

JATET映像部会・LASA共同実験

8th/Oct./2024 @ウシオライティング

舞台演出におけるレーザー光線の安全運用と対策

映像部会 株式会社シアターワークショップ 川上二郎

はじめに

レーザーというエネルギーは、既にビデオプロジェクターの光源にも利用されている次世代の(以前から技術はありますが、まだまだ発展分野)技術です。照明の光源としても一部採用されつつあり、今後さまざまな分野の代替エネルギーとして需要が見込まれます。これらを鑑みて、映像部会としては持ち込み演出レーザーに対して、劇場職員や設備設計会社もレーザーの知識を向上させることで、将来的にも役立たせるために大切ではないかと考えています。

今回レーザーをテーマに上げた理由としては、劇場・ホールに設備されている映像機材の一部に損傷が確認されており、その損傷機材の多くがカメラやプロジェクターの素子(DMD、CCD、C-MOSなど)に異常が発生しています。

その症状から演出などで使用されていたレーザー光線が原因ではないかと推測されます。

21 | 特殊演出等

レーザー演出の危険に留意する

▶レーザー機器は、人体(主に目)に危害を及ぼす可能性がある。レーザー演出を行う場合、「LASA安全基準」を順守すること。適正な教育を受け確実な技術と豊富な経験を持つ「レーザー安全管理者」の下、管理区域を設けて使用することが求められる。使用に際して専門技術を必要としない、簡易に入手できる小型軽量の機器であっても同様に危害を及ぼす可能性があるため、その性能(出力)を確認し安全確保に必要な措置を講じた上で、使用あるいは使用の許可をおこなう。

▶レーザー光源のプロジェクターの使用においては、近距離で投影光源が目に入ることをないように配慮する。

▶暗視カメラやITVカメラ等、施設の設備に干渉しないように留意する。

劇場等 演出空間の 運用および 安全に関する ガイドライン

公演に携わるすべての人々に

劇場等演出空間運用基準協議会

Ver. 4 2024

はじめに

今回の実験によって、レーザー光線は「危ない」「怖い」「だからヤダ」といった事では無く、

「どのようにすれば人体・会場の設備に対して安全に公演できるか」

という事を重点におき、検証結果を報告させていただきます。

技術協力 レーザーアートアンドサイエンス協会

機材協力 ウシオライティング株式会社

記録撮影 株式会社映像センター

ヒビノスペーステック株式会社

LASAについて

レーザーアートアンドサイエンス協会 (Laser Art and Science Association)

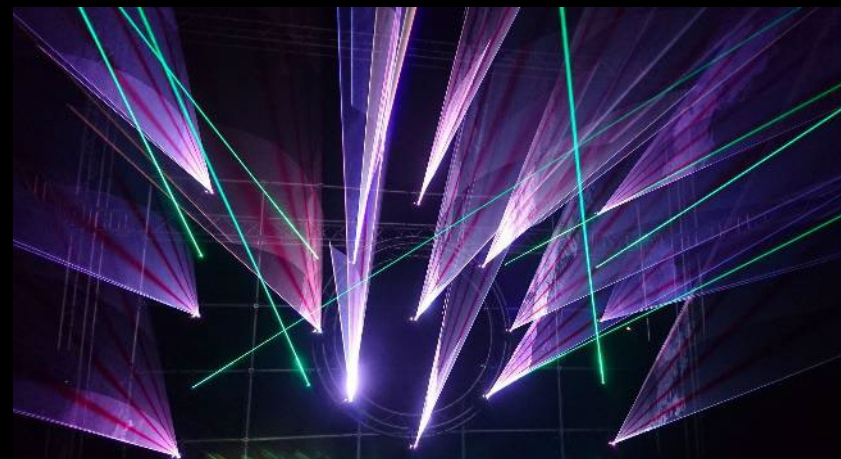
第2章-1 (目的)

- 1.LASAの目的は、次の点においてレーザーディスプレイの高度な応用と発展を目指すことにある。
- 2.レーザー操演の安全基準設定
- 3.レーザー操演に関する新技術促進
- 4.レーザー操演による芸術発展に寄与する
- 5.レーザー安全に関わる政府機関との相互理解を深める
- 6.レーザー操演情報提供
- 7.レーザー操演会員の協調協和

第2章-2 (事業)

- 1.LASAは、前条の目的を達成する為に次の事業を行なう。
- 2.研修会、講演会、展覧会等の開催
- 3.安全に関する調査研究
- 4.操演技術に関する技能の認定
- 5.芸術作品の展覧会および表彰
- 6.研究の奨励及び業績の表彰
- 7.協会誌及び関連図書 of 刊行
- 8.政府および関連団体等との連絡提携
- 9.その他目的達成に必要な事業

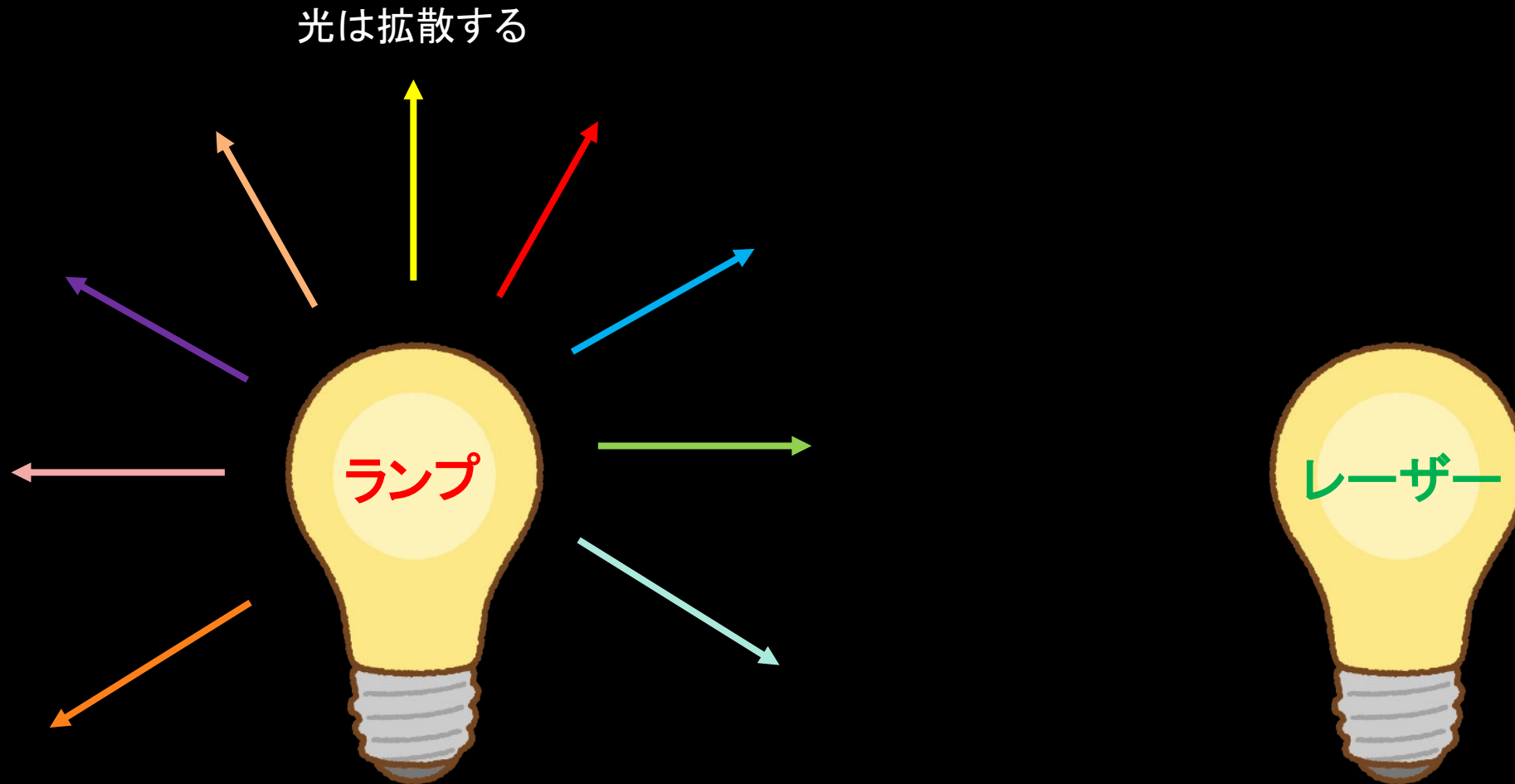
(※LASA会規約より抜粋)



レーザー光を簡単に解説①



レーザー光を簡単に解説①



レーザー光を簡単に解説①

光は拡散する



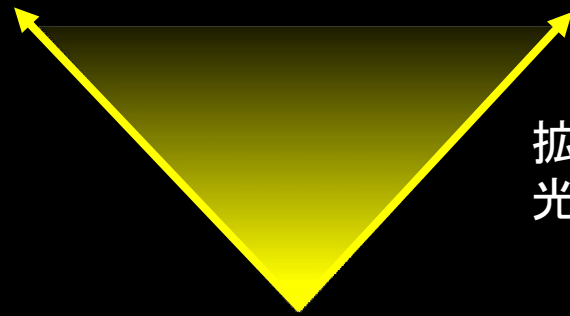
あらゆる方向に色々な光が出ている

光は拡散しない



一方向に単色(短波)のみ出る

レーザー光を簡単に解説②



拡散することにより
光エネルギーが減衰する



拡散しないので
光エネルギーが減衰が少ない



レーザー光を簡単に解説③

IEC(国際電気標準)の基準を基に、JIS(日本工業規格)で、「レーザー製品の放射安全基準」JIS C 6802が規定されている

- ・出力(W)によってクラス分けされている (Laser Class)
- ・数字が小さいほど安全

クラス	危険評価の概要
クラス1	設計上本質的に安全である
クラス1M	低出力(302.5~4000nmの波長) ビーム内観察状態も含め、一定条件の下では安全である ビーム内で光学的手法を用いて観察すると、危険となる場合がある
クラス2	可視光で低出力(400~700nmの波長) 直接ビーム内観察状態も含め、通常目の嫌悪反応によって目の保護がなされる
クラス2M	可視光で低出力(400~700nmの波長) 通常目の嫌悪反応によって目の保護がなされる ビーム内で光学的手法を用いて観察すると、危険となる場合がある
クラス3R	可視光(400~700nm)ではクラス2の5倍以下、可視光以外ではクラス1の5倍以下の出力 直接ビーム内観察状態では、危険となる場合がある
クラス3B	0.5W以下の出力 直接ビーム内観察をすると危険である ただし拡散反射による焦点を結ばないパルスレーザー放射の観察は危険では無く、ある条件下では安全に観察できる
クラス4	高出力 危険な拡散反射を生じる可能性がある これらは皮膚障害をもたらし、また、火災を発生させる危険がある

虫眼鏡などを使用しても基本的には安全

凝視以外の瞬間的な使用は安全

直接見るのは危険だが、リスクは小

レーザーを直視するのは危険、皮膚にも注意

火災を発生させる危険性もあり、取扱注意

使用機材



- メーカー

LaserAnimation SOLLINGER

PHAENON Accurate 7 (Laser Class 4)

LAS Red (638nm) 1.6W, LAS Green (520nm) 2W, LAS Blue (445nm) 4W

- レーザードライバー

LaserAnimation社 LDT triple

- スキャニングシステム

ガルバノ: Cambridge Technology社 CT6210H

ドライバー: LaserAnimation社 TurboScan XD driver

- 制御方法

ILDAアナログ信号/ AVB ストリーミング

- プロジェクター設定機能

LA-Toolbox ソフトウェア

- 電源

85 VAC - 264 VAC, 50Hz - 60Hz ユニバーサル

最大消費電力: 260W(Accurate 7), 320W(Accurate 10)

- サイズ

縦: 331mm x 横: 154mm x 高さ: 105mm (ヨークを除く)

重量: 5.3kg



使用機材



Christie Mirage D+6-M

6,300ANSI Lumen
3-chip 0.95" DMD
SXGA+(1400x1050)



使用レンズ
ILS LENS **0.73:1 SX+** / 0.67:1 HD 0.95"

実験概要

日時

2024年10月8日(火)

10:00～ 設置・調整 (プロジェクターは前日設置・調整)

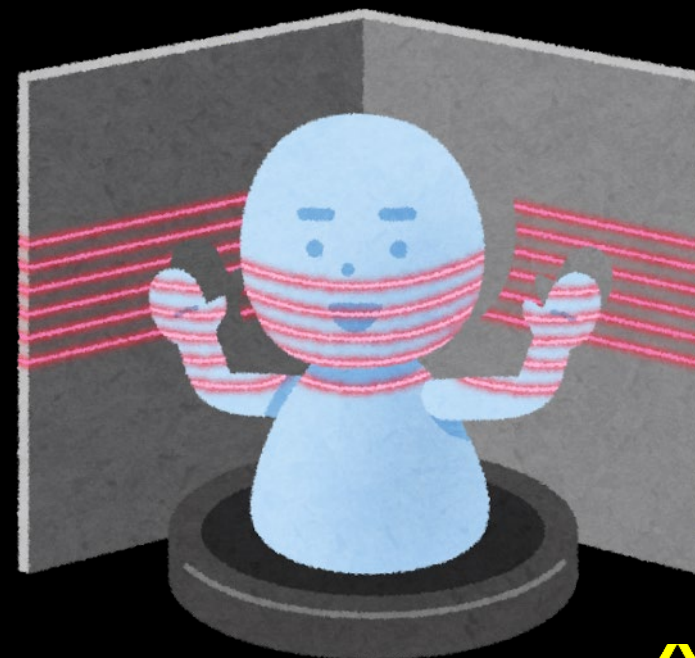
12:45～17:00 実験

場所

ウシオライティング株式会社 セミナールーム

実験項目

- ① 3枚板DLPプロジェクターの入射熱量の閾値の確認
- ② COB式LEDフォロースポットライトへの影響
- ③ 舞台材料への影響
- ④ SMD式LEDパネルへの影響



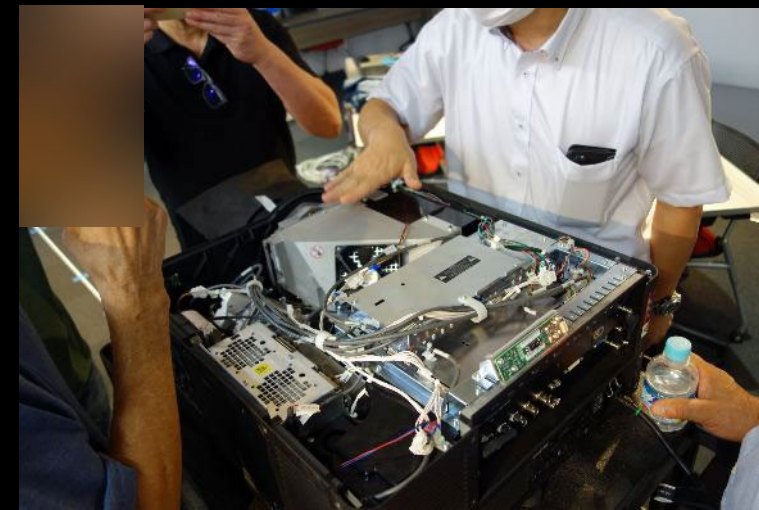
設営準備風景



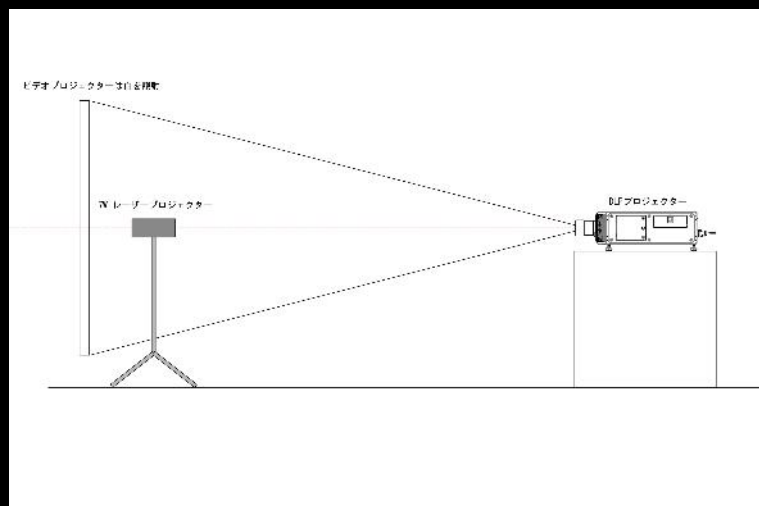
① 会場風景



② レーザープロジェクター投射位置調整



③ PDLプロジェクター内部確認



④ 設置条件



⑤ レーザー出力調整



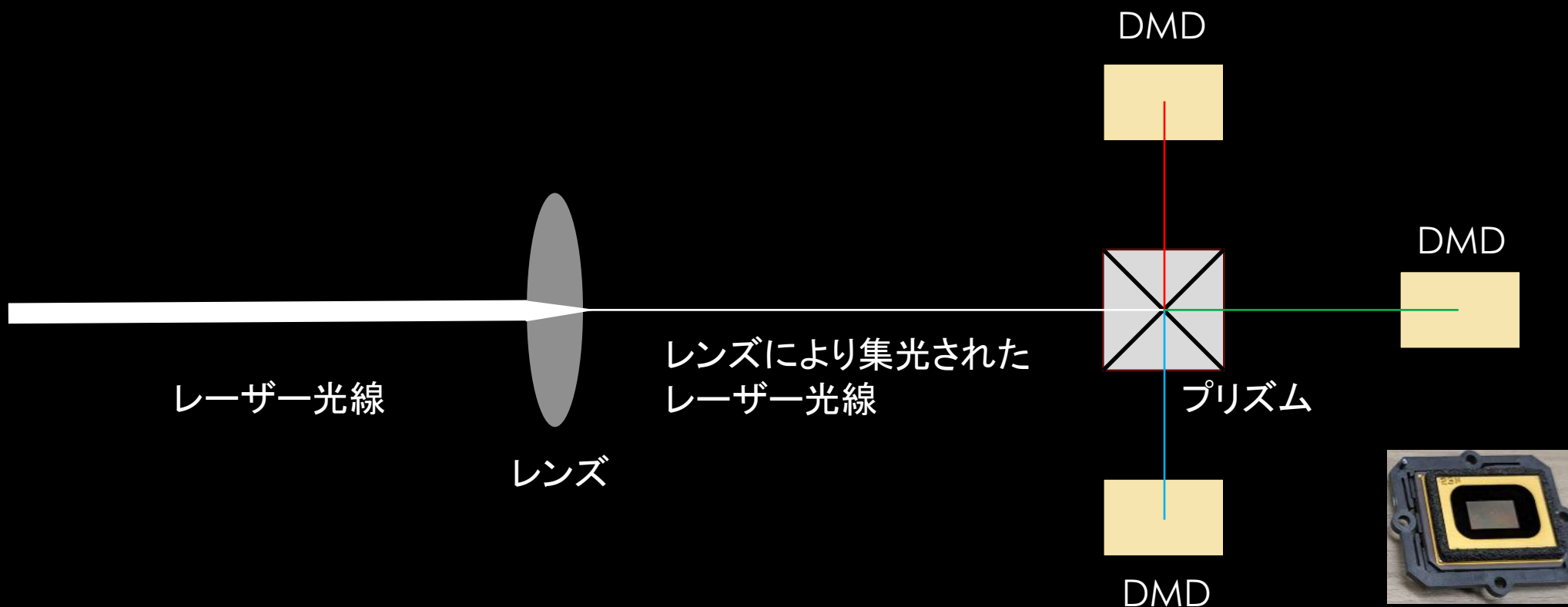
⑥ レーザー出力調整

実験①

□ 3枚板DLPプロジェクターの入射熱量の閾値の確認

Point

- ・レーザー光線の波長をDLPプロジェクターのプリズムは分光できるか
- ・どのくらいの熱量でDMD素子に影響を与えられるか



実験①

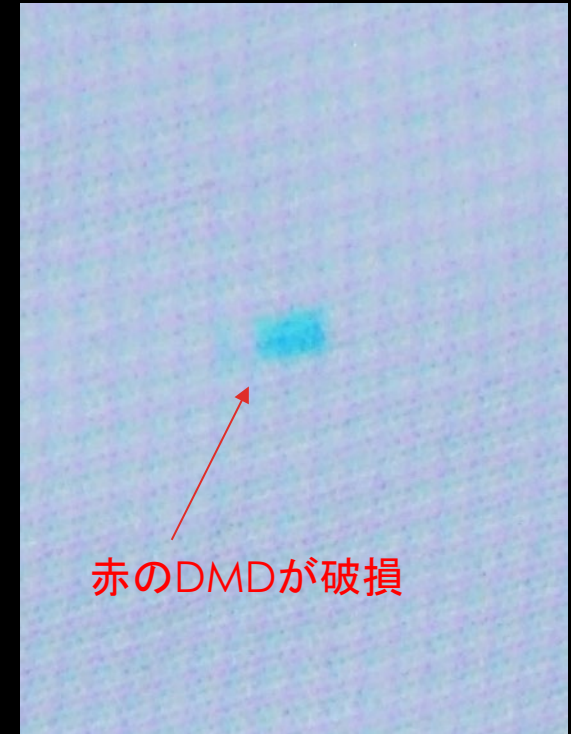
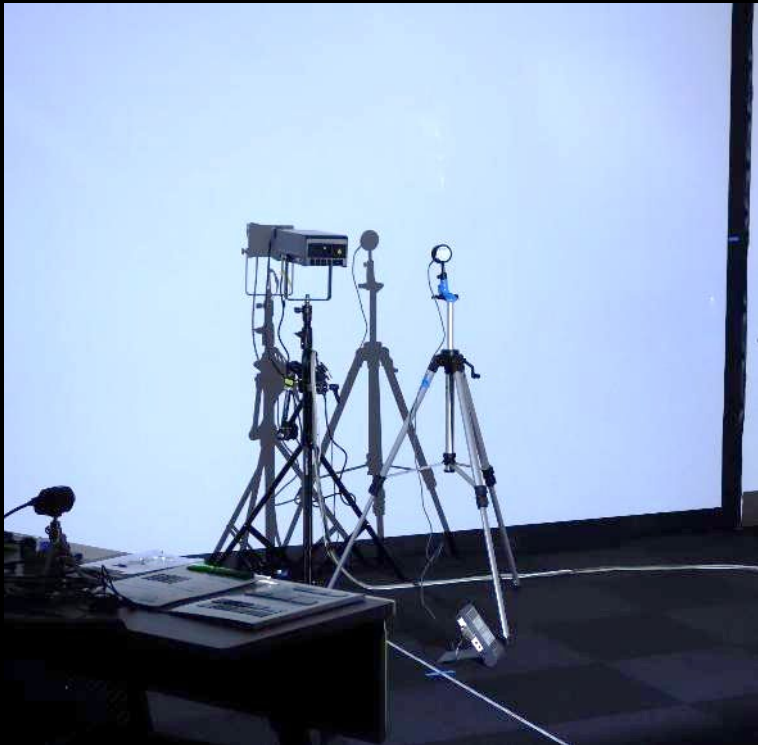
□実験条件

スクリーン→ビデオプロジェクター間5m

スクリーン前にレーザープロジェクターを設置

レーザー照射口がプロジェクターレンズ中央に高さ調整

出力500mW 240mS 赤単色をレンズ中央部分に照射



実験①

□実験条件

スクリーン→ビデオプロジェクター間5m

スクリーン前にレーザープロジェクターを設置

レーザー照射口がプロジェクターレンズ中央に高さ調整

出力500mW 240mS 緑→青の順で単色をレンズ中央部分に照射



実験①

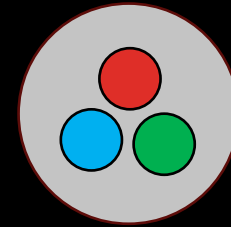
□実験条件

スクリーン→ビデオプロジェクター間5m

スクリーン前にレーザープロジェクターを設置

レーザー照射口がプロジェクターレンズ中央に高さ調整

出力500mW 240mS 緑→青の順で単色をレンズ中央部分に照射



※イメージ
レーザープロジェクター
照射口



実験①

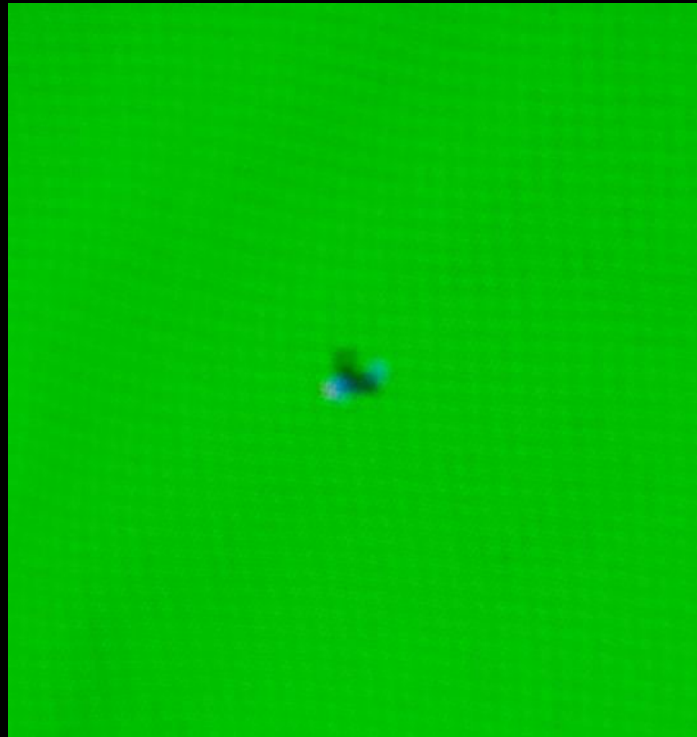
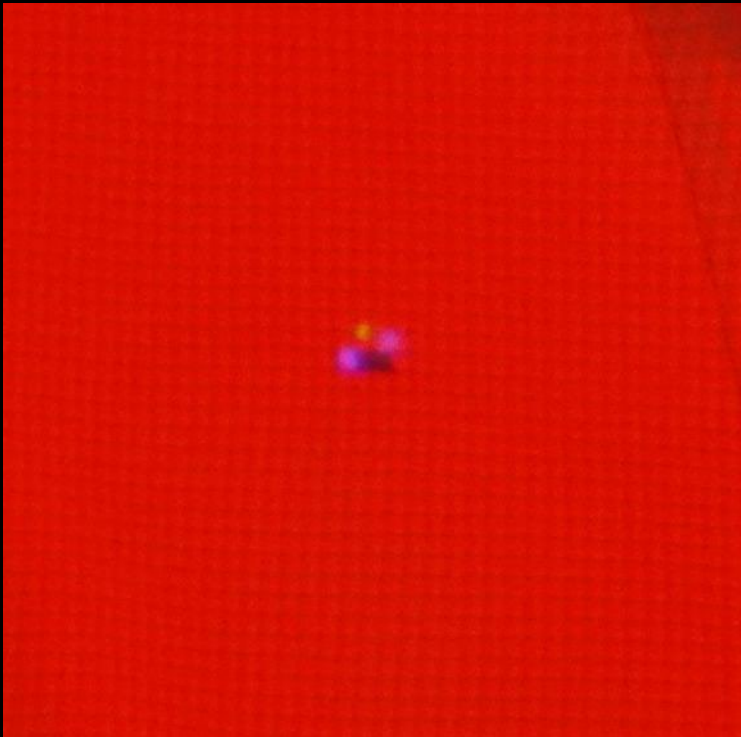
□実験条件

スクリーン→ビデオプロジェクター間5m

スクリーン前にレーザープロジェクターを設置

レーザー照射口がプロジェクターレンズ中央に高さ調整

出力500mW 240mS 赤→緑→青の順で単色をレンズ中央部分に照射



実験①

□実験条件

スクリーン→ビデオプロジェクター間5m

スクリーン前にレーザープロジェクターを設置

レーザー照射口がプロジェクターレンズ中央に高さ調整

出力500mW 40mS 赤→緑→青の順で単色をレンズ中央部分に照射→症状なし

出力500mW 120mS 赤→緑→青の順で単色をレンズ中央部分に照射→DMD破損

出力500mW+ND1/16 40mS 赤→緑→青の順で単色をレンズ中央部分に照射→症状なし

出力500mW+ND1/16 120mS 赤→緑→青の順で単色をレンズ中央部分に照射→症状なし

出力500mW+ND1/16 240mS 赤→緑→青の順で単色をレンズ中央部分に照射→症状なし

出力250mW 120mS 赤→緑→青の順で単色をレンズ中央部分に照射→DMD破損

出力250mW 40mS 赤→緑→青の順で単色をレンズ中央部分に照射→DMD破損

※出力500mW 40mSより小さいエネルギーでDMDが破損するようになったため原因を考察

DMDはダメージの蓄積を考えてレンズシフトにより実験のたび、レーザー照射される位置を変更

レーザーがプリズムにダメージを与えている可能性を考察

レーザープロジェクターを物理的に横移動して、レーザー光線がプリズムを通る位置を変更

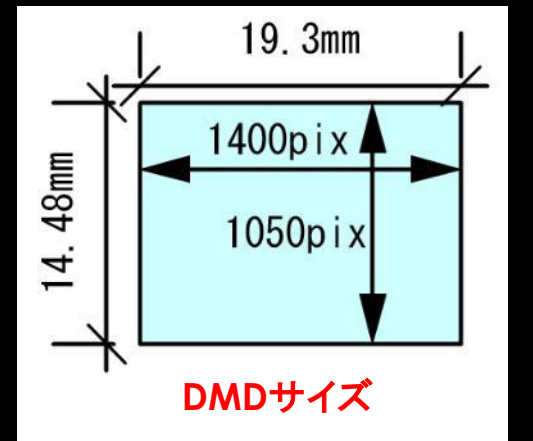
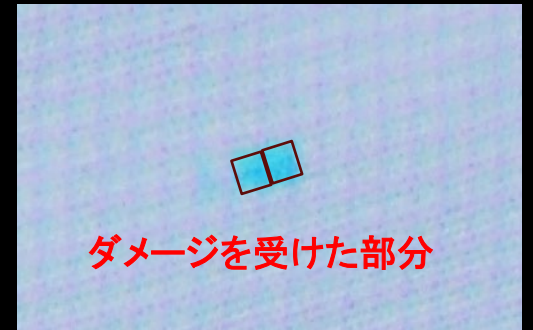
出力500mW 40mS 赤→緑→青の順で単色をレンズ中央部分に照射→症状なし

※プリズムの位置を変える事により、改めて出力500mW 40mSが閾値と認識

実験①

□DMDが破壊される熱量

- ・出力500mW 240mS 赤の時にDMDが2パネルダメージを受けた
- ・SXGA+のDMDパネルはW1400Pix X H1050Pix
- ・DMDは0.95型なので、W19.3mm X H14.48mm
- ・1ミラーのサイズは $\approx 13.8\mu\text{m}$
- ・DMDに対してレーザー照射範囲は、2枚破壊されたので $\Phi 27.6\mu\text{m}$
- ・今回使用のレーザープロジェクターの照射直径は $\Phi 4\text{mm}$
- ・4mm $\rightarrow 27.6\mu\text{m}$ に集光されているので、 ≈ 145 倍のエネルギー量に増幅
- ・500mW出力なので、DMDに72.5W \cdot 240mSの熱量が照射されたと推測される
 $\rightarrow J=W \times S$ から72.5 \times 0.24=17.4J
- ・今回のレンズは0.73:1と広角なので、望遠になると集光熱量が下がる可能性あり



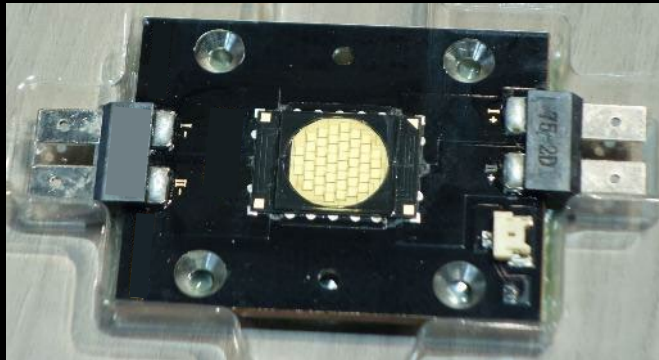
実験②

□ COB式LEDフォロースポットライトへの影響 Point

- ・SMDに比べ、配線が表面に露出していないので、配線破断などの損傷は少ないと想定される
- ・カメラやプロジェクターに比べて、レンズ群が少なく、精度が低いので確実な集光が困難と推察できる

使用機材

○ウシオライティング Sai-500CB



COB式LED



- 中距離用フォロースポットとして最適化した照度 (中心照度 8000Lx/10m)
- 高演色性: Ra 93 以上 (R9 88 以上, R13 95 以上, R15 96 以上)
- SUPERSOL シリーズとの親和性を高めたレバー操作による調光制御
- 全閉アイリスシャッター (全閉時ハーフスイッチにより熱から保護)
- ゴボおよびフロスト用スロットル装備
ゴボホルダ (Bサイズ イメージエリアφ48mm)
- クセノンフォロースポット用照準器「テルラドファインダ」が使用可能
- DMX 調光に対応 (レバー操作との自動切り換え)
- 操作の再現性を高める“目盛り”を各所に印字

実験②

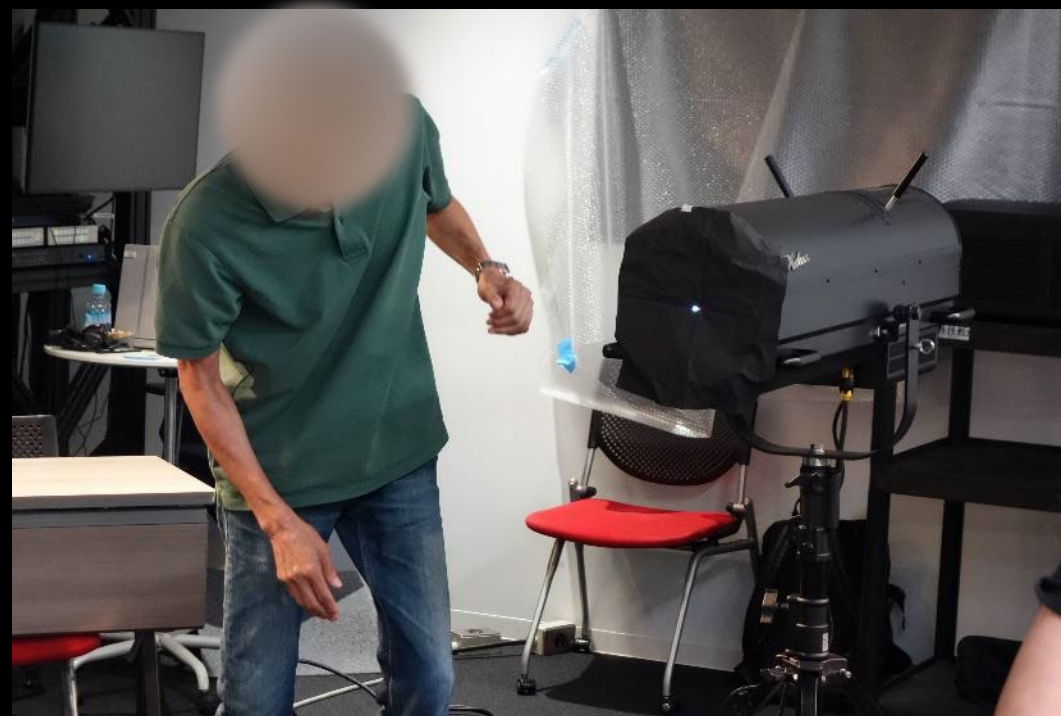
□実験条件

スクリーン→フォロースポットライト間5m

スクリーン前にレーザープロジェクターを設置

レーザー照射口がフォロースポットライトレンズ中央に高さ調整

出力500mW 240mS 赤単色をレンズ中央部分に照射



実験②

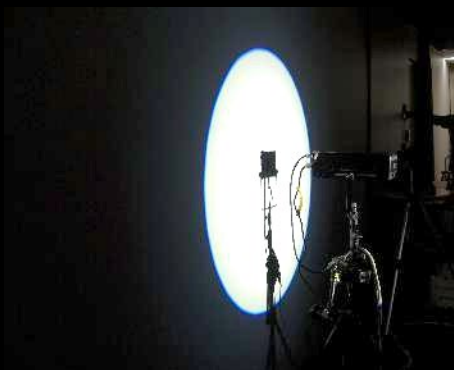
□実験条件

スクリーン→フォロースポットライト間5m

スクリーン前にレーザープロジェクターを設置

レーザー照射口がフォロースポットライトレンズ中央に高さ調整

出力1500mW 240mS 赤+緑+青混合白色をレンズ中央部分に照射



○結果

高出力レーザー光をレンズ面に照射しても変化は見られない

- ・高熱設計がされているので熱エネルギーに対して耐性がある
- ・COB式なので露出配線が無いので破壊が困難

などが推測された

実験③

□舞台材料への影響

Point

- ・幕材など燃焼までの速度
- ・素材の色による反応の違い

- ・舞台用黒原反
- 1.5W RGB白色レーザー照射
- 3秒後 煙
- 20秒後 貫通・発火



実験③

□舞台材料への影響

Point

- ・幕材など燃焼までの速度
- ・素材の色による反応の違い



白マットスクリーン



リアスクリーン



ブラックスクリーン



黒パンチ
黒リリウム



白マットスクリーンは3色とも反射するので、センター部分に若干の収縮が認められた程度の影響



実験③

○結果

レーザー光1.5W(R 500mW+G 500mW+B 500mW)の出力での影響

- ・黒色は光エネルギーを吸収するので破壊速度が速い
- ・材質は塩ビでも光エネルギーが反射できれば、熱の滞留も無くこの程度では破壊できない
- ・リリウムのような高密度素材でも、パンチのような粗い密度の素材でも時間の違いはあるが破壊される

などが観測された

実験④

□ SMD式LEDパネルへの影響

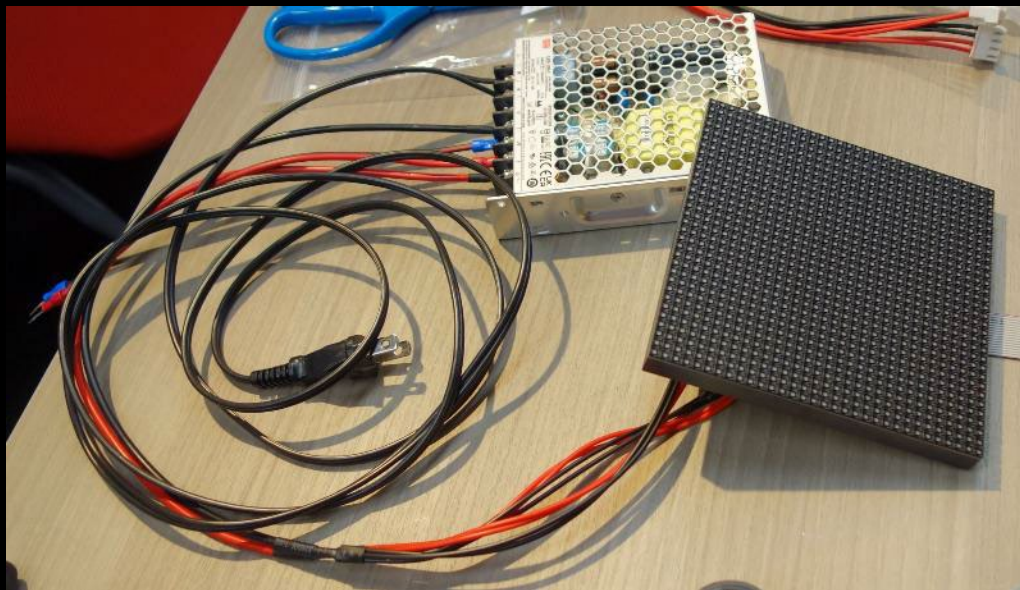
Point

- ・配線が表面に露出しているので、熱による配線破断などの損傷は容易に起こると推測される
- ・表面がポリ系の材質で、黒色仕上げになっているので、LEDの損傷はなくても表面が熔解する

使用機材

OP4 32x32 マトリクスパネル

SMD式LED 4mmピッチ



実験④

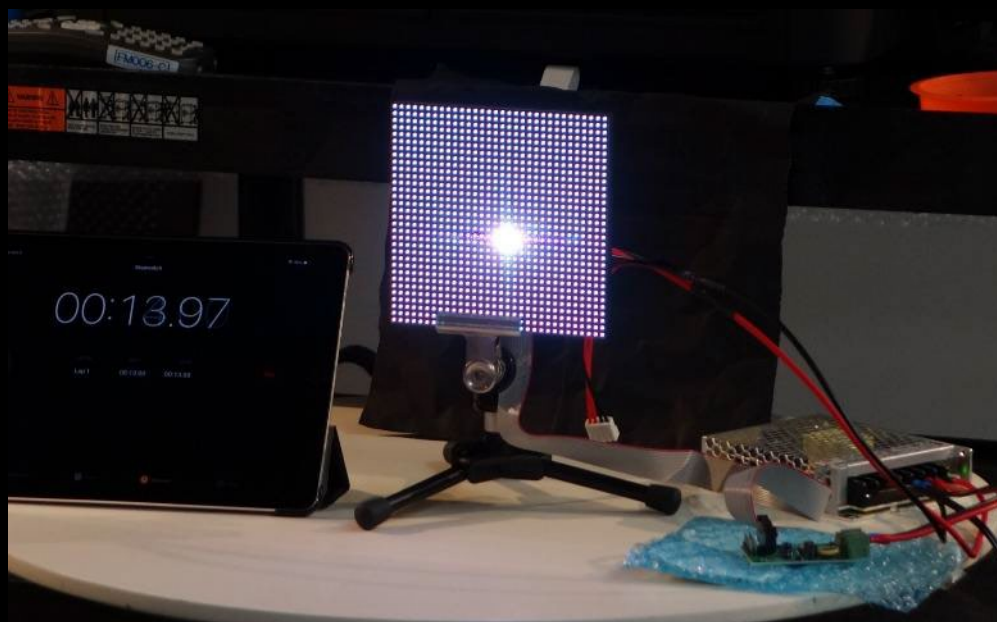
□実験条件

スクリーン→LEDパネル間5m

スクリーン前にレーザープロジェクターを設置

レーザー照射口がLEDパネル中央に高さ調整

出力1500mW 1min. 赤+緑+青混合白色をLEDパネル中央部分に照射



全く影響を感じられなかった

実験④

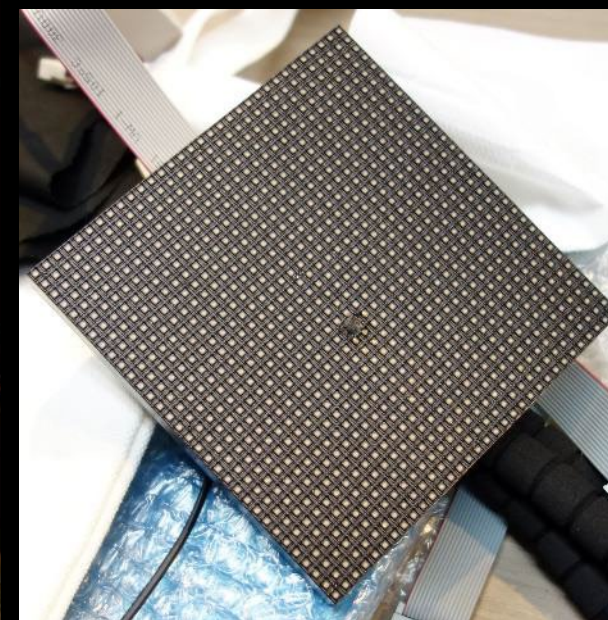
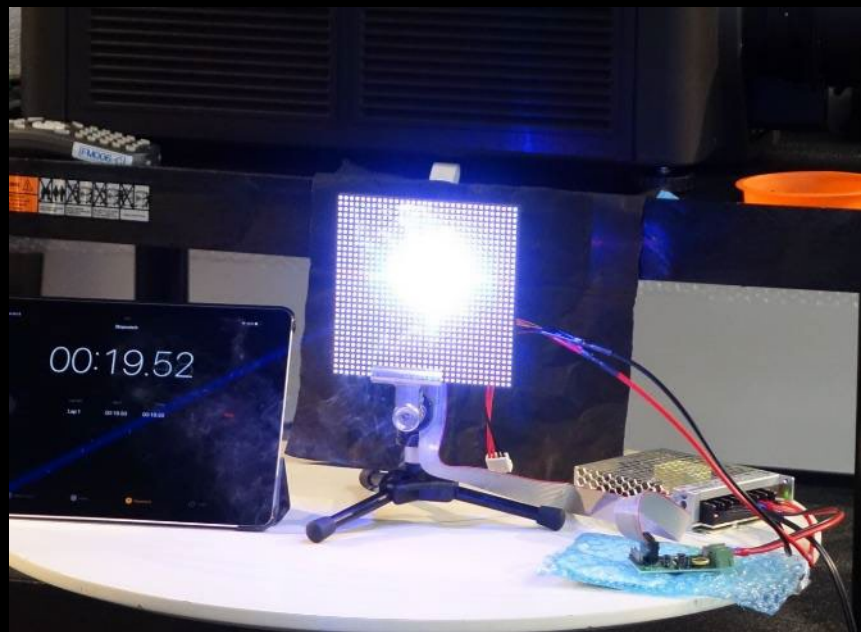
□実験条件

スクリーン→LEDパネル間5m

スクリーン前にレーザープロジェクターを設置

レーザー照射口がLEDパネル中央に高さ調整

出力7W 12Sec. 赤+緑+青混合白色をLEDパネル中央部分に照射



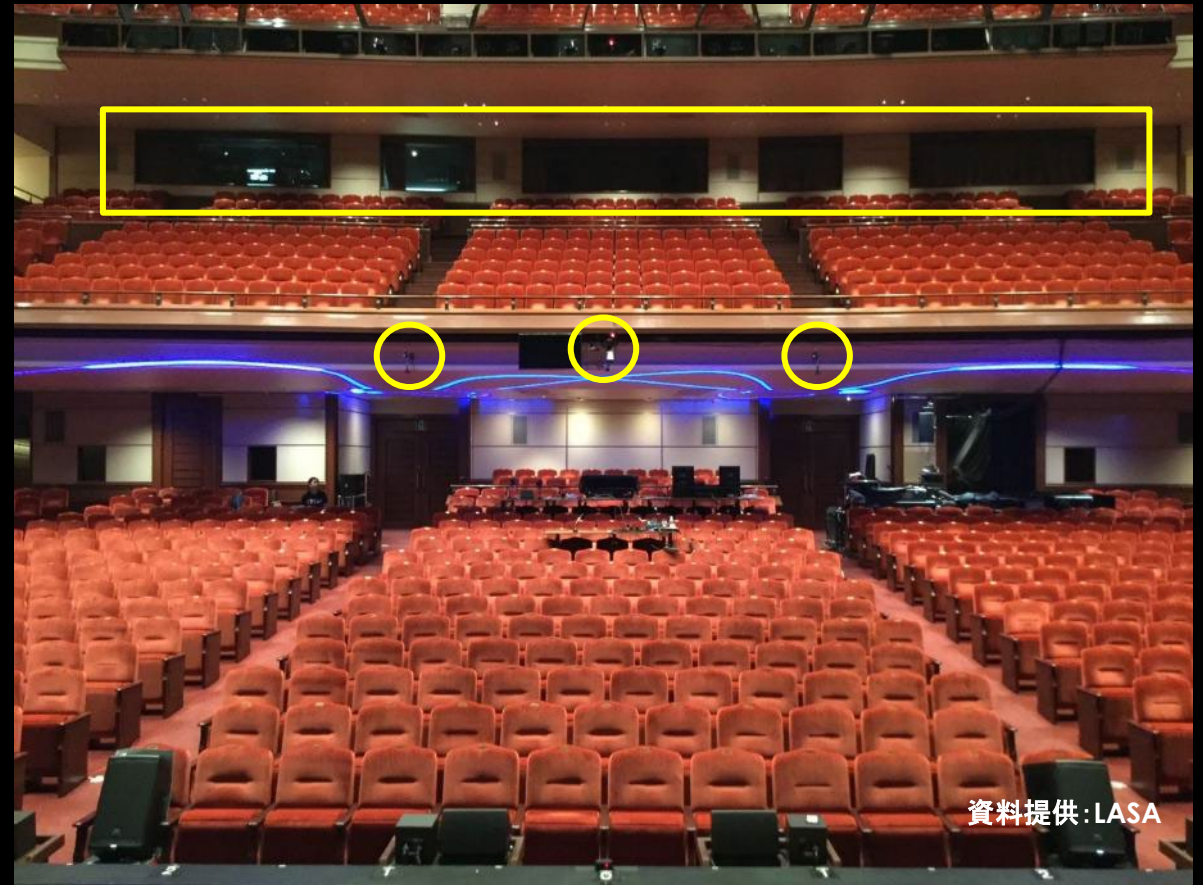
3秒で煙が立ち上がり、LEDも損傷を受けて異常点灯が認められた

結果報告

△Class分け ≠ 危険(安全) 問題は出力されているエネルギー＋スキャン範囲

- ・今回の実験は、ほとんど500mW以下(Class3相当)で行われた
- ・Class4の機材であっても、照射する出力が小さければ対象物に与える影響は少ない
- ・7W(Class4)出力でもスキャンをすると、7/Lの比率になり照射物に対するエネルギーが低下する
- ・照射体の光吸収効率で、レーザーエネルギーの伝わり方は異なる
- ・照射体に対するレーザー光は、通過(プリズムなど)する物体にも影響が出る
- ・レーザー光はカラーホイールも通過するので、1DMDプロジェクターでも同様の結果と推察される
- ・黒色に近いプラスチック(本体)・幕・ビニル類などは光吸収率が高いためレンズを通さなくとも、大きく影響(発火・貫通孔など)を与える

調整・シュート



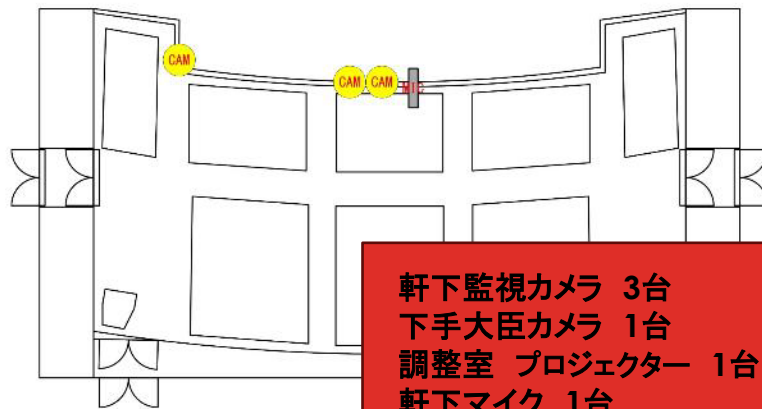
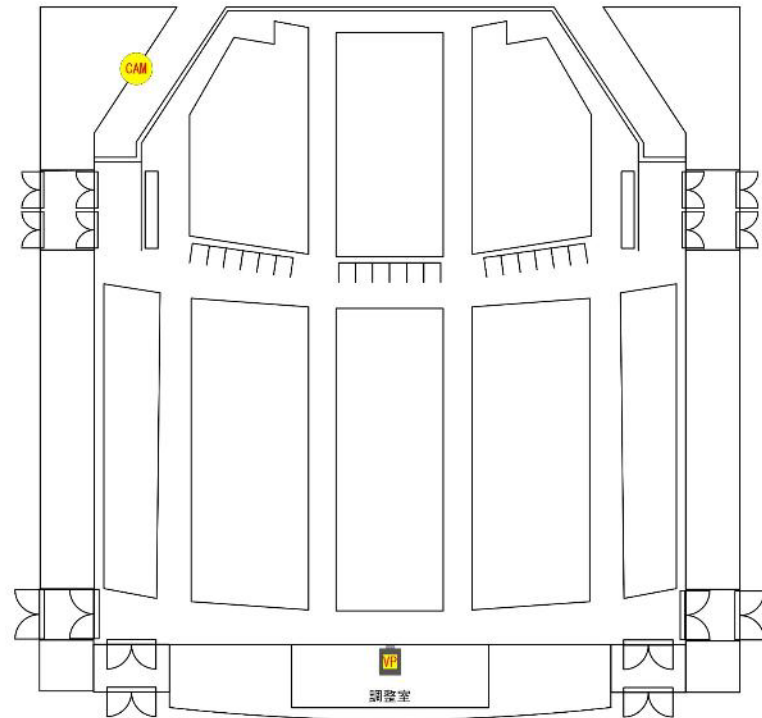
実際の調整の様子

事前に会場設備を確認して、人や機材には当たらない位置でのプランを行うので、会場設備には影響が出ないようにプログラムを行っている。

事前対策として

- ・設備されている機材の場所を記した資料を提供する
- ・改修や追加したものは必ず追加記入をする
- ・高出力時(例えば0.5mW以上)に、
一定時間以上(例えば0.1秒以上)の一点照射の禁止
- ・客席内の照射は禁止

など事前に禁止事項や、資料の提供で未然に事故を防ぐ
おおよその位置、台数が分かれば調整前にオペレーターが確認
乗り込み業者が理解できない場合には使用禁止とする
判断に困った際にはLASAに相談



軒下監視カメラ 3台
下手大臣カメラ 1台
調整室 プロジェクター 1台
軒下マイク 1台



ご清聴ありがとうございました

映像部会 株式会社シアターワークショップ 川上二郎