

デジタルミニラボ Frontier 350/370 の開発

小澤 良夫* , 森田 直之* , 落合 兼宣* , 西尾 朋宣* , 森本 美範* ,
植草 正* , 遠藤 安土* , 中村 博明* , 伊藤 伸二*

Development of Digital Minilab Systems “Frontier 350/370”

Yoshio OZAWA*, Naoyuki MORITA*, Kanenori OCHIAI*, Tomonori NISHIO*, Yoshinori MORIMOTO*,
Tadashi UEKUSA*, Azuchi ENDO*, Hiroaki NAKAMURA* and Shinji ITO*

Abstract

We have developed full digital minilab systems Frontier 350/370 for photofinishing minilabs. This system newly incorporates innovative technologies such as the Fujifilm’s proprietary laser exposure technology. F-350/370 thoroughly satisfies the levels required for a standard minilab as for cost, installation space and operability, while also providing an improved print quality and upgraded image processing compared with the previous generation products through innovative technologies. Further, their expanded capabilities include large size print output and large format (120/220) film handling. Now that personal computers and digital cameras have become widespread, digital image service demand is increasing. In response to such a growing demand, F-350/370 has an optimum system configuration not only for our current digital image service FDi, but also future digital services. This paper describes the core of F-350/370 resulting from the above-mentioned technical innovations.

1. はじめに

当社は、世界初のフルデジタルミニラボである初代フロンティアを1996年に発売し、レーザー露光技術や各種画像処理技術による高画質プリントを特徴として先進的なラボに導入し好評を博した。

今回報告するフロンティアF-350/370では、初代フロンティアの基本技術をベースに新たな革新技術を盛り込み、一般的なミニラボ店向けの中核となるプリンタープロセッサーを開発した。

この機械は、コストや設置スペース、また、操作性といった通常ミニラボの要求レベルを十分に満足するとともに、さらなる高画質化や画像処理技術のレベルアップ技術を搭載した。また、大サイズプリント適性や120/220フィルム適性といった機能の拡充についても実施した。

一方で、パソコンやデジタルカメラの普及によるデジタル画像サービスの要求が拡大しているが、この要求に対しても当社のFDiサービスというデジタル画像サービス形態に最適なシステムを構築することができた。



フルデジタルミニラボの中にはデジタルサービス機能に重点を置き、本来の写真の機能である画質に対しては従来のアナログミニラボより劣った製品もあるが、アナログ機を超える画質を実現すると同時に各種機能についても従来機以上という方針で開発し、市場での評価を高めている。

本稿では以上のような多くの技術革新によって生まれたF-350/370の中核技術について解説を行いたい。

2. システムの概要

2.1 商品コンセプト

F-350/370の商品コンセプトは「写真プリントサービスを全面的にデジタル化する商品」とし、次の基本方針に従って開発を進めた。

本誌投稿論文(受理 1999年9月30日)

* 富士写真フイルム(株) 宮台技術開発センター
〒258-8538 神奈川県足柄上郡開成町宮台798

* Miyanodai Technology Development Center
Fuji Photo Film Co., Ltd.
Miyanodai, Kaisei-machi, Ashigarakami-gun,
Kanagawa 258-8538, Japan

2.1.1 基本機能について

- ・ 現行アナログミニラボを超える高画質を実現すること
- ・ 簡単操作で従来機以上の高合格率を実現すること
- ・ 現行機以上の高能力生産性を実現すること

2.1.2 付加価値プリントサービス対応について

- ・ リバーサルプリントサービスが可能なこと
- ・ 大伸ばしプリントが可能なこと
- ・ 120/220 プリントサービスが可能なこと
- ・ 白黒/セピアプリントサービスが可能なこと

2.1.3 デジタル画像サービスについて

- ・ 将来増大するであろうデジタル画像サービスに対し、十分な拡張性を持ったシステムとすること

2.2 商品の構成

F-350/370は、フィルムから画像を取り入れる入力機とプリンターおよびペーパー現像機を一体にした出力機で成り立っている。これは、今後の機能拡張や入力機と出力機の独立した使用形態に柔軟に対応できることを目指しているためである。機種構成としては標準タイプのF-350と高能力タイプのF-370を同時開発した。

この構成でのシステム仕様を Table 1 に記載する。また、入力機と出力機は次のようなブロックで構成されている。

2.2.1 入力機

- 1) フィルムスキャナー部
- 2) フィルムキャリア部
- 3) 画像処理部

2.2.2 出力機

- 1) プリンター部
- 2) レーザー露光部
- 3) 出力機制御部
- 4) ペーパープロセッサ部

以下に各ブロックごとの解説を記載する。

Table 1 System Specification

項目	仕様
入力機	方式 5,000 画素 3ライン CCD によるフィルム移動スキャン方式
対応フィルム	110, 126, IX240, 135, 120/220
フィルム形態	ストリップス, ピース, マウント, カートリッジ
フィルム種	カラーネガ, リバーサル, B/W
画像処理	色再現最適化処理, 階調制御, 顔表現向上, ハイパートーン, ハイパーシャープネス, 粒状抑制, 赤目修正 他
表示	15 インチ CRT モニター
フィルムキャリア	135 用オート, IX240 用オート, マルチフィルムキャリアの 3 種
本体寸法	幅 936 x 奥行 815 x 高さ 1,238
出力機	方式 レーザープリンター, プロセッサ, ソーター一体型
露光方法	RGB レーザーによる走査露光方式 (B,Gは固体レーザー)
ペーパーマガジン	2 個搭載可能
プリントサイズ	紙幅 89mm ~ 254mm 送り 89mm ~ 381mm
インデックスプリント	レーザー露光による 1パスプリント
搬送方式	シート搬送方式
処理時間	4分 (DRY to DRY)
本体寸法	幅 830 x 奥行 1,708 x 高さ 1,850
システム能力	135 から L サイズ同時プリント F-350 1,300 枚 / H F-370 1,550 枚 / H

3. 入力機スキャナー部

3.1 構成

入力機のスキャナー部は Fig. 1 に記載した構成になっている。各種デジタルメディアやフィルムハンドリングが行いやすいようにデスク構造とするとともに、ほこりに対する耐性を考慮し撮像素子を上方に、光源系を下方に配置した。

さらに、操作から発する振動や外部からの振動に耐えるように、スキャナーの光学系は入力機の本体フレームに対し緩衝部材によるフローティング構造としている。また、スキャナーの心臓部となる撮像素子は高画質を得るため、新規に開発した専用のラインタイプ CCD を搭載した。

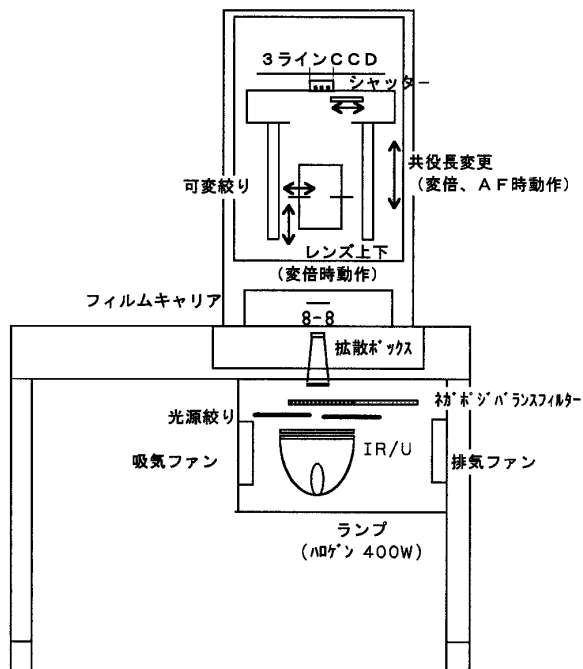


Fig. 1 Image scanner

3.2 光学系

スキャナー部の光学系は以下のような技術を用いることで、高速かつ高画質を実現している。

レンズは、倍率色収差、軸上色収差、像歪みなどの収差を十分に補正するとともに、出力の必要画素数に依りて光学倍率を変更可能としている。これにより、既存のデジタル機では不十分といわれた四ツ切りサイズ以上の大伸ばしでも、十分な読取り解像度を確保することでアナログプリンター同等以上のシャープネスを実現しており、同時に 110 フィルムからブローニーフィルムまで最適な読取り分解能を得ている。

また、さまざまな厚みのマウントやカーリングによる凹凸形状を持つスライドフィルムを精度良く読み取るため、オートフォーカス機能を搭載し、煩雑な焦点合わせ操作を行なうことなく、常に最適な結像特性を得ている。

さらに、結像光学系は、フィルム面からレンズまでの光路中に上向き光学部材を一切排除することで、

デジタル入力機で問題とされるゴミ付きに関してメンテナンス性の良いシステムにしている。

照明は、十分なS/Nで高濃度のネガフィルムを読み取るため、大光量のスリット照明光学系を新規に開発した。光源として安定性の高いハロゲンランプを採用し、コールドフィルター、光源絞り機構、ネガポジ分光補正フィルター、拡散ボックスを通して、フィルムキャリア内のスリット照明部を照明している。ここで大光量の照明光をフィルムに照射するにあたり、フィルムの温度上昇を防止するフィルム冷却機構や、フィルム保護の制御を取り入れ、信頼性や安全性の高いシステムにしている。

3.3 CCD

画像入力には専用の5,000画素×3色LINE CCDを新開発し、高画質・高速を両立している。

新開発CCDおよび周辺回路の主な特長は下記の点である。

- (1) 多画素CCDにより大サイズプリントでも十分な読取り解像度を確保する
- (2) 広ダイナミックレンジCCDによりフィルムの情報を余すところなく読み込むことが可能
- (3) 高速動作によりノーマルネガでは約1秒/フレームで読み込み可能
- (4) 3色独立の電子シャッター機能による感度可変で様々な色バランス、濃度のフィルムから高画質で読み込み可能
- (5) オーバーフローレインによる飽和電荷廃却機能によりフィルムの任意の濃度域を読み込むことができる
- (6) 顔料フィルター採用により経時劣化のない高画質な色再現を実現
- (7) 新開発ASICによりCCD各種補正をリアルタイムで実施し、CCD性能を引き出すことが可能

4. フィルムキャリア

フィルムキャリアは、各フィルムタイプに応じて下記3種のフィルムキャリアを選択できるような構成としている。

- (1) 135フィルム用オートフィルムキャリア
- (2) APSフィルム用オートフィルムキャリア
- (3) リバーサルマウントも含めた各種フィルム対応のマルチフィルムキャリア

4.1 オートフィルムキャリア

オートフィルムキャリアは、135用とAPS用の2種があるが、3色ラインCCDを搭載した撮像系を採用することにより一定速でのフィルム搬送機能が必要になった。したがって、フィルム搬送は従来のキャリアのような間欠送りではなく、搬送速度変化を抑えた一定速搬送を行っている。搬送速度はプレスキャンとファインスキャンの違い、さらにフィルム濃度の違いにより変化させる必要がある。このため、5相パルスモーターと高精度な平ベルトおよびこれを切り替える電磁クラッ

チ機構を搭載することにより実現している。

135フィルムでは、短尺のピース駒で先後端が搬送ローラー部を抜けるときの振動を排除するように、搬送ローラーが徐々に解除や圧着動作が可能な構造を搭載した。また、光軸部分でのフィルム位置を安定化するため、搬送路の光軸部が屈曲している屈曲搬送を採用し、ピントの維持を実現した。

APS用キャリアでは、APSカートリッジを不用意に着脱し画像に悪影響を与えることのないように、完全なカートリッジフルオートローディングおよびフルオートイジェクト機構を盛り込んでいる。

4.2 マルチフィルムキャリア

マルチフィルムキャリアは、リバーサルマウントや120/220など多くのフィルム形態のスキャンを可能とするため、原稿台移動方式を採用している。これも多くのスキャン速度における原稿台の一定速搬送が要求されるため、高性能の5相パルスモーターによる駆動系を採用している。

さらに、マルチフィルムキャリアの操作性を良くするため、小型DCモーターによるフィルム駒の1駒送りも実現している。

5. 画像処理部

5.1 画像処理アルゴリズムのハード化

画像処理を高速で行ない、かつ低価格で実現するために13種18個のASICを新規に開発した。画像処理部の構成はFig. 2に記載する。

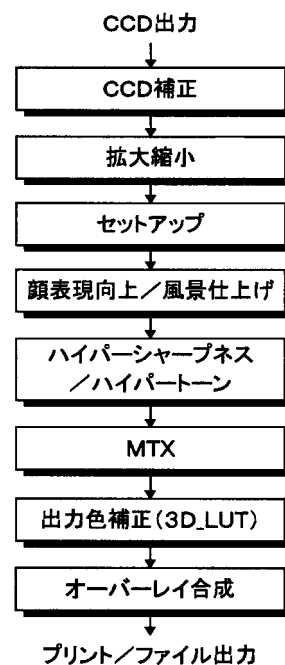


Fig. 2 Image data processing block diagram

これらのASICは、画像処理アルゴリズムをパイプラインで構成することにより高速な画像処理を実現している。また、2次元の像構造処理を1次元に分割処理す

ることにより大幅なコストダウンを達成している。さらに、このASICの制御にはRISC CPUを用い、システムのパフォーマンス向上を図っている。

5.2 画像設計

5.2.1 自動色濃度調整

1件先読み方式により、条件出し不要の完全1チャンネル処理を実現している。色補正は1件情報をベースに、異種光源シーンなどでは適応的にコレクションを上げる処理を行っている。濃度補正は、アナログ機で実績のあるACCS方式に、顔抽出、背景除去の技術を取り入れた。これらの技術により、当社の従来アナログミニラボに対して合格率の向上を実現することが可能となった。

5.2.2 粒状抑制シャープネス処理

初代フロンティアの色相関方式に加え、新たにモルフォロジー方式の粒状抑制アルゴリズムを開発した。これにより、さらに強力な粒状抑制が可能となった。

5.2.3 基本色再現処理

肌とグレーの階調はネガ、ペーパー系の階調をベースに、肌はよりハイライトの色のりが良くなるように設計した。色再現は現シーンに忠実な再現となるように設計した。特にブルーグリーン、グリーン、イエローグリーンの忠実性が向上している。

6. 出力機

出力機プリンター装置内レイアウトをFig. 3に示す。

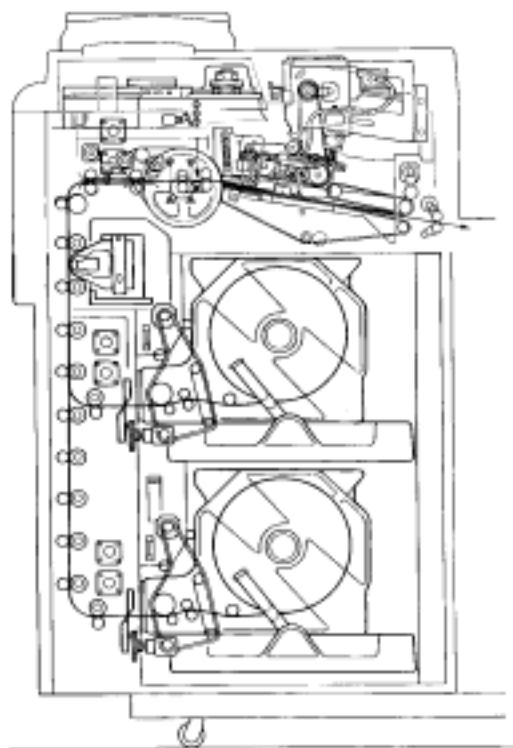


Fig. 3 Paper path of the laser printer

6.1 プリンター

6.1.1 ダブルマガジン

多様化するプリントサイズに容易切替可能なダブルマガジンを設置面積を取らない上下位置に配置している。重量物であるマガジンを載せる台を引出し構造とし、腰から下の高さに配置することで、マガジン交換時負担の軽減を図っている。

プリントサイズは、4ツサイズが可能な254mm幅まで可能とし、ユーザー要求に依っている。

6.1.2 シートペーパー画像記録

ゴミとなるペーパーロス削減やダブルマガジン短時間切替を実現するために、まったくロスを発生させないシート画像記録装置を開発した。

画像記録速度は、300dpiの画像記録をペーパー搬送速度80mm/sという高速で記録を行うことで、高生産能力を達成している。記録は2対の搬送ゴムローラー間でレーザービーム露光を行うツインニップローラー方式を採用している。

ロスレス化の要点となる画像先端・後端への記録では、上記ローラーへのペーパー先端突入、ペーパー後端離間時にペーパーへの負荷・位置変動を発生させ、画像に濃淡の縞模様となる“画像ムラ”を発生させ易い。後述の押えコロローラーを含め、ニップローラーを突入・離間の前に上下動させることで、ペーパーへの影響を最小化させ、ムラを低減させている。

カラーペーパーは一般に環境条件によりカール特性が変化するために、高さ(深度)方向に浮き上がりレーザービーム画像記録位置が変化し、“画像ムラ”が発生し易い。カールを抑え、基準となる搬送ガイドへペーパーを抑える“押えコロガイド”を露光点直近に配し、カール影響も排除している。

ローラー駆動部分については、高精度5相パルスモーターとスチールベルト減速・伝達系により、回転安定性と送り精度を保証している。

6.1.3 ペーパー吸着による多列振分

汎用である小サイズプリント(例：Lサイズ、KGサイズ)を高生産能力で処理するため、露光に比べ、低速なプロセッサ部へ多列に振り分けて投入することで、小サイズプリント能力を高める振分機構を採用している。振り分けは最大3列に行なう。

サイズごとに定められた列数に振り分けを行う機構を少空間で達成させるために、シートペーパー画像記録ユニットから送出されたペーパーを吸引し上方へ退避し、次ペーパーが画像記録ユニットから送出される間に各列へ振り分けるとい新機構を開発した。

この吸着から左右への振り分けは、2秒弱のサイクルで実施される高速動作である。振り分けでのペーパー搬送は左右2列の搬送ベルトを採用し、低速搬送のプロセッサへの調速機構も兼ねており、当部分では、シートペーパー画像記録ユニットから送出されるペー

パーの受け取り，多列振分，プロセッサとの調速機能をほぼプリントする最大送り長さ相当の狭い空間で3機能両立を達成している。

プロセッサ内でのペーパー配置を考慮したペーパーハンドリングシーケンス制御を行うことで，CHP混在時でも最大限の能力が出せるように設計されている。

7. レーザースキャナーユニット

レーザースキャナーユニットはRGBの各レーザーを光変調素子により高速変調を行い，それらの3本のレーザービームを高速搬送されているカラーペーパー上にポリゴンミラーとf レンズで一定速度の走査露光を行っている。G,BのSHGレーザー光源は弊社独自の個体レーザー技術を使い，さらにカラーペーパーへの走査露光用に最適化することにより長寿命と高安定性を両立している。また，従来機種に比較して以下のような技術を導入し，より高画質かつ安定な露光を実現している。

7.1 f レンズの倍率色収差補正

RGB3色のレーザースキャナーに使われるf レンズは広い波長域(473nm ~ 685nm)での光学性能が要求される。特に，倍率色収差は光学的に補正を行おうとすると，高価な低分散硝材などを使うことになるためコストアップとなってしまふ。F-350/370のレーザースキャナーではf レンズの光学的な倍率色収差を安価な硝材で可能な範囲までとし，それ以上の補正は色間の画像クロックを異なる周波数に設定することにより，3色間の色ズレ量を画像上視認されないレベルまで抑制している。また，この方法はf レンズへの入射角度変化を従来機より小さくできるので，3色間の光量シェーディングを抑制する効果も同時に実現している。これにより，安価なレンズコストで色ズレと色シェーディングともに従来機比較で半分以下にすることができ，より高画質な画像を得ることができた。

7.2 AOM駆動回路の高安定化

従来，AOMを駆動する回路ではショットキーバリアダイオードを用いたダブルバランスドミキサーを使って振幅変調を行っていたが，ダイオードの温度依存性が問題であった。本装置ではアナログ掛け算用のICで振幅変調を行い，その部分に簡易な温調を施すことにより優れた温度安定性を得ることができた。構成図をFig. 4に示す。

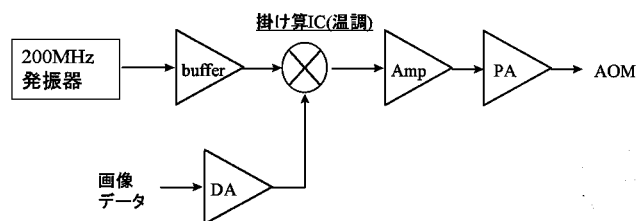


Fig. 4 AOM driver block diagram

8. 出力機制御部

8.1 入力機出力機間通信

入力 - 出力機間通信はIEEE1394を採用し，制御情報は双方向，画像情報は入力機から出力機への片方向である。速度は200Mbpsの高速シリアル通信であり，軽量で安価なケーブルで大容量の画像データ転送を実現した。

8.2 出力機内制御

プリンターとプロセッサは，各々CPUを持ちRS422で通信を行っている。プリンター用CPUはシート搬送制御，フレームメモリ制御，露光制御などを行い，プロセッサ用CPUは一連の現像処理(ペーパー搬送，液温調，補充，乾燥，集積など)を行う。

プリンター部は，画像データを一時保管するメモリをもち(F-350:Lサイズ20枚分，F-370:40枚分)，システムの処理能力向上を図っている。さらに，大サイズ処理の多いユーザー向けにオプションとしてメモリ増設も可能としている。フレームメモリコントローラーは画像の回転/レイアウト編集などを可能とし，画像データは階調処理後D/A変換され，AOMドライバーに接続される。レーザードライバー部は光源(R:LD，G:SHG，B:SHG)を一定光量で光らせ，AOMにより変調された光がペーパーに露光される(Fig. 5)。

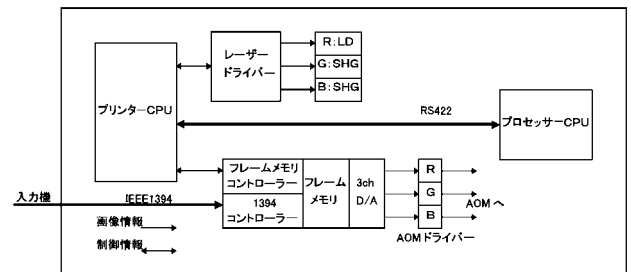


Fig. 5 Laser printer block diagram

9. ペーパープロセッサ

今回プロセッサに搭載した新機能を以下に記載する。

9.1 新補充システム「フジカラーシンプルイット」

「フジカラーシンプルイット」は，「シンプル&クリーンオペレーション」を基本コンセプトに，「処理品質の信頼性向上対応」および「環境規制対応」を付加して開発した新補充システムである。このために，次の機能を開発し実現した。また，補充部の配管系統図をFig. 6に示す。

- (1) 処理剤補充キット装填管理機能：1処理剤キットの補充液を111m²のプリント量で，P1/P2A/P2Bが同時に使い終わるように制御することにより，補充液の一括装填・一括補給を実現した。これによって，補充液の補給作業を容易にし，補給作業回数を1/3に減らすことができた。

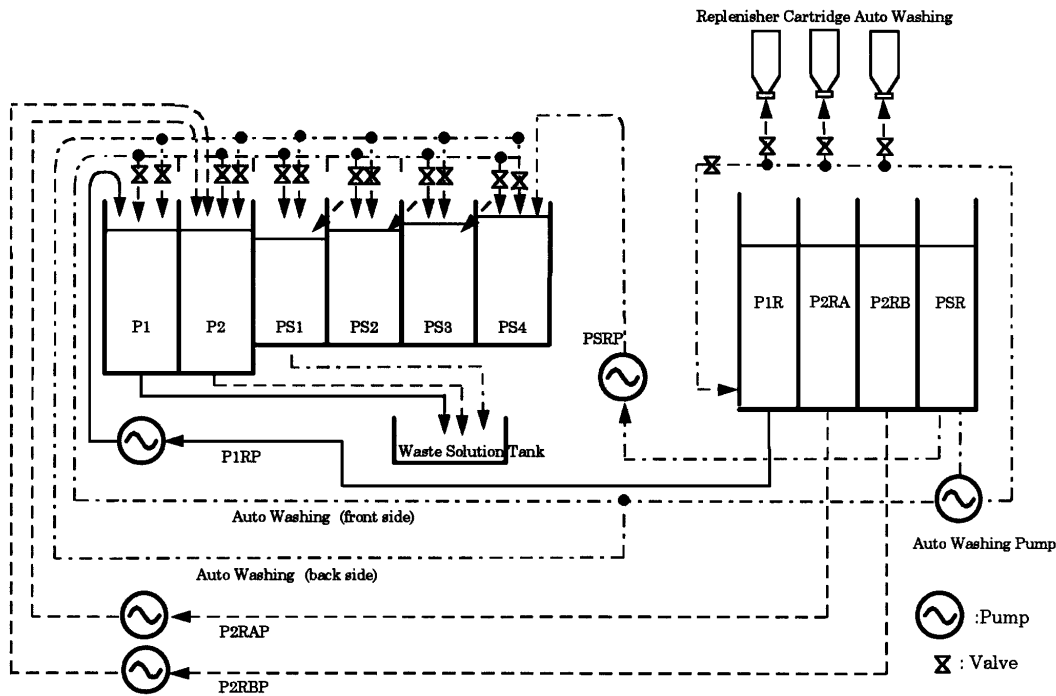


Fig. 6 Replenishment system diagram

- (2) 自動開栓・自動調液・自動洗浄機能：補充液の補給が必要な時に、プリント作業を中断せずに自動的に検知し、処理剤キットを自動的に開栓し、自動的に水で希釈・攪拌し調液する。また、この希釈水で処理剤キット容器を自動洗浄・水切りすることによって、ユーザーがまったく液に触れずに補充作業ができるようになるとともに、廃材のリサイクルが容易になった。
- (3) 補充吐出量自動校正機能：P1/P2A/P2B 補充ポンプの吐出量および調液時の希釈水量を自動校正する制御を搭載したことにより、処理液の濃度を常に最適値に保つことができ、また、ポンプ吐出量校正作業をなくすることができた。

9.2 処理品質安定化

以下の技術を導入し、F-350で10本/日、F-370で15本/日の少量処理と、さらなる処理品質の安定化を実現した。

- (1) 処理タンク・処理ラック界面部の開口面積低減設計を施し、12インチ処理現像機にて98cm²以下を達成した。これによって処理液の劣化防止を大幅に改善できた。
- (2) クロスオーバーラック・ローラーで、特殊な工法を開発し、キャリアオーバー量28～31ml/m²以下を実現した。
- (3) 蒸発補正機能を搭載し、蒸発によって減った各処理槽の水量補給を自動的にに行い、処理液の濃度を最適値に保つことができた。
- (4) 補充タンク界面部のシール機能を搭載し、補充液劣化・補充水腐敗を防止することができた。

9.3 クリーンオペレーション化

「フジカラーシンプルイト」以外に、クロスオーバーラックの自動洗浄機能を搭載し、ラックのガイド・ローラーを自動的に洗浄することによって、毎日終業時のラック洗浄作業を週1回に減らすことができた。また、夜間間欠駆動機能を搭載し、未使用時の液中ローラーに堆積した汚れを自動的に落とすことにより、ペーパーへの汚れ付着を防止することができた。

9.4 ペーパー多列搬送方式

処理能力を高めるため、シートペーパーの多列搬送機能(89幅：3列, 102幅～152幅：2列, 165幅～254幅：1列)・振り戻し機能・集積機能を搭載した。特に、処理ラックには、ペーパー搬送時にたわみが少なく、かつ均一なニップ圧が得られる特殊なローラーを開発し、機能を実現した。

プロセッサの主要諸元を以下に記載する。

Table 2 Paper Processor Specification

大項目	内容
搬送方式	多列ローラートランスポート方式 89幅：3列, 102幅～152幅：2列, 165幅～254幅：1列
処理速度	F-350：1,221mm/min, F-370：1,652mm / min
処理時間	(Dry to Dry) F-350：4分, F-370：3分45秒
処理量	F-350：標準：40本/日 F-370：標準：60本/日
補充量	P1：45ml/m ² , P2：35ml/m ² , PS：150ml/m ²
処理タンク容量	F-350：P1/P2 12.7L, PS 6.2L F-370：P1/P2 16.5L, PS 8.5L
補充方式	カートリッジフンタッチー一括装填・一括補給方式 カートリッジ自動開栓・自動調液・自動洗浄方式 カートリッジ：111m ² キット(サイズ：245 x 90 x 315mm)
ラック自動洗浄	左右2方向噴射式自動洗浄
振り戻し方式	高速排出+直行コンベア方式
集積方式	小サイズペーパー：ソーター集積 大サイズペーパー：大サイズトレイ集積 小サイズ/大サイズの搬送路自動切り替え装置付き
ソーター能力	ソーター SU1100Y：11件 ソーター SU2500Y：25件(オプション)

10. システム拡張

10.1 デジタル化による変化

デジタルカメラからのプリントや、フィルムをデジタル化してCD-Rを作成するデジタル画像サービス(FDiサービス)の展開、また、国内大ラボ、海外ラボなどのように、ミニラボ機を入出力デバイスとした現地システムの構築要求も増えてきている。当社がシステムをすべて設計し、保証する時代は去り、むしろ、オープンな機器インターフェース、将来にわたる接続互換性を保証し、柔軟で、拡張性に富んだ、システムアーキテクチャーを提供することが重要である。当社のデジタルイメージングにおけるフォトフィニッシング事業拡大は、こうしたシステムの拡張による新たな写真サービスの開拓にかかっているといえる。

10.2 拡張性の実現

下記3点の実現を目標に、当社標準のデジタルイメージングアーキテクチャー(FDIA)を開発した。

- (1) F-350/370 本体と外部システムとの相互接続性(インターオペラビリティ)の保証

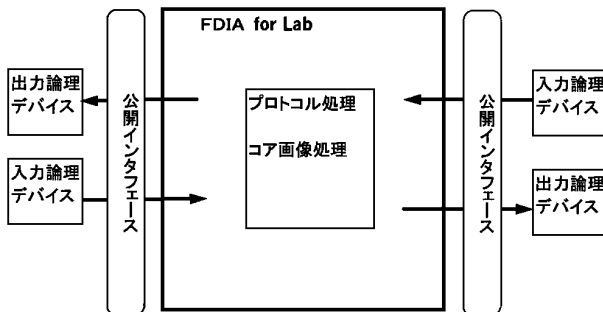


Fig. 7 External system interface

接続プロトコルの一貫性

色空間sRGBへの統一とプリント色再現保証

周辺デバイスのダイナミックな接続と切断

- (2) 当社固有の画像処理の隠蔽、共有利用
- (3) 前記インターフェースの公開によるシステム拡大の連鎖

11. まとめ

デジタルミニラボF-350/370の商品化によりデジタルを生かした機能の拡張だけでなく、写真品質の大幅な向上が可能となった。

この機械の普及によりミニラボ店のさらなるサービスの拡張が推進され、写真画質の向上も大いに期待される。とはいえ、デジタルミニラボは大容量の画像データを高速にハンドリングするために、大規模で高度な半導体回路が必要となり、どうしてもアナログタイプのミニラボより高コストとなり易い。この点について今後改良を進め、よりコンパクトで低コストはもちろんのこと、さらに機能の拡充を行ったデジタルミニラボの研究を進めたい。

参考文献

- 1) Hiroaki Nakamura, "Digital Image Processing for the Frontier350 Digital Minilab" IS&T's 1999 PICS Conference
- 2) 大谷薫明, 梅本真, 松本正幸, 「デジタルミニラボ FrontierおよびFrontierシステム用感材の開発」, 富士フィルム研究報告, No.42, 1 (1997)
- 3) 神山宏二, 岡崎洋二, 原田明憲, 「MgO-LiNbO₃ドメイン反転バルク結晶を用いた青・緑色個体レーザーとその応用」, レーザー研究, 26 (3), 234-238 (1998)

(本報告中にある“Fujifilm”, “FDi”, “APS”, “フジカラー”は富士写真フィルム(株)の商標です。)