



招待論文

Carlson Awardを受賞して

研究開発本部 技師長 平倉浩治

はじめに

小職は、リコーに入って30年余りになるが入社以来、当社電子写真の研究・開発・設計などに従事してきた。国際画像学会であるIS&T（Society for Imaging Science and Technology）から2003年のCarlson Awardを受賞したのでこれを記念して、テクニカルレポートに寄稿させていただくことになった。Carlson Awardは米国XEROX社の寄付によって1985年からIS&Tの賞として電子写真の科学・技術に際立った貢献のあった者に原則毎年一人に与えられているものであり、私は20人目の受賞である。

以下に私が関わってきた30年余りの電子写真の展開を簡単に振り返り、電子写真の今後の方向についても探りたい。

電子写真の歴史

電子写真の歴史は、一般に1938年Chester F. Carlson（1906-1968）がこれを発明してから始まっていると言われるが、静電気の記録はそれを遡ること161年前にドイツにて行われていた。1777年Georg C. Lichtenberg（1742-1799）は摩擦起電機にて高圧を発生させ絶縁体の基板に放電させこれを微粉末で「現像」し有名なリヒテンベルクの図形を作った。基礎的な電子写真プロセスの実験をやった人ならば必ずと言ってよいほどこのフラクタルな樹枝状の図形には悩まされ、実用的な電子写真装置では重大な画像欠陥となるので記憶に残っているものである。ドイツの識者に言わせると電子写真の原型は彼らが創出したのだと言う。江戸中期の博物学者の平賀源内は、摩擦起電機を自作しエレキテルと称して庶民を感電させ驚かせて楽しんではいったが静電気のテーマは科学や工学の域までは達しなかったのだろうか、この時代に日本で静電気を可視化したと言う話は聞かない。

Carlsonの発明

若いころ貧しかったCarlsonは、特許事務所に勤務していた文書複写の必要性を強く感じていたが、自分のアパートの台所などで実験を繰り返して電子写真を発明した。はじめはElectrophotographyと呼んだが事業化後米国ではXerographyと改名された。Fig.1の硫黄の感光板を用いた10.-22.-38

ASTORIAの記録は有名である。現在は現像剤のトナーには顔料分散された熱可塑性の樹脂粉が用いられ加熱加圧定着されるが、当時は特殊な植物の粉末を用いたのでワックス紙に転写し加熱定着された。



Fig.1 電子写真の最初の画像



Fig.2 最初の自動複写機

6年後の1944年に彼はFig.2に示す最初の自動複写機を作った。この写真は、アメリカンドリームを身をもって体現した晩年の彼が孫を抱くような恰好で撮られていて微笑ましく、また感動的でもある。この絵がFig.3に示すCarlson Awardの銘板にも刻まれている。この年日本は昭和19年太平洋戦争の終盤を迎えていたが、このような時代にも北米では複写機の開発が行われていたと知るとあらためて感慨深いものがある。IS&Tの前身の学会であるSPSE（Society of Photographic Scientists and Engineers）が創設されたのは戦後間もない1947年のことである。最初は主として銀塩写真の研究者・

技術者のための学会であったが1970年代前半から学会の議論の中心は次第に電子写真の方に移行し、IS&Tとして現在に至っている。銘板下部にも見られる六角形のマークはハロゲン化銀の結晶を示し、学会の歴史と伝統を伝えている。

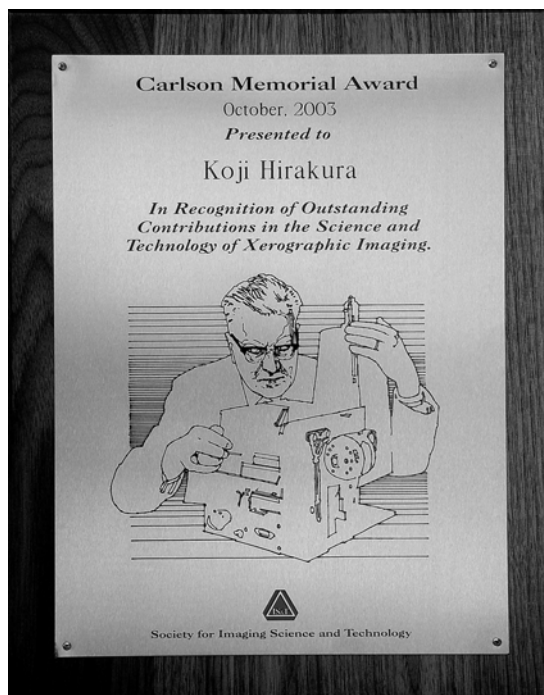


Fig.3 Carlson Award 2003の銘板

電子写真の本質

休む事を知らない半導体の高集積化による性能向上を指導原理とする情報通信産業の破壊的とも言える発展に比べて、電子写真の本質的部分の進展はさほどではない。電子写真は、着色荷電粒子を画像パターンに応じて形成された静電潜像に吸引付着させる物理的な写真プロセスである。基本的にはこのプロセスはMaxwellの方程式で説明し理解できる。しかしながらトナーといわれる着色荷電粒子は、電子やイオンなどの比電荷に比べて以下のFig.4に示すとおり極めて小さいのが特徴である。

6 μ m Toner
 $q=4.2\times10^{-15}$ coul
 $m=0.14\times10^{-9}$ gm
 $q/m=3\times10^{-5}$ coul/gm

electron
 $q/m=1.76\times10^8$ coul/gm
hydrogen ion
 $q/m=9.65\times10^4$ coul/gm

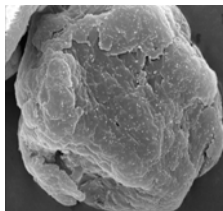


Fig.4 典型的6 μ mトナー1個の電荷、質量、比電荷、電子、水素イオンの比電荷

このように電子写真に用いられる荷電粉体は電子やイオンに比べて13~10桁低く極めて小さな比電荷の粒子であって、さらに摩擦によって電荷発生させているところが特徴的である。電子部品と異なり封止されず大気中に開放されて使われるので温湿度など環境の影響を直接に受ける。この事は電子写真感光体にも同じように言える。これが電子写真の持って生まれたキャラクターとなっている。また前記のエレクトロニクス分野に比べて技術の体系化と標準化を困難にしている、水平分業等による技術開発を難しくしている理由の一つともなっている。実用的トナーには電界に正しく応答して移動する現象特性はもとより、転写特性、定着特性、支持体上残留トナーのクリーニング特性、経時・環境安定性が求められる。

Carlson方式への挑戦

1970年のころは特許も含め圧倒的にXEROX社の力が世界を支配していた時代であった。その当時はCarlson方式の他にも着色粒子を紙に付着させる方法はあるに違いないと、多くの冒険者達や大企業がこれにチャレンジした。1970年代初期からSPSEの国際会議では10年ほどにわたり幾多の新規画像形成プロセスが提案されてきた。90年代になっても「TonerJet」と呼ぶダイレクト記録技術に果敢に挑戦したスウェーデンのArray社というベンチャーもあった。しかし結果として現在に残った主要な複写・プリント技術は、ダイレクト記録技術の最も洗練された形のオンデマンドタイプのインクジェットと間接記録技術の電子写真である。高速プリント可能でどんな支持体シートにも記録可能な、電子写真を覆すような新規な画像形成方式は未だに出現していない。

計測技術と電子写真システム設計

1980年代初めの当社の課題は、1975年から好評を博してきた液体現像方式を時代の要請に従い乾式化することであった。乾式現像プロセスは液体現像プロセスに比べてプロセスパラメータに敏感である。例えば非画像部の汚れに関して液体の場合はトナー粒径が細かく等方的な現像が得られるため銀塩写真のカブリに近く少しは許容されたが、乾式の場合は地汚れとなりまったく受け入れられない。このため電子写真パラメータを精確に計測したうえでシステムのパラメータ設計をする必要があった。さらには機械稼動時のプロセスパラメータ制御も必要になった。筆者らは精密なトナー濃度やトナー比電荷 q/m の計測のために、当時としては画期的であったBlow Off法を開発した。Fig.5にこの概要を示す。

Blow Off Method for Toner q/m Measurement

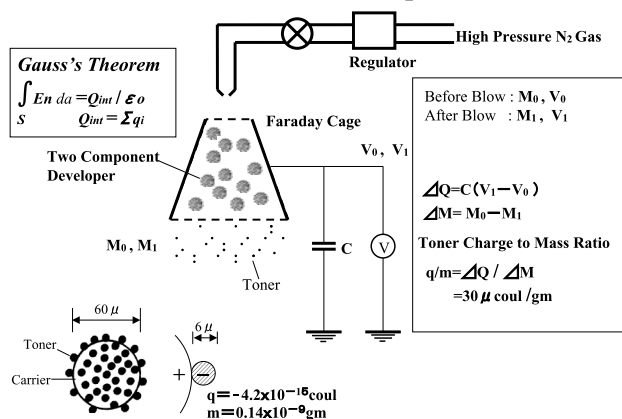


Fig.5 Blow Off法によるトナー濃度、比電荷q/mの計測

計測の原理はガウスの定理がベースとなっているファラデーケージの両端開口部にトナーが通過できるステンレスメッシュを張り、内部に入れた2成分現像剤のトナーのみを乾燥窒素ガスで吹き飛ばす。前後の質量と電荷の差を計測してトナー比電荷q/mを求めることができる。

文献を調べるとXEROXではこの方法はすでに一般化されておりApplied Physicsに掲載されていた¹⁾。このことから見ても当時はXEROXから学ぶという態度は日本の企業では一般的であった。このBlow Off法は現在も現像剤やトナーの重要な特性測定評価法である。

一般的な電子写真複写・プリントシステムのパラメータ設計をする際に、サブシステム間の応答をつなぐ各プロセスのモデル式は実用的に重要なものであった。筆者らは、これらの式を定めシミュレーションにより画像設計を可能とした²⁾。

電子写真の安定性と一様性

ここまで述べてきたのは白黒の時代の電子写真である。1980年代の半ばに立ち上がったカラー電子写真では階調再現（色再現）が重要なテーマになり現像ガンマはリニアな事が望まれ、また電子写真的エッジ効果などを嫌う。2成分現像では絶縁性コーティングをキャリアに施すことで比較的温湿度・経時特性は安定する。しかしこの絶縁性磁気ブラシ現像はエッジ効果が強く出てしまっただけで白黒でしか使えない。一方、導電性磁気ブラシ現像は湿度依存性が強く使いこなすのは難しい。通常は中を取ってSCMBと呼ぶ超薄膜の絶縁性コーティングを施した半導電性磁気ブラシ現像が使われる。さらに初期の頃のカラートナーでは、Y,M,C,Bkの4種のトナーは表面に顔料の露呈などがあって各色のトナー q/m バランスと安定性の達成には相当の苦労があった。文字や線画中心の白黒に比べカラーでは階調を持った絵や広面積のベタ画像の再現が対象になるので、単位時間当たりの大量なトナー消費に対応できる高速なトナー帯電が必要になる。写真などの審美的再現のためには当然のことながら画像の一様性

に対しての要求レベルは厳しくなった。白黒の電子写真に比べカラー電子写真システムが抱えている課題の多くはこれらに由来している³⁾。

電子写真のデジタル化とカラー化

1980年代の後半、電子写真のデジタル化の動きが活発になった。イメージスキャナーで読み取った画像情報を時系列的なデジタルシグナルに変換することにより、色補正、画像強調、像域分離処理、墨版処理（GCR）などが可能となった。設計されたハーフトーンドットによってリニアな階調再現が可能になり、ドットピッチやパターンを最適化する事により粒状性も改善された。電子写真エンジンをページプリンターに応用することはデスクトップからハイエンドまで既に行われていたが、当社が得意領域とする中高速の複写機はデジタル化することでファクシミリ、プリンター、スキャナー、ページ編集、ストレージなどのオフィスに必要な機能を複合させることが出来た。LAN接続されたパソコン、サーバーをベースとするオフィスのデジタルネットワーク化の進展に伴い、従来のアナログ複写機は数年でLAN接続された多機能デジタル複写機（MFP）に何の抵抗も無く置き換えられていった。デジタル化に伴って電子写真システムの安定性や精度も一層高いものが要求された。あらためて言うまでもなく、この年代に電子写真エンジン自体がデジタル化したのではなく、これを推進したのはCCD、半導体レーザー、MPU、DRAM、ASICなどのエンジン周辺電子デバイスの急速な高性能化であり、またそれらの低コスト化であった。たとえばDRAMのビット単価は1987年に比較して2003年では1/1000まで下がり以下に述べる4ドラムタンデムカラーの一般オフィスへの展開を加速した。



Fig.6 2003年IS&T NIP19国際会議TBPPの米欧の座長と共にHyatt Regency Hotel New Orleans,Louisianaにて

4ドラムタンデムシステム

1990年前後のデジタルカラー複写機・プリンターは一つの感光体ドラムを用いて、シリアルにY,M,C,Bkの4色のトナー画像を一色ずつ順次形成しながら重ね合わせていくのが一般的であった。そのため白黒コピーに比べてカラーコピーの生産性は1/4となり、毎分のプリント速度は5 CPM/A4程度であった。筆者らはカラー電子写真エンジンの小型化、高精度化、画像処理の高効率化にチャレンジし、1990年に世界で初めて4ドラムタンデムシステムで15 CPM/A4の速度のカラー複写機を実現した。筆者は、IS&TのNIP7国際会議（Portland Oregon USA）で4ドラムタンデムシステムがカラー電子写真システムの新しい世界を拓くと言う発表をした。⁴⁾ 現在当社の4ドラムタンデムシステムは大きな成功をおさめ、業界でも本技術は中高速のカラー複写・プリンターアーキテクチャーの主流となっている。

おわりに

Carlsonによって発明されてから65年にもなる電子写真はオフィス用途の複写・プリンターにとどまらず、刷版を必要としない事から印刷部数に依存しないオンデマンドでの印刷出版が可能である。そのため来るべきデジタルプリントの時代には、オフセット印刷の相当の部分を置き換えると予測されている。電子写真を用いたPoD, BoD（Print on Demand, Book on Demand）を成功させるには、プリントコスト、安定性、一様性は言うまでも無く、高精度のレジストレーション、印刷同等のトナーパイルハイト、両面プリント性、支持体と一致した光沢発現などが必要となる。「電子写真の本質」で述べたように、最も重要な鍵はトナーが握っているように見える。高速帯電立上と安定した比電荷 q/m と、高い顔料樹脂比P/Rを達成するには重合法でトナーの表面とバルクの機能分離をした造粒をする事が望ましい。バルクのP/Rを高め、表面は高い帯電能の材料とすることで高く安定した q/m を達成するのが一つの方向であろう。液体トナーも q/m やP/Rに関してこれ以上の優位性があり感光体への各種ハザードやクリーニング課題も液膜の存在のため軽いと見られる。乾式電子写真方式で高速プリンターを設計する場合、機械的摩擦エネルギーで大量のトナーを高速帯電する必要がある。そのため現像機構部品の長期耐久性やシステムの消費電力面にも課題が多く、スマートなシステムに仕上げるには限界がありそうだ。特に新規事業分野などへ踏み出す際には電子写真の本質を良く理解して進めることが肝要であると考え。

引用文献

- 1) The static electrification of mixtures of insulating powders, L.B.Schein and J.Cranch; Journal of Applied Physics, 46,5140 (1975)
- 2) Design of Parameters on the Electrophotographic System, K.Hirakura et al. The Journal of The Society of

Electrophotography of Japan 1984

- 3) The Stability and Granularity of Electrophotographic Color Development Subsystems, K.Hirakura et al.IS&T International Conference NIP10 1994
- 4) Four Drum Digital Color Electrophotographic System, K.Hirakura et al.IS&T International Conference NIP7 1991