

あいち次世代バッテリー推進コンソーシアム 第1回セミナー

次世代電池の開発動向と今後の展望

2025 年 2 月 26 日

産業技術総合研究所

辰巳 国昭

目次

1 電池の進化とリチウムイオン電池

2 車載用蓄電池

- 車載用蓄電池の産業動向
- 高エネルギー密度化
 - ✓ 活物質選択
 - ✓ 電池構造設計（EV設計）
- 全固体電池
- 革新型電池
- 電池のリサイクル

3 定置用蓄電池

目次

1 電池の進化とリチウムイオン電池

2 車載用蓄電池

- 車載用蓄電池の産業動向
- 高エネルギー密度化
 - ✓ 活物質選択
 - ✓ 電池構造設計（EV設計）
- 全固体電池
- 革新型電池
- 電池のリサイクル

3 定置用蓄電池

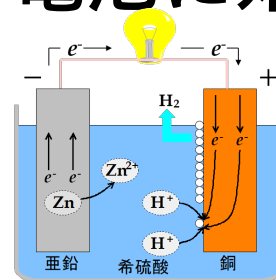
電池の歴史は19世紀当初のボルタ電池に始まる

1800

1800

ボルタ電池【伊】

- 😊 現代の電池技術に繋がる 世界最初の一次電池
- 😞 銅極の表面を水素の泡が覆い、電流が低下

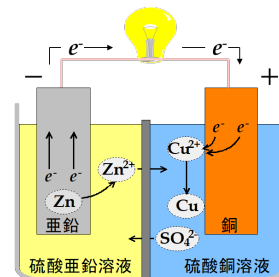


1820

1836

ダニエル電池【英】

- 😊 銅極を水素発生反応でなく、銅生成反応を利用
- 😞 2液式電池でパッケージ化が難しい

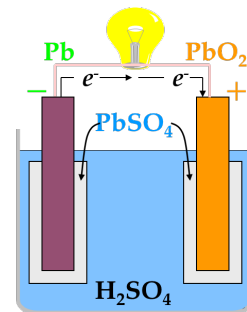


1840

1859

プランテ電池(鉛蓄電池)【仏】

- 😊 本格的な世界初の蓄電池
- 😊 過充電に強く、車制御用電池として今なお主流
- 😞 放電を深くすると劣化

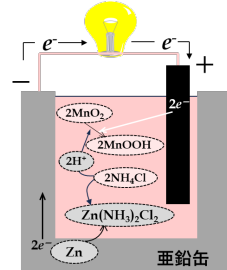


1860

1868

ルクランシェ電池【仏】

- 😊 密閉型乾電池(マンガン電池)の原形
- 😞 アルカリマンガン電池より低容量

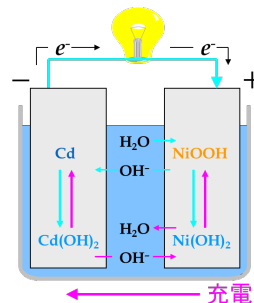


1880

1899

ユングナー電池(ニカド蓄電池)【瑞典】

- 😊 鉛蓄電池よりエネルギー密度が高い
- 😞 容量はアルカリマンガン電池と同等以下



1900

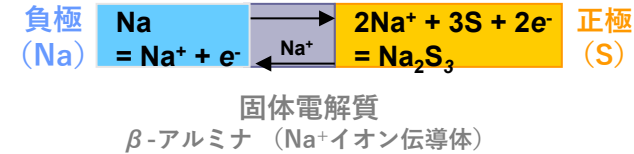
20世紀に発明された蓄電池

1900
1920
1940
1960
1980
2000

1967

ナトリウム-イオウ電池(Na-S電池)【米】

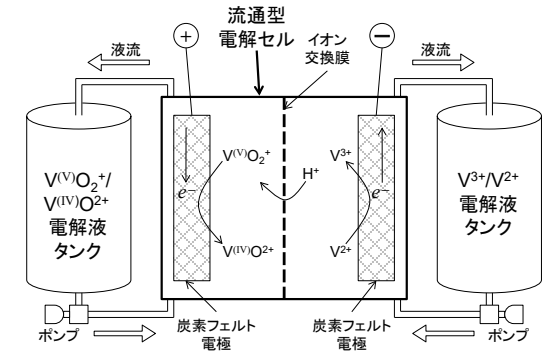
- ☺ 構成材料が資源的に豊富で安価
- ☺ エネルギー密度が高い
- ☹ 長い時間率（数時間）向け
- ☹ 温度(300～340℃) 保持が必要



1974

レドックスフロー電池【米】

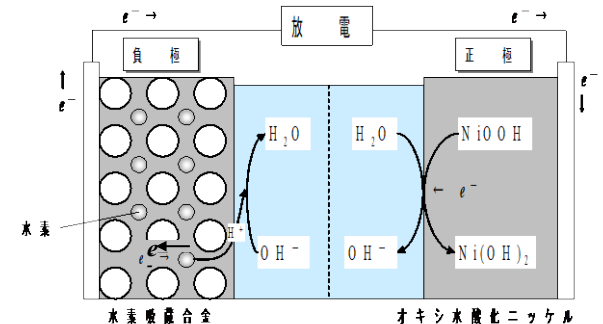
- ☺ 常温作動型で溶解析出反応が無く長寿命
- ☺ 反応液タンクを大型化で大容量化できる
- ☹ エネルギー密度が低い
- ☹ 電解液循環のモーター電力が必要



1980's~

ニッケル水素電池【日】

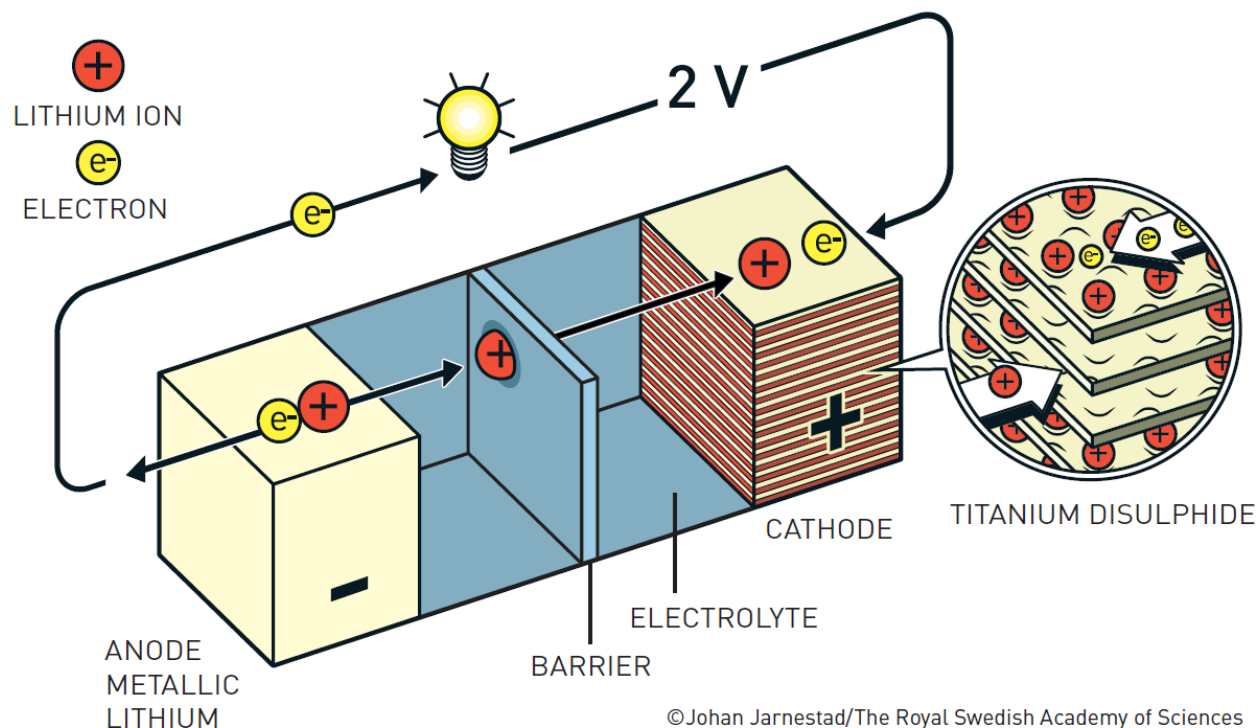
- ☺ 常温作動型で溶解析出反応が無く長寿命
- ☺ ニカド電池より高エネルギー密度
- ☺ 過充電・過放電に強い
- ☹ 自己放電が比較的大きい



2019 年ノーベル化学賞：Li インターカレーション材料と LIB 原理の発明-1/3

by Dr. M. Stanley Whittingham (1976年)

ー トポ化学反応系を正極 (TiS₂) に用いたリチウム電池 ー

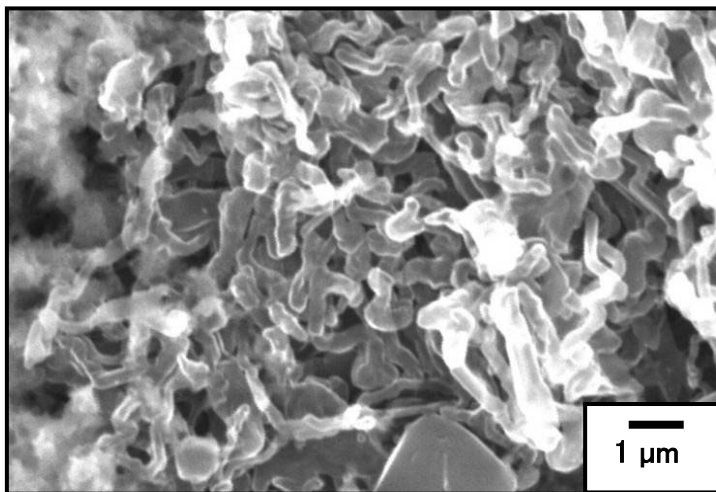


© Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences

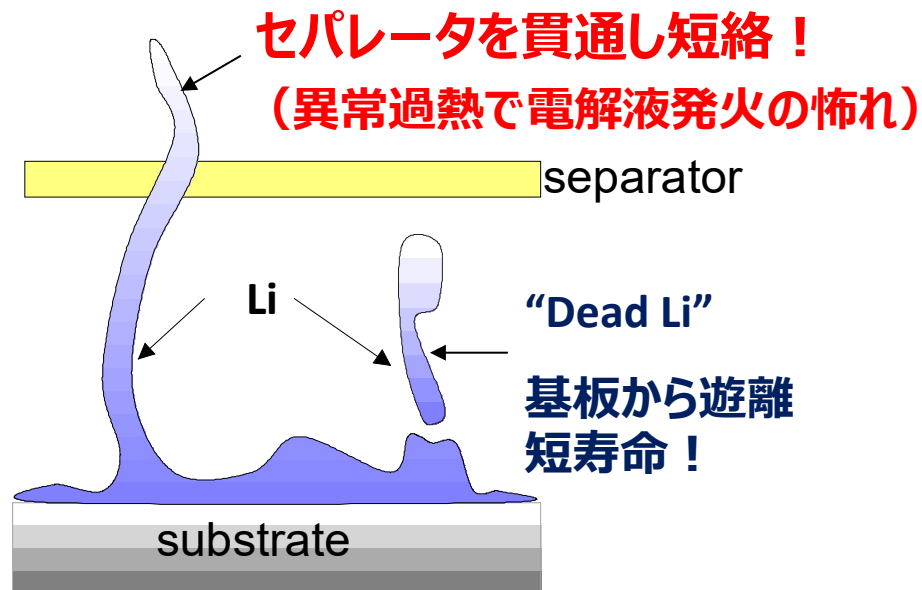
(© Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences)
ref.) <https://www.nobelprize.org/uploads/2019/10/advanced-chemistryprize2019-2.pdf>

リチウム蓄電池の課題

～充電時の樹枝状リチウムの生成～



充電時に樹枝(デンドライト)状に析出.

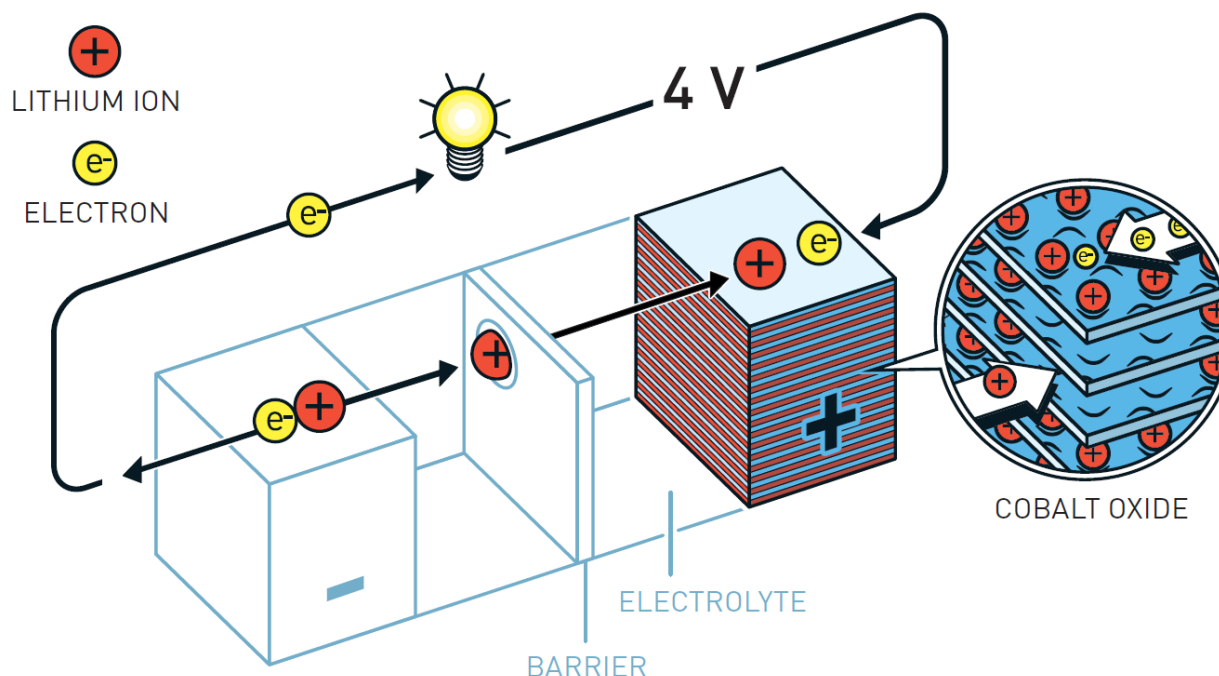


→1989年、携帯電話に搭載された Li/MoS_2 電池の連続過熱事故
(Li金属蓄電池は、民生用としては、事実上封印。。。)

2019 年ノーベル化学賞：Li インターカレーション材料と LIB 原理の発明-2/3

by Prof. John B. Goodenough (1980年)

— トポ化学反応系 Li 含有酸化物 4 V級 正極 (LiCoO_2) の発見 —



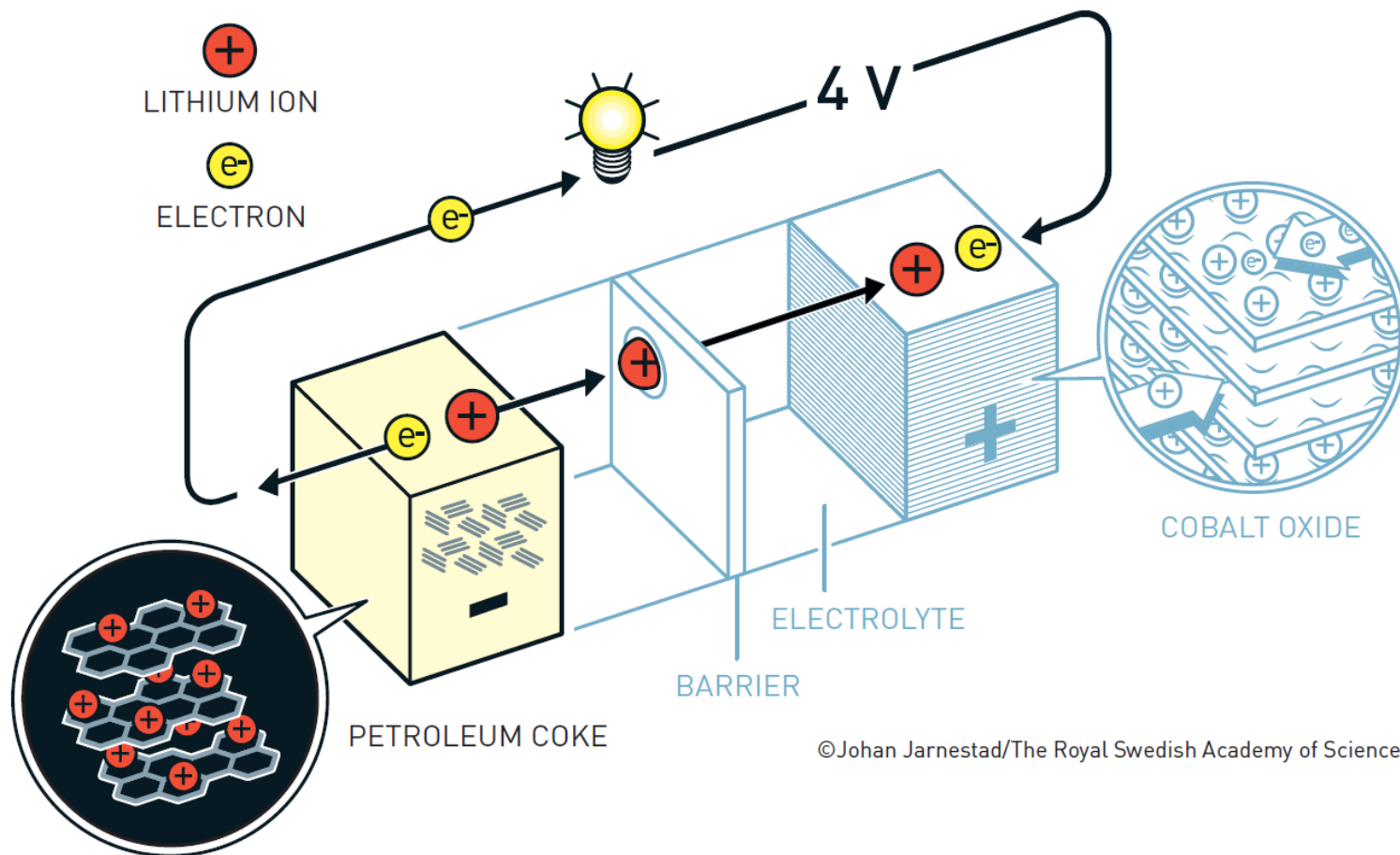
© Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences

(© Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences)
ref.) <https://www.nobelprize.org/uploads/2019/10/advanced-chemistryprize2019-2.pdf>

Goodenough 教授は、 LiNiO_2 、 LiMn_2O_4 、 LiFePO_4 等 その後のリチウムイオン電池で主要となる正極材料も発見している

2019 年ノーベル化学賞：Li インターカレーション材料と LIB 原理の発明 吉野 彰 博士 (1985年)

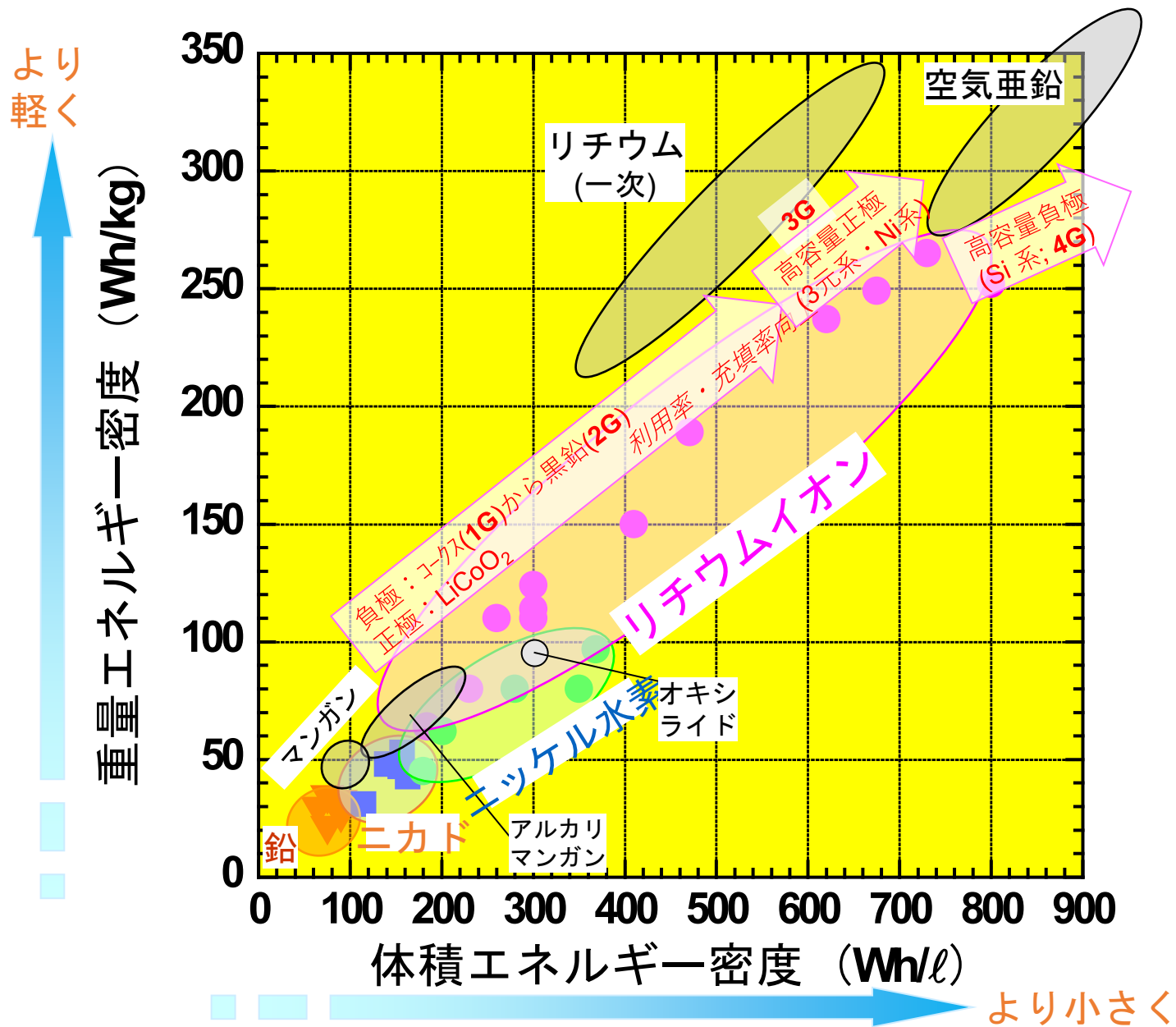
－コークス炭素のトポ化学リチウム挿入反応系「負極」 応用の発見－



©Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences

(© Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences)
ref.) <https://www.nobelprize.org/uploads/2019/10/advanced-chemistryprize2019-2.pdf>

民生用小型電池の進化



目次

1 電池の進化とリチウムイオン電池

2 車載用蓄電池

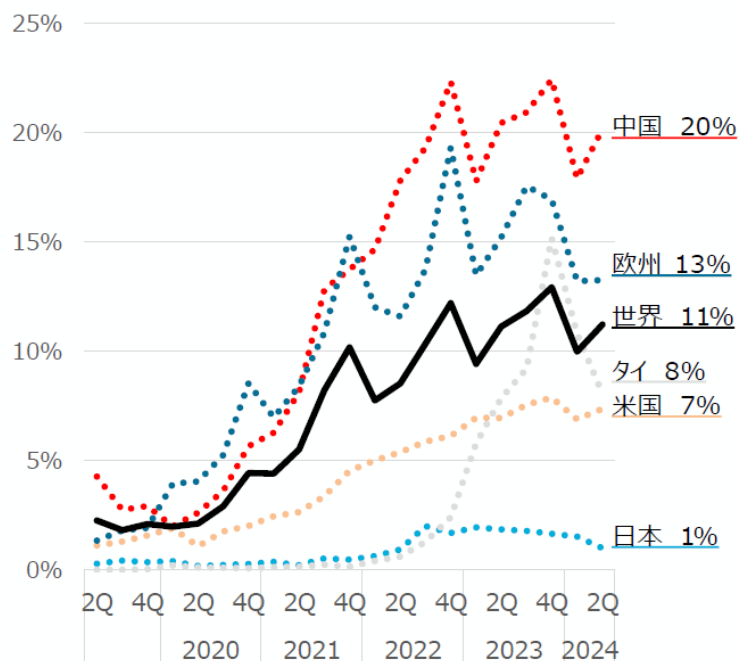
- 車載用蓄電池の産業動向
- 高エネルギー密度化
 - ✓ 活物質選択
 - ✓ 電池構造設計（EV設計）
- 全固体電池
- 革新型電池
- 電池のリサイクル

3 定置用蓄電池

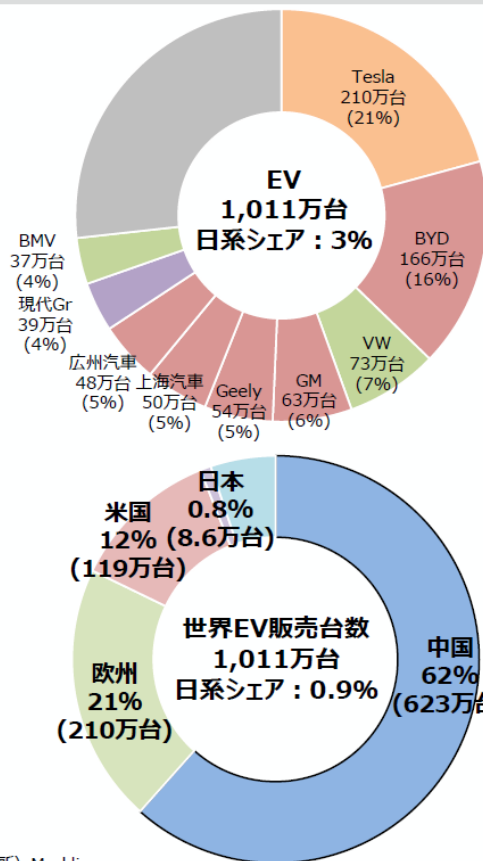
世界全体の EV 市場の動向

- 世界全体のEV販売比率は、過去数年、増加傾向。足下の2024年第2四半期の販売比率は11%。
- EV市場はテスラに加え、BYDをはじめとした中国企業が上位を占めている。

EV販売比率の推移



(出典) Marklines, 欧州：英仏独の3か国

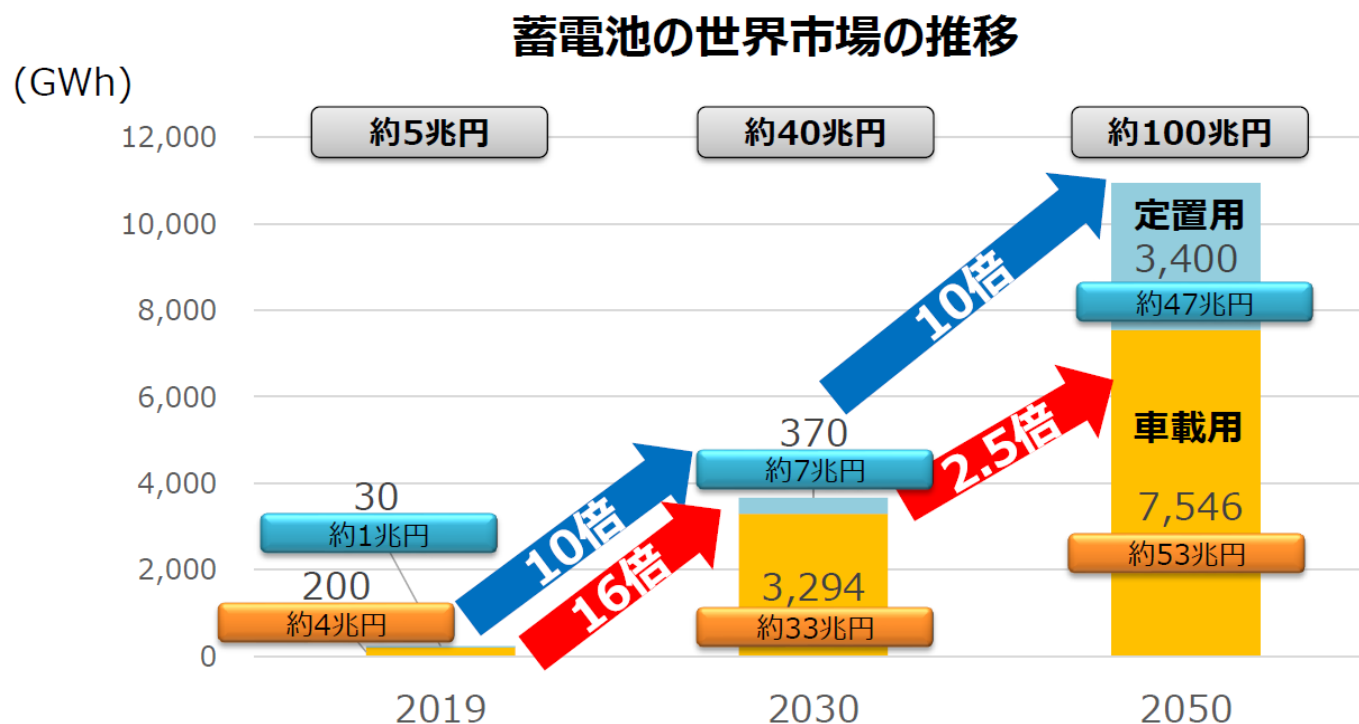


(出所) Marklines

【出典：経済産業省「蓄電池産業戦略の関連施策の進捗状況及び蓄電池を取り巻く主な環境変化について」（第2回蓄電池産業戦略推進会議（2024年11月19日））】

蓄電池市場の拡大

- 蓄電池市場は車載用、定置用ともに拡大する見通し。当面は、EV市場の拡大に伴い、車載用蓄電池市場が急拡大。足下では定置用は車載用の1/10程度の規模だが、2050年に向けて定置用蓄電池の市場も成長する見込み。



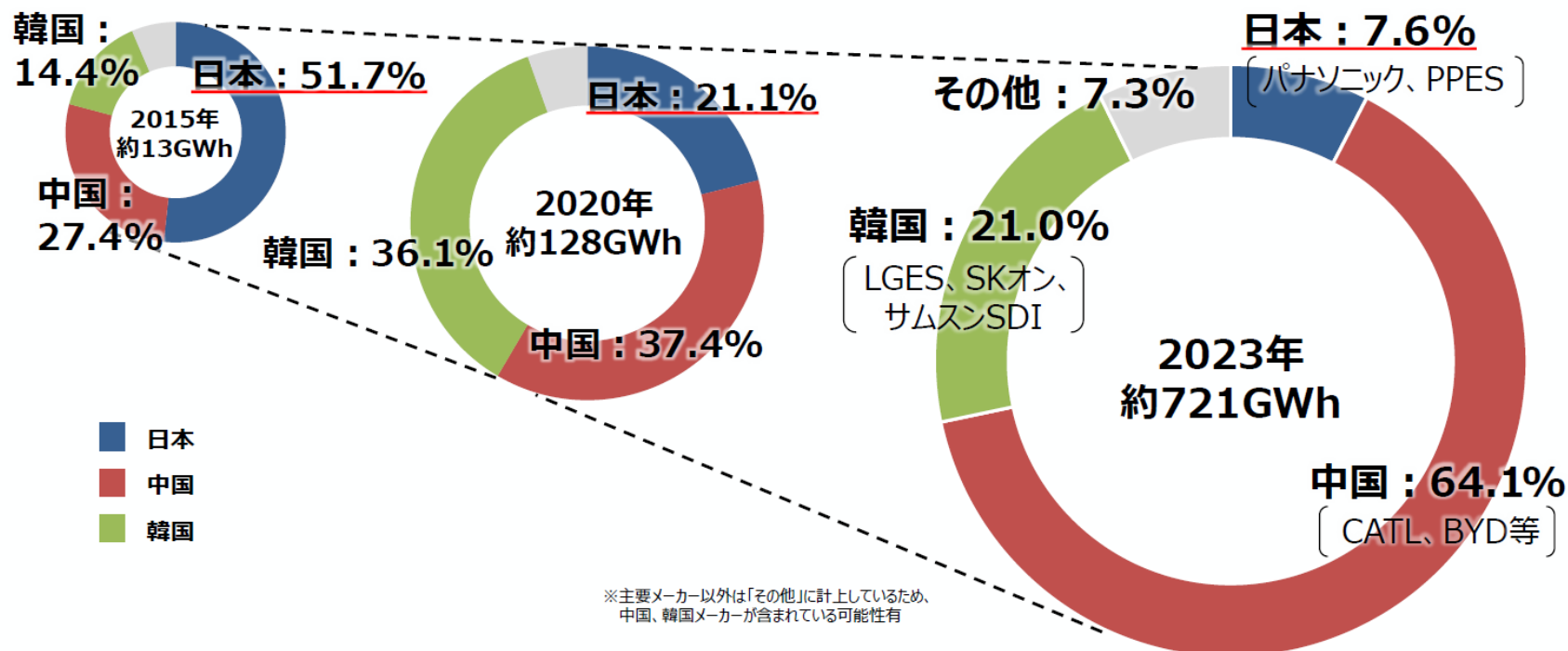
(出典) IRENA、企業ヒアリング等を元に、経済規模は、車載用パック（グローバル）の単価を、2019年2万円/kWh→2030年1万円/kWh→2050年0.7万円/kWhとして試算。
定置用は車載用の2倍の単価として試算。

【出典：経済産業省「蓄電池産業戦略」（第6回蓄電池産業戦略検討官民協議会(2022年8月31日)）】

車載用蓄電池の国別・メーカー別シェア

- 日系勢は技術優位で初期市場を確保したが、市場の拡大に伴い中韓メーカーがシェアを拡大、一方で日本メーカーはシェアが相対的に低下。

※以下は生産容量（kWh）のシェアの推移を示す

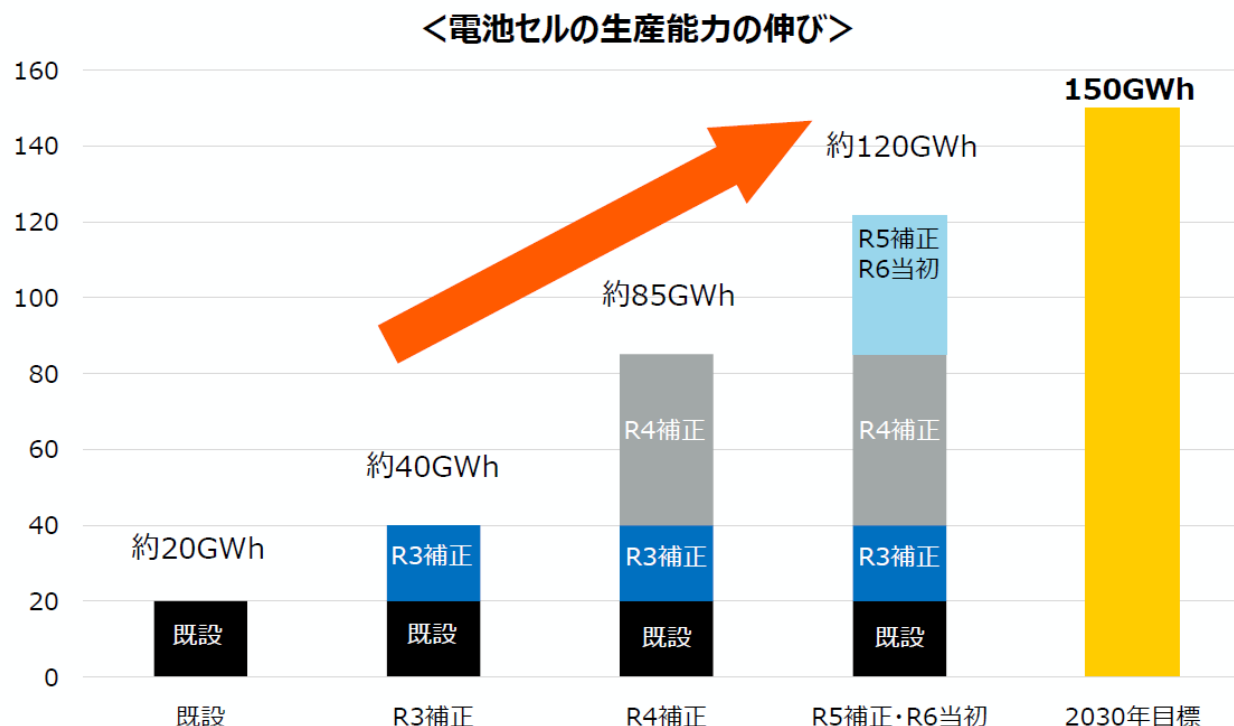


（出典）富士経済「エネルギー・大型二次電池・材料の将来展望 2016-エネルギーデバイス編-」、富士経済「エネルギー・大型二次電池・材料の将来展望 2021-電動自動車・車載電池分野編-」、富士経済「エネルギー・大型二次電池・材料の将来展望 2024-電動自動車・車載電池分野編-」に基づき作成

【出典：経済産業省「蓄電池産業戦略の関連施策の進捗状況及び蓄電池を取り巻く主な環境変化について」（第2回蓄電池産業戦略推進会議（2024年11月19日））】

経済産業省による経済安保法に基づく支援の成果

- 経済安保法に基づく支援対象に、従来の蓄電池・部素材に加えて、令和5年度より製造装置を新たに追加。
- 第1弾から第3弾を合わせると、蓄電池7件、部素材16件、製造装置4件（合計27件）の計画を認定しており、事業総額は約1兆8,686億円、うち助成額は最大約6,601億円。
- これまでの取組によって、蓄電池の生産基盤は120GWh程度確保できる見込み。2030年までに150GWh/年の製造基盤構築を確保すべく、10月24日より第4弾の認定申請を受付中（11月29日まで）。



【出典：経済産業省「蓄電池産業戦略の関連施策の進捗状況及び蓄電池を取り巻く主な環境変化について」（第2回蓄電池産業戦略推進会議（2024年11月19日））】

目次

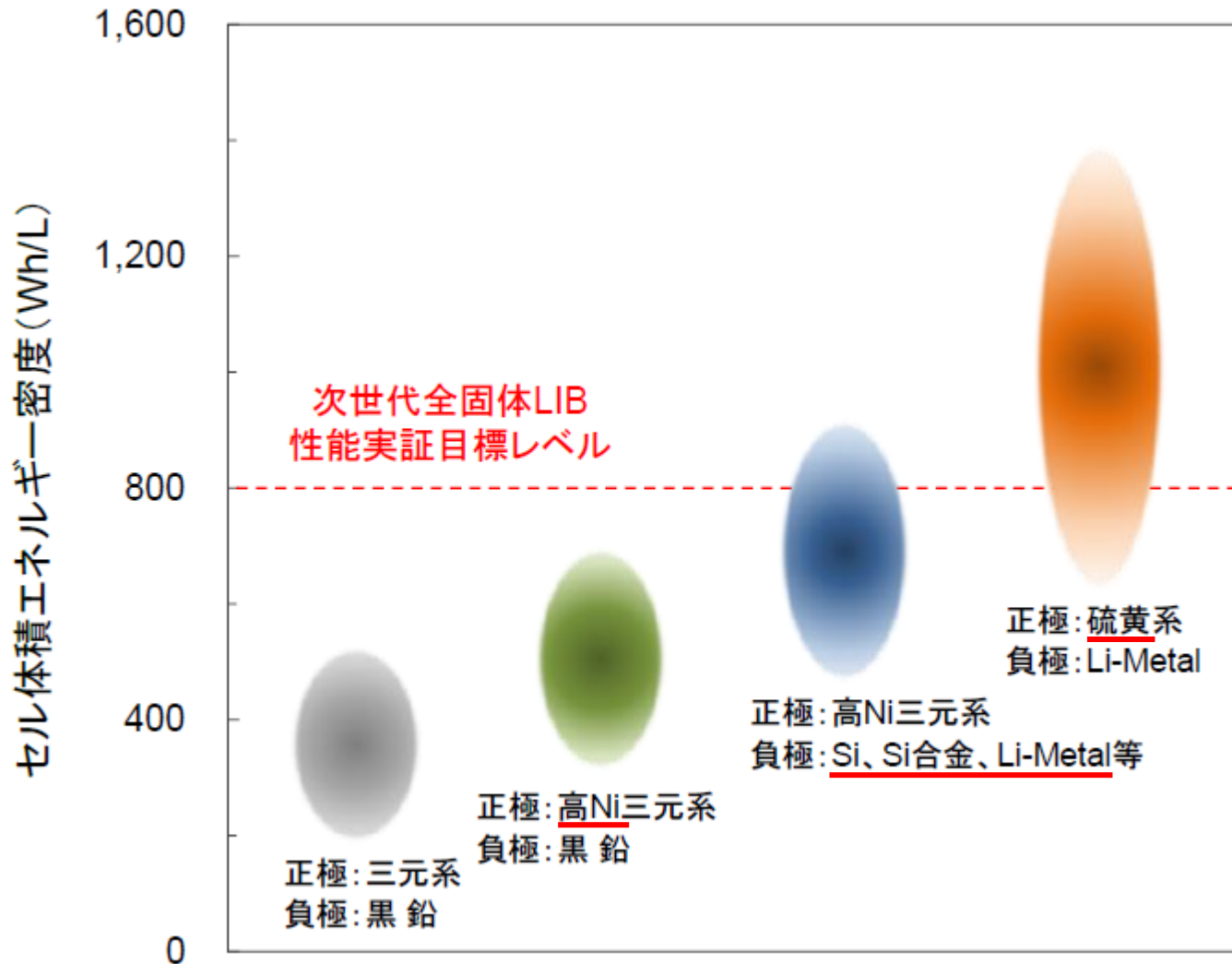
1 電池の進化とリチウムイオン電池

2 車載用蓄電池

- 車載用蓄電池の産業動向
- 高エネルギー密度化
 - ✓ 活物質選択
 - ✓ 電池構造設計（EV設計）
- 全固体電池
- 革新型電池
- 電池のリサイクル

3 定置用蓄電池

各種電極活物質の組合せによるセルの体積エネルギー密度の試算例

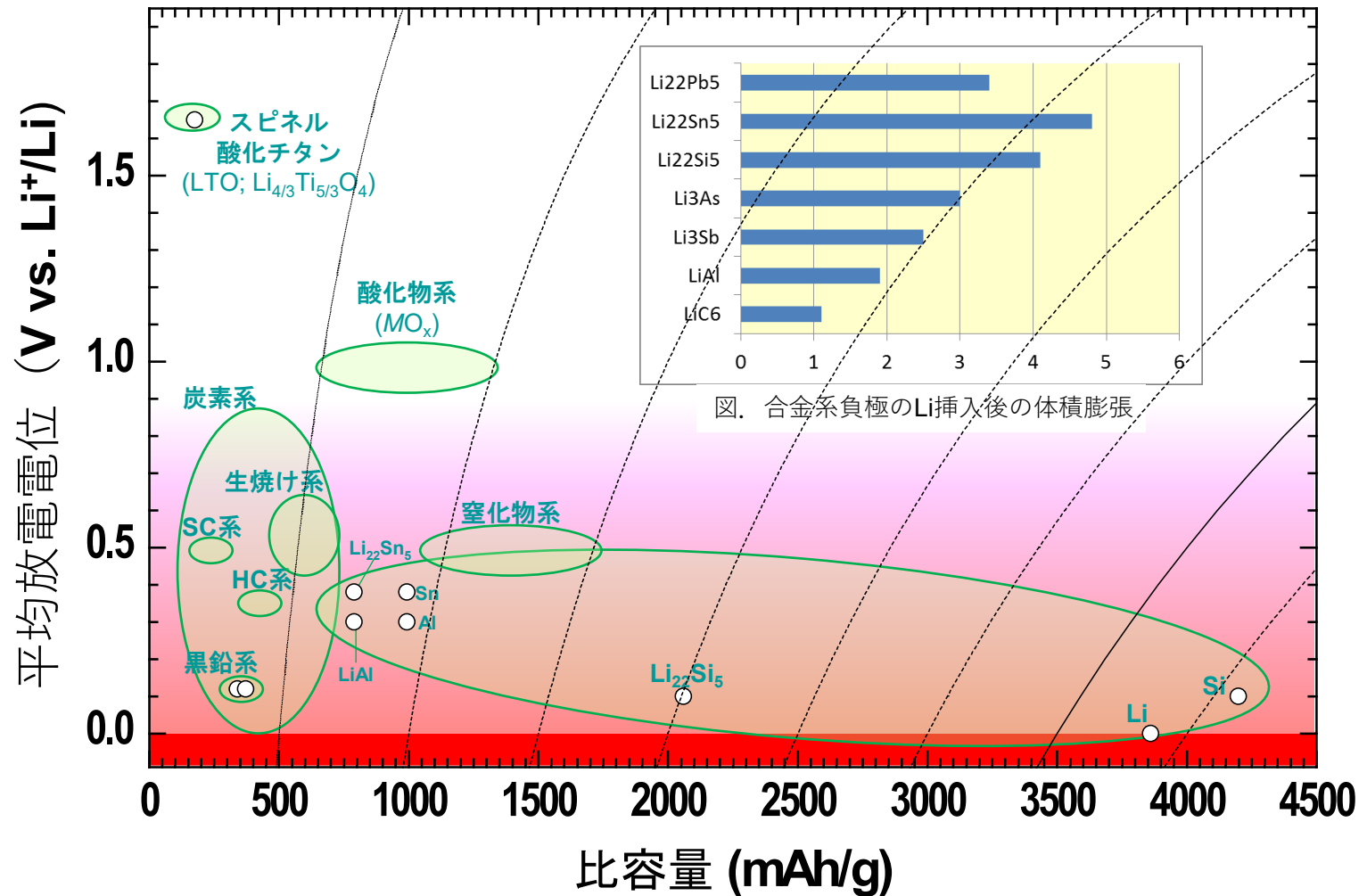


【出典：NEDO「先進・革新蓄電池材料評価技術開発（第2期）」2018～22年度成果報告書（2023年3月）】

リチウムイオン電池用 正極物質の特徴比較

	実効比容量 mAh/g	平均放電電圧 V vs. Li ⁺ /Li	実効比エネルギー Wh/kg	高温 安定性
LiCoO₂ (コバルト酸リチウム; LCO)	160	3.9	620	△
LiNiO₂ (ニッケル酸リチウム; LNO)	220	3.6	790	×
LiNi_{0.8}Co_{0.15}Al_{0.05}O₂ (ニッケル-コバルト酸リチウム; NCA)	190	3.7	700	△
LiNi_{1/3}Mn_{1/3}Co_{1/3}O₂ (NCM111)	160	3.7	590	○
LiNi_{0.6}Co_{0.2}Mn_{0.2}O₂ (NCM622)	190	3.6	680	○
LiNi_{0.8}Co_{0.1}Mn_{0.1}O₂ (NCM811)	210	3.6	760	○
LiMn₂O₄ (スピネル マンガン酸リチウム; LMO)	110	4.0	440	○
LiFePO₄ (リン酸鉄リチウム; LFP)	170	3.4	580	◎

リチウムイオン電池系負極マップ



負極としては、比容量が大きく、放電電位が低いほどよいが、一般に電極電位が低いほど電解液との反応性制御が重要。また、0 Vでは Li の析出の恐れ。

LFPからLMFPへ

～資源負荷を高めず、性能進化へ～

中国の電池メーカーGotion High-Tech（国軒高科）は2023年5月19日、リン酸鉄リチウム（LFP）系リチウムイオン2次電池（LIB）をベースにエネルギー密度を高めた「リン酸マンガン鉄リチウム（LMFP）」を開発したと正式に発表した。シリーズ名は「Astroinno」である。電池パックとしての重量エネルギー密度は190Wh/kg、セルのエネルギー密度は240Wh/kg、525Wh/kg。

< 出典： <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/00001/08042/> >

表 オリビン系酸化物の特性

	平均電圧 (V)	容量密度 (mAh/g)	エネルギー密度 (Wh/kg)	実用化
LiFePO_4	3.4	170	578	○
$\text{LiMn}_{0.7}\text{Fe}_{0.3}\text{PO}_4$	3.9	170	663	○
LiMnPO_4	4.1	171	701	△
LiCoPO_4	4.8	167	802	×
LiNiPO_4	5.4	167	902	×

Naイオン電池 (Sodium-Ion Battery; SIB)

～ 持続可能な大量生産へ～

2021/7/29 オンライン発表イベント (CATL)

第一世代のNaイオン二次電池

エネルギー密度：160Wh/kg

急速充電：15分で80%SOCまで充電 (室温)

容量保持率：90%以上 (−20℃)



2023/4/16 ツイッターで公表(CATL)

同社のNaイオン二次電池が中国の自動車メーカーChery Automobile (奇瑞汽車)の電気自動車(EV)に採用

元素	資源リスク			エネルギー密度			安全性	
	資源埋蔵量	資源の分布	コスト	原子量	比重	エネルギー密度	水との反応性	融点
リチウム	少ない	偏在している	高い	軽い	0.534	高い	穏やかに反応	181℃
ナトリウム	多い	偏在していない	安い	重い	0.968	低い	激しく反応	98℃

SIBの構成部材

構成部		LIB	SIB	コメント
電極	正極	$\text{Li}(\text{NiMnCo})\text{O}_2$ $\text{Li}(\text{NiCoAl})\text{O}_2$ $\text{Li}(\text{FeMn})\text{PO}_4$ $\text{Li}(\text{MnAl})_2\text{O}_4$	$\text{Na}(\text{NiMnFe})\text{O}_2$ $\text{Na}_2\text{Mn}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ $\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_2\text{F}_3$	SIBの方が低コスト
	負極	人造黒鉛 天然黒鉛	ハードカーボン	SIBの方が高コスト (ハードカーボン採用)
電解液	電解質	LiPF_6	NaPF_6	SIBの方が高コスト？
	溶媒	EC DEC DMC	PC EC	---
集電体	正極	Al	Al	---
	負極	Cu	Al	SIBの方が低コスト

目次

1 電池の進化とリチウムイオン電池

2 車載用蓄電池

- 車載用蓄電池の産業動向
- 高エネルギー密度化
 - ✓ 活物質選択
 - ✓ 電池構造設計（EV設計）
- 全固体電池
- 革新型電池
- 電池のリサイクル

3 定置用蓄電池

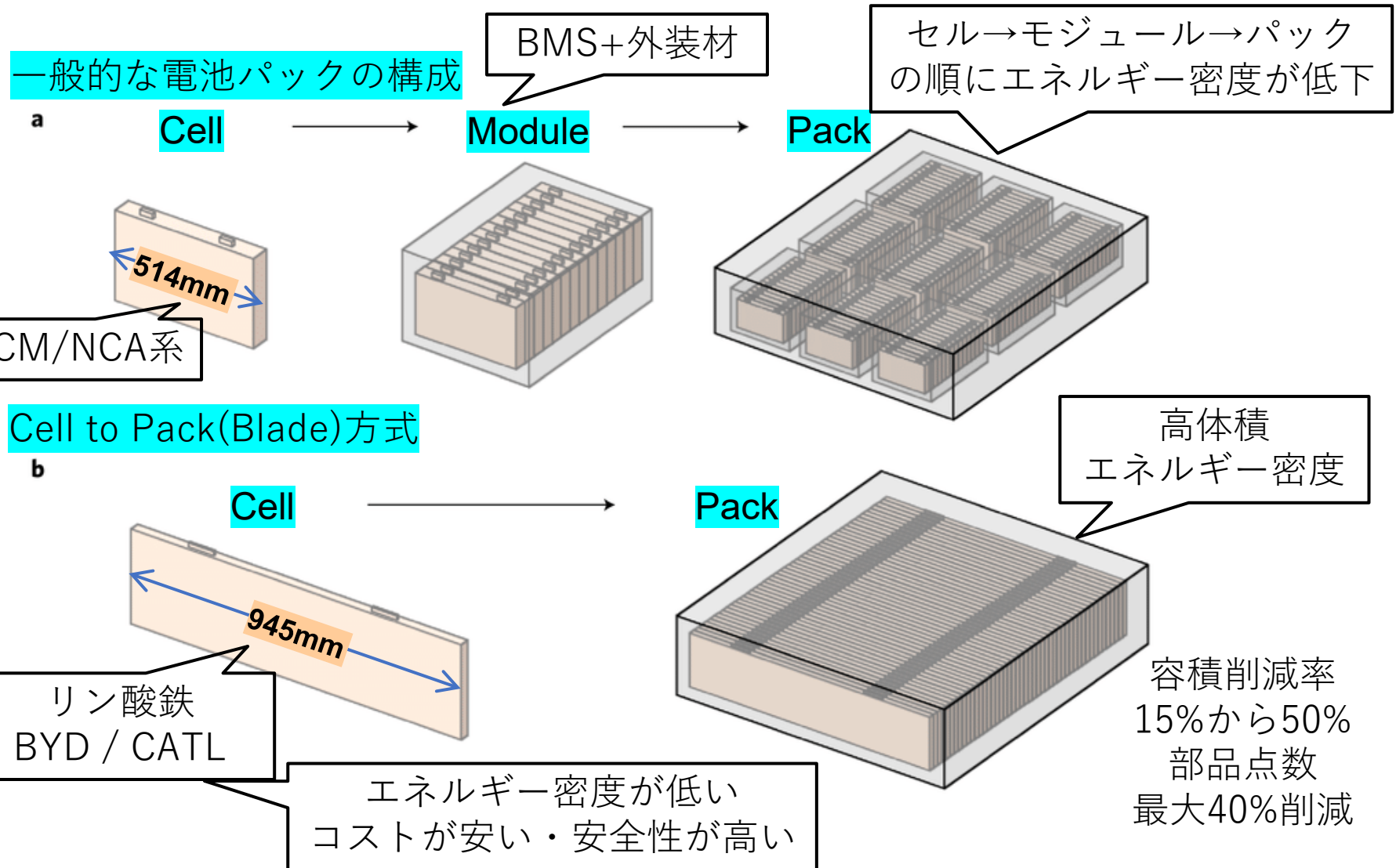
各種電池セルのエネルギー密度の比較

OEM 車種	Tesla Model S	日産 LEAF e+	VW ID.3	Tesla Model 3	BYD SEAL	---
電池製造 メーカー	Panasonic	AESC	LG Energy Solution	Panasonic	BYD	Gotion
電池 TYPE	円筒型 2170	ラミネー ト型	角型	円筒型 4680	角型	角型
正極材料	NCA	NMC	NMC	NCM	LFP	LMFP
容量 (Ah)	4.8	59	76.5	26.1	---	---
電力量 (kWh)	---	---	0.28	0.10	---	---
重量エネルギー密度 (Wh/kg)	247	235	261	272~296	185	240
体積エネルギー密度 (Wh/L)	713	482	622	727~791	400	525
外観						

< 出典：「先進・革新蓄電池材料評価技術開発（第2期）」中間評価分科会資料 >

< 出典： <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/01686/00026/> >

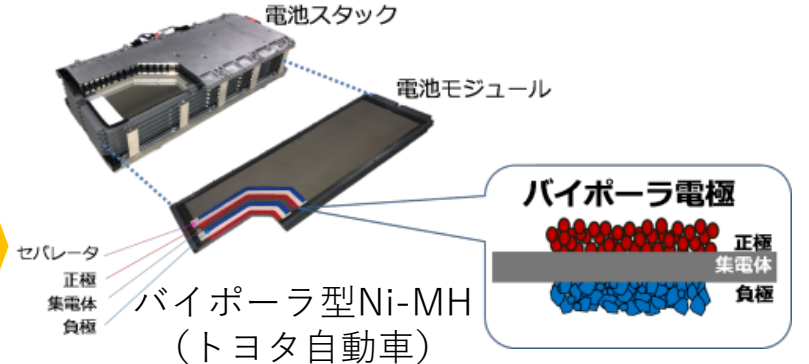
電池パックとしての高エネルギー密度化 ～ Blade Battery ～



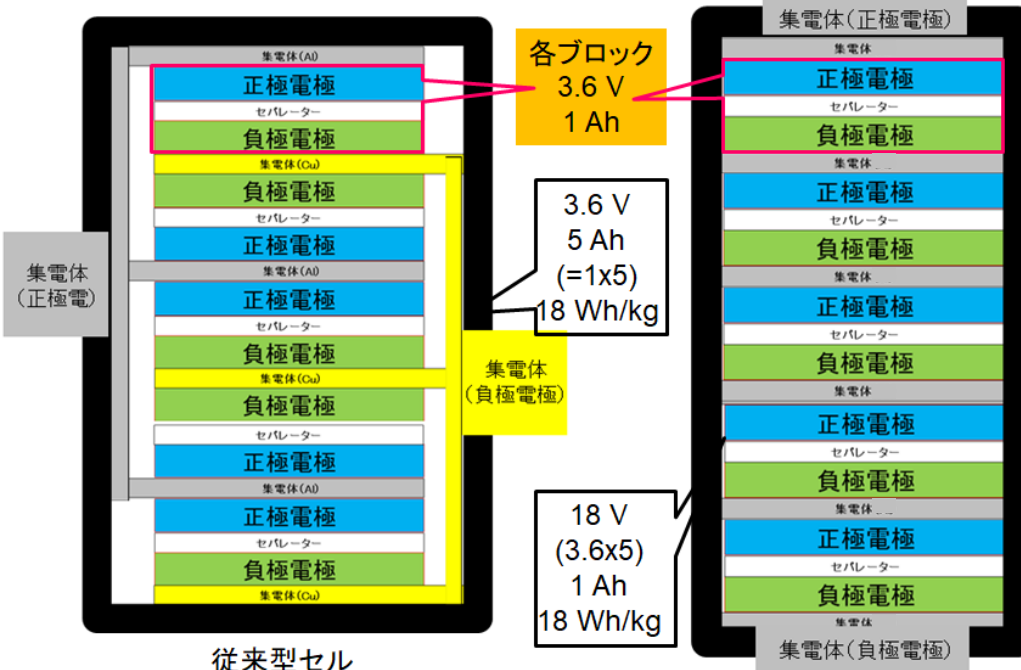
電池モジュールとしての高エネルギー・出力密度化 ともに挑む。つぎを創る。

～バイポーラセル～

	トヨタ自動車	古河電池	APB
電池の種類	ニッケル水素電池	鉛蓄電池	LIB
用途	HEV	定置用	定置用EV
商品化の時期	実用化	2022～	2021～



電池出力：約2倍
体積当たりの容量：25%増



メリット

- 電池モジュールとしての内部抵抗の低減
- セル区分筐体・セル端子・セル接続部品等の減によるエネルギー密度の向上 etc.

技術的難度

- セル間の液絡の完全遮断
(直列セルが模擬外部短絡になることを防ぐ)
- 各セル容量の均一化
(全てのセルに同じ電気量が流れるため、容量の小さいセルは過充電・過放電に。しかも当該セルを回路的に遮断できない)
- 両極に適する集電体の選択 etc.

目次

1 電池の進化とリチウムイオン電池

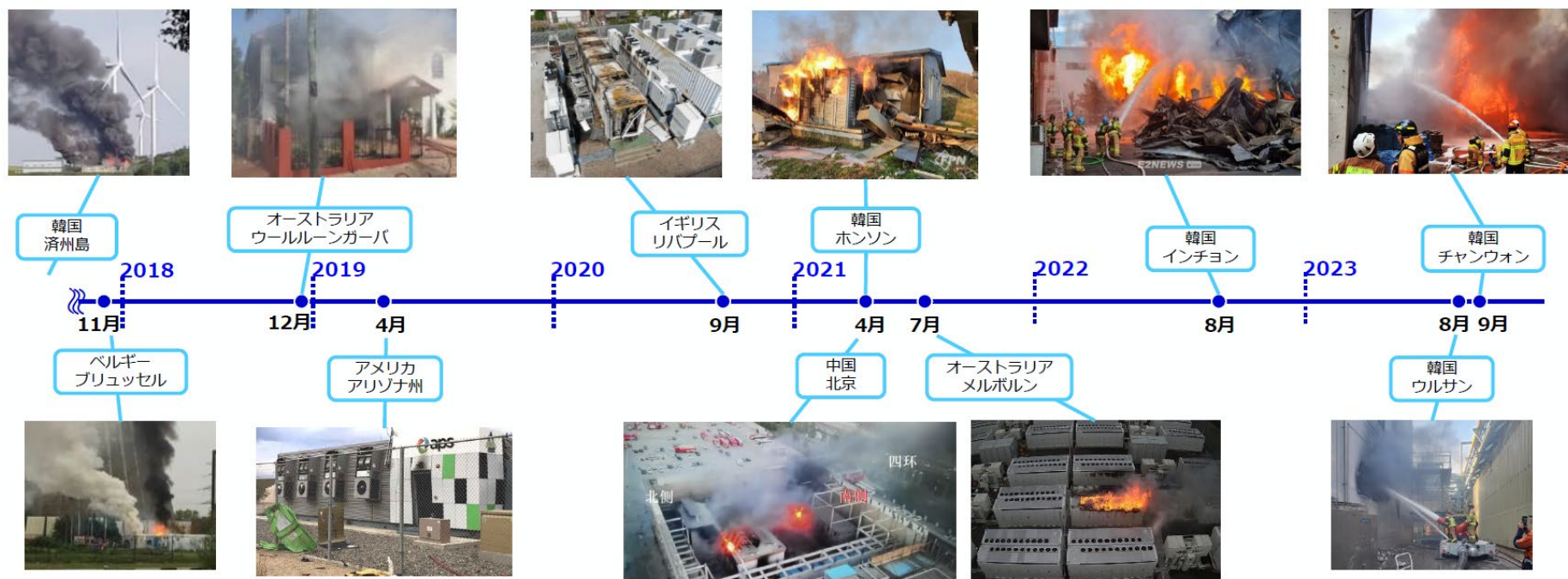
2 車載用蓄電池

- 車載用蓄電池の産業動向
- 高エネルギー密度化
 - ✓ 活物質選択
 - ✓ 電池構造設計（EV設計）
- 全固体電池
- 革新型電池
- 電池のリサイクル

3 定置用蓄電池

海外における蓄電池事故の主な例

- 近年、世界各地においても、リチウムイオン電池の火災事故が続いている。
- 液系リチウムイオン電池は発火のリスクがあるため、一度発火すると消火が困難であり安全確保が重要な課題。



(出典) 第2回 定置用蓄電システム普及拡大検討会 資料4-3 を基に作成

【出典：経済産業省「蓄電池産業戦略の関連施策の進捗状況及び蓄電池を取り巻く主な環境変化について」（第2回蓄電池産業戦略推進会議（2024年11月19日））】

国内における蓄電池事故の主な例

- 2024年3月、ハヤシソーラーシステム高柳発電所（鹿児島県伊佐市）において、蓄電池及びパワーコンディショナー（PCS）が設置された建屋から白煙が発生。消防隊員 4 名が負傷。
- 2023年3月、神奈川県横浜市の小学校に設置された蓄電池から発火する事故が発生。

<高柳発電所概要>

- 設置者：株式会社ハヤシエネルギーシステム
- 運転開始時期：平成29年2月
- 発電所出力：1,000kW
- 蓄電池容量：7,000kWh相当

<被害の状況>

- 蓄電池及びPCSが設置された建屋、建屋の外にある受変電設備が全焼。
 - 爆発により、建屋の一部が飛散しパネルを破損。構外に飛散（人的・物的被害は確認されなかった）。
- ※ 事故後、発電所周辺の水質及び土壌調査を行い、異常がないことが確認されている。

<事故原因>

- 爆発・火災により建屋内の蓄電池が広く損傷していることから最も激しく損傷していた第3区画4ラック目が火元となった可能性。白煙が発生していたことから蓄電池から出火した可能性。（設置者による報告）

<最も激しく燃えていたラックの状況>



第3区画
4ラック目

第3区画
3ラック目

第3区画
2ラック目

<小学校での火災事故>

- 神奈川県横浜市の小学校に設置された蓄電池から発火する事故が発生。
- 事故の詳細は、横浜市が調査中。



（出典）第21回 産業構造審議会 保安・消費生活用製品安全分科会 電力安全小委員会 電気設備自然災害等対策ワーキンググループ 資料3、公表情報を基に作成

【出典：経済産業省「蓄電池産業戦略の関連施策の進捗状況及び蓄電池を取り巻く主な環境変化について」（第2回蓄電池産業戦略推進会議（2024年11月19日））】

LIB 蓄電システムの安全性

- 2019/4/19：米国 APS社所有 蓄電池システム（2 MWh/2 MW）
 - ・セルは韓国製パウチセル（3 元系正極）で、3年弱の運用後の火災事故
 - 2021/4/16：北京市の蓄電所（25 MWh）
 - ・セルは安全性が高いと言われる **リン酸鉄（LFP）正極**にも関わらず、2年の運用後での火災事故
 - 2022/3：ドイツにて家庭用蓄電池システムで3件の火災事故
 - ・韓国製セル仕様
 - 2024/3/27：鹿児島県伊佐市メガソーラ併設 蓄電システム（6.5 MWh）
 - ・セルは2019/4/19の米国事故と同じメーカーのパウチセル（3 元系正極）で、2016年より運用開始
- 発火の燃料となる化合物の大部分は、有機電解液

液系LIBと全固体LIBの比較

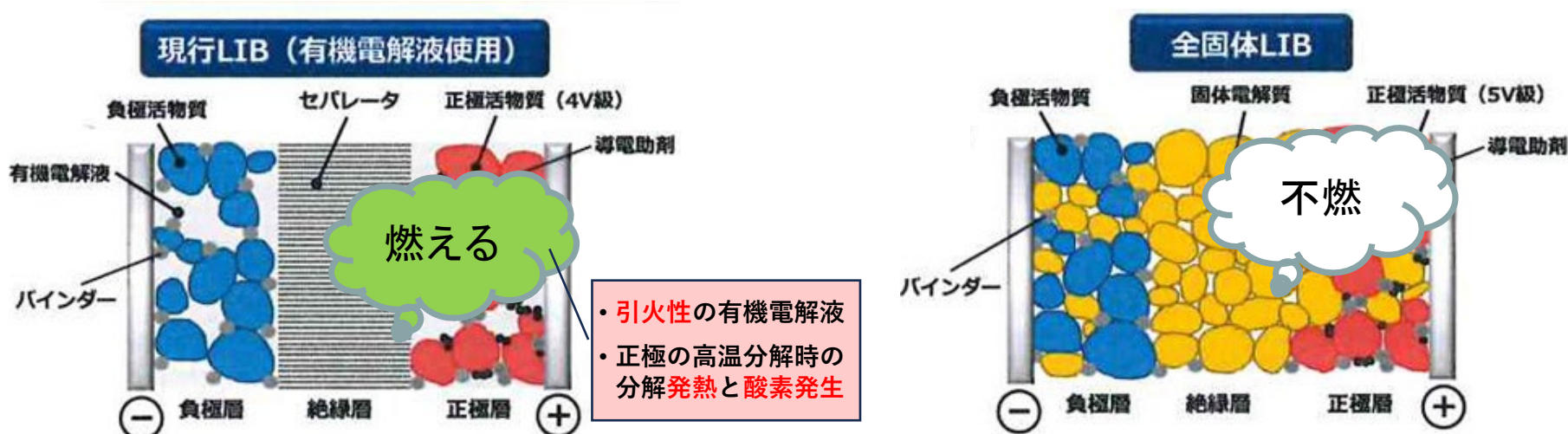


図 現行LIBと全固体LIBの構造（NEDO公開資料を引用）

< 出典 > 平成30年度NEDO次世代電池・水素部成果報告会

硫化物系全固体LIBの現状と課題 「硫化物系固体電解質の優位性」

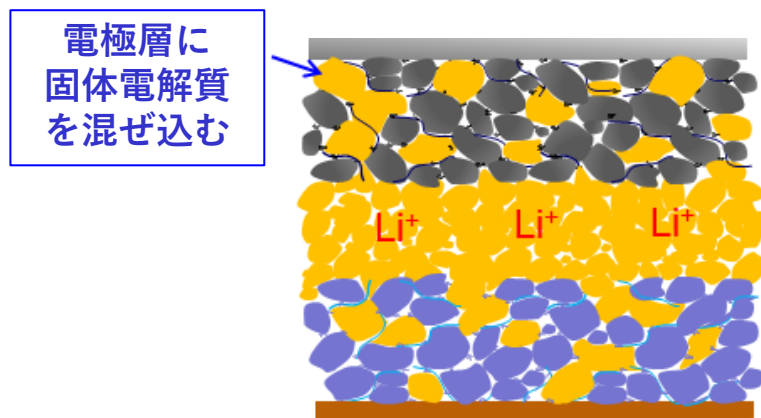


図 全固体LIBの概念図

組成	室温イオン導電率 (S/cm)
$\text{Li}_{10}\text{GeP}_2\text{S}_{12}$	1.2×10^{-2}
$\text{Li}_{5.4}\text{PS}_{4.4}\text{Cl}_{1.6}$	5.6×10^{-3}

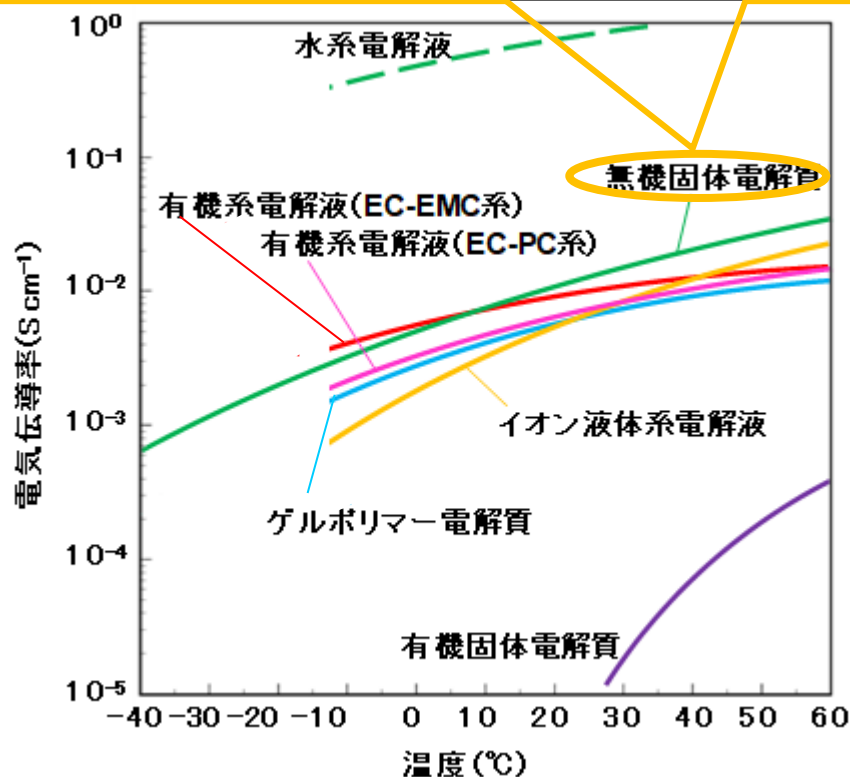


図 各種電解質材料のイオン導電率の温度依存性

全固体LIB向け固体電解質の種類と特徴

電極層に固体電解質を混ぜ込む

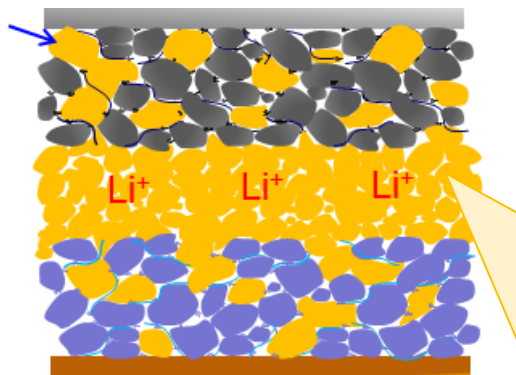


図 全固体LIBの概念図

表 固体電解質の種類

		硫化物系	酸化物系	水素化物系	ハロゲン化物系	高分子系
イオン導電率		○	△	△	○	△
電位窓	耐酸化性	○	○	△	○	△
	耐還元性	△	○	○	△	○
水分への安定性		×	○	×	△	×
可塑性		△	×	△	△	○

・根本的な安全性改善

⇒分解温度が、電解液は80℃程度、硫化物系電解質は200℃

・エネルギー密度向上

⇒高電圧まで耐えるので、正極の容量を引き出せる

・高い入出力性能

⇒イオン導電率とリチウムイオン導電率が等しい (輸率=1)

・高温動作でも寿命が長い (急速充電)

⇒電解質の化学的安定性が高い

But

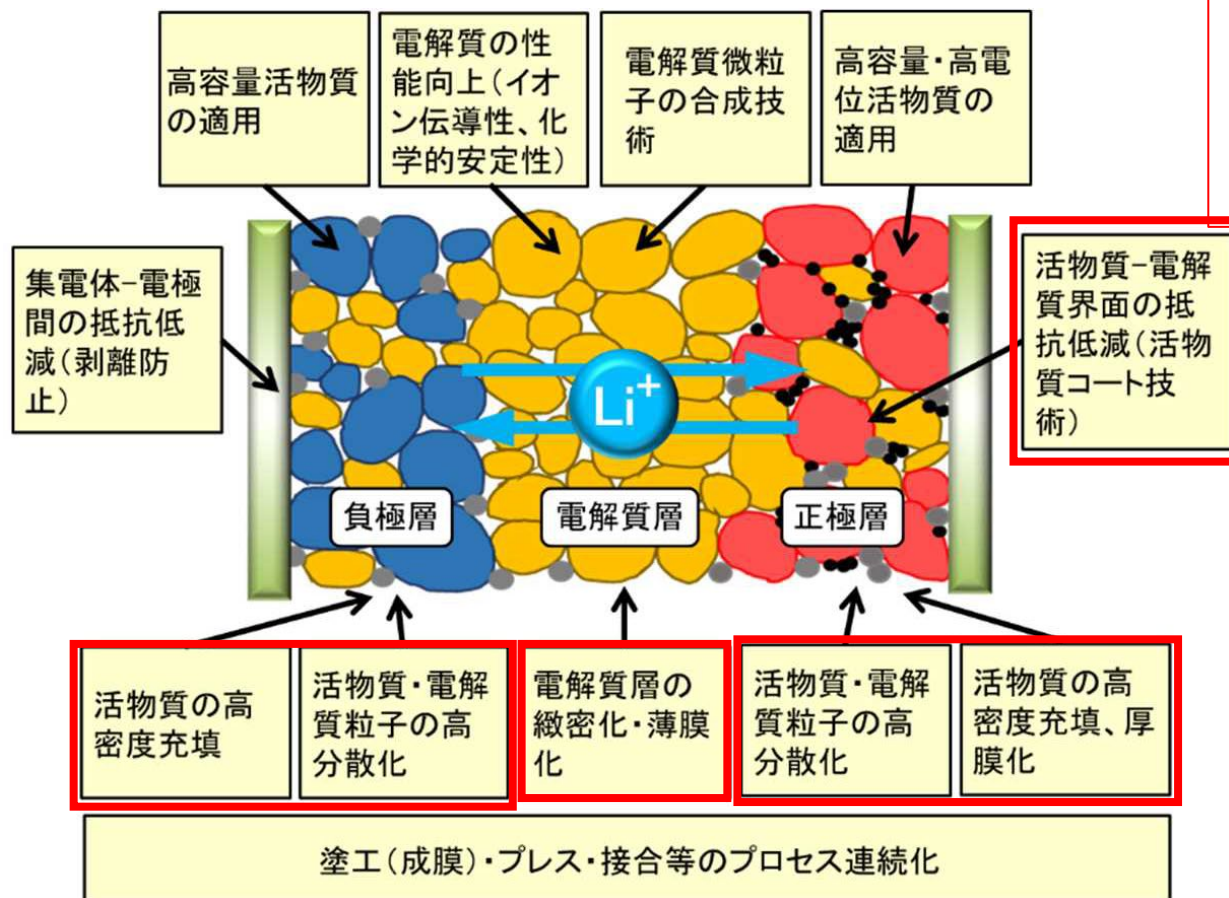
技術課題：

- ・固体電解質開発
- ・固体－固体界面制御
- ・各種プロセス技術

全固体電解質のイオン導電率

	構造	組成	イオン導電率 (S/cm)	メーカー
硫化物系	結晶系	$\text{Li}_{9.54}[\text{Si}_{0.6}\text{Ge}_{0.4}]_{1.74}\text{P}_{1.44}\text{S}_{11.1}\text{Br}_{0.3}\text{O}_{0.6}$	3.4×10^{-2}	---
		$\text{Li}_{10}\text{GePS}_{12}$	1.2×10^{-2}	トヨタ自動車
		$\text{Li}_{5.4}\text{PS}_{4.4}\text{Cl}_{1.6}$	5.6×10^{-3}	三井金属鉱業
	ガラス系	$64\text{Li}_2\text{S}-21\text{P}_2\text{S}_5-15\text{LiBr}$	4.2×10^{-3}	出光興産
酸化物系	結晶系	$\text{La}_{0.51}\text{Li}_{0.34}\text{TiO}_{2.94}$	1.4×10^{-3}	東邦チタニウム
		$(\text{LiMg})_7(\text{LaSr})_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$	1.4×10^{-3}	日本特殊陶業
		LiTa_2PO_8	2.5×10^{-4}	---
	ガラス系	$\text{Li}_{1+x}\text{Al}_x\text{Ti}_{2-x}(\text{PO}_4)_3$	1.3×10^{-3}	オハラ
		$\text{Li}_{1.5}\text{Al}_{0.5}\text{Ge}_{1.5}(\text{PO}_4)_3$	4×10^{-4}	太陽誘電 FDK
水素化物系	結晶系	$\text{LiBH}_4 + \text{P}_2\text{S}_5$	$\sim 10^{-3}$	三菱ガス化学
		$0.7\text{Li}(\text{CB}_9\text{H}_{10})-0.3\text{Li}(\text{CB}_{11}\text{H}_{12})$	6.7×10^{-3}	---
ハロゲン化物系	結晶系	Li_3YCl_6	7.2×10^{-4}	PANASONIC
		Li_3InCl_6	1.5×10^{-3}	---
	ガラス系	$\text{Li}(\text{TaNb})\text{OCl}_4$	1.2×10^{-2}	PANASONIC
高分子系		PEO	$10^{-6} \sim 10^{-3}$	大阪ソーダ Blue Solutions

硫化物系全固体LIBの技術課題



技術課題：

- ・ 固体電解質開発
- ・ 固体-固体界面制御
- ・ 各種プロセス技術

< 出典：「先進・革新蓄電池材料評価技術開発（第2期）」
事後評価分科会資料 >

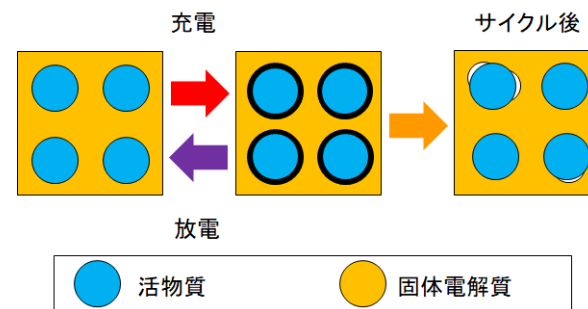
車載用LIBの実用化への課題

安全性

- ◎電池ケースが破損すると、硫化物系固体電解質は大気中の水と反応し硫化水素が発生
→車の場合は室内に入らないように設計できる
→材料レベルでの改質も進行中！

寿命

- ◎良好な固－固界面の維持にはセルの加圧（拘束圧）が必要
→材料レベルでの改善が必要！



製造コスト（製造プロセス）

- ◎量産のコスト低減効果がでるだけの量を初期の段階で製造できるか？
（初期段階で液系LIBと比較した製造コストをどこまで許容できるか？）
→本質的な課題！

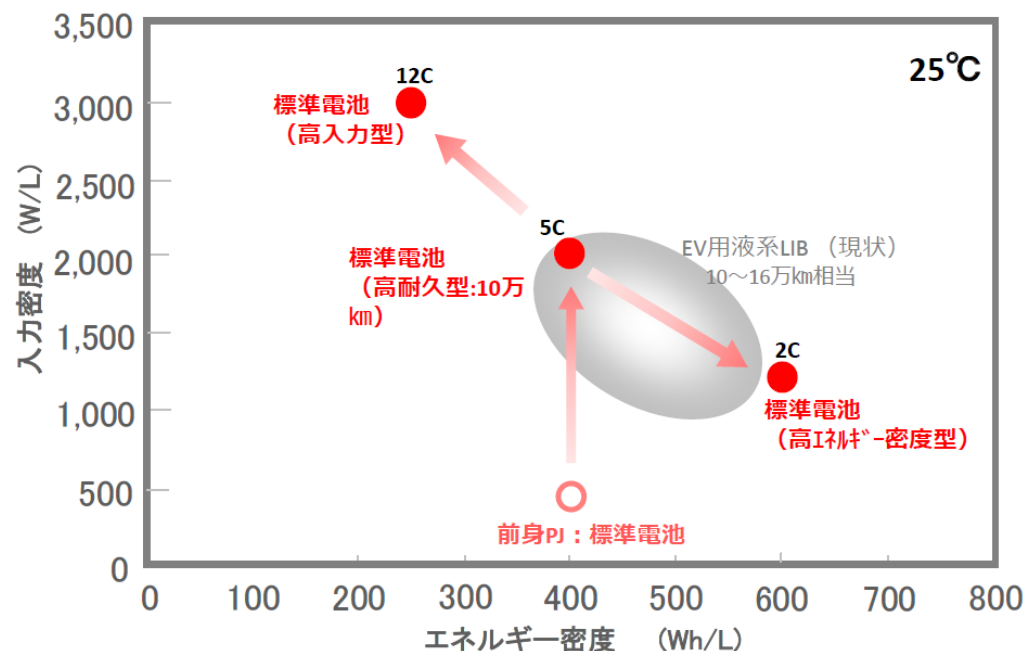
NEDO SOLiD-Next (2023~27年度) 事業での全固体LIBの開発状況



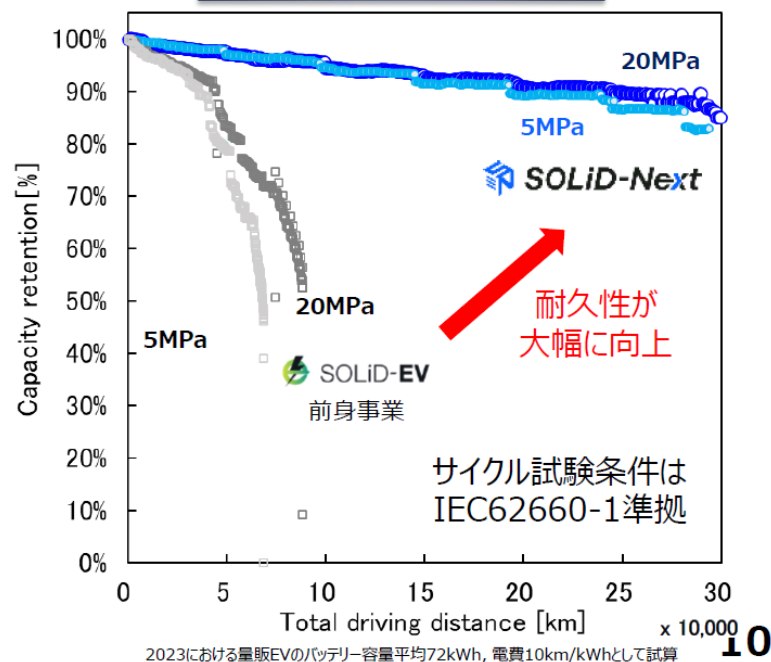
SOLiD-Nextで開発する材料評価用のモデル電池

- 全固体電池の新材料開発加速のため、高耐久型、高入力型、高エネルギー密度型のモデル電池開発を実施。
- 高耐久型：目標性能達成、高入力型：2024年度内に9C達成（高エネ密型は2026年度以降に実施）。
- 全固体LIB特有の機構解明等に取り組み、耐久性が大幅改善。今後は低拘束圧化等、更なる改善を目指す。

モデル電池の目標



走行距離換算容量維持率



全固体電池 関連トピックス

2023年9月

- ・ **トヨタ** ものづくりワークショップ：貞宝工場のバイポーラ型 LIB および全固体電池開発ラインの公開

2023年10月

- ・ **出光とトヨタ**、**バッテリーEV用全固体電池の量産**実現に向けた協業開始を公表（全固体電池搭載車の2027－2028年市場導入をより確実に）

2024年4月16日

- ・ **日産自動車**は2028年度に全固体電池を搭載したモデルの生産を始めるにあたっての**建設中のパイロットライン**を公開

2024年11月21日

- ・ **Honda** は2020年代後半に全固体電池を搭載した電動モデルの生産を始めるにあたっての**建設中のパイロットライン**を公開

2024年1月21日

- ・ 北京の清華大学で「**中国全固体電池産学研協同創新平台**（China All-Solid-State Battery Collaborative Innovation Platform：**CASIP**）」の設立（CATL、Fudi Battery(BYD子会社)、AESC 等の電池メーカー、大学・研究機関、産業界、金融、政府が参画）

目次

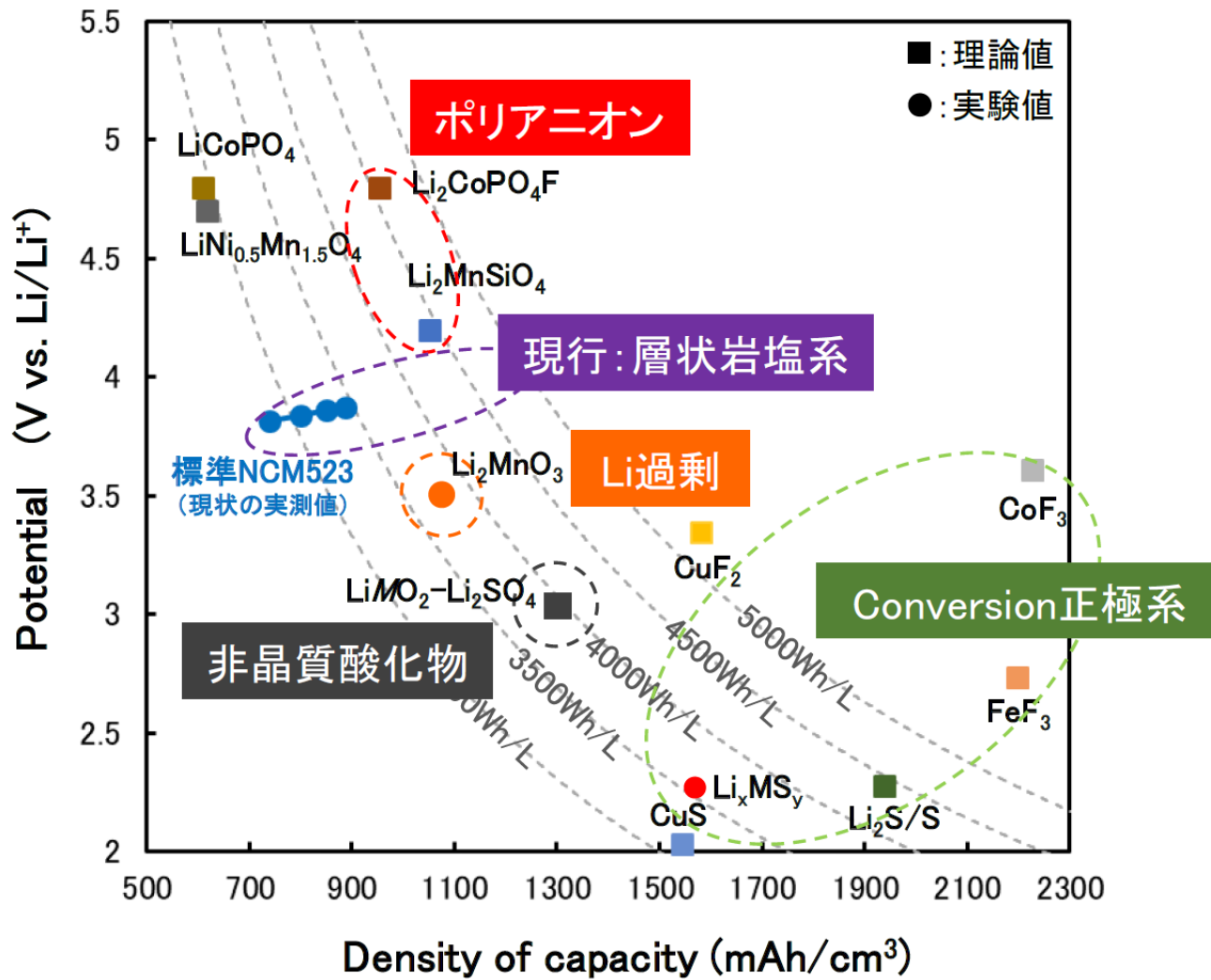
1 電池の進化とリチウムイオン電池

2 車載用蓄電池

- 車載用蓄電池の産業動向
- 高エネルギー密度化
 - ✓ 活物質選択
 - ✓ 電池構造設計（EV設計）
- 全固体電池
- 革新型電池
- 電池のリサイクル

3 定置用蓄電池

各種正極活物質の体積当りの比容量の比較



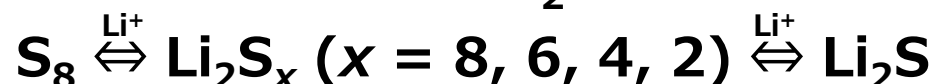
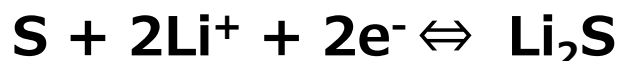
【出典：(国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構「先進・革新蓄電池材料評価技術開発（第2期）」

2018～22年度成果報告書（2023年3月）】

硫黄の特徴

電気化学的特性

- 2電子反応



- 理論容量は 1675 mAh g^{-1} (Li_2S 基準では 1166 mAh g^{-1})
- 平均放電電位を 2.2 V として、エネルギー密度は 2600 Wh kg^{-1}

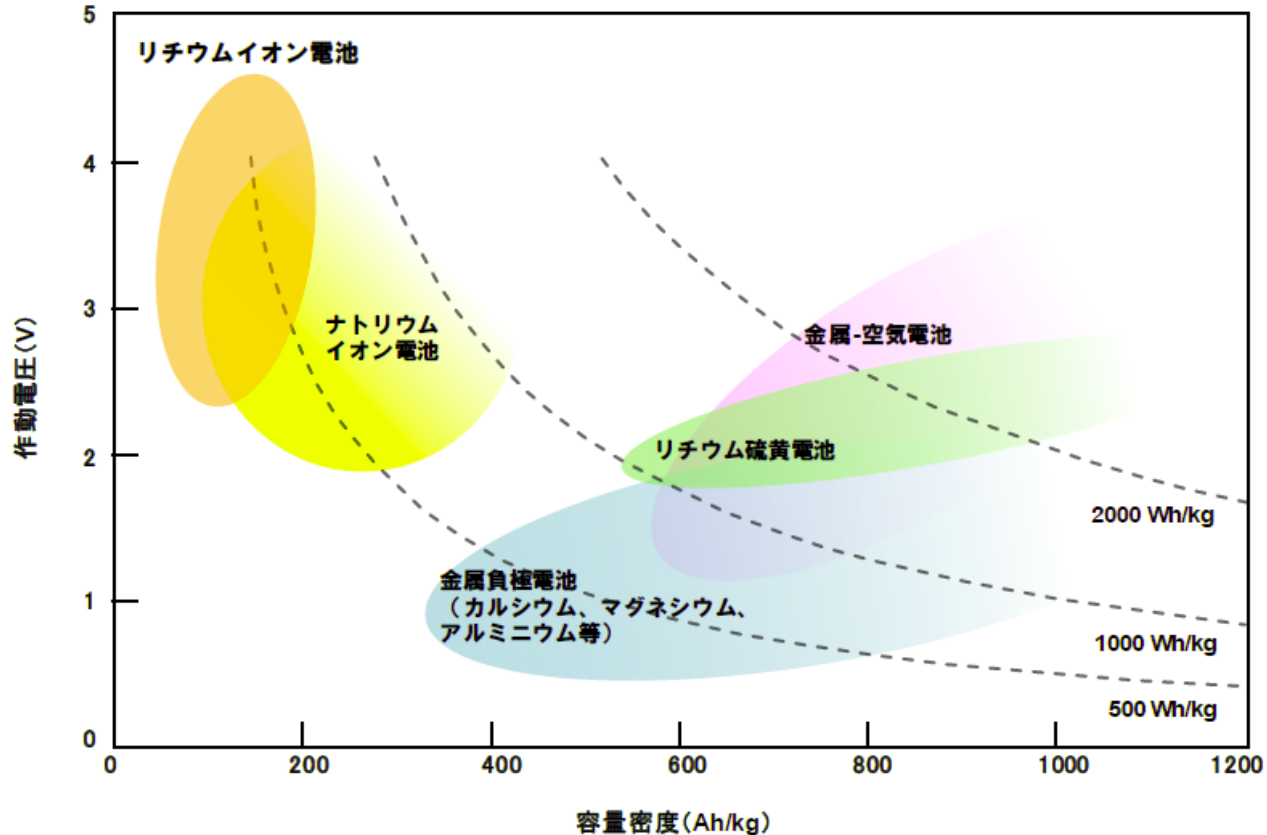
電池に利用する際の課題

- 電氣的に絶縁体
- 硫黄がLiによって還元される際に生成する Li_2S_2 、 Li_2S_4 、 Li_2S_6 など是有機溶媒に溶解する。
- これらの化学種は、溶液系での酸化還元反応を受ける。
(固体電解質中では反応機構が異なる)

硫黄系材料の開発の方向性

- ・導電性の改善
金属と複合化、多孔性炭素への含浸、
炭素・導電性ポリマーとの複合化
- ・多硫化リチウムの電解液への溶出の抑制
金属と複合化、多孔性炭素への含浸、
炭素・導電性ポリマーとの複合化、
電解質の最適化（固体、液体）、表面被覆
- ・多硫化リチウムの負極析出防止
セパレータの工夫、負極の保護

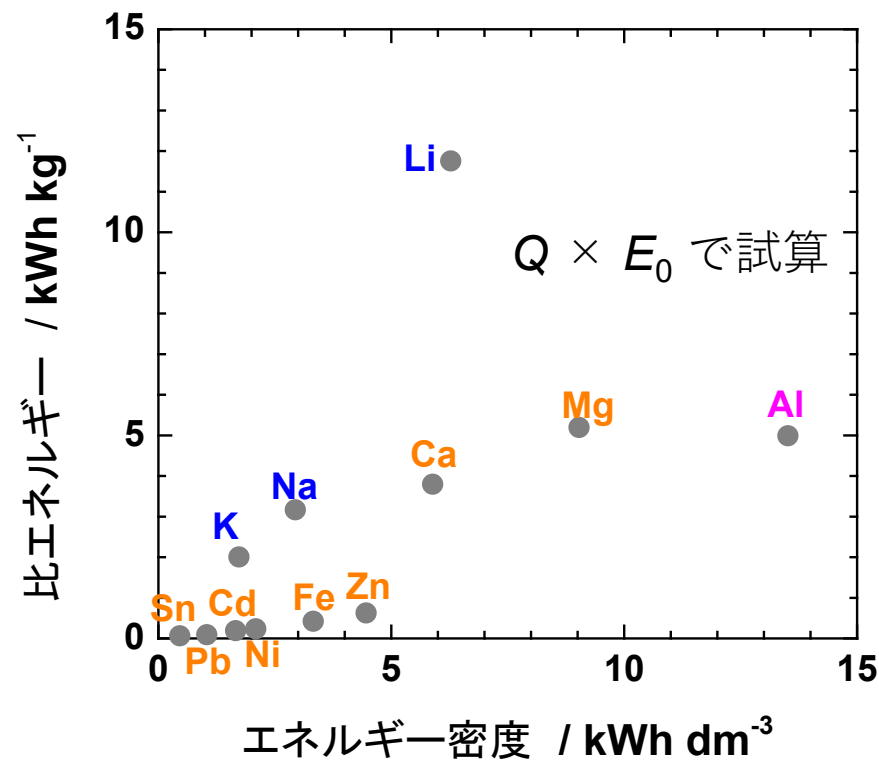
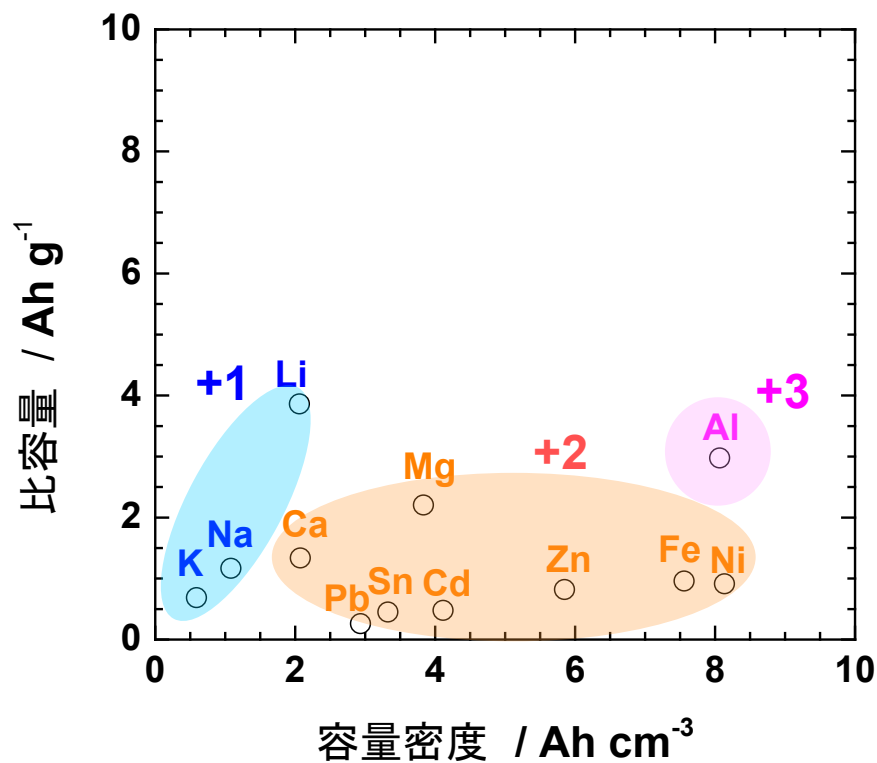
ポスト リチウムイオン電池 マップ



注：容量は正極・負極材料に着目した整理である。

(出展：NEDO二次電池技術開発ロードマップ2013 (2013年8月))

各種金属活物質の比較



JST-革新的GX技術創出事業(GteX; 2023～) 蓄電池領域の研究開発実施体制

※令和6年9月時点

◆ JSTにて公募を行い、令和5年10月から研究開発開始。

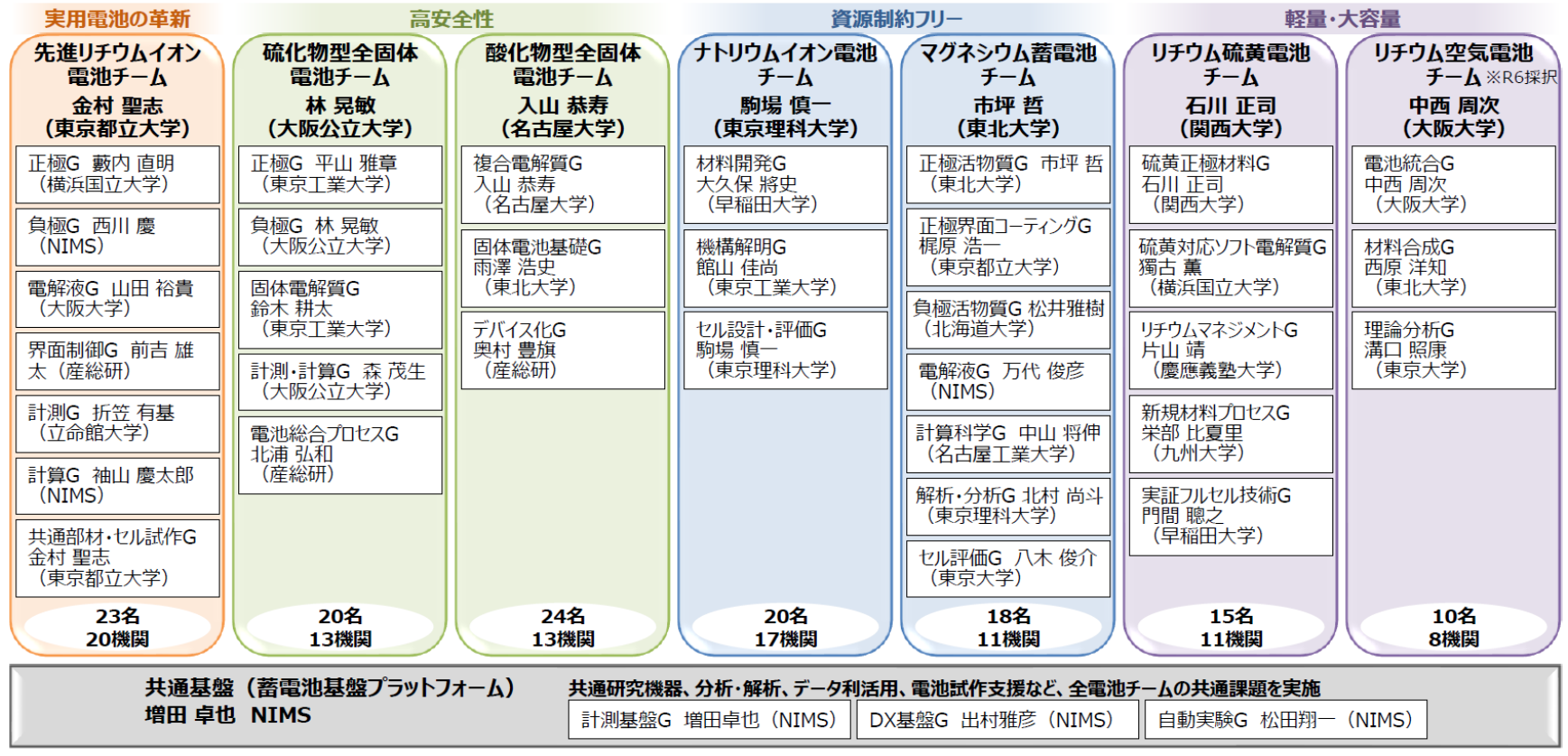
プログラムディレクター (PD)
魚崎 浩平
北海道大学 名誉教授／NIMS 名誉フェロー／JST-CRDS 上席フェロー

プログラムオフィサー (PO)
桑畑 進
大阪大学 名誉教授

領域アドバイザー
射場 英紀 トヨタ自動車株式会社
岩崎 裕典 PwCアドバイザリー合同会社
宇恵 誠 早稲田大学
高見 則雄 株式会社東芝
辰巳 国昭 産業技術総合研究所
吉本 信子 山口大学
渡邊 正義 横浜国立大学

総合チームリーダー：金村 聖志

領域内で連携して共通課題を解決



NEDO-電気自動車用革新型蓄電池開発 (RISING3; 2021～2025年度)



RISING3の事業体制



プロジェクトマネージャー(PM)
白田浩幸



サブプロジェクトマネージャー (SPM)
齋藤俊哉

プロジェクトリーダー(PL)
安部武志 京都大学教授



サブプロジェクトリーダー(SPL)
森田昌行 京都大学特任教授



- 7 企業
- 14 大学
- 3 研究機関

フッ化物電池

京都大学 (電池研究拠点)



東京科学大学 (材料研究拠点)



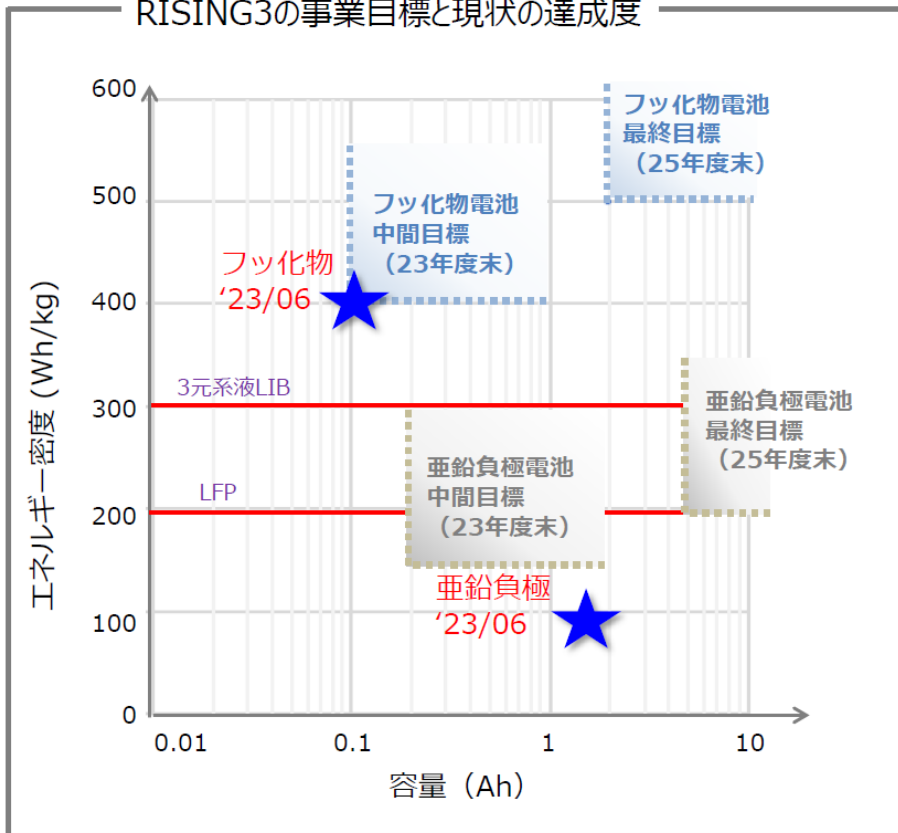
亜鉛負極電池

京都大学 (電池研究拠点)



NEDO-電気自動車用革新型蓄電池開発 (RISING3; 2021～2025年度)

RISING3の事業目標と現状の達成度



フッ化物電池の課題と進捗

【現状】エネルギー密度はLIB越えを実証済 (400 Wh/kg)

【課題】最大の課題は作動温度 (従来 140℃)

※ 実用化のためには室温作動が必須

【進捗】今年度、80℃でも従来材料と同等容量 (～650 mAh/g) の充放電が可能な正極活物質を開発。現在、室温での充放電を検証中。
残存課題：100℃以下でのフルセル駆動 (特に負極)

亜鉛負極電池の課題と進捗

【狙い】Zn・Mn活物質と水系電解液の構成で低コストかつ安全な電池を目指す

【現状・課題】正極由来の低エネルギー密度 (90 Wh/kg) ・サイクル劣化

※ MnO_2 正極比容量が従来の倍 (600mAh/g) まで拡大必須

600mA/g_{MnO2}でLFP相当の200Wh/kgのエネルギー密度が視野

【進捗】今年度、特定条件ではあるものの、～610mAh/gで充放電する正極を開発。フルセル適合性を検証中。

残存課題：フルセルでのエネルギー密度実証

目次

1 電池の進化とリチウムイオン電池

2 車載用蓄電池

- 車載用蓄電池の産業動向
- 高エネルギー密度化
 - ✓ 活物質選択
 - ✓ 電池構造設計（EV設計）
- 全固体電池
- 革新型電池
- 電池のリサイクル

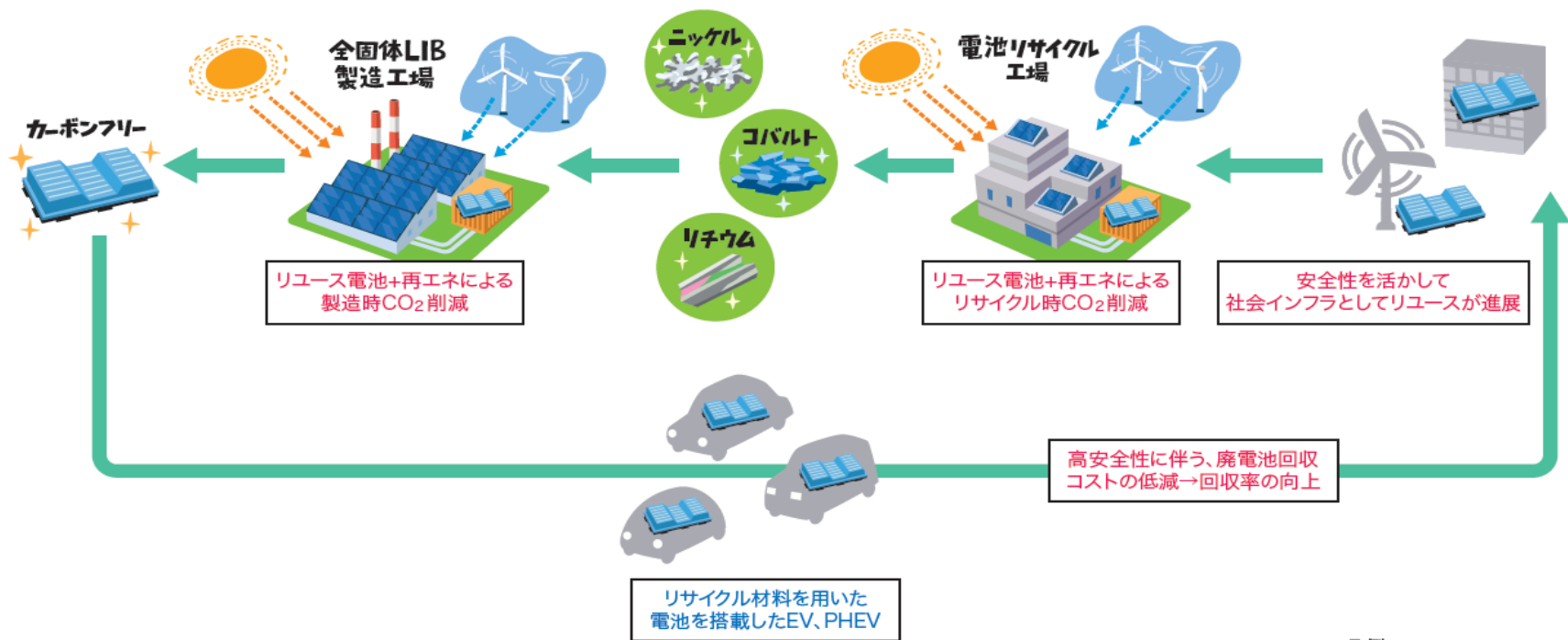
3 定置用蓄電池

全固体LIBが普及した際の社会システム将来像 (リユース・リサイクルの進展)

国内資源循環プロセスの確立

高安全性に伴う、廃電池回収コストの低減 → 回収率の向上 → リユース・リサイクルの進展

耐久性、安全性を活かしたリユースの進展による再エネ拡大、リサイクル時・リユース時のCO₂削減



凡例

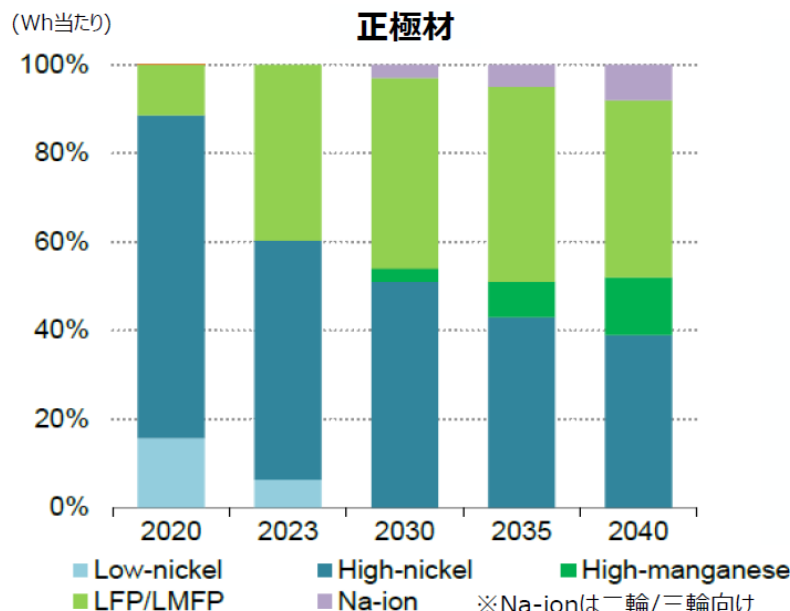
青字: 液系LIB搭載車普及に伴う変化

赤字: 全固体LIB搭載車普及に伴う変化

中長期的な技術動向も見据えた必要なバッテリーメタル量の見通し

- 中長期的な技術動向、電池種別の推移も見据えて、必要となるバッテリーメタルも推移。
- 中長期的に、バージン材資源はバッテリーメタルでも不足が懸念され、再生材資源もその不足分を補う役割としての期待が高まる。

電動車バッテリーのシェア予測（IEA）

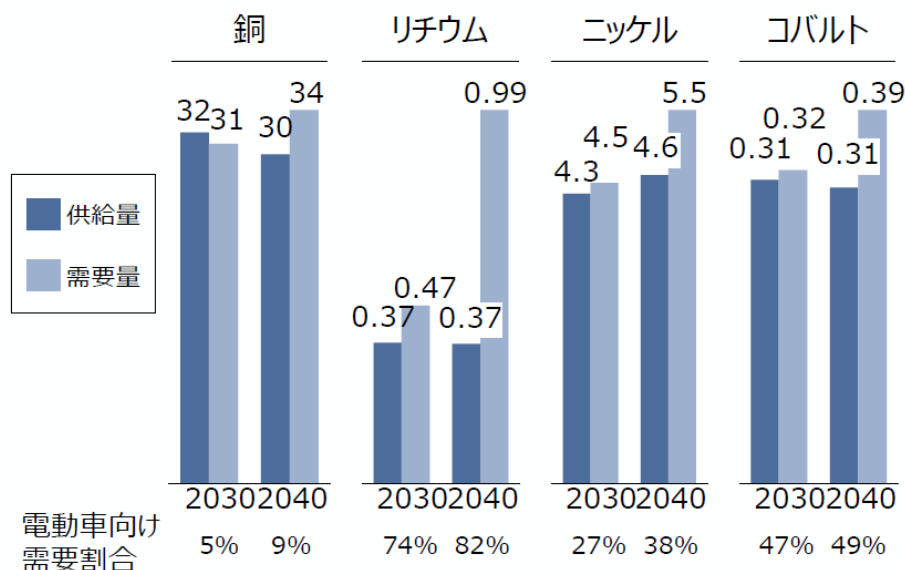


(出典) IEA Global Critical Mineral Outlook 2024を基に作成 <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ee01701d-1d5c-4ba8-9df6-abeac9de99a/GlobalCriticalMineralsOutlook2024.pdf>

バージン材資源の需要量・供給量の見込み（IEA）

単位：Mt

※供給量：リチウムは化成品、その他は製錬における供給量



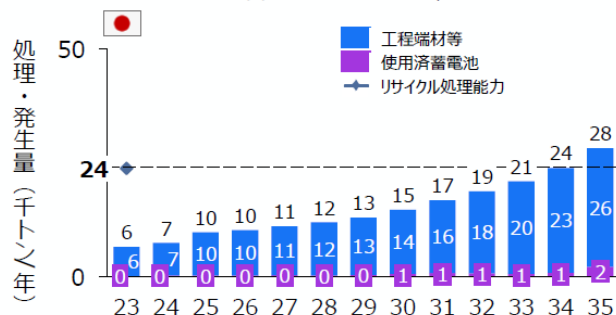
【出典：経済産業省「蓄電池産業戦略の関連施策の進捗状況及び蓄電池を取り巻く主な環境変化について」（第2回蓄電池産業戦略推進会議（2024年11月19日））】

世界各地域における工程端材・不良品等の発生量見込み

- 日本においては当面の間、製造工程から生じる工程端材や不良品（以下、工程端材等）の発生量が多く、使用済蓄電池の量は2040年以降に発生する見込みであるが、グローバルに見ると、工程端材等の量においても僅少。
- 一方、諸外国においては蓄電池の製造量や電動車の需要に応じて、工程端材等だけでなく使用済蓄電池も大量に発生していく見込み。（2035年断面で総発生量を日本と比較すると、中国は約50倍、欧州は約30倍、米国は約10倍。）

国内の工程端材等、使用済蓄電池の発生量及び処理量見込み

一定の仮定の基に推計（暫定版であり、今後見直すこともあり得る）

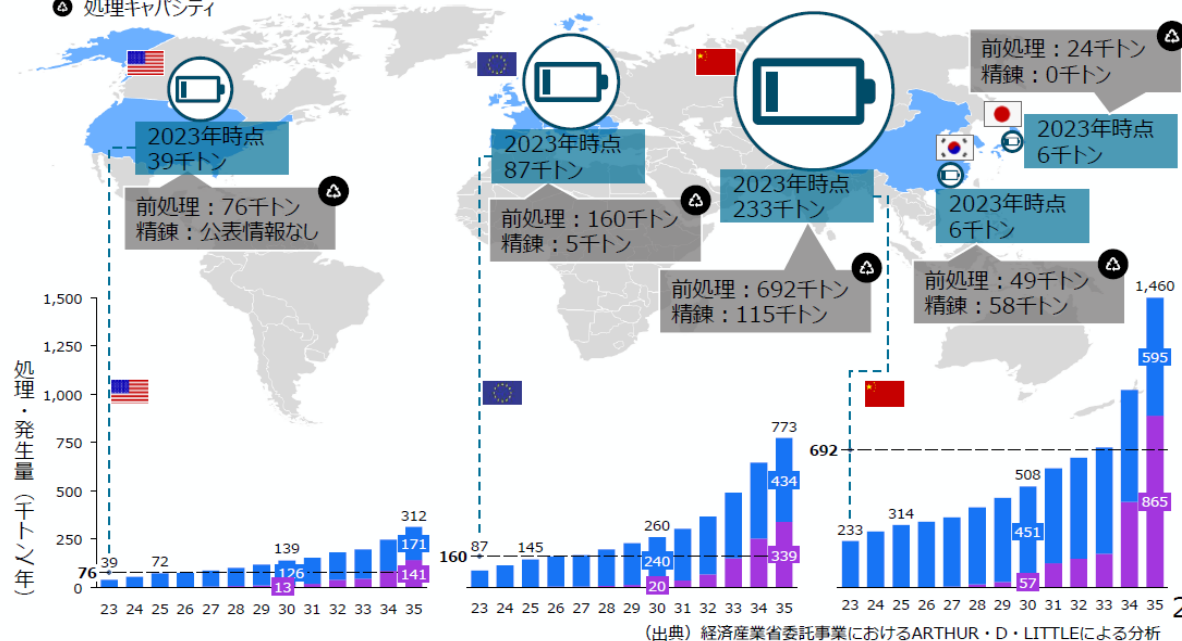


処理量見込み（2023年時点）	
前処理（BM製造）	約24千トン
精錬	2026年以降に稼働開始予定

世界各地域の工程端材等、使用済蓄電池の発生量及び処理量見込み

③ 工程端材等+使用済蓄電池発生量
④ 処理キャパシティ

※処理キャパシティは足下の公表値



（出典）経済産業省委託事業におけるARTHUR・D・LITTLEによる分析

【出典：経済産業省「蓄電池産業戦略の関連施策の進捗状況及び蓄電池を取り巻く主な環境変化について」（第2回蓄電池産業戦略推進会議（2024年11月19日））】

目次

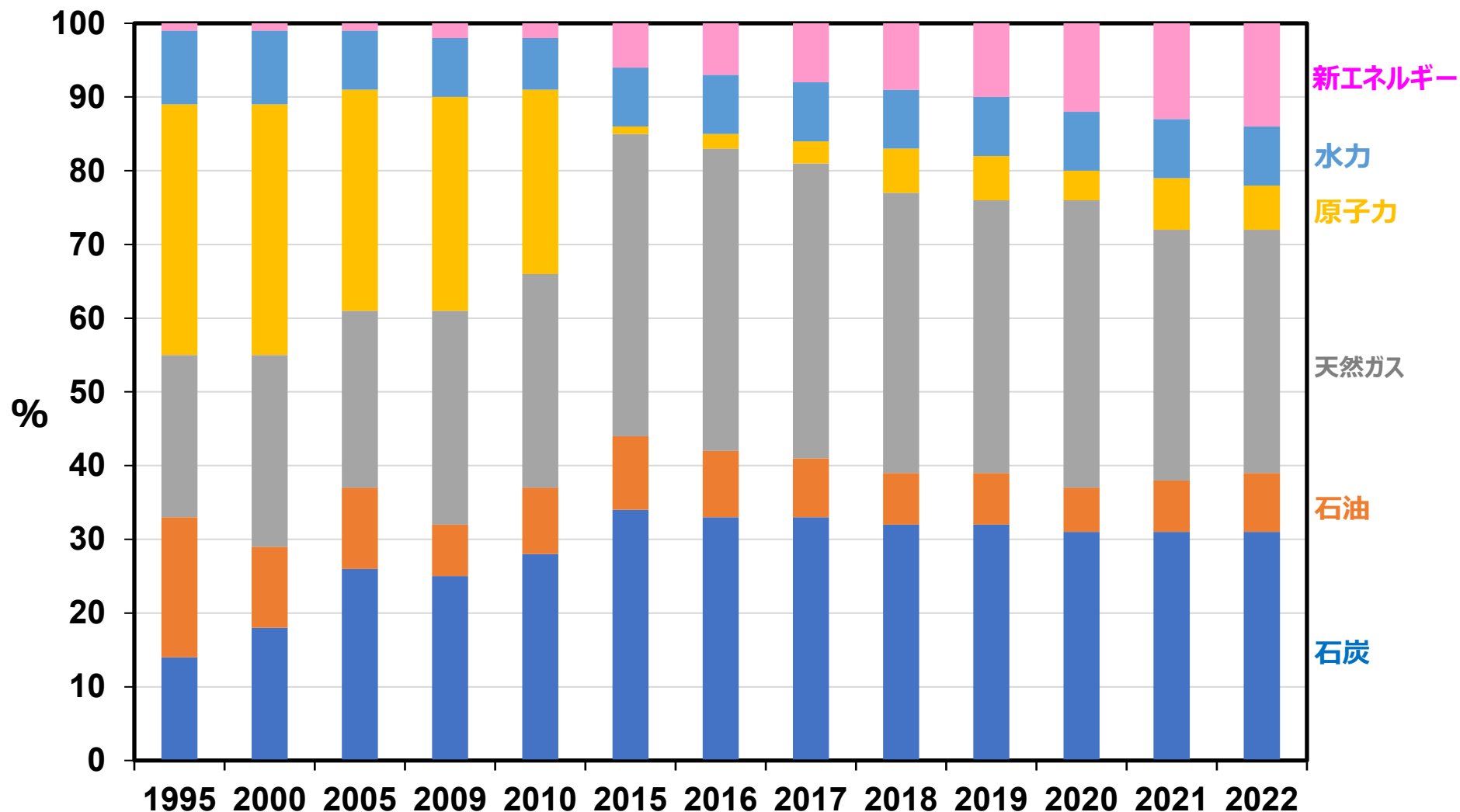
1 電池の進化とリチウムイオン電池

2 車載用蓄電池

- 車載用蓄電池の産業動向
- 高エネルギー密度化
 - ✓ 活物質選択
 - ✓ 電池構造設計（EV設計）
- 全固体電池
- 革新型電池
- 電池のリサイクル

3 定置用蓄電池

電源別発電電力量シェアの推移



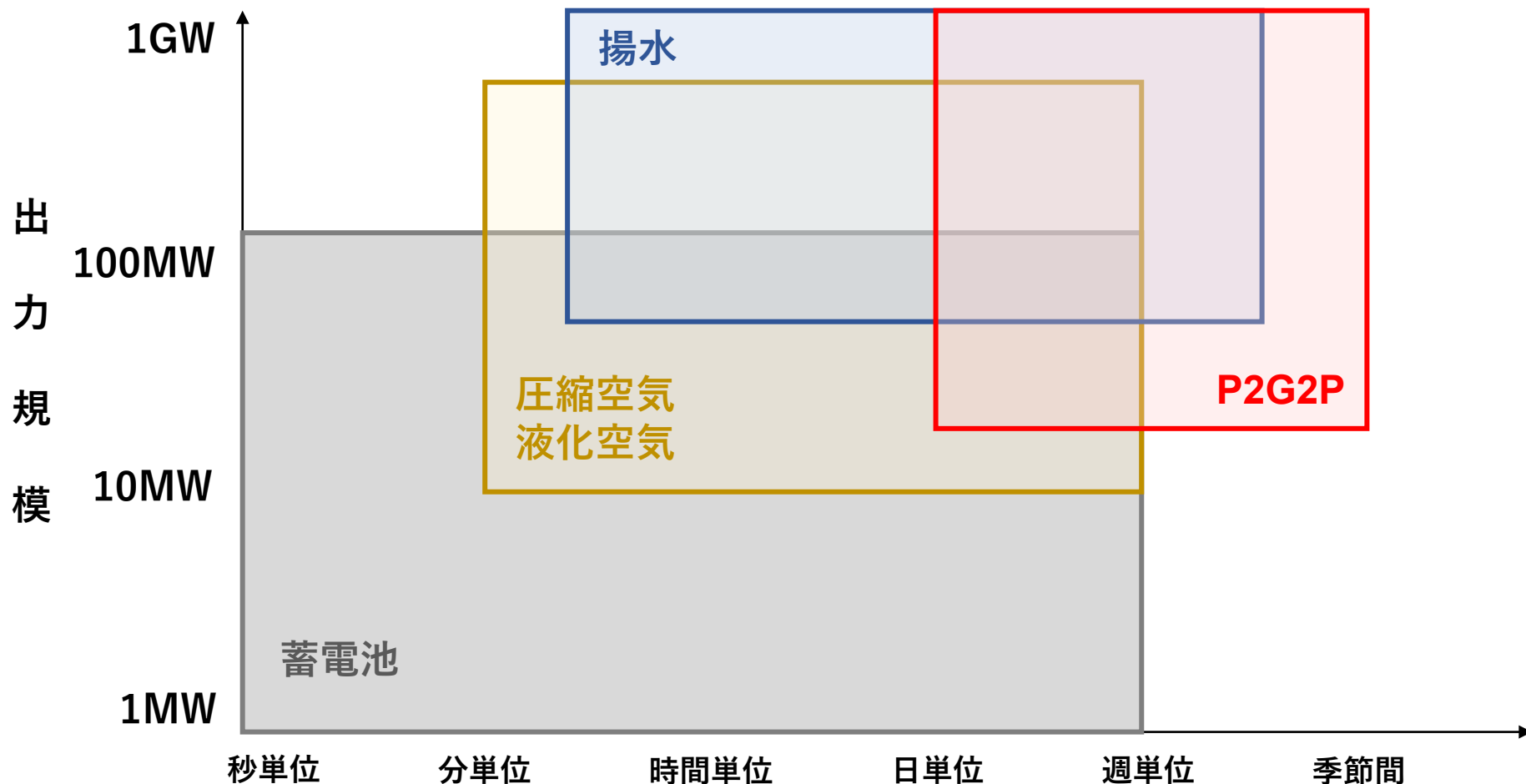
出典：資源エネルギー庁「電源開発の概要」、「電力供給計画の概要」、「総合エネルギー統計」、電気事業連合会「電源別発電電力量の推移」を基に作成

電力貯蔵技術の比較

		揚水発電	圧縮空気 液化空気	超伝導 (SMES)	フライ ホイール	蓄電池
貯蔵特性	規模	中～大	中	小～中	小	小～中
	貯蔵効率 (%)	70	55 ～ 70	80 ～ 90	70 ～ 95	60 ～ 90
運転特性	起動・停止	1～数分	20 ～ 30分	瞬時	瞬時	瞬時
	負荷追従性	高	中	高	高	高
	寿命	40年以上	30～40年	30年程度	20年程度	10～17年
立地	環境保全性	環境との調和		磁気対策	振動騒音対策	
	立地	限定される	圧縮空気は 立地制約あり		制約少ない	制約なし

【出典】 内山 洋司、「エネルギーの貯蔵・輸送」、p.12、エヌ・ティー・エス（2008）.
総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会 新エネルギー小委員会 第50回系統WG 資料3
「蓄電池等電力貯蔵システムの更なる活用に向けた対応について（2024年3月11日）」

電力貯蔵技術のユースケース



出典：経済産業省 2024年度第4回定置用蓄電システム普及拡大検討会（2024年11月11日）
資料4-1「蓄電池以外のエネルギー貯蔵システム（LDES）の技術動向・課題整理」（三菱総合研究所）を基に作成

リチウムイオン電池以外の定置用蓄電池

- 長時間充放電を特徴とする蓄電池として**ナトリウム硫黄蓄電池（NaS電池）**や**レドックスフロー蓄電池（RF電池）**がある。これらは**既に商用化**されており**日本企業が先行し強みを持つ領域**。
- GXの実現に向け、20年代後半に国内外にて見込まれる**普及拡大フェーズを逃さず国内企業の更なる成長を促す**ため、これらの技術※についても**導入を後押し**していく。

※ 蓄電池に加え、熱エネルギー、位置エネルギー、圧縮エネルギー、運動エネルギー、水素等を活用したものがある。

名称	コスト※1, 2 (USD/kWh)	特徴	海外との比較	成長に向けた取り組み
NaS電池  (出所) 日本ガイシHPより	350-900※3	2002年より事業化 - 定格出力×6時間相当の容量 - 期待寿命:20年(7300サイクル) - コンパクトな設置が可能 - 希少金属を使わずサプライチェーンリスクが少ない	- 実用化は日本ガイシのみ。 - 同社は、世界で約250カ所、4,900MWh導入（世界最大級）。 - より長周期での競争力を強化するため、容量当たりのコスト低減を目標としている。	2019年に BASF New Business社（現BASF Stationary Energy Storage社）と販売提携契約及び次世代ナトリウム硫黄電池の共同研究契約を締結。 - 国内において系統用蓄電池2案件を受注。
RF電池  (出所) 住友電工HPより	350-900※3	1990年代後半より事業化 10時間以上の充放電可能 ※大容量ほどコストメリット有 20年超の長寿命 ※充放電サイクル無制限 - 高い安全性（火災リスク小） - 電解液の劣化が極めて少なくリユース・リサイクルが可能	- 日本では住友電工が牽引。 - 同社は、世界で約36カ所、162MWh導入。 英、独、韓、中に競合がいるものの、導入実績等で同社が世界市場をリードしている状況。	23年2月に米国での事業展開本格化を発表。今後の米国での現地生産・設置体制構築に向けて検討中。 - 米国SDG&E社向けに同社電池を導入。21年12月に日米初の蓄電池による実配電網でのマイクログリッド構築・運用に成功。（NEDO実証）

※1 NEDO 再生可能エネルギーの大量導入に向けた次世代電力ネットワーク安定化技術開発/電力ネットワークにおいて電力貯蔵システムに求められる役割とそのポテンシャルに関する調査（2021年3月）より

※2 リチウムイオン電池（NMC）のコストは400-600 USD/kWh

※3 設置時の容量によって価格が変わる。一般的に大容量になるほどコストは下がる傾向。

※4 揚水発電の導入コストは約2.3万円/kWh（蓄電池戦略（平成24年7月）より）

まとめ - 1/2

- 電池の誕生から約2世紀、ICEVに対抗しうるBEVの台頭が明確に。
- カーボンニュートラルの長期トレンドとして自動車の電動化は進むと考えられる。
 - ✓ 市場も大きい中国で、自動車産業のゲームチェンジによる世界的な競争力優位化も視野としたEV誘導を継続。
 - ✓ 世界的にはICEV → EVの一足飛びの移行でなく、その中間となるPHEVが主要セグメントとして、長期間続くことも想定されるのではないか？
- LIBとしては、資源負荷低減とエネルギー密度向上は引き続き求められている。
 - ✓ 正極としては、酸化物系のNi比率を高める方向とは別に、Li過剰系酸化物や硫黄（硫化物含む）を用いる方向性がある。
 - ✓ 正極の資源負荷低減としては、CoやNiの使用量を下げ、FeやMnの比率を高めつつ、エネルギー容量を高める検討も重要。
 - ✓ 負極は、Siの含量を高める方向性と、Li金属極の検討が引き続き重要。
- EV向け電池パックの性能向上には、単電池の高性能化だけでなく、セル設計（Blade型セル やバイポーラセル等）、EVに最適化されたセル・電池パック設計も重要。

まとめ - 2/2

- 全固体LIBは、出力・安全性向上の両立が期待されている。特に EV 向けに、急速充電への耐久性向上への期待あり。
 - ✓ 固体電解質としては、硫化物系全固体電池の実用化研究が進んでいる。
 - ✓ 更なる安全性向上のため、酸化物系固体電解質による大容量の全固体電池の研究開発も進められている。
- ポストLIBとしての革新型電池の研究開発は、蓄電池産業の競争力確保のために引き続き必要で、国の研究開発プロジェクトが進められている。
- 電力系統における再生可能エネルギーシェアの増大や 卒FITで、定置用蓄電池のニーズは明確になっている。大容量向けにはNa/S電池やレドックスフロー電池の導入も可能となっている。

ご清聴ありがとうございました。

ともに挑む。つぎを創る。

未来をデザインし、社会と共に未来を創る。
互いを認め、共に挑戦する研究所を築く。

私たちの使命

世界水準の研究のみならず、
社会課題の掘り起こし・施策提言・社会実装・
知的基盤整備などあらゆる活動を
これまでの産総研の枠を超えて推し進めます。

私たちの価値観

強い個の発揮と協働を通じた総合力で、
多様な価値を創り出すことを
大切にします。

私たちの文化

志ある多様な人材が集い、
互いを尊重しながら、
共に挑戦し成長する文化を育みます。

