

(3) 研究成果

上述のような研究体制に基づき 5 年間にわたる精力的な研究開発の結果、特筆すべき成果をあげることができた。その概要は次のとおり。

「LD を用いた高強度フェムト秒レーザーの開発」

・ 高ピークタイプ全固体フェムト秒レーザー

波長 790nm、ピークパワー 1TW、繰り返し周波数 10Hz、パルス幅 100fs の LD 励起全固体フェムト秒レーザーを開発した。システムの構成要素となる励起用の MOPA 方式 Nd:YAG グリーンレーザー、フェムト秒レーザー本体である CPA 方式を用いたチタンサファイアレーザー発振器、パルスストレッチャー、前置増幅器、主増幅器、パルスコンプレッサーなど、すべての要素技術について技術開発をおこなっているため、今後のアップグレードが容易である。

【関連する小テーマ：<1-1-a>① <1-1-b>①】

・ 高繰り返しタイプ全固体フェムト秒レーザー

波長 790nm、ピークパワー 0.1TW、繰り返し周波数 1kHz、パルス幅 100fs の LD 励起全固体フェムト秒レーザーを開発した。平均出力で 10W を超えるフェムト秒レーザーとしては製品群中トップクラスである。このシステムも高ピークタイプ同様ほぼすべての要素技術について技術開発をおこなっているため、アップグレードが容易である。

【関連する小テーマ：<1-1-a>② <1-1-b>②】

・ 微細加工用グリーンレーザー

2 つの高強度フェムト秒レーザー開発途上において必要とされた励起用パルスグリーンレーザーを、微細加工に適したレーザー装置として発展的に装置化したもので、波長 532nm、平均出力 13W、繰り返し周波数 5kHz、パルス幅 27ns、ビーム品質 M^2 値 1.3 の Nd:YAG グリーンレーザーである。これらの性能を同時に満たすレーザーとしては製品群中トップクラスである。

【関連する小テーマ：<1-1-a>③】

・ 高ビーム品質 三波長レーザー

微細加工用グリーンレーザーをさらに発展させて装置化したもので、繰り返し周波数 5kHz、パルス幅 29ns にて YAG レーザーの基本波 20W、2 倍波 8W、3 倍波 1W を同時に発生させることが可能である。これを用いて、これまで加工が困難とされてきた材料の波長重合による新規加工技術開発が期待される。

【関連する小テーマ：<1-1-a>③ <1-1-c>①】

・ 完全空冷型 CW グリーンレーザー

チタンサファイアレーザーの励起用 CW グリーンレーザーとして安定性の極めて高いレーザーが必要となり開発された。レーザー媒質には Nd:GdVO₄ を採用しておりこれにより完全空冷で 2 倍波平均出力 4.3W を 130mm×71mm×56mm の小型筐体から高安定に発振させることに成功、これによりチタンサファイアレーザーのモードロック発振を実現している。

【関連する小テーマ：<1-1-a>⑤】

・ 小型・高効率・高機能レーザー用電源の開発

19 インチラックに搭載可能で交流一直流変換効率が 90% 以上と高効率、さらにはパソコン (USB) による外部からの出力電流値・波形の制御が可能な 80V60A の LD 電源を開発した。これを本フェムト秒レーザーをはじめとする LD 励起固体レーザー用電源として用いることで最適なレーザー媒質の励起がされることが期待される。

【関連する小テーマ：<1-1-c>②】

「超高密度フォトン反応制御技術の開発」

・ フェムト秒時間分解偏光画像化計測 (FTOP)

空間強度分布に関するパルス特性の計測制御で 1 キロヘルツのフェムト秒パルスで FTOP 計測の高 S/N 計測を可能にし、時間分解能 45 フェムト秒、空間分解能 3.3 マイクロメートルを同時に満足する超高速二次元計測を達成した。また、0.4 ピコ秒間隔の 8 つの時点での計測を世界で初めて実現した。

【関連する小テーマ：<1-2>①】

・ 小型・高効率・高耐光強度 フェムト秒波形整形

小型・高効率・高耐光強度 フェムト秒波形整形器を試作し、瞬時強度 10 ギガワットのフェムト秒パルスの波形制御に成功した。この強度レベルで、精密な波形整形を実現した例は過去にない。この試作器を高密度フォトン発生・計測実験装置の再生増幅パルス光に適用してアクリル加工実験を試行し、時間波形制御によって高工率化と高精度化を同時に実現した。

【関連する小テーマ：<1-2>①】

・ テラワットパルスの波形整形、波面補償

試作した小型・高効率・高耐光強度 フェムト秒波形整形器を高密度フォトン発生・計測実験装置に適用し、テラワットパルスの波形整形を実現した。また、波面計測ひずみ補償装置を高密度フォトン発生・計測実験装置に適用し、波面のフィードバック制御により、集光点の最大強度を 5 倍程度増強することに成功した。テラワットパルスの波形整形と波面補償を同時に達成したのは世界にも類がない。

【関連する小テーマ：<1-2>①】

・ リアルタイム穴深度モニタリング

「超高密度フォトン利用実証レーザーシステム」の実例として、当事業で新しく開発し、世界で初めて実現した「穴深度リアルタイムモニタリングシステム」（プレス発表実施）を構築した。また、20 ヘルツまでのパルス繰り返しに対して、実際に加工がどこまで行われているかをリアルタイムで数値として表示できるように高機能化できた。さらに、このプロト機を用いて、経皮薬物送達システム (TDS) 用のマイクロニードルシート作製への応用の可能性を検討し、有効性を実証した。

【関連する小テーマ：<1-2>④】

・ ファイバー出力光による非熱加工

「超高密度フォトン利用実証レーザーシステム」の実例として、「ファイバー伝送フェムト秒パルス加工」（プレス発表実施）を実現した。これを用いて、被加工物を移動しない方式でのフェムト秒加工を世界で初めておこなった。さらに、ポリエチレンテレフタレート (PET) 樹脂加工に適用して、その有効性を確認した。

【関連する小テーマ：<1-2>⑤】

「新規産業開発研究」

・ テーブルトップレーザーによる重陽子発生

重水素化ポリスチレンを染み込ませたポーラス構造のポリテトラフルオロエチレン (PolyTetraFluoroEthylene) をレーザー照射ターゲットとして、2.4 テラワットのレーザーを用いて最大で 1.6 メガエレクトロンボルトの重陽子を発生できた。ここで、世界で初めて、プロトンの発生を抑制して、目的とする重陽子のエネルギーと個数を増大する

ことに成功した。さらに、テラワットパルス波面の補償によって、重陽子の発生効率の向上と高エネルギー化を同時に実現することができた。

【関連する小テーマ：<1-2>① <2-a>①②③④】

・ テーブルトップレーザーによる短寿命放射性同位体生成の実証

高エネルギーの重陽子をメラミン樹脂に照射し、 $^{12}\text{C}(\text{d},\text{n})^{13}\text{N}$ の過程によって、メラミン樹脂中の炭素を窒素に物質改変して、放射化することに成功した。結果として、世界で初めてテーブルトップレーザーによる短寿命放射性同位体生成を実証した（プレス発表実施）。

【関連する小テーマ：<1-2>① <2-a>①②③④】

・ 有機結晶を用いたテラヘルツ波発生・計測

共同研究チームが世界にさきがけて作製した良質で大型の N-ベンジル-2-メチル-4-ニトロアニリン (BNA) 結晶を利用して、「超高密度フォトン利用実証レーザーシステム」の実例としての「全有機結晶テラヘルツ波発生・計測」（プレス発表実施）を実現した。さらにこの系が高周波成分の検出に有効であることを明らかにした。

【関連する小テーマ：<1-2>⑦⑨ <2-a>⑤】

・ 繊維等の非熱加工

フェムト秒加工を地場産業である繊維に適用し、焦げ目のない加工や脱色を実現し、繊維加工に有効であることを明らかにした（プレス発表実施）。この他、多くのサンプルに対する加工実験を実施して、データベースを構築した。

【関連する小テーマ：<2-a>⑥】

・ 光源を含むコンパクトフェムト秒レーザー加工機

「超高密度フォトン利用実証レーザーシステム」の実例として、「光源を含むコンパクトフェムト秒レーザー加工機」を構築し、化合物半導体上のインジウム電極の加工を実施し、産業応用の可能性があることを明らかにした。

【関連する小テーマ：<2-a>⑦】

・ レーザーによるアラミド繊維染色法の開発

レーザーによる染色について、レーザー光吸収特性の改善、レーザー染色に適する染料の選択、レーザービーム集光法などの基礎的内容から研究を進めた結果、これまでプリント染色が不可能であった難燃性の高強度繊維であるアラミド繊維を染色する技術を世界で初めて開発した。

【関連する小テーマ：<2-b>加工⑧】

これらの研究開発に伴い、特許出願 38 件、学会等への発表は論文 164 件・口頭発表 305 件を行った。また、新技術エージェントとの連携のもと、新聞発表や地域内外での成果発表イベントには研究員が積極的に参加し、自らの開発成果を積極的に PR した。

各研究小テーマの研究成果

ページ

＜ 1 ＞ 超高密度フォトン利用実証レーザーシステムの開発	
＜ 1-1 ＞ LDを用いた高強度フェムト秒レーザーの開発	
サブテーマ＜ 1-1-a ＞ YAGレーザーの開発	
① Ti:Sapphire励起用パルスグリーンレーザーの開発	44
② Ti:Sapphire励起用パルスグリーンレーザーの開発 (高繰り返し)	46
③ 微細加工レーザー装置の開発	48
④ Ti:sapphire励起用CWグリーンレーザーの開発	50
⑤ 連続発振Nd:GdVO4レーザーの開発	52
⑥ 半導体レーザー直接利用	54
⑦ 非線形光学結晶の信頼性に関する研究	56
サブテーマ＜ 1-1-b ＞ フェムト秒レーザーの開発	
① チタンサファイアレーザーAの開発	58
② チタンサファイアレーザーBの開発	60
③ レーザーシステム小型化の研究	62
サブテーマ＜ 1-1-c ＞ 高性能化の研究	
① 加工のためのレーザー開発	64
② 高機能LD電源の開発	66
③ 金属鏡の開発と応用	68
④ 冷却機構の開発	70
⑤ フォトニック結晶の評価	72
＜ 1-2 ＞ 超高密度フォトン反応制御技術の開発	
サブテーマ＜ 1-2-a ＞ 計測制御技術の開発	
サブテーマ＜ 1-2-b ＞ 波長域拡大技術の開発	
⇒ サブテーマ 応用のための計測・制御技術の開発	
① 短寿命放射性同位体生成のための計測・制御	74
② 相互作用に関するシミュレーションの研究	76
③ 時間・空間の極限的計測法の研究	78
④ 非熱加工のための計測・制御 ～ 加工のモニタリング	80
⑤ 非熱加工のための計測・制御 ～ ファイバー利用加工	82
⑥ 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	84
⑦ 波長域拡大技術の開発	86
⑧ 実用化を目指した非線形光学材料の性能評価	88
⑨ 非線形光学材料の計測・評価	90
＜ 2 ＞ 新規産業開発研究	
サブテーマ＜ 2-a ＞ 先導的探索／実証研究	
① 物質改変～レーザーによる陽電子放出核種生成実験	92
② 物質改変～陽電子放出核種生成ターゲットの研究	94
③ 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	96
④ 物質改変～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	98
⑤ THz波応用	100
⑥ レーザーによる高機能加工～高機能レーザー加工	102
⑦ レーザーによる高機能加工～時間空間制御されたレーザーパルスによる加工の研究	104
サブテーマ＜ 2-b ＞ 地域産業育成探索／実証研究	
加工① 多波長同軸高速ハイブリッドレーザー加工機の開発	106
地域光産業振興に関する研究	
加工② レーザーによるチップソーのチップろう付け加工技術	108
加工③ 側面励起型ファイバ増幅器の開発	110
加工④ アルミニウム合金材のレーザー溶接実用化に関する研究	112
加工⑤ 高出力半導体レーザーの産業応用に関する研究	114
加工⑥ 半導体レーザー光整形技術の開発	116
加工⑦ 半導体レーザーによる樹脂材料の非走査型同時溶着法の開発	118
半導体レーザーを応用した繊維加工技術の開発	
加工⑧ レーザー染色加工技術の開発	120
加工⑨ レーザーミシン縫製技術の開発	122
農業① X線と光技術による育種法開発	124
農業② バイオテクノロジーを利用した高機能素材の開発	126
農業③ 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	128
農業④ 放射線と効率的育種技術による新品種・新素材開発	130
農業⑤ 植物の病害抵抗性誘導剤の開発	132