

有機半導体が描く情報化社会へのシナリオ—その後



随 筆

横 山 正 明*

A scenario dreamed with organic semiconductors
to the information-driven society

Key Words : Information-driven society, Organic semiconductors,
Mobile display, Electronic-paper

標題のタイトルで「—その後」と付けたのは、ほぼ7年前、2006年1月に最終講義のタイトルに「有機半導体が描く情報化社会へのシナリオ」と題して、大阪大学理学研究科博士課程修了後工学部応用化学科の助手になって初めて「有機半導体」に触れ、その後長く35年に亘って大学に身を置いて携わってきた有機半導体の現状とその将来への期待を込めてシナリオを語ったからで、今回折角の機会を頂いたのでその骨子を紹介して、7年ほど経って思い描いたシナリオ通りに展開しているか、どう進展しているか検証してみたい。

まず、「有機半導体が描く情報化社会へのシナリオ」の骨子を紹介しないと始まらない。丁度私が工学部助手に任官した1971年頃、読者の皆さんも記憶にあるように、文献複写、文書配布に、その頃からやっと電子写真コピー機が使えるようになってきた。もちろんその心臓部の感光体は有機半導体でなく無機セレンである。なんと便利な機械と大いに驚き興味を引いた。ただその頃はコピー1枚が40円と高価なため、書類配布は相変わらず薄黄色のジアゾ紙の化学反応を利用したリコピーが主流だったが、「これからは有機電子材料が活躍する」と早くから見通しておられた恩師の三川禮名誉教授から「有機感光体材料の開発」をテーマにもらったのが有機半導体に関わる契機だった。

もともと電気絶縁体である有機分子に電気を流す試みは、世界に先駆け日本において赤松、井口、松永先生らにより1940年代の後半に開始され、ペリレンと呼ばれる化合物に沃素 I_2 を僅かに加えることで有機分子結晶に高い導電性を賦与することに成功している。そして2000年にはポリアセチレン共役系ポリマーに導電性を付与することに成功した白川博士がノーベル化学賞を受賞している。「有機半導体」と言う言葉も日本で生まれた。有機半導体は日本が元祖家元である。

すこし話を元に戻して、このように日本で生まれた有機半導体をどう使い利用するかと云う観点から、有機半導体が実用電子材料として利用が期待されていたのが電子写真複写機の有機感光体であった。それは、1938年にチェスター・カールソンが発明した乾式複写プロセス、ゼログラフィックプロセスで感光体材料に要求される特性、絶縁性光導電物質にまさに合致していたからである。すなわち暗所では絶縁物としてよく帯電し、光照射で電導性を示して光照射部のみ効率よく帯電を消去してくれる。後はトナーと呼ばれる微粉体で現像して、紙に転写・定着すればコピー1枚のできあがりである。1960年代後半から、複写機メーカー等から膨大な量の光導電物質の開発と有機に特徴的で高感度な積層感光体デバイスが開発され、セレン感光体を抜いて一躍主流となった。1980年代には取り扱う画像がアナログからデジタル電子画像へ移行するのに伴い、光読み取り式のアナログ複写機も電子画像を扱うレーザープリンターに移ったが、半導体レーザーの赤外光波長に安定した高感度を示して強敵のアモルファスシリコンにも優位を保った。その結果、2000年頃には感光体の90%以上が有機感光体で、世界で年間1億2千万本の感光体が生産されるようになっていた。このように有機半導体が紙をベースとする情報化社



*Masaaki YOKOYAMA

1942年12月生
大阪大学理学研究科高分子学専攻博士課程卒業 (1971年)
現在、カネカ基盤技術協働研究所
大阪大学工学研究科 特任教授 (名誉教授) 理学博士 有機半導体、有機デバイス工学
TEL : 06-6816-7970
FAX : 06-6816-7974
E-mail : yokoyama@arl.eng.osaka-u.ac.jp

会にカールソンの偉大な発明を通じて如何に貢献しているかが伺い知れる。

2000年のノーベル化学賞受賞と相前後して、一群の有機分子やポリマーで構成される有機半導体は、さらに「有機エレクトロニクス」として大きな進展を遂げ始めた。この火付け役となったのは、低電圧駆動で高輝度の有機電界発光 (Electro Luminescence, EL) に成功したKodak社のC.W. Tang博士だった。それまで有機半導体は、上述のように、唯一電子写真複写機やレーザープリンターの感光体材料として実用化されていたが、そこで扱われる電流は μA のオーダーであった。ところが有機ELデバイスで扱われる電流オーダーはmAからサブアンペアである。これだけの電流を有機材料に流しながら、実用可能な耐久性を示す。この結果は、これまで有機ではどうせすぐダメになると敬遠されていたが、その通念を払拭するもので、従来有機材料では無理と考えられていた電子デバイスも決して夢でなくなった。これまでも有機材料は、基板材料、絶縁材料、封止材料などシリコン半導体の周辺材料としては広く用いられてはいたが主役ではなかった。しかしここに来て、有機ELディスプレイの実用化が始まり、そのドライブ回路も有機半導体やポリマー半導体を用いて有機トランジスターで作り上げようと云う機運が高まった。

一方で、携帯電話、インターネットによる情報化の波が急速に押し寄せ、1991年に米ゼロックス社パロアルト研究所のMark Weiserが提唱したユビキタス (Ubiquitous) の概念が広まり、“いつでもどこでも”情報が得られる社会の構築が新たに始まった。それに呼応して、マンーマシンインターフェースとしてこれまでの紙面上でのハードコピーとTVモニター上のソフトコピー (ディスプレイ) との融合が新しい潮流となって、携帯端末のディスプレイはもとより、フレキシブルで軽量、持ち運び可能な“Paper-like Display”あるいは“電子ペーパー”と呼ばれるディスプレイデバイスの開発に拍車を掛けた。7年前にはApple社のiPhoneはまだ誕生していなかった。Steve Jobsも同じ概念でスマートフォンを開発していたのではなかろうか？ iPhoneの誕生は1年後の2007年1月である。

2000年頃、その持ち運び可能な“Paper-like Display”、“電子ペーパー”の目指すイメージをあまり

にも的確に示したプロモーションビデオ (NTTドコモ制作) がTVに流れたので無断でよく使わせてもらった。その1フレームを図1に示す。ベンチに腰掛けたご婦人が持っているのがフレキシブルで軽量、持ち運び可能な“電子ペーパー”である。もちろん無線通信可能である。折りたたみも可能である。まさに私自身がイメージした将来の情報端末だった。



図1. 思い描いた将来のフレキシブル電子ペーパーのイメージ (NTTドコモのプロモーションビデオの1フレームから)

フレキシブルディスプレイに対するもう一つの期待は以下のものであった。そろそろ歳も食って、毎日決まった姿勢でパソコンに向かっていると、眼は疲れるは、肩も凝る。本や新聞は肩も凝らないし、眼も疲れない。いろいろ検証しながら得た結論は、図2に示すように、決まった姿勢からの開放であった。ディスプレイを本や新聞と同じように手に持って、場合によっては丸めたり、背を椅子に凭れてもいつも明視距離で見ることができる、そんなディスプレイが理想ではなかろうか？これからの高齢化社会の必需品となる。これを可能にするのが軽量でフレキシブルになり得る有機材料、有機半導体ではないか。そう遠くない将来に、紙のような、折りたたみ可能なディスプレイを持ち歩く時がやってくるだろう。そのドライブ回路は、もちろんシリコン半導体トランジスターではなく、有機半導体トランジスターである。しかもその作製プロセスには、印刷で回路を描き、インクジェットで欲しいところに必要な材料を必要なだけデポジットする技術が用いられる。有機材料だからこそ大量に安価に供給できる。これが7年前に思いを描いた「有機半導体を描く情報化社会へのシナリオ」である。

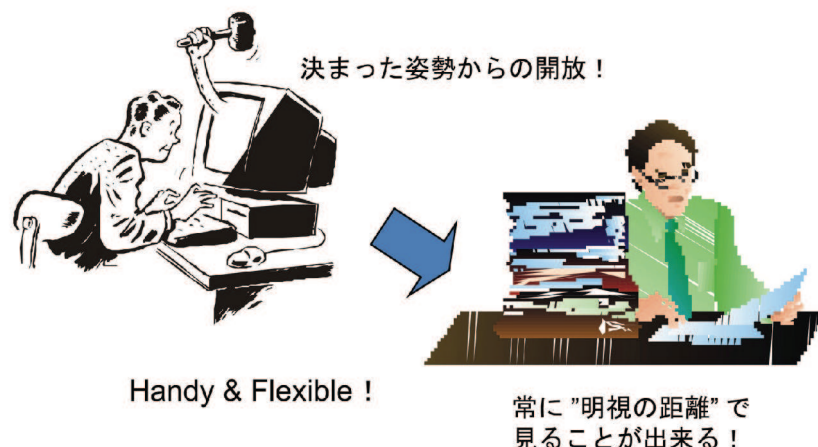


図2. 決まった姿勢からの開放. 電子ペーパー (Paper-like Display) への期待.
肩のこらないフレキシブルディスプレイは高齢化社会の必需品?

さてほぼ7年経った今、その夢はどうなっただろうか? まず1年後の2007年12月にソニーから薄さ約3mmのパネル搭載の有機ELテレビXEL-1が発売され、大いに勇気づけられた。大枚をはたいて購入、今も何のトラブルもなく有機ELの深みのある画像を楽しんでいる。2007年1月にApple社からiPhoneが発表され、携帯情報端末スマートフォン競争に火が付いた。“いつでもどこでも”のMark Weiserの概念にはかなり近づいたものの、有機半導体が描く軽量フレキシブル情報端末にはまだかなりのギャップがあるようだ。時間経過と共に通信環境も改善されインフラが整いつつある。しかしこの7年間かなり大きな変化があったように思う。地下鉄御堂筋線に乗ってみると様変わりを感じる。老若男女ほとんどがスマートフォンを出してタッチスクリーンでメールをチェック、タッチキーで返事を入力、インターネットで情報を獲得、これまでなかった光景が飛び込んでくる。

さらに2010年1月にApple社からはタブレット端末iPadが発売され、同年4月の発売以来爆発的な人気を誇っている。特にディスプレイは9.7インチと大きくて見やすい。タッチスクリーンで文字、図形の拡大ができるので高齢者に人気があるようだ。これらはいずれも明視距離で見ることが出来るが、しばらくすると重くて手がだるくなる。寝転がって仰向けで本を読むようにはいかない。書籍の読書にはそれなりに、Kindle社のKindle Paperwhiteや楽天電子ブックリーダーkobo touchなど、少し小さ目のタブレット端末が発売されているが、いずれも

ガラス板上の液晶表示や着色粒子の電気泳動を利用したe-Ink方式のタブレット表示端末で、モバイルであるがやはり“フレキシブル”でないと云う難点がある。Plastic Logic (英国) がiPadが発売された2010年にポリマー基板上に作製した有機ELタブレット表示端末を予告したが発売には至らなかった。耐久性、安定性にまだかなりのバリアがありそうだ。同じ2010年にソニーから巻き取り可能なプラスチック基板上で有機TFT駆動によるFlexible OLED (有機EL) Displayが開発され(図3)、かなり目標に近づいたが、残念ながらその後新たな発表を耳にしていない。



図3. Sonyが開発した巻き取り可能なFlexible OLED Display (2010.5). 有機TFT駆動型、4.1インチで432×240ピクセル。

新年号にふさわしい報告をと思ったが、残念ながら昨今の円高による経済状態の悪化は開発のスピードを鈍らせている。しかしながらこの7年間シナリオに沿って着実に進展していると確信している。今後さらなる有機半導体の出番を大いに期待したい。