



研究領域：目的指向型材料科学による全固体電池技術の創出 全固体電池技術共創コンソーシアム

第2回 JST OPERAシンポジウム
2023年3月13日

東京工業大学
科学技術創成研究院
全固体電池研究センター
特命教授 菅野 了次

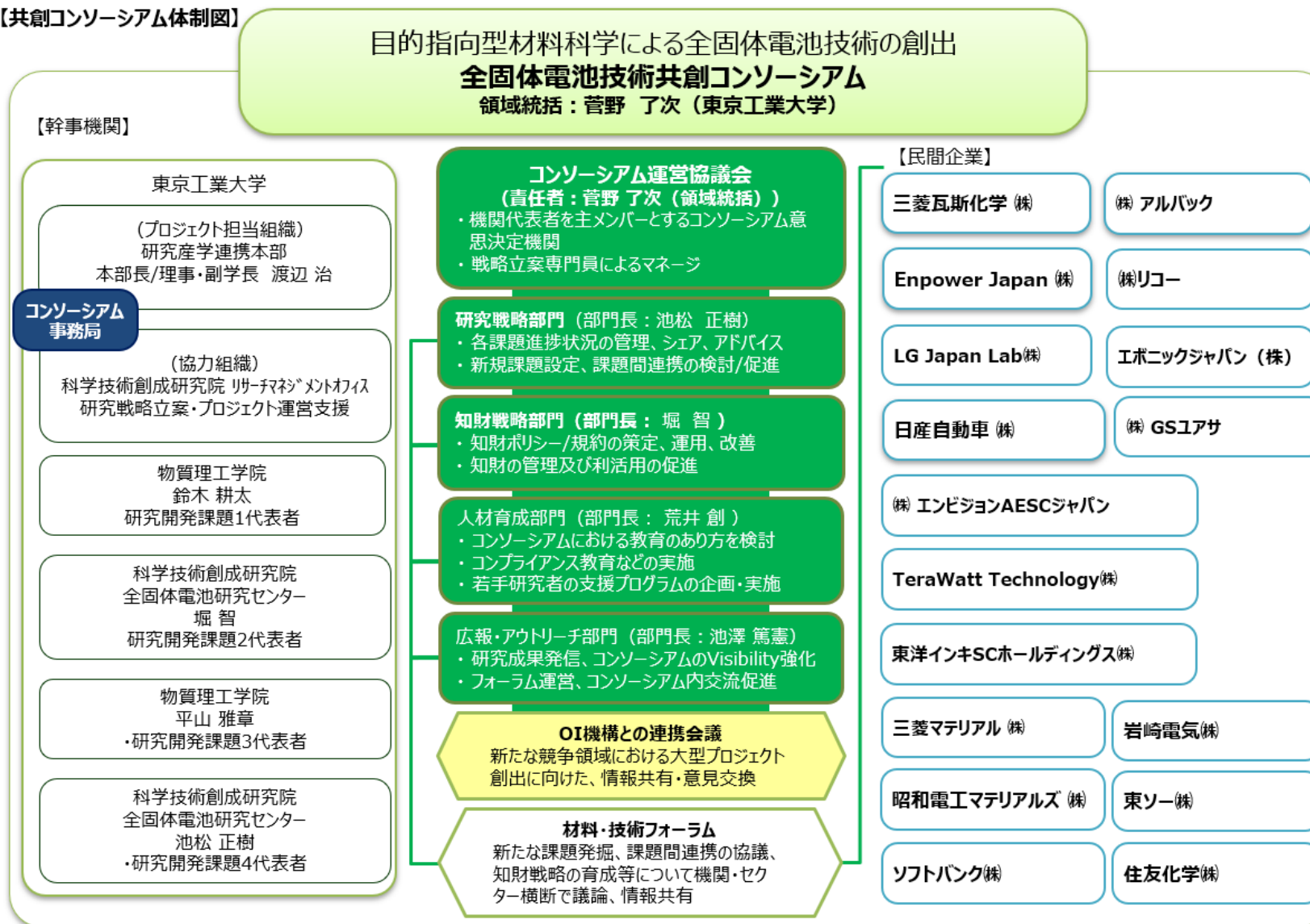
研究領域名称：目的指向型材料科学による全固体電池技術の創出

共創コンソーシアム名：全固体電池技術共創コンソーシアム

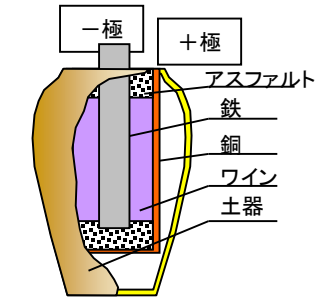
超イオン伝導体（固体電解質）は、固体中を高速でリチウムイオンが選択的に移動し、かつ低温から高温まで幅広い温度領域で動作する新しい材料です。また、この材料を利用した電池は、液漏れもなく安全性や安定性にも優れ、重量あたりのエネルギー密度も高いため、全固体電池は未来のエネルギー貯蔵デバイスのキーテクノロジーです。

本共創コンソーシアムではこの革新的な全固体電池の共通基盤技術を非競争領域と位置づけ、多くの参画企業と共同で技術開発を進めています。

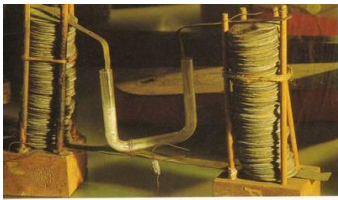
【共創コンソーシアム体制図】



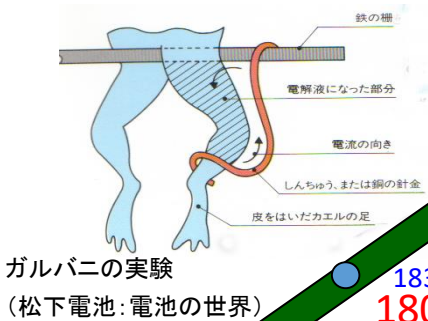
歴史に学ぶ：乾電池の歴史



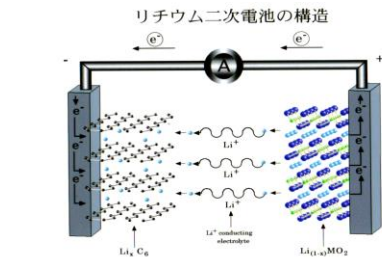
紀元前 バグダッド電池



ボルタ電池



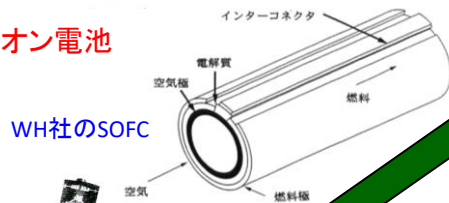
ガルバニの実験
(松下電池:電池の世界)



リチウムイオン電池



屋井先蔵の乾電池
(松下電池:電池の世界)



WH社のSOFC

1990,91 Ni-MH, Li-ion

1991年 リチウム二次電池実用化(ソニー)
LiC(カーボン負極)/有機電解質/LiCoO₂

1990年 ニッケル水素電池実用化(松下、三洋)
水素吸蔵合金/KOH/NiOOH

1973年 リチウム一次電池実用化(松下)
Li/有機電解質/CF(フッ化黒鉛)

1969年 WH社 筒型SOFC

1970年 アポロ13号
トラブル

1960年代Du Pont Nafion開発

1960年 前後GE PEFC

1948年 ニューマン 密閉Cd/KOH/NiOOH

1900年 ユングナー ユングナー電池: Cd/KOH/NiOOH

1886年 ガスナー、屋井先蔵 乾電池を発明
1864 MnO₂ battery

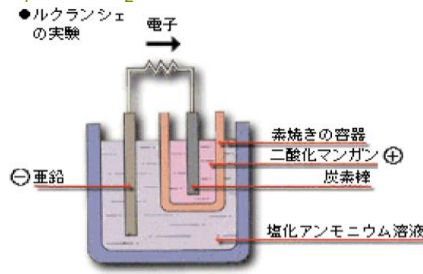
1864年 ル克蘭シェ マンガン電池: Zn/NH₄Cl/MnO₂

1859年 プランテ 鉛蓄電池: Pb/H₂SO₄/PbO₂
1849 Lead-acid battery

1839年 グローブ 燃料電池の原理 H₂/KOH/O₂
1800 Volta battery

1800年 ボルタ電池: M/電解質/M'

1797年 ガルバニ化学電池の原理の発見

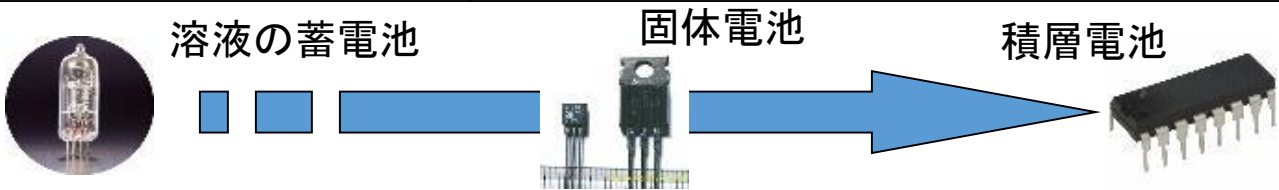
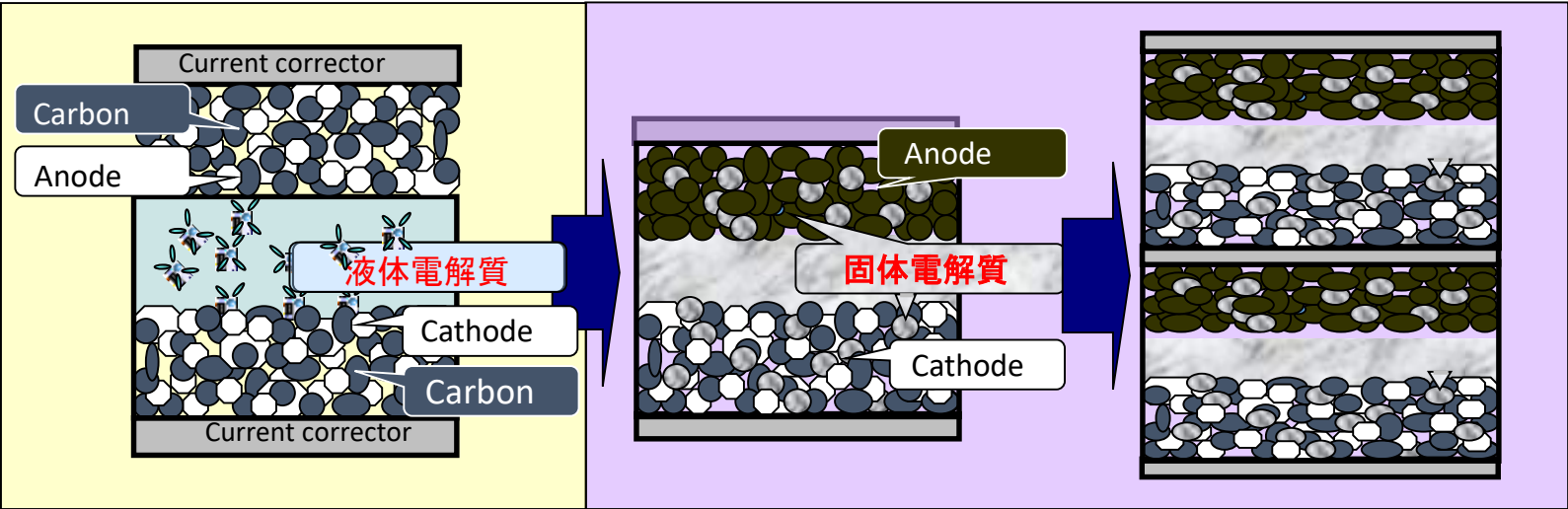


ル克蘭シェ電池 (松下電池:電池の世界より)



ポジウム

電池を固体化、単セルの特性発現、積層による実電池化 エネルギー密度増加

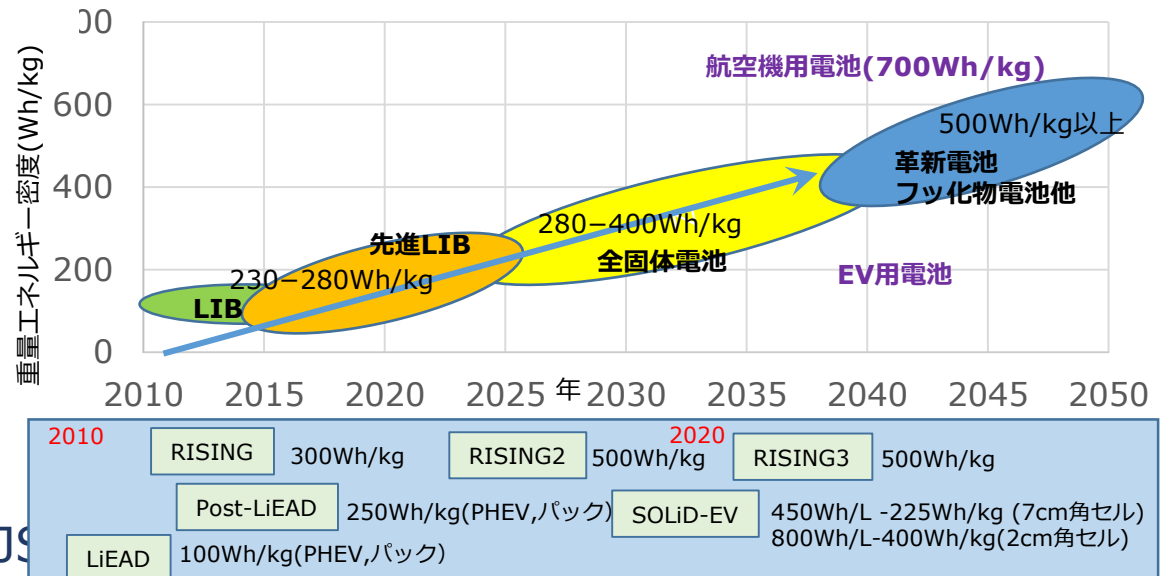
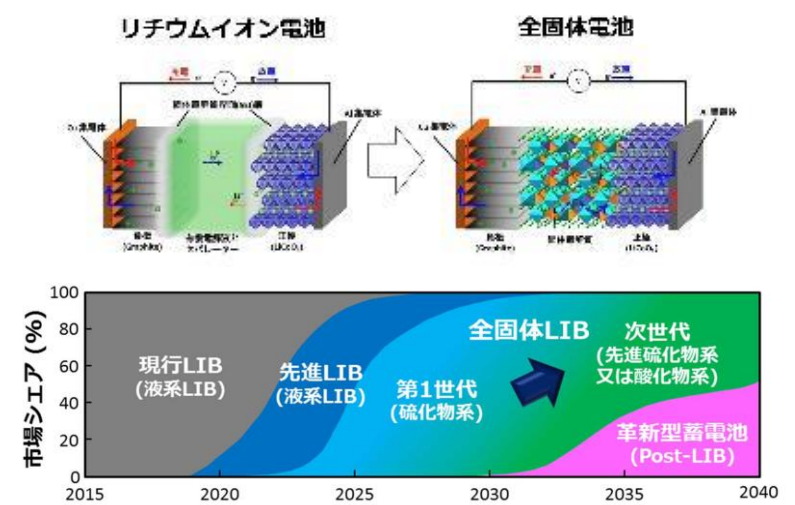
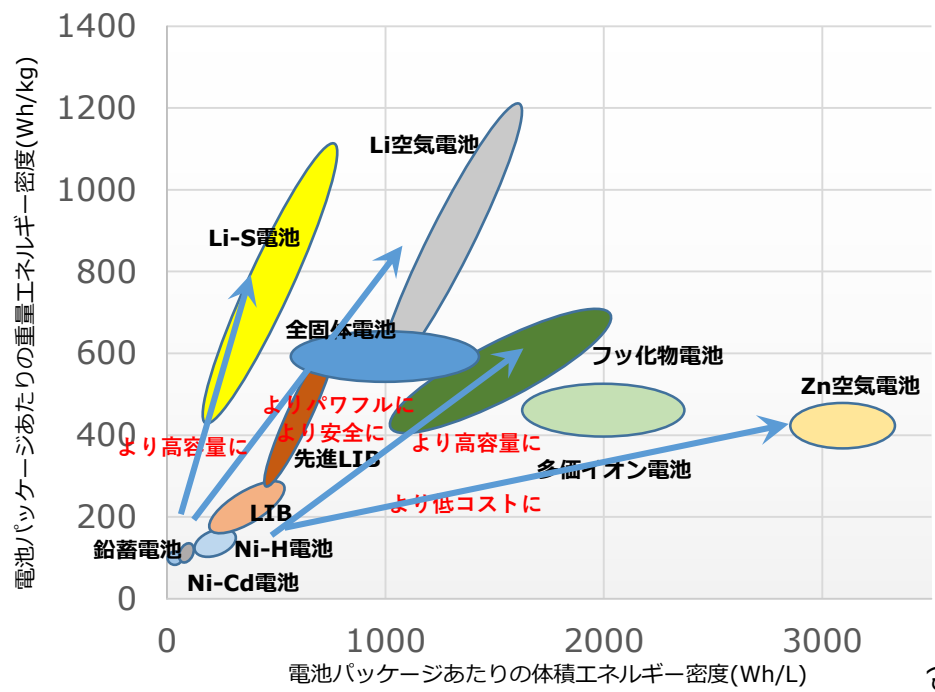


室温での超イオン導電性を持つ物質の出現が
固体電池の前提条件

$\text{Li}_{10}\text{GeP}_2\text{S}_{12}$ (LGPS, $\sigma_{\text{RT}} > 10 \text{ mS cm}^{-1}$) や
アルジロナイトが候補



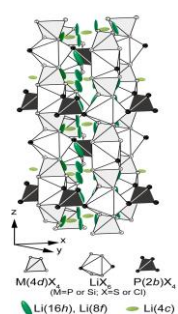
蓄電池のこれから：ロードマップ



課題1

革新的材料技術

液体電解質を超えるイオン伝導率（2倍）



- ・バルク結晶構造
- ・粒子形態
- ・表面相
- ・全体最適化

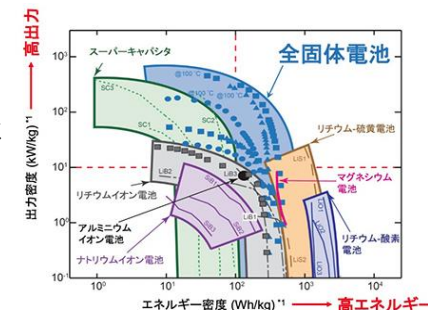
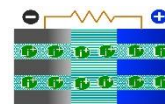
OPERA 目標：

全固体電池の共通基盤技術を獲得
共創コンソーシアムを自律的に運営

次世代型への飛躍

Li^+ 電池を超える高エネルギー密度（1.5倍）

- ・電極材料
- ・界面抵抗の低減
- ・最高のイオン導電体

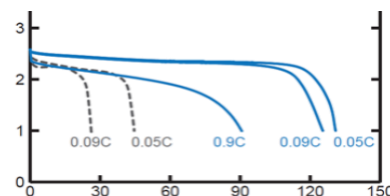


課題2

課題3

用途多様化

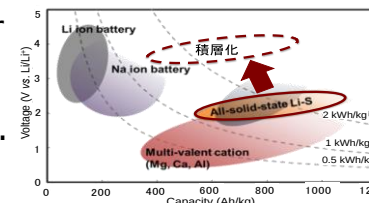
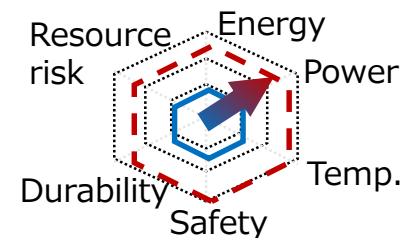
使用温度拡大による用途多様化（-30~150℃）



非競争領域

競争領域

研究状況を反映した技術ロードマップ



社会実装

課題4

OI 機構目標：

組織対組織の大型プロジェクトを創出・管理・支援
間接経費等を基盤研究等に還元する好循環を創出

研究開発課題 1

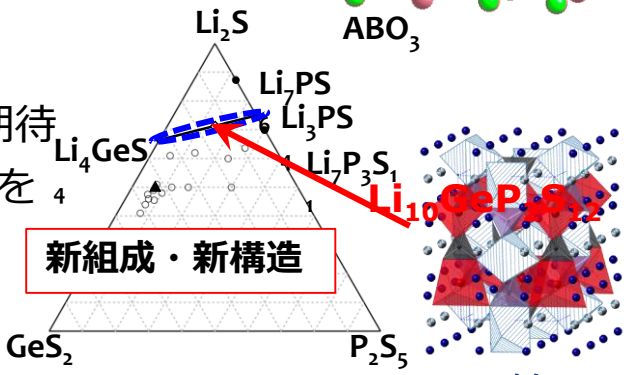
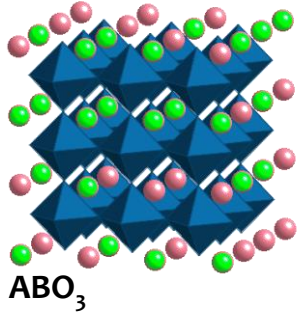
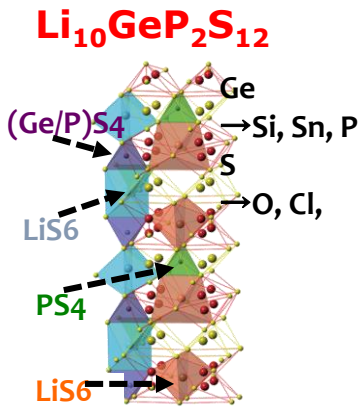
材料探索研究の過去・現在と未来：固体電解質探索

これまでに辿ってきた道
物質探索：新規イオン導電体探索
(Li^+ , Na^+ , H^+ , F^- , H^- , O^{2-})
探索した物質を電池に展開

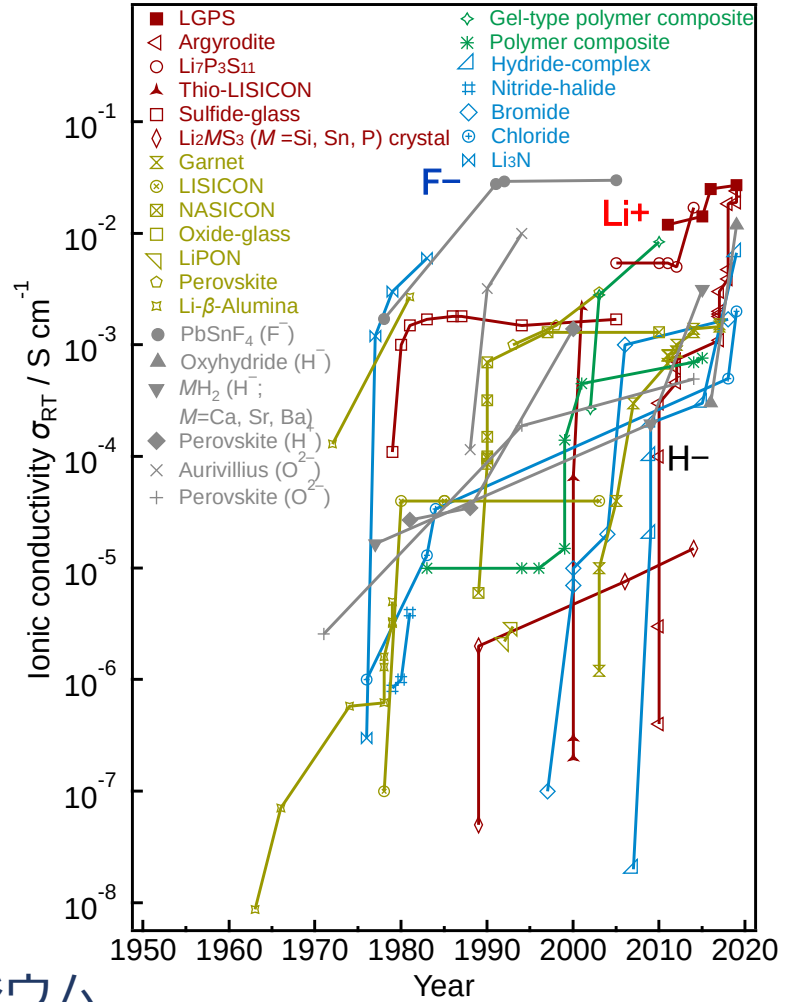
難易度高

既存の物質合成手法

- 元素置換による探索：
 - 既知イオン導電体の元素を他元素置換
 - 既存の骨格の組成と構造を最適化
- 構造に基づく探索：
 - 既存の結晶構造に拡散させたいイオンを導入
- 組成に基づく探索：
 - 相図中で材料を探索
新たな物質の発見が期待
 - Thio-LISICONやLGPSを見いだした手法



イオン拡散種 Li^+ , H^+ , H^- , F^- , O^{2-} など
様々なイオン導電体のイオン導電率が、研究の進展に伴ってどのように上昇したかを示すグラフ



研究開発課題 1

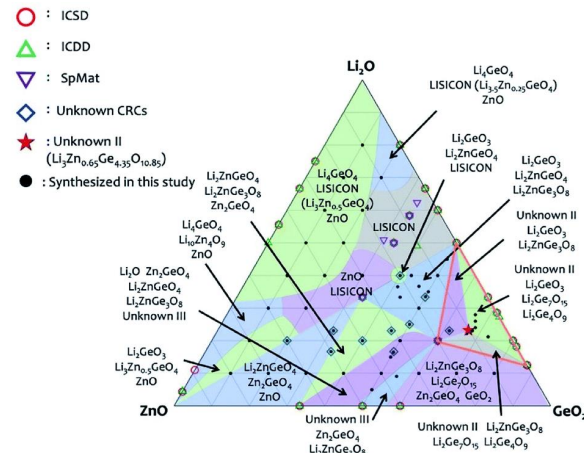
これからの新物質の見つけ方模索：理論計算やインフォマティクスと実験との融合

仮想空間での材料開発

- 既知構造を基本、イオン高速拡散の構造的な特徴を抽出、無機結晶構造データベースからスクリーニング
- DFT-MD 計算：全組成を網羅的に計算して材料発見につながる可能性
 - 第一原理計算に基づく構造予測 (Nature Mater 14, 1026–1031, 2015.)
 - Lattice dynamicsに着目した探索手法 (Energy Environ. Sci., 2018, 11, 850)
 - 格子力学に基づくハイスループット物質探索 (iScience 16, 270– 282, 2019)

実空間での材料探索との融合

- 古典的な物質合成が辿った手法の展開に類似していると考え
- 構造を基にした探索と、組成を基にした探索、相図を基にした探索として整理
- 機械学習を導入して目的とする物性を予測
 - 相図に基づく探索、LISICON のイオン導電率の予測を、回帰分析に基づく機械学習で行った例
推薦システムによる安定組成予測と、合成化学の観点（元素選択）の組み合わせ
 - 組成に基づく探索、既存のすべての合成実験結果のデータベース（DB）化と活用

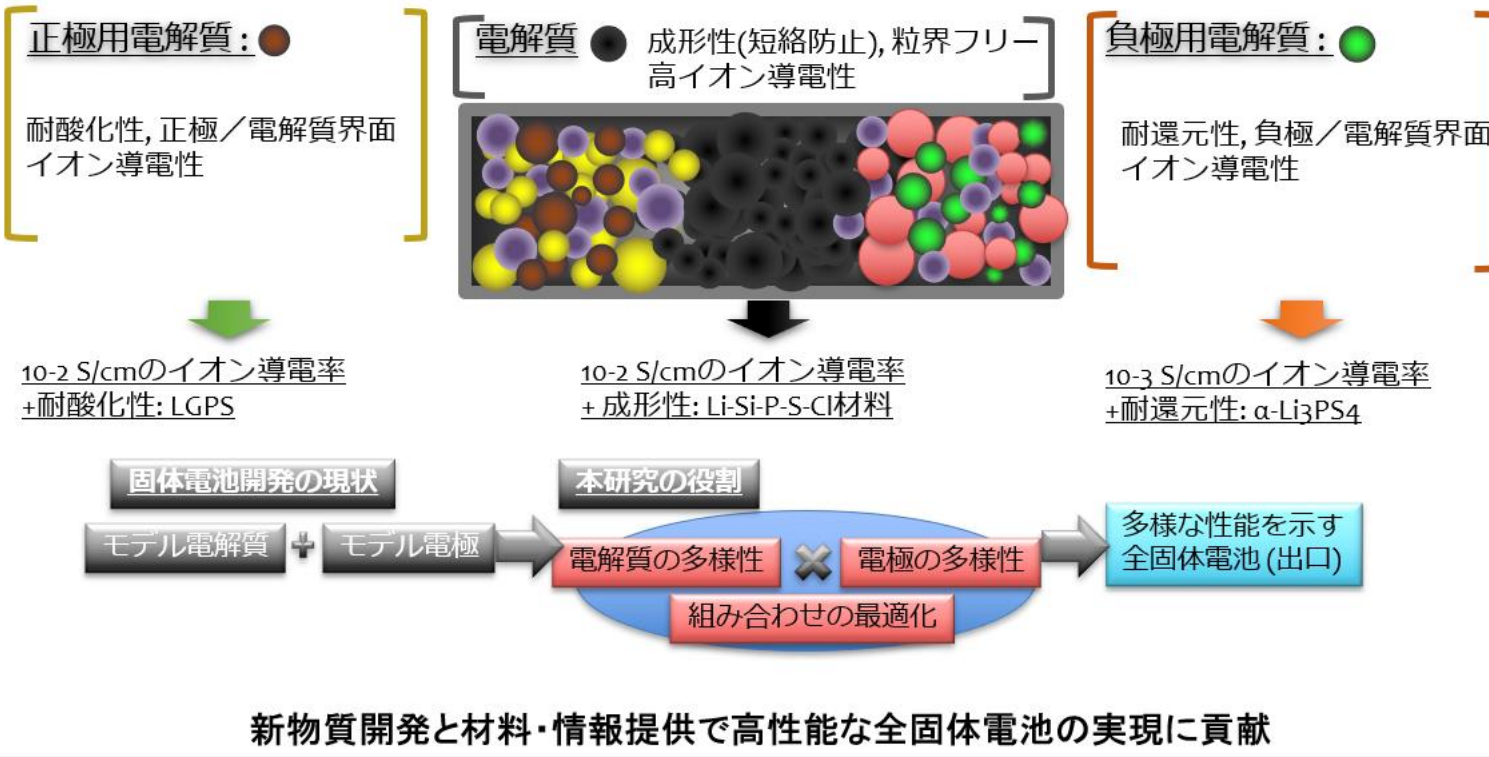


酸化物系Li導電体探索

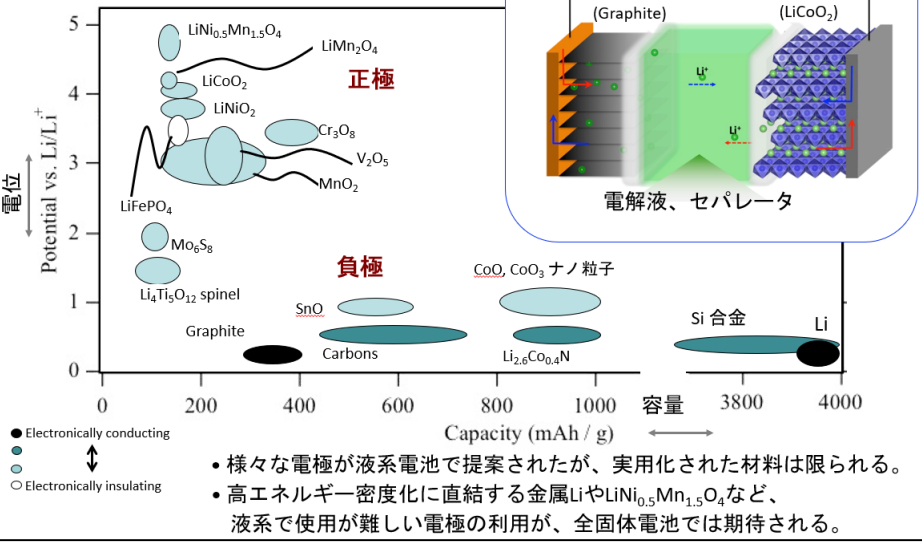
推薦システムを用いた物質探索の例： Li_2O - ZnO - GeO_2
 擬三元相図中に既知データベースに登録された組成と
 推薦システムによる予測組成をプロットし、イオン導
 電体になり得る組成を考慮して物質探索を進める。

研究開発課題 2

固体電解質の性能と電池特性の相関



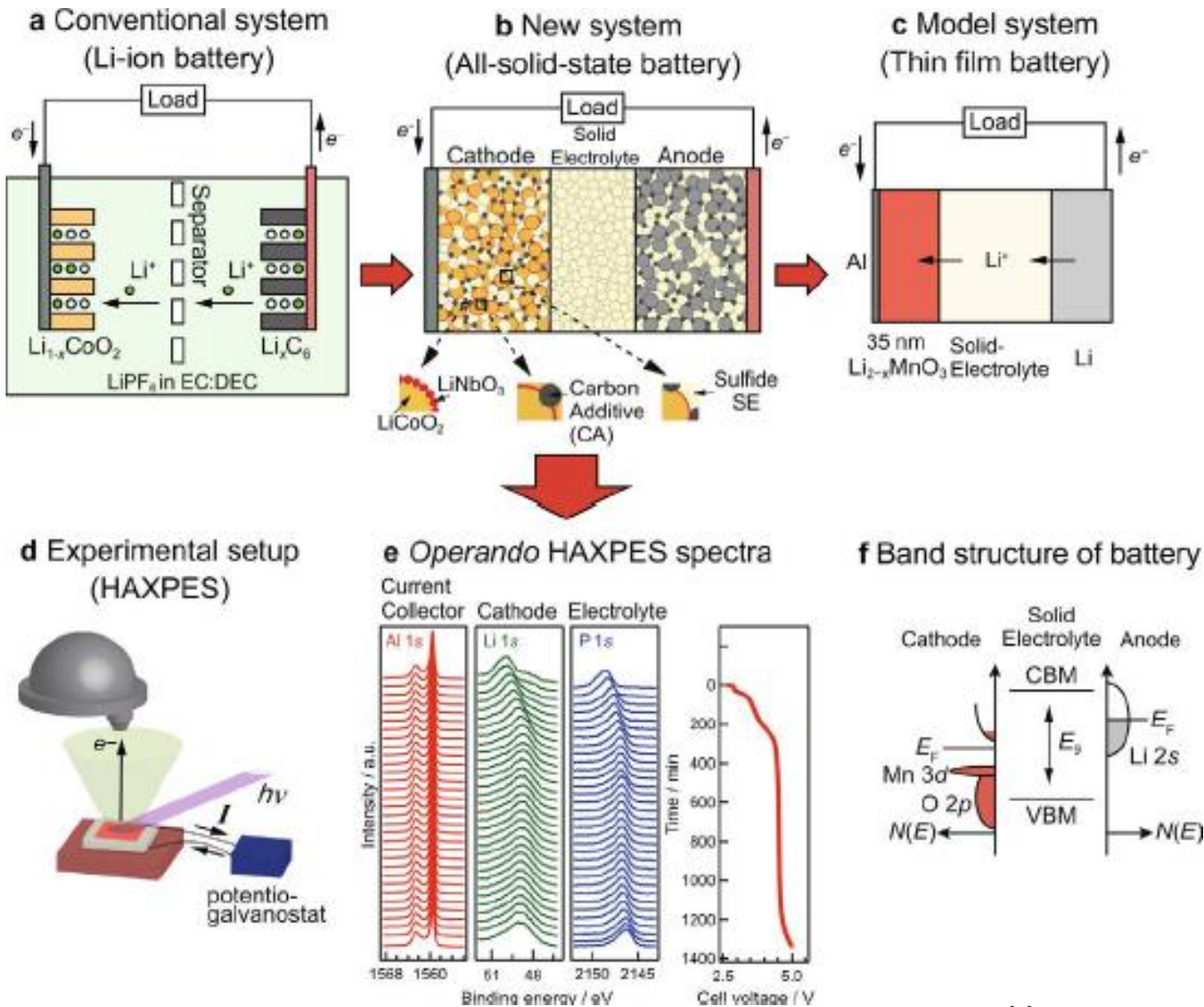
Liイオン電池のエネルギー密度は電極材料の変更で達成可能。



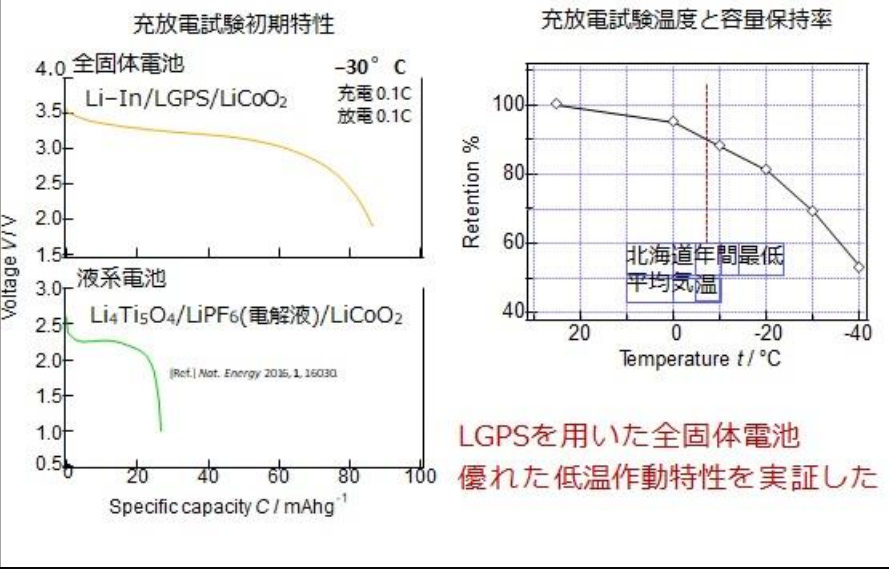
高エネルギー密度を実現を目指し、創作した固体電解質材料と様々な正極、負極材料のマッチングを試行
組み合わせの最適化を図る

研究開発課題 3

広範囲の温度領域において、安定的な電池作動が可能な、固体固体界面の高度解析技術基盤の構築を検討



全固体電池の充放電特性（低温特性）



全固体電池研究センターの構成

名称：全固体電池研究センター
 東京工業大学 科学技術創成研究院
 設立：2021年4月1日
 2017年設立の全固体電池研究ユニットより
 発展
 所在地：東京工業大学 すずかけ台キャンパス内
 神奈川県横浜市緑区長津田町4259 G1棟
 センター長：菅野了次 特命教授
 研究スタッフ： 74名

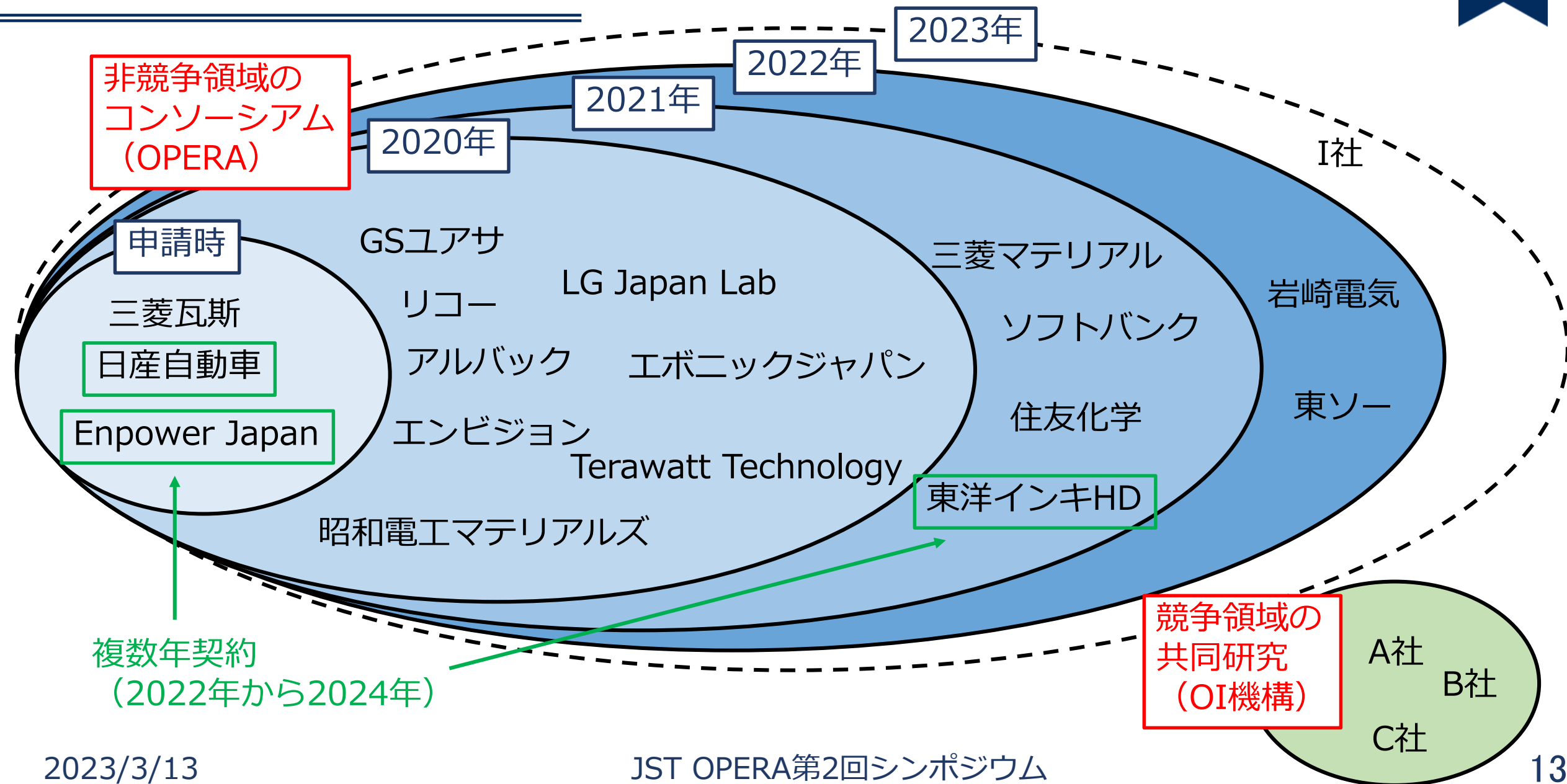
構成員（2023年3月現在）

職位	
センター長・特命教授	菅野 了次
特任教授	池松 正樹
准教授	鈴木 耕太
特任准教授	堀 智
助教	松井 直喜
特任助教	清水 啓佑 野元 邦治
研究スタッフ	
事務スタッフ	
学生（博士後期課程）	
学生（博士前期課程）	
学生（学部）	
研究生	

* 物質理工学院（兼務）連携

職位	
教授	平山 雅章 荒井 創
准教授	北村 房男

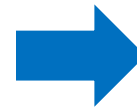
コンソーシアムの発展



【これまでの取り組み】

- (1) 優秀な実績を残した RA には雇用継続, 研究費配分のインセンティブを付与した。
- (2) 令和元年度6名、令和2年度11名、令和3年度9名、令和4年度10名の学生および若手研究員の雇用を行った。
- (3) 社会人ドクター 4 名を受け入れた。
- (4) 研究者の倫理機教育をeAPRINを通じて徹底させ、これまでに、東工大関係者の35名を含めて総数90名がeAPRINを受講した。
- (5) 博士後期学生 (吉本将隆) がJST ACT-Xに採択された。
- (6) 学生が日本化学会、電気化学会等の学会で講演賞等を受賞 (9件) 。
博士後期学生 (Song Subin) Outstanding Poster Award
23rd International Conference on Solid State Ionics など

年度		RA数
2019年度	博士	4名
2020年度	博士	3名
	修士	4名
2021年度	博士	2名
	修士	7名
2022年度	博士	3名
	修士	7名



博士課程取得者は、全員企業等の
電池関連研究に従事

東工大発ベンチャー
Enpower Japan（東工大博士OB創立）

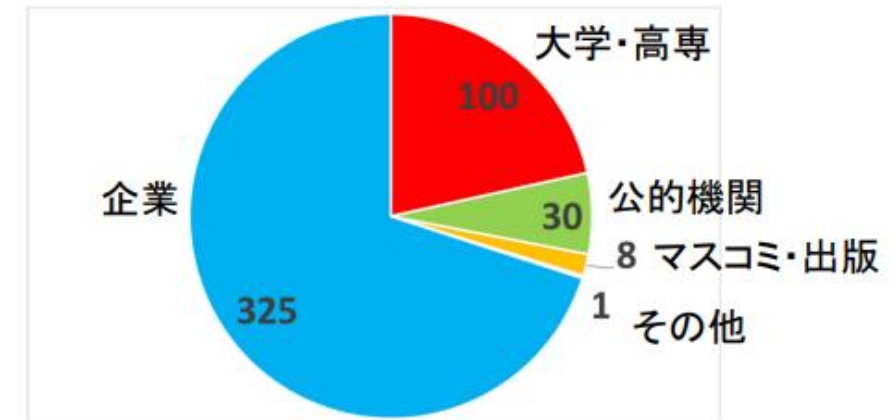
受賞実績 (2021年4月以降)

受賞者	賞	機関	受賞日	タイトル
菅野了次	2021年度学会賞（武井賞）	電気化学会	2021年3月	新しい電気化学材料の創製と蓄電デバイス開発
菅野了次	令和3年度科学技術分野の文部科学大臣表彰	文部科学省	2021年4月	新規固体電解質の創出と全固体電池応用研究
堀 智	Young Investigator Award	EVTec 2021	2021年5月	Li-ion Battery in All Solid State toward High Energy and Power Densities: Focus on Lithium Superionic Conductor as Key Material
吉本 将隆	優秀講演賞	電気化学会	2021年9月	Anatase型TiO ₂ エピタキシャル膜電極/固体電解質モデル界面の構築とリチウム脱離反応解析
青野 健人	優秀ポスター発表賞	日本化学会	2021年10月	低レート放電時に生じる亜鉛極劣化挙動の解析
廣瀬 隆	優秀ポスター発表賞	日本化学会	2021年10月	ペロブスカイト型ヒドリドイオン導電体の合成とイオン導電特性
鈴木耕太	電池技術委員会賞	電池技術委員会	2021年12月	組成、結晶構造に基づく酸化物系リチウムイオン導電体の探索
吉本 将隆	優秀学生講演賞	電気化学会	2022年3月	Anatase型TiO ₂ エピタキシャル膜電極反応の <i>in situ</i> 表面X線回折測定によるその場観
浅野 翔	優秀学生講演賞	電気化学会	2022年3月	アークプラズマ堆積法によるLi-Si負極膜の合成と機械特性の実測
福西 吾郎	優秀学生講演賞	電気化学会	2022年3月	固体三極式セルによる三元系正極材料の電極特性評価とサイクル特性評価
吉本 将隆	最優秀学生講演賞	電気化学会	2022年8月	放射光X線回折法を用いたanatase型TiO ₂ 電極反応の律速過程解析
Song Subin	Outstanding Poster Award	SSI-23	2022年8月	Synthesis of Li ₁₀ GeP ₂ S ₁₂ -Type Structured Li _{9+δ} P _{3+δ} S _{12-k} O _k Solid Solution Phases
松井 直喜	東工大挑戦的研究賞	東京工業大学	2022年9月	ヒドリドに基づくエネルギー・水素貯蔵デバイスの創製
吉本 将隆	JST ACT-X	JST	2022年10月	光を当てるだけで充電可能な光蓄電池の創成

※ 赤字は学生

全固体電池イノベーションフォーラム2021

- 【名称】 全固体電池イノベーションフォーラム2021 – 研究の深化とその社会実装に向けて
【日時】 2021年 5月12日（木） 13:30～16:35
【参加】 登録者：464名（登壇者含む）
出席者：約400名
【主催】 東京工業大学 オープンイノベーション機構

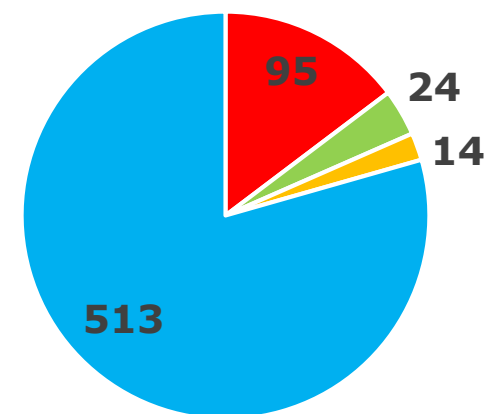


全固体電池イノベーションフォーラム2022

- 【名称】 全固体電池イノベーションフォーラム2022 – 研究の最新状況と実用化への期待 –
【日時】 2022年 12月1日（木） 13:30～16:30
【参加】 登録者：646名（登壇者含む）
出席者：545名
【主催】 東京工業大学 オープンイノベーション機構



登録内訳



■ 大学・高専 ■ 公的機関 ■ その他 ■ 民間企業

成果を社会に発信

- ・先進的な実験環境をアピール
最先端の研究を行う研究者から知見を得られる
コンソーシアム会員は先進的な豊富な実験装置、分析装置の使用が可能
経験豊富な多数の教員、研究員、技術員がサポート
- ・企業ごとに適した支援を提供
すでに研究が進んでいる企業
 ➡ 先進的な共同研究を実施
これから研究を始める企業
 ➡ 基礎から全固体電池研究開発のノウハウを伝授
- ・時代の後押し
全固体電池研究へ全世界的関心の高まり
経済安全保障、気候変動対策の観点からも注目

 多くの企業がコンソーシアム参画を希望



電気炉



高エネルギーボールミル



高圧合成装置



薄膜合成装置



グローブボックス



X線回折装置



電子顕微鏡

第2回 JST OPERA シンポジウム

コンソーシアムへの期待値と取り組み内容紹介

March 13, 2023

日産自動車株式会社
総合研究所 EVシステム研究所
主任研究員 青谷 幸一郎

カーボンニュートラルの実現に向けて



カーボンニュートラルへの取り組みを推進

NISSAN
MOTOR CORPORATION

より競争力の高い効率的なEVの開発に向けた
バッテリー技術の革新

エネルギー効率をさらに
向上させたe-POWERの開発

2030年代早期より、
主要市場で投入する
新型車すべてを電動車両へ

再生可能エネルギーによる
分散型発電に貢献する
バッテリーエコシステムの開発

生産技術イノベーションによる
エネルギーと資源の利用効率向上

2050年 クルマのライフサイクルでのカーボンニュートラル実現

全固体電池

Li-ion電池の有機電解液の代わりに、固体電解質にイオンを運ぶ機能をもたせた2次電池



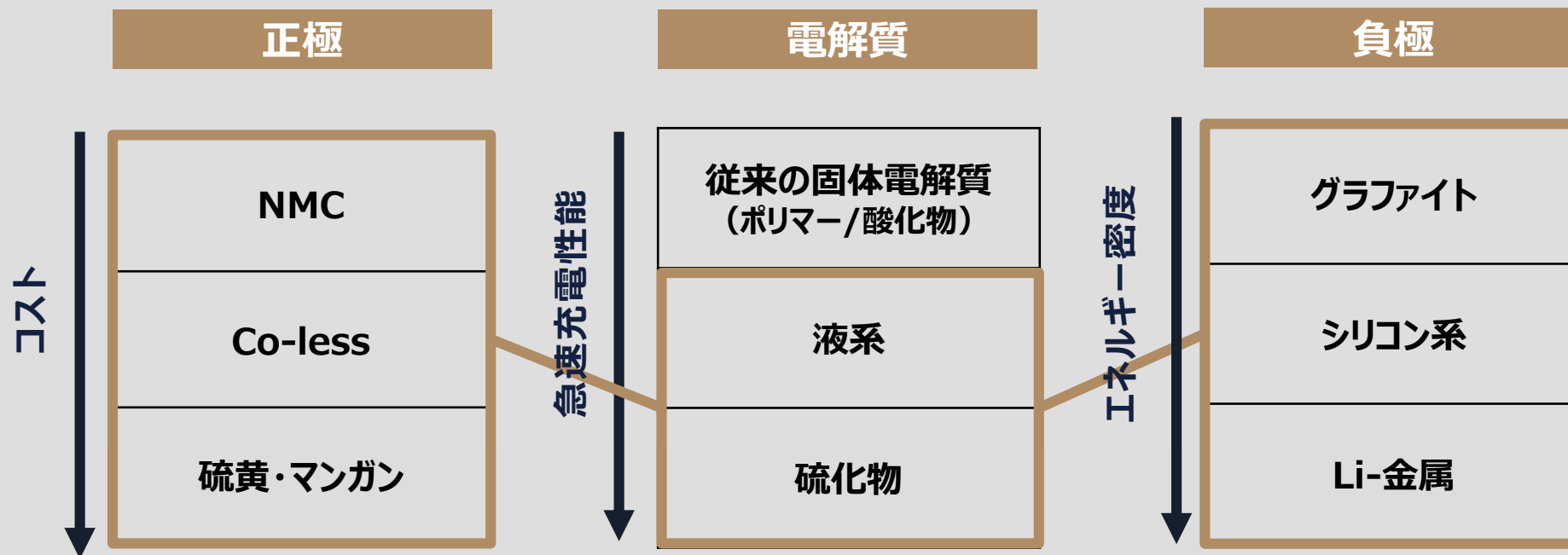
- 安全性が高い
- 温度に対しロバスト
- 劣化がしにくい
- × Liイオン伝導度が低い
→ 超イオン伝導体の発見で解決

全固体電池のベネフィット： 材料選択性

電解質の固体化により材料間の副反応が減少、加えて正極/負極で異なる電解質を使用することも可能
⇒ 正負極材の選択枠が増加

正極材料のコストミニマム化

負極材料はLi格納量を増やしてエネルギー密度最大化



全固体電池：EV普及のGame Changer



航続距離・充電時間・コストをエンジン車と同等以上に

Nissan Ambition 2030

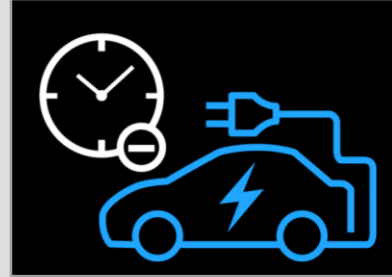
航続距離



2x

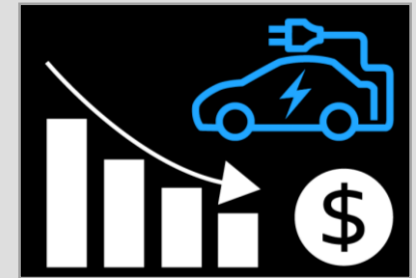
エネルギー密度

充電時間



1/3

バッテリーコスト



\$75/kWh

2028

実用化に向けた課題

固体-固体の安定した界面の形成

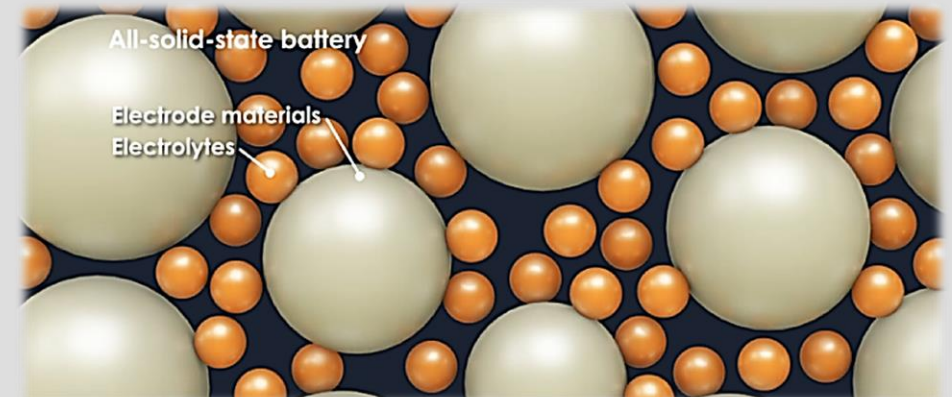
→その鍵を握るのは固体電解質であるが、材料～プロセスの幅広い技術が必要

液体Li-ion電池



正極/負極材に液体電解質が浸透し
安定した界面を形成

全固体電池



正負極材料と固体電解質間の高密度・均一な界面形成・維持

材料

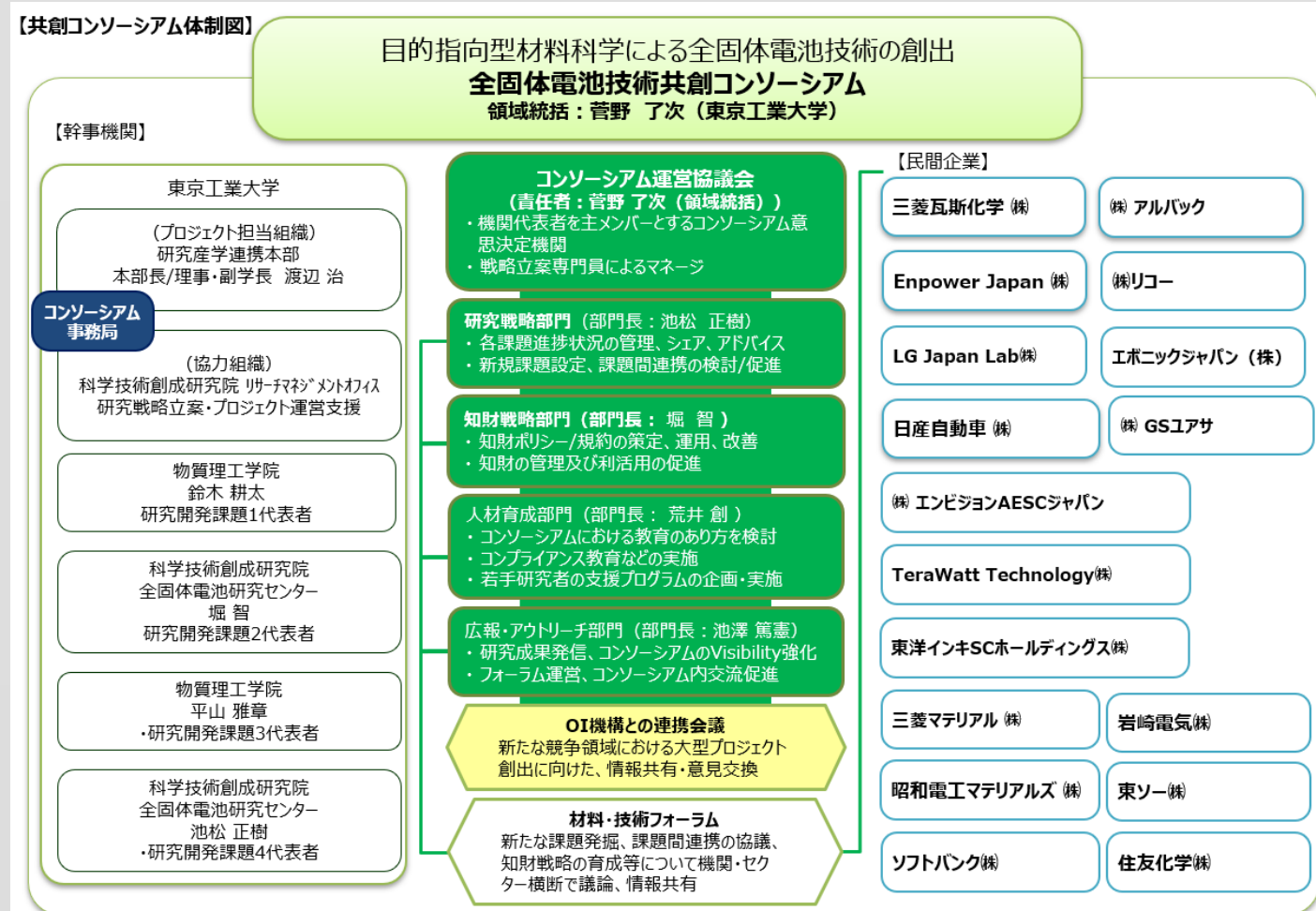
セル構造
拘束圧制御

プロセス

OPERAコンソーシアムへの期待 ～参画のモチベーション～

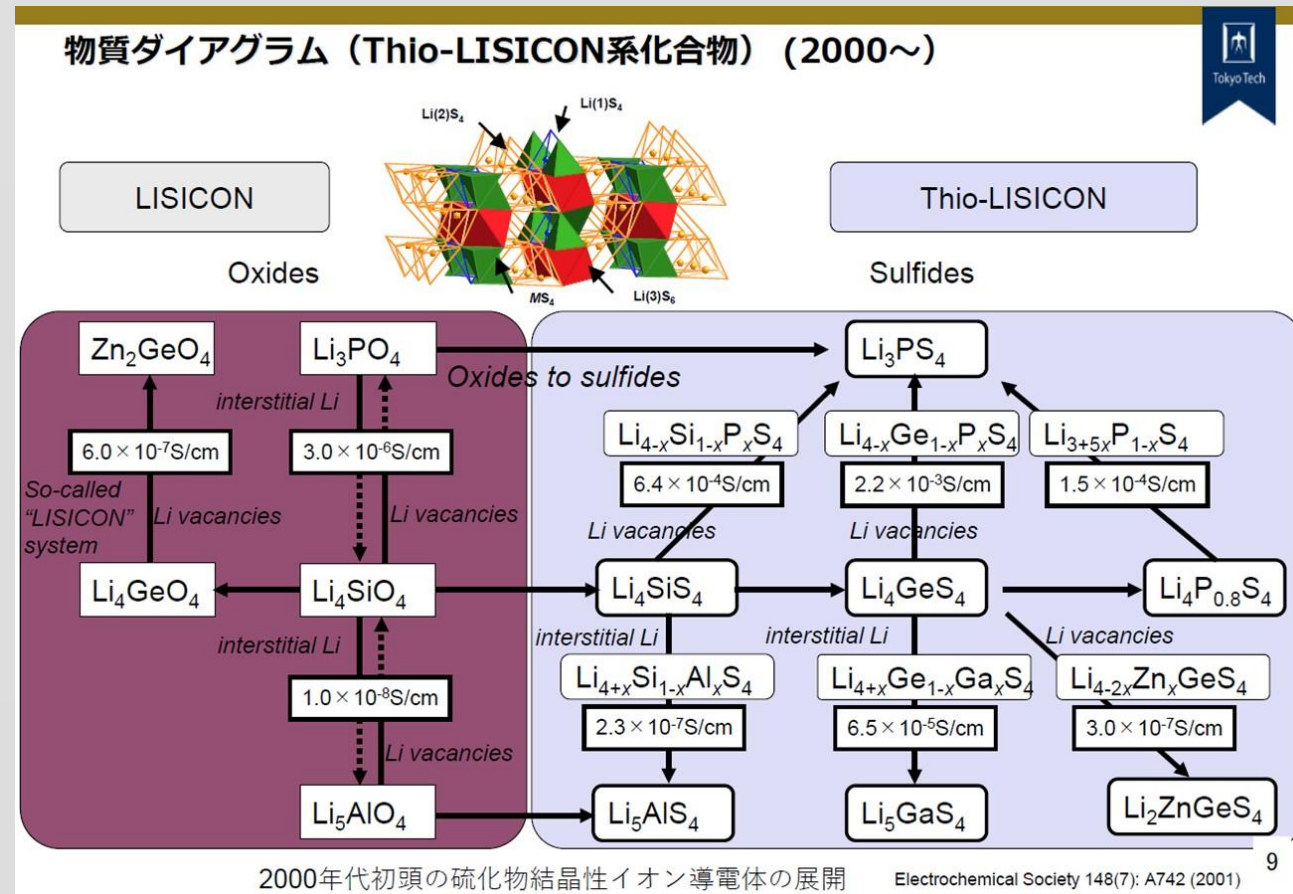
材料技術～プロセス技術に長ける幅広い企業の参画

→全固体電池の実用化に向けて必要な「産」のコンピテンシーを「官」「学」がブリッジングすることで開発を加速



共同研究成果一例

OPERAマッチングファンドを活用した最先端設備導入による電解質材料研究加速により、
安定な固-固界面の設計技術開発に貢献

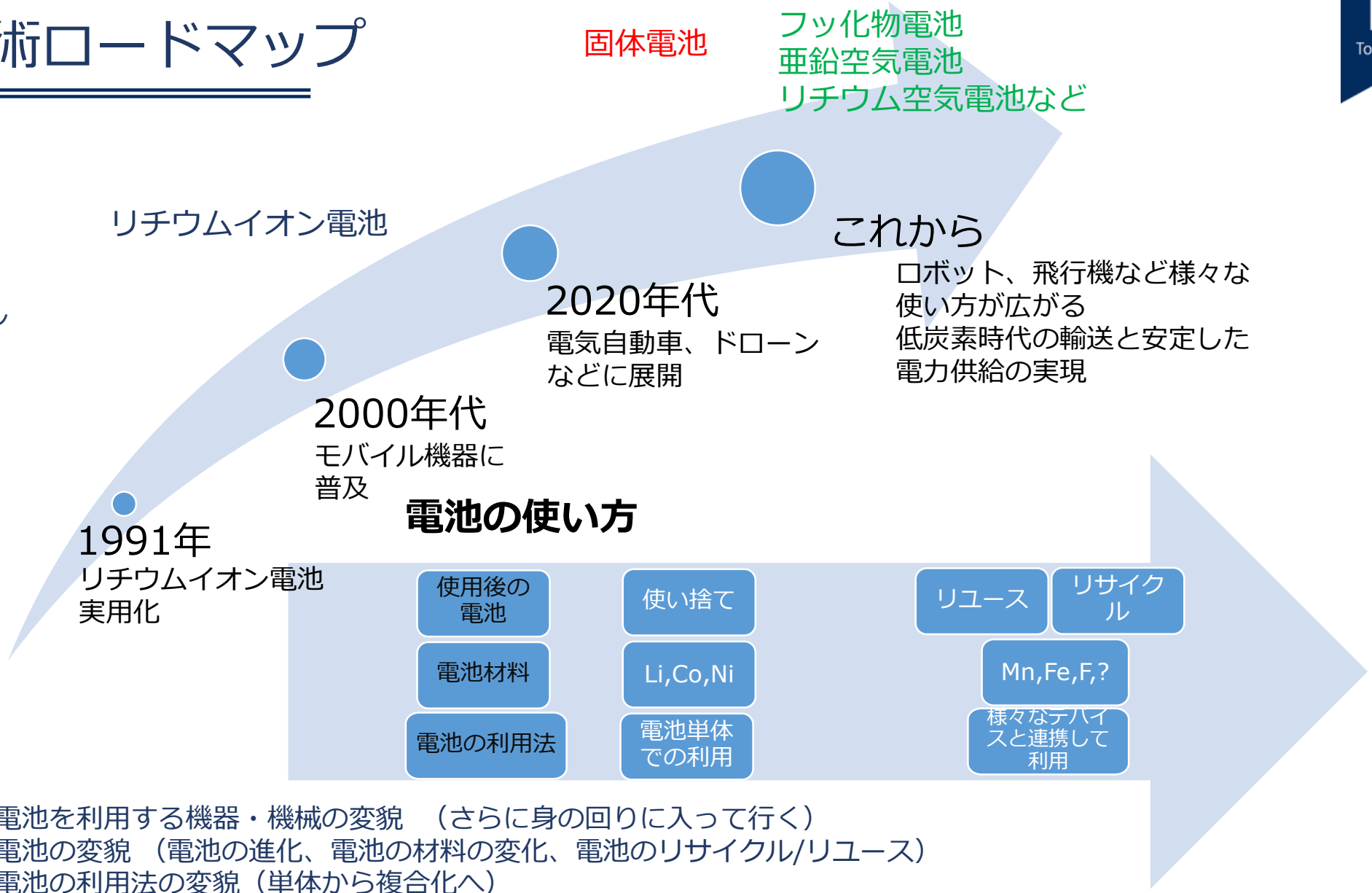


当日資料のみ

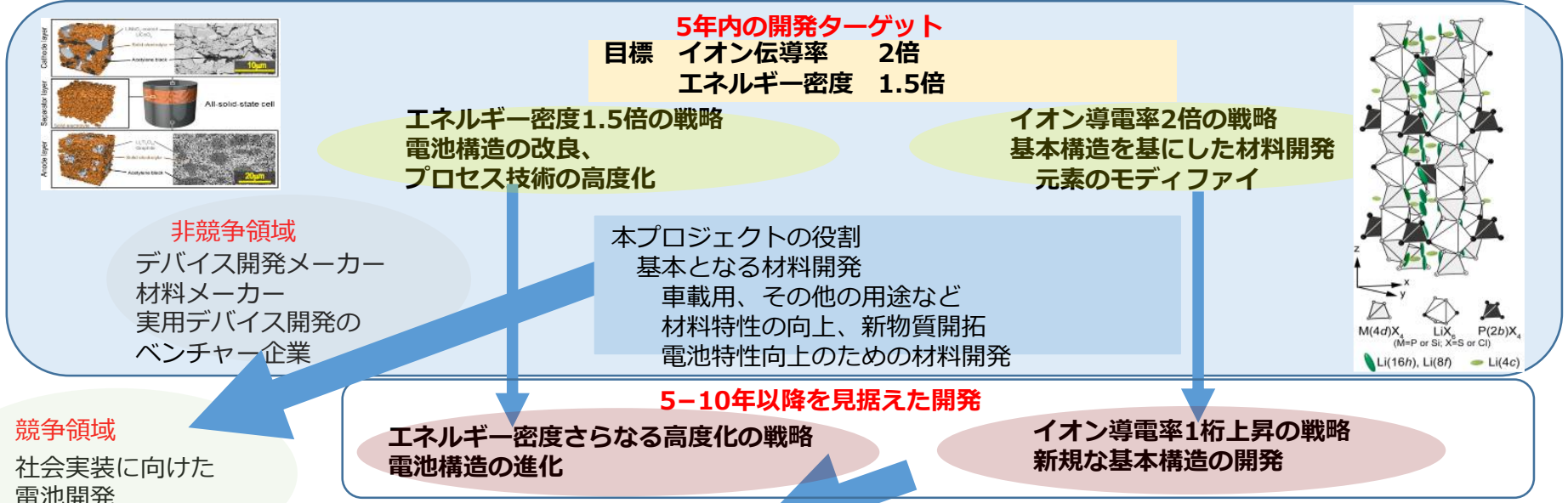
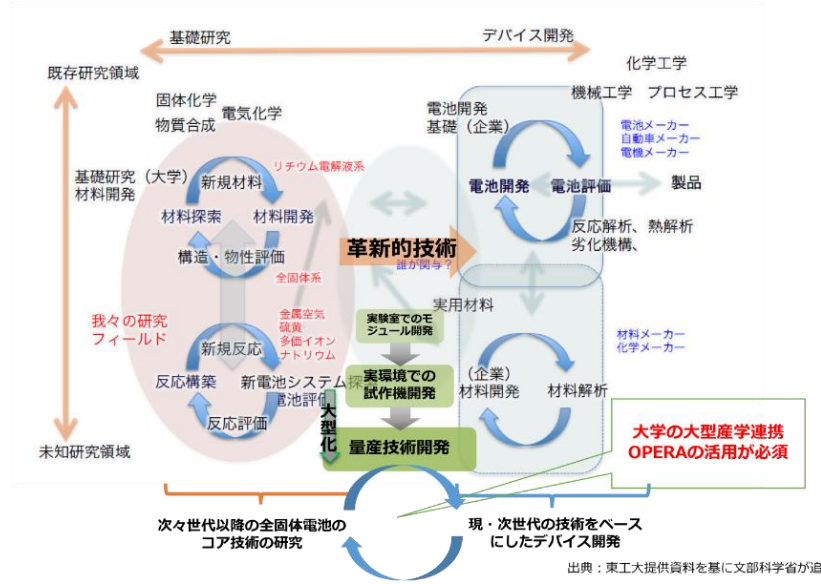
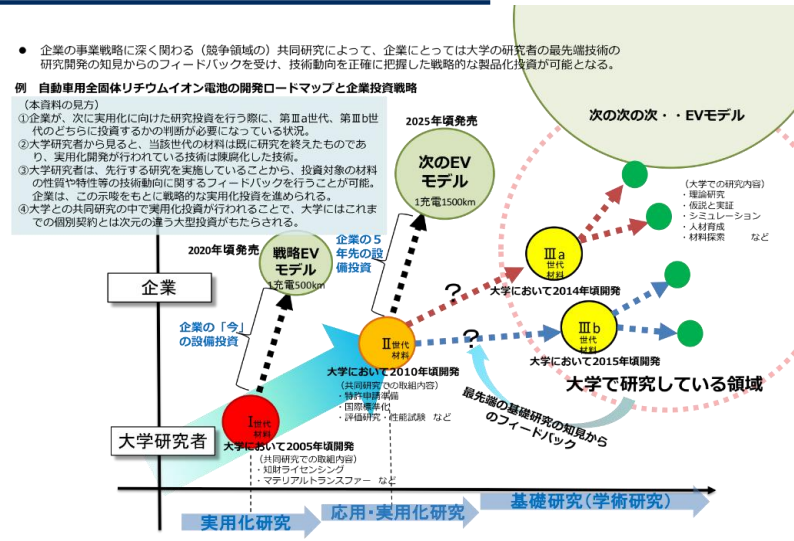
ご静聴ありがとうございました

全固体電池技術ロードマップ

全固体電池の将来を見通し
技術ロードマップを策定



東工大プロジェクト(OPERAプロジェクト) ～電池のさらなる展開へ～





Tokyo Tech

ご清聴ありがとうございました

