

# Deep Dimming を考慮した白熱電球用調光の検討

秋廣 誠\*

## A Study of Incandescent Light Dimmer Considering “Deep Dimming”

Makoto Akihiro \*

### 抄 録

建築、演劇、美術等の分野での空間演出にとって、灯具の光量を調整する調光技術は重要な要素である。しかしながら、白熱電球の光量を時間的に増減するとき、その発光が俄かに止む等の現象が起こり、演出上の制約となることがある。このような課題を背景として、本研究では、光量を漸次的に変化させる調光を Deep Dimming と定義し、その制御方法の条件を検討した。その結果を踏まえ評価機を製作して被験者実験を実施した。この結果、Deep Dimming の設計モデルが妥当であることが確かめられた。なお、本研究では、評価に用いる灯具は85W ハロゲン電球に限定し、電球内のフィラメントの熱平衡に至る過程と、調光の増減速度との関係は扱わない。

### Abstract

Space productivity in various fields, such as architecture, theatre performance, or art exhibits, require appropriate technology to control and adjust lighting, which is a vital factor for successful presentation. However, in the real-time control of increasing/decreasing the intensities of incandescent light bulbs, light emission could appear to have been suddenly interrupted, thereby adversely influencing effective performance. Based on this context, we define a lighting control technique named “Deep Dimming” that progressively adjusts light intensity and investigated its control criteria. We then produced a prototype device based on the investigations and conducted experiments with subjects. As a result, we could successfully confirm the Deep Dimming design model to be theoretically and practically sound. One of the limitations of our study was that we only used 85W halogen lamps in the experiments, and we did not discuss the relationship between the filament thermal equilibrium of the lamp and rate of adjustment of the light intensity.

**Key words:** Deep Dimming, incandescent light, dimmer, installation art, media art

---

\* 筑波学院大学経営情報学部、Tsukuba Gakuin University

## 1. はじめに

光は、演劇、建築、美術作品等の空間演出にとって重要な造形言語の一つである。とりわけ連続調光、つまり光量の時間的な調整は、光が成す造形に時間的な広がりを与える重要な技術である。美術や演劇分野では、演色性の観点等の理由から白熱電球（図1-（1））が採用されることが多いが、なかでも鑑賞者による直接的な体験を含む演劇、インスタレーションや立体作品では、白熱電球のフィラメントさえ鑑賞対象の一部を成すことがある。しかしながら、一般の調光器の連続調光を観察すると、光量が少なくなるに連れ灯具内部のフィラメントの微かな発光が止むポイントが明確に存在する（図1-（3））。特に光量変化に掛ける時間が長い場合は、唐突な印象を鑑賞者に与えることになり、作者が意図する演出を制約する。

このような課題を背景として、筆者は、白熱電球内のフィラメント発光が「消えるか消えないか」という微妙な範囲を繊細に扱う漸次的な調光を、Deep Dimming と定義した。本研究では白熱電球についての電圧-光束特性と、位相制御式調光についての点弧角-実効電圧特性等とに注目し、これらの特性と、

前述のフィラメントの観察結果との関係から Deep Dimming の条件を検討した。この結果を踏まえて、点弧角範囲が適切に広く、精度良い電力制御の設計を施した評価機を製作し、被験者実験を実施した。この結果、Deep Dimming の設計モデルの妥当性を確認した。

なお、筆者は本研究に先立って、国際的に活躍する現代美術家の田中奈緒子氏からの依頼により、インスタレーション作品の一部となるハロゲン電球用調光器を提供した。動作の要件は、暗闇中で、調整可能な時間（5～10秒）をかけて電球の光量を自動フェードし、且つ滑らかに変化させる、というものであった。提供した調光器は国際展等での複数のインスタレーション展示に使用され、作品は好評を博した。このことによって筆者は本研究への示唆を得た。

## 2. 白熱電球の光束量-電圧特性

小型白熱電球の光束量-電圧特性は、一般的には指数関数的な応答を示す<sup>1, 2)</sup>。本研究では、白熱電球の一種のハロゲン電球を扱う。ハロゲン電球の特性については USHIO AMERICA から公表<sup>3)</sup> されており、ハロゲ

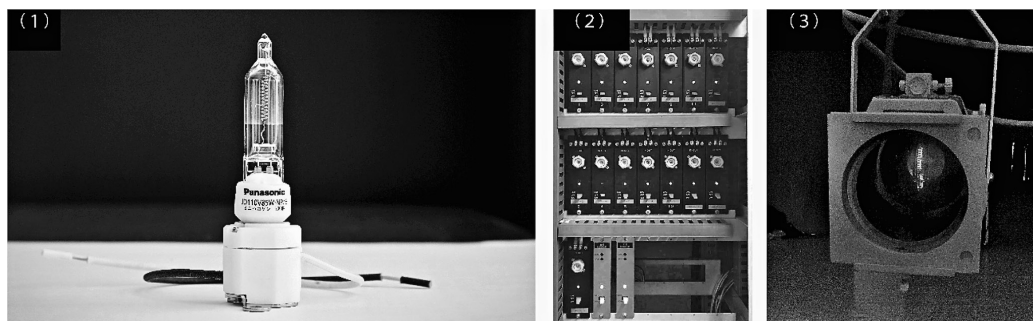


図1 (1) 本稿で使用した Panasonic 製ハロゲン電球 JD110V85W NE/P (2) 本学大教室の舞台用調光装置 (3) 本学大教室のスポットライト。フィラメントの形状が確認できる。筆者は調光フェーダを操作しフィラメントを観察した、フェーダ下限付近では、フィラメントの光が消える明確なポイントがあった。※ (3) の写真は灯具の形状が分かるような照明環境で撮影した。

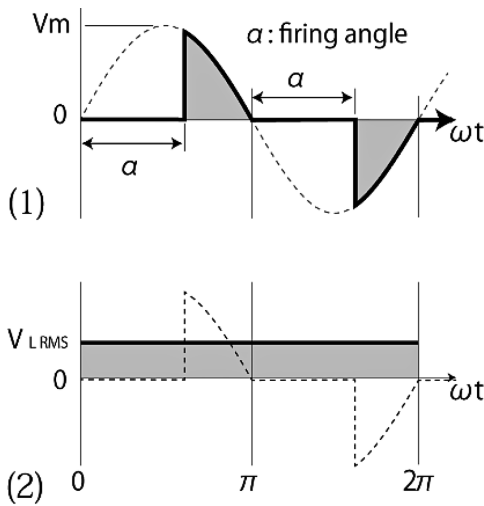


図 2 (1) は位相制御方式での負荷電圧の波形である。AC ラインが 0V の時を基準に、角  $\alpha$  のタイミングで負荷へ電圧の供給を開始し、再度 0V を横切る時に導通を切る。(2) は、(1) での点弧角  $\alpha$  における電圧の周期ごとの平均 ( $V_{L,RMS}$  グレーの部分) を示す。

ン電球における設計電圧  $V_b$ 、使用電圧  $V_a$ 、設計光量  $F_0$ 、応答光量  $F_1$  の関係は次の式で近似される。

$$F_1 = \left( \frac{V_a}{V_b} \right)^{3.19} \times F_0 \quad \text{式 (1)}$$

### 3. 調光方式

AC100V 用の負荷の電力を連続的に制御する方法は複数あるが、白熱電球のような抵抗負荷を安定に制御でき、照明の調光方法として広く普及している方式に位相制御方式がある。位相制御方式とは図 2 に示すように、AC ラインが 0V の時に導通を切り、点弧角と呼ばれるタイミングで再度導通させ、これを全周期あるいは半周期ごとに繰り返す方法である。図中の  $\alpha$  が点弧角であり、 $\alpha$  を調整することで、負荷の電力を制御できる。なお本稿では便宜上、点弧角の尺度において、 $0^\circ$  方

向を明側と、 $180^\circ$  方向を暗側と称する。導通のスイッチングは一般にトライアック（双方向サイリスタ）という素子を用い、AC ラインの電圧が 0V をクロスするタイミング（ゼロクロス検出という）を基準として所要の点弧角の時間だけ計時し、トライアックをトリガーする。点弧角の計時方式はアナログ方式とデジタル方式に大別できる。アナログ方式は抵抗とコンデンサ、およびトリガーダイオード（ダイアック）を用いた回路が一般的であるが、諸般の制約から、点弧角約  $135^\circ$  以上の暗側ではトライアックのゲートを制御できないことが多い。また点弧角  $135^\circ$  はフィラメントの発光が十分視認できる角度でもある。一方のデジタル方式は精度良くトリガーのタイミングを生成でき、点弧角  $135^\circ$  以上であっても制御できる。

## 4. Deep Dimming

### 4. 1. Deep Dimming とは

白熱電球の発光はフィラメントの発熱を利用したものである。供給する電力を 0 から徐々に上げていけば、電力に応じてフィラメントの温度が上昇し赤熱を始め、さらに白っぽい発光に遷移する。ここで、調光制御されているフィラメントに注目するとき、点弧角が大きい領域において、点弧角を漸次的に変化させれば、点灯しているか否かの判定の境界を通過するであろう。本稿では、このような境界前後の調光を Deep Dimming と定義する。本項目では、一般的な調光器が Deep Dimming をどのように扱っているかを考察し、Deep Dimming の条件を検討する。

### 4. 2. 実効電圧 - 相対光束と $V_{L,RMS}$ の特性

ここでは、まず Deep Dimming の検討の基礎となる、白熱電球の発光量と、供給する電力すなわち点弧角の変化との関係について述べる。

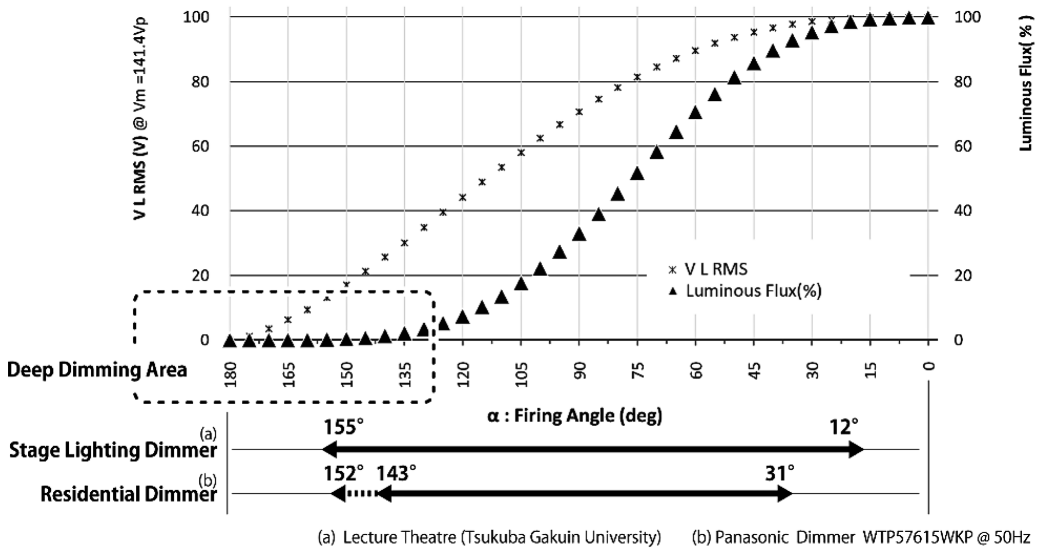


図3 点弧角における、白熱電球の使用電圧と光束比と、VL RMS との関係を示した。

さて先述の式1は、光束-電圧特性の傾向であった。位相制御による光束変化の傾向を導くには、図2-(1)の点弧角 $\alpha$ における実効電圧VL RMSを求める必要がある。位相制御方式ではAC周期内で出力電圧の極性は頻繁に交番するが、周期毎にtについて積分し周期で割れば、図2-(2)のようにVL RMSが得られる。VL RMSと点弧角 $\alpha$ 、ACラインのピーク電圧Vmとの関係は、式2で表せ、さらに式3を得る。

$$V_{L\text{RMS}}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m^2 \sin^2 \omega t \, dt + \frac{1}{2\pi} \int_{\pi+\alpha}^{2\pi} V_m^2 \sin^2 \omega t \, dt \tag{2}$$

$$V_{L\text{RMS}}^2 = \frac{V_m^2}{4\pi} (2\pi - 2\alpha + \sin 2\alpha) \tag{3}$$

式1のVa(使用電圧)にVL RMSを代入し、Vmを141(V)として得られた相対光束F1をプロットしたものが図3である。マーカ▲のカーブがF1つまり相対的な光束であり、

マーカxは、VL RMSである。

#### 4. 3. Deep Dimming 領域の点弧角

図3の光束カーブの変化は180°~150°付近では非常に緩やかだが、一方のVL RMSは、ある程度のリニアリティが確保されている。例えば点弧角が180°から明側に移行する過程では、フィラメントがなかなか発光に至らない一方で電力の供給は増加し続けており、光束の微妙な制御が期待できる。これはDeep Dimmingにとって好ましい特性である。実際の調光器の点弧角範囲と比較するために、使用目的が異なる2種の調光器の点弧角の範囲を図3下部に示した。図中(a)は、先述した舞台用スポットライトの調光装置(形式不明)が出力する波形から、点弧角の範囲を筆者がオシロスコープで目視観測したものである。図中(b)は、家庭室内用の壁埋め込み型調光器 Panasonic WTP57615WKPと図1-(1)のハロゲン電球の組み合わせにおいて、同様の方法で観測したものである(ACライン:50Hz)。同時に、筆者は完全暗黒でない環境ながらも両者のフィラメントの

発光を観察したが、両者とも明側から150°付近までは微かな発光を維持した。さらに暗側に移行する過程では、舞台用調光器では155°で唐突な消灯を観察した。家庭用調光器については、ユーザが操作するスライダの下限がOFFスイッチと連動しており、OFFになる点弧角は143°であった。スイッチとの連動を無効にした場合の下限は152°に拡大したが、発光を維持した。以上の観察から、Deep Dimmingに対応する点弧角は、150°以上の領域に存在することが推察される。後述する実験で扱う光量の範囲は、点弧角150°に加え、アナログ方式を含めた多くの調光器が発光を維持する点弧角135°までを含めた領域とした。これをDeep Dimming領域と定義し、図3では点線で囲んだ範囲で示した。

#### 4. 4. Deep Dimming モデルの検討

図4は、図3におけるDeep Dimming領域に注目し、Deep Dimmingモデルの検討材料を示したものである。図中M1、M2は、安定した調光制御のために必要な点弧角マージンである。マージンはACラインの波形の歪み、ノイズやゼロクロス検出のふらつき、トライアックのON保持電流など、電気的な要因による不安定さを含む領域である。図4のDは、点弧角0~180°からM1、M2を除いた、安定な調光が確保される調光可能範囲である。デジタル方式の調光では、マージン設定の自由度が高く、設定後の安定度も良い

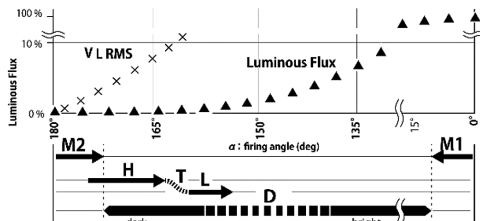


図4 Deep Dimming領域における点弧角マージンと発熱領域、発光領域などの検討材料の関係を示した。

が、一般の調光器ではデジタル方式であっても、後述する理由から特にM2が広く確保されている。

図中のHはフィラメントの発熱領域を、Lは発光開始領域を、Tは両者の境界つまり遷移領域を示している。遷移領域Tは人の視覚認知による光量の刺激閾と対応しているであろう。鑑賞者がTを判定する点弧角は鑑賞者それぞれの主観によるところであり、また観察環境にも左右され、特定は困難であり再現性も十分ではない。しかしながら、複数の被験者による判定を集計すれば、ある幅をもって分布し、遷移領域の位置は統計的に指摘できるであろう。Deep Dimmingとして好ましく、且つ妥当である条件は、M2の角度幅が狭く、発熱領域Hの幅が十分確保され、光量の閾値判定の指標が、M2との境界と交差しないような位置に分布していることである。

#### 4. 5. 一般的な調光制御範囲と特性カーブ

一般的な調光器の特性を規定しているの

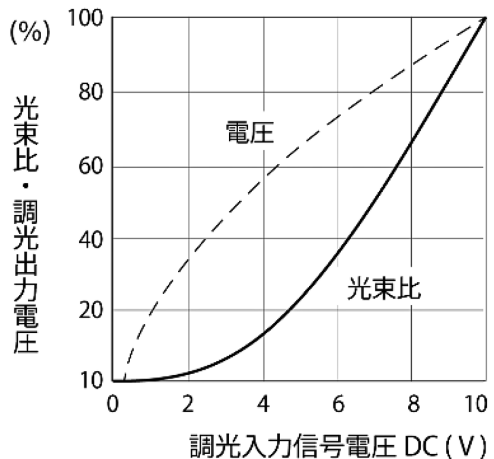


図5 舞台等で参照される調光特性カーブ(Aカーブ)を示す。空間照明用調光器調光特性規格<sup>4)</sup>をもとに筆者が作図した。※横軸の調光入力信号電圧は調光フェーダの移動量に対応している。



は、主にユーザビリティの合理性である。

図5は劇場演出空間技術協会による調光規格<sup>4)</sup>のうち、主に舞台照明を想定した調光特性で、Aカーブと呼ばれる。先の図3で示したカーブに対して暗側が持ち上げられている等、フェーダと光量との関係が、操作者の直感に沿うように設定されている。また、完全に消灯するポイント（電圧が0になる点）が調光範囲内に明確に設定されている。図6は、ASSIST Recommends が Dead travel について説明している資料<sup>5)</sup>の抜粋である。Dead travelとは、操作者にとって光量の変化がフェーダの移動に対して連動していないように感じる調光範囲のことであり、同資料は、Dead travel を含む調光はユーザビリティの観点から好ましくない、と指摘している。

以上のようなユーザビリティへの配慮の他に、多種の灯具や電源環境へ無調整で対応するための互換性が求められるケースもある。

図3で示した舞台用の調光ではユーザビリティへの配慮から、家庭室内用調光では更に互換性への配慮から、暗側の点弧角マージンが深めに設定されていると推察され、このような設計指針に基づく調光器では Deep Dimming は期待できないことになる。

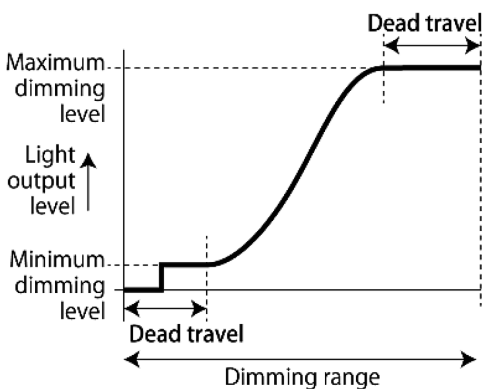


図6 ユーザビリティにおける Dead travel を示している。ASSIST Recommends: Dimming: A Technology-neutral Definition<sup>5)</sup> をもとに筆者が作図した。

## 5. 評価機

### 5. 1. 評価機の構成

先項で述べた Deep Dimming モデルを検証するため、評価機を製作した。電力制御には位相制御方式を、点弧角の調整には AVR マイコンによるデジタル方式を採用した。点弧角マージンは多回転抵抗を用いて、きめ細かく設定できるようにし、調光の分解能は十分高くする。評価実験では使用しなかったが、設定した時間で光量を自動増減する機能を付加した。

### 5. 2. 評価機の光量制御の分解能

マイコンの動作クロックは16MHzであり、点弧角0～180°は、プログラム内で20000ステップにマップすることが可能である。同ステップを尺度としたとき、調光マージン M1、M2は後述する方法で調整した結果、筆者の実験環境でそれぞれ500、19390であった (AC:50Hz)。この場合有効な調光ステップ数は18890である。

### 5. 3. 点弧角マージンの設定方法

Deep Dimming モデルでは、点弧角マージン設定の、特に M2側の設定が重要であることは先にも述べた。本機は評価を実施する調光モードに加え、マージン調整のためのプリセットモードを備える。図3における M1、M2の調整は、多回転ボリューム（約32回転 10kΩ）を操作して行う。ボリュームは50Hz、60Hz用それぞれに M1、M2用があり、計4種の回転位置を物理的に保存する。調光モード起動時にマージン量を参照するが、これは当該周波数の M1、M2ボリュームにより発生した電圧値を A/D 変換（10bit）してマイコンが読み込むことで行う。プリセットモードでの調整は以下のように実施する。まず周波数スイッチを該当する周波数に切り替える。M1、M2の切り替えスイッチを M1側（明

側)に設定する。M1側では、点弧角 $1^{\circ}\sim 15^{\circ}$ を1024段階で設定できるが、 $1^{\circ}$ 付近では点弧が不安定になりフィラメントが激しく点滅する。M1のボリュームを操作し、点灯が安定になるポイントを探す。ACラインの波形は誘導やノイズを要因として僅かに変化するため、ボリュームをさらに2回転ほど進めて(点弧角 $1.5^{\circ}$ 相当)、安定度を確保する必要がある。M2側はM1と同様に安定なポイントを探すが、筆者の実験環境では $174^{\circ}$ で十分安定であった。以上のような調整を異なる電源環境ごとに実施する。筆者は後述する実験に際してはオシロスコープの観察も合わせて調整した。

#### 5. 4. 評価機のAC制御回路とソフトウェア

ソフトウェアと制御回路は文献<sup>(6-8)</sup>を参考にしながら、点弧角の制御の精度を考慮した。図7、図8は、評価機上のAC制御部の実装部写真と回路図である。本回路構成は、デジタル位相制御方式では一般的なものである。図中のZERO\_CROSS\_DETECTとTRIGGERのラベルは、接続するマイコンのI/Oポートの役割である。高電圧のACラインとデジタル制御部は、U2のフォトカップラTLP626とU3フォトトライアックS21ME3により電氣的に絶縁されている。W5~W8は、各部の波形観測等に用いるテストポイントである。本機のマイコンはATMega328PにArduinoファームウェアを書き込んだものである。制御ソフトウェア開発にはArduinoIDEを用いた。

図9は、本機のソフトウェアコードのうち、点弧角調整を司る主要な部分の抜粋である。初期設定プロセスでは、M1、M2の量を参照し、調光範囲を確定する他に、モニターLED等の駆動や、プリセットモード時のプロセス等が必要である。調光制御動作中に繰り返し実行されるプロセスでは、所要の光量に対応するctx\_dim値を、比較マッチ

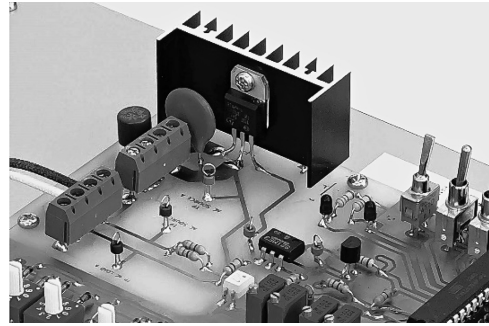


図7 本評価機のAC制御部

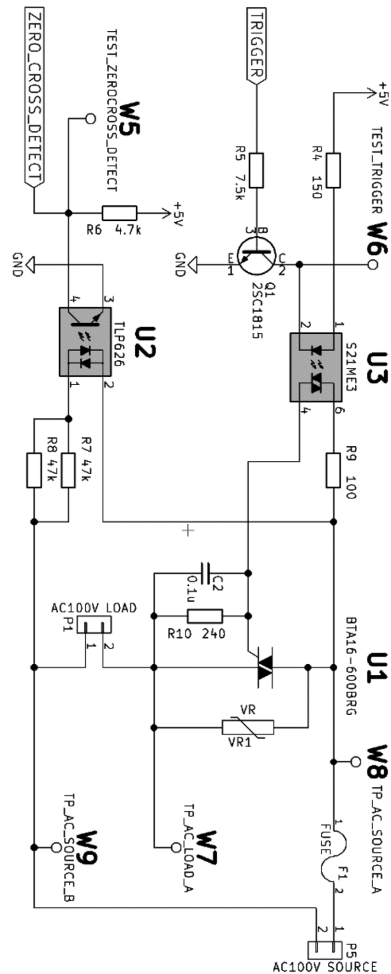


図8 本評価機のAC制御部の回路図

Aレジスタ (OCR1A) に反映させる。ゼロクロス検出パルスの立ち上がり時に INTO割込みを発生させる。発生時は16bit カウンタレジスタ TCNT1をリセットし、ctx\_dim とマッチするまでカウントアップする。カウントの頻度は8クロック毎である。上昇する TCNT1と、ctx\_dim 値が一致するタイミングが点弧角に相当する。点弧後は、トライアックのトリガーに必要な ON 時間に対応する PULSE 値をオーバーフローするまでカウントし、INTO割込みのタスクは終了する。本機の AC50Hzでの動作時では、適当な PULSE 値は55であった (ON 時間 =  $8 \times 55 \times 0.0625\mu\text{s} = 27.5\mu\text{s}$ )。図中の ramp\_diff および ctx\_t は後述する自動フェード機能に必要な変数である。

```

void setup(){
  // Timer1
  OCR1A = 100;
  TIMSK1 |= _BV(TOIE1); // enable overflow
  TIMSK1 |= _BV(OCTIE1A); // enable comparatorA
  TCCR1A = 0x00; // timerレジスタ
  TCCR1B = 0x00; // timerレジスタ
  // ACゼロクロスによる割込み INTO
  attachInterrupt(0, zero_crosss_int, RISING);
}

void loop(){
  // dim増減(ターンをT1~T4で分岐
  ...
  ctx_dim -= ramp_diff; // dimming up の場合
  OCR1A = ctx_dim; // 比較マッチAレジスタ
}

void zero_crosss_int(){
  TCCR1B = 0x02; // プリスケール ck/8
  TCNT1 = 0; // 16bit counter
  ctx_manage();
}

// 比較マッチA
ISR(TIM1_COMP_A_vect) {
  PORTD |= _BV(PD3); // triac gate オン
  TCNT1 = 65536 - PULSE;
}

// オーバーフロー
ISR(TIM1_OVF_vect) {
  PORTD &= ~_BV(PD3); // triac gate オフ
  TCCR1B = 0x00;
}

void ctx_manage(){
  ctx_t++;
}
    
```

図9 ゼロクロス検出を基準に、点弧角制御を実施するコード (部分)

## 6. 評価実験

本評価実験の目的は、Deep Dimming 領域内での刺激閾値の指標の分布と、マージンの点弧角との関係性を評価することで、Deep Dimming の妥当性を検証しようとするものである。まず実験の装置について述べる。評価機の点弧角の制御は、図10のような直動する手動フェーダで随時制御できるようにする。図11は、本評価実験における、フェーダと Deep Dimming の関係を示す概略図である。フェーダの位置は、マイコンの A/D 変換により 0 ~ 1023 の数値に対応付けされており、これを被験者による報告の指標として扱い、筆者の手元のパソコンに自動で逐次報告されるようにする。フェーダのストロークは 60mm である。点弧角範囲は  $132^\circ \sim 174^\circ$  であり、点弧角の分解能は約  $0.04^\circ$  である。被験

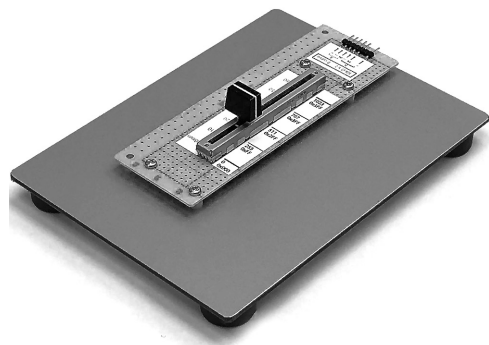


図10 被験者が操作する直動フェーダ

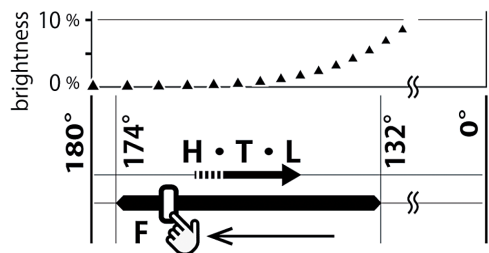


図11 直動フェーダを用いた被験者実験による Deep Dimming の検証の概略図



者実験は、本学15名の学生を対象とし、以下の要領で実施した。

- 1、被験者には、事前に評価装置の操作方法と要領を説明しておく。
- 2、フェーダは被験者が自分自身で操作する。
- 3、被験者がフェーダを上方（明側）に移動させる。移動量は任意である。
- 4、被験者には「なるべく点灯を維持しながらフェーダを下げる」ように指示をする。フェーダの速度は「できるだけ遅く」と指示する。被験者自身でフィラメントが「消えたと判断できる」箇所までフェーダを一旦停止し、声で合図してもらう。その時点でのフェーダの指標を筆者が転記し、標本とする。フェーダを下げすぎってしまった際は、再度上昇させてから各自のタイミングで再開させてもよい。
- 5、被験者は上記の作業を10回実施するが、始めの3回は練習とみなして標本から除外する。

## 7. 実験結果と考察

被験者15名から105の指標標本を得た。図12は標本のヒストグラムであり、表1は各種統計値である。図13は、上記の標本の分布をDeep Dimming領域に対応付けた数直線である。図中の2点の■は、被験者が操作する

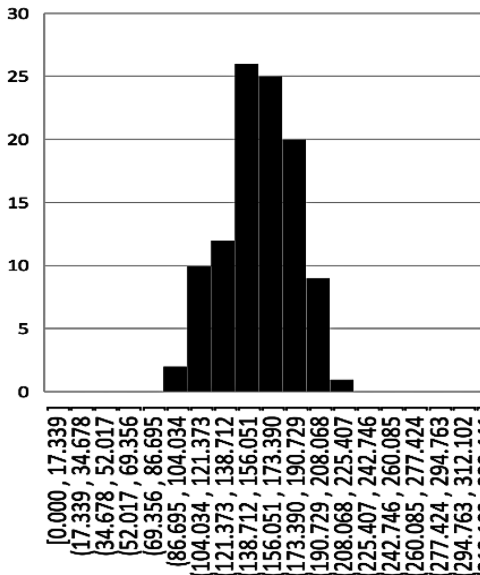


図12 標本のヒストグラム

フェーダの物理的な上限と下限である。

標本の最大値と点弧角マージン M2とは距離があり、発熱領域 H が確保されており、Deep Dimming モデルが妥当であると認められる。このことは、一般の調光器、特にデジタル方式の調光器では、ユーザビリティは損なわれるものの、調光範囲の広さと精度と点弧角マージンの設定に配慮すれば、Deep Dimming を実現できる可能性を示している。しかしながら、点弧角マージンに関わるゼロクロス検出の精度向上には検討の余地がある。また本研究では灯具を小型ハロゲン電球に限定しており、フィラメントの熱平衡や放熱条件、調光量の時間的傾斜との相互の関係は扱わなかった。Deep Dimming の広範な適用には、これらの検討が必要であろう。

## 8. おわりに

本研究は、白熱電球が「消えるか消えない

表1 実験結果の統計値

項目	指標	点弧角	備考
最大値	209	165.8°	明側
最小値	97	170.3°	暗側
平均値	156.8	167.9°	
標準偏差	15.7	1.04°	

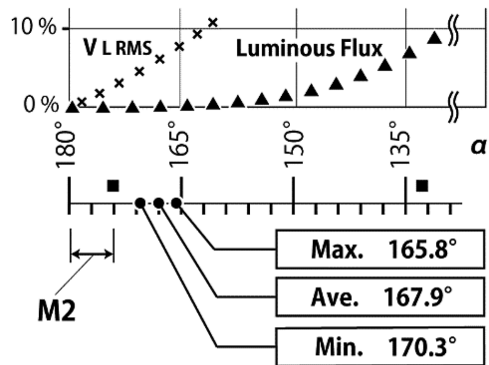


図13 標本の分布の結果と、Deep Dimming領域の対応

か」という微妙な光量を漸次的に変化させる調光を Deep Dimming と定義し、そのための条件を検討した。これを踏まえ評価機を製作した。評価に用いる灯具は85W ハロゲン電球に限定し、被験者実験を実施した。この結果、Deep Dimming の設計モデルが妥当であることが確かめられた。しかしながら、大型の灯具などに Deep Dimming を適用するには、フィラメントの熱的な特性と、調光量の時間的傾斜等との関係を精査する必要があり、これが今後の課題である。

付記

(1) 本研究に先立って筆者は、国際的に活躍する現代美術家の田中奈緒子氏からの依頼により、インсталレーション作品の一部となるハロゲン電球用調光器を提供した。筆者は、この依頼によって本研究への示唆を得た。

(2) 実際の展示に際して実装した自動フェード（光量増減）の概念を図14に示した。①フェード時間（T1-T4間=T3-T2間）、②最大光量の保持時間（T1-T2間）、③最小光量の保持時間（T3-T4間）を0～999秒で設定できる。図15は光量増減を実施する方法を示したものである。単位時間  $\Delta t$ （電源周波数による AC 半周期）が経過するごとに、直前の光量に相当する  $ctx\_dim$  値を  $ramp\_diff$  値だけ増減する。①～③は回転 DIP スイッチで設定し、読み取りのためにはカウンタ IC TC4017を用いて DIP スイッチの CM 端子を順次選択し、出力コードをマイコンで読み取ればよい。図16は読み取り部の回路の一部である。プログラムの初期設定プロセスでは、T1～T4の遷移に必要な各種値を算出し、これらの値と点弧角マージンを参照し、次いで自動フェードのレートである  $ramp\_diff$  値を算出する。自動フェード実行中は、T1～T4の遷移管理に必要な  $ctx\_t$  値のカウンタアッ

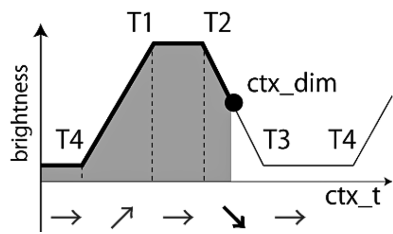


図 14 自動フェード

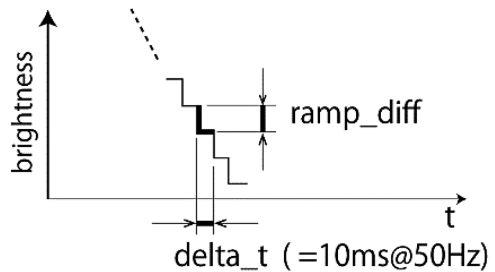


図 15 ctx\_dim 値の増減

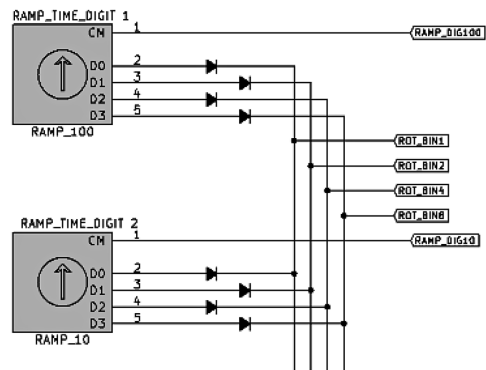


図 16 T1～T4の設定部

プも実行する。

(3) 完成した調光器が組み込まれた田中氏のインсталレーションは、2014年には「中房総国際芸術祭いちばらアート×ミックス 2014」にて<sup>9, 10)</sup>、さらに2016年には「越後妻有里山現代美術館キナレ 2011冬企画展『物質の夢想』」にて展示された<sup>11, 12)</sup>。図 17, 18は実際の展示の様子である。

(4) 図19は、本評価機の基板写真である。

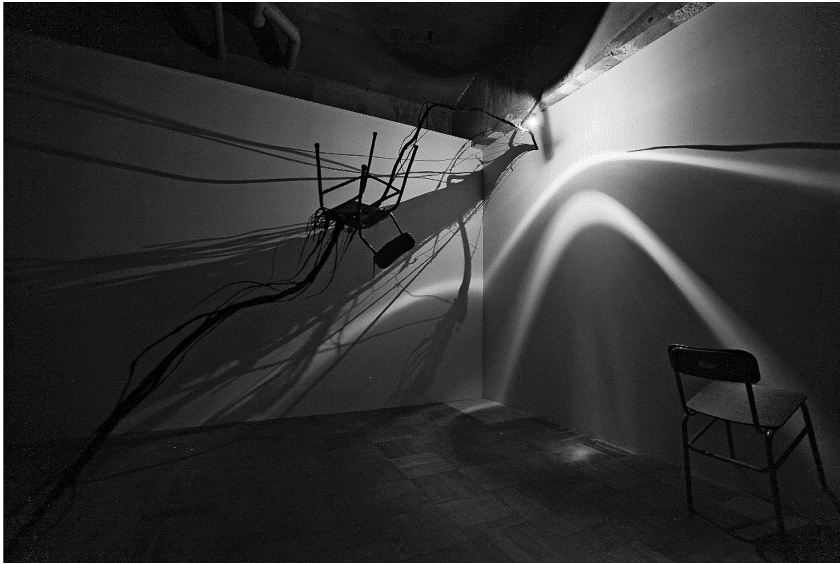


図 17 調光された200W のハロゲン電球が組み込まれたインスタレーション作品  
"Die Vorstellung - An internal world-outside" 2014. Installation in ARS  
TSUKIDE, International Art Festival  
"Ichihara Art x Mix", Chiba, Japan (mixed media, sound/dimension:  
5 x 5 m)  
写真提供：田中奈緒子 (c) 2018 Naoko Tanaka



図 18 調光された50W のハロゲン電球が組み込まれたインスタレーション作品  
"the snowy home (Yuki no Kokyo)" 2016. Installation in "Reverie of  
Substance": A winter exhibition at Echigo-Tsumari Satoyama Museum  
of Contemporary Art, KINARE, Niigata, Japan.  
写真提供：田中奈緒子 (c) 2018 Naoko Tanaka

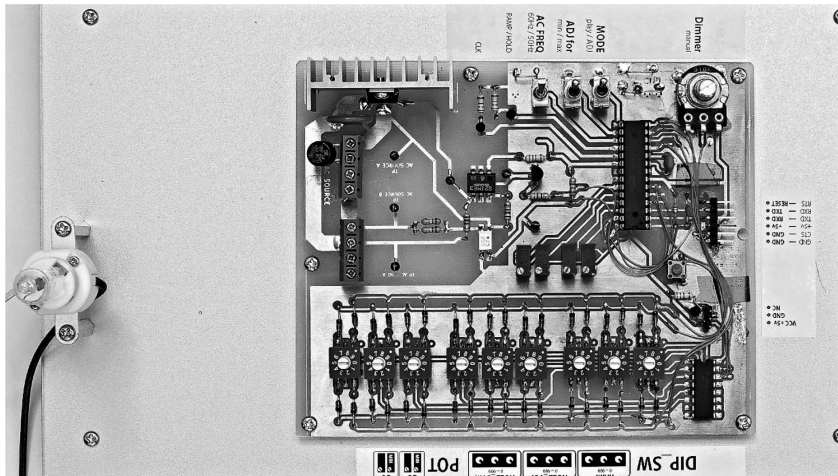


図 19 本評価機基板

(5) 本研究の遂行にあたり、実験方法の助言を頂きました佐野司先生（筑波学院大学）に感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 照明学会、照明ハンドブック第二版、オーム社。
- 2) 東芝ライテック（株）、“小形電球の技術概要”、[https://www.tlt.co.jp/tlt/products/industrial\\_light/miniture\\_lamp/catalog/info.htm](https://www.tlt.co.jp/tlt/products/industrial_light/miniture_lamp/catalog/info.htm)
- 3) Ushio America, Inc., “USHIO Halogen Lamps Technical Specifications”, <https://www.ushio.com/files/manual/halogentechnicalspecs.pdf>.
- 4) 公益社団法人劇場演出空間技術協会、JATET-L-3020-1演出空間照明用調光器調光特性規格。
- 5) Lighting Research Center, ASSIST Recommends: Dimming: A Technology-neutral Definition, 12-1, Alliance for Solid-State Illumination Systems and Technologies, 2013.
- 6) CQ 出版社、“Z80ワンボード・マイコンとSSRを使ったマイコン制御 AC パワー・コントローラの製作,” トランジスタ技術、1994-3、pp396-376.
- 7) CQ 出版社、“定番電力用素子,” トランジスタ技術、2011-1、p156.
- 8) Arduino, “Arduino Playground - AC Phase Control”, <https://playground.arduino.cc/Main/ACPhaseControl>
- 9) 中房総国際芸術祭いちはらアート×ミックス実行委員会、「中房総国際芸術祭いちはらアート×ミックス 2014、現代企画室、2014年。
- 10) 田中奈緒子、“naoko-tanaka-works | EN\_“Die Vorstellung”- Installation”, <https://www.naokotanaka.de/blank-9>.
- 11) 大地の芸術祭実行委員会、“越後妻有里山現代美術館 [キナーレ] 2016冬企画展『物質の夢想』”, <http://www.echigo-tsumari.jp/uploads/calendar/9864.pdf>.
- 12) 田中奈緒子、“naoko-tanaka-works | EN\_“the snowy home” - Installation”, <https://www.naokotanaka.de/blank-4>.