S055012

水中ストリーマ進展過程の可視化*

佐藤 岳彦^{*1}, 藤田 英理^{*2}, 金澤 誠司^{*3}, 大谷 清伸^{*1}, 小宮 敦樹^{*1}

Visualization of a streamer propagation process in water

Takehiko SATO^{*1}, Hidemasa FUJITA^{*2}, Seiji KANAZAWA^{*3}, Kiyonobu OHTANI^{*1} andAtsuki KOMIYA^{*1}^{*1} Institute of Fluid Science, Tohoku Univ., 2-1-1 Katahira, Aoba-ku, Sendai, 9890-8577 Japan

A series of photographs for a streamer propagation process in water was successfully observed using a nano-pulse discharge system, an ultra high speed camera system with a microscope lens and a phase shift type Mach-Zehnder interferometer. After the initiation process of 600 ns - 800 ns from the applying voltage of 16 kV_{op} - 17.5 kV_{op}, a primary streamer occurred. It accompanied with a shock wave and the period of the propagation was several hundred ns. The propagation velocity of the primary streamer was around 1.5 km/s.

Key Words : Plasma in water, Streamer propagation, Visualization

1. 緒 言

液体誘電体の絶縁破壊における破壊前駆現象（ストリーマ）について多くの研究が報告されている⁽¹⁾。これらの研究は、変圧器や放電加工などの発展とともに油中や炭化水素液中の研究が進められてきた。しかし、放電進展過程の連続写真の撮影や放電波形との同期による現象解明は、当時の技術では不十分であり、近年になりその観察ができる環境が整いつつある。また、水中放電を利用した有機物分解・水質浄化^(2,3)や微生物殺滅^(4,5)などの研究が注目を集めているが、従来の研究は水以外を対象としたものがほとんどのため水中放電機構については、未だ十分に解明されているとは言えない。特に、微小放電においては、放電生成の時空間が極めて小さいためその観察は極めて困難であり、現在まで報告は見られない。

近年の ICCD カメラやストリークカメラによる高時間分解能のストリーマ現象の可視化により^(6,9)、水中ストリーマの進展は 1 次ストリーマと 2 次ストリーマに大別されることが報告されている⁽⁶⁾。一般に、可視化されているストリーマの大部分は 2 次ストリーマであるが^(7,8)、これは 2 次ストリーマに対し 1 次ストリーマの継続時間が短く、発光が弱く、発生条件が限られているためである。またストリーマ進展の前段階として、電圧を印加してから進展が開始するまでプラズマ生成のない初生段階、2 次ストリーマの進展により生成されたガスチャンネル内を断続的に放電電流が流れる「再発光」現象が報告されている^(8,9)。しかし、これら一連の現象は十分明らかにされていない。

そこで本研究では、高時間・空間分解で連続的に可視化する装置を構築し、放電波形との同期により、一次ストリーマ形成過程を明らかにすることを目的とする。

2. 実験方法

本研究では、コンデンサと MOS-FET スイッチからなるナノパルス電源により、水中に設置した針状電極に高

^{*1} 正員、東北大学流体科学研究所（〒980-8577 仙台市青葉区片平 2-1-1）

^{*2} 学生員、東北大学大学院工学研究科（〒980-8577 仙台市青葉区片平 2-1-1）

^{*3} 大分大学工学部（〒870-1192 大分市旦野原 700 番地）

E-mail: sato@ifs.tohoku.ac.jp

Fig. 1 The time series images of the streamer propagation and its waveforms of the discharge current, applied voltage and the camera gate signal.

電圧を印加した。電圧印加とカメラゲートのタイミングを同期させることで、同時観測を可能にした。針状電極は、直径 0.5 mm の白金線を用い、電極間距離を 6 mm とした。使用した石英ガラスセルの寸法は 10 mm x 10 mm, 45 mm で、超純水を注入した。電気導電率は $0.8 \mu\text{S}/\text{cm}$ であり、 $16.0 \text{ kV}_{\text{op}} \sim 17.5 \text{ kV}_{\text{op}}$ の矩形波パルス（幅 10 μs ）を単発で印加した。光学系は、マッハツェンダー干渉システムを利用し、光源には 60 mW の He-Ne レーザを用いた。観察は、超高速カメラ（200 Mfps）に高倍率顕微鏡用ズームレンズ（KEYENCE, VH-Z50L）を使用した。

3. 結果と考察

図 1 に 1 次ストリーマ進展の連続写真を示す。実験条件は、印加電圧を 16.0 kV、高速カメラの露光時間は 60 ns とし、7 枚連続で撮影した。1 次ストリーマが $t = 690 \text{ ns}$ に発生し半球状に進展していることを連続写真の撮影でとらえることに成功した。この進展速度は、概ね 1.5 km/s であり、衝撃波面を形成していることを示唆している。また、この時に発生する電流波形から、放電電流は継続的にパルス状に供給されていることが推察できる。

4. 結 言

超純水中における 1 次ストリーマの進展過程を高時間・空間分解能で連続的に可視化することに成功した。これにより、1 次ストリーマが半球状に 1.5 km/s で進展することが明らかになった。

本研究は、科研費並びに東北大学流体科学研究所公募共同研究の支援を得た。実験遂行において東北大・流体研中嶋智樹技術専門職員の支援を得た。

文 献

- (1) 吉野, 他, 液体エレクトロニクス, コロナ社 (1996).
- (2) A. Mizuno and Y. Hori, IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 24, No. 3 (1988), 387.
- (3) M. Sato et al., IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 32, No. 1 (1996), 106.
- (4) A.M. Anpilov et al., Lett. Appl. Microbiol., vol. 35, No. 1 (2002), 90.
- (5) Z. Li et al., IEEE Trans. Plasma Sci., vol. 34, No. 5 (2006), 1719.
- (6) W. An et al., J. Appl. Phys., 101 (2007), 053302.
- (7) S. Kanazawa et al., IEEE Trans. Plasma Sci., 36 (2008), 922.
- (8) P. H. Ceccato et al., J. Phys. D: Appl. Phys., 43 (2010), 175202.
- (9) S. Kanazawa et al., I. J. PEST, Vol. 6, No. 1 (2012), 49.