

令和 6 年 6 月 9 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K07666

研究課題名（和文）陽子線照射で発生するMHz音響波の医療用超音波プローブによる計測

研究課題名（英文）Measurement of MHz ionoacoustic signals generated by proton irradiation using a medical ultrasonic probe

研究代表者

照沼 利之（TERUNUMA, TOSHIYUKI）

筑波大学・医学医療系・助教

研究者番号：40361349

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、医療用陽子シンクロトロン加速器から照射された陽子線が物質中で発生する微弱なMHz音響波を診断用超音波プローブで測定することが可能であるか否かを検証することである。研究計画に基づき加速器の出射用高周波の変調を改良した。購入可能であった医療用超音波プローブの感度中心周波数は、加速器の出射MHz周波数と完全には一致していない。これらの条件制約下では、共鳴周波数をノイズレベルと明確に区別することは困難であった。しかし、周波数の一致する工業用超音波プローブでは計測が可能であり、本研究において新たな知見を得ることが出来た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

診断用超音波プローブにより陽子線照射によるMHz音響波の計測が確認できれば、通常のMHz超音波の送受信による超音波診断技術による臓器の画像化と、陽子線照射中の超音波受信によるMHz音響波による放射線由来の信号計測を組み合わせ、将来の患者体内の臓器位置と放射線線量分布の同時確認のための基本的要素技術が確認できる。本研究で得られた知見は今後の研究に役立てることができる。

研究成果の概要（英文）：This application study aims to verify whether a diagnostic ultrasound probe can measure weak MHz acoustic waves generated by proton beam irradiation from a medical proton synchrotron accelerator. Based on the research plan, the modulation of the radiofrequency waves for the accelerator's output was improved. The sensitivity center frequency of the medical ultrasound probes that were available for purchase was higher than the MHz frequency of the beam and did not match the sensitivity. Under these condition constraints, clearly distinguishing the resonance frequency from the noise level was difficult. However, it is possible to measure it with frequency-matched industrial ultrasonic probes.

研究分野：医学物理

キーワード：音響波 リアルタイム放射線測定 放射線治療

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

放射線治療の照射精度を確認する最も確実な方法は、体内の臓器位置と放射線分布をリアルタイムに測定することである。しかし、そのような夢の技術は存在しない。我々は、放射線照射により発生する音響波の研究を進めている。音響波は放射線のエネルギー付与 [J] による断熱的圧力変化で生じる圧力波の伝播であり、音響波の大きさは原理的に放射線量の定義 [J/kg] に比例するためリアルタイムに正確な線量分布を測定できる可能性がある。最近、医療用陽子シンクロトロン加速器からの陽子ビーム照射によって水中で発生した音響波の周波数を測定し、加速器の出射用高周波に共鳴する周波数成分があることを確認した。この周波数は偶然にも診断用超音波装置の周波数帯域とほぼ一致する。すなわち、この結果は将来の超音波素子による体内線量分布と臓器位置の同時計測に繋がる可能性がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、治療線量測定技術と超音波診断技術の融合に向けて、診断用超音波素子による陽子線由来の音響波測定が可能か否かを調査することにある。

3. 研究の方法

研究期間は3年間とした。陽子線で発生する MHz 音響波は微弱であり到達時間情報の計測は簡単ではない。このようなノイズに埋もれた信号の計測技術として、一般的に、繰り返しによる同期加算、接地電圧変動と分離させるための作動入力増幅、特定周波数との比較による位相敏感検波(ロックインアンプ)が使用される。我々の工業用超音波プローブを使用した予備実験では既に作動入力増幅を採用しているが、さらに本応募研究では同期加算とロックインアンプによる検波を導入した。

陽子線の出射エネルギー 105 MHz に対応する加速器周回周波数は 5.70 MHz、ベータトロン振動数は 1.81 および 3.89 MHz である。一方、購入可能であった数種の医療用超音波診断用プローブの周波数は 2-5.5 MHz であった。

4. 研究成果

筑波大学附属病院陽子線医学利用研究センターが所有する医療用陽子シンクロトロンから出射されたビームを半導体放射線検出器に直に照射した場合に得られる周波数スペクトルは図 1 となる。陽子線の出射エネルギー 105 MHz に対応する加速器周回周波数は 5.70 MHz、ベータトロン振動数は 1.81 および 3.89 MHz に起因する複数の周波数ピークが確認できた。

次に、陽子線を水槽に照射し、水中を伝搬した音響波を工業用超音波プローブで検出した場合の周波数スペクトル測定結果は図 2 となった。工業用超音波プローブの感度は 2.1 MHz であることから 1.81 MHz のベータトロン振動に起因する周波数ピークを検出することが可能であった。

さらに、水中を伝搬した音響波を診断用超音波プローブで検出した場合の周波数スペクトル測定結果は図 3 となった。ベータトロン周波数と共鳴する周波数は認められなかつ

た。ロックインアンプの測定においても共鳴ピークは明確には確認できない結果となった。なおビームの加速器周回周波数に共鳴するピークは放射ノイズの影響であることが別途実施したノイズ測定により確認されている。

本研究期間内の実験においては診断用超音波プローブによる陽子線起因の音響波の測定は確認できなかった。しかし工業用超音波プローブでは測定可能であった。近年、X線および陽子線治療において超高線量照射の生物学的利点が提唱されていることから、そのような照射では音響波強度が高まる期待もある。国外においては医療用陽子サイクロトロンから出射された陽子線による音響波を診断用超音波プローブで測定した報告もあることから、医療用陽子シンクロトロンにおいても諸条件を最適化することにより測定の可能性はあり、今後も研究を継続する必要があると考える。

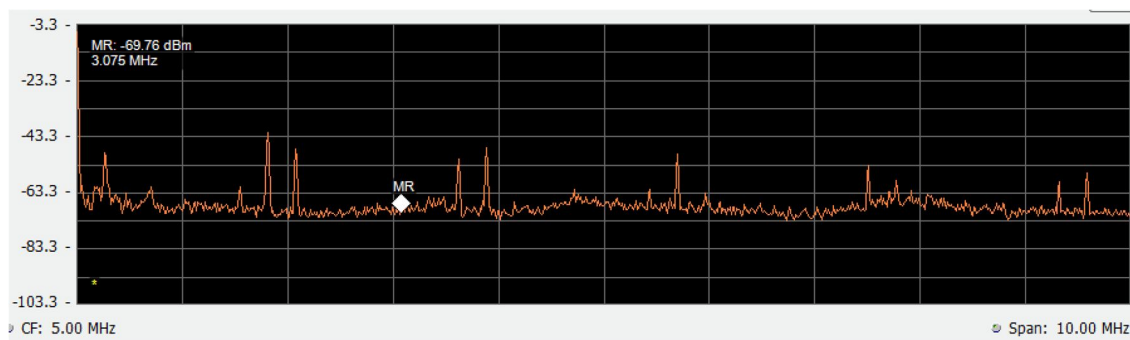


図1 出射ビームの周波数スペクトル測定結果

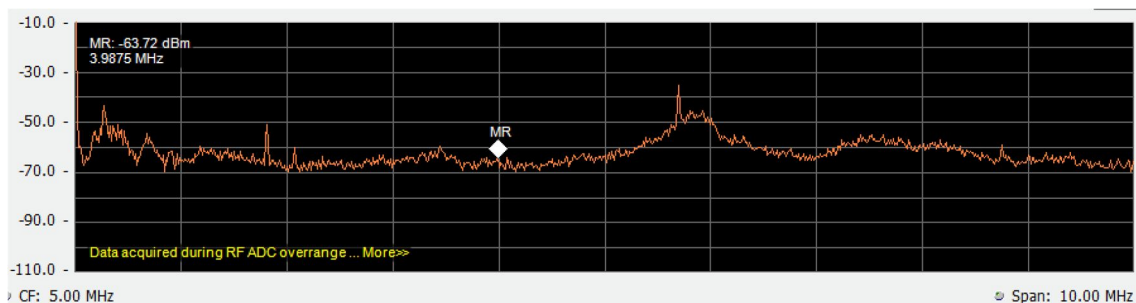


図2 水中を伝搬した音響波を工業用超音波プローブで検出した場合の周波数スペクトル測定結果

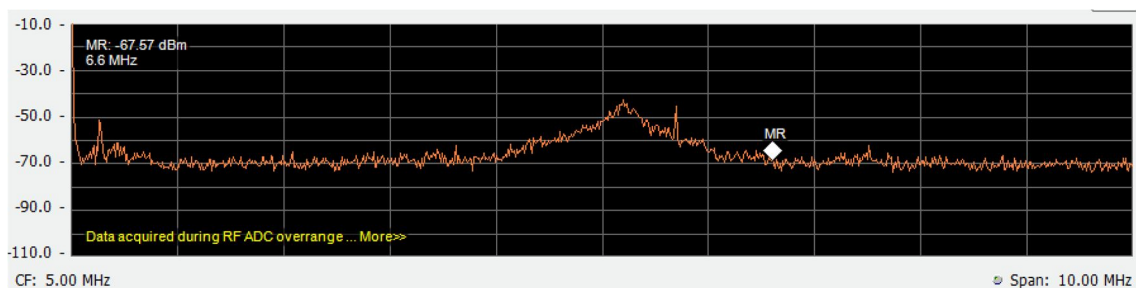


図3 水中を伝搬した音響波を医療用超音波プローブで検出した場合の周波数スペクトル測定結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	清水 森人 (Shimizu Morihito) (20613988)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・計量標準総合センター・主任研究員 (82626)	
研究分担者	奥村 敏之 (Okumura Toshiyuki) (50241815)	筑波大学・医学医療系・准教授 (12102)	
研究分担者	榮 武二 (Sakae Takeji) (60162278)	筑波大学・医学医療系・教授 (12102)	
研究分担者	森 祐太郎 (Mori Yutaro) (60802618)	筑波大学・医学医療系・助教 (12102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関