

平成 2 9 年度実施方針

IoT 推進部

1. 件 名 :

(大項目) 次世代プリントドエレクトロニクス材料・プロセス基盤技術開発

2. 根拠法

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第 15 条第一号ニ及び第三号

3. 背景及び目的・目標

現在、電子ペーパーや携帯電話など情報機器においては、用途の多様化などから、フレキシブル性や軽量化が求められている。また、真空や高温を駆使して多量のエネルギー・資源を消費する既存のデバイス製造プロセスからの脱却を図り、省エネルギー・省資源化への転換が期待されている。このような社会的要求・課題を鑑み、本プロジェクトでは、省エネ・大面積・軽量・薄型・フレキシブル性を実現可能なプリントドエレクトロニクスの技術開発を行い、産業競争力の強化と新規市場の創出に貢献する。

我が国は本分野において、材料技術、印刷技術、プロセス技術、デバイス技術等の優位性の高いシーズ技術を有している。これらの技術の擦り合わせによる技術開発を通じて、新規市場を創出する。そのためには量産性、耐久性・信頼性の向上に加え大幅な低コスト化が不可欠である。また、国際的な市場拡大に向けた取組も必要である。

本事業では、プリントドエレクトロニクスの本格的な実用化のために要求される製造技術の高度化、信頼性向上及び標準化の推進等に資する基盤技術開発を行う。さらに、市場拡大・普及促進等に資する実用化技術開発を総合的に推進し、プリントドエレクトロニクスの普及のために必要な要素技術を確立することを目的として、平成 23 年度から平成 27 年度に実施した研究開発項目である「①印刷技術による高度フレキシブル電子基板の連続製造技術開発」、「②高度 TFT アレイ印刷製造のための材料・プロセス技術開発」、「③印刷技術による電子ペーパーの開発」、「④印刷技術によるフレキシブルセンサの開発」の成果も踏まえて、以下の研究開発項目を実施する。

当該研究開発項目を実施するに当たっては、シリコン/フォトリソ技術に対してプリエ技術が優位な領域を明確にして、ユーザーの要求スペックも踏まえて、プリエ技術の特徴を活かしたモデルデバイスを選定する。その上で、モデルデバイスの製造に必要な技術課題を抽出して、数値目標を設定して研究開発を実施する。このモデ

ルデバイスの開発を通じて、高付加価値化と低コスト化を叶える多品種変量プラットフォームを構築して担い手に引き継ぐ。更に、オープン&クローズ戦略に基づく、サンプル出荷や技術 PR（展示会、プレスリリース、学会発表）により成果の普及に努めると共に、新規アプリを創出する仕組みを作る。システム化検討を行い、プリントエレクトロニクスの新規市場を開拓する。

[委託事業]

研究開発項目⑤「カスタマイズ化プロセス基盤技術の開発」（平成 28 年度～30 年度実施）

（1）高生産性カスタマイズ化プロセス技術の開発

【最終目標（平成 30 年度）】

30 秒/枚以内の生産性を有する生産ラインにおいて、変量多品種生産が可能で、プロセス再現性が±10%以内となる製造プロセス技術を開発する。

（2）高速高精度基板搬送技術の開発

【最終目標（平成 30 年度）】

支持基板を持たないフリーフィルム基板を、被印刷物セット固定時の精度±10 μ m 以内で、30 秒/枚（A3 相当シート）以内の速度で生産機中を搬送させる基板搬送技術を開発する。

研究開発項目⑥「フレキシブル複合機能デバイス技術の開発」（平成 28 年度～30 年度実施）

（1）フレキシブルデバイスの高感度化、高信頼性化技術の開発

【最終目標（平成 30 年度）】

フィルム基板上に印刷で形成したセンサ素子において、5V 以下の駆動電圧で動作し、感度ばらつき 10%以下となるセンサ素子を開発する。

（2）フレキシブルデバイス実装技術の開発

【最終目標（平成 30 年度）】

100℃以下の温度でフレキシブル基板間導通を確保できる接合接着技術を開発するとともに、10 万回以上の曲げ耐性を有する低温実装技術を開発する。

（3）フレキシブルデバイスの機能複合化技術の開発

【最終目標（平成 30 年度）】

フィルム基板上に、入力、出力（表示）、通信などの機能を複数有する素子を印刷で形成し、電気的に接続制御することで、IoT 入出力センサデバイスとして、機能可能であることを実証する。

4. 実施内容及び進捗（達成）状況

国立大学法人 東京大学 工学系研究科 教授 染谷隆夫氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

4. 1 委託事業内容

平成 22 年度には、基本計画に基づき委託先を公募し、応募のあった提案について外部有識者による事前審査を行った。契約・助成審査委員会を経て委託先を決定して、研究開発を開始した。平成 28 年度から平成 30 年度に関しても同様の手続きを踏んで開始した。

平成 23 年度には、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「印刷技術による高度フレキシブル電子基板の連続製造技術開発」のうち、（１）標準製造ラインに係る技術開発については、印刷による TFT アレイ製造において、各工程の装置導入を行った。さらに、導入した装置にて、材料とプロセス条件を選別し、連続製造可能な装置のプロセス設計指針を得た。また、（２）TFT に特有の特性評価に係る技術開発については、作製したデバイスの評価方法の検討を行った。

研究開発項目②「高度 TFT アレイ印刷製造のための材料・プロセス技術開発」については、研究開発項目①で導入した装置により、TFT アレイ製造に使用する各種候補材料やプロセス及び、印刷の際の位置合わせ方法の初期検討を行った。また、材料の組成・プロセス検討及び各材料に要求されるスペックの洗い出しを行い低温化のための開発指針を得た。プロセス環境の温湿度制御の高精度化（ $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $40\pm 10\%\text{RH}$ ）を達成した。

研究開発項目③「印刷技術による電子ペーパーの開発」のうち、（１）電子ペーパーに係る共通基盤技術開発については、A4 サイズのフィルム基板上に印刷法を用いて 120ppi 以上の解像度を持つ TFT アレイを連続的に生産するための課題抽出を行った。またその評価手法の課題を抽出した。

研究開発項目④「印刷技術によるフレキシブルセンサの開発」のうち、（１）フレキシブルセンサに係る共通基盤技術開発については、有機 TFT アレイの電極間、層間短絡欠陥の修正技術による低減を図り、レーザーリペア方式による短絡箇所の除去と、その際のフィルム基材、他の有機材料層へのダメージの回避を行った。感圧ゴムを有機 TFT のドレイン電極に負荷抵抗として接続したタイプの圧力センサの試作、大型化への課題抽出を行った。

平成 24 年度には、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「印刷技術による高度フレキシブル電子基板の連続製造技術開発」のうち、（１）標準製造ラインに係る技術開発については、フレキシブル基板上に A4 サイズ以上の TFT シートを印刷形成するための小規模製造ラインを構築した。また、（２）TFT に特有の特性評価に係る技術開発については、印刷パターンならびにそれに用いるインク

材料、プロセス材料及び構成部材の物性標準評価方法を検討した。

研究開発項目②「高度 TFT アレイ印刷製造のための材料・プロセス技術開発」については、印刷法で製造した TFT 素子において、遮断周波数 0.1MHz を示す高動作速度化構成部材のデバイスを開発した。A4 サイズフィルム基板上に、印刷で形成するフレキシブルシート TFT アレイにおいて、位置合わせ精度 $\pm 10\mu\text{m}$ 、面内ばらつき $\pm 10\%$ 、 120°C 、10 分の温度で焼成できるプロセスを開発した。

平成 25 年度には、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「印刷技術による高度フレキシブル電子基板の連続製造技術開発」のうち、(1) 標準製造ラインに係る技術開発については、標準一貫製造ラインを構築し、on 電流の面内平均値からのばらつきが $\sigma \leq 10\%$ 以下のスペックを持つ A4 サイズの TFT アレイを作製した。また、50 枚以上の連続印刷製造を検証可能にする技術要素の抽出を行い、高精度連続印刷法の開発、ならびにタクト 90 秒以下で A4 サイズのフレキシブル基板上高精度印刷製造技術を開発した。また、(2) TFT に特有の特性評価に係る技術開発については、印刷プロセスで作製する TFT アレイを構成する、導体、半導体、絶縁体各層の性能評価に関する標準評価法を定め、標準評価書を作成した。さらに、印刷プロセスで作製する TFT 素子の基本性能の標準評価法を定め、標準評価書を作成した。

研究開発項目②「高度 TFT アレイ印刷製造のための材料・プロセス技術開発」については、印刷で作製する TFT 素子の構成部材の開発を行い、印刷 TFT 素子の遮断周波数 0.3MHz 以上で動作させることを実現した。また、 120°C 以下の温度で配線、絶縁層を印刷形成する技術、および精度 $20\mu\text{m}$ 以下で位置合わせをするフィルム基板制御技術を開発した。

平成 26 年度には、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「印刷技術による高度フレキシブル電子基板の連続製造技術開発」のうち、(1) 標準製造ラインに係る技術開発については、標準一貫製造ラインの高度化を図ると共に、 $\pm 20\mu\text{m}$ 以下のパターン精度で 50 枚以上の連続印刷製造を可能にする連続 TFT 製造技術を開発した。また、(2) TFT に特有の特性評価に係る技術開発については、印刷デバイスの特性、信頼性に関する評価技術の標準化を検討し、印刷製造 TFT の信頼性評価に関する標準評価法を作成した。

研究開発項目②「高度 TFT アレイ印刷製造のための材料・プロセス技術開発」については、印刷で作製する TFT 素子の構成部材とデバイス構造の開発を行い、印刷 TFT 素子の遮断周波数 1.0MHz で動作させることを実現した。また、配線、絶縁層を 120°C 以下 90 秒で印刷焼成する低温高速化焼成技術を開発した。

平成 27 年度には、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「印刷技術による高度フレキシブル電子基板の連続製造技術開発」のう

ち、(1) 標準製造ラインに係る技術開発については、on 電流の面内平均値からもばらつきが $\sigma \leq 10\%$ 以下のスペックを持つ A4 サイズの TFT アレイを 50 枚連続生産が可能な製造プロセスの要素技術を確立した。また、生産タクトは 1 平米あたり 90 秒以下を実現する技術を確立した。更に、一貫製造の可能性を検証した。(2) TFT に特有の特性評価に係る技術開発については、印刷製造 TFT の動作信頼性要因の解析手法と、機械的強度信頼性評価、要因の解析手法を開発して、信頼性評価書を作成した。

研究開発項目②「高度 TFT アレイ印刷製造のための材料・プロセス技術開発」については、フレキシブルアライメント技術を開発することにより位置合わせ精度 $\pm 3 \mu\text{m}$ を実現、非加熱焼成プロセス技術の開発により 120°C 以下を実現、デバイス・プロセス整合技術、デバイス構造の開発により印刷 TFT で動作周波数 1.2MHz を実現した。また、接触型厚両センサの試作と堅牢性の確認、大面積 TFT アレイの製造方針を連続一貫製造ラインにて提示した。

平成 28 年度には、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目⑤「カスタマイズ化プロセス基盤技術の開発」のうち、(1) 高生産性カスタマイズ化プロセス技術の開発については、多品種変量生産を実現させるため、高速高効率転写・パターンニング技術の開発に着手した。(2) 高速高精度基板搬送技術の開発については、フレキシブル基板をガラスなどのリジット支持基板に固定させることなく、高速高精度に搬送する技術の開発に着手した。

研究開発項目⑥「フレキシブル複合機能デバイス技術の開発」のうち、(1) フレキシブルデバイスの高感度化、高信頼性化技術の開発については、センサデバイスの高信頼性化を検討し、機能複合化デバイスの製造に活用した。(2) フレキシブルデバイス実装技術の開発については、接着、接合技術などを開発して、機能複合化デバイスの製造に活用した。(3) フレキシブルデバイスの機能複合化技術の開発については、上記の成果も活用して世界初となる感圧&感温多点面センサを試作して国際展示会等に出展した。

4. 2 助成事業内容

平成 23 年度に研究開発を開始した。

研究開発項目③「印刷技術による電子ペーパーの開発」のうち、(2) 高反射型カラー電子ペーパーの開発、(3) 高速応答型電子ペーパーの開発、(4) 大面積軽量単色電子ペーパーの開発については、対角 3.5 インチのアクティブ表示デバイスの作製と評価により、表示層構造を最適化するとともに製膜基本プロセスを確立した。特に浸透性絶縁層、電極層、電解層などの ECD 構成要素材料を開発した。また、表示層と TFT 基板の貼り合せプロセスを開発した。バックプレーン (TFT 基板) にはフォトリソグラフィ法で作製された TFT (LTPS-TFT) を使用し、結果を印刷 TFT の設計にフィードバックした。更に、対角 10 インチサイズ対応の製膜装置を導入し、プロセス開発を実施した。製膜装置としては、

表示電極及び対極層形成用にスパッタ装置、EC 層、浸透性絶縁層、白色層の形成用にコーターを導入し、条件設定を行った。TFT 基板にはフォトリソグラフィ法で作製された TFT (LTPS-TFT) を用いて開発を進めるとともに、印刷 TFT の開発にも着手した。材料については、消色状態の着色低減、白色反射層の改良などにより反射率の向上を図った。また、クロミック反応を安定化させる対極層 (逆反応層) 材料を開発した。

研究開発項目④「印刷技術によるフレキシブルセンサの開発」のうち、(2) 大面積圧力センサの開発については、有機 TFT アレイの電極間、層間短絡欠陥の修正技術による低減、レーザーリペア方式による短絡箇所の除去と、その際のフィルム基材、他の有機材料層へのダメージの回避を行った。感圧ゴムを有機 TFT のドレイン電極に負荷抵抗として接続したタイプの圧力センサの試作、大型化への課題を抽出した。また、素子製造プロセスの開発として、デジタルフォトアシスト印刷にかかる設備導入・立上げを行った。

平成 24 年度には、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目③「印刷技術による電子ペーパーの開発」のうち、(2) 高反射型カラー電子ペーパーの開発、(4) 大面積軽量単色電子ペーパーの開発については、対角 3.5 インチのアクティブ表示デバイスの作製と評価を進めて ECD 構成要素材料、製膜プロセスの改良および専用 TF の設計を行い、反射率 50%以上、色数 64 以上、色再現性 35%以上 (対ジャパンカラー比) の表示デバイスを開発した。更に、対角 10 インチサイズ対応の製膜装置を導入し、サイズアッププロセスの開発を実施した。製膜条件はフィルム基板が採用できる条件として、上限温度 120°C で設定した。

また、対角 11 インチサイズの TFT アレイの製造プロセスでは転写印刷法により 1 μ m ピッチの高解像パターンを実現し、全印刷プロセスによるフレキシブル TFT アレイの作製を実証した。更に、TFT 素子の特性として a-Si と同等以上の特性を得た。

研究開発項目④「印刷技術によるフレキシブルセンサの開発」のうち、(2) 大面積圧力センサの開発については、有機 TFT アレイの印刷製造装置を導入し、大面積化へ取り組んだ。圧力-抵抗特性の最適な感圧素材を検討し、150mm 角圧力検出シートを試作して検出感度の評価を行った。

平成 25 年度には、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目③「印刷技術による電子ペーパーの開発」のうち、(2) 高反射型カラー電子ペーパーの開発については、対角 6 インチのカラーパネルを作製し、反射率 50%以上、色数 64 以上 (26 万色相当) のフレキシブルなアクティブ表示デバイスを開発した。また、対角 10 インチパネルの製膜および加工に向けた課題を抽出した。(4) 大面積軽量単色電子ペーパーの開発については、完全印刷法によって 120ppi、対角 10.7 インチ、XGA (1024×768) のフレキシブル TFT アレイを作製し、階調表示が 16 階調、重量 40g 以下のフレキシブル電子ペーパーを開発した。

研究開発項目④「印刷技術によるフレキシブルセンサの開発」のうち、(2) 大面積圧力センサの開発については、アライメント精度 20 μ m 以下で A4 サイズの有機 TFT アレイを作製し、同サイズの圧力センサシートを開発した。

平成 26 年度には、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目③「印刷技術による電子ペーパーの開発」のうち、(2) 高反射型カラー電子ペーパーの開発については、対角 6 インチパネルの試作評価により製膜プロセスを改良し、さらに印刷 TFT と組合せて駆動検討を実施し、TFT 仕様を設定し、駆動装置を試作した。また、曲面基板への印刷試作を行い、曲面基板上に電子ペーパー用フロントプレーン材料として開発したエレクトロクロミックインクを形成してクロミック反応の信頼性評価及び改良を実施した。

(4) 大面積軽量単色電子ペーパーの開発については、タクト時間 3 分以内を達成した。また、大面積化へ向けてタイリング技術を開発した。この技術を用いて実際の商品を想定したレール型電子棚札の試作に成功した。各種展示会にてレール型電子棚板のデモ展示を行い、ビジネスに向けたニーズ、用途探索を推進した。(本テーマは平成 26 年度で終了となる)

研究開発項目④「印刷技術によるフレキシブルセンサの開発」のうち、(2) 大面積圧力センサの開発については、メートルサイズ級のセンサシートの技術課題、製造プロセス課題を検証する目的で A4 サイズの TFT 6 枚を用いた 416mm x 900mm の大面積圧力センサシートの実証試作を行った。また、各種展示会にて圧力センサシートのデモ展示を行い、ビジネスに向けたニーズ、用途探索を推進した。

平成 27 年度には、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目③「印刷技術による電子ペーパーの開発」のうち、(2) 高反射型カラー電子ペーパーの開発については、積層型 ECD を開発し、白色反射率 50%以上の「明るさ」を達成し、各色 16 階調出力で 4096 色まで対応可能な「色鮮やかさ」を実現した。また、6 インチ印刷 TFT で作製した ECD パネルが 13.1 g を達成して、10 インチでの 60 g 以下の用途を得た。

研究開発項目④「印刷技術によるフレキシブルセンサの開発」のうち、(2) 大面積圧力センサの開発については、印加する圧力によって抵抗値が変化する感圧ゴムを有機 TFT のドレイン電極に負荷抵抗として接続した構造の圧力センサを選択し、タイリングによって制作したアクティブエリア 900 x 420mm のメートル級大面積有機 TFT を用いて、アクティブ駆動することにより、 $\sigma < 5\%$ 以下で連続駆動が 10Hz 以上のセンサシートを実現した。

4. 3 実績推移

| | 22年度 | 23年度 | | 24年度 | | 25年度 | | 26年度 | | 27年度 | | 28年度 |
|---------------|------|-------|-----|-------|-----|------|-----|-------|-----|------|-----|------|
| | 委託 | 委託 | 助成 | 委託 | 助成 | 委託 | 助成 | 委託 | 助成 | 委託 | 助成 | 委託 |
| 実績額推移 | | | | | | | | | | | | |
| 一般勘定 (百万円) | 0 | 2,204 | 160 | 1,732 | 652 | 681 | 265 | - | - | | | |
| 需給勘定 (百万円) | - | - | - | - | - | - | - | 1,221 | 107 | 793 | 164 | 700 |
| 特許出願件数(件) | 0 | 0 | - | 9 | - | 37 | - | 46 | - | 62 | - | 19 |
| 論文発表数(報) | 0 | 1 | - | 2 | - | 1 | - | 3 | - | 1 | - | 0 |
| フォーラム等(件) | 0 | 17 | 18 | 22 | 11 | 13 | 7 | 21 | 7 | 5 | 3 | 13 |

※平成 29 年 1 月 24 日時点

5. 事業内容

プロジェクトマネージャーにNEDO IoT 推進部 栗原廣昭を任命して、プロジェクトの進行全体を企画・管理や、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させる。

国立大学法人 東京大学 工学系研究科 教授 染谷隆夫氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施する。また、本事業の実用化を促進する目的で、ユーザーへのサンプル出荷を行い、ユーザー評価を踏まえた改良を実施する。改良した技術を多品種変量生産プラットフォームに組み入れ完成度を高める。更に、展示会への出展を通じた成果普及活動等を行う。外部有識者による技術推進委員会を開催して、研究開発を促進する。

5. 1 平成 29 年度委託事業内容

研究開発項目⑤ 「カスタマイズ化プロセス基盤技術の開発」

(実施体制：次世代プリンテッドエレクトロニクス技術研究組合)

多様な回路パターンに対しても迅速に生産適用ができるよう、製造のデジタル化、カスタマイズ化をはかる。そのために以下の技術開発を行う。

- (1) 高生産性カスタマイズ化プロセス技術の開発
- (2) 高速高精度基板搬送技術の開発

研究開発項目⑥ 「フレキシブル複合機能デバイス技術の開発」

(実施体制：次世代プリンテッドエレクトロニクス技術研究組合、産業技術総合研究所／名古屋大学)

フレキシブルデバイスの普及には、印刷で形成したフレキシブルデバイスが、高性能、高信頼性を有するとともに、多様な適用要求にこたえられる機能の発現を可能にしておくことが必要である。そのために以下の技術開発を行う。

- (1) フレキシブルデバイスの高感度化、高信頼性化技術の開発
- (2) フレキシブルデバイス実装技術の開発
- (3) フレキシブルデバイスの機能複合化技術の開発

5. 2 平成 29 年度事業規模 (予定)

需給勘定 476 百万円 (委託事業)

※事業規模については、変動があり得る。

6. その他重要事項

(1) 評価の方法

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、技術評価実施規定に基づき、プロジェクト評価を実施する。事後評価を平成31年度に実施する。

(2) 運営・管理

研究開発全体の管理・執行に責任と決定権を有するNEDOは、経済産業省と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的および目標に照らして適切な運営管理を実施する。また、必要に応じて、外部有識者の意見を運営管理に反映させる。

(3) 複数年度契約の実施

平成28～30年度の複数年度契約を行う。

(4) 知財マネジメントにかかる運用

「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」に従ってプロジェクトを実施する。

(5) その他

本プロジェクトの委託研究によって得られたあらゆる知的財産、研究の過程又は成果に基づき開発したプログラム、サンプル、装置などの成果物を本プロジェクト

外（国内外）への供試・開示する場合は、事前にプロジェクトリーダーとNEDOに連絡する。その際に、NEDOが申請書の提出を求めた場合は、これに応じ速やかに提出する。

7. 実施方針の改定履歴

(1) 平成29年2月制定

次世代プリントエレクトロニクス材料・プロセス基盤技術開発 実施体制

