

# 高速制御型 Er ファイバーコムの開発とコムを用いた分光

(横浜国大理工<sup>a</sup>, 産総研<sup>b</sup>, JST, ERATO 知的光シンセ<sup>c</sup>) ○吉井一倫<sup>a,c</sup>・朝比奈優<sup>a,c</sup>・池田孝介<sup>a</sup>・山田優子<sup>a,c</sup>・久井裕介<sup>a,c</sup>・大久保章<sup>b,c</sup>・稲場肇<sup>b,c</sup>・洪鋒雷<sup>a,c</sup>

Development of a high-speed-controllable Er-fiber comb and spectroscopy using an optical frequency comb

(Dep. Phys. YNU<sup>a</sup>, NMIJ, AIST<sup>b</sup>, JST, ERATO IOS<sup>c</sup>) Kazumichi Yoshii<sup>a,c</sup>, Yu Asahina<sup>a,c</sup>, Kousuke Ikeda<sup>a</sup>, Yuko Yamada<sup>a,c</sup>, Yusuke Hisai<sup>a,c</sup>, Sho Okubo<sup>b,c</sup>, Hajime Inaba<sup>b,c</sup>, and Feng-Lei Hong<sup>a,c</sup>  
yoshii-kazumichi-mn@ynu.ac.jp

We have developed a mode-locked Er fiber laser using a small fiber-pigtailed optical bench containing an electro-optic modulator, a polarizer and wave plates. The electro-optic modulator is used to control the repetition frequency of the mode-locked laser at a high speed together with a piezoelectric transducer attached to fiber. We have also observed an acetylene absorption line by using an optical frequency comb and a continuous wave laser. The scheme to resolve the comb modes is based on the measurement of beat notes between a continuous wave laser and the comb modes, by replacing the local comb in deal-comb spectroscopy with the continuous wave laser.

## 1. はじめに

光周波数コムは、光周波数の精密測定や制御を可能にする道具として、精密分光、量子光学などの研究において不可欠なものとなっている[1]。特に、レーザー線幅転送を可能にするような相対線幅の狭い光コムを実現する上では、繰り返し周波数の高速制御技術が鍵となる。ファイバーコムの開発において繰り返し周波数の高速制御は、モード同期ファイバーレーザーの共振器の中に電気光学変調器 (EOM) を挿入し、その印可電圧を制御ポートとして用いることにより実現される[2]。本研究は、市販の光学部品のみを用いてコンパクトかつ安価な光学系を構築し、それをレーザー共振器に導入することで高速制御型 Er ファイバーコムの開発を行う。また、分光研究への光コムの応用として、本研究室で進めている光コムと連続光レーザーによるアセチレン分子吸収線の観測を紹介する。

## 2. 実験方法

繰り返し周波数  $f_{\text{rep}}$  が 49 MHz のモード同期エルビウム (Er) ファイバーレーザーを作製した。そのリング共振器内に小さなファイバーピグテール付の光学ベンチを挿入し、そこに自由空間型 EOM 及び小型光学部品を取り付けた (図 1(a))。EOM に電圧を印加し、レーザー共振器の実効的な長さを変化させることで繰り返し周波数を高速制御する。また、被膜を剥がした光ファイバーにピエゾアクチュエーターを取り付け遅い制御ポートとして用いた。さらに、ペルチェ素子を用いたファイバーへの温調を行うことでピエゾアクチュエーターのダイナミックレンジを補った。キャリアエンベロープオフセット周波数  $f_{\text{CEO}}$  については、励起 LD の注入電流により制御を行った。

### 3. 実験結果

波長 1064 nm のヨウ素安定化 Nd:YAG レーザーと開発した光コムとの光ヘテロダイナミックビート信号  $f_{\text{beat}}$  を観測し、 $f_{\text{beat}}$  を用いた  $f_{\text{rep}}$  の制御と  $f_{\text{CEO}}$  の制御を同時に行った。図 1 (b) に位相同期を行ったときの  $f_{\text{beat}}$  信号を示す。スペクトラムアナライザの分解能以下である狭線幅のスペクトルが得られていることが分かる。また、制御帯域を示すサーボバンプは約 850 kHz であった。

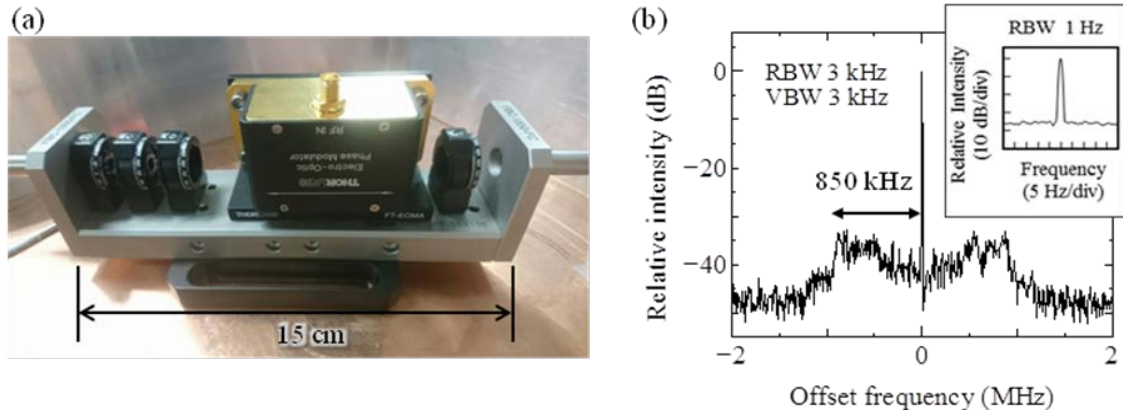


図 1. (a)光学ベンチ上に取り付けた電気光学変調器と光学素子の写真. (b)観測した高速制御型光コムと Nd:YAG レーザーとのビート信号. 挿入図はビート信号の拡大図.

### 4. 光コムを用いた分光研究

光コムは周波数領域では等しいモード間隔を持つ狭線幅連続光(CW)レーザー群とみなすことができ高速・高分解能・高感度の分光用光源として注目されている。しかし、光コムを分光器で分解することは困難であるため、光コム単独で高分解能な分光分析に用いることは難しい。これらの困難を解消するため、周波数のわずかに異なる 2 台の光コムを位相同期し、2つの光コム間の RF ビート信号を観測するデュアル・コム分光法 [3]や、デュアル・コム分光法での 2 台目の光コム代わりに CW レーザーを用いる光コム干渉分光法[4,5]が提案されている。

我々は、光コム干渉分光法を行いアセチレン分子の吸収線を観測した。低繰り返し周波数の光コムを用いることで分解能の向上を図り、さらに CW レーザーを安定化することによりビート周波数の変動を抑えデータの積算を可能にした。発表では、吸収線などの測定結果やその線幅等の解析結果について報告する。

#### 参考文献

- [1] 大苗 敦、洪 鋒雷、「応用物理」 **84**, 30-36 (2015).
- [2] Y. Nakajima, H. Inaba, K. Hosaka, K. Minoshima, A. Onae, M. Yasuda, T. Kohno, S. Kawato, T. Kobayashi, T. Katsuyama, and F.-L. Hong, "A multi-branch, fiber-based frequency comb with millihertz-level relative linewidths using an intra-cavity electro-optic modulator", *Opt. Express* **18**, 1667-1676 (2010).
- [3] I. Coddington, W. C. Swann, and N. R. Newbury, "Coherent Multiheterodyne Spectroscopy Using Stabilized Optical Frequency Combs", *Phys. Rev. Lett.* **100**, 013902-1-4 (2008).
- [4] T. Hasegawa and H. Sasada, "Direct-comb molecular spectroscopy by heterodyne detection with continuous-wave laser for high sensitivity", *Opt. Express* **25**, A680-A688 (2017).
- [5] K. Urabe and O. Sakai, "Absorption spectroscopy using interference between optical comb and single-wavelength laser", *Appl. Phys. Lett.* **101**, 051105-1-4 (2012).