

修士学位論文要約（令和4年3月）

光負帰還狭線幅半導体レーザーの直接周波数変調 を用いた長距離測距に関する研究

木内 啓生

指導教員：八坂 洋， 研究指導教員：横田 信英

Study on Long-Distance Ranging using Directly-Frequency-Modulated Narrow Linewidth Semiconductor Laser under Optical Negative Feedback

Hiroki KIUCHI

Supervisor: Hiroshi YASAKA, Research Advisor: Nobuhide YOKOTA

In this study, we demonstrate FMCW LiDAR measurements using a low-phase-noise optical negative feedback laser with a minimum phase noise of 8.6×10^2 Hz²/Hz. We confirmed that optical negative feedback laser can be directly modulated by calculating the frequency sweep characteristics with rate equations. We conducted FMCW LiDAR measurement and achieved beat spectrum with high signal-to-noise ratio at 300-m fiber by using directly modulating the optical negative feedback laser.

1. はじめに

近年、光を用いた測距技術 LiDAR (Light detection and ranging) は様々な分野への応用が期待されている。中でも周波数変調を施したレーザー光源を利用する FMCW (Frequency-modulated continuous-wave) 方式は検出感度に優れており、自動運転技術などへの応用の観点から注目が集まっている。FMCW 方式では、レーザー光源の周波数掃引の線形性が測距精度の向上において重要であり、発振スペクトル線幅の狭窄化は測定可能距離の拡大に寄与する。このため、狭線幅半導体レーザー光源と周波数掃引用の外部変調器を集積した光源構成が候補として挙げられるが、大幅な低コスト化のためには半導体レーザーの直接変調を活用することが有望である。我々の研究室では、コンパクトな光フィルタからの帰還光を用いることで半導体レーザーの発振スペクトル線幅を狭窄化する、光負帰還法を提案している。光負帰還狭線幅半導体レーザー光源に簡便な直接周波数変調を施すことができた場合、長距離 FMCW LiDAR 用光源として有望である。本研究では、光負帰還狭線幅半導体レーザーの FM ノイズ特性を測定・評価することで、変調時においても光負帰還法による発振スペクトル線幅の狭窄化が可能であることを確認し、直接周波数変調を施した光負帰還狭線幅半導体レーザーを FMCW LiDAR 光源として用いる

ことで、長距離においても測距が可能であることを解析と検証実験を通して実証することを目的とする。

2. 光負帰還狭線幅半導体レーザーの直接変調

レート方程式を用いて、光負帰還狭線幅半導体レーザーの直接変調時における周波数掃引特性について解析を行った結果を図 1 に示す。光フィルタの FSR (Free-spectral-range) に相当する 25 GHz の間隔で周波数掃引の傾きが緩やかになっていることが確認できる。この傾きの小さくなっている周波数範囲で周波数掃引を行うことで光負帰還による FM ノイズ低減効果を得ることができる。

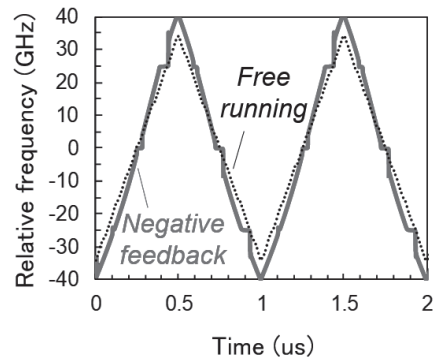


図 1 光負帰還狭線幅半導体レーザーの直接周波数変調時における周波数掃引特性

3. 直接変調時の FM ノイズ

遅延自己ホモダイン型の構成[1]を用いて光負帰還狭線幅半導体レーザの FM ノイズ特性を測定した結果を図2に示す。フリーラン時の FM ノイズと比較し、光負帰還時では約 30 dB の FM ノイズ低減がなされていることを確認し、光負帰還状態での直接変調時においても FM ノイズ低減効果を維持したまま直接周波数変調可能であることを確認した。

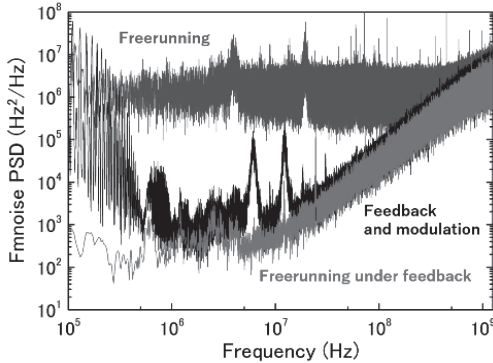


図2 光負帰還狭線幅半導体レーザの FM ノイズ特性

4. 周波数掃引特性の線形化

正確な距離測定のため、直接変調時の半導体レーザにおける、熱応答遅れなどに起因する周波数掃引特性の歪みを線形化する必要がある。そこで、注入電流を反復補正することで周波数掃引特性の線形化を行う Linear update algorithm を導入した[2]。三角波型直接周波数掃引を施した光負帰還狭線幅半導体レーザに対して、線形化補正を行った結果を図3に示す。振幅約 160 MHz の周波数掃引を約 0.6%の誤差で行えていることを確認した。

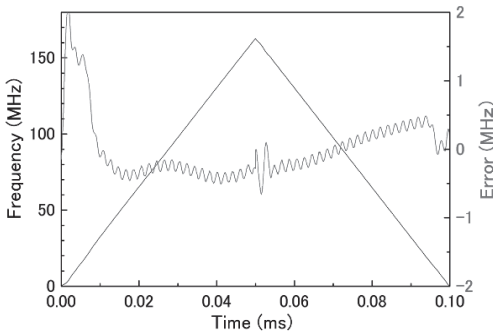


図3 線形化後の周波数掃引特性

5. 光負帰還狭線幅半導体レーザの直接周波数変調を用いた測距

光負帰還狭線幅半導体レーザに直接周波数変調を

施し、周波数掃引特性の線形化を行った後、遅延ファイバを用いて測距実験を行った結果を図4に示す。それぞれのスペクトルは三角波下り側半分に相当するビート信号に Flattop 窓をかけた後、フーリエ変換を施しスペクトル同士で 8 回平均化したものを示している。光負帰還狭線幅半導体レーザを FMCW LiDAR 光源として用いることで、300 m のファイバを用いた測距においても、約 30 dB の高い SNR を持つビートスペクトルが得られることを確認した。

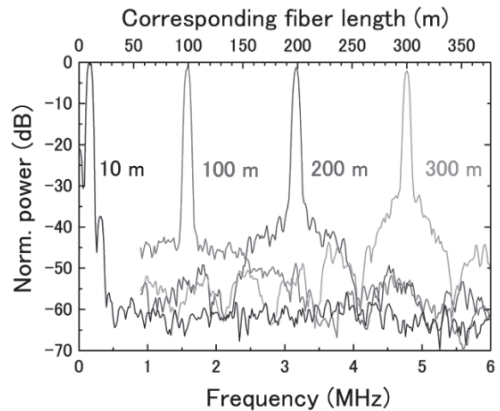


図4 測定したビートスペクトル

6. まとめ

本研究では、光負帰還狭線幅半導体レーザの FMCW LiDAR 光源への適用を目的とし、半導体レーザモデルを用いた光負帰還狭線幅半導体レーザの数値解析および周波数ノイズ PSD 低減効果の実証実験を行った。さらに、直接周波数変調を施した光負帰還狭線幅半導体レーザを適用した FMCW LiDAR の長距離測距特性の数値解析および実験を行った。遅延自己ホモダイン型コヒーレント検波方式の FM ノイズ PSD 測定法を導入することで、直接周波数変調時においても光負帰還法による FM ノイズ低減効果が得られることを確認した。また半導体レーザへの注入電流を反復補正することで直接周波数変調時の周波数掃引特性の歪みを補正し、遅延ファイバを用いた FMCW LiDAR 測定を行うことで 300 m のファイバ長での測定においても高い SNR を持ったビートスペクトルが得られることを確認した。

文献

[1] K. Kikuchi, Opt. Express 20, 5291 (2012).
 [2] X. Zhang, J. Pouls, and M. C. Wu, Opt. Express 27, 9965 (2019).