

# PET表面上に沿面放電電極を備えた リライトブルペーパーの作製

橋本 雄一<sup>\*.1</sup>

(2015年1月7日受付; 2015年2月27日受理)

## Design of Rewritable Paper with Creeping Discharge Units on PET Film

Yuichi HASHIMOTO<sup>\*,1</sup>

(Received January 7, 2015; Accepted February 27, 2015)

We investigated the fading characteristics of rewritable paper with creeping discharge units on PET film. The less chromophore in dye on paper was attributed to electrophilic reaction by ozone gas during the discharge process. From the experimental results, we note that: (I) in the case of interdigitated electrode with a thickness of 50 nm, the partial shaving of the electrode was occurred by discharge, (II) the ink absorbing layer with thickness of about 20  $\mu\text{m}$  or more was effective in the fading process by discharge treatment, (III) as results of writing and fading performances, an optimum compound ratio for an ink absorbing layer (PVA:EVA:SiO<sub>2</sub>) was 3:4:10, (IV) the rewritable performance was useful for several times. Taking all the factors into consideration, we propose that the paper with creeping discharge units on PET film constitutes a new rewritable system, which can be used with multicolor dyes.

### 1. はじめに

オフィスから出るゴミの多くは紙ゴミであると共に、紙の製造には森林破壊やCO<sub>2</sub>排出などの問題を伴う。このような状況を打開するため、オフィス等で使用される印刷用紙において数々の対策（用紙の両面使用、紙のリサイクル等）が取られてきたが、一定の省エネ・省資源効果をあげたものの、既に限界にきており、これ以上の効果は期待できない。また、印刷に替わる技術として電子ペーパーディスプレイが普及しつつあるが、これにより印刷用紙の需要が直ちに減少するわけでもない。現在大量の印刷用紙が使用されている状況において、従来から実施されている用紙のリサイクルがCO<sub>2</sub>削減には全くならず、むしろ増加させている現実<sup>1)</sup>を踏まえ、環境に優しい効果的な紙のリユースシステム創造のニーズが高まりつつある。

このような背景を基に、我々は新規の紙とインクに大気圧放電技術を組み合わせ、紙を複数回リユースして使用することが可能な紙のリユースプリンティングシステムを提案してきた<sup>2-5)</sup>。このシステムは、大気圧放電

ラズマで生成した酸化性ガス（オゾン）により色素の分子構造を壊して無色化するため、不可逆かつ高い消色性能を有している。

再生紙プロセスを用いない紙のリユースプリンティングシステムは、紙ゴミの削減には非常に有効な手段として注目されているため、熱や光を用いた消去方式のシステムが複数の企業から提案されている<sup>6-8)</sup>。例えば、消去プロセス技術として熱を用いた方法では、ロイコ色素の消色反応を利用し、表示が書き換えられるポイントカードなどのリライトブルカードや工場などで使用される物流や生産管理のためのリライトブルシートとして実用化されている。しかしながら、これらのリライトブルカードやリライトブルペーパーで多色化を行うためには、色素材料の選定やシステムの構築が困難であるという問題を有している。また、我々がこれまで検討を行ってきた大気圧放電技術を用いた紙のリユースプリンティングシステムは直接オゾンに印字面に暴露させる方法であるため、比較的高濃度のオゾン量（約150 ppm）が必要であった<sup>4,5)</sup>。これら従来のシステムに比べて、インク受容層と放電電極を備えたリライトブルペーパーは印字部（受容層内の色素）と放電電極が数十 $\mu\text{m}$ の距離で近接しているため、少量のオゾン量で消去できる可能性を有している。更に、紙以外の基材（例えば高分子フィルム）にも適用可能であり、リライトブルプロセスを繰り返せば紙と同様の省資源化が期待できる。

本報告は、大気圧放電技術を用いたリライトブルペーパー技術の一つとして、PETフィルム上に設けた誘導電

キーワード：沿面放電，ポリエチレンテレフタレート，リライトブル，オゾン

\* 大同大学

(〒457-8530 愛知県名古屋市長区滝春町10-3)

Department of Electrical and Electronic Engineering, Daido University, 10-3 Takiharuro-cho, Minami-ku, Nagoya 457-8530, Japan

<sup>1</sup> hashi-y@daido-it.ac.jp

極 - 楕形状放電電極間に高周波電圧を印加することにより、インク受容層内の様々な色素に対して、その分子構造を壊して無色化を行うことができる新規のフルカラー対応リライタブルペーパーの可能性について検証を行ったものである。

## 2. 実験方法

### 2.1 リライタブルペーパーの作製

厚さ 125  $\mu\text{m}$  の PET フィルム (メリネックス S, 帝人デュポンフィルム (株)) の片面に、図 1(a) に示す樹脂製マスク (厚さ 125  $\mu\text{m}$ , 外寸 91  $\times$  121 mm, 開口部 60  $\times$  98 mm) を用いて膜厚 200 nm の面状アルミニウム電極 (誘導電極) を真空蒸着法により形成した。次いで PET フィルムのもう一方の面に、図 1(b) に示すステンレス製マスク (厚さ 210  $\mu\text{m}$ , 外寸 91  $\times$  121 mm) を用いて 6 種類の膜厚 (50, 100, 150, 200, 250, 300 nm) の楕形状アルミニウム電極 (放電電極; 電極間距離は 1 mm と 2 mm) を真空蒸着法によりそれぞれ設けた。これらの電極の膜厚評価は、触針式膜厚測定装置 (Alpha-Step P-16+, KLA Tencor) を用いて行った。

インク受容層を形成するために、ポリビニルアルコール (R-1130, クラレ (株), 以下 PVA と記す), エチレン酢酸ビニル共重合樹脂 (S-401HQ, 住化ケムテックス

表 1 インク受容層の配合比率

Table 1 Compound ratio by weight for ink absorbing layer.

Ink absorbing layer	compound ratio by weight PVA:EVA:SiO <sub>2</sub>
A	1:4:10
B	2:4:10
C	3:4:10
D	4:4:10
E	6:4:10

(株), 以下 EVA と記す), ゲルタイプシリカ (AY-6A3, 東ソー・シリカ (株), 以下 SiO<sub>2</sub> と記す) を表 1 に示す重量比で混合し, 水を加えて 1 時間攪拌して 25 wt% の塗工液を作製した。SiO<sub>2</sub> は平均粒径 6.5  $\mu\text{m}$  の微粒子状粉体であり, インク色素を吸着させるため, 粒子表面に多数の細孔 (平均細孔径 19 nm, BET 比表面積 300 m<sup>2</sup>/g) を有している。また, PVA と EVA は共にバインダーとして機能するが, PVA の方がインク受容層の機械的強度向上に加え, 塗工液の粘度調整 (コーティング) に適しているため, 表 1 に示す重量比で変化させた。楕形状電極を設けた PET フィルム上にペーカー式アプリケーションター (SA-201, テスター産業 (株)) を用いてインク受容層用塗工液を 2~60  $\mu\text{m}$  の厚さで塗工し, 80°C で 10 分間乾燥してリライタブルペーパーを用意した。なお, インク受容層を塗布した PET フィルム面は, 親水性を付与するために予めコロナ放電処理を施した。

### 2.2 インクの調整及び印字サンプルの作製

評価に用いた色素は市販用インク色素と同レベルの安全性を有するもので, 赤系色素 (N-glutarylubropunctamine, N-glutarylmonascorbamine)<sup>2,9)</sup>, 緑系色素 (Acid Green 25)<sup>3)</sup>, 青系色素 (Acid Blue 112)<sup>3)</sup> の 3 種類である。

これらの色素にジエチレングリコール (7.5 wt%), グリセリン (7.5 wt%), アセチレノール EH (1.0 wt%) と水を加え, 30 分攪拌して 0.6~0.8% 濃度のインク溶液を調整した。次いで, これらのインク溶液を充填したボールペン (ペン先径:  $\phi$ 0.4 mm), マーカーペン (高密度芯体) を作製した (図 2)。

消色実験を行う印字サンプルは, インク受容層を設けたリライタブルペーパー上に上記の筆記具で文字を書き込んで作製した。

### 2.3 発生オゾン濃度及び消色性の評価

放電による発生オゾン濃度の測定は, インク受容層の無いリライタブルペーパーを用いて行った。図 3 は, オゾン濃度測定の概略図である。リライタブルペーパー上に設けた楕形状放電電極から 3 mm の位置にオゾンガスを吸引する樹脂チューブを固定し, 高電圧交流電源 (EP-

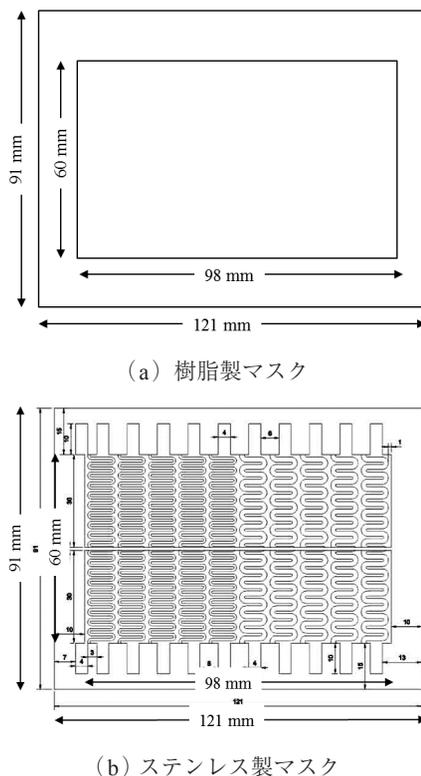


図 1 マスク形状の概略図

Fig.1 Schematic diagram of the employed electrode geometry (a) plastic mask, (b) stainless steel mask.



図2 リライタブルペン  
Fig.2 Photograph of rewritable pen.

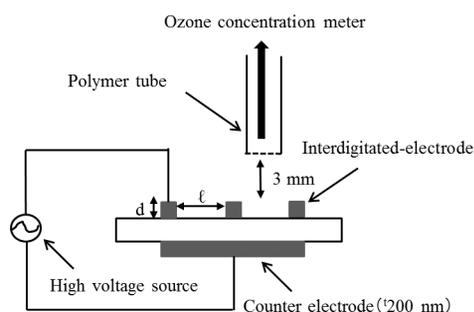


図3 オゾン濃度測定のご略図  
Fig.3 Measurement system for ozone concentration.

0.3A, (株)増田研究所)を用いて楕形状放電電極-誘導電極間に電圧を印加してオゾンガスを発生させた。印加電圧 ( $V_{p-p}$ ) は 2.2~3 kV, 周波数 3.7~8 kHz の範囲で行い、オゾン濃度は紫外線吸収式オゾン濃度計 (SOZ-3300A, セキエレクトロニクス(株)) を用いて測定した。本来、オゾン濃度の測定は、楕形状放電電極上にインク受容層を設けるため、放電電極上から数  $\mu\text{m}$ ~数十  $\mu\text{m}$  の位置で評価する必要があるが、樹脂チューブの位置決めが困難である。また、インク受容層がある場合、受容層内に含まれる  $\text{SiO}_2$  の細孔に発生オゾンが吸着されてしまう可能性があることやオゾン発生に必要な酸素供給が妨げられることが考えられ、実際に消色に寄与するオゾン濃度を評価することは極めて困難である。したがって、本実験ではインク受容層外部からコート紙にオゾンを暴露させる従来法<sup>2,5)</sup> とリライタブルペーパーのインク消去に必要なオゾン濃度の比較を行うことに留め、従来法で設定した位置 (3 mm) での計測を行った。

放電による消色実験は、膜厚 200 nm, 電極間距離 1 mm 及び 2 mm の楕形状放電電極上にインク受容層を設けたリライタブルペーパーに図2の筆記具で文字を書き込んだものを用いて行った。消色性の評価は、分光測色計 (CM-2022, Minolta Co. Ltd) を用いて、印字サンプルに対して放電処理を行い、放電前後における色素の最大吸収波長の反射率から求めた。

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 発生オゾン濃度に及ぼす印加電圧及び楕形状放電電極膜厚の影響

楕形状放電電極膜厚 ( $d$ : 50 nm, 200 nm) 及び電極間距離 ( $l$ : 1 mm, 2 mm) が異なる4種類のリライタブルペーパーにおける発生オゾン濃度の印加電圧依存性 (印加電圧の周波数は 4.5 kHz) を図4に示す。いずれのペーパーにおいても、印加電圧が 2.4 kV 以上でオゾンが発生し始め、印加電圧の増加に伴いオゾン濃度は急激に増加する傾向を示した。

また、印加電圧が 2.8~3 kV の場合、楕形状電極膜厚が厚く、楕形状放電電極間距離が小さいペーパーの方がより多くのオゾンが発生した。電極間距離が短い楕形状電極における発生オゾンの増加現象は、放電電極 (楕形状電極) 近傍におけるストリーマの進展具合や誘電体表面に蓄積される電荷が関与しているなどの研究報告<sup>10-14)</sup> があるが、未だ不明な点も多い。

図5と図6は、それぞれ楕形状電極膜厚 ( $d$ ) が 50 nm, 200 nm のリライタブルペーパーの発生オゾン濃度と印加電圧の周波数の関係 (印加電圧値は 3 kV) を示したものである。楕形状電極膜厚が薄い 50 nm のペーパーではオゾン濃度と周波数の間に殆ど相関性が見られずほぼ一定であるのに対し、電極膜厚が厚い 200 nm の場合は周波数の増加に伴い、オゾン濃度が増加する傾向を示した。また、図4の結果と同様、楕形状電極膜厚の大小に関わらず、電極間距離 ( $l$ ) の小さいペーパーの方 (1 mm) がオゾンの発生量が多い結果となった。電極膜厚 200 nm の場合、周波数 3.7~5 kHz の範囲と周波数 4.5~8 kHz の範囲では周波数の増加に伴うオゾン濃度の増加傾向が若干異なっている。この原因として、高い周波数域 (5~8 kHz) では放電に伴う発熱量が増加するため、オゾンの熱分解が進み、オゾン生成効率の低下が起きは

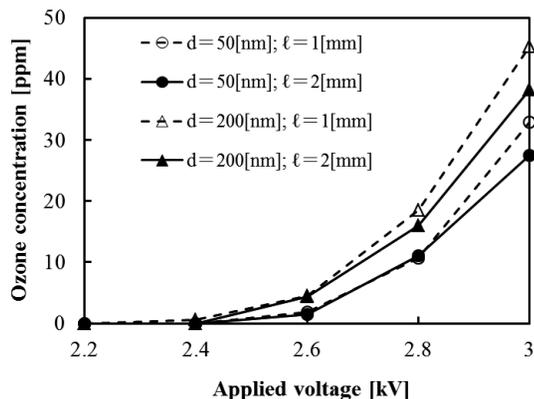


図4 発生オゾン濃度の印加電圧依存性  
Fig.4 Effect of applied voltage for rewritable paper on ozone concentration.

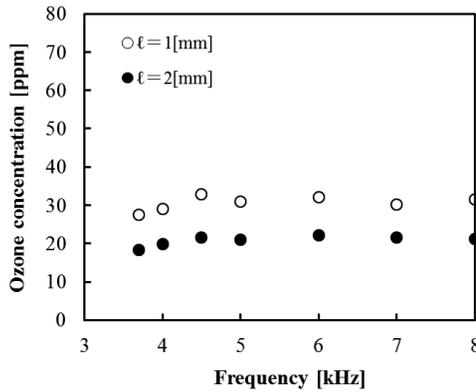


図5 楕形状電極膜厚 ( $d: 50 \text{ nm}$ ) のリライタブルペーパーにおける発生オゾン濃度-周波数依存性

Fig.5 Effect of frequency for rewritable paper forming interdigitated electrode with thickness of  $50 \text{ nm}$  on ozone concentration.

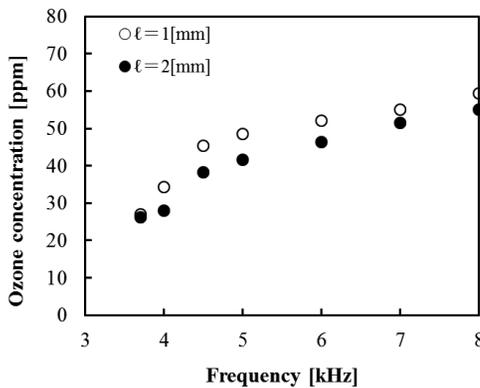


図6 楕形状電極膜厚 ( $d: 200 \text{ nm}$ ) のリライタブルペーパーにおける発生オゾン濃度-周波数依存性

Fig.6 Effect of frequency for rewritable paper forming interdigitated electrode with thickness of  $200 \text{ nm}$  on ozone concentration.

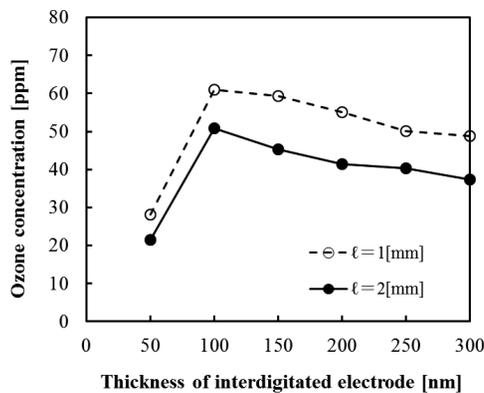


図7 発生オゾン濃度の楕形状放電電極膜厚依存性

Fig.7 Effect of thickness of interdigitated electrode for rewritable paper on ozone concentration.

じているものと推測される。

図7に楕形状放電電極膜厚と発生オゾン濃度の関係 (印加電圧値及び周波数は、 $3 \text{ kV}$ ,  $7 \text{ kHz}$ ) を示す。

楕形状放電電極間隔 ( $l$ ) が  $1 \text{ mm}$  の場合、膜厚が  $50$

$\text{nm}$  から  $100 \text{ nm}$  の範囲では発生オゾン濃度は  $28 \text{ ppm}$  から  $61 \text{ ppm}$  へ急激に増加し、その後は膜厚の増加に伴いオゾン濃度は緩やかに減少し、膜厚  $300 \text{ nm}$  では  $49 \text{ ppm}$  となった。この放電電極膜厚による発生オゾン濃度の周波数依存性は楕形状放電電極間隔 ( $l$ ) が  $2 \text{ mm}$  の場合でも同様の傾向を示した。

一方、放電によるオゾン濃度評価を終えたペーパーの楕形状放電電極近傍の顕微鏡観察を行ったところ、膜厚が  $100 \sim 300 \text{ nm}$  の放電電極近傍では評価前後で電極形状に何ら変化が見られなかったが、放電電極膜厚が  $50 \text{ nm}$  の場合は、電極先端から約  $1 \sim 2 \text{ mm}$  にわたり電極の削れが生じた。

山野等<sup>12)</sup>によると、箔電極を設けた絶縁体基板表面の沿面フラッシュオーバー現象について検討を行った結果、放電により発生したホモ電荷の帯電量と絶縁体基板への水平及び垂直成分の電界強度が沿面放電の進展に影響を与えていることが報告されている。したがって、極めて放電電極膜厚が薄い  $50 \text{ nm}$  の場合は沿面フラッシュオーバー現象等により、電極先端が選択的にエッチングされて楕形状電極間距離が増加し、発生オゾン濃度の低下を引き起こしたものと考えられる (図5, 図7)。一方、電極膜厚が厚い場合 ( $100 \sim 300 \text{ nm}$ ) の発生オゾン濃度の変化には、山野等<sup>12)</sup>が報告している電極近傍における放電の進展が関与しているものと推測されるが詳細は不明である。

### 3.2 リライタブルペーパーにおける消色性の評価

放電による消色実験は、膜厚  $200 \text{ nm}$ 、電極間距離  $2 \text{ mm}$  の楕形状放電電極上にインク受容層を設けたリライタブルペーパーを用いて行った。ペーパーとして最適なインク受容層の設計 (優れた消色性と筆記性) を行うために、表1に示した受容層 (A~E, 膜厚  $2 \sim 60 \mu\text{m}$ ) を設けたリライタブルペーパー上に、赤系色素含有ボールペンで文字を書き、筆記性 (粉落ちや削れ) 及び消色性について調べた。

インク受容層膜厚と筆記性の関係を調べたところ、受容層 A, B は、膜厚  $2 \sim 60 \mu\text{m}$  の範囲において筆記具を用いた書き込みによる受容層の削れが認められた。特に受容層 A は、普通紙との擦れによっても粉落ちが多数生じた。受容層 C, D は、膜厚  $20 \mu\text{m}$  未満の場合に筆記具による書き込み時の削れや粉落ちが生じたが、膜厚  $20 \mu\text{m}$  以上では削れや粉落ちが殆ど認められなかった。また受容層 E は、膜厚  $20 \mu\text{m}$  未満の場合でも削れや粉落ちは認められなかった。これらの結果は、結着樹脂である PVA の量が受容層 A, B, C, D, E の順に増加するため、受容層 E では膜強度及び接着性が高く、逆に受容層 A, B は膜の機械的強度が低いことを示唆している。

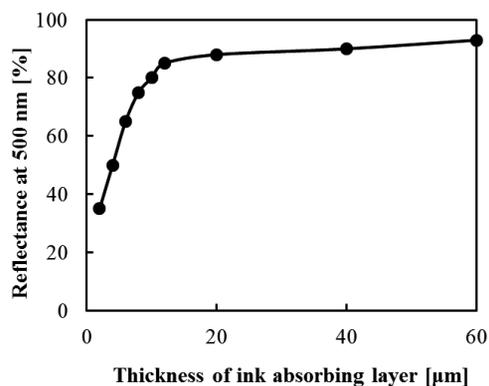


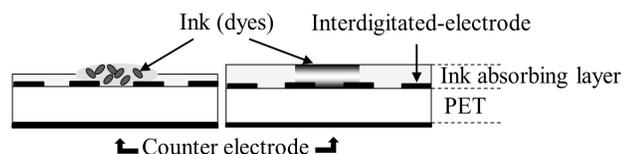
図8 インク受容層膜厚が色素の反射率に及ぼす影響  
Fig.8 Effect of thickness of ink absorbing layer on reflectance at 500 nm.

図8は、異なる膜厚を有するインク受容層 (C) を備えたリライタブルペーパーに 3 kV, 6 kHz の電圧を 10 秒間印加した後の消色性の結果である。横軸はインク受容層膜厚、縦軸は印字サンプルの反射率 (500 nm) であり、数値が大きいほど消色性が高いことを示している。インク受容層の膜厚が増加するにしたがい消色性は向上し、膜厚 20 μm 以上で反射率が約 90% の一定値を示した。他のインク受容層 (A, B, D, E) についても同様の実験を行ったところ、インク受容層 (A, B) はインク受容層 (C) とほぼ同じ傾向を示した。しかしながら、インク受容層 (D) では若干消色性が低下し、インク受容層 (E) は印字サンプルの消色が殆ど認められない結果となった。表2にインク受容層 (A~E) を設けたリライタブルペーパーにおける筆記性 (粉落ちや削れ) と消色性 (印字サンプルの 500 nm における反射率) の結果を示す。

放電により生成した酸化性ガス (オゾン) を用いた消色プロセスでは、受容層に含まれる無機微粒子 (SiO<sub>2</sub>) 表面への色素吸着が重要な役割を果たすことが報告されている<sup>3)</sup>。また受容層内における色素の凝集が消色性を阻害する結果も得られている<sup>3)</sup>。したがって、書き込みによるインク (色素) が SiO<sub>2</sub> 表面にほぼ完全に吸着できる厚い受容層に比べて、薄い受容層膜厚の場合は、イ

表2 インク受容層別の筆記性及び消色性の評価  
Table 2 Variation of writing and fading performances due to ink absorbing layer.

Ink absorbing layer	Writing performance	Fading performance (reflectance at 500 nm)
A	×	92%
B	△	91%
C	○	91%
D	○	65%
E	◎	12%



(a) 薄いインク受容層 (b) 厚いインク受容層  
図9 インク受容層への色素の浸透モデル  
Fig.9 Dye penetration models for ink absorbing layer.

ンクのオーバーフローや色素の凝集が生じ、オゾンによる色素の分子構造の破壊が阻害されて、低い消色性になるものと考えられる (図9)。また、PVA の量が多い受容層 (E) で得られた低い消色性は、PVA が SiO<sub>2</sub> への色素吸着を阻害することに加え、PVA による色素分子の凝集を引き起こしていることが原因と考えられる。

以上の実験結果より、リライタブルペーパーに用いる最適なインク受容層の配合比率は C (PVA:EVA:SiO<sub>2</sub> = 3:4:10) であり、膜厚は 20 μm 以上が必要であることが明らかとなった。

次に、インク受容層 C (PVA:EVA:SiO<sub>2</sub> = 3:4:10, 膜厚 40 μm) を設けたリライタブルペーパー (楕形状放電電極膜厚: 200 nm, 電極間距離: 1 mm と 2 mm) に赤系色素, 緑系色素, 青系色素含有筆記具 (ボールペン, マーカーペン) で書き込んだ印字サンプルに、3 kV, 5 ~ 8 kHz の電圧を印加した消色実験を実施した。これらのリライタブルペーパーは、約 10 秒で印字部が視認できないレベルまで消色し、複数回の書き込みと消去プロセスを繰り返しても良好な消色性能を維持した。インク受容層が無いペーパーで発生させたオゾン濃度は約 50 ppm であり、インク受容層外部からコート紙にオゾンを暴露させる従来法の約 150 ppm に比べ<sup>4)</sup>、1/3 程度のオゾン量で消去が可能であることが確認できた。また、2.3 節で述べたように、インク受容層がある場合は色素の分子構造破壊に関わるオゾン濃度の低下が考えられるため、実際の消色プロセスは更に低濃度のオゾンで起きているものと推測される。

実際に消去する様子の一例として、インク受容層 C (膜厚 50 μm) を設けたリライタブルペーパー (楕形状放電電極膜厚: 200 nm, 電極間距離: 2 mm) に青系マーカーペンで書き込んだ印字サンプルに対し、3 kV, 5 kHz の電圧を 10 秒間印加した後の写真を図 10 に示す。放電 2 秒後での消去は不完全であるものの、電極上または電極間の印字部の反射率には殆ど差が無く (約 60%)、5 秒後で約 80%, 10 秒後には反射率 90% 以上でほぼ完全に消色した。

これらの実験結果は、放電により印字部近傍のインク受容層内部には発生オゾンが均一に拡散していることを

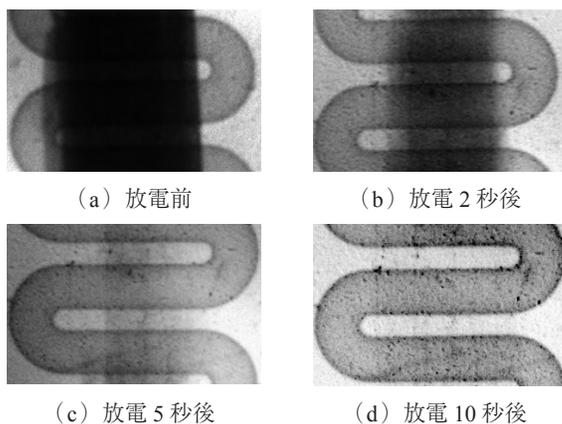


図 10 放電前後の印字サンプル

Fig.10 Photographs of solid prints using rewritable paper.

示唆している。

本実験では電極材料としてアルミニウムを使用した  
が、ITO (Indium-Tin Oxide) 電極等の透明電極を用い  
れば、ペーパーへの書き込み時の視認性を更に高めるこ  
とができる。

また、インク受容層にポリアミンスルホン系の Fix 剤  
を混入することで消色性の経時変化を低減することが可  
能であり、カレンダー加工により受容層の膜強度を更に  
高めることが期待できる。

#### 4. まとめ

本検討では、高分子フィルム (PET) 表面に設けた櫛  
形状の放電電極膜厚、電極間距離、印加電圧条件と発生  
オゾン濃度の関係を調べ、高い消色性と筆記性を兼ね備  
えたインク受容層の設計を行った。

PET フィルム両面にそれぞれ誘導電極と櫛形状放電電  
極を設け、両電極間に高周波電圧を印加することにより、  
櫛形状放電電極近傍で沿面放電が生じ、酸化性ガス (オ  
ゾン) が発生した。放電で発生したオゾンは、放電電極  
側に設けたインク受容層内の様々な色素に対して、その  
分子構造を壊して無色化するため、不可逆的且つ高い消  
色性能を有するリライタブルペーパーが得られた。特に、  
このリライタブルペーパーはインク受容層内の色素と放  
電電極が数十  $\mu\text{m}$  の距離で近接しているため、少量のオ  
ゾン量、且つ高速で色素分子の無色化が可能である。

PET フィルム上に設ける櫛形状放電電極膜厚は 100  
nm 以上、電極間距離 1~2 mm、インク受容層の配合比  
率 PVA:EVA:SiO<sub>2</sub> = 3:4:10、膜厚 20  $\mu\text{m}$  以上で作製した  
ペーパーが消色性と筆記性両面から最適であり、櫛形状  
放電電極 - 誘導電極間に 3 kV、5~8 kHz の電圧を印加  
することで、新規のフルカラー対応リライタブルペーパ  
ーとして利用することが検証できた。

#### 参考文献

- 1) 日本製紙連合会ホームページ : <http://www.jpa.gr.jp>
- 2) Y. Hashimoto, W. Hasegawa, N. Tsuyoshi, R. Fudou, T. Kuwahara, M. Oshimura and T. Asano : A new rewritable system using fading process by corona discharge to water-soluble monascus ink. 日本画像学会誌, **45** (2006) 315
- 3) 橋本雄一, 湯浅俊哉, 宮町尚利, 内藤泰裕, 石山竜典, 西田俊一郎, 浅野正, 土屋太裕 : 新規のリライタブルシステムに用いるコート紙の設計と消去可能な色素の検討. 日本画像学会誌, **45** (2006) 532
- 4) 橋本雄一, 石山竜典, 宮町尚利, 湯浅俊哉, 内藤泰裕, 西田俊一郎, 浅野正, 土屋太裕 : 新規のリライタブルシステムに用いる放電法の検討. 日本画像学会誌, **46** (2007) 20
- 5) 橋本雄一, 不藤亮介 : 大気圧放電プラズマを利用した紙のリユースプリンティングシステム. J. Plasma Fusion Res., **87** (2011) 743
- 6) リコーホームページ : <http://www.ricoh.co.jp/about/company/technology/tech/004.html>
- 7) 東芝テックホームページ : [https://www.toshibatec.co.jp/products/office/loops/interview/interview\\_2/](https://www.toshibatec.co.jp/products/office/loops/interview/interview_2/)
- 8) 平野成伸, 高橋裕幸, 川島伊久衛 : フォトクロミック化合物を用いたフルカラーリライタブル表示メディア. Ricoh Technical Report (2003) <http://www.ricoh.co.jp/about/company/technology/techreport/29/pdf/B2906.pdf>
- 9) H. Toyosaki, N. Naritomi, A. Seto, M. Matsuoka, T. Tsuchida and F. Yoshinaga : Screening of bacterial cellulose-producing acetobacter strains suitable for agitated culture. Biosci. Biotech. Biochem., **59** (1995) 1498
- 10) J-S. Chang and T. Oda : Applied Electrostatic Studies of SENICHI MASUDA (1926-1995), p.125, 増田記念論文刊行会 (2001)
- 11) 析久保文嘉 : 大気圧放電プラズマのシミュレーションの現状. 電気学会論文誌 A, **134** (2014) 2
- 12) 山野芳昭, 今井孝輝 : 箔電極によって形成される微小間隙の直流および交流沿面フラッシュオーバー特性. 静電気学会誌, **34** (2010) 87
- 13) 田代真一, 遠藤正雄 : 帯電電荷による沿面放電開始電界. 電気学会論文誌 A, **122** (2002) 768
- 14) 桑田健司, 竹川純, 森山達也, 上野秀樹, 中山博史 : 背後電極を有した電極系における乾燥空気中の沿面放電特性. 平成 20 年電気学会全国大会論文集, p.103, 電気学会 (2008)