

【早稲田応用化学会中部支部 第 22 回交流講演会(野田優先生講演会)のご報告】 [詳細]

開催日時 ; 2024 年 11 月 30 日 (土) 15:30~17:00

開催場所 ; “ウインクあいち”1309 号室

出席者 ; 28 名 (オンラインでの出席者 15 名を含む)

演題 ; 「化学工学者の効率性から充足性への展開:ナノチューブ、電池、持続可能性」

要旨 ;

● 初めに、司会の渡部幹事より野田先生のご略歴が紹介されました。続けて、野田先生より本日のご講演概要についてご説明があり、本題に入られました。

・化学工学とは「良いもの」を「上手く作る」学問で、私は特に多様な応用が期待されているカーボンナノチューブ(CNT)の実用合成技術と、リチウムイオン電池などのエネルギーデバイスへの応用に取り組んできました。性能向上は重要ですが、それだけでは持続可能性は達成できません。大学としては『充足性』の視点で目標を設定し、効率性の視点で計画を具体化して課題に取り組むことが大切と考えて進めている、最近の展開も紹介します。

1. CNT の特徴と合成上の課題

・1 次元構造を持つ CNT は、強固な C-C 結合による安定性と細さによる柔軟性を合わせもちます。。これまでに、科学者や物理学者は、特異な物性と多様な応用可能性を示してきました。元素を変えるのではなく、炭素の構造を変えることでさまざまな機能を実現できることは、持続可能な社会にとって魅力的かつ重要です。しかし提案された応用の多くは実用化されておらず、実用的な合成技術の確立が重要で、化学工学の使命と考え我々は研究に取り組んでいます。

・CNT は層数が 1 から数十、直径が 1 から数 10 nm、長さや欠陥密度など多種多様なため、目的にあった構造を有す CNT を選ぶことが重要です。十数年前より透過型電子顕微鏡を用いて金属ナノ粒子から CNT が成長する様子をリアルタイムでその場[in-situ]観察することも可能となっていて、金属ナノ粒子が CNT の直径を決める鑄型としても重要だとわかっています。CNT の製造方法には物理蒸着(PVD)法と化学蒸着(CVD)法がありますが、高温の反応場に Fe, Co, Ni などのナノ粒子を高密度に供給するかが、細い CNT の製造を確立するための重要な鍵です。CVD 法は(a)浮遊触媒, (b)粉末触媒, (c)担持触媒など、触媒の供給方法でさらに分類でき、目的に応じて適した方法を選択し開発することが実用化には重要です。我々は特に、気候変動対策に貢献すべく、再生可能エネルギーの使用を促進すべく CNT を応用し、CNT を環境に優しい方法で製造する方法の開発を進めています。

2. CNT 合成の理解、合成法開発と、環境影響評価

・どのように CNT を得るか、高速調製が可能な方法とは何か？ という課題に対して、基板を 2 次元から垂直整列[VA:Vertically-Allined]の 3 次元に増やすという方法では手間がかかります。

・当研究室の触媒スクリーニングと成長のモニタリング方法は、マスクを通したスパッタ堆積による制御された厚さ勾配と、CVD 温度での一連の粒子の自発形成を確認することで、1 回の実験でも CNT の急速成長と広範な試行錯誤や活性/寿命が得られます。

・私たちの研究のごく初期(2005年2月)に、CNTを研究テーマとして最初に取り上げた学部生がサンプルを落とし、黒いCNTフォレストに白いほこりが付着しました。『エアダスターを使ってきれいにしたところ、CNTはほこりと一緒に吹き飛ばされた。』という報告を彼がした時、あるアイデアを思いつきました。流動層にすればリアクターからCNTを簡単に取り出せるのでは!!そこで、半導体プロセス[2D基板上のVA-CNT]から流動層法という連続化学プロセス[3D接着ビーズ上のVA-CNT]への展開で表面積が約1000倍になり、十分な接触時間が得られることで触媒量の削減とCNTの成長に繋がりました。

・0.05Lから1Lへのスケールアップにおいて、「反応器内が冷える」という問題には、二重管型熱交換器の構造を活用し、アセチレンの改質反応でCNTと水素が、ガス滞留時間<0.3秒、炭素収率>70%で得られました。しかしカーボンフットプリント(CFP)が高い(大量のGHG排出を伴う)場合、CNTは持続可能な社会に受け入れられず、開発と評価の両輪で検討を行いました。

3. CNTと軽元素を用いた高エネルギー密度二次電池開発

・用途としてのリチウムイオン電池(LIB)は、より高いエネルギー密度と電力密度を得るために広範な研究開発が行われてきました。当研究室では、エネルギー負荷が上がらない問題について、CNTで軽量化することにより解決し、スポンジ電極を提案して活物質を最大化しました。また、柔軟で良導電性のCNTを生かした新発想電池として、実用化済のLIBにはポーラス電極やスポンジ電極を、ナノテク電池にはソフト電池を提案し、無駄をなくして活物質を最大化、簡易に高速に高収率に創ることを目標としました。

・しかし、「ソフト電池」の設計限界として活物質の理論容量を出すのは困難なのか? いや、理論容量の半分出れば革新的だ!! ということで、 Li^+ と活物質量の最大化の設計を行ない、根拠に基づいて従来にない非常に高い目標値を提案しました。

・ここで、Li-硫黄電池は資源面でも優れており、環境負荷(気候変動)、人体毒性、生態毒性、エネルギー資源の枯渇など、ほとんどのカテゴリへの影響は低くなるという利点があります。ただし、正極を硫黄にすると環境負荷は下がりますが、溶媒使用と乾燥工程で負荷が上がるので溶媒リサイクルが必要です。また、Li金属アノードによる材料資源の枯渇への影響はわずかに増加します。Li-硫黄電池は通常寿命が短いため、サイクルにおける寿命も非常に重要です。

4. 効率性から充足性へ

・科学技術の「光と影」としてエネルギーの例を挙げますが、「影」の部分にも注目すべきです。人間は自然エネルギーを活用してきましたが、石炭を活用した産業革命、石油や天然ガスなど化石資源の利用で、物質的豊かさは飛躍的に向上しましたが、 NO_x/SO_x などによる公害問題が顕在化しました。その解決策も科学技術により実現しましたが、無色無臭の CO_2 が地球温暖化を引き起こしていると認識され、原子力/CCS/再エネによる解決を目指しています。カーボンニュートラル(CN)は世界共通の目標、化学工学者の責務ですが、CNを達成できれば十分でしょうか?

・化石資源とCCS→地下の化石資源を CO_2 に変えている

・原子力発電→地下のウラン鉱石を地上の放射性廃棄物に変えている

・歴史を繰り返さないのでしょうか? 新たな問題は発生しませんか? そこで、問題を設定し、未来ビジョンを検討します。日本国内は再エネが足りず、高いから海外から運んでくるのでしょうか? 海外に投資し、燃料代(20~30兆円/年)を将来も払い続けますか? 日本国内の産業はどうなるのでしょうか?

もし本当に高価なら、安価な場所から再エネを買い占めるのですか？ となると、途上国はどうなりますか？ 世界で CN を達成しないと温暖化は止まらない… そもそも「前提」は本当でしょうか？

・内閣府「耕作放棄地面積の推移」によると、年々田畑が減り、耕作放棄地が増加して国土の 1%超となっています。この耕作放棄地に太陽電池(PV)を設置すれば、100kWh/m² 年換算で日本の年間発電量の 40%を賄うことが可能です。

・日本の PV は安いのか、高いのか？ ドイツの Fraunhofer ISE: Photovoltaics Report[30 July 2024 更新]によると、日本はドイツの 2 倍です。パネル価格は同等なのに、電気・機械工事が高価で、利益は日本<ドイツです。何故でしょうか？ その課題解決に必要な R&D は？ 高効率 PV なのか、新型 PV ですか？ 設置技術、リサイクル技術、それとも蓄電技術でしょうか？

・未来を予測する戦略は、Forecast/Backcast？

・Forecast: 2013 年 100%と 2050 年 0%を直線でつなぎ、2030 年 54%を設定する？

・Backcast : 2100 年にありたい社会に繋がるように 2050 年を設計する？

世界は急速に変わっています。2100 年以降も生きるには、固定観念を捨てる必要があります。そこで、充足性という新しい視点が必要です。

・堀田ら¹⁾によると、充足性(Sufficiency)は『人間の福利を満たすレベルに十分な程度の経済発展や消費のあり方を希求する考え方』であり、持続可能性(Sustainability)に関連して充足性が議論される場合には 2 つの大きな潮流、①経済活動を際限なく拡大することへの反省を含めて充足性が議論される場合 ②経済開発と資源利用ないしは環境負荷との「切り離し」に関する場合、があります。こうした場合の全体の影響を抑制する考え方として充足性が議論されています。

・また、ドイツ_ヴッパータール研究所の Website²⁾ から引用すると、『持続可能性を達成するには、3 つの戦略が必要です。効率性は広く受け入れられており、一貫性は自然と調和する技術への移行に関係していますが、充足性がなければ、どちら的的外れです。』

・私自身の課題としては、本当に重要な研究開発とは？ 効率向上？ 新型デバイス？ ボトルネックは何か？ 応用化学&化学工学が成すべき仕事は？ 2050 年以降、2100 年以降を生きる世代にどういう社会を残したいのか？ などを発信しています。

・2050 年までの 30 年間の問題を解決したとしても、数百年の難題を残すことは避けたいと考えます。そこで、市民や若者と一緒にありたい未来社会を自分事として議論するため、年会や秋季大会の SDGs シンポ等での全員参加型グループ討議を実施しています。「私たちは何をすべきでしょうか？」という観点で、多様な人々(国/地域、現在/未来)と話し合い、イメージを描いています。

・APCChE[The Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering] 2023³⁾ では、SDGs Special Symposium Research Program を実施しました。アジア各国からの多数の学生およびアドバイザーとの共同ワークで、『製品は、メーカーが予期しない様々な方法で再利用される。』などの情報や新規の知識を得て、私も研究室の学生も意識が変わりました。「LIB についてはどうなのか？」そして高温動作電池や全固体電池から、リサイクル研究へシフトすることとなりました。混合材料/化合物である LIB をリサイクルするにはどうしたら良いでしょう？ 新しい独創的なアイデアが浮かんでいます。

5. まとめ: これからの研究

・効率性と充足性はどちらも重要です。ヴッパータール研究所が言うように、効率性は正しいことをするのに役立ちます。

・私たちは何をすべきでしょうか？ 目標設定は近視眼的ではないですか？ 指標は偏っていないですか？（自己反省とともに）

・充足性の観点は、より広い社会的・時間的スケールとより多様な指標から目標を再考するのに役立ちます。

● 質疑応答：

Q:「充足性」というキーワードにおいて、定量化や数値化は難しいのでしょうか？

A:本質的に大事なポイントです。アンケートからの回答になりますが、そもそもテーマ設定や課題設定が大事であり、何をすべきかにポイントがあります。Index を取って定量化することは難しいでしょう。

Q:CNT 自体の用途は何でしょうか？

A:プラスチックフィルムに練り込むと、透明で帯電防止が可能です。そのため、電子材料の包装材に応用されてきました。電池の電極に応用されると量が期待できます。

Q:LIB に応用して集電体のアルミ箔や銅箔を使用しない構造を作るとき、どのように CNT の層をコーティングするのでしょうか？

A: 何かにコーティングする工程は必要です。セパレータに直接コーティングする方法があります。

Q:S 社の VGCF(気相法炭素繊維)は、電池を製作する場合、どのように使われるのでしょうか？

A:実は用途が少なく、LIB 以外のアプリケーションが無いのが現状で、年産 400 トンまで増しましたが、撤退したと聞いています。

Q:社会実装の観点で、企業とのご関係は？ 特許化して Venture 企業を創るなどのお考えは？

A:CNT の調製は 7-8 社と実施していますが、電池メーカーとはパイプがありません。CNT 以外を検討する時間は無く、Venture は考えません。それより、学生に対する人材育成の時間が大切で、彼らと一緒に勉強もできます。特許化の件数は多く、100 件程度登録されていますが、お金にはなっていません。

Q:2050 年のエネルギーのあり方を議論されています。再生エネルギーの課題は？

A:多すぎて、1 個解決しても他の課題に影響するので、全て解決することは難しいですね。ゴールが得られていないことが問題です。「ありがたいゴールを描き、どうするか」という Backcast 戦略が必要ですが、今は Forecast です。2100 年にどうありたいか、では 2050 年に何を、2030 年に、そして今は、という環境が無いことが問題でしょう。

Q:日本にメガワット級のソーラーができないのは何故でしょうか。狭いという土地の問題でしょうか？

A:転作耕作地も含めて農地はありますが、いわゆる「縦割り行政」で転用できないのが一番の問題です。日本の目標が決まって、ではどうするか という行動が良いのですが…。儲ける仕組みを考えて、変わらないといけません。

まだまだ質問が続きましたが、懇親会の方でお願いすることとなりました。

なお、今回の交流講演会には関西支部から、前回に引き続き三品幹事が出席されました。

また、今回も「会場と Net 配信のハイブリッド形式」で開催しました。

参考資料(ご略歴等:早稲田大学研究者データベース)

https://w-rdb.waseda.jp/html/100001157_ja.html

引用文献

1) https://www.jstage.jst.go.jp/article/lca/15/2/15_136/_pdf/-char/ja

2) <https://wupperinst.org/en/topics/well-being/sufficiency>

3) <https://apcche2023.org/>

(文責 浜名)

以上