

シングルショット技術で測定する数サイクルパルスのCEP

数サイクルパルスの研究者たちは耳を貸してほしい。間もなくこの分野の実験は、キャリアエンベロープ位相(CEP)とパルス幅のオンザフライ、シングルショット測定によって恩恵を受けることになりそうだ。

CEPは時間軸上のパルスエンベロープピークと電界ピーク間の遅延の尺度である。多数パルスでは、包絡線内に十分なサイクル数が存在するため、実験結果への位相遅れの効果は無視できる。しかし、高調波発生やアト秒科学のような数サイクルパルスを扱う場合には、CEPは重要な尺度である。

数サイクルパルスでのCEPはこれまでにも測定されたが、数百あるいは数千を超えるショットの平均化にすぎなかった。しかし、独マックス・プランク量子光学研究所(MPI)の研究グループは、イエナ、ミュンヘン、テキサスなどの仲間と協力して、シングルショットで

CEPを測定する方法を完成した。この方法は、数サイクルパルスがガスセルを通して際に起きる超閾値イオン化(ATI)に依拠している。このATIは、電界に強く依存する過程であり、ATIによる光電子放出は瞬間的な電界の方向で起きる。

このATI放出は、2001年にゲルハルト・パウルス氏によってCEPの平均測定に初めて利用され、次いで、MPIとイタリア国立物質物理研究所の研究チームによっても使われた⁽¹⁾。しかし、CEPの瞬間的な情報を必要とするアプリケーションにおいては、このような平均化測定では不十分であり、最近の研究では、実時間のワンショット測定にするため、2001年方式に基づいて進められている。

この研究グループは4.1fs、400μJのレーザパルス出力の10%を分割し、それをキセノンガスセルが設置されてい

る差動真空排気されたドリフトチューブに集光させた。入射ビームの左側と右側に向けて、2個のスリットによってキセノンから脱離したATI光電子を対向する飛行時間型スペクトロメータへと突進させ、マルチチャネルプレート検出器で電子の到着時刻を検出した。迷走磁場を避けるために、機器はミューーメタル(磁気遮蔽用ニッケル合金)製のドリフトチューブ内に設置した。MPIのエイドリアン・カバリエリ氏(この研究の共同研究者)は、「左と右に放出された高エネルギー光電子の分布を厳密に比較することで、われわれはパルスエンベロープ最大に対する電界最大の位置を決定することができた。このパラメータは電界の発展を支配する情報を含んでいる」と説明する。

研究グループは、この方式が強電界実験への貴重な拡張機能になると考へている。測定は僅か約40μJのパルスエネ

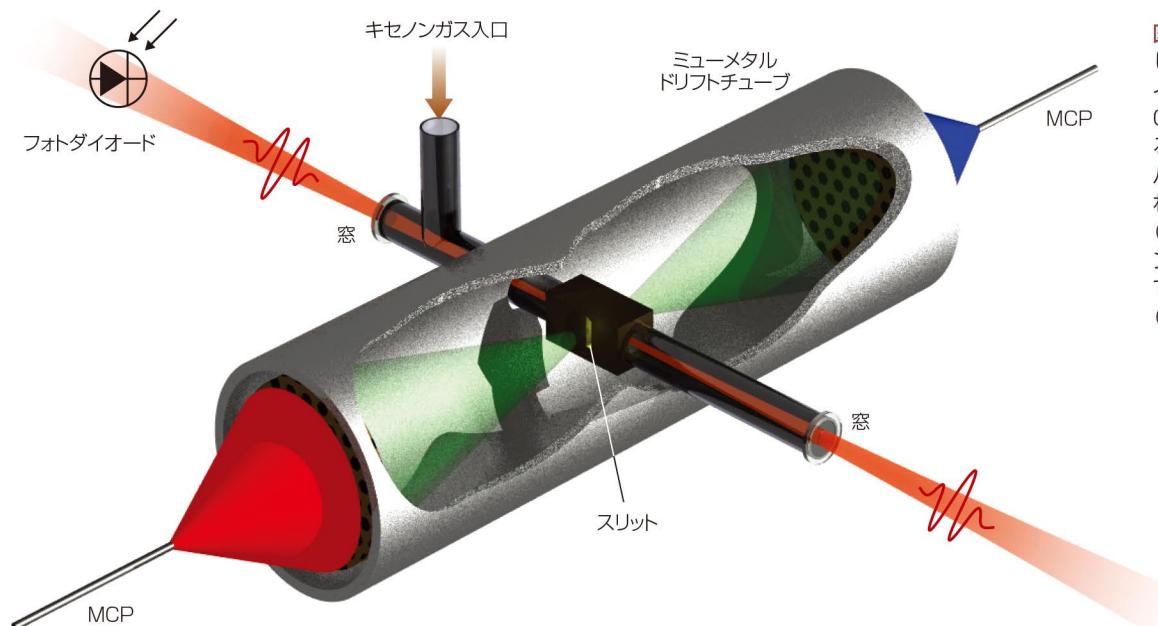


図1 キセノンを充填したガスセルは、数サイクルレーザパルスでCEPとパルスを測定する装置の中心部にある。パルス電界に引き起された超閾値イオン化(ATI)はマイクロチャンネルプレート(MCP)で検出される。
(資料提供: MPI)

ルギーを要するだけで、100kHz以上の繰返し率で使用できる。さらに、キセノンターゲットの電子密度はビームプロファイルにほとんど影響を及ぼさないはずだ。

各パルスのタグ付け

カバリエリ氏は、「CEPのシングルショット測定はこのようなシステム（強電界実験システム）で重要になる。なぜなら、それらが位相の大きなショット間ゆらぎによって安定化が難しいからだ。各パルスをエンベロープオフセット位相でタグ付けすることで、これらのパルスで行われた対応する測定を位相の関数として区別可能になり、高出力レーザシステムに高い効率で位相安定性を付与する」と語っている。こ

れは、このようなシステムに彼らの測定技術と同等の精度（彼らは10ミリラディアンと見積っている）を付与することになる⁽²⁾。

カバリエリ氏は、このようなショット間精度が活用された二つの例を引用している。固体の表面からの高調波発生と、数サイクルの高エネルギーレーザパルスによる電子とイオンのレーザ加速である。

このアプローチは、超短パルスレーザでは困難なことで知られる、パルス幅測定の間接的実施にも利用できる。この測定の基盤を形成する ATIが電界

に強く依存するため、その遮断電界強度ピークの両サイドでのパルス幅の推定に使えるからだ。この測定は、分散効果に影響されず、帯域幅に制限がない。このことが、現在使われている周波数分解光ゲーティングなどの面倒な測定方法と異なる点である。

研究グループは、アト秒分光実験における安定性の改善に向けてMPIの20TW、7fs レーザに追加された「ATI位相メータ」ならびにキロヘルツ位相安定化レーザシステムによる位相ビニング方式の実行を継続する予定である。

（Jason Palmer）

参考文献

- (1) Paulus et. al., Nature 414, p. 182 (2001).
(2) Wittman et. al., Nature Physics, DOI: 10.1038/NPHYS1250 (2009).

IPWJ