

# 「新機能創成に向けた光・光量子科学技術」

平成 17 年度採択研究代表者

山下 幹雄

(北海道大学大学院工学研究科 教授)

## 「極限光電場波形制御による新光量子技術の創出」

### 1. 研究実施の概要

本研究の最終的なねらいは以下の通りである。①モノサイクル域光を含む極短光パルスの電場波形自動制御技術を開発し、それを用いて②XUV・X線域のアト秒パルス発生技術および③近赤外・可視・紫外域のサブフェムト秒パルス発生技術を開発することである。加えて、その応用として④超高速量子状態制御による遺伝子発現レーザー可逆制御の手法を開拓していくことおよびそこで生じる超高速光異性化反応過程を明らかにすることである。

初年度として、研究実施体制の確立および実験設備・実験室整備をはかり、上記 4 要素研究課題すべての実験に着手した。①新規空間光位相変調素子 (SLM) を用いて高精度フィードバックチャープ補償およびウェーブレット変換による自動チャープ補償の見通しを得た。②サブ 3 fs 励起光源の高出力化を念頭に実験を行い、金属コート Ar 充填キャピラリーファイバーの有用性を見いだした。③キャピラリーファイバーを用いた誘起位相変調 (IPM) による光パルス圧縮基礎実験を行い、3 fs 台の光パルス発生を確認した。④光応答性 DNA に用いられるアゾベンゼン誘導体の超高速過渡吸収測定を行い、 $S_1$  電子励起状態のトランス型分子が数 10 fs、数 100 fs、 $\sim 10$  ps 前後の 3 成分の時定数で超高速に失活していくことを確認した。

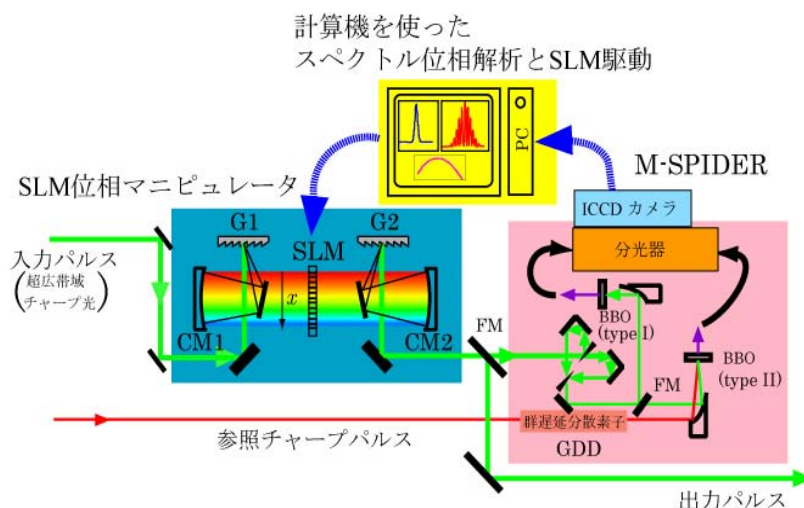
### 2. 研究実施内容

上記のねらいを実現するために、北海道大学チームと名古屋大学チームとが分担しあって、初年度は以下の 4 つの要素研究に着手した。

#### 1) 極限光電場波形の自動制御技術 (共通基盤と核となる独自の技術) の開発

既に開発してきたフィードバックスペクトル位相制御装置の全面的な改良に着手した。すなわち、①高精度にスペクトル位相などを制御するために 3 種の新規空間光位相変調素子 (SLM : A 高変調度素子、B 高ピクセル数素子、C 振幅変調素子) を試作し、その静的・動的動作特性の評価に着手した。A については、静的評価後これを用いて 1 回の

フィードバックで極短光パルスチャープ補償 (図 1) が可能である見通しを得た。②完全に自動的にスペクトル位相変調を行うために、フーリエ変換 (FT) 解析法のかわりにウェーブレット変換 (WT) 解析法によるフィードバックスペクトル位相変調基礎実験に着手した。また WT 法による SPIDER 信号解析の数学的根拠を明らかにした。



## 2) 近赤外・可視・紫外域でのサブフェムト秒パルス発生技術の開発

誘起位相変調法 (IPM) の研究に着手した。すなわち、励起光源の高出力化をはかるため高出力光増幅装置を導入し、Ar 充填キャピラリーファイバー中の基本波と第 2 高調波による IPM 超広帯域光波発生の基礎実験およびそのフィードバックチャープ補償基礎実験を行った。その結果、3 fs 台の光パルス圧縮を確認した。

## 3) アト秒 X 線パルス発生技術の開発

- ① 高次高調波 X 線パルス発生の励起源に必要な、2.8 fs システム用高エネルギーパルスレーザー装置を導入した。同時に、2.8 fs パルスレーザーシステムの高出力化をはかるため、金属コートキャピラリーファイバーによる超広帯域高出力コヒーレント光波発生の基礎実験を行い、高効率な透過特性が得られることを確認した。
- ② X 線パルス発生・計測に必要な、光電子分光器、真空チャンバー、ターボ分子ポンプなどを導入し、実験設備・実験室の整備をはかった。

## 4) 遺伝子発現過程の超高速量子状態制御技術の開拓

### ① 極限光技術からのアプローチ

超高時間分解非線形分光装置を試作し、アズベンゼン・COOH (Az・COOH) の超高速光異性化反応過程 (trans→cis) の解明のための超高速分光実験に着手した。すなわち、

trans 型のパラ-Az-COOH、メタ-Az-COOH、Az 溶液の $\sim 50$  fs $\cdot 400$  nm 過渡吸収測定の基本実験を行った。その結果、 $S_1$  状態の population がサブ 100 fs、サブ 1 ps、10 ps 前後の 3 成分減衰過程で生じていることを確認した。さらに、それらが溶媒の粘性に大きく依存していることを観測した。

② 生物化学的手法からのアプローチ

名古屋大学チームは、AzCOOH を用いて合成した光応答性 AzDNA に対して、trans-, cis-アゾベンゼンいずれの場合もインターカレートしていることを見出した。また、trans-体については二重鎖全体の構造も明らかにした。

### 3. 研究実施体制

「北海道大学」グループ

- ① 研究分担グループ長：山下 幹雄（北海道大学大学院工学研究科、教授）
- ② 研究項目：極限光電場波形の制御とそれを活かしたアト秒パルスおよびサブフェムト秒パルス(X 線域および近赤外・可視・紫外域)発生さらには遺伝子発現レーザー選択制御の研究

「名古屋大学」グループ

- ① 研究分担グループ長：浅沼 浩之（名古屋大学大学院工学研究科、教授）
- ② 研究項目：DNA ハイブリダイゼーションの高効率光スイッチング技術とその応用

### 4. 主な研究成果の発表（論文発表および特許出願）

(1) 論文（原著論文）発表

- S. Nakamura, N. Takasawa, Y. Koyamada, H. Sone, L. Xu, R. Morita, and M. Yamashita, “Extended finite difference time domain analysis of induced phase modulation and four-wave mixing between two-color femtosecond laser pulses in a silica fiber with different initial delays,” Jpn. J. Appl. Phys. 44, 7453-7459 (2005)
- Y. Deng, Z. Wu, L. Chai, C. Wang, K. Yamane, R. Morita, M. Yamashita, Z. Zhang, “Wavelet-transform analysis of spectral shearing interferometry for phase reconstruction of femtosecond optical pulses”, Opt.Express 13, 2120-2126 (2005)
- M. Adachi, K. Yamane, R. Morita, and M. Yamashita, “Sub-5-fs pulse compression of laser output using photonic crystal fiber with short zero-dispersion wavelength,” Jpn. J. Appl. Phys. 44, L1423-L1425 (2005)
- Y. Mizuta, M. Nagasawa, M. Ohtani, and M. Yamashita, “Nonlinear propagation analysis of few-optical-cycle pulses for subfemtosecond compression and

carrier envelope phase effect,” Phys. Rev. A 72, 063802 (2005)

- E. Matsubara, K. Inoue, and E. Hanamura, “Violation of Raman selection rules induced by two femtosecond laser pulses” Phys. Rev. B 72, 134101 (2005)
- M. Yamashita, K. Yamane, R. Morita, “Quasi-automatic phase-control technique for chirp compensation of pulses with over-one-octave bandwidth ---Generation of few- to mono-cycle optical pulses”, IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron., invited paper, (2006) in press
- E. Matsubara, K. Inoue, and E. Hanamura, “Dynamical Symmetry Breaking Induces by Ultrashort Laser Pulses in KTaO<sub>3</sub>” J. Phys. Soc. Jpn. 75, 024712 (2005)

(2) 特許出願

平成 17 年度特許出願件数：1 件 (CREST 研究期間累積件数：1 件)