

平成23年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「真空封止技術を利用したモジュール連動型
電子ペーパーの製造」

研究開発成果等報告書

平成25年1月

委託者 関東経済産業局
委託先 一般財団法人金属系材料研究開発センター

目 次

第1章 研究開発の概要

- 1-1. 研究開発の背景・研究目的および目標
 - 1-1-1. 電子ペーパー開発動向
 - 1-1-2. ECD動作の基本原理
 - 1-1-3. ECDディスプレイ開発における技術的課題
- A 封止法に関する課題
- B ディスプレイとしての集積化に関する課題
- C 特許状況
- 1-2. 研究体制
 - 1-2-1. 研究組織および管理体制
 - 1-2-2. 管理員および研究員
 - 1-2-3. 経理担当および業務管理者の所属・氏名
 - 1-2-4. 他からの指導・協力者
- 1-3. 成果概要
 - 1-3-1. 電子ペーパー用ECD素子生産のための真空封止技術の開発
 - 1-3-2. モジュール連動型電子ペーパーのための素子配線技術と統合制御技術の開発
 - 1-3-3. ECD素子構造のニーズに基づいた最適化
- 1-4. 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

- 2-1. ECDの動作原理
- 2-2. ECDの製造工程
- 2-3. 研究成果
 - 2-3-1. 電子ペーパー用ECD素子生産のための真空封止技術の開発
 - 2-3-2. モジュール連動型電子ペーパーのための素子配線技術と統合制御技術の開発
 - 2-3-3. ECD素子構造のニーズに基づいた最適化

第3章 全体総括

- 3-1. 複数年の研究開発成果
- 3-2. 研究開発後の課題・事業化展開について
 - 3-2-1. 研究開発後の課題
 - 3-2-2. 事業展開について

第1章 研究開発の概要

1-1. 研究開発の背景・研究目的および目標

戦略的基盤技術高度化支援事業は、経済産業省により制定された、ものづくり中小企業の技術開発等を支援する法律「中小企業のものづくり基盤技術の高度化に関する法律」（中小ものづくり高度化法）及び「中小企業の特定期間ものづくり基盤技術の高度化に関する指針」（技術指針）に基づき進められているものである。その目的は、日本経済が持続的な発展を続けていくためには、このようなものづくり中小企業が市場ニーズを踏まえつつ、より高度な技術開発に果敢に挑戦していくことを支援するものである。

その中で、本テーマが高度化を進める技術開発は以下の通りである。

（二十）真空の維持に係わる技術

（１）情報家電に関する事項及び（４）その他の産業に関する事項（ナノテクノロジー）：ウ．生産装置の最適化

また、以下の技術にも関連する。

（三）電子部品・デバイスの実装に係る技術

（１）情報通信機器に関する事項：イ．多機能化・高機能・大容量高速情報処理化

我々は、エレクトロクロミック素子（ECD）を利用した電子ペーパーの量産化における、上記の高度化ニーズに応えることを本研究の目的とする。まずは、高度化すべき内容を示す前に、電子ペーパーの研究開発動向について紹介する。

1-1-1. 電子ペーパー開発動向

電子ペーパーとは、表示切替時のみにエネルギーを必要とする、反射型ディスプレイの総称であり、今後の情報通信機器における表示装置として、大きな成長が期待されている。例えば、米市場調査会社である DisplaySearch が本事業開始前の 2009 年 8 月に発表した予測によると、電子ペーパーの売上高は、2009 年の 4 億 3100 万ドルから、10 年後には 96 億ドルまで急増するとされている。現在の電子ペーパーは、主に電子書籍表示用で、E-ink 社の電気泳動型ディスプレイが主たる技術である。一方、大面積用途では、本計画の研究実施企業である東和製作所が機械式の事業化を進めている（図 1-1 参照）。

一方、電気化学的に材料の色を変化させるエレクトロクロミック（EC）現象を利用したエレクトロクロミック素子（ECD）を利用した電子ペーパーも、その低コスト性と高い反射率などの利点から、上記予測でも 2013 年には生産台数ベースでの主たる技術になるとされていた。ECD と他の技術との比較を表 1-1 に示した。各々の技術はそれぞれ長所・短所があり、強みを発揮する用途が異なる。ECD の長所は、その低コスト性と反射率の高さである。反射率の高さは、他の技術は利用できない意匠性を必要とされる分野への展開が期待でき、低コスト性はビジネスモデルの柔軟さの起源となる。これらのことから、ECD ディスプレイが担う市場としては、電子書籍用ではなく、情報通信機器やカード上などに設置する小型ディスプレイ、屋外広告などの一画素のサイズが大きい遠目からみるディスプレイなどが期待されている。



図 1－1 研究実施機関である東和製作所が開発した機械式大面積電子ペーパー

表 1－1 電子ペーパー技術の比較

	E C D (当該技術)	電気泳動 (E-ink)	コレステリ ック液晶 (富士通)	機械式 (東和製作所)
白色反射率	◎ (>60%)	△ (<50%)	× (<40%)	◎ (>60%)
価格	◎	△	△	△
微細化	◎	◎	◎	×
メモリ性	○	◎	◎	◎
フルカラー	×	×	○	△
強みを 発揮する用途	商品ラベル等 の小型用途 大面積用途	電子書籍 事務書類等	明るい場所 でフルカラ ーが必要な 用途	非常に大きな サイズの用途

1－1－2．E C D動作の基本原理

E C Dディスプレイに利用される素子構造模式図を図 1－2 に示す。E C Dは2枚のE C層がゲル電解質層を挟んだ構造をしており、E C層の着色－消色により色が変わる。電解質層に白色顔料を含有させることで、上部E C層の着色－消色により、色が変化する。

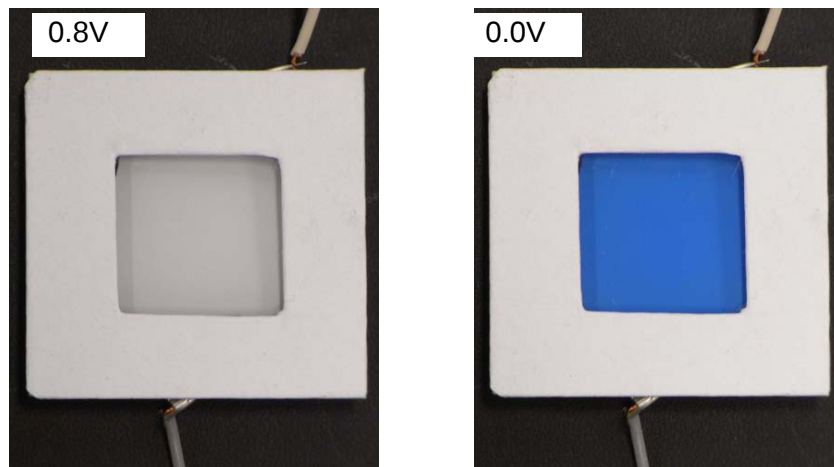
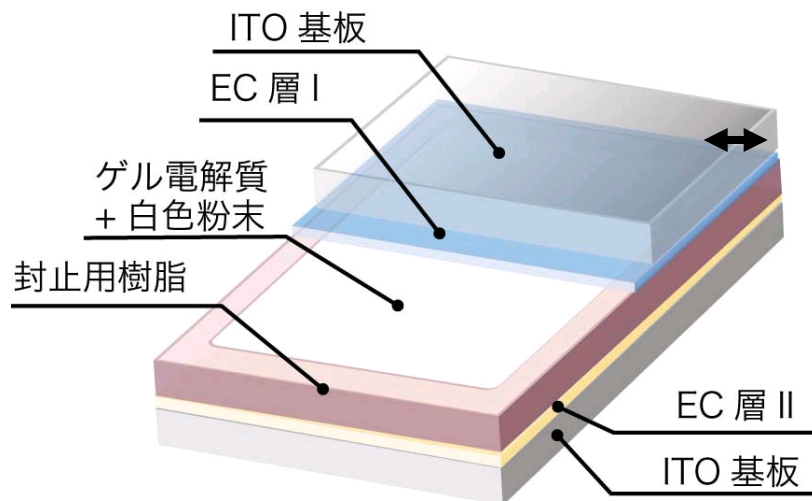


図 1 - 2 (上) E C D の構造模式 (下) 錯体ナノ粒子を利用した E C D の色変化

E C D に利用する E C 材料の有力なものに、錯体ナノ粒子インクが挙げられる。この材料は、産総研が山形大学と共同開発したものであり、E C 現象を示すプルシアンブルー型錯体をナノ粒子化し、各種溶媒へ分散させたものである。この場合、材料合成・製膜・素子製造のほぼすべてを常温常圧での液体工程で行うことができ、製造コストの大幅削減が期待される。この材料を用いて作製した E C D は、サイクル耐性試験において 1 0 0 万サイクル動作後も劣化が見られず、 -20°C から 80°C における動作も確認済みである。また、白色コピー紙と同等の白色時反射率も実現している。本計画では、この E C 材料を利用し、E C D 電子ペーパーの開発を進めた。

1 - 1 - 3. E C D ディスプレイ開発における技術的課題

A 封止法に関する課題

一般的な E C D ディスプレイの製造には、いくつかの課題がある。その一つは、電解質の封止技術である。E C D の電解質層は一般に電解液あるいはゲル電解質が利用され、その封止が耐久性等に大きな影響を及ぼす。現在量産されている E C D としては、年産 1 0 0 0 万個を超える車載防眩ミラーがあり、これは注入法を利用して製造されている。これは、先に電解質層以外の部分を構築し、最後に用意しておいた注入口から電解液を注入し、最後に注入口を封止する手法である。しかしながら、この手法では、粘性の高いゲル電解質の注入は困難である。一方、ディスプレイ用途では、電解質中の白色顔料を安定化させるため、ゲル電解質の利用が望ま

しく、現状の注入法では難しい。

この課題を解決する際に重要となるのが液晶ディスプレイの製造において利用されている、真空を利用した注入封止技術であり、本計画の大きな課題の一つが、これらのECD生産への応用である。

B ディスプレイとしての集積化に関する課題

ECD電子ペーパー量産に関するもう一つの課題は、ECDの集積化であり、より具体的には、多品種変量生産に対する対応である。前述の通り、ECD電子ペーパーの用途は多岐にわたる。また、大面積に限っても、必要となるサイズは様々であり、規格化は難しい。

よって、ECDディスプレイの量産化、高機能化には、様々なニーズに応えられる「電子ペーパーシステム」を電子素子の実装という観点から実現することである。これは、とりもなおさず、材料からシステムまでの統合設計が容易に実現できるシステムの構築である。すなわち、表示材の選定、その素子化及び配列、それらを統合的に動作させるハード的結節及びソフトウェアの設計が必要となる。本計画では、比較的小さな表示装置をモジュールとして準備、それらを並べ、統合的に駆動させることにより、ここのニーズに合わせた表示素子の実現を目指す。これはまさに、複数のチップの機能を連結する統合設計技術の実現である。

C 特許状況

本計画に関連する特許は、産総研が出願済みであり、基幹となる材料製造技術、素子化技術、各用途に応じた特許網を構築しており、ナノ粒子ECDについては、ほぼ独占的に開発を進めることが可能となっている。具体的な特許の一例を以下に示す。

有機溶媒に分散するナノ粒子とその製法

川本 徹他、【日本】特願 2006-030481、【E P】06713278.7【米国】11/816489
ナノ粒子ECDの構造

川本 徹他、【日本】特願 2007-531013【米国】11/990449

水に分散するナノ粒子とその製法及びECDへの応用

川本 徹他、【日本】特願 2006-355513（原出願）【W I P O】PCT/JP2007/075
265

ナノ粒子薄膜を安定化する方法

川本 徹他、特願 2008-168941

D 本研究の高度化目標

本計画における研究開発の高度化目標は以下の通りである。

(二十) 真空の維持に係わる技術

(2) 情報家電に関する事項、及び(4) その他の産業に関する事項（ナノテクノロジー）：ウ．高品質化・用途の拡大 である。

現在量産化されているECDでは、液体注入法が利用されているが、この手法では、ゲル電解質の利用が困難であり、結果として電子ペーパーとしての性能を実現することが困難である。本計画では、高品質化の実現のため、液晶ディスプレイパネル製造に利用される真空封止技術であるODF(One Drop Filling)法(図1-3参照)をECD生産に適用・用途を拡大し、高精度、低コストさらには、大量生産へのスケールアップが可能な手法を開発する。

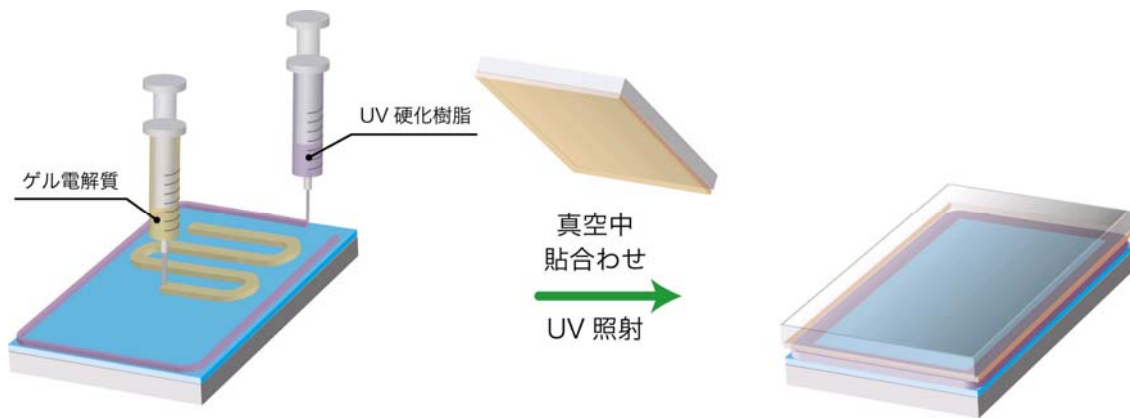


図 1 - 3 ODF 法の概略

また、以下の技術にも関連する。

(三) 電子部品・デバイスの実装に係る技術

(1) 情報通信機器に関する事項：イ．材料からシステムまでの統合設計

ECD 電子ペーパーの製造においては、多品種変量生産を可能とすることが重要であり、それにより、結果としてニーズに合わせて各種機能の実現、即ち高機能化が可能となる。その実現のため、ECD 電子ペーパーをモジュール化し、それらをニーズに合わせて組み合わせて利用することにより、様々なディスプレイ・画素のサイズを実現できる実装を進める。素子化においては、錯体ナノ粒子インクを基本材料として利用するが、その材料から、モジュール連動電子ペーパーまでを一体的に研究開発することで、上記の多品種変量生産に適用できる技術を構築する。

具体的な開発項目として、下記のサブテーマを設置する。モジュール連動型電子ペーパー構築の概念は、図 1 - 4 に示す。

< 1. 電子ペーパー用 ECD 素子生産のための真空封止技術の開発 >

1. 1. ECD 素子生産のための ODF 法の開発
1. 2. ECD 素子の量産技術の開発

< 2. モジュール連動型電子ペーパーのための素子配線技術と統合制御技術の開発 >

2. 1. ECD 電子ペーパーモジュールの生産に関する研究開発
2. 2. モジュール連動型大面積電子ペーパーの生産に関する研究開発

< 3. ECD 素子構造のニーズに基づいた最適化 >

3. 1. ニーズを実現する素子構造及び部材の最適化
3. 2. モジュール連動型電子ペーパーに搭載する素子の最適化

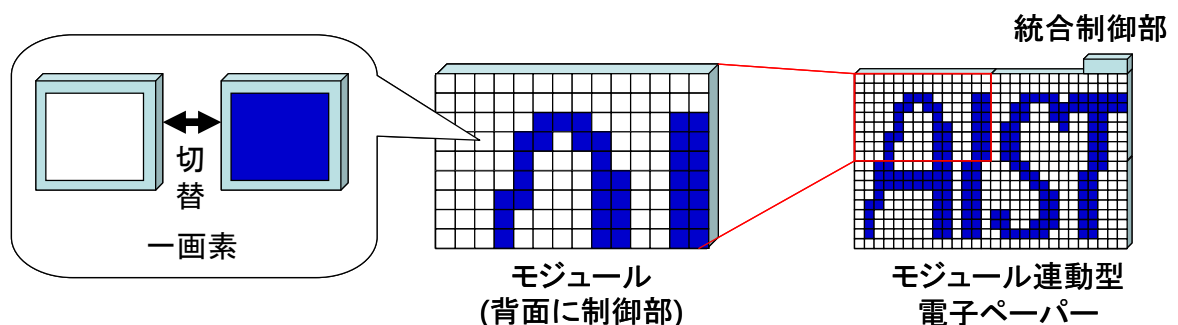


図 1 - 4 モジュール連動型電子ペーパーの概念

本計画では、ECD素子最適化、ODF法による量産技術の構築、モジュール化による多用途変量生産への対応を柱とする。それぞれのサブテーマにおける技術高度化目標達成のため、以下の研究開発を進める。

＜ 1. 電子ペーパー用ECD素子生産のための真空封止技術の開発＞

ECDモジュールに利用する素子製造に関し、量産にスケールアップ可能な手法を確立する。第一の候補として、ODF法で作製する技術を開発する。まず基板上にゲル電解質と封止材であるUV硬化樹脂をディスペンサで塗布し、真空中でもう一方の基板と貼り合わせることで、ECDを製造する。一方、注入法でもゲル電解質の利用などの解決ができれば、検討を進め、より低コストでの生産が可能な方式を採用する。

液晶パネル製造と異なる部分として、基板間隔が $50 \sim 150 \mu\text{m}$ と広いこと、使用する電解質の粘度が高いことと、ことが上げられる。このため、真空維持とその中での基板距離制御技術の両立、高粘度材料のディスペンサ技術が目標を達成するための技術開発となる。

本計画では、量産へのスケールアップが可能な手法の開発を行う。そのためには、可能な限りの自動化、同時に多数を生産できる量産性が必要となる。

＜ 2. モジュール連動型電子ペーパーのための素子配線技術と統合制御技術の開発＞

電子ペーパーモジュールの作製には、素子の各々に任意の電圧を印可する装置が必要となり、そのためには個々の装置への配線技術と、集中的に管理するコントローラが必要となる。配線技術については、通常の電線配置に加え、素子後部へ印刷による配線、例えば、インクジェット印刷による金属ナノ粒子を利用した配線なども必要に応じて検討する。最終的には、コストを勘案して配線方法を決定する。また、素子構造についても、川下業者のニーズを的確に把握し、そのサイズ・応答速度・階調などについて他のサブテーマと連携し、統合的な設計・開発を進める。

また、コントローラについては、新たな素子であるECDに対応した物を作製する。具体的には、電圧印可のタイミングや、総電流量管理、階調化を実現するための電圧あるいは電流量の制御などを一元的に行うコントローラを作製する。

各モジュールを統合し、動作させる大面積電子ペーパーを開発する。また、電子ペーパーとしては、通信によりその表示内容などを切り替えられる仕様とする。

＜ 3. ECD素子構造のニーズに基づいた最適化＞

前述の通り、素子製造の基礎技術は、産総研が特許出願済みの基本特許をベースに、既に基本性能は実現している。本計画では、さらに、アドバイザー等との意見交換を通じて表面化した素子特性を実現すべく、素子構造及び部材の最適化を行う。

特に、サイクル耐性などの耐久性については、用途によってその要件が大きく異なるため、そのニーズに合致した素子設計を行う。

さらに、本計画では、大面積電子ペーパー以外の用途を検討する多様な川下製造業者がアドバイザーとして参加しており、彼らのニーズも適宜研究開発計画に取り入れることで、様々な用途への展開も可能となる。特に、本技術の耐久性・意匠性・

低コストという、利点を生かすことで、様々な情報通信機器を始めとした耐久消費財への搭載も可能となる。

1－2．研究体制

1－2－1．研究組織および管理体制

(1) 研究組織（全体）

ECDは、多様な電子ペーパーのニーズを実現するポテンシャルを秘めている。一方、量産体制の確立や、高品質化には、真空技術の高度化および電子素子実装技術の高度化が欠かせない。この問題を解決すべく、本計画では（株）大和技研、（株）東和製作所、（独）産業技術総合研究所（以下、産総研）の3機関の連携を進める。それぞれの本研究開発での役割は表1－2に示す通りである。3機関はそれぞれの役割を果たす上での十分な実績があり、効率的な事業化が可能となる。さらに、本研究開発では、当該技術を利用する川下製造業者・商社等をアドバイザーに加え、そのニーズを迅速に掴み、実現する体制を整えている。

本研究開発組織を図 1－5 に示す。

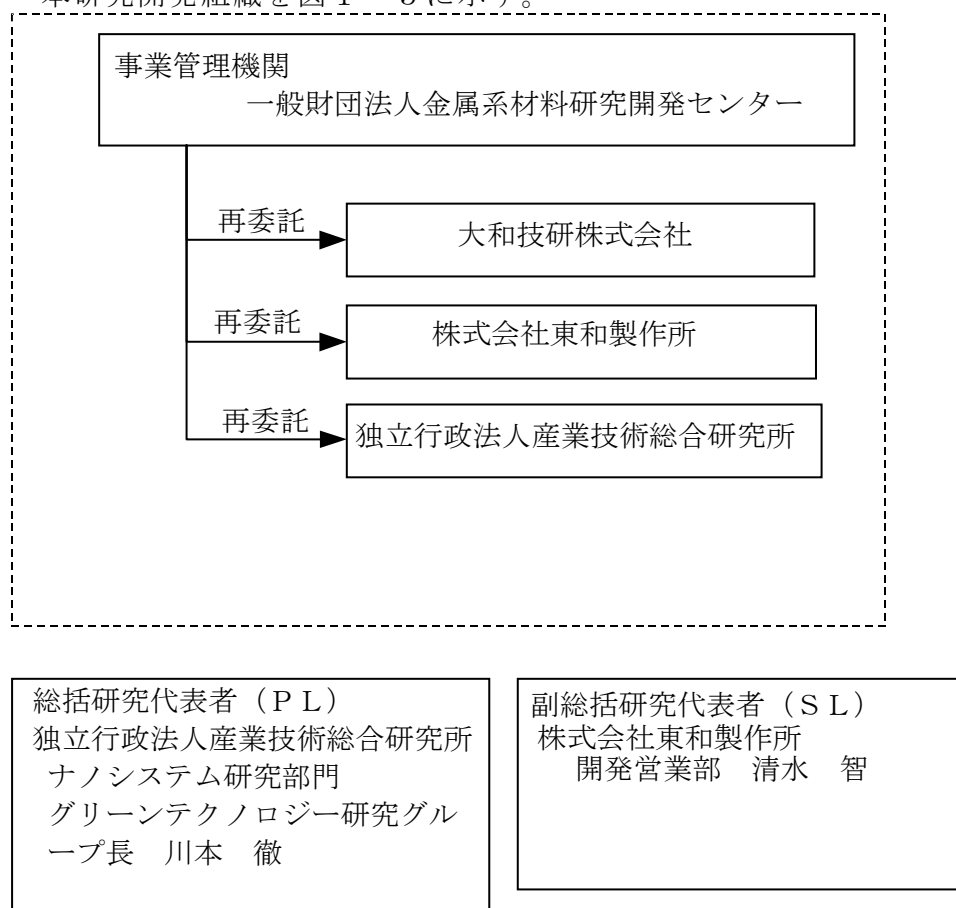
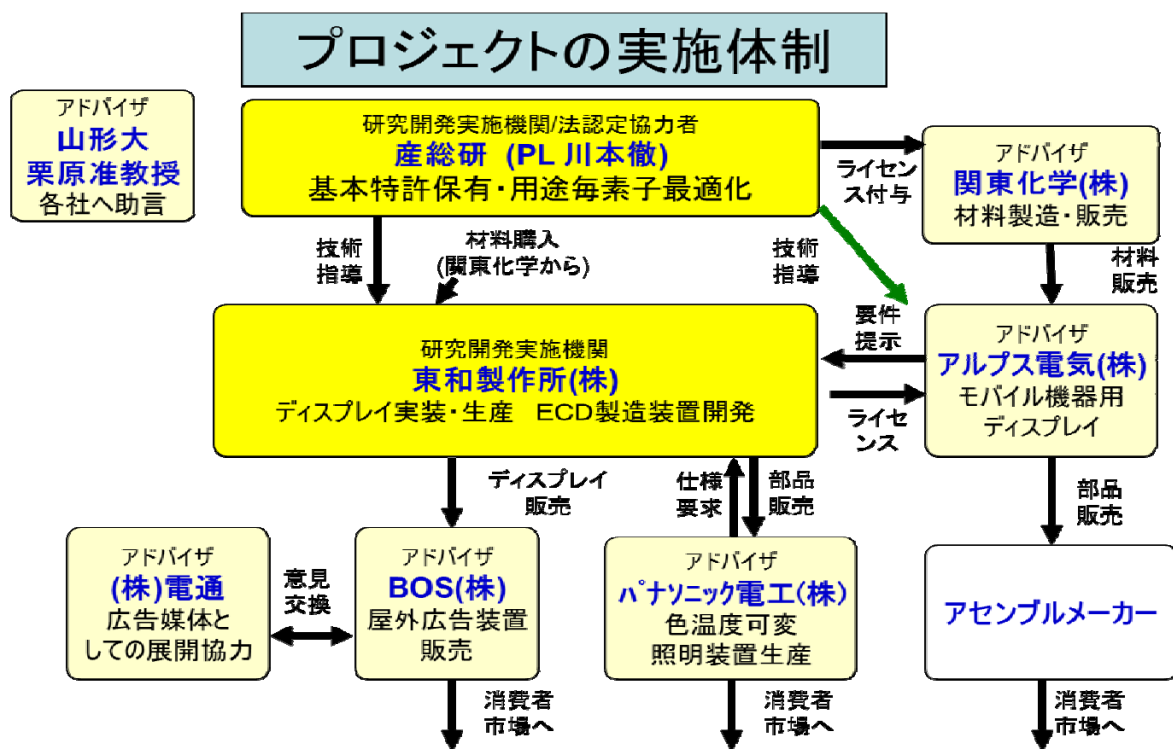


図 1－5 研究開発組織

表 1－2 研究実施機関とそれぞれの役割

	役割
大和技研株式会社	表示素子の量産技術開発
株式会社東和製作所	ディスプレイ開発、 表示素子の量産技術開発
独立行政法人産業技術総合研究所	E C D 構造・部材の最適化

さらに本事業では、図 1－6 に示すような多数のアドバイザー企業を含めた研究体制を構築している。本共同体では、研究実施機関 3 者、アドバイザー企業 6 社および 1 者で研究を推進する。特徴的なことは、全研究実施機関による共同研究契約を締結すると共に、アドバイザーおよび事業管理機関を含めた秘密保持契約も締結し、共同体内での情報の共有化による研究促進を進めていることである。これにより、アドバイザー企業のニーズなども明確に把握することができ、有効な研究推進が可能となる。さらには、事業管理機関も秘密保持契約に参画し、研究内容まで含めた研究推進に貢献している。



研究実施機関・アドバイザー企業でNDAを締結、成果の相互利用に関する合意あり。資源を集約した研究推進の加速を実現、今年度関東化学を新たに加え、材料量産体制も確立

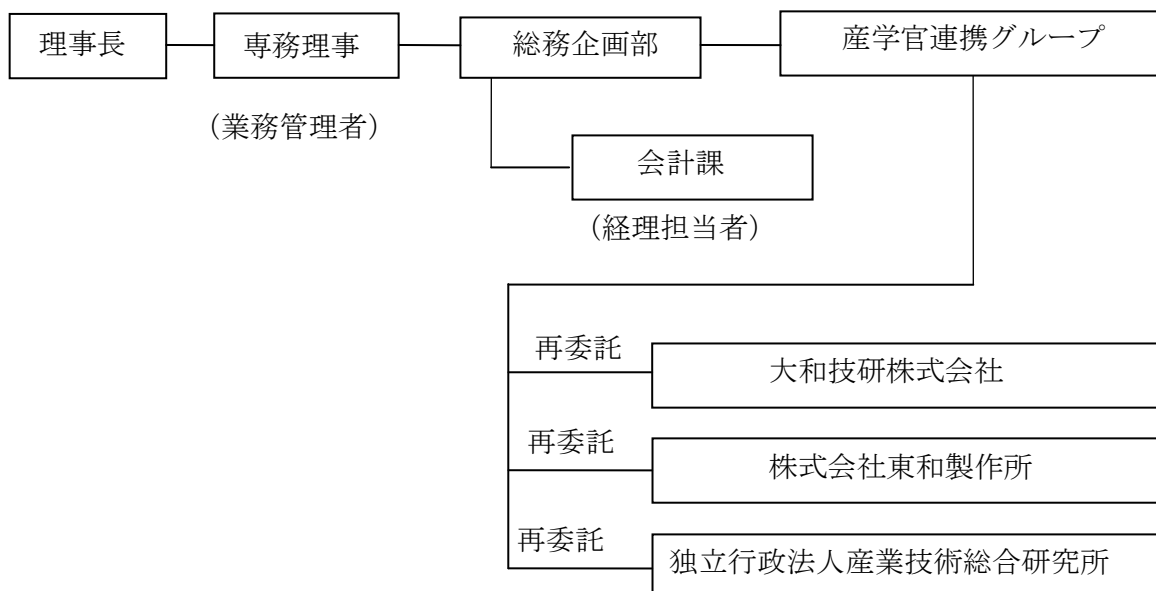
図 1－6 本事業の研究実施体制

(2) 管理体制

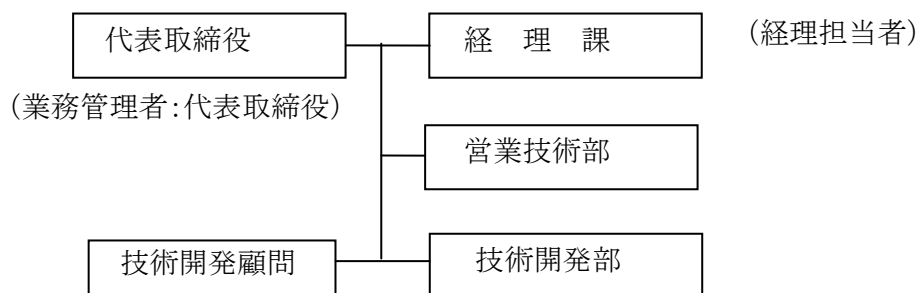
関係各組織の管理体制を図 1－7 に示す。

①事業管理機関

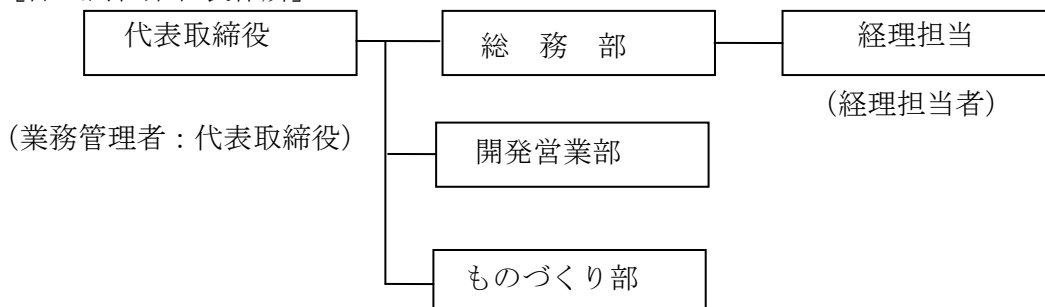
[一般財団法人金属系材料研究開発センター]



② 再委託先
[大和技研株式会社]



[株式会社東和製作所]



[独立行政法人産業技術総合研究所]

(業務管理者:研究部門長)

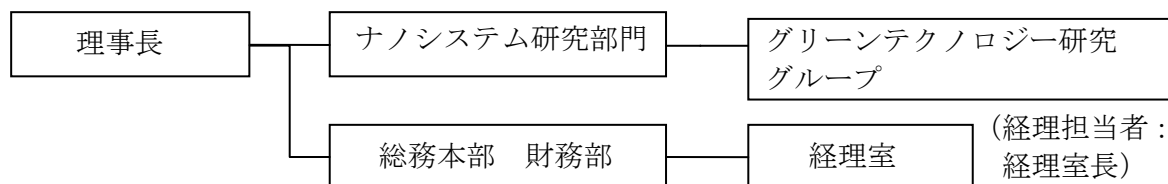


図 1－7 各組織の管理体制

1－2－2．管理員および研究員

本研究開発に従事した管理員、研究員を以下に示す。

【事業管理機関】一般財団法人金属系材料研究開発センター
(管理員)

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
箕浦 忠行	総務企画部産学官連携グループ 主席研究員	④

【再委託先】

(研究員)

大和技研株式会社

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
立石 宜	技術開発顧問	①③
立石 東	営業技術部	①③
丸目 弘文	技術開発部	①③
関谷 浩	技術開発部	①③

株式会社東和製作所

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
清水 智	開発営業部 部長	②③
水岡 雄輔	ものづくり部 課長	②
大野 寿男	ものづくり部	②③
根本 典之	ものづくり部 課長	②

独立行政法人産業技術総合研究所

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
川本 徹	ナノシステム研究部門 グリーンテクノロジー研究グループ長	①②③
田中 寿	ナノシステム研究部門 グリーンテクノロジー研究グループ 主任研究員	①②③
高橋 顕	ナノシステム研究部門 グリーンテクノロジー研究グループ 研究員	①②③
渡邊 浩	ナノシステム研究部門 グリーンテクノロジー研究グループ 派遣	①②③

1－2－3．経理担当者および業務管理者の所属、氏名

各関係組織の経理担当者および業務管理者を以下に示す。

(事業管理機関)

一般財団法人金属系材料研究開発センター

(経理担当者) 会計課長 小紫 正樹
(業務管理者) 専務理事 小紫 正樹

(再委託先)

大和技研株式会社

(経理担当者) 経理課 清水 勝
(業務管理者) 代表取締役 岩井 倫

株式会社 東和製作所

(経理担当者) 総務部 経理担当 山後 廣子
(業務管理者) 代表取締役 菅谷 篤廣

独立行政法人 産業技術総合研究所

(経理担当者) 総務本部 財務部 経理室長 井佐 好雄
(業務管理者) ナノシステム研究部門長 八瀬 清志

1-2-4. 他からの指導・協力者

アドバイザーを含めた研究開発委員会参加者

氏名	所属・役職	備考
川本 徹	独立行政法人産業技術総合研究所 ナノシステム研究部門 グリーンテクノロジー研究グループ長	P L
立石 東	大和技研株式会社 営業技術部	
関谷 浩	大和技研株式会社 技術開発部	
清水 智	株式会社東和製作所 開発営業部 部長	S L
高見 浩夫	株式会社B O S 代表取締役社長	アドバイザー
田口 好弘	アルプス電気株式会社 仙台開発センター	アドバイザー
山内 哲	第一プロセス技術部 主任技師 パナソニック株式会社 エコソリューションズ社 ライティング事業グループ R & D センター デバ イス技術開発グループ 材料プロセス開発チーム 副参事	アドバイザー
白瀬 仁士	日油技研工業株式会社 研究開発部	アドバイザー
栗原 正人	第1グループ 主査	アドバイザー
吉野 和典	独立行政法人産業技術総合研究所客員研究員 (本務 山形大学理学部 准教授) 関東化学株式会社 中央研究所 第三研究室 室長	アドバイザー
箕浦 忠行	一般財団法人 金属系材料研究開発センター主席研究員	

1-3. 成果概要

今年度の目標および成果の概要は以下の通りである。

1-3-1. 電子ペーパー用ECD素子生産のための真空封止技術の開発

(目標)

- 1) ECD素子生産のためのODF法の開発
 - ・真空空間狭小化による真空引きに要する時間短縮
 - ・シール幅狭小化
- 2) ECD素子の量産技術の開発：量産技術開発
 - ・プロセス品質の向上

(成果)

- ・真空チャンバー内の不要空間を金属体等で充填することで、1分以内の真空度（0.01気圧）達成を実現した。
- ・封止材の幅を狭めることで、ECD内の色変化部分の割合を向上した。
- ・スプレー塗布、両面スクリーン印刷、真空貼りあわせを統合し、量産技術を完成
- ・スプレー塗布でも、スピコートと同様のナノレベルで平滑な膜を実現、色変化挙動もスピコート膜と同様のレベルを実現した。
- ・ガラス基板の位置決めは基板外形端部を位置決めコーナに当てた簡便方法を開発し、CCDでの確認による基板へのマーカー印刷を回避し、低コスト化を実現した。
- ・上部基板を、□形治具に設置後、静電チャックで持ち上げるプロセスを採用し、両面塗布を実現した。
- ・最適真空到達度＋貼り合わせ精度の明確化が概ね終了し、交換時期等の指針を概ね確立した。

1-3-2. モジュール連動型電子ペーパーのための素子配線技術と統合制御技術の開発

(目標)

- 1) ECD電子ペーパーモジュールの生産に関する研究開発
 - ・大面積ECDモジュールの動作検証
 - ・市場ニーズに合ったモジュールの開発
- 2) モジュール連動型大面積電子ペーパーの生産に関する研究開発
 - ・4個以上のモジュールを結合した、電子ペーパーの製作
 - ・試作した電子ペーパーの公開およびユーザからのニーズ等の取得

(成果)

- ・下記2つの大型電子ペーパーモジュールの生産実験を行った。
 - ①50mm×50mmECD素子
16×16素子×4モジュール（1024素子）（情報表示板を想定）
 - ②100mm×100mmECD素子
15モジュール（合計1,000素子）（インテリア応用を想定）（前述と同様の装置を、モジュールに分けて、高速動作を実現）
- いずれも一部接触抵抗等による動作不良があったものの、大きな問題はなかった。①モジュール型連動駆動方式の動作検証で、4モジュール以上の連動駆動における100時間動作検証を行いECD特有の問題を確認した。今後の課題解決の参考となった。

1-3-3. ECD素子構造のニーズに基づいた最適化

(目標)

- 1) ニーズを実現する素子構造及び部材の最適化
 - ・反射率50%以上、サイクル耐久性10万回以上
 - ・スプレーコート法の量産レベルでの製造
- 2) モジュール連動型電子ペーパーに搭載する素子の最適化

- ・小サイズと異なる挙動が見られた場合 E C D 設計で対応

(成果)

- ・真空貼り合わせ時の真空静置時間と E C D 性能（色変化、レスポンス）低下の関係が明らかとなった（電解質中の炭酸プロピレンの揮発）。これから工程時間の最適設定が行えるようになった。
- ・電解質の組成の見直しにより、性能低下なしに崩落防止することが可能となった。
- ・基板の親水化処理プロセスとして、U V 処理の可能性を確認した。これまでのプラズマ処理と比較して、大幅なコストダウンが可能となった。
- ・プルシアンブルーナノ粒子のスプレー塗布法の適用の可能性が確認された。
- ・プルシアンブルーナノ粒子インクの量産技術が確立した。

1－4．当該研究開発の連絡窓口

所属： 一般財団法人金属系材料研究開発センター

役職： 主席研究員

氏名： 箕浦 忠行

〒105-0003 東京都港区西新橋1-5-11 第11 東洋海事ビル6F

Tel 03-3592-1284 FAX 03-3592-1285

E-mail tminoura@jrcm.jp

第2章 本論

2-1. ECDの動作原理

ECDの構造は、基本的に図2-1に示すように層状構造である。電極にナノ粒子層（エレクトロクロミック：EC層）を塗布した基板二枚の間に電解質層を挟み込んだ構造である。電解質層には、今回はゲル電解質を使用する。また、ゲル電解質内の溶媒の乾燥を回避する目的で、ゲル電解質層は封止材により封止される。EC層は電圧印加によりその酸化状態が変化し、色が変わる。ECDとしては、透過型と反射型の二種類があり、透過型の場合には、電解質、電極に透明の材料を使用する。その場合、素子が透けて見える。一方、反射型の場合には、電解質を白色にすることで、上部EC層が着色された場合、その色が、無色透明になった場合、白色になる。この場合、上部電極は透明電極を使用する必要があるが、下部については特に制限はない。

電圧印加によって誘起される化学反応は材料によるが、例として上部にプルシアンブルーを、下部にニッケル置換プルシアンブルー型錯体を使用した場合、以下の通りになる。

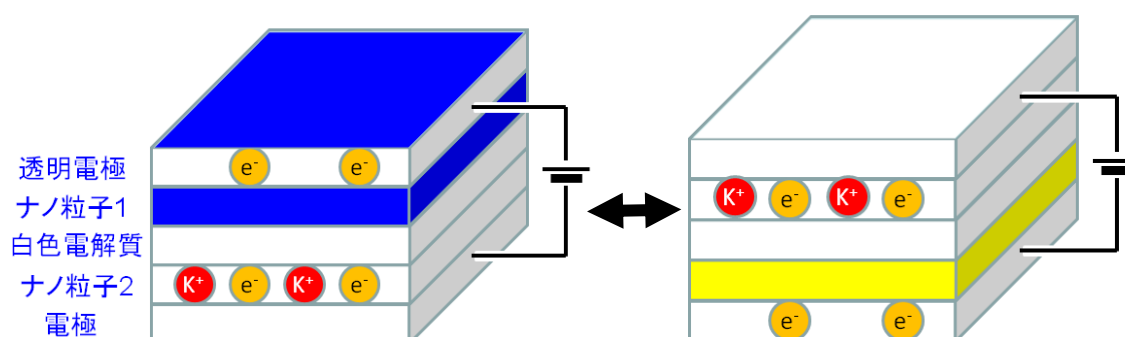
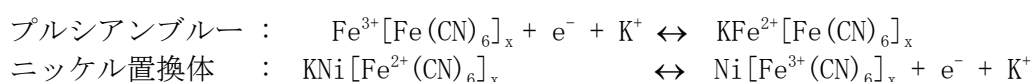


図2-1 ECDの素子構造と動作原理

このように、電極とEC層の間で電子をやりとりし、電解質とEC層の間でイオンをやりとりすることで色変化が起こる。

2-2. ECDの製造工程

本事業で開発した量産対応のECD製造フローは図2-2の通りである。また、図2-3に、量産化にむけて変更した製造工程をまとめた。

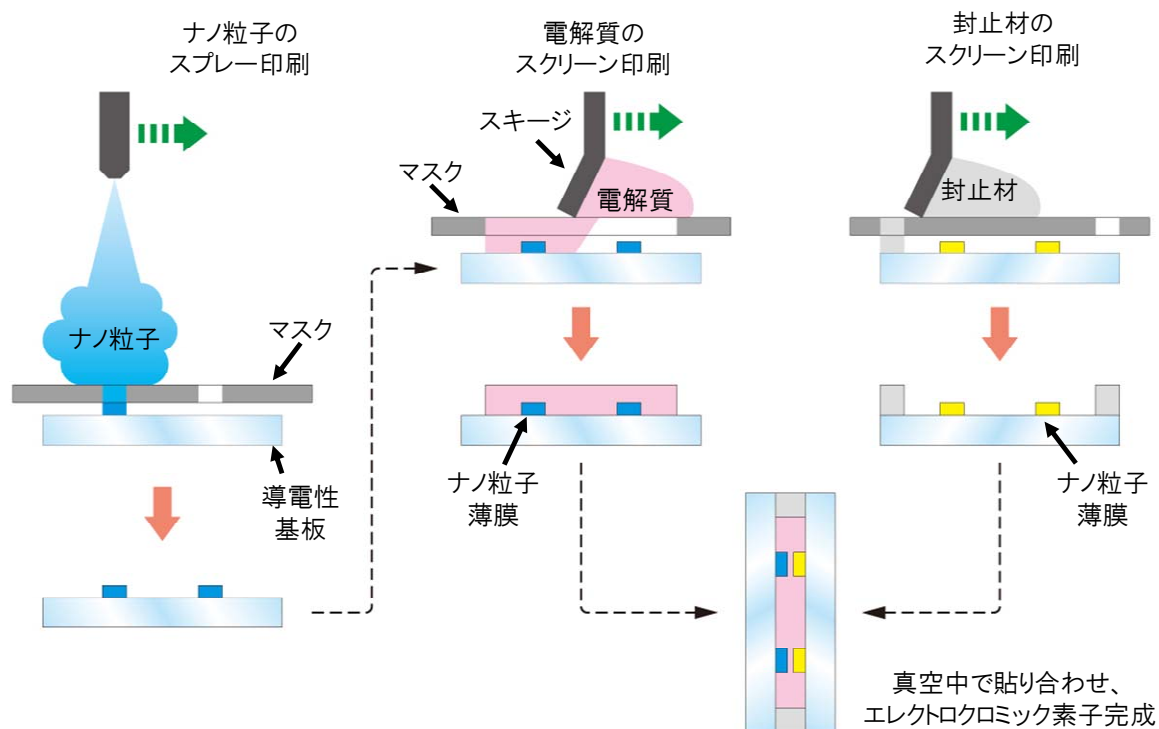


図 2-2 本事業で開発した、量産化に対応したエレクトロクロミック素子の製造法

技術移転	
ITO基板洗浄	プラズマ洗浄 → UV洗浄
EC層の塗布	スピコート → スプレーコート
ゲル電解質+白色粉末パターニング	ディスペンサー → スクリーン印刷
封止用樹脂パターニング	ディスペンサー → スクリーン印刷
張り合わせ	真空張り合わせ
樹脂硬化	UV照射
素子の洗浄	

図 2-3 エレクトロクロミック素子の製造法における量産化にむけた製造法の変更概要

2-3. 研究成果

2-3-1. 電子ペーパー用ECD素子生産のための真空封止技術の開発

ECDモジュールに利用する素子製造に関し、量産にスケールアップ可能な手法を確立した。第一の候補として検討した、真空中で材料塗布後の基板を貼りあわせるODF法での作

製技術の確立に成功した（図2－4参照）。

液晶パネル製造と異なる部分として、基板間隔が $50\sim150\mu\text{m}$ と広いこと、使用する電解質の粘度が高いことと、ことが上げられる。このため、真空中での基板距離制御技術として、封止材にガラスビーズを含有させ、貼りあわせ時の基板間ギャップを精密に制御する技術を確認した。また、高粘度材料の塗布については、スクリーン印刷の導入によりその困難性を解決した。

本事業では、量産へのスケールアップが可能な手法の開発を行った。具体的には、必要な要素技術として、以下の開発を実施した。

- 量産用大面積ODF装置を開発する。30cm角の基板を利用した装置を製造した。ただし、装置利用の効率化の観点から、実際に使用する基板は、治具の交換により、5cm以上のものをニーズから効率的に生産できる構造とした。真空中における、上下基板の正確な配置については、治具の作製により実現した。その精度は200マイクロメートル以下の誤差を実現できた。さらに、基板間隔は $5\mu\text{m}$ /以下での制御を可能とした。高精度な素子作製には、真空チャンバーの真空到達時間の管理が日重要であることを明らかにし、その真空到達時間の実現と、真空チャンバー内での操作の両立を実現した。
- また、封止材・電解質塗布用に、量産用塗布システムを構築した。具体的には、高粘度の材料を利用した、スクリーン印刷式による量産化を実現した。描画に必要な時間は、10cm角の基板が一枚1分以下であり、30cm角基板に相当する面積に対し、10分程度で描画可能となった。
さらに、ナノ粒子分散液については、スプレー塗布による量産化も実現した。
- 素子切り出し技術を開発した。それぞれの素子用毎にカットした基板を使用する方法に加え、一体として塗布、素子化したのちにそれらのカットする方法についても確認した。ただし、実際の生産においては、事前のカット後に、個別の素子を作製する方法と、素子の一体作成後にカットする方法について、ニーズにより効率性が異なるため、適切な手法を使用していくこととなる。

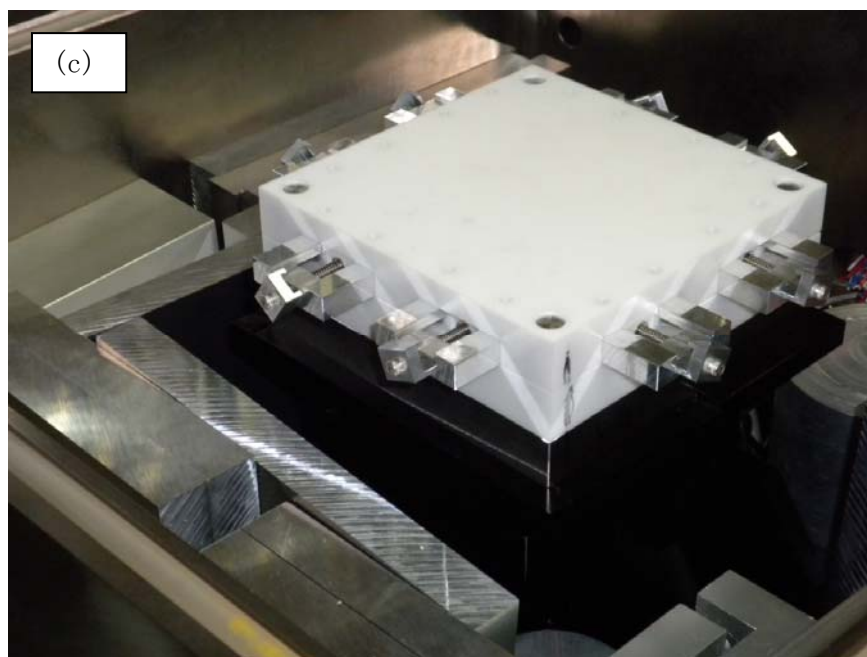
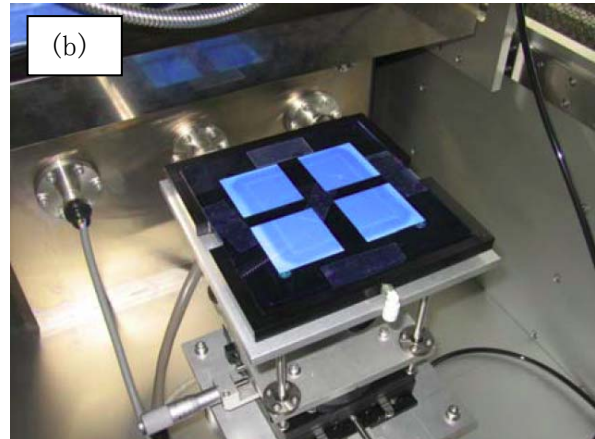
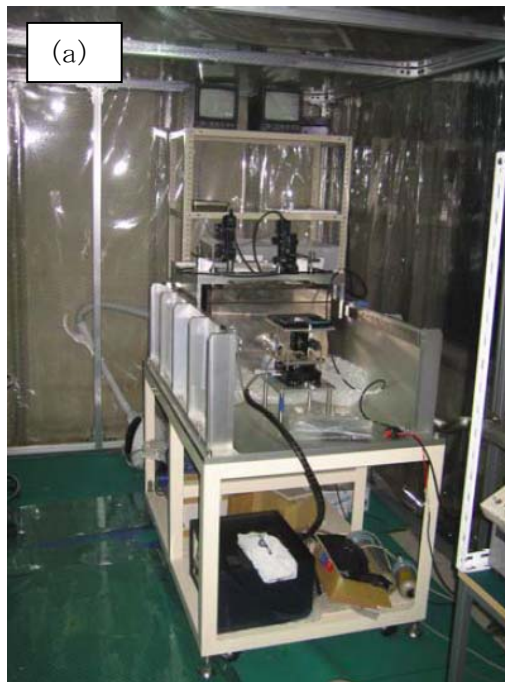


図 2－4 量産対応の真空貼りあわせ装置の概要。(a)装置全体像。(b)貼りあわせに使用する治具の一例。(c)小型基板を使用する際の、治具と空間狭小化の一例。

2－3－2．モジュール連動型電子ペーパーのための素子配線技術と統合制御技術の開発

電子ペーパーモジュールの作製には、素子の各々に任意の電圧を印可する装置が必要となり、そのためには個々の装置への配線技術と、集中的に管理するコントローラが必要となる。ここでは、以下の成果を得た。

- また、素子構造についても、川下業者のニーズを的確に把握し、そのサイズ・応答速度・階調などについて他のサブテーマと連携し、統合的な設計・開発を進めた。素子サイズを大きくしたディスプレイの用途が大きいと判断し、その方向で進めた。一つは二次元の通常のディスプレイであり、もう一つは、新しい試みとして、三次元的に素子を配列

させた表示装置を開発した。後者は情報表示装置にくわえ、インテリア等のニーズが調査の結果相応に存在するとの結果に基づき、検討したものである。

- 配線技術については、通常の電線配置に加え、素子後部へ印刷による配線を検討した。特に、ECDと配線の接合が、素子の安定駆動に関して非常に重要であることを見出した。そのため、接合金具の選定を行った。一つはリードフレームを利用した接合であり、もう一つは、ダブルクリップを利用した接合である。いずれも良好な電氣的接合を示した。さらに、今回採用した配線技術を生かすと共に、意匠上も問題のないパッケージを開発した。
- コントローラについては、ECDに対応したものを作製した。ECDの特性である1.5V以下の駆動に加え、安定的な動作には適宜逆電圧を印加することが望ましいことも勘案し、駆動できるコントローラを作製した。さらに、複数のECDを同時制御する場合には、パッシブマトリクス駆動ではリークが発生し、所望の表示が得られないことを明らかにし、これを回避する制御回路を開発した。最後に、これらのコントローラをを複数個動作させると共に、PCで集中制御することで、大量の素子を統合制御するシステムを構築できた。

次に、開発した駆動回路とパッケージを組み合わせ、モジュール単位とし、そのモジュールを構成要素として組上げた、電子ペーパーディスプレイの試作品を、図2-5に示す。この試作品の大きさは、2×2mサイズであり、実際のモジュール（3×3）は4個を、ディスプレイの中央に配置し、実際は6×6の稼働となっている。その他の部位は、ダミーとしている。

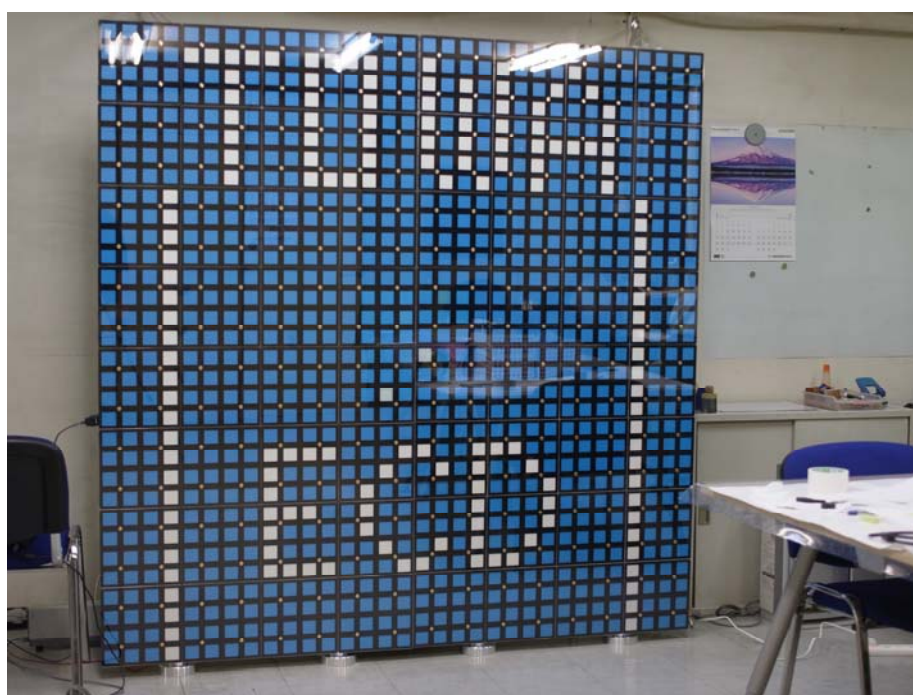


図2-5 2×2mサイズの二次元ディスプレイ試作品

最後に、より多くのECDを組み合わせた3次元ディスプレイを開発した(図2-6参照)。接合部および配線は前述のダブルクリップ及び錫鍍金配線技術を活用し、約1000個のE

C Dを接合し、強調して動作させることに成功した。これにより、今回開発した技術鵜により、スケールアップが可能であることを示すことができた。



図 2－6 約 1 0 0 0 個の E C D を強調動作させた 3 次元ディスプレイ

2－3－3．E C D 素子構造のニーズに基づいた最適化

素子製造の基礎技術は、産総研が特許出願済み(一部特許化済み)の基本特許をベースに、既に基本性能は実現している。本事業では、さらに、アドバイザー等との意見交換を通じて表面化した素子特性を実現すべく、素子構造及び部材の最適化を行った。また、部材の量産化も含めて検討を行った。特に、水系ナノ粒子分散液の量産化を、アドバイザーである関東化学と連携して進め、問題のない特性を得るに至った。

特に、サイクル耐性などの耐久性については、用途によってその要件が大きく異なるため、そのニーズに合致した素子設計を行った。特に、反射型ディスプレイとして実用化する際には、反射材が崩落という問題が発生した。これについては、反射材を固定化するために、電解質層の粘度を増加させることで解決した。

次に、屋外用途などで必要とされる耐光性の向上をめざし、使用部材などを見直し、大幅な向上を実現した。表示諧調化については、電圧による操作を重視し、それを実現した。

また、モジュール連動型電子ペーパーに搭載した場合の素子の最適化については、素子に印可される電圧等は、モジュール化することによって、一素子の評価時と異なる可能性があり、検討を行ったが、大きな問題はなかった。

第 3 章 全体総括

3－1．複数年の研究開発成果

本事業は、3年プロジェクトであり、得られた成果は本報告書に記載したものが全てである。主な成果を列挙すると以下の通りである。

(1) 電子ペーパー用ECD素子生産のための真空封止技術の開発

1) ECD素子生産のためのODF法の開発

- ・真空空間狭小化による真空引きに要する時間短縮達成した。
- ・シール幅狭小化達成した。

2) ECD素子の量産技術の開発：量産技術開発

- ・プロセス品質の向上を達成した。

(2) モジュール連動型電子ペーパーのための素子配線技術と統合制御技術の開発

1) ECD電子ペーパーモジュールの生産に関する研究開発

- ・大面積ECDモジュールの動作検証を終了した。
- ・市場ニーズに合ったモジュールの開発は一例を実証した。

2) モジュール連動型大面積電子ペーパーの生産に関する研究開発

- ・4個以上のモジュールを結合した、電子ペーパーの製作は完了した。
- ・試作した電子ペーパーの公開およびユーザからのニーズ等の取得を完了した。

(3) ECD素子構造のニーズに基づいた最適化

1) ニーズを実現する素子構造及び部材の最適化

- ・反射率(白色時) 50%以上、サイクル耐久性10万回以上)の量産レベルで達成した。耐光性の劇的向上を確認した。
- ・スプレーコート法の量産レベルでの製造を達成した。

2) モジュール連動型電子ペーパーに搭載する素子の最適化

- ・小サイズと異なる挙動が見られた場合ECD設計で対応大規模モジュール動作時についても、大きな問題はなかった。

3-2. 研究開発後の課題・事業化展開について

3-2-1. 研究開発後の課題

事業化を視野に入れた、川下側からの市場ニーズに適合していくにあたり

- ①生産性向上
 - ②品質向上
 - ③新市場に向けた特性向上
- が求められている。

①については、当該事業で実施した3回の生産実験の結果よりITOガラス基板に係るコストが40～50%を占めており、これに係る研究開発が重要である。

たとえば、PETやPENのような樹脂フィルムにITOやCNTのような透明電極膜を付与したフィルム基板を用いることを検討する必要がある。フィルム基板を対象としたスプレー塗布、ロール・ツー・ロールでの貼り合わせなどの製造技術の開発や、これらの製造技術のための素子構造及び材料の研究開発がこれに相当する。



図3-1 産業技術総合研究所で試作したフィルム型ECD
(2012年11月渋谷ヒカリエにて展示)

②については、2-3-3. D項で記述したとおり耐光性能の向上に向けた材料選択を検討したが、さらなる性能向上と量産性に係る検討を進める必要がある。屋外での利用に対する市場要求もあるために、耐環境性能に係るデータ蓄積についてもより進めていく必要がある。

③については、ECDの特徴であるメモリ性能（色変化状態を電力なしで保持する特性）は、電力の蓄電能力とみることもできる。このため、蓄電池としての利用についての可能性もあるため、この分野に向けた新たな研究開発についても考えられる。

3-2-2. 事業展開について

2012年11月に等事業により試作を行った3次元ディスプレイの展示を行った。この展示により川下市場の企業よりフィードバックを得ることができ、以下のような市場に対する事業化の可能性があることがわかった。

- a) インテリア
- b) 情報掲示板
- c) インジケータ
- d) 蓄電池



図3-2 左上 大型商業施設などのインテリア
左下 駅空港などの情報掲示板
右上 スーパーマーケットの商品タグ

上記の市場ニーズに対する、アプリケーション開発を川下アドバイザー企業との連携を強化して進める。

まずは、技術的課題が比較的少ないa)インテリア領域に対しての採用を進めるために、アドバイザー企業などの展示会出展へのサンプル貸出、産業技術総合研究所 臨海副都心センターへの長期動作試験を兼ねた長期展示を行う。