

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 14 日現在

機関番号：13601
 研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2010～2011
 課題番号：22760126
 研究課題名（和文） 大気圧プラズマジェットの能動制御による表面改質効果の可能性評価
 研究課題名（英文） Estimation of surface modification by using active controlled atmospheric pressure plasma jet
 研究代表者
 飯尾 昭一郎 (IIO SHOUICHIRO)
 信州大学・工学部・准教授
 研究者番号：80377647

研究成果の概要(和文):アルゴンガスを作動流体とする大気圧プラズマジェットについて、(1)音波を用いた能動制御による噴流挙動の評価、(2)周囲流体挙動とプラズマ挙動との関連、(3)表面処理におよぼす能動制御効果、について調べた。その結果、(1)については、音波励起のパターン、振幅、周波数によってプラズマ挙動が変化することがわかった。その際、(2)について周囲流体とプラズマジェットの同時可視化を実施し、プラズマ挙動はその周囲に流れる作動ガス挙動と密接に関係していることが明らかになった。(3)については、制御時と非制御時の表面改質効果については、制御により処理範囲が広げられることがわかった。

研究成果の概要(英文): This study focused on controllability of argon atmospheric pressure plasma jet (APPJ) by acoustic excitation, and on surface modification. Especially, (1) acoustic excited jet behavior, (2) interaction of ambient fluid and plasma jet, (3) active controlled effect on surface modification were investigated. As a result, following conclusions can be drawn; (1) Acoustic excitation pattern, amplitude and frequency significantly affect on argon APPJ behavior. (2) Argon APPJ behavior is dominated by ambient fluid motion. This fact was confirmed by simultaneous visualization of ambient fluid and argon APPJ. (3) Acoustic excitation is effective to enlarge the area of surface modification.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

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：大気圧プラズマジェット、能動制御、表面改質

1. 研究開始当初の背景

大気圧近傍以上の作動圧力となる大気圧プラズマジェットでは、流体的視点でプラズマを捉えることが重要であるが、流れ場とプラズマジェットの関連性の評価は不十分で

あるため、その解明は重要である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、(1)大気圧プラズマジェットの能動制御手法の確立、(2)上記制御技術の

材料表面処理への応用である。大気圧近傍以上の作動圧力を持つ大気圧プラズマでは、プラズマ周囲のガス流動状態がプラズマ特性に強く影響する。本研究では、流れ場を操ることでプラズマを制御する簡便な能動制御手法を新規確立し、能動制御したプラズマ処理による材料表面処理効果を明らかにする。

3. 研究の方法

- (1) 作動ガスとプラズマジェットの同時可視化
- (2) 音波加振によるプラズマジェットの非接触制御（可視化計測による評価）
- (3) 音波制御の表面処理への有効性評価（はっ水性を持たせた基板への APPJ 照射実験）

4. 研究成果

- (1) 作動ガスとプラズマジェットの相互関係評価

図 1 にプラズマジェットの可視化画像を示す。0.5msec ごとの図である。プラズマジェットは下方向に噴出している。出口での作動ガス流速によらず、プラズマジェットの長さはトーチ出口直径相当となっている。プラズマジェットの揺動には周期性が見られ、流量が増加するほど、揺動振幅が大きくなる。

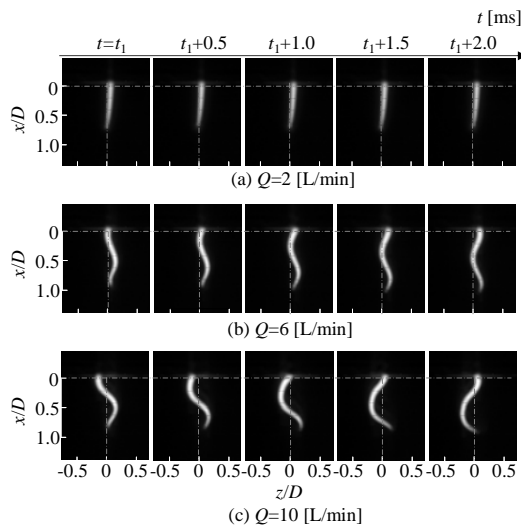


図 1 プラズマジェットの可視化画像

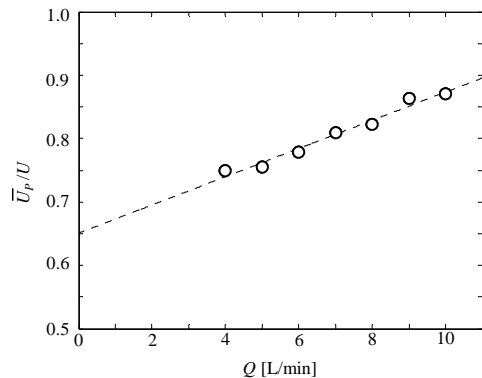


図 2 APPJ と作動流体の速度比

次に、プラズマジェットの移流速度 U_p と噴出口での平均ガス流速 U との比較結果を図 2 に示す。前者は 12 回の測定結果である。この結果より、プラズマジェットの移流速度はガス流量 Q にほぼ比例しており、ガス流速の 0.75~0.87 倍となることがわかる。

- (2) 音波加振によるプラズマジェットの非接触制御

図 3 に作動ガス流れの可視化結果を示す。図中左から非励起、同位相モード、逆位相モードでの結果である。非励起時にはせん断層は下流方向に直線的に伸びているのに対して、励起時には大規模渦構造の発生が認められる。また、同位相モードでは varicose モードの渦配列、逆位相モードでは sinusoidal モードの渦配列となっており、逆位相モード時には励起方向に噴流が揺動することがわかる。

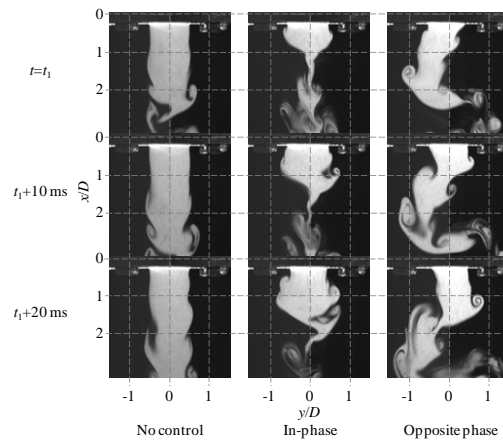


図 3 励起モードによる流れ模様の変化

この流れにおいて、プラズマを点灯してその挙動を可視化した結果を図 4 に示す。バンドパスフィルターを利用すると、プラズマと作動流体の同時可視化がおこなえることがわかる。図中の最上部に見えるのがプラズマトーチの出口であり、その中央から線状に伸びるものがプラズマジェットである。黒く撮影されているものが作動ガスである。画像処理によりプラズマジェットと作動ガスの挙動を定量化した結果を図 5 に示す。

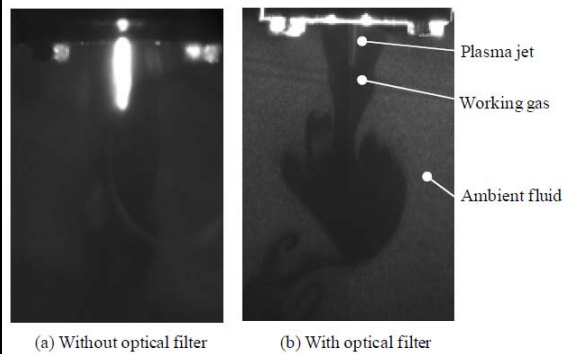
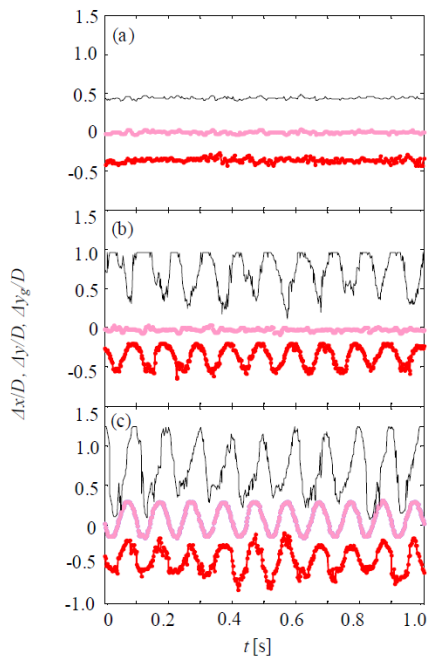


図 4 同時可視化画像

流れ方向の変動（伸縮）を Δx 、半径方向の変動（揺動）を Δy としている。この流量条件では、非励起時には作動ガス、プラズマ



(a) Without excitation (b) In phase (c) Opposite phase
 — Plasma $\Delta x/D$ — Plasma $\Delta y/D$ — Gas $\Delta y_g/D$
 図5 作動ガスと APPJ 挙動の比較

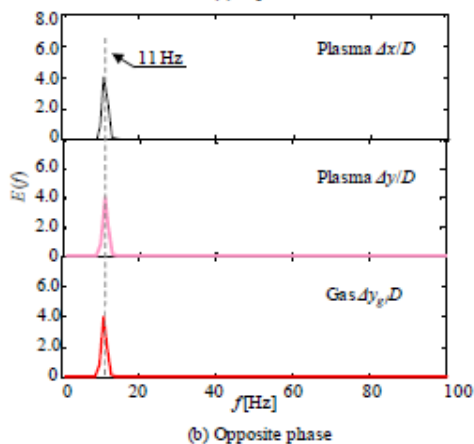
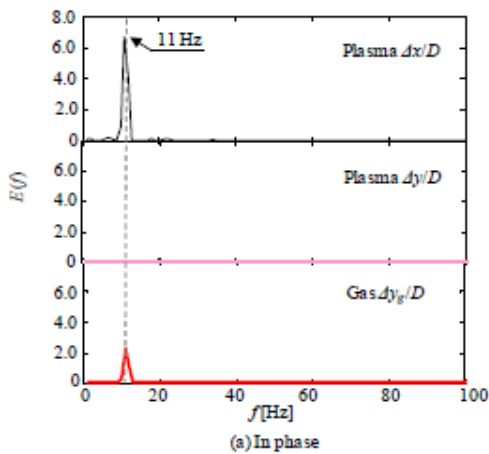


図6 作動ガスと APPJ 変動のスペクトル解析結果

ジェットともに顕著な変動は見られない。同位相励起時には作動ガスの半径方向の変動に同期して、プラズマジェットが伸縮している。これは、varicose モードの渦による周期的な誘起速度が影響しているためだと考えられる。一方、逆位相励起時には作動ガスの半径方向の変動に同期して、プラズマジェットの伸縮と揺動が生じている。逆位相励起時にはプラズマジェットが振り子のような周期的な揺動をするために、プラズマ先端の流れ方向位置で評価している Δx が伸縮を示すように変化したものである。したがって、逆位相励起時の本質的な挙動は揺動のみだと考えられる。

図6に能動制御時の、作動ガスとプラズマジェットそれぞれの変動挙動のスペクトル解析結果を示す。同位相励起時には、作動ガスの半径方向変動と、プラズマジェットの流れ方向の伸縮について、励起周波数に一致する 11Hz に明確なピークが観察される。それに対して、逆位相励起時には、作動ガスの半径方向、APPJ の半径および流れ方向のすべてについて、卓越周波数が観察された。

以上の結果より、音波による励起はプラズマ挙動を制御するうえで有効であり、プラズマジェットの挙動と作動ガスの挙動には良好な相関があることが明らかとなった。

(3) 音波制御の表面処理への有効性評価

はっ水性を持たせた基板へ APPJ を照射するとはっ水性が損なわれることを利用して、音波制御条件と表面処理状況との関係評価を実施した。その結果、逆位相励起時には APPJ が揺動するため、表面処理範囲の拡大が認められた。しかし、具体的な処理効率の変化などについては、明らかにできておらず、今後の課題となっている。

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 1 件)

- ① Shouichiro Iio, Kosuke Yanagisawa, Chizuru Uchiyama, Katsuya Teshima, Naomichi Ezumi, Toshihiko Ikeda, Influence of gas flow on argon microwave plasma jet at atmospheric pressure, Surface and Coatings Technology, 査読有, Vol. 206, 2011, 1449-1453, <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2011.09.013>

〔学会発表〕 (計 5 件)

- ① C. Uchiyama, K. Yanagisawa, S. Iio, N. Ezumi, T. Ikeda, Acoustic Control of

Atmospheric Pressure Plasma Jet
(Visualization of Plasma Jet and
Working Gas)、11th International
Conference on Fluid Control,
Measurements and Visualization、2011
年12月5日 (Keelung、Taiwan)

- ② 内山千鶴、柳澤康輔、飯尾昭一郎、江角直道、池田敏彦、音波による大気圧プラズマジェットの制御 (可視化による流れ特性評価)、日本機械学会 2011 年度年次大会、2011 年 9 月 12 日 (東京工業大学大岡山キャンパス)
- ③ C. Uchiyama, K. Yanagisawa, S. Iio、N. Ezumi, T. Ikeda、Visualization of Acoustic Excited Atmospheric Plasma Jet、11th Asian Symposium on Visualization、2011年6月6日 (Niigata)
- ④ 内山千鶴、柳澤康輔、飯尾昭一郎、江角直道、池田敏彦、音波による大気圧プラズマジェットの制御、日本機械学会北陸信越支部第 48 期総会・講演会、No. 117-1、107-108、2011 年 3 月 5 日 (上田市)
- ⑤ Kosuke YANAGISAWA、Shouichiro IIO、Naomichi EZUMI、Toshihiko IKEDA、Flow Characteristics and Control by Sound Wave of Atmospheric Plasma Jet、Int. Conf. on Jets, Wakes and Separated Flows、ICJWSF-2010、2010 年 9 月 27 日 (Cincinnati、Ohio USA)

[その他]

ホームページ等

<http://www.kankyo.shinshu-u.ac.jp/~ikedalab/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

飯尾 昭一郎 (IIO SHOUICHIRO)
信州大学・工学部・准教授
研究者番号：80377647

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：