

資料 7.1

次世代プリントドエレクトロニクス材料・  
プロセス基盤技術開発

事業原簿  
【公開】

担当部室	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 電子・材料・ナノテクノロジー部
------	--

# 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.	中間評価結果への対応	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	研究開発成果の概要	
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	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	III-2.1-1
2. 1. 1	標準製造ラインに係る技術開発	
2. 1. 2	TFT に特有の特性評価に係る技術開発	
2. 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	III-2.2-1
2. 3	印刷技術による電子ペーパーの開発	
2. 3. 1	電子ペーパーに係る基盤技術開発	III-2.3.1-1
2. 3. 2	高反射型カラー電子ペーパーの開発	III-2.3.2-1
2. 3. 3	大面積軽量単色電子ペーパーの開発	III-2.3.3-1

2. 4	印刷技術によるフレキシブルセンサの開発	
2. 4. 1	フレキシブルセンサに係る基盤技術開発	Ⅲ-2. 4. 1-1
2. 4. 2	大面積圧力センサの開発	Ⅲ-2. 4. 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.	実用化に向けての見通し及び取り組みについて（委託事業）	
1. 1	次世代プリントドエレクトロニクス技術研究組合	IV-1. 1-1
2.	実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて（助成事業）	
2. 1	高反射型カラー電子ペーパーの開発（株式会社リコー）	IV-2. 1-1
2. 2	大面積軽量単色ペーパーの開発（凸版印刷株式会社）	IV-2. 2-1
2. 3	大面積圧力センサの開発（大日本印刷株式会社）	IV-2. 3-1
V.	成果一覧	
1.	各種展示会での成果発表	V-1
2.	新聞、雑誌記事	V-4
3.	論文リスト	V-6
4.	研究発表（口頭発表含む）リスト	V-9
5.	受賞実績	V-19
6.	特許リスト	V-21

（添付資料 1）プロジェクト基本計画

（添付資料 2）平成 27 年度科学技術重要施策アクションプラン 該当部抜粋

（添付資料 3）科学技術イノベーション総合戦略 2015 該当部抜粋

（添付資料 4）技術戦略マップ 2010（半導体分野）

（添付資料 5）事前評価関連資料（事前評価書、パブリックコメント募集の結果）

概要

		最終更新日	平成 27 年 8 月 28 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	電子・材料・ナノテクノロジー部 安藤 彰朗（平成 27 年 9 月現在） 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。 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 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。</li> <li>• 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。</li> <li>• 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、プリントエレクトロニクス技術の有効性及び可能性を実証する。</li> </ul> なお、2016 年度（平成 28 年度）～2018 年度（平成 30 年度）までプロジェクトが延長される。この第二期プロジェクトは新規に公募して新たな体制、新たな実施方針で行う。第二期の研究開発項目としては、実用化の検討に加え、生産性と信頼性に関する基盤技術の開発を実施する予定である。  本事業原簿は、2015 年度（平成 27 年度）までの第一期プロジェクトに係るものである。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共通基盤技術開発

	<p>【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。</p> <p>(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<math>\mu</math>m 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。 【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 <math>\sigma &lt; 5\%</math> 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、情報入力の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>																																																																																								
事業の計画内容	<table border="1"> <thead> <tr> <th>主な実施事項</th> <th>H22fy</th> <th>H23fy</th> <th>H24fy</th> <th>H25fy</th> <th>H26fy</th> <th>H27fy</th> <th>H28fy</th> <th>H29fy</th> <th>H30fy</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>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」</td> <td colspan="6">→</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>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」</td> <td colspan="6">→</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>研究開発項目③ 「印刷技術による電子ペーパーの開発」</td> <td colspan="6">→</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>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」</td> <td colspan="6">→</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>研究開発項目⑤ 「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」</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td colspan="3">→</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	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 「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」							→																					
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 「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」							→																																																																																		
<p>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))</p> <p>契約種類: ○をつける 委託(○)、助成(○)助成率 2/3</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>会計・勘定</th> <th>H22fy</th> <th>H23fy</th> <th>H24fy</th> <th>H25fy</th> <th>H26fy</th> <th>H27fy</th> <th>H28fy</th> <th>H29fy</th> <th>H30fy</th> <th>総額</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>一般会計</td> <td>—</td> <td>224</td> <td>400</td> <td>946</td> <td>—</td> <td>—</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1,570</td> </tr> <tr> <td>補正予算</td> <td>2,100</td> <td>1,984</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>4,084</td> </tr> <tr> <td>イニキ*特別会計</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>888</td> <td>830</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1,718</td> </tr> <tr> <td>開発成果・促進財源</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>454</td> <td>120</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>574</td> </tr> <tr> <td>総予算額</td> <td>2,100</td> <td>2,208</td> <td>400</td> <td>946</td> <td>1,342</td> <td>950</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>7,946</td> </tr> <tr> <td>(委託)</td> <td>2,100</td> <td>1,449</td> <td>387</td> <td>681</td> <td>1,138</td> <td>788</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>6,543</td> </tr> <tr> <td>(助成) : 助成率 2/3</td> <td></td> <td>759</td> <td>13</td> <td>265</td> <td>204</td> <td>162</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1,403</td> </tr> </tbody> </table>	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	イニキ*特別会計	—	—	—	—	888	830				1,718	開発成果・促進財源	—	—	—	—	454	120				574	総予算額	2,100	2,208	400	946	1,342	950				7,946	(委託)	2,100	1,449	387	681	1,138	788				6,543	(助成) : 助成率 2/3		759	13	265	204	162				1,403
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																																																																															
イニキ*特別会計	—	—	—	—	888	830				1,718																																																																															
開発成果・促進財源	—	—	—	—	454	120				574																																																																															
総予算額	2,100	2,208	400	946	1,342	950				7,946																																																																															
(委託)	2,100	1,449	387	681	1,138	788				6,543																																																																															
(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>【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)</p> <p><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</p> <p><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)</p> <p><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</p> <p><b>【助成】</b> 大日本印刷(株)、凸版印刷(株)、(株)リコー</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が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>	
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 年間は実用化を中心とした開発を実施することとし、基本計画を検討中である。</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	平成 31 年度 事後評価実施(予定)
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。<b>【最終目標達成】</b></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。<b>【最終目標達成】</b></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。<b>【最終目標達成】</b></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。<b>【最終目標達成】</b></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) <b>【最終目標達成】</b></li> <li>・ 新焼成技術を用いて温度 120°C 以下を実現 <b>【最終目標達成】</b></li> <li>・ 印刷 TFT の材料、構造を開発して動作周波数 1.2MHz <b>【最終目標達成】</b></li> <li>・ 接触型情報入力センサ素子を試作し、堅牢性実証 <b>【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】</b></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。</li> </ul> <p>【平成 23 年度末目標達成】</p> <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 によるアクティ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】</p> <p>(2) 大面積圧力センサの開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>有機 TFT 素子の特性ばらつき <math>\sigma &lt; 5\%</math> を達成した。</li> <li>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。</li> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul> <p>【いずれも最終目標達成】</p>	
	特許	出願済み 241 件、(うち国際出願 46 件)
	投稿論文	15 件 (うち査読付き 8 件)
	その他の外部発表 (プレス発表等)	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
IV. 実用化・事業化の見通しについて	<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テッド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</p>	



## プロジェクト用語集

### 次世代プリンテッドエレクトロニクス技術研究組合（JAPER）

用語（日本語）	English	用語の説明
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。
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。
PNLC	polymer network liquid crystal	ポリマーネットワーク型液晶。散乱液晶の一種であり、電圧が無印加の状態では液晶層内部の網目状の高分子繊維に沿って液晶分子が不規則に並び、表示が不透明となるが、電圧が印加された状態では液晶分子が表示面に対して垂直に整列するので、表示が透明になる。偏光を利用しないので偏光フィルタが不要である。
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）をマトリクス状に配置したもの。
アクティブマトリクス	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。
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。
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。
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。
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。

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。
マイクロコンタクト印刷 (μCP)	micro-contact printing	従来法のリソグラフィによって作製したマイクロメートルの構造の形状パターン(マスター)をゴム状プラスチックに写し取り作製したスタンプ凸部表面に分子を塗布し基板に密着(コンタクト)することで、パターン化した分子の膜を基板上に作製する方法。

リコー

用語（日本語）	English	用語の説明
EC エレクトロクロミック	Electrochromic	電気的な酸化還元反応により可逆的に色彩が変化する現象。
積層型 ECD 積層型エレクトロクロミックディスプレイ	Multi Layered Electrochromic Display	エレクトロクロミック層を積層したフルカラー反射型ディスプレイ技術。
酸化還元反応 Redox 反応	Oxidative and Reductive reaction	原子やイオンあるいは化合物間で電子の授受によって物質が変化する反応。
LCD	Liquid Crystal Display	液晶分子の向きを変えることで、光の透過率を増減させて画像表示するディスプレイ。
有機 EL	Organic Electro Luminescence	有機物中に注入された電子と正孔の再結合によって生じた励起子（エキシトン）による発光現象
MEMS	Micro Electro Mechanical Systems	機械要素部品を一つの基板上に集積化したデバイス。
コレステリック液晶	Cholesteric Liquid Crystal	面に垂直な方向に進むにつれて、分子の配列する向きがらせん状に旋回する構造の液晶。らせんピッチで干渉した光を反射する。
減法混色	Subtractive color mixing	印刷物にも用いられている色の表現方法。シアン、イエロー、マゼンタの混色による光の吸収であらゆる色彩を表現する。
TFT	Thin Film Transistor	薄膜電界効果トランジスタの 1 種であり、液晶ディスプレイの駆動などに応用されている。
低温ポリシリコン TFT	Low Temperature Poly Silicon TFT	多結晶の低温ポリシリコン。アモルファスシリコンよりも高移動度が得られ、LCD の高速化や有機 EL ディスプレイの駆動に利用される。
TiO <sub>2</sub> 酸化チタン、チタニア	Titanium dioxide	チタンの酸化物。白色顔料などに用いられる。
白色反射率	White Reflectivity	完全拡散面を有する標準白色板からの反射強度を 100% として、物体からの反射光強度を規格化した指標。
色再現範囲	Color Reproducibility	CIE a*,b*色座標において、日本印刷学会が制

		定したジャパンカラー標準規格の <b>CMYRGB</b> 各色座標がなす面積を 100%とし、表示可能な色座標の面積を規格化した指標
パルス幅変調 PWM	Pulse Width Modulation	パルスの幅および間隔で波形を表現する方法。電圧印加時間の割合によって強度を決める。
パルス振幅変調 PAM	Pulse Amplitude Modulation	パルスの振幅によって波形を表現する方法。最大印加振幅に対する割合によって強度を決める。
PET ポリエチレンテレフタレート	Polyethylene terephthalate	エチレングリコールとテレフタル酸により作られる有機高分子材料。透明で成型が容易であり、ペットボトルなどに広く利用されている。
AM 駆動 アクティブマトリクス駆動	Active Matrix Driving	アクティブマトリクス駆動方式。各画素にアクティブ素子である TFT を配置し、ディスプレイを駆動する方式。
ppi	Pixel per inch	ディスプレイの解像度を表す単位。1 インチあたりのピクセル数のこと。
SiO <sub>2</sub> シリカ	Silicon dioxide	シリコンの酸化物。
ITO	Indium Tin Oxide	インジウムと錫の酸化物。透明電極材料として用いられている。
スパッタ製膜 スパッタリング	sputtering	基板とターゲットの間に高電圧を印加し、イオン化した Ar をターゲットに衝突させて、はじき飛ばされたターゲット物質を基板に成膜させる製膜方法。
スピコート スピコーティング	spin coating	塗布液を滴下し、基材を高速回転させる事により遠心力で薄膜を構成する装置。
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。
トリフェニルアミン	Triphenylamine	窒素原子にフェニル環が 3 つついた芳香族アミンの 1 種であり(C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>3</sub> N で表される有機化合物。
ビピリジン	bipyridine	フェニルの炭素原子ひとつが窒素原子に置換されたピリジンの 2 量体の芳香族化合物。
ホスホン酸基	phosphonic acid	-PO(OH) <sub>2</sub> で示されるリンのオキソ酸基。

	group	
CIE a*,b*プロット	Chromaticity points on a* b* diagram	国際照明委員会 (CIE) が策定した色空間。L*a*b*モデルの3次元モデルで色を表す。人間の目の反応を擬似したモデル。a*,b*プロットは色度図として利用される。
補色	Complementary color	色相環で対極にある色の組み合わせ。補色同士の混合によって、物体色であれば黒というように彩度の低下を引き起こす色の組み合わせ
ネマチック液晶	Nematic liquid crystal	液晶状態での分子配列構造の1種。電圧印加により、液晶分子の向きを画面に垂直方向に揃えることができる。
バイポーラ	Bipolar	正負両方に出力できること。
閾値	Threshold	反応を起こすための必要最低限の刺激の値。
2Tr1C	2 Transistors and 1 Capacitance	電流駆動のための TFT 画素駆動回路構成のひとつ。選択用トランジスタと駆動用トランジスタと保持容量から構成され、有機 EL ディスプレイ等に利用される。
CAGR	Compound Annual Growth Rate	年平均成長率
NREL	The National Renewable Energy Laboratory	米国の国立再生可能エネルギー研究所
SPD	Suspended Particle Device	米国ベンチャーRFI社が開発した調光デバイス。液滴中に分散させた配向粒子を電圧で制御して透明⇄不透明を制御する調光方式。
フェナジン	phenazine	C <sub>12</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub> で示される複素環式化合物の1種。2つのベンゼン環が中央のピラジン環とそれぞれ1つの炭素-炭素結合を共有して連結した構造を有する。
防眩ミラー	Dimming Mirror	調光により明るさを調節するミラー。自動車のバックミラーなどに採用されている。

凸版印刷

用語（日本語）	English	用語の説明
電気泳動型電子ペーパー	electrophoretic display	溶液中で電荷を帯びた粒子が電界によって移動する電気泳動という現象を用いた電子表示体のことをいう。特に代表的な表示方法が、マイクロカプセル型電気泳動方式と呼ばれるもので、透明なマイクロカプセルの中に帯電した白と黒の粒子があり、印加された電界によりこの白黒粒子が上下に移動することで画像を表示する。マイクロカプセルの中で表示された粒子は電圧を切っても動かないため、液晶などと比較すると画像表示のための電力消費が極めて小さい。
有機半導体	organic semiconductor	半導体としての性質を示す有機材料の総称。一般的に高分子有機半導体と低分子有機半導体に分けられる。一般的に高分子有機半導体は可溶性の材料が作りやすくインクの粘度制御も容易で塗布しやすいが、移動度が $1\text{cm}^2/\text{Vs}$ 以下と低いことが多い。それに対し、低分子有機半導体材料は、移動度は高い(単結晶材料では $40\text{cm}^2/\text{Vs}$ )ものの、可溶性の材料を合成することが難しく、可溶性材料一般的には溶解度や粘度が低く印刷し難いという特徴を持つ。
AFM	atomic Force Microscope	走査型プローブ顕微鏡（SPM）の一種で、試料と探針の原子間にはたらく力を検出して画像を得る。
ステッパーテラス構造	step and terrace structure	結晶表面において観察される1原子以上の段差部位(ステップ)とステップで接続される原子整列部位(テラス)をいう。
オフセット印刷法	offset-printing	版につけられたインキをブランケットと呼ばれる中間転写体に転写(オフセット)した後、被印刷体に印刷する方法。インクを版からゴム等の弾性のある中間転写体へ転写後に被印刷体へ転写するため、被印刷体の硬度や厚みのばらつきに関わらず、弾性体が変形することで均一にインクを被印刷体へ転写することができる。
	blanket	オフセット印刷法においてインクを版から一

ブランケット		度、中間体へ転写した後、被印刷体へ印刷するとき用いる中間体をさす。一般的にシリコンのような樹脂やゴムが使用される。
マイクロコンタクト印刷	microcontact printing	金表面にアルカンチオールのパターンを転写するために1993年、Whitesideらによって提唱された印刷方法。電子製版されたスタンプ凸部表面にインクを塗布し基板に密着することで、フォトリソグラフィー級の精細なパターンが形成できる。
フレキシソ印刷	flexo-printing, or relief printing	樹脂凸版表面に、アニロックスロールと呼ばれるローラーを介してインキを転移・供給し、さらにその版を印刷対象物に押し付けて転写する印刷方式。 アニロックス表面に付き過ぎたインキはドクターブレード等によりかき落され、常に安定した量のインキが版表面へ供給される。段ボールや柔包装材への印刷など広く用いられている。
アニロックスロール	anilox roll	フレキシソ印刷においてドクターチャンバーから供給されるインキを均質に受け取った後に、印刷版へ受け渡す役割を果たすロールのことを言う。一般的には金属でできたロールにセルといわれるインクをためるための精彩なパターンを彫刻する。被印刷体、印刷パターン、インクによってセルの解像度やインクの保有量を最適化する。
版胴	plate cylinder	印刷機において版を取り付けるシリンダー(胴)のことをいう。版胴上に可撓性の版材を巻き付けてロール版として使用する。
親撥処理法	photo-assisted printing, or surface energy controlled method	フォトリソグラフィー法と印刷法を組み合わせた手法。具体的には基材上に感光性の材料を塗布し、その上へ露光機等でマスクを介してパターン露光を行い、親水/撥水のパターンを形成する。そして、親水(新インク)部分にインクジェットもしくは有版印刷でインク供給すると、親水部のみインクが濡れ広がりパターン形成ができる。
インクジェット法	ink jet method	インクジェット法とはノズルより液滴を連続



		的に滴下させ堆積固化させて立体物を生成する方法のこと。
コーヒーリング効果	coffee ring effect	コーヒーが乾燥すると、まるでリングのような染み模様ができる現象。希薄溶液が蒸発する過程では、液滴の中心から縁に向かう流れができるため、円環状に形成される。逆に、比較的濃度が高い液体では乾燥過程で表面から乾燥が始まり、乾燥後に帽子のような形状になる。インクジェット法で形成した薄膜に起こりやすく膜厚の不均一を招く。
グラビアオフセット印刷	gravure offset printing	グラビアオフセット印刷とはグラビア版（凹版）に供給されたインキを版と接触して回転しているゴムロールに転移させ（Off）、更にワークに付着させる（Set）印刷方法。
転写印刷	transfer printing	ブランケット上に精細なインクパターンを形成し、ブランケット上から被印刷体へ転写する印刷方式。オフセット印刷の一種で、ブランケット上へのインクパターン形成方法に種々の方式がある。
スクリーン印刷	screen printing	版にインキを付けて印刷するのではなく、版自体に穴をあけそこからインキを擦りつける印刷方式。
TCP	tape carrier package	テープ状の薄膜フィルムをパッケージとしてシリコンチップを実装する技法のこと。
COF	chip on film	薄く柔軟なフレキシブル基板に換え、ベア・チップをフレキシブル基板にフリップチップボンディングにて実装したもの。
タイリング	tiling	小型のディスプレイをタイルのように並べて大きなディスプレイを作成する技術を言う。狭額縁化等の技術が必要となる。
狭額縁化	slim bezel	液晶パネルを囲む枠（額縁）の幅をより狭くすることである。
ESL	Electronic Shelf Label	電子棚札。小売業などで電氣的に棚札の表示を変えられるディスプレイおよびそのシステムのこと。
RTI	Returnable Transport Item	パレットやカゴ車、プラスチックコンテナなどの循環利用型、繰り返し利用される物流機器の総称

大日本印刷

用語（日本語）	English	用語の説明
HEMS	Home Energy Management System	白物家電、照明機器や太陽光発電装置などのエネルギー機器を、センサによるモニターリングを通じて、エネルギーの見える化や消費の最適制御を行う仕組み。
フォトアシスト印刷		親撥潜像形成に対する塗布工程を用いることで、印刷物の位置精度の補正を行い、アライメント精度を高める印刷手法。
フラッシュランプアニール	flash lamp anneal	高エネルギー短パルスによる電極焼成手法。基板表面の温度上昇を招くことなく電極材料の導電性を確保できるため、プラスチック基板の大きな変形を招くことなく電極形成を可能とする。
グラビアオフセット印刷	gravure offset 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ブランケットと呼ばれる中間転写体に転写(オフセット)した後、被印刷体に印刷する方法。
ACF 接続	Anisotropic Conductive Film Bonding	ACF とは接着剤に導電性粒子を混ぜ合わせてフィルム状に形成した材料であり、ACF 接続とは、異なる FPC の端子部の間に ACF を挟んで熱圧着することで、導電性粒子 を介して端子間を電氣的に接続すると同時に、接着剤の硬化により基板同士を接合する技術。

	<p>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>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>変更履歴</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） 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>

# 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 実施の効果（費用対効果）

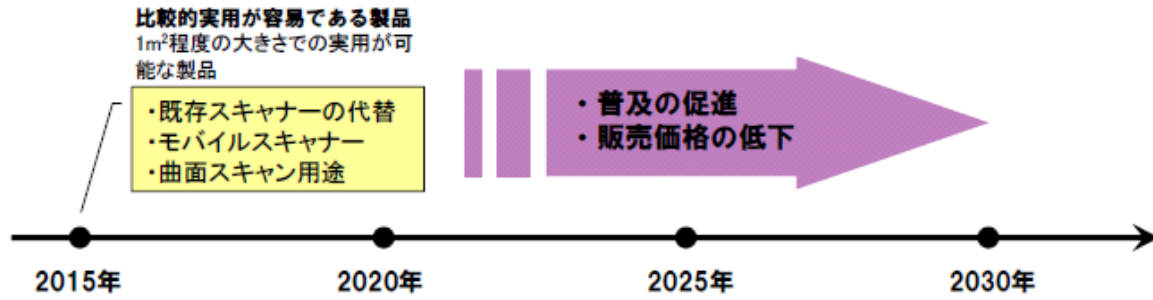
プリントドエレクトロニクスの本格的な実用化が進み、社会へ普及することによってもたされる波及効果を以下で試算する。この試算は、平成 21 年度 NEDO「プリントドエレクトロニクス技術に係わる調査」（委託先：みずほ情報総研株式会社）の調査結果にもとづいている。調査報告書に記載の 2015 年の予想に対して、実際の市場の立ち上がりは遅れており、全体として後ろ倒しの傾向と推測する。一方で、現時点では予測した市場規模には影響がないと考えることから、上述の調査報告書「プリントドエレクトロニクス技術に係わる調査」の内容を波及効果の試算にそのまま採用した。但し、本事業原簿においては調査報告書の「2015 年」の表記を「2015 年以降」とした。

### 1.2.1. 新規市場創出が期待される出口製品による波及効果

プリントドエレクトロニクス技術を用いることによりこれまでにない製品が製造され、それにより新規の市場が創造される「イメージシート」、「電力伝送シート」、「圧力シート」の 3 製品に対して、2015 年以降、2020～2025 年、2030 年の市場規模についてシナリオを仮定し、算定を試みる。

#### (1) イメージシートの将来市場規模

イメージシートの特徴は、大面積のスキヤナを低価格で実現できうる可能性があるとともに、有機トランジスタを用いることによりフレキシブルで曲面のスキヤンが可能となる点にある。そのため、イメージシートに対して応用が期待される用途は、“既存スキヤナの代替”、“モバイルスキヤナ”、“曲面に対するスキヤン”といったものが有力であると考えられる。イメージシートの市場規模算定のシナリオを図 I -1.2-1 のように仮定し、将来市場規模の予測を行う。



- 2015年以降：1m<sup>2</sup>程度のイメージシートを量産可能な技術開発が進み、製品が市場に投入されている状況にあり、各社共に既存のスキャナに加え、イメージシートを用いたスキャナ製品もラインナップされつつある状況である。コスト優位性に優れるイメージシートスキャナは精細度では従来のスキャナに遅れをとるものの、精細度が求められない文書等のスキャンや既存製品では困難であった曲面のスキャンを目的とした用途において従来製品との代替が進みつつある状況を想定。一方、イメージシートスキャナの携帯性の良さからモバイル PC と共に携帯するスタイルがビジネスマンを中心に広がりつつある状況を想定。
- 2020～2030年：市場の成長に伴い、製造コストが下がることにより販売価格の低価格化、技術の進歩により精細度の向上が進み、普及が促進し続けている状況を想定。

図 I -1.2-1 イメージシートの市場規模算定シナリオ

このシナリオの下に、それぞれの年代において以下の普及率、製品単価、および関連製品出荷台数を仮定し、イメージシートの市場規模を算定する。

表 I -1.2-1 イメージシートの市場規模（想定）

年	イメージシートの普及率		製品単価 単価（円）	製品出荷台数		将来市場規模（予測）（億円）
	イメージスキャナ代替	モバイル PC とのセット		イメージスキャナ出荷台数	モバイル PC 出荷台数	
2015以降	20%	30%	20,000	4,120,000	2,540,034	317
2020	50%	70%	10,000	4,620,000	3,556,279	480
2030	100%	100%	5,000	5,620,000	5,588,769	560

## (2) 電力伝送シートの将来市場規模

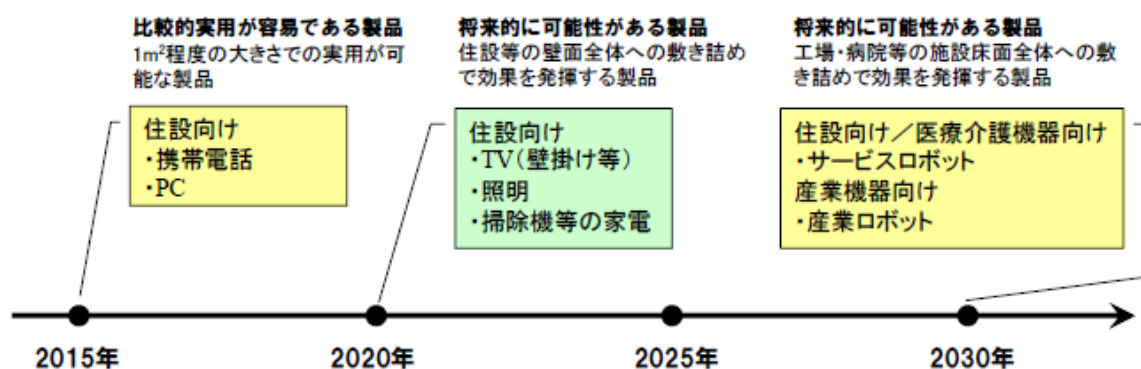
電力伝送に関するニーズは、電気自動車、産業用搬送機器、エレベータ、モバイル携帯機器の充電器、衣料や住設、医療介護機器等の用途で検討されており、電磁誘導方式やマイクロ波を用いた技術などが検討されている（（株）日本テクノセンター「最近

の特許から見た非接触電力伝送用途 100」より)。すなわち、電力伝送のニーズとしては、以下の3点に集約されている。

- ①動かす（移動する）必要のある機器への電力供給
- ②ワイヤレスが付加価値となるデバイスへの電力給電
- ③接触が困難な場所への電力供給

電力伝送シートの特徴は、圧力シートとの組み合わせにより、位置を検知し必要な場所のみ電力の給電が可能であるとともに、大面積化が容易である点にある。これらの“位置検知”、“大面積”の特徴を考慮した場合、電力伝送シートに対するニーズとしては、前出の①および②に対応したアプリケーションへの適用が可能性として高いと考えられる。

そのため、電力伝送シートの市場規模算定のシナリオを図 I -1.2-2 のように仮定し、将来市場規模の予測を行う。



- 2015年以降：1m<sup>2</sup>程度の電力伝送シートを量産可能な技術開発が進み、製品が市場に投入されている状況にあり、一般家庭の機能性テーブルクロスとして実用化され、携帯電話やモバイルPCへの給電用途として普及しつつある状況を想定。
- 2020年：製品の大幅面積化・低コスト化が進み、住設等の壁面全体への敷き詰めが可能となっている状況にあり、住宅の機能性壁紙として実用化され、TV（壁掛け等）、照明、掃除機等の家電への給電用途として普及しつつある状況を想定。
- 2030年：更なる製品の大幅面積化・低コスト化が進み、工場・病院等の床面全体への敷き詰めが可能となっている状況にあり、産業用ロボットや医療向けサービスロボットへの給電用途として普及しつつある状況を想定。

図 I -1.2-2 電力伝送シートの市場規模算定シナリオ

このシナリオの下に、それぞれの年代において以下の普及率、製品単価、および製品出荷面積を仮定し、電力伝送シートの市場規模を算定する。



表 I -1.2-2 電力伝送シートの市場規模（想定）

年	電力伝送シートの普及率			製品単価 単価（円）	製品出荷面積（百万 m <sup>2</sup> ）			将来市場 規模（予 測）（億 円）
	机上へ の普及	住宅壁 面への 普及	工場・病 院への 普及		机上	住宅	工場・ 病院	
2015 以降	3%	0%	0%	15,000	98	4,655	40	441
2020	10%	0.5%	0%	10,000	98	4,940	43	3,450
2030	30%	1.2%	50%	5,000	98	5,225	47	5,780

### (3) 圧力シートの将来市場規模

プリントドエレクトロニクスを用い製作した圧力シートの特徴は、安価に大面積の圧力測定が可能な点にあり、“住設やオフィスのセキュリティ”、“ロボットの触覚検知”、“障害者向け義肢”といった用途に対応したアプリケーションへの適用が可能性として高いと考えられる。そのため、圧力シートの市場規模算定のシナリオを図 I -1.2-3 のように仮定し、将来市場規模の予測を行う。

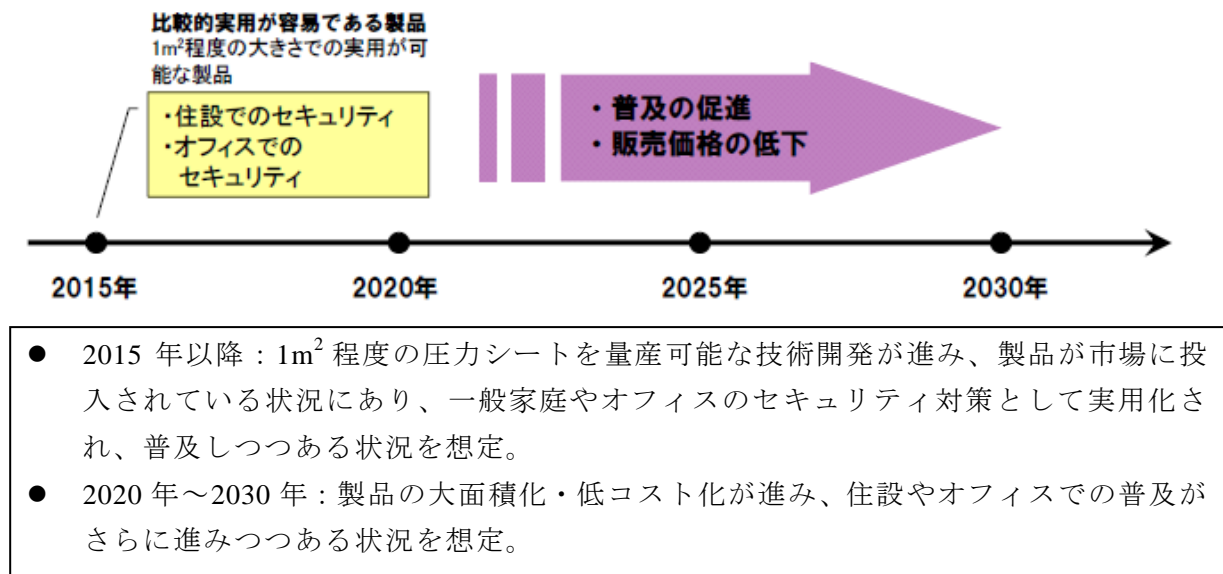


図 I -1.2-3 圧力シートの市場規模算定シナリオ

このシナリオの下に、それぞれの年代において以下の普及率、製品単価、および製品出荷面積を仮定し、圧力シートの市場規模を算定する。

表 I -1.2-3 圧力シートの市場規模（想定）

年	圧力シートの普及率		製品単価 単価（円）	製品出荷面積（百万 m <sup>2</sup> ）		将来市場規模 （予測）（億円）
	住設への普及	オフィスへの普及		全世帯面積	オフィス面積*	
2015以降	0.3%	10%	10,000	4,655	78.187	1,713
2020	0.7%	20%	7,000	4,940	78.187	2,824
2030	2.0%	40%	3,000	5,225	78.187	3,289

\*オフィス面積については「JREI オフィスビル調査」より引用。調査の対象地域は東京23区及び政令指定都市

#### (4) まとめ

設定したシナリオのもとでは、電力伝送シートが将来的（2030年頃）に約6,000億円規模の市場を創出し、圧力シートも約2,500億円規模の市場を創出することが期待される。これらの3製品（イメージシート、電力伝送シート、圧力シート）のトータルでの市場創出効果としては、2030年頃を目処に約9,000億円規模の市場の創出が期待される。結果となった。

### 1.2.2. プロセス代替が見込まれる出口製品がもたらす波及効果

プリントドエレクトロニクス技術が適用される可能性が高い出口製品に対して波及効果を算定する。その際、(1)「生産プロセスにおけるエネルギー削減効果」と(2)「出口製品の使用によるエネルギー削減効果」に分けて試算した。

なお、プリントドエレクトロニクス技術を活用した出口製品は、太陽電池、ディスプレイ、照明、タッチパネル、電子ペーパー、デジタルサイネージ、プリント基板等多岐にわたる。既存製品にプリントドエレクトロニクス技術を応用する場合は生産プロセスの省エネが大きく寄与し、開発中の製品であれば製品使用による省エネが大きく寄与する。よって、本試算では、前者として太陽電池、ディスプレイ、後者としてデジタルサイネージを取り上げた。

#### (1) 「生産プロセスにおけるエネルギー削減効果」

##### ①太陽電池

[シナリオ]

プリントド太陽電池としてはCIS系が最も大きくなると予想されることから、多結晶シリコン系がCIS系に置き換わるときの製造時エネルギー効果として試算。

\*CIS太陽電池：高価なシリコンのかわりに、銅（Cu）、インジウム（In）、ガリウム（Ga）、セレン（Se）を使う太陽電池。

[前提等]

- ・プリンテッド太陽電池の普及率：10%（2020年）  
→プリンテッド太陽電池の年間出荷面積は2,679千m<sup>2</sup>/年
- ・多結晶シリコン系の製造に伴うCO<sub>2</sub>排出量 135.2kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>
- ・CIS系の製造に伴うCO<sub>2</sub>排出量 67.52kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>

[CO<sub>2</sub>削減量]

$$(135.2 - 67.52) \text{ 【kg-CO}_2\text{/m}^2\text{】} \times 2,679 \text{ 【千m}^2\text{/年】} / 10^4 \\ = \underline{18.1 \text{ 【万t/年】}} \text{ (2020)}$$

[2020→2030への伸び]

上記試算の内、プリンテッド太陽電池の普及率は10%（2020年）→18%（2030年）。  
よって、CO<sub>2</sub>削減量は  $18.1 \times 18 / 10 = \underline{32.6 \text{ 【万t/年】}} \text{ (2030)}$

## ②ディスプレイ

[シナリオ]

ディスプレイの中で、有機ELディスプレイにプリンテッドエレクトロニクス技術が使われることから、将来、液晶ディスプレイが有機ELディスプレイに代替されていく際に、有機ELディスプレイの工程数が従来工程よりも少なくなるものとして、製造時エネルギー効果として試算。

[前提等]

- ・ディスプレイ市場見込み：70億台（2020年）
- ・有機ELディスプレイの普及率：15%（2020年）  
→プリンテッドディスプレイの年間出荷面積は7,050千m<sup>2</sup>/年。  
（有機ELディスプレイが全てプリンテッド製品になると仮定）
- ・従来の液晶ディスプレイ製造に伴うCO<sub>2</sub>排出量 50.76kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>
- ・プリンテッドによる工程数の削減率（＝エネルギーの削減率）1/2（企業ヒア）

[CO<sub>2</sub>削減量]

$$50.76 \text{ 【kg-CO}_2\text{/m}^2\text{】} \times (1/2) \times 7,050 \text{ 【千m}^2\text{/年】} / 10^4 \\ = \underline{17.9 \text{ 【万t/年】}} \text{ (2020)}$$

[2020→2030への伸び]

上記試算の内、  
・ディスプレイ市場見込みは70億台（2020年）→114億台（2030年）  
・有機ELディスプレイの普及率は15%（2020年）→55%（2030年）  
よって、CO<sub>2</sub>削減量は  $17.9 \times (114/70) \times (55/15) = \underline{106.8 \text{ 【万t/年】}} \text{ (2030)}$

## (2) 「出口製品の使用によるエネルギー削減効果」

### ① デジタルサイネージ

[シナリオ]

液晶ディスプレイ型のデジタルサイネージが電子ペーパー型のデジタルサイネージに代替していくことによる省エネ効果を試算。

[前提等]

- ・ デジタルサイネージの稼働台数 (2020年) → 407万台  
(駅やスーパー等の施設に施設1カ所あたり平均10台のデジタルサイネージを設置)
- ・ 電子ペーパー型のデジタルサイネージの普及率: 50% (2020年)
- ・ 液晶ディスプレイ型デジタルサイネージのCO<sub>2</sub>排出量  $2.1 \times 10^{-5} \text{kg-CO}_2/\text{cm}^2/\text{h}$
- ・ 電子ペーパー型デジタルサイネージのCO<sub>2</sub>排出量  $1.0 \times 10^{-7} \text{kg-CO}_2/\text{cm}^2/\text{h}$
- ・ 年間稼働時間 2000h/年
- ・ デジタルサイネージのサイズ 6,891cm<sup>2</sup>[50型]

[CO<sub>2</sub>削減量]

$$407 \text{【万台】} \times 0.5 \times (2.1 \times 10^{-5} - 1.0 \times 10^{-7}) \text{【kg-CO}_2/\text{cm}^2/\text{h}】 \\ \times 2000 \text{【h】} \times 6891 \text{【cm}^2】 \div 10^3 \text{【単位変換】} = \underline{59 \text{【万t/年】}} (2020)$$

[2020→2030への伸び]

上記試算の内、

- ・ 1施設あたりデジタルサイネージの平均設置数10台 (2020年) → 30台 (2030年)
  - ・ 電子ペーパー型のデジタルサイネージの普及率50% (2020年) → 75% (2030年)
- よって、CO<sub>2</sub>削減量は  $59 \times (30/10) \times (75/55) = \underline{263.8 \text{【万t/年】}} (2030)$

### 1.2.3. プリンテッドエレクトロニクスによる波及効果のまとめ

前述した試算を積算して、2020年と2030年のCO<sub>2</sub>削減量は以下となる。

$$(2020 \text{年}) \quad 18.1 + 17.9 + 59 = 95 \text{ 万 t/年}$$

$$(2030 \text{年}) \quad 32.6 + 106.8 + 263.8 = 403.2 \text{ 万 t/年}$$

#### 1.2.4. 経済効果と新規雇用創出効果

プリントエレクトロニクスを活用した出口製品が実用化されることにより、新規の市場や既存プロセスの代替が起こり、それに伴い新規雇用が創出されることが考えられる。市場の創出効果をもとに新規雇用創出の効果の試算を行った結果を示す。プリントエレクトロニクスを活用した出口製品の 2020 年の国内市場予測を基に、プリントエレクトロニクスの普及率を積算して経済効果を算出し、またその効果から雇用創出可能な人数を算出した。以下に一覧を示す。全体として、経済効果が 2.2 兆円、雇用創出効果が 3.9 万人と算出された。なお、本プロジェクトで開発している電子ペーパー関連（電子書籍、デジタルサイネージ）だけでも経済効果が約 6000 億円になると試算された。

表 I -1.2-4 経済効果及び雇用創出効果

対象製品	国内市場 (億円)	普及率 (%)	経済効果 (億円)	雇用創出 効果 (人)
太陽電池	21,204	10	2,120	3,634
ディスプレイ	35,991	15	5,399	9,256
照明	1,004	50	502	861
タッチパネル	3,925	30	1,178	2,021
プリント基板	7,640	25	1,910	3,274
電子書籍	2,522	100	2,522	4,324
デジタルサイネージ	6,624	50	3,312	5,678
イメージシート			480	823
圧力シート			1,824	3,127
電力電送シート			3,450	5,915
合計			22,697	38,913

## 2. 事業の背景・目的・位置付け

### 2.1 事業の背景

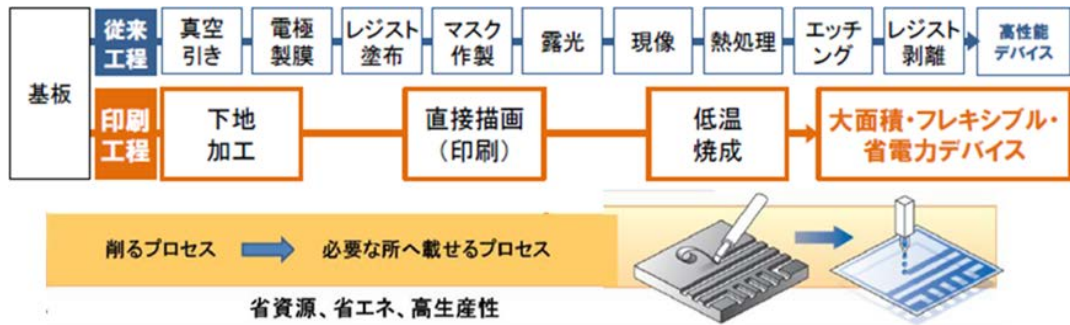
我が国のエレクトロニクス産業は 1990 年代以降、韓国、台湾といったアジア諸国との激しいコスト競争に見舞われ、そのシェアを大きく奪われた。このようなアジア諸国の台頭は、新興国の技術的キャッチアップもさることながら、圧倒的なコスト優位性と、現在のエレクトロニクス産業の特徴の相乗効果でもたらされているところが大きい。コスト競争で優位性を見出すことが困難な我が国では、ハイエンド製品への注目度が増しており、先端技術開発に力が注がれてきた。その結果、我が国のエレクトロニクス関連の技術力は世界での上位水準を維持しているが、アジアや欧米に対して我が国が優位性を取り戻すためには、コスト競争を避け、かつ欧米の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

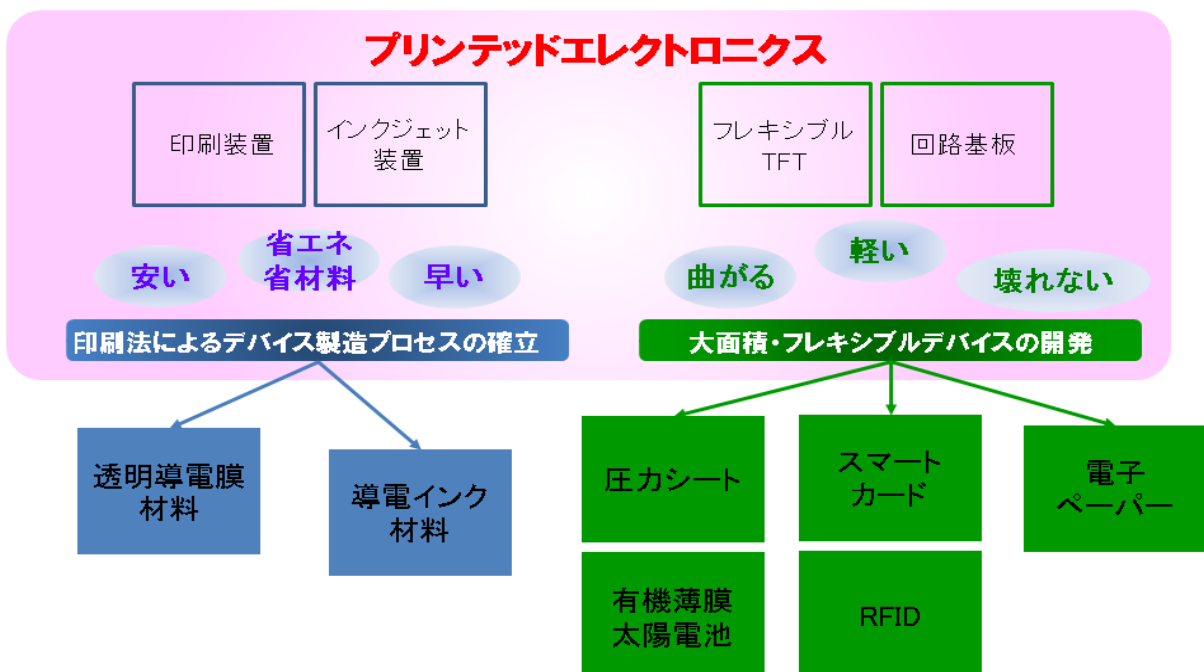


図 I -2.1-2 プリンテッドエレクトロニクスによって波及が期待される製品・サービスの例



## 2.1.2 プリンテッ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）におけるプリンテッ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）の国内外のプリンテッ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 -2.1-3 に示す。

#### [欧州]

プリンテッ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、プリンテッ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。その他のプリンテッ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、プリント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ト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、本プロジェクトでは前回の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にて実用化を中心とした技術開発を行うことを決定している。現在は、モデルデバイスを設定して、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する予定である。

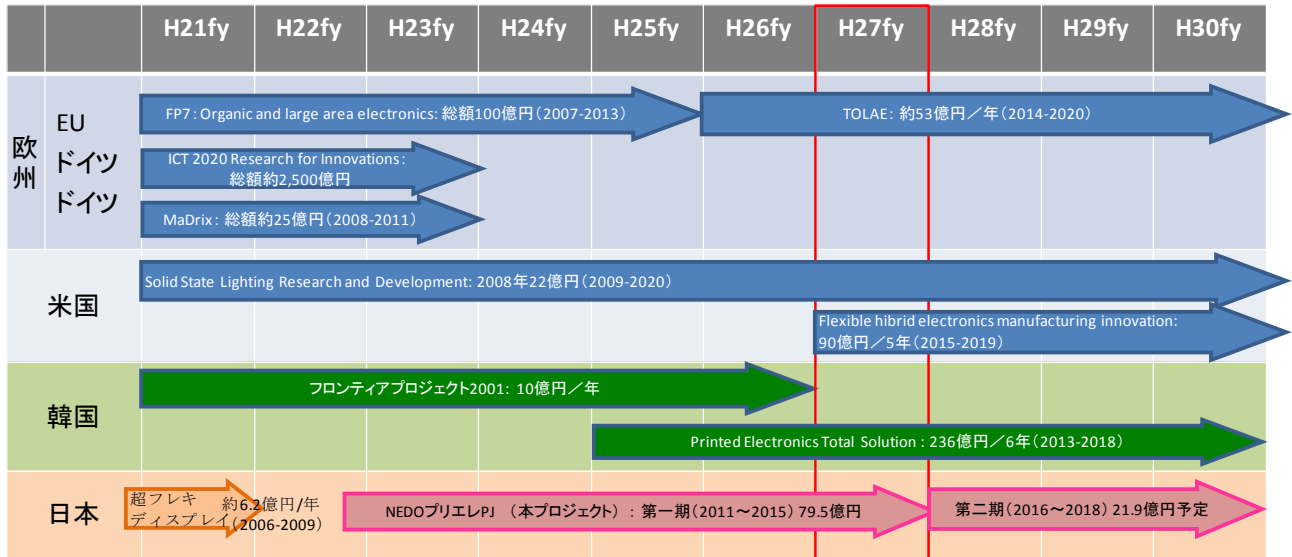


図 I -2.1-3 プリンテッドエレクトロニクスに関連する国内、海外における主要な国家プロジェクト

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 <ul style="list-style-type: none"> <li>・電子ペーパー</li> <li>・電子配線</li> <li>・材料を中心とした太陽電池</li> <li>・バイオセンサ関連の特許出願を有する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・トランジスタ</li> <li>・薄膜二次電池</li> </ul>
三菱化学	有機半導体材料の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電子感光体材料（電子ペーパー）</li> <li>・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</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>
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。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・カーボンナノ構造（ディスプレイ）</li> <li>・金属ナノ粒子の分散液を用いた配線技術</li> <li>・薄膜太陽電池</li> <li>・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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・金、銀、銅などの金属ナノ粒子インク、ITO ナノ粒子インク</li> <li>・産業用インクジェット装置</li> </ul>
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・フレキシブルディスプレイ用位相差フィルム</li> <li>・配線用パターン</li> <li>・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</li> <li>・二次電池材料等に多く特許を有する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・トランジスタ</li> <li>・メモリ</li> <li>・センサ</li> </ul>
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・FPD のパネル基板、有機 EL パネル</li> <li>・発光装置</li> <li>・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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ディスプレイ</li> </ul>
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> <li>・プラズマディスプレイパネル用基板及びその製造法</li> <li>・多層プリント配線板の製造方法</li> </ul>	<p>下記製品等の材料開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・プリント基板</li> <li>・ディスプレイ</li> <li>・太陽電池</li> <li>・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</li> </ul>

			イングペースト、アンダーフィル材、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 名を超えるの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<sup>\*1)</sup>

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 <sup>*2)</sup> 。	<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 <sup>*3)</sup> 。	—	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 <sup>*4)</sup> 。	—	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\\_itri\\_00001788.asp?sessionid=1](http://www.printedelectronicsworld.com/articles/progress_in_taiwan_e_readers_and_developments_at_itri_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」Business Media、2006、<http://bizmakoto.jp/bizmobile/articles/0612/18/news068.html>
- \*5) 「International launch 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>モニターセルギャップ: 3.2<math>\mu</math>m</li> <li>動作電圧: 4V</li> <li>動作速度: 10ms<math>\sim</math>20ms(モニター向け、2007年)<sup>*2)</sup></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>プ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 <sup>*3)</sup>	—
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% <sup>*4)</sup>	—
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 II 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	EU	○ ・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	○ 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	◎
		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	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 -2.1-4 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 -2.1-4 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、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」の資料1-3「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（P108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」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」



**□ 平成27年度科学技術重要施策アクションプラン(平成26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2015(平成27年6月19日)**

P38 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(平成22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(平成23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。

#### (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 400 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）。

なお、2016 年度から 2018 年度までに実施するフレキシブルデバイス及び印刷製造プロセス開発の研究開発内容については別途策定する。

## 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」

### (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  $0.3\text{MHz}$  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。



## 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む。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」に取り組む。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する。

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。

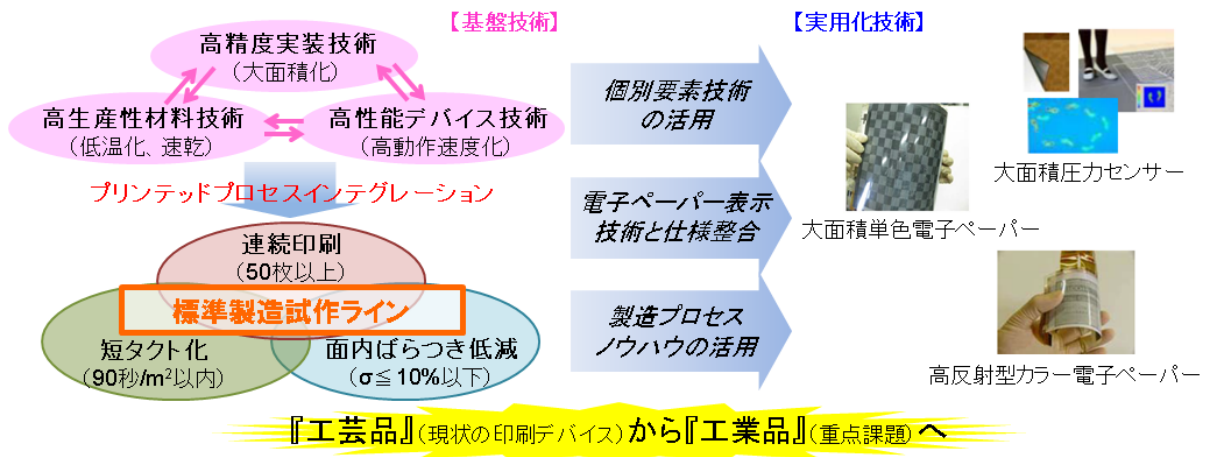


図 II-2.1-1 本プロジェクトの取り組み概要

## 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

\*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。

##### 《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」

《研究開発の必要性》

プリント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化・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 $\mu$ 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、メートル級の大面积 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。

### 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、大面积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) 大面积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) 大面积圧力センサの開発

連続印刷技術、短タクト化技術、大面积化技術等、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（大面积）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



年度	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
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	小規模ラインの構築	フレキシブルTFT試作	高性能フレキシブルTFT試作・検証					
		ばらつき低減技術の開発/位置補正検証/連続生産のためのプロセス課題抽出	連続生産技術の開発	TFTアレイの信頼性評価方法の開発				
②高度TFTアレイ印刷製造のための材料・プロセス技術開発		上記研究テーマで開発する製造プロセスの高度化を図るための技術開発(位置合わせ精度の向上、プロセス温度の低温化)						
		大面積TFTアレイの連続製造プロセスの検討						
⑤印刷技術による高速連続生産技術開発						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		
③-(1)電子ペーパーに係る基盤技術開発	TFTアレイと表示部の接合課題の課題抽出							
④-(1)フレキシブルセンサに係る基盤技術開発	TFTアレイとセンサ部の接合課題の課題抽出							
③-(2)高反射型カラー電子ペーパーの開発		カラー電子ペーパー試作・検証(高度化・フレキシブル化)					企業での実用化	
	材料開発、駆動条件検討		材料最適化、性能改良					
③-(3)大面積軽量単色電子ペーパーの開発		単色電子ペーパー試作・検証(大面積化)					企業での実用化	
	連続印刷技術の課題抽出		量産化技術の開発					
④-(2)大面積圧力センサの開発			圧力センサ試作・検証(大面積化)				企業での実用化	
	素子開発		大面積化技術の開発					

図 II -2.1-2 研究開発スケジュール

図 II -2.1-2 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。

プロジェクトの予算推移を表 II -2.1-2 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るとともに、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。

表Ⅱ-2.1-2 研究開発の予算推移と予算配分の内訳（単位：百万円）

		H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30
委託	本予算	—	104	387	681	684	695	(730)	(730)	(730)
	補正予算	2,100	1,345	—	—	—	—	—	—	—
	加速追加	—	—	—	—	454	93	—	—	—
助成	本予算	—	120	13	265	204	135	(他助成事業を活用)		
	補正予算	—	639	—	—	—	—	—		
	加速追加	—	—	—	—	—	27	—		
		第一期						第二期		

## 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。

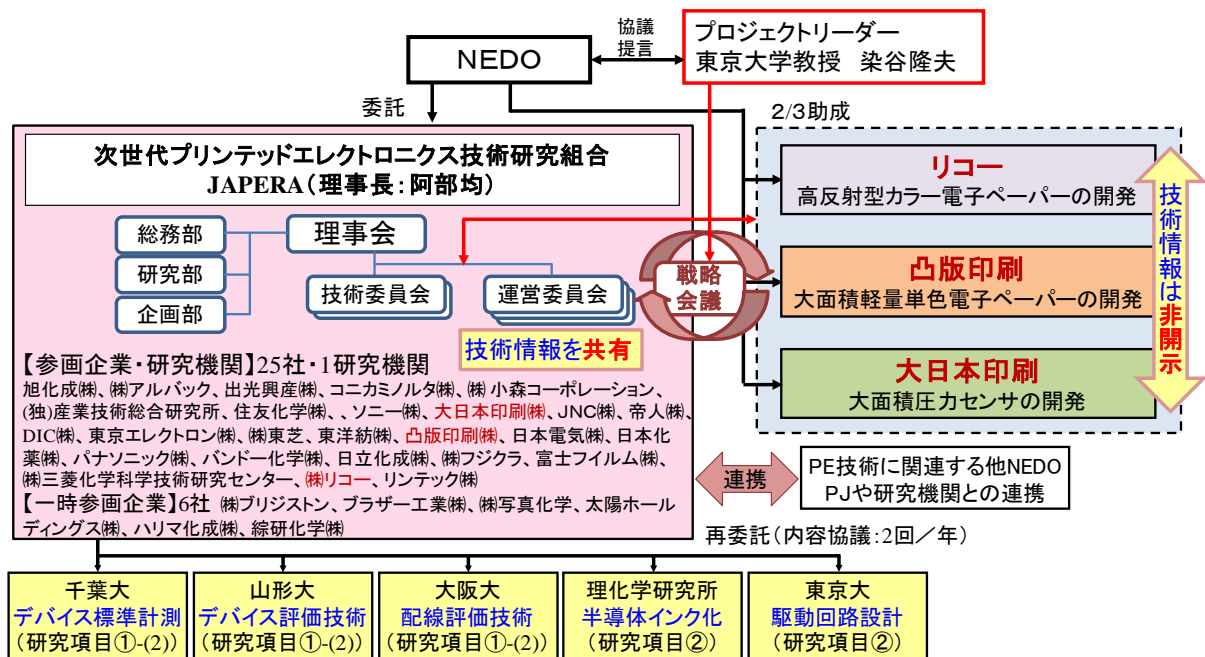


図 II-2.2-1 研究開発の実施体制

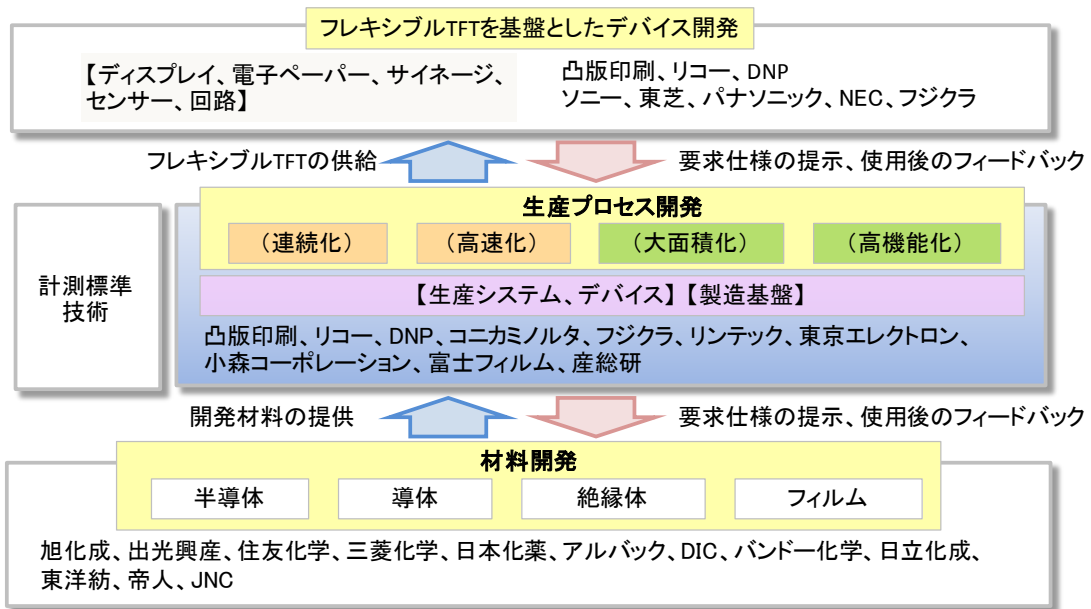
助成事業では各社の事業戦略に基づいた研究開発を実施しているため、各社が実施している開発内容等の技術情報については相互に非開示としている。一方、委託事業と助成事業の間では、プロジェクト全体として効果的に成果を獲得するため、事業全体の進捗状況や問題点等を把握し、研究開発内容の調整等を行う必要があり、PLによる統括のもとで委託事業の代表者と助成事業の代表者らで構成される戦略会議を定期的に開催しており、事業者間で連携をとりながら事業を推進している。また 25 企業、1 研究機関の組合員で構成される JAPER A では組合企業の役員らをメンバーとする理事会を中心として、活動の基盤となる総務部、研究部、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。



- 組合企業間で緊密な意思疎通が図れるよう集中研方式によって研究開発を推進
- 各企業が得意とする技術領域を担当し、個別企業ではカバーしきれない技術を相互に補完

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。

## 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、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

#### (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) とともに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 (JBMIA) 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(JBMIA)

- 電子オフィス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。

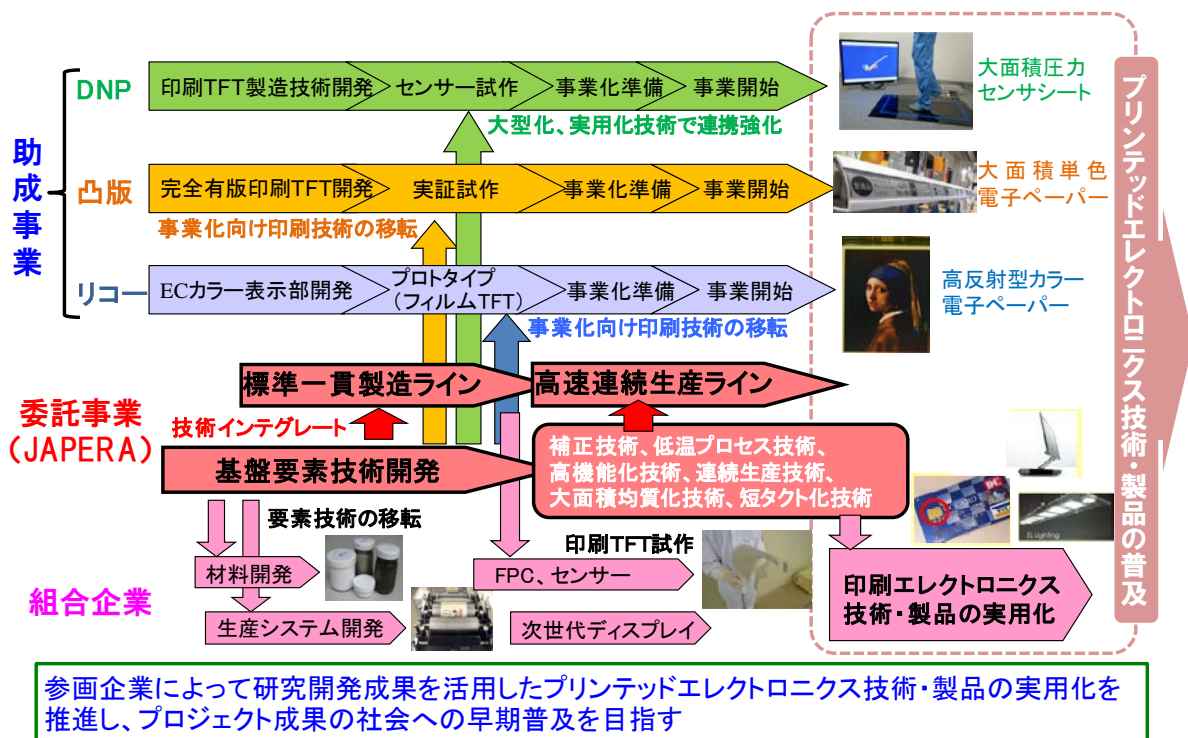


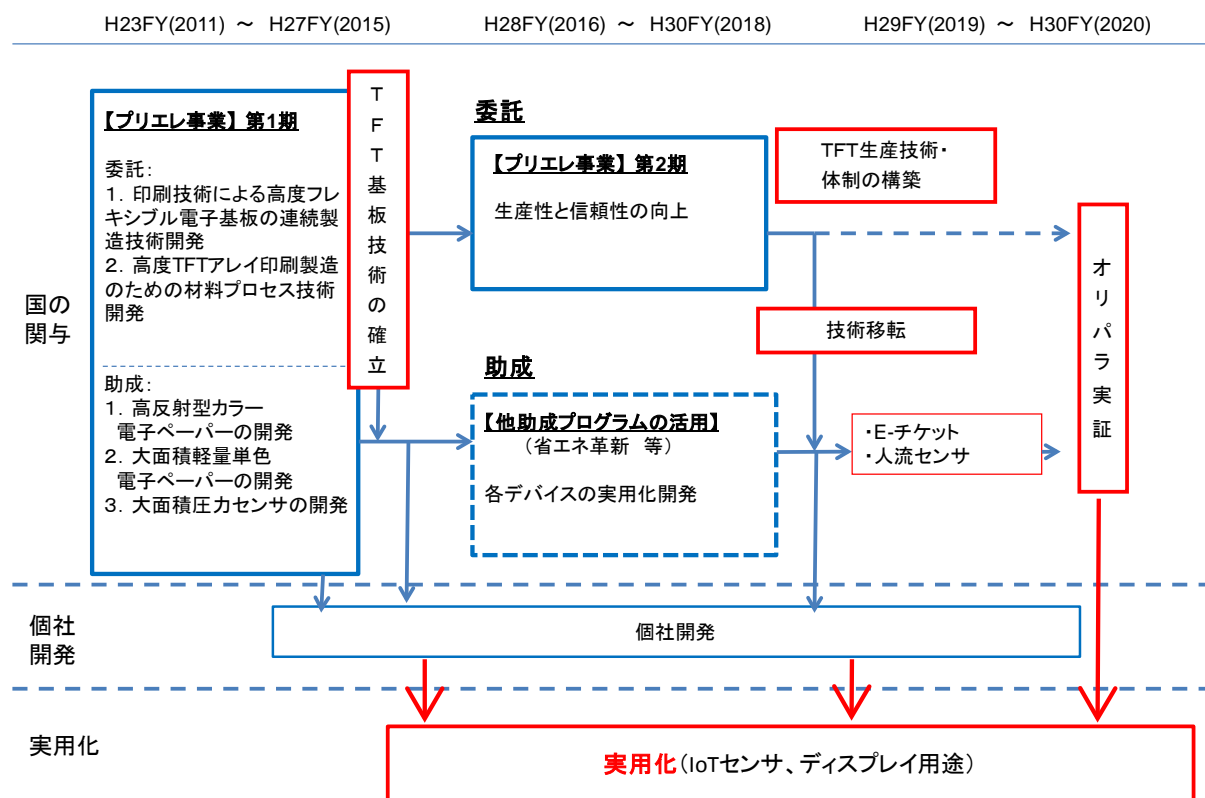
図 II-2.4-1 本プロジェクトにおける研究開発成果の活用（実用化展開）イメージ

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テッ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て、第二期プロジェクトの公募に係る基本計画に盛り込む予定である。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。

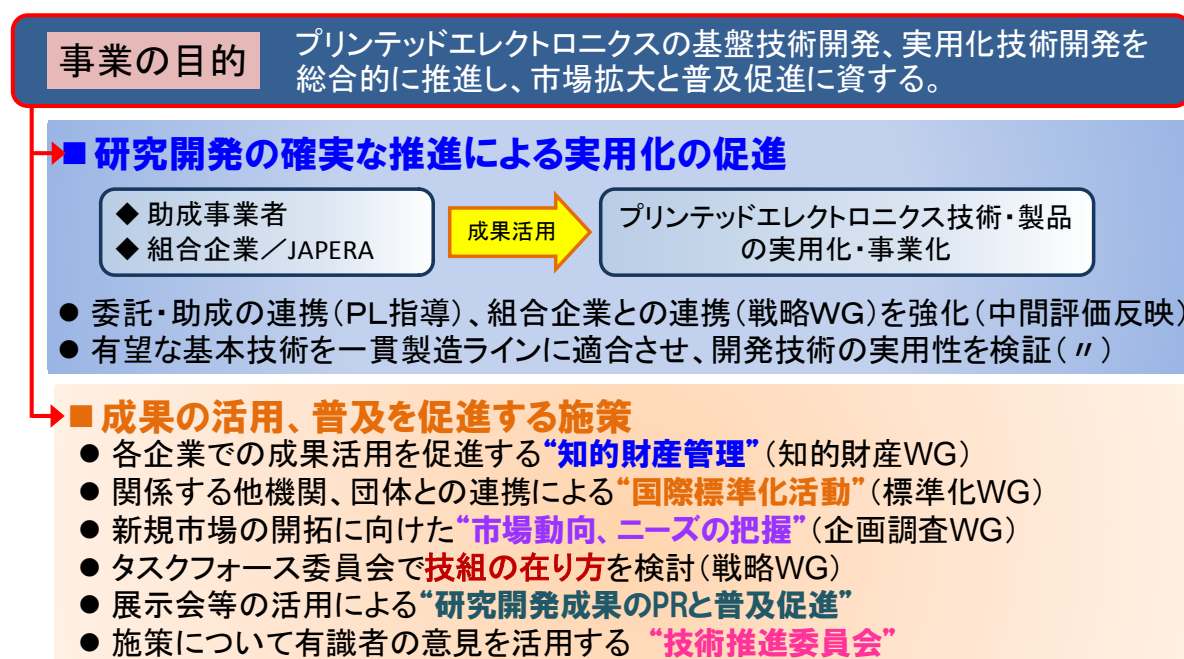


図II-2.4-2 本プロジェクトにおける第二期の位置付け

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いない。プリンテッ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る。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予定である。

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、開発成果を助成事業者や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“国際標準化活動”(標準化 WG)、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。

これに加え、実用化技術開発を中心とした第二期プロジェクトをにらんで、各企業とタスクフォースとの形で議論している戦略 WG を新設し、さらに有識者の意見を活用するための技術推進委員会を実施し、新たなプロジェクトの基礎固めを行っているところである。

さらに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、プロジェクト成果やプリントド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ド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てきた。

## ■ 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

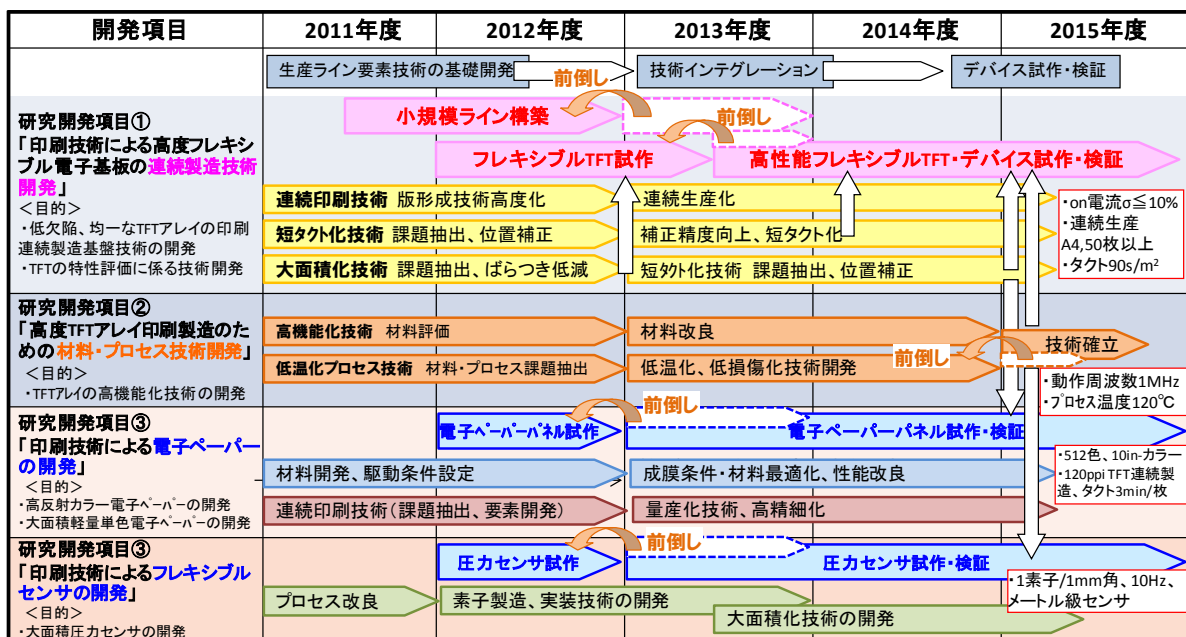
Nanotech展<sup>(2013,2014,2015)</sup>、IEC<sub>2014</sub>展、CEATEC展<sup>(2014,2015)</sup>、SEMICON<sub>2014</sub>展



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

### 3. 情勢変化への対応

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。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。



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、プリントド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、プリンテッド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

#### 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



## 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 5-1）。

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迅速に行うものとする。

第二期プロジェクトの事後評価は平成 31 年度に実施する。なお、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。

### Ⅲ. 研究開発成果について

#### 1. 事業全体の成果

##### 1.1 研究開発成果の概要

本プロジェクト第一期では、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、製造デバイス機能の高度化及び評価標準化の推進等に資する基盤技術開発を行うとともに、市場拡大・普及促進等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要素技術を確立することを目的として、印刷法を用いたフレキシブル電子基板生産基盤技術およびフレキシブルデバイス技術の開発を行うものである。

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状況となっている。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、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、問題とされている。

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などのフレキシブルデバイス技術の確立を目指す。

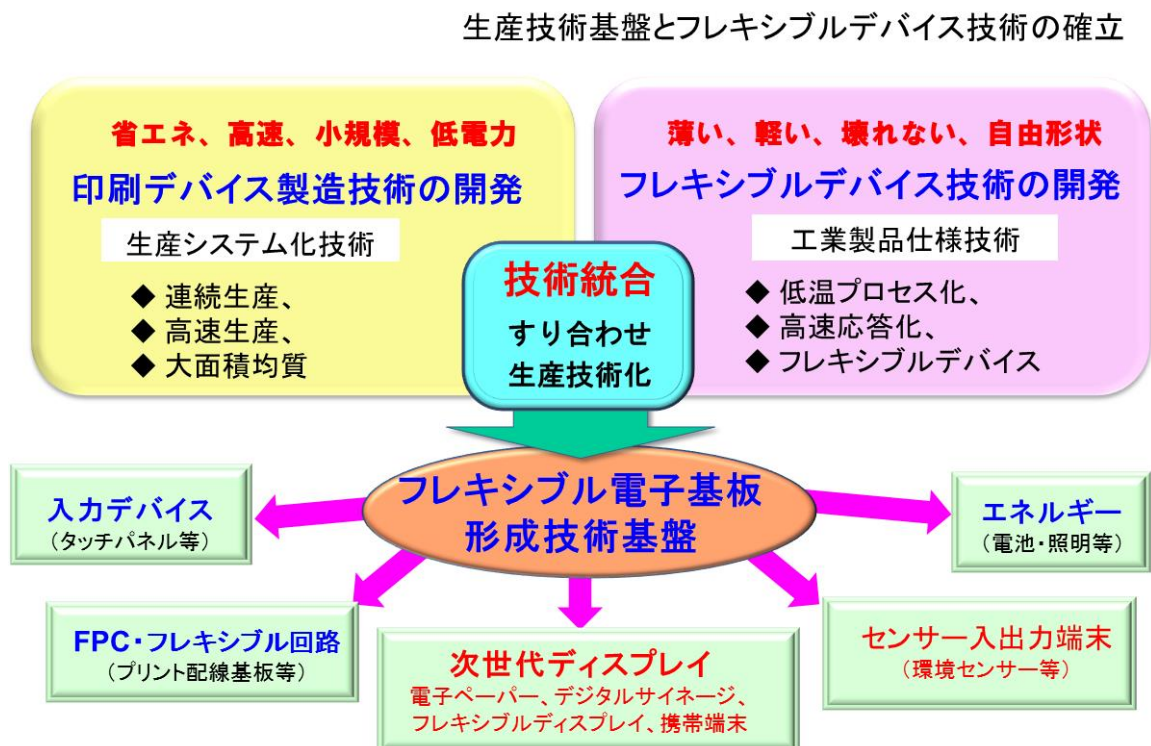
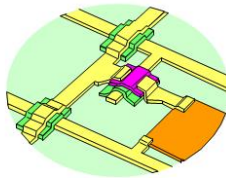
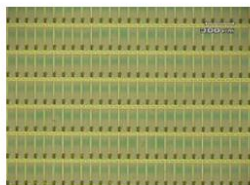


図 Ⅲ-1.1-1 研究開発の狙い

印刷デバイス製造技術の開発に当たっては、生産システムとして活用可能とするために、連続生産化技術、高速生産化技術、大面積生産化技術の開発などが主要な技術課題となってくる。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が、本研究開発では、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む。これは、TFT 印刷技術が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、技術集積化を実現するために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。ここでは、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、様々な電子回路基板、電子部品等に適用される技術としての確立を図るものである。

### ◆ 研究開発課題の位置づけ



TFT印刷製造技術は、プリントドエレクトロニクス技術の主要課題を包含する基盤テクノロジー

#### TFT印刷形成の主要課題

- ◎ 高精細パターニング
- ◎ 高精度アライメント
- ◎ 高均一パターン形成
- ◎ 半導体薄膜品質制御
- ◎ 低抵抗配線形成
- ◎ 高絶縁性薄膜形成
- ◎ 積層膜形成
- ◎ 高生産性印刷



- TFT駆動ディスプレイ
- TFT駆動センサ
- デバイス実装
- 電子配線印刷形成
- 電極印刷形成
- 電子部品印刷形成

図 III-1.1-2 研究開発課題の位置づけ

上記目的と達成するために、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」

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」

ここで、研究開発項目①と②が、フレキシブル電子基板形成基盤技術に関する課題で、研究開発項目③と④が、フレキシブルデバイス技術に関する課題である。それぞ

れの課題の相互関係を図Ⅲ-1.1-3に示す。全体として、デバイスの性能とその製造における生産性とが両立する技術として仕上げる課題構成となっている。

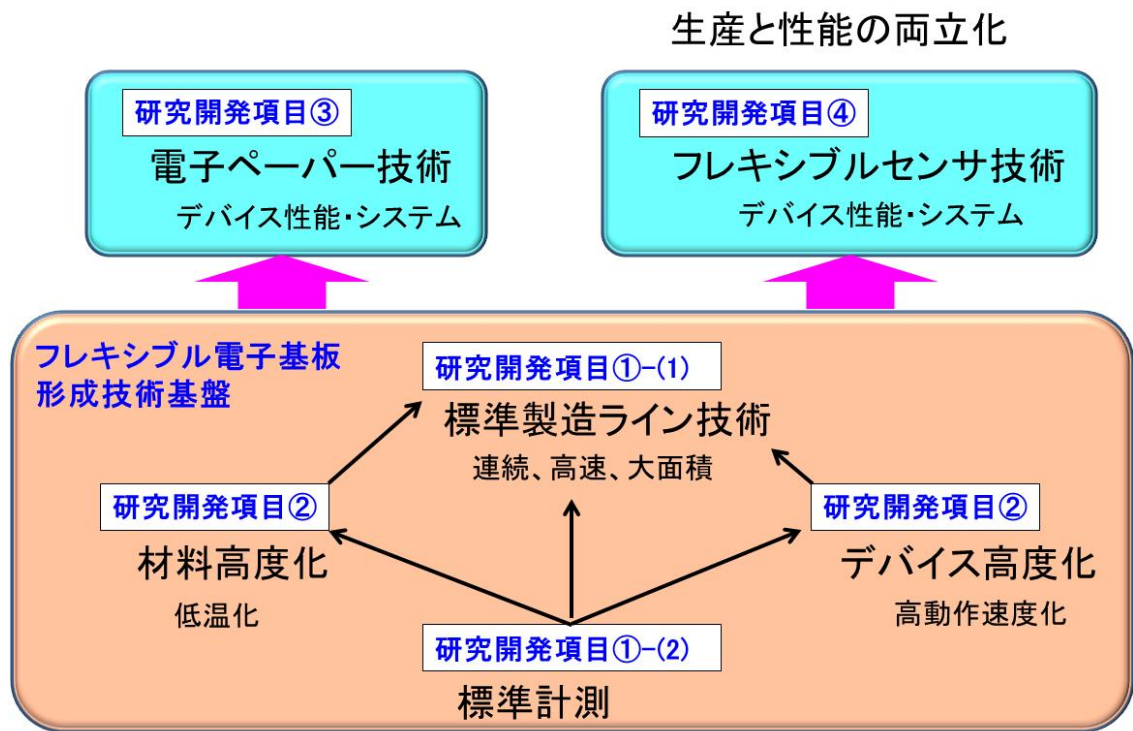


図 Ⅲ-1.1-3 研究開発課題の位置付け

本プロジェクト第一期において、上記4つの研究開発項目に取り組んできた結果、いずれの研究開発項目においても、平成25年度の間中チェック時点で中間目標を全て達成し、平成27年度の間中チェック時点においても、計画通りあるいは一部目標以上の成果を上げることが出来た。

## 1.2 研究開発項目毎の成果と目標の達成度

研究開発項目①、②、③、④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-1.2-1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-1.2-1 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	課題解決の方針
<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 【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 <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>＜開発成果＞</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・高度制御 II 成膜技術を開発することにより、on 電流の面内ばらつき <math>\sigma \leq 10\%</math> を実現</li> <li>・高速フレキシブルアライメント技術等を開発することにより、タクト:90 秒/m<sup>2</sup>以下を実現</li> <li>・高精細完全転写技術、生産ライン技術を開発することにより、A4 サイズの TFT アレイの 50 枚連続製造を実現</li> </ul> <p>＜成果の意義＞</p> <p>① 大面積のフィルムの歪みに追従補正する、マルチノズルインクジェットヘッドの制御は<b>世界初</b>機構。これにより、規則的なパターンへの高速高精度塗布を可能にした。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・インクジェットの液滴着弾時に即時乾燥制御する機構は<b>世界初</b>。これにより、インクジェットでの成膜品質の制御を可能にした。</li> <li>・これらにより開発した技術を、全印刷全自動一貫連続製造ラインに導入し、生産ラインにおいても高均質成膜が可能なことを実証した（全自動連続一貫全印刷で<b>世界初</b>）。</li> </ul>	<p>達成</p> <p>達成</p> <p>達成</p>	

		<p>② 高速で支持板無しフレキシブル基板上に高精度アライメントを実現するフレキシブルアライメント機構は<b>世界初</b>。支持板無しフレキシブル基板上でのアライメント精度は<b>世界最高</b>。これらにより、高速生産のボトルネック点の一つである、高精度高精細位置合わせ工程に対して、高速化の実現に目処をつけることとなった。</p> <p>③ 完全転写可能なフレキシブル樹脂版の解像度は<b>世界最高</b>。高精細樹脂版に、転写箇所のみインキングする機構（高材料使用効率機構）は<b>世界初</b>。</p> <p>《その他特筆成果》</p> <p>① 全自動全印刷フレキシブル TFT 連続一貫生産ラインを構築した（<b>世界初、良品率 99%達成</b>）。これにより、生産性と性能の両立条件を評価する手段を得、ビジネス展開を実現するための指標を与えることとなった。</p> <p>② 装置の大幅な小型化を実現させる回転ステージでの連続印刷技術の開発とその装置化に成功（加速予算課題）。回転型シート搬送によるエレクトロニクス印刷の実現は<b>世界初</b>。これにより、装置小型化による初期設備投資の大幅な軽減と、ロール to ロール印刷システムへの展開にも目処がつけられるようになった。</p>	
--	--	---	--

研究開発項目	目標	研究開発成果	達成度	課題解決の方針
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」	(2) TFT に特有の特性評価に係る技術開発 <b>【最終目標（平成 27 年度末）】</b> 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。	<b>《開発成果》</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・印刷製造 TFT の動作信頼性要因の解析手法を開発</li> <li>・印刷製造 TFT の機械的強度信頼性評価、要因の解析手法を開発</li> <li>・信頼性標準書を作成</li> </ul> <b>《成果の意義》</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・統一基準での材料性能比較を可能にした。これにより、<b>世界中からの材料調達、性能スクリーニングを可能</b>にし、材料優位性の判断を可能にした。また、生産システムで製造された実アレイ素子の信頼性評価手法を整備し、<b>製品化に資する評価基準を整備</b>することができた。標準評価書の整備は、業界標準、国際標準など、工業標準としての提案準備を整えることができた。<b>標準戦略に基づいて、適切なタイミングで提案</b>をおこなっていく予定。</li> <li>・日本初のプリンテッドエレクトロニクス国際標準提案（IEC/TC119）へ貢献した。</li> </ul>	達成  達成  達成	

		<p>《大学の知見の活用》</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・千葉大学より、印刷製造 TFT の応答速度評価技術にかかる技術開発の貢献を得た。TFT の応答速度評価は、プロジェクト第一期目標の一つである。</li><li>・山形大学より、印刷製造 TFT における電極形成の信頼性評価技術開発の貢献を得た。信頼性評価は、プロジェクト第一期目標の一つである。</li><li>・大阪大学より、印刷配線回路の高周波特性評価にかかる技術開発、機械的特性評価にかかる技術開発への貢献を得た。また、国際標準化提案にかかる貢献も得た。標準化は、プロジェクト第一期の重要目的の一つである。</li></ul>		
--	--	---	--	--



研究開発項目	目標	研究開発成果	達成度	課題解決の方針
<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>	<p>【最終目標（平成 27 年度末）】 位置合わせ精度±10 μm、120℃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。</p> <p>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。</p>	<p>《開発成果》</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・フレキシブルアライメント技術を開発することにより、位置合わせ精度±3 μm を実現</li> <li>・非加熱焼成プロセス技術の開発により、120℃以下を実現</li> <li>・デバイス・プロセス整合技術、デバイス構造技術の開発により印刷 TFT で動作周波数 1.2MHz を実現</li> <li>・接触型厚両センサ素子を試作。試作実センサで堅牢性確認</li> <li>・大面積 TFT アレイの製造方針を連続一貫製造ラインにて提示</li> </ul> <p>《成果の意義》</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・フィルム基板を、ガラス等搬送基板に固定しなくとも、高精度アライメントが実現可能となることを示した。支持板無しのフレキシブル基板上での重ね合わせ精度は<b>世界最高</b>。リジット基板上でのフォトリソ技術同等精度。</li> <li>・高速高生産性、低設備投資（装置小型化）の最も大きな障害となっていた焼成工程に対して、高速化および装置小型化を実現させるめどをつけた。印刷プロセスに適したインクでの実現は、<b>画期的成果</b>。</li> </ul>	<p>達成</p> <p>達成</p> <p>達成</p> <p>達成</p> <p>達成</p>	

		<p>絶縁層に関しては、非加熱焼成が実現でき、高誘電率と低誘電損失を両立させるものとしては、<b>世界最高</b>レベルの材料技術を開発した。これにより、デバイスの低電圧駆動（低消費電力化）が実現可能となる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 印刷 TFT で動作周波数 1.2MHz は、<b>世界最高</b>値。</li> <li>• 高生産性製造ラインで作製した全印刷 TFT が、商用電子ペーパーや感圧センサの仕様を満たせることを示した。</li> </ul> <p>《大学の知見の活用》</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 広島大学より、半導体層形成の低温化にかかる材料技術開発の貢献を得た。低温化は、プロジェクト第一期目標の一つである。</li> <li>• 東京大学より、大面積フレキシブルデバイス用の TFT 回路の設計に関して、より効率的となる可能性のある回路設計指針を得ることができた。</li> </ul>		
--	--	---	--	--

研究開発項目	目標	研究開発成果	達成度	課題解決の方針
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 <b>【平成 23 年度末目標】</b> 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。	<b>《開発成果》</b> ・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。  <b>《成果の意義》</b> ・全自動連続印刷一貫生産ラインで製造した TFT シートが、電子ペーパー製造への適合性を有するための条件を示すことができた。	達成	

研究開発項目	目標	研究開発成果	達成度	課題解決の方針
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 <b>【最終目標（平成 27 年度末）】</b> 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。	<b>《開発成果》</b> ・積層型 ECD を開発し、白色反射率 50%以上の「明るさ」を達成し、各色 16 階調出力で 4096 色まで対応可能な「色鮮やかさ」を実現。6 インチ印刷 TFT で作製した ECD パネルが 13.1g で、10 インチ拡大して 60g 以下が十分に見込める（10 インチ ECD は H28.1 達成見込）。  <b>《成果の意義》</b> ・エレクトロクロミック技術は、電子ペーパーのみでなく、様々な用途に展開可能な基盤技術であり、技術的・経済的に高い波及効果が期待できる。		

研究開発項目	目標	研究開発成果	達成度	課題解決の方針
研究開発項目③ 「印刷技術による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 <b>【最終目標（平成 27 年度末）】</b> 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。	<b>《開発成果》</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 120ppi の解像度を持つ TFT アレイを作製し、電子ペーパーと組合せパネル実証を行った。</li> <li>・ 高精細転写印刷において生産タクト 3 分/枚以内を達成。</li> <li>・ A4 サイズ TFT パネルの重量が 40g 以下。</li> <li>・ 単位パネルのタイリングすることで長辺 900mm の ESL デモに成功。大面積化への指針を提示できた。</li> </ul> <b>《成果の意義》</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 印刷法による連続生産への基本的な対策と実証が終了。量産化への可能性を示した。</li> <li>・ 全印刷 TFT を用いた具体的な電子ペーパー商品群の提案を行い、実用化への目処を立てた。</li> <li>・ さらに大面積化の有効性を実証した。</li> </ul>		

研究開発項目	目標	研究開発成果	達成度	課題解決の方針
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 <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。	<b>《開発成果》</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・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 によるアクティブマトリ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。</li> </ul> <b>《成果の意義》</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・全自動連続印刷一貫生産ラインで製造した TFT シートが、フレキシブル圧力センサシート製造への適合性を有するための条件を示すことができた。</li> </ul> <b>《大学の知見の活用》</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・東京大学より、フレキシブルセンサ用の TFT の設計技術の開発および信号検出技術の開発に貢献を得た。これにより、フレキシブル圧力センサの動作検証を実現させることができた。</li> </ul>	達成	

研究開発項目	目標	研究開発成果	達成度	課題解決の方針
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 <b>【最終目標（平成 27 年度末）】</b> 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大面積 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。	<b>《開発成果》</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・印加する圧力によって抵抗値が変化する感圧ゴムを有機 TFT のドレイン電極に負荷抵抗として接続した構成の圧力センサを選択し、タイリングによって作製したアクティブエリア 900×420mm のメートル級大面積有機 TFT を用いて、アクティブ駆動することにより、目標仕様を満たす、高速で圧力分布を測定可能なセンサシートを実現した。</li> </ul> <b>《成果の意義》</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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 4,096（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。</li> <li>・大面積圧力センサシートが実用可能であることを実証。</li> </ul>		

### 1.3 成果の意義

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った。これまでに、後述する成果に示すように、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に努め、プロジェクト第一期の最終年までに、その確立に目処をつけるに至った。

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なる。

また一方で、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、上記成果に示すようにその技術確立に目処をつけるに至った。フレキシブル 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、紙のように薄く軽く持ち運びが容易で、簡易情報報伝達媒体として使用可能な、フレキシブル電子ペーパーは、電子サイネージ市場や電子ドキュメント市場の開拓をもたらすこととなる。また、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、既に高生産性を実現できる生産システムにおいて、フレキシブル電子ペーパーやフレキシブル圧力センサなどが製造可能であり、その動作実証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出来る。

本プロジェクト第一期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出来る。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、本研究開発では、標準評価技術の開発にも取り組み、標準評価手法の開発に成果を上げることができた。これまでプリントドエレクトロニクスにおいては、材料や素子の評価手法に共通性がないことから、技術摺合せが効率的に進められないという課題を有していた。今回の技術開発成果により、いくつかの主要項目に対して共通評価手法を開発することができたことで、今後当該分野の技術高度化を実現するための技術摺合せを、より効率的に実現することが可能となり、技術開発効率の向上に大きく貢献することが期待できるようになった。

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。

**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  
⇒ 国内・海外展示会への出展多用
- ◆ 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
- ◆ 共通基盤の普及  
⇒ 評価解析技術の論文文化、発表化
- ◆ 一般産業界貢献  
⇒ 公開シンポジウム、公開セミナーの主催
- ◆ 国際標準化  
⇒ IEC/TC119でのプロジェクト提案への貢献



ナノテク大賞プロジェクト賞受賞



海外展示会出展  
(ミュンヘン)



公開シンポジウム  
開催

図 III-1.3-1 研究開発成果の普及

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。詳細はV.成果一覧を参照頂くこととするが、概要としては、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、国際標準化への貢献など、幅広く行っている。

## 2. 研究開発項目毎の成果

### 2.1 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

本研究開発項目では、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必要な技術として、位置合わせ、印刷、温度制御、乾燥・焼成などの要素技術を組み合わせた製造技術を確認するとともに、連続生産プロセスの開発のための評価技術を開発することを目的として、(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の二つの開発項目に取り組み、それぞれ下記のような成果を得た。

研究開発項目と開発技術の関係、研究開発体制、開発目標の位置付けは、下図のとおりである。

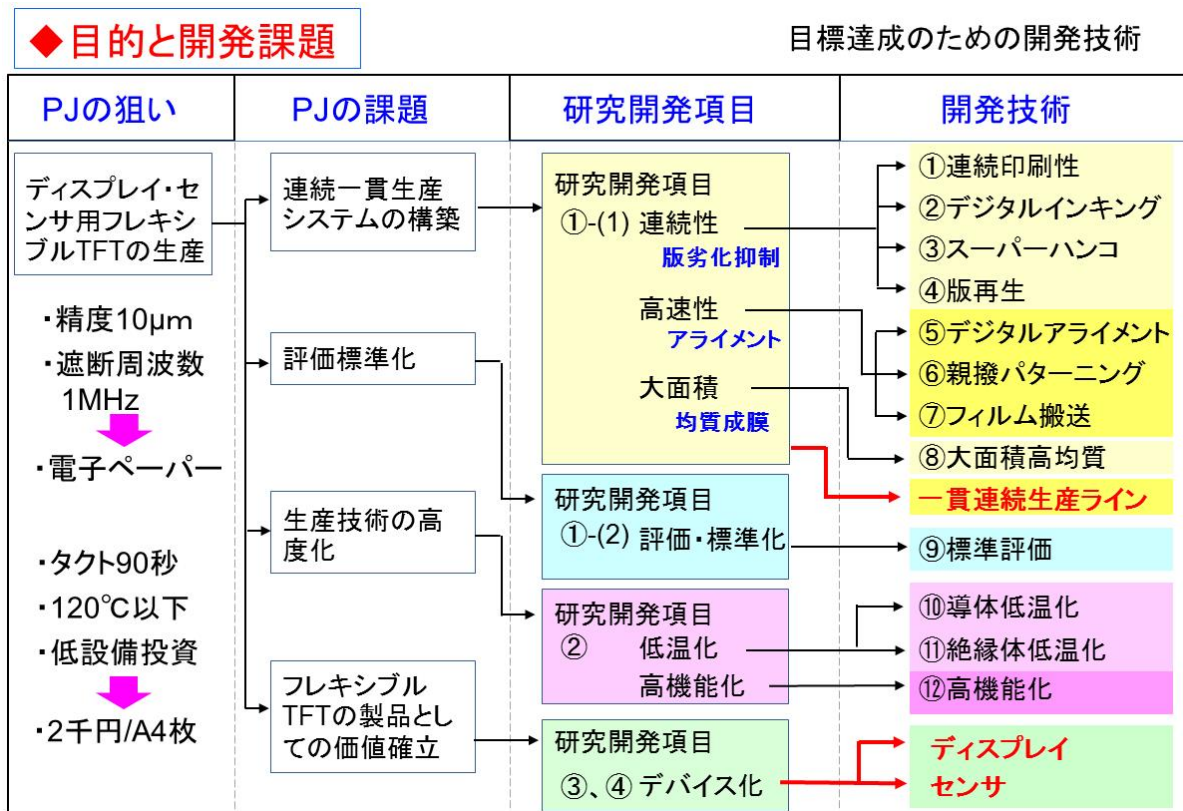


図 III-2.1-1 目標達成のための研究開発技術

## ◆開発目標の設定根拠

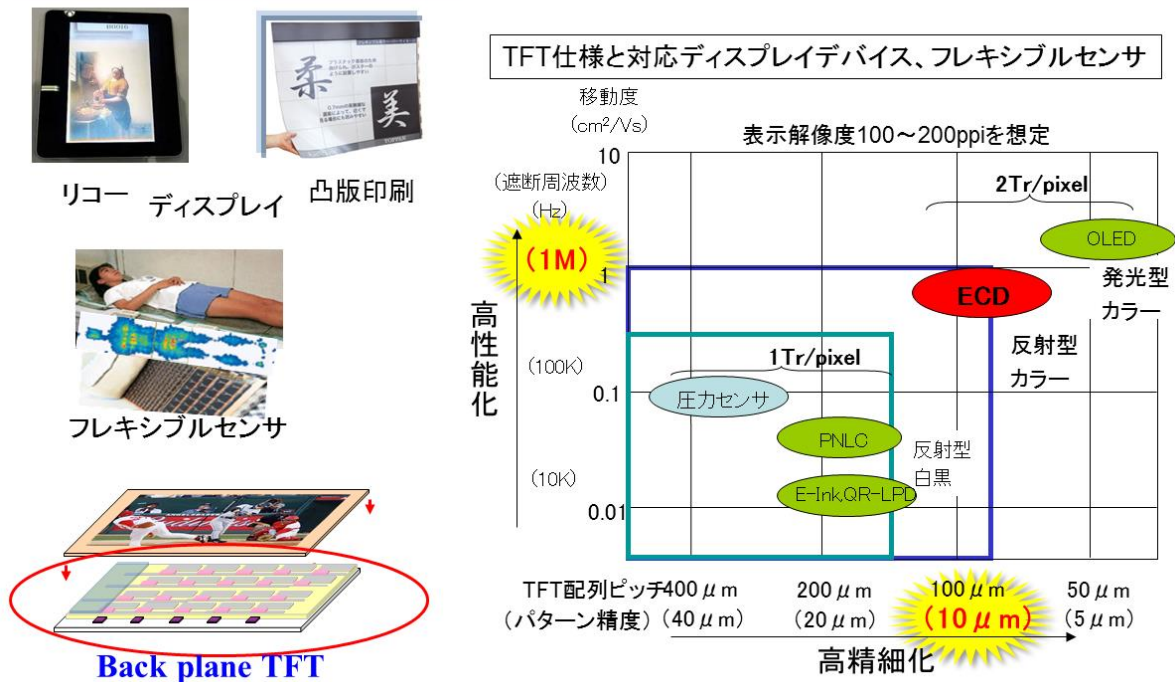


図 III-2.1-2 開発目標の設定根拠

### 2.1.1 標準製造ラインに係る技術開発

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として、連続かつ完全転写技術が重要となっている。ここではこれらの技術の確立のための印刷要素技術の開発を行った。

中間目標としては、平成 25 年度末までに「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。」を達成することを掲げ、最終的には、平成 27 年度末までに「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。」ことを目的として技術開発に取り組んだ。

TFT アレイの全印刷製造を設定し、TFT アレイの構成部位であるゲート電極、ゲート絶縁膜、半導体、ソース・ドレイン電極、配線、封止層などを形成する印刷方法を検討し、一連の製造プロセス・装置を設計開発した。TFT アレイの各部位を構成する材料とその製造プロセスの整合条件の検討を行い、大面積化製造技術（高均質化）、高速化製造技術、連続化製造技術などのプロセス設計指針を検討した。大量連続生産を支配する部位の製造に対しては、有版印刷技術の適用を検討し、連続印刷・高歩留り転写を実現するための印刷条件の検討を行った。また、有版印刷における高精細・高歩留り転写を実現するための要素技術として、版製造技術の開発などを行った。この

結果、生産ラインとして適応しうる大面積、高速、連続印刷製造技術を開発するに至った。こうした知見をもとに、フレキシブルシートデバイスの全自動全印刷一貫標準製造ラインを開発した。この製造ラインを整備することにより、フレキシブルデバイスの印刷製造の生産性を検証することが可能になった。

#### 《大面積印刷製造技術の開発》

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として、大面積デバイスの高生産性製造が重要となっている。大面積製造においては、大面積デバイスであっても、全面均質であることが要求される。本研究開発においては、大面積高均質化製造のための、印刷プロセス制御技術の開発を行った。大面積にわたって、必要な所に必要量の材料を滴下する印刷技術としては、インクジェット法が最も有効と判断し、ここではインクジェット技術を活用した大面積高均質化技術の開発を行った。

大面積でデバイスを高均質に作り上げるためには、特に半導体活性層の膜質が性能に与える影響が大きいため、半導体層の高均質塗布技術を重点的に開発した。また、大面積であってもある程度的高速印刷製造を可能にするためには、インクジェット法の中ではマルチヘッドインクジェット技術が有効である。ここでは、マルチヘッドの技術開発を検討し、マルチ制御型インクジェット技術を開発した。

印刷製造においては、印刷プロセスの時間依存性を制御することが重要となる。インク滴下・配置における時間依存性を制御する装置条件ならびにプロセス技術を検討した結果、時間依存性を制御可能とするプロセスを導入すると、均質化が制御できることを見出した。得られた結果をもとに、当該プロセスを実現する装置・プロセスを設計・開発した。その結果、高度マルチ制御インクジェット技術の開発により、A4サイズのフレキシブル基板上に作製した TFT アレイにおいて、on 電流の面内ばらつき  $\sigma \leq 10\%$  以下に抑えることに成功した。これにより、最終目標を達成するに至った。

#### 《高速印刷製造技術の開発》

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として、高生産性をもたらす高速印刷製造技術が重要となっている。従来の技術で連続生産ライン構築の設計をすると、特にフレキシブル基板上に電子素子を作製するに際しては、パターン形成のための位置合わせ工程、印刷形成したパターンの焼成工程が、最も律速となっている。そこで、本課題においては、フレキシブル基板上にパターンを印刷形成する際の位置合わせ技術（アライメント技術）について、高精度高速化技術の検討を行った。

高精度アライメント技術の検討として、パターン歪・変形読み取り技術、歪補正技術、高精度インク滴下制御技術ならびに滴下インクによる高精度パターン形成技術（デジタルアライメント技術）の検討を行った。装置及び装置制御システムでの高精度化の要因、インク性質に基づく高精度化の要因、プロセス部材の性質に基づく高精度化の要因などを明らかにすることで、高精度化への制御要因を明らかにすることができた。

高精細印刷製造を実現するための技術として必要となる、高精細パターンニング手法として、印刷下地親撥処理技術（親撥パターンニング）の検討を行った。この結果、適用印刷技術とインク性能ならびに下地条件との相互関係性発生条件を見出した。

これらの知見をもとに、フレキシブル基板上でのパターン形成に対して、高速に歪補正、位置合わせが実現できるフレキシブルアライメント技術の開発に成功し、平成 25 年度の間中チェック時点までに、フレキシブル基板に対するアライメント精度を±10 μm 以内、平成 27 年度の最終チェック時点までには A4 サイズのフレキシブル基板に対するアライメント精度を±3 μm 以内に収めることに成功した。これにより最終目標を達成するに至っている。このアライメント精度は、フレキシブル基板上への高精細パターンニング技術としては、フォトリソ技術を上回る性能となっており、製造工程中に変形することが当たり前のようになっているフレキシブル基板の上であっても、高精度に高精細パターンニングが可能となる技術を実現することとなった。

#### 《連続印刷製造技術の開発》

配線電極等の導体パターンの印刷形成に有効な有版印刷デバイス製造技術に対して、連続印刷を阻害する要因の解析を行った。特に有版印刷による電極・配線の連続印刷性の検証を行った。連続印刷性とは、製造技術を生産システム化した際に、各々の製造プロセスの連続印刷安定性を示すものであり、材料や装置の劣化、時間変化などを評価するものである。作製する素子の構成材料、ならびに製造するプロセスに用いる加工材料などの、劣化、時間変化などを詳細に検討したところ、いくつかの特定部材において連続性向上に大きな要因を与える点があることを見出すことができた。

有版印刷技術に関して、完全転写を実現させるための、転写機構の解明、構成部材、プロセス材料の依存性などを詳細に検討した。完全転写とは、先の転写によって装置上に残った残物が、その次以降の転写に対して、影響を与えず、先の転写と同じ転写ができる状態にすることである。構成材料、プロセス材料、転写形状、プロセス条件などを詳細に検討したところ、特定の条件においては、完全転写が実現できることを見出すことができた。このような高精細かつ完全転写を実現できる技術としてデジタルインキング転写技術、高精細転写版（スーパーハンコ技術）を開発した。これにより、高精細パターンを連続で生産することを実現した。これらの技術を用いることで、フィルム基板上にパターンを 50 枚以上連続印刷することを実現した。50 枚連続印刷は、高度連続印刷を実現するうえで、初期不良が生じない条件を整えることを意味しており、この技術の基に大量連続製造が可能となる生産技術が構築されることとなる。

#### 《全印刷フレキシブルシートデバイスの標準製造ラインの開発》

フレキシブルシートデバイスを印刷技術により高生産性製造を実現させるために、各製造工程の印刷製造プロセス技術を組み合わせ、全自動全印刷連続一貫製造ラインを開発した。この製造ラインでは、プラスチックフィルム基板を投入すると、基板洗浄から高精細印刷パターン形成、積層印刷、焼成など、一連の工程が全自動で連続

的に行われ、フレキシブルシートデバイスが製造できるというものである。これにより、フレキシブル TFT アレイを全自動で連続一貫製造ができるようにしたわけだが、このような製造ラインの構築は世界初の成果である。この装置を用い、A4サイズの TFT アレイを連続で 50 枚作製することに成功し、最終目標を達成するに至っている。本製造ラインの構築は、各構成部位を製造する工程の印刷条件等を調整することにより、フレキシブルデバイス製造の生産性評価を可能にするものとなっている。

◆研究項目①-(1) 連続製造技術開発:標準製造ライン技術開発

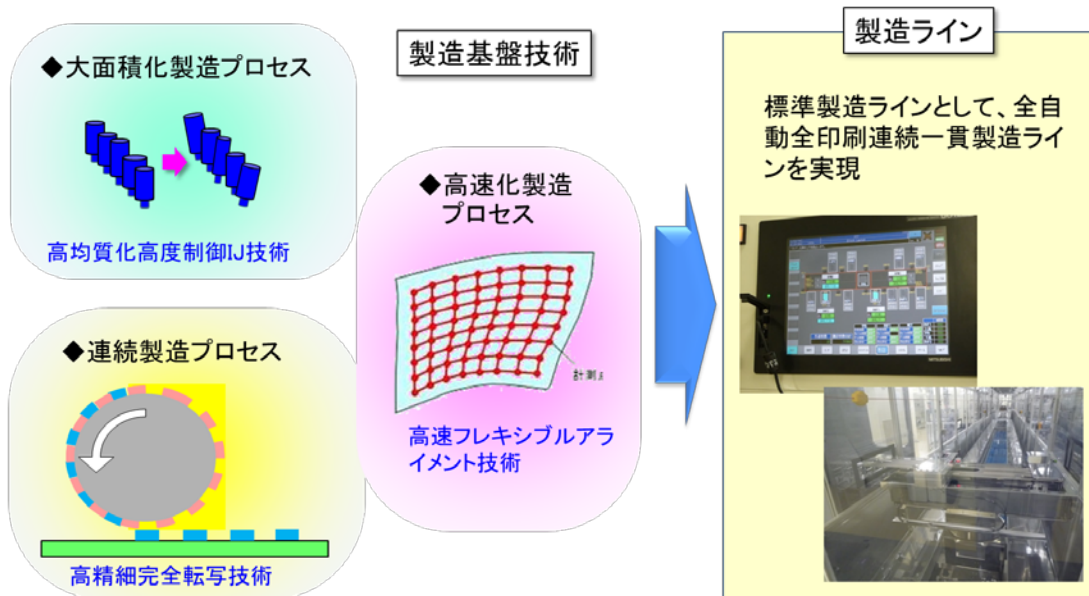


図 III-2.1.1-1 研究開発項目①-(1)の開発技術

◆研究項目①-(1) 連続製造技術開発:標準製造ライン技術開発

開発課題の狙い			
連続かつ全印刷工程によるA4サイズのTFTアレイを製造できるラインの構築			
最終目標	研究開発成果	達成度 平成27年度	最終成果の意義
<ul style="list-style-type: none"> <li>・【高均質印刷】 on 電流の面内ばらつき <math>\sigma \leq 10\%</math> 以下</li> <li>・【高速印刷】 タクト:90秒/m<sup>2</sup>以下</li> <li>・【連続印刷】 A4-TFTアレイ(<math>\sigma \leq 10\%</math> 以下)を50枚連続生産</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高度制御IJ技術を開発: → on 電流の面内ばらつき <math>\sigma \leq 10\%</math> を生産ラインで実現</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: →タクト:90秒/m<sup>2</sup>以下を実現</li> <li>・高精細完全転写技術、標準製造ライン技術を開発: →A4サイズのTFTアレイの50枚連続製造を実現</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・フレキシブルデバイスの高均質大面積製造の実現</li> <li>・フレキシブルデバイス製造における高精度高速製造の実現</li> <li>・高精細完全転写によるフレキシブルデバイスの連続印刷の実現</li> </ul>

図 III-2.1.1-2 研究開発項目①-(1)の成果と目標の達成度

### 2.1.2 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 TFT アレイの機械的特性・信頼性の評価手法を確立するとともに、TFT の特性評価に係る標準化に向けたデータの取得することを目的とし、TFT に特有の特性評価に係る技術開発を行った。

中間目標としては、平成 25 年度末までに「印刷で作製される TFT アレイの性能評価手法を開発し、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。」を達成することを掲げ、最終的には、平成 27 年度末までに「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」ことを目的として技術開発に取り組んだ。

#### 《印刷 TFT 性能評価技術の開発》

印刷製造 TFT の性能の評価技術を開発するために、デバイスの特性評価環境の構築を検討した。特に、TFT の基本特性である移動度、閾値電圧を計測するための静特性評価技術及び動作速度の指標となる遮断周波数を計測するための動特性評価技術を開発した。

また、評価基準素子の素子構造の設計を行うとともに、検証用基準素子の製造技術の開発も行った。高動作速度化技術の検証のために、パラメータ設計が容易なモデル素子の設計を行い、その作製・計測によって、これらの評価ツールの検証を行った。

印刷 TFT の動作性能を評価する技術の開発にあたって、特に、電極界面制御などにより電極と有機半導体層界面の電荷注入障壁などの印刷 TFT の動作性を向上させるため要因解析を行った。またこれをもとに性能評価技術の開発指針の検討を行った。

電極材料として、低温焼成が可能で、界面制御に対しても大きな発展性が期待できる銀ナノ粒子インクを用いた印刷 TFT をモデル材料として使い、その特性改善と性能評価を行った。通常の有機 TFT では、チャンネル長が短くなるに従い電極と半導体層の接触抵抗の影響が大きくなるため、移動度は低下してしまうが、ここで開発した技術を用いて作成した TFT では、チャンネル長が短くなっても移動度の低下は観測されず、印刷電極と半導体層の接触が良好であり、抵抗成分が小さいことが判明した。このことにより、作成条件への依存性が低い素子およびその性能評価が可能となることを示した。

上記開発した、印刷 TFT 性能評価法を用いて、各部位の形成材料に関してポテンシャルの高い構成材料の設計選択を行い、それぞれ候補材料の性能ならびに印刷適性のスクリーニングを行った。また、各部位の構成材料に関してポテンシャルの高い材料の設計選択とともに、それらの組み合わせ最適化を検討した。この際、様々な材料、素子構造に対して多様な組み合わせ性能の比較評価をすることになるため、性能評価のための共通評価指標を定めることを行った。これらを実践することにより、印刷 TFT 製造の基準素子として用いる素子構造ならびに基準材料の選定を行うことができた。

上記技術開発により得られた知見をもとに、印刷製造 TFT アレイの性能評価に関する標準評価手法を整備し、標準評価書の作成を行った。また、上記に記したように、TFT 用材料スクリーニングにて最適構成を抽出することができ、これによって中間目標を達成することができた。



#### 《印刷 TFT 信頼性評価技術の開発》

印刷製造のフレキシブル TFT は、インク材料やフレキシブル基板といった従来とは異なる材料から構成されるため、主として材料起因による動作不良等が懸念される。そのためここではフレキシブル TFT アレイの動作性能の信頼性評価技術として、電氣的負荷による動作信頼性、機械的負荷による動作信頼性、環境負荷による動作信頼性についての評価手法の検討を行った。電氣的負荷としては、印刷製造デバイスに電圧印加、通電をすることによる生じる動作信頼性欠如要因の解析をするとともに、その標準的な評価法を整備し、標準評価書を作成した。機械的負荷としては、フレキシブルデバイスへの曲げ、ねじり、折り曲げ、引っ張り、巻き取り、打鍵等の機械的な負荷を印加した際に生じる動作信頼性の欠如要因を解析するとともに、その標準的な評価法を整備し、標準評価書を作成した。環境負荷としては、温度、湿度を変化させたことにより生じる動作信頼性欠如要因の解析をするとともに、その標準的な評価法を整備し、標準評価書を作成した。これによって、最終目標を達成するに至った。

#### 《印刷配線の信頼性評価技術》

曲げ試験に耐える印刷フレキシブル配線技術として、銀ナノワイヤインクによる配線パターンをプラスチック基板上に形成し、その繰り返し曲げ耐性を評価した。希釈した銀ナノワイヤインクを透明プラスチックに塗布した透明導電膜は、数回～数十回曲げるとその抵抗値は徐々に大きくなると従来報告されていた。一方、今回作成検討した銀ナノワイヤ印刷配線は、100 回繰り返し曲げても、いずれのプラスチック基板においても抵抗値の増加は確認されなかった。この銀ナノワイヤ配線が高い曲げ耐性を有する原因を詳細に検討したところ、高濃度ナノワイヤインクであり、銀ナノワイヤ同士が緻密なネットワーク構造を有していることが明らかになった。すなわち、導体インク材料の金属濃度の制御により、高信頼性印刷配線パターンが形成できることを明らかにした。

さらに、引っ張り試験についても検討した。伸縮基板としてポリウレタン基盤を用い、そこに銀インクにより印刷パターン形成を行い、その引っ張り試験検討を行った。この際、銀インクに用いる銀粒子がフレーク状であった場合、高濃度に分散したインクで配線パターンを形成しても引っ張りにより抵抗増加が生じ、必ずしも安定した動作をしなかった。一方、銀インクに用いる銀粒子がワイヤ状であった場合、その分散濃度を調整すると引っ張り試験を行ってもその抵抗がほとんど変化しない印刷配線パターンが得られることが明らかになった。これは、配線内部で銀ナノワイヤ同士が緻密なネットワーク構造を形成しているためであり、動作信頼性向上のための要因を明らかにすることができた。

#### 《印刷 TFT 高周波特性の標準計測評価技術の開発》

印刷法で製造できる薄膜トランジスタ (TFT) を実用デバイスとして適応していく上で重要となる動作速度と高周波特性の評価法について検討し、印刷エレクトロニクスデバイスに必要な高周波計測評価技術の開発を行った。

トランジスタのカットオフ周波数について評価した結果、塗布型ペンタセン系薄膜

を用いて作製したOFETにおいて 100 Hzでの $I_{DS}$ から-3 dBとなる周波数をカットオフ周波数 $f_{cd}$ と定義した場合と、トランジスタのゲート充電電流 $I_c$ と $I_{DS}$ が一致するカットオフ周波数を $f_{cc}$ と定義した場合、それぞれ $f_{cd}=3$  MHzと $f_{cc}=5$  MHzというカットオフ周波数が得られた。ボトムコンタクト型素子構造においては、段差の上部(Upper)、下部(Lower)にある電極をソースにするかドレインにするかによってFET特性には違いは見られなかったが、トップコンタクト型においては両者に飽和特性の違いが見られた。その動作解明のため、デバイスシミュレーションを行ったところ、Upper=ソースとした場合、ドレイン電極近傍に正孔濃度が低いバルク抵抗領域が発生し、これがピンチオフ電圧を小さくすることで飽和特性が得られることが判明した。Lower=ソースとした場合は、ドレイン電極近傍までチャンネルが形成されているために、ピンチオフ電圧が大きくなり、その結果ピンチオフが起こりにくくなり、飽和特性が現れないということが判明した。

p型、n型TFTの高周波特性評価技術の開発を検討した。p型、n型TFTの動作確認と1kHz以上での動的インバータ特性の評価を検証した。標準評価用のモデル材料として、p型TFTとしては、活性層にペンタセンを、n型TFTとしては活性層にフッ素化銅フタロシアニンを用いて素子を作製した。ここでは、真空法で薄膜作製をしているため、評価法確立のための標準デバイスとして測定法の開発を検討した。個の素子に対する、動作周波数の評価を行ったところ、p型TFTでは、1.8 MHzの応答が得られた。この際、周波数の定義に課題発生することを明らかにした。p型とn型を組み合わせたCMOS回路にて、インバータの静特性と動特性との評価を行ったところ、いずれも典型的なインバータ特性、動特性が得られたが、1 kHzの動特性において、出力特性には容量成分に起因する遅れとスパイク状の過渡応答が見られ、機構解析から素子の浮遊容量低減が必要であることを明らかにした。

#### 《印刷TFT集積回路用配線の高周波特性評価技術の開発》

印刷配線の高周波特性評価は、電力の入出力比から算出されるため、ここでは印刷配線の標準抵抗値評価技術の検討を行った。抵抗測定には、2端子法と4端子法があるが、標準的な銀ナノ粒子インクで作製した配線で測定法と真値とのギャップを評価した結果、4端子法の方が真値により近い値が得られることを明らかにした。次に基準となる電気特性の評価値の検討を行った。電気特性の内、抵抗値、体積抵抗率、シート抵抗など種々のパラメータが存在しているが、これらの評価要因を詳細に検討したところ、配線形状の算出などが不要となる抵抗値[Ω]を基準評価値とすることが適当であることを明らかにした。これらの技術にたいして、実験経験者によるモデル評価実験を行ったところ、被験者による大きな違いはなく、標準化用評価技術として概ね満足する結果が得られた。

印刷配線の高周波特性評価を行うにあたり、基板の選定と測定パラメータを検討した。評価を行う基板は、高周波掃引時の損失が少なく、印刷工程が容易に適応できる基板を採用した。測定パラメータは、入力電力に対する反射成分(S11パラメータ)と透過成分(S21パラメータ)の2つのパラメータを採用した。高周波域では、試料表面に電力が集中し、損失の原因となる現象が発生することが知られ

ている。本測定技術で提案する基板も例外ではなく、印刷により作製する試料部の印刷配線の厚みは十分な厚さに調整し、特性評価を行った。このようにして提案した評価技術を、実験経験者によりモデル実験を行った。反射成分である S11 パラメータ、透過成分である S21 パラメータ、いずれの結果も、被験者による大きな違いはなく、標準化用評価技術として概ね満足する結果が得られた。

#### 《印刷 TFT の電極材料に基づく動作信頼性評価技術の研究開発》

印刷形成 TFT の電極材料として、現在、主として用いられている銀ナノ粒子インクと、今後の適用が期待されている銅ナノ粒子インクを用いた印刷形成 TFT を作製し、その信頼性評価技術を検討した。

印刷有機 TFT の性能評価においては、接触抵抗が大きくなってしまふ因子を解明する必要がある。ここでは、銀ナノ粒子インクを用いたインクジェット印刷銀電極をソース・ドレインに用いた有機 TFT を作製し、その焼成条件とコンタクト抵抗の相関、接触抵抗と抵抗率、仕事関数、表面状態の比較等を詳細に検討した。また、走査型電子顕微鏡等を用いて印刷電極表面状態の詳細観察を行った。これらの結果、印刷 TFT においては、電極の表面状態が接触抵抗に大きな影響を与えていることを明らかにした。異なる種類の銅ナノ粒子インクを用い、それぞれの材料について印刷条件およびソース・ドレイン用配線形成技術の評価を行った。インクジェット装置を用い、ポリイミド絶縁膜上に微細配線を形成した。作製した電極の抵抗率は、焼成によって十分小さな値にまで減少し、トランジスタの電極として十分な導電率を示すことを明らかにした。この銅ナノ粒子インクを用いてボトムゲート・ボトムコンタクト型 TFT を作製し、その性能を評価したところ、銅ナノ粒子インクの表面を自己組織化単分子膜によって修飾することで、トランジスタ特性に大幅な改善が見られることを明らかにした。さらに銅ナノ粒子インクの変更にすると、伝達特性の立ち上がり領域の改善が得られることが明らかになった。この材料を用いた TFT のバイアスストレス試験を行ったところ、3600 秒後の閾値電圧変化は小さく抑えられ、銅ナノ粒子インクによるソース・ドレイン電極においても比較的高いバイアスストレス安定性を示すことを明らかにした。

◆研究項目①-(2)連続製造技術開発: TFT 特性評価技術開発

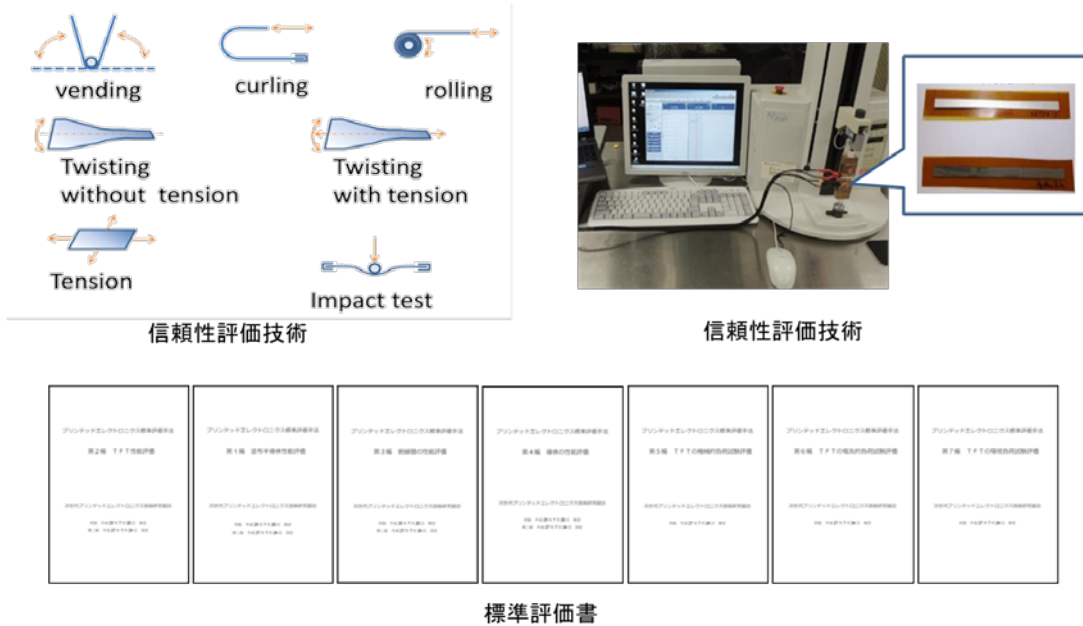


図 III-2.1.2-1 研究開発項目①-(2)の開発技術

◆研究項目①-(2)連続製造技術開発: TFT 特性評価技術開発

開発課題の狙い			
印刷製造TFTアレイの信頼性評価手法の確立。標準化の検討。			
最終目標	研究開発成果	達成度 平成27年度	最終成果の意義
<ul style="list-style-type: none"> <li>・【信頼性評価法】 TFTアレイの信頼性の評価方法を確立する。</li> <li>・【標準化】 評価手法の標準化の検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・印刷製造TFTの動作信頼性要因の解析手法を開発</li> <li>・印刷製造TFTの機械的強度信頼性評価、要因の解析手法を開発</li> <li>・信頼性標準評価書を作成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○</li> <li>○</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・印刷TFTの評価技術の開発</li> <li>・標準評価法の確立</li> </ul>

図 III-2.1.2-2 研究開発項目①-(2)の成果と目標の達成度

## 2.2 高度 TFT アレイ印刷製造のための材料・プロセス技術開発

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。

本研究開発項目では、研究開発項目①で開発する連続製造プロセスの高度化、および材料とプロセス技術の摺り合わせによる TFT アレイの高度化技術の開発として、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の構成材料（有機半導体材料、導電材料、絶縁材料等）の最適組成化技術などの開発に取り組んだ。

中間目標としては、平成 25 年度末までに「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。」を達成することを掲げ、最終的には、平成 27 年度末までに「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。」ことを目的として技術開発に取り組んだ結果、以下の成果を上げるに至った。

### 《印刷 TFT 製造プロセスの低温化・位置合わせ制御技術の開発》

TFT アレイ印刷製造の高生産性化を図るため、低損傷高速製造を実現するための要素技術である低温プロセス化技術の開発を行った。特に、TFT 構成要素を形成する各機能層（絶縁層、半導体層、導電層）を低温形成させる材料、プロセスの検討を行った。またこれらの材料・プロセス技術の、TFT 素子を製造するプロセスへの適合性、ならびに TFT 性能を発現するための適合性などの検討を行った。

製造プロセスの低温化に関しては、まず材料に関して、低温形成材料ならびに本研究開発で開発している印刷法に適用できる低温インク材料の開発を検討した。また、低温形成プロセスに関しては、光やプラズマなどを用いた新規なインク改質プロセスの適用を検討し、フィルム基板・下地層へのダメージを抑制しかつ短時間で機能膜層を形成できるインク改質技術の開発を検討した。

導体材料インクに関しては、それぞれの部位の形成材料の組成・プロセスの検討及び各材料に要求される物性評価を行い、TFT 素子製造プロセスに適合した材料の低温化を実現する材料開発指針を得るに至った。低温化プロセスとしては、特に焼成技術に注意を払い、主に光やプラズマなどの熱以外のエネルギー照射プロセスへの適合化を図った。さらに、高速製造プロセスに適合させる材料条件との整合化に注意を払い、高速印刷、高速焼成が一貫して整合が取れる材料の設計を行った。

絶縁材料に関しては、高度な TFT 性能を発現させるのに十分な性能を示す材料に関

して、低温高速化の検討を行った。低温化プロセスとしては、特に焼成技術に注意を払い、主に光を用いた焼結プロセスの適用を中心に検討した。この際、高速製造プロセスと整合が取れる低温高速焼結プロセス用インク材料の検討を行い、TFT 性能、高速印刷、高速焼成が一貫して整合が取れる材料の設計を行った。

高性能半導体層を低温印刷製造技術で形成可能にするために、低分子有機半導体を用いた半導体インクの開発を行った。開発手法として、高移動度低分子有機半導体に対して可溶性置換基の導入、可溶性前駆体への変換、ナノ粒子分散液化、などの異なる手法、またはそれらの組み合わせによりインクを調整し、インク化技術の基本を確立することを検討した。

高移動度低分子有機半導体としては、骨格に DNTT および DATT を使い、そこへの可溶性置換基の導入、可溶性前駆体化を検討した。DNTT の可溶化に関しては、高効率材料合成の経路を検討したところ、分岐鎖のアルキル誘導体を活用することが良好であることが明らかになった。DATT に関しては、3,7 位の選択的官能基化が可能であることを見出し、これにより可溶性低分子有機半導体化が可能となることを見出した。さらに、DATT に関して、ビス EH 誘導体及び、2EH 誘導体の合成を行った。ビス EH 誘導体は高い溶解性を持ち、溶液プロセスにより均質な薄膜を形成したが、この薄膜でトランジスタを作成してもトランジスタ応答は示さなかった。2EH 誘導体は、良好な溶解性を示したため、溶液プロセスにより薄膜化し、トランジスタ特性を評価したところ、良好なトランジスタ応答を示した。

次に、前駆体化の検討を行った。F 系材料および S 系材料に関して、分子中央部分への環化反応を検討し、熱変換型前駆体化を試みた。F 誘導体において、イミドとの反応で対応する付加体の単離に成功した。本付加体の熱的挙動を検討し、加熱により F-1 誘導体への変換を試みた。この検討により、F 誘導体を用いれば、環化付加は起こるものの、その逆反応は容易ではないということが明らかとなった。このようにして開発した低分子有機半導体に関して、そのトランジスタ特性を評価したところ、可溶性 DNTT 誘導体において、高い移動度が得られることが明らかになった。可溶性向上には、置換基の種類と置換位置の制御が重要であるが、これらに関して最適化した DNTT 誘導体において、電極表面を SAM 処理して作成した電界効果型トランジスタにて、移動度  $3.4 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  が得られた。このようにして、可溶性と高移動度とを両立させる半導体インク材料の開発に成功した。

低温印刷製造技術で形成可能な半導体インク材料として、高分子半導体インクの検討を行った。ここでは、ターゲットポリマーは、 $1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  を超える移動度が報告されているピロール誘導体とした。これらの合成材料を薄膜化し、トランジスタ性能の評価を行った。この際、移動度は  $10^{-1} \text{ cm}^2/\text{Vs}$  台が得られ、低分子系よりは性能としてはやや劣るものの、今回開発している印刷製造プロセスへの適合性が高いことを見出した。

電極配線パターンの形成、絶縁層の形成に関して、低温高速プロセス化を実現する技術として、熱エネルギー以外の局所高密度エネルギーを投入する技術の検討を行った。光照射インク改質技術を検討したところ、照射光のエネルギー制御が重要であり、過度に照射エネルギーを上げると、照射工程中に基準として用いている基板

材料に損傷を生じさせてしまうこと、ただし損傷と照射エネルギー量との関係は、基板材料の種類によって異なってくることを明らかにした。

詳細なプロセス条件の検討の結果、高密度エネルギーによる下地層の損傷を防ぐ技術を導入すると、低温高速プロセス化が実現できることを明らかにした。結果として、光・プラズマという非加熱焼成プロセスを開発することによって、焼成の際のプロセス温度を 120℃ にすることを実現した。

上記で開発したプロセスを用いて TFT を製造した場合の、TFT 性能発現との相関性を検討した。材料、プロセス条件の詳細な検討をすることにより、特定の材料・プロセス条件下では、良好な TFT 性能が得られることを明らかにした。

上記の非加熱焼成プロセスならびに低温プロセス適合材料技術の開発を行うことにより、それぞれの部材の形成におけるプロセス温度を 120℃ 以下に下げることを実現し、その条件下において研究開発項目①-(1)「連続製造技術開発：標準製造ライン技術開発」で開発した位置合わせ技術を適用することにより印刷精度±10 μm 以下を実現した。これにより、目標を達成することができた。

#### 《印刷 TFT の高動作速度化技術の開発》

印刷製造 TFT を高動作速度化する技術を開発するために、デバイスを構成する材料の組み合わせ、素子構造等の最適化を検討した。TFT アレイを構成するゲート電極、ゲート絶縁膜、半導体、ソース・ドレイン電極、配線に関して、それぞれ各部位として高機能を発現させるとともに、各部位間機能マッチングをはかることが重要となる。

本研究開発で、性能制御要因の解明ならびに性能向上のための材料設計、デバイス構造設計、製造プロセス設計を行った。その結果、全印刷製造 TFT として、高いトランジスタ性能を発揮する材料組み合わせを見出すことができた。構成材料の組み合わせは、素子構造ならびに素子各部位の形成順序によっても大きな影響を受ける。特に印刷法で形成する場合、インク溶媒が与える下層へのダメージが大きな問題となるため、材料の組み合わせ設計は十分な検討が必要である。そこで、素子構造ならびに各部位構成順序の最適化も検討した。これにより、材料構成、素子構造、部位形成順序の依存性を明らかにすることができ、印刷で形成する TFT の高機能化のための設計指針を得ることができた。また、寄生容量の発生は印刷精度により制御されることとなることを明らかにし、これらを抑制する印刷プロセスの開発を行った。これらの技術により形成した印刷製造 TFT に関して、その特性評価を行ったところ、移動度、接触抵抗、動作速度などの性能を制御できること、それにより性能向上を引き出せることを明らかにした。

上記デバイス・プロセス整合技術の開発により、全印刷製造 TFT で、平成 25 年度の中間チェック時点までに動作周波数 0.3MHz を実現し、平成 27 年度までに動作周波数 1.2MHz を実現した。これにより最終目標を達成するに至った。

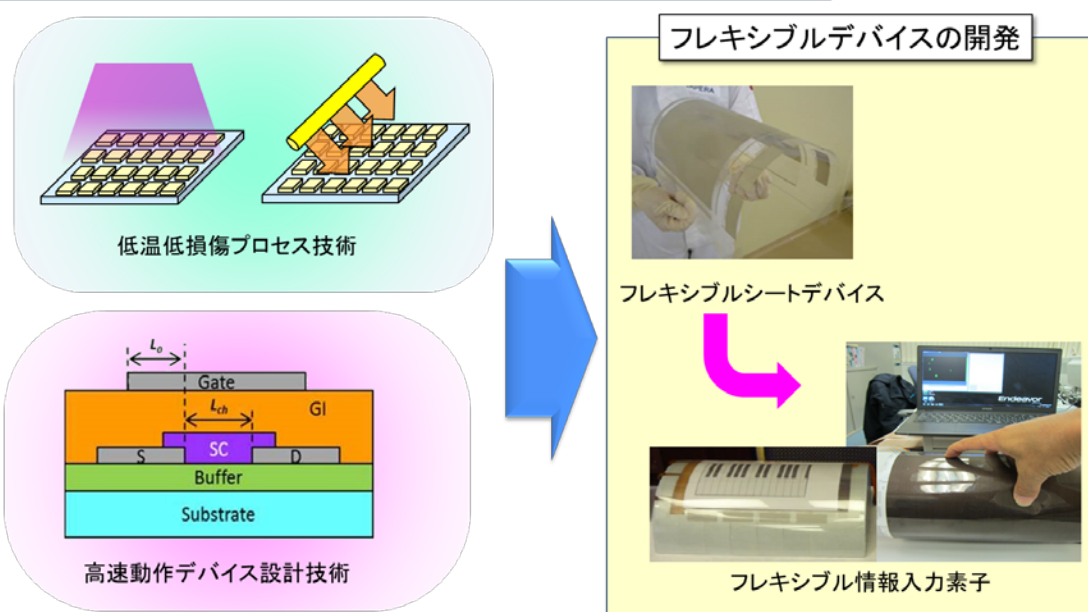
#### 《印刷 TFT 集積回路用配線の高周波特性向上技術の開発》

TFT 集積回路用配線の技術のひとつとして、銅箔配線があげられるが、本事業では印刷形成を可能とすることが課題であることから、特に、金属ナノインク配

線で、銅箔配線を凌ぐ高周波特性を実現することを目標として、印刷形成が可能となるインクおよびその印刷形成技術の開発を検討した。

銀ナノワイヤを用いて新たな導電インクを開発し、これにより表面平滑度の高い印刷配線の形成に成功した。この結果体積抵抗が多少高くとも優れた反射特性を示す配線を形成できることを見出した。こうして形成した銀ナノワイヤ配線にて、1.5GHzにおける  $S_{11}$  パラメータ-29dB を達成した。これは、体積抵抗率が銅箔配線よりも 2 桁以上大きいにも関わらず、0.5-4.0GHz の範囲で銅箔配線よりも優れた反射特性を有することを示すものである。この技術を用いて、PET フィルム上に銀ナノワイヤアンテナを作製し、2.45GHz の信号を受信していることを実証した。

### ◆研究項目② 高度TFTアレイ印刷製造技術開発



III-2.2-1. 研究開発項目②の開発技術



◆研究項目② 高度TFTアレイ印刷製造技術開発

開発課題の狙い			
製造プロセスの低温化、TFTアレイの高性能化			
最終目標	研究開発成果	達成度	最終成果の意義
【低損傷】 位置合わせ精度 ±10μm、プロセス温度 120℃以下の温度での生産プロセス	・フレキシブルアライメント技術 →位置合わせ精度 ±3μm ・低温化→新焼成技術 120℃以下	◎	・低損傷・高精度フレキシブルデバイス製造の実現
【高速応答】 印刷製造TFT素子で動作周波数1MHz	・印刷製造TFTの材料、構造開発 → 1.2MHz	○	・高性能TFTの印刷製造を実現
【入力素子試作】 印刷製造TFTアレイで接触型情報入力素子試作。堅牢性実証	・接触型厚両センサー素子を試作。試作実センサで堅牢性確認。	○	・印刷製造フレキシブルTFTの動作実証
【生産プロセス適合化】メートル級の大面积TFTアレイの連続製造プロセスの提示	・連続一貫製造ラインにて実証	○	・製造プロセスの確認 (生産性の検証)

図 III-2.2-2. 研究開発項目②の成果と目標の達成度

## 2.3 印刷技術による電子ペーパーの開発

### 2.3.1 電子ペーパーに係る基盤技術開発

本研究開発項目においては、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ことを目的として、③-(2)や③-(3)で開発が検討されている電子ペーパーに対する TFT アレイの仕様を定めるための、TFT アレイと表示部との接合条件の検討を行った。その結果、以下のような成果を得るに至った。

素子製造上の接合条件や駆動電圧などについて基礎データの収集を行うことで、電子ペーパーの一次設計を行った。この結果、A4 サイズのフィルム基板上に印刷法を用いて 120ppi 以上の解像度を持つ TFT アレイを連続的に生産するための課題抽出を行った。またその評価手法の課題を抽出した。これにより、電子ペーパー用のフレキシブル TFT バックプレーンを印刷技術により製造するための基盤構成材料およびプロセス工程の設計指針を示した。こうして得られた製造条件をもとに、全印刷製造 TFT を用いて A4 サイズの電子ペーパーを試作し、良好に動作することを確認した。

上記技術開発により、電子ペーパー表示部と TFT シートとの接合課題を抽出することができたとともに、全印刷製造 TFT による電子ペーパーを試作し、動作を検証することを実現した。これにより、平成 23 年度末までの最終目標を達成することができた。得られた成果は、研究開発項目①・②へ反映させた。

#### ◆研究項目③-(1) 電子ペーパーに係る基盤技術開発

最終目標(平成23年度末)			
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。 【デバイス整合化】:TFTアレイと表示部の接合条件や駆動電圧等デバイスとしての課題を抽出			
目標	研究開発成果	達成度 (平成23年度)	今後の展開
・電子ペーパーとTFTアレイの接合条件の抽出	・電子ペーパー表示部とTFTシートとの接合課題を抽出 ・全印刷製造TFTによる電子ペーパーを試作。動作を検証	○	・高生産性プロセスとデバイス性能仕様との整合化を図る課題として、研究項目②にて集中的展開

試作した全印刷製造TFTシート



試作した全印刷TFT駆動電子ペーパー

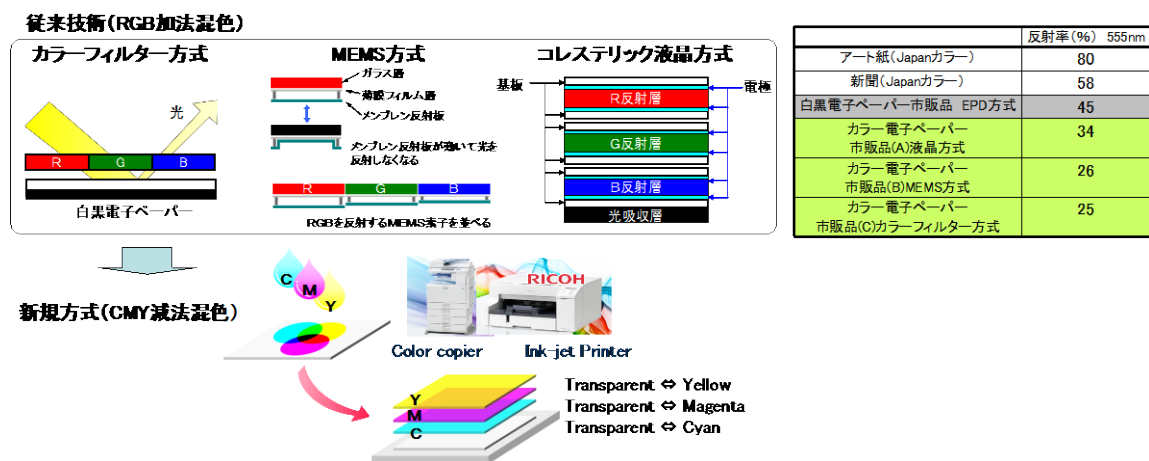
図 III-2.3.1-1 研究開発項目③-(1)の成果と目標の達成度

## 2.3.2 高反射型カラー電子ペーパーの開発（株式会社リコー）

### (1) 研究開発の背景

電子ペーパー（反射型表示パネル）は印刷紙と同じように外光によって視認可能な画像表示デバイスである。液晶ディスプレイ（LCD）や有機ELのように発光部を持たず、電力なしで表示画像が保持されるために、高い省エネルギー性と強い外光環境下（屋外など）での優れた視認性を有する。近年この特徴を活かした白黒電子ペーパーの普及にともない、カラー画像表示のニーズが一段と強くなっている。しかし従来の表示方式では市場受容性がないため用途が限定されている状況にある。これは明るく鮮やかなカラー表示、パネルコスト（生産性）を実現する実用的な技術が確立されていないためであり、ブレイクスルー技術の開発による市場拡大が期待されている。

反射型カラー表示技術として、これまでに様々な方式が発表されてきたが、実用化された方式はレッド、グリーン、ブルー（R、G、B）の加法混色原理により画像表示する技術である。具体例としては、①反射型白黒表示にRGBのカラーフィルターを重ねる方式 [1] [2]、②MEMSを利用してR、G、Bそれぞれの光を選択的に反射させ、空間分割したサブピクセルを形成する方式 [3]、③R、G、Bそれぞれの光を選択的に反射するコレステリック液晶を積層した方式 [4]などである。しかし、図III-2.3.2-1に示すように①の方式では、発光部位を持たない反射型表示にカラーフィルターを重ねるため、カラーフィルターによる光ロスが非常に大きく、画像が暗くなってしまう。さらに①および②の方式では、サブピクセルで空間分割されるためカラーの色彩が低下し、明るく鮮やかなカラーを得ることはできない。また、③の方式は空間分割方式ではないため①、②に比べると鮮やかな色彩を得ることができるが、コレステリック液晶の反射率上限（50%）があるため、高い白反射率を得ることは難しい。また、基板と電極に挟まれた3つのディスプレイ（R、G、B）を重ね合わせた構造をとっているため、低コスト化が困難であるとともに光利用効率も低下しやすい。



図III-2.3.2-1 従来方式（加法混色）と新規方式（減法混色表示）の比較

そこで本研究ではブレイクスルー技術として、カラー印刷紙と同様にシアン・マゼンタ・イエロー（C、M、Y）の減法混色原理により明るく鮮やかな色彩が得られる反射型画像表示デバイスを、低コスト構造で実現する「積層型エレクトロクロミックディスプレイ」（積層型ECD）を開発することを目的とする。

## (2) 研究開発目標

反射型カラー表示で反射率 50%以上を実現する。また、印刷法を用いてフィルム基板上に対角 10 インチのカラー（512 色）パネルを作製することにより、工業的に製造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。

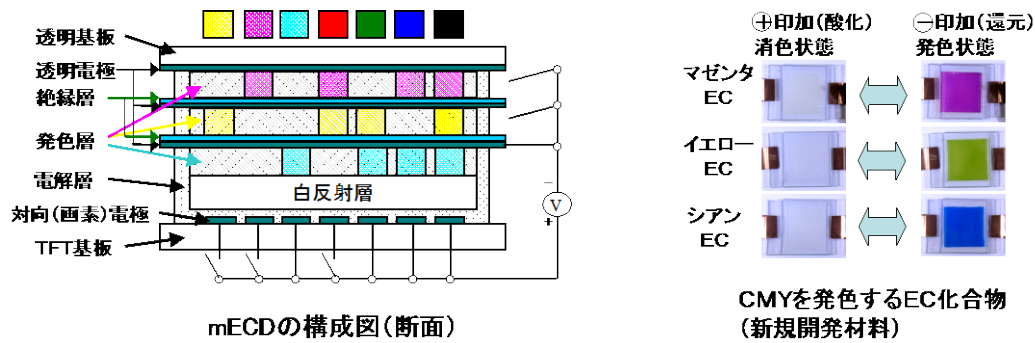
反射率の目標値は、すでに市場を形成している白黒電子ペーパーの反射率が 45%、新聞紙の反射率が 58%程度であることから、目標値 (50%以上) の市場受容性は充分にあると判断して設定した。従来方式のカラー電子ペーパーの反射率は 25～34%である。明るく鮮やかな新規カラー表示技術により、電子ペーパー市場の拡大を目指す。

## (3) 研究開発内容

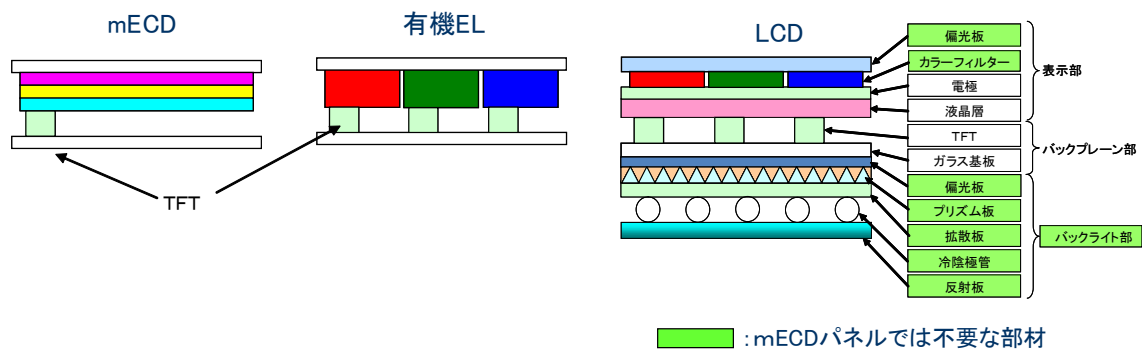
積層型 ECD の断面イメージを図Ⅲ-2.3.2-2 に示す。積層型 ECD は LCD、有機 EL などの一般的なディスプレイと同様に表示部（フロントプレーン）と駆動部（バックプレーン）からなる。表示部は、シアン・マゼンタ・イエローの 3 つの発色層（膜厚は約 1 $\mu$ m）を機能膜として薄膜積層形成しているため、光のロスが少なく視野角依存がない。また減法混色表示であるため原理的にカラー印刷紙のような明るく鮮やかなカラー表示が可能である。さらに 1 つの駆動基板（TFT 基板）で積層した 3 つの発色層を駆動する低コスト構造である。作製面においても表示部機能層の微細加工が不要、かつ低温プロセスが適用できるため、生産性に優れフレキシブル化が容易という特徴がある [5, 6]。従来の発光型ディスプレイ（LCD、有機 EL）との構造比較を図Ⅲ-2.3.2-3 に示す。

図Ⅲ-2.3.2-2 に示すように積層型 ECD の表示部は、それぞれ透明電極上に形成した 3 つの発色層を、絶縁層を挟んで積層し、背面に白反射層を形成した構造を有する。この発色層には電圧印加により透明からそれぞれ C、M、Y に可逆的に色変化するエレクトロクロミック（EC）材料を用いる。EC 材料は酸化還元反応により色彩が変化し、電圧をオフにしても一定時間発消色状態を保持する特性を有する。積層型 ECD では発色層として EC 材料を担持した酸化チタンナノ粒子膜（EC 層）を採用した。酸化チタン多孔質ナノ粒子膜の大きな比表面積に EC 材料を吸着させることで EC 色素の発色濃度が向上し、表示画像のコントラストが向上する。また、発色層をナノ粒子膜とすることでイオンの浸透性を確保できる。

この表示部を、電解質を介して対向（画素）電極を有する駆動部と貼り合わせることで積層型 ECD パネルが作製される。電解質は各透明電極と対向電極の間をイオン伝導させ EC 材料を酸化還元するために必須である。そのためには表示部の各層（EC 層とその透明電極、絶縁層、白反射層、ただし基板面に形成した透明電極は除く）をイオン浸透層として形成する必要がある。発消色駆動では、発消色させる EC 層の透明電極を選択し、対向電極と接続して電圧印加する。電圧印加により電解質のイオンが移動し、接続した透明電極にのみ電荷が注入/放出され、EC 層が酸化還元反応して発消色する。さらに、EC 層が発消色した後、開回路構成とすることで発消色状態がメモリされる。



図III-2.3.2-2 積層型エレクトロクロミックディスプレイの構成図



図III-2.3.2-3 パネル構成の比較

積層型 ECD は従来例がない新規ディスプレイである。本研究では積層型 ECD 開発の要素技術として、以下3つの開発パートを設定して研究を実施した。

- ① 積層素子構成、製膜プロセス、製膜装置の開発
  - ・フィルム基板上に各 EC 層とその透明電極、絶縁層、白反射層を均一膜厚・無欠陥で積層形成する材料/プロセス技術の開発
  - ・電解層のイオン電導性に異方性を持たせることによる表示画像のにじみを抑制する高解像度表示技術の開発
  - ・酸素および水を排除するとともに、イオン浸透性多孔質膜に電解質を充填し気泡レスでフィルム基板（表示基板と TFT 基板）を貼り合せて封止する材料/プロセス技術の開発
- ② 材料開発
  - ・透明からそれぞれ C、M、Y に発色し、色純度と発消色状態の安定性を両立する新規 EC 材料の開発
  - ・エレクトロクロミック反応（酸化還元反応）を安定化させるための、対向電極（画素電極）表面に形成する対極層（逆反応材料）の開発
- ③ 駆動方法および装置の開発
  - ・積層型 ECD 駆動が可能なバイポーラ電流駆動アクティブ TFT 基板および駆動装置の開発
  - ・積層型 ECD 特有の駆動技術（初期化駆動、CMY 電極切替駆動など）の開発

#### (4) 研究開発成果概要

表Ⅲ-2.3.2-1 に開発目標に対する成果の達成度を示す。積層型 ECD の表示部（フロントプレーン）は、10 インチサイズまで開発が進み、専用の低温ポリシリコン TFT を用いた駆動による表示実証を行なった。また駆動部（バックプレーン）は、JAPER A で作製した 6 インチの印刷 TFT を用いて積層型 ECD の駆動実証済みである。したがって本プロジェクトの最終目標である、10 インチ印刷 TFT を用いた積層型 ECD の駆動は、印刷 TFT 試作の完了により達成が見込める。

本プロジェクトの目標は、積層型 ECD で白色反射率 50%以上の“明るさ”と、10 インチフィルム基板でフルカラー（512 色）の“色鮮やかさ”を実現し、工業的に製造可能であることを示すことである。また、フィルム基板にそれぞれ積層型 ECD の表示部と、印刷 TFT の駆動部を作製することで、60g 以下の軽量性を達成することである。

“明るさ”と“色鮮やかさ”については約 50%の白色反射率と印刷規格であるジャパンカラー比で約 35%の色再現範囲を実証済みである[7]。フルカラー512 色はパルス幅変調（PWM）駆動で 1 色あたり 8 階調での駆動を確認しており[8]、専用の印刷 TFT 駆動装置の各色 16 階調出力と合わせて 4096 色まで対応可能の見込みである。また、6 インチの印刷 TFT で作製した積層型 ECD パネルの重量は 13.1g であり、10 インチへのサイズ拡大でも 60g のパネル重量は十分に達成が見込める。

表Ⅲ-2.3.2-1 開発目標の達成度評価

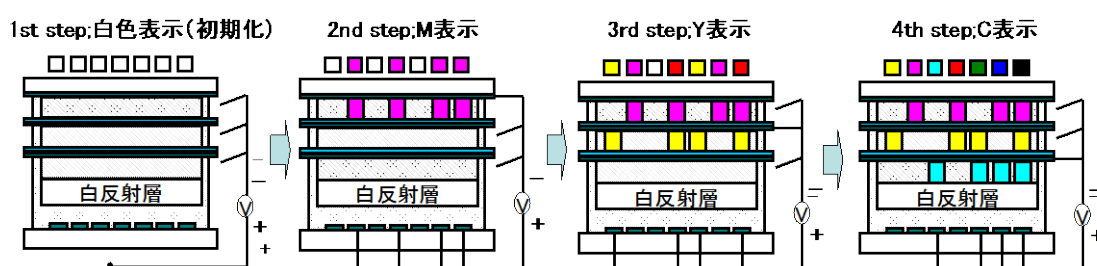
目標	研究開発成果	達成度	最終目標への取り組み	達成目処 (平成27年度)
・反射率: 50%以上	・50%以上を達成	○		○
・カラー(色数): 512以上	・26万色相当	◎	・印刷TFT 階調制御技術の確立	○
・サイズ/基板: 10インチ印刷TFT フレキシブル: 60g以下	・6.0インチ/フレキシブルパネルの作成に成功。 ・10インチ印刷TFTパネルの試作に着手	△ (平成28年 1月達成計画)	・10インチECDフロントプレーンのプロセス確立	○

本プロジェクトの開発成果であるエレクトロクロミック技術は、省エネルギーで物体の色を変えるという色彩を豊かにする技術である。これは電子ペーパーやサイネージのような高反射型カラーの情報表示技術にとどまるものではなく、調光ウィンドウ・調光レンズなどの調光デバイスに展開できる、技術的にも経済的にも高い波及効果を持つ技術である。これらの調光デバイスは太陽光などの外光を利用・制御することで屋内の省エネルギー化やヘルスケアに貢献することが期待され、市場の拡大が見込まれている。

## (5) 研究開発成果

### <積層型 ECD 駆動>

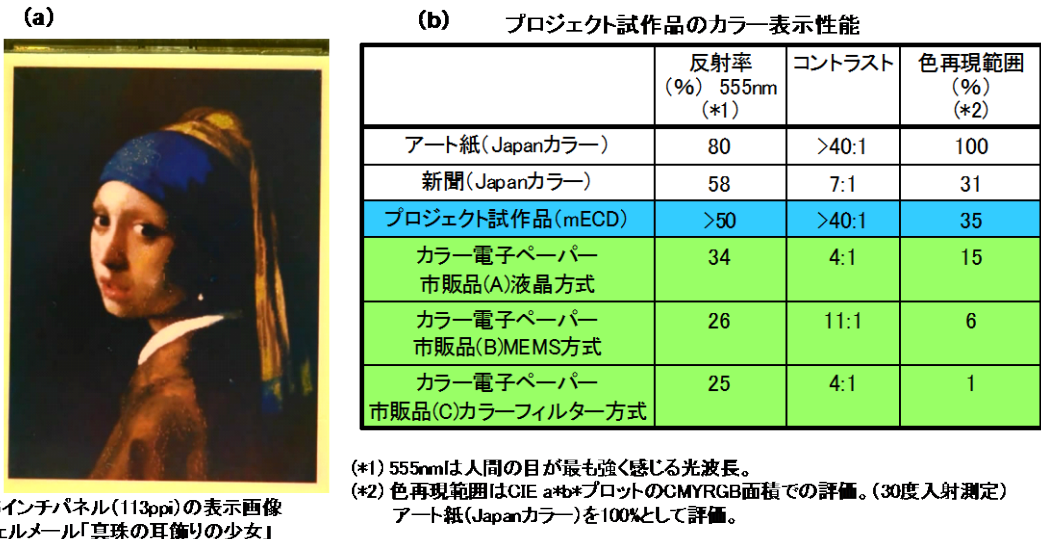
積層型 ECD のフルカラー画像表示駆動は、それぞれの表示電極に電荷を注入する 4 つのステップで構成される。図Ⅲ-2.3.2-4 に示すように、1st step の白色表示（初期化）状態ではすべての発色層が透明状態にされており、白反射層の白のみが視認される。2nd step のマゼンタ画像表示では、表示画像に対応する画素電極を選択し、マゼンタ発色層を形成した透明電極と接続して電圧印加することにより、マゼンタ発色層の表示画像領域のみを発色させる。その際、発色させる層以外の透明電極は開回路状態である。3rd step ではイエロー発色層の透明電極を選択して表示画像を形成し、4th step ではシアン発色層の透明電極を選択して表示画像を順次形成させていく。各 EC 層はメモリ性を有するため画像が保持され、結果として CMY と減法混色による RGB を含めた、フルカラー画像表示が実現できる。



図Ⅲ-2.3.2-4 積層型 ECD の駆動方法

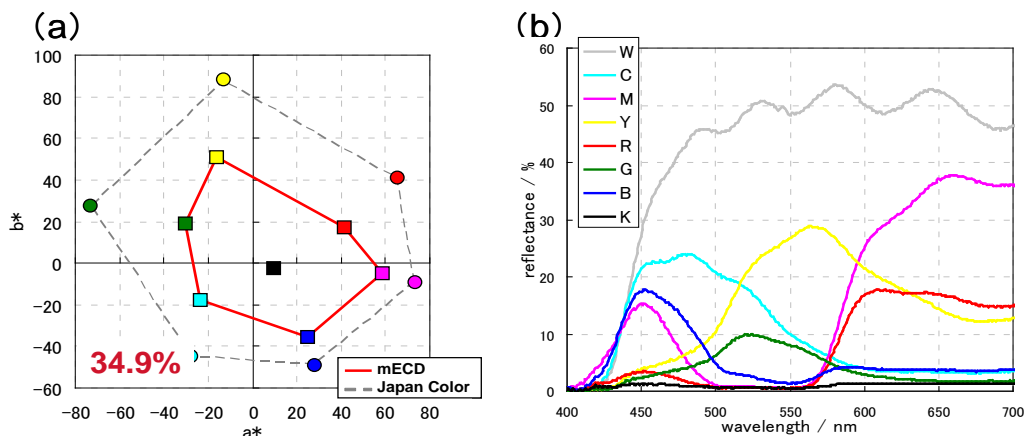
積層型 ECD は酸化還元による電荷の注入/放出で発消色するため、正負電圧印加可能なバイポーラの電流駆動 TFT 基板と駆動回路が必要である。本プロジェクトでは、既存の LCD や有機 EL で開発されたシリコンプロセス技術をベースにした、積層型 ECD 専用のアクティブ駆動 TFT 基板と、3 層の表示電極を切り替えるスイッチを搭載した積層型 ECD 専用の駆動回路装置を開発した。

図Ⅲ-2.3.2-5(a)に専用 TFT 基板を用いた 3.5 インチ積層型 ECD パネルの表示画像を、図Ⅲ-2.3.2-5(b) および図Ⅲ-2.3.2-6 にカラー表示性能を示す。積層型 ECD により減法混色法のフルカラーアクティブマトリクス駆動表示を世界で初めて実証した。また、試作パネルのカラー表示性能評価にて、明るさ（白色反射率）50%以上、色鮮やかさ（色再現範囲）35%、コントラスト比 40:1 以上を達成した。この表示性能はカラー新聞紙に匹敵し、反射型カラー表示性能として世界最高値である。



図III-2.3.2-5 3.5インチ積層型ECDパネルの表示画像と試作パネルのカラー表示性能

- (a) 表示画像 フェルメール「真珠の耳飾りの少女」  
 (b) パネルのカラー表示性能一覧表

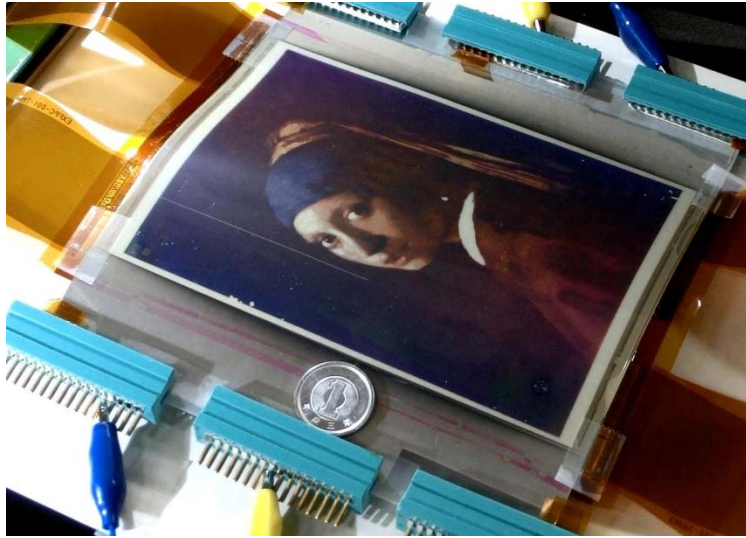


図III-2.3.2-6 試作した積層型ECDパネルのカラー表示性能  
 (a) CIE a\*,b\*プロット、(b) 表示した各色の反射スペクトル

<フレキシブル積層型ECDパネル>

また、ポリイミド基板上に形成した6インチの低温ポリシリコンTFT基板を用いて、積層型ECDのフレキシブルパネルの作製に成功した。図III-2.3.2-7に6インチサイズの積層型ECDフレキシブルパネルの表示結果を示す[9]。





図Ⅲ-2.3.2-7 6インチ積層型ECDフレキシブルパネルの試作結果  
駆動部はポリイミド基板のフレキシブル低温ポリシリコンTFT  
フェルメール「真珠の耳飾りの少女」

#### Reference

- [1] [http://www.eink.com/display\\_products\\_pearl.htm](http://www.eink.com/display_products_pearl.htm)
- [2] Keiichi Akamatsu, et al, “A 13-inch Flexible Color EPD Driven by Low-Temperature a-Si TFTs”, Proc.of SID2011, 198-201, 1, (2011)
- [3] Brian Gally, , et al, “A5.7” Color Miarasol XGA Display For High Performance Applications”, Proc.of SID2011, 36-39, 1, (2011)
- [4] <http://www.frontech.fujitsu.com/services/products/paper/flepia/>
- [5] 平野ら「反射型リアルフルカラー表示技術～新規積層エレクトロクロミック方式～」第 89 回日本化学会年会予稿集, 2B1-15 (2009)
- [6] T. Yashiro, et al., “Novel Design for Color Electrochromic Display”, Proc. of SID2011, 42-45, 1 (2011)
- [7] Y. Okada, et al., “High Resolution Technology for Multi-Layered Electrochromic Display”, Proc. of IDW / AD'12, pp1641-1644 (2012)
- [8] 村上(九大)ら「エレクトロクロミックディスプレイの階調駆動」電気情報通信学会総合大会予稿集 (2013)
- [9] T. Yashiro, et al., “Flexible Electrochromic Display”, Proc. of IDW'13, pp1300-1303 (2013)

## 2.3.3 大面積軽量単色電子ペーパーの開発（凸版印刷株式会社）

### 2.3.3.1 研究開発の背景と方針

プリンテッドエレクトロニクスは①低設備投資負担、②高材料使用効率、③低環境負荷等の特徴から従来の真空成膜/フォトリソグラフィ法と比較して、大幅に低コスト化が実現できる可能性を秘めている。そのため近年、内外の企業や研究機関により多くの研究開発が実施されてきた。印刷法で TFT などの電子部材を実現するためには、従来の商業印刷とは桁違いの高精細・高精度のパターンを印刷形成する必要がある。そのために提案された種々の手法を大別すると以下の 3 つの 카테고リーに分類できる。

- ①電極部等高精細パターンが要求される層は従来の真空成膜/フォトリソグラフィ法を用い一部の層は印刷で形成する印刷/真空成膜のハイブリッド手法 [1][2]
- ②濡れ性制御層を基材上に露光工程でパターン形成し、その上にインクジェットもしくは有版印刷を行う混在方法 [3][4]
- ③印刷法だけで全層を形成する完全印刷手法 [5][6]

そもそも印刷法のメリットは、

- ・真空プロセスを使用せずに膜を形成できること
- ・膜形成とパターンニングが一つのプロセスで実現できること

であり、この 2 つの特徴を同時に満たしうるからこそ、“工程数の減少、必要な装置数の減少、短タクト化”が可能となり、従来法と比較して圧倒的な低コスト化が実現できるのである。直描装置を用いて無版で電子写真のようにパターン形成する方法も近年提案されているが、TFT レベルの精細なパターンを直描できる装置は現時点では極めて高価であり“安価かつ簡単に作製する”というプリンテッドエレクトロニクスの本質とは相容れない。以上の議論からも明らかな通り、プリンテッドエレクトロニクスが本来目指すべき方向は③の“印刷法だけで全層を形成する手法”であることは論を待たない。②の濡れ性制御層を露光工程でパターン形成する手法は③の完全印刷法へ移行するまでの過渡的な手法と位置付けることができる。

本研究開発では印刷法だけで TFT の全層を形成するプロセスを開発することを目的としている。あわせて印刷法で製造した安価なフレキシブル TFT とフレキシブルな電子ペーパー前面板を組み合わせることで、フレキシブルな電子ペーパーを実現する。完全印刷法は将来的に高速化を目指した連続巻取印刷法も視野に入れることができるため、その技術的かつ経済的なインパクトは大きい。

また本研究開発では、具体的な商品ターゲットとして、非電子書籍用電子ペーパー市場を狙う。この市場は今後顕著な市場拡大が見込まれるだけでなく従来の液晶パネルとも市場が競合することのないため価格競争に巻き込まれにくい。また本用途では、軽量・耐衝撃性が要求されるため、割れやすい硝子基材に変わってプラス

チックフィルム基材を使用することは顧客価値を実現するために重要な要素である。

本カテゴリーの商品はディスプレイとしては“漢字が表示可能であること”、“2次元バーコードが表示可能であること”が要求特性となっているため、解像度として120ppi前後の商品が多い。この解像度は電子書籍系電子ペーパーで求められる166ppi以上と比べて比較的低く、印刷法だけで製造するTFTとは親和性の良いターゲットといえる。

以上の理由から、本研究開発では完全印刷法で120ppiの解像度を持つフレキシブルTFTを作製し電子ペーパー前面板と組み合わせて実用化することを目指す。

上記目的を達成するために以下の3つの戦略で研究開発を進めることとした。

1. 生産性の高い有版印刷法を用いて印刷TFTを製造する技術を確立する
2. 電子ペーパー前面板には、電子ペーパーのデファクトスタンダードである電気泳動型電子ペーパー前面板を採用する
3. 委託事業へ参画し、委託事業の研究成果を積極的に取り入れ開発を加速させる

本研究開発では印刷プロセスの中でも量産性、短タクト化の観点で有利な有版印刷プロセスを用いて印刷TFTを開発する。また、最終製品であるフレキシブル電子ペーパーを実現する上で必要な電子ペーパー前面板には、電子ペーパーの事実上デファクトスタンダードであるマイクロカプセル方式電気泳動型電子ペーパーを用いる。これにより、前面板には開発要素は無くフレキシブルTFTを開発完了すればフレキシブル電子ペーパーが商品化可能となり、上市までの期間を短縮できる。また委託事業に参画することで、委託事業の成果を積極的に取り込み、開発を加速化させて早期上市を達成する。

### 2.3.3.2 目標と目標の達成度

<最終目標>

完全印刷法を用いてA4サイズのフィルム上に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設計指針を示す。

以下に目標に対する達成度を示す。

表Ⅲ-2.3.3-1 目標に対する達成度

中間目標	研究開発成果	達成度 (平成25年度)	最終目標への取り組み	達成目処 (平成27年度)
・印刷法を用いてA4サイズのフィルム基板上に120ppiのTFTアレイを製造する	・完全印刷工程で10.7-in. XGA 120ppiのTFTアレイをフィルム基板上に作製。電子ペーパーの駆動にも成功。	○	・120ppiの解像度を持つTFTアレイを作製し電子ペーパーと組み合わせパネル実証	◎
・製造タクトは1枚あたり10分以内	・製造タクトは1枚10分を大幅に短縮して達成。	○	・製造タクト1枚3分以内 ・A4TFTパネルの重量が40g以下 ・大面積化への指針抽出	◎ ◎ ◎

上記の最終目標を達成するために定めた、自主設定目標を以下に記述する。

表Ⅲ-2.3.3-2 自主設定目標に対する達成度

	目標	成果	達成度
1. 印刷プロセス技術	安定・連続な製造工程確立	・印刷TFT作製において鍵となる技術の確立 “高精細電極印刷技術” “平坦/均一/高生産性の有機半導体印刷技術” ・50枚以上、連続印刷技術確立	○
2. 製造タクト短縮	3分以内	タクトタイムのボトルネックとなる高精細転写印刷において3分/枚以内達成	○
3. パネル化技術	A4フィルム基板上に120ppiアレイ作製	・A4サイズ以上のフィルム基板上に印刷法で120ppiのTFTアレイを製造する技術を確立。 ・前面板と組み合わせて種々の電子ペーパーの試作を実証	○
4. 軽量化	40g以下達成	ゲートドライバ、ソースドライバ込みで40g以下	○
5. 大面積化	大面積化への設計指針提示	単位パネルをタイリングすることで長辺900mmのレール型電子棚札のデモに成功した。独自のタイリング加工技術を用いてメートル級の大幅フレキシブルディスプレイを設計することを実証し、大面積化への指針を提示した。	○

いずれも自主目標を達成したことで、プロジェクトの最終目的も達成することができた。

種々の電子ペーパーの試作として、①A4級の10.7-in. デジタルサイネージ用XGAパネル、②4.6-in.物流用電子ラベル(RTI)用パネル(画素数480×272)、③5.73-in.電子棚札(ESL)用電子パネル(画素数688×72)を製作した。①は将来的に電子カンバンなどのデジタルサイネージとしての使用を想定している。②はA4サイズ以上の大型基板から多面付けで印刷法にて試作したもので、良好な表示品質を示

しており、割れないというフレキシブル性の特徴を活かして今後市場開拓が期待できる。③は電子ペーパー全面板を組み合わせることで ESL 用電子ペーパーを試作した。その単位ディスプレイの試作結果を図Ⅲ-2.3.3-3 に示す。この単位ディスプレイをタイリングすることで図Ⅲ-2.3.3-4 のような電子棚札の作製に成功した。

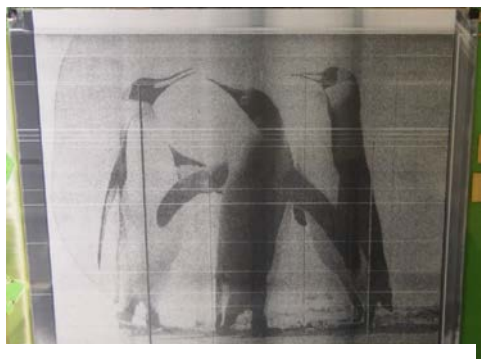


図 Ⅲ-2.3.3-1 A4 サイズ  
10.7-in. XGA パネル



図 Ⅲ-2.3.3-2 4.6-in. RTI 用  
電子ペーパー



図 Ⅲ-2.3.3-3 5.73-in. ESL 用  
単位ディスプレイ



図 Ⅲ-2.3.3-4 レール型電子  
棚札の試作例

### 2.3.3.3 成果の意義

本研究開発の成果とその成果の意義を以下にまとめた。

表Ⅲ-2.3.3-3 本研究開発で得られた成果と成果の意義

	成果	成果の意義
印刷プロセス 技術確立	直接印刷法で $L/S=1\mu\text{m}/1\mu\text{m}$ を実現できる高精細転写印刷技術を確立	印刷法においてもフォトリソグラフィと同等のパターン形成が可能であることを実証
	フレキシ印刷技術を用いて有機半導体の印刷技術を確立。 電子ペーパーを駆動するには十分な移動度 $0.48\text{ cm}^2/\text{Vs}$ を達成。	高移動度化が期待できる低分子有機半導体の印刷技術確立。初期性能で $a\text{-Si}$ と同レベルの性能を達成。
	高精細転写印刷において、ブランケット膨潤を抑える技術を開発。50 枚連続印刷技術確立。	連続印刷化への基本的な対策と実証が終了。
製造タクト向上	A4 サイズ以上の基材 1 枚あたり 3 分以内	量産展開可能なタクトを達成し、印刷法による量産化への可能性を示した。

印刷 TFT アレイ 製造技術	A4 サイズ以上の基材フィルム上に印刷 法で 120ppi アレイ作製。前面板と組み 合わせてデジタルサイネージ、物流ラベ ル、電子棚札用のフレキシブル電子ペー パーを試作した。	印刷 TFT を用いた具体的な電子 ペーパー商品群の提案を行い実 用化へのめどを立てた。
	周辺デバイス込みで A4 パネルの重量 40g 以下を達成	ガラス基材パネルの 1/4 以下の 軽量化実現
大面積化への設 計指針	タイリング法を用いてメートル級の電 子ペーパー作製に成功。タイリング手法 の有効性を実証した。	タイリング法による大面積化の 有効性を、試作品を示すことで 実証した。

#### 参考文献

- [1] N. Kawashima, *et.al.*, Proceeding SID '09, p.25
- [2] P.Cain, *et.al.* Proceeding IDW '12, p.249
- [3] K. Suzuki, *et.al.* Proceeding IDW '09 p.1581
- [4] H. Maeda, *et.al.* Proceeding IDW '07, p.451
- [5] K.Matsuoka, *et.al.* Proceeding IDW '09, p. 717
- [6] R.Matsubara, *et.al.* Proceeding SID '12, p419

## 2.4 印刷技術によるフレキシブルセンサの開発

### 2.4.1 フレキシブルセンサに係る基盤技術開発 (JAPER A)

本研究開発項目においては、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ことを目的として、①-(2) 課題以降で開発が検討されているフレキシブルセンサに対する TFT アレイの仕様を定めるための、TFT アレイとセンサ部との接合条件の検討を行った。ここでは特に、圧力センサをターゲットとして、TFT 駆動圧力センサの開発を検討した。その結果、以下のような成果を得るに至った。

大面積フレキシブルセンサの駆動回路を大面積プロセスに適した印刷プロセスを用いて作製することを目標に、オール塗布型高性能有機トランジスタの素子構造検討、駆動回路としての高性能化を目指した擬 CMOS 回路の印刷製造技術検討、高均質 TFT アレイ製造を目指したフローティングゲート型トランジスタの設計検討を行った。

スクリーン印刷とインクジェットを駆使して、全塗布型高性能薄膜トランジスタを製造した。高解像度スクリーン印刷とピコリットル精度の液滴を吐出可能なインクジェット印刷装置を用いることで、全塗布型の有機トランジスタの作製を実現し、移動度：平均  $0.2\text{cm}^2/\text{Vs}$ 、on/off 比： $10^6$  を得るにいたった。この手法を用いて  $30\text{cm}$  角で  $1\text{mm}$  ピッチの解像度を持つトランジスタアクティブマトリックスを試作し、その動作を確認した。

大面積フレキシブルセンサの低消費電力で高性能な駆動回路を実現するために、相補的回路 (CMOS 回路) の設計を行った。p 型トランジスタで、擬 CMOS 構造を作製した。この擬 CMOS 回路を評価したところ、インバータ利得 90 を得た。これは、印刷で作製したインバータとしては著しく高い利得である。

これらの技術を用いて、高性能大面積高均質 TFT 回路の設計を検討した。ゲート絶縁膜内に金属電極を埋め込むフローティングゲート型薄膜トランジスタを用いて、薄膜トランジスタの電気的性能を自由にコントロールして、均一性を向上させる検討を行った。この結果、ばらつきを 10% 程度まで低減できる結果を得た。

次に、大面積フレキシブルセンサの駆動回路に用いるトランジスタとして、フローティング (浮遊) ゲート型有機トランジスタ構造を検討した。このトランジスタ構造を印刷で形成して、特性を評価するとともに、閾値電圧を動的に制御する技術を検討した。これにより閾値ばらつきを 10% 以下に抑えることを実証した。また、このフローティングゲート型有機トランジスタにおいて、閾値電圧をプラス方向からマイナス方向まで、広範囲に閾値変調できる新規構造の開発を行った。これにより、全印刷製造によるフローティングゲート型有機トランジスタにおいて、閾値の動的変調を実現させることに成功した。フローティングゲート型有機トランジスタの先行事例は、ゲート絶縁膜に自己組織化単分子膜とアルミナ酸化膜を使用しており、大面積かつフレキシブルトランジスタに適した高分子ゲート絶縁膜ではフローティングゲート型トランジスタの動作は報告されていなかった。そこで本研究では初めに、高分子絶縁膜であってもフローティングゲート型トランジスタを作製することができ、かつ閾値変調が可能であることを実証すること

を狙った。また、新規構造を模索することで、従来のフローティングゲート構造では困難であった正負両方向閾値電圧制御を可能にすることをねらった。これにより、半導体や絶縁膜などの材料に依らず、デバイスを作製した後も自由にエンハンスメント型とデプレッション型のトランジスタを分けることが可能となり、より自由度の高い回路設計を実現するとともに、比較的移動度の低い有機トランジスタにおいて、電流値を犠牲にすることなく安定性の改善やばらつきの補正を行うことができるようにした。さらには、変調できる閾値電圧の幅が広がることから、メモリ性の向上においても優位性が期待できる。

次に、素子製造上の接合条件や駆動電圧などについて基礎データの収集を行うことで、フレキシブル圧力センサの一次設計を行った。この結果、メートルサイズ級の大面積圧力センサシートを実現するためのフレキシブル TFT アレイを印刷技術で形成するための課題が抽出された。また、TFT とセンサ部の接合の仕様と課題抽出を行った。これにより、TFT の駆動電圧等のデバイスパラメータ及びインターフェース部である層間膜、画素電極の設計指針を提示するに至った。こうして得られた製造条件をもとに、全印刷製造 TFT を用いて A4 サイズの TFT アクティブマトリックス駆動フレキシブル圧力センサを試作し、良好に動作することを確認した。

上記技術開発により、フレキシブル圧力センシング方式と TFT シートとの整合化課題・仕様を抽出することができたとともに、全印刷製造 TFT によるフレキシブル圧力センサの試作、動作検証を行った。これにより、平成 23 年度末までの最終目標を達成することができた。得られた成果は、研究開発項目①・②へ反映させた。



◆研究項目④-(1) フレキシブルセンサに係る基盤技術開発

最終目標(平成23年度末)			
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。 【デバイス整合化】:TFTアレイと表示部の接合条件や駆動電圧等デバイスとしての課題を抽出			
目標	研究開発成果	達成度 (平成23年度)	今後の展開
・フレキシブルセンサとTFTアレイの接合化条件の抽出	・圧力センシング方式とTFTシートとの <b>整合化課題・仕様を抽出</b> ・全印刷製造TFTによるフレキシブル圧力センサの試作。動作を検証	○	・高生産性プロセスとデバイス性能仕様との整合化を図る課題として、研究項目②にて集中的展開

試作した全印刷TFT駆動フレキシブル圧力センサー

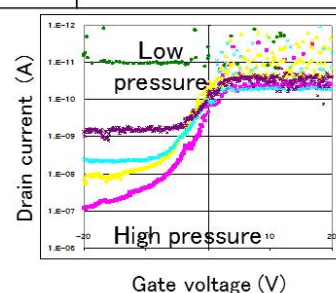
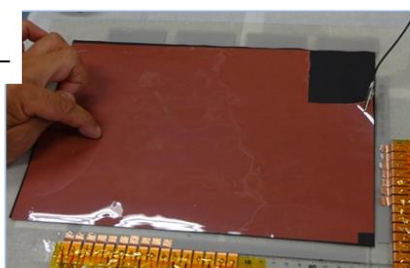


図 III-2.4.1-1. 研究開発項目④-(1)の成果と目標の達成度

## 2.4.2 大面積圧力センサの開発 (大日本印刷株式会社)

### 2.4.2.1 研究開発の背景・方針

＜研究開発の背景＞

今後ますます進展が期待されるネットワーク社会において、生活者が豊かな生活を享受できるサービスを提供するシステムを実現するために、従来の情報入力素子では達成困難な各種情報の分布を収集することを可能とする大面積情報入力素子が有効となる可能性がある。このような情報入力素子を実現するためには、有機 TFT からなるフレキシブルシートデバイスが適しており、入力素子の事例として圧力センサシートを開発することとした。

研究開発の意義としては、DNP の各事業分野で展開しているシート状製品の高機能化により、新規市場の創出が期待される。事業化へ向けた低コスト化、信頼性確保に当事業にて取り組むこととする。

### 2.4.2.2 目標と目標の達成度

＜最終目標＞

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、情報入力のモデルデバイスとして実用可能であることを実証する。

これまでの目標の達成度について、表Ⅲ-2.4.2-1 に示す。大面積圧力センサシートを早期に実現するために、基本計画に目標を追加して開発に臨んだ。

表Ⅲ-2.4.2-1

研究開発項目	目標	研究開発成果	達成度
(1) 有機TFT 製造プロセス の開発	(1-1) 素子密度1mmあたり1素子	300×210mm(A4サイズ相当)のアクティブエリア内で、素子密度0.5mmあたり1素子の有機TFTを形成した。	◎
	(1-2) 有機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	300×210mm(A4サイズ相当)のアクティブエリア内における、有機TFT素子の特性ばらつきについて、移動度及び閾値電圧のばらつき $\sigma < 5\%$ を達成。	○
	(1-3) 動作速度10Hz相当以上	アクティブエリア1m <sup>2</sup> 、素子数1,000×1,000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。	○
	(1-4) メートル級の大面積TFTシートを試作する	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。	○
(2) 大面積化 ・実証試作	(2-1) メートルサイズ級の圧力センサシートを試作し、実用可能であることを実証する	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4,096(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。	◎

### 2.4.2.3 研究開発成果

#### <メートルサイズ級の圧力センサシートの試作>

有機 TFT アレイを用いた圧力センサは、印加する圧力に依って抵抗値が変化する感圧ゴムを有機 TFT のドレイン電極に負荷抵抗として接続した構成で実現できることが東京大学染谷教授より報告されており、今回もこの方式を採用した。圧力センサの模式構造を図 III-2.4.2-1 に示す。

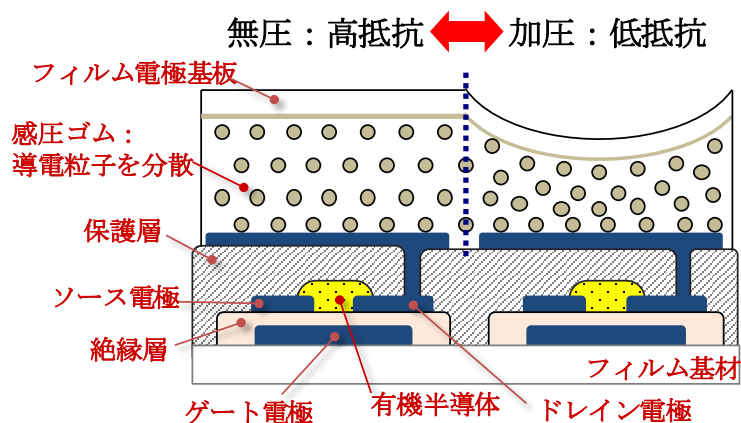


図 III-2.4.2-1 圧力センサの構造模式図

作製した有機 TFT アレイの電気特性と、感圧ゴムの印加圧力-抵抗値の組み合わせを調整し、検出感度の実力値を把握した。単一の素子（感圧ゴムを TFT と対向共通電極ではさんだ構造）に圧力を加えた際のドレイン電流と印加圧力の関係について図 III-2.4.2-2 に示す。

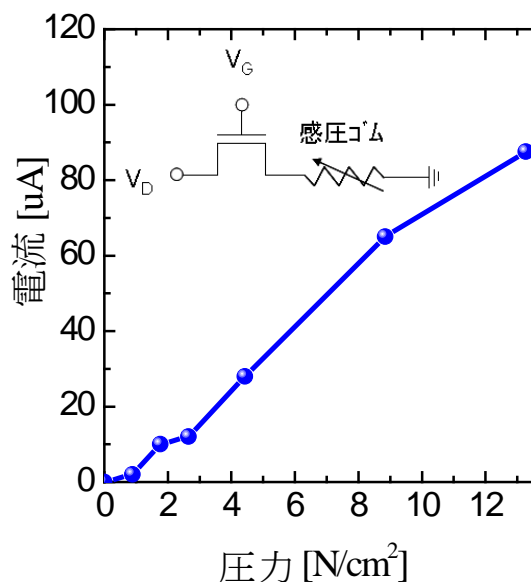


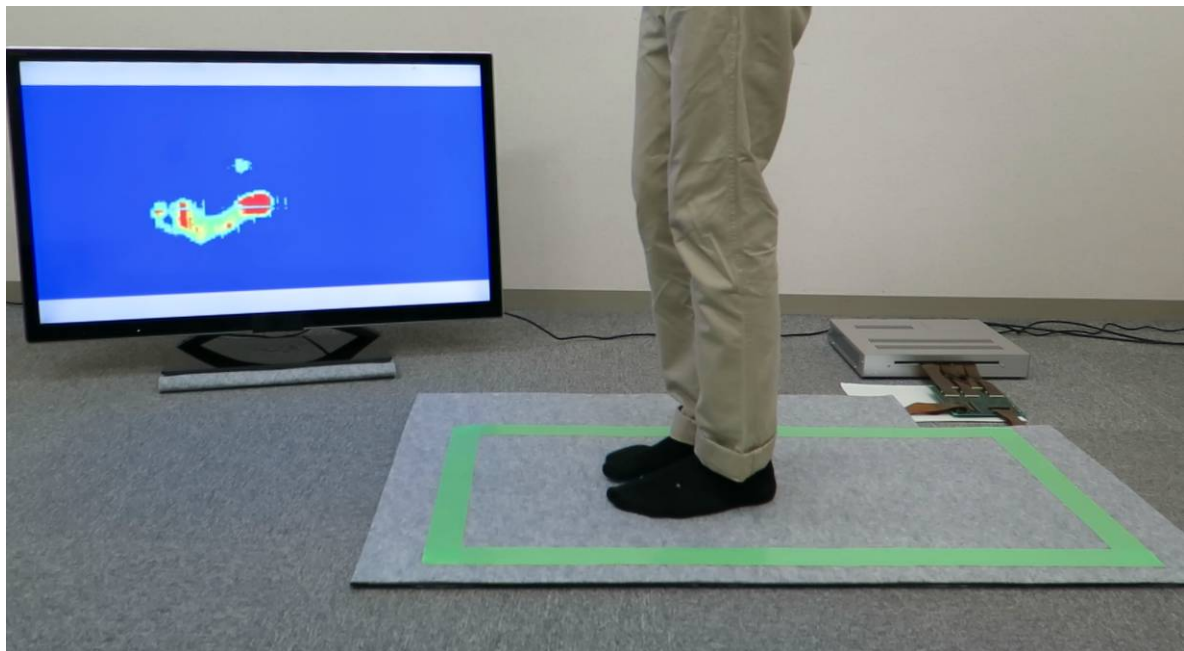
図 III-2.4.2-2 圧力センサ単一素子の印加圧力-出力電流静特性

タイリングによって作製したアクティブエリア 900 × 420mm のメートル級大面積有機 TFT アレイを用い、感圧ゴムをこの TFT 基板上に重ね、その上に対向電極を設けた上部フィルム基板を順次積層して、有機 TFT でアクティブ駆動することにより、高速で圧力分布

を観測可能なセンサシートを実現した。主なセンサ仕様を下記に示す。

素子数： 225 × 104 (23,400)  
空間分解能： 4.0mm  
階調数： 4,096 (12 ビット)  
感圧範囲： 0～14N/cm<sup>2</sup>  
検出速度： 200Hz

圧力分布を観測するべく、ゲート電極に順次 TFT をオンさせるパルス電圧を印加し、各ゲートライン上の TFT のドレイン電流を逐次読み取る IF 回路を製作した。作製した回路を用い、圧力分布の観測を行っている様子を図Ⅲ-2.4.2-3 に示す。形成した A4 サイズのセンサシート上の圧力印加部に接続された有機 TFT のドレイン電流の分布がモニター上にリアルタイム表示されることを確認した。塗布型有機 TFT による世界最大・最高速のセンサシートが実現、目標を達成できた。



図Ⅲ-2.4.2-3 試作した圧力センサシートによる圧力分布観測状況

#### 2.4.2.4 成果の意義

<成果の優位性及び展開可能性について>

他の競合技術と比較した有機 TFT の優位性として、下記項目が挙げられる。

- ・ 150°C以下の低温プロセスで形成できるため、PET、PEN 等の低廉な基材が使用可能であることが示された。
- ・ 半導体のみならず、絶縁層も有機物なので、a-Si、酸化物半導体 TFT よりも屈曲性が優れている。この特徴は、有機 TFT をセンサ等のシート形状のデバイスに用いる場合、表示デバイスの場合よりも顕著な優位性をもたらす。
- ・ 塗布方式で必要な箇所に選択的に材料を配置できるため、大面積シートデバイスを形成する場合には特に材料利用効率が高い。

パッシブ型のセンサに対する TFT と組み合わせたセンサの優位性としては、下記項目が挙げられる。

- ・ 圧力の読取速度が高速化できるため、空間分解能を維持したまま大面積化が可能である。
- ・ 非選択時の待機電流が pA オーダーと微小なので、低消費電力化が可能である。
- ・ 従来にない特徴、優位性を活用し、大面積シートデバイス市場の創造につながることを期待できる。
- ・ 圧力センサに限らず、他の入力デバイスをシート形状で実現する際にも有機 TFT アレイ製造プロセスは汎用的に利用できる。

以上に挙げた従来にない特徴・優位性の活用が、大面積シートデバイス市場の創出につながることを期待できる。

<成果の汎用性について>

圧力センサに限らず、他の入力デバイスをシート形状で実現する際にも本事業で開発した有機 TFT アレイ製造プロセスは汎用的に利用可能である。

<委託事業との関係性（成果の活用）>

委託事業で取り組まれる連続生産、高速生産、均一化のいずれも有機 TFT の工業的な意味での実用化にとって不可欠な課題である。委託事業において提供されるこれらの成果については、大面積圧力センサシートの開発においても活用されるべき技術である。

## 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. 実用化に向けての見通し及び取り組みについて（委託事業）

#### 1.1 次世代プリントドエレクトロニクス技術研究組合

本プロジェクトでは、印刷法を駆使して回路・デバイスを製造する技術である「プリントドエレクトロニクス技術」の共通基盤技術の確立を行うための研究開発を行っている。特に本委託事業研究開発課題においては、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高生産性連続印刷、同製造技術の高度化、信頼性向上及び標準化の推進等に資する基盤技術の開発を行っている。当該研究開発課題における技術開発の狙いは、「高生産性製造」、「高自由度生産」、「低設備投資生産」等の生産技術の開発に置かれていることから、その成果は広く多様なターゲット（電子基板製造）に対して活用されていく事が見込まれている。

本委託事業での研究開発課題に対しては、複数の材料メーカー、装置メーカー、プロセスメーカー、デバイスメーカーが参加して垂直水平連携体制で技術開発を行っている。それぞれのメーカーが、自社で得意とする技術と他社技術との摺り合わせを行うことで、上記目的を達成する高度生産技術の確立、すなわち一貫連続生産に有効な技術の開発を行い、高度フレキシブル電子基板の印刷製造技術の確立に取り組んでいることから、電子基板製造における材料ビジネス、装置ビジネス、製造ビジネス、デバイスビジネスなど、いずれのフェーズにおいても、実用化展開していくポテンシャルを有している。

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ドエレクトロニクス基盤技術の開発に努め、プロジェクト中間年までに、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、FPC：フレキシブルプリント配線基板、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。

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。

開発される「プリントドエレクトロニクス基盤技術」としては、本プロジェクトの終

了後以降に各企業にて実用化検討がなされることが計画されている。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組合員企業での検討を行う。これらにより、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。

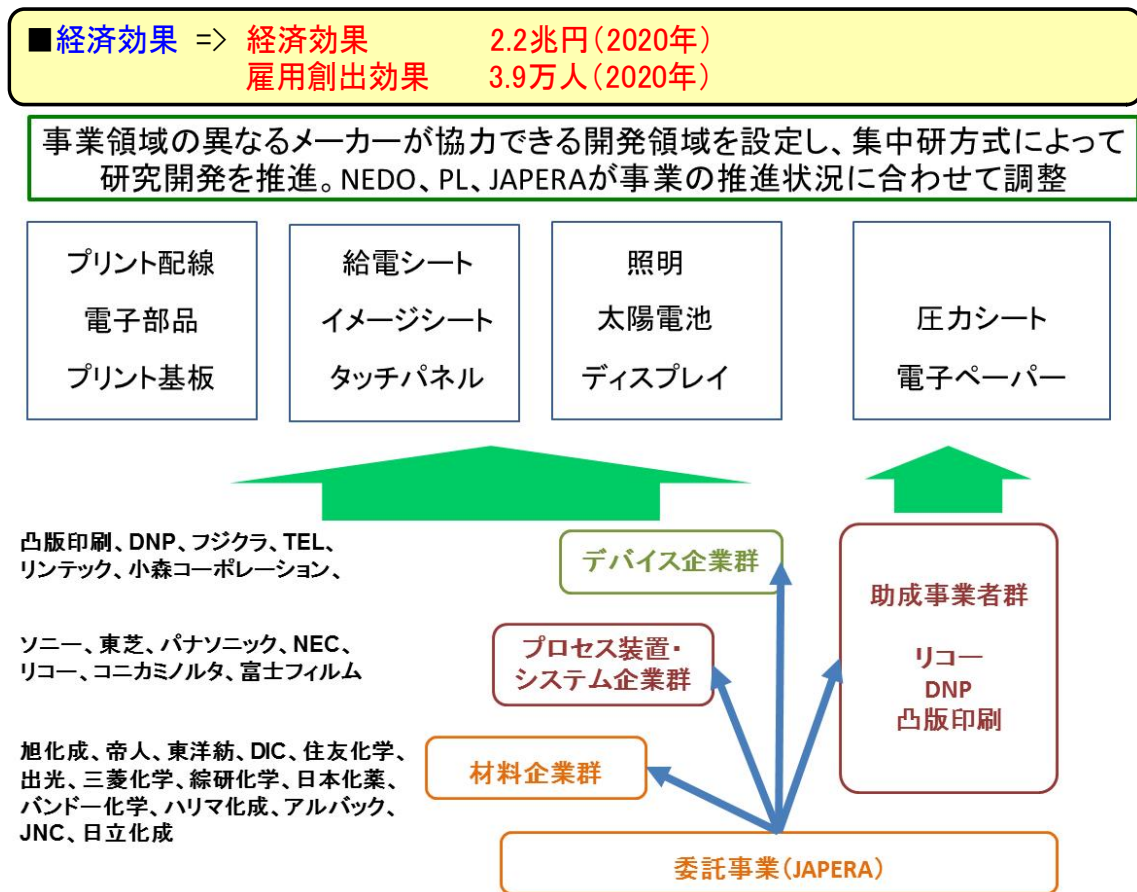


図 IV-1.1-1 実用化への取り組み

本研究開発の成果が実用化された際に期待できる波及効果としては、省エネルギー効果、新規市場創出及びそれに伴う雇用創出などがあげられる。

プリンテッ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。

本プロジェクトの目標が全て達成された際には、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。特に、ディスプレイ市場、電池市場、電子部品市場、さらには

それらを包含した将来の社会システムで大きな効果が得られると見込まれている。

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。現在本研究課題を推進している技術研究組合は、集中研方式を採用しており、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、一つの事業体としての研究開発に取り組んでいる。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ている。

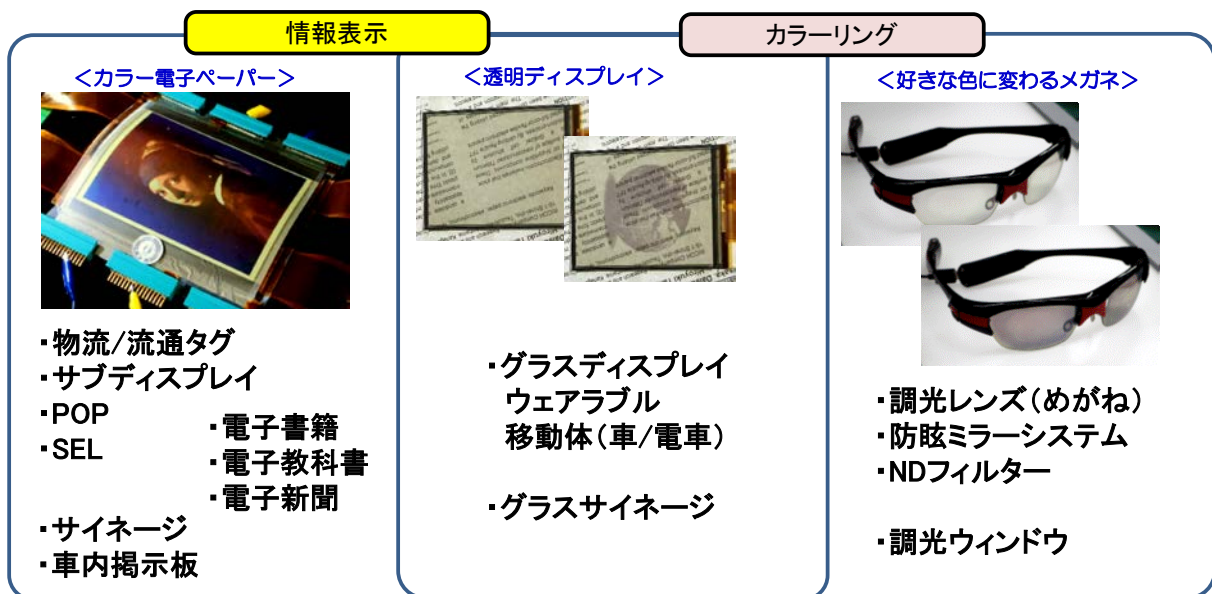


## 2. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて（助成事業）

### 2.1 高反射型カラー電子ペーパーの開発（株式会社リコー）

#### 2.1.1 波及効果（技術的、経済的、研究開発、人材育成など）

電気により色が変わるエレクトロクロミック技術は電子ペーパーのみでなく、さまざまな用途に展開可能な基盤技術であり、技術的、経済的に高い波及効果が期待できる。特に、調光レンズ、防眩ミラー、調光ウィンドウなどの調光デバイスは太陽光・外光を利用（制御）することで、エネルギーの有効活用、環境改善、ヘルスケアを実現する技術として、市場拡大が見込まれている（図IV-2.1.1-1）。NREL では電子調光によりビルの消費エネルギーの 1/8 を節約できると報告している（NEDO 海外レポート No1060）。



図IV-2.1.1-1 研究開発成果と市場（波及効果を含む）

## 2.2 大面積軽量単色電子ペーパーの開発（凸版印刷株式会社）

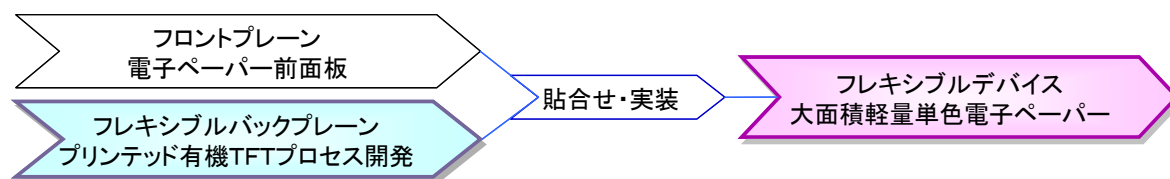
### 2.2.1 成果の実用化・事業化に向けての見通し

#### (1) 実用化対象の全体概要

我々の目指す大面積軽量単色電子ペーパーは、電気泳動型電子ペーパーのフロントプレーンと TFT をアレイ状に形成したバックプレーンにより構成される。

図IV-2.2.1-1 は、研究開発の対象構造を示した概念図である。プリント有機 TFT プロセスにより開発されたフレキシブルバックプレーンと電子ペーパーの前面板であるフロントプレーンを貼り合わせ、ドライバー等を実装することによりフレキシブルデバイスである大面積軽量単色電子ペーパーモジュールを実現させる。図に示しているフレキシブルバックプレーンは、今回の主たる研究開発対象であり、印刷プロセスを繰り返すことにより有機半導体トランジスタの積層構造と配線、画素メモリー部であるコンデンサを含む回路をアレイ状に形成したものである。本フレキシブルバックプレーンによりフロントプレーンの電気泳動型電子ペーパーを TFT のスイッチングによる電圧書込みの電界制御により白黒の表示を切り替える。

このように表示切り替えをフレキシブルなフィルム上に印刷された TFT アレイにより実現させることを目標としている。



図IV-2.2.1-1 研究開発の対象

また、図IV-2.2.1-2 に示すように大面積軽量単色電子ペーパーをフレキシブルなデバイスとして実現させることにより多くの特長及び強みを備えることが出来る。

#### [1] フレキシブルバックプレーンの強み

- ・ フレキシブル基材であるため非常に薄くできる
- ・ フレキシブル素材であるため非常に軽くできる
- ・ フレキシブルであるため曲げることができる
- ・ フレキシブル素材であるためガラスのように割れることがない

#### [2] プリントであるための強み

- ・ 大面積生産が可能となる
- ・ 高い生産性を実現できる

これは大面積化による点、他の生産方式であるフォトリソ工程に対して短い工程ですむ点、及び低温プロセスで実現できる点等により総合的に高い生産性が期待できる。

[3] TFT 駆動することによる強み

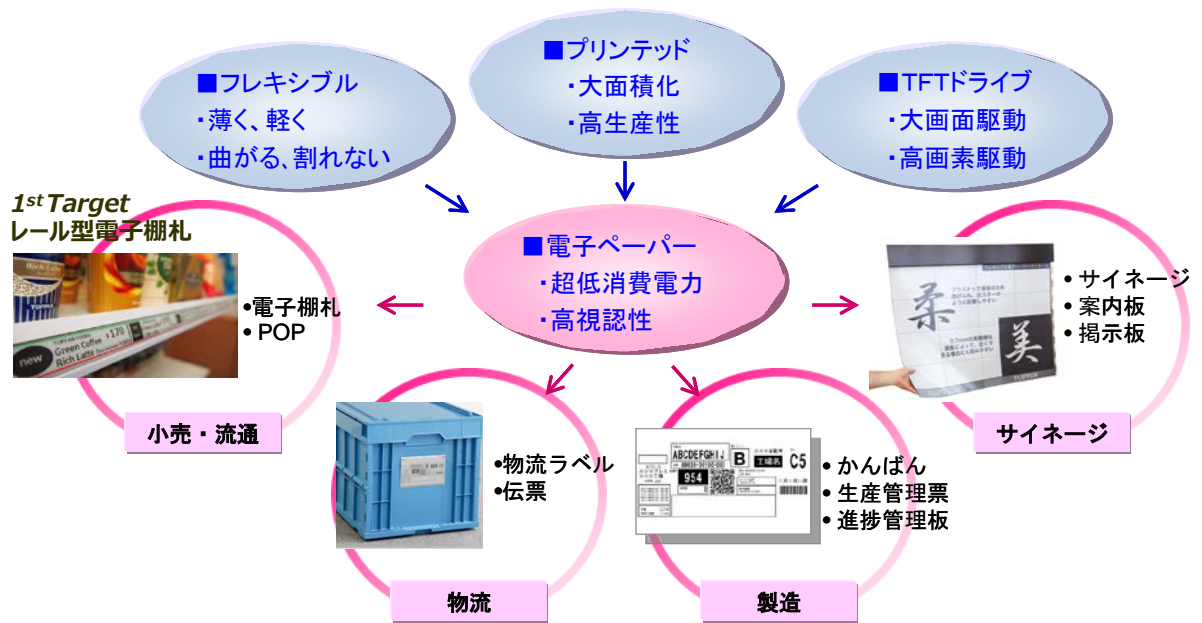
- ・ アクティブマトリクス駆動が実現できるため大きな画面サイズを駆動できる
- ・ 同様に走査線の多い高画素パネルを駆動することができる

以上はバックプレーンの強みであり、以下にフロントプレーンの強みを示す。

[4] 電子ペーパーフロントプレーンの強み

- ・ 表示メモリー性を有するため書き換え時以外は電力を消費しない超低消費電力な表示素子であること
- ・ 反射型表示素子のため明るい室内や炎天下とうの非常に明るい屋外でも高い視認性を有すること

以上の強みを合わせ持った大面積軽量単色電子ペーパーは、さまざまなアプリケーションに対して前述の強みを適切にアピールすることにより既存市場や新規潜在市場に参入し事業化することが可能となる。



図IV-2.2.1-2 ターゲット市場とアプリケーション

## (2) レール型電子棚札

図IV-2.2.1-3 に示すレール型電子棚札プロトタイプは「リテールテック JAPAN 2015」(会場：東京ビッグサイト) のトップブースで参考出品し、同時にニュースリリースを発表した。



図IV-2.2.1-3 レール型電子棚札プロトタイプ

<ニュースリリース発表内容>

### ■ 背景

電子ペーパーは、紙代替など用途の多様化から、軽量化やフレキシブル性、落としても割れない丈夫さが求められています。また、真空や高温を利用した多量のエネルギーを消費する製造方式から、省資源化が可能な環境調和型の製造技術への展開が期待されています。

凸版印刷は、省エネ、軽量、フレキシブル性を実現可能な印刷製造技術の開発を行い、軽量・フレキシブルな電子ペーパーを実現しました。「軽い・落としても割れない」電子ペーパーを早期に上市することで、新しい用途展開の可能性を開くとともに、製造方式に排水・廃液・エネルギー消費の少ない印刷プロセスを用いることで、安全な環境づくりに貢献します。

### ■ 「レール型電子棚札」の特長

本「レール型電子棚札」は、棚の前面全体を表示エリアにできることから、紙の棚札や個片の電子棚札に比べ表示面積も広く、配置及び表現の自由度を高めることができます。これにより電子棚札の特長である販売情報の一括書換え制御に加え、顧客向け販促情報の表示、さらに作業員への商品陳列指示情報の表示など、様々な用途展開が可能となります。また、エリアカラーにより、顧客へのセール・商品アピールなどのアイキャッチ効果を高め、作業員には注意を促し作業ミス低減も図れます。

- ・前面はレール型構造で表示レイアウトはフリー、また棚と一体化したスッキリ、スマートなデザイン
- ・凸型の湾曲表示により、上の棚から下の棚まで、どこからも見やすい表示
- ・薄く、軽く、割れないプラスチック基材のためカートがあたっても割れずに安全
- ・電子ペーパーの特長である、高コントラストにより見やすく、超低消費電力

#### ■「レール型電子棚札」の主な仕様

- ・表示素子： E Ink 電子ペーパー
- ・表示駆動基板： フレキシブル TFT 回路基板
- ・外形寸法： 約 900mm(幅)× 約 30mm (高さ)
- ・表示部形状： 凸型湾曲表示 (曲率半径 50mm)
- ・エリアカラー： 上端：緑ライン、下端：赤ライン

#### ■開発技術の概要

フレキシブル電子ペーパーは、フレキシブル TFT と電子ペーパー前面板を組み合わせることで実現しています。今回、環境調和性の高い印刷技術で、プラスチック基板上に薄膜トランジスタ (TFT) アレイを形成したフレキシブル TFT により電子ペーパーを駆動しています。プラスチック基板上に印刷プロセスで TFT を形成するには、電極材料や絶縁材料、有機半導体材料などの様々な材料に適した印刷方法を使い分ける必要があるとともに、複数の層を精度良く位置合わせすることが重要です。

凸版印刷は、培ってきた「印刷テクノロジー」を活用し、これらの課題を克服して全印刷型フレキシブル TFT を実現することに成功しました。

#### ■今後の展開

凸版印刷は「レール型電子棚札」の改良を行い、2017 年度の実用化を目指します。さらに凸版印刷は、プリンテッドエレクトロニクス技術の研究を進め、フレキシブル電子ペーパーの薄く、軽く、かつ割れない強みや、曲面表示の特性を活かし、物流や製造、デジタルサイネージやカードなど様々な分野で新しい製品の開発を行っていきます。

## 2.3 大面積圧力センサの開発（大日本印刷株式会社）

### 2.3.1 成果の実用化・事業化の見通し

#### 2.3.1.1 実用化の対象

大日本印刷では下記4つのキーワードで新しい価値を社会に提供しようとしている。

- ・ 情報流通：安全に心地よく世界とつながる情報の利便性
- ・ 健康・医療：健康で質の高い生活を支える安全性
- ・ 環境・エネルギー：地球環境を守り、その恩恵を享受する持続可能性
- ・ 快適な暮らし：人と人とがともに歩みすこやかで充実した暮らしを営む快適性

これらの価値を提供する上で、情報入力素子、大面積センサデバイスが介在することによって実現されるものがある。助成事業にて開発した技術の実用化対象は、こういった新しい価値をもたらす装置群である。例えば床面内での生活者の行動把握や、ヘルスケア分野の大面積センサ、およびそれらを活用したシステムがあげられる。

4つのキーワードとそれらとつながるアプリケーション領域、またそれらを実現するデバイスの事例を図IV-2.3.1-1に示す。

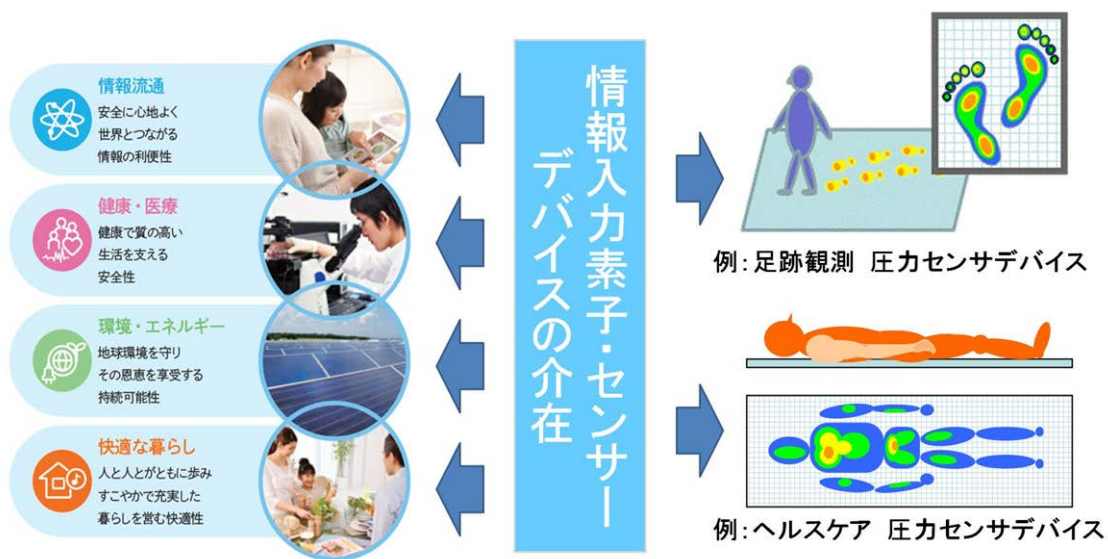
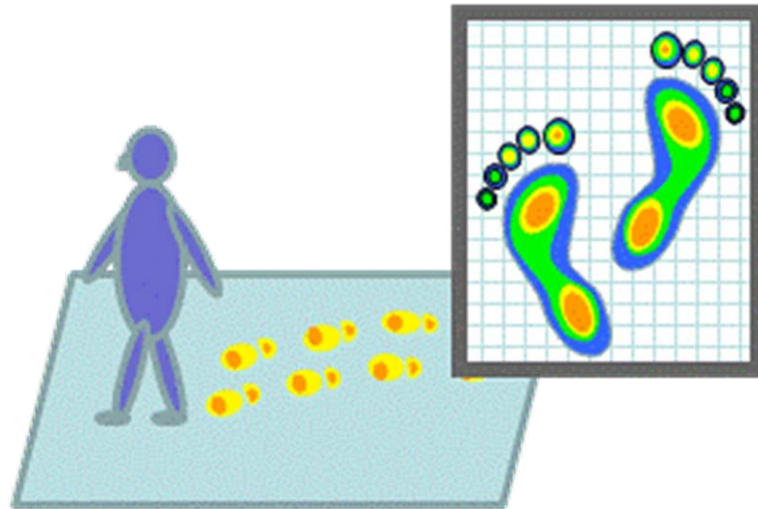
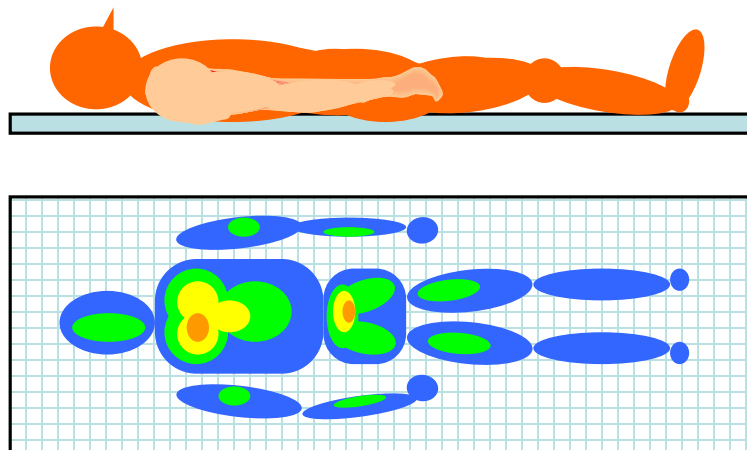


図 IV-2.3.1-1 社会への価値提供の方向性とセンサデバイス群

開発技術の実用化対象は、例えば床面内での生活者の行動把握や、ヘルスケア分野の大面積センサ、およびそれらを活用したシステムである。その活用事例である足跡観測デバイスのイメージを図IV-2.3.1-2に、ヘルスケアセンサデバイスのイメージを図IV-2.3.1-3にそれぞれ示す。



図IV-2.3.1-2 圧力センサシートを用いた足跡観測デバイスの運用イメージ図



図IV-2.3.1-3 圧力センサシートを用いたヘルスケアデバイスの運用イメージ図

図IV-2.3.1-2 に示した圧力センサシートを用いた足跡観測デバイスの用途例は、主にセキュリティ分野で挙げられる。家屋、敷地内への侵入者の観測において、既存の防犯システムと異なる隠蔽性の高い歩行追跡デバイスへのニーズがある。既存の防犯カメラでは、監視対象の環境で通行者の画像が観測されるため、個人情報保護の観点で過剰な情報を記録せず、侵入者の有無についてのみ確実に把握したいというニーズにも圧力センサシートは技術的に合致する。また、セキュリティゲートにおける通過者の把握において、確実に通過者の人数把握を必要とする場面で圧力センサシートは有望である。特に、通過者の性別、年齢等の属性を分類するために、履物の形状、歩行パターンの解析が有効とされており、このような用途の場合には既存のパッシブ型圧力センサより空間分解能、時間分解能を高くできる有機 TFT による圧力センサシートに優位性がある。

図IV-2.3.1-3 に示したヘルスケアデバイスは、介護施設におけるベッド上の横臥者の動作状況モニタリングへのニーズがある。一定時間以上横臥状況に変化がない場合、血行不良の部位に褥瘡が発生するリスクがあり、これを回避するために寝返りを促すタイミングの観測のために用いたいというニーズがある。また、圧力センサ上に乗った被験者の重心位置について高速で観測するニーズや、検出圧力範囲を最適化することによる血圧、脈拍の高速観測が新規ヘルスケア用品で求められている。当初は大面積圧力センサとして用途開発を開始したが、小面積高空間分解能の圧力センサシートにもニーズがあり、市場性を見た上で開発製品ラインアップを拡張することが有効となる可能性もある。

上述の大面積圧力センサシートを部材とするシステム構築で拓かれる市場が見通せるなかで、当助成事業における開発成果であるフレキシブル大面積圧力センサシートの形成プロセス及びその製品、ならびにその製造技術水準を向上させる委託事業で取り組まれる工業品レベルの有機 TFT 製造プロセスが実用化の対象である。

これらの用途を実現する上で、競合既存技術となるパッシブ圧力センサを用いた場合は、下記の問題がある。

- ・大型化の限界：既存の抵抗式パッシブ型圧力センサシートでセンササイズ 1mm 角のセンサシートを形成した場合、実現しうるセンサシートの面積は 50mm 角程度。同密度で大型化（メートル級シートデバイス）を仮に実現できたとしても、読み取りレートは 0.1Hz 以下となる。より現実的には、配線抵抗の問題等が課題となり 20 インチ級を超える 1mm 角分解能のセンサアレイはパッシブ型では実現不能である。
- ・消費電力の問題：既存デバイスでは、待機電力の消費により、10cm 角程度の製品でインターフェイスと合わせて 1W の電力を消費してしまう。これに対して、有機 TFT を圧力センサシートの構成層として導入した場合、感圧素子が非選択の時に流れる電流をサブ pA に抑制できるため、メートル級で 1W 以下の消費電力が狙え、1/100 以下の低消費電力化の効果が見込まれる。

以上より、現状では二次元大面積の圧力分布を安価に高速で観測することが可能な既存製品はなく、本事業の成果を実用化した際には新たなヘルスケア、行動トレースといった市場が創出できるという意義がある。



### 2.3.1.2 事業化、実用化に向けての課題と解決方針

事業化・実用化へ向けた課題は、有機 TFT アレイの課題、圧力センサ部の課題、それらの信頼性、およびシステム化に分類される。

これまでは、センサシート本体にかかる開発に注力してきたが、事業化、実用化の観点で重要な課題のひとつは、システム開発及びセンサシートのインターフェイス仕様の開発である。特にセンサシートの大面積化においては、センサシート直近のインターフェイス回路の検討により、検出情報の転送仕様をシリアル化することを解決の方針としている。将来的には、有機 TFT によりセンサのドライバ部も補助的に構成することで、よりフレキシビリティの高いセンサデバイスを開発する。

### 2.3.1.3 市場動向について

実用化の対象となる技術、製品の市場動向について、印刷で製造されたシート状の電子製品の市場について、下記のように推定されている（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）の調査結果に基づく）。

イメージシート	:	480 億円（2020 年）
圧力センサ	:	2824 億円（2020 年）
電子ペーパー	:	2522 億円（2020 年）

実際には、大面積シートデバイスが実体として登場していない中での市場予測ではあるが、フィールドケア、ヘルスケアシステムの中で大面積シートデバイスが喚起する新市場が上記の予測値以外に発生する可能性がある。圧力センサシートが床面や壁面に実装された際には、機械的な強度が確保されていることが前提になる。プラスチックフィルム上の有機 TFT と、競合技術となりうる a-Si、酸化物 TFT では、屈曲性に課題が多く、有機 TFT の優位性があげられる。

本事業の成果で得られたアクティブ圧力センサの動作デモンストレーションを通じて、主にヘルスケア分野での用途で大面積圧力センサのニーズが顕在化してきている。展示会「nanotech2013」「nanotech2015」「CEATEC2014」の NEDO ブースにおいても、開発品のデモ動画の展示をおこない、来場者との意見交換からヘルスケア分野以外の用途探索の手がかりがつかめている。今後、想定されるユーザーとの意見交換を深め、開発すべき製品に合致する圧力検出範囲、検出速度、検出素子密度等の仕様についてあるべき姿を明確化し、事業化へ向けた開発を行っていく。

### 2.3.2 実用化・事業化に向けた具体的取り組み

表IV-2.3.1-4 に事業化へ向けたシナリオの例を示す。

平成 27 年度に本助成事業の最終目標の達成を通して、メートル級サイズのシートデバイスを実現する目処をつけ、平成 29 年頃より少量産体制でのフィールドテストを通じて事業化判断に至る。予想される重大なリスク事項としては、製品設計段階における有機 TFT の信頼性確保、設備投資判断時のコストバランス成立の可否、販売におけるシステム開発、ユーザー普及の具体化、が挙げられる。従って、圧力センサ部材単体の開発に合わせ、これらのリスク解消をはかっていく必要がある。

表IV-2.3.2-1

年度	H 28年度	H 29年度	H 30年度	H 31年度	H 32年度
製品設計	[Progress bar from H28 to H32]				
設備投資・導入	[Progress bar from H28 to H32]				
生産		△	[Progress bar from H30 to H32]		
販売		少量産体制	[Progress bar from H30 to H32]		
収益発生				[Progress bar from H31 to H32]	
					▽ 量産判断

## V . 成 果 一 覧

### 1. 各種展示会での成果の発表

#### 1.1 JAPER A

大学・法人・企業名	展示内容
JAPER A	産総研オープンラボ（2011年10月13日～14日） パネルによる JAPER A の活動紹介
JAPER A	セミコン・ジャパン2011（2011年12月7日～9日） パネルと展示品（電子ペーパー、インクジェットヘッド、TFTシート等）による JAPER A の活動紹介
JAPER A	プリンタブルエレクトロニクス展（2012年2月15日～17日） パネルと展示品（電子ペーパー、フィルム、インク等）による JAPER A の活動紹介
JAPER A	JPCA SHOW 2012（2012年6月13日～15日） パネルによる JAPER A の活動紹介
JAPER A	ICFPE 2012（2012年9月6日～8日） パネルによる JAPER A の活動紹介
JAPER A	産総研オープンラボ（2012年10月25日～26日） パネルによる JAPER A の活動紹介
JAPER A、 大阪大学、千葉大 学、東京大学	セミコン・ジャパン2012（2012年12月5日～7日） パネルによる JAPER A の活動紹介 パネルによる再委託先大学の研究成果の紹介。
JAPER A	Printable Electronics 2013（2013年1月30日～2月1日） パネルによる JAPER A の活動紹介
JAPER A	nano tech 2013（2013年1月30日～2月1日） 助成事業企業とともにプロジェクトとして NEDO ブースに出展。 パネルによる活動紹介と試作した TFT シートを展示。
JAPER A	LOPE-C 2013（2013年6月11日～6月13日） 海外での展示会（ミュンヘン、ドイツ）に出展。パネルによる活 動紹介と試作した TFT シートを展示。
JAPER A	プリンテッドエレクトロニクス2013 （2013年10月23～10月25日） パネルによる JAPER A の活動紹介
JAPER A	産総研オープンラボ（2013年10月31～11月1日） パネルによる JAPER A の活動紹介
JAPER A	nano Tech 2014（2014年1月29日～1月31日） 助成事業企業とともにプロジェクトとして NEDO ブースに出展。 パネルによる活動紹介 試作した TFT シートおよび感圧センサを展示
JAPER A	Printable Electronics 2014（2014年1月29日～1月31日） パネルによる活動紹介 試作した TFT シートを展示
JAPER A	LOPEC 2014（2014年5月26日～5月28日） 海外での展示会（ミュンヘン、ドイツ）に出展。パネルによる活 動紹介と試作した TFT シート、感圧センサを展示。
JAPER A	CEATEC JAPAN 2014（2014年10月7日～10月11日） 助成事業企業とともにプロジェクトとして NEDO ブースに出展。

	パネルによる活動紹介 試作した TFT シートおよび感圧センサを展示
JAPER A	Display Innovation 2014 (2014年10月29日～10月31日) パネルによる活動紹介 試作した TFT シートおよび感圧センサを展示
JAPER A	IEC 東京大会 (2014年11月11～11月12日) NEDO ブースにてパネルによる活動紹介と TFT シートの展示。
JAPER A	nano Tech 2015 (2015年1月28日～1月30日) 助成事業企業とともにプロジェクトとして NEDO ブースに出展。 パネルによる活動紹介 試作した TFT シートおよび感圧センサを展示
JAPER A	Printable Electronics 2015 (2015年1月28日～1月30日) パネルによる活動紹介
JAPER A	NEDO フォーラム (2015年2月12日～2月13日) パネルによる活動紹介と TFT シートの展示

## 1.2 リコー

大学・法人・企業名	展示内容
(株) リコー	nano tech 2013 国際ナノテクノロジー総合展 (2013年1月30～2月1日) フルカラー電子ペーパー (ECD) 技術の紹介 3.5 インチフルカラー、6 インチモノカラーパネル展示
(株) リコー	nano tech 2014 国際ナノテクノロジー総合展 (2014年1月29～1月31日) フルカラー電子ペーパー (ECD) 技術の紹介 6 インチフレキシブルフルカラーパネル展示
(株) リコー	CEATEC2014 (2014年10月7～10月11日) フルカラー電子ペーパー (ECD) 技術の紹介
(株) リコー	nano tech 2015 国際ナノテクノロジー総合展 (2015年1月28～1月30日) フルカラー電子ペーパー (ECD) 技術の紹介 積層型ECDパネル、調光サングラスデモ展示

## 1.3 凸版印刷

大学・法人・企業名	展示内容
凸版印刷 (株)	nanotech 2013 (2013年1月30日～2月1日) NEDO ブースに出展 “10.7-in. フレキシブル電子ペーパー試作品展示”
凸版印刷 (株)	nanotech 2014 (2014年1月29日～1月31日) “物流用電子棚札を想定した 4.6-in. 120ppi フレキシブル電子ペーパー試作品展示”
凸版印刷 (株)	リテールテック展 (2014年3月4日～3月7日) “物流用電子棚札を想定した 4.6-in. 120ppi フレキシブル電子ペーパー試作品展示”

凸版印刷（株）	自動認識総合展（2014年9月10日～9月12日） “90cm 長レール型電子棚札電子ペーパーを世界で初めて展示”
凸版印刷（株）	CEATEC 2014（2014年10月7日～10月11日） NEDO ブースに出展 “90cm 長レール型電子棚札電子ペーパーを展示”
凸版印刷（株）	SEMICON JAPAN2014（2014年12月1日～12月5日） NEDO ブースに出展 “90cm 長レール型電子棚札電子ペーパーを展示”
凸版印刷（株）	nanotech 2015（2015年1月28日～1月30日） NEDO ブースに出展 “90cm 長レール型電子棚札電子ペーパーを展示”
凸版印刷（株）	リテールテック展（2015年3月4日～3月6日） “カラー表示が可能な90cm 長レール型電子棚札電子ペーパーを展示”
凸版印刷（株）	ナノテク展“大面積軽量単色電子ペーパーの開発”2013年1月30日～2月1日

#### 1.4 大日本印刷

大学・法人・企業名	展示内容
大日本印刷（株）	セミコン・ジャパン2011 （2011年12月5日～7日）
大日本印刷（株）	nano tech 2013 国際ナノテクノロジー総合展 （2013年1月30日～2月1日）
大日本印刷（株）	nano tech 2014 国際ナノテクノロジー総合展 （2014年1月29日～1月31日）
大日本印刷（株）	CEATEC2014 （2014年10月7日～10月11日）
大日本印刷（株）	nano tech 2015 国際ナノテクノロジー総合展 （2015年1月28日～1月30日）
大日本印刷（株）	電子情報技術部会 第2回産産交流ポスターセッション （2015年2月27日）

## 2. 新聞、雑誌記事

### 2.1 JAPER A

No	掲載紙	年月日	内容
1	プレスリリース	2011/5/31	次世代プリンテッドエレクトロニクス技術研究組合始動
2	日経エレクトロニクス	2012/6/25	飛躍できるかプリンテッドエレクトロニクス
3	半導体産業新聞	2012/12/5	省エネ・省資源・高効率化を実現
4	Nanotech Japan Bulletin	2013/7/5	プリンテッドエレクトロニクス時代実現に向けた材料・プロセス基盤技術の開拓
5	日刊工業新聞	2014/1/29	印刷でTFTシートを作成
6	日本経済新聞	2014/6/26	48万個の有機TFTアレイを印刷で作製

### 2.2 リコー

No	掲載紙	年月日	内容
1	日本経済新聞	2011/05/18	積層 EC 構造のカラー電子ペーパー
2	日経産業新聞	2011/05/19	積層 EC 構造のカラー電子ペーパー
3	日本事務機新聞	2011/05/30	鮮明画像のカラー電子ペーパー開発
4	日経産業新聞	2011/07/21	カラー電子ペーパー（チャレンジ新部品）
5	ディスプレイ技術年鑑2012	2011/10/26	新開発のカラーエレクトロクロミックディスプレイ
6	月刊ディスプレイ	2012/02/01	フルカラーエレクトロクロミックディスプレイ
7	DigiinfoTV	2013/02/06	紙のように明るいフルカラー電子ペーパー
8	日経エレクトロニクス	2013/03/04	Nanotech2013 詳報 エレクトロクロミック電子ペーパー
9	オプトニュース	2013/05/15	エレクトロクロミックデバイス技術
10	有機エレクトロニクス	2014/08	フルカラー電子ペーパー (エレクトロクロミック技術)

### 2.3 凸版印刷

No	掲載紙	年月日	内容
1	NanotechJapan Bulletin Vol. 6, No. 3, 2013	2013/07/05	Nanotech2013 ナノテク大賞受賞で委託事業及び助成事業の内容が紹介された。
2	日経エレクトロニクス 2013年7月22日号	2013/07/22	特集「ディスプレイはフラットを超えて」第3部フレキシブルディスプレイ編にて当社フレキシブル電子ペーパー試作品が紹介された。
3	プレスリリース (凸版印刷ニュース リリース)	2015/03/03	凸版印刷、フレキシブル電子ペーパーを活用したレール型電子棚札を開発 ～プリンテッドエレクトロニクス技術とカラーフィルタ技術を融合した次世代電子棚札～

4	プレスリリース (NEDOプレスリリース)	2015/03/03	プリントドエレクトロニクス技術によるフレキシブル TFT を開発 —凸版印刷が部分的なカラー化を実現した世界初のレール型電子棚札を開発—
5	日刊工業新聞	2015/03/03	“表示内容確認しやすく”印刷 TFT でレール型電子棚札試作したことが紹介された。
6	日経産業新聞	2015/03/04	“商品棚レールに電子ペーパー”フレキシブルな電子棚札を湾曲に合わせて設置可能と紹介された。

#### 2.4 大日本印刷

No	掲載紙	年月日	内容
1	Nanotechjapan bulletin	2013/07/05	企画特集 10-9 INNOVATION の最先端 ～ Life & Green Nanotechnology が培う新技術～ ＜第 4 回＞ プリントドエレクトロニクス時代実現に向けた材料・プロセス基盤技術の開拓

### 3. 論文リスト

#### 3.1 JAPER

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	2012/03/20	N. Komoda, M. Nogi, K. Suganuma, K. Kohno, Y. Akiyama, K. Otsuka	大阪大 学	Printed silver nanowire antennas with low signal loss in high frequency radio	Nanoscale	Vol. 4, pp.3148-3 153	有
2	2012/09/01	工藤一浩	千葉大 学	分子技術と印刷技術 を基盤とする有機電 子デバイス	電気学会論 文誌C	Vol.132 No.9 pp.1392-1 397.	有
3	2012/10/17	N. Komoda, M. Nogi, K. Suganuma, K. Otsuka	大阪大 学	Highly sensitive antenna using inkjet overprinting with particle-free conductive inks	ACS Applied Materials & Interfaces	Vol. 4, 5732-57 36	有
4	2013/04/11	M. Nogi, N. Komoda, K. Otsuka, K. Suganuma	大阪大 学	Foldable nanopaper antennas for origami electronics	Nanoscale	Vol. 5, 4395-43 99	有
5	2013/10	K. Kudo, D. Tsutsumi, H. Yamauchi, S. Kuniyoshi and M. Sakai	千葉大 学	Vertical Channel Organic Transistors for Information Tag and Active Matrix Display Applications	Trans. Mat. Res. Soc. Japan	Vol. 38, No.3, 369-372	有
6	2014/02	H. Yamauchi, M. Sakai, S. Kuniyoshi and K. Kudo	千葉大 学	Fabrication of n- and p-channel step-edge vertical-channel transistors by electrospray deposition	Japanese Journal of Applied Physics	Vol.53, No. 1S, 01AB16,	有
7	2014/05/01	K. Kudo, I. Kodera, R. Aino, H. Yamauchi, S. Kuniyoshi, and M. Sakai	千葉大 学	Fabrication of stacked logic circuits for printed integrated circuits	Japanese Journal of Applied Physics	Vol.53, No. 5S3, 05HB08	有
8	2014/05/01	A. B. M. Khafe, W. Sakai, H. Watanabe, H. Yamauchi, S. Kuniyoshi, M. Sakai, and K. Kudo	千葉大 学	Ultra Violet / Ozone Thermal Treated Low Temperature Process of Printable ZnO Field-Effect Transistor for Flexible Displays	Japanese Journal of Applied Physics	Vol.53, No. 5S1, 05FF07	有
9	2015/02	H. Yamauchi, S. Kuniyoshi, M. Sakai and K. Kudo	千葉大 学	Fabrication of Step-edge Vertical Channel Organic Transistors by Selective Electrospray Deposition	IEICE Trans. Electron.	Vol. E98-C, No.2, 80-85,	有



### 3.2 リコー

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	2011/05	Tohru Yashiro et al, eds	リコー	Novel Design for Color Electrochromic Display	Proc.of SID2011	42-45, 1, (2011)	無
2	2011/12	Yoshihisa Najoh et al, eds	リコー	Multi-Layered Electrochromic Display	Proc. of IDW2011	EP1-1, 375-378 (2011)	無
3	2012/12	Yoshinori Okada et al, eds	リコー	High Resolution Technology for Multi-Layered Electrochromic Display	Proc. of IDW2012	EP3-2,64 1-644, (2012)	無
4	2012/12	平野 成伸 他	リコー	新規フルカラー電子ペーパー表示技術	リコー テクニカルレポート	No.38 22-29	無
5	2013/12	Tohru Yashiro et al.	リコー	Flexible Electrochromic Display	Proc. of IDW2013	EP2-1 1300-1303	無
6	2013/12	Keiichiroh Yutani et al.	リコー	Electrochromic Lens for Smart Glasses	Proc. of IDW2013	EP2-4 1311-1314	無
7	2015/06	Keigo Takauji et al.	リコー	The development of a black and white reflective electrochromic display having high white reflectivity and high contrast	Proc. of ICAI 2015	T404-02	無

### 3.3 凸版印刷

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	2011/05	喜納修	凸版印刷	プリンタブルエレクトロニクスを実現する印刷技術	月刊オプトロニクス	2011年5月号104ページ	無
2	2011/12	喜納修	凸版印刷	Printed Organic TFT Backplane for Flexible Electronic Paper	印刷学会誌	2011年第48巻第6号33ページ	有
3	2012/02	喜納修	凸版印刷	フレキシブルディスプレイを実現する印刷技術と商品展開	月刊ディスプレイ	2012年2月号37ページ	無
4	2012/06	松原亮平	凸版印刷	フレキシブル有機TFT作製プロセス	未来材料	2012年第12巻第6号50ページ	無
5	2013/10	伊藤学	凸版印刷	フレキシブル電子ペーパーの最新事情	ディスプレイ技術年鑑2013	2013年130ページ	無
6	2014/11	伊藤学	凸版印刷	全印刷フレキシブルTFTを用いた電子ペーパーの開発	技術戦略 有機エレクトロニクス、日経BP社	第3章 センサー / 有機回路 250ページ	無

### 3.4 大日本印刷

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	記載事項なし						

#### 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	2011/06/29	F. Pu, H. Yamauchi, M. Nakamura, M. Sakai, K. Kudo	千葉大学	Electrical Characteristics of Step-edge Vertical Channel Organic Field-effect Transistors	International Conference on Materials for Advanced Technologies
2	2011/09/14	工藤一浩, 浦方華, 山内博, 酒井正俊	千葉大学	段差構造縦型有機トランジスタの特性と応用	電子情報通信学会2011年ソサイエティ大会
3	2011/09/21	小寺勲, 山内博, 飯塚正明, 酒井正俊, 中村雅一, 工藤一浩, 國吉繁一	千葉大学	塗布型酸化物半導体を用いた薄膜トランジスタの作製	電気学会基礎・材料・共通部門大会
4	2011/09/22	山内博, 飯塚正明, 工藤一浩	千葉大学	静電塗布法を用いた段差有機トランジスタの作製	電気学会基礎・材料・共通部門大会
5	2011/09/22	吹山雅浩, 山内博, 飯塚正明, 酒井正俊, 工藤一浩	千葉大学	ナノインプリント法を用いた段差型有機トランジスタの作製	電子情報通信学会有機エレクトロニクス研究会
6	2011/10/14	K. Kudo, H. Yamauchi M. Sakai	千葉大学	Stacked Organic TFT Circuits Using Silicone-Resin as Dielectric Layers	11th International Meeting on Information Display
7	2011/11/10	N. Komoda, M. Nogi, K. Suganuma	大阪大学	Silver nanowire flexible antenna for printed electronics	7th Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium
8	2011/11/10	H. Yamauchi, F. Pu, M. Fukiyama, M. Sakai, K. Kudo	千葉大学	Organic Complementary Circuits Based on Step-Edge Vertical Channel Transistors	The 15th International Conference on Thin Films
9	2011/12/01	M. Sakai, H. Yamauchi, M. Nakamura, K.Kudo	千葉大学	Large Scale Effects of a Static Electric Field on the Selective and Oriented Growth of Organic Crystal	Materials Research Society 2011 Fall Meeting
10	2011/12/19	井上博史	JAPER A	次世代プリントドエレクトロニクス技術研究組合の取り組み	第1回次世代プリントドエレクトロニクスシンポジウム
11	2012/01/12	N. Komoda, M. Nogi, K. Suganuma, K. Kohno, K. Otsuka	大阪大学	Silver nanowire printed line; Relationship of Heating temperature and its conductivity	The15th SANKEN International Symposium 2012
12	2012/01/16	工藤一浩	千葉大学	フレキシブル有機トランジスタの開発と応用展開	日本学術振興会第151委員会研究会
13	2012/03/09	菰田夏樹、能木雅也、菅沼克昭	大阪大学	銀ナノワイヤー印刷配線の導電性評価	第26回エレクトロニクス実装学会講演大会

14	2012/03/16	福田憲二郎, 鈴木達也, 熊 木大介, 時任 静士	山形大学	パリレン/テフロン二層 型絶縁膜を用いた有機薄 膜トランジスタの DC バ イアストレス安定性改 善	2012年春季 第59回応用 物理学関係連合講演会, 12.9 有機トランジスタ
15	2012/03/17	岡本樹宜, 井 上敦夫, 城寶 祐輝, 酒井正 俊, 山内博, 中村雅一, 工 藤一浩	千葉大学	溶融法を用いたフレキシ ブル有機結晶 FET の作製 と曲げ特性評価	第59回 応用物理学関係 連合講演会
16	2012/03/17	小寺勲, 山内 博, 酒井正俊 , 國吉繁一, 飯塚正明, 工 藤一浩	千葉大学	塗布可能材料を用いた積 層型 CMOS の作製	第59回 応用物理学関係 連合講演会
17	2012/03/20	工藤一浩, 吹 山雅浩, 山内 博, 酒井正俊	千葉大学	印刷技術を用いた段差構 造縦型有機トランジスタ	平成24年電子情報通信学 会総合大会
18	2012/04/11	N. Komoda, M. Nogi, K. Suganuma, K. Kohno, Y. Akiyama, K. Otsuka	大阪大学	Silver paste antenna printed on flexible substrate	2012 MRS Spring Meeting Symposium K
19	2012/04/13	K. Kudo, H. Yamauchi M. Sakai	千葉大学	Common Gate Vertical Channel Transistors Using Printing Process	2012 MRS Spring Meeting
20	2012/05/30	井上博史	JAPER A	研究拠点 JAPER A の役割	次世代プリントドエレ クトロニクスコンソー シアム平成24年度第一回研 究会
21	2012/06/06	T. Sekitani, T. Yokota, and T. Someya	東京大学	Large-Area, Ultraflexible Organic AMLED Pixel Circuits Driven by Printed Organic Floating-Gate Transistors	the Society for Information Display (SID) 2012
22	2012/07/12	K. Takimiya	広島大学	Linear- and Angular-Shaped Naphthodithiophenes as Versatile $\Pi$ -Extended Thienoacenes for Molecular and Polymer Semiconductors	ICSM2012 International Conference on Science and Technology of Synthetic Materials
23	2012/08/20	N. Komoda, M. Nogi, K. Suganuma, H. Koga, and K. Otsuka	大阪大学	Silver nanowire antenna printed on polymer and paper substrates	IEEE NANO 2012
24	2012/08/29	K. Kudo, R. Aino, H. Yamauchi M. Sakai	千葉大学	Flexible Step-Edge Vertical Channel Organic Field-Effect Transistors Fabricated by Nanoimprint Lithography	The 12th International Meeting on Information Display
25	2012/09/07	K. Kudo, R. Aino,	千葉大学	Step-Edge Vertical Channel Organic Field-Effect	The 2012 International Conference on Flexible and

		H. Yamauchi, S. Kuniyoshi M. Sakai		Transistors Fabricated by Printing Process	Printed Electronics
26	2012/09/11	菰田夏樹、菅沼克昭、能木雅也、大塚寛治	大阪大学	インクジェット印刷による低高周波ロスアンテナの作製	2012電子情報通信学会ソサイエティ大会
27	2012/09/13	小林悠, 竹田泰典, 菅野亮, 福田憲二郎, 熊木大介, 時任静士	山形大学	インクジェット法で形成した銀ナノ粒子電極を有する短チャネル有機TFTのコンタクト抵抗	第73回応用物理学会学術講演会
28	2012/10/11	鎌田俊英	JAPER A	プリンテッドエレクトロニクスの開発動向と課題	中国地域太陽電池フォーラム2012年第1回課題検討会
29	2012/11/29	K. Takimiya	広島大学	Synthesis and Characterization of Isomerically Pure Anthra[2,3-b:6,7-b']-chalcogenophenes	2012 MRS (2012 MRS Fall Meeting & Exhibit)
30	2012/12/06	井上博史	JAPER A	JAPER A のプリンテッドエレクトロニクスへの取り組み	SEMICON Japan 2012
31	2012/12/12	井上博史	JAPER A	次世代プリンテッドエレクトロニクス技術研究組合の取り組み	東北経産局 第4回次世代有機エレクトロニクス研究会
32	2012/12/12	H. Yamauchi, R. Aino, M. Sakai, S. Kuniyoshi, K. Kudo and M. Iizuka	千葉大学	Fabrication of Step-Edge Vertical-Channel Organic Transistors by Electro-Spray Deposition	The 10th International Conference on Nano-Molecular Electronics
33	2013/01/30	井上博史	JAPER A	JAPER A のプリンテッドエレクトロニクスへの取り組み	Printable Electronics 2013
34	2013/01/30	染谷隆夫	東京大学	次世代プリンテッドエレクトロニクス技術開発の取り組み	Nano tech 2013
35	2013/03/13	鎌田俊英	JAPER A	プリンテッドエレクトロニクス分野の開発動向	九州半導体・エレクトロニクスイノベーション協議会第1回プリンテッドエレクトロニクス分野技術創造研究会
36	2013/03/23	鎌田俊英	JAPER A	次世代プリンテッドエレクトロニクス技術開発の取り組み	日本化学会第93春季年会
37	2013/03/28	橋詰貴裕, 友永悠, 相野類, 山内博, 國吉繁一, 酒井正俊, 飯塚正明, 工藤一浩	千葉大学	ナノインプリント法を用いた段差型有機トランジスタの作製	第60回 応用物理学関係連合講演会

38	2013/03/28	小林悠, 乗田翔平, 宇津野裕弥, 佐藤翼, 福田憲二郎, 熊木大介, 時任静士	山形大学	銅ナノ粒子インクを用いて作製した有機 TFT の特性	第60回応用物理学関係連合講演会
39	2013/03/28	小林悠, 竹田泰典, 関根智仁, 福田憲二郎, 熊木大介, 時任静士	山形大学	有機 TFT のコンタクト抵抗低減に向けた銀ナノ粒子電極の端部形状の観察	第60回応用物理学関係連合講演会
40	2013/04/02	K. Takimiya	理化学研究所	Heterocycle-fused Naphthalene Building Blocks for Organic Electronics	2013 MRS Spring Meeting & Exhibit
41	2013/06/02	T. Sekitani, T. Yokota, M. Takamiya, T. Sakurai, T. Someya	東京大学	Electrical artificial skin using ultraflexible organic transistor	50th Design Automation Conference
42	2013/06/04	K. Kudo, D. Aino, H. Yamauchi, S. Kuniyoshi, M. Sakai and M. Iizuka	千葉大学	Step-Edge Vertical Channel Organic Field-Effect Transistors Fabricated by Nanoimprint Lithography	11th International Symposium on Functional $\pi$ -Electron Systems
43	2013/07/04	工藤一浩, 小寺勲, 山内博, 國吉繁一, 酒井正俊	千葉大学	プリント集積回路に向けた積層型論理素子の作製	電子情報通信学会有機エレクトロニクス研究会
44	2013/08/28	鎌田俊英	JAPER A	Development of Advanced Printed electronics.	IDMC 2013
45	2013/08/29	鎌田俊英	JAPER A	Introduction of Advanced Printed electronics.	Touch Taiwan 2013
46	2013/09/11	K. Kudo, I. Koder a, H. Yamauchi, S. Kuniyoshi and M. Sakai	千葉大学	Fabrication of Stacked Logic Circuits for Printed Integrated Circuits	The 2013 International Conference on Flexible and Printed Electronics
47	2013/09/11	K. Takimiya	理化学研究所	Recent Progress on DNTT-based Materials	2013 International Conference on Flexible and Printed Electronics
48	2013/09/24	S. Ito, S. W. Lee, T. Yokota, T. Tokuhara, H. Klauk, U. Zschieschang, T. Sekitani, T. Someya	東京大学	Surface Modification of Self-Assembled Monolayers for Organic Transistors	2013 International Conference Solid State Devices and Materials
49	2013/10/18	K. Kudo, H. Yamauchi, S. Kuniyoshi and M. Sakai	千葉大学	Selective Electro-Spray Deposition Method for Step-Edge Vertical-Channel Transistor Circuits	13th International Discussion & Conference on Nano Interface Controlled Electronic Devices
50	2014/4/24	S. Nishi and T. Kamata	JAPER A	Automated Manufacturing Line of All-Printed TFT Array Flexible Film	ICEP2014 (International Conference on Electronics Packaging)

51	2014/05/14	西眞一、鎌田俊英	JAPER A	有機 TFT アレイフィルム の連続印刷一貫製造ライン	2014年度第3回 PE 研究会 (大阪大学 産研協会) / 阪大産研
52	2014/05/15	H. Yamauchi, K. Kuniyoshi, M. Sakai, and K. Kudo	千葉大学	Selective Electro spray Deposition Method for Step-Edge Vertical-Channel Organic Transistor	8th International Symposium on Organic Molecular Electronics
53	2014/05/16	K. Kudo, K. Kuniyoshi, H. Yamauchi, and M. Sakai	千葉大学	Evaluation of Interface State Density of Organic Transistors by TSC and Quasi-static C-V Measurements	8th International Symposium on Organic Molecular Electronics
54	2014/05/27	M. Koutake	JAPER A	Copper Nano Particle Ink for Reverse Offset Printing and its Application to Printed Thin Film Transistors	LOPEC 2014
55	2014/06/03	T. Kamata and S. Nishi	JAPER A	A New Automated Manufacturing Line of All-Printed TFT Array Flexible Film	SID2014
56	2014/06/05	西眞一、鎌田俊英	JAPER A	全印刷による有機 TFT アレイフィルムの一貫製造ライン技術	PEC Japan 2014 (第3回 プリンテッドエレクトロニクスコンベンション)
57	2014/07/02	K. Kudo, H. Yamauchi, S. Kuniyoshi and M. Sakai	千葉大学	Step-Edge Vertical-Channel Organic Transistor Circuits Fabricated by Selective Electro spray Deposition Method	International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals 2014
58	2014/08/18	K. Takimiya	理化学研究所	Naphthodithiophenediimide (NDTI): a new building block for versatile organic semiconductors	SPIE Optics + Photonics 2014
59	2014/09/08	S. Nishi and T. Kamata	JAPER A	Automated Continuously-Manufacturing Line of All-Printed Organic TFT Array Flexible Film	NIP30 (Non-Impact Printing)
60	2014/09/23	K. Kudo, H. Yamauchi, S. Kuniyoshi and M. Sakai	千葉大学	Vertical Channel Organic Field-Effect Transistors Fabricated by Printing Process	International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics
61	2014/10/10	K. Kudo, H. Yamauchi, S. Kuniyoshi and M. Sakai	千葉大学	Fabrication of Short Channel Vertical Organic Field-Effect Transistors by Nanoimprint Lithography	The 14th International Discussion & Conference on Nano Interface Controlled Electronic Devices
62	2014/10/21	K. Kudo, H. Yamauchi, S. Kuniyoshi and M. Sakai	千葉大学	N-Channel and P-Channel Step-Edge Vertical-Channel Transistors Fabricated by Printing Process	The 5th International Conference on Flexible and Printed Electronics
63	2014/10/21	M. Koutake	JAPER A	Copper Nanoparticle Ink for Reverse Offset Printing and its Xe Flush Light Sintering Properties	ICFPE2014 : The 5th International Conference on Flexible and Printed Electronics
64	2014/10/21	S. Nishi and T. Kamata	JAPER A	Automated Continuously-Manufacturing Line of All-Printed TFT Array Flexible Film	ICFPE2014 : The 5th International Conference on Flexible and Printed

					Electronics
65	2014/10/28	西眞一	JAPER A	全印刷有機 TFT アレイフイルムの連続製造ライン技術	2014年度第4回日本画像学会技術研究会（通算第123回）
66	2014/12/03	M. Koutake	JAPER A	Copper Nanoparticle Ink for Reverse Offset Printing and its Application to Flexible Thin Film Transistors	IDW 2014
67	2014/12/03	S. Nishi	JAPER A	Automated Continuously-Manufacturing Line of All-Printed Organic TFT Array Flexible Film	IDW 2014
68	2015/03/16	平田郁恵, 染谷隆夫	東京大学	自己組織化単分子膜による有機薄膜トランジスタの閾値電圧制御と微細構造評価	固体エレクトロニクス・オプトエレクトロニクス研究発表会
69	2015/03/16	平田郁恵, 石井智章, Ute Zschieschang, 横田知之, 栗原一徳, Hagen Klauk, 関谷毅, 高橋琢二, 染谷隆夫	東京大学	ゲート絶縁膜表面電位による有機トランジスタのしきい値電圧操作	第29回エレクトロニクス実装学会春季講演大会
70	2015/03/17	工藤一浩	千葉大学	フレキシブル有機デバイスの開発現状と将来展望	電子情報通信学会有機エレクトロニクス研究会



## 4.2 リコー

	発表日	著者	所属	題名	学会等の名称
1	2011/05/18	八代徹 他	リコー	Novel Design for Full-Color Electrochromic display	SID2011
2	2011/07/27	八代徹	リコー	フルカラーエレクトロクロミックディスプレイ	JBMIA 電子ペーパーコンソーシアム
3	2011/10/06	八代徹	リコー	フルカラーエレクトロクロミックディスプレイ	電子情報通信学会 電子ディスプレイ (EID) 研究専門委員会
4	2011/10/12	平野成伸	リコー	フルカラーエレクトロクロミックディスプレイ	電気化学会 クロモジェニック研究会
5	2011/10/26	八代徹	リコー	フルカラーエレクトロクロミックディスプレイ	日本画像学会 電子ペーパー研究会
6	2011/12/07	内城禎久 他	リコー	Multi-Layered Electrochromic Display	IDW2011
7	2012/02/03	八代徹	リコー	フルカラーエレクトロクロミックディスプレイ	財団法人科学技術振興会 情報ディスプレイ技術研究委員会
8	2012/02/28	八代徹	リコー	フルカラーエレクトロクロミックディスプレイ	高分子学会 フォトニクスポリマー研究会
9	2012/03/27	平野成伸	リコー	フルカラーエレクトロクロミックディスプレイ	日本化学会 電子ペーパーセッション
10	2012/04/13	八代徹	リコー	フルカラーエレクトロクロミックディスプレイ	ファインテック・ジャパン2011 電子ペーパーセッション
11	2012/04/27	八代徹	リコー	エレクトロクロミック材料を用いた新規フルカラー電子ペーパー	有機デバイス研究会
12	2012/05/30	平野成伸	リコー	電子ペーパーの現状と課題 - 電子ペーパーのカラー化動向 -	高分子学会 高分子同友会
13	2012/11/01	岡田吉智	リコー	Color Electronic Paper based on Multi-layered Electrochromic Display Technology	ISEP2012 日本画像学会
14	2012/11/25	平野成伸	リコー	フルカラー電子ペーパー表示技術の開発	近畿化学協会 機能性色素部会
15	2012/12/05	岡田吉智 他	リコー	High Resolution Technology for Multi-Layered Electrochromic Display	IDW2012
16	2012/12/16	平野成伸	リコー	フルカラー電子ペーパー表示技術	セミコンジャパン STS シンポジウム特別セッション
17	2013/05/22	平野成伸	リコー	フルカラー電子ペーパー表示技術	SEMI Forum Japan 2013

18	2013/06/14	辻和明 他	リコー	エレクトロクロミックディスプレイ表示技術の開発	日本画像学会
19	2013/10/24	八代徹	リコー	エレクトロクロミックディスプレイ技術	FPD2013 次世代プリンテッドエレクトロニクスセミナー
20	2013/12/04	八代徹 他	リコー	Flexible Electrochromic Display	IDW2013
21	2013/12/04	油谷圭一郎 他	リコー	Electrochromic Lens for Smart Glasses	IDW2013
22	2014/01/24	八代徹	リコー	エレクトロクロミック技術	財団法人科学技術振興会 情報ディスプレイ技術研究委員会
23	2014/04/16	八代徹	リコー	エレクトロクロミックデバイス技術 ～フレキシブルフィルム/曲面ディスプレイの開発～	ファイナテック・ジャパン 専門技術セミナー
24	2015/03/15	井上満美子 他	リコー	水晶振動子マイクロバランス (QCM) 法によるエレクトロクロミック (EC) 色素吸着挙動推測と EC デバイス開発への応用	電気化学会第82回大会
25	2015/06/17	鷹氏啓吾 他	リコー	The development of a black and white reflective electrochromic display having high white reflectivity and high contrast	ICAI2015
26	2015/06/29	八代徹	リコー	エレクトロクロミックを用いたカラーデバイスの応用展開・高機能化	『エレクトロクロミック材料技術の最新開発動向と応用展開・高機能化』セミナー

### 4.3 凸版印刷

	発表日	著者	所属	題名	学会等の名称
1	2011/06/02	松原亮平	凸版印刷	有機エレクトロニクスへの印刷法の応用	エレクトロニクス実装学会 “2011 最先端実装技術シンポジウム”
2	2011/06/10	喜納修	凸版印刷	フレキシブル電子ペーパーを実現する印刷テクノロジー	日本印刷学会第 125 回春季研究発表会
3	2011/09/12	松原亮平	凸版印刷	全印刷法による 5.35 in-150 ppi フレキシブル有機 TFT の作製と電子ペーパーの駆動	日本液晶学会 2011 年度日本液晶学会討論会
4	2011/09/19	喜納修	凸版印刷	Printed Organic TFT Backplane for Flexible Electronic Paper	日本印刷学会アジアシンポジウム

5	2011/09/27	伊藤学	凸版印刷	Flexible TFT Array by Printing Method	2011 International Conference on Solid State Devices and Materials
6	2011/11/04	喜納修	凸版印刷	フレキシブルディスプレイを実現するプリンテッド有機 TFT	高分子学会ポリマーフロンティア21プリンタブルエレクトロニクス
7	2011/11/11	伊藤学	凸版印刷	Flexible TFT Array for Electronic Paper	ICTF-15
8	2011/12/09	松原亮平	凸版印刷	Printing Technologies for Organic TFT Array	IDW'11
9	2011/12/19	伊藤学	凸版印刷	超高精細有版印刷技術を用いたフレキシブル TFT 技術	第1回 次世代プリンテッドエレクトロニクスシンポジウム
10	2012/06/06	松原亮平	凸版印刷	Printing Technologies for Organic TFT Array for Electronic Paper	SID2012
11	2012/09/07	松原亮平	凸版印刷	Printing Technologies for Organic Thin-Film Transistors	ICFPE2012
12	2012/09/08	伊藤学	凸版印刷	Flexible TFT Technologies for Electronic Paper	ICFPE2012
13	2012/09/11	伊藤学	凸版印刷	フレキシブルディスプレイのための TFT 技術	第73回応用物理学会シンポジウム“次世代ディスプレイ・照明を支える薄膜技術”
14	2013/05/27	松原亮平	凸版印刷	アンビエントエレクトロニクスに貢献する印刷技術	日本写真学会
15	2013/05/30	鈴木剛史	凸版印刷	印刷法による有機 TFT の作製とフレキシブル電子ペーパーへの応用	日本印刷学会
16	2013/08/28	松原亮平	凸版印刷	Printing Technologies for Organic TFT Backplane	IDMC-2013
17	2013/10/25	伊藤学	凸版印刷	フレキシブル電子ペーパーの最新事情	FPD International 2013 セミナー
18	2013/11/11	伊藤学	凸版印刷	フレキシブル電子ペーパーの最新動向	第15回 Clayteam セミナー 革新的プリンタブル・エレクトロニクス材料とその応用展開
19	2014/12/04	伊藤学	凸版印刷	Fully Printed Flexible TFT Array for Electronic Paper	IDW 2014
20	2015/02/23	伊藤学	凸版印刷	印刷法による有機 TFT とその電子ペーパーへの応用	Matching Hub Kanazawa

#### 4.4 大日本印刷

	発表日	著者	所属	題名	学会等の名称
1	2014/01/27	前田博己	大日本印刷	プリンテッドエレクトロニクスの開発について	日独ジョイントワークショップ“有機エレクトロニクスとナノマテリアル”
2	2015/7/6	前田博己	大日本印刷	大面積圧力センサの開発	フレキシブル医療IT第6回研究会

## 5. 受賞実績

### 5.1 JAPER A

	表彰名	表彰機関	受賞日	受賞者	所属	業績名
1	nano tech 大賞 プロジェクト部門賞	nano tech 実行委員会	H25年2月 1日	染谷隆夫、 JAPER A、 (株)リコー、 凸版印刷 (株)、大日本 印刷(株)、 NEDO	東京大学、 JAPER A、(株) リコー、凸版 印刷(株)、大日 本印刷(株)、 NEDO	「次世代プリント ドエレクトロニ クス材料・プロセ ス基盤技術開発」
2	プリンタブルエ レクトロニクス 大賞	プリンタブル エレクトロニクス 実行委員会	H26年1月 31日	JAPER A	JAPER A	Printable Electronics 2014における展示

### 5.2 リコー

	表彰名	表彰機関	受賞日	受賞者	所属	業績名
1	nano tech 大賞 プロジェクト部門賞	nano tech 実行委員会	H25年2月 1日	染谷隆 夫、 JAPER A 、(株)リ コー、凸 版印刷(株)、 大日本印 刷(株)、 NEDO	東京大学、 JAPER A、(株) リコー、凸版 印刷(株)、大日 本印刷(株)、 NEDO	「次世代プリン ドエレクトロニ クス材料・プロセ ス基盤技術開発」

### 5.3 凸版印刷

	表彰名	表彰機関	受賞日	受賞者	所属	業績名
1	研究発表奨励賞	日本印刷学 会	H24年2月 24日	喜納修、 松原亮 平、石崎 守、伊藤 学	凸版印刷	フレキシブル電子 ペーパーを実現す る印刷テクノロジー
2	nanotech 大賞 プロジェクト部門賞	nano tech 実行委員会	H25年2月 1日	染谷隆 夫、 JAPER A 、(株)リ コー、凸 版印刷(株)、 大日本印 刷(株)、 NEDO	東京大学、 JAPER A、(株) リコー、凸版 印刷(株)、大日 本印刷(株)、 NEDO	「次世代プリン ドエレクトロニ クス材料・プロセ ス基盤技術開発」
3	IDW 2015, Best Paper Award	IDW (Internationa l Display Workshop)	H26年12月 5日	伊藤学他	凸版印刷(株)	Fully Printed Flexible TFT for Electronic Paper

#### 5.4 大日本印刷

	表彰名	表彰機関	受賞日	受賞者	所属	業績名
1	nano tech 大賞 プロジェクト部門賞	nano tech 実行委員会	H25年2月 1日	染谷隆夫、 JAPER A、(株)リコー、凸版印刷(株)、大日本印刷(株)、NEDO	東京大学、 JAPER A、(株)リコー、凸版印刷(株)、大日本印刷(株)、 NEDO	「次世代プリントドエレクトロニクス材料・プロセス基盤技術開発」

## 6. 特許リスト

### 6.1 JAPER A

	出願人	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状況	名称	発明者 (筆頭)
非公開情報のため、記載事項なし							

### 6.2 リコー

	出願人	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状況	名称	発明者 (筆頭)
非公開情報のため、記載事項なし							

### 6.3 凸版印刷

	出願人	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状況	名称	発明者
非公開情報のため、記載事項なし							

### 6.4 大日本印刷

	出願人	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状況	名称	発明者
非公開情報のため、記載事項なし							

## 「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

電子・材料・ナノテクノロジー部

### 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

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200dpi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。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。

また、2015 年度（平成 27 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。

### 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。

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

研究開発項目⑤

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開発を行う。具体的な研究開発内容は平成 27 年度に設定し、平成 28 年度から平成 30 年度まで実施する。

\* 1 : 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。

\* 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. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

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」という。）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。

共同研究開発に参加する各研究開発グループの有する研究開発ポテンシャルの最大限の活用により効率的な研究開発の推進を図る観点から、NEDOが選定した研究開発責任者（プロジェクトリーダー）国立大学法人 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 年間とし、研究開発項目毎に以下のとおりとする。

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 年度末から平成 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) 大面積圧力センサの開発

上記2テーマの期間は、平成22年度末から平成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年度から平成27年度までの5年間とする。

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開発を行う研究開発項目⑤を平成27年度に設定し、平成28年度から平成30年度まで実施する。

#### 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年度及び平成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

委託研究開発の成果に係る知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・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。

##### (2) 基本計画の変更

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、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法」第15条第1項第一号ニ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。

## (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確立が必要がある。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」

### 1. 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。

### 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. 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、これはプリントド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。

# 平成 27 年度科学技術重要施策アクションプラン 対象施策の特定について (案)

平成 26 年 9 月 19 日

総合科学技術・イノベーション会議

# 目 次

I. 平成 27 年度アクションプラン対象施策の特定について.....	1
(1) 特定に向けた基本方針.....	1
(2) 特定に向けた審査方法.....	2
(3) 特定の過程.....	3
II. 平成 27 年度アクションプラン対象施策.....	5
(1) 平成 27 年度アクションプラン対象施策の特定.....	5
(2) 今後の取組.....	6
(3) 2020 年オリンピック・パラリンピック東京大会に向けたプロジェクトとアクションプラン対象施策、S I P 施策との関連性.....	6
III. 平成 27 年度アクションプラン対象施策一覧.....	7
I. クリーンで経済的なエネルギーシステムの実現.....	8
II. 国際社会の先駆けとなる健康長寿社会の実現.....	31
III. 世界に先駆けた次世代インフラの構築.....	41
IV. 地域資源を活用した新産業の育成.....	65
V. 東日本大震災からの早期の復興再生.....	74
IV. <b>アクションプラン対象施策を踏まえた詳細工程表</b> .....	83
第 1 節	
I. クリーンで経済的なエネルギーシステムの実現.....	84
II. 国際社会の先駆けとなる健康長寿社会の実現.....	117
III. 世界に先駆けた次世代インフラの構築.....	132
IV. 地域資源を活用した新産業の育成.....	155
V. 東日本大震災からの早期の復興再生.....	176
第 2 節 産業競争力を強化し政策課題を解決するための分野横断技術について.....	185

## I. 平成 27 年度アクションプラン対象施策の特定について

### (1) 特定に向けた基本方針

総合科学技術・イノベーション会議は、「科学技術イノベーション総合戦略 2014～未来創造に向けたイノベーションの懸け橋～」(平成 26 年 6 月 24 日閣議決定、以下、「総合戦略 2014」という。)を確実に実行するため、「平成 27 年度科学技術に関する予算等の資源配分方針」(平成 26 年 7 月 17 日決定)(以下「資源配分方針」という。)において、「科学技術重要施策アクションプラン」(平成 26 年 7 月 17 日決定)(以下「アクションプラン」という。)を用いた関係府省の政策誘導と、現行の「戦略的イノベーション創造プログラム」を活用した総合科学技術・イノベーション会議独自の予算配分の仕組みとを組み合わせ、課題解決型の取組への予算の重点化を進めた。

このため、アクションプランにおいては、関係府省の連携、協力の下、重要課題に関する施策を総合的に推進するため、総合戦略 2014 第 2 章第 1 節に掲げた 5 つの政策課題を重点対象として設定し、大括り化した昨年度の取組をさらに進化させ、「府省横断」でかつ「政策課題解決を先導する体制を構築する」ものに予算の重点化を図っていくことを基本方針とし、

- ① 先導にあたって中心的役割をするものとして位置づけられる S I P と、これを補完し相乗効果をもたらす各府省関連施策を一体として推進する
- ② 上記に加え昨年度と同様な府省一体での取組が必要な重要課題について「新たな先導役」を誘導するものとして各府省関連施策を大括り化し、重複排除、府省間の事業調整・役割分担(責任府省の特定を含む)の明確化を図る

こととした。

また、総合戦略 2014 第 2 章第 2 節の中で新たに追加された分野横断技術については産業競争力強化のための源泉として、これら①②の先導施策群に埋め込んでいくこととした。

これらを踏まえ、アクションプランに該当するとして関係府省から提案のあった施策から、総合科学技術・イノベーション会議が特定するものを予算重点化の対象とする。

なお、健康医療分野に関しては、健康・医療戦略推進本部において、「医療分野研究開発推進計画」に基づき策定された「医療分野の研究開発関連予算等の資源配分方針」により重点領域等を定め推進し、同本部で取りまとめられた府省連携プロジェクトをアクションプラン対象施策とした。

## IV. アクションプラン対象施策を踏まえた詳細工程表

※分野横断技術への取組については5つの政策課題解決に確実に結びつけていくことが重要であり、これに対する詳細工程表には技術開発のみでなく、貢献する政策課題と産業競争力強化策をともに示す。

【凡例】

- 「S I P + テーマ名」として三日月で表示した範囲は、課題解決を先導するS I Pの研究開発計画を工程表としたものと、それに肉付けさせる形で関連付けるべき取組を合わせて範囲とした
- 「連携施策名 + 【施策番号】」として三日月で表示した範囲は、該当する連携施策に含まれる施策を範囲とした

# 需要側におけるエネルギー利用技術の高度化

エネルギー (6)

アウトカム  
中間目標 (2020年~)  
<成果目標(2030年)>

主な取組

2013年度 (成果)

2014年度

2015年度

2016年度

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開発

### 化学品製造プロセスの省エネ化技術の開発

### 環境調和型製鉄プロセス技術の開発

【I・経11】 技術開発

- 高炉からのCO2削減技術検証に係る試験高炉 (10m<sup>3</sup>規模) を設計
- 高炉からのCO2分離回収技術の開発

- 高炉からのCO2削減技術検証に係る試験高炉 (10m<sup>3</sup>規模) の建設開始
- 高炉からのCO2分離回収技術の開発

- 試験高炉 (10m<sup>3</sup>規模) の建設完了
- 実証炉 (100m<sup>3</sup>規模) の基本仕様提案に向けた検証試験を開始
- 高炉からのCO2分離回収技術の開発

- 試験高炉 (10m<sup>3</sup>規模) 操業による各種検証を実施
- 高炉からのCO2分離回収技術の開発

<CO<sub>2</sub>を抜本的に削減する革新的・環境調和型製鉄プロセス技術開発>

【I・経11】

【(再)I・経03】 【(再)I・経04】 【(再)I・経05】 (クリーンなエネルギーシステム構築のための二酸化炭素分離・回収・貯留技術実用化の推進)

### エレクトロニクス製造プロセスの省エネ化技術の開発

【I・経13】 技術開発

- 要素技術の統合による連続製造試作ラインの立ち上げ
- 短タクト化印刷技術の開発及び乾燥・焼成工程の低温プロセス化の開発
- 大面積均質化印刷技術の開発
- 印刷TFTアレイの高動作速度化技術の開発

- 個別要素技術の整合化による標準製造試作ラインの高度化
- デバイス試作評価による実用化課題の抽出

- 個別要素技術の集積による連続印刷プロセスの開発
- 高性能フレキシブルデバイスの製造実証

- 省エネ型新規フレキシブルデバイスの開発

<産業部門の省エネルギーを促進する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の推進>

【I・経13】

革新的省エネプロセス技術の確立

この部分が該当

## 添付資料3

# 科学技術イノベーション総合戦略 2015

平成27年6月19日

閣 議 決 定

追加的コストや事業リスクについては、官・民の適切な役割分担の下、エネルギーシステム全体を最適化する俯瞰的な視点に基づき、各技術の研究開発の方向性を見極め推進する。エネルギーバリューチェーンの最適化により創出される価値は、生産段階では効率的な供給体制の構築、消費段階では抑制効果に応じたインセンティブ、運用段階ではリアルタイム取引市場の形成等により分配され、さらに、コア技術の国際競争力の強化により関連産業の振興・創出を図り、所得・雇用の拡大にも貢献する。

また、技術の普及・展開を加速化するためには、規制対応や標準化推進等も含めた総合的なアプローチが必要である。特に、需要側におけるエネルギー利用のスマート化を効果的に促進するためには、需要側に対するエネルギー以外の健康維持や快適性確保等の付加価値を創出し、見える化する取組が重要であり、データフォーマットや通信技術の標準化等、様々な分野における取組との連携・融合を図ることが必要である。

### 3. 重点的取組

#### (1) 高度エネルギーネットワークの統合化 【総務省、文部科学省、経済産業省】

##### ①取組の内容

- ・ 基幹系と分散型電源の運転情報を統合した需給シミュレーション・制御システム技術とこれに係る通信システム等のエネルギーネットワークシステム技術の開発  
【総務省、経済産業省】
- ・ エネルギーネットワークシステムを構成するための、日射量や風況等の環境情報、企業や個人等の需要家の動向等を収集（センシング）・処理・解析するビッグデータ技術と、IoTシステムの構築及び得られたデータを活用した新たな価値を提供するAI技術の開発  
【総務省、文部科学省、経済産業省】
- ・ 異常検知・解析、暗号等の情報セキュリティ技術の開発と、セキュリティ評価・認証制度及び、重要インフラ等のセキュリティを統合・管理する共通基盤の構築  
【総務省、経済産業省】

##### ②2020年までの成果目標

- 電力系統の高度化技術の実装
  - ・ エネルギーネットワークシステム構築
  - ・ 2020年代早期に、スマートメーターの普及により、電力のピーク需要を有意に制御することが可能となる環境を実現
- 重要インフラ等に適用できる情報セキュリティシステムの構築

#### (2) クリーンなエネルギー供給の安定化と低コスト化（SIP含む）

【内閣官房、内閣府、総務省、文部科学省、農林水産省、経済産業省、国土交通省、環境省】

##### ①取組の内容

- ・ 浮体式洋上風力発電システムに係る発電技術、設置手法、メンテナンス技術、出力不安定性の補償技術、送配電技術、環境影響評価技術等の開発



- ・ 太陽光発電システムに係る発電技術、周辺機器の高性能・高機能化技術、維持管理技術、出力不安定性の補償技術、送配電技術等の開発及び開発拠点形成  
【内閣官房、経済産業省、国土交通省、環境省】
- ・ 地熱・波力・海洋温度差発電等のその他再生可能エネルギーシステムに係る発電技術、設置手法、メンテナンス技術、出力不安定性の補償技術、送配電技術、環境影響評価技術等の開発  
【文部科学省、経済産業省、国土交通省、環境省】
- ・ 高効率火力発電システムに係る発電技術の開発、石炭利用技術の開発、二酸化炭素分離回収・貯留技術の開発、二酸化炭素貯留適地調査・環境影響評価技術等の開発  
【内閣官房、経済産業省、国土交通省、環境省】
- ・ 燃料電池の効率向上技術の開発  
【経済産業省】
- ・ 原子力発電に係る安全性・核セキュリティ向上技術、使用済燃料や廃炉等に伴って生じる放射性廃棄物の処理処分技術、原子力施設の廃止措置技術等の開発  
【文部科学省、経済産業省】
- ・ 次世代海洋資源探査技術やこれに係る通信技術（SIPを含む）  
【内閣府、総務省、文部科学省、経済産業省】
- ・ 二酸化炭素と水を原料にプラスチック原料等基幹化学品を製造する革新的触媒等、並びに砂から有機ケイ素原料を直接合成、及び有機ケイ素原料から高機能有機ケイ素部材を製造する革新的触媒等の開発  
【文部科学省、経済産業省】
- ・ バイオマス資源由来のバイオ燃料製造技術、化学品等生産技術等のバイオマス利活用技術の開発  
【文部科学省、農林水産省、経済産業省、環境省】

## ②2020年までの成果目標

### ○再生可能エネルギーの技術課題の解決と普及・展開

- ・ 浮体式洋上風力発電を2018年頃までに実用化し、世界市場創出
- ・ 2020年までを目途に先端複合技術型シリコン太陽電池やナノワイヤー太陽電池等の次世代太陽光発電技術の実用化と太陽光発電の発電コスト14円/kWhを達成、2030年に発電コスト7円/kWhを達成
- ・ 2020年に地熱発電のタービン世界市場の7割を獲得
- ・ 海洋エネルギーシステムのコスト低減（2020年以降に40円/kWhの達成）

### ○革新的高効率発電システムの実用化と二酸化炭素回収・貯留技術の実用化

- ・ 2020年頃までに1700℃級ガスタービンを実用化し、輸出促進
- ・ 2020年代に先進超々臨界圧火力発電と高効率・高信頼性石炭ガス化複合発電を実用化し、輸出促進
- ・ 2020年頃までに二酸化炭素分離・回収・貯留技術を実用化
- ・ 2030年代に石炭ガス化燃料電池複合発電を実用化
- ・ 定置用燃料電池の効率向上と耐久性を向上し、2020年に140万台、2030年に530万台を市場に導入

○エネルギー源の多様化実現

- ・ 安全性を全てに優先させる前提の下での新規規制基準へ適合していることが確認された原子力発電の利用、及び福島第一原発における燃料デブリ取り出しに資する遠隔操作ロボット等の活用
- ・ メタンハイドレートについて、2018年度を目途に商業化の実現に向けた技術を整備、2023年から2027年の間に民間企業が主導する商業化のためのプロジェクトを開始されるよう、国際情勢をにらみつつ技術開発を進める
- ・ 海底熱水鉱床について、2018年度までに経済性の評価、2023年以降に民間が参画する商業化を目指したプロジェクトを開始
- ・ 2030年頃までに、二酸化炭素と水を原料にプラスチック原料等基幹化学品を製造する革新的触媒等及び有機ケイ素原料・部材を製造する革新的触媒等を実用化
- ・ バイオ燃料について、2020年頃の既存流通燃料と競合可能なセルロース系バイオ燃料の製造技術を開発、2030年頃の微細藻類燃料利用技術本格的普及

**(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 (SIP含む)**

【内閣府、総務省、文部科学省、経済産業省、国土交通省、環境省】

①取組の内容

- ・ 車や電車、電力送電網向けパワーエレクトロニクスの開発・実証 (SIPを含む)  
【内閣府、文部科学省、経済産業省、環境省】
- ・ 革新的電子デバイスの開発  
【総務省、文部科学省、経済産業省】
- ・ 車、航空機などの輸送機器向け革新的構造材料の開発 (SIPを含む)  
【内閣府、文部科学省、経済産業省、環境省】
- ・ 希少元素の代替・使用量の削減、エネルギー消費削減のための機能性材料の開発  
【文部科学省、経済産業省】
- ・ スマートコミュニティの構築・実現に向けた技術等のエネルギーマネジメントシステム技術の実証  
【総務省、経済産業省、国土交通省、環境省】
- ・ 工場・プラント等生産プロセスにおけるエネルギー利用効率向上技術の開発  
【経済産業省】
- ・ 内燃機関の熱効率向上のための革新的燃焼技術の開発 (SIPを含む)  
【内閣府、経済産業省、国土交通省】

②2020年までの成果目標

○次世代パワーエレクトロニクスの実現

- ・ SiC、GaN等の新材料を用いた次世代パワーエレクトロニクスの本格的事業化と大会等で省エネルギー技術を世界に発信
- ・ 2022年までに希少元素を用いない高性能新規磁石を用いた省エネルギー型モーターの実用化

○革新的電子デバイスによるエネルギー効率向上及びエネルギー消費の削減

- ・ LSIの超低消費電力化を実現

- ・ L S I の三次元実装技術の実用化
- ・ 光電子ハイブリッド L S I の実用化
- ・ 超高速・低消費電力光通信用デバイスの実用化

○革新的構造材料によるエネルギー効率向上及びエネルギー消費の削減

- ・ 構造材料の飛躍的な軽量化・長寿命化による輸送機器（自動車・航空機等）等のエネルギー利用効率向上
- ・ 新材料特性評価技術の確立と標準化
- ・ 構造材料データベース運用システムの構築と実用化

○住宅、ビル、地域におけるエネルギー利用の高度化

- ・ 2020 年までに標準的な新築住宅で、2030 年までに新築住宅の平均で Z E H<sup>8</sup>を実現
- ・ 2020 年までに新築公共建築物等で、2030 年までに新築建築物の平均で Z E B<sup>9</sup>を実現

○革新的省エネルギー生産プロセス技術の開発

- ・ 2030 年頃までに環境調和型製鉄プロセス技術の確立と実用化
- ・ エレクトロニクス製造プロセスの省エネ化技術の確立と実用化
- ・ 化学品製造プロセスの省エネ化技術の確立と実用化

○革新的燃焼技術の確立と二酸化炭素排出量の低減

- ・ 2020 年頃までに最大熱効率の飛躍的向上に資する要素技術を確立（内燃機関で最大熱効率 50%以上）
- ・ クリーンディーゼル車の二酸化炭素排出量を 2020 年に 30%低減、2030 年に 40%低減（2010 年比）
- ・ 新車販売に占める次世代自動車<sup>10</sup>の割合を 2020 年に 2～5 割、2030 年に 5～7 割を達成

(4) 水素社会の実現に向けた新規技術や蓄電池の活用等によるエネルギー利用の安定化（S I P 及び大会プロジェクト⑤を含む）

【内閣府、文部科学省、経済産業省、国土交通省、環境省】

①取組の内容

- ・ 水素・エネルギーキャリアの製造・貯蔵・輸送・利用技術等のエネルギーキャリアに係る開発・実証（S I P 及び大会プロジェクト⑤を含む）

【内閣府、文部科学省、経済産業省、国土交通省、環境省】

- ・ 蓄電池等の次世代蓄電技術の開発 【文部科学省、経済産業省、環境省】

<sup>8</sup> ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス:高断熱性能、高性能設備と制御機構等を組み合わせ、住宅の年間の一次エネルギー消費量が正味(ネット)でゼロとなる住宅。

<sup>9</sup> ネット・ゼロ・エネルギー・ビル:建築物における一次エネルギー消費量を、建築物・設備の省エネルギー性能の向上、エネルギーの面的利用、オンサイトでの再生可能エネルギーの活用等により削減し、年間の一次エネルギー消費量が正味(ネット)でゼロとなる建築物。

<sup>10</sup> 自動車産業戦略 2014 (<http://www.meti.go.jp/press/2014/11/20141117003/20141117003-A.pdf>)において、ハイブリッド自動車、電気自動車、プラグイン・ハイブリッド自動車、燃料電池自動車、クリーンディーゼル自動車、圧縮天然ガス自動車等を次世代自動車として定義

# 添付資料4

## 半導体分野

我が国は、インターネットやその他の高度情報通信ネットワークを通じて自由かつ安全に多様な情報又は知識を世界的規模で入手し、共有し又は発信することにより、あらゆる分野における創造的かつ活力ある発展が可能となる高度情報通信ネットワーク社会の形成を目指し、電子政府始め様々な取り組みを推進している。しかし、その一方で、大幅に増大しているネットワーク・トラフィックと電力消費量の爆発的増大、情報システムのトラブルの原因となるソフトウェアの安全性・信頼性の低下、増加の一途をたどるアタック、ウイルス等の重要な課題が顕在化している。

こうしたことから、情報家電等 IT の利活用と社会システムとしての安全性・信頼性の確保とともに、その基盤となる IT 産業の技術力、国際競争力の強化を目標として、情報通信関連技術を半導体、ストレージ・不揮発性メモリ、コンピュータ、ネットワーク、ユーザビリティ（ディスプレイ等）及びソフトウェアの6分野に分け、今後10年程度を見据えた技術戦略マップを作成した。

半導体は、情報家電、自動車、産業機械、医療機械等、様々な製品の付加価値を高める非常に重要な産業のコア部品であるが、半導体産業を発展させ競争力をつけていくためには、世界各国での激しい市場競争に打ち勝つための莫大な研究開発費と技術戦略が必要となっている。本技術戦略マップでは、国際半導体ロードマップ（ITRS）の中から、特に我が国に必要な重要技術を抽出し、技術開発成果の産業への導入シナリオ、ロードマップをとりまとめている。

また、半導体分野の技術は、ナノ・部材技術やシリコン以外の材料を活用して深化する度合いが増えてきており、これを考慮して策定している。

## 半導体分野の技術戦略マップ

### I. 導入シナリオ

#### (1) 半導体分野の目標と将来実現する社会像

半導体技術は、情報家電、自動車等の製品に組み込まれて初めてその機能を発揮するものであり、技術力のみで国際市場のシェアを確保できる分野ではないが、その技術は、「技術戦略マップに示された技術により実現できる将来社会イメージ」の中でも、ユーザビリティ技術、ネットワーク技術等と合わせて、将来のユビキタス時代を作り上げるコア技術であり、半導体技術を高度化していくことが、全ての基礎となる。具体的には、従来からの方法である微細化による半導体の高性能化、省エネ化を強力に進めるとともに、微細化以外の方法で高機能な新しい半導体を実現させていくことが必要である。

#### (2) 研究開発の取組

研究開発の推進については、開発目標を戦略的に設定するとともに、効率的な研究開発体制の構築と部材産業、製造装置産業等との垂直連携の強化等が重要である。

特に、半導体分野においては、国際ロードマップを意識し、その中で設計、プロセス、検査、実装等の各製造工程に係る研究開発と連携をとりつつ一体的に取り組むとともに、次世代及び次々世代の技術の開発を国と民間との適切な役割分担の下に行うことが必要である。

我が国では、「次世代半導体材料・プロセス基盤技術の開発（MIRAI）プロジェクト」（2001～2010年度）で半導体の要素技術を開発し、その成果をロードマップに従って順次、民間コンソーシアムである株式会社半導体テクノロジーズ（Selete）や民間企業に直接移転し、大きな成果を上げている。プロジェクトの成果の移転については、その技術が使われるタイミングを計って移転することが非常に重要である。

その他、製造時のプロセスのばらつきを考慮した設計手法の開発を行う「次世代プロセスフレンドリー設計技術開発」（2006～2010年度）、立体構造による多様な用途に応じた新機能デバイスを実現する「ドリームチップ開発プロジェクト」（2008～2012年度）、高速かつ不揮発性能を有するメモリを開発する「高速不揮発メモリ機能技術開発」（2010～2012年度）、新規のナノ機能材料や、新規のナノデバイス構造を適用し超低電圧（0.4V以下）で動作するデバイスを開発する「低炭素社会を実現する超低電圧デバイスプロジェクト」（2010～2014年度）等を実施している。

#### (3) 関連施策の取組

研究開発成果を産業化させるにあたって、制度等様々な障壁等を低くする施策や国際連携や標準化等によって、成果を導入しやすくすることが必要である。

具体的には、以下の通り。

〔起業・事業支援〕

- ・社団法人半導体ベンチャー協会と協力して、半導体ベンチャーの育成支援等を行う。

#### 〔規則・制度改革〕

- ・高度情報通信ネットワーク社会形成基本法（IT 基本法）による高度情報通信ネットワーク社会の形成に関する施策の推進

#### 〔基準・標準化〕

- ・半導体集積回路の国際標準化は、IEC（IEC:International Electrotechnical Commission 国際電気標準会議）では、TC47 及びその下の SC で審議されている。このうち、日本は SC47A、47E で国際議長を、SC47D で国際議長及び幹事、SC47F で国際幹事を務めている。また、ナノエレクトロニクス分野では、ナノテクノロジーとして TC113 を 2006 年に新設し、用語の定義や計測法などについて標準化が始まった。
- ・一方、ISO/IEC 以外の標準化活動として、MIRAI プロジェクトの成果を活用した HiSIM モデルが、大学、産業界の積極的な活動の結果、2007 年 12 月に SCC で国際標準となった。このように、研究開発の成果を使える環境を作り出すために、国際標準化を推進するとともに、これを複数の技術世代にわたる継続的な取組とすることが必要である。

#### 〔国際連携・協力〕

- ・知的財産権保護、環境対策、非特惠原産地規則、関税対策等の課題を解決するためには、半導体産業がグローバル化しているために国内のみの活動では不十分である。そのため、日本、欧州、米国、韓国、台湾、中国の 6 極でこれら半導体に関する課題について解決方を検討するため、半導体政府当局会合（GAMS）を行っている。

#### 〔他省庁との連携〕

- ・次々世代の半導体技術であるナノエレクトロニクス分野では、ナノエレ政策推進会議を経済産業省・文部科学省で設置し、互いに有機的連携の下に、ナノエレクトロニクス関連のプロジェクトが 2007 年度から推進されている。

#### 〔産学官連携〕

- ・産学官で構成する「つくば半導体協議会」等の産学官連携の場を活用し、情報交換から具体的な連携までを行っている。
- ・国内で最もナノテクノロジーの研究設備・人材が集積するつくばにおいて、世界的なナノテクノロジー研究拠点の構築が 2008 年度から進められている。2009 年 6 月には、筑波大学、物質・材料研究機構、産業技術総合研究所、及び日本経済団体連合会の 4 者による共同宣言「つくばナノテクノロジー拠点形成の推進について」が発表されている。

#### 〔プロジェクト等間の連携〕

- ・半導体製造は、従来のように設計・前工程・後工程と工程毎に技術を開発しても、微細化が進むに連れ、特性バラツキや信号遅延などの問題が深刻化し、工程間の連携が不可欠となってきている。そのため、例えば、設計分野の「次世代プロセスフ

レンドリー設計技術開発 (DFM)」プロジェクトと MIRAI 中の「D2I (マスク設計・描画・検査総合最適化技術開発)」プロジェクト間で、データ交換や相互での評価などを実施している。今後とも、プロジェクト間の連携の必要性は高まると予測され、柔軟な連携が求められる。

#### (4) 海外での取組

IBM (米アルバニー)、IMEC (ベルギー) 等のコンソーシアムに、世界から半導体メーカーの研究者が参画し、最先端の半導体研究を行っている。

#### (5) 民間での取組

半導体メーカー 9 社で組織される株式会社 半導体テクノロジーズ (Selete) や株式会社 半導体理工学研究センター (STARC) の他、半導体の材料の評価を行うコンソーシアムとして次世代半導体材料研究組合 (CASMAT) が活動している。

#### (6) 改訂のポイント

- 関連施策の取組等について最新の情報に更新したほか、目標年度を 2010 年度から 2020 年度までに更新した。

## II. 技術マップ

### (1) 技術マップ

国際半導体技術ロードマップ (ITRS) 2009 を踏まえ、我が国の研究開発を戦略的に推進するため、我が国が得意とする低消費電力化技術を中心に技術項目を大、中、小項目に分類。大項目では LSTP デバイス技術、プロセス技術やリソグラフィ、設計 (SoC 設計) など大きく 12 項目に分け、これらを、体系化するとともに、細分類化を行っている。

### (2) 重要技術の考え方

半導体の技術を、その事業形態 (IDM、ファウンドリメーカー、ファブレスメーカー、装置・材料メーカー、ソフトベンダー) から見て重要技術に分類し、更に、半導体の安全・信頼性から見た重要技術、省エネの観点から見た重要技術に分類整理を行った。

### (3) 改訂のポイント

- 大項目にプリンテッド・エレクトロニクスを新たに新設するとともに、LSTP デバイス技術、設計 (SoC 設計)、テスト技術、評価・解析技術の中項目以下の内容を、技術動向を踏まえ一部改訂した。

## III. 技術ロードマップ

### (1) 技術ロードマップ

技術マップに示した重要技術ごとに、研究開発により達成されるべきスペックを時間軸上に表した。

### (2) 改訂のポイント

- ロードマップの対象期間の変更  
開始年は2010年、終了年は2019年の10年間とした。
- ITRS2009や半導体技術開発の動向を踏まえ、半導体の微細化のトレンドを見直した。
- 特に「ディスクリートデバイス」では要求スペックの詳細情報を充実したほか、「**プリントエレクトロニクス**」について、新たにロードマップを記載した。

#### **IV. その他の改訂のポイント**

- **ベンチマーキングの改訂【半導体分野の国際競争ポジション】**
  - 半導体製品別シェアの品目を拡大し、最新情報に更新した。



# 半導体分野の導入シナリオ

2010

2015

2020

目標

民間企業の取組

- 半導体事業の選択と集中の加速
- 海外市場も視野に入れた組み込みソフトのプラットフォーム化による競争力の強化
- 海外コンソーシアムへの参加

研究開発の取組

あすかプロジェクト  
(Selete, STARC)

MIRAI DFM

ナノエレプロジェクト

渡辺クレスト (文科省)

ドリームチッププロジェクト

高速不揮発メモリ

超低電圧デバイスプロジェクト

- つくばR&Dセンター構想
- 産総研 NeIP構想

- ・次々世代技術の民間への技術移転等
- ・設計、プロセス、検査技術の一体的取り組み
- ・文科省とパイプライン的研究開発実施

関連施策の取組

法律

IT基本法(高度情報通信ネットワーク社会形成基本法)

IEC及びISOで主に標準化活動が進められている。その他、シミュレーションなど、その固有分野毎に国際標準化が決められている。

国際標準化

TC47 半導体デバイス 幹事国:韓国 議長国:米国 SCA 集積回路 幹事国:日本

TC91 電子実装技術 半導体実装技術を担当 幹事国:日本 議長国:米国

TC113 ナノテクノロジー技術 幹事国:ドイツ 議長国:米国

HISiM

大学・産業界と連携した設計力の強化 シヤトル便

関係機関との連携

CASMAT(半導体材料の評価)活動

高度部材産業開発・評価センター構想(部材評価技術の強化、部材開発技術の導入・普及)

産総研を始めとするナノテク関連研究機関が集積する筑波において、内外の優秀な研究者が集積し、世界的なイノベーション促進拠点形成に向けた取り組みを実施

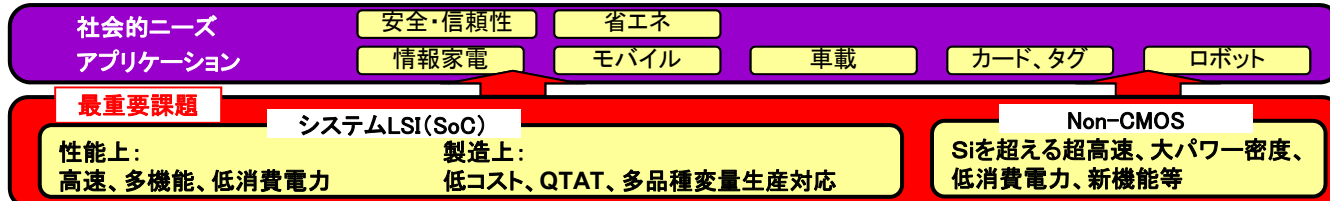
WSC(世界半導体会議)と連携したGAMS(半導体政府間会合)の活動により、半導体に関する通商問題、模倣品問題、環境問題、原産地問題等あらゆる問題に対する解決への努力

OMCP無税化条約

○地球温暖化ガス排出削減に関わる民間自主規制

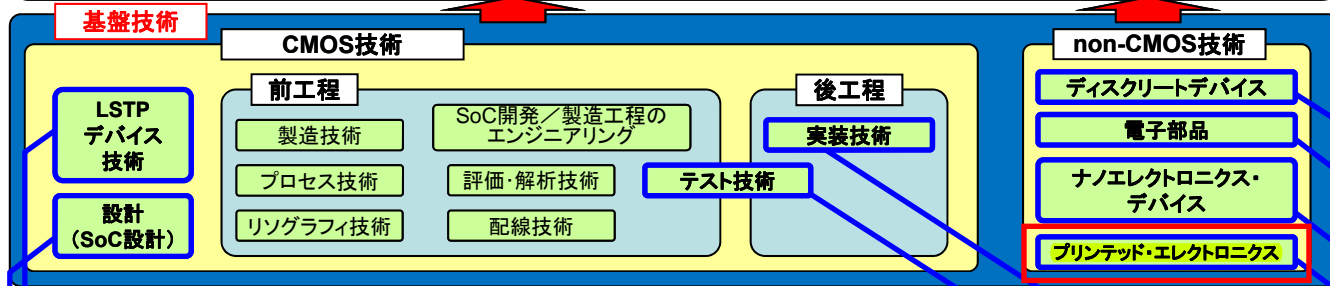
○貿易統計(HS)の改訂

# 半導体分野の技術マップ (1/2)



記号の説明						
IDM	ファブドリ メーカ	ファブレス メーカ	装置・材 料メーカ	ソフトベン ダ	半導体の 安全・信 頼性に係 わる技術	省エネに 係わる技 術
◆	◆	◆	◆	◆	■	■

※ 該当しないものを「白抜き」で示す。  
 ※ ロードマップに記載する技術を「青字」で示す。  
 ※ 「半導体の安全・信頼性に係わる技術」は、半導体製造における安全技術、半導体の信頼性を高める技術、歩留りを高める技術。  
 ※ 「省エネに係わる技術」は、半導体の微細化技術、高集積化技術、半導体製造の高効率化技術。



**(大項目) LSTPデバイス技術**

- (中項目) デバイス微細化
  - ゲート長およびゲート絶縁膜の低減
- (中項目) ナノCMOSへ向けた新技術
  - (小項目) トランジスタ構造
    - バルクCMOS
    - UTB FDSOI
    - マルチゲート(Fin FET)
    - Steep Switching FET
  - (小項目) 移動度向上技術
    - Stress Liner
    - Embedded SiGe on Si/D
    - SiGe on Siチャネル
    - SGOI, GOI
    - 基板面方位(100) or (110)
  - (小項目) メタルゲートとHigh-k技術
    - メタルゲート/Hf系High-k
    - メタルゲート/La系High-k
  - (小項目) 新構造トランジスタと準バリスティック動作
    - Geチャネル
    - III-V族チャネル
    - ナノワイヤトランジスタ
    - 準バリスティック動作
  - (小項目) パラメータばらつき制御技術(Vthコントロール)
    - 基板バイアス
    - 独立マルチゲートコントロール
- (中項目) 湿敏技術
  - (小項目) メモリ湿敏技術
    - SRAM延命技術
    - キャパシタレスSOI DRAM
    - 高速アクセス不揮発性メモリ
  - (小項目) アプリケーション用湿敏技術
    - ICタグ
    - センサチップ
    - 大規模ネットワーク用チップ
    - ポイントオブケアチップ
  - (小項目) 受動部品湿敏技術
    - オンチップMIMキャパシタ
    - オンチップインダクタ
- (中項目) シミュレーション技術
  - (小項目) デバイスシミュレーション技術
    - バリスティック伝導
    - 原子レベルプロセスモデル
    - 信頼性モデル
    - 統計的信頼性モデル
    - ナノレベル材料設計モデル
    - ノンクラシカルCMOSコンパクトモデル
    - 量子効果を入れた回路モデル

**(大項目) 設計 (SoC設計)**

- (中項目) 設計コンテンツ
  - モジュール間通信技術
  - マルチプロセス技術
  - リコンフィギュラブルロジック
- (中項目) システムレベル設計・検証
  - (小項目) 高次元モデリング技術
    - システム仕様モデリング
    - システムシミュレーション
    - シミュレーションレベルモデリング
    - ソフトウェアとの協調開発技術
  - 合成・最適化技術
  - 検証技術
  - 性能・コスト見積り技術
  - ロバストシステム技術
  - コンポーネントリユース技術
- (中項目) シリコンインプリメンテーション技術
  - システム複合化技術
  - 低消費電力設計
  - ばらつき評価技術
  - 製造性考慮設計 (DFM, DFR, MASK)
  - アナデジ混載技術
  - IPベース設計
  - ライブラリ設計
- (小項目) 回路設計
  - 回路シミュレーション技術
  - デバイスモデリング技術

**(大項目) 実装技術**

- (中項目) 実装プロセス
  - (小項目) 単一チップ実装: 多ピン化
    - ウエハレベルパッケージ
    - Low-k/Cu対応技術
  - (小項目) SiP実装 (複数デバイスを同一パッケージに組み込む)
    - 同種チップの三次元チップ積層
    - 異なる機能を持つ半導体チップの実装
    - TSV方式インターコネクト技術
    - 非接触方式インターコネクト技術
    - 光インターコネクト技術
    - ウエハレベル積層技術
    - 部品内蔵インターポーザ
    - 異種デバイス・光・機構部品等の取り込み
    - ウエハテスト (KGD) 技術
  - (小項目) 実装基板技術
    - ビルドアップ基板
    - フレキシブル基板
    - セラミック基板
- (中項目) 実装設計
  - (小項目) 統合設計プラットフォーム技術
  - チップ/パッケージ/ボード連携設計ツール
  - 電気/熱/構造連成解析技術

**(大項目) テスト技術**

- (中項目) DFT
  - 高位DFT
  - テストデータ圧縮
  - BIRA, BISR
  - アナデジ混載
  - 3D-IC対応
- (中項目) テスト・故障解析
  - 故障診断
  - 欠陥対応テスト
  - 電力ノイズ考慮テスト
  - アダプティブテスト
- (中項目) テスト環境
  - 標準準拠のテスト環境

**(大項目) ディスクリートデバイス**

- (中項目) パワーデバイス
  - シリコンパワーデバイス
  - ワイドバンドギャップ半導体
- (中項目) 光デバイス、センサ
  - LED

**(大項目) 電子部品**

- (中項目) 受動部品
  - コンデンサ、インダクタ、抵抗等

**(大項目) ナノエレクトロニクス・デバイス**

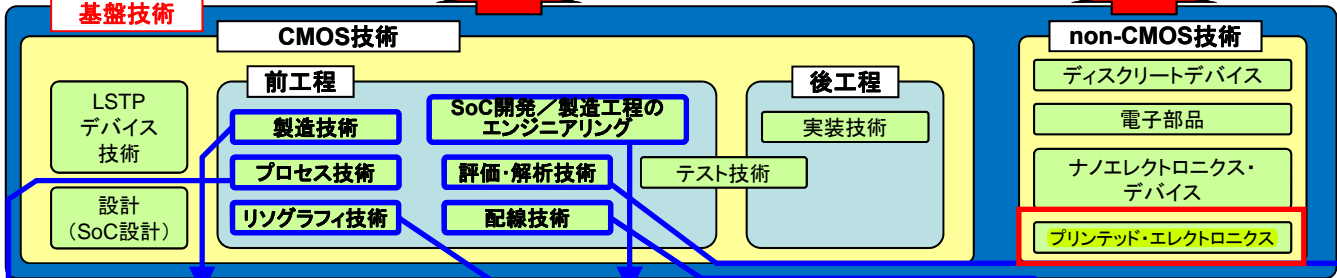
- (中項目) ナノCMOSの延長
  - (自己組織化プロセスによるトランジスタ)
    - ナノシートトランジスタ
    - ナノワイヤトランジスタ
    - ナノチューブトランジスタ
- (中項目) Beyond CMOS
  - 共振トンネルデバイス
  - 分子・有機デバイス
  - 単一電子デバイス
  - 超電導デバイス
  - スピントランジスタ
  - 強磁性ロジックデバイス
  - 強相関電子デバイス
  - バックエンドデバイス
  - Beyond CMOSとSi CMOSとの融合技術
  - 量子計算デバイス

**(大項目) プリントドエレクトロニクス**

- (中項目) 材料技術
  - 活性層、導電層、絶縁層
- (中項目) 印刷実装技術
  - ワイドバンドギャップ半導体
- (中項目) デバイス技術
  - 電子ペーパー
- (中項目) 評価シミュレーション技術
  - 評価シミュレーション技術

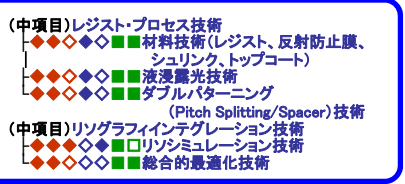
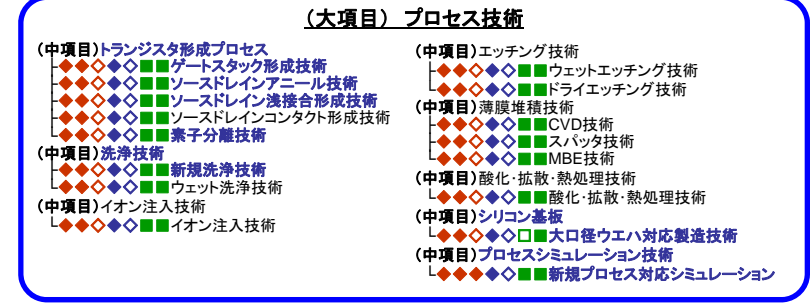
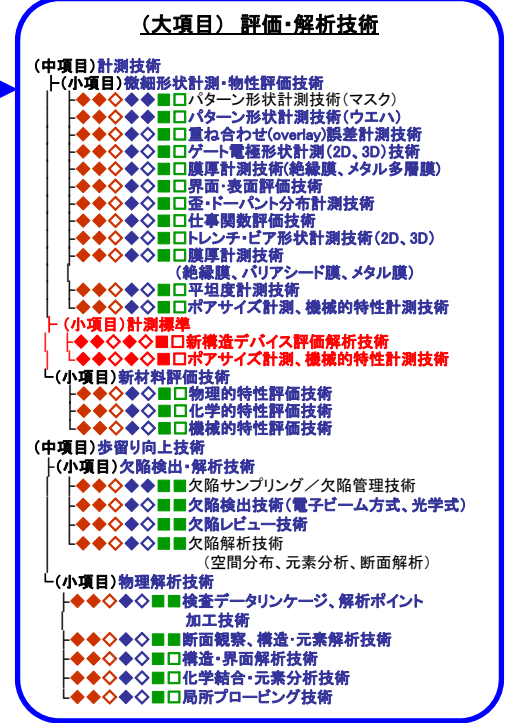
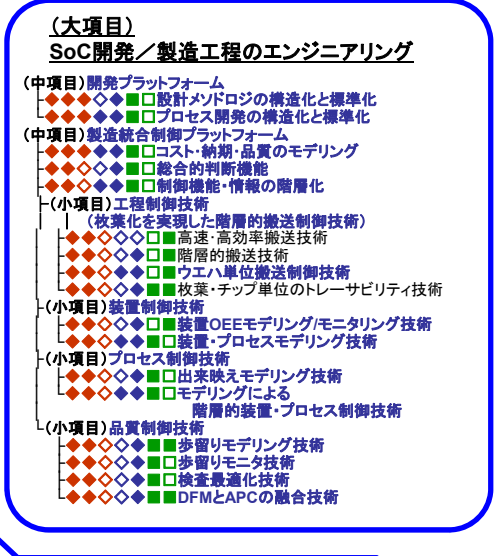
ここが  
該当

# 半導体分野の技術マップ (2/2)



記号の説明						
IDM	ファンドリ メーカ	ファブレス メーカ	装置・材 料メーカ	ソフトベン ダ	半導体の 安全・信 頼性に係 わる技術	省エネに 係わる技 術
◆	◆	◆	◆	◆	■	■

※ 該当しないものを「白抜き」で示す。  
 ※ ロードマップに記載する技術を「青字」で示す。  
 ※ 「半導体の安全・信頼性に係わる技術」は、半導体製造における安全技術、半導体の信頼性を高める技術、歩留りを高める技術。  
 ※ 「省エネに係わる技術」は、半導体の微細化技術、高集積化技術、半導体製造の高効率化技術。



## **略語説明**

**A:** AEC = Advanced Equipment Control

ALD = Atomic Layer Deposition

APC = Advanced Process Control

ArF = Argon Fluoride

**B:** BISR = Built-In Self Repair

BIRA = Built-In Redundancy Allocation

**C:** CMP = Chemical Mechanical Polishing

CMOS = Complementary Metal-oxide Semiconductor

CVD = Chemical Vapor Deposition

**D:** DD = Dual Damascene

DFM = Design For Manufacturing(Manufacturability)

DFR = Design For Reliability

DFT = Design For Testability

DRAM = Dynamic Random Access Memory

DRC = Design Rule Check

DSA = Directed Self Assembly

**E:** EEQA = Enhanced Equipment Quality Assurance

EEQM = Enhanced Equipment Quality Management

EM = Electro Migration

EUV = Extreme UltraViolet

**F:** FDC = Fault Detection and Classification

FDSOI = Full Depletion Silicon On Insulator

FET = Field Effect Transistor

**G:** GOI = Germanium Oxide Insulator

**H:** HW = HardWare

**I:** IP = Intellectual Property

**K:** KGD = Known Good Die

**L:** LER = Line Edge Roughness

LSTP = Low Standby Power

**M:** MBE = Molecular Beam Epitaxy

MDP = Mask Data Preparation

ML2 = MaskLess Lithography

MOS = Metal-Oxide Semiconductor

MRC = Mask Rule Check

**N:** NGL = Next Generation Lithography

NVRAM = NonVolatile Random Access Memory

**O:** OEE = Overall Equipment Efficiency

OPC = Optical Proximity effect Correction

OS = Operating System

**P:** PCB = Printed-Circuit Board

PVD = Physical Vapor Deposition

**Q:** QTAT = Quick Turn Around Time

**R:** RET = Resolution Enhancement Technology

RF = Radio Frequency

RTL = Register Transfer Level

**S:** SAM = Self-Assembled Monolayer

S/D = Source / Drain

SGOI = Silicon Germanium Oxide Insulator

SiP = System in Package

SM = Stress Migration

SoC = System on a Chip

SOD = Spin On Dielectric

SOI = Silicon On Insulator

SRAM = Static Random Access Memory

STIL = Standard Test Interface Language

SW = SoftWare

**T:** TDDDB = Time Dependent Dielectric Breakdown

TEG = Test Element Group

TFT = Thin-Film Transistor

TL = Transaction Level

**U:** UTB = Ultra Thin Body

# 添付資料5

## 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）</p> <p>(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。

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) 大面積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面積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) 大面積圧力センサ

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。

(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>

「次世代プリントドエレクトロニクス材料・プロセス基盤技術開発 基本計画（案）」に対するパブリックコメント募集の結果について

平成 23 年 1 月 14 日

NEDO

電子・材料・ナノテクノロジー部

NEDO POST 3 において標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。  
みなさまからのご協力を頂き、ありがとうございました。

1. パブリックコメント募集期間

平成 22 年 12 月 17 日～平成 22 年 12 月 24 日

2. パブリックコメント投稿数＜有効のもの＞

計 2 件

3. パブリックコメントの内容とそれに対する考え方

ご意見の概要	ご意見に対する考え方	基本計画への反映
全体について		
<p>[意見 1]（1 件）</p> <p>・本プロジェクトは、省エネ・大面積・軽量・薄型・フレキシブル性を実現可能なプリントドエレクトロニクスの技術開発を行い、具体的にはTFTシート・電子ペーパーシート・圧力センサーシート等の開発をめざしている。これらのデバイス駆動の電源として有効となるシート型全固体ポリマーリチウム二次電池の開発を取り上げていただきたい。このシート型二次電池は従来電池とは異なり、軽くて薄くて曲がる特性を有するものであり、デバイスとの組合せに相性が良い。さらに、正極層・ポリマー電解質層・負極層・保護回路形成の全てに印刷技術を採用し、従来の電池製造プロセスを革新するものである。</p>	<p>・本プロジェクトはプリントドエレクトロニクスを用いた薄膜トランジスタの連続生産プロセスの確立とデバイスへの応用となります。ご指摘の薄膜二次電池については、薄型、フレキシブルデバイス電源としての重要性は認識しておりますので、この分野との情報交換等を図りつつプロジェクトを推進してまいります。</p>	<p>特になし。</p>



	<p>[意見 2] (1件)</p> <p>・本プロジェクトに興味を持っている。現在、韓国等では、積極的にこの分野を展開している。日本での推進が求められると思う。本プロジェクトの積極的な推進を希望する。</p>	<p>・御指摘頂いたように積極的にプロジェクトを推進してまいります。</p>	<p>特になし。</p>
--	---	--	--------------

以上