

◆平成 27 年度 第 4 回（通算第 51 回）蔵前ゼミ 印象記◆

日時：2015 年 7 月 17 日（金）

場所：すずかけ台 J221 講義室

表示材料の開発から化学企業の素材開発を考える

ディスプレイ材料開発研究を通じて

関根 千津（1989 電子化学 MS）住友化学(株) 理事・筑波開発研究所主幹，蔵前工業会理事

下村文科相を更迭した上で、3000 億円の新国立競技場を作るに違いないという私の予想は外れた。予想の根拠は、2 本のキールアーチを特徴とするハデイド案を十字架にかける手伝いは誰しも御免こうむりたいと思うから、代わりの設計者が現れるとは思えない上に、唯一残された道と考えていた建築家の安藤さんが記者会見し「私には責任が無い」といったからだ。安藤さんが「すべて、審査委員長を務めた私の責任です。どんな非難でも甘んじて受けますので、現行案をお認め下さい」といえば、「私たちが誇りにしているあの安藤さんが言うのだから…」と私たちも（怒りの）矛を収めたに違いない。この道がなくなれば大臣の首しかないと思ったが、実際には 安倍首相の一言で ハデイド案が葬り去られた。

こんな妙な書き出しをしたくなるほど、関根さんのつぶやきが心に残った：液晶の開発にかかわった経験から、「一番難しいのは、撤退を決めることでしょうね」。そして、四半世紀以上 化学企業の ICT (Information and Communication Technology) 関連材料開発に携わって思うのは、“すじ”が大切だということだそう。 (1) 次世代の液晶と見なされていた強誘電性液晶の開発に関わったものの、製品化には至らなかった経験や (2) その時に隣で鼻息荒くプラズマディスプレイの開発に取り組んでいたチームも最終的には撤退を余儀なくされた厳しい現実などを関根さんなりに分析し、導き出した教訓だ。その教訓を聴衆である学生と共有したい一心で熱弁を振るってくれた。

妙な書き出しが 妙と思えないほど、液晶ディスプレイの世界には奇妙な展開が多々あったようだ。液晶ディスプレイ全盛の時代が到来したのは、お金の細かく最後は横領の罪で捕まるという訳のわからない大臣の一言がきっかけだったらしい。しかもその液晶が“ねじれ液晶”といわれているのも、たまたまとはいえ、何か因縁めいたものを感じる。(1) ねじるという意味では試薬ビンの蓋の

閉め忘れがなかったら、液晶ディスプレイの出現はかなり遅れたであろうことや (2) 私たちが静電気遊びをする時に、下敷きを服でこするように、硝子板を布でこすってから、ねじれ液晶を作るなど、「まるで おまじないの世界？」と思いながら関根さんの話を聞いていたが、この印象記を書くために勉強してみると真面目な話だったことがよく分かった（後に詳しく説明したい）。

関根さんの軽妙な語り口から、地球規模の課題（エネルギー・環境・食糧・医療・QOL 等）の解決を目指して、化学系の人たちが異分野の人たちと協力しながら、機能性材料を開発している姿（材料に機能を持たせる魅力）がよく伝わってきたに違いない。専門的な難しい話に入る前に、時間不足のために割愛された「蔵前ゼミ」としてのメッセージ（社会人となる人へのアドバイスや心構えなど）を、関根さんの Web 上のインタビュー記事を参考に紹介しておこう：「仕事をする上で重要なものは、情熱とスキルだと思います。スキルは学習や訓練で身に付きますが、情熱は身につけるものではなく、沸いてでるものです。…自分の情熱に心の耳を傾けて…」。^(注1)

1. スキーが趣味で物理化学を専攻

関根さんは東京（杉並区 荻窪）の出身だが、なぜかスキーに魅せられ学生時代は、化学を専攻するかたわら、スキー部の合宿代を稼ぐためのアルバイトに忙しかったそう。八方尾根・湯沢高原・志賀高原・蔵王などで新雪を楽しむまでになった。関根さんのリズムカルでスピード感のある話しぶりが印象的だったが、スキーヤーだったと聞いて、納得した。小さい頃から理科が好きで、買ってもらった望遠鏡を改造したり部品を作ったりして天体観測をしていた。研究者には中学生の頃から憧れていた。本格的な研究に取り組むことになる長津田キャンパス（現すずかけ台キャンパス）へは車で通い、時間を気にすることなく、資源化学研究所

(R1 棟 3 階) の広瀬千秋研究室で“レーザー励起分光法による放電ヘリウムガスの流速測定”に組み修論を仕上げた (1989)。

2. 住友化学で強誘電性液晶プロジェクトを推進

住友化学のルーツ：住友化学の事業は、四国 (愛媛県) の別子銅山から出る有毒ガス (亜硫酸ガス) の処理に始まる。銅の精錬の際に生じる亜硫酸ガスによる環境問題を緩和するため、その排ガスを吸収し、肥料 (過リン酸石灰) に変換する工程を 100 年程前 (1913) に開発した。環境問題を解決しつつ、それを農産物の増収に結びつけることによって豊かな暮らしを実現するという理想的な形でスタートしたことになる。この公益を重んじる精神は、関根さんのスライドにも“自利利他公私一如”と明記されていたように、今日まで脈々と受け継がれているが、漢文調で とつつきにくいせいだろう、Web page のトップ メッセージは「かがくの夢、くらしの中に」となっている。

研究開発は総力戦—マラリアへの取り組みを例に：研究開発の基本戦略である「創造的ハイブリッド・ケミストリー (注2)」という表現も魅力的だった。関根さんが具体例としてあげたマラリア対策の防虫蚊帳 (かや) 「オリセット® ネット」の開発を通して創造的ハイブリッドケミストリーと言われるゆえんを見てみよう。マラリアに関しては、私が現役の時に担当していた講義「環境安全論」で殺虫剤 DDT がなぜ広く使われ、ノーベル賞を授与されたかを詳しく説明した。蔵前ゼミ受講生の多くは M1 だが、学部 1 年生の時に「環境安全論」をとっているの、次のようなことを思い出してくれたに違いない：年間 3 億人近い人が ハマダラカによって媒介されるマラリアに罹患し、100 万人以上が亡くなっている。

昔 日本で使われていた蚊帳は、夜 寝ている間に蚊に刺されないための必需品で、どの家にも 2~3 個はあった。網目が細かく物理的に蚊が入って来ないようにになっていた。熱帯地方で使うにはなるべく軽くて風通しを良くしなければならない (網目をあまり細かくできない)。網目を大きくすると蚊が通り抜けてしまうが、よく観察すると 4mm 程度ならば一旦網に止ってから中に入ることが分かった。網のポリエチレン繊維にピレスロイド系殺虫剤を含ませ、特殊な加工技術で徐放性 (Controlled long-lasting release) を付与したところ、洗濯を繰り返しても 5 年間は使える蚊帳 (Olyset

Net) が完成した。殺虫剤に触れた蚊が死ぬまでには数分かかるそうだが、その前に刺されたらオシマイでは？と思うが、その心配はないようだ。殺虫剤に触れた蚊は、刺すことを“忘れ”てしまうらしい。高分子化学・昆虫生態学・殺虫剤学・薬剤放出制御技術などが統合されて初めて可能となるという意味で、創造的ハイブリッド・ケミストリーとはいって妙だ。WHO の認定を受けたオリセット® ネットは 現在 現地生産体制が整いつつある。オリセット® ネットは Bill Gates や女優の Sharon Stone を感動させた製品としても有名だ。

液晶を手掛けたきっかけ

液晶ディスプレイ (Liquid crystal display, LCD) 開発史：液晶が発見されたのは 1888 年とされている。この年に、オーストリアの植物学者 Friedrich Reinitzer (1857~1927) がニンジン成分の誘導体 (安息香酸エステル, Cholesteryl benzoate) を 145°C に加熱すると白濁状態 (これがのちに液晶と命名された) を経て、179°C で透明な液体になることを見出した。1907 年にはドイツの Merck 社が液晶物質を販売したが、液晶が広く知られるには至らなかった。今日の応用につながる発見がなされたのは、それから 75 年後の 1963 年で、米国のエレクトロニクス会社 RCA の Richard Williams がガラス板上の液晶薄膜に電圧をかけると光の透過度が変化することを見つけ、この現象を応用するとブラウン管に代わる平板ディスプレイが作れるのではないかというアイデアを思いつき、特許を取得した。しかし、数年後には開発を諦め、別のプロジェクトに移ってしまった。理由は、(1) 当時知られていた液晶物質は、117°C 以上の高温でないと作動せず、現在のような室温下で液晶状態を示す有機化合物は見つかっていなかったことに加え、(2) 当時実験に使われていた液晶物質は、電圧をかけると急速に劣化して使い物にならないなど多くの問題があったために、経営トップを説得して積極的な投資を引き出し、同僚研究者を組織して一大プロジェクトを遂行するのは難しい状況にあった。しかも、(3) Williams 自身は液晶の物性の解明という科学的側面に興味があり、フラット ディスプレイ開発へのこだわりはさほど強くなかったようで、あっさり別の仕事を始めてしまった。Williams は、RCA 社では、液晶ディスプレイ (LCD) のパイオニア及びビデオディスクの表面特性の研究者として知られている。

RCA で消えかかった LCD の灯火を引き継ぐこと

になったのは、若手の George H. Heilmeier だった。大手企業は優秀な研究者を確保するために、彼等が博士課程の学生の時から囲い込みをしていた。奨学金を出すとともに、企業で進行中の最先端プロジェクトに、パートタイムではあるが、参画できるようにし、企業が誇る優れた設備に触れる機会等を提供していた。Heilmeier もその恩恵をこうむった一人だ (1961年に PhD 取得)。入社当初はマイクロ波半導体素子に関わったが、野心的な情熱家だった Heilmeier は、すでに確立したマイクロ波半導体素子分野の研究を続けるか、あるいはリスクだが挑戦的な有機半導体分野に進むか迷っているときに、Williams の液晶実験を知った。Heilmeier は、光通信用レーザー光の変調器を開発しようとしていたが、既存の固体結晶は製作が難しい上に高電圧を必要とするなど欠点が多いことから、固体結晶の代わりに液晶を用いるといいのではないかと考えた。そして、偏光に当てた時に向きによって色が違って見える色素 (多色性色素, Pleochroic dye) を液晶溶液に混ぜて、Williams と同様の実験を試みた。電圧を加えると液晶分子が再配列し、それに伴い多色性色素分子も回転し電圧に応じて色が変わるのではないかと期待したのだ。そのとおりになった (1964)。この電圧に依存した色調の変化は、色素をゲスト (客人), それを溶かし込む液晶をホスト (主人) に見立てて, Gest-host effect と呼ばれている。

この成功で、Heilmeier ならずとも 誰もが壁掛け型のカラーテレビの時代がすぐそこまで来ていると思ったに違いない。RCA も総勢 7 人の Heilmeier チームをスタートさせた (3 年後には倍に増員)。しかし待ち構えていたのは数々の難問だった: Gest-host 両分子の不安定さ, 偏光フィルターによる明るさ不足, 液晶状態を維持するために必要な高温など。これらの問題が本質的に解決されたわけではないが、Heilmeier は 1 つのブレークスルーと考えられる現象を見つけた (1965)。ある種の液晶に、電解質の存在下で電圧をかけると光散乱が起きることを見出したのだ。色素も偏光フィルターも使わずにすむことから、Dynamic scattering effect と名付けられた。この現象は、負の誘電異方性を持つ特殊な液晶 (電解質を含む) に電圧をかけた時に液晶分子の配向が乱れ、強い光散乱が起こるもので、液晶分子としては Schiff 塩基 ($-\text{CH}=\text{NR}-$) 構造を有する Anisylidene *p*-aminophenylacetate (APAPA, Nematic range: 83–100°C) (図 1) が使われた。続いて、APAPA の誘導体が多数作られ、ついに室温で

機能する液晶分子が見つかった。こうして、Dynamic scattering effect を利用した時計用デジタルディスプレイが試作され、世界が驚くことになった。1968 年のことだ。Heilmeier は液晶ディスプレイの発明者として人々に記憶されるとともに、RCA が液晶ディスプレイの時代を創り、その覇者となるのはだれの目にも明らかと思われたが、実際は違った。RCA の発表に刺激されてスタートした後発組の (日本の) シャープが開発史に名を残せたのはどうしてだろうか。その答えを探る前に、もう少し RCA 社の動きを追跡してみよう。

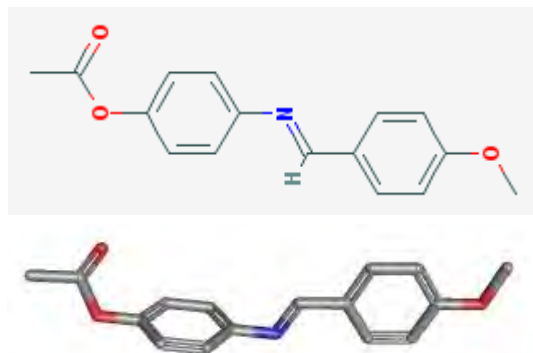


図 1. Schiff base 分子。液晶ディスプレイ開発の初期に、時計及び電卓用の表示板の素材となった。負の誘電異方性を有し、初期の DS-LCD (Dynamic scattering-liquid crystal display) に使われた。

実用化には越えなければならない壁がいくつもあった。室温で作動する液晶の量産、ディスプレイへの液晶の封入法の改良、長寿命化 (試作品は かるうじて写真が撮れるほどの寿命しか なかったらしい) など、内情はマスコミ発表から想像するほど前途洋々ではなかった。RCA の幹部は どちらかという液晶ディスプレイには懐疑的で、大手企業が余裕の範囲で“遊び”プロジェクトをいくつか走らせる例にたがわず、資金援助は限定的だった (注 3)。その上、プロジェクトの進め方が少し甘いと思われたのだろう、威圧的なマネージャー Norman Freedman が送り込まれた。Freedman は最初のカラーテレビの生産ラインを立ち上げた実績を有しただけに力量のあるマネージャーだったが、頑固なやり方が災いし、人間的な対立が目に見えていった。しまいには、RCA に於ける液晶ディスプレイ開発の将来に見切りをつけ、新興他社に移る者も出てきた。また、Dynamic scattering法の限界も見え始めており、弱気になった仲間は RCA 社内の別のプロジェクトに移った; 1970 年にはメンバーはほぼ半減し、8 人に減っていた。リーダー役だった Heilmeier も Freedman や幹部のや

り方に不満を募らせ、ついに RCA 社を去り、政府の役人として White House 入りしてしまった。

逆風が吹荒れたのには訳があった。RCA の育ての親である David Sarnoff (1891-1971) のあとを継いだ息子 Robert W. Sarnoff が、IBM に対抗すべく、コンピュータ事業に集中投資することにしたのだ (1969)。全研究員の半数近くがコンピュータ関連の開発にまわされた。しかし、2 年後 (1971) には、あっけなくコンピュータ事業を売却せざるを得ない状況に追い込まれてしまった。この失敗が RCA 社 (1919~1986) にとっては致命傷の 1 つになった。

液晶ディスプレイの開発は継続されることになり、1972 年に Dynamic scattering mode で作動する液晶の生産ライン建設計画を発表したが、“時すでに遅し” だった。Dynamic scattering 方式よりも格段に優れた Twisted nematic field 方式が Kent State University の James Fergason (特許出願は 1971.4.22) 及び Hoffmann-La Roche 社の Wolfgang Helfrich & Martin Schadt (1970.11, 特許出願は 1970.12.4) によって開発されていたのだ。

悔やんでも悔やみきれない出来事：新しい液晶ディスプレイ方式を思いついた上記 Helfrich さんは、実は RCA の研究員として Heilmeyer グループで仕事をしていた時期がある (1966 入社, 1970 退職)。そんな時に画期的なアイデア (上記 Twisted nematic field 方式) を思いつき、上司である Heilmeyer さんに進言したが、「偏光板を使うと光量ロスが大きいからダメだ」と却下されてしまった。納得できない Helfrich さんは、自分のアイデアを実現するためにロシュ (Roche) 社に移り、そこで Schadt さんらと協力して、アイデアを形にしたのだ。RCA の経営判断ミスのお陰で Roche は莫大な特許収入を得ることになった。世の中には、こんな“濡れ手に粟”もあるのだ。

実用化された“ねじれネマティック液晶ディスプレイ”(TN-LCD)とは? : 関根さんの「液晶の作動原理」に関する説明は、この Twisted nematic liquid crystal (ねじれネマティック液晶) から始まった。復習してみよう。液晶研究者の間では 経験的に 次のようなことが知られていた：ガラス表面を紙で一定方向にこすった後に、その上に ネマティック液晶 (長軸方向に長い有機化合物) をたらすと、液晶分子がこすった方向に並ぶことが知られていた (図 2)。このような硝子板を 2 枚重ね、間に液晶を挟んだ状態で、1 枚の硝子板を 90 度回転させると、硝子

板に接した液晶分子はもとの向きのままだが、ガラス板から離れるにしたがって少しずつ回転しラセン構造をとる (図 3)。この状態の液晶に偏光を当てると、偏光は分子の配向に沿って進みラセン状に曲げられるので、90 度回転した偏光となって出てくる。この原理を使えば、図 4 に示すように、2 枚の液晶支持板を挟むように、90 度位相がずれた 2 枚の偏光フィルターを置くことにより、偏光の透過を制御できる。すなわち、電圧をかけない状態 (図 4A) では、偏光は液晶分子に沿って曲げられ、90 度ずれた下の偏光フィルターをすり抜けるが、電圧をかけると (図 4B)、液晶分子が電場方向に並びラセン構造が壊れるために、偏光の回転は起きず、下の偏光フィルターで遮断される。こうして偏光の透過性を、碁盤の目のように区切った液晶パネルの小さな区画ごとに制御すれば、ディスプレイが出来上がることになる。これが今私たちが目にする液晶ディスプレイ (TN-LCD, Twisted nematic liquid crystal display) の原理だ。

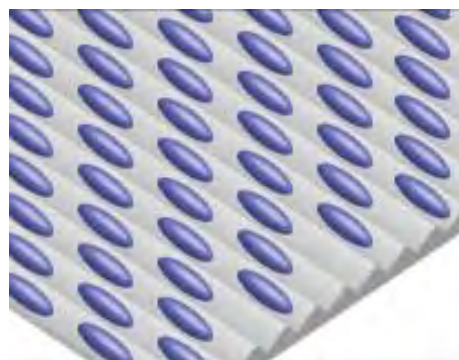


図 2. 一定方向の擦り傷(細溝; 溝を刻んだ配向膜)に沿って並んだ Nematic(細長い)液晶分子。

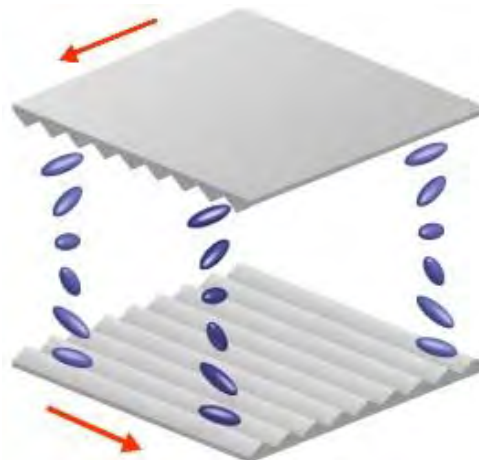


図 3. 支持板の 1 枚を 90° 回転させ液晶分子(紫色)の配向にねじれを生じさせた Twisted nematic liquid crystal (ねじれ液晶)。

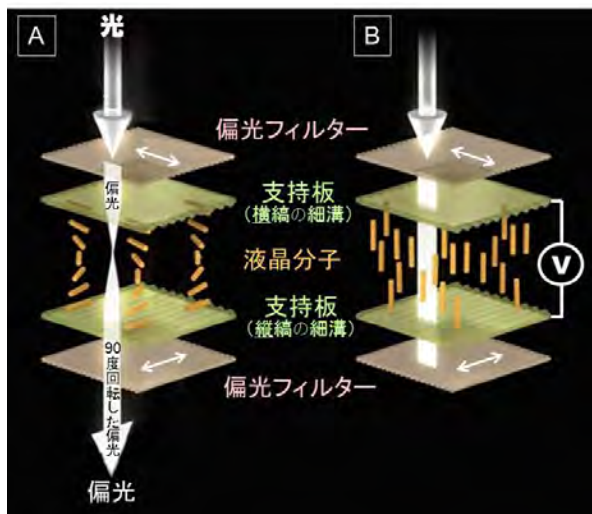


図 4. TN-LCD の原理(modified from an illustration by Emily Cooper in the article “How RCA lost LCD” by Benjamin Gross; <http://spectrum.ieee.org/consumer-electronics/audiovideo/how-rca-lost-the-lcd>). 液晶としては、正の誘電異方性を有する Syanobiphenyl 系分子(図 5)が用いられる。

シャープが世界を驚かすことができたのは何故か：1968年にRCAが発表した試作品(DS-LCD)に心を奪われた研究者たちがいた(注4)。その一人がシャープ中央研究所の和田富夫だ。和田さんは壁掛け型テレビの実現を目指し、いばらの道を歩んできただけに、これだと思ったそう。直感的に、ブラウン管(CRT)に取って代わるディスプレイになると確信した和田さんは、上層部を説得して、液晶プロジェクトを立ち上げた。直近の目標としては、テレビなどという大それたことは考えず、当時シャープの主力製品だった電卓の文字盤を目指すことにした。シャープはブラウン管式カラーテレビの製造販売に関し、RCAからライセンスを供与してもらっていた関係で、両社間には密接な交流があった。RCA社での液晶研究の状況などを聞くにつけ、液晶に寄せる思いは揺るぎないものになっていった。まず、RCAに電卓用液晶ディスプレイの開発を委託する道を打診したが簡単に断られてしまった。「時計用であればOKだが、電卓は高速応答が必要であり、応答の遅い液晶では今のところ対応が難しい」というのだ。

「なるほど」と納得してしまうのが普通だが、和田さんは諦めなかった。自分たちだけで開発することにしたのだ。とはいっても、前途多難は覚悟しなければならなかった。RCAが、常温で働く液晶材料の正体(図1のようなSchiff bases)を極秘

にしていたからだ。ところが思わぬところで、この極秘情報が和田さんの目に触れることになった。RCAがNHK取材班に液晶開発現場の撮影を許可した時に、棚の試薬ビン等はすべて薬品名が見えないように後ろ向きにするという念の入れようだったが、黒板の構造式を消し忘れたのだ。これを、一瞬だが、NHKのカメラがとらえていた。その番組(世界の企業『現代錬金術』、1969年1月放送)を見ていた和田さんは見逃さなかった。しかも和田さんの専門は“化学”だ。労せずして最も知りたかった液晶分子の正体をつかむことができた。このようにRCAの技術レベルに追い付くのに時間はかからなかったが、問題はそこからだった。

純度を上げれば液晶は安定になるに違いないという勘違い：試作した液晶ディスプレイに電圧をかけると、設計どおりに稼働し、数字を表示してくれるのだが、期待したほど持続しないのだ。寿命が短くては製品化できない。不純物のせいだろうと考えて、純度を上げるべく涙ぐましい努力をしたが一向に改善しなかった。そんなある日(1971年11月)、新人の船田文明が液晶分子を入れた試薬ビンの蓋を閉め忘れて帰宅した。翌日、純品を台無しにしてしまったと後悔しながらも、少し汚れたからといって、高価な液晶をそのまま捨ててしまうのは勿体ないと思い、気になっていた“遊びの実験”に使ってみることにした。これが世紀のブレイクスルーとなり、液晶ディスプレイの高速かつ長寿命化が実現した。この「創造的失敗」は、NHKの番組「プロジェクトX 挑戦者たち」でも紹介されているので、詳しくは2001年4月17日に放映された『液晶 執念の対決—瀬戸際のリーダー・大勝負』を参照されたい(観た人も多に違いない)。

一旦有名になると“美味しい話”が転がり込んでくる：1974年6月に、電卓用の液晶ディスプレイ(方式はDS-LCD)の実用化に成功したことを国際学会で発表すると、会場から称賛の声が上がり、多くの人から祝福されたそう。一躍世界のシャープになったわけで、こうなると最新情報にアクセスしやすくなるのみならず、協力者も得やすくなる。和田さんたちは、液晶テレビにはDynamic scattering方式のDS-LCDよりはTwisted nematic field方式のTN-LCDが適していると考え、その実用化を次の目標にしていたが、これに関し貴重な情報とサンプルが得られたのだ。学会場で、正の誘電異方性を持つCyanobiphenyl系化合物の合成

で有名な George William Gray (英国, University of Hull) と話すことができ、「私たちの作った化合物は TN-LCD に適しているはずなので試して欲しい」と言われ、同じ会場にいた英国の化学会社 BDH の研究者からサンプルを供与された。持ち帰って調べてみると、それら Cyanobiphenyl 系化合物は安定性・作動温度範囲・誘電率の物理的性質などにおいて極めて優れていることがわかり、TN-LCD の開発が加速した。ここでもシャープが一番乗りをすることになる。

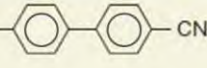
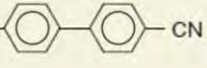
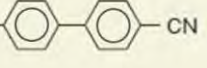
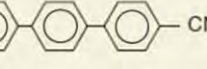
Cyanobiphenyl 系液晶分子の構造	Nematic 液晶相 (°C)	組成比 (%)
<chem>C5H11</chem> -  -CN	22 → 35	51
<chem>C7H15</chem> -  -CN	28 → 42	25
<chem>C8H17O</chem> -  -CN	54 → 80	16
<chem>C9H11</chem> -  -CN	130 → 239	8

図 5. 正の誘電異方性分子(ポジ型液晶材料)4 種類とそれらの液晶温度及び最適液晶材料を得るための混合比。現在は、日本で開発されたフッ素系液晶分子が主として用いられている。

RCA に払っているブラウン管の特許料がそんなに高いのなら、一刻も早く代替えディスプレイを開発しなくてはならないだろう！：こんな檄(げき)が飛んだ。1967 年、英国でのことだ。英国科学技術相 John Stonehouse が英国空軍研究所を訪問した際に、案内役の所長が何気なく「英国が RCA に支払っている CRT の特許料は、フランスと共同開発した超音速旅客機コンコルドの開発費より高くついている」と言ったのを受けて、大臣が「早急に CRT に代わるディスプレイを開発して欲しい」と迫ったのだ。専門委員会で検討した結果、Hull 大学の有機化学者 George William Gray (1926~2013) に白羽の矢が立った。恐らく、液晶のことなど何も分からずに、空軍研究所に開発を強要したに違いないが、結果的に Gray さんら有機化学者とコンピュータ・シミュレーションの専門家 (Peter Raynes) が共同で、後にドル箱となる正の誘電異方性液晶 (Cyanobiphenyl 系, 図 5) を生み出し(注 5)、英国に莫大な特許収入をもたらした。この功績で、Gray さんと Raynes さんはエリザベス女王賞 (Queen's

Award for Technological Achievement, 2 度: 1979, 1992) を贈られている; Gray さんは、さらに 京都賞 (1995) も貰っている。Gray/Raynes さんらが合成した TN モード用のポジ型液晶材料の有用性を、実際に TN-LCD (Twisted nematic liquid crystal display, ねじれネマティック液晶ディスプレイ) を作ることにより、いち早く実証したシャープは英国からも感謝されているに違いない。

日本のチッソ(株)も貢献： その後、動画等の高画質表示に適した液晶分子の探索が進められ、現在では 上記シアノ系化合物に代わってフッ素系化合物が用いられている。このフッ素系液晶材料を世界で最初に開発し、実用化したのがチッソだ。フッ素系化合物の製造は複雑で立体異性体の選択的合成が不可欠であるが、チッソは この難問をクロスカップリング法を採用することにより いち早く解決することに成功した (日本化学会 化学技術賞, 1997)。クロスカップリング法といえば、有機合成化学分野における画期的な手法として、2010 年にノーベル化学賞 (根岸英一, 鈴木章, リチャード・ヘック) が授与されたから、記憶に新しい人も多かろう。ノーベル賞に 3 人までという制約がなければ、本学の辻二郎 名誉教授も受賞者に含まれたはずだ。

関根さんが研究した強誘電性液晶は 残念ながら 陽の目を見なかった

応答が鈍い TN-LCD の弱点をいかに克服するか：数字を表示する電卓の文字盤 (セグメント表示) から動画対応のテレビ画面 (ドット・マトリクス表示) へと液晶の応用範囲を広げようとする、その応答速度を格段に高め、画質・視野角・分解能 (画素数) などを改善する必要があった。この壁を乗り越えようと試みられたのが、① アクティブマトリクス駆動方式と ② 新しい強誘電性液晶 (Ferroelectric liquid crystal) を用いる方法だった。後者は材料に機能を持たせる試みで、化学会社には魅力的だった。こうして、関根さんは強誘電性液晶開発チームで研究をすることになった。多くの化学系企業が強誘電性液晶分野の研究に参入したのは訳があった。(1) 強誘電性液晶の自発分極を利用すると速い応答とメモリー効果が期待できるので、トランジスターを使わなくても材料そのものにメモリー能を付与することが可能であること、さらに (2) 競合技術であるアクティブマトリクス方式では、画素の 1 つ 1 つにアクティブ素子 (トランジスター) を付けて On-Off を制御す

る必要があるが、そんなことは画素数の多さからいって歩留まりが悪く、コスト面から普及は難しいと考えられていたからだ。しかも大画面化すればするほど網目の交点(ドット・マトリックス, 画素)が増え、そこに(液晶の配向を制御する)トランジスターを欠陥なく配置するのは至難の業だろうとみなされていた。

しかし、関根さんたちの期待と努力にもかかわらず、強誘電性液晶を用いたディスプレイは市販されることはなかった。薄膜トランジスター (TFT, thin-film transistor) 技術が予想以上に急速に進歩したことが背景にあるが、もう一つ、強誘電性液晶には本質的な問題もあった。実際に扱ってみると、柔らかめの粘土を想像するといいいのだが、その特徴である層構造を壊さないで、2枚の基板間の狭い隙間に強誘電性液晶物質を封入するのは容易ではないのだ。関根さんには失礼だが、すじのいい材料ではなかったのかも知れない。アクティブマトリックス派の圧勝に終わったのだ。今や薄膜トランジスタ (TFT) を画素スイッチング素子としたアクティブマトリックス型の液晶ディスプレイ (TFT-LCD) が市場を席巻している。

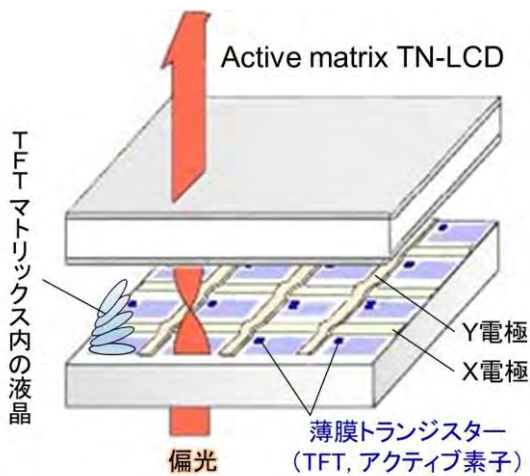


図 6. Thin-film transistor liquid crystal display (TFT-LCD) or active matrix LCD. The active matrix technology was invented by Bernard J. Lechner (1932~2014) and his coworkers at RCA in 1968 and published in 1969.

トランジスターには勝てない：非常に難しいといわれていた薄膜トランジスターTFT技術は、製造装置のボタンを押しさえすれば誰でも作れる技術となり、日本で実用化され、磨きがかけられた TFT-LCD 技術がそのまま韓国や中国へ渡った。

液晶の歴史は次のように要約されるそうだ：欧州発見→米国発明→日本開発市場参入→韓台湾市場拡大。これまで見てきたように、液晶技術を用いた製品のほとんどは日本で実用化され世に送り出された。日本は液晶ディスプレイ産業の育成・巨大市場化に貢献したが、その果実を享受したのは主として韓国・台湾・中国の企業だった。

プラズマディスプレイも撤退を余儀なくされた：関根さんたちの隣では、プラズマディスプレイ (PDP, Plasma display panel: 蛍光灯と同じように放電による発光を利用したディスプレイ) の開発も進められていた。画像の綺麗さでは液晶を圧倒しており、大画面向きであったことから、一時は次世代ディスプレイの最有力候補とも考えられた。PDP 開発チームのメンバーは「液晶なんて応答が遅いし、画像きたないし、ダメだよ！」と言いながら意気揚々とプラズマ方式の実現を目指していたが、今は別の仕事をしているそうだ。日本の大手電機メーカーは PDP 搭載製品を市場に投入したが最終的には撤退した。敗因としては次のようなことが考えられる：(1) 消費電力が大きく、これをつけていたら冬は暖房がいらないと言われるほど熱を発生した。いくら大画面で表示が綺麗といっても、省エネの流れには逆らえない。関根さんは、「省エネからはみ出るものは技術として生き残れない」と言っていた。(2) PDP はリブ(隔壁)構造が基本ゆえ、原理的に細かなものが作れない。ICT 機器のモバイル化、ウェアラブル化の流れには、小さな画面で細かい画素のディスプレイでないと対応できない。プラズマでは原理的にこの流れに乗るのが難しかったのだ。街から消えたネオンサインが PDP として蘇ることはなかった。

3. 高分子有機 EL の開発に参入

特定の有機化合物に電圧をかけると光ることが知られている(注6)。発光層に、この種の有機化合物を配置した発光ダイオードが有機 EL (Organic electro-luminescence) だ(注7)。有機 EL ディスプレイは、液晶ディスプレイ (LCD) に代わる次世代のディスプレイとして注目されている。有機 EL ディスプレイの特徴は、LCD がバックライトを光源とする透過型ディスプレイであるのに対し、自発光型であることから高コントラスト・高画質・広視野角であり、かつ応答速度が速いことだ。必要な部材が少ないという強みもある。バックライトを必要としないことから薄型化が可能で、現在は、携帯電話やスマートフォンなどの小型ディスプレ

イを中心に実用化が進んでいる。今後、低消費電力の大型ディスプレイを低コストで製造できるようになれば、有機 EL がディスプレイの主力となっていくと考えられている。

関根さんたちの住友化学では、1981年から通産省の国家プロジェクト(注8)に参加し、導電性高分子の開発に関わってきた。この経験を生かし、有機 EL の抱える課題を克服するべく同分野に参入することにした。主として、共役系高分子を用いた発光材料の開発を手がけてきており、すでに TV 向け材料として実用段階に入っているとのことだった。高分子を選択したのは、インクジェット技術を用いて印刷方式で大画面を作れば、低分子の蒸着方式よりも有利だろうと考えたからだそうだ。それに、高分子ならば一本のポリマー分子の中に、(1) 電子を運ぶ部分、(2) 正孔を運ぶ部分、及び(3) 電子と正孔がドッキングした際のエネルギーで励起されて光る部分を組み込んだ高度な機能性材料を作ることが可能だ。印刷ムラの克服や長寿命化に苦労したが、それも目処が付き、今や試作機の段階にあるので、2年後までには市場に出るだろうということだった。楽しみに待とう。

歴史的には、これも今は姿を消している Kodak (元世界最大手のフィルムメーカー) で有機 EL のブレイクスルーとなる発見がなされた(注6-2)というのは、RCA と液晶の関係を知った後だけに印象深かった (RCA では液晶のみならず、液晶 TV に必要なアクティブマトリクス技術の開発も同時平行で進んでいたが、会社は破綻してしまった)。これらは、もう少し続けていればドル箱になったのにと悔やまれるケースだが、逆に、一旦走り始めたプロジェクトが財政基盤を揺るがし始めても、それまでに費やした時間や資金を惜しんで打ち切れないことを「コンコルドの誤り」という。巨額の損失を招いたかつての超音速旅客機の開発にちなんだ言葉だ。経営コンサルタントは、「適応的撤退」や「創造的撤退」といって言葉遊びを楽しむこともできるが、決断を下すべき当事者にとっては、研究の止め時やテーマ替えのタイミングは、本当に難しい。

4. 現在は 筑波開発研究所のマネージメントで 多忙な毎日

関根さんは、有機 EL 事業化室 主席部員を経て 2013 年 4 月から筑波開発研究所の主幹として、多忙な毎日を送っている。有機エレクトロニクス産

業の発展に寄与する高分子半導体材料の開発を目指しつつ、将来技術の動向にも目が離せない。いつ呼び出しや緊急の会議が入るか分からない状態で、今回の蔵前ゼミも“ドタキャン”になりはしないかと直前までハラハラしていたそうだ。他大学の講師を引き受けるときは、夜間か土曜開講のものに限っているそうだ。

技術者には、一般的に 技術を見せびらかすような製品を作りたがる習癖がある。往々にして環境や消費者マインドへの配慮を欠きがちだ。この盲点は意識しておいて欲しいということだった。液晶分子を動かすには、ねじりを加えたり、電場をかけたりすればよかったが、複雑な習癖を持つ技術者集団を束ね、理想的な開発チームを作り上げるにはどうすればいいのだろうか。これが、関根さん、そして私たちに課された究極の課題だ。

本印象記では、読みやすさを優先する余り、関根さんの次のような論理的展開からずれる結果になった：① 化学企業の役割、② フラットパネル開発における化学企業の役割—液晶ディスプレイから有機 EL まで、③ ディスプレイ向け高分子有機 EL 発光材料の開発—長寿命化への挑戦、④ これからのディスプレイ、材料開発は？ 最後の話題 4「これからのディスプレイ、材料開発は？」は、化学系企業に就職を考えている学生へのアカデミックなお土産になったに違いない。これからは、折りたたみ型、壁紙型、ローラブル、フレキシブル、ウェアラブルなディスプレイが次々と市場に出て来るらしい。スマートウェアを着ると心拍数はもとより心電図まで教えてくれるそうだ。これらの先にあるものを目指そうという気になった学生がいたとすれば、関根さんも嬉しいに違いない。

5. 肝心なのは材料の評価

もう一つアカデミックなお土産があった。材料開発にはその評価技術が決定的に重要だということだ。液晶や有機 EL など、化学物質が中心となる機器の開発で、一番難しいのは化学物質の評価だそうだ。以前の化学会社ならば、よさそうな化合物をいくつか合成し、それらの物性(注9)を記したデータシートを添付して機器メーカーに供給すればよかった。あとは機器メーカー側が苦労しながら、ときには供給もとの化学会社に改良を依頼し、最終的に製品として仕上げていた。しかし、これでは一刻を争う開発競争に勝てない。機器メーカー側も使えることが保障されていない化学素材を買

ってくれなくなった。

こうなると化学会社といえども、(1) 液晶ディスプレイの画素 1 つに相当するテスト・セルを作り、自前で応答速度などのパネル特性を調べ、不十分ならば別の誘導体を合成し最適なものをいち早く見つけなければならない。(2) インクジェット装置を買って、インクの代わりに発光材料を装填し、ディスプレイ パネルがうまく印刷できるかどうか試してみなければならない。さらには、(3) 発光効率や寿命なども調べ、不具合があれば改良するなど、パネルで求められる特性が出せることを確認してから、機器メーカーに売り込むことになる。マテリアル事業からマテリアル ソリューション事業へと脱皮を迫られているのだ。材料の世界も評価の仕組み（化学材料評価技術）とスピードが勝負の行方を決めているようだ。

6. 結びに代えて：これも“すじ”が悪かった？

1987 年に、巨額の赤字を抱えた日本国有鉄道（国鉄; JNR, Japan National Railway）が分割民営化された。東京圏の路線は東日本旅客鉄道株式会社（JR 東日本）がカバーすることになり、看板の書き換えが必要になった。それまでの愛称「国電」に代わる名称を公募することになり、6 万近い応募作の中から絞り込まれ、最終的に「E 電」に決まった。さっそく駅構内の案内標識が、多額の費用をかけて、架け替えられた。しかし、E 電は一般市民には受け入れられず、いつの間にか姿を消し、今は JR となっている。確かに、選考委員が説明したように、東日本（East）の頭文字をとった E 電は“いい電”（Good）の響きがあるとしても、「E 電 山手線」ではなんとなく落ち着かない。「JR 山手線」ならば、すっきりだ。E 電も すじ がよくなかったのだろう。

ディスプレイの大きさはインチで表示される。メートル法の採用を決めた国際条約違反で、とんでもない話なのだが、改善の兆しは見られない。こんな すじ の悪い話がいつまでも続くとは思えないのだが、流れを変えるには きっかけがある。日本発の画期的な新型ディスプレイを開発して、画面サイズを cm ないしは mm で表示し、売り出すしかなさそうだ。

(注 1) <http://www.jst.go.jp/diversity/rolemodel/pdf/rj090.pdf>

(注 2) 創造的ハイブリッド・ケミストリー（Web page

からの引用）：住友化学は、長年にわたる広範な研究活動を通じて培った技術を昇華させ、触媒設計、精密加工、有機・高分子材料機能設計、無機材料機能設計、デバイス設計、生体メカニズム解析という“6つのコア技術”（下図）を育ててまいりました。住友化学が研究開発において基本戦略としている「創造的ハイブリッド・ケミストリー」は、これら 6 つのコア技術の深化や基盤技術の充実、さらには社内外の異分野技術との融合によって、より付加価値の高い製品・技術を創出することを意味しています。また、素材・材料の開発にとどまらず、ダウンストリーム事業や異業種への展開も視野に入れた「マテリアル・ソリューション・ビジネス」へのつながりを重視しており、研究開発の成果を高い効率とスピードをもって高付加価値事業に結びつけるため、国内外の大学や異業種企業との連携にも積極的に取り組んでいます。



(注 3) RCA は当時、既にカラーのブラウン管（CRT）を開発・実用化していた。同社の CRT 事業は世界一であり、収入は莫大だった。「わざわざ液晶事業に乗り出して、大成功している自社の CRT 事業の首を絞めることはない」という経営判断があったともいわれている。

(注 4) 山崎淑夫もその一人：山崎さんはセイコーの化学技術者で、液晶時計を初めて本格的な製品として完成させ、世に送り出した（1973 年 10 月）。

(注 5) 国家プロジェクトでは、投資に見合う成果が得られたためしがないとまで言われるが、このような例外もある。G.W. Gray, K.J. Harrison, J.A. Nash. 'New family of nematic liquid crystals for displays', *Electronics Letters* 9, 130–131, 1973. Gray さんが一時期（1990～1996）顧問を務めた Merk 社は、1973 年に BDH 社を傘下に収め、それ以来、液晶の主要メーカーとなっている。世界

シェアではトップのメルク(ドイツ)が約60%で、次いでチッソ(日本)が約30%と推定されている。日本も意外と頑張っているのだ。

(注6) ① 1959年にアントラセン単結晶で有機EL発光が観察されたのが実用化研究の始まりとされている: In early 1950s, luminance in organic materials was discovered in France. ② 1987年にコダック社の Ching W. Tang と Steven Van Slyke によって、超薄膜にすることで小さなバイアス電圧で発光する低分子の有機ELデバイスが作られたのが最初で、有機ELディスプレイの歴史はここから始まった: Tang, C. W. & Vanslyke, S. A., "Organic electroluminescent diodes". *Applied Physics Letters* 51 (12): 913, 1987. ③ 高分子を用いた有機ELディスプレイは、1990年にケンブリッジ大学で原型が作られた: Burroughes, J. H. *et al.*, "Light-emitting diodes based on conjugated polymers". *Nature* 347 (6293): 539-541, 1990.

(注7) 照明用としてLEDが家庭にも普及したので、有機半導体材料を用いたLED (Organic light-emitting diode, OLED) といった方が、有機ELと言うよりは、親しみやすいかもしれない。

(注8) 次世代産業基盤技術研究開発制度: 1981年度に始まった産・学・官が連携して進める国家プロジェクトで、研究開発費総額: 1,201億円, 22プロジェクト(1プロジェクトあたり平均51億円)という大型プロジェクトだった。といっても、新国立競技場の建設費には及ばない。主な構成メンバー: 産(住友化学など5社) 官(産総研) 学(2000年にノーベル化学賞を受賞した本学出身の白川英樹ほか)。

(注9) 液晶温度, 屈折率, 粘度, 誘電率, 溶解性, 表面張力, HOMO/LUMO 薄膜物性など。

(東京工業大学 博物館 資史料館部門 特命教授 広瀬茂久)