



資料1-1

科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会
第10期ナノテクノロジー・材料科学技術委員会
(第4回)

材料開発と蓄電池

東京工業大学
科学技術創成研究院
菅野了次

令和元年9月19日



全固体電池 研究ユニット

All-Solid-State Battery Unit

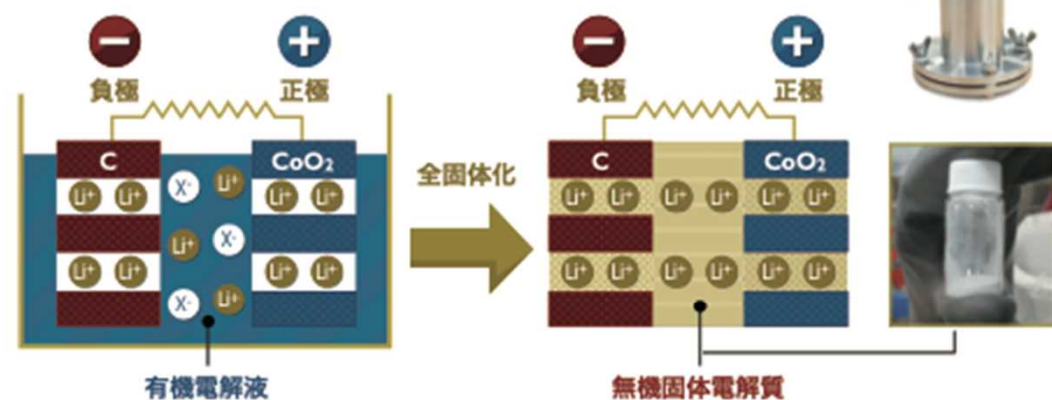
概要

スマホやタブレットなどの携帯情報端末が日常生活に不可欠なものになり、電気自動車 (EV) へのパラダイムシフトがグローバルに加速している。これらには現在、液体の電解質を持つリチウムイオン電池等が利用されているが、さらに安全性が高く、コンパクトで高性能な電池の開発が期待されている。菅野了次教授が創り出した超イオン伝導体 (固体電解質) は、低温から高温まで広い温度領域で作動する固体でありながら、その構造の中を高速でイオンが選択的に動き回る特長を持った物質である。安全性・安定性に優れ、液漏れもなく、重量当たりのエネルギー密度も高い全固体電池のキーテクノロジーである。本ユニットでは、超イオン伝導体の開発をリードしている優位性を発揮し、全固体電池の実用化を促進する。

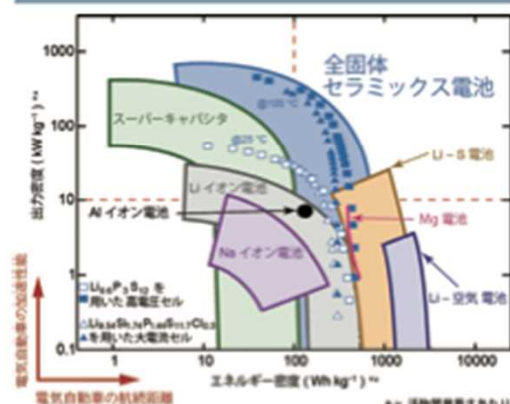
研究目標

- ① 全固体電池のキーテクノロジーである固体電解質「材料」の開発
- ② 実用化の前提となる超イオン伝導体の大量合成手法の研究開発
- ③ 電極複合材料化等実用化プロセス基礎技術の研究開発
- ④ 全固体電池の試作および実用性能評価 (環境影響等評価)
- ⑤ 高性能・高機能発揮における原理検証と高度解析

リチウム電池の全固体化



新しい化学物質で構成された類のない電池特性



新規な物質群を材料にした全固体電池は、既存のエネルギーデバイスよりも優れた特性を示した。

東京工業大学
全固体電池研究ユニット

〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259 GI-1014

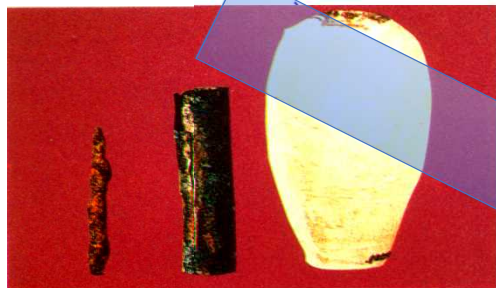
Tel : 045-924-5401 Email : kanno@echem.titech.ac.jp

Web : www.kanno.echem.titech.ac.jp/

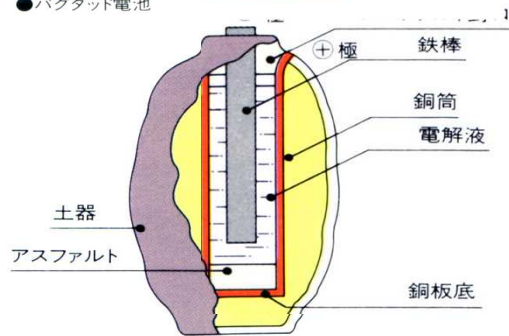
蓄電池とは

電極(固体) / 電解質 (液体) / 電極 (固体)

Oldest battery - Baghdad battery
 (Batteries from the remains, 2000)



●バグダッド電池

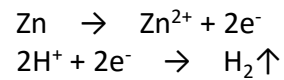


松下電池工業 電池の歴史から

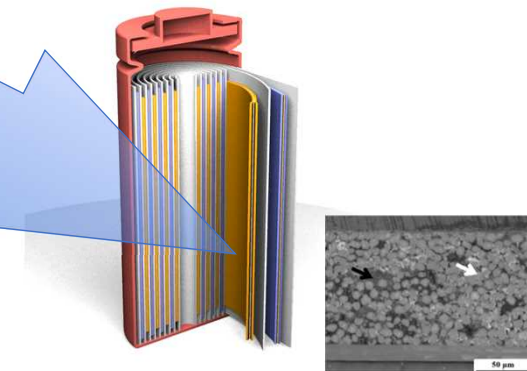
1800 Volta-battery



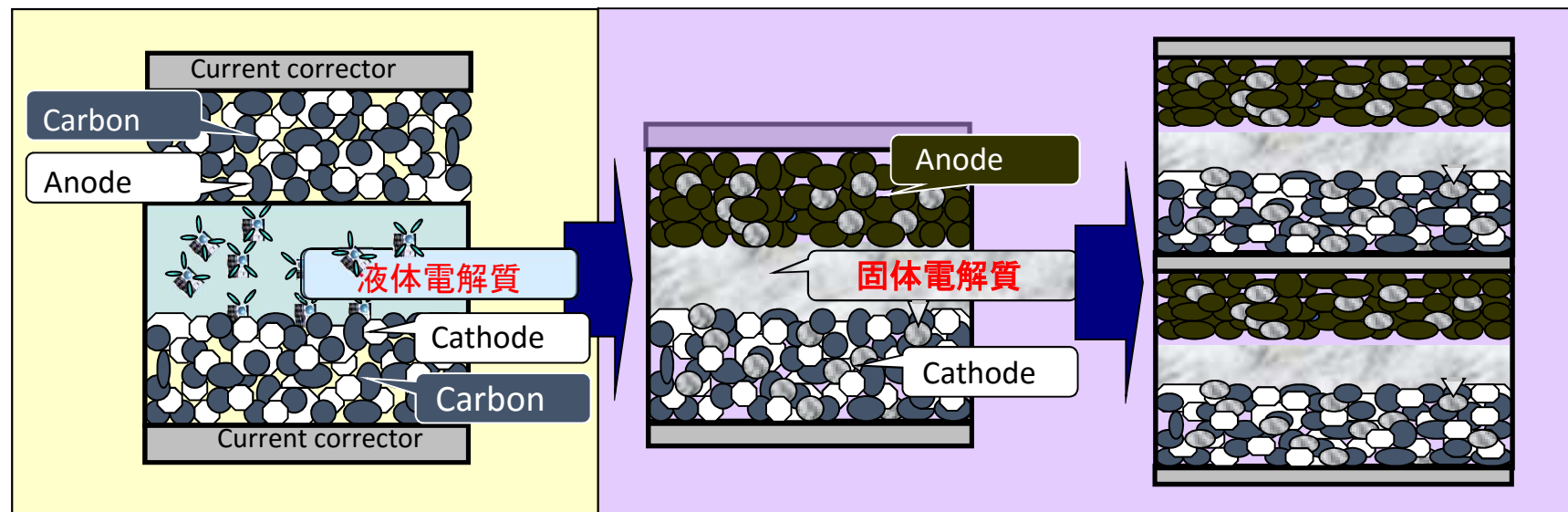
Alessandro Volta



Modern battery
 1991 Lithium-ion battery



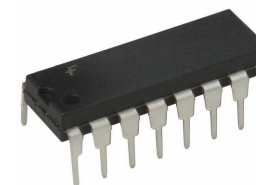
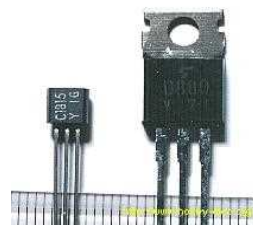
電池を全固体化すると



溶液の蓄電池

固体電池

積層電池



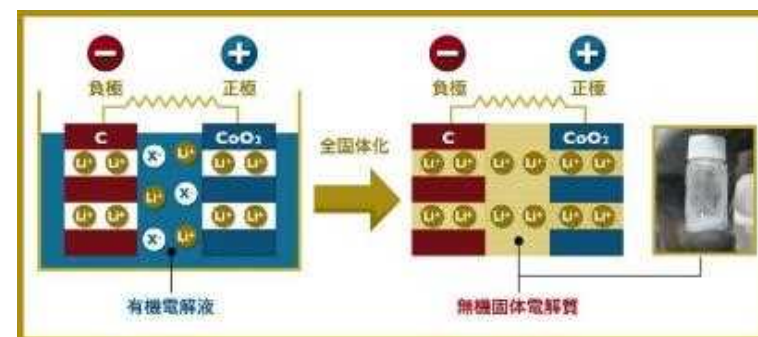
研究概要

コア技術：次世代電池を可能とするイオン導電体

- 現行のリチウムイオン電池の電解質は可燃性有機溶媒（液体）であり漏出や加熱などの安定性や低出力、高コスト等が課題。
- この課題を解決し、次世代自動車やスマートグリッドを拡大するキーデバイスとして、電解質を固体材料とする全固体電池が期待されているが、これまで、従来のリチウムイオン電池の性能を凌駕する固体電解質は発見されてこなかった。
- Liイオン電池系電解液をしのぐイオン導電率を持つ固体電解質（LGPS系）の発見（2011）
- 2016年にリチウムイオン電池の3倍以上の性能を持つ物質を発見、

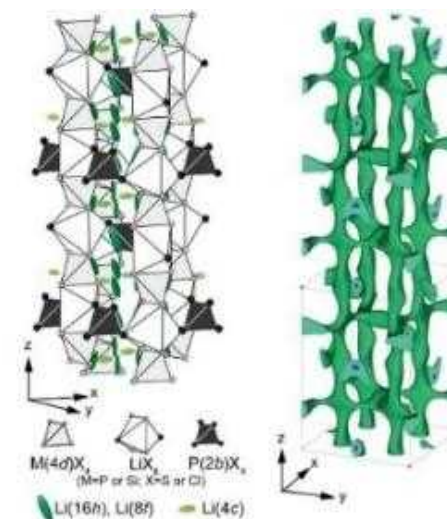
【想定されている用途】

- 電気自動車（EV）
- IoT機器
- その他、スマートフォンやタブレット、ウェアラブル端末、ICカードなど、様々な製品に適用が有望視されている。



液体電池と固体電池

これまでは電子の通り道となる電解液が液体状態で存在。固体電解質の実現により、漏出や加熱などの不安定性をクリアし、高出力を実現。

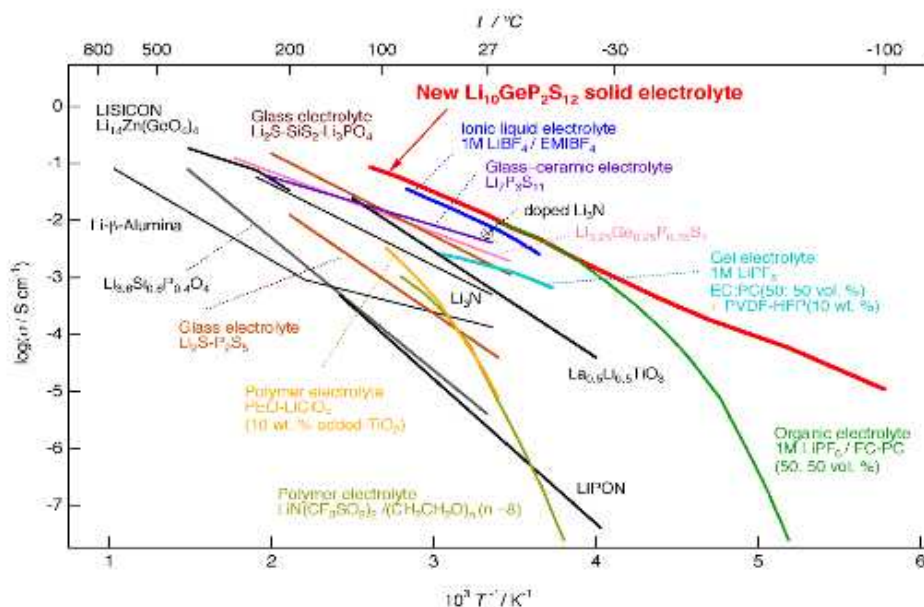


東工大とトヨタにより発見された新物質 ($\text{Li}_9.54\text{Si}_1.74\text{P}_1.44\text{S}_{11.7}\text{Cl}_{0.3}$)

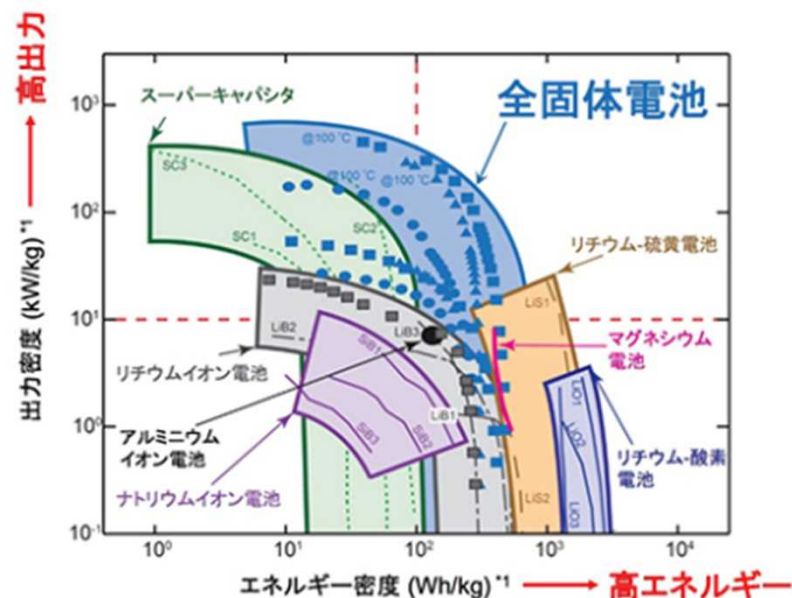
結晶構造においても三次元での経路が確保されており、有機電解質比2倍ものイオン伝導率を誇る超イオン伝導体

基本的な発見および、社会の現状

Liイオン電池系電解液をしのぐイオン導電率を持つ固体電解質（LGPS系）の発見（2011）



その固体電解質を用いた固体電池の優れた出力特性（2016）

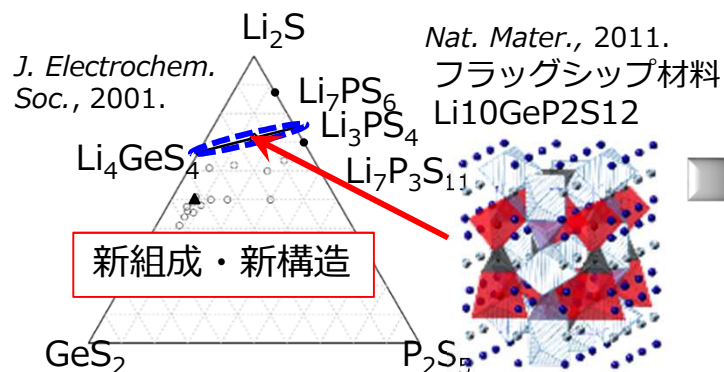


固体電池が次世代電池の最有力候補であることを認識させる。
全固体電池開発の開発ブームを引き起こす。

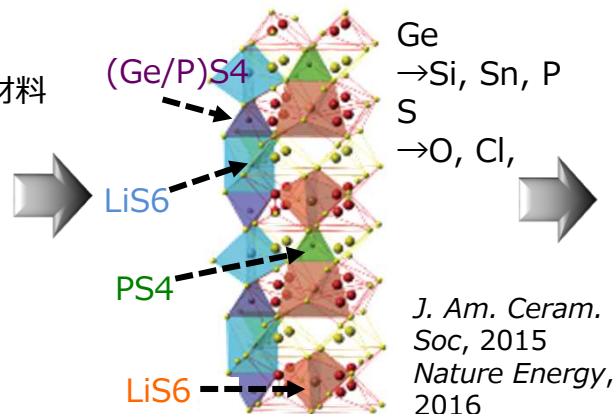
固体電解質材料開発から、次世代電池開発へ、社会実装へ。

全固体電池の利点と現在の課題

超イオン導電体LGPSの発見



LGPS構造を利用した物質群開拓



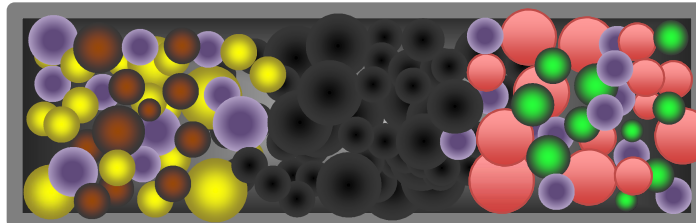
陽イオン、陰イオン
 元素置換により生成する物質群
 → **多様性開拓**

イオン導電特性
 安定性
 可塑性
 → **特性向上**

固体電池の利点

正極用電解質: ●
 耐酸化性, 正極/電解質界面
 イオン導電性
 $\text{LiCoO}_2, \text{Li}(\text{Ni, Mn, Co})\text{O}_2,$
 $\text{Li}(\text{Ni, Mn})\text{O}_4$

電解質 ● 成形性(短絡防止), 粒界フリー
 高イオン導電性



負極用電解質: ●
 耐還元性, 負極/電解質界面
 イオン導電性
 Li/In, Li/Al,
 Carbon, Li

電解質が自己拡散しないため、様々な材料を使い分けが可能
 電極・電解質の組み合わせ、界面制御が重要

蓄電池開発の技術ロードマップ

材料開発からセル開発、プロセス開発、実電池開発、実装に至る道筋
(アプリケーションが明らかな場合)

材料開発
電極特性
電気伝導特性



電池開発
材料の組み合わせ
セルの基本特性



電池製造開発
電極合材、シート化
電池の基本特性



電池システム開発
モジュール化、
電池パック化
システム化

モジュール
(セル8枚)



電池パック
(モジュール12個)



実デバイスへ

物質から材料、デバイス化、製品へ



イオン導電体の研究の歴史は長い。個人の研究は1980年から。
物質探索研究：紆余曲折があるが、リチウム系は30-40年かけて液に追いついた。

物質探索（基本的には趣味の世界）

巨額の研究費は必要ないが定常的に行う必要がある。

大学

ギャップ

材料

物質からデバイスを見据えた研究展開

物質寄りの研究開発

デバイス寄りの研究開発

大学からのアプローチ

産業からのアプローチ

ちょっとは材料になるか、という希望のもとで研究を行う必要はある。でも、あまりに応用を強調するのはいかがか。多数の研究者がいるので、自由に研究させると良い。母集団が大きくないと、出てくる物質の多様性もなくなる。

ギャップ

デバイス開発

デバイスの基本性能の確認

デバイス化のためのプロセス開発

デバイスのシステム化

製品

ここから材料へのフィードバックが必要
材料開発とデバイス開発の会話

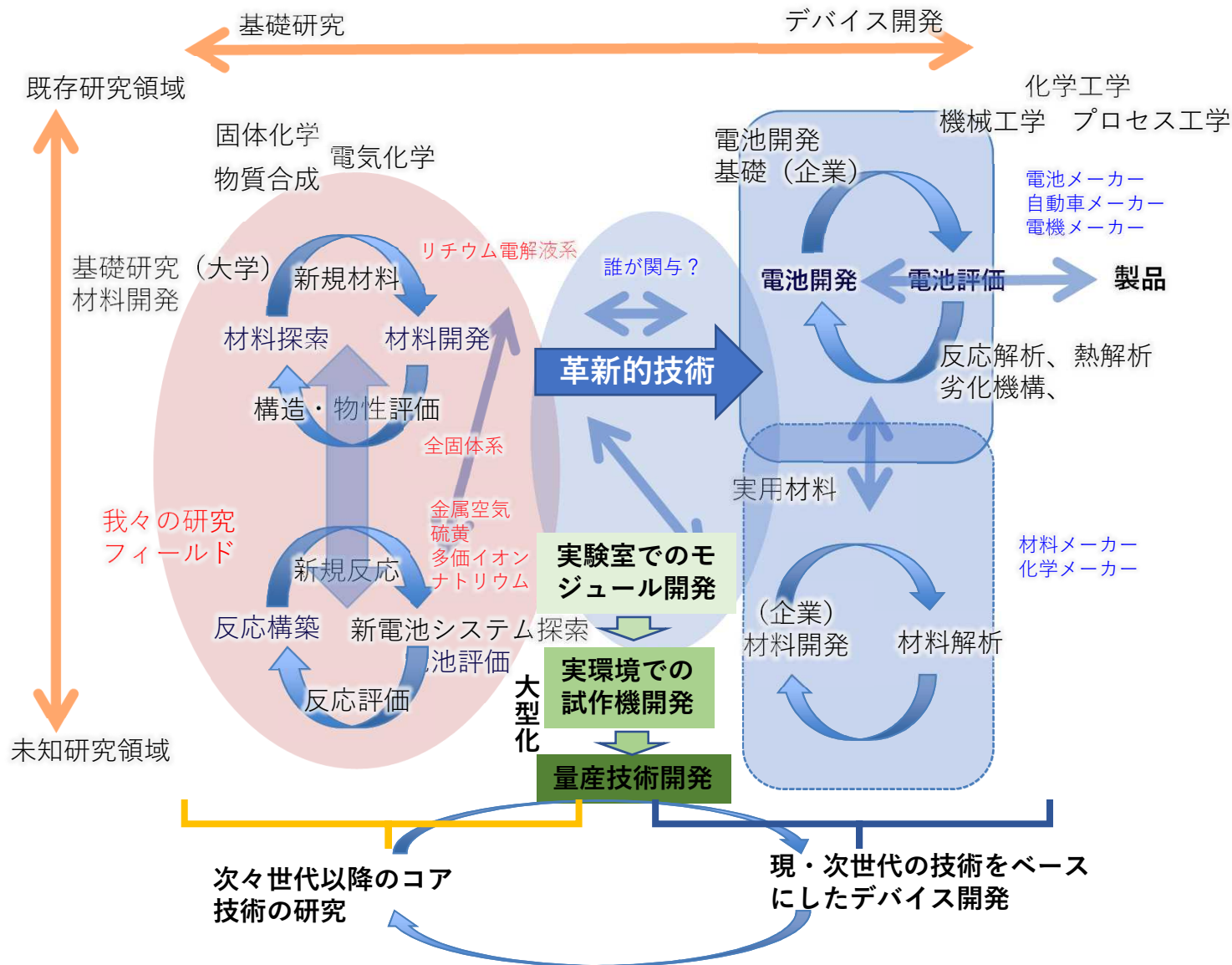
産業

最終的な製品

デバイスの限界性能は、材料によって決定されている
プロセス、作り込み、最適化、すりあわせなどでその限界値まで高めることが可能。

基礎研究とデバイス開発のギャップ

電池にかかわる研究開発



蓄電池というデバイスの特異性

電池の歴史：ボルタ、鉛、マンガン、ニッカド、ニッケル水素、リチウムイオン

鉛：車と結びつく。リチウムイオン：パソコン、スマホと結びつく。

一端結びつく、次の電池に置き換わるのは難しい。

新しい用途に対して新しい電池が導入される可能性あり。

EVと結びつくのはリチウムイオン電池？新しい電池？

既存の蓄電池の限界を知っているユーザーが、新しいデバイスを開発する動機がある。

蓄電池のこれから：車、スマホ、ロボット、飛行機、etc

不満はデバイスを動かすユーザーが知る。（リチウムでいいの？）

変える力のあるところは、市場を握っているところ。

固体がもし今後出るとすると、応用領域が広がるとすると、どのようなあらすじか？

このような電池が存在することが認知されて、応用側からのアプローチが始まる。

IoT用、5G、極限環境下でのセンサーなど徐々に用途開発が進んで行く。

新しいデバイスを出すには？

アメリカ、中国：ベンチャー？、大きなデバイスメーカー？、ユーザーのメーカー？

日本：？

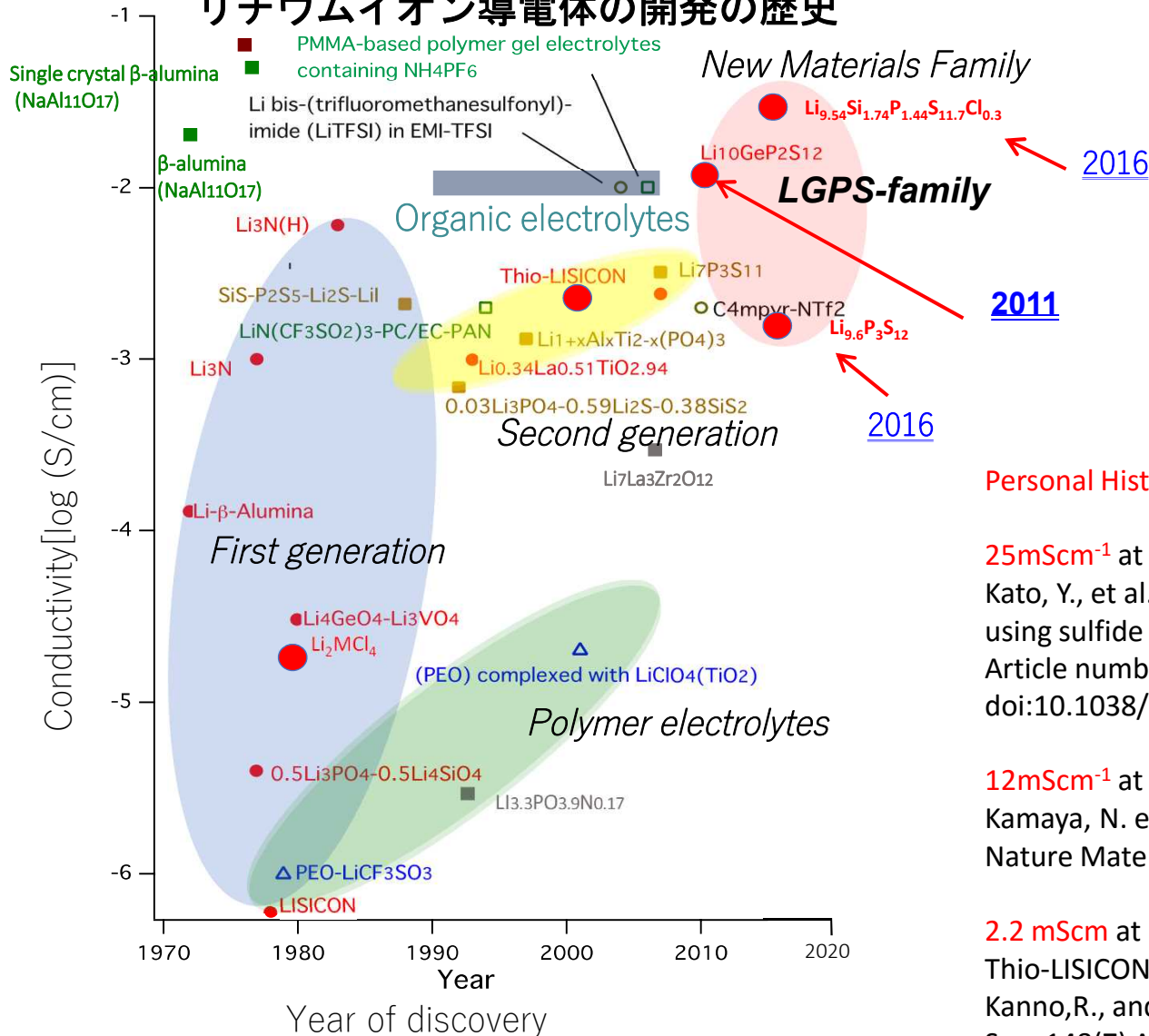
材料にとって

その材料が実用化されるのであれば（社会実装）、どこの国のいかなる企業が実用化しようがかまわない。材料にとっては実用化されることが幸せ。（実用化できる企業の探索）

材料についてーリチウムイオン導電体開発



リチウムイオン導電体の開発の歴史



Personal History

25mScm⁻¹ at 25° C (10⁻²) $\text{Li}_{9.54}\text{Si}_{1.74}\text{P}_{1.44}\text{S}_{11.7}\text{Cl}_{0.3}$
 Kato, Y., et al., High-power all-solid-state batteries using sulfide superionic conductors. Nature Energy Article number: 16030 (2016)
 doi:10.1038/nenergy.2016.30

12mScm⁻¹ at 25° C (10⁻²) $\text{Li}_{10}\text{GePS}_{12}$
 Kamaya, N. et al. A lithium superionic conductor. Nature Mater. 10, 682_686 (2011).

2.2 mScm at 25° C (10⁻³)
 Thio-LISICON $\text{Li}_2\text{S-GeS}_2\text{-P}_2\text{S}_5$
 Kanno, R., and Murayama, M., J. Electrochem. Soc., 148(7) A742-A746 (2001)

日本の強み

新しいデバイスを生み出すために

強み：絶え間ない材料開発

—大学、多くの材料研究者が存在。絶え間ない物質開拓と材料開発が行われている。他国にない日本の最大の強み。

（重要性が認識されていない）

—多くの材料研究から出てくる果実を早急にピックアップし、デバイスなど次の段階に直ちに移行させる必要。

（この部分には重点的に投資）

—畑の量が落ちているため、収穫できる果実も減少している。

—地道な材料研究は、すべての基本。

新しいデバイスが出た際に、

—デバイス化した後の材料研究は、競争力を維持するために必要。基礎材料研究への投資は、追随者を振り切るためには必須。

—材料研究にAIを導入するなど、分野を魅力的にして、材料研究の人材確保。

課題

—産業側の課題：革新的材料を実用化に繋げるための課題（リーディング企業の存在）

—教育の課題：修士学生の進路（産業への要望）、博士課程学生の教育指針（自ら考える）（大学側の反省）

リチウム電池の道筋と現状

リチウム電池とは

電池：正極、電解質、負極、セパレーターなどの材料の組み合わせで構成される。

特性の限界は各部品の限界で決まる。

初期のブレークスルー：インターカレーション反応を電池反応に取り入れる。

電池実用化後の進展：材料特性の地道な向上

電池作成技術の向上（作り込み）

30年にわたっての進展の結果が現在のデバイス。

ほぼ確立されている。

しかし、デバイスの限界性能は、材料によって決定されているため、個々の材料の絶え間ない特性改善が必要。

電池作成プロセス、作り込み、最適化、すりあわせでも、その限界値まで高めることが可能。

デバイス上市後の、日本における基礎研究の低調さが、その後の海外のキャッチアップを許す。

いくつかのコメント

新たな蓄電池が出た場合

基礎研究のサポートが必要

キャッチアップする側は、基礎と応用の両面で資金を投入して進める。

最初に製品を出した側は、完成した技術として基礎の必要性を感じなくなる。

(リチウムイオン電池の例)

AIについて

物質探索に役立てるための手法の開発段階

探索手法を開発 (どのように探索するか手法を見いだす)

物質を探索 (最終的に材料の発見)

人材育成について

「材料」と「デバイス」

「合成」と「AI」

「材料」と「エネルギー」

それぞれは別の分野。これをまたぐ研究が必要。