全固体電池の構造や固体電解質および電極の材料における研究開発動向に関する調査

OIカウンシル 調査結果報告書

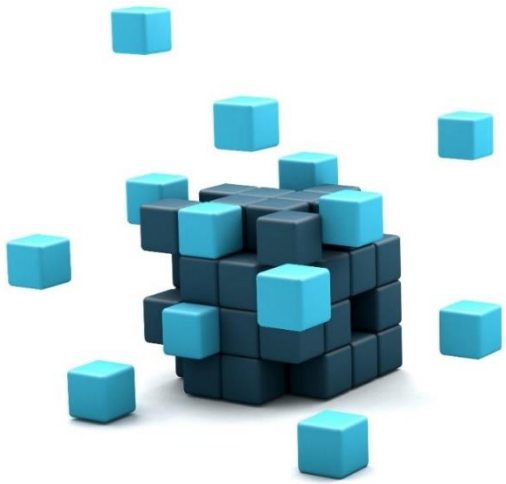
2023年5月17日

ナインシグマ・ホールディングス株式会社

01　調査目的・設問と回答者プロファイル

02　調査結果

03　まとめ

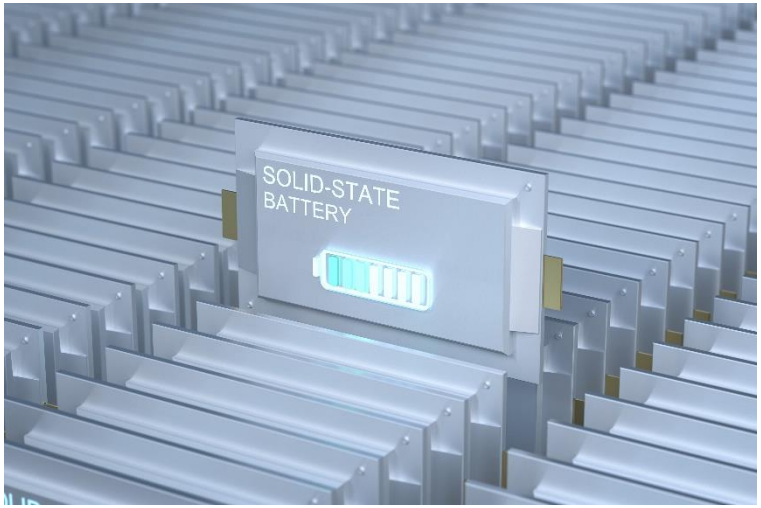


© Copyright, NineSigma

背景

ナインシグマのクライアント企業様において、新規市場参入を目的として、全固体電池の今後の開発動向について調査している。

公知情報や特許情報等をもとに整理し、全体感の俯瞰を把握しているものの、具体的な市場参入・プロジェクト企画のためには現場のエキスパートの意見やインサイトも同時に重要と考えている。



本調査の目的

本調査では全固体電池に関わる技術、特に電池の構造や固体電解質および電極の材料における研究開発動向を把握し、同分野の現場のエキスパートの意見やインサイトを抽出する目的で、OIカウンシルのエキスパートに対するアンケート調査を実施した。

© Copyright, NineSigma

目的

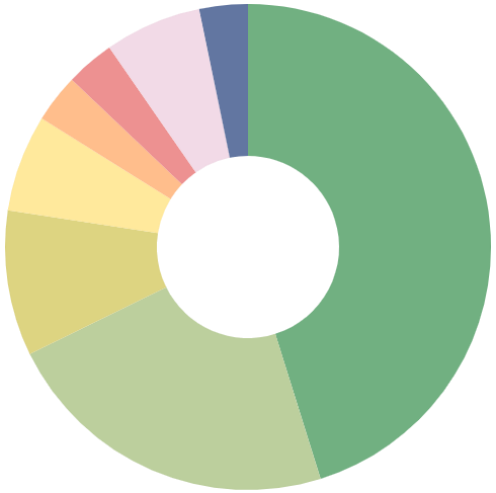
全固体電池に関わる技術、特に電池の構造や固体電解質および電極の材料における研究開発動向を把握するため、OIカウンシルのエキスパートを対象に、以下の項目に関するアンケート調査を実施した。

質問リスト

Q1.	**“全固体電池”に関わる実務経験や知見はお持ちでしょうか？（単一選択式）** A. はい、全固体電池に関わる実務経験も知見も持っている。/ B. 全固体電池に関わる知見は持っているが、実務経験はない。/ C. 全固体電池に関わる実務経験も知見もない。
Q2.	**あなたの担当業務と全固体電池に関わる専門性を具体的に教えてください。（自由記述式）**
Q3.	**全固体電池の構造において、特に注目される構造は次のうちどちらでしょうか。（複数選択式）** A. Bulk-type / B. Thin-film-type / C. その他(ご記載ください)
Q4.	**Q3で選択した構造において、全固体電池の固体電解質として使われている材料は次のうちどちらでしょうか。（複数選択式）** A. LGPS / B. LiPS / C. アルジロダイト (Li6PS5Clなど) / D. ガーネット型(LLZ:ランタンジルコン酸リチウム) / E. ペロブスカイト型(La0.51Li0.34TiO2.94) / F. NASICON型(Li1.3Al0.3Ti1.7(PO4)3) / F. 樹脂系材料(樹脂・モノマー・コポリなど) / G. その他 (ご記載ください)
Q5.	**Q3で選択した構造について、正極材として使われている材料をご記載ください。（自由記述式）**
Q6.	**Q3で選択した構造について、負極材として使われている材料をご記載ください。（自由記述式）**
Q7.	**Q3、Q4、Q5、Q6の選択理由を詳細に教えてください。（自由記述式）**
Q8.	**全固体電池におけるキープレイヤーと考えられる組織（企業・アカデミア含め）を教えてください。また、その組織が保有する技術の特徴も合わせてご記載ください。（自由記述）**
Q9.	**具体的にどのような用途に全固体電池が適していると考えますか？可能な範囲で具体的に、理由とともにご記載ください。（自由記述式）**

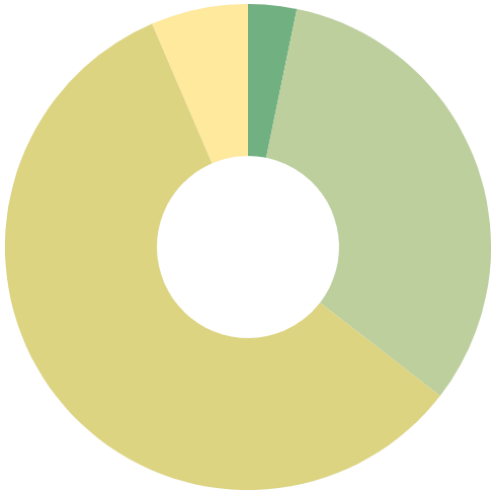
© Copyright, NineSigma

所属業界



選択された回答	回答数	割合
1 Automotive	14	45.2%
2 Chemicals & Materials	7	22.6%
3 Electronics	3	9.7%
4 Machinery/Equipment/ Heavy Industry	2	6.5%
5 Oil & Energy	1	3.2%
6 Plant/Process Engineering	1	3.2%
7 Renewables & Environment	2	6.5%
8 Telecommunication	1	3.2%

所属地域



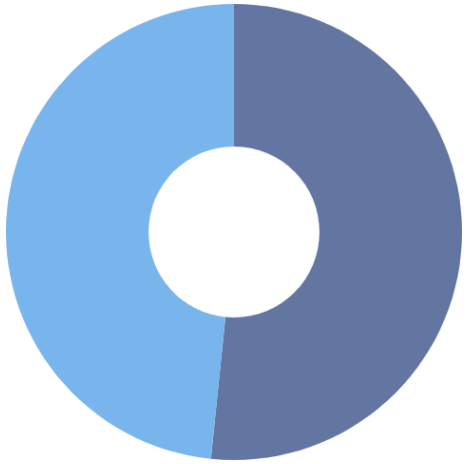
選択された回答	回答数	割合
1 Africa	1	3.2%
2 Asia	10	32.3%
3 Europe	18	58.1%
4 North America	2	6.5%

有効回答 **31 件**

© Copyright, NineSigma

現在もしくは過去に“全固体電池”に関する実務経験がある方から多くの回答が得られた。(51.6%)

Q1 **“全固体電池”に関わる実務経験や知見はお持ちでしょうか？**



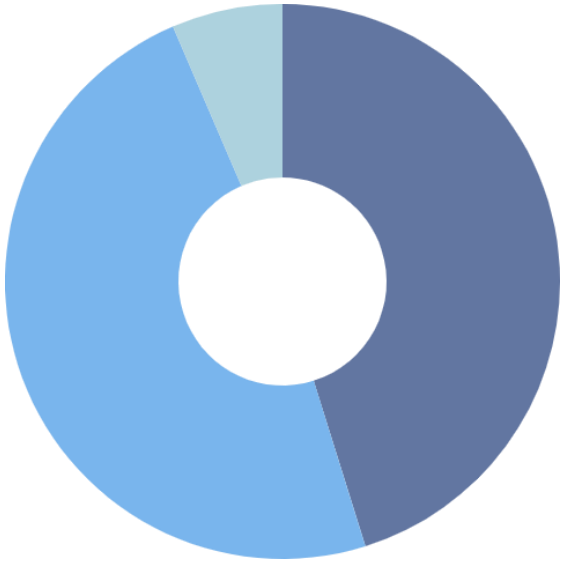
選択された回答	回答数	割合
1 はい、全固体電池の実務経験と知識があります。	16	51.6%
2 はい、知識はありますが全固体電池の実務経験はありません。	15	48.4%
3 いいえ、私は全固体電池の実務経験も知識もありません。	0	0%

© Copyright, NineSigma

バルクタイプと薄膜タイプに対する注目度はほぼ同じであった。

Q3 **全固体電池の構造において、特に注目される構造は次のうちどちらでしょうか。** （単一選択式）

A. Bulk-type / B. Thin-film-type / C. その他(ご記載ください)



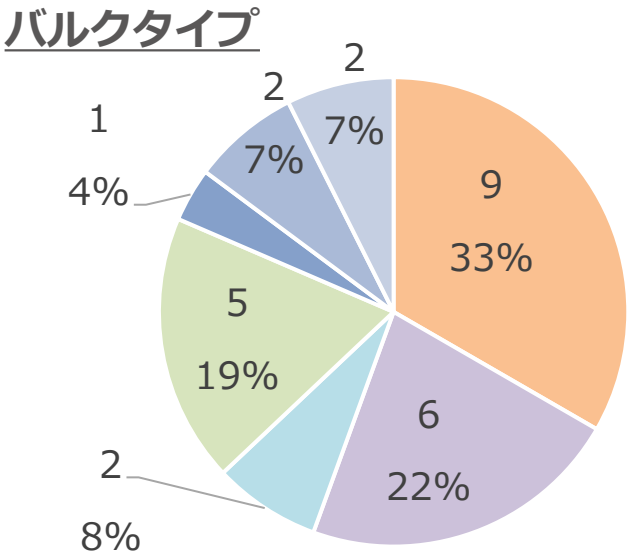
選択された回答	回答数	割合
1 バルクタイプ	14	45.2%
2 薄膜タイプ	15	48.4%
3 その他（ご記入ください）	2	6.5%

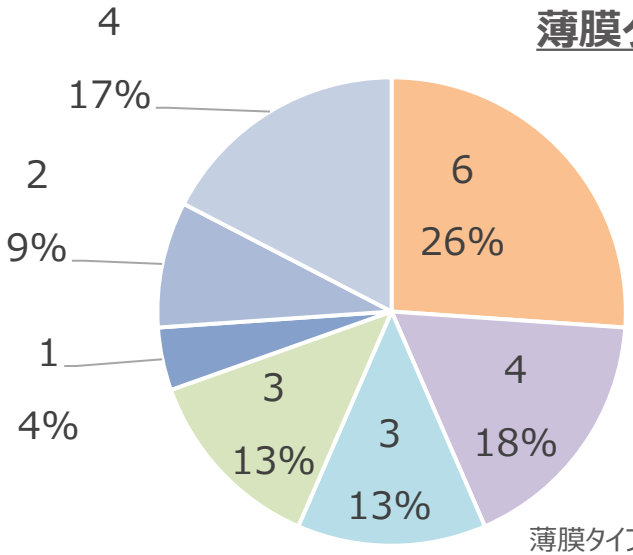
その他：薄膜タイプだけでなく、効率化を考えるとより複雑な構造が必要と考える。(No.34)

© Copyright, NineSigma

バルクタイプでも薄膜タイプでもLGPS (e.g. Lithium germanium)が最も使用されている。

Q4 **Q3で選択した構造において、全固体電池の固体電解質として使われている材料は次のうちどれでしょうか。**
（複数選択式）





- LGPS（例：リチウムゲルマニウムリン硫化物：Li10GeP2S12）
- LiPS（例：硫化リチウムリン：Li7P3S11）
- アルギロダイト (例: Li6PS5Cl)
- ガーネット型（例：ジルコン酸ランタンリチウム：Li7La3Zr2O12(LLZ)）
- ペロブスカイト型 (例: La0.51Li0.34TiO2.94)
- NASICONタイプ (例: Li1.3Al0.3Ti1.7(PO4)3)
- その他（ご記入ください）

薄膜タイプで“その他”を選んだ回答：

・リチウムリン酸窒化物(LiPON)

・SVLOT社 NMxバッテリー、等

© Copyright, NineSigma

Q5, 6, 7

Q3で選択した構造について、正極材、負極材として使われている材料をご記載ください。
Q3、Q4、Q5、Q6の理由を詳細に教えてください。

最も回答があった**バルクタイプ – LGPS** あるいは **LiPS** を選択された方は、電気特性（密度や電位差）や長寿命を理由に正負極材を選んでいる傾向がある。

#	分類	Q3 構造	Q4 電解質	Q5 正極	Q6 負極	Q7 選択理由	国名 業種
10	A	バルク	**LGPS**	LiFePo4	Fe	**電力密度が高く、寿命が長い**(25年)	（実際のプロジェクトでは企業名・国名を含めて掲載）
12	B	バルク	**LGPS** **LiPS** アルギロダイト ガーネット型	Li-S	シリコン	**電圧差と耐久性のため**	（実際のプロジェクトでは企業名・国名を含めて掲載）
23	B	バルク	**LGPS** **LiPS**	コバルト、ニッケル、マンガンが結晶構造を形成しているマルチメタル酸化物にリチウムを添加したもの	亜鉛 リチウム	**優れた特性と長寿命のため**	（実際のプロジェクトでは企業名・国名を含めて掲載）
27	A	バルク	**LGPS**	高電圧スピネル LiNi0.5Mn1.5O4 (LNMO)	リチウム	環境への影響が少なく、**動作電圧が高く**（リチウムに対して約4.7V）、**エネルギー密度が高く**（650Wh kg−1）、製造コストが低い	（実際のプロジェクトでは企業名・国名を含めて掲載）

分類

A. はい、全固体電池に関わる実務経験も知見も持っている。
B. 全固体電池に関わる知見は持っているが、実務経験はない。

© Copyright, NineSigma

Q5, 6, 7

Q3で選択した構造について、正極材、負極材として使われている材料をご記載ください。
Q3、Q4、Q5、Q6の理由を詳細に教えてください。

続いて回答が多かった**バルクタイプ – ガーネット型** を選択された方は、LGPS あるいは LiPS を選択された方と比べて、負極にリチウム金属を挙げるなど、選択した正負極材傾向は大きく変わらない。

#	分類	Q3 構造	Q4 電解質	Q5 正極	Q6 負極	Q7 選択理由	国名 業種
5	B	バルク	**ガーネット型**	コバルト酸リチウム	Li-Si、Li-Snなどのリチウム合金	携帯用電子機器の電源として広く使用されており、**電気自動車やプラグインハイブリッド車の大型電源**として注目されている。	（実際のプロジェクトでは企業名・国名を含めて掲載）
14	A	バルク	LGPS **ガーネット型** NASICONタイプ	現在すべての電池は、**高い電気伝導率を持つLi3CuS2硫化物正極活物質**が使用されている。	現在の業界のすべての負極材料はLi6PS5Clに続いて β-Li3PS材料が使用されている。	固体電池はリチウムイオン電池に比べて、**保護回路を必要とせず、非常に頑丈**である。また、**重量が非常に少なく、コストが低い**。	（実際のプロジェクトでは企業名・国名を含めて掲載）

分類

A. はい、全固体電池に関わる実務経験も知見も持っている。
B. 全固体電池に関わる知見は持っているが、実務経験はない。

© Copyright, NineSigma

Q5, 6, 7

Q3で選択した構造について、正極材、負極材として使われている材料をご記載ください。
Q3、Q4、Q5、Q6の理由を詳細に教えてください。

最も回答があった**薄膜タイプ – LGPS** あるいは **LiPS** を選択された方は、電気特性（密度や容量）といった性能を重視する回答が多かった。バルクタイプと異なり、長寿命を選択した理由にしている方はいなかった。

#	分類	Q3 構造	Q4 電解質	Q5 正極	Q6 負極	Q7 選択理由	国名 業種
6	A	薄膜	**LGPS**	五酸化バナジウム 酸化バナジウム	非結晶シリコン	**高エネルギー密度のため。** 酸化バナジウムはガス状不純物への耐性が高く、アモルファスSiは他の材料に比べて吸収性に優れているため。	（実際のプロジェクトでは企業名・国名を含めて掲載）
18	B	薄膜	**LGPS** **LiPS**	LGPS–PVDFコンポジット	黒鉛	**PVDFポリマーは正極と電解質間の接触を改善し、接続不良を低減できる**ため。	（実際のプロジェクトでは企業名・国名を含めて掲載）
20	B	薄膜	**LGPS**	硫化物	リチウム	**入手性がよく、良い性質を持っている**から。	（実際のプロジェクトでは企業名・国名を含めて掲載）
31	B	薄膜	**LGPS** **LiPS** ガーネット型	LCO	純リチウム （まだ研究開発段階）	バッテリー**密度**とバッテリー**容量**	（実際のプロジェクトでは企業名・国名を含めて掲載）

分類

A. はい、全固体電池に関わる実務経験も知見も持っている。
B. 全固体電池に関わる知見は持っているが、実務経験はない。

© Copyright, NineSigma

Q8 **全固体電池におけるキープレイヤーと考えられる組織（企業・アカデミア含め）を教えてください。また、その組織が保有する技術の特徴も合わせてご記載ください。**

自動車メーカ

- 多く回答があったのは、**トヨタ・ BYD**であった。

  トヨタは安全性を高めるために硫黄系電解液とニッケル水素電池を使用しており、より安全でより多くのエネルギーを蓄積してEVは従来の電池よりも多くの距離を走行できると考えている。また、**BYD**の固体電池はBlade Batteryと呼ばれ、低コスト、高い安全性、高密度であることが特徴。

電気メーカ

- 多く回答があったのは、**Samsung SDI・QuantumScape**であった。
- スタートアップとして、**Solid power**や**Factorial Energy、 ProLogium** が挙げられた。
- その他上位の特許出願人に名前はないが、 **Ionomr Innovations**、 **Leclanche**が挙げられた。

アカデミア

- **ユニバーシティ カレッジ ロンドン (電気化学イノベーション ラボ)**
  分解中の材料のX線3Dイメージング、電気化学的診断技術、固体電解質へのリチウム浸透を使用したSSB研究に取り組んでる。
- **ウォリック大学 (ウォリック製造センター)**
  バッテリーの劣化と製造のすべての領域に目を向けるグループ
- **東京工業大学**
  VクラスLiNi0.5Mn1.5O4を用いたバルク型全固体電池の開発に取り組んでいる。
  機械的に調製された LiCoPO4 複合カソードを使用したバルク型全固体電池の開発に取り組んでいる。

© Copyright, NineSigma

Q9 **具体的にどのような用途に全固体電池が適していると考えますか？可能な範囲で具体的に、理由とともにご記載ください。**

一番の可能性は自動車などのモビリティー、安全面から医療用途を挙げている方も多い。

自動車用途 （23人）

- 他のバッテリーや従来の燃料よりも安全（No.4）で、非常に耐久性が高く、屋外での使用に非常に適している。(No.29)
- エネルギー密度が高く、動作温度範囲が広いので自動運転の領域が広がる。（No.7,26）

医療・ウェアラブルデバイス （6人）

- 固体電池は液体よりも安全で、また、耐久性にも優れているので、ペースメーカーやその他のウェアラブル医療機器に使用可能。(No.12)
- 感染した部分を癒すために体内に入れることができるマイクロロボットに使用できる。（No.32）

小型電子機器 （2人）

- 小型のハンドヘルドおよびモバイル電子機器使用が可能で、全固体電池はEVバッテリーの二酸化炭素排出量を最大40%削減できる。（No.28）
- 携帯電話、小型ドローン、ラップトップ：非常に耐久性が高く、屋外での使用に非常に適している。(No.29)

その他少数

- 宇宙および航空分野：エネルギーと質量の比率が重要。負荷制限と充電時間の最小化は非常に高く評価されている。(No.25)
- 脱炭素戦略の一環として、再生可能エネルギーの次のステップ、ノイズのないデバイスで使用可能。（No.34）

© Copyright, NineSigma

3. 本調査に関するまとめ

- 全固体電池に関わる技術、特に構造や固体電解質、電極材料における研究開発動向に関するエキスパートによる定性評価を目的として、以下の項目に関するアンケート調査を実施した。（有効回答31件）
- エキスパートが注目している構造は、**バルクタイプと薄膜タイプがほぼ同等**。
- 固体電解質は、バルクタイプと薄膜タイプともLGPSであるとする意見が多く、**LiPS、ガーネット型**が続く。
- 正極材は**リチウム複合酸化物**、負極材は**リチウム金属**を選択しているケースが多いが、近年開発が進む**シリコン**を負極材として挙げた回答もあった。
- 構造、および材料（電解質、正・負極材）の選定理由としては、**電気特性（密度、容量、抵抗など）**、**耐久性**、を挙げている方が多く、続いてコストや環境面を挙げている方もおられた。
- 全固体電池におけるキープレイヤーに関する質問では、大手企業、スタートアップ、大学、研究機関など様々な組織が挙げられたが、大手企業としては**TOYOTA**などの自動車メーカー、電気自動車を手掛けている中国の**BYD**、**Samsung**などエレクトロニクス関連メーカーをあげる意見が多かった。いずれも主要出願人に名を連ねており、また自動車メーカーと提携するStart-upの名前も挙がった。
- 期待される将来用途としては、**自動車などのモビリティ関連**、リチウムイオン電池より安全性が高いということで、**医療機器関係**、**ウェアラブルデバイス**をあげる意見も見られた。

© Copyright, NineSigma

重要事項

- 本資料は当社が信頼できると判断した情報をもとに当社が作成・表示したものですが、その内容及び情報の正確性、完全性、適時性、網羅性を保証するものではありません。本資料には、現時点での情報に基づく当社の分析、判断、その他の見解が含まれており、実績値はこれらと異なることがあります。当社は本資料に記載された企業・機関あるいはそれが有する技術・ノウハウ等の価値を保証または承認しておりません。当社は本資料に記載されている情報に関する責任（本資料に明記された又は記載されない事項に関する明示または黙示の表明または保証を含むが、それらに限られない）を一切負わないことを明記します
- 本資料は、当社による推奨その他の助言を意図するものではなく、本資料の受領者は本資料のみに依拠すべきではなく、当社は貴社による決定又は行為について責任を負いません
- 本資料及び本資料に記載されている情報は、本資料の受領者に対する法務、規制、財務または税務アドバイスを構成するものではありません。本資料の受領者は、本資料の内容及び本資料に記載されている取引に関して、独立した第三者から法務、会計、税務及び財務アドバイスを受けることをお勧めいたします
- （貴社から受領した情報にかかるものを除き）本資料の知的所有権は当社に帰属し、事前に当社から書面による承諾を得ることなく本資料及びその複製物に修正・加工することは固く禁じられています。また、本資料及びその複製物を送信、複製および配布・譲渡することは固く禁じられています。本資料の開示範囲は貴社内およびグループ企業内の関係者に限定され、事前に当社から承諾を得ることなくそれ以外の者へ開示することは固く禁じられています
- 本資料は予告なしに内容が変更又は廃止される場合がございますので、予めご了承下さい