

静止軌道衛星用 次世代リチウムイオンバッテリー

岡 寿久* 半田誠一*
大迫庸介* 清川 丈*
吉岡省二*

New Generation Lithium-Ion Battery for Geosynchronous Earth Orbit Satellite

Toshihisa Oka, Yosuke Osako, Shoji Yoshioka, Seiichi Handa, Takeshi Kiyokawa

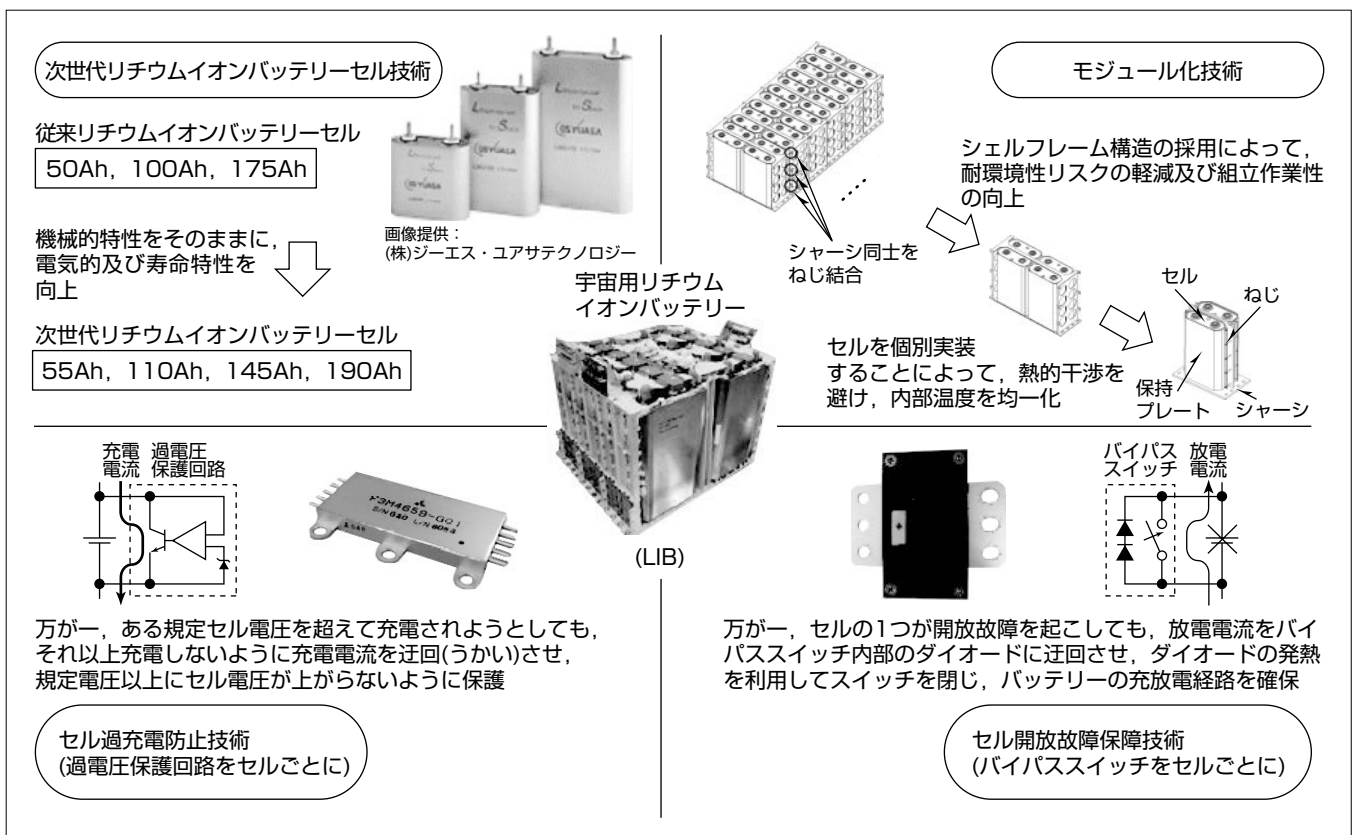
要 旨

衛星搭載用電源機器のキーデバイスであるバッテリーの小型・軽量化及び高機能化は衛星全体の小型・軽量化を可能とする。携帯電話／スマートフォンや車載用バッテリーとして広く普及しているリチウムイオンバッテリーは、エネルギー質量効率がが高く、放電電圧が高い充放電効率の良いバッテリーであり、人工衛星用バッテリーシステムにも多くのリチウムイオンバッテリーが使用されている。

三菱電機は継続的に衛星搭載用リチウムイオンバッテリーの開発／生産を行い、国内のみならず世界中の衛星システムメーカーにリチウムイオンバッテリーを供給し、既に

150台以上の軌道上運用実績がある。海外商用衛星市場で当社リチウムイオンバッテリーの世界シェアは約35%を得ており、新たに開発した次世代リチウムイオンバッテリーを中心に更なるシェア拡大に向けて拡販活動を行っている。

近年は、衛星電力要求が増加傾向にあり、バッテリー高効率化のニーズに対応するため、130Wh/kg以上の高いエネルギー質量効率を実現した次世代リチウムイオンバッテリーを開発し、静止衛星軌道の運用パターンで15年以上の寿命を満足し、充放電2,000サイクル以上でも容量保持率90%程度の寿命特性を実現した。



衛星搭載用リチウムイオンバッテリーの基本技術

衛星搭載用リチウムイオンバッテリーを構成する基本的な技術を示す。宇宙環境で使用される衛星搭載用リチウムイオンバッテリーは、大容量化のみならず、ロケット及び宇宙環境に適合する耐環境性及び万が一の搭載部品の故障にも対応するための保護／保障機能を持っている。

1. ま え が き

1990年代に市場に流通して以来リチウムイオンバッテリー(LIB)セルは、携帯電話／スマートフォンや車載用バッテリーとして急速に普及している。衛星搭載用バッテリーでも、従来のNi-H₂バッテリーセルから性能、信頼性、品質面で優位なりチウムイオンバッテリーセルに着々と切換えが進められており、今後事業の拡大が期待されている。

当社は、2001年以降継続的に米国のSPACE SYSTEMS/LORAL (SSL)社に納入し、2005年の同社向けiPStar衛星搭載用リチウムイオンバッテリーを機にフライト実績が認められ、SSL社のみならずフランスのTHALES ALENIA SPACE(TAS)社、インドのINDIAN SPACE RESEARCH ORGANISATION(ISRO)などの衛星システムメーカーに多くのリチウムイオンバッテリーを供給し、現在までに150台以上の軌道上運用実績がある。海外商用衛星市場で当社リチウムイオンバッテリーの世界シェアは約35%を得ており、新たに開発を実施した次世代リチウムイオンバッテリーを含め更なる拡販を行っている。

本稿では、これら製品で確立した技術と最近の開発成果について述べる。

2. 衛星搭載用リチウムイオンバッテリー

2.1 特 徴

衛星に必要な電力は、太陽光が衛星を照らす日照期間では搭載された太陽電池から供給しているが、衛星が地球や惑星等の陰に入った日陰期間では搭載されたバッテリーから供給している。衛星搭載用リチウムイオンバッテリーは、ロケットでの打上げ時に想定される過酷な振動及びロケットから衛星を切り離す際に起こる衝撃、真空／放射線環境、排熱等を十分考慮する必要がある。

リチウムイオンバッテリーは、2009年に電気自動車(EV)が発売されたことや、スマートグリッド向けなど、国策を背景とした市場を対象に急成長を見せているが、衛星搭載用の機能としては、

- (1) 充放電サイクルに強い(低軌道では数万サイクル)
 - (2) 長寿命(静止衛星：15年以上、低軌道衛星：5年以上)
 - (3) 軽量でエネルギー質量効率が高い
 - (4) 衛星搭載性(熱的・機械的な特性)に優れる
- 等が要求される。

当社の衛星搭載用リチウムイオンバッテリーは、1998年から(株)ジーエス・ユアサテクノロジー(旧日本電池と旧ユアサコーポレーションが経営統合)と共同開発を進め、海外衛星向けとして初めて2005年8月にSSL社向けiPStarに搭載され、現在も正常に運用されている。この実績を皮切りにリチウムイオンバッテリーの搭載が拡大してきた。これまで1つの故障もなく正常に作動を続けており、高い信頼

性を裏付けている。

リチウムイオンバッテリーセルには正極にコバルト酸リチウム(LiCoO₂)を用いて高い充放電電圧を得るとともに、負極にはカーボン材料を用いて容量の確保を図っている。バッテリーとしてはセルごとに、セル故障対策のための過電圧保護回路、直列に接続されたバッテリーセルの開放故障時でもバッテリー機能を維持できるバイパススイッチを独自に自社開発し、長寿命化を支える高信頼性技術を持っている。

衛星搭載用リチウムイオンバッテリーセルとしては、エネルギー密度が高い大容量セルを目標として開発した。エネルギー質量効率は代表値で140Wh/kgとなっており、従来の衛星搭載用セルであるNi-H₂に比べて2倍以上の高い値である。バッテリーレベルでも筐体(きょうたい)や保護回路などの軽量化を図り、100Wh/kg以上の高いエネルギー質量効率を実現し、競争力強化を図っている。セルの形状としては長楕円(だえん)円筒形という独自の形状を採用しており、容積効率が高い一方で、バッテリー筐体フレームとの接触面積を大きく取れるため、セル内部での温度均一性に優れている。

バッテリーはセルを直列に複数接続して構成し、充電はバッテリー一括で行う。このため、セル電圧がばらつくと各セルの電圧に差が生じ、この結果、特定のセルが過充電になる可能性がある。これを防ぐのが過電圧保護回路で、充電が持続し、一定電圧以上にセル電圧が上昇する場合には、その充電電圧を迂回させ、充電電圧を規定値以上にならないように制御する(特許2003-427961)。

バイパススイッチは直列に接続されたセルの1つが開放故障を起こした場合でも、充放電電流の経路を確保してバッテリーの機能を喪失しないようにするためのスイッチである。これによって、1セル故障に対し、バッテリー冗長を構成する必要がなく、エネルギー質量効率が損なわれない重要な技術の1つである。セルごと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自動で作動し、バッテリー機能を維持できるようにしている(特許2005-063869)。

図1に代表的なりチウムイオンバッテリーを示す。

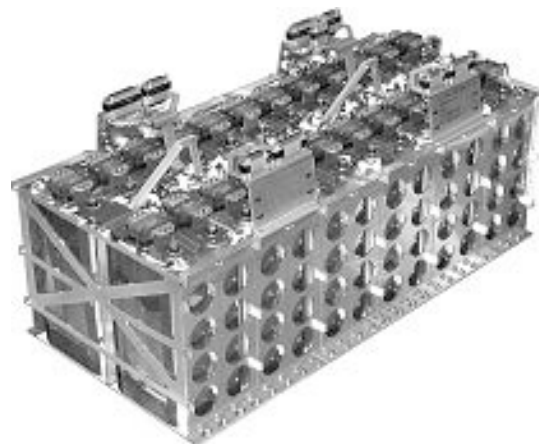


図1. 代表的なりチウムイオンバッテリー

2.2 構造

当社リチウムイオンバッテリーの実装方法は、振動及び衝撃環境に適した独自のシェルフレーム構造を採用している。図2に従来のNi-Cdバッテリー等で採用されていたスタック構造とシェルフレーム構造の概念図を示す。シェルフレーム構造を採用することによって、セル実装時にセル外形寸法公差の影響を受けにくくなり組立作業性の向上が図れ、さらに、セルを荷重パスから除外し、局所的な応力集中を緩和することによって耐環境性のリスクを軽減できる(特許2002-305758)。

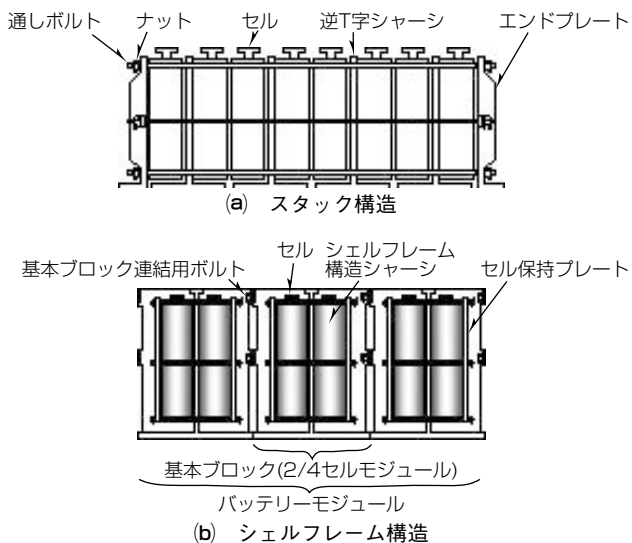


図2. バッテリーの構造比較概念図

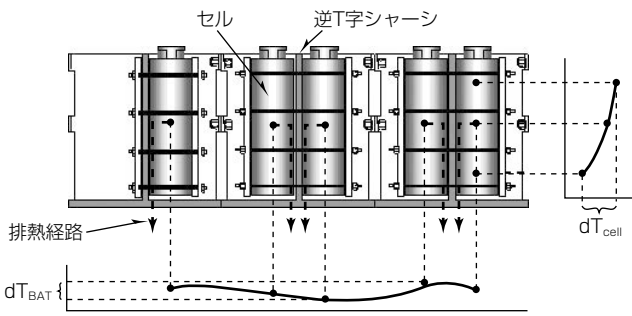


図3. バッテリーの熱設計概念図

バッテリーの熱設計概念図を図3に示す。セルを個別実装することによって別のシャーシに実装されているセルとの熱的干渉を避け、バッテリー内部の温度を均一化している。

3. 次世代リチウムイオンバッテリー

3.1 次世代リチウムイオンバッテリーセルの採用

当社で採用していたリチウムイオンバッテリーセルのラインアップは容量、寸法及び質量の異なる50Ah/100Ah/175Ahセルであり、それらを衛星搭載用バッテリーとして実装している。近年、衛星運用の長寿命化及び小型・軽量化が進んでおり、バッテリーに対する軽量化の要求も強いが、バッテリーの機構部材による大幅な軽量化は難しい状況である。

そこで、従来のセルの外形寸法及び質量はそのまま、近年の発展した市場のリチウムイオンバッテリーセル技術を採用し、リチウムイオンバッテリーセルのエネルギー質量効率を165Wh/kgに高めた次世代セルを用いてバッテリーを実装することによってバッテリー機械及び熱的機能はそのままに電気性能の向上を実現した。次世代リチウムイオンバッテリーセルは長寿命化も図られており、この採用によって、バッテリーの寿命性能が従来の約3倍向上した。これによって、バッテリーを構成するセル段数を削減することが可能となり、バッテリーの軽量化に寄与することができる。

3.2 次世代リチウムイオンバッテリーの検証試験

過酷な振動及び衝撃、真空環境等の一般のバッテリーにはない環境を試験評価するため、図4に示す衛星の環境条件下でのリチウムイオンバッテリーの電気特性、機械性能等を実機で試験(認定試験)・検証し、耐環境設計仕様を満足することを確認した。その後、軌道上での寿命特性を把握するため寿命試験を実施している。

次世代リチウムイオンバッテリーの認定試験による検証結果から、バッテリーの機械及び熱的機能が従来の衛星搭載用バッテリーと同等の衛星環境(ロケット打上げ、宇宙環境)に十分適合していることを確認した。また、電氣的

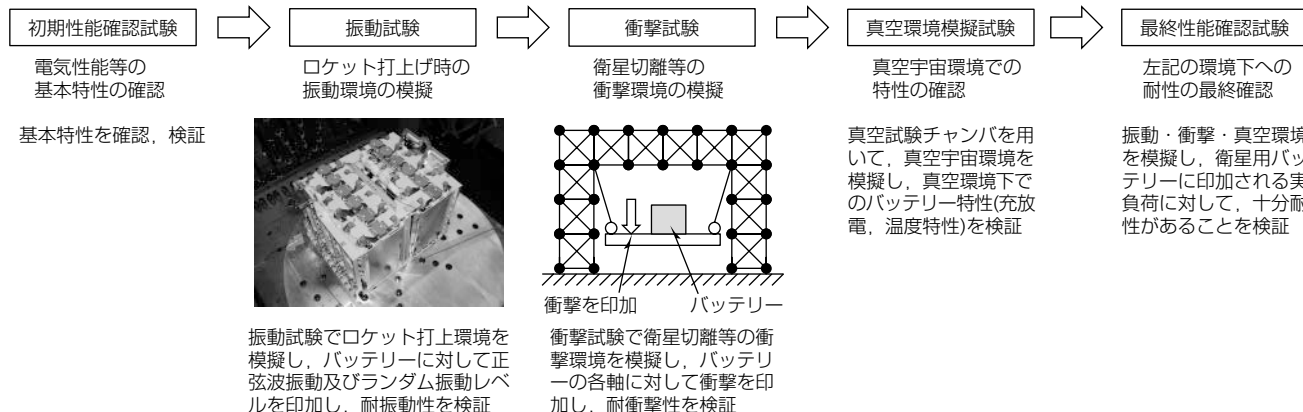


図4. 宇宙環境を模擬した検証試験



図 5. 次世代リチウムイオンバッテリーの検証モジュール

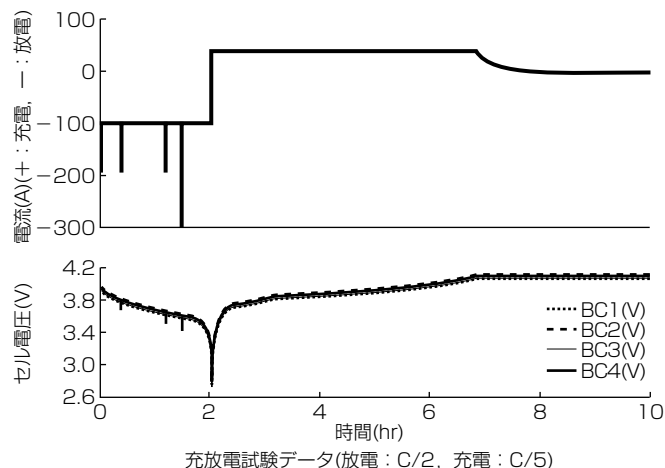


図 6. 次世代リチウムイオンバッテリーの充放電特性

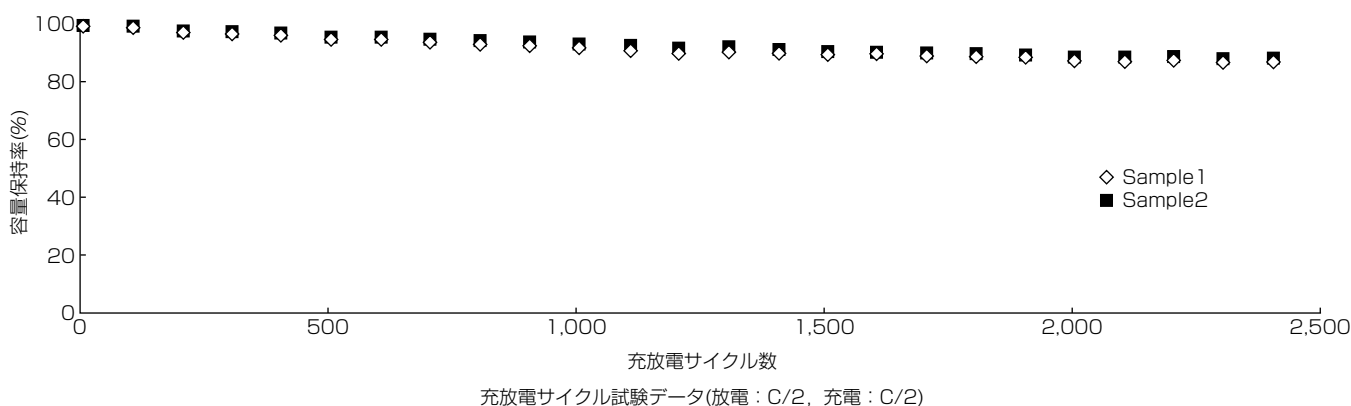


図 7. 次世代リチウムイオンバッテリーの充放電サイクル寿命特性

にはエネルギー質量効率の高い次世代セルを採用したことによってバッテリーとして130Wh/kg以上の高いエネルギー質量効率を実現し、現在実施している充放電サイクル寿命試験から静止衛星軌道の運用パターンで15年以上の寿命を満足できる特性である。次世代リチウムイオンバッテリーの検証モジュールを図5に示す。次世代リチウムイオンバッテリーの代表的な充放電特性を図6に示す。次世代リチウムイオンバッテリーを用いた充放電サイクル寿命特性(放電深度100%サイクル@25℃)を図7に示す。実衛星運用のバッテリー環境温度より温度を高く、さらに放電深度も深い加速寿命試験で、充放電2,000サイクル以上でも容

量保持率が90%程度と寿命特性が非常に良く、長寿命要求の衛星運用に適したバッテリーであることを検証した。

4. む す び

近年衛星搭載用バッテリーに要求されている大容量・高エネルギー質量効率化の需要に対応するための、当社衛星搭載用リチウムイオンバッテリーで確立した技術と最近の開発成果について述べた。

これらの成果を当社商用衛星DS2000及び海外衛星メーカーへ拡販していくことによって国内外シェアNo. 1を目指していく所存である。