

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560325

研究課題名(和文) ナノサイズ静電霧化イオンの発生プロセスのモデル化

研究課題名(英文) Development of a simulation model for electrostatic atomization process

研究代表者

宮坂 史和 (MIYASAKA FUMIKAZU)

大阪大学・工学研究科・講師

研究者番号：80304012

研究成果の概要(和文)：

本研究では、静電霧化現象のモデル化を行うことにより、その発生メカニズムを解明することを目的としている。そして本研究課題では、その第一歩として帯電微粒子の離脱現象までのモデル化を目指した。以下に、その成果の概略を示す。

モデル計算による印加電圧と微小水滴の変形挙動の傾向は実験結果と定性的に一致し、本計算モデルの妥当性が確認された。さらに、電荷を持つ微小水滴の離脱の影響をモデルに組み込むことにより、テイラーコーン先端への電界の集中緩和をモデル化することができた。

研究成果の概要(英文)：

This study proposes an analysis method of negative ion by electrostatic atomization. Because the electrostatic atomization includes large deformation of a drop of water, it is difficult to analyze with conventional fluid analysis methods such as the finite differences method (FDM), the finite element method (FEM) and so on. In this method, electrostatic field equation is coupled with Navier-Stokes equation of a drop of water, employing the moving particle semi-implicit (MPS) method and FEM. The validity of the method is verified through the measurement. Comparing the calculated results with the measured results, the effectiveness of this method was confirmed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：電気電子工学

科研費の分科・細目：電子デバイス・電子機器

キーワード：(1)微細プロセス技術 (2)ナノ (3)静電霧化 (4)粒子法 (5)テイラーコーン

1. 研究開始当初の背景

近年、静電霧化現象によるナノサイズの帯電微粒子水の効果(脱臭・アレルギーの不活性

化等)が注目され、様々な製品(ドライヤー・空気清浄機等)に適用されるという状況になっている。この現象は、水滴を付着させた電

極と対向電極に高電圧を印加することによって、静電霧化現象を引き起こし、帯電微粒子水を空間中に放出するというものである。(図 1 参照) この現象は非常に微小で高速な現象のためその発生メカニズムは明らかになっておらず、経験的な知識から製品開発を行っているのが実状である。

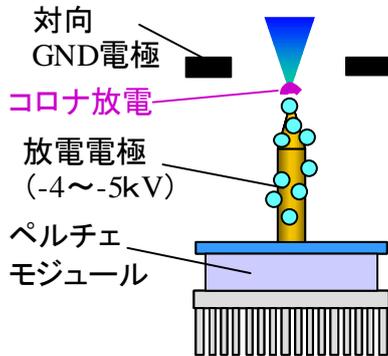


図 1 ナノサイズ帯電微粒子

また一方で筆者は、これまでに溶接プロセスのモデル化に関する研究を行ってきた。この研究では、溶接ビード形成現象の非定常的なモデル化を行っており、熔融金属の表面形状の予測を行っている。このモデルは、液体表面の静的な挙動を予測可能であり、今回応募する静電霧化現象への応用が可能であると考へた。図 2 に本モデルの簡単な適用例を示す。(a) は平板上に置かれた液体の表面形状を示している。これに対して (b) は (a) の液体の頂上部に引張り力をかけたときの表面形状を示している。この様に、本モデルによって静電霧化現象で見られる現象と似た現象を表現可能であることがわかる。

2. 研究の目的

本研究では、高電圧印加時の微小水滴の挙動のモデル化を目的とする。このモデル化の手法に関しては、自由表面の大変形を取り扱うことが比較的容易な粒子法を導入する。粒子法は、流体を微小な粒の集合であるとして取扱う流体のモデル化の手法の一つである。そして本手法と、有限要素法解析を連成させることにより、電磁場中における流体の挙動解析シミュレーションモデルの構築を目指す。

3. 研究の方法

本研究では、

1. 電界と液体表面の相互作用を連成解析するモデルの構築
 2. 粒子法を適用した新たなモデルの構築の二つのモデルの構築を目標とする。そして 2. のモデルを発展させることにより、静電霧化微粒子の離脱現象のモデル化まで行う。
- また実験に関しては、既存の静電霧化現象を利用した製品を参考にして、定量的な計測が可能な実験装置(図 3)を製作する。

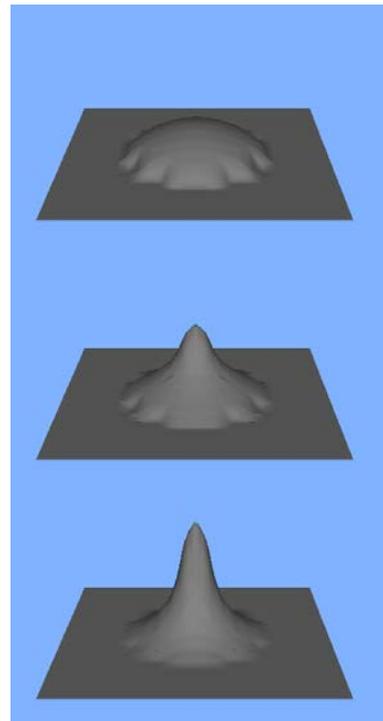


図 2 液体表面形状の変形挙動

平成 20 年度

1. 電界と液体表面の相互作用を連成解析するモデルの構築

溶接プロセスシミュレーションモデルで開発した表面形状予測モデルに対して電界が液体に与える影響を組み込む。また逆に、液体表面形状が電界に与える影響を電磁界計算モデルから計算可能にする。

以上、二つのモデルを連成解析可能なモデルに改良する。

2. 粒子法を適用した新たなモデルの構築

電磁界からの作用を考慮に入れた流体の挙動予測モデルを構築する。上記モデル同様に電磁界計算モデルとの連成解析を図る。

また、帯電微粒子の離脱現象のモデル化を検討する。

3. 静電霧化現象計測システム

図 3 に示されるような計測システムの製作をする。これまでの研究から静電霧化現象は非常に微細(約 10nm)で高速(1kHz 程度)の現象であることがわかっている。大学既存のハイスピードカメラを利用して、新たに静電霧化現象の計測に着手する。

平成 21 年度以降

初年度の成果を踏まえ、二つの計算モデルの妥当性の検証に移る。1. 2. のモデル構築の進展具合をみて、注力するモデルを選定する。ただし可能な限り 2. のモデルの構築を進め静電霧化微粒子の離脱現象のモデル化を目指す。

また実験においては、静電霧化現象の計測手

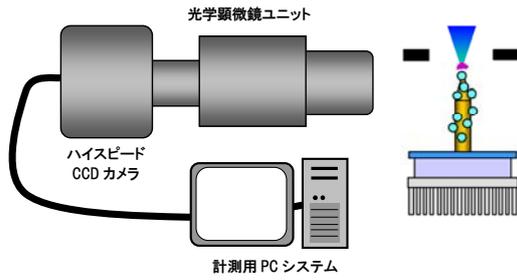


図3 静電霧化現象計測装置

法の確立を目指し、モデルによる計算結果と定量的な比較が可能な計測を行うことを目標とする。

4. 研究成果

本研究では、静電霧化現象のモデル化を行うことにより、その発生メカニズムを解明することを目的としている。そして本研究課題では、その第一歩として帯電微粒子の離脱現象までのモデル化を目指した。具体的には、粒子法と有限要素法の連成解析シミュレーションモデルを構築することにより、電磁場中の流体挙動の解析を行った。その結果、図4に示すように、印加電圧と微小水滴の変形挙動の傾向は実験結果と定性的に一致し、本計算モデルの妥当性が確認された。しかし微小水滴が離脱した後、針状電極に残った水滴が振動する現象を再現できなかった。実現象では、微小水滴の離脱に伴い、離脱水滴は電極上の水滴から電荷を受け取る。その結果、電極間の電場が変化しテイラーコーン先端に集中していた電界の集中が緩和される。そし

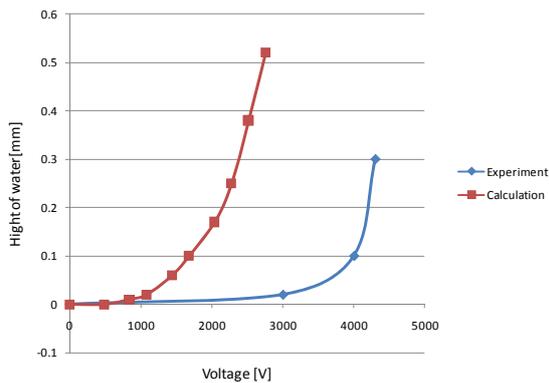
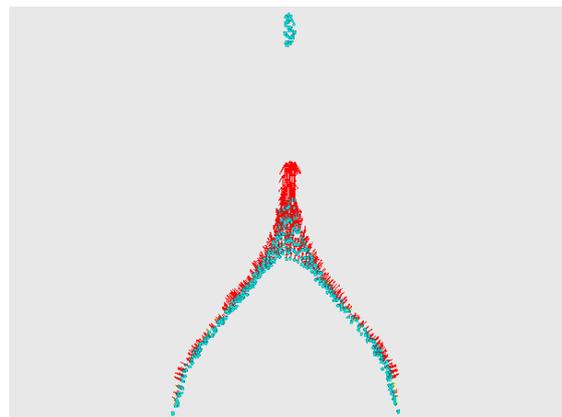


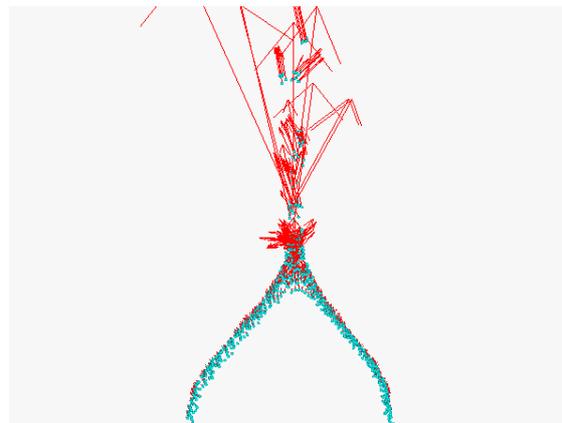
図4 印加電圧と水滴高さの関係

て、曲率が大きくなっていた水滴先端の表面張力とのバランスが大きく崩れる事によって、水滴が振動しているものと考えられる。そこでこの現象を再現するため、モデルに「離脱水滴の電荷の影響」を加えた。その結果、微小水滴の離脱によって、テイラーコーンに集中していた電界が緩和され、水滴先端曲率が小さくなることが確認された。

(図5)しかし、実際の現象で見られるような水滴の大きな振動現象の再現とまでは行かなかった。そこで表面張力の計算アルゴリズムの見直しを行った。その結果、これまで以上の精度の確保に成功した。しかしその反面、テイラーコーン先端部の計算においてモデルの離散化誤差の影響を大きく受けるようになったため、計算の安定性の確保が困難になるという問題が発生した。この問題に対応するためには、より高解像度な計算が必要になってくるが、計算コストの増大という問題から、単純に解像度を上げることは困難である。そこで、今後は計算領域毎に解像度を“可変解像度アルゴリズム”の導入を検討する必要がある。また、計算速度の向上のため、並列計算手法の効果的な導入を行い、計算時間の短縮を図った。一方で、本研究で開発した粒子法と有限要素法の連成による電磁界と流体の計算モデルの水平展開を図った。その結果、本手法が磁気浮上溶解現象シミュレーションや磁性流体の挙動シミュレーションへの応用が可能であることを示した。



(a)No-charged particles model



(b)Charged particles model

図5 射出微小荷電水滴の影響

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)

- (1) Yu Okaue, Gaku Yoshikawa, Fumikazu Miyasaka, Katsuhiro Hirata, "Analysis method of negative ion by electrostatic atomization", International Journal of COMPEL, Vol. 29, No. 5, pp. 1285-1293, 2010. 10, 査読有
- (2) Yu Okaue, Gaku Yoshikawa, Fumikazu Miyasaka, and Katsuhiro Hirata, "Study on Analysis Method for Ferrofluid", IEEE Transaction on Magnetism, VOL. 46, No. 8, pp. 2799-2802, 2010. 08, 査読有

[学会発表] (計 6 件)

- (1) 吉村隆洋, 吉川岳, 中村遼太, 平田勝弘, 宮坂史和, "粒子法・有限要素法の連成による静電霧化現象の解析", 平成 23 年電気学会全国大会, 2011. 03. 18
- (2) Gaku Yoshikawa, Katsuhiro Hirata and Fumikazu Miyasaka, "Numerical Analysis of Electromagnetic Levitation of Molten Metal Employing MPS Method and FEM", Proceedings of the 14 th Biennial IEEE CEFC (Conference on Electromagnetic Field Computation), Chicago IL, USA, 17P2, 2010. 5. 11
- (3) Gaku Yoshikawa, Katsuhiro Hirata, Fumikazu Miyasaka and Yu Okaue, "Numerical Analysis of Transitional Behavior of Ferrofluid Employing MPS Method and FEM", Proceedings of the 14 th Biennial IEEE CEFC (Conference on Electromagnetic Field Computation), Chicago IL, USA, 12P9, 2010. 5. 10
- (4) 中村遼太, 吉川岳, 岡上雄, 平田勝弘, 宮坂史和, "粒子法・有限要素法の連成による射出水滴の電荷を考慮した静電霧化現象の解析", 平成 22 年電気学会全国大会, 2010. 03. 17
- (5) 吉川岳, 平田勝弘, 宮坂史和, "粒子法・有限要素法の連成による電磁浮遊させた熔融金属の挙動解析", 電気学会マグネティクス・静止器・回転機合同研究会, MAG-10-18, pp. 93-97, 2010. 1. 28
- (6) 吉川岳, 岡上雄, 山本優文, 平田勝弘, 宮坂史和, "粒子法・有限要素法の連成による静電霧化現象解析の制度改善", 平成 21 年電気学会全国大会, 2009. 03. 18

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮坂 史和 (MIYASAKA FUMIKAZU)
大阪大学・工学研究科・講師

研究者番号 : 80304012

(2) 研究分担者

平田 勝弘 (HIRATA KATSUHIRO)
大阪大学・工学研究科・教授
研究者番号 : 00403139