

# レビテーションを使った高エネルギー密度研究プラットフォームの構築

米田研究室 坪井一郎

## 1. 序論

融点が数千度を超え、液体を支えるための容器との反応や熱勾配などの影響が無視できない場合、真空中でのレビテーション技術を使い、融点の測定や、過冷却現象、粘性などの評価を調べる方法がある。このレビテーション技術は、より詳細な状態を研究する手法として注目されてきている。

一方、プラズマ化するほどのさらに高温状態では、超短パルスレーザーによる加熱や X 線自由電子レーザーによる加熱が行われているが、どちらのケースも非加熱部に向かって大きな熱勾配が生じている状態である。そこで本研究では、レビテーション技術により高エネルギー密度状態が可能なプラットフォームを構築することを目的としている。

## 2. 原理

### 2.1 レビテーション

レビテーション(levitation)法とは「空中に浮揚させること」という意味をもつ実験方法のひとつである。レビテーションは、静電気力や磁力を用いて、目的の物体を非接触な状態で空中保持する方法である。通常の状態ではレビテーションをするには、物体に働く重力とつりあう、逆向きの力を物体に与えてあげればよいが、レビテーションでは、物体を浮遊させて非

接触状態を保つことができるため、無重力状態における物体の浮遊保持にも応用することができる。宇宙空間の無重力状態を、超高真空チャンバーなどを用いて地上重力下において実現することにより宇宙空間(無重力空間)の極限環境を作り出すことも可能となる。この状態のもと、JAXA などの宇宙機関による、宇宙空間での結晶成長といったプロジェクトも進められている。

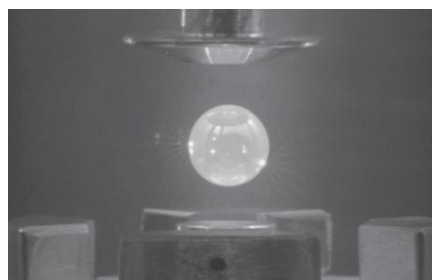


図 2-1 実際のレビテーション融解の様子

(T. Kordel, et al., PHYSICAL REVIEW B 83, 104205, 2011)

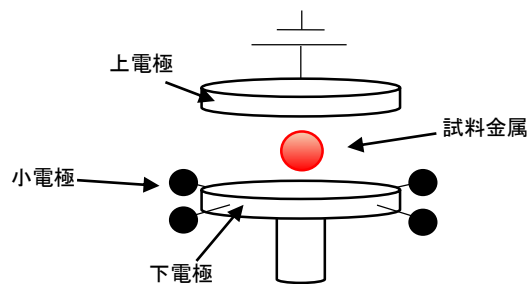


図 2-2 側方から見たレビテーションの実験図

なお、本実験では図 2-2 のように、試料を上下 2 枚の極板で挟み、高電圧を掛けることによって浮遊させる方法の、静電レビテーション法を用いる。

### 3. 実験概要

#### 3.1 実験セットアップ

レビテーションを発生させるための環境セットアップを図 3-1 に示す。

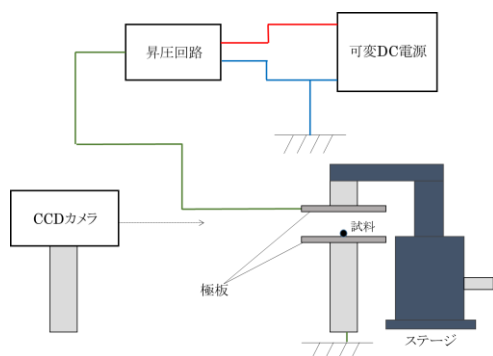


図 3-1 実験セットアップ

今回試料に、重力と釣り合うだけの静電気力を与えるには、数十 kV もの電圧を必要とする。そのため、可変電源とともに、昇圧回路として松定プレジジョン社製 入出力比例型高圧電源 HP-25N(A) を使用した。

可変 DC 電源には TEXIO 社製 PR70-1A を使用した。また、記録用として株式会社オプトサイエンス製のカラー CCD カメラ MINTRON® MTV-73S85HN を使用している。

##### 3.1.1 レビテーション実験-1

さまざまな直径をもつ 5 種類のベアリング球(1.0 mm, 1.5 mm, 2.0 mm, 2.5 mm, 3.0 mm)を試料として用いてレビテーション実験を行った。

各試料について浮上する瞬間の電圧値を求めた。さらに、より正確な電流値を求めるために、DC 電源として電流値を

デジタル表示してくれる、菊水電子工業株式会社製の PMC18-2A を採用した。(これまで使用していた電源は、電流値がアナログ表示だったため。) 測定はそれぞれ 3 回繰り返し、それらの値の平均をとった。

表 3-1 各試料の浮上した瞬間の電圧、電流値

試料の直径(mm)	電圧値(V)	電流値(A)
1.0	10.65	0.09
1.5	11.53	0.10
2.0	10.49	0.09
2.5	9.25	0.07
3.0	浮上せず	浮上せず

測定の結果、安定して浮上が起きるのは、直径 1.5 mm のベアリング球までであることが分かった。

#### 3.2 PD を用いたレビテーション実験

試料を空中で静止させるために、フォトダイオードを用いた回路を現在のレビテーション環境に組み込む方法を考えた。

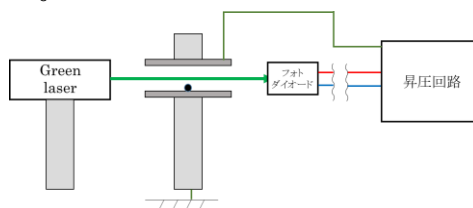


図 3-1 PD を用いたレビテーション実験図

##### 3.2.1 レビテーション実験-2

まずは、ベアリング球よりも浮上しやすいアルミホイルを試料に採用した。

Green laser をフォトダイオードに入射した状態で可変 DC 電源の電圧を 0

V から上げていったところ、10.44 V に差し掛かった瞬間に、前回のレビテーション実験と同様に試料が振動を始めた。このとき電流は 95.6 mA を示していた。このとき試料は、電圧を掛けている間は止まることなく振動を続け、アクリルのリングが、試料が外に落ちるのを防ぐ役割を果たしていた。

さらに、今 Green laser の光線がフォトダイオードに入射している状態で試料が振動しているが、Green laser の電源を切ったところ、試料は振動をやめて落下した。

試料が落下してから再度 Green laser の電源を入れると、試料は即座に浮上し振動を始めた。これにより、フォトダイオードに入射する光によって、極板間の電圧を制御することに成功することができた。

また、光を入射してから試料が浮上し始めるまでのラグ、そして光の電源を切った後試料が落下するまでのラグを測定した。Green laser の電源の ON,OFF を三回繰り返し、それぞれのラグの平均時間を算出したところ以下の結果が得られた。

表 3-2

Green laser の ON,OFF による振動、落下までのタイムラグ

回数	振動までのラグ(s)	落下までのラグ(s)
1 回目	0.30	2.21
2 回目	0.21	2.20
3 回目	0.21	2.35
平均	0.24	2.25

測定の結果、Green laser の電源を切ってから試料が落下するまでのラグは、入れてから振動を開始するまでのラグに比べて 2 秒ほど大きかった。原因としては、試料が振動している間の慣性力が静止しているときのそれよりも大きいため、静電気力が無くなってからも運動を続ける時間が長くなるのではないかと考えた。他の原因としては、回路にダイオードが組み込まれているために、一方方向にしか電流が流れず、高電圧の立ち上がりは早くても、電圧が下がりきるには少し時間がかかってしまうのではないかと考えた。さらに、上下の 2 枚極板がコンデンサとなり、電流を流すと充電してしまうと考えると、電圧の立ち上がりのラグは少ないが、レーザーを切るときは極板間で充電されている電気量が残っていて、電圧降下が即座に起こらないのではないかと考えた。

試料を空中で静止させるためには、実際に Green laser を極板間に通したときに、まず試料が浮上してレーザー光を遮るところから始まるため、試料がレーザー光を遮ってから試料が落下するまでのタイムラグは可能な限り短くする必要がある。これらのタイムラグをできるだけ短くすることにより、試料を空中で静止させることに繋げられるのではないかと考えた。

## 4. 結論

### 4.1 まとめ

本研究では、レビテーション法を使った高エネルギー密度研究プラットフォーム

ムの構築をするために、レビテーション法の中でも最も幅広い研究で使われている静電レビテーションの機構を作成することを試みた。電極や制御回路を自作し、実験室にある昇圧回路やフォトダイオードを用いて、アルミホイルやベアリング球といった金属試料を空中で制御することを目的として研究を行った。

始めは、昇圧回路と可変電源のみを用い、数十 kV もの静電気力を極板間で発生させることによって、直径 1.5 mm 前後のベアリング球を浮上させることに成功した。ただ、試料は空中を静止することなく、約 0.10 s ほどの短い周期で振動が発生し、やがて極板の外へと落下してしまう現象が見られた。

この現象を克服するために、Green laser とフォトダイオードを用いた増幅回路を作成し、光線がダイオードへ入射している間に高電圧を発生させる回路を作成した。さらに、可変電源を使わず半固定抵抗を用いて極板間の電位を調節することを試みた。結果、Green laser の光の制御によって、極板にかかる高電圧を制御することに成功した。さらに極板間にアクリルを挟み込むことで試料が極板の外へ放り出される現象も克服することができた。

## 4.2 今後の展望

レーザー光を用いて、極板間の静電気力を制御することには成功したが、レーザー光の ON, OFF がフォトダイオードに検知されてから実際に電圧に変化が生じるまでに 1,2 s が発生してしまっていた。今後はこのラグを可能な限り縮

めて、試料の振動を極板間でうまく減衰させ、空中で静止させることを達成させたい。

そのためには、もう一度増幅回路の構造を見直し、ラグを発生させ得る原因を突き止めて、その部分を改良していく必要があると考える。

さらに試料を空中で静止させることができれば、実験室内にある超高真空チャンバーを用いて作成した実験室天文学の中で、静電レビテーションさせている試料を、CO<sub>2</sub>レーザーを用いて加熱し、どのような相関やデータが得られるのかを実際に測定していきたい。

## 参考文献

- [1] 正木匡彦 “静電場レビテーション法を応用した無容器レーザープロセッシングの研究”
- [2] Rokuro Sakagami, Young-Jing Kim, Kan-ichi Makabe and Takashi Sato “Levitation Melting of High Purity Fe-C-Si Alloys” 鋳物 第 63 卷(1991) 第 9 号 750-754
- [3] “Thermophysical properties of liquid refractory metals: Comparison between hard sphere model calculation and electrostatic levitation measurements” Takehiko Ishikawa, Paul-François Paradis, Toshio Itami, and Shinichi Yoda, The Journal of Chemical Physics 118, 7912 (2003)