

# 次世代電池は次のフェーズへ 次世代セルを使ったパック開発動向

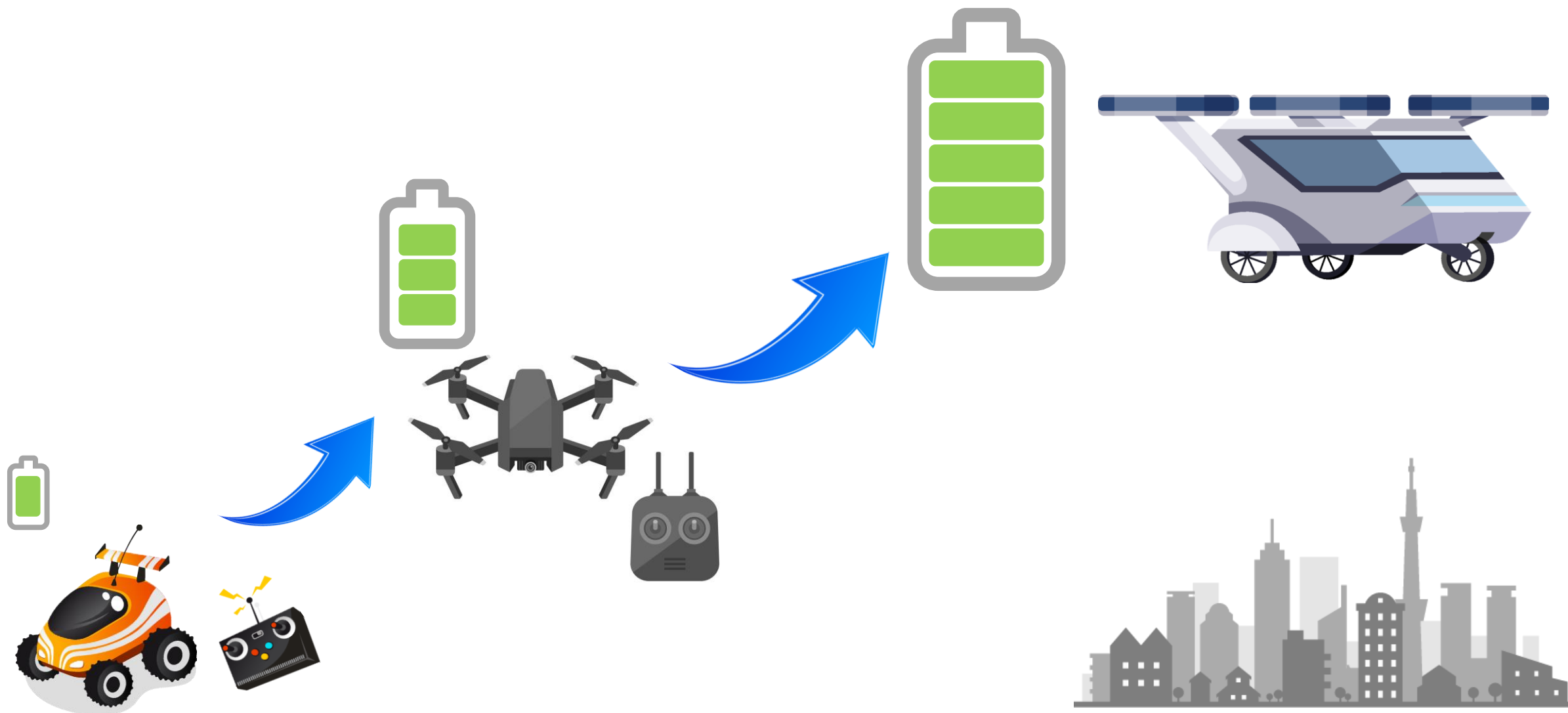
先端電池研究室 研究員

高柳 良基 ・ 宮川 絢太郎

# 次世代デバイス革命がやってくる

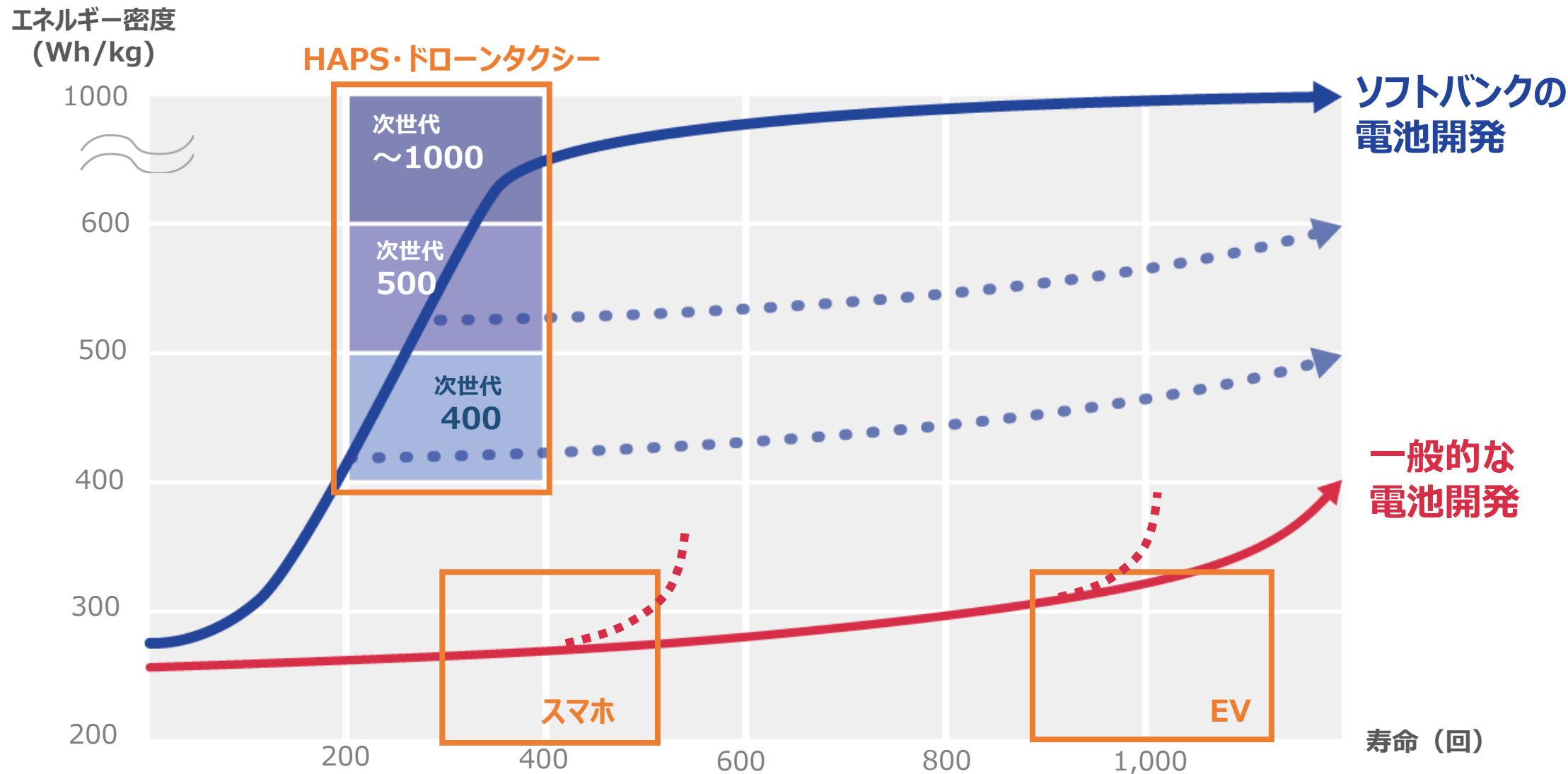


# デバイスの進化 → 必要電力増加



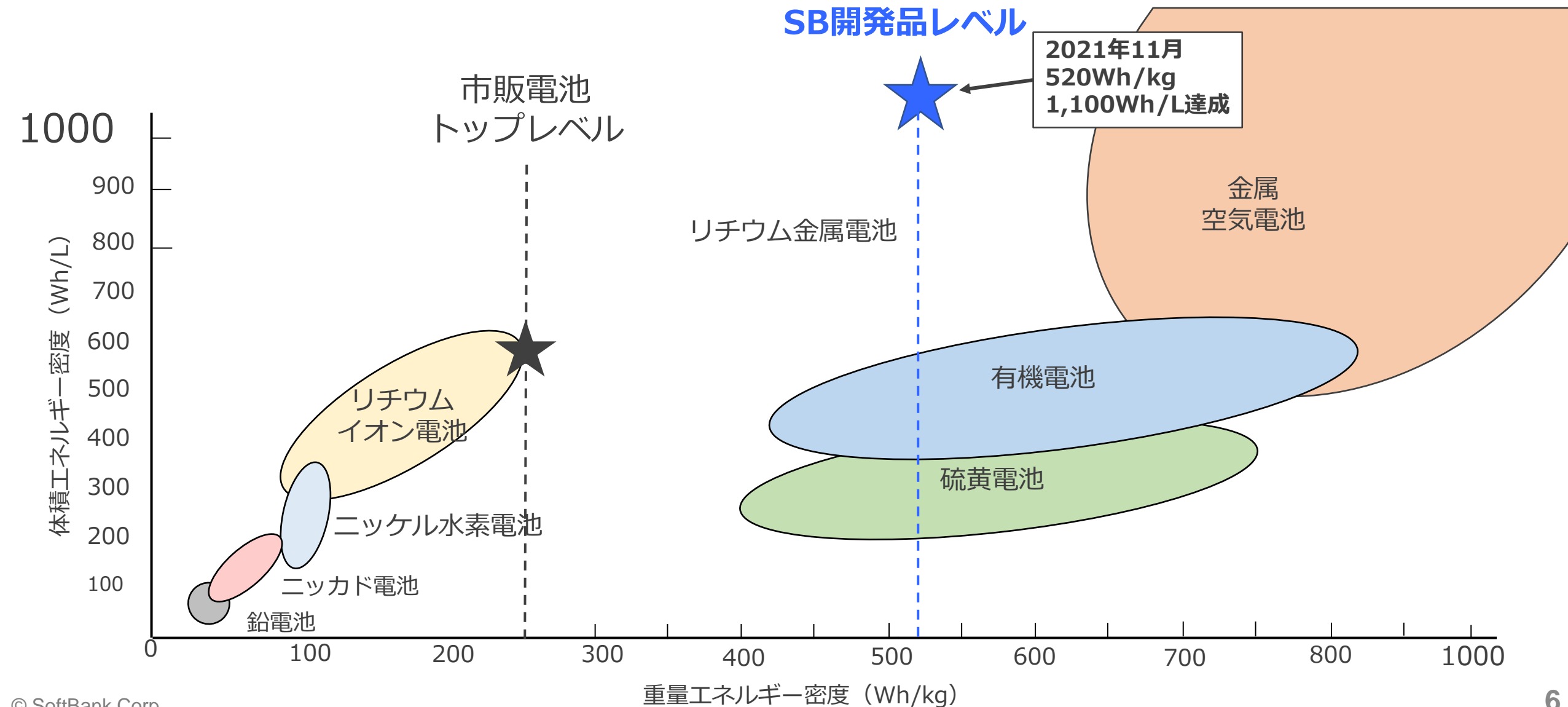


# 高密度電池\* を実現後、長寿命化へ





# ソフトバンクの電池セルの実力



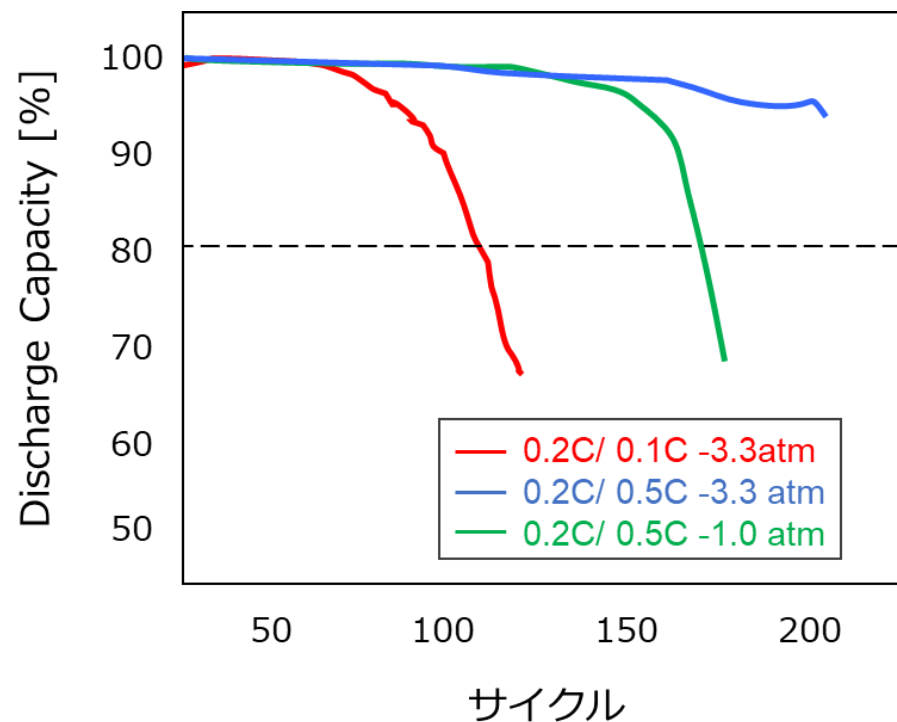
リチウム金属電池の開発は

セル → パック

# HAPS用電池パックの開発の課題

## リチウム金属電池特有の課題

- ①高拘束圧をかける必要がある
- ②低レート放電でサイクル寿命が短い



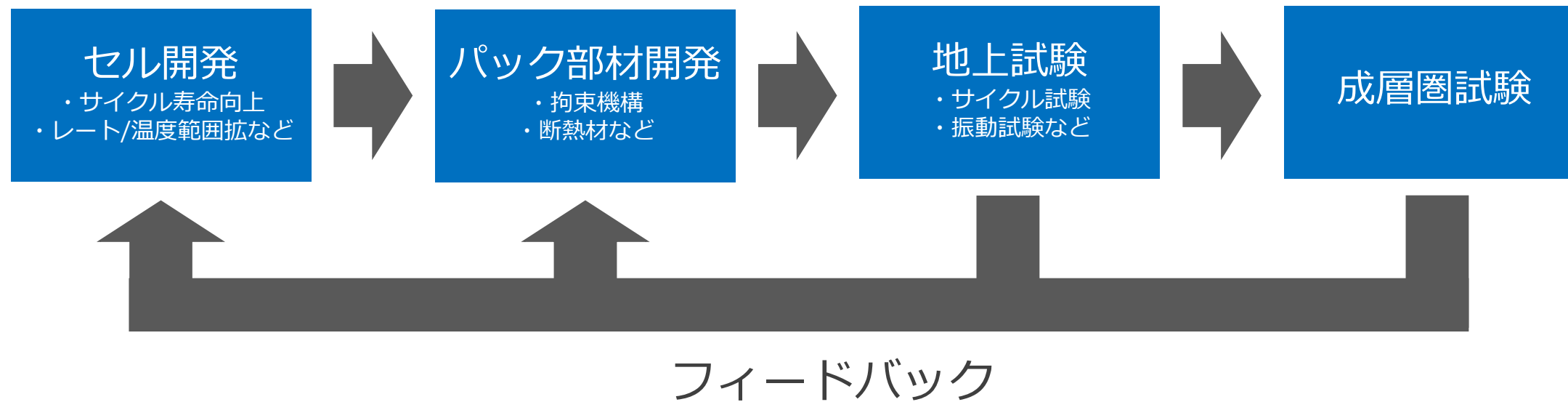
## 成層圏環境特有の課題

- ③極低温下(-90℃)でも動作できる断熱・温度制御機構が必要



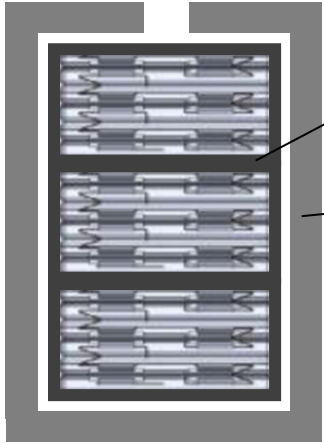
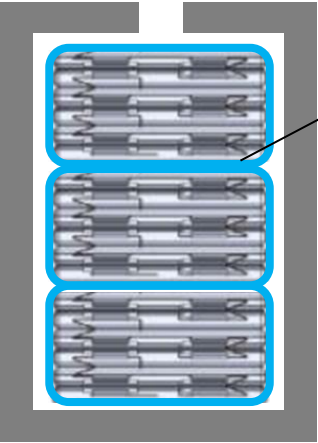

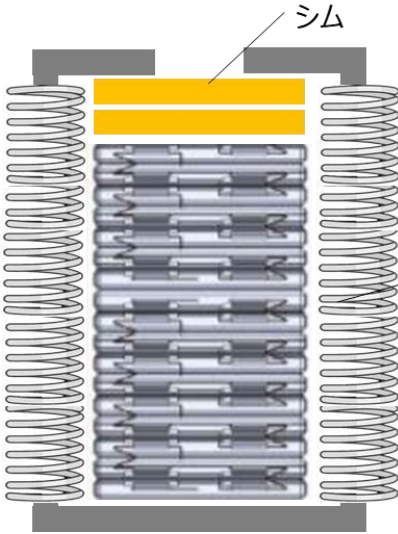


# HAPS用電池パック開発のフロー

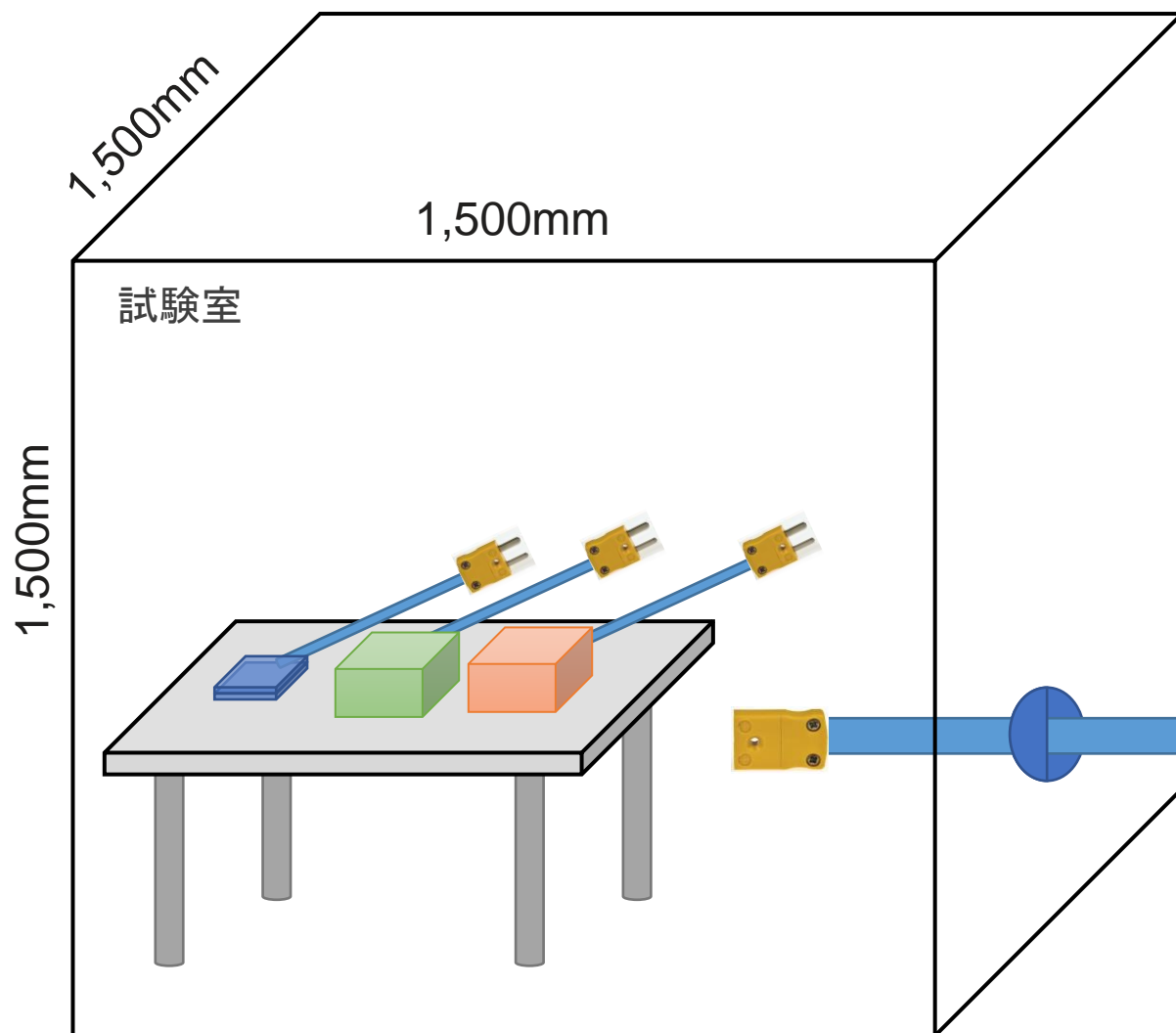


# パック部材開発：軽量な高拘束圧機構

さまざまな拘束機構を検証、重量と目標拘束圧のバランスが重要

	金属板拘束	バンド拘束	クッション拘束	バネ拘束
拘束機構	 <p>金属板 外装体</p>	 <p>プラスチックバンド</p>	 <p>クッション素材</p>	 <p>シム バネ</p>
定寸/定圧	定寸拘束	定寸拘束	定寸拘束	定圧拘束
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 重量増加：大</li> <li>■ 過剰な拘束圧になる可能性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 重量増加：小</li> <li>■ 過剰な拘束圧になる可能性</li> <li>■ 耐久性のある素材開発が必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 重量増加：小</li> <li>■ セルの膨張収縮を吸収</li> <li>■ 耐久性のある素材開発が必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 重量増加：大</li> <li>■ セルの膨張収縮を吸収</li> <li>■ 拘束圧を一定維持</li> </ul>

# パック部材開発：断熱材選定



## 【評価方法】

- ①温度制御開始
- ②目標温度(-30~-60℃)まで変化
- ③高度60,000ft相当まで真空引き
- ④デジタル温調器のON/OFFサイクルが1定周期となるまで測定
- ⑤減圧→25℃調整

デジタル温調器設定：

20℃以下検出でHeater-ON

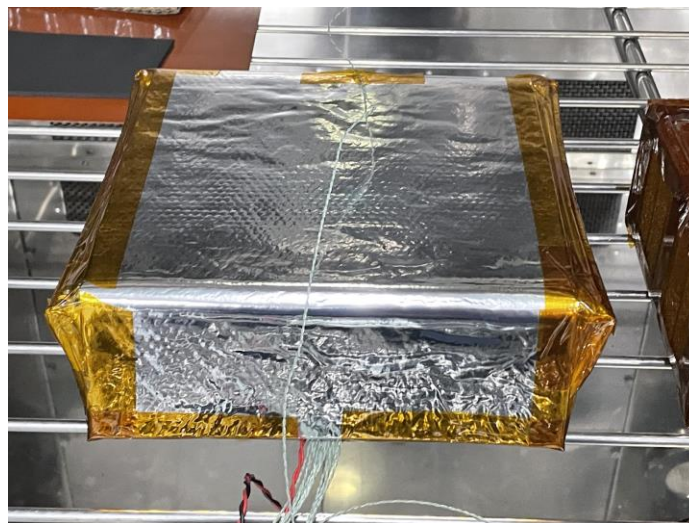
30℃以上検出でHeater-OFF



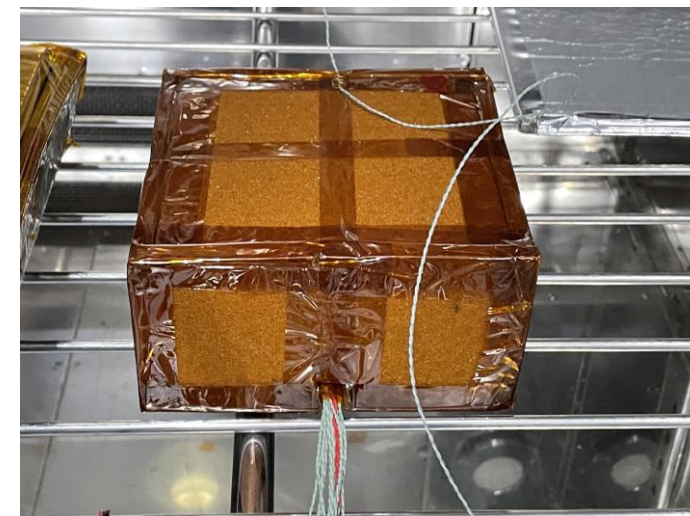
# パック部材開発：断熱材評価の様子



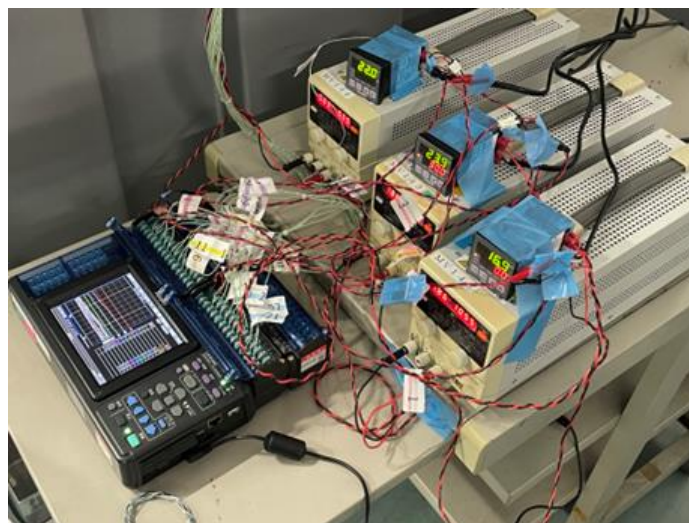
エスペック製恒圧恒温チャンバー



真空断熱材 (VIP)



樹脂系断熱材



温度ログを取りながら  
温度分布をモニター



# HAPS用電池パック開発

次世代400セル/パック部材でHAPS用電池パックを開発



セル	使用セル	リチウム金属電池 (Enpower Japan製)
	重量エネルギー密度	439Wh/kg
パック	構成	4P6S
	サイズ	9×14×17cm
	重量	1.16kg (電池パック+断熱材)
	容量	14Ah
	電力量	319Wh
	重量エネルギー密度	<b>275Wh/kg</b> 300Wh/kg(5kWh相当=大型化)
	セル重量/パック重量(%)	62.0%

# 地上評価：HAPS用電池パックの開発

下記地上評価→**すべて合格**

No.	評価項目	実施目的	合格基準
1	成層圏環境模擬試験	成層圏条件下で充放電しパックの断熱性の確認	1)重量変化,電解液漏れ,膨れ,破裂,発火がない 2)パック電圧を90%以上維持している
2	熱衝撃試験	輸送条件下でのパックの密閉性、電子回路の接続確認	
3	振動試験	輸送条件下での振動に対するパックの密閉性、電子回路の接続確認	
4	衝撃試験	気球システム着陸時の衝撃に対するパックの密閉性、電子回路の接続確認	
5	外部短絡試験	短絡状態での火災を防ぐ安全機能の確認	1)セル温度が170℃を超えない 2)パック電圧を90%以上維持している
6	コントロールBOX試験	充電・温度を制御するコントロールBOXの動作確認	1)コントロールボックスが正常に動作する



# 成層圏評価

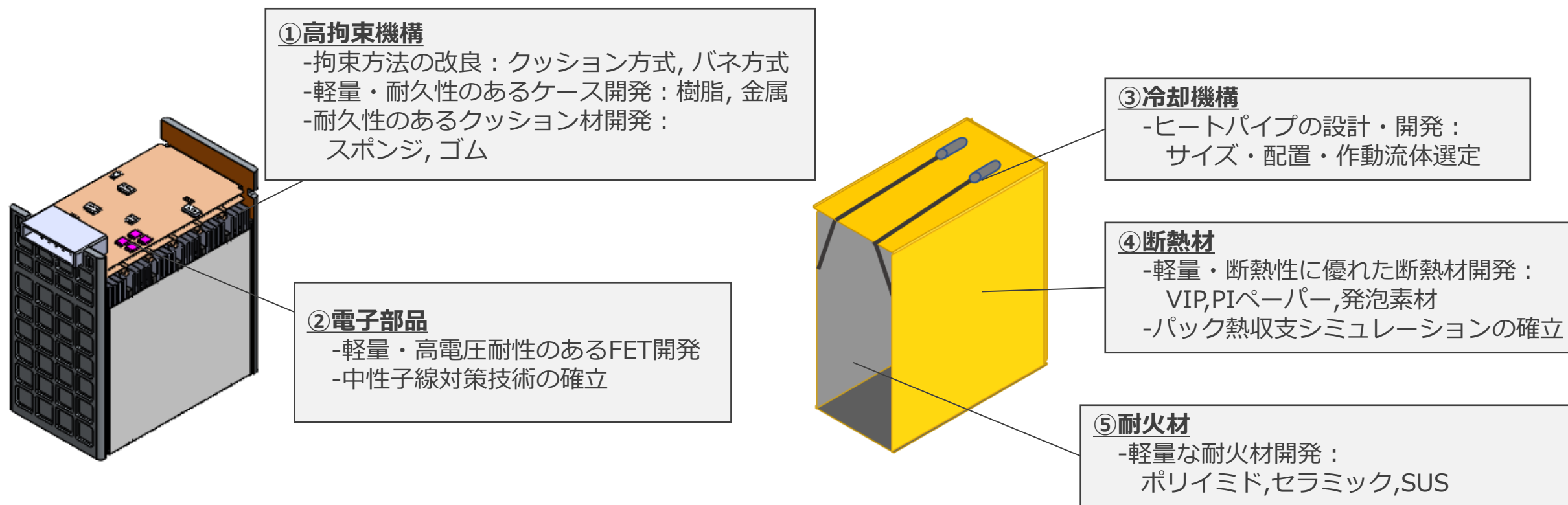
成層圏での充放電サイクル試験を実施  
温度制御機構の正常動作を確認



期間：2023年1月30日～2月2日  
場所：米国

# HAPS : 今後の開発アイテム

下記パック部材の開発と同時に電池パックの大型化に取り組む

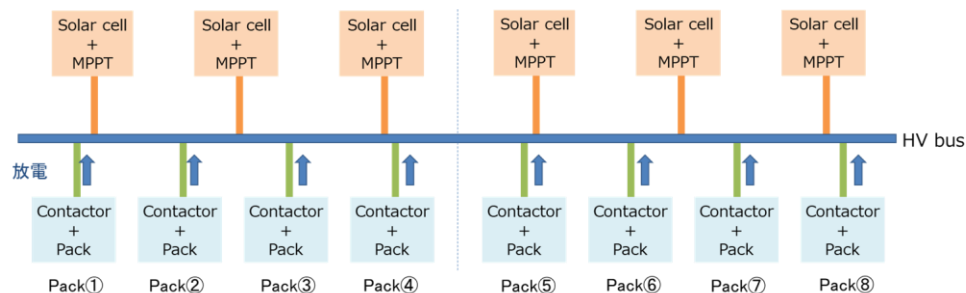


# BMS開発：充放電レート制御

BMS開発に向けさまざまなデータ取得中

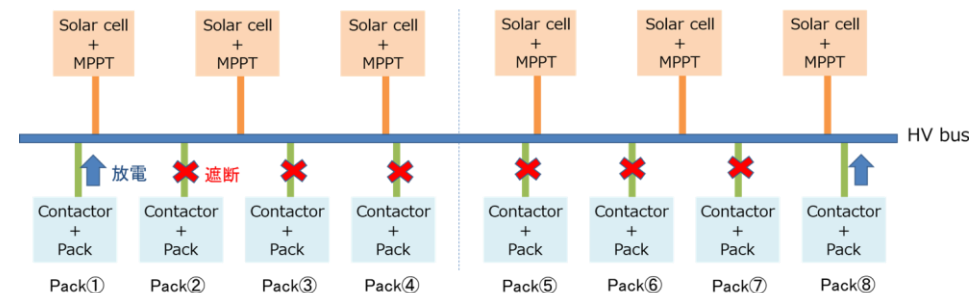
SBKK特許取得済

## 従来のバッテリーパックの使用方法



放電レート：0.1C(8パック使用)

## 新規のバッテリーパックの使用方法



放電レート：0.4C(2パック使用)

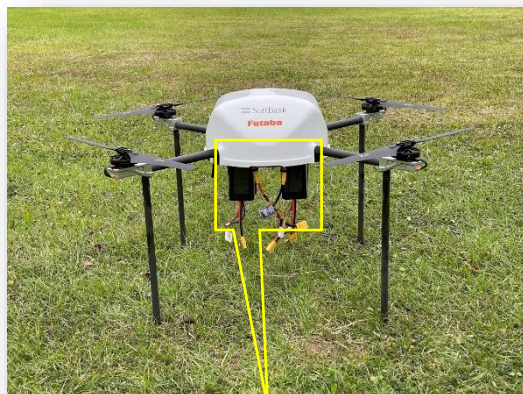
使用する電池パック数を限定することで、  
パック1個あたりの放電レートを高くする  
→リチウム金属電池にとってサイクル寿命が延びる条件

# HAPS以外へ → ドローン

風の影響を受けにくい場所で、3m程度ホバリングさせ、飛行時間を計測

※飛行時間はホバリング～電圧低下アラームまでの時間とする

ドローン搭載



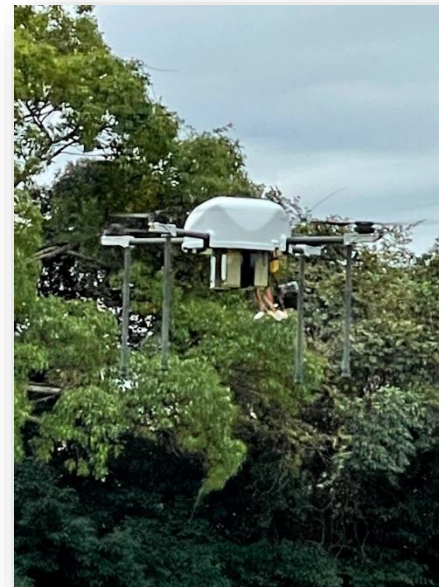
次世代バッテリー



離陸



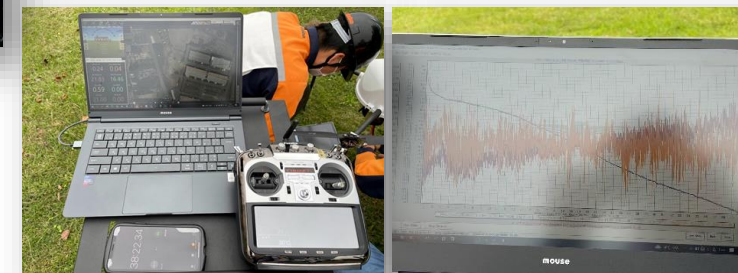
ホバリング



飛行後のチェック



飛行データの取得



# HAPS以外へ → ドローン

既存電池パックに対して、**1.7倍**を確認

使用した電池パック	開発した リチウム金属電池パック	市販品 リチウムポリマー電池パック
飛行時間	38分19秒（70%増加）	22分29秒
バッテリー温度 （検証前）	16度	16度
バッテリー温度 （検証後）	27度	22度

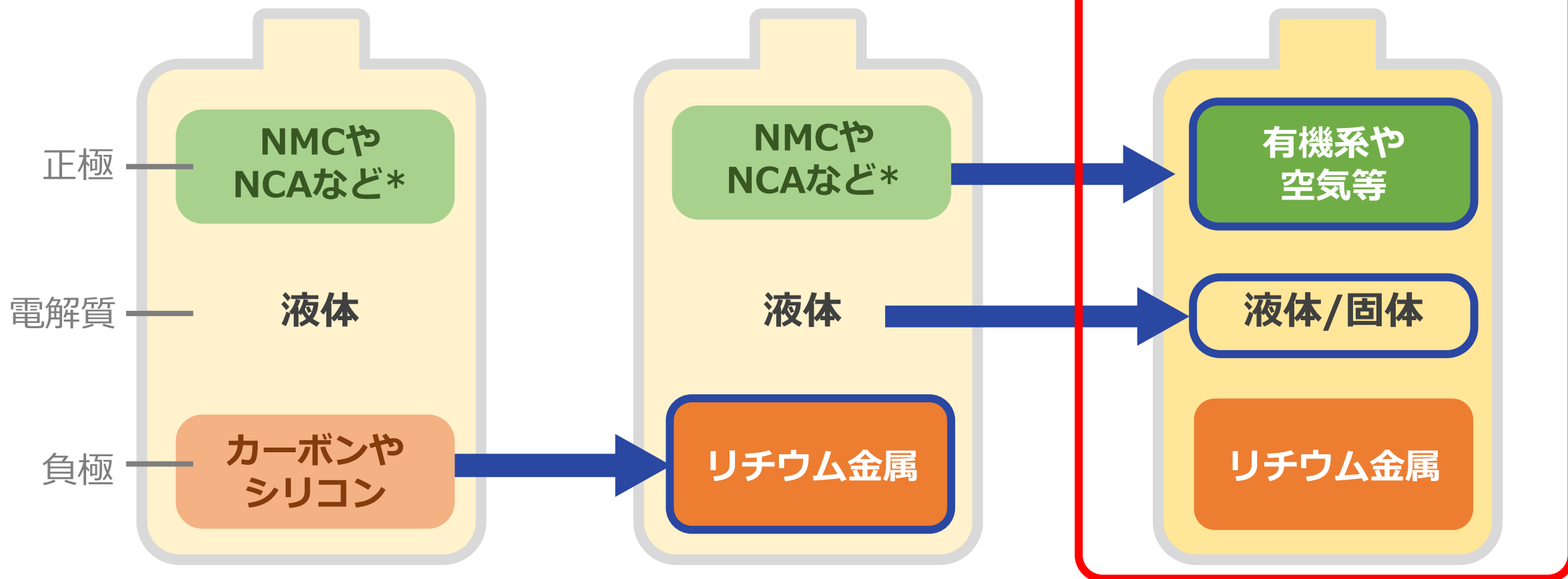


# ソフトバンクが目指す次世代電池とは

現行リチウムイオン電池  
(~350Wh/kg)

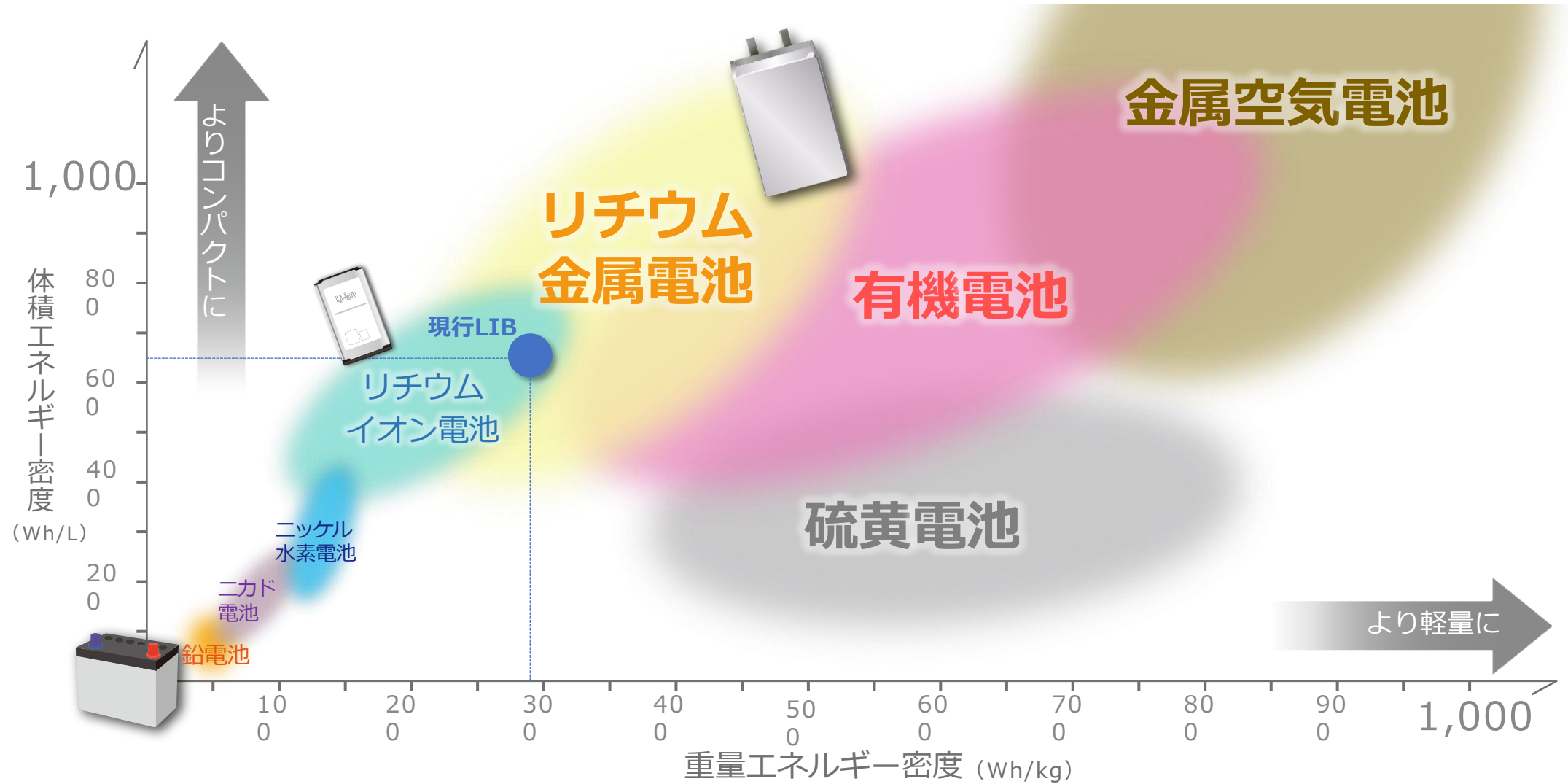
次世代  
400~550Wh/kg

次世代  
600~1000Wh/kg





# 次世代電池ロードマップ



# 6つのキーテクノロジーに注目

①

Li金属 負極

表面処理で長寿命化

②

軽量集電体

軽量化

③

正極活物質

高容量化  
レアメタルFree

④

電解質

安全性・高電圧

⑤

バイポーラ構造

軽量化

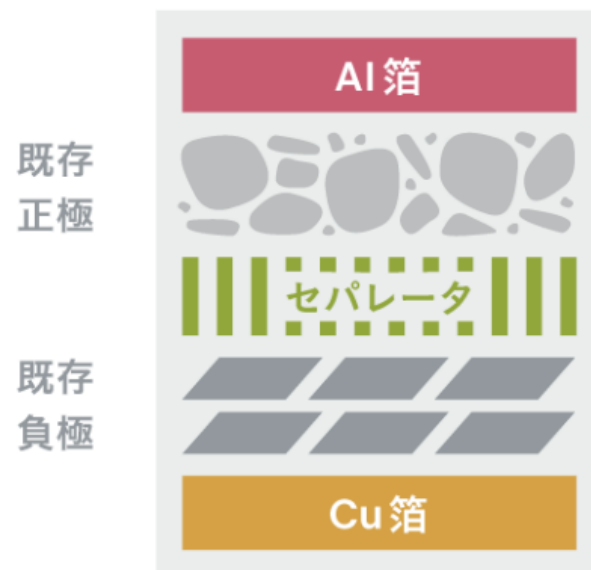
⑥

正極  
デッドスペース削減

高密度化

# ①リチウム金属負極

リチウムイオン電池  
(従来型)



リチウム金属電池  
(次世代400)



注目

小

重量エネルギー密度(Wh/kg)

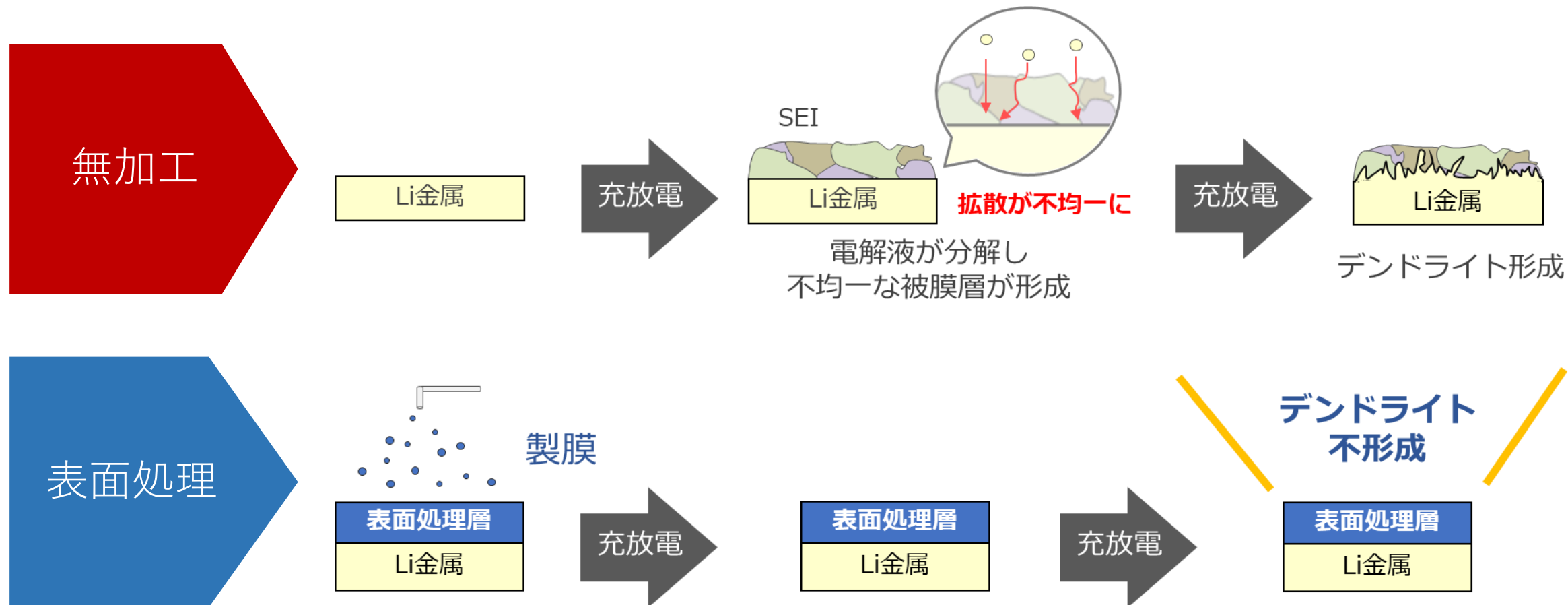
大

長

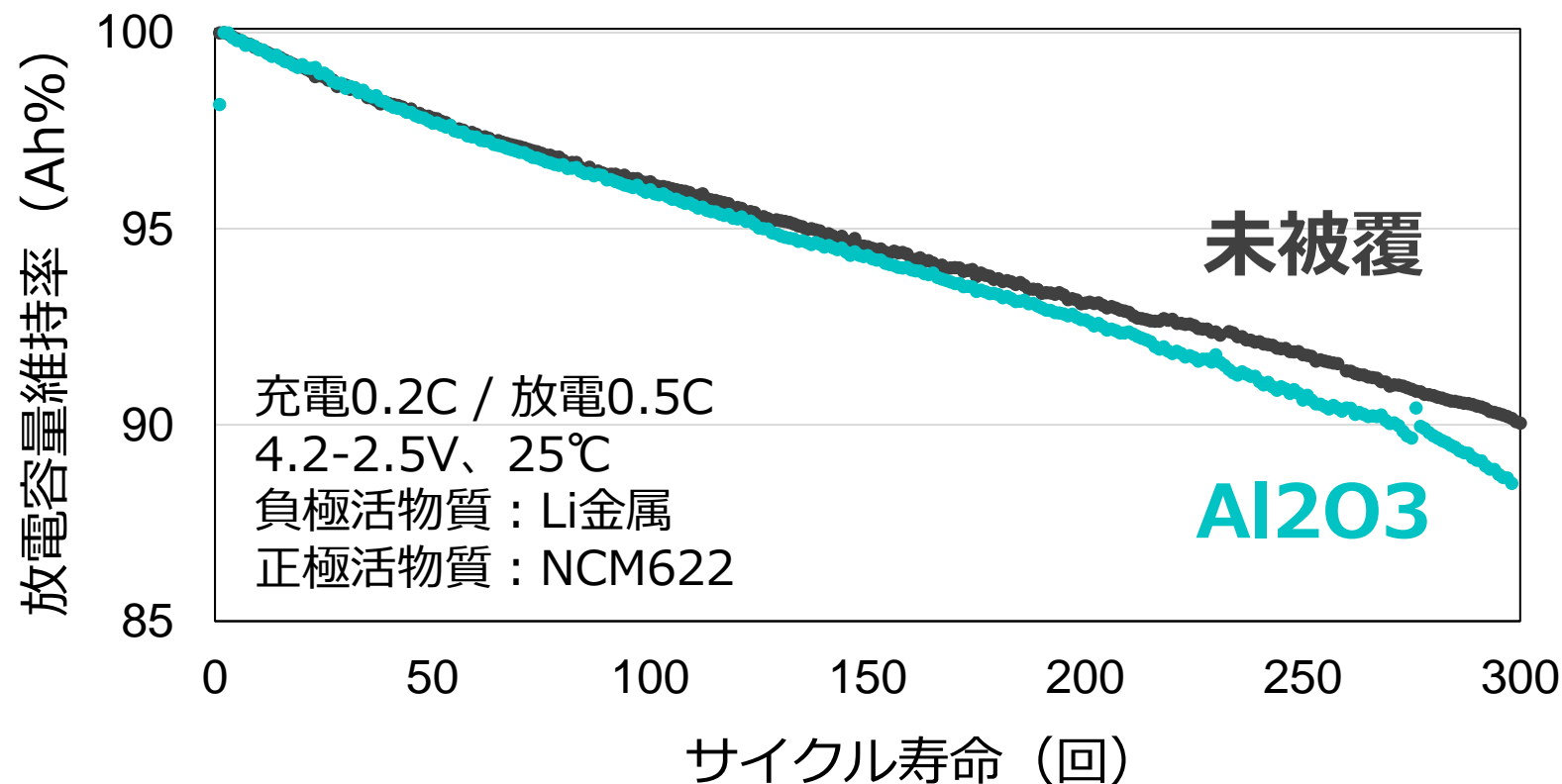
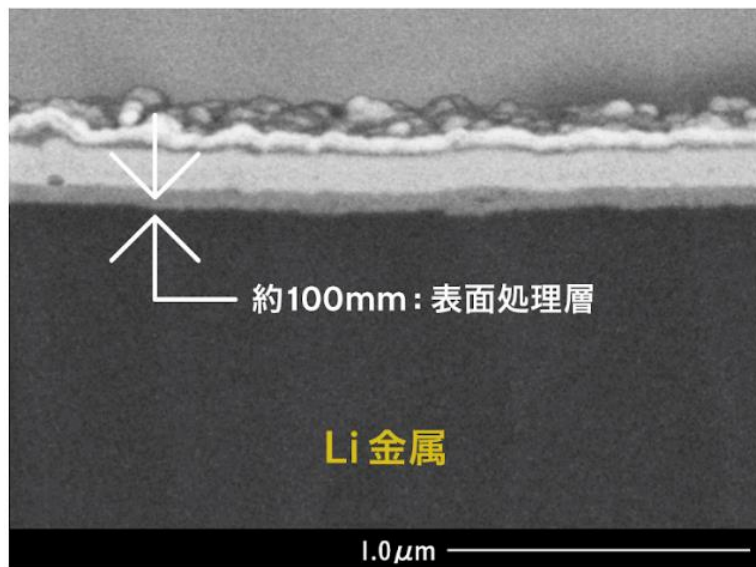
サイクル寿命

短

# ①リチウム析出制御の解決手法



# ①パウチセルでの検証結果



Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>による表面処理では改善効果見られず。  
現在は他材料での評価を進めており、[改善する材料も見つかり始めている](#)

# 6つのキーテクノロジーに注目

①

Li金属 負極

表面処理で長寿命化

②

軽量集電体

軽量化

③

正極活物質

高容量化  
レアメタルFree

④

電解質

安全性・高電圧

⑤

バイポーラ構造

軽量化

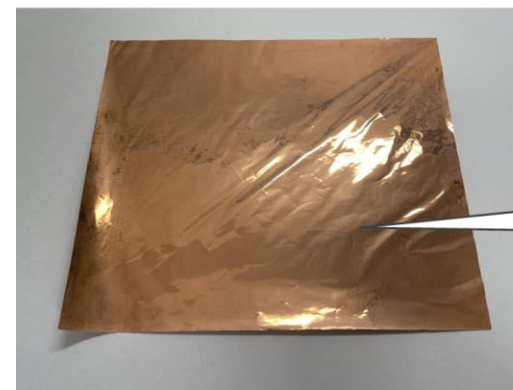
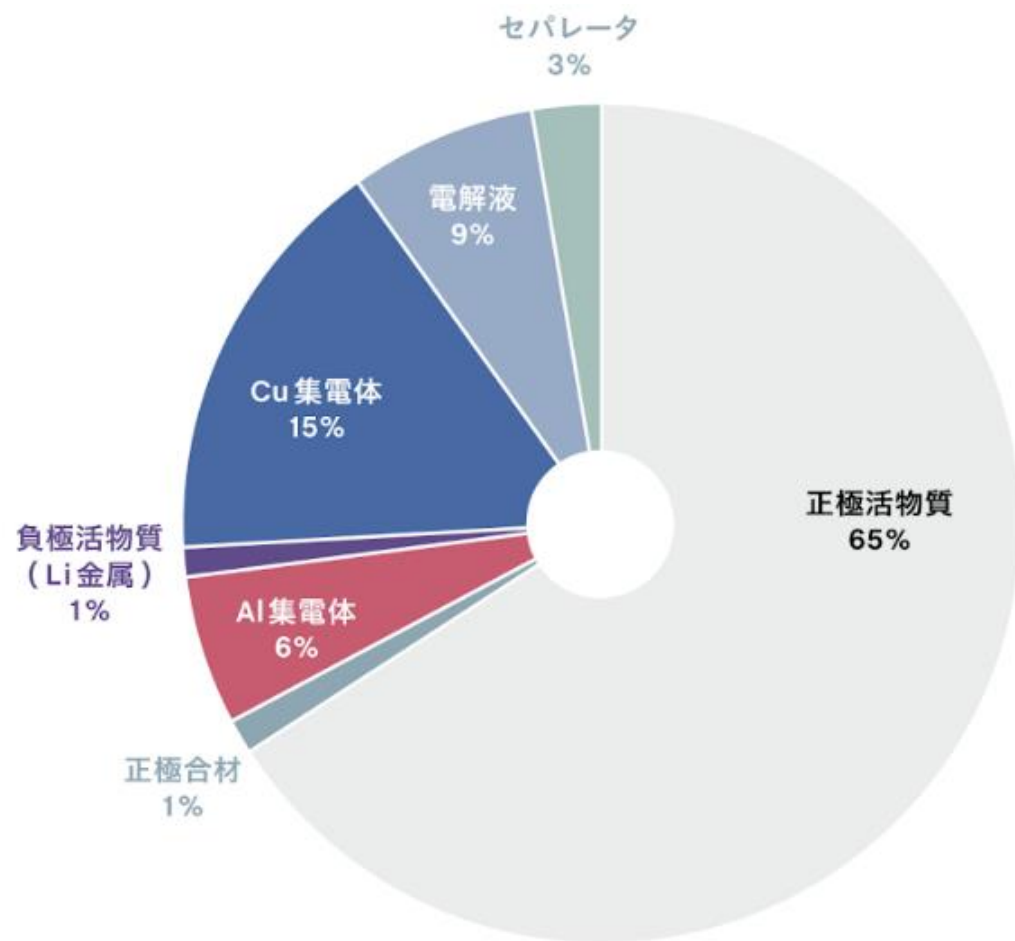
⑥

正極  
デッドスペース削減

高密度化



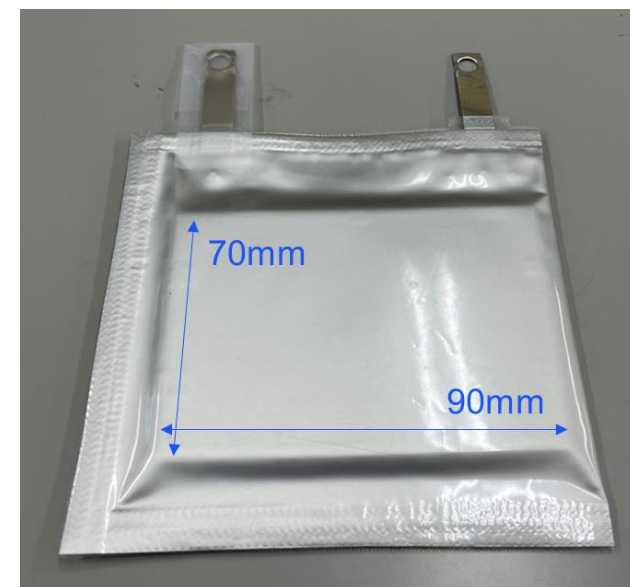
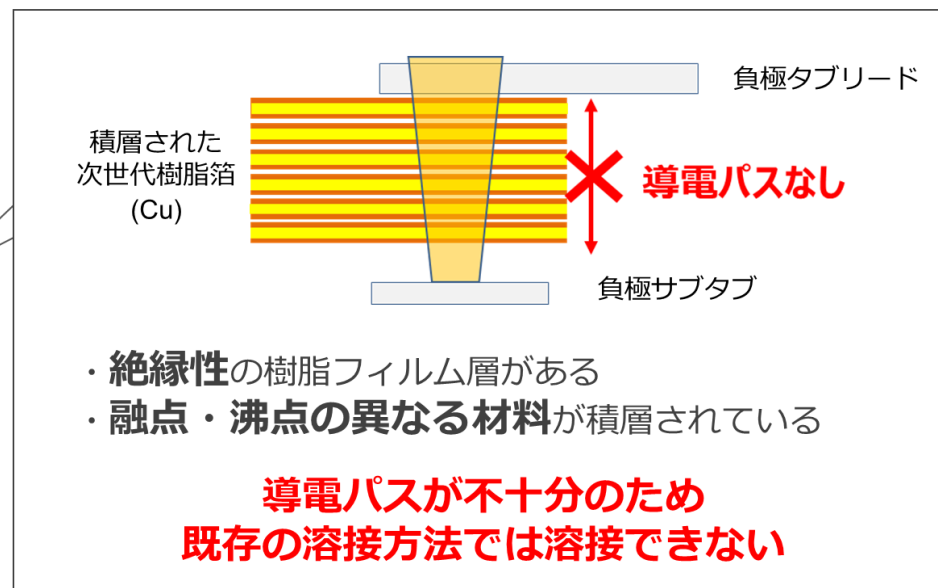
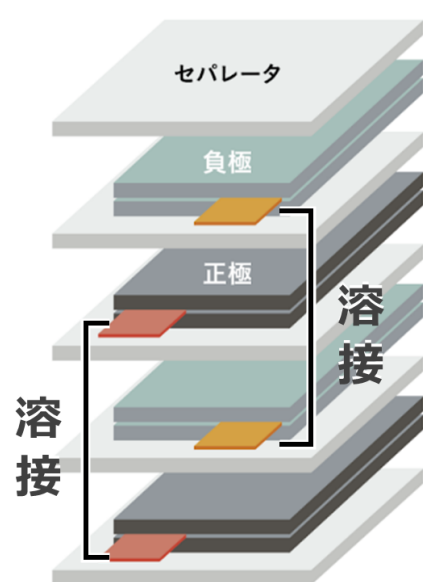
## ②次世代樹脂箔の概要



	銅箔	次世代樹脂箔
金属層	8 $\mu\text{m}$	0.5 $\mu\text{m}$
樹脂	-	6 $\mu\text{m}$
密度	8.96 g/cm <sup>3</sup>	2.30 g/cm <sup>3</sup>
重量比	1 0 0	2 5

集電体体積の一部を樹脂で置換した「次世代樹脂箔」を開発

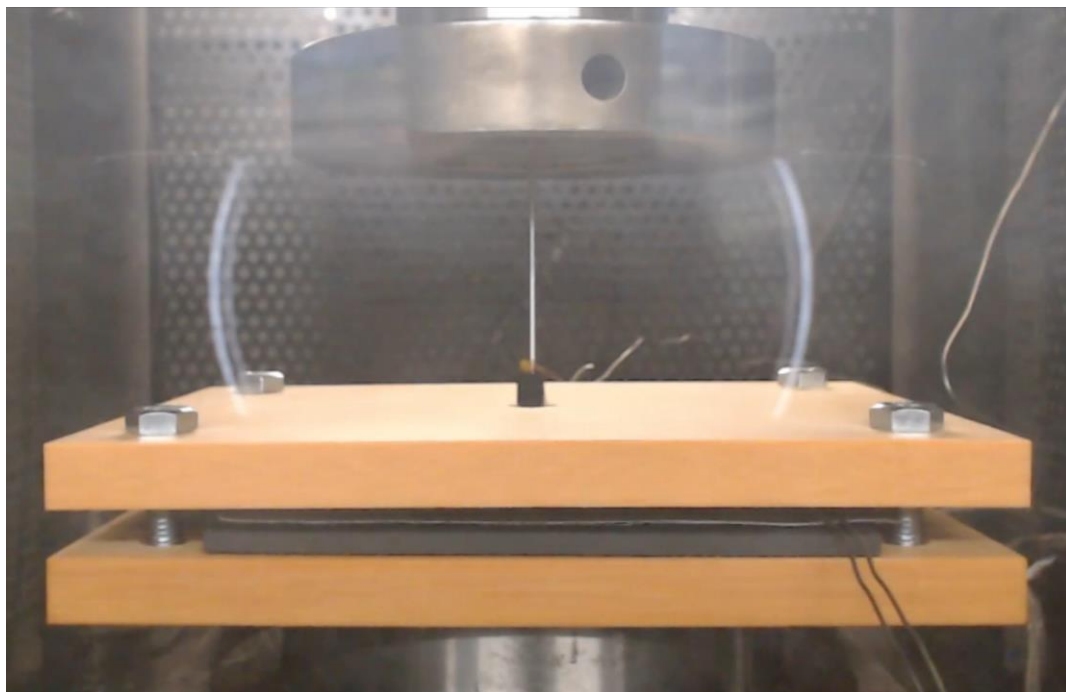
## ②溶接手法の開発と電池の試作



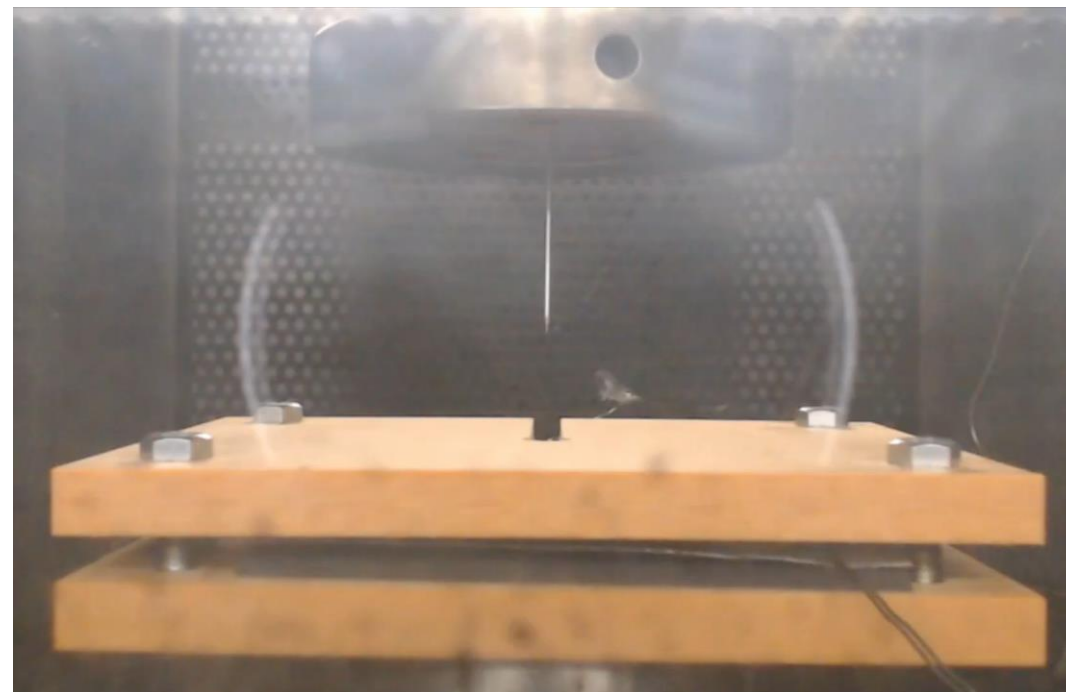
溶接方法を改善し、**樹脂箔の多層溶接手法を確立した。**  
現在は16積層-3.5Ahパウチセルで数々の評価を進めている

## ②安全性試験

Al / Cuセル

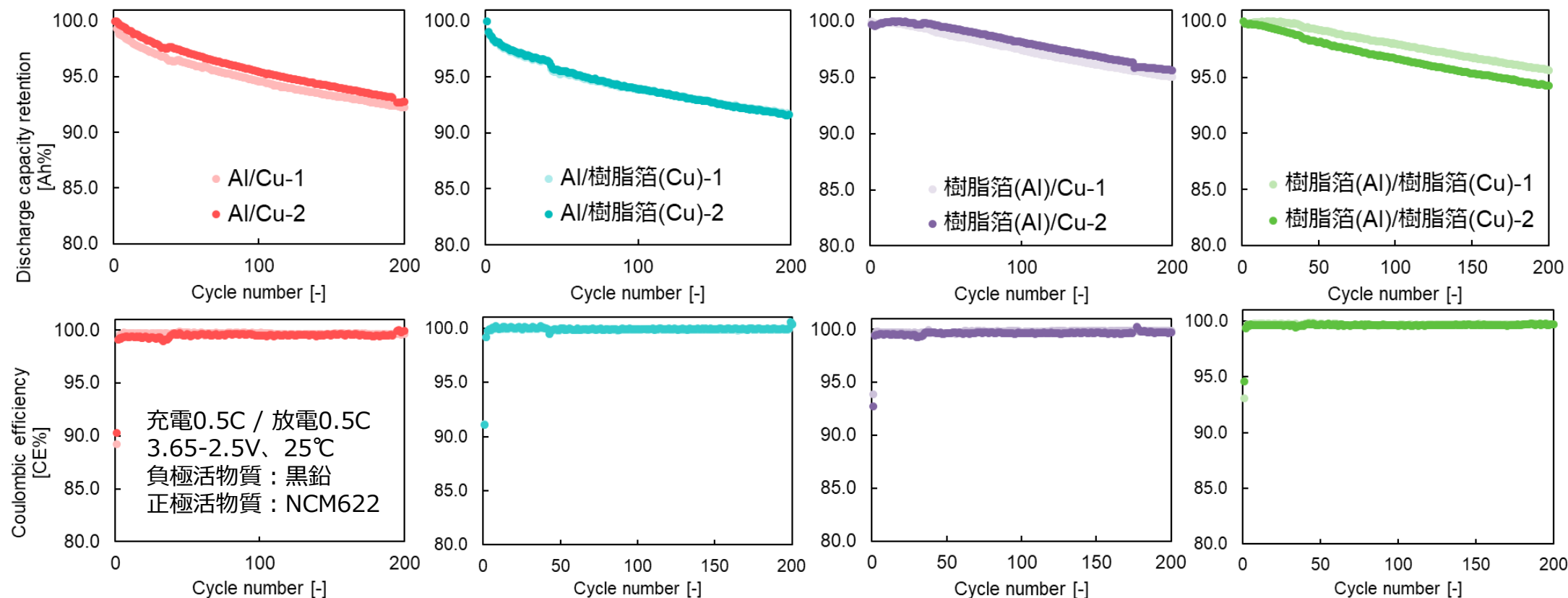


樹脂箔(AI) / Cuセル



樹脂箔(AI)を用いた時のみ、セルが発火しなかった

## ②樹脂箔Cellのサイクル特性



正極集電体・負極集電体のそれぞれに樹脂箔を使用  
従来のセルと同等の性能を示した。サンプル提供も開始している

# 6つのキーテクノロジーに注目

①

Li金属 負極

表面処理で長寿命化

②

軽量集電体

軽量化

③

正極活物質

高容量化  
レアメタルFree

④

電解質

安全性・高電圧

⑤

バイポーラ構造

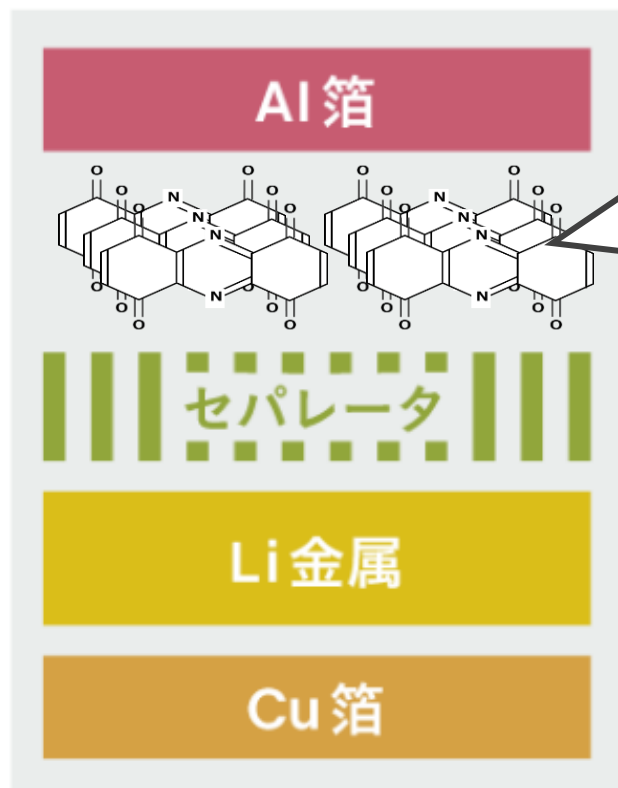
軽量化

⑥

正極  
デッドスペース削減

高密度化

# ③有機正極と有機正極二次電池



1																	18
<b>H</b>																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Al	Si	P	<b>S</b>	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>Co</b>	<b>Ni</b>	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe

青枠：有機正極活物質の骨格元素  
赤枠：既存正極活物質の骨格元素

重い金属を排除→軽い電池

貴金属Free→低コスト化

安定したサプライチェーン



# ③有機正極の開発歴

2019

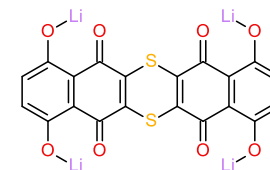
産総研と有機正極の共同研究を開始

ソフトバンク、産総研

2020

ナフタザリン二量体で400mAh/gを実証

ソフトバンク、産総研



ナフタザリン二量体  
理論容量: 462 mAh/g

2021

新規高容量材料(フェナジンテトラオン)の合成に成功

第88回電気化学会 (ソフトバンク、産総研)

従来の電池設計(高wt%活物質)で有機正極の動作を確認

第89回電気化学会 (ソフトバンク、産総研)

2022

PTOの合成検討を三洋化成と、  
PTOの電極検討をORLIBと、それぞれ共同研究を開始

ソフトバンク、産総研、三洋化成、ORLIB

2023

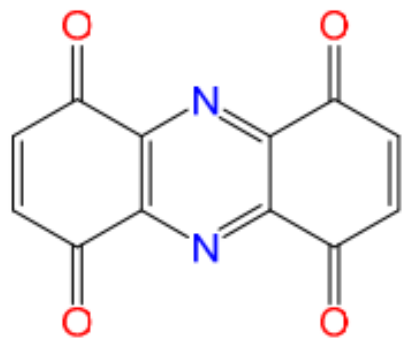
2020年2月17日

防衛装備庁の公募採択

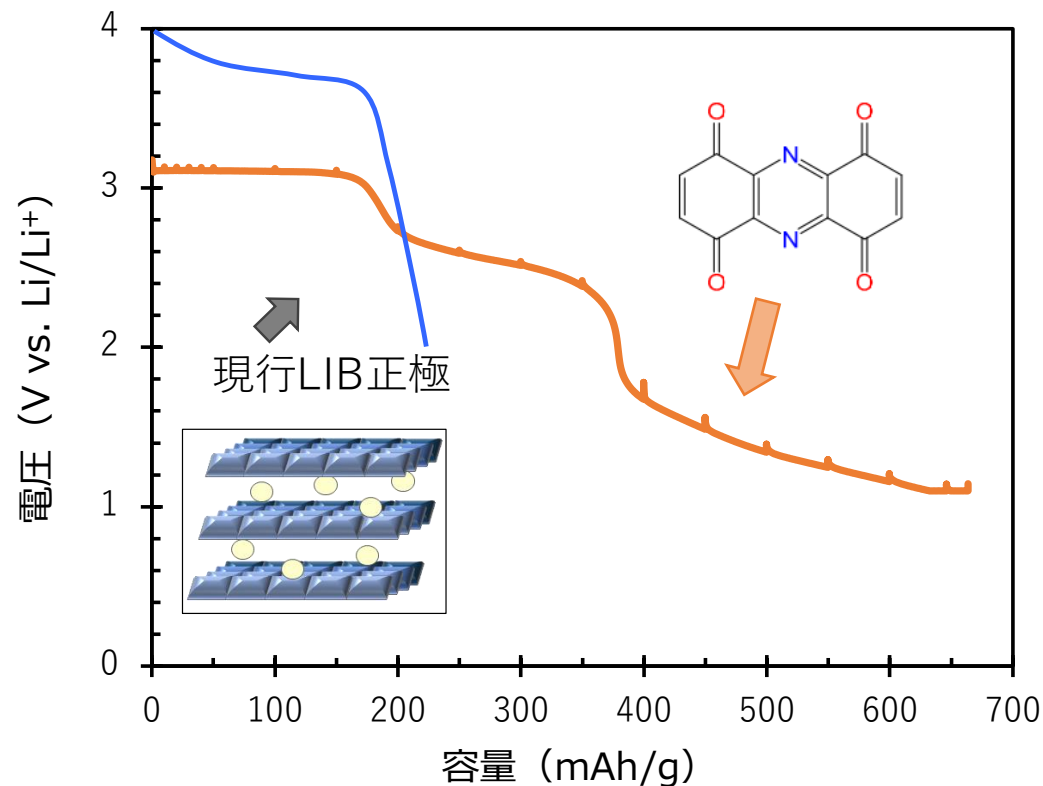
<有機正極二次電池の充放電機構の解明と高エネルギー密度化の研究>

ソフトバンク、産総研、三洋化成、ORLIB、日本ケミコン

# ③高容量な有機正極の開発に成功



フェナジンテトラオン(PTO)  
理論容量：**670 mAh/g**  
最大利用可能電子数：**6個**

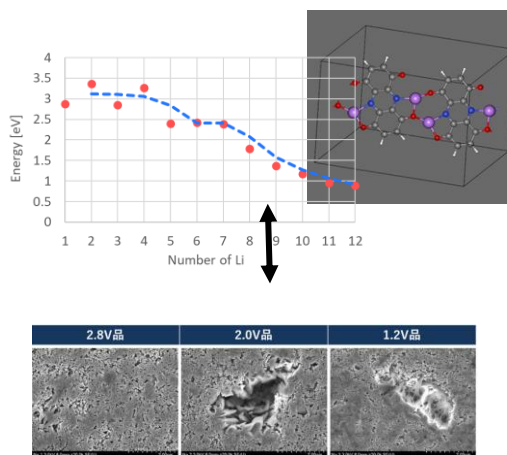


新規合成のフェナジンテトラオンで  
既存のリチウムイオン電池の正極の**3倍近い容量**を実証

# ③550Wh/kgの電池設計

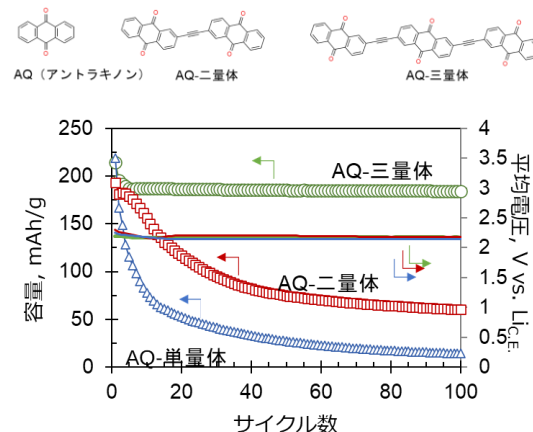
## 反応メカニズム の解明

### 計算と分析の相互アプローチ



## 繰り返し特性 の改善

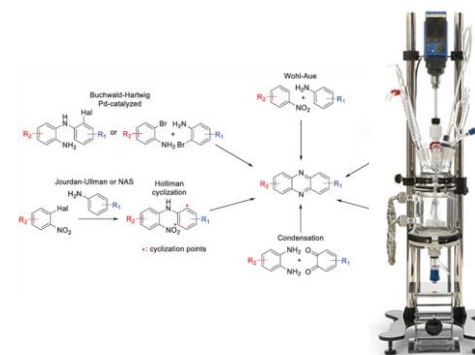
### 分子設計による溶解抑制



M. Yao et al., *ChemPhysChem*, **20**, 967 (2019).

## 大量合成法 の確立

### 副反応の理解と抑制 大型装置での再現



## 電池の製造プロセス の技術開発

### 分散・塗工・プレスなど 大型セルの製造技術開発



現在は個別に技術開発を実施。  
550Wh/kgの長寿命有機二次電池を実証する(~2027/3)

# 6つのキーテクノロジーに注目

①

Li金属 負極

表面処理で長寿命化

②

軽量集電体

軽量化

③

正極活物質

高容量化  
レアメタルFree

④

電解質

安全性・高電圧

⑤

バイポーラ構造

軽量化

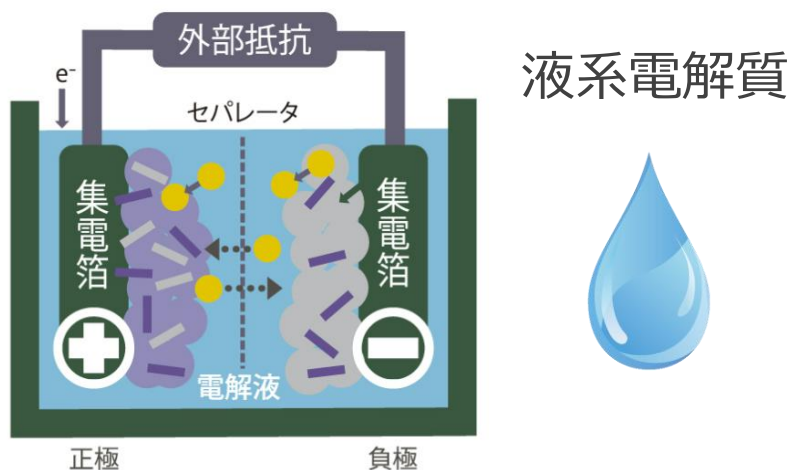
⑥

正極  
デッドスペース削減

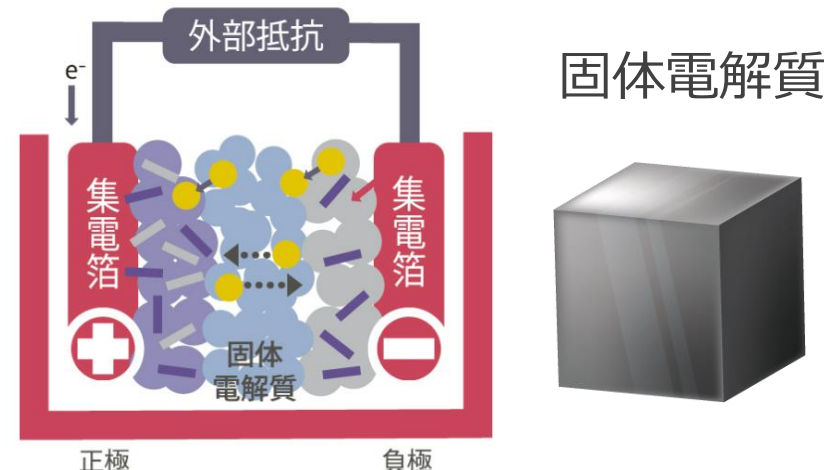
高密度化

# ④全固体電池とHAPSへのメリット

リチウムイオン電池



全固体電池



さらなる高密度化と高安全性化を実現できるポテンシャル

重量増化

界面制御の難化

次世代正極の適用

高電圧耐久

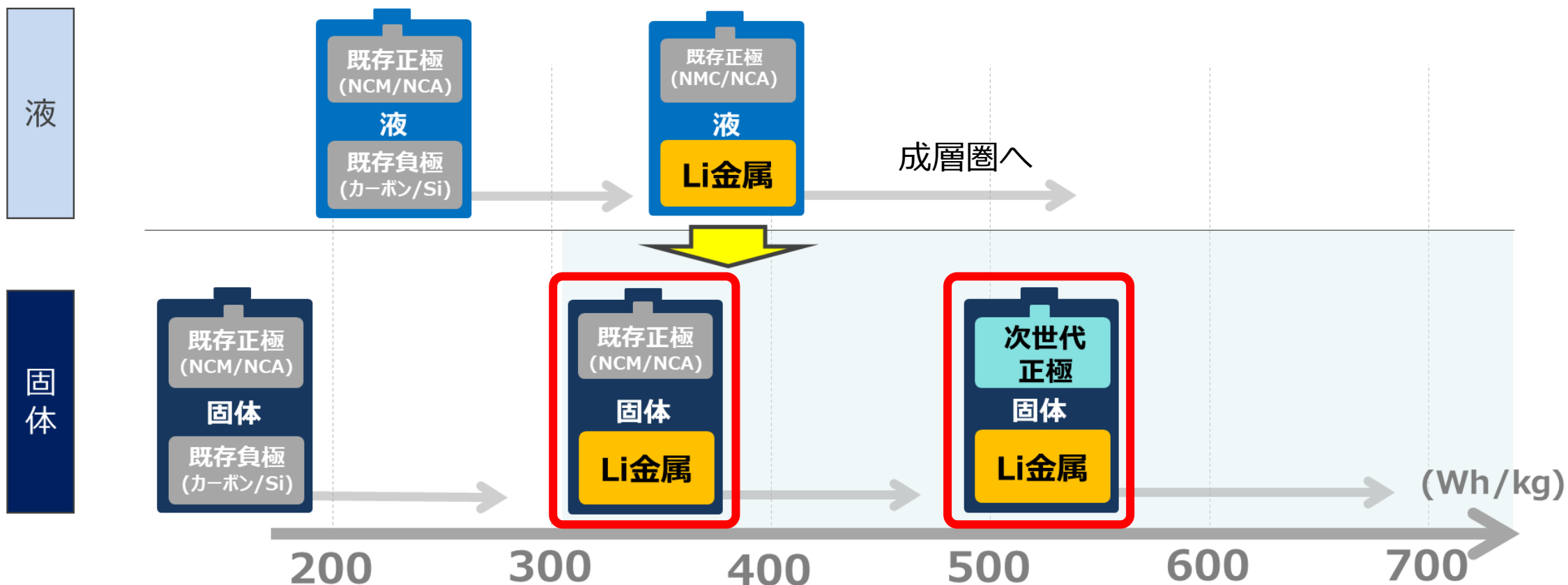
熱的安全性

部材軽量化

高出力化

長寿命化

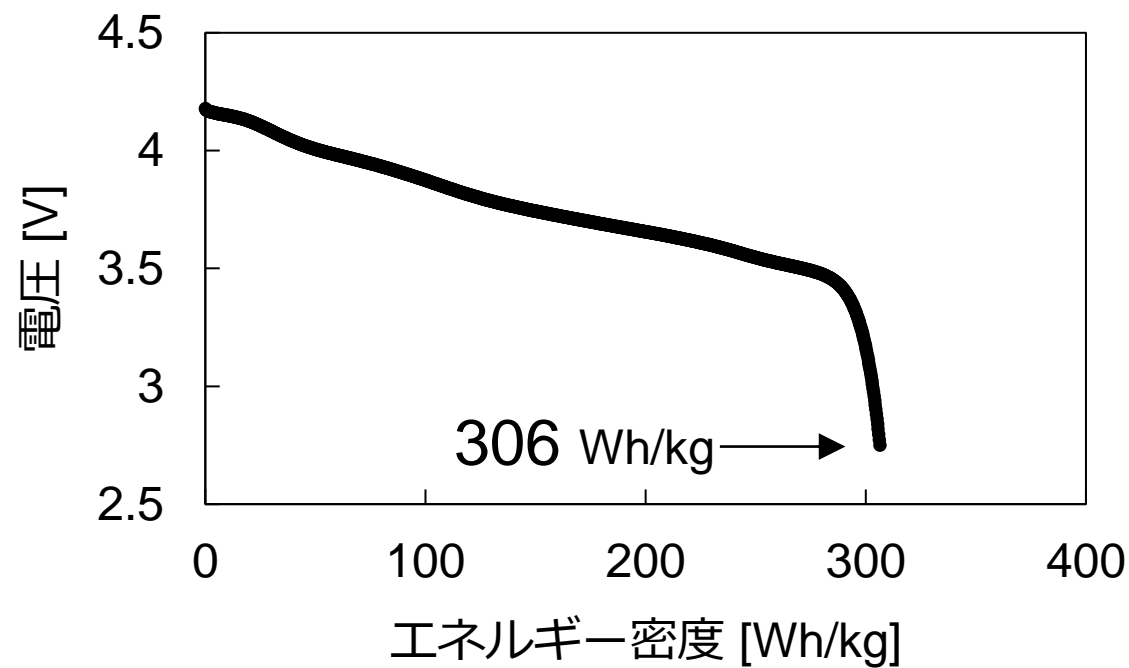
# ④全固体電池へのシフト



液系電池から**高安全性・長寿命化の全固体電池**へ徐々にシフト



## ④全固体電池にて300 Wh/kg達成



市販のリチウムイオン電池(300Wh/kg)と同等のエネ密の実証に成功

