

リチウムイオン蓄電池の船舶への利用について ～大容量蓄電池設備の基準と検査～

令和4年11月4日(令和5年1月1日改訂版)

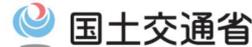
関東運輸局 海上安全環境部

首席船舶検査官 清水武史



Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

大容量蓄電池の基準と検査 ～蓄電池概論～



【機密性2】

1. 蓄電池とは
2. リチウムイオン蓄電池の問題点の整理
3. リチウムイオン蓄電池を取り巻く環境
4. 蓄電池の構造
5. リチウムイオン蓄電池の詳細
6. 蓄電池に関する基準・検査
7. 今後の展開

電池について

● 1.2.1 電池の種類

起電原理で「化学電池」「物理電池」「生物電池」に3分類

● 1.2.2 1次電池、2次電池

1次電池—直流電力の放電のみできる電池(化学電池)

2次電池—充電により電気を蓄え、繰返し使用できる電池(化学電池)
(蓄電池、充電式電池)

● 1.2.3 電極の各称

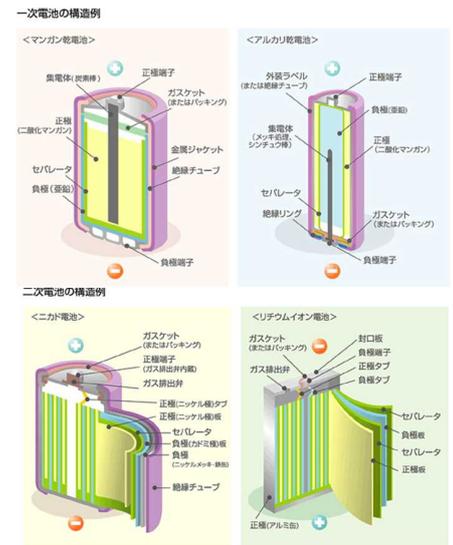
カソード: 電解液の正電荷(カチオン)が集まる極

アノード: 電解液の負電荷(アニオン)が集まる極

電位の高低(電流)	正極 (電位高)	負極 (電位低)
放電時	カソード(還元反応)	アノード(酸化反応)
充電時	アノード(酸化反応)	カソード(還元反応)
電流の方向	負極	陽極
電位の高低	陽極	負極

<https://ja.wikipedia.org/wiki/電極>

<https://www.tdk.co.jp/techmag/knowledge/200510/>



蓄電池について

エネルギー密度の比較

● 1.3.1 質量エネルギー密度

質量エネルギー密度[Wh/kg] = 容量[Ah] × 平均作動電圧[V] / 質量[kg]

● 1.3.2 体積エネルギー密度

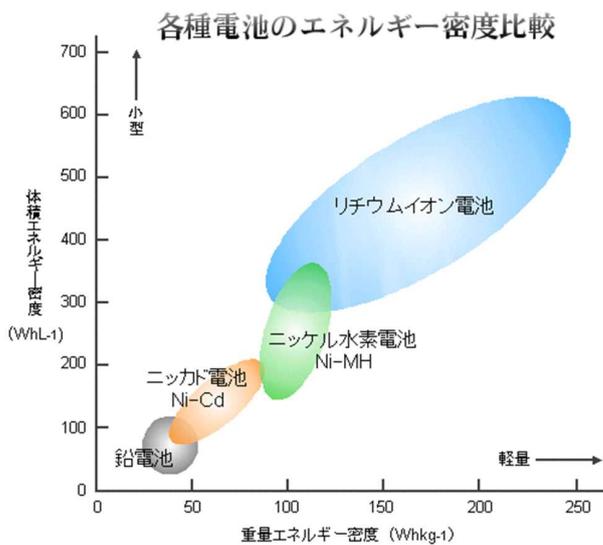
体積エネルギー密度[Wh/L] = 容量[Ah] × 平均作動電圧[V] / 体積[L]

※SOC、Cレート、時間率により作動電圧が変化するため、一般的に製品の放電条件(25°Cにおいて1C放電時等)における平均作動電圧を使用する。

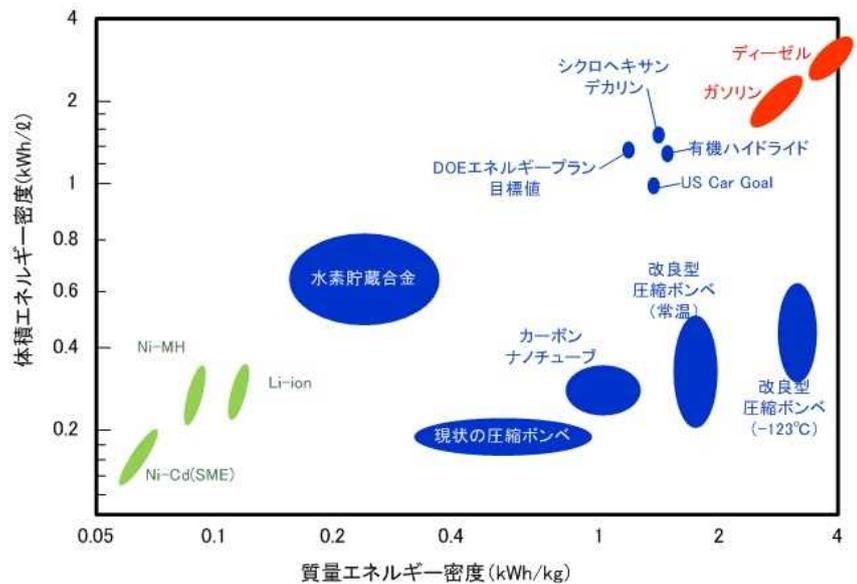
エネルギー密度の改良向上

- ①容量の改良 → 正極、負極活物質の高密化
- ②作動電圧の改良 → 内部抵抗の軽減化
- ③質量体積の改良 → 質量/体積の低減

エネルギー密度の比較



<http://kenkou888.com/category18/entry257.html>



https://staff.aist.go.jp/kayukawa-y/archives/02-01-2012_02-29-2012.html

蓄電池とは

鉛蓄電池

＜特徴＞

短時間大放電でも、長時間小放電でも安定した性能
メモリー効果は有さない

ニッケルカドミウム電池

＜特徴＞

高出力用途向け、長時間小放電には適さない
顕著なメモリー効果を有する

ニッケル水素蓄電池

＜特徴＞

高出力用途向け、ニッカド電池の2.5倍程度の容量
わずかだがメモリー効果を有する

リチウムイオン蓄電池

＜特徴＞

エネルギー密度が比較的高く、高電圧、高容量を得やすい。
メモリー効果がない。監視制御を要する。

リチウムイオン蓄電池の使用について

- 2.3.1 使用環境
 - 2.3.1.1 保管温度0~40°C(できれば10~30°C)
 - 2.3.1.2 使用温度10~30°C、容量80~20%、1C以上は避ける
- 2.3.2 **【運用のポイント】**
 - 2.3.2.1 容量20%以下で使用しない、急速充電しない、こまめに充電、たまに満充電、熱くなったら使用しない
- 2.3.3 問題点
 - 2.3.3.1 エネルギー密度の限界、大容量化
 - 2.3.3.2 作動温度範囲が狭い(-10~45°C程度)
 - 2.3.3.3 安全性確保、比較的高価
 - 2.3.3.4 レアメタル・リスク(Li、Co、Mn、Ni)

【ポイント】

Co(コバルト)は温度安定性を高めるために使用。
埋蔵生産はコンゴ共和国に集中し、コスト高。Niや銅の副生産物である。
この使用量削減が課題。

リチウムイオン蓄電池を取り巻く環境

地球温暖化対策計画(令和3年10月22日閣議決定)

- 3.1.1 2050年カーボンニュートラル実現に向けた中長期の戦略的取組み
- 3.1.2 省エネルギー性能の高い設備・機器の導入促進
- 3.1.3 徹底的なエネルギー管理(HEMS、BEMS、FEMS、CEMS)
Home, Building, Factory, Community, ZEH, ZEB
- 3.1.4 再生可能エネルギーの最大限の導入
太陽光、風量、波力、潮力、流水、地熱等(自然の力で定常的又は反復的に補充されるエネルギー資源)
バイオマス(生物由来の有機性資源で化石資源を除いたエネルギー資源)

国土強靱化計画(平成30年12月14日閣議決定)

「強くて、しなやかなニッポンへ」

- 3.2.1 自律分散型エネルギーの導入
(自然エネルギー+蓄電池)
- 3.2.2 災害に強いエネルギー供給体制
- 3.2.3 分散型電源、V2H(Vehicle to Home)

電池の反応、構成材料

リチウム：最もイオン化傾向が強い元素(単体で存在せず)

反応式：(酸化) $\text{Li}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Li}$ (還元)

元素周期表

正極	負極	電圧 (V)	エネルギー密度 (Wh/kg)	サイクル寿命 (回)
【コバルト系】 コバルト酸リチウム LiCoO_2	黒鉛	3.6 -3.7	150-240	500-1000
【マンガン系】(LMO系) マンガン酸リチウム(スピネル構造) LiMn_2O_4	黒鉛	3.7 -3.8	100-150	300-700
	(LTO系) チタン酸リチウム $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$	2.4	70-80	3000-7000
【三元系】(NMC系) コバルト酸リチウムの一部を ニッケルとマンガンで置換したもの (NMC622, NMC811) $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_z\text{O}_2$	黒鉛	3.6 -3.7	150-220	1000-2000
【ニッケル系】(NCA系) ニッケル酸リチウムの一部を コバルトとアルミニウムで置換したもの $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_z\text{O}_2$	黒鉛	3.6	200-260	500
【リン酸鉄系】(LFP系) リン酸鉄リチウム(オリビン構造) LiFePO_4	黒鉛	3.2 -3.3	90-120	1000-2000

【ポイント】
リチウムイオン蓄電池は、
正極、負極、電解質の材
料の組合せにより性能が
大きく異なる

リチウムイオン電池の材料



<https://michinokutrade.hateblo.jp/entry/2015/12/06/112614>

蓄電池の構造

セル、モジュール、電池パック(JIS C8715-2より)

●4.2.1 セル(単電池)

リチウムの酸化・還元で電気的エネルギーを供給する充電式の電池。
この電池は、電池容器、端子配置及び電子制御装置を備えていないため、すぐに使用できる状態にはない。

●4.2.2 モジュール

直列及び／又は並列接続した単電池群。
ヒューズ、PTC(positive temperature coefficient)素子などの保護装置、及び監視回路をもっている。



●4.2.3 電池パック

一つ以上の単電池又はモジュールを組み込んだユニット。
端子構造をもち、保護装置又は保護回路を含み、かつ、単電池の電圧を元に電池システムに制御情報(信号)の出力機能をもつ。⇒CMU



電池システム、BMU／BMS（JIS C8715-2より）

●4.3.1 電池システム（組電池）

一つ以上の単電池、モジュール又は電池パックを組み込んだシステム。
単電池が使用範囲内となるように監視し制御するバッテリーマネジメントユニット(BMU)をもつ。また、電池システムは、冷却装置及び／又は加温装置をもつ場合もある。

●4.3.2 BMU／BMS

単電池が使用範囲内となるように、単電池及び電池システムを監視し制御するもの。
BMUの機能は、電池システムを使用する機器・装置側に割り当てることができる。
その場合、電池システムは、機器・装置側にあるBMUの機能を含むものとする。
このBMUを、バッテリーマネジメントシステム(BMS)という場合もある。

セルを直列・並列接続して電圧・容量を持つ電池システムでは、各セルの充放電を制御する機能として、BMU/BMSが必要となる。

BMU/BMSは次のような機能をもつ。

- ① セル電圧、電流、温度等の測定機能
- ② セル測定データの表示機能
- ③ セル間電圧を一定に保つバランス機能
- ④ 設定値を超えた場合のエラー発信機能、機器停止機能

電池容量、時間率、Cレート、SOC

●4.4.1 電池容量（定格容量）

電池に蓄えることができる電力量(単位はAh又はWh)

定格容量は、メーカーが定める条件下での電池容量

$Ah = A(\text{電流}) \times h(\text{時間})$ 、 $Wh = A(\text{電流}) \times V(\text{電圧}) \times h(\text{時間})$

●4.4.2 時間率

電池容量を放電時間を基準として比較表示するもの

例) 定格容量40Ah(1時間率) $40A \times 1h < 20A \times 2h < 10A \times 4h$

●4.4.3 Cレート（Capacity Rate）

電池容量を一定電流値を基準として比較表示するもの

Cレート「1C」は、蓄電池が1時間放電で放電終止となる一定電流の値を指す

例) 定格容量40Ahでは、電流値 $40A = 1C$ 、 $20A = 0.5C$ 、 $80A = 2C$

●4.4.4 SOC(State Of Charge)

残容量のこと

残容量(Ah)／満充電容量(Ah) × 100の率で表す

JIS規格（JIS C 8xxx）

- 5.1.1 JIS C 8500系(一次電池)
- 5.1.2 JIS C 8700系(二次電池)
 - 5.1.2.1 8704 鉛蓄電池
 - 5.1.2.2 8708 ニッケル水素蓄電池
 - 5.1.2.3 8709 ニッケル・カドミウム蓄電池
 - 5.1.2.5 **8715 産業用リチウム二次電池**
- 5.1.3 JIS C 8800系(燃料電池)
- 5.1.4 JIS C 8900系(太陽電池)

【ポイント】蓄電池そのものの規格は、
＜産業用リチウム二次電池の単電池及び電池システム＞
JIS C8715 -1 :2018 第1部 性能要求事項
JIS C8715 -2 :2019 第2部 安全性要求事項

JIS規格（JIS F 8xxx）

- 5.1.5 JIS F 8000系(船用電気器具)
 - 5.1.5.1 8068 船用電気設備 第305部 機器-蓄電池
 - 5.1.5.2 8081 船用電気設備及び電子機器－電磁両立性
 - 5.1.5.3 8101 船用鉛蓄電池
 - 5.1.5.4 **8102 船用電気設備**
 - － リチウム二次電池を用いた蓄電池設備
 - 5.1.5.5 8103 舟艇－電気機器
 - － リチウム二次電池を用いた蓄電池設備

【ポイント】蓄電池の船舶への設置に関する規格は、
JIS F8102 :2015、 JIS F8103 :2017

【ポイント】 重要JISの規格内容

- 5.1.6 JIS規格の詳細
 - 5.1.6.1 JIS C 8715-1 性能要求事項
用語・定義、放電性能(通常・低温・高率)、容量保持率、内部抵抗、耐久性
 - 5.1.6.2 JIS C 8715-2 安全性要求事項
用語・定義
製品安全性(短絡・衝突・落下・加熱・過充電・強制放電・熱暴走)
機能安全性(過充電電圧制御・過大充電電流制御・過熱制御)
 - 5.1.6.3 JIS F 8102 船用電気設備
用語・定義
単電池及び電池システム(JISC8715-2適合、材料、据付、傾斜振動等)
蓄電池設備(充電器、保護装置、電力変換装置、警報及び安全装置)
設置場所(周囲条件、設置区画、居住区域禁止、通風装置)
火災探知器及び消火設備(100kWh超に適用)
対象船舶:総トン数20トン以上(24m未満プレジャー除く) ⇒ JIS F 8103

蓄電池に関する基準・検査 《追加改訂》

【ポイント】 NK鋼船規則H編(2023年1月施行)

- 5.2.1 リチウムイオン蓄電池により構成される蓄電池システム及び関連機器に適用
 - 総容量20kWh以上のものを対象
 - IEC規格及びJIS C規格に基づくこと
- 5.2.2 安全要件
 - 設置区画(専用区画、環境条件)、換気(通風装置、危険場所、ガス検知器)、火災考慮(防熱、火災探知、消火設備)
 - リスク評価(人員及び船舶の安全性に対するリスク検証とその対策)
 - システム設計、電力変換器、船内試験、保守管理
- 5.2.3 推進用電源・主電源・非常電源とする場合の追加要件
 - 一般(冗長性)、十分な容量、監視、電力変換器、並列運転での負荷分担
 - 工場試験、船内試験
- 5.2.4 蓄電池システム
 - 一般(遮断・保護、塩害・結露防止)、BMS(計測・機能、セルバランス、情報、警報)、工場試験

【参考】大容量蓄電池ガイドライン(NK)

- 5.2.1 蓄電池の構造、配置について規定
鉛、リチウムイオン、ニッケル水素、ニッカドの各蓄電池を対象
- 5.2.2 同等の安全性、冗長性等がある場合は柔軟な運用可能
- 5.2.3 大容量蓄電池設備に対する要件
 1. 用語・定義
 2. 蓄電池設備を発電機とみなし、鋼船規則H編適用
 3. JIS C規格に適合する蓄電池
 4. 装置類（充電器、BMU、電力変換装置）
 5. 警報及び安全装置
 6. リスク評価（LiB対象）（発火要因、リスク軽減措置、検証、消火設備）
 7. 工場試験（蓄電池はJISC8715-2試験、充電器、電力変換装置）
 8. 設置区画（居住区画不可、専用区画（100kW以上）、防火構造）
 9. 蓄電池の固定
 10. 接地区画の換気
 11. 火災探知器及び消火設備（100kW以上は固定式消火装置）
 12. 船内試験（100kW以上対象）（電圧変動、周波数変動、警報及び安全装置）

国連危険物輸送勧告 UN38.3

- 5.3.1 危険物の輸送に関する勧告、試験方法及び判定基準
- 5.3.2 第38節第3項「リチウム金属及びリチウムイオン蓄電池」

用語・定義

- T1. 高度（低圧条件下の航空機輸送を模擬）
- T2. 熱（密封完全度及び内部電気接続の評価）
- T3. 振動（輸送中の振動を模擬）
- T4. 衝突（輸送中に予想される衝突を模擬）
- T5. 外部短絡
- T6. 衝撃
- T7. 過充電
- T8. 強制放電

品質管理体制の構築 ISO9001

- 5.4.1 適切な設備、適切な品質管理体制による製造
- 5.4.2 セル／モジュール／電池パック
- 5.4.3 BMU／BMS
- 5.4.4 電池システム

【ポイント】 メーカーは、自動車・産業向け蓄電池（セル／モジュール／電池パック／BMU）の生産について、多くの実績があると想定される。

【ポイント】 電池システムより上位の監視・制御機能は、外部機器・装置との連携が考えられる。

船舶検査の方法

- 5.5.1 製品試験（JIS C8715-1,-2参照、監視・制御装置）
- 5.5.2 品質管理体制の調査（ISO9001参照）
- 5.5.3 船内試験（JIS F8102、NK規則H編・ガイドライン参照）
- 5.5.4 定期的検査（劣化の判定基準）
- 5.5.5 試験機関データの活用
- 5.5.6 常用危険物としての取扱い

【ポイント】

- ・セルは大量生産品であり、一品ごとの検査は実施困難
- ・監視・制御装置は、個別検査が可能
- ・蓄電池の劣化程度を詳細に把握するための技術が未定
- ・JISC規格適合性は、認証試験機関にて取得が一般的
- ・危険物告示別表17「常用危険物」

技術面から

- 6.1.1 次世代蓄電池
全固体リチウムイオン蓄電池、リチウムイオン空気蓄電池
- 6.1.2 燃料電池
水素社会・水素エネルギーの利活用

IMOにおける検討状況

- 6.2.1 陸電装置に関する要件
EUは、2025年までに陸上電力給電設備を義務化
陸上側の電力ネットワークに重大損傷を与えた事例あり

近未来の船舶利用の方向性

- 6.3.1 小型、近距離、反復に限定された船舶の航行
- 6.3.2 分散型エネルギーとしての関与