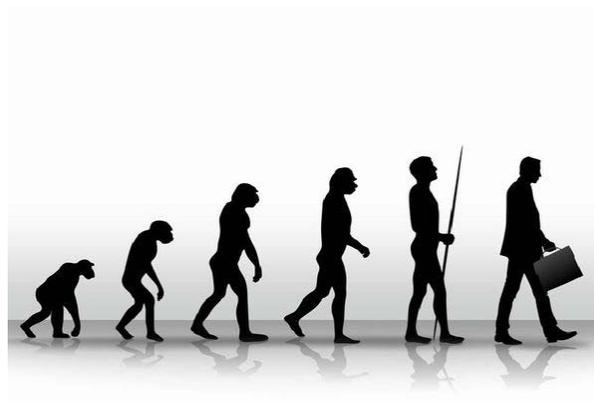


Evolution Theory of Ink Jet Technologies

インクジェット技術進化論

- Progress by Component or Architectural Knowledge

コンポーネントな知とアーキテクチャルな知による進化



Masahiko FUJII

藤井 雅彦

Marking Technology Laboratory

マーキング技術研究所

Fuji Xerox Co., Ltd.

富士ゼロックス株式会社

Involvement in Ink Jet インクジェットとの関わり

富士ゼロックス

1985

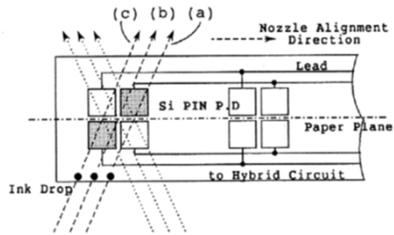
1990

2004 2005

2008

2018

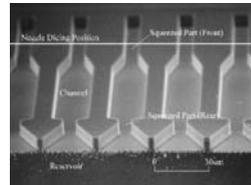
Continuous Ink Jet



Single Drop Detector

M. Fujii, *Optical Drop Sensor of Continuous Ink Jet Printer*, 19th Imaging Technology Conference, 1988

Thermal Ink Jet



800dpi MEMS Printhead

M. Fujii, *New Thermal Ink Jet Printhead with Improved Energy Efficiency Using Silicon Reactive Ion Etching*, The Journal of Imaging Science and Technology, Vol. 43, No. 4, 1999

Applications of Ink Jet



Micro-Lens Array

M. Fujii, *Issues and Approaches Imposed on Ink Jet for The Progress of Printed Electronics*, Transactions on The Japan Institute of Electronics Packaging Vol. 3, No. 1, 2010

3D Printing (Ink Jet)

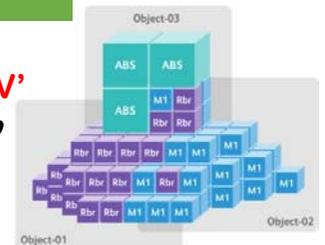


High Quality 3D Printer

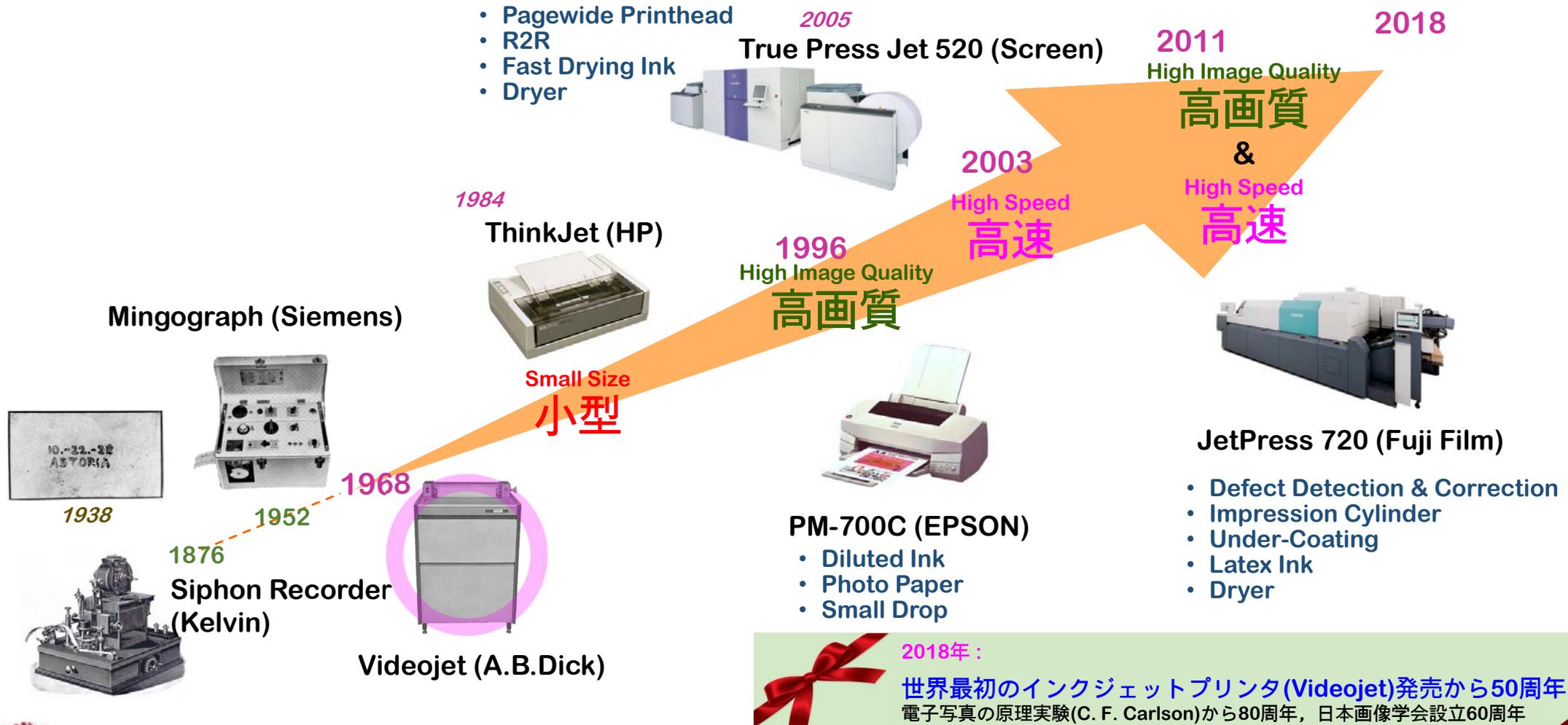
3D Data Handling

Voxel-Based 3D Data Format 'FAV'

T. Takahashi & M. Fujii, *Unrestricted 3D Structure Modeling and Seamless Data Flow to 3D Printers Using Voxel-based Data Format FAV (Fab-able Voxel)*, IS&T's NIP32, 2016



Macro-Trend of Ink Jet Printer インクジェットプリンタのマクロトレンド



2018年 :
世界最初のインクジェットプリンタ (Videojet) 発売から50周年
電子写真の原理実験 (C. F. Carlson) から80周年, 日本画像学会設立60周年

インクジェットとは

色材，機能材料を含む液体(インク)を液滴に分離し，

and

画像信号(プリント信号)に応じて，記録対象(メディア)に向けて吐出し，

then

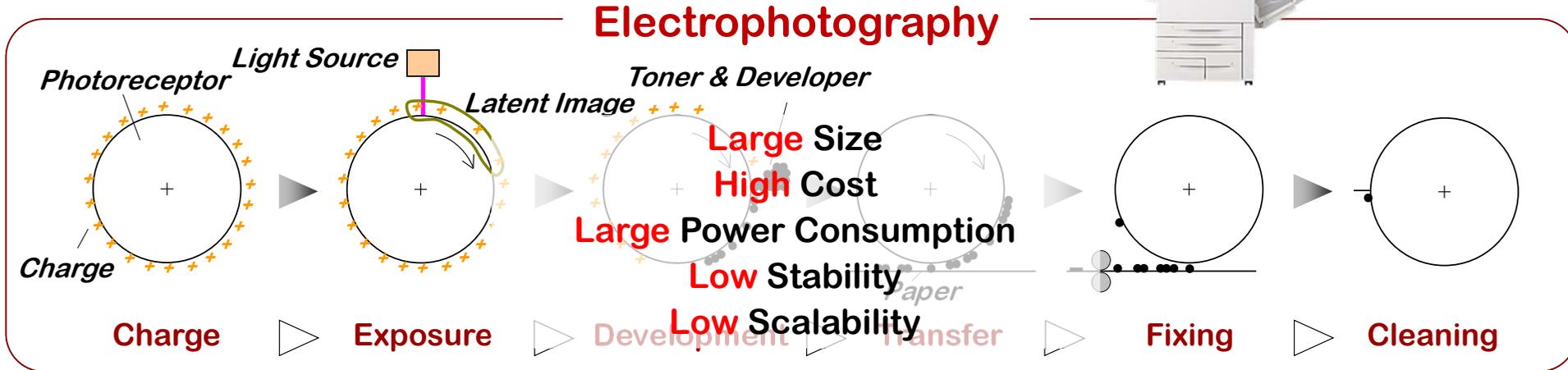
色材・機能材料を対象物(メディア)に付着，伝達させるマーキング方式。

- ✓ 技術の定義をすることは，発明を特定するだけでなく，技術の応用展開を考える上で重要。
- ✓ インクジェットは，単にプリンタを実現するための技術ではない。



藤井監修，インクジェット技術部会
委員他執筆 (2008, 2018)

電子写真とインクジェットのマーキングプロセス



Possibility & Limitation of Ink Jet インクジェットの可能性と限界

Ink Jet Marking Process is Simple.

インクジェットプロセスはシンプル

High Applicability to Various Applications
様々な応用展開可能性の高さ



Marking Process is Achieved Only by Interactions
between Ink And Media.
マーキングプロセスがインクと紙の総
合作用のみで実現される



Challenge
挑戦

- ✓ シンプルなマーキングプロセスは、応用展開性の高さと、限界の2つの側面を持つ。
- ✓ この2つの側面が、インクジェット技術進化論のベースになっている。

機能集中型進化 (CFP)

Simple Process
シンプルなプロセス

Circumjacent
Technologies

Ink Supply

Maintenance

System

Image Processing
Dot Placement



Key Components

Printhead

Ink
(Functional Liquid)

Paper
(Media)

Printer's Prime Performances
プリンタの基本性能

Image Quality
画質

Print Speed
プリント速度

Drop Volume

Firing Frequency

Nozzle Resolution

Nozzle Number

Ink Latitude

Robustness

Directionality

Penetrability

Penetrability

Multi-Color

Color Reproduction

Absorbability

Absorption Speed

Circularity

Gloss Control

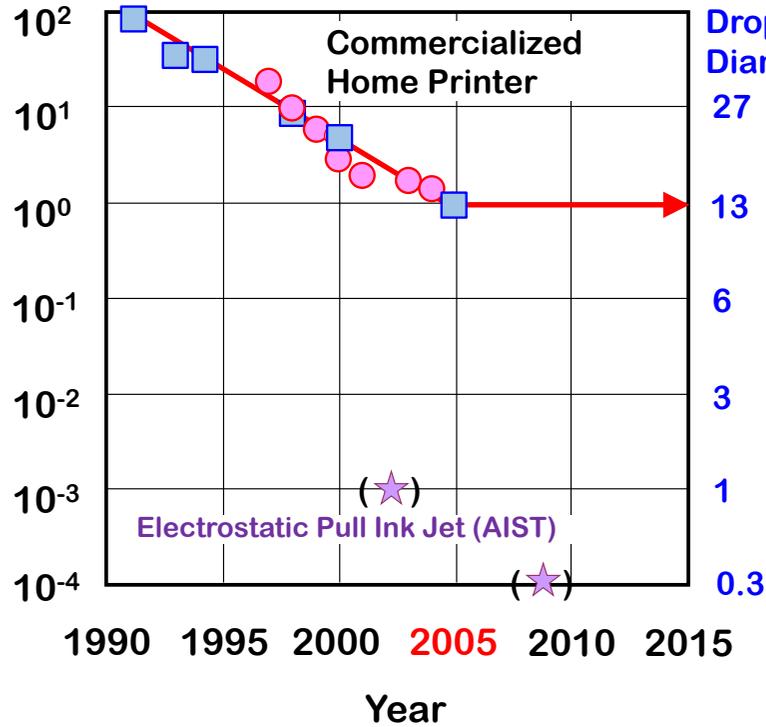
機能集中型進化 (Concentrating Functions Progress (CFP))

インクジェットのシンプルなマーキングプロセスを維持

プリンタ(システム)の性能向上は、それぞれのキーコンポーネントの性能向上に支えられてきた。

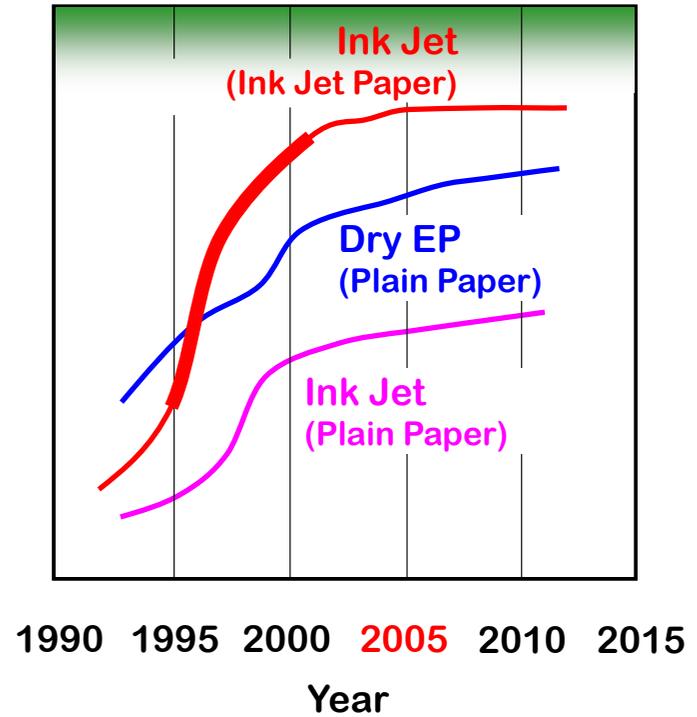


Minimum Ink Drop Volume (pl)

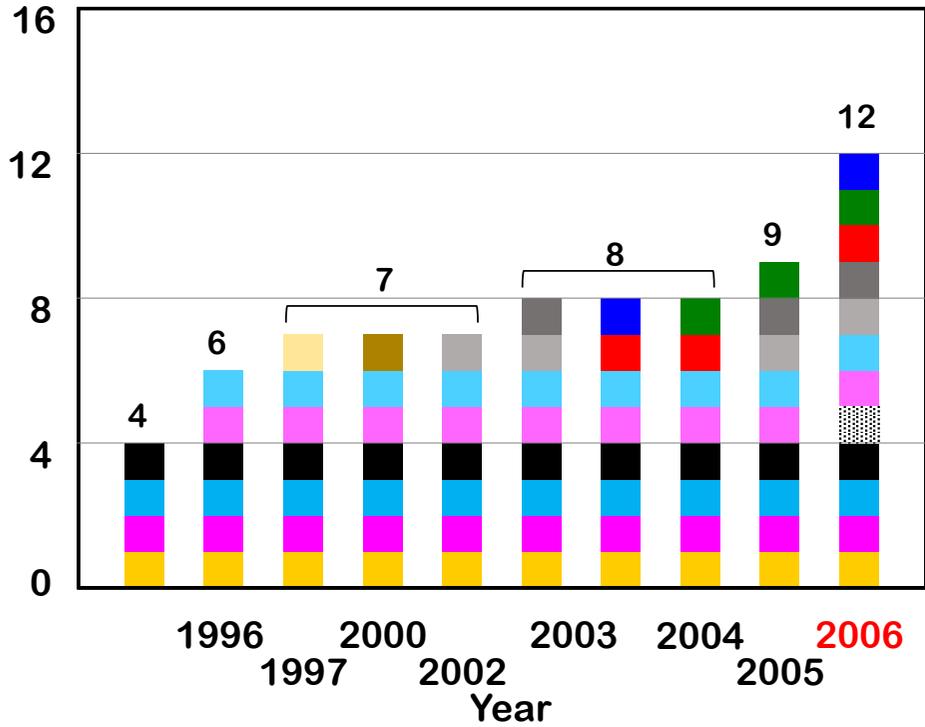


(Image Quality Quantified from Visual Aspect)

Sensory Evaluation Score for Image Quality

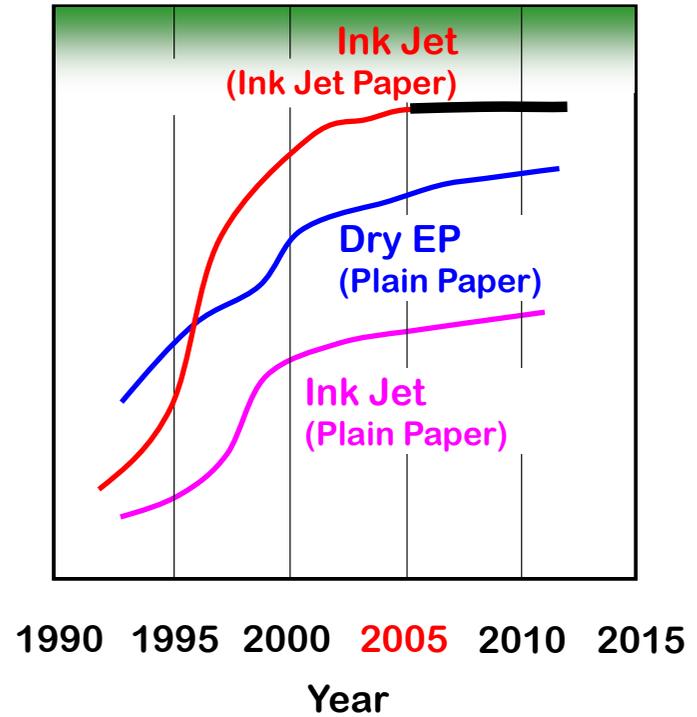


Number of Ink Color



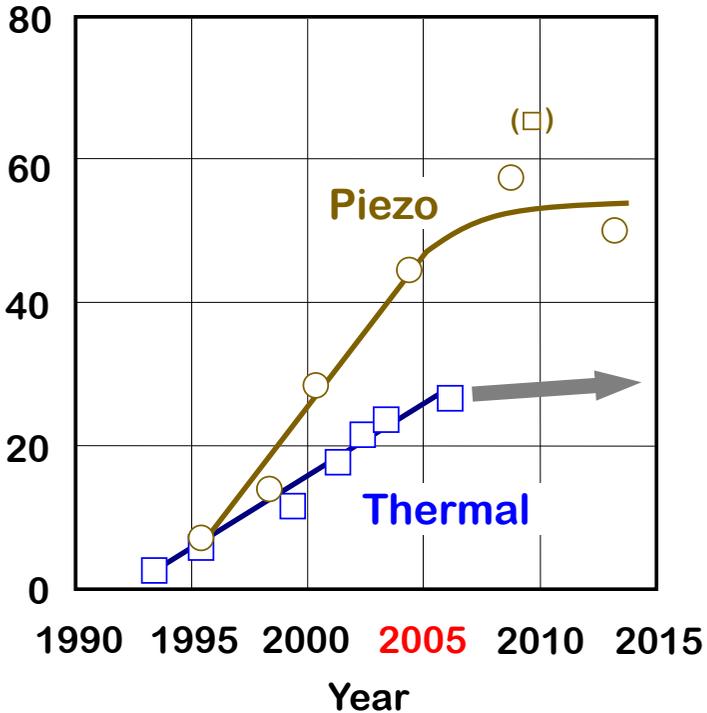
(Image Quality Quantified from Visual Aspect)

Sensory Evaluation Score for Image Quality



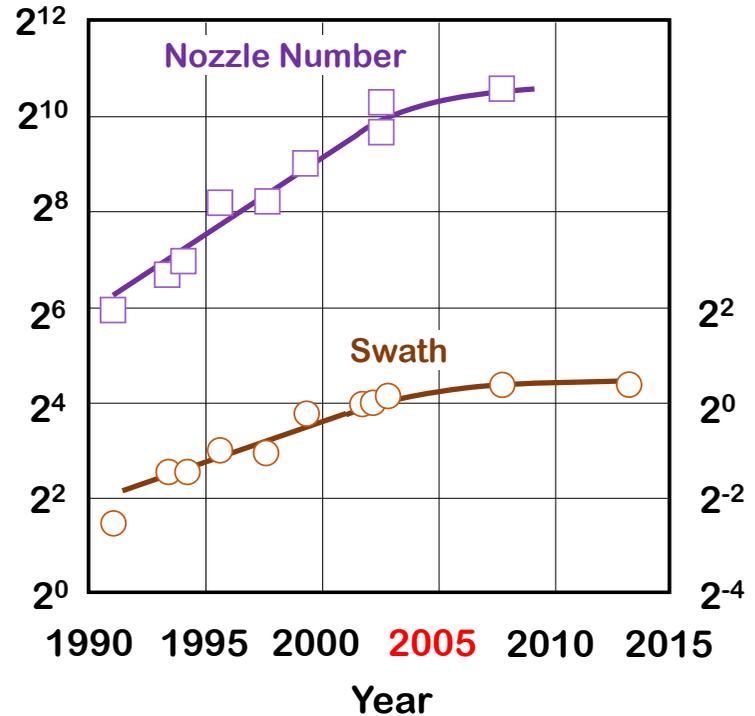
$$\text{Speed Factor} = \frac{\text{Frequency} * \text{Nozzle Number} * \text{Swath}}{\text{Multi-Path} * \text{Resolution} * \text{Print Direction}} - \text{Maintenance - Others}$$

Firing Frequency (kHz)



Nozzle Number

Swath (inch)



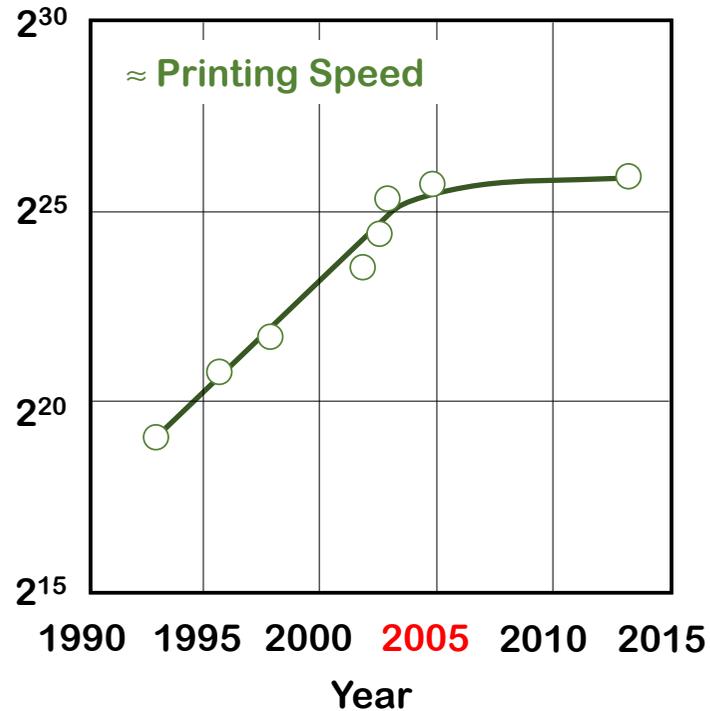
Speed Factor (Print Speed)

Speed Factor (プリント速度)

≈ Printing Speed

$$\text{Speed Factor} = \frac{\text{Frequency} * \text{Nozzle Number}}{\text{Multi-Path} * \text{Resolution} * \text{Print Direction}} - \text{Maintenance} - \text{Others}$$

Firing Drop Number (/sec)



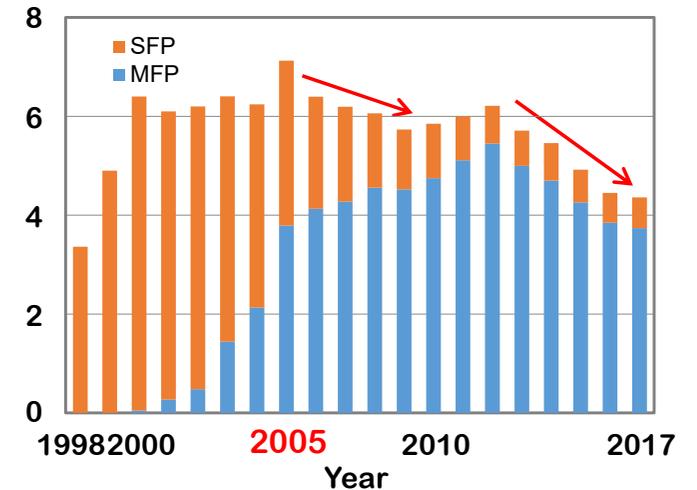
Until 2005

Tilt : 2^{0.5} = Moore's Law
(2年で2倍)

コンシューマー製品における機能集中型進化の終焉

- キーコンポーネントの性能向上はほぼ飽和しており、それにともないプリンタの基本性能(画質, プリント速度)の向上も2005年以降鈍化している。
- もし, コンシューマ市場向けの新規技術開発が止まってしまったら, 消費者は困るだろうか? 困る消費者はいないのではないか。
- インクジェットの技術開発を止めても良いと言っているのではない。

Shipment (M)



Volume of Ink Jet Printer Shipment in Japan

- インクジェットの技術進化は止まる? いいえ, 止まらない!
- 機能集中型進化は異なる性能軸(要求特性)を持つ別な市場からまだ要求されている.
例えば(コンシューマー市場ではない)デジタルファブリケーション[DF]市場.

機能集中型進化(CFP)がインクジェットにおいて唯一のアプローチなのか?

- 高い課題を持った新規インクジェット市場では, 新しいインクジェットの技術進化(形態)が求められている.
- 高い課題を持った新規インクジェット市場の1つが商業印刷市場であり, 新しい技術進化形態が機能分担型進化(SFP)である.

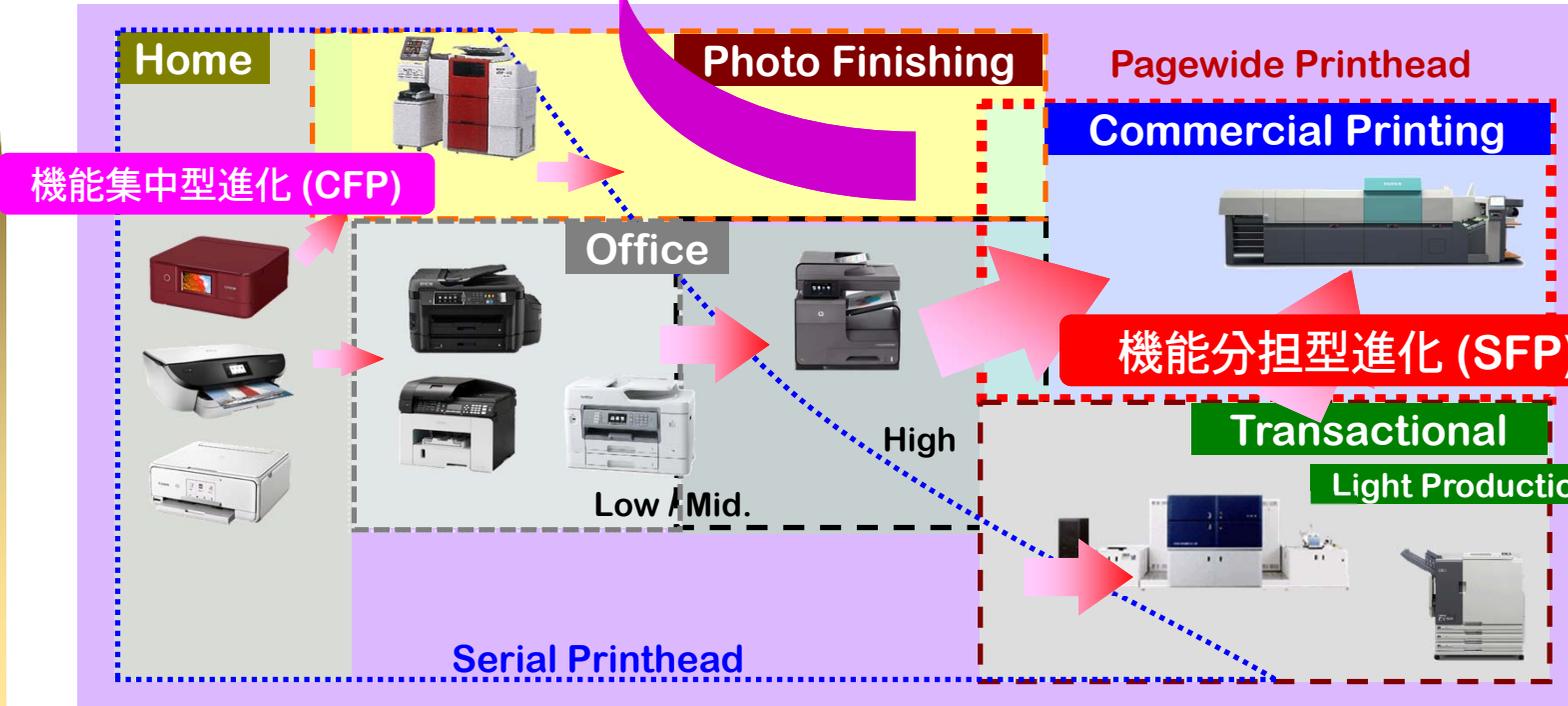
Plane View of Ink Jet Market
 インクジェット市場の俯瞰図



Digital Fabrication

Image Quality
 画質

機能集中型進化 (CFP)



機能集中型進化 (CFP)

機能分担型進化 (SFP)

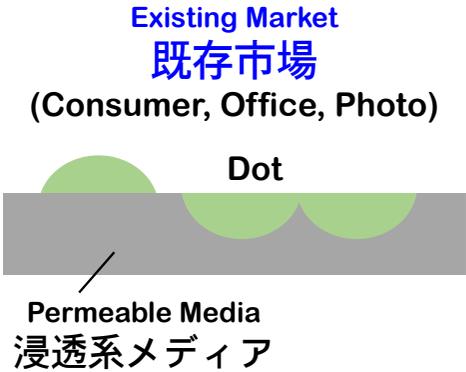
→ : Technical Difficulties to Overcome Boundary

Print Speed
 プリント速度

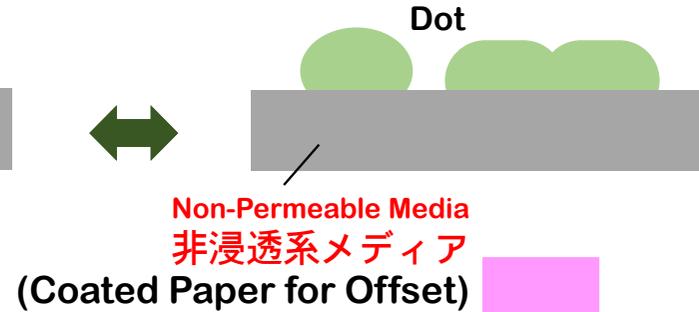
Serious Issues in Commercial Printing Market 商用印刷市場における重大な課題



Ink Jet Media



Commercial Printing Market 商業印刷市場



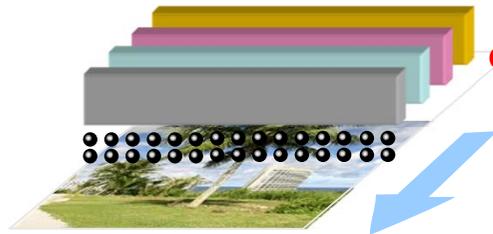
Offset Coated Paper

Image Forming On Non-Permeable Media
非浸透メディア上での画像形成



Challenge

No Multi-Pass



Line Printer : One Pass Process

Compatibility of High Speed & High Image Quality
高速と高画質の両立

新しい技術進化形態
(プリントヘッドやインクだけに
課題を負わせない)

機能分担型進化
Sharing Functions Progress (SFP)

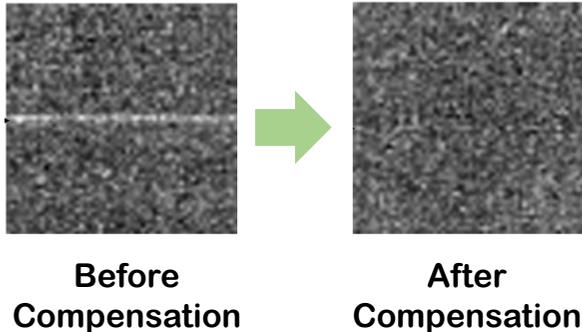
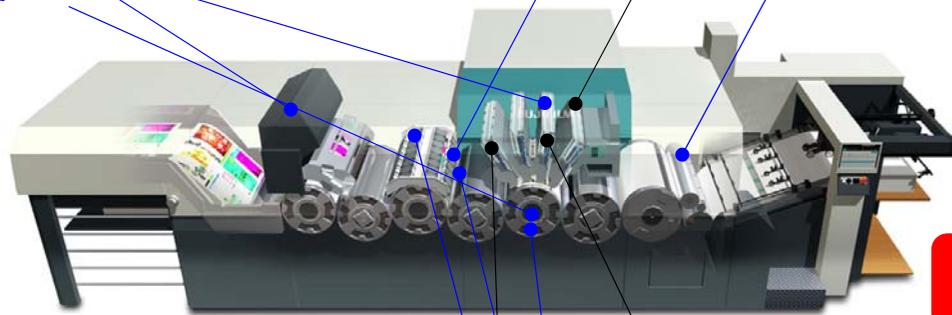
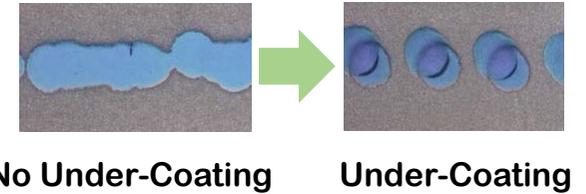
機能分担型進化 (SFP)

One Pass Image Quality for Commercial Printing
商業印刷に対するワンパスでの画質

- Defect Detection
- Defect Compensation
- Impression Cylinder

Image Forming On Non-Permeable Media
非浸透メディア上での画像形成

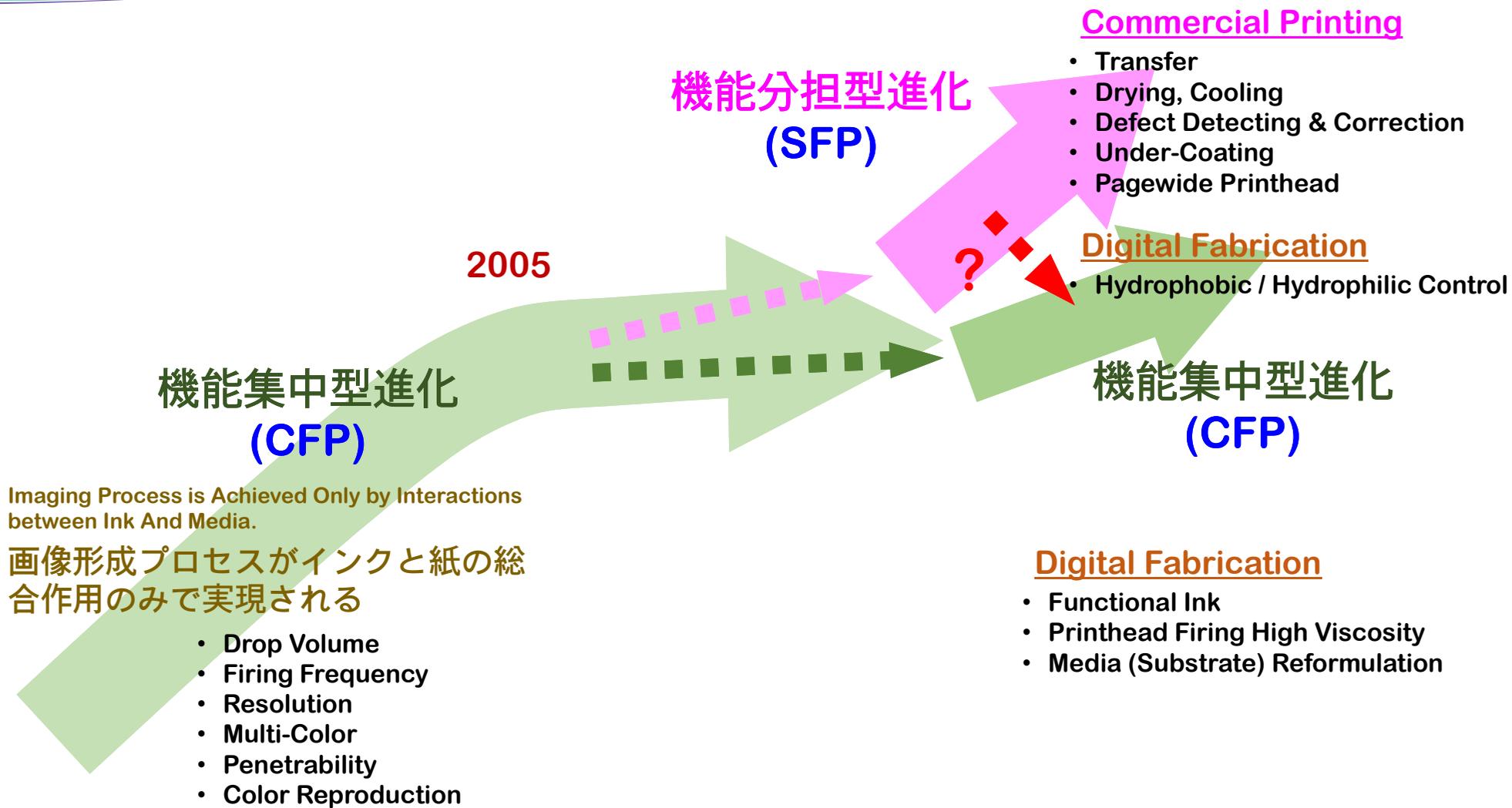
- Under-Coating
- Drying System
- Latex Ink

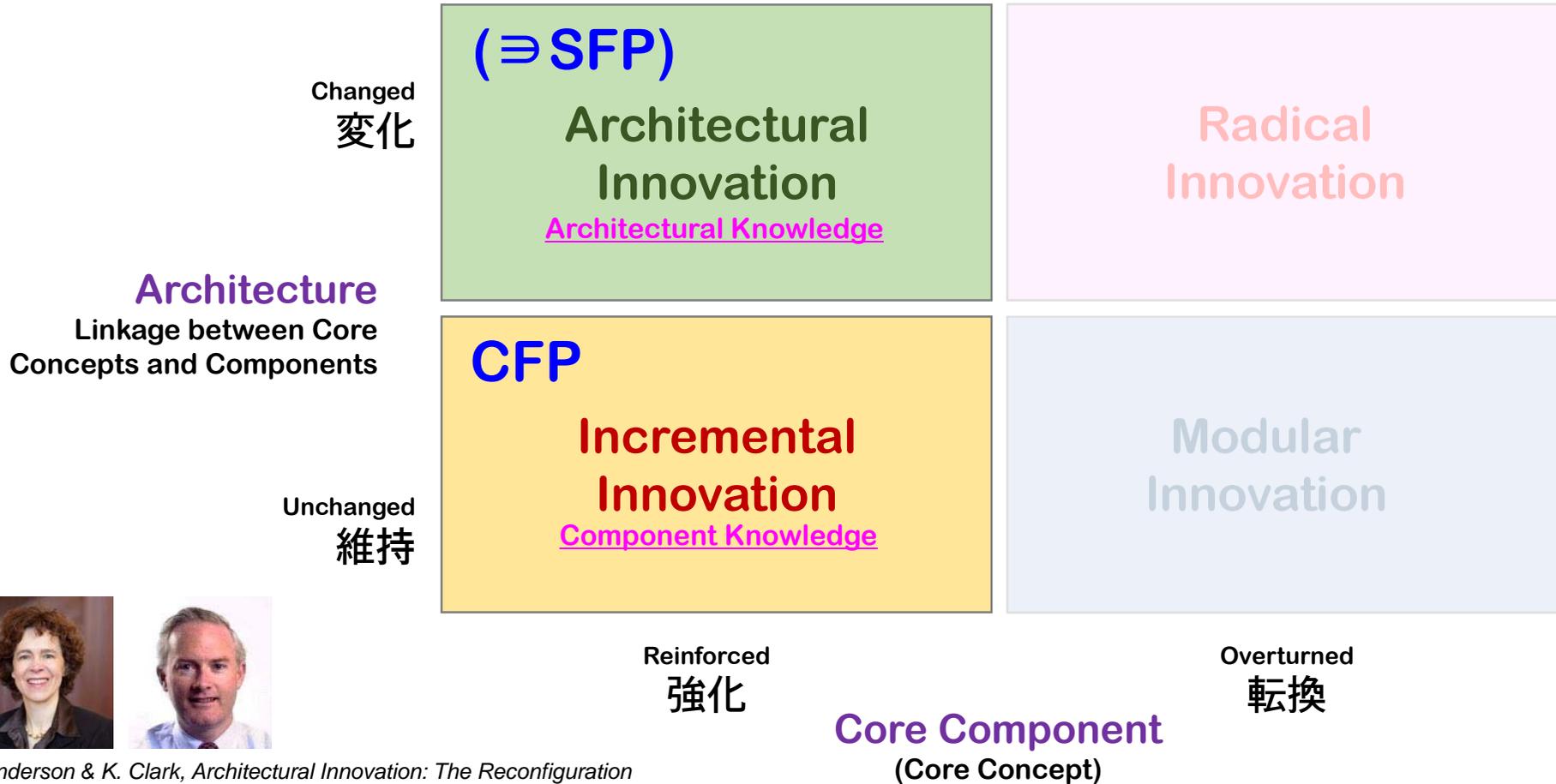


Sharing Functions Progress
機能分担型進化

Many ink jet Merits (small size, low cost, low energy Consumption) are lost.
多くのインクジェットの利点(小サイズ, 低コスト, 省電力)は失われる

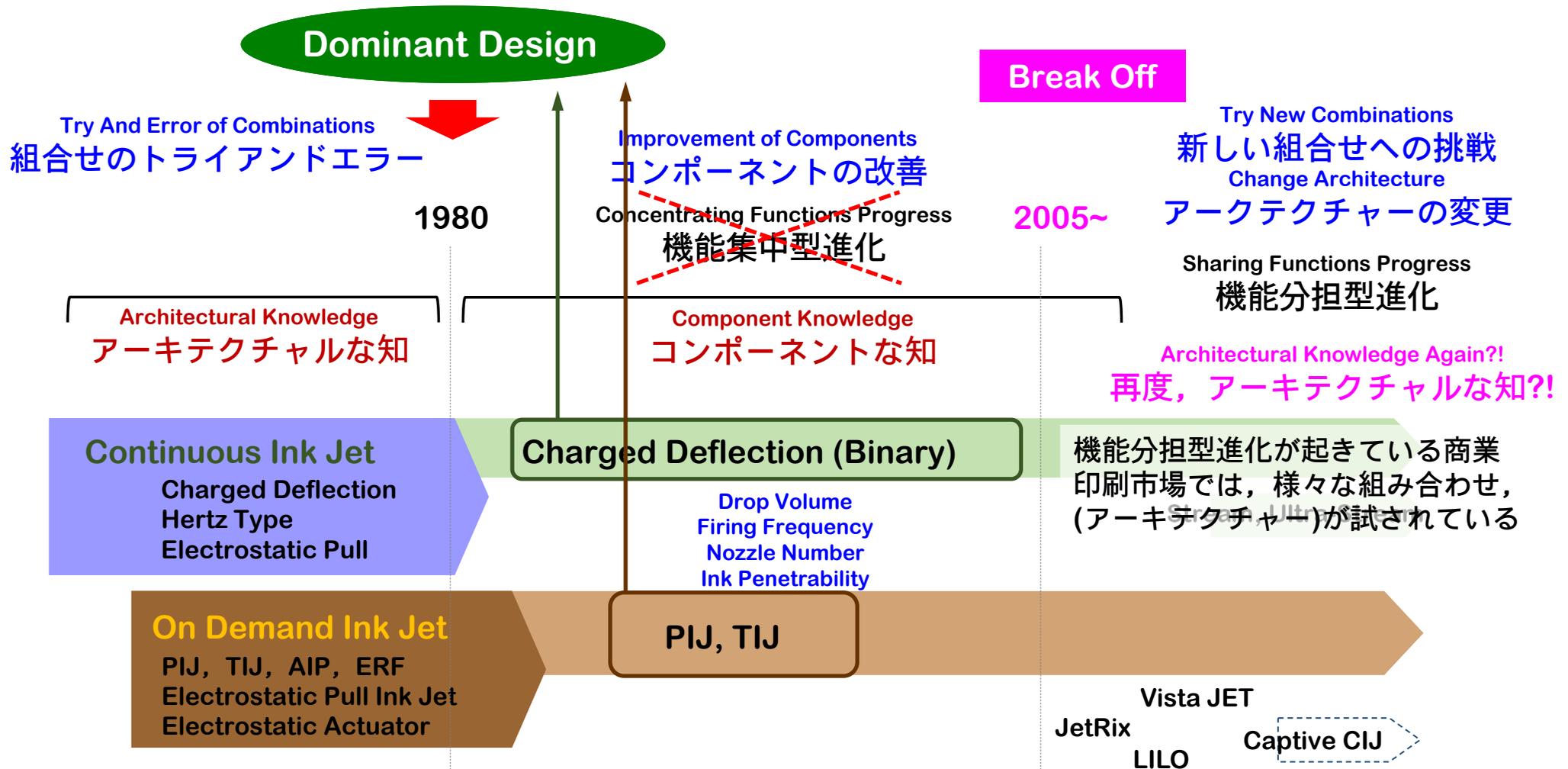
High Speed Printing with Cut Paper
カット紙の高速プリント



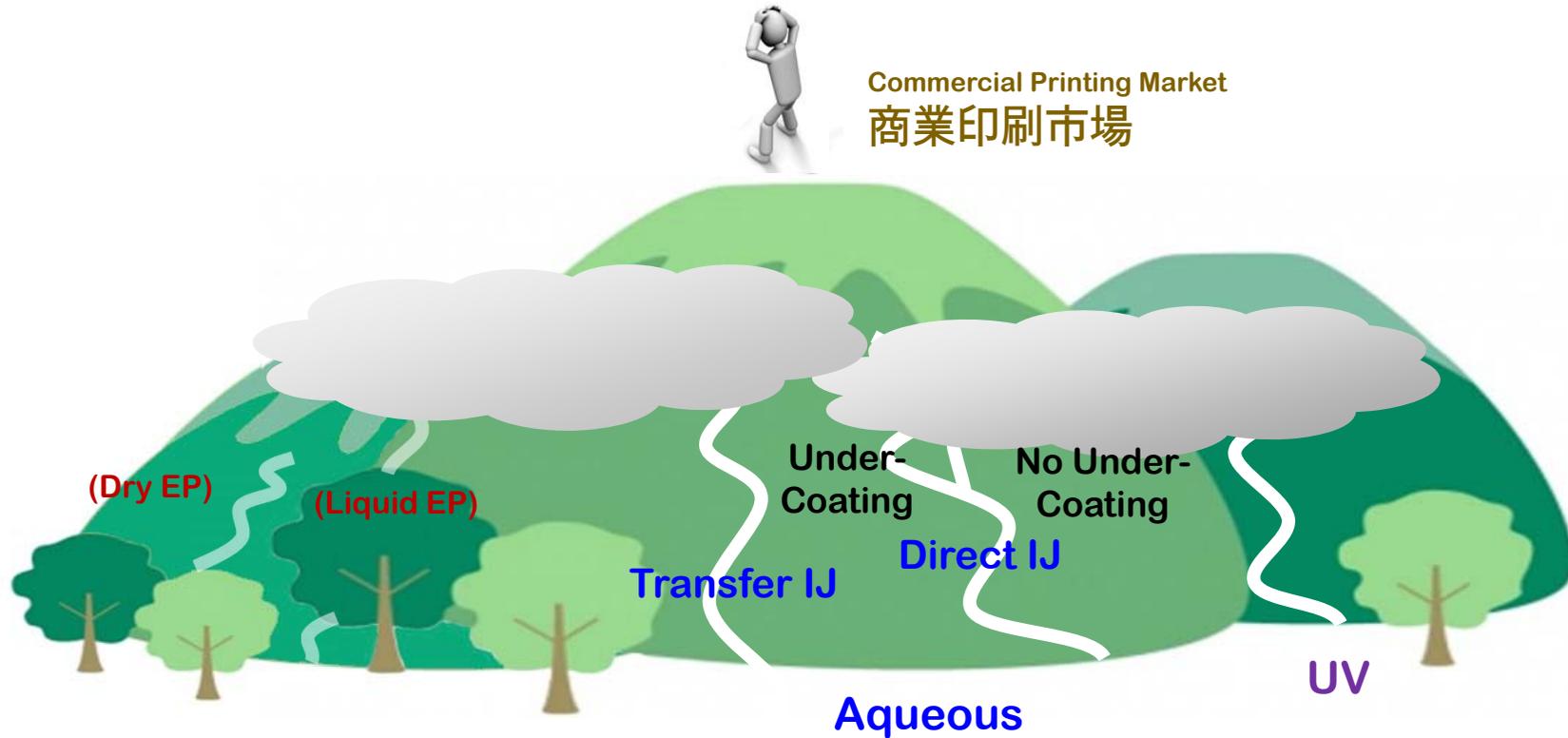


R. Henderson & K. Clark, *Architectural Innovation: The Reconfiguration Existing Product Technologies and the Failure of Established Firm* (1990)

Technology Progress of Ink Jet インクジェットの技術進化

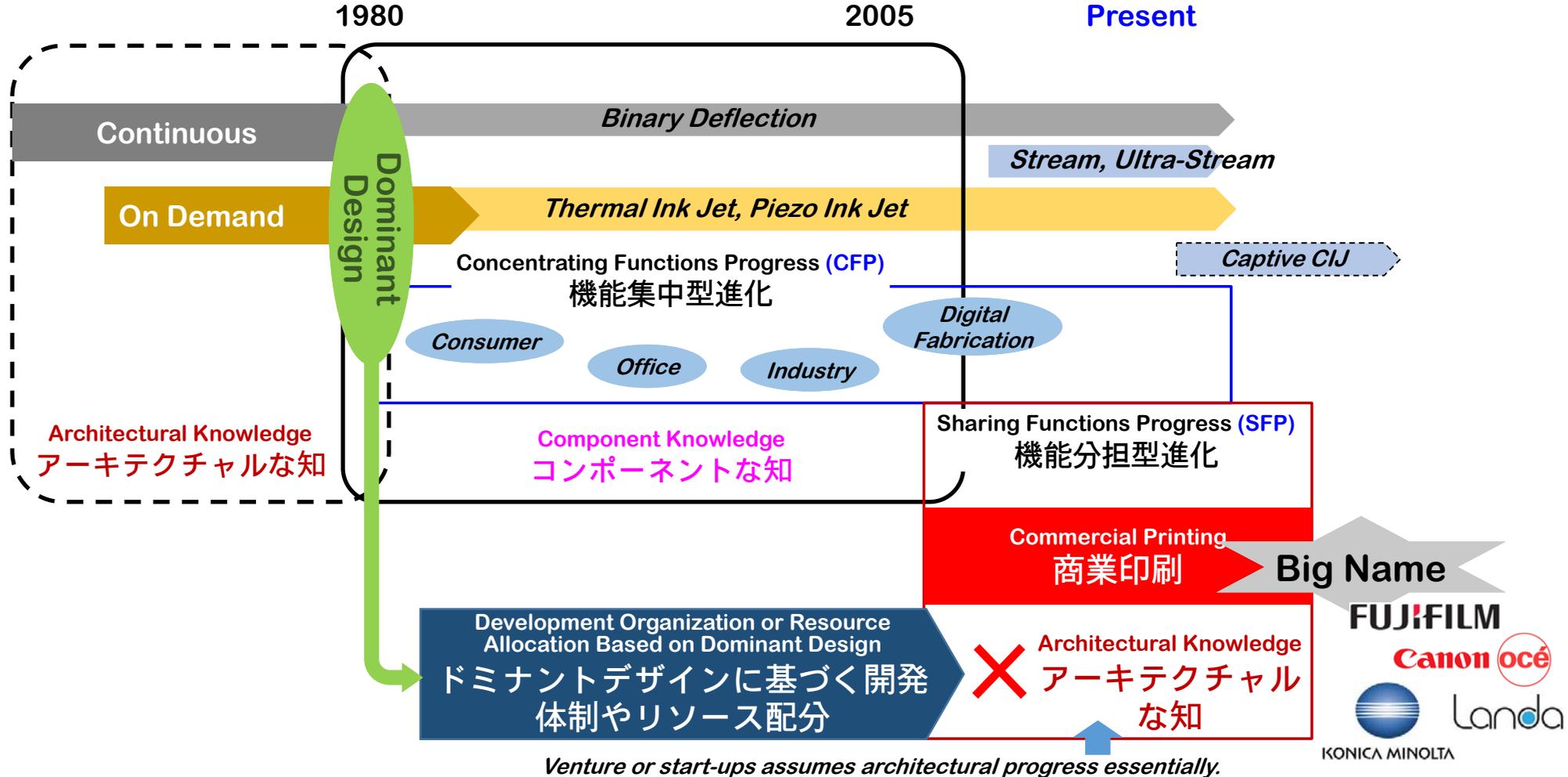


Dominant Design



- ✓ 商業印刷市場へは、様々なインクジェット技術のアプローチが存在するが、いまだにドミナントデザインは定まっていない。

商業印刷市場における進化の矛盾



Venture or start-ups assumes architectural progress essentially.
 本来、ベンチャーやスタートアップがアーキテクチャルな進化を担う

- アークテクチャルなイノベーションは、本来スタートアップやベンチャーによりもたらされるものである。
- 一方、(比較的大きな)インクジェット会社(プリンタメーカー)が、商業印刷市場に要求されるインクジェット技術やノウハウを蓄積している。
- ここに、進化の**矛盾**が存在する。
- 商業印刷のデジタル化は止まることはないが、この矛盾は将来、何をもたらすのか？
(通常、アーキテクチャルイノベーションの初期は様々な組み合わせが乱立するが、やがて淘汰されドミナントデザインが確立する)

機能集中型進化においても機能分担型進化においても、

- インクジェット会社が保有する成熟した技術・枯れた技術は、新しい挑戦者に移転，ライセンスすべきである。(既に成長が止まった市場のために、囲い込むべきではない)
- 技術者，研究者のネットワーク(コミュニティ)は，基本情報の共有や，新しい応用を創出しイノベーションを作り出す手助けをする。

Transactive Memory
トランザクティブ・メモリー

- × What
- Who Know What

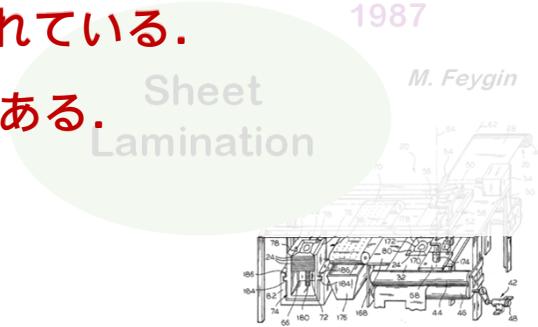
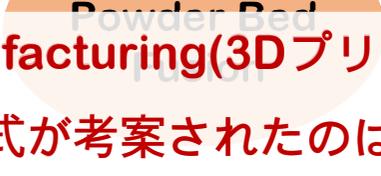
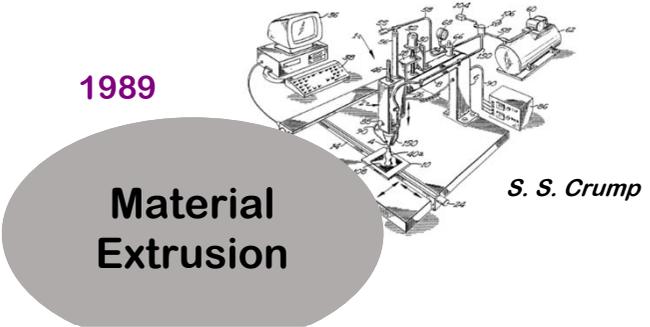
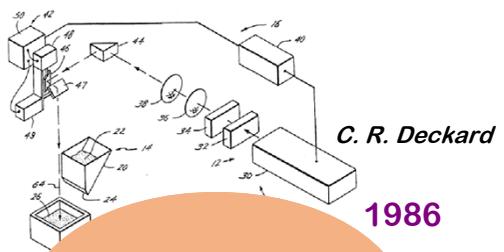
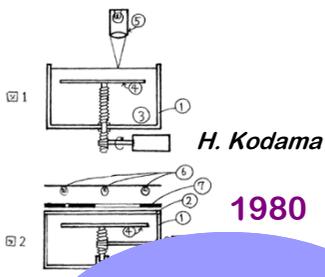


inkcube.org



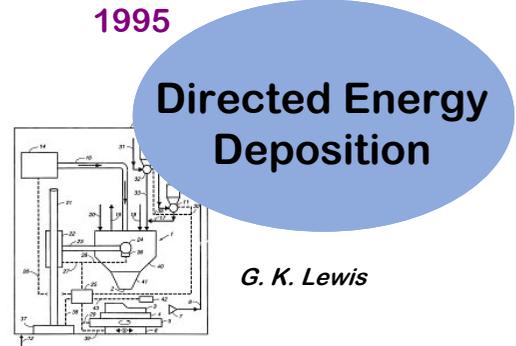
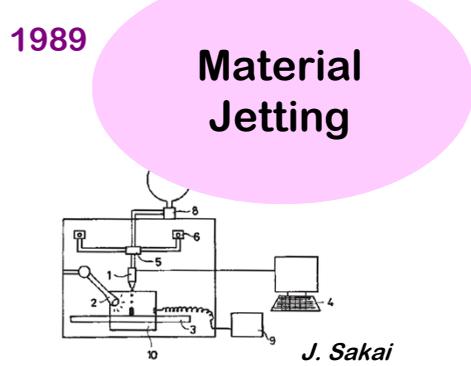
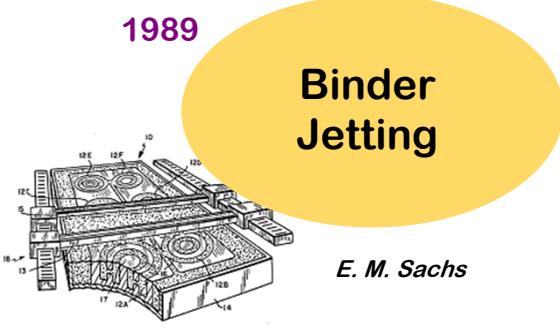
インクジェット技術交流会
<http://http://www.isj-imaging.org/inkjet-sig/>

Architectural progress in Additive Manufacturing 3Dプリンターにおけるアーキテクチャな進化



**Additive Manufacturing(3Dプリンター)は7つの方式に分類されている。
これら7方式が考案されたのは1980年代から1990年代である。**

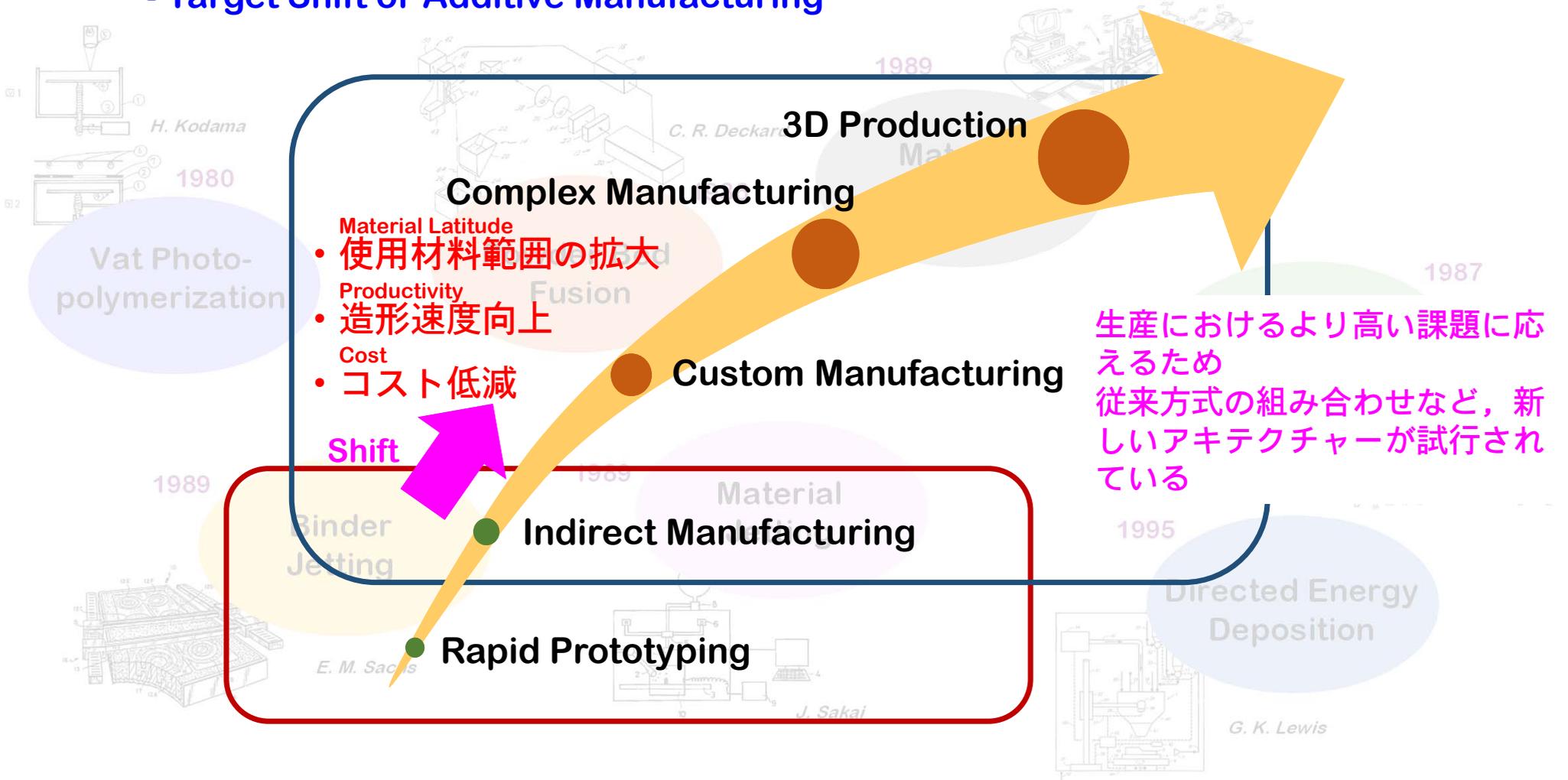
それから約30年が経過し、そして・・・



Architectural progress in Additive Manufacturing

3Dプリンターにおけるアーキテクチャ的な進化

- Target Shift of Additive Manufacturing



Architectural progress in Additive Manufacturing

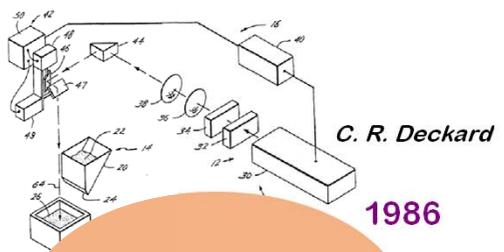
3Dプリンターにおけるアーキテクチャな進化



H. Kodama

1980

Vat Photo-
polymerization



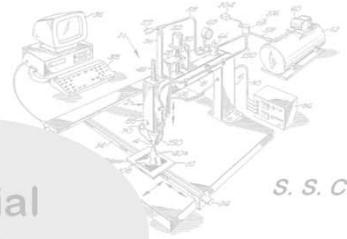
C. R. Deckard

1986

Powder Bed
Fusion

1989

Material
Extrusion



S. S. Crump

HP
Multi Jet Fusion

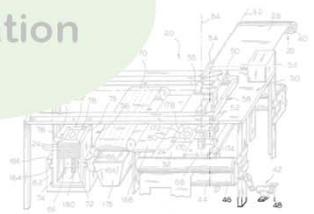


2017

1987

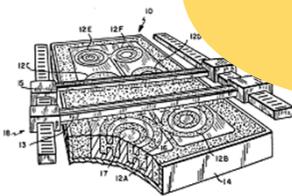
Sheet
Lamination

M. Feygin



1989

Binder
Jetting



E. M. Sachs

1989

Xaar & Loughborough University
High Speed Sintering

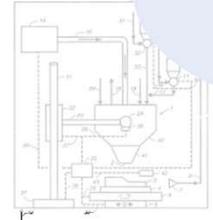


J. Sakai

1995

Directed Energy
Deposition

G. K. Lewis



Architectural progress in Additive Manufacturing

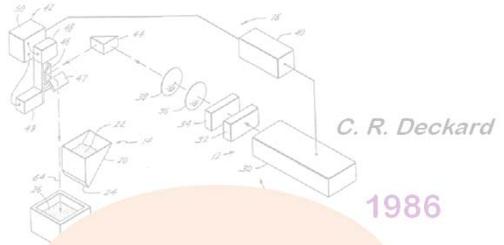
3Dプリンターにおけるアーキテクチャな進化



H. Kodama

1980

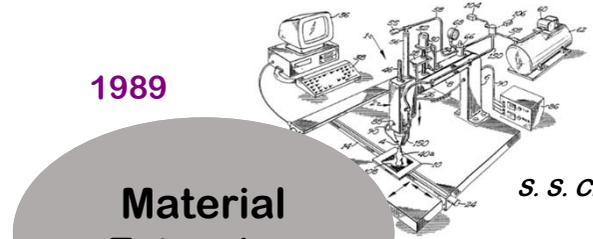
Vat Photo-
polymerization



C. R. Deckard

1986

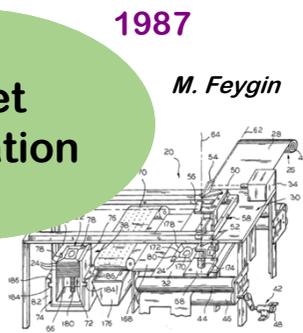
Powder Bed
Fusion



1989

S. S. Crump

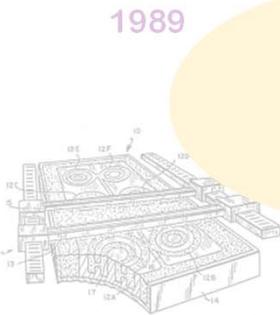
Material
Extrusion



1987

M. Feygin

Sheet
Lamination



1989

E. M. Sachs

Binder
Jetting



2017

XYZ Printing
da Vinci Color 3D printer



1989

J. Sakai

Directed
Energy
Deposition



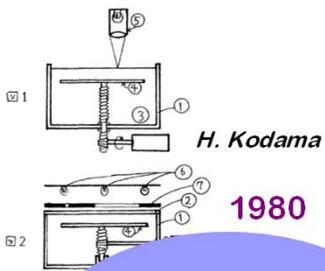
1995

G. K. Lewis

Directed Energy
Deposition

Architectural progress in Additive Manufacturing

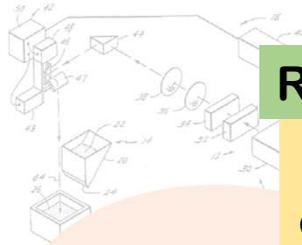
3Dプリンターにおけるアーキテクチャな進化



H. Kodama

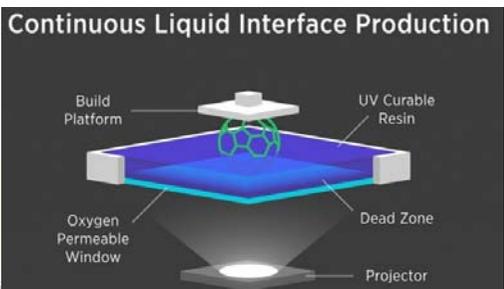
1980

Vat Photo-
polymerization



Powder Bed
Fusion
Carbon
CLIP

2016



1989

E. M. Sachs

R&D Phase

1989

Many New processes (**new architectures**) not categorized in 7 existing methods have been researched and proposed.

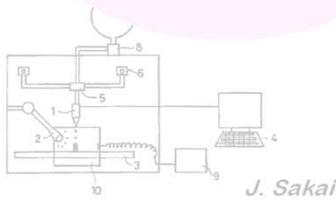
- 既存の7方式に分類できない多くの新しいプロセス(**新しいアーキテクチャー**)が研究され，提案されている。



Sheet
Lamination

M. Feygin

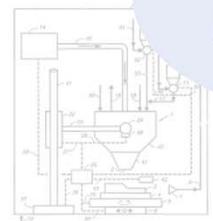
Material
Jetting



J. Sakai

1995

Directed Energy
Deposition



G. K. Lewis

- **2005年**はインクジェット技術進化にとって、重要なターニングポイントの年であった。
- インクジェットの技術進化には2つの形態が存在する。
 - 機能集中型進化 (Concentrating Functions Progress: **CFP**)
 - 機能分担型進化 (Sharing Functions Progress: **SFP**)
- **機能集中型進化**はインクリメンタルなイノベーションを、**機能分担型進化**はアーキテクチャルな進化につながる。
- **機能集中型進化**はデジタルファブリケーションに求められており、**機能分担型進化**は商業印刷市場に必要である。
- 商業印刷市場では進化の矛盾が起きており、ドミナントデザインは定まっていない。
- インクジェット会社が保有する成熟した技術・枯れた技術は、**機能集中型進化**、**機能分担型進化**の両方を活性化するために、積極的に挑戦者に移転、あるいはライセンスすべきである。