

---

# インクジェット技術を用いた電池材料のRtoR印刷装置の開発とデジタル印刷がもたらす価値

Development of RtoR Printing Equipment for Battery Materials Using Inkjet Technologies and the Value Brought by Digital Printing

---

金子 哲也\*  
Tetsuya KANEKO

岩永 秀規\*  
Hidenori IWANAGA

大村 裕二\*  
Yuuji OMURA

上田 哲人\*  
Tetsuto UEDA

濱口 昌也\*  
Masaya HAMAGUCHI

---

## 要 旨

---

リチウムイオン二次電池の安全性の向上や製造時の歩留まり改善につながるインクジェット方式の電池機能膜印刷装置を生産性検証可能な規模感で開発した。本装置は、デジタル技術の導入によりこれまで実現できなかった新しい電池を提供するとともに、電池製造プロセスに大きな革新をもたらすポテンシャルを有する。

## ABSTRACT

---

We have developed an inkjet-type battery functional layer printing system that can improve the safety of lithium-ion secondary batteries and increase yield during manufacturing. The incorporation of digital technology enables this device to produce batteries that have not been possible before, demonstrating the potential to revolutionize the battery manufacturing process.

---

\* リコーフューチャーズBU IJ電池事業センター  
IJ Printed Battery Solution Business Center, RICOH Futures BU

# 1. 背景と目的

リコーは、はたらく人の生み出す力（創造力）を支える「デジタルサービスの会社」への変革を進めている。その一環として、紙などに表示するための印刷で培った材料技術やプロセス技術を応用し、「機能する印刷」の技術開発に注力してきた。「機能する印刷」とは印刷物自体が何らかの機能を発現するような印刷技術であり、この技術をはたらく現場に導入し仕事のやり方を変えることで、業務の効率化や生産性の向上に貢献するものである。

本稿では、今後更に市場が拡大し製品の多様性も増してくると予想されるリチウムイオン二次電池（Lithium-ion Battery: LIB）の製造において、「機能する印刷」を適用した事例、とりわけその技術検証の位置づけで量産想定規模感で開発した印刷装置について紹介する。

# 2. 電池製造における課題とインクジェット技術による提供価値

## 2-1 電池製造技術について

### 2-1-1 リチウムイオン二次電池の需要の高まり

Fig. 1は蓄電池市場における開発方向性を示す図である。

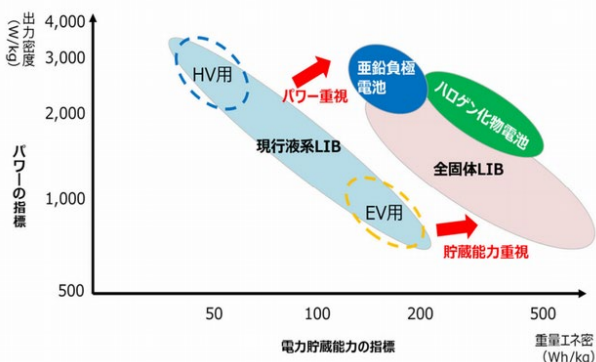


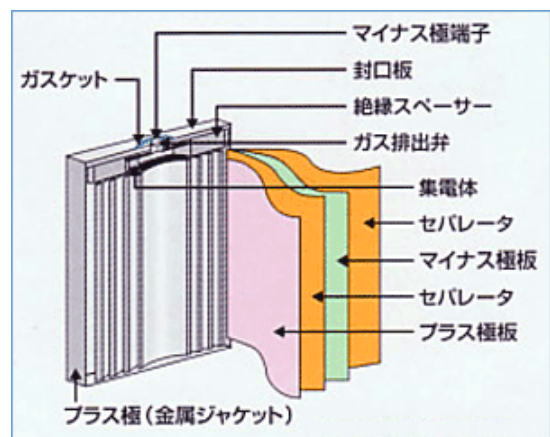
Fig. 1 Technical evolution of storage batteries.<sup>1)</sup>

この蓄電池市場で中心的な役割を果たすものがLIBであり、現段階では液LIBが主流である。急速拡大する市場に対応するため世界規模で材料の囲い込みや大規模な製造ラインの立上げなど活況な投資が進んでいる。

### 2-1-2 リチウムイオン二次電池の構成

LIBは、電気を蓄える正極と負極と、両電極間を電気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. 2）。

様々な用途に合わせて、LIBの電池容量、その出力特性など所望の性能を得るために、電池のサイズ自体であったり、正負極を構成する活物質の組成やその目付量（単位面積当たりの乾燥重量）およびセパレータの材質やその厚さなどが設計される。



出典：電池工業会HP

Fig. 2 Lithium-ion battery configuration.

### 2-1-3 リチウムイオン二次電池の製造工程

LIBの一般的な製造工程を以下に述べる。

まず電極のもとになる活物質を攪拌してスラリー状の塗液を作製する。これをアルミニウムや銅などの金属箔に所定量塗工し、溶剤を乾燥除去する。その後、電極活物質が所望の体積密度になるようプレス処理を施し、所定サイズに裁断することで、電池部品としての正極および負極が完成する。正極と負極の間にセパレータを挟んで捲回もしくは積層し、

ケースへ挿入した後、電解液を注液してから封止し、外装組立により電池として完成する。

## 2-2 リチウムイオン二次電池の課題と提供価値

### 2-2-1 リチウムイオン二次電池の課題

前述のように正負極の接触を防ぐようにセパレータを挟み込んで捲回もしくは積層するが、この電池製造工程の中もしくは電池製品として輸送や使用時の振動がもたらす積層ずれが発生すると正極負極が短絡し発煙や発火などにつながる。LIBの安全使用において、電池からの発煙発火は最も避けるべきリスクであり、厳重な検査工程により不良品の流出を抑制している。近年、その需要の高まりから高容量LIBや高エネルギー密度LIBの開発が進められているが、正負極短絡時の発煙発火リスクも高くなるため、容量やエネルギー密度の向上には安全性向上が不可欠である。

### 2-2-2 リチウムイオン二次電池に対する提供価値

電池製造に「機能する印刷」を導入することにより、従来のアナログ工法では実現が困難な塗工が可能となり、以下のように新しい価値をLIBに提供する。

#### (1) 耐熱絶縁層印刷による安全性の向上

我々は、インクジェット印刷により電極上に直接セラミック耐熱層を形成することで、電池性能を損なわずに電池の安全性を向上させることができることを見出した<sup>2,3)</sup>。セパレータにセラミックスをコートする従来法に比べ、耐熱性付与だけでなく、電極と一体であるが故に釘刺し試験のような強制内部短絡事象に対しても絶縁体として機能し、電池の破裂や発火といった危険状態の回避効果を一層高めることができる。詳細は引用文献3)を参照いただきたい。

#### (2) セパレータ印刷による製造プロセスの簡素化

別のアプローチとして、セパレータインクをインクジェットで塗工し、電極上にセパレータを一体形

成する技術を開発した<sup>4)</sup>。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し、電池特性として従来のフィルムセパレータと同等であることを確認している。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、歩留まり向上への寄与や積層時の生産性向上が期待される。

## 3. インクジェット方式電池機能膜印刷装置

### 3-1 装置仕様

インクジェットで耐熱絶縁層やセパレータを形成し、これを用いて小型電池を試作評価することで有効性を確認してきた<sup>2,4)</sup>。このような原理確認ステップを経て、電池製造現場でのスケール感や生産性での実現可能性を確認すべく量産スケールでの装置開発を行った。Table 1は装置の主な仕様である。

Table 1 Equipment specifications.

項目	仕様
装置タイプ	スタンドアローン型 ロールtoロール印刷装置
印刷方式	インクジェット方式
搭載インク	絶縁層インク セパレータインク
生産性	最速60mpm
印刷メディア	電極塗工済みプレス済み金属箔
印刷可能幅	最大350mm
印刷可能長	連続2,000m
印刷領域	電極領域に合わせる事が可能
塗工量	調整することが可能 耐熱絶縁層：最大1.0mg/cm <sup>2</sup> @60mpm セパレータ層：最大20μm@60mpm

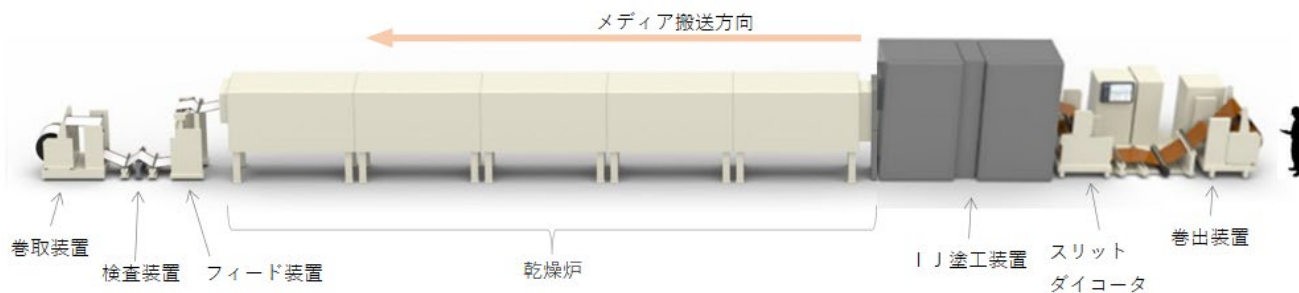


Fig. 3 External view of Functional Layer Forming System for LIBs.

## 3-2 電池機能膜印刷装置について

### 3-2-1 装置全体構成

Fig. 3に装置全体像を示す。電極塗工済みかつプレス済みの金属箔ロールを巻出装置にセットし、インクジェット塗工装置で電極に重ねるように印刷するようインクを塗布し、乾燥炉で溶剤成分を乾燥除去する。乾燥炉を出たところに箔の搬送およびテンション管理のためのフィード装置があり、その後に機能膜の欠陥を検出するインライン検査装置と続き、最後に巻取装置でロール状に巻き取る。装置としては、全長30mを超える。

再度、巻出装置にセットし第二面の印刷を実行することで、表裏両面の機能膜形成が完成する。

本システムの中で巻出装置、乾燥炉、フィード装置は、いわゆる電極塗工プロセスにも必要な装置であり、協力会社と共同で構築した。また将来電極ダイ塗工とのハイブリッド印刷を可能にするためにインクジェット装置直前にダイコータも備えている。

Fig. 4に装置の外観写真を示す。



Fig. 4 Image of Functional Layer Forming System for LIBs.

以下では、インクジェット塗工部の構成について説明する。

### 3-2-2 インク吐出システム

インクジェットプリントヘッドによって金属箔上の電極部位にインクを吐出し機能膜を形成する。

#### (1) 機能性インク

本装置は現在2種類の機能性インクに対応する。いずれの機能性インクもリコーが保有するインクジェットサプライ技術の応用により生み出されたものである。一つ目が耐熱絶縁層を形成するセラミックインクであり、二つ目は印刷セパレータを形成するセパレータインクである。共に溶剤をベースにしたインクであり、インクジェットヘッドでの吐出可能な液物性を示すように処方調整されている。とりわけ液粘度と含有粒子の粒度分布、表面張力が重要なファクターとなる。これらの特性を合わせ込むことができれば、本装置に適用できる機能性インクは今回の2種に限られない。

#### (2) プリントヘッド

前述のように調製された機能性インクを吐出するデバイスとして当社製ステンレス (SUS) 製2インチ幅プリントヘッドを採用した。このヘッドはアクチュエータ部に積層構造のPZT素子を用いるとともにFig. 5に示すようなバイピッチ構造を採用している。

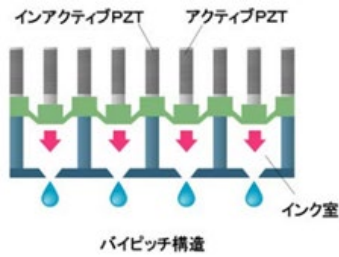


Fig. 5 Scheme of a piezoelectric actuator having a bi-pitch configuration.

このバイピッチ構造によりインアクティブPZTがインク室の仕切りをしっかりと押さえて効率よく対象インク室にアクティブPZTの力を伝えることができるため、他社プリントヘッドに比べて高粘度のインクを吐出することが可能となる。

プリントヘッドの各ノズルに対するPZT素子に駆動波形信号を入力することで自在にインク滴を吐出することができる。機能性インクは一般的な表示用インクと比べ有効成分濃度が高いため安定吐出には高い駆動波形設計技術が必要である。電池製造の一工程を構成する製造装置であるため一層安定性を重視した設計となっている。

### (3) ヘッドアレイ構成

プリントヘッド1個で2インチの長さにおよそ1200個のノズルを有する。Fig. 6に示すように、2つのプリントヘッドをノズル整列方向に約21 $\mu$ mシフトさせた状態でハウジングに組み込み、1200dpiのプリントヘッドモジュールとしている。

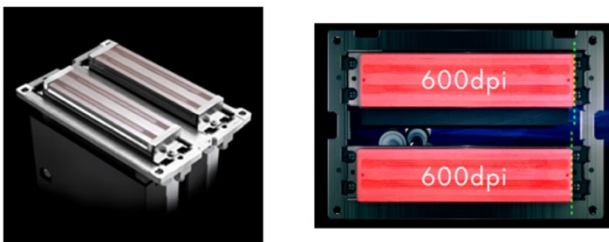


Fig. 6 Dual print head.

2インチ幅の1200dpiプリントヘッドモジュールをノズルの整列方向に千鳥に合計7個配置することで印刷幅350mmをカバーすることが可能になる。

インクジェット印刷装置として所望の生産性で所望の塗布量を達成するために搭載アレイ数を4アレイに決定した (Fig. 7)。

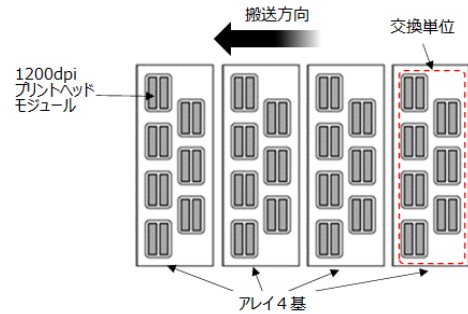


Fig. 7 4 Array configuration.

同じ機能性インクを複数のノズル列から吐出させて印刷を成立させるに当たり、安定に均一印刷できるような作像手順を選択している。

4アレイにより順次機能性インクが塗布される様子をFig. 8に模式的に示した。Fig. 8の左側は最初のアレイから打ち込まれるドットの様子を表し、右側では全4アレイにより打ち込まれるドットを色を分けて表現している。1アレイの印刷で極力面内に均一に分散するようにドットを配置する。解像度に対して大き目のドットで埋め尽くすことは、電極表面上で隣接ドットが何重にも重なり合うことで、インクジェット特有のノズルからの不吐出や曲がり印刷欠陥になるリスクを大幅に低減している。

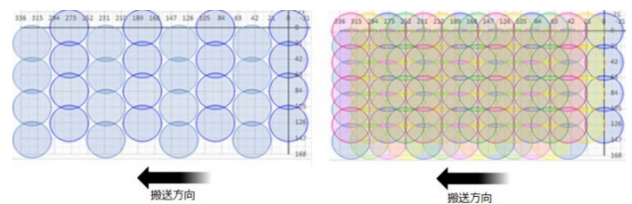


Fig. 8 Schematic diagram of dot arrangement.

このような作像プロセスを採用することにより、2,000mの連続印刷と実用性に富む無欠陥印刷を確認することができた。

製造装置としての使用を想定した時に、プリントヘッドは定期的な交換が必要な消耗品となり、交換作業の工数短縮が重要である。7個のプリントヘッドモジュールを適切に配置しないとスジ状に機能膜の欠落箇所が発生したり、逆に所定量よりも局所的に多く塗布される領域が発生する。そこで予め7個のプリントヘッドモジュールを高精度に位置合わせした状態で固定化（Fig. 7赤破線）し、これをアレイに位置決めして搭載する方式を採用している。

### 3-2-3 電極位置検知システム

本装置は予め金属箔上に塗工された電極位置に合わせてインクジェットで機能性インクを塗布する。

電極塗工工程では、電池に対する要求仕様と生産性を考慮して様々な塗工パターンが採用される。

Fig. 9に代表的な電極塗工パターンを示す。

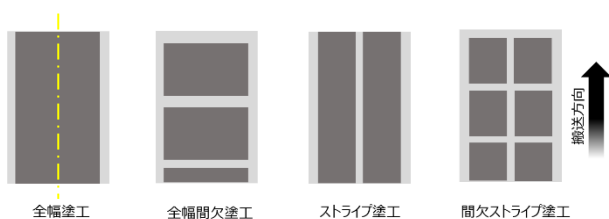


Fig. 9 Electrode coating pattern.

塗工された電極はその後プレス処理されるが、Fig. 9の全幅塗工事例の黄色一点鎖線で示すように先にスリット処理される場合もある。この場合、切断された電極メディアは幅方向で片側には未塗工部のタブがあり、もう一方は端まで電極塗工されていて幅方向で不均一なメディアとなる。

アナログ塗工の電極位置精度は低く、それらをデジタルで補正する機能を有することで精度を要求される次世代電極の加工性が向上する。

#### (1) 電極位置検知システムの全体像

デジタル補正を実現するためにインクジェット印刷システムの上流部に、電極位置を検出するためのセンサを搭載する。センサは電極活物質と箔との間の濃度の違いから端部を検出する。

電池の中で、電極が塗工されていない箔部分は集電のために後工程で一部活用される。このため箔部分には機能性インクを付着させないことが重要である。前述の通り電極領域は確実に覆う必要があるため検出された電極端部から1~2mm程度はみ出して機能層が形成されることが好ましい。後述の検出結果から電極の一回り大きい領域にインク塗布する仕組みである。Fig. 10に電極位置検知システムの全体像を示す。

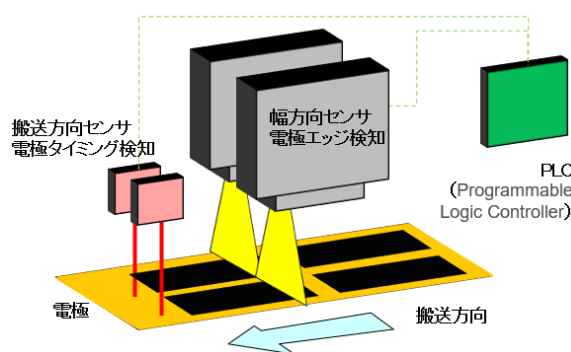


Fig. 10 External view of Electrode position detection system.

#### (2) 電極の始端終端検知

反射型センサにより箔搬送方向の始端と終端を検出し、下流側に配置するインクジェットヘッドへの吐出信号の入力タイミングを調整する。この機能により間欠電極で後に電池化した際に集電の役割を果たす箔上への機能層形成を回避することができる。

#### (3) 幅方向の電極端部検知

反射型ラインセンサーを配置し、箔幅全体を対象にして全ての電極端部を検出する。検出された電極位置に合わせて下流部のインクジェットヘッドのどのノズルを使用するかを選択する。

#### (4) 電極位置検知結果に応じた印刷処理

Fig. 11に電極位置の検知結果に応じた印刷までの処理アルゴリズムを示す。

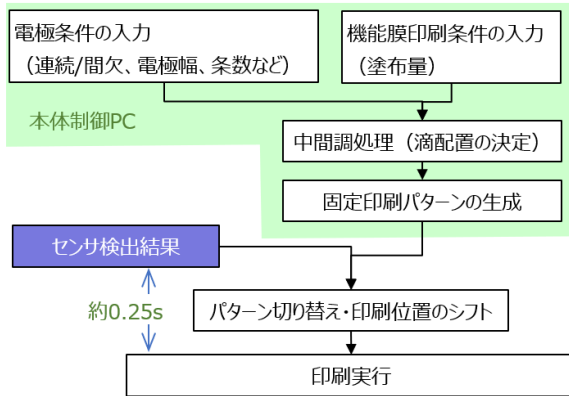


Fig. 11 Processing flow for overprinting on electrodes.

幅方向に1万6千を超えるノズル個々に対して60mpmで搬送される電極のエッジ検知情報に合わせて瞬時に吐出制御することが求められる。センサ検知してからインクジェットヘッド下に搬送される0.25秒以内にそれらの制御を完了させなければならない。そこで予めアナログ塗工により形成された電極幅に対して大きさの異なる印刷パターンを複数準備しておき、幅方向センサの結果に合わせてパターンを選定することにより毎秒1mという高速搬送に追従した作像を可能にした。

### 3-2-4 偏厚偏伸メディア搬送システム

インクジェットプリントヘッドによって金属箔上の電極部位にインクを吐出し機能膜を形成するうえで、インクジェットヘッドとメディアとの狭ギャップを保持することは極めて重要である。

このギャップが小さすぎるとインクジェットヘッドとの接触により箔メディアが破損あるいは断裂したり、インクジェットヘッド自体がダメージを受けて正常吐出できなくなる場合もある。逆にギャップが大きすぎると吐出したインク滴が狙い通り着弾せず機能膜のムラや欠陥につながったり、浮遊するインクが増えて機内を著しく汚染し動作不良の原因となることもある。

Fig. 12はロール搬送時の電極メディアの高さ偏差を示す。10 $\mu$ m厚の銅箔両面に全幅連続で負極塗工してプレス後膜厚130 $\mu$ mとしたメディアを5mpmで搬送した時の計測データである。

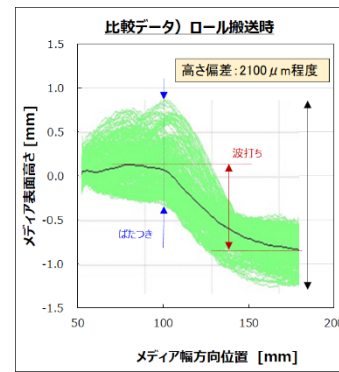


Fig. 12 Height deviation of media surface during electrode media transportation with Roll conveyance.

メディア幅方向の所定位置において搬送中に経時で発生する「バタツキ」やある瞬間のメディア幅方向で発生している高低差「波打ち」を含め、トータルの高低差は2mmを超える。

Fig. 13にはロール搬送時のメディア高さ偏差の評価系を表す。ロール巻付部から300mm下流域の電極表面の高さをインラインプロファイル計測器で計測した（下側の図のピンク線が計測位置）。図中のエッジニップは電極塗工領域と未塗工領域の間で皺が発生することを抑制するための機構である。

電極メディアは活物質の塗工部と未塗工部とで厚さが大きく異なるうえ、プレス処理で塗工部と未塗工部の箔の延伸度合いも大きく違う。更に間欠塗工電極は、厚さ方向に段差があり、スリットされた片タブ電極の場合（Fig. 9全幅塗工を幅中央でスリットした場合のように、片側はタブ/もう片側は端部まで塗工されている電極を指す）、搬送中心に対して厚さや箔の延伸具合が非対称となるため安定搬送することは非常に難しい。

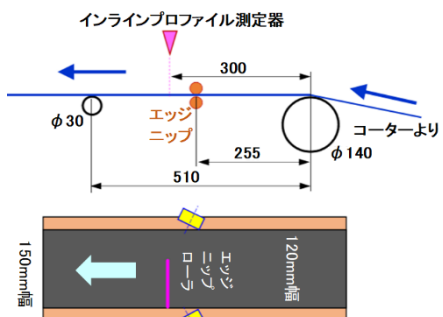


Fig. 13 Measuring system for media height deviation during Roll conveyance.

このような偏厚偏伸メディアの安定搬送のため、多数の穴を開けたスチールベルトに内部からエア吸引することによりメディアを吸着させて搬送させるサクションベルト方式を採用した。Fig. 14にはサクションベルト上に負極塗工済みプレス済み銅箔が矢印で示す方向に搬送される様子を示す。

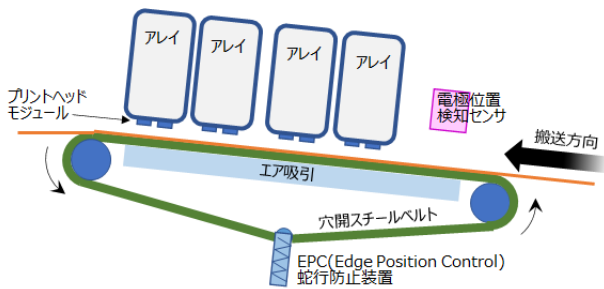


Fig. 14 Cross-sectional view of the image forming section.

電極塗工済みメディアの搬送時のメディア面の高さ偏差をFig. 15に示す。10 $\mu$ m厚の銅箔両面に全幅間欠で負極塗工し、プレス後膜厚110 $\mu$ mとしたものを60mpmで搬送させた時のデータである。

段差の大きな間欠塗工でも「波打ち」と「ばたつき」を含めても160 $\mu$ mの偏差に収まりインクジェット塗工においては十分小さく制御できている。

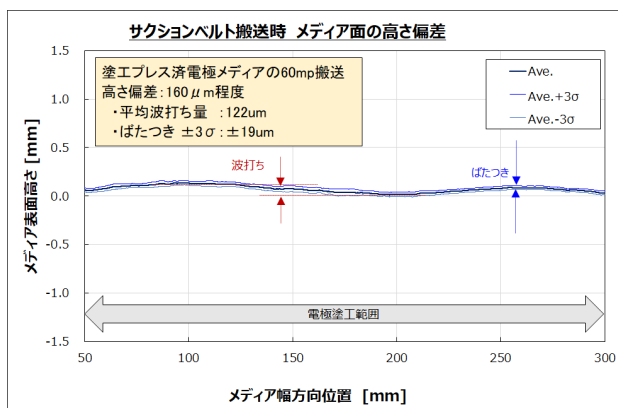


Fig. 15 Height deviation of media surface during electrode media transportation with Suction Belt conveyance.

### 3-2-5 機能膜印刷結果

上述のインク吐出、電極位置検知、メディア搬送の技術が揃って初めて電極に重ねるように機能膜を形成することが可能になる。Fig. 16は連続一条塗工された負極電極に絶縁膜を形成している様子である。両端の銅箔部には1mm以下のはみ出しとなるようにして印刷をしている。

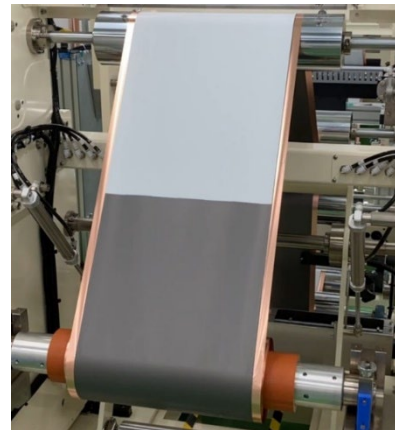


Fig. 16 Insulate layer Printing on the electrode.

このようにして得られた絶縁膜印刷物の電子顕微鏡による断面観察例をFig. 17に示す。狙い通り負極の上に絶縁層を形成することができている。

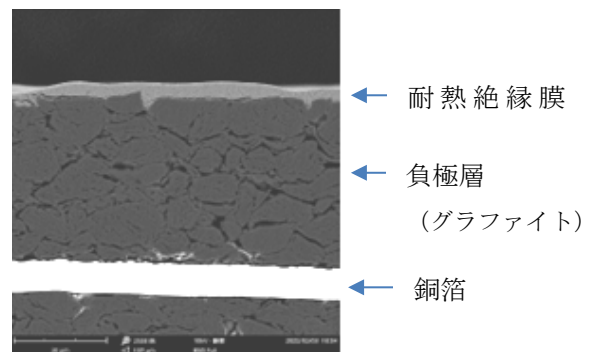


Fig. 17 Cross-sectional photo of printed matter. (SEM image)



機能層形成において、電極ごとにその厚さや形成領域が異なる可能性がある。電池製造工程で用いられるスリットダイコータなどは、塗工量調整に習熟が必要である。本装置では機能性インクの塗布量を簡単なユーザーインターフェースで調整可能である。具体的な調整方法としては0.3mm弱の単位マスクの中の打ち込みドット数を調整する中間調処理により、60mpmの印刷速度で0.5~1.0mg/cm<sup>2</sup>の間で調整することができる。

Fig. 18の30mpmデータが示すように60mpmの時に目付量1mg/cm<sup>2</sup>となる印刷条件で印刷速度を30mpmにすることで目付量2mg/cm<sup>2</sup>を達成することができる。

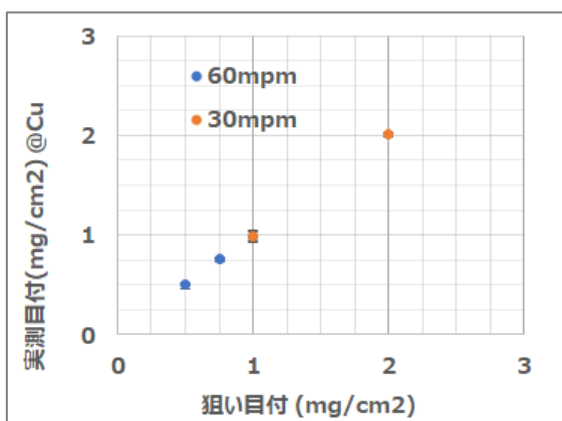


Fig. 18 Precise weight control of ceramic layer.

インクジェット印刷技術での中間調処理により塗布量の低減調整が可能であり、通常のアナログコーターと同様に速度を調整することによって増加方向の調整も可能となる。

Fig. 19には電極上に文字印刷している様子を示す。一般的なインクジェット印刷機同様に文字や図柄などを吐出することも可能であり、電極終端に塗工ロット情報やQRコードなどトレーサビリティ向上につながるような活用方法も考えられる。



Fig. 19 Character printing on the electrode.

## 4. インクジェット技術が提供する価値

本章では塗工技術の観点から本装置開発の意義について述べる。

### 4-1 アナログ塗工技術の課題

液体を塗工する技術としては、グラビアコータやスリットダイコータなどこれまでに様々な方式が提案されてきた。それらは「所定のウェット膜厚に制御するために外力を加えて過剰液を除去した後計量塗布方式」と「流量と基材速度を規定することによりウェット膜厚が決定される前計量塗布方式」とに大別される<sup>9)</sup>。これら塗工技術は、機能紙、印刷、カラー鋼板、粘着フィルム、光学フィルム、バリアフィルム、メディアフィルムなど様々な製品製造に用いられている<sup>6-9)</sup>。

スリットダイコータで塗工幅を変更する場合には、ダイを分解し、挟み込んでいるシム板の交換が必要となる。段取り替えは非常に手間も時間もかかるため、作業性の改善提案がなされてきたが主流にはなっていない<sup>10,11)</sup>。これらは製造現場で採用されている様々なアナログ塗工技術に共通する課題として捉えることができる。

3章で紹介した機能膜印刷装置ではアナログ塗工された電極の位置に合わせて機能性インクを塗工した。アナログ塗工技術で所定エリアのみ選択的に塗工することは不可能ではないものの、剛直な装置構成となる場合が多く<sup>12)</sup>、塗工エリアに対する仕様変化に柔軟に対応することは難しい。

アナログ的であるが故に、その微調整は極めて属人的な要素が多くなる。

## 4-2 デジタル化による課題達成

インクジェット印刷などのデジタル技術はこれら課題に対する一つの解になりうると考える。間欠塗工やストライプ塗工など多様な電極に対応可能である。単位面積当たりの塗工量も「表示する印刷」で培った中間調処理により容易に変更することが可能である。

本報で紹介した技術により、アナログ塗工された電極に重ねるように機能膜を印刷することも可能である。この場合も様々な電極パターンに対して、ハードウェアはそのままに印刷設定の変更さえすればよく、極めて簡便に切り替えることができる。

変更に当たっては、特別な技能は不要なため属人的な作業を必要としない。

## 4-3 デジタル印刷が切り開く新しい製造の形

Fig. 20にインクジェット塗工技術の特徴を表す。インクジェット塗工技術は、「それぞれのノズルを制御してインクを吐出すること」と「塗工時にメディアと接触しない」という2つの特徴を有する。特に個々に吐出制御されるノズルを多数配置することで任意の位置に所望の量だけ塗工することが可能になる。塗工環境や塗工装置のコンディションなどを計測し、その結果に合わせて個々のノズルに対する吐出制御を調整することも可能であり、DXとの相性が非常に良い。

3章で述べた電極位置検知システムの感度や解像度、処理スピードなどの技術深化によって、塗工精度や塗工パターンの複雑化にも対応するポテンシャルを有していると言える。

この技術展開の幅広さ奥深さは、「機能する印刷」用のインク物性や塗工仕様に適したデジタルデバイスとしてのインクジェットヘッドの開発により一層拡大する。

前述の通り、ハード的には一度セッティングさえすれば、パソコンで印刷実行するようなイメージで塗工が可能になる。すなわち安全性の観点などからオペレータが塗工の現場に常駐できないような用途にも非常に相性の良い塗工システムと言える。

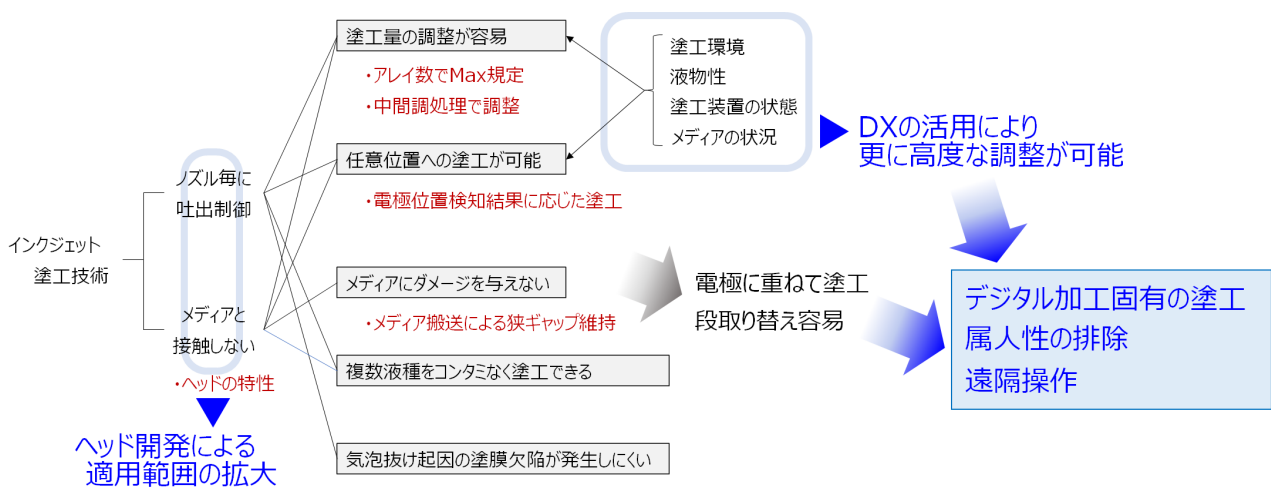


Fig. 20 Expanding possibilities with inkjet coating.

---

## 5. 結論

---

インクジェット技術を用いて電極形状に合わせて、耐熱絶縁層やセパレータなどの機能膜を重ねるように印刷することができる機能膜印刷装置を開発した。

本装置は、電池製造プロセスに大きな革新をもたらすとともに、デジタル技術の導入によりこれまで実現できなかった新しい電池を提供するポテンシャルを有する。

### 参考文献

---

- 1) 経済産業省: 蓄電池産業の現状と課題について, [https://www.meti.go.jp/shingikai/mono\\_info\\_service/chikudenchi\\_sustainability/pdf/001\\_s01\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/chikudenchi_sustainability/pdf/001_s01_00.pdf).
- 2) 柳田英雄ほか: リチウムイオン電池の安全性向上に向けた機能性印刷の開発, *Ricoh Technical Report*, No. 44, pp. 7-13 (2020).
- 3) 大村知也ほか: リチウムイオン電池の安全性向上に向けた機能性印刷の開発, *日本印刷学会誌*, Vol. 59, No. 1, pp. 2-8 (2022).
- 4) 栗山博道ほか: 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, *Ricoh Technical Report*, No. 45, pp. 65-74 (2023).
- 5) 山村方人: リチウムイオン電池の安全性向上に向けた機能性印刷の開発, *表面技術*, Vol. 60, No. 7, pp. 420-425 (2009).
- 6) 村松賢治: 電極塗工技術, *東洋アルミ技報* 2012秋, [https://www.toyal.co.jp/assets/rd/tech\\_report/pdf/haku\\_material/tr\\_hkm2012\\_070-ja.pdf](https://www.toyal.co.jp/assets/rd/tech_report/pdf/haku_material/tr_hkm2012_070-ja.pdf).
- 7) 清水智仁ほか: ダイ塗布方式における巾方向膜厚精度設計技術, *Ricoh Technical Report*, No. 28, pp. 66-71 (2002).
- 8) 新井英幸ほか: グラビア印刷機とコーティング装置のウェブハンドリング技術, *東芝レビュー*, Vol. 63, No. 1, pp. 43-46 (2008).
- 9) 栗島直樹: カーボンニュートラル社会の実現に貢献するリチウムイオン電池電極塗工設備, *精密工学会誌*, Vol. 88, No. 4, pp. 305-307 (2022).
- 10) 三菱化学(株): ダイコータ, 特許第2529812号 (1993).
- 11) 日東電工(株): シム部材、ダイコーター及び塗布膜の製造方法, 特許第5315453号 (2012).
- 12) 三洋電機(株): 蓄電装置用電極板の製造方法, 特許第6965162号 (2017).