

**戦略的イノベーション創出推進プログラム（S-イノベ）**  
**研究開発テーマ「フォトニクスポリマーによる先進情報通信技術の開発」**  
**テーマ事後評価報告書**

総合評価                    A

**総合所見**

「フォトニクスポリマーによる先進情報通信技術の開発」と題する本研究開発テーマは、21世紀社会の構築に欠かせない情報通信技術の高度化に関連したテーマ設定であり時宜を得たものである。将来の情報通信に必要な技術の中から、フォトニクスポリマー材料の光科学・光物理・光化学を学術の礎として、10年後に実用技術や産業技術として開花させるための革新技術を育てることに狙いが定められている。すなわち、本研究開発テーマが展開できる技術として『革新的フォトニック通信技術』（“超高速大容量フォトニック通信から高度のセキュリティを保証する量子通信にわたる諸技術”）が掲げられているが、基本的にはフォトニクスポリマー材料を中心に据えた広義の情報通信用材料・デバイスの革新的産業技術創出のための研究開発テーマである。10年間という長期間のテーマの推進により、ラボレベルでとどまってしまう独創的研究の中から、将来の実用技術や産業技術として開花させるための革新技術を生み出すという大目標が掲げられた。目標達成のため、アカデミア（大学）の中で行われている独創的な研究の中から有望な研究課題が採択され、最終的にエンドユーザーのニーズに適う技術開発に焦点が絞られて本テーマは推進された。学をベースに生まれる新しい技術が、産業レベルでの成果物として達成される見込みがあり、国内での期待度は非常に高いものとなった。また、本テーマの結果は、海外への発信力を有するインパクトのあるものとなることが当然に予想できた。そして、日本のポリマー技術のレベルと知見の蓄積は世界のトップレベルであることから、当研究開発テーマで採択された研究者が創意工夫を重ねて採択課題を推進することで、フォトニクスポリマー分野で世界の追従を許さないレベルの成果物が生まれることはもちろんのこと、プログラムオフィサー（PO）のマネジメントのもとで、市場で期待される産業に結びつく革新技術として具体化されることが期待されるものであった。一方、情報通信業界の直近10年間は、GAF Aの台頭に代表されるように、比類なき大きな変革期でもあった。すなわち、情報通信技術はハードウェアドリブンからサービスドリブンへと変わり、それを支えることのできるハードウェアとシステムだけが生き残る世界に突入した。結果として、シーズ志向の材料研究だけでは極めて厳しい状況に置かれる時代に変容してきている。10年前にこの急速な変化を予測することは誰もできないことであったが、本テーマで採択された研究課題

の一部は、こうした時代変化にも順応し、S-Iノベに相応しい成果物を出すことができている。こうしたS-Iノベの目標の達成には、サイトビジットを特徴としたPOの研究グループに対する産業化に向けた適切なマネジメントが大きく貢献したと判断される。以上が、最終評価におけるPO評価の概要である。

具体的にPO評価の視点からテーマ事後評価の中身を整理すると以下のようなになる。本研究開発テーマの目標設定と選考方針は妥当であり、材料・プロセス開発から、デバイス技術までを包含するバランスのよい研究課題を採択したと評価できる。本テーマで取り上げられた中心材料であるフォトニクスポリマーは、機能の多様さ、性能の高さ、加工性の良さやコスト競争力の面から工業的な利用価値が極めて高いものであり、「フォトニクスポリマーによる先進情報通信技術の開発」という10年前のテーマ設定は大変時宜を得たものであったと評価できる。一方、採択された研究課題の一つ一つは、当然に挑戦的かつ新規な技術開発要求が高いものばかりであった。言い換えると、その内容は10年間のテーマとして採択するに相応しいものであった。具体的には、フोटリフラクティブポリマー、ナノ配向制御、大容量光メモリ、ナノハイブリッドポリマー、量子フォトニクスの5課題が対象とされ、その重要な適用先であるディスプレイ、配向型光学素子、メモリ、光インターコネクト、量子通信用単一光子源などの各々の分野で、従来とは一線を画する新機能を有する材料やデバイスの実現が目標とされた。そのため、各課題の目標達成時には、技術的な波及効果や経済的なインパクトは極めて大きいと本テーマ発足当初より予測された。しかしながら、募集時のテーマ設定はシーズ側の立場であるため、採択された5課題はいずれもアカデミア（大学）で学術的に深堀りできる内容であった。それゆえ、これらを10年後にニーズ側に立った産業創出へと結ぶためには、採択された研究者・企業との連携・協力はもとより、本テーマのPOのマネジメントが非常に重要な役割を果たすと認識された。

結果的に、採択された5研究課題のうち4課題は、POのリーダーシップに基づくマネジメントのもと、基礎検討のステージIからステージIIを経て、真の実用化を目指すステージIIIへと順調に移行することができた。一方で、1課題は学術的に優れているもののS-Iノベの目的を達成できないと判断された。このステージIIIへの移行を認めないというPO判断は、S-Iノベの趣旨に照らし妥当なマネジメントであったと評価した。また、各課題について、特許専門家をアドバイザーとして配置し、サイトビジットを通じて特許取得やプロトタイプデバイス作製の重要性等を意識付けたこと、適切な頻度で研究会議を開催して研究者間や参加企業との交流を促したこと、さらに国際会議や展示会等を通じてS-Iノベの成果を継続的にかつ意欲的に外部発信したことなど、POのマネジメントは適切であったと評価した。なお、ステージIからII、IIIへの移行に伴って、事業化・産業化にシームレスに繋がることが期待・要求されることから、実用化の経験豊富な民間企業のアドバイザーの増員が有

効と思われた。POは本テーマ発足当初から民間企業のアドバイザーを加える努力をしていたが、中間評価時点に進んだ段階においても、その構成は、「フォトニクス材料」関連のアドバイザーに偏り過ぎではないかと危惧されるものであった。しかしながら、最終評価時点のステージⅢが進んだ段階では、中間評価の結果を受けてより改善が進んでいたと評価した。

そうした状況下で、ステージⅢの段階で、本テーマの進捗状況を好機ととらえて参画した企業が増えた点は特筆される。このことは、推進すべき技術課題を適切に選択し、本テーマ全体に対してPOが適切にマネジメントをしてきたことの結果と判断した。ただし、この10年の間に、情報通信の産業構造はGAF Aに代表されるような情報サービス志向のモデルに大きく変革した状況を見ると、POはサービス提供側からのニーズを的確に反映できるようなアドバイザーの見直しをより積極的に進め、より最新の産業構造に即した産業創出に向けたマネジメントをしてもよかったようにも考えられる。

## 1. 研究開発テーマのねらい（目標）について

本研究開発の領域として設定している情報通信技術は、第5期科学技術基本計画において未来社会像として位置付けられている「超スマート社会：Society 5.0」の基盤となる技術であり、研究開発テーマの領域設定としての的を射たものである。本テーマの技術課題例として取り上げた（1）量子フォトニクス、（2）ナノハイブリッドポリマー、（3）ナノ配向制御、（4）フォトリフレクティブポリマー、（5）大容量光メモリはいずれもこの分野に必要なものであり、かつ、日本の高度な機能性材料技術を有効に活かす点で重要性が高く、テーマの狙いとして優れている。特に、高機能有機材料の開発・応用分野は追従が難しい技術開発であり、開発した技術の優位性を安定的に維持できるため、本テーマの成果物はわが国の産業基盤技術として相応しいものである。本テーマでは、材料・プロセス開発から、デバイス技術までバランスのよい研究課題が採択され、妥当な技術課題の選択であったと判断される。採択課題は、日本で著名なフォトニクスポリマー材料の専門家を中心に、大学、研究所、民間企業の研究者からバランスよく構成されたアドバイザーによる公平な書類選考で絞り込んだ後、さらに面接で独創性、研究成果の産業化への可能性、企業の意欲などを考慮した絞り込みが行われており、的確な課題選考が行われたと判断される。POのマネジメントのもと、本テーマは10年の間に、基礎検討のステージⅠからステージⅡを経て、真の実用化を目指すステージⅢへと順調に移行した。そして、ステージⅢに移行できた研究課題においては、ユーザーとなる企業の新規参画やシステム側との共同研究などにより、課題ごとにニーズを的確に捉える体制に変更が適宜加えられ、目標に向かった取り組みがなされた。実用化を目指すステージⅢにおいては、エンドユーザーのニーズを適確につかむことが必須で

あり、実用化に長けた民間企業経験のあるアドバイザーの補充は有効であったと考えられる。

以上のような取り組みにより、本研究開発テーマの推進によって開発された優れた材料やデバイスは、将来のフォトリソグラフィ通信産業分野に受け入れられる革新技術として発展すると期待できるものとなった。以上を総合的に評価し、現時点でのPOマネジメントの総合評価はAとした。ただし、最終のテーマ事後評価委員会では、個々の課題で生まれた成果物の産業化や実用化の進展によって革新技術として根付いた場合には、改めてマネジメントについて高評価される部分や見直しが必要な部分も出てくるだろうとの意見もあった。

## 2. 研究開発テーマのマネジメントについて

POは、各研究ステージに応じた研究の進捗状況の把握や技術課題の見直しや産業化に向けたアドバイザーの補強など、適切なマネジメントをしたと判断される。S-Iノベでは、学から生まれた新しい技術を産業レベルまで到達させることが目標である。POはこの目標を達成するため、次の5つの項目をマネジメントの要とした点は評価できる。すなわち、①S-Iノベ研究メンバーの研究環境を整えるためのマネジメント ②S-Iノベ構成員の交流の増進と各課題間の共同研究の推進 ③サイトビジットの実施 ④特許専門家をアドバイザーボードに据えた特許申請の推進 ⑤デモンストレーションを含めた成果物の対外発表の推進。これらは、いずれも研究課題を円滑に推進し、かつ、高いレベルで産業化へと導くために必要な施策であったことが実証された。すなわち、POは採択された研究課題の進捗状況を単に見守るのではなく、研究者を積極的に産業化に向かわせる方向で適切にマネジメントしたと判断する。とくに、ステージIより企業との共同研究を推奨し、プロトタイプデバイスの作製に取り組みさせたマネジメントは、S-Iノベの目的に照らし高く評価できる。また、それと並行して、特許専門のアドバイザーを配置し、サイトビジットと並行して研究者に特許出願の動機付けを促進した点も評価できる。そして、参加企業の出資金が研究費総額の50%必要（中小企業の場合は1/3出資が必要）とされるステージIIIの「成果に基づく産業化」の段階において、参画する企業が増えたことは、①から⑤のマネジメントの相乗効果であったと判断される。ただし、研究課題によっては、ステージIIIへの移行時に主要な材料系メーカーが抜けてしまうという事例が発生し、材料開発やその改良には制限が加わった点は残念な点であった。なお、サイエンスに基づいた方向でのアドバイスによる研究開発の誘導や研究継続の停止（1課題について）などのマネジメントは、産業化の視点に重きを置いたPOとしての適切なマネジメントであったと判断する。また、研究開発計画の見直し、課題間連携についてサイトビジット等現場実態に照らして適宜軌道修正がなされて、本テーマが推進されていた点もPOの関わりが有効であったと評価できる。以上のように、POはサイトビジットを有効に活用し、特許戦略・研究進捗管理を図りながら、研究者との交流、

全体会議を通じての課題間研究者の情報交換、国際会議を通じての研究課題のアピールなど、S-Iノベで進展した研究を学から産業化へと導くべく積極的なマネジメントを貫いたと判断される。なお、S-Iノベの研究者の論文発表や国際会議発表などは概ね順調であったと評価する。また、ステージⅢにおいて参加企業が増加した状況から考えると、基本特許出願や権利化も順調に進んだと考えられる。

### 3. 研究開発テーマとしての産業創出の核となる技術の確立状況

#### 3. 1 全体評価

今回のテーマ事後評価段階では、目的とその到達度からみると、全体的には概ね順調であったと判断される。選定された5研究課題については、研究の進捗にあわせ特許や学術論文が出されている。また、ステージⅢに進んだ4課題（1課題は中止）は、進捗状況や産業化までの到達度や道筋に違いはあるが、研究開発課題の評価者による課題事後評価結果で、S評価が2課題、A評価が2課題であったことから、産業創出の核となるであろう、学を礎とする重要な技術確立がなされていると判断される。とくに、ステージⅢ段階での各課題の研究開発では、企業との連携がなされ、産業化を意識した開発が推進されている。そのため、ラボレベルから産業化に堪えうる技術へと技術開発が進展し、製品レベルで市場に出回る状況に近いものも具体的にいくつかある。ステージ進行とともに参画企業が増えてきたことは、こうした状況を如実に物語っている。なお、ステージⅢが終了した現段階での、初期採択の5課題の状況についての評価は下記の通りである。

#### 3. 2 個別評価

##### 「高速応答性有機フォトリフラクティブポリマーの創製と先進情報通信技術の開発」

ステージⅠにおいて、大きなフォトリフラクティブ効果を持つ新材料の開発に成功し、バイアス電場なしで3D表示が可能なことを示した点で、学術的には意義が認められた。しかし、実用化に必須となる『材料の結晶化』の問題を解決できなかったことで、この研究課題は終了となった。高速応答性フォトリフラクティブポリマーの開発は、『フォトニクスポリマーによる先進情報通信技術の開発』の重要な技術課題の一つであるが、この研究担当メンバーがPOのアドバイス等の研究活動への反映が不十分であったということなので、産業化がS-Iノベの到達点であることを考えると、『中止』の判断は妥当と考えられる。一方、この研究開発にこれまでに投入された大きな研究開発投資（約5.5億円）を考えると、本課題の研究担当者は、学術的側面からS-Iノベの予算のもとでの成果物が何であったかを確定して公開することは責務となろう。一方、POの課題推進におけるマネジメントには問題はないと判断するが、産

業創出の核となる技術創出の視点から、本課題の欠落によって生じたテーマ全体としての達成度への影響については、各方面からの評価が必要となろう。

### 「高分子ナノ配向制御による新規デバイス技術の開発」

ソフトマテリアル場での自発的ナノ構造創生による光学機能材料開発に関する多くの成果を、独創的なアイデアのもと得ている。また、それらの結果を産業に結ぶための企業との十分な連携も見られ、一部の成果の上市なども実行され、S-Iノベとしての十分な数々の成果が得られていると判断される。また、実用化の一手前にある光学部品の開発については、JXTGエネルギー(株)が寄付講座を東京工業大学において継続されるということであり、今後、産業創出の核となる技術となると期待できる。本課題推進により、非吸収型透明偏光板、波長分離フィルム、反射型画素集積フィルム、分布帰還形レーザー発振フィルム、ポリマーブラシ液晶によるセルフリー・ディスプレイ、ナノ粒子分散による高屈折率、高光散乱、高熱伝導性フィルムなど、従来の製品性能と比較して格段に優れた性能を示すものが得られており、これらは企業との連携のもとで着実に深化したと判断できる。

なお、当初の目標であった「液晶レーザーディスプレイ」から、「透明スクリーンや透明導電フィルム」に迅速にシフトした判断は正しかったと考える。透明スクリーン開発の重点化により、材料メーカーだけでなく新たに部材メーカーであるガラス製造企業も参画したことで、現実的な実用化に向けた取り組みがなされたからである。また、ステージⅢで、光散乱フィルムと導電性フィルムが実用化検討に入ったのは特筆すべき成果である。さらに薄型位相差フィルムや高熱伝導複合体など新規な材料が次々に誕生していることは高く評価できる。そして、それぞれの成果が参画企業3社の企業戦略にも適合している点も注目される。ただし、すでに既知の用途と市場があり、かつ、既存材料も存在していることから、市場参入へのシナリオが必要となろう。しかし、それは今後の課題である。

### 「テラバイト時代に向けたポリマーによる三次元ベクトル波メモリ技術の実用化研究」

3次元ベクトル波メモリという新しい技術を達成している。記録方式、新材料、システム評価の3つのコア技術すべてが歩調を合わせて設定目標を達成しつつある。ただし、現用技術の本課題の適用技術で置き換えたいと思うほどの完成度・期待度には至っていないことも事実であろう。とは言え、記録密度や安定性がエネルギーに注目する従来方式と比較すると格段に優れることから、アーカイブ記録事業等において置き換えられる可能性は大きい。つまり、次世代の大容量メモリ技術の可能性を示唆することが出来ている。いずれにしても、市場や現在使われている技術の成熟状況を考えると、今後の本事業の技術の進展は、参画する企業の注目度によるところが大きい。すなわち、本課題の推進により、記憶システムの原理試作まで完成しているが、どのタイミングで製品

化に踏み出せるかが課題となるであろう。競合優位性があるが、ターゲット市場規模が巨大であると同時に、誰でもどこからでもアクセスできる普遍性を求められる市場であり、ある種社会インフラになっていることから企業サイドも一社で踏み込むにはリスクが高い。公共性の高い特殊な記憶装置から導入することも検討の余地がありそうである。したがって、アーカイブ記録媒体としての技術的なフイージビリティを検証しつつ、信頼性向上を進める必要があるだろう。

以上をまとめると、この研究課題のS-Iノベ推進で生まれた技術は、いつでも円滑に実用化・産業化に移行できる技術レベルとしておくことが望まれる。なお、(株)日立エルジーデータストレージの参画により産業化により一層近づいているようであるが、将来技術として特許戦略などに抜けがないようにしておくことも必要であろう。また、材料の視点から、有機色素と非晶性ポリマーの組み合わせは、色素の構造劣化や凝集・結晶化だけでなく、マトリックスのエンタルピー緩和（物理エージング）の点で長期安定性に不安も残る。記録容量に注目するだけでなく、長期耐久性、耐熱性、耐環境性の検討も必要であろう。さらに、書き込み／読み出しの光学系をどのように縮小するかも産業化への課題であろう。

### 「ナノハイブリッド電気光学ポリマーを用いた光インターコネクトデバイス技術の提案」

本課題については、当初から、自動車分野の応用を志向した企業が開発リーダーとして参画していたこともあり、開発ターゲットが明確であり、企業戦略との整合が取れていたと判断される。さらにステージⅢの段階で、プラスチック光ファイバー（POF）開発で実績のある研究者が参画し、光インターコネクトの製品のイメージも一段と進んだ。産業創出の核となる革新技术開発に向け、企業参画のもとで市場を見据えて展開されたと判断される。総じて、S-Iノベに相応しい成果となっている。具体的には、ステージⅠ、Ⅱ、Ⅲを通して電気光学ポリマー開発、光導波路の実証、光インターコネクトデバイスの試作と素材開発からデバイス開発、最終部品開発へと確実に進行し、企業戦略に適合するように研究開発が推進された。特にステージⅢでは、自動車電装システム企業が参画したことで、要求仕様も明確となり高速データ伝送の実証など実現性の高い取り組みがなされた。

なお、データセンターや大型計算機などデータ通信をターゲットにした高速光インターコネクトの研究開発は、シングルモードファイバーを用いたテラビット／秒級のシステムを志向している。自動車をターゲットにした本課題も当初は同じ志向で技術開発がなされていた。ステージⅢからは自動車特有の仕様を満たすためにPOFを用いた光インターコネクトを目指した取り組みも加えることで、参画企業の戦略を反映する取り組みに的確な変更が行われた。これにより自動車関連企業での独自開発へ円滑に移行できた。なお、データセンター用素子へ展開する場合には、使用波長が異なるという技術課題があり、S-Iノベの成果を適用するための検討が必要となろう。

## 「ポリマーナノ光ファイバーによる量子フォトンクス情報通信技術の開発」

光ファイバーベースの技術を、近い将来の高セキュリティ情報通信技術として期待されている量子暗号通信に資する実用技術の中で展開するための技術開発である。実用化にはいまだ距離感があるが、産業創出の核となる技術の確立に資する成果が得られている。具体的には、単一光子発生に関わる基盤技術となるナノファイバー作製技術やナノ光ファイバーへの単一量子ドットの高精度配置技術、グレーティング加工技術など核となる基盤技術の確立が着実に行われ、ファイバーモード高繰り返し単一光子源としてトップクラスの結果が得られた。しかし、高耐久量子ドットの確立など肝心の実用面での技術課題が残され、量子通信に向けた産業創出にはまだ数ステップ必要であろう。ただし、最終目標ではないものの、スピナウト技術として当グループが開発したナノファイバー作製装置が製品化されすでに販売されており、それを使用して作製したテーパファイバーが光インターコネクトデバイスのファイバーカップリングに使用されるなど、本研究開発で有用な技術が創出されたことは確かである。

## 4. その他

以下に、テーマ事後評価に加わった各委員からのコメントを列挙する。

- ・ S-Iノベは学から生まれたアイデアを産へと結ぶ研究開発プログラムである。マネジメントとしては 1 課題をストップさせた判断は問題がなかったが、反面、その課題に多額の資金（約 5.5 億円）が投下されたことを考えると、選考されなかった提案の課題などに千万円単位程度で研究を推進させ、産業化の可能性を追求した方がよかったという面もあるのではないだろうか。また、今回のプログラムでは、テーマ構成員の交流の増進と各課題間の共同研究の推進も奨励されたはずである。各研究課題において、10年の間に“具体的”にどのような形で、共同研究が、産業化に向けて進捗が遅れている研究課題の推進に役立っていったかが明らかになると、今後の同様の企画に参考になるように思われる。いずれにしても、巨額資金の長期にわたる集中的投資であるので、S-Iノベの良い点・悪い点を慎重に分析していただきたい。
- ・ 10年の間には、課題の研究者の構成や産業構造の変化もある。同種のプログラムを企画する場合には、JSTサイドではこうした分析を多方面から行いながら、時間軸で本テーマが社会にインパクトを与え続けることが出来ていたかを分析することが必要である。具体的には、今回の5つの課題に対して10年前と現段階の状況を分析評価する必要がある。特に、マネジメント評価とは独立に、産業化の意義が産業構造、経済情勢、国際情勢などの環境変化の要因を踏まえながら評価する必要がある。

- ・昨今の対韓国の輸出規制の報道を見るまでもなく日本の化学、高分子素材産業は世界最強の供給国である。高度な機能を創出する黒子のような役目であるが、この供給なくして半導体、ディスプレイの中間物、完成品の製造ができないような材料ばかりである。その多くは30年来の日本の技術開発成果物であり今なおその強みを発揮できているのは先人のもたらす日本の先進性である。中間物、完成品の製造は莫大な投資競争の中で日本の競争力は失われているが素材産業における日本の優位性は緩んでいない。この強みを将来に渡って維持拡大していくためには本テーマのように官民を挙げて新規素材プラットフォームを創出していくことが国益にかなうものである。本テーマをここで絶やすことなく次の10年に向けた新たな素材開発テーマが層流化して進むよう期待する。
- ・本評価の範疇ではないが、本テーマには総額34.5億円のJST経費が支出されており、これは近年の科研費総額（年額）の概ね1%に相当する。事後評価において、「費用対効果」の観点からの評価はなされたのであろうか。特に5億円超を支出した後での「フォトリフレクティブディスプレイ」の課題中止は、JSTやNEDOの他のプログラムにおいても、「以て他山の石」としていただきたい。
- ・大学側ではステージⅢにおいても、ステージⅠやⅡと同様に積極的な学術論文の発表の努力が絶え間なく行なわれてきたことも高く評価したい。プロジェクト研究の特性として、評価は当初目標に対する達成度で行われることになるが、研究目標の直接的な達成度いかんにかかわらず、絶え間なく研究途上で得られる各知見を論文にて世界共通の財産として公知にしておくことは重要である。このことは国の予算を投入して研究を推進することの大きな意義であり、短絡的な目標達成のみでこの種の研究成果を判断すべきではない。本テーマ内でも実用的な段階へ行っていない数多くのシーズが生み出されており、さらに今後予期せぬ技術革新がテーマ外からも新たな発想で生まれる可能性もあるであろう。本テーマで得られた産学間の強力な人的ネットワークは、今後も多方面で大いに活用されていくであろう。こうした副次的効果も大いに期待したい。
- ・本研究開発テーマでは産業化への挑戦が最終ゴールであることから、ステージⅢでは企業が重要な役割を担っている。そのため、実用化の可否やスケジュールに企業の意向が強く反映されることを否定するものではないが、一定期間、例えばテーマ終了から3～5年経過しても実用化の意思を示さない参画企業に対しては、アカデミアと国内他企業との共同開発案件への知財の無償開示を義務付けて技術の利活用を促進するなどの施策を考えられたい。

以上