

HITACHI

S CIENTIFIC
I NSTRUMENT
NEWS

SEPTEMBER 2026

Vol. **69** No.2

September 2026
Vol.69 No.2

«コラム

6104

電池産業の次なる飛躍を支える「見える化」技術への期待
—リチウム硫黄電池、イオン液体電池、キャパシタの研究から—

石川 正司

«研究報文

6107

酸化物型全固体電池の電極／電解質界面の構造設計

土井 貴之

«技術解説

6113

120 kV TEM HT7800 IIの特長と応用

和久井 亜希子、中澤 英子

«インタビュー

6118

イオン液体が、ありふれた資源を未来の材料に変える
～イオン液体の研究を軸に、これからの社会が求める材料やデバイス、
リサイクル技術を創造～

津田 哲哉

«セミナーレポート

6125

「うちでもデキル!」「私でもデキル!!」タイムリーなTDMの実践!!! Part4

座長：松尾 裕彰

演者：緒方 進、中川 潤一

電池産業の次なる飛躍を支える「見える化」技術への期待 —リチウム硫黄電池、イオン液体電池、キャパシタの研究から—



関西大学 化学生命工学部 教授
関西大学 イノベーション創生センター長

石川 正司 工学博士

1. 「量」から「質と多様性」へ向かう電池産業

電池はいま、携帯機器や自動車のための部品という従来の位置づけを超え、社会のエネルギー基盤そのものになろうとしている。電気自動車の普及に加え、再生可能エネルギーの変動を吸収する定置用蓄電システム、データセンターの非常用・負荷平準化電源、航空・宇宙、医療、防災など、その用途は急速に広がっている。国際エネルギー機関(IEA)によれば、電気自動車および定置用蓄電を合わせた世界の電池需要は、2024年に初めて1 TWhに達した¹⁾。電池産業は今後も成長を続けると考えられるが、その競争軸は単純なエネルギー密度の向上だけではない。

安全性、寿命、急速充電性能、低温・高温特性、資源制約、製造時の環境負荷、リサイクル性、そしてシステムとしての信頼性が同時に問われている。用途によって求められる性能は異なり、リチウムイオン電池、全固体電池、ナトリウムイオン電池、リチウム硫黄電池、さらにスーパーキャパシタとの組合せを含む、多様な蓄電デバイスの適材適所化が進むであろう。電池を単体で評価する時代から、電池と電力制御を一体として設計する時代への移行でもある。高性能な材料を発見するだけでなく、それを安定して製造し、長期間安全に使用し、使用後には資源として循環させる技術体系が必要である。研究室で優れた性能を示した材料でも、電極を厚くする、電解液量を減らす、セルを大型化するといった実用条件では、その性能を維持できない場合が少なくない。この材料研究と製品開発の隔たりを埋めることが重要な課題となる。

2. 蓄電デバイスの性能を決める「界面」

私はこれまで、電気二重層キャパシタ、イオン液体を電解液に用いるリチウム二次電池、そしてリチウム硫黄電池の研究に携わってきた。一見すると異なるデバイスであるが、本質的な問題は共通している。それは、電極と電解液が接する「界面」で、何が、いつ、どのように起きているのかという問題である。

例えばキャパシタでは、電極表面に形成される電気二重層の構造が出力特性や耐電圧を左右する。単純な静電吸着として説明されることも多いが、実際には細孔径、表面官能基、イオンの大きさ、溶媒和状態などが複雑に関係する。平均的な比表面積や細孔分布だけを測っても、充放電へ寄与している空間を必ずしも特定できない。

イオン液体電池についても同様である。私たちは、FSIアニオンを含むイオン液体が、溶媒や添加剤を用いなくとも黒鉛負極の可逆的な充放電を可能にし、高粘度でありながら優れた電極反応速度を示すことを見いだしてきた²⁾。さらに、この系を宇宙環境で使用する電池へ展開した。ここでは「粘度が高ければ性能は低い」という単純な物性論では説明できず、電極近傍のイオン配列、溶媒和構造、電荷移動、界面被膜を総合的に理解する必要がある。

リチウム硫黄電池では、この問題はさらに動的になる。硫黄正極は理論容量が $1,672 \text{ mAh g}^{-1}$ と大きく、硫黄が軽量、安価で資源的にも豊富であることから、高比エネルギー型次世代電池として魅力的である。一方、充放電中には固体硫黄から可溶性の多硫化リチウムを経て硫化リチウムへ至る複雑な反応が起こり、活物質の溶出、シャトル現象、細孔閉塞、リチウム金属負極の不均一反応などが容量低下を引き起こす。私たちの研究では、直径2 nm以下の微細孔を有する活性炭に硫黄を担持し、多硫化物の溶出を抑制する方法を検討してきた。例えば微細孔性炭素正極をもちいた系では、充放電電圧範囲

が劣化挙動を大きく左右することを示した³⁾。しかしながら、電圧曲線や充放電容量から推測できることには限界がある。細孔内部で硫黄種がいつ生成・消失するのか、電解液がどこまで浸透し、反応生成物が電子・イオン輸送経路をどう変えるのかを、時間と空間の両面から捉える必要がある。

蓄電デバイスの性能を決めるのは、材料の組成や平均的な物性だけではなく、局所的かつ時間とともに変化する界面である。この界面を理解するには、充放電試験に加えて、電子顕微鏡や分光分析による「見える化」が不可欠である。

3. 電子顕微鏡・理化学機器に求める四つの進化

ここに、電子顕微鏡をはじめとする理化学機器への大きな期待がある。ただし、電池研究者が求めているのは、単に倍率や空間分解能が高い装置ではない。今後は、次の四つの方向で装置と測定技術が進化することを期待している。

第一の要望は、試料の「本来の姿」を保ったまま観察できることである。リチウム金属、界面被膜、多硫化物、イオン液体を含む電極は、大気、水分、真空、電子線に極めて敏感である。セルを解体・洗浄して観察した像が、作動中の電池内部を反映しているとは限らない。観察操作によって、本来の物質が失われたり、新たな生成物が生じたりする可能性もある。したがって、大気に触れずに試料を移送できる仕組み、クライオ電子顕微鏡、低線量観察、液体電解液を保持できる密閉型セルの高度化が重要になる。オペランド電子顕微鏡は、充放電中の変化をナノメートル領域で捉えられる一方、観察用セルと実用電池との構造差、電子線による反応誘起、観察領域の狭さが課題である⁴⁾。像が実電池の反応をどこまで代表しているかを検証できる装置設計が必要である。

第二の要望は、形を見る機能と化学状態を測る機能の統合である。SEMやTEMによる形態観察に、EDS、EELS、ラマン分光、赤外分光、X線光電子分光、X線吸収分光、質量分析などを相関させ、同一位置・同一履歴の情報として解析したい。特に硫黄系では、硫黄の存在を確認するだけでなく、 S_8 、多硫化物、 Li_2S_2 、 Li_2S などを識別しなければ反応機構には迫れない。キャパシタやイオン液体系でも、ナノ細孔内のイオン分布や局所的な溶媒和状態を、電位と対応づけて測定する技術が望まれる。

第三の要望は、ナノスケールの観察と実用セルの診断をつなぐことである。電池の不均一性は、原子・分子、活物質粒子、電極層、セル、モジュールという階層をまたいで現れる。電子顕微鏡、X線CT、超音波、熱画像、ガス分析、電気化学インピーダンスなどを組み合わせ、「どこで異常が始まり、それがセル全体へどう波及したか」を追跡する必要がある。そのためには、試料履歴、充放電条件、観察位置を共通のメタデータで結ぶ仕組みが不可欠である。

第四の要望は、熟練者だけが扱える装置から、産業現場で再現よく使える装置への進化である。AIによる画像解析や自動計測は有効であるが、結果のブラックボックス化は避けたい。装置間差、測定者差、試料調製差を評価できる標準試料と手順を整備し、粒径、亀裂率、被膜厚さ、析出物分布などを定量化する必要がある。発熱、膨張、微小短絡へ至る前駆現象を安全に検出できる設備も重要である。

4. 「見える化」から「共創」へ——今後のための提言

これからの分析機器には「より小さいものを見る」ことに加え、「動いているものを乱さずに見る」「異なる尺度の情報をつなぐ」「多数の試料を同じ基準で比較する」という三つの方向性が必要だと考えている。電池開発では、材料の発見から実用化までの間に、厚膜電極化、電解液量の削減、大型化、製造ばらつき、安全性という厳しい関門がある。分析装置がこの谷間を埋め、観察結果を材料設計や製造条件へ迅速にフィードバックできれば、日本が強みとしてきた材料、製造、計測の連携は、大きな競争力となり得る。そのためには、装置メーカーが完成品を研究者へ提供する一方向の関係から、電池研究者、材料メーカー、電池メーカー、装置開発者が、研究の初期段階から測定課題を共有する関係へ進むことが重要である。標準的な観察手順の共同策定、複数機関によるラウンドロビン試験、測定条件と元データの蓄積も有効であろう。

電池の中で進む反応は、多くの場合、直接には見えない。しかし、見えないからこそ測り、仮説を立て、装置を工夫して確かめるところに電池研究の面白さがある。リチウム硫黄電池、イオン液体電池、キャパシタのいずれにおいても、性能を決めるのは平均値だけではなく、局所的で一過性の界面現象である。電子顕微鏡と理化学機器が、単なる「静止画」から、

電池内部で進む「反応の物語」を描き出す装置へ進化することを期待したい。そして、電池研究者、装置開発者、材料メーカー、電池メーカーが専門領域を越えて測定課題を共有し、次世代の計測技術を共創することを提言したい。

参考文献

- 1) International Energy Agency, *Global EV Outlook 2025—Electric Vehicle Batteries*, IEA, Paris (2025).
<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2025/electric-vehicle-batteries>
- 2) 石川正司, 「イオン液体リチウム二次電池の実現と応用」, *オレオサイエンス*, **18**, 185–190 (2018). DOI: 10.5650/oleoscience.18.185
- 3) T. Tonoya, Y. Matsui, H. Hinago and M. Ishikawa, “Performance Stabilization of Lithium-Sulfur Batteries Containing Sulfolane-based Electrolyte and Microporous Cathode by Controlling Working Voltage Range,” *Electrochemistry* (2023).
DOI: 10.5796/electrochemistry.23-00037
- 4) S. Tao *et al.*, “In Operando Closed-cell Transmission Electron Microscopy for Rechargeable Battery Characterization: Scientific Breakthroughs and Practical Limitations,” *Nano Energy*, **96**, 107083 (2022). DOI: 10.1016/j.nanoen.2022.107083
- 5) 経済産業省, 「蓄電池産業戦略」(2022).
https://www.meti.go.jp/policy/economy/economic_security/battery/index.html

酸化物型全固体電池の電極／電解質界面の構造設計



同志社大学 理工学部
教授

土井 貴之 博士(工学)

1. はじめに

リチウムイオン電池の有機電解液を固体に置き換えた全固体電池の開発が進んでいる。全固体電池は固体電解質の組成によって硫化物型と酸化物型に大別される。硫化物型の研究開発が先行しているが、大気中の水分と反応して有毒な硫化水素が発生する懸念があるため、安全性の高い酸化物型の開発が期待されている。しかし、酸化物固体電解質の多くは硬い材料であり、硫化物固体電解質よりも電極と接合させることが難しいため十分な充放電性能が得られない。リチウムイオン電池の充放電は、電極がリチウムイオンを吸蔵、放出する反応を利用する。その際に電極が膨張、収縮するが、固体電解質は体積が変化しない。従って、仮に電極と固体電解質をうまく界面接合できたとしても、充放電により電極のみが一方的に膨張、収縮するため、界面が剥がれてしまう。これが、全固体電池が抱える本質的な問題である。

シリコンは、現行の黒鉛よりもリチウムの吸蔵性能が高いため次世代負極材料として注目されているが、その分、体積変化が大きく、最大で数百パーセントも膨張する^{1,2)}。従って、シリコン電極の厚さが0.3 μm を超えると固体電解質から剥がれやすくなり、1 μm 厚では充放電を繰り返し行うことが難しい^{3,4)}。市販のリチウムイオン電池の電極が厚さ数十 μm 以上であることを踏まえると、問題の深刻さがよくわかる。さらに、シリコンは充放電により膨張、収縮を繰り返すと割れて微粉化しやすい。微粉化して脱落したシリコンは充放電できなくなる。このような不可逆な形態変化を抑えるためにはシリコンを微粒子化し、また、充電時の体積膨張を受け入れるためスペースを確保することが有効と考えられる。つまり、シリコンの多孔質化である。空隙率が40%で膜厚が4.72 μm の多孔質シリコン薄膜を硫化物固体電解質と組み合わせた全固体電池が、充放電を100サイクル繰り返しても高い放電容量(2962 mAh g⁻¹)とエネルギー密度(2.19 mAh cm⁻²)を維持することが報告されている⁵⁾。薄膜ではなく粉末でも多孔質化することにより充放電性能が向上するが⁶⁾、固体粒子同士を接合させるために、一般的に、電池セルに数十～100 MPa程度の非常に高い圧力を加える必要がある。このように加圧装置を使用すると、その分、重量や体積が増えるため、電池の実際のエネルギー密度が低下してしまうことが問題である。

酸化物固体電解質に対してもシリコンの多孔質化が有効と考えられるが報告例はない。酸化物固体電解質には様々な種類があるが、近年、オキシハライド系固体電解質が注目されており、新しい固体電解質材料の開発が進んでいる。しかし、シリコンが充放電する電位は黒鉛と同程度に低く、固体電解質が還元分解されやすいため、選択肢は極めて少ない。ガーネット型の結晶構造を持つLi₇La₃Zr₂O₁₂は還元に対する安定性およびリチウムイオン伝導性が高いため、シリコンだけでなくリチウム金属も負極として使用することができる。

シリコンは結晶構造によって単結晶、多結晶、アモルファスに分類されるが、充放電性能が高いのはアモルファスシリコンである。また、液系リチウムイオン電池では純粋なシリコンよりも優れた充放電サイクル性能を示す酸化シリコン⁷⁻¹²⁾やケイ化物^{13,14)}が開発されている。酸化シリコンの組成はSiO_x (0<x≤2) で表され、様々な酸素の比率の化合物が存在する。SiO_xは初回充電時に還元分解して、シリコン、酸化リチウム、ケイ酸リチウム等を生成する¹⁵⁻¹⁷⁾。このうちシリコンは、その後の充放電でリチウムイオンを吸蔵、放出して活物質として機能するが、その際に酸化リチウムやケイ酸リチウムの分解生成物がシリコンの体積変化を緩和する緩衝材として機能する。また、これらの分解生成物はリチウムイオン伝導性を示すため、シリコン微粒子の周りにリチウムイオンの伝導パスが自己形成された状態であり、これによりリチウムイオンの吸蔵、放出反応が促進される。

本研究では酸化物型全固体電池のエネルギー密度向上を目指して、多孔質のアモルファス酸化シリコンに注目し、どのような多孔質構造が充放電性能向上に有効であるか調べた¹⁸⁾。

2. 多孔質シリコンの三次元構造解析

高周波スパッタリング法によりシリコンと亜鉛を共蒸着して薄膜を形成し、これを真空中、550°Cで加熱して亜鉛を昇華、除去した。得られた薄膜の断面を、エネルギー分散型X線分析装置(EDX、Bruker AXS XFlash6|10)を備えた電界放出形走査電子顕微鏡(FE-SEM、日立ハイテクSU8220)で分析した結果、多孔質であり、組成は $\text{SiO}_{0.2}$ であることがわかった(図1a)。この多孔質 $\text{SiO}_{0.2}$ 薄膜は、ラマン分光法によりアモルファス構造であった。多孔質構造をより詳細に解析するために、集束イオンビーム走査電子顕微鏡(FIB-SEM、日立ハイテクNX9000)を用いて観察した。2.5 μm 四方の視野をZ方向に5 nm間隔でFIBを用いてエッチングした後、SEMによる断面観察を行った。このcut & see操作を繰り返し行って651枚の断面像を取得した。得られたSEM像を組み合わせて三次元像を作成した(図1b)。また、7枚の断面像内の $\text{SiO}_{0.2}$ および空隙の領域を手動で特定して教師データを取得し、Dragonfly(Comet Technologies Canada)を用いてAI機能を活用した機械学習と手動による微調整により像全体のセグメンテーションを行った。さらに、Dragonflyを用いて二次元像から三次元像を再構築した(図1c)。空隙は互いに繋がっておりネットワーク構造を形成していた(図1d)。ただし、 $\text{SiO}_{0.2}$ のパスが細い部分や局所的に大きな空隙も認められ、 $\text{SiO}_{0.2}$ と空隙のサイズに分布があった。より定量的に理解するために、FIB-SEM像を機械学習により解析した。その結果、空隙サイズは5.5 ~ 612 nmの幅広い分布を持ち、その多くは24.5 nm前後の微細な空隙であったが、250 nmを超える粗大な空隙も存在した(図2a)。空隙率は53.6%と求められた。一方、 $\text{SiO}_{0.2}$ のサイズは5.5 ~ 326 nmの範囲であり、最大頻度径は約17.5 nmであったが、250 nmを超える粗大な $\text{SiO}_{0.2}$ 粒子も認められた(図2b)。連結していない $\text{SiO}_{0.2}$ が0.06%存在するという解析結果が得られたが、実際にはFIB-SEMの分解能(5 nm/ピクセル)を下回る細い $\text{SiO}_{0.2}$ を介して繋がっていると推測される。このような狭小部はリチウムが拡散しにくいので充放電反応には不利である。以上の結果より、多孔質薄膜を構成する空隙と $\text{SiO}_{0.2}$ の大部分は20 nm前後でほぼ同じサイズであったが、粗大な $\text{SiO}_{0.2}$ と空隙も含まれることがわかった。

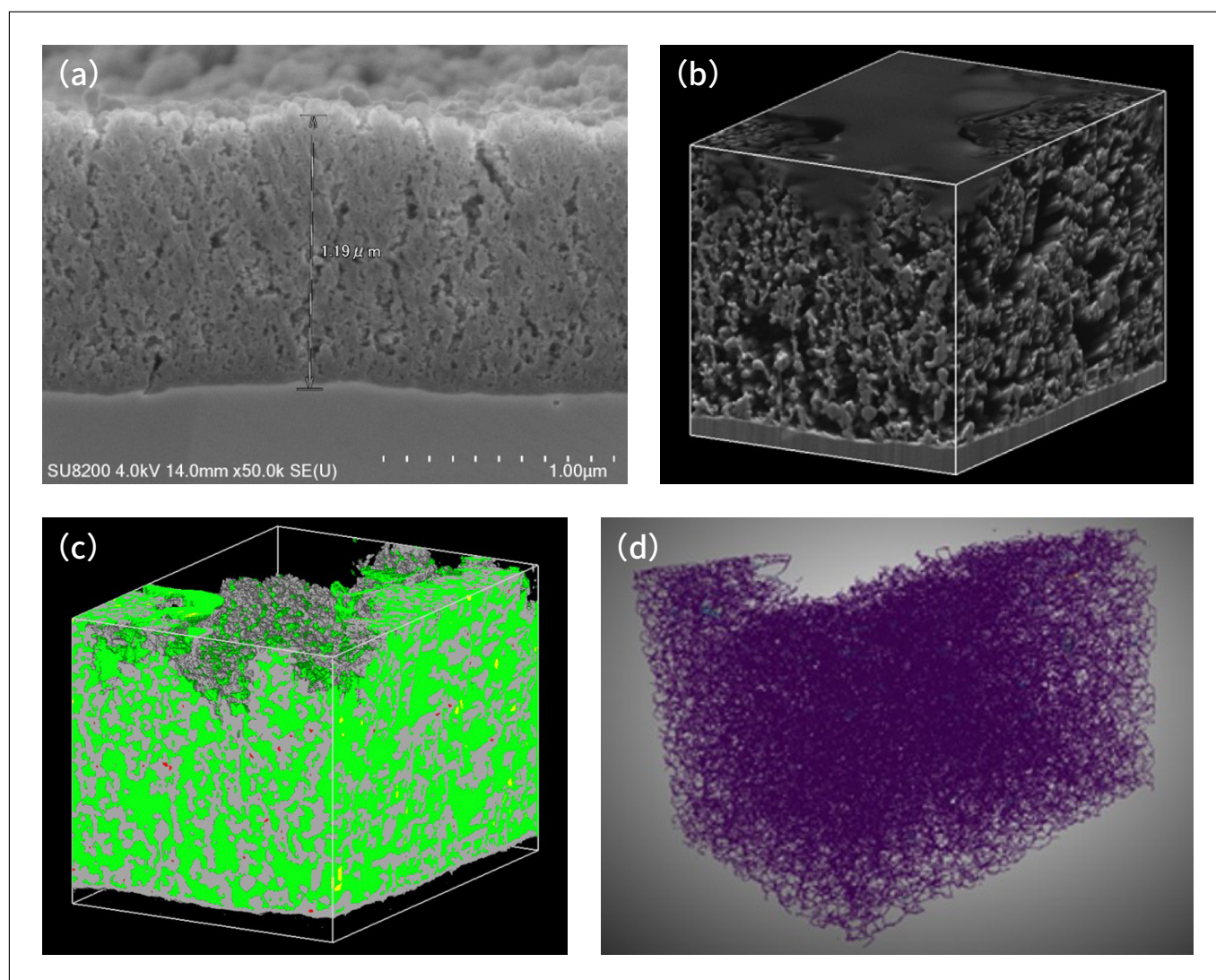


図1 多孔質 $\text{SiO}_{0.2}$ 薄膜の(a)断面FE-SEM像、(b)FIB-SEM像、(c)再構築して得られた三次元像。緑色が空隙、灰色が $\text{SiO}_{0.2}$ 、(d)空隙のネットワーク像。

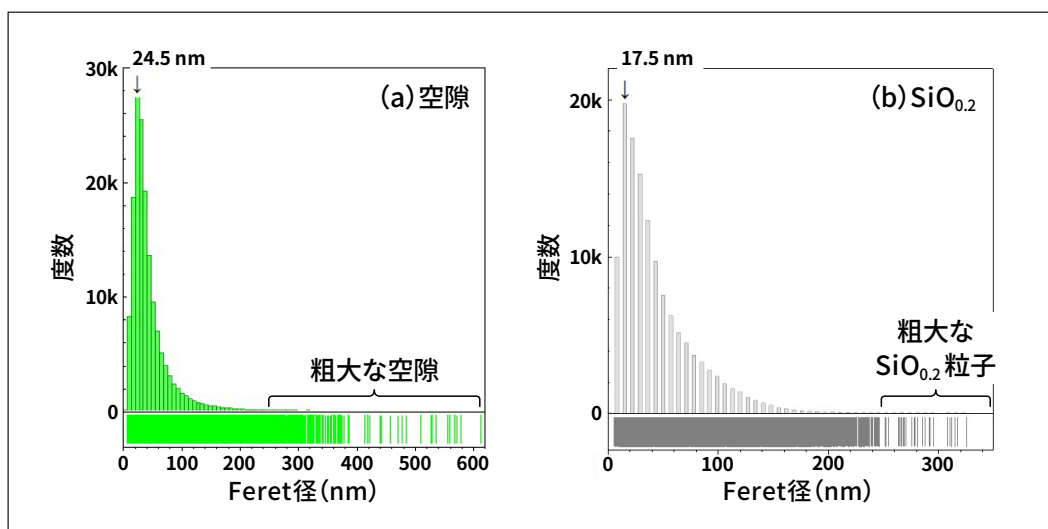


図2 多孔質 $\text{SiO}_{0.2}$ 薄膜の(a)空隙と(b) $\text{SiO}_{0.2}$ のFeret径。

3. 多孔質シリコン薄膜の充放電特性

膜厚 $1.2\ \mu\text{m}$ のアモルファスな多孔質 $\text{SiO}_{0.2}$ 薄膜を、Zrの一部をTaで置換した $\text{Li}_{6.6}\text{La}_3\text{Zr}_{1.6}\text{Ta}_{0.4}\text{O}_{12}$ 固体電解質板上に蒸着して電池セルを作製し(図3a)、充放電試験を行った。典型的なアモルファスシリコンの充放電挙動を示し、C/10レート(シリコンの理論容量を $4199\ \text{mAh g}^{-1}$ と仮定し、各充放電プロセスを理論上10時間で完了できる電流)で $1349\ \text{mAh g}^{-1}$ の初期放電容量を示した(図3b)。充放電を100サイクル繰り返した後もその77.8%の放電容量を維持することができた(図3c)。比較のために、この多孔質薄膜と同じ活物質担持量を持つ膜厚約 $0.6\ \mu\text{m}$ の緻密な SiO_x 薄膜を作製して充放電試験した結果、初期放電容量は $2041\ \text{mAh g}^{-1}$ と高かったが、その後は急速に放電容量が低下し(図3c)、固体電解質から剥離した。これは、シリコンの一方的な体積変化によって固体電解質との間に過度の界面応力が生じたことが原因であろう。これらの結果より、多孔質化して界面応力を低減したことにより充放電性能が大幅に向上したと考えられる。

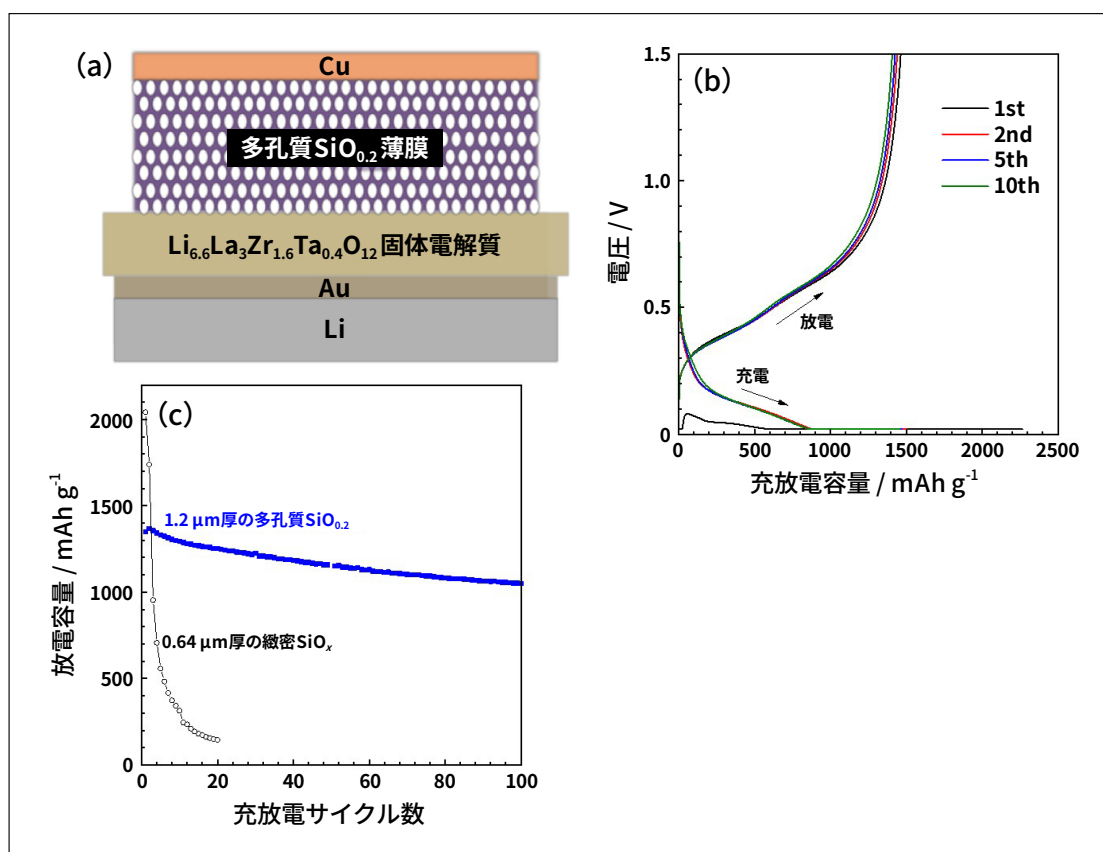


図3 (a)電池セルの模式図。膜厚 $1.2\ \mu\text{m}$ の多孔質 $\text{SiO}_{0.2}$ 電極の(b)充放電曲線と(c)充放電サイクルを繰り返した際の放電容量の変化。多孔質電極の方が緻密電極よりも優れた充放電サイクル特性を示した。

充放電を100サイクル繰り返した後、電池セルを解体して断面形態をFE-SEM観察した。多孔質 $\text{SiO}_{0.2}$ 電極は膜厚が約1.2 μm から約3.8 μm へ3.2倍も増加したが、驚くことに固体電解質との界面接合を維持していた(図4)。100サイクル後も多孔質であったが、直径約200 nmの粒子が多孔体を形成し、また、電極の垂直方向に微小な亀裂が生じており、充放電前の多孔質構造とはかなり異なっていた。これは、おそらく充電時にシリコンがリチウムと合金化(膨張)して空隙が消失するが、その後の放電時にリチウムが垂直方向に拡散して脱離する際に面内方向に収縮応力が生じることにより垂直方向に亀裂が生じたためと推察される。今後、FIB-SEM観察やオペランドSEM観察により詳細な構造変化を解明できれば、シリコン負極の充放電にとって最適な多孔質構造を明らかにできると考えられる。

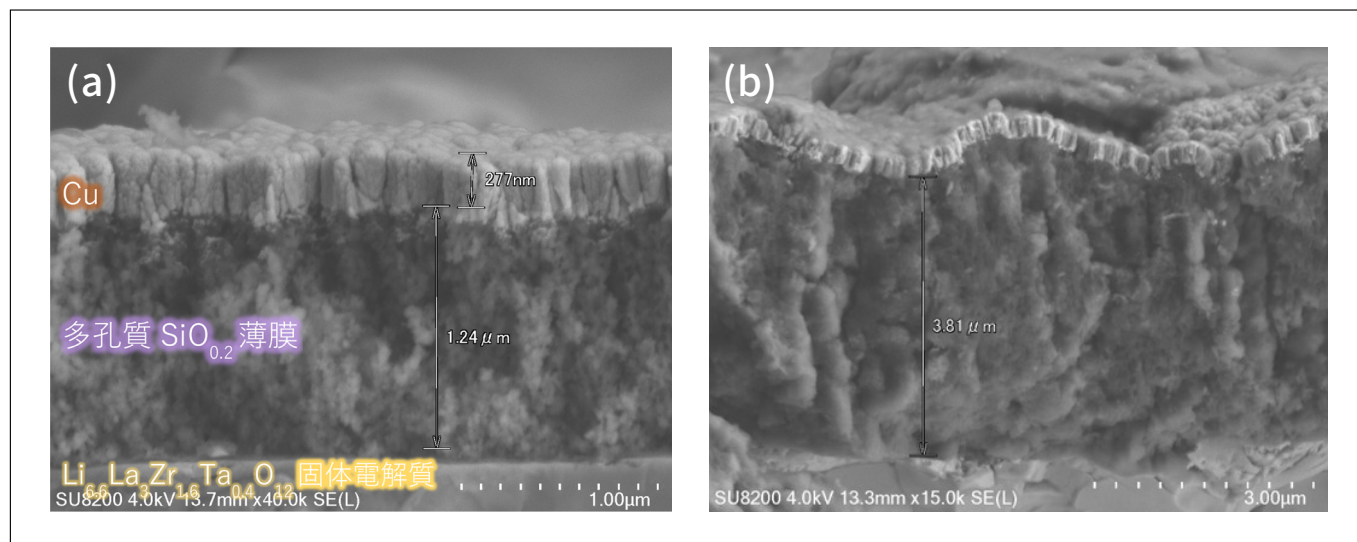


図4 膜厚1.2 μm の多孔質 $\text{SiO}_{0.2}$ 電極の(a)充放電前と(b)100サイクル後の断面SEM像。

電池のエネルギー密度を高めるためにはシリコンを厚膜化する必要がある。そこで、膜厚が最大5.0 μm の多孔質 $\text{SiO}_{0.2}$ 薄膜を作製して充放電試験した結果、100サイクル後も初期放電容量の75.9%を維持することができ(図5a)、また、3Cレート(各充放電プロセスを理論上1/3時間で完了できる電流)で高速放電しても800 mAh g^{-1} を超える高い放電容量を示した(図5b)。注目すべきことに、これらは膜厚1.2 μm の $\text{SiO}_{0.2}$ 薄膜とほぼ同等の充放電性能であった。このことは、多孔質 $\text{SiO}_{0.2}$ 薄膜を厚膜化しても電池セルの内部抵抗がほぼ同じであったことから裏付けられた(図5c)。膜厚の増加に伴って電極内の電子やリチウムの伝導パスが長くなるため充放電反応が進行しにくくなるが、それよりもシリコンと固体電解質との界面をリチウムイオンが移動する反応の方が遅いことを意味している。今後、界面近傍のシリコンの多孔質構造を最適化して界面抵抗を低減することにより、更なる充放電性能の向上が期待される。

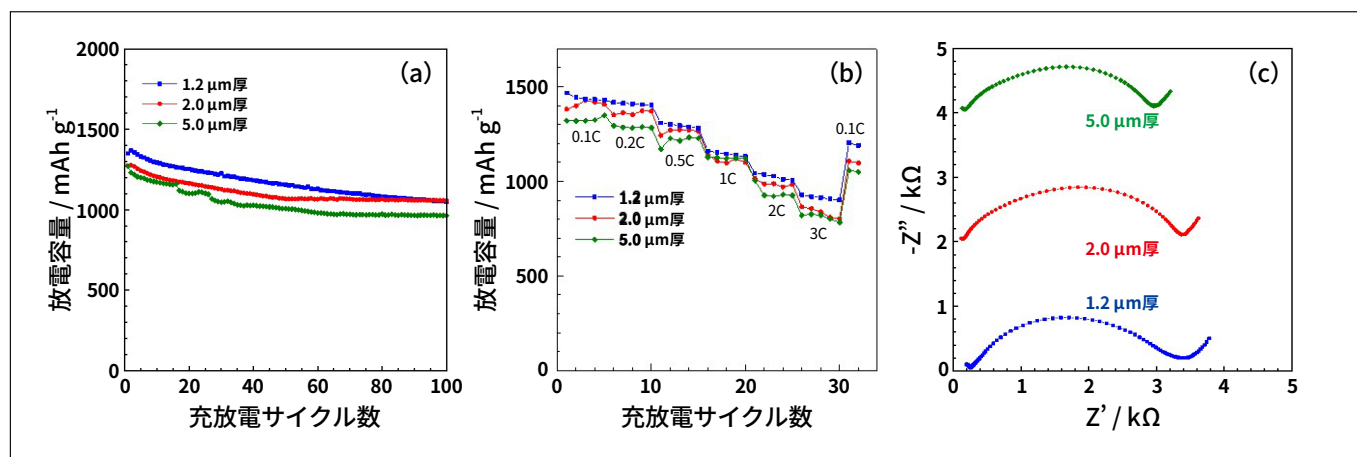


図5 膜厚1.2、2.0、5.0 μm の多孔質 $\text{SiO}_{0.2}$ 電極の(a)充放電サイクル特性、(b)高速放電特性、および(c)交流インピーダンス法により得られたNyquistプロット。

成膜条件を検討して、より微細で均質な多孔質構造を持つ多孔質 $\text{SiO}_{0.2}$ 薄膜を作製した(図6a)。前述の多孔質薄膜(図2)と比較して、250 nmを超える粗大な空隙が減少し、空隙の最大頻度径が約 17.5 nm に低減された(図 6b)。また、250 nm以上の粗大な $\text{SiO}_{0.2}$ が減り、最大頻度径が約 10.5 nmまで減少した(図 6c)。しかし、空隙率は53.6%から42.6%に下がった。シリコンの担持量を $0.12 \sim 0.13 \text{ mg cm}^{-2}$ に揃えて充放電性能を公平に比較した結果、多孔質構造を微細化・均質化した $\text{SiO}_{0.2}$ の方が高い充放電サイクル性能を示した(図 6d)。これは、より多くの $\text{SiO}_{0.2}$ が均質に充放電反応できるようになったためと考えられる。また、100サイクル後の膜厚増加を1.7倍に抑えることができた。これらの結果は、空隙率を高めるよりも、より均一で微細な空隙を形成する方が効果的に充放電性能が向上することを示唆している。

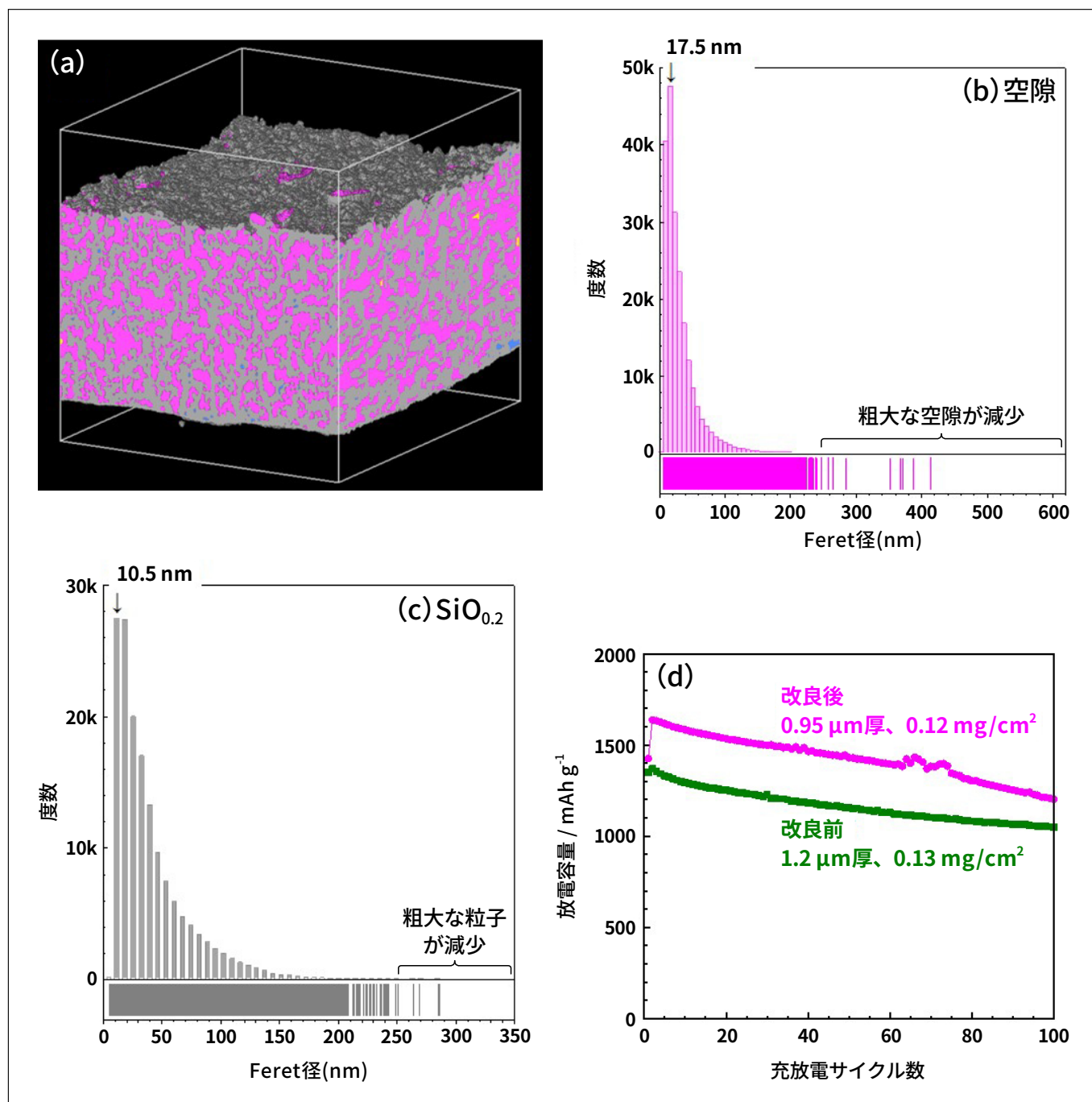


図6 改良後の $\text{SiO}_{0.2}$ 薄膜の(a)FIB-SEM観測像を再構築して得られた三次元像。桃色が空隙、灰色が $\text{SiO}_{0.2}$ 。(b)空隙と(c) $\text{SiO}_{0.2}$ のFerret径。(d)改良前後の $\text{SiO}_{0.2}$ 薄膜の充放電サイクル特性。

4. おわりに

シリコンを多孔質化することにより硬い酸化物固体電解質上でも安定した充放電が可能であることを実証した。特に、界面近傍のシリコンの多孔質化により固体電解質との界面応力が低減されることが有効であった。多孔質シリコンをFIB-SEM観察して定量的に三次元構造解析を行うことにより、空隙径やシリコン径と充放電性能の相関を理解することができた。今後、多孔質構造の最適化を行う上で有効なアプローチと考えられる。本稿では膜厚が最大5 μm のシリコン薄膜を用いたが、実用化に向けて20 μm 以上の厚膜化が求められる。製造コストを抑えて大量生産するためには真空プロセスではなく粉体プロセスへの応用展開も必要である。

参考文献

- 1) Liang, B., Liu, Y., & Xu, Y. Silicon-based Materials as High Capacity Anodes for Next Generation Lithium Ion Batteries. *J. Power Sources*, **267**, 469-490 (2014).
- 2) Ma, D., Cao, Z., & Hu, A. Si-based Anode Materials for Li-ion Batteries: a mini review. *Nano-Micro Lett.*, **6**, 347-358 (2014).
- 3) Miyazaki, R., Ohta, N., Ohnishi, T., Sakaguchi, I., & Takada, K. An Amorphous Si Film Anode for All-solid-state Lithium Batteries. *J. Power Sources*, **272**, 541-545 (2014).
- 4) Phan, V. P., Pecquenard, B., & Le Cras, F. High-performance All-solid-state Cells Fabricated with Silicon Electrodes. *Adv. Funct. Mater.*, **22**, 2580-2584 (2012).
- 5) Sakabe, J., Ohta, N., Ohnishi, T., Mitsuishi, K., & Takada, K. Porous Amorphous Silicon Film Anodes for High-capacity and Stable All-solid-state Lithium Batteries. *Communications Chemistry*, **1** (1), 24 (2018).
- 6) Okuno, R., Yamamoto, M., Kato, A., & Takahashi, M. High Cycle Stability of Nanoporous Si Composites in All-solid-state Lithium-ion Batteries. *J. Electrochem. Soc.*, **169**, 080502 (2022).
- 7) Yang, J., Takeda, Y., Imanishi, N., Capiglia, C., Xie, J. Y., & Yamamoto, O. SiO_x -based Anodes for Secondary Lithium Batteries. *Solid State Ionics*, **152**, 125-129 (2002).
- 8) Nguyen, C. C., Choi, H., & Song, S. W. Roles of Oxygen and Interfacial Stabilization in Enhancing the Cycling Ability of Silicon Oxide Anodes for Rechargeable Lithium Batteries. *J. Electrochem. Soc.*, **160**, 906-914 (2013).
- 9) Jung, S. C., Kim, H. J., Kim, J. H., & Han, Y. K. Atomic-Level Understanding Toward a High-capacity and High-power Silicon Oxide (SiO) Material. *J. Phys. Chem. C*, **120**, 886-892 (2016).
- 10) Chen, T., Wu, J., Zhang, Q., & Su, X. Recent Advancement of SiO_x Based Anodes for Lithium-ion Batteries. *J. Power Sources*, **363**, 126-144 (2017).
- 11) Takezawa, H., Ito, S., Yoshizawa, H., & Abe, T. Comparative Study of Approaches to Achieve Improved Cyclability and High Capacity in a Silicon Suboxide Film Anode for Lithium-ion Batteries. *Electrochim. Acta*, **245**, 1005-1009 (2017).
- 12) Haruta, M., Doi, T., & Inaba, M. Oxygen-content Dependence of Cycle Performance and Morphology Changes in Amorphous- SiO_x Thin-film Negative Electrodes for Lithium-ion Batteries. *J. Electrochem. Soc.*, **166**, A258-A263 (2019).
- 13) Domi, Y., Usui, H., Takemoto, Y., Yamaguchi, K., & Sakaguchi, H. Improved Electrochemical Performance of Lanthanum Silicide/Silicon Composite Electrode with Nickel Substitution for Lithium-Ion Batteries. *J. Phys. Chem. C*, **120**, 16333-16339 (2016).
- 14) Domi, Y., Usui, H., Takaishi, R., & Sakaguchi, H. Lithiation and Delithiation Reactions of Binary Silicide Electrodes in an Ionic Liquid Electrolyte as Novel Anodes for Lithium-Ion Batteries. *ChemElectroChem*, **6**, 581-589 (2019).
- 15) Hohl, A., Wieder, T., van Aken, P. A., Weirich, T. E., Denninger, G., Vidal, M., Oswald, S., Deneke, C., Mayer, J., & Fuess, H. An Interface Clusters Mixture Model for the Structure of Amorphous Silicon Monoxide (SiO). *J. Non-Cryst. Solids*, **320**, 255-280 (2003).
- 16) Zhang, W. L., Zhang, S., Yang, M., & Chen, T. P. Microstructure of Magnetron Sputtered Amorphous SiO_x Films: Formation of Amorphous Si Core-shell Nanoclusters. *J. Phys. Chem. C*, **114**, 2414-2420 (2010).
- 17) Takezawa, H., Iwamoto, K., Ito, S., & Yoshizawa, H. Electrochemical Behaviors of Nonstoichiometric Silicon Suboxides (SiO_x) Film Prepared by Reactive Evaporation for Lithium Rechargeable Batteries. *J. Power Sources*, **244**, 149-157 (2013).
- 18) Marumoto, K., Nakano, K., Kondo, Y., Inaba, M., & Doi, T. Tailored Design of a Nanoporous Structure Suitable for Thick Si Electrodes on a Stiff Oxide-Based Solid Electrolyte. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **16**, 62274-62281 (2024).

120 kV TEM HT7800 II の特長と応用

和久井 亜希子^{*1}、中澤 英子^{*2}

1. はじめに

透過型電子顕微鏡（以下、TEM：Transmission electron microscope）は、物質の内部構造を高分解能で観察可能な装置として、半導体やマテリアル、バイオロジーやメディカルサイエンスなど幅広い分野で利用されている。特に、最高加速電圧 120 kV の汎用 TEM は、病理組織の確定診断や高機能材料の微細構造解析などの用途において重要な役割を担っている。最近では、アカデミアに加え、医療機関や検査機関への導入が進み、利用分野の拡大とともに、初心者から熟練者まで様々なユーザが使用している。また、AI 技術やデータ駆動型研究の進展に伴い、大量データの取得とその解析ニーズが増加しており、従来の観察性能に加え、操作の簡便化や観察作業の効率化が求められている。今回、これらの要求に対応するために、新たに 120 kV TEM「HT7800 II」がリリースされた。本装置では、自動化機能を強化し、日常の観察業務の負担軽減を図るとともに、ユーザの習熟度に依存しない安定した操作性を実現するための様々な機能を装備している。これにより、効率的な作業と再現性の高いデータ取得を可能とし、研究開発や TEM 検査業務の生産性向上に貢献できる。

2. HT7800 II の概要と特長

HT7800 は、日立独自設計の複合対物レンズによって、HC モードによる広視野・高コントラスト観察と HR モードによる高分解能観察の両立を実現している。試料観察では、高感度スクリーンカメラを搭載したことで、電子線損傷を受けやすい試料の観察も容易となっている。加速電圧は 20 kV から 120 kV までの範囲で可変することができる。さらに、機能面では、オートフォーカス、自動撮影、ドリフト補正など各種オート機能を備え、迅速かつ安定な操作性を実現している。今回リリースした HT7800 II では、HT7800 シリーズとして、HT7800 の特長を踏襲しつつ、自動化機能をブラッシュアップし、さらに高性能の新型自社製カメラを搭載している。以下に HT7800 II の自動化機能と新型カメラの特長を解説する。



図 1 日立 120 kV TEM HT7800 II の外観

2-1. 自動化機能について

(1) 自動ビーム調整機能（標準搭載機能）

HT7800 搭載のオートフォーカス機能やオート非点補正機能に加えて、HT7800 II では、自動ビーム調整機能を装備している。本機能は、TEM 観察前の準備として必要な軸調整を自動的に実行するものである。具体的には、ビームセンタリング、明るさ調整、電圧中心や電流中心の調整など各種アライメントを自動的に行う。軸調整は良好な像を取得するために必要な作業で、オペレータの熟練度に依存することが多かったが、本機能によって正確な軸調整を効率かつ再現性良く行うことができるようになった。図2は自動ビーム調整機能のフローである。軸調整のステップが表示されていて、“Excute”をクリックす

ると自動的に調整が進んでいく。軸調整項目のうち、電圧中心および電流中心 (Auto BT adjustment) は、一度調整を行うと安定性が高く、加速電圧などの光学条件を変更しない限り再調整の必要性は低い。したがって、必要な調整項目を選択的に適用することで、調整フローの効率化および最適化が可能となる。また、ビームセンタリング調整の“Beam Adjust”をワンクリックすると、自動的にビームをセンタリングするので、迅速に最適な軸調整が再現できる。

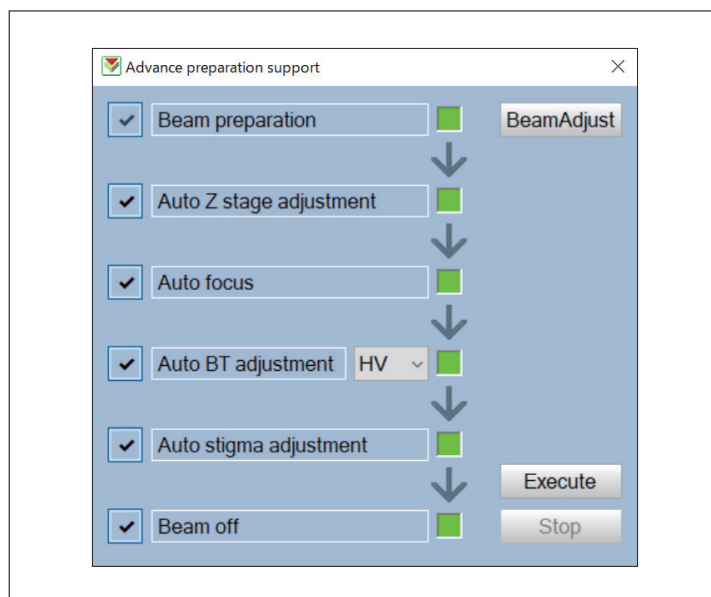


図 2 自動ビーム調整機能

注：Auto Z stage adjustment は 5 軸ステージ(オプション機能)搭載時のみ動作可能

(2) EM Flow Creator (オプション機能)

EM Flow Creator は、TEM 観察における一連の作業を自動的に行う機能である。あらかじめ設定した条件に基づいて処理を実行するため、操作者によるばらつきを抑え、再現性の高い安定したデータ取得が可能である。本機能では、例えば、連続視野の自動撮影や不連続にズームアップして撮影するなど、操作手順の可視化や標準化など、目的に応じた作業を高スループットで処理することができる。これによって、操作者の熟練度によらず、容易に一定品質の観察を行うことが可能である。

図3に示すように EM Flow Creator では、機能ブロックをドラッグ&ドロップすることで、一連の観察レシピを直感的に作成することが可能である。レシピ構築においては、繰返し処理 (Loop) や条件分岐 (If)、変数 (Variable) といった制御機能をサポートしており、柔軟なワークフロー設計が可能である。さらに、オートフォーカスなどの自動調整機能をブロックとして組み込むことができるほか、GUI を用いた各種パラメータ設定に対応している。加えて、Python スクリプトブロックを利用することで、ユーザ独自の処理をレシピに組み込み、機能拡張を行うことも可能である。

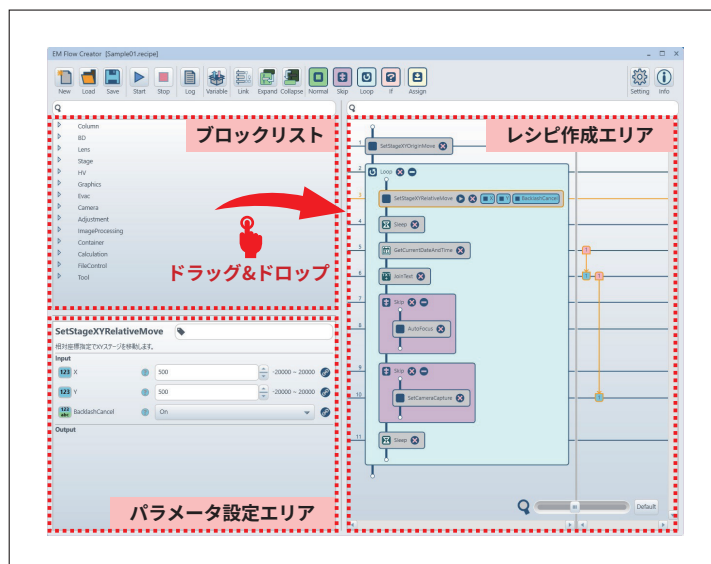


図 3 自動観察レシピ作成ツール EM Flow Creator

2-2. 新型自社製カメラ LC15 の特長

HT7800 II では、新型自社製カメラ (型式 LC15) を装備できる。LC15 カメラの仕様を表 1 に示す。本カメラは、ペルチェ冷却機構の採用により、ノイズを低減し、高い SN 比のクリアな画像取得を実現している。さらに高感度センサー搭載により低電子線量下での観察および短時間露光での撮影が可能であり、高分子材料やクライオトランスファー観察など電子線ダメージに弱い試料にも適用できる。本カメラは、HT7800 II のシステムと統合されており、オートフォーカス、ドリフト補正、イメージナビゲーションなどの各種自動化機能による観察が可能である。さらにまた、低倍率の広視野観察も対応しているので、病理組織切片の広視野観察やソフトマテリアルの低損傷観察など幅広い分野において利用できる。

表 1 LC15 カメラの主な仕様

項目	内容
カメラポジション	ボトムマウント (観察室直下)
チップタイプ	CMOS センサー
カメラカップリング方式	レンズ
解像度	15 M pixel (4,784 pixel × 3,190 pixel)
ピクセルサイズ	10.74 μm × 10.74 μm (蛍光体面上)
視野範囲	51.4 mm × 34.3 mm (蛍光体面上)
視野範囲 (拡大時)	7.59 μm × 5.07 μm (試料面上、倍率 ×10k の時)
フレームレート	7.7 fps
冷却方式	ペルチェ冷却 + 水冷
TEM システム統合	可

3. 応用例

3-1. EM Flow Creator を用いたマウス腎臓系球体の自動撮影

図 4 に、EM Flow Creator を用いたマウス腎臓系球体の自動撮影例を示す。本レシピは、事前に登録した複数の系球体位置へステージを自動移動し、指定した観察倍率で順次撮影を行うことを目的として作成したものである。あらかじめ 3 点の系球体のステージ座標を登録し、各位置に対して同一条件で撮影処理を繰り返す構成とした。具体的には、各系球体位置において観察倍率 1,000 倍、2,000 倍、3,000 倍の順に画像を取得する。レシピ実行時の処理フローは以下の通りである。まず、レシピ開始時に登録済みの 1 番目の系球体位置へステージを自動移動する。次に観察倍率を 1,000 倍に設定し、スクリーンカメラからメインカメラへ切り替えを行う。その後、オートフォーカス処理を実行して画像を取得し、指定された保存パスへ所定のファイル名で保存する。同一位置において観察倍率を 2,000 倍および 3,000 倍に順次変更し、同様の撮影および保存処理を行う。続いて、2 番目の系球体位置へステージを移動し、1 番目と同様の条件 (1,000 倍、2,000 倍、3,000 倍) で撮影を実行する。さらに 3 番目の系球体位置へ移動後、同一処理を繰り返す。EM Flow Creator は以上のような「位置移動 → 倍率変更 → カメラ切替 → オートフォーカス → 撮影・保存」の一連の処理を実現し、あらかじめ登録された複数の登録位置に対して自動的に繰り返す構成となっており、マニュアルによる操作が不要である。これにより撮影にかかる操作ステップ数の削減が実現し、操作者のスキルの差によるデータ品質のばらつきを抑えることが可能である。

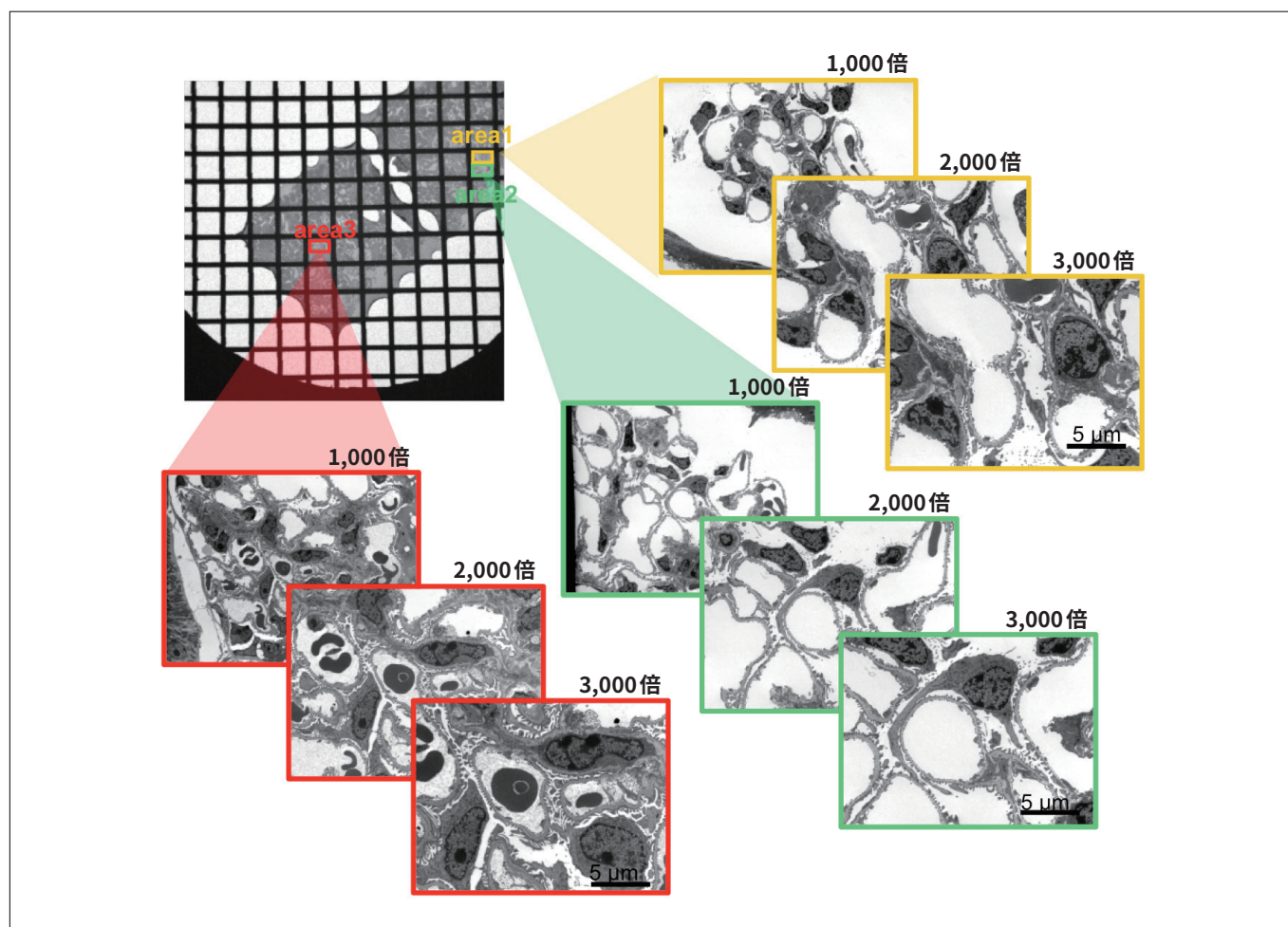


図4 EM Flow Creator を用いたマウス腎臓系球体の自動撮影例

3-2. LC15 カメラを用いたリボソームのクライオトランスファー観察

120 kV TEM HT7800 II に搭載した新型自社製LC15 カメラを用いて、加速電圧 120 kV で観察した氷包埋リボソームのクライオトランスファー観察例を図5 に示す。LC15 カメラは、ヘッド冷却によりこれまでのバイオ試料や材料試料だけでなく、低ノイズ観察が求められるクライオ観察などのロードーズ観察が可能である。図5 では非晶質の氷に包埋されたりボソームの形状やサイズ、多層膜構造が鮮明に捉えられている。

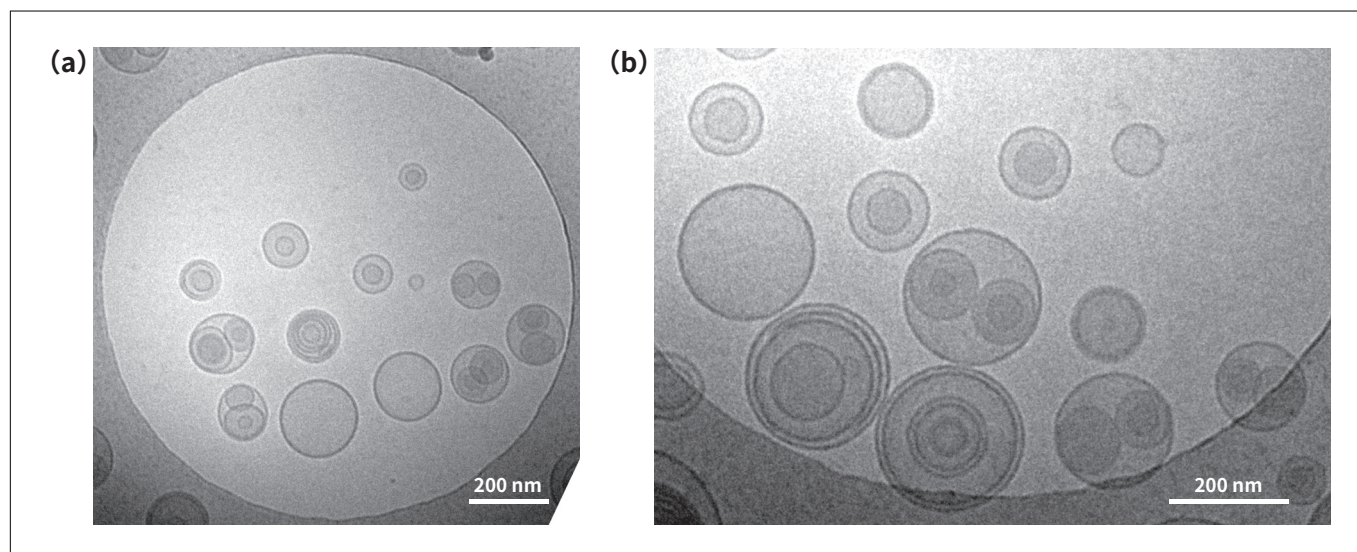


図5 LC15 カメラを用いた氷包埋リボソームのクライオトランスファー観察例 加速電圧 120 kV
(a)観察倍率 30,000 倍、(b)デジタルズームした写真

4. まとめ

HT7800 II の特長と応用例について紹介した。本装置では各種自動機能と新型カメラにより、高品質かつ安定した観察が可能となっている。さらに、EM Flow Creator による TEMワークフローの自動化により、作業効率の向上と再現性の高いデータ取得が可能である。より簡便な操作と安定した高解像度観察を実現することにより、様々な領域における研究開発や検査業務におけるTEM 利活用の進展が期待される。

著者紹介

*1 和久井 亜希子

(株)日立ハイテク コアテクノロジー&ソリューション事業統括本部 CTシステム製品本部 解析システム第一設計部

*2 中澤 英子

医学博士

(株)日立ハイテク コアテクノロジー&ソリューション事業統括本部 事業戦略本部 グローバル戦略企画一部

S I N E W S
I N T E R V I E W

Vol. 34

イオン液体が、ありふれた資源を未来の材料に変える

～イオン液体の研究を軸に、これからの社会が求める材料やデバイス、
リサイクル技術を創造～

千葉大学大学院工学研究院の津田哲哉教授は、常温でも液体のまま存在する特殊な塩＝イオン液体の研究を軸に、電池、高性能触媒、アルミニウムリサイクル、さらには宇宙利用まで、広い分野に応用を広げています。近年では、イオン液体を利用したワンポットプロセスによるハイエントロピー合金触媒の合成を実現し、複雑な製造工程の大幅な簡略化にも成功しました。また、電子顕微鏡によるオペランド観察によって電池の内部で起きている現象を可視化し、新たな知見を見いだしてもいます。材料開発と分析技術。その両輪で未来を切り拓く津田教授にお話をうかがいました。

千葉大学大学院
工学研究院
教授

津田 哲哉
博士(エネルギー科学)

大阪大学大学院工学研究科
助教を経て、2022年より現職。電気化学会 電気化学普及委員会 委員長、熔融塩委員会 編集委員長などを歴任(現任)。表面科学会 技術賞(2010年)、大阪大学 総長奨励賞(2012、2014、2015)、電気化学会 熔融塩委員会 熔融塩賞(2025年) 他、受賞歴多数。

S I NEWS
INTERVIEW

室温で液体になる塩。その不思議さに魅せられて

通常、私たちが知る食塩などの塩は、室温では固体。しかし分子構造を工夫すると、室温付近でも液体のまま存在する塩をつくることができる。イオン液体とは、室温で液体になっている塩だ。そして、塩が持つ「燃えにくい」「揮発しにくい」といった特徴に加え、液体としての流動性を併せ持つ。さらに電気化学的な安定性が非常に高く、水系電解液と比べて4～5倍広い分解電圧を有することから、高電圧電池や新しい電気化学プロセスへの応用が期待されている。津田教授はイオン液体の魅力について次のように語る。

「イオン液体の面白さは、電気化学窓が広い、イオン伝導度が比較的高い、使用温度域が広い、難帯電性といったさまざまな特徴を持つことです。これらの特徴を個々に持つ物質はありますが、すべて併せ持っていることがイオン液体の大きな魅力です」

この不思議な液体と津田教授との出会いは、学生時代にさかのぼる。研究室に配属になって初めて手にしたイ

オン液体は塩化アルミニウムと有機塩によるものだった。

「それぞれ室温では固体ですが、2つを混ぜた瞬間からじわじわと溶けていくわけです。これは不思議だ、面白い。その瞬間、この物質をもっと探究したいと思いました」

思いは日本だけでは収まらず、米国ミシシッピ大学に留学し、イオン液体研究の第一人者であるチャールズ・L・ハッシー教授のもと、合成から応用まで幅広い研究に携わった。そして留学終盤には身近で安価な材料からイオン液体の類縁体をつくる研究に着手する。

「尿素と塩化コリン、肥料と養鶏の飼料に含まれる安全性の高い身近な物質でありながら、混ぜればイオン液体に近いものができる」と知り、これは面白いと」

この経験が、汎用元素とイオン液体を組み合わせるといふ現在の研究アプローチの礎となっている。



S I NEWS
INTERVIEW

予想外の結果、それは研究が最も面白くなる瞬間

津田教授は、学生が悲壮な表情で研究室にやってくる場面を何度も見てきたという。

「先生、予想した結果と全然違いました」

そんな報告を受けるたび、津田教授がかける言葉は決まっている。

「予想外やね。これおもしろいね」

その飾らない言葉に、想定外を楽しむ気持ちがにじむ。結果を予想し、仮説を立て、実験する。その半分程度は想定通りに進むが、残りは予想外の結果になるという。

イオン液体の機能性を向上させるために一般的に用いられる方法は、複雑な有機合成プロセスによる合成化学的手法だが、コストが高く、社会実装には課題が多い。

「そのため、身近にある安価な化合物や塩を巧みに組み合わせ、安価で汎用性の高いイオン液体を合成することに意義があります。誰もやっていない研究を、こういっ

た結果が得られるのでは……と実験を進め、予想もしないような結果が出たときに『あ〜、面白いな〜。こんなことあるんや』と思います」

イオン液体は多彩な物性を持つため、想定外のデータは新しい応用への入り口になる。

「実はそこが一番エキサイティングなんです。学生には、『じゃあこうすればもっと面白いものができるんじゃない?』と励まします」

そこから学生や研究者とあれやこれやと議論を交わす時間が楽しいと語る津田教授。

津田教授の予想外を楽しむ原点についてたずねると、幼少期の「分解遊び」に行き当たった。

「子どもの頃は、親に内緒でいろいろなものを分解していました」と機械や電池、さらにはゴルフボールまで分解していたと笑う津田教授。その好奇心は、少年時代のまま研究者としての原動力になっているようだ。

ハイレントロピー合金触媒を簡易に生成する
ワンポットプロセスを開発

近年注目を集めている津田研究室の成果の1つが、ハイレントロピー合金触媒のワンポット合成技術である。従来、ハイレントロピー合金ナノ粒子を合成する工程と、

それを担体に固定する工程は別々に行う必要があった。しかし、津田研究室では、イオン液体を反応媒体として利用することで、原料を1つの容器に投入し、加熱・攪

S I NEWS
INTERVIEW

拌するだけで高品質な触媒を形成するワンポットプロセスを実現した。

「今まで少なくとも2段階必要だった工程がワンステップで完了しました。想定していたとはいえ、本当にできた時は驚きました」

このプロセスを支えるのもイオン液体ならではの特性である。イオン液体はバルク状態では高い流動性を保つ一方、薄い層になると固体に近い性質を示す。この特性により、イオン液体はナノ粒子の凝集を防ぐ安定化剤として働きながら、同時に担体への固定を助けるバインダーの役割まで果たす。そのため、カーボンナノチューブやグ

ラフェンなどさまざまな担体上へ均一にナノ粒子を固定できるわけだ。さらに興味深いのは、イオン液体自体が触媒表面の電子状態を変化させることで、触媒性能そのものを向上させられる可能性があることも分かった。

イオン液体の性質は陽イオンと陰イオンの組み合わせに依存するため、目的や用途に合わせて物性がデザインできる液体としても注目を集め、現在は燃料電池、CO₂還元、水電解など、多くの研究者によって応用が広がっている。

「今後は機械学習も活用しながら、最適な組み合わせを見つけていきたいと思っています」



アルミニウムを本当の意味で循環させ国産資源に

近年、津田教授が特に力を入れているのが、アルミニウムのリサイクル技術だ。従来のアルミニウム製造法（ホールエルー法）は、原理的に二酸化炭素の排出が避けられない。しかもリサイクルを重ねるほど純度が下がり、最終的には多くが地中に廃棄されているという事実は、あまり知られていない。津田教授はここに着目し、イオン液体を電解液として用いることで、捨てられていたスクラップアルミニウムから直接、新地金レベルの純度

のアルミニウムを再生する技術を確認した。

「炭素電極の代わりにスクラップアルミニウムを使うため、再生可能エネルギーで電気を供給すれば、CO₂排出はほぼゼロになります。しかも従来法の10分の1程度の電力で新地金がつくれることも、ラボレベルで実証できています」

S I N E W S
I N T E R V I E W

この技術が持つ意味は、環境面だけにとどまらない。日本はアルミニウムの新地金を100%輸入に依存しており、いわゆるジャパンプレミアムを支払い続けて新地金を輸入している構造がある。

「我々の方法を使えば、アルミニウムを国内だけで循

環させることが可能になります。経済安全保障の観点からも、非常に重要な技術になっていくと考えています」

環境負荷低減と資源循環、その両方を実現する可能性を秘めた技術である。

「見える」ことで研究は変わる。電子顕微鏡が開いた新しい世界

イオン液体は難揮発性で帯電しにくいいため、真空環境が必須である電子顕微鏡観察において、試料の前処理が格段に楽になるという利点がある。特にリチウムイオン電池の分野では、充放電時の電極の膨張・収縮挙動を実際に観察することで、従来の数値データだけでは見えなかった現象が明らかになった。

「電極の膨張は等方的に進行すると想定していたのですが、実際に見てみるとエッジの部分が極端に飛び出るように変形する。さらに電解液自体も動いていることが分かってきました」

リチウムイオン電池では、充放電時の電極膨張・収縮や電解液の挙動をリアルタイムで可視化することに成功した。数値だけでは分からなかった現象が、電池の設計指針の改善へとつながっている。

研究室ではデジタル顕微鏡と電子顕微鏡を使い分ける二段構えの観察体制を採用しているが、ナノスケールの詳細観察には電子顕微鏡が欠かせない。

「電子顕微鏡で得られた情報がないと、議論を深めることができないというのが正直なところです」

イオン液体を用いて作製した燃料電池用電極触媒の劣化挙動を、従来法による触媒と比較評価した際の日立ハイテクの技術者との共同作業について、印象深いエピソードを語ってくれた。

「従来法の触媒は炭素がボロボロになり、白金ナノ粒子がどんどん大きくなる様子がはっきり見えました。一方、我々の触媒はかなり改善されている様子が確認でき、他では観察できなかった劣化現象の過程をビデオクリップとして記録することができました。これにはとても驚きました」



S I NEWS
INTERVIEW

Planet 6.0が問いかける「その場でつくり、その場で調べる」技術

津田教授は現在、イオン液体を宇宙利用へ展開する可能性にも着目している。その背景にあるのが、月面開発をはじめとする次世代宇宙インフラ構想「Planet 6.0」である。現在、月面基地建设では、現地に存在するレゴリス（月の砂）から鉄などの構造材料を製造する研究が進められている。地球から大量の資材を運ぶには莫大な輸送コストがかかるため、現地調達は宇宙開発の基本的な考え方になっている。

「月へ1 kgの物資を運ぶだけでも非常に高いコストがかかります。だから現地にあるものを使う。その考え方は今後ますます重要になるでしょう」

現在、このようなプロセスには高温で利用する溶融塩が使われているが、津田教授はイオン液体にも十分な可能性があると考えている。イオン液体は蒸発しにくく、燃

えにくく、真空中でも安定で、宇宙線耐性も期待できる。

「そうした特徴は宇宙環境でも十分活かせると思っています。私たちもその方向を見据えた研究を始めています」

さらに津田教授は、宇宙時代には分析技術も大きく変わると予測する。

「月面基地では人員も限られます。超小型で、一台で多様な分析ができる性能と自動化が重要になるでしょう」

そこで培われた技術は、やがて地上でも、より使いやすく効率的な分析機器へと還元されていくはずだ。最先端の分析技術は、地球と宇宙の双方を見据えることが必要ようだ。



S I NEWS
INTERVIEW

未来を変えるのは「知ること」を楽しめる人

最後に若い研究者へのメッセージを尋ねた。

「最近は何でもAIですが、それだけでは新しい発想は生まれません」

AIが得意なのは既存の知識を整理・生成することだが、研究の本質はこれまで存在しなかった切り口を生み出すことだ。そのためには専門分野だけでなく、数学、物理、生物、気象学など幅広い知識に触れ、好奇心を

持ち続けることが欠かせないと津田教授は言う。

そして何より大切なのは、「サイエンスを楽しむ心です。楽しければ、多少しんどいことでも続けられます」

研究とは、誰も見たことのない世界へ踏み込む営みである。その第一歩は、やはり誰の心にもある「知りたい」という好奇心なのだ。



マテリアルサイエンス分野に貢献する
日立の電子顕微鏡／走査プローブ顕微鏡
<https://www.hitachi-hightech.com/jp/ja/products/microscopes/materials-science.html>

編集後記

「とにかく知りたい」。

その原点は、身の回りのものを次々と分解し、見えなかった世界を知ることに夢中になった少年時代にある。2016年、リチウムイオン電池のオペランド解析で走査電子顕微鏡 SU5000が映し出した光景も、予想をはるかに超えるものだった。

津田教授が「面白い」「不思議だな」と心を躍らせるのは、仮説が覆る瞬間にこそある。津田教授にとって『知る』とは、単に知識を増やすことではなく、現象を自分の目で確かめ、予想外の出来事さえ価値へと転換する姿勢なのだと感じた。その積み重ねが、脱炭素社会や資源循環、さらには宇宙利用という未来を現実へ近づけていく。『知ること』は楽しい、楽しいから『力』になる。

津田教授の『知る力』に希望をもらった取材だった。

(2026年 7月 10日 SI NEWS 編集部)

日立ハイテックは「知る力で、世界を、未来を変えていく」を企業ビジョンに、社会やお客さまの真の課題を正しく知り、解決策を提供し続けることで、持続可能な社会の実現に貢献していきます。
<https://www.hitachi-hightech.com/jp/ja/company/philosophy/vision.html>

第35回日本医療薬学会年会 メディカルセミナー（ランチョンセミナー）

株式会社日立ハイテク／株式会社日立ハイテクアナリシス共催

「うちでもデキル!」「私でもデキル!!」 タイムリーなTDMの実践!!! Part4

座長：松尾 裕彰 氏 広島大学病院 薬剤部

株式会社日立ハイテクと株式会社日立ハイテクアナリシス（旧・株式会社日立ハイテクサイエンス）は共催で、第35回日本医療薬学会年会においてメディカルセミナー（ランチョンセミナー）「『うちでもデキル!』『私でもデキル!!』タイムリーなTDMの実践!!! Part4」を2025年11月23日、神戸国際展示場（兵庫県神戸市中央区）で開催した。

座長は松尾裕彰氏（広島大学病院 薬剤部）、演者は緒方進氏（社会保険大牟田天領病院 薬剤部）、中川潤一氏（弘前大学医学部附属病院 薬学部・臨床研究推進センター）が務めた。

実施日 2025年11月23日（日）

装置や試薬、サポートメニューなどの詳細は特設ページにご登録のうえ閲覧いただけます。

ご登録済みの方はこちらから>

https://www.hitachi-hightech.com/jp/ja/products/healthcare/diagnostics/hplc/lm1010_lp/



ご登録がまだの方はこちらから（入力フォーム）>

<https://ailp.hitachi-hightech.com/lm1010-tokusetsu/input>



演題 1

ケアミックス型病院での LM1010 による 自施設測定を基盤とした TDM 業務の構築 ～バンコマイシンとボリコナゾールの自施設測定の実際と効果～

緒方 進 氏 社会保険大牟田天領病院 薬剤部

社会保険医療協会大牟田天領病院は、一般病床161床（HCU8床を含む）、地域包括ケア病床48床、回復リハビリテーション病床120床、障害者病床60床を有する中規模のケアミックス型病院である。同院がある大牟田市は熊本県と接し、現在の人口は約10万人規模で、高齢化率は約38%に及んでいるため高齢者の入院が多い施設である。

緒方氏は熊本大学病院薬剤部が（株）日立ハイテクアナリシスと実施している「LM1010」の精度や運用などを検討する多施設共同研究に参加。2024年7月から2025年5月までの10か月、「LM1010」を用いた臨床研究に取り組んだ。それ以前に自施設測定は行われていなかった。

■ 「LM1010」を用いた共同研究

熊本大学との共同研究は、緒方氏が熊本大学病院薬剤部の尾田一貴氏（現：准教授 兼 副薬剤部長）に自施設のTDMの現状を相談したことを契機に開始された。

同研究は「LM1010」の精度や運用などを検討することを目的とし、「LM1010」による測定値と外部委託の測定値との相関を調べた。対象薬剤をバンコマイシン（VCM）とポリコナゾール（VRCZ）とし「LM1010」での測定値は参考値として利用し、臨床応用しないこととした。

具体的には社会保険大牟田天領病院の薬剤師が通常業務を優先した上で「LM1010」による自施設測定を行い、外部委託の測定値および測定値を得るのに要する時間を比較した。

TDMは治療効果を監視しながら患者に最適な薬物投与を行う個別化医療で、血中薬物濃度を測定するという行為が必ず発生する。

自施設測定を行わない場合、外部委託のためタイムラグが生じてしまう。そのため処方介入がより難しいものになってしまうと考えている。令和4年の一般社団法人日本病院薬剤師会の調査では、68%の施設でTDMが実施されているが、64%が血中濃度測定を外部委託し、それにより導き出される自施設測定の割合は36%と多くないと推察される。

■ これまでの外部委託では？

同院では外部委託企業に検体を提出するのは休日を除く月曜～金曜日の15時である。その後外部委託企業で測定がなされ、FAXで同院薬剤部に速報レポートが配信され、電子カルテに反映されるのはFAX配信の次の日になる。

今回臨床研究で自施設測定の対象としたVCMとVRCZについては、VCMは月曜日から金曜日に提出した検体について翌日の7時から9時の間に速報がFAX配信される。VRCZは月曜日から木曜日に提出した検体は2日後の18時から20時の間に、金曜日に提出した検体は翌週の火曜日の同時刻に速報がFAX配信される。

課題となっていたのは金曜日に提出する検体で、例えばVCMの場合、外部委託企業からのFAX配信は土曜日になる。土曜日に主治医が休日で不在な場合は、これまで遠隔で結果を主治医に報告して対応するなど業務が煩雑になっていた。そのため推奨される測定タイミングよりも遅い月曜日に採血されることもあった。VRCZの場合は、金曜採血の場合、結果報告時間が大幅に遅くなることが問題となっていた。

VCMとVRCZの測定のガイドラインで推奨されている血中薬物濃度測定のタイミングは、VCMの場合、重症/複雑性感染例は定常状態前の3回目の投与の前（トラフ値、ピーク値）、VRCZの場合、3から5日目が推奨。重症真菌感染症の場合は3日目が推奨されている。

外部委託した場合、正しいタイミングで採血を行ったとしても結果が得られるまでにタイムラグが往々にして生じる。緒方氏はそういった中で、自施設測定できる施設の差を感じ、いつか自施設測定をやりたいという思いが強くなっていたという。

■ 大牟田天領病院での実際の運用

同臨床研究で「LM1010」の操作を担当したのは緒方氏と薬剤師5年目の職員の2名だった。緒方氏は大学在籍時にHPLCを使用した経験があったが、もう1名の薬剤師にはHPLCの操作経験がなかった。緒方氏自身は熊本市で開催された医療薬学フォーラム（2024年7月開催）のハンズオンセミナー（株式会社日立ハイテック、株式会社日立ハイテックアナリティクス共催）で操作を覚え、その2日後には「LM1010」が同院に設置され測定が開始されたが、両者共に簡単に操作を行うことができたという。「LM1010」の占有面積は机1つに収まる程度で設置場所に困ることはなかった。

高速液体クロマトグラフ（HPLC）を操作した経験がある人は移動相や標準液の調製、検出波長の設定など複雑な操作を

思い浮かべるかもしれない。「LM1010」では移動相や標準試薬に関しては完全にセット化され、検出波長も最適な条件が薬剤毎に設定されているため、簡便な操作で分析を行うことができる。性能確認も自動化され、測定前に必要な前処理は薬剤間でほぼ共通した分析フローになっているため薬剤間で取り違えることがほとんどなく、結果も安定しているという。

オートサンプラーには最大10検体までセット可能で、同院で測定する必要があった検体は1日あたり最大で6検体であったため、1台で測定を処理することができた。

VCMでは分解産物に注意が必要な場合があり、同院の症例でもクロマトグラムに分解産物のピークを確認した。ピークを拡大すると2.5分のピークの少し手前2.38分にもう1つ小さいピークが確認されたが、これは赤嶺氏の報告（赤嶺由美子、LM1010 高速液体クロマトグラフィ法と化学発光免疫測定法によるVCM血中濃度測定値の比較。医療薬学51 (4) 187-195 (2025) 秋田大学医学部附属病院薬剤部）による2.38分で出現するピークと考えられ、今回の臨床研究でも分離を確認することができた。

臨床研究では、外部委託に提出後の残余検体を院内測定用に500 μ L分注し、「LM1010」で血中濃度を測定した。測定結果は参考値として電子カルテの記事に記載した。

測定に関わる作業時刻は、当初は操作に慣れるために時間の余裕がある勤務時間外の測定を想定していたが、測定を開始してから比較的すぐに約30分で操作を完了できたため、通常業務が落ち着いている昼休みの前後の各30分にスケジュールとして組み込むことができた。

事前に電源を入れて光源を安定させておけば、例えば13時に測定作業を開始すると、QC測定と並行して前処理を行うことで拘束時間は30分程度で、おおよそ2時過ぎには結果を入手できた。結果は参考値として、病棟担当薬剤師と主治医に報告した。

■ 測定精度比較は？

VCMが投与されたのは31症例で71検体を比較に用いた。外部委託（ラテックス凝集比濁法）との相関は、回帰曲線の傾きは0.9792と1に近い値を示し、相関係数（ r ）も0.981と良好な数値を示した。次いで「LM1010」と外部委託とで系統誤差が生じるかを調べるためBland-Altman分析を行ったが相対誤差の平均は-2.28%と外部委託測定値がわずかに高い傾向を示した。さらに平均値に ± 1.96 の標準偏差を加えた数値をLimits of agreementとして設定したが、これを外れるのは4点に抑えることができた。

VRCZが投与されたのは7症例で21検体を比較に用いた。外部測定（LC-MS/MS）との相関は、回帰曲線の傾きは0.9397、相関係数が0.995と良好な数値を示した。Bland-Altman分析でも相対誤差の平均は-0.1%と、全体ではほぼどちらにも偏っていないとみられた。低濃度域で若干「LM1010」が高い傾向、高濃度域では外部委託の方が高い傾向を示した。

■ 採血から報告時間までの比較結果

VCMについて「LM1010」の採血から報告までの最短時間は1.6時間、最大時間は55.2時間、平均が6時間だった。それに対し、外部委託の最短時間は16.4時間、最大時間は69.9時間、平均値が22.5時間だった。採血日内に測定できなかったことが3件あったが、原因は休日の採血等の回避不可能な理由によるものだった。

1日2回投与されていた場合には14時台に報告することができたため、業務に負担無く、採血日の2回目投与まで（朝投与して夕方の投与まで）に新たな投与設計案を提案するのは容易だったという。

TDMの結果、増量17件、減量もしくは休薬・中止22件、高値により他剤への変更1件であり、これらが全体の56%だったため、この56%に自施設測定できればメリットがあったことになる。

またVRCZについて「LM1010」の最短時間は1.4時間、最大時間が9.3時間、平均が4.9時間だった。外部委託の最短短

間は55.4時間、最大時間は105.2時間、平均が61.2時間という結果だった。VRCZについては全て採血日内に結果報告が可能だった。

外部委託では少なくとも2日以上は時間を要しており、さらには結果の配信は18時以降だったため、実際の処方変更は3日後以降であった。

■ 自施設測定できていれば

緒方氏が臨床研究を通して自施設測定を臨床応用したかった症例は、アスペルギルス膿胸に胸腔ドレナージと併用でVRCZ注を開始した80歳台女性の症例だったという。

同症例には初日に1回200 mg、1日2回で開始し、維持量は(1日目以降)1回160 mg 1日2回だった。顧みれば維持量が少し多かったことを反省しているが、自施設測定で4日目の採血結果として7.014 $\mu\text{g/mL}$ を得ていたが投与量変更には外部委託の結果を待つ必要があった。実際、採血が金曜日であったため外部委託のFAX配信は翌週の火曜日夕方19時となった。外部委託との数値の相違は無く、結果的に8～10日目は休薬した。

同症例ではオペは行われたが、その後にVRCZを維持投与する必要があると、11日目から1日1回150 mg投与を提案し、念のため10日目に採血を提案し自施設測定を行ったところ、3.45 $\mu\text{g/mL}$ と参考値ではあるが下がっているのを確認し、自信を持って11日目から新しい投与量を実施することができた。

幸い同症例では肝障害などの有害事象は確認されなかったが「LM1010」の結果が反映できれば有害事象が懸念されるような血中濃度レベルを早期に是正することができ、安全性が確実にあがっていた。

■ 臨床研究を通して

同院で実施した「LM1010」を用いたVCMとVRCZの血中濃度の測定は外部委託と良好な相関を確認することができた。ケアミックス型の中小病院の薬剤部において、通常の業務を優先しながら行った「LM1010」の操作は業務に支障を来すことなく当日に結果を報告することが可能だった。

また「LM1010」の操作方法は短時間で習得することができ、特別なスキルは必要としなかった。

得られた測定値は参考値であったものの、主治医に結果を繰り返し報告していくうちに、主治医からも結果を聞かれることが増え信頼が得られていることを実感できたという。また病棟担当薬剤師からは、測定値を投与量の変更等の事前シミュレーションに用いたためスムーズな投与量変更につながり好評だったという。

緒方氏は「中小病院においてもLM1010のオペレーションは十分可能であり、採血結果を早期に臨床へ反映できる分、安全性と有効性の向上につながるものと考えております」と述べた。

演題 2

ウチでの分離分析法を用いた TDM ～測定体制・精度・実績～

中川 潤一 氏 弘前大学医学部附属病院 薬剤部・臨床研究推進センター

国立大学法人弘前大学医学部附属病院（青森県弘前市）は同県内で唯一の特定機能病院および高度救命救急センターに指定され地域医療の中核を担っている。

2023年度から「LM1010」を導入し自施設測定を開始し、これまで順次測定項目を増やしてきた。現在は薬剤部と検査部で血中濃度測定を行っている。具体的には中川氏が所属する薬剤部では「LM1010」でボリコナゾール（VRCZ）、クロザピン（CZP）、アミオダロン、ミコフェノール酸、UPLC-MSMS法でエベロリムスの測定を担当。検査部では免疫学的測定法でバンコマイシンやタクロリムスの測定を担当している。

薬剤師数34名、技術補佐員11名が在籍しており、主に「LM1010」の操作等の業務は技術補佐員が行い、測定結果の妥当性を薬剤師がチェックしている。技術補佐員が欠席した際は薬剤師が操作等の業務を担当する。各職員の業務の優先順位が決められており、それに従い業務が行われている。「LM1010」の操作に関しては中川氏と技術補佐員1名で担当している。

■ 弘前大学医学部附属病院薬剤部での TDM 業務フロー

同院薬剤部での血中濃度測定は、基本的に検査部門システムで運用している。電子カルテの検査オーダー画面に薬剤部の項目が作成され、主治医のチェックで外来や病棟に採血管ラベルが発行される。

検体はまず検査部に提出され、薬剤師は検査部用のパソコンで検体提出の状況とそれぞれの薬剤の種類等を確認しながら検体を回収。採血前日の夕方に薬剤部の担当者間で優先順位を決定している。

血中濃度測定は「LM1010」、およびエベロリムスのみUPLC-MSMS法で測定している。

結果の妥当性が評価されれば、採血管のラベルを読み取り、検査部門システムの患者情報を呼び出し、結果を手入力する。手入力では記入ミスが生じる可能性があるため、別の薬剤師によるダブルチェックが行われる。

■ 測定結果の妥当性評価で重要視すべきこと

中川氏は測定結果の妥当性の評価を担当しているが、重視すべきこととして、クロマトグラムの形状の確認と前回値との比較をあげ、事例1～3を紹介した。

事例1：VRCZのピークの後ろに妨害ピークが生じた症例で、この場合はクロマトグラムを確認し、ピークが垂直分割されていれば自動計算で得られた面積で判断しても問題ないが、そうでない場合はピーク高さをを用いて再計算の必要がある。

事例2：アミオダロン/デスエチルアミオダロン（代謝物濃度）の急低下がみられた症例で、前回値0.94/0.96 $\mu\text{g}/\text{mL}$ が0.35/0.45 $\mu\text{g}/\text{mL}$ と変化した。アミオダロンは一般的に急激な低下はみられない薬剤のため、カルテ調査では患者側の要因は不明だったため、再測定を行った。その結果、再測定では前回値と大きく差は無い結果が得られ、検体の前処理液の選択ミス等の測定業務上のミスが原因と考えられた。

事例3：エベロリムスの血中濃度が前回値から3倍以上上昇した症例で、投与量に変化が無いにもかかわらず生じた。カルテ調査の結果、他院の皮膚科でホスラブコナゾール錠が処方されていたことがわかった。

■ 精度を担保するために

血中濃度検査はただ結果を出せばいいというわけではなく精度を担保するという考え方が非常に重要になる。

同院で行っている精度管理としては、法令に基づく帳簿の記録や管理をあげ、「LM1010」については1点検量線を採用しているため標準液のエリアに変動が無いかを測定日に毎回確認すると共に、学会での報告を見込んで測定値と肝機能検査、腎機能検査など様々な結果との相関関係や併用薬の影響などを確認している。また使用する機器の保守点検は欠かすことができない。

客観的な精度管理としては「外部精度管理調査」の受検がある。外部精度管理調査は現在のところ努力義務だが、一般社団法人TDM品質管理機構の「TDMコントロールサーベイ」を受検することで、検査施設間や検査方法間で生じる測定値の差異を抑制することができる。

「TDMコントロールサーベイ」では対象薬物を受検したいと申請すると、対象薬物の濃度が不明の検体が送付され、自施設で血中濃度検査を行いその結果を報告すると、結果の差異を知ることができる。自施設で測定すると値は正しいと考えがちだが、他施設の結果と比較することで自施設の置かれている状況を理解することができる。

■ 自施設測定導入の前後で何が変わったか

同院では2022年度は全て外部委託であり、これら合計の測定件数は311件だった。2023年度から「LM1010」を導入し薬剤部での測定を開始した。自施設測定導入後の測定件数は年々増加し、2023年には492件、2024年には528件だった。今年度も半年間（2025年4～9月）で377件を達成し、さらなる増加が見込まれている。

自施設測定導入前後の測定件数の内訳を比較すると、ミコフェノール酸については統計学的に有意な変動は無かった。アミオダロンについては統計学的に有意な差は無かったが、自施設測定開始から増加傾向を示し、件数の増加にも薬剤部での測定で十分対応可能になっている。

一方でVRCZについては、自施設測定に移行して非常に増加したが、増加傾向はない。自施設測定に切り替えたタイミングの患者数が通常より多かったこともあったため、月別の測定件数を月別の処方人数で割る分析を行ったところ、統計学的変化は認められないものの件数/処方人数が2を超えるような、これまで外部委託期間で1度もなかったような月が散見された。

これをもとに、自施設測定の導入により何かしらのTDM業務の変化があった可能性を考え分析を継続した。

VRCZについて1人あたりの測定および投与量変更回数を、外部委託期間（2021年12月～2023年5月）と自施設測定期間（2023年7月～2025年1月）、それぞれの期間内に最初と最後の測定を行った患者、つまりそれぞれの期間内で血中濃度測定が完結した患者をピックアップし、1人あたりの測定回数や投与量の変更回数について分析を行った。その結果、1人あたりの測定回数は外部委託期間と比較して自施設測定を開始してから増加していることがわかった。

この増加について、血中濃度が目標濃度に到達するまでの採血が増えたのか、または到達した後の採血が増えたのかを検証したところ、一度の到達確認後にも採血が増えていることが明らかになった。つまり1回目標の血中濃度に到達したため満足してその投与量を漫然と継続するのではなく、継続的に血中濃度測定を行うようになったという変化が認められた。

さらにVRCZの投与量の変更回数にも変化があった。外部委託期間の投与量の変更は中央値が0回であったのに対し、自施設測定期間の中央値は2回に増加。自施設測定で測定回数が増加することが、投与量の変更に反映されていることが確認された。

CZPについては自施設測定を開始したことで最も顕著な変化がみられた。

外部委託期間における処方約20名/月にもかかわらず測定件数は0件/月だったが、自施設測定開始後の測定件数は毎月増加を継続し、現在は15件/月程度を測定している。処方件数も緩やかな増加が続いているが測定件数の増加傾向の方が遙かに高い伸びをみせている。

そこでCZPの測定が患者にメリットとなったかを検証した。

検体数199件中、350 ng/mLより低濃度は39件、1000 ng/mL以上の高値であった10件で25%程度の検体は目標血中濃度域を外れていることがわかった。これを患者数27名で評価すると350 ng/mLより低濃度を経験したのが11名で41%、1000 ng/mLより以上の高値を経験したのが10名で37%だった。両方を経験した患者もいたため、350 ng/mL以下もしくは1000 ng/mL以上のいずれかを経験した患者を算出すると、59%の患者が目標血中濃度域を外れていたことが明らかになった。

中川氏は、血中濃度で全ての患者のアウトカムを評価できるわけではないものの、血中濃度を測定することで各患者の投与量の妥当性をチェックする機会が得られると捉えているという。

■「LM1010」自施設測定での裏技

同院では「LM1010」によるVRCZの血中濃度測定をその代謝物であるN-oxideの測定に利用している。

「LM1010」はVRCZ測定に最適化したメソッドを採用しているため、本来N-oxideの測定は行うことができないが、患者検体を分析することでVRCZのピークの前のリテンションタイム1.1分程度でN-oxideのピークが必ず現れることを明らかにした。

VRCZはCYP2C19によってN-oxideに代謝されるため、同多型を有すると薬物動態が大きく変動し、また炎症反応によって同一個体内でも大きく薬物動態が変動することが知られている。そのためVRCZとN-oxideの両者を計測している施設も多い。

一方でこのN-oxideのピークは検体中の夾雑物と重なってしまう。そこで定量はできないが、多少無理をしてベースラインを引き、ピークの高さを算出したうえでVRCZとN-oxideのピークの高さ比で濃度比が予測できないかを検討した。

その結果、同院で研究用に使用しているUPLC-MSMSによる測定結果と「LM1010」による測定結果の濃度比は非常に良好な相関があることがわかった。例えばN-oxideのピークがVRCZのピークより著しく小さい場合、PM (poor metabolizer) もしくは炎症が高いなどの理由を推定することができ、反対にVRCZが低くN-oxideのピークが著しく高ければ逆の可能性を推定することができ、その上でシミュレーションを検討することができる。

■「LM1010」の導入による効果

同院薬剤部による血中濃度測定件数は年々増加しているが、検査部門システムと「LM1010」の利用により測定業務の大部分は2名体制で運用ができているという。

中川氏は「日々の妥当性の評価や帳簿管理、内部精度管理、および年1回の外部精度管理を行うことで、単に測定を行うだけでなく測定の信頼性維持ということも意識しながら業務を行っております。ウチでの分離分析法による迅速な血中濃度測定を行うようになった結果、VRCZではより精密で継続的なTDMが行われるようになったという結果が得られました。CZPに関しては潜在的な新規のTDMニーズの開拓に貢献することができたのではないかと考えております」と述べた。

対談



メディカルセミナー終了後、松尾氏を進行役に緒方氏、中川氏による対談が行われた。まず松尾氏は緒方氏に、約1年間「LM1010」を初めて使用した印象を質問した。



松尾氏



緒方氏

緒方氏は、自身は大学院でマニュアルインジェクションのHPLCを多用しメソッド開発にも取り組んでいたが、「LM1010」では既にプログラム化され、セミナーでも述べた通り2日前に触ってすぐ院内測定することができたことにとても驚き、またHPLCの進化を感じたと述べた。

大牟田市は高齢者が多く、特にケアミックス型の社会保険大牟田天領病院には超高齢者、つまり体重が低く腎機能の予測が難しい患者へのVCMを投与は予測困難な症例が多く、その日のうちに血中濃度測定の結果が得られることはメリットが大きい実感があるという。特に高齢者は少しのことで腎機能が乱れるため、自施設測定ができなければVCMの投与自体に迷いが生じるという。

続いて松尾氏は中川氏に、弘前大学病院薬剤部での装置の使い分けを質問した。

中川氏は、エベロリムスについてはLC-MS/MSでしか測定できないためLC-MS/MSを使用しているが、他にも理由があり、LC-MS/MSは大学内の他の研究でも使



中川氏

用があり専有できないことや、参考値として用いるのに6点検量などを採用しているため測定に時間を要し実臨床での使用には向いていないと感じているという。一方で「LM1010」では迅速な測定が可能で、外来患者にもある程度対応できるところが良いと感じ、「LM1010」で測れる薬剤は基本的に「LM1010」で測定するような考えで使い分けを行っているという。

特に外来患者は来院時中に測定結果と投与量変更ができなければ、場合によっては次回来院する最短で1週間程度後まで適切でない投与量が継続する可能性が生じてしまう。

緒方氏も、外来患者にはなるべく早く測定して次の投与設計に繋げたいため、患者の時間的なメリットは大きいと考えているという。

また中川氏は、特に「LM1010」を用いたVRCZの測定については、1人1人にきめ細やかに血中濃度測定が行われるようになったことで、シミュレーションソフトを用いても予想を外すことも多かったVRCZについて測定結果を即時に反映させることができているという。またCZPについても同様に即時の投与量変更ができ、場合によっては服薬アドヒアランスの問題に気づく契機になることもあり、休薬を医師や担当の薬剤師が考える上で非常に有意義な情報になっていると思っているという。てんかん発作が起きてしまった症例では、減薬することでその後の発作を防ぐことができたと考えられる事例もあった。

松尾氏は「LM1010」導入が実現した経緯を尋ねた。

中川氏は、弘前大学医学部附属病院で「LM1010」導入を病院長に交渉したのは薬剤部長の新岡丈典氏で、その経緯を聞いたところ、測定自体は赤字にはなるものの、自施設測定によって入院期間の延長や医療機器のコストが抑制・削減できること、そして患者のアウトカムへの影響に理解が得られた結果であったという。また導入されてからは病院全体の理解が進んだとみられ、測定項目が増えていったという。

緒方氏は、コストの面では難しさがあるものの今回の臨床研究を論文にまとめる予定があり、また大学との繋がりができたことについて向山政志病院長に好意的に捉えてもらえているという。TDMは薬剤師が活躍すべきところであるため、中小病院でも様々なエビデンスを率先して出せるような機器だと期待しているという。

最後に松尾氏は、実際に異常値が出た際にどのように評価したかと尋ねた。

中川氏は、稀に隣にピークが出てしまうことがあり、やはりクロマトグラムの確認は怠るべきではなく、減多には無いが使った前処理液のエラーも疑う必要があるという。薬剤師の強みは薬物動態が理解できることであるため、機器と薬学的知識との融合でより精度を高めることができるとの考えを示した。

緒方氏は、講演では言及しなかったものの自施設測定ができている施設とそうでない施設間で、クリティカルな症例ではアウトカムの違いは生じているはずで、その差を研究すること自体は困難だとは思いますが、普及が進めば比較できる可能性に期待しているという。実際に臨床研究で「LM1010」を用いることで、すぐに採血の結果を反映できることの臨床的な意義を実感できたという。

株式会社 日立ハイテク

本社(サポートセンタ)	東 京	(03) 3504-7211	中 部 支 店	名古屋	(080) 8420-6408
北 海 道 支 店	札 幌	(080) 8021-5427	関 西 支 店	大 阪	(080) 8020-3544
東 北 支 店	仙 台	(080) 8438-0969	九 州 支 店	福 岡	(080) 9564-0285

分析機器に関する各種お問い合わせは…
お客様サポートセンタ 電話(03)3504-6111
受付時間 9:00～11:50 12:45～17:30
(土・日・祝日および弊社休日を除く)

本ニュースに関するお問い合わせは、下記へご連絡ください。

HITACHI SCIENTIFIC INSTRUMENT NEWS September 2026 VOL. 69 No. 2

発行日 2026年9月30日
編集人 許斐麻美
発行人 水口勝利

発 行 株式会社日立ハイテク
〒105-6409
東京都港区虎ノ門一丁目17番1号 虎ノ門ヒルズ ビジネスタワー
電話 (03) 3504-7211

ホームページ URL: www.hitachi-hightech.com/jp/science/