

最近の技術から

レーザーの超高速波形制御

森本 朗裕・小林 哲郎・末田 正

大阪大学基礎工学部電気工学科 〒560 豊中市待兼山町 1-1

1. ま え が き

超短光パルス技術の進歩に伴い、現在では 6 fs (フェムト秒: 10^{-15} s) という極限的な光パルスまで生成が可能になっている¹⁾。このようなパルスを生成させる技術と同時に出力光パルスの波形を制御する技術も光パルスの応用を考える上で非常に重要である。近年ピコ秒 (ps: 10^{-12} s) からフェムト秒の領域においてこの波形制御の技術はめざましい進歩をとげている。

従来からある技術に、超短光パルスを多数のビームスプリッターによって複数のパルスに分解し、強度および遅延時間を調整した後に再び干渉合成して波形整形するという手法がある²⁾。これは時間領域における波形合成と考えるとわかりやすいが、周波数領域から見ると多数のミラーはもとのパルスの周波数成分から最終的な波形を取り出すための周波数フィルターになっていると考えることもできる。近年では、とくに後者のように周波数領域から考えた手法が多くみられる。本稿ではそのような最近のいくつかの研究について紹介したい。

2. 周波数領域におけるパルス波形制御の原理

図 1 に波形制御の概念図を示す³⁾。広いスペクトル広がりをもっている光を入力とし、それを何らかの方法で周波数ごとに分解する。そして周波数軸上で振幅と位相を制御した後、再び先の分解と逆の手法で合成することにより任意の光波形を得る。つまり入力光のもつ周波数スペクトルのなかから、得たい光波形を構成するスペクトル成分をフィルタによって抜き出すのである。ここで入力となる光は、安定で広い既知の周波数広がりをもっておればどのような時間波形をしていてもかまわないことに注意されたい。超短光パルスや電気光学変調光はスペクトルの位相関係が簡単なのでよく用いられる。

図 2 は回折格子を用いた波形制御の構成図である。回折格子を用いることによりスペクトルは空間的に分解される。この動作は普通の分光器とまったく同じである。周波数分解された空間面に位相および振幅を調整する空

間フィルタを挿入し、再び回折格子により合波する。周波数面に反射平面ミラーを置けば、合波部には先の分波部を再度利用することもできる。

このような方法でどれだけ自由に光波形を制御できるだろうか。原理的にはどのような波形でも作り出すことができる。実際の構成では、分波部の周波数分解能、分解可能周波数当りの入力光の位相変化、スペクトル広がり等が制限になる。分波部の周波数分解能は制御可能な最長の時間幅を、入力スペクトル広がりには制御可能な最短時間幅を決定する。また周波数フィルタで光波形を生成するわけであるから、入力に対する出力のエネルギー効率も一つの制約になる。

3. 超短光パルスの波形制御

モード同期光パルスは広いスペクトル広がりをもつ光の代表的なものである。ピコ秒からフェムト秒の時間領域で超短光パルスを光源とした波形制御がいくつか試みられている。光パルスを光源にするならば単に得たい波形のフーリエ変換に対応するフィルタを周波数面に挿入するだけでよい。このとき制御可能な最短時間幅はパルス幅そのものである。周波数フィルタとなる空間フィルタとしては、蒸着等による振幅および位相マスクが用いられるが、ホログラフィー技術を用いてこれを簡便に作製する方法も提案されている⁴⁾。このようにして矩形パルス、多重パルス等が生成されている^{5,6)}。また、従来の方法では困難であった暗ソリトンがこの方法で生成され、そのファイバー伝播実験も行なわれている⁷⁾。

モード同期においてパルスがトランスフォームリミット*1であることは非常に重要なことであるが、この方法による任意波形生成においては必ずしも必要ではない。

図 2 の構成はチャープを含む光パルスの圧縮系として利用することもでき、周波数フィルタとしてレンズを用いることにより、正負いずれのチャープでも圧縮すること

*1 フーリエ変換限界。周波数スペクトルの位相がすべてそろっているとしてフーリエ変換したものにパルス波形になっていること。その周波数スペクトルから得られる最短のパルスである。

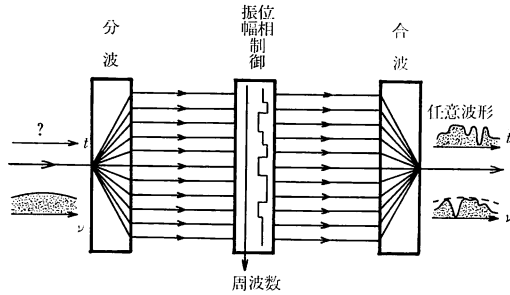


図1 超高速光波形制御の基本的構成

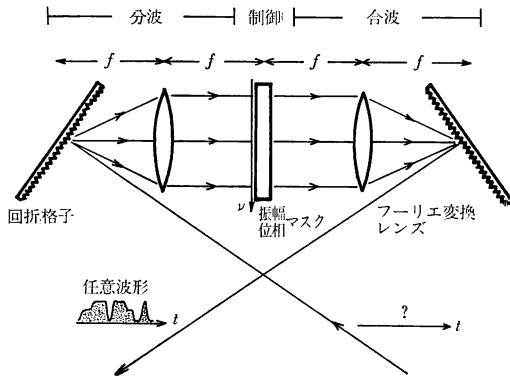


図2 回折格子を利用した超高速光シンセサイザ

ができる^{8,9)}。

4. 電気光学変調を利用した パルス生成・波形制御

先に述べたように超短光パルスを生成し波形制御するには入力となる光のスペクトルが安定で大きく広がっていることが最も重要である。電気光学変調を利用するとこのような大きなスペクトル広がりをもつ光を発生させることができる。マイクロ波領域で大きな位相変調を光に加えると光強度に時間変動は現われないが、多くのサイドバンドが生み出されスペクトルは大きく広がる。現状では1 THz 近いスペクトル広がりも報告されている¹⁰⁾。超短光パルスとこの変調光との最も大きな違いは、前者が連続スペクトルであるのに対して後者は変調周波数間隔で並んだ離散的なスペクトルであるところにある。したがって超短光パルスを光源に用いる場合と異なり電気光学変調光では位相調整に必要な位相偏移は各サイドバンドごとに独立して与えることができ、たかだか 2π (一波長に対応) でよい。このため周波数面での制御は非常に容易になる。数 GHz 以上の変調周波数ならば通常の回折格子を用いた分光器で容易に分離すること

ができる。また、周波数フィルタとしては先の写真マスク等のほか、変調器アレイや液晶シャッタのような空間変調器が利用可能である。単に等間隔にスペクトルを抜き出すだけでよければ F-P 干渉計でもよく、図1の分波・合波部も兼ねることができる¹¹⁾。10 GHz 帯でのマイクロ波による電気光学位相変調を用いてこのような方法でさまざまなピコ秒光波形が生成されている¹²⁾。サイドバンドの分離が完全なとき、制御可能な最長時間は変調周期そのものである。また、制御可能な最短時間はスペクトル広がり逆数の程度であり、ピコ秒からサブピコ秒である。

5. む す び

ピコ秒からフェムト秒の光波形を自由に制御する方式について述べた。フェムト秒光パルスを光源にしたパルス波形合成は超短光パルス技術の重要な構成要素になることが予想される。また電気光学変調を用いたピコ秒からサブピコ秒の波形生成は制御性、安定性に優れており、モード同期を用いない超短光パルス生成のみならず超高速の光ワード発生器への応用が期待されている。このような方式で制御できる最長の時間幅は、回折格子を分光に使うならその口径によって制限されるが、ナノ秒以上も可能である。レーザー核融合用の波形整形にも利用可能と思われ、今後の発展が期待される。

文 献

- 小林哲郎: 電子情報通信学会誌, **72** (1989) 171-180.
- W. E. Martine, *et al.*: Appl. Opt., **15** (1976) 3054-3061.
- 小林哲郎, ほか: 第34回応物関連予稿 3, paper 30p-ZG-14 (1987).
- 江馬一弘, ほか: 第36回応物関連予稿 3, paper 2p-X-4 (1989).
- A. M. Weiner, *et al.*: J. Opt. Soc. Am. B, **5** (1988) 1563-1572.
- A. M. Weiner, *et al.*: Tech. Dig. CLEO '89, Baltimore, paper FA 1 (1989).
- A. M. Weiner, *et al.*: Ultrafast Phenomena VI (Springer-Verlag, Berlin, 1988) pp. 115-117.
- F. Shimizu: Jpn. J. Appl. Phys. Part 2, **26** (1987) L 53-L 55.
- K. Ema, *et al.*: Opt. Commun., **71** (1989) 103-106.
- K. Amano, *et al.*: J. Lightwave Technol., **LT-5** (1987) 1454-1458.
- A. Morimoto, *et al.*: Tech. Dig. IQEC '88, Tokyo, paper ThH-6 (1988).
- T. Kobayashi, *et al.*: Tech. Dig. 6th Picosecond Electron. and Optoelectron., Salt Lake City, paper WB4-1 (1989).

(1989年6月1日受理)