

令和 5 年 6 月 28 日現在

機関番号：12101

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K21015

研究課題名（和文）レーザースポットよりも小さいアラゴスポットを用いた直線発生装置の開発

研究課題名（英文）Development of optical line generator using Arago-spot which is smaller than the laser spot

研究代表者

辻 龍介（TSUJI, Ryusuke）

茨城大学・理工学研究科（工学野）・教授

研究者番号：40188537

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,300,000円

研究成果の概要（和文）：アラゴスポットとは球体にレーザー光を照射して、球体の後方の影の中のできる輝点であり、そこでは通常のレーザー光の輝点の直径よりも小さくすることができる。このアラゴスポットの直径は、球体の直径に反比例し、レーザー波長に比例し、球体から観測点までの距離に比例する事を確かめた。レーザー光の回折角が大きい場合はアラゴスポットの強度が小さくなる事を確かめた。

上記より、アラゴスポットを利用する直線発生装置の設計指針を得た。またアラゴスポットを利用する事で高精度の位置計測が行えるため、レーザー核融合における燃料球の軌道制御に利用できる事を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、一般のレーザー光による直線発生装置のスポットよりも一桁以上スポット径を小さくできるアラゴスポットを利用した直線発生装置を考案し、スポット径と装置の各種の物理量（レーザー波長、球体の球径、球体から測定点までの距離）の関係性を明らかにした。またアラゴスポットの光強度を大きくする方法等を考案した。

本研究の成果により、大型装置の高精度の設置および大型構造物の建設や保守において、設置誤差を極力減らす設置や建設および高精度のメンテナンスを行うための基礎となる、高精度な直線の発生を行えるようになった。

研究成果の概要（英文）：The Arago-spot is a bright spot created in the shadow behind the sphere by irradiating a laser beam onto the sphere, where the diameter of the bright spot can be smaller than the diameter of a normal laser beam. The diameter of the Arago-spot is inversely proportional to the diameter of the sphere, proportional to the laser wavelength, and proportional to the distance from the sphere to the observation point. The intensity of the Arago-spot becomes smaller when the diffraction angle of the laser light is large.

From the above, we obtained a design guideline for a optical line generator using the Arago-spot. It is also shown that the Arago-spot can be used for orbit control of a fuel sphere in laser fusion because it can measure the position of the sphere with high accuracy.

研究分野：応用物理学

キーワード：アラゴスポット 直線発生 位置計測

1. 研究開始当初の背景

将来のリニアモーターカーの建設においては、高速化のために超伝導コイルを予定された直線に沿って正確に設置する事が求められる。ダム、トンネル、橋、高層ビル等の大型構造物では、正確な建設やその後のメンテナンスのために構造物の正確な変形量の計測が求められる。いずれの場合も長距離に亘って正確な直線を基準とする事が必要になる。現今の技術として、レーザー光をそのまま使って基準とする直線を発生させている。その場合、レーザー装置の出射口の直径を d 、レーザー光の波長を λ 、出射口から観測点までの距離を L とすると、観測点におけるレーザー光のスポット径は $d + L \times (\lambda / d)$ となる。 d を小さくするとスポット径は小さくなるが、式の第二項より距離 L が大きくなるとレーザー光のスポット径が大きくなるため基準となる直線の精度が落ちる。そのため長距離においてもレーザー光より正確な基準となる直線を得る事が必要になった。

2. 研究の目的

アラゴスポットという物理現象は、球体にレーザー光を照射すると球の周縁部からの回折光の干渉により、球体の影の中心部に小さな輝点(アラゴスポット)ができる現象である。ここで球体の直径を D 、レーザー光の波長を λ 、球体から観測点までの距離を L とすると、観測点におけるアラゴスポットの径は $L \times (\lambda / D)$ となる。式より D が d より一桁以上大きくとると、アラゴスポットの径はレーザー光のスポット径 $d + L \times (\lambda / d)$ より一桁以上小さくできる。したがってレーザー光より正確な直線を得る事ができると予想されるため、これを実証してアラゴスポットによる直線発生装置の設計指針を得るために要素技術の開発を行い、その応用例を示す事である。

3. 研究の方法

レーザー光源としては He-Ne レーザーと半導体レーザーを用い、レーザー光が照射される球体としては工業用のボールベアリングを用いた。また図1のようにレーザー光を球体に照射し、球体の後方の影の中心部にできるアラゴスポットの直径および強度を計測した。ここで、レーザー光の波長、球体の直径、球体から観測点までの距離を変化させ、アラゴスポットの直径および強度に対するそれぞれの依存性を求める。さらに図2のようにレーザー光を別の球体に照射し、その反射光を利用して、アラゴスポットを作る球体に照射されるレーザー光の発散角も変化させたり、光の透過率を変える ND フィルター使用してレーザー光の光強度を変化させたりして、それらの依存性を求める。

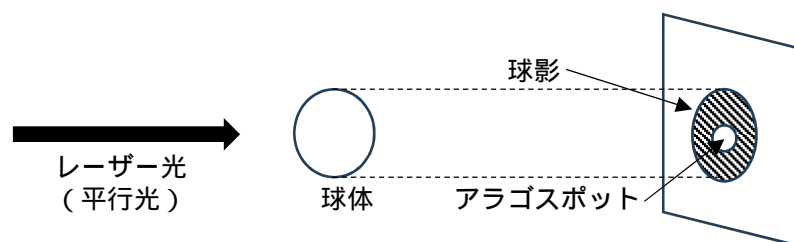


図1 実験方法 (波長、球径、距離依存性)

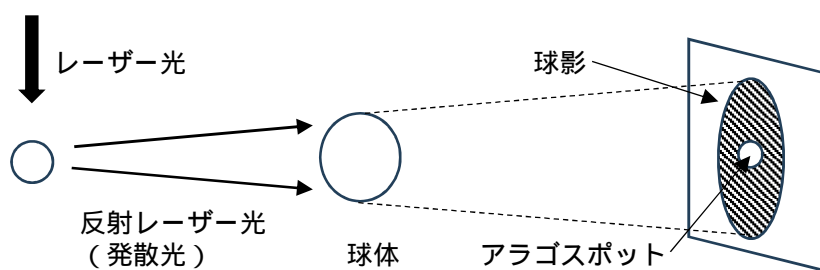


図2 実験方法 (レーザー光の強度・角度依存性)

4. 研究成果

(1) レーザー光の波長依存性

アラゴスポットの直径がレーザー光の波長に比例する事が実験的に示された。

(2) 照射された球体の直径依存性

アラゴスポットの直径が照射された球体の直径に反比例する事が実験的に示された。

(3) 観測距離の依存性

アラゴスポットの直径が観測距離に比例する事が実験的に示された。ただし、球体の直径に比べて観測距離がある程度以上大きくないとアラゴスポットは観測されなかった。これは回折光の回折角が大きくなるとアラゴスポットが出来ない事を意味している。

(4) 照射レーザー光の強度の依存性

アラゴスポットの光強度は平行光照射の場合、照射レーザー光の光強度に比例する事が実験的に示された。

(5) 照射レーザー光の発散角の依存性

発散角が大きくなるとアラゴスポットは観測されなかった。これは前記(3)の回折角が大きくなるとアラゴスポットが出来ない事の説明と同じメカニズムである。

(6) 強いアラゴスポットの発生法の検討

平行光照射では球体の周縁部からの回折光しかアラゴスポットの形成に寄与しないため、円柱状の光ビームを球の周縁部に収束させる光学系の設計を行った。

(7) アラゴスポットの直線発生装置の応用

直交するレーザービームを球体に照射する事で、球体の3次元空間の位置を求める事ができ、レーザー核融合の燃料球の位置計測およびその軌道制御に使用できる事を示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

| | |
|---|--------------------|
| 1. 著者名 Ryusuke Tsuji | 4. 巻 17 |
| 2. 論文標題 In-Situ Mass-to-Charge Ratio Measurement and Trajectory Control of a Vertically Injected Laser Fusion Energy Charged Target via Electric Field | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Plasma and Fusion Reserch | 6. 最初と最後の頁 1-12 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1585/pfr.17.1404088 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 佐藤輝一、辻龍介 |
| 2. 発表標題 グリント・アラゴによる位置計測法に関する研究(1)-ターゲットと固定球の直径依存性- |
| 3. 学会等名 電気学会東京支部茨城支所 令和4年度 第30回 茨城支所 研究発表会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 中瀬翔悟、辻龍介 |
| 2. 発表標題 グリント・アラゴによる位置計測に関する研究(2)-ターゲットと計測距離依存性- |
| 3. 学会等名 電気学会東京支部茨城支所 令和4年度 第30回 茨城支所 研究発表会 |
| 4. 発表年 2022年 |

〔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 |
|---------------------------|-----------------------|----|
|---------------------------|-----------------------|----|

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|