

世界最高出力のLFEXペタワットレーザー

<スタッフ> 総括班：河仲 準二 准教授、宮永 憲明 教授、實野 孝久 招聘教授、白神 宏之 教授、
中田 芳樹 准教授、時田 茂樹 講師、藤岡 慎介 教授

LFEX (エルフェックス) は、チャープパルスレーザーの原理に基づく世界最大のペタワットレーザーです。広い波長域の光波の位相を揃えると、極めて短い時間だけ光波が強め合って超短パルスが発生します。チャープパルスレーザーは、強力な超短パルスによる増幅器の破壊を避けて大出力を得る方法です。まず、回折格子対がもつ時間遅れの波長依存性を利用して、超短パルスを構成する光波の長波長成分を前に短波長成分を後に配列し、あたかも時間的な虹のようなパルスに変換します。この虹状の光パルスを増幅した後に、逆の効果をもつ回折格子対を用いて再び超短パルスに戻します。この手法によってパルスのピーク強度を各段に増大させることができます。LFEX は、フロントエンド、前置増幅器、主増幅器、リアエンドから構成されています。フロントエンドでは、発振器からの超短パルスを虹状の光パルスに変換し、光・光変換 (OPCPA) で数 10mJ まで増幅します。小型の Nd: ガラスレーザーで増幅した後、4 パス光路の大口径 (400mm × 400mm) ディスク型増幅器で増幅します。ディスク型増幅器は 4 ビームを 2 × 2 マトリックス構造に一体化したものであり、1 ビーム当たり 3kJ の出力を得ます。パルス幅は約 2ns (光軸方向長さ 60cm) で、この虹状光パルスをリアエンドのパルス圧縮器を用いて 1ns に、さらに 1ps (1/2000) にまで圧縮します。4 ビーム最終出力部でのパルスは、大きさが畳半畳、厚さが 0.3mm の光のシートとなります。(1 ペタワット (1PW) : 10^{15} W)

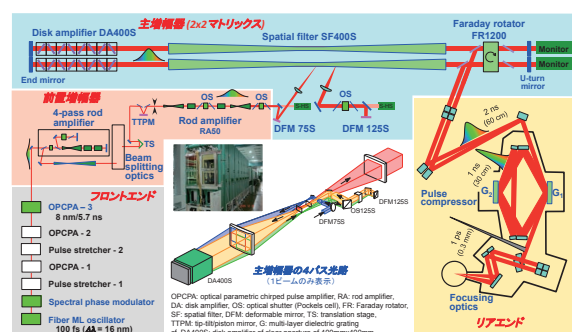
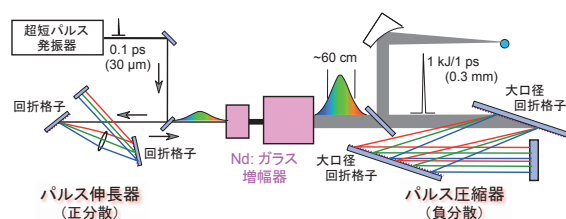


図1 チャープパルス増幅・圧縮の原理 (上) と LFEX ペタワットレーザーの構成図 (下)。

TOPICS1

チャープパルス増幅器 (図2)

フラッシュランプ励起のディスク増幅器は 8 台直列です。ランプ光反射板を高精度の照明計算に基づいて設計・製作し、ビーム断面での利得分布を均一化することによって均一な出力ビームパターンを達成しています。

フロントエンドで OPCA 出力のスペクトル形状を制御し、Nd: ガラス増幅器の利得スペクトルの非対称性と狭帯域化を補正して、中心波長 1053nm、半値全幅約 3nm のガウス型スペクトルを実現しています。また、ランプ励起と同時に生じる動的波面歪みを可変形鏡で補正し、回折限界に近い高ビーム品質を達成しています。

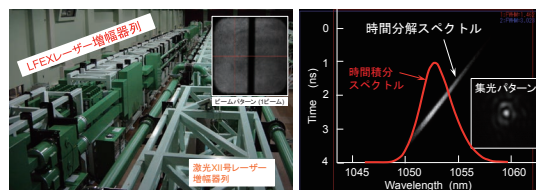


図2 主増幅器部の写真 (左) とチャープパルス出力 (右)。

TOPICS2

ダイヤモンド光路型パルス圧縮器 (図3)

2 × 2 マトリックスビームを縦一列に並べ替え、パルス圧縮した後再び 2 × 2 に戻し、1m 級の軸外し放物面鏡で集光します。HfO₂/SiO₂ 多層膜上に SiO₂ の溝 (1740 本/mm) を形成した誘電体回折格子 2 枚をタイル状に並べ、幅 1.8m を実現しています。Grating 1 → M3 → Grating 2 と Grating 2 → M6 → Grating 1 の光路の分散を 0.3% ずらすことにより、スペキュラー成分を分離しています。また、この光路構成によって、回折格子の溝密度誤差によるビーム分裂を自動的に補正することができます。現在 3 ビームで試験運用に入っており、最短パルス幅約 1ps で高速点火レーザー核融合、電子加速、陽電子生成、イオン加速に供給を始めています。

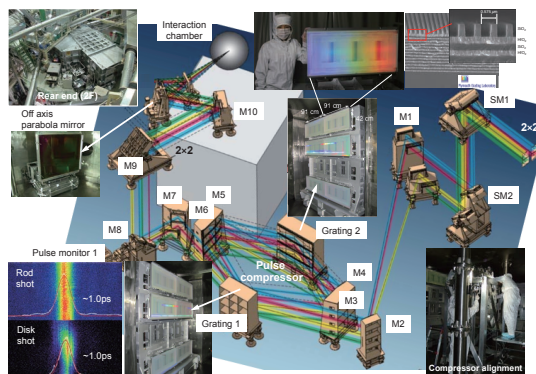


図3 LFEX ペタワットレーザーのリアエンド内の装置配置。