

論文 / 著書情報
Article / Book Information

| | |
|-------------------|--|
| 題目(和文) | 光音響励起された共鳴によるソフトファントムに埋め込まれた液体で満たされた細い管の特性推定 |
| Title(English) | Characterization of liquid-filled thin tubes embedded in soft phantom through photoacoustically excited resonances |
| 著者(和文) | 瞿 士励 |
| Author(English) | Shili Qu |
| 出典(和文) | 学位:博士(学術), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11856号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:中村 健太郎,梶川 浩太郎,徳田 崇,山口 雅浩,和田 裕之,長谷川 英之 |
| Citation(English) | Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11856号, Conferred date:2022/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,, |
| 学位種別(和文) | 博士論文 |
| Category(English) | Doctoral Thesis |
| 種別(和文) | 審査の要旨 |
| Type(English) | Exam Summary |

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

| 報告番号 | 甲第 | 号 | 学位申請者氏名 | QU Shili | |
|-------------|-----|-------|---------|----------|--------------|
| | | 氏名 | 職名 | 氏名 | 職名 |
| 論文審査 審査員 | 主査 | 中村健太郎 | 教授 | 和田 裕之 | 准教授 |
| | 審査員 | 梶川浩太郎 | 教授 | 長谷川英之 | 教授 (富山大学) |
| | | 徳田 崇 | 教授 | | |
| | | 山口 雅浩 | 教授 | | |

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は“Characterization of liquid-filled thin tubes embedded in soft phantom through photoacoustically excited resonances”と題し、英文 6 章から構成されている。

第 1 章 “Introduction” では、超音波医用画像手法のひとつである光超音波イメージングの原理と特長、先行研究についてまとめるとともに、専用造影剤の開発の進展に伴ってその感度の評価法が課題になっていることを述べている。また、光音響イメージングを応用した血管の弾性測定に関する最近の研究例を紹介している。そして、本研究の目的を、光音響イメージング用造影剤の感度評価手法を構築することと、そこで得られた知見を小血管の寸法や弾性特性の測定に応用するための原理に発展させることであるとしている。

第 2 章 “Photoacoustic excitation of acoustic mode in a tube” では、光音響イメージング用造影剤の感度評価法として細管内の音響共振を応用するための準備として、パルス光によって細管内に励起される音響モードとその性質について考察を行っている。パルス光照射による試料の膨張で生ずる音響信号の減衰振動と、光照射が停止した直後の収縮により生じる逆位相の減衰振動の重ね合わせによるモデルから、パルス光のパルス幅と発生する光音響信号の強度の関係を議論している。そして、細管内の内径と最適なパルス幅の関係を示し、細管内の音響共振モードの固有周期の半分のパルス幅で効率よく光音響信号が発生するとしている。

第 3 章 “Experimental setup and basic characteristics of the system” では、黒インクを試料液体として内包したサブミリメートルの内径を有するガラス細管を柔らかい透明ファントムに埋め込み、これをピークパワー 1 W の半導体レーザーのパルス光で照射し、発生した音響信号を MHz 帯超音波トランスデューサで受信する装置を試作している。その結果、細管内の音響モードの共振周期の半分にパルス光のパルス幅を調整することで効率よく光音響信号が発生することを実験的に確かめている。パルス幅をこの値からずらしても、発生する光音響信号は細管内の共振に支配され、卓越する周波数成分は音響モードの共振周波数となることを、細管内径を変化させた実験等で確認している。また、使用した超音波トランスデューサで感度よく受信できる周波数範囲内では、周方向 1 次および 2 次の音響モードが卓越するが、放射される光音響信号はそのモード形状に応じた指向特性をもつことを示している。

第 4 章 “Evaluation of photoacoustic sensitivity of contrast agent” では、第 3 章で開発したものとほぼ同様の装置構成により、光波長 637 nm および 447 nm の半導体レーザーを用い、いくつかの異なった色のインクを試験試料として光音響感度評価の実験を実施している。別途行った試料の吸光度測定の結果が光音響感度の評価結果と一致することを示している。さらに、光波長 785 nm におけるインドシアニンググリーン水溶液を試料とした実験により、水溶液濃度と光音響感度の評価結果が一致することを確認している。細管内の音響共振を利用することで、数 $10 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ という、これまでの光音響イメージング装置と比べても十分低い照射光のエネルギー密度で十分な信号対雑音比が得られているとしている。

第 5 章 “Estimation of diameter and elastic characteristics of tube” では、ガラス細管を同様な内径を有する弾性チューブで置き換え、パルス光のパルス幅の最適値から求めた音響共振周波数からその内径を推定することを試みている。また、弾性チューブをファントムごと押しつぶしたときの内径について、10 MHz の超音波のパルスエコー法による測定値と 5% 以内の差で推定できることを実験的に示している。さらに、硬さの異なった弾性チューブに対する実験により、変形量の推定を試み、硬さ測定への応用の可能性を示している。

第 6 章 “Conclusions and future work” では、本研究で得られた成果をまとめるとともに、今後の課題について述べている。

以上を要するに本論文は、光超音波イメージングに用いる造影剤の感度評価に関して、簡素な構成の専用評価装置を設計・試作し、それを用いて音響共振に基づく評価法を考案するとともに、これを細い弾性管の内径や弾性的性質を推定する方法に発展させ、将来の微小血管評価の可能性を示したもので、学術上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士(学術)の学位論文として十分価値のあるものと認められる。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。