

ファイバビームの超短パルスレーザーにおけるタイムシェアリングとエネルギーシェアリング

ビヨルン・ヴェーデル、セバスチャン・アイルツァー

超短パルスレーザー源は、ビーム品質とエネルギー密度が高いことから、その導波路の精度とセキュリティには、かなり高い要件が課される。

ビームシェアリング（レーザーのビーム分配）は、ファイバビームデリバリを用いた産業用固体レーザーの最先端機能である。ビームシェアリングには、タイムシェアリングとエネルギーシェアリングという2つの方法が存在する。

タイムシェアリングとは、1つのレーザー源のビームを、異なるプロセスまたはワークステーションの間で交互に切り替えることを意味する。これにより、1つのレーザー源を活用しながら、レーザーシステムの利用率を高めることができる。1つの用途のレーザーオン時間は一般的に、利用可能時間のわずか10～20%にすぎないためである。

エネルギーシェアリングは、レーザ

ビームを同時に複数の用途に分割するために用いられる。均等か可変かに関わらず、分割比は2つのレーザービームに限定する必要はない。応用例としては、十分なレーザー出力が利用できる場合の複数部品の同時並行加工の他、同一の結果を得るために異なる方向から部品を加工する場合や、不均等な熱歪みを防ぐ場合などがある。

結局のところ、ビームシェアリングは、レーザーエネルギーの利用率を高めるとともに、設備投資の節約によるコスト削減を実現する。ビームシェアリングは、ランプ励起システムやディスク／ファイバ／半導体レーザに代わって、産業用固体レーザが世界中で広く

採用されるようになったことに、大きく寄与している。

超短パルスレーザー用のファイバベースのビームデリバリ（Fiber-based Beam Delivery: FBD）が登場するまでは、レーザービームは、フリースペースオプティクス（Free Space Optics: FSO）によって直接伝送されていた。超高速パルスを大気または真空中で導く中空コアファイバを使用することにより、ステップインデックスガラスファイバ内の超高速パルスの伝搬を阻止するダメージバリアを、克服することができる。それと同時に、分散やスペクトル拡幅などの非線形効果が大きく抑制され、ピコ秒やフェムト秒レベルの超高速パルスを、変更されることなく伝送することが可能になる。

フリースペース伝送を利用する場合は、ビーム経路の外乱を制御して低減する必要があるため、レーザは加工対象物の近くに配置される。ファイバビームデリバリが利用可能であれば、レーザ統合のこの基本概念を変更することができる。これによって、短パルスレーザーシステムのタイム／エネルギーシェアリングに対する要求も高まっている。

ビームシェアリングを利用する産業用固体システムは、一般的にマルチモードのレーザであり、ファイバビームデリバリの光学機械的公差の管理に対

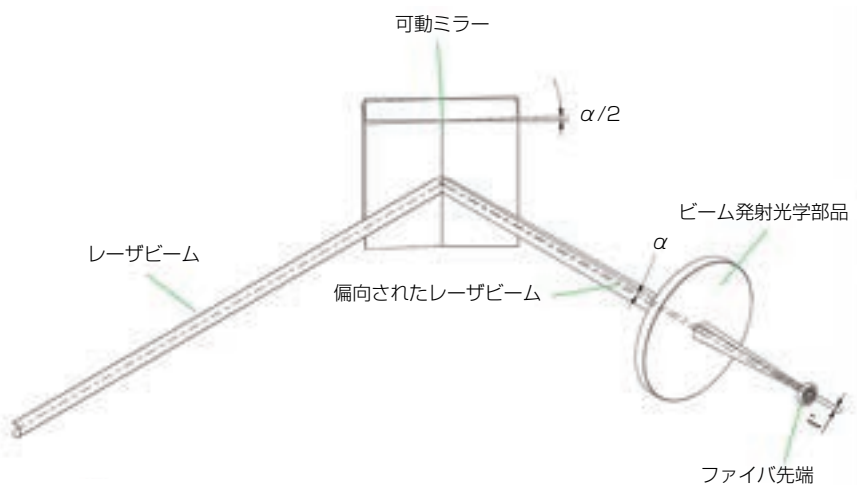


図1 ビームシェアリングの公差要件。

する要件は、はるかに低い。ただし、ファイバビームデリバリを利用する超短パルスレーザには、中空コアファイバの微細構造への非常に正確なシングルモード結合が求められる。ファイバ先端のビーム位置公差を数ミクロンの範囲に維持し、ビーム指向のばらつきをミリラジアン範囲に維持した状態で、安定した結合を確保することが、適切なファイバビームデリバリの前提条件である。

ビームシェアリングには、結合ユニットのビーム経路への光学素子の追加が必要で、一般的に、エネルギーシェアリングには固定光学素子、タイムシェアリングには可動光学素子が必要である。シングルモードのビーム結合効率を繊細なファイバにおいて維持するには、ビーム偏向を行うすべての可動部品的位置に、マイクロラジアンレベルの角度公差が求められる(図1)。

最大の課題は、この公差要件に対応し、製品の使用期間を通してその仕様を維持することのできる、ビーム偏向部品を設計することである。製品はその使用期間を通して、さまざまな動作条件下で100万回から1億回ものスイッチングサイクルを繰り返す可能性がある。

システムの構成要素

タイムシェアリングシステムの主要要素は、タイムシェアリングミラーモジュールである。ビームを偏向するためのこのミラーは、ミラーの最終位置によって、ファイバ先端のレーザビームの位置が反復可能になるような形で、ミラー駆動の回転軸に取り付けられる(図2)。追加の冗長センサによって、現在のビーム位置を確実に把握することが可能となり、安全なレーザ環境が実現される。

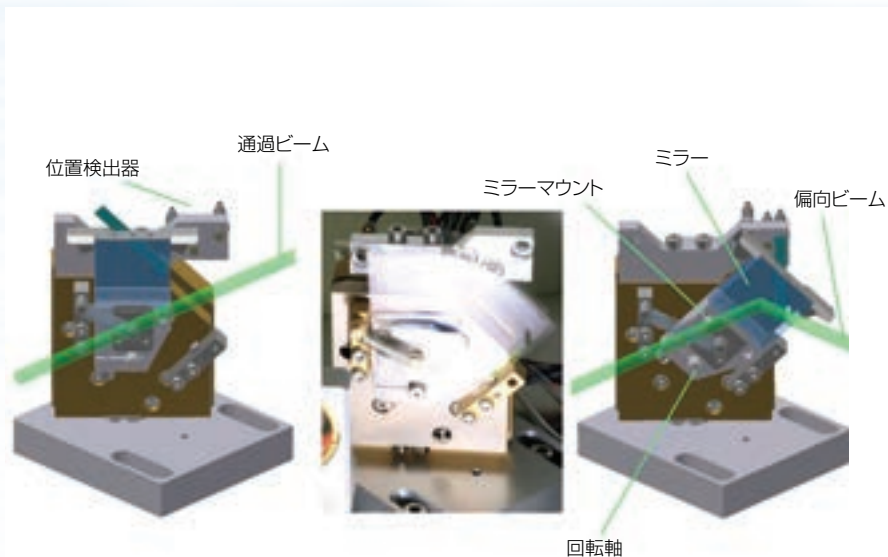


図2 タイムシェアリングのミラーモジュール。

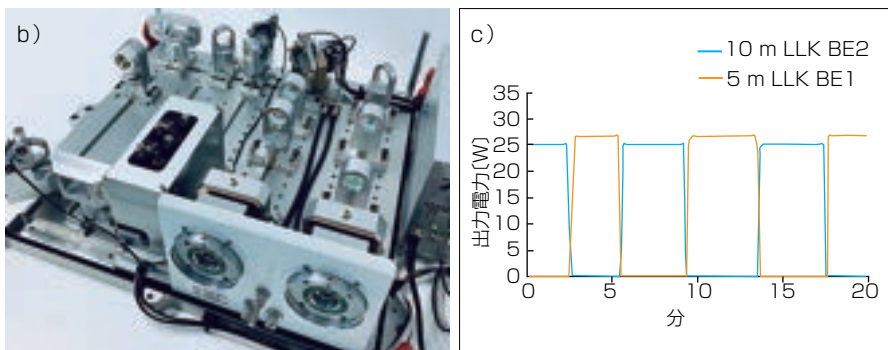
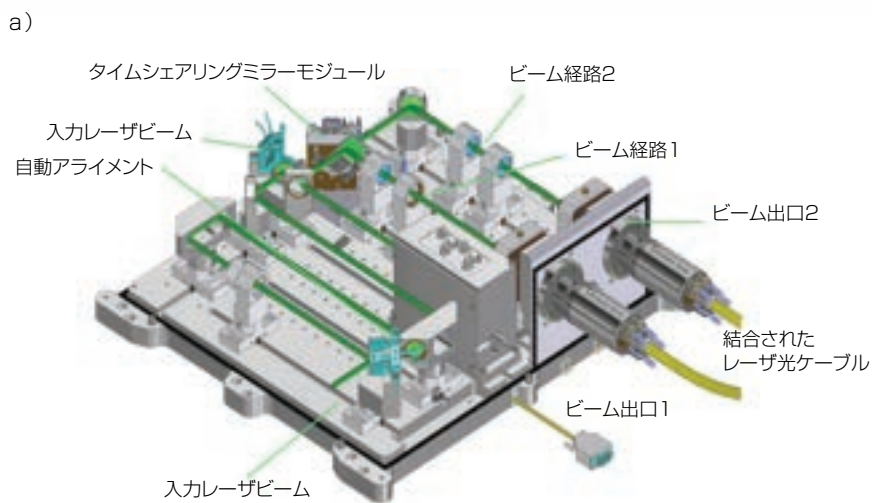


図3 2-wayタイムシェアリングを採用するビーム発射システム(aとb)と、タイムシェアリングシステムの性能データ(c)。

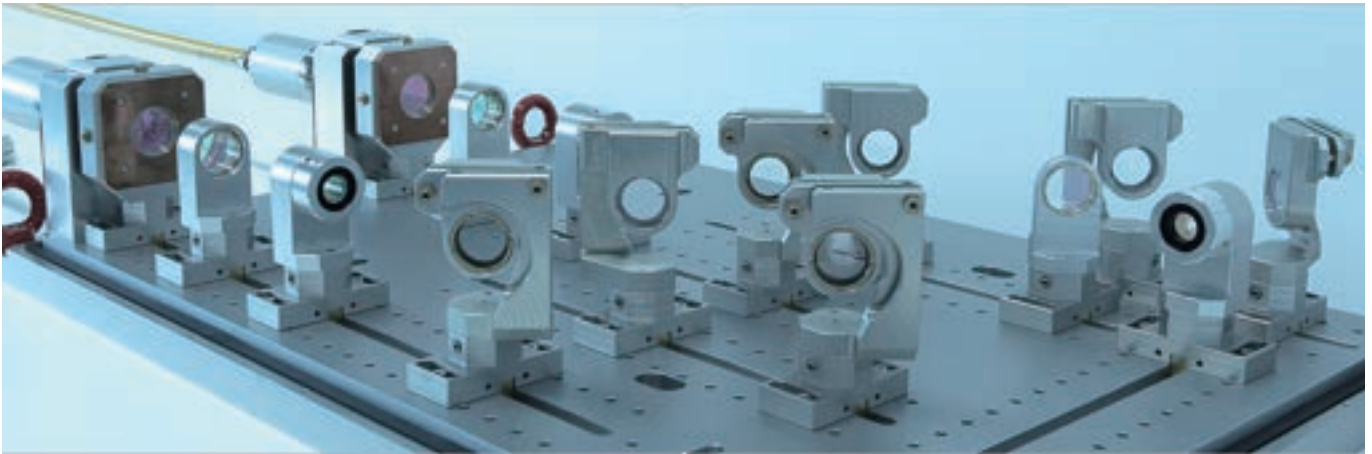


図4 2-wayエネルギーシェアリングシステム。

図3aは、1つの超短パルスレーザーのビームを、2つの異なる独立したレーザー光ケーブルに交互に結合することのできる、2-wayのタイムシェアリングシステムである。このシステムには、レーザーシステムの使用時またはシステムの熱セトリング時にビーム指向のばらつきを補償する、ビーム安定化機能も搭載されている。光学設定はスケラブルで、タイムシェアリングミラーモジュール、ビーム発射光学部品、レーザー光ケーブルをさらに追加することによって、出力ポートを増やすことが可能である。

このタイムシェアリングシステムは、いくつかの事例に対して既に実装されており、平均出力100Wのフェムト秒レーザーへの結合が実証されている。結合効率とレーザービーム品質は、タイムシェアリングシステムの影響を受けず、その性能は、直接ファイバに結合した超短パルスレーザービームと同等である。図3cは、長さ5mと10mの超短パルスレーザー光ケーブルに結合した場合の出力電力と結合効率を示している。両方のケーブルで、システムの伝送率は90%を超えている。長いケーブルのほうが、予想どおりに伝送率はやや低かった。これは、微細構造の中空コアフ

ァイバの固有損失によるものである。

エネルギーシェアリングの場合は、最大の課題は、個々のビームのエネルギー比を所望の値に設定することと、必要に応じて、微調整のオプションを用意することである。ビーム分割比の調整は通常、偏光依存のビーム分割ミラーと、入射レーザービームの偏光を変化させることによって行われる。特に重要なのは、分割ミラーの光学コーティングで、分割比に関係なく各出力において高いビーム品質を維持するために、これが必要である。図4は、2-wayのエネルギーシェアリングを備えた、ビーム発射システムを実装したものである。レーザービームの分割比は、2つのビーム出口で40:60から60:40の間で連続的に変化させることができる。ビーム分割素子をさらに追加することにより、システム出力ポートを増やすことができる。

超短パルスレーザー用のファイバビームデリバリシステムは現在、技術的なビルディングブロックであるビームシェアリングによって拡張されている。

異なるワークステーションや加工対象物の間の柔軟なレーザービームの共有は、レーザーの導入コストを削減するだけでなく、通常は1つの専用のレーザー源が使われるワークステーションに、2本目のレーザー光ケーブルを接続する、冗長なシステムアーキテクチャをも可能にする。また、1つのレーザーが故障した場合に、簡単に複数のワークステーションに対応することもできる(ただし、全体的なサイクルタイムは長くなる可能性がある)。

本稿のビームシェアリングシステムは、レーザー安全規格に完全に準拠するビーム出口のステータスインジケータとファイバ連続性システムの将来の実装を念頭に設計されており、レーザーのクラス4環境を、個々の加工対象物上に直に設けられたレーザーセルに制限することができる。

産業用超短パルスレーザーシステムの高出力化と、ファイバビームデリバリにおけるビームシェアリングの利用は、これらの高出力レーザーシステムのさらに効率的な動作を可能にする。

著者紹介

ビヨルン・ヴェーデル (BJÖRN WEDEL) とセバスチャン・アイルツァー (SEBASTIAN EILZER) は、ともに独PTフォトニックツールズ社 (PT Photonic Tools) 所属。
e-mail: b.wedel@photonic-tools.de URL: www.photonic-tools.de