

技術調査レポート(技術動向編) 第1号

ディスプレイ市場の今後について (補論：有機ELの概要、カーボンナノチューブの概要)

平成14年 2月21日

経済産業省産業技術環境局技術調査室 発行
電話 03-3501-1366

はじめに

技術調査室では、技術調査レポート(統計・研究システム編)とともに、個別技術の動向について「技術調査レポート(技術動向編)」として省内外に情報提供することとしております。今回は技術動向編の第1号として、フラットパネルディスプレイを取り上げました。

今後、さらに内容を充実させてまいりますのでご意見・ご感想などを技術調査室までお寄せ下さい。

今回のレポート内容

ディスプレイ用デバイス市場は、新技術とフラットパネル化により、2000年の約5.1兆円から2010年には約12兆円に拡大。

需要の中心の中小型市場では、液晶と有機ELとの激しい競争。

フィールド・エミッション・ディスプレイも将来有望。

韓国をはじめとした国際競争は激化。

なお、本レポートのとりまとめでは「技術動向調査委員会」(委員長：岸輝雄物質・材料研究機構理事)における検討結果を参考にした。

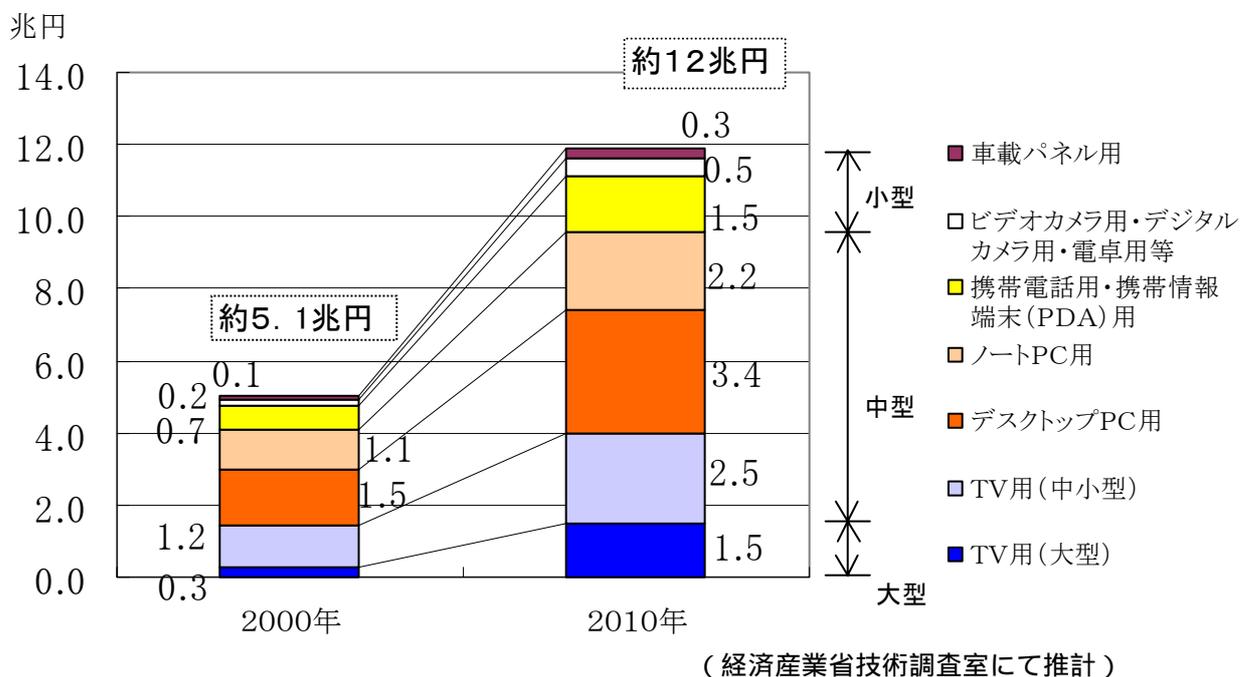
目次

1. 2010年のディスプレイの世界市場(12兆円へと2倍以上へ).....	2
2. フラットパネルディスプレイの4つの技術と2つの駆動方式.....	4
3. ディスプレイ市場における各技術の競合関係.....	7
4. 企業における取り組みと国際競争の状況.....	9
(補論1)有機ELの概要と産業へのインパクト.....	13
(補論2)カーボンナノチューブの概要と産業へのインパクト.....	15

1. 2010年のディスプレイの世界市場（12兆円へと2倍以上に）

- 世界のディスプレイ用デバイスの市場は、現在（2000年）の約5.1兆円から2010年には約12兆円に拡大する。これは、フラットパネルディスプレイによる市場拡大の効果であり、技術進歩による価格の低下を織り込むとともに、ペーパーディスプレイや照明パネルを含まない予測である。
- 規模別に見ると、中型（中小型テレビ、パソコン）の市場が、約8.1兆円と最も大きな市場であり、大型（30インチ以上。大型テレビ）の市場は、約0.3兆円から約1.5兆円へと伸びが大きい。
- なお、ブラウン管のニーズは減少すると見られており、フラットパネルディスプレイのみの市場は、現在（2000年）の約2.7兆円が約10兆円程度へと大幅に拡大する。

図表1-1 ディスプレイ用デバイス市場の現状と見通し（試算）



注：試算に用いた仮定等については、次頁の図表1-2を参照。

図表1-2 ディスプレイ用デバイス市場の現状と見通し

<<ディスプレイ用デバイス市場の現状(2000年)>>				<<ディスプレイ用デバイス市場の見通し(2010年)>>			
				(単位:千億円)			
				CRT	液晶		
①TV用(中小型、大型) <国内> TV(全サイズ)の国内市場 (機械統計) 約3.4百万台 <世界> 中小型用 29インチまで 約133百万台 約11.6千億円 大型用 30インチ以上 約6.8百万台 約2.9千億円 (光産業技術振興協会調べ)				11.3	0.3		
				(PDP 0.6)			
②パソコン用 <国内> パソコンモニター用 ブラウン管 8百万台 約2.0千億円 液晶素子 5.2百万台 約0.8千億円 2.8百万台 約1.1千億円 (機械統計) <世界> (デスクトップ型パソコン用) 約108百万台 約15.2千億円 モニタ用CRT 101百万台 約9.9千億円 モニタ用液晶 7百万台 約5.3千億円 (ノートパソコン用) ノートPC用液晶 23百万台 約11.0千億円 (光産業技術振興協会調べ)				9.9	5.3		
③携帯電話用・携帯情報端末(PDA)用 <国内> 携帯電話用液晶の国内市場 (機械統計) 約60百万台 約1.5千億円 <世界> 携帯電話用液晶の世界市場 約4億台 約6.6千億円 (仮定1) カラー型が10%と仮定。 (仮定2) 単価をカラー型2.5千円、モノクロ型1.5千円と仮定。 (データクエスト調べ(台数)) PDA用液晶の世界市場 約10百万台 約1千億円 (電子情報技術産業協会調べ(台数))				6.6			
④ビデオカメラ用、デジタルカメラ用、電卓用等 <世界> 約2千億円 (参考) ビデオカメラ 約14百万台 約0.6千億円 デジタルカメラ 約14百万台 約0.3千億円 (富士キメラ総研推計(台数))					2		
⑤車載パネル用 <国内> (参考) カーナビ用液晶の国内市場 (機械統計) 約2.5百万台 約30億円 <世界> 約1千億円 (参考) カーナビ用液晶 約3.7百万台 約0.5千億円 カーオーディオ用 約77百万台 約0.2千億円 (富士キメラ総研推計(台数))					1		
2000年の世界市場合計(PDPを含む) 約5.1兆円				23.5	27.2		
						2010年の世界市場合計(予測) 約12兆円	

2. フラットパネルディスプレイの4つの技術と2つの駆動方式

フラットパネルディスプレイとしては、次の4つの技術が競合する。

- 液晶(LCD) ; 現在、パソコン用モニター、携帯電話など広汎に利用
- プラズマ・ディスプレイ(PDP) ; 大型テレビに実用化
- 有機EL ; 携帯電話用に一部実用化。今後の技術
- フィールド・エミッション・ディスプレイ(FED) ; 今後の技術

また、これらのディスプレイに画像情報を送って駆動する方式としては、**パッシブ方式**と**アクティブ方式**がある。

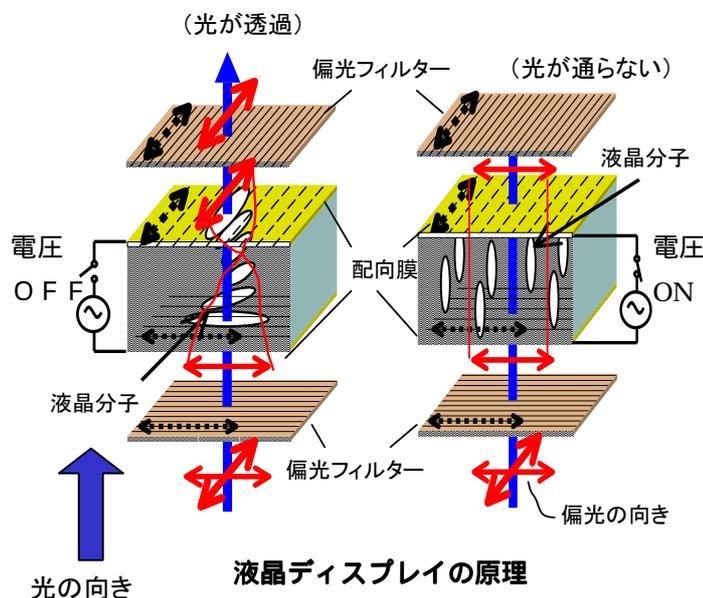
(1) 4つのフラットパネルディスプレイ技術

液晶(LCD)

- ・中小型、薄型、軽量、低消費電力の代表的なフラットディスプレイ。高精細表示も可能。
- ・モバイル用途に向くとともに、パソコン用モニターとしての需要が拡大。中小型のテレビ用途でも実用化。

〔原理〕

- ・液晶素子は自らは発光せず、電界の強度により液晶分子の配向状態が変化し、光源からの光の伝搬をON・OFFすることにより、画像等の表示を得る。
- ・光源としてバックライトだけを用いる透過型と、外光を利用する半透過型・反射型がある。

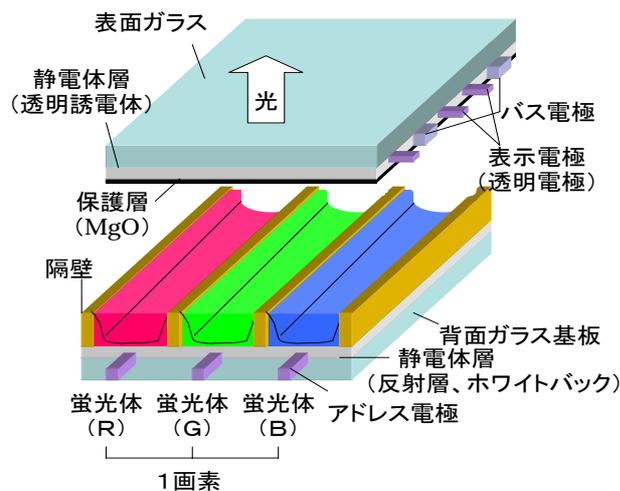


プラズマディスプレイ(PDP)

- ・大画面テレビ用のディスプレイを実現。
- ・原理的に大型化が容易である反面、画素の高精細化は困難である。
- ・他の方式より電力多消費。

〔原理〕

- ・発光原理は、蛍光灯と同様に、特定のガスを挟んだ電極間で画素毎に放電を起こし、その結果発生する紫外線で蛍光体を励起し、発色光を得る。



有機 E L

- ・ ポスト・液晶 (LCD) として期待されるフラットパネルディスプレイ。
- ・ 輝度が高く、画質に優れるとともに、真空構造が不要で、薄型及び軽量化が可能。液晶にくらべ応答速度が格段に速く (数m秒 vs. 数μ秒) 動画の描写に優れる。
- ・ モバイル用、中小型のテレビ用、パソコン用など、広汎な利用が見込まれる。
- ・ 消費電力は、現状でブラウン管 (CRT) よりも良く透過型液晶 (LCD) と同程度であるが、更に向上しつつある。
- ・ なお、現行より一桁上の発光効率の E L 材料が学会等で報告されており、これが実用化された際には、消費電力は一段と低下し、寿命の問題も解決すると考えられている。

〔原理〕

- ・ 有機 E L は、有機薄膜に電流を流し、陽極と陰極から注入された正孔と電子の再結合エネルギーを光エネルギーに変換することにより発光する自発光型デバイスである。

(注) 有機 E L 材料には、低分子系と高分子系が存在。

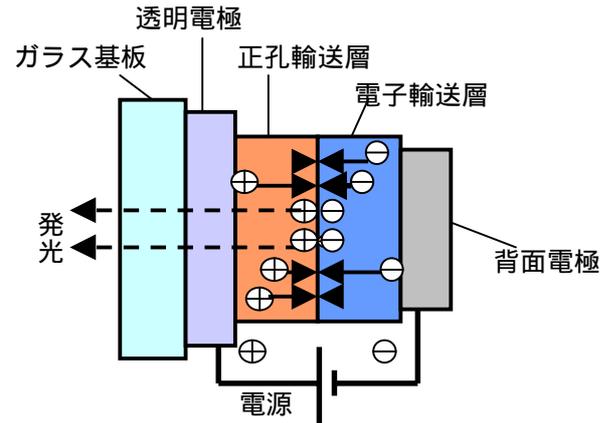
- ・ 低分子系 ; 既に一部で実用化。正孔輸送層などの機能層を積層する。真空蒸着プロセスにより製造。
- ・ 高分子系 ; 試作段階。単層の高分子層が各機能を担う。インクジェットプリンタ技術を応用したプロセスによる製造を目指す。

フィールド・エミッション・ディスプレイ (F E D)

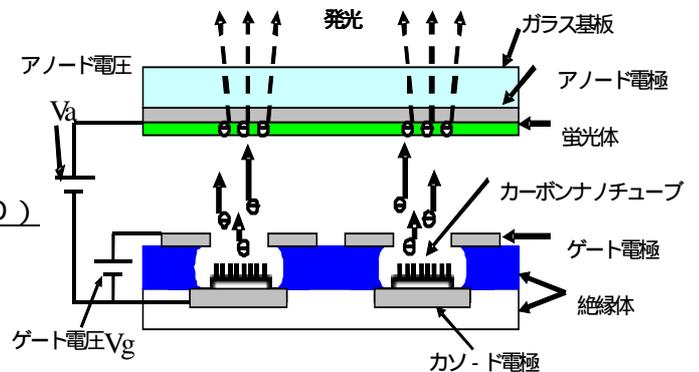
- ・ ポスト・プラズマ・ディスプレイ として期待される大型フラットパネルディスプレイ。
- ・ 輝度が高く、ブラウン管 (CRT) より低消費電力。

〔原理〕

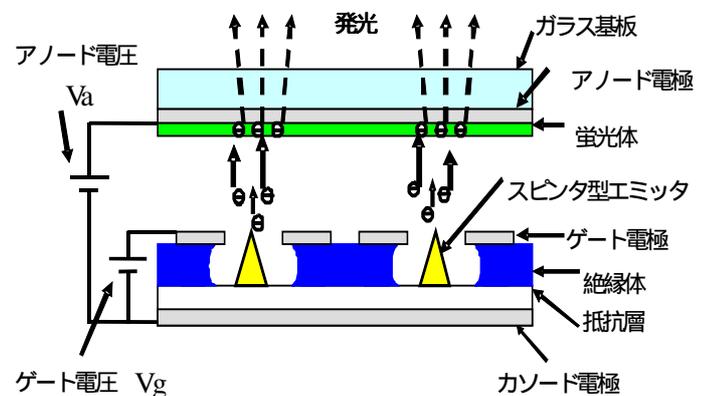
- ・ 画素毎に電子放出源を配置し、電界放出された電子が蛍光体に衝突する際の発光現象を利用。
- ・ 電子放出源として、金属 (モリブデン等) やカーボンナノチューブを用いる。



有機 E L の発光原理



カーボンナノチューブを用いた F E D



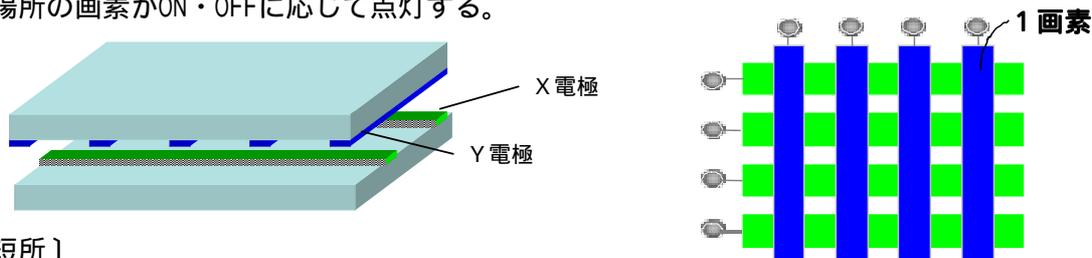
モリブデン鋼を用いたスピント型 F E D

(2) 2つの駆動方式

パッシブ駆動

〔動作原理〕

- 電流を導く導線を格子状にはりめぐらせ、横の導線に順次パルス信号を送り、そのタイミングに合わせて、縦の各導線にON・OFF情報を入れることにより、同一横線上の各縦線と交差する場所の画素がON・OFFに応じて点灯する。



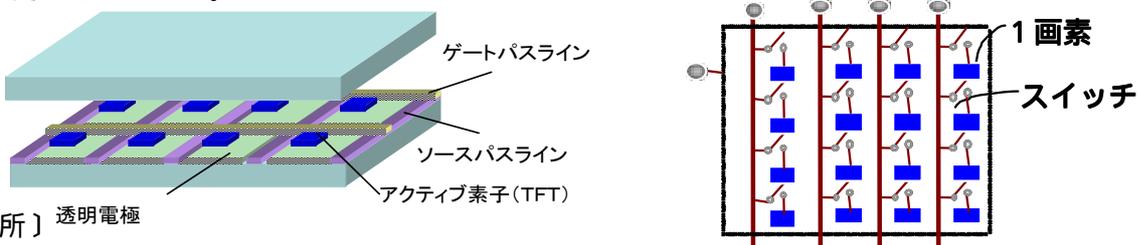
〔長所 / 短所〕

構造が簡単であるため、製造しやすく、コストが安い。大画面化が可能。
パルス駆動のため、大画面化するほど瞬間発光輝度が大きくなければならない。

アクティブ駆動

〔動作原理〕

- マトリクス状に配置された画素の一つ一つにトランジスタを置き、それぞれの画素をON・OFFする。
- トランジスタとしては、アモルファスシリコンまたはポリシリコンの薄膜トランジスタ (TFT) が用いられている。



〔長所 / 短所〕 透明電極

隣接する画素の間の干渉がないなど、高精細化に向く。
各画素に平均的に信号を送るため、大型化しても瞬間発光輝度は小さくても良く、耐久性にも優れる。
生産コストが高い。
薄膜トランジスタ基板の大型化のためには、生産設備のための多額の投資が必要で、現時点では30インチ以下の大きさ。

現在の利用状況

- プラズマ・ディスプレイ (PDP) とフィールド・エミッション・ディスプレイ (FED) は全てパッシブ駆動。
- 中型の液晶 (LCD) はアクティブ駆動で、携帯電話用等の小型の液晶もパッシブ駆動からアクティブ駆動に変わりつつある。
- 小型の有機ELについてはパッシブ駆動の技術が先行したが、高精細用途向けでは、アクティブ駆動に変わりつつある。

3. ディスプレイ市場における各技術の競合関係

- 中小型市場（10.4兆円）においては、液晶（LCD）が中心だが、有機ELの技術が確立されれば、かなりのシェアを取る可能性がある。発光効率と耐久性の高い材料の開発が有機ELの普及の鍵となる。
- 大型市場（1.5兆円）においては、現状の技術はプラズマ・ディスプレイ（PDP）のみだが、エネルギー効率が悪く、フィールド・エミッション・ディスプレイ（FED）の技術が確立すれば、取って代わる可能性がある。
- フィールド・エミッション・ディスプレイ（FED）は中型市場でも競争できる可能性がある一方で、アクティブ駆動のための基板の大型化が可能になれば液晶（LCD）や有機ELが大型市場に進出することが見込まれる。
- なお、ブラウン管（CRT）は、低コストと高画質により、テレビ、デスクトップ・パソコン用として残るが、市場は減少すると見込まれる。
- これらの結果、2010年において**ブラウン管（CRT）の市場は約1.1～2.0兆円、液晶（LCD）と有機ELとは約7.1～9.9兆円の市場でのシェア争い、プラズマ・ディスプレイ（PDP）とフィールド・エミッション・ディスプレイ（FED）は約0.9～2.7兆円の市場でのシェア争い**となることが予想される。

図表3-1 ディスプレイ技術の性能比較

ディスプレイ	現状 (実用化段階)	将来性
ブラウン管 (CRT)	<ul style="list-style-type: none"> •TV用の主流 •大量生産 	<ul style="list-style-type: none"> •低コストで高画質。 •耐久性が高い。 •薄くできないという欠点あり。 •将来性は低い。
液晶 (LCD)	<ul style="list-style-type: none"> •ノート型PC、携帯電話等の主流 •大量生産 	<ul style="list-style-type: none"> •中小型を中心に引き続き広汎な利用が見込まれる。 •ブラウン管(CRT)より消費電力が低い。 •耐久性が高い。 •現状では、輝度、動画描写等に課題。
プラズマ・ディスプレイ (PDP)	<ul style="list-style-type: none"> •薄型・大画面TV用として製品化済み 	<ul style="list-style-type: none"> •大画面で薄型の技術で展示用モニターや大型TV用に当面普及が見込まれる。 •電力消費が大という欠点あり、生産コストも大。 •画素の高精細化が困難。
有機EL	<ul style="list-style-type: none"> •一部の携帯電話で製品化 	<ul style="list-style-type: none"> •携帯電話等の携行用機器、TV用、パソコン用など、広汎な利用が見込まれる。 •現状で消費電力はブラウン管(CRT)より低く、液晶(LCD)と同程度。 •高画質。 •現状で耐久性に課題。 •発光効率と耐久性の高い材料の開発が研究課題。
フィールド・エミッション・ディスプレイ (FED)	<ul style="list-style-type: none"> •試作段階 	<ul style="list-style-type: none"> •大画面で薄型の技術で、将来技術が確立すればPDPに取って代わる可能性がある。 •消費電力はブラウン管(CRT)より低い。 •高画質。 •将来、中小型でも可能性あり。

(経済産業省技術調査室作成)

図表3 - 2 2010年における用途別・技術別の需要シェア予測

用途 ディスプレイ	携帯端末など ・携帯電話 ・PDA ・AV機器パネル (ビデオカメラ等)	TV ・家庭用テレビ		パソコンモニター ・デスクトップPC用モニター ・ノートPC用ディスプレイ		車載パネル ・車内パネル(計器類) ・カーナビ ・車載AV機器パネル	総需要(兆円)	
		小・中型 (<30インチ)	大型 (30インチ)	ノートPC	デスクトップ		2000年	2010年
用途別の需要の規模予測(2000年→2010年)								
需要規模(兆円)	2.0 ↑ 1.0	2.5 ↑ 1.2	1.5 ↑ 0.3	2.2 ↑ 1.1	3.4 ↑ 1.5	0.3 ↑ 0.1	5.1	11.9 ↑
用途別・技術別の需要のシェア予測(2000年→2010年)								
①ブラウン管(CRT)		○ ↑ ◎	○		△ ↑ ◎		2.3	1.1~ 2.0
②液晶(LCD)	◎ ↑ ◎	○ ↑ △	△	◎ ↑ ◎	○ ↑ ◎	○ ↑ ◎	2.7	2.8~ 6.0
③プラズマ・ディスプレイ(PDP)			○ ↑ ◎				0.1	0.2~ 0.6
④有機EL	△ ↑ ◎	○	△ (注1)	◎	○	◎		2.5~ 5.7
⑤フィールド・エミッション・ディスプレイ(FED)		△	◎		△	○		0.5~ 2.4

(経済産業省技術調査室推計)

注1：有機ELの発光効率が飛躍的に向上し、パッシブ駆動や有機半導体駆動の大型画面が実現した場合には。

注2：液晶と有機ELとは、約7.1~9.9兆円(2010年)の市場で激しく競争するが、有機ELの性能向上の度合いにより、将来のシェアは大きく変わりうる。

注3：PDPとFEDを合わせた需要は約0.9~2.7兆円(2010年)である。

4. 企業における取り組みと国際競争の状況

- 液晶ディスプレイについては、韓国のサムスン社が現在世界トップのシェアを持ち、さらに同社やLG社は大型の液晶基板の工場も建設中である。我が国としても13年度補正予算で次世代液晶ディスプレイの開発に着手している。
- 有機ELについては、ディスプレイを作り込む技術では、これまでは我が国企業が先行してきたが、現在、韓国のサムスン社がNECと合併で工場建設中であり、追隨してきている。また、材料開発では、日米欧が同一レベルで競争している。このため、14年度から、高効率有機ELデバイス開発プロジェクトに着手することとしている。
- 大型市場においては、我が国企業各社はプラズマ・ディスプレイ（PDP）に注力しており、カーボンナノチューブを用いたフィールド・エミッション・ディスプレイ（FED）の開発では、韓国のサムスン社が世界の最高水準にある。一方、カーボンナノチューブの材料開発については、米国と日本とが生産技術等で先行している。
- 技術の変革期は、世界の業界地図が大きく塗り変わることが多く、基礎研究に強い欧米勢やベンチャー企業を含め、激しい競争が繰り広げられている。現在、我が国の家電各社は、これまでディスプレイ技術で比較優位を有してきており、広汎な研究を行っているものの、長期的な戦略を描ききれておらず、今後、先端的な技術に対して選択と集中による研究資源の戦略的な投入が必要となっている。

ディスプレイの生産・研究開発状況 液晶（LCD）

- 生産の現状は、既に韓国のサムスン社が世界市場の中でトップシェアを占めており、日本企業ではシャープが、小型から大型まで一貫して生産しているが、他社はパソコンモニター、携帯電話などに的を絞った生産形態をとっている。
- 大型化への取組では、韓国のサムスン社が40型ディスプレイの試作品を発表するとともに、サムスン社、LG社では既に1mを超える薄膜トランジスタ基板の生産ラインを建設中。我が国では、シャープが30型テレビを発売しており、日立製作所が1m弱（920×730cm）の生産ラインを建設した。
- 経済産業省においては、平成13年度補正予算により、次世代モバイル用表示材料技術共同研究施設整備、低消費電力次世代ディスプレイ製造技術共同研究施設整備により、モバイル性能向上に向けた基板のプラスチック化の開発や、低消費電力、低コストを実現するための製造プロセス等の開発に着手した。また、エネルギー使用合理化液晶デバイスプロセス研究開発助成事業等を通じた駆動回路の基板への組込による液晶ディスプレイの高機能化、用途拡大に向けた取組などに取り組んでいる。

プラズマ・ディスプレイ（PDP）

- 生産の大半は、我が国のNEC、松下、富士通日立、パイオニアの4社が占めており、韓国のサムスン社、LG社も生産を開始している。
- 日本企業各社及び韓国のLG社では、低消費電力化、高画質化に向けた活発な研究開発が進められている。

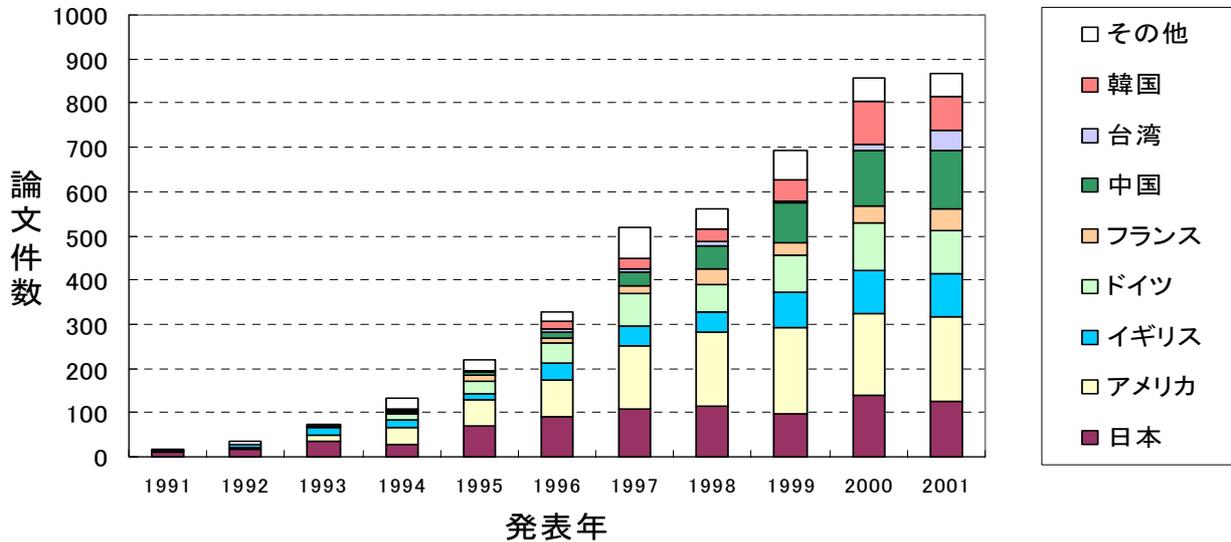
有機 E L

- ・ 2000年に東北パイオニアがモトローラ社に世界で初めて携帯電話用ディスプレイを供給。2001年にはサムスン N E C モバイルディスプレイ (S N M D) 社が携帯電話向けのサンプル出荷を開始し、韓国釜山に工場を建設中。
- ・ 三洋電機とイーストマン・コダック社は有機 E L ディスプレイ製造会社の合併会社設立に合意。コダック社は有機 E L の重要な特許 (2004 年等に特許切れ) を保有。
- ・ ソニーが 1 3 型、サムスン社が 1 5 型のフルカラーディスプレイを試作。パイオニアは 3 型を試作するとともに、2002 年秋に量産化予定。また、インクジェット方式による小型ディスプレイを東芝、セイコーエプソンが試作。
- ・ 有機 E L 材料の開発では、低分子系の開発に、米国のコダック社以外にも日本の出光をはじめ数十社が参入している一方で、高分子系では欧州のケンブリッジ・ディスプレイ・テクノロジー (C D T) 社を中心にダウケミカル社、コピオン社、デュボン社が開発に注力しているが、日本では住友化学のみ。

フィールド・エミッション・ディスプレイ (F E D)

- ・ カーボンナノチューブを用いる方式 (C N T - F E D) では、サムスン社が試作品を発表している。日本企業では N E C が動作原理を確認段階。
- ・ 方式の異なるモリブデンを用いたスピント型では、ソニーが米国ベンチャー企業との共同開発により試作品を発表しており、商用化の目処をつけた模様。その他、日本企業では数社が各々の方式を用いた F E D の研究開発を実施。
- ・ カーボンナノチューブについては、経済産業省における炭素系高機能材料技術の開発における産業技術総合研究所、昭和電工他の取組など、量産化技術の開発が進んでおり、日機装、三井物産、昭和電工などで量産化に向けた設備投資を実施。一方、米国でも、ハイペリオン・キャタリシス・インターナショナル社が低質のカーボンナノチューブを量産している。また、同社はナノチューブの重要な特許 (2004 年等に特許切れ) を保有。
- ・ なお、カーボンナノチューブを用いる方式 (C N T - F E D) で、画素の大きい広告用大型スクリーン用等に用いられるものについては、伊勢電子において先行的に研究を実施。

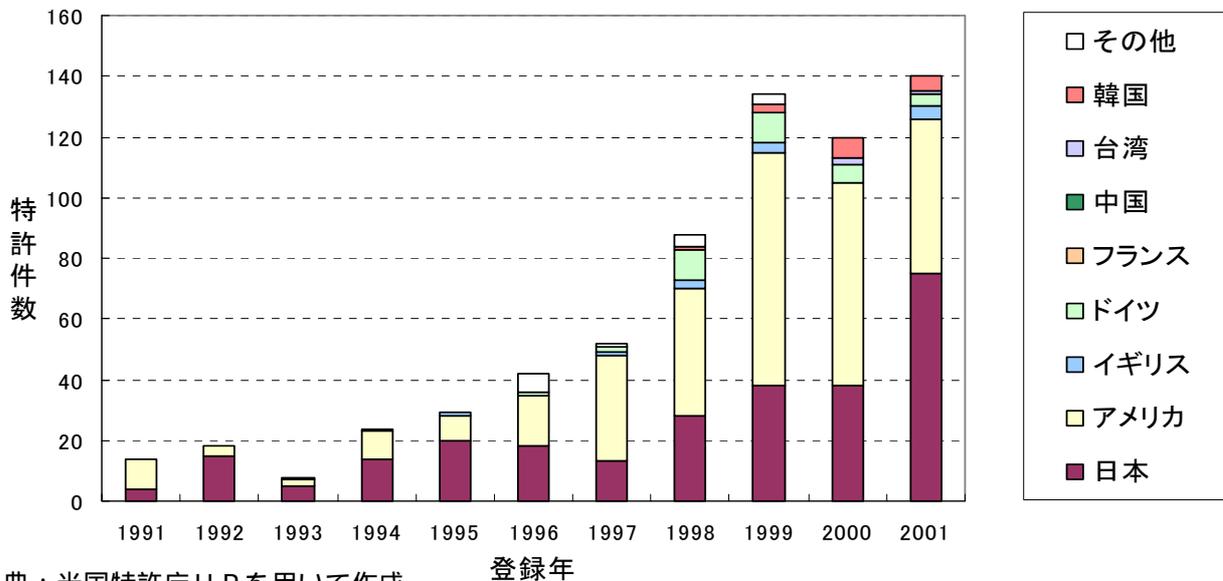
図表4 - 1 「有機EL」に関する論文数



出典：ISI論文データベースを用いて作成

注：タイトル、キーワード、概要部分を対象に検索式は、((electroluminescen* or "light emitting diode*" or "light emitting device*") and (organic or polymer*)) or OLED*)を用いた。

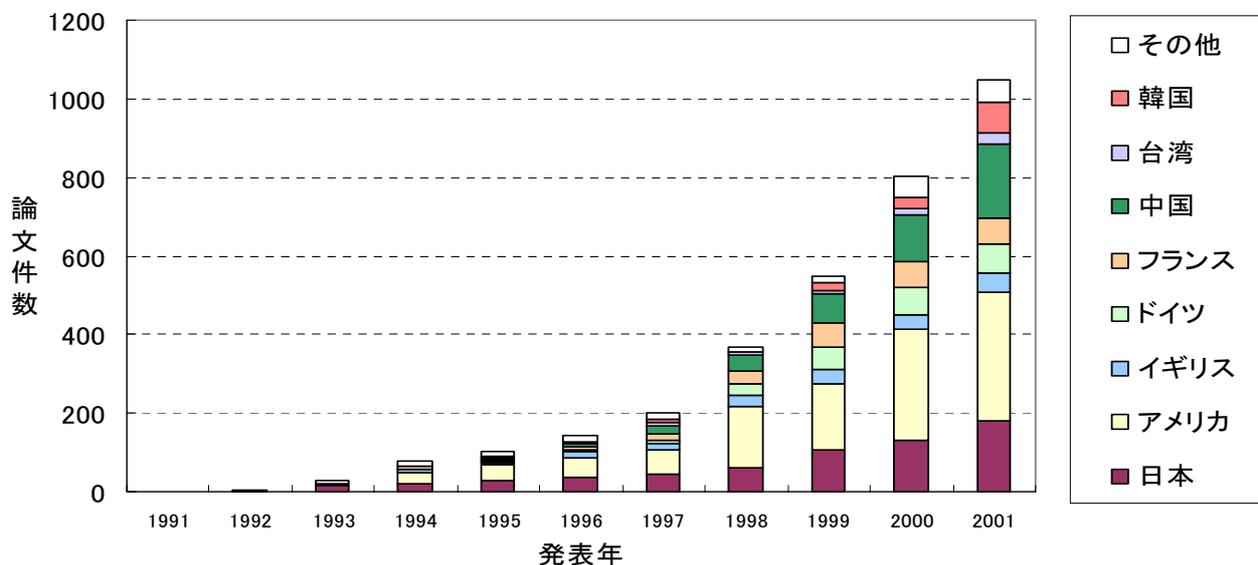
図表4 - 2 「有機EL」に関する米国特許の新規登録件数



出典：米国特許庁HPを用いて作成

注：タイトル、概要部分を対象に検索式は、(((electroluminescen\$ or "light emitting diode" or "light emitting diodes" or "light emitting device" or "light emitting devices") and (organic or polymer\$)) or OLED\$)を用いた。

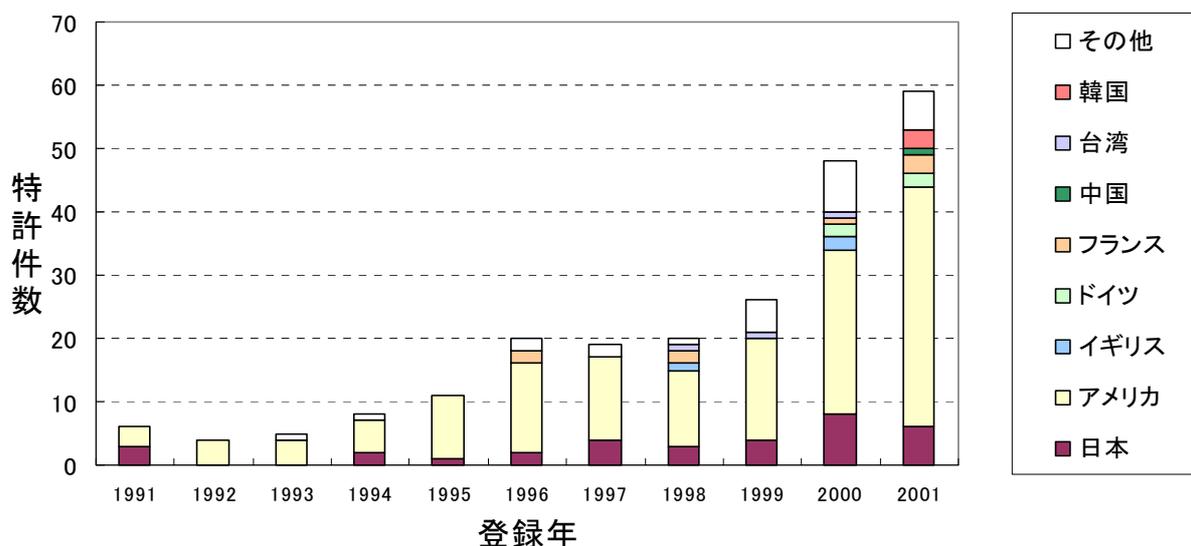
図表 4 - 3 「カーボンナノチューブ」に関する論文数



出典：I S I 論文データベースを用いて作成

注：タイトル、キーワード、概要部分を対象に検索式は、(“carbon nanotube*” or “carbon nanotube*”)を用いた。

図表 4 - 4 「カーボンナノチューブ」に関する米国特許の新規登録件数



出典：米国特許庁HPを用いて作成

注：タイトル、概要部分を対象に検索式は、(nanotube\$ or "nano tube" or "nano tubes" or ((carbon\$ or graphite\$ or fiber\$ or filament\$ or fibril\$ or whisker\$) and carbon and nano\$))を用いた。

(補論 1) 有機 E L の概要と産業へのインパクト

(1) 有機 E L の特性

電流注入型の自発光デバイスである。

無定形基板へ、大面積の無定形薄膜を作成することが可能 (薄型、軽量、任意形状) 。

有機物質であることから、柔軟な材料設計が可能。

(2) 研究経緯

- ・ 1950年代 A.Bernanoseが、有機色素を含む高分子薄膜への電界印可による発光現象を発見
- ・ 1960年代 アントラセンなどの単結晶を用いた電荷注入型 E L の研究が始まる
- ・ 1967年 白川らがポリアセチレンフィルム合成に成功。その後の導電性高分子及び高分子 E L 材料に関する研究の端緒
- ・ 1987年 C.W.Tang (イーストマン・コダック) が、厚さ約 50nm の真空蒸着薄膜を 2 層積層することにより、高効率で安定した発光素子が得られることを発表
- ・ 1990年 D.D.C.Bradleyらケンブリッジ大学グループが、共役系高分子のポリフェニレンビニレン (PPV) の単層薄膜により、電荷注入型 EL を観測したと発表
- ・ 1997年 東北パイオニアが、世界で初めて車載用緑色モノクロディスプレイを実用化
- ・ 1999年 プリンストン大学のグループが、燐光を利用した高効率素子を報告
- ・ 2000年 東北パイオニア製の 3 色エリアカラーディスプレイを搭載したモトローラの携帯電話が市販

(3) 有機 E L による産業へのインパクト

有機 EL の用途

用途	有機 EL を用いる利点	開発状況
フラットパネルディスプレイへの応用	低消費電力な自発光フラットディスプレイが可能	商品化段階
フレキシブルディスプレイへの応用	紙に代わるペーパーディスプレイ実現化が期待される	試作段階
照明用ライトへの応用	施工作业を必要としない照明用ライトが可能	試作段階
スクリーンディスプレイへの応用	広告スクリーンの精細化	検討段階

フレキシブルディスプレイ

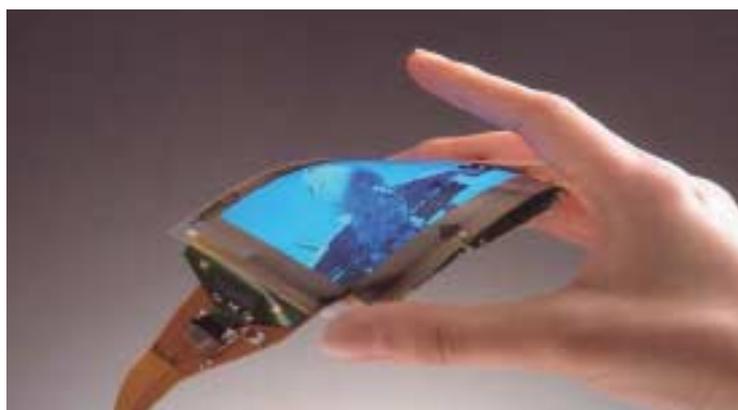
プラスチック基板上に、有機トランジスタと有機ELを用いて、ディスプレイを実装することにより、変形が自由自在なフレキシブルディスプレイの実現が期待される。

例 は大日本印刷が2001年4月に、例 はパイオニアが2001年5月に発表したカラー・フレキシブル有機ELディスプレイの試作品。

なお、これらは「平成11年度マッチングファンド方式による産学連携研究開発事業」(NEDO、日本学術振興会)からの資金援助を得つつ、山形大学城戸助教授の指導の下、開発された成果を元に試作された。



例



例

照明用ライト

現在照明の主流となっている蛍光灯と同程度まで発光効率を上げることが可能になれば、薄型軽量という特徴を生かして施工レス(壁や天井に貼り付けるだけで利用することができる)の照明の誕生を期待できる。

スクリーンディスプレイ

現在街角で見られる広告スクリーンなどの蛍光表示管や発光ダイオード(LED)の大型ディスプレイは液晶パネルやプラズマ・ディスプレイ(PDP)などに比べて精細度が低い、有機ELの面積化が可能になれば、より精細度が高く見やすいディスプレイを実現することができる。

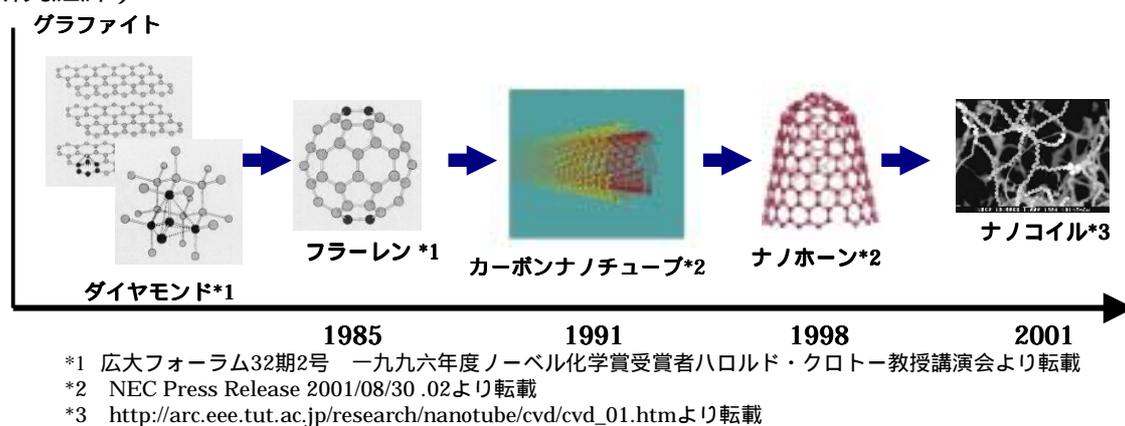
(補論2) カーボンナノチューブの概要と産業へのインパクト

(1) カーボンナノチューブの概要と研究経緯

(カーボンナノチューブは、日本発のナノテクノロジーを代表する物質)

- ・構成元素は、資源が無尽蔵の炭素C。
- ・特殊なナノスケール構造(10⁻⁹m程度)が、工業的に有益な特性を生み出す。
- ・1991年に飯島澄男博士により発見。国際的評価が極めて高い。

(研究経緯)



- ・炭素Cの同素体としては、グラファイトとダイヤモンドが古くから知られていた。
- ・1985年にフラーレン(C₆₀)がKroto博士らにより発見される。
- ・1991年にカーボンナノチューブが飯島澄男博士により発見される。
- ・1998年にナノホーンが飯島澄男博士により発見される。
- ・2001年にナノコイルが大阪府立大学と豊橋技術科大学グループにより発見される。

(2) 構造と特性

(構造)

- ・炭素原子のみから成る立体構造で、六角形で構成される2次元的な蜂の巣格子(グラフェンシート)を円筒状に丸めた形状。直径は1nm~数十nm程度、長さは1μm程度の物質。

(特性)

化学的に安定。

電子特性として、金属的、半導体的なものが存在(ナノスケールの電界効果型トランジスタや量子細線への応用)。

優れた吸着特性(燃料電池の触媒(Ptなど)の担持材料への応用、燃料電池用の水素貯蔵材料への応用)。

優れた機械的特性を有する(複合材料への応用)。

アスペクト比(縦横比)が大きい形状(フィールドエミッションディスプレイのエミッタへの応用、走査型プローブ顕微鏡の探針への応用)。

(3) カーボンナノチューブによる産業へのインパクト

カーボンナノチューブ(CNT)の用途(例)

用途	CNTを用いる利点	開発状況
フィールドエミッションディスプレイ(FED)への応用	発光ディスプレイ低電力化が可能。	試作段階
燃料電池電極への応用	触媒(Ptなど)の担持材料。触媒効率の向上が可能。	試作段階
複合材料への応用	高性能な樹脂等の強化、伝導性付与材料。	応用検討段階
電界効果型トランジスタ(FET)への応用	集積回路の高密度化。	基礎検討段階
走査型プローブ顕微鏡(SPM: Scanning Probe Microscope) 探針への応用	直径数 nm の探針が実現でき、より微細な構造の観察が可能。	実用化段階
水素吸蔵材料への応用	水素吸蔵能力を有する。	基礎検討段階
ナノチューブを利用した化学反応への応用	特殊形状の物質合成が可能。	基礎検討段階

(4) カーボンナノチューブの生産技術

現在の主なCNT製造技術は、以下の3つ。

アーク放電法

...欠陥が少なく品質の良いCNTが得られる。収量は少ない。

レーザー蒸発法

...比較的高い純度の単層CNTを得ることができる。収量は少ない。

化学気相成長法 (Chemical Vapor Deposition CVD法)

...大量合成に向いている。

カーボンナノチューブの量産には、日機装、三井物産、昭和電工などが取り組んでいる。

技術動向調査委員会委員名簿（敬称略）

委員長	物質・材料研究機構理事長	岸 輝雄
委員	東京大学先端科学技術研究センター教授	橋本和仁
委員	産業技術総合研究所技術情報部門長	一條久夫
専門委員	東陶機器（株）基礎研究所長	佐伯義光
専門委員	（株）東芝 ディスプレイ・部品材料社 液晶事業部技監	住田恒世
専門委員	東北パイオニア（株）取締役	當摩照夫
専門委員	昭和電工（株）技術企画部主席	松本芳彦
専門委員	産業技術総合研究所物質プロセス研究部門 副研究部門長	伊ヶ崎文和

本技術調査レポートの作成に当たっては、NEDOから(株)日本総合研究所への13年度委託調査「平成13年度長期エネルギー技術戦略策定等調査(分野別技術動向調査)」の中での検討、特にそのために設けられた上記調査委員会のアドバイスを活用した。