

球体型移動ロボットにおける光を用いた視覚効果の影響調査

土田 修平^{1,a)} 寺田 努^{2,1,b)} 塚本 昌彦^{1,c)}

概要: 移動ロボットがある特定の動作を実際に行っていないくても、その動作を行っているように見せる手法について調査を行う。例えば、球体型 LED を移動ロボットに搭載し、移動ロボットの移動に合わせて球体が転がっているかの如く光らせる。これにより、単に球体が転がっていると錯視させられるかどうか調査する。このような錯視を起こすことができれば、俊敏性と特定の動作の二つの機能を備えた移動ロボットが実現できる。

Investigation of the Impact of the Visual Effects using the Light in a Sphere-Type Mobile Robot

TSUCHIDA SHUHEI^{1,a)} TERADA TSUTOMU^{2,1,b)} TSUKAMOTO MASAHIKO^{1,c)}

Abstract: We will investigate the method makes it seem like the robot is performing those movements even if the mobile robot does not perform certain specific movements. For example, we mount a sphere-type LED on the mobile robot and make it shine as if the sphere is rolling around by matching the movements of the mobile robot. Thus, we can investigate if we can create the illusion of the sphere rolling around. If we can create such an illusion, we can implement a mobile robot that has prepared the two functions of agility and specific movements.

1. はじめに

近年、人と移動ロボットを組み合わせた様々な舞台パフォーマンスが見受けられる。これら移動ロボットの設計を行う場合には、人と移動ロボットを組み合わせたパフォーマンスに求められる機能、形状を考慮しなければならない。しかし、求められる機能と形状によっては機構の実現が難しい場合がある。例えば、フリースタイルフットボールやジャグリングのようなボールを使用したパフォーマンスと移動ロボットを組み合わせる場合では、移動ロボットの形状はパフォーマンスが利用するボールと同じ形状である球体を使用することが望ましいと考えられる。これは、滑らかな曲面という見た目に加え、球体特有の転がるといった動作

を再現でき、パフォーマンスの動作と移動ロボットの動作を組み合わせやすいと想定できるからである。転がるといった動作を行うロボットとして Sphero2.0[1] のような球体型自走ロボットが挙げられるが、このような移動ロボットでは他の移動ロボットに比べ、初速が遅く、パフォーマンスの素早い動作に追従できる俊敏性を備えていない。そこで、素早い動作と形状特有の動作を同時に実現できる機構を備えた移動ロボットを実現するために、球状 LED ディスプレイを搭載した移動ロボットを提案する。LED の点灯パターンを利用し、表面のみかけの制御を行うことによって、実際に転がるといった動作を行わなくとも、そのような動作が起こっているように錯視させることができるのではないかと考えた。本論文では、提案する移動ロボット実現のために、球状 LED ディスプレイを作製し、光を用いた視覚効果について調査を行った。

2. 関連研究

光の視覚効果を用いた錯覚に関する研究をいくつか挙げる。港ら [2] は、運動錯視を用いた携帯型遠隔操作ヒュー

¹ 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University

² 科学技術振興機構さきがけ
PRESTO, Japan Science and Technology Agency

a) shuhei.t@stu.kobe-u.ac.jp

b) tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp

c) gakkai.jiro@ipsj.or.jp



図 1 球状 LED ディスプレイの外観

マノイドを開発した。人間の頷き動作を再現するために、適した LED の配置や明滅パターンについて評価実験を通して明らかにした。LED の点滅ではロボットの運動そのものを生成することはできないが、運動を錯覚させるだけでもコミュニケーションの質は向上する。本論文では、LED の点滅によって物体の実際運動と同レベルの錯視効果を目指す。

仮想世界で球体をよりリアルに再現する方法として様々な反射モデルが提案されている。神原ら [5] は、現実環境の照明環境を推定することによって、提示するステレオビデオシーンスルー拡張現実感において、実時間で正確なキャストシャドウを行った。しかし、現実世界において、反射モデルを考慮しロボット単体でリアルタイムに影を生成することは難しい。また、コンピュータグラフィックスを用いて、重力下で移動する物体の人の運動知覚に関する研究は多数見受けられる [3], [4]。しかし、発光する移動物体を用いて、球体の実際運動を再現する試みは見られない。本論文では、移動ロボットに取り付けた光源を点滅させることによって、物体の運動の錯視を引き起こす。

多くの演出家や芸術家が、様々な技術によって移動させた物体を用いて身体表現の拡張を試みている。Manabe ら [6] は、ダンサーの身体動作をデータとして使用し、制御されたクアッドコプターとダンサーを組み合わせたパフォーマンス「dance with dornesDance」を提供した。また、Wurtzel[7] は、床に置かれた風を起こす装置によって縦横無尽に舞い上がる布とダンサーを組み合わせたパフォーマンス「AMALUNA」を提供した。これら移動する物体とパフォーマンスを組み合わせたパフォーマンスに、光による錯視効果を加えれば、新しいエンターテインメントを提供できる可能性があると考えられる。

3. 提案システム

光を用いた視覚効果について調査を行うために、光の制御用アプリケーションと球状 LED ディスプレイを製作した。

3.1 球状 LED ディスプレイ

製作した球状 LED ディスプレイの外観を図 1 に示す。

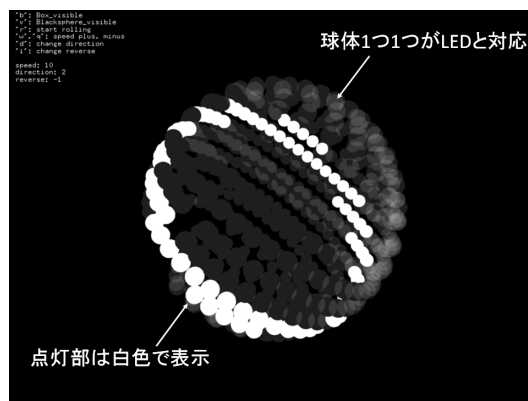


図 2 光の制御用アプリケーション UI

直径 120mm の透明なプラスチック製の球体カプセルの中に、Adafruit 社の DotStar LEDs[8] を敷き詰めた。530 個のフルカラー LED を搭載し、12 個の Arduino nano[9] によって制御されている。また、LED の光を拡散、点灯していない LED を隠すために、白色の液状ゴムスプレーを使用し、球全体をコーティングした。

3.2 光の制御用アプリケーション

光の制御用アプリケーションの UI を図 2 に示す。アプリケーションの開発には openFrameworks を用いた。1 つ 1 つの球体が LED 1 個分と対応し、25msec 毎に点灯パターンを球状 LED ディスプレイに接続されたすべての Arduino nano に送信している。リアルタイムに回転の速度、回転方向、点灯パターンを変更できる。

4. 視覚効果の調査

4.1 実験手続き

光を用いた視覚効果について調査するために、実験を行った。調査のために作製した球状 LED ディスプレイを土佐電子社の TDSTO48-350[10] に搭載した。これにより、球状 LED ディスプレイを移動させることができる。フロアプランを図 3 に示す。

被験者は平均年齢 23.8 歳、視力 0.8 以上の男性 9 名、女性 2 名である。被験者には以下に示す移動する球状 LED ディスプレイを用いた 9 つのパフォーマンスを見てもらった。

- P1:** 1 つの円を進行方向に回転 (観測点 A より鏡越しに観察)
- P2:** 2 つの円を進行方向に回転 (観測点 A より鏡越しに観察)
- P3:** 6 つの円を進行方向に回転 (観測点 A より鏡越しに観察)
- P4:** 1 つの円を進行方向に回転 (観測点 B より観察)
- P5:** 2 つの円を進行方向に回転 (観測点 B より観察)
- P6:** 6 つの円を進行方向に回転 (観測点 B より観察)
- P7:** 1 つの円を水平方向に回転 (観測点 B より観察)

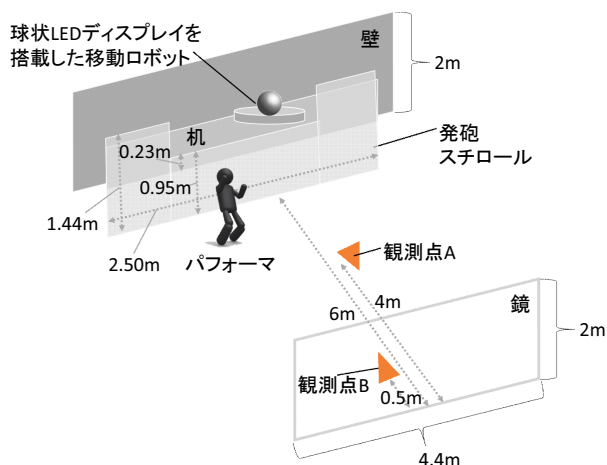


図3 フロアプラン

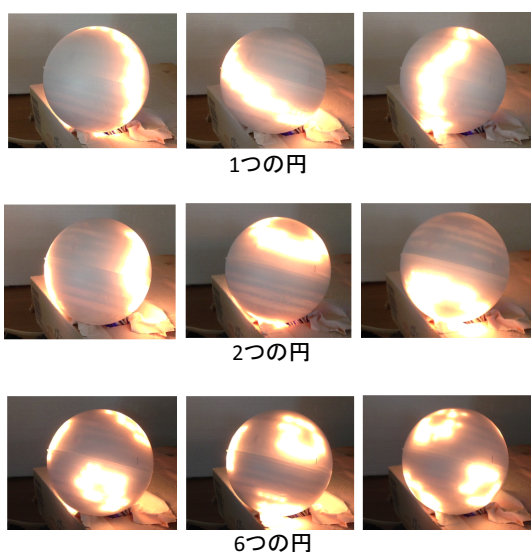


図4 光の点灯パターン

P8: 2つの円を水平方向に回転 (観測点Bより観察)

P9: 6つの円を水平方向に回転 (観測点Bより観察)

それぞれの点灯パターンは図4に示す通りである。

パフォーマンスの長さは30秒程度、使用した曲の速さは110BPMである。移動ロボットを視認しないように、被験者は床から約110cm離れた高さよりパフォーマンスを観察した。LEDの発光を目立たせるために部屋の照明は落とし、パフォーマンスのみをスポットライトで浮かび上がらせた。点灯パターンが進行方向へ回転する場合は、移動ロボットの移動速度を約0.3m/sec、水平方向へ回転する場合は移動ロボットの移動速度を約0.05m/secにそれぞれ設定した。すべてのパフォーマンスを観た後に以下の3つの質問を5段階で評価してもらった。

Q1: 球体が回転しているように見えたか？

Q2: 球体が回転しながら移動しているように見えたか？

Q3: 舞台パフォーマンスとして利用される可能性を感じるか？

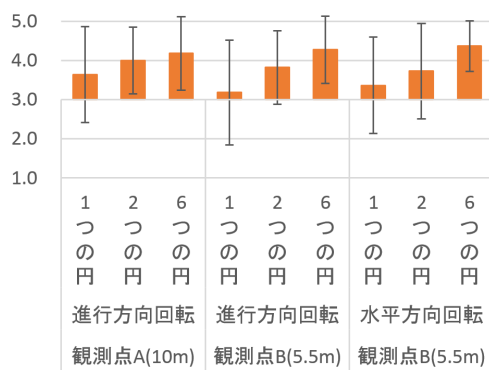


図5 Q1のアンケート結果

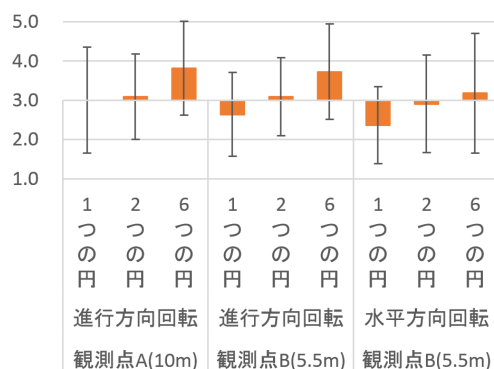


図6 Q2のアンケート結果

Q1, Q2に関しては、それぞれのパフォーマンスについて回答してもらった。また、Q3についてはすべてのパフォーマンスを通して回答してもらった。さらに、錯視しにくかった原因、より錯視しやすいのではないかと考えられる改善点、また、大きさ、形状、移動速度に変化を感じたなど、気づいた点について自由にコメントしてもらった。

4.2 結果と考察

Q1のアンケート結果を図5に、Q2のアンケート結果を図6に示す。距離について考察する。しかし、被験者から離れた方が光り方が綺麗に見えた、大きな舞台であれば十分利用される可能性があるだろうといったコメントが見られ、距離によって光の見え方が変わっていることは確認できる。よって今回の実験に関しては6mと10mの2か所での観察であったが、今後より広い範囲での調査が必要である。

点灯パターンについて考察する。これについては、球と認識できる程度の表面積が必要、模様が動いているように見えたといったコメントからも、点灯する表面積やばらつきが錯視を引き起こしやすくする要因といえる。また、図5からも模様が複雑なほど、評価が高い傾向がうかがえる。点灯する表面積やばらつきと錯視の関係については、今後より詳細な調査が必要である。

光の回転方向に関して考察する。光の回転方向に関しては差がみられなかったが、被験者によっては水平方向に回転した場合、より錯視が引き起こされたという意見も見られた。

Q3 については、評価の平均値が 4.2、標準偏差が 0.9 であった。この結果から、すべての被験者が舞台パフォーマンスとして利用される可能性についてポジティブな意見を持っているといえる。光り方のパターンの違いがパフォーマンスとして面白かった、シンプルな光り方は見ていて綺麗であったなど、パフォーマンスとして楽しめた被験者も数名確認できた。より多くの点灯パターン、演出方法を考案、実践するなどエンターテインメントとしての可能性についても今後調査する。

また、図 5、図 6 から、その場で回転するように錯視するよりも、転がっている、コマのように回転しながら移動するといった動作を錯視する可能性は低いと考えられる。これについては、球体の移動速度と光の回転速度のずれについて 11 人中 9 人からコメントされていたため、移動速度と回転速度が同期するシステムを構築する必要があると考えられる。

また、最大評価の 5 を錯視を引き起こすことができたすると、Q1 について最も錯視が起こった組み合わせは 6 つの円で進行方向に回転、観察地点 A から観察した場合で、11 人中 6 人が球体が回転していると錯視した。Q2 について最も錯視が起こった組み合わせは 6 つの円で進行方向に回転、観察地点 B から観察した場合で、11 人中 5 人が実際に球体が転がっていると錯視した。システムの改善によって、より高い錯視率を実現できると考えられる。

5. おわりに

本研究では本論文では、提案する移動ロボット実現のために、球状 LED ディスプレイを作製し、光を用いた視覚効果について調査を行った。作製した球状 LED ディスプレイはリアルタイムに光の点灯パターン、回転方向を変更できる。また、球状 LED ディスプレイを移動ロボットに搭載させることによって光源を移動させることができる。光の視覚効果の調査のために、実験を行った。結果、距離、回転方向に差は見られなかったが、点灯パターンによって錯視効果に差があることが確認できた。また、最大で 11 人中 5 人の被験者に回転しながら移動する動作を錯覚させることができ、自由コメントからシステムの改良によって更なる錯視効果の可能性が示唆された。

今後の課題としては、距離に関するより広い範囲での調査、光の点灯パターンの表面積やばらつきと錯視の関係について調査を行う。LED の輝度については今回一定値であったが、輝度と錯視の関係についても調査を行う。また、移動ロボットの移動速度と光の回転速度のずれをなくすために、移動ロボットの移動速度と光の回転速度が同期

するシステムを構築する必要がある。さらに、移動ロボットを除くすべてのデバイスを球体内におさめ、加速度・角速度センサと移動ロボットのホイールに取り付けられたエンコーダから位置の推定・光の回転速度の推定を行い、スタンドアロンなシステム構築を目指す。スタンドアロンなシステムを用いて様々な演出を創出し、エンターテインメントの可能性についても追及する。

謝辞 本研究の一部は、科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業(さきがけ)、科学技術振興機構研究成果展開事業スーパークラスタプログラム、文部科学省科学研究費補助金基盤研究(A)(23240010) および文部科学省科学研究費補助金挑戦的萌芽研究(25540084)によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] Orbotix: Sphero2.0, 入手先 <http://www.sphero.jp/sphero-2-0/> (2015.07.21).
- [2] 港 隆史, 境くりま, 西尾修一, 石黒 浩: 運動錯視を利用した携帯型遠隔操作ヒューマノイドの運動表現, ヒューマンインターフェース学会論文誌, Vol. 15, No. 1, pp. 51–62 (2013).
- [3] 浅野拓也, 金子寛彦, 水科晴樹: 等速運動知覚における重力軸および網膜軸に沿った偏向, 電子情報通信学会技術研究報告. HIP, ヒューマン情報処理, Vol. 108, No. 356, pp. 95–98 (2008).
- [4] D. Souto, D. Kerzel: Like a rolling stone: Naturalistic visual kinematics facilitate tracking eye movements, Journal of Vision, Vol.13, (2013).
- [5] 神原誠之, 横矢直和: 現実環境の照明条件と奥行きの実時間推定による仮想物体の陰影表現が可能な拡張現実感, 画像の認識 理解シンポジウム (MIRU2004) 講演論文集, pp. 219–229 (2004).
- [6] D. Manabe: Dance with danceDrones, 入手先 http://www.daito.ws/work/elevenplay_drones.html (2015.07.21).
- [7] Daniel Wurtzel: AMALUNA, 入手先 <http://www.danielwurtzel.com/performance.cfm> (2015.07.21).
- [8] Adafruit: Dotstar LEDs, 入手先 <https://learn.adafruit.com/adafruit-dotstar-leds/overview> (2015.07.21).
- [9] Arduino: Arduino nano, 入手先 <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardNano> (2015.07.21).
- [10] 土佐 電子: TDSTO48-350, 入手先 <http://www.tosadenshi.co.jp/> (2015.07.21).