
薄片メディアを用いたドライ洗浄技術の開発

Development of Dry Washing Technology with Thin Pieces of Media

岡本 洋一* 淵上 明弘* 佐藤 達哉* 種子田 裕介*
Yoichi OKAMOTO Akihiro FUCHIGAMI Tatsuya SATO Yusuke TANEDA

要 旨

環境負荷が高い湿式洗浄に代わる、樹脂フィルム等の小片を用いたドライ洗浄技術を開発し、自社内の生産工程に導入して環境負荷の削減とコスト削減を実現した。この技術は、複写機等の回収部品再生のためのトナー清掃工程、およびプリント基板半田付け装置で用いる治具の洗浄工程で実用化され、現在国内外の多数の工場で運用中である。同技術は、(1)水や溶剤を使用しないため、洗浄による廃液が発生しない、(2)薄片メディアのエッジや面の接触作用により効率よく汚れを除去できる、(3)薄片メディアを循環させ繰り返し利用するため、消耗品の環境負荷やランニングコストが小さい、といった特徴を有しており、今後さらなる応用拡大が期待される。

ABSTRACT

Dry washing technology with small pieces of plastic film has been developed; it reduces both the environmental load in and the cost of the company's production process. The new technology was first applied practically to the toner-cleaning process for recycling used copier parts, and then to the jig-cleaning process for soldering printed circuit boards. It is now used at domestic and overseas manufacturing sites. The technology has several advantages: (1) it generates no wastewater, because neither water nor solvent is used; (2) it achieves effective cleaning by making contact with the edge or face of thin cleaning media; (3) it exacts a small environmental load and has a low running cost of consumables because of the circulation and repetitive use of thin cleaning media.

* グループ技術開発本部 環境技術開発室
Environmental Technology Development Dep., Corporate Technology Development Group

1. 背景

1-1 開発のねらい

洗浄工程は、ものづくりになくてはならない工程であり、当社においても複写機やプリンターといった製品の製造やリサイクル工程においてさまざまな洗浄が行われている。しかしながら、一般的に用いられる湿式洗浄は、①環境負荷が大きい、②リードタイムが長い、③コストや作業負荷が大きいといった課題を有している。

これらの湿式工程の課題を解決し、①洗浄に伴い発生する廃液やVOC（揮発性有機化合物）の削減、②洗浄および乾燥に要する時間の短縮、③ランニングコストおよび洗浄作業負荷の削減、を実現するため、より環境負荷が低く効率的な新規洗浄技術の開発に取り組んだ。

1-2 従来技術¹⁾

汚れを除去する方式は、固体や気体を洗浄媒体として用いる乾式洗浄と、液体を洗浄媒体として用いる湿式洗浄の2つに分類することができる。

1-2-1 乾式洗浄

(1) 空気流のみを用いるエアブロー方式は、除去能力がそれほど高くないため、主として弱い付着汚れの除塵等の目的で用いられている。

(2) 空気流にドライアイスの粒子を混入させて対象物に衝突させるドライアイスブラスト方式は、洗浄媒体が対象物に残留しないという長所を有するが、消耗品となるドライアイスのランニングコストが大きく、実用上使える対象物が限られている。

(3) ガラスビーズやアルミナ粒子、重曹粒子等を気流で吹き付けるブラスト方式は、強固にこびりついた付着物の除去に用いられている。除去力が大きい反面、対象物を傷つけてしまう場合や、投射する粒子が大量の廃棄物を発生させるといった問題がある。

1-2-2 湿式洗浄

(1) 界面活性剤等の水系洗浄は、洗浄媒体として安価な水を利用できるメリットがあるが、洗浄後の乾燥に時間とエネルギーがかかり、すすぎも含めると大量の廃液が発生する点が欠点である。

(2) 有機溶剤等の非水系洗浄は、脱脂洗浄等の用途に適しているが、オゾン層破壊や地球温暖化に影響の大きい溶剤は規制により使われなくなってきている。また、揮発性溶剤を用いる場合は、安全性（引火性、人体に対する有害性）の問題やVOC（揮発性有機化合物）の発生による大気汚染の問題がある。

以上説明した各洗浄方式の主なメリット／デメリットの比較をTable 1に示す。

Table 1 Comparison of cleaning methods.

方式	メリット	デメリット	
乾式	(1)エアブロー	ダメージが低い 廃棄物が少ない	除去力が低い
	(2)ドライアイス ブラスト	投射材の残留なし	ランニングコストが高い 酸欠に注意が必要
	(3)各種 ブラスト	除去力が高い	対象物へのダメージ 投射材の消耗が多い
湿式	(1)水系	コストが安い	大量の廃液の発生 乾燥時間が長い 錆の発生
	(2)非水系	脱脂能力に優れる	環境や人体に悪影響 溶剤が高価 樹脂等へのダメージ

2. 新洗浄方式

2-1 原理と特徴

Table 1に示した従来技術のデメリットを克服する新たな洗浄方式の開発に取り組み、樹脂フィルム等の薄片を洗浄媒体として気流で吹きつけるという、独自の乾式洗浄方式を考案した。本洗浄方式は、以下のような原理と特徴を有している。

2-1-1 汚れの除去

薄片状の洗浄媒体を高速で衝突・接触させることにより、対象物から汚れを除去する。薄片状の洗浄媒体として柔軟で薄くたわみやすい素材を用いた場合は、広い面積で接触することにより、対象物を傷つけることなく効率的に汚れを除去することができる (Fig.1)。

また、硬く厚めの素材を用いた場合は、薄片のエッジ部で衝突する際に高い除去力が得られるため、強固に付着した汚れを除去することもできる。

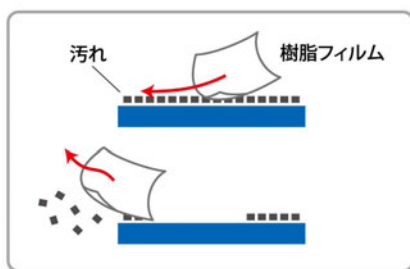


Fig.1 Cleaning process of residual substances using plastic films.

2-1-2 汚れの分離・排出

対象物から除去された汚れは、気流に乗って集塵口へ運ばれる。薄片状の洗浄媒体と汚れは大きさの違いにより集塵口で分離され、気流とともに汚れのみが排出される (Fig.2)。

洗浄媒体に付着した汚れや洗浄装置内に付着した汚れも、洗浄媒体を装置内で循環させる過程でセルフクリーニングされ排出される。洗浄媒体の清浄度を保ちつつ、洗浄媒体を繰り返し使用することにより、少量の洗浄媒体で汚れが除去可能である。

なお、繰り返し使用により劣化・磨耗して集塵口より小さくなった洗浄媒体は、汚れとともに排出される。

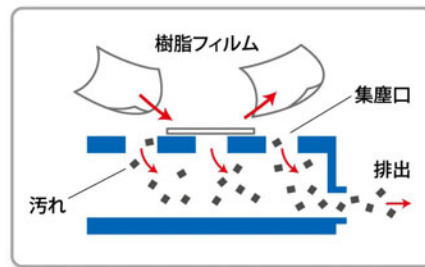


Fig.2 Separation and release of residual substances from plastic films.

2-2 洗浄のモデル式

本洗浄方式は、洗浄媒体の衝突・接触作用により汚れを除去するため、対象物からの汚れの除去速度 V は洗浄媒体と汚れの接触確率 P に比例する。

$$V \propto P \quad (1)$$

ここでは、洗浄媒体が接触した箇所の汚れはすべて除去され、対象物へ再付着はしないものとする。この仮定は、洗浄媒体が清浄であれば妥当なものと考えられる。

Fig.3のモデル図で示すように、洗浄媒体が汚れに接触する確率 P は、汚れの濃度 (残留率) Y に比例することから、

$$P \propto Y \quad (2)$$

と置くことができる。

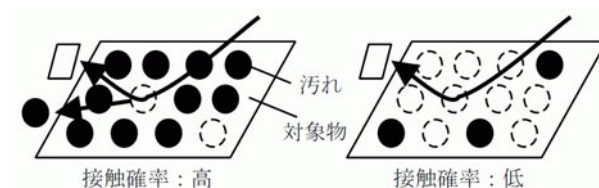


Fig.3 Probability model of contact of films with residual substances.

汚れの濃度 (残留率) Y を用いると汚れの除去速度 V は $-dY/dt$ で表わされるため、(1)(2)より以下の式が成り立つ。

$$-dY/dt = kY \quad (3)$$

ここで、 t は時間、 k は比例係数である。式(3)より

$$Y = Y_0 \exp(-kt) \quad (4)$$

を得る。ここで、 Y_0 は Y の初期値を示す。

式(4)によれば、汚れの濃度（残留率）は時間に対して指数関数的に減少していくことになる。

本洗浄方式での実際の汚れ除去過程を縦対数グラフでプロットすると、Fig.4に示すようにほぼ直線となる。汚れの付着力や除去能力の違い（投入する気流エネルギーや洗浄媒体の種類等）によりグラフの傾きは異なるが、おおむね上記の式(4)を導いたモデルで汚れが除去されていると考えられる。

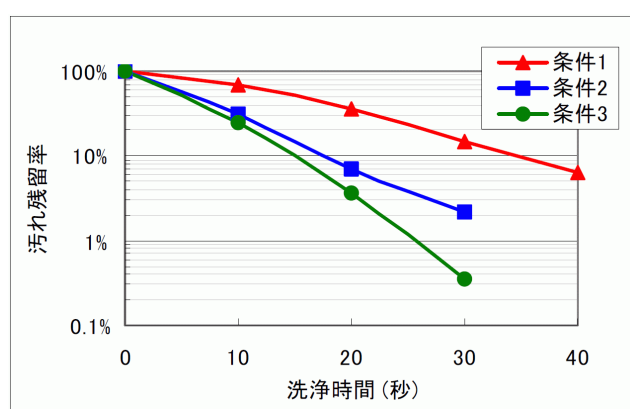


Fig.4 Time-series progress of cleaning process.

3. 要素技術

3-1 洗浄媒体

3-1-1 粉体汚れ用洗浄媒体

トナー粉等の比較的付着力の小さい汚れに対しては、柔軟な薄片洗浄媒体を用いて「はたき」と同様の作用で効率的に汚れを除去することができる。洗浄媒体として使用する樹脂フィルムは下記の特徴が要求される。

- (1) 対象物へ広い面積で接触する柔軟性
- (2) 対象物を傷つけない適度な硬さ
- (3) 繰り返し使用に対する耐久性
- (4) 帯電による付着の少なさ

これらの要求特性を元に、さまざまなフィルム素材の評価を行い、最終的に耐折性³⁾が10000回以上の耐久

性を持つ、ポリエステル系の素材 (Fig.5) を選定した。フィルム片の大きさは数mm角である。



Fig.5 Cleaning media.

3-1-2 固着汚れ用洗浄媒体

強固に付着した汚れの除去に対しては、薄片洗浄媒体のエッジで削り取るような除去作用が有効である。Fig.7に示すさまざまなフィルム素材を評価した結果、以下の知見が得られた。

- (1) エッジが変形したり潰れたりする素材では、繰り返し使用するうちに、固着汚れの除去能力が低下する (Fig.6 : 材質A, B)。
- (2) 適度に割れやすい素材では、割れて新たなエッジが生成することによりエッジの鋭さが維持され、繰り返し使用しても固着汚れの除去能力が保たれる (Fig.6 : 材質C, D)。

すなわち、樹脂フィルムのエッジによる汚れ除去作用を保つことが重要なポイントとなる。

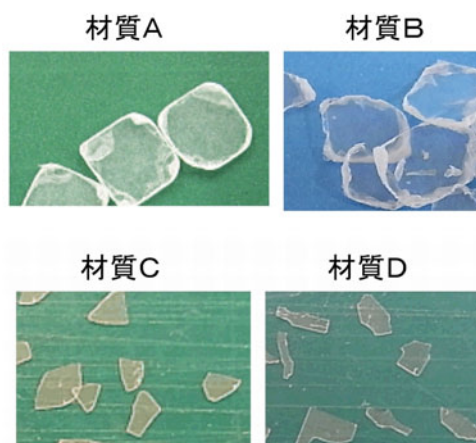


Fig.6 Deterioration mode differences with film materials.

フィルム素材の機械的特性値と、汚れ除去能力の相関を調べた結果、最終的に下記の特性値を抽出した。

- (1) 塗膜の引掻き硬度測定で使用される「鉛筆硬度²⁾」という特性値（傷がつかない鉛筆の最大硬度）が、汚れを除去するのに必要なフィルム硬さを最もよく表す。
- (2) 屈曲耐久性の評価指標である「耐折性³⁾」という特性値（破断までに要する繰り返し曲げ回数）が小さい方が、繰り返し使用時に鋭いエッジが保たれ、汚れ除去能力が維持される。

フィルムの硬さの指標として「鉛筆硬度」を横軸に、エッジ維持の指標として「耐折性」を縦軸にとり、各種フィルムの測定データをプロットしたものをFig.7に示す。

固着汚れを除去する能力が維持される素材はすべて、Fig.7の右下の領域（鉛筆硬度が付着物よりも大きく、耐折性が65未満）に入ることがわかった。

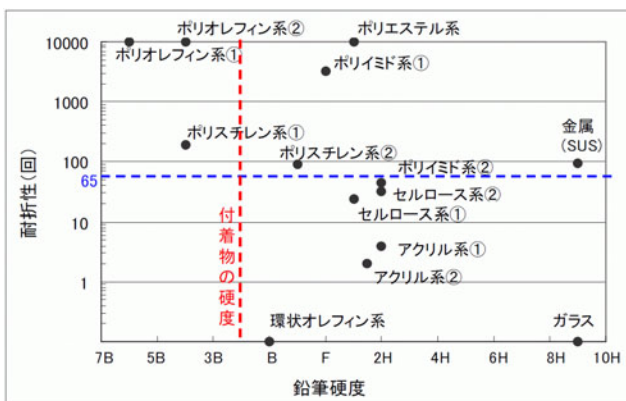


Fig.7 Bending durability and pencil hardness for various film materials.

3-2 洗浄装置

3-2-1 粉体汚れ用洗浄装置

洗浄装置に求められる主な機能を、以下に挙げる。

- (1) 洗浄媒体を滞りなく循環させノズルへ供給する。
- (2) 洗浄媒体をノズルからの気流で加速して対象物に吹きつける。

- (3) 洗浄媒体に付着した汚れを分離・排出する。
- (4) 洗浄対象物とノズルを相対移動させて全面を洗浄する。

機能(1)に関して、薄片状の洗浄媒体には下記の課題があった。

- (a) 一般的なブラストで使用する投射材に比べて大きさが大きいいため、チューブ等の管内を搬送すると詰まりが発生しやすい。
- (b) 狭い隙間にも入りやすいため、機械的に搬送した場合、洗浄媒体が可動部の隙間に入り込んで不具合を生じやすい。

そこで、Fig.8に示すように装置の内壁面に沿って洗浄媒体を気流で搬送し、ノズルへ供給する方式を考案した。搬送路を形成する装置内壁面で、洗浄媒体と汚れを分離することにより、洗浄媒体を再生しながら循環させることができる。

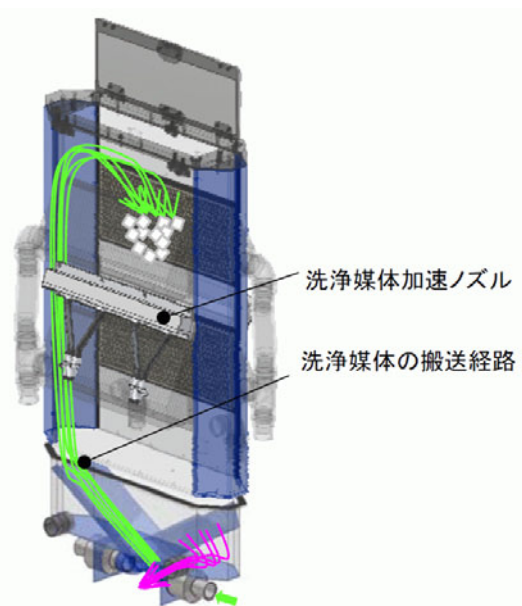


Fig.8 Perspective diagram of cleaning machine.

3-2-2 固着汚れ用洗浄装置

付着力の強い汚れを短時間で除去するためには、高速の洗浄媒体を高頻度で衝突させる必要がある。洗浄媒体を飛翔させる空間の容積が小さい方が、少ない投

入エネルギーで洗浄媒体の衝突速度および循環速度を高めることが可能である。

そこで、Fig.9に示すような半円筒形状の空間に洗浄媒体を閉じ込め、洗浄対象物はその空間の外側に配置するという装置構成を考案した。狭い空間内にノズルからの気流を作用させることにより、洗浄媒体が空間内を高速で循環し、対象物へ繰り返し衝突する。高速カメラにより洗浄媒体の衝突速度を確認したところ、平均10~20m/s程度であった。

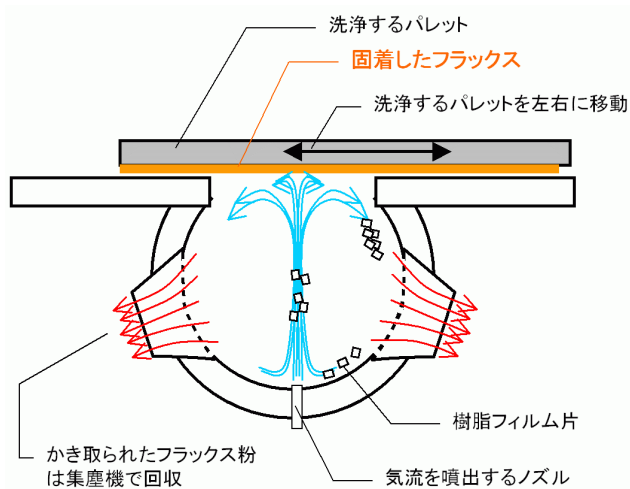


Fig.9 Schematic diagram of cleaning machine.

洗浄装置全体の外観をFig.10に、主な仕様をTable 2に示す。本報告書の参考文献5)で挙げたウェブサイトでは、装置の動作の様子を動画で公開している。

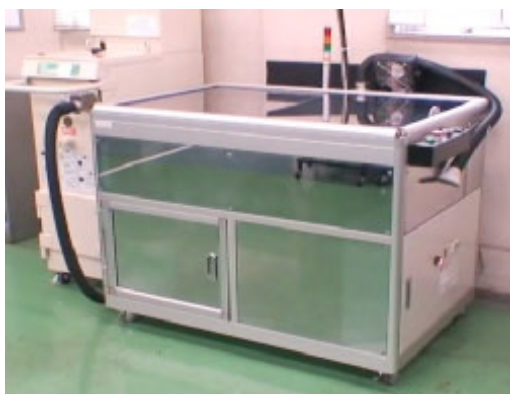


Fig.10 Exterior view of pallet cleaner.

Table 2 Pallet cleaner specifications.

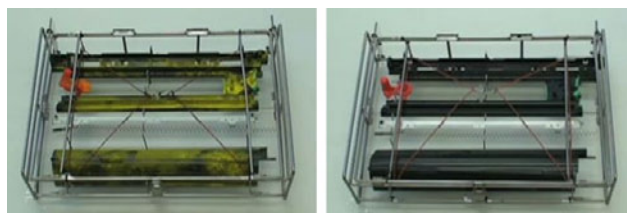
項目	仕様
本体寸法	W1200×D800×H1200 mm
本体質量	約180 kg
標準洗浄時間	1~2分 (※)
対応パレットサイズ	最大400×400 mm
必要ユーティリティ	圧縮空気：最大1500L/min 電力：単相100V，定格1000W

※パレットサイズやフラックスの付着量等による

4. 効果

4-1 トナー洗浄工程

本技術は、リコーグループの国内外のリサイクル拠点でプロセスカートリッジ等の再生に使用されており、Fig.11に示すようなトナー等の付着汚れを、短時間で除去することができるようになった。



(a)before cleaning

(b)after cleaning

Fig.11 Cleaning performance of toner on process cartridge.

実際の洗浄品質を評価した例をFig.12に示す。図の縦軸は、テープ転写法により測定されたトナー濃度である。洗浄媒体が接触できない細かい凹凸を有するシボ面では洗浄品質は劣るものの、平滑面では短時間で従来（界面活性剤と超音波洗浄装置を使用）とほぼ同レベルの品質が得られている。

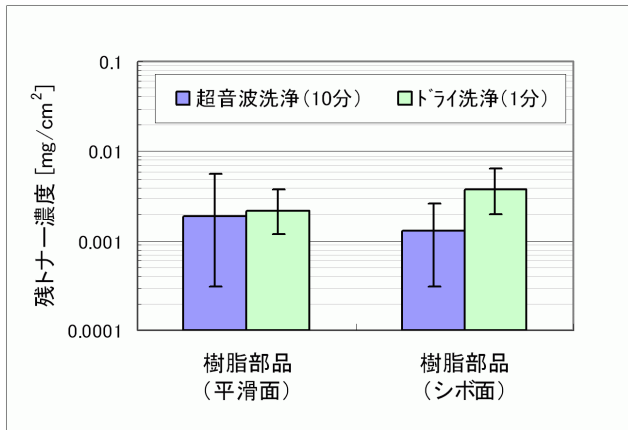


Fig.12 Cleaning efficiency for flat surface and wrinkly textured surface.

本技術導入による効果をTable 3に示す。①洗浄廃液の削減、②洗浄・乾燥時間の短縮、③洗浄コストの削減において効果を上げている。

Table 3 Advantages of dry washing in toner cleaning process.

項目	効果
廃液削減	▲30トン/年
リードタイム短縮	1時間以上(※)→約1分
コスト削減	▲1700万円/年

※洗浄後の乾燥時間を含む

4-2 フラックス洗浄工程⁴⁾

本技術の応用として、より強固に付着した汚れへの適用例を示す。電子部品の自動はんだ付け工程では、プリント基板を搬送し、部品を熱から保護するためにパレットと呼ばれる治具が使用される (Fig.14)。はんだ付け工程で噴霧されるフラックスが、パレットに積層固着して (Fig.13) はんだ付け品質に影響を与えるため、定期的に溶剤を用いて洗浄を行っていた。

本技術の導入により、①溶剤 (石油資源) の消費量の削減、②溶剤の使用に伴うCO₂およびVOC排出量の削減、③リードタイムの短縮、④洗浄コストの削減、等の効果を上げている (Table 4)。

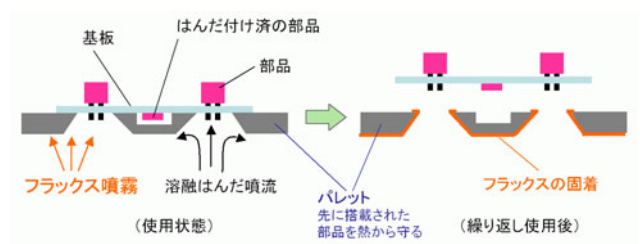
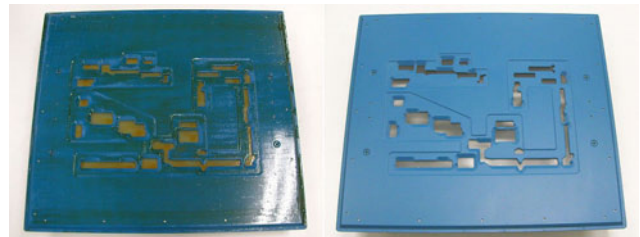


Fig.13 Mechanism of flux accumulation.



(a)before cleaning (b)after cleaning

Fig.14 Cleaning performance of flux on pallet.

Table 4 Advantages of dry washing in flux cleaning process.

項目	効果
溶剤削減(※1)	▲1500L/年
CO ₂ 削減(※2)	▲4トン/年
リードタイム短縮	2時間以上(※3)→1~2分
コスト削減	▲600万円/年

※1) 溶剤の使用はVOCの発生源となる
 ※2) 電力、装置製造、消耗品製造および廃棄処理を考慮
 ※3) 洗浄前の溶剤浸漬時間を含む

5. まとめ

薄片メディアを用いたドライ洗浄方式を開発し、リコーグループの国内外の生産拠点での実用化に結びつけた。社外からも、水や溶剤を使用しない洗浄方式として反響が大きく、外販に向けた市場調査活動を進めている。

また、薄片状の洗浄媒体のもつ特性を活用した新たな用途への応用開発を進めている。

【参考文献】

- 1) 最新洗浄技術総覧, (株)産業技術サービスセンター, (1996).
- 2) JIS P 8115「紙及び板紙—耐折強さ試験方法—MIT試験機法」, (2001).
- 3) JIS K 5600 5-4「塗料一般試験方法—第5部:塗膜の機械的性質—第4節:引っかき硬度(鉛筆法)」, (2002).
- 4) 日経ものづくり, 12月号(2009), pp.22-23.
- 5) リコーの技術 -ドライ洗浄技術-
<http://www.ricoh.co.jp/technology/tech/006.html>