

5-10 レーザーを使った未踏の超高強度場への挑戦 - J-KAREN-P レーザーの開発 -

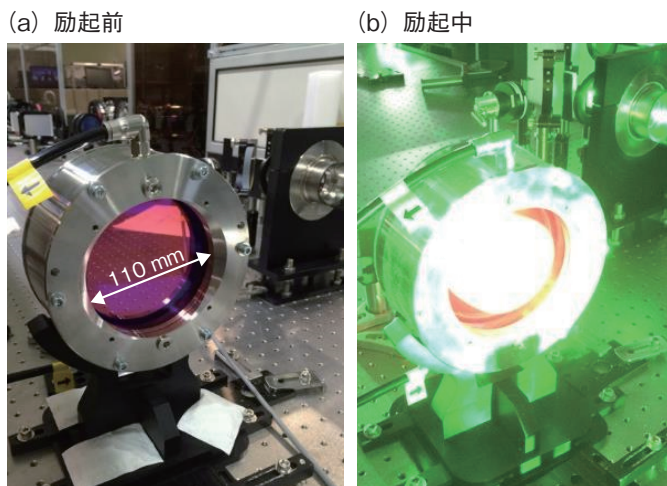


図 5-27 J-KAREN-P でエネルギー増幅に用いる Ti:Sap 結晶
(a) J-KAREN-P では世界最大級である直径 120 mm の Ti:Sap 結晶を水冷用の器具に固定して用います (有効径: 110 mm)。
(b) 強力な緑色の励起レーザーを照射することで、中心の白い部分にエネルギーが蓄えられています。

強力なレーザー光を小さな領域に集中 (集光) すると、非常に高い電場 (高強度場) が生成されます。この高強度場にて原子と電場が相互作用することにより、高エネルギーの粒子線 (電子, イオンなど) や X 線が発生します。私たちは、より高いエネルギーの粒子線発生を目指し、 10^{22} W/cm² という未踏の高強度場を実現する、世界トップクラスの超高強度極短パルスレーザー (J-KAREN-P) の開発を行っています。J-KAREN-P では、30 J のエネルギーを 30 フェムト秒 ($f_s=10^{-15}$ s) という極短時間内に集中することで、 10^{15} W (1 PW: ペタワット) に達する超高強度レーザー光パルスを、10 秒に 1 度の繰り返し動作 (0.1 Hz) で発生することを目標にしています。

レーザー光のエネルギー増幅には、微量のチタンを混入したサファイア結晶 (Ti:Sap 結晶) を用います。Ti:Sap 結晶に緑色の励起用レーザー光を照射すると、そのエネルギーが Ti:Sap 結晶中に蓄積されます (図 5-27)。この領域をレーザー光が通過する際、誘導放出によるエネルギー増幅が起こります。J-KAREN-P では段階的にビームサイズを大きくしてエネルギー増幅を行います。

これまでは、最終段の Ti:Sap 結晶用の励起レーザー

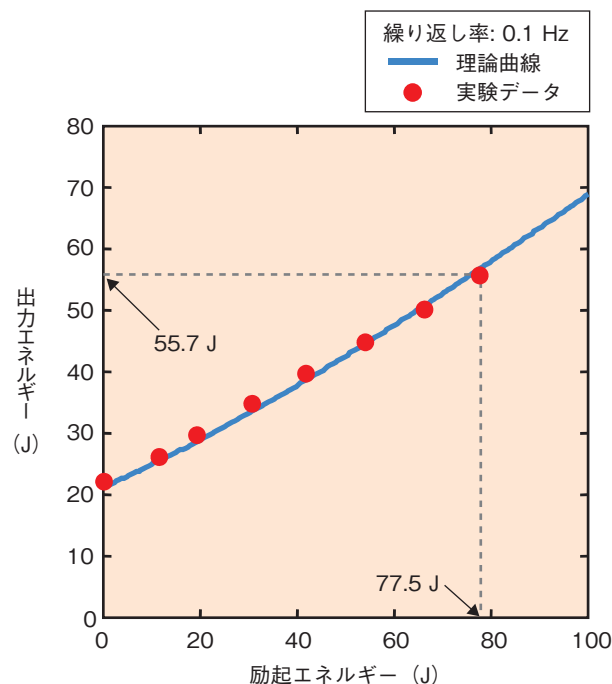


図 5-28 最終段 Ti:Sap 増幅器でのエネルギー出力特性
寄生発振を抑制したことで、励起エネルギーに対して出力エネルギーが理論通り増加しています。出力エネルギー 55.7 J は目標である PW 出力を可能にする値です。

として、大口径のロッド型ガラスレーザーを用いていたため、ここでの熱除去に必要な時間が制限となり、30 分に 1 度しかレーザー光を発生することができませんでした。今回、励起レーザーを 6 台に分割し小口径化することで、熱除去に要する時間を 10 秒にまで大幅に短縮することに成功しました。

さらに、大型 Ti:Sap 結晶で生じる寄生発振による蓄積エネルギーの損失を、結晶の周囲に光吸収材 (ヨウ化メチレン) 膜を施すことで抑制しました。その結果、繰り返し率 0.1 Hz にて、励起エネルギーに対して理論通りの出力エネルギー特性を得ることに成功しました (図 5-28)。エネルギー増幅後に行う、パルス幅を 30 fs に圧縮する操作にかかわる効率は約 70% であることから、今回達成した出力エネルギー 55.7 J (励起エネルギー 77.5 J) により、設定目標である 0.1 Hz 動作での出力エネルギー 30 J 並びにパルス強度 1 PW の実現に見通しが立ちました。

本研究で開発している世界トップクラスのレーザーを用いることで、今後、未踏分野の超高強度下で初めて発現する現象の研究が飛躍的に進展し、小型粒子加速器や粒子線がん治療器などの広い分野への応用が期待されます。

●参考文献

Kiriyama, H. et al., High-Contrast, High-Intensity Petawatt-Class Laser and Applications, IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, vol.21, no.1, 2015, p.1601118-1-1601118-18.