

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	動的光散乱法を用いた懸濁粒子の拡散係数分布変化の可視化
Title(English)	
著者(和文)	原田祥宏
Author(English)	Yoshihiro Harada
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12843号, 授与年月日:2024年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:笹部 崇,奥野 喜裕,西迫 貴志,高橋 秀治,伏信 一慶
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12843号, Conferred date:2024/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械 機械	系 コース	申請学位（専攻分野）： 博士 Academic Degree Requested Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	原田 祥宏		審査員主査： Chief Examiner	笹部 崇

要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

ドロップオンデマンド型のインクジェット方式を用いたプリンタでは、ノズルから所望の量と速度のインク滴を飛翔させて用紙等のメディアに画像や塗膜を形成する。画像や塗膜のパターンによっては、連続してインク滴を飛翔させる場合もあれば長時間インク滴を飛翔させない場合も起き得る。インクを飛翔させない間、溶媒の蒸発等によりノズル内のインク物性が変化すると、次にインク滴を飛翔させるときの飛翔状態は変化する。一般に、インク溶媒が蒸発するとインクの粘度は上昇し、ノズル部のインク粘度が上昇するとインク滴を所望の量や速度で飛翔させられず、最悪の場合にはインク滴を飛翔させることができなくなる。これを避けるため、顕著に粘度上昇してしまう前にインクをノズルから排出する操作が行われている。頻繁に排出を行えば、ノズル内のインクを適切な粘度に保つことができるが、印刷に使われないインク量が増加してしまう。ノズル内のインク粘度やその分布や経時変化が把握できると、適切なインク排出タイミングや排出量をそのメカニズムの理解と合わせて決定することができる。そこで本研究では、ノズル内の水性顔料インクを対象に、蒸発に伴い粘度上昇する様子を、インク含有粒子の拡散係数分布とその経時変化を計測することで直接可視化できるようにすることを目的とした。

水性顔料インクの含有粒子の拡散係数を求めるのに動的散乱法を用いた。動的散乱法は、流体に分散する粒子にレーザ光を照射したときに生じるスペックルの変動を評価することで、粒子の運動状態すなわち拡散係数を定量化する計測法である。希薄な懸濁液においては、粒子径や溶媒温度が一定で既知であれば、粒子拡散係数から溶媒粘度を算出することができる。一方、一般的な水性顔料インクのように粒子濃度が高い場合や見かけの粒子径や温度が変化する場合にはこの換算ができないため、粒子拡散係数の変化を指標として目的の状態変化を可視化することにした。

インクジェットヘッドのノズル部と水性顔料インクの代わりにガラスキャピラリーとシリカ粒子が分散したモデルインクを用いて、ノズル内インクの粒子拡散係数が計測できるか確認した。モデルインクには、一般に水性顔料インクにも用いられるグリセリン、プロピレングリコール、ポリエチレングリコールの3種類の水溶液を準備した。各モデルインクをその毛管力を利用してガラスキャピラリーの先端まで充填し、充填が完了してからのガラスキャピラリー先端付近の粒子拡散係数を計測した。

ガラスキャピラリー先端部、径方向の粒子拡散係数分布を可視化する実験装置を構築した。高速度カメラを用いた顕微撮影系により、ガラスキャピラリー端面にレーザ光を照射した様子を撮影した。モデルインク表面に生じたスペックルパターンを動画として記録し、画像処理によってその時間的変動を画像間の相互相関係数を求めることで数値化した。撮影像からガラスキャピラリー径方向に複数の領域を抽出し、それぞれに対して粒子拡散係数を求めることでその分布を可視化した。実測の結果、いずれのモデルインクも中心部よりも端部の方が、粒子拡散係数が早く低下していることが可視化された。特にポリエチレングリコール水溶液では中心部と端部とで顕著に粒子拡散係数偏差が生じる様子が確認できた。ガラスキャピラリー先端のモデルインク気液界面からの時間当たり面積当たりの蒸発速度は、蒸気が拡散できる空間の広さの違いから、端部では中央部よりも大きくなる。これによりモデルインク内の端部では溶媒濃縮が相対的に進み、径方向には濃度勾配が生じる。この濃度勾配を解消するように溶媒の拡散が生じるが、拡散よりも濃縮の速度が大きければ結果として粒子拡散係数に分布が見られることになる。

次にガラスキャピラリー先端付近の深さ方向のモデルインク粒子拡散係数分布を可視化するため、光干渉断層計測法に基づいた実験装置を構築した。光干渉断層計測法は、光の干渉を利用して観察対象物の深さ方向の断層画像を散乱光強度分布として取得するものである。計測対象物を懸濁液とした場合、断層画像にはスペックルパターンが見られ、その時間的変動を数値化することでモデルインク深さ方向の粒子拡散係数分布を可視化することができる。実測の結果、グリセリン水溶液とプロピレングリコール水溶液の粒子拡散係数は比較的一様な値を保ちながら低下していく様子が確認できた。一方、プロピレングリコール水溶液の粒子拡散係数は顕著に粒子拡散係数分布を持ち、気液界面から深さ方向へ次第に粒子拡散係数が低い領域が拡大する様子が確認できた。深さ方向においても蒸発に伴う溶媒濃縮と拡散のバランスで分布が生じるか否かが決まると考えられる。グリセリンおよびプロピレングリコール水溶液は拡散が顕著であったのに対して、ポリエチレングリコール水溶液は拡散よりも溶媒濃縮が顕著であったことが理解できる。また、深さ方向の粒子拡散係数の観測を径方向に位置を変えながら行うことで、ノズル内のインク粒子拡散係数の3次元的な分布とその経時変化を観測できるようになった。

以上の計測方法の開発により、インクジェットヘッドノズル部で生じる粒子拡散係数の分布とその経時変化をその場観察して可視化することができた。水性顔料インクが溶媒の蒸発に伴って粘度上昇する様子と、その特徴として溶媒濃縮と拡散のいずれが支配的となっているかを把握したうえで、インク排出条件などの設計値を決められるようになった。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of Graduate major in	機械 機械	系 コース	申請学位(専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	原田 祥宏		審査員主査： Chief Examiner	笹部 崇

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

In on-demand inkjet printers, ink droplets are ejected from the nozzle to form an image or coating, however, depending on the pattern to be printed, the ink may not be ejected for a long period of time. During this time, the ink properties may change due to solvent evaporation, which may affect the flying condition of the next ink droplet. To avoid such problems, ink is periodically ejected to maintain the proper viscosity, although frequent ejection leads to increased ink wastage. By understanding the changes in ink viscosity and its distribution in the nozzle, the timing and amount of ejection can be optimized for each inkjet head and ink to reduce wastage.

The purpose of this study is to measure the diffusion coefficient of particles in water-based pigment ink instead of measuring the increase in viscosity, and to use this as an indicator to determine changes in ink conditions in the nozzle.

Three model inks (glycerol, propylene glycol, and polyethylene glycol solution) containing silica particles instead of water-based pigment ink were filled into a glass capillary and the particle diffusion coefficient near the tip was measured. A high-speed camera was used to capture speckle patterns on the surface of the laser-irradiated model inks, and the particle diffusion coefficients were determined by finding the correlation coefficient between the images. It was observed that the particle diffusion coefficient at the radial end of the glass capillary decreased faster than that at the center for all model inks, and this was especially noticeable for polyethylene glycol aqueous solutions.

A combined method of optical coherence tomography and dynamic light scattering was developed for depth visualization of model inks. The depth profile of the particle diffusion coefficient was measured. The results showed that the particle diffusion coefficient decreased in glycerol and propylene glycol solutions while maintaining a relatively uniform distribution. Meanwhile, a significant gradient in particle diffusion coefficient was observed in polyethylene glycol solution, indicating that solvent concentration near the gas-liquid interface is more remarkable than diffusion due to evaporation. It was possible to observe the three-dimensional distribution of the particle diffusion coefficient and its change with evaporation for aqueous pigment inks in the vicinity of the nozzle.

The development of these visualization methods has enabled in-situ observation of the particle diffusion coefficient distribution of ink in the nozzle. This enables optimization of ink ejection design based on the mechanism of solvent evaporation.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).