

「組織的な若手研究者等海外派遣プログラム」で実施された 短期派遣に関する報告

工学研究科 システム科学部門 助教 本村文孝
(派遣期間：平成 2012 年 3 月 26 日～平成 2012 年 9 月 14 日)

ドイツ連邦共和国のフラウンホーファー・レーザ技術研究所 I L T に滞在し、モデリングとシミュレーションに所属し、スマートフォンのディスプレイに用いられる強化ガラスを対象としたレーザアブレーション加工の数値シミュレーションに関する研究に従事した。

1. 滞在研究期間の紹介

フラウンホーファー・レーザ技術研究所(Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT)はドイツ連邦共和国の北西部に位置する観光都市アーヘンにあり、レーザ技術に関する世界的な研究開発がおこなわれており、民間企業との契約研究を中心に、最新のレーザ光源や光学装置の開発、高精度レーザの検証技術の確立および産業的なレーザ加工の提案をおこなっている。所属した部署での研究テーマとして、レーザ切断、穴あけ、溶接、接合、表面処理、マイクロ加工などが挙げられる。

I L T ではモデリングとシミュレーションのプログラミングをおこなう部署に所属した。また留学期間中、同市で開催された国際レーザ技術会議 (AKL'12) に参加し、最新のレーザ研究の国際的動向について知る機会を得た。



写真 1. ILT の建屋



写真 2. ILT との契約企業

2. 研究内容と成果

ピコ秒パルスレーザによるガラス材のレーザアブレーション加工の数値シミュレーションをおこなった。この研究ではピコ秒パルスレーザによるガラス切断の診断と数値シミュレーションに照準を合わせた。数値シミュレーションでは自由電子のダイナミクスについて議論し、超短パルスレーザ照射時の最大自由電子密度のパラメータ空間解析をおこな

った。ガラス材を透明な誘電体とみなし、レーザ光のビーム伝搬と非線形吸収の両方を取り込んだアブレーションモデルを提案し、これらの相互作用を考慮することの有効性を確認した。また推定された除去くぼみ量、および除去くぼみ領域に隣接し、その物性の修正が必要な領域（損傷域）について、アブレーション実験と比較し、良い一致を得た。

この数値シミュレーションモデルを実際のアブレーション加工へ適用する上で、以下のことが明らかとなった。第1に臨界電子密度は材料除去の基準として適用可能である。第2に短いレーザパルス照射時間 (<10[ps]) (Fig.1 参照) に対する除去基準にはフルエンス基準を、またそれより長いレーザパルス照射時間 (>10ps) (Fig.2 参照) に対してはレーザ強度基準を適用することで、アブレーションに必要なレーザエネルギーを見積もることができる。第3に損傷領域は照射するレーザ強度パターンのピーク値によって生じる体積損傷（微小き裂も含む）と関連があり、生成される電子密度のピーク値に加えて、熱力学的な荷重および熱的な物性の変化を考慮する必要があるかもしれない。但しモデルが厳密な損傷メカニズムを表わしていなくても、損傷領域の分布と大きさを示す必要がないこともわかった（修正領域の薄い層状分布および光条分布と、微小き裂の分布には類似性が見られた）。また干渉波のようなビーム伝搬の効果が損傷メカニズムの重要な役割を果たすことが示された。

今後、数値計算モデルは加工工程の質（切り溝の形状、破断強度）と効率（送り量、ライン数）に関する最適化が必要になるだろう。ピコ秒パルスレーザによるガラス切断の診断とシミュレーションは高精度なレーザ切断のための技術として期待されており、適切な計測に基づくモデルの導入およびレーザ加工システムにおける技術評価が必要となる。

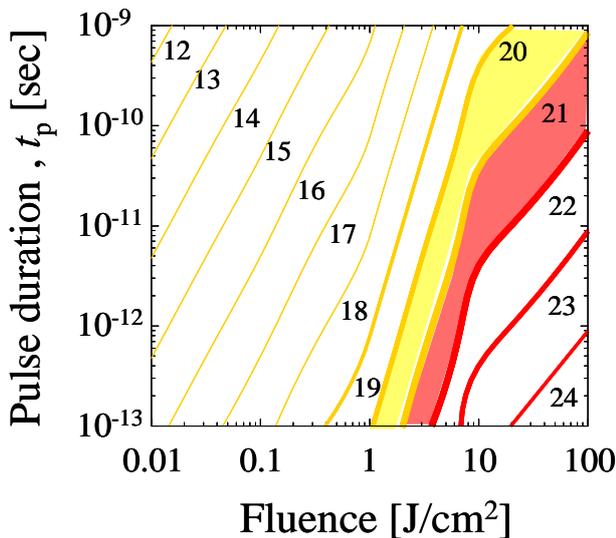


図 1. フルエンス基準

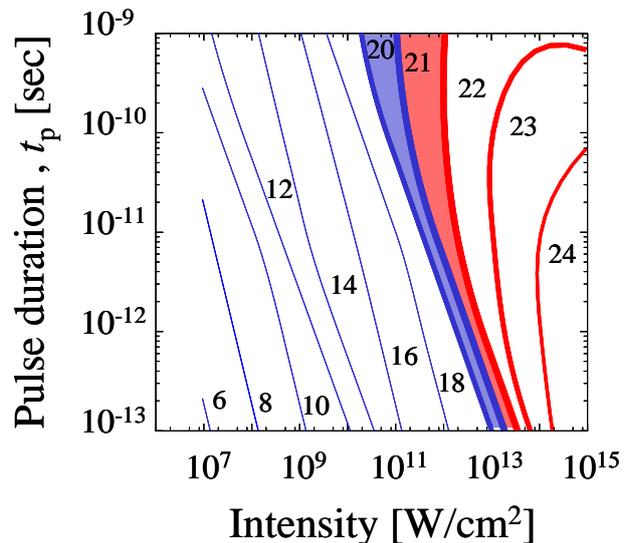


図 2. レーザ強度基準

(English abstract)

This work has focused on the diagnostic and simulation of ps-laser glass cutting. The free-electron dynamics is discussed on irradiation with ultra-short laser pulses and is used to execute parameter

space analyses of the maximum free-electron density. The numerical ablation model including beam propagation and nonlinear absorption is proposed and employed to study the interaction of transparent dielectrics with ultra-short pulses. The ablation crater and the modification morphology (damage region) are in good agreement with the experimental results.

Additionally there are also qualitative and more general aspects, the study of the numerical model demonstrated. First the critical electron density seems to be adequate and complex enough as a criterion for material removal. Second, for small pulse durations ($< 10\text{ps}$) the ablation criterion was found to be fluence-based, while for great pulse durations ($> 10\text{ps}$) the ablation criterion is intensity-based. Third, the damage mechanism is identified as being volume damage (possibly micro-cracks) induced by peaks of intensity patterns which themselves create peaks of electron density and thereby lead to either thermo-mechanical load or thermal modification. Even if the model cannot distinguish the exact damage mechanism, the results show, that this is not even necessary to show the distribution and magnitude of the resulting damage. The model yet shows, that beam propagation effects like interference patterns on the other hand play a major role in the damage mechanisms.

For the future the numerical model is intended to be used to optimize the experimental process with respect to quality (cut kerf shape, breaking strength) and speed (feed, number of lines). The diagnostic and simulation of ps-laser glass cutting will motivate the modification strategies to current laser cutting technology. This will be accomplished by guiding modeling with appropriate measurements and evaluation of those technologies in industry-oriented laser manufacturing systems.

3. 今後の展望と感想

3.1 今後の研究展望

今回の短期派遣先の紹介はドイツに本社のあるトルンプ社の計らいによるものであり、ILTとトルンプ社との契約研究に基づく研究に協力する形で研究を進めさせてもらった。ガラス（誘電体）のレーザアブレーションに関する数値シミュレーションは、組成の異なるガラス材料毎に微妙に異なるアブレーション加工の最適な加工条件選定に適用できる。また本数値シミュレーションを応用して、超短パルスレーザを用いてガラス内部に変質層を形成させ、ボイド成長を促すフィラメンテーション加工への応用が挙げられる。

3.2 短期留学の感想

今回の半年間の短期派遣は初めての海外生活であり、研究はもとより生活面でも大変充実したものとなった。民間企業との契約研究であったため開示できない情報もあったが、産業的なニーズに基づく実用的な研究に携わることで、研究の勧め方に始まり、効率的なプレゼン資料の作成およびプレゼン内容のブラッシュアップに至るまで全てが勉強になった。この経験を今後の研究に活かして、研究費の確保に繋げていければと思う。また英語によるコミュニケーションの重要性についても再認識することができた。貴重な機会を与えて頂き、有難うございました。