

(2) 研究テーマの推移

概要

先述したように研究テーマは大きく3つに分かれる。実証レーザーシステムの大出力の光源部であるフェムト秒レーザーの開発を担当する「LDを用いた高強度フェムト秒レーザーの開発」と、実証レーザーシステムにおける高強度フェムト秒レーザー光およびそれによる反応プロセスの計測制御に関連する開発を担当する「超高密度フォトン反応制御技術の開発」、そして、新しい産業の可能性を実証や既存産業への応用を検討する「新規産業開発研究」である。

この大テーマ設定においては、事業終了まで組替えなどの大きな変更はなかったが、効率的研究の推進や実用化促進、先進的知見の取り込みなどの目的で、サブテーマ・小テーマのレベルで変更を行った。また、中間評価結果での指摘内容を検討し、適切な変更を行った。

「LDを用いた高強度フェムト秒レーザーの開発」での研究テーマの推移

このテーマは、開発する高強度フェムト秒レーザー（LD励起全固体フェムト秒レーザー）の構成に基づいて、励起光源である「YAGレーザーの開発」、フェムト秒レーザー本体を開発する「フェムト秒レーザーの開発」、レーザーの高性能化を図る「高性能化の研究」というサブテーマで構成される。事業期間中にこの枠組みに変更はなかったが、小テーマレベルで必要に応じてその改組を行い、充実を図った。中間評価での指摘（※1）により15年度から当テーマを担当する雇用研究員を増員した。

「YAGレーザーの開発」

開発するレーザーシステムのシード光を発振するフェムト秒レーザー発振器を励起する光源で、半導体レーザーで励起されるCWグリーンレーザーの開発を進めた。所期の目標値を達成したことと、中間評価での指摘（※1）により高強度フェムト秒レーザーの発振器をファイバーレーザーに変更したことから、14年度で終了した（「チタンサファイア励起用CWグリーンレーザーの開発」）。16年度途中から研究成果の実用化に向けた研究開発を加速することを目的とした事業費の追加配賦を受け、フェムト秒レーザー発振器の小型化に寄与する「連続発振Nd:GdVO₄レーザーの開発」を行った。

また、シード光を増幅する際に必要な励起光源であるLD励起パルスグリーンレーザーの開発を進めた（「チタンサファイア励起用パルスグリーンレーザーの開発」）。14年度までは高ピークタイプLD励起全固体フェムト秒レーザー（＝チタンサファイアレーザーA）用を、15～17年度は高繰り返しタイプLD励起全固体フェムト秒レーザー（＝チタンサファイアレーザーB）用のパルスグリーンレーザーを試作した。

この研究テーマから派生し、開発したレーザーの高いビーム品質を利用し微細加工専用のレーザーを試作した（「微細加工用レーザー装置の開発」13～14年度）。また同じく、YAGレーザー励起のためのLDの集光技術の研究の応用として「半導体レーザーの直接利用」を実施した（14年度）。

このグリーンレーザーはYAGレーザーの基本波を波長変換して得られる。このため波長変換結晶が重要であり、高知工業高等専門学校（→大阪工業大学工学部）との共同研究「非線形光学結晶の信頼性に関する研究」を追加実施した（平成14年度～）。

「フェムト秒レーザーの開発」

14年度までにチタンサファイアレーザーAの試作を終え、目標性能を達成した（「フェムト秒レーザー発振器の開発および特性評価」「レーザー増幅器の開発および特性評価」）。

15～17年度のチタンサファイアレーザーBの開発においては、中間評価の指摘により

超高密度光子利用実証レーザーシステムの開発

LDを用いた高強度フェムト秒レーザーの開発						
YAGレーザーの開発	チタンサファイア励起用パルスグリーンレーザーの開発（低繰り返し）		チタンサファイア励起用パルスグリーンレーザーの開発（低・高繰り返し）			
	チタンサファイア励起用CWグリーンレーザーの開発		連続発振 Nd:GdVO ₄ レーザーの開発			
	微細加工用レーザー装置の開発					
	半導体レーザーの直接利用					
	非線形光学結晶の信頼性に関する研究					
フェムト秒レーザーの開発	チタンサファイアレーザーAの開発					
	チタンサファイアレーザーBの開発					
	レーザーシステムの小型化の検討					
高性能化の研究	高性能 / 高機能 LD 電源の開発					
	高精度加工技術の開発		金属鏡の開発と応用			
	冷却機構の開発					
	フォトニック結晶の評価					
	加工用のためのレーザー開発					
12年度	13年度	14年度	15年度	16年度	17年度	

開発コンセプトの修正を行い（※1）、システムを試作し目標性能を達成した（「チタンサファイアレーザーBの開発」）。その際レーザーシステムの小型化の研究を並行して進めた（「レーザーシステムの小型化の検討」14～16年度）。

また、高ピークタイプの応用可能性が高いことから、チタンサファイアAの高性能化を15年度以降も引き続き実施した（「チタンサファイアレーザーAの開発」）。

「高性能化の研究」

システムとしての高強度フェムト秒レーザー（LD励起全固体フェムト秒レーザー）においては電源供給と廃熱（冷却）は非常に重要な要素である。

フェムト秒レーザーシステムにおいてYAGレーザーを励起するLD用電源の開発を行った（「高性能LD電源の開発」12～14年度、「高機能LD電源の開発」15～17年度）。

高精度の金属鏡面加工によって有効となる集光機構と冷却機構の開発をおこなった（「高精度加工技術の開発」12～14年度、「金属鏡の開発と応用」15～16年度、「冷却機構の開発」15～17年度）。

また、フェムト秒レーザーシステムのレーザーパルスの伸張・圧縮部の小型化に有

効とされるフォトニック結晶について浜松ホトニクス株式会社中央研究所と共同研究テーマ「フォトニック結晶の評価」を新たに設けた（16～17年度）

先述の微細加工用レーザー装置の成果をもとに、13～14年度文部科学省地域科学技術振興事業費補助金により試作した多波長レーザー装置について、産業ニーズに応えるため超微細加工のための改良を目的としたテーマを15年度に開始した（「加工用のためのレーザー開発」）。

中間評価におけるサブテーマへの指摘※1

- ・ プロジェクトの鍵を握る10Hz 100mJ、250mJグリーンレーザーの開発に人的資源を集中し、産業用途に使える安定出力を目指すべきである。
- ・ フェムト秒レーザーの産業応用には、カーレンズモード同期を用いた発振器は振動に弱く不相当と考えられる。この部分はファイバーレーザーが適当と思われる。
- ・ ただし、ファイバーレーザーは10～20mWと出力が低いので、前置増幅器として再生増幅器が必要である。

「超高密度フォトン反応制御技術の開発」での研究テーマの推移

このテーマは、実証レーザーシステムをめざし、それに必要とされる要素技術の実用化を検討する「計測・制御技術の開発」とフェムト秒レーザーにより遠赤外線（テラヘルツ波）～エックス線発生を図る「波長域拡大技術の開発」をサブテーマとして設定し、所期の目標を超える成果を得た（12～14年度）。

「計測・制御技術の開発」

さまざまな先端的計測・光制御技術を検討し、「時間波形に関するパルス特性の計測と制御」「空間強度分布に関するパルス特性の計測と制御」を進めた。また、フェムト秒レーザーの産業的展開時に必須の、加工状態モニタのための「相互作用のスペクトル計測」、高強度フェムト秒レーザーの伝送のための「一体化のためのファイバー伝送」を実施した。また、原子分子レベルの加工のため静岡大学電子工学研究所と共同研究「超高速走査プローブ計測システムの開発」を実施し（12～13年度、「新規産業開発研究」内テーマ）、その成果をもとに14年度から「時間・空間の極限的計測法の研究」へと発展させた。また、高強度フェムト秒パルスと物質との相互作用の研究を推進するため、大阪市立大学大学院工学研究科との共同研究「相互作用に関するシミュレーション研究」を14年度から開始した。

「波長域拡大技術の開発」

フェムト秒レーザーパルスと物質との反応制御により「テラヘルツ波とエックス線の発生」をテーマに研究を進めた。また、有機結晶等によるテラヘルツ波発生について静岡大学工学部と共同研究「光合成色素・有機非線形光学材料の研究」を実施し（12～13年度、「新規産業開発研究」内テーマ）、その成果をもとに14年度から「共鳴励起を用いたテラヘルツ発生効率の向上」へと発展させた。

15年度以降は、基本計画の設定を再構成し、後述するように「新規産業開発研究」のうちの「先導的実証研究」との連携を強めたテーマ設定を行い（「短寿命放射性同位体生成のための計測・制御」「非熱加工のための計測・制御」「テラヘルツ波応用のための計測・制御」）、15年度から当テーマおよび「先導的実証研究」を担当する雇用研究員を増員した。これは中間評価の指摘（※2）と一致するものであった。

超高密度光子利用実証レーザーシステムの開発

超高密度光子反応制御技術の開発							
計測 制御 技術 の 開発	時間波形に関するパルス特性の計測と制御		短寿命放射性同位体生成のための計測・制御				
	空間強度分布に関するパルス特性の計測と制御		テラワットパルス波面・波形の計測・制御				
			相互作用のスペクトル計測	非熱加工のための計測・制御 加工のモニタリング			
			一体化のためのファイバー伝送	非熱加工のための計測・制御 ファイバー利用加工			
			時間・空間の極限的計測法の研究				
			相互作用に関するシミュレーション研究				
							フェムト秒レーザー加工における飛散物の振る舞いの研究
波長域 拡大 技術 の 開発	テラヘルツ波とX線の発生		テラヘルツ波応用のための計測・制御				
			実用化を目指した非線形光学材料の性能評価				
			共鳴励起を用いたテラヘルツ発生効率の向上	非線形光学材料の計測・評価			
	12年度	13年度	14年度	15年度	16年度	17年度	

「短寿命放射性同位体生成のための計測・制御」

このサブテーマは「時間波形に関するパルス特性の計測と制御」「空間強度分布に関するパルス特性の計測と制御」をもとに再構成した。

「非熱加工のための計測・制御」

このサブテーマは「相互作用のスペクトル計測」を発展させた「加工のモニタリング」と、「一体化のためのファイバー伝送」を発展させた「ファイバー利用加工」によって実施した。また、静岡大学電子工学研究所との共同研究「時間・空間の極限的計測法の研究」（～16年度）、大阪市立大学大学院工学研究科との共同研究「相互作用に関するシミュレーション研究」（～17年度）を継続した。さらに、実際の非熱加工の実用化に向け静岡大学工学部との共同研究「フェムト秒レーザー加工における飛散物の振る舞いの研究」を17年度から開始した。

「テラヘルツ波応用のための計測・制御」

テラヘルツ波の応用を図るためテラヘルツ波の「高輝度化・短時間計測化・高機能化」を実施した。また、共同研究「共鳴励起を用いたテラヘルツ発生効率の向上」の成果に基づき静岡大学工学部・大阪市立大学大学院理学研究科との共同研究「非線形光学材料の計測・評価」「実用化を目指した非線形光学材料の性能評価」（～17年度）を実施した。

中間評価におけるサブテーマへの指摘※2

- ・ フェムト秒単一パルス内に含まれる多くのスペクトル成分の変化を利用したフーリエ分光により、単一ショット情報収集計測などへの発展を期待したい。
- ・ 有機非線形結晶によるテラヘルツ波発生は科学研究として一級。若干効率が落ちても、長寿命、安定な材料の追求が望まれる。
- ・ 波長域拡大技術はテラヘルツに集中した方がよい。

「新規産業開発研究」での研究テーマの推移

このテーマは社会的ニーズの高い新医療分野で、実証レーザーシステムを想定して新規産業につながる未知未踏の新領域を開発する「先導的探索／実証研究」、および加工や農業分野での既存産業の高度化につながる「地域産業育成探索／実証研究」からなる。

「先導的探索／実証研究」

12～14年度の探索研究の結果から、15年度以降「物質改変（特に、レーザーによる陽電子放出核種生成実験）」「レーザーによる高機能加工」「テラヘルツ波イメージング」を実施し、それぞれのテーマに即した実証レーザーシステムを構築した。

「物質改変」においては、理論的アプローチと可能性の調査として静岡大学理学部と共同研究を実施した（「高エネルギー粒子の挙動に関する研究」→「高エネルギー粒子と物質の相互作用の調査研究」12年度～17年度）。また、高エネルギー粒子発生のキーとなるターゲット研究のため浜松ホトニクス株式会社中央研究所と共同研究「陽電子放出核種生成ターゲットの研究」を行った（14～17年度）。また、生成する高エネルギー粒子のさらなる応用を検討するため光産業創成大学院大学と共同研究「テラワットレーザーによる粒子ビーム発生とその応用研究」を行った（17年度）。

「レーザーによる高機能加工」は14年度までの「レーザー加工」における成果をベースに再構成し「高機能レーザー加工」を実施するとともに、実証レーザーシステムの開発について光産業創成大学院大学との共同研究「時間空間制御されたレーザーパルスによる加工の研究」を行った（17年度）。

中間評価結果の指摘事項（※3）を検討し、研究内容を見直し、最適な取り組みを実現した結果、所期の目的を達成した。

「地域産業育成探索／実証研究」

このテーマは、先端的なレーザー応用技術、光技術を地域に展開するため「加工」「農業」を軸に構成された。地域負担で実施した。

「加工」においては、YAGレーザー・半導体レーザー等を用いた「多波長同軸高速ハイブリッドレーザ加工の開発」（12年度）、「地域光産業に関する研究」（12～17年度）、半導体レーザーを用いた「半導体レーザーを応用した繊維加工技術の開発」（15～17年度）を実施した。

「農業」においては、「X線と光技術による育種法の開発」（12～13年度）「半導体単色発光素子を利用した植物形態形成制御システムの開発」（13年度）「バイオテクノロジーを利用した高機能素材の開発」（12～14年度）、「放射線と効果的育種技術による新品種・新素材開発」（14年度～）、「植物の病害抵抗性誘導剤の開発」（15～17年度）を行った。

特に「半導体レーザーを応用した繊維加工技術の開発」においては民間企業との共同開発が実施された（中間評価結果の指摘事項※3に対応）。

新規産業開発研究

先導的探索 / 実証研究						
新医療分野における応用研究	物質改変～レーザーによる陽電子放出核種生成実験					
	物質改変～陽電子放出核種生成ターゲットの研究					
高エネルギー粒子の挙動に関する研究	物質改変～高エネルギー粒子と物質の相互作用の調査研究					
	テラワットレーザーによる粒子ビーム発生とその応用研究					
超高速走査プローブ計測システムの開発	レーザー加工					
光合成色素・有機非線形光学材料の研究	レーザーによる高機能加工～高機能レーザー加工					
	時間空間制御されたレーザーハルによる加工の研究					
不可視光領域の応用	テラヘルツ波応用					
地域産業育成探索 / 実証研究						
多波長同軸高速ハイブリッドレーザー加工の開発	半導体レーザーを応用した繊維加工技術の開発					
	地域光産業に関する研究					
X線と光技術による育種法の開発						
半導体単色発光素子を利用した植物形態形成制御システムの開発						
ハイテクノロジーを利用した高機能素材の開発						
放射線と効率的育種技術による新品種・新素材開発						
植物の病害抵抗性誘導剤の開発						
12年度	13年度	14年度	15年度	16年度	17年度	

中間評価におけるサブテーマへの指摘※3

- ・ 地域産業育成探索研究では、更なるニーズの掘り起こしと、浜松ホトニクス以外の企業の積極的参加が望まれる。
- ・ 小型フェムト秒高出力レーザーで核変換しPETに応用する試みは独創的。但し、レーザーのエネルギーが不足している可能性がある。
- ・ THz イメージングも更なる THz 波の高出力化が求められる。フェムト秒加工には Ar、真空など加工雰囲気も重要。
- ・ 閾値のない物質改変過程の利用を提案するなど、優れた着想の研究が妥当な研究方向でなされているが、誰も解を持っていない部分の研究領域なので、今後の取り組みに期待する。