

# 超短光パルス技術評価ラボ

## ( Ultrashort Pulse Lasers Evaluation Lab. )

研究項目：超短光パルス技術の評価  
研究期間：平成7年度～16年度

### 1. 当該研究の背景

#### 1.1 背景

フェムト秒テクノロジーの研究開発では、高輝度X線パルス利用発電施設モニタリングシステムの開発を目標の1つとしている。このシステムは加速された電子線パルスと光パルスを衝突させた際にコンプトン散乱により発生する高輝度X線パルスを計測に応用しようとするものであり、フェムト秒領域の極短光パルスレーザーと電子線パルス加速器が緊密に結合して構成される計画である。このシステム実現のためには、従来にない超高時間分解能で光パルス及び電子線パルスの時間ジッター等の特性評価技術を開発する必要がある。

#### 1.2 経緯と研究目標

本ラボはフェムト秒テクノロジープロジェクトの一員として研究の推進目標を設定し、研究開発をすすめている。これまでにプロジェクトの1,2年目(平成7,8年度)には一般会計の研究課題として、固体レーザーのモード同期法によるフェムト秒光パルス発生技術について研究開発を開始した。その後プロジェクト目標の産業技術としての明確化に伴い、研究の第1期(平成9～12年度)に関して、「高輝度X線パルス利用発電施設モニタリングシステムで使用される、超短光パルス・電子線パルスのタイミング制御・計測技術を確立するために、高安定・超短光パルス発生、制御、計測技術を評価する。」との推進目標が設定され、具体的には、1)フェムト秒パルスレーザーを利用する為に必要となるパルスの安定発生技術、特に半導体可飽和吸収鏡(SEmiconductor Saturable Absorber Mirror; SESAM)によるモード同期安定化の研究、および、2)高精度な測定、制御の実現をめざした研究として、特性評価の基準となるフェムト秒パルスレーザーの共振器内分散の低減による短パルス化等の高性能化と、それをを用い

たパルス高精度な測定、新しいタイミング同期方式等の制御技術についての研究、をすすめてきた。

第1期最終年度を迎えて、外部評価委員による中間評価も実施されたところ、研究成果面等で高い評価を受けることができ、さらに第II期(平成13～16年度)へ研究展開する予定となっている。なお、第II期の推進目標としては、「高輝度X線パルス利用発電施設モニタリングシステムで使用される高強度低ジッターパルスレーザーシステムの基盤技術として、超短光パルス発生技術、パルス波形・光波位相計測技術、及び光パルスタイミング制御のための検出素子・回路技術を開発する。」ことを計画している。

#### 1.3 研究協力

電総研が核となって、研究組合フェムト秒テクノロジー研究機構(FESTA)とフェムト秒レーザーの制御技術等に関わる共同研究を実施し、研究開発をすすめている。

### 2. これまでの研究経過と現状

これまでの研究開発における主な成果は次の通りである。

フェムト秒光パルスの安定発生技術に関して、半導体・誘電体・金属の複合した新しい構造の広帯域低損失な半導体可飽和吸収鏡(SEmiconductor Saturable Absorber Mirror; SESAM)を提案、開発した。これにより、極めて短いパルス幅のモード同期レーザーにおいて、パルス発生の安定性、信頼性向上に成功した。この方式では、広反射帯域でかつ、1%以下の低反射損失が得られる点が特長であり、従来安定化が出来なかった極短パルスレーザーに使用できる、レーザーの効率が向上するなどの利点がある。

この新方式を用いて波長1.3 $\mu\text{m}$ 用広帯域SESAMを試作開発し、この波長領域のフェムト秒モード同期

レーザーの安定化に世界で初めて成功するとともに、レーザー出力として最短パルス記録の20fs(従来の記録25fs)を得た。また、波長1.5 $\mu\text{m}$ 用広帯域SESAMを試作開発し、従来は100fs以上のパルスしか安定に得られていなかったモード同期Cr:YAGレーザーの安定化に成功し、パルス幅44fsのレーザー出力を得た。さらに、波長0.8 $\mu\text{m}$ 用広帯域SESAMを開発し、高輝度X線パルス発生用レーザーシステムに用いられるTi:sapphireレーザーからパルス幅11fsを得た。この波長の広帯域SESAMはスイス連邦工科大で最近開発された例があるが、反射損失が5%前後あり、本方式でレーザー効率の顕著な改善が得られた。

高精度な測定、制御の実現をめざした研究として、フェムト秒光パルスの性能向上、パルス計測、制御の技術に関しても下記の成果を得た。

- (1) 極短パルス領域におけるパルス波形精度向上のため、サファイア基板上に成長した薄膜ZnO結晶(膜厚0.3 $\mu\text{m}$ )を利用したフリッジ分解SHG自己相関測定を開発した。従来のパルス測定用結晶は研磨によって作製され、最も薄いもので膜厚10 $\mu\text{m}$ であり、短パルスの測定限界が向上するうえ、大口径ビームの評価も可能となることが期待できる。この測定方法を用いて、8.5 fs光パルスの波形測定で精度を確認し、性能を実証した。
- (2) レーザー共振器内のパルス変形をひきおこす共振器内群速度分散を調整することで、低励起パワーでフェムト秒モード同期発振を得る技術を開発し、高輝度X線パルス発生用レーザーに用いられるTi:sapphireレーザーにおいて通常3W以上の励起パワーを要した12.4fsパルスを1.2Wの励起パワーで得ることができた。また、ミラーの最適設計など共振器内分散の低減をすすめ、最短では8.5fsのパルスを得た。また、波長1.3及び1.5 $\mu\text{m}$ のフェムト秒モード同期固体レーザーについても、共振器内分散の補償精度を向上し短パルス化をすすめた。
- (3) 異波長パルスタイミング同期の研究のために、波長0.8 $\mu\text{m}$ の光パルスを周波数比2:1に分割して、波長1.2 $\mu\text{m}$ および2.4 $\mu\text{m}$ のタイミング同期したパルスを発生することのできるパラメトリック発振器を開発した。さらにこの光源を用いてフェムト秒極短パルス光の発生、制御の高精度化をすすめている。

### 3. 期待される効果

高輝度X線パルス利用発電施設モニタリングシステムは、高輝度の超短パルスX線を発生し発電設備の高温タービン等の無停止点検を実現しようとするものである。

本テーマで開発されたフェムト秒パルスレーザーの技術全般は、FESTAとの共同研究プロジェクト成果となる高輝度X線パルス発生システムのレーザー部分として実用化される計画である。レーザーの短パルス化技術によりX線パルスの輝度向上が、またパルス発生機の安定化とタイミング制御の技術によりシステムの信頼性、安定性の向上が期待できる。

### 4. 今後の研究展開

#### 4.1 研究計画の概要

前記の第I期成果に基づき平成13年度より始まる第II期研究をすすめることで、広帯域SESAMなど新しい作製技術に基づくフェムト秒光パルス用の光学素子の開発と、それによる短パルス化など光パルス発生技術、タイミング同期等の制御技術の高度化が期待でき、情報処理、計測などのフェムト秒テクノロジーの基盤となる光源技術が確立することが期待できる。

第II期においては、高輝度X線パルス利用発電施設モニタリングシステムの技術確立に向けて、研究組合FESTAにおける全光化タイミング同期システム及び1J級低ジッター全固体化レーザーの開発と連携しつつ、これらに必要な、超短光パルスの発生技術、高強度フェムト秒パルスの波形・光波位相計測技術、及び光パルスタイミング制御のための検出素子・回路技術、を研究開発する計画である。具体的には、パルス幅10fs以下級の超短光パルスの高安定な発生の実現、パルス幅10fs台の高強度フェムト秒パルスの波形及びパルス内光波位相の計測技術の開発、及び半導体薄膜等を利用した10fs級光パルスタイミング制御のための素子の開発とフェムト秒レーザーに適用しての制御機能の実証、の研究をすすめる上での目標とする。

#### 4.2 技術課題と年度計画

第II期における主な技術課題として、以下が重要と考えている。

1. 高強度10fs 台パルスの計測に必要な、大口径薄膜結晶を用いた相関測定技術の開発
2. 10fs 以下級パルスの発生に必要な高精度多層膜等による高次分散補償の技術
3. 10fs フェムト秒パルスレーザーの特性制御が可能な、電界制御されたSESAM等の素子作製技術  
また、これら重要技術課題の解決のため、以下の年度毎マイルストーンを設定し、研究開発をすすめる計画である。

H13年度... 10fs 台高強度フェムト秒パルスの計測技術の開発

H14年度... パルス幅10fs 以下級の超短光パルスの高安定な発生

H15年度... 10fs 級光パルスタイミング制御のための素子の開発

H16年度... 10fs 級光パルス制御機能の実証

2) その他の研究協力者

伊藤紳二(FESTA)、高砂一弥(FESTA)、陸宏(NEDO)、三浦泰祐(慶応義塾大学)、長岡英之(早稲田大学)、矢田 明(早稲田大学)

\*ラボリーダー

#### 4.3 実用化への道筋

プロジェクト終了後も含めた研究成果の実用化については、下記の展開を想定している。高強度フェムト秒パルスの高精度波形測定技術に関しては、プロジェクト期間内平成14年度からFESTAのレーザーシステムの開発計画に合わせて出力パルスの評価に利用を開始する。10fs以下級の光パルス安定発生技術、及び10fs級光パルス制御の技術に関しては、パルスX線発生の高輝度化、高信頼性化に寄与できる技術であり、プロジェクト後の高輝度パルスX線応用計測の計画における実用化レーザーシステムの開発時期、平成17～19年度の期間に技術移転を図る。なお、個々の要素技術成果については、同じく平成17～19年度の時期に、光パルス波形測定装置、高安定超短パルスレーザー装置などの理科学機器の形でも、技術移転等による早期実用化を図る。

#### 当該研究担当者等

##### 1) ラボ構成員(総数12名)

職員(11名) 鳥塚健二\*、高田英行、欠端雅之、小林洋平(光技術部)、杉山佳延、中川 格、菅谷武芳、板谷太郎(電子デバイス部)、渡辺正信、伊藤日出男、土田英実(光技術部)

職員以外(1名) 魏 志義(NEDO)