

# インクジェット印刷技術によるリチウムイオン電池のデジタル製造

## Digital Manufacturing of Lithium-Ion Battery by Inkjet Printing Technologies

栗山 博道*	中島 聡*	大村 知也*	鷹氏 啓吾*	梶田 倫正*
Hiromichi KURIYAMA	Satoshi NAKAJIMA	Tomoya OHMURA	Keigo TAKAUJI	Tomomasa KAJITA
木田 仁司*	金子 哲也*	岩永 秀規*	後河内 透*	
Hitoshi KIDA	Tetsuya KANEKO	Hidenori IWANAGA	Toru USHIROGOCHI	

### 要 旨

電気自動車や産業および民生向け次世代デバイスの急速な普及に伴い、デバイスのデザインに合わせ、需要に見合ったより多くのリチウムイオン二次電池（LIB）を高効率に製造していくことが求められる。従来工法を見直し、低コストで作りやすく地球環境へも配慮した製造方法が必要となる。

本論文では、LIB製造の、アナログからデジタルへの変換に関するリコーの取り組みを紹介する。インクジェット（IJ）印刷技術によるデジタル工法は、LIBに安全性を付与し、材料ロスを減らし、生産性の改善にも寄与できると期待する。さらには次世代電池として期待されている全固体電池製造への適用可能性についても触れる。IJ技術によるデジタル工法を核とした新しい生産システムの確立によって、電池製造に革新をもたらすと期待する。

### ABSTRACT

As electronic vehicles and state-of-the-art electronic devices become increasingly widespread, more lithium-ion batteries (LIBs) with the required functionality will be needed. To meet the demand for LIBs, the traditional manufacturing process should be updated to be more efficient, cost-effective, productive, and environmentally friendly.

Here, we present our approach to transforming the LIB manufacturing process from analog to digital using Ricoh's industrial inkjet (IJ) printing technologies. We also share possible applications of the IJ process to next generation LIBs such as all-solid-state batteries. Digital manufacturing based on IJ printing offers advantages such as enhanced LIB safety, highly efficient material use, and productivity improvement, and we hope that our approach brings about further innovation in the production of LIBs.

\* リコーフューチャーズビジネスユニット IJ電池事業センター  
RICOH Futures BU, IJ Printed Battery Solution Business Center

## 1. 背景と目的

リコーは、2036年ビジョン「“はたらく”に喜びを」の実現に向け、OAメーカーから「デジタルサービスカンパニー」へのシフトを掲げ、お客様へのデジタルサービスの提供を進めている。提供先はオフィスにとどまらず、現場やホームなどへ拡大し、お客様の業務の効率化や生産性向上を実現し、“はたらく”人がより付加価値のある仕事に取り組み、新しい価値を創造することにお役立ちすることを目指している。

現場でのお役立ちとして、インクジェット技術の産業用途への展開を進めてきている<sup>2)</sup>。その用途は、従来の表示するための印刷にとどまらず、細胞、有機材料から無機材料といった機能性材料をデジタル印刷し、印刷物が何かしらの機能を発現する「機能する印刷<sup>3)</sup>」へ展開を進めつつある。その1つとして、今後市場の更なる拡大が見込まれ、多様性が増してくることが予想されるリチウムイオン二次電池（Lithium-ion Battery: LIB）の製造に向けて、デジタル製造によって創出される新しい価値を提供することを目指し、技術開発を進めている。本稿では、LIB製造のアナログからデジタルへの変換に向けたリコーのこれまでの取り組みについてご紹介する。

## 2. リチウムイオン二次電池の製造課題とデジタル製造による提供価値

### 2-1 リチウムイオン二次電池の概要

#### 2-1-1 リチウムイオン二次電池の基本構成

LIBは、電気を貯める正極と負極と、両電極間を電氣的に隔てるセパレータを基本的な内部構成とする電気化学蓄電デバイスである（Fig. 1）。正負の電極は主にウェット塗工で形成される。塗工された正極、負極と、フィルム形成されたセパレータを重ねて捲回または積層して所望の蓄電容量を有する素子が作られる。通常のLIBは、この素子に電解液を

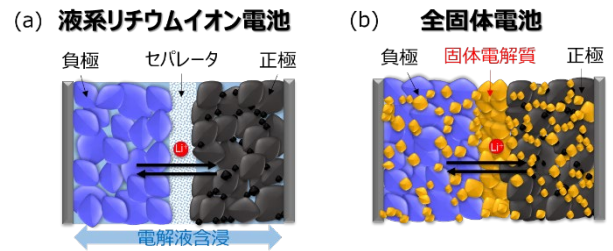


Fig. 1 Basic internal structures of a conventional lithium-ion battery (a) and a solid-state battery (b).

加え、金属缶やラミネートでパッケージすることで電池が得られる。現在、主に市場に流通している液系のLIBは、リチウムイオンを含有する電解液が電極やセパレータの空隙を満たしており、リチウムイオンを運搬する役割を担う。この電解液とセパレータをセラミックスなどの固体電解質に置き換えたものが全固体電池であり、次世代のより高安全な電池として世界中で開発が進んでいる。

#### 2-1-2 リチウムイオン二次電池の動向と環境の変化

LIBの市場規模は今後も一層拡大していくことが予測され、 $x$  EVが引き続き市場をけん引すると考えられている。2025年には12兆円を上回り2020年比で84.1%の増加が見込まれている<sup>4)</sup>。定置用二次電池（ESS）／無停電電源装置（UPS）／無線基地局（BTS）向け用途において鉛蓄電池からの置き換えが進み、1兆円を超えると予想されている。小型民生用途の市場は堅調の中で、ワイヤレスデバイスの多様化に伴う需要が見込まれる。 $x$  EV向けLIBの生産量予測は容量ベースで2025年に808 GWh、2030年には1,163 GWhを超え、前年比でおよそ+20%のペースで増大することが予想され、欧州、中国、北米を中心に電池工場の建設ラッシュとなるであろう<sup>5)</sup>。一方で環境への配慮は製造者の責任として一層重要となってきた<sup>6)</sup>。各国が2050年に向けカーボンニュートラルを宣言する中、LIB製造においてもサプライチェーン全体にわたる温室効果ガス排出量の規制が提案されている。また、全固体電池を筆頭とする次世代電池の開発の進展に伴い、 $x$  EV向け採

用が進み、現行のLIBからのシフトにより2035年には2兆円を超える市場が予測されている<sup>7)</sup>。

## 2-2 リチウムイオン二次電池の製造課題

2-1-2の市場動向で見てきたように、LIBはxEVから小型民生用途まで大小さまざまなデバイスで利用され、今後その用途はさらに拡大が続く。電池の製造現場において、多様化するデバイスのサイズや形に応えるため、環境負荷を軽減するため、次世代電池の製造を可能にするために、現行の製造方式では限界が見えてきており、新しい製造方式が必要不可欠と考えられる。

### 2-2-1 多様化するニーズとフレキシブルな製造への対応

Fig. 2 (a)に示すように、従来の電池製造は、連続的に塗工された“アナログ”塗工電極を決められたサイズに加工し、セパレータと共に捲回または積層することで、定型の電池の大量生産に適している。デバイスの多様化に伴い、そのデザインにフィットする電池が求められるが、定型電池の場合は電池の形状を考慮した形を残すことになりがちである。また、いかに限られた空間に効率よく電池を実装できるかがエネルギー密度の向上にとって重要である。特に車載領域では、お客様の重要価値である航続距離に直結する。近年、より安全性を高めた電池にすることで、冷却や制御システムを簡素化し電池セルを直接パックに搭載するセルtoパック (CTP)、さらには車のシャーシサイズに合わせた電池セルを直接搭載するセルtoシャーシ (CTC) の新しいコンセプトが出てきており、電池製造の観点ではいかにサイズを切り替えながら、高安全な電池を効率よく作れるようにするかが重要になると考える<sup>8,9)</sup>。

### 2-2-2 LCAに基づくCO<sub>2</sub>排出量に配慮した製造への対応

LIBのCO<sub>2</sub>排出量削減は、原材料、部品製造から回収・リサイクルまでのサプライチェーン全体で評価するLCA (Life Cycle Assessment) の考え方へと変

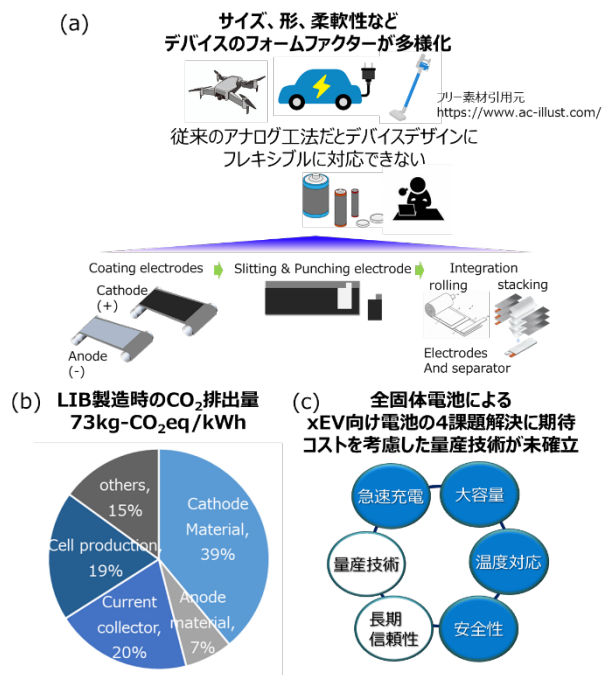


Fig. 2 The current and potential issues on LIB production, (a) the problem on a flexible manufacturing of various LIBs with different form factors, (b) the challenge for the reduction of greenhouse gas emissions in a cell production, (c) lack of a standard manufacturing process for the all-solid-state batteries which are expected to give solutions for 4 issues out of 6 major issues on LIBs for xEV use.

化してきている。Fig. 2 (b)にLIBの原材料から部品製造、電池セル製造におけるCO<sub>2</sub>排出量の割合を示す<sup>10)</sup>。電極の主要部材である正極材料、負極材料、集電体の製造時のCO<sub>2</sub>排出量が約7割を占めており、いかに材料のロス削減し、利用効率を高めることができるかが、セル製造における重要課題の1つであることが伺える。2-2-1で述べたような連続塗工された電極から必要なサイズを切り出し、組立工程へ進む際には、塗工材料の未使用部が生じる。所望の寸法・形で、必要量ははじめから塗られていれば、そういった材料のロスを無くせるはずである。組立工程における積層ずれなど、不良セルの発生抑制(歩留まり向上)も材料ロス削減の観点では重要であると考えられる。約2割を占めるセル製造工程における使用エネルギー量のうち、8割が乾燥工程とドラ

イ環境の維持が占めると試算されており<sup>11)</sup>、乾燥負荷の軽減とドライ環境のミニマイズが重要となろう。

### 2-2-3 全固体電池の量産技術への対応

全固体電池は、LIBの電解液をセラミックスの固体電解質に置き換えた電池である。可燃性の電解液を不燃性のセラミックスに替えることで発火のリスクを低減し安全性を向上させることができる。さらに電池特性面でもFig. 2 (c)に示したように急速充電性、大容量、広い温度対応にメリットが出せることが期待されている<sup>12)</sup>。一方で、現行LIB製造よりも高いドライ環境が求められるような材料系が特に車載向けには想定され、前述のようなドライ環境のミニマイズ化が求められる。ラインエンジニアがドライ環境の外からリモート制御できるようなデジタル製造技術が有効となることが期待される。

### 2-3 電池材料印刷技術と提供価値

インクジェット印刷による印刷電池の研究開発は、その高精細・高制御性の特徴から薄膜フレキシブル、マイクロバッテリーを中心に進められてきた<sup>13-15)</sup>。我々は、さらに電池材料の高濃度インク技術、印刷制御技術、高生産性システム化技術に注力し、大型電池にも適用可能なデジタル製造技術の実現に向け開発を進めてきた。その結果、サイズ・形状・膜厚のデジタル制御によるフレキシブルな電極製造、非接触のアディティブな印刷技術による隔壁／電極一体形成による生産性向上と全固体電池の製造、必要

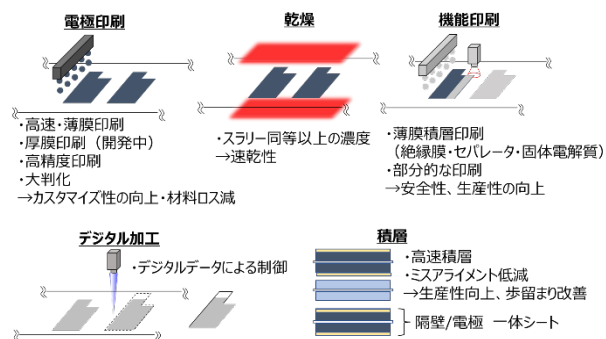


Fig. 3 The values from inkjet printing of the battery materials.

箇所デジタル印刷することによる材料ロスの削減を可能にすると考える。

Fig. 3に示すように電池のインクジェット印刷をコアとするデジタル製造の提供価値は電極印刷から積層工程にまで及ぶと考える。電極は、狙った位置に狙った形で高精度に高い生産性で印刷することが可能となり、デバイスのサイズや形に合わせたフレキシブルな製造にも対応できる。アナログ塗工では難しかった高精度な両面の位置精度にも対応が可能となる。

印刷された電極位置を把握し、電極上に絶縁膜やセパレータ、固体電解質といった正負極間の隔壁を印刷することで、隔壁／電極が一体となった電極構造体として形成可能である。メディアに非接触な工法のため、隔壁の薄膜化によるエネルギー密度向上への寄与が期待され、特に高エネルギー密度が期待される全固体電池の固体電解質層の形成にインクジェット印刷によるデジタル製造技術が好適である。後述の通り、隔壁と電極が一体となったことで、積層工程での生産性向上にもメリットを出せると考える。また電極上や、電極未塗工部に絶縁材料を部分的に印刷することで、内部短絡防止による安全性向上の効果も期待できる。隔壁の機能については次章で詳細を紹介する。

材料利用効率の観点では、未使用部には印刷しないため電極材料ロスを削減することができる。組立工程においては、例えばレーザー加工と組み合わせることで、高精度に印刷された電極構造体部分のみを切り取ることができ、電極シートと隔壁／電極一体シートを交互に積層するだけで電池の積層体が完成する。従来の電極 - セパレータ - 電極 - セパレータの4枚を繰り返し積層する方式に比べ、積層時間の短縮とミスアライメントの低減に寄与することができる。連続的なアナログ塗工電極を加工した際に定常的に発生する5～7%程度の電極材料ロスの削減、および積層時のミスアライメント低減による歩留まり向上を85%→95%とすると、主に材料の利用効率改善効果で~6.5%のCO<sub>2</sub>排出量削減が期待される。インクは従来のスラリーと同等かそれ以上の固形分

濃度とすることなどで、乾燥性をより高める工夫を施し、乾燥工程においても従来のアナログ工法に対して、乾燥負荷を削減できる見込みである。

### 3. インクジェット印刷による二次電池のデジタル製造技術

#### 3-1 高濃度電池材料インク化技術

従来の電池塗工向けスラリーとインクジェットインクには液性物性に大きな乖離があった。Fig. 4に示すように電池材料（セラミックス）を含む従来のスラリーは、粘度は数千mPa・s程度、固形分は50 wt%を超え、また電極合材層であればバインダーや導電助剤などと複合化されている。一方、通常の画像印刷向けインクジェットインクの粘度は十数mPa・s、固形分は数wt%とそれぞれ1~2桁程度低い。我々は、分散体のナノレベルでの表面制御方法、インク組成を鋭意開発し、電極構造体の印刷生産性を十分に配慮した高濃度ながら低粘度のインク化技術の開発に成功した。



Fig. 4 Comparison of liquid properties among a conventional slurry, inkjet ink<sup>16)</sup> and novel battery-material inks.

#### 3-2 電池構成層の印刷制御技術

##### 3-2-1 電極印刷技術

インクジェット印刷によって電極を形成することで、これまで難しかったサイズ・形状・膜厚の高精

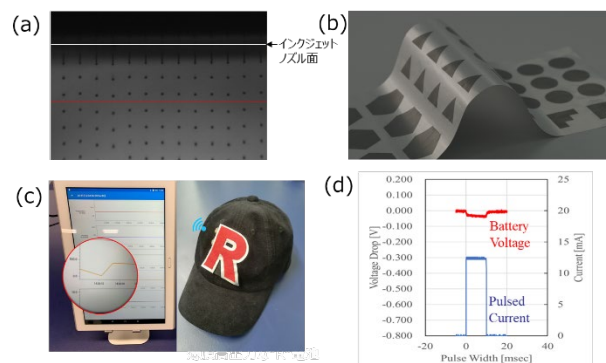


Fig. 5 Summary of the electrode printing technologies. (a) the image during jetting electrode ink by inkjet head, (b) a patterned electrode, (c) the demonstration of a sensor system powered by a printed "R" battery, (d) the current and voltage profiles of "R" battery during a pulse behavior.

度かつ柔軟な製造が可能になる。Fig. 5に電極印刷技術の概要を示す。Fig. 5 (a)はインクジェットノズル面から電極インクを吐出している画像である。塗布量はインクジェットの吐出波形を任意に設計することで、液滴サイズとその数で制御することができる。デジタル画像データを入力することで、Fig. 5 (b)に示すように、任意のパターンで電極を印刷することができる。Fig. 5 (c)はRICOHの"R"の形状で電極を印刷し、その形状でパッケージした試作電池である。帽子の中には温度や照度、湿度といったセンサーが仕込まれており、データを取得し、Bluetoothでタブレットにデータを送信、モニタリングするデモンストレーションとなっている。センサー駆動と取得したデータをBluetoothで送信する電力をこのR型電池から供給している。電池として動作することは勿論、数十 $\mu\text{m}$ 薄膜で形成しているため、数mAh程度の小さい電池であっても瞬間的に十数mAの比較的高い電流を流すことが可能である。大型電池の需要に応えるため厚膜化技術についても開発を進めており、100  $\mu\text{m}$ レベルの膜厚の電極を50 m/minを超える速度でインクジェット印刷できる技術を計画している。

### 3-2-2 耐熱絶縁層の印刷技術



Fig. 6 Comparison of surface quality for the ceramic layers printed by between a gravure technique(a) and an inkjet technique(b)<sup>17)</sup>.

これまでに報告してきたようにセラミックスからなる耐熱絶縁層を電極上に印刷することにより、電池の釘刺しに対する安全性を高めることができる<sup>17)</sup>。詳細は引用文献17)をご参考頂きたい、ここでは概要のみを述べることにする。電池の内部短絡が発生すると短絡電流による電池内部温度の上昇が起こる。ある温度まで達すると、隔壁となるセパレータの熱収縮によるセパレータ機能の喪失に伴い内部短絡と昇温の加速的な進行が引き起こされ、電池の破裂、発火のリスクが高まる。この耐熱層としてセラミックス層の導入が効果的であり、従来はセパレータにセラミックスをコートし、耐熱性の付与を実現してきた<sup>18)</sup>。電極上に絶縁層が形成されていることで、セラミックスコートセパレータと同様に耐熱性を付与できるうえ、電極一体型となっていることで、釘刺し試験のような強制内部短絡事象に対しても短絡電流に対する絶縁体として機能し、電池の破裂、発火といった危険状態に陥るのを防ぐ効果を一層高めることができる。Fig. 6に電極上へ直接セラミックスコートした際の、プロセスによる違いを示す。Fig. 6 (a)はセラミックス層を自社でグラビア印刷した場合の電極表面画像であるが、印刷面に多数の孔が散見されるのが分かる。グラビア印刷では液膜を電極表面に転写する形で印刷する方式であるため、多孔質である電極内部にインクが浸透する際、電極内部に内包した空気が押し出されて気泡痕となりやすいことが分かった。

試験セル	Ref.電池	試作電池			
	Ref.	TRY1	TRY2	TRY3	TRY4
電極外観					
釘刺し試験					
		L*:低			L*:高
		安全性×	安全性○		安全性○

Fig. 7 Results of nail penetration test performed for each basis weight of ceramic layer<sup>17)</sup>.

一方、液滴で着弾させるインクジェット印刷では、気泡が抜ける空間が時限的に確保されるため、上記のような気泡痕の発生は認められず、均一なセラミックス層を形成することができた。

電極表面の絶縁抵抗は、セラミックス層を厚くするほど高くなり、短絡時の電流制限に効果的であると考えられる。セラミックス層が白色であることから明度L\*が良い指標となり、厚くするほどL\*は高くなる。L\*とはCIE1976 (L\*, a\*, b\*) で表される色空間を示す指標であり、L\*は色の明度としてL\*=0は黒、L\*=100は白を示す<sup>19)</sup>。Fig. 7に示すようにセラミックス層なしのRef.から、膜厚をTRY1からTRY4に向けて徐々に上げていくと、釘刺し時に発火に至っていたセルが、発火の抑制、発煙量も減少していくことが確認された。このように塗布量をコントロールすることで安全性を制御することが可能であり、電池特性とのバランスを見ながら設計していくことができる。

### 3-2-3 セパレータの印刷技術



Fig. 8 Schematic view of separator printing and a cross section of the electrode with printed separator and a magnified view of internal structure of the printed separator.

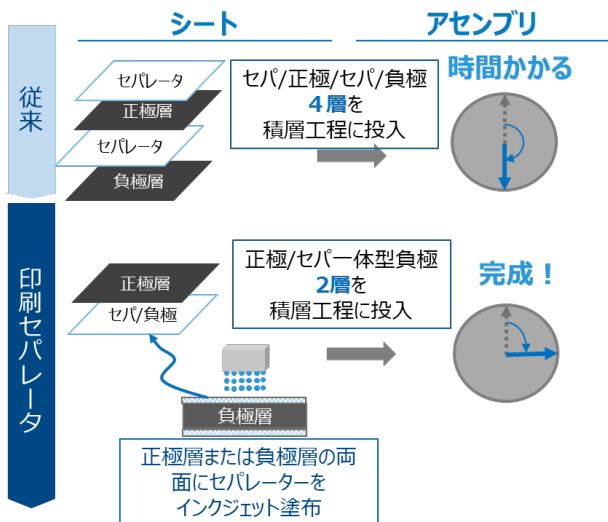


Fig. 9 Difference in stacking processes between a conventional process with film separators and an efficient process with printed separator.

リコーオリジナルとなるセパレータインクをインクジェット印刷により電極上に塗布することで、セパレータと電極とを一体形成する技術を開発した。Fig. 8にインクジェット印刷によるセパレータ形成の概念図を示す。セパレータインクは電極上へ直接印刷され、電極と界面を形成する。印刷セパレータは、ナノ多孔質体を形成し、Li<sup>+</sup>イオンを含む電解液が含浸するとLi<sup>+</sup>イオンの通り道として機能する。

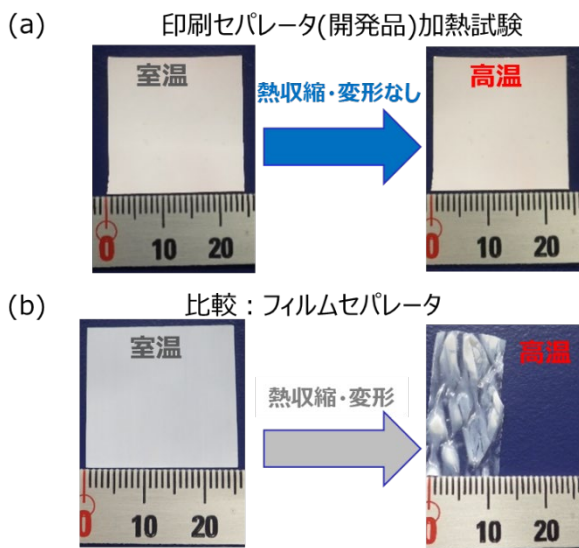


Fig. 10 Results of heat tests for a printed separator(a) and a film separator(b).

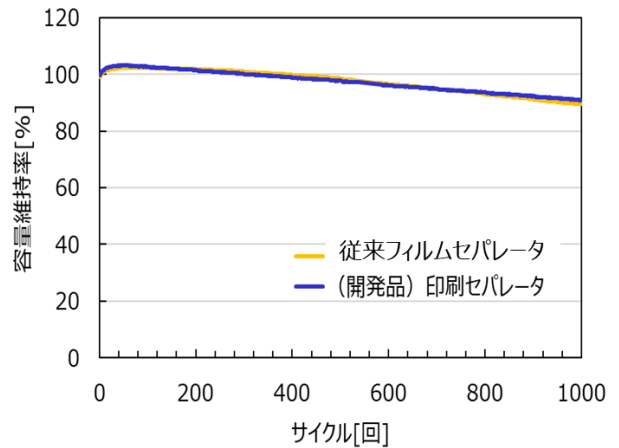


Fig. 11 Charging/Discharging cycle performance of the cells with film separator or printed separator.

電極と一体型となっていることで、自立型のフィルムセパレータに比べ薄膜化が可能である。薄膜化による電池への価値は体積エネルギー密度の向上として還元され、例えば20 μmから10 μmへの薄膜化で約5%程度の向上効果が期待される。

また、捲回や積層時に従来のセパレータで歩留まり低下の原因となったセパレータ/電極間のズレを原理的に解消し、歩留まりの向上に寄与すること、積層時の生産性向上も期待される。Fig. 9に従来のフィルムセパレータを用いた場合と、印刷セパレータと一体となった電極を用いた場合の積層工程の違いを示す。従来のフィルムセパレータを用いた積層工程においては、セパレータ - 負極 - セパレータ - 正極の4層が1セットだったのに対し、印刷セパレータと一体となった負極を用いた場合はセパレータ一体型負極 - 正極の2枚が1セットとなるため、積層数の半減による生産性向上が見込める。

印刷セパレータのもう1つの特徴として、高耐熱性が挙げられる。Fig. 10に印刷セパレータとフィルムセパレータの加熱時の外観変化を示す。印刷セパレータは加熱前後で寸法の変化が認められないのに対し、フィルムセパレータは加熱後に収縮していることが見て取れる。このように印刷セパレータはフィルムセパレータに対し高い耐熱性を有し、異常発生による昇温時にフィルムセパレータが熱収縮す

るような温度領域においても熱収縮を抑制し、内部短絡発生を抑制することが可能であると考える。

電池特性は従来のフィルムセパレータと同等であることが確認されている。一例として1,000回の充放電サイクルを実施した際の容量維持率の変化をFig. 11に示す。1サイクル目の放電容量を100%としてプロットしている。容量維持率は印刷セパレータ、フィルムセパレータのそれぞれを用いたセルにおいて1,000回の充放電サイクルまで同等に推移しており、同等の充放電特性を維持できていることが分かった。

### 3-2-4 固体電解質の印刷技術

日本が材料開発をけん引してきたオールセラミックス系の全固体電池では、主にxEVへの適用に向けた取り組みが近年活発となってきている。ここまで見えてきたセラミックスの均一印刷技術は量産技術の確立が待たれる全固体電池の製造にも役立つのではないかと考える。製造課題の1つとして、高エネルギー密度と高入出力の両立のため、固体電解質層の薄膜化が挙げられる<sup>20)</sup>。Fig. 12にセパレータおよび各工法での固体電解質層の膜厚範囲を示す。従来のフィルムセパレータは10~20 μmの範囲に位置する。高エネルギー密度化を狙う全固体電池では、この領域よりも薄い範囲で固体電解質層を形成する

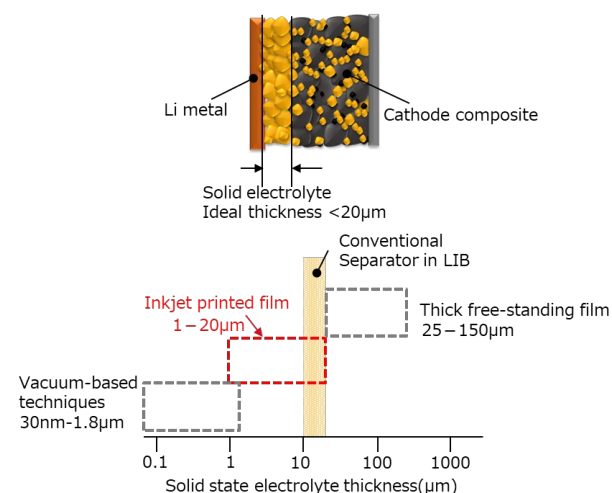


Fig. 12 Target thickness of a solid-state electrolyte layer and thickness ranges of the solid-state electrolyte layers formed by different techniques<sup>20)</sup>.

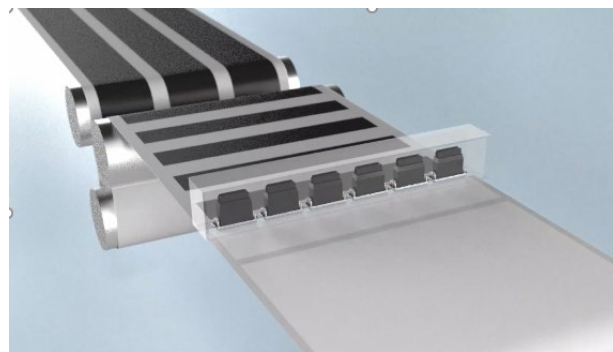


Fig. 13 Large area printing by inkjet heads aligned in transverse direction.

ことが狙いとなる。しかし、現在試作で主に利用されている固体電解質層の自立膜の場合、膜厚をセパレータと同等まで薄くすることは難しいのが実情である。一方、真空プロセスであれば、サブμmオーダーの薄膜範囲をカバーすることが可能だが、大型電池向け活物質の粒子サイズよりも1桁以上小さく、電極表面の粒子の凹凸に対して十分なカバレッジで電極表面をカバーすることが難しいことが予想される。このため、1~20 μmの領域で制御可能なインクジェット工法は、固体電解質層の直接塗布の有力

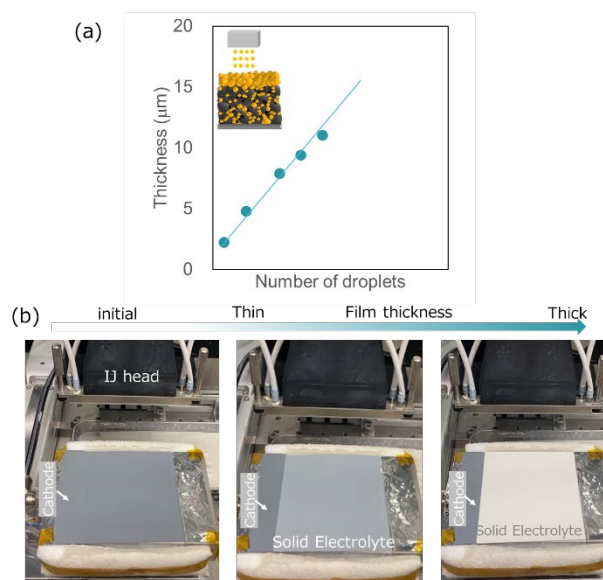


Fig. 14 Precise thickness control of a solid-state electrolyte layer by using inkjet printing technique. Thickness change according to jetting parameters(a) and surface appearance change as increasing thickness of a solid-state electrolyte layer(b).



な候補に成り得ると期待する。また、Fig. 13に示すようにインクジェット印刷であれば、ヘッドを電極ロールの幅方向に並べることで、大面積印刷にも対応することが原理的に可能であり、大型電池向けにスケールアップも可能となる。

我々はセラミックスの分散技術を硫化物系固体電解質にも応用することでインク化を実現、ラボスケールでの固体電解質印刷に成功した。Fig. 14に電極上に固体電解質層を印刷した際の膜厚と外観の変化を示す。Fig. 14 (a)に示すように印刷パラメータを制御することで、数 $\mu\text{m}$ オーダーの膜厚制御が可能であることが分かった。Fig. 14 (b)の外観変化に示すように、固体電解質層の膜厚増加と共に、色味が白色系へ均一に変化していることから、電極上に固体電解質層の均一形成ができていることが確認できた。現在、印刷形成された全固体電池セルの試作評価を開始している。今後は電池特性チューニングを進め、性能向上を目指した開発と量産技術の確立に向けた取り組みをさらに進めていく。

### 3-3 高生産性システム化技術

#### 3-3-1 機能膜印刷向けパイロット印刷装置の開発

ここまで見てきた電池材料印刷のうち、絶縁膜やセパレータといった薄膜積層の印刷技術について、量産ラインを想定した生産性検証のためのパイロット装置を開発した。Fig. 15に装置の画像を示す。



Fig. 15 Image of roll-to-roll inkjet printing system for functional materials of LIBs.

既存のアナログ工法で作成した塗工電極を最大60 m/minの速度でロールtoロール搬送し、電極上に絶縁膜やセパレータをインクジェット印刷できる。インクジェットノズル面とメディア間のギャップを一定に保って搬送でき、メディアに接触することなく各種電池材料の積層印刷を可能とする。また搬送時のズレを補正しながら、下地の電極に合わせて高精度に印刷することができる。本装置を活用し、今後自社内でのプロセス検証とお客様の電極への印刷検証を通して、量産技術へと仕上げていく。

## 4. 結論

### 4-1 リチウムイオン二次電池のデジタル製造による提供価値

リチウムイオン二次電池のアナログからデジタルへの変換は、インクジェット印刷技術の視点からは3つの価値を提供することが期待される。

- ①形状、厚みの設計自由度を拡張し、高い安全性を付与することで、より使いやすく、あることを忘れるような存在へと電池を革新させることができる。
- ②材料ロスを減らし、組立工程や乾燥工程を含めた生産性を向上させ、従来のアナログ工法に対して環境負荷を低減させることができる。
- ③全固体電池等の次世代電池の実現に必要な薄膜制御ができる唯一の工法を提供できる。

インクジェットによる電池材料のデジタル印刷ソリューションが、電池生産者や電池ユーザーの困りごとを解決し、さらにはエネルギーや環境問題といった社会課題解決の一助となることを期待する。

## 参考文献

- 1) (株)リコー: デジタルサービスの会社に向けた取り組み, <https://jp.ricoh.com/IR/corporate-activities/digital-service/> (参照2022-11-04).
- 2) (株)リコー: リコーグループの技術を産業分野へ, <https://industry.ricoh.com/> (参照2022-11-04).
- 3) (株)リコー: 成長戦略「リコー挑戦」, <https://jp.ricoh.com/IR/individual/growth> (参照2022-11-04).
- 4) (株)富士経済プレスリリース 第22050号: <https://www.fuji-keizai.co.jp/file.html?dir=press&file=22050.pdf&nocache> (参照2022-11-04).
- 5) (株)矢野経済研究所プレスリリース: No. 3034, [https://www.yano.co.jp/press-release/show/press\\_id/3034](https://www.yano.co.jp/press-release/show/press_id/3034) (参照2022-11-04).
- 6) 経済産業省: 第1回 蓄電池のサステナビリティに関する研究会, [https://www.meti.go.jp/shingikai/mono\\_info\\_service/chikudenchi\\_sustainability/pdf/001\\_04\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/chikudenchi_sustainability/pdf/001_04_00.pdf) (参照2022-01-11).
- 7) (株)富士経済 マーケット情報: [https://www.fuji-keizai.co.jp/market/detail.html?cid=20133&view\\_type=2](https://www.fuji-keizai.co.jp/market/detail.html?cid=20133&view_type=2) (参照2022-11-04).
- 8) CATL: Innovative Technology, <https://www.catl.com/en/research/technology/> (参照2022-11-04).
- 9) M. Fichtner: Batteries & Supercaps, Vol. 5, p. e202100224 (2022).
- 10) Q. Dai, J-C. Kelly, L. Gaines, M Wang: Batteries, vol. 5, p. 48 (2019).
- 11) E. Emilsson, L. Dahllöf: C444 IVL Swedish Environmental Research Institute, ISBN 978-91-7883-112-8, (2019).
- 12) 日経エレクトロニクス: Breakthrough特集, 2018年1月号, p. 30.
- 13) R. E. Sousa, C. M. Costa, S. Lanceros-Méndez: ChemSusChem, Vol. 8, pp. 3539-3555 (2015).
- 14) K-H. Choi, D. B. Ahn, S-Y. Lee: ACS Energy Lett., Vol. 3, p. 220 (2018).
- 15) D. B. Ahn, K-H. Lee, A-Y. Lee: Current Opinion in Electrochemistry, Vol. 32, p. 100889 (2022).
- 16) (株)リコー: 産業用インクジェットヘッド, <https://industry.ricoh.com/inkjetcomponents> (参照2022-11-04).
- 17) Ricoh Technical Report, 2020 No. 44 7.
- 18) J-A. Choi, S. H. Kim, D-W. Kim: J. Power Sources, Vol. 195, pp. 6192-6196 (2010).
- 19) 日本工業規格, 測色-第4部: CIE1976 L\*a\*b\*色空間, JIS Z 8781-4 (2013).
- 20) M.Balaish et al.: Nature Energy, Vol. 6, p. 227, (2021).