

ERATO 下田ナノ液体プロセスプロジェクト事後評価（最終評価）報告書

【研究総括】下田 達也（北陸先端科学技術大学院大学 マテリアルサイエンス研究科／教授）

【評価委員】（敬称略、五十音順）

奥山 雅則（委員長；大阪大学 ナノサイエンスデザイン教育センター／特任教授）

加藤 一実（産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門／首席研究員）

近藤 道雄（産業技術総合研究所 福島再生可能エネルギー研究所／所長代理）

林 喜宏（ルネサスエレクトロニクス(株) 第二ソリューション事業本部 汎用第一事業部／主管技師長）

松井 真二（兵庫県立大学 高度産業科学技術研究所／教授）

評価の概要

ERATO 下田ナノ液体プロセスプロジェクトの基本構想は、「機能性液体から付加的な方法で、しかも直接的に、ナノサイズの電子デバイスを作製する革新的プロセスを創出する」ことである。下田達也 研究総括（北陸先端科学技術大学院大学教授）は、その実現に向け、ERATO の支援規模や事業趣旨等を活かし、研究内容から研究環境整備までの全てにおいて「全くゼロからのチャレンジ」を開始した。それに際し下田総括は、対象材料（Material）、目標デバイス（Device）、必要な装置類（Equipment）に分類し、これらを具体的研究項目にブレイクダウンしつつ、実験と思考を重ねて「ナノ液体プロセス（Process）とは？」という問いに対する「回答」を探り出す、という戦略を採った。

本プロジェクトでは、下田総括のリーダーシップのもと、ERATO 期間では材料グループ、PDE グループ、理論グループからなる体制で、特別重点期間では酸化物系のナノレオロジープリンティングに集中した組織で精力的に研究が進められた。材料グループは、機能性液体プロセス用シリコン材料の開発や液体材料の成膜性の検討などを研究し、種々のシリコン系材料を開発した。また、理論グループとの連携で、シリコン系材料の塗布性がハマカー定数という微視的な誘電関数で評価できることを見いだした。PDE グループは、前駆体となる酸化物系ゲルの研究を中心に、新しいプロセス技術の創出に成功した。その成果は特別重点期間で深化され、導電体、絶縁体、半導体などの機能性酸化物系液体原料の充実と、それを用いてデバイス動作の実証がプロトタイプレベルで確認するまでの成果を上げた。理論グループは、他の 2 つのグループが実施する研究課題で見いだされる新現象を学術的に検証する役割を果たした。今後これらの成果をもとに、学術的な知見や応用面で重要となる知見が蓄積され、学界・産業界などで多角的に認知されるイノベーションが創出されることが期待される。

以上を総合し、ERATO 下田ナノ液体プロセスプロジェクトは、当初の期待に相応しい優秀な研究水準を示し、かつ今後にも十分に期待できるもので、戦略目標「ナノデバイスやナノ

材料の高効率製造及びナノスケールの科学による製造技術の革新に関する基盤の構築」に資する成果を上げたと評価される。

1. 研究プロジェクトの設定および運営

1-1. プロジェクトの全体構想

電子デバイスの量産システムでは、真空気相成膜、光露光によるパターン像形成、ドライエッチングの工程を繰り返すことを基本とし、高価な材料の廃棄やエネルギー消費が大きいという課題を有する。また、より一層の微細化への要求や基板の大型化にともない、巨額な設備装置が必要となり、我が国の電子産業にとって大きな負荷となっている。これに替わるコンセプトとして、必要なところへ必要な量の材料を使うことで、プロセスの簡素化と省資源・省エネルギーを目指すというものがあり、その一つとして印刷技術の適用が進められている。しかし、現状の印刷技術では微細化に限界があり、数 μm レベルに止まるのみならず、乾燥に伴う溶質の移動等が制御不可能という課題が、明らかになり始めている。

ERATO 下田ナノ液体プロセスプロジェクトを指揮する下田総括は、前職のセイコーエプソン（株）時代から、「マイクロ液体プロセス」による電子デバイス創製の研究開発において先導的な役割を果たしてきた。具体的には印刷技術の一つであるインクジェット法により、有機 EL デバイスやポリシリコン薄膜トランジスタ等を開発するなど、多くの実績を上げてきた。これらの経験と問題意識をもとに下田総括は、従来の除去加工プロセス（およびそれらを扱う大型の装置やクリーンルームも含まれる）ではなく、「機能性液体から付加的な方法で、しかも直接的に、ナノサイズの電子デバイスを作製する革新的プロセスを創出する」ことをプロジェクトの全体構想として掲げた。膜形成や加工に真空気相プロセスを使わずに、すべて「液体プロセス」にすることにより、使用材料の低減、プロセスの簡略化、装置の小型化を図り、デバイス製造コストの低減および環境負荷の低減を図るという、極めて挑戦的な全く新しいデバイス製造コンセプトであった。

本プロジェクトは、産業界への展開を念頭に、材料、装置およびプロセスのいずれにおいても斬新かつ野心的な内容であり、ERATO に相応しいものであったと確信する。当然ながら、ERATO における「新しい科学技術の流れ」という事業趣旨は、単に革新的プロセスの創出を指すのではなく、様々な原理現象の理解および開拓をも指すものであり、本プロジェクトにおいて、薄膜やその前駆体の評価手法に新しい概念が導き出された点も ERATO ならではのものと評価される。

以上のことから、本プロジェクトの研究構想は、戦略目標「ナノデバイスやナノ材料の高効率製造及びナノスケールの科学による製造技術の革新に関する基盤の構築」の達成に貢献するものと認められる。

1-2. プロジェクトの枠組みや研究体制、および研究活動の状況

根本的な革新技術の創出では、ある意味で手探りの状態からスタートするものであろう。

加えて、下田総括の場合は ERATO の採択当時、セイコーエプソンから北陸先端科学技術大学院大学へ移籍してまだ半年にも満たない状態であり、研究内容から研究環境整備までの全てにおいて、「全くゼロからのチャレンジ」であった。

〔プロジェクトの枠組み〕

前述の全体構想に基づく下田総括のプロジェクト運営方針は、「デバイスのプロトタイプを開発しながら、“「ナノ液体プロセス」とは？”という本質的な問いに対する回答を探し獲得する」という一言に集約されている。そしてそれは、以下の 3 段階にブレイクダウンされている。

第 1 ステップ： クリーンルームの構築にはじまり、各種物性評価装置の導入やメーカーとのナノ加工装置の共同開発の推進。併せて研究開発項目の検討。

第 2 ステップ： 研究開発項目の具体化。

- (1)材料 (Material) …扱う機能性液体材料を、大きく分けてシリコン系と酸化物系に分類。ERATO 期間ではシリコン系液体材料を、その後の特別重点期間では機能性酸化物系液体原料を中心に、新規材料の探索・合成と物性把握を推進した。
- (2)デバイス (Device) …シリコン系では太陽電池やサブ μm サイズ TFT など、酸化物系では強誘電体ゲートトランジスタ (FGT)などを対象とした。さらに特別重点期間では、酸化物系 TFT とその展開に焦点を絞った。
- (3)装置 (Equipment) …メーカーとの共同開発により、ナノインプリント装置を導入。
- (4)プロセス (Process) …上記(1)–(3)を総合し、前述の「回答」の探索。

第 3 ステップ： 上記ステップを経て得られた「回答」を基に、デバイスの実用化等への展開を図った。特別重点期間では、酸化物系に注力し、画素数 24×24 の電気泳動ディスプレイを試作し表示動作を確認するまでに至った。当然ながら、このステップは ERATO の期間内ですべて実現するのではなく、寧ろ ERATO 終了時もしくは一定期間後より、産業界との連携で本格的に推進されるものであろう。

〔研究体制〕

こうした基本デザインのもと、下田総括は、ERATO 期間では「材料グループ」、「PDE グループ」および「理論グループ」を設置し、特別重点期間では「PDE グループ」を発展させ、金属酸化物前駆体を制御してナノレオロジープリンティング (n-RP) を中心課題として組織を再編した。ERATO 期間、特別重点期間を通じ、企業からの出向もしくは企業での研究開発経験を有した者が多数参画し、また中国、ベトナムなどの外国人研究者も常に研究に加わっていた点は、本プロジェクトの特色の一つである。これらのことは、ERATO が意図する“ヘテロな研究者集団”を形成し、アグレッシブな研究活動の源になったと評価される。

研究実施場所は、北陸先端科学技術大学院大学内と大学に近接する「いしかわフロンティアラボ（後に JAIST イノベーションプラザに移動）」であった。前者にはクリーンルームを整備し、デバイスを作製および評価できる装置類が設置されたのに対し、後者は主にシリコン系の機能性液体材料を取り扱う目的として使用された。

下田総括は、異なるバックグラウンドを持つ研究者を多様な切り口からの研究に導き、一方では各研究者が活動できるように研究拠点の整備など、大いに活躍をされたと推察する。

〔研究活動状況〕

これらに対する評価の立場からの所見を、3 点に整理して述べる。

1 点目は、下田総括の掲げる「機能性液体から付加的な方法で、しかも直接的に、ナノサイズの電子デバイスを作製する革新的プロセスを創出する」というプロジェクトの全体構想（設定意義）についてである。上で述べたように、これは既存主流のフォトリソグラフィ技術やナノインプリント技術、あるいは下田総括自身が先導してきたインクジェット技術でもない、ERATO の事業趣旨たる「新しい科学技術の流れ」へ向けた全くゼロからのチャレンジと位置づけることができ、高く評価することができる。

2 点目は、プロジェクトの運営（研究費や組織面）である。そもそも研究テーマの観点からしても、クリーンルームや各種の加工および測定機器を要するため、ERATO のようなプロジェクトリーダー個人に対する大型の研究費支援の枠組みが非常に効果的に活かされ、的確なものと判断する。また組織的な面から見ると、材料、作製プロセス、物性評価、デバイスから理論解析まで、専門分野が異なる「ヘテロな集団」形成が効果的になされている。加えてこの点で特筆しておきたいのは、前述のような探索的研究の色彩が強い段階から、企業研究者が参画していることである。下田総括自らも長年企業の研究開発の職に身を置いてきたこともあるだろうが、こうした段階から「産学連携」に積極的に取り組むことは、目標デバイスの創製を目指すための効果的な方策であったと言える。

3 点目は、特に研究面からのプロジェクトの運営について、ここでは概略のみ言及する。最も根幹といえる“「ナノ液体プロセス」とは？”という問いに対し、研究活動を通じ具体的な手法を見出したことで、「回答」を得た点を評価したい。酸化物系を中心に、こうした具体的な手法をもとにしたデバイスが作製され、プロトタイプレベルで動作が実証確認された。こうした技術的知見の一方で、主にシリコン系（材料グループ）では、ハマカー定数という van der Waals 力に由来する微視的な誘電パラメーターによる塗膜性の理解などの新たな科学的知見もなされ、またインク状のシリコン系材料による薄膜太陽電池の可能性が示さ、JST の別事業に採択された。

このように、プロジェクト全体としてみれば、当初の期待に相応しい研究展開を示したといえる。それゆえに、今後は大学レベルの研究開発で終了せず、より産業界との連携を深めてナノデバイスの製造技術として実用化を目指していただきたい。

〔研究プロジェクトの設定および運営〕 a（的確かつ効果的であった）

〔研究活動の状況〕 a（的確かつ効果的であった）

2. 研究成果

本章では、まず ERATO 期間（5 年間）に行われた 3 つの研究グループの研究成果を個別に

取り上げ、次に特別重点期間（3 年間）の研究進捗を論じる。それらをまとめ、最後に全体を総括する。

2－1．ERATO 期間の研究成果

2－1－1．材料研究グループ

材料研究グループでは、シリコン系デバイスを省エネルギー、省資源で製造する技術を目指し、1) 機能性液体プロセス用シリコン材料の開発、2) 液体材料の成膜性の検討、3) 液体材料のナノパターン加工法の開発、4) 液体材料を原料にしたデバイス化、といった研究項目を初期に設定し、以下の成果を上げた。

1) の機能性液体プロセス用シリコン材料の開発では、非常に取扱が困難な材料を用いた極めて挑戦的な研究開発を進めた。シクロペンタシラン（CPS）とその誘導体であるポリシランを鍵化合物とする多様なシリコンの液体原料ファミリーの合成に成功するとともに、熱や光を用いた CPS の重合反応についての検討も進めた。材料の本質的に優れた側面を活かし、その扱いにくい物性を実験的に克服している点は高く評価されるとともに、重要な材料を世に生み出した成果は、初期の目的を十分に達成したと判断できる。

2) の成膜性検討においては、ケイ素材料（モノマーおよびポリマー）の物性に関する基礎的研究を足がかりに、材料固有の新規な性質を見いだしている。特に、van der Waals エネルギーと誘電関数の相関などの研究から、表面張力や膜の安定性における支配因子が、ハマカー一定数の正負大小で記述できることを導き出している。これらは、本プロジェクト全体での独自の研究展開として興味深く、液体からの薄膜合成における新たな学問分野を切り拓きつつあるものとして、高く評価される。

3) のナノパターン加工法として、得られたシリコン系薄膜のデバイス作製に有効かつ画期的なナノインプリント加工が新たな方法として提案・実証された。

4) のシリコン系薄膜デバイス化については、pn 単接合利用の薄膜シリコン太陽電池へ展開され、JST 先端的低炭素化技術開発事業（ALCA）において研究課題「液体シリコン塗布プロセスによる高性能太陽電池」として、ERATO からのスピンスアウトが図られた（2011 年 2 月）。その変換効率等の光電特性は、他の方法によるシリコン太陽電池に及ばなかったとはいえ、ERATO の観点からすれば、こうした「選択と集中」を伴う下田総括のマネジメントは大変望ましいことである。今後、さらなる研究開発で、各種技術要素と性能の関係を明らかにし、改善されることを期待する。また、当初計画に有った液体プロセスによる TFT、Si-MOSFET については、研究の重点が金属酸化物系材料に移行したため未消化となっており、是非とも再度取り組んで欲しいところである。

以上のように本グループでは、下田総括が掲げるナノ液体プロセスによるデバイス作製への道筋を作っただけでなく、太陽電池、燃料電池やパワー半導体などでますます重要となると予想される液体プロセス用シリコン材料に関する科学を切り拓いた点は、大いに評価される。

2-1-2. PDE グループ

本グループの方針は、ナノ液体プロセス (Process) を活用して新規なデバイス作製技術を、デバイス (Device) と装置 (Equipment) の両面から研究するという新規性の高いものがあった。特に酸化物系を中心に、1) 強誘電体ゲートメモリデバイス (FGT) の開発と特性検討、2) 液体材料によるナノサイズデバイスの新しい直接形成法の創出と応用展開、3) 液体原料からの新規固体薄膜の生成過程についての機構解明と新材料創出、の3課題を設定した。

1) の強誘電体ゲートメモリデバイスに関しては、材料、界面特性や電気特性の相関などの新たな知見を集積し、溶液堆積法によるヘテロ界面においても非常に高品質なエピタキシャル成長を実現できることを示し、全層液体材料を用いて FGT メモリ特性を確認し、また高性能 TFT を実現するという成果を上げてきた。このことで、オール液体プロセスによる電子デバイスの実現に近づいたといえる。さらに、NAND アレイを試作し動作を確認したことは、集積化や3次元メモリへの展開の端緒をつけており評価できる。

2) のナノサイズデバイスの新しい直接形成法の成果は、本プロジェクトの命題とも言える“「ナノ液体プロセス」とは?”という問いに対する「回答」につながるものである。それは、本来液体プロセスの欠点でもある溶剤の蒸発に伴う「痩せ」を克服するため、溶剤を伴わない塑性変形領域でナノ加工を施す、というオリジナルな技術であり、「回答」として「ナノレオロジープリンティング (n-RP)」という概念を生み出した。その技術的成果として、

- ① 前駆体となるゲルの化学構造が、局所パターン印加成形時におけるレオロジー特性に影響を及ぼすことを明らかにした
- ② ゲルの化学構造を最適化させることで、サブミクロン領域で局所パターン印加成形が可能であることを実証した
- ③ さらに、この新技術を用いて、FGT・TFT とともに初期データながら、非常に有望な結果を得た

ということを示した。この成果により、真空やフォトリソグラフィーを必要とせず、格段の省力・省時間化が可能であるのみならず、低温域での直接成形が可能となること、焼成後のパターン崩れが少ないことなども利点として示され、産業的応用の観点でも、今後の可能性が期待される。非常に単純明快なコンセプトに基づくプロセス技術として、産業的インパクトの大きさが十分に見込まれる。

ERATO 期間の5年間で終了後、特別重点期間で n-RP 技術の実証を研究の中心に据えたことは、下田総括の優れたマネジメント力によるものである。

3) の薄膜の生成過程についての機能解明と新材料創出に関しては、強誘電体としても良く知られている $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ 薄膜が、押し圧によって特性を改善できるという効果や、前駆体へのアミン添加によりパイロクロアの生成を抑制しペロブスカイトの成長を可能にするというユニークな化学溶液法等を見だし、先行的な技術開発として評価される。これらは非常にユニークであり、新たな薄膜作製・改良法として興味深い。化学組成、結晶性、微細組織および前駆体の構造などの学術的側面からの理解を深めることは、特別重点期間への課題として引き継がれた。しかしながらまだ研究途中に有り、今後さらに詳細な検討が加えられることを期待する。その他、金属酸化物の液体プロセスによる成形過程の詳細な研究の中から、

材料開発への指針を提示し、新しい材料探索の可能性が示されたことは評価に値する。

2-1-3. 理論グループ

理論グループとしての役割は、先の2つの実験グループで実施されている材料探索、プロセス開発、デバイス作製といった研究課題に対し、理論的な切り口で協働できるような研究展開を行うことであった。そして、個々の研究課題の中で見つかる新現象や新物性について、学術的根拠という面で検証・実証を加えることを目的とした。

このグループの具体的成果としては、第一原理計算を活用して、主に材料グループの進めるシリコン系液体原料の探索・開発研究において、各種ケイ素材料の基礎物性や反応の解釈や予測、また新規物質がもたらす新現象への解明に理論的に取り組んだことが挙げられる。液体プロセス用シリコン材料として取り上げた CPS およびその誘導体であるポリシランは、材料グループの研究の中で、極めて特異的な性質を持ち、ケイ素や水素の原子レベルでの解析が必要であることが明らかになった。そこで、材料グループの実験結果と第一原理計算から導き出される理論とを組合せ、(a) CPS の物性とその重合過程の解明、(b) 溶液中の水素とケイ素結合形態などを研究し成果を挙げている。

プロジェクト全体として見渡した場合、こうした理論的なサポートは地道な内容であるが非常に重要であり、実験的なアプローチが合理的な選択のもとに目標物に近づいているかどうか、得られた新物質が狙い通りの物性を発現するか否かといった点について、身近で理論的に支え、有用な活動であったと評価する。

2-2. 特別重点期間の研究成果

本プロジェクトは、5年間の ERATO 期間終了後、特例的に3年間の特別重点期間を付与された。特別重点期間は単なる研究の延長ではなく「選択と集中」を行い、次なる展開に向けた研究開発と位置づけられ、本プロジェクトはそれに相応しいものと評価された。そこで下田総括は、様々な成果を生み出したプロジェクトの中から、“「ナノ液体プロセス」とは？”という命題に対する回答となる n-RP 技術を酸化物系で深化させることとした。研究としては、1) 液体プロセスによる酸化物デバイスの作製研究、2) 金属酸化物を用いた n-RP 法に関する研究、3) 溶液法による金属酸化物材料の特異物性に関する研究 が行われた。

1) の酸化物デバイスの作製研究では、金属酸化物電極、金属酸化物半導体、ゲート絶縁体などのすべての機能薄膜を液体プロセスで開発しており、優れた成果として評価される。さらに、これらの材料を用いて薄膜トランジスタ (TFT) を作製し、その TFT を素子とする画素数 24×24 の電気泳動ディスプレイを試作し表示動作を確認した。液体プロセスから生み出された膜から構成されたディスプレイを製作・駆動したことは、下田総括の目指した「ナノ液体プロセス」を目に見える成果として有効にアピールできたと評価される。

2) の n-RP 法の研究では、ナノインプリントの鍵となるゲル軟化現象を、2 体分布関数から In-O コアに有機分子が配位した構造のクラスター凝集によるとし、第一原理解析結果とよく一致することを示した。n-RP 法の基礎メカニズムの理解に成功したことは、学術、プロセ

スの両面から有益な情報を提供するもので、優れた成果と評価できる。また、種々の酸化物薄膜の **n-RP** のパターンニングとアラインメント法を開発し、大気中での液体プロセスのみで素子作製プロセスの改良を図り、次いで微細 TFT を形成する **n-RP** 法の精密化を成し遂げている。これらの努力が、前述のミニディスプレイによる実証につながっている。

3) の溶液法の特異性に関する研究では、**BiNbO** 系薄膜で特異的に生成するパイロクロア相により高い誘電率が得られるという成果は非常に興味深い。また、**LaZrO** 系または **LaTaO** 系絶縁体は、溶液法で成膜した場合のみ低駆動電圧で大容量電流を **on-off** できるという特性を有し、興味深い成果となっている。材料組成、構造、雰囲気などに依存した不安定性を含んでいるものの、大電流 TFT への手がかりを示していると考えられ、大いに期待できる。前述のように、これらの特異性は注目に値するものであり、材料組成等との関連を是非とも探求されることを望む。

特別重点期間では、酸化物系薄膜の液体プロセスを選択し FGT もあえて進展させず、TFT を対象としディスプレイデバイスの実現に集中した研究方針は、ERATO 期間での有用な成果と人的・財政的資源を集中し、目に見える効果的な **output** を創り出すのに注力され非常に有効であったと判断する。以上に基づき研究成果を俯瞰すると、本プロジェクトは良好な研究展開を示したと評価される。

〔研究の達成状況〕 a（良好な研究展開を示した）

2-3. 科学技術的側面および産業・社会的側面からの評価

以上個々の研究について述べた所見を、ここに科学技術的側面および産業・社会的側面から整理して述べる。

まず、科学技術的側面では、電子デバイス材料の薄膜用原料液体の評価・解析について、大いに科学技術的な発展がされたと評価される。

シリコン系では、原料液の分子の開環重合、凝集が理論的に解析され、実験結果を良く説明できた。さらに、ハマカー定数による塗膜性の評価や、太陽電池のプロトタイプ開発などをはじめとして、十分な成果を上げた。酸化物系では、ERATO 期間、特別重点期間を通じて“「ナノ液体プロセス」とは？”という問いに対する「回答」として、**n-RP** 法という新しい概念を見いだした。酸化物系原料液の熱・光励起による反応・凝集によるクラスター形成の発現が、弾性・粘性に強く関与していることを明らかにし、**n-RP** を支える科学技術的サポートとなった。さらに TFT を試作し電気泳動ディスプレイとして実証することで、液体プロセスの実用性を検証し、今後の発展への大きな一歩を記すことができた。

これらの成果を基に、多数の学術論文や発表が行われてきているが、特に注目するのは 56 件に上る特許出願がなされている点である。既に国内特許として登録されたものも多々あり、また海外出願へ移行中のものもあり、下田総括の知的財産に対する意識の高さを示すものと賞賛される。

次に、産業・社会的側面について述べる。

言わずもがなであるが、ここで開発された技術、材料が今後どのように普及し・実用化さ

れるが重要である。本プロジェクトで創出した n-RP の特徴は、機能性材料の直接ナノインプリントができることであり、n-RP ナノインプリントによる製造デバイスプロセスの簡略化、材料・エネルギー効率の低減、デバイスの多機能化・高性能化等、新たなナノインプリント応用分野の創出・拡大等の展開が期待できる。しかしながら、生成膜の安定化やプロセスのより低温化など解決しなければならない課題も残り、是非とも産業界と連携して深化させていただきたいと願う。今後、無機物膜のみにこだわらず、適材適所のデバイス構造を考慮した優れた応用が見いせれば、本プロジェクトでの科学的解明や先進技術の価値が大きく評価されると信じる。

〔研究成果（科学技術的側面）〕 a（成果として良好であった）

〔研究成果（産業社会的側面）〕 a（成果として良好であった）

3. 総合評価

本 ERATO プロジェクトは、下田総括の掲げる「機能性液体から付加的な方法で、しかも直接的に、ナノサイズの電子デバイスを作製する革新的プロセスを創出する」という研究構想の実現に向けた、研究内容から研究環境整備までの全てにおいて、全くゼロからの創造的かつ独創的なものであった。下田総括のリーダーシップもさることながら、個々の研究課題においては各リーダーの下で、多様な研究者が材料科学の新潮流を目指し研究を展開した。プロジェクトの運営にあたっても、ERATO の支援規模や事業趣旨が効果的に活かされ、構想実現へ向けた研究環境の整備が施されたと評価される。ERATO はしばしば、「人中心のシステム」と表現されることがあるが、本プロジェクトでも、産学から卓越したリーダーとなりうる「人」を見抜き、同時に研究者を育成しつつ進められ、まさに ERATO の相応しい研究プロジェクトであったと言える。

研究成果は、前述したとおりである。これらの成果として特筆すべきところは、基礎的な知見の発見と実用化に資する成果がバランスされている点にある。液体を原料とする新しいプロセスのアイデアから出発し、その優位性を活かしながら、欠点を巧くカバーしている。その工夫の中で新しい学術的な発見があり、それがさらに応用的発展を加速するという好循環を生み出した。“「ナノ液体プロセス」とは？”という問いに対し、ナノレオロジープリンティングという「回答」となる基盤技術を中心に、今後学術的な知見の集積および応用面で重要となる知見の蓄積を図り、アカデミア・社会・企業など多角的に認知されるアウトカムの創出を期待する。望むならば、得られた知見を理論的により一層補強し、第一級の国際学術誌に発表し世の中にアピールしていただきたい。

以上を総合的に判断し評価委員会は、ERATO 下田ナノ液体プロセスプロジェクトは当初の期待に相応しい優秀な研究水準にあり、かつ今後にも十分に期待できるもので、戦略目標「ナノデバイスやナノ材料の高効率製造及びナノスケールの科学による製造技術の革新に関する基盤の構築」に資する成果を上げたと評価する。

〔総合評価〕 A（戦略目標の達成に資する成果が得られた）

以上