

光科学技術の今後を考える

京都府中小企業特別技術指導員の山下幹雄氏(北海道大学名誉教授)に上記テーマで寄稿いただきました。

○背景—超高速光技術—

歴史が示すように高速性の追求はいつの時代にも科学技術発展の原動力です。鉄道・飛行機・通信はその典型です。筆者は、国立研究所・大学を通して現在その頂点にあるレーザーをベースとした“極短[$\sim 10^{-15}$ 秒= ~ 1 フェムト秒(~ 1 fs)]光パルス技術”とその“応用としてのシーズ開拓”の研究開発を行ってきました。この極限光科学技術は以下の六つのきわだった特徴を持っています(カッコ内は筆者らの対応する研究成果例の一部)。
① 人類が創りだした最高速技術[近赤外・可視域で世界最短(3.4fsのちに2.6fs)の単一光パルスで究極のモノサイクル光(パルス幅内で電場の振動が一回のみの光)発生・計測の実現^{1,2)}]。
② 時間域の顕微鏡(DNA塩基の超高速・極微弱紫外蛍光スペクトル変化と超高速エキシマ形成の観測³⁾)。
③ 超高速時系列現象の制御(超高速光電場波束操作によるDNA一重鎖・二重鎖の可逆反応制御の基礎開拓⁴⁾)。
④ 超高密度信号性(筆者らの成果ではないが8Tbps以上の長距離光通信の実現)。
⑤ 巨大尖頭出力性(近赤外・可視・紫外に渡る2オクターブ超広帯域高出力光発生によるサブTWモノサイクル光発生の基盤技術開拓⁵⁾)。
⑥ 時間が全自然科学の必須パラメータであるため学際分野横断性(極限時空間分解(フェムト秒・ナノメータ)計測可能な光STMの開発⁶⁾)、です。

○これからの光科学技術

上記の特徴を踏まえて、本小論では“光科学技術の今後”について光を電磁波として広くとらえ長期の視点から独断と偏見をもって述べます⁷⁾。この私見は三つの柱から成ります(表に周波数域ごとに詳細表示)。

I. 光科学技術自身の今後の方向としてはさらに三つに細分できます。1. THzから γ 線に至る電磁波の各周波数域において、コヒーレントな光電場波束 $E(r,t)=\sum e_i(r,t)|A_i(r,t)|\cos(\omega_i(r,t)t-k_i(r,t)\cdot r+\phi_i(r,t))$ の発生・合成・制御[振幅 A_i ・位相 ϕ_i ・周波数 ω_i ・偏光 e_i ・偏向 k_i 各々独立に四次元(位置 r ,時間 t)制御も含む]・計測の実現です。これはマイクロ波で既の実現されていますが、これらを $10^{12}\sim 10^{26}$ Hzの電磁波へ展開していく流れです。

2. これらを基にした光波機能の極限化(10^{-17} 秒以下のパルス幅・ 10^{15} W以上のピークパワー・ 10^{22} W/cm²以上のピーク強度・ 10^6 J以上のパルスエネルギー・3オ

クターブ以上の帯域幅・ 10^{15} Hz以上のパルス繰り返し周波数など)です。新しい周波数域でのモノサイクル波束化やシングルフォトン域極微弱化も含まれます。3. 同様にこれらを基にした光波機能のリアルワールド化(高効率化・小型化・複合化・多機能化・集積化・汎用化など)です。半導体レーザー・ファイバーレーザー・太陽光励起レーザー・フォトニクスクリスタル光回路などがこの典型的なものです。II. 次の柱は、これらの技術を用いた、各周波数に対応する量子サイズ階層構造を持った各量子系(生体分子から分子・原子・核・素粒子まで)における、選択的な多重共鳴による量子波束操作(量子制御)の実現です。現在医療技術で活躍しているマイクロ波域でのMRI(磁気共鳴3次元イメージング)はそのはしりです。III. 最後の柱はこれらの結果を活かした、各階層の量子制御により生まれる新機能の学際応用(例えばナノ分野などの他の先端科学技術分野への融合化を含む)です。これら三者の相互作用が新しい学際科学技術を生み出していくでしょう。

Iの柱を中心に各柱に対して代表的な具体的テーマを表に、各周波数域に対応した量子状態の共鳴毎に(光波の中心周波数とそのパルス列繰り返し周波数との二重共鳴を含む)提案します。創出される新機能の応用は、生命医療・通信・ナノ・エネルギー・量子力学・加速器工学・宇宙物理・放射線核物理・素粒子物理の広い範囲に渡ってインパクトを与えることが期待できます。“生命ははじめに光ありき”はここに提示した課題の重要性を暗示するように思えます。各テーマ毎の詳細は紙面制限により省略します。

○むすび

本試論は最近本を書いている過程で強く思うことを文にしたものです。既に着手されているテーマを除いては定量的議論・実行手順の検討は不十分です。期待される結果の重要性を含めて優先順位をつけて研究を進めていく必要があります。大胆な発想・緻密な実行・確実にまとめる、独自のものづくりにとって、この三点は必須ではありますが、言うは易く行うは難しです。しかしその先には喜びが待っています。(無断転載不可)。

I. 光科学技術自身の課題	・周波数 ・時間(s)	II. 量子階層 構造の制御	III. 新量子科学技術の創出 (他先端分野への融合化も)
<p>1. THzからγ線に至る周波数域でのコヒーレントな光電場波束 E(r,t)の発生・合成・制御・計測</p> <p>・振幅・位相・周波数・偏光・偏向の4次元(r,t)制御</p> $E(r,t) = \sum \{ A_i(r,t) \cos(\omega_i(r,t)t - k_i(r,t) \cdot r + \phi_i(r,t)) \}$ <p>【光楽器】</p> 	<p>・ THz ~ IR</p> <p>・ 10⁻¹² ~ 10⁻¹³</p>	<p>単分子などの回転単位選択制御(二重共鳴も)</p>	<p>・ 生体分子高次構造素過程解明制御</p> <p>・ 生体分子認識解明制御</p> <p>・ 分子配向制御</p>
<p>2. 光波機能の極限化</p> <p>・モノサイクルUV-XUV-X線-γ線発生</p> <p>・内殻電子励起 Zs X線パルス発生</p> <p>・核励起 Ys γ線パルス発生</p> <p>・SVEAフリーモノサイクル非線形光学</p> <p>・UV以短周波数コム・絶対周波数計測</p> <p>・Exa W パルス・GJパルス発生</p> <p>・PHzパルス列光発生</p> <p>・シングルフォトン域モノサイクル光発生</p>	<p>・ NIR ~ 10⁻¹⁴</p> <p>・ VIS ~ UV</p> <p>・ 10⁻¹⁵ ~ 10⁻¹⁶</p>	<p>相転移などの格子振動・分子振動選択制御(二重共鳴も)</p> <p>電子・振動状態選択多重共鳴制御</p>	<p>・ 高温超伝導機構解明制御</p> <p>・ 制御E(r,t)TERS</p> <p>・ 時間・周波数・位相・偏光多重信号発生</p>
<p>3. 光波機能リアルワールド化</p> <p>・高効率・高出力・高精度・小型・集積・複合・汎用化</p> <p>・高出力半導体レーザー・ファイバーレーザー</p> <p>・太陽光励起高効率レーザー</p> <p>・フォトリソグラフィ集積回路</p> <p>・高非線形有機材料集積化</p>	<p>・ XUV ~ 10⁻¹⁷</p>	<p>内殻電子選択共鳴制御</p>	<p>・ 電子のトンネル速さの実測</p>  <p>・ 電子軌道周期の実測</p> 
<p>・ X線 ~ 10⁻¹⁹</p>	<p>・ X線 ~ 10⁻¹⁹</p>	<p>重原子内殻電子波束操作</p>	<p>・ As X線自由電子レーザー・荷電ビームの高出力・小型化</p>
<p>・ γ線 ~ 10⁻²³</p>	<p>・ γ線 ~ 10⁻²³</p>	<p>核励起選択共鳴制御 超高励起反粒子粒子発生</p>	<p>・ 放射線物質の寿命制御</p> <p>・ 非線形真空光学</p> <p>・ 暗黒物質の解明</p>

注 As=10⁻¹⁸秒、Zs=10⁻²¹秒、Ys=10⁻²⁴秒、SVEA=緩包絡波近似、TW=10¹²ワット、PW=10¹⁵ワット、Exa W=10¹⁸ワット、GJ=10⁹ジュール、PHz=10¹⁵Hz、STM=Scanning Tunneling Microscopy、TERS=Tip Enhanced Raman Spectroscopy

やました みきお
山下 幹雄氏 プロフィール



北海道大学名誉教授
科学技術振興機構CRESTプロジェクト(1997年~2003年と2005年~2011年:2回採択)研究代表者<世界最短単一パルスモノサイクル光発生・計測に成功、モノサイクル光励起40アト秒XUVパルス発生・計測法の提示、光STM提案・開拓、DNA鎖光量子制御法の提案・基礎過程の解明に貢献>
千歳科学技術大学客員教授
京都府中小企業特別技術指導員、京都光技術研究会会長

【お問い合わせ先】

京都府中小企業技術センター
企画連携課 情報・デザイン担当

TEL:075-315-9506 FAX:075-315-9497
E-mail: design@mtc.pref.kyoto.lg.jp