

「船用環境対応のリチウムイオン組電池モジュールの 安全性試験に関する研究」 公表用報告書

2013年7月

渦潮電機株式会社

(独)海上技術安全研究所

(1) リチウムイオン電池セルの安全性

- ① リチウムイオン電池セルの構成を詳細に調査し、FMEA解析を行う。
- ② 充放電条件および周囲温度条件等による発熱(熱暴走)・容器破損に至る基礎実験を行い排出ガス等についても解析し、安全利用・選定のための知見を得る。

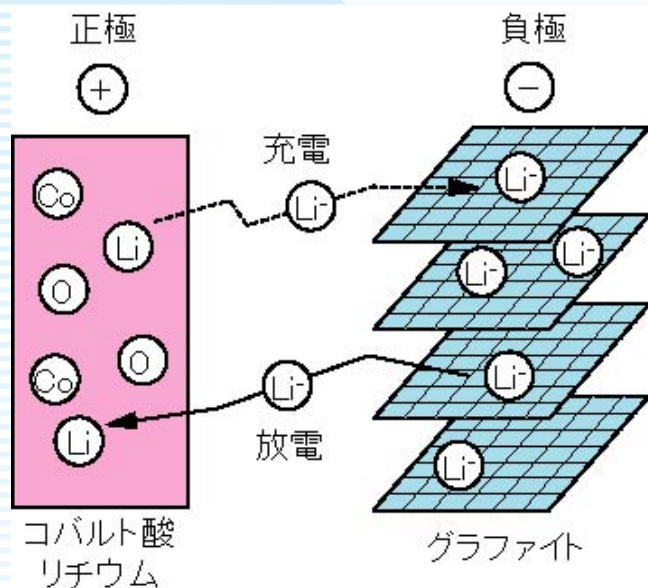
(2) リチウムイオン電池モジュールの安全性

- ① 既存のバッテリーマネジメントユニット(BMU)の構成等を調査し、安全性を判断するための知見を得る。
- ② 電池モジュールまたはシステムの船舶仕様(防火、防爆、塩害等)について検討・検証する。

(3) リチウムイオン電池の安全利用技術

- ① リチウムイオン電池を船舶に適用する際の接続方法および安全性確保のための利用方法について技術資料を取りまとめる。
- ② 船舶で使用する際の充放電装置まで含めた全体システムのFMEA解析を行い、安全回路設計技術および安全対策についての知見を構築する。

リチウムイオン電池の安全性



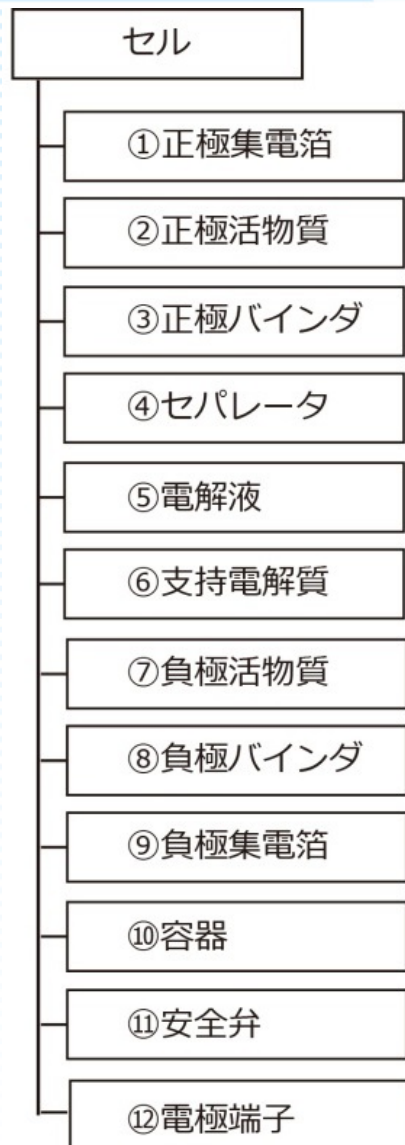
- リチウムイオン電池は、構成材料によって特性が大きく異なる。
- 正極材料によって、過熱時の発生ガス（酸素）が異なる。
- セル形状の違いや安全弁の有無によって安全性が異なる。
- ...



他種類のリチウムイオン電池の安全性評価試験や船舶搭載のための適切なセルの選定が必要

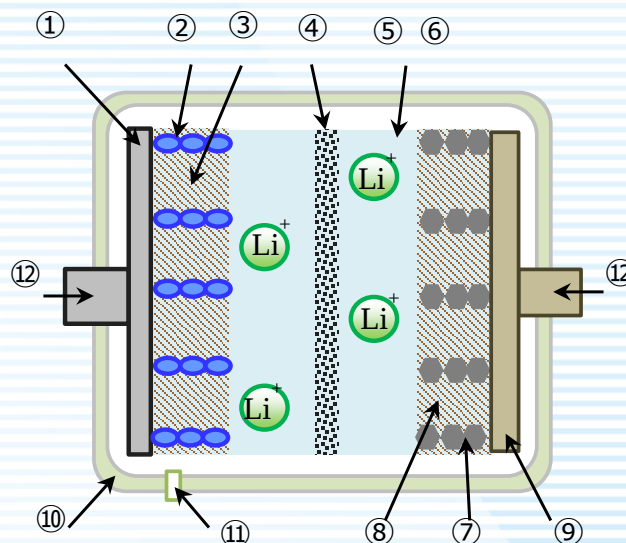
リチウムイオン電池の反応機構

正極材料	コバルト酸リチウム (LiCoO_2) ニッケル酸リチウム (LiNiO_2) マンガン酸リチウム (LiMn_2O_4) リン酸鉄リチウム (LiFePO_4) など
負極材料	グラファイト (LiC_6) チタン酸リチウム ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$) など



リチウムイオン電池セルの構成材料に着目したFMEA

- 過充電などによる酸素や可燃性ガスの発生が起きた際にセル発火の危険が高まる。
- 高温条件が重なると発火の危険性がさらに高まる。
- 正極活物質やセパレータの物性値によって発火の危険性が異なる。



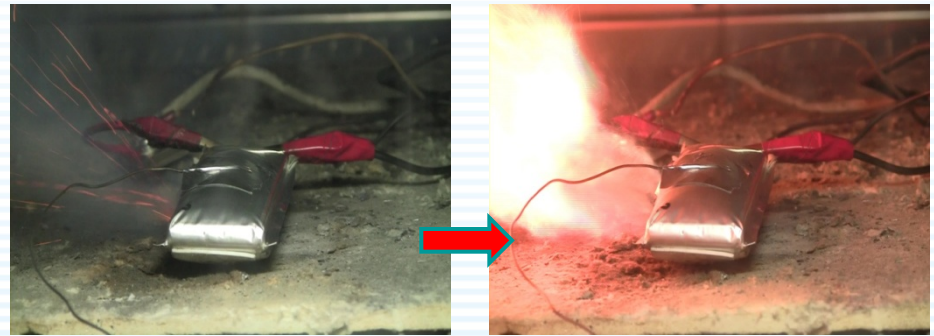
電池セルのモデル

- 複合的な故障(例えば過充電に伴う発熱)を扱うことが難しい。
- 各部の故障確率や周囲への影響を適切に設定することが難しい。

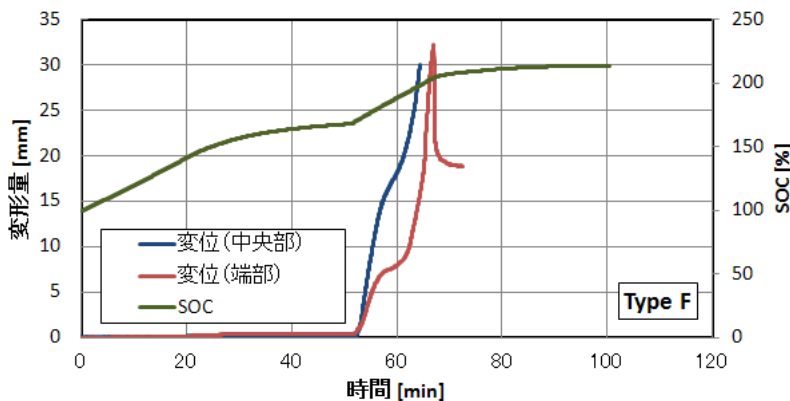
電池セルの安全性評価試験

18種類のリチウムイオン電池セルを用いて、現状規格(JIS C 8517-2)を上回る安全性評価試験を実施

- ほぼすべての電池セルは、JIS C 8715-2 の製品安全性試験を十分に満足する。
- 一連の試験において、発火に至った電池セルは5種類であり、いずれもリン酸鉄系リチウムイオン電池ではない。



現状の規格を上回る過充電試験で
発火した電池セル



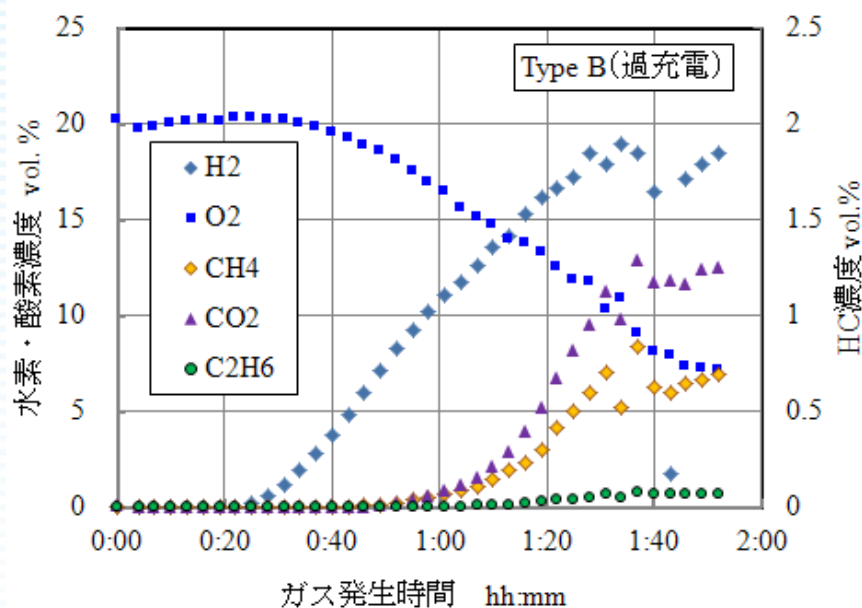
過充電試験の測定例



加熱試験中に破けた電池セル

数種類のリン酸鉄系リチウムイオン電池セルの発生ガスを分析

- いずれの電池セルも、加熱試験並びに過充電試験において発火が確認されていないリン酸鉄系であるが、発生ガスの中には水素やメタン等の可燃性ガスが高い濃度で含まれている。



発生ガスの分析例



発生ガスの分析

先行して製品化したメーカーのもので入手可能なものについて調査
どのような仕様が適切なのか？

試作目標

1年目 低電圧モジュール(24V蓄電池代替)

2年目 高電圧モジュール(双方向インバータを用いて系統連携をする場合に用いる)

モジュールの構成は

低電圧モジュールは1直列4並列 (26V,5kWh)

高電圧モジュールは5直列1並列 (192V,10kWh)

他社製品の調査結果から、
CMU (Cell Monitoring Unit) を各モジュールに装備し複数モジュールを直列に接続すること
によって必要電圧を得る。直列接続された1つの系統をBMU(Battery Management Unit)
によって監視制御する。

CMU (Cell Monitoring Unit)

各モジュールに設置

電圧・温度の計測

セルバランス放電機能

データの取得、セルバランス動作は行うがそれらの情報の統括判断はBMUが行い、
CMUは指示に従って動く

BMU (Battery Management Unit)

直列したモジュール毎に設置

電圧・温度はCMUから通信で取得

セルバランス放電指令

管理下にあるCMUの情報統括・判断を行い、実行指示を出す

(1直列システムではCMU機能も兼ねる)

システム構成

電池モジュールを複数直列に接続する事により必要な電圧を得て、BMUで統括
それらの系統を複数並列に接続することによって、必要な電流を得る
上位にBMS(Battery Management System)を設置して外部機器と連携

BMU/CMUの開発

BEMAC

BMU



BMU基板



BMU

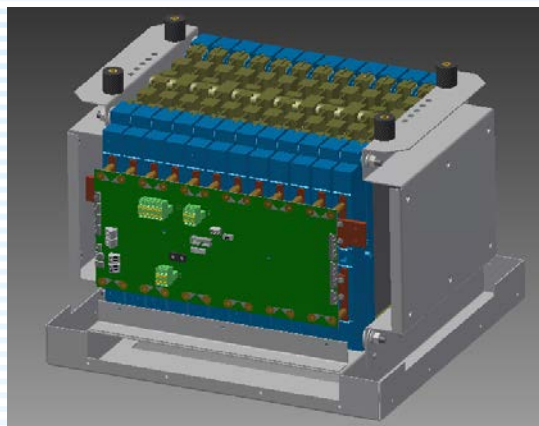
主要諸元

電圧計測	最大12点
温度計測	最大16点
電流計測	最大±300A
通信機能	CAN 二重化 RS-485 二重化
汎用DI	3点
汎用DO	3点
リレー制御	4点
制御電源	DC24V

CMU



CMU基板



モジュール内実装

主要諸元

電圧計測	最大12点
温度計測	最大15点
電流計測	最大±300A
通信機能	CAN 二重化 RS-485 二重化
汎用DI	1点
汎用DO	2点
制御電源	DC24V
自動ID割付機能	

安全性評価の基準

JIS C8715-2、SBA S 1101

規定値を印加して破裂・発火がないこと保護回路の作動を確認する試験

しかし、船舶での運用を考えると…

- ・大規模な事故の場合保護回路の損傷の可能性
- ・外洋航海中はすぐに交換できない

一部試験については規格値より厳しい条件で試験を実施した
(何らかのイベントが発生するまで異常を除去しない)

初年度過電圧の印加でマンガン系セルが発火

高電圧モジュールの開発に向けてセル選定を
見直すきっかけ

低電圧モジュールではマンガン系セル
高電圧モジュールではリン酸鉄系セルを使用

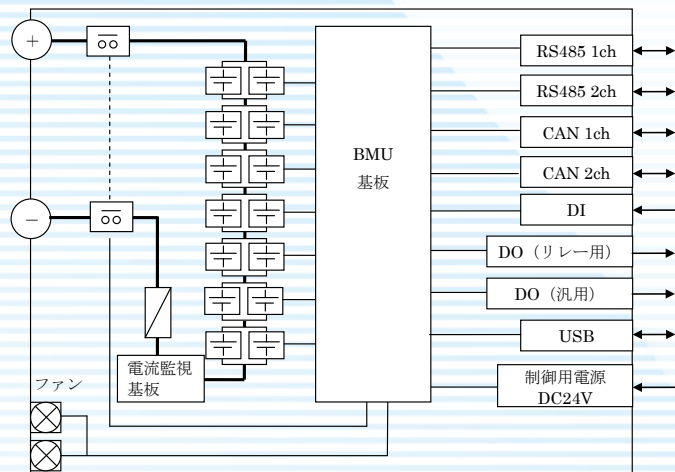


過電圧試験で焼損したセル

組電池モジュールの開発

BEMAC

低電圧モジュール



低電圧モジュールブロック図



低電圧モジュール外観写真

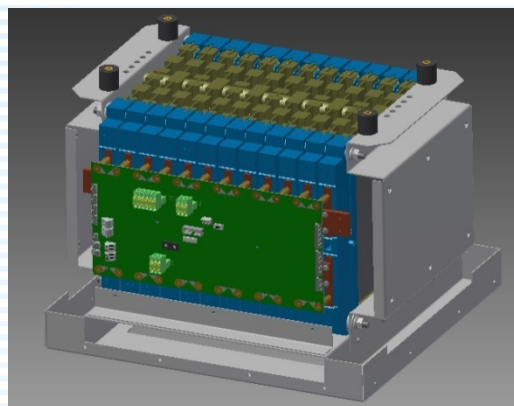
低電圧モジュール諸元

定格電圧	DC25.9V
(仕様範囲)	DC20.3~28V)
構成	7直列2並列
セル	マンガン系セル
容量	50Ah
充電電流	25A
放電電流	100A

高電圧モジュール



高電圧モジュール用
ラミネート固定用セルパック



高電圧モジュール
内部構造

高電圧モジュール諸元

定格電圧	DC38.4V
(仕様範囲)	DC24~43.8V)
構成	12直列2並列
セル	リン酸鉄系セル
容量	44Ah
充電電流	22A
放電電流	88A

セル安全性試験

BEMAC

SBA S 1101, JIS C8712等の試験方法を用いるが
一部試験条件を厳しく設定

外部短絡試験
高温外部短絡試験
低圧試験
衝撃試験
衝突試験
落下試験
過充電試験
強制放電試験
逆充電試験
加熱試験
高率充電試験
圧壊試験
釘刺試験

以上を実施全て合格



写真. 130℃保存試験のセルの状況

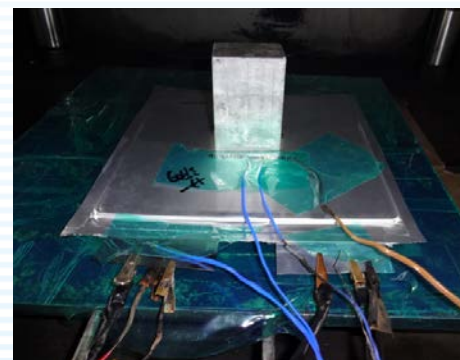


写真. 圧壊試験



写真. 釘刺し試験後のセル



写真. 外部短絡試験

安全性試験

SBA規格試験を行うとともに、保護回路異常時のふるまいを確認するため保護なしの試験も実施

落下試験

過充電電圧制御確認試験

課題充電電流制御確認試験

強制放電試験

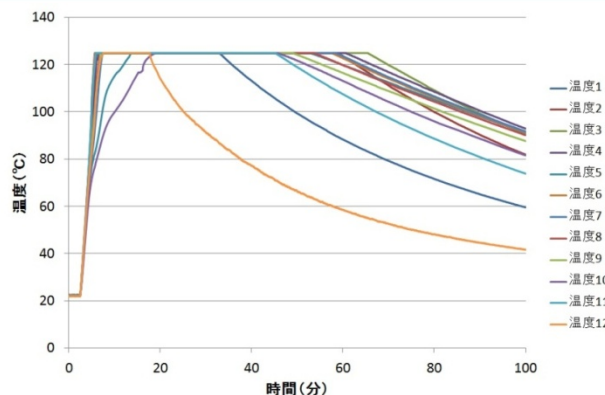
外部短絡試験

加熱制御確認試験

耐熱延焼試験

以上を7項目実施

保護なしの場合でも破裂発火なし



外部短絡試験（保護なし）の温度推移



外部短絡試験（保護なし）のセル

環境試験

船舶での運用に耐えるか確認するため、鋼船規則等を基準に試験を実施

環境試験

- ・高温試験
- ・低温試験
- ・振動試験
- ・傾斜試験

EMC試験

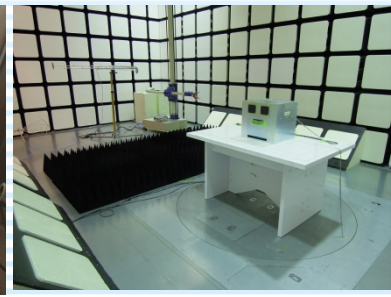
- ・バーストイミュニティ試験
- ・高周波伝導イミュニティ試験
- ・低周波伝導イミュニティ試験
- ・放射電磁界イミュニティ試験
- ・静電気試験
- ・雷サージ試験
- ・放射エミッション試験
- ・伝導エミッション試験



振動試験



温度試験

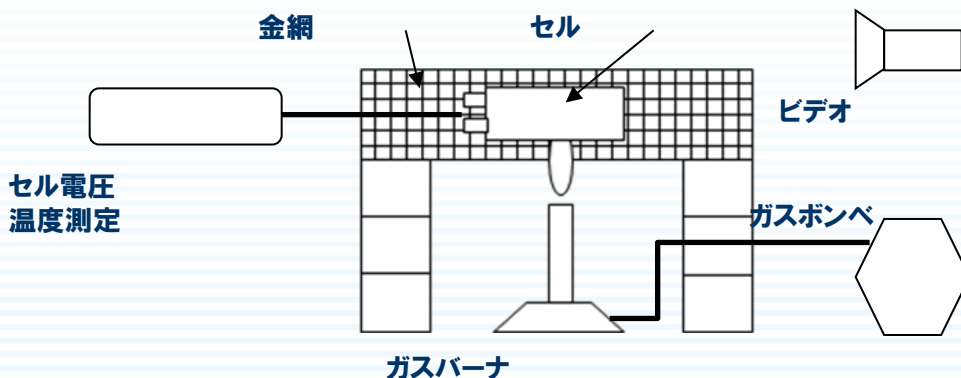


放射電磁界試験

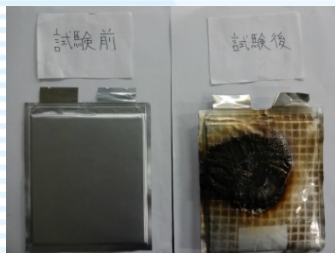
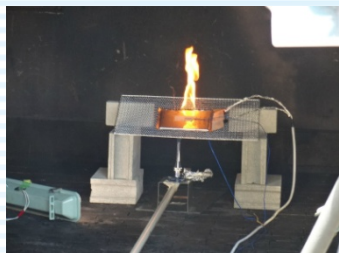
セル火災試験

BEMAC

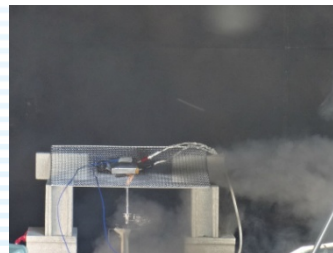
単セルに着火して燃焼時のふるまいを確認



セルA



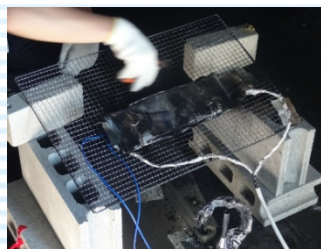
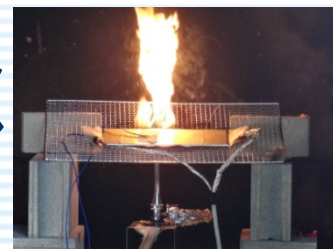
セルD



セルB



セルE



セルC



セルEに関しては損傷が激しいため比較写真なし

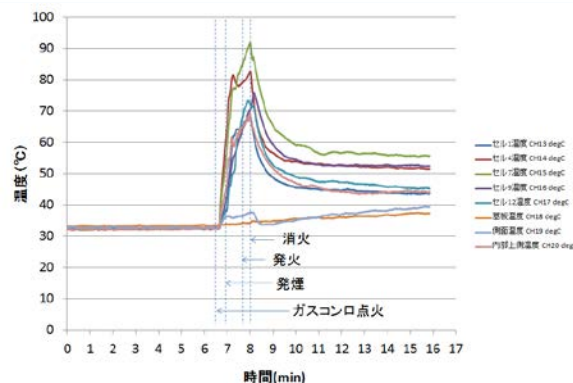
モジュール消火試験

BEMAC

CO2消火設備の有効性を検証



消火器メーカー初田製作所の
試験施設にて実施



試験時の温度推移

試験結果

- ・監視・制御に関して機能損失なし
- ・セルの損傷が小さいため試験前後において電圧の出力。事故後処理において感電に注意

CO2消火設備で対応可能



モジュール底面(通風のため開口)
セルパックが溶けている



溶けたセルパック
セル下部が開封している



CMU基板には異常なし

組電池モジュール開発

- ・ラミネートセルは放熱・大容量化の面で有利であるが実装面で工夫が必要(コスト増)
- ・リン酸鉄系セルは、安全性試験の規格値を上回る条件においても特に問題はない
- ・各部にコスト増要因はあるが、ほぼ半分をセル価格が締めておりセルのコストダウンが重要な課題

今後の課題 コスト・重量

組電池モジュール安全性試験

- ・安全性試験において、破裂・発火するような状況は発生せず何らかの不具合において火災につながるような事はおこらない
- ・直火で長時間燃焼しない限り着火せず、着火後は静かな燃焼であり大規模な火災にはいたらない
- ・CO2消火設備の有効性が確認できた



船舶運用において十分に安全といえる