

< 1 - 2 > 超高密度フォトン反応制御技術の開発  
 サブテーマ名： 応用のための計測・制御技術の開発  
 小テーマ名： 非熱加工のための計測・制御 ~ 加工のモニタリング (フェーズ , )  
 サブテーマリーダー 光科学技術研究振興財団 コア研究室 研究リーダー 青島紳一郎  
 研究従事者 コア研究室 研究員 神谷真好、伊藤晴康

研究の概要、新規性及び目標

研究の概要

フェムト秒レーザーによる微細加工において、ターゲットからの反射光と、予め分岐しておいた参照光との干渉スペクトルを分光解析することにより、加工中の孔深度をリアルタイムでモニタリングできる技術を開発した。これにより、制御性の高い微細レーザー加工が可能となった。また、モニタリング技術の応用分野の拡大や実用化の促進を図るため、リアルタイム孔深度モニターのプロト機を試作し、高性能化と高機能化を行った。さらに、プロト機とフェムト秒レーザー光源とを組み合わせ、経皮薬物送達システム (TDS) 用の新しい担体 (マイクロニードルシート) 作製等への応用可能性を検討し、リアルタイム孔深度モニターの有効性を実証した。

研究の独自性・新規性

従来、深さ方向 (照射光軸方向) の変化を加工中に知ることはできなかった。本研究では、フェムト秒パルスの広帯域性に着眼し、加工に用いるフェムト秒パルスをもそのまま計測に利用しようとする独自の発想で研究開発を進め、世界で初めて「リアルタイム孔深度モニター」(プレス発表実施)を実現した。計測器を用いて、加工中の孔深度をリアルタイムで広いレンジにわたり高分解能で検出することに成功した。また、研究の過程で、2件の特許出願を行った。よって、独自性と新規性を兼ね備えた研究を実施し、新規かつ有用な研究成果が得られた。

研究の目標

フェーズ : 加工対象物などから反射あるいは透過したパルス光を入射パルス光と干渉分光させることにより、相互作用の状態を把握する研究テーマを新規に立案して研究を開始する(平成13年度)。高強度フェムト秒パルス光と物質との相互作用を簡単な方法でモニターする。分光干渉計測の結果から加工対象物における相互作用に対応したパルス光の光振幅変化や光位相変化を抽出できるかについて検討を行う(平成14年度)。  
 フェーズ : 相互作用のモニタリング手法を引き続き検討する。反射パルス光と参照パルス光とを分光干渉させることにより、加工サンプルの形状変化のモニタリングを検討する。また、反射光と参照光の分光結果の差分をとることによりサンプル表面の性状変化のモニタリングを検討する(平成15年度)。モニタリングの精度やS/N比の向上を図るため、同時シングルショットサンプリングや計算処理の高速化を推進する。さらに、リアルタイム孔深度モニターのプロト機を試作し、このプロト機とフェムト秒パルス光源とを組み合わせ実用化促進を図る(平成16年度)。モニタリングの実用に即した新しい高機能計測技術の研究を実施する。また、試作したプロト機とフェムト秒パルス光源とを組み合わせ、経皮薬物送達システム (TDS) 用の新しい担体 (マイクロニードルシート) の作製等への応用の可能性を検討する(平成17年度)。

研究の進め方及び進捗状況

フェーズ では、< 1 - 2 > 超高密度フォトン反応制御技術の開発 < 1 - 2 - a > 計測・制御技術の開発の中で、「干渉分光計測」として研究を実施した。

フェーズ では、フェーズ で得られた研究成果に基づいて、< 1 - 2 > 超高密度フォトン反応制御技術の開発「応用のための計測・制御技術の開発」2)「非熱加工のための計測・制御~加工のモニタリング」として研究開発を継続した。

平成 13 年度進捗：干渉分光器を構成し、超短パルス光の干渉分光結果を再現性良く測定できることを確認した。鏡面反射光を用いたが、実際にサンプルからの反射光に対して同様のデータを取得することで、簡易的にフェムト秒パルス光との相互作用について知ることができると見込みを得た。

平成14年度進捗：照射直後のサンプル反射スペクトルと、それから2~3秒後の反射スペクトルとは、分布が大きく変化しているのが認められた。また、照射開始直後から10分間にわたり2分毎に干渉スペクトルを測定し、干渉スペクトルに含まれる周波数成分から孔深さを計算した。反射干渉スペクトルからは、正確な孔深度情報を得ることはできなかったが、孔深度を推定できる可能性を得ることができた。

平成 15 年度進捗：アクリルをサンプルとして、フェムト秒レーザー光による孔あけ加工をおこない、加工中における孔深さのリアルタイム計測に成功した。さらに、異なる深さの微細孔加工実験を多く行い、リアルタイム孔深度モニタリングの信頼性を確認することができた。

平成 16 年度進捗：モニタリング技術の応用分野の拡大や実用化の促進を図るため、リアルタイム孔深度モニターの高性能化と高機能化、およびプロト機の試作を行った。

平成 17 年度進捗：リアルタイム孔深度モニタリングの高機能化研究を実施した。さらに、応用のための可能性評価を行い、経皮薬物送達システム用マイクロニードルシート金型の作製等への応用の可能性を

確認した。  
目標達成率は 130 %である。

**主な成果**

具体的な成果内容：

フェムト秒レーザー加工中の孔深度をリアルタイムでモニタリングできる技術を開発した。  
リアルタイム孔深度モニターのプロト機の試作を行った。  
高性能化と高機能化を実施し、モニタリング技術の応用分野の拡大や実用化の促進を図った。  
皮薬物送達システム用マイクロニードルシート金型の作製を例として、制御性の高いフェムト秒レーザー加工を実現可能とし、応用の可能性を広げた。  
以上、「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「リアルタイム孔深度モニター」を構築した。20 Hz 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。

特許件数：2    論文数：2    口頭発表件数：8    プレス発表：1

**研究成果に関する評価**

1 国内外における水準との対比

国内外ともに、これまで、深さ方向（照射光軸方向）の変化を加工中に知ることはできなかった。本研究では、独自の発想で、高い水準のフェムト秒パルス利用技術および干渉計測技術を利用して、世界で初めて「リアルタイム孔深度モニター」を実現した。さらに、高い水準の解析・信号処理技術を融合して、20 Hz までのパルス繰り返しに対して、リアルタイムで数値として表示できるまでに高機能化した。このように、新たな原理に基づく新しい計測法を開発するとともに、これをプロト機の構築として具体化し、さらに高機能化して有用性も実証した。したがって、高い水準で研究開発を実施してフェーズ までの事業を完了することができた。

2 実用化に向けた波及効果

世界で初めて開発したリアルタイム孔深度モニタリング技術について、リアルタイム孔深度モニターのプロト機を試作して高性能化および高機能化を行い、具体的な応用可能性を実証した。これまで不可能であった照射光軸方向の深さ変化を加工中にリアルタイムで計測できるようになったため、実用化に向けた波及効果は大きい。

**残された課題と対応方針について**

加工点から反射する光の分光計測を基本としていることから、今後、深さの情報以外にも多角的な情報が取得できるものと期待される。国家プロジェクト等を利用して研究を継続するとともに、具体的な産業応用装置の開発を行う。

	J S T 負担分 (千円)							地域負担分 (千円)							合 計
	H 12	H 13	H 14	H 15	H 16	H 17	小計	H 12	H 13	H 14	H 15	H 16	H 17	小計	
人件費	120	603	678	811	1,321	823	4,356	120	4,103	4,178	4,008	4,091	3,960	20,460	24,816
設備費	8,005	2,088	1,207	2,224	2,509	785	16,818	0	0	0	0	0	0	0	16,818
その他研究費 (消耗品費、材料費等)	191	3,810	5,882	3,359	9,782	2,447	25,471	0	0	0	0	0	0	0	25,471
旅費	22	22	105	0	0	0	149	0	0	0	0	0	0	0	149
その他	53	146	370	308	417	634	1,928	0	0	0	0	0	0	0	1,928
小 計	8,391	6,669	8,242	6,702	14,029	4,689	48,722	120	4,103	4,178	4,008	4,091	3,960	20,460	69,182

**代表的な設備名と仕様 [ 既存 (事業開始前) の設備含む ]**

J S T 負担による設備：高密度フォトン発生計測装置、オシロスコープ、光学除振台、高分解能分光装置、広帯域レトロリフレクター、金属顕微鏡

地域負担による設備：