

印刷技術懇談会 2022年9月度例会(第504回)

『いまさら聞けないインクジェットの世界』

- ヘッド・インク・システムから最新技術まで -

中島 一浩氏 (Kz project 代表、関西学院大学 経営戦略研究科 客員教授)

- 日時：2022年9月9日 18:30~20:00 (参加者 26名 (内 Zoom 11名))
- 場所：東京ウィメンズプラザ 第一会議室
- 講演要旨

今回は「いまさら聞けない・・・」シリーズの第3弾で、「インクジェット」をテーマに取り上げ、元キヤノン(株) インクジェットコンポーネント開発センター主席で、現在は関西学院大学 経営戦略研究科 客員教授の中島一浩氏にご講演をいただいた。全体構成としては、前半が「インクジェットの基礎の基礎」ということでインクの飛ばし方の2つの方法(ピエゾ方式とサーマル方式)についての説明があり、後半は「開発の裏話(舞台裏)」という構成だった。以下が講演の骨子である。

✓ **インクジェットの基礎の基礎**

- インクジェットのスケール感
- インクジェットの飛ばし方(2つの方式とその比較)

✓ **サーマル方式のインクジェット発明の舞台裏**

- はんだごとと注射器
- ライデンフロスト効果
- 発明の同時性
- サーマル方式の進化と FINE 技術

✓ **FINE 技術誕生から製品化までの開発の舞台裏**

- FINE 技術誕生のプロセス
- FINE 製品化までの道のり



今回の講演は「インクジェットのスケール感」のお話から始まった。まことに興味深い内容で、ひとつのプリンターには数千個以上のノズルがあり、それぞれのノズルから、1秒間に数万個のインク滴が吐出され、そのインク滴の径は最小 13 μ m という。そして、その液滴は1万分の1秒で用紙の上に着弾する。聴講者は、驚きを感じながら、プリンターの筐体の中では、極小のインク滴があたかも雨のように降り注いでいるCG的なイメージを持ったのではないだろうか。同時に、インクジェットの世界が、いかに微細、且つ高精度な制御が求められている領域かという事も理解できた。

講演の後半「舞台裏」の話では、中島氏の「着想」が特許出願へと至り、競合他社(エプソン社)の開発動向に揺さぶられながら(エプソンショック)、社内の大論争を経て、キヤノンの FINE という新世代の製品(技術ブランド)へと収斂していく様子が語られた。これはまさに「**技術開発史**」そのものである。

また、中島氏は、「**セレンディピティ(Serendipity)**」という言葉が何度か使われた。「はんだごとと注射器」のストーリーは、偶然に幸運をつかんだように見えてはいるものの、それは研究者自身の思い、感度、センスそして時間的要素などが重層的に重なって生まれた結果でもあろう。「偶然」が「必然」を孕みながら、「着想」につながり、厳しく揉まれて、ようやくほんの一握りのアイデアが、商品というステージに立つことができるという事を我々は知っている。

聴講後、筆者は、しばらくして、あるオフィスのデスク上のプリンターに、「FINE」というラベルが貼付されていることに気がついた。なるほど、このプリンターには、今回聞いた技術が搭載されており、中島氏の貢献の結果はこんなところにもあったかと改めて認識したのである。

.....以下、メモ.....

■ 中島一浩氏の略歴

- ✓ 1960年 生まれ。長野県上水内郡出身
- ✓ 1982年 東北大学 理学部 物理学科卒業
- ✓ 1984年 東北大学大学院 理学研究科修了(生物物理学)

ビジネスにおいては主に画像に関する技術領域、特にインクジェット技術を中心にプリンターやカメラの技術に従事

プリンター—筋 38年。うちインクジェット 33年

- ✓ 1984年～1985年 富士ゼロックス勤務
- ✓ 1985年～2020年 キヤノン株式会社 インクジェット事業本部勤務
インクジェットコンポーネント開発センター主席

- ✓ 2007年度(H19年度) 全国発明表彰における「**発明賞**」受賞 (by 社団法人 発明協会)
 - 「微細なインク滴を吐出させるインクジェットの発明」

- ✓ 現在
 - 横浜市鶴見区在住
 - Kz project 代表
 - 関西学院大学 経営戦略研究科 客員教授
 - ものづくり技術コンサルタント
 - 教育活動の一環として、子供たちむけ理科実験教室などで教える。
 - 学会活動 (インクジェット技術部会、企画委員会など)
 - <https://www.facebook.com/nakajima.kaz>

■ インクジェット関連の執筆

- ✓ 日本画像学会編 「改訂 インクジェット」 (教科書的な本)
 - 第2章 プリントヘッド
 - 2.1 サーマルインクジェット
- ✓ 日経バイト編 「ハードウェアの匠」 (技術の裏話集)
 - 中島一浩のインクジェットプリンター論

.....インクジェットの基礎の基礎.....

■ インクジェットのスケール感

- ✓ 1つのプリンターには数千個以上のノズル
- ✓ 1つのノズルから1秒間に数万個のインク滴が吐出
- ✓ ノズルから飛び出したインク滴は1万分の1秒で紙に着弾

- ✓ 1pL インク滴径：13 μ m
- ✓ 吐出口直径：9 μ m
- ✓ 比較
 - 人の赤血球の直径：約8 μ m
 - スギ花粉の直径：約30 μ m

1pL について

- ・ pL = 「ピコリットル」
- ・ 1兆分の1L
- ・ 1pL = 10^{-12} L
- ・ それぞれの辺が10 μ mの立方体の体積



■ 「空気との戦い」

- ✓ 数千個ある1個1個のノズルから、滴径13 μ mのインクが、約1mmの距離がある用紙まで飛ばされる。
- ✓ 「横風」を沢山受ける環境下にある。
 - 紙は常に走っている。
 - ノズルは常に動いている。

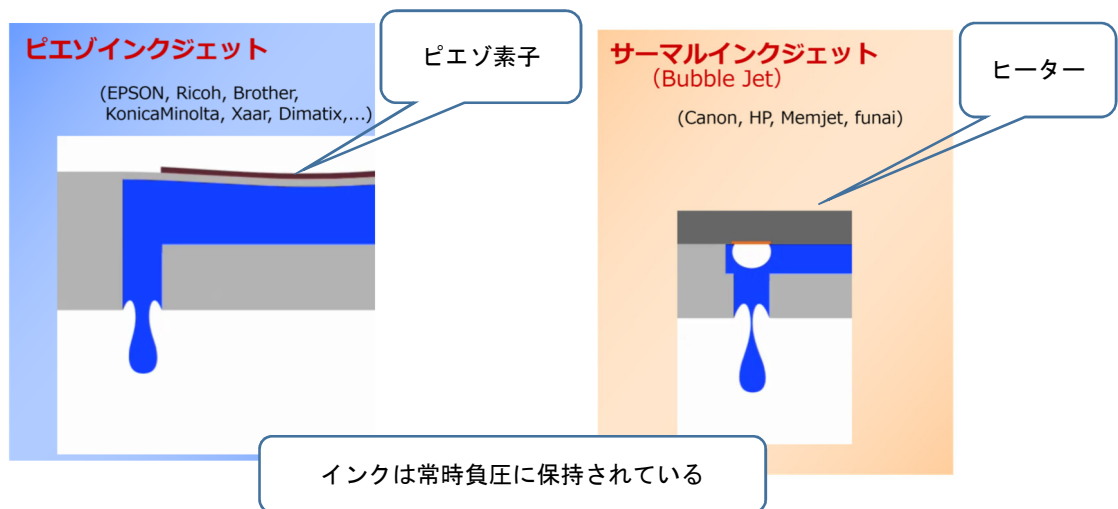
■ インクジェットの飛ばし方 (2つの方式)

✓ ピエゾ方式

- EPSON、RICOH、Brother、KonicaMinolta、Xaar、Dimatix
- ピエゾ素子に電圧をかけると伸縮する性質によるインクの吐出

✓ サーマル方式

- 「バブルジェット」方式とも呼ばれる。
- Canon、HP、Memjet、funai
- ヒーターによりインクの中に泡ができ、水分が爆発的沸騰をしてインクを吐出



■ ピエゾ方式

✓ ピエゾ(圧電)素子の特徴

- 電圧をかけると伸縮する性質を持っている。
- スマホの中にも使用されている。(マイク、スピーカーなど)

✓ ピエゾ(圧電)素子の本質的課題

- 変形量が極めて小さい。(1/10,000 程度)
- 素子の大きさ (長さ、広さ) が必要

✓ [実例] セイコー エプソンの PrecisionCore 技術

■ サーマルインクジェットのインク吐出原理

- ✓ 瞬間的に通電すると $1\mu\text{s}$ 程度でヒーターの表面は 600°C 以上に達し、爆発的に気化する。(膜沸騰)
- ✓ 膜沸騰とは火山の水蒸気爆発と同じ原理 (マグマ+水)
- ✓ 発泡圧力は 10MPa (約 100 気圧)にも達する。
- ✓ 気泡は $10\sim 20\mu\text{s}$ で消滅

サーマルインクジェットのインク吐出原理

瞬間的に通電すると 1 μ s程度でヒータ表面は数100 $^{\circ}$ Cに達し、爆発的に気化。発泡圧力は10MPa (約100気圧) にも達する。気泡は10~20 μ sで消滅。



■ 吐出方式の原理的な違い

	ピエゾ方式	サーマル方式 (バブルジェット方式)
	エプソン、リコー、ブラザー、コニカミノルタ など	キヤノン、HP など
吐出のメカニズム	ピエゾ(圧電)素子の変形	ヒーターによるインクの「膜沸騰」
	ノズル内のインクの《共振》を利用して吐出	強い撃力で吐出
滴分離のメカニズム	メカニカス振動+駆動信号による振動版の拡張変形	真空の泡の収縮によるメカニカス後退
最大発生圧力	~1MPa (約 10 気圧)	~10MPa (約 100 気圧)
インク運動性業	電圧制御で押し引き自在	発泡 ⇒ 加圧のみ 気泡収縮 ⇒ 引き
素子面積	大 (変形量微小)	小 (気泡により運動自由度大)

サーマル方式のインクジェット発明の舞台裏

■ はんだごてと注射器

✓ 1970年代のエピソード

➢ キヤノンの実験室ではピエゾ(圧電)素子の変形を利用してインクを飛ばす方式(ピエゾ方式)の実用化を目指していた。

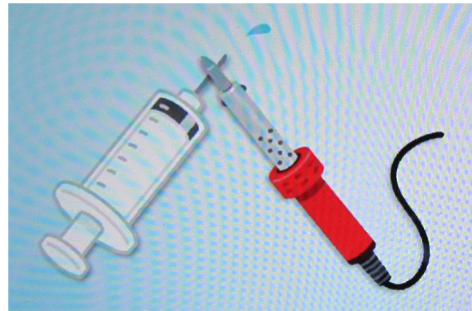
(1970年代 ⇒ PCなし、インターネットなし、コピー機がやっと普及し始めた。)

➢ セレンディピティ(Serendipity 幸運な偶然を手に入れる力)

◇ はんだごてに触れた注射器の先から
インクが飛び出した。

◇ 何回やってもインクは勢いよく飛ぶ。

◇ このふとした偶然を見逃さなかった
キヤノンの技術者のから「バブル
ジェット」は誕生した。



■ キヤノンにおける「ピエゾ方式」に対する懐疑論の存在

✓ ピエゾ方式は加工しにくい。

✓ 複雑な構造(セラミックスで 1,300°Cで焼成必要)

✓ ノズルには固い材料が必要

✓ 量産化が難しい。

■ 水の沸騰現象

✓ 2種類の沸騰

➢ **膜沸騰 (film boiling)**

◇ 液体と加熱面との間に蒸気膜が介在し、加熱面から蒸気膜を通して伝えられる熱により蒸気膜に蒸発が起こる沸騰モード

➢ **核沸騰 (nucleate boiling)**

◇ 加熱面と直に接する液体が気泡生成を伴いながら沸騰する形態

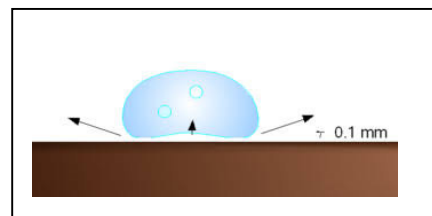
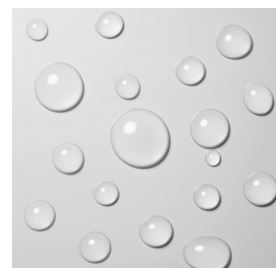
◇ やかんでお湯を沸かすとき

■ ライデンフロスト効果 (Leidenfrost effect)

✓ 液体を、その沸点よりもはるかに熱く熱した金属板などの高温個体に滴下すると、蒸気気体の

層が液体の下に生じて熱伝導を阻害するために、液体が瞬時に蒸発してしまうのを妨げる効果の事 (ウィキペディアより)

- ✓ 「膜沸騰」の現象として古くから知られていた。
- ✓ 熱は水に伝わりにくくなり、コロコロ転がる。
- ✓ インクジェットへの応用
 - 狭い中に詰め込んでおけば、蒸気の爆発力で飛ぶのではないか。
 - これをインクジェットに使ったのが「サーマル方式」



■ 「発明の同時性」と特許の問題

(サーマルインクジェットの発明)

- ✓ 1977年9月30日 リコーが特許出願 ⇒ **結果 X**
 - 特許出願の中に「冷却手段が必要」との記載有り。
- ✓ 1977年10月3日 キヤノンが特許出願 (リコーの出願後3日後) ⇒ **結果◎**
 - 膜沸騰ならば冷却装置は不要。
 - 膜沸騰は真空の泡なのですぐに消える。
 - 「匿名第三者審査請求」という手段でリコーの特許を確定させるという荒業も…
- ✓ 1978年6月12日 エプソンが特許出願 (キヤノンの出願後、約9ヶ月後) ⇒ **結果○**
 - 先行のリコーやキヤノンにない要素があった。
 - ◇ 「共通の基板の上に、ノズルを多数配列する」
- ✓ キヤノンとエプソンは「クロスライセンス」をせざるを得なかった。

■ キヤノンとヒューレット パッカード(HP)の技術交流

- ✓ HP は独自にサーマル方式のインクジェットを開発していたが、全くの新技術なので製品化に難航していた。
- ✓ HP とキヤノンの技術交流が始まり、両者とも一気に実用化に向けて加速した。
- ✓ キヤノン、HP それぞれ単独ではサーマル方式のインクジェットは実現できなかったかもしれない。
- ✓ 全く新しい技術は1社ではやりきれないかもしれない。

..... FINE の技術開発とその舞台裏

■ FINE の技術

- ✓ Full-photolithography Inkjet Nozzle Engineering
- ✓ 1pL 級の極小インク滴をばらつきなく安定して飛ばすためにキヤノンの技術を結集して開

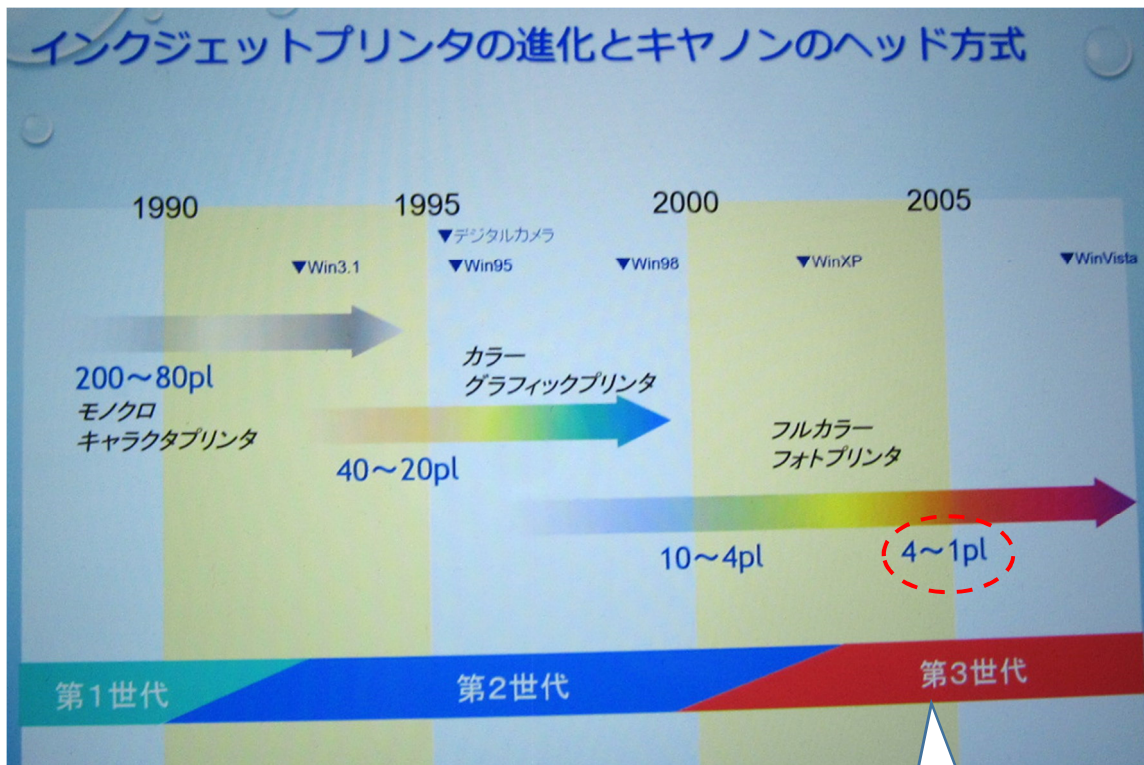
発した革新的ヘッド技術

- ✓ 1999 年から実用化
- ✓ 現在はすべてのキヤノンのインクジェット製品に採用

■ 従来技術との比較

	FINE	従来技術
インク滴サイズ	常に一定	ばらつきやすい
吐出速度	高速化に対応	速度の制約大きい
ヘッドの製造方法	ノズル寸法の必要精度 1/10,000mm ⇒ 光学を利用して加工	

■ インクジェットプリンターの進化とキヤノンのヘッド方式

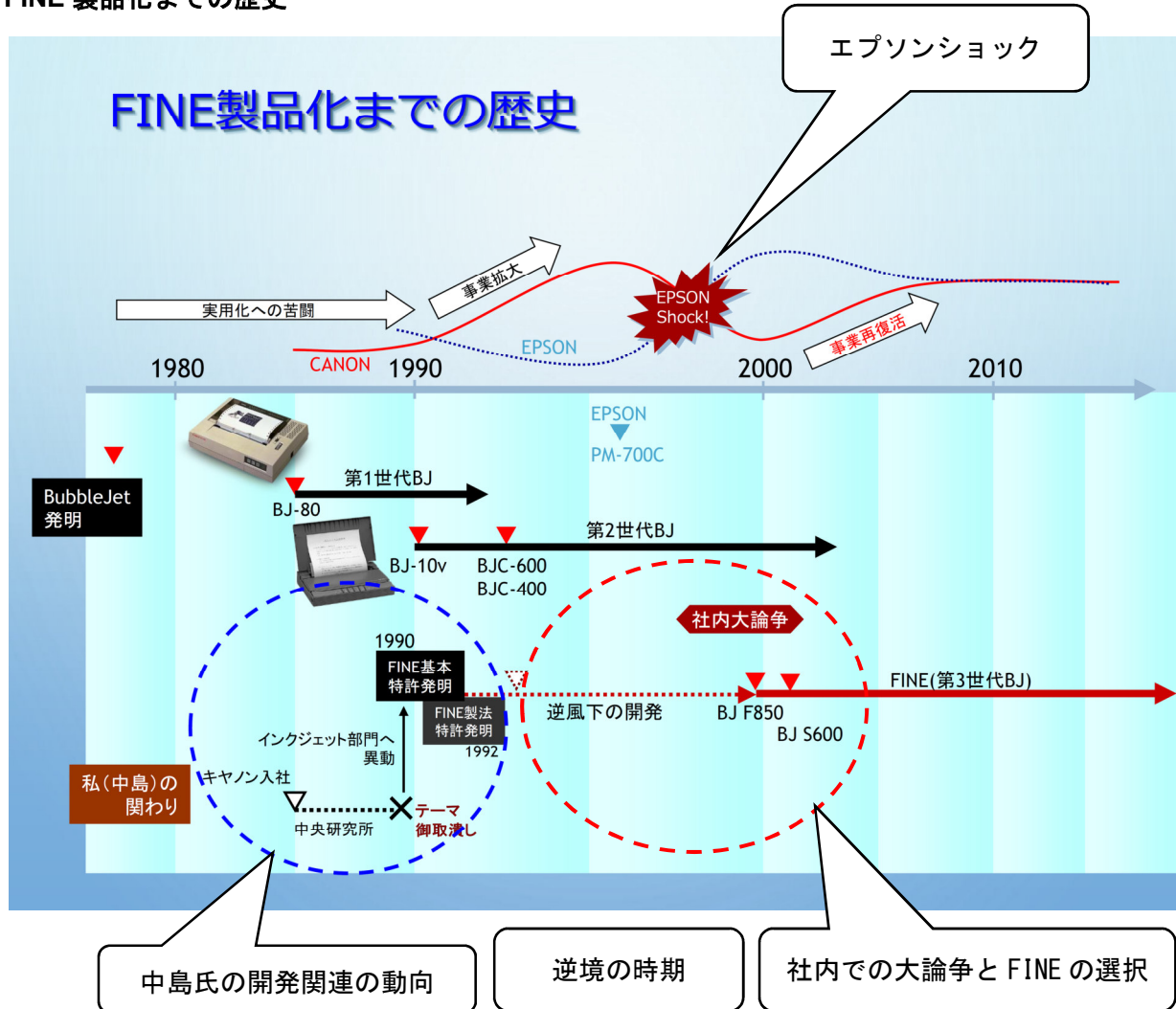


✓ 新たなニーズとターゲット

- 「写真プリント」が美しくできる事
 - ✧ インク滴を小さくしなければいけない。
 - ✧ 「膜沸騰」の爆発力には必ずゆらぎがある。(熱現象の必然)
 - ✧ 従来のサーマル方式ではきれいな写真が再現できない。
- ターゲット
 - ✧ 「ゆらがないインクジェット」の開発

FINE の技術

■ FINE 製品化までの歴史



✓ 中島氏の開発関連の動向

- 中央研究所で熱転写技術の開発
- 1989年 インクジェット部門への移動
- 1990年 **FINEの基本特許**(発明)
- 1992年 **FINEの製法特許**(発明)

✓ 中島氏のFINE開発に向けての取組

- 「インク滴飛翔観察装置」での観察とひらめき
- 「スーパーコンピューターと流体シミュレーター」導入と活用

✓ 中島氏のアイデアの特許化での工夫

- ノズルの寸法や飛ばし方をそのままクレームにしても新規性や進歩性は訴えられない。
- インクではなく気泡の挙動に注目
- クレーム内容
 - ◇ 「・・・気泡の内圧が外気圧よりも低い条件で気泡を外気と連通させて液体を吐出することを特徴とする液体吐出方法。」

- ✓ 社内での大論争の期間 (2 年間)
 - エプソンが PM-700C で「フォトコンセプト」(写真再現)を打ち出す。
 - 時代の変わり目
 - ◇ Windows 95 のリリース
 - ◇ デジカメの普及
 - ◇ インターネットの登場
 - 論争と選択と結論
 - ◇ 他社に新技術で追い越された時どうするか？
 - ◇ 「従来技術の改良」 vs. 「新技術に賭けるか？」の二者択一
 - ◇ 社内を二分する大論争の拳句、FINE を搭載したプリンターを発売
 - ◇ これが起死回生の大ヒット
 - ◇ ⇒ これが**最終の結論**となる。

..... まとめ

■ 研究開発に対する中島氏の考え

- ✓ イノベーションに必要な 4 つの力
 - 「気づく力」
 - ◇ 脱・常識
 - 「夢を描く力」
 - ◇ 夢はとことんリアルに描く。
 - ◇ 夢は変わっても構わない。
 - 「語る力」
 - ◇ コミュニケーション力
 - ◇ 発信しなければ何も起こらない。
 - ◇ 「説明」ではなく「思い」を伝える。
 - ◇ 仲間を作る力
 - 「へこたれない力」
 - ◇ 提案して多くの人が賛成するものはすでに革新的ではない。
- ✓ 座右の銘
 - 子曰 **知之者不如好之者 好之者不如樂之者**