

リアルタイム光環境調整システムの開発

○万木 景太*¹ 渡辺 仁史*²

キーワード：日照シミュレーション 光環境 オートメーション

1. はじめに

窓・開口部から取り込まれる光を調節する方法は様々であるが、カーテンやブラインドなどを使用することが一般的である。このように採光窓に面する空間の光の環境を望ましいものにするということが、カーテンなどの採光窓に付随する器具の機能の一つであると言える。一方で、採光窓に面する空間で行われるアクティビティは多様であり、それに必要とされる光の状態もアクティビティ毎に変化する¹⁾。

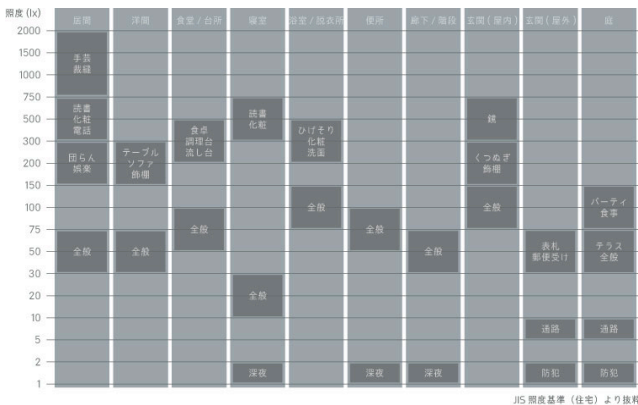


図 1. JIS 照度基準 (住宅)

しかし、太陽の動き、雲の状態など、採光窓に落ちる日光は不安定なものであり、採光窓により得られる光環境は時間とともにダイナミックに変化する。採光窓による昼光照明を考える際に、現在一般的に使用されるカーテンなどの遮光器具では、採光窓に面するアクティビティが必要とする光環境の実現には不十分であり、ダイナミックに変化する昼光に追従するように自動で光環境を調節する採光窓や遮光器具は普及していない。

2. 研究目的

ダイナミックに変化する昼光に追従し、リアルタイムに光環境を調整する昼光照明窓とそのシステムを開発することを目的とする。

3. リアルタイム光環境調整窓とシステムの開発

3.1. 使用する器具・ソフトウェア

3.1.1. Arduino

Arduino とは AVR マイコン、I/O ポートを備え

た基板が搭載されているマイコンボードの一種であり、様々なセンサーからの信号をインプットし、モーターなどのアクチュエーターを作動させる信号をアウトプットすることかできる。また、Arduino はオープンソース・ハードウェアであり、その回路やソフトウェアが公開されているため拡張性が非常に高い²⁾。

3.1.2. Rhinoceros3D

Rhinoceros3D は建築を含む様々なで人に利用される 3 次元モデリングソフトウェアである。豊富なプラグインが用意されており、拡張性が高く、Rhinoceros3D とプラグインを併用することにより、単なるモデリングソフトウェアとしてではなく多様な使い方が可能となる。

3.1.3. Grasshopper

Grasshopper はビジュアルプログラミング言語であり、前述の Rhinoceros 3D のプラグインの一つである。一定のアクションを行うコンポーネントと呼ばれるアイコンをキャンバス上に並べ、コンポーネントのインプットとアウトプットをつなぎ合わせてゆくことで、通常のプログラミング言語のシンタックスに当たる働きがなされる。Grasshopper 上で描かれたプログラムは Rhinoceros3D と連動し、操作が同時進行的に Rhinoceros3D に反映される。

3.1.4. DIVA

DIVA は、Rhinoceros3D および Grasshopper 上で日照シミュレーションができるプラグインソフトである。設定した月、日、時間、天気における光の環境をアメリカ合衆国エネルギー省より配布されている敷地の epw データ³⁾を元に再現し、作成した 3D モデルに対する照度シミュレーションを行うことができる。

3.2. リアルタイム光環境調整窓ユニットの開発

3.2.1. 光環境調整窓ユニットの概要

光環境調整窓の 1 ユニットをモックアップとして作成した。光環境調整窓ユニットはカメラレンズの絞りの機構に近いメカニズムで動き、採光される光量を調整する。全体の直径が 170mm となるよう作成した。図 2. にその画像を示す。また、図 3. に光環境調整窓ユニットを制御する

Grasshopper のシステム図を示す。

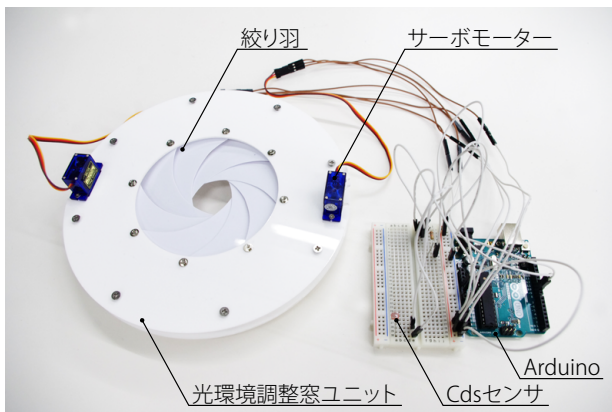


図 2. 光環境調整窓ユニット

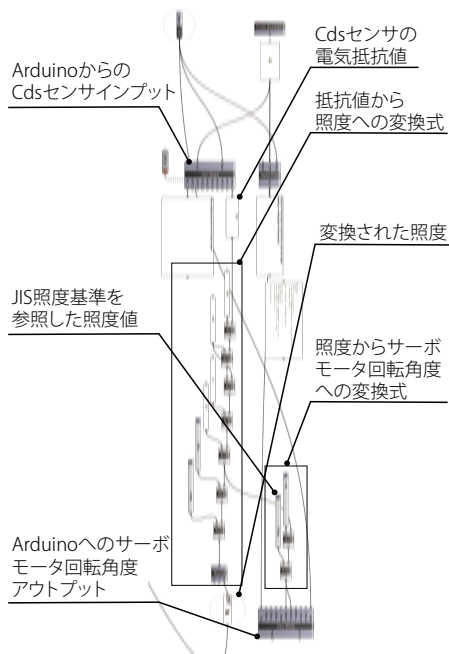


図 3. Grasshopper によるリアルタイム光環境調整窓ユニット制御システム

3.2.2. Cds センサ による電気抵抗値の取得

Cds センサは入射する光の強さが増加すると電気抵抗値が低下する電子部品である。Cds センサを Arduino に接続し、Arduino から光環境調整窓の制御を行う Grasshopper へその電気抵抗値を $50 \mu s$ のインターバルでインプットする。

3.2.3. 照度の取得

Cds センサから取得された電気抵抗値を照度に変換する。この変換式を構築する際、照度計を用いた測定値をもとに、変換式から導き出される値が正確なものとなるよう変換式の係数を調整した。



図 4. 電気抵抗値-照度変換式作成の様子

3.2.4. サーボモーター回転角度の取得

JIS によって定められる照度基準を参照し、想定されるアクティビティに必要なとされる照度をインプットし、Cds センサによって取得される照度の差の値を計算する。差の値を絞り羽の挙動が適切なものとなるようサーボモーターの回転角度に変換し、Grasshopper から Arduino へアウトプットする。

3.2.5. 光環境調整窓の全体像

前述の光環境調整窓ユニットを採光窓に複数配置することでより正確な照度の調整を行う。採光窓を通過する光量と人の位置を考慮し各ユニットの絞り羽の回転角度を制御することで調整する。Cds センサが位置する、すなわち人が一定のアクティビティを行う場所における JIS の照度基準値と Cds センサが取得する照度の差の値を最小にすることで人がアクティビティを行う場所における光環境をリアルタイムに望ましいものにする。図 5. に光環境調整窓のイメージ図を示す。

3.3. 検証

本研究ではリアルタイム光環境調整窓ユニットの量産が行えなかったため、Rhinoceros 3D・Grasshopper によって作成した仮想空間にて、前述のモックアップと同等の挙動を行うユニットを複数配置したリアルタイム光環境調整窓を再現し DIVA による日照シミュレーションを用いて

システムの有用性を検証した。



図 5. リアルタイム光環境調整窓ユニットを配置した採光窓イメージ

3.3.1. 概要

3.3.1.1. 室形状

今回の検証では簡単な建築における W5000mm×D5000mm×H3000mm の一室をモデルとした。直方体型の室の南側面内の床上 1250mm から床上 2750mm、西端 500mm から東端 500mm の位置に W4000×H1500 の範囲でユニットを縦 10 個×横 20 個、合計 200 個を配置した。

3.3.1.2. 日照シミュレーション対象サーフェスと仮想 Cds センサの配置

DIVA では指定したサーフェスにおける照度の分布をシミュレートすることが可能である。今回の検証では、床面と同形状のサーフェスを一般的なテーブルの高さにあたる床面から 750mm の高さに作成した。サーフェスを元に 100mm のグリッドでメッシュを作成し、メッシュ交点をシミュレーション計測点とした。また、仮想 Cds センサをシミュレーションサーフェス上の適当な場所に配置した。

3.3.1.3. シミュレーション環境

天候：晴天

月、日、時間：12月22日12時

敷地データ：東京、百里

3.3.1.4. 目標照度

今回のシミュレーションでは一般的なテーブルの机上で行われるアクティビティを想定し、JIS 照度基準により示される 200 lx を目標照度とした。

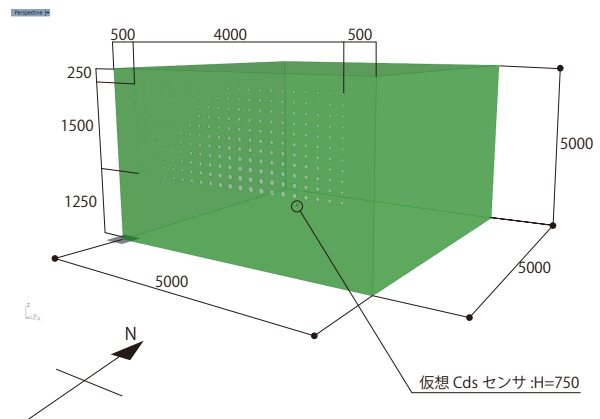


図 6. 室モデルの様子

3.3.2. 検証シミュレーションのフロー

図 7. に Grasshopper によるシミュレーションシステムのフローを示す。

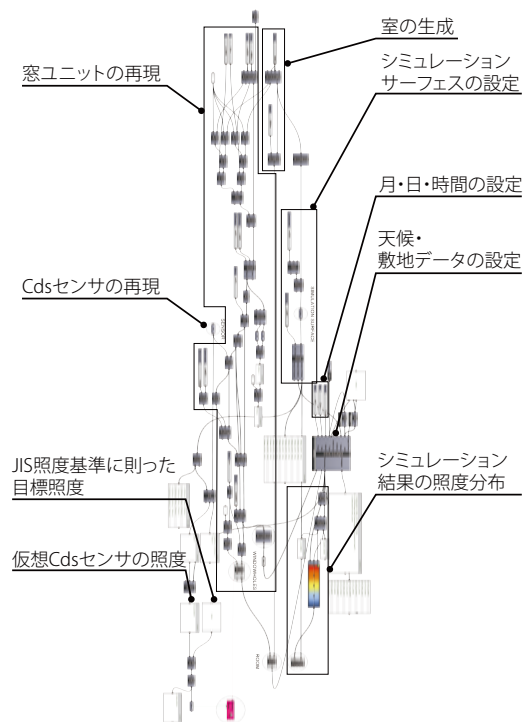


図 7. DIVA を用いた Grasshopper における日照シミュレーションのフロー

3.3.3. シミュレーション結果

シミュレーションの結果として図 8. にシミュレーションサーフェス上の照度分布、図 9. に仮想 Cds センサの取得した照度を示す。

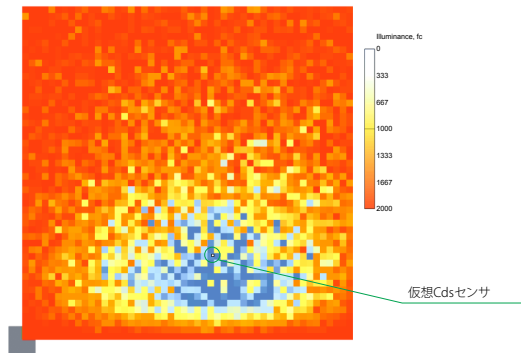


図 8. DIVA によるシミュレーションサーフェス上の照度分布

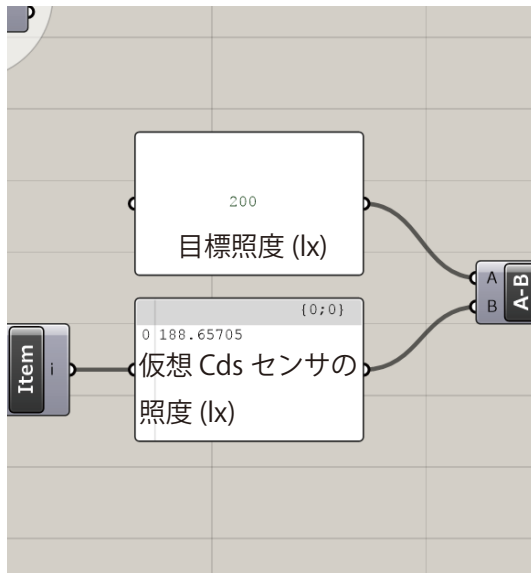


図 9. 仮想 Cds センサの取得した照度と目標照度

3. 4. 結果分析

仮想光環境調整窓により得られる光の状態より仮想 Cds センサの取得した照度の値は 188 lx であり、目標として設定した照度 200 lx を若干下回るものではあったもののおおよそ 10 lx の誤差であった。誤差の原因として、電気抵抗値-照度変換式における係数および、照度を絞り羽の回転角度に変換する式の係数の不正確さなどが考えられる。しかし、概ね目標照度に近い値を取得することができ、また、照度分布にも見られるように、センサを中心として照度がグラデーションを描くように分布していることからアクティビティが行われる場所とそうでない場所の照度のシーケンスを保ちながら光環境を調整することが可能であることがわかった。

4. まとめと展望

本研究ではリアルタイム光環境調整窓ユニットの作成のみを行い、リアルタイム光環境調整窓そのものの作成に代わって仮想空間での検証を行うにとどまったが、検証結果より論理的にはリアルタイム光環境調整窓ユニットを利用することで、ダイナミックに変化する昼光に追従し、リアルタイムに光環境を調整する昼光照明窓を開発することが可能であることが明らかになった。

また、カーテンのような遮光器具の場合、遮光部と非遮光部の境界がはっきりとし、空間における光環境が極端になりがちであることを考えると滑らかな照度分布で光環境を空間で一体的なものとし、従来の光環境を調整する器具に代わる新しい昼光照明窓のかたちを提案できたのではないかと考えられる。

本研究の結果から、将来的には普及率が高まるであろうスマートウォッチなどに搭載されるディスプレイ輝度調整用センサなどを Cds センサの代わりとし、また、スマートウォッチのアプリケーションによって Arduino・Grasshopper のソフト面での制御を担うことで、ウェアラブル端末を装着する人がリアルタイムにセンシングする光の情報を光環境調整窓の制御に利用することができれば、よりユーザーにとってオートメーションの進んだ建築空間をデザインすることが可能になると考えられる。

【参考文献】

- 1) 日本工業標準調査会「JISZ9110 照明基準総則」日本規格協会, 2011
- 2) 高橋隆雄「たのしい電子工作 Arduino で電子工作をはじめよう！」株式会社秀和システム, 2011
- 3) 「U.S. DEPARTMENT OF ENERGY | Energy Efficiency & Renewable Energy Weather Data」
http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm 2015年6月12日閲覧

*1) 早稲田大学創造理工学研究科建築学専攻 修士課程一年

*2) 早稲田大学理工学術員 教授・工博