

ラク楽実践 VR

- 手と足と頭を使え！ VR システムの作り方 -

今回のラク楽は、おなじみの岐阜大学から、VR の三種の神器と言える時分割立体視のためのプロジェクタの徹底解剖をレポートして頂きました。非常に手軽に購入出来るようになった DLP タイプのプロジェクタでは時分割立体視はできない……という、非常識を何とかすべく、その基本構造を実験を交えて解析し、ラク楽初の 4 ページぶち抜きで、何とか使い物になる目処をしっかりと付けて頂きました。レポートは岐阜大学の脇田さんです。お楽しみ下さい。

また、今回のお店紹介は、編集上の都合により雑誌 Make の紹介をしています。

野間春生 (ATR)

第 9 回

事務用 DMD プロジェクタの解析と 時分割立体視システムの構成

脇田幹仁, 木島竜吾 (岐阜大学)

1. はじめに

液晶シャッター眼鏡を用いた時分割立体視は、実証されている技術であること、液晶眼鏡やドライバが容易に入手可能なことから広く用いられている。最も問題となるのは、高速表示デバイスに何を使うかということである。最近では液晶に押され気味ではあるが、古い CRT を引っ張りだしてきたり、あるいは、高価な DLP 方式を導入したり、ということになる。

本稿では、本来時分割立体視用ではない、普通のビジネスプロジェクタである PLUS VISION の U5-232 を用いて、安価に立体投影装置を構成する方法を紹介する。

2. 予備実験

DLP (Digital Light Processing) 方式のプロジェクタでは、画素を構成する小さなミラーを駆動し、1 画面の中で PWM を行うことにより画素の輝度を指定している。さらに、回転するカラーホイールを組み合わせ、ある瞬間毎のカラーホイールの色にあわせた輝度を出力することにより、色のついた画像を作り上げている。もし、カラーホイールがフレームレートとまったく独立に回転しているのであれば、時分割立体視を行うことは不可能である。また、他の心配としては、入力画像を一度メモリにためる等してタイミングを変えたり、複数の画像か

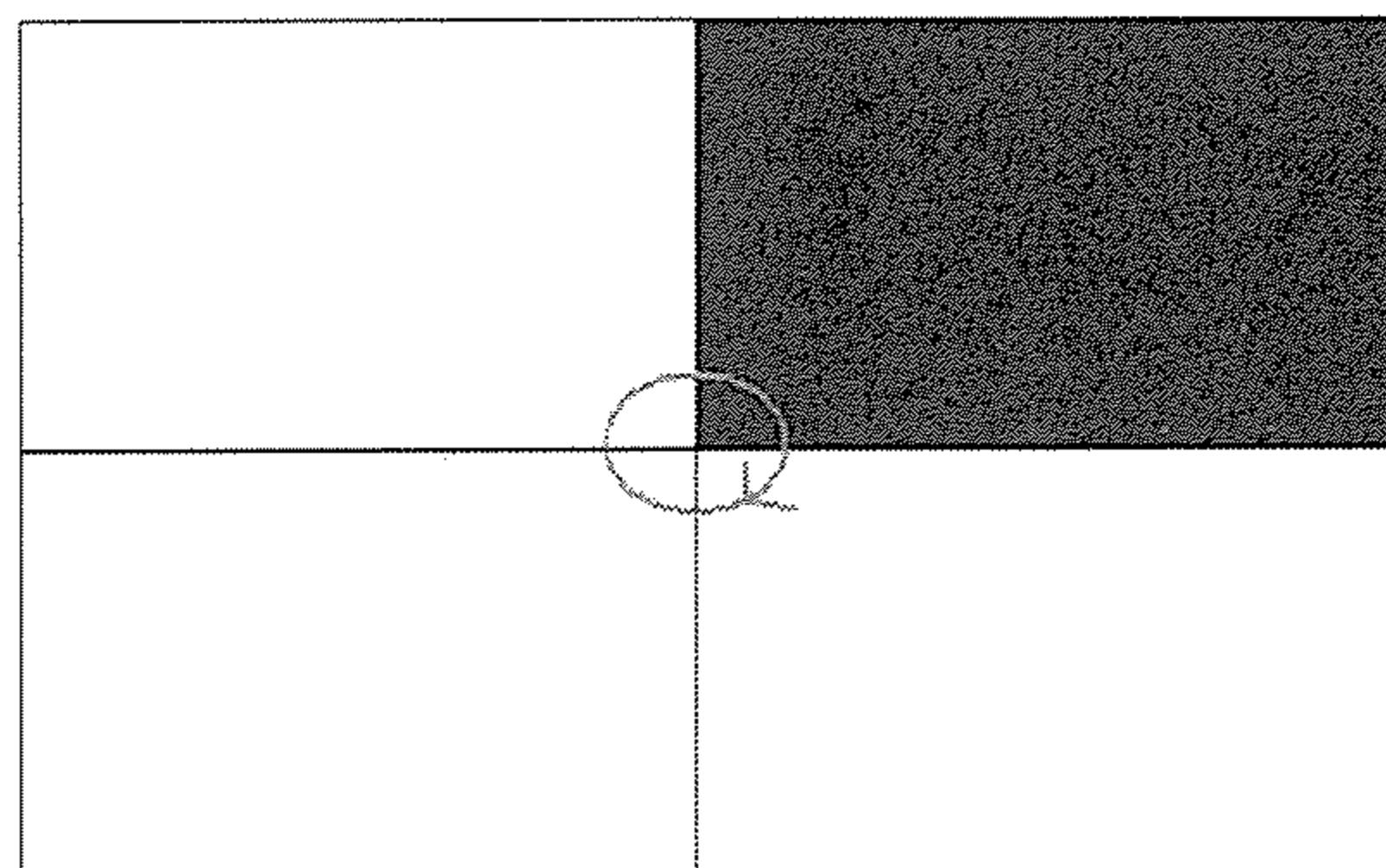


図 1 テスト用投影画像（黒い部分は毎フレーム次の象限に移る）

ら加工した映像を表示するなどの処理を行っている、時分割立体視には向かない。

しかし、安価な DLP プロジェクタの中には時分割立体視が可能だという噂のある機種があり、今回はそのなかから U5-232 を取り上げ、解析してゆく。まずは、カラーホイールと垂直同期の関係をざっと調べるため、図 1 のような画像を映し、液晶シャッター眼鏡を装着して観察してみた。図のように、画面の 1/4 が黒、他が白であり、黒い部分がフレーム毎に第 1 象限から第 4 象限まで動く。もし、カラーホイールがフレーム毎に 1 回転するといった単純な仕組みであれば、ちらちらする白黒の四角が、右目には第 1、第 3 象限に、左目には第 2、4 象限に見えるはずである。なお、U5-232 は 50Hz から 85Hz までの垂直同期周波数に対応しているため、この範囲でリフレッシュレートを変化させた。

50Hz, 60Hz では、期待通りの画像が観察できたが、60Hz を超える周波数ではいずれも、黒い四角の部分が灰色ではなく、黄色っぽく見えるという色ずれが観察された。

3. カラーホイールの回転周波数

そこで、フォトダイオードを用い、プロジェクタから投影される画像の一部をオシロスコープで観察してみた。投影画像は全画面白一色の画像である。カラーホイールには透明な部分が作ってあり、この部分では全体の輝度が上がるために、オシロスコープで観察することが可能である。結果を図2と表1に示す。

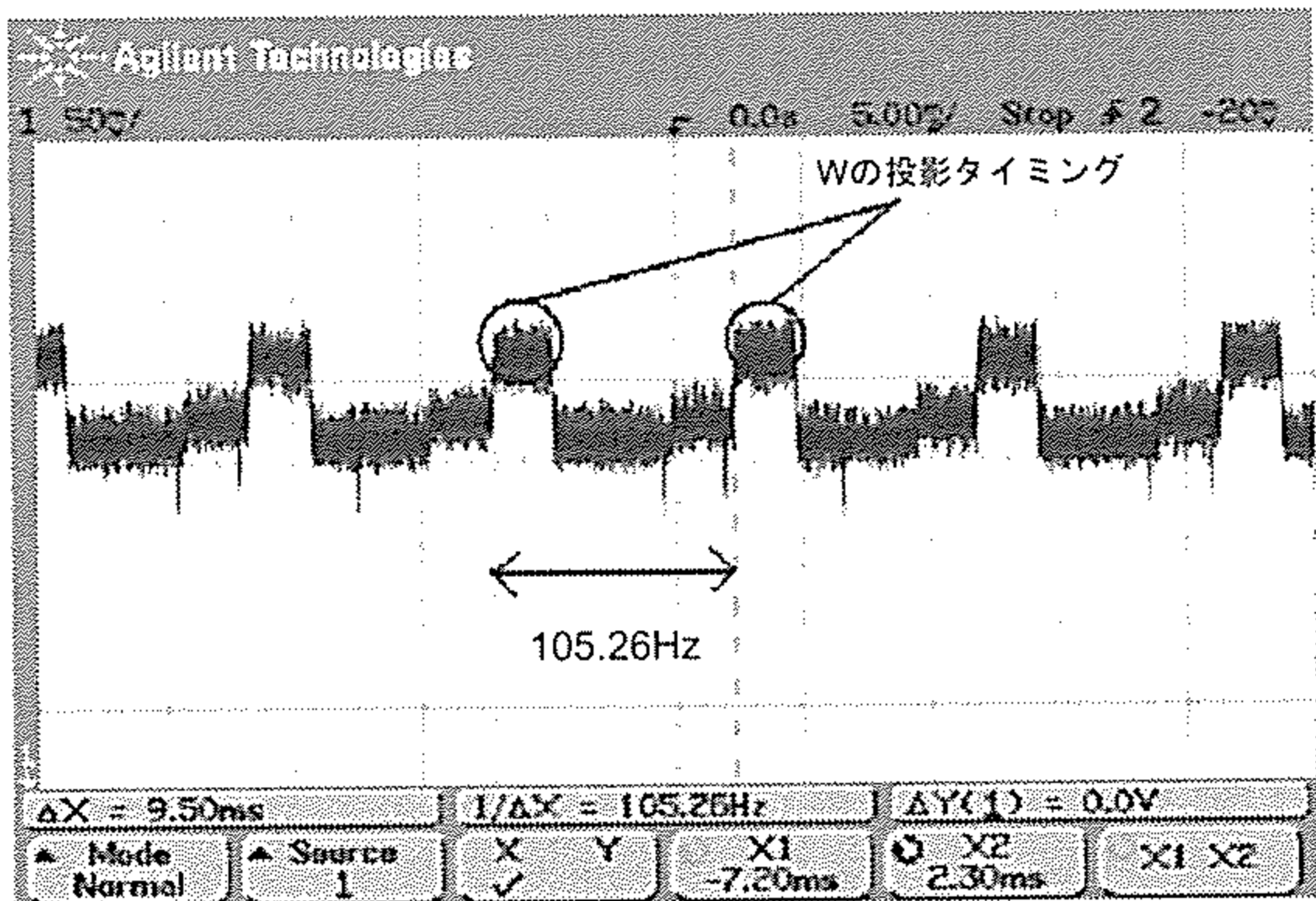


図2 白画像の輝度の変化

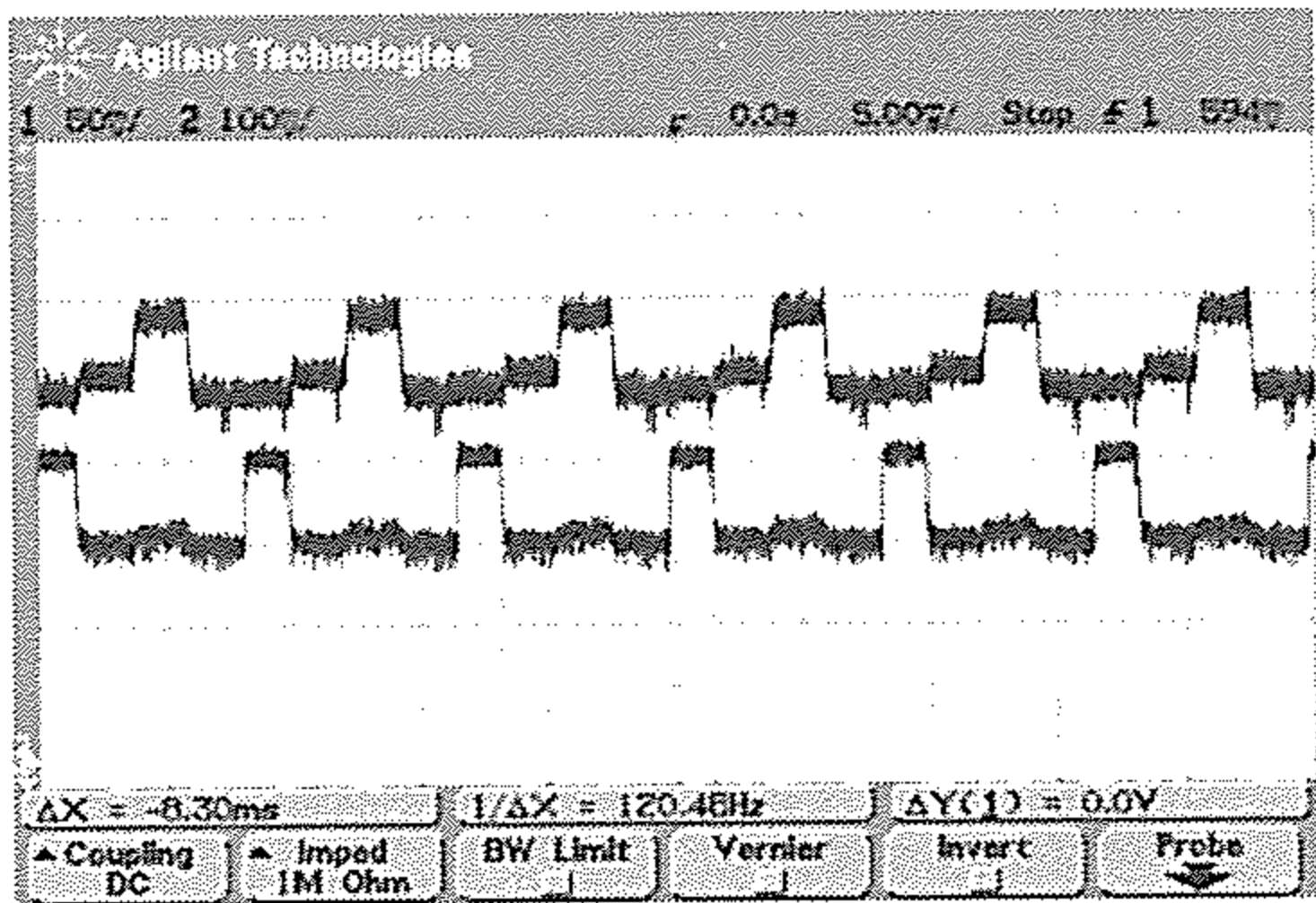
表1 リフレッシュレートとカラーホイールの周波数の関係

リフレッシュレート (Hz)	実測値 (Hz)	50.60のときは2倍速 その他は1.5倍速 としたときの値(Hz)	誤差 (%)
50	100.00	100.00	0.00
60	120.48	120.00	0.40
70	105.26	105.00	0.25
72	107.53	108.00	0.44
75	112.36	112.50	0.12
85	126.58	127.50	0.72

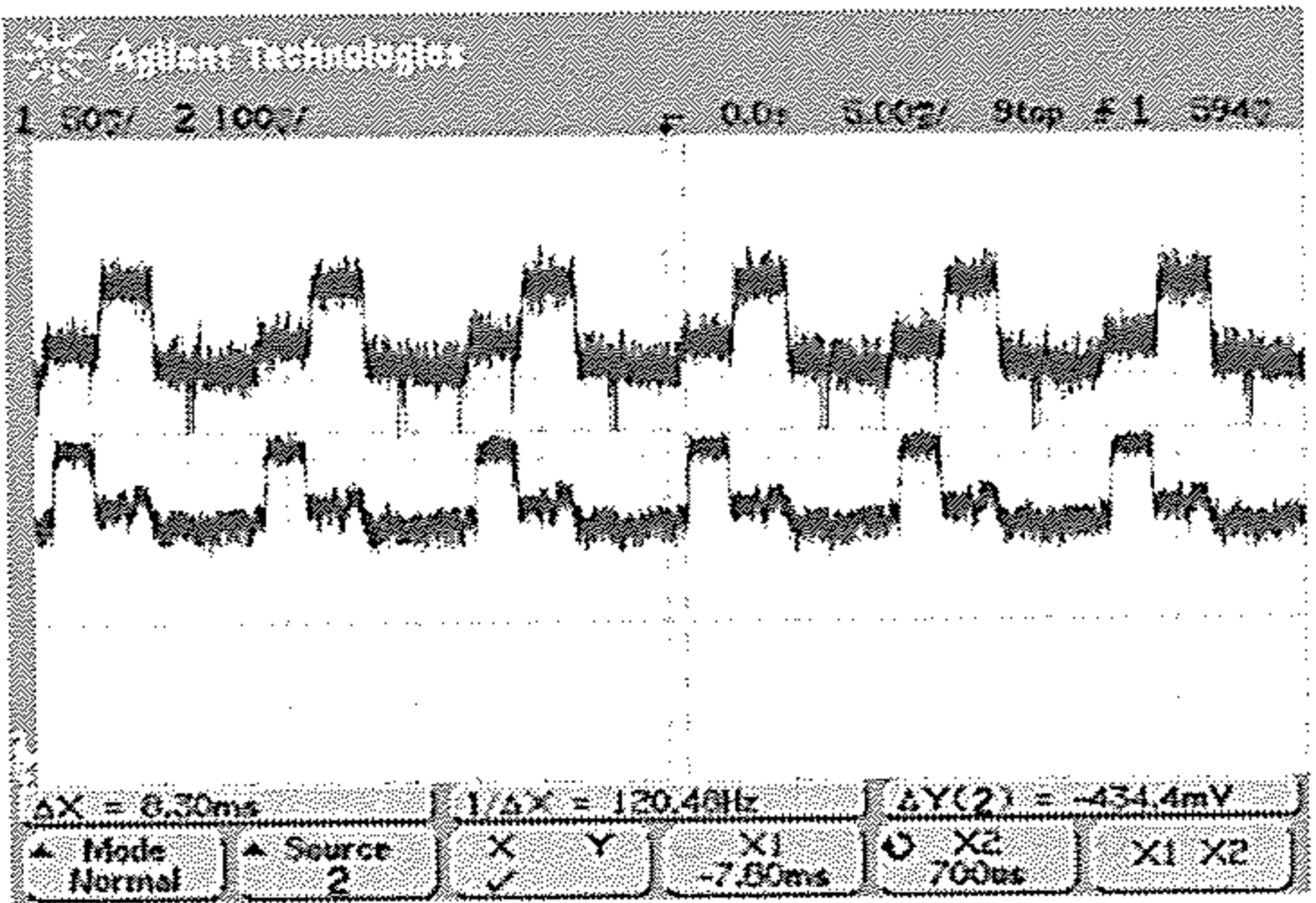
フレームレートが 50fps, 60fps の場合には、ほぼリフレッシュレートの 2 倍の周波数で透明な部分が観察できた。これは、カラーホイールの回転数または、ホイール内で一画面分を構成する RGBW パターンの周期が、リフレッシュレートの 2 倍ではないかという仮説を示している。以下では簡単の為に、単に「回転数」と表記する。また、60Hz を超えるリフレッシュレートでは、この比率が 1.5 倍速であった。これが上記色ずれの原因であると考えられる。1.5 倍速では、1 画面の間に、カラーホイールが 1.5 回転し、2 画面で丁度 3 回転することになる。したがって、毎画面左右の画像を切り替える場合には、カラーホイールの前半部分を 2 度使う画像と、後半部分を 2 度使う画像を観察していることとなる。

4. 色ずれの仕組み

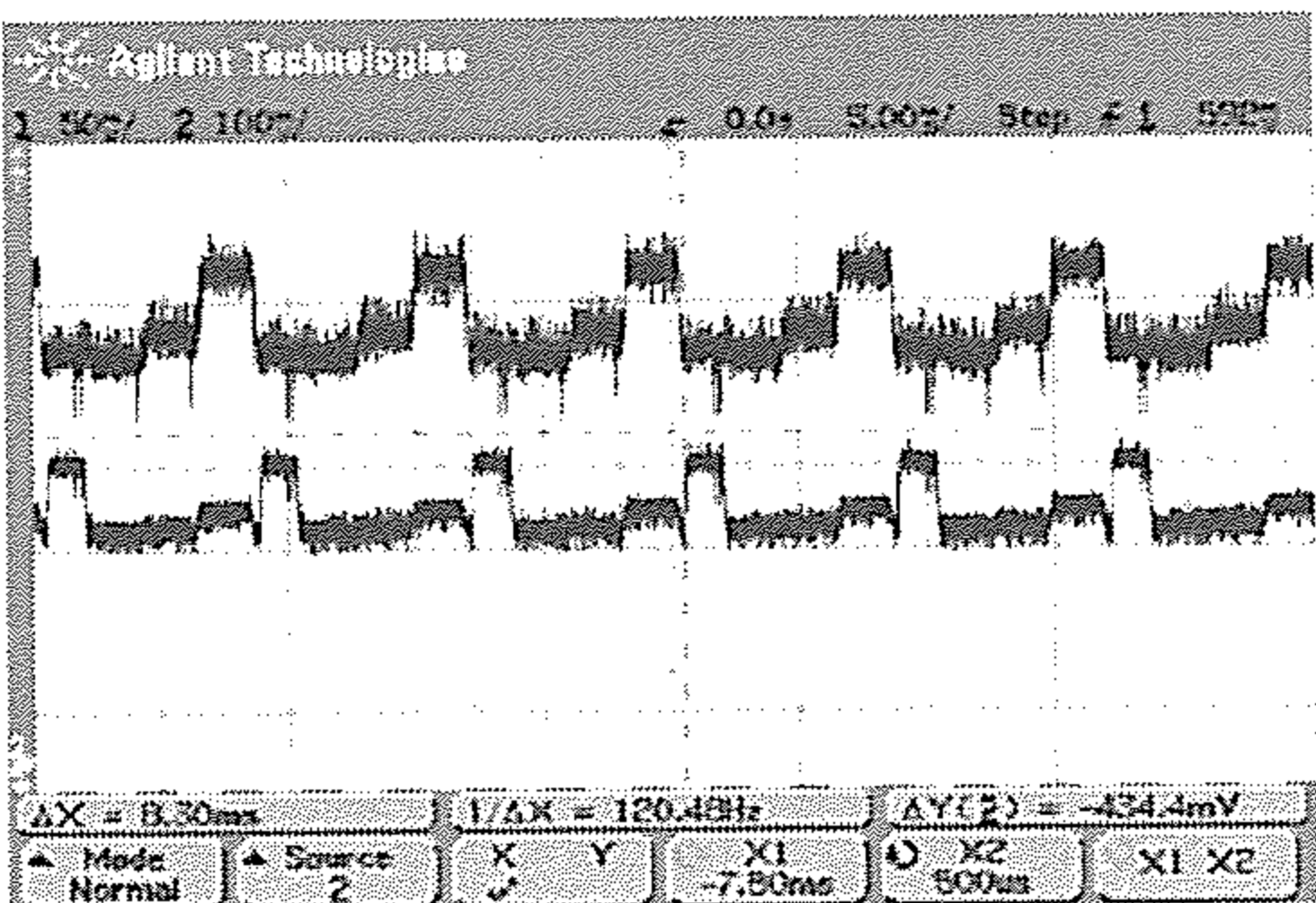
画像が黄色っぽくなるということは、R と G の成分が多すぎるということである。そこで、カラーホイールの色の順番を調べてみた。プロジェクタの光学エンジンを分解するのは気が引けるので、以下の方法を考案した。まず、画面の上半分は W, 下半分は R (もしくは G, B) という画像を投影する。フォトダイオードは二つ用意し、この二つの領域に各々設置する。白の部分から得られる信号を、カラーホイールの回転の基準 (透明部分) 信号として用い、下の領域からは各色を表示するタイミングを得ようというわけである。結果を図3に示す。上の波形が基準となる W の計測結果、下が各色の結果である。



(R)



(G)



(B)

図3 カラーホイール各色と白の相対タイミング

白の信号が高く上がった部分と比べ、B がその直後に上がり、続いて R、次の W の直前に G の信号が上がる事が判る。つまり、カラーホイールの回転順序は、WBRG (RGWB) である。従って、一周期 RGWB に加え、0.5 周期分の RG 部分が加わることにより、黄色く見える場合と、残りの WB に加えて一周期分を加えた、やや青白く見える場合が生じると考えられる。後者については再度本当の白と比較したところ、確かに青みがかっているように思われたため、上記の説明は妥当であると考えられる。

解決方法としては、レンダリングした画像にフィルタをかけて出力する方法、もともとのライティングを工夫する方法などが考えられる。いずれにせよ、色空間が狭まってしまうが、左右の色を揃えることは可能である。

5. 立体ディスプレイのセットアップとチップス

カラーホイールのいろいろな調査を終え、いよいよ本題である DLP プロジェクタを用いた立体視の実現についての話に移りたいと思う。立体視の実現にあたり、液晶シャッター眼鏡は NuVision 社製の SGS60 を用い、上下分割方式を採用した。上下分割方式とは、PC から出力される垂直同期信号を倍速にすることで、本来 0.5 フレーム毎に 1 フレームに見せかける方法である。つまり、ディスプレイには、画面の上半分の領域が 1 フレーム、同様に、下半分の領域も 1 フレームとして描画される。

今回用いた DLP プロジェクタの対応周波数は 50Hz から 85Hz (XGA のとき) であるから、リフレッシュレートを対応信号の範囲内に収めるためには、元々の値を 25Hz から 42.5Hz の間にする必要がある。液晶シャッター眼鏡を用いた立体視を行う場合、右目用の画像と左目の画像の切り替わりが速いほうが当然ちらつきなく見えるため、対応周波数の限界値である 85Hz (両眼あたり 42.5Hz) という値を採用した。

さて、倍速をかけると縦の解像度が半分になってしまうため、DLP プロジェクタではやはり対応外信号になってしまい認識されないという現象が生じた。そこで縦の解像度を 2 倍にしてやることにより、この問題は解消され、対応した信号と認識されるようになった。

ところが、リフレッシュレートを 42.5Hz、縦の解像度を 2 倍とするだけでは、映像は映るものの、本来投影されるべき映像が得られなかった。具体的には、水平同期周波数が本来 85Hz でとるべき値より小さくなってしまったため、画面の右端が描画されないという現象が起こった (図 4)。

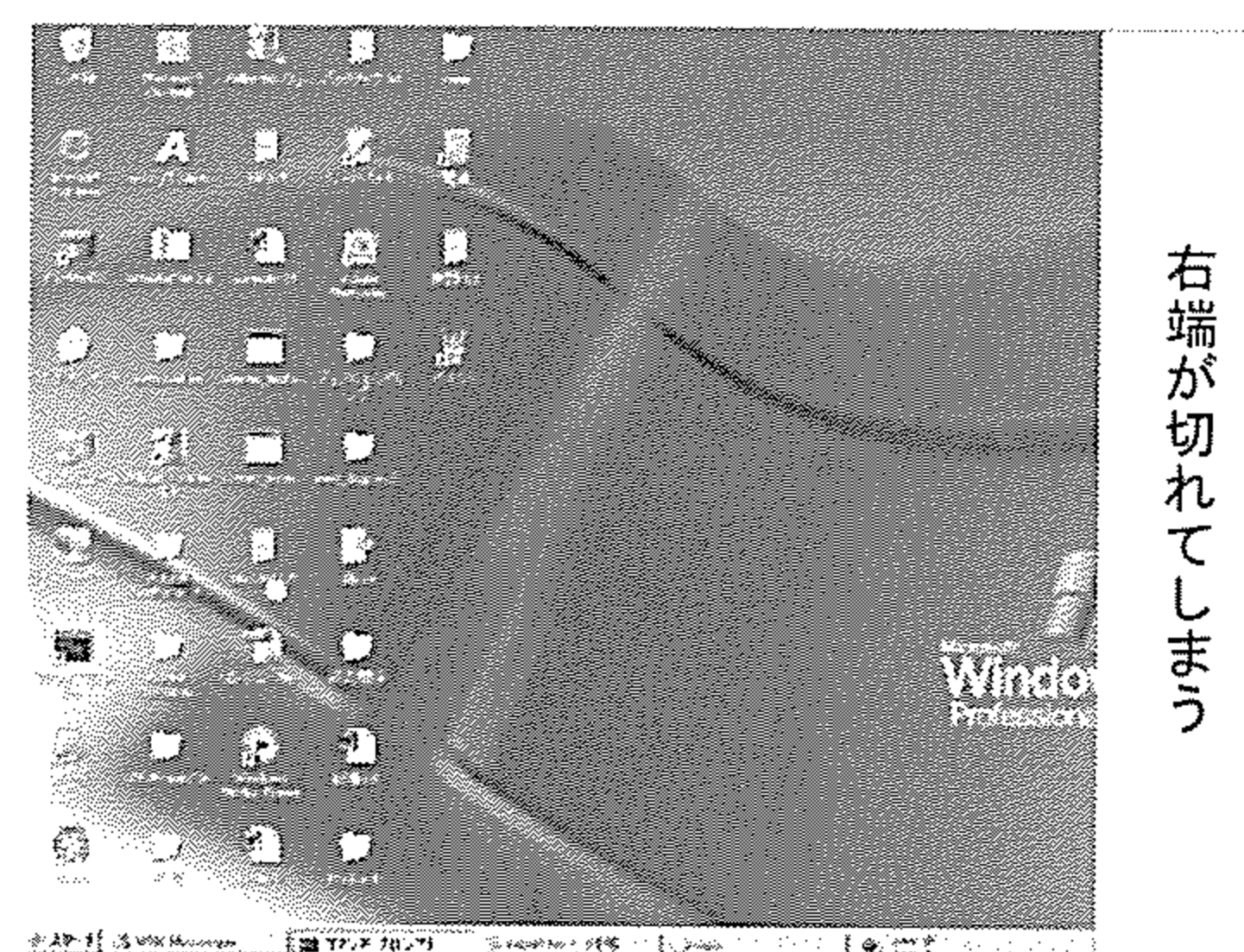


図 4 右端が切れた画面

そこで、水平同期周波数は『Vsync × (V 解像度 + V フロントポーチ + 垂直同期幅 + V バックポーチ)』という関係であることを用いて、リフレッシュレートの詳細タイミングの V フロントポーチ、垂直同期幅、V バックポーチの値をすべて XGA、85Hz のときの値の 2 倍にした (図 5)。

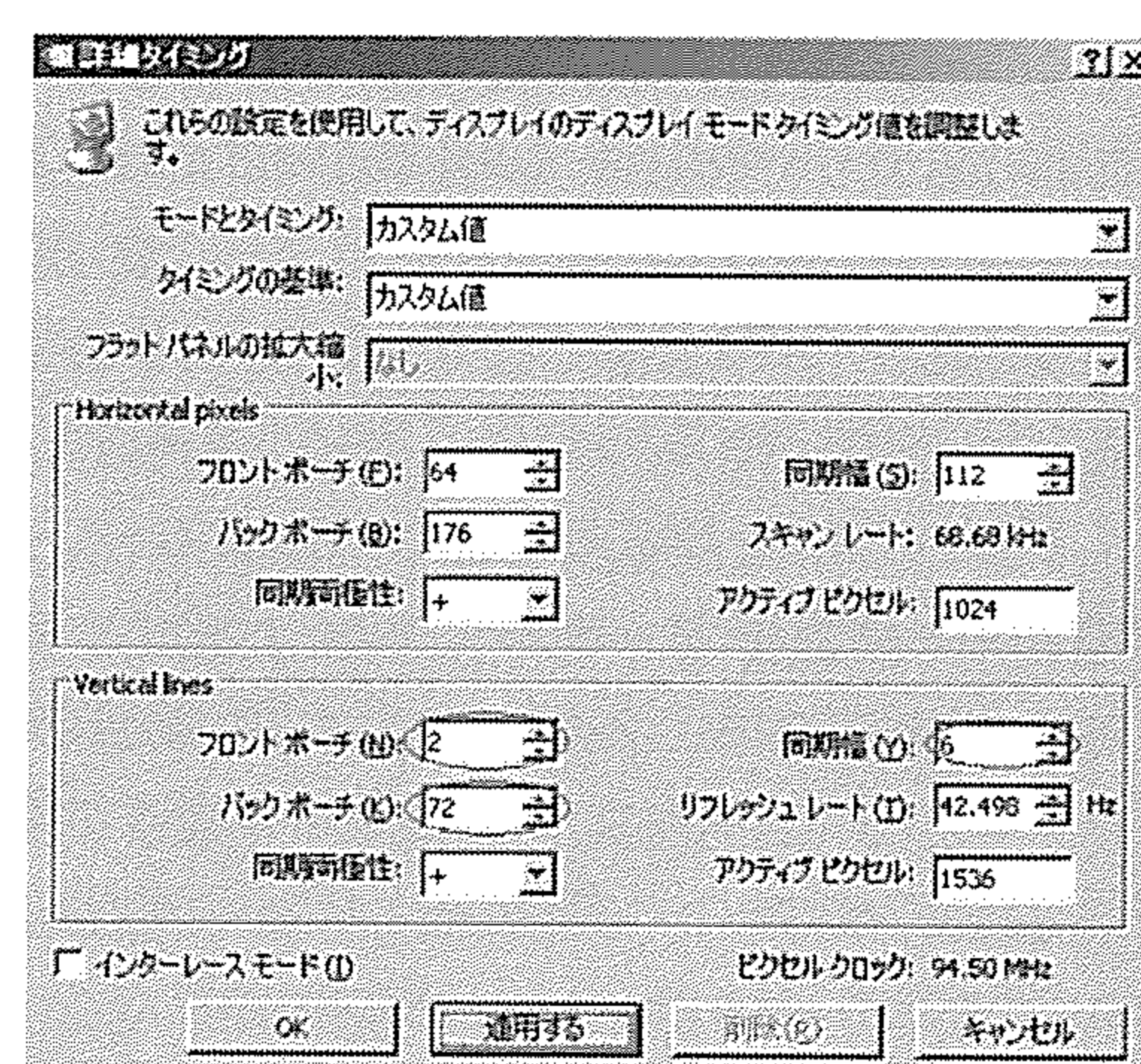
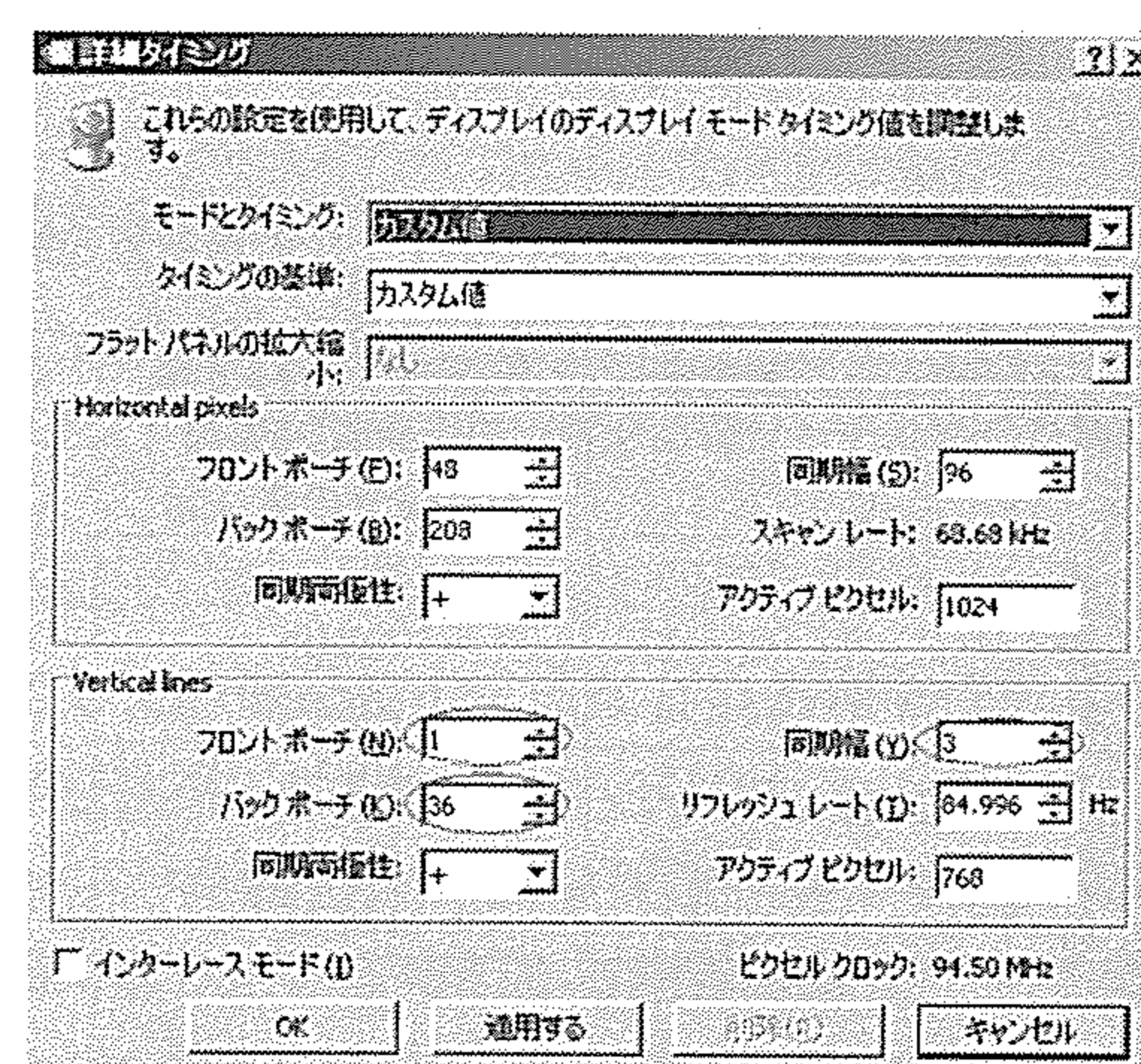


図 5 詳細タイミング (上 : 修正前, 下 : 修正後)

このような値に調節した結果、画面の右端が切れることなく描画された(図6)。

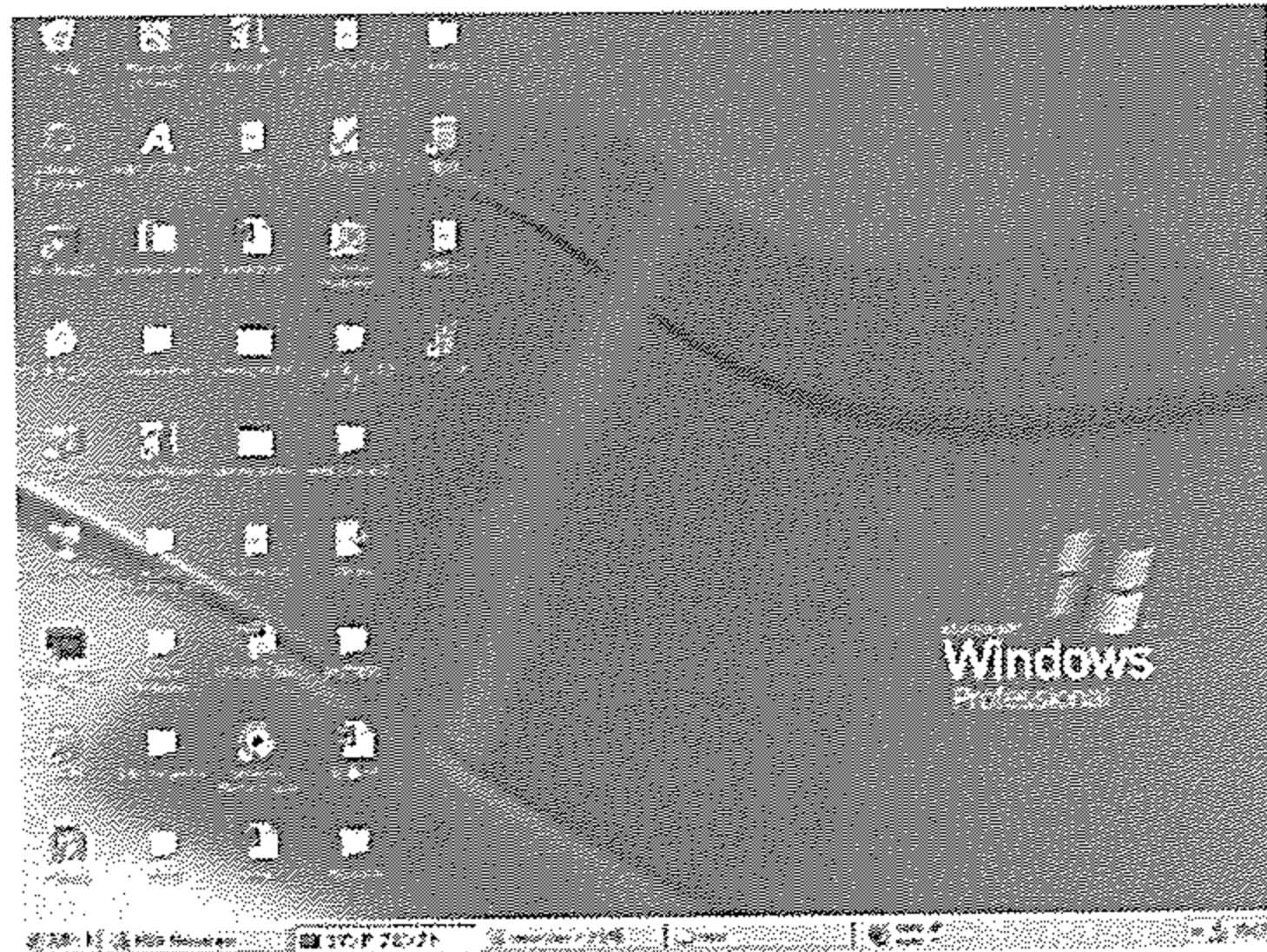


図6 正しく表示された画面

6. まとめと展望

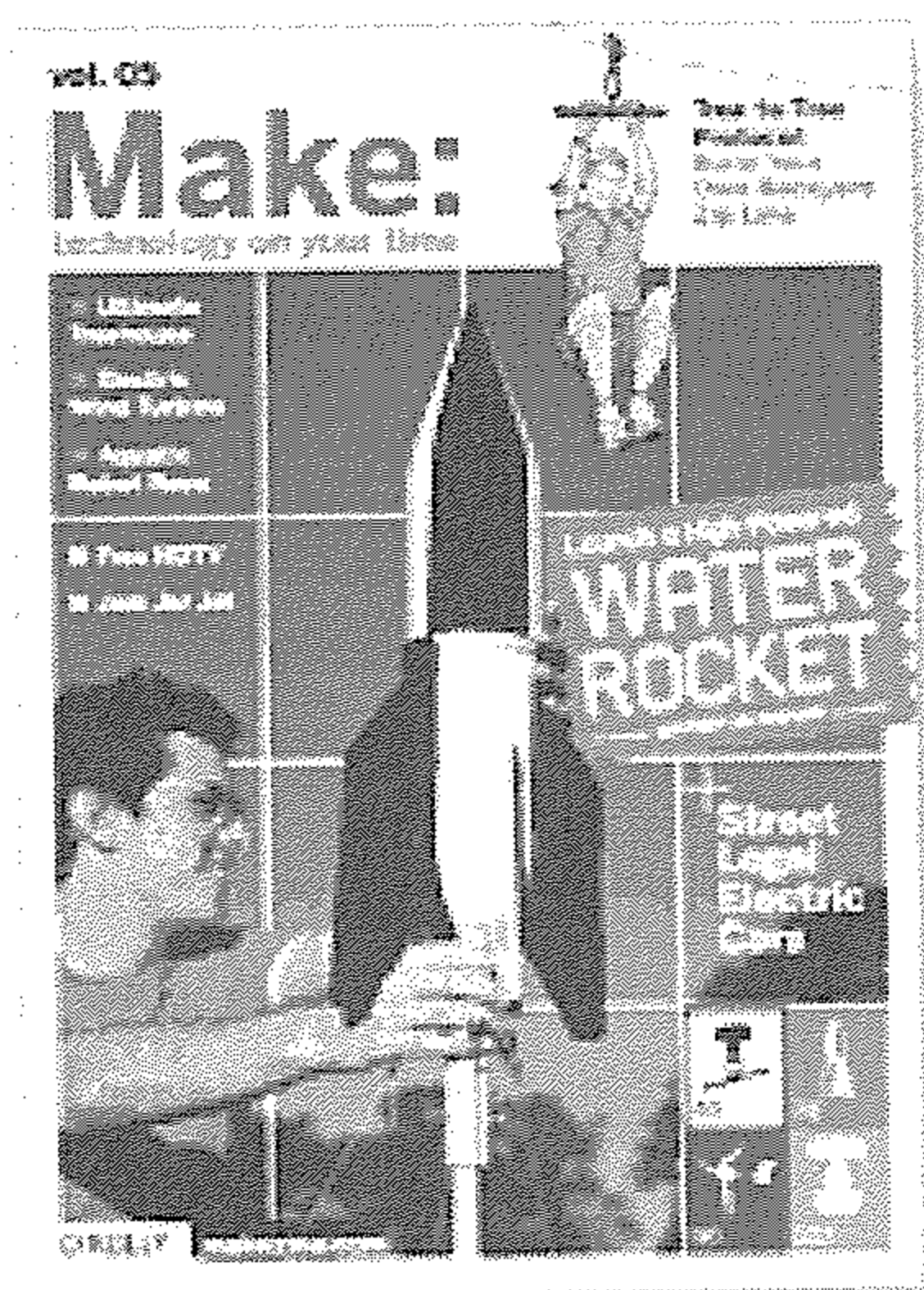
今回は、RGBWの4セグメント・カラーホイールを有する2倍速のDLPプロジェクタを用いて、時分割立体視システムを構成した。これはある意味で、製品のリバーエンジニアリングによる方法であり、他の製品にも同様な方法が通用するかが心配なところである。

一方で、現在はR×2, G×2, B×2, Wの7セグメント・カラーホイールで、5倍速(2.5倍速で回転し、かつカラーホイール半周分)などというものも市販されている。もし、この7セグメント・カラーホイールを採用しているDLPプロジェクタの中に時分割立体視が可能なものがあれば、色ずれが起きずに立体視が可能になると思われる。その場合も同様な解析方法で確認が可能である。

ラク楽実践 VR

■コラム

お役立ち雑誌情報



Copyright by O'Reilly

Make: technology on your time

毎回VRシステムを作るのに役に立つお店を紹介してきましたが、今回は少し趣向を替えて面白い雑誌を紹介します。O'Reillyといえば、単色のタイトルに白黒の動物のイラストで有名な計算機関係の解説書の出版社ですが、MakeはこのO'Reillyが季刊で出している雑誌です。内容について簡単に言えば、“トラ技”と初歩の“ラジオ”と“ラジオライフ”をゴった煮にした雑誌で、SIGGRAPHのE-TechのようなGadget、しかも、いずれもDIYを前提とした作品のパレードです。先日、1周年を迎えて無事にVol.5が発行されたところですが、手持ちのバックナンバーでMakeの構成を紹介しましょう。

まず冒頭の“Made On Earth”では世界中からのGadgetがニュースとして紹介されます。ショッピングカートにエンジンを組み込んだり、パンケーキの射出機などがこれまでに紹介されました。“Maker”は特定の発明家(甘美な響きです)に焦点を当てたインタビューです。そしてこの雑誌の中核

は“Make:Project”で、毎回実験的なDIYが作り方付きで解説されます。防水スプレーを燃料にしたジャガイモキャノン(Vol.2)、使い捨てカメラを改造した高速写真や世界一大きなMP3プレイヤー(Vol.4)、空き瓶で作ったジェットエンジン(Vol.5)など…タイトルを聞いただけでもうっとりする発明の数々です。“D.I.Y”では、チュートリアル的にセンサーの働きや使い方、PCBの作り方、PICの使い方などが、毎回初心者向けに紹介されています。

以上、トラ技に比べれば電気回路やメカの情報源としては質は劣りますし、初歩のラジオのような初心者向けの丁寧な解説もなく、ラジオライフのような怪しさもありません。しかし、発明家としての魂をぐいぐいと振り回されるGadgetの数々に、ラク楽実践VRに通じるものがあり、毎号の到着を楽しみにしています。

なお、今回のコラムのために、編集部を表紙写真の掲載許可を得た際に教えて頂きましたがMakeの日本語版の発行準備が進んでいるそうです。となると、Gadgetにおいては世界一を自認する我らがVRSJからの掲載も時間の問題でしょう。

<http://www.makezine.com/>

野間春生(ATR)