

4-11 高強度レーザーの小型化・低ノイズ化に成功

—レーザー駆動小型粒子線がん治療器の実現に向けて—

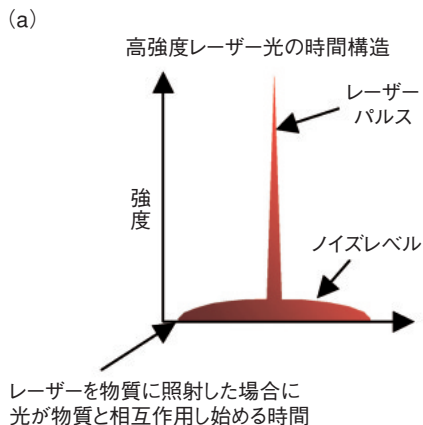


図 4-26 レーザー光のコントラスト

高強度レーザー出力は、(a)に示すようなノイズ成分に鋭いレーザーパルスがのった時間構造をしています。コントラストは、レーザーパルスのピークの強度とノイズの強度比で表されます。今回開発したレーザー（赤）は、従来の一般的なレーザーのコントラスト（青）に比べて2桁以上向上できました。

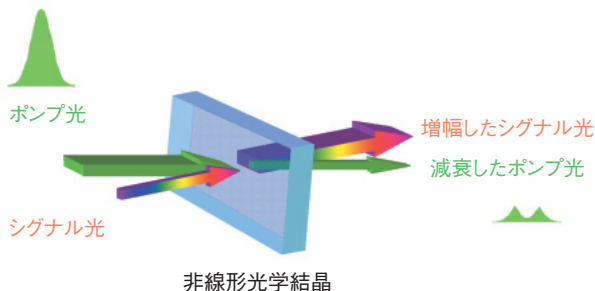
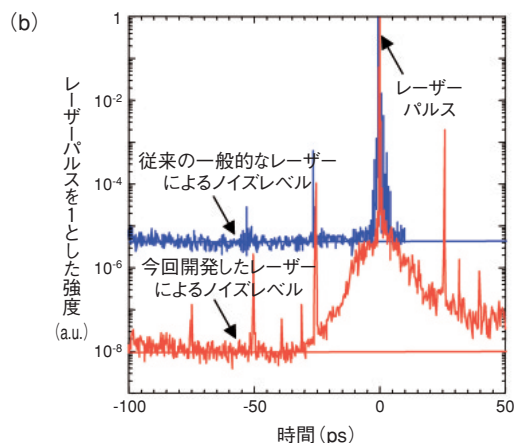


図 4-27 光パラメトリックチャープパルス増幅OPCPAの概念図
非線形光学結晶の中に増幅したいシグナル（レーザー）光をポンプ（レーザー）光と同時に角度を付けて導入して、ポンプ光のエネルギーをシグナル光に移し増幅する方法です。

現在、代表的な高強度レーザーとしてチタンサファイアレーザーが用いられています。しかし、構成する光学部品や機器の数が多く装置がまだまだ大型であり、図 4-26(a)に示すように高強度レーザーパルスに付随する unnecessary ノイズ成分が多い（コントラストが低い）出力となっています。例えば、1 TW の出力を得るのに増幅部の大きさは数 m 必要で、通常のコントラストは 5～6 桁程度です。コントラストが低いと大きなノイズによって物質が破壊したり、物質表面でプラズマが発生するなど、本来のレーザーパルスのみによって生じる理想的な現象が得られなくなります。例えば、レーザー駆動粒子加速器などに利用するにはノイズの影響により、粒子を高エネルギーまで加速できないなどの大きな技術課題がありました。

私たちはこの問題に対して、光パラメトリックチャープパルス増幅 (OPCPA: Optical Parametric Chirped Pulse Amplification) という手法 (図 4-27) を改良して高強度レーザーの増幅技術を開発しました。OPCPA 法では、レーザー光（シグナル光）が増幅される時間はポンプ光のパルス時間のみです。したがって、短いパルス幅を持

つポンプ光を用いることにより、増幅可能な時間を短くできます。これにより、ノイズ成分の増幅を最小化することができ、シグナル光のレーザーパルスのみを選択的に増幅することができます。私たちは、特に、(1) 小型化及び低ノイズ化のために、ポンプ光とシグナル光の空間的なビームのオーバーラップ（重なり状態）を向上させ増幅率を最大限まで高める技術、(2) 低ノイズ化のために複数の非線形光学結晶を用いて多段の OPCPA を構成し、増幅率を高精度に制御する技術を開発しました。

その結果、(1) 数 m の増幅部が数 10 cm と高強度レーザーを従来の 1/10 以下の小型化にすることとともに、3 TW の世界最高のレーザー出力を達成すること、(2) 図 4-26(b) に示すように 8 桁のコントラストを達成することに成功しました。

今回得られた増幅器の小型化や高コントラスト化といった成果は、レーザー駆動陽子線がん治療を始めとする医療分野や基礎科学研究、産業分野などにおける高強度レーザーの幅広い利用に大きく貢献するものと期待されています。

●参考文献

Kiriyama, H. et al., High-energy, High-contrast, Multiterawatt Laser Pulses by Optical Parametric Chirped-pulse Amplification, Optics Letters, vol.32, no.16, 2007, p.2315-2317.