

(2G13) $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ MXene NMP分散液を導電助剤として 用いたナトリウムイオン電池の特性評価

2025年11月19日

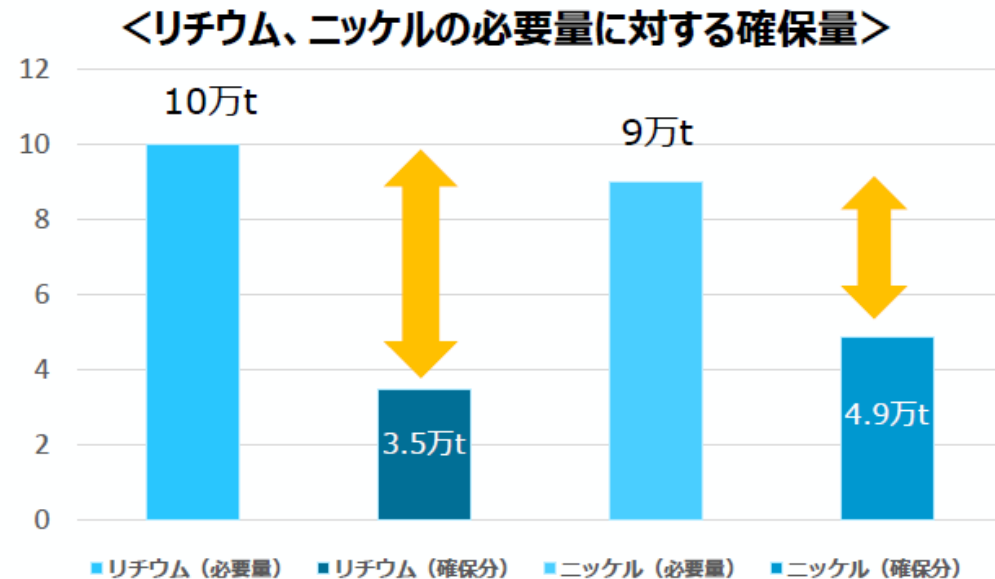
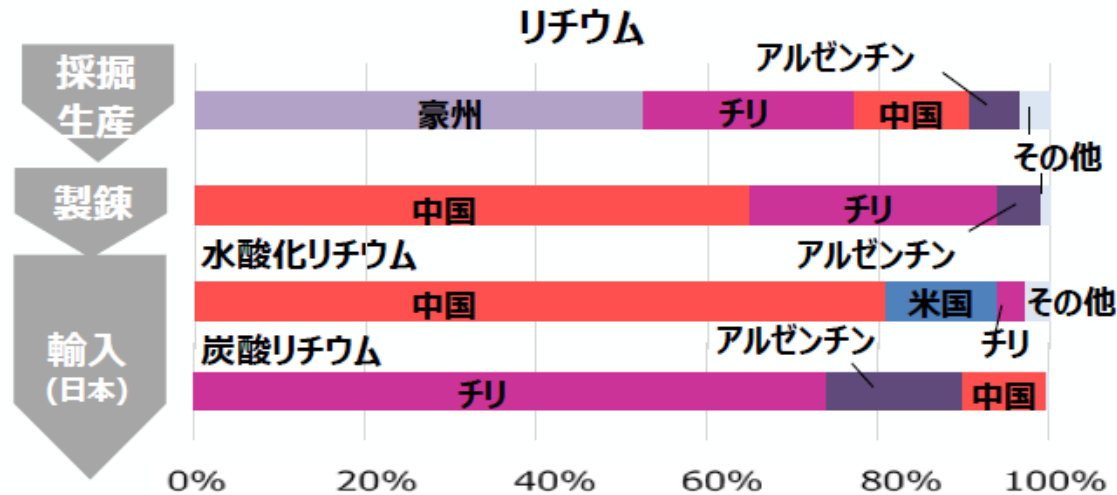
日本材料技研株式会社 大井寛崇 (hirotaka.ooi@jmtc.co.jp), 石井良美

東京都立大学 小菅尚人、金村聖志



日本材料技研株式会社
Japan Material Technologies Corporation

ナトリウムイオン電池 (SIB)について



ナトリウムイオン電池開発の必要性⁽¹⁾

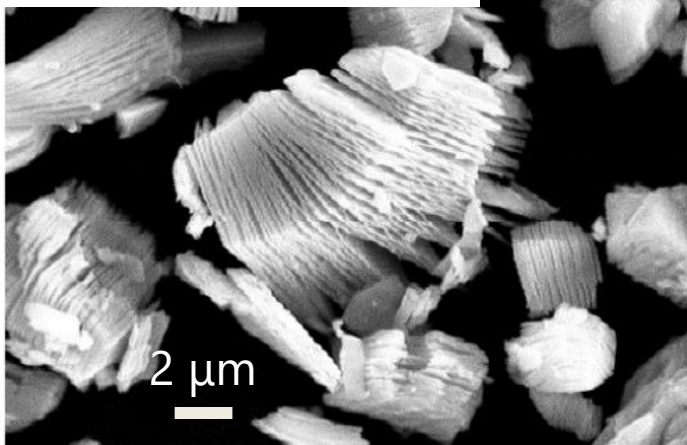
- 日本は蓄電池原料のリチウム等の調達を特定国に依存
- リチウムの主用途は蓄電池の正極材料
- 将来需要に対して確保量が不足している

SIBの開発動向^(2,3)

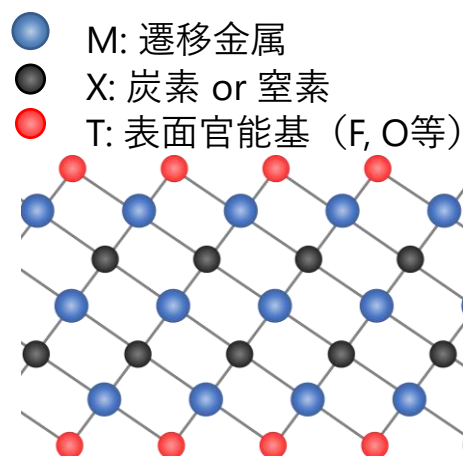
- 電池材料（電極、導電助剤、バインダー、電解液等）の探索と高性能化
- 電池材料の組み合わせ最適化

- (1) バッテリーメタルの安定供給確保に向けた方向性, 2025年3月12日, 経済産業省
- (2) J. Chen, et al., *Energy Environ. Mater.* **2023**, 6, e12633
- (3) K. Deshmukh, et al., *J Mater Sci*, **2025** 60:3609–3633

多層MXeneのSEM像



結晶構造



H																	He	
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	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	
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og	

M成分

X成分

T成分

- MXeneは一般式 $M_{n+1}X_nT_x$ で表される、二次元ナノシート形状の遷移金属炭化物あるいは窒化物の総称。⁽¹⁾
Mは金属、Xは炭素または窒素、Tは酸素やフッ素等の表面官能基。
- シートがアコーディオン状に積層した多層MXene、薄いシートに剥離された剥離MXeneの形態がある。
- 元素の組み合わせで50種類以上のバリエーション。
- $Ti_3C_2T_x$ MXene：高導電性（24,000 S/cm⁽²⁾）、高分散性。
- MXene／樹脂複合材料についても0.05 ~ 6.9 vol%と低いパーコレーション閾値が報告されている。⁽³⁾
- 応用例：蓄電池やキャパシタの電極材料。透明導電膜。センサ。触媒。電磁波シールド等。

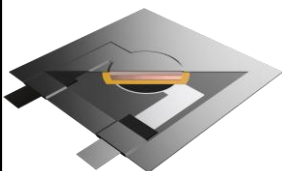
(1) Naguib M., et al., *Adv. Mater.*, 2011, **23**, 4248-4253.
(2) Ali. S. Zeraati., et al., *Nanoscale*, 2021, **13**, 3572
(3) F. Damiri, et al., *Materials* 2022, **15(5)**, 1666

MXeneを導電助剤に用いたリチウムイオン電池

電極組成

- LFP : MXene : PVDF_{W#9100} = 96 : 2 : 2

セル構成（リチウムイオン電池）

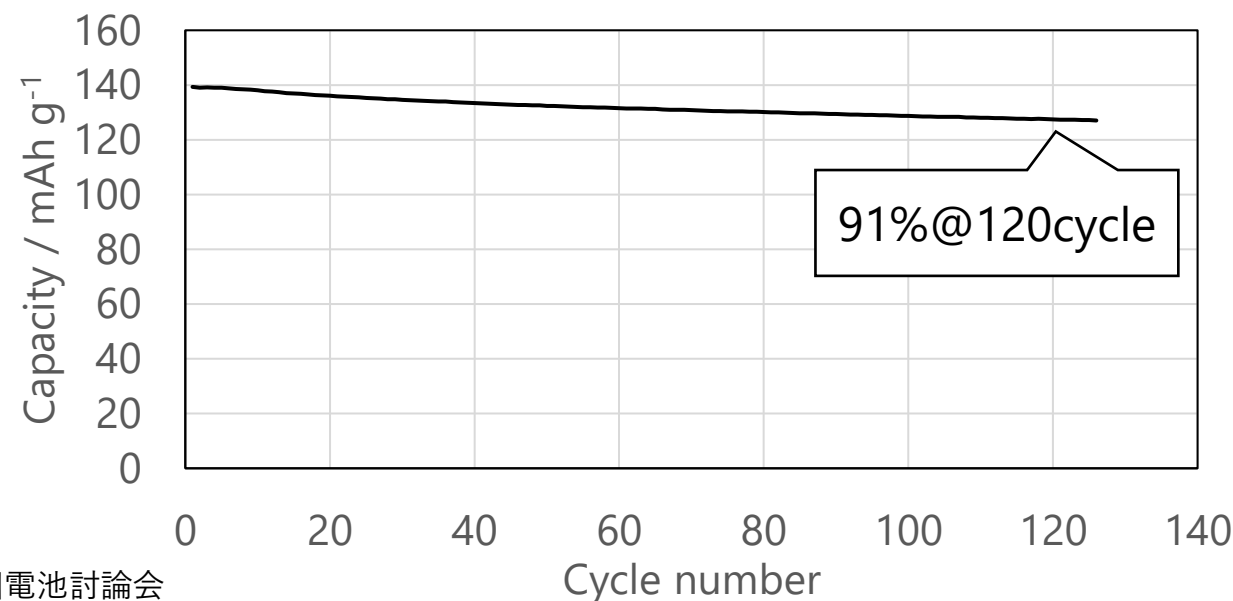
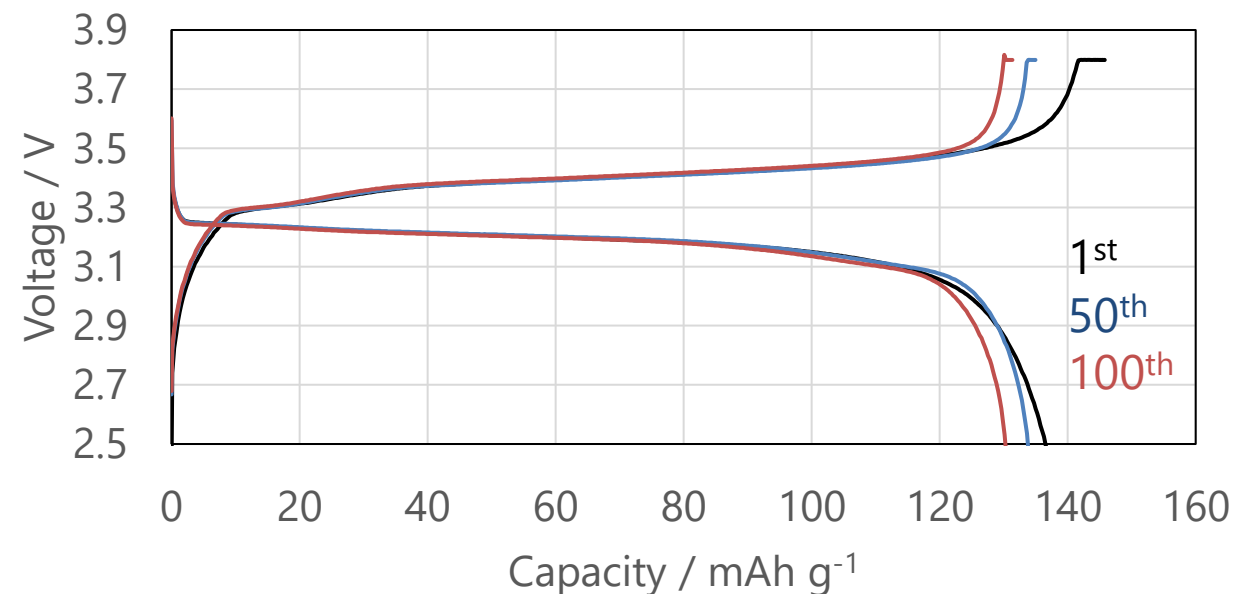


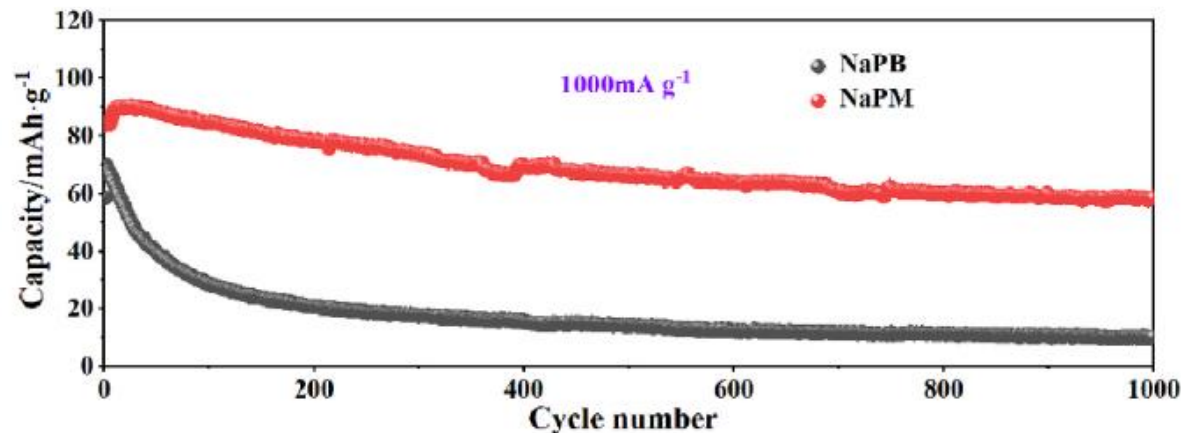
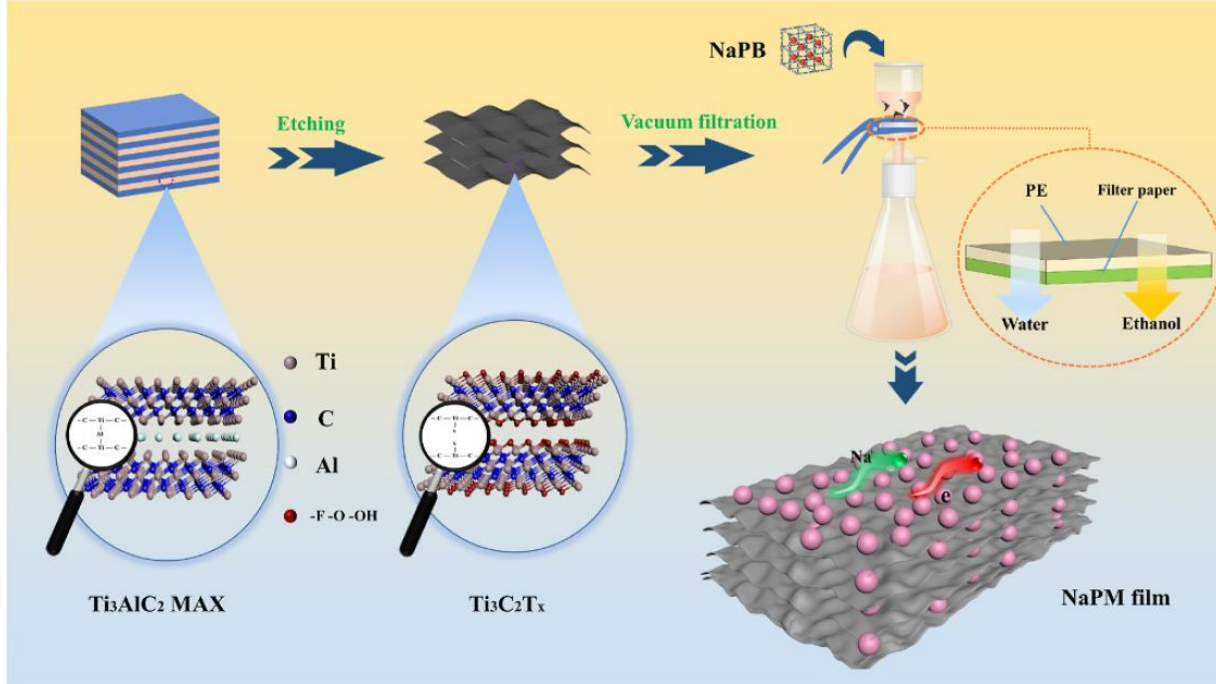
- Cathode: LFP, 1.5 mAh cm⁻²
- Anode: Gr, 2.0 mAh cm⁻²
- Separator: 3DOM Polyimide
- Electrolyte: 0.2M LiPF₆ + 1.3M LiFSA/EC:PC(1:1) + 1%VC + 1%PS

ラミネート
セル

充放電条件

- CC-CV充電 / CC放電
- カットオフ電位 : 3.8 V-2.5 V
- 充放電レート : 1C
- 測定温度 : 30 °C





MXeneへの期待

- MXeneの持つ高い電気導電性や、シート間の隙間でのイオン伝導
- MXeneの機械的柔軟性
- 活物質の膨張収縮に耐える電極の骨組み機能

MXeneを用いたSIB^(1,2,3)

- MXeneの層間に活物質 (Na₃V₂(PO₄)₃, NaFeFe(CN)₆ 等)をサンドイッチした構造の電極でサイクル特性やレート特性の向上が報告されている

課題

- MXeneは水分散液を使用
- 活物質-MXene複合体の作製に吸引濾過のように通常の電池製造に用いられないプロセスを利用

- (1) J. Chun, et al., *Journal of Power Sources* **2023**, 576, 233165
(2) Y. Chen, et al., *Dalton Trans.*, **2022**, 51, 15425–15435
(3) J. Yu, et al., *Sustainable Materials and Technologies*, **2024**, 41, e01052

目的

通常の混練・塗工成膜工程に利用可能な導電助剤として、MXene NMP分散液を開発する。

本研究ではMXeneのNMP分散液を作製し、それを用いてSIBを作製する。

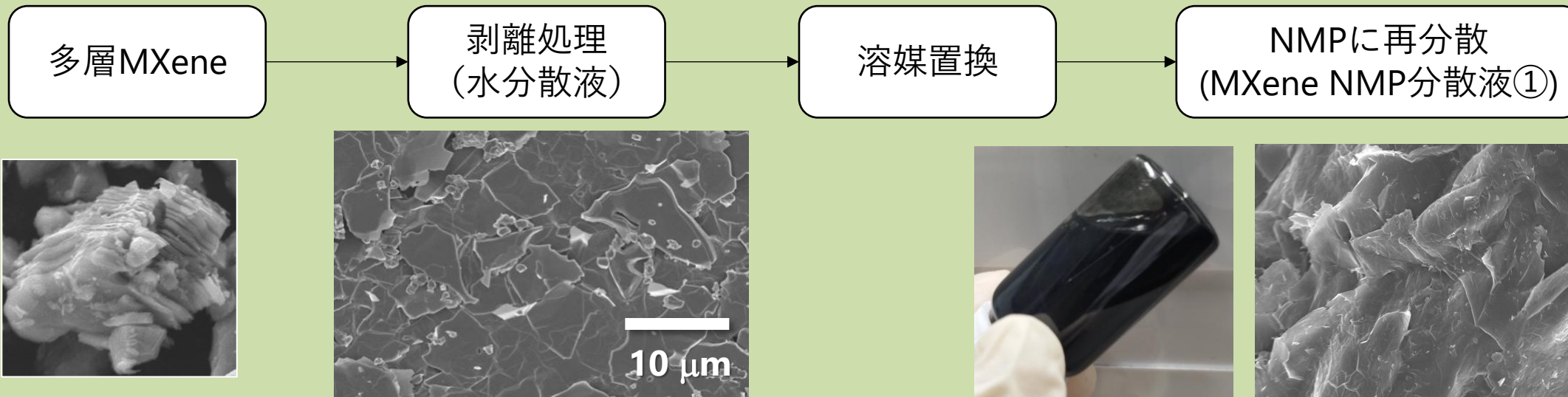
実験

- 多層 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ MXeneを化学剥離しNMPに分散した分散液の作製
- MXeneを導電助剤とするSIBの評価

Ti₃C₂T_x MXene分散液の作製

NMP 分散液①

作製手順



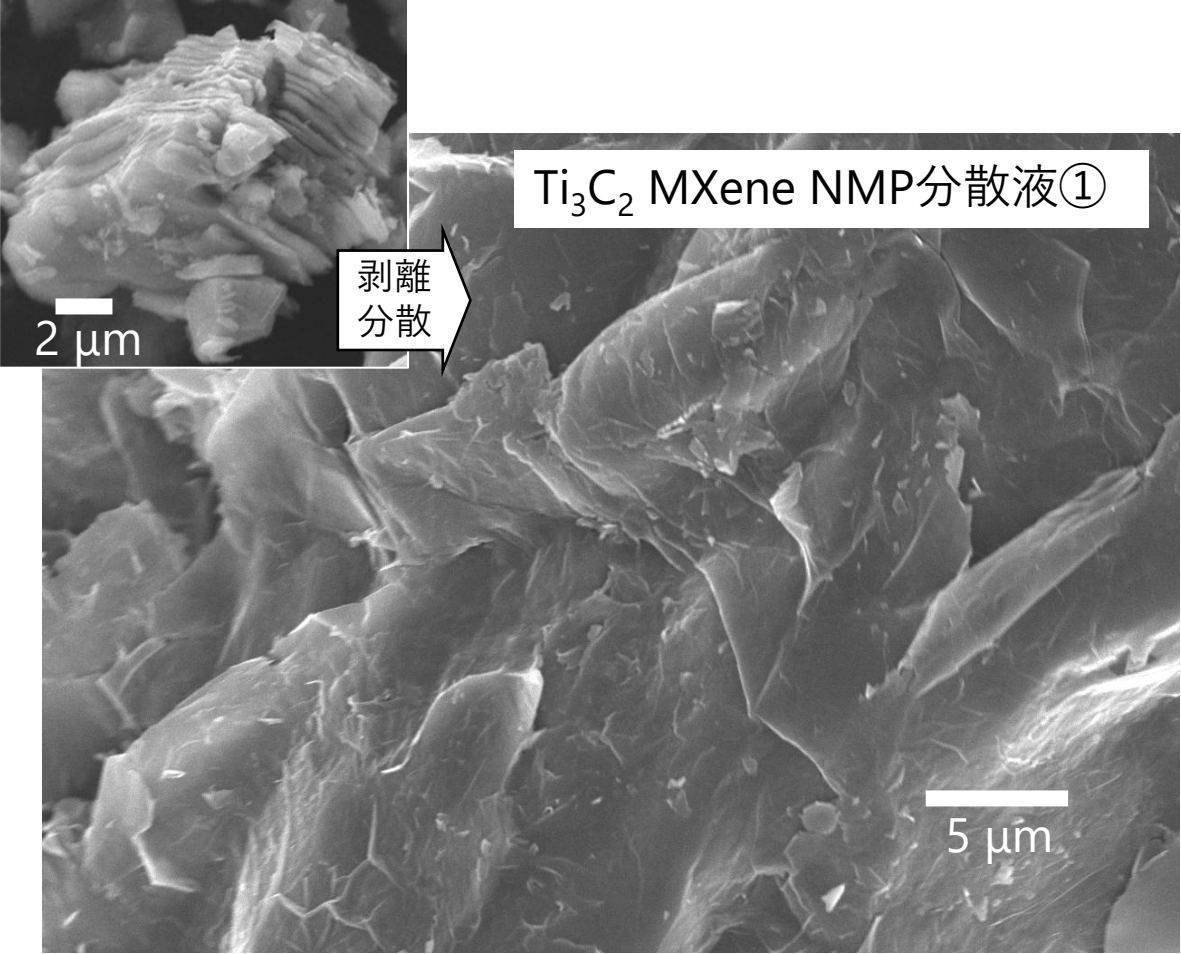
NMP 分散液②

作製手順



Ti₃C₂T_x MXene分散液の物性 (SEM)

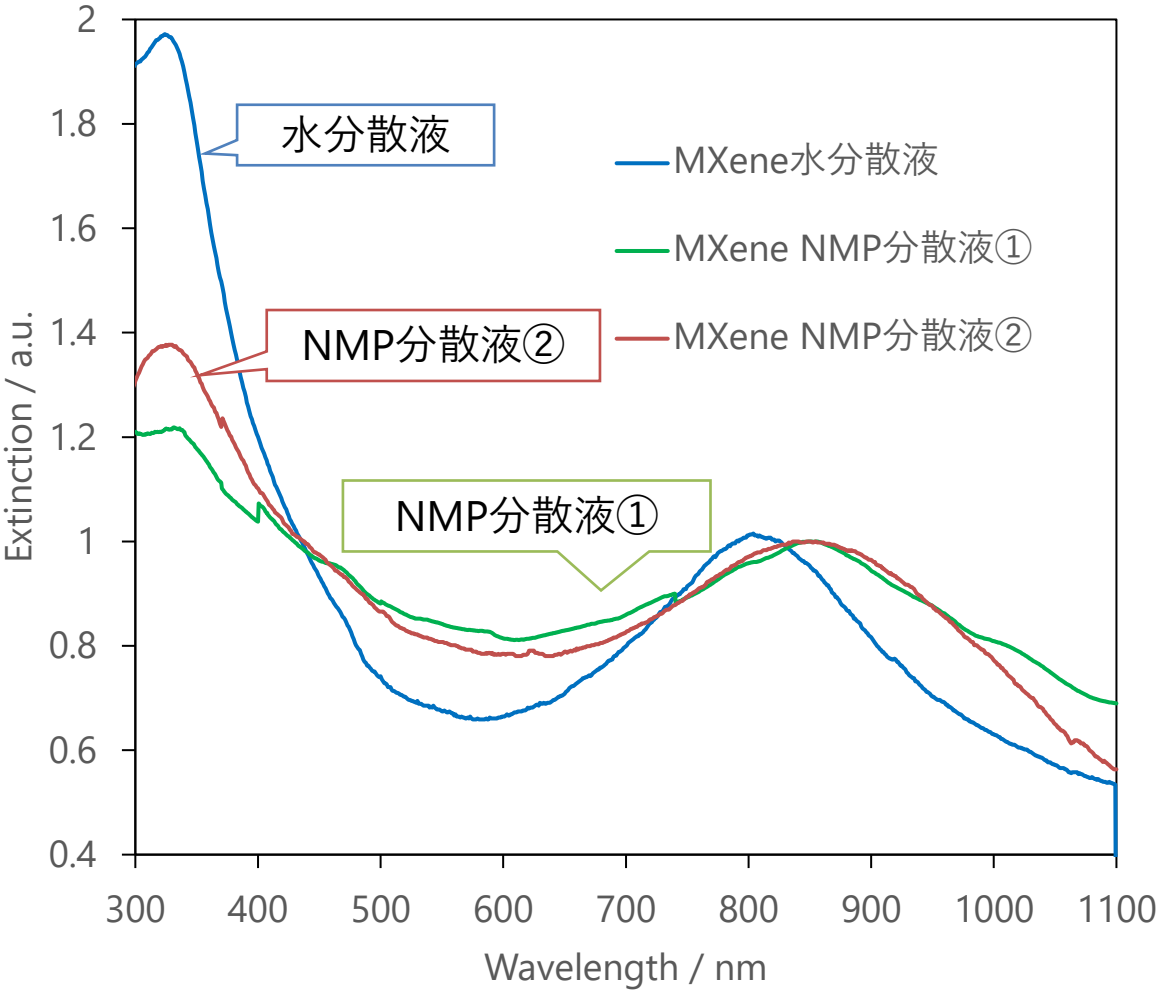
多層Ti₃C₂ MXene



	多層Ti ₃ C ₂ MXene	Ti ₃ C ₂ MXene NMP分散液①	Ti ₃ C ₂ MXene NMP分散液②
濃度 / %	-	5.8	3.9
形状	アコーディオン状	シート状	シート状
導電率* / S/cm	-	~40	~60
粒径 (d50) / μm	7.4	12	—
BET比表面積 / m ² /g	7	12	—
紫外可視吸光スペクトル	平坦な吸光特性	300nm, 800nm付近に弱いピーク	300nm, 800nm付近に弱いピーク

* 分散液を凝集後にろ過して得られたろ膜の導電率を測定

Ti₃C₂T_x MXene分散液の物性（消失スペクトル）



	多層Ti ₃ C ₂ MXene	Ti ₃ C ₂ MXene NMP分散液①	Ti ₃ C ₂ MXene NMP分散液②
濃度 / %	-	5.8	3.9
形状	アコーディオン状	シート状	シート状
導電率* / S/cm	-	~40	~60
粒径 (d50) / μm	7.4	12	—
BET比表面積 / m ² /g	7	12	—
紫外可視吸光スペクトル	平坦な吸光特性	300nm, 800nm付近に弱いピーク	300nm, 800nm付近に弱いピーク

* 分散液をろ過して得られた膜の導電率を測定

$\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$ (NVP) 正極作製方法

スラリー作製手順①

NVP粉を湿式ボールミル、乾燥



NVP粉碎粉とMXene
NMP分散液を混合



超音波分散・混練



PVDF NMP溶液添加



超音波分散・混練



NVPスラリー

電極・電池作製手順

塗布



乾燥



プレス

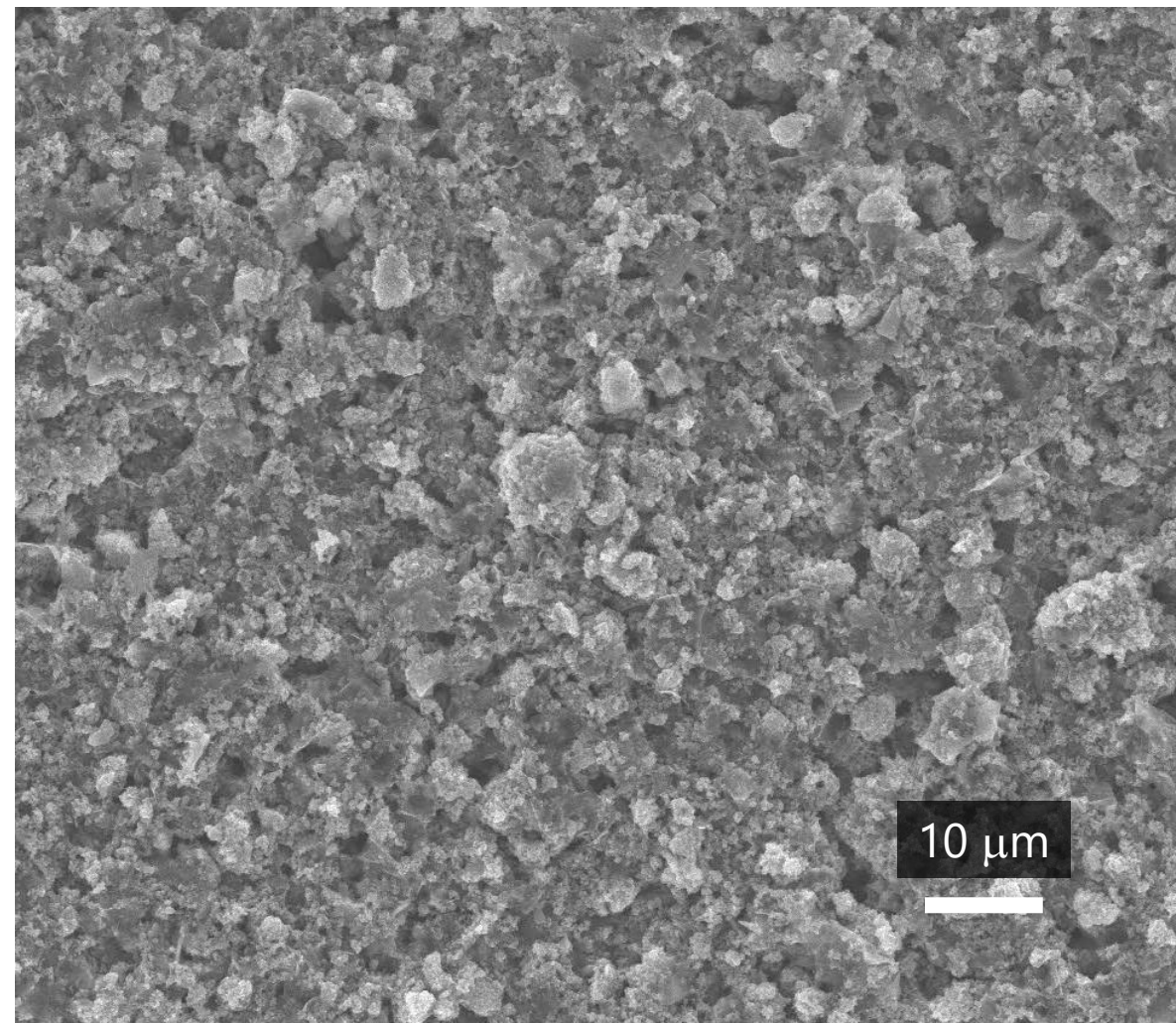


打ち抜き

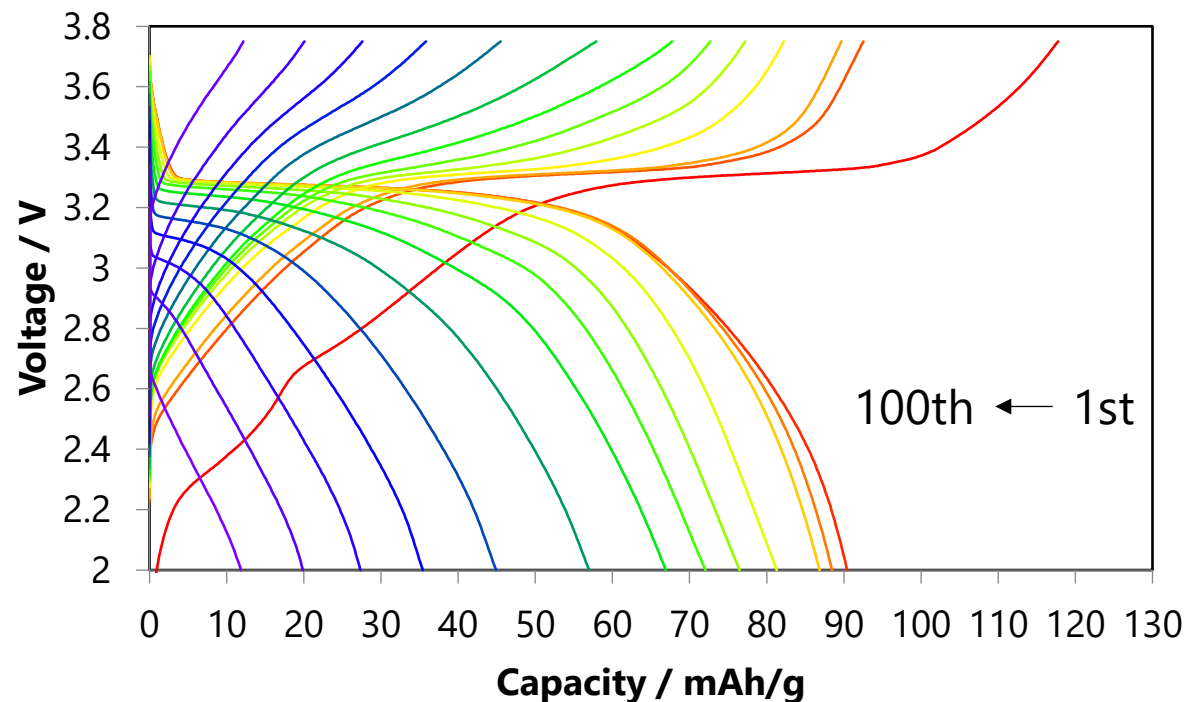


コインセル組み立て

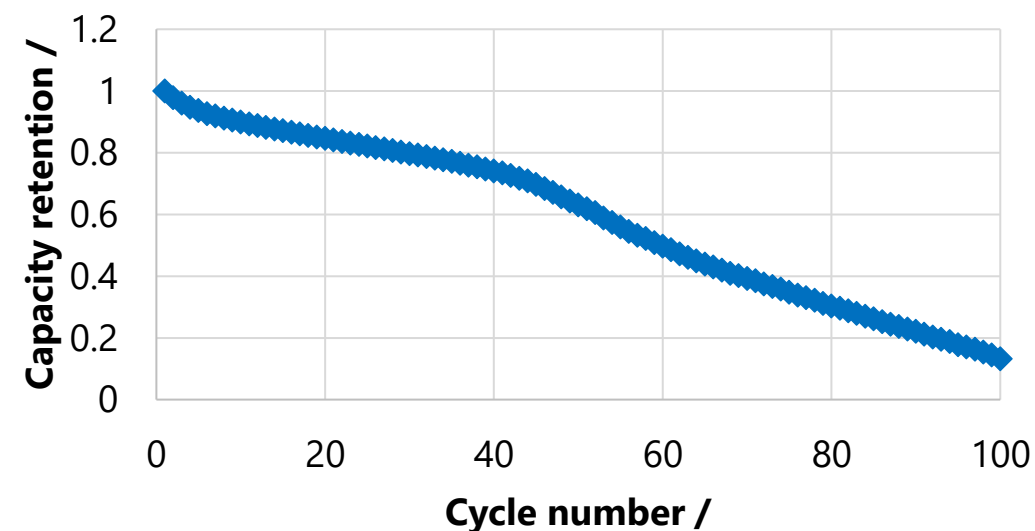
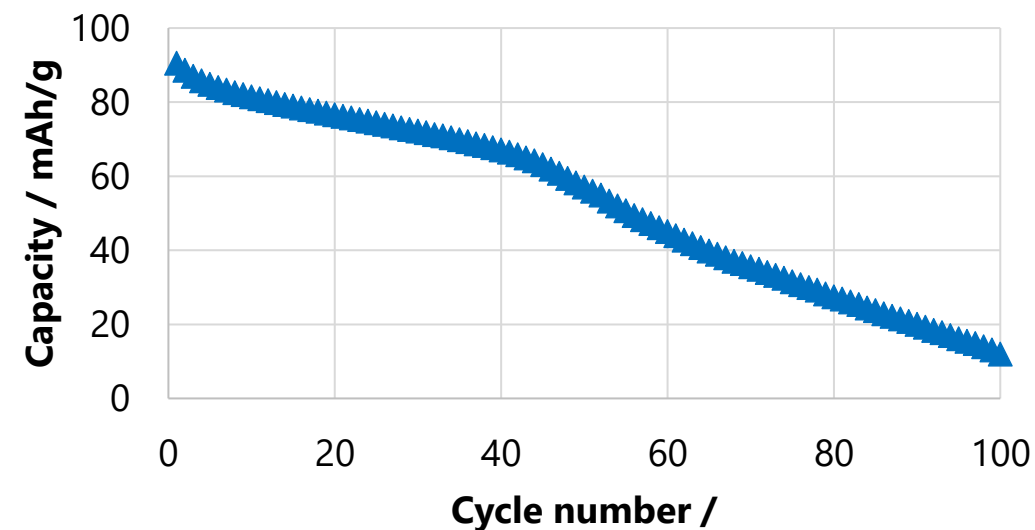
電極表面SEM像



NVP-MXene正極SIBの充放電特性



正極：NVP/MXene/PVDF (80 : 10 : 10)
(容量2.9 mAh)
負極：ハードカーボン (容量2.9 mAh)
電解液：1M NaPF_6 +2%FEC, EC:DMC (1:1)
電流密度：0.1C
温度：30℃
コインセル



結果

- MXene NMP分散液を作製した。表面修飾によりMXeneと溶媒の親和性を調整することに成功した。
- NVPとMXene NMP分散液, PVDFを混練・塗工した正極を用いてSIBを作製した。
- 作製した正極は91 mAh/gの初期放電容量を示した。
- 高電位において大きな電流が観測され、これにより劣化が進行した。

今後の予定

- 高電位での劣化原因の特定
- 分散性や酸化安定性を向上させたMXene分散液の開発
- MXeneを導電助剤として用いた各種電池の試作



日本材料技研株式会社

Japan Material Technologies Corporation