

# エレクトロスピンニングにおけるホイップングリージョン形成に 使用溶液と印加電圧が及ぼす影響に関する基礎検討

竹中 佑太朗、大塚 信也(九州工業大学)、臼井 恵(株式会社メック)

## 1 はじめに

ナノファイバーの紡糸技術として、エレクトロスピンニング法と言われる高電圧を印加した金属注射針から高分子溶液を電気力によりジェットとして噴出させて、対向電極で高分子ナノファイバーとして捕集する方法がある(Fig.1)。筆者らはこれまでに、大量のナノファイバー製造法の検討として、多数の注射針を使用した場合でも最適な電界分布となる注射針配置を明らかにしている<sup>[1]</sup>。より細いファイバー径を実現するにはジェットの移動距離に関するホイップングリージョン(WR)を大きくすること<sup>[2]</sup>や、Fig.1 中のストレートジェット長  $L$  や WR 長  $L_w$  を長くすることが有効であること<sup>[3]</sup>が知られている。本研究では導電率の異なる 5 つの溶液を用いて印加電圧を変化させた実験を行い、紡績されたファイバー堆積物の直径  $R$  を画像解析し、WR 形成に影響する  $L$  と  $L_w$  の影響や溶液の導電率の影響を検討した。

## 2 実験装置と実験方法

電界紡糸装置(メック株式会社、NF-500)に設置した 1 本の注射針(内径 0.22mm、外径 0.41mm)に、15~30kV の正極性直流電圧を印加し、1 ml/h のフローレートで溶液を押し出してスピニングを行った。針から対抗接地電極であるターゲットまでの距離  $D$  は 15cm 一定とした。使用した 5 種類の溶液は、PU(1.12  $\mu$  S/cm)、PVDF(14.25  $\mu$  S/cm)、高導電率 PU(38.9  $\mu$  S/cm)、PAN(118  $\mu$  S/cm)、及び PVA (550  $\mu$  S/cm)である。実験は温度 28~32°C、湿度 34~41%の条件で実施した。実験では、各溶液において電圧を変化させた時のエレクトロスピンニングのストレートジェット長  $L$  と WR 長  $L_w$  を測定すると共に、対向電極に堆積した円形状のファイバー堆積物の画像を画像解析して底面積  $S$  と直径  $R$  を求め、 $L_w$  と  $R$  の関係から、WR の角度  $\theta$  と体積  $W_v$  を導出した。

## 3 実験結果と考察

Fig.2 にストレートジェット長  $L$  の印加電圧  $V$  依存性を示す。同図に示されるように特性は 3 グループに分類された。即ち、(1)  $V$  によらず一定 (PU)、(2)  $V$  と共に増加 (HCPU, PVA) と (3)  $V$  と共に低下 (PVDF, PAN) である。PEO 溶液による研究<sup>[2]</sup>では、(2) の PVA、HCPU のように  $V$  の増加に伴って  $L$  が増加する現象は確認されていた。なお、 $L$  の低下は  $L_w$  の増加を意味しており、単純に  $L$  の増減だけでスピニング性能を評価することはできない。

Fig.3 に WR 体積  $W_v$  の WR 高さ  $L_w$  依存性を示す。同図より、 $L_w$  の増加に伴い  $W_v$  は大きくなっていることがわかる。また、 $L_w = 12$ cm 付近を見ると、同一の  $L_w$  で、導電率の高い溶液の方が  $W_v$  が大きくなっていることがわかる。これは、高い導電率溶液の方がジェットの反発が大きく角度  $\theta$  が大きくなっていることに起因していると思われる。これらの結果から、ホイップングリージョン WR の大きなスピニングの実現には、 $L$  よりも  $L_w$  を長くし、且つ角度  $\theta$  を大きくすること、導電率の高い溶液を用いることが有効であることが分かる。

## 4 まとめ

本研究では、高分子溶液の種類によりジェット長の印加電圧依存性が異なること、及びホイップングリージョン形成の長さや角度が異なることを実験的に示した。本検討では導電率による相違に着目したが、今後は粘性や揮発性など他の要因に関する検討も必要である。

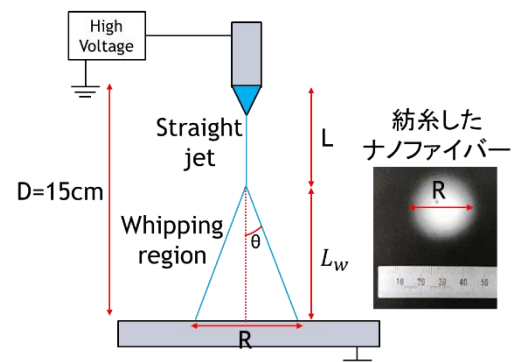


Fig.1 Schematic of electrospinning

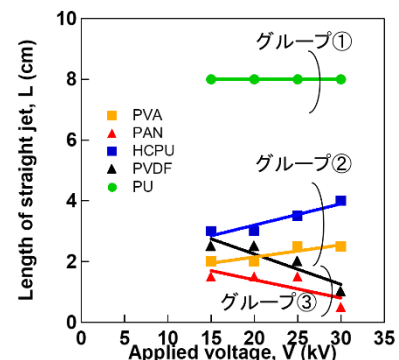


Fig.2 Dependence of L on applied voltage as a function of solution type

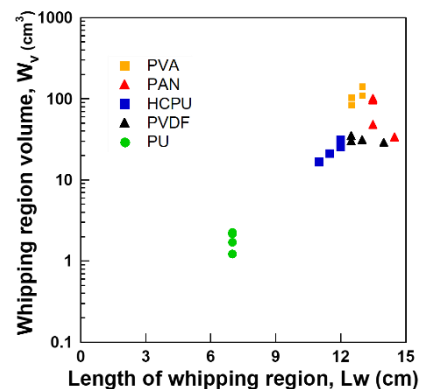


Fig.3 Dependence of  $W_v$  on  $L_w$

## 参考文献

- [1]竹中佑太朗,大塚信也,臼井恵,令和 3 年度電気学会全国大会,2-077(2021)
- [2]Chitral J. Angamma, et al, IEEE Trans. Ind. Appl.Vol.48,No.2,pp808-815 (2012)
- [3]Sailing Lei, et al, Polymer Vol.217, 123443 (2021)