

レーザーキャビテーションバブルからの圧力波の制御と ピーニング効果の検証

Control of intense acoustic waves generated from laser cavitation bubbles and
investigation of its peening effect

部谷 学（Heya Manabu）

1. 本研究の目的

図1の左図に示したように、レーザーキャビテーションピーニング（LCP）では、液体中にナノ秒パルスレーザーを集光し、レーザープラズマおよび衝撃波を発生させる。水中でレーザープラズマが発生することをブレイクダウン（絶縁破壊）という。衝撃波が伝搬した領域では、圧力が低下し、右図に示したように、キャビテーションバブル（CB）が発生する。その後、CBは膨張と収縮を繰り返す。CBが収縮から膨張に転じる際に、圧力波が等方的に発生する。LCPではこの圧力波を金属に作用させてピーニング効果を得る。レーザーを金属に直接照射せず、間接的に機械的に作用させるため、従来のレーザーピーニング（LP）で付随して起こる金属の溶融や蒸散といった熱的效果を回避できる。熱的效果は引張り応力を残留させる主要因の1つである。なお、再膨張時のCBのサイズは数mmから5mm程度と言われており、一般的にLPで使用されるスポットサイズ1mm程度よりもかなり大きい。

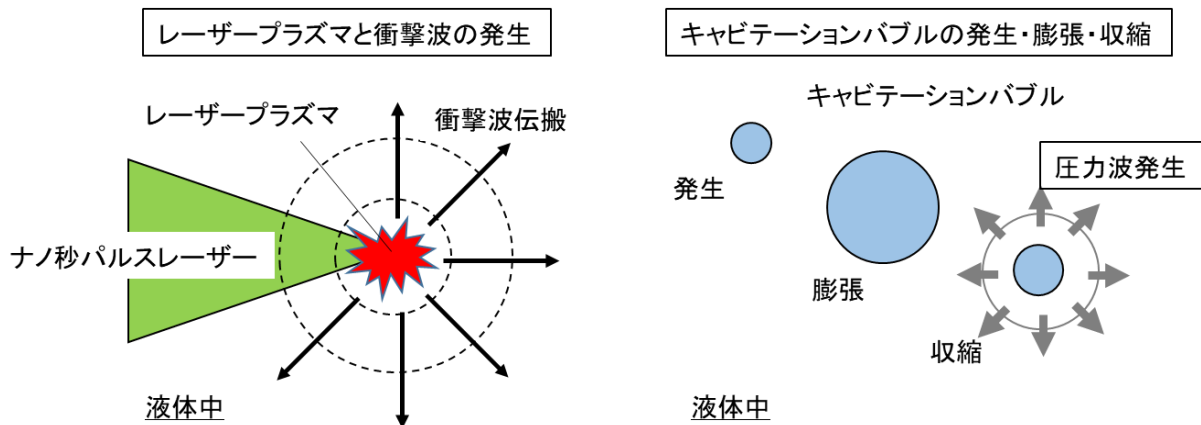


図1 キャビテーションバブルの再膨張時に圧力波が発生

本研究の目的は、「CBを起因として発生する圧力波の①評価、②制御、③その原理実証」である。具体的には、①ではレーザー条件や液体条件をパラメータとして、発生する圧力の時間変化を調べる。②では、①での知見を基にして、圧力波が発生する近傍での固体表面の設置によって、圧力波の増幅や発生時間の伸長のための制御を行う。③では、

①、②で得られた知見を基に、制御された圧力波によって、複雑形状の金属部品のピーニング処理、を実証する。

2. 本研究の成果

図 2 に示したように、2021 年度の研究費助成中においては、CB 観測光学系の設計および構築を行った。Nd:YAG レーザー装置から出射されたナノ秒パルスレーザーは光減衰器によってパワー調整される。誘電体多層膜ミラーを使って、集光レンズまでパルスレーザー光を導光する。集光されたレーザー光は水槽内に設置した金属表面に照射される。照射位置近傍から、レーザー照射後から数百マイクロ秒後に、CB が拡大・収縮を繰り返す。この様子を、レーザー照射方向と直交する方向から、高速度カメラを使って時間分解 2 次元画像計測を行う。バックライト像を得るために、高速度カメラに対向する方向から高輝度 LED を照射する。パルスレーザーと高速度カメラの同期をとるために、ファンクションジェネレーターとディレイジェネレーターを用いる。本研究では、CB 観測専用の水槽の作製、高速度カメラの動作確認および光学調整、高輝度 LED の選定、光軸調整を行った。しかしながら、本研究室保有のディレイジェネレーターが故障しており、2021 年度中には CB 計測を実施することができなかった。既に、ディレイジェネレーターの修理は終わっており、2022 年度中には、キャビテーションバブルの時間分解画像計測に取り掛かる予定である。

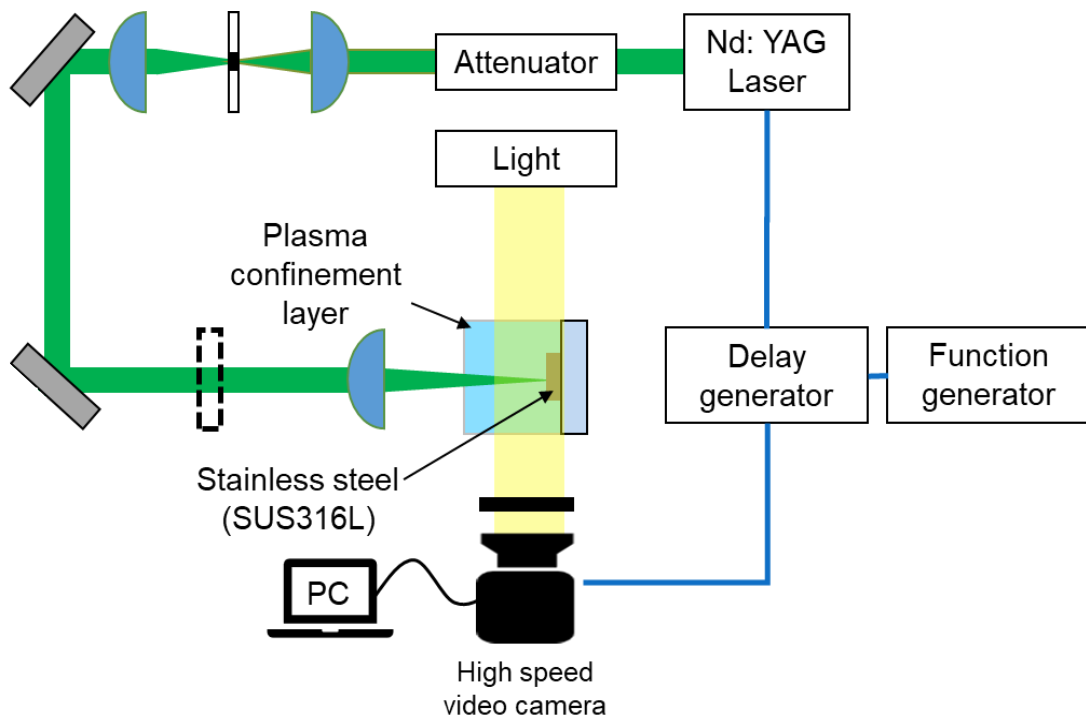


図 2 CB 観測光学系の配置