

新たな挑戦

勝山湧斗 Yuto Katsuyama

Received 9th July 2022

Accepted 10th July 2022

信じられませんが、遂に第 5 回の報告書となってしまいました。2022 年の上半期（1-6 月）は常に全力ダッシュでした。6 月 2 日に Candidacy Exam（博士候補生になるための試験。落ちたら退学 😞）が控えた状態で、1-3 月は地獄の学生実験、3 月は San Diego 学会、4 月はインターンシップの面接と他奨学金の申請、5 月はハワイ学会と Candidacy exam の勉強、6 月 2 日の Candidacy exam の翌日に日本帰国（2 週間！）、ミズチルの 30 周年記念ライブに参加し、日本で起業し、ロサンゼルスに朝 8 時に帰還。その日中にロサンゼルスからシリコンバレーまで 7 時間かけて運転し、翌日の朝 7 時にインターンに出勤！！さらに、この上半期で 4 つの主著論文（うち 1 本は責任著者！）がアクセプトされました！！また、3 年次から卒業まで他の財団から支援いただけることも決定しました。一つ一つ説明していきます。

Outline

1. Candidacy Exam（博士候補生になるための試験）
2. 地獄の学生実験
3. 学会① アメリカ化学会@サンディエゴ ～ビールとサーフィン～
4. 学会② 材料科学会@ハワイ ～火山とサーフィン～
5. 起業しました ～里山資源から高性能材料を「里山エンジニアリング」～
6. Mr.Children はいつだって寄り添い背中を押してくれる ～30 周年記念ライブ「半世紀へのエントランス」～
7. シリコンバレーでエンジニアインターン ～アメリカで初めての就業体験～
8. 今回発表した 4 本の論文について ～次世代電池～
9. さいごに

1. Candidacy Exam（博士候補生になるための試験：UCLA Chem は 3 時間の口頭試験）

ほとんどの Ph.D. Program では、博士候補生（Ph.D. Candidate）になるための試験（Candidacy Exam や Qualifying Exam、クオールなどと呼ばれる）が 1-3 年生のどこかであります。UCLA の化学科 Ph.D.プログラムでは、2 年生の終わりにあります。

なんとこの試験、落ちたら退学になってしまいます！具体的な人数はわかりませんが、当学科の最終的な Ph.D.取得率が 64-72%であることを考えると、数人は落ちているのかもしれませんが（身近では聞いたことはありません）。

私はこの試験にかなり苦しめられました…。普通の学生は 7-9 月頃に受験するため、2-3 ヶ月かけて試験対策をします。しかし私はインターンが夏にありましたので、6 月 2 日に受験する必要があり、受験対策時間が 3 週間くらいしかありませんでした。それと「落ちたら退学」というプレッシャーがあり、ここ数年でもっともストレスフルでした。

試験の形式・流れは、次の通りです。

（形式）

教員 4 人を選び、自分の研究分野とは関係のない分野で研究アイデアをプロポーする。4 人の教員は研究アイデアに関する

質問だけではなく、これまでに履修した授業の内容についても質問する。可否は教員 4 人の投票により決まり、2 人以上が不合格に投票したら退学もしくは再受験になります。

（流れ）

1. 試験の 1 ヶ月前までにエリアアドバイザー教員から研究アイデアの承認を貰う（ここが大変で、かなり鋭い質問をされ、2-3 回のディスカッションの末にようやく承認される。また、その先生が全く返信を返さないことで有名な先生。1 週間に 8 通くらい Remind メールを送りました。）

2. 試験の 1 週間前までに Written の研究プロポーザル（Letter size, double space で 10 ページ）と将来設計（文字数制限なし。自分は 1 段落のみ）を教員 4 人に提出する。

3. 試験当日は 3 時間の口頭試験を受ける。試験の 7 割は研究プロポーザルについて。3 割は自分の研究について、でした。研究プロポーザルではかなり鋭い質問をかなりされました。私は「地球に豊富な元素を用いた安価な水素吸蔵合金の開発」を発表しましたが、例えば、

「水素の値段の内訳（原材料費、輸送費、などの比率）はわかる？」

「水素は輸送する必要あるの？電気に変換してエネルギーを運んだほうが良いんじゃないの？」

「水素吸蔵合金では Mg 系が有名だと思うけど、なぜそれが plot に含まれていないの？ Mg は安いから、安い水素吸蔵合金を作りたいから Mg 系を研究すれば良いんじゃないの？」

「○▲□×の法則は知ってる？説明できる？」

といった厳しい質問が多かったです。なんとか自分なりにロジカルに答えましたが、質問の厳しさに心はノックダウン寸前でした。

というのも、私の指導教員が試験の教員に「学生が回答に困るような厳しい質問を沢山してほしい。それが学生のためになるから。」と頼んでいたようです。（そんな！！！！）

それに加えて辛かったことは、試験開始 10 分くらいで左目のコンタクトがずれ、左目が試験の間ずっと見えませんでした。

そんなこんなで研究プロポーザルを終えて、自分の研究についても話し終えたら、5 分くらい退室させられて、投票がされました。戻ると「Congratulations! You passed!」と伝えられ、本当に安心しました。

2. 地獄の学生実験

これは恐らく UCLA Chemistry (Materials 専攻) に特有かもしれませんが、大学院生向けの学生実験の授業があります。学生実験と言えば、週 3 日間午後全部使って実験をし、毎週レポートをまとめる、という理系学部生が苦しむアレです。（東北大学生の読者がいれば「自然科学総合実験」「カバイ学生実験」と言えば伝わりますか？）

一つ日本と違うところを上げるとしたら、「最後の実験テーマは自分たちで考える」という点です。二人一組のチームを作り、文献を漁り、何か新しいことを提案・実験・発表しました。

私は中国人の留学生とペアを組み、「Xylene isomerization by multi-metal-doped zeolite (複数の金属元素でドーパされたゼオライトを使用したキシレン異性化)」というテーマで、ゼオライトの合成・材料の評価・キシレン異性化性能の比較を行い、私たちが開発したゼオライトが従来のゼオライトと比べて優れた触媒性能を示すことを発見しました。授業の最後には自分たちが行った研究を発表し、それを TA4 人と教授一人が採点する、というスタイルでした。

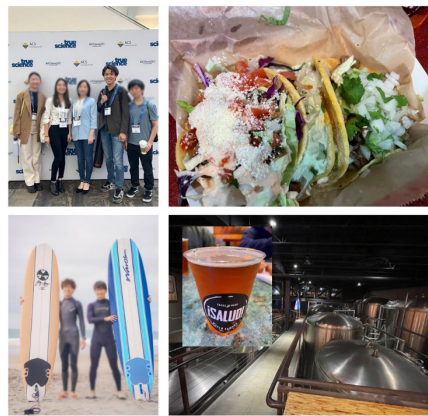
最終成績では、学年で自分が唯一 A+ を取ることができました。こういう経験はなかなかないので、素直に嬉しかったです。（それと、東北大学生に伝えたい。「自然科学総合実験」や「カバイ学生実験」をこなしてきた我々は、世界レベルで鍛えられているぞ！）

3. 学会① アメリカ化学会@サンディエゴ～ビールとサーフィン～

アメリカ化学会@サンディエゴに参加し、「3D スーパーキャパシタ」に関する研究成果を発表してきました。分野の多くの研究者から Feedback を貰えて嬉しかったです。サンディエゴといえば皆さんご存知、2020 年奨学生のアイドル古賀たつき君（たっちゃん）がいます。サンディエゴで遊びつきたっちゃんに連れられて（私はしようがなく）サーフィン・ビールと色々楽しむことができました。ありがとうございました！

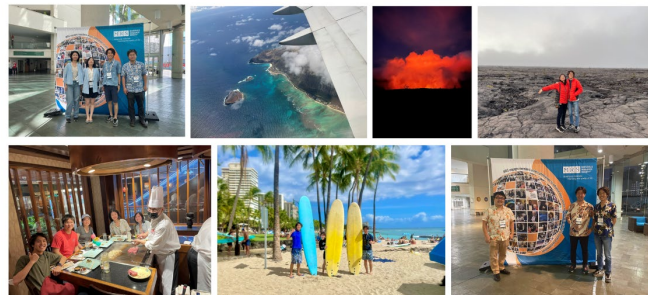
4. 学会② 材料科学会@ハワイ～火山とサーフィン～

材料科学会@ハワイに参加し、「3D ナトリウムイオン電池/ナトリウムイオンの炭素負極への貯蔵メカニズムの解明」に関する研究成果を発表してきました。驚いたのが、電池の 3D プリントに関



する研究がかなり多かったことです！ここ数年で急に増えてきました。多くの方に興味を持っていただき、様々なフィードバックをいただくことができました。

ハワイに 2 週間滞在したのですが、最高でした。なんといっても綺麗なビーチ！それと火山！（マグマは圧巻！）材料科学フレンズの藤田創君（ふじちゃん、2022 年奨学生）と、ケンブリッジ大学 PhD 課程の YouTuber みさきさんと海外材料科学 Ph.D. サーフィン部を立ち上げました。



5. 起業しました～里山資源から高性能材料を「里山エンジニアリング」～

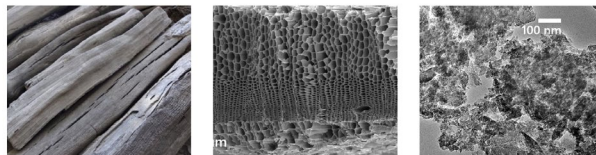
この度、宮城県川崎市を拠点とした東北大学発スタートアップ「株式会社里山エンジニアリング」を立ち上げました。地球規模の Sustainability を達成するためには Local から変わっていかねばいけない。里山の豊富な資源を活かして、地域スケールで持続可能を達成します。興味ある方は「里山エンジニアリング」で検索！



里山エンジニアリングとは

【地域の1次産業に根差したモノづくり】から生まれる【最先端技術と地域の固有性を掛け合わせた製品】で【真に持続可能な社会の形を提案】する会社です。

“里山エンジ”の目指す世界と技術力



6. Mr.Children はいつだって寄り添い背中を押してくれる ～30周年記念ライブ「半世紀へのエントランス」～

Candidacy exam に合格し、論文を4本出版したご褒美として、久しぶりに日本に帰国し、ミスター・CHILDRENの30周年記念ライブ「半世紀へのエントランス」に参加しました。私の学部時代の交換留学から海外大学院受験、進学後の辛い研究の日々を常に支えてくれたミスター・CHILDRENでしたので、感慨深かったです。特に、何故か常に努力し続けている自分が、「終わりなき旅」の歌詞と重なり、また頑張ろう、と思いました。ちょっとだけ歌詞を載せておきます。

「閉ざされたドアの向こうに新しい何かが待っていて きっと きっと 僕らを動かしてる いいことばかりでは無いさ でも次の扉をノックしたい もっと大きなはずの (素晴らしいはずの) 自分を探す 終わりなき旅」「高ければ高い壁の方が 登ったとき気持ちいいもんな まだ限界だなんて認めちゃいないさ」

シリコンバレーでインターン頑張ろう！と思いました。

7. シリコンバレーでエンジニアインターン ～アメリカで初めての就業体験～

今年の夏(2年生の終わり)に3ヶ月間だけシリコンバレーにある Applied Materials (半導体製造機器で世界シェア No.1) という会社のバッテリー部門で Battery engineer としてインターンしています。恥ずかしながら私はこの会社を知らなかったですが、iPadの部品の75%のパーツが Applied Materials の装置で作られているらしいです。Confidential のため詳細は書けませんが、インターンでは全固体電池の電極を開発しています。インターンはまだ始まって3週間ですので、インターンで学んだこと等は次回の報告書で書かせていただきます。船井の同期のアキ (UC Berkeley)、ゆうや (Stanford)、たっちゃん (UCSD) とデймサムを食べながら近況報告ができました！



8. 今回発表した4本の論文について ～次世代電池～

幸いなことに研究がとても順調に進み、2022年に入ってから半年で4本の論文を Publish することができました。一つ一つ簡単に説明していきます。

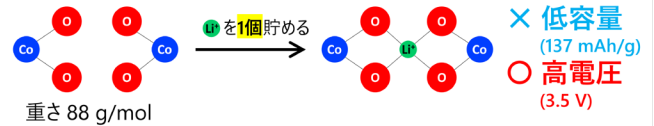
(A) 高電圧有機電池

現在使用されているリチウムイオン電池は、コバルトやニッケルといった紛争地帯でしか得られない材料を使用しています。したがって、電気自動車やソーラーパネルとセットで語られる家庭用蓄電池が今後より一層普及した時に、供給量が足りなくなつて(つまり値段が高くなって)しまいます。また、現在のリチウムイオン電池は既に正極・負極共に理論容量近くまで利用可能であるため、更なるエネルギー密度の向上が難しいです。

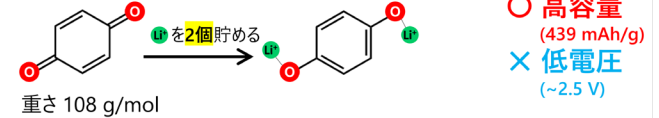
そこで、私は「リチウムイオン有機電池」に目を付けています。有機物はどこにでも豊富に存在する炭素、窒素、酸素などから構成されているため、ほぼ無限に製造可能です。さらに容量も従来の材料の5倍くらいまで高くできるため、エネルギー密度の向上が

見込めます。これが意味することは、電気自動車の走行距離が現在の5倍程度まで伸びる、ということです。

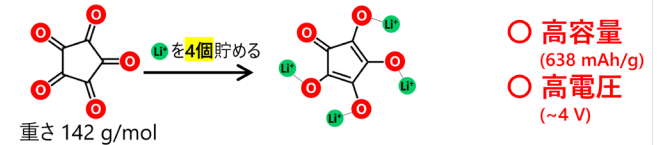
従来のリチウムイオン無機電池



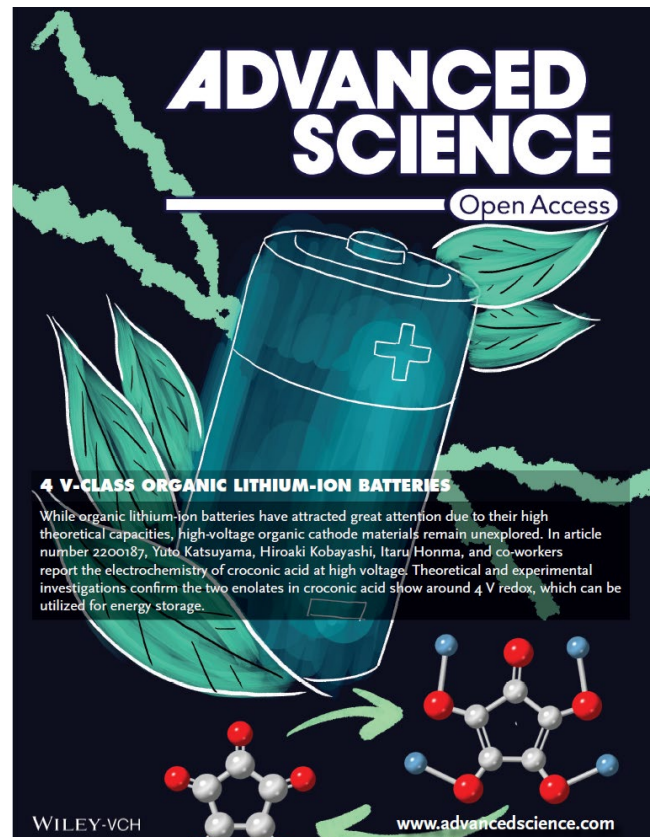
一般的な有機電池 (炭素の六角形)



私が発見した新型の有機電池 (炭素の五角形, クロコン酸)



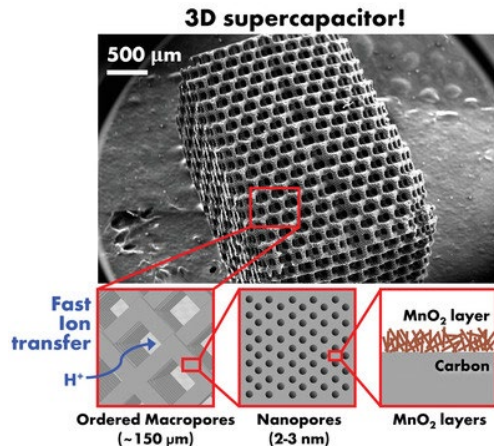
私は「クロコン酸」をリチウムイオン電池の正極材料として利用し、高容量かつ高電圧な有機分子であることを発見しました。この結果はオープンアクセス誌である Advanced Science (IF 17.5) に掲載され Frontispiece に選出いただきました。



(B) 3D スーパーキャパシタ

電池のエネルギー密度を上げる方法の一つに「電極を分厚くすること」があります。しかし、単純に分厚くしても、イオンが固体の中を移動する速度が遅いため、抵抗値が上がってしまいます。したがって、従来の電極の厚さは 0.1 mm 程度でした。これを克服するためには、イオンが高速で移動できる経路を作ってあげる必要があります。私は光造形の 3D プリンターであれば十分に小さいスケールでイオンの通り道を作れるのではないかと、厚膜電極を 3D プリントすることにしました。

結果的には 3 mm の電極を作ることができ、スーパーキャパシタの中で面世界最高の面積当たりエネルギー密度を達成することができました。こちらは Advanced Functional Materials (IF 19.9) に掲載され、Frontispiece に選出いただきました。

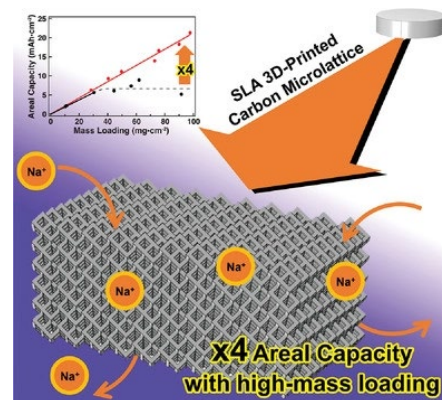


(C) 3D ナトリウムイオン電池 / ナトリウムイオンの炭素への貯蔵メカニズム解明

(B) のスーパーキャパシタで使用した炭素材料は「ハードカーボン」と呼ばれる材料で、ナトリウムイオンを貯蔵する、という特徴を持っています。したがって、ナトリウムイオン電池の負極材料として利用を試みました。

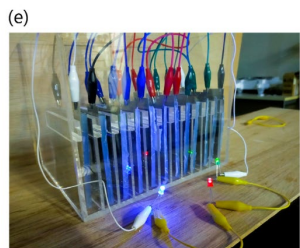
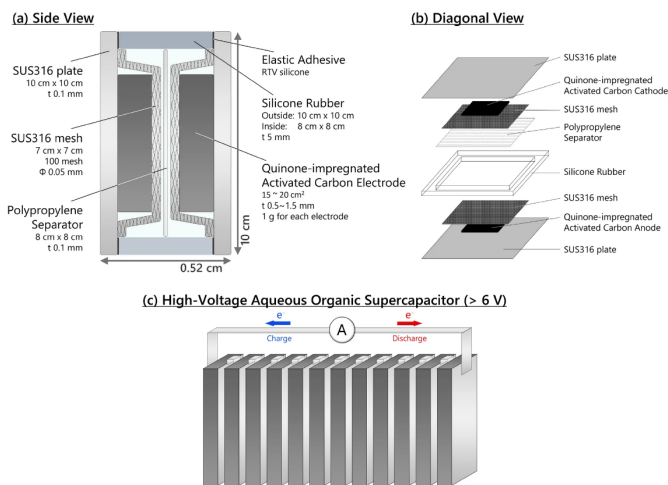
また、ナトリウムイオンの炭素への貯蔵メカニズムは未解明です。通常、炭素電極を作るためには、結着剤や導電助剤を混ぜる必要があります。また電池をバラして電極を取り出すと電解液を含んでしまいます。つまり、電極をあらゆる方法で評価しようとしても、これら結着剤・導電助剤・電解液などがノイズとして入ってきてしまい、炭素だけの情報を取り出すことができません。

そこで！この 3D ハードカーボンは結着剤と導電助剤を不使用であり、しかも電池から取り出しても大きな穴を通して電解液が抜けてきてくれます！なので、これらによるノイズが完全に除去でき、炭素だけの情報を取り出すことができるのです。この特殊な 3D ハードカーボンを使用することで、ナトリウムイオンがどの電位でどのように貯蔵されているのか、を解明することができました。Small (IF 15.2) から出版される予定でカバーアートも提出したので選ばれると嬉しいです。



(D) 有機レドックススーパーキャパシタの実用化研究

これは (A) — (C) とは異なり、2019 年に自分が発表した有機レドックスキャパシタのスケールアップに関する研究です。実用できるレベルでの電池の開発は難しかったです。基礎研究では金の集電体を使用していますが、それではコストが高くなってしまいますので、安い・でも化学的に丈夫な材料で代替する必要があります。さらにパッケージングも問題になります。基礎研究スケールではガラスの容器を使用しますが、ガラスは容易に壊れてしまうので実用で使用することができません。こういった Practical な問題を解決したのが今回の論文です。Scientific Reports (IF 4.4) から出版されました。



さいごに

2022 年の前半は、本当に忙しく、とても充実しました。このように自分の興味に従ってのびのびと自由に研究することができたのは、船井情報科学振興財団からのご支援のお陰です。他の Ph.D. 学生は TA などを行わなければならない、研究に割ける時間が削られてしまいますが、私は船井奨学金からのご支援のお陰で、この 2 年間は 100% 研究に集中することができました。上述のような成果を残すことができ、また世界中に散らばる優秀な同世代の研究者と仲良くなることもできたのも、私の何よりの財産です。運営を支えてくださっている財団関係者の皆様に、心より感謝申し上げます。今夏で奨学金の受給は最後となってしまいますが、今後とも関わり続けることができたら嬉しく思いますので、宜しくお願い致します。