

F 2 顕著な光散乱媒質中の物体のレーザー・イメージ・センシング

Laser Image Sensing of Objects Buried in Highly Scattering and Turbid Media

稲場文男、赤間芳雄

Humio Inaba and Yoshio Akama

東北工業大学電子工学科

Department of Electronics, Tohoku Institute of Technology

Abstract—This paper reports an experimental study on laser image sensing of objects embedded in highly scattering and turbid media such as biological tissues, dense fog, cloud, smoke and mud water causing strongly multiple scattering using forwardly multi-scattered light travelling along an apparently straight-path based on the optical heterodyne detection method. Two-dimensional laser imaging through actual biological samples, as typical examples, was performed successfully with excellent spatial resolution.

1. はじめに

濃霧や厚い雲、排煙、汚・濁水、または生体などのような顕著な光散乱媒質中の物体などの分布特性や画像情報の光計測法の開発は従来から強く求められていたが、その実現は極めて困難であった。その根本的原因として、対象が著しい光多重散乱ないし拡散媒質であるための透過光強度の極端な減衰や、多重散乱によって広い範囲に広がってしまう光の中から、特定方向に伝搬してくる、必要な情報を担った信号光である僅かな透過光成分（例えば、前方多重散乱直進光成分）を高分解能、高感度で選別・検出することの可能な手法が未開拓であったことが挙げられる。

我々はこのような難題の一解決法として、光ヘテロダイン検出法が有する優れた空間指向性と高感度特性に着目し、この検出法を活用する Coherent Detection Imaging (CDI) 方式が上記のような生体系などを含む各種の顕著な散乱媒質の内部画像情報の計測に極めて有効な手法であることを世界に先駆けて提案し^{1,2)}、その具体的な計測システムの開発と2次元透過（投影）および断層イメージングの基礎的な実証実験を進めてきた³⁻⁷⁾。本論文ではその例証の一つとして、実際に生体試料を用いた画像再構成に不可欠な基本的条件の詳しい実験的検討に基づいて、透過光によるイメージ・センシング法の研究開発を行った結果について述べる。

2. Coherent Detection Imaging (CDI) のための実験装置の構成および方法

今回のイメージ計測実験には、単一周波数のNd:YAGレーザー（波長:1.064 μm）およびTi:A1₂O₃レーザー（波長:800 nm）を用い、レーザービームを半透明鏡により2分した後、信号光と局発光になる両光ビームに光音響変調器により100 kHzの周波数差を与えた。試料を透過した後の信号光成分は局発光ビームと波面整合され、光電子増倍管による光電変換を経て、IF（ビート）信号成分を選択レベル測定器で検出した。

画像データの計測には、信号光ビーム内に配置した試料をXYパルスステージにより2軸走査し、パルスステージの各走査位置でのIF信号出力を、その位置に対応したパーソナルコンピュータのメモリー上にGP-IBを通して格納した。また、画像は全計測点(200×150 dots)におけるIF出力の測定値を、全データ中の最大値と最小値の間で16分割してソーティングを行い、パーソナルコンピュータのCRT上に16階調表示した。

3. CDI方式を用いた生体試料のレーザー・イメージ・センシングの実験

Fig. 1および2にレーザー・イメージ・センシングの実験結果の具体例を示す。Fig. 1(a)は実験に用いた直径約15 mmのプラスチック製ボタンの写真である。このボタンを厚さ約2 mmの2枚のポークハムではさんで、前方から通常の照明光を用いて撮影した写真が(b)、また後方よりの照明光によってとった写真

が(c)である。それに対し、Fig. 1 (d)は出力約6 mWの単一周波数のNd:YAGレーザー光ビームを用い、20×20 mmの範囲を100 μmステップで走査してCDI法により得られた前方多重散乱直進光による試料中のボタンの2次元イメージである。通常の技術では全く透視することの出来ないポークハム中のボタンの形状や穴の位置が明瞭に検出、画像化されていることがわかる。

次に、Fig. 2 (a)に同様のイメージ・センシングに使用したクリップの試料の写真を示す。これは市販の線径約0.7 mmのクリップを半分に切断して右側の2本の線材をハンダで接合し、左側は線材間に約300 μmの隙間を保ったものである。この試料を厚さ約10 mmの鶏ササミ肉中に埋め込んで、通常の照明下で前方から撮影した写真を(b)に、また、同一サンプルを後方から懐中電灯で照明して撮影した写真を(c)にそれぞれ示す。さらに、Fig. 2 (d)が出力約20 mWの単一周波数のTi:Al₂O₃レーザー光ビームにより、20×15 mmの範囲を100 μmステップで走査して、CDI方式を用いて計測した2次元イメージである。鶏肉中の光透過特性の不均一性に起因すると思われる階調ムラが生じているが、通常の直接検出法や写真撮影では全く検出不可能な、鶏肉内のクリップ像が線材間の300 μmの隙間を含めて確実に検出されている状態が認められる。

4. おわりに

従来極めて困難視され、ほとんど具体的な方法論の提示、実証がなかった生体をはじめとする種々の顕著な光散乱・拡散媒質内の画像情報計測法の研究開発の一環として、光ヘテロダイン検出法に基づいて我々が新たに提案したCoherent Detection Imaging法を用いて、生体組織のレーザー・イメージ・センシング法について実験的検討を行った。多波長計測による画質の改善や計測処理時間の短縮、装置の小形・高信頼化など今後の実用上の課題は残されているが、CDI方式の有用性は本研究によって十分実証されたものと判断される。本論文では、顕著な光散乱媒質の具体例として生体組織を用いて実験を行ったが、この方式は濃霧や厚い雲、排・噴煙、汚・濁水などをはじめとする多様な媒質に空間的スケールの大小を問わず適用可能なものであり、その広範な応用が大いに期待されるものと思われる。

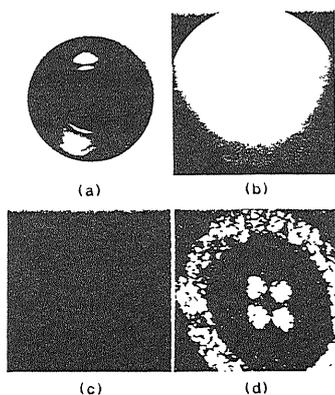


Fig. 1 Detected 2D image of a plastic button placed between pork hams using a Nd:YAG laser.

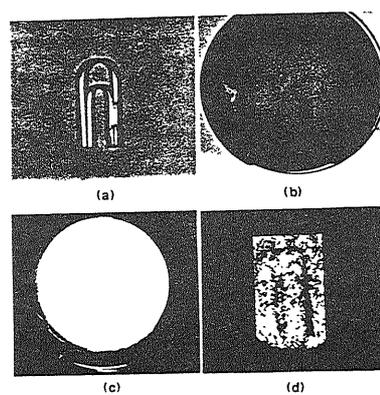


Fig. 2 Detected 2D image of a half-clip inserted in chicken meat using a Ti:Al₂O₃ laser.

参考文献

- 1) M. Toida, M. Kondo and H. Inaba: OSA Annual Meeting, 1989 Tech. Dig. Ser., Vol.18 (Opt. Soc. Am., Washington, DC) p.233 (1989).
- 2) M. Toida, M. Kondo, T. Ichimura and H. Inaba: Electron. Lett., 26, pp.700-702 (1990).
- 3) H. Inaba, M. Toida and T. Ichimura: Proc. SPIE, Vol.1399, pp.108-115 (1990).
- 4) M. Toida, T. Ichimura and H. Inaba: IEICE Trans., E74, pp.1692-1694 (1990).
- 5) 戸井田昌宏、近藤 真、市村 勉、稲場文男: 電子情報通信学会論文誌、J74-C-1、pp.137-150 (1991).
- 6) M. Toida, M. Kondo, T. Ichimura and H. Inaba: Appl. Phys., B52, pp.391-394 (1991).
- 7) 戸井田昌宏、稲場文男: 応用物理、62、pp.10-17 (1993).