

平成 30 年 6 月 4 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K13919

研究課題名(和文) レーザー衝撃圧縮による二酸化炭素の解離・回収

研究課題名(英文) Dissociation of carbon dioxide with laser-shock compression

研究代表者

重森 啓介 (SHIGEMORI, KEISUKE)

大阪大学・レーザー科学研究所・教授

研究者番号：50335395

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、二酸化炭素をレーザー誘起衝撃波によって高圧力状態を得ることにより解離反応を起こし、その回収過程における生成物の観測を行うことを目的としている。この圧縮状態を得るためには、圧力値そのものに加えて圧縮時間が重要なパラメータであるため、サブナノ秒のパルス幅をもつレーザー圧縮システムを開発した。また、バックアップ材を利用した実験系を準備し、今後二酸化炭素の回収・分析計測を実施する予定である。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to generate dissociation reaction by obtaining high pressure state of carbon dioxide by laser induced shock wave and to observe the product in the recovery process. In order to obtain this compressed state, since the compression time is an important parameter in addition to the pressure value itself, we developed a laser compression system with a pulse width of sub nano seconds. We will also prepare experimental systems using backup materials and plan to collect and analyze carbon dioxide.

研究分野：高エネルギー密度科学

キーワード：高圧力 二酸化炭素 解離 パルスレーザー

1. 研究開始当初の背景

温室効果ガスの最右翼である二酸化炭素は、温室効果が叫ばれた当初より化合物の生成による固定・貯留に関する研究が早くから行われ、その技術としては確立しつつある。一方で炭素と酸素に直接分解させるという試みもされているものの、二酸化炭素は強い結合エネルギーを持つため、触媒を用いた化学反応では完全に分解する手法は得られていない。一方、この化学反応とは違う手法として、二酸化炭素を高圧力・高温状態にすることにより解離・分解する可能性が示されている。これまでに静的圧縮実験において、高圧力・高温条件下で二酸化炭素は解離し、ダイヤモンドおよび酸素分子が生成するという報告がなされている(図1)[Tschauner et al., 2001]。ガス銃を使用した動的圧縮法でも二酸化炭素の解離・分解に関する実験的研究が行われており、40 GPa 付近で解離が起きていることを示唆する結果が得られている[Nellis, et al., 1991]。ここで高圧力・高温状態を得るための別の手法として、高強度レーザー照射によって生成する衝撃波に着目する。高強度レーザーを物質に照射することによりエネルギー密度の高いプラズマが生成し、これが衝撃波を駆動することによって高圧力・高温状態に圧縮することができる[重森他, 日本高圧力学会誌(2005)など]。高強度レーザーを用いる利点は、絶対的に高い超高圧力状態を生成出来るほか、高繰り返し照射や不純物を含まない実験環境が得られることにある。このレーザー生成衝撃波を圧縮ツールとして用いれば、全く新しい二酸化炭素の分解・処理法の実用化が可能となる。

2. 研究の目的

地球温暖化の原因の一つである二酸化炭素の処理に関して、これまで研究の主流であった触媒等を用いた化学反応とは全く異なる方法として、高強度レーザーの照射によって発生する衝撃波を用いた解離・分解を実現する。高強度レーザーによる衝撃波で得られるユニークな高圧力・高温条件下での二酸化炭素の解離・分解反応($\text{CO}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{O}$ 、 $\text{C} + \text{O}_2$)をその場観察、および生成物回収によって詳細に解明する。高強度レーザーをプラットフォームとする潜在的な利点である高い繰り返し性能、および不純物フリーの実験環境という特性をフルに活かし、二酸化炭素分解の実用化に資する道筋を得るのが本課題のゴールである。

3. 研究の方法

高強度レーザーによって生成される衝撃波によって二酸化炭素の解離・分解を起こし、分解によって得られる生成物を回収する一連のプロセスを構築し、その最適回収条件を得る。当初計画は以下の通りであった。
・高強度レーザー照射下における二酸化炭素

の衝撃パラメータ計測を行い、得られる衝撃波速度-粒子速度より解離・分解が起こる圧力条件を得る。

・小型レーザー(200 J, $\sim 10 \mu\text{s}$)を使用した照射実験系を構築し、二酸化炭素試料の照射によって生成する気体・固体の試料回収を行い、回収された生成物を分析する。

・照射条件やターゲット条件を変化させ、回収された生成物の分析などを通してより高効率な二酸化炭素の分解条件のパラメータ領域を探る。

本課題中に上記大型装置のマシントイムを得ることが出来なかったため、急遽既存の中型レーザー装置を改造することにより、その目標を得ることに方針を変更した。

4. 研究成果

本研究では、二酸化炭素の高圧圧縮および保持を主眼とし、まずサブマイクロ秒のパルス照射実験が可能なレーザーとして激光 II 号の整備を行い、これを照射実験へ応用するための実験プラットフォームの開発を行った。

サブマイクロ秒のパルス発生法として、これまで増幅器のみで構成されていた激光 II 号にポッケルスセルおよび偏光板を付加し、Q スイッチ動作させることにより約 100 ns のパルス出力に成功した。図 1 に装置写真および概略図を示す。

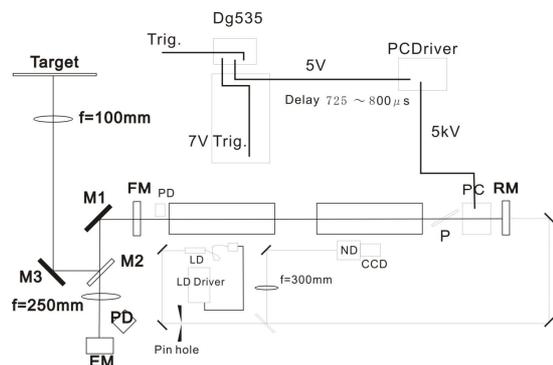
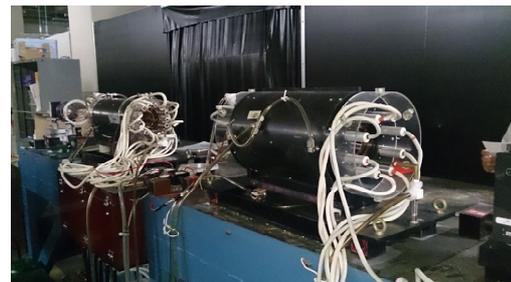


図 1 激光 II 号の全体写真と構成の概略

ポッケルスセルと偏光板が無い場合、すなわち増幅器のみの場合にはフリーラン発振となるため、パルス波形は図 2 のような励起ランプの時間幅とほぼ等しいマルチモード発振となる。一方、ポッケルスセルによって Q

スイッチ動作をさせた場合、図2のようなパルス列をもった波形となり、実効的なパルス幅は約100 ns強であった。このQスイッチ動作時のパルスエネルギーは85 Jであり、約1 mmの径に試料に集光した。この場合の集光強度は115 GW/cm²であり、十分に衝撃波が形成される強度領域であることを確認した。

しかしながら、テスト実験中にポッケルセルにダメージが認められたため、上記のエネルギーよりやや低めの照射条件を余儀なくされており、圧力を増加させるためにバックアップ(ガラス板などを挟む)を用いた圧力増幅法を試験している。

サブマイクロ秒パルスへの改良と併行して、照射試料中を伝搬する衝撃波の圧力の変化を評価するために、試料中を伝搬する衝撃波の速度を試料裏面側から速度干渉計(VISAR)によって測定する手法の開発を行っているほか、透明材料を想定した試料側面からのシュリーレン計測も実施した。図4にVISARによって得られたフリンジの時間分解計測結果例を示す。

これまでの研究・装置開発によって、二酸化炭素の照射実験に関する準備は整った。これまで開発してきた計測系に加え、質量分析計を導入して本格的に実験をすすめる予定である。

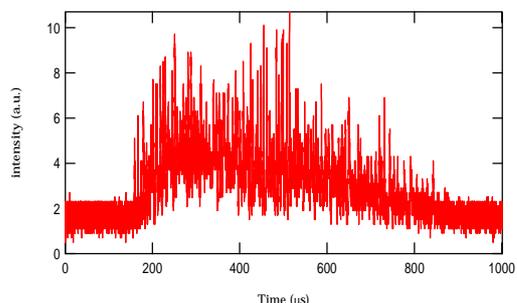


図1. 激光II号のレーザー出力波形(改良前)

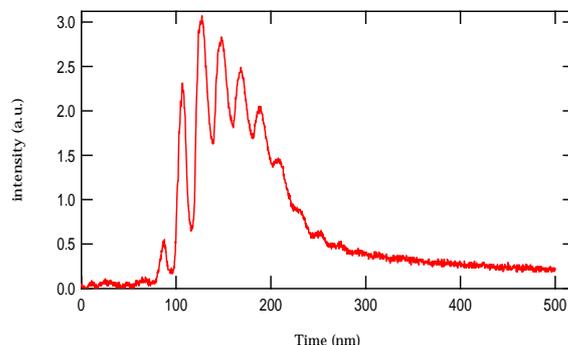


図2. 激光II号のレーザー出力波形(Qスイッチ動作)

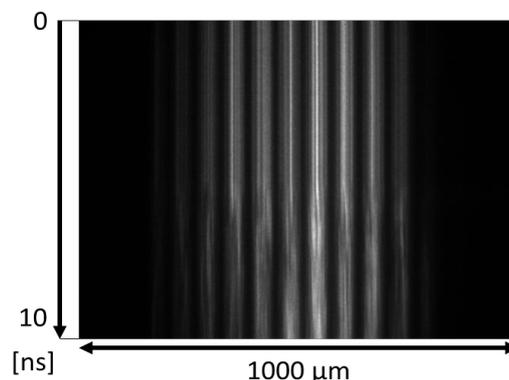


図4. VISARによる速度計測例

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

“Synthesis and characterization of diamond capsules for direct-drive inertial confinement fusion”

Kato, H., Yamada, H., Ohmagari, S., Chayahara, A., Mokuno, Y., Fukuyama, Y., Fujiwara, N., Miyanishi, K., Hironaka, Y., Shigemori, K.

Diamond and Related Materials 86, 15-19 (2018).

“Effect of equation of state on laser imprinting by comparing diamond and polystyrene foils”

Kato, H., Shigemori, K., Nagatomo, H., Nakai, M., Sakaiya, T., Ueda, T., Terasaki, H., Hironaka, Y., Shimizu, K., Azechi, H.

Physics of Plasmas 25, 032706 (2018).

〔学会発表〕(計 2 件)

「高強度サブマイクロレーザーによる高圧力の発生と高圧地球・惑星科学実験への応用」

藤原宇央, 重森啓介, 弘中陽一郎, 宮西宏併, 加藤弘樹, 福山祐司, 吉田英次, 中井 光男
Plasma Conference 2017 (姫路商工会議所)
2017年11月

「高強度サブマイクロレーザーによる高圧力の発生と高圧地球・惑星科学実験への応用」

藤原宇央, 重森啓介, 弘中陽一郎, 宮西宏併, 加藤弘樹, 福山祐司, 吉田英次, 中井 光男
レーザー学会第38回年次大会(みやこめっせ京都) 2018年1月

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況（計 0 件）

取得状況（計 0 件）

〔その他〕
ホームページ等

6．研究組織

(1)研究代表者

重森 啓介（SHIGEMORI Keisuke）
大阪大学・レーザー科学研究所・教授
研究者番号：50335395