



# 車載電池と自動運転の現状

## イオン化傾向から見た次世代電池（1）

1 H Hydro...			
3 Li Lithium	4 Be Beryll...		
11 Na Sodium	12 Mg Magn...		
19 K Potas...	20 Ca Calcium	21 Sc Scand...	
37 Rb Rubidi...	38 Sr Stronti...	39 Y Yttrium	
55 Cs Caesi...	56 Ba Barium	57 La Lanth...	
87 Fr Franci...	88 Ra Radium	89 Ac Actinium	

二つの電極間のイオン化傾向の差が大きいほど起電力が高くなる  
イオン化傾向：**Li > K > Ca > Na** > Mg > Al > Zn > Fe > Ni > Sn > Pb

標準電極電位（水溶液基準）	
リチウムイオン電池	-3.045V
カリウムイオン電池	-2.925V
カルシウムイオン電池	-2.84V
<b>ナトリウムイオン電池</b>	<b>-2.714V</b>

現状	
リチウムイオン電池	商用成熟
カリウムイオン電池	研究開発から実用化への移行期
カルシウムイオン電池	研究段階（東北大学等）
<b>ナトリウムイオン電池</b>	<b>商用化進行中（CATL）</b>

ナトリウムはリチウムに近いアルカリ金属。正極材や電解質の研究においてリチウムイオン電池（LiB）で培った知見を応用できたため早く実用レベルに到達した。

## イオン化傾向から見た次世代電池（2）

### 実用セル電圧の比較

実際の二次電池では正極材料の電位も関わるため、金属単体の電位差そのものではない。さらに負極金属の標準電極電位が低いほど高電圧となる

リチウムイオン電池	3.6～3.7V（NMC系）
カリウムイオン電池	3.1～3.82V（実験値）
カルシウムイオン電池	2～3V程度（推定）
ナトリウムイオン電池	2.8～3.3V（層状酸化物・Prussian Blue系）

### エネルギー密度（Wh/kg）の比較

リチウムイオン電池	180～250（NMC系）
カリウムイオン電池	90～235（実験値）（東京理科大学等）
カルシウムイオン電池	研究段階
ナトリウムイオン電池	100～160（層状酸化物・Prussian Blue系）

層状酸化物は遷移金属（Fe, Mn, Niなど）と酸素が層状に積み重なった構造。LIBの製造プロセスをほぼそのまま使えるため低コストで量産できる。

青色顔料(Prussian Blue)の結晶構造を利用。ジャングルジム状の大きな隙間があるので大きなNaイオンの出入りがスムーズに。急速充電や高い出力につながる。

3

## イオン化傾向から見た次世代電池（3）

### 低温性能の比較

リチウムイオン電池	-20℃で60%まで低下
カリウムイオン電池	データ不足
カルシウムイオン電池	研究段階
ナトリウムイオン電池	-40℃でも85%容量維持

### 充電速度の比較 **Cレート：バッテリーの定格容量に対してC倍の電流値で充電ができる**

リチウムイオン電池	2C程度。急速充電で発熱しやすい
カリウムイオン電池	リチウムイオン電池と同等かやや劣る
カルシウムイオン電池	研究段階
ナトリウムイオン電池	急速充電に強い（3Cレベル）

### 安全性の比較

リチウムイオン電池	熱暴走リスクあり
カリウムイオン電池	リチウムイオン電池より安全とされるが研究段階
カルシウムイオン電池	研究段階
ナトリウムイオン電池	熱安定性が高く熱暴走しにくい

ナトリウムイオン電池の電解液の低い反応性や、正極材の熱分解温度が高いこと等が熱安定性の高さとなっている。

4

## イオン化傾向から見た次世代電池（４）

項目	リチウムイオン	カリウムイオン	カルシウムイオン	ナトリウムイオン
セル電圧	3.6～3.7V	3.1～3.28V	2～3V（推定）	2.8～3.3V
エネルギー密度	最高	高め	低め	低い
低温性能	弱い	不明	不明	非常に強い
充電速度	中	中	不明	速い
安全性	熱暴走リスク	やや高安全	高安全（理論）	高安全
コスト	高い	低い	低い	非常に低い
技術成熟度	商用成熟	研究～初期	研究段階	商用化推進中（CATL等）

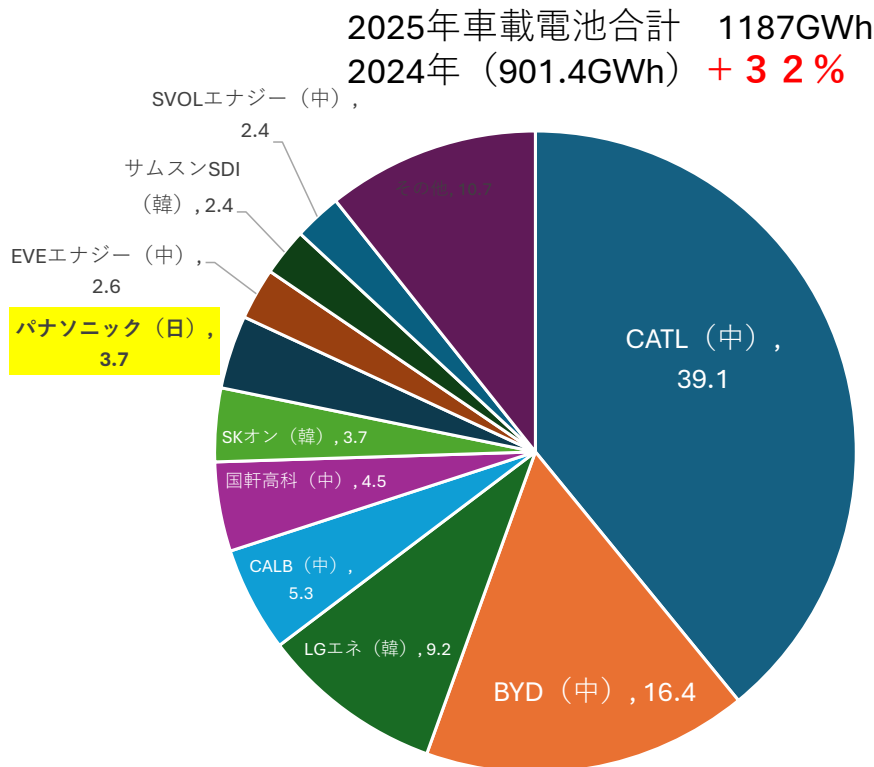
### ナトリウムイオン電池の特徴

- 起電力はLi,K,Caイオン電池より低いのでエネルギー密度も低く、EVの長距離用には不向き
- 低温性能は圧倒的に優秀（-40℃でも高性能を維持できる）
- 熱暴走しにくいので安全性が高い
- 電池材料の資源が豊富なので低コストでの電池供給が可能
- 急速充電に強い

EVの長距離用途ではリチウムイオン電池が優位だが、ESS（電源貯蔵システム）や低速EV、寒冷地用途ではナトリウムイオン電池が最適解となる。

5

## 車載電池世界シェアトップ10（2025年）



	2024年比 ポイント増減
CATL (中)	+1.2
BYD (中)	-0.8
LGエネ (韓)	-1.6
CALB (中)	+0.9
国軒高科 (中)	+1.3
SKオン (韓)	-0.7
パナソニック (日)	-0.2
EVエナジー (中)	+0.3
サムスンSDI (韓)	-0.9

（数値出所）SNEリサーチ

BYDや韓国勢がシェアを落とす中、CATLは着実に市場シェアを伸ばしており車載電池分野で独り勝ちの状態になりつつある。

6

## CATLのEV車載用電池（1）

### LFP（リン酸鉄リチウム）系

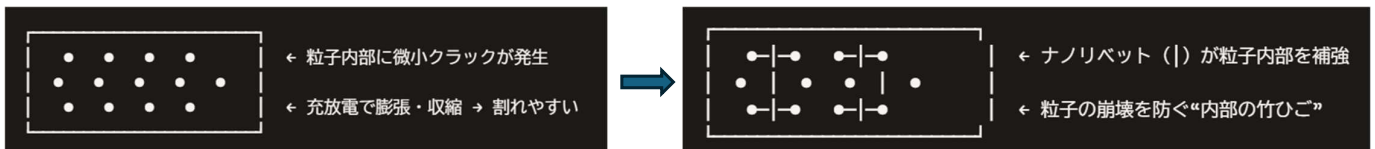
- 用途：大衆向けEV、商用車、長寿命用途
- エネルギー密度（セル）：約160Wh/kg、神行(Shenxing)Plus電池は205Wh/kg
- 特徴：高い安全性、長寿命、低コスト
- CTP(Cell to Pack)によりパック効率を大幅向上してパック密度を向上

### NMC（ニッケル・マンガン・コバルト）系

#### NMC811(Ni 80%,Mn10%,Co10%)

- エネルギー密度（セル）：255Wh/kg（麒麟電池）
- 特徴：高エネルギー密度、長距離EV向け
- 技術：ナノリベット技術で構造強化、安全性向上

ナノリベット技術とは正極粒子の内部にナノレベルの“柱”や“ピン”のような構造を形成し、粒子が割れないように固定する技術



高ニッケル電池はエネルギー密度が高いため外部衝撃や過充電時の安全性が重要となる。ナノリベット技術は電極の微細構造を安定させることで充放電の繰り返しによる劣化を抑え、バッテリーの長寿命化を図るCATL独自の電池技術。

## CATLのEV車載用電池（2）

#### NMC + Si（シリコン負極）

- エネルギー密度（セル）：330Wh/kg
- 特徴：シリコン負極で高容量化。1,000km級の航続距離を実現

#### Cell to Pack(CTP)技術による高密度パック

- CTP1.0 → 3.0（第3世代）（麒麟電池）
- 体積利用効率：55% → 72%（世界最高レベル）
- システムエネルギー密度：255Wh/kg（NMC系）

### ナトリウムイオン電池 (Na-ion)

- エネルギー密度（セル）：約160Wh/kg（第一世代）
- 特徴：低温性能に優れ、資源制約が小さい（低コスト）
- 用途：小型EV、ESS(Energy Storage System、電力貯蔵システム)

三元系正極とシリコンを少量添加した負極の組み合わせはサムスンSDIやパナソニック等にもある。CATLはシリコンの粒子をカーボンで包み込み、さらにハニカム構造にする独自のナノ構造技術を採用している。シリコン100%はまだ存在しない。CATLはナノレベルの材料設計・制御技術のリーダーと評されている。

中国を起点にナトリウムイオン電池が普及期を迎える可能性がある。

## CATLのEV用電池のラインナップ、エネルギー密度（2025）

電池タイプ	エネルギー密度 (セル/パック)	主な用途	備考
LFP	160 Wh/kg (セル)	大衆EV、商用車	安全重視
NMC 811 (麒麟電池)	255 Wh/kg (セル)	長距離EV、高級EV	
NMC+Si (負極) (CTP3.0)	330 Wh/kg (セル) 255 Wh/kg (パック)	1000km級EV	
Na-ion	160Wh/kg (セル)	小型EV	低温地域

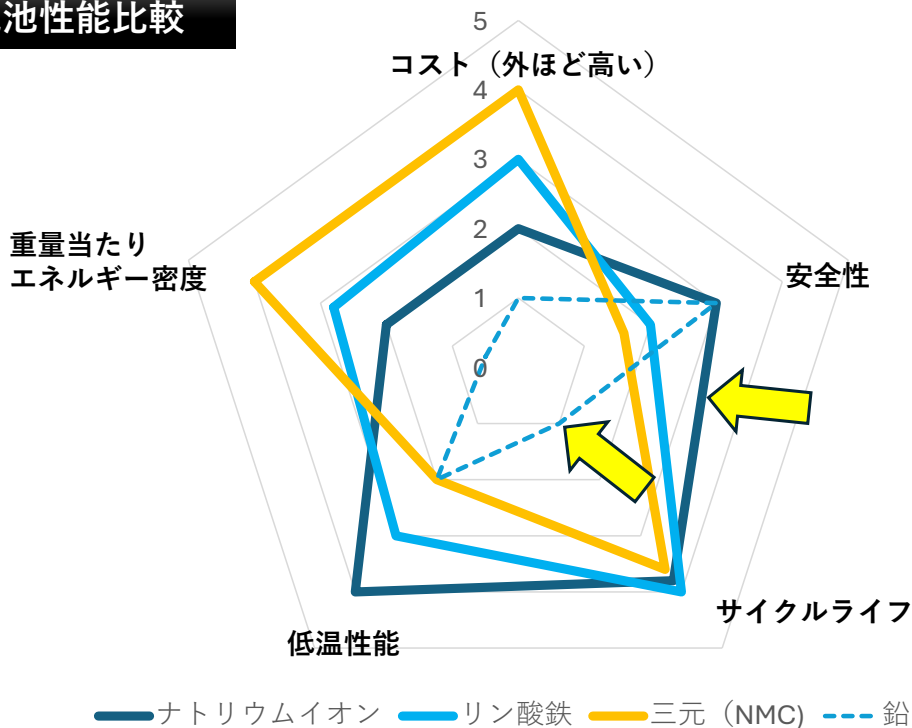
通常パックのエネルギー密度はセルのエネルギー密度の5～7割程度まで下がる

## CATLの全電池出荷推定比率（2025）

電池タイプ	推定出荷比率	備考
LFP	60～65%	EV用+ESS(電力貯蔵システム用)
NMC (麒麟電池を含む)	30～35%	欧州OEM向け+長距離EV
Na-ion	1～3%	2025年は量産初期

CATLのナトリウムイオン電池は2026年半ばから長安汽車や奇瑞汽車のモデルに搭載して販売される見通し。今後のナトリウムイオン電池の伸びを注視する必要がある。

## 車載用電池性能比較



鉛蓄電池は自動車の補機駆動や定置用蓄電池としての地位を築いてきた。しかし寿命、エネルギー密度、寒冷地での安定性に勝るナトリウムイオン電池の量産化によるコスト低減が進めば、今後数年から十数年の間にナトリウムイオン電池への転換が進むと考えられる。

## 全固体電池の開発状況

組織	電解質	現状のステージ	EV搭載時期
トヨタ	硫化物系	パイロット・量産準備	2027～2028年に市販
日産	硫化物系	パイロットライン稼働中	2028年度に商用生産
ホンダ	硫化物系	デモラインで量産プロセス検証	2020年代後半
CATL（中）	硫化物系	橋渡しに半固体電池を量産中	2020年代後半（推定）
BYD（中）	硫化物系	パイロットライン稼働中	2027年試験導入計画
Samsung SDI（韓）	硫化物系	高密度プロトタイプ完成	2027年頃に限定生産
QuantumScape（米）	酸化物系	サンプル出荷～車載評価	2028年頃に車載統合
Solid Power（米）	硫化物系	BMW等で車載デモ	2020年代後半

- **硫化物系**：イオンが通りやすく車載用の本命。空気中の水分と反応すると有毒な硫化水素を発生させるリスクがあるので製造工程で厳格な乾燥環境が必要
- **酸化物系**：安定性が高く燃えにくいだが、大型化が難しい。QuantumScapeは負極に金属リチウムを使うためデンドライト（樹枝状晶）が発生しにくいセラミックセパレーターを使用（村田製作所が協力）

CASIP: China All-Solid-State Battery Collaborative Innovation Platform

中国では2024年に「中国全固体電池共同イノベーションプラットフォーム(CASIP)」を設立。CATLやBYD等が中心となり拳国体制で標準化やサプライチェーンの構築を急いでおり、日本勢にとって最大のライバルとなっている。

11

## 車両カテゴリーと最適車載バッテリー（EV）

車両カテゴリー	最適電池	エネルギー密度 Wh/kg(セル)	理由
大衆車	LFP/Na-ion	140-190 (LFP) 100-160(Na-ion)	低コスト・安全・都市走行向き
ミドルクラス	NMC	180-250	航続距離とコストのバランス
高級車・SUV	高Ni NMC/NCA	250-300(高Ni NMC) 200-260(NCA)	長距離・高出力
パフォーマンスEV	高Ni NCA	250-320	高出力・高エネルギー密度
商用車・タクシー	LFP	140-190	長寿命・安全性
次世代プレミアムEV(2030～)	全固体 (硫化物/酸化物)	350-450(硫化物) 300-380(酸化物)	高エネルギー密度・高速充電

略号 LFP:リン酸鉄リチウムイオン電池 Na-ion:ナトリウムイオン電池  
NMC:三元（ニッケル・マンガン・コバルト） NCA:三元（ニッケル、コバルト、アルミニウム）

EV用の主要電池を一言で表現すると「低コストと長寿命のLFP」,「バランスと信頼性のNMC」,「パワーと航続距離のNCA」。

現行の主流はLFPとNMC/NCAで、世界市場の90%以上を占めている。

次世代の主流はNa-ionと全固体電池になるとの予測がある。

12

## 自動運転の進化のプロセス

### 第一世代：ルールベース型

- 人間が作った論理に従って車両を制御
- 想定外に弱い

### 第二世代：経路判断AI 2020年～

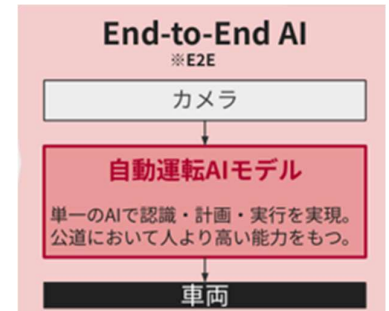
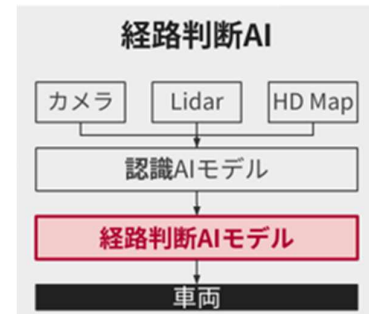
- AIが部分的に判断して車両を制御
- モジュール間の誤差が蓄積
- 都市部の複雑な状況では限界
- 「人間のよう運転」にはならない

### 第三世代：E2E (End to End) AI 2024年～

- 人間の運転を丸ごと学習して車両を制御
- カメラ→AI→操作を一本化
- モジュール間の誤差がない
- 人間のよう自然な運転

### 第四世代：フィジカル基盤モデル 2030年～

- 世界の物理と因果関係を理解して車両を制御
- 未知の状況にも強い
- 人間以上の予測能力



(出所) 図はTuring株式会社

13

## 自動運転の進化のプロセスの代表例

### 第一世代：ルールベース型

初期のADS(先進運転支援システム) (自動ブレーキ、車線維持)  
初期のWaymo: HD(High Definition)マップ+ルール

### 第二世代：経路判断AI

Mobileye Super Vision

多くの日本メーカーの現行ADAS NOA(Navigation on Autopilot)

Waymoの現行ロボタクシー (高度なHDマップ+AI)、中国のロボタクシー

### 第三世代：E2E (End to End) AI

Tesla FSD Ver.12 (完全E2E)

XPeng VLA (E2E + 言語表現)

Wayve (世界モデル型E2E)

### 第四世代：フィジカル基盤モデル

Tesla World Model (2024～)

Wayve GAIA-1 (世界モデルの代表)

NVIDIA Alpamayo (因果関係VLA)

XPeng 次世代VLA (物理一貫性を強化中)

**VLA (Vision Language Action)** : 「見て、考えて、動く」というプロセスを単一のAIモデルで統合的に処理

**世界モデル** : AIが現実世界の物理法則や物体間の相互作用などの「世界の仕組み」を学習し、未来を予測・シミュレーションする

**フィジカル基盤モデル** : 「現実世界の物理法則」を理解し、実体(車両)を自律的に動かすための大規模AIモデル

将来は世界モデルとフィジカル基盤モデルを組み合わせることで刻々と変わる環境下で「次に何が起こるか」を予測し車両を制御ようになる。

## ロボタクシーの現状（1）中国

企業名	主要センサー構成	自動運転ソフトウェア	自動運転の特徴
Baidu (百度)	計38個: Lidar, カメラ, ミリ波レーダー, 超音波センサー	Apollo	ルールベース + AIによる意思決定
Pony-ai (小馬智行)	計34個: Lidar, カメラ, ミリ波レーダー	PonyAlpha	部分E2E。E2E導入に積極的
Auto X	計50個: カメラ, Lidar, 4Dレーダー	AutoX Driver	E2Eよりも冗長性・安全性・安定性を優先
WeRide (文遠知行)	計20個以上: Lidar, HDカメラ, RTK高精度慣性航法	WeRide One	E2Eは限定的・安全層としてルールベース
DiDi (滴滴出行)	計33個: Lidar, カメラ, 4Dレーダー, 赤外線カメラ, 音響センサー	DiDi ADS: (Autonomous Driving System)	E2Eは研究段階。E2Eよりも安定運用を優先

### 共通事項：

- 自動運転レベル4
- HDマップ使用
- センサーフュージョン（多層的な周辺認識：LiDAR, ミリ波レーダー、カメラ等）
- NVIDIAなどの最新チップを搭載した強力なコンピューターを搭載

現在運行中の中国の5大ロボタクシーはすべて運用エリアを精密に示すHD (High Definition) マップ(高精度3次元地図) を使ってルールベース型を基本としている。

## ロボタクシーの現状（2）中国

	運用都市（中国内）	特徴
Baidu (百度)	北京、武漢、重慶、深圳などで無人運転。武漢では24時間無人運行を実施	圧倒的なコスト競争力と実用化の速さ
Pony-ai (小馬智行)	トヨタと提携しながら北京、広州、上海などで完全無人の商用サービスを実施	人間に近いアグレッシブな走行。中国勢のなかで最もE2E化が進んでいる
Auto X	深圳で完全無人運行を実施	中国初の無人口ボタクシー
WeRide (文遠知行)	広州で2019年に中国初の完全開放型ロボタクシーサービスを開始。北京、上海でも商用運行を実施。北京市ハイレベル自動運転実証区において完全無人の有料ロボタクシーサービスを開始	中国で最も安定したロボタクシー運用企業のひとつ
DiDi (滴滴出行)	中国最大の配車ネットワークを活用。上海や北京などの主要都市でロボタクシーサービスを展開（自動と人の使い分け）。広州市では指定エリアで2025年12月から24時間365日の完全無人パイロットサービスの提供を開始	配車アプリの巨人。ロボタクシーを巨大ユーザー基盤に統合できる強み

### 共通事項：

- 自動運転レベル4
- 乗降地点はあらかじめ設定された多数の送迎停留所から選択
- 遠隔監視、支援

## 中国のロボタクシーの特徴

### 中国のロボタクシーではHDマップ+ルールベースが中心で、なぜE2Eには慎重？

#### 理由1：政府の安全基準が厳しい

- “無人運行許可”の審査が非常に厳しい（国レベルの標準化と地方自治体当局による審査）
- E2Eは説明性が低く、規制当局が運用許可に慎重

#### 理由2：都市の交通環境が複雑

- HDマップ+ルールベースの方が安定した制御ができる

#### 理由3：LiDARのコストが低く、広範囲に普及している

- 中国にはLiDARメーカーが多数あり安価（主要なプレーヤーは約10社、200ドルを切るモデルも出始めている）
- LiDAR+HDマップがコスパで優位

中国のロボタクシー5社（Baidu, Pony-ai, AutoX, We Ride, DiDi）はHDマップ+ルールベース+LiDAR中心の保守的なアーキテクチャで、Tesla, XPeng, Wayve等のE2E AIという進化のプロセスとは別系統の進化のプロセスをたどっている。

17

## ロボタクシーの現状（3）欧米

企業名	主なセンサー	地図依存度	特徴
Waymo	LiDAR, レーダー、カメラ	中 (HDマップ)	世界最大の完全無人サービス。最も成熟した商用サービスを展開中
Uber	提携先の技術による	提携先に依存	自社での自動運転車両開発からは撤退。他社技術を自社アプリに統合することで世界最大のロボタクシーネットワークを目指している。プラットフォームとして各国の有力な自動運転技術企業と提携する戦略をとっている
Tesla	カメラのみ	低い（標準的なナビゲーションマップは使用）	E2E AI。どこでも走れる汎用性を追求。サイバーキャブによる低価格での大量普及を計画
Wayve	柔軟（カメラ/LiDAR）	不要	世界モデル型E2E。どんな都市・車両でも適応するAI

Uberの提携先の例：Waymo, Baidu, WeRide(文遠知行)、Wayve&日産, Avride, Nuro & Lucidなど

ウーバーは2018年3月にアリゾナ州での歩行者死亡事故による開発スケジュールの大幅な遅れと車両開発への巨額投資の必要性から2020年に車両開発から撤退。ロボタクシーの供給とユーザーの需要を結びつける世界最大の仲介事業を目指している。

18

## まとめ

- 世界トップの車載電池市場シェアを有する中国CATLの電池開発はナノ技術을 駆使してその勢いを増し、三元系電池の性能向上やナトリウムイオン電池の商用化を実現している。
- 特に豊富な資源に支えられるナトリウムイオン電池は低温性能・安定性・急速充電性能・寿命に優れ、将来の低価格EVや電源貯蔵システムの本流となる可能性を持っているだけでなく現行の鉛蓄電池をも置き換える可能性があり、今後中国を起点としてナトリウムイオン電池の普及の波が起きると予想される。
- 次世代電池として開発終盤を迎えている全固体電池において、中国では2024年に設立された政府主導の産官学連携アライアンスCASIPが日本勢の最大のライバルとなっている。
- 自動運転においてはカメラ画像を中心にAIが操作を一本化して行うE2EAIが中国を中心に普及しているが、ブラックボックス化への懸念から中国の主要ロボタクシーは高精度地図・ルールベースを基盤とした経路判断AIに留まっている。
- 今、世界の先端技術は世界の仕組みを学習した「世界モデル」と言語表現能力を備えた自動運転技術を目指している。これが実現すると人間以上の予測能力を持った自動運転とAIが行った判断の追跡が可能となり、AIによるブラックボックスは解消する。
- 電池技術・自動運転技術における先端技術は今、中国にあることを再認識し、かつての「生徒」からまずは謙虚に学ぶことで先端技術の「守破離」のプロセスに入り込むことが日本の自動車メーカーに必要なだと思います。