



MERIT Corporate Internship

~Development of Lithium Extraction Technology~



PURE LITHIUM

At Pure Lithium Corporation

Period: June 5th 2023 - Dec 1st 2023 (180 days)

荒木 那巨

Support: 小野田 実真 (MERIT 4th)

Table of contents

<u>ABSTRACT</u>	2
<u>1 INTRODUCTION</u>	2
<u>2 RESEARCH ACTIVITY AT START-UP COMPANY IN THE U.S.</u>	3
<u>3 CULTURE DIFFERENCE FROM MY EXPERIENCE</u>	9
<u>4 OTHER ACTIVITY</u>	11
<u>5 ACKNOWLEDGEMENT</u>	13

Abstract

米国におけるスタートアップ企業である Pure Lithium Corporation (PL)にて 6 ヶ月間にわたる長期のインターンシップ活動を実施した。本活動の主たる狙いは米国におけるアカデミックスタートアップの実態を研究活動を通して学ぶこと、自身の研究スキル(実験物性物理学)を異なる分野で活用すること、異分野の知識を取り入れ今後の研究に活かすことである。

本活動は MERIT の卒業生である小野田氏に全面的な協力をいただいて実施された。

1 Introduction

スタートアップ企業は科学を社会に還元するためのインターセクションのような立ち位置にあり、社会的に非常に重要である。近年日本においてもスタートアップ企業における野心的なテーマとその研究スタイルに注目が集まっており、様々な支援策が行われている[1-3]。一方でその規模やスピードは、世界最大の科学技術大国として成長を遂げている米国と比較してまだ小さい[2]。

本活動では米国における新進気鋭のスタートアップ企業である Pure Lithium Corporation (PL)において 6 ヶ月間の研究インターンシップを実施した。PL は Massachusetts Institute of Technology (MIT) より Prof. Donald Sadoway を Co-founder に迎えて 2021 年 1 月にラボが立ち上がった若いスタートアップである。しかしながらその研究規模、事業目標のスケールは日本におけるスタートアップ企業とは質と量のどちらの面においても異なるものである。インターン活動を通じて以下のことを学び今後へ活かすことを目標とする。

- ◇ 米国におけるアカデミックスタートアップ企業への理解
- ◇ 米国における研究カルチャーの理解と今後への応用
- ◇ 自身の経験、知識の異分野への活用
- ◇ 今後の研究活動に向けた新たな技術と知識の習得

特に PL における研究は主として高分子化学、電気化学、有機化学を主として扱っており、視野を大きく広げることが期待できる。新たな分野の知識を習得することを目標に野心的に研究に取り組む。

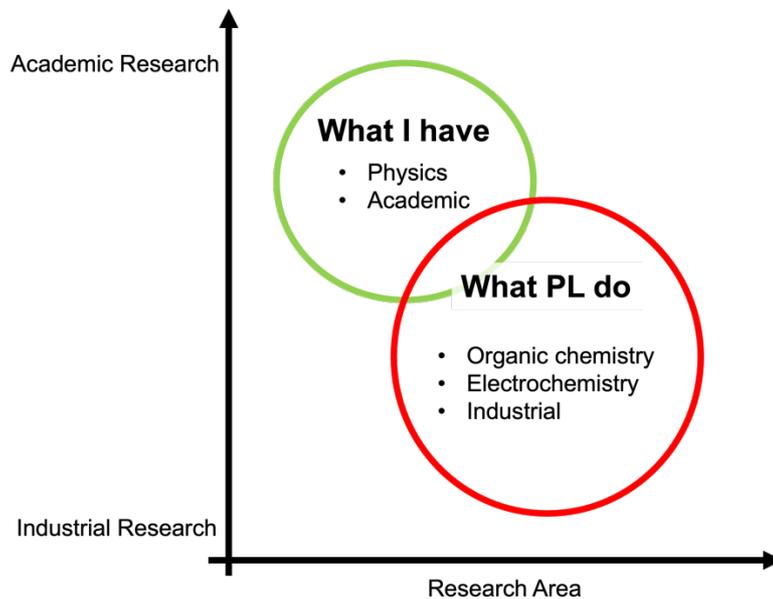


Figure 1: 本インターンシップにおける狙い。研究内容を二軸で表現した。横軸は研究領域と分野、縦軸は基礎研究と企業研究の尺度である。現在大学で行なっている研究はアカデミックな研究分野であり、専門とする物理学領域を取り扱っている。対してPLにおける研究は有機化学と電池技術を専門とする企業であり、かつ、アカデミックに近い領域ではあるものの企業研究を実施している。したがってこの二軸の方向で視野を広げることが期待できる。

2 Research activity at start-up company in the U.S.

PL で取り組んだ研究内容の概要について簡単に説明する。PL の大きな柱はリチウム金属電池の革新的なサプライチェーンの構築である。リチウム金属電池はエネルギーの究極の貯蔵系と表現されるエネルギー密度が高い究極の電池である。しかし電池の製造に不可欠なリチウム金属電極が極めて高価であるという障壁があり、広く商業化するのは未だ現実的ではない。そこで PL は、PL が Brine to Battery™と呼ぶリチウムアノード製造技術を応用することにより、安全、安価、迅速にリチウム金属電池を提供することを標榜している。同手法は現在利用されていないリチウム資源である油田塩水を含む世界中のあらゆるリチウムイオン含有水溶液からリチウム金属を1ステップで電気化学的に抽出することが可能となる上、リチウム塩の効率的な製造を目指す新規技術である Direct Lithium Extraction (DLE)と異なり、リチウム金属の製造を実施する点で一線を画する。更に、PL では高性能なリチウム金属電極を自社製造できることから結果として得られるリチウム金属電池も極めて高性能となることを既に実証済みであり、500回の充放電後に97%もの容量を維持可能な電池を既に実現している。

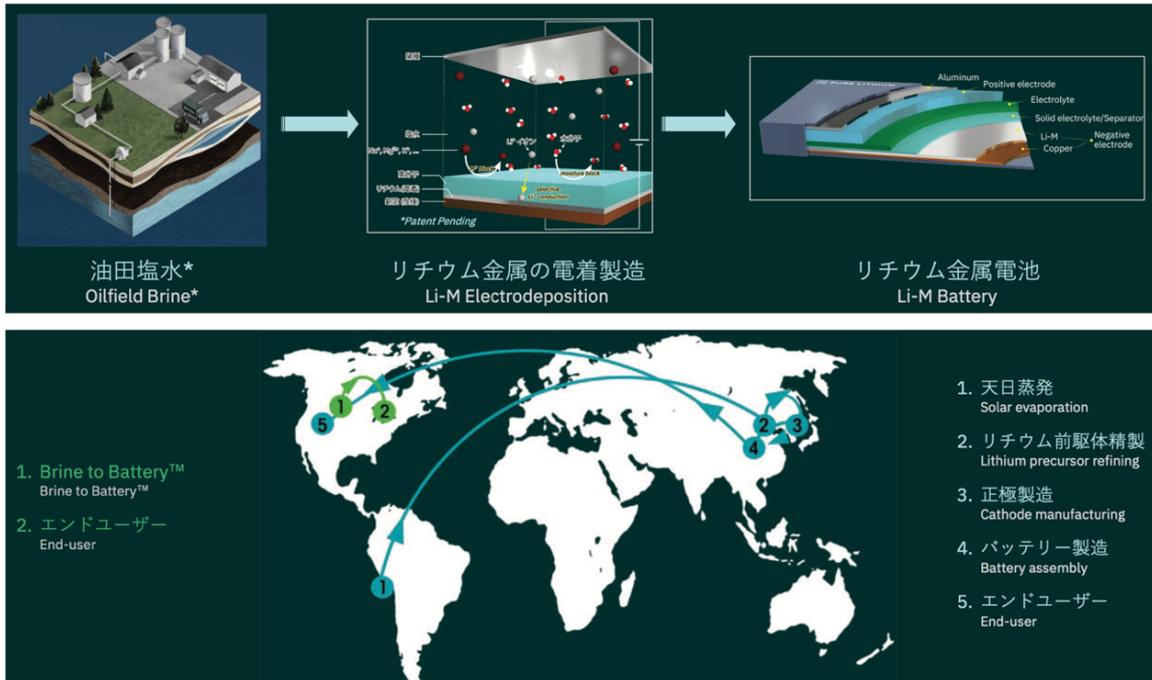


Figure 2: リチウム金属抽出技術を利用したリチウム金属サプライチェーン構築の戦略。(上段) **Brine to Battery™**の工程の概要。油田塩水からリチウム金属電池に利用するリチウムアノードを直接抽出、作成する(*PLはE3 Lithium社によって採取されたカナダ油田塩水によるデモを実施している)。(下段) **Brine to Battery™**技術によって実現するリチウム金属電池作成プロセスと現行のリチウムイオン電池作成プロセスの比較。リチウム金属電池を塩水から1ステップで作成することはプロセスの大幅な短縮を実現する。輸送コストを最小限に抑えることにより、PLはリチウム金属電池製造をアメリカ国内のみで実施する(ローカルなLi資源をその場で利用する)ことが可能である。

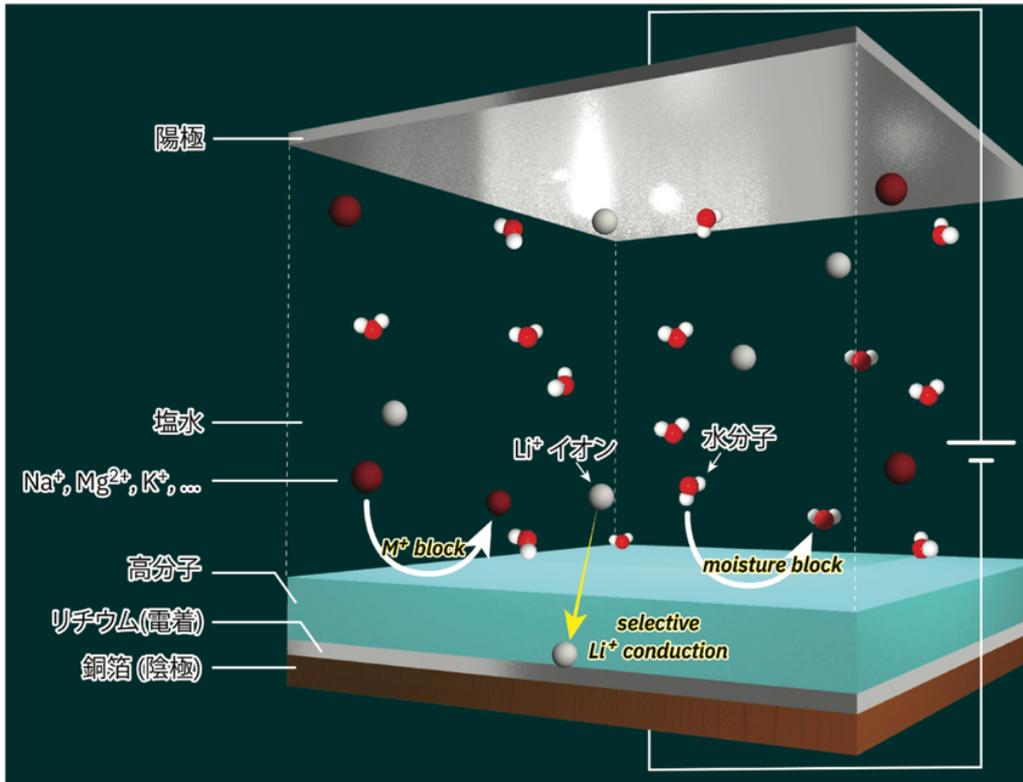


Figure 3: 塩水からのリチウム抽出のイメージ図。高分子膜を利用して塩水からリチウムイオンを選択的に伝導させ、水分子の混入を防ぎ、銅箔上にリチウム金属箔を直接作成する。

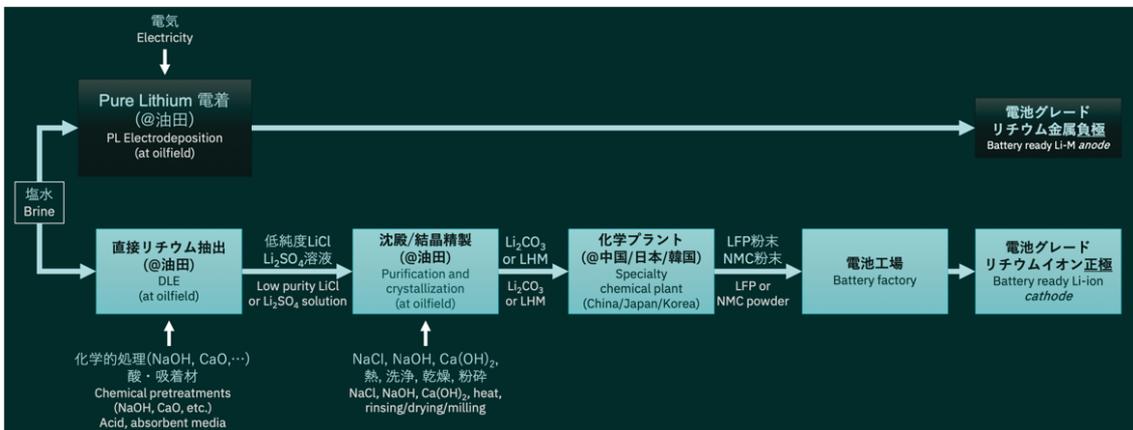


Figure 4: PL と現行技術のリチウム製造価格の違い(上段)及びリチウム資源の活用方法の違い(下段)。PL は塩水から 1 ステップでリチウム金属を製造できるため現行技術の 1/100 以下の価格で高性能なリチウム負極を製造できる。また、現行技術はリチウム塩水を起点とし世界各地それぞれで複数の化学処理を経てリチウムイオン電池用の正極材料を製造している(下段)。このようなプロセスの大幅な簡略化を実現しつつ、正極材ではなくリチウム金属負極そのものを極めて簡便に製造できる PL の基盤技術は、現在の塩水処理技術とは全く異なる革新的な技術であると言える。

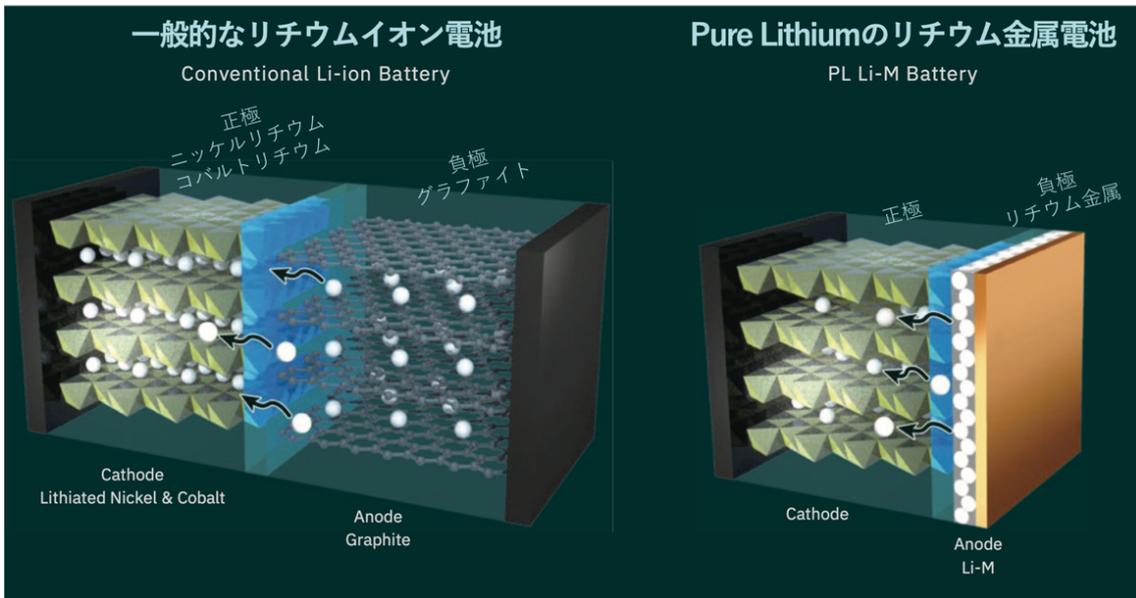
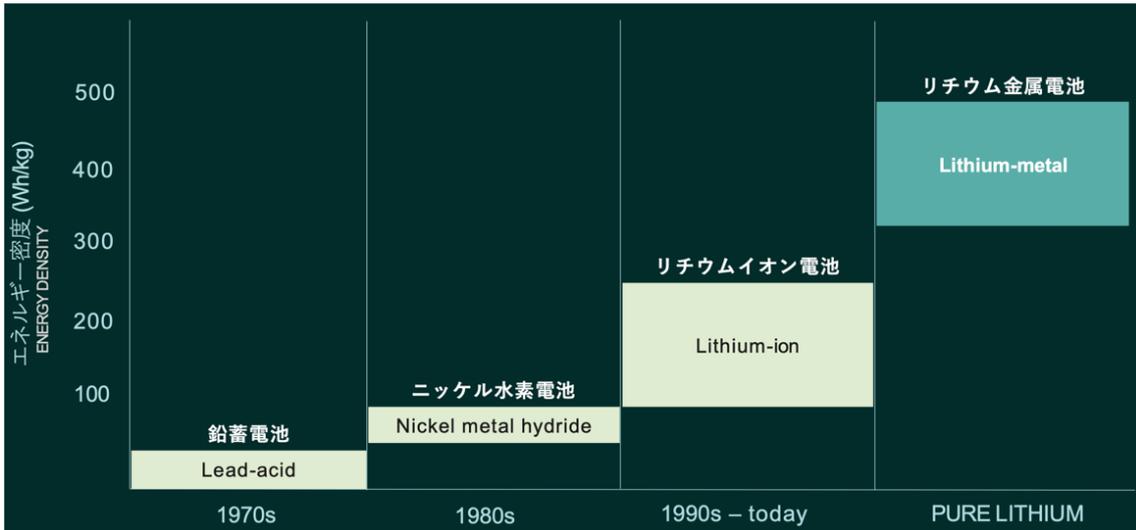


Figure 5: (上段) リチウム金属電池におけるエネルギー密度。PLによって作成されたリチウム金属電池はリチウムイオン電池と比較して2~4倍程度大きいエネルギー密度を持つ。(下段) リチウムイオン電池の構造とリチウム金属電池の構造を比較した図。PLは電池にリチウム化された正極材を使用しないことから、正極材コストを圧倒的に削減可能である。また、負極にはグラファイトを使用せず、自社製造による安価かつ高性能なリチウム金属負極を使用する。これにより、エネルギー密度を大きく増大させつつコストの削減が可能になる。

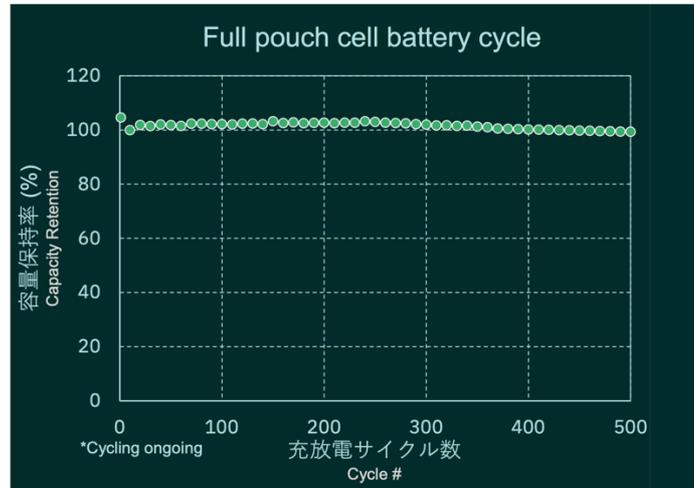


Figure 6: バッテリーサイクル試験データ。500回の充放電を実施してもなお高い容量を保持している。

2.1 Research topic

インターン期間中の研究トピックとして **Brine to Battery™**技術にまつわる研究開発に取り組んだ。先述の通り同技術は塩水から電気化学的にリチウム金属をワンステップで抽出する技術であるが、そのリチウム金属の水との親和性の高さからあらゆる水分混入リスクの排除が求められる。これを更に高いレベルで実現するために電気化学・高分子化学・有機化学の視点を組み合わせて実験を行った。ⁱ

2.2 Acquisition skills

学んだ点を3つの視点でまとめる。

◇ 電気化学、有機化学研究の手法と広範な知識

六ヶ月間という期間は非常に短いので技巧を完璧に身につけることは難しかったが、広い知識を得ることはできたと考えている。特に電気化学の視点から捉えるリチウムイオン輸送の現象や高分子化合物一般の性質とエンジニアリング手法などについては今後応用が可能である。特にディレクターを務める小野田氏から高分子化合物設計とその合成方針について議論を通じて無機化合物合成における物質設計の違い、機能性デザインの方法などを学べたと考えている。

◇ チーム研究

スタートアップ企業は野心的な挑戦を行っており、企業の構成員全員がその目標を実現するために研究を行っている。異なるチームに属していても常日頃から実験プロセスの分担など行われており、注力すべき研究結果などについては会社全体が研究

に割くりリソースを変更できる柔軟性を持っている。そのような中での研究はコミュニケーション能力と大局的に研究を把握することが求められる。コミュニケーションを円滑に取ることはチームプロダクティビティを向上させ研究を加速させることが期待される。また、会社全体の研究内容を適宜把握することは自身の持つスキルや実験技術が他のチームに対してどのような貢献ができるかを明確にする。

◇ 米国におけるコミュニケーション

英語圏において研究に取り組むにあたり、どのように議論を進めるべきかは日本における研究とは大きく異なる。言語的な背景も相まって非常にポジティブなコミュニケーションをとることが多く、そのようなコミュニケーションのあり方を学ぶことは第二言語として英語を利用する私にとって非常に重要な経験であった。

3 Culture difference from my experience

専門的な知識、研究の方法にとどまらず、米国内スタートアップ企業で六ヶ月間活動したことを通じて米国における研究文化の良い部分と悪い部分、企業と大学における科学研究の違いも多く知ることができた。これらの経験は今後私が日本における研究環境や、より良い研究チームを構成する一員として構成する上で活用したいと考えている知見である。

3.1 Research culture especially in the U.S.

米国では研究規模と研究スピードが重要視されていることを体感した。スタートアップ企業においてアカデミック領域に非常に近い研究が可能であるのは米国における研究規模の大きさを象徴している。その研究規模を支えているのは科学研究に投資される金額の大きさにも関係する。大学の研究も大企業との密接な連携があり、スタートアップ企業に投資する投資家も多い。これらの投資は日本における投資形態と大きく異なり、素早い資金回収だけではなく、時代を変えるゲームチェンジャーとしての技術開発を目指すものである。野心的とでもいうべき科学研究に対する信頼と希望は科学技術大国としてあるアメリカのカルチャーであると言える。

一方で研究スピードは産業との密接な連携から求められる性質である。ベンチャーキャピタルや民間企業の投資、幅広い研究を支援している公的研究助成金などの多様な資金供給によって国内でも多くの競争があり、新たなテクノロジーを先駆けて実現することが求められる。そしてこの研究スピードを実現するために科学に従事する研究者によるイノベーションを促進する環境がある。私が滞在したボストン地域はおそらくとりわけ多様な(人種、専門分野など)研究者がいる地域であり、日々新しいアイデアや視点が交差しながら実験が行われている。異なる視点の融合と多くの人間が一つの研究に携わることで研究が加速することを実体験した。

3.2 Academic and Industrial difference

スタートアップ企業における研究は大学における研究とは質的に異なる側面がある。

- PL 社は野心的な目標に向けた 50 人規模のチームである
- 競争力を高めるためにほとんど全ての可能性にアプローチする
- ビジネスの視点を常に持つ

まず第一に大学における研究と比較して一つの研究に関わる人数が圧倒的に多いことが挙げられる。独立した実験はもちろん研究者個人が行うが、会社の掲げる目標に対して好ましい実験結果はすぐに他のチームにも取り入れられる。したがって関わる研究者は得られた実験結果から次のプロセスを柔軟に変更することが求められる。流動的な研究の中で自身のキャラクターを出すことができる研究者は総じて優秀であり、スタートアップ企業の中での研究の面白さと難しさを自身の体験を通じて感じた。

多人数が関わる理由として多角的な研究を通じて企業としての強みを維持するという点が挙げられる。人が多いということはアイデアや研究においても量的な優位をとることができる。関連研究を網羅的に実施することにより、特許出願を通じて企業の競争を優位を確保することができる。また、野心的な研究目標は長期的な戦略に基づくため、困難にぶつかる可能性も常に孕んでいる。多人数が研究に絡んでいることは困難解決にも適しており、多様な研究者から出る新たなアイデアは目標達成に向けて重要な役割を担っている。

そして最後にビジネスの視点が常に絡んでくる点である。アカデミックの研究と異なり、「この手法では目標達成が不可能である」といった、ともすれば実験失敗とでもいうべき結果も大きな進捗となる。技術目標の達成に向けて全ての可能性を調査しつつ、最短ルートで研究を推し進めることを重要視している。

3.3 Industry-Academia-Government collaboration

短いインターンの機会であったが、直接 CEO である Emilie 氏と Co-founder であり Chief scientific officer を務める Donald Sadoway 氏に直接話す機会をいただいた。それぞれの機会で考えた新たな視点をここに記載する。どちらも産学官連携に非常に重要な視点だと感じた。ⁱⁱ

- アカデミック研究を産業と関連づけることは “tough tech” と呼ぶべき時間と労力が必要な事である
基礎研究から産業化には大きなギャップが存在する。昨今のスタートアップ企業

の一部は人工知能の発展に並行したソフトウェアに関連するものも多く、ソフトウェアは比較的早く市場に流すことが可能である。対して私が研究を行った金属電池、リチウム抽出技術の研究は、サプライチェーン構築までに多くのロードブロックが存在する。基盤技術の研究は手間と時間がかかり、データの解釈にも専門的な知識を要するものがほとんどである。加えて実験室スケールでの成果ではなく市場に流しうる製品にするための **scale up** が必要である。**Scale up** は基礎技術の最適化とこういった研究を市場に還元するためには長い時間と労力がかかり、サービス産業をはじめとする他の技術に対して”**tough tech**”と呼ぶべきものである。

科学研究(特に基礎研究)を企業研究に昇華するためには、基礎研究によって得られる会社の技術の強みを上手に広告として利用し、常に長期的な視点を持って(**scale up** まで見据えて)研究を推し進めることが求められる。

- **スタートアップ企業は戦略に基づいて人を集める**

Pure Lithium はスタートアップ企業の中でも順調に成長している企業であり、会社を運営する各分野のエキスパートが在籍している。一貫した研究を実施するためには様々な分野の専門知識が必要であり、会社運営を実施する人間も必要である。

スタートアップ企業での人選はとりわけ戦略的に行われる。必要な知識と技術を持つ人間を人伝に集めることで初めて会社としての土台が形成されていた。**Boston** 地域に会社を構えること、**Co-founder** として **Sadoway** 氏が参画していることは、タレントを獲得する上でも非常に重要であることを知った。また、昨今は SNS が流布しているため、求人等を通じて欲しいスキルを持つ人間をアメリカ中から募集している企業も少なくない。

4 Other activities

6ヶ月間 **Boston** に滞在したのでスタートアップ内での活動にとどまらず、米国に滞在申しかでない活動や、アメリカの文化や歴史についてもいくつか触れることができた。

Visiting Checkelsky lab

大学で行なっている研究分野に関連する MIT の研究室にも訪問し、広範にアメリカにおけるアカデミック研究のあり方を議論させていただいた。研究室を主催する **Joseph** 氏は理研での研究経験もある研究者であり、実験室の構成には大学でよく馴染んだ理研スタイルを感じた。

Thanksgiving day

Pure Lithium 社の活動で知り合った Alexa のご実家で Thanksgiving day を過ごした。実際に Thanksgiving day をアメリカで過ごすのは初めての経験であり、ご家族から実家で家族と過ごす Thanksgiving day の文化について話を聞いたり、Turkey をはじめとする伝統的な食事を楽しんだ。

Boston Symphony Orchestra

ボストン交響楽団が活動する Symphony hall は 19 世紀に理想とされたシューボックス形式をそのまま残すコンサートホールである。10 月からボストンでの活動を BSO が行なっており、その最初の公演を拝聴することができた。素晴らしい音響特性を持つホールでのコンサートはもちろん、現存する歴史的建造物を目で見て楽しむこともでき、とても良い時間を過ごすことができた。

Haymarket

毎週末は Boston でも歴史のある青空市である Haymarket を利用した。Haymarket は農業を営む有志の方々によって運営される市場であり、直売であるため価格も安く数多くの野菜を購入することができる。

そのほかボストン地域にある美術館、博物館、ボストン科学博物館、New England 水族館など地域に根付いた観光名所、歴史的建造物などを巡ることができた。

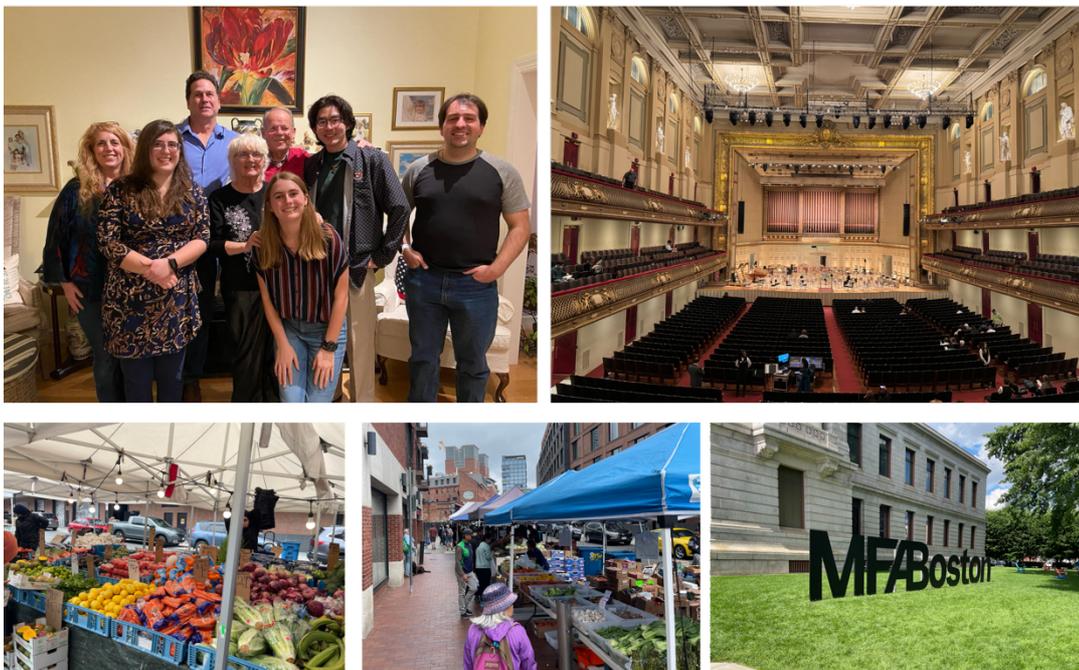


Figure 7: 期間中にインターン活動以外で撮影した写真。(左上)Thanksgiving day にて Alexa

宅にて撮影。左から二番目が荒木。(右上)Symphony hall 内部の写真。後部二階席から一望することができる。(左下、中央下)Haymarket の様子。(右下)ボストン美術館前にあるモニュメント。

5 Acknowledgements

本活動は前例も少ない長期海外インターンシップであり、かつ私自身の初渡米でもあったため多くの方のサポートがあって初めて完遂することができたものです。特にこの活動を提案、活動の全面的なサポートをしてくださった小野田様、博士課程の研究活動の中でアメリカでの研究に注力できるように支えてくださった関先生に深く感謝申し上げます。

Pure Lithium 内のメンバーや一連の活動を通じて多くの人に出会えたことは私の経験の中で宝物になりました。皆様のご活躍をお祈り申し上げますとともに、どこかでまたお会いできるのを楽しみにしています。



Photo with the team members on the last day of the internship.

References

- [1] START 研究成果展開事業 [Web サイト](#)
- [2] 経済産業省 [大企業×スタートアップの M&A に関する調査報告書](#)
- [3] 経済産業省 新規事業スタートアップ [Web サイト](#)

ⁱ 研究詳細は企業秘密となるため省略している。

ⁱⁱ ここに述べることは議論を通じて得た荒木本人の解釈である。