



真のコヒーレント光源を目指して

西岡 一[†]

Toward the Versatile Coherent Light Source

Hajime NISHIOKA[†]

釈迦に説法で恐縮してしまうがLaserの語源は誘導放出による光の増幅である。入射光の周波数、時間波形、波面、方向を保ったまま増幅する能力を持っている。周波数安定化(時間コヒーレンス)、超短パルス化(周波数コヒーレンス)、回折限界ビーム(空間周波数コヒーレンス)、指向性(空間コヒーレンス)など、高いコヒーレンスを備えたレーザーが開発、実用化されている。しかし、その多くは単一機能、あるいは単一モードへのエネルギー集束であり、スペクトル、波形、指向性やビームパターンを複数自在に可変できるレーザーは極めて限定的である。

最近になって、長い時間コヒーレンスと広帯域の周波数のコヒーレンスを併せ持つ汎用光源が現れた。周波数安定化・モード同期レーザーは、「光コム」と呼ばれ、広い周波数範囲で個々の縦モードは単色光として振る舞い、同時に縦モード間の位相同期がなされている光源である。現状では、主に、周波数標準あるいは時間標準の比較などに用いられているが、任意波形のパルス発生や時間離れたパルス相互の干渉による選択励起、光エコー、フーリエ分光、位相敏感情報伝送など応用の幅は広い。

同様に空間と空間周波数を制御すれば、任意のビームパターンを任意の方向に光速で振り回す事ができる。こうした技術は電波の世界では既に広く用いられている。たとえば、PAC3等に搭載されているPhased Array Radarは多数の小型アンテナ間の位相を制御することによって、電氣的にレーザービームを掃引、集束し、高速で飛翔する物体を捕捉できる。携帯電話基地局のアンテナは端末を追尾し、最適な指向性を選択する。街中でも目立つコヒーレント制御の例である。指向・集束制御によって、飛沫、飛翔体の3Dアブレーション、実時間3D流体計測、原子・分子の高速選別・配列3Dマニピュレーション、3Dディスプレイなど動体や3D加工・計測へのレーザー応用が広がる。

ファイバレーザーでは容易に単一横モードが得られるので縦モードの制御のみで多ビーム結合が可能である。他方、VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser) のような微小共振器レーザーでは、広い周波数範囲で単一縦モード発振が可能であり、これもコヒーレント合成しやすいレーザーといえよう。少しずつではあるが、複数のレーザーをコヒーレントに重畳する実験が行われるようになってきた。単一共振器に多数のレーザーを受動的に結合する方法や、非線形光学による位相共役演算を行って相互同期させる方法、外部から機械的、あるいは電氣的に遅延を与え強制的に同期を行う方法などがある。外部からの強制同期は、単一モードに集束させるばかりでなく、任意のビームパターンや任意の波形を合成するなどの自由度の高いコヒーレント加算が可能である。しかし、波長に比べ長大な結合システムは、取り得るモード数が多く、ビーム数が増えると相互に多モード結合を起こして制御が難しくなる。

さて、4Kディスプレイが店頭に現れ始めた。4K液晶はRGB各800万台のレーザー光源を独立制御する能力を持っている。レーザーディスプレイではスペckルを嫌って、コヒーレンスを下げようと努力している。一方、縦横単一モードレーザーを光源として液晶、あるいはMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) で位相制御すれば大規模コヒーレント・アレイとなる。4K、8Kとなってくるとその物量は単なる空間変調器を超えてホログラムなど回折光学素子としての用途が見えてくる。

コヒーレント加算ではアイデアもさることながら、位相制御デバイスなどの集積化が重要な役割を持つ。液晶は動作が遅く光周波数を変える事はできないが、半導体レーザーの集積化がなされれば状況は大きく変化する。光半導体分野と光学分野は近いようで遠く、近年まで相互を理解する技術者は少なかった。しかし、デジタルカメラのC-MOSセンサーのように、光学技術者が光半導体の設計に加わることによって実効感度を2桁上げた例もある。レーザーディスプレイや光ルーターなどを突破口にして光コムや変調器、半導体レーザーアレイの集積化が急速に進み、光コムを発振器として光変調器と半導体レーザーを組み合わせたPhased Array Laser Diodeが実用化される日は近いように感じている。究極は光波サイクルレベルで瞬時波面やパルスフロントを制御できるレーザーであろう。光コムの任意の縦モードを空間アレイの各素子に選択結合できるクロスバースイッチを集積化すれば実現するかもしれない。

[†] 国立大学法人 電気通信大学 大学院情報理工学研究科 (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘1-5-1)

[†] Graduate School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications, 1-5-1 Chofugaoka, Chofu, Tokyo 182-8585