

緊急資料集（抜粋篇）

**全固体電池のポテンシャルと競合技術に関する将来展望**  
**～リチウムイオン固体電解質が BEV 用電池を革新する～**

2023年4月10日

(有)カワサキテクノリサーチ

〒541-0047 大阪府大阪市中央区淡路町4丁目3-8 TAIRIN ビル6階

## はじめに

近い将来、バッテリーを用いた電気自動車 (BEVと略する場合がある) が自動車の主流になる時代が到来することが紛れもない事実となってきた。また地球温暖化防止を含む SDGs 中のエネルギー関連課題で、電気エネルギー貯蔵／変換デバイスとして蓄電池の役割が飛躍的に向上してきている。

この中で、近年リチウムイオンのイオン伝導体として卓越した性能を有する**固体電解質**が発明された。この材料を基本にした**全固体電池**が出現し、次世代の革新的電池として注目されている。

本レポートの第1章では、全固体電池が出現してきた経緯と現行液系リチウムイオン電池との材料構成の違いと、全固体電池のプレイヤーについて解説する。また、全固体電池の最大の特長である、**バイポーラ電極**を用いた直接積層化された**高電圧組電池**についても述べる。

第2章では、BEV用の蓄電体として、リチウムイオン電池型の全固体電池を開発しているトヨタ自動車の技術を、特許情報を中心に詳細解析して、実用化への課題やその解決の方向性をまとめるとともに、必要とされる材料や部材に関する解説も行う。

第3章では、競合するメーカーについて、自動車メーカーとしては、日産自動車、本田技研工業、電池メーカーでは、パナソニック、村田製作所、FDK、TDK、材料メーカーとしては、富士フィルム、出光興産の8社を取り上げ技術紹介とともに、トヨタ自動車との比較を示した。

第4章では、全固体電池と競合すると考えられる三洋化成／APB社の**全樹脂電池**について紹介する。

第5章では、全固体電池と競合する、現行液系リチウムイオン電池の革新的技術である**ドライ電極**について、マックスウェル社の**ドライ電極＝乾燥自立型電極フィルム**と24エム・テクノロジーズ社の**ドライ電極＝半固体電極**の技術について紹介する。

最後に、第6章では、全固体電池の将来の市場性について、BEV用途を中心に、その技術・材料の可能性を交えて解説し、期待される材料について部材別に解説した。

## 第1章より

全固体電池の特長から発想される可能性（ポテンシャル）にまず、フォーカスする必要がある。

電解液を固体化することによる主なメリットが（4つ）あるのと、電極の変更（モノポーラ→バイポーラ）による高出力化や高電圧化が期待される（図1-5、図1-10）。

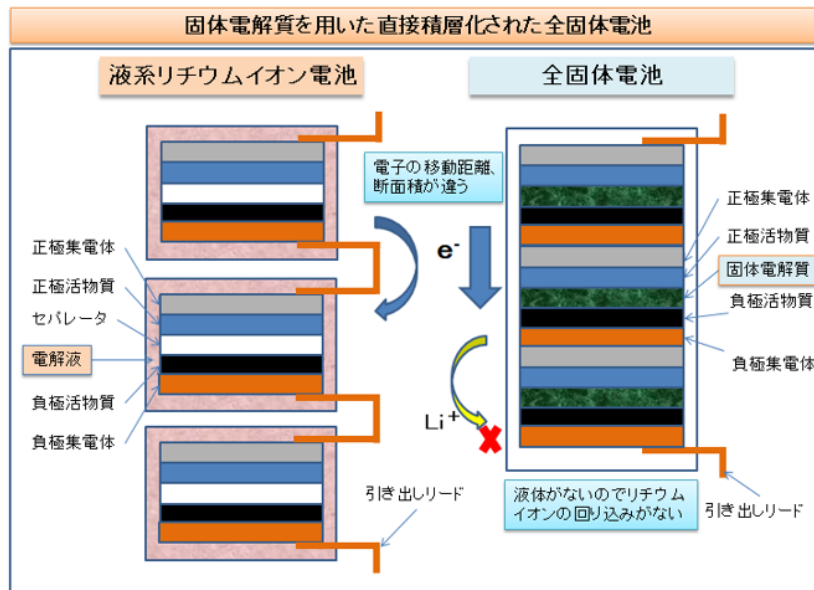


図1-5 固体電解質を用いた直接積層化された全固体電池

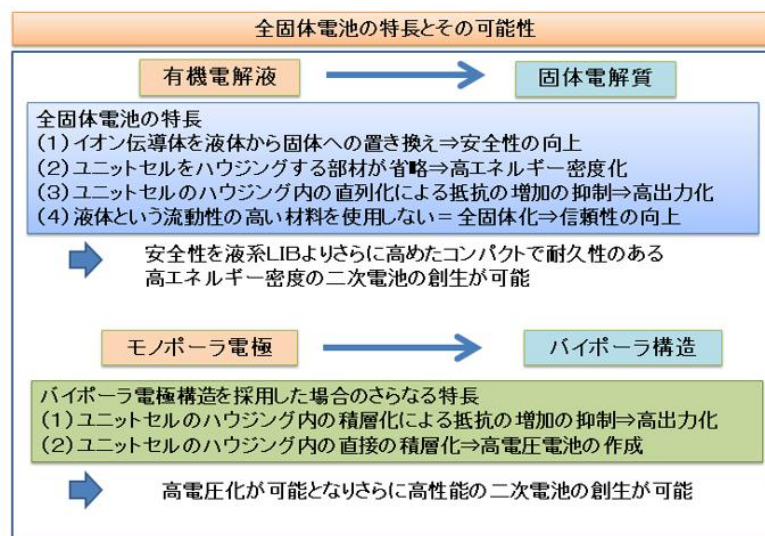


図1-10 全固体電池の特長とその可能性

電池と蓄電池との違いは、昔から留意されていた。性能の違いによる使い分けが図られていたことになる。

しかし、開発の方向性としてはそれぞれの性能を向上することによるオーバーラップ・エリアがどこら辺りにあるかが、注目されていた時期がある。

具体的には、現状のリチウムイオン電池（液系）と蓄電池としての電気二重層キャパシタ（EDLC）の比較が行われ、この観点から液系に代わる全固体電池の位置付け（ポジション）を考えた場合の性能的俯瞰を見ると、大よそ以下の図（図 1-13）になると考えられる。

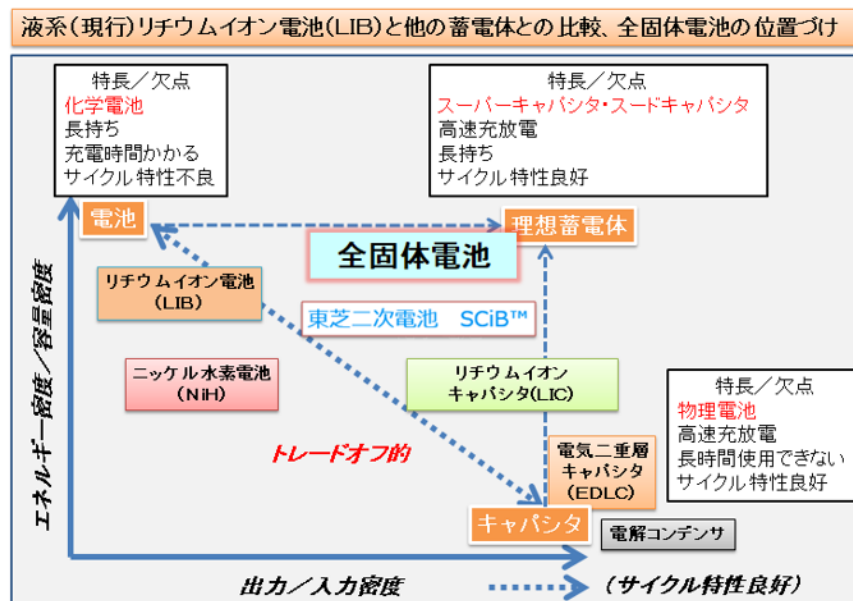


図 1-13 液系(現行)リチウムイオン電池と他の蓄電池との比較、  
固体電池の位置付け

## 第2章より

トヨタの全固体電池開発にかける強い想い（熱意）には、並々ならぬものが感じられる。本資料集作成の契機（執筆動機の一つ）になったのは、このトヨタの本気度に求められる。

トヨタの2030年迄のEV用電池戦略がこれを物語っている（図2-1）といえる。また、トヨタの全固体電池技術の全体概要は以下（図2-6）のように要約できる。

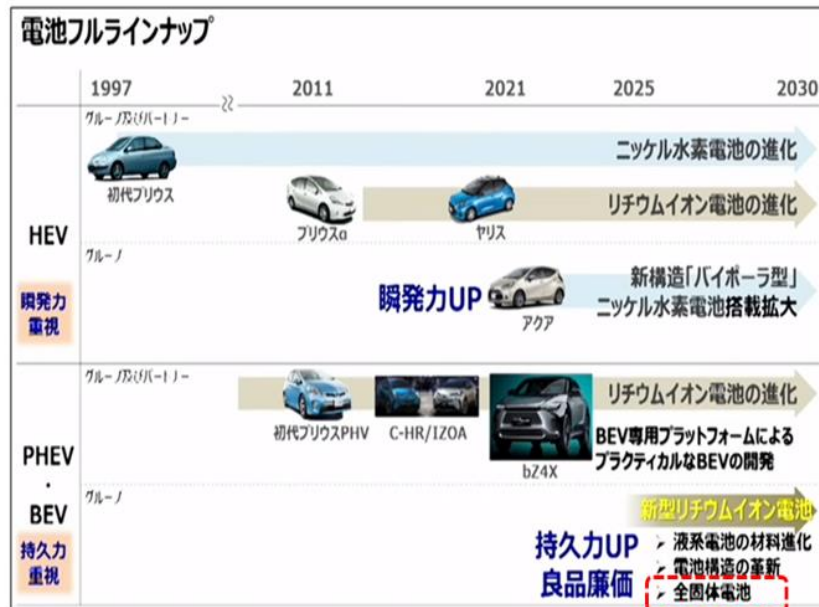


図2-1 トヨタ自動車のEV用電池戦略

(出典: <https://www.youtube.com/watch?v=QnEyi3-g5s>)

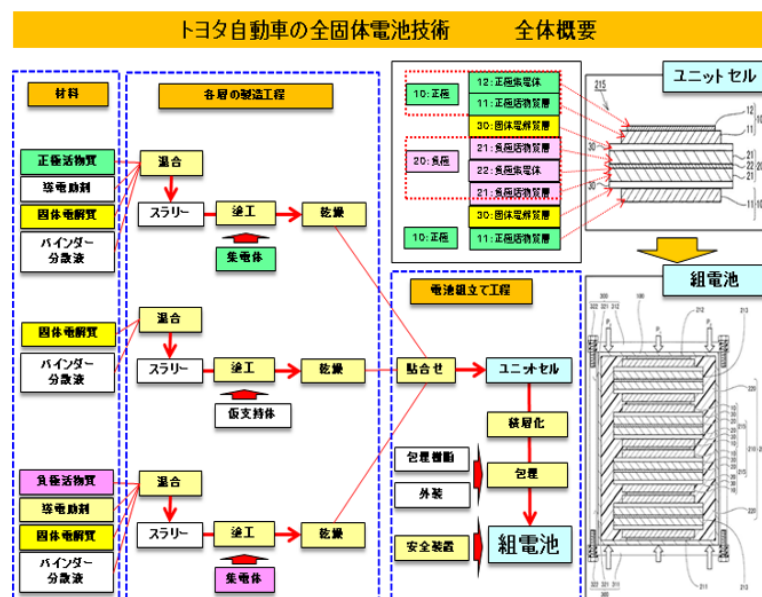


図2-6 トヨタ自動車の全固体電池技術の概要

トヨタの全固体電池に関する固体電解質の特長は、特許からは以下のように読み取れる（図 2-23）。

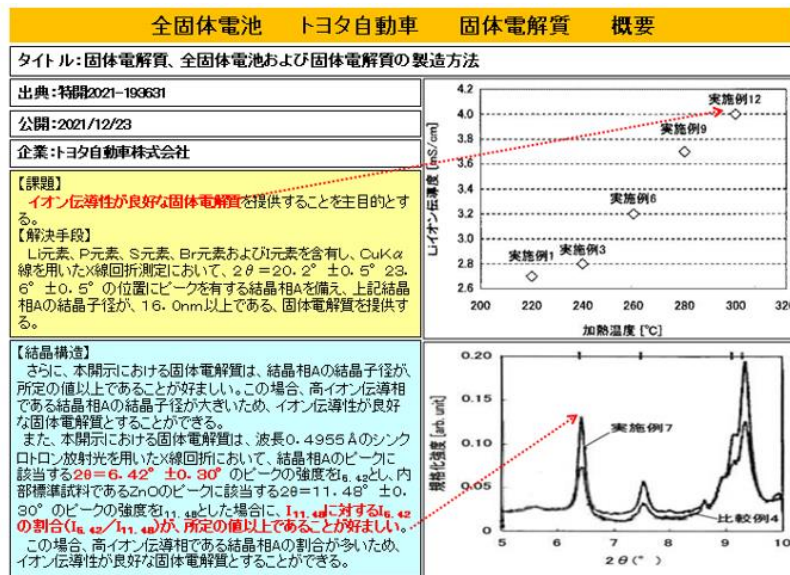


図2-23 トヨタ自動車の全固体電池技術 固体電解質 概要

周知のように、全固体電池には様々な課題がある。しかし、トヨタの場合は電池特性向上の課題を要約した上で、それら（課題）に関する解決の方向性を示していることが特筆されるのである（図 2-65）。

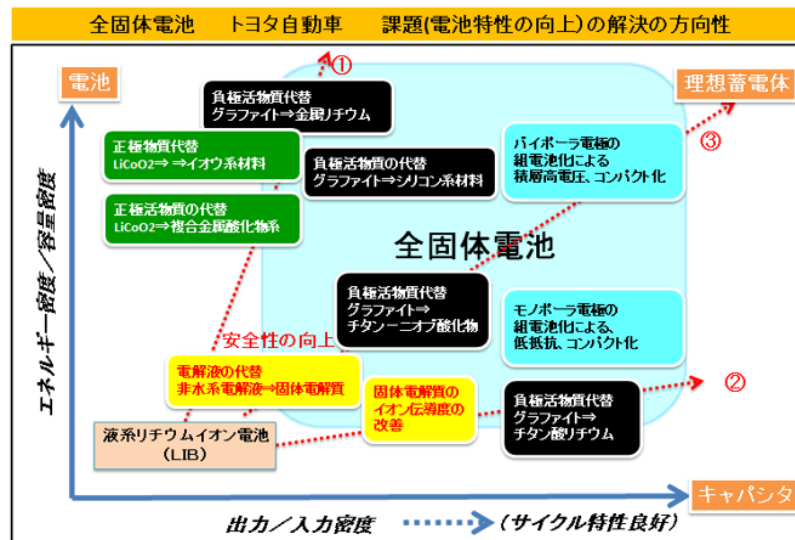


図2-65 トヨタ自動車の特許情報からみた全固体電池の電池特性の向上に関する解決の方向性

トヨタの全固体電池に関する課題とされるものは、決して少なくないといえる。

この内、電池の構造についての課題と解決手段をテーマ別のまとめてみると以下の表になる。(表 2-11)。

課題をテーマ別に見ると、電池特性や耐久性、それに製造方法と信頼性及び安全性に要約される。具体的な課題の内容と解決手段が簡潔に整理されている点が注目される。

表2-11 トヨタ自動車の全固体電池／電池構造に関する  
課題と解決手段

No	課題	課題詳細	解決手段
1	電池特性	高容量化	樹脂製リング
2		内部抵抗を低減	モノポーラ型電池ユニットが直列に接続
3		高容量化	電極構造
4		サイクル特性向上	集電体層と活物質層とが接着材によって互いに接着されている
5		高電圧化	複数のモノポーラ型電池ユニットは、互いに直列に接続されている。
6		内部抵抗を低減	表面粗さRaの最適化
7	耐久性	体積膨張の抑制	積層電極体
8		強度の向上	積層電極体
9		外装体の破損の防止	クランクした形状の電極計上
10		外装体の破損の防止	拘束部材
11		剥離防止	非対向部位は、前記対向部位よりもバインダーの含有割合が大きいことを特徴とする
12	製造方法	製造方法の最適化	積層電極体
13	信頼性	耐久性の向上	電極構成
14	安全性	発熱量抑制	積層電極体
15		ガスの発生抑制	拘束圧制御
16		短絡防止	電極構造

### 第 3 章より

全固体電池を EV に搭載する為に研究開発を続けているメーカーとしてはトヨタと関係深い電池メーカーもあれば (図 3-5)、トヨタとライバル関係にある自動車メーカーもある (図 3-11、図 3-14)。

各社の出願特許を丁寧に紐解いてみると、全固体電池開発のどこ (何) にこだわっているかが透けて見えて来る。

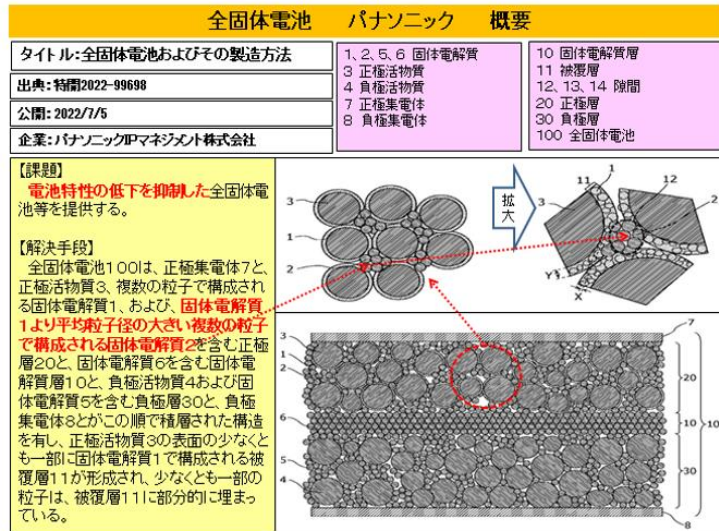


図3-5 全固体電池 パナソニック 概要

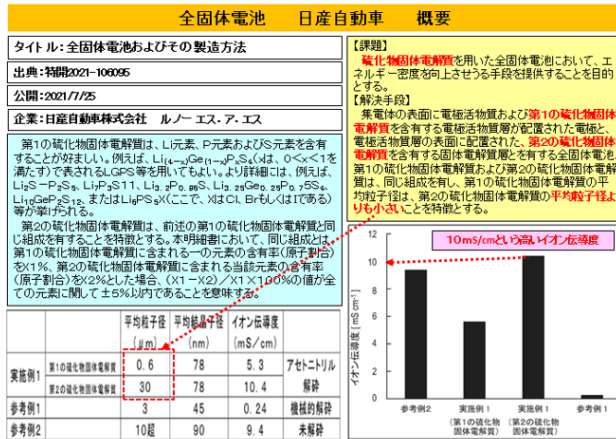


図3-11 全固体電池 日産自動車 概要

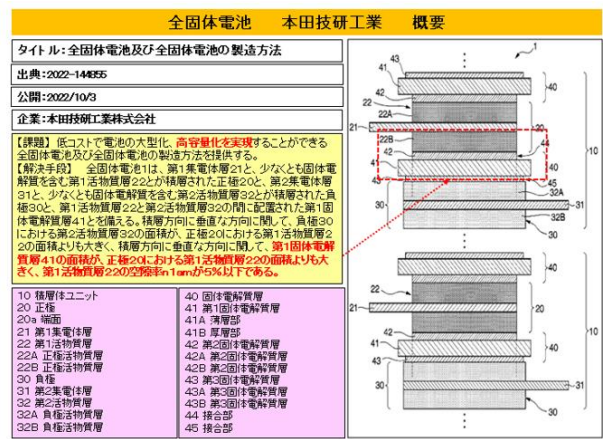


図3-14 全固体電池 本田技研工業 概要



断わるまでもないが、リチウムイオンの全固体電池の主要部材（図 3-18）や全固体電池（図 3-24）を手掛けるメーカーの全てが、自動車（EV）用途だけをターゲットにしている訳ではない。

全固体電池の用途は多岐に亘ることから、開発の時間軸を意識したメーカーの戦略には温度差があることも窺われる。

全固体電池 出光興産 概要	
<b>タイトル:</b> 固体電解質 <b>出典:</b> 特開2017-95351 <b>公開:</b> 2017/6/1 <b>企業:</b> 出光興産株式会社	<b>【課題】</b> 全固体二次電池に適した、高いイオン伝導度を有する固体電解質を提供する。 <b>【解決手段】</b> アルカリ金属元素の少なくとも1つと、リン(P)元素と、硫黄(S)元素と、I, Cl, Br及びFから選択される1以上のハロゲン元素と、を少なくとも含み、示差走査熱量測定(乾燥窒素雰囲気下、昇温速度10°C/min、20~600°C)において、150°C~350°Cの範囲に互いに分離した2つの発熱ピークを有する固体電解質ガラス。
本発明の固体電解質ガラスは、例えば、酸素を除く各元素が、下記式(1)で示す組成を有するものが好ましい。 $\text{LaMbPcSdXe}\cdot(1)$ (式中、Lはアルカリ金属を示し、MはB, Al, Si, Ge, As, Se, Sn, Sb, Te, Pb及びBiから選択させる1以上の元素を示し、XはI, Cl, Br及びFから選択される1以上のハロゲン元素を示す。 $a\sim e$ は、それぞれ下記式を満たす。 $0 < a \leq 12, 0 \leq b \leq 0.2, c = 1, 0 < d \leq 9, 0 < e \leq 9$ 本発明の固体電解質ガラスは、例えば、下記の原料(A)、(B)及び(C)を用いて合成できる。 (A)アルカリ金属硫化物 (B) $M'mSn$ で表される化合物 (C) $M''wXy$ で表される化合物 (式中、M'はB, Al, Si, P, Ge, M''はLi, Na, B, Al, Si, P, S, Ge, As, Se, Sn, Sb, Te, Pb又はBiを示し、XはF, Cl, Br又はIを示す。wは1~2の整数を示し、m, n, yは1~10の整数を示す。)	

図3-18 全固体電池 出光興産 概要

全固体電池 村田製作所 概要	
<b>タイトル:</b> 全固体電池 <b>出典:</b> WO2019/167356 <b>公開:</b> 2019/9/6 <b>企業:</b> 村田製作所	<b>【課題】</b> 従来、半田を用いたリフロー実装が可能なように、端子電極の最外層にめっき層が形成された全固体電池において、端子電極の最外層にめっき層を形成した場合、めっき液が素子内に侵入する可能性があるため、所望の特性を有する全固体電池が得られない場合がある。端子電極の最外層にめっき層を形成し、半田を用いたリフロー実装が可能なようにすることは、実際上困難である。本発明の主な目的は、半田を用いたリフロー実装可能な全固体電池を提供することにある。
<b>【解決手段】</b> 全固体電池11は、焼結体10を備える。焼結体10は、略直方体状である。焼結体10は、第1及び第2の主面10a、10bと、第1及び第2の側面10c、10dと、第1及び第2の端面10e、10fとを備えている。第1及び第2の主面10a、10bは、それぞれ、長さ方向L及び幅方向Wに沿って延びている。幅方向Wは、長さ方向Lに対して垂直である。第1及び第2の側面10c、10dは、それぞれ、長さ方向L及び厚み方向Tに沿って延びている。厚み方向Tは、長さ方向L及び幅方向Wのそれぞれに対して垂直である。第1及び第2の端面10e、10fは、それぞれ、幅方向W及び厚み方向Tに沿って延びている。焼結体10の稜線部及び角部は、面取り状とされていてもよいし、丸められた形状とされていてもよいが、クラックが発生することを抑制する観点からは、丸められた形状を有することが好ましい。	
図は、本実施形態に係る全固体電池の模式的斜視図である。	

図3-24 全固体電池 村田製作所 概要

## 第4章（第1章含む）より

全樹脂電池についての関心も高く、開発動向の概要に触れたことがある（A4で約50枚）。

本資料集では全樹脂電池の可能性も踏まえて、全固体電池との関係と言うか棲み分けのイメージにもこだわっている。

全樹脂電池（APB社・三洋化成工業）の製造方法（図4-7）及び、現状の液系LIBと全樹脂電池や全固体電池の位置を開発の方向性から示したものが以下の図である（図1-17）。

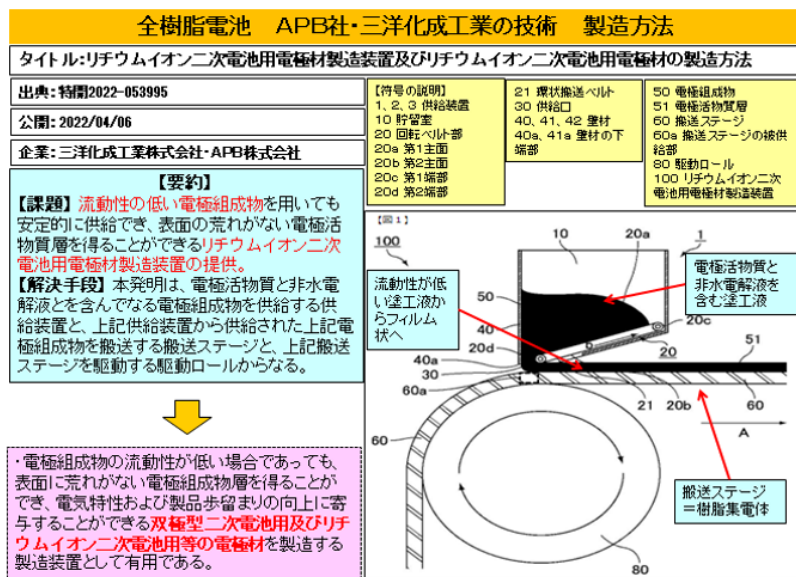


図4-7 APB社と三洋化成工業の技術 製造方法

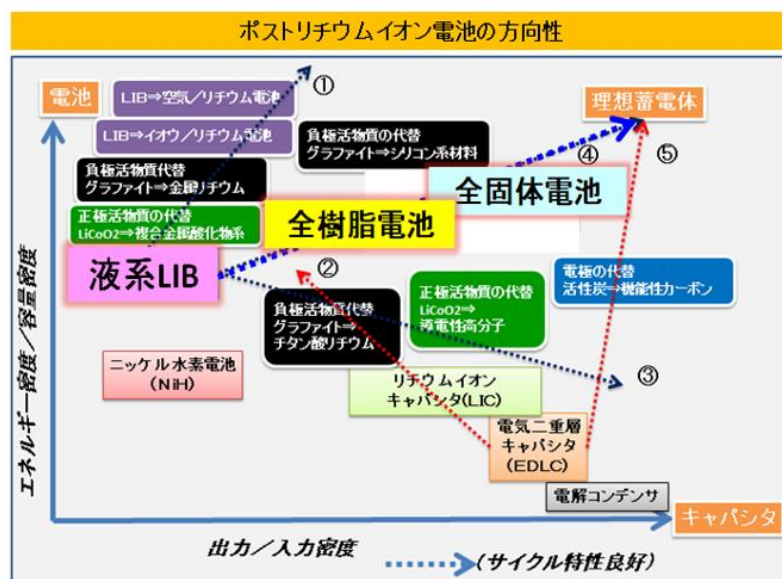


図1-17 全樹脂電池や全固体電池の液系LIBに対する位置づけ

次に、現在の主流である液状 LIB と全固体電池、全樹脂電池主要部材の構成材料を比較してまとめたものが以下の表である（表 1-2）。

全固体電池も全樹脂電池も具体的にエントリー（採用）されているものはある。しかしながら、どの主要部材（構成材料）にも開発課題がある。液状 LIB の主要材料で開発に先鞭を付けたといえる日本の材料メーカーは、全固体でも全樹脂の電池においても開発をリードするポテンシャルはあるものと見られているものの、ビジネス展開に関しては留意すべき事項は少なくないのではないかと考えられる。

表1-2 全固体電池と全樹脂電池と液系(現行)リチウムイオン電池の構成材料の比較

構成部材	構成材料と機能			リチウムイオン電池	全樹脂電池	全固体電池
正極層	正極集電体	導体	電子伝導	アルミ箔	樹脂集電体	アルミ箔
	正極材料	活物質	酸化還元	LiCoO <sub>2</sub> , LiNiO <sub>2</sub> , LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> など	ニッケル酸化物ベース	LiCoO <sub>2</sub> , LiNiO <sub>2</sub> , LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> など
		導電助剤	電子伝導	カーボン	カーボン	カーボン
		バインダー	結着	溶液乾燥型の電極用バインダ	粘着剤	溶液乾燥型の電極用バインダ
	電解液	溶媒	イオン伝導	エチレンカーボネート など	エチレンカーボネート +ジメチルカーボネート	なし
		電解質	イオン伝導	LiPF <sub>6</sub> , LiBF <sub>4</sub> など	LiPF <sub>6</sub>	固体電解質
隔膜層	電解液	溶媒	イオン伝導	エチレンカーボネート など	電池形成時に両極層から電解液侵入	なし
		電解質	イオン伝導	LiPF <sub>6</sub> , LiBF <sub>4</sub> など		固体電解質
	セパレータ	セパレータ	絶縁 シャットダウン	ポリエチレン多孔膜	ポリプロピレン多孔膜	なし
負極層	電解液	溶媒	イオン伝導	エチレンカーボネート など	エチレンカーボネート +ジメチルカーボネート	なし
		電解質	イオン伝導	LiPF <sub>6</sub> , LiBF <sub>4</sub> など	LiPF <sub>6</sub>	固体電解質
	負極材料	活物質	酸化還元	グラファイト、ハードカーボン	ハードカーボン	グラファイト、ハードカーボン
		導電助剤	電子伝導	カーボン	カーボン	カーボン
		バインダー	結着	溶液乾燥型の電極用バインダ	粘着剤	溶液乾燥型の電極用バインダ
	負極集電体	導体	電子伝導	銅箔	樹脂集電体	銅箔

## 第6章より

全固体電池の構成部材に関して、液系 LIB と共通な材料と新たに必要となる材料がある (図 6-1)。この点を考慮すれば、開発の時間軸が見えて来るかも知れない。

そして、何よりも大事な点は、現状のもの (液系 LIB) も開発の余地 (伸びしろ) があるので、それを念頭に置きながら全固体電池の進化を予想して行くことが重要ではないだろうか (図 6-9)。

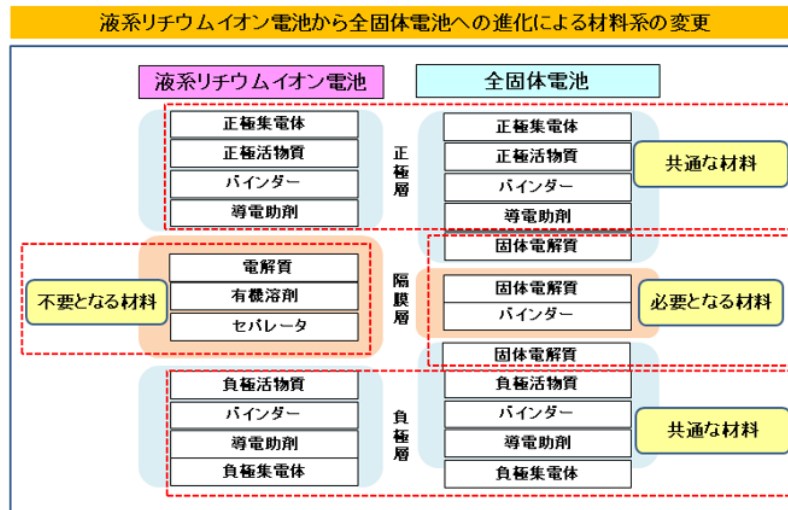


図6-1 液系リチウムイオン電池から全固体電池への進化による材料系の変更

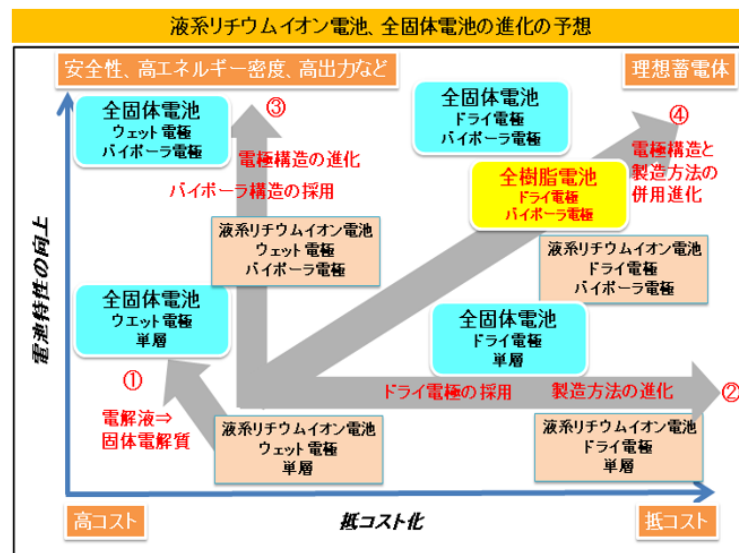


図6-9 液系リチウムイオン電池、全固体電池の進化の予想