

中国メーカー LFP セル全貌と未来動向

～拡大する EV 市場でシェアを伸ばす LFP バッテリーの特徴、
及び中国メーカーセルの設計仕様や性能を完全公開～



ブルースカイテクノロジー株式会社

2024 年

目次

第1章 高まる BEV 市場と中国メーカーによる LFP バッテリー市場の拡大	P. 1
第2章 LFP 系バッテリー拡大の理由及び性能・コストの特徴	P. 11
2-1. 中国にて LFP バッテリー搭載 EV が拡大した理由	
2-2. LFP 系バッテリーと三元系バッテリー 各々の特徴と違い	
- 5 大性能比較	
- LFP 系のサイクル寿命と安全性が優れる理由	
- LFP 系は資源が豊富であり安い	
2-3. バッテリーパックの革新でエネルギーに劣る課題を克服	
- LFP 系最大の欠点を解消	
- モジュールレス方式にて三元系に匹敵するパックエネルギー密度に	
第3章 中国 LFP セルの性能・設計内容全貌	P. 31
3-1. 今回測定セルの概要	
3-2. 性能測定結果	
-容量測定結果	
-DCR 測定結果	
-各社 LFP セルの性能まとめ	
3-3. 解体調査結果	
-FDB(BYD)製 BYD Han/Seal 搭載ブレードセル 解体写真及び寸法	
-CATL 製 Tesla Model 3 搭載 角型セル 解体写真及び寸法	
-CATL 製 ESS (定置用) 搭載角型セル 解体写真及び寸法	

-Gotion 製 電動三輪車搭載角型セル 解体写真及び寸法

3-4. 化学分析結果

- 正極断面 SEM 比較
- 正極仕様まとめと考察
- 負極断面 SEM 比較
- 負極仕様まとめと考察
- セパレータ表面・断面 SEM 及び FT-IR 比較
- セパレータ仕様まとめと考察
- 電解液・その他仕様まとめと考察

3-5. FDB 製 BYD Han 搭載セルと Seal 搭載セルの容量・抵抗変化要因考察

第 4 章 LFP 系バッテリーに対する各国動向と新技術開発の動き

P. 104

- 4-1. 各国メーカーの動き
- 4-2. 中国 LFP 系バッテリーの進化動向
 - LMFP に対する見解
 - 急速充電性能に対する見解
- 4-3. さいごに～今後の展望予測～

第1章 高まる BEV 市場と中国メーカーによる LFP バッテリー市場の拡大

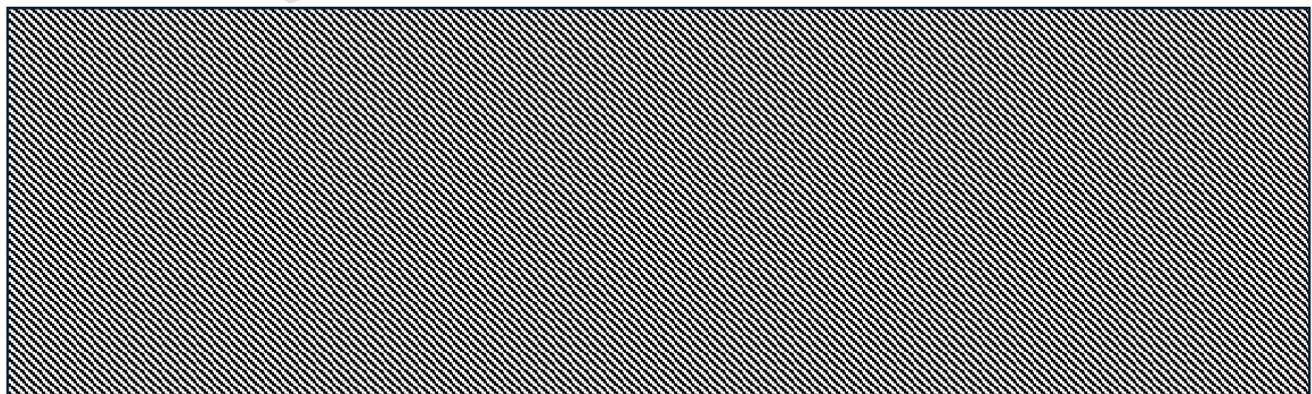
近年、各国の車両電動化政策から電気自動車の販売が着実に増えてきた。

(その目的は表立っては環境対策だが、欧州・中国自動車メーカーによる日本メーカーへの対抗措置という見方もある)

下記 図 1-1 は、BEV (純電気自動車) の 2018~23 年における販売台数と全車台数における比率の推移だ。

図 1-1 2018~2023 年における各地域での BEV 販売台数推移
及び全車台数に対する BEV 比率推移
(MarkLines データを元に BST にて作成)

年		2018	2019	2020	2021	2022	2023
BEV販売台数 / 台	中国						
	米国						
	EU+UK						
	日本						
	他OECD						
	南・東南アジア						
	他非OECD						
全車販売台数におけるBEV比率	中国						
	米国						
	EU+UK						
	日本						
	他OECD						
	南・東南アジア						
	他非OECD						



その BEV の心臓部であるのがバッテリー。

このバッテリーの開発及び市場シェアの獲得においても、中国は目覚ましい。

下記図 1-2 は、ここ数年に渡る世界主要バッテリーメーカーの車両へのバッテリー搭載量



図 1-2 2019~2023 年における世界主要バッテリーメーカーの
車両へのバッテリー搭載量
(MarkLines データより BST にて作成)

搭載量 / GWh		2019	2020	2021	2022	2023
CATL						
FDB(BYD)						
LGES						
Panasonic						
SK On						
CALB						
Samsung SDI						
Gotion						
EVE						
Sunwoda						
Farasis						
SVOLT						

さらに特徴的なのが、バッテリーセル重要材料の一つである「正極材料」の種類である。

この正極材料の詳しい話に入る前に、前提となるリチウムイオン電池の分類について少し説明しておく。

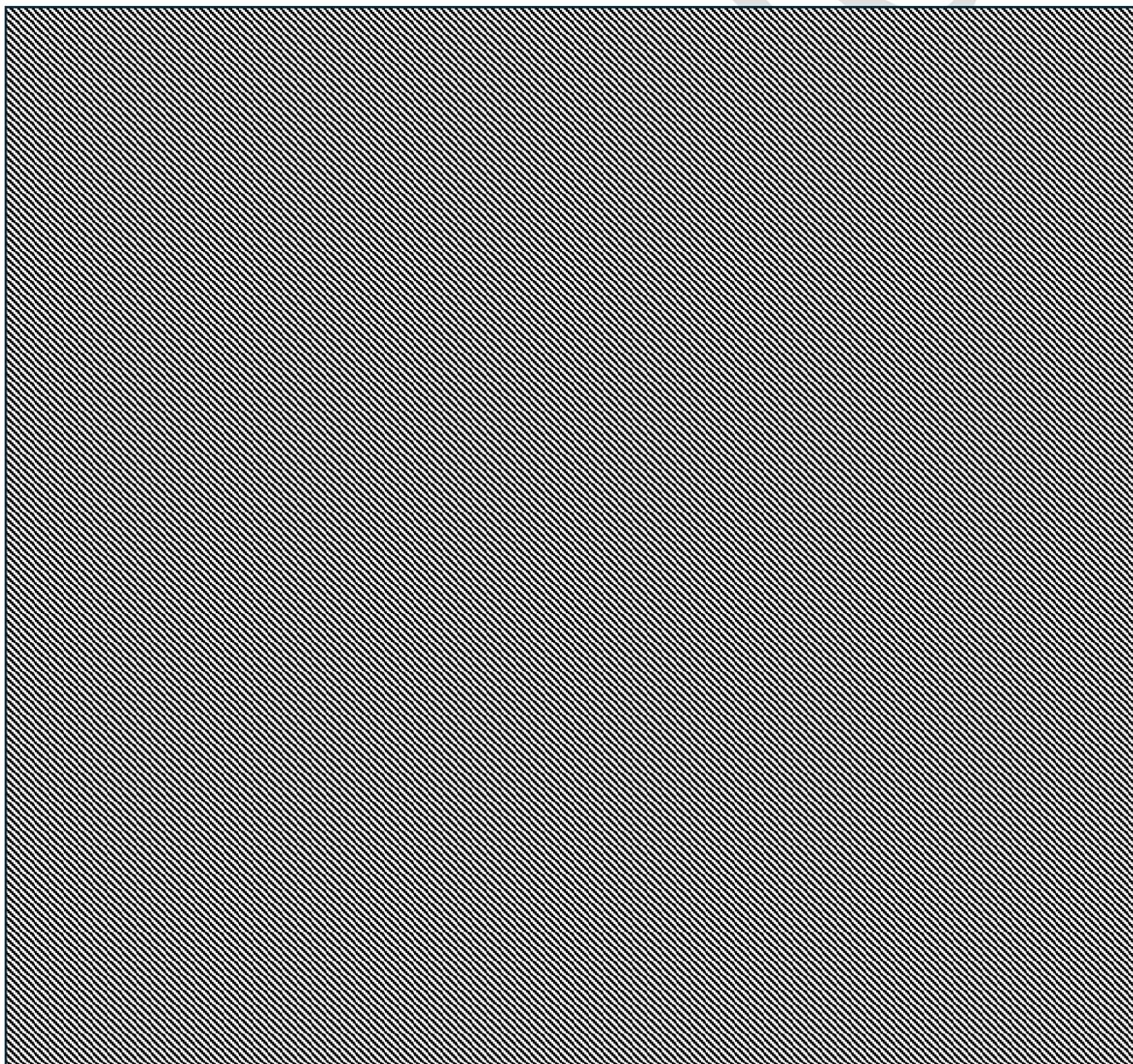
まず、図 1-3 は一般的なりチウムイオン電池の分類をまとめたものだ。

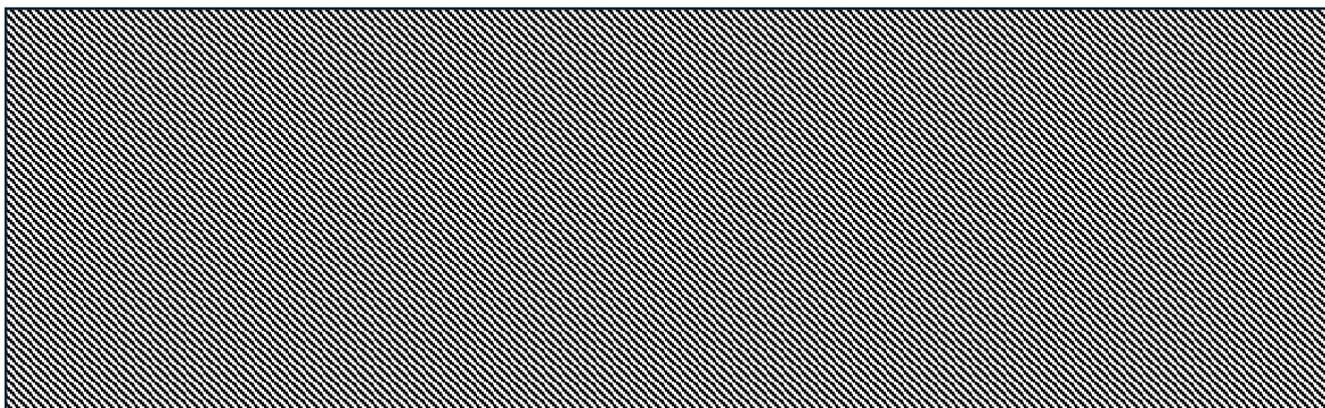
図 1-3 一般的なりチウムイオン電池の分類

第2章 LFP 系バッテリー拡大の理由及び性能・コストの特徴

2-1. 中国にて LFP バッテリー搭載 EV が拡大した理由

現在中国メーカーが中心となって生産している LFP バッテリーであるが、元々は 1997 年にインドの Akshaya K. Padhi 氏とアメリカの John B. Goodenough 氏によってリチウムイオン電池への適用が提案されたものである。



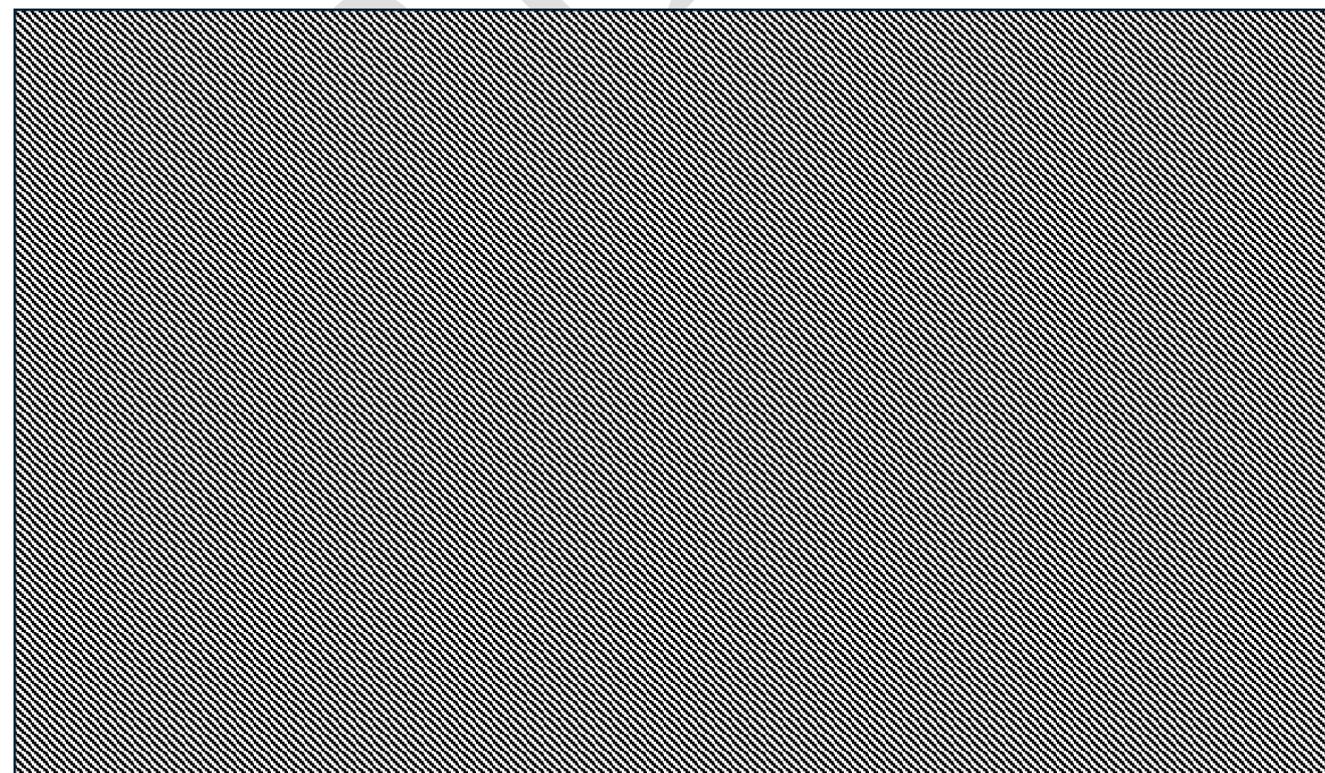


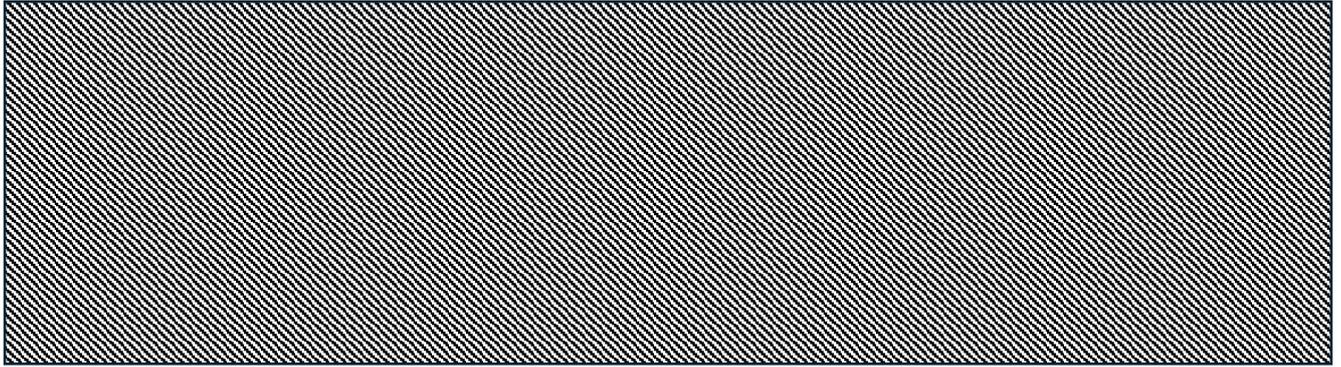
ゆえに昨今は、各国の自動車メーカー及び電池メーカーで LFP 系の採用や開発を進めてきている。

この動向については第 4 章で詳しく紹介していく。

もう一つは、EV 創生期から「航続距離が追い求められてきた」ということもあろう。

筆者は日産 LEAF のバッテリー開発に携わっていたが、例えば初期型 24kWh LEAF の航続距離は JC08 モードで 200km、その後マイナーチェンジで 228km、フルモデルチェンジした 30kWh で 280km となった。

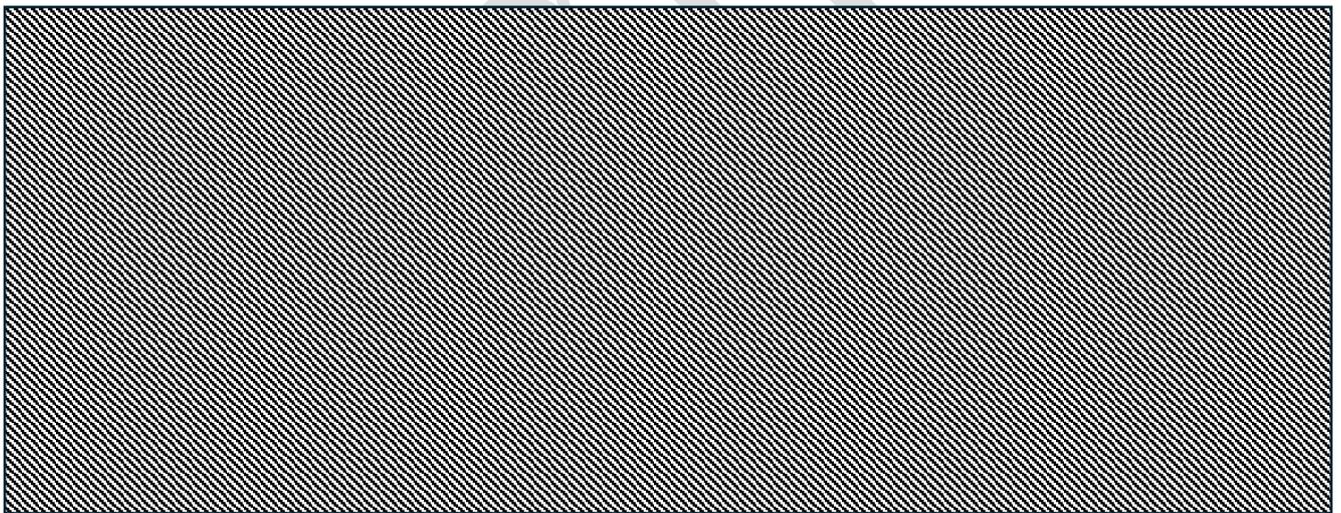




そんなこんなで、日本メーカーにて電気自動車用 LFP 系バッテリーの開発や搭載は進んでこなかった。

これは日本だけでなく、LGES や Samsung SDI（以下、SDI）といった韓国メーカーも同様であろう。

この間に、中国は政府の支援も受けつつ LFP 系バッテリー技術の開発を進めてきた。



結果として市場にマッチし、中国内でシェアを伸ばし、さらにはあの Tesla も Model 3 の LFP 仕様をラインナップに組み入れてきた。

このように LFP バッテリーは中国内だけでなく、グローバル市場で大きくシェアを伸ばすことになった。

(Model 3 搭載の CATL 製 LFP セルの全貌については第 3 章で示していく)

それでは、その LFP 系バッテリーと日韓がこれまで注力してきた三元系バッテリーとの差はどんなものか、次から性能やコストに着目して記していく。

2-2. LFP 系バッテリーと三元系バッテリー 各々の特徴と違い

- 5 大性能比較

図 2-1 は三元系の代表として NCM811 と及び LFP 電池のエネルギー・出力・サイクル寿命・安全性・コストといった、いわゆる 5 大性能を比較したレーダーチャートである。

(もちろん、各社の開発材料によって多少違いは出る)

図 2-1 NCM811 と LFP のバッテリー 5 大性能比較

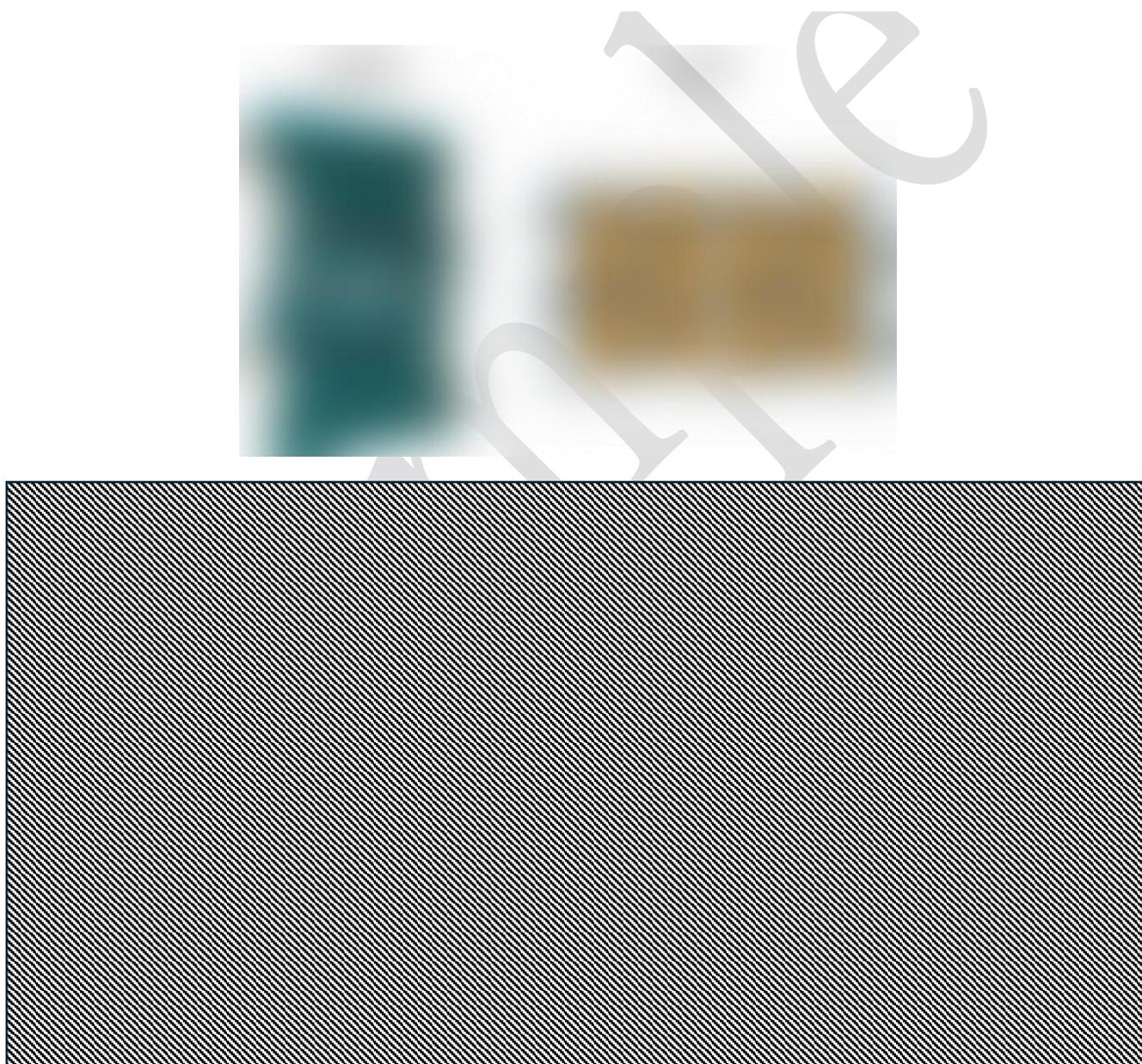


詳細を以下から記していく。

- LFP 系のサイクル寿命と安全性が優れる理由

図 2-2 は三元系(NCM 系)と LFP 系の結晶構造を示したものだ。

図 2-2 NCM 系と LFP 系の結晶構造



これがどう影響するかというと、例えば電池の充放電を何百回、何千回と繰り返すと、内部 Li イオンの脱挿入がその回数分繰り返される。結果、結晶構造が微妙に歪んでくる。



続いて、コストに関する話をしていく。

- LFP 系は資源が豊富であり安い

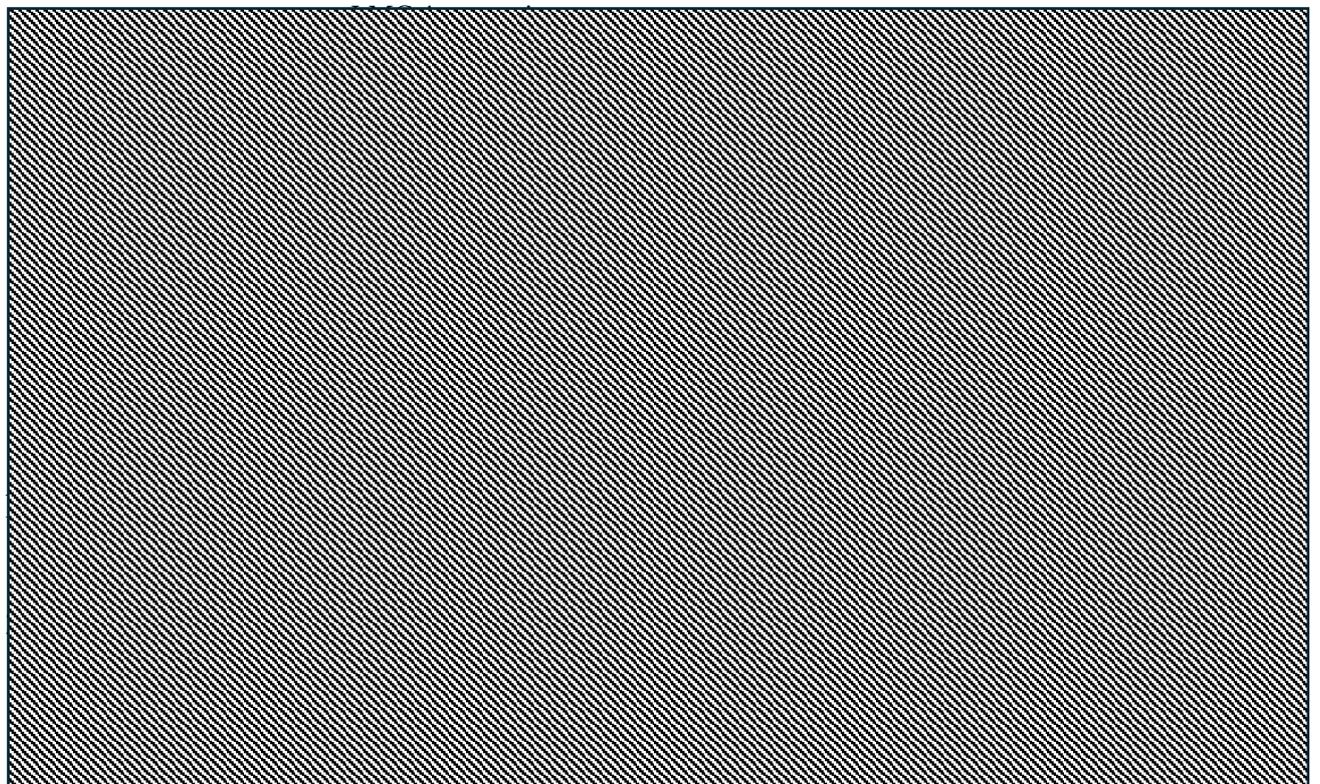
LFP 正極材は、何よりコストが安い。

これはニッケル、コバルトといった希少金属を用いる NCM 及び NCA 正極材と異なり、LFP 正極材は豊富な資源である“鉄”が主成分であるためだ。

例えば、図 2-3 はリチウムイオン電池に使用される金属材料のトン当たりドル推移である。



図 2-3 リチウムイオン電池使用金属材料の米ドル/ton 推移



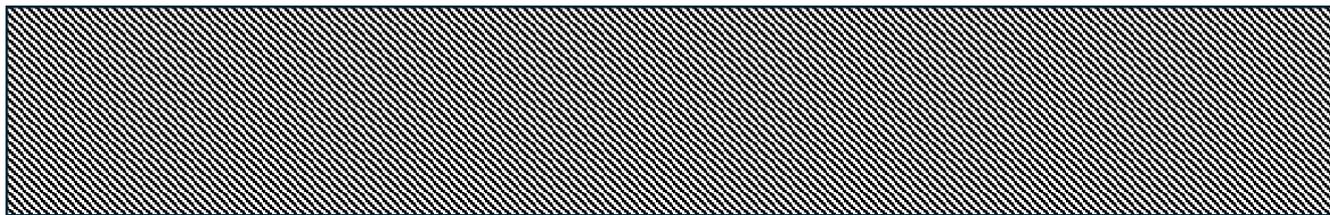
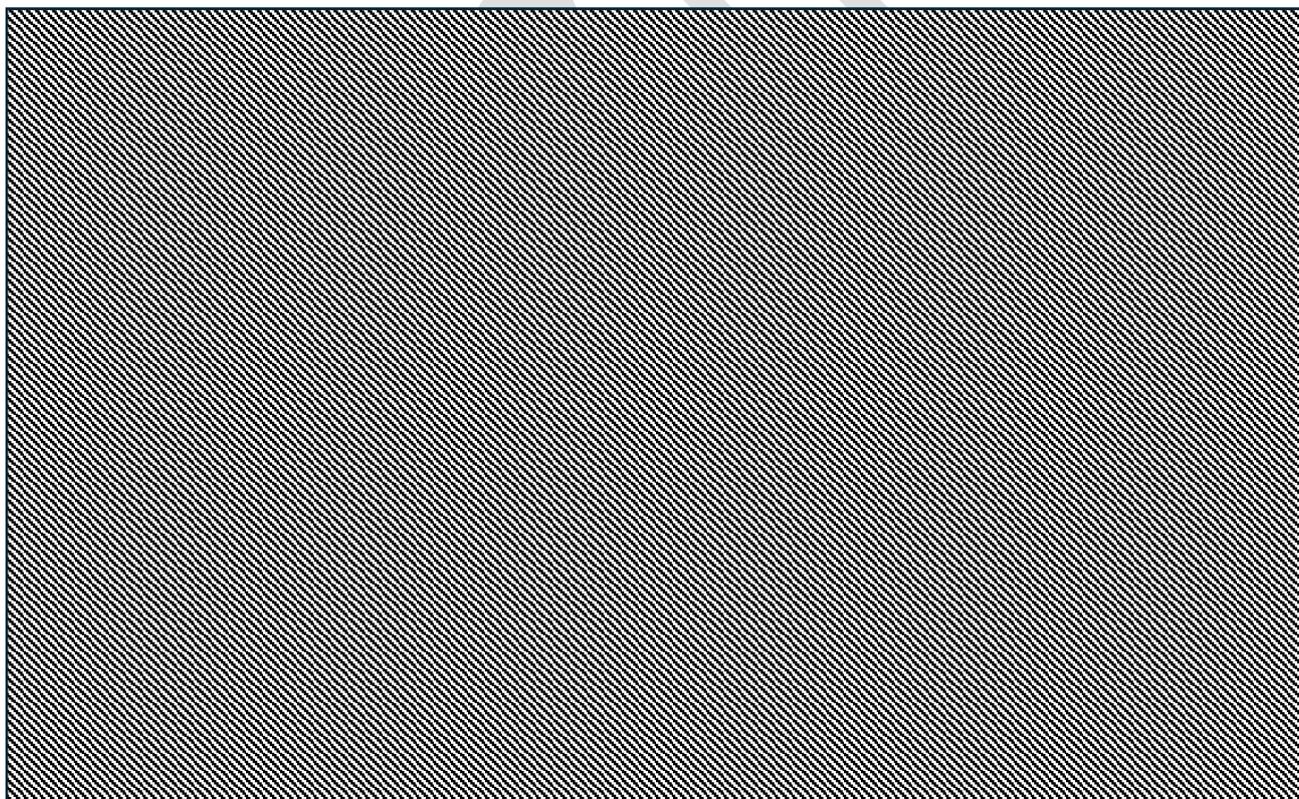


図 2-4 リチウムイオン電池の種類別コスト比較



また、価格にもつながるように資源量のこともある。

資源豊富な鉄は現在のペースでいけば 70,000 年以上持つが、ニッケルやコバルトはあと 40 年ほどで枯渇する、という概算もある。

ゆえに、各メーカーにてニッケル・コバルトフリーに向けた電池の開発は進んでいる。

このように当面資源枯渇の心配がなく、且つ安く手に入る資源を用いることができるのは、LFP 系バッテリーの大きな強みである。

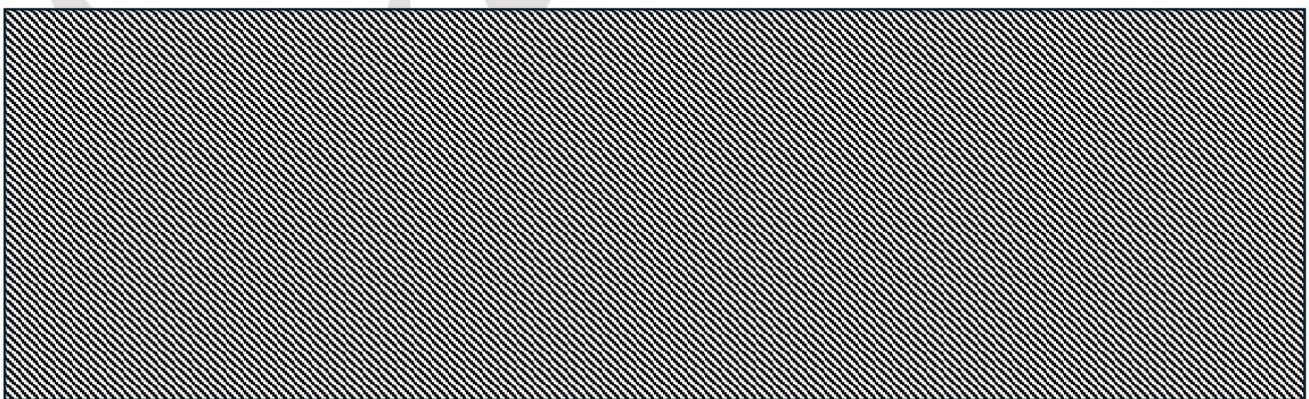
2-3. バッテリーパックの革新でエネルギーに劣る課題を克服

- LFP 系最大の欠点を解消

前述したように、LFP 系電池は三元系と比べてコスト、安全性、耐久性には優れるが、エネルギー面では劣る。

つまり EV で言えば、「航続距離が少ない」ということになるのが最大のネックだ。

図 2-5 は BST 調査による、主な BEV 搭載の三元系（NCM 系/NCA 系）セルと LFP セルのエネルギー密度を比較したグラフである。



この問題を解消するため、中国メーカーは

「バッテリートータルで考えていかにエネルギーを担保するか？」

というところで、

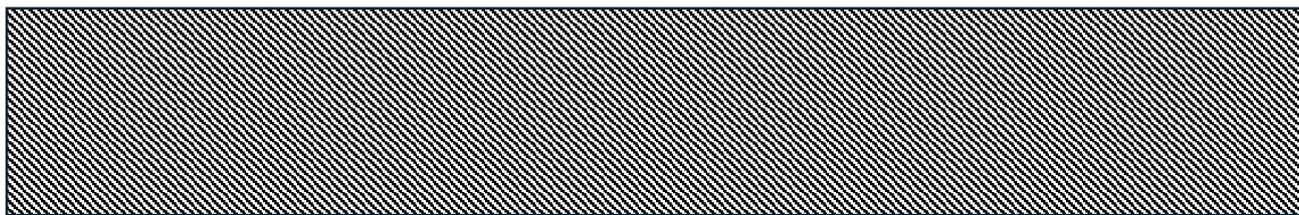
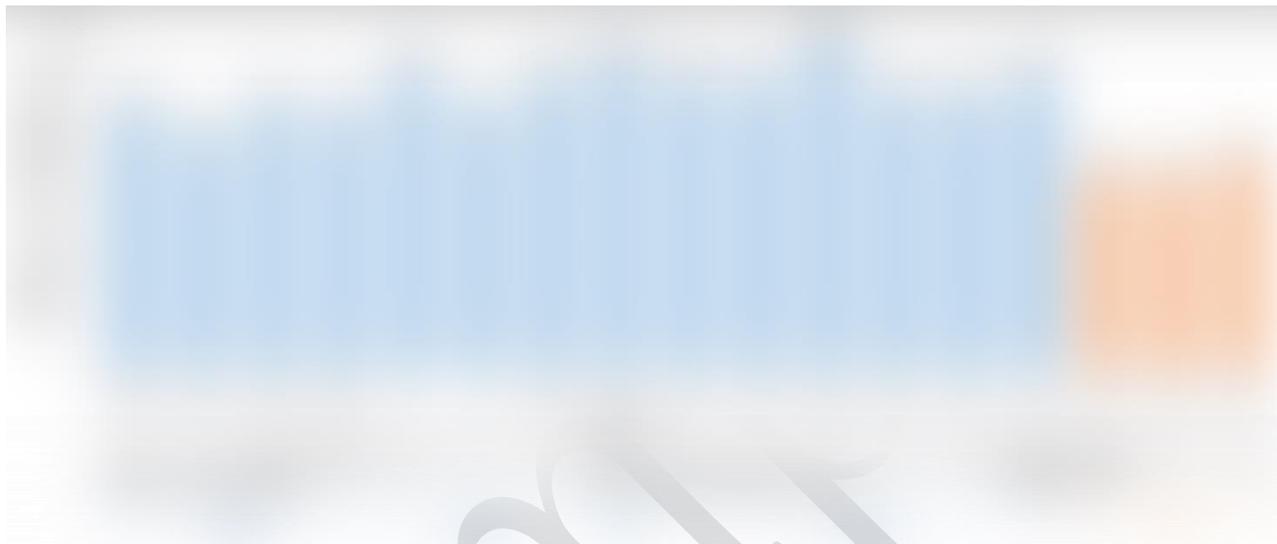


図 2-5 主な BEV 搭載セルのエネルギー密度 (BST 調べ)

a) 重量エネルギー密度



b) 体積エネルギー密度



第3章 中国 LFP セルの性能及び設計内容の全貌

3-1. 今回測定セルの概要

本章では BST にて調査・分析した、中国各メーカーLFP 系セルの性能及び設計内容の詳細を紹介していく。

今回紹介するのは、下記図 3-1 に示す 5 つのセルである。

図 3-1 今回性能評価及び解体分析を行った 5 セル

セルメーカー	FDB* (BYD)	FDB* (BYD)	CATL	CATL	Gotion
画像					
用途	BEV用 BYD Han搭載	BEV用 BYD Seal搭載	BEV用 Tesla Model 3搭載	ESS用	電動三輪車用
セル公称容量 / Ah	135	150	160	280	30
セル公称電圧 / V	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
寸法 / mm	945×90×13.5	945×90×13.5	280×80×60	174×204×72	100×140×20

※FDB=Fin Dreams Battery。BYD へバッテリーを供給している、BYD の 100%子会社。

また図 3-2 には BYD Han・Seal 及び Tesla Model3 のバッテリーパック写真とモジュール・セル搭載数の一覧を示す。

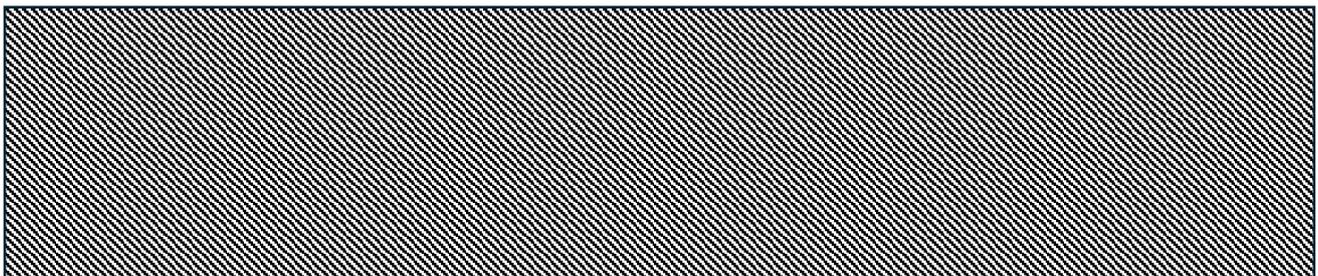
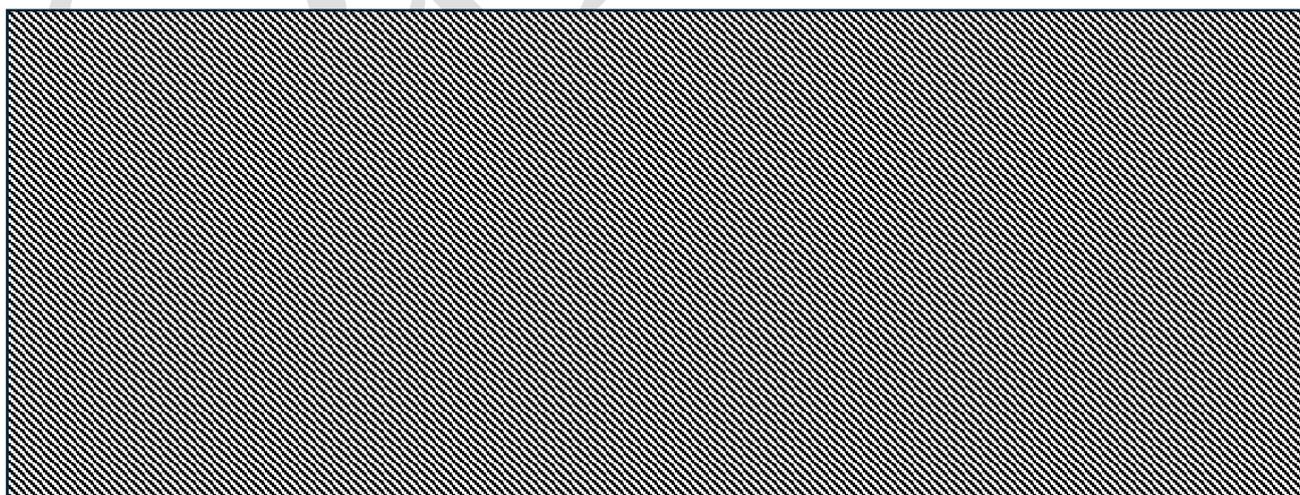


図 3-2 BYD Han・Seal、Tesla Model 3 のバッテリーパック写真と
モジュール・セル搭載数

車両名	BYD Han	BYD Seal	Tesla Model 3
車両画像			
バッテリーエネルギー / kWh	77	82.5	56
バッテリーパック 外観と内部の写真	[Redacted content]		
モジュール搭載数			
セル搭載数			

Han は 2020 年、Seal は 2022 年に中国で発売されているが、実は中国での Han の発火が報じられている。



3-2. 性能測定結果

- 容量測定結果

図 3-3 は各セルの充放電曲線、図 3-4 は得られた容量を比較したグラフである。

(CATL 製 ESS (定置用) セルの充放電曲線は都合上載せられないのだが、同社 Model 3 用セルの曲線とほぼ同一に重なることが確認された)

結果として、測定容量は公称容量と多少異なるものの、ほぼ同等であることは確認された。

(多少の差異に関してはモノバラつき、あるいは電圧範囲の取り方でも変わってくる。実際の電圧範囲は不明なので、BST にて一般的と見る電圧範囲で測定を行った。)

BYD の Han 及び Seal 搭載セルは同サイズだが、Seal セルは Han セルより容量が高いことが改めてわかる。

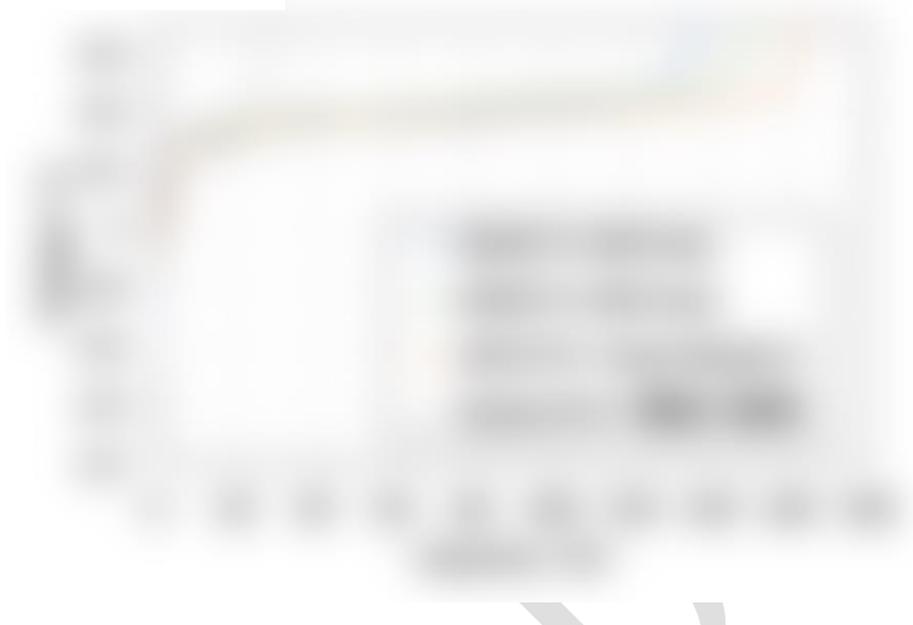
これは後に詳しく示すよう内部電極体の構成が異なっており、Seal 搭載セルは容量 UP を施した設計であることが確認されている。

また図 3-5 には、セル種ごとの曲線の違いをより比較しやすくするよう、X 軸を SOC 及び DOD とした充放電曲線を示す。

いずれも LFP 系ということで当然ながら曲線はほぼ重なり、SOC10~85% あたりにおいては LFP 系の特徴であるプラトー領域が見られることがわかる。(LiFePO₄ と FePO₄ の二相共存反応にあたる)

図 3-3 各セルの充放電曲線

a) 充電曲線



b) 放電曲線



【測定条件】

電圧範囲：3.7~2.2V

電流レート：充電・放電共に 1/3C

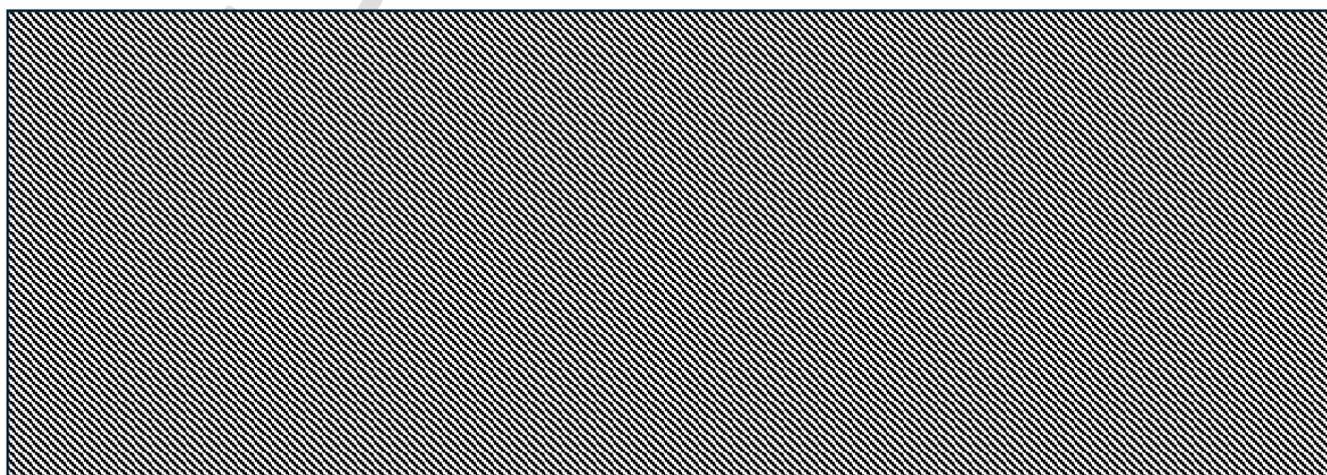
温度：RT

セルメーカー	FDB (BYD)	FDB (BYD)	CATL	CATL	Gotion
用途	BYD Han	BYD Seal	Tesla Model 3	ESS	電動三輪車
充電容量 / Ah					
放電容量 / Ah					
充放電効率					
放電平均電圧 / V					

図 3-4 各セルの放電容量



強いて言えば放電曲線の DOD80~95%付近において Han と Seal の曲線が CATL や Gotion に比べただらかに下降した部分が違いか。



3-3. 解体調査結果

- FDB(BYD)製 BYD Han/Seal 搭載ブレードセル 解体写真及び寸法

図 3-11 に、BYD Han 及び Seal 搭載ブレードセルの外観写真と寸法を示す。

両者セルは、外観上は全く同じだ。

ただ、Han から Seal においては前述したように容量 UP を図ったため、電極体などの中身は異なる。

ということで両者の違いを把握しやすいよう、2セルを比較しながら紹介していく。

図 3-11 BYD 製 Han 及び Seal 搭載ブレードセルの外観写真及び寸法

a) Han 搭載セル



b) Seal 搭載セル



c) 外寸法

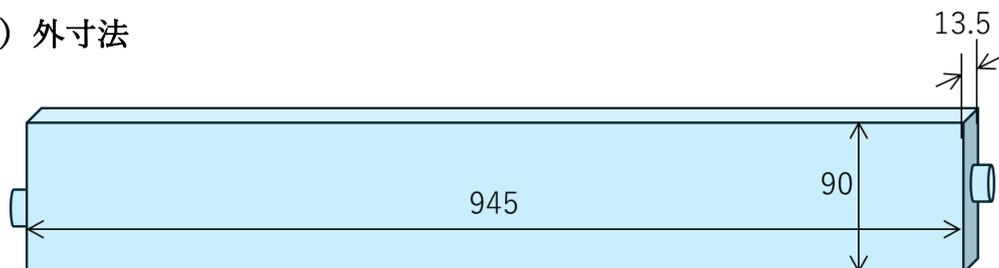


図 3-12 に、Han 及び Seal 搭載セルの端子側部に見られた QR コードの写真を示す。

これにより、各セルの製造履歴を管理できるようにしていると見られる。

図 3-12 Han 及び Seal 搭載セルの QR コード

a) Han 搭載セル

b) Seal 搭載セル

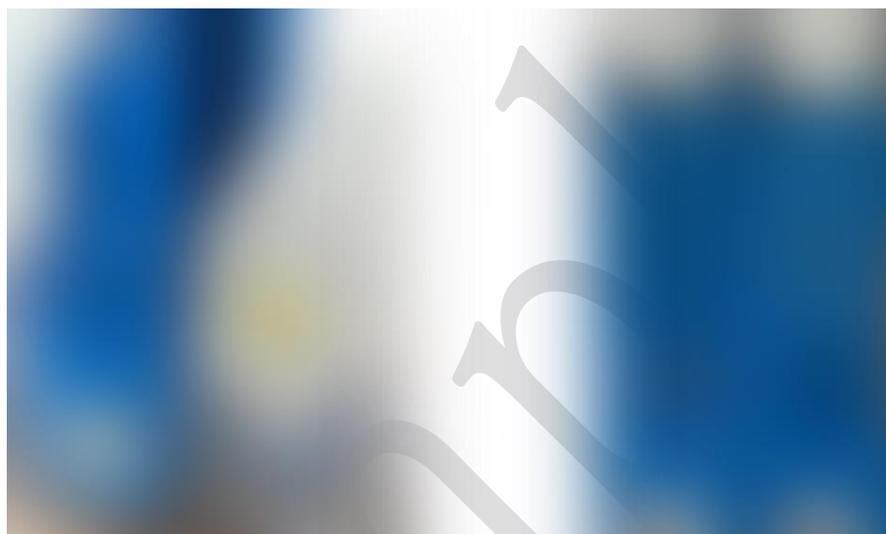


図 3-13 は端子部付近外観の写真だ。ここは Han も Seal も同じ。

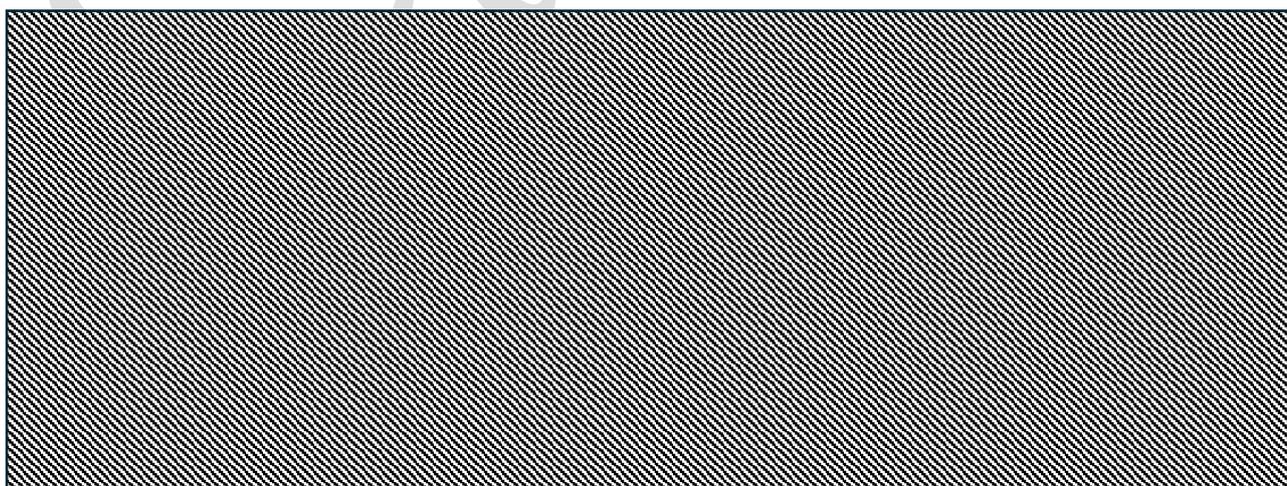


図 3-13 Han 搭載セルの端子部付近写真 (Seal 搭載セルも同様)

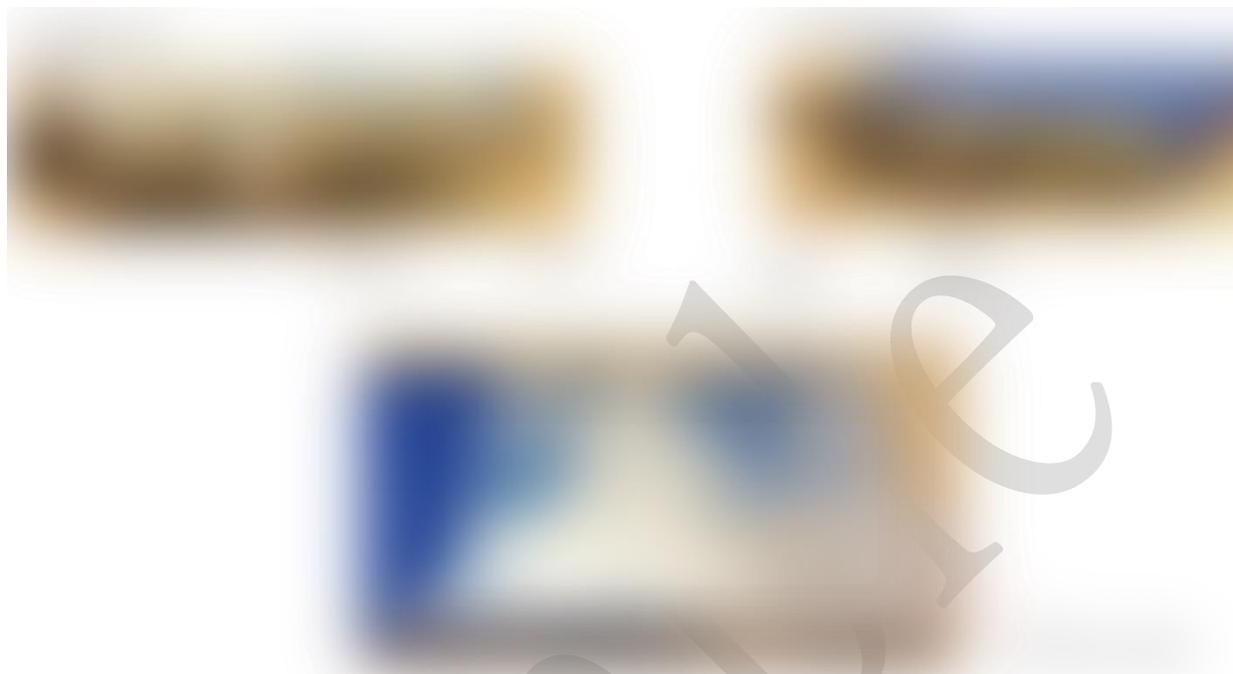
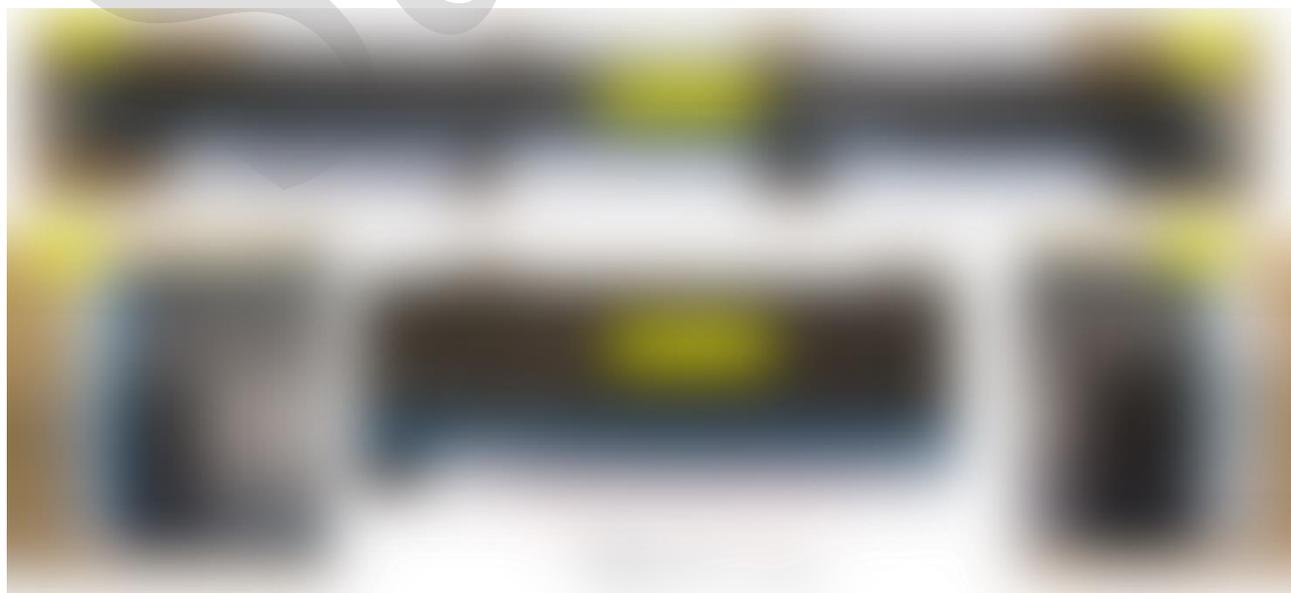


図 3-14 は外装缶を切って外し、内部から電極体（積層体）を取り出した状態である。

図 3-14 Han 搭載セルの積層体構造 (Seal 搭載セルも同様)



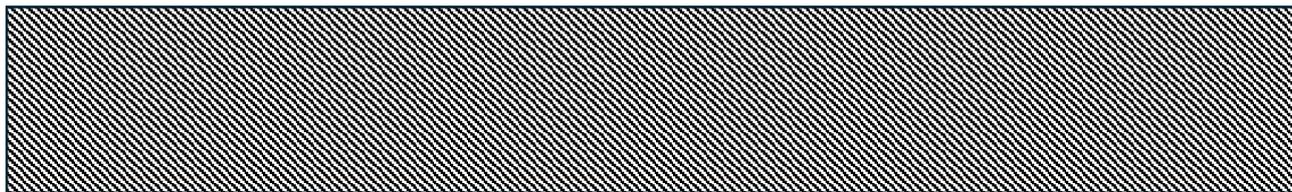


図 3-14 及び図 3-15 に示すよう、樹脂フィルムをはがすと長編側端部には青テープが貼られており、その内側にはプラスチックガイドが装着されていた。

この長編側のプラスチックガイドは、短辺側のガイド（タブ装着用ガイド）ワンタッチ構造で接続。

これらのガイドにより、1m 近い積層体の構造を保持している。

図 3-15 積層体端部分解の様子

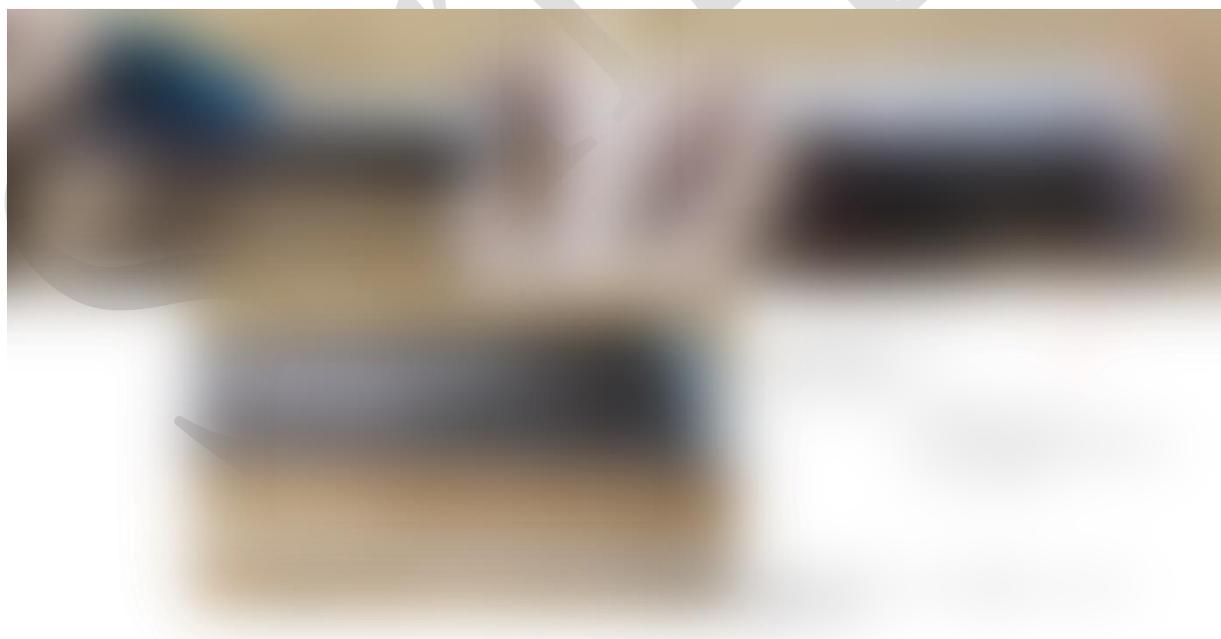
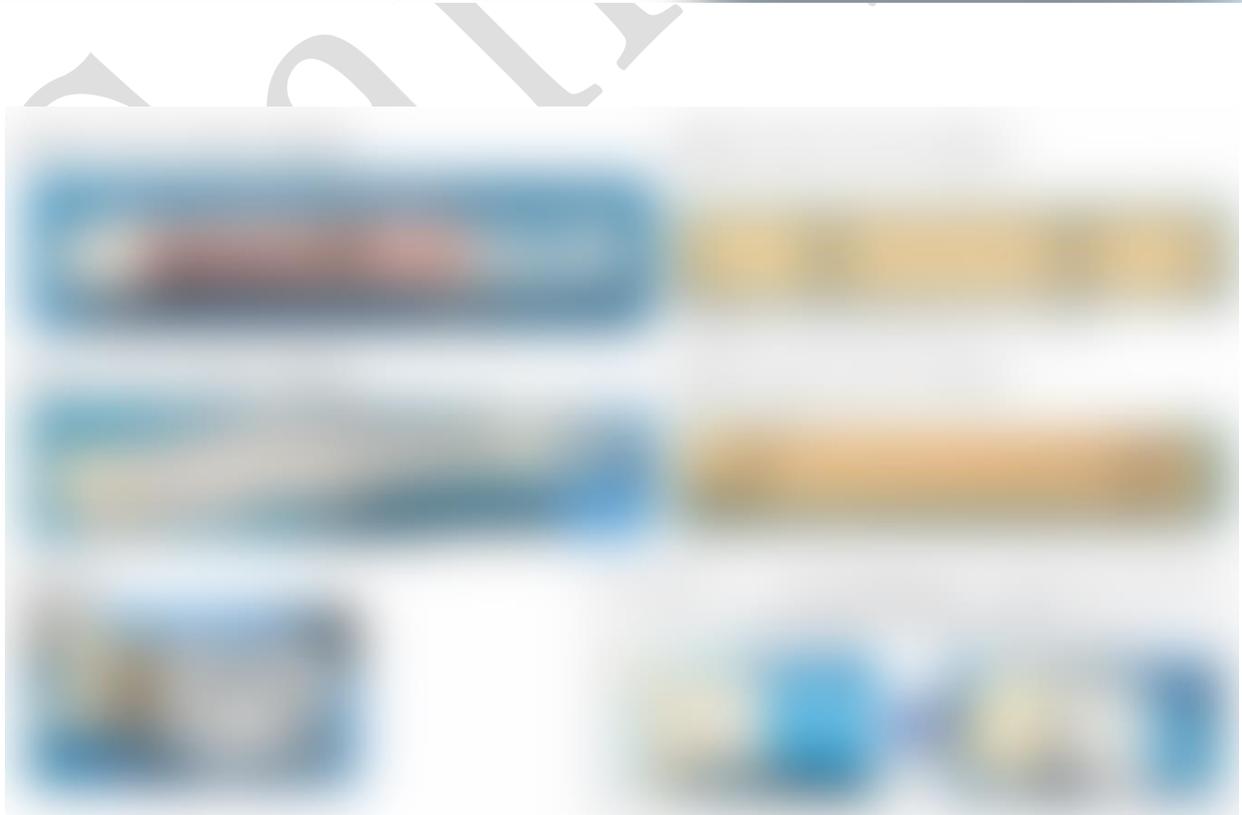


図 3-16 は端子部の詳細だ。これも Han 及び Seal 搭載セルで同じ。

端部は先にも示したようにプラスチック部材で固定されている。

このプラスチック部材の中で集電箔が束ねられ、タブに溶接されている形だ。

図 3-16 端子部解体の様子

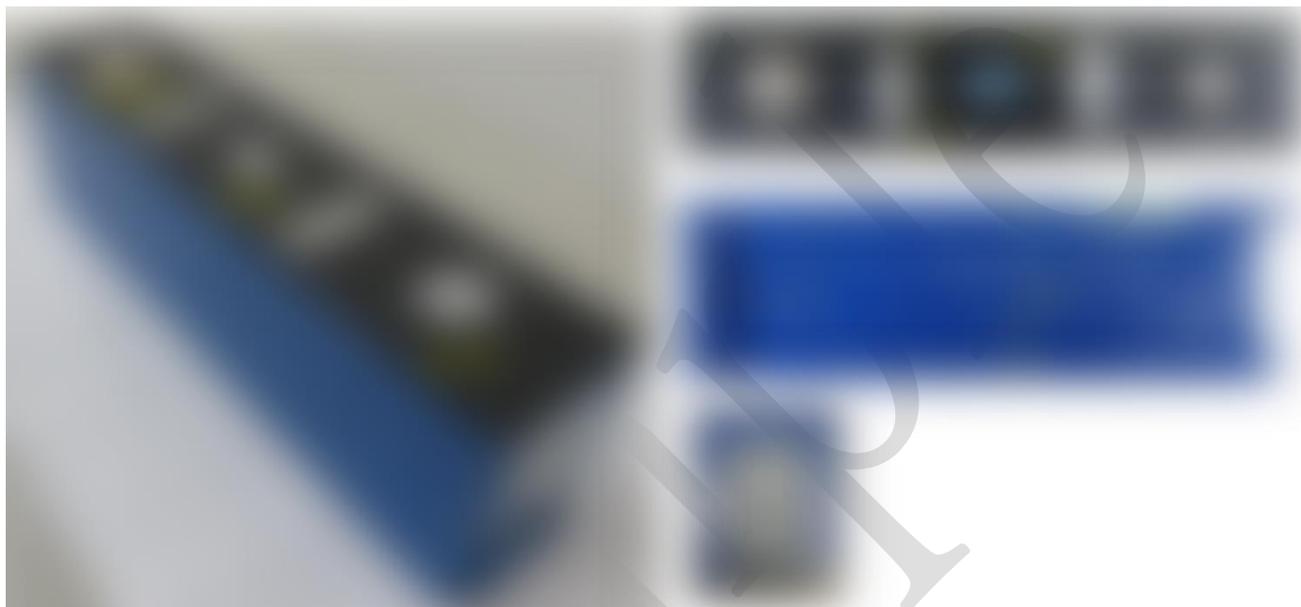


- CATL 製 Tesla Model 3 搭載 角型セル 解体写真及び寸法

図 3-22 に CATL 製 Tesla Model3 搭載セルの外観と寸法を示す。

上部に正負極端子、防爆弁、がある。

図 3-23 Tesla Model 3 搭載セルの外観及び寸法



また図 3-24 に示すよう、上部の黒色テープを剥がすと、注液口及びセル判別や管理履歴追跡を可能にするためと見られる QR コードが確認された。

図 3-24 Tesla Model 3 搭載セル 上面黒テープ剥離後



図 3-25 は外装缶から電極巻回体を取り出した写真だ。

図 3-25 Tesla Model 3 搭載セル 巻回体の様子

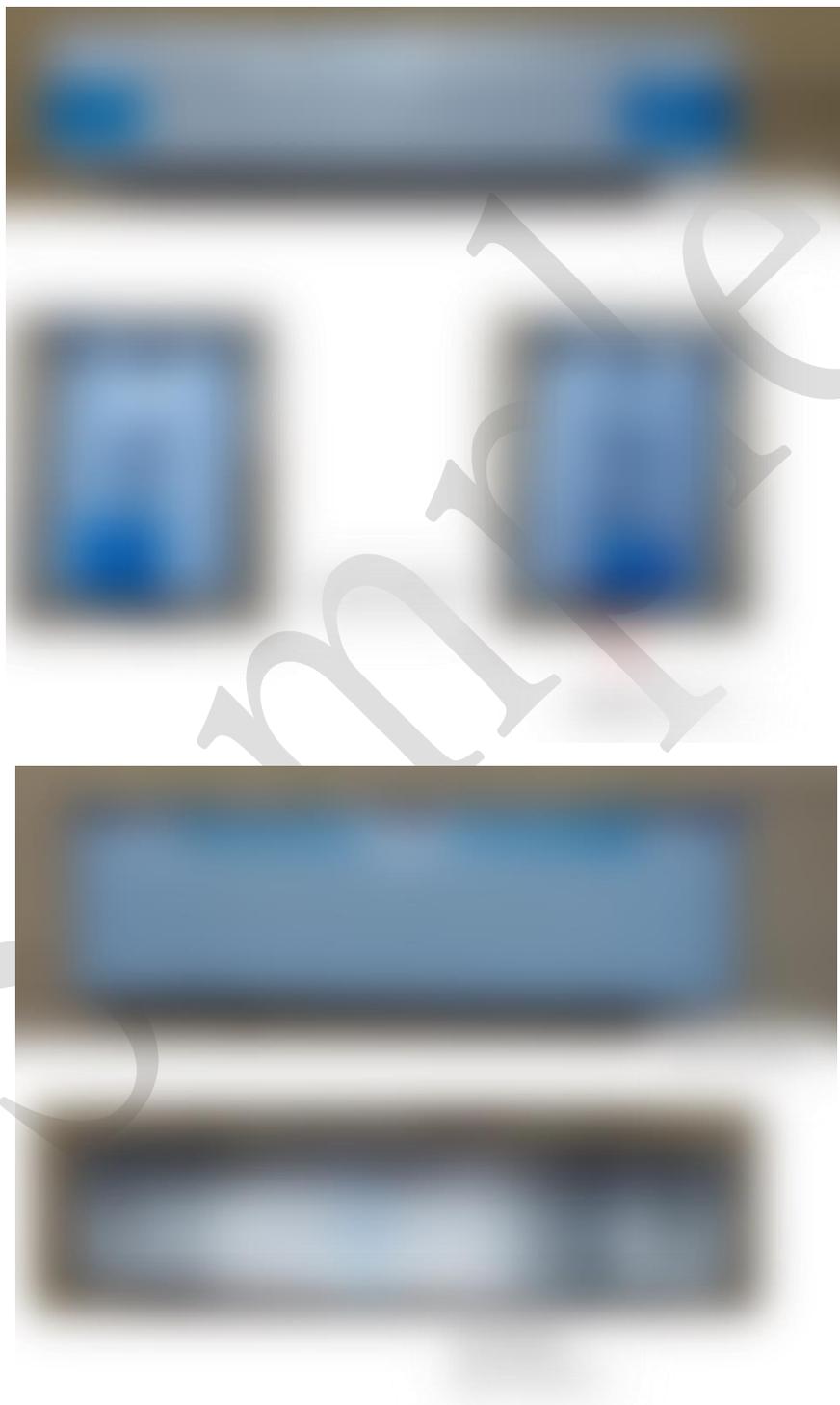
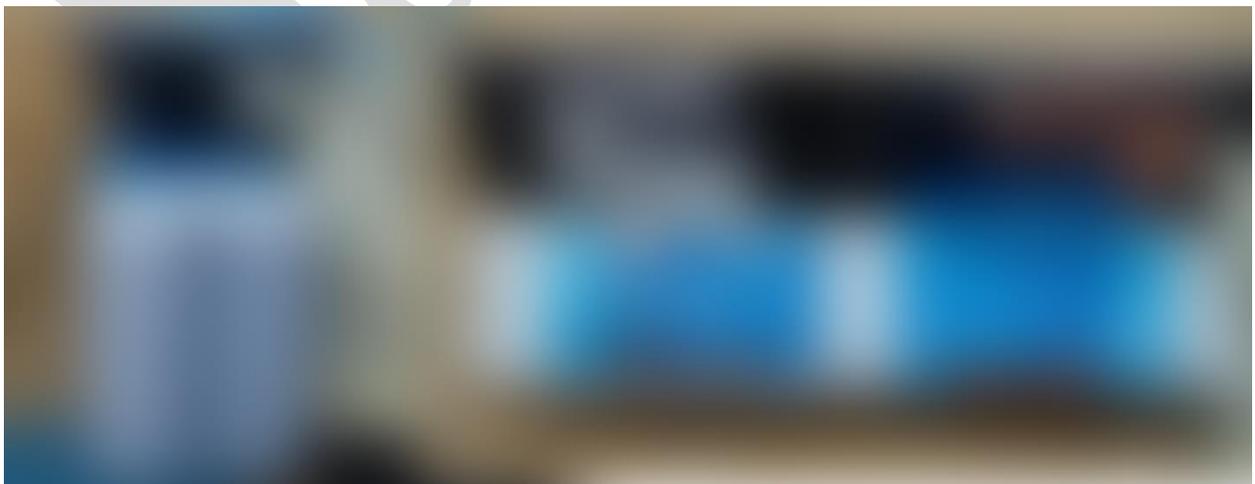




図 3-26 は、電極捲回体を上部の端子接続から取り外したときの様子である。

図 3-26 Tesla Model 3 搭載セル 電極捲回体を上部端子接続から取り外した様子



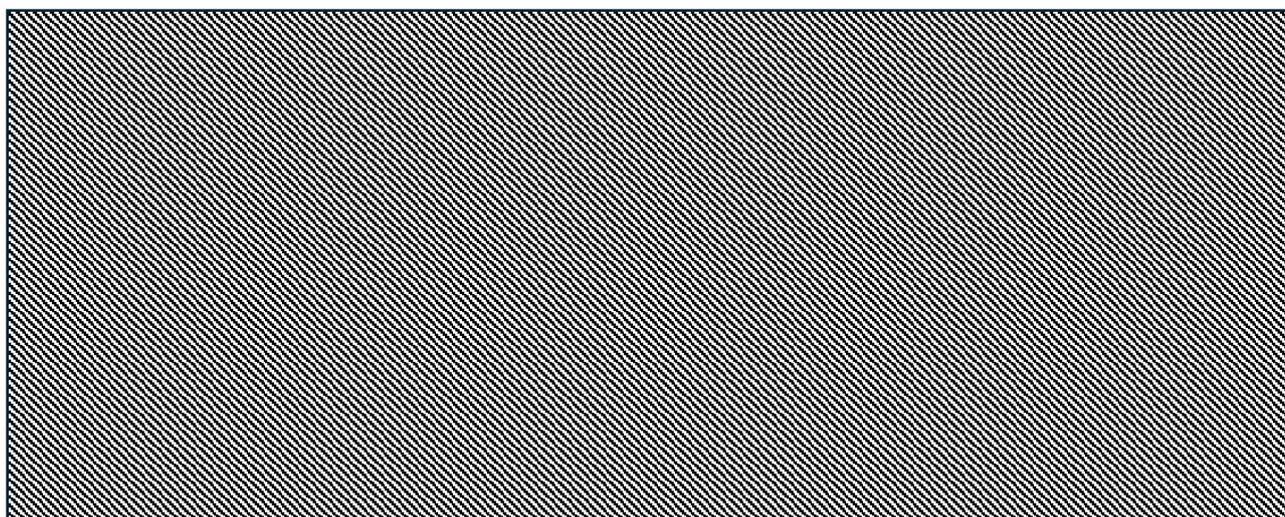
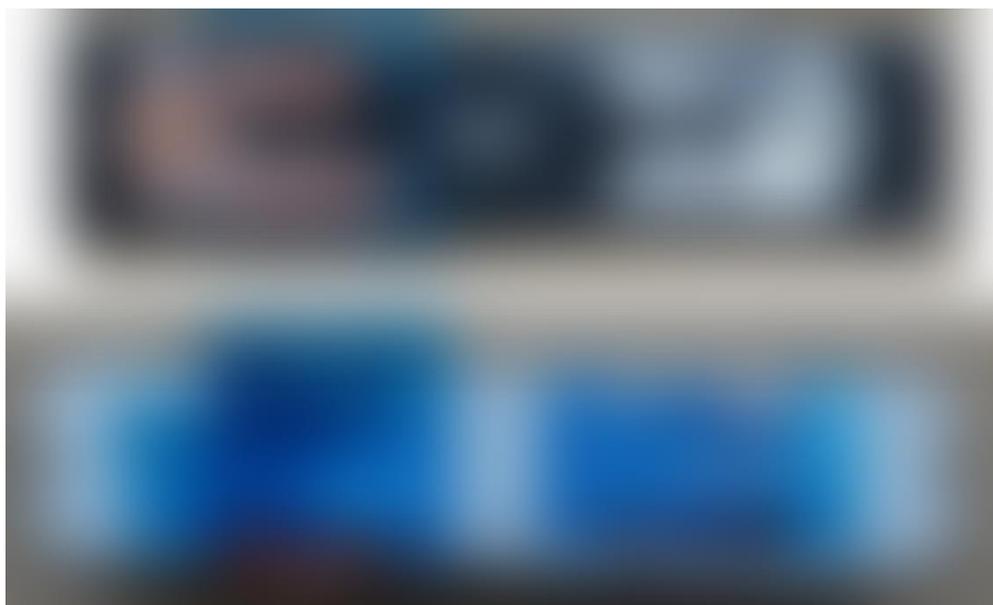


図 3-27 Tesla Model 3 搭載セル 電極捲回体をほどいた後の様子

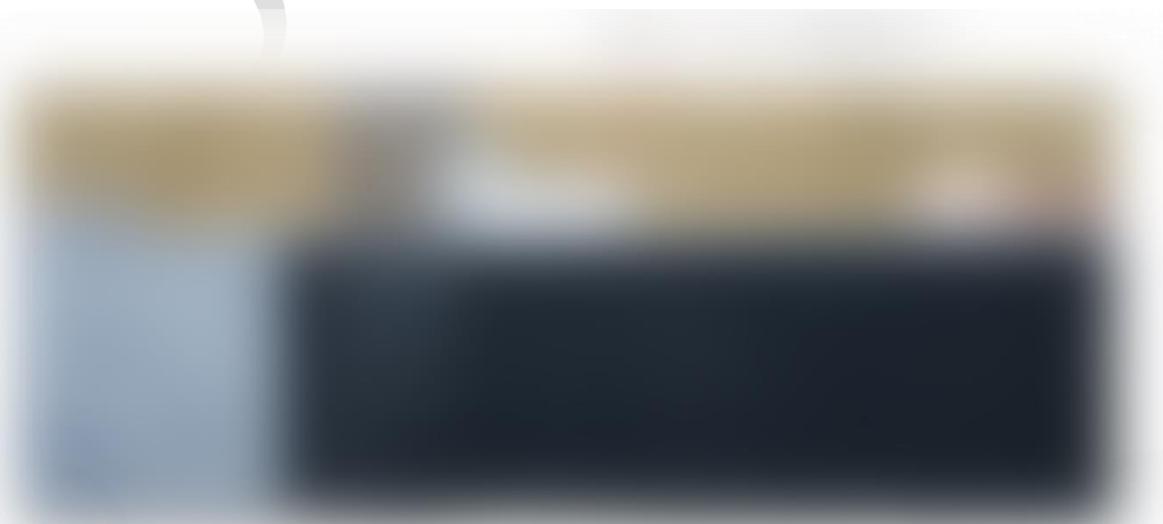


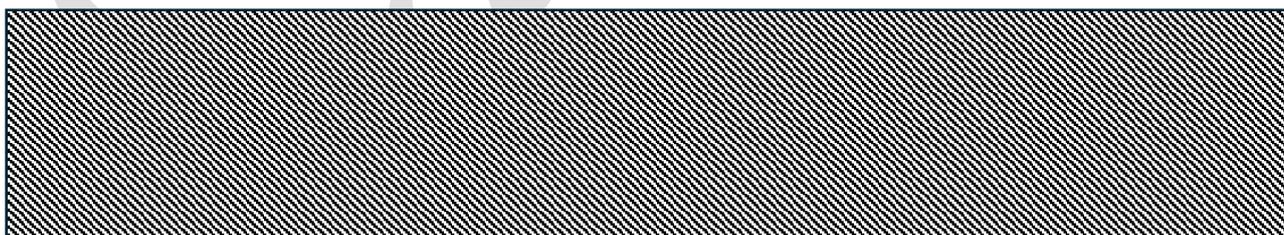
図 3-28 に正極、負極、セパレータの写真や寸法を示す。



図 3-28 Tesla Model 3 搭載セル 正極・負極・セパレータの写真及び寸法

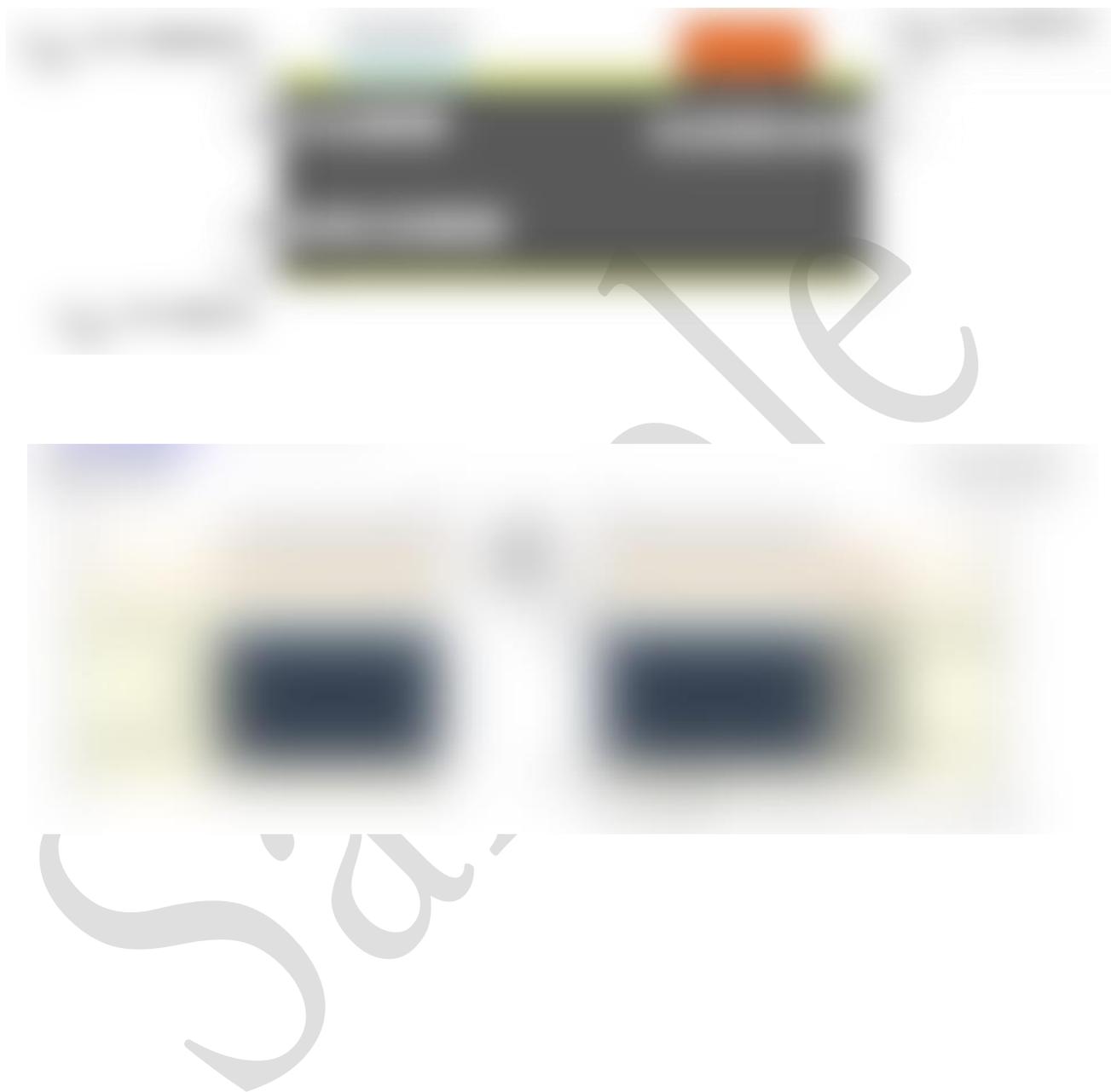


図 3-29 に捲回体クリアランス構成及び捲回端の構造を示す。



こちらも、各種材料の分析結果は後半の「3-4. 化学分析結果」で紹介していく。

図 3-29 Tesla Model 3 搭載セル 捲回体クリアランス構成



3-4. 化学分析結果

- 正極断面 SEM 比較

ここからは各種化学分析結果について、各セルでの結果を比較しながら紹介していく。

図 3-45 は FDB 製 BYD Han/Seal 搭載セル、CATL 製 Model 3/ESS 搭載セル、及び Gotion 製電動三輪車搭載セルの正極断面 SEM 写真（反射電子像）だ。

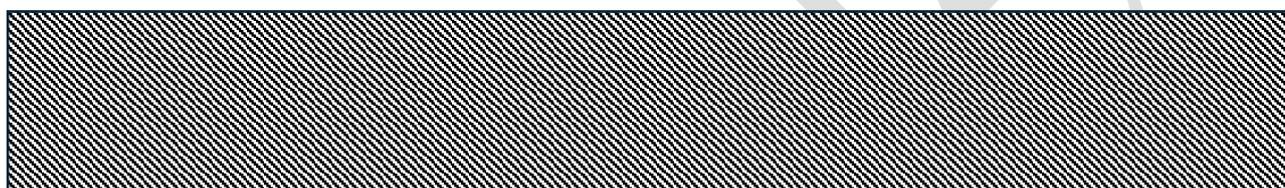
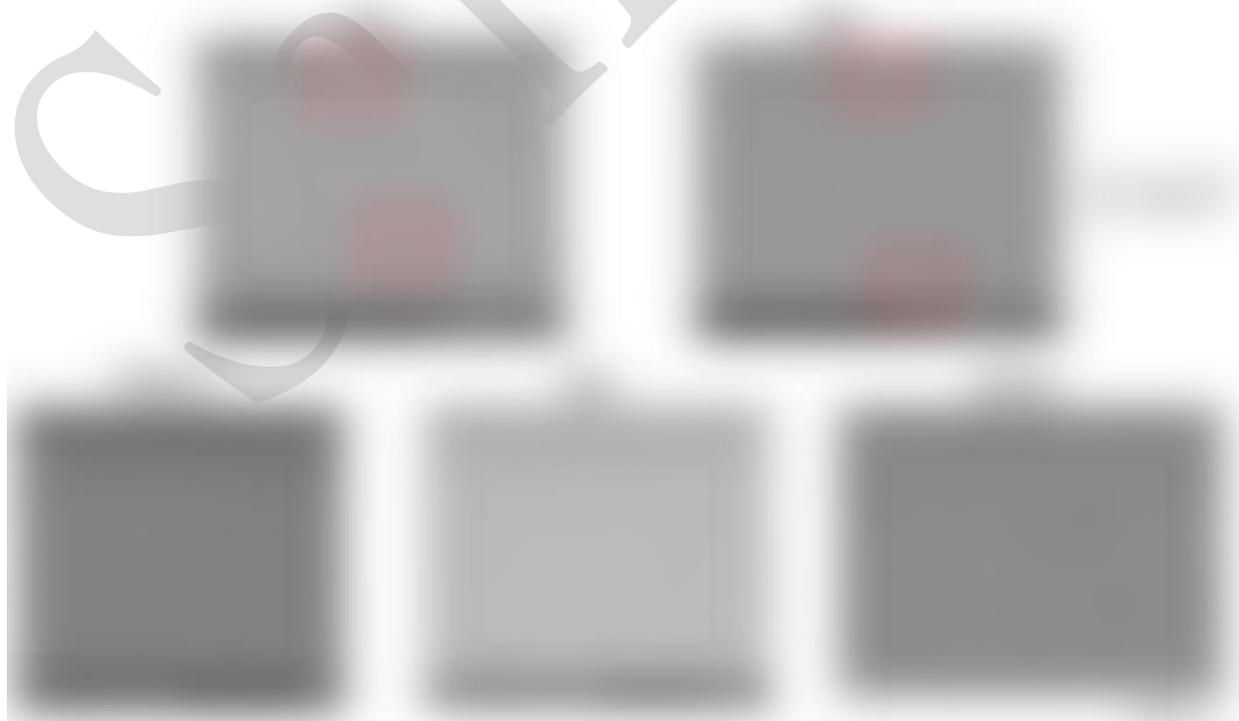
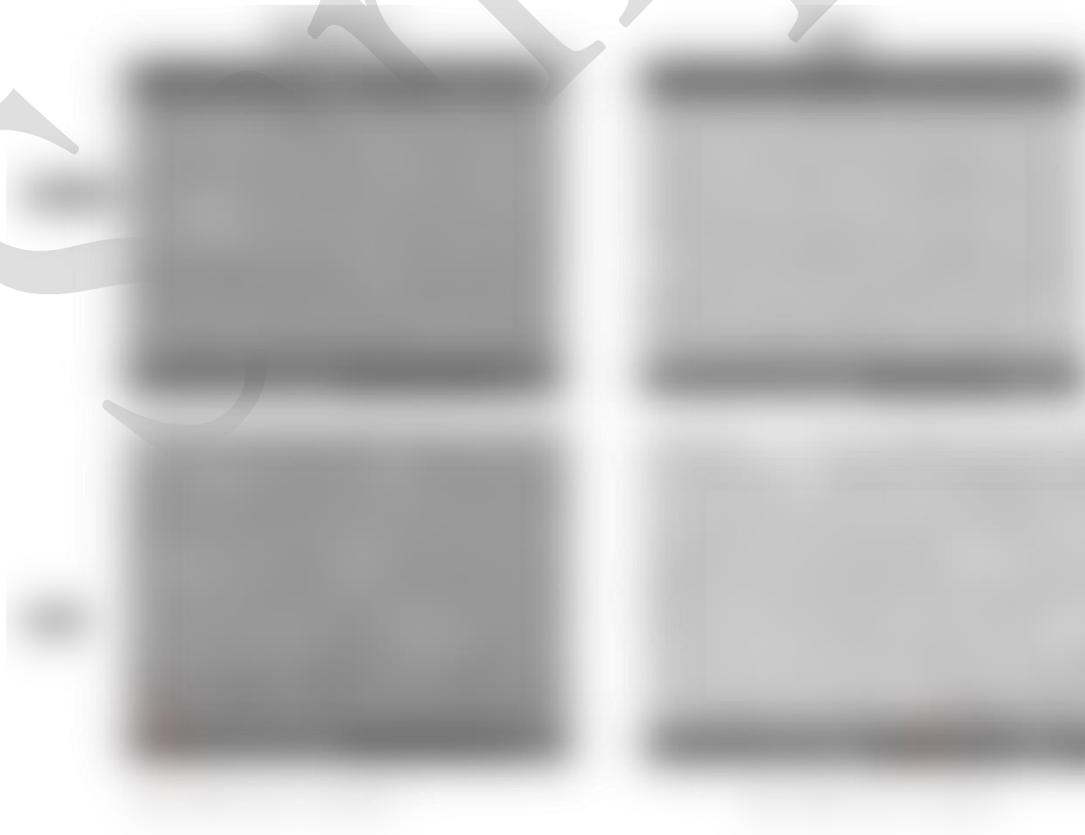
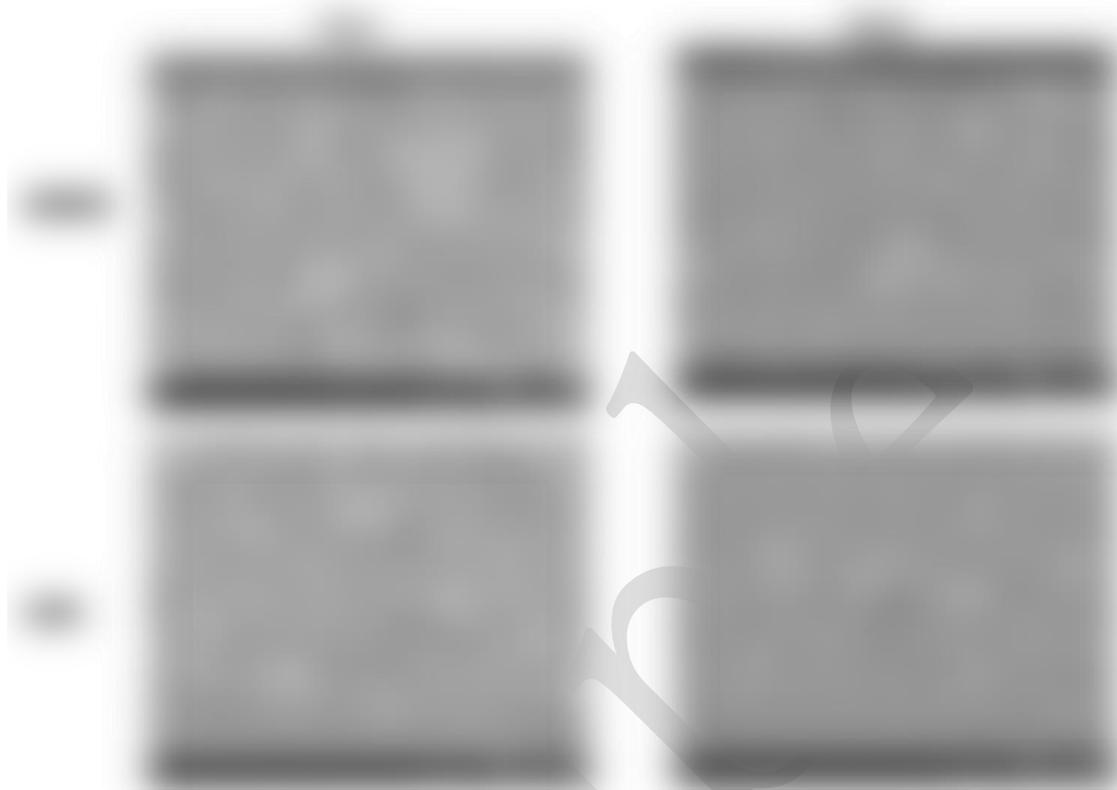


図 3-45 各セルの正極断面 SEM 写真（反射電子像）

a) 倍率 1000 倍



b) 倍率 5000 倍



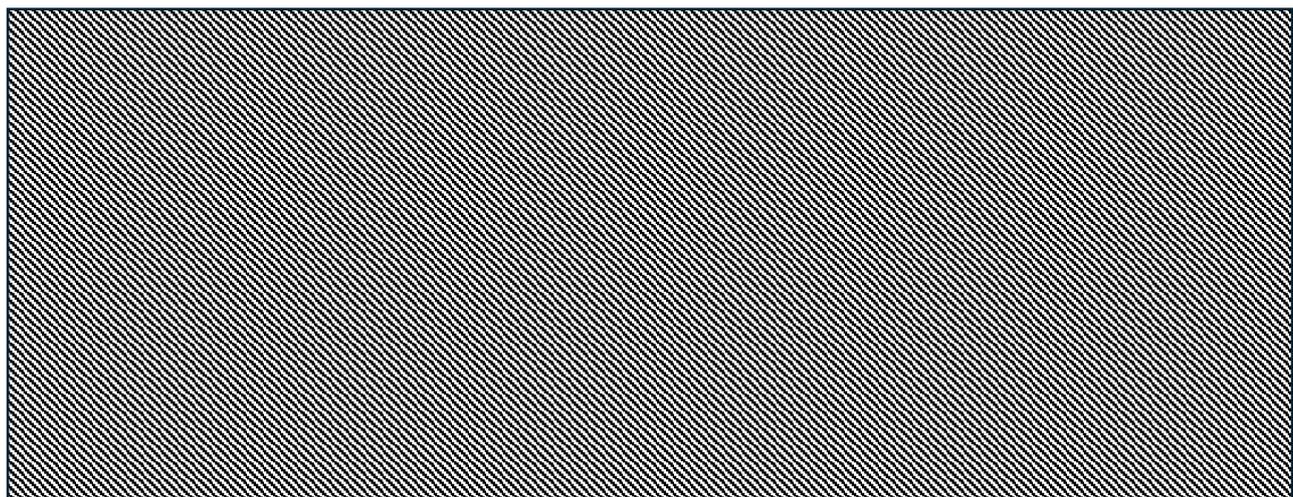
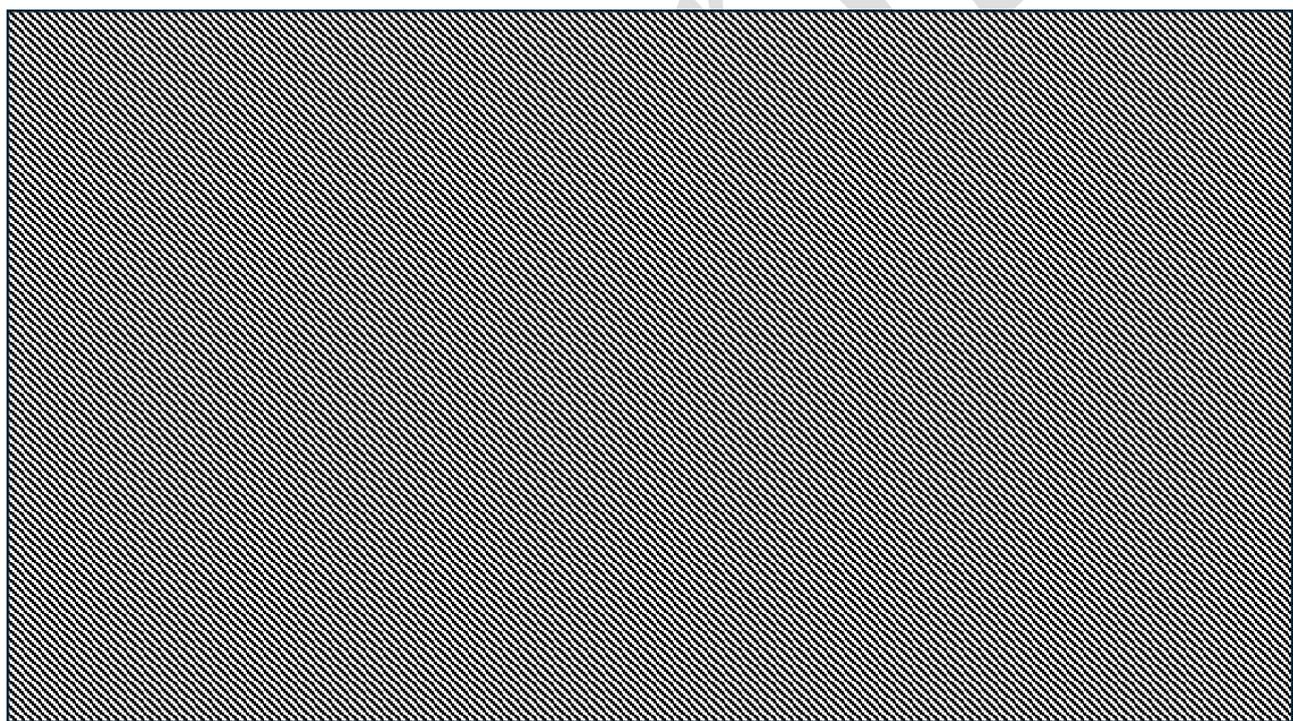


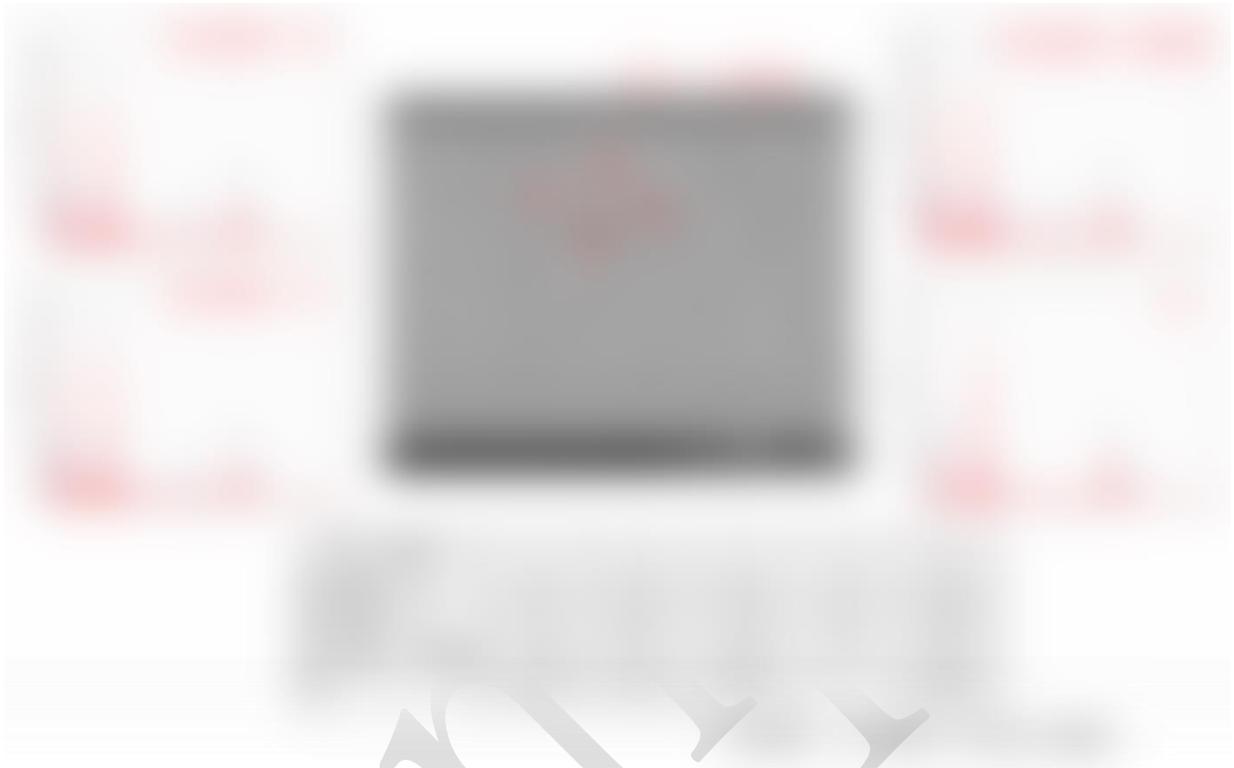
図 3-46 には SEM-EDX 測定結果を示す。



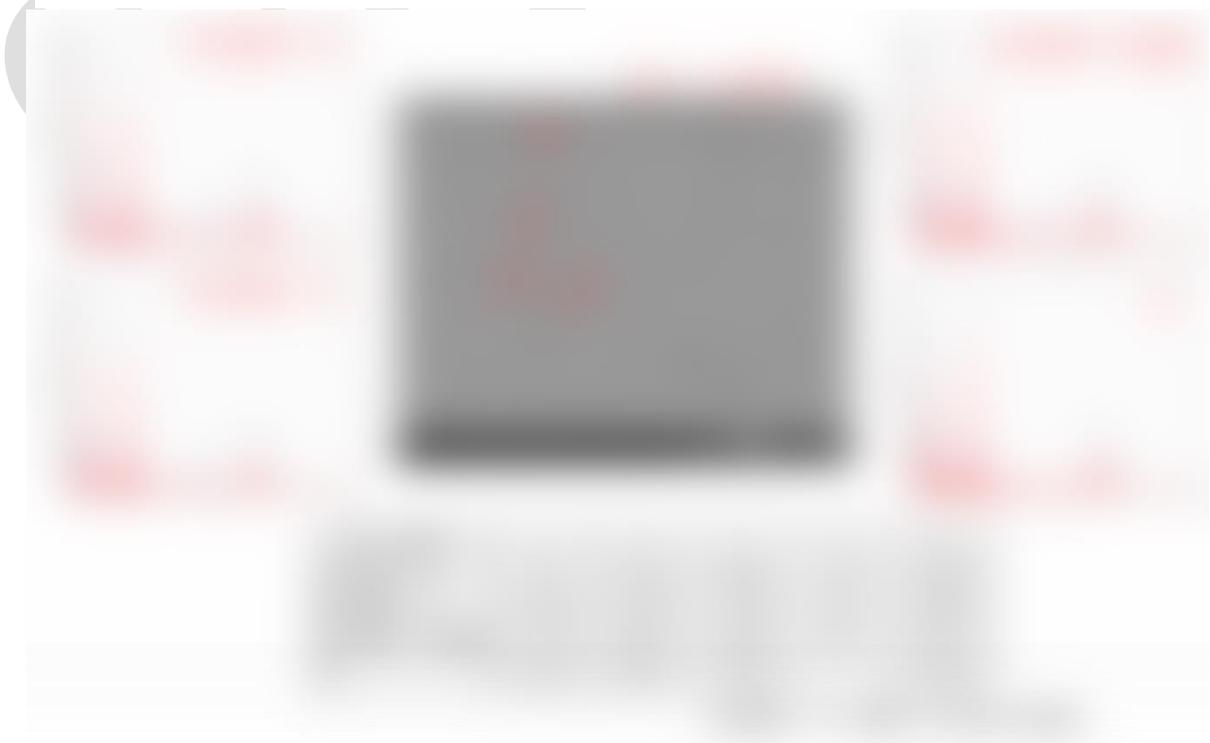
¹ *Journal of The Electrochemical Society*, 160 (5) A3148-A3152 (2013)

図 3-46 各セルの正極 SEM-EDX 測定結果

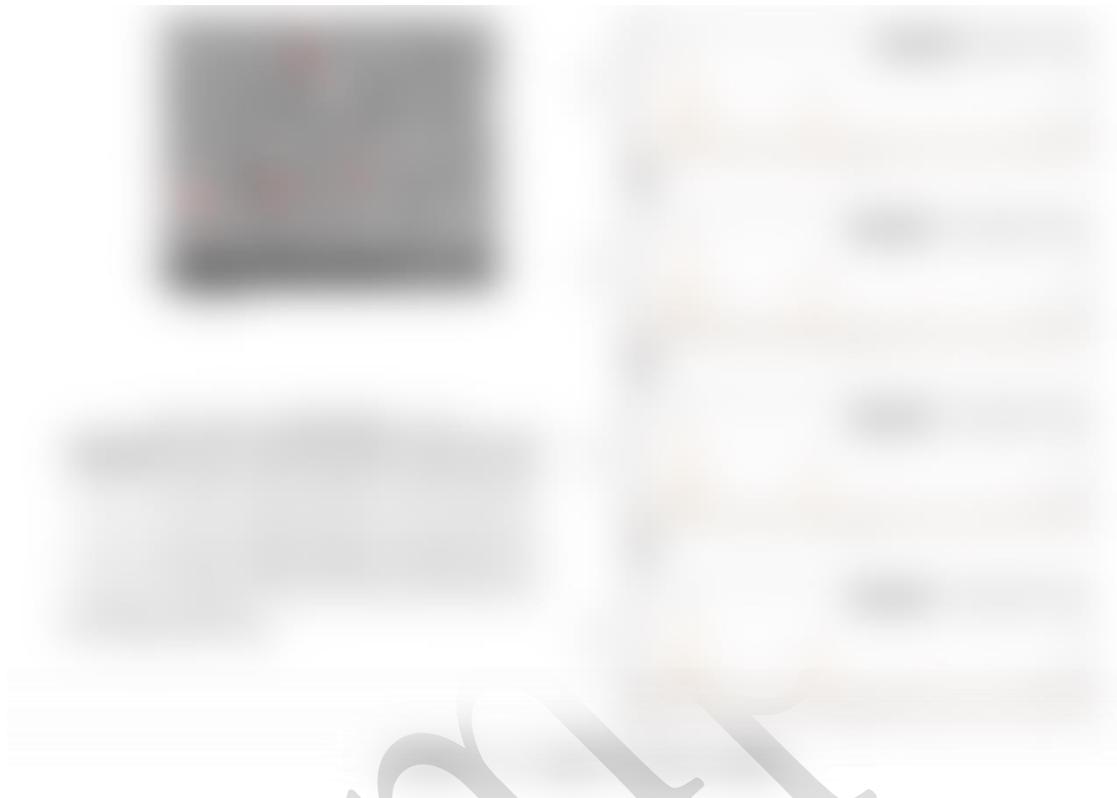
a) FDB(BYD)製 BYD Han 搭載セル



b) FDB(BYD)製 BYD Seal 搭載セル



c) CATL 製 Tesla Model 3 搭載セル



d) CATL 製 ESS 用セル



第4章 LFP系バッテリーに対する各国動向と新技術開発の動き

ここまで、LFP系バッテリー搭載EV市場の現状やその性能などの特徴、及び中国メーカーのLFP系バッテリーセル詳細設計・性能やそれらに対する解析結果について紹介してきた

本章では、今後のLFP系バッテリーに関する各メーカーの動き、及び新規開発動向や未来展望について記していく。

4-1. 各国メーカーの動き

現在、車載用LFPバッテリーを製造して市場投入しているのは、第2章にて述べてきた理由からも中国だけだ。

では、中国外メーカーのLFP系バッテリーに対する開発動向はどうなっているか？

日韓米の主なバッテリーメーカーや自動車メーカーの動きについて、図4-1にまとめた。

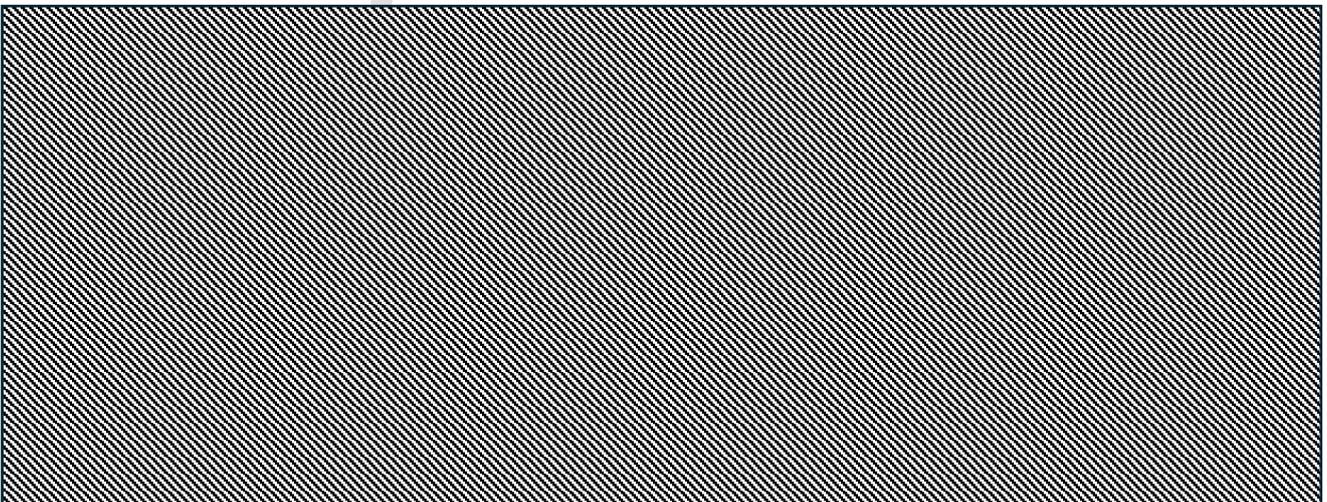


図 4-1 日韓米メーカーの車載用 LFP 系バッテリーに関する動向まとめ

国	メーカー名	車載用LFP系バッテリー開発・生産に関する動向	マイルストーン
日本	[Redacted content]		
韓国			
米国			
[Redacted content]			

また注目は、トヨタがバイポーラ構造にて開発・生産するという事だろう。(図 4-2)

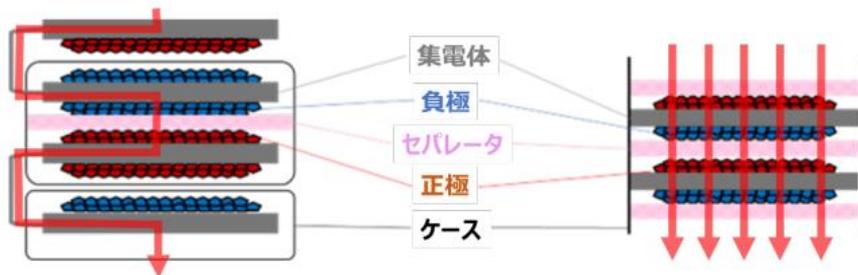
図 4-2 トヨタのバイポーラ構造電池に関する発表 (トヨタ公式より)

②次世代電池(普及版)

- トヨタは、電池においてもお客様に多様な選択肢を提供できるよう、BEV の普及拡大に貢献する良品廉価な電池も開発中
- これまでハイブリッド車のアクアやクラウンに搭載してきたバイポーラ構造の電池を、今回 BEV に適用。材料には安価なリン酸鉄リチウム(LFP)を採用し、2026-2027 年の実用化にチャレンジ
- 現行 bZ4X 比で航続距離は 20%向上*1、コスト 40%減、急速充電 30 分以下(SOC=10-80%)を目指し、普及価格帯の BEV への搭載を検討中

<従来：モノポーラ構造>

<バイポーラ構造>



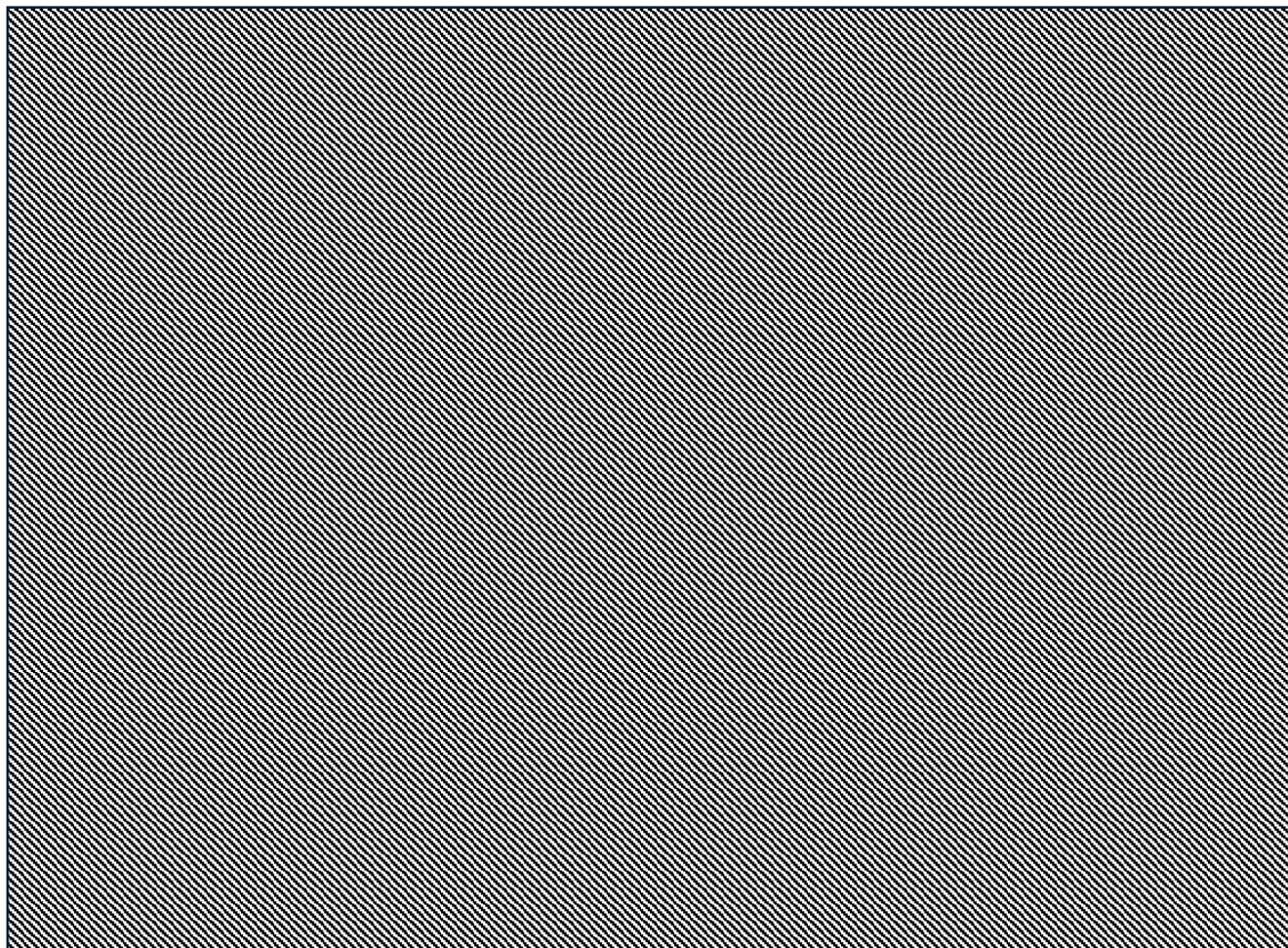
③バイポーラ型リチウムイオン電池(ハイパフォーマンス版)

- ②の普及版電池の開発と並行し、バイポーラ構造にハイニッケル正極を組み合わせ、さらなる進化を実現するハイパフォーマンスの電池も、2027-2028 年の実用化にチャレンジ
- ①のパフォーマンス版角形電池と比べても航続距離 10%向上*1、コスト 10%減、急速充電 20 分以下(SOC=10-80%)を達成する圧倒的性能を実現

電池種類		形状	構造	正極	ラインオフ時期	EV距離 (CLTCモード、車両改善含む)	コスト (EV距離同等時)	急速充電時間 (SOC = 10~80%)
現行	bZ4X搭載電池	角形	モノポーラ	NCM系	2022年	615km	-	~30分
次世代電池	①パフォーマンス版	角形	モノポーラ	NCM系	2026年	200% bZ4X比	▲20% bZ4X比	~20分
	②普及版	新構造	バイポーラ	LFP系	2026-27年 実用化にチャレンジ	20% UP bZ4X比	▲40% bZ4X比	~30分
さらなる進化	③ハイパフォーマンス版	新構造	バイポーラ	Ni系	2027-28年 実用化にチャレンジ	10% UP 次世代電池 パフォーマンス版比	▲10% 次世代電池 パフォーマンス版比	~20分

筆者も、リチウムイオン電池のバイポーラ構造研究開発には少し携わったことがある。

いくつかの課題はあるだろうが、経験からすると主な課題は以下の2点ではないかと思っている。

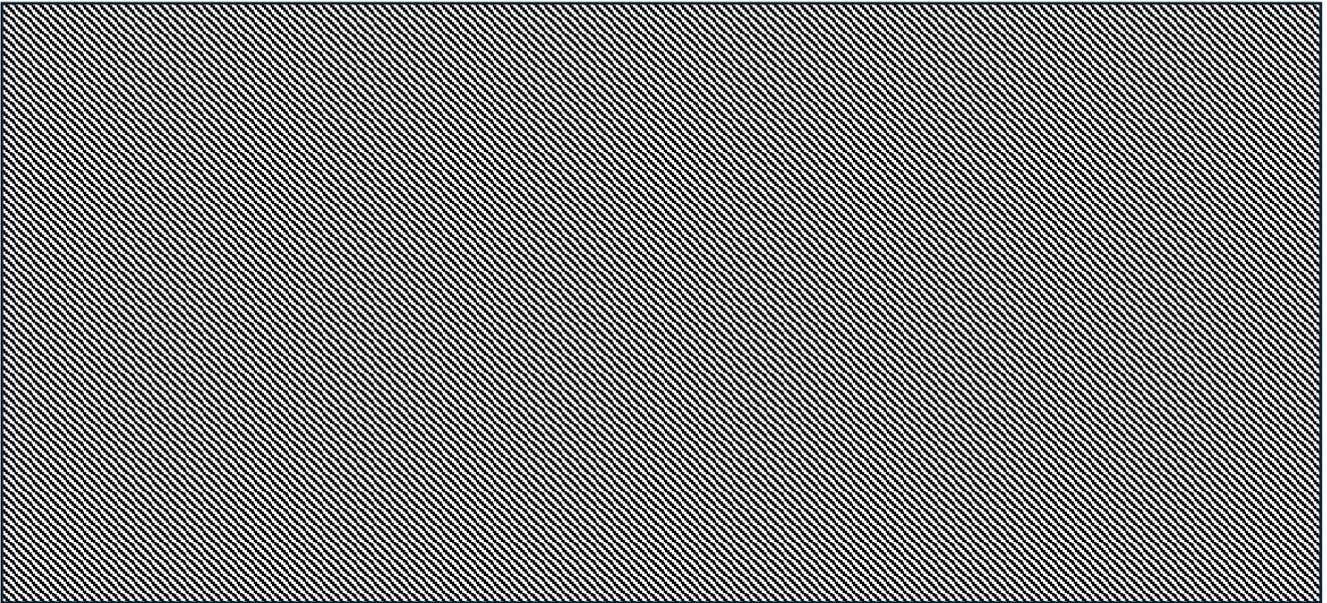


これがバイポーラ構造になると、図4-2にあるように集電箔の表裏に正負極が塗布されることになる。

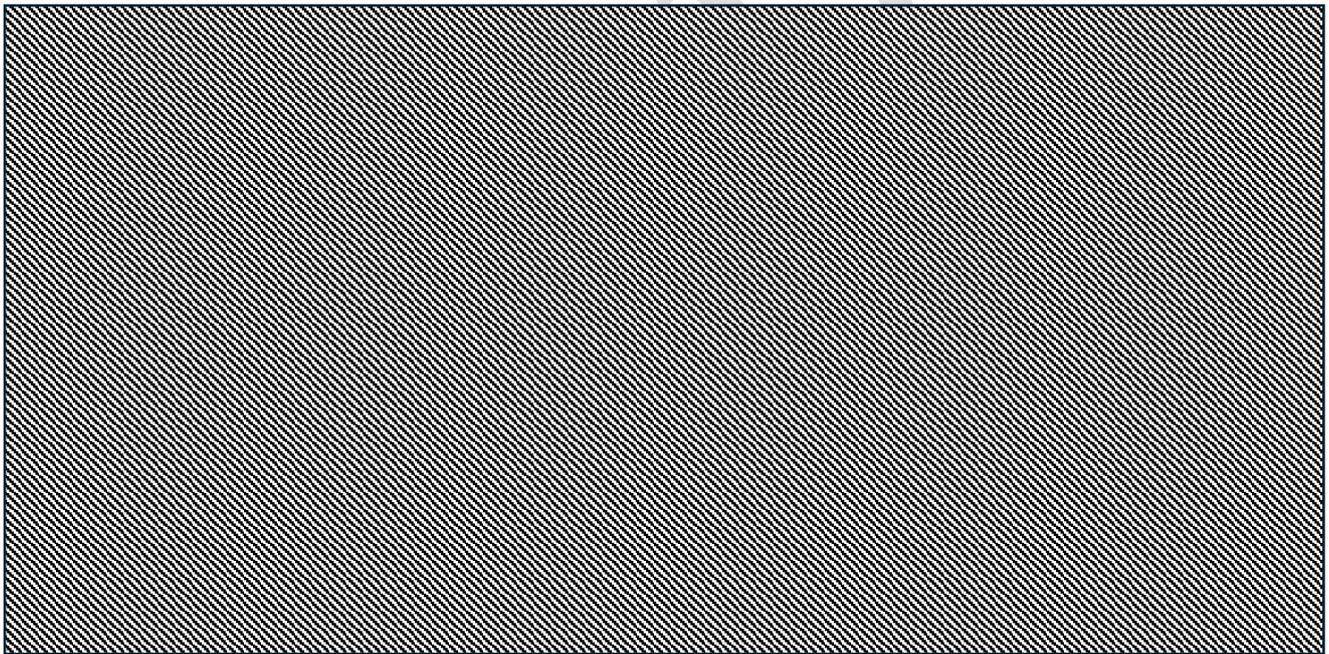
つまり、「リチウムと合金化を起こさず、且つ高電位でも溶解しない集電箔」が必要なのだ。

この対策及び検討事項としては、以下が考えられる。



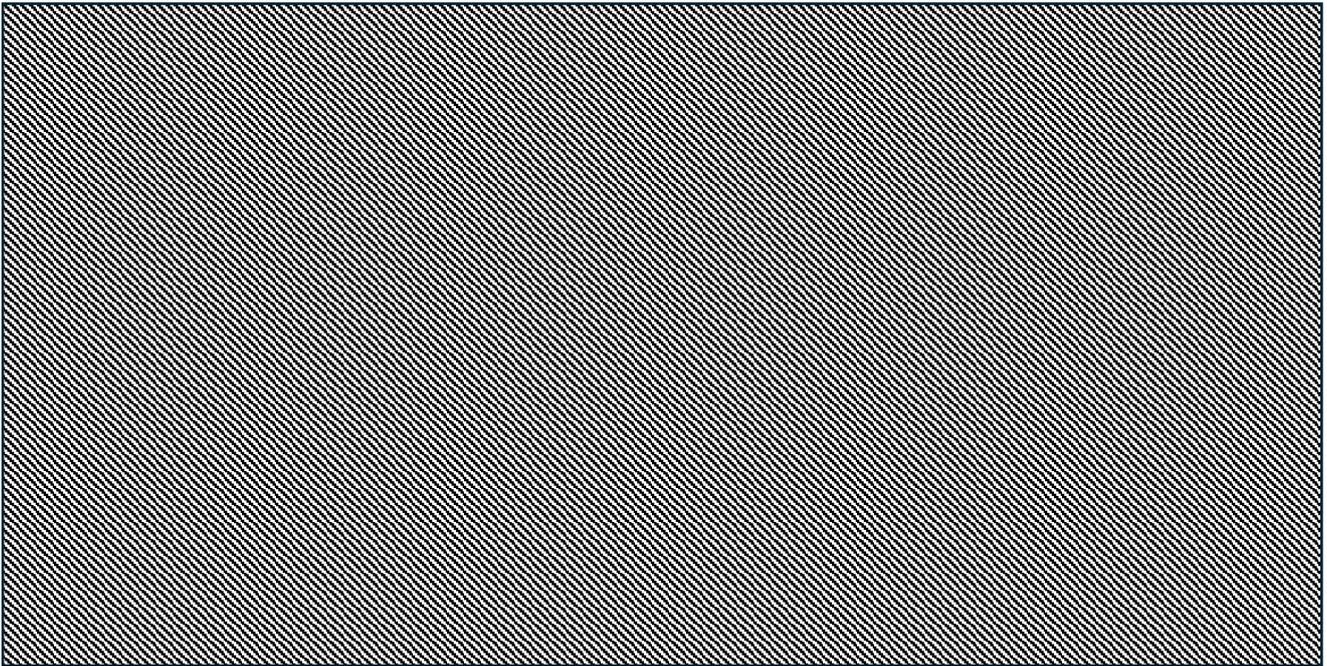


続いて2について。



このような課題を経て、トヨタがEV搭載用として如何なる構造設計や性能設計でバイポーラ型を市場に出してくるか、注目である。

図4-1に戻り韓国勢に目を向けると、3大バッテリーメーカーであるLGES、SDI、SK Onは既にLFP開発に力を入れ始めている。



以上のように LFP 系については日韓米メーカーにて、遅ればせながら生産及び車両搭載が今後されていく予定だ。

その車両スペックやバッテリー性能について、今後も注目していきたい。

4-2. 中国メーカーLFP 系バッテリーの進化動向

中国では現状の LFP 系バッテリーセルに改良を加え、更なる性能向上に向けた開発を進めている。

中国の主なメーカーの新規 LFP 系バッテリーセル開発状況について、図 4-3 にまとめた。

³ LFP 正極材への Mn 添加による容量 UP を狙ったもの。一方で Mn を添加しすぎると LFP 系の長所でもある寿命耐久性が低下することも懸念される。どの程度 Mn を配合していくかがポイントである。