YNU 横浜国立大学 YOKOHAMA National University
3DC
Press Release
2026 年 11 月 5 日

多孔性グラフェンを導電助剤に活用し、実用的なリチウムイオン電池電極の入出力性能を大きく向上

電子とリチウムイオンの三次元輸送経路を形成し、高エネルギー・高出力化へ

本研究のポイント

・実用的なリチウムイオン電池に用いられる高密度かつ厚膜の電極では、電極内部のイオン輸送が妨げられ、急速充放電性能の低下が実用的な課題だった。
・多孔性グラフェンを導電助剤に用いて、実用電極の出力性能向上を実現。
・既存リチウムイオン電池の高エネルギー密度・高入出力化両立の実現が期待。

【研究概要】

横浜国立大学大学院工学研究院／先端科学高等研究院の宇賀田 洋介 助教、大学院工学研究院／先端科学高等研究院／総合学術高等研究院の藪内 直明 教授、株式会社 3DC らの研究グループは、三次元多孔質炭素材料である Graphene MesoSponge® （GMS）※1 をリチウムイオン電池電極の導電助剤※2 として用いることで、高密度かつ厚膜の電極の急速放電性能を大きく向上できることを明らかにしました。

リチウムイオン電池の高エネルギー密度化には、電極を厚くして活物質※3 の量を増やし、高密度化することが重要です。しかし、これに伴い電極内部の細孔を満たす電解液中のリチウムイオン（Li^+）輸送が妨げられ、急速充放電性能が低下する課題があります。本研究では、GMS をわずか 1 重量%添加することで、その炭素骨格が電子輸送経路として働くだけでなく、GMS 内部の細孔に電解液が保持され、Li^+の輸送経路としても機能することを見いだしました。その結果、単層カーボンナノチューブ（SWCNT）※4 を用いた電極と比較して、高エネルギー密度と優れた入出力特性の両立を立証しました。

本研究成果は、Wiley 社が出版する 「Advanced Energy Materials」誌（インパクトファクター 25.5）に 2026 年 10 月 8 日付にオンラインで掲載されました。

【社会的な背景】

リチウムイオン電池は、電気自動車や大型蓄電システムなどへの利用が広がり、さらなる高エネルギー密度化が求められています。その実現には、高容量の電極材料の開発に加え、電極を厚くして活物質の量を増やし、高密度化することが重要です。しかし、電極の厚膜化・高密度化に伴い、内部の細孔が減少し、電解液中のリチウムイオン（Li^+）輸送が妨げられるため、急速充放電性能が低下するという課題があります。現在、カーボンナノチューブなどの導電助剤が実用化されていますが、これらは主に電子輸送を担うものであり、高密度電極内部の Li^+輸送経路を確保することが課題となっています。

【研究成果】

本研究グループは、三次元的につながったグラフェン骨格と多数のナノサイズの細孔を持つ Graphene MesoSponge®（GMS）（GMS 詳細：https://www.3dc.co.jp/ja/innovation）を導電助剤として、高密度かつ厚膜のリチウムイオン電池電極に適用しました。GMS を 1 重量%添加した電極を作製し、高性能な導電助剤として利用されている単層カーボンナノチューブ（SWCNT）を用いた電極と比較すると、図 1 左に示すように、GMS では炭素骨格が電子輸送経路として働くだけでなく、内部の細孔に保持された電解液が Li^+輸送経路としても機能します。その結果、高密度電極内部でも電子と Li^+の三次元輸送経路を確保できます。一方、SWCNT は電子輸送には優れていますが、GMS のような内部細孔を持たないため、高密度電極における Li^+輸送経路の確保には限界があります。

図 1 右に示す放電特性では、低電流条件で両電極が同程度の容量を示す一方、電流の増加に伴い性能差が顕著になりました。特に 800 mA g^{-1}（15.5 mA cm^{-2}）という大きな電流では、SWCNT を用いた電極の放電容量が大きく低下するのに対し、GMS を用いた電極は高い容量を維持しました。これは、GMS が電子輸送だけでなく、内部に保持された電解液を介した Li^+輸送にも寄与することで、高密度・厚膜電極で問題となるイオン輸送の制限を緩和できるためです。

本成果は、導電助剤によって電子と Li^+の輸送経路を同時に形成することが、高密度・厚膜電極の急速放電性能の向上に有効であり、高エネルギー密度と高入出力特性を両立する新たな電極設計指針となることを示しています。

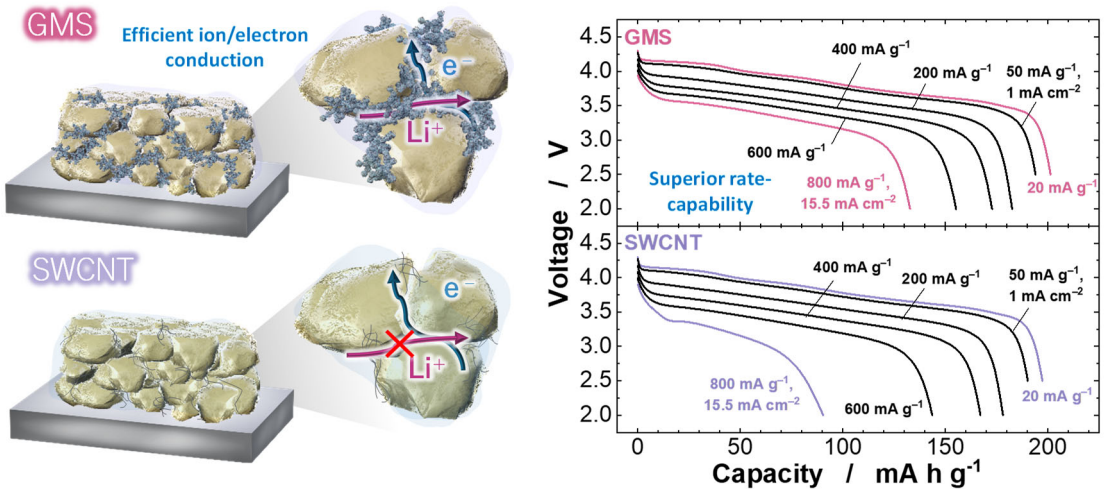


図 1　Graphene MesoSponge® (GMS)を導電助剤に用いた高密度・厚膜電極における電子・Li^+輸送のモデル図と急速放電特性

左：GMS および単層カーボンナノチューブ（SWCNT）を用いた電極内の電子と Li^+の輸送の模式図。GMS では、炭素骨格による電子輸送に加え、内部細孔に保持された電解液を介して Li^+が輸送されます。右：各電極の異なる電流密度における放電曲線。GMS を用いた電極は、高電流密度でも高い放電容量を維持しました。

【今後の展開】

今後、GMS の添加量や電極作製条件、活物質やバインダーとの組み合わせを最適化することで、さらなる電極性能の向上が期待されます。また、本研究で示した電子とリチウムイオンの輸送経路を同時に形成する電極設計は、リチウムイオン電池に限らず、さまざまな電池系への応用が期待され、高エネルギー密度と高入出力の両立に貢献すると考えられます。

本成果は、科学技術振興機構（JST）革新的 GX 技術創出事業（GteX）（課題番号：JPMJGX23S3）、JST 先端国際共同研究推進事業（ASPIRE）（課題番号：JPMJAP2313, JPMJAP2528）、および JST 戦略的創造研究支援事業 さきがけ（課題番号：JPMJPR25M2）などの支援により実施されました。

【論文情報】

掲載誌： Advanced Energy Materials
論文題目： Unlocking Three-Dimensional Electron and Ion Transport in High-Loading and Dense Lithium-Ion Battery Electrodes Assisted via Porous Graphene Networks
著者： Yosuke Ugata, Rei Matsumoto, Sera Sato, Jaejin Lim, Yong Min Lee, Hiroshi Ueda, Atsuo Omaru, Kosuke Ishii, and Naoaki Yabuuchi
DOI： 10.1002/aenm.71677
(https://doi.org/10.1002/aenm.71677)

【用語解説】

※1. Graphene MesoSponge® （GMS）
グラフェンからなる炭素骨格が三次元的につながった、スポンジ状の多孔質炭素材料。内部に多数のナノサイズの細孔を持ち、本研究では、この細孔に電解液を保持できる特徴を利用することで高性能化を実現しています。

※2. 導電助剤
電極内部で電子を流れやすくするために、電極に少量添加する炭素材料です。カーボンブラックやカーボンナノチューブなどが用いられています。

※3. 活物質
電池の充放電に伴ってリチウムイオンを蓄えたり放出したりする材料。本研究では、リチウムとニッケルからなる層状酸化物を正極の活物質として用いています。

※4. 単層カーボンナノチューブ（SWCNT）
1 枚のグラフェンシートが円筒状に巻かれた構造をもつ炭素材料。電極に少量加えることで電子伝導性を大幅に向上できることから、商用のリチウムイオン電池にも用いられています。

本件に関するお問い合わせ先

（研究に関すること）
横浜国立大学 大学院工学研究院／先端科学高等研究院 助教
宇賀田洋介
Tel：045-339-3934
E-mail：ugata-yousuke-nr@ynu.ac.jp

横浜国立大学 大学院工学研究院／先端科学高等研究院／総合学術高等研究院 教授
藪内直明
Tel：045-339-4198
E-mail：yabuuchi-naoaki-pw@ynu.ac.jp

株式会社 3DC　コーポレート部
E-mail：info@3dc.co.jp

（報道に関すること）
横浜国立大学 総務企画部 リレーション推進課
Tel：045-339-3027
E-mail：press@ynu.ac.jp