

## フォトンクラフトプロジェクト 事後評価報告書

### <評価委員>

小泉 健	委員長	(財団法人 日本板硝子材料工学助成会 顧問)
大田 睦夫	委員	(京都工芸繊維大学 工芸学部 教授)
野上 正行	委員	(名古屋工業大学 工学部 教授)

平成 16 年 9 月 24 日、最終シンポジウムが行われた京都の新都ホテルに関係者が集まり評価のための会合を開催した。平尾一之代表研究者によるプロジェクト報告、シンポジウムでの研究者の発表および終了報告書等の資料をもとにして質疑応答を行った。各評価委員が報告書を作成し、最終的に評価委員長が本評価報告書をまとめた。

### 1. 研究の内容

本国際共同研究はフェムト秒レーザーがもつ強力な集光性、超短パルス性、コヒーレンス性<sup>1</sup>などを最大限に利用した物質、特にガラス材料と光との非線形相互作用の機構解明および新しい光機能性材料の創成を目的にして、日本と中国との間で行われた。

日本側はけいはんなプラズマスーパーラボ棟に実験室を設けてレーザー物理化学と量子光学の研究およびナノメートルレベルの光学素子作製技術、超高速走査技術などの開発を行った。中国側は中国科学院上海光学精密機械研究所に実験室を設けて結晶化学と量子化学の研究および各種の希土類含有光学材料の開発を行った。その結果、フェムト秒レーザーによる超微細立体構造光学結晶の作製、三次元精密光回路の作製、貴金属の空間選択的析出と消去などがガラス内部で可能になり、ガラス中に発光素子、光変調素子、光メモリーなどを創成可能にする革新的なレーザー超微細加工技術が開発された。特に、10nm レベルの周期構造がガラス内部に形成できたことは、非線形光学効果<sup>2</sup>を巧みに生かした研究成果であり、ガラスにおける真のナノ構造の誕生である。本共同研究で得られた研究成果は将来の光情報処理に必要な全く新しい概念の三次元光学素子の創成を可能にすると考えられる。

### 2. 研究成果の状況

ガラス材料を主な対象にして、空間選択的な超微細構造制御、微小光学素子の形成、多光束干渉による超微細構造の形成、非線形干渉場による光機能性付与などの多彩な研究項目がフェムト秒レーザーを活用して展開され、非線形相互作用による様々な新しい光誘起構造変化現象が発見された。なかでも、空間選択的な超微細構造制御の研究項目で行われた単一レーザービームによるナノ周期構造発現のテーマでは、石英ガラス内部に Si リッチ相の析出による 10nm レベルの周期構造の形成に成功し、その発現機構も解明された。この技術は将来において 1nm レベルのナノ構造を誘電体内部に形成可能にすると考えられる。また、

ドーパ希土類イオンの価数変化、ナノ金属粒子の析出と消去、ナノスケールの欠陥構造の導入、ポイド形成によるフォトニック結晶<sup>3</sup>の創成などの研究成果も得られた。さらに、新しい光誘起構造変化現象を利用して、直接描画による光回路、直角曲がり光導波路アレイ、Dammann型回折格子、書換可能三次元高密度光メモリ、光散乱型光ファイバー減衰器などの実用性を備えた新規光学素子も試作された。

研究成果の外部発表と特許化は精力的に行われた。2000年度～2004年8月末の外部発表総数は180件に達し、72件は日中共同で行われた。学会発表は国外25件、国内44件、論文発表は国外86件、国内1件であった。また、多数の論文が執筆中なので、2004年度末での外部発表総数はさらに増加する見込みである。特許は基本的なものを厳選して7件が出願された。累積研究員数は39名、内訳は日本側23名、中国側16名である。これらの研究員には専任者ばかりでなく、企業と大学からの協力研究員17名、国内外からの客員研究員5名が含まれる。このような混成スタッフによる共同作業から質的にも量的にも極めて優れた研究成果が短期間に得られたことは注目に値する。

### 3. 研究成果の科学技術への貢献

21世紀はフォトニクス時代であると言われている。本共同研究が取り上げたレーザーの干渉場や強電磁場と物質との相互作用、ナノ粒子や希土類イオンの特異なエネルギー準位を利用した量子干渉などの研究成果は、今世紀の科学と技術の一層の発展につながるとともに、新しい知的資産の蓄積にも貢献する。本共同研究は現象の発見とその解明に留まることなく、フェムト秒レーザーを用いた材料の高次構造制御による新しい光学素子を多数試作し、それらの革新的な光機能を明らかにするとともに、基本的な特許を出願した。これらの光学素子には事業化段階に入ったものも含まれている。

これからのフェムト秒レーザー装置は新しい方式のものが開発され、装置の低価格化が進むであろう。フェムト秒レーザーの普及にともなって、本共同研究で発見されたさまざまな光誘起構造変化は、将来の情報通信分野ばかりでなく、バイオを含めた広い分野において革新的な機能を発揮する各種の微細構造光学素子の開発を促し、新しい産業基盤を生み出すと考えられる。

### 4. 相手機関との研究交流状況

相手機関である中国科学院上海光学精密機械研究所はレーザーとガラスの研究において中国をリードしており、共同研究の相手として適切であった。日本側がレーザー物理化学と量子光学および高速度レーザー走査技術に、中国側が結晶化学と量子化学および希土類含有光学材料にそれぞれ重点をおいて研究と開発を進めたことも、双方の強みを生かした適切な分担であった。中国出身者がプロジェクトのグループリーダーに就任して共同研究を推進したが、この人選は人材の相互派遣を含めた活発な研究交流の大きな力になった。本プロジェクトは中間シンポジウムを2002年10月に中国で、最終シンポジウムを2004年9月

に京都で開催し、いずれも欧州と北米を含めて多数の関係者が参加し、活発な討論が行われた。また、2004年9月に京都で開催された第20回国際ガラス会議の「ガラスのナノテクノロジー」シンポジウムには双方から多数の研究者が参加して研究成果を発表し、国内外の出席者から高い評価を受けた。

## 5. 総括評価

本プロジェクトは1994年から1999年まで実施された「平尾誘起構造プロジェクト」を発展させた中国との国際共同研究として行われた。前段のプロジェクトではガラス材料を主な対象にしてフェムト秒レーザーによる光誘起構造変化の発現の研究を世界で初めて実施し、数々の新しい現象を発見した。今回の国際共同研究では、これらの現象の発現機構が非線形光学研究者の参加により十分に解明されたばかりでなく、さらに高度な光誘起構造変化の発現も見いだされた。フェムト秒レーザーによる光誘起構造変化を利用した超微細光学素子の試作も日中の共同作業で精力的に行われ、実用化につながる多数の素子が開発された。この国際共同研究は平尾代表研究員の優れたリーダーシップのもとに極めて円滑に運営され、将来の科学技術の発展に貢献する大きな成果を挙げたと評価できる。

1. コヒーレンス性：コヒーレントな波とは全ての波が同じ波長(単色)でかつ全ての波の位相が揃っているもの。より単色でより位相が揃っていればコヒーレンス性が高い。
2. 非線形光学効果：物体に光を入射したとき、光強度に応じた屈折率変化、光波長の変換、光の増幅等を発現する現象。
3. フォトニック結晶：屈折率の異なる物質を光の波長以下のサイズで規則正しく周期的に配列させた構造体。数マイクロメートルの大きさをプリズムやフィルタなどの光部品が形成できる等、次世代光デバイスのブレイクスルーとして注目されている。