

クレスト研究を終えて

研究課題：「液晶性有機半導体材料の開発」（平成 18 年度－平成 23 年度）

東京工業大学像情報工学研究所 教授 半那 純一

3 度目となる CREST のヒアリング（研究領域：ナノ科学を基盤とした革新的製造技術の創成）を終えてしばらく経ったある日、出張から帰ると、JST から連絡をほしいとのメモが残されていた。ヒアリングのことなどすっかり忘れていた。電話をしたところ、「どちらかと言うと、良い知らせです。」と切り出され、CREST の採択が決まったとの嬉しい知らせを知った。この 10 年、毎年、申請書を書き続けて、ようやく、ようやく研究を評価していただけたとの嬉しさがこみ上げた。

最初に呼ばれたヒアリングでは、ある審査員から「あなたは何を研究したいですか？ 材料ですか？、物性ですか？、デバイスですか？」という、質問を受けた。「全部です。」との答は理解されなかつたようだ。また、別の審査員からは、「あなたは論文が少ないですね。」と言う指摘も受けた。全く新しい研究が何故、論文の数で評価されるのかとも言えず、閉口した。

2 度目のヒアリングでは、特にこれというシリアルな質疑も無いまま、不採択という連絡を受け取った。後日送られてきたヒアリングの結果には、議論すらなかった事項に関して、審査員の個人的な偏見とも思われる否定的なコメントが綴られていた。以前、CREST の事務局の担当者の方から伺った話を思い出した。「例え、提案がどんな良い研究内容であったとしても、結局、満遍なく審査員の評点を取れなければ採択されるのは難しい。」実際のところ、今回の提案も申請するかどうか迷っていた。これまでの経緯から、結局、研究成果が広く認められている研究、あるいは、10 年経っても夢としてしか語ることができない研究でなければ採択はされないとと思っていたからである。

提案した「液晶性有機半導体材料の開発」は、今からおよそ 20 年前に始めた研究である。当時、有機半導体と言えば、複写機の感光ドラムや研究が活発化し始めた有機 EL 素子に用いられるアモルファス材料に限られていた。この研究を始めたのは、これらのデバイスの枠を超えて、広く有機半導体材料を電子デバイスに応用するためには、従来のアモルファス材料の特性をはるかに凌ぐ、新しい材料を作り出すことが不可欠であると考えたからである。理学部の化学から工学分野へ転進し、材料の研究を始めたこともこの研究と無縁でない。新しい研究を通じて、今生きている人たちのために役立つものを実現したいと言う思いは、研究を始めた当時も今も変わらない。その実現には、「機能性物質」から「機能材料」へと踏み込んだ研究が不可欠であると考えている。なぜなら、物質はすべて機能性物質と考えることができるからである。例えば、電気を通さない絶縁体であっても誘電体として利用できる。しかし、機能性物質であれば、すべて「材

料」として利用できるかと言うと、そうは行かない。なぜなら、材料には利用される「目的」があり、そこでの要求を満たさない物質は材料として用いることができないからである。つまり、応用に要求されるすべての特性を満たし、「機能性物質」が「機能材料」へ昇華されない限りは実用的に用いることはできない。研究が真に新しければ、応用を目指す研究と言えども、基礎研究なくしては夢のまた夢である。また、実用を目指すためには、材料、基礎物性の評価、デバイスの試作のフィードバックが不可欠である。

今回、申請書を提出することを決めた理由は、本研究領域の総括が堀池靖浩先生であったからであった。先生は企業での研究経験をお持ちだと聞いたことがあり、申請書に記載した研究の意図を理解して頂けるのではないかと期待したからである。ヒアリングでは、研究の実施内容に掲げた冒頭の「材料」、「基礎物性」、「デバイス」を問題とされることはない無かった。そして採択された。

本CRESTのプロジェクトでは思うように研究をさせていただいた。そればかりか、追加の研究資金を頂くこともできた。研究は計画書に記載の通り、最初の3年間は基礎研究に力を注いだ。その積み重ねが重要と考えたからだ。途中経過を見守るアドバイザーの先生方には、これで5年後の成果に結びつくのかとご心配を頂いたのではないかと思う。本プロジェクトの研究目標の一つは、液晶物質の有機半導体としての材料設計の指針を確立すること、そして、その成果をデバイスの試作を通じて実証することであった。3年越しで積み重ねてきた個々の研究成果は、自ずと一つの形となり、材料設計の基本的な一つの考え方として実を結んだ。実際、この指針に基づいて設計した液晶物質は従来の液晶物質の電荷輸送特性を凌ぎ、有機非結晶材料における、現在、最も高いバルク移動度、 $0.5\text{cm}^2/\text{Vs}$ を示すものとなった。更に、基礎物性に関する研究では、液晶をはじめとする分子配向をもつ凝集系における電荷輸送特性のモデル化を実現し、個々の分子の個性まで評価を可能にした。デバイスの試作では、液晶性の特質を活かした新しいプロセスを提案し、真空蒸着法によって作製される多結晶薄膜と同等の均一性と平坦性を併せ持つ高品質な薄膜を湿式プロセスによって実現できた。また、高次の液晶相の特質を利用して、多結晶薄膜の熱安定性を実現する方法を見出し、有機トランジスタの熱安定性を実用に十分なレベルまで改善することに成功した。FET移動度は $5\text{cm}^2/\text{Vs}$ を越える。作製したFETは 180°C 、5分の熱ストレスに耐え、 $1\text{cm}^2/\text{Vs}$ を超える移動度を保つ。現在、本プロジェクトにより開発した有機トランジスタ用の新材料は実用化に向けて企業との共同研究が開始されている。

本研究を遂行できた背景には、CRESTの研究資金によって有機合成を専門とする研究員を雇用できたことが大きい。申請者が所属する物理・電気系専攻では、学生を指導して物質の合成を主たるテーマに研究を行うことは困難であったからである。また、それによって、本来、必要とされる異なるバックグラウンドを持つ研究者を同一組織に集め、同じ目的意識のもとで研究グループを組織することができたことが大きい。

本プロジェクトの成果を通して見えてくる近未来の現実は、液晶性有機半導体の将来の大きな発展である。それは、研究を通じて、「液晶物質が理想系としての有機単結晶物質の特性を実用レベルで実現するための材料である」ことが実証されているからである。液晶性有機半導体は、現在、進行中の有機材料の印刷技術を利用したパターニング技術と積層技術の進展を基盤として、20年を待たず、現在、実用化が始まったばかりの酸化物半導体を駆逐し、プラスチック基板上への低コストな液晶や有機ELディスプレーの実現へと導くであろう。かつて、アモルファスSeを用いて実用化された複写機の感光ドラムが有機半導体材料で置き換えられた歴史的事実が示すように。

本プロジェクトは前述の具体的な成果に加えて、新しい研究の地平線を気づかせてくれた。それは、機能性有機半導体というコンセプトである。これは、分子である有機物でなければ実現できない新規な材料となるであろう。有機物半導体が無機半導体の質の悪い代替としてではなく、代替できない唯一の材料として、認知される日もそう遠いことではないかも知れない。液晶物質が外場応答性と自己配向に基づく光学異方性を活用したディスプレー材料として、他の追随を許さないように。

終わりに、本研究課題を採択いただき、その推進に多大なご支援を頂いたい研究総括 堀池靖浩先生、領域アドバイザーの先生方、そして、プロジェクトの円滑な推進に力添えを頂いた戦略研究推進部 池田紳一主任調査員の皆様に心からお礼を申し上げたい。