

領域略称名：蓄電固体界面科学
領域番号：6107

令和6年度科学研究費助成事業
「新学術領域研究（研究領域提案型）」
に係る研究成果報告書（研究領域）兼
事後評価報告書

「蓄電固体デバイスの創成に向けた界面イオンダイナミクス
の科学（蓄電固体界面科学）」

領域設定期間

令和元年度～令和5年度

令和6年6月

領域代表者 名古屋大学・工学研究科・教授・入山 恭寿

目 次

研究組織

1 総括班・総括班以外の計画研究	2
2 公募研究	3

研究領域全体に係る事項

3 交付決定額	7
4 研究領域の目的及び概要	8
5 審査結果の所見及び中間評価結果の所見で指摘を受けた事項への対応状況	10
6 研究目的の達成度及び主な成果	12
7 研究発表の状況	17
8 研究組織の連携体制	22
9 研究費の使用状況	23
10 当該学問分野及び関連学問分野への貢献の状況	25
11 若手研究者の育成に関する取組実績	26
12 総括班評価者による評価	27

研究組織

(令和6年3月末現在。ただし完了した研究課題は完了時現在、補助事業廃止の研究課題は廃止時現在。)

1 総括班・総括班以外の計画研究

研究項目[1]	課題番号 研究課題名	研究期間	研究代表者 氏名	所属研究機関・部局・職	人数 [2]
X00 総	蓄電固体デバイスの創成に向けた 界面イオンダイナミクスの科学	令和元年度 ～ 令和5年度	入山 恭寿	名古屋大学・工学研究科・教授	13
A01 計	蓄電固体材料のモデル界面形成と その界面イオンダイナミクスに関する 基礎研究	令和元年度 ～ 令和5年度	入山 恭寿	名古屋大学・工学研究科・教授	6
A02 計	高度計測の統合利用による蓄電固体 界面の物理化学局所状態の改名	令和元年度 ～ 令和5年度	雨澤 浩史	東北大学・多元物質科学研究 所・教授	8
A03 計	理論・計算・データ科学による蓄電 固体界面イオンダイナミクスの機 構解明	令和元年度 ～ 令和5年度	館山 佳尚	国立研究開発法人物質・材 料研究機構・エネルギー・環 境材料研究拠点・グループ リーダー	5
A04 計	蓄電固体界面の機能開拓と界面新 材料開発	令和元年度 ～ 令和5年度	藪内 直明	横浜国立大学・大学院工学 研究院・教授	5
総括班・総括班以外の計画研究 計 5 件					

[1] 総：総括班、国：国際活動支援班、計：総括班以外の計画研究、公：公募研究

[2] 研究代表者及び研究分担者の人数（辞退又は削除した者を除く。）

2 公募研究

研究項目[1]	課題番号 研究課題名	研究期間	研究代表者 氏名	所属研究機関・部局・職	人数 [2]
A01 公	20H05282 応力が蓄電固体デバイスの化学ポテンシャルに及ぼす影響の定量的評価	令和2年度 ～ 令和3年度	木村 勇太	東北大学・多元物質科学研究所・助教	1
A01 公	22H04605 応力下における蓄電固体デバイス材料の反応形態のオペランド定量解析	令和4年度 ～ 令和5年度	木村 勇太	東北大学・多元物質科学研究所・助教	1
A01 公	20H05286 薄膜合成法による蓄電固体界面モデルの構築	令和2年度 ～ 令和3年度	鈴木 耕太	東京工業大学・科学技術創成研究院・全固体電池研究センター・准教授	1
A01 公	20H05287 固体電解質／高品質単一方位グラフェンによるリチウム挿入脱離現象の解明	令和2年度 ～ 令和3年度	乗松 航	名古屋大学・工学研究科・准教授	1
A01 公	22H04610 固体電解質／ナノカーボン界面でのLi挿入脱離機構解明と新機能創出	令和4年度 ～ 令和5年度	乗松 航	早稲田大学・基幹理工学部電子物理システム学科・教授	1
A01 公	20H05288 Li／酸化物系無機固体電解質界面の親和性発現機構の解明	令和2年度 ～ 令和3年度	本山 宗主	名古屋大学・工学研究科・講師	1
A01 公	22H04611 静水圧制御環境下の固固界面を介したLiの析出溶解反応	令和4年度 ～ 令和5年度	本山 宗主	九州大学・エネルギー研究教育機構・准教授	1
A01 公	20H05299 Si 薄膜モデル電極を用いる固／固界面イオン移動に関する研究	令和2年度 ～ 令和3年度	土井 貴之	同志社大学・理工学部 機能分子・生命化学科・教授	1
A01 公	22H04624 厚膜Si化合物電極を用いた蓄電固体界面の構築と抵抗解析	令和4年度 ～ 令和5年度	土井 貴之	同志社大学・理工学部 機能分子・生命化学科・教授	1
A01 公	22H04609 蓄電固体材料酸化物単結晶の育成と異方的電気化学特性の解明	令和4年度 ～ 令和5年度	丸山 祐樹	山梨大学・総合研究部・助教	1
A01 公	22H04626 有機系固体電解質／金属Li負極界面の設計とそのイオンダイナミクス	令和4年度 ～ 令和5年度	前吉 雄太	産総研・エネルギー・環境領域 電池技術研究部門・主任研究員	1
A02 公	20H05292 その場観測固体高分解能NMRの開発	令和2年度 ～ 令和3年度	野田 泰斗	京都大学・理学研究科・助教	1

A02 公	22H04618 電圧印加その場核四重極共鳴法の 開発	令和4年度 ～ 令和5年度	野田 泰斗	京都大学・理学研究科・助教	1
A02 公	20H05293 TOF-ERDA法を用いた界面近傍の イオン濃度分布変動のその場観測	令和2年度 ～ 令和3年度	間嶋 拓也	京都大学・工学研究科・准教授	1
A02 公	22H04617 オペランドTOF-ERDA法を用いた 軽元素深さ分布の直接観測	令和4年度 ～ 令和5年度	間嶋 拓也	京都大学・工学研究科・准教授	1
A02 公	20H05294 オペランドX線反射率法を用いた 蓄電固体界面イオンダイナミクス の解明	令和2年度 ～ 令和3年度	山本 健太郎	京都大学・人間・環境学研究 科・特定助教	1
A02 公	22H04616 オペランドX線反射率法を用いた 蓄電固体界面反応層形成機構の解 明	令和4年度 ～ 令和5年度	山本 健太郎	奈良女子大学・研究院工学 系・准教授	
A02 公	20H05295 環境制御した電子顕微鏡法による 蓄電固体界面の局所構造解析	令和2年度 ～ 令和3年度	麻生 亮太郎	九州大学・大学院工学研究 院・准教授	1
A02 公	22H04620 高速高分解能マッピングによる蓄 電固体界面のオペランド解析	令和4年度 ～ 令和5年度	麻生 亮太郎	九州大学・大学院工学研究 院・准教授	1
A02 公	20H05300 深さ分解X線光電子分光法による 界面異相抵抗発現機構の解明	令和2年度 ～ 令和3年度	増田 卓也	物質・材料研究機構・先端材 料解析研究拠点・副拠点長	1
A02 公	20H05302 高速表面X線回折による薄膜全固 体電池正極活物質界面のオペラン ド観察	令和2年度 ～ 令和3年度	白澤 徹郎	産業技術総合研究所・研究 戦略企画部・(計量標準総合 センター)・主任研究員	1
A02 公	22H04612 電場印加型角度分解光電子分光に よる固体電解質単結晶の電子状態 の研究	令和4年度 ～ 令和5年度	伊藤 孝寛	名古屋大学・シンクロトロ ン光研究センター・准教授	1
A03 公	20H05284 統計物理・第一原理計算連携シミ ュレーションによる蓄電固体界面 の熱力学解析	令和2年度 ～ 令和3年度	笠松 秀輔	山形大学・学術研究院・助教	1
A03 公	22H04606 第一原理基統計熱力学計算による 二次電池界面の空間電荷層解析	令和4年度 ～ 令和5年度	笠松 秀輔	山形大学 学術研究院・准 教授	1
A03 公	20H05285 機械学習ポテンシャルによる界面 近傍でのイオンダイナミクス計算	令和2年度 ～ 令和3年度	清水 康司	東京大学・工学系研究科・助 教	1

A03 公	22H04607 蓄電固体材料におけるイオン挙動の機械学習ポテンシャル解析	令和4年度 ～ 令和5年度	清水 康司	東京大学 工学系研究科・助教	1
A03 公	20H05290 多元系蓄電材料の古典力場開発と焼結界面のイオン伝導解析	令和2年度 ～ 令和3年度	小林 亮	名古屋工業大学・工学研究科・助教	1
A03 公	22H04613 非一様な固体電解質内の局所イオン伝導度解析	令和4年度 ～ 令和5年度	小林 亮	名古屋工業大学・工学研究科・准教授	1
A03 公	20H05303 蓄電界面計測データ解析のためのデータ駆動イオン輸送モデリング手法の確立	令和2年度 ～ 令和3年度	安藤 康伸	産業技術総合研究所・機能材料コンピューショナルデザイン研究センター・主任研究員	1
A04 公	20H05281 イオンの自由度を制御する金属ナノ構造複合系の創出	令和2年度 ～ 令和3年度	福島 知宏	北海道大学・理学研究院・助教	1
A04 公	20H05296 界面電場イオン動的制御による可逆結晶構造相転移とイオン-電子相関機能の開拓	令和2年度 ～ 令和3年度	神吉 輝夫	大阪大学・産業科学研究所・産業科学ナノテクノロジーセンター・准教授	1
A04 公	22H04619 界面電場イオン動的制御による可逆結晶構造相転移とイオン-格子-電子相関機能の開拓	令和4年度 ～ 令和5年度	神吉 輝夫	大阪大学・産業科学研究所・産業科学ナノテクノロジーセンター・准教授	1
A04 公	20H05297 電気化学的に生成する電極と固体電解質の間の界面抵抗に関する研究	令和2年度 ～ 令和3年度	猪石 篤	九州大学・先導物質化学研究所・助教	1
A04 公	22H04621 固体電解質その場形成型電極の高速充放電機構の解明	令和4年度 ～ 令和5年度	猪石 篤	九州大学・先導物質化学研究所・准教授	1
A04 公	20H05298 ガラス状高分子イオン伝導体のダイナミクス解明と超イオン伝導化	令和2年度 ～ 令和3年度	畠山 歆	早稲田大学・先進理工学部応用化学科・講師	1
A04 公	22H04623 特異的作用場としての芳香族高分子による塩の非晶・超イオン伝導化	令和4年度 ～ 令和5年度	畠山 歆	東京工業大学・物質理工学院・助教	1
A04 公	20H05301 固体イオニクス現象を利用する物性制御デバイスの開発と動作機構の解明	令和2年度 ～ 令和3年度	土屋 敬志	物質・材料研究機構・国際ナノアーキテクトニクス研究拠点・主幹研究員	1

A04 公	22H04625 固体イオニクスを基盤とする物性 制御デバイスの開発と界面機能の 解明	令和4年度 ～ 令和5年度	土屋 敬志	物質・材料研究機構 国際 ナノアーキテクトニクス研 究拠点・主幹研究員	1
A04 公	20H05304 イオン界面を基盤とした新奇デバ イスの創生	令和2年度 ～ 令和3年度	小野 新平	電力中央研究所・材料科学 研究所・上席研究員	1
A04 公	22H04608 固 固界面リチウムイオン輸送の 電気化学測定のための参照極およ び4極式セルの開発	令和4年度 ～ 令和5年度	池澤 篤憲	東京工業大学・助教	1
A04 公	22H04614 結晶／非晶質界面を制御した高リ チウムイオン伝導性蓄電固体材料 の液相合成	令和4年度 ～ 令和5年度	引間 和浩	豊橋技術科学大学・工学系 研・助教	1
A04 公	22H04615 全固体電池用高出力正極材料の創 出	令和4年度 ～ 令和5年度	森 大輔	三重大学・工学系研・准教授	1
A04 公	22H04622 難伝導性活物質利用へ高濃度固体 ナノ界面の多角的観測と掌握	令和4年度 ～ 令和5年度	大野 真之	東北大学・多元物質科学研 究所・准教授	1
公募研究 計 43 件					

[1] 総：総括班、国：国際活動支援班、計：総括班以外の計画研究、公：公募研究

[2] 研究代表者及び研究分担者の人数（辞退又は削除した者を除く。）

研究領域全体に係る事項

3 交付決定額

年度	合計	直接経費	間接経費
令和元年度	285,090,000 円	219,300,000 円	65,790,000 円
令和2年度	238,550,000 円	228,500,000 円	68,550,000 円
令和3年度	238,680,000 円	228,600,000 円	68,580,000 円
令和4年度	238,550,000 円	228,500,000 円	68,550,000 円
令和5年度	231,270,000 円	222,900,000 円	66,870,000 円
合計	1,466,140,000 円	1,127,800,000 円	338,340,000 円

4 研究領域の目的及び概要

研究領域全体を通じ、本研究領域の研究目的及び全体構想について、応募時の領域計画書を基に、具体的かつ簡潔に2頁以内で記述すること。なお、記述に当たっては、どのような点が「革新的・創造的な学術研究の発展が期待される研究領域」であるか、研究の学術的背景や領域設定期間終了後に期待される成果等を明確にすること。

【研究目的】

固体と固体の界面における電子とイオンの学理を構築

固体と固体が接合すると、その界面近傍で固体本来（バルク）の性質とは異なる全く新しい機能が生じる。電子とホールが電荷キャリアとして存在する半導体では、p型とn型の半導体が接合すると、フェルミ準位 (E_F) が一定となるよう、界面で電荷が僅かに移動してバンド屈曲した空間電荷層が形成される。この界面でのキャリア変調は、スイッチングや非線形抵抗、光電変換、界面容量として電子デバイスに広く応用されている。

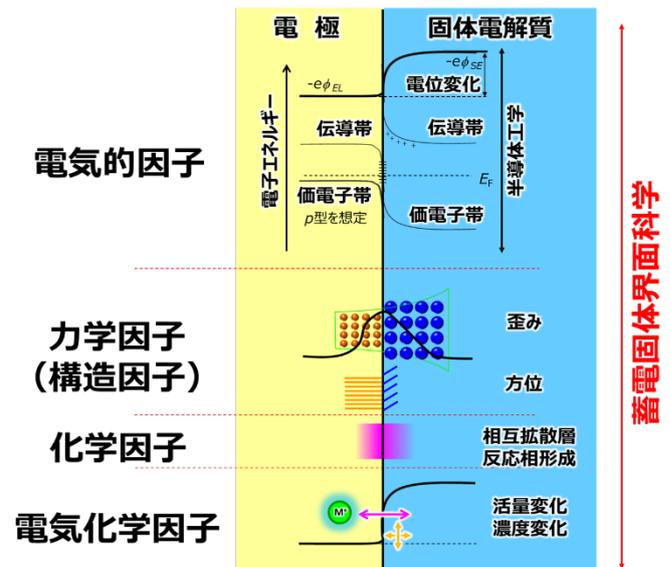
本研究領域で対象とする蓄電固体材料では、電子とホール以外にイオン M^+ ($M=Li, Na$ など) も電荷キャリアとして存在する。ここで蓄電固体材料とは、①電子・ホールが M^+ より高速に伝導し、バルク内の M^+ 濃度を電位で自在且つ顕著に制御できる材料（インサージョン電極材料：電極）② M^+ が電子・ホールより高速に伝導する材料（固体電解質：電解質）の二種類を指す。二種類の蓄電固体材料が接合する（＝蓄電固体界面）と、界面近傍では電子やホールに加えて M^+ の移動も起こることで平衡状態が形成され、全てのキャリアの電気化学ポテンシャル (η) が一定となる。この結果、蓄電固体界面では空間電荷層の形成に加えて、 M^+ の濃度・活量変化と、 M^+ の伝導を担う骨格

構造の力学緩和（歪み分布）がもたらされ、バルクと異なる特異なイオンダイナミクスが発現する。本領域では、蓄電固体材料のヘテロ・ホモ界面におけるこのような変調で発現する特異なイオンダイナミクスの機構を解明し、イオンを自在に“超高速輸送” “高濃度蓄積” する界面構築のための指導原理の確立と、既存の概念に捉われない新機能を発現させるための学理構築を目的とする。この目的達成に向けて、これまで本領域を中心的に牽引してきた電気化学、材料化学、固体イオニクスの学域に、最先端の薄膜工学、高度計測科学、計算・データ科学を融合して、蓄電固体材料の界面科学を格段に発展させる。広く化学・物理の領域にまたがる蓄電固体界面科学の構築は、本領域においてモデルケースで扱われるデバイスのみならず、全く新しい蓄電固体デバイスの創成へと飛躍的に展開し、革新的・創造的な学術研究の発展が期待される研究領域である。

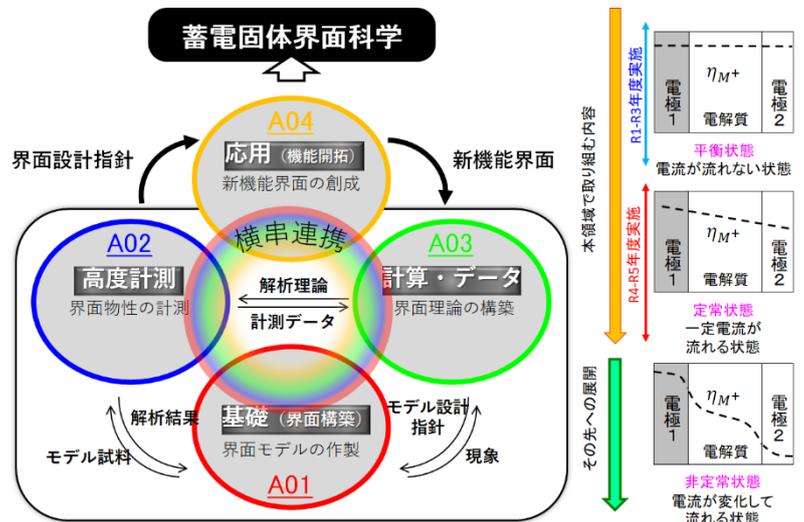
【全体構想】

本領域の研究項目は、(1)蓄電固体界面のモデル構築 (A01)、(2)界面近傍の物性の高度計測 (A02)、(3)蓄電固体界面の計算・データ科学 (A03)、(4) 界面機能開拓 (A04)、の4項目であり、A01-A04の各計画研究で実施する。また、総括班は計画研究・公募研究の連携推進、HP等を活用した成果公開やシンポジウム等の企画、連携戦略の立案や領域内の問題解決などを領域評価委員・オブザーバーの先生方からの意見を参考に進める。これら研究項目の有機的連携により学理構築を目指す。

はじめの3年で平衡状態における蓄電固体界面の描像・機能発現の起源を明らかにし、それをもとに複合材料の機能先鋭化を進め、学理構築の土台を形成する。その後の2年で定常状態における蓄電固体界面の描像を明らかにするとともに、先鋭化・新規開拓された機能材料を活用して全固体電池・固体キャパシタなどの蓄電固体デバイスを作製し、構築した学理がデバイス創成に有用に働く事例を示す。その後は、非平衡状態の描像解明に向けた指針と課題を抽出してその連携を模索すると共に、それを好機として革新的蓄電固体デバイスの創成に向けた新たな学術研究に展開させる。



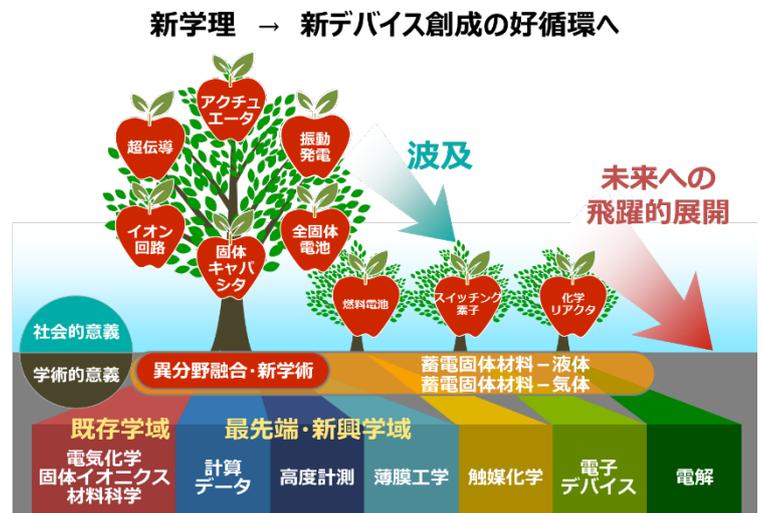
蓄電固体界面の学理構築が難航しているのは、実験系で組みあわされる材料とその構築プロセスが多岐にわたり、情報が発散していることも要因の一つである。本領域は A01 及び A04 が提供する標準材料を多角的に計測し、この結果を理論と照らし合わせることで、実験・計測・理論が整合する研究を進める戦略である。本領域の計画研究では、室温近傍で作動し材料・計測の基礎構築が出来ている Li および Na に絞る。公募研究と国際共同研究、更には JST・NEDO と社会実装・実用化に向けて強化した連携研究は、本領域の研究を発展・強化・補強・深化する役割であるとともに、構築されていく学理をテストする場ともなる。



界面近傍の物性変化の探求にはモデル界面が必要であり、A01 が担当する。このモデル界面の物性変化を調べるためには、高度計測の統合による界面物性（イオン物性、電子物性、構造物性、力学物性）の計測が必要であり、A02 が担当する。得られた計測結果をもとに界面イオンダイナミクスの機構を解明するためには理論構築が必要であり、A03 が担当する。蓄電固体界面が備える特性を知り、それを材料とするには複合材料を開発する必要があり、A04 が担当する。こうした連携で蓄電固体界面が機能発現する特性決定因子が抽出され、物性分布と特性決定因子との相関が明らかにされながら学理構築が進む。この際、指摘事項への対応として“学理構築のために因子を整理しながら進める”ために、鍵となる8つの界面基礎の横串連携を構築し、その有機的連携により蓄電固体界面科学の学理を深化していく。

【どのような点が「革新的・創造的な学術研究の発展が期待される研究領域」であるか】

本領域の学術的背景の視点からみると、蓄電固体界面科学は、有限サイズを有するイオンの移動を伴う力学緩和・活量変化を考慮した固体界面の学術に位置づけられ、半導体工学との融合により、電子・ホール・イオン・歪み・活量の統合科学に立脚する創造的な固体界面工学への学術発展が期待できる。また、蓄電固体材料の界面でイオンを自在に超高速輸送・高濃度蓄積し得る界面構築の指導原理が確立すると、蓄電固体材料と液体・気体との界面科学に発展し、それを活用する斬新な蓄電固体デバイスの創成と新たな学域創成への波及効果も期待される。



次に、本領域終了後に期待される成果の観点からみると、本領域がモデルケースの一つで扱う全固体電池の研究領域は世界的にみても国内研究者の活躍がめざましく、我が国に国際的優位性がある。しかし、その研究競争は激化し、優位性が危ぶまれている。この状況を打破するためには、鍵となる蓄電固体材料の界面抵抗の低減と安定化、高エネルギー密度化への界面・バルク材料開発が喫緊の課題であるが、本領域で構築する学理により全固体電池の界面設計戦略が格段に明確化し、圧倒的速度で高性能化を実現する上で重要である。高性能全固体電池の開発は脱炭素社会の加速にも有用であり、その社会的意義は極めて大きい。

5 審査結果の所見及び中間評価結果の所見で指摘を受けた事項への対応状況

研究領域全体を通じ、審査結果の所見及び中間評価結果の所見において指摘を受けた事項があった場合には、当該指摘及びその対応状況等について、具体的かつ簡潔に2頁以内で記述すること。

(審査結果の所見において指摘を受けた事項への対応状況)

以下に、審査結果の所見における留意事項(要点)とその対応状況を示す。参考意見は特になかった。

(留意事項の要点)

- ① 理論・計算・データを中心とした研究に関して、イオンのダイナミクスを記述するモデルや、何を計算しようとしているか、さらにはインフォマティクスの適用方法などを明確にした研究推進。
- ② 諸説ある界面のイオンのダイナミクスを支配している因子の整理、仮説の設定。
- ③ 応用展開(新材料・デバイス)の具体的な方向性の明確化。

事項①に対する対応状況(古典理論と計算科学の統一、学理構築のためのライブラリ構築)

本領域の研究目標の一つは、蓄電固体界面におけるイオンダイナミクスに対し古典理論と計算科学の統一的な描像を与えることである。この際、全固体電池を混合伝導体の接合デバイスとして取り扱い、界面近傍では化学ポテンシャル変調と空間電荷層形成をともに考慮したイオン分布の計算に取り組んだ。また、古典的な電気化学理論による界面反応速度には Butler-Volmer 式が用いられるが、電極の膨張・収縮による応力因子を補正項に加えることで実験を再現する方程式を得た。また界面接合時や充放電時における副反応生成や固体電解質の組成変化が界面での Li の化学ポテンシャル整合で整理できることに着目し、それらを数値化した。このように、界面近傍で起こる現象解明に向けた計算を様々行った。

インフォマティクス適用に関しては、従来型の計算データを基にした解析に加え、高度計測データに包含される大量の情報を効率的に抽出することを目的とした戦略を当初から実行している。(現在注目されているマテリアル DX の走りとなっている。) 具体的には STEM-EELS データのスペクトル分解 AI 技術、X 線タイコグラフィ計測で得られた 2-3 次元 XAFS 情報の AI 分類による粒子内部の化学状態分布や全固体電池の丸ごと反応解析に展開した。

事項②に対する対応状況(因子を整理して学理構築を進めるための横串連携の構築)

全固体電池を例にすると、電池の高性能化のために様々な蓄電固体材料が用いられ、電池内部に構築される界面も多様である。本指摘事項に対し、様々な界面での諸説を4で示した因子をもとに分類して学理構築を進めた。この学理構築を実験・計測・計算が連携して進めるために、注力すべき界面・キーワードを右図に示すような8つの横串連携を計画研究の横断として構築した。それぞれの界面基礎において実験・計測・計算の連携研究が進められるように計画・公募研究を配置した。

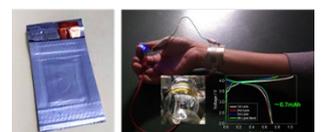


事項③に対する対応状況(全固体電池の実用化にむけた連携と新たな評価体制の構築)

応用展開の主な方向性を全固体電池とし、国内で進められている全固体電池の社会実装(JST ALCA-SPRING)及び評価・基盤技術開発(NEDO SOLiD-EV)に関わる研究と連携した。また、これらPJの中核となる先生方に領域の評価・オブザーバーに着任頂き、全固体電池の実用化の観点から領域への助言を頂く体制を構築した。計画研究代表者は各PJのシンポジウムに参加し、実用化に向けた界面の基礎的課題を把握して、その課題を学理構築の仮説をもとに検証する研究も進めた。その結果、無歪電極材料が全固体電池の長寿命化にきわめて有効な材料となること、界面反応の安定化に有用な新規コート層材料の開発指針とそのメカニズム解明に貢献した。これら連携成果が認められ、ALCA-SPRINGの後継となるGteXでは硫化物系(A04林)と酸化物系(A01入山)等の研究代表者に採択された。また、SOLiD-EVの後継となるSOLiD-Nextには領域メンバー6名(PJに参画するアカデミアの1/3)が新規参画した。領域の基礎的な取り組みが社会実装・実用化に着実に貢献しつつある。



全固体電池
実用化連携



(中間評価結果の所見において指摘を受けた事項への対応状況)

以下に、中間評価結果の所見における留意事項及び参考意見(要点)とその対応状況を示す。

(留意事項)

- ①特にシミュレーションと実験研究の融合等、より一層研究者間の密な共同研究の推進。
- ②個別ケーススタディ的研究に留まることなく、俯瞰的学理構築を目指して頂きたい。定常状態解析から、実材料で重要な非定常状態への取り組みも含め、後半の研究推進を期待する。

(参考意見)

- ③領域研究としての連絡を密にして、各研究者の英知を結集し、個別各論を超えた新しい材料科学領域への発展とその卓越した研究成果を期待したい。

事項①に対する対応状況(シミュレーションと実験研究の融合等、一層の研究者間の密な共同研究推進)

結晶化ガラス界面については、Bader法を用いた可動イオン(Li)電荷の可視化、多角高度解析と国際共同研究を通じた機械学習逆モンテカルロ法によるガラス構造再現手法の開発により、結晶化ガラスの結晶/ガラス界面近傍に高速イオン伝導に寄与する特異な配位構造が形成されることが見出されている。固体電解質/Li金属界面では数nmの範囲で空間電荷による不定比領域(Li濃化)が形成されることが第一原理計算から示されたが、この厚みは実験的に観測されている空間電荷層の厚みともオーダーが一致することがわかった。また、シミュレーションと実験研究の融合以外にも、例えばTOF-ERDAが固体内の水素定量も可能である特徴を活かし、プロトン脱挿入によるスイッチング素子やプロトン貯蔵材料の開発と連携した新規蓄電固体デバイス開発の連携が進んだ(A02間嶋、A04菅・神吉)。また、無歪正極の研究成果を起点とし、無歪負極の材料開発とそれら電極を用いた“全無歪全固体電池”の研究開発が進められた(A04藪内・林・大久保)。

上記研究は、新学術領域の中で戦略的・組織的な連携をすることで実現できうるシナジー効果による成果である。領域開始当初より横串連携を構築し、各横軸グループでのキーワードをもとに連携を推奨してきた。その結果、最終的に領域成果論文(352件)のうち22%が連携成果となった。

事項②及び③に対する対応状況(俯瞰的学理構築と定常状態・非定常状態への取り組み及び新しい材料科学領域への発展に向けて)

平衡状態については、研究領域の目的及び概要で示した各種因子を基軸として平衡論に関する俯瞰的学理が様々構築された。化学因子については、電極-固体電解質界面を接合する際や電池を充放電した際に生じる界面近傍の化学変質は、電極及び固体電解質中の可動種(例えばLi)の化学ポテンシャルが界面で一致する考え方で整理でき、その空間的な広がりや電位分布が固体電解質の電子伝導率をもとに説明できることがわかった。電気的因子については、特に空間電荷層は界面数nm程度の厚みで形成されることが実験的に示され、DFT計算と同様な厚みとなることがわかった。構造因子については、結晶/ガラス電解質近傍の特異な配位環境が結晶化ガラス電解質の高イオン伝導化に寄与することがわかった。力学因子については、電極へのイオンの挿入脱離に伴う体積変化が無視できる材料(無歪電極)やその応力を緩和する多孔性電極を用いると、挿入脱離反応に伴う界面剥離が抑制され、例えば全固体電池の長寿命化・高エネルギー密度化に有用となることが示された。このように、蓄電固体デバイスの高性能化・長寿命化に向けて材料が備えるべき基礎的特徴を界面の視点から俯瞰的に整理する知見が得られ、今後の新材料開発の基軸が明確となった。

定常状態については、電極反応の記述式に力学因子の影響を補正した方程式が見出された。電極反応過程においては反応活性点量に変化する予備的知見も得られた。また、電極の充放電過程で生じる可動イオンの分布変化をTEM-EELSで動的観察する手法が開発された。

非定常状態については、固体電解質内部のイオンダイナミクスに関する研究が進められた。界面で起こる非定常現象の理解に向けてはその研究指針と課題抽出に向けた議論が2022年12月頃から進められた。それら議論をもとに、2024年4月より新学術「水素・水素イオン・水素分子(H30-R4:代表 東北大 折茂教授)」との連携により、特に速度論の研究課題の突き詰めと新材料科学への発展を対象とした学術変革領域A「イオン渋滞学(R6-R10:代表 東大 一杉教授)」が蓄電固体界面科学の後継として採択され、学域融合による新たな基礎学術の発展へと展開しつつある。このように、領域当初に期待していた新たな学術研究へ着実に展開した。

6 研究目的の達成度及び主な成果

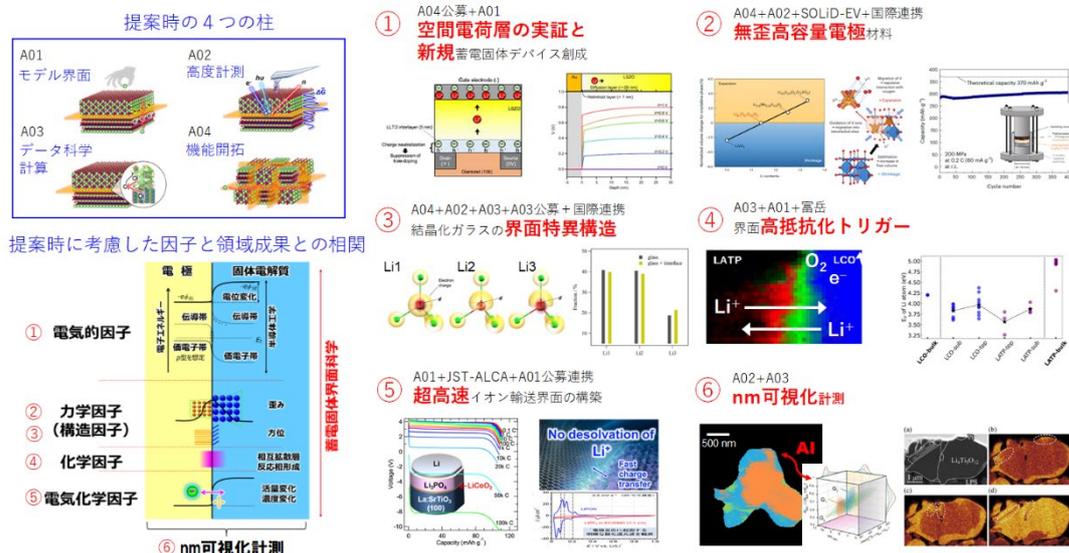
(1) 領域設定期間内に何をどこまで明らかにしようとし、どの程度達成できたか、(2) 本研究領域により得られた成果について、具体的かつ簡潔に5頁以内で記述すること。(1)は研究項目ごと、(2)は研究項目ごとに計画研究・公募研究の順で記載すること。なお、本研究領域内の共同研究等による成果の場合はその旨を明確にすること。

【主な成果のダイジェスト】※ [A1P1]などの番号は項目6に記載の論文番号に対応

提案時の4つの柱(計画研究)の戦略的連携のもと、界面イオンダイナミクスに関わる因子の解明(基礎学理構築)に向けた研究を行った。その学理をもとに、全固体電池などの産業競争力強化に資する次世代固体イオクスデバイスの設計指針を明確化し、多くの成果が得られた。本項では、その中で特に顕著な成果群を示す。

- ① **空間電荷層の実証と新規蓄電固体デバイスの創成**：電極と固体電解質の界面では空間電荷層が数 nm の厚みで存在しうることが実験的に実証され、それを活用したイオンランジスタが開発された。
[A4P29] *T. Tsuchiya et al., *Commun. Chem.* (2021) (A04) 等
- ② **無歪高容量電極材料の開発**：電極反応における高い電荷蓄積を実現しつつ、その体積変化を“ゼロ”にできる材料が実現し、全固体電池の長寿命化に大きく貢献することが見出された。
[A4P7] I. Konuma, K. Ohara, T. Miyuki, *N. Yabuuchi et al., *Nature Mater.* (2023) (A04+A02+SOLID-EV).
- ③ **結晶化ガラス界面での高速イオン伝導機構の解明**：結晶化ガラスでは可動イオンの配位環境が3タイプに分類でき、結晶/ガラス界面近傍で高イオン伝導配位構造が優先形成されることを解明した。
[A2P5] H. Yamada, *K. Ohara, K. Ikeda, R. Kobayashi, K. Amezawa, Y. Tateyama, S. Mori, *A. Hayashi, et al., *Energy Environ. Mater.* (2023) (A04+A03+A02).
- ④ **界面の高抵抗化トリガー解明**：電極と固体電解質を接合する際に界面近傍では可動イオンの化学ポテンシャル差に起因する不定比性が生じ、これが高抵抗化のトリガーとなることを解明した
[A3P10] H.-K. Tian, S. Muto, Y. Iriyama, *Y. Tateyama et al., *ACS Appl. Mat. Int.* (2020) (A03+A01) 等。
- ⑤ **超低抵抗界面イオン輸送**：可動イオンの化学ポテンシャルを制御した界面構築手法を開発し、エピタキシャル電極と融合して、超高速界面イオン輸送界面や特異な電荷蓄積現象が見出された。
[A1P12] K. Kawashima, T. Ohnishi, et al., *ACS Appl. Ene. Mat.* (2020) (A01) 等
- ⑥ **nm可視化計測**：平衡状態における蓄電固体材料の微構造の高度計測とAIを連携した可視化計測手法を開発し、更に定常状態の界面イオンダイナミクスを可視化する計測手法が確立された。
[A2P11] H. Uematsu, *N. Ishiguro, H. Dam, M. Okubo, Y. Takahashi et al., *J. Phys. Chem. Lett.* (2021) (A02+A03+A04) 等。

以上のように、提案時に考慮した電気的因子、力学因子、構造因子、化学因子、電気化学因子に関わる卓越した成果が得られ、計測と計算の高度な連携により新規計測手法が開発された。これらにより、蓄電固体界面科学の学理構築とそれを用いた蓄電固体デバイスの高性能化・新規デバイス創成が実現した。



(1) 何をどこまで明らかにしようとし、どの程度達成できたか

本項目では、前半 3 年は蓄電固体界面でのイオン輸送・蓄積に関わる因子を抽出するモデル材料（エピタキシャル薄膜と単結晶電解質）・標準電池を開発し提供する基盤を構築した。また、界面イオン輸送・蓄積の特性支配因子の抽出に向けた基礎検討を行った。その結果、界面イオン輸送を高抵抗化するトリガーを解明した。後半 2 年は、その基礎理論をもとに、化学ポテンシャル制御接合、高性能コート層材料の開発、低温界面接合、有機界面での抵抗支配因子解明など、超高速界面イオン輸送の先鋭化が予想以上に進展した。電荷蓄積については、界面近傍での化学ポテンシャル変調・空間電荷変調に加えて、固体電解質内部でのイオン分布に起因する電荷蓄積が生じ、結晶方位依存性があることが見えてきた。

(2) 得られた成果

【計画研究】

1. 標準電池の開発と改良 及び 高性能コート層開発の指針解明 (入山・大西)

多結晶の固体電解質 (Li-Al-Ti-P-O : LATP) 基板に $Fe_2(MoO_4)_3$ 負極膜と $LiCoO_2$ 正極膜を組み合わせた標準電池を開発し ([A1P10] *Electrochem. Comm.* (2021)), A02 での多角高度解析に活用された。また、この電池を改良して電極/コート層界面で生じる Li 濃度変化を計測し、全固体電池の長寿命化に有用なコート層材料の開発指針を得た ([A1P1] *Adv. Sci.* (2024))。

2. 界面接合時の高抵抗化トリガー解明と超低抵抗界面形成 (入山・大西・松井・獨古)

電極と固体電解質が接合された界面では可動種 (Li) の化学ポテンシャルが揃うという考え方のもと、界面接合時には電極からの Li 脱離型接合と電極への Li 供給型接合の 2 タイプが存在して界面不定比性と副反応生成が対応すること、電極電位を変化させた際の固体電解質の変質現象と劣化トリガーをいずれも整理して理解できることを明確にした ([A1P4, A1P7] *ACS Appl. Mater. Int.* (2022, 2023))。この基礎理論を活用して化学ポテンシャル制御による界面構築手法を開発し、これをエピタキシャル薄膜と組み合わせると超高速イオン輸送界面が構築されることがわかった ([A1P12] *ACS Appl. Ene. Mat.* (2020)他)。また、低抵抗界面構築に有用な固体電解質の機能分担 [A1P7]、低温界面接合 [A1P11] *Energy Tech.* (2021)、低温材料開発 [A1P3] *Inorg. Chem.* (2023), 松井・特願 2021-045633 他] など、基礎理論をもとに低抵抗界面形成に有用な界面制御・材料開発手法を開拓した。無機/有機界面では、有機溶媒の粘性が抵抗支配因子となることがわかり、低抵抗界面構築の溶媒設計指針が明確となった ([A1P5] *J. Phys. Chem. C* (2023))。

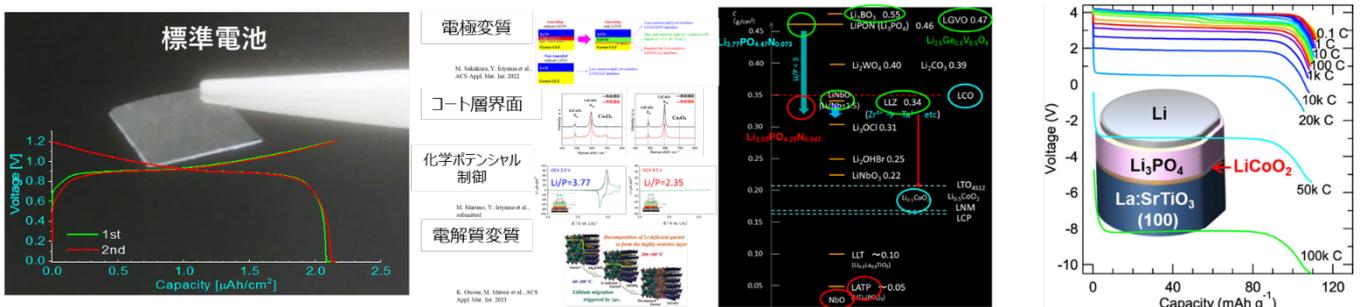
3. 界面イオン蓄積現象の緩和解析 (田中・太子・入山)

単結晶固体電解質で起こる電荷蓄積が結晶方位に依存することを実験的に解明し、民間企業とのエレクトロレット開発の知財連携が進んだ [田中・US17/116099 他]。また、mm 角サイズの世界最大の LATP 単結晶が合成され、A02 との連携で構造解析が進められた ([A1P2] *J. Solid State Electrochem.* (2024))。

【公募研究】

1. グラフェン-固体電解質での超低抵抗界面構築と電荷蓄積 (本山 (公 A01)・乗松 (公 A01)・熊谷 (計 A02)・入山 (計 A01)) 多層グラフェンと固体電解質の界面では脱溶媒和が生じなくなるため超低抵抗界面が構築されることがわかった ([A1P19] *ACS Appl. Mat. Int.* (2021))。更に、エピタキシャルグラフェンと固体電解質の界面では特異な電荷蓄積が生じることも見出された ([A1P17] *ACS Nano* (2023))。

2. 応力緩和構造の形成と応力を伴う相変態 (土井 (公 A01)、木村 (公 A01)) 充放電過程に伴う体積変化は力学因子に基づく劣化をもたらすが、Si の事例において界面に多孔構造を形成すると界面反応が飛躍的に安定化することが見出された。また、結晶電極-固体電解質の応力が電位 ([A1P19] *Electrochemistry* (2021)) と相変化機構 ([A1P15] *RSC Advances* (2024)) に及ぼす影響が解明された。



図：(a)開発した標準電池の写真。(b)Li 濃度を指標に考える Li 脱離型・供給型接合と副反応・低抵抗界面構築・電極反応に伴う固体電解質変質の予測図。(c)超低抵抗界面を備えた薄膜電池の充放電。

研究項目 A02 高度計測の統合利用による蓄電固体界面の物理化学局所状態の解明

(1) 何をどこまで明らかにしようとし、どの程度達成できたか

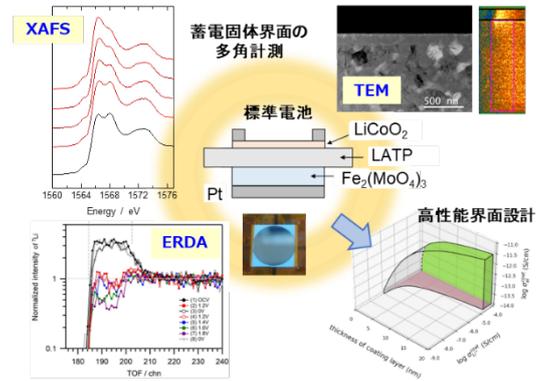
本項目では、X線回折・吸収・散乱(雨澤・尾原・山本健・白澤)、中性子回折・散乱(池田)、電子顕微鏡および電子線回折・元素分析・ホログラフィ(山本和・森・麻生)、電気化学顕微鏡(熊谷)、タイコグラフィ(高橋・石黒)、ケルビンプローブ顕微鏡(雨澤)、固体核磁気共鳴(桑田・野田)、二次イオン質量分析(桑田)、X線光電子分光(増田・伊藤)、弾性反跳粒子検出(間嶋)を、蓄電固体界面の物理化学状態を計測する基盤技術として高度化・確立した。また、A01、A04から提供されたモデルヘテロ界面、ホモ界面を標準試料に対し、確立された計測技術の統合利用により物理化学因子を多角的に検討すると共に、A03による理論計算の結果も総合することで、蓄電固体界面におけるイオン輸送・蓄電特性に影響を及ぼす因子を明らかにした。

(2) 得られた成果

【計画研究】

1. モデルヘテロ界面(標準電池)の多角的計測(雨澤・山本和・桑田・熊谷・高橋・石黒・間嶋・山本健・麻生・増田/入山(計A01)/館山・武藤(計A03))

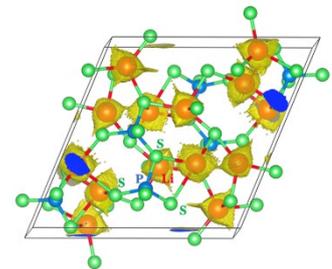
本研究で高度化・確立された各種手法を用い、A01提供の標準電池(モデルヘテロ界面): LiCoO_2 薄膜もしくはPt薄膜/LATP電解質界面の多角的計測を行った。その結果、界面での高抵抗要因が高電圧印加に誘起されて形成され、それが低電圧印加により部分的に消失すること、等を明らかにした。また、この高抵抗要因の形成起源について、化学ポテンシャルを駆動力と考える固体イオニクスの観点、空間電荷層による半導体界面工学的観点の両面から考察し、その定性的解釈に成功した。さらに、これを踏まえ、蓄電固体デバイスを安定に作動させる界面設計の指針を明らかにした。([A2P2] *Phys. Chem. Chem. Phys.* (2021), [A2P10] *Chem. Comm.* (2020) 他)



図：標準電池の多角計測と高性能界面設計。

2. モデルホモ界面(標準結晶化ガラスセラミックスカチオン伝導体)の多角的計測(尾原・森・池田・雨澤/小林(計A03)/林(計A04))

電子線、X線、中性子回折・散乱による多角計測とトポロジカル分析により、晶質/非晶質相が混在する材料における平均/局所構造を精密評価できる手法を確立した。またこの手法を、A04提供の結晶化ガラスカチオン伝導体を共通試料(モデルホモ界面)として適用した。その結果、例えば Li_3PS_4 系結晶化ガラスでは、非晶質相における PS_4 分子周りの Li_x 多面体の結合形態(PS_4 周囲の Li^+ 分布)とイオン伝導特性に相関性を見出した。本成果は、イオン伝導ガラスの新物質開発、特性理解を促進し、固体電解質材料開発に新たな指針を提供するものである。([A2P5] *Energy Environ. Mater.* (2023), [A2P6] *J. Phys. Chem. C* (2023), 森・特願 2021-49446 他)



図：多角計測とトポロジカル分析による Li_3PS_4 硫化物ガラスにおける Li^+ 伝導環境の解明。

3. 電極活物質の不均一反応可視化(高橋・石黒/入山(計A01)/Dam(計A03)/大久保(計A04))

三次元・高空間分解能での界面評価が可能なタイコグラフィ XAFS 法を用い、イオン拡散・反応の可視化技術を開発した。これとデータマイニング解析を融合し、リチウム電池活物質粒子に内在する化学状態の不均一性の可視化に成功した([A2P9] *J. Phys. Chem. Lett.* (2022) 他)。

【公募研究】

4. 蓄電固体界面における軽元素定量評価(間嶋(公A02)/菅(計A04)/入山(計A01))

弾性反跳粒子検出法を用い、軽元素を深さ方向に定量分析できる手法を確立した。これを種々の蓄電固体材料・界面に適用し、リチウムや水素等の分布を評価した([A2P16] *Appl. Phys. Lett.* (2024) 他)

5. 高分解能 NMR による電解質内電場分布計測手法の開発(野田(公A02))

核四重極共鳴を迅速に測定する手法を開発し、これにより核スピンをプローブにして電解質内の電場分布を非破壊・非接触に測定する手法を新たに提案した。([A2P18] *Phys. Chem. Chem. Phys.* (2020).)

(1) 何をどこまで明らかにしようとしているのか？

本項目では、蓄電固体界面におけるイオン輸送・蓄積の特異な振舞いのメカニズムを計算・データ科学研究を用いて明らかにし、蓄電固体の新学理の構築を先導することを目標としてきた。計画研究では、蓄電固体界面に向けたナノスケール第一原理計算（館山、中山）、高精度メソスケール計算（井上）、実験データに関するデータ駆動型 AI 解析（Dam、武藤、中山）、各技術の開発・拡張を行い、それをもとに実験グループが扱う蓄電固体界面の代表的モデル系の平衡状態の理解にまず取り組み、続いて定常状態の理解へと発展させた。さらに公募研究者（安藤、笠松、小林、清水）が計画研究と相補的分野の研究を進めることにより、総合的な知見を獲得し、それを集約して普遍的な学理構築に取り組んだ。

中間評価実施時まで、モデル系の平衡状態について様々な基礎的知見の抽出に成功した。（論文数 46 件、領域内重要連携が 12 件）。中間評価以降は平衡状態の学理構築とともに、困難を伴う非平衡定常状態解析に挑戦し、幾つかの基礎的知見を得るまでに至った。その点で本領域における計算・データ科学分野の役割を十二分に果たしたと云える。（論文数 102 件、領域内連携 25 件）

(2) 得られた成果

【計画研究】

1. ヘテロ固固界面の高効率サンプリング手法の開発（館山・中山）

粒子群最適化手法(CALYPSO 法) や遺伝的アルゴリズムを用いて、低エネルギーで出現確率が高いヘテロ固固界面の高効率サンプリング手法を世界で初めて開発した([A3P22] *Chem. Mater.* (2020) 等]

2. 標準電池モデルヘテロ界面の微視的解析（館山・武藤：A01・A02）

本領域の標準モデル界面である LiCoO_2 正極/ $\text{Li}_{1.3}\text{Al}_{0.3}\text{Ti}_{1.7}(\text{PO}_4)_3$ 固体電解質界面について、界面第一原理計算および STEM-EELS のデータ AI 解析を通して、界面接合時およびアニール時の界面イオン移動・電子移動の知見を得た。

([A3P23] *J. Am. Ceram. Soc.* (2020). (計 A03+計 A01), [A3P16] *ACS Appl. Mater. Int.* (2020). (計 A03+計 A01)等)

3. 応力効果・弾塑性変形を考慮したメソスケール計算手法開発（井上）

固体間接触とその応力効果を考慮した弾塑性変形モデルを組み込んだ離散要素計算手法を新たに構築し、応力効果・塑性変形・体積膨張収縮を考慮したイオン輸送・電気化学反応解析が可能となった ([A3P5] *J. Power Sources.* (2022))。

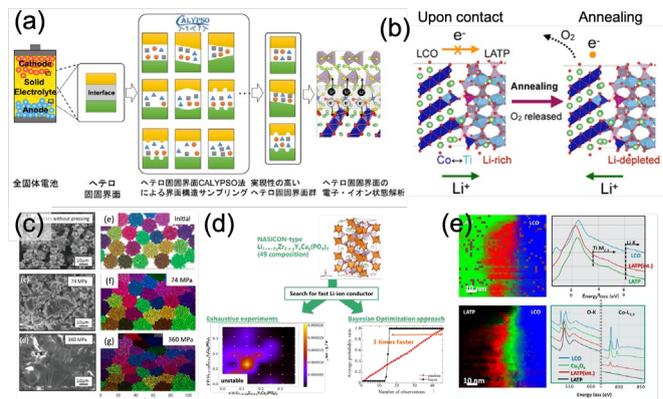
4. 実験データに関するデータ駆動型 AI 解析手法開発（武藤・Dam）

STEM-EELS/EDX 分析条件のノイズの取扱いの最適化によるデータ処理技術がほぼ確立し、界面近傍の原子スケール描像がクリアに得られるようになった。また計測 2-3 次元画像に包含されるイオン変調の特徴を自動的に発見できる AI 解析手法の適用も開始した。

5. 非平衡定常状態解析手法の開発と応用（館山・中山・小林（公 A03））イオン伝導度をより高効率に計算可能な非平衡 MD 法の開発を古典力場・第一原理の両レベルで実装し、粒界におけるイオン伝導挙動やイオン相関効果を明らかにした。これらの手法は非平衡定常状態解析の強力な武器となる。（[A3P6] *Acta Mater.* (2022), [A3P2] *npj Comput. Mater.* (2023))。

【公募研究】

6. 高精度力場の開発による固体電解質界面のイオンダイナミクス解析（中山・小林（公 A03）・清水（公 A03）・安藤（公 A03）） 第一原理計算を基準とした高精度力場ポテンシャルを開発し、より大きなスケールでのダイナミクス計算を行うことで、界面の原子構造・ダイナミクスの特徴を明らかにした。（[A3P19] *APL Mater.* (2020). (公 A03+計 A03), [A3P26] *Phys. Rev. B* (2021). (公 A03+公 A03)）



図：(a) ヘテロ固固界面高効率サンプリング法（ヘテロ界面 CALYPSO 法）の計算フロー概略図[A3P22]。(b) $\text{LiCoO}_2(\text{LCO})/\text{Li}_{1.3}\text{Al}_{0.3}\text{Ti}_{1.7}(\text{PO}_4)_3$ (LATP)モデル界面の接触時とアニール時の電子・イオン移動第一原理計算予測[A3P16]。(c) 応力効果を組み込んだ離散要素モデルによる複合電極計算の概略図[A3P5]。(d) 機械学習と合成実験の連動モデル[A3P14]。(e) LCO/LATP モデル界面の接触時とアニール時の STEM-EELS 計測と AI 解析の概略[A3P16, A3P23]。

研究項目 A04 蓄電固体界面の機能開拓と界面新材料開発

(1) 何をどこまで明らかにしようとし、どの程度達成できたか

本項目では、蓄電固体材料中の界面・粒界構造が蓄電固体材料のイオン輸送・イオン蓄積特性に影響する因子についての理解と、学術的な理論の確立を目指して研究を実施した。具体的には各種のナノ界面構造の違いが蓄電固体界面の機能の発現に及ぼす影響 (藪内・喜多條)、非晶質界面材料についての研究 (林)、さらに、アニオンレドックス現象について詳細に検討し、固体電解質と電極の界面安定性に影響する因子の解明に繋げた (大久保・藪内)。これらの研究活動の集大成として、高容量かつ Li^+ 脱挿入時の体積変化がほぼゼロの正極材料と負極材料の開発に成功した。これらの材料を硫化物系固体電解質と組み合わせることで、超低拘束圧で極めて安定に作動する全固体リチウムイオン電池を実現した。また、蓄電池以外の蓄電固体デバイスの研究開発も進展し、プロトン (菅)。その一例として、蓄電材料界面の活用により磁気特性を可逆的に制御するデバイスの作製に成功した。

(2) 得られた成果

【計画研究】

1. 高界面濃度・高密度電荷蓄積を可能とする材料開発 (藪内・林・大久保・喜多條)

1-1 高密度電荷蓄積を可能とする材料開発 (藪内・大久保)

これまで、Mn をベースに構成された、従来材料と比較して 1.5 倍の高エネルギー密度が得られるアニオンレドックス系材料を開発してきたが、研究初期の段階では可逆性の低さやイオン輸送速度が遅く、高温でのみ高エネルギー密度が得られていた。そこで、界面・欠陥構造に着目して研究を進め、材料の欠陥濃度の増加により、反応の可逆性向上が可能であり、室温で高エネルギー密度が得られることを藪内が立証した ([A4P1] *Adv. Ene. Mater.* (2024).)。また、アニオンレドックスの制御は固体電解質と電極界面における副反応を考える上で重要な知見であるが、大久保は酸素の二量体形成の抑制が可逆反応を実現する鍵となることを発見した ([A4P14] *Energy & Environ. Sci.* (2022) 計 A04+計 A03)。また、藪内は V 系岩塩型材料において界面濃度を向上させた材料を利用することで体積不変の材料を開発し、全固体電池の長寿命化に極めて有望となることを明らかにした ([A4P7] *Nature Materials* (2023) 計 A04+計 A02)。

1-2 非晶質・低結晶性材料の開発 (林・喜多條)

林はこれまでに硫化物系固体電解質において、様々な組成の材料を検討しており、これまでに、材料合成時の加熱工程を再検討することで、超高速でリチウムイオンが伝導する材料を発見し、全固体電池用電解質として有用であることを見出した ([A4P6] *J. Am. Chem. Soc.* (2023))。喜多條は酸フッ化物系高界面濃度材料を合成し、界面構造と蓄電特性の相関性を解明した([A4P8] *J. Phys. Chem. C* (2023) 計 A04+計 A02)。

2. 新しい蓄電固体デバイスの開発 (菅)

プロトンの脱挿入反応が可能な薄膜材料が見出され、プロトントランジスタデバイスへ展開した ([A4P4] *J. Solid State Electrochem.* (2024))。

【公募研究】

3. 空間電荷層の実験的実証及びスピントロニクス固体デバイスへの応用 (土屋 (公 A04))

p 型電極と固体電解質を接合したモデル系を構築し、空間電荷層が数 nm で形成されることを実験的に実証し、イオントランジスタに展開した。更に、強磁性体への Li 挿入により、低消費電力での磁性制御にも成功している。([A4P23] *Nano Letters* (2024)、[A4P29] *Comm. Chem.* (2021))

4. 有機結晶材料からなるイオン導電体 (畠山 (公 A04)) 有機結晶体に関して系統的な実験とインフォマティクスを使ったデータ解析により超リチウムイオン伝導体の発見に成功した。([A4P27] *npj Comput. Mater.* (2022))

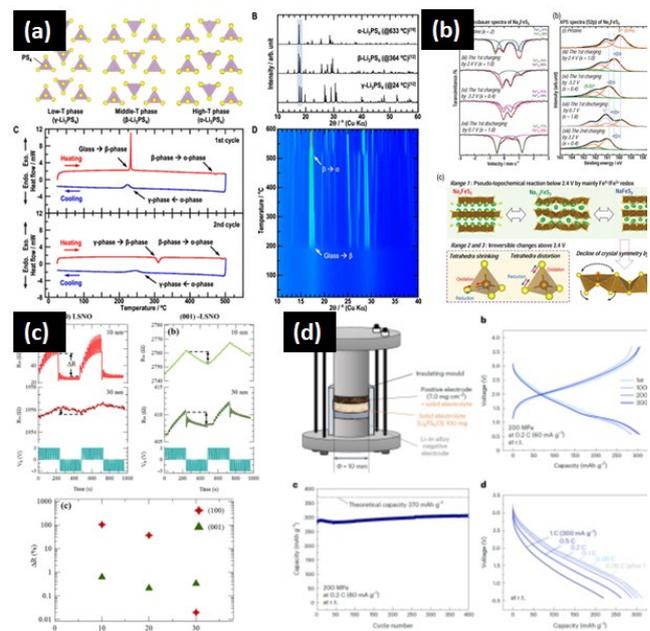


図: A04 研究成果ハイライト (a) 超イオン伝導材料の新合成プロセス確立 (b) 鉄系アニオンレドックス材料の反応機構解明 (c) 電気化学反応を用いた磁性の制御 (d) 無体積変化の材料発見と長寿命全固体電池の実証。

7 研究発表の状況

研究項目ごとに計画研究・公募研究の順で、本研究領域により得られた研究成果の発表の状況（主な雑誌論文、学会発表、書籍、産業財産権、ホームページ、主催シンポジウム、一般向けアウトリーチ活動等の状況。令和6年6月末までに掲載等が確定しているものに限る。）について、具体的かつ簡潔に5頁以内で記述すること。なお、雑誌論文の記述に当たっては、新しいものから順に発表年次をさかのぼり、研究代表者（発表当時、以下同様。）には二重下線、研究分担者には一重下線、corresponding author には左に*印を付すこと。

雑誌論文はいずれも査読有り。連携成果は赤字で記載しています。

研究項目 A01 蓄電固体材料のモデル界面形成とその界面イオンダイナミクスに関する基礎研究

【計画研究】

〔雑誌論文〕（計 71 件：連携成果 30 件）

[A1P1] K. Yoshikawa, T. Ohnishi, K. Amezawa, *Y. Iriyama et al., *Adv. Sci.* (2024) *accepted*. (計 A01+計 A02)

[A1P2] *Ka. Yamamoto, Y. Fujiwara, et al., *J. Solid State Electrochem.*, (2024) *in press*. (計 A01+計 A02+GteX)

[A1P3] R. Maeda, *M. Matsui et al., *Inorg Chem.* 62 (2023) 18830.

[A1P4] K. Onoue, *M. Matsui et al., *ACS Appl. Mater Int.* 15 (2023) 52333.

[A1P5] Y. Ugata, *K. Dokko et al., *J. Phys. Chem. C* 127 (2023) 3977.

[A1P6] F. Nakayama, T. Ohnishi, *Y. Iriyama et al., *Chem. Comm.* 58 (2022) 13262. (計 A01 内)

[A1P7] M. Sakakura, *Y. Iriyama et al., *ACS Appl. Mater Int.* 14 (2022) 48547. (計 A01+ALCA)

[A1P8] *T. Ohnishi and K. Takada, *ACS Omega.* 7 (2022) 21199.

[A1P9] *T. Ohnishi, K. Takada et al., *ACS Appl. Ene. Mat.*, 4 (2021) 14372.

[A1P10] Y. Kee, K. Amezawa, *Y. Iriyama et al., *Electrochem. Comm.*, 130 (2021) 107108. (計 A01+計 A02)

[A1P11] M. Sakakura, *Y. Iriyama et al., *Energy Tech.* 9 (2021) 2001059. (計 A01+ALCA)

[A1P12] K. Kawashima, T. Ohnishi, et al., *ACS Appl. Ene. Mat.*, 3 (2020) 11803.

[A1P13] M. K. Sugumar, *Y. Iriyama et al., *Solid State Ionics* 349 (2020) 115298.

[A1P14] *M. Motoyama et al., Y. Iriyama, *ACS Appl. Energy Mater.* 2 (2019) 6720. (公 A01+計 A01+企業)

〔学会発表〕（計 233 件：招待講演 65 件）

Y. Tanaka, *The 37th Korea-Japan International Seminar on Ceramics*, 2023/11/15-18 (国際・招待)

Y. Iriyama, *Pacific Rim Conference of Ceramic Societies*, 2023/11/5-8 (国際・基調)

K. Dokko, *7th International Conference on Advanced Capacitors*, 2023/9/26-29 (国際・招待)

M. Matsui, *46th Int. Conference and Expo on Advanced Ceramics and Composites*, 2022/1/24 (国際・招待)

太子敏則, 応物学会北信越支部, オンライン, 2020/11/27 (国内・招待)

T. Ohnishi, *19th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy/19th US Biennial Workshop on Organometallic Vapor Phase Epitaxy*, USA, 2019/7/28-8/2 (国際・招待)

〔一般向けアウトリーチ〕（計 5 件）

田中優実 他, 学術対談, *YouTube*, 2021/9/8 (視聴数：11 万回)

入山恭寿 他, NewsPick「次世代型電池」, *YouTube*, 2023/4/22 (視聴数：50.9 万回)

〔産業財産権〕（計 18 件）

松井雅樹 他, 層状複合金属酸化物結晶材料の製造方法, 特願 2021-045633

田中優美 他, エレクトレット, US17/116099 等 (計 A01+企業)

【公募研究】

〔雑誌論文〕（計 30 件：連携成果 18 件）

[A1P15] Y. Kimura, K. Ohara, Y. Iriyama, K. Amezawa et al., *RSC Advances* (2024). (公 A01+計 A02+計 A01)

[A1P16] S. Yamamoto, *M. Motoyama, A. Kumatani, W. Notimatsu, Y. Iriyama et al., *ACS Nano* 17 (2023) 16448. (公 A01+公 A01+計 A01+計 A02)

[A1P17] R. Sugimoto, T. Doi et al., *ChemElectroChem* 9 (2022) e202200491.

[A1P18] [M. Motoyama](#), [W. Norimatsu](#), [Y. Iriyama](#) et al., *ACS Appl. Mat. Int.* 4 (2021) 10442. (公 A01+計 A01)

[A1P19] [Y. Kimura](#), [K. Amezawa](#) et al., *Electrochemistry* 89 (2021) 355.

〔学会発表〕 (招待講演 6 件)

[M. Motoyama](#), 2022 MRS Spring Meeting & Exhibit, 2022/05/23-25 (国際・招待)

研究項目 A02 高度計測の統合利用による蓄電固体界面の物理化学局所状態の解明

【計画研究】

〔雑誌論文〕 (計 67 件 : 連携成果 29 件)

[A2P1] H. Sun and [Ka. Yamamoto](#), *Cell Rep. Phys. Sci.* 5 (2024) 101839.

[A2P2] S. Ando, [A. Kumatani](#), *ACS Nano* 18 (2024) 461.

[A2P3] *[Y. Nomura](#), [Ka. Yamamoto](#), et al., *J. Mater. Chem. A* 11 (2023) 23243.

[A2P4] H. Yamaguchi, *[K. Ohara](#) et al., *Sci. Rep.* 13 (2023) 16063.

[A2P5] H. Yamada, *[K. Ohara](#), [K. Ikeda](#), [R. Kobayashi](#), [K. Amezawa](#), [Y. Tateyama](#), [S. Mori](#), *[A. Hayashi](#) et al., *Energy Environ. Mater.*, e12612 (2023). (計 A02+計 A02+計 A04+計 A03+計 A02+計 A03+計 A02)

[A2P6] *[K. Ikeda](#), [K. Ohara](#), [A. Hayashi](#) et al., *J. Phys. Chem. C* 127 (2023) 6199. (計 A02+計 A02+計 A04)

[A2P7] *[Y. Nomura](#), [Ka. Yamamoto](#), *Adv. Energy Mater.* 13 (2023) 2203883.

[A2P8] *[S. Hiroi](#), *[M. Oishi](#), *[K. Ohara](#) et al., *Small* 18 (2022) 2203412.

[A2P9] *[M. Abe](#), *[N. Ishiguro](#), *[Y. Takahashi](#) et al., *J. Phys. Chem. C* 126 (2022)14047.

[A2P10] X. Hou, [Y. Kimura](#), [K. Amezawa](#), *[T. Nakamura](#) et al., *Adv. Energy Mater.* 11 (2021) 2101005. (公 A01+計 A02)

[A2P11] H. Uematsu, *[N. Ishiguro](#), [H. Dam](#), [M. Okubo](#), [Y. Takahashi](#) et al., *J. Phys. Chem. Lett.* 12 (2021) 5781. (計 A02+計 A03+計 A04)

[A2P12] G. Hasegawa, *[N. Kuwata](#) et al., *Phys. Chem. Chem. Phys.* 23 (2021) 2438.

[A2P13] *[K. Ohara](#), [Ke. Yamamoto](#) et al., *Encyclopedia of Materials: Technical Ceramics and Glasses* 3 (2020) 38. (計 A02+公 A02)

[A2P14] *[H. Tsukasaki](#), [S. Mori](#), [A. Hayashi](#) et al., *J. Power Sources* 479 (2020) 228827. (計 A02+計 A04)

〔学会発表〕 (計 181 件 : 招待講演 77 件)

[Ka. Yamamoto](#), Materials Research Society 2023 Spring Meeting, USA, 2023/4/25 (国際・招待)

[A. Kumatani](#), International Conference on Green Electrochemical Technologies, Taiwan, 2023/10/26–28 (国際・基調)

[雨澤 浩史](#), 第 48 回固体イオニクス討論会, 仙台, 2022/12/6–7 (国内・基調)

[Y. Takahashi](#), 15th International Conference on X-ray Microscopy 2022, online, 2022/06/21 (国際・招待)

[K. Ohara](#), [A. Hayashi](#), 2022 Glass & Optical Materials Division Annual Meeting, USA, 2022/05/22–26 (国際・招待)

[雨澤 浩史](#), 日本化学会 第 101 春季年会, オンライン, 2021/3/19–22 (国内・基調)

[Ka. Yamamoto](#), 45th International Conference & Expo Advanced Ceramics & Composites, Online, 2021/02/8–12 (国際・招待)

〔一般向けアウトリーチ〕 (計 13 件)

[雨澤浩史](#), 情報機構セミナー, 2021/7/26, 2022/2/21 ; CMC リサーチセミナー, 2022/8/24

[森茂生](#), 大阪府立大学工学域公開講座「高校生のためのマテリアルサイエンス入門」, 2019/11

〔産業財産権〕 (計 2 件))

[森茂生](#), 他 2 名, 「3 次元観察装置、および方法」, 特願 2021-49446

【公募研究】

〔雑誌論文〕 (計 18 件 : 連携成果 17 件)

[A2P15] *[R. Aso](#), [K. Amezawa](#) et al., *Microscopy* 73 (2024) 22. (公 A02+計 A02)

[A2P16] [T. Majima](#), [K. Amezawa](#), [Y. Iriyama](#) et al., *Appl. Phys. Lett.* (2024) accepted. (公 A02+計 A02+計 A01)

[A2P17] S. Yang, *[Ke. Yamamoto](#), [A. Hayashi](#) et al., *ACS Appl. Energy Mater.* 5 (2022) 667. (公 A02+計 A04)

[A2P18] R. Endo, T. Ohnishi, *T. Masuda et al., *J. Phys. Chem. Lett.* 13 (2022) 7363. (公 A02+計 A01)

[学会発表] (招待講演 2 件)

T. Masuda, *Material Research Society Spring 2021*, Online, 2021/04/23 (国際・招待)

研究項目 A03 理論・計算・データ科学による蓄電固体界面イオンダイナミクスの機構解明

【計画研究】

[雑誌論文] (計 102 件 : 連携成果 25 件)

[A3P1] W. Zhou, M. Nakayama, *Y. Tateyama et al., *ACS Energy Lett.* 8 (2023) 4113. (計 A03+計 A03)

[A3P2] R. Sasaki, *Y. Tateyama et al., *npj Comput. Mater.* 9 (2023) 48.

[A3P3] L. Bekaert, M. Nakayama et al., *J. Phys. Chem C* 127 (2023) 8503. (計 A03+国際連携)

[A3P4] *A. Kitajou, S. Muto et al., *ACS Appl. Energy Mater.* 5 (2023) 9587. (計 A03+計 A04) 2208

[A3P5] M. So, *G. Inoue et al., *J. Power Sources* 530 (2022) 231279.

[A3P6] *R. Kobayashi, M. Nakayama et al., *Acta Mater.* 226 (2022) 117596. (計 A03+公 A03)

[A3P7] B. Gao, *Y. Tateyama et al., *Adv. Energy Mater.* 12 (2022) 2102151.

[A3P8] *S. Muto, Y. Tateyama, Y. Iriyama et al., *ACS Energy Mater.* 5 (2022) 98. (計 A03+計 A03+計 A01)

[A3P9] R. Sasaki, *Y. Tateyama et al., *J. Mater. Chem. A* 9 (2021) 15207.

[A3P10] Z. Yang, *M. Nakayama, *R. Kobayashi et al., *Solid State Ion.* 366-367 (2021) 115662. (計 A03+公 A03)

[A3P11] *R. Jalem, Y. Tateyama, M. Nakayama et al., *Chem. Mater.* 33 (2021) 5859. (計 A03+計 A03)

[A3P12] H.-K. Tian, M. Matsui, *Y. Tateyama et al., *J. Mater. Chem. A* 9 (2021) 15207. (計 A03+計 A01) 2105

[A3P13] M. So, *G. Inoue et al., *J. Electrochem. Soc.* 168 (2021) 030538.

[A3P14] B. Gao, *Y. Tateyama et al., *ACS Appl. Mater. Interfaces* 13 (2021) 11765.

[A3P15] Z. Yang, *M. Nakayama et al., *J. Phys. Chem. C* 125 (2021) 152.

[A3P16] H.-K. Tian, S. Muto, Y. Iriyama, *Y. Tateyama et al., *ACS Appl. Mater. Interfaces* 12 (2020) 54752. (計 A03+計 A01)

[A3P17] N. N. T. Ton, *H.-C. Dam et al., *2D Mater.* 8 (2020) 015019.

[A3P18] R. Jalem, A. Hayashi, *Y. Tateyama et al., *Chem. Mater.* 32 (2020) 8373. (計 A03+計 A04)

[A3P19] *R. Kobayashi, M. Nakayama et al., *APL Mater.* 8 (2020) 081111. (計 A03+公 A03)

[A3P20] M. Harada, *M. Nakayama et al., *J. Mater. Chem. A* 8 (2020) 15103.

[A3P21] K. Nakano, *M. Nakayama, R. Kobayashi et al., *APL Mater.* 8 (2020) 041112. (計 A03+公 A03)

[A3P22] B. Gao, *Y. Tateyama et al., *Chem. Mater.* 32 (2020) 85.

[A3P23] *Y. Yamamoto, Y. Iriyama, S. Muto, *J. Am. Ceram. Soc.* 103 (2020) 1454. (計 A03+計 A01)

[学会発表] (計 274 件 : 招待講演 100 件)

H.-C. Dam, MRM2023/IUMRS-ICA2023, Kyoto, 2023/12/11-16 (国際・招待)

中山将伸, 第 63 回電気化学セミナー, 関西大学(大阪市), 2023/10/26-27 (国内・招待)

Y. Tateyama, IUMRS-ICAM & ICMAT 2023, Singapore, 2023/06/26-30 (国際・招待)

館山佳尚, 第 83 回応用物理学会秋季学術講演会, 2022/09/20-23 (国内・招待)

Y. Tateyama, 23rd Int'l Conf. on Solid State Ionics (SSI-23), Boston, 2022/07/17-22 (国際・招待)

Y. Tateyama, International Battery Association 2021, On-line, 2021/10/24-29 (国際・招待)

井上元, 日本化学会第 101 回春季年会, On-line, 2021/3/19-22 (国内・招待)

武藤俊介他, 日本金属学会 2021 年秋季第 169 回講演大会, On-line, 2021/9/14-17 (国内・招待)

【公募研究】

[雑誌論文] (計 18 件 : 連携成果 8 件)

[A3P24] *S. Kasamatsu et al., *J. Chem. Phys.* 157 (2022) 104114.

[A3P25] *K. Shimizu, Y. Ando, *S. Watanabe et al., *Phys. Rev. B* 103 (2021) 094112. (公 A03+公 A03)

[学会発表] (招待講演 12 件)

【計画研究】

〔雑誌論文〕 (計 90 件 : 連携成果 28 件)

- [A4P1] Y. Zhang, *[N. Yabuuchi et al.](#), *Adv. Energy Mater.*, 14 (2024) 2304074.
- [A4P2] A. Nasu et al., *A. Sakuda, M. Tatsumisago, *[A. Hayashi](#), *Ener. Stor. Mater.*, 67 (2024) 103307.
- [A4P3] I. Konuma, [Y. Tateyama](#), *[N. Yabuuchi et al.](#), *Ener. Stor. Mater.*, 66 (2024) 103200. (計 A04+計 A03)
- [A4P4] L. Xie, [T. Majima](#), *[D. Kan et al.](#), *J Solid State Electrochem.*, (2024) in press. (計 A04+公 A03)
- [A4P5] A. Kanno, *[N. Yabuuchi et al.](#), *ACS Energy Lett.*, 8, (2023) 2753.
- [A4P6] T. Kimura, *[A. Hayashi et al.](#), *J. Am. Chem. Soc.*, 145 (2023) 14466.
- [A4P7] I. Konuma, [K. Ohara](#), *[N. Yabuuchi et al.](#), *Nature Mater.*, 22 (2023) 225 (計 A04+公 A02+SOLID-EV)
- [A4P8] *[A. Kitajou](#), [K. Ohara](#), [K. Ikeda](#), [S. Muto et al.](#), *J. Phys. Chem. C* 127 (2023) 2866. (計 A04+計 A03 計 A02)
- [A4P9] Y. Okada, *[A. Hayashi et al.](#), *Chem. Mater.*, 35 (2023) 7422.
- [A4P10] Y. Ugata, *[N. Yabuuchi et al.](#), *Trend. Chem.*, 5 (2023) 672.
- [A4P11] Y. Ugata, *[N. Yabuuchi et al.](#), *Chem. Mater.*, 35 (2023) 3686.
- [A4P12] A. Nasu, [M. Okubo](#), [A. Hayashi et al.](#), *Small*, 18 (2022) 2203383. (計 A04+計 A04)
- [A4P13] R. Fukuma, [M. Nakayama](#), [D. Kan](#), *[N. Yabuuchi et al.](#), *ACS Cent. Sci.* 8 (2022) 775. (計 A04+計 A03)
- [A4P14] K. Kawai, [M. Nakayama](#), [M. Okubo](#), *A. Yamada et al., *Ene. Environ. Sci.* 15 (2022) 2591. (計 A04+計 A03)
- [A4P15] Y. Isoda, *[D. Kan](#), [T. Majima](#), [T. Tsuchiya et al.](#), *Appl. Phys. Lett.* 120 (2022) 091601. (計 A04+公 A02+公 A04)
- [A4P16] J. Yun, [T. Masuda](#), *[N. Yabuuchi et al.](#), *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 118 (2021) e2024969118. (計 A04+公 A02)
- [A4P17] D. Sun, [M. Okubo](#), *A. Yamada et al., *Chem. Sci.* 12 (2021) 4450.
- [A4P18] A. Tsuchimoto, [M. Okubo](#), *A. Yamada et al., *Nature Commun.* 12 (2021) 631.
- [A4P19] M. Sawamura, [K. Ohara](#), *[N. Yabuuchi et al.](#), *ACS Cent. Sci.* 6 (2020) 2326. (計 A04+計 A02)
- [A4P20] Y. Kobayashi, [M. Nakayama](#), *[N. Yabuuchi et al.](#), *Materials Today* 37 (2020) 43. (計 A04+計 03)
- [A4P21] T. Sudayama, [M. Okubo](#), *A. Yamada et al., *Ene. Environ. Sci.* 13 (2020) 1492. (計 A04+計 A03)
- [A4P22] *[A. Hayashi et al.](#), *Nature Commun.*, 10 (2019) 5266.

〔学会発表〕 (計 273 件 : 招待講演 87 件)

[N. Yabuuchi](#), 2023 International Conference on Niobium Based Batteries: Improving Cathode Performance with Niobium Technology, 2023/12/06, UK (国際・招待)

[A. Hayashi et al.](#), The 4th World Conference on Solid Electrolytes for Advanced Applications: Garnets and Competitors (LLZO4WC), 2023/09/03-07, Tromsø, Norway (国際・招待)

〔産業財産権〕 (計 31 件) [藪内](#) 特開 2023-68548

【公募研究】

〔雑誌論文〕 (計 41 件 : 連携成果 2 件)

- [A4P23] W. Namiki, *[T. Tsuchiya et al.](#), *Nano Lett.* 24 (2024) 4383.
- [A4P24] D. Nishioka, *[T. Tsuchiya et al.](#), *Sci. Adv.* 10 (2024) eadk6438.
- [A4P25] Y. Chem, *[A. Inoishi et al.](#), *J. Ener. Stor.*, 86 (2024) 111286.
- [A4P26] *[K. Hikima et al.](#), *Chem. Comm.*, 59 (2023) 6564.
- [A4P27] *[K. Hatakeyama-Sato](#), [N. Kuwata et al.](#), *npj Comput. Mater.*, 8 (2022) 170. (公 A04+計 A02)
- [A4P28] [T. Fukushima et al.](#), *K. Murakoshi, *J. Am. Chem. Soc.* 144 (2022) 12177.
- [A4P29] *[T. Tsuchiya et al.](#), *Commun. Chem.* 4 (2021) 117.

〔学会発表〕 (招待講演 16 件)

[T. Tsuchiya et al.](#), The 23rd International Conference on Solid State Ionics (SSI-23), Boston, USA, 2022/07/18 (国際・招待)

研究項目 X00 (総括班) 蓄電固体デバイスの創成に向けた界面イオンダイナミクスの科学

領域ホームページ (HP) : <https://interface-ionics.jp/>

※領域研究者の論文出版・講演、領域ニュース・イベント情報などをタイムラグなしに発信。

領域全体会議 : 計 10 回実施

※半年に 1 回実施。計画研究内及び横串連携の会議も多数実施。

国際ニュースレター (NL) : 計 8 回発行

※半年に 1 回発行。領域成果の国際的アピール、国際連携、若手研究者のキャリアパス支援等に活用。

公開シンポジウム : 計 5 回実施

※1年に1回実施。特に第2-5回はオンラインで実施し、毎回300-400名の方に参加登録頂き領域成果を効果的に配信した。第2回では吉野彰先生(2019ノーベル化学賞)にご講演頂いた。

国際会議・シンポジウム : 計 4 回実施

※第1回国際会議は11カ国157名(44名が海外)が参加し、国際ネットワークを効果的に構築した。コロナ禍であったが、上記をもとに第2-3回をオンラインで開催した。第4回はシンガポールで開催し、6カ国49名が参加した。この際、M. S. Whittingham先生(2019ノーベル化学賞)にご講演頂いた。

学会シンポジウム : 計 5 回実施

※セラミックス協会、電池討論会、日本化学会、応用物理学会、電気化学会で実施し盛況であった。

若手勉強会 : 計 5 回実施

※基礎的背景の理解向上に加え、若手研究者の優秀発表賞を設置し若手をエンカレッジした。共通装置等を紹介し国内ラボ留学による連携促進の機会を創出した。

書籍化 : 計 2 冊取りまとめ中

※最先端成果を英文書籍1冊(Springer-Nature: MRS series)にとりまとめている(2024年10-11月発行予定)。また、基礎成果を和文1冊に取りまとめる予定で進めている。

トップジャーナル誌への掲載や国内外での招待講演を多数実施し、HPを中心とした迅速な成果公開や多数のアウトリーチ活動、国際NLの発行や国際会議・シンポジウムの実施による国際的な成果の公表、学会シンポジウムや公開シンポジウム主催など積極的に成果の公表・普及に努めた。



図：総括班活動成果 (a) 領域 HP、(b) 国際ニュースレター、(c) 公開シンポジウム、(d) 学会シンポジウム、(e) 若手勉強会、(f) アウトリーチ、(g) 国際シンポジウム、(h) 領域会議。

8 研究組織の連携体制

研究領域全体を通じ、本研究領域内の研究項目間、計画研究及び公募研究間の連携体制について、図表などを用いて具体的かつ簡潔に1頁以内で記述すること。

本領域は下記4つの計画項目で構築され、公募研究はこれら計画研究に紐付けされて各計画研究内での研究を推進するとともに、領域内連携に携わった。

A01：蓄電固体材料のモデル界面形成とその界面イオンダイナミクスに関する基礎研究

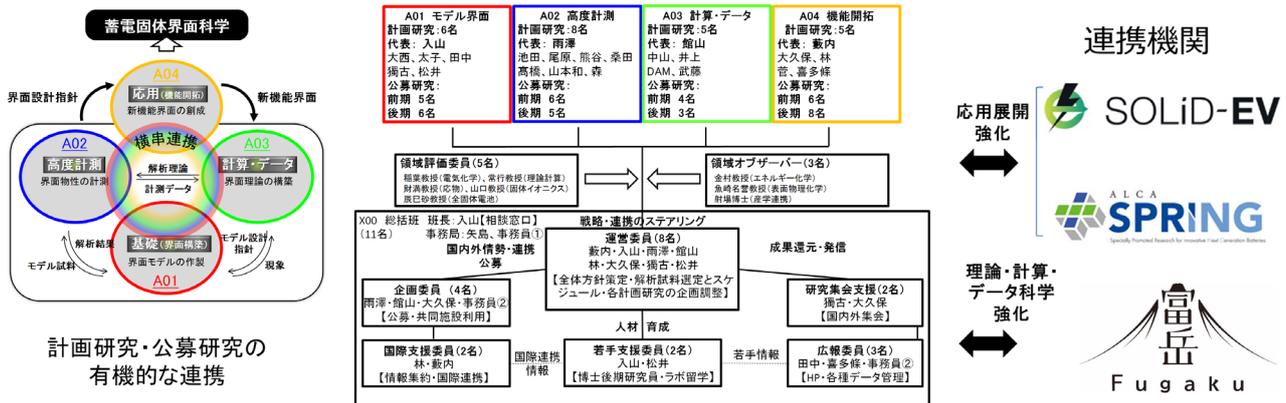
A02：高度計測の統合利用による蓄電固体界面の物理化学局所状態の解明

A03：理論・計算・データ科学による蓄電固体界面イオンダイナミクスの機構解明

A04：蓄電固体界面の機能開拓と界面新材料開発

界面近傍の物性変化の探求にはモデル界面が必要であり、A01が担当した。このモデル界面の物性変化を調べるためには、高度計測の統合による界面物性（イオン物性、電子物性、構造物性、力学物性）の計測が必要であり、A02が担当した。得られた計測結果をもとに界面イオンダイナミクスの機構を解明するためには理論構築が必要であり、A03が担当した。蓄電固体界面が備える特性を知り、それを材料とするには複合材料を開発する必要があるため、A04が担当した。応用展開、計算・データ科学を強化する他機関との連携を含め、計画・公募のメンバーが一体となり各研究項目を先鋭化した（縦串連携）。

計画・公募研究の戦略的な連携の推進、及び、領域が目指す学理構築の指針を明確化する観点から、8つの界面基礎に基づく横串連携も進めた。例えば結晶化ガラス界面ではA04が結晶化ガラスのモデル材料を作製し、A02の4つの機関で多角解析が進められ、A03の3つの機関が計算に貢献した。更にこの連携事例では若手研究者による海外武者修業を端緒とする国際連携も活用された。各界面で行き届いた目標を明確にした横串連携を進めることで、多くの連携成果が生み出された。



図：研究項目の役割とその連携 及び 他機関との連携強化の模式図（縦串連携）



図：界面基礎による計画・公募研究の戦略的連携体制の模式図（横串連携）。赤字は公募研究（後半）。

9 研究費の使用状況

研究領域全体を通じ、研究費の使用状況や効果的使用の工夫、設備等（本研究領域内で共用する設備・装置の購入・開発・運用、実験資料・資材の提供など）の活用状況について、総括班研究課題の活動状況と併せて具体的かつ簡潔に2頁以内で記述すること。また、領域設定期間最終年度の繰越しが承認された計画研究（総括班・国際活動支援班を含む。）がある場合は、その内容を記述すること。

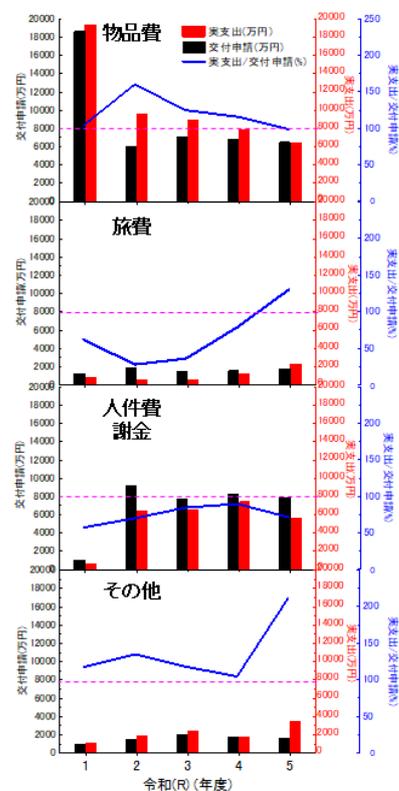
【全体的な研究費の使用状況】

下表に、研究領域全体を通じた物品費、旅費、人件費・謝金、その他 の各費目の交付申請時の割合（上段）と領域研究終了時の実績（下段）を示す。いずれの費目も両者は概ね一致し、当初計画に従った使用をした。

右図には各費目の年度ごとにおける実支出（赤）と交付申請時（黒）の額、及び実支出／交付申請の比率（推移：青線、100%：紫点線）を示している。コロナ禍（R2-R3年度）においては国内外の出張制限や海外研究者の受け入れができなかったため旅費の使用が極端に減った。一方、最終年度にはそれまでに蓄積された成果を十二分に発表する機会が得られ、旅費を有効活用して国内外へ効果的に成果をアピールした。R5年度ではその他予算の割合が増えているのは、領域の連携研究が予想以上にすすみ、特に放射光解析のための標準試料の加工費が増えたことが要因である。物品費と人件費・謝金については、概ね予定通りに使用されていることがわかる。

表 交付申請時と研究終了時の各項目の使用割合（%）の比較

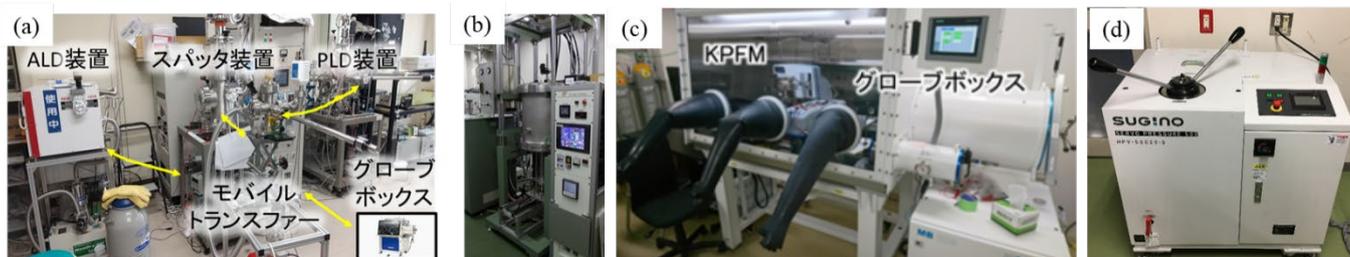
	物品費	旅費	人件費	その他
交付申請時	47.5	8.4	35.9	8.2
研究終了時	55.0	5.7	28.1	11.2



【資材提供と設備共用の工夫】

初年度および2年度にわたり、A01計画（入山）では領域に標準電池を提供するための設備を導入した。この結果、5年間でのべ77バッチの電池を作製し、11機関に提供した。これにより、特にA02において多角的検討が進められた。また、A01計画（太子）では領域に提供する単結晶固体電解質を合成する専用の電気炉を導入した。5年間でのべ55本の単結晶ロッド合成を行い、10機関に95枚の単結晶基板を提供した。A04計画（林）では結晶化ガラス固体電解質の標準物質を作製し、5年間でのべ22種類・70試料を作製し、4機関に提供した。これらはA01・A04のミッションに基づくものであり、コロナ禍の影響で装置導入が遅れた点は悔やまれるが、連携研究促進の原動力になったと考えている。

A02計画（雨澤）ではKPFM装置が導入され、固体電解質内部の電位分布の議論を進めるうえで有用な知見が得られた。また、A02が保有する高額装置（透過型電子顕微鏡）や放射光施設（SPring-8）についてはメンバー間で情報共有・技術連携が進められた。A03計画（館山）では富岳を利用した計算を実践できる場が構築され、実験・計算との連携研究が進められた。これらは計画代表の先生を中心とし、いずれも旅費・使用料程度の予算使用で効率的な連携研究が進められた好例である。A04計画（藪内）で導入された高圧電気化学測定装置は、A01公募（本山）との連携研究でも中心的に使用された。



図：(a) 標準電池を作製する“マルチスケール界面制御薄膜作製装置群”，(b) 単結晶電解質を作製する高圧ブリッジマン単結晶育成装置，(c) 標準電池の多角解析の一つであるKPFM装置，(d) ナノ材料界面・応力界面で使用する高圧電気化学測定装置

【総括班活動における効果的使用】

情報発信と社会への成果公開については領域 HP を立ち上げ、その維持費 (20 万円/年) に活用した。コロナ禍のため第 2 回公開シンポジウムは東京国際フォーラムの会場を借りてオンサイトで講演し、それをオンライン配信する手法で実施した。その結果、400 名程の方に参加登録頂き大変盛況であった。そこで、第 3 回以降はオンラインのみの公開シンポジウムに切り替えたが、毎回 300-400 名の方に参加登録いただき、成果を非常に効果的に発信できることがわかった。会場費・交通費の総額に比べ配信業者費用 (30 万円/回) は十分安価であり、効果的な予算使用の好例である。一方、公募研究が加わった際には領域パンフレットを作成して 200 名以上の方に直接郵便発送し、領域メンバーと活動をアピールした。

若手育成については、博士後期過程の学生、及び進学希望のある修士学生を対象に若手 RA 制度を設け、毎年数名を採用した。1 名あたり 120 万円/年程度 (半年の場合もあり) で、のべ 17 名を支援そのうち 6 名が学振特別研究員に採用された。若手研究者の基礎力向上と交流の場として若手勉強会を年 1 回実施し、総括班はその会場費等をサポートした。また、優秀発表賞を設置して毎回 2 名の優秀な発表者にはトロフィーを授与しその物品費に活用した。若手研究者が領域内の他の研究施設を短期で訪れ連携研究を促進するために国内ラボ留学制度を設置し、その旅費をサポートした (上限 10 万円/回)。この取り組みは若手研究者間での意見交換の頻度を高め、連携研究を進めるうえで効果的であった。

領域内運営については、当初よりオンラインでの運営会議の実施を予定していたものの、初年度後半からコロナ禍に見舞われ先の見えない外出制限が生じたため、オンライン連携を強固に進めるべく Webex との契約やオンライン機器の整備に予算活用した。この投資は、例えば運営会議 (5 年間で 43 回、毎回 2 時間)の円滑な実施に繋がり、コロナ禍においても密な連携と迅速な軌道修正につながった。更に、オンラインでの領域会議や国際シンポの開催にも有用に機能した。また、コロナ緩和後には各種連携研究の議論の場として有用に活用し、ハイブリッド開催ができるようになってからは配信業者にサポート頂くことにも予算活用して、円滑な会議をすすめるために予算活用した。領域内での情報共有には Dropbox を利用し、その使用費に予算活用した。これは、運営・研究両側面において重要なツールとなった。こうした総括班の活動において領域事務担当員 2 名を雇用したが、HP の更新、各種イベントの案内、若手 RA の手続き、資料郵送など、領域運営を円滑に進めることに不可欠な貢献をして頂いた。

国際連携については、年 1-2 報の国際ニュースレター (NL) を印刷業者を通じて発行した。この NL 中では各計画研究の研究成果に加えて若手研究者の紹介コーナーも設け、キャリアパスを広げる工夫をした。国際シンポジウムでは会場・協賛 (例えばポスターセッション) の費用に予算を活用し、これは蓄電固体界面科学の国際的アピールに貢献したとを感じる。第 4 回の国際シンポジウムはシンガポールで開催された ICMAT の Workshop の一貫で行ったが、M. S. Whittingham 先生 (2019 ノーベル化学賞) にもご講演頂き、その謝礼金にも予算活用した。また、若手研究者を海外機関に派遣する海外武者修業として渡航費・現地滞在費を援助した。この取り組みは結晶化ガラス界面の国際共同研究に発展した。

以上のように、総括班では領域内活動の情報発信支援、若手育成支援、領域内運営支援、国際連携支援を基軸に効果的に予算を活用した。コロナ禍での活動を通じ、オンラインのほうが効果的に実施できること (公開シンポや情報共有など)・オンサイトのほうが効果的であること (領域会議や若手勉強会など)、の境界が把握できるようになり、今後のチーム型研究活動の取り組みにも活用できる知見が得られた。



図：予算の効率的使用のもとで実施した各種イベントや活動に関する資料。

10 当該学問分野及び関連学問分野への貢献の状況

研究領域全体を通じ、本研究領域の成果が当該学問分野や関連学問分野に与えたインパクトや波及効果などについて、「革新的・創造的な学術研究の発展」の観点から、具体的かつ簡潔に1頁以内で記述すること。なお、記述に当たっては、応募時に「①既存の学問分野の枠に収まらない新興・融合領域の創成を目指すもの」、「②当該領域の各分野発展・飛躍的な展開を目指すもの」のどちらを選択したか、また、どの程度達成できたかを明確にすること。

本領域は、応募時に**(2) 当該領域の格段の発展・飛躍的な展開を目指すもの**を選択した。本領域の成果は、基礎学問分野への飛躍的な展開、社会実装への発展、実用化への波及効果の観点から当該学問分野及び関連学問分野へ大きく貢献した。

【基礎学問分野への飛躍的な展開 及び 新興・融合領域の創成】

全固体電池の界面の考え方について、溶液を用いた電気化学と固体電解質を用いた燃料電池（固体イオニクス）の双方の考え方を考慮し、平衡論的描像・速度論的描像の観点から界面を捉える基礎的指針が得られた。この学理は、後述する全固体電池の社会実装や実用化への発展のみならず、電界効果トランジスタ、エレクトレット、プロトニックトランジスタ、プロトン貯蔵材料など、新規蓄電固体デバイス・材料の創成にも繋がった。この結果、領域成果論文（352件）のうち22%を連携成果が占めるに至った。

また、本領域で課題として残された蓄電固体界面での定常・非定常状態の解明に向けては、他の新学術領域（水素ジェノミクス（H30-R4 代表：東北大 折茂教授））と融合した学術変革領域A（イオン渋滞学 代表：東大 一杉教授）が新たに採択され、2024年4月から開始されている。この新領域では界面に加えてバルク材料内でのイオン輸送も取り扱い、計画研究代表として1名（A03公募前半：安藤）、計画研究メンバーとして9名（A03代表：館山、A03計画：中山、A04代表：藪内、A04計画：林、A04計画：大久保、領域事務局：矢島、A02計画：桑田、A01公募前半：白澤、A02計画：石黒）が参画し、オブザーバーとして2名（A01代表：入山、A02代表：雨澤）が関与している。このように、本領域の成果は新興・融合領域の創成の観点からも貢献しつつある。

【社会実装研究への発展】

本領域で活躍した計画・公募研究者のうち、11名がJSTのGtcXの蓄電池領域におけるメンバーとして、実用電池の革新（先進リチウムイオン電池）、高安全性を実現する電池開発（全固体電池）、資源制約フリーを実現する電池開発（ナトリウム・マグネシウムイオン電池）、軽量・小型・大容量を実現する電池開発（リチウム硫黄電池）へとそれぞれ異なる基軸の次世代電池開発にメンバーとして参画することとなった。このうち、チームリーダーとしては高エネルギー密度・高安全な硫化物型全固体電池の開発（リーダー：A04計画・林）、高安全・長寿命な酸化物型固体電池の開発（リーダー：A01代表・入山）、計測やDX等共通基盤の構築（リーダー：A02前半公募：増田）の3名が、グループリーダーとしては8名（A02代表・雨澤、A03代表・館山、A04代表・藪内、A01計画・松井、A01公募・前吉、A01公募・鈴木、A03計画・中山、A04計画・大久保）が務めるなど、実験・計測・計算の各分野において社会実装研究への展開に貢献しつつある。

【実用化への波及効果】

H30-R4に実施されたNEDOのSOLiD-EV（全固体電池のEVへの実用化を目指す研究）と本領域が連携し、全固体電池の実用化・高性能化に向けた界面の課題の基礎的な考え方、長寿命化への材料開発の観点を中心に連携研究を行った。その結果、例えば充放電における電極の体積変化が無視できる程度に小さい材料を用いると、全固体電池の寿命が飛躍的に向上する知見が得られた（A04代表：藪内）。この知見は、R5-R9で実施されているSOLiD-EVの後継PJ（SOLiD-Next）における長寿命化と無拘束全固体電池の開発の基軸となった。全固体電池の長寿命化を支えるもう一つの基軸は界面反応の安定化であるが、その安定化に寄与する新規コート層材料の開発と開発基軸も本領域成果によって進められ、具体的な高性能被覆材料が見つかった。そうした連携研究の結果、SOLiD-EVでは蓄電固体界面科学のメンバーは3名（アカデミア参画者の10%）が研究に携わるのみであったが、SOLiD-Nextでは8名（アカデミア参画者の42%）が研究に携わり、実用化へも着実に貢献しつつある。

以上のように、本領域は当初選択した**“当該領域の格段の発展・飛躍的な展開”**に加えて、**“新興・融合領域の創成”**へも貢献するなど、当該学問分野及び関連学問分野へ基礎・応用の視点から格段の発展・飛躍的な展開に繋がった。こうした活動が認められ、領域期間中にメンバーの9名が教授、10名が准教授、8名が助教へそれぞれ昇任・着任した。また、4名がセンター長や主任研究員に昇進した。

11 若手研究者の育成に関する取組実績

研究領域全体を通じ、本研究領域の研究遂行に携わった若手研究者（令和6年3月末現在で39歳以下。研究協力者やポスドク、途中で追加・削除した者を含む。）の育成に係る取組の実績について、具体的かつ簡潔に1頁以内で記述すること。

本領域では、若手研究者の育成に係る活動として、「若手勉強会」、「国内ラボ留学」、「海外武者修行」、「若手RA」、「国際ニュースレターでの若手研究者紹介」の5つの取組みを行ってきた。それぞれの具体的な活動内容について下記に示す。

1. 若手勉強会（基礎学力の育成）

若手研究者が領域の学術的背景を学ぶ場として、若手勉強会を5回開催した。領域内外の講師による講演のほか、ポスドク・大学院生などの若手研究者の発表セッションを設け、優れた発表には優秀発表賞を出すなどの機会を設けた。また、国内ラボ留学の促進のために、各研究機関で利用可能な設備や技術紹介の場を設けることで、連携研究の活性化も図った。

2. 国内ラボ留学（連携する力の育成）

若手研究者が領域内の他の研究グループを訪問し、新たな技術習得や共同研究を促進する機会を設け、旅費の補助を行ってきた。2024年の3月末までに26研究グループの延べ46名が国内ラボ留学し、領域内での共同研究促進に貢献した。

3. 海外武者修行（国際感覚の育成）

若手研究者の国際感覚を育成する目的で、若手研究者が海外の研究者を訪問し、共同研究に向けた議論を目的とした出張をサポートしている。東北大の中村准教授はドイツのJustus Liebig University Giessenを訪問し、固体電解質へテロ界面におけるイオン伝導現象に関する議論を行い、その後日独国際共同研究事業に展開した。名大の本山講師はUniversity MarylandとNISTを訪問し、固体電解質を介したLiの析出溶解反応に関する共同研究の打ち合わせをした。JASRIの山田大貴氏はハンガリーへ3ヶ月間滞在し、機械学習による結晶化ガラスの界面構造の再現に関する知見を得ることに成功し、国際連携成果となった[A2P5]。

4. 若手RA（経済的支援による育成）

博士後期課程および博士後期課程に進学予定の修士学生を経済的支援により育成する目的で若手RA制度を設けた。これまでにのべ17名の研究員を採用し、そのうち6名が学振特別研究員に採用された。若手研究者の育成とキャリアパス支援にもつながった。

5. 国際ニュースレターでの若手研究者の紹介（キャリアパス支援による育成）

年2回発行の国際ニュースレターを通じて、領域内で雇用されているポスドクや若手RA学生、若手研究者を紹介した。5年間でポスドク10名、RA10名、若手研究者6名を紹介した。本領域で経験を積んだ若手研究者がた世界に羽ばたくためのアピールの場を作っている。

領域の研究遂行に携わった若手研究者の活躍状況（若手の受賞・昇進把握）

領域研究に貢献した若手研究者のうち、7名が准教授、7名が助教へ着任され、例えばA04林Grの那須博士がA01松井Grの助教として、A03館山GrのH-K.Tian博士が国立成功大学(台湾)にassistant professorとして栄転した。また、1名の女性研究者が博士号取得後に産総研の研究職に就職した。受賞関係では、作田敦准教授（A04林グループ）が令和2年度の「科学技術分野の文部科学大臣表彰、若手科学者賞」、乙山美沙恵博士（A04林グループ）が「電池技術委員会賞」及び「日本学術振興会育志賞」を受賞した。他の若手研究者も国際学会でポスター賞3件、国内学会で優秀発表賞、ポスター賞等10件を受賞し活躍している。



図：第二回若手勉強会の様子と優秀発表賞を受賞された学生さん写真。



図：国内ラボ留学の様子。



図：海外武者修行の様子。

12 総括班評価者による評価 (事後評価で更新された部分が黄色)

研究領域全体を通じ、総括班評価者による評価体制(総括班評価者の氏名や所属等)や本研究領域に対する評価コメントについて、具体的かつ簡潔に2頁以内で記述すること。

本領域は申請時に各分野を先導する5名の先生方に総括班評価者を了承いただいた。また、審査結果所見の指摘事項(③及び⑥) 応用展開の具体例方向性の明確化)を受け、全固体電池の実用化という具体的方向性に向けてJST-ALCA、NEDO、産業会との連携を強化する観点から3名の先生方にオブザーバーを了承頂いた。更に、NEDOのSOLiD-Nextとも密接に連携した。下記に評価コメントを示す。

【領域評価委員(御所属・役職・御専門)】

稲葉 稔 先生 (同志社大学・教授・電気化学、無機工業化学) ※前 電池技術委員会委員長

5年間のプロジェクト期間を通して、界面イオンダイナミクス、高度計測、計算・データ科学、新材料開発の各グループともに当初の計画以上の成果が得られたと考える。これには研究代表者およびサブリーダーの強い指導力に加えて、界面イオンダイナミクスグループからの供給されている標準電池が非常に大きな役割を果たしたと考えられ、本手法は今後の新学術領域研究における研究開発の進め方の一つのモデルとなりうる。また、異分野からの多くの若手メンバーが加わることにより、将来の蓄電池分野の若手研究者育成にも大きな成果をあげることができた。研究期間終了後は多くのメンバーがGteX等の新しいプロジェクトで全固体電池開発を進めることになるが、本プロジェクトで得られた知見をベースに世界をリードする革新的な蓄電池技術の開発につなげて欲しい。

財満 鎮明 先生 (名城大学・教授(名古屋大学名誉教授)・半導体工学) ※前 応用物理学会会長

蓄電固体界面科学の構築を目指した新学術領域研究であり、全固体電池の混合伝導体接合デバイスとしての取り扱いや界面反応に対する応力影響などについて大きな進展がみられ、新しい無歪電極材料の開発や新規コート層材料の開発など、今後の展開につながる重要な結果も得られた。コロナ禍という状況にも関わらず、オンライン会議でも非常に活発な議論が行われ、5年間の研究期間内に300件を超える学術論文や117件の国際会議基調・招待講演、51件の知財創出など、新学術領域研究として優れた成果を上げたと言えることができる。特に、多くの重要な成果が連携研究の成果として生まれた点は大いに評価したい。これは、モデル界面となる標準電池試料や単結晶固体電解質を供給したことや、実験・計測・計算の連携による学理構築を進めるための横串連携のフレームワークを構築したことなどが有効に機能した結果と考えられる。また、本学術領域研究では、若手RAや国内ラボ留学、海外武者修行などの学生を含む若手研究者の育成にも力を入れ、多くの若手研究者の受賞や昇進にも貢献した点や本学術領域研究の成果を2冊の書籍として取りまとめている点も評価できる。研究代表者や各班の班長らのリーダーシップに敬意を表したい。

辰巳砂 昌弘 先生 (大阪公立大学・学長・無機材料化学)

電解液を凌ぐ固体電解質の出現によって全固体蓄電デバイスの実用化・普及が目前に迫る中、固-固界面のイオニクスとエレクトロニクスを一体的に扱う本学術領域研究の企画・実施が成され、めざましい成果を上げたことには大きな意義がある。領域代表の強力なリーダーシップの下、計画班、公募班の連携が着実に進み、班を跨いだ連携研究、特に界面基礎に関する横串連携が飛躍的に機能した。このことが多くの先端的な研究成果を生み出しただけでなく、学際若手研究者の育成を進めた。今後出版される英文・和文の書籍は、実用化される全固体蓄電デバイスを基礎研究で支える際の新しい固体電気化学の教科書となり得る。学術変革領域研究(イオン渋滞学)、GteX(全固体電池)、SOLiD-Nextなど後継のプロジェクトに確実に繋げたことも本学術領域研究の大きな成果と言える。

常行 真司 先生 (東京大学・教授・物性理論、計算物質科学)

領域内の計画研究や公募研究に参加した多数の研究者の間で、様々な連携研究や意見交換が広く活発に行われた。特に実験と理論・シミュレーションの協力が円滑に進んだという印象を受けている。その結果として、複雑な蓄電池の性能を決める支配要因のいくつかが明確化され、蓄電固体界面の学理構築が目に見えて進展したことは、まさに新学術領域を設置した甲斐があったとも言える成果であり、高く評価したい。発表された多数の論文の中には、短期間で引用数が急増しつつあるものが複数あり、研究分野に対してインパクトがあったことが窺われる。また本領域の成果は単に学術研究にとどまらず、その後の産業移転にもつながりつつあり、波及効果の点でも良い成果をあげた。コロナ禍のもとで、若手研究者を元気づける様々な施策が試みられたことも評価したい。

山口 周 先生（大学改革支援学位授与機構・特任教授・固体イオニクス）※ナノイオニクス領域代表
固体イオニクスにおけるヘテロ界面現象は、イオン移動による組成変化とそれに伴う空間電荷層の変調が交差する複雑な現象であり、未踏の学際領域であった。その学理の確立は、全固体電池をはじめとする関連分野において生じる界面のイオン移動現象を理解し、その特性を設計するために不可欠な基礎・基盤であり、この領域に集合した研究者の意欲的な挑戦により、平衡論的描像や定常状態における界面の状態の正確な理解に成功しており、新しい学術を開拓したものとして高く評価される。さまざまな工夫を凝らした領域運営の取り組み、領域代表や主要メンバーの強力なリーダーシップ、そして課題に情熱を持って取り組んだ参加者の努力が優れた成果につながったものであり、全ての面において高く評価したい。今後は多用な分野へとその学理が浸透し、固体イオニクス/固体化学の新たな展開へと繋がっていくことを期待する。

【オブザーバー（御所属・役職・御専門）】

魚崎 浩平 先生（科学技術振興機構 研究開発戦略センター上席フェロー（物質材料研究機構・名誉フェロー、北海道大学名誉教授）・表面物理化学）

新学術領域『蓄電固体界面』では、「蓄電固体デバイスの創製に向けた界面イオンダイナミクスのモデル界面形成とその界面イオンダイナミクスの科学に関する基礎研究」を掲げ、構造規定モデル界面、高度計測、理論・計算、新機能という4班のメンバーが、密接に連携しながら学理構築を目指した研究を進め、多くの成果をあげており評価できる。全固体電池の実用化に関する国際競争が激化しているが、実電池を意識しながら研究を進めているALCA-SPRINGやSOLiD-EVといった大型プロジェクトとの連携も図られ、それらの後継プロジェクトであるGteXやSOLiD-Nextにおいて学理に基づくデバイス展開を期待したい。

金村 聖志 先生（東京都立大学・教授・電気化学、電池、エネルギー化学）

新学術「蓄電固体界面科学」においては、全固体電池や新規固体デバイスに関する基礎学術研究が展開されたことで、より正確な固体・固体界面の描像を取得した点で成果が出ている。各研究班においては、それぞれの立場での研究を進め論文や学会発表において多くの成果を出している。また、研究班間の連携にも積極的に取り組んでいる。その結果、固体電解質と電極活物質界面におけるLiのケミカルポテンシャルの変化を基にした議論が進展し、界面でのエネルギー状態に関する考えた方を明らかにした。さらには、界面での電気化学反応についてモデルを提案した。興味深い成果であると言える。加えて、高度なオペランド測定を含む多くの計測技術を固体・固体界面に適用した点も大きな成果である。

射場 英紀 先生（トヨタ自動車・電池材料技術、研究部、CPE・革新電池、産学連携）

全固体電池の最大の研究開発課題である界面抵抗の低減のために、従来の研究で提案されてきた抵抗発現機構を要因ごとに系統的に整理し、領域内での自律的な連携による新しい実験や計算・解析の結果を融合して学理を構築したことは、これまで明確な学理がないと言われてきた電池の研究分野の中で、極めて大きな進歩である。この成果は、材料開発や電池設計の様々な場面で活用されるとともに、この取り組みで育成された人材は、産学を問わず様々な場面で活躍が期待できる。特に、関連するGteXやSOLiD-Nextなどの国家プロジェクトでは、大半の研究成果が発展的に取り込まれており、それぞれのプロジェクトの強固な基盤となっている。

【連携機関（御所属・役職・御専門）】

幸 琢寛 先生（技術研究組合リチウムイオン電池材料評価研究センター（LIBTEC）・SOLiD-Nextプロジェクトリーダー・リチウムイオン電池、車載用全固体電池）

新規の分析や計算手法の開発、それらを駆使した現象の解析とデバイスへの応用などが各領域でバランス良くなされ、特に、中～後半にかけて各領域内での連携が加速し、多くの成果が得られた。また、SOLiD-EV・SOLiD-Nextプロジェクト側での主要課題でもある固体電解質と正極活物質間の固固界面のメカニズムについて、実験・理論的なメカニズム解明にとどまらず、設計指針の提示までされ、全固体電池分野でアカデミアに求められている学理構築を見事に実現された。国家プロジェクト間の連携の観点では、低体積変化材料の開発・評価において「蓄電固体界面科学」とSOLiD-EVで互いの強みを活かして連携成果に繋げることができた。その結果は後継のSOLiD-Nextにおいて活かされており、感謝している。「蓄電固体界面科学」が終了することがもったいなく感じるくらいだ。