

---

# インクジェット画像予測シミュレータを用いた画質予測手法

## Image Quality Prediction Method Using Inkjet Print Quality Simulator

---

寒川 哲幹\*      稲本 浩久\*\*      根本 佳実\*  
Norimasa SOHGAWA      Hirohisa INAMOTO      Yoshimi NEMOTO

---

### 要 旨

---

インク滴の着弾精度などの影響を考慮したデジタルイメージを予測するシミュレータを用いた画質予測手法を紹介する。インクジェットプリンタにおける複数の誤差因子の画像へ与える影響を予測するために、複数の誤差因子の影響を考慮したデジタルイメージが予測可能な画像予測シミュレータを開発した。誤差因子を振った複数の条件下におけるシミュレーション結果の比較により、公差配分を検討することが可能になった。また、実機において出力の再現が困難であったサテライト滴を含む画像をデジタルイメージで再現できるシミュレータの特徴を活かし、サテライトの影響を定量評価できる画質予測式を新たに提案し、主観評価と高い相関性を有することを明らかにした。さらに、サテライト画質予測式はバーコード品質を予測することも可能である。

### ABSTRACT

---

We introduce the image quality prediction method using the print quality simulator that predicts the digital image in consideration of the influence of landing accuracy of ink droplets, in order to predict the influence on images by the plurality error factors of inkjet printers. The simulator has become possible to consider the tolerance allocation by comparing the simulation results under plurality error factors. In addition, by using results of the simulation that is capable to reproduce the satellite droplets on images, we have proposed a new image quality prediction equation that can be quantitative assessment of the influence of the satellite droplet. Furthermore, it has been found that a proposed prediction equation for image quality including satellite droplets is also possible to predict the bar code quality.

---

\* GJ開発本部 GI開発センター  
GelJet Ink Development Center, GJ (Gel Jet) Design & Development Division

\*\* 研究開発本部 基盤技術開発センター  
Core Technology Development Center, Research and Development Group

## 1. はじめに

インクジェットプリンタは、プリントヘッドよりインク滴を吐出することでメディア上にドット群を形成している。このとき、プリンタに入力されたプリントデータどおりに規定サイズのドットが規則正しく配置されることが理想的である。

しかし実際には、プリントヘッドにおけるインク滴の吐出曲がりや、プリントヘッドを搭載してスキャン走査を行うキャリッジのメカ精度や、メディアの搬送精度によって、ドット形状やインク滴の着弾精度はバラつきを有している。しかし、これらの誤差因子を調整できるような高機能な印刷機の開発は膨大なコストと時間が掛かる。そこで、誤差因子が画像に与える影響をデジタルイメージで把握できるインクジェット画像予測シミュレータを開発した。

インクジェットに関するシミュレーション技術は、等価回路モデルによるノズル部での液面挙動の予測、液滴の飛翔挙動の予測、着弾後のインク滴の濡れ広がり挙動の予測などが挙げられる。等価回路モデルによるシミュレーション技術<sup>1)</sup>はプリントヘッド液室設計へ活用されている<sup>2)</sup>。液滴の飛翔挙動のシミュレーション技術は、吐出状態観測技術と組み合わせることで、プリントヘッドのピエゾ素子の駆動波形設計の最適化にも活用されている<sup>3)</sup>。また、液滴の飛翔挙動のシミュレーション技術では、紙の搬送精度がインク滴の着弾精度に与える影響を予測する報告もある<sup>4,5)</sup>。着弾後のインク滴の濡れ広がり挙動を予測するシミュレーション技術では、複数のインク滴が合一する挙動を予測できている<sup>6,7)</sup>。

しかし、これらは何れもプリンタにおける誤差因子が画像に与える影響を予測するものでなく、各誤差因子と画質の関係を把握するには至っていない。そこで本稿では、誤差因子が画像に与える影響をデジタルイメージで把握できるインクジェット画像予測シミュレータを活用した画質予測手法を紹介する。

## 2. インクジェット画像予測シミュレータ

シミュレータでは、実機同様にドット群によって画像、すなわちデジタルイメージを作成する。本章では、シミュレータにおける画像形成、シミュレータに付与する実機を考慮した誤差因子、さらに偶発的に発生するサテライト滴を考慮する際の誤差因子について説明する。

### 2-1 ドット群による画像形成

シミュレータは入力データに応じて、Fig.1のように単一ドットを配置することで出力画像を形成する。単一ドットは、デジタルイメージ上の複数画素の濃淡によって近似し、単一ドット同士の重なる領域では反射率が低くなり、デジタルデータの輝度値が低くなる。また、印刷解像度や印刷パス数など、インクジェットプリンタの各種印刷モードに対応してデジタルイメージを作成する。

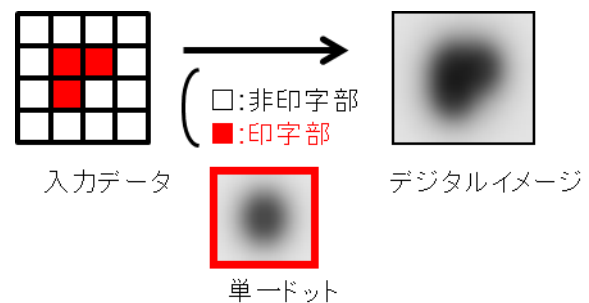


Fig.1 Pattern of dots on inkjet simulator.

### 2-2 シミュレータにおける誤差因子

シミュレータでは、実際のインクジェットプリンタ同様に画像に影響を与える種々のパラメータを変化させることで、各誤差を考慮した画像を予測する。以下(a)～(e)は、代表的なパラメータの一部である。例として、1ヘッド2列のノズル列でヘッドをつないだ場合の構成を示す。

(a) 着弾精度 (着弾ズレ量  $dx$ ,  $dy$ )

吐出曲がりやキャリッジ動作や機内の気流による影響を加味し、シミュレータにFig.2のような着弾位置の誤差を付与することが可能である。

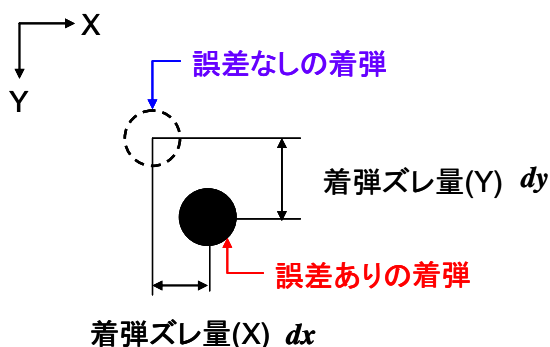


Fig.2 Consideration of the position of droplets.

(b) ノズル列曲がり  $\theta$

Fig.3のように、ヘッド内のノズル列において、正常な位置からの傾きの大きさ、ノズル列曲がり  $\theta$  を誤差として付与することが可能である。

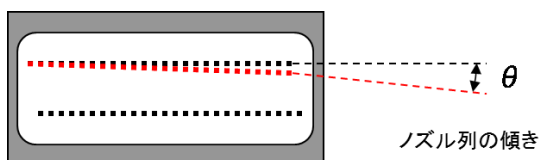


Fig.3 Consideration of tilt of nozzle line.

(c) ヘッドの傾き  $\psi$

Fig.4のように、正常な角度からのヘッドの組み付け角の傾きの大きさ、ヘッドの傾き  $\psi$  を誤差として付与することが可能である。

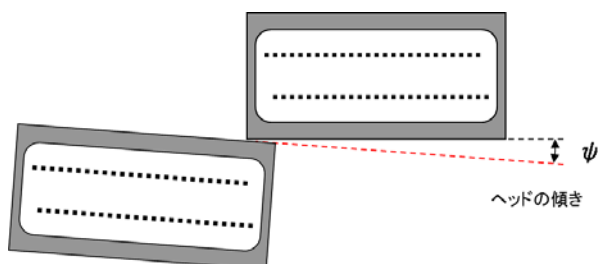


Fig.4 Consideration of tilt of inkjet head.

(d) 紙送り量  $f$

Fig.5のように、シリアルスキャン方式では、キャリッジ動作に合わせて印字を行う主走査動作と、紙を搬送する副走査動作を繰り返す。シミュレータでは、紙送り量  $f$  として、副走査動作における紙の移動量の誤差を付与することが可能である。

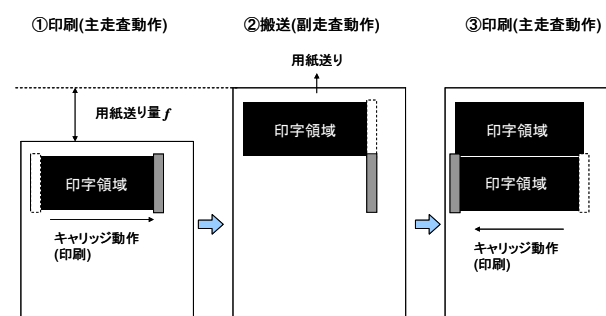


Fig.5 Explanation of paper feed.

(e) ドット径バラつき

吐出時のノズルごとのインク滴量のバラつきを加味し、ドット径バラつきの誤差を付与することが可能である。

### 2-3 サテライト滴の誤差因子

シミュレータでは、ヘッドやインクの特性によって偶発的に発生するサテライト滴に関する誤差因子を付与することが可能である。

#### 2-3-1 インクジェットにおけるサテライト

Fig.6はサテライトのイメージ図である。インクジェットヘッドのノズルより滴が吐出した後、リガメントが主滴とマージできず、主滴の後次滴となってメディア上で主滴と異なる位置に着弾するものがサテライト滴である。サテライト滴は、予期しないインク滴としてメディア上に着弾してしまうために画像不具合を招く。

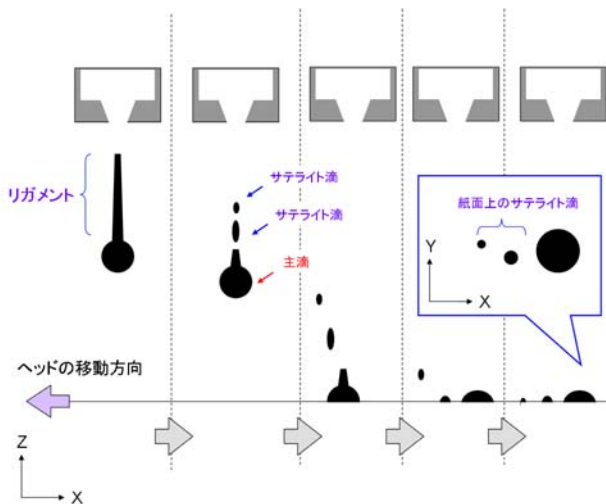


Fig.6 Explanation of satellite dot formation.

### 2-3-2 サテライト滴を考慮した誤差因子

主滴の後次滴として紙面上に着弾するサテライト滴の影響をシミュレータで考慮する際の誤差因子の一部を、(f)と(g)に示す。

#### (f) サテライトの着弾精度

サテライト滴の影響を考慮する際、主滴に対するサテライトの着弾位置を、サテライトの着弾位置精度として付与することが可能である。

#### (g) サテライト径

サテライト滴の影響を考慮する際、サテライトの紙面上でのドット径を、サテライト径として付与することが可能である。

## 3. シミュレータを用いた画質予測手法

シミュレータにより、誤差因子が画像に与える影響をデジタルイメージで把握できる。そこで、各誤差因子が画質に及ぼす影響を視覚的に把握することで実機の公差配分を検討することや、実機で再現性の高い実験が困難であったサテライトの定量評価へシミュレータを活用した<sup>8)</sup>。

### 3-1 シミュレータを用いた公差配分の検討

シミュレータを用いて、実機における着弾精度、紙の搬送精度、ヘッドの組み付け精度などの公差配分を検討した。まず、着弾精度 $dx/dy$ 、ノズル列曲がり $\theta$ 、ヘッドの傾き $\phi$ 、紙送り量 $f$ 、ドット径 $r$ などを、誤差因子としてシミュレーションを実施する。次に、全条件のシミュレーション結果の画像サンプルを被験者に主観評価してもらい、許容可否の判断を行ってもらう。許容人数がある一定の割合を超えた際の画像を、許容画像とする。

Fig.7はシミュレーション結果の一部である。Fig.7 (1)は、誤差無しの理想的な状態を表している。Fig.7 (2)は、目視評価にて許容できないと判断した画像であり、誤差が最も大きい条件のシミュレーション結果である。このとき、着弾精度や紙送り精度はノズル列曲がりやヘッドの傾きに比べて画質への影響度が大きかった。これはノズル列曲がりやヘッドの傾きがある場合、画像上に着弾するインク滴全体の着弾位置が移動するためである。

Fig.7 (3)は、影響度の大きい誤差因子を小さくしたものの、目視評価にて許容できないと判断した画像である。Fig.7 (4)は、主観評価にて許容可能と判断した画像であり、このときシミュレータに設定した各誤差因子の値を最大許容誤差とした。

シミュレータでは、ヘッド構成やノズルの記録解像度やドット径などを変更することが可能であり、任意のプリンタシステムを構築することが可能である。その際、各誤差因子を割り振った条件下で出力したデジタルイメージを任意の項目で比較することで、実機を製作せずに任意の画質項目に対する誤差因子の寄与率を見積もることが可能である。

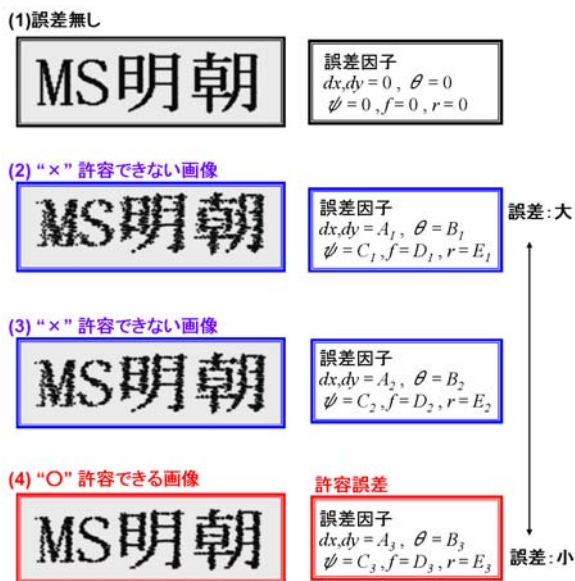


Fig.7 Tolerance allocation by inkjet print quality simulator.

### 3-2 シミュレータを用いたサテライト定量評価

#### 3-2-1 シミュレータを用いたサテライト滴画像の予測

サテライトは、発生頻度や発生時のサテライト数やサテライト滴のドット径にバラつきがあるため、実機で再現性の高いサテライト評価の実験を実施することが困難である。そこで、シミュレータにおけるサテライト滴の誤差因子を乱数で与え、サテライト滴が発生した場合の画像を模擬することでサテライト評価に活用した。

Fig.8は実機とシミュレーションの比較結果である。シミュレーション結果については、実機同等の出力が得られるように設定可能な各誤差因子をチューニングしたものである。Fig.8では、左から右に向かってキャリッジが移動しており、キャリッジ走査方向に一定間隔でドットを配置している。実機では主滴の着弾後にサテライト滴が順次着弾、さらにサテライト滴の発生数や着弾位置にバラつきがある。シミュレーション結果は、ドット径の異なる場合においても実機同様のサテライト滴を含む画像を模擬していることが分かる。

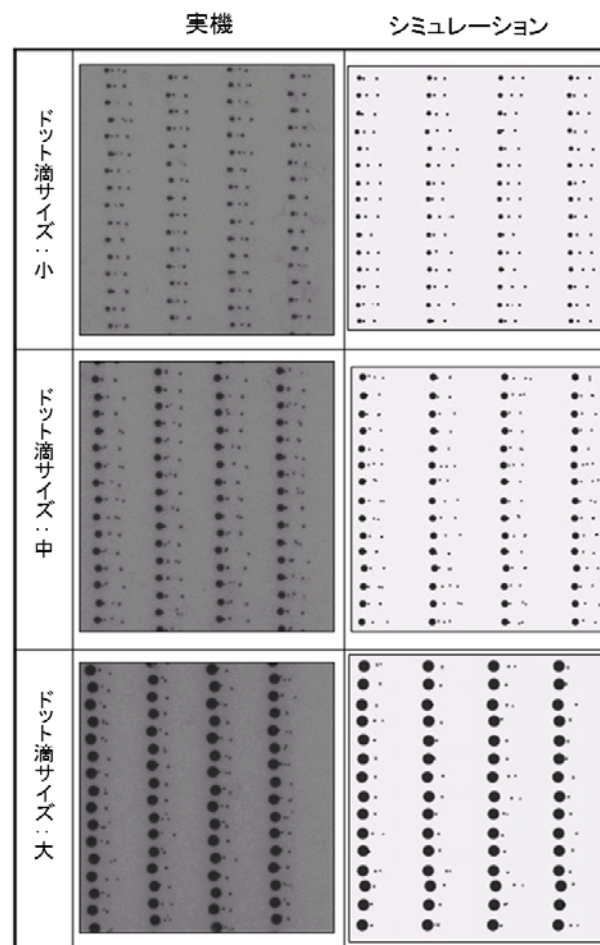


Fig.8 Comparison between print image and simulation image.

#### 3-2-2 サテライト画質予測式

シミュレータにより、サテライト滴が画像に与える影響をデジタルイメージで実機同様に把握することが可能となった。そこで、誤差因子を振ったシミュレーション結果を基に、サテライトの見た目の度合いを数値化する画質予測式を作成した。

まず、サテライト滴の誤差因子を種々に振ったシミュレーションを行い、各条件の画像サンプルを出力する。次に、各サンプル画像の主滴領域を除いたサテライト領域について複数の物理量の測定を実施するとともに、サテライト滴が主滴と離れて着弾した画像の、人が観察した場合に感じる見た目の悪さの度合いを評価する主観評価を実施する。そして、

主観評価結果の順位付け結果を目的変数とし、説明変数となる物理量とその寄与度を重回帰分析によって決定した。

その結果、サテライト滴の大きさ $S_s$ 、サテライト滴の発生数 $N_s$ 、サテライト滴の着弾位置 $P_s$ 、サテライト滴の着弾範囲 $R_s$ が、主観評価結果を説明する物理量として抽出された。ここで、着弾範囲 $R_s$ は、主滴を中心とした基準領域内に含まれるサテライト滴の面積率を示すものである。以下に、各物理量とサテライト画質予測値 $S_p$ の関係を表すサテライト画質予測式を示す。

$$S_p = C_1 S_s + C_2 N_s + C_3 P_s + C_4 R_s + C_5 \quad (1)$$

ここで、 $C_1 \sim C_5$ は、サテライト画質予測式への寄与度を反映させた係数である。また、各物理量の画質予測式への寄与度の大小関係を以下に示す。

$$S_s > N_s > P_s > R_s \quad (2)$$

Fig.9に、サテライト画質予測式と主観評価結果の関係を示す。サテライト画質予測式の予測値 $S_p$ と主観評価結果は、ともに値が高くなるほど見た目が悪いことを示しており、予測値と主観評価結果が高い相関性を有していることが分かる。サテライト画質予測式により、サテライト滴の大きさや発生数などの物理量測定を行うことで、サテライト滴画像に対して人が観察した場合に感じる見た目の悪さの度合いを予測することが可能である。

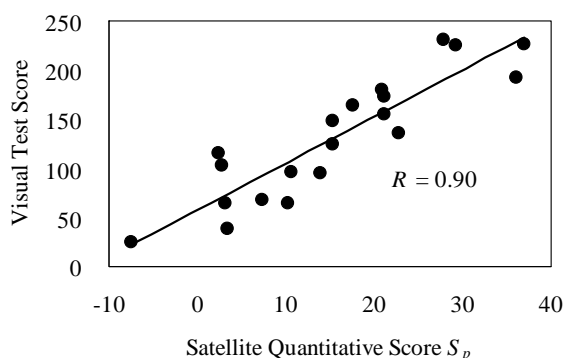


Fig.9 Comparison between satellite quantitative score and visual test score.

### 3-2-3 サテライト画質予測式の応用

サテライト画質予測式を用いて、バーコードの可読性を評価するバーコード評価値との比較を行った。Fig.10はバーコード評価値とサテライト画質予測値の関係を示すものである。バーコード評価値は0~4点の間でバーコード品質を定量化した値であり、数値が小さいほどバーコード品質が悪い。Fig.10より、サテライト画質予測値が高くなる、つまり見た目が悪くなるにつれ、バーコード品質が悪化することが分かる。また、サテライト画質予測値が小さい領域において、バーコード品質に対するサテライトの影響は小さいことが分かる。サテライト画質予測式はサテライトによる見た目の悪さだけでなく、バーコード品質を予測することも可能である。

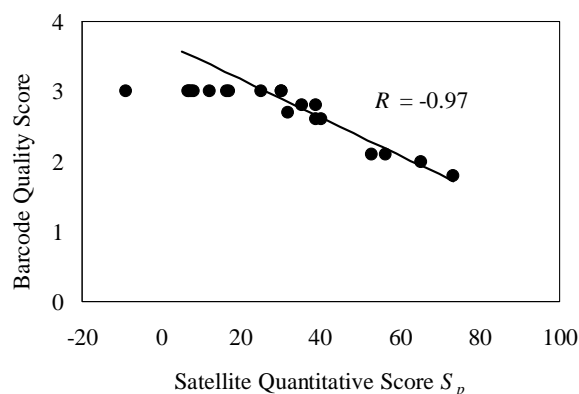


Fig.10 Comparison between satellite quantitative score and barcode quality score.

## 4. 結論と今後の展望

本稿では、インクジェットプリンタにおいて、着弾精度や紙の搬送精度が画像に与える影響をデジタルイメージで再現可能なインクジェット画像予測シミュレータを活用した画質予測手法を紹介した。シミュレータの活用により、実機を用いずに公差配分を検討することが可能になった。また、実機において出力の再現が困難であったサテライト滴画像をシミュレータで再現し、サテライト評価を行った。そ



の結果、サテライトを定量評価できる画質予測式を新たに提案、画質予測式は見た目の悪さとバーコード品質が予測できることを明らかにした。これらの画質予測手法において、評価期間を大幅に削減することができた。今後は、サテライト以外のインクジェット課題の定量評価への活用、飛翔挙動などのインクジェットシミュレーションとの連成が課題である。

## 参考文献

- 1) 藤井雅彦ほか: 第2章 プリントヘッド技術 2.2.7 ピエゾインクジェットのシミュレーション, インクジェット「デジタルプリント技術」, 東京電機大学出版局, pp.75-78 (2008).
- 2) 西泰男ほか: プリンテッドエレクトロニクス用途のペンダタイプ新インクジェットヘッド開発, *KONICA MINOLTA TECHNOLOGY REPORT VOL.10*, pp.114-117 (2013).
- 3) 中澤雄祐ほか: デジタルインクジェット印刷機「JetPress720」の開発, *FUJIFILM RESEARCH & DEVELOPMENT (No.57)*, pp.27-32 (2012).
- 4) 中村敦ほか: インクジェットの液滴飛翔に関する数値シミュレーション-用紙送り速度の影響, 日本機械学会関東支部第11期総会講演会講演論文集, pp.289-290 (2005).
- 5) 小野克彦ほか: 高速連帳インクジェットにおけるインク滴着弾挙動の検討, *Imaging Conference JAPAN 2013 論文集*, pp.133-136 (2013).
- 6) 渡辺裕幸ほか: 粒子法による微小液滴の合一, 濡れ挙動シミュレーション, *Imaging Conference JAPAN 2013 論文集*, pp.149-152 (2013).
- 7) 朽名英明: 潤滑近似に基づくインクジェット画像形成のシミュレーション, *Imaging Conference JAPAN 2013 論文集*, pp.153-156 (2013).
- 8) 根本佳実ほか: IJ画質予測シミュレータを用いたサテライト定量化技術, *Imaging Conference JAPAN 2012 論文集*, pp.89-91 (2012).