

# 金属3Dプリンタのリモートモニタリングシステム —MotionEyeOSを用いたモニタリング—

横山雄哉\*<sup>1</sup> 南部洋平\*<sup>2</sup> 都知木邦裕\*<sup>2</sup>

## Remote Monitoring System for Metal 3D Printers —Monitoring with MotionEye OS—

YOKOYAMA Yuya\*<sup>1</sup>, NAMBU Yohei\*<sup>1</sup>, TOCHIKI Kunihiko\*<sup>2</sup>

抄録

近年IoT技術の普及により、装置を離れた場所からモニタリングしたいという需要が高まっている。しかし中小企業がIoT技術を導入することはハードルが高いため、躊躇する企業も少なくない。本研究では中小企業のIoT化を支援することを目的として、Raspberry Piとスマートフォンを用いて装置の様子を離れた場所からモニタリングできる安価なシステムを構築した。そして、このリモートモニタリングシステムを金属3Dプリンタ付属の焼結装置とガスボンベ庫に対して導入し、システムの性能について検証した。

キーワード：IoT, Raspberry Pi, MotionEyeOS, リモートモニタリング

### 1 はじめに

IoT化の進んでいない中小企業においては、検査員が複数の遠隔地の装置を定期的に見まわり、装置に表示された値を記録することがある。この例では記録を取るために“現場に向く”という無駄な時間が生じてしまう。また、検査員が複数人必要など、人件費の面でも非効率的である。

SAITECで令和2年度に導入した金属3Dプリンタ(MetalX、Markforged社)は、造形装置、脱脂装置、焼結装置の3台で構成されている。そのうち焼結装置にはガスを供給する必要があり、ガス圧力を調整するためには、離れた場所にあるボンベ庫内に設置されたバルブを調整し、焼結装置の液晶に表示される供給ガス圧力を所定の範囲に収める必要がある。このバルブ調整には複数人による作業、あるいは一人で焼結装置とボンベ庫を往復する作業が必要になる。この焼結装置にリモートモニタリングシステムを導入することにより、1人であっ

\*<sup>1</sup>材料・機械技術担当

\*<sup>2</sup>機械技術担当

ても効率的に作業が行えるようにする。

### 2 実験方法

#### 2.1 システムの概要

前章で述べたように今回構築するシステムは遠く離れた場所でも1人で効率的に作業が進められるようにしなければならない。そこで今回はカメラデバイス(Raspberry Pi カメラモジュール)で取得した映像データをWi-Fiを経由してリアルタイムでモニタリングするシステムを構築した。構築にかかった費用は約25,000円であった(ただし無線ネットワーク構築費用を除く)。システム全体の概要図を図1に示した。

##### 2.1.1 モニタリングデバイス

受信した映像はWEBブラウザで表示させるため、端末はスマートフォンに限らず、パソコンやタブレットでも可能である。しかし、ガスボンベ庫のように常時パソコンの設置が難しい場所でのモニタリングするため、携帯性の良さからスマートフォンを選定した。

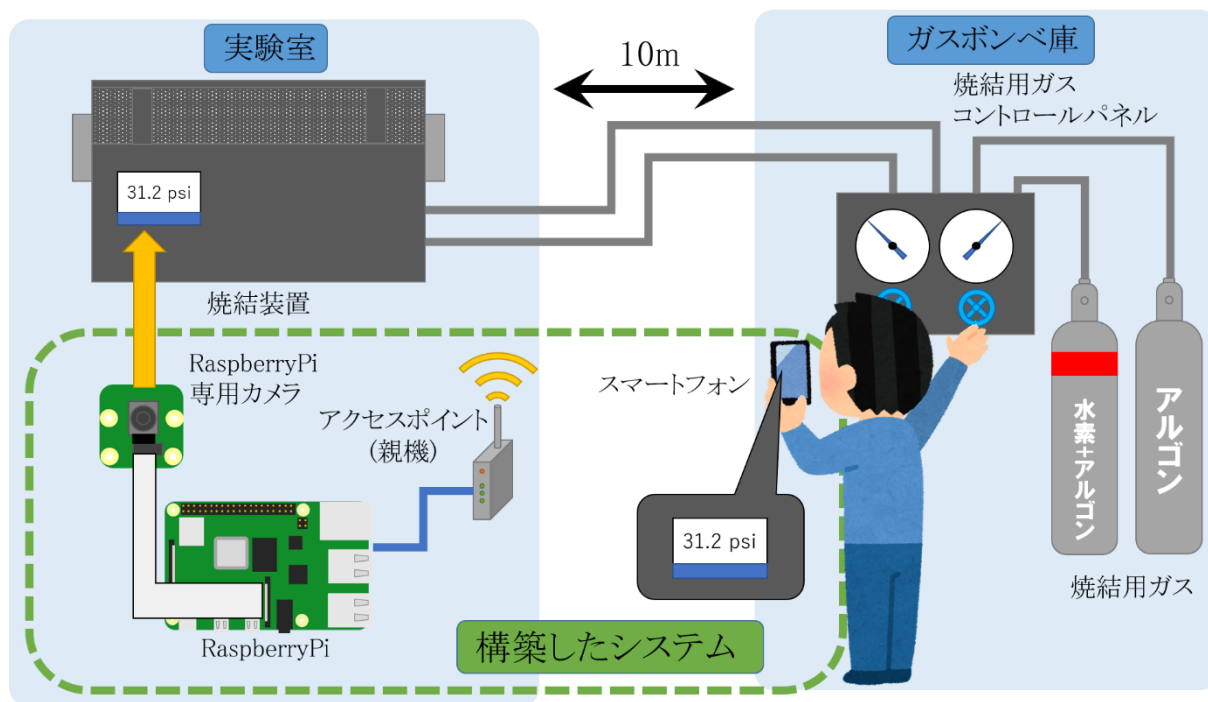


図1 構築したシステム

### 2.1.2 カメラデバイスと OS

Raspberry Pi は画像認識やデータベース構築など様々な用途で活用できるため、ニーズに応じてカスタマイズが可能である。カメラデバイスは IP カメラなどでも代用可能だが、カスタマイズ性の高さから Raspberry Pi と専用カメラの組み合わせを選定した。

OS は Raspberry Pi OS で構築する事も可能だが、Linux 向けソフトウェア”Motion”のインストールやコマンド操作による設定が必要となる。MotionEyeOS は”Motion”の機能だけに特化した OS であるため後から機能を追加することはできないが、コマンドによる設定は不要である。今回は IoT の導入が初めての中小企業を想定して MotionEyeOS を選定した。

### 2.1.3 RaspberryPi の固定方法

Raspberry Pi の固定方法は「マグネットによる固定」「両面テープによる固定」「治具による固定」などが考えられる。焼結装置の液晶画面はモニタリング終了後に操作する必要があるため両面テープによる固定を行うと操作ができなくなってしまう。また、液晶裏にはコンピュータ基板があるた

めマグネットで固定すると磁気の影響を受ける可能性がある。よって今回はアーム式のスマホスタンドを用いて Raspberry Pi を固定することにした。その様子を図 2 に示す。



図2 スマホスタンドによる固定の様子

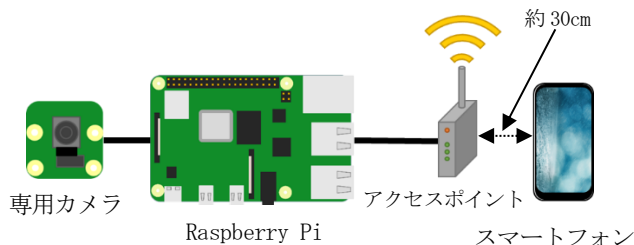
スマホスタンドはスマートフォンのような板形状を挟み込んで固定する構造のため、Raspberry Pi と専用カメラを固定するための治具(固定版)をアルミ板で作成してスマホスタンドに挟み込んだ。

## 2.2 ネットワークの構築

今回はスマートフォンを使用するため、無線 LAN を用いるが、障害物による電波強度の低下を可能な限り少なくするために Raspberry Pi とアクセスポイント間には有線 LAN を用いた配線を行った。焼結装置の液晶に表示された情報をはっきりと確認できる解像度について事前検討を行ったところ、解像度 720×480(以降 480p と略す)では小数点あるいはカンマといった似たような文字を判別することが厳しかったが、解像度 1280×720(以降 720p と略す)では判別が十分に可能だった。これらのことから 720p の映像が必要となることが分かった。720p の映像を問題なくリモートモニタリングができることを確かめるために次の 2 つの実験を行った。

### 2.2.1 フレーム転送の検討

スマートフォンの電波強度が強い状態(アクセスポイントの近く)で解像度 720p の映像を受信できるかを確かめるために、図 3 のような実験環境を作った。



スマートフォンのブラウザに表示されるストリーミングフレームレートを読み取り、設定フレームレートと比較した。

### 2.2.2 メッシュ Wi-Fi での電波コントロールの検討

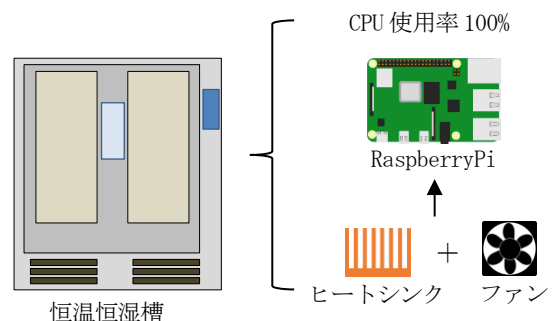
実際にはアクセスポイントとスマートフォンは離れた場所にあるため、電波強度が弱くなり、十分に映像を受信することができない。そこで受信

可能エリアを広げるため、メッシュ Wi-Fi 子機を増設した。メッシュ Wi-Fi は 1 台の親機周辺に複数台の子機を設置することで電波強度(受信可能エリア)を広げることができる。この電波強度の測定は、株式会社アイ・オー・データ機器が無料で配布しているスマートフォン向けアプリ”Wi-Fi ミレル”を用いた。ガスボンベ庫での映像受信に問題が無いことを確かめるため電波強度の測定を行った。なお、Wi-Fi の周波数帯は屋外での使用を想定して 2.4Ghz に制限した。

## 2.3 Raspberry Pi の冷却

Raspberry Pi の CPU はオーバーヒート(約 80°C に到達)すると周波数を低下させようとする保護機能が働き、映像を十分に処理できなくなる恐れがある。これを防ぐためにヒートシンクとファンを Raspberry Pi に搭載して空冷を行った。通販などで Raspberry Pi 専用のヒートシンクが手軽に入手できる。今回はこのヒートシンクと汎用 40mm ファンを装着した。

冷却の効果を確かめるため、恒温恒湿槽内に Raspberry Pi を設置して 0°C~80°C まで変化させながら周波数のデータを取得した。なお、映像処理等を実施している状態に近づけるため、CPU の使用率を 100%にするコマンド<sup>2)</sup>を実行させながら実験を行った。このイメージを図 4 に示した。



80°C 付近の環境で試験を行うため、ファンの固定は耐熱性の観点からアクリルケースではなくアルミ板を加工したものを使用した。実際の様子を図 5 に示した。

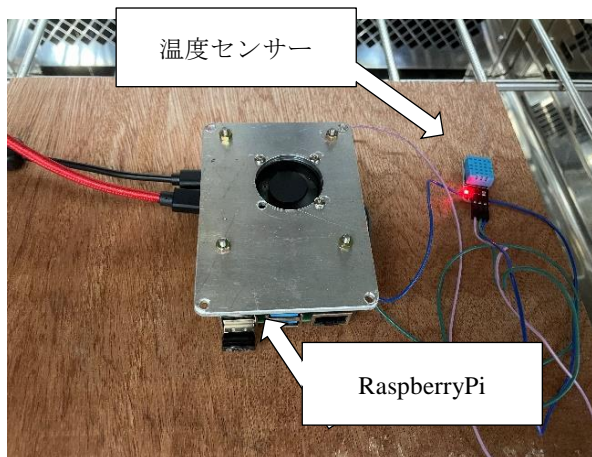


図5 恒温恒湿槽内での実験の様子

恒温槽内に Raspberry Pi を設置した後、stress コマンドを使用して CPU の負荷を 100% にしながら周波数の値をサンプリングした。ヒートシンクとファンを装着していない場合と、装着した場合の 2 パターンでサンプリングを行った。

## 2.4 Raspberry Pi の低消費電力化

Raspberry Pi の最大消費電力は 8.5[W]<sup>3)</sup> であるが、常時リモートを行う場合を想定して、できるだけ消費電力は低くしたい。今回採用した MotionEyeOS は監視カメラ機能に特化させた Linux ベースの OS であるため、設定変更できるのは映像に関する設定のみとなっている。一般的にフレームレートを低くすると使用電力も減るため、今回はフレームレートの変更によって消費電力を低減できるか検討を行った。

Raspberry Pi の映像処理の負荷を高めて消費電力を高くするため、カラーグラデーションの動画をスマートフォンで映し出し、カメラで撮影した。Raspberry Pi に供給される電圧を 5.5V 一定とし、共有した電流値を可視化するために直流安定化電源を用いた。実験全体の構成を図 6 に示した。

フレームレートを変化させて直流安定化電源の電流値を読み取った。

## 3 結果及び考察

### 3.1 ネットワークの検証結果

#### 3.1.1 フレーム転送の結果

解像度を 480p、720p、1080p それぞれに設定し

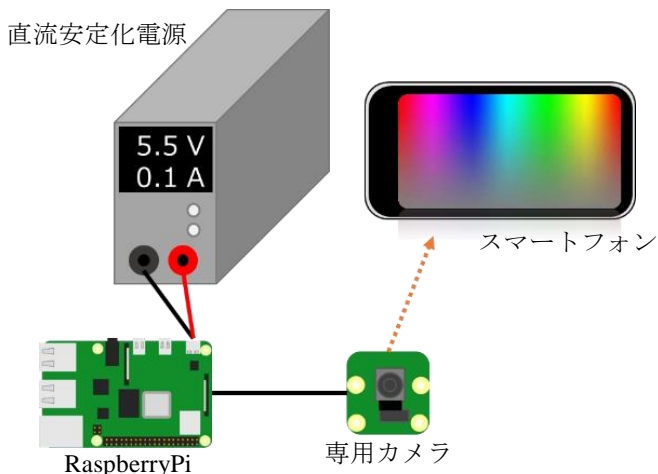


図6 実験全体の構成

たときのスマートフォン上に表示されるストリーミングフレームレートの値を測定した。設定したフレームレートの値に対する測定値をグラフにして図 7 に示した。なお、点線は理論値である。

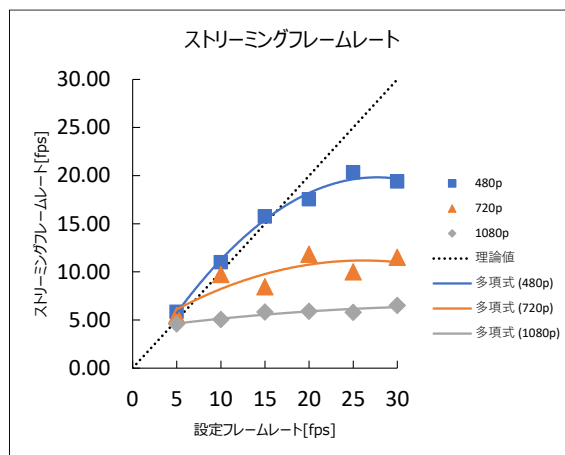


図7 ストリーミングフレームレート

この結果より、720p は 10fps までであれば設定値通りの結果が出ることが分かった。産業機器の液晶モニタに表示される映像は、温度や位置などの数値を表示するために使われることが多く、高フレームレートで表示すると視認することが難しいため低フレームレートで表示している。実際、焼結装置の液晶は約 1fps で表示されている。また、SAITEC 所有の塩水噴霧器や恒温恒湿室などに表示される 7 セグメントディスプレイのメータも、約 3fps 未満であることが多い。よって液晶モニタの表示をモニタリングするには 10fps で十分であると考えられる。



### 3.1.2 メッシュ Wi-Fi での電波コントロールの結果

親機 1 台のみ設置した時の電波強度を図 8、子機 2 個を追加で設置したときの電波強度を図 9 に示した。

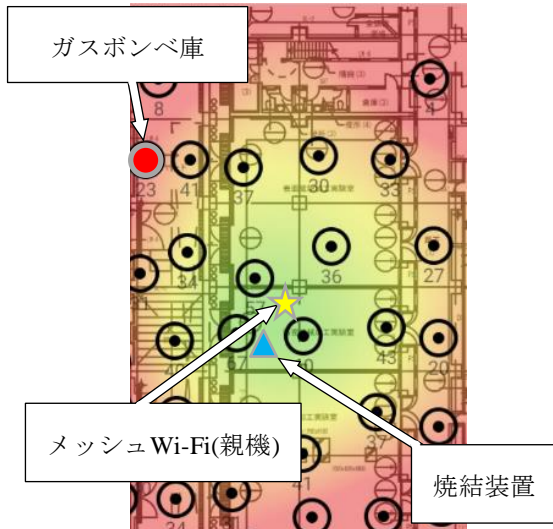


図 8 電波強度(親機 1 台)

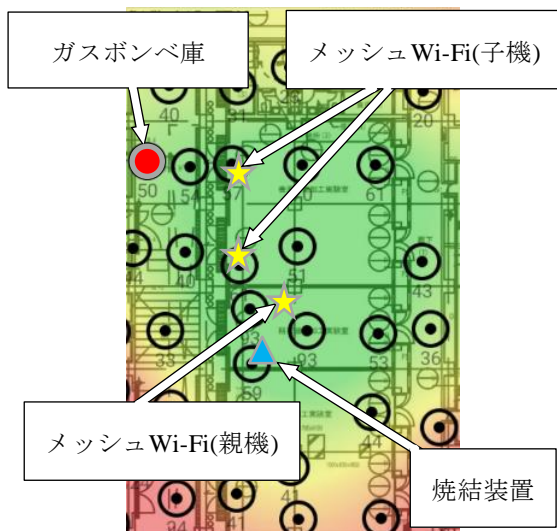


図 9 電波強度(親機 1 台+子機 2 台)

子機を増設することで親機周辺の強い電波(緑)がボンベ庫にまで及んでいる事が図 9 から分かる。実際にボンベ庫からスマートフォンでモニタリングした結果、設定通り(720p かつ 10fps)の映像がスムーズに受信できることを確認した。

### 3.2 冷却の検証結果

サンプリングの結果を図 10 に示した。ヒートシンクとファンによる冷却を行わなかった時は 40℃以上の温度環境下で周波数の低下が見受けら

れた。一方、冷却を行った時は 50℃まで周波数の低下は発生しなかった。

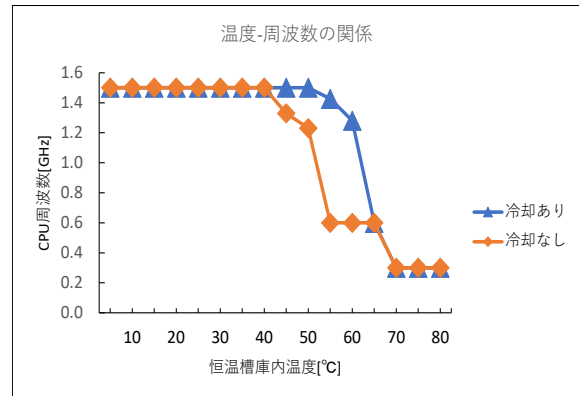


図 10 温度-周波数の関係

50℃を超えない環境であれば、ヒートシンクとファンを取り付けて冷却を行うだけで周波数低下は防げると考えられる。

### 3.3 Raspberry Pi の低消費電力化の検証結果

測定した電流値を元に消費電力を計算して結果を図 11 示した。

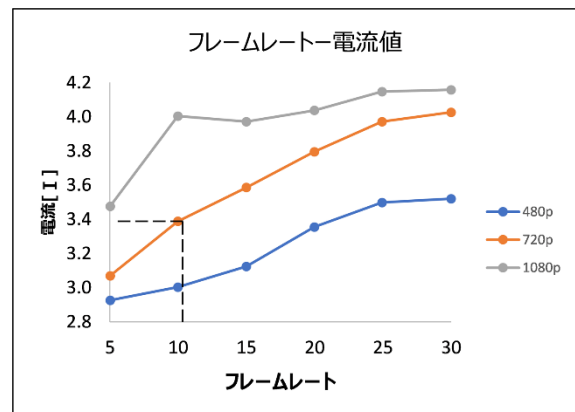


図 11 フレームレート-電流値

720p かつ 10fps に設定することで消費電力は約 3.4[W]であることがわかった。MotionEyeOS はインターフェースが CUI であるため消費電力は比較的低い。他にシステム上変更できる箇所もなく、フレームレートの制限で最大消費電力の半分以下に電力を抑えられることから、3.4[W]は十分に低い消費電力であると判断した。

### 3.4 システム導入後の効果

システム導入後のガスボンベ庫内での作業の様子を図 12 に示した。



図 12 システム導入後のガスボンベ庫での調整

構築したリモートモニタリングシステムを用いてガスボンベ庫で作業を行うことで作業時間がどのくらい短縮できるかを測定した。ガス調整に要した時間をシステム導入前後で測定し、表 1 に示した。

表 1 調整時間

	モニタリング無	モニタリング有
アルゴンガス	237秒	185秒
水素+アルゴンガス	411秒	256秒

アルゴンガスの調整は 22%、水素+アルゴンガスの調整は 38%の調整時間短縮ができた。時間の節約だけでなく、バルブの開けすぎにも気付くことができる利点もあった。焼結装置のガス調整機能は液晶に表示される指示に従ってガスの開放(減圧)を行った後、目的のガス圧の範囲内に収まるまで昇圧させる作業工程になっている。この昇圧の工程はシステムの都合上、減圧調整が行えず不可逆的な作業になっている。システム導入後はバルブの開けすぎに直ぐに気が付くことができるので、バルブ開けすぎによる作業のやり直しが無くなった。

#### 4 まとめ

(1)解像度を 720p、フレームレートを 10fps に設定して、メッシュ Wi-Fi で電波をコントロールすることで、離れた場所の様子を問題なくモニタリングできるようになった。

(2) Raspberry Pi 専用ヒートシンクと汎用のケースファンを用いることで周辺温度 50℃まで周波数の低下は発生しなかった。

(3)解像度、フレームレートを(1)のように設定することで最大消費電力の 40%程度の電力で駆動させることができた。

(4)焼結装置とガスボンベ庫に対してリモートモニタリングシステムを導入することで 22%~38%の作業時間を削減することができた。

(5)離れた場所からモニタリングだけではなく、操作もできるようにするという課題も残されている。今後は遠隔地からの操作も含めたリモートシステムについて探求する必要がある。

#### 参考文献

- 1) GitHub,  
<https://github.com/ccrisan/motioneyeos/wiki/FAQ#whats-the-deal-with-snapshot-url-streaming-url-and-embed-url>,2021.4.20
- 2) Qiita,  
<https://qiita.com/nram/items/b59dba4309e688256793>,2021.10.5
- 3) IO-DATA,  
<https://www.iodata.jp/product/pc/raspberrypi/ud-rp4b/spec.htm>,2021.11.4