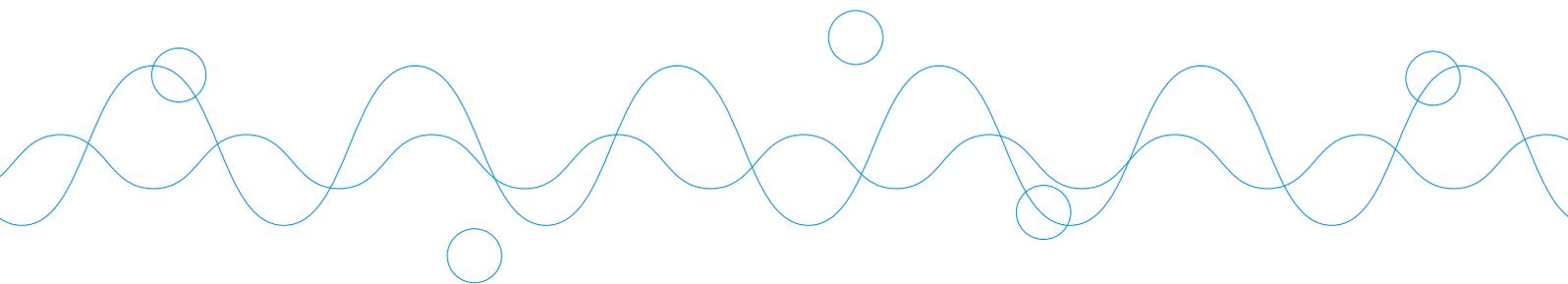


ATTAATC A AAGA CCTAACT CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
CTCGCC AATTAATA
TTAATC A AAGA CCTAACT CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAAC
TGA CCTAACT CTCAGACC

戦略プログラム

「柔軟, 大面積, 軽量, 薄型」を特徴とする新しい エレクトロニクス創製のための基盤技術の研究開発

0101 000111 0101 00001
001101 0001 0000110
0101 11
0101 000111 0101 00001
001101 0001 0000110
0101 11
00110 11111100 00010101 011



戦略イニシアティブ

国として大々的に推進すべき研究で、社会ビジョンの実現に貢献し、科学技術の促進に寄与する

戦略プログラム

研究分野を設定し、各チームが協調、競争的に研究することによって、その分野を発展させる

戦略プロジェクト

共通目的を設定し、各チームがこれに向かって研究することによって、その分野を発展させると同時に共通の目的を達成する

Executive Summary

「柔軟、大面積、軽量、薄型」という機能・仕様を実現するための基礎物理化学、技術体系をまとめた一つの分野と捉え、これらの機能の特徴とする新しいエレクトロニクス創製のための基盤技術研究開発戦略を提案する。

「柔軟、大面積、軽量、薄型」を目指すデバイス、システムは、センサ、アクチュエータ、バッテリー、ディスプレイ等、多岐にわたる。ディスプレイを例にとると、現在、薄型平面ディスプレイの分野が大きな市場を形成しつつある。しかし、まだ「柔軟」という機能まで含めた技術は必ずしも確立していない。今後ディスプレイの「大面積」化を目指すためには、「軽量」への要請から、さらなる「薄型」化が必須となる。この場合、「薄型」と「大面積」を両立させるためには、マクロな力学的機能として「柔軟」という機能が求められる。これらは従来のシリコンエレクトロニクスの延長上で実現できるものではなく、新しいデバイス技術、新しいプロセス技術を取り入れることが必須と予想される。

「柔軟」デバイスが実現すると、これまでにない新しい応用が拓ける。ここでいう「柔軟」とは、「伸縮できる」、「曲げられる」、「巻ける」、「折りたためる」という機能を指す。具体的な応用では、伸縮できるロボット用人工皮膚、曲面に貼り付けられるセンサ、ローラブル大面積太陽電池、折りたたみディスプレイ等をはじめ、大面積の対象物や曲面・複雑な立体形状にフィットするデバイス等、今後ますます多様化する社会に貢献できるきわめて広い応用分野が考えられる。

このような「柔軟、大面積、軽量、薄型」を特徴とする新しいエレクトロニクスは、シリコンエレクトロニクスが追求している微細化、高集積化とは次元の異なる機能を追求するものであり、その機能によって新しい価値を創出するものである。

「柔軟、大面積、軽量、薄型」を特徴とする新しいエレクトロニクスの研究開発を支える学問的基礎基盤や要素技術の蓄積は、一部にはあるが、一つの体系化された分野とはなっていない。学問的基礎基盤の充実と共に、表1に示す材料、プロセス、デバイス、応用システムとの連携が重要であり、これらのフィードバックを行いながら、「柔軟、大面積、軽量、薄型」エレクトロニクスの基盤技術構築を推進していく必要がある。

この新しいエレクトロニクス創製のための基盤技術を構築するために、以下の研究開発課題の設定を提案する。

- 「柔軟」材料の基礎物理化学の研究
- 「柔軟、大面積、軽量、薄型」のための新プロセス技術開発とプロセス科学の構築
- 「柔軟、大面積、軽量、薄型」デバイスの設計・評価技術開発

本戦略プログラムは2006年8月に刊行した“「柔らかい」エレクトロニクス基盤技術の研究開発”の scope を拡大し、最近の国内外の状況を踏まえて内容の見直しを行った改訂版である。

表1 「柔軟、大面積、軽量、薄型」を特徴とする新しいエレクトロニクス

階層	システム・応用	デバイス・回路	プロセス	材料	
主な特徴	「柔軟」(伸縮できる、曲がる、巻ける、折りたためる)、「大面積」、「薄型」、「軽量」、省収納スペース、耐衝撃性、ポータブル、実装時の自由度、環境負荷小				
現状の主な取り組み	<ul style="list-style-type: none"> ・ディスプレイ ・バッテリー ・太陽光発電 ・大面積センサ 	<ul style="list-style-type: none"> ・TFT <small>用語*1</small> ・非シリコン系FET ・センサ ・太陽電池 ・フレキシブルPC 	<ul style="list-style-type: none"> ・Roll to Roll <small>用語*2</small> 技術 ・印刷技術 ・大面積プロセス ・レーザーアブレーション <small>用語*3</small> 技術 	<ul style="list-style-type: none"> ・半導体材料 <ul style="list-style-type: none"> －有機物 －酸化物 ・絶縁材料 ・基板材料 ・実装材料 	
問題点	<ul style="list-style-type: none"> ・魅力的特徴がまだ出そろっていないため、新市場が立ち上がらない 	<ul style="list-style-type: none"> ・基盤技術の蓄積不十分 ・企業が本格的に事業化して取り組めるほど物理・化学的基礎現象が理解されていない ・基礎理論が未確立のため、実験主導型の研究になりやすい 			
	<ul style="list-style-type: none"> ・限定的なプロトタイプは作製できても、それ以上の魅力的な特徴を生み出す技術的ブレークスルーがない 	<ul style="list-style-type: none"> ・低コスト、大面積、省エネルギー、環境低負荷プロセスが未確立 	<ul style="list-style-type: none"> ・構成元素、組成比等パラメータが非常に多いがシミュレーション技術が不十分 		
研究開発課題	<ul style="list-style-type: none"> ・コストが高く、信頼性が不十分 ・各階層において各研究機関で個別に推進され、層内の連携不十分 ・分野横断的且つ各技術階層縦断的研究開発体制が未確立 ・基礎から応用までの連携が不十分 				
	<ul style="list-style-type: none"> ・基礎物性の研究 	<ul style="list-style-type: none"> ・新しい価値の導入による新市場開拓 	<ul style="list-style-type: none"> ・新着想による新デバイスの研究開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・低コスト、高信頼性新プロセス技術研究開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・新材料研究開発
	<ul style="list-style-type: none"> ・信頼性科学の確立 				
推進方法	<ul style="list-style-type: none"> ・産学官(独法研究所)連携により分野横断的且つ技術階層横断的に、基礎から応用までを同時に並行して研究開発を進める 				

目 次

1. 「柔軟、大面積、軽量、薄型」を特徴とする新しいエレクトロニクスとは	1
2. 「柔軟、大面積、軽量、薄型」を特徴とする新しいエレクトロニクス創製のための 基盤技術に投資する意義	3
3. 具体的研究開発課題	7
3.1 「柔軟」材料の基礎物理化学に関する課題	7
3.2 「柔軟、大面積、軽量、薄型」デバイスのためのプロセス科学	7
3.3 「柔軟、大面積、軽量、薄型」デバイスの設計・評価技術開発	8
4. 研究開発の推進方法	9
4.1 分野横断的階層縦断的研究開発の推進	9
4.2 材料・デバイス試作を促進する産学官の協調によるインフラ整備	11
5. 科学技術上の効果	13
6. 社会・経済的効果	15
7. 時間軸に関する考察	17
8. 検討の経緯	19
付録 「柔らかい」エレクトロニクスの国内外の状況	21
用語説明	25

1. 「柔軟、大面積、軽量、薄型」を特徴とする新しいエレクトロニクスとは

「柔軟、大面積、軽量、薄型」を特徴とする新しいエレクトロニクスとは、機械的柔軟性を備え、薄くて軽い大面積のデバイス／システムを実現するためのエレクトロニクスである。このような機能／仕様を実現するための材料技術、製造プロセス技術、デバイス技術、システム・応用技術を包含する。

ここでいう「柔軟」とは、「伸縮できる」、「曲げられる」、「巻ける」、「折りたためる」という機能を指す。具体的な応用では、伸縮できるロボット用人工皮膚、曲面に貼り付けられるセンサ、ローラブル大面積太陽電池、折りたたみディスプレイなどがある。図1に「柔軟、大面積、軽量、薄型」を特徴とするエレクトロニクスの概念図を示す。

「大面積、軽量、薄型」は、これからのエレクトロニクスデバイス／システムに求められている仕様である。しかしこれまでの技術の延長でこれらの仕様を同時に満たすことは困難である。例えば大面積と軽量とは通常相反する仕様である。ディスプレイを例にとると、この分野では大型化の競争が行われており、試作品レベルでは既に 100 インチを越え、150 インチが展示されるまでになっている。しかし大型化に伴い重量も大きくなるので、現状技術の延長では大型化に限界がある。「大面積」かつ「軽量」を実現するためには「薄型」化が必須となる。従来の「固い」エレクトロニクスでは、これは大きな問題で、材料の脆性から「大面積」、「薄型」にすると壊れやすく実用には使えない。したがってこの場合には、薄型化によって必然的に「柔軟」という機能が求められる。

エレクトロニクスの代表格であるシリコンエレクトロニクスは、微細化・高集積化により性能向上を追求して今日の隆盛をきわめた。本提案の「柔軟、大面積、軽量、薄型」という四つを特徴とする新しいエレクトロニクスは、シリコンエレクトロニクスが追求している微細化・高集積化とは次元の異なる機能を追求するものであり、その機能によって新しい価値を創出するものである。

上述のように「柔軟」とはマクロな力学的機能として求められる性質であり、これによって使用材料が限定されるものではない。材料自体が柔軟性を持つものはもちろんのこと、「薄型」化により「柔軟」性が現れる場合も含む。したがって有機材料の他、Si を代表とする無機材料、酸化物、アモルファスなど様々な材料を対象とする。

このような「柔軟、大面積、軽量、薄型」を特徴とするエレクトロニクスは、これまでの技術では実現できない新しい分野である。この新しいエ

1 「柔軟、大面積、軽量、薄型」を特徴とする新しいエレクトロニクスとは

2 研究投資する意義

3 具体的な研究開発課題

4 研究開発の推進方法

5 科学技術上の効果

6 社会・経済的效果

7 時間軸に関する考察

8 検討の経緯

付

録

レクトロニクス創製のための基盤技術を構築するために、以下の研究開発課題の設定を提案する。

- 「柔軟」材料の基礎物理化学の研究
- 「柔軟、大面積、軽量、薄型」のための新プロセス技術開発とプロセス科学の構築
- 「柔軟、大面積、軽量、薄型」デバイスの設計・評価技術開発



資料提供 (a) 染谷隆夫准教授 (東京大学) (b) 安達千波矢教授 (九州大学)
(c) Honda (d) パイオニア株式会社

図1 「柔軟、大面積、軽量、薄型」を特徴とするエレクトロニクスの概念図

2. 「柔軟、大面積、軽量、薄型」を特徴とする新しいエレクトロニクス創製のための基盤技術に投資する意義

「柔軟、大面積、軽量、薄型」を特徴とする新しいエレクトロニクス創製のための基盤技術に投資する意義は大きく以下の3つが挙げられる。

第一の意義は、新しい学問領域の創出である。「柔軟、大面積、軽量、薄型」デバイスの基盤技術はシリコンエレクトロニクスの延長上にはない技術であり、「柔軟」という機能実現のための基礎物理化学の研究が必要である。また、デバイス実現のためには力学的柔軟性を考慮した新しいプロセスが必要であり、そのためのプロセス科学の研究が必要である。これらの基盤研究により、従来の固体エレクトロニクスにはなかった特徴を持つ新しい学問領域が創出される。

第二の意義は、新しい技術領域の創出である。「柔軟、大面積、軽量、薄型」デバイス実現には、基礎物理化学の研究だけではなく、上述のプロセス科学に裏付けられた新しいプロセス技術の確立が必要である。これにより、新しい技術領域が創出される。

第三の意義は、エレクトロニクス分野における新しい市場の創出である。「柔軟、大面積、軽量、薄型」デバイスはこれまでにない新しい応用が期待できる。

「柔軟、大面積、薄型、軽量」という特徴を活かされると期待される応用例のいくつかを以下に示す（図2参照）。

「柔軟」機能の一つである「伸縮できる」機能の応用では、ロボットの人工皮膚、樹木の幹などに装着して成長をモニタする植物成長モニタセンサなどが挙げられる。また「柔軟」なセンサを作り込んだ衣服を着用して、血圧、脈拍、体温等をモニタし、健康管理に役立てたり、夜間、自動車運転者に注意を促して歩行者の安全向上をはかるウェアラブルな発光デバイスやディスプレイなど、多様な応用例が考えられる。

「大面積、軽量、薄型」の特徴を活かした大画面且つ持ち運びが容易なディスプレイの実現により、いままでは据え置きが常識であった大型テレビが、自分の一番快適な場所で、例えば寝室の壁、応接間の壁等で利用できるようになる。また大面積圧力センサにより、足跡の形状認識から高齢者の生活状況を、プライバシーを維持しながらモニタしたり、不法進入者のチェックが行えるようになる。

さらに「柔軟」機能を活用して、使用時、収納時、移動時の形態をそれぞれ変えることができるので、省収納スペースや携帯性向上が期待できる。また収納形態が小さくできることから、工場出荷時の梱包が小さくて済み、その波及効果として、梱包材料の節約や、輸送コストの低減への寄与も期

待できる。

以上のような応用が実現されることで、人々の生活様式にも様々な自由度が生まれ、今後ますます多様化する社会に貢献できる。



- : 伸縮できる
- : 曲げられる
- : 巻ける
- : 折りたためる

資料提供

- ① Honda
- ② 染谷隆夫准教授 (東京大学)
- ③ パイオニア株式会社
- ④ セイコーエプソン株式会社
- ⑤ セイコーウオッチ株式会社

図2 「柔軟、大面積、軽量、薄型」エレクトロニクスの応用例

次に関連分野の国際状況の最近の動きと本提案との関連を述べる。

- この1年間、欧米での「柔らかい」ディスプレイの実用化への動きが急である。特に欧州ではイタリアテレコムが2007年度中に携帯電話に「柔らかい」電子ペーパー^{用語*4}を載せた世界最初の製品を出すと宣言¹⁾し、多くの報道が行われている。しかしこの実用化は「世界初」にこだわった、今ある技術でいかに早く実用品を世に出すかに注力しており、次世代を意識した研究開発は伴っていない。耐久性（長期間表示）、視認性、駆動電子回路を含めた柔軟性など、課題はまだ多く残されており、本提案は、これらの機能実現に必要な基盤技術確立のための取り組みである。
- 日本国内では柔らかいディスプレイに一番近いところに位置する大画面有機EL^{用語*5}ディスプレイの企業での取り組みがマスコミに大きく報道されている。有機ELの特長の一つである薄型化の可能性に向けた取り組みであり、本研究はこれらの追い風になるという意味でも非常にタイムリーな研究と考える。有機ELテレビの将来予測²⁾では、2010年以降の急速な増加が予想されている。また学会では、有機エレクトロニクスに関する国際会議発表が活発化している。これらは、「柔軟、大面積、軽量、薄型」デバイスが囑望されていることを示していると共に、まだまだ開発課題が多いことを示している。
- 日本ではディスプレイを除けばまだ国家的な取り組みも行われていない現状の中、海外では実際の活動はまだ小さいものの、着々と大きな取り組みがスタートしている。「柔軟、大型、薄型、軽量」は、これから到来するユビキタス社会で求められる機能・仕様であり、その実現に向けて今後国際競争が熾烈になることは明白である。そのときに備えて基礎分野をしっかりと足固めしておくことは、日本の国際競争力維持のためにも重要である。

参考文献

1) イタリアテレコム社の発表：

http://www.telecomitalia.it/cgi-bin/tiportale/TIPortale/ep/contentView.do?tabId=6&pageTypeld=-8663&LANG=EN&channelId=-8681&programId=9599&programPage=/ep/TImedia/TISearch_advanced.jsp&contentId=30286&contentType=EDITORIAL&LANG=EN&tabId=6&pageTypeld=-8663

2) 有機ELテレビの将来予測 “Global OLED-TV Unit Shipment and Revenue Forecast, 2006-2013”, iSuppli Corp (2007).

1 「柔軟大面積軽量薄型」を特徴とする新しいエレクトロニクスとは

2 研究投資する意義

3 具体的な研究開発

4 研究開発の推進

5 科学技術上の効果

6 社会・経済的效果

7 時間軸に関する

8 検討の経緯

付

録

3. 具体的研究開発課題

「柔軟、大面積、軽量、薄型」を特徴とする新しいエレクトロニクス創製のための基盤技術を構築するために、以下の研究開発課題の設定を提案する。

3.1 「柔軟」材料の基礎物理化学に関する課題

「柔軟、大面積、軽量、薄型」デバイスを実現するためには、使用する材料の基礎物性の理解が必須である。しかしながら、ここで想定している材料の一部である有機半導体や酸化物半導体などの基礎物性はまだ未解明の部分が多い。既存材料を用いる場合でも、「柔軟、薄型」構造とした場合の物性は必ずしも確立されてはいない。機械的な「柔軟」性、すなわち、伸縮出来る、曲げられる、巻ける、折りたためるという特性を実現するためには、伸縮したり、曲げたりする時に生ずる物理現象の理解が必要である。したがって、「柔軟」材料の静的および動的な特性の解明が必須となる。

特に重要なのは、「柔軟」性と他の電気的特性、光学特性、熱特性との関係である。材料を構成する元素／分子の結合と柔軟性および、それと電気特性等との関係は現状ではまだほとんど解明されていないといっている。これらは「柔軟、大面積、軽量、薄型」デバイスを実現する上で極めて重要な特性である。

「柔軟」材料の界面、表面の物理化学も重要な課題である。「柔軟」材料を用いたデバイスにおいても、基板や電極が存在するため、有機／無機／金属など様々な組み合わせの層構造となる可能性があり、これらの界面における諸現象の解明はデバイス実現のための重要課題である。

3.2 「柔軟、大面積、軽量、薄型」デバイスのためのプロセス科学

「柔軟、大面積、軽量、薄型」デバイスを従来のプロセスで作製することは不可能ではないが、信頼性やコストを考慮すると現実的ではない。「柔軟、大面積、軽量、薄型」のための新しいプロセスおよびそのための科学が必要である。

印刷技術、ロール・ツー・ロールプロセス (Roll to Roll^{用語*2} process) などの開発が既に進められているが、高性能・高信頼の「柔軟、大面積、軽量、薄型」デバイスを実現するためには、プロセス技術の裏付けとなるプロセス科学が必要である。大面積に適した薄膜形成技術、印刷プロセスに適した材料、大面積と微細化の両立などを実現するため、理論に裏付けされた新しいプロセス技術の開発が課題である。

上述のプロセス科学が確立されれば、実用に供し得るデバイスを真空ブ

1 「柔軟、大面積、軽量、薄型」を特徴とする新しいエレクトロニクスとは

2 研究投資する意義

3 具体的研究開発課題

4 研究開発の推進方法

5 科学技術上の効果

6 社会・経済的效果

7 時間軸に関する考察

8 検討の経緯

付

録

プロセスなしで作製できるため、そのインパクトは極めて大きい。これによって実現されるプロセス技術は従来の大型クリーンルームを用いるシリコンプロセスとは全く異なった形態となる。真空装置や大型クリーンルームを必要とするフォトリソグラフィ装置等を使わずに印刷技術でデバイスを作製するプロセス技術が確立されると、例えばデスクトップ型の製造装置が可能となり、大掛かりな設備投資は不要となる。

3.3 「柔軟、大面積、軽量、薄型」デバイスの設計・評価技術開発

シリコンエレクトロニクスではデバイス設計ツールとしてのCAD^{用語*6}技術が確立しており、広く活用されている。しかし「柔軟、大面積、軽量、薄型」デバイスに対しては、これに相当するものがまだない。デバイス設計のためには、まず上に述べた材料の基礎物理化学の研究による基礎物性データの蓄積と、それに基づくデバイスの動作機構の研究が必要である。材料が異なると例えば電荷輸送や電流注入の機構が異なるので、これらのモデルを確立することが課題である。

エレクトロニクス分野において現在日本で使われているCADソフトはほとんど米国製品に占拠されているといっても過言ではない。「柔軟、大面積、軽量、薄型」デバイスに対するデバイス設計技術は、日本独自のシミュレーションソフトを立ち上げるチャンスとなり得る。

また、デバイスの評価技術の開発も課題である。上で述べた「柔軟」性に関連する、伸縮や曲げの時に生ずる物理現象について、例えば曲げ回数への耐性等、それがデバイス特性にどのように影響するかを評価する技術も必要となる。

4. 研究開発の推進方法

「柔軟、大面積、軽量、薄型」を特徴とする新しいエレクトロニクスの研究開発を支える学問的基礎基盤や要素技術の蓄積は、一部にはあるが、本提案の新しいエレクトロニクス全体としては研究・開発体制は十分ではない。学問的基礎基盤の充実と共に、材料、プロセス、デバイス、応用システムとの連携が重要であり、これらのフィードバックを行いながら、「柔軟、大面積、軽量、薄型」エレクトロニクスの基盤技術構築を推進していく必要がある。

3.でも述べたように「柔軟、大面積、軽量、薄型」エレクトロニクスに関連する研究開発はいくつかの領域でそれぞれ行われている。しかしこれらは具体的デバイスに特化したものが多く、各要素技術間のフィードバックや、基礎研究と応用分野との連携は不十分であり、新しいエレクトロニクス構築には至っていない。本プロポーザルは、従来のような部分的な研究開発ではなく、「柔軟、大面積、軽量、薄型」を特徴とする新しいエレクトロニクスの基盤技術構築を一括して推進する研究開発の提案である。

以上の状況をふまえて本研究の推進にあたっては以下の配慮が必要となる。

4.1 分野横断的階層縦断的研究開発の推進

「柔軟、大面積、軽量、薄型」の特徴を実現するためには、最初のステップでは基礎分野の充実を図り、次のステップではこの基礎分野での知見を生かして、基礎→材料→基礎の小ループを回して基礎理論の確認と拡充を図り、次のステップでは基礎→材料→プロセス→基礎の中ループを回す。更には基礎→材料→プロセス→デバイス・回路→システム・応用→基礎の順で大ループをまわす（Step & Loop モデル 図3参照）。この様なループを回すことで、評価結果を最初の階層へフィードバックし、これを何回も繰り返すことで特性の向上を図る。このループはいろいろの階層間毎に回すことも必要である。

このループは従来の技術階層縦断型（基礎、材料、プロセス、デバイス、システム・応用）の中でのループだけではなく、異分野融合的ループも必要である。「柔軟、大面積、軽量、薄型」を特徴とする統合科学としての新しいエレクトロニクスの研究は広範な分野にまたがるため、各分野の独立な研究だけでは不十分である。産学官（独法研究所）が協力して図4に示すような異分野融合的な取り組みを行っていくことが今後必要である。このような体制の下で、産官学のそれぞれの特徴：企業の製造技術力・市

1 「柔軟、大面積、軽量、薄型」を特徴とする新しいエレクトロニクスとは

2 研究投資する意義

3 具体的研究開発課題

4 研究開発の推進方法

5 科学技術上の効果

6 社会・経済的效果

7 時間軸に関する考察

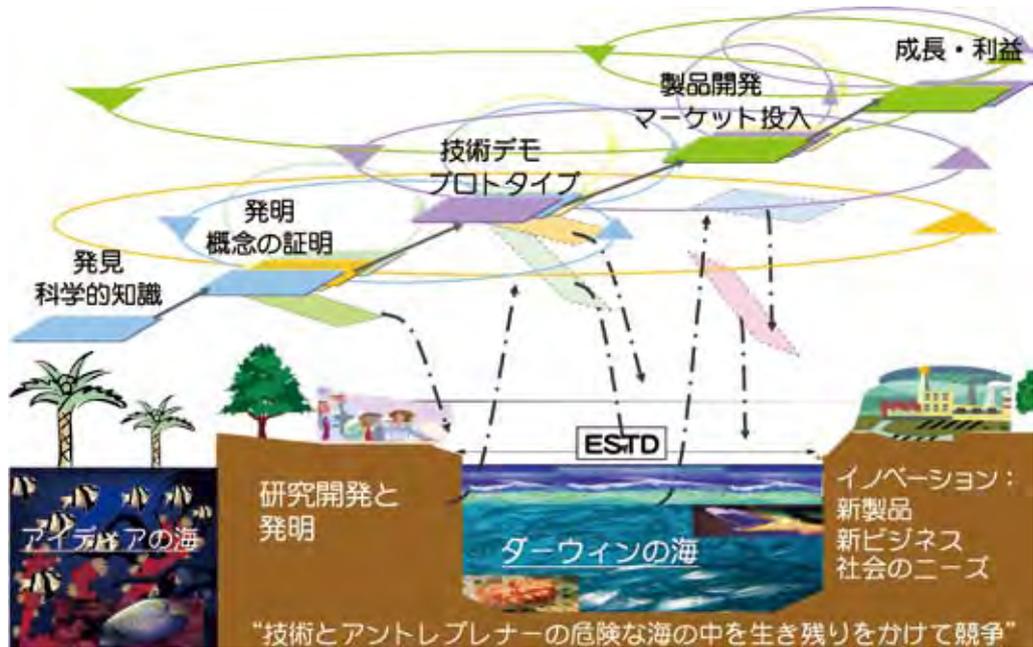
8 検討の経緯

付

録

場開拓能力・新商品企画力、大学の先端研究課題解決能力、そして独法研究機関の持つ技術開発力や先端設備等を生かした連携（図5参照）を促進する必要がある。

また評価法の標準化の観点からは各技術階層間あるいは各研究機関の間で測定条件を統一したラウンドロビンテスト^{用語*7}のような取り組みを国内で行なう事で同じ評価尺度を共有する事も必要である。



*ESTD: Early Stage Technology Development

図3 科学技術イノベーション Step & Loop モデル

Branscomb による図を基に CRDS で作成

システム： ・応用	ディスプレイ（読む、見る）、太陽光発電、 バッテリー、ローラブルPC	評価技術
デバイス： ・回路	LED、TFT、FET、センサ、 太陽電池、アクチュエータ	
プロセス：	印刷、R2R、シリコンプロセスとの整合性	
材料：	有機材料（高分子材料、低分子材料）、無機材料	
基礎：	薄膜・界面物性、「柔らかい」科学、不純物の効果、 伝導機構、電荷注入機構等	

従来

本提案

図4 「柔軟、大面積、軽量、薄型」を特徴とするエレクトロニクス推進方法

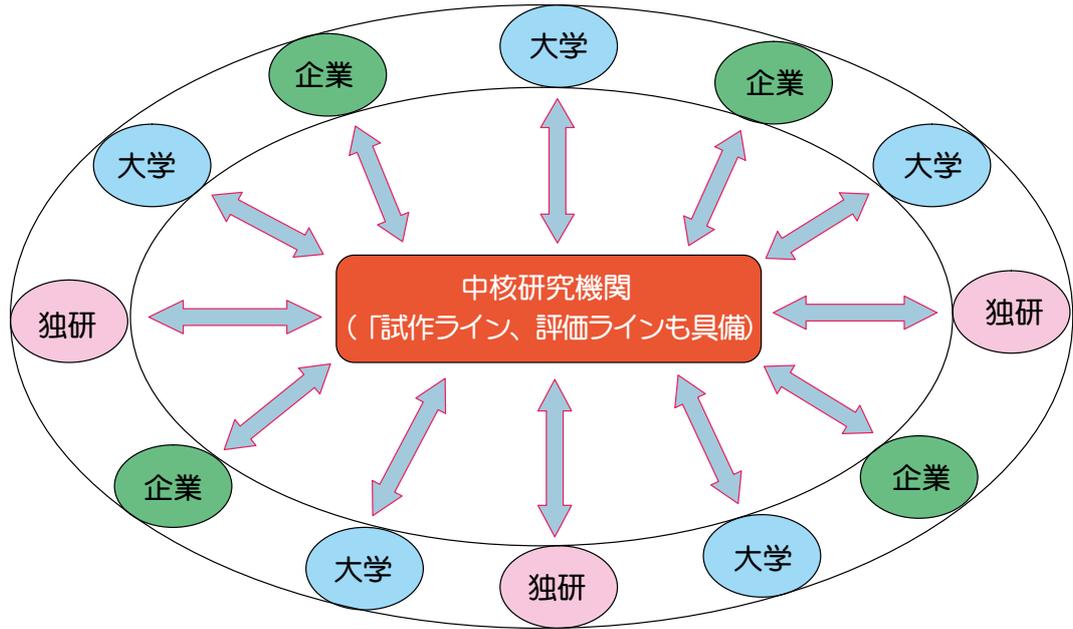


図5 「柔軟、大面積、軽量、薄型」を特徴とするエレクトロニクス
推進体制 -産官学の連携-

4.2 材料・デバイス試作を促進する産学官の協調によるインフラ整備

実験室で優れた材料が開発され、そのポテンシャルが見通せたとしても、新しいエレクトロニクスにその材料を生かすためには、デバイス試作に使えるレベルの材料を安定に作る事ができる環境が必要である。材料の基礎研究の成果がデバイス試作レベルまでスムーズに引き継がれて行くためには、材料試作、デバイス試作、評価等が標準化されたプロセスで、短いTAT (Turn Around Time) で行えるインフラの整備と共に、これら研究成果に外部の研究者がアクセスしやすい環境作り（例えばデータベース、標準材料等）も重要である。

1 「柔軟、大面積、軽量、薄型」を特徴とする新しいエレクトロニクスとは

2 研究投資する意義

3 具体的研究開発課題

4 研究開発の推進方法

5 科学技術上の効果

6 社会・経済的效果

7 時間軸に関する考察

8 検討の経緯

付

録

5. 科学技術上の効果

「柔軟、大面積、軽量、薄型」を特徴とするエレクトロニクスは新しい学問領域であり、そのデバイス実現のための技術は新しい技術領域である。これらの学問領域、技術領域の創出が、本提案の基盤技術により得られる科学技術上の成果である。

「柔軟、大面積、軽量、薄型」デバイスのための有機材料（高分子、低分子）、無機材料（単結晶、多結晶、非晶質）、ハイブリッド材料等のそれぞれの固有現象の理論的解明（不純物の効果、伝導機構、電荷注入機構、機械物性等）、薄膜・界面の物理化学の確立による界面、表面の諸現象解明や界面における新しい化学反応の解明に加え、「柔軟」材料の静的および動的な特性の解明、「柔軟」性と他の電気的特性、光学特性、熱特性との関係の解明により、従来の固体エレクトロニクスにはなかった特徴を持つ新しい学問領域が創出される。

また「柔軟、大面積、軽量、薄型」デバイスのための新しいプロセス技術およびそのためのプロセス科学が確立することによって、新しい技術領域が創出される。3.でも述べたように、現状技術（シリコンエレクトロニクス技術）の延長で「柔軟、大面積、軽量、薄型」デバイスを作製することは不可能ではないが、実用化という点では現実的ではない。プロセス科学に裏付けされた新しいプロセス技術の確立は高信頼・低価格デバイス製造を可能とすると共に、新デバイスの創出に繋がる技術上のブレークスルーを触発する原動力ともなる。

1 「柔軟、大面積、軽量、薄型」を特徴とする新しいエレクトロニクスとは

2 研究投資する意義

3 具体的な研究開発課題

4 研究開発の推進方法

5 科学技術上の効果

6 社会・経済的效果

7 時間軸に関する考察

8 検討の経緯

付

録

6. 社会・経済的効果

「柔軟、大面積、軽量、薄型」を特徴とする新しいエレクトロニクス創製のための基盤技術により得られる社会・経済的効果は、エレクトロニクス分野の新しい市場が拓けることである。この新しい市場の開拓と共に、これから到来するユビキタス社会における生活空間の多様化に対して、以下のような貢献が期待できる。

- ・ ユビキタス社会では多くのセンサが色々な場所に設置されたセンサネットワークが実用化される。このときセンサの設置場所は多岐にわたる。設置場所の制限の小さいセンサが必要となる。例えば、人の皮膚、植物の幹や葉、ロボットの表面、建築物の曲面、トンネル内の曲面等での使用が期待される。
- ・ 「柔軟、大型、薄型、軽量」の機能を具備した製品は移動するときはコンパクトにでき、使用場所で本来の大きさに戻し、使用後は再び小さくして収納場所へ移動するというような、いままでの生活様式では考えられなかった使用方法の出現が期待でき、日本の狭い住宅事情を十分に活用する一つの方策にもなる。
- ・ すでに始まっている少子高齢化社会において、高齢者の健康を、プライバシーを確保しながらリアルタイムでモニタすることが望まれる。現状では画像が併用されるためプライバシーの確保が難しい。そこで床やベッドに圧力センサや位置センサを面上に密にならべた大面積センサにより、その部屋の住人の動静をモニタ可能となる。また足型のパターン認識から、モニタしている部屋に入ってくる人間が不審者かどうかまでもモニタ可能となる。
- ・ 衣服に多くのセンサを作りこみ、人々の健康をリアルタイムでモニタすることにより、体の異常や病気を軽度の状態で発見することが可能となる。このようなモニタシステムの実現は医療費の抑制にもつながる。
- ・ 材料選択枝が大きいため、環境負荷の小さい材料を選択することで環境保全にも貢献できる。
- ・ 大型製品の梱包形体が使用状態より小さく出来るため、梱包、輸送コストの低減が可能となる

1 「柔軟大面積軽量薄型」を特徴とする新しいエレクトロニクスとは

2 研究投資する意義

3 具体的な研究開発課題

4 研究開発の推進方法

5 科学技術上の効果

6 社会・経済的効果

7 時間軸に関する考察

8 検討の経緯

付

録

7. 時間軸に関する考察

本研究課題は新柔軟材料探索や基礎物性研究等の長期的課題を含んだ10年先までを視野にいた大きな取り組みと考える。研究の推進方法でも述べた様に、技術階層間、異分野間のフィードバックループを如何に効率的に回して行くかが重要である。これら研究課題は相互に関連しており、これらの課題間でもループを回す事は、より研究進捗を加速すると考えられる。最初の5年間はこのループも積極的に使い、この様な相互に関連する研究課題推進のモデルケースを試行する。5年次にはこの試行モデルの成果を見直し、次の5年間での推進方法を定め、課題の統廃合や追加等を含めて更に発展的に推進していく。本提案の時間軸も含めた推進方法を表2に示す。

表2 本提案の時間軸を含めた推進方法（時間は相対時間）

研究開発課題	研究スパン									
	1年	2年	3年	4年	5年	6年	7年	8年	9年	10年
<ul style="list-style-type: none"> ・「柔軟」材料の基礎物理化学に関する課題 - 柔軟材料の基礎物性 - 基板・デバイス界面物性 - 元素/分子の結合状態と柔軟性、電気特性との関係 - 半導体材料の移動度、キャリア濃度、欠陥制御 	→					→				
<ul style="list-style-type: none"> ・「柔軟、大面積、軽量、薄型」デバイスのためのプロセス科学 - R2R基盤技術 - 印刷技術基盤技術 - シリコンプロセスと融合可能なプロセス - 印刷技術を用いたデスクトップ型超小型製造プロセス 	→					→				
<ul style="list-style-type: none"> ・「柔軟、大面積、軽量、薄型」デバイスの設計・評価技術開発 - 材料設計シミュレーション - デバイス設計シミュレーション - 外部信号による形状の制御 - 柔軟材料データベース 	→					→				

見直し/課題の追加 統廃止/推進方法確立

1 「柔軟、大面積、軽量、薄型」を特徴とする新しいエレクトロニクスとは

2 研究投資する意義

3 具体的研究開発

4 研究開発の推進方法

5 科学技術上の効果

6 社会・経済的效果

7 時間軸に関する考察

8 検討の経緯

付

録

8. 検討の経緯

本提案の始まりは、2004年1月に開催された科学技術未来戦略ワークショップ（以下WS）¹⁾に遡る（図6）。このWSでは、本提案関連のエレクトロニクス分科会において「柔らかいディスプレイ」の課題で、その将来像や問題点が検討された。その後2004年6月の研究開発戦略センター内での議論により、更に「柔らかい」をエレクトロニクスまで展開するとの結論に到達した。この結論を受けて、2005年3月の応用物理学会学術講演会²⁾でのJST特別セッション「10年後のエレクトロニクスを論じる」の中で、「柔らかいエレクトロニクス」と題した講演（九州大学・筒井教授）が行われた。この講演は日経エレクトロニクスでの「インビジブルエレクトロニクス」特集記事³⁾掲載のトリガーになった。更に2005年9月の応用物理学会学術講演会では、「柔らかいエレクトロニクス」の重要なプロセス分野の一つである「プリンタブルエレクトロニクス」に関するシンポジウム⁴⁾が開催された。そして2005年10月に「柔らかいエレクトロニクス」に関する科学技術未来戦略ワークショップ⁵⁾を開催し、「柔らかいエレクトロニクス」の俯瞰と課題を基礎から応用までの広い範囲の専門家に講演して頂いた。更にこのWSの提言から、韓国及び米国の技術調査比較（G-TeC）⁶⁾を実施し、これらの情報を参考にして、2006年8月に“「柔

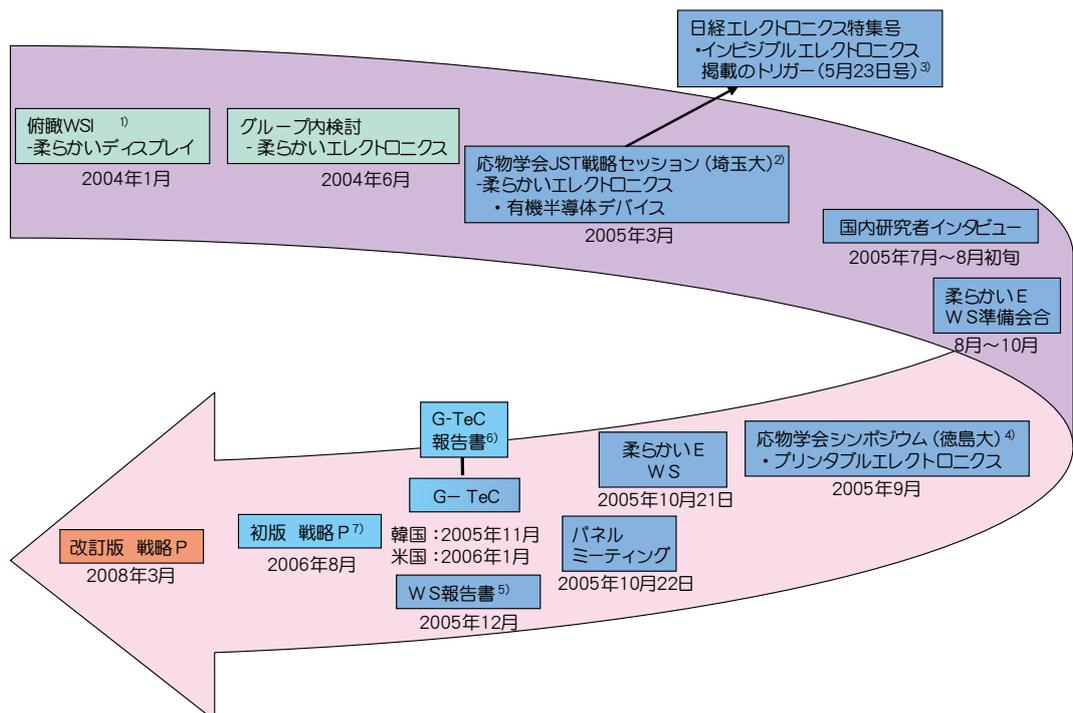


図6 検討の経緯

1 「柔軟、大面積、軽量、薄型」を特徴とする新しいエレクトロニクスプロセスとは

2 研究投資する意義

3 具体的な研究開発

4 研究開発の推進

5 科学技術上の効果

6 社会・経済的效果

7 時間軸に関する

8 検討の経緯

付

録

らかい」エレクトロニクス基盤技術の研究開発”と題するプロポーザル⁷⁾を刊行した。本提案は、この時の取り組みと基本的には変わっていないが、その後の国内外状況の急な動きや、関心の高まり（※ 2006年度末から2007度初めにかけて「柔らかい」エレクトロニクスに関する2回の講演依頼）など、外部状況の変化があった。このような状況と、究開発戦略センター内での検討結果に基づき、前プロポーザルの見直しを行って、改訂版⁷⁾の発行に至った。

参考文献

- 1) 科学技術未来戦略ワークショップ（電子情報通信系）報告書，CRDS-FY2003-WR-02, <http://crds.jst.go.jp/output/rp.html#2-3>
- 2) 応用物理学会シンポジウム（JST 戦略セッション）：第52回応用物理関係連合講演会講演予稿集，pp.125-130 (2005).
- 3) インビジブルエレクトロニクス特集：日経エレクトロニクス No.900, pp.104-115 (2005).
- 4) 応用物理学会シンポジウム（プリンタブルエレクトロニクス）：第66回応用物理学会学術講演会講演予稿集，pp.12-16 (2005).
- 5) 「柔らかいエレクトロニクス」に関する科学技術未来戦略ワークショップ報告書，CRDS-FY2005-WR-10, <http://crds.jst.go.jp/output/rp.html>
- 6) G-TeC 報告書「柔らかいエレクトロニクス」国際技術力比較調査（韓国, 米国），CRDS-FY2005-GR-08, <http://crds.jst.go.jp/output/rp.html#m2-1>
- 7) 戦略プログラム “「柔らかい」エレクトロニクス基盤技術開発”，CRDS-FY2006-SP-05(2006), <http://crds.jst.go.jp/output/sp.html>

付録 「柔らかい」エレクトロニクスの国内外の状況

初版発行時（平成 18 年 8 月）から約 1 年半が経過し、この分野での国内外の実用化に向けた動きに大きな変化、特にディスプレイ関係、があったので以下に述べる。また「柔らかいエレクトロニクス」の英語は「Flexible Electronics」が使われてきたが最近はそれに加えて「Stretchable Electronics」も多く使われるようになってきた。また台湾での動きも顕著であるため追加した。

（1）日本

2006 年 1 月に三洋電機が有機 EL から完全撤退し、国内の有機 EL ディスプレイ実用化に影が差したように見えたが、2007 年に入って有機 EL ディスプレイは実用化に向けて国内企業が活発な動きを見せている。中でもソニーの「世界初の 11 インチ有機 EL テレビを 12 月 1 日発売」のニュースが特筆される。また有機 EL の基板をガラスからプラスチックに変えた「柔らかいディスプレイ」や「柔らかい電子ペーパー」の企業からの発表も多い。基礎研究ではこれらディスプレイ駆動用の有機 TFT の発表が活発である。2008 年 1 月の CES2008¹⁾ では、ソニーが更に大型の 27 インチ有機 EL テレビ試作機を斬新なデザインで展示し、この技術のさらなる実用化を印象づけた。電子ペーパーは 2007 年 4 月ソニーより柔軟性は具備していないが 6 インチ画面の製品が市販された。電子ペーパー開発各社はその機能にフレキシブルという概念を強く打ち出したプレス発表が活発である。また街頭での大型ディスプレイの実用化試験が行われ始めている。

（2）韓国

有機 EL の実用化の動きが急である。サムソン SDI 社が約 400 億円をかけてアクティブマトリクス方式の有機 EL パネル製造用工場を建設し（2006 年 10 月完成）、有機 EL 有機 TFT 駆動のモバイルプレイヤー用 2.2 インチ有機 EL を実用化した（2007 年 3 月）。またこれらの動きを反映する様に、2008 年 1 月の CES2008¹⁾ では 31 インチ有機 EL テレビの試作機を展示した。

国プロの「21 世紀フロンティアディスプレイ技術開発事業」²⁾ の一環として進められている「大型有機ディスプレイ開発」の成果として、LG.Philips LCD から溶液型の有機半導体を使用した LCD（液晶ディスプレイ）パネルの発表があった（2007 年 8 月）。この LCD の特徴は自由に折り曲げられるフレキシブルディスプレイ、フルカラー映像対応且つ低コストで生産できるというものである。

1 「柔軟大面積軽量薄型」を特徴とする新しいエレクトロニクスとは

2 研究投資する意義

3 具体的研究開発課題

4 研究開発の推進方法

5 科学技術上の効果

6 社会・経済的效果

7 時間軸に関する考察

8 検討の経緯

付

録

(3) 台湾

台湾の国研の一つである ITRI (Industrial Technology Research Institute) が台湾初の「Flexible Electronics」の専用研究所を開設した(2007年3月)³⁾。

フォトリソライン、インクジェットライン及びスクリーン印刷ラインの3ラインを持った本格的な研究所である。特徴はオープンラボとして世界の企業や研究機関との共同研究を志向している点である。

(4) 米国

米国産業界主導で設立された「U.S. Display Consortium」はアリゾナ州立大学内に建設された「Flexible Display Center」を核に産官学が連携して研究を行っており、加盟企業は104社(2007年1月)⁴⁾に上っている。また当初DARPAから資金援助を受けていたが、現在はARL(陸軍研究実験所)が資金援助をしている。

最近、このセンターの成果をとりいれた兵士用のSFPDA (Soldier Flex Personal Digital Assistant) の発表があった。(2007年9月)⁵⁾

(5) 欧州

① 英国

Plastic Logic社がドイツのドレスデンにアクティブマトリクス型ディスプレイ工場の建設を開始し2008年には具体的な製品を市場投入すると発表。(2007年1月)⁶⁾

② オランダ

フィリップス社の子会社であったポリマービジョン社が独立し、2007年度中にイタリアテレコム社の携帯電話に同社製のフレキシブルディスプレイが搭載されると発表があった(2007年2月)⁷⁾が、2008年に延期された模様。

(6) その他

「柔らかい」エレクトロニクスの技術の一つに有機エレクトロニクスがある。2007年6月に開催された、有機エレクトロニクスに関する国際会議(ICOE: International Conference on Organic Electronics)⁸⁾、OEC (Organic Electronics Conference: 欧州で9月に開催)⁹⁾、や11月に開催されたPrinted Electronics USA 07¹⁰⁾では「Flexible」[大面積]を冠する発表が活発である。

参考文献

- 1) CES2008 : <http://cesweb.org/default.asp>
- 2) 韓国科学技術基本計画 (2003-2007) :
<http://crds.jst.go.jp/kaigai/report/TR/Asia20070808.pdf>
- 3) TRI (台湾工業技術研究院) :
<http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20070315/128955/>
- 5) SFPDA : <http://www.engadget.com/tag/sfpda/>
- 6) Plastic Logic 社 : <http://www.plasticlogic.com/JapanesePR03Jan07.php>
- 7) ポリマービジョン社 :
<http://www.polymervision.com/frameset.php?id=&page=イタリアテレコム社の発表> :
http://www.telecomitalia.it/cgi-bin/tiportale/TIPortale/ep/contentView.do?tabId=6&pageTypId=-8663&LANG=EN&channelId=-8681&programId=9599&programPage=/ep/TImedia/TISearch_advanced.jsp&contentId=30286&contentType=EDITORIAL&LANG=EN&tabId=6&pageTypId=-8663
- 8) ICOE : <http://www.extra.research.philips.com/icoe/2008/index.htm>
- 9) OEC : <http://www.oec-europe.com/index.htm>
- 10) Printed Electronics USA 07 :
<http://www.gii.co.jp/conference/printed-electronics/usa/>

用語説明

- *1 TFT (Thin Film Transistor) :
アクティブマトリックス方式ディスプレイの駆動回路に用いられる薄型トランジスタ。
- *2 Roll to Roll :
「柔らかい」フィルム状基板が円筒状のドラムに巻かれ、そこから引き出されたフィルムが巻き取り用ドラムに巻き取られるまでの間に、フィルム上に印刷技術等でデバイス・回路が形成されるプロセス技術。
- *3 レーザアブレーション :
高密度エネルギーレーザー光の吸収、超短パルス高出力レーザーの非線形吸収等の現象を利用して、微細加工、膜剥離等を行う技術。表1に示した例では、ガラス基板上に低温プロセスで形成した TFT 層をガラス基板側からレーザーを照射して剥離させる技術。剥離した TFT はプラスチック基板に接着される。
- *4 電子ペーパー :
電氣的に表示内容の書き換えができ、かつ従来の“紙”の特長（形態、扱い易さ）を持つ（ことを目指した）デバイス。
- *5 EL (Electroluminescence) :
物質に電圧を印加または電流を注入した際に発光する現象。有機 EL は p 型伝導材料と n 型伝導材料を接合した LED（発光ダイオード）構造を用いるため、OLED (Organic LED) とも呼ばれる。
- *6 CAD (Computer Aided Design) :
コンピュータを利用して電子回路等の設計を行うシステムの総称。「コンピュータ援用（支援）設計」
- *7 ラウンドロビンテスト :
試験法や標準サンプルの決定に際して、試験条件を統一して複数の試験実施場所（機関、施設）の間を順次回送して行うテスト方法。
17～18世紀、フランスの農民が王へ嘆願書を出すと、署名のトップに近い者が処刑されたため、首謀者が誰かわからないように、「丸いリボン」のような円形に署名した。「ラウンドロビン」は、この時の「丸いリボン」のフランス語に由来。

1 「柔軟、大面積、軽量、薄型」を特徴とする新しいエレクトロニクスとは

2 研究投資する意義

3 具体的研究開発課題

4 研究開発の推進方法

5 科学技術上の効果

6 社会・経済的效果

7 時間軸に関する考察

8 検討の経緯

付

録

戦略プログラム

「柔軟, 大面積, 軽量, 薄型」を特徴とする新しい
エレクトロニクス創製のための基盤技術の研究開発

CRDS-FY2007-SP-10

独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター

平成20年3月

生駒グループ

〒102-0084 東京都千代田区二番町3番地

電話 03-5214-7484

ファクス 03-5214-7385

<http://crds.jst.go.jp/>

平成20年3月

©2008 JST/CRDS

許可なく複写・複製することを禁じます。
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

ATTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC

CT CTCGCC AATTAATA

TAA TAATC

TTGCAATTGGA CCCC

AATTCC AAAA GGCCTTAA CCTAC

ATAAGA CTCTAACT CTCGCC

AA TAATC

AAT A TCTATAAGA CTCTAACT CTAAT A TCTAT

CTCGCC AATTAATA

ATTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC

AAT A TCTATAAGA CTCTAACT

CTCGCC AATTAATA

TTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC

AAT A TCTATAAGA CTCTAACT

ATTAATC A AAGA C CT

GA C CTA ACT CTCAGACC

0011 1110 000

00 11 001010 1

0011 1110 000

0100 11100 11100 101010000111

001100 110010

0001 0011 11110 000101

