

ICORP フォトンクラフトプロジェクト追跡評価報告書

総合所見

ICORP「フォトンクラフト」プロジェクトは、レーザーのもつ光のコヒーレンス性を利用した各種機能デバイスの創製を目指した日中共同研究として推進された。レーザー利用による3次元空間選択的構造制御に関する材料研究の大きな流れを作り、科学技術の進歩に大きく貢献したと評価できる。特に、①空間選択的微細構造の制御、②微小光学素子の形成、③マルチビーム干渉による超微細構造の形成、④非線形干渉場による光機能性付与に関する研究では、世界トップレベルの成果をあげた。

本プロジェクトの研究成果は、基礎面に関しては科研費グラントに拠る研究に継続され、ガラス中へのナノ構造あるいはナノ粒子の空間的析出制御、シリコン内部の光誘起マイクロチャンネルの形成などの研究に継続され、透明な物質に空間制御された機能構造を誘起させるという新たな材料科学の開拓に大きく貢献したと言える。このことは、本プロジェクトの進捗に沿って、フェムト秒レーザー、機能誘起、光学デバイスという本プロジェクトの研究内容をキーワードにした論文が急速な伸びを示して発表されていることから裏付けられる。

一方、応用面では NEDO プロジェクト「三次元光デバイス高効率製造技術」に継承され、産学共同研究として実施し、①ホログラムによる高速・高精度三次元レーザー加工、②フェムト秒レーザープロセッシング、③空間光変調器によるレーザー光波面制御、④超高速時間分解観測装置の開発、など多くの成果を挙げてきた。フェムト秒レーザーによる高速かつ高精度三次元加工技術として応用でき、新たな産業分野の開拓が期待できる。今後の課題としては、製造コストの低減や、大面積加工のブレークスルーの技術がなお必要であり、フェムト秒レーザー装置の開発を含めて、実用化のための技術開発が望まれる。

なお、本プロジェクトは中国との共同研究として推進されたことは極めて重要で、日中共同研究の礎を築いたものとしても高く評価される。

1. 研究成果の発展状況や活用状況について

本プロジェクトは、先行の ERATO プロジェクトでの成果から派生したものも含まれているが、本プロジェクトが特に重点をおいたレーザーのコヒーレンス性を活かした物質内での光-光相互作用による多光子過程の観点から研究が推進されたものである。得られた主な成果として、①媒質中の微細な領域におけるイオンや原子の状態を変化させることによる空間選択的超微細構造制御技術の創出、②微細な領域の屈折率を制御することによる微小光学素子の創製、③媒質中でのビーム干渉による超微細構造形成技術の創出、④非線形干渉場による空間異方性や屈折率変調構造の出現と、それによる新規な光機能性付与技術の創出などが挙げられる。

これらの研究成果のうち、基礎科学に関するものは、「透明物質へのフォトンマニピュ

ション（科研費基盤研究（A））」など多くの科研費グラントに拠る研究に継続され、ガラス中へのナノ構造あるいはナノ粒子の空間的析出制御、シリコン内部の光誘起マイクロチャンネルの形成などの成果を挙げている。また応用面では、フェムト秒レーザーのコヒーレント性を活かした光－光相互作用による新規な光機能デバイスの開発研究に発展させている。

用いるレーザーの波長や加工時間の制約などレーザー装置の開発に問題点が残されている中で、レーザーと波面制御技術を組み合わせた加工法を提案し、ガラス内部の3次元形状の高速一括加工法によるデバイス特性の向上と製造コストの大幅低減を目指した研究を展開している。三次元加工システムの応用に関してはNEDO「三次元光デバイス高効率製造技術」プロジェクトとして、京都大学、(社)ニューガラスフォーラム、浜松ホトニクス(株)の参画で実施された。利用波長の拡大、装置の大型化と加工速度の高速化など実用化に向けた基本的な問題点を解決し、①ホログラムによる高速・高精度三次元レーザー加工、②フェムト秒レーザープロセッシング、③空間光変調器によるレーザー光波面制御、④超高速時間分解観測装置の開発といった新しい展開がなされている。これらは、光の位相を二次元的に制御する液晶型空間光変調器の作製とそれを用いたフェムト秒レーザー照射/ホログラムの組み合わせによる高速・高精度三次元一括加工方式を実現し、また光－プラズマ電子の干渉を利用したのナノ加工技術を開発するなど、本プロジェクトの成果が効果的に引き継がれているものと判断できる。その他いくつかの企業においても実用化に向けた技術開発が進められているが未だ十分な展開が図られるに至っていないのも現状である。これは、ひとえに現段階では高コストであり、大量生産技術としての技術開発が十分に進んでいないことにあり、さらに本技術が得意とする光通信や光記録の分野でも、既存の他技術に比べて精度や信頼性などにおいて、その優位性が未だ明確には示されていないためであると思われる。これらは今後の課題であるとともに、企業の技術開発に負うところが大きい。

この技術は単にガラス材料だけでなく、有機材料やハイブリッド材料などにも展開が可能であり、新材料の開発に広く貢献すると思われる。さらに、バイオメディカル分野へ応用され、治療などに用いられれば、その波及効果は極めて大きいと期待できる。

2. 研究成果から生み出された科学技術的、社会的及び経済的な効果・効用及び波及効果について

2.1 研究成果は科学技術の進歩にどのように貢献しているか

フェムト秒レーザーによりガラスを中心とする透明材料の内部で生じている密度変化、イオン拡散、イオンの酸化還元、結晶化、コロイド生成などの現象を見出し、そのメカニズムを解明する基礎を開拓するとともに、その成果に基づいてフェムト秒レーザー加工の新分野を開拓し、新技術の潮流を創出したことは高く評価できる。中でも特筆されるべき

成果は、

(1) シングルビームのフェムト秒レーザーをシリカガラスに照射することによって光の回折限界よりも遙かに小さい間隔で偏光方向に依存したグレーティングが形成されることを発見し、回折限界を超えた材料加工や、それによる空間選択的微小構造の形成が可能であることを実証した。

(2) 過渡レンズ法による超高速時間分解観測に成功し、レーザー加工のメカニズムを解明するとともに、実用化を見据えたレーザー加工システムの開発に貢献した。

ことであり、材料科学の分野に極めて大きなインパクトを与え、世界に先駆けて新規な科学技術分野を立ち上げる端緒となった。

本プロジェクトの成果として発表された論文のうち、2報の被引用件数が868、484と非常に高く、「レーザーに関する論文引用頻度上位100」にランクインされていることから高いレベルにあると言える。本プロジェクトとERATOおよびNEDOでのプロジェクトで蓄積された成果の学会への影響は大きく、例えば、本プロジェクトが進行している2002ないし2003年あたりから、「フェムト秒レーザー」、「機能誘起」、「光学デバイス」という本プロジェクトがキーワードにした内容の論文発表が急速に伸びている。このような事実からも、本プロジェクトがレーザー利用による3次元空間選択的構造制御に関する材料研究に大きな流れを作ったことを示すものであり、科学技術の進歩に大きな貢献をなしたと評価できる。

2.2 研究成果はどのような形で応用に向けて発展しているか

本プロジェクトの研究成果は、レーザー加工・改質に関わる産業応用において極めて大きな実績を残したと言える。ほぼ同時期に実施されたNEDO「ナノガラス技術プロジェクト」の成果をも引き継いだ形で「三次元光デバイス高効率製造技術」の実証に向けた技術開発を京都大学、(社)ニューガラスフォーラム、浜松ホトニクス(株)の参画によってNEDOプロジェクト(2006~2010年)として実施されている。その成果は、①ホログラムによる高速・高精度三次元レーザー加工、②フェムト秒レーザープロセッシング、③空間光変調器によるレーザー光波面制御、④超高速時間分解観測装置の開発に成功したことである。これらの成果は、フェムト秒レーザーが高速かつ高精度な三次元加工技術として有用であることを示したことで、新たな産業分野を開拓し他の企業の技術開発に目を向けさせたと言える。具体的には、F社やM社等がフェムト秒パルス光源やレーザー装置の開発・製品化に、またA社ではフェムト秒レーザーを用いた微小加工の技術開発に乗り出した。さらにC社は平尾教授と共同で、フェムト秒レーザー加工技術を応用した次世代光学部品や照明技術の開発を始めている。実用化に関しては、未だその緒に就いたばかりであるが、今後、低コストで大量生産が可能となれば経済的に大きなインパクトを与えることになる。また、バイオやエネルギー分野にかかわる技術開発に繋がれば社会的インパクトも大きい。

2.3 参加研究者はどのような形で活躍しているか

プロジェクトリーダーの平尾一之氏はフェムト秒レーザーに留まらずガラスやセラミックス部門におけるリーダーとして活躍を続けている。また NEDO 特別講座「光集積ラボラトリー」を継続させ若手研究者の育成に力を注ぎ、京都大学および中国の大学における中堅研究者、すなわち、次世代のリーダーを数多く育成していることは高く評価される。本プロジェクトを実施するに当たり、企業との連携を強く意識し、企業研究者のキャリアアップにも大きく貢献した。本プロジェクトに参画した研究者はレーザー加工・改質に関して世界を席巻する研究者に育ち、派遣元に復帰した後も重要なポジションで研究開発に携わっている。

一方、本プロジェクトが最初の日中共同研究プロジェクトとして推進され、日中の科学技術交流の端緒を築いたことも高く評価できる。グループリーダーを務めた司金海氏および邱建榮氏はそれぞれ西安交通大学と浙江大学の教授として研究教育の責任ある立場に立ち、中国における当該分野の研究を牽引するとともに、日中国際交流においても多大の貢献をしている。

3. その他

本プロジェクトの大きな成果は単なる学術的なものにとどまらず、将来の高度産業技術に関して、一定の具体的なイメージを与えた点に大きな価値があると思われる。フェムト秒レーザーによる多光子吸収や干渉パルスを利用した三次元空間一括加工法を見出し、「三次元光デバイス高効率製造技術プロジェクト」として企業化に繋げるべく研究が続けられた。その結果、ホログラムによる高速・高精度三次元レーザー加工を可能とする「フェムト秒レーザープロセッシング」技術分野が展望され、超高速時間分解観測装置の企業化も糸口がついたように思われる。将来の技術的なイニシアティブの獲得に大きく貢献することになるであろう。しかしながら、これらの成果を全光集積回路のトータルシステムを構築するという構想に立てば、現時点では未だ十分に熟しておらず、生産技術などバリアも多い。個々の課題をクリアしながら目標に向けた研究活動が必要である。

本プロジェクトの国際性についてみると、これまでに数多くある米欧との共同研究ではなく、科学技術や経済面において最重要国と見なされる中国との共同研究において推進されたことは極めて重要である。日中の科学技術交流を成し遂げ、友好関係を築いた点は高く評価でき、今後、学術から応用展開までを日中共同体で推進する嚆矢となるとすれば、その意義は計り知れないほど大きいといえる。国際共同研究を推進し諸外国との学术交流を図ることは、我が国にとって極めて意義深いことである。最先端科学技術の推進、地球規模の問題（エネルギー、環境、炭酸ガス問題など）を解決する科学技術の推進、世界標準の構築、発展途上国の科学技術の促進など、我が国だけでは対応できない問題を解決する研究・技術開発を支援することは重要であると考えられる。