

天然バインダー系固体高分子電解質における充填剤の分散性の調査

北見工業大学工学部機械電気系助教
パダリティ ジーワン クマール

1. はじめに

固体高分子電解質 (SPE) は、全固体型リチウム電池や電気化学キャパシタなど、安全性・柔軟性・高エネルギー密度を備えた電気化学的エネルギー貯蔵デバイスの実現に不可欠である。中でも、ポリエチレンオキシド (PEO) とリチウム塩 (例: LiTFSI 、 LiCF_3SO_3) を組み合わせた系は、エーテル酸素を介した Li^+ イオンとの配位能により、モデルマトリクスとして広く研究されてきた^{1,2)}。しかしながら、PEO 系 SPE は常温で半結晶性構造を有するため、セグメント運動が制限され、固体中でのイオン移動性が著しく低下するという本質的な課題を抱えている。この問題を克服するために、分子量の調整、共重合、可塑剤の添加、セラミックナノフィラーの導入など、非晶性を高めイオン輸送を促進するさまざまな手法が提案されてきた³⁾。とはいえ、これらの手法はしばしばコストの増加や製造工程の複雑化、さらには環境負荷の増大といった課題を伴う。

さらに、従来の合成高分子マトリクスは再生可能性が低く、生分解性にも乏しいため、持続可能性や廃棄後の処理に関する懸念がある。こうした背景のもと、**天然由来の多糖類**は、環境適合性、膜形成能、さらにはイオン伝導に適した官能基の豊富さといった利点を有する有望な代替材料として注目されている。中でも、ガラクトキシログルカンの主成分とする多糖である**タマリンドガム (TG)** は、水酸基の含有量が多く、親水性や機械的柔軟性に優れていることから、高分子電解質マトリクスとしての応用が期待される。一方で、その固体電気化学用途における可能性は、まだ十分に検討されていないのが現状である^{4,5)}。

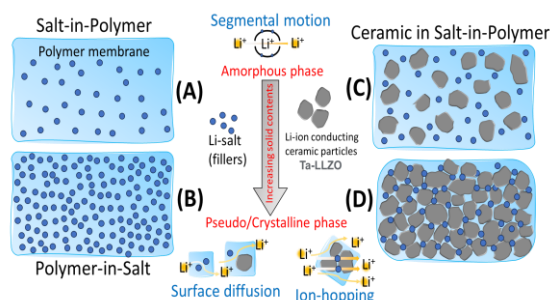
本研究では、再生可能な生体高分子を基盤とする固体高分子複合電解質の構築を目的とし、**高分子マトリクスとして TG を使い、アニオンの解離性が高く導電性向上に寄与するリチウム三フルオロメタンスルホン酸塩 (LiCF_3SO_3) を導入した⁶⁾**。本稿では、**せん断混練および熱圧縮**といった加工条件が塩の分散状態や分子間相互作用、電気化学特性に与える影響を系統的に評価した。さらに、構造-物性相関を明らかにすることで、環境調和型かつ**高性能な SPE** の合理的設計指針の確立を目指した。

2. 天然高分子電解質における課題と塩分散性の評価

天然高分子 SPE の課題とイオン輸送の理解:天然高分子は**持続可能性**の観点から優れた利点を有しているが、SPE への実用的な適用には、塩の**不均一な分散**、界面接触不良、機械的強度の不足など、いくつかの課題が存在する。ポリマー中でリチウム塩が不均一に分布すると、孤立したイオンドメインの形成や、連続的なイオン伝導経路の断絶、界面抵抗の増大が

生じ、デバイスの性能および長期的な安定性を著しく低下させることが知られている。このような課題を克服するためには、**均一な微細構造の形成**と、連続的なイオン輸送を促進する処理プロセスの導入が不可欠である⁴⁾。SPE におけるイオン輸送は、ポリマー鎖のセグメント運動、フィラー表面での拡散、リチウムイオンのホッピングの三つの主要なプロセスから構成されている。SPE 中にはアモルファス相と結晶相が共存しているため、ポリマー中におけるフィラーおよび塩の分散状態を把握することは依然として重要な課題である。従来は、**フィラーとポリマーの比率を調整**することで導電性を最適化する手法が主流であったが、フィラーが凝集して三次元構造を形成することにより、むしろ電気化学特性を劣化させる場合もある。

電気化学インピーダンス分光法による分散評価と応用:本研究では、スラリー中の粒子分散状態



図A)~D)は、様々な個体高分子電解質(SPE)におけるリチウムイオン種の予想される輸送メカニズムとともに、フィラー固形分含量の増加とポリマーマトリックス内の均一分散をグラフ化したものである。

態を評価する新しい方法として、その場電気化学インピーダンス分光法(EIS)を提案した。広い周波数領域でのインピーダンス測定と、電気二重層容量の変化に基づく解析により、スラリー内部構造を定量的に評価することを目指した。

初期調査(フェーズ1)として、TGを**基材とするスラリー中におけるカーボンブラック(CB)のせん断分散挙動を、その場EISによって解析した。**

本事例研究は、本助成金の支援を受けて実施したものである。非ニュートン性TGスラリーにおけるCBの分散挙動を評価するため、カスタム設計された四端子導電度セル(**SB1400、EC Frontiers 社より本助成金にて購入**)を使用した。CB濃度は0.3~5.0 wt.%とし、0.5~3.0 mL/minの流量(約 $1\sim10\text{ s}^{-1}$ のせん断速度)で評価を行った。図1に、CBが孤立した凝集体から連結されたパーコレーションネットワークへと変化する概念的メカニズムを示す。この変化は、インピーダンススペクトル上に明確に現れる。CBの分散状態(良好分散、凝集、アグロメレート化、パーコレーション化)は、周波数依存的な電気二重層容量(C_{dl-H} , C_{dl-M} , C_{dl-L})によって識別可能であると仮定した。これらは、それぞれ異なる界面構造を表し、等価回路(抵抗と定数位相素子(CPEs))によってモデル化された。EISデータはBioLogic VSP-300ポテンシオスタット(7 MHz~10 mHz、振幅10 mV)を用いて取得し、多階層分散モデルにフィッティングを行った(図2参照)。

図3に示すように、CBを3.2 wt.%以上含むスラリーは静止状態において強い **C_{dl-H} 成分**を示

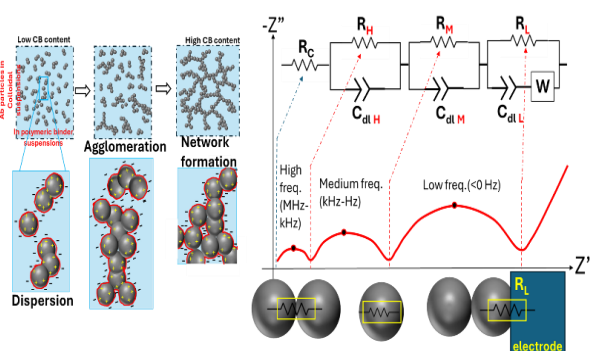


図2: アセチレンブラック (AB) 粒子の分散性と電気化学インピーダンス分光法 (EIS) の相関を示す概念図。

し、十分に発達した三次元導電ネットワークの形成を示唆している。流速を上げると C_{dl-H} 成分は減少し、剪断によるネットワークの断片化が生じていることを示している。一方で、**高濃度スラリー**では C_{dl-M} 成分が増加し、CBドメインの動的な再凝集が起こっていると考えられる。これに対し、 C_{dl-L} 成分は全条件下でほぼ一定であり、接続不良な凝集体が

持続的に存在していることを示している。これらの結果は、流動下におけるインサイチュ交流

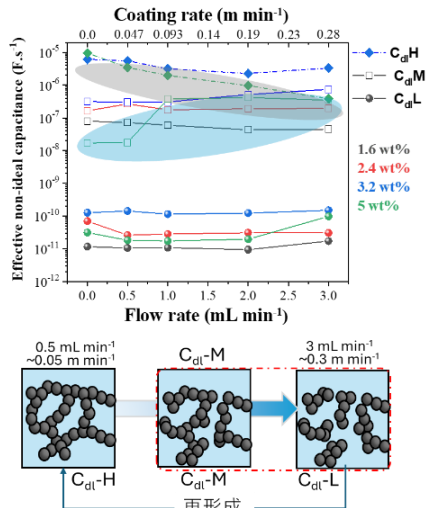


図3: 等価回路から求めた各疑似容量の流量による変化
➤ 実際の電極塗工速度: 2.5 m min⁻¹

インピーダンス測定法が、分散状態および導電ネットワークの遷移を鋭敏に検出できる有効な手法であることを確認している。各容量成分の変動は、加工条件と微細構造の変化を定量的に関連付ける枠組みを提供し、合理的なスラリー設計を可能にする。従来の静止系における粒子分散評価と比較して、本研究では**剪断応答性を有する電気化学的診断技術を導入し、導電ネットワーク形成のリアルタイム評価を実現した**。また、本手法を産業用電極コーティング速度 (10 m/min) における CB スラリーの評価に適用し、実加工環境との整合性を確認した。これらの知見は、**剪断履歴や分散制御が重要となる電池電極、導電性ペースト、プリンタブルエレクトロニクス等の幅広い分野への応用が期待される**。本研究成果は以下

下の国際学会 2 件、国内学会 2 件で発表した。

1. Jeevan Kumar, P. 他, “Better Knowing the Carbon Particle Network Structure in Electrode Slurry for Enhanced Lithium-Ion Battery Performance,” ECS PRiME 2024, Honolulu, Hawaii, USA, 2024 年 10 月 6 日–11 日
2. Fukamizu, K. 他, “Evaluation of Dispersion of Carbon Materials in Electrode Slurry,” 日本セラミックス協会 東北・北海道支部合同学会, 2024 年 11 月 12 日, 札幌コンベンションセンター
3. Fukamizu, K. 他, “Evaluation of Conductive Additive Dispersion in Electrode Slurry by EIS,” 粉体工学会 2024 年度秋期大会, 2024 年 11 月 26 日, 東京ビッグサイト
4. Jeevan Kumar, P. 他, “Carbon-Based Slurry Analysis Using Impedance Spectroscopy,” 第 38 回日韓セラミックスセミナー, 2024 年 10 月 31 日–11 月 3 日, 日本

この初期研究に続き、現在は産業規模の電極製造に関連するさらに高い塗工速度にまで対象を拡大して調査を進めている。本研究成果を詳述した論文は、**The Electrochemical Society 誌への投稿に向けて現在準備中である**。

リチウム塩分散挙動の追跡と固体電解質設計への展開： 機械的入力の影響を分離するために、TG-LiCF₃SO₃系複合体をせん断混練の有無により調製した。せん断混練は、Thinky 社製プラネタリーミキサー (ARE-310、日本) を用い、2000 rpm で 30 分間混練した後、500 rpm で 1 分間の脱泡処理を行った。得られたスラリーは、溶液鋳造法により成膜し、Yamato Scientific 社製真空乾燥炉 (ADP201、日本) を用いて真空乾燥した。必要に応じて、Carver 社製油圧プレス (Carver Inc.、米国) により、80 ° C、10 MPa、10 分間で熱圧縮処理を行った。電解質性能に対する塩濃度の影響を評価するために、TG と Li の重量比を 1:0.5、1:1、1:2、および 1:3 とした複合膜を作製した。

すべての原料は市販品を用いた。TG (分子量 ≈ 250,000、CAS RN: 39386-78-2) は東京化成工業株式会社 (TCI、日本) より入手した。トリフルオロメタンスルホン酸リチウム (LiCF₃SO₃、純度 99%) は岸田化学株式会社 (日本) より、ビス (トリフルオロメタンスルホン) イミドリチウム (LiTFSI、純度 99.95%) はシグマ・アルドリッチ (メルク、ドイツ) より購入した。全試料調製には、Milli-Q 純水製造システムで得られた超純水

($18.2 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$) を溶媒として使用した。塩とポリマー間の構造のおよび分子的相互作用は、フーリエ変換赤外分光法 (FTIR; JASCO FT/IR-6100、株式会社 JASCO、日本) および X 線回折法 (XRD; X' Pert PRO、Philips、オランダ) により評価し、両者の適合性および結晶性に関する情報を得た。さらに、微細構造の観察には電界放出型走査電子顕微鏡 (FE-SEM; Hitachi SU-8000、株式会社日立ハイテク、日本) を用い、熱的挙動の解析には示差走査熱量測定 (DSC; Q2000、TA Instruments、米国) を行った。イオン伝導度は、BioLogic 社製ポテンシostat (SP-300、BioLogic Science Instruments、フランス) を用いた交流インピーダンス測定 (EIS) により評価し、7 MHz $\sim$ 0.1 Hz の周波数範囲、交流振幅 10 mV で測定を行った。

3. 結果

フェーズ 1-TG-LiCF₃SO₃ 複合膜の合成および物性評:

FTIR スペクトルによる構造変化の解析: 本研究では、さまざまな塩分濃度 (TG:Li = 1:0.5 $\sim$ 1:3) における TG-LiCF₃SO₃ 複合膜の FTIR スペクトルを調査した。図 5 に示すように、調製直後 (左) およびホットプレス後 (右) の状態で測定を実施し、膜の形態変化についても確認した。CH₂/CH₃ の曲げ振動、グルコピラノース環の振動、O-H/N-H に関連する吸収帯が主要な振動モードとして同定された。スペクトルの変化は、塩の配位効果および熱処理による構造再編成を反映している⁷⁾。調製直後の膜では、広がった O-H 伸縮振動帯 (約 3000 $\sim$ 3700 cm⁻¹)、CH₂/CH₃ の対称および非対称伸縮振動 (2926 および 2850 cm⁻¹)、およびグルコピラノース骨格に由来する指紋領域の吸収帯 (約 1040、943、896 cm⁻¹) が観察された⁸⁾。LiCF₃SO₃ 濃度の増加に伴い、これらの吸収帯において強度変化およびわずかなピークシフトが確認され、初期の塩-ポリマー配位が示唆された。ホットプレス処理後には、これらの変化がより顕著となった。特に 1300 $\sim$ 900 cm⁻¹ の指紋領域では、C-O および C-C 伸縮に関連するピークが減衰および広がりを示し、強化されたイオン配位およびポリマーチェーンの緩和が確認された。CH₂ のロッギング (約 720 cm⁻¹) およびシザースモード (約 1455 cm⁻¹) の鋭化は、チェーンの秩序性

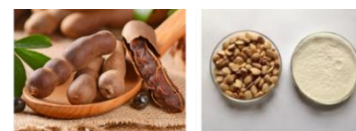


図4(a) タマリンドシードガム

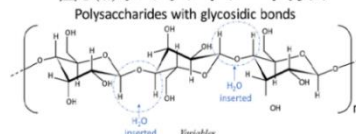


図4(b) 多糖類の特徴

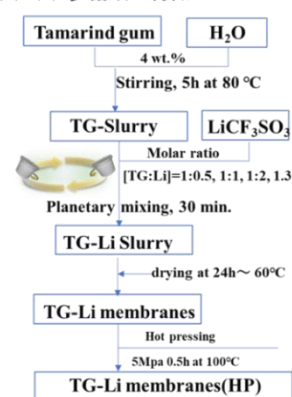


図4(c) Experimental flowchart

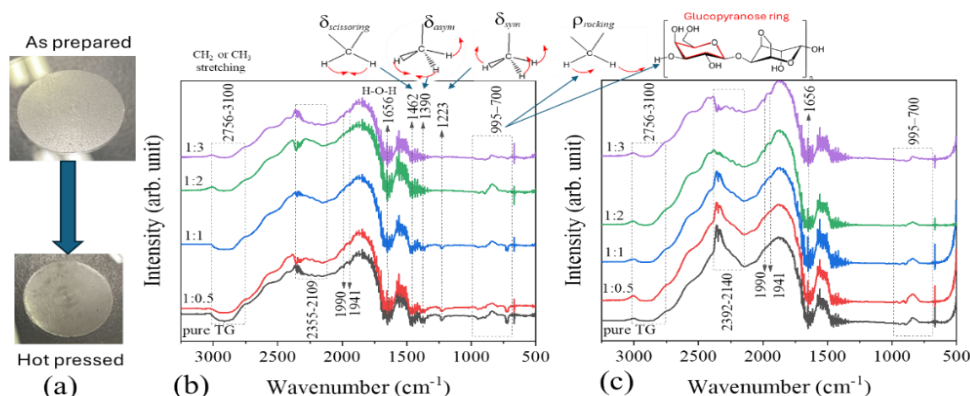


図5: (a) TG-LiCF₃SO₃ 複合膜のFTIRスペクトル (左: 作製直後、右: ホットプレス処理後)。 (b) ホットプレス処理前後の膜表面写真。 (c) 主な振動モードの分子構造およびグルコピラノース環の振動モードを示した模式図。

向上と振動自由度の低下を示しており、より緻密な膜構造の形成と整合する。さらに、 1656 cm^{-1} (H-O-H 曲げ/アミド I) および約 1550 cm^{-1} (アミド II) 領域における変化は、水-ポリマー相互作用の変化およびアミド環境に対する塩の影響を示している。特筆すべきは、約 1941 cm^{-1} TG には見られず、 CH_2 曲げと C-O 伸縮の複雑な振動結合による倍音または組み合わせ振動に起因すると考えられる。 Li^+ の導入により、局所振動環境が変化し、二次的な遷移が活性化されたことを示している。さらに、 $2451\sim 2156\text{ cm}^{-1}$ の広帯域は、 CF_3SO_3^- 陰イオン中の CF_3 基の倍音・組み合わせバンド、または Li^+ 配位殻の振動モードに対応すると考えられ、塩濃度の上昇および 1990 cm^{-1} の領域に新たに現れた、または強化された吸収バンドである。これらは元のおよび熱処理に伴ってその強度が増加した。

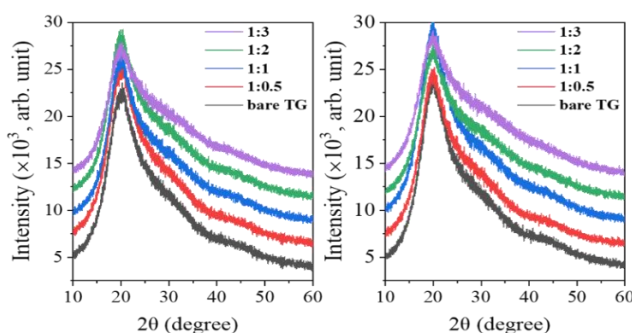


図6：TG- LiCF_3SO_3 複合膜のXRDパターン（左：作製直後、右：ホットプレス処理後）

量が増加するにつれて、このアモルファスピークは徐々に幅広くなり、強度もわずかに低下する傾向がみられる。これは、塩による水素結合ネットワークの攪乱に起因し、分子間のパッキングが不規則化することを示唆している。なお、いずれの組成においても LiCF_3SO_3 に由来する結晶性ピークは現れず、塩が TG マトリックス内に均一に分散、あるいは完全に溶解していることが示される。熱圧縮後の試料では、アモルファスピークのわずかな鋭鋭化と高角側 (2θ) へのシフトが観察され、これは水分除去や塩-ポリマー相互作用の増強、高分子鎖の再配向によるパッキングの緻密化を示唆する。高塩濃度 (TG:Li = 1:3) においても相分離や結晶性相の生成が認められないことから、TG と LiCF_3SO_3 の高い相溶性および固体高分子電解質マトリックスとしての適性が確認された。

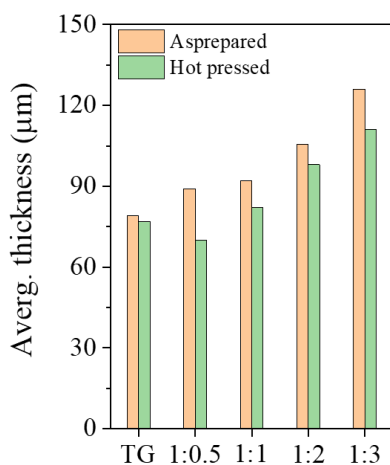


図7：異なるTGと LiCF_3SO_3 の比率における膜の平均厚さとホットプレス処理の影響比較

XRD による結晶性評価と塩分散性の確：

図 6 に示す LiCF_3SO_3 含有量を変化させた TG- LiCF_3SO_3 複合膜の XRD パターン。(左) 調製直後、(右) 熱圧縮後の状態。回折強度は 2θ に対してプロットしている。

すべての試料において、 $2\theta \approx 20^\circ$ 付近に幅広い回折ハローが確認されており、TG マトリックスが主にアモルファス構造を有することを示している⁹⁾。 LiCF_3SO_3 の含有

膜厚測定による物理的特性の把握：図 7 に示す膜厚データは、 LiCF_3SO_3 塩濃度および熱圧縮処理が、TG ベース

固体高分子電解質膜の物理的寸法に及ぼす影響を明確に示している。図から明らかなように、**Li 塩の比率を増加**させることで、いずれの処理条件下においても膜厚が系統的に増加する傾向が確認された。これは、 LiCF_3SO_3 の添加により膜中の固形成分の総量が増加し、特に高添加組成 (1:2 および 1:3) において質量および体積への寄与が顕著となるためである。**熱圧縮処理後**は、すべての膜において調製直後の膜よりも膜厚が一様に減少しており、これは密度の増加（緻密化）を反映

している。この効果は、塩濃度の低いサンプルで特に顕著であり、加熱・加圧によるポリマー-塩マトリックスの塑性流動および水分の蒸発に起因すると考えられる。この膜厚の減少は、熱圧縮下における高分子鎖の可動性およびセグメント間パッキングの向上を示唆しており、FTIR および XRD で観察された分子間相互作用や塩分散性の改善とも整合する。以上の結果から、**膜厚測定は成膜プロセスの物理的指標として機能**するだけでなく、組成的および熱的要因により駆動される構造的緻密化挙動の理解における有効な指標であることが示された。

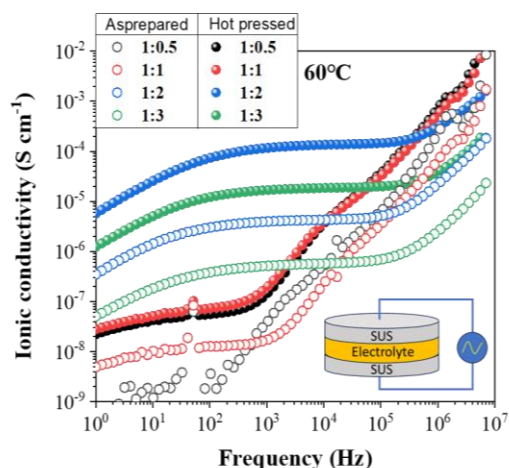


図8：TG-LiCF₃SO₃複合膜の交流（AC）イオン伝導度（左：作製直後、右：ホットプレス処理後）。膜試料はSUS電極を用いたEIS測定により評価。模式図は電気化学インピーダンス測定時のセル構造を示す。

AC 導電率測定によるイオン伝導性評価：図 8.

各塩濃度（TG:Li = 1:0.5、1:1、1:2、1:3）における TG-LiCF₃SO₃複合電解質の周波数依存型 AC 導電率（ σ_{ac} ）の挙動を、調製直後および熱圧縮後の状態で示す。導電率は、SUS 電極を遮断電極と仮定し、Nyquist プロット高周波領域の Z_{re} から算出した。塩濃度の増加（1:0.5→1:2）に伴い、導電率が大きく向上し、プラトー領域は高周波側へシフトする傾向を示す。1:0.5 および 1:1 では、移動可能な Li⁺が不足しており、導電率は低い。

一方、1:2 および 1:3 では導電率が増加し、これは塩濃度上昇によるイオン解離促進と、移動キャリアの増加に起因する。この傾向は FTIR スペク

トルの変化とも一致しており、1040 cm⁻¹（骨格振動）、～3300 cm⁻¹（O-H 伸縮）、～720 cm⁻¹（CH₂ 揺動）に顕著な変化が観察された。これにより、塩との配位が強化され、ポリマー鎖の可動性が向上し、イオン移動度が高まったと考えられる。XRD 結果からも、塩添加によるアモルファス性の増加と結晶性障壁の低下が確認され、特に 1:2 および 1:3 においてセグメント運動性が顕著に向上している。これが導電率の上昇に直接寄与している。

ホットプレス処理後のすべての試料において、さらなる伝導度の向上が見られた。これは膜の孔隙率減少および密度の増加（膜厚測定によって確認）により、構造均質性およびイオン輸送経路の連続性が改善されたためである。全試料において、単一のプラトー領域が観察され、これは均一に分散した Li⁺イオンによって支配される主たるイオン伝導機構の存在を示している。最も高い伝導度は TG:Li = 1:2 の組成で得られた。これは、塩の供給量とポリマーの可動性の最適なバランスが得られたことを意味している。一方、1:3 の最高塩濃度では、構造の緻密化および塩配位の強化が見られたにもかかわらず、わずかな伝導度の低下が観察された。これは、ポリマーの溶媒和能力を超える塩の過剰添加により、Li⁺の凝集やクラスタリングが生じ、イオン輸送が阻害された可能性を示唆している。以上の結果より、FTIR、XRD、膜厚、および交流伝導度の各データは相互に整合しており、TG ベースの複合電解質におけるイオン伝導性は、適切な塩含有量およびホットプレスによる熱的緻密化によって最適化されることが明らかとなった。特に中間組成（TG:Li = 1:2）と熱処理の組み合わせが、高性能かつ持続可能な固体ポリマー電解質の設計において最も有効であると結論づけられる。

5. フェーズ 2 およびフェーズ 3 における戦略的方向転換の理由

研究計画の概要とフェーズ 1 の完了:

当初の研究計画は 3 つのフェーズで構成されていましたが、本研究では助成期間の 1 年以内にフェーズ 1 を予定通り完了しました。フェーズ 2 およびフェーズ 3 の完全実施に代えて、戦略的に方向転換を行い、TG を基材としたスラリー中のカーボン粒子の分散挙動に着目した補完的な検討を実施しました。この研究は粒子分散、イオン輸送経路、持続可能な電極設計といった本研究の基本方針と高い整合性を保っています。

フェーズ 2 の予備検討で明らかになった技術的課題:

フェーズ 2 の予備検討において、重要な技術課題が判明しました。具体的には、セラミックファイラーとして用いた LLZO が水系バインダー懸濁液中で時間経過とともに表面に Li_2CO_3 層を形成し、これがイオン伝導性および界面安定性を著しく低下させることが確認されました。そのため、代替となるセラミック材料の探索に研究方針を転換しました。

代替セラミック材料 $\text{LiTi}_2(\text{PO}_4)_3$ (LTP) の合成と評価:

その結果、我々の研究グループは新たに $\text{LiTi}_2(\text{PO}_4)_3$ (LTP) 粒子の合成に成功し、そのイオン伝導性および水系プロセス適合性を確認しました。これらの成果は以下の論文にて公開されています。

Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy, 72 (2025) S125-S128
<https://doi.org/10.2497/jjspm.14C-T1-04>

また、本 TG ベース分散系の研究に貢献した牧本祐汰氏は、現在指導教員の大野智也教授の下、修士課程 (M1) に進学し、本研究テーマを修士論文の一環として継続しています。

戦略的方向転換の意義と研究目標との整合性:

この戦略的転換は、フェーズ 1 で得られた実験成果と技術的知見を最大限に活用するとともに、持続可能な高分子材料設計および水系プロセスにおける実務的課題に関する学術的訓練の機会を提供しました。従来の合成高分子は非水系溶媒を必要とし、大規模加工時に炭素由来の副生成物を排出しますが、TG ベースのシステムは環境負荷低減とプロセスの簡略化において優れた利点を持っています。したがって、本研究は次世代電池用持続可能材料の開発という最終目標と高い整合性を持つ取り組みであると言えます。

6. まとめ

本研究では、TG と LiCF_3SO_3 を用いた固体高分子複合電解質の設計・評価を行った。塩濃度の増加により Li^+ イオンの配位と輸送が促進され、TG:Li 比 1:2 においてイオン伝導度が最適となることを明らかにした。さらに、熱圧縮処理によって膜の密度とイオン伝導経路の連続性が向上し、伝導度が大幅に増加した。構造解析の結果、均一に分散した塩が非晶質の TG マトリクス内に存在し、熱処理によりポリマーチェーンの緩和と緻密な充填が促進されることが示された。最高塩濃度における伝導度のわずかな低下は、イオンの凝集による輸送障害の可能性を示唆している。また、フェーズ 2 および 3 の戦略的方向転換により、TG ベースの粒子分

散および代替セラミック材料の検討を進め、持続可能な材料設計の課題に対処した。この取り組みは次世代エネルギー貯蔵デバイス向けの環境調和型高性能固体電解質開発に寄与するものである。以上の成果は、再生可能なバイオ高分子を活用した固体ポリマー電解質の合理的設計の基盤を築き、今後の高機能電池材料研究における有望な方向性を示している。

謝辞

本プロジェクトを支援して下さった天野研究助成に心より感謝いたします。助教としての初めての助成金となりました。指導教官の大野 智也 教授には特に感謝申し上げます。また、本プロジェクトに貴重な貢献をしてくれた牧本 祐汰さん、深水 海斗さんにも感謝いたします。

参考文献

1. Q. Yu, K. Jiang, C. Yu, X. Chen, C. Zhang, Y. Yao, B. Jiang, and H. Long, "Solid polymer electrolytes based on natural polysaccharides," *Chinese Chemical Letters*, vol. 32, no. 9, pp. 2659–2678, 2021.
2. Y. Chen, Y. Wang, Z. Li, D. Wang, H. Yuan, H. Zhang, and Y. Tan, "A flame retarded polymer-based composite solid electrolyte improved by natural polysaccharides," *Composites Communications*, vol. 26, 100774, 2021.
3. J. C. Barbosa, R. Goncalves, C. M. Costa, V. de Zea Bermudez, A. Fidalgo-Marijuan, Q. Zhang, and S. Lanceros-Mendez, "Solid polymer electrolytes based on natural and sustainable materials," *Materials Advances*, vol. 2, no. 12, pp. 3790–3805, 2021.
4. L. Sampath Kumar, P. Christopher Selvin, and S. Selvasekarapandian, "Ionic conductivity and dielectric study on natural polymer-based polymer electrolytes," *Polymer Bulletin (Heidelberg, Germany)*, vol. 78, no. 4, pp. 1797–1819, 2021.
5. C. S. Kumar and S. Bhattacharya, "Tamarind seed: properties, processing and utilization," *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 48, pp. 1–20, 2008.
6. M. Hema, P. Tamilselvi, and G. Hirankumar, "Influences of LiCF_3SO_3 and TiO_2 nanofiller on ionic conductivity and mechanical properties of PVA:PVdF blend polymer electrolyte," *Ionics*, vol. 23, no. 10, pp. 2707–2714, 2017.
7. S. Ramesh and L. J. Yi, "FTIR spectra of plasticized high molecular weight PVC– LiCF_3SO_3 electrolytes," *Ionics*, vol. 15, pp. 413–420, 2009.
8. K. Chawananasest, P. Saengtongdee, and P. Kaemchantuek, "Extraction and characterization of tamarind (*Tamarindus indica* L.) seed polysaccharides (TSP) from three different sources," *Molecules*, vol. 21, no. 6, 775, pp. 1–9, 2016.
9. B. Aziz and Z. H. Z. Abidin, "Role of hard-acid/hard-base interaction on structural and dielectric behavior of solid polymer electrolytes based on chitosan– XCF_3SO_3 ($\text{X} = \text{Li}^+, \text{Na}^+, \text{Ag}^+$)," *Journal of Polymers*, vol. 2014, Article ID 906780, pp. 1–9, 2014.