

Title	技術革新確率を向上する研究戦術の考察：電子写真の技術開発史分析から
Author(s)	橋本, 健
Citation	年次学術大会講演要旨集, 23: 281-284
Issue Date	2008-10-12
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/7555
Rights	本著作物は研究・技術計画学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Science Policy and Research Management.
Description	一般講演要旨

技術革新確率を向上する研究戦術の考察 －電子写真の技術開発史分析から－

○橋本 健（富士ゼロックス）

電子写真技術はアナログ複写機として成功を収めた後、デジタル記録システムとして技術を進化・革新し続け、競合代替技術（インクジェットや感熱記録）に置換されることなく市場を拡大している。技術革新を促進する要因を検討し革新確率の高い研究戦術パターンを抽出すべく、電子写真技術開発史の分析を試みた。技術がアナログからデジタルに移行し始めた 1980 年代以降に注目し、日本画像学会技術賞受賞技術(1987～2007 年)を分析した結果、技術革新の大半はサブシステムの設計コンセプト変更で説明可能であった。設計コンセプト変更・置換の内容と由来を考察し、革新を促進する研究戦術パターンを議論する。

1. 緒言

イノベーションは必ずしも技術革新が牽引するわけではないし、既存技術の組み換えや新たな組合せで商品差別化や新市場開拓が可能ならば、企業にとってはその方が効率的と言える。Christensen のローエンド型破壊¹⁾ も主にイノベーションの非技術革新的な側面に光をあてた指摘として新鮮であった。しかしながら多くの技術者は、技術革新をベースとしたイノベーションを専ら指向する。では、技術革新の成功確率を向上する定石はあるだろうか。本稿では、近年の電子写真 (Electrophotography) 技術の開発史を俯瞰することで、技術革新確率向上の要因を探ってみたい。

電子写真技術を対象として選んだ理由は、該技術が 70 年間に渡り、インクジェットや感熱記録等の競合技術に置換されることなく技術進化を継続し、オフィス市場を支配し更に市場拡大を継続してきた実績を有するからである。又、該技術は応用物理、機械工学、電気・電子工学、応用化学、材料工学、ソフトウェア、等の多様な科学と古典及び先端技術とが絡む複合技術システムであるため、特定技術領域の特徴が強調されることなく、比較的汎用性の高い分析が可能、と考えたためである。

2. 何が技術革新を促進するのか？

技術革新やより広義のイノベーションの構造・要因に関しては、既に多くの研究がある。例えば Henderson と Clark は、コア・コンセプトの改良か改革かと言う軸と、コア・コンセプトと部品の結合関係に変化があるか否かと言った軸を用いて、イノベーションを 4 種に分類し、Architectural Innovation の重要性を指摘した²⁾。小山は、技術的新規性の軸、開拓市場新規性の軸、更に両者の媒介的基準として機能的新規性の軸を含めた 3 軸で技術革新を分類することを提案し、技術的新規性は基本技術の変化か下位部分の変化か、機能的新規性は内容の変化か優先順位の変化か、で分類している³⁾。Christensen¹⁾ に対する異論としては、例えば丹羽は持続的・破壊的とは異なる革新的イノベーションを重視し、ニーズからの脱却や計画と実施の分離を提唱⁴⁾。山口はパラダイム破壊型イノベーションを提唱し、暗黙知の共鳴場や科学的知見に戻る事の重要性を指摘している⁵⁾。藤村は物理限界・装置限界・実行限界と言った技術の階層に基づく議論を展開、イノベーション確率向上には製品コンセプト絞り込み、モジュール化、プラットフォーム・リーダーシップがイノベーション確率向上に有効とした^{6, 7)}。又、前述の Henderson と Clark も電子写真複写機のイノベーションに言及しているが³⁾、他にも電子写真やインクジェット等の記録技術に絡む企業や業界の個別ケースを分析した研究も多い⁸⁾。これらの先行研究は何れも多くの部分で共感できるが、基本的にはイノベーションもしくは技術革新結果の類型化やイノベーション促進環境・組織・仕組み等に焦点が当たっている。そのため研究現場での現在進行形テーマの素性アセスやマネジメントには、直接的に有効とは言い難い。

本稿では、現場の研究戦術策定やアセスに有効な形で技術革新の要因を分析すべく、「技術革新は技術システムの設計コンセプト変更であり、設計コンセプトの変更は<H1>機能発現の科学的原理変更、もしくは<H2>異分野の設計思想・手法導入の二つのパターンによって発生する（仮説）」と捉えた。

（補注：<H1>、<H2>共に創造的研究者の自然な行動と思われるが、研究テーマ評価・管理上では通常、明確に位置づけられていない。）

3. 電子写真技術の構成と技術開発史の概観

電子写真技術の基本コンセプトは Carlson によって 1938 年に発明され⁹⁾、その後バツテル記念研究所やハロイド社（後の Xerox 社）の研究開発を経て 1950 年代に複写システムとして結実、1980 年代までは主に白黒アナログ複写機として進化した。1970 年代から試行が開始されたデジタル化は、1980 年代～1990 年代以降レーザー・プリンターやデジタル・カラー複写機、ネットワーク対応のデジタル複合機と言った新たな技

術・商品を生み、小型パーソナル機からオフセット印刷機に迫る高速・高画質機まで、各種サービスを含めて多様な用途に対応し、市場を拡大してきた。この間の技術進化・革新の歴史は図1で概観できるだろう。

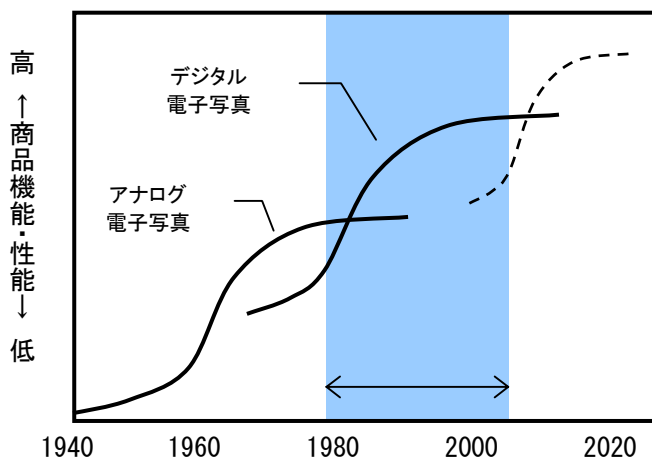


図1 電子写真技術進化・革新の概念図



（富士ゼロックス（株）Color DocuTech 60の透視図）

図2 高速デジタルカラー・プリンタ内部図

この70年間、記録プロセスの基本骨格¹⁰⁾に変化はない。まず感光体を帯電し、画像信号に対応した露光を行うと光導電現象により静電潜像が形成される。そこに摩擦帯電等を利用して帯電した現像剤（トナー）を供給し、感光体上にトナー画像を形成（現像）する。更に搬送された用紙にトナー画像を静電力等で転写、次いでトナー画像を加熱等で定着する。感光体は除電・クリーニングされサイクルが回る。現在、これら各工程の安定かつ効率的な駆動は、多くの制御系やソフトウェアに支えられている。図2に高速デジタルカラープリンタ（日本画像学会 2001 年度技術賞受賞のオンデマンドカラー印刷機）の透視図を例示した¹¹⁾。

4. 日本画像学会技術賞の分析

電子写真技術革新の流れを俯瞰する手段として、日本画像学会（旧電子写真学会、～1997 年）技術賞¹²⁾に着目した。第1回の技術賞(1987 年度)は学会創立 30 周年記念として、1988 年に過去 10 年間に実用化された電子写真技術から 3 件が選ばれている。その後 3 年間は表彰が無く、第2回技術賞(1991 年度)以降、毎年 2～3 件が表彰されるようになり 2007 年度までに合計 45 件が表彰された（内、電子写真技術関連は 40 件）。対象は優れた実用性が実証された技術であり、発表後 1 年以上 3 年未満とされている。IS&T（米国画像学会の略称）にも表彰制度はあるが、日本の技術賞の如く商品開発を対象としたものは無い。よって、主に日本企業の技術が対象となるが、技術賞がカバーする 1980 年代以降はアナログからデジタルへの技術革新が本格的に開始された時期であると共に、日本企業の研究開発が欧米に先行するケースが増大した時期でもあり、分析の対象として妥当と判断した。又、個々の技術賞が技術進化・革新を代表するかどうかについては多少疑問もあるが、マクロな傾向を分析する目的に対しては有効と考えた。過去、特許庁の報告¹³⁾でも、日本画像学会技術賞への言及があるが、その内容分析は行われていない。

1987 年度から 2007 年度までの電子写真関連技術賞受賞案件 40 件に対して、次の手順で分析を行った：

- (1) 受賞案件毎にキー技術が電子写真のどの領域（サブシステム）に属するのか、11 種に分類。
- (2) 11 種の分類毎に設計コンセプト変化が顕著な（非連続的、相対的に革新性大）キー技術を抽出。
- (3) 抽出した設計コンセプト変化顕著なキー技術が、先に提示した仮説<H1>科学的原理変更もしくは、<H2>異分野設計思想・手法の導入で説明可能か否かを検討。

最初に 40 件の技術内容を 11 種の領域に分類した結果を図3に示した。受賞対象キー技術が複数の領域にまたがるケースがあるため、総カウント技術数は 40 ではなく 63 件となった。クリーニング技術自体を主対象とした案件は見掛け上無かったが、これはクリーニング工程不要が理想と考えられているためであろう（クリーニング・レス化技術の受賞は有った）。また、近年各種制御・補正技術の比重が増大していると思われるが、技術賞では表面上は特別な突出はなかった。

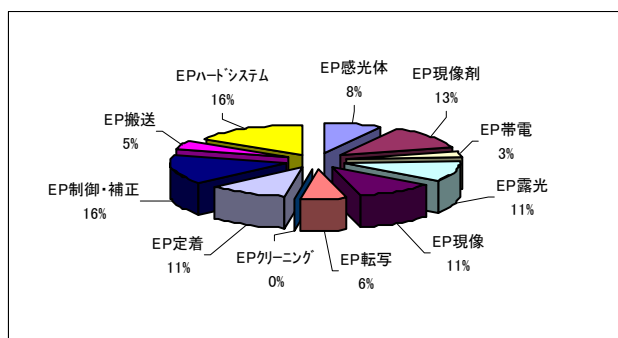


図3 電子写真関連技術賞の内容分類

キー技術をサブシステム分類別に表彰年度の時系列で配置し、従来の設計コンセプトに対して非連続的なコンセプト変化があると判断し得る技術を抽出した結果が図4である。先ず「感光体」では低コストでハンドリング容易な OPC(有機感光体)と長寿命を狙った a-Si を選んだ。OPC の実用化自体は受賞技術よりも古い先行例が幾つかあり、この受賞自体が革新的か否かは議論があるかもしれないが、本稿では受賞技術限定ではなく抽出したキー技術(このケースでは OPC 技術)が、技術史上で設計コンセプト変更大と言えるか否かに注目して判断した。「現像剤」では混練・粉砕法トナーに代わる化学トナー製法を選んだ。

感光体	2											1		1						1	
現像剤	1					1		1		1			1			1			1	1	
帯電					1											1					
露光					1		1				1	1			1		1	1			
現像	2				1	1		1		1			1								
転写					1	1	1						1								
クリーニング																					
定着						1									1		2	1	1	1	
制御・補正					1	2	1		2		1	1		1	1						
搬送						1					1				1						
ハード・システム	1				1	1	1						2	1	1	1				1	
非EP								2	1	1										1	
表彰年度	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07

図4 技術賞の分類で概観した電子写真関連技術の進化・革新 (■表示: 設計コンセプト変化大)

「帯電」ではコロトロンに代わるロール帯電や磁気ブラシ帯電法(含クリーナー・レス)がコンセプト変化大。「露光」はアナログからデジタルへの移行初期に多くの試行があったが、主流は半導体レーザーとなった。こう言った流れの中で、高発光効率 LED と面発光レーザーをコンセプト変化大と抽出した。「現像」は現像剤も絡むが磁性一成分現像、二成分 MT 現像そして非磁性一成分現像(含むクリーナー・レス)を抽出。「転写」は転写ロール方式と中間体転写方式。「定着」ではベルト型加熱方式と電磁誘導加熱、電気二重層キャパシタ、を選択した。「制御・補正」や「搬送」技術に関しては設計コンセプト変化が十分読み取れなかった。個々のサブシステムの枠で捉えきれない技術を便宜上「ハード・システム」と分類し、カートリッジ方式、デジタルカラー・システムそしてオンデマンド・カラープリント(高速 POD)を選んだ。対象期間の前半は、画質や信頼性改善を意図したコンセプト変更、後半は環境対応関連のコンセプト変更が増加、と言える。又、これらは、概ねサブシステム革新として Architectural Innovation²⁾ の範疇と言ってもよいだろう。

では、これらの設計コンセプト変更は前述の仮説<H1>と<H2>で説明可能だろうか。検討した結果が図5である。多くの技術は<H1>と<H2>の両要素を持ち、図5内のポジションは視点をどこに置くかで多少流動的であるが、該技術出現時点での状況を調査し^{1 2)}、なるべく二者択一的配置を意図した。何れにせよ<H1>と<H2>の2軸で配置可能でありかつこの2軸だけで設計コンセプト変更の要因が解釈可能と言ってよい。若干違和感が残った技術はハード・システムに分類したデジタル・カラー、高速 POD であり、技術より市場視点で議論の方が妥当かもしれない。

最初に<H1>軸を見ると、各サブシステムの科学原理が全面置換されるよりも部分変更やサブシステムを構成する下位要素での原理変更が主体と言えるだろう。ほぼ新原理置換と言えそうな例の一つは OPC で、光導電基本原理は同じだが従来の無機(Se 系)感光体と異なる新理論が展開された。又、ブラシ接触帯電は従来のコロナ放電とは異なる電荷注入メカニズムを利用し、低電圧化やオゾン・レス化を達成した。デジタル・カラーもアナログからデジタルへの原理変更と捉えて良いだろう。デジタル化で大幅なカラー画質向上や多機能化が実現された。一方、IH(電磁誘導加熱)定着は、確かに加熱手段の原理変更だが、先行

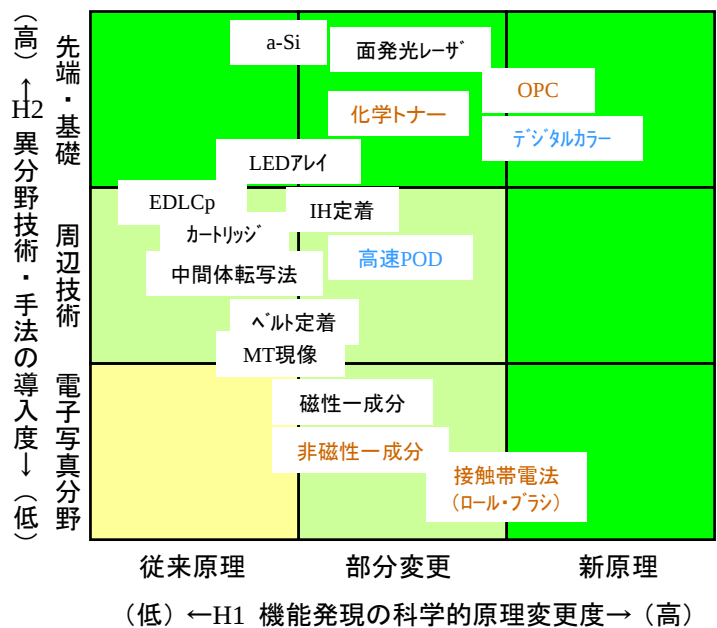


図5 技術革新アセス・チャート

補注1)「茶字表記」はEP草創期にも検討された温故知新コンセプト
補注2)「青字表記」は市場(用途)軸で捉える方が妥当なコンセプト

した IH 調理ヒーターの展開と捉え<H2>軸主導で考える方が妥当であろう。<H2>軸側の議論を代表例で補足すると、カートリッジ方式は文具ペンやカメラの設計手法展開、ベルト定着方式は 1980 年代にポピュラー化した感熱転写記録のコンセプト展開、の如く解釈できる。

又、図 5 から、材料やデバイスは先端技術や基礎科学との関連が強い傾向が示唆される。

当初、設計コンセプト変化大の技術以外は、基本的に既存分野・原理の領域（図 5 の左下エリア）に配置されるパラメータ設計型技術と予測していたが、図 4 の抽出作業の結果、2 種の異なるパターンに分類できそうである。一つは各サブシステムより下位レベル（部品、素材、等）で設計コンセプト変更があるケース。下位レベルの変更と言っても、例えばトナーの構成成分等は極微量でシステム性能に顕著な影響を及ぼす。こう言った「入れ子型階層構造」を適切に類型化するのは難しいが、下位レベルのコンセプト変更ケースも<H1>と<H2>の 2 軸で捉える事ができた。もう一つはパラメータ設計、最適化型だが、技術賞受賞技術の場合は幾つかのサブシステム間にまたがる最適化（すり合わせ）が多い、と言えそうである。

5. 結言

電子写真関連技術の最近約 30 年間の進化・革新を、日本画像学会技術賞から抽出したキー技術の内容分析によって俯瞰した結果、以下が確認できた：

（1）電子写真分野の近年の技術革新は、基本的にサブシステムの設計変更によって成されてきた。

（2）設計変更の要因は、①機能発現原理の変更、②異分野設計思想・手法導入の 2 軸で説明できた。

ここから技術革新確率を向上する研究戦略としては、①新規な機能発現原理の探索、適用検討と②異分野技術の設計思想・手法の調査・導入やアナロジーの展開が有効と考えられる。又、この戦略はオープン・イノベーションとの親和性も高いと言えるだろう。本稿では、技術の狙いや技術と出口市場の関連については議論を省略したが、「技術（旧・新）vs. 市場（旧・新）」チャートと図 5 の様な技術革新アセス・チャートを研究現場のマネジメント・ツールとして併用することで、研究目的・目標を達成する戦略、戦術、テーマの評価や研究開発ポートフォリオ検討が容易になると考えている。

今回の電子写真は、システム全体の設計コンセプトほぼ固定での技術進化・革新であったが、システム/サブシステム/下位要素技術の間に「入れ子型階層構造」を想定するならば、上述の研究戦略①、②は新規システム・コンセプト創出に対しても有効の可能性が高い、と推測される。20 世紀後半から 21 世紀にかけて、画像記録技術（ex. 銀塩、ジアゾ記録、電子写真、感熱記録、インクジェット、等）や近縁のディスプレイ、メモリー技術の世界では、多数の発明、革新、事業化、世代交代の物語があった。今後、これらを順次分析、比較検討し、技術とビジネス・モデル両面からイノベーション促進のポイントを探っていきたい。

参考文献

- 1) C. M. Christensen, The Innovator's Dilemma, Harvard Business School Press (1997)
(玉田俊平監修, 伊豆原弓訳, イノベーションのジレンマ, 翔泳社, 2001)
- 2) R. M. Henderson and K. B. Clark, "Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms", Administrative Science Quarterly, pp.9-30, Mar., 1990 (1990)
- 3) 小山和伸, 技術革新の戦略と組織行動<増補版>, 白桃書房 (1998)
- 4) 丹羽清, 「イノベーションのための技術マネジメント」, 研究・技術計画学会第 19 回年次学術大会要旨集 1B16, pp.151-154 (2004)
- 5) 山口栄一, 「イノベーションの構造—パラダイム破壊型イノベーションとは何か—」, ITEC Research Paper Ser.04-13 (2004)
- 6) 藤村修三, 「半導体立国ふたたび」, 日刊工業新聞社 (2000)
- 7) 藤村修三, 「技術の構造とイノベーション—科学・技術に基づいた製品開発のモデル—」, Discussion Paper Ser.#04-01 (2004)
- 8) 例えば以下の a), b), c), d) :
 - a) 松本清文, 渡辺千似, 「キャノンの技術革新に見る技術のスピルオーバー（技術 DNA の伝播）」, 研究・技術計画学会第 16 回年次学術大会要旨集 2B16, pp.444-447 (2001)
 - b) 大内紀和, 渡辺千似, 「パラダイムシフトを超越した持続的高収益を達成するための新機能創出メカニズム—電気機械作業における実証分析—」, 研究・技術計画学会第 21 回年次学術大会要旨集 2A08, pp.581-584 (2006)
 - c) 福澤光啓, 「製品アーキテクチャの選択プロセス—デジタル複合機におけるファームウェアの開発事例—」, 組織科学, 41 (3), pp.55-67 (2008)
 - d) 青島矢一, 北村真琴, 「セイコーエプソン株式会社 高精細インクジェット・プリンタの開発」—一橋大学 21 世紀 COE プログラム 大河内賞ケース研究プロジェクト, CASE#08-03 (2008)
- 9) C. F. Carlson, USP 2,221,776 (1938) 及び USP 2,297,691 (1939)
- 10) 例えば, 橋本健, 石井幸広, 田中公一, 「電子写真粉体現像剤の帯電性」, 静電気学会誌, 4, 3, pp.140-146 (1980)
- 11) 高木純ほか, 富士ゼロックステクニカルレポート, No.13, pp.181-188 (2000)
- 12) 日本画像学会技術賞の歴代受賞技術リストは, a) に収録されている。個々の技術賞の選奨理由確認は, b) を参照した。更に技術内容の確認は必要に応じて, b) 及び c) を参照した :
 - a) 「日本画像学会 2007 年度学会表彰」, 日本画像学会誌, 47, 4, pp.368-372 (2008)
 - b) 電子写真学会誌 (1978 年以降), 日本画像学会誌 (1998 年以降)
 - c) 電子写真学会研究討論会予稿集, Japan Hardcopy 予稿集, Imaging Conference Japan 予稿集
- 13) 特許庁, 「電子写真装置の全体制御技術（要約版）」, 平成 18 年度特許出願技術動向調査報告書, 平成 19 年 5 月 (2007)