



2021年8月20日

第5回 FC-Cubicオープンシンポジウム

# 鶴岡高専 K-ARC での取り組み

---

鶴岡工業高等専門学校  
創造工学科 化学・生物コース

森永 隆志



鶴岡高専

The Inst. of Technology (TUT), Tokushima College



# K-ARC:高専機構の研究拠点として



H28,29 研究推進モデル校

メタボロームキャンパス



- ・インタラクションスペースの充実
- ・共用ファシリティの整備・充実
- ・先端研究テーマの遂行
- ・連携相手がオンサイトで研究するスペースの確保

- ◆ 豊かな自然、食文化、静かな環境で研究に専念
- ◆ 最先端バイオ研究拠点とのコラボレーション
- ◆ アントレナーシップ
- ◆ 溢れる環境

全国高専

高専機構・研究特区  
研究者の夢を実現！

- ・教員研究者オープンラボ
- ・学生のインターンシップ
- ・研究者育成プログラム



高専機構  
Kosen - Applied science  
Research Center  
(K-ARC)



技術者・研究者としての就職(企業へ)

共同研究

全国の教育・研究  
機関

共同研究

企業

- ・鶴岡サイエンスパークに拠点を置く企業
- ・全国の企業

共同研究

# K-ARCの拠点化事業



## CDSエネルギーの組織

リーダー

佐藤貴哉

(鶴岡・東京)

アドバイザー

森 利之

国立研究開発法人物質・材料研究機構 (NIMS) 上席研究員

山本 春也

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構 (QST) 上席研究員



# K-ARCの詳細 (R2.5現在)

## K-ARC(高専内)

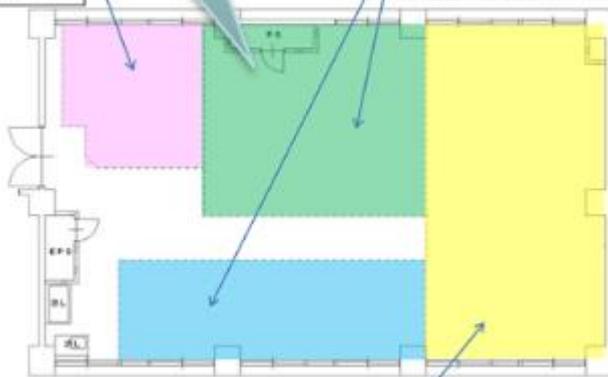


プラズマ応用  
科学連携講座  
吉木宏之 教授

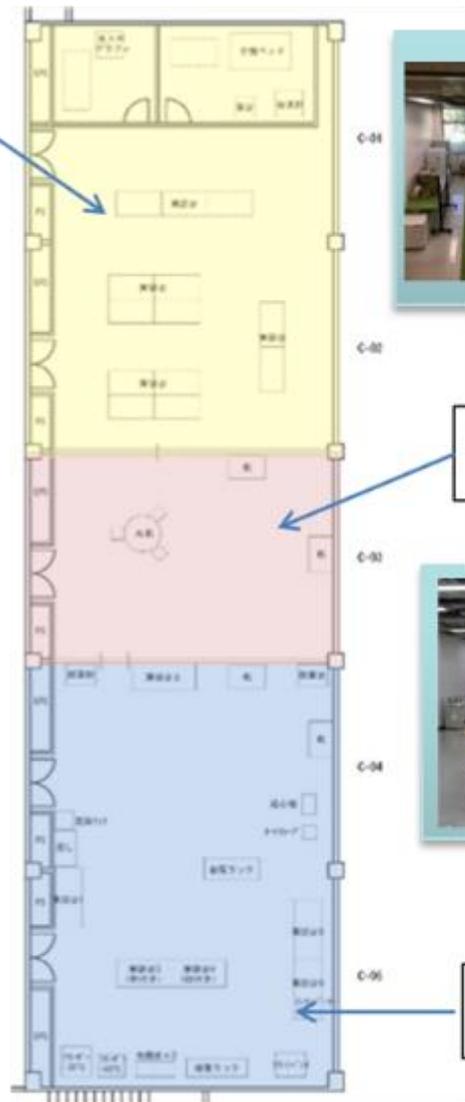
産学官共同研究室  
(トライボマテリアル)



生体医工学講座  
尖戸道明 教授  
佐藤 司 教授



機能高分子材料研究講座  
森永隆志 教授



産学官共同研究室  
(エナジーマテリアル)



産学官共同研究室  
(バイオマテリアル)

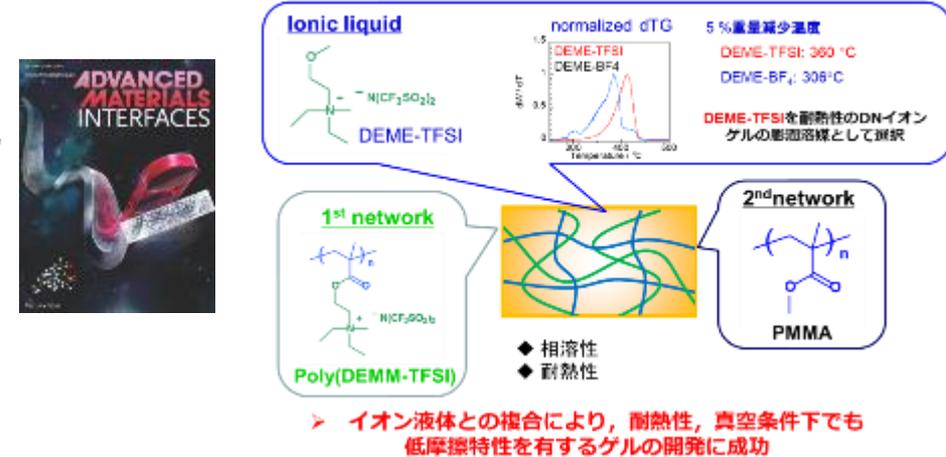
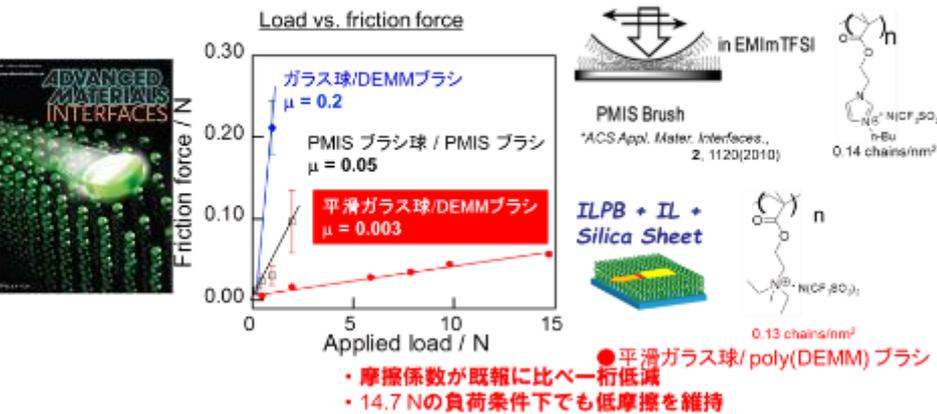
# トライボマテリアルグループ トピックス

## ★イオン液体ポリマーをベースとした潤滑機構の開発

低摩擦な潤滑剤は高効率エネルギー伝達機構や材料の長寿命化に重要であり、低燃費の自動車や省エネ家電の開発につながる。中でもポリマーブラシやポリマーゲルは非常に低い摩擦係数を示す一方、乾燥に弱く長時間使用・高温に適さないことが実用化の課題であった。本研究は不揮発性液体である**イオン液体**を活用した**イオン液体型ポリマーブラシ(ILPB)**と**ポリマーゲル(DNイオンゲル)**を開発、**10<sup>-3</sup>オーダーの超潤滑をマクロスケールで達成し、高温(80℃)や真空中(2.4x10<sup>-4</sup>Pa)でも乾かず安定に活用できることを見出した**

### イオン液体型ポリマーブラシ(ILPB)

### ダブルネットワークイオンゲル(DNイオンゲル)



K-ARCにおけるコア設備：  
 摩擦試験機(Bruker社 UNMT-1)と合成設備

UNMT-1: 幅広い摺動条件  
 (速度・荷重・温度)と高い分解能

合成設備: 循環型グローブボックスを利用、  
 不活性雰囲気下で精密合成が可能



UNMT-1



循環型グローブボックス

7 エネルギーを効率的に活用してカーボンに

9 産業と環境革新の基盤をつくらう

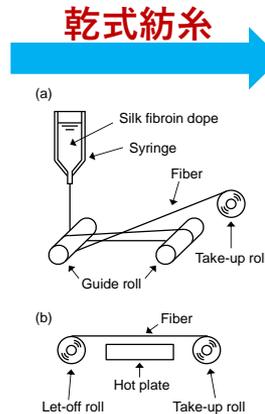
17 パートナシップで社会を進展しよう

# バイオマテリアルグループ トピックス

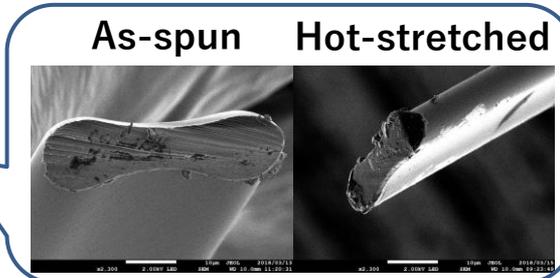
## ★ イオン液体を可塑剤とした天然由来材料の成形技術

石油に依存しない低環境負荷な高分子材料としてタンパク質（天然高分子）に着目し、難揮発性液体であるイオン液体を可塑剤とした乾式紡糸を開発。**シルクをはじめとする様々なタンパク質材料**を熱可塑性樹脂（プラスチック）と同様に**熔融延伸可能**とした。これにより、**タフネス・強度を大幅に向上**させることができるとともに、**大量生産への道を開いた**。

【コア技術の一例】 **高分子物質成形体の製造方法** 発明者：佐藤貴哉（現 高専機構本部）、森永隆志（鶴岡高専）、佐藤涼（鶴岡高専）  
(特願2018-133107)



再生シルク繊維



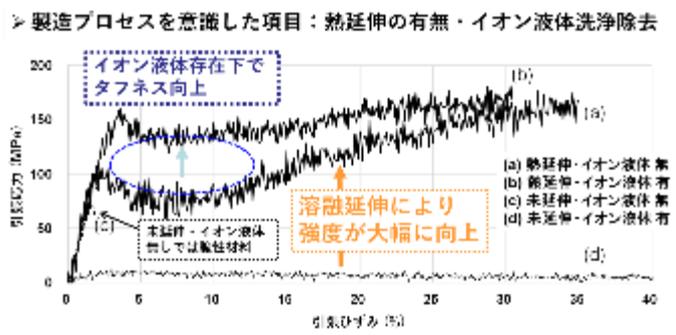
- 高分子物質として天然高分子を用いる。
- 後工程として熔融延伸とイオン液体の除去を含む。

### K-ARCにおけるコア設備： 走査型電子顕微鏡 (SEM) と卓上乾式紡糸装置

**SEM:** 表面・断面構造をナノスケールで観察できる  
エネルギー分散型X線解析 (EDS) により  
材料中の元素をその分布も含めて解析できる

**紡糸装置:** 地元企業 (オリエンタルモーター社) の高性能  
ブラシレスモーターと鶴岡高専のマシニング  
センター設計を複合した独自設計品。

### 結果：応力/ひずみ曲線 (引張試験)



(イオン液体) + (構造タンパク質) + (熱延伸工程)  
= 高タフネス構造タンパク質材料

9 企業と技術者の  
夢をつくらう

12 つくる責任  
つかう責任

17 パートナシップで  
目標を達成しよう

# K-ARC ソフトエナジーデバイス連携開発拠点



リーダー  
佐藤貴哉  
(東京・鶴岡)

アドバイザー

森 利之 国立研究開発法人物質・材料研究機構 (NIMS) 上席研究員  
山本 春也 国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構 (QST) 上席研究員

EDLC / IL  
佐藤貴哉  
(東京・鶴岡)

企業 A  
(タイ)

FC / IL

森永隆志 (鶴岡)

企業 B  
(東京)

FC

伊藤滋啓 (鶴岡)

企業 C  
(鶴岡)

モノリス / FC

上條利夫 (鶴岡)

企業 D  
(静岡)

新機能材料

荒船博之 (鶴岡)  
正村亮 (鶴岡)  
佐藤涼 (鶴岡)

募集中



## イオン液体型ポリマーを用いた電池材料の開発



鶴岡高専 創造工学科  
化学・生物コース  
教授

森永 隆志

イオン液体の化学構造を導入したモノマーを合成し、制御ラジカル重合による分子設計を経て、その優れた特性(不燃性・不揮発性・高イオン伝導性)を電解質などの電池材料に付与する研究を行っています。

応用例としては、シリカ微粒子上にイオン液体型濃厚ポリマーブラシを導入し、イオン液体を分散媒とした複合微粒子の集積化によるイオン伝導性コロイド結晶の固体化(微粒子積層型固体電解質の創製、図1)に成功しています。

最近では、発電に直接に関わるイオン種がカチオンであることに着目し、アニオンをポリマーの側鎖に有し、カチオンを移動性イオンキャリアとして担持可能な新規イオン液体型アニオンポリマーの合成とそれを応用した電池材料の開発に取り組んでいます。

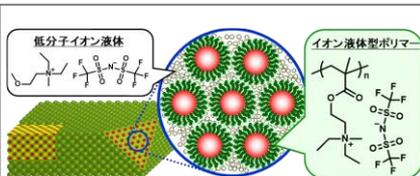


図1 微粒子積層型固体電解質

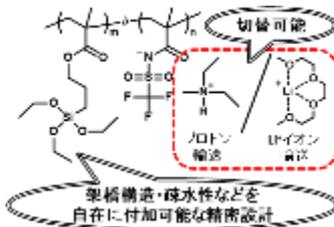


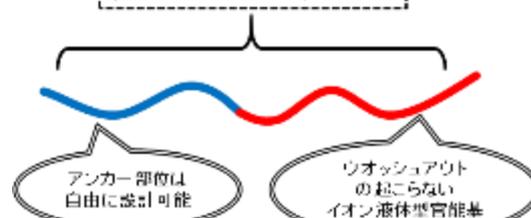
図2 イオン液体型アニオンポリマーの設計例

2020年度～2024年度  
NEDO採択課題

「燃料電池等利用の飛躍的拡大に向けた  
共通課題解決型産学官連携研究開発事業」

「イオン液体構造を有するアイオノマーによる  
革新的低白金技術の研究開発」

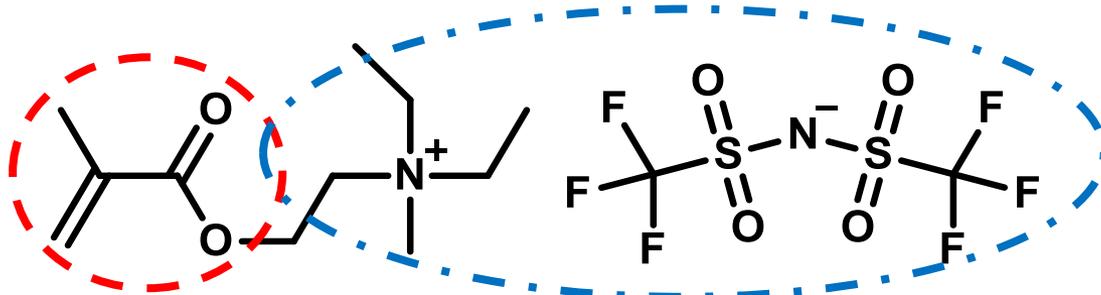
長さの比率は自由に設計可能



# 重合性イオン液体について

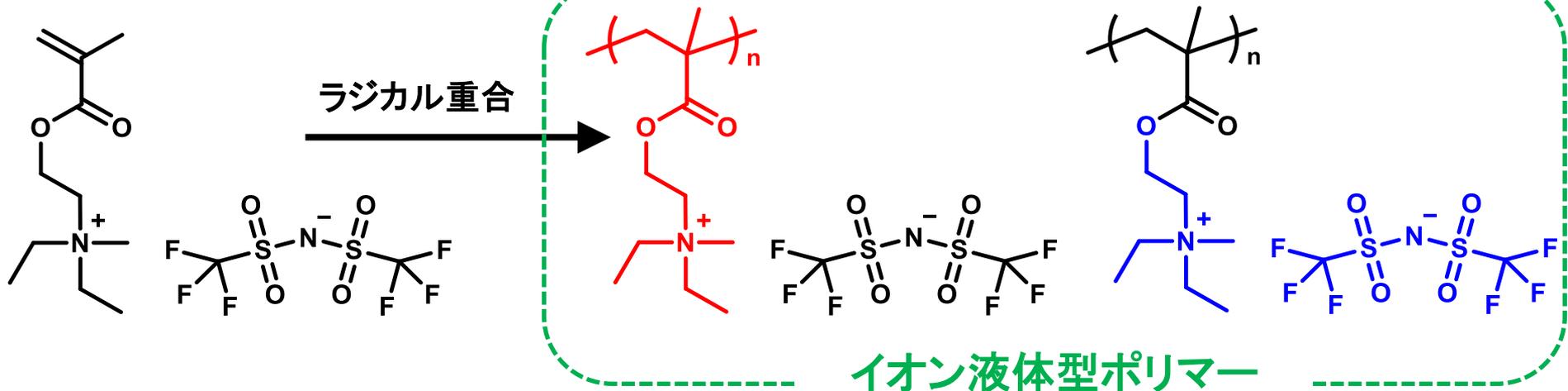
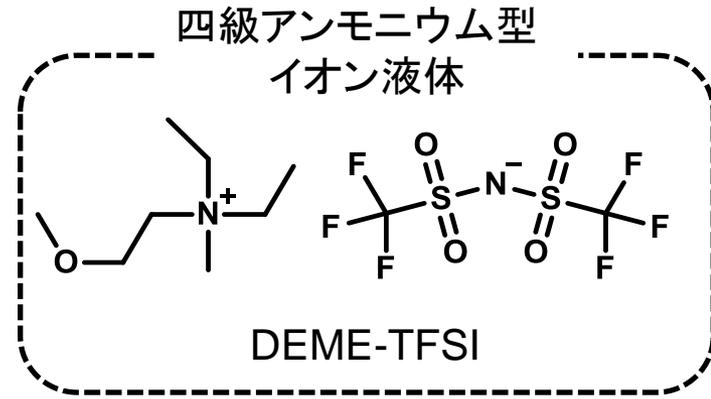


イオン液体のカチオン分子内に重合性の置換基を導入した**重合性イオン液体**はラジカル重合により、**イオン液体型ポリマー**となる。このポリマーは高い**耐熱性**と**難燃性**を備えており、固体電解質の素材として高いポテンシャルを有している。

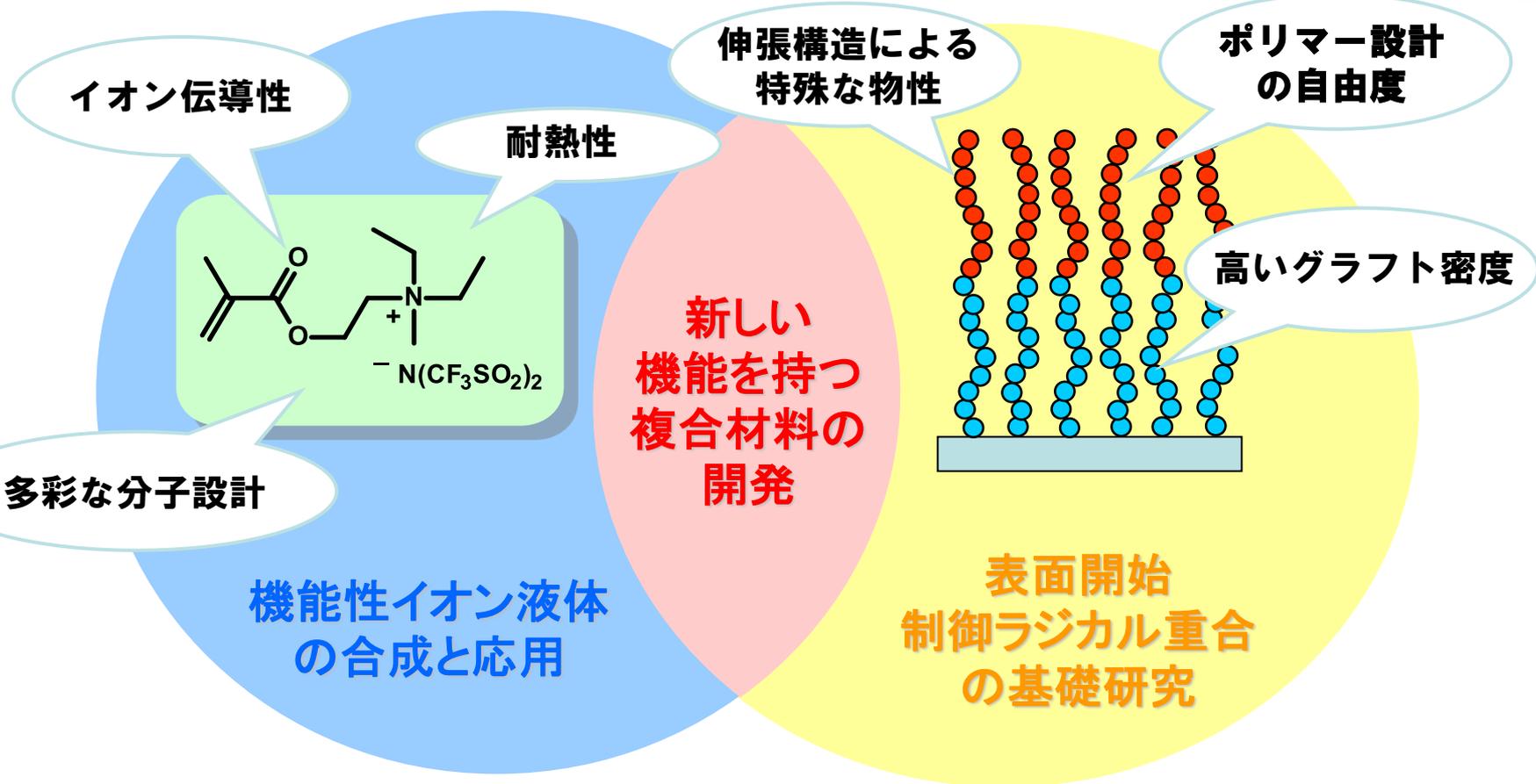


**ポリマー形成**

**イオン液体構造**

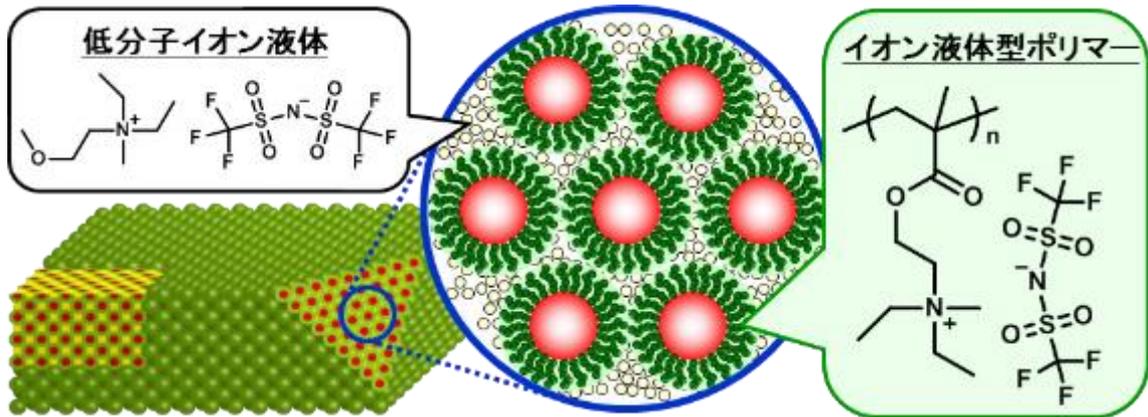


# イオン液体とポリマーブラシの複合技術



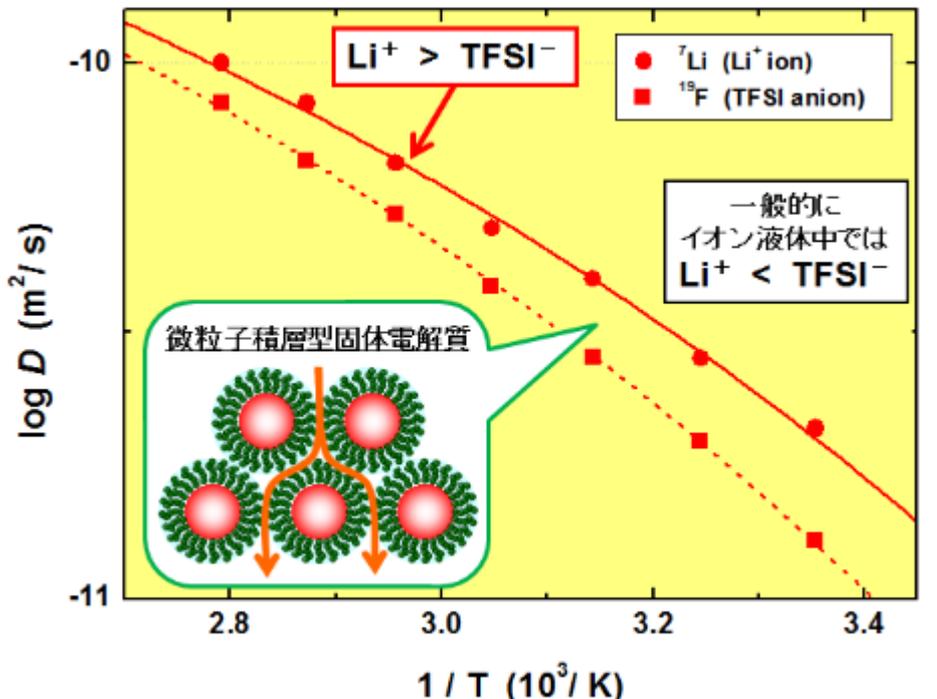
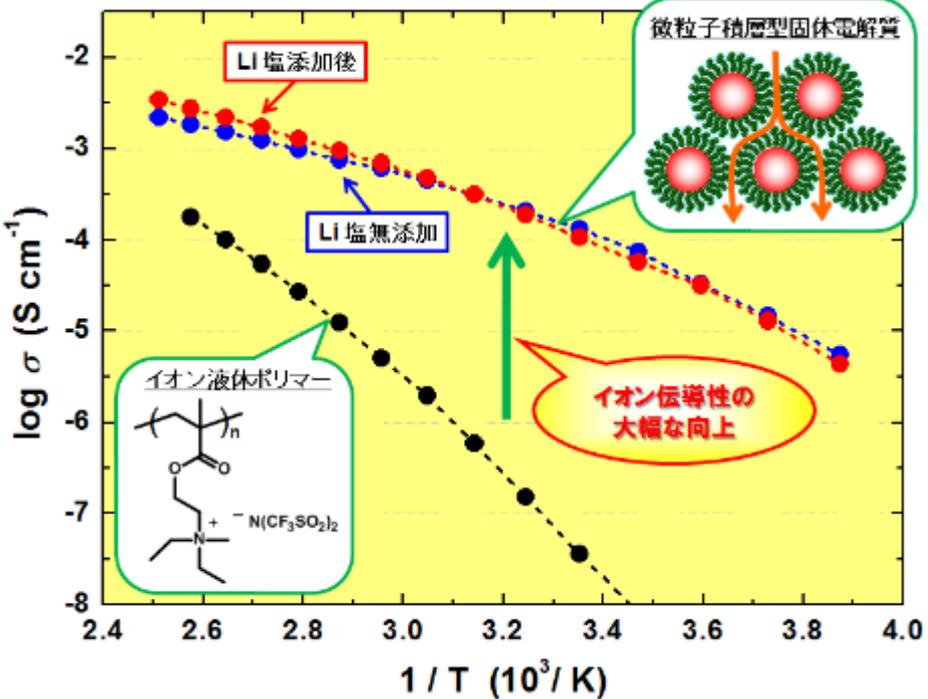
当研究グループでは、**重合性イオン液体**の合成を基盤としたイオン液体の分子設計と、表面開始制御ラジカル重合による**ポリマーブラシ**の合成技術を組み合わせた、**複合材料の開発**を行っています。

# イオン液体を用いた固体電解質の開発

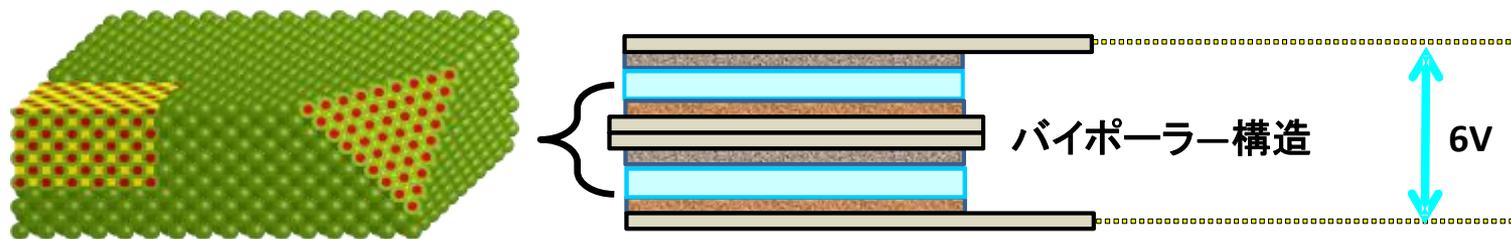


微粒子表面にポリマーブラシを修飾して、三次元に集積することで固体化に成功

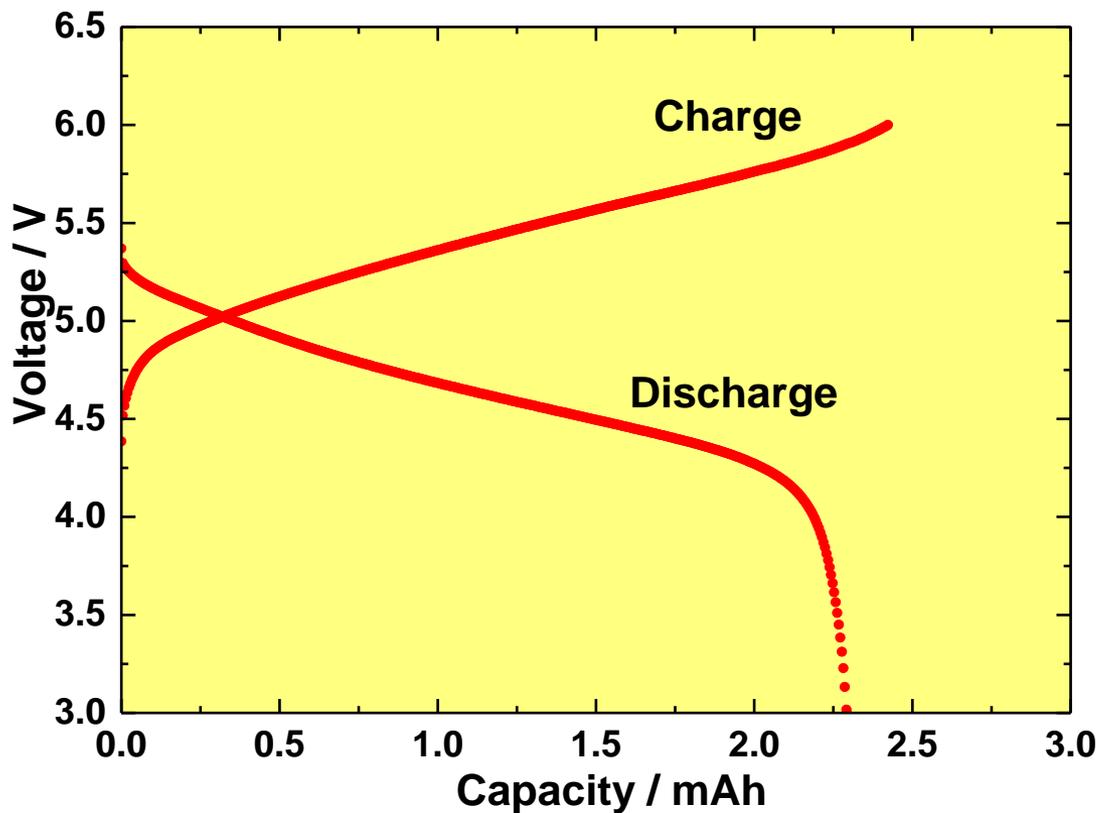
すべての含有成分が不燃性の固体電解質を開発



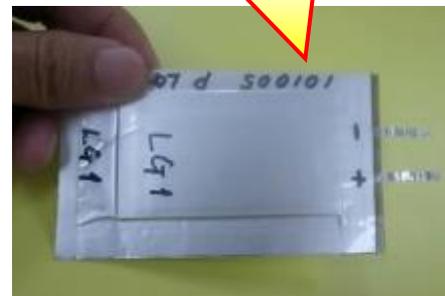
# 固体電解質膜を用いたリチウムイオン電池



微粒子積層型電解質



2直列のバイポーラー  
リチウムイオン電池

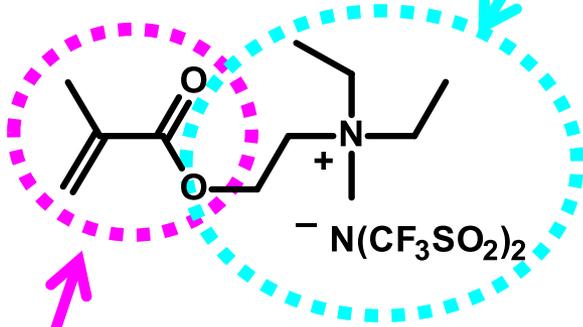


3.0V~6.0Vで繰返しの  
充放電が可能

# イオン液体型ポリマーの分子設計

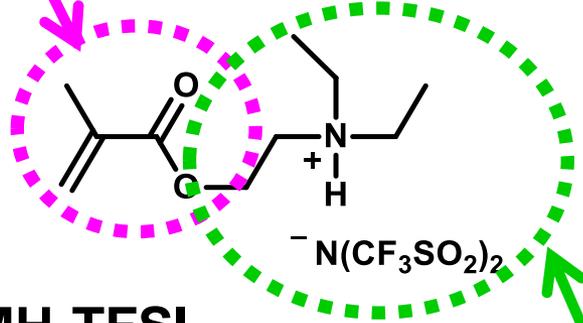


四級アンモニウム型

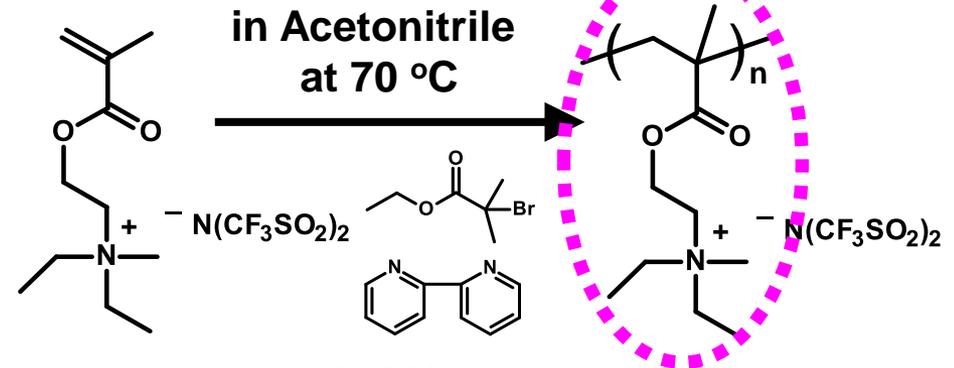


重合可能な  
二重結合

**DEMM-TFSI**



**DEMH-TFSI**



イオン液体型  
カチオンポリマー

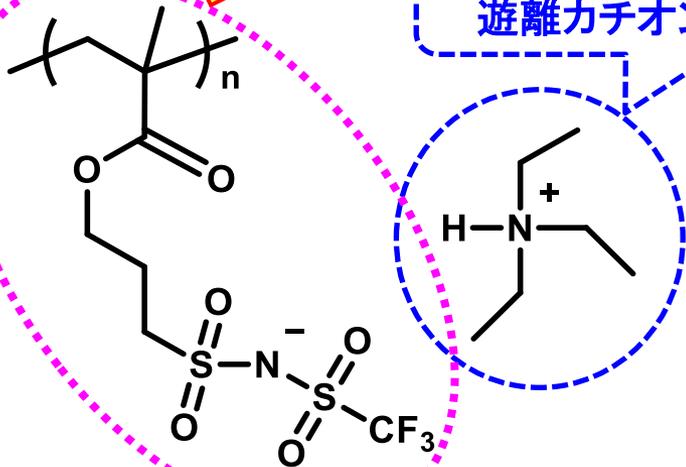
プロトン性イオン液体

# イオン液体型ポリマーの分子設計

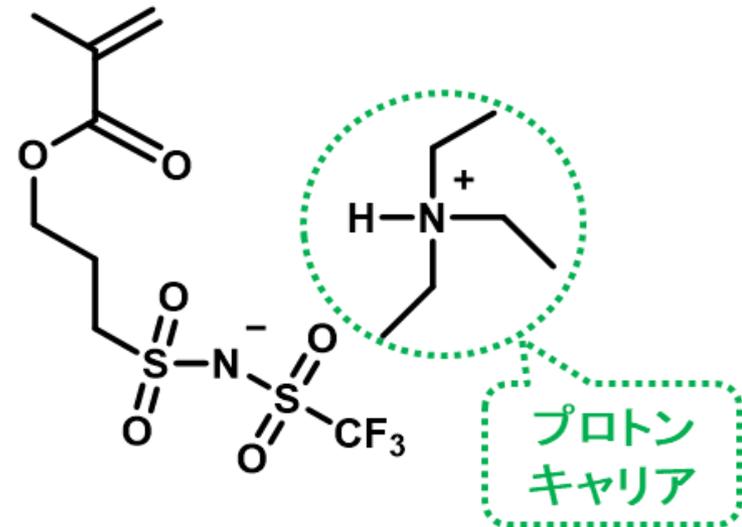


## イオン液体型 アニオンポリマー

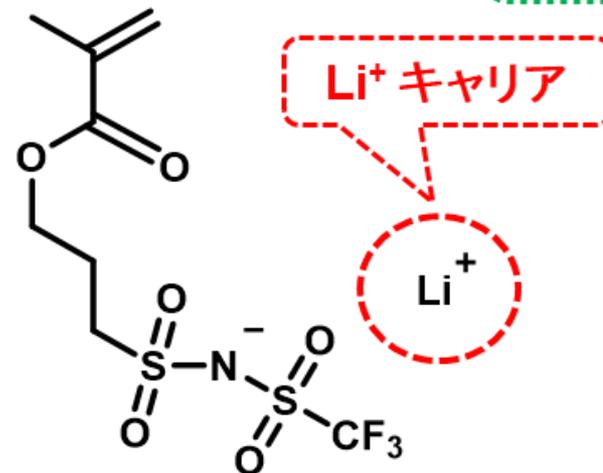
移動性のある  
遊離カチオン



発電機構に  
関与するイオン  
に移動性を付与  
することで、  
固体化によるイ  
オン伝導性の低  
下を克服



プロトン  
キャリア



Li<sup>+</sup> キャリア

# 中高温・無加湿駆動PEFCへの応用



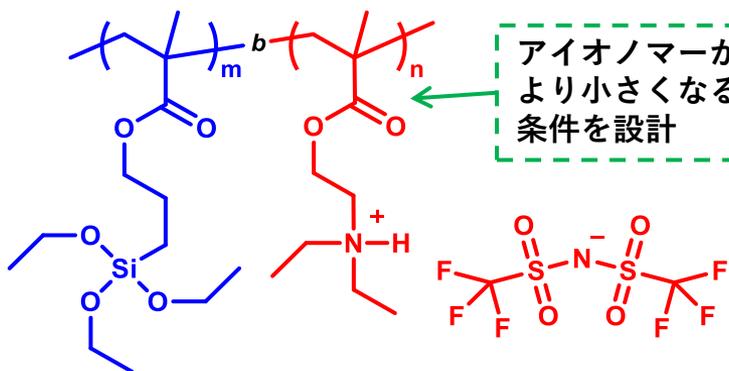
## 【イオン液体構造を有するアイオノマー設計】

・低加湿状態（20%Rh）においても性能低下の起かないメソポーラスカーボン触媒を実現するためのアイオノマー材料を開発する。

・100℃以上の高温条件下において、加湿が十分に出来ない状況でも高い活性を発現する電極設計が可能となり、加湿器やラジエーターを必要としない、小型の燃料電池駆動モビリティの実現に貢献する。

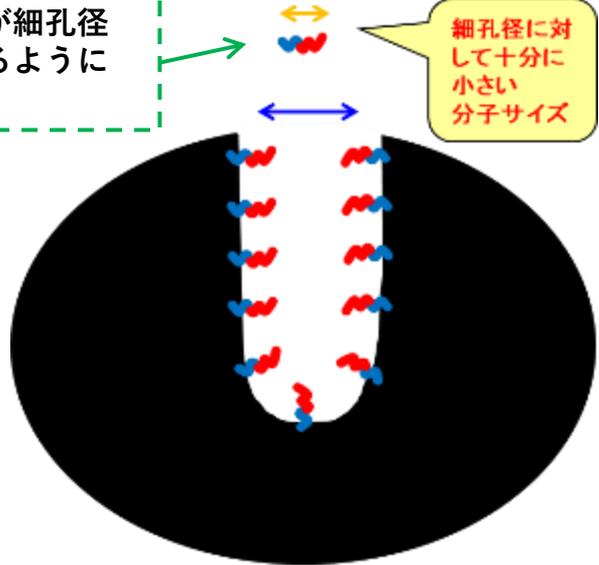
### 【研究開発の概要】

イオン液体の効率的なスクリーニングに基づいて、効率的にアイオノマーを設計



アイオノマーが細孔径より小さくなるように条件を設計

細孔径に対して十分に小さい分子サイズ



制御重合によるポリマー形成

長さの比率は自由に設計可能

電気化学特性に優れた化学構造

アンカー部位は自由に設計可能

ウォッシュアウトの起こらないイオン液体型官能基

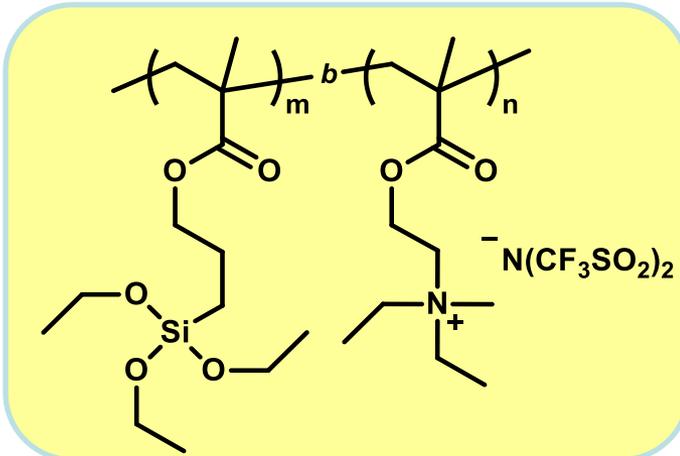
低加湿状態でも機能する新しいプロトン伝導経路を探索



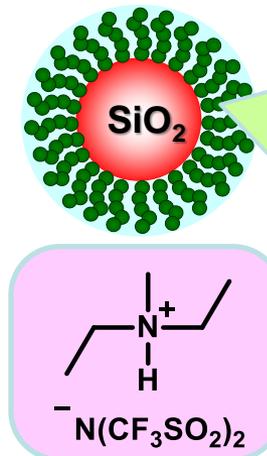
# 中高温・無加湿駆動PEFCへの応用



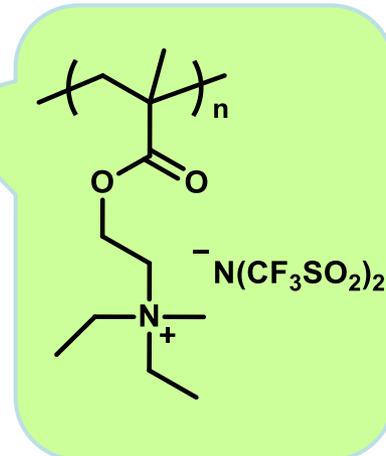
## 【イオン液体を用いた固体電解質膜の開発】



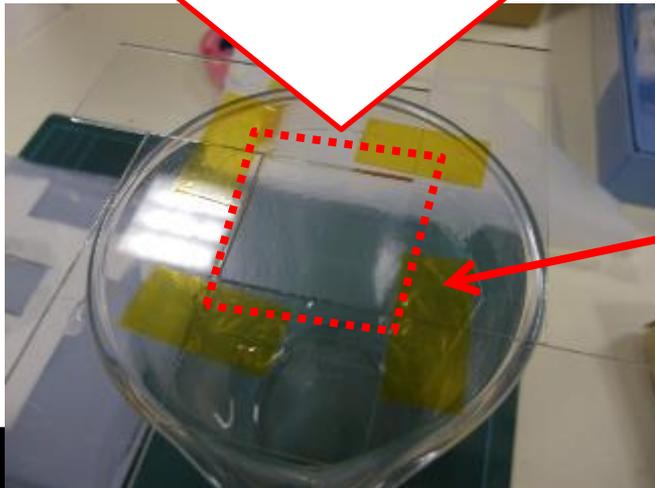
架橋性イオン液体型ポリマー  
10 wt%



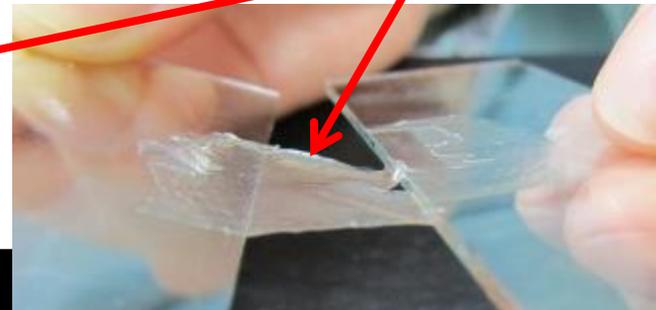
DEMA-TFSI  
20 wt%



PSiP  
60 wt%



比較的広い面積(3cm × 3cm)で  
電解質膜の薄膜化に成功(100 μm)





## 【今後の展開について】

- PEFC用途に適した新しいイオン液体の導入  
→ 奈良高専／和歌山高専（山田先生／綱島先生）との連携
- プロトン性イオン液体型ポリマーを用いた  
中温・無加湿駆動PEFCの高性能化に資する  
新規材料開発の推進  
→ 豊橋技術科学大学（松田先生）との連携



**ご清聴ありがとうございました。**



**鶴岡高専**  
The Institute of Technology (IOE), Tokai College

