フラッシュスキャン HD
技術的背景について

カイ ゲルハルト (Kai Gerhardt)
MWA プロダクトデベロップメント
ベルリン 2009 年 8 月 24 日

図1: フラッシュスキャン HD

新型のフラッシュスキャン HD は成功を収めたフラッシュスキャン8の単なる延長で開発された訳ではない。我々のすべての顧客からの要望とアイデア元に、MWA は全く新しいスキャニングシステムを開発することにした。フイルムの搬送系は根本的にシンプル化し、全てのエレクトロニクス系は新規に設計し、オペレーションのコンセプトはは全てソフトウエアプラットホームへと移行された。

しかしながら従来の良い部分：光源技術、高精細光学系、強固な作り、フラッシングライト原理はそのまま機械に残している。

フラッシュ原理の傑出した画像品質は 160 台を超えるフラッシュスキャン8とフラッシュスキャンシリーズの導入実績に裏付けられている。その原理はシンプル以外何物でもない。フイルムはゲートをスムースに抜け、新しいフレームがカメラの目の前に入るごとに光源からフラッシュが発光する。発光時間はマイクロ秒程度と大変短く、画像がぼやけることは全くない。光学系を通る際のミラーの動きに伴う幾何学変形や、ラインセンサーで起こることが知られている“ウォーターリング”効果が現れることもない。

全て新開発されたフイルムデッキ

安定して精密にフイルムを送る基礎がフイルムデッキである。MWA は何年もの間、キャプスタン駆動（製品：MB51, フラッシュトランスファー）とスプロケット駆動(LLK, フラッシュレコード, フラッシュスキャン8)の両方の経験を積んできた。この両方のシステムから得た全てのノウハウを一同に集め、新しい 8mm フイルムデッキへ帰結した。

- フイルムのスレッディングからリールのハンドリングまでを簡単にすることを基本設計目標とする。

- 高精度マイクロステッピングモータ駆動する、交換可能ラバーコーティングキャプスタンホイールによるフイルムトランスポート
- レーザーパーフォレーションディテクターで穴をスキャンしフレームを同期
- カメラとフイルムデッキは HD50fps プログレッシブ(SD25fps)まで可能。
- 2 つのパスを使ってフイルムのスレディングが可：スキャンイング・パスでは安定した映像をシャトルスピード最大 100fps まで、また、リールを高速に巻き取るための高速ワインディング・パスでは 1000fps までの高速（リールの径による）で巻取りができる。巻取り方向は本体スイッチでもフラッシュスキャン HD コントロールソフトウエアでも切り替えられる。正しくスレッディングができるようにソフトウエアはグラフィックを表示してくれる。
- テンションセンサーによりフイルムにかかるテンションを最初から最後まで常に一定に保つ。大径リール（最大 320mm）もマウントすることができるだけでなく、カメラリールもテンション調製をし直さずにかけることができる。
- 強固なメタルアダプターによりスーパー8 用リールを取付けられるだけでなく、8mm フイルムは直接モーターハブに取付けることができる。
- フイルムがゲートを通る前にパーティクル トランスファー ローラー(PTR)が埃を除去。
- ツートラックサウンドヘッド
- 新型光源により従来のランプと比較し 5 倍の光量に。HD カメラの感度は従来のものと比べ低いため必須になった。（SD のものと比べ光子を受けるセンサーのピクセル数は多大なっている！）
- ズームとフォーカス用モーターによりフラッシュスキャン HD ソフトウエア上でイメージサイズのセットアップが瞬時に行うことができる。
- レッドタリーライト、フイルムデッキイルミネーション、アラーム音はシステムイベントに同期させたプログラムをすることができる。（例. テープエンド）

スプトケットレス レーザーレジスタード フイルムトランスポート

従来のキャプスタンドライブ フイルムトランスポートはフイルムのシンクロにスプロケットホイールが必用であった。機械はどうにかイメージが何処にあるのか分かっている程度であった。しかし、スプロケットホイールにはいくつかの欠点がある。それはスプロケットをフイルムのフォーマットによって交換しなければならないこと、縮んでしまったフイルムは正しく送れないか、フイルムにダメージを与えてしまい、スプライスではフイルムがホイールから外れてしまうことが多い。

これらの理由から MWA はレーザーレジスタード フイルムトランスポート開発し特許を取得した。レーザー光がパーフォレーションの穴をフイルムゲートを通る前にスキャンし、正確な位置を検知する。位置情報はメモリーに蓄積され、フイルムがゲートに入るときには機械はフラッシュを何処で発光させるかが分かっている。

全てのフレームに固有の位置がレーザーによって検知されることにより、フイルムの縮みやスプライス状態の悪さは問題ではなくなった。

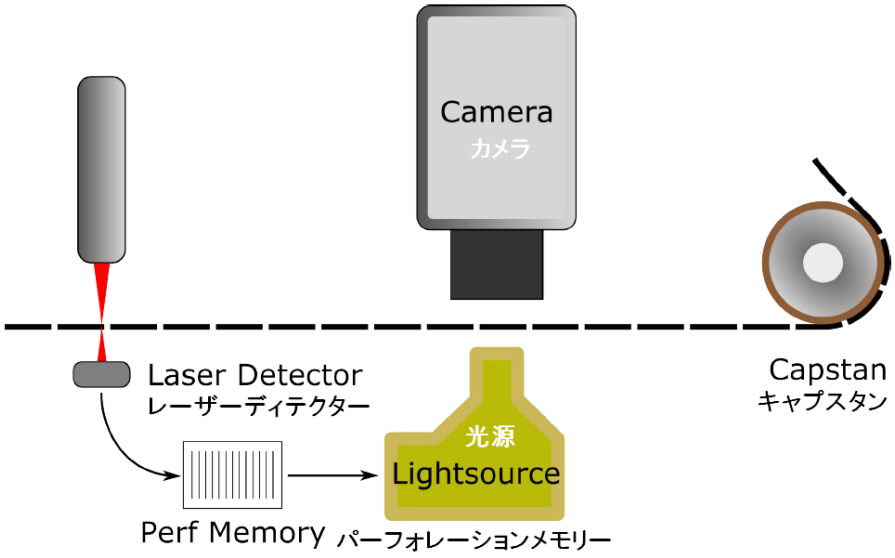

図 2: レーザー レジスターの原理

パーフォレーションにダメージがあった場合、ソフトウエアが使用できないパーフォレーションを検出し、前後のパーフォレーションの位置を算出する。タイムコードとフレーム位置情報は読めないパーフォレーション数最大 15 個分まで残される。レーザースキャナには透明なフイルムにあいている穴を黒いフイルムと同等に読めるほど十分な感度がある。8mm 標準とスーパー8 フイルムフォーマットの変更はコントロールソフトウエアをクリックし、レーザーアッセンブリーを一回押すだけでできる、フイルムを外す必要はない。

光源

完璧な映像は適切な光源を作り上げることから始まる。フラッシュスキャン HD の光源は赤、緑、青色のハイパワーLED で作られている。これらは我々が必要としていた極めて短時間のフラッシュ光を作るのに適していいるだけでなく、単独にも制御できる。そのためテレビの規格を超える領域の色空間まで調整が可能になり、適切な色調整が行えるようになった。光源は最も暗い青から高温度の赤まで、さらに最も明るい緑まで設定できる。いかなるフイルム上の白点、ネガフイルムの色かぶりさえ信号品質を落とすことなく補正可能である。

光学スクラッチコンシールメント

通常のフイルムプロジェクターの照明より、フラッシュスキャン HD の光源の優れた点はスクラッチを低減する効果があることである。プロジェクターに一般的に使われている直接光はスクラッチ部分で屈折し、進むべき方向から外れてしまう（図 3 の赤い矢印）。カメラのレンズは光の一部を捕らえることができず、スクラッチが暗い線で現れてしまう。

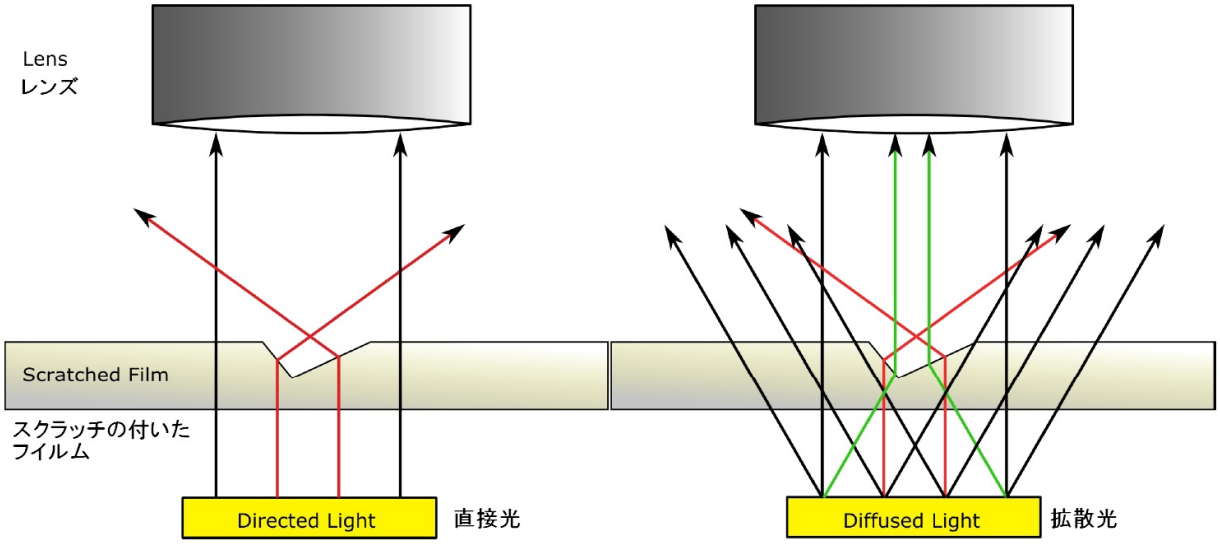

図 3:拡散光によるスクラッチコンシールメント(隠し)

フラッシュスキャン HD の光源は全く違う光、すなわちフイルムの下面から幅広い角度の光線をあてている。スクラッチにより、光線の一部はカメラとは別の方向に屈折してしまうが、他の角度からの光線はカメラへ入る（図 3 の緑の矢印）。結果として、フイルム表面のダメージのある部分と正常な部分の明るさの違いはカメラには見えない。スクラッチは文字通り見えなくなる。

マッチドライトスペクトラム

フイルムにハロゲンランプ、または白色 LED による照明使うことはしばしば色彩が欠如し、出力されたビデオ信号の画像は古く見えたり、退色して見えたりする。これはなんともったいないことか！フイルムの特徴である豊かな色と高いコントラスト比は消えてしまうか、後の電気的な操作のみによって復元されているのである。この理由は光のスペクトラムから見つけることができる。ハロゲンランプや白色 LED ような白熱光源は可視光線領域全体をカバーする幅広いスペクトラムを持つ。これは一般照明用途としては通常はいい選択であるが、フイルムスキャナとしてはそうではない。ここで我々はフイルム色素の密度のカーブが重なり、透過したスペクトラムがカメラの色分離フィルターにも重なることを考慮しなければならない。これはカラークロストークと呼ばれ、彩度を減少させる。

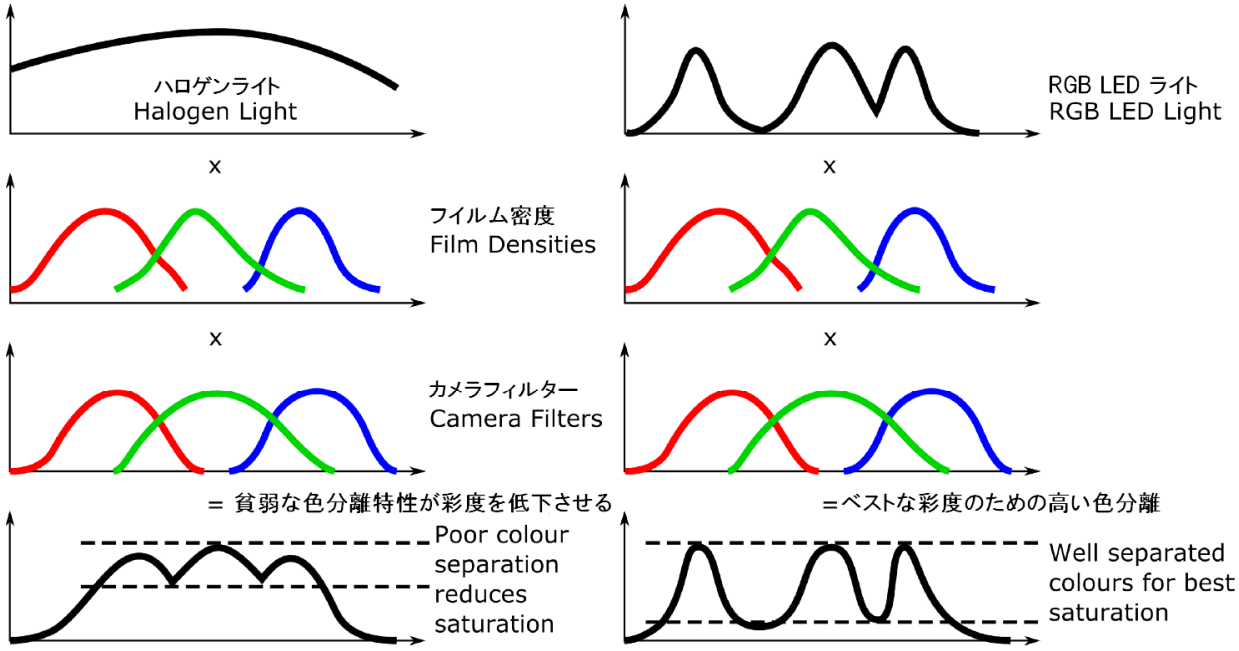

図 4:色生成においてのライト(光)スペクトラムの影響

フラッシュスキャン HD の RGB LED ライトの狭いバンド幅特性により、カメラは色彩をフルに生成できる。この種の光スペクトラムはフイルムとカメラのスペクトラムカーブと重なる波長を含まない。それにより少ないクロストークとなり、カメラは高い感度で 3 色のカラーチャンネルからデジタル領域に持って行く。

モーター駆動によるズームとフォーカス、そして安定したフレームライン

フイルムのイメージは約 4 対 3 でありながら、HD ビデオのアスペクト比は通常 16:9 と決められている。しかしながら、フラッシュスキャン HD は高価な 40mm 径の固定フォーカスレンズ（"APO Componon" Schneider Kreuznach）を採用している。なぜなら、初段のレンズは色収差が少く、ズームレンズより高い光の透過量を持っているからである。レンズとカメラはモーター駆動のリニアシフトテーブルに固定されている。レンズシフトモータはイメージサイズを設定し、カメラシフトモータは焦点を決める。広い拡大領域により、8mm 標準映像（拡大率最大）からビデオのフレーム幅一杯に、またはスーパー8 の高さにフィットさせてビデオのフレーム高さに（拡大率最小）にユーザーどのビデオのフレーム幅へ変換できる。スーパー8の場合、

パーフォレーションの穴とサウンドトラックも含むフイルム幅全体を写すことになる。この理由から、フイルムのこの側に黒いマウスをかけてビデオ出力することもできる。

ズームとフォーカス位置はフラッシュスキャン HD ソフトウエアからコントロールする。ソフトウエアはフレームライン位置（縦側のイメージシフト）の制御も行う。レーザーレジストレーションの原理のおかげで再生中のフレームラインの位置は常に安定している。停止中フイルムデッキは正しいコマ位置で表示されるように止まる。フレームライン調製が必要になるのは、コマ位置がパーフォレーション位置からずれてしまっている時だけである。

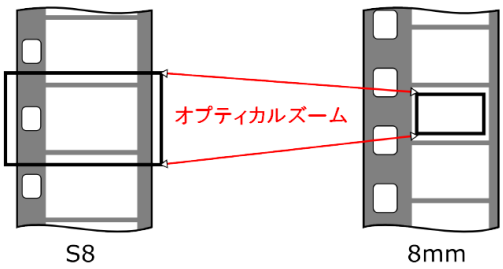

図 5:ズームレンジ

HD カメラ解像度

しばしば誤解の元となるのがカメラの解像度である。カメラのメーカーは画素数が多いことで、「フル HD」とか「2k」などと、良く見せようとする。しかし、画素数は何も我々に語ってくれない。なぜなら、小さな画像にたいしての画素数を持ち上げて画素数と言うのが常で、多くのカメラメーカがこのような言い方をしている。

もし画像のシャープネスについて正直な比較が欲しいのであれば、イメージセンサーのサイズを良く見る必要がある。これにはイメージセンサーのサイズ、センサー数、物理的解像度の3つの主なカテゴリーがある。

サイズの大きなセンサーからはより良い画像が得られる。ブロードキャスト仕様のカメラが大きなサイズのセンサー（1/2 インチや 2/3 インチ）を使っているのはこの理由からで、民生用のカメラにはこれより小さいセンサー（1/3 インチ以下）が使われている。シリコンのサイズが大きくなると価格も高くなるので、我々は小さいサイズに焦点をあてる。

センサー数の意味は2つの異なるカメラのテクノロジーである。一つは画像から赤、緑、青の光を取り出すビームスプリッターがあり、それぞれの色に一づつのセンサーがある3センサーカメラ（3CCD また 3CMOS）である。

シングルセンサーカメラは単純明快である。3原色を一つのセンサーから得る。そのためピクセルには赤、緑、青のフィルター（Bayer パターン）がコーティングされていおり、このパターンからそれぞれの画素が取り込んだ色を電気系で処理しなければならない。実際、一つの画素は一つのカラーチャンネルの情報を出すだけで結果としてシャープネスが減少する。シングルセンサーカメラで3センサーカメラと同等のシャープネスの映像を作ろうとすると画素数は二倍必用になる。

イメージセンサーの実際の画素数を見つけるにはカメラのデータシートを注意深く見なければならない。結構な割合で本当のピクセル数でなく出力ピクセル数を仕様に載せており、場合によっては有効画素の周囲にある無効な画素も含めた数字を表示しているものもある。一般的に HD カメラのセンサーは有効画素数 1280x720 や 1080 本のように分類される。1080 本の場合、1本あたり 1440 ピクセルか、960 ピクセルだけしかないことがしばしばで、安いカメラに 1920 ピクセルはまれである。

これと全く異なるのはビデオ出力解像度である。HD-SDI 規格は基本的に 1280x720 ピクセルで 1 秒あたり 50 フレームの 720p50 と 1920x1080 ピクセルで 1 秒あたり 25 フレーム 1080i50 二つの並んだ規格が用意されている。<u>ほとんどのカメラはカメラのセンサーの画素数に関係なくどちらの規格にも変更できてしまう！</u>

以下の表は 8mm フイルムをスキャニングすることのできるカメラを比較したものである。

	720 ライン	1080 ライン
シングルセンサー	× 悪い解像度	○ 十分な解像度 × 比較的高価 × 25fps のみ
3 センサー	○ 十分な解像度 ○ 手頃な価格 ○ 50fps プログレッシブ可	○ 十分すぎる解像度 × 最も高価 × 25fps のみ

上記の理由からフラッシュスキャン HD はプロフェショナル 720P カメラを採用した。1280x720 ピクセルを備えたセンサーを 3 つ使用している。装置としては手頃な選択でありながら、50fps で使用でき高速に流すことができる。さらにリモートコントロールのオプションもフラッシュスキャン HD ソフトウエアの中に数多く用意した。

テレシネやカメラを購入する場合、専門的なことを聞くのではなく、以下が問うべきことの結論である。

- イメージセンサーサイズ
- イメージセンサー数
- センサーの物理的解像度

総デジタルシグナルプロセッシング

この装置の内部にはアナログ信号の系統はない。これによりハムやノイズによる歪みに対しての免疫ができた。電気的な観点から見た場合、装置の内部は 5 つの部分に分かれる。

- 10 ビット HDSDI(720p50)出力のカメラ
- 48kHz/20bit サンプリングの D/A コンバータ内蔵サウンドヘッド
- 出力プロセッサーは、エンベデッドオーディオ付き SDI 出力 3 系統、AES/EBU 出力 1 系統を出力。SDI 信号は自由に 1080i と 720pHD に構成変更でき、さらに SD ダウンコンバート出力も可能。
- モータードライバーと光源への電源供給部からなるフイルムデッキコントローラ
- コントロール用の PC のシャットダウンとともに自動的に電源を落とすことができる電源部。コントロール用 PC を立ち上げると電源を自動的に入れることもできる。

カメラ、フイルムデッキコントローラ、出力プロセッサーはフラッシュスキャン HD ソフトウエアにより USB インターフェースを介して交信している。ソフトウエアはユーザーの用意した PC で動き、ソフトウエア自体は画像処理をしないので、比較的古いモデルの PC でも十分に使用できる。1 台以上のスキャナーを 1 台の PC からコントロールすることも可能で、その場合はソフトウエアを複数起動する。さらに、ソフトウエアはビデオ編集を行う PC で起動することもできる。

一般的な構成例は、SDI 出力の一つを編集用の PC または VTR に入力し、もう一つをモニターに入力する。録音装置が SDI エンベッデッドオーディオに対応していない場合は AES/.EBU からのオーディオ出力が役に立つ。この出力をスピーカーやイコライザーやミキサーにループさせる使い方も考えられる。

GIPO（4 出力、2 入力）の状況もフラッシュスキャン HD コントロールソフトウエアからアクセスできる。これでシステムイベントへマッピングすることもできる。 GIPO ピンはバイフェーズ I/O として使うこともできる。

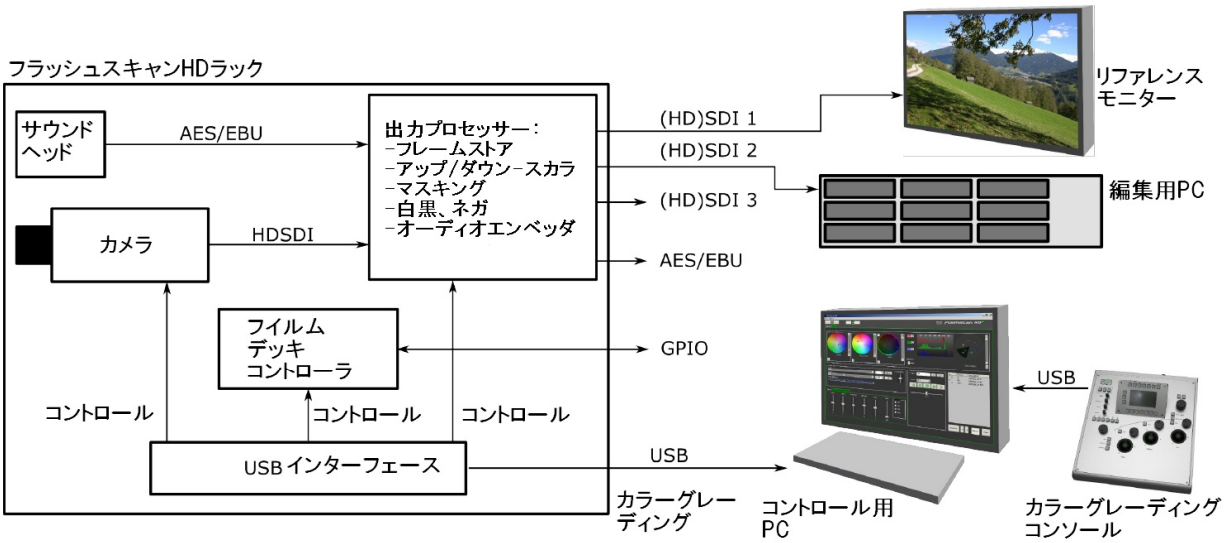

図 6: 信号の流れ

SD と HD ワークフロー代替案

映像をスキャニングした後の工程にはいくつかの方法がある。ほとんどの場合、キャプチャリングしたフイルムクリップはフイルムのもともとのオリジナルスピード 16 または 18fps から変換しなければならない。全てのプロ用編集ソフトウエアプログラムではマウスのクリックで済み、出力先のメディアのファイナライゼーション中にほんの少し余計に時間がかかる程度のことである。もしたくさんの比圧縮の HD ビデオデータがキャプチャリングされていたとすると、それは大きな挑戦といえる。テラバイトのディスク容量は 1 日で簡単に満杯になってしまう。HD の編集用コンピュータには…

- RAID 構成の最新 HDD4 台。
- マルチコアを使う画像編集ソフトウエアと出力先メディア（ブルーレイディスク等）へのレンダリングに対応する、最新の 4 コアプロセッサー。代替案としてはビデオ信号の圧縮スピードを上げるためハードウエアエンコーダーボード。
- 1 台をキャプチャリング用に使っている間、もう一台をレンダリングに使用する等、1 台以上の PC を使用する。
- ハードディスクのデフラグメンテーション戦略を検討するとよい。デフラグされていないディスクへのビデオ信号の記録はビデオフレームの欠落につながる。方法例としてはディスクにいくつかのパーテーションに分け、録画を終えて必要のなくなったデータが入ったパーテーションごと空にする。
- キャプチャー時に Intermediate Codec を使用する。Intermediate Codec によって無視しても良いほどの少ない画質劣化でディスクスペースを多く使用できる。

SD 編集には SDI キャプチャーカード付きの通常の（ただし、古すぎない）PC で十分である。

一つに統合されたユーザーインターフェース
-フラッシュスキャン HD コントロールソフトウエア

装置は全てフラッシュスキャン HD コントロールソフトウエアから操作する。ソフトウエアはウインドウズ、Linux、だけでなく Mac でも使用できる。

ソフトウエアはビデオ編集の経験の少ないオペーレーターでもすぐに使用に耐える結果を出すことができる。悪いセッティングの装置によって戸惑わされるようなことにはならない。ユーザーは装置について十分によく理解をしている必要はなく、ただフイルムをビデオに変換するだけである。

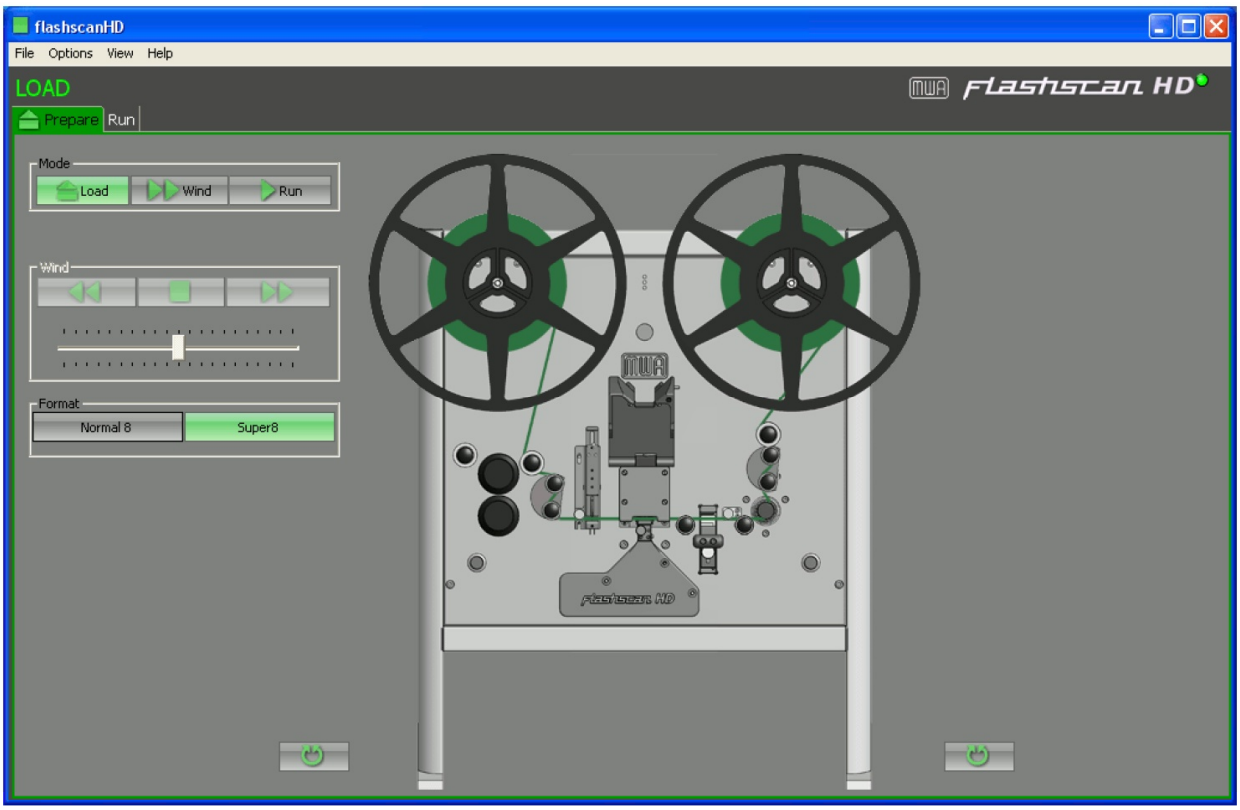

図 7:フラッシュスキャン HD ソフトウエア-フイルム準備画面

ソフトウエアの開発は常に進んでいるため、下記のリストの機能の中にはまだ完成していないものもある。

- フイルム準備の画面ではワインディングと再生のモードそれぞれに正しいフイルムの通し方を対話式に見せてくれる。巻き取り方向と PTR 使用が表示される。
- プライマリーカラーコレクションでブラック、ガンマ、ゲインを調整。ブラックとガンマはカメラの機能で調整し、ゲイン調整は光源の色に作用する。
- それぞれの色についてピクセルに割り当てられている信号幅をヒストグラムで表示。ビデオレベルが正常であるかチェックが可能。
- オートマティックカラーコレクションはヒストグラムから直接光源のセッティングをドライブ。それぞれのカラーチャンネルのビデオレベル上限をソフトウエアのスライダーで設定。ヘッドルームスライダーではビデオレベルの上限を許容できるピクセル数を設定。大きなヘッドルーム設定をすると画像の小さな明るい部分（例.蝋燭の火やランプの光）を無視するが、通常これが最適な設定になることが多い。ヘッドルーム設定をゼロにすると装置はビデオレベルを厳しく上限未満になるようにキープする。

  シーンごとの調製に時間をかけられないようなとき、例えば大量のフイルムをスキャンするような計画の場合には、オートマティックパワーコレクションは大変パワフルなツールである。オートカラーを入れておくとプリビューをしなくてもほとんどの場合に良い結果が得られる。

- セカンダリーカラーコレクションで 6 カラーセクターをそれぞれ独立に調製できる。（図 9）

図 8:フラッシュスキャン HD コントロールソフトウエア-メインオペレーションページ

- ジオメトリーエリアは光学ズームとフォーカス、フレームラインポジションを制御する。設定はメモリー保存、呼び出しができ、フイルムフォーマットが変わっても設定をすぐに呼び出せる。フォーカスファインダーバーは装置が映像の内容を常に分析するフォーカス位置を正しく正確に見つけるのを助ける。
- トランスポートコントロールの表示部は一般的なテープレコーダーと同様なプレイとシャトルボタンがある。フレームカウンターはフイルムの位置にあわせて常にカウントが表示される。トランスポートを止める位置はどのような単位でも、キューフレーム番号でも入力し設定できる。
- イベントキューリストを通して装置の設定は自動的に切り替えることができる。例えば再生中にリストの中のフレーム番号を通るとき、装置は色調整やフォーカスを切り替える。シーン倍シーンの編集では、ユーザーはシーンごとのカラーセッティングをリストに設定したら、ファーストランでそれぞれのシーンの確認をし、その後に OK テイクを高速スキャンをすればよい。
- アドバンスドイメージセッティングタブには、ディテイルエンハンサー（細部強調）、ニーリミッター、ガンマ LUT のようなカメラ調製がある。

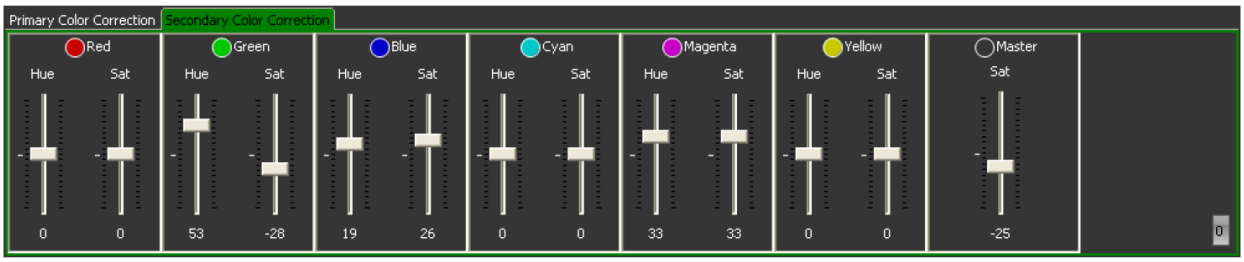

図 9:セカンダリーカラーコレクター

- オーディオセッティングタブはオーディオのルーティングを設定する。二つのサウンドトラックをステレオ信号として出力するか、一つのトラックをステレオの両チャンネルへ主っ力する。オーディオレベルも調製できる。

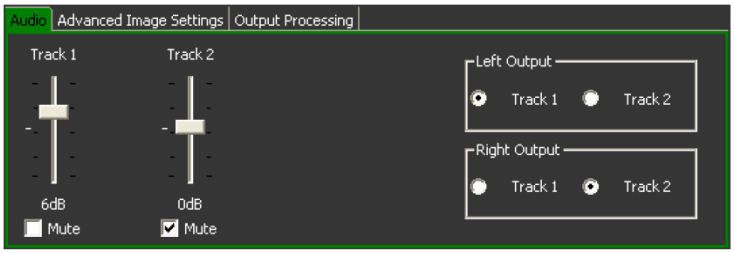

図 10:オーディオセッティングタブ

- 出力プロセッシングタブは SDI 出力の信号の構成を行う。SD と HD フォーマットの切り替ができる。SD のアスペクト比を 4:3 に変換することができるだけでなく、自動で補正することもできる。

パーフォレーション穴の写りこみやフイルムのフレームのエッジで見せたくない部分、つまり映像の左右部分を隠すのにマスキングエリアの機能でブラックマスクをかけることができる。

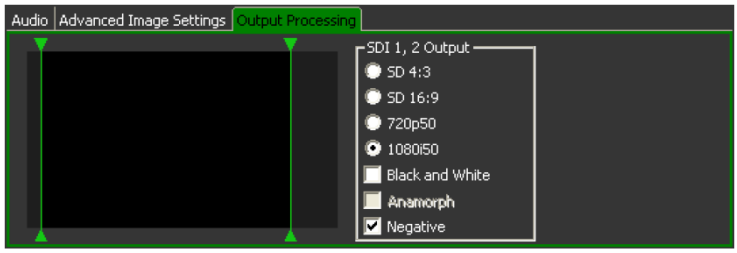

図 11:出力プロセッシングタブ

操作/生産性を高めるリモートコントロールパネル

フラッシュスキャンをさらに自分のものとしたいプロフェッショナルには新型のリモートコンロールパネルを用意した。ブラック、ガンマ、ライト調整用の 3 つのトラックボールと 8 つの高解像度エンコーダーを搭載している。カラー TFT ディスプレイで全てのセッティングが一瞬に確認できる。

リモートコントロールパネルはコントロール PC に USB で接続する。コントロールパネルでカラー、トランスポート、オーディオ、オプティカルを含むソフトウエア機能のほぼ全てが制御できる。メモリーしたシーンセッティングもすぐに呼び出せる。

さらにリモートコントロールパネルはフラッシュスキャン HD ソフトウエアのウインドウが最小化されている時も、バックグランドで動いているときも装置の操作が可能である。

図 12:リモートコントロールパネル