

# 「リチウムイオン電池が主役となる電動車 と自然エネルギーを活用する社会」

藪内 直明

横浜国立大学

工学研究院

先端科学高等研究院



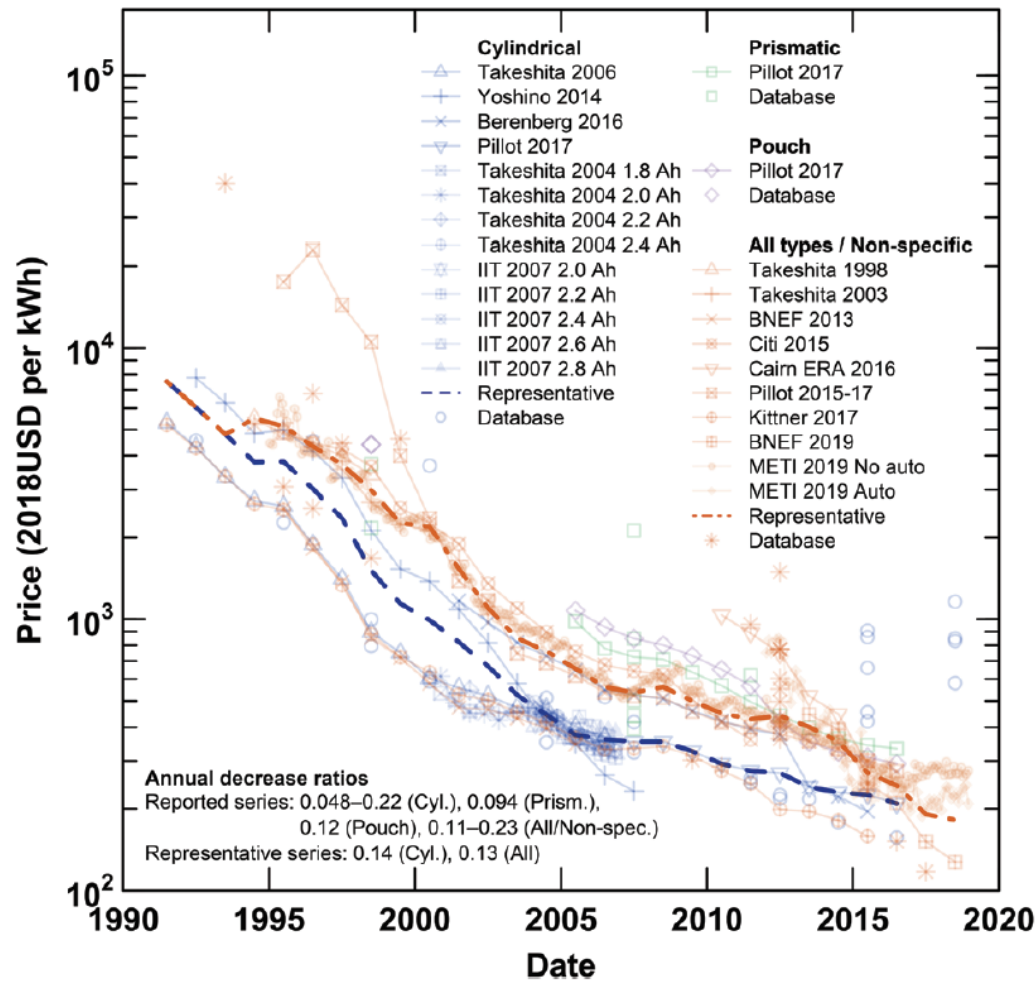
# 主要国における内燃機関自動車の規制

国	規制開始年度	内燃機関車 ガソリン・ ディーゼル	PHEV	2020年度 販売台数 (EV+PHEV)	2020年度 販売シェア
UK	2030	禁止	禁止 (2035年から)	17万台	10%‡
ドイツ	2035	禁止	禁止	39万台	14%
ノルウェー	2025	禁止	禁止	14万台	80%
USA†	2030	50%以下 (目標)	販売可	33万台	2%*
中国	2030	禁止 (HEVのみ可)	販売可	136万台	5%
日本	2035	禁止 (HEVのみ可)	販売可	3万台	< 1%

† ロサンゼルスは 2030 年までに内燃機関車の乗り入れ禁止

‡ 2019年度の 3% から大幅増加 \*2021年度は 4% 程度で推移

# Liイオン電池のコストの推移



2015; 100 USD/kWh

過去30年間の間に  
97%の価格低下

Ziegler and Trancik, *Energy Environ. Sci.*, **14**, 1635 (2021).

# 自然エネルギーの活用と脱炭素社会の実現



自然エネルギーの急激なコスト低減と脱炭素社会実現への期待

中東における太陽光発電

日本 < 10 円/kWh

コスト **1.35 円/kWh** を記録

2021年 アブダビ UAE

40 – 62 kWh

石炭 11 円/kWh

原子力 16 円/kWh



<https://www3.nissan.co.jp/vehicles/new/leaf.html>

自動車における脱内燃機関 + 社会インフラとしての蓄電池の活用

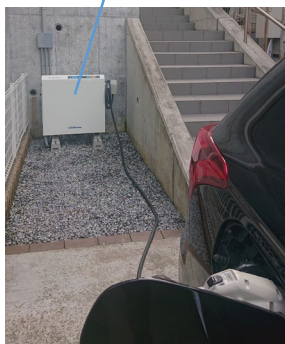
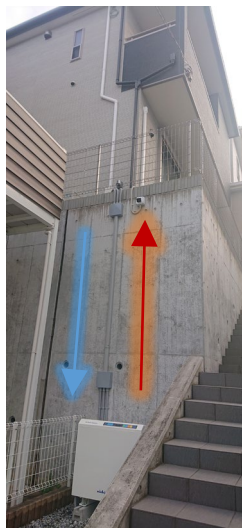
# 電気自動車と再生可能エネルギー

## 蓄電デバイスに立脚した持続可能エネルギー社会の構築

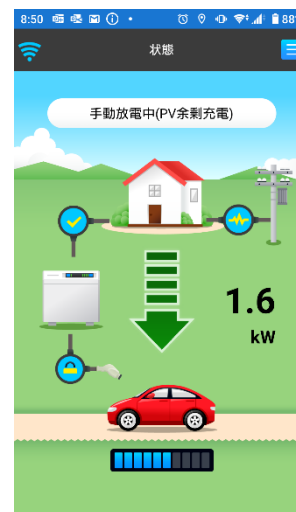


屋根に太陽光パネル  
(出力 4.4 kW)

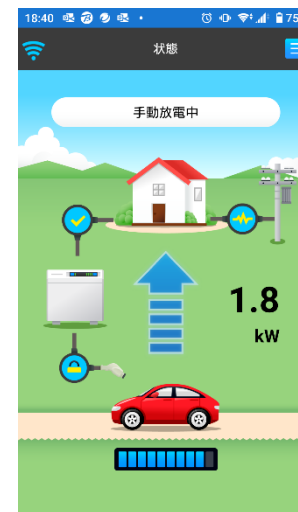
V2H 機器  
(Vehicle to Home)



PHEV  
(電池容量 13.8 kWh)



昼間



夜間

# 電気自動車とモビリティの進化 (MaaS)

トヨタ自動車; e-Palette



<https://global.toyota/jp/newsroom/corporate/29933339.html>

今後、自動運転やシェアリングが進めば、より低容量の電池を搭載したEVが主役となる可能性もあり、現状のEVの考え方を適用することはできなくなる。

すでに商用車では実現; 電池容量 16 kWh, 150 km 走行 →

## Mobility as a Service (MaaS)

自家用車を保有する社会ではなく、  
自動運転のEVを共有する世界

移動者は限られた距離だけに乗る

→ 短い移動距離

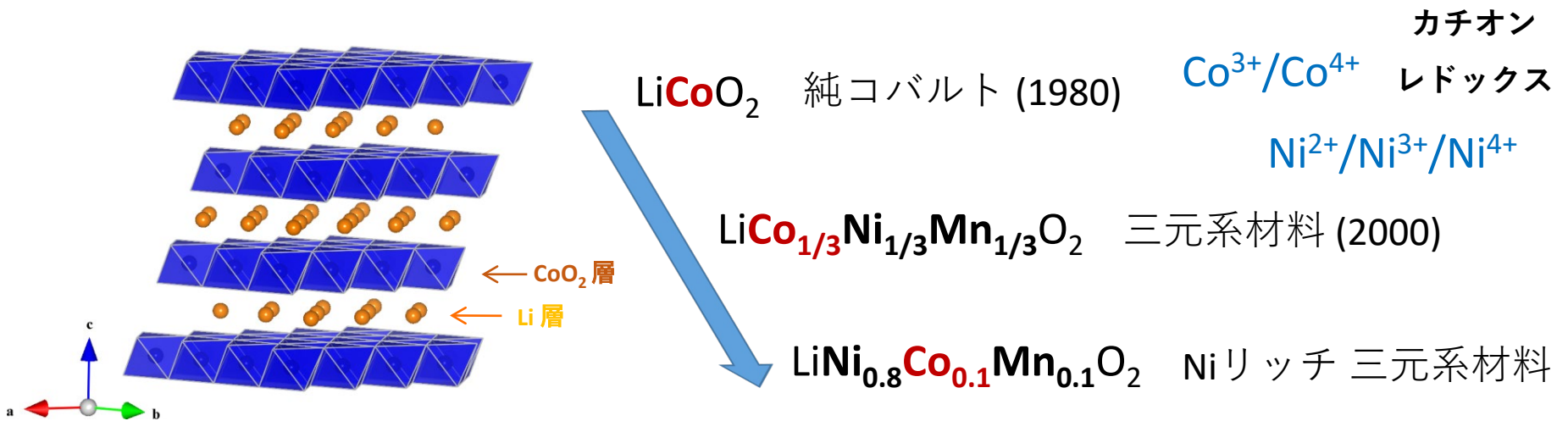
→ 電池容量は過剰には必要無し

→ 急速充電特性などを重視



<https://www.asahi.com/articles/ASMCF4RRPMCFULFA016.html>

# 正極材料の変遷



John B. Goodenough

*Mat. Res. Bull.*, **15**, 783, 1980

被引用件数 > 2400 回

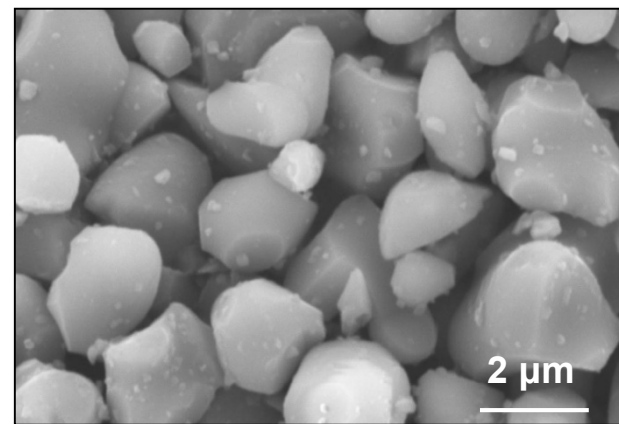
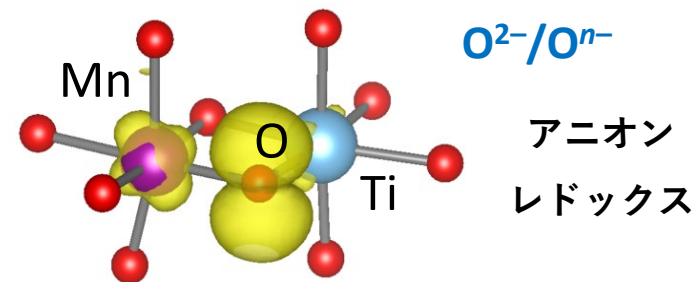
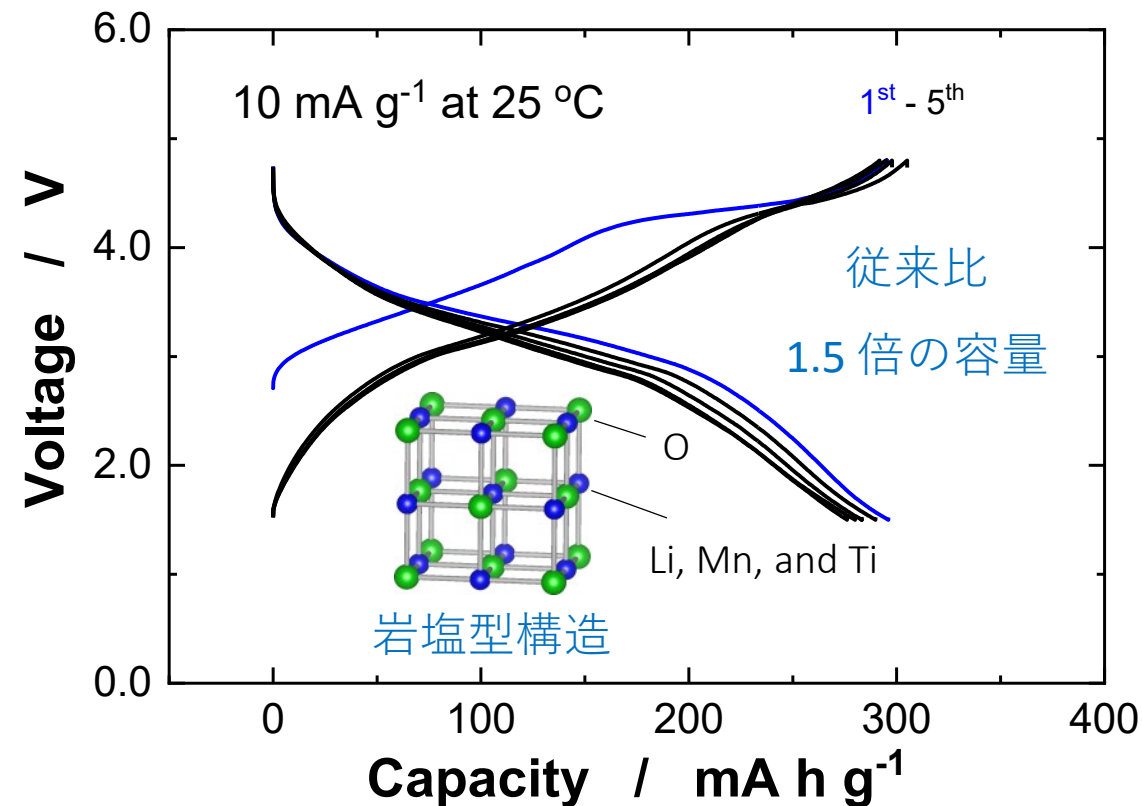
N. Yabuuchi and T. Ohzuku

*J. Power Sources*, **119**, 171, 2003

被引用件数 > 1000 回

# 正極材料の未来; Co/Ni フリー材料

安価なマンガンとチタンをベースとした新材料;  $\text{Li}_{1.2}\text{Mn}_{0.4}\text{Ti}_{0.4}\text{O}_2$

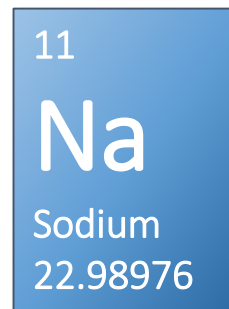
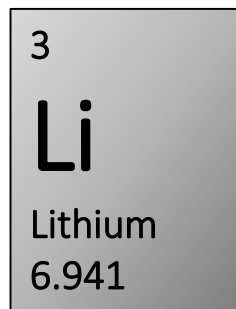


Y. Kobayashi *et al.*, N. Yabuuchi, *Materials Today*, **37**, 43 (2020).

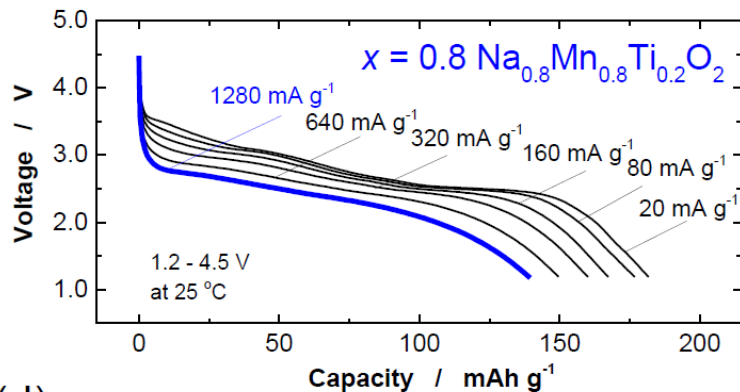
M. Sawamura *et al.* and N. Yabuuchi, *ACS Central Science*, **6**, 2326 (2020).



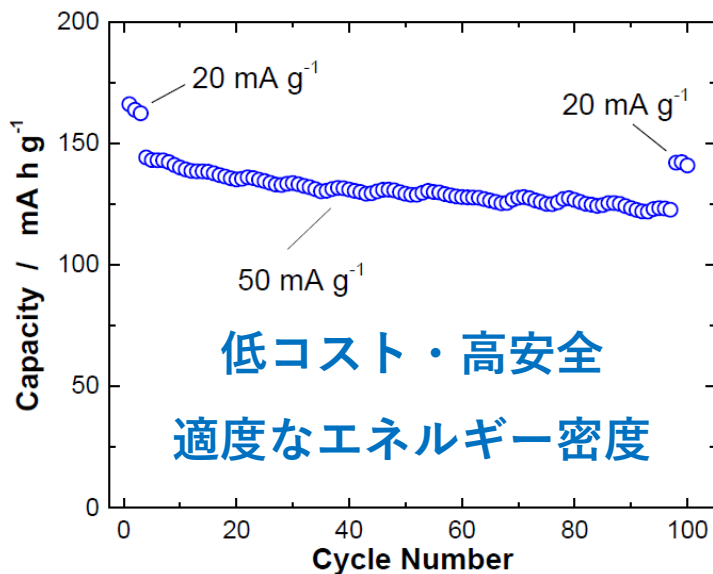
# リチウムからの脱却と ナトリウムの蓄電池への活用



# 汎用元素からなる電池材料

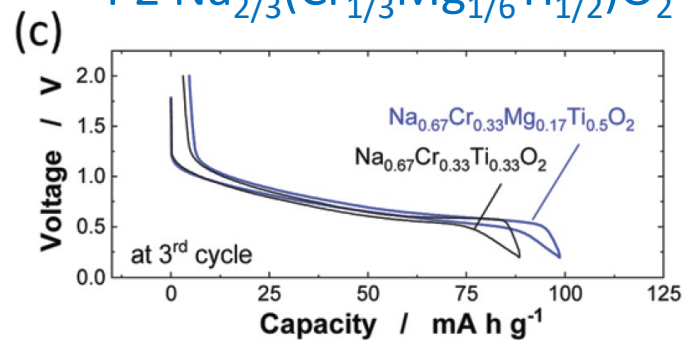
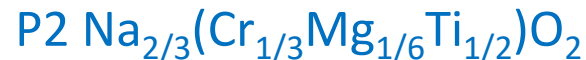


(d)

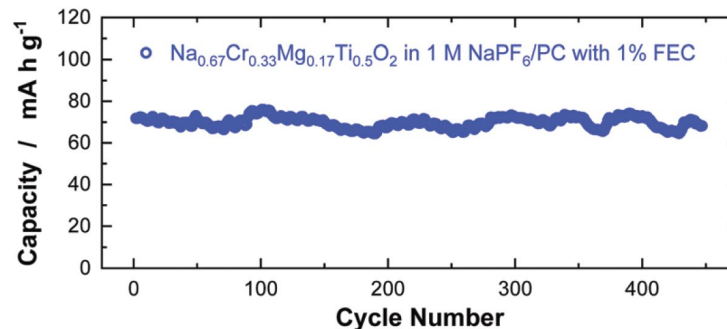
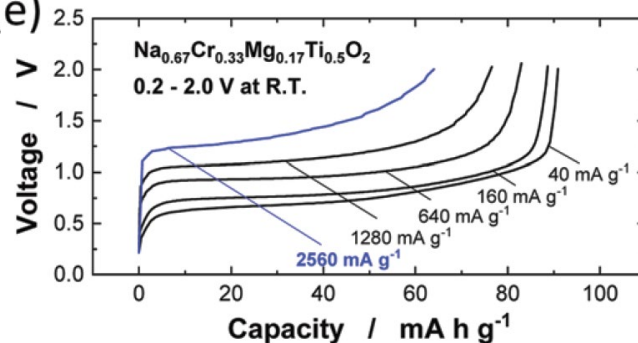


T. Sato *et al.* and N. Yabuuchi,

*Energy Material Advances*, 9857563 (2021).



(e)

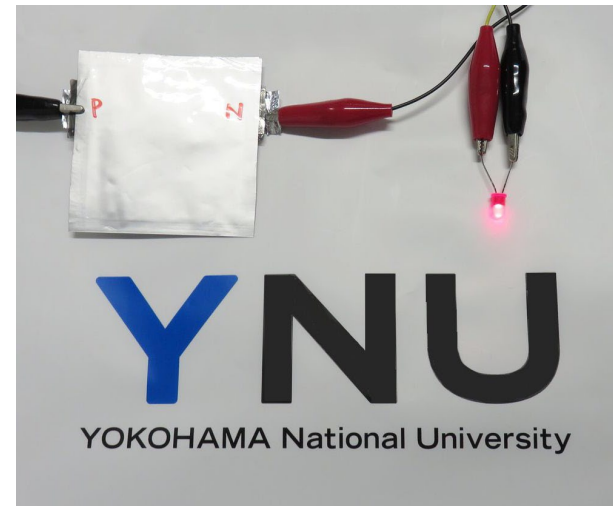
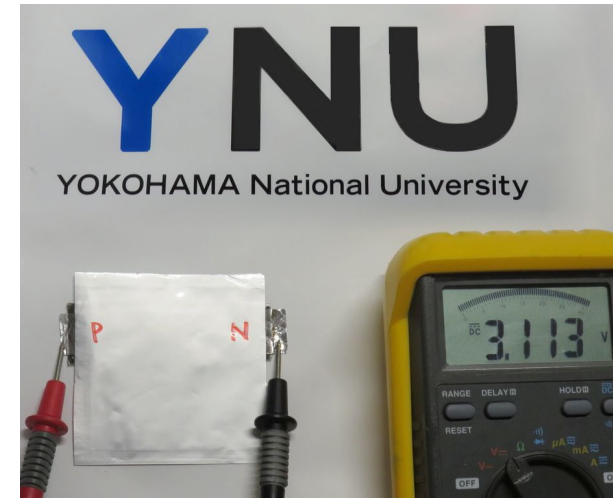
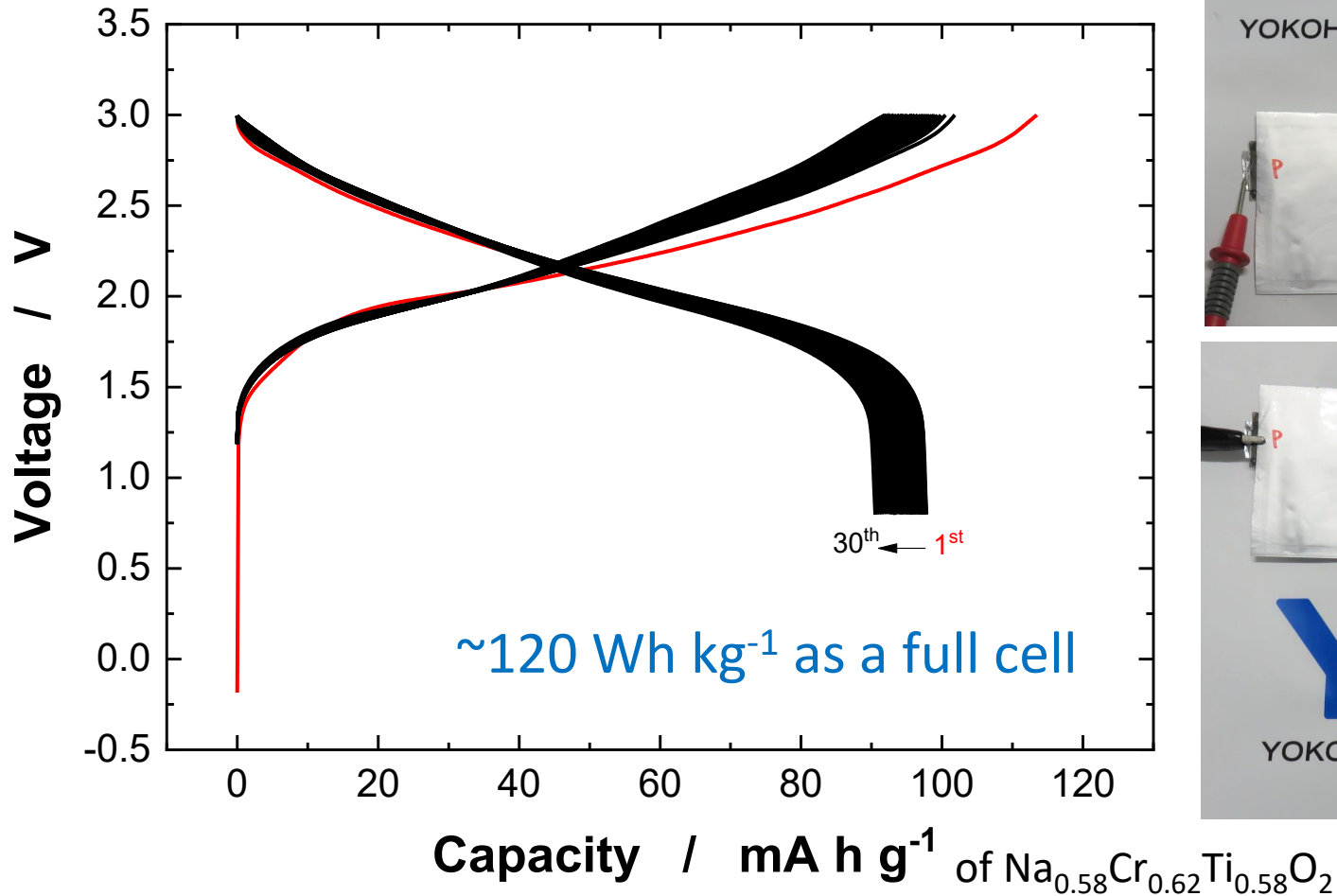


R. Umezawa *et al.* and N. Yabuuchi,

*Chemical Communications*, **57**, 2756 (2021).

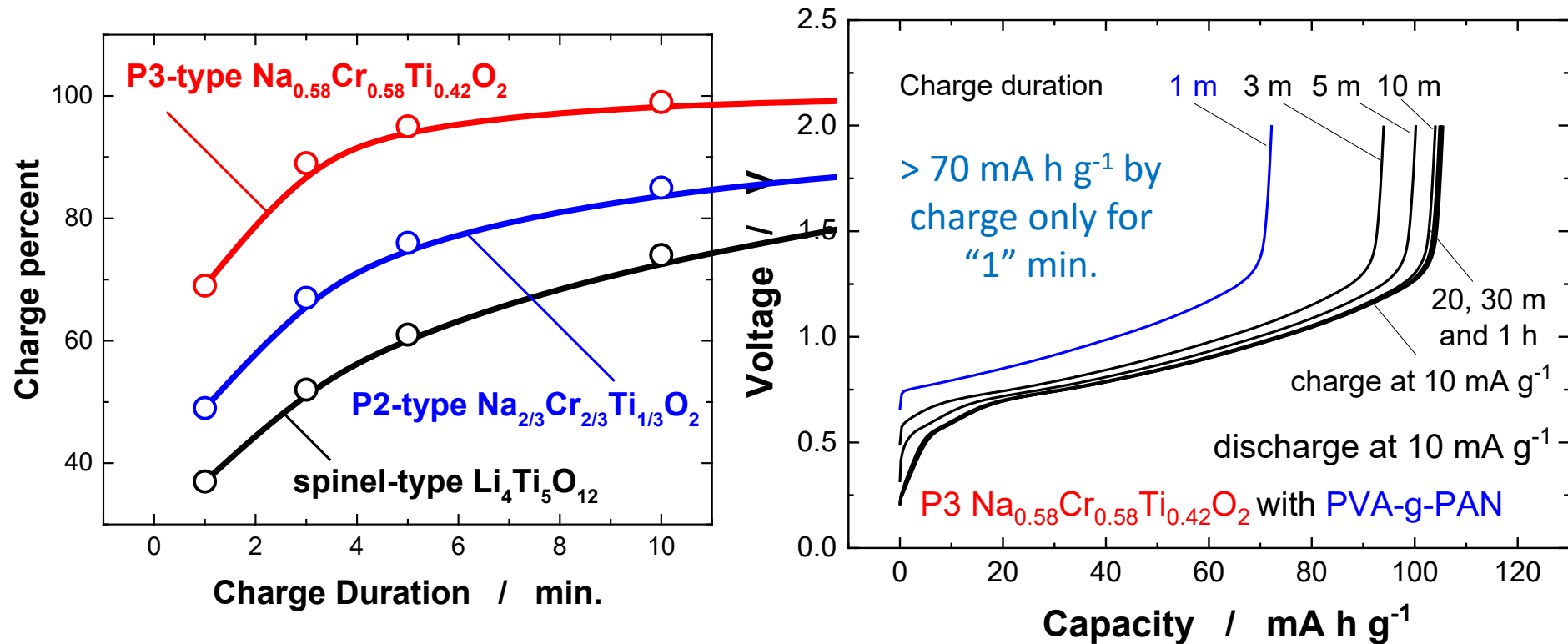
# 新しい3V系蓄電池; ナトリウムイオン電池

## NaCrO<sub>2</sub>/Na<sub>0.58</sub>Cr<sub>0.62</sub>Ti<sub>0.58</sub>O<sub>2</sub> Full Cell



リチウムとニッケルを使わない高エネルギー蓄電池を実証

# わずか3分で9割充電可能な Ti 系電極材料



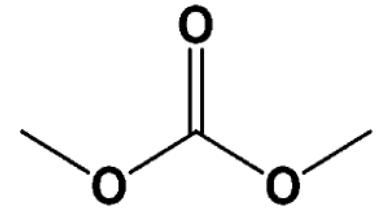
- ✓ ナトリウム金属の析出を起こすことなく、安全に急速充電可能
- ✓ エネルギー密度では Li イオン電池には勝てないが、急速充電などの特徴を生かした電池開発に期待

# Liイオン電池の安全性

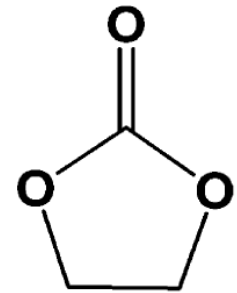


停車中の VW 製 ID.3 が炎上 (オランダ 2021年8月)

<https://www.carscoops.com/2021/08/vw-id-3-destroyed-after-bursting-in-flames-in-the-netherlands/>



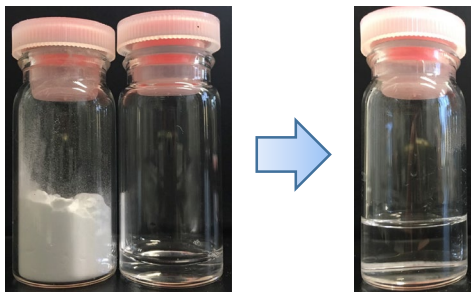
炭酸ジメチル



炭酸エチレン

可燃性の有機溶媒を  
電解液として利用

# 安全・安心な水系リチウムイオン電池



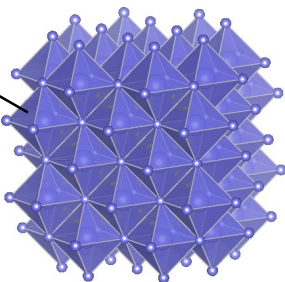
**LiTFSA**     **H<sub>2</sub>O**     **21 mol kg<sup>-1</sup>**  
 6.0 g     1.0 g     **LiTFSA/H<sub>2</sub>O**  
 (21 mmol) (56 mmol)     濃厚水系電解液  
 モル比 (LiTFSA:H<sub>2</sub>O = 1:2.6)

正極; スピネル型 LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>

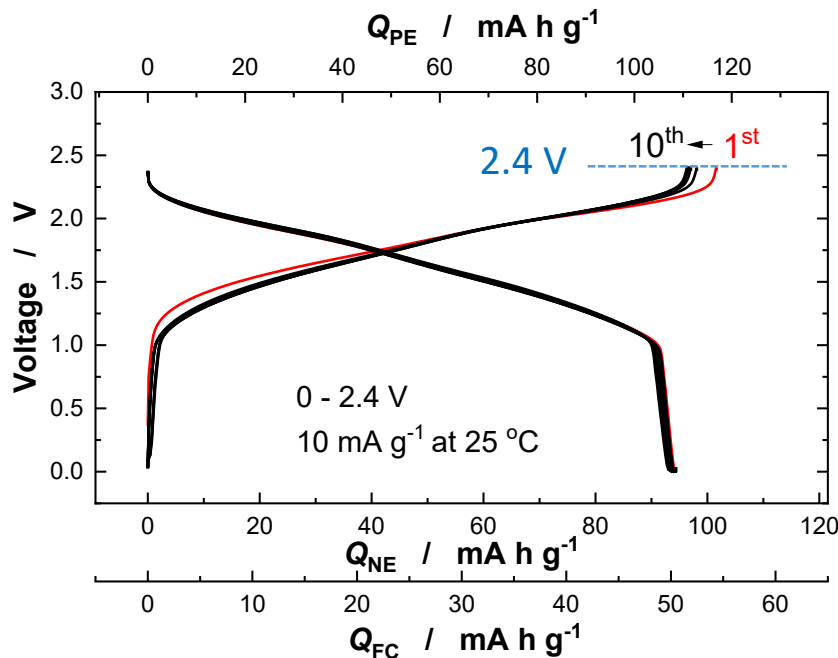
負極: 岩塩型モリブデン酸化物



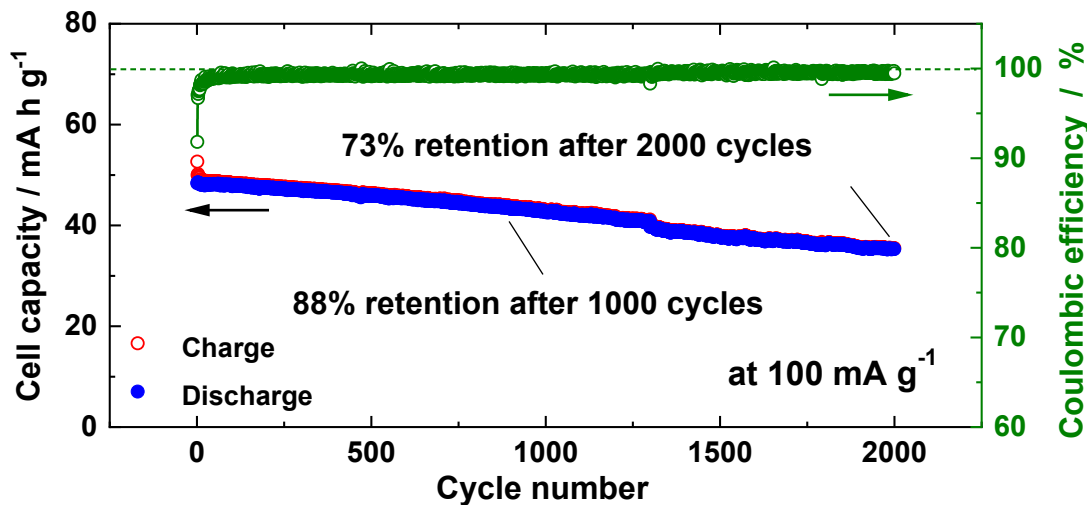
Li, Nb  
and Mo



負極材料の  
結晶構造



水系電解液として可逆な 2 V の作動電圧を実現 (100 Wh kg<sup>-1</sup>)



J. Yun *et al.*, and N. Yabuuchi, *PNAS*, 118, e2024969118 (2021).

水系電解液を用いながら優れた寿命を実現

# 蓄電池の汎用化と高機能・多機能化

## 第一世代 Li イオン蓄電池 (電子機器用途)

LiCoO<sub>2</sub>/Graphite

電気自動車用

LiCo<sub>x</sub>Ni<sub>y</sub>Mn<sub>1-x-y</sub>O<sub>2</sub>/Graphite

Li イオン蓄電池

既に商用化

### ✓ 長寿命電池

### ✓ 超低コスト, 高入出力, 高安全電池

格子膨張収縮無し

キャパシター

酸化物固体電解質

(オールセラミックス電池)

ナトリウムイオン電池

水系Li/Naイオン電池

硫化物 Li イオン電池

### ✓ 高エネルギー密度次世代 Li 蓄電池

リチウム金属・硫黄・アニオンレドックス・貴金属材料