



## Control-Aided Reality 技術による ビリヤードゲームのデザイン

大阪大学大学院 工学研究科

准教授 南 裕樹

### 1. 研究背景と目的

Virtual Reality (VR) や Augmented Reality (AR) などの情報技術の発展に伴い、ゲームの形態が進化している。しかしながら、図1に示すように、VRやARでは、情報世界が主体であり、現実世界で情報を付加するものであるため、本質的に現実世界の力学系に影響を与えない。一方、「制御」技術（センシングやアクチュエーションを含む）を利用することで、現実世界の物体の力学的特性を変えることができる。たとえば、摩擦の影響で減速する物体（こっそり）力を加えて等速で動かせば、あたかも摩擦が働いていないように見せることができる。そのような、目の前の物体が期待している物理法則を無視した動きをすれば、人間は非日常を体験することになる。

本研究では、現実世界の物体の力学的特性や、人間がそれに触れることによって得られる感覚情報を「制御」によって意図的に書き換えるデジタル技術を「Control-Aided Reality」と呼び、それをアナログゲームに応用する。とくに、「光によって物体を制御する技術」を用いたビリヤードゲームの提案とその基礎技術の開発を目的とする。

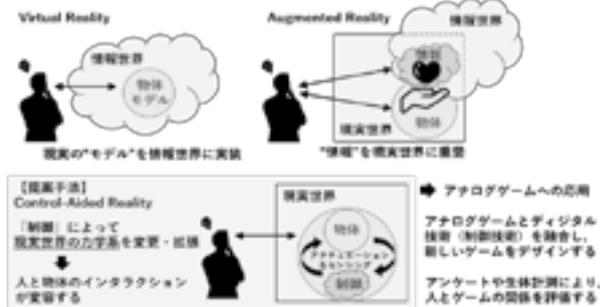


図1 本研究で注目する Control-Aided Reality 技術

### 2. 研究方法

本研究では、図2に示すようなビリヤードゲームを提案する。このシステムは、球体型移動ロボットとプロジェクタから構成されている。ビリヤードゲームのボールが球体ロボットで、フィールド上にデジタルイメージがプロジェクタを介して投影される。球体ロボットはキューで叩くことで移動するが、それだけでな

く、搭載される光センサーでプロジェクタの光をセンシングし、その情報とロボットに組み込まれている行動規則により、減速したり、加速したり、さらにはある軌道に沿って動いたりできる。つまり、従来の物理法則に従う動きと、物理法則に従わない（ように見える）動きを実現することができる。

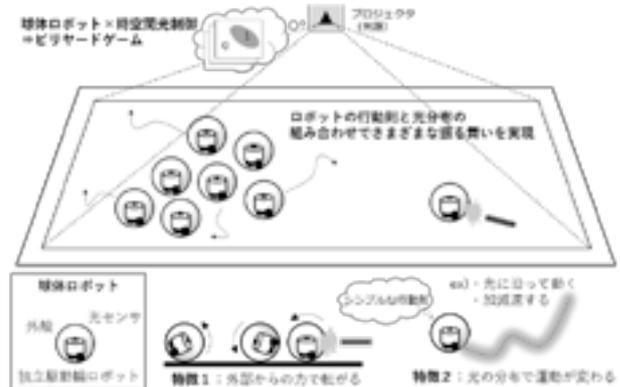


図2 本研究で提案するビリヤードゲームシステム

現実世界の力学系（運動方程式や作用反作用の法則）をデジタル技術（ロボット行動規則や光の分布のプログラム）によって意図的に書き換えることで、それをプレーする人間は、非日常を体験することになると考えられる。また、その書き換えを積極的に利用すれば、新しいルールや遊び方が生まれ、さらにそれによって、プレイヤーの行動や遊び方が変容する可能性がある。

研究開発当初の計画では、(1) 球体ロボットの制御、とくに、光の分布を変えることで様々な動きを実現するためのアルゴリズムの構築、(2) ビリヤードゲームの新しいルールや遊び方のデザイン、(3) 製作したシステムの評価、に取り組むことを目標としていた。一方、実際の研究では、すべての課題に取り組むのではなく、(1) のロボットの制御アルゴリズムの構築をメインにすることにした。その理由としては、著者らがこれまで開発してきた光でロボットを操る技術「時空間光ナビゲーション技術」を単独に応用できず、レベルアップが必要となることが判明したためである。具体的に、先行研究では、対象とする移動ロボットは虫足型車輪型であったが、本研究では、球体型である。

この構造の違いが移動ロボットの制御を難しくしている。さらに、先行研究では、移動ロボットを1台に限定していたが、本研究ではビリヤードゲームということで、複数台の移動ロボット（球）を対象としなければならない。そのため、光分布をダイナミックに制御する方法などを検討する必要がある。上記のことから、本研究では、以下の三つの課題に取り組むことにした。

- 実験システムの構築
- 球体ロボットの時空間光ナビゲーションによる制御
- 複数台の移動ロボットの制御（本稿では省略する）

### 3 研究成果

本研究で製作した実験システムを図3に示す。このシステムは、1830×915×790mmのビリヤード台、プロジェクタ（RICOH PJ WX3351N）、球体型移動ロボット（Sphero BOLT）から構成されている。



図3 製作した実験システム

ビリヤードゲームを球体ロボットを用いて行う際、球体ロボットに行かせたい動きとしては、ある経路に沿って動くことや、加減速をしながら動くこと、などが挙げられる。たとえば、ロボットの経路自体制御ができれば、コーナースポットに必ず球（ロボット）が入る状況や必ず入らない状況を創り出すことができる。さらに、加減速ができれば、他の球に当たるときのスピードを調整することができる。

まず、球体ロボットの経路自体制御を検討した。図4に示すように、白黒の縞模様の画像をプロジェクタを介して投影し、さらにその画像を時間とともに動かすことによって、球体ロボットの旋回方向を制御する。球体ロボットを移動させる経路の両端に縞模様を配置し、それらを逆向きに動かす。さらに、縞模様の移動速度を1.2[m/s]、球体ロボットの移動速度を0.1[m/s]で固定し、ロボットが感知する明暗の周期が0.5[s]より長いなら左旋回、短いなら右旋回するような行進規則をロボットに実装する。これにより、ロボットが二つの縞模様の間を右から左へ移動することが期待できる。このときの実験結果が図5である。実際、複数

回実験を行ったところ、概ね期待通りの結果が得られた（図4中に記載の線はロボットの軌跡を表している）。一方、全体的に曲がるタイミングが遅れることが多く、旋回しすぎるが多かった。これは、ロボットが球体型であるために、慣性の影響が大きいためであると考えられる。



図4 旋回制御実験の結果

つぎに、明暗による移動ロボットの速度制御を検討した。ロボットの行進規則を「光があたると前進」「光があたらないと停止」とすることで、白の画像を投影すると移動ロボットが前進し続け、黒の画像を投影すると移動ロボットが停止し続ける、という状況を創り出すことができる。また、白黒の縞模様の投影すれば、白と黒の密度によって移動ロボットの速度を変えることができる。このことを確認するために、実機実験を行った。その結果を図5に示す。上から下に時間が流れており、左図は白の画像を投影した場合、右図は白の縞模様の画像を投影したときの結果である。図5より、縞模様の画像を投影することで、白の画像のみを用いたときより、移動ロボットがゆっくり移動していることがわかる。

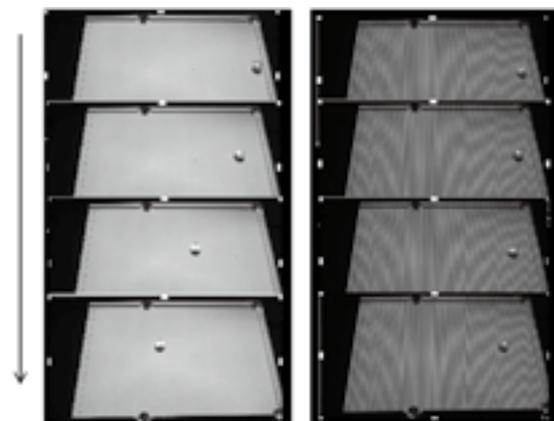


図5 速度制御実験の結果

### 4 まとめ

本研究では、光を用いたロボット制御技術を応用したビリヤードゲームを提案した。そして、システムのプロトタイプを製作するとともに、ゲームを実現するための基礎技術を構築した。