

令和 4 年 5 月 31 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2021

課題番号：20K20910

研究課題名（和文）レーザー駆動マイクロチューブを使ったメガテスラ級極超高磁場の生成

研究課題名（英文）Generation of Megatesla magnetic fields by microtube implosion

研究代表者

村上 匡且（Murakami, Masakatsu）

大阪大学・レーザー科学研究所・教授

研究者番号：80192772

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：オープンソースコードEPOCH（2次元および3次元）による粒子シミュレーションを行った。その結果、炭素をターゲット材料として使用した計算から、種磁場 3キロテスラ、初期半径 3マイクロン、電子温度10メガエレクトロンボルト、等の条件下で確かにメガテスラ級の磁場生成を確認することができた。さらに、電子温度、マイクロチューブ半径、材質の原子番号などの重要なパラメータから構成される最大磁場に対する比例則を見つけた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

メガテスラという極超高強磁場に関して今回発見された物理機構に基づき、今後、これまで議論の俎上にさえ載らなかったような量子電磁力学（QED）効果や極限パラメータ下での物性研究、さらには中性子星やブラックホール近傍において予測されているメガテスラ磁場に関連した宇宙物理など、未踏の研究領域に対する実験室での能動的な基礎研究が展開できることになる。キロテスラを更に千倍上回るメガテスラ級の極超高磁場が地上で実現されれば、前人未踏の基礎科学分野の開拓・発展と共に多岐に渡る応用も視野に入ってくる。

研究成果の概要（英文）：Microtube implosions are a novel scheme to generate ultrahigh magnetic fields of the megatesla order. These implosions are driven by ultraintense and ultrashort laser pulses. Using two- and three-dimensional particle simulations where megatesla-order magnetic fields can be achieved, we demonstrate scaling and criteria in terms of laser parameters, such as laser intensity and laser energy, to facilitate practical experiments toward the realization of extreme physical conditions, which have yet to be realized in laboratories. Microtube implosions should provide a new platform for studies in fundamental and applied physics relevant to ultrahigh magnetic fields.

研究分野：プラズマ物理学

キーワード：メガテスラ磁場 マイクロチューブ 超高強度レーザー

## 1. 研究開始当初の背景

G. Mourou が発明したレーザー光増幅法によって 1990 年以降のわずか四半世紀の間にレーザー光強度は一千万倍以上も増幅された。その結果、それ以前には到底考えることのできなかつた様々な超高強度場に絡む基礎実験が可能となってきた。しかし、現代物理（量子電磁力学：QED）の枠を超えて新たな未踏領域へと歩を進めるには、レーザー電場の値をシュウィンガー極限と呼ばれる閾値にまで増大させることが必要とされる。然るに、その実現に向け、殆んど研究者が想定するところの「レーザービーム同士の対向照射（即ち、光子と光子の衝突）」というアプローチを採用すると、レーザー照射強度において未だ 6～7 桁足りないのが実情である。

これに対し、応募者は 2018 年 5 月「マイクロバブル爆縮による超高電場の生成」という新しい物理コンセプトを発表した[3]。同コンセプトは「プラズマを媒介することでレーザーの持つ電場を空間・時間双方で圧縮する」という意味において画期的な発案となった。さらに 2019 年 4 月、同アイデアに基づけば「原理的に現在のレーザー技術でもシュウィンガー極限近傍の超高強電場を実現できる」ことを理論モデルと 3 次元粒子シミュレーション

を使って示した[4]。同論文は、関連研究者に大きなインパクトを与え、各種メディアからの報道等により **Altmetric score 59** を記録し、出版からの半年間で、2019 年 10 月 30 日現在、論文ダウンロード数が **1550** に達している。2019 年春、本報告者は新たに、バブル爆縮における基本幾何形状である球を円筒にし、種磁場を加えることで、超高電場ではなく超高磁場を得られるのではないかと発想に至った

## 2. 研究の目的

本報告者は、つい最近、固体物質内にミクロンサイズの中空円筒（マイクロチューブ）構造を設けた微小ターゲットの外部から超高強度レーザーを照射することによって、メガテスラ級磁場を生成させる新原理の着想に至り（未発表）、2次元粒子シミュレーションによって予想通り MT 磁場が生成されることを試験的に確認した。かくして、本応募の目的は「これまで人類が達成したよりも更に 1000 倍以上高い前人未踏のメガテスラ (MT) 級磁場を生成するための新たな物理コンセプトを提起すると共に、その物理を解明し学理を構築する」ことである。更に、その次のステップとして実験的研究・原理実証・応用研究へと発展してゆくことが期待されるが、この萌芽研究は、そうした次段階への発展へと繋げられるか否かを定性的・定量的に見極めるフェーズと捉えられる。

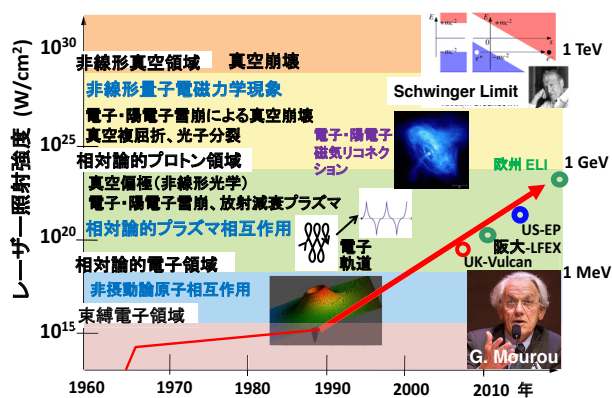


図6 Mourou (2018ノーベル物理学賞受賞) ダイアグラム

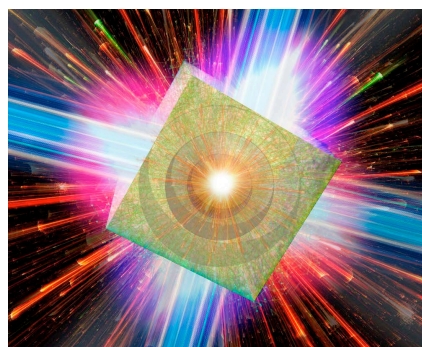


図7 「マイクロバブル爆縮」概念図

### 3. 研究の方法

オープンソースコード EPOCH (2~3次元) による粒子シミュレーションで行う。右に示す予備計算 (炭素を使用) から、種磁場 3kT、初期半径 3 ミクロン、電子温度 10MeV、等の条件下で確かに MT 級の磁場が確認された。今後の研究を通して全体物理解明と各パラメータの依存性や比例則を確立する。

### 4. 研究成果

炭素をターゲット材料として使用した計算から、種磁場 3 キロテスラ、初期半径 3 ミクロン、電子温度 10 メガエレクトロンボルト、等の条件下で確かにメガテスラ級の磁場生成を確認することができた。さらに、電子温度、マイクロチューブ半径、材質の原子番号などの重要なパラメータから構成される最大磁場に対する比例則を見つけた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Murakami M., Honrubia J. J., Weichman K., Arefiev A. V., Bulanov S. V.	4. 巻 10
2. 論文標題 Generation of megatesla magnetic fields by intense-laser-driven microtube implosions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 16653(1~11)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-020-73581-4	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 該当する

1. 著者名 Weichman K, Robinson A P L, Murakami M, Arefiev A V	4. 巻 22
2. 論文標題 Strong surface magnetic field generation in relativistic short pulse laser?plasma interaction with an applied seed magnetic field	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 New Journal of Physics	6. 最初と最後の頁 113009 ~ 113009
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1367-2630/abc496	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 該当する

1. 著者名 Weichman K., Murakami M., Robinson A. P. L., Arefiev A. V.	4. 巻 117
2. 論文標題 Sign reversal in magnetic field amplification by relativistic laser-driven microtube implosions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 244101 ~ 244101
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/5.0027466	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 該当する

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 M. Murakami
2. 発表標題 Generation of Megatesla magnetic fields by intense-laser-driven microtube implosion
3. 学会等名 The 4th international simposium on High Power Laser and Science and Engineering
4. 発表年 2021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
---------	---------