「光周波数コム光源デバイスの多様化」特集号によせて

田邊 孝純

慶應義塾大学 理工学部 電子工学科 (〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1)

Preface to Special Issue on Increasing Diversity of Optical Frequency Comb Devices

Takasumi TANABE

Faculty of Science and Technology, Keio University, 3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama-shi, Kanagawa 223-8522

(Received December 22, 2017)

原子や分子の高分解能分光は、光周波数の決定やスペクトルの微細構造の決定等に不可欠であり、レーザーが光源として用いられるようになって以来周波数精度が高まり、研究が飛躍的に進んできた。その中でも、光周波数コム光源の開発は¹⁻³⁾、周波数基準光源、超精密距離計測や高精度分光応用などへ幅広い波及効果をもたらしている。特に1990年代にTi:sapphireフェムト秒レーザーを用いた光周波数コム光源が開発され、その帯域や周波数精度が飛躍的に改善した。2000年にはキャリアエンベロープオフセット (Carrier Envelop Offset: CEO) が制御されるようになり⁴⁾、光周波数コム光源の研究開発は隆盛を極めるようになる。

このころから、Ti:sapphireレーザーに代表される大型な固体レーザーに代わって、ファイバレーザーを用いた、よりコンパクトな光周波数コム光源の開発が行われるようになった⁵⁾。その後こうした装置を用いてもCEOの制御や位相ノイズの低減が実現されるようになり、光周波数コム光源の多様化が進展した。

さらには、ファブリペロー共振器と電気光変調器 (Electro Optic Modulator: EOM) を用いたEOMコムや⁶⁾、近年では微小光共振器での効率的な非線形光学効果を利用して実現するマイクロコム⁷⁾等、小型なデバイスを用いて光周波数コムを発生させる研究が急速に進展し、省エネ、小型で可搬性の高い光周波数コム光源開発の機運が高まってきている。

本特集号では、従来大型な固体レーザーが研究開発の中心であった光周波数コム光源の、デバイス化の進展や、それに伴って実現できる新たな応用展開にフォーカスし、ファイバやデバイス型の光周波数コム光源に関連する研究を、国内の研究者に報告いただく。

初めに、稲場 肇氏に光周波数コムの基礎事項について大変丁寧に解説頂く。同氏は、ファイバレーザーを用いた光周波数コムの先駆的なご研究をされている。ファイバレーザーコムは小型な光周波数コム光源の中でも最も高い周波数安定性を誇り、応用研究も盛んである。

今回の特集号のテーマを理解するために必要な、基礎的な知識を得ることができるような、大変すばらしい解説論文となっている。具体的には、CEO、周波数信号の品質評価に必要な位相雑音、アラン偏差、線幅の定義や測定方法について、大変丁寧に解説されており、大学院生を含む多くの読者を、当該分野にスムーズに導入するような論文となっている。

次の論文が、西澤 典彦氏らによるファイバレーザーを用いた中赤外光周波数コム光源の開発である。中赤外光は分子の指紋領域をカバーするので、センシング用途で良く用いられる波長領域である。ファイバレーザーによるコム光源の新しい展開として、当該光源を中赤外へと波長帯域を拡大する試みが始まっているので、当該研究の最新状況について報告いただく。

光周波数コム光源を余すところなく活用するためには、その制御や測定技術の開発も、研究の両輪として進める必要がある。そこで、3番目の解説論文は塩田 達俊氏に光周波数コム光源を活用した、超高速光波形計測と分散計測応用について紹介いただく。

解説4では、デバイス色が高いEOMコムの最新研究について石澤 淳氏らに解説いただく。EOMを用いるとGHzの高い繰返しを有する光コムが得られる。また得られた光コムの周波数を周波数安定光源に同期させてフィードバック制御することでマイクロ波発生器の雑音を大幅に低減させることができるなど、興味深い応用が紹介されている。

次の解説は小生による記事で、チップ集積できるとして、近年急速に注目が高まっている微小光共振器を用いたマイクロコムについて紹介した。マイクロコムは、超高速繰返し周波数光パルスが得られるという特徴がある。この記事ではマイクロコム研究の海外の動向も含めて網羅的に紹介している。

その次の解説論文は、同じくマイクロコム研究をされているSho Kasumie(霞江 翔)氏らによる記事で、光共振器内の第三次高調波発生を利用して、可視光のコムを発

生した研究の紹介である。

最後に本特集号に関連したオリジナル論文として、藤井 瞬氏らの論文を掲載している。ここでは、マイクロコム研究で重要となる、光コムの解析手法を紹介している。特にLugiato-Lefever方程式と結合モード方程式の2つの手法の比較検討が行われているが、詳細なモデリングの比較検討を行った論文は他には見当たらず、マイクロコム研究のみならず非線形光学効果を考慮した共振器中での光の振る舞いをモデリングしようとしている研究者にとっては極めて有用な情報が含まれていると期待される。

本特集号を通じて光周波数コム光源の多様化が急速に進んでいることを読者に皆さまにご理解いただき、国内研究者の興味を喚起することで、光源及びその応用研究の活性化を促すきっかけとなることを願う。

参考文献

- 1) S. Diddams, D. Jones, J. Ye, S. Cundiff, J. Hall, J. Ranka, R. Windeler, R. Holzwarth, T. Udem, and T. Hänsch: Phys. Rev. Lett. **84** (2000) 5102.
- 2) R. Holzwarth, T. Udem, T. Hänsch, J. Knight, W. Wadsworth, and P. Russell: Phys. Rev. Lett. **85** (2000) 2264.
- 3) T. Udem, R. Holzwarth, and T. Hänsch: Nature **416** (2002) 233.
- 4) D. Jones, S. Diddams, J. Ranka, A. Stentz, R. Windeler, J. Hall, and S. Cundiff: Science **288** (2000) 635.
- 5) F.-L. Hong, K. Minoshima, A. Onae, H. Inaba, H. Takada, A. Hirai, H. Matsumoto, T. Sugiura, and M. Yoshida: Opt. Lett. **28** (2003) 1516.
- 6) 興梠 元伸: レーザー研究 **31** (2003) 438.
- 7) P. Del'Haye, A. Schliesser, O. Arcizet, T. Wilken, R. Holzwarth, and T. Kippenberg: Nature **450** (2007) 1214.