

## 光波センシング技術研究会企画 広帯域波長走査光源を用いる光波センシング

東理大 石井 行弘  
東工大 中村 健太郎  
防衛大 田中 哲

レーザなどの狭帯域光源を用いて生成される干渉信号（ビート信号）において、光源の波長を走査すると光路差に関する絶対的な測定を行うことができる。広帯域波長走査光源の重要性は、光源のコヒーレント性と広帯域性をあわせもつ光源を用いることによって原理的に光路差がゼロのみの干渉情報が得られ、究極的な縦分解能が実現される点にある。また、波長走査を高速に行うことによって、このような波長の掃引を伴う干渉計測の高速化をはじめ、波長掃引による実効的な光源のコヒーレンス制御を利用したセンシング用の光源や波長領域において多重化されている計測システム用の光源として、その重要性が高まってきている。本シンポジウムの目的は、波長走査光源の開発側の講演と、それを利用する計測システムの応用側の講演を包含し、近年発展してきている広帯域波長走査光源を用いる光波センシング技術を概観するとともに、光波センシング技術の新たな飛躍を目指すことにある。講演発表では、イントロダクトリートークに引き続いて波長走査型の半導体レーザ光源の開発とその応用に関する最近の研究から7件の招待講演があり、現在の研究動向について解説がなされた。

はじめに、本シンポジウムの導入部として、東理大の石井から波長走査光源を用いた計測法の本質的な解説、および、近年の高速広帯域波長走査光源を用いた光コヒーレンストモグラフィ（OCT）や広帯域周波数可変光源を用いた光波センシング技術についての紹介があり、波長走査光源のさらなる広帯域化および高速化がセンシング技術の高精度化と実用化に欠かせないことが示された。

次に、筑波大の安野氏による医療分野における波長走査光源を用いた断層イメージングについての講演があり、最近の医療現場における研究成果を中心に波長走査光源を用いた生体 OCT に関する研究が紹介され

た。従来、OCT では 800 nm 帯の SLD を光源に用いた眼底検査用のものが既に実用化されているが、眼底以外の生体応用では近赤外領域の広帯域光源が必要で、検出器についても新たなデバイスが必要となる。講演では、1.3  $\mu\text{m}$  帯の高速波長走査光源と InGaAs 光検出器の組み合わせで波長走査型 OCT を実現し、生体組織に対する透過性が高い特性を活かした生体計測の実例が示された。この波長走査を行う手法では、波長走査時に各種の変調技術を用いることで、さらに高機能化および高精度化が可能のため、眼底検査以外への標準的な応用が期待されている。

サンテック㈱の両澤氏は、自社で製品化した波長走査型 OCT 用光源を中心に、医療現場への応用例とその要求性能を実現するための光源の開発状況について解説した。すでに、用途に応じて生体への透過性が高い 1.0, 1.3, および 1.5  $\mu\text{m}$  帯において、70~150 nm の波長幅を 20~30 kHz の繰返し周波数で走査可能な高速広帯域波長走査光源がそれぞれ製品化されており、多くの医療分野で応用が始められているとともに、すでに循環器分野では臨床試験も開始されているとのことで、今後の実用化が期待される。発表では、医療応用の他、OCT による蛙の幼生の3次元画像や高分子部材内部の断層画像のなど、製品化されたシステムを用いて得られた精巧なデータが紹介され、大変興味深いものであった。

産総研の日比野氏からは、リットマン配置による波長走査型半導体レーザの特長と、これを活かした表面形状計測および位相物体の厚み計測についての発表があった。干渉計測に波長走査光源を適用する手法について分かりやすい解説がなされたほか、機械式位相シフト干渉計に波長走査光源を適用して 1 mm の段差を含む表面形状を 1 nm オーダーの精度で測定した結果、および、波長走査型のフィゾー干渉計を用いて透明平

板の絶対的な光学的厚さ測定を 1  $\mu\text{m}$  オーダーの精度で実現した結果が紹介された。位相物体の厚み計測に関しては、特に透明平行平板の光学的な厚さや面内の屈折率の分布を精密に測定する手法がまだ確立されておらず、さらに精度を上げることが課題になっているとのことであった。

東工大の中村は、光ファイバの振動を用いた高速波長走査光源の開発とその光ファイバセンサへの応用について報告した。この光源では、半導体レーザー素子から伸びる光ファイバと回折格子の間に球レンズを置いたリトロー配置により半導体レーザーの外部共振器を構成し、圧電素子を用いて光ファイバ端にたわみ振動を印加してファイバ出射光を偏向させることで波長の高速走査を可能にしている。実証実験では、波長走査の幅が 70 nm で 167 kHz の高い繰返し周波数で C バンド帯の光源が実現されており、さらに、光ファイバブラッググレーティング (FBG) センサへ応用した結果として、従来の波長走査型の FBG センサでは困難であった 28 kHz もの高周波ひずみ計測が示されていた。

アンリツ株の斉藤氏からは、MEMS スキャニングミラーをリットマン配置による波長走査型半導体レーザーに適用して、高速の波長走査を実現した光源について発表がなされた。精巧な MEMS 技術によって作製されたミラーを用いて高速かつ高精度な波長走査レーザーが実現されており、製品化されているものでは、1.5 ~ 1.6 mm の範囲で 700 Hz の繰返し周波数が可能であるとのことであった。発表では、この光源を FBG センサアレイへ適用して動的なひずみを計測した結果のほか、100 km を超える長尺の FBG センサへ適用した結果が示されており、波長走査型レーザーが FBG センサ用光源としても従来の広帯域光源に比べ優れている

ことが実証されていた。

東大の保立氏は、連続光の周波数変調技術を用いたブリルアン散乱相関領域解析法による分布型光ファイバセンサを報告した。この手法では、ポンプ光およびプローブ光に用いる半導体レーザーの周波数変調によって誘導ブリルアン散乱を効率的に発生させる位置を局在化し、さらに変調周波数を掃引することによってその位置を変化させることができる。最近では、測定レンジ 1 km、空間分解能 1.6 mm、サンプリング速度 1 kHz の性能が達成されており、測定部位のランダムアクセス機能も実現され、現在、建設、航空機、電線製造関連の企業各社で実用化が検討されているとのことであった。また、実際に小型ジェット機に搭載して、飛行時および離着陸時における機体のひずみモニタリングへ応用している模様が紹介され、聴衆の注目を集めていた。

最後に、防衛大の田中から、多波長で安定した同時発振が可能で、かつ各発振波長成分において波長可変動作を実現したレーザーと、このレーザーの FBG センサへの応用についての報告があった。このレーザーでは、不均一拡がりを持つ利得媒質として半導体光増幅器を利用し波長選択素子として複数の FBG を用いることで多波長同時発振動作を可能としている。さらに、レーザーに用いた FBG への印加ひずみを制御することで波長同調機能が実現されていた。発表では、振動計測に特化した強度変調方式による FBG センサとセンサ出力における波長可変光源を用いた温度補償法についての説明があり、ここで提示されたレーザーが必要な性能を満たしていること、波長分割多重化方式によって多点化した温度安定化の FBG 振動センサアレイに十分適用可能であることが示されていた。