

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

事業原簿  
【公開】

担当部室	国立開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 IoT 推進部
------	-------------------------------------

# 目次

## 概要

### プロジェクト用語集

I.	事業の位置付け・必要性について	
1.	NEDO の関与の必要性・制度への適合性	I-1-1
1. 1	NEDO が関与することの意義	
1. 2	実施の効果（費用対効果）	
2.	事業の背景・目的・位置付け	I-2-1
2. 1	事業の背景	
2. 2	事業の目的及び意義	
2. 3	事業の位置付け	
II.	研究開発マネジメントについて	
1.	事業の目標	II-1-1
2.	事業の計画内容	II-2-1
2. 1	研究開発の内容	
2. 2	研究開発の実施体制	
2. 3	研究開発の運営管理	
2. 4	研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性	
3.	情勢変化への対応	II-3-1
4.	中間評価への対応	II-4-1
5.	評価に関する事項	II-5-1
III.	研究開発成果について	
1.	事業全体の成果	III-1-1
1. 1	事業全体の成果の概要	
1. 2	研究開発項目毎の成果と目標の達成度	
1. 3	成果の意義	
2.	研究開発項目毎の成果	
2. 1	カスタマイズ化プロセス基盤技術の開発	III-2.1-1
2. 1. 1	高生産性カスタマイズ化プロセス技術の開発	
2. 1. 2	高速高精度基板搬送技術の開発	
2. 2	フレキシブル複合機能デバイス技術の開発	III-2.2-1
2. 2. 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. 2. 2	フレキシブルデバイス実装技術の開発	
2. 2. 3	フレキシブルデバイスの機能複合化技術の開発	

2. 3	プロセス・デバイス実証・プラットフォーム化技術の開発	III-2.3-1
2. 3. 1	ユースケースフィッティングによる開発技術検証	III-2.3.1-1
2. 3. 2	印刷デバイス・生産プロセスプラットフォーム化技術開発	III-2.3.2-1

IV. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

1. 1	成果の実用化可能性	IV-1.1-1
1. 2	実用化、事業化のシナリオ	IV-1.2-1
1. 3	産総研・名古屋大学の実用化・事業化に向けた取り組み	IV-1.3-1

V. 成果一覧

JAPER A

1.	各種展示会での成果発表	V-1
2.	新聞、雑誌記事	V-3
3.	論文リスト	V-4
4.	研究発表（口頭発表含む）リスト	V-7
5.	受賞実績	V-12

産総研・名古屋大学

1.	各種展示会での成果発表	V-13
2.	新聞、雑誌記事	V-14
3.	論文リスト	V-15
4.	研究発表（口頭発表含む）リスト	V-17
5.	受賞実績	V-21

概要

最終更新日 2019年10月17日

プログラム（又は施策）名	—		
プロジェクト名	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	プロジェクト番号	P10026
担当推進部/担当者	IoT推進部 栗原 廣昭 (2017年4月～2019年3月) IoT推進部 上野 秀幸 (2018年4月～2019年3月) IoT推進部 神代 恭 (2016年4月～2018年5月) 電子・材料・ナノテクノロジー部 風間 伸吾 (2015年4月～2017年3月) 電子・材料・ナノテクノロジー部 安藤 彰朗 (2014年1月～2015年12月) 電子・材料・ナノテクノロジー部 松井 直樹 (平成25年4月～平成25年12月) 電子・材料・ナノテクノロジー部 草尾 幹 (平成24年5月～平成25年3月) 電子・材料・ナノテクノロジー部 古館 清吾 (平成23年4月～平成24年4月) 電子・材料・ナノテクノロジー部 田谷 昌人 (平成23年3月)		
0. 事業の概要	高度情報化社会の実現に伴い、電子ペーパー、デジタルサイネージなどのヒューマンインターフェイス入出力デバイスや圧力センサといった入力シートデバイス等の普及が切望されており、これらのデバイスの生産量の増大が予想される。これらを広く一般に大量普及させるためには、真空や高温を駆使して多量のエネルギー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、製造プロセスの低コスト化・省エネ化・省資源化・高生産性を図ることが必要である。そこで本事業では、省エネルギー・省資源・高生産性や軽量・フレキシブル性などの特徴を有する印刷エレクトロニクス技術及び製造法に係る基盤技術を確立する。これにより、印刷エレクトロニクス関連産業の新規市場創出と産業競争力強化に寄与する。印刷工程による新規デバイスとして、電子ペーパー、圧力センサなどのディスプレイ、センサデバイス関連市場を当面のターゲットとする。		
I. 事業の位置付け・必要性について	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、薄膜トランジスタアレイ（TFTアレイ）などの電子回路の製造においてはリソグラフィーや高温プロセスからの省エネルギー化が必要である。プリントエレクトロニクスは、印刷技術を用いてプロセスの低温化による省エネ化や材料歩留まりの向上による省資源化、プラスチック基板の利用によるフレキシブル化・軽量化など上記課題を解決する有用な手段である。 本プロジェクトでは、省エネルギー・省資源・高生産性や軽量・フレキシブル性などの特徴を有する印刷エレクトロニクスの基盤技術として、連続製造技術と使用材料・プロセスの高度化による TFTアレイの高度化技術を開発する。さらに、これら基盤技術を適用した実用化技術として電子ペーパーとフレキシブルセンサデバイス技術を確立し、新規事業の創出と産業競争力強化に資する。		
II. 研究開発マネジメントについて			
事業の目標	デバイス製造の国際競争力強化と新規事業の創出に向けて2015年度（平成27年度）末において、下記のプリントエレクトロニクスに資する基盤技術及び実用化技術を確立することとする。 ・プラスチックフィルム基板上に大面積、低欠陥で均一、信頼性の高い TFTアレイを形成するための低温プロセス、材料（半導体、絶縁、導体）及び高精度・高速で位置合わせ可能な連続印刷プロセス・装置を開発し、標準的な製造ラインにおいて印刷技術による TFTアレイが製造可能なことを実証する。 ・再現性の高い電氣的・機械的特性評価法、及び信頼性評価方法を確立し、標準化に向けたデータを収集する。 ・モデルデバイスとして、プロジェクト内の技術開発成果を用いて第一期は電子ペーパー、各種フレキシブルセンサ、第二期においては、フレキシブルデバイスを製品化するために単一のセンシング機能だけではなく複数の機能を実装したフレキシブルデバイスを作製し、プリントエレクトロニクス技術の有効性及び可能性を実証する。		

第一期での各研究開発項目の目標は、下記の通りである。

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」

(1) 標準製造ラインに係る技術開発

【中間目標（平成 25 年度末）】

on 電流の面内平均値からのばらつきが $\sigma \leq 10\%$ 以下の A4 サイズの TFT アレイを作製し、連続生産するための製造プロセスの課題を抽出する。

【最終目標（平成 27 年度末）】

on 電流の面内平均値からのばらつきが $\sigma \leq 10\%$ 以下の 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する。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する。

(2) TFT に特有の特性評価に係る技術開発

【中間目標（平成 25 年度末）】

(1) で作製される TFT アレイの性能評価手法を確立し、材料スクリーニングや、印刷プロセスの最適化検討を行う。

【最終目標（平成 27 年度末）】

TFT アレイの信頼性の評価方法を確立する。あわせて評価手法の標準化の検討を行う。

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」

【中間目標（平成 25 年度末）】

位置合わせ精度 $\pm 20 \mu\text{m}$ 、 $150^\circ\text{C}$ 以下の温度で生産できるプロセスの要素技術を確立する。また、印刷法で製造した TFT 素子において、動作周波数 0.3MHz 以上を示す材料・プロセス技術を開発する。

【最終目標（平成 27 年度末）】

位置合わせ精度 $\pm 10 \mu\text{m}$ 、 $120^\circ\text{C}$ 以下の温度で生産できるプロセスの要素技術を確立する。また、素子の動作周波数が 1MHz 以上を示す TFT アレイを印刷法で製造し、デバイスとして駆動することを実証する。加えて作製された TFT アレイを用いて、圧力、もしくは接触による情報入力デバイスを試作し、落下試験など耐衝撃性を評価し堅牢性を検証する。TFT アレイの大面积化（メートル級）においては、大面积 TFT アレイの連続製造に適用可能な製造プロセスの設計指針を提示する。

研究開発項目③「印刷技術による電子ペーパーの開発」

(1) 電子ペーパーに係る共通基盤技術開発

【平成 23 年度末目標】

各種電子ペーパーに係る仕様を決定するための、TFT アレイと表示部の接合条件や駆動電圧等について基礎データの収集を行いデバイスとしての課題を抽出し、得られた結果をもとに設計指針を提示する。

(2) 高反射型カラー電子ペーパーの開発

【中間目標（平成 25 年度末）】

印刷法を用いてフィルム基板上に反射率 50%以上である対角 6 インチのカラー（64 色）パネルを試作する。

【最終目標（平成 27 年度末）】

印刷法を用いてフィルム基板上に反射率 50%以上である対角 10 インチのカラー（512 色）パネルを作製し、工業的に製造が可能であることを実証する。10 インチパネルの重量は 60g 以下を達成する。

(3) 大面积軽量単色電子ペーパーの開発

【中間目標（平成 25 年度末）】

印刷法を用いて A4 サイズのフィルム基板上に 120ppi 以上の解像度を持つ TFT アレイを安定かつ連続的に製造する技術を開発する。製造タクトは 1 枚あたり 10 分以内を達成する。

【最終目標（平成 27 年度末）】

A4 サイズのフィルム基板上に 120ppi 以上の解像度を持つ TFT アレイを完全印刷工程で安定かつ連続的に製造する技術を開発する。製造タクト時間は 1 枚あたり 3 分以内を達成する。作製された TFT アレイと表示部を組み合わせたパネルを作製し、軽量単色電子ペーパーが工業的に製造可能であることを実証する。パネルの重量は 40g 以下を達成する。また、得られた成果をもとに大面积化に向けたプロセス・デバイスの設計指針を示す。

	<p>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」</p> <p>(1) フレキシブルセンサに係る共通基盤技術開発  <b>【平成23年度末目標】</b>  各種フレキシブルセンサに係る仕様を決定するための、TFTアレイとセンサ部の接合条件や駆動電圧等について、基礎データの収集を行いデバイスとしての課題を抽出し、得られた結果をもとに設計指針を提示する。</p> <p>(2) 大面積圧力センサの開発  <b>【中間目標（平成25年度末）】</b>  A4サイズ相当の領域内で構成層間のアライメント精度<math>50\mu\text{m}</math>内、素子の特性ばらつき（移動度及び閾値電圧）<math>\sigma &lt; 10\%</math>を達成する大面積TFTシートの製造技術と製造装置の開発を行う。得られた加工精度と素子特性に基づき、メートル級の面積TFTアレイの設計指針を示す。  <b>【最終目標（平成27年度末）】</b>  <math>1\text{mm}</math>角あたり1素子の密度で形成したTFTアレイの特性（移動度及び閾値電圧）のばらつき<math>\sigma &lt; 5\%</math>以下で、連続駆動が<math>10\text{Hz}</math>相当以上で可能なメートル級の面積TFTシートを試作する。これを背面基板に用いた圧力センサシートを試作し、情報入力モデルデバイスとして実用可能であることを実証する。</p>
	<p>第二期での各研究開発項目の目標は、下記の通りである。</p> <p>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」</p> <p>(1) 高生産性カスタマイズ化プロセス技術の開発  <b>【最終目標（平成30年度末）】</b>  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<math>\pm 10\%</math>以内となる製造プロセス技術を開発する。</p> <p>(2) 高速高精度基板搬送技術の開発  <b>【最終目標（平成30年度末）】</b>  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<math>\pm 10\mu\text{m}</math>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。</p> <p>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」</p> <p>(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  <b>【最終目標（平成30年度末）】</b>  フィルム基板上に印刷で形成したセンサ素子において、<math>5\text{V}</math>以下の駆動電圧で動作し、感度ばらつき<math>10\%</math>以下となるセンサ素子を開発する。</p> <p>(2) フレキシブルデバイス実装技術の開発  <b>【最終目標（平成30年度末）】</b>  <math>100^\circ\text{C}</math>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。</p> <p>(3) フレキシブルデバイスの機能複合化技術の開発  <b>【最終目標（平成30年度末）】</b>  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、電氣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。</p> <p>産総研・名古屋大学分  <b>【最終目標（平成30年度末）】</b></p> <p>①フレキシブル無線モジュールの開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・フレキシブル無線モジュールをセンシングウェアに集積化した測定試験を行い、心電図のPQRST波の判別が可能な心電波形を取得する。</li> <li>・繰り返し荷重耐久回数10000回、耐久温度<math>100^\circ\text{C}</math>を数値目標として設定する。</li> </ul> <p>②配線・電極形成テキスタイルの開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・実証試験にて開発したセンシングウェアを用いて人体の胸部18点から心電波形を取得する。</li> </ul>

	<p>・テキスタイル上に集積・封止した状態で、生体電位増幅用のアナログ回路の駆動電圧を5V以下、最大増幅率のばらつきを10%以内とすることを目標とする。</p> <p>③センシングウェアの実証試験</p> <p>・無線モジュールを集積化したセンシングウェアで健常者の心電、血圧の測定を実証する。</p>											
事業の計画内容	主な実施事項	H22fy	H23fy	H24fy	H25fy	H26fy	H27fy	H28fy	H29fy	H30fy		
	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」	→										
	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」	→										
	研究開発項目③ 「印刷技術による電子ペーパーの開発」	→										
	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」	→										
	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」								→			
	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」								→			
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載 (単位：百万円))  契約種類： ○をつける 委託(○)、助成(○)助成率 2/3	会計・勘定	H22fy	H23fy	H24fy	H25fy	H26fy	H27fy	H28fy	H29fy	H30fy	総額	
	一般会計	—	224	400	946	—	—				1,570	
	補正予算	2,100	1,984	—	—	—	—				4,084	
	I補助金-特別会計	—	—	—	—	888	830	724	496	465	3,453	
	開発成果・促進財源	—	—	—	—	454	120		50		574	
	総予算額	2,100	2,208	400	946	1,342	950	724	546	465	9,681	
	(委託)	2,100	1,449	387	681	1,138	788	724	546	465	8,278	
	(助成) : 助成率 2/3		759	13	265	204	162				1,403	

開発体制	経産省担当原課	製造産業局化学課
	プロジェクトリーダー	東京大学 染谷 隆夫
	委託先(*委託先が管理法人の場合は参加企業数及び参加企業名も記載)	<p><b>第一期</b>  <b>【委託】</b> 次世代プリントドエレクトロニクス技術研究組合(参加 25 社 1 研究機関、一時参加 6 社)  <b>参加 25 社 1 研究機関:</b> 旭化成(株)、(株)アルバック、出光興産(株)、コニカミノルタ(株)、(株)小森コーポレーション、住友化学(株)、ソニー(株)、大日本印刷(株)、JNC(株)、帝人(株)、DIC(株)、東京エレクトロン(株)、(株)東芝、東洋紡(株)、凸版印刷(株)、日本電気(株)、日本化薬(株)、パナソニック(株)、バンドー化学(株)、日立化成(株)、(株)フジクラ、富士フイルム(株)、(株)三菱化学科学技術研究センター、(株)リコー、リンテック(株)、(国研)産業技術総合研究所  <b>一時参加 6 社:</b> (株)ブリジストン、ブラザー工業(株)、(株)写真化学、太陽ホールディングス(株)、ハリマ化成(株)、綜研化学(株)  <b>【再委託】</b> 山形大学、千葉大学、大阪大学、東京大学、(国研)理化学研究所  <b>【助成】</b> 大日本印刷(株)、凸版印刷(株)、(株)リコー</p> <p><b>第二期</b>  <b>【委託】</b> 次世代プリントドエレクトロニクス技術研究組合(参加 14 社 1 研究機関、一時参加 1 社)  <b>参加 14 社 1 研究機関:</b> 出光興産(株)、コニカミノルタ(株)、(株)小森コーポレーション、住友化学(株)、大日本印刷(株)、JNC(株)、帝人(株)、DIC(株)、東洋紡(株)、凸版印刷(株)、NISSHA(株)、日本電気(株)、富士フイルム(株)、(株)リコー、(国研)産業技術総合研究所  <b>一時参加 1 社:</b> 旭化成(株)  <b>【共同実施】</b> 東京大学、東京工業大学  <b>【委託】</b> (国研)産業技術総合研究所、名古屋大学</p>
情勢変化への対応	<p>プリントドエレクトロニクス技術は、次世代の電子デバイス製造技術として大きな期待を寄せられており、世界中で技術開発競争が激しくなっている。我が国のエネルギー事情の変化および経済情勢や電子・情報産業分野の現状を鑑み、国内産業の空洞化を回避しながらも、激化する国際競争で優位性を確保する観点から、早期の成果活用を狙う目的でプロジェクト初期の前半年度に予算を重点配分し、研究開発を加速させるためデバイス試作に必要な装置等をプロジェクト初期に導入することで技術課題を早期に抽出し、標準製造ラインとなる小規模ラインの構築や電子ペーパーや圧力センサ向けのフレキシブル TFT の試作を計画に対して前倒しで実施した。液晶の価格下落等の影響でディスプレイ分野での適用市場の立ち上がり市場予測より大幅に遅れる中、助成事業者による使用時にエネルギーを消費しないことを利点とした表示素子への事業展開を支援することで、市場形成に寄与することができた。さらに新規市場への展開を狙って、モデルデバイスを選定して必要な要素技術を抽出して、顧客の元へ届けられる素子を作製するための技術確立を目指すこととした。</p> <p>更に、欧米、韓国、中国などの各国政府が国費を投入してプリントドエレクトロニクスの実用化研究を推進する国際状況も勘案して、実用化の促進を目的とする研究開発を追加実施することとした。</p> <p>第二期に向けては、展開が期待されていたディスプレイ分野のグローバル化や海外企業の躍進、また、フォトリソ技術などの技術との開発競争強化により、さらなる、機能、コスト、生産性でなお一層の差別化が必要となった。一方で、IoTの進展にともない、トリリオンセンサといわれるような様々なデバイスやセンサが必要とされ、プリントドエレクトロニクス技術を活用したフレキシブルデバイスの新市場が期待され、これに対応するために、中間評価(2015年)の提言も反映し、研究開発の方向性を特定品種生産基盤技術から多品種変量生産プラットフォーム技術開発に方向を変えた。また、新市場・新サービスの展開に向けては、国内外の展示会などに積極的出展しベンチャーの取り込みを試みた。</p>	
中間評価結果への対応	<p>①委託事業と助成事業の連携強化について、PLによる助成指導を実施し、委託事業との共通課題について解決の指針を助成にも適用することで課題解決を加速し、実用化を促進した。</p> <p>②実用化・事業化の狙いを明確にするための体制作りについて、戦略WGを設置し、NEDO、METIと状況共有することで、商品化戦略や将来の体制について議論を行い、市場展開(実用化・事業化)を着実に達成するために、延長の3年間(第二期)は実用化を中心とした開発を実施した。</p>	



評価に関する事項	事前評価	平成 22 年度実施 (担当部) 電子・材料・ナノテクノロジー部
	中間評価	平成 25 年度 中間評価実施、平成 27 年度 中間評価実施
	事後評価	2019 年度 事後評価実施
Ⅲ. 研究開発成果について	<p>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」</p> <p>(1) 標準製造ラインに係る技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ A4 サイズの TFT アレイにて on 電流の面内ばらつき <math>\sigma \leq 10\%</math> を生産ラインで実現。【最終目標達成】</li> <li>・ 高速化のためのフレキシブルアライメント技術を開発し、タクト 90 秒/m<sup>2</sup> 以下を実現。【最終目標達成】</li> <li>・ A4 サイズの TFT アレイ (<math>\sigma \leq 10\%</math>) を 50 枚連続生産を実現。【最終目標達成】</li> </ul> <p>(2) TFT に特有の特性評価に係る技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 印刷製造 TFT アレイの性能評価法 (動作信頼性、機械的強度信頼性) を開発し、標準評価書を作成した。【最終目標達成】</li> </ul> <p>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」</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ フレキシブルアライメント技術により、アライメント精度 <math>\pm 3 \mu\text{m}</math> (A4) 【最終目標達成】</li> <li>・ 新焼成技術を用いて温度 120°C 以下を実現 【最終目標達成】</li> <li>・ 印刷 TFT の材料、構造を開発して動作周波数 1.2MHz 【最終目標達成】</li> <li>・ 接触型情報入力センサ素子を試作し、堅牢性実証 【最終目標達成見込み (平成 27 年度末達成見込み) : 試作完了、堅牢性を確認中】</li> </ul> <p>研究開発項目③「印刷技術による電子ペーパーの開発」</p> <p>(1) 電子ペーパーに係る共通基盤技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 電子ペーパー表示部と TFT シートとの接合課題を抽出した。抽出した課題に対する技術を開発し、抽出課題の妥当性を全印刷製造 TFT による電子ペーパーを試作し動作させることで検証した。【平成 23 年度末目標達成】</li> </ul> <p>(2) 高反射型カラー電子ペーパーの開発</p> <p>積層型エレクトロクロミックディスプレイ (mECD) を開発し、カラー印刷紙と同じようにシアン・マゼンタ・イエロー (C、M、Y) の 3 原色を重ねることで色再現し、光ロスの少ない新しい構造の電子ペーパーを実現した。</p> <p>また、mECD の表示部は微細パターン加工が不要であり、1 つの TFT 基板で積層した発色層を駆動する構造であることから、生産コストの点からも実用性が高い表示技術である。</p> <p>6.0 インチ 212ppi の試作パネルにおいて、反射率 50%、カラー 26 万色相当を実現した。また、フレキシブルフィルム基板を用いたパネル作製に成功した。10 インチパネルについては、プロセス設備導入を完了し、試作に着手している。</p> <p>【最終目標達成見込み (平成 28 年 1 月達成見込み) : 10 インチカラーパネルの実現に向けた主要課題は、10 インチ mECD フロントプレーンのプロセスの確立であり、試作により課題解決の目処あり。】</p> <p>(3) 大面積軽量単色電子ペーパーの開発</p> <p>印刷法を用いて A4 サイズのフィルム基板上に完全印刷方法で 10.7-in.、120ppi、XGA のフレキシブル TFT アレイを試作し電子ペーパーのパネル実証を達成。製造タクトは 1 枚 3 分と目標の 10 分を大幅に短縮。A4 サイズのパネル重量も 40g 以下を達成。製作した TFT アレイと表示を組合せた軽量単色電子ペーパーが工業的に製造可能であることを実証した。【最終目標達成】</p> <p>なお、平成 26 年度末には最終目標達成し、個社による事業化のフェーズに移行可能な状態となっていたため、一年前倒しでプロジェクト完了とした。(中間評価結果対応)</p> <p>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」</p> <p>(1) フレキシブルセンサに係る共通基盤技術開発</p> <p>フレキシブルセンサとしてフレキシブル圧力センサを選択し、圧力センシング方式と TFT シートとの整合化課題・仕様を抽出した。</p> <p>抽出した課題に対する技術を開発し、抽出課題の妥当性を、全印刷製造 TFT によるアクテ</p>	

イブマトリックス駆動フレキシブル圧力センサを試作し動作させることで検証した。これにより、フレキシブル圧力センサの設計指針を提示した。【平成 23 年度末目標達成】

(2) 大面積圧力センサの開発

- ・ A4 サイズ相当の領域内で素子密度 0.5mm 角当り 1 素子の有機 TFT を形成。
  - ・ 有機 TFT 素子の特性ばらつき  $\sigma < 5\%$  を達成した。
  - ・ アクティブエリア 1m<sup>2</sup>、素子数 1000×1000 の有機 TFT アレイを 30Hz で連続駆動可能であることを実証した。
  - ・ 導電テープを用いた TFT 基板の接続技術を開発し、A4 サイズ相当の TFT 基板 6 枚をタイリングし、アクティブエリア 900×420mm のメートル級大面積有機 TFT アレイを実現した。
  - ・ センサエリア 900×420mm、センサ数 225×104 のメートル級の圧力センサシートを試作し、空間分解能 4mm、階調数 4096 (12 ビット)、感圧範囲 0~14N/cm<sup>2</sup>、サンプリング速度 200Hz にてデモ駆動させることに成功。大面積圧力センサシートが実用可能であることを実証した。
- 【いずれも最終目標達成】

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」

(1) 高生産性カスタマイズ化プロセス技術の開発

- ・ 高速製版技術、露光型カスタマイズ製版技術、版表面活性化技術を開発。これらにより、高精度品質、カスタマイズ製版、高速・連続印刷、高信頼性を兼ね備えた刷版製造技術を開発。
- ・ これにより、製版プロセス工程時間が最大で 1 時間、各プロセス速度 10mm/sec で印刷可、線幅の変動係数 10%以下 (連続印刷 50 回時) をそれぞれ実現した。

【いずれも最終目標達成】

(2) 高速高精度基板搬送技術の開発

- ・ 基板固定技術を開発。これにより、支持基板を持たないフリーフィルム基板のセット固定精度  $\leq 10\mu\text{m}$  を実現。
- ・ 高速一時乾燥技術を開発。これにより、高速基板搬送型印刷プロセスの単工程タクトタイム  $\leq 30$  秒を実現。30 秒/枚以内の速度で搬送させる基板搬送を実現。
- ・ フレキシブルシート TFT の製造実証を実施。これにより、従来プロセス同等のトランジスタ特性が高速基板搬送型印刷技術においても実現できることを実証。

【いずれも最終目標達成】

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」

(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

- ・ 高誘電率絶縁技術・平滑電極技術を開発。これにより、デバイスの 5V 駆動で閾値変動 0.4V 以内を実現。
- ・ 高均質化のための印刷界面制御技術を開発。これにより、面内感度ばらつき 6% を実現。

【いずれも最終目標達成】

(2) フレキシブルデバイス実装技術の開発

- ・ フレキシブル基板間接合を実現するパンプ型低温フレキシブル実装技術を開発。これにより、100℃以下のプロセス温度で、従来技術 (ACF 接合) 以上の性能 (ピール強度: 6N/cm) を有する実装を実現。
- ・ 導電パンプ技術を開発。これにより、100℃以下の実装技術により 10 万回の曲げ耐性を実現。

【いずれも最終目標達成】

(3) フレキシブルデバイスの機能複合化技術の開発

- ・ 温圧複合機能化技術を開発。これにより温度と圧力の複数機能を同時計測可能なフレキシブルシートセンサ素子、入力出力同時発現機能素子の印刷製造を実現。
- ・ フレキシブル圧力センサ技術、圧力・温度同時計測センサ技術、タイリング技術を適用した大面積圧力シート技術を開発。フィルム基板上に素子を作成し、社会実装を実施。
- ・ シート圧力センサを組合企業にて展示会出展、ショールーム常設展示にて実用化の可能性を示した。また、高精度・高分解能で圧力分布を測定できる特徴を生かし、二次元の凹凸 Bump マーカーにより、RFID では困難な物品の定量性、正確な配置が確認された。
- ・ 展示会を通して、ユーザ要望より健康介護支援への応用を提案。そこで受けた依頼により介護現場でのデモを行った。得た知見をもとにデバイス仕様にフィードバックした。
- ・ ロボットに実装しコンテンツに出展。高い評価を得るとともに実用化の可能性のあるユーザを得た。

【いずれも最終目標達成】

	<p>産総研・名古屋大学分</p> <p>①フレキシブル無線モジュールの開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・衣類上に違和感なく装着可能なフレキシブル通信モジュールを開発した。また衣類上で心電増幅・A/D変換が可能となり、配線ノイズが少ない、PQRST波の判別可能な心電図測定に成功した。</li> <li>・開発した浮島構造に極薄オペアンプを実装することにより、30%の伸縮で10000回、100°C30分において耐久性を有するフレキシブル通信モジュールの開発に成功した。</li> </ul> <p>②配線・電極形成テキスタイルの開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・静電植毛技術を用いることで、多数の心電電極を衣類上に一括形成可能になり、胸部18点から心電図波形の取得が可能になった。また安定した心電図測定を得るための着圧条件を実験により示し、その結果を衣類デザインに反映した心電測定ウェアを作製した。実証試験の結果、体型による電極位置のずれの影響を低減可能となり、着るだけで医療的意義のある心電図測定が可能であることを示した。</li> <li>・開発したフレキシブル通信モジュールと立体起毛電極を組み合わせた心電測定ウェアを用いて、健常者の心電図測定が可能であることを実証した。また既製品と比較し、既製品と同程度の心電図モニタリングが可能であることを示した。</li> </ul> <p>③センシングウェアの実証試験</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・同時に脈波測定、血圧測定を行い、心電図と脈拍測定から算出可能な脈波伝播速度により、血圧測定が可能であることを示した。</li> </ul> <p>【いずれも最終目標達成】</p>	
	<p>特許</p>	<p>出願済み241件、(うち国際出願46件):第一期 出願済み31件、(うち国際出願3件):第二期</p>
	<p>投稿論文</p>	<p>15件(うち査読付き8件):第一期 29件(うち査読付き8件):第二期</p>
	<p>その他の外部発表 (プレス発表等)</p>	<p>研究発表・講演117件、新聞・雑誌等への掲載21件、展示会への出展37件:第一期 研究発表・講演34件、新聞・雑誌等への掲載5件、展示会への出展24件:第二期</p>

<p>IV. 実用化・事業化の見通しについて</p>	<p>本研究開発では、これまで既存の印刷製造技術の性能を大幅に上回る高精細を実現できる生産技術で、なおかつ高生産性をもたらす高速生産、連続生産、大面積生産を実現するためのプリントエレクトロニクス基盤技術の開発を行い、プロジェクト中間年度までに、その確立に目処をつけるに至った。このように、高生産性プロセスで、従来の製造プロセス仕様を大幅に上回る高精細フレキシブル電子回路基板を製造できる印刷製造技術が開発されることから、その実用化は、まずは既存市場におけるフレキシブル電子回路生産、電子部品生産、電子デバイス実装などに対して、技術優位性、生産性優位性を有する技術として展開されることが期待できる。具体的には、フレキシブルプリント配線基板 (FPC)、多層配線基板などのフレキシブル電子回路、メンブランスイッチ、タッチパネル、電磁シールド等のフレキシブル電子部品、ディスプレイ、照明、太陽電池などのフレキシブルデバイス実装などの部品、製品に対する製造技術としての実用化が検討されている。</p> <p>また、フレキシブル基板に対する高度な生産技術であることから、新規市場創出をもたらすフレキシブルデバイス製造技術としての実用化が見込まれる。本研究開発では、フレキシブルデバイスの中でも、特にフレキシブルシート TFT アレイの高生産性製造を実現するための基盤技術の開発に取り組み、その技術確立に目処をつけるに至った。フレキシブルシート TFT アレイは、フレキシブル電子ペーパー（特に紙の電子化を実現する情報端末）やフレキシブルディスプレイ、フレキシブルセンサ（特に、シートセンサなどの大面積フレキシブル圧力センサなど）の市場創出に大きく貢献することが期待されており、市場に製品として供給していくための基盤生産技術として実用化が図られていくことになる。</p> <p>「プリントエレクトロニクス基盤技術」としてはプロジェクト第一期が終了する平成 27 年度以降に各企業にて実用化検討がなされるが、それまでに得られた委託事業の成果や要素技術についても、組合員企業を中心に逐次技術移転を行い、実用化検討をしていく予定である。また、実用化のためには、プロジェクト外の周辺技術との整合性を考慮した技術開発も必要となるが、本プロジェクトと並行して各企業で検討を行う。また助成事業においては、いずれも第一期最終目標を達成しており、各社での事業化への取り組みも示されており、各社の事業戦略に基づいてプロジェクト成果を活用し、実用化・事業化に向けた課題解決に取り組まれる予定である。本プロジェクトで開発された成果が実用化・事業化されることにより、日本の産業競争力強化に大きく貢献し、市場占有を果たしていくことに大きな期待が持てるようになる。</p> <p>二期では、新たに IoT センサ分野の市場獲得に向けて、多種多様なデバイスに適用するため、生産性を維持しながら多品種デバイスへの適用が可能な変量生産手法の開発を行った。また、実用化に向けて必要となるデバイス性能の高信頼化を実現するために、低消費電力化技術の開発や動作電圧のばらつき低減技術の開発を行った。さらには、マーケティング活動を通して得た見込みユーザでのユースケースフィッティングによる開発技術検証を行い、市場におけるサービス仕様を要素技術にフィードバックすることが出来た。その結果、デバイスとしての実用化レベルの品質とアプリケーションから期待される機能仕様の獲得を実現した。また、有用性の検証過程で得られた結果やニーズ情報から、現在企業が保有している技術の適用や、改良により対応できる分野が見いだされており、各企業にて事業化に向けた取り組みが継続されている。各企業の得意とするプロセスと、プロジェクトで開発された技術とを融合させた形で、実用化プロセスを構築し、事業化につなげる方向性も期待される。</p> <p>加えて産総研に新たに発足した FIoT (Flexible IoT) コンソーシアムでは、プロジェクトで開発した装置、プロセス、材料、知財などの技術資産を活用して産総研との共同研究開発、マーケティングに向けた試作など顧客開拓が行える仕組みが加盟会員に広く提供でき、サービス提供を行うユーザー企業とのマッチングにより広い業種での実用化、事業化展開が期待される。マーケティングで見出した見込みユーザについては、今後も組合企業が参加する FIoT コンソーシアムの活動にて事業化を検討予定である。</p>	
<p>V. 基本計画に関する事項</p>	<p>作成時期</p>	<p>平成 23 年 1 月 作成</p> <p>平成 25 年 3 月 改訂（「研究開発項目③(2)高速応答型カラー電子ペーパーの開発」及び「研究開発項目④(3)ポータブルイメージセンサの開発」の項目削除）</p> <p>平成 26 年 3 月 改訂（研究開発の実施期間の延長及び評価に関する事項等の変更、根拠法変更に伴う改訂）</p> <p>2019 年 10 月 改訂（第二期記述追加に伴う改訂）</p>

## プロジェクト用語集

用語（日本語）	English	用語の説明
CMP	Chemical Mechanical Polishing	ウェーハ表面を化学的・機械的に研磨することで、平坦化する技術。
on/off 比	on/off ratio	電界効果トランジスタにおいて、ゲート電圧を加えて電流を流した状態（on 状態）と、ゲート電圧をかけずに電流を流さない状態（off 状態）の電流の比。スイッチング素子としての特性を表す指標となる。
PEDOT:PSS	Poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(styrene sulfonate)	導電性高分子の一種。
PDMS	poly(dimethylsiloxane)	ポリジメチルシロキサン。シロキサン結合を主骨格に持つ高分子化合物の一種。
PEN	poly(ethylene naphthalate)	ポリエチレンナフタレート。2,6-ナフタレンジカルボン酸とエチレングリコールが重縮合したポリエステル系樹脂で、透明基材として広く用いられている
PET	poly(ethylene terephthalate)	ポリエチレンテレフタレート。ポリエステルの一種。エチレングリコールとテレフタル酸の脱水縮合により作られ、飲料容器のペットボトルのほか、フィルムの基材、衣料用の繊維などに用いられる。
PQRST 波	PQRST wave	心電図に現れる波形の種類であり、P 波は心房の興奮、QRS 波は心室の興奮、T 波は興奮が収まったときの心臓の電氣的活動を反映する。
SAM	self-assembled monolayer	ある種の有機分子は、固体基板上に化学吸着する際に、有機分子同士の相互作用により、自発的に分子が配向した単分子膜を形成する。このような有機分子の単分子膜を自己組織化単分子膜（SAM）という。
TFT アレイ	thin film transistor array	薄膜状に加工された電界効果型トランジスタ（薄膜トランジスタ：TFT）をマトリックス状に配置したもの。
12 誘導心電図	12-lead electrocardiogram	四肢に配置した 4 電極と胸部に配置した 6 電極から 12 誘導分の波形を測定し、波形の間隔や形状から、心筋梗塞などの各種心疾患や、心臓内のどの位置に異常があるかを検知すること

		が可能。
アクティブマトリックス	active matrix	液晶ディスプレイの駆動方式の一つ。X 軸方向と Y 軸方向に導線を張り巡らし、X と Y の 2 方向から電圧をかけることで交点の液晶を駆動させる単純マトリクス型液晶の構造に加えて、各液晶に TFT などの「アクティブ素子」を配置したものの。
インクジェット印刷	ink jet printing	インクの微小な液滴を細かいノズルから吐出し、紙などの被印刷媒体に直接に吹き付ける印刷方法。版を用いないで印刷できる。
インモールドエレクトロニクス	In-mold electronics(IME)	従来の 3D 成形技術とプリントドエレクトロニクスを融合したプロセス。PC や PET フィルムのシート上に印刷された装飾や電子回路を 3D 形状に熱成形。材料の伸縮性が課題だが、高機能で、美的、軽量、低コストなどから、自動車、医療機器、白物家電、ウェアラブルの用途に大量生産できる可能性がある。
キャリア移動度	carrier mobility	電場下で荷電粒子が移動するときの平均移動速度を示す値。半導体デバイスの特性を示す指標として用いられる。
銀ナノ粒子インク	silver nanoparticle ink	銀の超微粒子の金属を溶媒などに分散して、インク状にしたもの。一般的にいわれている超微粒子の粒径は数 10nm から 100nm 程度。
グラビア印刷	gravure printing	原版に凹部が形成されており、凹部に保持したインキを原版と被印刷物の接触により原版から被印刷物に転写し印刷する方法。
コーヒーリング	coffee ring	コーヒーが乾燥した時にできるリングのような染み模様。インクジェット法によって有機半導体膜を形成した時にコーヒーリングのような膜厚の不均一が生じる。
閾ゲート電圧 (Vth)	threshold voltage (Vth)	電界効果トランジスタにおいて、オフ状態からオン状態に切り替わる際のゲート電圧の閾値。
親撥処理	surface hydrophilic modification	基板の表面エネルギーを表面処理により変化させ、親水性や撥水性を基板表面に与える表面処理。
スクリーン印刷	screen printing	スクリーン版（印刷製版）にコーティングされた乳剤の必要な部分に孔をあけて、その孔を通過してインクを被印刷物に転写する印刷方式。
スピコート法	spin coating method	溶液で濡らした基板を高速に回転し、遠心力で

		薄く均一な溶液層を形成することにより薄膜を作製する方法。
タクトタイム	takt time	製造における、生産工程の均等なタイミングを図るための工程作業時間のこと。
ディスペンス法	dispensing method	吐出する液体材料をシリンジに入れ、エアーをかけてノズルから材料を押し出ししながら、X-Y走査することにより、基板上に塗布パターンを形成する方法。
電子ペーパー	electronic paper	紙のように薄くしなやかなディスプレイ。電子新聞、電子書籍、電子広告、電子ドキュメント、電子ノートなどの紙代替ディスプレイとして、その実現に大きな期待が寄せられている。
トップゲート／ボトムコンタクト構造	Top-gate/bottom-contact (TGBC) structure	薄膜トランジスタの構造の一種で、ゲート絶縁体が半導体層よりも基板から遠い側にあり、ソース／ドレイン電極が半導体層よりも基板に近い側にある構造。
反転印刷	reverse offset printing	印刷法の一つで、インクを転写体（ブランケットとも呼ぶ）に均一にコーティングした後、非表示部をスタンプなどで取り除き、その後に残ったインクを被印刷体に転写する方法。
皮膚ファントム	skin fantom	人体の皮膚の硬さや表面形状などの機械的特性を模擬した、人工皮膚。
ボトムゲート／ボトムコンタクト構造	bottom-gate,/bottom-contact (BGBC) structure	薄膜トランジスタの構造の一種で、ゲート絶縁体とソース／ドレイン電極が半導体層よりも基板に近い側にある構造。
ポリカーボネート	Polycarbonate(PC)	熱可塑性樹脂の一種。透明性、耐衝撃性、耐熱性に優れたエンブラで、航空機・自動車、電機・医療機器などに広く使われる。
モーションアーティファクト	motion artifact	心電図計測中に患者の体動による皮膚と電極の接触抵抗変化、配線の揺れ、筋電図の混入などの原因により心電図にのるノイズの総称。

## I. 事業の位置付け・必要性について

### 1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

#### 1.1 NEDO が関与することの意義

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、地球温暖化対策として社会システム全体での省エネ対策が求められるなか、情報機器や電子デバイスの製造プロセスにおいても、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からの脱却を図り、省エネルギー・省資源化へ転換することが期待されている。

プリントドエレクトロニクスは、既存のデバイス製造プロセスに対し、印刷技術を駆使することでプロセス温度の低温化や材料歩留まりの向上によって省エネルギー・省資源化を実現するプロセスである。また柔軟性の高い基板を利用するため、電子デバイスのフレキシブル化、薄型・軽量化など、新しいコンセプト有するデバイスを創出する可能性も秘めており、上記課題を解決する有用な手段として将来のエレクトロニクス産業において大きな位置付けを担うことが期待されている。

NEDO では平成 21 年度に「プリントドエレクトロニクス技術に係わる調査」（委託先：みずほ情報総研株式会社）を実施し、プリントドエレクトロニクスに係る国内外の技術開発動向や将来の市場予測に関する調査を行い、同分野の共通的な基盤技術の課題や実用化課題について整理した。それによれば、プリントドエレクトロニクス技術が本格的に実用化し、普及することで有機太陽電池や有機 EL ディスプレイ、有機 EL 照明、電子ペーパー、デジタルサイネージ、プリント配線基板といった次世代デバイス製品への適用拡大やイメージシート、圧力シート、電力伝送シートといった新たなデバイスの創出による新規市場の開拓などに貢献することが期待され、潜在的に大きな経済的効果と CO<sub>2</sub> 削減効果が期待できることが示された。一方、プリントドエレクトロニクス技術の研究開発は、EU、米国以外に韓国や台湾などでも国家レベルで積極的に取り組まれており、海外では既に電子ペーパー等の次世代製品の実用化が視野に入っていることなどから、我が国においても競争が激化するプリントドエレクトロニクスに関連した次世代デバイスの開発や新規市場の開拓に対応していく必要性が示された。さらにプリントドエレクトロニクスに関連する技術課題として、電子デバイスの大面積化、軽量化、フレキシブル化への対応、またそれら特徴を有する高性能な電子デバイスを安定的かつ低コストで製造するための製造プロセスの課題が抽出され、これを解決するためのプロセス低温化、フレキシブルアライメント、フォトリソフリープロセス、タクト合わせ制御、デバイス均一動作化、低電圧駆動化等の技術開発が必要であり、材料技術、印刷技術、デバイス化技術を融合した共通基盤技術の確立に向けた取り組みへの期待が示された。

以上のように、プリントドエレクトロニクス技術の確立は環境負荷の低減、電子デバイス製品の低コスト化、将来期待される新たな市場の創出や市場拡大に対応し、省エネルギー・低炭素社会の実現および関連業界の国際競争力強化に繋がることが期



待されることから、社会的必要性が高い分野と判断される。一方で我が国の材料、印刷装置、デバイス技術の各分野における技術力は世界最高レベルにあるものの、プリントドエレクトロニクスに関連する技術課題の解決には、領域を超えた研究成果と知識の集約が必要であり、個別企業での対応や既存技術の延長だけでは対処が困難である。そのため、高いシーズ技術を保有しており国際的優位性の高いインク・電子材料、印刷・加工プロセス技術、デバイス技術を有する企業や研究機関が連携する必要がある。一方、プリントドエレクトロニクス技術の普及に係る研究開発投資の規模は大きく、開発リスクも高いといった側面があることから、NEDO が有する知識、実績を活かして取り組むべき事業であると判断される。

### ◆NEDOが関与する意義


環境負荷の低減、低コスト化、将来拡大が予想される市場に対応する  
**プリントドエレクトロニクス技術の実現**は、

#### ○社会的必要性が大きい

- 省エネルギー・低炭素社会の実現(国家的課題の解決)
- 関連業界・企業の国際競争力強化(情報通信機器デバイス、製造装置、材料等)

#### ○民間企業だけの取り組みでは困難

- 高いシーズ技術を有し、国際的優位性の高い材料技術、印刷技術、プロセス技術、デバイス技術を有する企業や研究機関の連携が必要
- 研究開発の難易度が高く、大規模な研究投資が必要であり、開発リスクが大きい



**NEDOが推進すべき事業**

図 I -1.1-1 NEDO が関与することの意義

## 1.2 経済的効果

本研究開発の成果が実用化されていった際には、大きな経済効果が期待できる。単にフレキシブルシート TFT の生産が行われるようになるだけでなく、フレキシブルデバイスの高度な高生産性製造技術を提供することになることから、その特徴を最大限に活かすアプリケーションデバイス（フレキシブルデバイス）の創造により、新たなビジネスの創出も波及的に期待できる。その結果、新たなビジネス形態による雇用創出、利用形態によるビジネスモデルの創出等の面でも日本経済再生へ貢献できる。

国民の利便性向上の観点では、プラスチック基板の利用により、フレキシブルな特徴を活かした、軽量薄型で壊れにくい情報出力デバイスと、操作性の高い情報入力デバイスが供給可能となるので、国民の生活に密着した情報機器の携帯性の向上と、操作上の簡便性が提供される。

JAPER A 1 期の中間報告では、以下のような効果を提示した。

当該事業による技術開発により、まず最も早く市場展開が行われていく電子ペーパーに関しては、2020 年の市場として、国内市場 2500 億円、海外市場 1.2 兆円が見込まれており、巨大市場の立ち上がり、普及拡大に貢献することが期待されている。<sup>2,3)</sup> また、本事業で新規開発展開の基盤技術開発をなす圧力センサーシートに関しては、2020 年国内市場として 1800 億円が見込まれている。<sup>1)</sup> 本提案で開発される印刷 TFT 製造基盤技術は、これら代表的なアプリケーションデバイス以外にも、デジタルサイネージ、電力伝送シート、イメージセンサーシート、タッチパネル、アクティブプリント配線基板など、幅広くその実用化展開が期待されている用途を有しており、それぞれ大きな市場規模の展開が期待されている。<sup>3)</sup>

以上の既存プロセス代替と、印刷エレクトロニクスを活用した新規市場の創出により、2020 年で 2.15 兆円の経済効果、そのもとに期待される雇用創出効果は 3.7 万人と見込まれている。

最近の調査データ<sup>4)</sup> では、フレキシブル/有機/プリンテッドエレクトロ関連デバイス全体の合計出荷金額は、2017 年時点で 3.3 兆円の見込みで、このうち、フレ

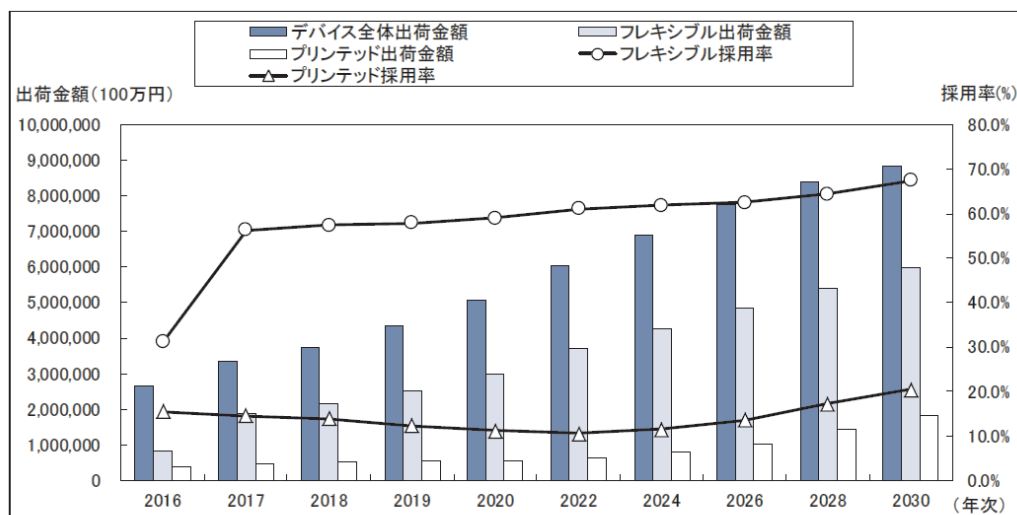
表 I-1.2-1 経済効果及び雇用創出効果（2020 年）

対象製品	普及率 (%)	経済効果 (億円)	雇用創出効果(人)
太陽電池	10	2,120	3,634
ディスプレイ	15	5,399	9,256
照明	50	502	861
プリント基板	25	1,910	3,274
電子書籍	100	2,522	4,324
デジタルサイネージ	50	3,312	5,678
イメージシート	—	480	823
圧力シート	—	1,824	3,127
電力伝送シート	—	3,450	5,915
合計		<b>21,519</b>	<b>36,892</b>

キシブル製品は 56.4%の約 1.9 兆円、プリント製品は 14.6%の約 4800 億円となっている。

また、今後の見込みは、デバイス全体の出荷金額は、2020 年で 5 兆円、2030 年で 8.8 兆円が見込まれており、そのうちフレキシブル製品が 2020 年で 3 兆円（採用率 59.1%）、2030 年で 6 兆円（採用率 67.5%）、プリント製品が 2020 年で 5690 億円（採用率 11.3%）、2030 年で 1.8 兆円（採用率 20.5%）と予測されている。

図 I -1.2-1 デバイス全体およびフレキシブル製品、プリント製品市場見込



(単位:100万円)

デバイス	年次	実績	見込	短期予測				長期予測			
		2016	2017	2018	2019	2020	2022	2024	2026	2028	2030
デバイス全体出荷金額		2,675,750	3,347,330	3,729,610	4,343,680	5,040,420	6,060,200	6,886,450	7,750,660	8,416,480	8,856,900
	前年比(%)	-	125.1	111.4	116.5	116.0	120.2	113.6	112.5	108.6	105.2
フレキシブル出荷金額		834,370	1,886,540	2,145,750	2,518,310	2,980,090	3,700,500	4,264,500	4,854,590	5,429,960	5,976,360
	前年比(%)	-	226.1	113.7	117.4	118.3	124.2	115.2	113.8	111.9	110.1
フレキシブル採用率		31.2%	56.4%	57.5%	58.0%	59.1%	61.1%	61.9%	62.6%	64.5%	67.5%
プリント出荷金額		414,630	488,440	521,685	536,590	569,280	643,530	793,410	1,053,550	1,449,350	1,819,160
	前年比(%)	-	117.8	106.8	102.9	106.1	113.0	123.3	132.8	137.6	125.5
プリント採用率		15.5%	14.6%	14.0%	12.4%	11.3%	10.6%	11.5%	13.6%	17.2%	20.5%

※2020年以降は、隔年の市場規模予測と成長率を示した。

(富士キメラ総研推定)

デバイス毎の出荷金額およびそのうちのフレキシブル製品、プリントドエレクトロニクス製品の出荷見込みをそれぞれ、表 I -1.2-2、表 I -1.2-3 に示した。

表 I -1.2-2 デバイス全体の出荷およびそのうちのフレキシブル製品市場の実績・見込

対象製品	2016実績			2020予測			2024予測			2030予測		
	出荷金額 [億円]	内フレキシブル [億円]	代替率 [%]	出荷金額 [億円]	内フレキシブル [億円]	代替率 [%]	出荷金額 [億円]	内フレキシブル [億円]	代替率 [%]	出荷金額 [億円]	内フレキシブル [億円]	代替率 [%]
RFID	712	712	100.0%	980	980	100.0%	1,200	1,200	100.0%	1,480	1,480	100.0%
有機メモリー	1	1	100.0%	3	3	100.0%	18	18	100.0%	100	100	100.0%
圧力センサーシート	89	89	100.0%	105	105	100.0%	234	234	100.0%	464	464	100.0%
生体電位センサー				60	60	100.0%	185	185	100.0%	420	420	100.0%
有機イメージセンサーシート				4	4	100.0%	50	50	100.0%	135	135	100.0%
タッチセンサー	9,548	4,191	43.9%	10,149	5,765	56.8%	10,607	5,862	55.3%	11,016	6,350	57.6%
フレキシブル電池				11	11	100.0%	40	40	100.0%	180	180	100.0%
有機薄膜太陽電池	5	5	100.0%	19	19	100.0%	64	64	100.0%	579	579	100.0%
色素増感太陽電池				55	32	58.9%	184	79	42.8%	566	153	26.9%
大型AMOLED	1,614			6,396	2	0.0%	10,343	8	0.1%	16,107	76	0.5%
中小型AMOLED	13,784	3,262	23.7%	30,973	22,244	71.8%	42,479	32,631	76.8%	50,080	43,258	86.4%
PMOLED	320	6	1.9%	343	14	3.9%	349	22	6.3%	347	36	10.4%
電子ペーパー	632	70	11.0%	635	120	18.9%	662	160	24.2%	725	350	48.3%
有機EL照明	51	7	13.5%	627	398	63.5%	2,309	1,952	84.5%	5,590	5,403	96.7%
導電性テキスタイル	2	2	100.0%	44	44	100.0%	140	140	100.0%	780	780	100.0%
合計	26,758	8,344	31.2%	50,404	29,801	59.1%	68,864	42,645	61.9%	88,569	59,764	67.5%
有機TFT	0.3	0.3	100.0%	5.0	5.0	100.0%	72.0	72.0	100.0%	790.0	790.0	100.0%
雇用創出効果 (人)	-			51,086			73,105			102,450		

表 I -1.2-3 デバイス全体の出荷およびそのうちのプリントド製品市場の実績・見込

対象製品	2016実績			2020予測			2024予測			2030予測		
	出荷金額 [億円]	内プリントド [億円]	代替率 [%]	出荷金額 [億円]	内プリントド [億円]	代替率 [%]	出荷金額 [億円]	内プリントド [億円]	代替率 [%]	出荷金額 [億円]	内プリントド [億円]	代替率 [%]
RFID	712	3	0.4%	980	5	0.5%	1,200	25	2.1%	1,480	290	19.6%
有機メモリー	1	1	100.0%	3	3	100.0%	18	18	100.0%	100	100	100.0%
圧力センサーシート	89		0.0%	105		0.0%	234	46	19.7%	464	265	57.1%
生体電位センサー				60			185	55	29.7%	420	160	38.1%
有機イメージセンサーシート				4	4	100.0%	50	50	100.0%	135	135	100.0%
タッチセンサー	9,548	4,136	43.3%	10,149	5,336	52.6%	10,607	5,186	48.9%	11,016	5,158	46.8%
フレキシブル電池				11	11	100.0%	40	40	100.0%	180	180	100.0%
有機薄膜太陽電池	5		0.0%	19		0.0%	64	28	43.1%	579	305	52.7%
色素増感太陽電池				55	49	89.1%	184	184	100.0%	566	566	100.0%
大型AMOLED	1,614		0.0%	6,396		0.0%	10,343	1,082	10.5%	16,107	6,480	40.2%
中小型AMOLED	13,784		0.0%	30,973		0.0%	42,479	12	0.0%	50,080	176	0.4%
PMOLED	320		0.0%	343		0.0%	349		0.0%	347	4	1.2%
電子ペーパー	632	1	0.1%	635	17	2.7%	662	55	8.3%	725	400	55.2%
有機EL照明	51	6	11.8%	627	267	42.6%	2,309	1,149	49.8%	5,590	3,949	70.6%
導電性テキスタイル	2		0.0%	44	1	1.6%	140	5	3.2%	780	24	3.1%
合計	26,758	4,146	15.5%	50,404	5,693	11.3%	68,864	7,934	11.5%	88,569	18,192	20.5%
有機TFT	0.3	0.3	100.0%	5.0	5.0	100.0%	72.0	72.0	100.0%	790.0	790.0	100.0%
雇用創出効果 (人)	-			9,759			13,601			31,185		

全体市場およびフレキシブル市場において、中小型 AMOLED の規模が最も大きく、全体市場に対する影響力が大きくなっている。フレキシブル採用率は中小型 AMOLED、有機 EL 照明などのフレキシブル化率が上昇することで、全体市場においても上昇傾向が続く見通しとなっている。

中小型 AMOLED は大半が非 PE のプロセスであるため、2020 年頃までは他の PE デバイスが拡大するものの、市場規模の大きい中小型 AMOLED の影響が大きく、プリントド化率は低いものみられる。ただし、2022 年以降は中小型 AMOLED が低成長になり、印刷で製造するセンサーデバイス、太陽電池などが拡大することから、全体市場のプリントド化率が上昇するものと予測される。IoT 向けのフレキシブルデバイス技術は、市場の創出（2020 年まで）に際しては既存

技術が採用され、デバイスの高機能化、コストダウンを目的として PE 技術の導入が図られると推察される。そのことから、2020 年代後半にプリント化率の上昇幅が大きくなると予測される。

また、フレキシブル化およびプリント化による雇用創出効果を見積もった<sup>注1)</sup>が、2030 年度でそれぞれ、10.2 万人、3.1 万人と見込まれる。

出典：

- 1) 「プリントエレクトロニクス調査報告書」、みずほ情報総研（2010）
- 2) DisplaySearch,発表資料,（2009.9.4）、
- 3) 「電子ペーパーディスプレイに関する調査結果」、矢野経済研究所（2006）
- 4) 「2018 フレキシブル/有機/プリントエレクトロニクスの将来展望」、富士キメラ総研（2018）

注1) 「プリントエレクトロニクス調査報告書」、みずほ情報総研（2010）の見積もり方法に準じて推定

### 1.3 省エネルギー効果

また一方、「省エネルギー効果」も極めて大きい。プリントエレクトロニクスによる電子基板製造は、従来の真空・フォトリソ製造技術に比べると、真空プロセス、高温プロセス、サブトラクティブプロセス等を必要としない「省資源省エネルギープロセス」であることから、電子基板製造における製造エネルギーの大幅な軽減がもたらされ、大きな省エネルギー効果が期待できる。

例えば、ディスプレイや半導体デバイスは、今後とも需要が拡大する見込みで、これらの利用時のエネルギー消費もさることながら、生産プロセスにかかるエネルギー消費の増大をいかに抑制するかが重要となっている。本プロジェクト成果の実用化により、これらの生産プロセスにおける低温化、脱真空製膜化、デバイス層パターンニングのアディティブ化が可能となるので、製造時間の短縮（約1/30）、製造エネルギーの効率化（80%削減）、原材料の利用率向上（現状の30%から90%へ）の相乗効果として2030年で約476万トンのCO<sub>2</sub>を削減できると見込まれている。

表 I -1.3-1 省エネ効果（2030年）<sup>1)</sup>

対象	普及率 (代替率)%	CO <sub>2</sub> 削減効果 [万t-CO <sub>2</sub> ]
太陽電池	10	225
ディスプレイ	15	55
照明	25	4
プリント基板	25	47
電子ペーパー	5	87
サイネージ	50	58
合計		476

### 1.4 人材育成効果

人材育成の観点からは、異業種融合の効果としての幅広い知識と経験を有する人材の育成に貢献する。本研究課題を推進した技術研究組合は、デバイス・サービスメーカー、プロセスメーカー、装置メーカー、材料メーカーの企業15社および産総研の川上から川下までの多岐のフィールドに渡るメンバーで、構成されている。当技術研究組合では、集中研方式を採用し、研究開発拠点に組合員企業から複数名の研究者が派遣されてきて、一つの事業体としての研究開発に取り組んだ。このように同一の集中研究開発拠点において、他企業と同一の空間で日夜議論しながら研究開発を実行する環境は、単独企業内だけでは得られない異業種技術融合の機会を与えるもので、将来の電子情報産業を支える幅広い知識と経験を有する人材を育成する貴重な場となった。出向研究員本人だけでなく、出向元の各企業からもその効果に対して、大きな評価を得ることが出来た。

出典：

1) 「プリントエレクトロニクス調査報告書」、みずほ情報総研（2010）

## 2. 事業の背景・目的・位置付け

### 2.1 事業の背景

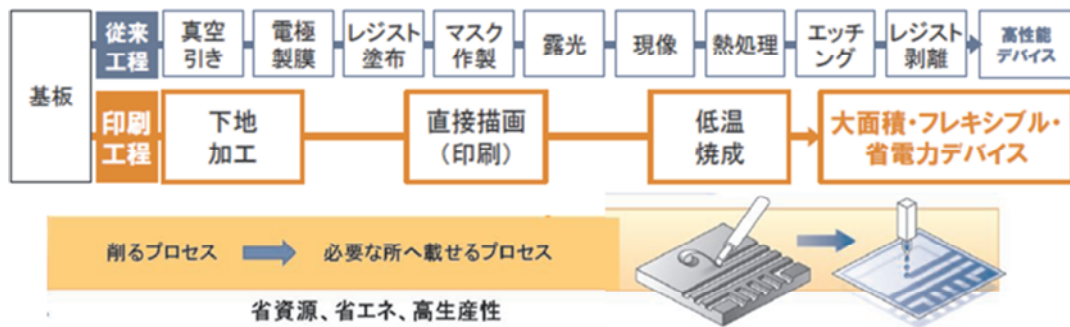
我が国のエレクトロニクス産業は 1990 年代以降、韓国、台湾といったアジア諸国との激しいコスト競争に見舞われ、そのシェアを大きく奪われた。このようなアジア諸国の台頭は、新興国の技術的キャッチアップもさることながら、圧倒的なコスト優位性と、現在のエレクトロニクス産業の特徴の相乗効果でもたらされているところが大きい。コスト競争で優位性を見出すことが困難な我が国では、ハイエンド製品への注目度が増しており、先端技術開発に力が注がれてきた。その結果、我が国のエレクトロニクス関連の技術力は世界での上位水準を維持しているが、アジアや欧米に対して我が国が優位性を取り戻すためには、コスト競争を避け、かつ欧米の先行優位性に圧倒されないために、新しいコンセプトを有するデバイスを創出していくことが求められる。

今日、電子ペーパーや携帯電話など情報端末機器において、その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。こうした機器は多様性に対応できる自由度の高い、なおかつ初期投資が小さく生産性の高い生産技術の適用が必要となっている。さらに、地球温暖化対策として社会システム全体での省エネ対策が求められるなか、情報機器や電子デバイスの製造プロセスにおいても、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からの脱却を図り、省エネルギー・省資源化へ転換することが期待されている。このような社会的要求を満たす技術として、プリントドエレクトロニクス技術の確立は、その重要性が著しく高くなっており、産業界に普及することが期待されている。

#### 2.1.1 プリントドエレクトロニクスの特徴と利点

図 I -2.1-1、表 I -2.1-1 にプリントドエレクトロニクスの特徴と利点を示す。プリントドエレクトロニクスは、従来の電子デバイスの製造工程に対し、印刷法で電子デバイスを生産できるために電子デバイスの製造工程が大幅に簡略化され、従来工程で必要な真空や高温加熱のプロセスが省略できること、また、基板上に必要な部分に必要な分量だけ電極材料を塗布することから材料の使用を大幅に削減できること、柔軟性の高いプラスチック基板等を用いることから高いスループット（製造速度）での製造が可能になること等、製造プロセス上の特徴を有している。さらにプリントドエレクトロニクスの適用によって、使い捨てにも対応可能な低コスト、省電力な電子デバイスの社会適用性を大幅に拡張する大面積・フレキシブル・軽量・薄型という点に付加価値をおいた新しいデバイスの開発に繋がることも期待されており、新たなコンセプトを有するプロダクトを産み出し、新しい市場を創出する可能性がある点にも特徴がある。

## プリントドエレクトロニクスの特徴と利点



### □低炭素社会への貢献

- ・材料削減効果
- ・製造エネルギー削減

### □薄型・大面積エレクトロニクス製品の市場優位性の獲得

- ・低コスト製造プロセス、デバイス(ディスプレイ、照明・)の薄型化・大面積化

### □新規市場・研究分野の創出

- ・デバイスのフレキシブル化、新規デバイス開発による新規市場創出

図 I -2.1-1 プリントドエレクトロニクスの特徴と利点

\*出典：「プリントドエレクトロニクス技術に係わる調査」成果報告書、NEDO 平成 22 年 3 月をもとに作成

表 I -2.1-1 プリントドエレクトロニクスの利点

<p>➤ 薄型・大面積エレクトロニクス製品における市場優位性の獲得</p> <p>ディスプレイや照明などの光デバイスは近年のトレンドから、薄型化・大型化が進んでいる。そのため、この分野での市場優位性を獲得するためには、薄型化・大型化はもちろん低コスト化が必須となってくる。プリントドエレクトロニクス技術では、従来の製造工程を単純化することができ、設備投資も安価にすることができるため、本技術によって上記分野の低コスト化が達成でき、市場優位性を獲得することができる。</p>
<p>➤ 新規市場・研究分野の創出</p> <p>プリントドエレクトロニクスによって、従来のシリコンエレクトロニクスの苦手としていた応用分野を新たに開拓し、新市場創出や新しい学問分野の創出の可能性がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・フレキシビリティによる効果 フレキシブルデバイスによって、従来適用が困難であった曲面形状対応デバイスや伸縮する人口皮膚といった新たなアプリケーションへの適応が可能となり、新規市場創出の可能性がある。</li> <li>・新規デバイスによる効果 プリントドエレクトロニクスによって、イメージシートや電力伝送シートなどといった新規デバイスを開発することができ、それによる市場創出効果が期待される。</li> </ul>
<p>➤ 低炭素社会への貢献</p> <p>プリントドエレクトロニクス技術によって、低環境負荷の製造や有害物質削減（水素レス）などが達成でき、低炭素社会へ貢献することができる。具体的には、以下のような効果がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・材料削減効果 プリントドエレクトロニクスデバイスでは、従来のシリコンデバイスの製造のようなリソグラフィとエッチングによるパターニングの工程を削減できるため、廃棄される材料を抑制することができる。</li> </ul>



- ・製造時エネルギー削減効果  
 プリンテッドエレクトロニクスでは、従来の製造工程に比べて工程数を大幅に削減できるため、設備のエネルギー消費量を低減することができる。
- ・輸送コストや保管コストの削減効果  
 プリンテッドエレクトロニクス技術（特に Roll to Roll 技術）により、プラスチック基板や有機材料のデバイスのフレキシブル化・軽量化が図れることによって、その材料・デバイスの輸送コストや保管コストが削減できる。

\*出典：「プリンテッドエレクトロニクス技術に係わる調査」成果報告書、  
 NEDO 平成 22 年 3 月

図 I -2.1-2 に示すようにプリンテッドエレクトロニクス技術によって期待される、低コスト、省エネ・省資源、高生産性の特徴を有するデバイスの印刷製造プロセスの確立は、透明導電膜材料や導電インク、印刷装置といった有機電子デバイスの製造に用いられる材料、プロセス装置等の関連市場の拡大に貢献することが期待できる。また、曲がる、軽い、壊れないといった特徴を有する大面積、フレキシブルデバイスの実現は、とりわけ大面積かつ安価な電子デバイスという切り口で、電子ペーパー、電力伝送シート、圧力センサシート、イメージセンサ、有機太陽電池、スマートカード、RFID、有機 EL ディスプレイ、照明などへの実用化展開が考えられている。すなわち、プリンテッドエレクトロニクスの本格的な実用化・普及を目指す本事業の推進は、情報通信機器・ヘルスケア・ヒューマンインターフェース・セキュリティー領域等への広がりによる新規市場創出とそれによる情報・家電関連産業の競争力強化、及び省エネルギー・省資源化社会の実現や国民生活の安全・安心への貢献が期待される。

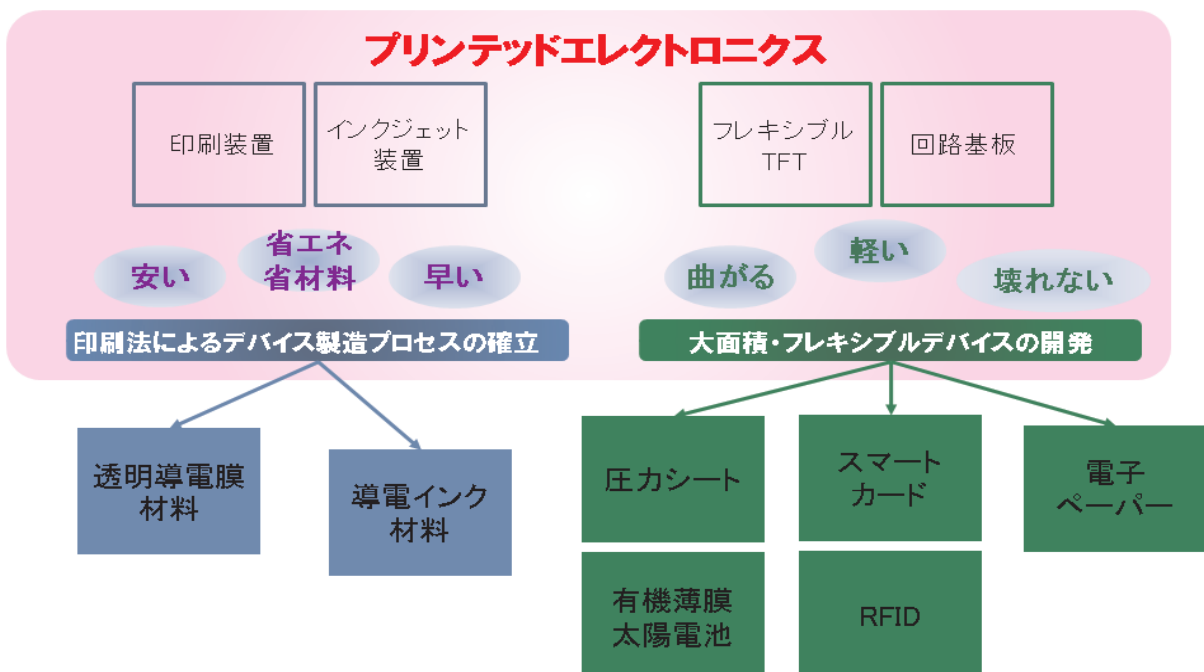


図 I -2.1-2 プリンテッドエレクトロニクスによって波及が期待される製品・サービスの例

また、プリントドエレクトロニクス技術を活かしたフレキシブルデバイスは、フレキシブル、大面積、薄い特徴を生かして、多様な場所に設置され、安心・安全・快適なる IoT 社会の実現に寄与することが期待される。



図 I -2.1-3 プリントドエレクトロニクスを活かしたフレキシブルデバイスは多様な場所に設置される安心・安全な IoT 社会を実現

## 2.1.2 プリントドエレクトロニクス技術の技術動開発動向

プロジェクト発足当時（2010年）におけるプリントドエレクトロニクス技術の研究開発に関する国内外の取り組み（平成21年度 NEDO「プリントドエレクトロニクス技術に係わる調査」（委託先：みずほ情報総研株式会社）の調査結果にもとづく）から今日に至るまでの取り組みを以下に示す。

### (1) 国家プロジェクト

プロジェクト発足当時（2010年）の国内外のプリントドエレクトロニクスに関する国家プロジェクトの事例をリバイズしたものを図 I -2.1-4 に示す。

[欧州]

プリントドエレクトロニクス関連国家プロジェクトの動向としては、欧州諸国では EU としての FP7 の他に、ドイツの取り組みが特に活発である。ドイツでは、連邦政府の R&D 促進戦略として、半導体分野を積極支援してきた背景があり、ドレスデン地域で欧州最大の半導体産業コンプレックスが既に結実されているが、情報通信分野全体でドイツ固有のグローバル・プレーヤーが少数であることから政府による重点的な R&D 助成が必要であると認識されている。このような背景を受け、連邦教育研究省

が 2007 年に発表した情報通信分野の R&D 戦略「ICT 2020 Research for Innovations」(Hightech-Strategie für Deutschland) の中で教育研究省は R&D 促進のため 2007 年から 2011 年の期間にプロジェクト助成に 14.8 億ユーロ(約 2,500 億円)、機関助成には 17.4 億ユーロ(約 2,900 億円)を支出することを決定した。この枠組みの中で、ドイツが得意とする化学産業と協働した有機半導体分野の研究開発(有機電子デバイス・素材開発、RFID タグ/スマートタグ向け)が活発に行われ、プリントドエレクトロニクス関連国家プロジェクトとなっていた。

2013 年に FP7 のプロジェクトが終了するのを受け、2014 年から 2020 年までの新たなプロジェクト TOLAE (Advanced Thin, Organic and Large Area Electronics technologies) が開始された。薄く、軽く、フレキシブルで、ストレッチャブルなデバイスの開発を行うもので、プロセス技術、製品化技術、実証技術のフェーズに分けて開発を行うものである。予算は順に年間、23.5 億円、21.4 億円、7.6 億円でトータル約 52.5 億円/年を投入することになっている。

さらに、印刷技術関連では、共に年間 7 億円弱ではあるが、「High definition printing of multifunctional materials」(高度印刷デバイス製品を開発)、「Industrial-scale production of nanomaterials for printing applications」(印刷用ナノマテリアル量産技術を開発)といった支援研究もエントリーされている。

#### [米国]

米国ではエネルギー省(DOE)において、「Solid State Lighting Research and Development」が 2020 年まで実施されており、有機 EL 照明の研究が活発になされている。その他のプリントドエレクトロニクス関連テーマについてもアメリカでは取り組みがなされているが、国家プロジェクトというよりは大学の研究室や企業ベースでの活動が中心である。

さらに、2015 年から 5 年間で 90 億円のビッグプロジェクトが開始される。これは、国防総省が空軍の研究所 Air force Research Laboratory 内に Flexible Hybrid Electronics 研究所を設立し、兵士の生体反応を検知するバイオセンサの開発を行うものとして、米国企業に公募を掛けたものである。助成比率は 50%であった。All printed ではなく、Si プロセスも活用した Hybrid の構造を持つとのことで、プリントドとしてのハードルを下げて、参入しやすくしたものである。ちなみに、米国では導体部や機能部品搭載部分については、フォトリソ工程を用いて作製し、有機半導体を印刷で付けるといった Hybrid の TFT が開発されている。この方式の適用を考えたプロジェクトであろう。

当初は、軍事目的であるが、将来的には医療用途、民生用途に活かせるものとして、開発が加速されるものと考えられる。

#### [アジア]

アジアに目を向けると、「韓国がフロンティアプロジェクト 2001」を 2014 年まで実施して、フラットパネルディスプレイ(液晶および有機 EL)や太陽電池の将来的研究

開発として年間 10 億円の開発を行ってきた。

これに加え、2013 年から 6 年間で 236 億円を投入して、「Printed Electronics Total Solution」の開発を行うこととして、プリンテッドエレクトロニクス関連の開発を行うことを明示した。中身は Jusung の開発する OLED 照明の支援、Samsung の開発するデジタルサイネージの支援、LG の開発する Smart Wall の支援の 3 本柱である。これら財閥系の総合電子メーカーでのプリンテッドエレクトロニクス製品のデバイス化支援が行われる。

以上の各国の R&D 投資の特徴を整理すると、欧州では有機電子デバイス・素材開発が中心で一部プロセス開発も行う模様であるが、米国や韓国ではデバイス化を優先させており、プロセスについては日本／欧州企業が開発したものを利用することを考えているようである。

製造プロセスと印刷工程を用いた TFT 製品については、日本が独断上である。高度な材料技術や製造プロセス技術を本プロジェクトを中心に確立してきたためであり、諸外国をリードしている。

他国が行っているように、デバイス開発に係るプロジェクトの策定が必要であると考え、第一期にて中間評価分科会の反映として、2018 年以降に実施する第二期プロジェクトで実用化を中心とした技術開発を行うことを決定した。第二期ではそれによってモデルデバイスを設定し、ユーザーが必要とする機能を付与した TFT 製品を提供できるように、開発課題を抽出するところから開発を開始した。

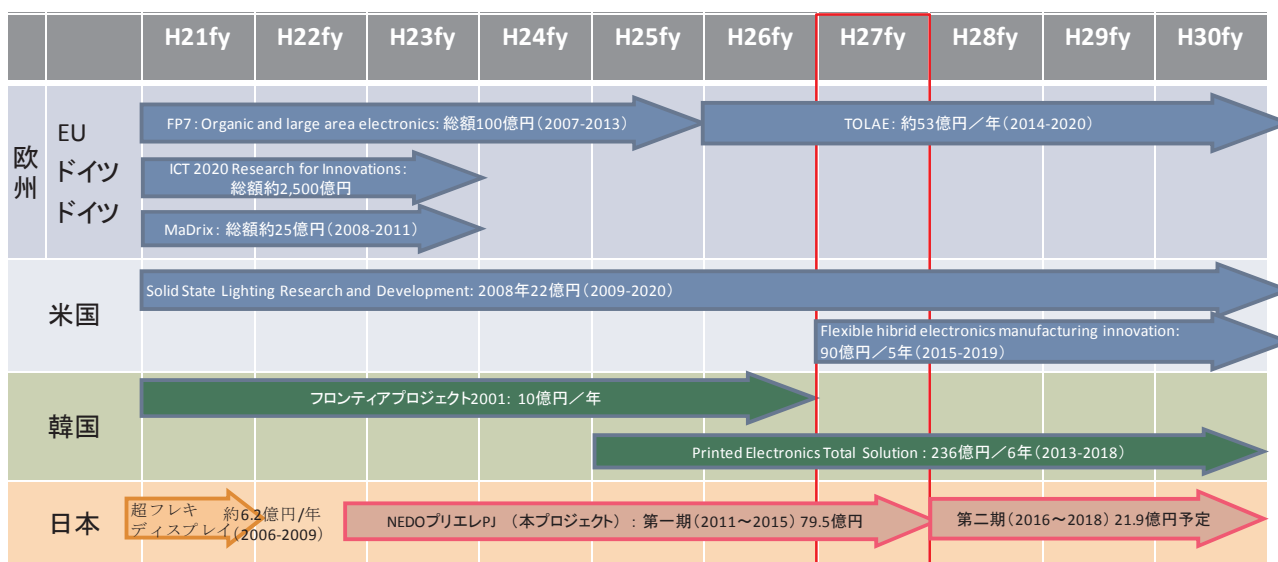


図 I -2.1-4 プリンテッドエレクトロニクスに関連する国内、海外における主要な国家プロジェクト

表 I -2.1-2 プリンテッドエレクトロニクスに関連する海外の主要な  
国家プロジェクトの概要

	テーマ名	開発項目	期間	予算
日本	次世代プリンテッドエレクトロニクス材料・プロセス基盤技術開発	製造プロセスとデバイスの開発	2011-2018 8年間	第1期: 79.5億円 第2期: 21.9億円(予定)
米国	Flexible Hybrid Electronics Manufacturing Innovation Institute	ウェアラブルバイオセンサ	5年間 2015?-	75M\$/5年間
欧州	Advanced Thin, Organic and Large Area Electronics technologies (TOLAE)	薄く、軽量、フレキシブル、ストレッチャブルなデバイス	2014-2020 7年間	プロセス: 17M€/年 製品化: 15.5M€/年 実証: 5.5M€/年
	High definition printing of multifunctional materials	高度印刷デバイス製品		5~8M€/年
	Industrial-scale production of nanomaterials for printing applications	印刷用ナノマテリアル量産技術		5-8M€/年
韓国	Printed Electronics Total Solution	①OLED Light (Jusung) ②Digital signage (Samsung) ③Smart wall (LG)	2013-2018 6年間	196.6M\$/6年間

- ✓ 主要各国で国費を投入してプリエレ開発を促進。
- ✓ 日本はプロセス技術に注力の傾向。

## (2) 国内の企業、研究機関における取り組み

プロジェクト発足当時（2010年）の国内の研究機関、企業におけるプリンテッドエレクトロニクス関連の研究開発動向について表 I -2.1-3、表 I -2.1-4 に示す。

日本のメーカーは全体として照明・ディスプレイの分野の開発部隊がプリンテッドエレクトロニクスに関与してきたのが特徴である。化学・材料メーカー、電機メーカーには特にその傾向が強く、従来担ってきた事業分野の拡大を図るために当該分野へ進出しているものと思われる。なお材料メーカーのなかでも旭化成、富士フイルム等は高機能フィルムの開発の面で入出力デバイスや RFID も対象としており、プリンテッドエレクトロニクスの幅広い領域に関心を持っている。

一方、印刷関連メーカーは、従来の印刷技術の応用先として当該分野に関心を持ち、関心分野も当該分野の幅広い領域にまたがっており、電子ペーパー、RFID、太陽電池などを対象としている。

前回中間評価を行った 2013 年頃においては、各企業は市場の立ち上がりの早い照明・エネルギー分野への関心が高い傾向は続いていたが、残念ながらフレキシブルディスプレイの将来の市場予測と異なり、入出力デバイスの市場の立ち上がりが大きく遅れているのが現状である。そのため、各企業が当該分野での戦略見直しを余儀なくされている。

表 I -2.1-3 国内研究機関によるプリンテッドエレクトロニクス関連の研究開発動向

機関名	研究開発動向	特許動向	製品化
東京大学	ナノ粒子を高精細の印刷技術で塗布の高性能な有機トランジスタ集積回路への応用研究、スクリーン印刷とインクジェット印刷による有機デバイスの大面積化と微細化に取り組んでいる。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・有機薄膜トランジスタの製造方法</li> <li>・有機発光材料</li> <li>・ポリマー材料等の太陽電池関連材料</li> <li>・電力伝送シート関連の特許を有する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・トランジスタ</li> <li>・圧力センサ</li> <li>・電力伝送シート</li> </ul>
早稲田大学	有機ポリマーをスピコート技術による塗布分散したポリマーフィルムによる有機ラジカルポリマー電池の開発。急速充電、高いライフサイクルを実現。スクリーン印刷を用いたフレキシブル静電容量型圧力センサの研究を実施。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ポリラジカル化合物</li> <li>・電極活性物質、電池関連の特許を有する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・薄膜二次電池</li> </ul>
大阪大学	プリンテッドエレクトロニクス技術の各要素技術(ナノインク、ナノ粒子、印刷技術)についての研究開発を実施している。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・金属ナノ粒子の配線技術</li> <li>・導電性ペースト関連の特許を有する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ナノ印刷</li> </ul>

千葉大学	有機エレクトロニクスに関する、物性やデバイス、例として紙のように薄いディスプレイ素子やフレキシブル LSI の研究開発を実施している。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・半導体デバイス</li> <li>・縦型有機トランジスタ</li> <li>・発光素子関連の特許を有する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・薄型フレキシブルディスプレイ</li> </ul>
広島大学	有機 EL (エレクトロルミネッセンス) デバイス、有機-無機複合系光電変換素子(色素増感太陽電池)、有機電界効果(FET) デバイス、有機 p-n 接合型光電変換素子の研究を行っている。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電界効果トランジスタ</li> <li>・発光素子</li> <li>・有機半導体材料、有機半導体デバイス関連の特許を有する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・有機 EL ディスプレイ</li> <li>・有機半導体</li> </ul>
東京農工大学	イオン伝導性高分子、タンパク質ハイブリッドの研究を行っている。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・イオン伝導体</li> <li>・電解質(膜)</li> <li>・電気化学デバイス関連の特許を有する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高機能性高分子フィルム</li> </ul>
東海大学	電子ペーパーの実現に向け、①目指すべき読みやすさの本質の抽出、②読みやすさを実現する表示方式の提案と開発、という 2 つのテーマに関して研究している。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・表示装置</li> <li>・表示媒体</li> <li>・表示素子</li> <li>・有機半導体材料・デバイス関連の特許を有する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ディスプレイ、電子書籍、電子新聞、電子教科書</li> </ul>
明治大学	フレキシブル積層フィルムの低剥離強度試験の信頼性能向上、粘着剤のナノシェア試験・評価装置の研究を行っている。	—	—
産業技術総合研究所	フレキシブル・プリンタブル有機エレクトロニクス	<ul style="list-style-type: none"> <li>・有機トランジスタ</li> <li>・液晶配向膜、液晶表示装置</li> <li>・カーボンナノチューブ関連の特許を有する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・有機トランジスタ</li> </ul>

出典：各種資料をもとにみずほ情報総研が作成

表 I -2.1-4 国内企業、研究機関によるプリントドエレクトロニクス関連の研究開発

機関名	研究開発動向	特許動向	製品化
大日本印刷	印刷配線による電子ペーパーの開発、金属ナノ粒子の電子回路の配線技術開発等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・多層配線技術、プリント配線技術等・電子ペーパー、有機薄膜太陽電池、RFID 関連、電力伝送シートに関連技術を中心に特許を有する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・トランジスタ</li> <li>・ディスプレイ(有機 LED)</li> <li>・太陽電池</li> </ul>

凸版印刷	印刷技術による高密度、高多層化された電子基板のプリント配線、電気泳動方式による電子ペーパーの技術開発等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ディスプレイ等、電子ペーパー関連</li> <li>・薄膜トランジスタ製造</li> <li>・太陽電池関連</li> <li>・イメージセンサ、RFID等の幅広い製品に対して、製造技術を中心とした特許を有する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・トランジスタ</li> <li>・太陽電池</li> <li>・ディスプレイ（有機 LED、液晶）</li> <li>・RFID</li> </ul>
セイコーエプソン	インクジェット技術を応用した積層回路基板の開発、有機薄膜トランジスタ、大型フルカラー有機 EL ディスプレイの開発等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・インクジェット技術を利用した電子ペーパー、電子回路のパターン形成、有機 EL 装置の製造技術</li> <li>・RFID、電力伝送シート関連技術に特許を有する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・トランジスタ</li> <li>・ディスプレイ（有機 LED）</li> <li>・太陽電池</li> </ul>
ソニー	有機トランジスタの製造効率化、自発光型ディスプレイデバイス・有機 EL の性能向上のための技術開発、色素増感太陽電池の研究開発等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電気化学セルの製造等の電子ペーパー関連技術</li> <li>・プリント配線技術</li> <li>・色素増感太陽電池、CNTの太陽電池への応用に向けた技術等への特許を有する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・トランジスタ</li> <li>・ディスプレイ（有機 LED）</li> <li>・太陽電池</li> </ul>
リコー	プラスチックフィルム上に微細なトランジスタ構造の形成のための、インクの塗布技術やインク処方、インクジェット吐出コントロール技術開発等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電子ペーパー周辺技術(19)</li> <li>・多層配線等の技術及びそれらの薄膜トランジスタ、FDP等の製造への応用</li> <li>・RFID タグ周辺技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・トランジスタ</li> <li>・ディスプレイ</li> </ul>
NEC	マイクロカプセル型電気泳動方式電子ペーパーモジュールの開発、カーボンナノチューブトランジスタの全ての構成要素を印刷により形成する技術開発、薄型フレキシブルな特長を持つ有機ラジカル電池技術開発等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・印刷技術を用いた配線技術(39)を中心に特許の出願を行っている</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・トランジスタ</li> <li>・ディスプレイ</li> <li>・太陽電池</li> </ul>
富士フィルム	高機能フィルムのための薄膜形成、微粒子分散技術開発。高機能な有機材料、ポリマー材料等の設計・合成技術開発等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・導電性フィルム</li> <li>・電界効果トランジスタ</li> <li>・導電性ペースト等を用いた基板配線技術を中心とした特許を有する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ディスプレイ</li> <li>・圧力シート</li> </ul>
コニカミノルタ	プリンタブルエレクトロニクス向けインクジェット配線技術、有機 LED の研究開発等	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>・インクジェットヘッド</li> <li>・照明（有機 LED）</li> </ul>



昭和電工	新素子構造により光の取り出し効率を高めたりん光型高分子有機 EL 素子の開発、印刷技術を用いた色素増感太陽電池の開発（共同開発）	樹脂、炭素粒子、二酸化チタン、インクジェット材料を中心として ・電子ペーパー ・電子配線 ・材料を中心とした太陽電池 ・バイオセンサ関連の特許出願を有する	・トランジスタ ・薄膜二次電池
三菱化学	有機半導体材料の開発	・電子感光体材料（電子ペーパー） ・有機光電変換素子及びそれを用いた有機太陽電池等への特許を有する	・トランジスタ ・ディスプレイ
アルバック	1970 年からガス中蒸発法超微粒子の開発に着手。2000 年には、この分散ナノ粒子液をもととして、ハリマ化成(株)と協力し、独立分散ナノ粒子インク、ペーストの応用分野を開拓した。2003 年には、米国のインクジェット装置のベンチャーである Litrex 社に資本参加し、インクジェット量産装置の開発に着手し製品化されている。	・カーボンナノ構造（ディスプレイ） ・金属ナノ粒子の分散液を用いた配線技術 ・薄膜太陽電池 ・バイオセンサ関連に特許出願があるが、バイオセンサ関連以外は数は少ない	・金、銀、銅などの金属ナノ粒子インク、ITO ナノ粒子インク ・産業用インクジェット装置
旭化成	導電性高分子の機能を高めるドーパント材料の合成技術の開発等の有機半導体材料技術、配線部材技術	・フレキシブルディスプレイ用位相差フィルム ・配線用パターン ・色素増感型太陽電池関連材料(光触媒フィルム、塗布液、被印刷基材)を中心とした技術 ・二次電池材料等に多く特許を有する	・トランジスタ ・メモリ ・センサ
旭硝子	透明電極膜、光学膜、反射防止膜、電磁波や赤外線遮断膜等のための材料技術や薄膜コーティング技術開発、アモルファスシリコンの高効率・高耐久性のための膜組成・構造制御技術開発等	・FPD のパネル基板、有機 EL パネル ・発光装置 ・基板材料を中心とした太陽電池関連技術等に特許出願を行っている	・ディスプレイ
日立化成	プリントエレクトロニクス技術に適用できる材料の研究開発。「インクジェット印刷法対応 Cu インク」により、Printed Electronics USA2009 にて Best Technical Development Materials Award を受賞	・液晶パネル用ベースフィルム、液晶パネル用機能フィルム、機能フィルムの製造方法、および機能フィルムの製造装置 ・プラズマディスプレイパネル用基板及びその製造法 ・多層プリント配線板の製造方法	下記製品等の材料開発 ・プリント基板 ・ディスプレイ ・太陽電池 ・半導体関連材料（層間絶縁膜材料、ダイボンディングフィルム、ダイボンデ

			イングペースト、アンダーフィルム材、封止材、ソルダレジスト、めっきレジスト、無電解めっき液、機能性粘着フィルム)
出光興産	有機エレクトロニクス材料全般で研究開発を実施。有機 EL は 1997 年世界で初めて実用性能を有する青色発光有機 EL 材料の開発に成功して以来、材料の性能向上や周辺技術の開発に注力。有機トランジスタ材料も本格的に研究実施、展示会にも出展。有機 p-n 接合型太陽電池素子の研究を行っている。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・有機 EL 素子等の発光素子材料や二次電池材料、透明電極材料への特許出願が多数ある</li> <li>・有機トランジスタ材料の特許を 20 件以上出願</li> <li>・数は少ないが、プリント配線パターン材料、光電変換素子用材料、有機太陽電池、導電性高分子への特許を有する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ディスプレイ、照明 (有機 LED)</li> <li>・トランジスタ</li> <li>・有機太陽電池</li> <li>・透明導電膜</li> <li>・導電性高分子</li> </ul>
DIC	各種印刷法に適合する導電、絶縁、半導体インクの開発を行っている。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・反転印刷を利用するプロセス、同プロセス用の導電インク材料等の特許を出願</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・導電インク</li> <li>・絶縁インク</li> </ul>
半導体エネルギー研究所	2007 年フレキシブル基板・ガラス基板上の CPU としては世界で初めて UHF 帯域 (915MHz) の通信信号の動作に成功。(TDK と共同発表)、アクティブマトリクス型の有機 EL ディスプレイの開発 (超寿命化、省電力化)。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・印刷技術による配線パターン</li> <li>・有機発光素子を用いた装置</li> <li>・薄膜トランジスタを用いた RFID タグ等の特許を有する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・トランジスタ</li> <li>・ディスプレイ (有機 EL, 液晶)</li> <li>・RFID</li> </ul>
住友化学	コスト優位性を意識し低分子ではなく高分子をターゲットとした有機 EL により、表示デバイス、照明デバイス等の開発を実施。インクジェット等の印刷技術を発光層のダウ・ケミカル社や CDT 社の買収を経て、現在ではイギリスに 2 ヶ所、日本に 3 ヶ所の高分子有機 EL 開発拠点を有し、200 名を超える研究者を有している。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ LUMATION 関連特許</li> <li>・ <math>\pi</math> 共役高分子材料関連特許 (基本特許を含む)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高分子有機材料</li> </ul>

\*出典：各種資料をもとにみずほ情報総研が作成

### (3) 海外の企業、研究機関における取り組み

プロジェクト発足当時（2010年）の海外の研究機関、企業におけるプリントドエレクトロニクス関連の研究開発動向について表 I -2.1-5、表 I -2.1-6 に示す。僅かながらではあるが、2015年までの更新情報を追加記載している。

海外企業のプリントドエレクトロニクス分野の研究開発分野は日本国内と異なり多岐に渡っている点に特徴がある。また欧州では Organic Electronics Association、米国では Flexible Display Center といった企業・研究機関連携組織があり、これらの組織は地域を越えた連携（アメリカ、欧州、アジア）を実現しており、加入者はグローバルパートナーを見出すことが可能になっている。

独 BASF、米 Merck といった世界的ケミカル・医薬カンパニーは、先行する製品化技術でプリントドエレクトロニクス分野における製品化や他社との連携を進める一方で、先進的な研究を行っている研究機関と連携し、より市場の広がりが期待できる領域に関心を示している。

表 I -2.1-5 海外研究機関によるプリントドエレクトロニクス関連の研究開発動向

国名	機関名	研究開発動向	製品化	企業との連携
台湾	台湾工業技術研究院(ITRI)	台湾の技術競争力向上のために設立された国立研究機関であり、フレキシブル・エレクトロニクスに関しても注目すべき研究開発を多く行っている。具体的には、極薄のフレキシブル電子ペーパーデバイス、インクジェットによりプリントされたトランジスタを備えたディスプレイなどを発表しているほか、商品名「FleXpeaker」に代表される極薄スピーカーの技術では多くの受賞歴もある*2)。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・4.1 インチのカラーOLED（有機発光ダイオード）ディスプレイ (2009/11/26)</li> <li>・カラー電子リーダー向けのタッチスクリーン・ディスプレイ (2009/11/26)</li> <li>・極薄スピーカー「fleXpeaker」 (2009/11/26)</li> </ul>	米国のガラス・メーカー、Corning の技術協力により OTFT（有機薄膜トランジスタ）を作製。
韓国	韓国電子回路産業協会 (KPCA)	韓国の主電子回路関連の企業 191 社から成る組織で、同協会が主催する KPCA Show では韓国におけるプリントドエレクトロニクス製品も紹介されている。近年では Samsung のインクジェットプリンタ、ANP のプリントドエレクトロニクス向けナノ銀インクなどが発表された。	—	韓国の電子回路企業 191 社が参加。

	韓国科学技術院 (KAIST)	韓国を代表する国立研究機関。プリンテッドエレクトロニクス関連ではナノインプリントによるプリンテッドエレクトロニクス関連の技術開発（ディスプレイ、メモリ、センサ）等を行っている。近年、温度の制御で表示内容を変えることができる温度ディスプレイや偽札検知用の「セキュリティ・ラベル」を開発*3)。	—	セキュリティ・ラベルは韓国造幣局 KMSPC と共同開発
	電子通信研究所 (ETRI)	情報通信、電気電子分野の研究を行う代表的な研究機関。プリンテッドエレクトロニクスに関しては、国内主要企業との共同研究によるフレキシブルディスプレイの基盤技術の開発や、プリンテッド RFID 技術の開発等を進めている*4)。	—	モバイル向け RFID 技術は SK Telecom に譲渡予定のほか、中小企業への技術移転も進める。
アメリカ	U.S. Display Consortium(U SDC)	1994年に発足し現在100社を越す企業が参加するコンソーシアム。	—	—
	ASU Flexible Display Center (FDC)	米軍が1994年に Arizona State University に設置した次世代フレキシブルディスプレイの研究開発機関。クリーン・ルーム、研究室、ミーティングスペースを備え米国内外の大学・企業が参加して共同研究を進めている。	軍事向けのフレキシブル・ディスプレイ	米 Boeing 社、米 Hewlett-Packard (HP) 社、米 E Ink 社、米 Universal Display 社のほか、韓国 LG Display 社など海外企業も参加。日本からもシャープ、アルバックなどが参加。
ドイツ	Center for Organic Materials and Electronic Devices Dresden (COMEDD)	フラウンホーファー研究機構 (Fraunhofer-Gesellschaft, FhG) が開設した研究設備で、有機 EL (OELD) ディスプレイ、OLED ディスプレイ・照明、有機太陽電池の製造を実現するもの。	—	—
	Organic Electron Saxony(OES)	2008年に設立された7つの企業と3つの研究機関から成るネットワーク。各種プロジェクトの実施、カンファレンス等の実施、教育・研修等を行う。	—	Sensient Imaging Technologies、Plastic Logicなどがメンバーとして参画。

	連邦教育研究省(BMBF)	日本の文部科学省に相当する省庁であり、プリントドエレクトロニクス分野においても多くのプロジェクトが実施されている。近年では Siemens、ダルムシュタット工科大学等が参加する OPAL (organic phosphorescence diodes for applications on the lighting market) プロジェクトや、CNT ベースのプリンタブルインクのプロジェクトである CarboInk プロジェクトなどがある。	46lm/W の効率で 5000 時間の寿命を同時に達成させた有機 EL (有機発光ダイオード) を開発 (2008 年 3 月)	・ ドイツ Siemens ・ドイツ Bayer
	ドイツ機械工業連盟 (VDMA)	欧州で最も大きな生産財の工業会から成る連合体。ドイツの機械及びプラントメーカー約 3,900 社が加盟し、39 の工業会で構成。照明向け有機 EL パネルや印刷法で製造する RFID タグやアンテナ、センサ、新材料開発を実施。	—	ドイツの機械及びプラントメーカー約 3,900 社が加盟。
英国	Center for Process Innovation(CPI)	プロセス技術に特化した英国の政府系研究機関。この機関内で組成されている The Printable Electronics Technology Centre(PETEC)では、OTFT 分野での研究者を多く抱えている。2009 年の政府戦略 <sup>*5)</sup> では、同センターはさらに拡張され、将来にはディスプレイと統合スマートシステムの製造ラインを導入する予定 <sup>*6)</sup> 。	—	—
フランス	COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE (CEA)	フランス原子力庁。傘下の研究機関である Leti (電子・情報技術研究所) で OELD 関連の研究開発を行っている。	—	—
フィンランド	フィンランド国立技術研究センター (VTT)	フィンランドの代表的な国立研究機関。特にマイクロテクノロジー・エレクトロニクス分野ではプリントドエレクトロニクス技術に注力しており、OLED、LED ディスプレイ技術、プリントド・マイクロ流体センサ、プリントド太陽電池・蓄電池・コード等の研究開発を行っている。	—	チバ・スペシャルティ・ケミカルズとエレクトロニクス分野における印刷技術開発で提携 (2007 年 3 月)。

オランダ	Holst Centre <sup>*7)</sup>	Roll to Roll 方式で製造した有機 EL 照明や有機 EL を利用した発光するポスターサインなどを 2014～2015 年に実用化する計画である。EU が資金提供している FAST2LIGHT プロジェクトにも IMEC と共に参加している。現在は 300mm 幅の金属箔を基板に用いる製造装置を試作済みである。	—	FAST2LIGHT において以下の企業と連携 •PHILIPS Research, NL •PHILIPS Lighting, DE •BEKAERT, BE •AGFA-GEVAERT, BE •Huntsman, CH •Orbotech, IL
イタリア	イタリア国立研究協議会 (National Research Council of Italy)	イタリアを代表する研究機関で、プリンテッドエレクトロニクス分野では OLED 関連の研究開発を行っている。	—	—

\*出典：各種資料をもとにみずほ情報総研が作成

- \*1) 「フレキシブル・エレクトロニクスが民生市場で萌芽へ～【CES 直前特集】2009 年の注目技術」、EETimes、<http://eetimes.jp/article/22678> 他を参照
- \*2) 「Progress in Taiwan: e-Readers and developments at ITRI」、Printed Electronics World、[http://www.printedelectronicsworld.com/articles/progress\\_in\\_taiwan\\_e\\_readers\\_and\\_developments\\_at\\_itsi\\_00001788.asp?sessionid=1](http://www.printedelectronicsworld.com/articles/progress_in_taiwan_e_readers_and_developments_at_itsi_00001788.asp?sessionid=1)
- \*3) KAIST Web ページ、<http://www.kaist.ac.kr/>
- \*4) 「韓国最先端技術のトレンドが見える—「ETRI」その研究内容とは」Buisness Media、2006、<http://bizmakoto.jp/bizmobile/articles/0612/18/news068.html>
- \*5) 「International lanunch of the UK's national Printable Electronics Centre」、PETEC[http://www.uk-cpi.com/2\\_files/documents/media-centre/news/2009/march/PETEC-international-launch-release.pdf](http://www.uk-cpi.com/2_files/documents/media-centre/news/2009/march/PETEC-international-launch-release.pdf)
- \*6) 「プラスチックエレクトロニクスに関する英国の新戦略」、JST デイリーウォッチャー、2009 年、<http://crds.jst.go.jp/watcher/data/810-002.html>
- \*7) ベルギーの IMEC (Interuniversity Microelectronics Center) と、オランダの研究機関 TNO (The Netherlands Organization) が 2005 年に共同で設立

表 I -2.1-6 海外企業によるプリンテッドエレクトロニクス関連の研究開発動向

地域・国	企業名	開発動向	製品及びスペック	連携状況（他国での生産、企業買収を含む）
アメリカ	米 Plastic Logic	2010 年初めに電子書籍端末「QUETM」を発売。本製品にはインクジェット技術により加工した有機 TFT を用いている。	8.5x11inch 4GB (WiFi) \$649.00 8GB (WiFi & 3G) \$649.00	E Ink 社の電子ペーパー・ディスプレイ技術を採用

アメリカ	E Ink Corp	<ul style="list-style-type: none"> <li>・Plastic Logic 社から発売する電子書籍端末「QUE」に搭載する電子ペーパーを開発</li> <li>・有機トランジスタ技術により、電子ペーパーの駆動回路を作製。</li> </ul>	13.9 型 ディスプレイ 厚さ：8.5mm	Plastic Logic 社の電子ペーパーを開発・提供
アメリカ	Nova Centrix	プリンテッドエレクトロニクス向け低温での基板への回路プリント用ナノインク。銀及び銅のナノ粒子インクで実現。	—	Brooks City-Base
アメリカ	General Electronic	<ul style="list-style-type: none"> <li>・フレキシブルな有機 EL 照明の製品化(2010 年～2011 年)。</li> <li>・Roll to Roll による低コスト化の実現を目指す。</li> <li>・高寿命化の課題にも取り組んでいる。</li> </ul>	1200 ルーメン (24 インチ四方のパネル) : 白熱電球と同等	—
アメリカ	Applied Materials	米 Flexible Display Center (FDC) のアソシエイトメンバー	—	—
アメリカ	Bioident Technologies	プリント半導体技術を用いた光エレクトロニクス装置の作成。	—	—
アメリカ	Duracell	プリンテッドエレクトロニクス向け電池の開発を実施。	—	—
アメリカ	Konarka Technologies, Inc.	色素増感型太陽電池の開発（量産化の開始）。	変換効率 4% (屋内)、3～4% (屋外) *1)	—
欧州	Organic Electronics Association (WG)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・3000 のメンバー企業から構成される VDMA の枠組みの中で、有機エレクトロニクスに関する技術革新を目指す WG を形成。</li> <li>・パッケージング、低コスト RFID、フレキシブルディスプレイ、フレキシブル太陽電池、薄膜電池などの様々な応用製品を目指し、材料開発、印刷・パターンニング技術開発、デバイス開発等を行っている。</li> </ul>	—	Organic Electronics Association) (Acreo AB、BASF、plastic electronics GmbH、polyIC、Thin Film Electronics など 21 社が参加

ドイツ	Merck KGaA	<ul style="list-style-type: none"> <li>・有機 TFT の材料開発</li> <li>・TUD (ダルムシュタット工科大学) に研究室を開設し共同で研究開発を運営。印刷プロセスで作製する RFID 回路の開発など。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・モニタセルギャップ: 3.2<math>\mu</math>m</li> <li>動作電圧: 4V</li> <li>動作速度: 10ms~20ms(モニタ向け、2007年)*2)</li> </ul>	Dyesol Limited と共同開発に合意
ドイツ	Bundesdruckerei	プリンテッド RFID のフィールドテストに成功。	—	—
ドイツ	COPACO	パッケージング・カンパニーであり、同社の目指すゴールとしてパッケージへの RFID を提案。	—	—
ドイツ	BASF	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ドイツの有機 RFID タグ 国家プロジェクト MaDrix に参加。</li> <li>・同社の新素材製品化を担う BASF Future Business で、OLED、有機太陽電池開発、プリンテッドエレクトロニクスの研究開発を行っている。</li> <li>・リングオシレーターをプリンテッドエレクトロニクス技術で大量かつ安価で作成することを可能とした。</li> </ul>	—	Organic Electronics Association (WG) に参加
ドイツ	Degussa	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プリンタブル ITO インクを製造・販売。</li> <li>・リンテッドエレクトロニクスにかかる接着剤、テープ、フィルム、ポリマー等を販売。</li> </ul>	プリンタブル ITO インク	—
ベルギー	Agfa-Gevaert NV	曲がる有機 EL 照明用透明樹脂電極として ITO の代わりに有機樹脂を使った“Orgacon”を開発、販売。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・有機 EL 照明用材料「Orgacon」</li> </ul>	—
イギリス	G24 Innovation Ltd	色素増感型太陽電池の開発 (量産化の開始、2009年)。	充電用シート (0.5W、1W、30W)、変換効率: 3%程度*3)	—
イギリス	Nano ePrint	<ul style="list-style-type: none"> <li>・単層プリンテッドトランジスタ</li> <li>・高周波平面ナノダイオード、トランジスタの製造技術</li> </ul>	—	—



オランダ	Liquavista	フィリップスのスピンアウトベンチャー。	—	—
オランダ	OTB Pixdro	Pixdro が OTB グループの開発拠点であり、インクジェット利用 R&D 装置の開発を行っている。	—	—
ノルウェー	Thin Film Electronics	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1997 年よりポリマーを用いた不揮発性・フレキシブルメモリデバイスを開発。</li> <li>・近年は海外各社との連携・強力を加速。</li> </ul>	ロジック IC デバイス、RFID タグ、ブランドタグ	韓国 InkTec と共同開発契約を締結 PolyIC、Soligie とロジック IC デバイスに関する協力
スウェーデン	Cypak	スマート RFID の研究開発。	—	—
イスラエル	Power Paper	プリントドエレクトロニクスを用いたフレキシブル材料電池の製品化に成功。	—	—
韓国	Samsung	<ul style="list-style-type: none"> <li>・酸化物半導体を用いたフレキシブル有機パネルの開発</li> <li>・IZO をスピンコートした TFT の試作。</li> </ul>	10.1 型フレキシブル有機 EL パネル：画素数：450×600、反射率 12%*4)	—
韓国	InkTec	プリントドエレクトロニクス向け銀ナノインクなどの研究開発・販売を行う。	銀 ナノ インク：塗布厚さ 1～6μm	ノルウェーの Thin Film Electronics AS と共同開発契約を締結
韓国	LG Display	TFT-LCD 技術を用いて、大面積のフレキシブル電子ペーパーの開発に成功。	—	FDC にパートナー参加。米 Eastman Kodak 社と OLED に関するライセンス契約を締結
台湾	Prime View International (PVI)	50μm の球形カプセル内部に封じた帯電した白色微粒子と黒色微粒子を物理的に駆動による 9.7 インチ型のカラー電子ペーパーを試作。2010 年発売予定。	10.1 型フレキシブル有機 EL パネル：画素数：1600×1200、反射率 12%	電子ペーパー大手の E Ink を買収

\*出典：各種資料をもとにみずほ情報総研が作成

\*1) <http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20090225/166340/>

\*2) <http://flat-display.blog.drecom.jp/archive/902>

\*3) <http://econewsdigest.seesaa.net/article/95939450.html>

\*4) <http://todaylookup.blogspot.com/2009/06/samsung-mobile-display-el.html>

#### (4) 国内・海外の研究開発状況

プロジェクト発足当時（2010年）、無線タグ・スマートカードに関してはドイツを中心とした大型プロジェクトなど、欧州がその優位性を獲得しており、日本ではあまり積極的な取り組みは見られなかった。エネルギー・照明・ディスプレイに関しては、日本では有機 TFT 等を印刷で実現することによるディスプレイや照明・エネルギー関連の技術開発が行われているが、欧米やアジアに対して製品化スピードにおいて遅れを取っている。欧米では、米 Plastic Logic 社の QUE の事例でも見られるように、比較的实现が容易な電子ペーパーの製品化をコンテンツの整備と平行して行い、早期の製品化に漕ぎ着けている。一方、アジアでは、安価な製造コストを武器に、必ずしもオールプリンテッドに捕らわれない OLED の製品化に向け研究開発を進めている。

表 I -2.1-7 プリンテッドエレクトロニクス技術における日本と海外の研究開発状況の比較（プロジェクト発足当時）

地域・国		材料技術	印刷技術	デバイス技術		
日本		◎ 個別企業単位で高い技術優位性を有している	◎ 大手印刷メーカーを中心に高い技術力を保有、特に IJ 技術の優位性が高い	無線タグ スマートカード	△	
				照明・エネルギー・ディスプレイ 入出力デバイス	○ ◎	
海外	欧米	○ ・無線タグ、スマートカードの製品化において優位性がある ・OEA-VDMA といった EU としての一体的連携の下、技術力を高めている	○	無線タグ スマートカード	◎	
				照明・エネルギー・ディスプレイ 入出力デバイス	○	
	アメリカ	○ 大手デバイスメーカーと連携により、技術力を高めている 電子ペーパー、電子書籍等のデバイス製品化において優位性がある	○ 印刷会社メーカーは強くないが、デバイスメーカーがその技術を補完している	無線タグ スマートカード	△	
				照明・エネルギー・ディスプレイ 入出力デバイス	◎ ○	
	アジア	韓国	○	△	無線タグ スマートカード	△
		台湾	△	△	照明・エネルギー・ディスプレイ	◎
		・国外メーカーや公的研究機関と連携により、急速に技術力を高めている ・ディスプレイ分野のデバイス製造、投資能力において優位性があるが、材料・印刷技術において日本／欧米企業との協業を模索している		入出力デバイス	△	

※◎：優位性がある、○：他国と同程度である、△：優位性が低い

\*出典：平成 21 年度 NEDO「プリンテッドエレクトロニクス技術に係わる調査」（委託先：みずほ情報総研株式会社）の調査結果及び各種調査結果をもとに作成

表 I -2.1-7 に日本と海外の研究開発状況の比較した結果をまとめて示す。欧州では無線タグ、スマートカードの製品化において優位性がある。また、OEA-VDMA といった組織内で材料からデバイスメーカーが連携を深めており、急速に技術力を高めている状況にある。アメリカではデバイスメーカーが材料メーカーや印刷メーカーを牽引し、デバイス製品化を進めており、材料技術および印刷技術も高まりつつある。アジアにおいては、国外メーカーや公的研究機関との連携により、急速に技術力を高めていることが特徴的である。ディスプレイ分野のデバイス製造、投資能力において優位性があるが、材料・印刷技術において日本／欧米企業との協業を望んでいる。台湾企業がアメリカ企業を買収し、技術力を急速に獲得している事例も見られる。

日本は入出力デバイスに関して優位性があり、次世代のアプリケーションとして注目される、電力伝送シートなどの入出力デバイスやフレキシブル電子ペーパーなど先進的なシートデバイスに対する開発や技術シーズでは高い技術水準を誇っている。材料技術および印刷技術に注目すると、図 I -2.1-5 に示すように、材料技術では日本は個別企業単位で非常に高い技術力を有しており、印刷技術に関しても大手印刷メーカーを中心に高い技術力を有している。このように国内の材料、印刷装置、デバイスメーカーは個別に技術力で高い国際優位性を誇っており、これらの企業が連携することで我が国が保有する世界最高技術を融合し、世界に先駆けて高度なプリンテッドエレクトロニクス技術の開発と普及に取り組むことの意義は大きい。

#### 【インク電子材料】日本が世界最高レベルの材料基盤技術を保有

- ・高移動度塗布型**有機半導体**：移動度1～10cm<sup>2</sup>/Vs →**a-Si越え**（三菱化学、日本化薬等）
- ・低抵抗低温焼成印刷形成**金属インク**：5μΩcm以下 →**バルク金属同等**（アルバック、日立化成等）

#### 【プリント加工技術】高精細印刷は、日本が世界最高レベルの技術を保有

- ・電子デバイス**高精細印刷**：>200ppi以上、**世界最高**（リコー、産総研等）
- ・フレキシブルアライメント**高精度デバイス印刷技術**（大日本印刷、リコー等）

#### 【デバイス技術】日本は、先進的フレキシブルデバイスの開発で世界をリード

- ・全印刷トランジスタ駆動の**フレキシブル電子ペーパー**（ソニー、大日本印刷、リコー、凸版印刷）
- ・印刷形成シートデバイスの新規開発による**ネットワークデバイス技術**（東京大学）

図 I -2.1-5 プリンテッドエレクトロニクス関連技術における日本企業の優位性

## 2.2 事業の目的及び意義

NEDO 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。加えて市場拡大・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する。

本事業の実施により、国際競争が激化するプリントドエレクトロニクスの本格的な実用化を促進し、新規市場の創出に貢献するとともに、我が国部素材産業及びデバイス産業の競争力強化、製造プロセスの革新的省資源化、省エネルギー化を図り、諸外国をリードすることを目指す。

具体的には、電子ペーパーなどのディスプレイと、フレキシブルセンサを初期ターゲットデバイスとして位置付け、低コスト・大量生産・フレキシブル性を持った薄膜トランジスタの連続製造法を確立し、プリントドエレクトロニクス関連産業の市場拡大に取り組む。その成果を有機太陽電池、ディスプレイ、タッチパネルなど既存製品の製造プロセスに応用することで、現行プロセスに比して大幅な製造コスト低減をもって、日本産業競争力の強化に貢献する。また、本技術開発により、今後需要の拡大が進むと予想される、給電シート、薄膜電池シート、有機 EL ディスプレイなどの市場拡大に貢献する。さらには、IoT (Internet of Things) など多様な場所に設置されるフレキシブルデバイスに適用を広げ、本技術開発成果を印刷製造工程へ普及することで製造時エネルギー使用量の大幅な低減が可能になる。

### 2.3 事業の位置付け

本事業は社会的課題の解決に向けた科学技術最重点施策として政府が策定した平成24年度科学技術重要施策アクションプランの対象施策の一つに位置付けられた後、様々な重要施策として位置付けられている。科学技術重要施策アクションプランの施策は、いずれもアクションプランに示した政策課題を解決する上で不可欠な施策であり、我が国が直面する社会的課題の解決のために最重点で取り組むべき科学技術分野の施策として位置付けられるものである。対象施策を着実に実施することにより、科学技術を通じ、我が国社会を取り巻く様々な課題の解決に貢献するとともに、国民の期待に応えていくことができるものと考えられている。「平成27年度科学技術重要施策アクションプラン」の「アクションプラン対象施策の特定について」、「IVアクションプラン対象施策を踏まえた詳細行程表」該当部（「エレクトロニクス製造プロセスの省エネ化技術の開発」という本プロジェクトの課題がスケジュールと共に取り上げられている）を図I-2.3-1に示す。

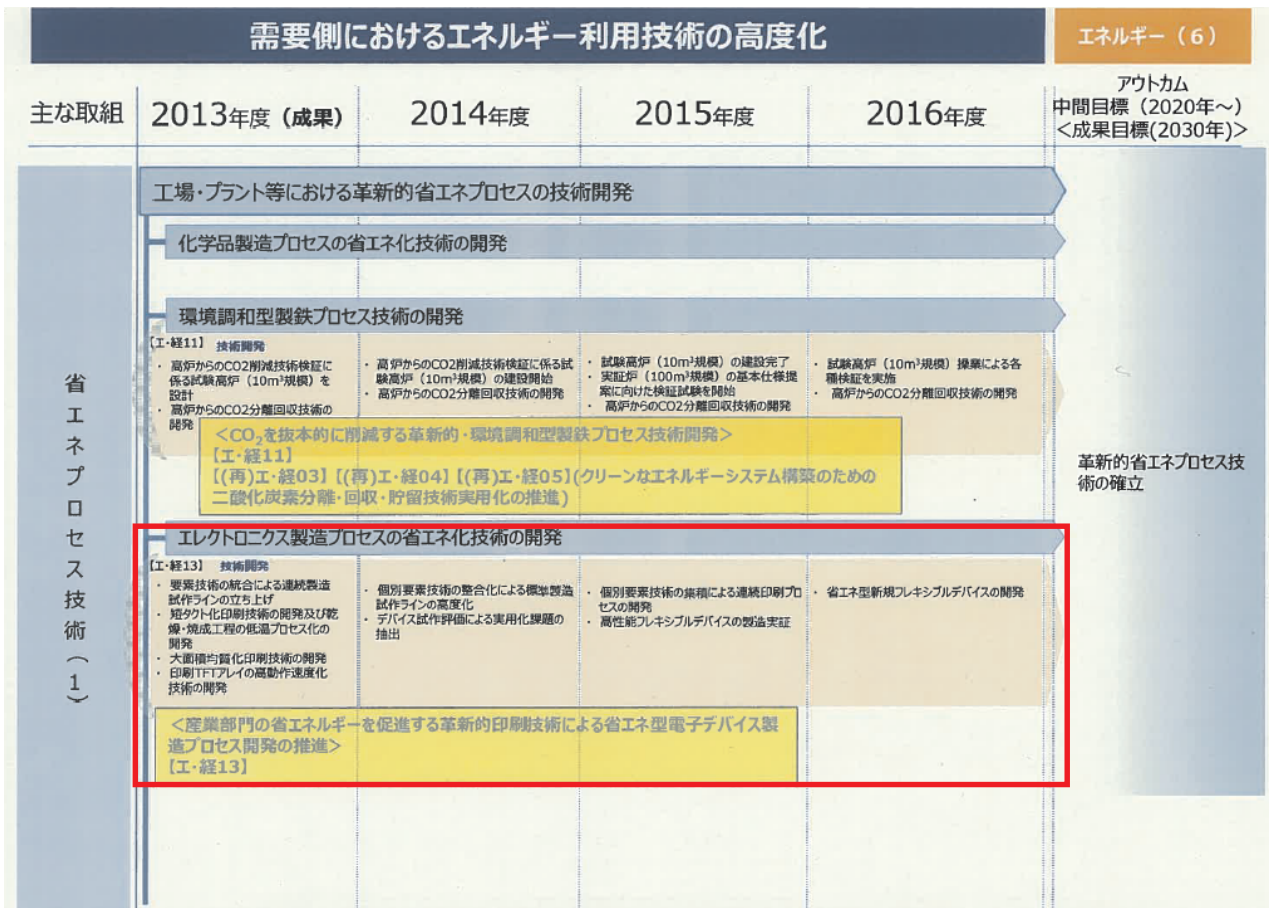


図 I -2.3-1 省エネプロセス技術 エレクトロニクス製造プロセスの省エネ化技術の開発

\*出典：内閣府「アクションプランの対象施策の特定について」

また、科学技術イノベーション総合戦略 2015（内閣府策定）には、「3. 重点的取組」の「(3) 新規技術によるエネルギー利用効率の向上と消費の削減」の中に、「エレクトロニクス製造プロセスの省エネ化技術の開発」が記載されている（P38）。

さらに、経済産業省がまとめた技術戦略マップ 2010 においてプリントドエレクトロニクス技術は、我が国電子・情報技術産業が今後取り組むべき重要技術（情報通信／半導体分野）として位置付けられた。技術戦略マップ 2010 から抜粋した技術マップを図 I -2.3-2 に示す。

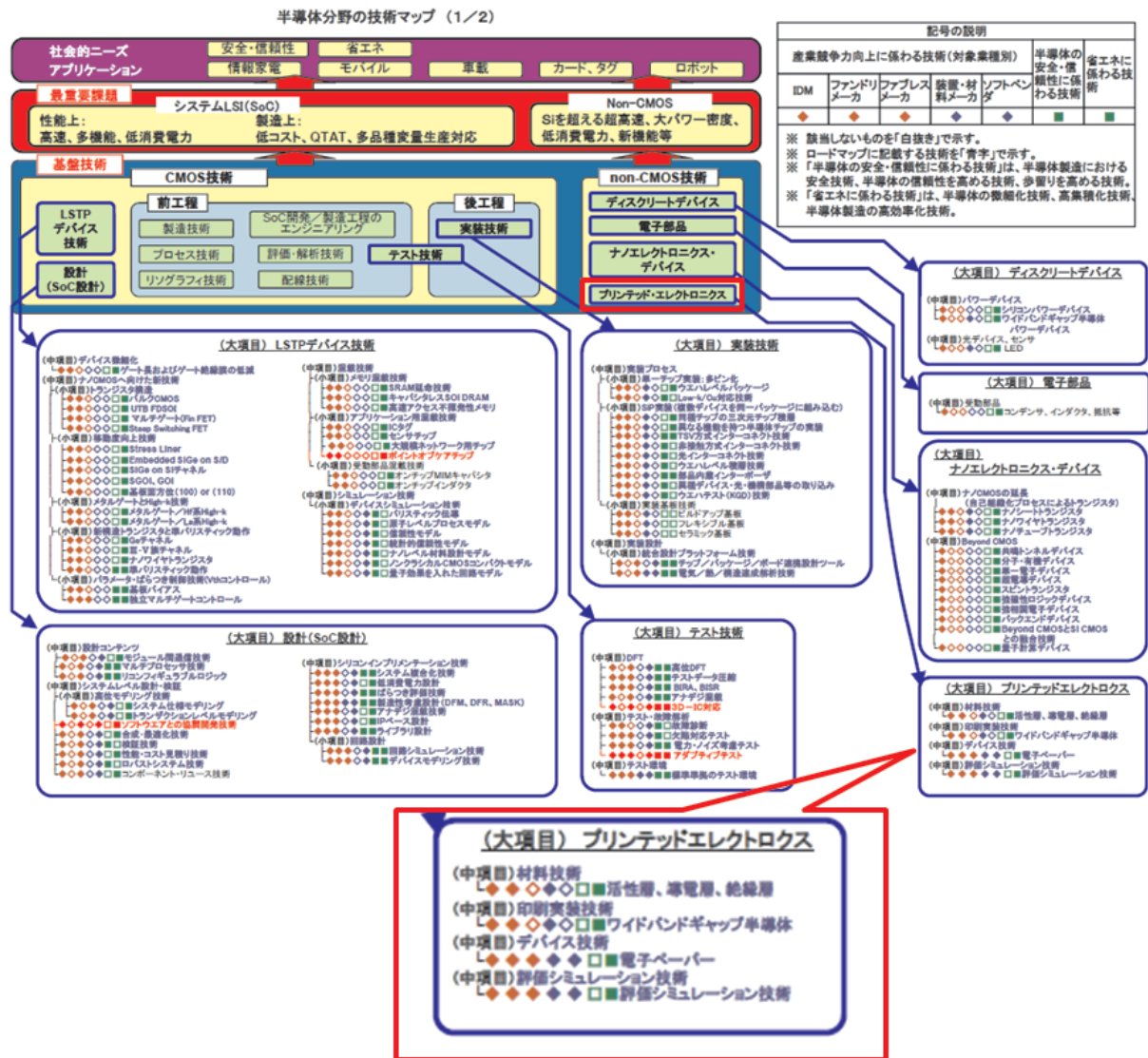


図 I -2.3-2 半導体分野の技術マップ  
 \*出典：経済産業省 技術戦略マップ 2010（半導体分野）

以上、上位政策として記載されているものを図 I -2.3-3 に記載する。

**□ 平成27年度科学技術重要施策アクションプラン（2015年9月）**

I. クリーンで経済的なエネルギーシステムの実現 需要側におけるエネルギー利用技術の高度化 革新的印刷技術による省エネ型電子デバイス製造プロセス開発

**□ 科学技術イノベーション総合戦略2017（2017年6月）**

省エネプロセス技術（1）工場・プラント等における革新的省エネプロセスの技術 エレクトロニクス製造プロセスの省エネ化技術の開発

**□ 技術戦略マップ2010（2010年6月）**

情報通信/半導体分野 大項目「プリントドエレクトロニクス」を追加

**□ 電子・情報技術分野技術ロードマップ2011の策定に関する調査（2011年3月）**

半導体分野 大項目「プリントドエレクトロニクス」

**図 I -2.3-3 プロジェクトに関連する上位政策**

## II. 研究開発マネジメントについて

### 1. 事業の目標

#### (1) 事業の目標

デバイス製造の国際競争力強化と新規事業の創出に向けて 2015 年度（平成 27 年度）末において、下記のプリントドエレクトロニクスに資する基盤技術及び実用化技術を確立する。また、2015 年度末までに開発された基盤技術及び実用化技術を活用しつつ、プリントドエレクトロニクスの本格的な普及を図るため、2018 年度（平成 30 年度）末までに省エネルギー化を実現するフレキシブルデバイス及び印刷製造プロセスを開発する。

- プラスチックフィルム基板上に大面積、低欠陥で均一、信頼性の高い TFT アレイを形成するための、低温プロセス、材料（半導体、絶縁、導体）及び高精度・高速で位置合わせ可能な連続印刷プロセス・装置を開発し、標準的な製造ラインにおいて印刷技術による TFT アレイが製造可能なことを実証する。
- 再現性の高い電氣的・機械的特性評価法、及び信頼性評価方法を確立し、標準化に向けたデータを収集する。
- モデルデバイスとして、プロジェクト内の技術開発成果を用いて第一期は電子ペーパー、各種フレキシブルセンサ、第二期においては、フレキシブルデバイスを製品化するために単一のセンシング機能だけではなく複数の機能を実装したフレキシブルデバイスを作製し、プリントドエレクトロニクス技術の有効性及び可能性を実証する。

#### (2) アウトカム目標

電子ペーパーなどのディスプレイと、フレキシブルセンサを初期ターゲットデバイスとして位置付け、低コスト・大量生産・フレキシブル性を持った薄膜トランジスタ（TFT）の連続製造法を確立し、プリントドエレクトロニクス関連産業の市場拡大に取り組む。

その成果を有機太陽電池、ディスプレイ、タッチパネルなど既存製品の製造プロセスに応用することで、現行プロセスに比して大幅な製造コスト低減をもって、日本産業競争力の強化に貢献する。

また、本技術開発により、今後需要の拡大が進むと予想される、給電シート、薄膜電池シート、有機 EL ディスプレイなどの市場拡大に貢献する。さらに、本技術開発成果を印刷製造工程へ普及することで製造時エネルギー使用量の大幅な低減が可能になる。

これらにより、平成 42 年における CO<sub>2</sub> 排出量として約 4 4 5 万 t/年の削減に資する。

#### (3) 研究開発項目毎の目標



本プロジェクト第一期における 2015 年度までに開発する基盤技術及び実用化技術に係る研究開発の具体的な目標は以下の通りである（中間目標：平成 25 年度末、最終目標：平成 27 年度末）。

#### 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」

##### (1) 標準製造ラインに係る技術開発

###### 【中間目標（平成 25 年度末）】

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、連続生産するための製造プロセスの課題を抽出する。

###### 【最終目標（平成 27 年度末）】

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 50 枚連続生産が可能な製造プロセスの要素技術を確立する。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する。

##### (2) TFT に特有の特性評価に係る技術開発

###### 【中間目標（平成 25 年度末）】

(1) で作製される TFT アレイの性能評価手法を確立し、材料スクリーニングや、印刷プロセスの最適化検討を行う。

###### 【最終目標（平成 27 年度末）】

TFT アレイの信頼性の評価方法を確立する。あわせて評価手法の標準化の検討を行う。

#### 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」

###### 【中間目標（平成 25 年度末）】

位置合わせ精度 $\pm 20\mu\text{m}$ 、 $150^\circ\text{C}$ 以下の温度で生産できるプロセスの要素技術を確立する。また、印刷法で製造した TFT 素子において、動作周波数 0.3MHz 以上を示す材料・プロセス技術を開発する。

###### 【最終目標（平成 27 年度末）】

位置合わせ精度 $\pm 10\mu\text{m}$ 、 $120^\circ\text{C}$ 以下の温度で生産できるプロセスの要素技術を確立する。また、素子の動作周波数が 1MHz 以上を示す TFT アレイを印刷法で製造し、デバイスとして駆動することを実証する。加えて作製された TFT アレイを用いて、圧力、もしくは接触による情報入力デバイスを試作し、落下試験など耐衝撃性を評価し堅牢性を検証する。

TFT アレイの大面積化（メートル級）においては、大面積 TFT アレイの連続製造に適用可能な製造プロセスの設計指針を提示する。

#### 研究開発項目③「印刷技術による電子ペーパーの開発」

##### (1) 電子ペーパーに係る基盤技術開発

###### 【平成 23 年度末目標】

各種電子ペーパーに係る仕様を決定するための、TFT アレイと表示部の接合条件や駆動電圧等について基礎データの収集を行いデバイスとしての課題を抽出し、得られた結果をもとに設計指針を提示する。

(2) 高反射型カラー電子ペーパーの開発

【中間目標（平成 25 年度末）】

印刷法を用いてフィルム基板上に反射率 50%以上である対角 6 インチのカラー（64 色）パネルを試作する。

【最終目標（平成 27 年度末）】

印刷法を用いてフィルム基板上に反射率 50%以上である対角 10 インチのカラー（512 色）パネルを作製し、工業的に製造が可能であることを実証する。10 インチパネルの重量は 60g 以下を達成する。

(3) 大面積軽量単色電子ペーパーの開発

【中間目標（平成 25 年度末）】

印刷法を用いて A4 サイズのフィルム基板上に 120ppi 以上の解像度を持つ TFT アレイを安定かつ連続的に製造する技術を開発する。製造タクトは 1 枚あたり 10 分以内を達成する。

【最終目標（平成 27 年度末）】

A4 サイズのフィルム基板上に 120ppi 以上の解像度を持つ TFT アレイを完全印刷工程で安定かつ連続的に製造する技術を開発する。製造タクト時間は 1 枚あたり 3 分以内を達成する。作製された TFT アレイと表示部を組み合わせたパネルを作製し、軽量単色電子ペーパーが工業的に製造可能であることを実証する。パネルの重量は 40g 以下を達成する。また、得られた成果をもとに大面積化に向けたプロセス・デバイスの設計指針を示す。

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」

(1) フレキシブルセンサに係る基盤技術開発

【平成 23 年度末目標】

各種フレキシブルセンサに係る仕様を決定するための、TFT アレイとセンサ部の接合条件や駆動電圧等について、基礎データの収集を行いデバイスとしての課題を抽出し、得られた結果をもとに設計指針を提示する。

(2) 大面積圧力センサの開発

【中間目標（平成 25 年度末）】

A4 サイズ相当の領域内で構成層間のアライメント精度 50 $\mu$ m 内、素子の特性ばらつき（移動度及び閾値電圧） $\sigma < 10\%$ を達成する大面積 TFT シートの製造技術と製造装置の開発を行う。得られた加工精度と素子特性にもとづき、メートル級の面積 TFT アレイの設計指針を示す。

【最終目標（平成 27 年度末）】

1 mm角あたり 1 素子の密度で形成した TFT アレイの特性（移動度及び閾値電圧）のばらつき  $\sigma < 5\%$ 以下で、連続駆動が 10Hz 相当以上で可能なメートル級の大面积 TFT シートを試作する。これを背面基板に用いた圧力センサシートを試作し、情報入力モデルデバイスとして実用可能であることを実証する。

本プロジェクト第二期における 2018 年度までに開発する基盤技術及び実用化技術に係る研究開発の具体的な目標は以下の通りである（最終目標：平成 30 年度末）。

#### 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」

##### （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 年度末）】

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  $\pm 10\%$ 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 年度末）】

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  $\pm 10 \mu\text{m}$  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」

##### （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 年度末）】

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 年度末）】

100°C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 年度末）】

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、電氣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。

## 2. 事業の計画内容

### 2.1 研究開発の内容

#### 2.1.1. 研究開発の概要

プリントエレクトロニクス技術は次世代の電子デバイス製造技術として大きな期待が寄せられ、世界中で激しい技術開発競争が行われている。しかしながら、その技術はまだ十分に市場に普及するには至っておらず、一品物の試作はできても、工業製品としての大量生産ができないことなどが課題になっている。

本プロジェクト第一期で取り組む研究開発の概要を図Ⅱ-2.1-1に示す。本プロジェクトでは、小規模で高コストなプロセスで製造可能な印刷デバイスを「工芸品」と位置付け、『「工芸品」から「工業品」へ』とのコンセプトを掲げ、プリントエレクトロニクスの本格的な実用化、社会への普及を目指して技術開発に取り組んでいる。

印刷デバイス製造技術の開発にあたっては、生産システム化のために、連続生産、高速生産、大面積生産といった課題が主要な技術課題となる。こうした印刷デバイス製造技術の汎用普及を実現させるためには、高精細化、高精度アライメント、高均質化、膜質制御、積層制御、高機能化など、数多くの課題を解決していかなければならない。例えばプラスチック基板を使用するには、製造プロセスの低温化技術や乾燥技術など印刷製造プロセスに適合した材料技術が必要になり、大面積デバイスの実現には、精度の高い実装技術やフレキシブルアライメント技術などの確立が必要である。また、高性能なデバイスを実現するための技術開発も欠くことが出来ない。さらに、これら技術を統合し、工業的な製造プロセスとして活用するためには、開発された個別要素技術の製造プロセスへの適合性を検証し、低コストで生産性の高い連続製造技術として確立しなければならない。

本プロジェクトの第一期（2011年～2015年度）では、フレキシブルTFTシートの印刷製造技術の確立を具体的な課題として上記目的をかなえる技術開発に臨んだ。TFT印刷技術はこうした印刷デバイス製造技術の主要技術課題の多くを包含し、技術集積化を実現するためには、最も適した基盤デバイスとなるためである。こうした技術課題を解決し、そのうえで生産性向上とデバイス機能向上を満たすことができるようになれば、汎用技術としての普及が可能になる。そこで本プロジェクトではこれら課題に対応するため、デバイスの大面積化、高動作速度化に対応するための高精度実装技術や高性能デバイス技術、及びプロセスの低温化や短タクト化に対応するための高生産性材料技術など「個別要素技術の開発」への取り組みと併せ、連続印刷工程でTFTアレイを製造できる標準製造ラインを構築し、製造プロセスとしての課題解決に向けた「製造プロセス技術の確立」に取り組んだ。こうした技術開発に取り組むことで、生産技術、プロセス要素技術、材料要素技術、さらにはデバイス要素技術の開発により、様々な電子基板、電子部品に適用される技術としてプリントエレクトロニクスの基盤技術の確立を目指す。さらに、プリントエレクトロニクス技術の本格的な実用化と普及を促進するため、上記基盤技術の開発と並行して、カラー電子ペーパー、大面積単色電子ペーパー、大面積圧力センサといった製品ターゲットを明確化した実用化技術の開発も推進した。

さらに、本プロジェクトの第二期（2016年度～2017年度）では、プリントエレ

クトロニクスの本格的な普及促進を図るため、印刷技術による省エネ型フレキシブルデバイス及び製造プロセスの実用化を促進する技術開発を行う目的で、第一期の研究開発成果も踏まえて、「カスタマイズ化プロセス基盤技術の開発」、「フレキシブル複合機能デバイス技術の開発」の研究開発項目を実施した。

なお、開発成果の活用による実用化を促進するため、開発目標は参画企業やユーザーの意向も踏まえ、デバイス仕様の具体的な目標値を設定すると共に、基盤技術開発の取り組みによって獲得される、個別要素技術や製品との仕様整合、製造プロセス上のノウハウなど開発成果を実用化技術の開発に展開できる実施体制、実施計画を立案して研究開発に取り組んだ。

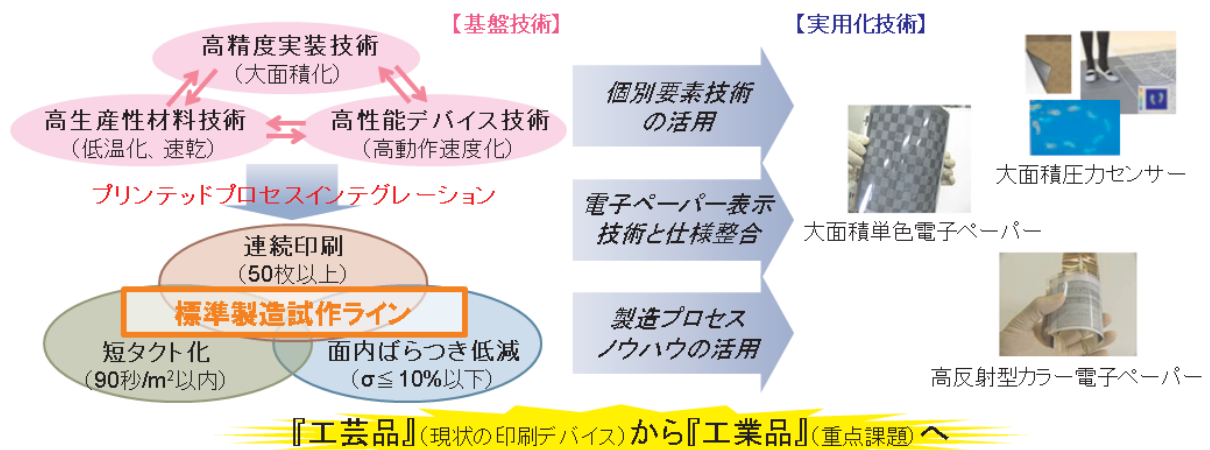


図 II -2.1-1 本プロジェクト第一期の取り組み概要

**第1期: 製造基盤技術**

製造技術(材料・プロセス)

個別製造技術の高度化

- ・大面積高均質化技術(高均質化)
- ・フレキシブル位置合わせ技術(高精度化)
- ・低温低損傷製造技術(高耐久性化)
- ・高速プロセス化技術(高速高生産性化)

デバイス技術

個別印刷デバイスの高度化

- ・高移動度TFT技術
- ・高速動作化技術
- ・集積素子化技術

**第2期: プロダクト化技術**

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

個別製造技術を組み合わせた生産技術の高度化

- ・カスタマイズ版製造技術(カスタマイズ化)
- ・基板搬送技術(コンパクト化)

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

プロダクト化するためのデバイス高度化

- ・回路・配線設計技術
- ・低損傷実装技術
- ・低電圧駆動化技術

図 II -2.1-2 本プロジェクト第二期の取り組み概要

## 2.1.2. 研究開発の具体的内容

### 2.1.2.1 研究開発の内容

本プロジェクトでは以下の研究開発を実施する。

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」

(委託事業) \*1) 実施期間 平成 22 年度～平成 27 年度

- (1) 標準製造ラインに係る技術開発
- (2) TFT に特有の特性評価に係る技術開発

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」

(委託事業) \*1) 実施期間 平成 22 年度～平成 27 年度

研究開発項目③「印刷技術による電子ペーパーの開発」

(委託事業) \*1) 実施期間 平成 22 年度～平成 23 年度

- (1) 電子ペーパーに係る基盤技術開発  
(助成事業 [助成率：2/3 以内]) \*2) 実施期間 平成 23 年度～平成 27 年度
- (2) 高反射型カラー電子ペーパーの開発
- (3) 大面積軽量単色電子ペーパーの開発 (平成 26 年度で終了)

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」

(委託事業) \*1) 実施期間 平成 22 年度～平成 23 年度

- (1) フレキシブルセンサに係る基盤技術開発  
(助成事業 [助成率：2/3 以内]) \*2) 実施期間 平成 23 年度～平成 27 年度
- (2) 大面積圧力センサの開発

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」

(委託事業) \*1) 実施期間 平成 28 年度～平成 30 年度

- (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」

(委託事業) \*1) 実施期間 平成 28 年度～平成 30 年

- (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

\*1) 実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術」に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施する事業であり、原則、委託事業として実施する。

\*2) 課題設定型産業技術開発費助成金交付規程に基づく助成事業として実施する。

### 2.1.2.2 研究開発項目毎の具体的内容

研究開発項目毎の研究開発の必要性、具体的内容、達成目標（中間目標：平成 25 年度末、最終目標：平成 27 年度末）は下記の通りである。

#### 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」

##### 《研究開発の必要性》

フレキシブルなプラスチックフィルム基板上に、低欠陥で均一な薄膜トランジスタ（TFT）アレイを印刷法で連続製造するためには、フレキシブルアライメント、印刷、温度制御、乾燥技術などの要素技術を組み合わせた製造技術確立する必要がある。さらに、連続生産プロセスの開発のための評価技術開発が必要である。

##### 《研究開発の具体的内容》

###### (1) 標準製造ラインに係る技術開発

連続かつ完全印刷工程による A4 サイズの TFT アレイを製造できるラインを構築し、連続プロセスで TFT アレイの製造が可能であることを実証する。

###### (2) TFT に特有の特性評価に係る技術開発

印刷法で製造された (1) の TFT アレイの機械的特性・信頼性の評価手法を確立する。また、TFT の特性評価に係る標準化に向けたデータの取得を行う。

##### 《達成目標》

###### (1) 標準製造ラインに係る技術開発

###### 【中間目標（平成 25 年度末）】

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、連続生産するための製造プロセスの課題を抽出する。

###### 【最終目標（平成 27 年度末）】

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 50 枚連続生産が可能な製造プロセスの要素技術確立する。生産タクトは 1 平米あたり 90 秒以下を実現する技術確立する。

###### (2) TFT に特有の特性評価に係る技術開発

###### 【中間目標（平成 25 年度末）】

(1) で作製される TFT アレイの性能評価手法を確立し、材料スクリーニングや、印刷プロセスの最適化検討を行う。

###### 【最終目標（平成 27 年度末）】

TFT アレイの信頼性の評価方法を確立する。あわせて評価手法の標準化の検討を行う。

#### 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」

##### 《研究開発の必要性》

プリンテッドエレクトロニクス技術を普及していくためには、さまざまな要求特性に対応した製造プロセスの高度化や TFT 性能の向上が必要である。さらに、汎用プラスチック基板を使用するためには、製造プロセスの低温化が必要である。また、TFT アレイを含む電子回路の高性能化には印刷の位置合わせ精度の向上や駆動周波数の高周波化が必要である。本項目では、材料とプロセス技術の摺り合わせによる TFT アレイの高度化を行う。

#### 《研究開発の具体的内容》

研究開発項目①で開発する連続製造プロセスの高度化を行う。具体的には製造プロセスの低温化・TFT アレイを含む回路の高性能化を図るために、各種材料（有機半導体材料、導電材料、絶縁材料等）の組成検討、硬化プロセス、並びに精密位置合わせ法の開発を行う。また、TFT アレイの大面积化（メートル級）に適用可能な生産プロセスの検討を行う。

#### 《達成目標》

##### 【中間目標（平成 25 年度末）】

位置合わせ精度 $\pm 20\mu\text{m}$ 、 $150^\circ\text{C}$ 以下の温度で生産できるプロセスの要素技術を確立する。また、印刷法で製造した TFT 素子において、動作周波数  $0.3\text{MHz}$  以上を示す材料・プロセス技術を開発する。

##### 【最終目標（平成 27 年度末）】

位置合わせ精度 $\pm 10\mu\text{m}$ 、 $120^\circ\text{C}$ 以下の温度で生産できるプロセスの要素技術を確立する。また、素子の動作周波数が  $1\text{MHz}$  以上を示す TFT アレイを印刷法で製造し、デバイスとして駆動することを実証する。加えて作製された TFT アレイを用いて、圧力、もしくは接触による情報入力デバイスを試作し、落下試験など耐衝撃性を評価し堅牢性を検証する。

TFT アレイの大面积化（メートル級）においては、大面积 TFT アレイの連続製造に適用可能な製造プロセスの設計指針を提示する。

#### 研究開発項目③「印刷技術による電子ペーパーの開発」

##### 《研究開発の必要性》

電子ペーパーは外光を利用する反射型であること、表示のメモリー性があることから省エネルギーであるため、表示タグ・電子書籍の表示体等に使用されており、今後の市場拡大が大きく見込まれる分野である。しかしながらカラー化については本格的な実用化には至っておらず、また、軽量化による携帯性も望まれる。本項目では、軽量化、カラー化に必要とされている電子ペーパーの開発を行う。

##### 《研究開発の具体的内容》

##### (1) 電子ペーパーに係る基盤技術開発

各種電子ペーパーを印刷による TFT アレイへ適合するための基礎技術の検討を行い、



デバイス作製のための課題抽出及び設計指針を得る。得られた成果は研究開発項目①・②へ反映する。

(2) 高反射型カラー電子ペーパーの開発

カラーフィルター方式に比べ、発色性、色再現性が高い電子ペーパーを作製し、工業的に製造が可能であることを実証する。具体的には、フルカラー化を実現するために多階調の表示制御が可能な高反射発色素子を使用可能な TFT アレイを開発し、アプリケーションとして高反射型フレキシブルカラー電子ペーパーを実証する。

(3) 大面積軽量単色電子ペーパーの開発

生産性・寿命・衝撃耐性等に優れた汎用的な電子ペーパーを作製し、工業的に製造可能であることを実証する。具体的には、簡易なモジュールアセンブリが可能な軽量性・生産性・耐衝撃性などに優れた TFT アレイの開発を行い、表示部と合わせたアプリケーションとして電子ペーパーを実証する。加えて、本デバイスにおける大面積化のための技術開発も行う。

《達成目標》

(1) 電子ペーパーに係る基盤技術開発

【平成 23 年度末目標】

各種電子ペーパーに係る仕様を決定するための、TFT アレイと表示部の接合条件や駆動電圧等について基礎データの収集を行いデバイスとしての課題を抽出し、得られた結果をもとに設計指針を提示する。

(2) 高反射型カラー電子ペーパーの開発

【中間目標（平成 25 年度末）】

印刷法を用いてフィルム基板上に反射率 50%以上である対角 6 インチのカラー（64 色）パネルを試作する。

【最終目標（平成 27 年度末）】

印刷法を用いてフィルム基板上に反射率 50%以上である対角 10 インチのカラー（512 色）パネルを作製し、工業的に製造が可能であることを実証する。10 インチパネルの重量は 60g 以下を達成する。

(3) 大面積軽量単色電子ペーパーの開発

【中間目標（平成 25 年度末）】

印刷法を用いて A4 サイズのフィルム基板上に 120ppi 以上の解像度を持つ TFT アレイを安定かつ連続的に製造する技術を開発する。製造タクトは 1 枚あたり 10 分以内を達成する。

【最終目標（平成 27 年度末）】

A4 サイズのフィルム基板上に 120ppi 以上の解像度を持つ TFT アレイを完全印刷工程で安定かつ連続的に製造する技術を開発する。製造タクト時間は 1 枚あたり 3 分以内を達成する。作製された TFT アレイと表示部を組み合わせたパネルを作製し、軽量単色電子ペーパーが工業的に製造可能であることを実証する。パネルの重量は

40g 以下を達成する。また、得られた成果をもとに大面積化に向けたプロセス・デバイスの設計指針を示す。

#### 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」

##### 《研究開発の必要性》

ベッド上での介護を助けるセンサ類や、ポータブルのイメージセンサなど、安全安心社会やより便利な情報化社会の実現への一つとして、安価・フレキシブルでさまざまな場所に適応可能な各種センサの早期実用化が求められている。フレキシブルセンサの作製においては大面積実装などの要素技術が必要とされるが、これはプリントエレクトロニクスの得意とする分野である。よって本項目では、印刷技術を使ったモデルデバイスとして新規フレキシブルセンサの開発を行う。

##### 《研究開発の具体的内容》

###### (1) フレキシブルセンサに係る基盤技術開発

各種フレキシブルセンサを印刷による TFT アレイへ適合するための基礎技術の検討を行い、デバイス作製のための課題抽出及び設計指針を得る。得られた成果は研究開発項目①・②へ反映する。

###### (2) 大面積圧力センサの開発

研究開発項目①・②において開発される TFT アレイの製造技術を応用し、情報入出力をリアルタイムで処理可能な大面積 TFT シートの製造技術を確立する。具体的には電界効果移動度や閾値電圧のばらつきを均一化するための素子作製技術を開発し、面全体で均一な応答動作が可能な大面積シートデバイスを実現する。また、それらの技術を適用する上で必要となる製造設備を開発する。製作された大面積 TFT アレイ上に圧力素子を実装することで、大面積圧力センサを開発する。

##### 《達成目標》

###### 【中間目標（平成 25 年度末）】

A4 サイズ相当の領域内で構成層間のアライメント精度  $50\mu\text{m}$  内、素子の特性ばらつき（移動度及び閾値電圧） $\sigma < 10\%$  を達成する大面積 TFT シートの製造技術と製造装置の開発を行う。得られた加工精度と素子特性に基づき、メートル級の面積 TFT アレイの設計指針を示す。

###### 【最終目標（平成 27 年度末）】

1 mm 角あたり 1 素子の密度で形成した TFT アレイの特性（移動度及び閾値電圧）のばらつき  $\sigma < 5\%$  以下で、連続駆動が 10Hz 相当以上で可能なメートル級の面積 TFT シートを試作する。これを背面基板に用いた圧力センサシートを試作し、情報入力モデルデバイスとして実用可能であることを実証する。

また、第二期の研究開発項目毎の研究開発の必要性、具体的内容、達成目標（最終目標：平成 30 年度末）は下記の通りである。

## 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」

### 《研究開発の必要性》

プリントエレクトロニクス技術は、IoT (Internet of Things) など多様な場所に設置されるフレキシブルデバイスの生産に適用されることが期待されている。これらに適用し、技術を高度に普及させていくためには、多品種デバイスへの適用が容易となること、変量生産であっても高い生産性が維持できることなどが必要となる。これらを実現させるには、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ことが重要で、そのための技術としてオンデマンドでの版設計製造技術が開発されること、高速高生産性が維持発揮できるよう小規模装置で高効率高速製造技術が開発されること、フレキシブルデバイスを製造するためのフレキシブル基板の搬送が高精度で高速に実現され、一連の生産工程がカスタマイズ化に対応し、かつ高速に行われるようになることなどが必要である。

### 《研究開発の具体的内容》

#### (1) 高生産性カスタマイズ化プロセス技術の開発

変種変量高生産性カスタマイズ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、デジタル化・オンデマンド化製造技術の開発並びにこれら製造プロセスの高度信頼性化技術の開発を行う。

#### (2) 高速高精度基板搬送技術の開発

デバイスの薄膜化と軽量化に向けた小規模高速高生産性印刷製造プロセスを確立するために、一連の生産工程において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を行う。

### 《達成目標》

#### (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年度末)】

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年度末)】

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±10μm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」

### 《研究開発の必要性》

プリントエレクトロニクス技術を適用して生産する多種多様な仕様を有するセンサや表示などのフレキシブル入出力端末デバイスを市場展開し、高度に普及させるためには、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いくことが必要である。

特にこれらを最終的な製品仕様に十分こたえられる高機能を発揮させるためには、低損傷で高効率デバイス製造を実現することが必要であり、そのための実装技術の開発などが必要となっている。

#### 《研究開発の具体的内容》

##### (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

フレキシブル基板上に印刷で形成する入出力デバイスの高感度化技術の開発を行うとともに、市場化へのデバイス性能高信頼性化をもたらすための、デバイス動作高安定化、長寿命化技術の開発を行う。

##### (2) フレキシブルデバイス実装技術の開発

印刷形成フレキシブルデバイスの高安定動作化、高耐久性化、大面積化などを実現させるために、接着、接合、封止、ハイブリットチップマウントなど、フレキシブル基板上に高効率低損傷で入出力デバイスを実装するフレキシブル実装技術の開発を行う。

##### (3) フレキシブルデバイスの機能複合化技術の開発

多様な仕様、設計を有するフレキシブルデバイスの高効率印刷形成を実現するために、単一フレキシブル基板上に、入力、出力、通信などの異なる機能を有する複数のデバイスを同時に印刷形成する技術の開発を行う。

#### 《達成目標》

##### (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年度末）】

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年度末）】

100°C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年度末）】

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、電氣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。

### 2.1.3. 研究開発計画と予算推移

印刷デバイス製造技術の開発では、生産システム化のために、連続生産、高速生産、大面積生産といった課題が主要な技術課題となる。印刷デバイス製造技術を広く産業界へ普及するためには、高精細化、高精度アライメント、高均質化、膜質制御、積層制御、高機能化など、数多くの課題を解決し、様々な電子基板、電子部品に適用され

る技術として確立しなければならない。

本プロジェクト第一期では、プリントエレクトロニクスの本格的な実用化に資する基盤技術及び実用化技術を確立するため、具体的な研究開発課題として、以下の4つの研究開発項目を設定した。

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」

- (1) 標準製造ラインに係る技術開発
- (2) TFT に特有の特性評価に係る技術開発

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」

研究開発項目③「印刷技術による電子ペーパーの開発」

- (1) 電子ペーパーに係る基盤技術開発
- (2) 高反射型カラー電子ペーパーの開発
- (3) 大面積軽量単色電子ペーパーの開発

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」

- (1) フレキシブルセンサに係る基盤技術開発
- (2) 大面積圧力センサの開発

連続印刷技術、短タクト化技術、大面積化技術等、連続印刷製造プロセスの確立に係る研究開発項目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」、及び高機能化技術、プロセス低温化技術等デバイスの高性能化や製造プロセスの高度化に係る研究開発項目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」、電子ペーパーやフレキシブルセンサの TFT アレイへの適合条件等の課題抽出に係る研究開発項目③「印刷技術による電子ペーパーの開発」(1) 電子ペーパーに係る基盤技術開発及び研究開発項目④「印刷技術によるフレキシブルセンサの開発」(1) フレキシブルセンサの基盤技術開発については、産学官の複数の事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施すべき事業であり、委託事業として実施する。

また、電子ペーパー（単色、カラー）、圧力センサ（大面積）といった製品ターゲットを明確化し、これらの実用化技術の開発に係る研究開発項目③「印刷技術による電子ペーパーの開発」(2) 高反射型カラー電子ペーパーの開発、(3) 大面積軽量単色電子ペーパーの開発、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」(2) 大面積圧力センサの開発については、課題設定型産業技術開発費助成金交付規定に基づく助成事業として実施する。

本事業の研究開発項目毎の目標、及びスケジュールの概要を表Ⅱ-2.1-1、図Ⅱ-2.1-2に示す。本事業では、研究開発の進捗を適切に管理し、計画や体制変更を含めた柔軟なマネジメントを行うためにそれぞれの研究開発項目に平成25年度末までの中間目標、平成27年度末までの最終目標を設定した。表Ⅱ-2.1-1に示すようにそれぞれの中間目標及び最終目標は達成度を客観的に判断できる具体的かつ明確な数値目標を設定しており、これらの目標を達成するために必要な個々の技術課題に落とし込んで年度毎の目標を立てて研究開発に取り組んできた。

表 II -2.1-1 研究開発項目の目標

研究開発項目	中間目標	最終目標
①-(1)標準製造ラインに係る技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>On電流の面内ばらつき <math>\sigma \leq 10\%</math>以下(A4 TFTアレイ)</li> <li>層間アライメント精度 <math>\pm 10 \mu\text{m}</math>(A4 TFTアレイ)</li> <li>連続生産の為のプロセス課題抽出</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>A4 TFTアレイ (<math>\sigma \leq 10\%</math>以下)を50枚連続生産</li> <li>生産タクト: 90秒/m<sup>2</sup>以下</li> </ul>
①-(2)TFTに特有の特性評価に係る技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>印刷製造TFTアレイの性能評価法を確立</li> <li>材料のスクリーニング、印刷プロセスの最適化要因抽出</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>TFTアレイの信頼性評価方法を確立</li> <li>信頼性評価手法の標準化</li> </ul>
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>位置合わせ精度 <math>\pm 20 \mu\text{m}</math>、150℃以下の温度で生産できるプロセス技術</li> <li>印刷製造TFT素子で動作周波数0.3MHz以上</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>位置合わせ精度 <math>\pm 10 \mu\text{m}</math>、120℃以下の温度で生産できるプロセス技術</li> <li>印刷製造TFT素子で動作周波数1MHz以上</li> <li>印刷製造TFTアレイで圧力or接触型情報入力デバイスを試作し、堅牢性を実証</li> <li>メートル級大面積TFTアレイの連続製造プロセスの提示</li> </ul>
③-(1)電子ペーパーに係る基盤技術開発	電子ペーパー用表示部とTFTアレイの接合化、駆動電圧等の条件抽出 (H23年度末目標)	—
④-(1)フレキシブルセンサに係る基盤技術開発	フレキシブルセンサのセンサ部とTFTアレイの接合、駆動電圧等の条件抽出 (H23年度末目標)	—
③-(2)高反射型カラー電子ペーパーの開発	印刷法による64色カラーパネル(6-inch、反射率50%)の試作	印刷法による512色カラーパネル(10-inch、反射率50%)の試作及び製造実証
③-(3)大面積軽量単色電子ペーパーの開発	印刷法によるTFTアレイ(A4サイズ、解像度120ppi以上)の連続製技術(タクト10min/枚)	完全印刷法によるTFTアレイ(A4サイズ、解像度120ppi以上)の連続製技術(タクト3min/枚)の確立及び製造実証
④-(2)大面積圧力センサの開発	A4サイズ相当の大面積TFTシートの製造技術(構成層間アライメント精度50 $\mu\text{m}$ 以下、ばらつき $\sigma < 10\%$ )	1素子/1mm角で形成したTFTアレイ(ばらつき $\sigma < 5\%$ 以下)で10Hz相当以上で連続駆動が可能なメートル級大面積TFTシートの試作及び情報入力デバイスとしての実用実証

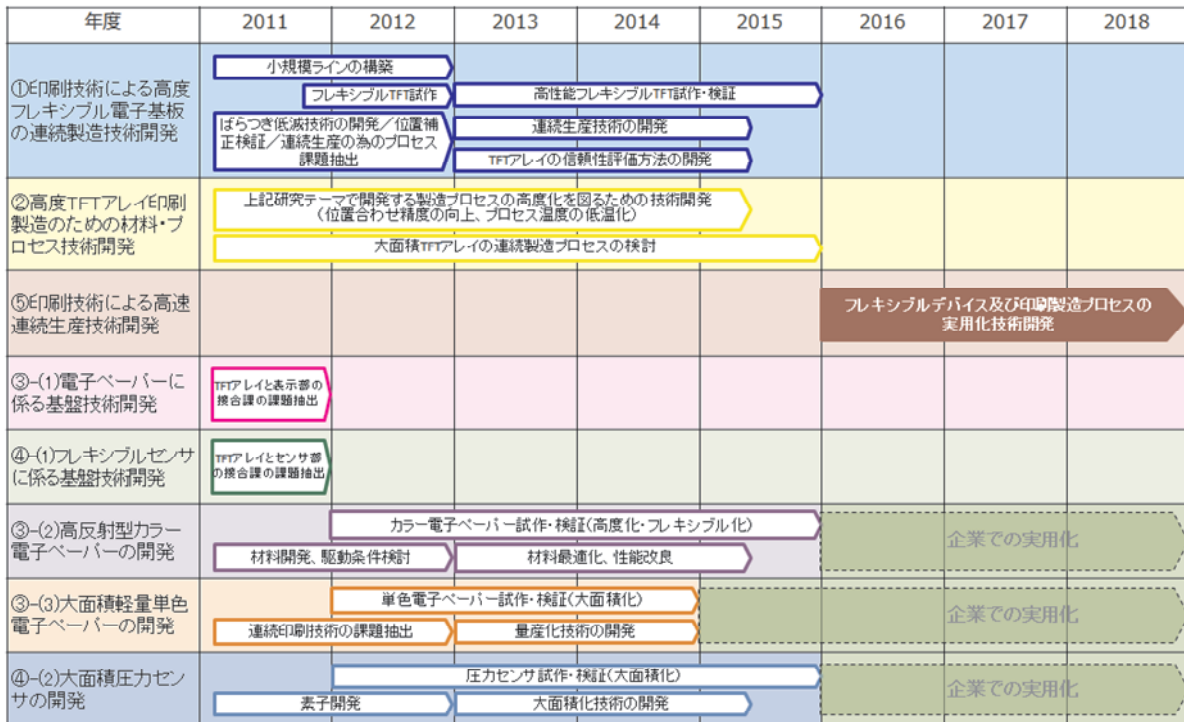


図 II -2.1-3 研究開発スケジュール

図 II -2.1-3 に示すように本事業では、事業開始序盤(～2012)においては個別要素技術の開発及び高度化、印刷製造プロセスの確立に向けた課題抽出等を重点課題としており、プロジェクト後半年度(2013～2015)では開発された技術を融合することによ

って印刷プロセスによるデバイスの試作・検証に重点化して研究開発を推進してきた。前半での課題抽出が進み次第、デバイス試作・検証を前倒して開始することとして、その効果により開発目標の前倒し達成を多く得ることができた。中でも研究開発項目③-(3)大面積軽量単色電子ペーパーの開発においては、最終目標の早期達成と個社努力による事業化前倒しを行うことにより、1年前倒しでプロジェクトを完了とすることができた。

本プロジェクト第二期では、第一期の成果を踏まえ、プリントドエレクトロニクスの本格的な普及促進を図るため、印刷技術による省エネ型フレキシブルデバイス及び製造プロセスの実用化を促進する技術開発を行う目的で、以下の2つの研究開発項目を設定した。

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」

- (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」

- (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

第二期の研究開発項目毎の目標、及びスケジュールの概要を表Ⅱ-2.1-2、図Ⅱ-2.1-4に示す。

表Ⅱ-2.1-2 研究開発項目の目標（第二期）

開発項目	開発内容	目標
⑤-(1) 高生産性カスタマイズ化プロセス技術	変量多品種高生産性製造を可能にする印刷デバイス製造カスタマイズ化技術を開発	30秒/枚以内の生産性+変量多品種生産が可能で、プロセス再現性が±10%以内
⑤-(2): 高速高精度基板搬送技術の開発	変量多品種高生産性製造を可能にするフレキシブルシート基板高速搬送技術を開発	フリーフィルム基板を、精度±10μm以内で、30秒/枚以内で搬送
⑥-(1) フレキシブルデバイス高感度化、高信頼性化技術の開発	信頼性確保、低消費電力高感度駆動のためのバラツキ制御、低電圧駆動化技術の開発	5V以下の駆動電圧+感度ばらつき10%以下
⑥-(2) フレキシブルデバイス実装技術の開発	フレキシブルデバイス・基板の低温低損傷、高精度実装技術を開発	100℃以下の接合接着技術+10万回以上の曲げ耐性
⑥-(3) フレキシブルデバイス機能複合化技術の開発	モデルデバイス基本仕様をベースに、複数機能の同期技術を確立し動作確認	複数機能有する素子を印刷で形成し、IoT入出力センサデバイスとして実証

研究開発項目	2016年	2017年	2018年	
<b>研究開発項目⑤</b> (1)カスタマイズ版製造技術 デジタルパターニング技術 (2)高速基盤搬送技術	版カスタマイズ化設計 プロセス設計 基本設計・パーツ開発	高速製版化 高解像度高精度化 高速高精度化	プロセス化 プロセス高信頼性化 装置検証	・生産性30秒/枚以内 ・プロセス再現性±10以内 ・精度±10μ以内 ・搬送速度30秒/枚以内
<b>研究開発項目⑥</b> (1)高感度信頼性化技術 (2)フレキシブル実装技術 (3)複合機能化技術	高感度化・均質化 高感度化・均質化 複数入力機能化	高信頼性化 表示機能複合化	感度信頼性統合化 高耐久性化 表示機能複合化	・5V以下駆動 ・感度ばらつき10%以下 ・100℃以下実装 ・曲げ耐性10万回以上 ・IoT入出力センサデバイスとしての機能実証
<b>研究開発項目⑤⑥共通</b> (1)ユースケース実証 (2)プラットフォーム化		実証試験 プラットフォーム化設計ツール開発		・生産プロセスの設計ツールライブラリー作成

図 II -2.1-4 研究開発スケジュール（第二期）

図 II -2.1-4 に示すように第二期は、カスタマイズプロセス化基盤技術（多品種変量生産を実現するデバイス生産技術として、カスタマイズ版製造技術、高精度デジタルパターニング技術、また小規模高生産性製造のためのフレキシブル基板高速高精度搬送技術の開発）、フレキシブル複合機能デバイス技術（多種多様な仕様を有するセンサや表示などのフレキシブル入出力デバイスを市場展開させるための、印刷形成フレキシブルデバイスの高信頼性化、機能複合化、低損傷実装技術の開発）と並行して、プロセス・デバイス実証・プラットフォーム化技術（上記開発技術の実証として、モデルデバイスの試作およびそのユースケースにおける実証フィールド試験）を実施してきた。また、得られた知見をもとに、印刷製造プロセス、印刷製造デバイス設計のプラットフォーム化としての設計ツールの開発を実施し、産業競争力の強化と新規市場の創出に貢献することを目的とした研究開発を推進してきた。

次にプロジェクトの予算推移を表 II -2.1-3 に示す。2015 年度までに投入された研究開発予算は約 79.5 億円である。そのうち、委託事業には約 65.4 億円、助成率を 2/3 とする助成事業には約 14.1 億円が配分されている。特に平成 22 年度、平成 23 年度は我が国の経済情勢や電子・情報産業分野の現状を鑑み、本プロジェクトを早期に立ち上げて推進することの必要性や東日本大震災の発生によって懸念された国内製造業の空洞化を回避し、中長期的に省エネルギーに貢献する研究開発を加速させることの重要性から、プロジェクト前半年度に予算を重点配分する措置が取られた。これにより、プロジェクトの早期立ち上げに繋がったとともに、連続印刷プロセスによる一貫製造を可能とする標準製造ラインを 2012 年度内に構築することに成功し、印刷プロセスに



よる TFT アレイの早期試作を実施することが出来ており、製造プロセスの課題抽出につながっている。

第二期に投入された研究開発予算は約 17.4 億円である。第二期においても予算はプロジェクト前半に重点配分され、必要に応じて加速予算をつける方針で予算執行された。加速予算としては、2017 年度に研究開発項目⑥「フレキシブル複合機能デバイス技術の開発」でのセンサデバイスのユーザー候補企業への提供前倒し実施に対して 50 百万円の加速資金投入を行い、ユーザー評価の前倒し、ユーザー要求仕様の早期取得とそのセンサ仕様への反映につながった。

表 II-2.1-3 研究開発の予算推移と予算配分の内訳（単位：百万円）

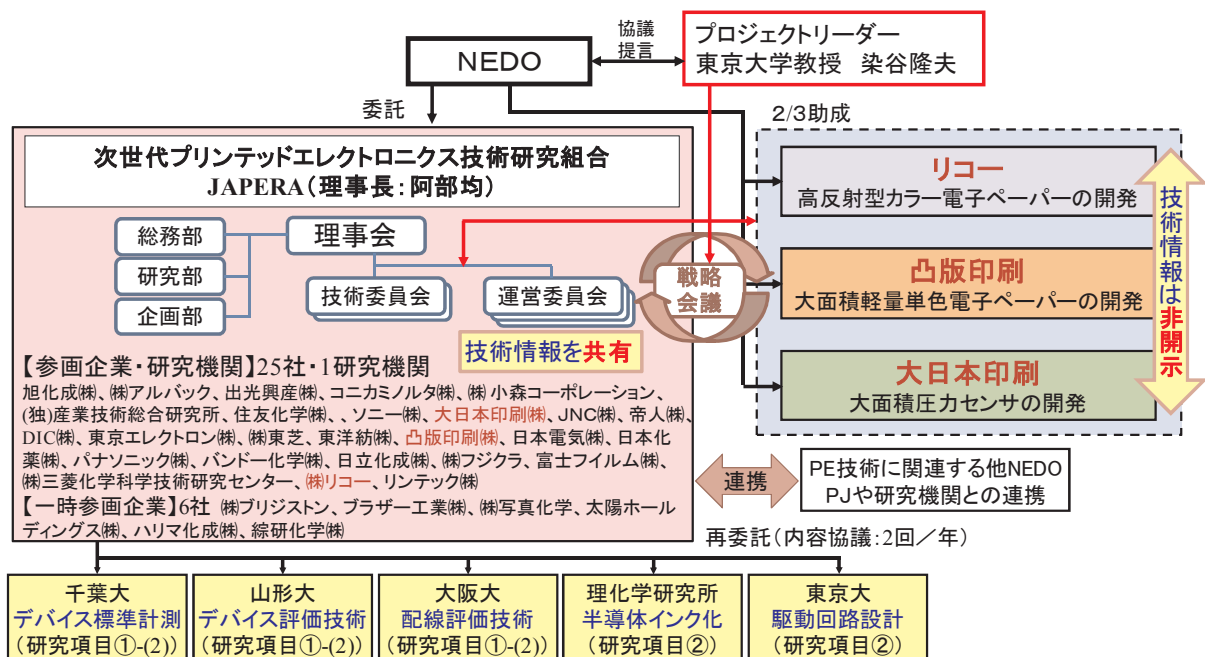
		一般会計				エネルギー特別会計					
		2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	
委託	本予算	-	104	387	681	684	695	724	546	465	
	補正	2,100	1,345	-	454	93	-	-	-		
助成	本予算	-	120	13	265	204	135	(他助成事業等)			
	補正	-	639	-	-	27	-				
		プリエレ P J (一期)					プリエレ P J (二期)				

## 2.2 研究開発の実施体制

本プロジェクトの実施体制を図Ⅱ-2.2-1に示す。本プロジェクトでは東京大学 染谷隆夫教授に研究開発責任者（プロジェクトリーダー（以下、PL という））とし、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」、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」、研究開発項目③「印刷技術による電子ペーパーの開発」（1）電子ペーパーに係る基盤技術開発及び研究開発項目④「印刷技術によるフレキシブルセンサの開発」（1）フレキシブルセンサの基盤技術開発を担う委託事業については、プリントドエレクトロニクスに関連した事業を行っている 25 企業（一時在籍企業は 6 社）と国立研究法人産業技術総合研究所で構成される次世代プリントドエレクトロニクス技術研究組合（以下、JAPER A という）が担当した。

一方、製品ターゲットを具体化した実用化技術の開発項目として設定した、研究開発項目③「印刷技術による電子ペーパーの開発」における（2）高反射型カラー電子ペーパーの開発はリコー株式会社、（3）大面積軽量単色電子ペーパーの開発は凸版印刷株式会社が担当し、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」（2）大面積圧力センサの開発は大日本印刷株式会社がそれぞれ担当している。なお、委託事業で開発される成果を助成事業においても活用することを目的として、助成事業を担当する企業も JAPER A へ参画し、委託事業を推進している。

なお、プロジェクト発足当初、助成事業として研究開発項目③「高速応答型カラー電子ペーパーの開発」を株式会社ブリジストンが担当していたが、同社の電子ペーパー関連事業からの撤退に伴い、平成 23 年度に当該テーマを終了した。



図Ⅱ-2.2-1 研究開発の実施体制

助成事業では各社の事業戦略に基づいた研究開発を実施しているため、各社が実施している開発内容等の技術情報については相互に非開示としている。一方、委託事業と助成事業の間では、プロジェクト全体として効果的に成果を獲得するため、事業全体の進捗状況や問題点等を把握し、研究開発内容の調整等を行う必要があり、PLによる統括のもとで委託事業の代表者と助成事業の代表者らで構成される戦略会議を定期的に開催しており、事業者間で連携をとりながら事業を推進している。また 25 企業、1 研究機関の組合員で構成される JAPER A では組合企業の役員らをメンバーとする理事会を中心として、活動の基盤となる総務部、研究部、企画部を編成し、本プロジェクトの研究開発に組織として対応している。JAPER A では、PL をリーダーとして委託事業における研究開発の計画策定や組合企業が担当する研究開発内容の調整、進捗状況の確認等を行う技術委員会（1 回／月）や組織運営上の課題等について組合企業間で調整し、承認等を行う運営委員会（4～5 回／年）等の各委員会を設置し、組合企業間で調整や連携を図りながら適切に委託事業を推進できる運営体制となっている。

また、TFT の高機能化に必要な有機半導体のインク技術など委託事業の目標を達成するために解決を必要とする重要な課題でありながら、組合企業では対応しきれず、大学、研究機関の知識、経験を必要とする課題については、大学、研究機関へ個別テーマ毎に再委託をしている。具体的には印刷法によって製造できる薄膜トランジスタ（TFT）を実用化する上で重要な高周波特性の標準計測技術、印刷 TFT の動作信頼性の評価技術、低温印刷によって形成する TFT の高機能化、高移動度化に向けた TFT 集積回路の配線技術や有機半導体のインク化技術、さらに大面積圧力センサを実現する上で重要なデバイスの電氣的信頼性、均一化を実現する回路構成等駆動回路の設計技術であり、それぞれの分野で最先端の研究開発を行っている 4 大学、1 研究機関に再委託している。なお、再委託テーマについては大学、研究機関毎に組合企業との間で定期的に研究進捗の確認や内容について協議しており、委託事業の目的達成の観点からその必要性を確認している。

前回の中間評価の際に委託事業と助成事業の連携をさらに強化すべしとの意見を反映して、PL に助成事業の課題・成果についての指導を行って頂き、助成での課題を明確化し、委託での課題と共通するものを両社で別々に解決しようとしていたが、委託での課題解決策を助成にも適用するように PL 指導で情報展開することで助成の課題解決を加速させることができた。

図 II-2.2-2 に委託事業を担当する JAPER A の参画企業の役割と協力体制について模式図を示す。JAPER A には半導体、導体、絶縁体、フィルム等の材料・素材のフレキシブル TFT への適合性等を検討するための役割を担う材料メーカー、プリテッドエレクトロニクスに適合するデバイスの生産システムや装置、印刷技術を検討対象としている生産プロセス・システムメーカー、ディスプレイや有機 EL 照明、電子ペーパーといったプリテッドエレクトロニクスに対応したデバイスの設計、開発を検討対象としているデバイスメーカー、及びフレキシブルデバイスや構成材料の基礎検討、標準評価技術を検討する役割の産業技術総合研究所が参画している。JAPER A には各組合企業から研究員が派遣されており、集中研方式で研究開発を行っている。委託事業の研究開発の推進母体である JAPER A の研究部では、委託事業の目標達成に必要な各課題

の技術領域毎に研究班を組織しており、各企業が得意とする技術領域を担当している。例えば、材料メーカーは自社の素材や開発材料を研究部に提供し、印刷 TFT への適合性等を評価するなど、個別企業だけではカバーしきれない技術領域を相互に補完しながら研究開発を推進している。

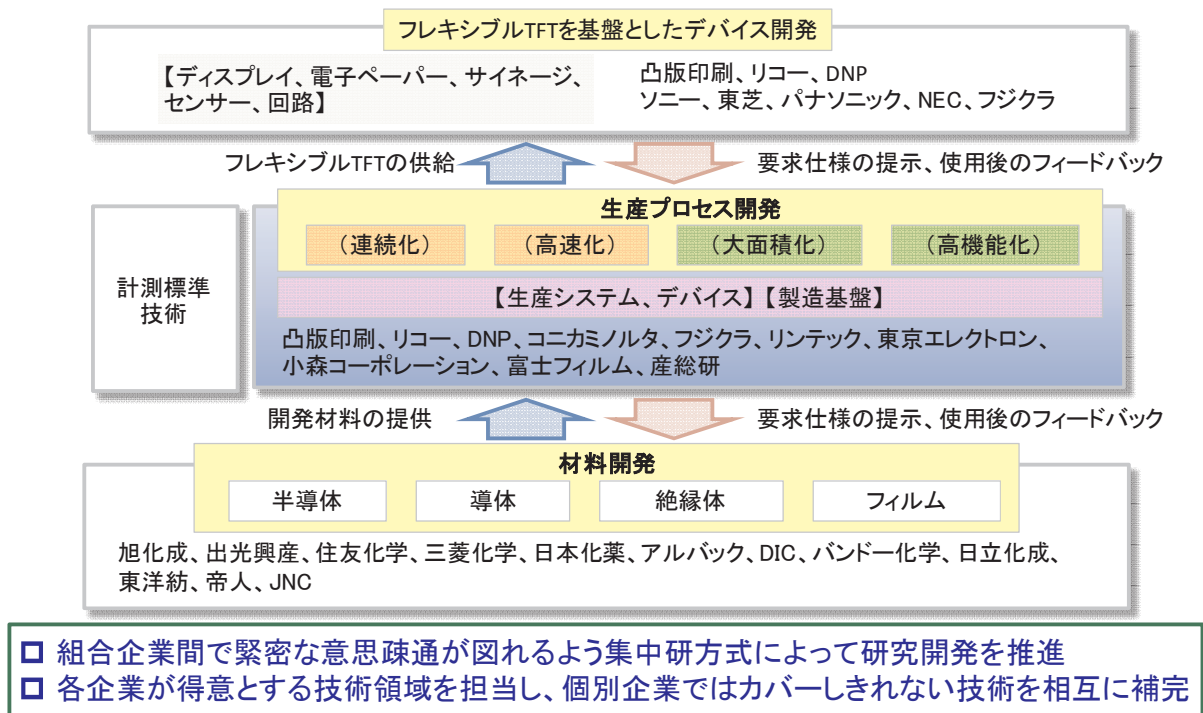


図 II -2.2-2 委託事業（次世代プリンテッドエレクトロニクス技術研究組合）における企業の役割と協力体制

以上のように、本プロジェクトでは事業を円滑かつ効率的に遂行するため、委託事業を担う技術組合や組合企業の間、或いは委託事業と助成事業の間で密に連携をとれる実施体制で運営している。また、専門的な知識、経験を必要とする課題については、研究機関、大学陣とも連携をとって研究開発を推進している。これにより、材料・部材技術、生産システム、デバイス設計等といったデバイス印刷製造技術とフレキシブルデバイスの開発に不可欠な技術を統合、集積化してプリンテッドエレクトロニクスの基盤技術の確立と本格的な実用化を目指している。

第二期のプロジェクトの実施体制を図 II -2.2-3 に示す。第一期に引き続き東京大学染谷隆夫教授を研究開発責任者（プロジェクトリーダー（以下、PL という））とし、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」、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」を引き続き JAPER A が担当した。この中で、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と関連して東京工業大学と信頼性に関する共同研究体制、プロセス・デバイス実証と関連して東京大学とユースケースフィッティングに関する共同研究体制を組んだ。また、第二期には研究開発項目⑥「フレキシブル複合機能デバイス技術の開発」につき、2015 年の中間評価の提言を

反映し、ベンチャー企業を取り込むために第二期の公募で部分提案を設定し、産業技術総合研究所／名古屋大学を新たな委託先機関として追加した。

なお、JAPER A の参加機関は、第二期より図に記載の 15 企業（うち旭化成(株)は、プロジェクト成果の実用化・実用化に専念するために 2018 年にプロジェクト期間途中脱退した。）と産業技術総合研究所となった。

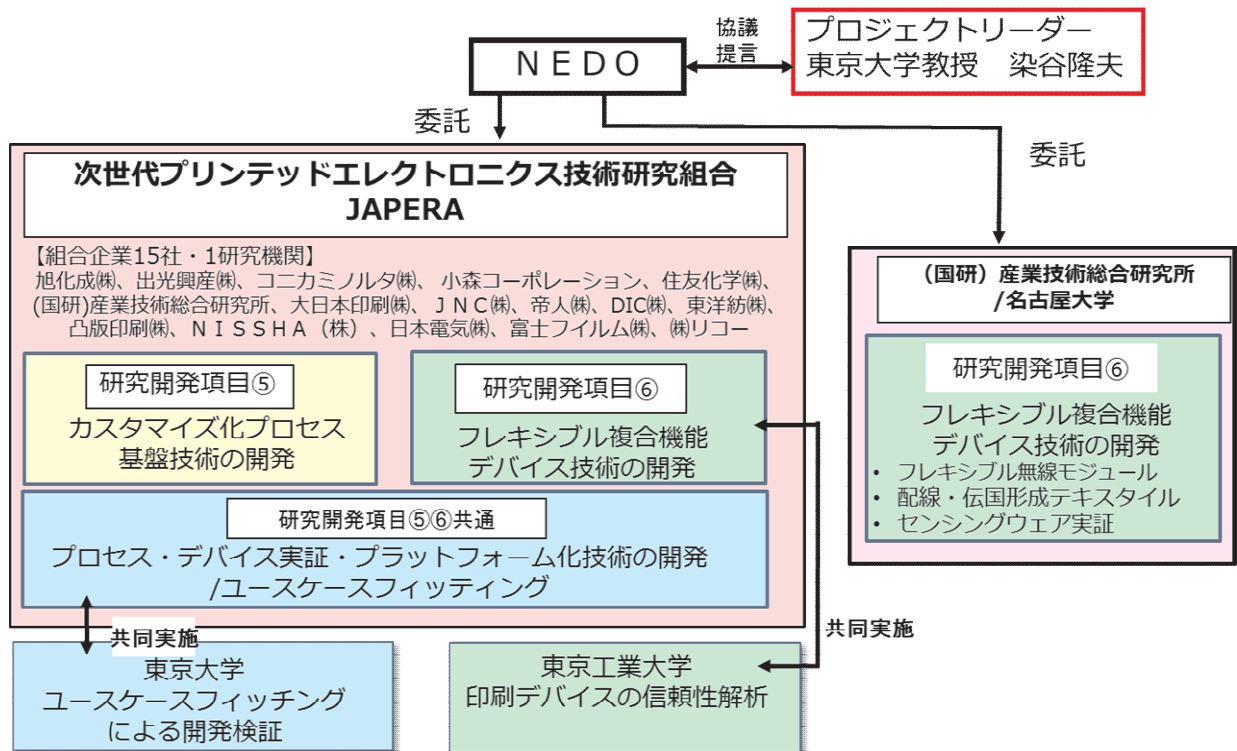


図 II -2.2-3 研究開発の実施体制（第二期）

## 2.3 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有する NEDO は、経済産業省及び研究開発責任者と密接な関係を維持しつつ、本プロジェクトの目的、目標に照らして適切な運営管理に努めている。具体的には、年度毎に各事業者から事業成果の報告を受ける以外にも各事業者と個別に意見交換を行ったり、技術研究組合の委員会や PL を通じて研究開発の進捗状況の報告を定期的に受けており、常に研究開発の進捗状況と問題点の把握に努めている。

NEDO では本プロジェクトの目標達成と事業終了後の成果の活用を特に意識した運営管理を行っている。本プロジェクトでは、製造技術の高度化、信頼性向上等に資する基盤技術開発とプリントエレクトロニクス製品の普及促進に資する実用化開発を総合的に推進し、プリントエレクトロニクスの本格的な実用化、社会への普及を目指している。この事業目標を達成するには、単に研究開発を精力的に推進するだけではなく、事業終了後の成果活用を促進するための取り組みも重要である。本プロジェクトでは事業終了後にも各企業で成果が活用され、プリントエレクトロニクスの普及を促進することを狙い、プロジェクト第一期では助成事業者も参画する JAPER A を中心に標準化活動や市場調査等の活動を行っており、国際競争が激化する同分野での優位性を確保するための戦略策定に活用している。具体的には、プリントエレクトロニクスに係る市場戦略の検討と立案、積極的な知的財産権の活用、及び戦略的な国際標準化活動に資することを目的として 2012 年 2 月に JAPER A に新たに企画部を設置し、傘下に知的財産 WG、標準化 WG、企画調査 WG といった各ワーキンググループを組織してプロジェクト成果の活用に向けた活動を行っている。以下に JAPER A の各 WG が主体的に行っている本プロジェクトの各活動の概略を示す。

### (1) 知的財産・情報管理

JAPER A では本プロジェクトの推進にあたり、知財取扱規程、職務発明取扱規程、情報管理規定、発明審議会規則を定め、これらルールに則った管理を行っている。

本プロジェクトでは組合に参画する各企業がプロジェクト成果を活用し、実用化・事業化を推進することを目的としているため、知的財産権は各企業に帰属することを基本とし、組合や他の企業には優遇された条件での実施許諾義務を課し、プロジェクト終了後の成果活用を見据えた知財方針としている。また、組合企業の研究員代表者らで構成される発明審議会において発明者の認定や出願、ノウハウ秘匿（オープン・クローズ戦略）を判断している。さらに、知財管理にあたっては独立行政法人工業所有権情報・研修館（INPIT）から知的財産管理の専門家（一級知的財産管理技能士）である知財プロデューサー（知財 PD）を JAPER A に派遣しており、発明審議会での組合企業による特許出願のオープン・クローズ戦略の判断、効果的な特許出願を行うための特許調査の実施、特許戦略マップや重点課題分野の策定、出願計画に基づいた特許出願の促進と出願特許の内容調整、知財ルールの機動的な見直しについて専門的見地からの支援を受けている。なお、組合企業間の情報管理については、情報管理規定を定め、秘密情報保持の義務化と公表情報の共有などを明文化しており、ルールを徹底している。

助成事業者に対しては、NEDO は各社の知財オープン・クローズ戦略に基づいた管理を行っているが、助成事業に係る特許出願等についても各社から定期的に報告を受けて状況を把握し、問題点があれば助成事業者と協議を行い、改善に努めている。

## ■ 各企業での成果活用を促進する知的財産管理

- 知財権の帰属(各社への権利帰属、組合、組合企業による実施許諾の優遇)を知財規程で明文化し、各企業の知的財産権を保護することで出願を促進。
- 発明者の認定や出願、ノウハウ秘匿(オープン・クローズ戦略)を発明審議会で判断するなど、知的財産管理規定に基づき実施者間の知財管理ルールを徹底。
- 知財プロデューサーを配置し、特許マップを作成して動向を分析。特許出願計画に基づき、出願内容、時期等を研究員と協議して戦略的な特許出願を促進。

### 図 II -2.3-1 本プロジェクトにおける知的財産管理の概略

知財取扱いにつき第二期では、プロジェクトで試作したデバイスの実証のためのフィールドテストが予定されていることや、第一期中に組合員に帰属した発明の権利化が進んできていることを考慮した知的財産権取扱規程の改正を行った。組合員のフォアグラウンド特許を組合のプロジェクト活動に対して権利行使しないこと、組合員がバックグラウンド特許の許諾交渉に誠実に応ずる努力義務を JAPER A への許諾にも拡大することを追加した。また、プロジェクト終了後の事業化を考慮し、組合に帰属する権利は、解散時に希望する組合員に譲渡することを追加した。

情報管理については第二期では、フィールドテストのために第三者への組合秘密情報開示が必要となることから、その承認の手続きを追加し、また当該第三者から秘密情報の開示を受ける可能性があるため、開示を受けた秘密情報の取り扱いを追加した。組合員におけるプロジェクト成果を活用した独自開発が活発になることに対応して、発明審議会の承認により組合員の独自出願に組合の秘密情報を含めることができるようにした。

また、プロジェクト終了後の本プロジェクト成果特許の取り扱いに関しては、研究開発活動を継承するコンソーシアム(別章にて説明)での活動、さらには参加企業における開発、実用化に対して、プロジェクト期間中になされた発明を活用できることが非常に重要であることを考慮し、知財 WG、運営委員会での議論を経て、理事会、総会決議により、コンソーシアムでの利用保証と、その事業化に際しては、原則として実施許諾をするとの合意に至った。

#### (2) 国際標準化活動

本プロジェクトでは、国際競争が激化するプリントドエレクトロニクスの本格的な実用化を促進し、我が国部素材産業及びデバイス産業の競争力強化、製造プロセスの省資源化、省エネルギー化を図り、諸外国をリードすることを目指している。国際競争が激化する中で我が国が市場優位性を獲得するためには、戦略的な国際標準化活動

は重要であり、産業界の積極的な関与が不可欠である。電気、電子、通信、原子力分野の規格・標準の調整を行う IEC（International Electrotechnical Commission、国際電気標準会議）では 2011 年に TC119（Printed Electronics）が設置されたことを受け、日本工業標準調査会（JISC）は一般社団法人電子情報技術産業協会（JEITA）を IEC/TC119 の国内審議団体として承認した。JAPER A は他の関係機関と連携し、JEITA での IEC/TC119 国内審議委員会やプリントドエレクトロニクス標準化専門委員会の設置に積極的に関与し、TC119 国内審議委員会において IEC 国際規格開発のための調査や規格原案の作成等を推進するなど、プロジェクトで得られた成果を国内委員会に反映させる体制を整え、2014 に日本で開催された IEC で TC119 の日本発の標準化提案の受入れに成功した。また、NEDO プロジェクト「次世代材料評価基盤技術開発」を推進する次世代化学材料評価技術研究組合（CEREBA）ともプリントドエレクトロニクスで用いられるインク、フィルム等材料・部材の評価計測に関する標準化規格の調査企画を立案するなど、戦略的な国際標準化を進めるための規格策定作業において連携を図っている。また、電子オフィスドキュメントの規格案の策定などでもビジネス機械・情報システム産業協会（JBMA）と連携しており、関係機関と連携しながらプリントドエレクトロニクスの普及に向けた活動を行っている。

## ■ 他関連機関との連携による国際標準化活動の推進

### ■ 次世代化学材料評価技術研究組合(CEREBA)

- IEC/TC119国内審議団体のJEITA(電子情報技術産業協会)との連携のもと、CEREBAと協力し、標準化推進母体として活動を推進。日本案での規格化に寄与。
- プリントドエレクトロニクスで用いられるインク、フィルム等材料・部材の評価計測法の標準化規格の調査企画、立案を実施

### ■ ビジネス機械・情報システム産業協会(JBMA)

- 電子オフィスドキュメントの規格案策定予定

図 II-2.3-2 本プロジェクトにおける国際標準化活動の概略

### (3) 市場動向

プリントドエレクトロニクスの市場動向に関しては、2020 年代の半ばに 2,000 億ユーロを超えるという強気の予想（IDTechEx）がある。また、NEDO が平成 21 年度に実施した「プリントドエレクトロニクス技術に係わる調査」（委託先：みずほ情報総研株式会社）の調査結果においてもプリントドエレクトロニクス技術の本格的な実用化と普及が進めば、対象となる市場規模は約 2.2 兆円にのぼることが試算されている。一方で、半導体や液晶ディスプレイの場合のようなキラーアプリケーションが見えてこない現状から、比較的慎重な見方をする専門家もいる。本プロジェクトでは将来期待される市場の拡大や市場創出に対応し、国際競争が激化するなかにおいて関連業界、企業の競争力強化に繋げることを目的としていることから、国内外の市場動向を調査・分析し、時節にあった信頼性のある市場情報を把握し、市場戦略を検討することは重要である。

そこで JAPER A では、2012 年末から国内外の市場動向を独自に調査・分析し、信頼



性のある市場情報の把握に努め、有望アプリケーションの検討、プリントドエレクトロニクスの事業展開に向けたビジネスモデルの検討を行っている。具体的には、プリントドエレクトロニクスの適用分野ごとに、①ディスプレイ、②ワイヤレス・通信、③ヘルスケア・医療、④部品・材料・基板の4つのWGに分け、海外プリントドエレクトロニクス関連企業のベンチマークを実施し、市場展開に有望なアプリケーションの選定検討を行っている。これによってビジネスモデルを考察し、プリントドエレクトロニクスの有望出口の提言に結び付けることで、各企業におけるプリントドエレクトロニクス関連技術の市場戦略の策定に貢献している。

#### ■ 新規市場の開拓に向けた市場動向・ニーズの把握(企画調査WG)

##### ■ 国内外の市場動向を独自に調査・分析(2012年)

- 信頼性のある市場情報の把握
- 海外プリントドエレクトロニクス関連企業のベンチマーク
- 市場展開に有望なアプリケーションの選定検討



各企業におけるプリントドエレクトロニクス関連技術のビジネスモデルと市場戦略の策定に貢献

図 II -2.3-3 本プロジェクトにおける市場調査の概略

## 2.4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性

印刷デバイス製造技術の開発に当たっては、生産システム化を進めるために連続生産、高速生産、大面積生産といった課題が主要な技術課題となる。印刷デバイス製造技術の普及を実現するには、高精細化、高精度アライメント、高均質化、膜質制御、積層制御、高機能化などの課題を解決しなければならないが、委託事業で取り組んでいるフレキシブル TFT シートの印刷製造技術の確立は、こうした印刷デバイス製造技術の主要技術課題の多くを包含しており、最も適した基盤技術となる。こうした技術課題を解決し、生産性向上とデバイス機能向上を達成できれば、汎用技術としての普及が可能になる。

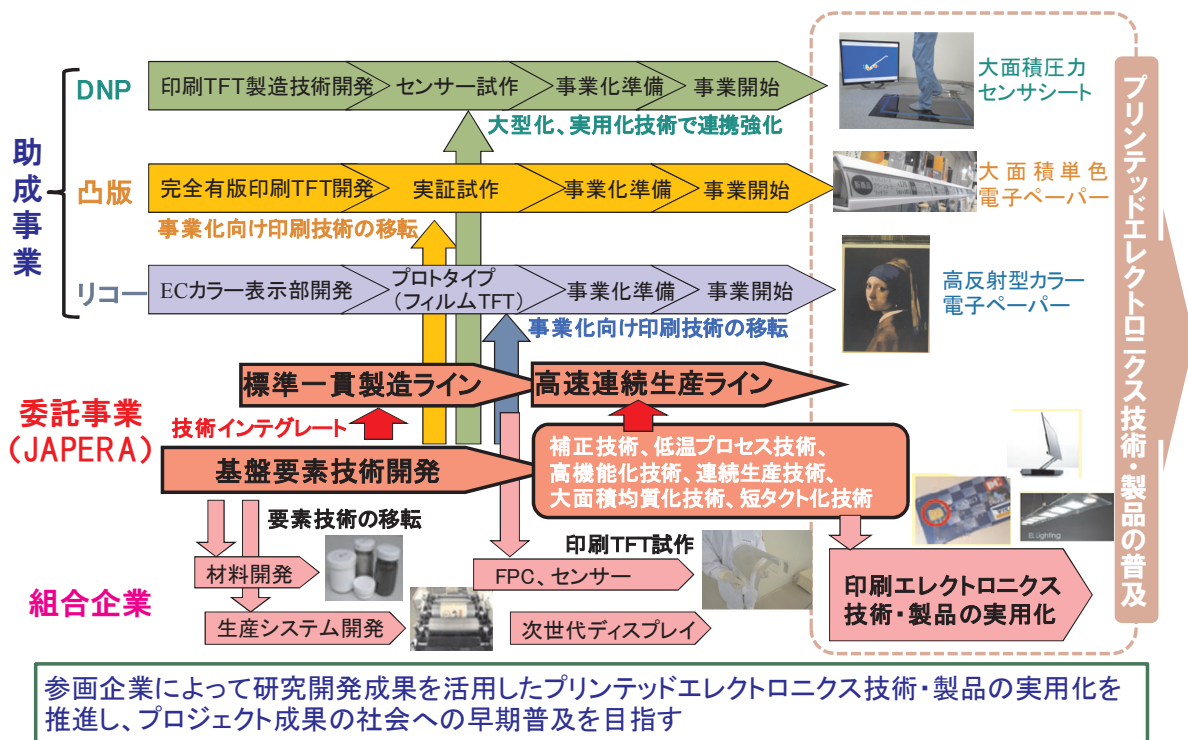


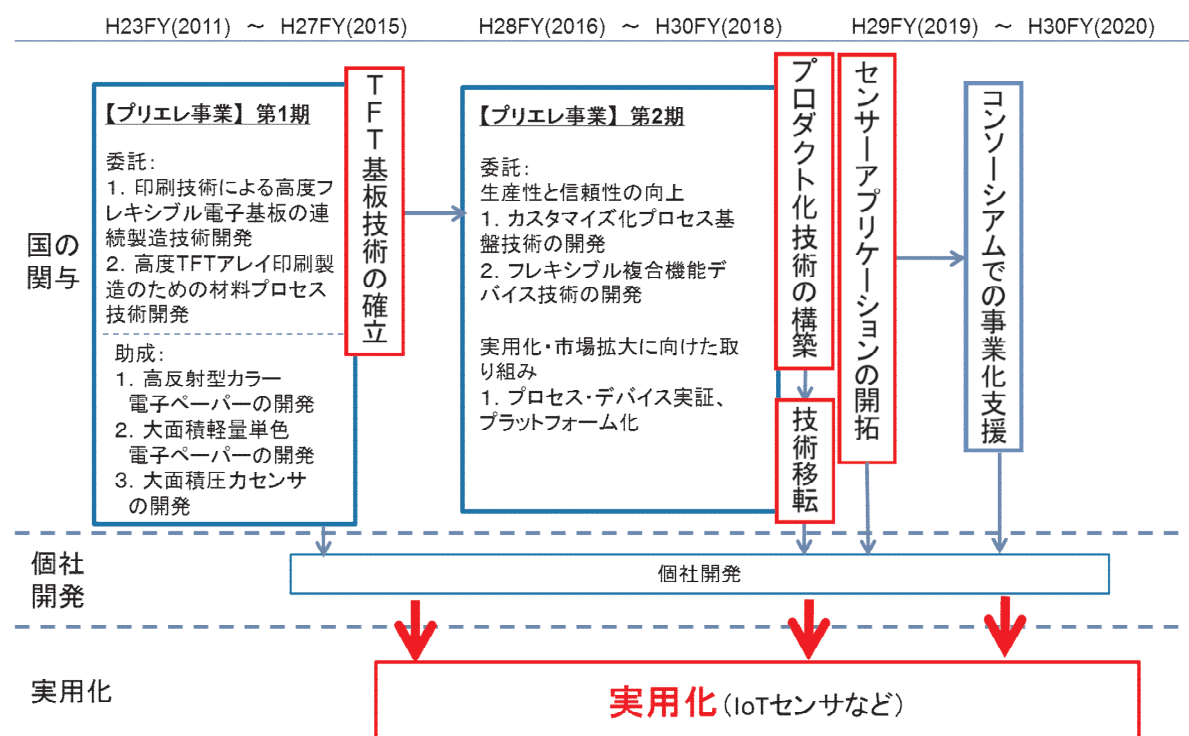
図 II-2.4-1 本プロジェクトにおける研究開発成果の活用（実用化展開）イメージ

本プロジェクトでは、図 II-2.4-1 に示すようにプリンテッドエレクトロニクス技術・製品の普及を目指し、委託事業で開発に取り組んでいる印刷プロセスにおける基板補正技術や低温プロセス化技術、TFT アレイの材料、配線改良による高機能化技術、均質化や短タクト化技術などの基盤要素技術や、それらを統合した連続生産技術を高度化して印刷 TFT を試作し、製品ターゲットを明確にして実用化技術の開発に取り組んでいる助成事業者へ逐次、これらの技術や素材としての TFT や TFT 実用化技術を移管し、各社の戦略に応じて成果を活用していくことで、助成事業の事業化を推進する、との形で実用化を推進している。また、委託事業に参画する各組合企業においても本プロジェクトによって獲得が期待される開発成果を持ち帰り、各企業での事業戦略に適用するといった実用化検討がされていく予定である。各組合企業において本プロジェクトで獲得された成果を活用し、実用化を進めていくためには、プロジェクト以外の周辺技術との整合性を考慮した技術開発が必要になるが、その課題解決に向けては

各組合企業において本プロジェクトと並行して検討がなされている。

さらに、後述（4.中間評価結果への対応）する中間評価分科会において、「この分野の市場展開（実用化・事業化）を着実に達成するように」とのコメントを頂いた。更に、欧米、韓国、中国などの各国政府が、国費を投入してプリントドエレクトロニクスの実用化研究を推進する国際状況も勘案して、実用化の促進を目的とする研究開発の追加実施（第二期プロジェクト：平成28年度～平成30年度）を行うこととした。

具体的な追加実施内容は、平成27年度に、NEDO技術推進委員会を活用して決定し、第二期プロジェクトの公募に係る基本計画に盛り込んだ。第二期プロジェクトの基本的な考え方を図Ⅱ-2.4-2に示す。



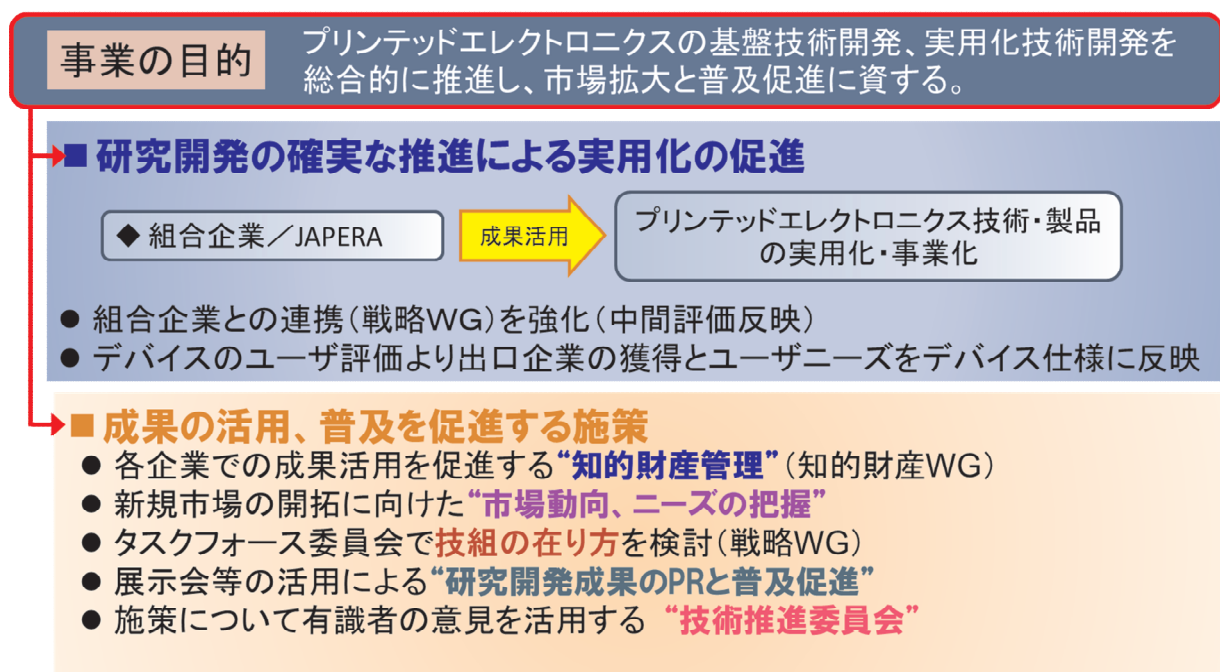
図Ⅱ-2.4-2 本プロジェクトにおける第二期の位置付け

これまで記載してきたように、本プロジェクトの第一期において委託では、印刷技術を用いて TFT アレイを連続製造するための基盤技術を確立して、試作した TFT アレイを助成事業者にサンプル提供することで、開発した TFT が、助成事業者が求める仕様を満足するかの視点で実用化検討を行った。一方で、TFT の生産性と信頼性に関しては必ずしも十分な検討がなされておらず、プリントドエレクトロニクスの市場に於いて新たな産業を創成して、我が国の優位性を確保するためには、生産性と信頼性に関する基盤技術の開発にも国が関与する必要があると考えた。そこで、第二期プロジェクトでは、生産性と信頼性に関する基盤技術の開発を実施することとした。

以上のように、本プロジェクトはプリントドエレクトロニクスの基盤技術開発、実用化技術開発を総合的に推進することで、開発成果を組合企業が効果的に活用し、

各社の製品や事業戦略に基づいて実用化を進めていくことでプリントドエレクトロニクス技術や関連製品の早期普及を図り、市場拡大に資することを目的としている。図Ⅱ-2.4-3 に示すようにこの事業目的を達成するためには、「研究開発の確実な推進によって実益の高い成果を獲得し、各企業での実用化を促進すること」、「研究開発の推進以外に成果の活用、普及を促進する施策を講じること」が必要であると考えられる。

「研究開発の確実な推進による実用化の促進」に向けた取り組みとして、NEDO は参画企業とプロジェクトの成果活用や進め方に関して意見交換を行うとともに、組合企業を含む参画企業に対して実用化に向けた取り組みに関する調査等を行い、研究開発の進捗状況や各社での成果活用に向けた取り組み状況等を確認している。こうした活動により、研究開発における課題を把握すると共に各社の重点課題と本プロジェクトの研究開発計画との整合性を確認し、研究開発へフィードバックするなど、事業終了後に各企業での成果活用が円滑に促進するよう施策を施している。



図Ⅱ-2.4-3 本プロジェクトにおける研究開発成果の実用化に向けたマネジメント

一方、「成果の活用と普及を促進する施策」の取り組みとしては、JAPER A における各ワーキンググループを主体とした、各企業での成果活用を促進する“知的財産管理”(知的財産WG)、関係する他機関、団体との連携による、新規市場の開拓に向けた“市場動向、ニーズの把握”(企画調査WG)といった各活動については前項に示したとおりである。

第一期においては、本プロジェクトではこれらの施策に加え、開発成果の普及と市場の開拓に向けた取り組みの一貫として展示会やシンポジウムにも積極的に参加し、開発成果を国内外の関連業界やユーザーにPRし、ビジネスマッチングの機会を増やすことに努めている。2015年2月に開催されたNEDOフォーラムでは染谷PLにて、プ

プロジェクト成果やプリントエレクトロニクス技術の今後について、日本を代表する企業の役員の方々220名にご報告頂いた。また併設展示会で電子ペーパーや圧力センサ、カラーデバイス等の試作サンプルなどを展示し、約2,000名の方に成果をアピールした。

さらに、想定ユーザーや技術者らとプロジェクト成果やプリントエレクトロニクス技術の市場動向等について活発に意見交換が行うため、CEATEC2014展(10月)、SEMICON JAPAN2014展(11月)、IEC2014展(12月)、nanotech2015展(1月)とNEDOフォーラムを合わせて5ヶ月連続で出展を行った。

## ■ 展示会等の活用による成果のPRと普及促進

### ■ NEDOフォーラム

- 染谷PL講演 来場者数 約220名  
内外の企業代表者等にプロジェクト成果やPE技術の今後についてPR

### ■ NEDOブースの主要展示としてPR

Nanotech展(2013,2014,2015)、IEC2014展、CEATEC展(2014,2015)、SEMICON2014展



図 II-2.4-4 成果の PR と普及促進を目的とした展示会等の活用例

第二期においては、開発と並行してマーケティングにも注力する方針で進めており、JAPER A の圧力センサをベースとして、ユーザー開拓とユーザー要求対応、対外的に技術力アピールと宣伝活動を行うべく、次のような方策で取組んだ(図 II-2.4-5)。

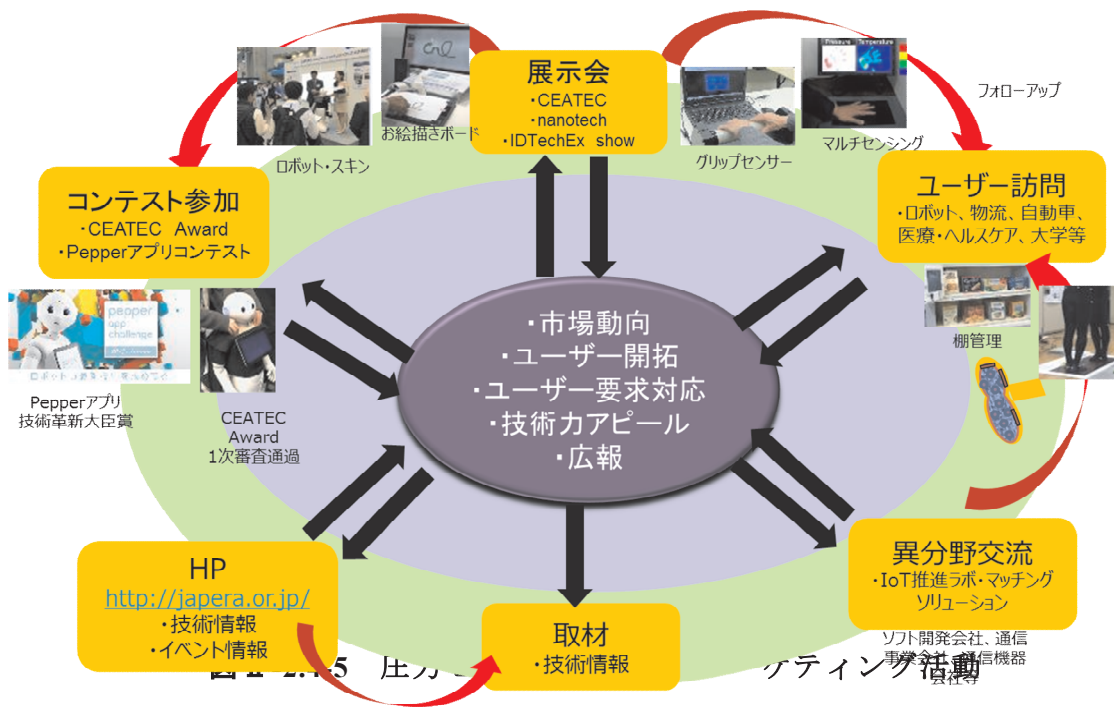
- ・ 展示会：CEATEC、nanotech 展、CEBIT、IDTechEx、FELEC など
- ・ ユーザー訪問：展示会のフォローアップ及び問い合わせ対応
- ・ 異分野交流：IoT 推進ラボマッチングソリューション、JACA 異業種交流会
- ・ 取材：新聞社、雑誌社
- ・ コンテスト参加：技術力のアピール
- ・ HP で活動紹介：各種展示会情報等

それぞれの方策の実績は次に示すとおりである。

### 1) 展示会の活用

#### ■ CEATEC2016@幕張メッセ 2016年10月4日～7日

- ・ 展示内容：「どこでもノータッチで商品を即データ化できる圧力センサ」  
物品管理システム(NEDO ブース)：化粧品、トリートメントの欠品、異常を検知



■CEBIT2016@ハノーバーメッセ 2016年3月20日～24日

・展示内容：「世界初、圧力・温度同時検出多点センサ」と「小径曲面圧力分布センサ」

- ① 圧力・温度同時検出多点センサ：ホットな缶と冷たい缶を同一のシートセンサ上に載せて、温度と圧力を同時に検出できる。「世界発」のニュースリリースをしたが、反応はいまひとつ。具体的な用途を示すことが遡求ポイント。
- ② 小径曲面グリップセンサ：シートセンサを丸めて、握った手、指の圧力を検知。

■CEATEC 2017@幕張メッセ 2017年10月3日～6日

・展示内容：圧力センサの応用展開

- ① お絵かきボード(NEDOブース)：文字・絵を指でなぞる速さ、強さ、正確性
- ② ロボット・スキン(JAPERABOOS)：Pepperの肩にセンサを装着  
ロボットの肩に触れると、強さの度合いに応じて声と振りでリアクションする。

・CEATEC AWARD：1次審査クリア

■CEATEC2018@幕張メッセ 2018年10月16日～18日

・展示内容：印刷技術による高精細・高感度フレキシブルセンサ

- ① グリップセンサ(NEDO)
- ② スマートプレート(NEDO)
- ③ 圧力・温度同時検出センサ(NEDO)
- ④ Bump Markerによる物品管理(JAPERABOOS)
- ⑤ 3D入力タッチパッド(JAPERABOOS)

⑥ スマートコースター(JAPER A)

⑦ ロボット・スキン(JAPER A)

■ IDTechEx Show! 2018@Santa Clara Convention Center, CA, USA

2018年11月14日～15日

・展示内容：印刷技術による高精細・高感度フレキシブルセンサ

① グリップセンサ

② スマートコースター

③ ロボット・スキン

■ nanotech2018@東京ビッグサイト 2018年2月14日～16日

・展示内容：高精細・高感度圧力センサ

① 筒形状把持力分布

② ロボット・スキン&曲面センサ

■ nanotech2019@東京ビッグサイト 2019年1月30日～2月1日

・展示内容：革新的材料、印刷プロセス技術によるフレキシブルシートセンサの開発

① 撥液導電体インクによる相間接続電極

② 新感温インクの開発

③ 低温実装モジュール

2) IoT 推進ラボマッチングソリューション

本事業は IoT 推進ラボ、経済産業省、NEDO が推進する事業で、分野横断的な事業者とのマッチングを行うものである。JAPER A 技術関心のある企業との連携を目論み、テーマ別企業連携・案件組成イベントを利用した。

・第2回 2016年7月31日 一橋講堂

テーマ：ヘルスケア（医療・健康）・スポーツ、物流・流通インフラ

・第5回 2017年7月25日 ベルサール東京日本橋

テーマ：働き方改革、シェアリングエコノミー

3) コンテスト参加

ソフトバンク主催の Pepper App Challenge 2017(2017年11月22日)

・ノミネート30作品に選出(決勝を逸す)

・PAC 自慢総選挙にてプレゼンとデモ@ベルサール汐留

\*「技術革新大臣賞」受賞

4) HP の活用：イベント、展示会情報、ニュースリリース

問い合わせ 11件(取材1、国際標準化1、技術6、他3)

技術6件についてはデモを実施し、現在協議継続中である。

5) その他

- ・ NEDO 経由で青丹社より「高精度・高感度圧力センサー」に関わる技術取材(2017年11月27日) 三機工業の広報誌「ハーモニー」春季号に掲載。



### 3. 情勢変化への対応

プリントエレクトロニクス技術は、次世代の電子デバイス製造技術として大きな期待を寄せられており、世界中で技術開発競争が激しくなっている。そのような背景のもと、東日本大震災の発生による我が国のエネルギー事情や経済情勢の変化、電子・情報産業分野の現状を鑑み、国内産業の空洞化を防ぎ、中長期的に省エネルギーに貢献する研究開発を加速させることの重要性から、本プロジェクトでは前半年度に予算を重点配分する措置が取られた。これにより、図Ⅱ-3-1に示すようにプロジェクトの早期立ち上げに繋がったとともに、連続印刷プロセスによる一貫製造を可能とする標準製造ラインを2012年度内に構築することに成功しており、印刷プロセスによるTFTアレイの早期試作を実施し、製造プロセスの課題抽出につながっている。また、助成事業においても、各種電子ペーパーパネルの試作や圧力センサの試作が前倒しで実施されており、中間目標の早期達成に繋がっている。さらに、諸外国との技術的優位を保持するため、当初計画では2015年導入予定であった光焼成装置を加速予算を用いて2014年度に前倒し導入することで、個別要素技術の確立の前倒しに成功し、最終目標の早期達成に繋がった。

開発項目	2011年度	2012年度	2013年度	2014年度	2015年度
	生産ライン要素技術の基礎開発	前倒し	技術インテグレーション		デバイス試作・検証
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」 <目的> ・低欠陥、均一なTFTアレイの印刷連続製造基盤技術の開発 ・TFTの特性評価に係る技術開発		小規模ライン構築	前倒し		
		フレキシブルTFT試作	前倒し		
				高性能フレキシブルTFT・デバイス試作・検証	
	連続印刷技術 版形成技術高度化		連続生産化		
短タクト化技術 課題抽出、位置補正		補正精度向上、短タクト化			
大面積化技術 課題抽出、ばらつき低減		短タクト化技術 課題抽出、位置補正			
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」 <目的> ・TFTアレイの高機能化技術の開発		高機能化技術 材料評価	材料改良		技術確立
		低温化プロセス技術 材料・プロセス課題抽出	低温化、低損傷化技術開発	前倒し	
研究開発項目③ 「印刷技術による電子ペーパーの開発」 <目的> ・高反射カラー電子ペーパーの開発 ・大面積軽量単色電子ペーパーの開発		電子ペーパーパネル試作	前倒し		
		材料開発、駆動条件設定	成膜条件・材料最適化、性能改良		
	連続印刷技術(課題抽出、要素開発)		量産化技術、高精細化		
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」 <目的> ・大面積圧力センサの開発		圧力センサ試作	前倒し		
	プロセス改良	素子製造、実装技術の開発			
			大面積化技術の開発		
					・on電流 $\sigma \leq 10\%$ ・連続生産 A4, 50枚以上 ・タクト90s/m <sup>2</sup>
					・動作周波数1MHz ・プロセス温度120°C
					・512色、10in-カラー ・120ppi TFT連続製造、タクト3min/枚
					・1素子/1mm角、10Hz、メートル級センサ

図Ⅱ-3-1 予算の重点配分後の研究開発のスケジュール

また、プリントエレクトロニクス技術や関連製品の実用化を促進し、世界に先駆けて本分野の市場拡大と社会への普及を図るためには、研究開発を着実に推進する以外に市場の拡大や成果の普及に資する施策を講じる必要が生じた。JAPER A はプロジェクト発足当初、理事会－理事長－専務理事の傘下に研究開発の推進母体となる研究部、技術組合の管理間接部門を担う総務部の二部体制で本プロジェクトに対応していたが、多くの企業が一同に介する技術研究組合の実利を最大限なものとするため、2012年2月に運営委員会での承認を得て企画部を設置し、研究開発の推進部隊以外の

組織体制を強化した。企画部の傘下には、知的財産や標準化戦略、市場戦略を専門的に検討するWGを新設し、プリントエレクトロニクス分野の市場の拡大や成果の普及促進を支援する組織体制とした。技術研究組合における組織体制を強化したことで、前項で示した様々な戦略的活動に繋がっている。

### ◆組織体制の強化

- JAPER Aに企画部を設置(2012年2月)

#### ■ 企画調査WG、標準化WG、知的財産WGを新設

- ・ 研究開発の推進部隊以外の組織体制を強化

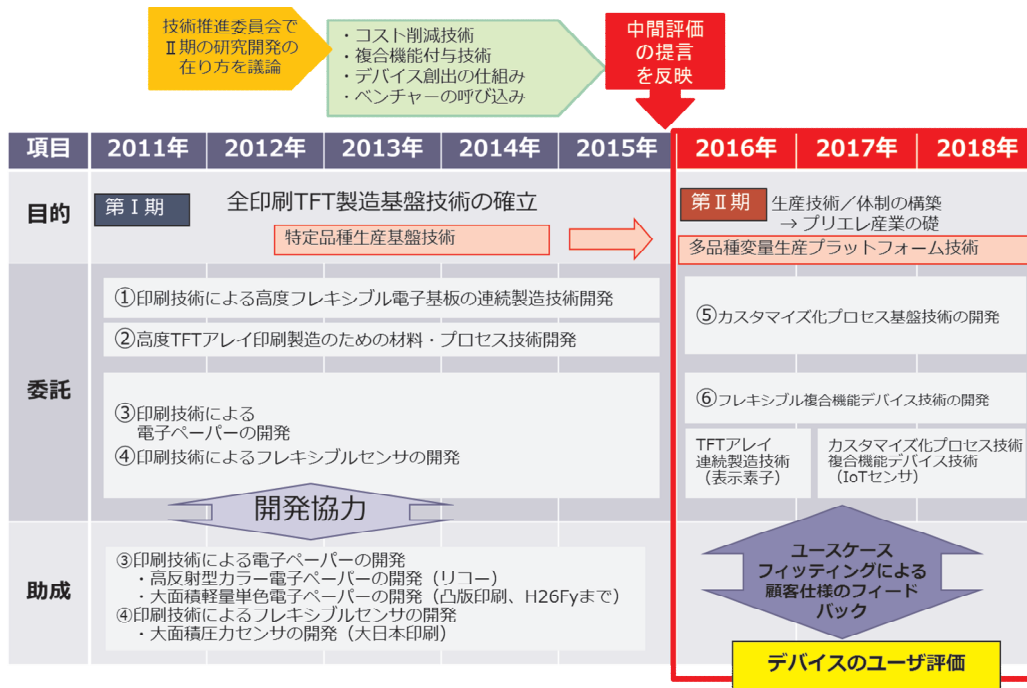


知財・標準化戦略、市場戦略を専門的に検討する組織を新設し、成果の活用、普及促進をサポートする組織体制に強化



図 II-3-2 JAPER Aにおける組織体制の強化

プロジェクトの第二期を向かえて、展開が期待されていたディスプレイ分野のグローバル化や海外企業の躍進、また、フォトリソ技術などの技術との開発競争強化により、さらなる、機能、コスト、生産性でなお一層の差別化が必要となった。一方で、IoTの進展にともない、トリリオンセンサといわれるような様々なデバイスやセンサが必要とされ、プリントエレクトロニクス技術を活用したフレキシブルデバイスの新市場が期待され、これに対応するために、中間評価(2015年)の提言も反映し、研究開発の方向性を特定品種生産基盤技術から多品種変量生産プラットフォーム技術開発に方向を変えた。また、新市場・新サービスの展開に向けては、国内外の展示会などに積極的出展しベンチャーの取り込みを試みた。第二期の公募においては、広くベンチャー企業の取り込みや、アプリケーションの探索に向けて、「フレキシブル複合機能デバイス技術の開発」の部分提案を行った。これらの施策より、多くのユーザー企業とのマッチングやユーザー実証につなげることができた。



図Ⅱ-3-3 プロジェクト二期の研究開発方向性の変更強化

情勢の変化に対するマネジメント及び対応を図Ⅱ-3-4に示す。

マネジメントの対象	情勢の変化	対応
PJ体制構築		<ul style="list-style-type: none"> <li>・二期の公募において、部分提案を設定してベンチャー企業の取り込み</li> <li>・ユーザ評価対応の専任チームを体制化</li> </ul>
研究開発項目の目標設定	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆プリンテッド技術の展開に向けてIoT、センサなど多様な用途への新市場の適用が期待できる</li> <li>◆デバイス、センサーの製品化に向けて、ユーザ企業の求めるニーズの多様化とスペック、信頼性の高度化</li> <li>◆当初、展開が想定されたディスプレイ分野のグローバル化、海外企業の躍進</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・IoT用情報端末の適用に向けて、多変種変量生産プラットフォーム技術開発に重点化</li> <li>・ターゲットのデバイス(健康介護センサ、大面積シートセンサ、特定ニーズ対応センサ、)を設定し、ユーザに求められる技術を先行して開発(圧力・温度同時検出、タイリング技術、専用ICなど)</li> </ul>
成果を活用する 出口・ユーザ企業の獲得	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆フォトリソ技術などの代替え技術との開発競争強化により、機能、コスト、生産性でなお一層の差別化が必要</li> <li>◆新市場・新サービスの展開は、多くは、海外企業、ベンチャー企業で進行</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開発成果促進財源を活用して、駆動用の専用IC回路の開発、ユーザ評価の貸し出し用のデモ機の開発、展示会への展示を支援</li> <li>・国内(CEATEC、Nanotech)および海外の展示会(CEBIT, IDTEX)などへの積極的な展示より、ベンチャー企業や出口見込み企業へのマッチング活動を展開</li> <li>・アプリケーションとして魅力的なデモンストレーションの検討と大学(東京大学)とユーザケースフィッティングを共同研究</li> </ul>

図Ⅱ-3-4 プロジェクト二期の情勢の変化と対応

#### 4. 中間評価結果への対応

本プロジェクトの平成 25 年度中間評価分科会の概要を以下に記す。

- 委員会名 : 中間評価分科会
- 開催時期 : 平成 25 年 9 月 5 日 (木) 10:00~18:05
- 開催場所 : 大手町サンスカイルーム
- 評価手法 : 外部有識者による評価
- 評価事務局 : NEDO 評価部
- 評価項目・基準 : 標準的評価項目・基準
  - 1) 事業の位置付け・必要性
  - 2) 研究開発マネジメント
  - 3) 研究開発成果
  - 4) 実用化・事業化に向けての見通しと取り組み
- 評価委員 : 表Ⅱ-4-1 の通り
- 評価結果 : 表Ⅱ-4-2 の通り

表Ⅱ-4-1 中間評価分科会評価委員 (敬称略 五十音順、平成 27 年 8 月時点)

	氏名	所属・部所	役職
分科会長	松重 和美	四国大学	学長
分科会長代理	北村 孝司	千葉大学	名誉教授
委員	面谷 信	東海大学 工学部 光・画像工学科	教授
委員	川上 英昭	合同会社先端配線材料研究所	代表取締役社長
委員	蔵田 哲之	三菱電機(株) 液晶事業統括部	役員理事統括部長
委員	佐野 康	(株)エスピーソリューション	代表取締役
委員	藤掛 英夫	東北大学 工学部 情報知能システム総合学科	教授

表Ⅱ-4-2 中間評価結果一覧

項 目	評点
事業の位置付け・必要性	2.9
研究開発マネジメント	2.1
研究開発成果	2.6
実用化・事業化に向けて の見通しと取り組み	2.1

概要として、「PE 製造のための材料・プロセスで新規要素技術が多く開発され、中間目標を達成している。必要な各要素を備えた一貫製造ラインの構築を世界で初めて達成し、試験品の歩留まり良くできる状態に当初計画より前倒しで到達していることは、非常に高く評価できる。さらに、助成事業も各デバイスの開発が進められ、事業化に向けた積極的な取り組みを実施している。」とのことで高評点を頂く事ができたが、表Ⅱ-4-3にあるような指摘事項を頂き、対応を実施者と協議し、反映を行った。具体的な施策については、Ⅱ-2事業の計画内容の項（Ⅱ-2-1 頁以降）にその旨が分かるように記載してある。

表Ⅱ-4-3 中間評価結果一覧

	主な指摘事項	反映（対処方針）
1	この分野の市場展開（実用化・事業化）については、その事業化を各国が競っている状況から、タイムスケジュールを考慮したより具体的な検討、それに向けた研究開発の内容・体制を早急に検討すべきであろう。	H26年度から開発技術の実用性の検証及びデバイスの試作・評価を重点課題とし、委託・助成事業者間の連携及びユーザーへのアクセスを強化する。また、早期事業化が期待できる研究開発項目については、実用化の加速を検討する。さらに開発成果を活用しつつ、省エネルギー化を実現するフレキシブルデバイス及び印刷製造プロセスの実用化技術開発を目的とする研究開発項目を平成28年度から平成30年度に追加実施し、開発成果の早期実用化を目指す。 → 基本計画・平成26年度実施方針へ反映
2	開発した基本技術の成果を一貫試作ラインに組み込んで検証する必要がある、これを可能にする施策も立てるべきである。	低温プロセス化技術、高精細化技術などの有望な基本技術について、標準一貫製造ラインへ適合させ、開発技術の実用性を検証する。 → 平成26年度実施方針へ反映
3	実用化の為には、実力把握をベースに改善とアプリケーションの探索の両面から進めることが大事なので、今後、試作品に対しての信頼性評価を進めた方がよい。	電子ペーパー、圧力センサなどデバイス試作を行い、信頼性評価を含む印刷製造プロセス及び試作品の実用性検証を重点課題とする。 → 平成26年度実施方針へ反映

本プロジェクトの平成27年度前倒し中間評価分科会の概要を以下に記す。

- 委員会名 : 中間評価分科会
- 開催時期 : 平成27年9月5日（木）9:30～18:00
- 開催場所 : 大手町サンスカイルーム
- 評価手法 : 外部有識者による評価
- 評価事務局 : NEDO 評価部
- 評価項目・基準 : 標準的評価項目・基準
  - 1) 事業の位置付け・必要性
  - 2) 研究開発マネジメント
  - 3) 研究開発成果
  - 4) 実用化・事業化に向けての見通しと取り組み

○評価委員 : 表Ⅱ-4-4 の通り

○評価結果 : 表Ⅱ-4-5 の通り

表Ⅱ-4-4 中間評価分科会評価委員（敬称略 五十音順、平成 27 年 8 月時点）

	氏名	所属・部所	役職
分科会長	北村 孝司	千葉大学	名誉教授
分科会長代理	半那 純一	東京工業大学	教授
委員	岡田 裕之	富山大学 大学院理工学研究部	教授
委員	蔵田 哲之	三菱電機(株) 液晶事業統括部	役員理事統括部長
委員	服部 励治	九州大学 産学連携センター	教授
委員	藤本 潔	公益財団法人北九州産業技術推進 機構	産学連携担当部長
委員	村田 英幸	北陸先端科学技術大学院大学	教授

表Ⅱ-4-5 中間評価結果一覧

項 目	評点
事業の位置付け・必要性	2.9
研究開発マネジメント	2.3
研究開発成果	2.7
実用化・事業化に向けて の見通しと取り組み	2.1

表Ⅱ-4-6 中間評価結果一覧

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<ul style="list-style-type: none"> <li>・技術研究組合の開発技術やその蓄積された技術基盤の共有化と有効利用に関する取り組みが見えにくく、特に、知的財産権の有効利用を促す仕組みづくりについても工夫がほしい。</li> <li>委託事業と助成事業との連携をより強化する必要がある。</li> <li>・印刷プロセスでは、より高精細を目指す</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・技組が広く組織外にもサンプル出荷可能となるように技組の知財規定を運用し、研究成果の有効利用を図る。</li> <li>委託事業の開発成果 を助成事業に提供し、評価結果をフィードバックする。</li> <li>・高性能を追求し過ぎることなく現有技術を利用して製造可能なモデルデバイスを選定して、不足する技術を補うことで実用化を促進する。</li> </ul>

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>と装置コストが高くなるので、高性能を追求しすぎて事業化のタイミングを失わないよう注意する必要がある。</p> <p>・事業化では優れた技術があるだけでは不十分でビジネスモデルが重要である。製品販売で利益を得るだけでなく、新規開発製品を武器にシステムやサービスの仕組みを考える必要がある。</p>	<p>システムとサービスのビジネスモデルも含めたプリエレ製品のアイデアをベンチャー企業等に募ることを検討して、プリントエレクトロニクスの市場開拓を目指す。</p>

## 5. 評価に関する事項

NEDO は、国の定める技術評価に係わる指針及び NEDO が定める技術評価実施要領に基づき、技術的及び実用化の観点から、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、第三者評価による事前評価、中間評価、事後評価を実施する。

平成 22 年度に実施した事前評価の結果は、事前評価書を参照（添付資料）。

平成 25 年度に実施した中間評価の結果は、前項記載の通り。

事後評価（3 年間の延長分があるため中間評価との位置付け）は平成 27 年度に前倒しで実施し、積み残しの課題の確認や今後の進め方についてご意見を頂き、平成 28 年度から実施する第二期プロジェクトにおける開発課題や事業の進め方についての見直しを行った。

平成 27 年度に前倒しで実施した事後評価の結果は、前項記載の通り。

第二期プロジェクトの事後評価は 2019 年度に実施する。



### Ⅲ. 研究開発成果について

#### Ⅲ\_1. 事業全体の成果

##### 1.1 事業全体の成果と概要

本プロジェクトでは、プリントドエレクトロニクスの本格的な実用化を推進するため、高生産性製造技術としての技術高度化、製造したデバイス技術の機能高度化に資する基盤技術開発を行うとともに、市場拡大・普及促進に資する実用化技術の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実用化技術を確立することを目的として、印刷法を用いた電子デバイスの高生産性製造技術およびフレキシブルデバイスの機能高度化技術の開発を行う。

プリントドエレクトロニクス技術に関しては、次世代の電子デバイス製造技術として、非常に大きな期待を寄せられ、世界中でその技術開発競争が激しく行われている。しかしながら、まだ市場に広く普及させるのに十分な技術としては確立されていない。これは、製造としてはできても、生産としてはまだ未熟、一品物の試作はできても、実用工業製品として生産することができていないということなどが、問題となっている。

そこで、本研究開発では、印刷デバイス製造技術の開発とフレキシブルデバイス技術を開発し、それらの技術統合、技術集積を図ることで、フレキシブル電子回路・基板の生産基盤技術を確立するとともに、次世代ディスプレイやセンサー、入出力インターフェースデバイス、回路基板などのフレキシブルデバイス技術の確立を目指す。

#### ◆ 研究開発の狙い

生産技術基盤とフレキシブルデバイス技術の確立

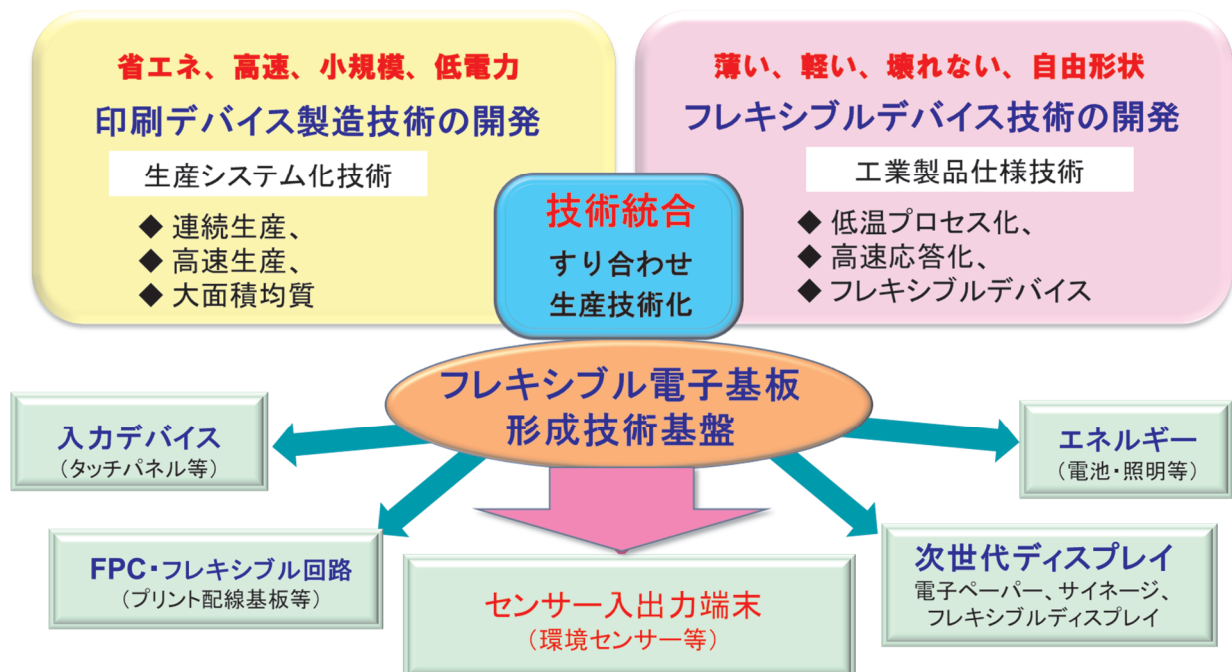


図 Ⅲ-1.1-1 研究開発の狙い

本技術開発の第1期においては、フレキシブルデバイスとして最も市場規模が大きいディスプレイの製造技術として、その基盤技術の確立を図った。その後、市場がより拡大し、様々なIoTデバイスの高生産製造が求められるようになってきたため、より広範に適用される技術としての確立を目指し、センサーをはじめとした多品種IoTデバイスの製造技術としての適用展開を図ることとした。この際技術課題は、多様なデバイスの高生産性製造が実現できる高速カスタマイズ化製造技術、多様なデバイス機能を付与できる機能集積化技術などである。本プロジェクト第II期においては、これらの製造技術基盤、デバイス技術基盤を開発するとともに、実機能IoTデバイスの製造に適用し、生産技術としての実用性検証を行うとともに、デバイスの社会実装を行うことで、社会普及の促進を図ることに取り組んだ。

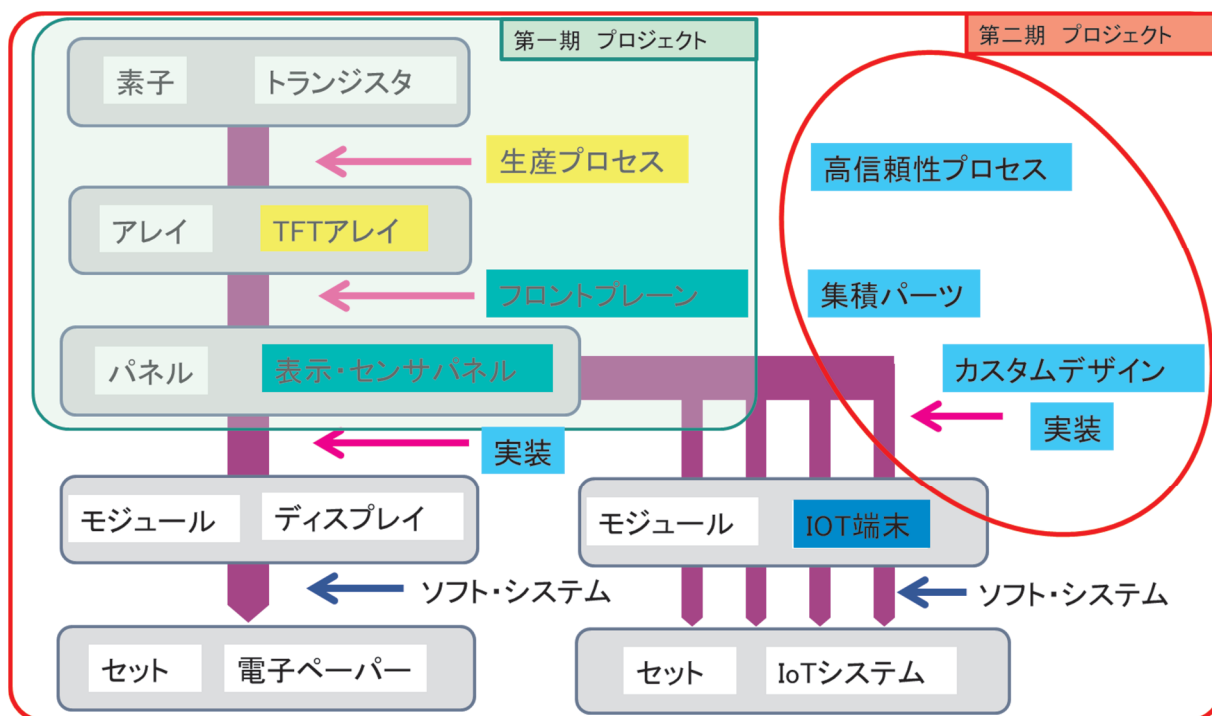


図 III-1.1-2 第I期（前期）および第II期（当期）の研究開発課題

上記技術課題の推進のため、第II期における研究開発項目としては、研究項目⑤「カスタマイズ化プロセス基盤技術の開発」、研究項目⑥「フレキシブル複合機能デバイス技術の開発」を設定した。

## 第1期：製造基盤技術

製造技術(材料・プロセス)

### 個別製造技術の高度化

- ・大面積高均質化技術(高均質化)
- ・フレキシブル位置合わせ技術(高精度化)
- ・低温低損傷製造技術(高耐久性化)
- ・高速プロセス化技術(高速高生産性化)

デバイス技術

### 個別印刷デバイスの高度化

- ・高移動度TFT技術
- ・高速動作化技術
- ・集積素子化技術

## 第2期：プロダクト化技術

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

### 個別製造技術を組み合わせた生産技術 の高度化

- ・カスタマイズ版製造技術(カスタマイズ化)
- ・基板搬送技術(コンパクト化)

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

### プロダクト化するためのデバイス高度化

- ・回路・配線設計技術
- ・低損傷実装技術
- ・低電圧駆動化技術

図 III-1.1-3 第Ⅱ期の研究開発項目

### ◆ 研究開発項目の位置づけ

IoT用情報端末 ⇒ 多品種(少量)

単一デバイスごとの開発では非効率で開発が進まない

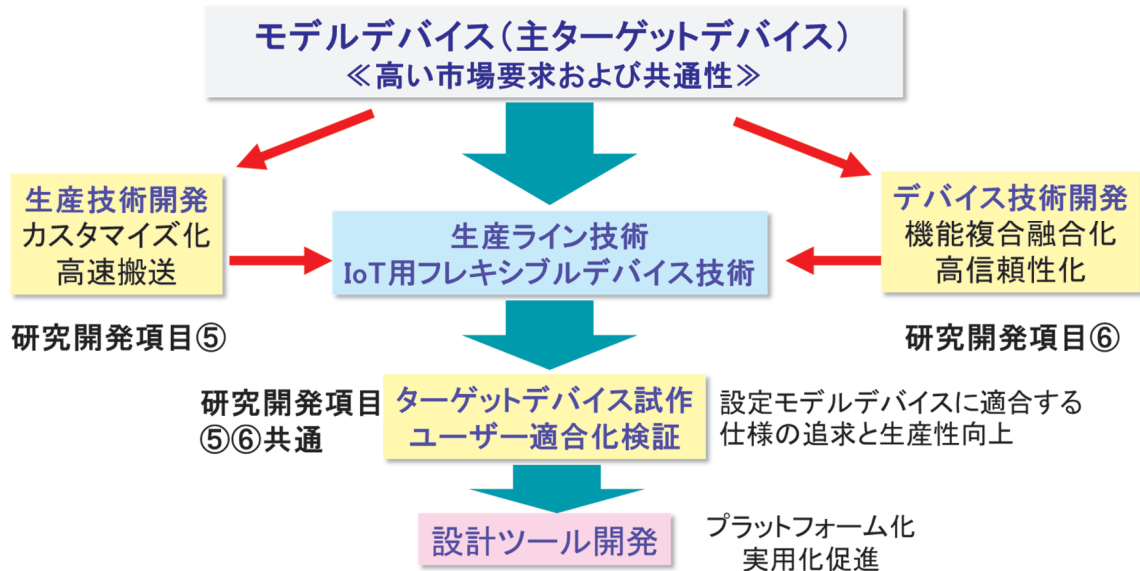


図 III-1.1-4 第Ⅱ期の研究開発項目の位置づけ

プリンテッドエレクトロニクス産業の発展を加速促進するために、フレキシブルデバイスを製造するための高度な印刷技術の開発を行った。印刷製造のカスタマイズ化のための高効率および高速印刷製造技術を開発した。印刷製造のカスタマイズ効率を改善するために、カスタマイズ印刷版の製造技術を開発した。印刷版構造とその構成材料の設計により、インキ材料の利用効率が高く、転写性が良好な高精細版の開発に成功した。多品種変量生産を実現するデバイス生産技術として、特注生産を容易にするシート型フィルム基板の無キャリア高速搬送技術を開発した。基板固定技術および単パスプロセス技術の開発により、 $\pm 10 \mu\text{m}$ の精度で基板が固定され、30秒/枚以下の速度で搬送する基板搬送技術の開発に成功した。各層の印刷工程における半乾燥技術を開発し、単パス工程技術における工程時間の短縮を実現した。印刷技術によって製造するフレキシブルデバイスの性能を改善するためのデバイス高機能化技術高信頼性化技術の開発に取り組んだ。印刷で製造したフレキシブルセンサデバイスの低消費電力化のために、センサの感度向上技術ならびに駆動電圧低減技術を開発した。半導体層の印刷形成プロセスを改善することによって、デバイス性能の変動を抑制し、駆動電圧を5V以下にまで低減させ、その際の性能変動を6%以下にまで抑制することに成功した。フレキシブルデバイスの信頼性を向上させるために、印刷した薄膜トランジスタの伝達特性の温度依存性を調べた。移動度と閾値電圧の温度依存性を評価することにより、デバイスの信頼性を向上させる要因を明らかにした。フレキシブルデバイス製造の高信頼性化のために、低温低損傷でなおかつ高精度高信頼度を実現させる実装技術の開発に取り組んだ。フレキシブル実装技術として、導電性バンプ技術を新たに開発した。実装の際のプロセス温度を100°C以下に下げるために、導電性バンプの材料と接合部の形状制御を組み合わせた導電性接合技術を開発した。この方法を適用することにより、剥離強度は従来のACF技術の約2倍に向上させることができた。曲げ試験において、抵抗値変化はACF接続法よりも小さくできることを確認した。高い信頼性を有するフレキシブルデバイス製造のために、高い曲げ抵抗を有するフレキシブル封止技術も開発した。多点検出システムを備えた多機能フレキシブルセンサーシートを開発するために、その中に組み込まれるべき感圧センサおよび感温センサの高度化技術の開発を行った。複数種類の感圧材料を組み合わせることで、感圧範囲の拡大を実現した。温度センサの性能を改善し、構成材料を簡素化するために、感温材料の開発に取り組んだ。母材に対して新たなドーピング材料を開発することで、これまでになく簡単で入手しやすい材料で、なおかつ広い温度範囲にわたって安定した温度検出特性を得ることに成功した。これらのデバイス技術を使用して、ロボットスキン、製図板、センサーロッド、スマートコースター、スマートロジスティクス用棚板、3D入力タッチパネルなどを試作し、ユースケースフィッティングを検討した。プロトタイプの多点検出シートセンサーは、CEATECやNano-techなどの展示会で実演し、市場からの需要の調査を行った。フィールドテストによるユースケースフィッティングの結果（展示会出展等によるデモンストレーション）のフィードバックと対応を

進めることで、プリントドエレクトロニクスによる市場適合性の高いターゲットデバイスの要求をまとめた。

## 1.2 成果の目標と達成度

研究開発項目⑤、⑥について、研究開発項目毎の最終目標に対する達成度を、表Ⅲ-1-1 にまとめる。いずれの研究開発項目についても、計画通りあるいはそれを上回る成果を得て、最終目標を達成している。

表Ⅲ-1-1. 研究開発項目毎の成果と目標の達成度

研究開発項目	目標	研究開発成果	達成度
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」	(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】 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。	<p>《開発成果》</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・高速製版技術、露光型カスタマイズ製版技術、版表面活性化技術を開発。これらにより、高精細品質、カスタマイズ製版、高速・連続印刷、高信頼性を兼ね備えた刷版製造技術を開発。</li> <li>・これにより、製版プロセス工程時間が最大で1時間</li> <li>・各プロセス速度 10mm/sec で印刷可</li> <li>・線幅の変動係数 10%以下 (連続印刷 50 回時) をそれぞれ実現した。</li> </ul> <p>《成果の意義》</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・刷版の高速生産技術の実現により、カスタマイズ化刷版の製造を実現し、フレキシブルデバイスの有版型印刷製造のカスタマイズ化を実現 (世界初)</li> <li>・カスタマイズデバイスの印刷製造の高速化を実現</li> </ul>	達成  達成  達成

		<ul style="list-style-type: none"> <li>・カスタマイズデバイスの印刷製造の連続製造高信頼性化を実現。</li> </ul>	
研究開発項目	目標	研究開発成果	達成度
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」	<p>(2) 高速高精度基板搬送技術の開発</p> <p><b>【最終目標】</b> 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±10μm以内で、30秒/枚(A3相当シート)以内の速度で搬送させる基板搬送技術を開発する。</p>	<p><b>《開発成果》</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・基板固定技術を開発。これにより、支持基板を持たないフリーフィルム基板のセット固定精度≤10μmを実現。</li> <li>・高速一時乾燥技術を開発。これにより、高速基板搬送型印刷プロセスの単工程タクトタイム≤30秒を実現。30秒/枚以内の速度で搬送させる基板搬送を実現</li> <li>・フレキシブルシートTFTの製造実証を実施。これにより、従来プロセス同等のトランジスタ特性が高速基板搬送型印刷技術においても実現できることを実証。</li> </ul> <p><b>《成果の意義》</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・プリントドエレクトロニクスによるフレキシブルデバイスの印刷製造において、支持基板を持たないフリーフィルム基板の高精度基板搬送を実現 <b>(世界初)</b></li> <li>・プリントドエレクトロニクスによるフレキシブルデバイスの印刷製造において、支持基板を持たないフリーフィルム基板の高速基板搬送を実現 <b>(世界初)</b></li> </ul>	<p>達成</p> <p>達成</p> <p>達成</p>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>・高速高精度基板搬送技術のフレキシブルデバイスの印刷製造への適用性を実証</li> </ul>	
研究開発項目	目標	研究開発成果	達成度
<p>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」</p>	<p>(1)フレキシブルデバイス高感度化、高信頼性化技術の開発</p> <p>【最終目標】</p> <p>フィルム基板上に印刷で形成したセンサー素子において、5V以下の駆動電圧で動作し、面内感度ばらつき10%以下となるセンサー素子を開発する。</p>	<p>《開発成果》</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・高誘電率絶縁技術・平滑電極技術を開発。これにより、デバイスの5V駆動で閾値変動0.4V以内を実現</li> <li>・高均質化のための印刷界面制御技術を開発。これにより、面内感度ばらつき6%を実現</li> </ul> <p>《成果の意義》</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・実用レベルの駆動能力を有するフレキシブルセンサー素子の印刷製造を実現。</li> <li>・実用レベルの信頼性（均質性）を有するフレキシブルセンサー素子の印刷製造を実現。</li> </ul> <p>《大学の知見の活用》</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・東京工業大学により、印刷製造デバイスの動作信頼性を低下させる要因を解析。高信頼性化要因を明らかにした。</li> <li>・東京工業大学との共同実施で印刷TFTの耐久性に対応する移動度の時系列変化およびTFT構造による違いを詳細に検討、耐久性向上に関する知見を得た。また、印刷TFTアレイにおける静</li> </ul>	<p>達成</p> <p>達成</p>





<p>能であることを実証する。</p> <p>・物品管理システムの構築</p> <p>・ヘルスケアシステムの構築</p> <p>・触感システムの構築</p>	<p>・フレキシブル圧力センサ技術、圧力・温度同時計測センサ技術、タイリング技術を適用した大面積圧力シート技術を開発。フィルム基板上に素子を作成し、社会実装を実施</p> <p>・シート圧力センサを組合企業にて展示会出展、ショールーム常設展示にて実用化の可能性を示した。また、高精度・高分解能で圧力分布を測定できる特徴を生かし、二次元の凹凸 Bump マーカーにより、RFID では困難な物品の定量性、正確な配置が確認された。</p> <p>・展示会を通して、ユーザ要望より健康介護支援への応用を提案。そこで受けた依頼により介護現場でのデモを行った。得た知見をもとにデバイス仕様にフィードバックした</p> <p>・ロボットに実装しコンテストに出展。高い評価を得るとともに実用化の可能性のあるユーザを得た。</p> <p>《成果の意義》</p> <p>・印刷製造フレキシブルデバイスにて、複合機能化の実現性を実証</p> <p>・印刷製造フレキシブルデバイスが、多様な機能デバイスとして実用使用が可能であることを実証</p> <p>・新たに設計されたモデルデバイスの製造、機能実証により、それを用いた新たなサービスビジネス開拓を推進</p>	<p>達成</p> <p>達成</p> <p>達成</p> <p>達成</p>
--	--	---

### 1.3 成果の意義

今日、ディスプレイやセンサーなど情報端末機器において、その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おり、その実現に向けた技術開発が世界的に活発化している。こうした機器は、その多様性が故に、多様性に対応できる自由度の高い、なおかつ初期投資が小さく生産性の高い生産技術の適用が必要となっている。さらには、低環境負荷社会の確立には、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必要となっている。このような社会的要求を満たす技術として、プリントドエレクトロニクス技術の確立は、その重要性が著しく高くなってきている。我が国はプリントドエレクトロニクス分野において、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が、これまで必ずしも十分な技術摺合せができてきておらず、生産技術としての確立には、必ずしも十分な力を発揮できていなかった。特に、新規市場を創出するためには、量産性、耐久性・信頼性の向上に加え大幅な低コスト化を実現する高生産性製造プロセスの確立が不可欠であった。

本研究開発では、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とともに、フレキシブルデバイスの製造創出、社会実装による市場創出の取り組みを行った。プロジェクト第一期までに、既存の印刷製造技術の性能を大幅に上回る高精細を実現できる生産技術で、なおかつ高生産性をもたらす高速生産、連続生産、大面積生産を実現するためのプリントドエレクトロニクス基盤技術の開発を実現した。高生産性プロセスで高精細フレキシブル電子回路基板を製造できるとなると、新規市場開拓するという狙いのみならず、既存市場におけるフレキシブル電子回路（例えば、FPC：フレキシブルプリント配線基板、メンブランスイッチなどのフレキシブル電子部品、タッチパネル等）や、フレキシブルデバイス実装（太陽電池、照明等の実装）等に対しても技術優位性、生産性優位性を示すことができるようになり、日本の産業競争力強化に大きく貢献し、市場占有を果たしていくことに大きな期待が持てるようにした。これらを受けて、第二期の本研究開発では、当該生産技術のカスタマイズ化に取り組み、カスタマイズ化高速高生産性製造技術基盤の開発に取り組み、目標とする成果の実現を果たすに至った。また、本研究開発では、フレキシブル TFT アレイの高生産性製造を実現するための基盤技術の開発に取り組み、その技術確立のもとに新規プロダクト創出の基盤を創出に至った。フレキシブル TFT アレイは、フレキシブルディスプレイや、フレキシブルセンサ（特に、シートセンサなどの大面積フレキシブル圧力センサなど）の市場創出に大きく貢献することとなる。例えば、福祉介護を助けるセンサ類や、ポータブルのイメージセンサなど、安全安心社会やより便利な情報化社会の実現への一つとして、安価・フレキシブルでさまざまな場所に適応可能な各種センサの早期実用化が求められているが、フレキシブルセンサ技術はこうした市場

開拓に大きく貢献する。本技術開発では、高生産性を実現できる生産システムにおいて、フレキシブルセンサ、タッチパネルなどのプロダクト創出を実現させ、その社会実装なども果たしてきたことから、こうした新市場開拓を加速化させるのに十分な目処をつけられるに至ったということができる。本プロジェクトの最終目標を達成することによって、プリントドエレクトロニクス基盤技術としての生産プラットフォームを確立することができ、上記のような新市場の開拓ならびに既存市場に対して市場獲得のための優位性が発揮できる基盤技術の提供が可能となり、我が国の産業競争力強化に大きく貢献できるものということができる。プリントドエレクトロニクスによる電子基板製造は、従来の真空・フォトリソ製造技術に比べると、真空プロセス、高温プロセス、サブトラクティブプロセス等を必要としない「省資源省エネルギープロセス」であることから、電子基板製造における製造エネルギーの大幅な軽減がもたらされ、大きな省エネルギー効果が期待できる。さらにカスタマイズ生産にめどをつけたことにより、多様なカスタマイズドデバイス製造の要求に対しても対応可能とするプロダクト製造技術基盤を構築したことにより、市場の多様な要求に対しても応えられる土台の構築をなしえた。

#### 1.4 成果の普及

上記のように本研究開発での成果は、今後の市場拡大・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による経済活性化、省エネルギー省資源化に大きく貢献するための目処をつけられることになったという意義を示すに至った。こうした成果に関して、実用化、事業化を促進させること、情報交換を活性化させることを重視した普及活動を行ってきた。実用化・事業化の促進を目指した内外産業展示会への出展、情報交換促進のための大規模学会・講演会、マスメディア等での発表およびシンポジウム、セミナーの開催、共通基盤技術の普及を指向した評価解析技術の論文化への貢献など、幅広く行った。

## ◆成果の普及

市場化を促進させるための活動重視  
情報双方向交換の活性化活動の重視

- ◆ 実用化・事業化機会の促進
  - ⇒ 各種展示会への出展多用
  - ⇒ マーケティング活動多用  
(個別ユーザー企業との協業)
- ◆ 広報の促進
  - ⇒ 大規模学会、講演会等での講演多用
  - ⇒ マスメディアの活用
- ◆ 一般産業界貢献
  - ⇒ 公開シンポジウム、公開セミナーの主催

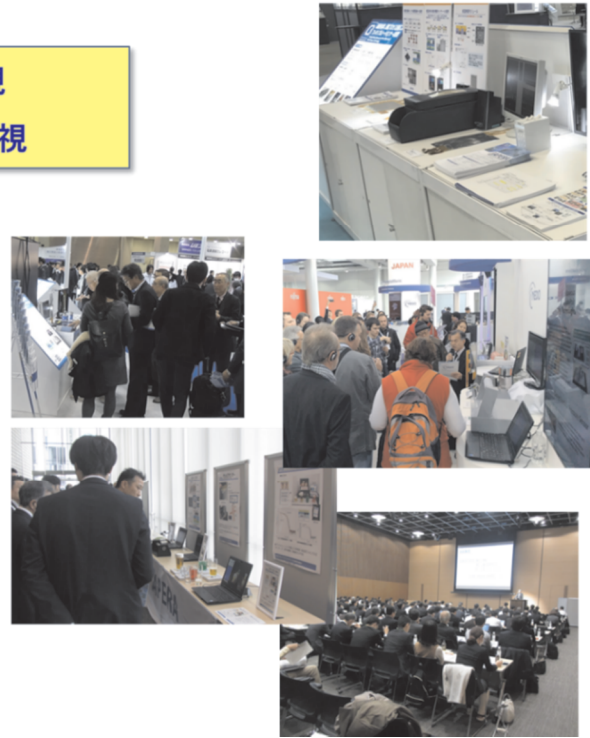


図 III-1.1-5 成果の普及

本技術開発の成果を、開発期間終了後においても普及活用を実現するため、開発技術を軸にしたコンソーシアムを設置した。

**FIoT コンソーシアムの設置：フレキシブルハイブリッドエレクトロニクス（FHE）技術と、IoT サービスビジネスのマッチングを図る共創・開発型コンソーシアムを設立**

当該、コンソーシアムにおいては、本技術開発で開発した技術、開発した装置の使用が可能となり、広く社会普及に努められるところとなっている。

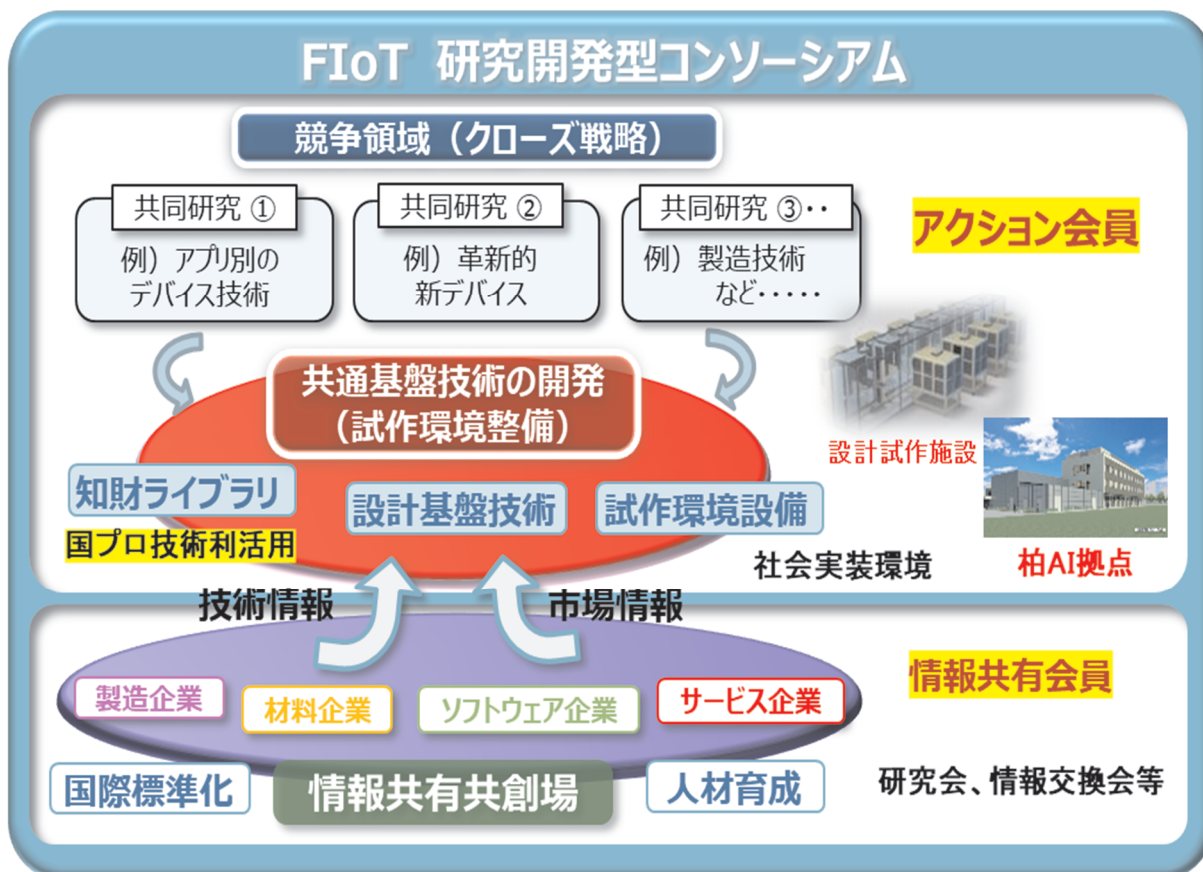


図 III-1.1-6 コンソーシアム設置による成果の普及促進

### Ⅲ\_2. 研究開発項目毎の成果

- 第Ⅱ期の研究開発では、研究開発項目として、
- 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」
    - (1) 高生産性カスタマイズ化プロセス技術の開発（有版、無版）
    - (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」
    - (1) フレキシブルデバイス高感度化、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機能複合化技術の開発
  - 研究開発項目⑤⑥共通 「プロセス・デバイス実証・プラットフォーム化技術の開発」
    - (1) ユースケースフィッティングによる開発技術検証
    - (2) 印刷デバイス・生産プロセスプラットフォーム化技術の開発
- の3課題に取り組んだ。このうち、研究開発項目⑥-（1）を東京工業大学真島豊教授、研究開発項目⑤⑥共通-（1）を東京大学苗村健教授と共同実施している。

以下、それぞれの研究開発項目に対する成果を、個別に報告する。

#### 2.1 カスタマイズ化プロセス基盤技術の開発

印刷デバイス製造には、「高生産性」、「カスタマイズ生産」、「フレキシブルデバイス生産」、「大面積生産」、「低設備投資生産」等のプロセスにおける価値に期待が寄せられている。今日その適応が期待される IoT 社会構築のためのセンサー・端末機器の製造においては、単一種大量生産型の製品開発ではなく、多品種変量生産型の製品開発が重要となってきた。プリンテッドエレクトロニクスにおいては、様々なサービス提供のデバイスの提案が多くなされているが、現状技術では一デバイスにつき一生産技術ということが基本となっており、多様性への適応に十分応えることができる生産技術とはなっていない。ここでは、期待の高い多品種変量生産を実現させるカスタマイズ化プロセス基盤技術の開発を行った成果について述べる。

カスタマイズ化においては、①多様な設計に耐えうる生産システムであること、②多様な基板に適応できる生産システムであることが必要である。多様な設計適応性には、パターニングの多様な設計適合化が、キー技術となる。基本パターンの形成には有版型印刷技術の適応性が優れているが、カスタマイズするには簡単に版の作成が可能な印刷版の製造技術開発が必要となる。また個別性、高精細性が高いパターンの形成には、直描型無版印刷を適応する。2.1.1.1 には有版型印刷技術に対応したカスタマイズ印刷版の作製技術について、2.1.1.2 には無版型カスタマイズプロセスについて述べる。また、多様な基板への適応性の高い生産システムに対しては多様性に適応しやすい、シート型基板を用いた生産システムが適している。しかし、単にシート型基板を用いるだけでなく、低設備投資化のための小型装置化としてキャリアレスフィルム搬送、回転型印刷ステージへの対応も検討されなければならない。2.1.2.1 にはシート型フィルム基板をキャリアレスで高速高精度で搬送できる技術について述べる。また、2.1.2.2 では高速高精度搬送されたシート型フィルム基板に、伸縮等の影響を与えない簡易的な乾燥のみを行って各上層を積層印刷し、最後の層を印刷した後一括して焼成することで短 TAT で所望の TFT 性能を得る技術について示す。

## 2.1.1 高生産性カスタマイズ化プロセス技術の開発

### 2.1.1.1 高生産性カスタマイズ化プロセス技術の開発（有版）

#### 〔1〕 研究開発の背景と方針

本研究開発では、本プロジェクトの目標である高い生産性を維持しながら、多品種デバイスへの適用が可能な変量生産の手法を開発する。ここでは、速く大量の印刷物を安定的に印刷できるという有版印刷技術の特徴を活かしつつ、反転印刷等の高精細印刷法が抱えている課題を解決することを目指す。すなわち、反転印刷法で用いられる電鍍版やガラス版は、刷版製造に長大な工程が必要で、製造のカスタマイズ化”とは相入れない状態にある。例えば、電鍍版はメッキ成長に長時間を要し、ガラス版は長時間のドライエッチングが必要である。また、反転印刷後の刷版表面にはインクが残留するため、印刷毎に洗浄除去が必要となり印刷タクトの悪化原因となっている。このように、現有の印刷技術は、印刷タクトとカスタマイズ化に本質的な課題を有する。

このような背景のもと、次世代プリンテッドエレクトロニクス技術研究組合（以下、JAPER A という）では、第一期の研究において、高解像度かつ連続印刷可能な技術としてデジタルインキング(DIJ)とスーパーハンコによる新規印刷方法の開発した。これにより直径 20~30  $\mu\text{m}$  であったインク径を転写最高解像度として 10  $\mu\text{m}$  に向上させることができる。

第二期では、第一期で開発したスーパーハンコによる新印刷技術をさらに、カスタマイズ性高速印刷性、パターン再現性を向上させるべく、大別すると三つの手法で開発を進めた。

第一、第二の手法として、レジスト材を中心にフッ素系シートレジスト、撥液レジストの材料を検討、カスタマイズ性に優れる凹凸型スーパーハンコの残課題である、版耐久性を改善を目指し、実用的に使用可能な版の実現を目指した。

第三の手法として、インク転写性に優れる PDMS を、版凸部の基本材料とし、これを短タクトで製版可能な版作製技術にする事を目指した。

どの手法においても、高機能プリンテッドエレクトロニクスデバイス製造プロセスを広く一般普及させるためには、すでに市場に多く出回っている設備で製版可能であることが重要であり、特別な装置を用いない手法開発を基本方針とした。

#### 〔2〕 開発目標と目標の達成度

三つの手法を用いて新規開発刷版の検討を行うが、対応最終目標は下記の通りである。

- 1) デジタル製版可能で、高いカスタマイズ性を有すること
  - ・ デジタルデータを元に直描パターンニングで製版
  - ・ 印刷現場での製版時間がタクト 1 時間以内
- 2) 高速印刷が可能であること
  - ・ 印刷毎洗浄プロセスが不要
  - ・ 高速インキング
- 3) 高いパターン再現性を有すること（線幅、粗さ再現性の向上）
  - ・ 連続印刷における Line Edge Roughness のばらつきが 10%以内

第1の検討方式であるシートレジスト版は、均一なフッ素層を形成した PDMS 上にドライフィルムレジストを張り合わせたものを原版とし、露光現像によりドライフィルムの一部を除去し、フッ素層をエッチングすることにより画像部に対応する PDMS を露出させる方式である。露光・現像・エッチング後にドライフィルムを剥離すれば製版が完了するため、一般的なフォトリソ設備があればよく、したがって秘匿性の高いパターン図面を外部に開示することなくユーザーサイドで製版を完了できるという大きな利点がある。第2の検討方式であるレジスト版は、撥液性フッ素レジストを PDMS 上に塗布、露光、現像する方式である。こちらも露光・現像が基本的な製版プロセスとなるため普及性が高いという利点がある。第3の検討方式である PDMS 版は、遮光性レジストパターンを基板上に形成し、PDMS をモールドイングしたのちに、刷版凸部に対応する PDMS 表面にのみ露光することで表面活性化させ、フッ素膜を定着させる方式である。モールドイング工程があるため、第1,2の工程と比較すると十分なオンデマンド性が担保できるかどうかの検討が必要である。

シートレジスト版は、印刷耐性が十分なまでには向上できなかったが、変量多品種生産が可能な印刷技術であることが確認できた。レジスト版は3つの目標に対して1. 変量多品種生産性、2. 30 秒/枚の印刷能力は確認された。PDMS 版についてはタクト低下、再現性が懸念されたが印刷プロセスの最適化を行うことにより A4 サイズの大きさで全ての目標を完全に達成することが出来た。以下その成果と達成度を表Ⅲ-2.1.1.1-1 に示す。

表Ⅲ-2.1.1.1-1 目標に対する達成度

目標	成果	達成度
1. 変量多品種生産が可能 「現場でタクト 1 時間以内で製版可能」	製版プロセス工程時間が最大で1時間	○
2. 30 秒/枚以内で印刷	各プロセス速度 10mm/sec で印刷可	○
3. プロセス再現性が±10%以内 「線の粗さ、LER(Line Edge Roughness)として±10%以内」	線幅の変動係数 10%以下 (連続印刷 50 回時)	○

### [3] 成果の意義

現有の印刷技術の課題克服に焦点を当て、①高精細品質、②カスタマイズ製版、③高速・連続印刷、④高信頼性を兼ね備えた刷版開発を行い、これらを満足する刷版開発に成功した。まず、標準的な 365nm 直描露光装置を用い、30 分タクトの迅速性を有する、カスタマイズ性に優れた製版プロセスを開発できた。大面積フレキデバイスを駆動する上で十分な解像度 10 μm パターニングが確保できた。また、凹版とすることでパターン形状によらず安定した膜厚を得ることができた。開発版は A4 サイズまで展開し、インクロスがなく、したがって印刷タクトと材料効率が高く、高速印刷が可能で、連続印刷においても安定したパターン形状を得ることができた。

さらに、「2.1.2 高速高精度基板搬送技術の開発」の「2.1.2.2 短タクト化技術」と本開発版技術を統合し、ゲート電極、絶縁膜層、ソースドレイン電極を3層積層し一括焼成することで有機



TFT を試作、良好に動作することが確認された。本統合技術は、印刷短タクト化の利点のみならず、中間焼成プロセスに伴うフィルム熱変形を排除できるという利点もある。また、変量多品種生産に適合した印刷エレクトロニクス製造設備実現に大きく寄与する技術である。

### 2.1.1.2 高生産性カスタマイズ化プロセス技術の開発(無版)

#### [1] 研究開発の背景と方針

ここでは、デジタル無版の優位性を保ちつつ、基材に親撥処理を施すプロセスにより、より高解像度、高印刷精度の印刷を実現できる技術を開発する。

インクジェット法の適用パターンとして、液滴を2次元に多点配置し均質な薄膜を形成する半導体印刷プロセスと、液滴を同一箇所を重ね打ちすることで高アスペクト比の撥水性電極ポストを形成する撥水ピラープロセスを対象とし、印刷基材に親撥パターンニングを施すことにより、着弾液滴を親液部に流し込み、着弾バラつきがあっても、より高解像度、高印刷精度のパターンニングを可能とするプロセス開発を行う。

無版カスタマイズ適性を維持するため、親撥パターンニングはインクジェット方式とデジタル露光方式を採用する方針とした。半導体は、インクの溶剤組成を検討可能なものとして、これまで本組合にて検討してきた OSC05 (S 社製) を、撥水ピラー電極は J1A2、J2K1 (B 社製 Ag ナノインク) を、親撥材料は複数社の材料を検討した。最終的に半導体パターンニングではネガ型レジスト材料 (J 社製) を、撥水ピラー電極パターンニングには Cyttop (A 社製) を選定し、親撥材料はインクジェット方式で必要部のみ印刷後、直描露光機またはエキシマーレーザーにて親撥パターンニングを施した。そして親撥パターンニングに半導体インクまたは撥水ピラーインクを印刷した。

#### [2] 目標と目標の達成度

上記開発の方針内に記載したこれまでの半導体印刷、撥水ピラー電極の印刷着弾精度はバラつき  $\sigma \leq 1 \mu$  の範囲で印刷できているが、印刷回数を重ねると、 $10 \mu\text{m}$  以上の着弾ズレを持つノズルが、ある確率で発生し、更に着弾後の液流動も合わせると  $30 \mu\text{m}$  以上のズレが生じるケースがあった。また、撥水ピラー電極の場合は着弾ズレによる電極高さの減少と導通不良に繋がるケースがあった。また、着弾ズレはスルーホール径の増大となり、TFT の解像度向上に制限があった。

そこで、本開発では、新規プロセスによる印刷レベルの目標を、全デジタルプロセスにより、 $20 \mu\text{m}$  解像度、膜厚  $0.04 \sim 5 \mu\text{m}$  (任意)、アライメント精度  $10 \mu\text{m}$ 、機能材特性の再現性 10% を達成することを目標とし達成することができた。

#### [3] 成果の意義

##### ○研究開発成果の展開可能性

親撥プロセスを適用したデジタルプロセス技術は、解像度と印刷精度の高さから、高精細 TFT のみならず、狭ピッチ COF の実装用バンブ形成、FPC などの層間接続工程、センサー材料などの様々な機能材料の高精度印刷に適用できる。また、無版デジタル方式のため、小ロット多品種デバイスの製造プロセスに、広く展開できる可能性があると考えられる。

## 2.1.2 高速高精度基板搬送技術の開発

### 2.1.2.1 搬送装置技術

#### [1] 研究開発の背景と方針

PE の優位性である高い生産性を得るためには装置構成と印刷プロセスを見直す必要がある。装置に関しては、一般商用印刷（グラフィック印刷）を例に挙げると、印刷ユニットを複数直列に配置する方法で被印刷物の高速搬送を行い、1 pass で多層の積層を実施している。商業印刷においてアライメントは、印刷ユニットと印刷ユニットの間で調整が可能で、始めに捨て刷りを実施することで、アライメントの整合を実施している。また、インクの焼成に関してはUV照射による即時の硬化を実現している。PEにおいても、この一般商用印刷技術を取り込んでPE用に適用することで、高精度と高生産性の印刷技術の開発を目指す。

PEでの課題として、積層ごとに必要となる焼成プロセスとアライメント整合に起因するタクトタイムの長さによる生産性の悪化がある。搬送装置の基本設計指針としては、イニシャルコストを抑制できるPEの特徴を生かすため、多品種変量生産に適した搬送装置であることとなる。そのため印刷開始の際の調整時に大量の不良基板が発生するロール to ロールではなく、小回りの利くシート to シートに適応した装置となり、一般商業印刷における枚葉印刷機がそれに相当する。また、通常の枚葉印刷機の場合の基板の把持は基板の始端側のグリッパーのみとなり、終端側は簡易的な吸着パッドを備えている場合、もしくは何ら拘束がない状態で搬送・印刷が進行する。PE用フラットベッドの印刷機においてはポーラスチャック等の基板支持機構が採用され、基板全面での固定がなされていることを考慮すると、一般商業用の枚葉印刷機そのままでは基板固定が不十分で印刷時のずれや繰り返しの搬送精度を確保することが困難と考えられる。よって、高精度な印刷や搬送には適する、何らかの把持方法の確立が必要となる。また、焼成に関しては、第I期で開発した光焼成(Xe, UV)の技術のほか、一般商用印刷でも利用されているIR、熱風(HA)等を利用することで、タクトタイムの短縮を図る。

#### ◆高速度搬送

高い生産性を担保するために、基板を高速度に搬送する必要がある。一般商業用の枚葉印刷機では4m/sという高速で印刷・搬送を行っているため、機械の仕様上の性能としては申し分ない。むしろプロセスの高速化が重要となってくる。積層工程において、複数層を積層する場合、印刷速度の高速化が必要となる。また、プロセスの中でボトルネックになっているものは焼成である。理想的には焼成を省き連続的に積層するWet on Wet (以下WoW)が高速化に適っているが、積層膜界面でのコンタミネーションの問題があり、膜の機能が一部損なわれる場合がある。そこで短時間での仮の焼成を実施する半WoWで積層時の膜の機能劣化を抑制する。また、第一層積層、第二層積層と次のプロセスへの受け渡し際の搬送速度も重要となる。この受渡しの工程でボトルネックになっているものはアライメント調整である。そこで、アライメント調整はせず、機械の繰り返しの搬送精度を確保することで高速度の搬送が可能となる。そこで、本研究では短時間での焼成を実施する仮焼成技術と高精度搬送技術の開発を行う。なお、仮焼成技術については後章にて記載する。

#### ◆高精度印刷

本研究開発では、一般商業用の枚葉印刷機と同様の円筒型の搬送装置内に組み込まれた印刷装置での印刷を実施する。高生産性を担保するために中途でのアライメント調整はせず、機械の繰り返し動作精度で印刷精度を確保する。

#### ◆高精度基板固定

連続的に円筒型のシリンダーによる搬送をしながら印刷プロセスを実施するためには、フレキシブルな基板をガラス等に固定することなく、搬送する必要がある。その際に印刷精度や搬送精度を担保するために、何らかの基板把持技術の確立が必要である。

フラットベッドの装置で多用されているポーラスチャックによる基板固定に代わり、円筒型のシリンダーに基板を固定・保持しなければPEでの要求印刷精度を満たすことは困難と考えら

れる。基板固定の手段として、円筒型のポーラスチャック、静電チャック、シリコン粘着などの技術が候補として挙げられる。

## [2] 目標と目標の達成度

最終目標と目標の達成度の概要を表Ⅲ-2.1.2.1-1 に示す。

表Ⅲ-2.1.2.1-1 実行計画と成果

項目	目標	成果	達成状況
高速度	生産性 30 秒/枚以上可能な装置機構提案	ユニット式の機械構成において、30 秒/枚以上可能な想定タイムチャートの作成完了	○
高精度	被印刷物セット固定時の精度 ±10um 以内が可能な要素技術の設計指針提案	供給台から圧胴までの経路において ±10um 以内での搬送精度を実証	○
	印刷全面での位置精度 ±30um 未満 (A4) が可能な装置機構提案 (±30um より上欄の ±10um を差し引いた ±20 未満が目標)	仮焼成による変形、印刷時のばらつきなどを含めた印刷位置精度が ±20um であることを実証	○
基板固定	フリーフィルム基板セット固定精度 ±30um 以内が可能な設計指針を示す。	支持基板無しのキャリアレスでの搬送と供給台から圧胴までの経路において ±10um 以内での搬送精度を実証	○

## [ 3 ] 成果の意義

本開発テーマは一般商用印刷機を PE の製造へ適用したもので、装置そのものの汎用性は非常に高い。制御や動力源に関しては PE 用に専用設計されたものが必要であるが、基本的な機械構成は一般商用印刷における枚葉印刷機の構成で十分可能である。また、固定化に関しては粘着を利用することで高精度な搬送と印刷精度の確保が可能であることが判明した。粘着シートに関しては現行の枚葉印刷機の圧胴に貼り付けることのみで、構成も簡易に実施可能である。また一度粘着固定された基板の剥離に関しては、商用印刷機に元々備えられているグリッパーを利用して可能であることも判明した。

また、本テーマで検討してきた搬送技術は、既存の PE 装置と比較し以下の優位性を備えていると言える。

- ・高速度：円筒型シリンダーによる基板搬送機の中で連続的に搬送しながら印刷・焼成などのプロセスが可能となるため、プロセスから次のプロセスへの基板の受け渡しも高速度であり、アライメント補正などの必要も無く 30 秒/1 枚という高いスループットが得られる。

- ・高精度：搬送中の位置ずれや印刷中の位置ずれも少ない。また焼成中に基板の変形が発生しても、粘着 type の固定技術を改良することにより、印刷パターン部自体は粘着固定位置から離れていることから、変形時の応力が緩和することで変形が残留することなく、焼成後に変形が戻り積層時の印刷精度も高い。

- ・キャリアレス：ガラス基板等への固定が不要となり基板そのものを搬送して処理が可能。これらの特長により、円筒形のシリンダー構造を持つシート to シートの印刷機での積層が可能となり、多品種変量生産が実現する。その結果、低いイニシャルコストでのデバイス製造が可能となる。

## 2.1.2.2 短タクト化技術

### 〔1〕研究開発の背景と方針

電子デバイスの製造に印刷技術を適用する主要な目的の一つはその高い生産性である。真空プロセスを含むフォトリソグラフィーに対し、常圧プロセスを採用できる点において印刷は生産性を革新する技術であると言えるが、商業グラフィック印刷の高い生産性と対比すると、プリントドエレクトロニクスの生産性は十分とは言えない。

低い生産性に制約されるのは、プリントドエレクトロニクスに特有の二つのボトルネック工程が存在するためである。第一は使用するプラスチック基板などの伸縮によるアライメント精度の悪化を防ぐための工夫が必要で、これにより多大な時間、コストを要する他、ガラスキャリア等を用いる場合は必然的にフラットベッド機を用いた逐次印刷プロセスを採用することになるが、各プロセスのタクトを一致させないと、順次投入することが困難である。このため工程に同時に投入できる基板の数が1枚に制限され、生産性を上げられない理由の一つとなっている。第二のボトルネックは、TFT素子のような積層印刷において、各層印刷後に印刷ラインから基板を取り出して焼成を行うプロセスである。一般に金属インク、絶縁膜インク共に120～180℃の温度で長時間の焼成を必要とする。これにより非連続プロセスとなって生産性が制限されるだけでなく、焼成後印刷ラインに戻す毎にアライメント調整を必要とし、更に生産性を下げる要因となる。

本開発では、上記のボトルネック工程を解消することで十分な印刷精度を維持しつつ、高い生産性を有するプリントドエレクトロニクス用印刷技術を開発することを方針とする。具体的にはキャリアレス、即ちガラスキャリアに印刷基板を貼合することなく枚葉のフィルム基板に直接印刷すること、及び半Wet-on-Wet、即ち各層の印刷後、使用するフリーフィルム基板に影響を与えない簡易的な乾燥のみを行って上層を積層印刷し、最後の層を印刷した後に一括して焼成することで所望の性能を得る技術の確立を目標とする。

### 〔2〕目標と目標の達成度

#### 《対応最終目標》

具体的な数値目標として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 $\pm 10\mu\text{m}$ 以内で、30秒/枚以内の速度で印刷TFT素子の性能を維持しつつ生産機中を搬送させるプロセス技術を含む短TATな基板搬送技術を開発する。

上記目標にもとづいた成果とその達成度を以下の表Ⅲ-2.1.2.2-1に示す。

表Ⅲ-2.1.2.2-1 短タクト化技術の達成目標と対する成果および達成度

目標	成果	達成度
印刷全面での位置精度 $\pm 30\mu\text{m}$ 未満(A4)	・仮焼成の手段、温度、基板固定手段の最適化により、フリーフィルム基板セット固定精度 $\leq 10\mu\text{m}$ を除く印刷精度として $20\mu\text{m}$ 未満を達成した。	○
生産性 30秒/枚以上	・印刷及び仮焼成の単工程タクトタイム $\leq 30$ 秒のプロセスで素子特性を検証し、目標精度達成を実証した。	○
TFTの試作、装置の有効性証明	・開発したプロセスでTFT電極を連続積層印刷し、従来プロセス(逐次焼成)と同等のトランジスタ特性を有することを実証した。	○

全印刷精度の目標はA4サイズで $\pm 30\mu\text{m}$ 未満である。これはもう一つの目標である基板セット固定精度 $\pm 10\mu\text{m}$ 以下を含んでおり、純粋な印刷精度としては $\pm 20\mu\text{m}$ 未満であると定義した。本開発ではこの定義を元に印刷精度を評価し検証した。

本研究開発で行う『仮焼成』とは、印刷したインク層を積層した場合にもお互いの印刷層の機能に影響を及ぼさない程度に乾燥または硬化させる操作を言う。仮焼成の手段として2つの物理操作が考えられる。一つは加熱によってインク中に含まれる溶剤を蒸発させる熱焼成、もう一つは特に絶縁膜インクにおいて紫外線、電子線などを用いて部分的に架橋を行うものである。本

検討においては、赤外線(IR)ヒーター及び熱風を用いた熱焼成技術と、紫外線ランプを用いたUV焼成技術の2つのアプローチで半Wet-on-Wet印刷プロセスの開発を行った。

最後に開発技術を用いてTFT素子を作成し、その動作性能を検証した。TFT[素子が動作すること、次いで従来の逐次焼成と同オーダーの移動度を有すること、最終的には、開発した短TAT化技術で作製したTFT素子が、通常の熱焼成(逐次焼成)工程を用いたTFTと同等の特性をもつことを目標とした。

### [3] 成果の意義

本研究開発は、商業印刷機の基盤技術をベースとしたユニット式高速連続印刷機設計の基礎をなすものである。本開発で得られた設計指針に基づき、具体的な展開用途に応じて各要素技術を総合することによって、スループット30秒で印刷精度30 $\mu$ mという従来にない革新的なPE印刷プロセスを開発することが可能になる。

Wet-on-Wetプロセスの核心技術の一つである仮焼成については、インクや装置構成の自由度が大きい熱焼成と、性能重視のUV焼成を適宜選択することができ、生産するデバイスの設定価格や生産規模、性能などに応じて幅広い選択肢を提供できる。

## 2.2 フレキシブル複合機能デバイス技術の開発

### 2.2.1 フレキシブルデバイス高感度化、高信頼性化技術の開発

プリントドエレクトロニクスは、電子ペーパーや圧力センサーの動作実証ができるレベルまで到達しているが、それらの動作は従来のシリコンデバイスと比較して高い電圧範囲におけるものである。フレキシブル基板上に印刷で形成する入出力デバイスが低電圧で動作可能なように、高感度化、TFT の低駆動電圧化技術の開発を行う必要がある。また、実用化に向けて必要となるデバイス性能の高信頼性化を実現するために、低消費電力化、動作電圧のばらつき低減技術の開発を行う。さらに共同実施先の東京工業大学（真島豊教授）と試作したデバイスの電荷輸送機構を解析、それにより信頼性に寄与する要素を明らかにしデバイスの高信頼性化に繋げる。

#### 2.2.1.1 TFT 低駆動電圧化技術開発

##### [1] 研究開発の背景と方針

TFT 駆動電圧の低電圧化を実現するためには、ゲート絶縁膜の薄膜化または高誘電率化が原理的に必要である。また、製品歩留まりの低下や駆動信頼性の低下を防ぐために印刷配線材料及びプロセスを検討することにより、印刷配線電極の平滑化する必要がある。ゲート絶縁膜の高誘電率化については、ゲート絶縁膜に高誘電率絶縁膜材料を適用することで実現可能である。高誘電率絶縁膜材料を組み合わせ、半導体との優れた界面特性を有する構造を有するゲート絶縁膜を形成することが、実用的な低電圧駆動 TFT の特性を発現する方法として有効であると考えられる。

本研究開発では、印刷配線電極の平滑化技術開発及び TFT 構造設計・ゲート絶縁膜材料組み合わせ技術開発を行う。印刷配線電極の平滑化技術開発では、ナノ Ag インクを用いた反転印刷法を主として、インク選定及び平滑化処理の検討を行った。また、TFT 構造設計・ゲート絶縁膜材料組み合わせ技術開発では、高誘電率絶縁膜と、半導体との良好な界面特性、各層の厚さやプロセスの適正化を行った。

##### [2] 開発目標と目標到達度

###### 《対応最終目標》

素子構造とゲート絶縁膜材料・プロセスの複合効果を加味した最適設計を適用し、5V 以下での駆動を実証する。

###### 《目標に対する成果、達成度》

目標	成果	達成度
5V駆動TFTにおいて、バイアスストレスによる閾値変動が0.4V以内。	高誘電率絶縁膜をゲート絶縁膜に有するTFT素子において、5V駆動においてバイアスストレスによる閾値変動0.4V以内を達成した。	○

### [3] 成果の意義

今回開発した印刷配線電極の平滑化技術と TFT 構造設計・ゲート絶縁膜材料組み合わせ技術は、歩留まりや連続駆動安定性など、製品化に必要な性能実現を重要視した研究開発である。そのため、単に有機 TFT の駆動電圧を低減するだけでなく、全印刷プロセスで低電圧有機 TFT センサーアレイの製造を実現するための重要な要素技術となり得る。

#### 2.2.1.2 センサー素子高信頼性化技術開発

##### [1] 研究開発の背景と方針

センサーアレイを実現するためにはフィルム上にマトリクス状に形成された複数のセンサー材料パターン（素子）一つ一つの物性値（出力値）を高精度に検出する必要がある。この検出にはパッシブマトリクス駆動またはアクティブマトリクス駆動が用いられるが、アクティブマトリクス駆動の方が検出精度が高い。高精度な検出に加えて、柔軟かつ耐久性のあるセンサーアレイを実現するためには、有機 TFT で構成されたアクティブマトリクス駆動を用いることが最適である。しかしながら、有機 TFT は通常駆動電圧が高いため、消費電力、周辺回路コスト及びサイズが増大するという問題がある。この対策として、低電圧駆動有機 TFT を適用して、駆動電圧を低減した場合、TFT やセンサー材料の特性ばらつきによりセンサーアレイの信頼性低下などの問題が発生すると考えられる。

本研究開発では、2.2.1.1 で開発した低電圧駆動 TFT プロセスを基本プロセスとし、ばらつきを低減する技術を開発する。具体的には、出力（検出電流）のばらつき 10% 以下の低電圧アクティブマトリクス駆動のセンサーアレイを試作することで、センサー素子の高信頼性化技術を実証する。

##### [2] 開発目標と目標到達度

《最終目標》

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

《目標に対する成果、達成度、課題》

目標	成果	達成度
センサー素子において、5V 以下の駆動電圧での動作と感度ばらつき 10% 以下の達成。	フィルム基板上に印刷で形成したアクティブマトリクス駆動温度センサーアレイにおいて、5V 以下の駆動電圧で動作し、面内ビット値ばらつき 10% 以下を達成。	○

### [3] 成果の意義

本研究開発で獲得したセンサーアレイを製造する材料、プロセス及びノウハウにより、①現行のエレクトロニクス製品と共存可能な低電圧で駆動できること、②低コスト生産・カスタマイズ生産のできる可能性を有すること、③高い信頼性（低ばらつき）を有すること、を同時に満たすセンサーアレイの提供を可能にできる。これは印刷 TFT を用いたデバイスの製品化において、周辺回路コストの低減、デバイスの消費電力低減及び少量生産時の低コスト化など、従来実用化を妨げる要因となっていた課題をクリアする成果として意義が大きい。

### 2.2.1.3 TFT 信頼性向上に向けた解析（共同実施：東京工業大学 真島教授）

#### [1] 研究開発の背景と方針

印刷デバイスの信頼性の向上は実用化に向けた取組として重要である。東京工業大学真島グループでは、これまでに TFT のチャンネル電流と変位電流を同時に計測する評価技術を開発し、TFT の動作時の電荷輸送機構について検討してきた。また、原子間力顕微鏡、ケルビンフォースプローブ顕微鏡、走査型トンネル顕微鏡などの各種走査型プローブ顕微鏡を用いて、1分子や1つのナノ粒子の電子物性の検討を行ってきた。

本研究開発では JAPER A で試作した印刷デバイスの電気特性を評価し、信頼性向上に向けた解析を行うこととする。全印刷デバイスアレイにおける電気特性の経時変化を明らかにすることにより、信頼性に寄与する要素を明らかにし、印刷デバイスの高度化、高信頼性化技術の開発に寄与する。

全印刷デバイスアレイは G1 サイズであるため、印刷 TFT に対してこれらの測定手法を適用する技術を確立する。そしてチャンネル電流と変位電流の同時計測手法並びにバイアスストレス測定から得られた知見を元にして、印刷 TFT の動作信頼性を向上させるための要素解析を行う。

#### [2] 開発目標と目標到達度

《最終目標》

印刷 TFT の性能と課題を明らかにし、信頼性向上に向けた指針を得る。

《目標に対する成果、達成度、課題》



目標	成果	達成度
印刷TFTにおける移動度・閾値電圧の時系列変化の把握	印刷TFTの移動度及び閾値電圧の時系列変化を最長2年7カ月に亘り検討した結果、移動度が減少しにくいデバイス構造、半導体材料を見出した。	○
全印刷デバイスの素子断面形状評価	印刷TFTの断面部分を露出させ、電界放出型走査電子顕微鏡にて断面形状観察を行い、半導体層の電極との接触状態、ビア部分の積層構造を明らかにした。	○
印刷TFTアレイにおける静電容量の評価	ソース/ゲート間、ドレイン/ゲート間の静電容量のゲート電圧依存性を検討した結果、アドレスしている画素の周囲が導体化し、静電容量が単素子の100倍以上に増加するクロストークがあることを見出した。さらに、クロストークを低減する駆動方法を明らかにした。	○

本研究開発の初期段階で、アレイ素子の変位電流とドレイン電流の同時測定を行った際に、その変位電流の値から計算される静電容量が、理論値の100倍を超える値を、On/Off状態で示していることを観察した。また、ソースグラウンドの静電容量を直接評価したところ、こちらも理論値の100倍となることがわかった。このことは、同じクロストーク現象を異なる測定方法において測定していたことを示し、この結果から、全印刷薄膜トランジスタアレイは、ソース接地で駆動すると、クロストークが発生し、クロストークに付随する寄生容量は単素子の100倍以上になること、Off状態においてもクロストークが存在すること、素子をドレイン接地で駆動するとクロストークが発生しないことが明らかとなった。

### [3] 成果の意義

印刷TFTの耐久性に対応する、移動度の経時変化は、素子構造、半導体材、絶縁膜材料の組み合わせに依存することがわかり素子設計に寄与した。また断面のTEM像観察では、印刷プロセスで作製した印刷配線、印刷多層膜の積層構造を明らかにし、SAM処理による表面被覆制御の特徴を示した。印刷TFTアレイにおける静電容量の評価では、ソースグラウンド駆動では、クロストークが発生し、寄生容量が単素子の100倍以上となることを明らかにした。

TFTの時系列的な性能低下の課題、製造プロセスの課題、駆動方法の提案などを明らかにしており、上市にむけた信頼性向上に向けて、重要な指針を与えている。

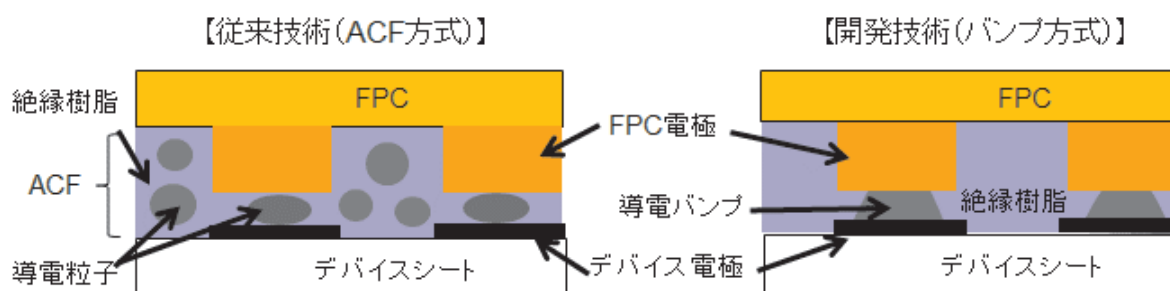
### 2.2.2. フレキシブルデバイス実装技術の開発

印刷で製造するフレキシブルデバイスに対して、その機能を損なうことなくモジュールとして実装するための、低温低損傷高精度実装技術の開発を行う。フレキシブル実装に関しては、高温を付与する従来の実装技術では、高精度に製造することができず、欠損の要因となってしまう。ここでは、フレキシブルデバイス・基板の低温低損傷かつ高精度実装技術の開発を行うとともに、フレキシブルデバイスに求められる高曲げ耐性を有する実装技術の開発を行う。

最終目標である、100℃以下の接合接着技術を開発し、10万回以上の曲げ耐性を持つ技術を開発するにあたり、低温導電接合プロセス技術、低温封止プロセス技術、低温実装材料技術を開発、実デバイスへ適用し、最終目標が達成されていることを確認した。

#### ① 低温導電接合プロセス技術開発

デバイスシートと FPC (Flexible Printed Circuit) を接続するために、従来は電極面を対抗させた両者の間の ACF (異方性導電膜) を挟んで 150℃～180℃の高温で圧着する方法 (ACF 方式) が取られていた。この方法では接続強度は変形した導電粒子の反発力と ACF の絶縁樹脂の硬化収縮力に依存するため、高温処理による残留熱応力と相まって、曲げなどの外力が加わった際の信頼性に問題があると考えられる。ここでは、低温プロセスで高い接続信頼性を得るために、ACF 方式に代わる新規な導電接合技術 (バンプ方式) を考案した。図Ⅲ-2.2.2.1-1 に両方式の断面模式図を示す。バンプ方式では、凸形状の導電バンプを開発、先端を FPC 電極に付着させることで、絶縁樹脂の硬化収縮力への依存度を抑えた。



図Ⅲ-2.2.2.1-1 両方式の断面模式図

以下、100℃以下で ACF 方式と同等以上の接合プロセス開発を目標にバンプ方式の原理検証に基づいたプロセスを適用することにより、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した。

《低温導電接合プロセス技術の目標と成果》

目標	成果	達成度
100℃以下のプロセス温度でACFと同等以上の接合強度の達成。	ピール強度:6N/cm@100℃ (低温用ACF=2N/cm@140℃, 4N/cm@180℃)	○

② 低温封止技術開発

ここでは種々の封止材料を用いて、開発したフレキシブルデバイスにおける水蒸気透過度の定量化手法に基づき、100℃以下の温度でフレキシブル基板間の耐湿性を確保できる封止技術を開発した。

《低温封止技術の目標と成果》

目標	成果	達成度
100℃以下のプロセス温度でフレキシブル基板間の耐湿性の確保。	実装部に封止構造を適用し、高温高湿バイアス印可試験後に絶縁性が低下しないことを実証した。	○

③ 低温実装材料技術開発

ここではプラスチックからなるフレキシブル基材に適応できる低温硬化タイプの導電性ペーストであって、導電性バンプの形状と高精細性に特徴のあるバンプの形成を目指した。開発した低温導電接合プロセスに適合し、高い接続信頼性（曲げ耐性など）が見込まれる材料設計の指針を明らかにした。

《低温実装材料技術の目標と成果》

目標	成果	達成度
低温導電接合プロセスに適合し、高い接続信頼性が見込まれる材料設計指針の提示。	小径で高アスペクト比の円錐型導電性バンプ形成のための導電性インクの物性条件を精査し、設計指針を明らかにした。	○

[2] 開発目標と目標到達度

ここでは、これまでに説明した低温導電接合プロセス技術、低温封止技術、低温実装材料技術をもとに回路部材とを接続する実装部分に適用、フレキシブル性（曲げ耐性）をを確認した。

《最終目標》

100℃以下のプロセス温度で 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。

《目標に対する成果、達成度、課題》

目標	成果	達成度
100℃以下のプロセス温度で10万回以上の曲げ耐性の達成。	円錐型導電性バンプを用い、絶縁樹脂材料あるいはFPC基材の最適化によって、100℃以下の接合温度で10万回の曲げ耐性を達成した。	○

### [3] 成果の意義

#### 1) 高曲げ耐性実装技術

独自の低温導電接合技術であるバンプ方式のデバイス適合性を検討し、100℃以下のプロセス温度で10万回の曲げ耐性を達成した。曲げ耐性向上のための重要な因子（絶縁樹脂材料、基材）を明確にすることで、再現性の高いプロセスを構築できた。将来のデバイス設計に広く活用できる成果である。

帆技術を3D成型センサーのように実装部の配線ピッチが変量するデバイスに適合、耐性を確認した。バンプ方式は従来のACFを用いた接合では不可能な上記デバイスへの適合を可能とする応用範囲の広い技術であることを実証した。

また、本バンプ方式のCOFへの適合性を検討し、開発した微細な円錐バンプを適用することで、使用可能なレベルにあることを検証できた。バンプ方式は印刷プロセスによる実装技術であり、デバイスモジュール作製において、デバイスそのもののみならず、あらゆる実装部をも網羅した完全印刷プロセス化を実現する可能性が期待される。

### 2.2.3. フレキシブルデバイスの機能複合化技術の開発

フレキシブルデバイスを製品化していくためには、単一のセンシング機能だけではなく複数の機能を実装したモジュールの開発を行う必要がある。本研究開発では、モデルデバイス基本仕様をベースに複数の機能の同期技術を確立し、その動作確認をする。

本開発によってデバイス・プロセス設計プラットフォームを構築することを目指す。具体的な取り組みとして、ユーザニーズとプラットフォーム性の観点から、モデルデバイスとしてシート型多点検出センサーを設定するとともに、モデルデバイス試作によって構築する生産プラットフォームと回路基板共通基盤を活用して、シート型多点検出センサー以外にニーズの高い用途に適合する特定ニーズ対応デバイスへの展開を図る。より具体的には、下記3種のターゲットデバイスを設定する。

- ① ターゲットデバイス A：健康介護支援センサー
- ② ターゲットデバイス B：大面積シートセンサー
- ③ ターゲットデバイス D：特定ニーズ対応デバイス

#### 2.2.3.1 ターゲットデバイス A（健康介護支援センサー）の開発

##### [1] 研究開発の背景と方針

第 I 期において全印刷 TFT アレイと感圧ゴムを組み合わせた感圧センサーを試作し、高精細高感度のフレキシブルセンサーとしての機能検証を行った。フレキシブルセンサーの用途として、靴底に適用して歩行時やランニング時の足裏の圧力分布を測定したり、ベッドに適用して着床時の体圧分布を測定することが考えられる。その際に、同時に温度（体温）などのバイタル測定ができれば活用シーンが広がる可能性がある。この観点から圧力と温度を同時に検出するフレキシブル多機能センサーの開発を実施した。

##### [2] 目標と目標の達成度

《対応最終目標》

ターゲットデバイス A の構成設計を行い、プロトタイプを試作する。ユーザーとしての介護施設などにアプローチして、フィールドテストを実施する。

《最終目標達に対する成果、達成度》

目標	成果	達成度
ターゲットデバイス A のプロトタイプ試作及びフィールドテスト実施	ターゲットデバイス A のプロトタイプを試作し、ナノテク2018にて展示デモを行った。またスポーツ用品メーカーにアプローチしてランナー用靴底センサーとしての可能性を検討した。	○
温度センサー検出範囲：室温～60℃	25℃と60℃での抵抗比2.1と、この範囲で検出に十分な感度が得られた。	○

### 〔3〕 成果の意義

感圧層と感温層を TFT 基板上に塗り分け印刷する技術を開発した。この技術は複数の機能層を塗り分ける基本技術であり、他のセンサー材料等にも適用可能な応用範囲の広い技術である。

全印刷アクティブマトリクス駆動を用いた圧力・温度同時多点検出のデモ（ナノテク 2017、ナノテク 2018）に世界で初めて成功した。

新規な感温材料を開発し、従来の材料より高感度かつ 0℃～100℃の広い検出範囲を有することを実証した。当初狙いとした靴底センサーやベッドセンサーなど人体の計測以外にも低温保管庫の棚管理等への応用展開が期待できる。

#### 2.2.3.2 ターゲットデバイス B（大面積シートセンサー）の開発

##### 〔1〕 研究開発の背景と方針

第 I 期で構築した標準試作ラインは G1 サイズ（300mm×400mm）基板対応であるため、センサーデバイス等のアクティブエリアは A4 サイズ程度が最大となる。実用化実証において、例えばカーシートなどの座面センサーや入院患者や要介護者の食事の進捗を管理するトレイセンサーなどは少なくとも A3 程度のサイズが必要となる。

本研究開発では面積を任意に拡大する技術として、2 枚以上の圧力センサーシートを端部で配線を電氣的に接続する技術（タイリング技術）の開発に取り組んだ。

タイリング手法としては、タイリング数の増大に伴って装置が大型化する手法は好ましくなく、小型の装置で対応できる手法が実用上好ましい。そのような手法として 3 つを検討した。折り曲げ配線裏面接続法では、フィルムデバイスのフレキシブル性という特徴を生かして、端部を折り曲げることでシート内の配線を裏面側に取り出し、別途用意した配線が形成されたフィルムを用いて接続するものである。この手法は折り曲げ部を有することで、フレキシブル性の低下や段差発生による感圧異常が生じる短所がある。接続フィルム法は対向電極に形成された配線をブリッジとして、導電性接着剤を介して接続する方法であるが、印刷感圧層をセンサー層とする場合にしか適用できないことや接着力不足という短所がある。一方、接続ディスプレイ法は、マザーフィルムに隣り合って貼られたセンサーシート基板をディスプレイで印刷した導電性材料を用いて電氣的に接続するものである。接続ディスプレイ法は他手法と比較して短所が少ないため、本研究開発の対象手法とした。

##### 〔2〕 目標と目標の達成度

###### 《対応最終目標》

シート型多機能センサーの大面積化（タイリング）の検討を行い、ターゲットデバイス B のプロトタイプを試作する。ユーザーメーカーにアプローチしてフィールドテストを実施する。

###### 《最終目標達に対する成果、達成度》

目標	成果	達成度
ターゲットデバイスBのプロトタイプ試作及びフィールドテスト実施	ターゲットデバイスBを試作し、CEATEC2018で展示デモを行い、介護施設関係者の関心を集めた。	○
大面積化：繋ぎ合せ部の不感帯幅2.4mm以下	標準シートセンサー2枚のタイリングで、不感帯幅2.4mmを達成した。	○

### 〔3〕 成果の意義

2枚以上のセンサーシートをタイリングして大面積化する技術を開発した。この技術は予めタイリング用の配線電極部を TFT シートに形成しておけば、任意の数のシートをタイリングして、所望の面積を得ることができる応用範囲の広い技術である。

本開発で採用した接続ディスペンス法は、それ自体が独自性のある技術であるが、実現するに当たって課題の検討を行った結果得られた粘着材や伸縮性配線インクなどの材料に関する知見の多くは本開発によって初めて獲得できたものであり、技術蓄積の観点で役立つものと考えられる。

今回の試作で得られたサイズは標準センサーシートの2倍であるが、それでもデモ対象となるフィールドが広がったことから、大面積化技術を確立できたことで実用化実証が加速されることが期待できる。

#### 2.2.3.3 ターゲットデバイス D（特定ニーズ対応デバイス）の開発

##### 〔1〕 研究開発の背景と方針

標準センサーシート（A4サイズ）で対応が困難な特定ニーズに対して、2.2.3.1及び2.2.3.2で実施したモデルデバイス試作によって構築した生産プラットフォームと回路基板共通基盤の適合性を検証するために、カスタムでデバイス設計を行う必要がある。ここでは、ニーズが顕在化している下記3アイテムを対象としてカスタム設計及び試作を行うこととした。

##### ① スマートコースター

飲食店で人手不足を低減、顧客満足度を向上させる目的で、コースター上に置かれた飲料グラスに対して、飲料種（グラス種）と残量を検知し、コースター毎に集中管理ができるセンサー。

##### ② ロボットスキン

現在、ロボットには主として視覚、聴覚に関わるセンサーが組み込まれているが、より人に近いロボットの実現に不可欠な触覚の付与を目指したセンサー。

##### ③ 3D 成型センサー

生活空間に存在する様々な部位（一例としてとして自動車のセンターコンソール）に触覚による操作系などの機能を付与することを目的として、それぞれの部位の形状に沿って設置できる 3D 成型加工されたセンサー。

## [2] 目標と目標の達成度

### 《対応最終目標》

生産プラットフォーム及び回路基板共通基盤の中から、顧客要望を満たすために必要な技術の選定を行い、ターゲットデバイス D のプロトタイプを試作する。ユーザー企業などにアプローチして、フィールドテストを実施する。

### 《最終目標達に対する成果、達成度、課題》

目標	成果	達成度
ターゲットデバイスDのプロトタイプ試作及びフィールドテスト実施	ターゲットデバイスDのプロトタイプを試作し、GEATEC2017,2018、ナノテク2019で展示デモを行い、関連分野の関係者から高い関心を集めた。	○
スマートコースター①: 形状・重量の識別	グラス3種と飲料残量3レベルが認識できたことにより、形状・重量の識別を達成した。	○
スマートコースター②: 小型化・多機能化	低電圧駆動TFTの適用により、リジッド基板の小型化を達成した。無線機能、表示機能の付与により、多機能化を達成した。	○
ロボットスキン: 触行動の識別	エキスパートシステムを採用し、6種類の触行動の識別(ロボットの応答)を達成した。	○
3D成型センサー: 操作系としての機能検証	車載を想定したエアコンとオーディオ操作の機能を実証した。	○

## [3] 成果の意義

### 1) スマートコースター

スマートコースター実現に当たって、感圧センサーを物体種識別と重量判別に用いる手法の高度化、重量（内容量）のレベルを LED の発光色で知らせる表示機能の付与、乾電池で駆動する定電圧駆動 TFT の採用、無線でデータ通信を行う Bluetooth 機能の付与など多彩な機能を搭載することに成功した。

これらは IoT エッジデバイスとして必要なほとんどの要素を含むため、スマートコースター（飲食店でのサービス向上）以外にも多様なニーズに答えることができるものと期待される。

### 2) ロボットスキン



人の触行動の識別とそれに呼応したロボットの反応表現はこれまでに世の中になくアプリケーションである。展示会でのデモをきっかけに、接客業務にロボットを導入するソリューションを展開している E 社から高い評価を得たことは特筆に値する。

本開発で獲得した触行動の識別技術は、インプット（操作系）機能として、ロボットの反応のみならず、様々な出力系に対しての適用が期待される。

### 3) 3D 成型センサー

フレキシブルセンサーを 3D 曲面形状に加工して、動作させた例は世の中で類を見ないものである。これまでに開発してきた印刷による有機 TFT が、加工時に加わる応力に対する高いロバスト性を有していることを裏付ける価値の高い成果である。

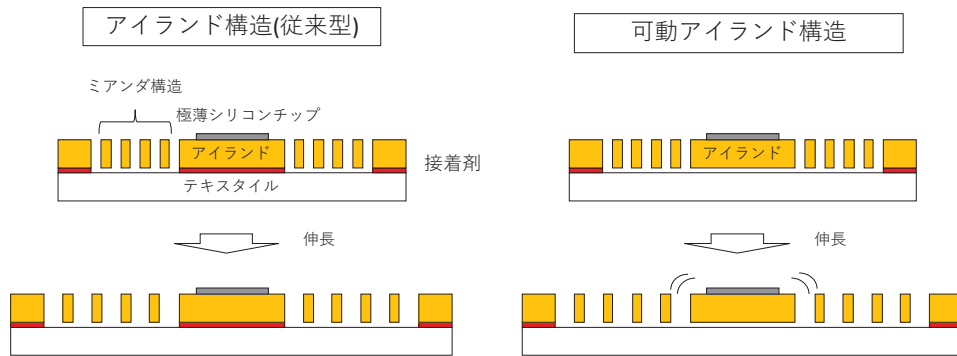
本開発ではこれまでの顧客接点活動でニーズが顕在化している車載操作系のデモを行ったが、前述のロボットスキンをはじめ、3D 曲面へのセンサーシート搭載の要望は高く、幅広い分野への応用が期待される。

## 2.2.4. フレキシブルデバイスの機能複合化技術の開発（産総研・名古屋大学）

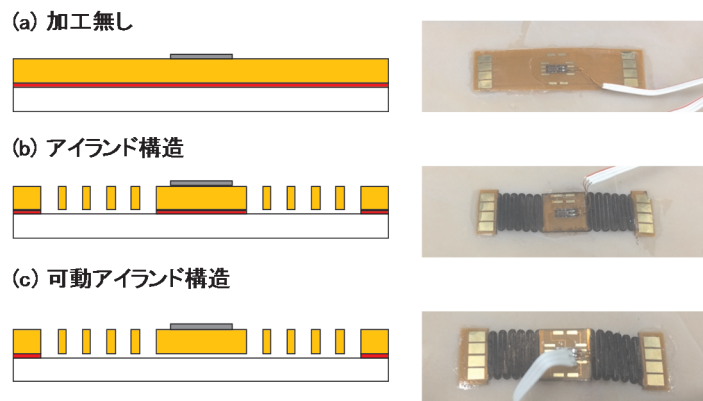
### 2.2.4.1 フレキシブル通信モジュールの開発

本研究ではコンプレッションウェアに違和感なく装着可能な、フレキシブル無線モジュールを開発する。現在、市販品として開発されているセンシングウェアの多くは、センシングしたデータを無線モジュールにより送信するが、無線モジュールは市販の IC や電子部品をプリント基板上に実装して作製されるため柔軟性がなく、装着に違和感がある。そこで我々は、約 20 $\mu$ m まで薄化した極薄シリコン回路チップをフレキシブル回路基板上に実装・封止することで、柔軟性・伸縮性を有したフレキシブル通信モジュールの開発を行った。

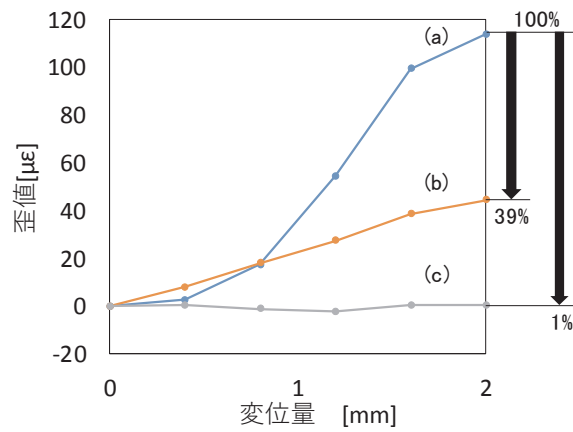
フレキシブル基板上に極薄シリコン回路チップを、何の対策もなく転写した場合、フレキシブル基板の伸縮により、極薄シリコン回路チップは容易に破断してしまう。その対策として、フレキシブル基板の伸縮による歪が作製した極薄シリコン回路チップに伝達しないような可動アイランド構造を設ける方法を提案した。図Ⅲ-2.2.4-1 にその概念図を示す。ミアンダ構造をフレキシブル基板上に形成することで極薄シリコン回路チップに伝達する歪を低減する手法は先行研究にて行われてきた。しかし、図に示すように、従来構造では、極薄シリコンチップを実装するアイランド部が伸縮基材に固定されている構造が一般的であり、伸縮基材との固定部から伝達する歪は未対策であった。我々の提案する可動アイランド構造においては、アイランド部を伸縮基材に固定せず、物理的に浮いた構造にすることで、アイランド部に伝達する歪を大きく低減することを可能にする。可動アイランド構造のひずみ低減効果を示すために、ひずみゲージとフレキシブル基板を用いた基礎評価実験を行った(図Ⅲ-2.2.4-2)。(a)加工無し(b)アイランド構造(c)可動アイランド構造を有するフレキシブル基板+伸縮基材サンプルの中央部に歪ゲージを固定し、各サンプルの伸縮基材(長さ: 65mm 幅: 28mm)を伸長した際の固定部の歪値の測定を行った。図Ⅲ-2.2.4-3 に示す通り、(a)加工無しの歪値を 100%としたとき、(b)アイランド構造では 39%に減少したのに対して、(c)可動アイランド構造にすることで、1%以下に大幅に減少した。以上の結果より、可動アイランド構造にすることで、大幅に伸縮基材から伝達する歪値を低減することが可能になることを示した。



図Ⅲ-2.2.4-1 アイランド構造(従来型)と可動アイランド構造の概念図

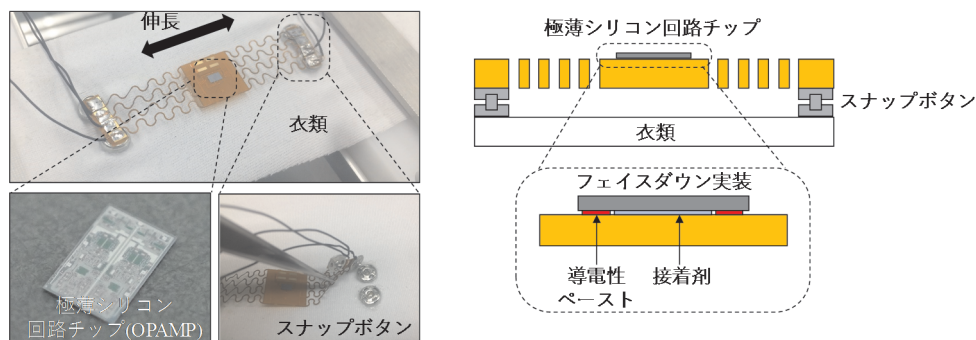


図Ⅲ-2.2.4-2 (a)加工無し (b)アイランド構造 (c)可動アイランド構造を有するフレキシブル基

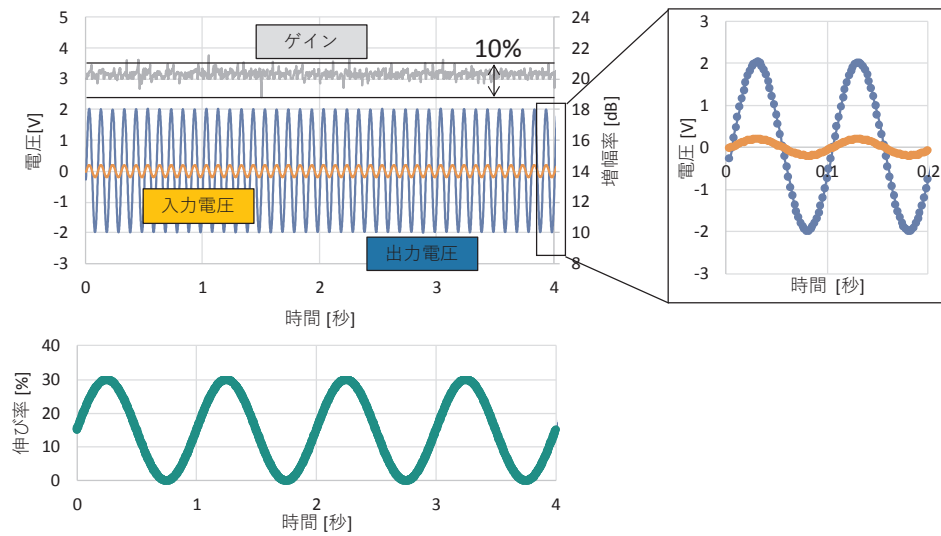


図Ⅲ-2.2.4-3 伸縮基材伸長時の各フレキシブル基板サンプル中央部の歪値

次に、実際に極薄シリコン回路チップを可動アイランド構造に実装し、伸縮による影響を受けずに動作可能であるかの試験を行った。Chemical Mechanical Polishing (CMP)装置を用いてオペアンプ(OPA2272, Texas Instruments)を約 20 $\mu\text{m}$ まで極薄化し、可動アイランド構造を有したポリイミド基板のアイランド上にフリップチップ実装(ディスペンサー, 株式会社菱光社, 本プロジェクトにて購入)を行った。実装には導電性ペーストを用いており、極薄シリコン回路チップをアライメント、配置後に加熱することで、硬化させる。可動アイランド構造は伸縮基材(衣類)上にスナップボタンにより固定されている(図Ⅲ-2.2.4-4)。この状態で伸縮基材に伸長を与えた際に、オペアンプの増幅率のばらつき測定試験を行った。可動アイランド構造上に実装されたオペアンプにより、ゲイン 20db の増幅回路を形成する。また伸縮基板に 1Hz、30% の伸縮を与えた。この状態で増幅回路に 10Hz の入力電圧(0.2V)を与えた際の、出力電圧及びゲインを図Ⅲ-2.2.4-5に示す。なお電源電圧は 5V である。図Ⅲ-2.2.4-5の結果より、安定して入力信号が増幅されており、そのゲインのばらつきは 10%以下であった。



図Ⅲ-2.2.4-4 可動アイランド構造への極薄シリコン回路チップ実装



図Ⅲ-2.2.4-5 可動アイランド構造に実装した極薄オペアンプチップの動作試験結果

#### 実装技術、および封止技術の開発

上記の可動アイランド構造を応用し、心電測定ウェア用のフレキシブル通信モジュールの作製を行った。ポリイミドのフレキシブル基板上に心電増幅回路、MCU、RF-IC、電池が搭載されており、心電増幅回路は可動アイランド構造部上に実装された極薄シリコン回路チップにより形成されている。フレキシブル通信モジュールはPDMSにより封止されている。衣類上に形成した電極から得られた心電信号は、フレキシブル通信モジュールの4角に固定されたスナップボタンにより心電増幅回路に入力され、増幅・信号処理されたのち、RF-ICより外部に無線通信される構成となっている(図Ⅲ-2.2.4-6)。なお、本フレキシブル通信モジュールを用いた実証試験結果に関しては(2.2.4.3)にて述べる。

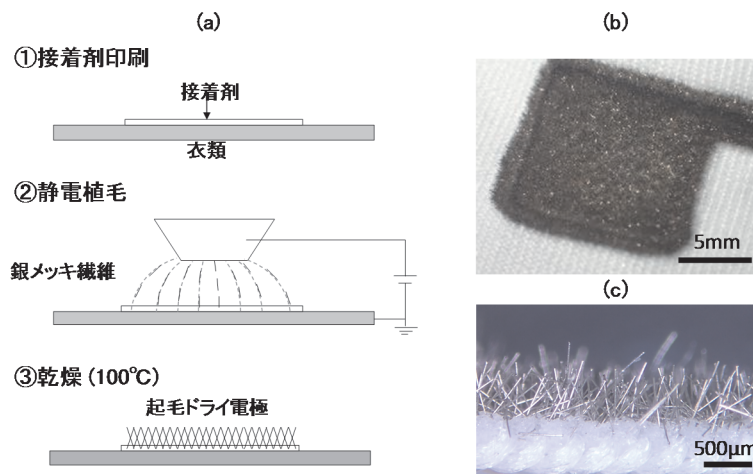


図Ⅲ-2.2.4-6 フレキシブル通信モジュールと心電図測定ウェア

#### 2.2.4.2 配線・電極形成テキスタイルの開発

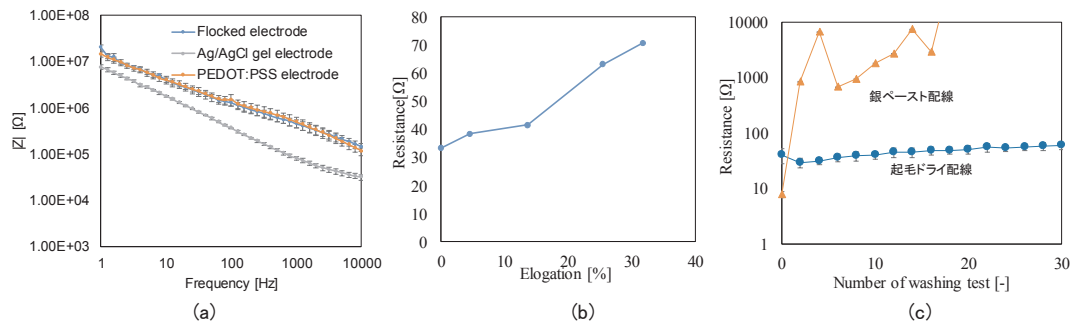
本研究では印刷技術を用いたドライ電極・配線の作製技術と、この技術を用いた多誘導心電図測定ウェアの開発を行った。従来のドライ電極型の心電図測定ウェアは、呼吸や会話などの体の動きによって生じるモーションアーティファクト(MA)と呼ばれる波形の乱れが原因で、医療機器として用いることが困難であった。今回我々は柔らかな風合いで皮膚との接触が良好な起毛ドライ電極並びに、その接触状態を模擬できるMA評価装置を独自開発し、MAの小さな心電図を取得できる多誘導心電図測定ウェアの開発を行った。

図Ⅲ-2.2.4-7(a)に静電植毛技術を用いたドライ電極作製プロセスに関して述べる。衣類上に衣類用接着剤の印刷を行った後、静電植毛技術を用いて銀メッキ繊維を植毛する。静電植毛技術とは帯電させた短繊維(長さ $500\mu\text{m}$ , 直径 $17\sim 18\mu\text{m}$ )を、電気力線にそって衣類に吹付つける技術であり、繊維が衣類に対して垂直に起立した状態で形成できる。最後に接着剤を硬化させることで衣類上に起毛ドライ電極が形成される。図Ⅲ-2.2.4-7(b), (c)に起毛ドライ電極とその断面図を示す。衣類に対して銀メッキ繊維が垂直に起立していることが確認させる。この構造により、柔らかい風合いと良好な肌との接触を実現している。



図III-2.2.4-7 (a)起毛ドライ電極作製プロセス (b)起毛ドライ電極 (c)断面図

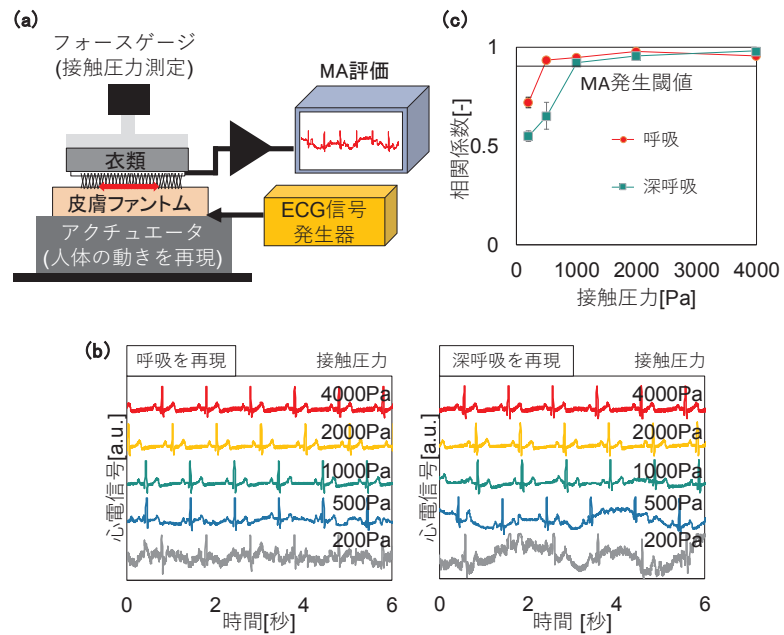
まず作製したドライ電極の電極インピーダンス、伸縮性、洗濯耐性の評価を行った。図III-2.2.4-8(a)に起毛ドライ電極、Ag/AgCl 電極(ゲルあり)、PEDOT:PSS 電極をそれぞれ人体の前腕に対して一定の圧力(200Pa)で押し付けた際のインピーダンス測定を行った結果を示す。起毛ドライ電極のインピーダンスはAg/AgCl に対しては大きい値を示しているものの、市販品である PEDOT:PSS 電極とは同等の値を示している。次に図III-2.2.4-8(b)に伸縮性評価結果を示す。起毛ドライ電極サンプル(長さ 100mm, 幅 3mm)に対して、30%の伸長を与えた際の抵抗値変化を示す。初期状態  $33.4\ \Omega$  に対して 30%の伸長時  $70.8\ \Omega$  となり、抵抗値の上昇はあるものの、電極のインピーダンスが  $10^7 \sim 10^6\ \Omega$  であることを考慮すると十分小さな値であるといえる。次に図III-2.2.4-8(c)に洗濯耐性評価結果を示す。起毛ドライ電極と銀ペーストで作製した試験サンプル(長さ 100mm 幅 3mm)に対して洗濯試験(JIS L 1930 C4N(140))を 30 回行った結果、銀ペーストサンプルは洗濯試験直後から抵抗値が大きく上昇するのに対して、起毛ドライ電極サンプルの抵抗値は 30 回の洗濯試験後  $59.4\ \Omega$  と十分小さな値を示しており、起毛ドライ電極が洗濯耐性を有していることが確認された。



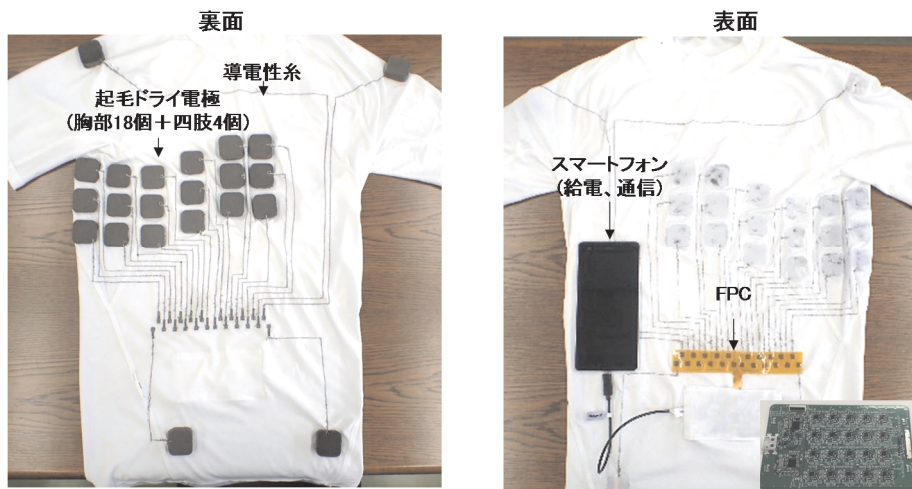
図Ⅲ-2.2.4-8 (a)電極インピーダンス測定結果 (b)伸縮性評価結果 (c)洗濯耐性試験結

次に起毛ドライ電極の MA 評価結果に対して述べる。上述の通りドライ電極を用いた心電図測定において、皮膚-電極間の不安定性のために、呼吸や会話などの体動によって心電波図に MA と呼ばれる乱れ生じることが課題であった。そこで我々は心電図測定における MA の低減を行うために、独自の MA 評価装置を開発し、体動の影響を低減可能な電極構造・配置の指標を見出した。図 2.2.4-9(a)に開発した MA 評価装置の概念図を示す。皮膚ファントムと起毛ドライ電極を接触させた状態で、皮膚ファントムに心電図シミュレータより心電信号を模擬した電圧を印可し、起毛ドライ電極を介して心電増幅回路に入力する。皮膚ファントムは人間の動きを再現するアクチュエータに固定されており、体動によるモーションアーティファクトを発生させる。なお皮膚ファントムの含水率は皮膚水分量計により測定され含水率が安定した状態で使用している。図Ⅲ-2.2.4-9(b) (c)に評価結果を示す。呼吸、深呼吸を再現した動きに対して、モーションアーティファクトを評価し、皮膚-起毛ドライ電極間の接触圧力が 1000Pa 以上において安定した心電図測定が可能であるという指標を得た。上記の指標に基づき起毛ドライ電極構造と配置を最適化した多誘導心電図測定ウェアの開発を行った(図Ⅲ-2.2.4-10)。胸部に 18 個、四肢に 4 個の起毛ドライ電極が形成されており、各ドライ電極は体形に沿い、また着圧が 1000Pa となるように設計されている。それぞれの電極で得られた心電図信号は導電性糸を介して心電増幅回路に入力されたのち、スマートフォンで測定される。以上のように起毛ドライ電極を用いた多誘導心電図測定ウェアの開発に成功した。なお、本ウェアを用いた実証試験結果に関しては(2.2.4.3)にて述べる。





図III-2.2.4-9 (a)MA 評価装置 (b)呼吸・深呼吸を再現時における MA 評価結果 (c)MA と接触圧力の関係

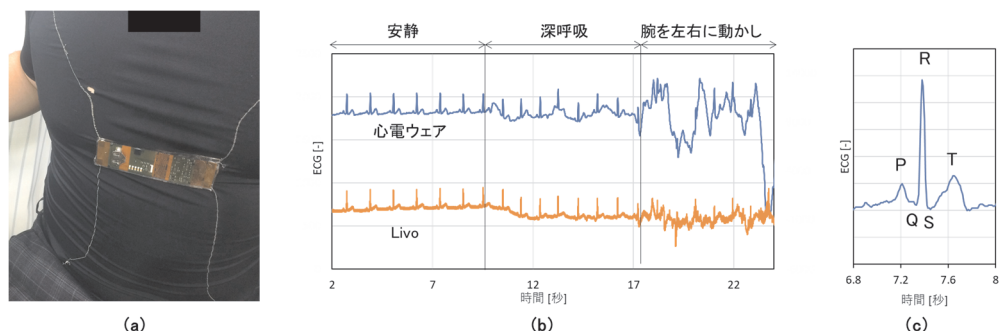


図III-2.2.4-10 起毛ドライ電極を用いた多誘導心電図測定ウェア

### 2.2.4.3 センシングウェアの実証試験

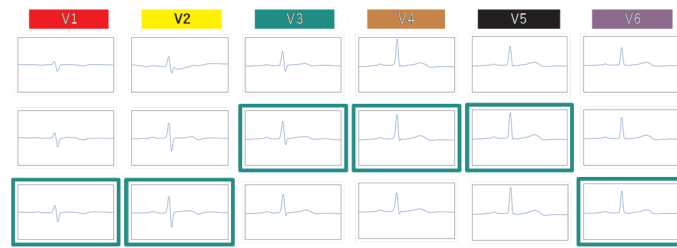
本研究ではフレキシブル通信モジュール(2.2.4.1)を用いた実証試験及び、多誘導心電図測定ウェア(2.2.4.2)を用いた実証試験に関して述べる。なお実証試験に先立ち、産業技術総合研究所及び名古屋大学において医工学応用実験倫理審査（71120030-A-20181002-001）を行い、実証試験の承認を得た。フレキシブル通信モジュールを用い

た実証試験に関して、本研究の目的は、フレキシブル通信モジュールを用いた心電図測定ウェアを用いた PQRST 波 の判別可能な心電図測定の実証及び、本心電図測定ウェアを応用した血圧測定の実証である。まず心電図測定結果に関して述べる。作製した心電図測定ウェアを被験者に装着させる(図Ⅲ-2.2.4-11(a))。このウェア四肢には起毛ドライ電極が形成されており、Ⅱ誘導における心電図測定を行う。また同時に市販品ウェアラブル心電測定器を用いて同様の位置にゲル電極を貼り付け、Ⅱ誘導の心電図測定を同時に行った。被験者が、安静状態、深呼吸状態、腕を左右に動かした状態における心電図を示す(図Ⅲ-2.2.4-11(b))。フレキシブル通信モジュールを用いた心電図測定ウェアで得られた心電図について、安静状態においては安定した心電図が得られているものの、深呼吸では MA が観察され、腕を左右に動かすとさらに大きな乱れが生じた。しかし、市販品ウェアラブル心電測定器においても、同様の心電図の乱れが生じており、この MA は筋電や体動によって原理的に生じる MA であると考えられる。図Ⅲ-2.2.4-11(c)にフレキシブル通信モジュールを用いた心電図測定ウェアで得られた安静時の心電図を示す。MA は観察されるものの、PRRST 波の判別可能な心電図波形が得られており、安静状態においては、十分に質の高い心電図測定が可能であることが示された。

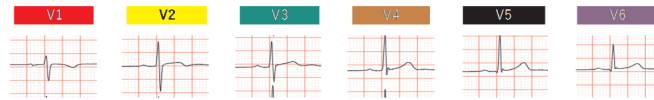


図Ⅲ-2.2.4-11.(a) フレキシブル通信モジュールを用いた心電図測定ウェア装着写真  
(b)心電図測定結果 (c)心電図一波形分データ

多誘導心電図測定ウェアを用いた実証試験結果に関して、本研究の目的は、多誘導心電図測定ウェアを用いた、12 誘導心電図測定の実証である。図Ⅲ-2.2.4-12 に多誘導心電図測定ウェアで得られた胸部 18 誘導(V1~V6 を各 3 誘導)分の心電図(図Ⅲ-2.2.4-12(a))と医療機器で得られた胸部 6 誘導(V1~V6)分の心電図(図Ⅲ-2.2.4-12(b))を示す。医師の判断により、V1~V6 それぞれに対して、緑部で囲った心電図波形が医療機器で得られた心電図波形と近い波形であるという結果を得た。この結果により、多誘導化することにより体形による位置ずれを除去し、また電極構造を最適化することにより、12 誘導心電図測定が可能であることが示された。



(a)



(b)

図Ⅲ-2.2.4-12 (a)多誘導心電図測定ウェアを用いて測定した胸部6誘導心電図  
(b)医療機器を用いて測定した胸部6誘導心電図

## 2.3 プロセス・デバイス実証・プラットフォーム化技術の開発

### [1] 研究開発の背景と方針

本技術開発項目においては、研究開発項目⑤で開発する生産プロセス技術と研究開発項目⑥で開発するデバイス機能化技術の活用加速化のため、それぞれの技術の検証と、その実用化のためのプラットフォームの構築を実現させることを目的とする。

プリントドエレクトロニクス技術は、IoT 社会においては多様なセンサー製品に適用、または新規創出に適応されることが期待されているが、現状ではいずれも個別に設計生産手法の適応がなされており、製造指針はたてられても生産指針の構築が困難となっている。プリントドエレクトロニクス技術の価値をいち早く有効に活用し、実用化の促進を図るためには、多様な製品の設計に効果を発揮するプラットフォーム化技術の開発が重要となる。ここでは、研究開発項目⑤を通じた生産プロセス技術の開発による技術仕様と研究開発項目⑥を通じたデバイス機能化技術の開発による技術仕様とを、市場におけるサービス提供の要求仕様に対してフィットさせるためのフィールドテスト・実証を行う。具体的には、モデルデバイス仕様の中でユースケースの想定される代表的なデバイスを抽出し、それに対してフィールドテストを行い、それぞれにおけるサービス仕様と生産性バリューおよびデバイス機能バリューとのフィッティング（当該サービスの提供に対する生産性とデバイス機能との整合性の検証）を行い、プラットフォーム（設計ツール：ライブラリ）の構築に反映させる。具体的な取り組みとして、ユーザニーズとプラットフォーム性の観点からターゲットデバイス：健康介護支援センサー、ターゲットデバイス：大面積シートセンサー、ターゲットデバイス：特定ニーズ対応センサーの3種類のモデルデバイスを設定し、その開発・検証を軸にユースケースフィティングを行う。その後、仕様のカスタマイズ化・調整により物品管理システム、ヘルスケアシステム、触覚システムとして圧力センサーをシステム化し、顧客による実証試験により当該モデルデバイスのプラットフォーム技術の水平展開性の検証を行う。

### [2] 目標と目標の達成度

《対応最終目標》

試作した3種類の圧力センサシートをもとに顧客実証試験のためのシステムを構築し、そこで得た市場要求仕様をもとに生産プロセス技術、デバイス設計技術、デバイス実装技術のプラットフォーム化を行う。

《最終目標達に対する成果、達成度》

目標	成果	達成度
物品管理システムの構築	・シート型圧力センサをN社にて2回の展示会への出展と自社ショールームでの常設展示を行い、実用化の可能性を示した。 ・高精細かつ高分解能で圧力分布を測定できる特徴を活かし、細かい二次元パターンの凹凸を有するマーカをデザインしてシート上で認識させる仕組みを提案、RFIDでは出来ない定量性、重なり状態での認識等の特徴を展示会で示した。	○
ヘルスケアシステムの構築	展示会を通してのユーザ要望より健康介護支援への応用を提案、現場にてデモを行った。そこで得た情報をもとにデバイス仕様にフィードバックした。	○
触覚システムの構築	SB社のロボットコンテストに出展し、一定の評価を得た。また、実用化の可能性のあるユーザー候補を得た。	○
上記3システムの市場要求仕様にもとづいたプラットフォーム化を行う	3システムの市場調査より得た市場要求仕様に対応したJAPERのデバイスプロセス技術、システム設計・実装技術との相関をまとめ、プラットフォーム化する。	○

## 2.3.1 ユースケースフィッティングによる開発技術検証

### 2.3.1.1 物品管理システム

#### 1) 感圧シートを用いた棚管理システム

JAPERで開発したシート型センサの応用可能性の検証として、N社で物品管理システムとして、2回の展示会への出展と自社ショールームでの常設展示を行い、実用化の可能性に関して、検討を実施した。

#### 2) 凹凸マーカとフレキシブル圧力センサシートによる物品管理システム（共同実施：東京大学苗村教授）

本共同実施において目標を下記3点の目標をたて、作成可能なフレキシブルセンサというシートと、ユビキタス情報環境におけるインタラクションデザインにおけるニーズを整合させるべく、密な情報交換を行い、プロトタイプシステムの設計・実装を通じたフレキシブルセンサ仕様へのフィードバックに加え、一般へのデモ展示を通じた市場開拓の観点からのフィードバックを実施した。

目標	成果	達成度
密な情報交換を行い、センサ仕様へのフィードバックを行う	合計5世代に渡る圧力センサシートの反応特性や雑音特性を実応用の観点から検証し、要望をフィードバックした	○
プロトタイプシステムを設計・実装する	物品管理というニーズを提案し、画像処理技術を駆使したプロトタイプシステムを実装した	○
デモ展示を実施する	CEATEC JAPAN2018でデモ展示を実施した	○

本プロジェクトにおいて開発したフレキシブル圧力センサシートは、高精細かつ高分解能で圧力分布を測定できる。この特徴を活かし、細かい二次元パターンの凹凸を有するマーカをデザインしてシート上で認識させる仕組みを提案した。この仕組みを物品管理システムに適用すると物品の種類を含め位置、向き、重量をも同時に管理することができる。

凹凸マーカは 3D CAD で設計し、3D プリンタを用いて作製して物品の底面に貼り付け、その物品を圧力センサシート上に置くことでマーカの種類、位置、向き、重量の情報を取得することができる。

### 2.3.1.2 ヘルスケアシステム

展示会への出展等をきっかけとして、健康介護支援への応用を期待する有望顧客 2 社と接点を持ち、ユースケース適合性の検討を行った。

### 2.3.1.3 触覚システム

フレキシブル圧力センサのアプリケーションの一つとして開発したロボットスキンのフィールドテストを実施した。

## [3] 成果の意義

圧力センサシート単体での開発を進めるだけでは、実応用の可能性を見極めることが難しい。そこで、ユースケースフィッティングによる開発技術検証の実施のために、ヒューマンインタフェースの観点からもさまざまな応用可能性を検討した。デバイス機能化技術の開発による技術仕様をもとにシステム構築した 3 種類のシステム、物品管理システム、ヘルスケアシステム、触覚システムを、市場におけるサービス提供の要求仕様に対してフィットさせるためのフィールドテスト・実証を行った。これによりフィールドテストを通して得た情報、要望を仕様にフィードバックさせることができた。

### 2.3.2.印刷デバイス・生産プロセスプラットフォーム化技術開発

本技術開発項目においては、2.3.1 で行ったユースケースフィッティングによる開発技術検証を通して得た市場要求仕様に対して JAPER A で開発した生産プロセス技術、デバイス設計技術、デバイス実装技術との各技術との相関を検証、プラットフォームで各技術間の相関を示し、生産プラットフォーム化技術としてまとめた。

#### 2.3.2.1 市場要求仕様

JAPER A が開発する印刷技術で作ったフレキシブルデバイスが市場の要求と合致しているか、市場の要求仕様を検証することは、本プロジェクトの重要なポイントである。一方、用途やユーザーによって要求される仕様は異なるが、個々に対応すると技術開発の方向性が定まらず、目的とする成果が得られない。そこで、多くの用途、ユーザーに対応できる「標準デバイス」の作製に向けてユーザーにヒアリングを行った。JAPER A の圧力センサーは開発品であり、現段階では仕様が明確に示せるような市場が存在しているわけではないため、ユーザーから詳細な要求仕様が明確に示される状況ではなかった。しかし、今回、1) 流通・物流/在庫システム、2) 圧力分布センサーアプリ、3) 触覚センサーアプリの3分野における多くのユースケースフィッティング活動を通じて、ユーザーからの評価結果に基づいた要求性能、特に圧力検知範囲と重要課題をまとめることが出来た。

1) の流通・物流・在庫管理システムの分野では、商品が多岐に亘り、軽いモノではポテトチップス(50g)やガム(20g)から、重いモノでは米10kgまでと広範囲にわたるが、圧力測定範囲は概ね $\sim 10\text{N}/\text{cm}^2$ にある。また、店舗やバックヤードの膨大な商品量に適用することから、棚管理センサーには低消費電力と繰り返し測定精度が求められている。

2) の圧力分布センサーアプリでは立位の姿勢で足裏の圧力が踵寄りであるか、爪先寄りなのか或いは外側よりなのか内足寄りかによって、荷重バランスや重心位置の測定をするため、より精細な圧力分布が求められる。一方、ウォーキングやジョギング時における適正な歩行姿勢のアドバイスを与えるデータとして、走行時の微細な足圧分布が求められる。さらに、アスリート向けとしてリアルタイムでより多くの足裏圧のデータが求められており、200Hz以上の高速サンプリング周波数が必要であることもわかった。

3) の触覚センサーアプリでは、人間が指先で押し込む、なぞる、つまむ、手で握るといった基本的な動作に基づく触覚入力のような分野では意外にも指の力は大きく $20\text{N}/\text{cm}^2$ 程になることがわかった。

#### 2.3.2.2 生産プロセス技術

JAPER A 第I期で全印刷工程によるフレキシブル電子基板の印刷製造技術を試作ラインとして標準化し、フレキシブル有機TFTアレイフィルムを連続的に製造できる技術を構築した。JAPER A 第II期においては、TFT素子の特性向上やTFTアレイフィルム全面にわたるTFT特性の移動度向上、オン電流値の面内均一性向上を図り、更に欠陥発生要因を低減し製造安定性を確保することにより、ユースケースフィッティングに耐えうるTFTアレイシートを提供、市場要求仕様との整合性を図ってきた。その中から有機TFTアレイの生産プロセス技術の課題を抽出し、内部目標を設定しプロセス改善

と性能向上、安定生産に繋がる生産プロセスプラットフォームの構築を目指して、その結果を生産プロセス基盤ライブラリーとしてまとめた。

特に、要望の強い低消費電力化には新たに専用の低電圧駆動 TFT 技術を開発、適用できることを示した。また、100Hz を超えるサンプリング周波数の要望には有機 TFT 素子自体の特性向上、配線抵抗の低抵抗化、撥水ピラー電極による寄生容量低減化技術等を開発、対応した。また、低コスト化には素子構造検討によるプロセス工数の低減化、歩留りを制限している要因を検討、対策を行った。

低電圧駆動 TFT の基本プロセスはゲート絶縁膜に誘電率の大きい材料を適用する技術を開発することで作製可能となる。この技術をスマートコースタ作製に適用し、5V の単一電源でセンサー動作が可能であることを確認した。

また、さらなる低コスト化技術として想定されているカスタマイズ化プロセス技術と高精度高速基板搬送技術はフリーフィルム基板を用い、簡易的な乾燥技術を適用、短時間で印刷工程を終了させるもので、超低コスト化が期待される。各要素技術開発検討用の実験装置で短 TAT プロセスにより TFT 素子を作成、良好なデバイス特性を確認した。

### 2.3.2.3 デバイス設計技術

JAPER A で開発を進めてきたデバイスシートは、LCD パネルで採用されている、画素ごとに TFT を配置したマトリクス構造を採用しており、センサアレイ、表示アレイに応用するためには TFT のゲート制御を行うゲートドライバと、表示アレイの場合には TFT に電圧もしくは電流を供給するソースドライバ、センサアレイの場合には TFT のソース電極からの電圧もしくは電流を読み取るためのソースドライバが必要となる。さらに、この 2 種類のドライバを制御し、コントローラ（一般的には PC）との信号を制御・送受信を行うための制御基板（リジッド基板）が必要となる。これまで、多くのパネルで用いられているドライバ IC、リジッド基板は市販されているが、パネルの TFT にはシリコンデバイスを採用されており、TFT はいわゆる N 型であるため、JAPER A で開発を行った有機材料を用いた P 型 TFT には採用することができない。JAPER A では今後の有機 TFT 採用パネルのプラットフォーム化を進めるために P 型 TFT アレイに適用可能となるドライバ IC の開発とドライバ IC を制御するためのリジッド基板の開発を行った。

#### 2.3.2.3.1 ドライバ IC の開発

ゲートドライバ IC の主仕様。

- ・ゲート OFF 電圧として正電圧、ゲート ON 電圧として負電圧を印加できること
- ・1 IC あたり、ゲート 80 ラインを制御できること
- ・動作速度として、50Hz（最大 200Hz）に対応可能であること

ソースドライバ IC の主仕様

- ・IC に入力される電流値をデジタル値として IC 外に出力されること
- ・1 IC あたり、ソース 64 ラインを制御できること
- ・動作速度として、50Hz（最大 200Hz）に対応可能であること



### 2.3.2.3.2 リジッド基板の開発

ドライバ IC を制御するリジッド基板は、2種類のドライバ IC を直制御し、ドライバから出力されたデータを処理し、コントローラとなる PC へデータを出力する機能が必要となる。開発したリジッド基板のバリエーションとして、この基板設計を基に異なるセンサシートを駆動させるための回路の設計、試作を行った。基板 A は、ソース 240 ライン、ゲート 144 ラインを動作させるための機能を有し、電源としては、外部 AC 電源からの供給とし、PC との通信方法は、USB 接続、WiFi 接続、BT 接続のいずれも可能となるような設計を採用した。また、基準設計ということで、基板 A ではセンサに印加できる電圧をプラスマイナス 4.0V まで自由に可変できる設計としていた。この基板 A をプラットフォームとして、異なる仕様にカスタマイズできることを実証するために、2種類の基板 B、C の仕様を検討した。基板 B としては、より高速で動作させることが可能となる設計を取り入れ、基板 C としては、小型で AC 電源によらない駆動ができるような設計を取り入れた。実際の試作には、小型版を採用し、基板 C として開発を進めた。基板 C には、乾電池駆動が可能であること、センサへの電源供給は固定とすることなどを採用した。いずれも、複数の形状の異なるセンサシートを動作させることができ、今後の TFT アレイの設計変更、仕様変更にも対応できるようなデバイスプラットフォーム化を実現、実証できた。

### 2.3.2.3.3 専用電源ボックスの作製

設置条件に制限がない場合、供給電源を含め Scan 側、Data 側、出力 Data 処理 (8bit) 等を一式行う専用の回路電源ボックスを作製、使用した。センサーシートに直接 FPC を接続し電源ボックスで信号処理を行い、PC に信号を送り、PC 上で作製した専用のソフトで解析、データ処理、ディスプレイ表示を行うことができる。

### 2.3.2.4 デバイス実装技術

多様な市場要求に対応するため、高耐久性能を維持したままで小型化、低コスト実装構造に対応するため以下の様な手順で検討した。

FOF 部 (Film On Film 部) 耐久性向上

- 1) FOF 構造と FOF 化プロセス設定
- 2) FPC ピール強度向上

COF (Chip On Film) 部品品質確保

モジュール信頼性課題確認と方向性検討

各種最終仕様に対する個別実装課題対応

各課題に対して、自主目標を設定、達成することで社会実装が可能な状態とした。

### 2.3.2.5 プラットフォーム

本技術開発項目においては、研究開発項目⑤で開発する生産プロセス技術と研究開発項目⑥で開発するデバイス機能化技術の活用加速化のため、それぞれの技術の検証と、その実用化のためのプラットフォームの構築を実現させることを目的とする。

ユーザニーズとプラットフォーム性の観点から健康介護支援センサー、大面積シートセンサー、

特定ニーズ対応センサーの 3 種類のモデルデバイスを開発、サンプルワーク、展示会等でユースケースフィティングを行う。上記の情報をもとに圧力センサーを用いた物品管理システム、ヘルスケアシステム、触覚システムとして、顧客による実証試験に対応させ印刷デバイスのプラットフォーム化を行った。

## 成果の意義

JAPER A ではターゲットデバイス A：健康介護支援センサー、ターゲットデバイス B：大面積シートセンサー、ターゲットデバイス D：特定ニーズ対応センサーの 3 種類のモデルデバイスを作製、ユースケースフィティングを行った。外部の大きな展示会での反響は大きく、物品管理システムにおいてはメーカーにて 2 回の展示会への出展と個社ショールームでの常設展示を行い、実用化の可能性を示した。また、細かい二次元パターンの凹凸を有するマーカをデザインしてシート上で認識させる仕組みを提案、RFID では出来ない定量性、重なり状態での認識等の特徴を示した。ヘルスケア関連では展示会で得たユーザ要望をもとに現場にてデモを行い、製品化の必要性を要望された。ロボットを利用した触覚システムではコンテストで高評価を得た。このように展示会から現場へと出向き市場要求を確認する試みは世界的に見ても例はなく、実用化のための多くの情報を入手することができた。

このユースケースフィッティングによる技術検証を可能にする JAPER A 技術は印刷デバイス・生産プロセスプラットフォーム化技術開発として市場要求仕様と開発技術の対応を行った。また、センサーシート仕様と TFT アレイ仕様、解析、表示用ソフトとの関係はプラットフォームとして提示した。これにより目的に応じた有機 TFT アレイシートの作製プロセス、TFT アレイシートを動作させるためのデバイス設計技術、フレキシブルシートセンサを実装するための実装技術、ユーザの目的に合わせた実用動作を可能にする専用ソフトについて各技術の相関が明示された。

プラットフォーム化により目的に応じた技術の選択が可能な状態となり、最終製品仕様→センサーシートアレイ仕様→最終商品仕様確認の流れができた。

## IV. 実用化・事業化に向けての見通しおよび取り組みについて

### 1.1 成果の実用化の可能性

#### 1.1.1 市場動向

JAPER が印刷技術を駆使して開発してきたフレキシブルシートセンサーの特徴は、

- 1) フレキシブルであること、
- 2) 他のセンサーにないシート型でマルチセンシングが可能なこと、
- 3) 高精細・高感度であること、

にある。

これらの特徴を持つフレキシブルシートセンサーの実用化の可能性を探るべく、

- ① 流通・物流システム/在庫管理システム、
- ② 圧力センサーアプリ、
- ③ 触覚センサーアプリ

の3分野において、ニーズ把握、仕様の明確化、市場予測を進めた。

#### 市場の明確化、立ち上げ

市場の明確化と立ち上げについては、以下の取り組みを行った。

- 1) サンプル持参によるユーザー訪問、展示会でのデモとユーザーヒアリング
- 2) ターゲットデバイスの試作
- 3) 要求仕様の把握
- 4) 要求価格イメージ

1) については、JAPER が開発するフレキシブルシートセンサーの市場価値と有力ユーザーの掘り起こしを獲得を図るべく、展示会でコンタクトしてきた有望な潜在ユーザーを中心に、意見交換とフォローアップを行った。2) については、意欲的なユーザーに試作品を貸出して、社会実装に向けた有用性の実証を行い、市場ニーズとその規模の把握をおこなった。3) については、TFT シートのスペックに関し、その用途と併せてユーザー毎に整理し、標準デバイスの設計に反映した。

#### (国内市場動向)

国内市場動向についてはユーザーとの緊密な連携、ヒアリングを通じて、圧力センサーシートの特徴であるフレキシブル・大面積・高精細が適用されるターゲット分野としてスポーツ、介護・医療、自動車、物流を選定し、現状と圧力センサーの適用を検討した。

足裏圧測定センサーシートは立位やウォーキング時のバランスや重心測定に、また、ランニング時の蹴り・着地時の圧力分布解析から適正な足圧分配やフォーム解析など

の情報化用途としての要望が高い(A社、T大学のスポーツ科学部門、S社など)。据置型のセンサーシートはフィットネスクラブやスポーツ用品店で利用され、個人向けにはウォーキングシューズやスニーカーのインソール型のセンサーが適用される。介護施設や医療現場においては、離床センサーや褥瘡防止の大型のシートセンサーの要望が多い(T社、P社、老健施設など)。自動車分野では姿勢や疲労度を圧力分布から測定し、運転者への適切な指示を促すためのシート一体型センサーの要求が高い(T社など)。物流・流通分野では省力化、無人店舗化に向け、配送センター、小売り(コンビニ)、スーパーマーケットにおける在庫管理、棚管理の需要が非常に高い(N社、S社、I社、Z社など)。また、医療機関向け SPD、飲食店向けの用途がある。

### (最近の市場動向)

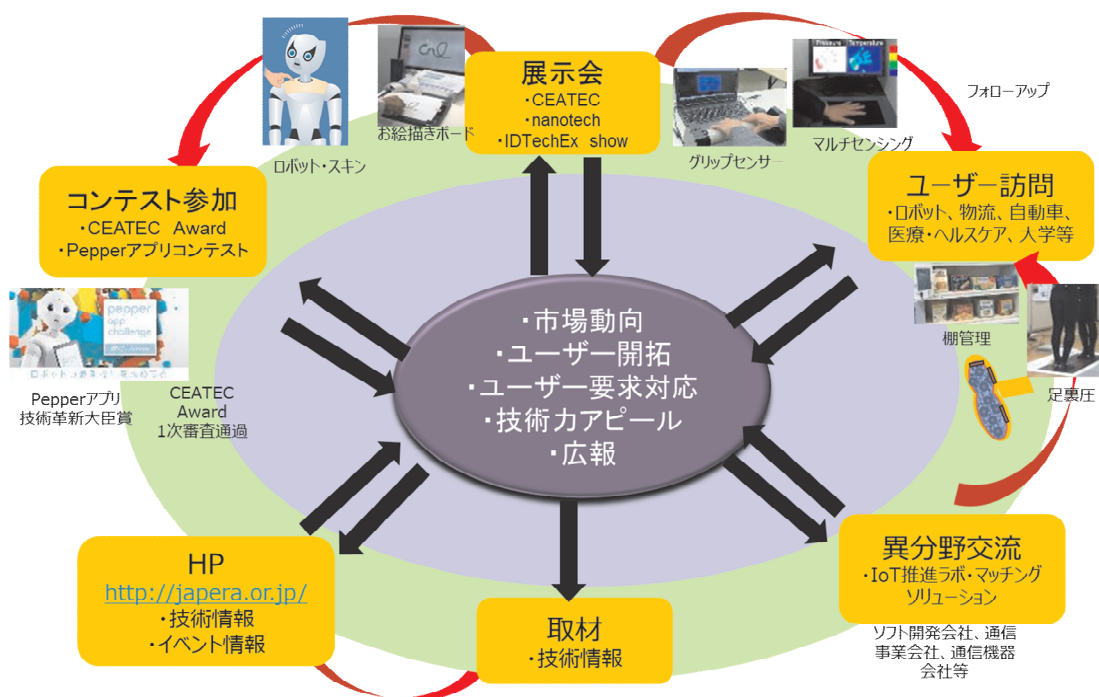
最近、PET や PC などのプラスチック基板に回路を印刷したシートを加圧成形して 3 次元的な電子デバイスとする IME(In-Mold Electronics)への関心が高まっている。特に車載用途では、コンソールボックス、ドアトリム、ダッシュボードなど曲面形状が多くあり、これに沿ったディスプレイや様々なスイッチングに適用しようとする動きが見られ、海外の自動車部品メーカーは盛んに内外の展示会に出展している。今後は車載に留まらず、家電製品や住居にも広がる様相を示し、新たな市場を形成することが期待される。

これまでの IME は単純回路の印刷であったのに対し、JAPER A は nanotech2018 において、2 枚の TFT シートを半球状に加圧成形し、これをタッチパッドセンサーとして初めて示した。

#### 1.1.2 マーケティング

JAPER A の圧力センサーをベースとするマーケティングでは、ユーザー開拓とユーザー要求対応、対外的に技術力アピールと宣伝活動を行うべく、次のような方策で取組んだ(図IV-1.1.2-1)。

- ・展示会：CEATEC、nanotech 展、CEBIT、IDTecEX show、FELEX など
- ・ユーザー訪問：展示会のフォローアップ及び問い合わせ対応
- ・異分野交流：IoT 推進ラボマッチングソリューション、JACA 異業種交流会
- ・取材：新聞社、雑誌社
- ・コンテスト参加：技術力のアピール
- ・HP で活動紹介：各種展示会情報等



図IV-1.1.2-1 圧力センサーに関わるマーケティング活動

JAPER A 圧力センサーにおける 3 分野について主な用途、特徴、デバイス例について概要を図IV-1.1.2-2 に示す。有望と思われるユーザーとは継続的な取り組みを行い、実証試験を繰り返して市場性を検討した。

分類	①流通・物流システム／在庫管理システム	②圧力分布センサアプリ	③触覚センサアプリ
業界	小売、SC、公共施設、流通・物流、医療、飲食	スポーツ、フィットネス、自動車、介護・ヘルスケア、	医療、ロボット、介護・ヘルスケア、エンタメ
用途	物品管理、人流動向解析、残量	荷重・バランス計測、リハビリ	ロボット、車載、ゲーム
特徴	マルチ検出、大面積	小型・計量、無線通信	触覚、操作、コミュニケーション
デバイス例	 人流動向 大面積シート  店舗棚管理 感圧センサー	 駆動IC LED フルスケール Bag 感圧センサー 電源 制御基板 靴底センサー ベッドセンサー グリップセンサー	 3D入力タッチパッド (指圧で押し込む) コックピット ロボットスキン 感圧センサー

図IV-1.1.2-2 JAPER A 圧力センサーの特徴と用途分類

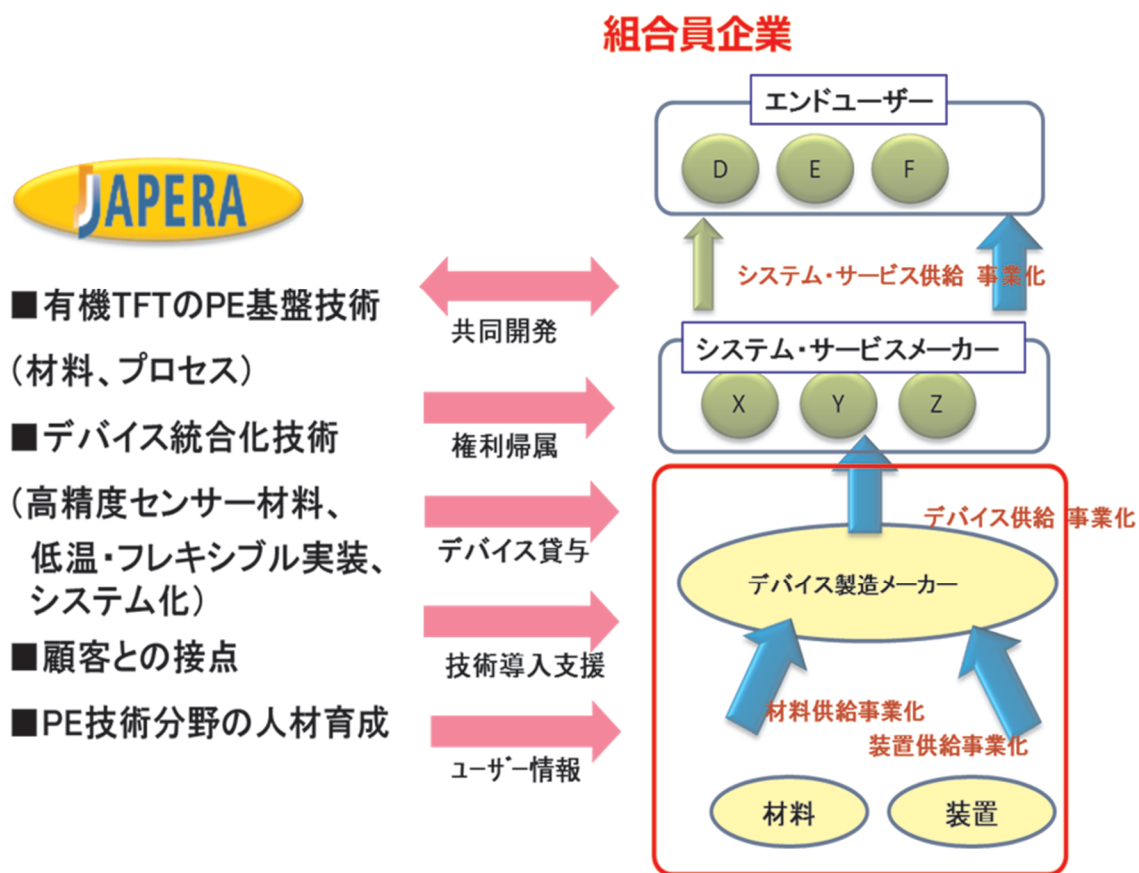
また、内外の主要な展示会に出展、デモした効果は大きく、自社製品や自社技術に関わる用途探索や新しい技術、マーケット探索など多様な視点からの来場者がコンタクトしてきた。また、サンプル要求も多く寄せられ、直ぐにでも使いたいと関心が高い。意見交換を深め、有望なユーザーについては再訪問してデモを行い、継続的なフォローアップを行ってきた。

## 1.2 実用化、事業化のシナリオ

### 1.2.1 実用化の対象とスキーム

本プロジェクトは、アディティブな印刷技術によりエレクトロニクス製品の革新的な製造技術を開発することと共に、その技術を適用し開発したデバイスの社会的有用性を示すことにある。JAPER A IIにおける開発で、実用化の検討がなされる技術カテゴリーは、「材料・プロセス基盤要素技術」、「カスタマイズ化プロセス技術」、「フレキシブルデバイス化統合技術」の3種に分類される。さらに、JAPER A IIにおいては、開発された技術を適用して得られたフレキシブルシートデバイスの、社会的有用性の検証活動から得られた、技術適合性の評価結果も貴重な情報である。

これらのカテゴリーと、組員企業、および組員企業と JAPER A の関連を図IV-1.2.1-1 に示す。



図IV-1.2.1-1 組員企業の技術・事業領域と連携体制

JAPER A 組員企業は、材料、装置、加工、デバイス化、システム化、最終製品までをビジネスとしており、バリューチェーンの全分野にまたがっている。実用化のためには、これらの技術を保有している組合内・組合外の企業との連携が不可欠である。

## 1.2.2 実用化に向けた課題と解決方針

### 1.2.2.1 全体集約

実用化に対しては、プロジェクトで開発された大面積 TFT シート、デバイスの範囲にとどまるだけではなく、エレクトロニクス全般に広範囲で適用できる要素技術も存在する。現に組合員企業において個別に開発している製品へ適用しうる、材料やプロセスの要素技術もある。また各企業の得意とするプロセスと、プロジェクトで開発された技術とを融合させた形で、実用化プロセスを構築する可能性もある。更には、有用性の検証過程で得られた結果やニーズ情報から、現在企業が保有している技術の適用や、改良することにより対応できる分野も見いだせている。

## 1.2.3 実用化に向けたプロジェクト運営の取り組み

### 1.2.3.1 組織内運営の取り組み

組合員企業の理事を含めた関係者との打ち合わせを、年度初め他適宜実施した。実施計画に関する意見交換や、各企業の事業化への取り組み状況、JAPER A への要望などのヒアリングである。

#### 《デバイス貸し出し・有用性評価の活動》

そこでは、事業化検討に関連して、特に中立組織であるがゆえのメリットを生かし、個々の企業ではアクセスが難しいポテンシャルカスタマーとの接点を持つこと、その潜在顧客の要望やプランを、組合員企業へフィードバックしてもらえることへの期待が大であった。

この事もあり、試作デバイスを国内外の展示会においてデモを行い、ポテンシャルカスタマーの発掘を行った事をはじめとして、外部への説明、デモ、デバイス貸し出しなどを積極的に行った。

このプロセスにおいては、JAPER A 内に「デバイス貸し出し申請・審議制度」を設け、貸し出しの可否、目的や評価情報の有効的な獲得ができるよう勧めることを心掛けた。単なる部品・デバイス提供に終わる様なビジネスではなく、例えば高いサービスバリューとして、ビジネスの活動領域を広げられる可能性を持つ相手、用途探索を意識して進めた。

更に、接触した相手先、進捗状況は、運営員会やヒアリング時に、組合員企業に対して可能な範囲で情報開示を行い、マーケット情報の把握や出口イメージの設定などを支援した。

#### 《技術開発と実用化推進企画との連携》

技術開発は、その技術の適用先、必要な技術レベル、その適用タイミング等を精査、反映させて方向性を決め、競争力強化に結び付けていく必要がある。この開発



方向性の明確化、適正化をする為に、関連の戦略情報を統括する企画部隊と、研究部隊との一体的な活動を図ってきた。

企画部によるポテンシャルカスタマーとの活動内容を研究部へフィードバックし、また開発状況を反映した企画部の活動とするため、定例会を継続実施し進め方の議論を行ってきた。実施計画中のデバイス開発だけでなく、京都大学でのグリッドセンサーのリハビリのモニタリング向けの評価や、3D成型センサーシートの開発・プレゼンなどへ結びついていた。

#### 《技術導入を検討している組合員企業への支援》

JAPER A での開発技術の導入を検討する組合員企業とは、定期的な打ち合わせを実施し技術支援を行った。

- ・デバイス製造、システム化を検討している企業とは、企業内検討チームと研究部幹部との電話会議等で定期的な打ち合わせを継続した。先方での試作デバイスの評価も JAPER A と相互に実施し、JAPER A の TFT シートと同等な性能を達成している事を確認した。この取り組みにおいては、企業が構想するプロセスにできるだけ合致する様、JAPER A 技術の展開、支援を行った。

- ・また圧力センサーを用いたシステム化を検討している企業で、例えばリテール業界での物品管理システムへの適用可能性を確認する目的で、棚板センサー向けにデバイスを貸し出した。関連事業部とともに積極的にシステム化、応用分野を検討してもらっている。

- ・組合員企業の要望により、反転印刷など自社では保有していない個別技術に関しての説明会を実施した。また技術導入の可否を社内関連部署で検討する為、その評価用にデバイスシートの貸し出しも行った。

#### 《JAPER A II 後の体制検討》

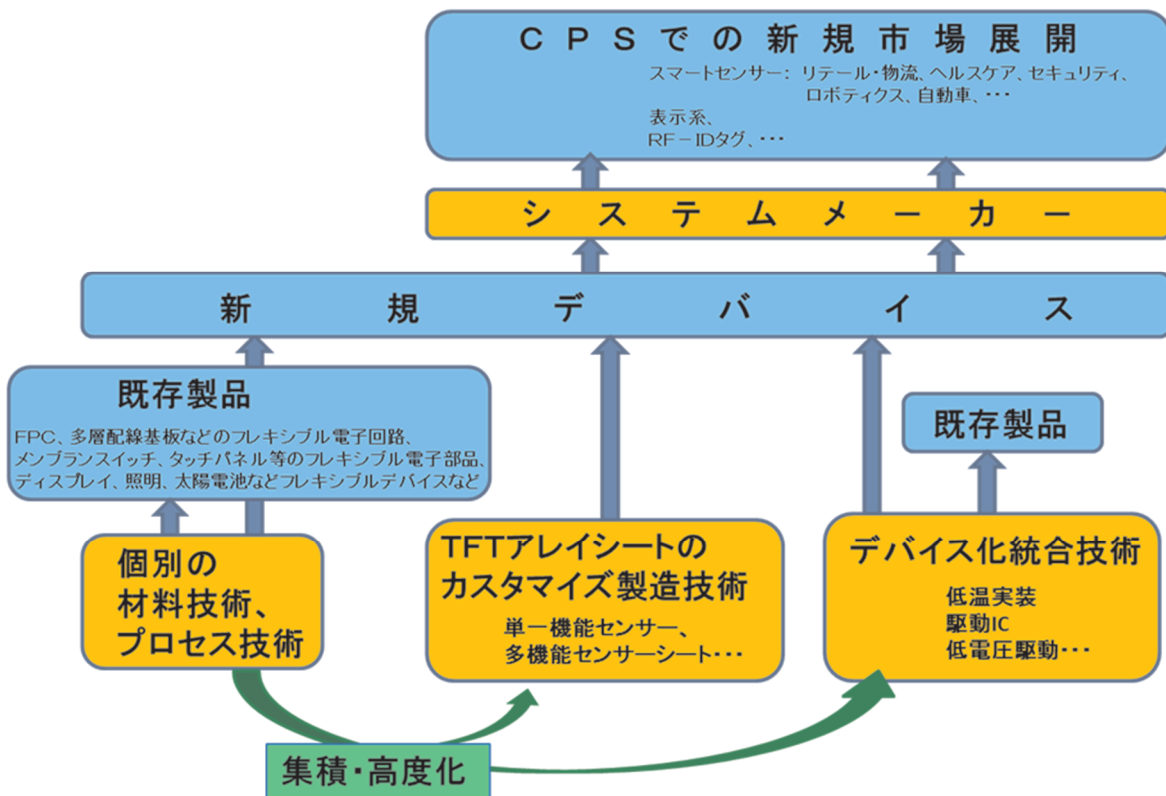
事業化や JAPER A II 後の体制に関しては、プロジェクト期間を通して、運営委員有志と JAPER A 幹部により、タスクフォースを立ち上げ議論を重ねた。

コンソーシアム設立趣意書を9月中にまとめて、産総研内のコンセンサスを得て運営委員会へ報告（平成30年10月4日）

以上の経過を経て、プラットフォームで JAPER A 技術を継続活用することを可能とし、コンソーシアムへの参加募集を開始した。

#### 1.2.4 実用化に向けた今後の取り組み

実用化に対しては、プロジェクトで開発されたデバイスの範囲にとどまるだけでなく、企業において個別に開発している製品へ適用しうる、材料やプロセス要素技術もある。また各企業の得意とするプロセスと、プロジェクトで開発された技術とを融合させ、実用化プロセスを構築する可能性もある。更には、有用性の検証過程で得られた結果から、企業が保有している技術の適用により対応できる分野も見いだしている。したがって、実用化への取り組み方針、対象は各社固有である。



図IV-1.2.4-1 開発技術の展開

### 1.3 産総研・名古屋大学の実用化・事業化の取り組み

まず本事業テーマの主な開発品である多誘導心電図測定ウェアに関して、在宅医療用途として実用化の取り組みを行っており、産総研と名古屋大学で医療機器としての認証を得るための電極の皮膚安全性試験やEMC試験等の課題解決を進行している。また事業化にむけては医療機器認証を得ることが必須であり、そのための研究資金獲得を目指し、医療機器開発企業との共同提案を実施する。なおすでに国立研究開発法人日本医療研究開発機構(AMED)事業(ActM)資金獲得に向け共同提案を行い、不採択となったものの、開発品自体の価値は評価された。本事業は探索段階を終えた技術シーズの実用化(事業化)のための課題を具体的に解消するスキームであり、我々の開発ステージとマッチしているため、来年度以降も研究資金獲得に向けて提案を行う予定である。

また、本事業のシーズ技術である、極薄シリコン回路チップの加工方法、フレキシブル実装技術、起毛ドライ電極、MA評価技術に関しては、繊維メーカー企業、スポーツ用品企業、交通系公益社団法人などとの共同研究、技術移転が進行中である。繊維メーカー企業との共同研究に関しては、医療機器応用に向けた共同研究であり、我々が独自開発した「起毛ドライ電極」「モーションアーティファクト評価装置」「フレキシブル実装技術」と多数のシーズ技術の技術移転の可能性が高いため、密に共同研究を進行中である。またスポーツ用品企業、交通系公益社団法人との共同研究に関しては、「起毛ドライ電極」を用いた生体情報モニタリングを主体とし、スポーツ・職場管理など医療に限らない幅広い応用を目的として技術開発を共同で行っている。

以上のように、開発品の実用化とシーズ技術の事業化に向けた具体的取り組みを進めている。さらに、今後も継続して、学会や展示会にて発表・広報活動を行い、成果のアピール・普及に努める。

## V . 成 果 一 覧

### JAPER A

#### 1. 各種展示会での成果の発表

大学・法人・企業名	展示内容
JAPER A	CEATEC JAPAN 2016 (2016/10/4～7) 「どこでもノータッチで商品を即データ化できる圧力センサ」として、フレキシブル圧力センサシートと無線データ伝送と組合せた物品管理システムの展示 (NEDOブース)
帝人 (株) (組合員)	第4回関西高機能フィルム展 (2016/10/5～7) PENフィルム使用TFTサンプルの展示
東洋紡 (株) (組合員)	IDTechEx USA 2016 (2016/11/16～17) XENOMAX®上に形成したTFTアレイの展示
JAPER A	Nanotech Japan 2017 (2017/2/15～17) 「圧力・温度同時検出多点センサー」および「小径曲面センサー」の展示 (NEDOブース)
JAPER A	CeBIT 2017 (2017/3/20～24) 「圧力・温度同時検出多点センサー」および「小径曲面センサー」の展示
東洋紡 (株) (組合員)	LOPEC 2017 (2017/3/29～3/30) XENOMAX®上に形成したTFTアレイの展示
日本写真印刷 (株) (現 NISSHA、組合員)	第27回ファインテックジャパン (2017/4/5～7) 感圧・感温センサシート、感圧・感温デモ動画、感圧デモ機展示
JAPER A	CEATEC JAPAN 2017 (2017/10/3～6) 「指でなぞって心と身体をケアする介護支援センサ」 (NEDOブース) および「ロボット・スキンを実現する高精度・高感度圧力センサー」 (JAPER Aブース) の展示
JAPER A	Pepper App Challenge 2017 Autumn PAC作品自慢総選挙 (2017/11/22) 人肌感覚を持ったPepper
JAPER A	Nanotech Japan 2018 (2018/2/14～16) 「円筒形状圧力センサー」、「ロボット・スキン」、「ロボット・スキンを搭載したシステム」および「圧力・温度同時検出多点センサーのデモ画像」の展示
日本電気 (株) (組合員)	Nanotech Japan 2018 (2018/2/14～16) 「感圧シートセンサによるスマート物品管理」の展示
日本電気 (株) (組合員)	リテールテックジャパン2018 (2018/3/6～9) 「顔認証清算システム」の展示

JAPER A	SEMI 主催「2018 FLEX Japan」(2018/4/19~20) 印刷技術による高精度・高感度圧力センサーの展示
日本電気(株) (組合員)	国際物流展2018(2018/9/11~14) 「感圧センサを用いた物品検品デモ」の展示
JAPER A	CEATEC JAPAN 2018(2018/10/16~19) 「フレキシブルなシートセンサーが健康状態を見守り、細やかなケアに貢献」(NEDOブース)および「PE技術による大面積・フレキシブルセンサーが拓く世界」(JAPER Aブース)の展示
JAPER A	JACI 主催産産学ポスターセッション『異業種交差点Ⅱー豊かな未来生活の創成へー』(2018/11/5) 印刷技術による高精細・高感度圧力センサーの展示
日本電気(株) (組合員)	C&C ユーザーフォーラム &iEXPO2018(2018/11/8~9) 感圧線を用いた倉庫棚ピッキングの展示
JAPER A	IDTechEx USA 2018(2018/11/14~15) ①Gripセンサー、②スマートコースター、③ロボット・スキンの展示
日本電気(株) (組合員)	ETIoT2018展(2018/11/14~16) 「超解像度感圧センサ技術」の展示
JAPER A	第8回「次世代フレキシブルエレクトロニクスシンポジウム」 (2018/12/4) ①Gripセンサー、②スマートコースター、③ロボット・スキンの展示
JAPER A	Nanotech Japan 2019(2019/1/30~2/1) 「革新的材料、印刷プロセス技術によるフレキシブルシートセンサーの開発」(NEDOブース)の展示

## 2. 新聞、雑誌記事

No	掲載紙	年月日	内容
1	プレスリリース	2017/2/8	Nanotech Japan 2017 のニュースリリース
2	コンバーテック	2017/2/8	Nanotech Japan 2017の出展に関する記事 「2017JAPER A、印刷技術で圧力と温度を同時検出できるフレキシブルシートセンサを開発。センサによる人の皮膚感覚実現への道を拓く」
3	Fabcross for エンジニア	2017/2/9	Nanotech Japan 2017の出展に関する記事 「NEDOとJAPER A、圧力と温度を同時検出できるフレキシブルシートセンサを開発」
4	プレスリリース	2017/10/2	CEATEC JAPAN 2017 のニュースリリース
5	プレスリリース	2017/10/2	日本写真印刷によるCEATEC JAPAN 2017のニュースリリース
6	日本経済新聞	2017/10/2	CEATEC JAPAN 2017 の出展に関する記事 「NEDOとJAPER A、触覚動作を認識する高精細・高感度圧力センサーシステムを開発」
7	マイナビニュース	2017/10/03	CEATEC JAPAN 2017 の出展に関する記事 「ロボットの「皮膚」を実現する高感度圧力センサ開発 - JAPER A(CEATEC JAPAN2017)」
8	MONOist	2017/10/11	CEATEC JAPAN 2017 の出展に関する記事 「ロボットの「触覚」をプリントドエレクトロニクスで実現」
9	三機工業 広報誌 Harmony vol.64, P12-13,2018	2018/1/25	特集「圧力との共存」 「エレクトロニクスと印刷技術が融合した高精度・高感度圧力センサーシート」
10	化学工業日報	2018/5/24	「シートセンサー実用化へ 温度と圧力高精度検知 介護ベッドなど有望」 JAPER Aによるシートセンサー開発に関する記事
11	ニュースリリース	2019/1/19	NISSHAによるNanotech Japan 2019のニュースリリース

### 3. 論文リスト

No	発表年月	著者	所属	題名	雑誌等の 名称	巻・ 号・ ページ	査読
1	2016/9/15	Shinichi Nishi, Tohru Miyoshi, Hiroyuki Endoh、 and Toshihide Kamata	JAPER A	Flexible Pressure Sensor Driven by All-Printed Organic TFT Array Film	Printing for Fabricati on 2016	pp305 -308	有
2	2016/12/8	Yasuyoshi Mishima, Masahiko Akiyama, Takaaki Noudou, Katsuyuki Hashimoto, Naoki Watanabe and Toshihide Kamata	JAPER A	A new alignment technology for printed electronics over large flexible substrates	IDW2016	PP 1391- 1393	有
3	2016/12/9	Toshihide Kamata, Manabu Yoshida, Sei Uemura, Kouji Suemori, Shinich Nishi, and Yasuyoshi Mishima	JAPER A 産総研	Flexible TFT and Devices Manufacturing using Advanced Printed Electronics Technology	IDW 2016	PP320 -322	有
4	2017/2/10	三島康由、 西 眞一、 鎌田俊英	JAPER A	印刷技術を用いた 電子デバイス用連 続製造ライン技術	クリーン テクノロ ジ（日本 工業出 版）	PP1-4	無
5	2017/5/23	Yasuyoshi Mishima, Masahiko Akiyama,	JAPER A	High-Performance Organic-TFT Circuits Fabricated	SID2017	PP176 -179	有

		Katsuyoshi Hashimoto, Naoki Watanabe and Toshihide Kamata		by All-Printing Technology on Flexible Plastic Substrates			
6	2017/12/6	Hitoshi Kondou, Shinichi Nishi, Toru Miyoshi, Toshihide Kamata	JAPER A	Multifunctional Flexible Sheet Sensor Manufacturing using Printing Technologies	IDW2017	PP 1487- 1490	有
7	2017/12/13	Tatsumi Takahashi	JAPER A	Measuring Technologies for Printed Electronics Products - From International Standard Viewpoint	日本画像 学会誌	Vol56, No6, pp 621-6 27	無
8	2018/1/30	佐藤優、 鎌田俊英、 沓掛正樹	JAPER A	高精細・高感度圧 力センサー	ハーモニ ー	Vol.64 , PP12- 13	無
9	2018/6/10	西 眞一	JAPER A	デジタルファブリ ケーションがモノ づくりの流れを変 える	日本画像 学会誌	Vol57, No3 pp351 -352	無
10	2018/9/24	Atsushi Nakajima, Toru Miyoshi, Kenji Kohiro1, Motoshi Itagaki, Toshihide Kamata and Tetsuo Urabe	JAPER A	Printed Flexible Pressure Sensor for Robot Skin	Printing for Fabricati on 2018	PP1-4	有
11	2018/9/27	三島康由	JAPER A	有機 TFT アレイ生 産に向けたプリン テッドエレクトロ ニクス	プリンテ ッドエレ クトロニ クス実用 化最前線 ( CMC	PP56- 63	無



					出版)		
12	2018/12/13	Toru Miyoshi, Hitoshi Kondoh, Shinichi Nishi, Toshihide Kamata	JAPER A	High Precision and High Sensitivity Sheet Sensor by Printing Technology	IDW 2018	PP 1617- 1620	有
13	2019/1/1	Changyo Han y, Takeshi Naemura	東京大学	BumpMarker: 3D-printed tangible marker for simulta- neous tagging, tracking, and weight measurement	ITE Trans. on MTA Vol. 7, No. 1	pp. 11-19	有

#### 4. 研究発表（口頭発表含む）リスト

##### 4.1 JAPER A

	発表日	著者	所属	題名	学会等の名称
1	2016/4/6	Shinichi Nishi, Tohru Miyoshi, Hiroyuki Endoh and Toshihide Kamata	JAPER A	All - Printed TFT Array Flexible Film for Pressure Sensor	LOPEC2016 Conference
2	2016/4/6	三島康由	JAPER A	印刷技術を用いたデ バイス製造への挑戦 ～ JAPER A の研究成 果～	ファインテックジ ャパン2016
3	2016/4/7	Shinichi Nishi	JAPER A	All - Printed TFT Array Flexible Film for Pressure Sensor	LOPEC2016 Exhibition Forum
4	2016/8/24	Toshihide Kamata, Shinichi Nishi, and Yasuyoshi Mishima	JAPER A	Development of the All-Print Manufacturing Technology of the High Resolution TFT for Flexible Display	IMID 2016
5	2016/9/5	Yasuyoshi Mishima, Masahiko Akiyama, Takaaki Noudou, Katsuyuki Hashimoto, Naoki Watanabe and Toshihide Kamata	JAPER A	High precision alignment technology for printed electronics	ICFPC2016
6	2016/10/21	西 眞一	JAPER A	全印刷有機 T F T に よるアクティブマト リックス駆動 - 感圧 センサフィルムデバ イス	日本画像学会電子 ペーパー / フレキ シブル技術研究会
7	2016/10/27	Toshihide Kamata, Shinichi Nishi, and Yasuyoshi Mishima	JAPER A	Advanced Printing Technology for Flexible Device Fabrication	Rad Tech Asia 2016

8	2016/11/15	鎌田俊英	JAPER A	IoTのためのフレキシブルデバイス製造技術の開発ープリンテッドエレクトロニクスー	ものづくり日本会議 第9回新産業技術促進検討会
9	2016/11/17	Toshihide Kamata, Shinichi Nishi, Yasuyoshi Mishima, Manabu Yoshida, Sei Uemura, and Kouji Suemori	JAPER A	High-resolution and high-productivity manufacturing of the flexible IoT devices using printed electronics.	PE-USA 2016
10	2016/12/6	三島康由	JAPER A	フレキシブルエレクトロニクスの開発状況	IDW2016チュートリアル
11	2017/3/8	Yasuyoshi Mishima	JAPER A	Challenge of device manufacturing by printing technology	Printed Electronics Summit 2017
12	2017/3/16	鎌田俊英	JAPER A	有機TFTアレイ生産に向けたプリンテッドエレクトロニクス	第64回応用物理学会春季学術講演会(招待講演)
13	2017/3/17	東 康男, 西 眞一, 三島 康由, 鎌田 俊英, 真島 豊	東京工業大学、 JAPER A	全印刷有機薄膜トランジスタにおける変位電流計測	学会発表(第64回応用物理学会春季学術講演会)
14	2017/4/6	三島康由	JAPER A	プリンテッドエレクトロニクスで実現するフレキシブルセンサ	ファインテックジャパン2017
15	2017/5/26	近藤均、西眞一、三島康由、鎌田俊英	JAPER A	印刷エレクトロニクスー製造技術とセンサデバイスへの応用	有機デバイス研究会
16	2017/5/26	西 眞一	JAPER A	プリンテッドエレクトロニクスがつくる柔らかなIoT社会	日本画像学会主催第60回イメージングカフェ

17	2017/6/26	Yasuo Azuma, Shinichi Nishi, Yasuyoshi Mishima, Toshihide Kamata, Yutaka Majima	東京工業 大学、 JAPER A	Displacement Current Measurement in All-Printed Organic Thin-film Transistors	9th International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics
18	2017/8/30	Toshihide Kamata, Hitoshi Kondoh, Shinichi Nishi, Yasuyoshi Mishima	JAPER A	Flexible Sheet Device Manufacturing with All-Printed High Resolution TFT Backplane	The 17th International Meeting on Information Display (招待講演)
19	2017/9/5	Toru Miyoshi, Hitoshi Kondou, Shinichi Nishi, Toshihide Kamata	JAPER A	Multifunctional Flexible Sensor Sheet using Active Matrix TFTs fabricated by Printing Technology	ICFPE2017
20	2017/11/15	Toshihide Kamata	JAPER A	Designing and print manufacturing of flexible wearable sensors	Productronica 2017
21	2017/11/17	占部哲夫	JAPER A	IoTを支える入力デ バイスの今後	化学工学会 中国 四国支部、中国地 区化学工学懇話会 主催2017年度セミ ナー
22	2017/12/12	三島康由	JAPER A	プリントドエレク トロニクスで実現す るフレキシブルセン サ	川崎市次世代産業 推進室主催ナノ茶 論
23	2018/1/25	Toshihide Kamata	JAPER A	Flexible wearable healthcare sensors fabricated by advanced printing technology	2nd Printed and Flexible Electronics China 2018
24	2018/3/14	西 眞一	JAPER A	プリントドエレク トロニクスの現状と インクジェット技術	NPO法人「シーズ とニーズの会」主 催『プリントド エレクトロニクス —その現状と今後 への期待』

25	2018/6/18	Changyo Han, Takeshi Naemura	東京大学	BumpMarker: 3D printed marker for simultaneous tagging and weight measurement	ACM SYMPOSIUM ON COMPUTATIONA L FBRICATIO 2018
26	2018/6/20	仲島厚志	JAPER A	プリントドエレクトロニクスにおける インクジェットのドロ プレット・デポジ ション技術	Imaging Conference JAPAN 2018
27	2018/8/27	Shinichi Nishi	JAPER A	Printed Flexible Pressure Sensor driven by OTFT Array	First International Conference on 4D Materials and Systems
28	2018/8/31	Toshihide Kamata, Shusuke Kanazawa, Taiki Nobeshima, Sei Uemura, Manabu Yoshida, Hirobumi Ushijima, Hitoshi Kondoh, Shinichi Nishi, Yasuyoshi Mishima	JAPER A	Flexible Sheet Sensors Developed by Advanced Printed Electronics Technology	The 18th International Meeting on Information Display ( IMID 2018) (招待講演)
29	2018/10/12	近藤 均	JAPER A	看護・介護を支援 し、身心のケアに貢 献するフレキシブル シートセンサーの開 発	国際福祉機器展セ ミナ
30	2018/10/15	三島康由	JAPER A	印刷技術を用いたフ レキシブルセンサ/ デバイス開発の現状 と課題	新化学技術推進協 会 電子情報技術 部会次世代エレクト ロニクス分科会
31	2018/11/1	鎌田俊英	JAPER A	デバイスフレキシブ ル化の技術展望	有機 EL 討論会第 27回例会
32	2018/12/4	西 眞一	JAPER A	印刷技術で製作する フレキシブルシート センサーの活用	第8回次世代フレ キシブルエレクト ロニクスシンポジ ウム

33	2019/1/31	近藤 均	JAPER A	革新的材料、印刷プロセス技術によるフレキシブルシートセンサーの開発	nanotech 2019NEDOブース 内プレゼンテーション
34	2019/3/22	西 眞一	JAPER A	印刷技術で製作するフレキシブルシートセンサの活用	C-NET第15 回定期講演会

## 5. 受賞実績

	表彰名	表彰機関	受賞日	受賞者	所属	業績名
1	ET/IoT Technology Award 2018 Embedded Technology 優秀 賞	一般社団法人 組込み システム技 術協会	H30.11.15	日本電気株 式会社 (組合員)		「センサを印刷す る！超解像度感圧 センサ技術」
2	Pepper App Challenge 2017 Autumn PAC 作品自慢総選挙 「技術革新大臣 賞」	ソフトバン ク株式会社	H28.11.22	JAPER A		「人肌感覚を持っ た Pepper」

産総研・名古屋大学

1. 各種展示会での成果発表

番号	出展者	所属	出展先	出展内容	発表年月
1	吉田学	国立研究開発 法人産業技術 総合研究所	CeBIT 2017	ストレッチャブルセンサ ／フィルム状近接センサ ／圧力分布計測センサ	2017/3/20 ～24
2	小林健	国立研究開発 法人産業技術 総合研究所， 国立大学法人 名古屋大学	CEATEC 2017	着るだけで多誘導の心電 波形を取得可能な心電ウ ェアの開発	2017/10/3 ～6
3	竹下俊弘	国立研究開発 法人産業技術 総合研究所	プリン タブル エレク トロニ クス 2018	静電植毛技術を用いた多 誘導心電ウェアの開発	2018/2/14
4	竹下俊弘	国立研究開発 法人産業技術 総合研究所	MEMS センシ ング& ネット ワーク システ ム展 2018	極薄MEMS デバイスの作 製と応用	2018/10/1 9
5	小林健	国立研究開発 法人産業技術 総合研究所	Semicon JAPAN 2018	テキスタイルハイブリッ ドエレクトロニクス	2018/12/12 ～14
6	小林健	国立研究開発 法人産業技術 総合研究所	JFLEX 2019	静電植毛技術を用いた多 誘導心電ウェアの開発	2019/1/30 ～2/1
7	小林健	国立研究開発 法人産業技術 総合研究所	P-MEC Japan 2019	静電植毛技術を用いた多 誘導心電ウェアの開発	2019/3/18 ～20



## 2. 新聞、雑誌記事

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	国立研究開発 法人産業技術 総合研究所、 国立大学法人 名古屋大学	着るだけで心電図を計測できるスマートウェアを開発	JPubb (ジェイパブ) (WEB)	2019/04/18
2		着るだけで心電図を計測できるスマートウェアを開発——起毛ドライ電極と独自の評価装置を用いた設計最適化により実現 産総研ら	Fabcross for エンジニア (WEB)	2019/04/19
3		産総研、名大 心電図 着るだけで記録 医療機器の認可取得目指す	電気新聞 4 面	2019/04/22
4		着るだけで心電図を計測 産総研と名古屋大学がスマートウェアを開発 医療機器として認可取得目指す	電波新聞 8 面	2019/04/24
5		着るだけで心電図計測が可能 産総研と名大がスマートウェアを開発	株式会社官庁 通信社 (WEB)	2019/4/26
6		着るだけで心電図計測 産総研—名大 起毛ドライ電極採用	化学工業日報 4 面	2019/05/08
7		体に寄り添うセンサー 着るだけで健康管理 スポーツも	産経新聞 9 面	2019/05/12
8		NEDO 事業 産総研と名大が開発 着るだけで心電図測定可能なスマートウェア	科学新聞 5 面	2019/05/17

### 3. 論文リスト

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、 ページ番号	査 読	発表年月
1	竹下俊 弘、吉田 学、大内 篤、檜頭 成、内田 広夫、小 林健	国立研究開 発法人産業 技術総合研 究所、国立 大学法人名 古屋大学	銀繊維起毛電極 を用いたテキス タイル型多極心 電ウェア	国内学会第 34回セン サ・マイク ロ マシン と応用シス テム予稿集, 31am3-PS-43, pp.1-3	有	2017/10/31
2	竹下俊 弘、吉田 学、大内 篤、檜頭 成、内田 広夫、小 林健	国立研究開 発法人産業 技術総合研 究所、国立 大学法人名 古屋大学	静電植毛技術を 用いた多極ECG 測定ウェアの作 製	エレクトロ ニクス実装 学会春季大 会2018予稿 集,7C1-1, pp.1-2	有	2018/3/7
3	小林健、 竹下俊 弘、竹井 裕介、武 井亮平	国立研究開 発法人産業 技術総合研 究所	可動デバイスア 일랜드構造を 有する極薄シリ コンチップ実装 用フレキシブル 基板	エレクトロ ニクス実装 学会春季大 会2018予稿 集,7B3-2, pp.1-2	有	2018/3/7
4	竹下俊 弘、吉田 学、大内 篤、檜頭 成、内田 広夫、小 林健	国立研究開 発法人産業 技術総合研 究所、国立 大学法人名 古屋大学	Development of Multi-lead ECG measurement wear using electrostatic flocking technology	ICEP-IAAC 2018 Proceedings, TD1-4, pp.145-146	有	2018/4/19
5	小林健、 竹下俊 弘、竹井 裕介、武 井亮平	国立研究開 発法人産業 技術総合研 究所	Flexible substrate with movable device island supported by serpentine interconnect for mounting ultra-thin silicon chips	ICEP-IAAC 2018 Proceedings, FB3-1, pp.304-305	有	2018/4/20
6	竹下俊	国立研究開	静電植毛極を用	センサ・マ	有	2018/10/31

	弘、吉田学、大内篤、檜頭成、内田広夫、小林健	発法人産業技術総合研究所、国立大学法人名古屋大学	いた心図測定における接触圧力とモーションアーティファクトの関係	イクロマシンと応用システムシンポジウム2018予稿集, 31am3-PS-123, pp.1-4		
7	小林健、竹下俊弘、竹井裕介、武井亮平、吉田学	国立研究開発法人産業技術総合研究所	極薄シリコン回路チップ搭載用可動デバイスアイランド構造フレキシブル基板の開発	センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム2018予稿集, 01pm1-PS-186, pp.1-3	有	2018/11/1
8	竹下俊弘、吉田学、竹井裕介、大内篤、檜頭成、内田広夫、小林健	国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人名古屋大学	静電植毛技術を用いた心電図測定用立体ドライ電極の作製と応用	エレクトロニクス実装学会春季大会2019予稿集, 13A20-01, pp.1-2	有	2019/3/13
9	竹下俊弘、小林健、竹井裕介、武井亮平	国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人名古屋大学	可動アイランド構造を有するフレキシブル基板への極薄シリコンチップ実装	エレクトロニクス実装学会春季大会2019予稿集, 13A3-02, pp.1-2	有	2019/3/13
10	竹下俊弘、吉田学、竹井裕介、大内篤、檜頭成、内田広夫、小林健	国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人名古屋大学	Relationship between Contact Pressure and Motion Artifacts in ECG Measurement with Electrostatic Flocked Electrodes Fabricated on Textile	Scientific Reports, 9, 5897, pp.1-10	有	2019/4/11

#### 4. 研究発表

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	小林健	国立研究開発法人産業技術総合研究所	極薄シリコン / フレキシブル基板集積化と道路インフラ面センシングにおけるフィルム実装応用技術	Flex Japan 2017	2017/4/11
2	小林健	国立研究開発法人産業技術総合研究所	着るだけで多極の心電図が計測できる心電ウェアの開発	MEMS センシング & ネットワークシステム展 2017 特別シンポジウム	2017/10/5
3	竹下俊弘、吉田学、大内篤、檜頭成、内田広夫、小林健	国立研究開発法人産業技術総合研究所，国立大学法人名古屋大学	銀繊維起毛電極を用いたテキスタイル型多極心電ウェア	国内学会第34回センサ・マイクロマシンと応用システム	2017/10/31
4	竹下俊弘、吉田学、大内篤、檜頭成、内田広夫、小林健	国立研究開発法人産業技術総合研究所，国立大学法人名古屋大学	Multi-lead ECG measuring wear fabricated by printed electronics and electrostatic flocking technology	Bio4Apps2017	2018/2/12
5	竹下俊弘、吉田学、大内篤、檜頭成、内田広夫、小林健	国立研究開発法人産業技術総合研究所，国立大学法人名古屋大学	静電植毛技術を用いた多誘導心電ウェアの開発	プリンタブルエレクトロニクス 2018	2018/2/14
6	竹下俊弘、吉田	国立研究開発法人産業	銀めっき繊維電極を用いた多電極心	第6回バイオメカニク	2018/3/2

	学、大内篤、檜頭成、内田広夫、小林健	技術総合研究所，国立大学法人名古屋大学	電ウェア	ス研究センター＋エレクトロニクス実装学会九州支部合	
7	竹下俊弘、吉田学、竹井裕介、大内篤、檜頭成、内田広夫、小林健	国立研究開発法人産業技術総合研究所，国立大学法人名古屋大学	静電植毛技術を用いた多極ECG測定ウェアの作製，	エレクトロニクス実装学会春季大会	2018/3/7
8	小林健、竹下俊弘、竹井裕介、武井亮平	国立研究開発法人産業技術総合研究所	可動デバイスアイランド構造を有する極薄シリコンチップ実装用フレキシブル基板	エレクトロニクス実装学会春季大会（講演大会優秀賞受賞）	2018/3/7
9	竹下俊弘、吉田学、大内篤、檜頭成、内田広夫、小林健	国立研究開発法人産業技術総合研究所，国立大学法人名古屋大学	Development of Multi-lead ECG measurement wear using electrostatic flocking technology	ICEP2018	2018/4/20
10	小林健、竹下俊弘、竹井裕介、武井亮平	国立研究開発法人産業技術総合研究所	Flexible substrate with movable device island supported by serpentine interconnect for mounting ultra-thin silicon chips	ICEP2018	2018/4/20
11	檜頭成	国立大学法人名古屋大学	Development of Multi-lead ECG measurement system using printed electronics technology	第55回日本小児外科学会学術集会	2018/6/1
12	檜頭成、	国立研究開	ウェアラブルセン	エレクトロ	2018/5/14

	竹下俊弘、小林健、吉田学、大内篤、内田広夫	発法人産業技術総合研究所，国立大学法人名古屋大学	サーによる多電極心電システムの開発	ニクス実装学会 (JIEP) 関西ワークショップ	
13	竹下俊弘、吉田学、大内篤、檜頭成、内田広夫、小林健	国立研究開発法人産業技術総合研究所，国立大学法人名古屋大学	静電植毛技術を用いた心電測定用ドライ電極の特性	エレクトロニクス実装学会 (JIEP) 関東ワークショップ	2018/7/13
14	竹下俊弘	国立研究開発法人産業技術総合研究所，国立大学法人名古屋大学	極薄MEMSデバイスの作製と応用	MEMS センシング&ネットワークシステム展 2018 産総研・北陸プロジェクトセミナー	2018/10/19
15	竹下俊弘、吉田学、大内篤、檜頭成、内田広夫、小林健	国立研究開発法人産業技術総合研究所，国立大学法人名古屋大学	静電植毛極を用いた心図測定における接触圧力とモーションアーティファクトの関係	センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム 2018(優秀ポスター賞受賞)	2018/10/31
16	小林健、竹下俊弘、竹井裕介、武井亮平、吉田学	国立研究開発法人産業技術総合研究所	極薄シリコン回路チップ搭載用可動デバイスアイランド構造フレキシブル基板の開発	センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム 2018	2018/11/1
17	竹下俊弘、吉田学、竹井裕介、大	国立研究開発法人産業技術総合研究所，国立	静電植毛技術を用いた心電図測定用立体ドライ電極の作製と応用	エレクトロニクス実装学会春季大会	2019/3/13

	内篤、檜 頭成、内 田広夫、 小林健	大学法人名 古屋大学			
18	竹下俊 弘、小林 健、竹井 裕介、武 井亮平	国立研究開 発法人産業 技術総合研 究所，国立 大学法人名 古屋大学	可動アイランド構 造を有するフレキ シブル基板への極 薄シリコンチップ 実装	エレクトロ ニクス実装 学会春季大 会	2019/3/13
19	竹下俊 弘、吉田 学、竹井 裕介、大 内篤、檜 頭成、内 田広夫、 小林健	国立研究開 発法人産業 技術総合研 究所，国立 大学法人名 古屋大学	CUBIC FLOCKED ELECTRODE EMBEDDING AMPLIFIER CIRCUIT FOR SMART ECG TEXTILE APPLICATION	Transducers20 19	2019/6/24

## 5. 受賞実績

番号	発表者	所属	タイトル	会議名（受賞名）	受賞年月日
1	竹下俊弘、吉田学、檜頭成、大内篤、内田広夫、小林健	国立研究開発法人産業技術総合研究所， 国立大学法人名古屋大学	静電植毛極を用いた心図測定における接触圧力とモーションアーティファクトの関係	センサ・マイクロナシンと応用システムシンポジウム2018(優秀ポスター受賞)	2018/11/1
2	小林健、竹下俊弘、竹井裕介、武井亮平	国立研究開発法人産業技術総合研究所	可動デバイスアイランド構造を有する極薄シリコンチップ実装用フレキシブル基板	エレクトロニクス実装学会春季大会（講演大会優秀賞受賞）	2019/3/12



## (ナノテク・部材イノベーションプログラム)

### 「次世代プリンテッドエレクトロニクス材料・プロセス基盤技術開発」基本計画

IoT 推進部

#### 1. 研究開発の目的・目標・内容

##### (1) 研究開発の目的

###### ①政策的な重要性

本事業は「ナノテク・部材イノベーションプログラム」の一環として実施する。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テッ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。

###### ②我が国の状況

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り組みも必要である。

###### ③世界の取り組み状況

海外ではこの2～3年の間に政府資金投入による大型プロジェクト、例えば、欧州では「Organic and large area electronics」（2007年～2013年、総額100億円）、米国では「Solid State Lighting Research and Development」（2009年～2015年、2009年30億円）がスタートし、研究開発が活発に行われている。

###### ④本事業のねらい

本事業では、プリンテッ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、プリンテッ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する。

##### (2) 研究開発の目標

###### ①過去の取り組みとその評価

NEDOでは平成14年から平成18年まで、「高効率有機デバイスの開発」プロジェクトにおいて、有機半導体材料開発、封止技術、高性能有機トランジスタの開発などを実施している。また、平成18年から平成21年まで行われた「超フレキシブルディスプレイ部材技術開発」プロジェクトにおいては、マイクロコンタクトプリント法を用いてプラスチック基板上に200ppiの高精細TFTアレイの開発に成功している。本事業では、これらの成果を用いて製造技術の高度化、信頼性の向上等を目指す。

###### ②本事業の目標

デバイス製造の国際競争力強化と新規事業の創出に向けて2015年度（平成27年度）末において、下記のプリンテッドエレクトロニクスに資する基盤技術及び実用化技術を確立

することとする。更に、プリントドエレクトロニクスの本格的な普及促進を図るため、印刷技術による省エネ型フレキシブルデバイス及び製造プロセスの実用化促進にかかる技術開発を行う。各研究開発項目の目標は、別紙の研究開発計画に示す通りとする。

・プラスチックフィルム基板上に大面積、低欠陥で均一、信頼性の高いTFTアレイを形成するための、低温プロセス、材料（半導体、絶縁、導体）及び高精度・高速で位置合わせ可能な連続印刷プロセス・装置を開発し、標準的な製造ラインにおいて印刷技術によるTFTアレイが製造可能なことを実証する。

・再現性の高い電氣的・機械的特性評価法、及び信頼性評価方法を確立し、標準化に向けたデータを収集する。

・モデルデバイスとして、プロジェクト内の技術開発成果を用いて電子ペーパー、各種フレキシブルセンサを作製し、プリントドエレクトロニクス技術の有効性及び可能性を実証する。

### ③本事業以外に必要とされる取り組み

普及活動を通じた市場形成等、本研究開発事業に関連して必要とされる取り組みを行う。

### ④アウトカム目標

電子ペーパーなどのディスプレイと、フレキシブルセンサを初期ターゲットデバイスとして位置づけ、低コスト・大量生産・フレキシブル性を持った薄膜トランジスタの連続製造を確立し、プリントドエレクトロニクス関連産業の市場拡大に取り組む。

その成果を有機太陽電池、ディスプレイ、タッチパネルなど既存製品の製造プロセスに応用することで、現行プロセスに比して大幅な製造コスト低減をもって、日本産業競争力の強化に貢献する。また、本技術開発により、今後需要の拡大が進むと予想される、給電シート、薄膜電池シート、有機ELディスプレイなどの市場拡大に貢献する。

また、本技術開発成果の印刷製造工程への普及により製造時エネルギー使用量の大幅な低減が可能になる。

## (3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発を実施する。なお、各研究開発項目の具体的な内容は、別紙の研究開発計画に示す通りとする。

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」

(委託事業) \*<sup>1</sup> 実施期間 平成22年度～平成27年度

(1) 標準製造ラインに係る技術開発

(2) TFTに特有の特性評価に係る技術開発

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」

(委託事業) \*<sup>1</sup> 実施期間 平成22年度～平成27年度

研究開発項目③ 「印刷技術による電子ペーパーの開発」

(委託事業) \*<sup>1</sup> 実施期間 平成22年度～平成23年度

(1) 電子ペーパーに係る基盤技術開発

(助成事業 [助成率：2/3以内] \*<sup>2</sup>) 実施期間 平成23年度～平成27年度

- (2) 高反射型カラー電子ペーパーの開発
- (3) 大面積軽量単色電子ペーパーの開発

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」  
(委託事業) \*<sup>1</sup> 実施期間 平成22年度～平成23年度  
(1) フレキシブルセンサに係る基盤技術開発

(助成事業 [助成率：2/3以内] \*<sup>2</sup>) 実施期間 平成23年度～平成27年度  
(2) 大面積圧力センサの開発

プリンテッドエレクトロニクスの本格的な普及促進を図るため、印刷技術による省エネ型フレキシブルデバイス及び製造プロセスの実用化を促進する技術開発を行う目的で、上記の研究開発項目①から④の成果も踏まえて、以下の研究開発項目を平成28年度～平成30年度で実施する。

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」  
(委託事業) \*<sup>1</sup> 実施期間 平成28年度～平成30年度  
(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」  
(委託事業) \*<sup>1</sup> 実施期間 平成28年度～平成30年  
(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

\*<sup>1</sup>：本研究開発項目は、実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術」に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施する事業であり、原則、委託事業として実施する。

\*<sup>2</sup>：課題設定型産業技術開発費助成金交付規程に基づく助成事業として実施する。

## 2. 研究開発の実施方式

### (1) 研究開発の実施体制

プロジェクトマネージャーに国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」という。）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。

本研究開発は、NEDOが単独ないし複数の企業、大学等の研究機関（原則として、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別な研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点からの国外企業との連携が必要な場合はこの限りではない。）から公募によって研究開発実施者を選定後、必要に応じて共同研究契約等を締結する研究体を構築し、選定し実施する。

なお、各実施者の研究開発資源を最大源に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、NEDOが選定した研究開発責任者（プロジェクトリーダー）東京大学 工学系研究科 教授 染谷隆夫氏の下で、各実施者が、それぞれの研究テーマについて研究開発を実施する。

### (2) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及びプロジェクトリーダーと密接な関係を維持しつつ、事業の目的及び目標に照らして本研究開発の適切な運営管理を実施する。具体的には、プリントドエレクトロニクスに係る戦略検討会議（検討課題：技術戦略マップの策定、国際標準化への検討、知財戦略/国際戦略の策定等）を設置し、国内外に展開する際に必要となる技術調査、周辺動向調査、及び戦略的な成果普及活動を実施する。また外部有識者や産業界の意見等を踏まえ、NEDOは各研究テーマの研究進捗把握、予算配分、テーマ間の情報共有、技術連携、テーマの重点化/絞り込み等のマネジメントを行う。

### 3. 研究開発の実施期間

本プロジェクトの期間は、平成22年度末から平成30年度までの約8年間し、研究開発項目毎に以下の通りとする。

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  
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  
上記2テーマの期間は、平成22年度末～平成27年度までの約5年間とする。

研究開発項目③ 印刷技術による電子ペーパーの開発  
（1）電子ペーパーに係る基盤技術開発  
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  
（1）フレキシブルセンサに係る基盤技術開発  
上記2テーマの期間は、平成22年度末～平成23年度までの約1年間とする。

研究開発項目③ 印刷技術による電子ペーパーの開発  
（2）高反射型カラー電子ペーパーの開発  
（3）大面積軽量単色電子ペーパーの開発  
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」  
（2）大面積圧力センサの開発  
上記3テーマの期間は、平成23年度～平成27年度までの5年間とする。

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」  
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」  
上記2テーマの期間は、平成28年度～平成30年度までの3年間とする。

### 4. 評価に関する事項

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、成果の技術的意義ならびに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を平成25年度、および平成27年度に実施し、事後評価を平成31年度に実施する。なお、平成28年度から実施する研究開発項目⑤および⑥の具体的な実施内容及び目標は、平成27年度の中間評価結果を踏まえて設定する。

評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

### 5. その他重要事項

#### （1）研究開発成果の取扱い

① 共通基盤技術の形成に資する成果の普及

得られた研究開発成果のうち、共通基盤技術に係るものについては、プロジェクト内で速やかに共有した後、NEDO及び実施者が協力して普及に努めるものとする。

#### ②知的基盤整備事業または標準化等との連携

得られた研究開発の成果については、知的基盤整備または標準化等との連携を図るため、データベースへのデータの提供、国内外の標準化活動や規制見直し活動への情報提供等を積極的に行う。

#### ③知的財産権の帰属、管理等取扱い

委託研究開発の成果に係る知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。なお、研究開発段階から、事業化を見据えた知的戦略を構築し、適切な知財管理を実施する。

#### ④知財マネジメントに係る運用

「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。

#### (2) 「プロジェクト基本計画」の見直し

NEDOは、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、内外の研究開発動向、エネルギー政策動向、プログラム基本計画の変更、第三者の視点からの評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標や契約等の方式をはじめ基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

#### (3) 根拠法

本事業は、「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条第一号二及び第三号に基づき実施する。

#### (4) その他

本研究によって得られた知的財産、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及びNEDOの了解を得るものとする。

### 6. 基本計画の改訂履歴

(1) 平成23年1月、制定。

(2) 平成25年3月、研究開発項目③（助成事業）（2）高速応答型カラー電子ペーパーの開発」及び「研究開発項目④（助成事業）（3）ポータブルイメージセンサの開発」の項目削除に伴う改訂。

(3) 平成26年3月、研究開発の実施期間の延長及び評価に関する事項等の変更、根拠法変更に伴う改訂。

(4) 平成28年2月、平成28年度から平成30年度に行う研究開発項目⑤および研究開発項目⑥の追加設定に伴う改訂。

## (別紙) 研究開発計画

### 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」

#### 1. 研究開発の必要性

フレキシブルなプラスチックフィルム基板上に、低欠陥で均一な薄膜トランジスタ (TFT) アレイを印刷法で連続製造するためには、フレキシブルアライメント、印刷、温度制御、乾燥技術などの要素技術を組み合わせた製造技術を確立する必要がある。さらに、連続生産プロセスの開発のための評価技術開発が必要である。

#### 2. 研究開発の具体的内容

##### (1) 標準製造ラインに係る技術開発

連続かつ完全印刷工程による A4 サイズの TFT アレイを製造できるラインを構築し、連続プロセスで TFT アレイの製造が可能であることを実証する。

##### (2) TFT に特有の特性評価に係る技術開発

印刷法で製造された (1) の TFT アレイの機械的特性・信頼性の評価手法を確立する。また、TFT の特性評価に係る標準化に向けたデータの取得を行う。

#### 3. 達成目標

研究開発目標を下記のように設定する。なお、研究開発項目毎の詳細な目標については、採択が決定した後、NEDO及び委託先との間で協議の上、定めるものとする。

##### (1) 標準製造ラインに係る技術開発

###### 【中間目標 (平成 25 年度末)】

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、連続生産するための製造プロセスの課題を抽出する。

###### 【最終目標 (平成 27 年度末)】

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 50 枚連続生産が可能な製造プロセスの要素技術を確立する。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する。

##### (2) TFT に特有の特性評価に係る技術開発

###### 【中間目標 (平成 25 年度末)】

(1) で作製される TFT アレイの性能評価手法を確立し、材料スクリーニングや、印刷プロセスの最適化検討を行う。

###### 【最終目標 (平成 27 年度末)】

TFT アレイの信頼性の評価方法を確立する。あわせて評価手法の標準化の検討を行う。

## 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」

### 1. 研究開発の必要性

プリントエレクトロニクス技術を普及していくためには、さまざまな要求特性に対応した製造プロセスの高度化や TFT 性能の向上が必要である。さらに、汎用プラスチック基板を使用するためには、製造プロセスの低温化が必要である。また、TFT アレイを含む電子回路の高性能化には印刷の位置合わせ精度の向上や駆動周波数の高周波化が必要である。本項目では、材料とプロセス技術のすり合わせによる TFT アレイの高度化を行う。

### 2. 研究開発の具体的内容

研究開発項目①で開発する連続製造プロセスの高度化を行う。具体的には製造プロセスの低温化・TFT アレイを含む回路の高性能化を図るために、各種材料（有機半導体材料、導電材料、絶縁材料等）の組成検討、硬化プロセス、並びに精密位置合わせ法の開発を行う。また、TFT アレイの大面積化（メートル級）に適用可能な生産プロセスの検討を行う。

### 3. 研究開発目標

#### 【中間目標（平成 25 年度末）】

位置合わせ精度  $\pm 20 \mu\text{m}$ 、 $150^\circ\text{C}$  以下の温度で生産できるプロセスの要素技術を確立する。また、印刷法で製造した TFT 素子において、動作周波数 0.3MHz 以上を示す材料・プロセス技術を開発する。

#### 【最終目標（平成 27 年度末）】

位置合わせ精度  $\pm 10 \mu\text{m}$ 、 $120^\circ\text{C}$  以下の温度で生産できるプロセスの要素技術を確立する。また、素子の動作周波数が 1MHz 以上を示す TFT アレイを印刷法で製造し、デバイスとして駆動することを実証する。加えて作製された TFT アレイを用いて、圧力、もしくは接触による情報入力デバイスを試作し、落下試験など耐衝撃性を評価し堅牢性を検証する。

TFT アレイの大面積化（メートル級）においては、大面積 TFT アレイの連続製造に適用可能な製造プロセスの設計指針を提示する。

## 研究開発項目③「印刷技術による電子ペーパーの開発」

### 1. 研究開発の必要性

電子ペーパーは外光を利用する反射型であること、表示のメモリー性があることから省エネルギーであるため、表示タグ・電子書籍の表示体等に使用されており、今後の市場拡大が大きく見込まれる分野である、しかしながらカラー化については本格的な実用化には至っておらず、また、軽量化による携帯性も望まれる。本項目では、軽量化、カラー化に必要とされている電子ペーパーの開発を行う。

### 2. 研究開発の具体的内容

#### (1) 電子ペーパーに係る基盤技術開発

各種電子ペーパーを印刷による TFT アレイへ適合するための基礎技術の検討を行い、デバイス作製のための課題抽出及び設計指針を得る。得られた成果は研究開発項目①・②へ反映する。

#### (2) 高反射型カラー電子ペーパーの開発

カラーフィルター方式にくらべ、発色性、色再現性が高い電子ペーパーを作製し、工業的に製造が可能であることを実証する。具体的には、フルカラー化を実現するために多諧調の表示制御が可能な高反射発色素子を使用可能な TFT アレイを開発し、アプリケーションとして高反射型フレキシブルカラー電子ペーパーを実証する。

#### (3) 大面積軽量単色電子ペーパーの開発

生産性・寿命・衝撃耐性等に優れた汎用的な電子ペーパーを作製し、工業的に製造可能であることを実証する。具体的には、簡易なモジュールアセンブリが可能な軽量性・生産性・耐衝撃性などに優れた TFT アレイの開発を行い、表示部と合わせたアプリケーションとして電子ペーパーを実証する。加えて、本デバイスにおける大面積化のための技術開発も行う。

### 3. 達成目標

#### (1) 電子ペーパーに係る共通基盤技術開発

##### 【平成23年度末目標】

各種電子ペーパーに係る仕様を決定するための、TFT アレイと表示部の接合条件や駆動電圧等について基礎データの収集を行いデバイスとしての課題を抽出し、得られた結果をもとに設計指針を提示する。

#### (2) 高反射型カラー電子ペーパーの開発

##### 【中間目標（平成25年度末）】

印刷法を用いてフィルム基板上に反射率 50 パーセント以上である対角 6 インチのカラー（64 色）パネルを試作する。

##### 【最終目標（平成27年度末）】

印刷法を用いてフィルム基板上に反射率 50 パーセント以上である対角 10 インチのカラー（512 色）パネルを作製し、工業的に製造が可能であることを実証する。10 インチパネルの重量は 60g 以下を達成する。



(3) 大面積軽量単色電子ペーパーの開発

【中間目標（平成25年度末）】

印刷法を用いて A4 サイズのフィルム基板上に 120ppi 以上の解像度を持つ TFT アレイを安定かつ連続的に製造する技術を開発する。製造タクトは 1 枚あたり 10 分以内を達成する。

【最終目標（平成27年度末）】

A4 サイズのフィルム基板上に 120ppi 以上の解像度を持つ TFT アレイを完全印刷工程で安定かつ連続的に製造する技術を開発する。製造タクト時間は 1 枚あたり 3 分以内を達成する。作製された TFT アレイと表示部を組み合わせたパネルを作製し、軽量単色電子ペーパーが工業的に製造可能であることを実証する。パネルの重量は 40g 以下を達成する。また、得られた成果を基に大面積化に向けたプロセス・デバイスの設計指針を示す。

## 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」

### 1. 研究開発の必要性

ベッド上での介護を助けるセンサ類や、ポータブルのイメージセンサなど、安全安心社会やより便利な情報化社会の実現への一つとして、安価・フレキシブルでさまざまな場所に適応可能な各種センサの早期実用化が求められている。フレキシブルセンサの作製においては大面積実装などの要素技術が必要とされるが、これはプリントエレクトロニクスの得意とする分野である。よって本項目では、印刷技術を使ったモデルデバイスとして新規フレキシブルセンサの開発を行う。

### 2. 研究開発の具体的内容

#### (1) フレキシブルセンサに係る基盤技術開発

各種フレキシブルセンサを印刷による TFT アレイへ適合するための基礎技術の検討を行い、デバイス作製のための課題抽出及び設計指針を得る。得られた成果は研究開発項目①・②へ反映する。

#### (2) 大面積圧力センサの開発

研究開発項目①・②において開発される TFT アレイの製造技術を応用し、情報入出力をリアルタイムで処理可能な大面積 TFT シートの製造技術を確立する。具体的には電界効果移動度や閾値電圧のばらつきを均一化するための素子作製技術を開発し、面全体で均一な応答動作が可能な大面積シートデバイスを実現する。また、それらの技術を適用する上で必要となる製造設備を開発する。製作された大面積 TFT アレイ上に圧力素子を実装することで、大面積圧力センサを開発する。

### 3. 達成目標

#### (1) フレキシブルセンサに係る共通基盤技術開発

##### 【平成 23 年度末目標】

各種フレキシブルセンサに係る仕様を決定するための、TFT アレイとセンサ部の接合条件や駆動電圧等について、基礎データの収集を行いデバイスとしての課題を抽出し、得られた結果をもとに設計指針を提示する。

#### (2) 大面積圧力センサの開発

##### 【中間目標（平成 25 年度末）】

A4 サイズ相当の領域内で構成層間のアライメント精度  $50\mu\text{m}$  内、素子の特性ばらつき（移動度及び閾値電圧） $\sigma < 10\%$  を達成する大面積 TFT シートの製造技術と製造装置の開発を行う。得られた加工精度と素子特性に基づき、メートル級の面積 TFT アレイの設計指針を示す。

##### 【最終目標（平成 27 年度末）】

1mm 角あたり 1 素子の密度で形成した TFT アレイの特性（移動度及び閾値電圧）のばらつき  $\sigma < 5\%$  以下で、連続駆動が 10Hz 相当以上で可能なメートル級の面積 TFT シートを試作する。これを背面基板に用いた圧力センサシートを試作し、情報入力モデルデバイスとして実用可能であることを実証する。

## 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」

### 1. 研究開発の必要性

プリントエレクトロニクス技術は、IoT (Internet of Things) など多様な場所に設置されるフレキシブルデバイスの生産に適用されることが期待されている。これらに適用し、技術を高度に普及させていくためには、多品種デバイスへの適用が容易となること、変量生産であっても高い生産性が維持できることなどが必要となる。これらを実現させるには、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ことが重要で、そのための技術としてオンデマンドでの版設計製造技術が開発されること、高速高生産性が維持発揮できるよう小規模装置で高効率高速製造技術が開発されること、フレキシブルデバイスを製造するためのフレキシブル基板の搬送が高精度で高速に実現され、一連の生産工程がカスタマイズ化に対応し、かつ高速に行われるようになることなどが必要である。

### 2. 研究開発の具体的内容

#### (1) 高生産性カスタマイズ化プロセス技術の開発

変種変量高生産性カスタマイズ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、デジタル化・オンデマンド化製造技術の開発並びにこれら製造プロセスの高度信頼性技術の開発を行う。

#### (2) 高速高精度基板搬送技術の開発

デバイスの薄膜化と軽量化に向けた小規模高速高生産性印刷製造プロセスを確立するために、一連の生産工程において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を行う。

### 3. 達成目標

#### (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年度末)】

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年度末)】

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±10μm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」

### 1. 研究開発の必要性

プリントドエレクトロニクス技術を適用して生産する多種多様な仕様を有するセンサや表示などのフレキシブル入出力端末デバイスを市場展開し、高度に普及させるためには、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いくことが必要である。特にこれらを最終的な製品仕様に十分こたえられる高機能を発揮させるためには、低損傷で高効率デバイス製造を実現することが必要であり、そのための実装技術の開発などが必要となっている。

### 2. 研究開発の具体的内容

#### (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

フレキシブル基板上に印刷で形成する入出力デバイスの高感度化技術の開発を行うとともに、市場化へのデバイス性能高信頼性化をもたらすための、デバイス動作高安定化、長寿命化技術の開発を行う。

#### (2) フレキシブルデバイス実装技術の開発

印刷形成フレキシブルデバイスの高安定動作化、高耐久性化、大面積化などを実現させるために、接着、接合、封止、ハイブリットチップマウントなど、フレキシブル基板上に高効率低損傷で入出力デバイスを実装するフレキシブル実装技術の開発を行う。

#### (3) フレキシブルデバイスの機能複合化技術の開発

多様な仕様、設計を有するフレキシブルデバイスの高効率印刷形成を実現するために、単一フレキシブル基板上に、入力、出力、通信などの異なる機能を有する複数のデバイスを同時に印刷形成する技術の開発を行う。

### 3. 達成目標

#### (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年度末）】

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年度末）】

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年度末）】

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。

添付資料 2

事前評価書

		作成日	平成22年12月13日
1. 事業名称 (コード番号)	次世代プリンテッドエレクトロニクス材料・プロセス基盤技術開発 (ナノテク・部材イノベーションプログラム) (P10026)		
2. 推進部署名	電子・材料・ナノテクノロジー部		
3. 事業概要	<p>(1) 高度情報化社会の実現に伴い、電子ペーパー、デジタルサイネージなどのヒューマンインターフェース入出力デバイスや、圧力センサーなどの入力シートデバイス等の普及が切望されており、今後その生産量の増大が予想される。</p> <p>これらのデバイスを広く一般に大量普及させるために、真空や高温を駆使して多量のエネルギー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、製造プロセスの低コスト化・省エネ化・省資源化・高生産性化を目指すことが急務となっている。</p> <p>そこで、少エネ・省資源・高生産性や軽量・フレキシブル性などの特徴を有する印刷エレクトロニクス技術及び製造法を確立する。これにより、印刷エレクトロニクス関連産業の新規市場創出と産業競争力強化に寄与する。また、印刷工程による新規デバイスとして、電子ペーパー、圧力センサなどのディスプレイ、センサデバイス関連市場を当面のターゲットとする。</p> <p>(2) 事業規模：総事業費（国費分）97億円（委託・助成）  (3) 事業期間：平成22年度～27年度</p>		
4. 評価の検討状況			
(1) 事業の位置付け・必要性			
<p>① 事業自体の必要性</p> <p>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、薄膜トランジスタアレイ（TFTアレイ）などの電子回路の製造においてはリソグラフィや高温プロセスの省エネルギー化が必要とされている。プリンテッドエレクトロニクスは、印刷技術を用いてプロセスの低温化による省エネ化や材料歩留まりの向上による省資源化、プラスチック基板の利用によるフレキシブル化・軽量化など上記課題を解決する有用な手段である。このような社会的要求・課題を鑑み、本プロジェクトでは、少エネ・省資源・高生産性や軽量・フレキシブル性などの特徴を有する印刷エレクトロニクスの基盤技術として、連続製造技術と使用材料・プロセスの高度化による TFT アレイの高度化技術を開発する。さらに、これら基盤技術を適用した実用化技術として電子ペーパーとフレキシブルセンサーデバイス技術を確立し、新規事業の創出と産業競争力強化により国民の利益に供する。</p> <p>② 上位政策との関係から見た位置付け</p> <p>本事業は、第3期科学技術基本方針の重点推進4分野のうちのライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料のすべて位置づけられる。また、経済産業省がまとめた技術戦略マップにおいてナノテクノロジー分野（有機半導体、塗布・印刷・ナノインプリント統合プロセスの最適化）、部材分野（印刷による回路形成用導電性高分子、分子導細線、CNTビア配線材料、印刷プロセス）に位置づけられている。</p>			
(2) 研究開発目標の妥当性			
<p>&lt;目標&gt;</p> <p>① 連続製造技術及び評価技術</p> <p>○ n 電流の面内平均値からのばらつきが <math>\sigma \leq 10\%</math> 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する。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する。</p> <p>TFT アレイの信頼性の評価方法を確立する。あわせて評価手法の国際標準化の検討</p>			

を行う。

② 高性能 TFT アレイ材料プロセス技術

位置合わせ精度 $\pm 10\mu\text{m}$ 、 $120^\circ\text{C}$ 以下の温度で生産できるプロセスの要素技術を確立する。また、素子の動作周波数が 1MHz 以上を示す TFT アレイを印刷法で製造し、デバイスとして駆動することを実証する。加えて作製された TFT アレイを用いて、圧力、もしくは接触による情報入力デバイスを試作し、落下試験など耐衝撃性を評価し堅牢性を検証する。

TFT アレイの大面积化（メートル級）においては、大面积 TFT アレイの連続製造に適用可能な製造プロセスの設計指針を提示する。

③ 電子ペーパー

(I) 高反射型カラー電子ペーパー

印刷法を用いてフィルム基板の上に反射率 50 パーセント以上である対角 10 インチのカラー（512 色）パネルを作製し、工業的に製造が可能であることを実証する。10 インチパネルの重量は 60g 以下を達成する。

(II) 高速応答型電子ペーパー

フレキシブルな透明電極と表示部を組み合わせ、10 インチでカラー表示、75ppi、応答速度が 25ms 以下のスペックを持つパネルを作製し、工業的に製造が可能であることを実証する。10 インチパネルの重量は 60g 以下を達成する。

(III) 大面积軽量単色電子ペーパー

A4 サイズのフィルム基板の上に 120ppi 以上の解像度を持つ TFT アレイを完全印刷工程で安定かつ連続的に製造する技術を開発する。製造タクト時間は 1 枚あたり 3 分以内を達成する。作製された TFT アレイと表示部を組み合わせたパネルを作製し、軽量単色電子ペーパーが工業的に製造可能であることを実証する。パネルの重量は 40g 以下を達成する。また、得られた成果を基に大面积化に向けたプロセス・デバイスの設計指針を示す。

④ フレキシブルセンサ

(I) 大面积圧力センサ

1mm 角あたり 1 素子の密度で形成した TFT アレイの特性（移動度および閾値電圧）のばらつき  $\sigma < 5\%$  以下で、連続駆動が 10Hz 相当以上で可能なメートル級の大面积 TFT シートを試作する。これを背面基板に用いた圧力センサシートを試作し、情報入力モデルデバイスとして実用可能であることを実証する。

(II) ポータブルイメージセンサ

A4 サイズへの展開を前提とした 100mm 角フレキシブル基板にイメージセンサ素子を形成し、TFT アレイと結合をすることにより 100ppi 相当で画像入力可能なポータブルイメージセンサアレイを試作し、実用可能であることを実証する。

<妥当性>

目標設定は基盤技術および実用化技術の端緒を得る段階では、十分であるが、本事業の研究開発は、海外との競争も激しく、技術的進歩も早いことから、今後も有識者ヒアリングを実施し妥当性検討の必要がある。

(3) 研究開発マネジメント

<p>本研究開発は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」と言う。）は公募によって、研究開発内容・計画及び実施体制の妥当性について、外部有識者による審議を含めた評価を行った上で、最適な研究開発体制を構築し、委託して実施する。本事業の材料からデバイスまでのサプライチェーンの連携による技術開発の取り組みについては、一社・或いは一大学のみでの取り組みでは困難であり、企業と大学の多様な連携体制を構築する。</p> <p>研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及びPLと密接な関係を維持しつつ、事業の目的及び目標に照らして本研究開発の適切な運営管理を実施する。具体的には、プリンテッドエレクトロニクスに係る戦略検討会議（検討課題：技術戦略マップの策定、国際標準化への検討、知財戦略/国際戦略の策定等）を設置し、国内外に展開する際に必要となる技術調査、周辺動向調査、及び戦略的な成果普及活動を実施する。また外部有識者や産業界の意見等を踏まえ、NEDOは各研究テーマの研究進捗把握、予算配分、テーマ間の情報共有、技術連携、テーマの重点化/絞り込み等のマネジメントを行う。</p> <p>さらに別途定められた技術評価に係る指針、および技術評価実施要領に基づき、技術的、および産業技術政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義、将来の産業への波及効果等について、外部有識者による評価を実施する。</p> <p>なお、知的財産権については、「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、適切に管理する。</p>
<p>(4) 研究開発成果</p> <p>省エネ・省資源・高生産性や軽量・フレキシブル性などの特徴を有するプリンテッドエレクトロニクス技術において、世界に先駆けてTFT基板の連続製造技術を確立し、本技術を用いた電子ペーパーやフレキシブルセンサを実現する。これにより、軽量・フレキシブル性、大面積といったプリンテッドエレクトロニクスならではの特徴を生かした既存市場の拡大と新規市場創出に大いに貢献できるものと期待される。</p>
<p>(5) 実用化・事業化の見通し</p> <p>本プロジェクトの成果により、電子ペーパーやデジタルサイネージ、圧力センサ、イメージセンサなどの分野に関連して、2020年度で約2.3兆円の経済効果が見込まれる。（みずほ情報総研調査による）また、製造工程における、省エネ化、省資源化の実現により、2030年で約450万トンのCO<sub>2</sub>削減が期待される。</p>
<p>(6) その他特記事項</p> <p>特になし</p>
<p>5. 総合評価</p> <p>異なる企業体間、産学官の連携がもっとも奏功すると期待できる。また、目標設定としても、実験室レベルの成果を維持しつつ製造技術に落とし込むことを想定しているため、極めて事業リスク・技術開発のリスクが高い。これは民間企業だけでは実施できないものであり、NEDOが関与することにより、多様な連携を構築して、効果的に推進することが可能となる。NEDOが実施する事業として適切であると判断する。</p>