



ISO設定とLED調光が映像画質に与える影響

フィリップ・デュア、J・ミュンディンガー、アルブ・ダーマス

米ペンシルベニア州立大の研究者らは、映像撮影時のLEDシステムによる最適な照明条件を明らかにするために、パルス幅変調を利用した調光方法の影響を調査している。

建築照明設計と映像制作は、インパクトのある視覚体験を生み出すためのアプローチに多数の類似点がある。どちらにおいても、空間またはコンテンツの魅力を高めて見物者や使用者を惹きつけるために、色、光度、分布、全体的な雰囲気などの項目を慎重に検討する必要がある⁽¹⁾、⁽²⁾。建物に対する照明スキームを設計する場合も、特定の感情を呼び起こす映像を制作する場合も、その究極の目標は、見る者の心

を捉えて惹きつけることである。

映像制作では、使用するLED照明システムが録画映像の品質に悪影響を与えることが珍しくない。図1は、カメラとLEDの間に暗い線として現れる可能性のある、視覚的な不整合の例を示している。このような問題は、全体的な映像画質を著しく低下させて、制作の創造的なビジョンを妨げる可能性がある。

本稿は、このような課題を解決する

ために、パルス幅変調(Pulse-Width Modulation: PWM)と調光が映像制作の視覚的品質に与える影響を調査することを目的としている。PWM調光方法がさまざまな照明パラメータに与える影響と、カメラとのその適合性を調べることにより、最適な照明条件を達成する方法を学び、特定のLEDシステムによって課される制約を克服することができる。この知識は究極的に、映像制作者や照明設計者が、創作物の

視覚的品質を高めて、照明とカメラ技術を確実にシームレスに統合するために役立つ可能性がある。

方法

録画映像に暗い線が現れる問題に対処するために、研究チームは、カメラ設定、LEDのPWM、相対的な光レベルの間の関係を調べるための実験を行った。米ペンシルベニア州立大(Pennsylvania State University)のライティングラボ(Lighting Lab)で行ったこの実験では、壁に掛けられた絵画をLED光源で照らした。24~70mmの独ツァイス社(Zeiss)製レンズを装備したソニーの「A7Sii」カメラを、LEDの横に配置した三脚に、絵画の方に向けて設置した。

最初に、ISO設定と、映像に現れる暗い線との関係を調査した。屋内で映像を録画する場合は、600~6400の間のISO値を使用するのが一般的で、照明条件が暗くなるほど、高いISO値が使用される。ISO設定を変化させることにより、映像に現れる暗い線に対するその影響を分析した。

次に、PWMが映像画質に与える影響を調査した。PWMは、LED照明を調光するための方法で、図2に示すように、オン状態とオフ状態を素早く交互に切り替えることによって、明るさを落とした一定の光であるかのような錯覚を生成するものである⁽³⁾。ここでは、照明がオンになる時間とオフになる時間の長さを決定する、周波数(単位: Hz)を調整した。人間の目には連続的な光のように見えるが、PWM調光は、LEDストリップのオン状態とオフ状態の間の「フリッカ」(ちらつき)を制御することによって、光出力と知覚輝度を変化させているにすぎないことに、注意が重要である。つまり、観

表1 さまざまな調光レベルと周波数で撮影した映像の中の暗いバンドと明るいバンドのCIELAB明度(L*ab)⁽⁴⁾

ISO	調光レベル*	PWM (Hz)	CIELAB明度(L*ab)		明るいバンドと暗いバンドの明度差**
			明るいバンド	暗いバンド	
2000	5%	900	24	19	20%
		2,500	25	23	8%
		5,000	18	17	6%
		10,000	-	-	-
		25,000	-	-	-
	50%	900	67	57	15%
		2,500	64	62	3%
		5,000	61	60	2%
		10,000	-	-	-
		25,000	-	-	-
	100%	900	-	-	-
		2,500	-	-	-
		5,000	-	-	-
		10,000	-	-	-
		25,000	-	-	-
6400	5%	900	44	36	18%
		2,500	45	42	6%
		5,000	42	40	5%
		10,000	-	-	-
		25,000	-	-	-
	50%	900	84	76	10%
		2,500	79	77	3%
		5,000	89	87	2%
		10,000	-	-	-
		25,000	-	-	-
	100%	900	-	-	-
		2,500	-	-	-
		5,000	-	-	-
		10,000	-	-	-
		25,000	-	-	-

* 調光レベルが100%の場合に、照明はフル出力となる

** 録画映像のスクリーンショットにおける明るいバンドと暗いバンドの明度差を、Adobe Photoshopで色選択ツールのCIELAB L*を使用して分析した

出典:ペンシルベニア州立大の収集データ

測者には一定の光のように見えても、光源は一定の光出力を生成しているわけではない。図3は、調光レベルが50%、ISO値が2000、PWMが900Hz

で録画した映像に観測されたバンディング(帯状の線)を示したものである(PWMは、Hzの単位で表され、デューティサイクルは、照明のオフ時間に

表2 ISOが2000の場合の映像のフリッカ強度(緑色=良好な品質、赤色=低品質)

ISO 2000			
PWM (Hz)	調光レベル*		
	5%	50%	100%
900	20%	15%	0%
2,500	8%	3%	0%
5,000	6%	2%	0%
10,000	0%	0%	0%
25,000	0%	0%	0%

*調光レベルが100%の場合に光源はフル出力、調光レベルが50%の場合に光源は50%出力、以下同様

出典:ペンシルベニア州立大の収集データ

表3 ISOが6400の場合の映像のフリッカ強度(緑色=良好な品質、赤色=低品質)

ISO 6400			
PWM (Hz)	調光レベル*		
	5%	50%	100%
900	18%	10%	0%
2,500	6%	3%	0%
5,000	5%	1%	0%
10,000	0%	0%	0%
25,000	0%	0%	0%

出典:ペンシルベニア州立大の収集データ

表4 LED照明のPWMが1338Hzの場合の映像のフリッカ強度

ISO 2000			
PWM (Hz)	調光レベル*		
	5%	50%	100%
1,338**	不可視*	21%	2%

ISO 6400			
PWM (Hz)	調光レベル*		
	5%	50%	100%
1,338**	不可視*	15%	2%

*「不可視」は、調光レベル5%では光度が低く、ISO設定が2000または6400のカメラでは映像が形成されないことを意味する

** 映像を撮影する空間を照らすLED照明のPWM測定値は1338Hzだった。この調査では、この値を基準としている。PWMの測定には、校正済みのフリッカメーター(Gigahertz Optik社の「BTS256-EF」)を使用した

出典:ペンシルベニア州立大の収集データ

対するオン時間の割合[パーセント値]で表される)。

カメラによって、フレームレート

24fps、焦点距離35mmで10~15秒間の録画を行った。シャッタースピードは1/125秒、絞り値はf4に設定した。



図1 照明品質の低い録画映像には、暗い線が現れる可能性がある(画像提供:ペンシルベニア州立大)

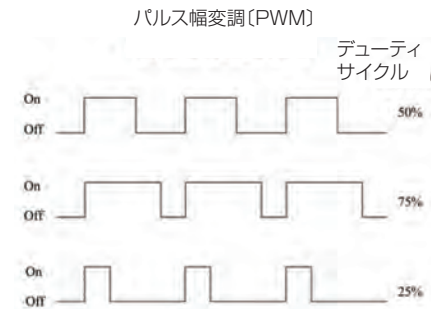


図2 パルス幅変調のデューティサイクル

光の違いが強調される空間を用意して、絵画とテーブルを含む静止物体の映像を捉えるように、カメラを配置した。

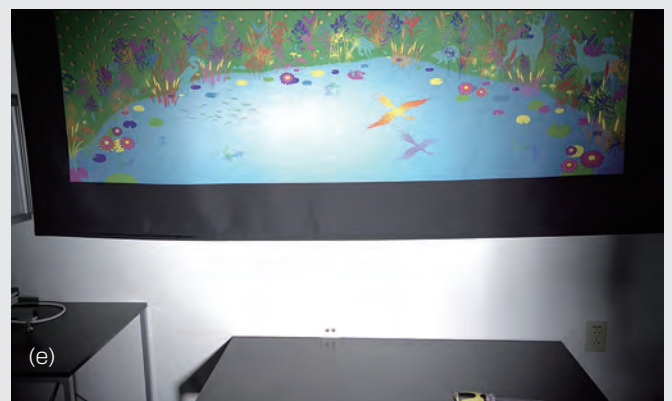
まずは、照明器具の出力を100%にして実験を行った。出力が100%の場合は、照明器具のデューティサイクルに「オフ」状態が存在しないため、映像に暗い線は現れなかった。出力を100%よりも低くすると、暗い線が現れ始めた。出力を50%にすると、暗い線の強度に変化が現れることに気づいた。表1と表2に示すように、PWMを低くするほど、フリッカの強度は高くなった。ISO値を変えた場合と、光出力を5%にした場合でも、これと同じ傾向が見られた。この実験結果(表1~4)は、

PWM、ISO、調光レベルが、録画映像の暗い線の存在に与える影響の概要を示している。

「Adobe Photoshop」でCIELAB L^*_{ab} の明度値を使用して、帯状の線の最も暗い部分(暗いバンド)と、帯がない領域の最も明るい部分(明るいバンド)の明度差を計算した。CIELAB L^*_{ab} の明度値は0~100で、高い値ほど明るい映像を表す⁽⁴⁾。暗いバンドと明るいバ



図3 PWMで照明を調光する際に現れた、暗いバンドと明るいバンド(画像提供:ペンシルベニア州立大)



許容不可能:
 (a): 5%, 900Hz, ISO 6400
 (b): 50%, 900Hz, ISO 2000

後編集によって許容可能:
 (c) 50%, 2,500Hz, ISO 2000
 (d) 50%, 2,500Hz, ISO 6400

許容可能:
 (e) 100%, 5,000Hz, ISO 6400

図4 実験条件下の録画映像からのスクリーンショット

ンドの明度差を、バンディングの許容度を表すカラースケールを使用して評価した。緑色は、許容可能なレベルを表し、黄色は、制作後の調整により許容可能であることを表し、橙／赤色は、許容不可能なレベルであることを表す。明度差が6%を超える場合を、許容不可能とみなすことにした。図4は、さまざまな許容レベルの画質を示している。

これらの結果は、PWMと調光レベルの両方が、暗いバンドの出現に多大な影響を与えることを示している。LEDの出力を100%に設定した場合は、表に記載したPWM値において、バンディングは観測されなかった。しかし、調光レベルを100%出力よりも低くすると、バンディングが出現し、その確率は、照明器具のPWM、調光レベル、カメラ設定に依存する。一般的に、品質の高い照明器具ほど、高速なPWM調光機能を搭載するため、バンディングが現れる確率は低くなる。逆に、品質の低い照明器具はPWMがより低速である傾向にあるため、バンディングが現れる確率は高くなる。

高画質映像を確保することが、映像制作では不可欠である。許容不可能な範囲のフリッカ強度のバンディングが現れる録画映像では、有用な結果は得られない。この問題に対処しない場合は結局、図4のaやbに示すような満足できない画質しか得られない。

推奨事項

録画映像のバンディング問題を解消するために、いくつかの対策を講じることができる。まず、撮影場所を探す際には、明るい(光レベルが高い)場所を選択する。暗い場所で撮影する場合は、新しい光源を追加して光レベルを上げることが、バンディングを防ぐた

めに有効である。実際の撮影の前に、テスト撮影でカメラの性能を確認しておくことも、潜在的な問題の検出に役立つ。校正済みの照度計または輝度計で、撮影しようとしている場所の光レベルを測定できるためだ。最新式のカメラは、映像をリアルタイムに液晶画面にフィードバックできる。撮影場所の画質をカメラで確認し、照明を100%出力(調光なし)に設定することにより、バンディングが出現する確率を低減する。ポータブル照明を取り付けるか、高出力(90%~100%)のオフカメラライティングを行うことも、バンディングの低減に効果的である。

カメラのISO設定を上げると、バンディングをさらに低減できるが、ISO値が高いほど、デジタルノイズが生じやすくなる。バンディングがまだ許容できない状態であれば、シャッタースピードとフレームレートを少し調整することを検討してもよいが、それらは、動きのキャプチャと画質に影響を与えることを覚えておいてほしい。シャッタースピードは遅いほど、フレームレートは高いほど、バンディングは抑えられる。

結論

本稿の実験では、ISO、PWM、調光レベルが映像画質に与える影響を調

査した。LED照明器具のPWM周波数が約10,000Hzで、出力を100%に設定した場合、バンディングの問題は生じなかった。このような高いPWM周波数を持つ光源が利用できない場所では、照明出力を100%よりも低くすると、バンディングの問題が生じる可能性がある。

映像に現れるバンドの強度を抑えるために、映像のフリッカ強度が黄色／橙色のゾーンに該当する場合は、カメラのISO値を上げた(表3)。PWMが900~1500Hzで調光レベルが50%以下の場合、映像は許容不可能なレベルになった。

本稿の調査結果は、バンディング問題の定量的なエビデンスであり、映像画質に悪影響を与える条件の特定に役立つものである。この調査は、カメラ設定、調光レベル、光源のPWMを体系的に分析することにより、映像制作においてPWMが画質に与える影響に関する貴重な知見を得ることを目指している。得られた知見は、プロの映像制作者が、カメラや照明の設定を最適化してバンディングを抑制し、優れた画質を実現する上で、有益となるはずだ。本稿の調査では、1つのカメラモデルだけを使用した。今後は他のメーカーやモデルのカメラについても、バンディングを調査する必要がある。

参考文献

- (1) C. Gloman and T. LeTourneau, *Placing Shadows: Lighting Techniques for Video Production*, Routledge (2012).
- (2) R.S. Berns, Billmeyer and Saltzman's *Principles of Color Technology*, John Wiley & Sons (2019).
- (3) L. Svilainis, "LED brightness control for video display application," *Displays*, 29 (5), 506-511 (2008).
- (4) D. Durmus, "CIELAB color space boundaries under theoretical spectra and 99 test color samples," *Color Research & Application*, 45(5), 796-802 (2020).

著者紹介

フィリップ・デュア(Philip Dure)、J・ミュンディンガー(J. Munding)、アルプ・ダーマス(Alp Durmus)は、米ペンシルベニア州立大(Pennsylvania State University)で建築と照明の研究を行っている。