

## 視覚実験のための刺激生成： ディスプレイの世代交代を活かすには

鯉田 孝和\*・永井 岳大\*\*・谿 雄祐\*\*

\* 豊橋技術科学大学 エレクトロニクス先端融合研究所

\*\* 豊橋技術科学大学 大学院工学研究科

〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1

### 1. ディスプレイの世代交代

視覚刺激を意図したとおりに正確に表示することは視覚実験の基礎であり、その手段としてコンピューター制御されたディスプレイが広く用いられている。表示デバイスとしてのCRTディスプレイ（以下CRT）は色と明るさの正確性や時間特性が優れており、数十年にわたる利用実績からも信頼されているといえる。ところが近年、パソコン用のモニタとして液晶ディスプレイ（以下LCD）に代表される平面型のディスプレイが普及し、同時にCRTの生産は激減して新品を購入することは極めて難しくなった。多くの研究者は、LCDの時間特性の制限や内部で意図しない画像処理が行われる可能性を危惧して利用をためらい、研究室に確保したCRTを引き続き使い続けているのではないだろうか。表示デバイスの問題は世界的にも共有されており、高性能なLCDが研究目的に利用可能であるかどうかを確かめた研究報告もある<sup>1)</sup>。

LCDは年々高品質化しており、視覚実験に耐

える各種性能を示すようになってきている。上記の研究報告では、LCDの時間特性はCRTと遜色ないことが示されている（ただし、動画特性には別の問題があることに注意。栗田氏の解説に詳しい）。もちろん、LCDがCRTよりも優れている点も多い。例えば、高密度なピクセル、大画面、最大輝度の高さなどである。特に、高精細なピクセルは空間周波数特性の測定目的だけでなく、両眼立体視の微細な視差操作や、きめ細やかで高画質の画像を表示できる点で明らかに優れている。

高画質な画像を呈示可能となったことで、物体刺激画像の微細な特徴量を自在に操った研究も可能となる。その際には刺激画像として写真を加工したものだけでなく、コンピューターで生成した画像（CG）を用いることも一般的となるだろう。計算機の性能向上とユーザーインターフェースの進化により、CGを作成するレンダリングソフトの利用も容易になった。ディスプレイの世代交代を活かして研究を進めるには、CGの技術も重要となるといえる。

ディスプレイの性能を理解して正しく視覚刺激を呈示できていれば、表示デバイスの世代変化を恐れる必要はない。実際Journal of Vision等において“LCD”と全文検索すれば数多くの研究論文がLCDを利用していることに気づくだろう。

### 2. 視覚学会チュートリアル企画

ディスプレイの世代交代に関して知識を学会

---

2012年夏季大会、チュートリアル講演。

本チュートリアルは、2012年視覚学会夏季大会（実行委員長山内泰樹（山形大））の若手企画として鯉田、永井が発案し、鯉田が測定装置の準備ならびに実習での講義を行い、永井が講演内容および講演者の調整を行い、鯉田、永井、谿が測定とデータ集計を行った。実習内容と測定結果の一部は、実習報告として谿がチュートリアル講演セッションにおいて発表した。また、実習に参加して頂いた佐藤智治さん（豊橋技科大）、庄司雄平さん、鈴木実さん（山形大）に感謝します。

員間で共有すべく、2012年の視覚学会夏季大会チュートリアル企画として、三件の招待講演ならびに実習を行い、ディスプレイの表示原理と性能測定、意図した画像を表示するための校正方法について学ぶ機会を設けた。

チュートリアル企画の講演パートでは、三名の招待講演者に以下の三点に関してそれぞれご講演いただいた。(1) 静止画表示の色と明るさの再現性において、CRTはどの程度優れているのか、色校正の精度をLCD、有機ELディスプレイと比較検討する。(2) CRTならびにLCDの表示原理の解説とともに、CRTの動画特性が優れている理由をデータとともに紹介する。(3) 代表的なレンダリングソフトの操作を通じて画像生成の原理を学び、適切な画像を作り出すためにはソフトウェアの使い方だけでなく、照明光や反射強度、露光感度といった視覚研究者に馴染みの深い情報の理解と操作が重要であることを示す。講演内容は極めて有用なものであったことから、講演者各位による解説記事としてまとめ、VISION本号に掲載させていただくこととした。

チュートリアル企画の実習パートとして、ディスプレイと測定機器を会場に持ち込み、時間特性と色校正の測定を実演した。学会参加者には参観自由である旨周知したところ、実習時間は大会の主プログラムに先立って行われたにもかかわらず会場を埋め尽くすほどの参観者に恵まれ、数多くの質疑応答も行われたことから、多くの研究者に注目される問題であることも明らかになった。

LCDは年を追うごとに画素数が増加するだけでなく、色表現の正確さや時間特性の向上も見られている。また有機ELやプラズマ、レーザープロジェクトといった異なる表示原理のディスプレイも市販されている。個々のディスプレイの評価を行った技術報告も存在するが<sup>1)</sup>、次々と性能向上した新製品が発売されている現在、報告が行われる頃には該当機種が廃番となっていたり、海外と国内で型番や性能が異なっていることも多々ある。そこで重要となるのは、入

手したディスプレイを計測し、それが研究の目的に対して必要十分な性能を持っているかどうかを自ら確かめることである。

### 3. 簡便な計測方法による性能評価

時間特性に関しては、画素値を切り替えてから描画が完了するまでの時間経過を、発光体の応答速度、信号が入力されてから表示までの潜時のばらつき、書き換えの画面位置特性について知ることが重要であろう。これらの時間特性に関して安価で容易に測定できる方法について実習にて紹介したところ、広く知られた手法ではないことがわかった。ここで紙面を借りて概要を解説することにしたい。

パソコンからのビデオ出力を分配器で分配し、CRTとLCDに同時提示することで比較する。計測法は、高速撮影デジカメを用いた方法、ならびにフォトダイオードを用いた手法である。高速撮影デジカメは近年1000フレーム毎秒で撮影可能なコンパクトデジカメが市販されており(ハイスピードEXILIMシリーズ、カシオ製)安価で簡便に測定が可能である。ディスプレイの撮影にも十分な感度があり、コマ送りで再生することで1ms単位で描画をカウントできる(図1)。CRTは信号入力に遅れることなく画像表示されるため、画像の切替時に2つのディスプレイ表示の時間差を比較すれば、LCDの潜時や描画の空間特性がわかる。動画から、CRTが走査線で映像を描いていることや、LCDが静的に描いていることが明瞭にわかるだけでなく、画面切り替え時にフレーム同期が正しく行われているかどうかや、LCDにおいても切替時には全画面が一度に切り替わるのではなく画面端から順にワイプするように切り替わっていることが示された。潜時特性は、今回参考に用いたLCD(BenQ XL2024T、フレームレート120Hzまで表示可能)にビデオ信号をフレームレート100Hzで表示したところ、LCDは20ms遅れて描画が開始された、つまり正確に2フレーム遅れて描画されていることがわかった。

時間特性は、フォトダイオードを用いること



図1 ディスプレイの高速撮影. 同一のビデオ信号を分配し, CRT ディスプレイ (上) と液晶ディスプレイ (下) に同時提示した条件で 1000 フレーム毎秒での動画撮影を行った. 写真はその 1 フレームを示す. CRT が走査線で描いていることが明瞭にわかる一方で, LCD は静的な画像表示であることがわかる. 注意: 下の LCD 画像は右側が撮影サイズで切れている. 詳細な動画は YouTube にて公開している.  
<http://www.youtube.com/watch?v=oyT2mBfzcOw>

で, より精細に知ることができる. フォトダイオードは数百円程度で購入可能な電子パーツであり, ほかに乾電池と直流抵抗があればよい (図2). 出力を読み取るためにはオシロスコープ等が必要であるが, もし手元にない場合は USB 接続タイプのコンパクトオシロスコープが安価であり, またデジタルデータとして保存ができるため便利であろう (Picoscope, Pico technology 製, 2 万円程度). データを保存し, 繰り返し測定することで, 潜時にばらつきが生じていないかを確認することができる (図2).

色と明るさの特性測定は一般的な手法でよく, 性能は輝度の加法性と色度の再現性から確かめられる. ディスプレイの出力ガンマを測定し色校正を行うことは, 視覚研究者にとって必須の技術であるが, 視覚刺激呈示システムにパッ

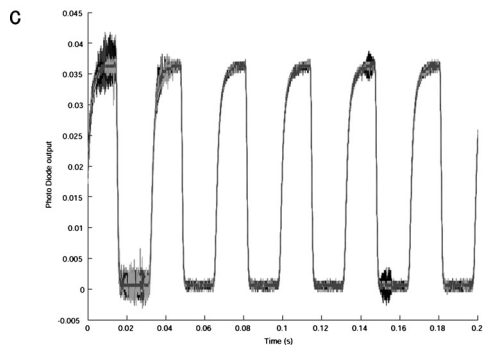
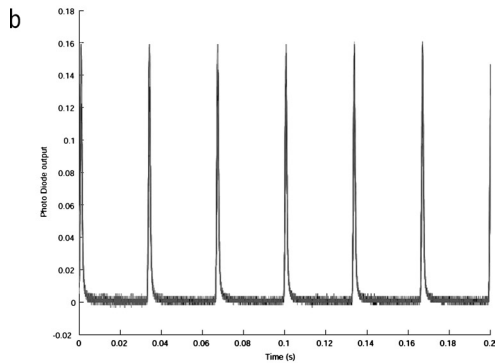
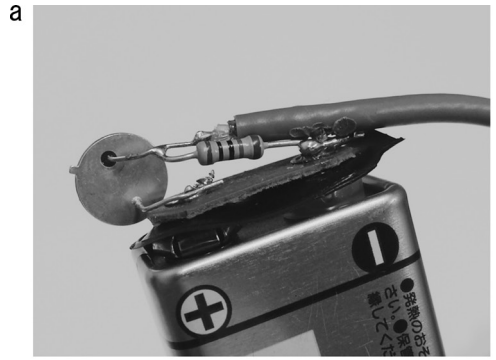


図2 フォトダイオードの接続と測定. (a) 左からフォトダイオード, 直流抵抗 (1 k $\Omega$ ), 9V 乾電池. フォトダイオードは光入力に応じて電流量が変わるので, 抵抗間の電圧として測定できる. 同軸ケーブルでオシロスコープ等に接続して読み取る. (b) CRT および (c) LCD にフレームレート 60 Hz で, 1 フレームごと白黒を交互に表示した際の測定結果. CRT がインパルス状の表示を行っているのに対して, LCD は 1 フレーム期間を静的に表示していることがわかる. 測定は 32 回繰り返しておりシグナルの立ち上がりを時間ゼロでソートして重ねてプロットしている. 32 回の測定結果は完全に重なっており, これらのディスプレイでは描画のタイミングに潜時のばらつきは生じていないことを示している.

ケージ化されて自動的に色校正を行うシステムの普及（CRS 製 ColorCAL など）にともなって若い研究者が原理を学ぶことなく刺激呈示を行うようになり，原理を学ぶ機会に乏しくなった。自動的に正確な刺激呈示を行えることは好ましい技術の進化ではあるが，ディスプレイの表示原理が変わったときに柔軟な対応や検証ができないおそれがある。

CRT と廉価な LCD に対し，ガンマカーブが指数関数でフィット可能であるかどうか，さらに RGB の三原色それぞれで測定した輝度値と合成した白色の輝度値を比較し，輝度の加法性が成り立っているかどうかで性能の比較を行っ

た。その結果，CRT では粗い測定であっても比較的正確な色再現 ( $CIE\ xy < 0.01$ ) が得られた一方で，安価な LCD では校正が難しいことがわかった。これらの測定原理と十分な測定で達成できる精度限界については，須長氏の解説記事に詳しい。

## 文 献

- 1) P. Wang and D. Nikolic: An LCD monitor with sufficiently precise timing for research in vision. *Frontiers in Human Neuroscience*, **5**, 85, 2011.