

自己評価報告書

平成 23 年 3 月 31 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008～2011

課題番号：20760106

研究課題名 (和文) 誘起的乱流逆利用によるプラズマ流ナノ粒子創製プロセス用新規制御デバイスの開発

研究課題名 (英文) Development of novel control devices for plasma synthesis of nanoparticles using turbulence excitation

研究代表者

茂田 正哉 (SHIGETA MASAYA)

東北大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：30431521

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・流体工学

キーワード：流体工学・プラズマ工学・ナノ粒子

1. 研究計画の概要

本研究では、これまでに得てきた“流動不安定要素の源となるプラズマエッジ部においてナノ粒子が急成長する”という知見の上に立ち、独自に構築してきた数理モデルをさらに発展させることで、プラズマ流の乱流不安定性とナノ粒子生成・成長機構の相関関係を解明し、乱流変動場を積極的に誘起して制御するという新規デバイスの考案・開発を行い、最終的に学際的知見を結集したナノ粒子創製システムを構築することを目的としている。

具体的には以下に記すように理論的アプローチと実験的アプローチの両面から研究を行う。

(1) 理論的アプローチとして、まずプラズマ流近傍におけるナノ粒子群の集団的な成長過程を解析するための数理モデルの構築を行い、計算を進める。また熱・物質移動過程や相変化、電磁場を含む複雑流動場を効率的にシミュレートするために SPH 法の適用範囲の拡張を試みる。これらを統合することで、実験計測では抽出困難な情報を得て、現象の詳細を解明し、実機設計の指針を立てる。

(2) 実験的アプローチとして、変動モード制御デバイスを作成し、境界層やせん断層中の不安定成長場に適用し、性能の評価を行う。次いで、その系で均一核生成・不均一凝縮・粒子間凝集によって生成するナノ粒子群に関する計測を行い、制御効果を評価する。

(3) 両アプローチそれぞれからの情報を補完・融合することで、プラズマ流ナノ粒子創製システムの構築・最適化を試みる。

2. 研究の進捗状況

(1) プラズマ流動場・原料蒸発過程・単成

分ナノ粒子群生成過程をシミュレートすることのできる統合モデルの構築を行った。さらに、二成分系合金ナノ粒子群が同時かつ集団的に気相合成される物理過程の数理モデルおよび新規計算アルゴリズムの構築に成功した。それにより世界で初めて機能性ナノ粒子群の成長過程・粒度分布・組成分布を定量的に数値予測できるようになった。結果として、これまで未知であったシリサイドナノ粒子群 (応用範囲が非常に広い) のプラズマ流端部における集団的成長過程を解明できたことは極めて大きな成果であると言える。さらに、プラズマ材料プロセスに内包される熱・物質移動、混相現象、相変化といった複雑流動現象を基礎的なレベルから効率的にシミュレートするため、SPH 法の適用範囲の拡張に努め、良好な結果を得ることができている。また、せん断層における不安定性に起因する渦列生成過程の詳細なシミュレーションも行った。

(2) まず基礎的な物理過程を明確にしながらか制御デバイスを開発し、できるだけ簡素化した条件において制御実験を行っている。例えば、外部乱れ境界層内に飛び火させて不安定波を引き起こす現象を詳細に計測することに加え、乱流遷移過程に生じる不安定波動をピエゾセラミックアクチュエータ列によるフィードフォワード制御によって抑制することに成功した。キャビティせん断層から発生する渦列を流体自励振動子や可動式ボルテックスジェネレーターによって制御することにも成功している。また可視化計測により、それまで仮説の域にあった渦構造を含む流動場を明示することもできた。

(3) 特に現在、キャビティせん断層における渦構造を含む流動場に対して、数値計算結

果を反映させた制御方法の再考を試みているところである。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している

(理由)

前述(1)の通り、これまで誰も成しえなかった数理モデルの構築と現象の定量数値予測に成功したことは、特に大きな成果だと言える。このことは11件という招待講演の数が高い評価を得ているという裏付けとなるであろう。またSPH法によりプラズマ流によって形成される熔融池の複雑熱流動計算に成功し、国際会議でBest Paper Awardを受賞したことで、先端的研究として評価されている。一方、流体現象に内包される不安定性に対して基礎的かつ緻密な計測を行い、より堅固な立場から制御デバイスの性能評価を行ってきた。前述(2)の通り、流体の不安定性に作用する制御デバイスの開発は着実に進み、良好な結果を得ることができているものの、複雑な流体条件に対しての完全な流動制御には至っておらず、プラズマ流という極限的な場への適用にはまだ達していない。

4. 今後の研究の推進方策

これまでの成果の上に立ち、乱流場との相互作用を考慮したナノ粒子群成長過程の数理モデルを構築し、物理機構のさらなる解明を試みていく。また単純な条件からより複雑な系における流動制御性の向上に臨み、プラズマ流の制御を目指していく。そして新たに得られた知見を補完・融合することで、ナノ粒子群生成過程の高効率制御システムの構築を図っていく。

5. 代表的な研究成果

(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9件)

1. Masaya Shigeta, Anthony B. Murphy: Thermal plasmas for nanofabrication, 査読あり, Journal of Physics D: Applied Physics, 印刷中, 2010年11月9日掲載決定
2. Masaya Shigeta, Takayuki Watanabe: Growth model of binary alloy nanopowders for thermal plasma synthesis, 査読あり, Journal of Applied Physics, Vol. 108, Issue 4, pp. 043306 (15 pages), 2010年
3. Masaya Shigeta, Takayuki Watanabe: Two-Directional Nodal Model for Co-Condensation Growth of Multi-Component Nanoparticles in

Thermal Plasma Processing, 査読あり, Journal of Thermal Spray Technology, Vol. 18, No. 5-6, pp. 1022-1037, 2009年

4. Masaya Shigeta, Toshimasa Miura, Seiichiro Izawa, Yu Fukunishi: Active Control of Cavity Noise by Fluidic Oscillators, 査読あり, Theoretical and Applied Mechanics Japan, Vol. 57, pp. 127-134, 2008年
5. Masaya Shigeta, Takayuki Watanabe: Numerical investigation of cooling effect on platinum nanoparticle formation in inductively coupled thermal plasmas, 査読あり, Journal of Applied Physics, Vol. 103, Issue 7, pp. 074903 (15 pages), 2008年 (<http://hdl.handle.net/10097/46583>)

[学会発表] (計78件)

1. Masaya Shigeta: Mathematical modelling of thermal plasma synthesis of nanoparticles, Second International Symposium on Plasma Nanoscience (iPlasmaNano-II), 2010年12月13日, Murramarang, Australia. 招待講演
2. Masaya Shigeta, Masumi Ito, Seiichiro Izawa, Yu Fukunishi: Three-dimensional simulation of a flow in an arc weld pool by SPH method, The International Symposium on Visualization in Joining & Welding Science through Advanced Measurements and Simulation, 2010年11月11日, Osaka, Japan. Best Paper Award受賞
3. 茂田 正哉: 数理モデリングによるナノ粒子群生成機構解明の試み, プラズマ材料科学153委員会第97回研究会, 2010年7月23日, 東京. 招待講演
4. Masaya Shigeta: Growth model of binary-alloy nanopowders in thermal plasma processing, Workshop on Industrial Applications of Thermal Plasmas, 2010年4月13日, Bologna, Italy. 招待講演
5. 茂田 正哉: 熱プラズマによるナノ粒子生成機構モデルの構築, プラズマ科学シンポジウム2009, 2009年2月3日, 名古屋. 招待講演

[図書] (計1件)

1. Takayuki Watanabe, Masaya Shigeta, Nova Science Publishers (New York, USA), 「Nanomaterials: Properties, Preparation and Processes」2010年, 116~176ページ

[その他]

- ・招待講演 11件 (国内5件, 国外6件)
- ・受賞 1件