、地球観測データのような大容量のデータを容易に扱えるシステムの研究開発を実施することで資源開発・探査、環境観測を含む多様な分野でのリモートセンシングの利用拡大を図る。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、資源開発・探査、環境観測等の分野における地球観測データ処理・解析技術の向上及び地球観測データの利用の拡大を図る。

研究開発期間

1981年度～2010年度

(3) 太陽光発電無線送受電技術の研究開発

概要

新たな電力供給方式として地上において様々な用途への応用が見込まれ、また、長期的には将来の新エネルギーシステムとして期待される宇宙太陽光発電システムの中核的技術として応用可能な太陽光発電無線送受電技術を確立するため、安全性等を確保しつつ、太陽エネルギーを効率良く伝送するための要素技術等について研究開発を行う。

技術目標及び達成時期

2010年度までに高効率半導体増幅回路の開発、複数フェーズドアレイパネルの統合による精密ビーム制御技術の開発、高効率受電整流回路の開発を目指すことにより、無線送受電技術の高効率化を図る。

研究開発期間

2008年度～2010年度

5. 政策目標の実現に向けた環境整備

(航空機)

〔人材育成〕

- ・大学から有用な人材を航空機産業に迎えるとともに、開発から次期開発までのサイクルの長い航空機産業において継続的に人材を育成することが重要である。

〔防衛調達等を通じた航空機産業の高度化について〕

- ・効率的な研究開発や生産に向けたインセンティブ等を通じて我が国の航空機産業・技術基盤の維持・育成にも資する防衛調達・研究開発が実現するよう、引き続き関係省庁と連携することが重要である。
- ・防衛機の民間転用を円滑化するための制度整備等について、関係省庁と連携することが重要である。

〔関係機関との連携〕

- ・民間航空機開発推進関係省庁協議会（防衛庁（当時）、文部科学省、国土交通省及び経済産業省局長級による協議会）を設置（平成15年9月）し、研究開発の円滑な実施を図るため、関係省庁の連携を強化。また、協議会の下に、各省庁の担当課長からなる幹事会も併せて設置。産業構造審議会航空機委員会において航空機産業全般にかかる課題と対策を議論。

〔その他〕

- ・中小企業のネットワーク化や認証取得により、我が国の部品・素材の採用拡大を図ることが重要である。
- ・航空機部品へのRFID導入を進めることにより、整備業務等における効率化や高付加価値化を目指すことが重要である。

（宇宙産業）

〔プロジェクト等との主要な連携について〕

（衛星系等基盤技術開発により得られた技術の活用）

A S T E Rプロジェクト及びP A L S A Rプロジェクトの成果を、石油資源遠隔探知技術の研究開発プロジェクトで活用することで、人工衛星から取得される画像データを用いた石油・天然ガス資源の遠隔探知を行う技術を確立する。

〔関係機関との連携〕

産業化を促進するための環境整備（政府による国産ロケットの優先使用、衛星打上げ輸送サービスの整理、大型試験研究設備の利用等）に向けた関係府省及び機関との連携。

関係府省、機関及び企業をメンバーとする連絡会議を活用した産業化関連プロジェクトの推進。

〔導入普及促進〕

プロジェクトを通じて得られた基盤技術、データ（宇宙利用可能民生部品データベース、リモートセンシングデータ等）等について、成果報告会、データベースの一般公開、画像データの一般提供等により、可能な限り速やかに社会に普及し、民間主導による実用化、新技術への応用を促進する。

6．研究開発の実施に当たっての留意事項

事業の全部又は一部について独立行政法人の運営費交付金により実施されるもの（事業名に（運営費交付金）と記載したもの）は、中期目標、中期計画等に基づき、実施されるものである。

7．プログラムの期間

プログラムの期間は2003年度から2013年度まで。

8．改定履歴

- (1) 平成 1 5 年 3 月 1 0 日付け制定。
- (2) 平成 1 6 年 2 月 3 日付け制定。民間航空機基盤技術プログラム基本計画(平成 1 5 ・ 0 3 ・ 0 7 産局第 1 2 号)及び宇宙産業高度化基盤技術プログラム基本計画(平成 1 5 ・ 0 3 ・ 0 7 産局第 1 3 号)は、廃止。
- (3) 平成 1 7 年 3 月 3 1 日付け制定。民間航空機基盤技術プログラム基本計画(平成 1 6 ・ 0 2 ・ 0 3 産局第 8 号)及び宇宙産業高度化基盤技術プログラム基本計画(平成 1 6 ・ 0 2 ・ 0 3 産局第 9 号)は、廃止。
- (4) 平成 1 8 年 3 月 3 1 日付け制定。民間航空機基盤技術プログラム基本計画(平成 1 7 ・ 0 3 ・ 2 5 産局第 1 1 号)及び宇宙産業高度化基盤技術プログラム基本計画(平成 1 7 ・ 0 3 ・ 2 5 産局第 1 0 号)は、廃止。
- (5) 平成 1 9 年 4 月 2 日付け制定。民間航空機基盤技術プログラム基本計画(平成 1 8 ・ 0 3 ・ 3 1 産局第 1 2 号)及び宇宙産業高度化基盤技術プログラム基本計画(平成 1 8 ・ 0 3 ・ 3 1 産局第 8 号)は、廃止。
- (6) 平成 2 0 年 3 月 3 1 日付け制定。民間航空機基盤技術プログラム基本計画(平成 1 9 ・ 0 3 ・ 2 3 産局第 3 号)及び宇宙産業高度化基盤技術プログラム基本計画(平成 1 9 ・ 0 3 ・ 1 6 産局第 4 号)は、廃止。