

# ランプロボットを用いた遠隔操作可能な 遊戯ボッチャ用投てきシステムの開発

東海職業能力開発大学校 石川 裕尚

Development of a remote-controllable throwing system using a ramp robot for unofficial bocchia

ISHIKAWA Hiroataka

**要約** 専門課程の総合制作実習のテーマとして、電子回路技術、プログラミング技術、通信技術、マイクロコンピュータ技術など、学生がこれまでに学んできた内容が含まれていることが望ましい。その上で、社会にどのような問題があるかを「気づき」、問題を解決するための技能・技術を「主体的」に習得し、その過程でモノづくりを「楽しむ」ことが必要と考える。今回、生涯スポーツとしても東京パラリンピックでも注目度の高い競技であったボッチャのオンライン化をテーマに、遠隔地からでも遊戯ボッチャに参加できるようボッチャのボール投てき器具であるランプをロボットにした、遠隔操作が可能なボッチャ用の投てきシステムを開発した。本システムでは、各種アクチュエータを駆動させる電子回路、システムを遠隔で操作するためのネットワーク構築、そして、それらを制御するためのソフトウェアを制作することで、専門課程1年生で学んだことを生かすだけでなく、機械工作やPythonなどの新たな技能・技術を習得させることができた。1年を通して総合制作実習を行うため、実際にボッチャをプレイしたり、開発中の本システムを使用した大会を開催してみたりして、必要な機能や工夫を学生同士で相談しつつ、総合制作実習を通して、モノづくりを楽しみながら開発することができた。

## I はじめに

2019年12月頃からの新型コロナウイルス感染症の流行により、政府による緊急事態宣言に伴う外出自粛要請が発せられ、室内で過ごすことを余儀なくされることとなった。そのような状況下でも生産活動を止めることはできない。企業や行政はそれまでの旧態依然としてきた業務や習慣をデジタル化、オンライン化の着手で対応してきた。すなわち社会の常識が急速に変化することとなった。

見知らぬ人だけでなく、同僚や取引先と直接対面することが避けられ、コミュニケーションを取るための手段としてもオンラインに注目が集まった。オンライン会議アプリケーションを利用した飲み会や、3次元仮想空間上でイベントや社会生活を送ることができるサービスまで登場するに至ったのである。

一方、簡単にオンラインへの移行ができない分野も

ある。スポーツである。娯楽であるビデオゲームが競技に変化したeスポーツというものもあるが、己の鍛えた肉体や技を競う旧来のスポーツは、オンライン化することが非常に難しい。特に生涯スポーツは、いつでも、どこでも、だれでも参加することができ、コミュニケーションツールとして社会の重要な役割を担ってきたが、コロナ禍によりその意義が奪われてしまったのである。

## II ボッチャの概要

生涯スポーツは「生涯を通じて、いつでも、どこでも、だれでもスポーツに親しむこと<sup>(1)</sup>」と定義されており、数ある生涯スポーツの中でもボッチャはその定義に最も適しているといえる。

専用のボールを用意する必要はなく、その辺の石ころや、新聞紙を丸めてボールにしてもよい。



図1 バリアフリーに問題がある体育館の例

屋外でも体育館でもプレイすることができる。遊びであれば決められたサイズのコートがあってもなくてもよい。

足が動かなくても、手が動かなくても、脳障がいであっても、目が見えなくてもプレイすることができる。元来、重度脳性まひ者や四肢重度機能障がい者のために考案されたスポーツがボッチャである。

### 1 ボッチャの課題

健常者でも障がい者でも同じルールでプレイできるボッチャは、生涯スポーツとしての魅力を備えているといえるが、一方、大会など集合して競技を行う場合、下記の問題点が挙げられる。

大会などを開催する場合、体育館を利用することが多いが、図1のように会場がバリアフリー非対応であるなど、インフラに問題がある場合が考えられる。

身体に障がいを抱えている者や、遠方に住まう者、交通手段が限られている者などが参加しようとする場合が考えられる。

何らかの理由で、直接対面して他者とのふれ合いに恐怖を抱く者<sup>2)</sup>が参加しようとする場合が考えられる。



図2 ランプの例<sup>5)</sup>

上記に挙げた3つの諸問題をオンライン化によって解決する試みである。段差、地理的問題は昨今の様々なオンライン化にて解決をみているが、心理的問題もオンライン化によるコミュニケーションの醸成は一定の効果を得られると考えられる。

eスポーツをはじめとするオンラインゲームなどは映像や文字、音声によるコミュニケーションがなくとも成立しており、オンラインを通して共感する心や協力関係をはぐくむことも可能<sup>3)</sup>である。

## 2 競技ボッチャのルール

日本ボッチャ協会競技規則<sup>4)</sup>より抜粋・要約する。

### 2-1 概要

ジャックボール（目標球）と呼ばれる白いボールに、6球ある自分のボールを相手より近づけられるかを競う。ジャックボールや相手のボールを弾き、自分が優位なボール配置にするなど戦略性も問われる。

### 2-2 クラス分け

障がいの種類と程度によって表1の通り4クラスに分けられる。

### 2-3 ランプ

BC3クラスの選手が使用し、ボールを転がすことで投てきする勾配具。長さや投てき位置を調節することができる。ランプの例を図2に示す。

表1 競技ボッチャのクラス

クラス	対象	投てき	アシスタント
BC1	脳原生疾患	可（足蹴り可）	○
BC2	脳原生疾患	可	×
BC3	脳原生疾患 非脳原生疾患	ランプを使用	○（ランプオペレータ）
BC4	非脳原生疾患	可	△（足蹴りの選手のみ）

BC1： 車いす操作不可で四肢・体幹に重度のまひがある選手

BC2： 上肢で車いす操作がある程度可能な選手

BC3： 自力による投てきができず、ランプオペレータによるサポートでランプを使用し競技を行う選手

BC4： 頸髄損傷や筋ジストロフィーなど、重度四肢機能障がいのある選手

### 2-4 ボール

周長が 270 mm±8 mm 以内、重さは 275 g±12 g 以内に規定されているが、硬さや材質は自由で選手のプレイスタイルにより異なる。

### 2-5 コート

図3にコートレイアウトを示す。プレイヤーごとに使用できるスローイングボックスが定められており、異なるスローイングボックスに移動することはできない。

## III 開発したポッチャシステム

競技ポッチャのルールをベースに、ルールの調整をした。コートは競技ポッチャの面積の 1/4 程度とした。これは後述するランプロボットの仕様として、最大投てき距離を 6 m 程度にしたことによる。また、スローイングボックスの仕切をなくし、ランプロボットで移動可能とした。図4にコートレイアウトを示す。

市販のポッチャ専用ボールは非常に高価なため、市販されている 2.4 インチ（直径約 60 mm）のゴムボールをベースに自作した。重量調整のためにゴムボール

に穴をあけて芯材を詰め、大きさ調整のためにゴムボールの表面に外皮を貼りつけた。競技ルールに近づけるため、芯材や外皮を変更し評価（勾配具長さ 1 m、角度約 30 度からボールを投てき）を行った。

表2に示す評価結果より、No.5のボールを採用した。大きさは直径約 62 mm、重さは約 177 g となり、競技ルールより小さく軽くなった。図5に自作ボールを示す。

表2 自作ボールの評価

No	芯材	外皮	評価
1	小石	新聞紙とビニルテープ	大きさ重さは良いが、直進性が悪く、ねらった方向への投球が難しい
2	小石	綿とビニルテープ	同上
3	スライムのおもちゃ	新聞紙とビニルテープ	使用していると液体が漏れる
4	小石と除菌砂	ビニルテープ	重さは良いが、大きさと直進性にバラツキがある
5	除菌砂	ビニルテープ	大きさ重さは競技ルールより小さく軽い。直進性が良く、バラツキ少ない

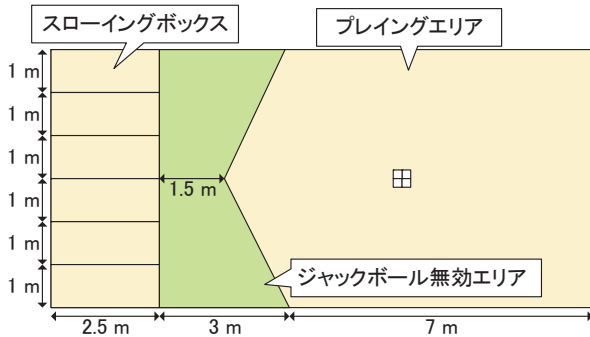


図3 ポッチャコートレイアウト

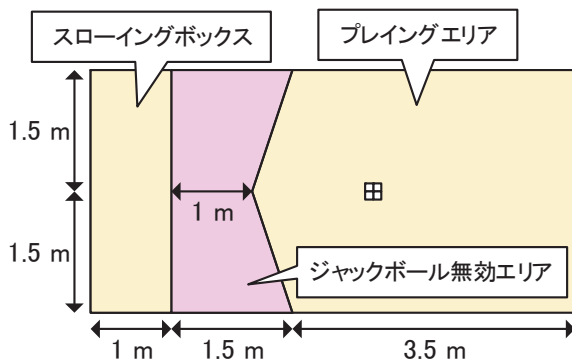


図4 本システムのコートレイアウト



図5 自作ボール(左:No.1、右:No.5)

## 1 ハードウェア構成

製作したランプロボットの仕様を表3に、外観を図6に、ハードウェアブロック図を図7に示す。

### 1-1 制御コントローラ

コントローラには Raspberry Pi 4 B (OKdo 製) を採用した。ランプロボットのモータ制御、測距センサによる緊急停止処理、Web カメラの映像配信、操作画面の配信などを行う。今回使用した Raspberry Pi 4 B の仕様を表4に示す。

### 1-2 Web カメラ

投てき目標を確認するため、ランプ上部に Web カメラ BSW-500M (BUFFALO 製) を設置した。表5に仕様を示す。

表3 ランプロボットの仕様

寸法(全幅 x 全長 x 全高)	40x96x66 mm(突起を含む)
質量	7.7 kg
ランプ機構	滑り台式
バッテリー駆動時間	約 30 分
移動方向	全方位
ボール発射機能	サーボモータによるゲート開閉

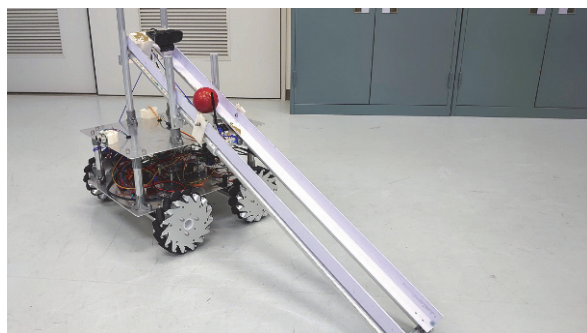


図6 ランプロボット

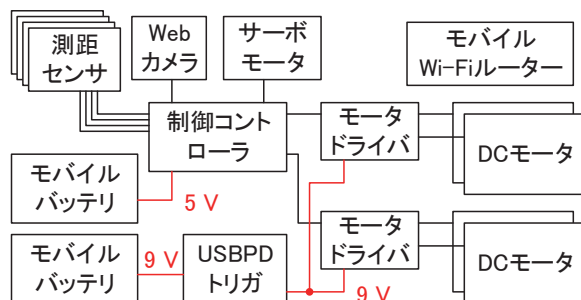


図7 ハードウェアブロック図

オートフォーカス機能があると、ランプロボット移動中にピントがずれて目標を認識しづらくなるため、固定フォーカスとし、全体を確認しやすい広い視野角度のカメラを選定した。最大解像度は 1920x1080 とあるが、Raspberry Pi 4 の処理速度と、インターネット接続による遅延を考慮し、現在主流の Full HD モニタや、スマートフォンでも問題なく映像を認識できるサイズである、640x480 に設定した。

### 1-3 測距センサ

ランプロボットが障がい物や人間に近づいた際、安全のためモータ駆動を停止するために、超音波センサ US-100 (adafruit 製) を、カメラの死角となるロボットの後方と左右3箇所に設置した。表6に仕様を示す。

### 1-4 モータドライバ

コントローラの電力とモータの電力を切り分けるため、モータドライバモジュール HW-095A (ノーブランド) (モータドライバ L298N (ST マイクロエレクトロニクス製)) を採用した。PWM 信号による速度制御、Hブリッジ回路により正逆回転制御、モータ駆動のための電流 (最大 2A) が制御可能となる。

表4 Raspberry Pi 4 B の仕様

CPU	Broadcom BCM2711 (quad-core)
メモリ	4 GB
電源定格	DC 5V
消費電流	1.7 A (最大)
その他	USB ポート x4、有線 LAN、HDMI x2、microSD x1、40 ピン GPIO、Bluetooth 5.0、無線 LAN など

表5 BSW-500M 仕様

インタフェース	USB2.0
最大解像度	1920x1080 (30 fps)
フォーカス	固定
視野角度	約 120 度

表6 US-100 仕様

電源/ロジック電圧	DC2.4~5.5 V
測定距離	20 mm~4500 mm
測定角度	15 度
精度	3 mm + 1 %

表7 12 V DC コアレスモータの仕様

非負荷時速度	8100 rpm
定格回転数	120 rpm
負荷電流	1400 mA
ギア比	64:1
停動トルク	50 kgf・cm
連続トルク	17 kgf・cm

### 1-5 DC モータ

12V DC コアレスモータ（メーカ No.16002、NexusRobot 製）を採用した。エンコーダを搭載しているが本件では使用していない。表7に仕様を示す。

### 1-6 ホイール

152 mm メカナムホイール（メーカ No.14165、NexusRobot 製）を採用。円周上に 15 個の小型ローラが車軸に対して 45 度の角度で搭載されており、各ホイールの回転方向を制御するのみで全方向移動が可能。図8にメカナムホイールを、図9に移動特性を示す。図9中の斜線は小型ローラの角度を表す。



図8 メカナムホイール

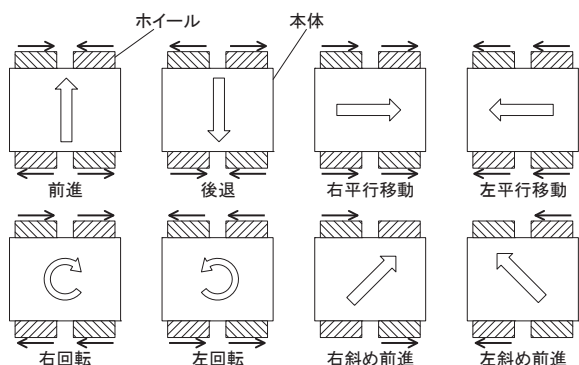


図9 回転方向による移動特性

### 1-7 サーボモータ

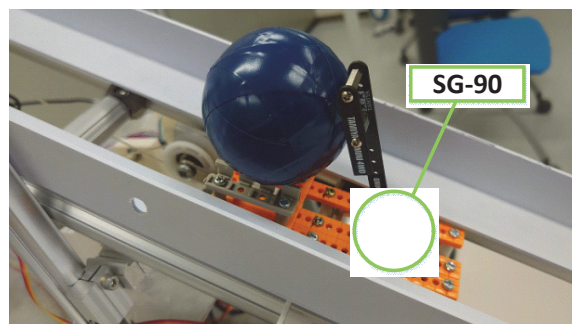


図10 スタータ機構

ランプロボットに取り付けた勾配具より、ボールを発射するためのスタータ機構を駆動する。ホビー用途として広く普及している SG-90（Tower Pro Pte. 製）を採用した。スタータ機構を図10に示す。

### 1-8 電源

モバイルバッテリーの Anker PowerCore Essential 20000 PD（Anker 製）を採用した。表8に仕様を示す。

表8 Anker PowerCore Essential 20000 PD の仕様

充電容量	20000 mAh
入力電圧/ 最大入力電流	5 V / 3 A 9 V / 2 A 15 V / 1.2 A
出力電圧/ 最大出力電流	5 V / 3 A 9 V / 2.22 A
安全機能	サージ保護、高電圧出力防止、出力電流調整、自動電流最適化、ショート防止、過剰放電防止、出力温度管理、その他 <sup>(6)</sup>

Raspberry Pi 4 の公式 AC アダプタは 5.1 V / 3 A であり、高負荷時でも安定して電力を供給できるよう、同等の出力を得られる USB Power Delivery（USB PD）対応のモバイルバッテリーを選択した。DC モータ駆動用の電源としても、同じモバイルバッテリーを採用した。USB PD トリガチップを利用することで、モータドライバを USB PD 機器としてバッテリーに認識させることができ、9V の給電をしている。

従来このようなロボットには、リチウムポリマーバッテリーなどの高出力が可能な電源を利用することが多いが、出力が高い分取り扱いが難しく、高度な安全設計が求められる。十分な安全機能が搭載された USB PD 対応のモバイルバッテリーを採用することで、安全かつ簡単なバッテリー交換が可能となった。

## 2 ソフトウェア構成

図 11 にソフトウェアブロック図を示す。Raspberry Pi 4 に Web サーバを構築し、モバイル Wi-Fi でインターネット上に公開する。利用者はパソコンやスマートフォンなどのインターネットブラウザで、ランプロボットのサイトにアクセスし、ブラウザ上の映像やボタンを利用してランプロボットを操作する。

### 2-1 Web サーバ

Python 用の Web アプリケーションフレームワークである Flask を利用して Web サーバを構築する。ここでは、ランプロボットの操作画面を提供し、MJPG-Streamer<sup>7)</sup>で取り込んだランプ上部のカメラ映像を配信する。図 12 に配信する操作画面とカメラ映像を示す。

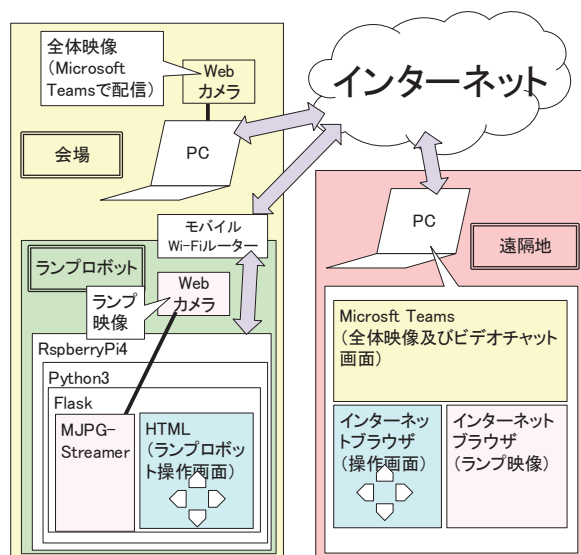


図11 ソフトウェアブロック図

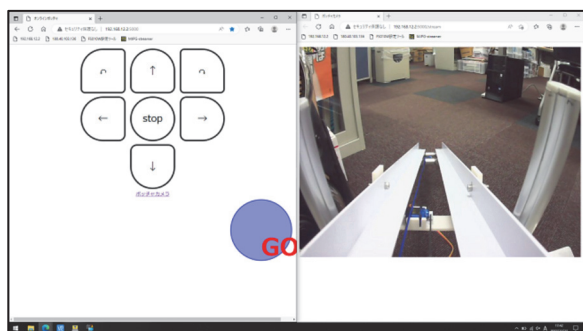


図12 操作画面とカメラ映像

操作画面では、前後左右、左回転、右回転の移動ボタン、ボールの発射ボタンを用意した。移動ボタンは押し続けることで連続して動作する。カメラ映像は、操作画面より別ウィンドウで開くことができ、利用者の操作しやすい位置にレイアウトを変更することができる。

### 2-2 DC モータ制御

前述の通り、前後左右、左回転、右回転を行う。加速時に PWM 信号のデューティ比を調整し、インターネット越しでもロボット位置の微調整が行えるようにした。

### 2-3 測距センサとマルチプロセス

制御コントローラの Raspberry Pi 4 一台で、Web サーバの公開、DC モータの制御、測距センサの制御を行う。これらの制御はすべて同時並行で処理する必要があり、特に測距センサの制御は安全のためにいつでも緊急停止が行えるよう常時センサからのデータを取得し続けなければならない。

そこで、API で複数のプロセスの生成をサポートする multiprocessing パッケージを利用し、表 9 に示す通り制御を 4 つのプロセスに分け、CPU の 4 core の性能を最大限活用できるようにした。

### 2-4 ネットワークとセキュリティ

インターネット環境がない会場でも競技を行えるようにするため、モバイル Wi-Fi ルーターでインターネット接続を行う。Web サービスを提供するためにグローバル IP アドレスを提供できるプロバイダを選択した。また、ネットワークから ssh 接続や root 権限を実行できないよう、ファイヤーウォールの設定をした。

表9 プロセス生成

プロセス番号	処理内容
1	Web サーバ (Flask)
2	DC モータ制御
3	測距センサ動作制御
4	測距センサ異常判定処理

### 2-5 Microsoft Teams

ランプロボットからの映像だけでは死角が多いため、コート全体を俯瞰する映像を Microsoft Teams で配信する。また、オンラインのプレイヤーは Microsoft Teams で、現地のプレイヤーや審判とビデオ会議やチャットでコミュニケーションを取る。

## IV 課題

### 1 投てき距離

ジャックボールの位置によっては、投てき距離を調整する必要がある。それ以外にも、相手の投てきコースを防いだり、自ボールを守ったりするために戦略的に距離を調整することが求められる。スタータ機構を勾配具の上下にスライドさせて、投てき距離を設定する機能を追加する。

### 2 複数人同時アクセス

現状、Web サーバに複数人同時にアクセスできるため、操作中に他プレイヤーがランプロボットを操作することが可能となっている。参加者に順番に操作権限を割り当てる機能を追加する必要がある。

### 3 現地プレイヤーとの差

現地でボールを手で投げるプレイヤーと試合を行ったところ、映像ではボールとの距離が測りづらいことや、ランプロボットの微調整に慣れが必要であるため、ハンディキャップを設けるなど調整が必要と感じた。

### 4 Raspberry Pi の設定

インターネット接続による動作テストを行ったところ、カメラ映像の遅延や、MJPG-Streamer のシャットダウンが発生した。調査の結果 Raspberry Pi 4 のグラフィックス処理に問題があることを確認した。

以下にソフトウェア上で行った対策を示す。

- GPU メモリを 64 MB→256 MB に増加した。  
→ グラフィックスデータは GPU メモリに格納されてから処理が行われるため、メモリ増加が処理速度に寄与することが期待できる。
- GUI を Off にする。  
→ GUI を生成するために GPU が利用されるため、GUI を Off にすることでカメラ映像の処理にリソースを割り当てることが期待できる。

以上により、MJPG-Streamer のシャットダウンは解消され、最大 3 秒遅延していたカメラ映像も最大 1 秒程度に抑えることができた。インターネット接続を利用するため多少の遅延は避けられないが、帯域保証型のインターネット回線を利用したり、外部アンテナを利用するなど Wi-Fi 環境を強化したり、Raspberry Pi 4 のメモリ容量を増加することでも改善ができるのでは

ないかと考えられる。

次にハードウェア上で行った対策を示す。

- 空冷ファンで、Raspberry PI 4 を冷やす。  
→ 処理状況によっては CPU が 80 度以上の発熱を起こす場合がある。放熱フィンに CPU やメモリに設置し、空冷ファンで対流を発生することで発熱によるパフォーマンス低下を抑えることが期待できる。現状、室温約 20 度、CPU 温度 40 度前後で安定動作している。

## V おわりに

学生がこれまでの授業で取り組んできた電子回路や通信、プログラミング技術などを活用して遠隔操作可能なボッチャ用投てきシステムを開発した。これは、ボッチャの魅力である戦略を、どのような人でも、どのような場所においても、現地にいる競技者と一緒に楽しめるという点で旧来のスポーツと e スポーツを融合させたものであるといえる。実際にボッチャをプレイし、本システムに必要な機能や工夫を学生同士で相談しながら製作を進めることができた。学生自身が興味を持って主体的に取り組めるかが総合制作実習のテーマ設定で必要だと感じた。これからもモノづくりの面白さを実感できるテーマを取り入れて行きたい。

### 【参考文献】

- (1) 公益財団法人長寿科学振興財団、生涯スポーツとは、<https://www.tyojyu.or.jp/net/kenkou-tyoju/shintai-shumi/sports.html> 参照：2022 年 12 月。
- (2) 岡田勉、現代大学生の「ふれ合い恐怖的心性」と友人関係の関連についての考察、性格心理学研究、第 10 巻 第 2 号、2002 年、pp.69-84。
- (3) Valtteri Wikstrom, Katri Saarikivi, Mari Falcon, Tommi Makkonen, Silja Martikainen, Vesa Putkinen, Benjamin Ultan Cowley, Mari Tervaniemi, Inter-brain synchronization occurs without physical co-presence during cooperative online gaming, *Neuropsychologia*, 174, 2022 年 9 月。
- (4) 一般社団法人日本ボッチャ協会、日本ボッチャ協会競技規則 2021-2024 v.1、2021、pp.9-11。
- (5) 私立！ボッチャ学園、無料使用OK！ボッチャの写真です！、<http://boccia-dreams.net/2020/10/03/free-boccia/>、参照：2022 年 12 月。

- (6) アンカー・ジャパン株式会社、  
Anker ならではの安全性の追求 MultiProtect、  
<https://magazine.ankerjapan.com/technology/anker-safe-multiprotect-technology>、参照：2022 年 12 月。
- (7) GitHub、mjpg-streamer、  
<https://github.com/jacksonliam/mjpg-streamer>、  
参照：2022 年 12 月。