

# マイクロ-ソリトンコムの光サイドバンドによる熱冷却 Thermal cooling of a dissipative Kerr-microresonator soliton comb by an optical sideband

徳島大院<sup>1</sup>, 電通大情報理工<sup>2</sup>, 徳島大ポスト LED フォトニクス研究所<sup>3</sup>, JST さきがけ<sup>4</sup>

○西本健司<sup>1</sup>, 美濃島薫<sup>2,3</sup>, 安井武史<sup>1,3</sup>, 久世直也<sup>3,4</sup>

Grad. Sch. Tokushima Univ.<sup>1</sup>, Univ. Electro-Commun.<sup>2</sup>, Inst. Post-LED Photon., Tokushima Univ.<sup>3</sup>, JST PRESTO<sup>4</sup>, ○K. Nishimoto<sup>1</sup>, K. Minoshima<sup>2,3</sup>, T. Yasui<sup>1</sup>, and N. Kuse<sup>3,4</sup>

e-mail address: nishimoto.kenji@femto.me.tokushima-u.ac.jp

微小光共振器を利用して発生させたマイクロコム (特にモードロック状態にあるものをソリトンコムと呼ぶ) は、光周波数コムの集積化の可能性や非常に高い繰り返し周波数 ( $f_{rep}$ ) を持つことから独自のアプリケーション応用が多く展開されている。特に、マイクロコムの  $f_{rep}$  (数百 GHz~数 THz) が次世代高速通信方式 (6G) の通信用キャリア周波数帯域をほぼ完全にカバーしていることからミリ波/THz 波発生源としての応用が注目されている[1]。しかし、モード体積が非常に小さい微小光共振器では導波路内の熱変動の影響が大きく、ソリトンコムの発生と低位相雑音化の両方の障害となる。この改題を解決する手法として、補助レーザー成分を利用して微小光共振器内の熱変動を安定化することでソリトンコム発生時の安定化[2]と低位相雑音化[3]を行う手法が個別に提案された。しかし、これらは追加の可変 CW レーザーを必要とする場合が多いためセットアップの複雑化や 2 台の CW レーザーの相対的な雑音が付加される問題があり、またソリトンコム発生と低位相雑音の両方を単一システムで実装した報告例もない。

本手法では、補助レーザー成分として電気光学変調器 (EOM) の光サイドバンドを利用することでセットアップの簡略化を行い、ソリトンコムの発生安定化と低位相雑音化の同時実装のための実験を行った。Fig. 1a に光サイドバンドによる微小光共振器の熱安定化によるソリトンコム発生と位相雑音低減の概念図を示す。周波数掃引されるポンプ成分 (赤) が②で微小光共振器にカップリングすることで急速に共振器内パワーが増加し、共振周波数 (グレー) が低周波数側にシフトする。③でソリトンコムが発生するとポンプ成分による共振器内パワーは減少するが、補助成分 (青) が代わりに共振にカップリングするため微小光共振器内の熱量が安定化される。この熱的安定化により、微小光共振器内は常に熱的定常状態となるため安定的にソリトンコムが発生可能となる。また、ソリトンコム発生後に光サイドバンドのパワーと共振からの離調量を調節することで、微小光共振器の熱変動に伴う熱屈折率雑音も熱的安定化により低減可能となる (④)。Fig. 1b に示す実験セットアップのように、光サイドバンドによる補助成分は微小光共振器に対してポンプ成分とは逆側から入射させることで両成分を容易に分離可能である。Fig. 1c は実際の微小光共振器内パワー変動である。ポンプ成分パワーが減少すると同時に補助成分パワーが補償的に上昇する様子が観測された。また、Fig. 1d に示すようにソリトンコム発生後の低位相雑音化も行った結果、熱安定化により最大 20 dB ほどの低位相雑音化が確認された。

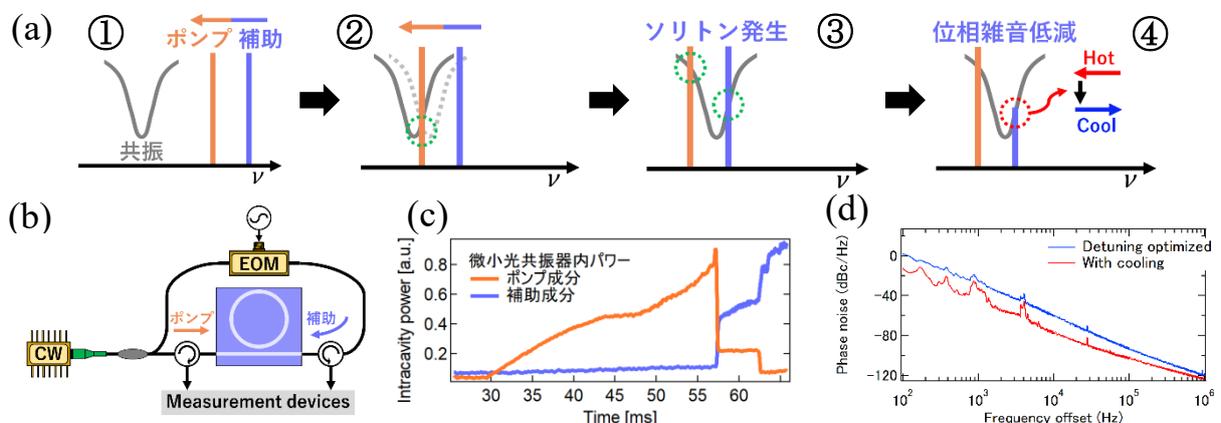


Figure1 (a) The working principle of the sideband cooling in optical microresonator. (b) The experimental setup. (c) The measured comb power generated by the pump laser (red) and auxiliary laser (blue). (d) The single side-band relative phase noise with sideband cooling (red) and without cooling (blue).

Reference [1] T. Tetsumoto, et al., Nat. Photonics, doi.org/10.1038/s41566-021-00790-2 (2021).

[2] T. Wildi, et al., Opt. Lett. **44**, 18 4447-4450 (2019). [3] T. E. Drake, et al., Nat. Photonics **14**, 480-485 (2020).