

ガラスキャピラリー光学系におけるパルスレーザーマイクロビームの透過特性

三宮圭人 (量子エレクトロニクス教室)

今日、マイクロビームは産業や医療などの幅広い分野で用いられている。我々はマイクロビーム生成法のツールとして、「テーパー型ガラスキャピラリー」を提案している。これは、先端の細いガラス製の注射針である。テーパー型ガラスキャピラリーは、イオンビームやレーザービームを容易にマイクロビームに生成できる。ガラスキャピラリー光学系の展望として、イオンビームアシストによる照準照射や紫外光単独によるダメージ照射のツールとして考えられている。これまでに可視光から紫外領域までの CW レーザーを用いた、ガラスキャピラリー透過特性およびビームプロファイルの実験的・理論的研究を行ってきた。照準照射では蛍光タンパクの退色や細胞への光毒性を防ぐために、ダメージ照射では線量率効果を大きくするために短時間による照射が必要になる。これらの観点から、細胞への照準照射やダメージ照射としてパルスレーザーによる照射が考えられる。

パルスレーザーとは断続的に短い時間だけパルスを発振するもので、繰り返し周波数やパルス幅、パルスエネルギー、ピークパワーなどの特性をもつ。短時間でエネルギーが集中するため、非常に大きなピークパワーを得ることができる。本研究では、平均パワー測定やパルス時間波形測定、透過縞測定からガラスキャピラリーのパルス光の透過特性について調べた。

平均パワー測定では、繰り返し周波数やパルス幅による透過率と集光率を求めた。透過率は繰り返し周波数やパルス幅による変化はなく、ほぼ一定の値が得られた。また、集光率では出口内径が小さいほど高くなり、出口内径 $10\ \mu\text{m}$ で約 500 倍もの値が得られた。ガラスキャピラリーにはパルス化による high-power 化にも対応でき、パルス光の集束にも優れていることが分かった。

パルス時間波形測定では、高速フォトダイオードを用いてオシロスコープで計測を行った。今までできなかった 1 パルスによる評価に成功した。この測定法を用いて、ガラスキャピラリー内壁を反射した光成分の検出が可能かの検証を行った。

透過縞測定では、波長の近いパルス光と連続光の透過縞を解析した。中心から各リングまでの距離 (リング半径) からそれぞれに違いは見られず、パルス光によるガラスキャピラリー内での輸送特性は連続光と同様であることが分かった。

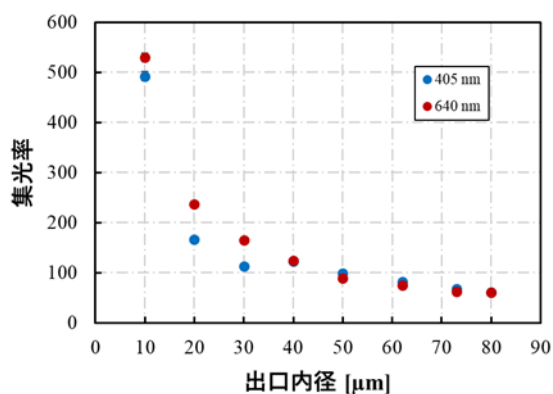


図 1：集光率による出口内径依存性

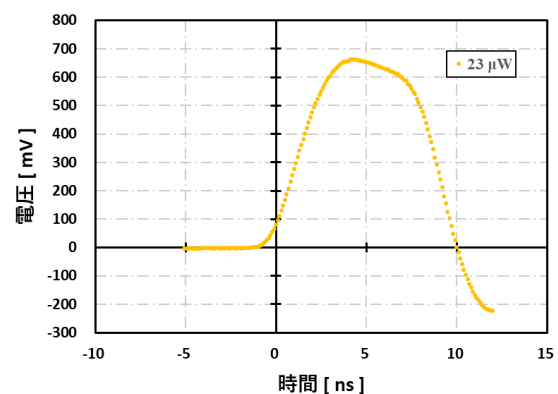


図 2：取得した波形データ

炭素線治療における照射ログファイルを用いた患者 QA 実現に向けた線量評価法の開発

相馬陽平（量子エレクトロニクス教室）

要旨

量子科学技術研究開発機構（QST）では放射線治療は患者が痛みを伴うことなく、治療後も生活の質を維持することが出来るがん治療法である。放射線治療の内でも、物理学的・生物学的に利点を持つ炭素線治療が注目されている。QST では 1994 年から世界初の医療用重粒子線治療装置 HIMAC を用いて炭素線治療が行われた。2017 年からは超電導電磁石を用いた回転ガントリー照射装置 による治療も開始され、360 度任意の方向から選択して照射を行うことが可能となった。

複雑な形状の照射を可能とする放射線治療では、患者個々の線量分布検証（患者 QA: Patient-Specific Quality Assurance）が品質保証・品質管理の観点から重要である。患者 QA は一般的に測定と治療計画装置による線量分布の比較により行われる。しかしながら患者 QA における測定には時間と労力がかかるため、治療患者数の増加に伴い、治療の品質を担保したまま、効率的に実施することが必要である。これを解決するために、陽子線・光子線治療 においては、照射ログファイルを使用したモンテカルロ計算を用いた患者 QA が提案されている。本研究の目的は QST スキャニングシステムにおける患者 QA のための照射ログファイルと汎用モンテカルロコード PHITS を用いた線量評価法を開発することである。

シミュレーションに設定するソースは照射ログファイルと治療計画装置から決定した。ビーム相対強度には炭素イオンの強度分布を再現できるトリプルガウシアンモデルを採用した。(式 1)

$f(x, y) = I_{count} \sum_{i=1}^3 G_i(x, y)$ (1) I_{count} は各スポットの重み、 $G_i(x, y)$ はビーム位置とビームサイズから決定したガウス分布である。

深さ方向・横方向線量分布の実験値・計算値・治療計画の比較結果を図 1,2 に示す。実験値、計算値、治療計画(RTdose)は実験値の不確かさの範囲で線量差±3%以内の一致を確認した。開発した線量評価法は実験値を高精度に再現し、臨床現場の患者 QA において適用可能であることを示した。

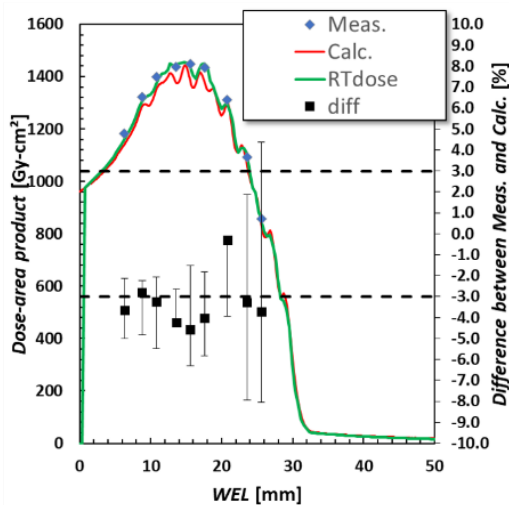


図 2: 深さ方向線量分布

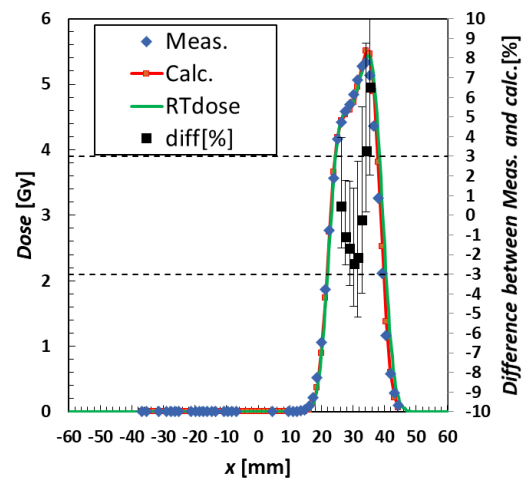


図 2: 横方向線量分布

Ba $6s5d\ ^1D_2-5d6p\ ^1D_2$ 遷移のシュタルク・ゼーマン効果の測定

氏名 野崎 昌志 (量子エレクトロニクス教室)

原子の分光測定から得られる超微細構造定数、分極率、 g 因子などは原子の波動関数に密接に関連し、理論計算の検証をすることができる。したがって、理論的な研究の発展にも寄与することができる。また、近年、パリティ非保存に関する測定や原子の永久電気双極子モーメント(EDM)の探索などにシュタルク効果やゼーマン効果を用いた実験が行われている。そのため高精度な分極率や g 因子などの原子の基礎定数が必要となる。1電子原子であるアルカリ金属原子のシュタルク効果やゼーマン効果に関する研究報告はあるが、2電子原子であるアルカリ土類金属原子の研究報告はまだ少ない。2電子原子は電子配置や電子準位が複雑になっているため、mixing を起こすエネルギー準位が増える。

本研究室では2電子原子であるBa原子に注目して、系統的にシュタルク・ゼーマン効果の測定を行っている。Ba原子の高励起 $5d6p$ 配位における 1D_2 準位についての分光学的測定の報告はない。したがって、本研究では、 $6s5d\ ^1D_2-5d6p\ ^1D_2$ 遷移のシュタルク・ゼーマン効果の測定を行い、テンソル分極率、スカラー分極率、ランダの g_J 因子の決定を目的とした。

超微細構造、シュタルク効果、ゼーマン効果は、それぞれ電子の全角運動量と核スピン、原子の磁気モーメントと外部磁場、原子の電気双極子モーメントと外部電場の相互作用によって、スペクトル線が分岐やシフトする現象である。これらのスペクトル線の分岐やシフトは、数MHz~数GHz程度である。そのため高分解能な分光測定が必要とされる。

本研究では、高分解能レーザー分光装置を用いてBa原子のスペクトルを観測した。外部共振器型半導体レーザーを用いて波長掃引を行い、原子線と相互作用させて蛍光を光電子増倍管で検出した。シュタルク効果の実験では、2.6~7.8 V/cmの電場を印加して実験を行った。また、ゼーマン効果では124.0 G、146.2 G、164.7 Gの磁場をかけて実験を行った。シュタルク効果の測定から、 $5d6p\ ^1D_2$ 準位のテンソル分極率、 $6s5d\ ^1D_2-5d6p\ ^1D_2$ 遷移のスカラー分極率を決定した。また、ゼーマン効果の測定から $5d6p\ ^1D_2$ 準位と $6s5d\ ^1D_2$ 準位のランダの g_J 因子を決定した。

本実験で得られた $5d6p\ ^1D_2$ 準位のテンソル分極率、スカラー分極率の値は $5d6p$ 配位のほかの準位の分極率に比べて、数桁大きい値となった。これは、 $5d6p\ ^1D_2$ 準位に非常に接している異なるパリティの $5d^2\ ^1D_2$ 準位があり、この2つの準位間の強いmixingによるものと考えられる。したがって、 $5d6p\ ^1D_2$ 準位と $5d^2\ ^1D_2$ 準位は、シュタルク誘起のパリティ非保存(PCN)の測定が可能な候補準位となる。

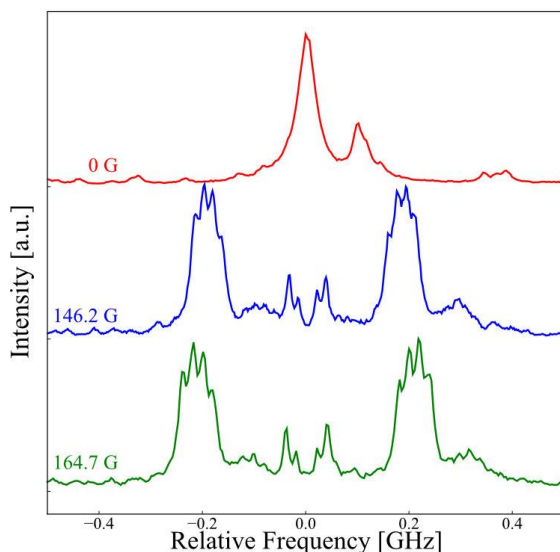


Fig.1 ゼーマン効果のスペクトル

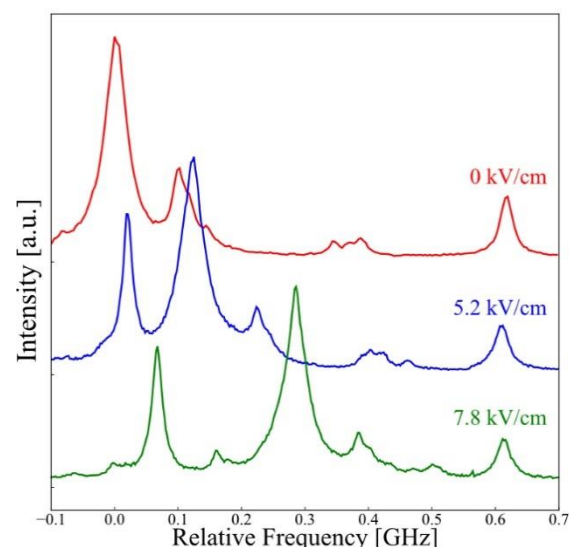


Fig.2 シュタルク効果のスペクトル