

科学と技術の同型化：液晶科学の事例分析*

沼 上 幹

I 科学と技術

科学 (science) と技術 (technology) はまったく異なる活動領域である。科学者 (scientist) は論文や議論を通じて言語化された情報をインプットし、言語化された情報をアウトプットとして生み出す。これに対して技術者 (engineer) は、同様に言語化された情報をインプットするが、主としてモノに体现された情報 (製品や工程) を生み出す。技術者が論文を生み出すとしても副産物としてである。しかも同じ言語化された情報をインプットとしても、科学者が文献を主な情報源とするのに対し、技術者は他の技術者や顧客や供給業者との対面的な接触から多くの情報を得ている。科学者の多くが大学や研究機関などに勤務しているのに対し、技術者の多くは企業組織の中で働いている。彼らの動機づけも異なる。科学者が研究テーマ設定の自律性や学会への貢献を重視するのに対し、技術者は昇進や会社の業績に対する貢献を重視する傾向がある。科学者と技術者は異なる社会的世界に住んでいるのである (Allen, 1977; Bailyn, 1980)。

科学と技術が異なる社会的世界を形成しているため、科学の生み出した知見がそのまますぐに技術の世界へ移転されてイノベーションを生むことは稀である。科学的知見の生み出された時点からイノベーションが生じるまでの間には通常20年以上のタイムラグが存在すると言われる (Sherwin & Isenson, 1967)。科学は科学独自の、しかもその研究領域に固有のパラダイムに基づいて問題設定を行っており、科学固有の問題解決のフロンティア

をもっている。技術もまた技術固有の進歩の基準をもち、その基準に基づいて累積的に進化していくのである(Allen, 1977; Kuhn, 1962, Dosi, 1982)。

しかし、科学と技術が緊密に協働し、科学的知見が技術の世界へと迅速に流れるような領域も存在する。固体素子の研究開発や近年の高温超伝導物質の研究開発などでは、科学と技術の社会的距離が短く、科学と技術の間で頻繁に情報のやり取りが行なわれているように思われる。このような特徴をもつ科学をAllen(1988)は技術プル型の科学(“technology-pull” science)と呼んでいる¹⁾。技術者の提起した問題が科学者の関心を惹きつけている領域だからである。本稿は技術プル型科学の典型として液晶ディスプレイ(Liquid Crystal Display: LCD)の事例をとりあげ、科学と技術という異質な社会的世界が緊密な協働を開始するのは如何にしてであり、緊密な協働を行なうことで科学と技術が如何に変容するのかを考察する。

II 液晶の科学

(1) 液晶の発見：レーマンのイナクトメント

1888年、オーストリアの植物学者ライニッツァー(F. Reinitzer)は植物におけるコレステロールの機能を研究するべくコレステロール・エステルを調べている途中で、普通なら1つの物質には1つしかないはずの融点を2つ観察した。この物質は、摂氏145.5度で一旦融解して白濁した液体になり、摂氏178.5度まで加熱すると完全に澄明な液体になった。ライニッツァーはこの物質をアーヘンの物理学者レーマン(O. Lehmann)に送り、分析を依頼した²⁾。

「2つの融点」の間でこの物質が示す相は、液体のように流動的でありながら、結晶のように分子配列に規則性がある、という直感的には矛盾する状態である。ライニッツァーからレーマンに宛てられた手紙を皮切りに国籍と専門の異なる2人の間で書面による相互作用が始まり、翌1889年にレーマンはこの液体でも固体でもない物質の相に“flüssige Krystalle”(流動的な結晶)という名称を与えた³⁾。

液晶は当初から物理学や化学、生物学などの多様な学問領域の研究者を惹きつける学際的な研究領域であった。しかし液晶そのものに科学者を惹きつける固有の魅力が備わっていたとしても、それだけでは液晶の科学的研究が1888年から始まることを説明できない。液晶物質そのものの発見は1854年に生理医学者のフィルヒョー（R. Virchow）がミエリン形（myelin form）を記述した時点まで遡ることができ、1875年にはメッテンハイマー（C. C. F. von Mettenheimer）がミエリン形の複屈折性を記述している⁴⁾。液晶の科学的研究が1854年あるいは1875年からではなく1888年に始まるのは、レーマンが、物理学者や化学者、生物学者など多様な分野の研究者の科学的好奇心を喚起するような形で液晶という物質の相を定義し、液晶の面白さを国境と専門分野を越えて活発に宣伝したからである。

レーマンはまず大胆な仮説を提示して多くの研究者を惹きつけた。彼は1889年に液晶相の本質は分子が平行に並んでいることにあると記述したが、その時点ではコレステロールの分子構造はまだ解明されていなかった⁵⁾。しかもレーマンは歴史上初めて液体と結晶という相異なる意味をひとつの言葉に結合した。レーマン自身も「流動的な結晶」（floating crystals）の他にも「結晶性の液体」（crystalline liquid）や「液晶」（liquid crystal）などさまざまなタイプの液晶に多様な呼び名を試行錯誤しながら付与している⁶⁾。レーマンは啓蒙活動にも打ち込んだ。国外の化学者や物理学者に液晶の魅力を伝えるとともに、「固体発生は系統発生を繰り返す」という生物発生原則で有名なドイツの医学・生物学者のヘッケル（E. Haeckel）にも影響を及ぼしたといわれている⁷⁾。

(2) 独自の研究プログラムをもつ物理と化学

1889年から1950年代後半までの科学者たちは、互いに緊密に協働して何らかの発明を生みだそうとしていたのではない。物理学と有機化学、生物学などは、それぞれ独自の研究プログラムに従って研究を行っていた。またこの時代には科学者と技術者が液晶に関して協働する仕組みも存在しなかつ

た。

たとえば、後に LCD を事業化する際に必要になる室温で液晶相を示す化学的安定性の高い物質は、液晶を研究する物理学者にとっても、実験や観察の手順を簡略化し、研究を促進するために重要だったはずである。しかし室温でネマティック液晶相を示す物質は 1969 年まで、化学的安定性の高い室温液晶は 1972 年まで合成されなかった。有機化学者たちの関心は、「もっぱら液晶転移温度の高い熱安定性に優れた液晶化合物をいかに合成するか⁸⁾」ということにあり、1970 年までに行なわれた研究の約 80 パーセントは摂氏 116 度から 134 度までネマティック液晶相を示す PAA (*p*-azoxyanisole) と呼ばれる物質を使用していた⁹⁾。有機合成の研究プログラムには、室温液晶の合成が含まれていなかったのである。後に RCA のハイルマイヤーが世界に先駆けて発明した LCD も、100 度以上に加熱する必要があり、パネルに直接手で触れると火傷をする可能性があった¹⁰⁾。

液晶の科学は累積的に進歩していたけれども、その進歩は科学の世界が独自に設定した評価基準（物質の第 4 の相の解明に対する貢献度）に照らしてみた場合の進歩であって、科学者の積み上げた知見がそのまま技術的な発明をもたらしたのではない。1930 年代半ばまでに行なわれた研究の中には、後に LCD 技術の確立に非常に重要な役割を果たすことになるものが数多く存在する。LCD の発明に必要なアイデアのいくつかは、1910 年代のフランスのモーガン (C. Mauguin) や 1930 年代のソ連のフレデリクス (V. Fréedericksz) にまで起源を遡ることができる。表示情報量の大きな LCD を設計する上で重要になる液晶の連続体理論と弾性定数 (elastic constants) という概念も、既に 1920 年代に創始されている¹¹⁾。しかしながら、これらの科学的研究は、LCD の発明に向かって進められたものではなく、逆に、LCD が発明された後でその重要性を再認識されたのである。

この時代の液晶科学とかわり合いをもった薬品メーカーも、科学から新しいアイデアを得て何らかの新しい事業を創造しようとしたのではなく、科学者たちを直接顧客としていた。たとえば、ドイツの E. メルク社は、近年の

広報資料で「これらの特徴をもった物質（液晶物質、引用者注）の販売と宣伝を既に1904年には行なっていたメルク社でさえも、優れた品質の珍しい化学物質を利用できるようにして、科学の研究作業を活発化しようという目的で宣伝と販売を行なっていたのである¹²⁾」と記述している。

(3) 液晶科学の停滞と復活

液晶の科学的研究は1930年代まで活発に進められたが、1940年から1950年代の末までは第2次世界大戦の影響によって停滞を続けた。液晶に関する科学的研究が再び活発になるのは1950年代の後半からである。

まず第1にヨーロッパが復興し、液晶に関する国際会議も再開されるようになった¹³⁾。第2に、英語圏で積極的な研究活動と教育が展開され始めた。液晶に関する最初の英文の研究書を英国ハル大学の化学者グレイ (G. Gray) が1962年に出版した。この業績が発表されるまでは、液晶の科学的研究の多くはドイツ語もしくはフランス語で書かれていた。そのため、グレイの書物が出版されるまでは「米国内のほとんどの大学で有機化学を学んでいた者たちは液晶が存在することすら教えられていなかった¹⁴⁾」のである。

第3に、RCA (Radio Corporation of America) のデヴィッド・サーノフ研究所 (David Sarnoff Research Center) やウェスティングハウス (Westinghouse) 社、ゼロックス (Xerox) 社など、米国企業の研究所でも液晶に関する基礎研究が開始された¹⁵⁾。1965年にオハイオ州のケント州立大学で開かれた国際液晶会議には、グレイなどの大学の研究者の他に、RCAなどの企業の研究者も参加している。それまで純粹に科学的好奇心に駆られて研究していたグレイは、RCAの研究者たちが熱心に質問をする様子を見て、液晶が単なる科学の世界の物質でなくなるのはさほど遠い未来のことではない、と感じたという¹⁶⁾。

しかし、液晶に関する科学的研究が再び活発化したとはいうものの、今日の状況と比較すればまだ無視しうるほどの小さなサークルの中でのことである。液晶の研究が急激に増大するにはRCAのハイルマイヤー (G. Heil-

meier) を中心とするプロジェクト・チームが、それまで社外秘だった LCD を新聞発表する 1968 年まで待たなければならない¹⁷⁾。

III 液晶の科学と LCD 技術の相互作用

(1) LCD の発明：ハイルマイアーのイナクトメント

1954 年にカラーテレビを市場導入した後、RCA のデヴィッド・サーノフ研究所（以下サーノフ研）は、ポスト・カラーテレビの研究テーマを探索していた。デヴィッド・サーノフ自身のオリジナル・コンセプトである「壁掛けテレビ」(TV-on-the-wall) は、新しい研究テーマとして魅力的なもののひとつであった。そのため、サーノフ研では発光ダイオードやフラット・タイプの CRT など多様な平面ディスプレイの研究が行なわれていた¹⁸⁾。

当時のサーノフ研は、メンバーの構成と大学との関係のあり方、研究の進め方などの点で「科学の世界」に近づいていた。まず同研究所に勤務する科学者の割合が増大していた。RCA は、カラーテレビという複雑で高度な技術システムを開発する過程で大量の科学者を雇用するようになっていた。1945 年に 30 パーセントを占めるに過ぎなかった物理学者や化学者、数学者などの科学者が、55 年には 50 パーセントにまで増加していた。しかも当時進歩の著しかった固体素子の領域で最先端の研究開発を進め、政府との契約研究を獲得するためにも理論志向の強い科学者が多数必要であった。RCA は若く優秀な科学者・技術者を採用するために、プリンストン大学などの科学・技術系の大学院生に奨学金を提供し、サーノフ研で研究プロジェクトに参加する機会を与えていた。RCA は優秀な科学者・技術者を確保するべく研究環境を整え、自由な研究のできる研究所をつくっていった¹⁹⁾。当時のサーノフ研は開発プロジェクトですら、応用研究よりも基礎研究に近く、個々の研究者にはあらゆる種類の研究に取り組む自由度があった²⁰⁾。

LCD の発明者、ハイルマイアーもプリンストン大学の大学院生時代に RCA から奨学金を与えられ、サーノフ研のプロジェクトに参加していた 1 人であった。サーノフ研の研究者との相互作用を通じて有機半導体に興味を

もったハイルマイアーは、本来の専門であった固体素子の領域を離れ、有機半導体の領域で博士号を取得し、そのままサーノフ研にとどまった。その後、彼はレーザーの変調器を探索する過程でゲスト-ホスト (guest-host) 効果を発見した。彼は、摂氏 100 度ほどに加熱された 2~3 センチ四方のガラス板が電圧の印加によって赤から透明に変るという現象を観察したのである。ハイルマイアーはこの現象を観察した時の気持ちを後に、「壁いっばいの大きさをもつ平面カラーテレビがすぐにもできそうだった。後はわれわれに頼みさえすればよかったのだ²¹⁾」と記述している。ポスト・カラーテレビの研究テーマを探索していたサーノフ研では、2~3 センチ四方の 1 画素が壁掛けテレビへの有力な技術アプローチとして定義されたのである。1964 年の秋のことであった。

彼はさらに研究を進める過程で動的散乱 (Dynamic Scattering: 以下 DS) 効果を発見した。これらの研究成果を重視した研究所の管理者たちは、液晶を使った壁掛けテレビの開発を目的とする 10 名から 20 名ほどの学際的なプロジェクトチームを 1965 年の夏にスタートさせた。このプロジェクト・チームは 1968 年 6 月の新聞発表までの間に、DS モード LCD を使った英数字ディスプレイや LCD 電気クロックなど多数の試作品を開発した²²⁾。

RCA 自体は LCD を本格的に事業化しようとはしなかったが、同社による LCD の新聞発表は世界中に大きなインパクトを与えた。米国内の企業や大学の他にも、ヨーロッパや日本の企業と大学などの研究機関が活発に研究開発活動を開始した。旧東独ハレ大学の化学物理学者デムス (D. Demus) が個人的に数えた数字によれば、1960 年代前半までは液晶の研究論文は年間 20 本程度であったが、70 年以後急速に増え始め、88 年の時点では年間約 2000 本の論文が発表されているという²³⁾。

レーマンが、物理学者と化学者、生物学者など多様な分野の科学者を魅了するようなやり方で液晶という現象を定義したのと同様に、ハイルマイアーは科学者と技術者を共に魅了するような世界を創造したのであった。科学者と技術者が液晶と LCD にどのような関心を抱いているのかを、東京農工大

の小林駿介は次のように記述している。「科学的研究の動機の一つは、われわれの自然認識の限界 (frontier) の拡大にあると筆者はかねてから思っている。その意味で、以上見てきたように液晶の場合は超高圧とか極低温あるいは超高エネルギーなどの極端条件を用いずに、例えば生命が存在できるような普通の条件下で新しい相——物質の存在形態——を知ることができるので面白いのである。…… (中略) ……液晶は極めて微弱な外力に反応してその性質を変える。そのことが省エネルギーにつながっているので応用を考える人たちに興味をそそるのである²⁴⁾。」

(2) 科学と技術の共同研究の開始

ハイルマイアーの発表以後、各国の企業の技術者と大学や研究機関に在籍する科学者との共同研究が多数開始された。このような共同研究によって非常に重要な技術的課題が解決されていった。

LCDを商業化する上で当時最も深刻な問題は化学的・光学的に安定した室温液晶が存在しなかったことであった。室温で液晶相を示さなければヒーターで加熱しなければならない。液晶物質が化学的・光学的に不安定であれば、製造工程での取り扱いが難しくなり、信頼性の高いLCDを生産するのが難しくなる。どちらにせよ、製品のコストが高まり、大規模な市場を創造することが困難になる。

安定的な室温液晶の開発という問題を最初に解決したのは、応用を志向する研究機関や企業から問題をもちこまれた大学の科学者たちであった。たとえば英国ではレーダーの小型化の研究を行っていたRSRE (Royal Signals and Rader Establishment) がハル (Hull) 大学のグレイと1970年から共同研究を開始した。ハル大学は「液晶状態を室温で示す物質」をテーマに年間最大2177ポンドを受け取るという2年間の契約を結んだ。グレイはこの資金で2人のアシスタントを使い、長年の基礎研究の成果を活用して活発な研究を開始した。この研究の結果、1972年にシアノビフェニール (cyanobiphenyl) と呼ばれる初の化学的・光学的に安定した室温液晶が合成

された²⁵⁾。

旧東独でもテレビ・エレクトロニクス製造公団（VEB Werk für Fernseh-elektronik）とハレ（Halle）大学の間でも共同研究が始まり、室温でネマティック液晶相を示す化学的・光学的に安定な物質の合成を始めることになった。ハレ大学は1973年に所謂デムス・エステル系と呼ばれる一群の安定的な室温液晶の合成に成功した²⁶⁾。

液晶の物理学的研究も活発化した。フライブルグのフラウンホファー応用固体物理研究所（Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik）では、液晶の弾性定数の精密な測定法と測定装置の開発が進められていった。弾性定数を使った液晶の連続体理論は1920年代に創始されているが、フラウンホファー応用固体物理研究所が測定装置を創り出すまでは、弾性定数は主として理論的概念であって精密な経験的測定が可能な操作概念ではなかった²⁷⁾。

大学や研究機関の科学者たちの創出した知見によって企業の技術者たちが直面していた問題が解決され、LCDの量産が可能になり、産業が成長していった。信頼性の高いLCDが量産可能になったのは、シアノビフェニールが市場に導入されてからであり、その後の表示情報量の多いLCDを開発する過程ではデムス・エステル系の液晶材料や弾性定数の測定装置が重要な役割を果たすことになった²⁸⁾。技術の世界から持ち込まれた問題が科学の世界の関心を集め、科学者が創り出した知見が技術者の世界へ直接的に移転されたのである。

(3) 科学と技術の同型化

日本や米国やヨーロッパでLCD産業が成長し始めると、これらの大学には特許収入もしくは企業から共同研究資金が流入するようになった。これらの大学は多数の研究スタッフを雇用するようになり、企業と継続的な共同研究を行なう仕組みも形成されていった。ハレ大学もハル学も、1970年代半ば以降、研究スタッフの規模を増大させていった。1960年代には有機合成グル

ープと物理化学グループの両方合せて数人だったハレ大学の研究メンバーは、現在では30数名の規模に成長した²⁹⁾。英国のハル大学の液晶研究者数も契約研究開始当初は3人だったが、現在では研究者と研究補助者を合せて17名になっている³⁰⁾。

研究スタッフの数が増えただけではない。産業界との共同研究を継続的に行なうための仕組みも新たに構築された。ハレ大学にはそれまでの有機合成と物理化学のグループに加えて、テレビ・エレクトロニクス公団が完全に費用負担する応用研究グループ(約10名)が新たに設立された³¹⁾。ハル大学とRSREとの共同研究にも、まずシアノビフェニールの量産を行なうためにBDH化学(British Drug House Chemicals)社が1973年に加わり、その後、新しい液晶材料をユーザー(ディスプレイ・メーカー)の立場から評価するためにGEC(The General Electric Company)などが参加して大規模なコンソーシアムが形成された³²⁾。

企業の技術者と大学や研究機関の科学者との相互作用を確保するような仕組みが創られたことで、大学に籍を置く科学者たちの動機づけと行動様式の変化が生じている。まず第1に、それまで純粋に科学的な興味に基づいて液晶の研究を行っていた研究者たちがディスプレイへの応用そのものにも関心を抱くようになった。単に科学者たちはLCD技術者たちが直面していた問題に科学的な興味をもっただけではないのである。液晶フェーズの分類を科学的な好奇心に基づいて行っていたデムスも、1969年にテレビ・エレクトロニクス公団との共同研究を開始した後には、壁掛けテレビを夢見るようになった。「私たちは何時も平面テレビの夢をもっていました。もちろん、その頃(1972年から73年)は時々冗談のように言っていたのですが、それでも平面テレビが可能になることを願っていました³³⁾」とデムスは述べている。

第2に、これらの大学では経済的な成果も考慮されるようになった。ハル大学のグレイは、1970年代半ば以後は研究スタッフを維持するために共同研究資金の獲得に迫られるようになり、積極的に特許を申請するようにもなった。ハル大学はシアノビフェニールの特許申請には参加しなかったが、1970

年代半ば以後はほぼ毎年のように特許を出願している³⁴⁾。ハレ大学の研究グループも当初は、経済的報酬を期待して研究を行っていたわけではないが、後に日本のチッソなどから特許使用料の一部が発明者に還元されると特許取得に積極的になっていった。同大学は現在までに液晶材料を中心に約160件の特許を保有している³⁵⁾。

もっぱら自らの知的好奇心にのみ支配されていた科学者の研究活動が、応用研究への関心や経済的インセンティブなどによっても左右されるようになったのである。科学者と技術者は徐々に同質化し、科学が部分的に技術に取り込まれ、技術をその内部から発展させる原動力になったのである。

IV 考察

科学と技術は通常は異なる社会的世界を形成している。液晶の科学も、その始まりから約70年間は何の応用も考慮せずに独自に進歩していた。科学の世界がもつ自由な研究者間の緩やかなネットワークは、物質の第4の相を物理学や化学、生物学などの多様な独立した視点から広範に解明していくという目的には適合しているとしても、何らかの発明を生み出し、事業化しようという内生的な動因をもっていたわけではない。

LCDが発明され、技術プル型の科学が生まれるためには、これらの多様な視点をもつ科学者と技術者が共に興味をもつことのできる新しい現象の定義が必要だった。1960年代のサーノフ研は、優秀な技術者ばかりでなく理論志向の強い科学者も多数雇用し、彼らにテーマ設定の自由度を与えていた。科学者と技術者が自由にテーマを設定し、自由に相互作用する場が創られていた。このような研究所を創り上げることで、RCAは科学の最先端の知識を企業内にとりこんだばかりでなく、自由な科学者の緩やかなネットワークがもつダイナミクスを企業の中でシミュレートすることができるようになり、多数の科学的な発見を産出していったのである。

サーノフ研は、科学の世界を企業の中でシミュレートしていただけではない。当時のサーノフ研にはデヴィッド・サーノフ自身のコンセプトが注入さ

れていた。2枚のガラス板に挟まれた液晶が電圧の印加によって光を変調するという現象だけであれば、既に1930年代にソ連のフレデリクスが観察している。ハイルマイアーが行なったのは、「電圧の印加による液晶の光変調」という現象とサーノフの「壁掛けテレビ」（あるいは平面ディスプレイ）というコンセプトの連結であった。この連結によって科学者と技術者が共に関心をよせることのできる現象が生み出されたのである。

ハイルマイアーが液晶と壁掛けテレビを結びつけることで、化学と物理学とエレクトロニクス技術という3つの知識領域に新しい相互依存関係が提起された。それは同時に、これらの知識を担っている化学者と物理学者とエレクトロニクス技術者という異なる社会的世界の間新しい相互依存関係が暫定的に定義されたことでもある。しかし、ハイルマイアーによるLCDの発明は、新しい連結パターンの提起であって確立ではない。技術プル型の科学が安定的な研究領域として成立したり、新しい知見が次々に市場に導入されてひとつの産業を創造していくには、新しい連結パターンを安定化する組織場（organizational field: DiMaggio & Powell, 1983）の構築活動が必要であった。RCA自体はLCDの本格的な事業化を行なわなかったが、世界各国で企業と大学や研究機関との協働を促進する組織場が構築されていった。

科学と技術の安定的な相互作用を可能にする組織場の構築は、過去の科学的知見のレトロスペクティブな組み替えと科学者たちの動機づけの変容をもたらした。新しい組織場を構築する活動は、その組織場に参加する社会集団が過去に蓄積していた知識を組み替える活動でもある。レーマンが液晶を定義することでフィルヒョーやメッテンハイマーの業績が再発見されたように、LCDの発明によって室温液晶の合成や弾性定数の精密な測定手法の開発などが注目され、これらを達成するために必要な過去の研究成果が再認識されてLCDの技術へと注入された。液晶の科学はLCDを生み出すという目的を追求していたわけではない。だが、技術者の生み出す情報が製品に体化され、企業固有の情報として公表されない傾向が強いのに対して、科学者のアウトプットは主として論文のような言語化された情報である。しかも、科学

は妥当性や信頼性などを重視し、追試 (replication) の可能な文書情報を雑誌に公表し、蓄積していく。科学が技術とは異質なこれらの規範をもつが故に、技術プル型科学の成立後にレトロスペクティブな知識の組み替えが容易になり、時間と空間を超えた科学と技術の協働が可能になるのである。

一旦科学と技術の協働が始まり、両者を安定的に結びつける組織場が構築されると、今度は逆にその組織場が固有のダイナミクスをもつようになる。組織場に参加する社会集団は当初はそれぞれ異なる目標を追求し、異なるインセンティブに反応していた。しかし組織場の成立以後、液晶の科学者は壁掛けテレビというコンセプトを技術者たちと共有するようになり、経済的なインセンティブにも反応するようになった。液晶科学が技術プル型の科学として成立することによって、技術と科学が同型化していったのである。この同型化 (isomorphism) によって技術プル型の科学から技術への知識移転がさらに容易になり、科学と技術の間の緊密な協働が可能になるのである。

科学と技術の同型化がもたらす帰結については注意が必要である。固体素子や高温超伝導物質、LCD などの経済的成果の華々しさ故に、科学と技術の緊密な相互作用は経済発展の原動力のように思われるかもしれない。たしかに技術プル型の科学は技術が直面する多数の問題を解決し、新しい産業の成長に寄与している。しかしながら、少なくとも液晶の科学に関しては、科学が技術と協働を開始するまでに 70 年以上の年月を費やし、しかもその 70 年間に蓄積された科学的知見が技術の発達にとって重要な役割を果たしていることに注意する必要がある。少なくとも液晶に関しては科学と技術が LCD の発明前までは同型化していなかったが故にその後の協働が生産的になった可能性が高い。科学それ自体の価値を無視して、経済的な評価基準のみから科学を評価したとしても、両者の緊密な協働が常に望ましいと判断できるものではない。どのようなタイミングで、どの程度の期間にわたって緊密な相互作用を行なうかは、科学者集団の管理を担当する人間にとっても、科学技術政策の立案者にとっても戦略的に重要な意思決定なのである。

* 本稿は二十一世紀文化学術財団 (木川田記念財団) からのサポートを受け

て進められている研究の一部である。同財団からのご支援にこの場をかりて感謝したい。

- 1) Allen (1979) は、これを“Gap-filling science”と呼んでいた。
- 2) Kelker (1988) 及び Kelker (1973) を参照せよ。
- 3) 小林 (1985)。
- 4) Kelker (1973), p. 3.
- 5) Demus (1988), p. 46.
- 6) Kelker (1973), p. 9.
- 7) *Ibid.*, p. 13.
- 8) 松本・角田 (1983), p. 69.
- 9) Bahadur (1983), p. 348.
- 10) J. A. van Raalte (1989年12月4日) インタビュー記録。
- 11) Kelker (1973) や Gray (1978) を参照せよ。
- 12) Welters & Pohl, p. 1.
- 13) Bahadur, *op. cit.*, p. 347 及び Kelker (1973), pp. 44-45.
- 14) Castellano (1988), p. 390.
- 15) Bahadur, *op. cit.*, p. 347 及び小林前掲同論文。
- 16) G. W. Gray (1990年4月5日) インタビュー記録。
- 17) Heilmeier (1976), p. 784.
- 18) J. A. van Raalte (1989年12月4日) インタビュー記録及び J. A. Castellano (1989年11月29日) インタビュー記録。
- 19) 当時のサーノフ研と RCA については Graham (1986), pp. 30-75 を参照せよ。
- 20) J. A. Castellano (1989年11月29日) インタビュー記録。
- 21) Heilmeier, *op. cit.*, p. 781.
- 22) *Ibid.*, pp. 781-784.
- 23) D. Demus (1990年3月31日) インタビュー記録。
- 24) 小林 (1982), p. 252.
- 25) シアノピフェニール合成の経緯は Hilsum (1984) を参照せよ。
- 26) D. Demus (1990年3月31日) インタビュー記録。
- 27) R. Kiefer (1990年4月3日) インタビュー記録。
- 28) 馬渡惇・斎藤孝平 (1990年8月28日) インタビュー記録及び川上英昭・鳥山和久 (1988年11月4日) インタビュー記録, 中村武司 (1987年9月30日) インタビュー記録。

- 29) D. Demus (1990年3月31日) インタビュー記録.
- 30) G. W. Gray (1990年4月5日) インタビュー記録.
- 31) D. Demus (1990年3月31日) インタビュー記録.
- 32) G. W. Gray (1990年4月5日) インタビュー記録及び Gray (1985), p. 2, Hilsum, *op. cit.*, p. 48.
- 33) D. Demus (1990年3月31日) インタビュー記録.
- 34) G. W. Gray (1990年4月5日) インタビュー記録及びインタビュー時にいただいた Gray の業績出版リスト.
- 35) D. Demus (1990年3月31日) インタビュー記録及び日経産業新聞 (1979年2月22日), p. 5.

参考文献

Allen, Thomas J.

Managing the Flow of Technology : Technology Transfer and the Dissemination of Technological Information within the R & D Organization. Cambridge, Mass : The M. I. T. Press, 1977.

“Distinguishing Engineers from Scientists,” in Katz, R. (ed.) *Managing Professionals in Innovative Organizations*. Cambridge, Mass. : Ballinger, 1988, pp. 3-18.

Bahadur, Birendra.

“A Brief Review of History, Present Status, Developments and Market Overview of Liquid Crystal Displays,” *Molecular Crystals and Liquid Crystals* , Vol. 99, 1983, pp. 345-374.

Bailyn, Lotte.

Living with Technology : Issues at Mid-Career. Cambridge, Mass. : The M. I. T. Press, 1980.

Berger, Peter L., and Thomas Lookmann.

The Social Construction of Reality : A Treatise in the Sociology of Knowledge. New York : Charles E. Tuttle, 1966 (山口節郎訳『日常世界の構成：アイデンティティと社会の弁証法』新曜社, 1977).

Brannigan, Augustine.

The Social Basis of Scientific Discoveries. Cambridge: Cambridge University Press, 1981 (村上陽一郎・大谷隆昶訳『科学的発見の現象学』

紀伊国屋書店, 1984).

Burns, Tom, and G. M. Stalker.

The Management of Innovation. London : Tavistock Publications, 1961.
Castellano, J. A.

"Liquid Crystal Display Applications : The First Hunderd Years,"
Molecular Crystals and Liquid Crystals. Vol. 165, 1988. pp. 389-403.

Demus, D.

"100 Years Liquid Crystals Chemistry," *Molecular Crystals and Liquid Crystals*. Vol. 165, 1988, pp. 45-84.

DiMaggio, Paul J., and Walter W. Powell.

"The Iron Cage Revisited : Institutional Isomorphism and Collective Rationality in Organizational Fields," *American Sociological Review*, Vol. 48, April 1983, pp. 147-160.

Dosi, Giovanni.

"Technolgical Paradigms and Technological Trajectories : A Suggest- ed Interpretation of the Determinants and Directions of Technical Change," *Research Policy*, No. 11, 1982, pp. 147-162.

Graham, Margaret B. W.

RCA and the Videodisc : The Business of Research. Cambridge : Cam- bridge University Press, 1986.

Gray, G.

Advances in Liquid Crystal Materials for Applications. Poole : BDH Chemicals Ltd, 1978.

"Liquid Crystals : An Area for Research and Industrial Collaboration among Chemists, Physicists and Engineers (The Clifford Paterson Lecture, 1985)," *Proc. R. Soc. Lond.* A 402, 1985, pp. 1-36.

Haas, Werner E.

"Liquid Crystal Display Research : The First Fifteen Years," *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, Vol. 94, pp. 1-31.

Heilmeier, George H.

"Liquid Crystal Displays : An Experiment in Interdisciplinary Research that Worked," *IEEE Transactions on Electron Devices*. Vol. ED-23, No. 7, 1976, pp. 780-785.

Hilsum, C.

“The Anatomy of a Discovery : Biphenyl Liquid Crystals,” in Howells E. R. (ed.) *Technology of Chemicals and Materials for Electronics*. Ellis Horwood Publishers Limited, 1984.

Kelker, H.

“History of Liquid Crystals,” *Molecular Crystals and Liquid Crystals*. Vol. 21, 1973, pp. 1-48.

“Survey of the Early History of Liquid Crystals,” *Molecular Crystals and Liquid Crystals*. Vol 165, 1988, pp. 1-43.

小林駿介

「1981 液晶に関するゴードン研究会議に出席して」『学術月報』, 7月号, 1982, pp. 249-254.

「液晶研究事始め：科学と技術の流れの中で」『SUT Bulletin』, 9月号, 1985.

Kuhn, Thomas S.

The Structure of Scientific Revolutions. Chicago : University of Chicago Press, 1962 (中山茂訳『科学革命の構造』みすず書房, 1971).

松本正一・角田市良

『液晶の最新技術：物性・マテリアル・応用』工業調査会, 1983.

沼上幹

「過去と未来のマネジメント：新事業の開発プロセス」『ビジネス・レビュー』第34巻第2号, 1986, pp. 63-79.

「組織の経営構想力：焦点化装置の社会的構成」一橋大学大学院商学研究科・博士後期課程単位修得論文, 1988.

岡野光治・小林駿介共編

『液晶：基礎編』培風館, 1985.

『液晶：応用編』培風館, 1985.

Rosenberg, Nathan.

Inside the Black Box : Technology and Economics. Cambridge : Cambridge University Press, 1982.

———, and L. E. Birdzell, Jr.

How the West Grew Rich: The Economic Transformation of the Industrial World. New York: Basic Books, 1986.

Sherwin, Chalmers W., and Raymond S. Isenson.

"Project Hindsight: A Defence Department Study of the Utility of Research," in Katz, R. (ed.) *Managing Professionals in Innovative Organizations*. Cambridge, Mass.: Ballinger, 1988, pp. 87-98.

Weick, Karl E.

The Social Psychology of Organizing. New York: Random House, 1979.

Welters, Reiner, and Ludwig Pohl.

On the Way to the Flat Screen: Developments in the Field of Liquid Crystals. Darmstadt: E. Merck Public Relations Department, published year unknown.

(一橋大学専任講師)