

IoT技術を活用した焼成炉内温度分布のリアルタイム可視化に関する可能性調査

陶磁器科 稲尾 恭敬、吉田 英樹、山口 英次

要約

ガスバーナーを熱源とする陶磁器製造用焼成炉内の温度分布をリアルタイムに計測・記録した事例はほとんどない。そこで、本研究では焼成炉内温度分布のリアルタイム可視化を目的に、ラズベリーパイを用いて温度センサーから取得したデータを蓄積するための機器を調査し、調査した機器を用いて炉内温度分布のリアルタイム可視化を試みた。本研究の成果としては、電気炉及び 0.1m³ ガス焼成炉に温度センサーを設置し、ラズベリーパイにて温度データを蓄積することが出来ることを確認し、その温度データはタブレット端末等を用いて遠隔でリアルタイムに可視化できる体制を構築した。

キーワード：電気炉、ガス焼成炉、温度センサー、熱電対、ラズベリーパイ、リアルタイム可視化

1. はじめに

本県の陶磁器産地において日用食器の量産にはガス焼成炉が導入されている。産地における陶磁器製造用の焼成炉は、ガスバーナーを熱源とし、焼成温度とともに酸素及び CO 濃度も制御し、磁器製造に特有の還元雰囲気下で焼成が行われている。焼成炉は、熱源であるガスバーナーと炉内の上、中、下段の場所の温度履歴から熱カロリー差が生じていることはわかっている。我々が知る限り、炉内全体の温度変化をリアルタイムに計測・記録した事例はほとんどない。そこで、本研究では、温度センサーから取得したデータを蓄積するための機器を調査し、調査した機器を用いて炉内温度分布のリアルタイム可視化を試みた。

2. 研究内容

2.1 温度測定機材

図1は、本試験で使用した IoT センサーを示す。福岡県工業技術センターから提供頂いた IoT 導入支援キットのプログラムをラズベリーパイ (Pi-4gb-StarterKit) にインストールし、温度センサーを接続した。センサーから取得したデータは、ウェブブラウザから Node-RED (オープンソースソフトウェア) を開くことで、リアルタイムにデータを取得できているか確認した。

温度センサーは、K 型熱電対を使用した。ラズベリーパイと各種熱電対を繋ぐため、温度センサモジュールを用いた。ラズベリーパイにて測定した温度データとの比較のため、データロガー (ダイアノド製 RTR-500DC) を用いた。

CO ガス濃度の測定は、CO ガスセンサー (理研機器製 RI-557) を使用し、ラズベリーパイに接続

したウェブカメラで濃度表示部の数値を読み取った。

2.2 電気炉試験

電気炉の外観及び K 型熱電対を設置した写真を図 1 に示す。IoT センサー(図 2)を電気炉に設置し、ラズベリーパイにて酸化焼成における温度データの蓄積を確認した。本試験では電気炉の焼成は昇温速度 100°C/min、酸化雰囲気下 1300°C で焼成した。

2.3 0.1m³ ガス焼成炉試験

2.3.1 温度計測

0.1m³ ガス焼成炉とその内部を図 3 に示す。図 3 に示すように温度センサーを焼成炉中央部に設置、ラズベリーパイにて還元焼成における温度データの蓄積と、蓄積した温度データを遠隔より Node-Red でリアルタイムに動作確認した。0.1m³ ガス焼成炉での温度計測試験は SK10 (1300°C) 還

元焼成で行った。

2.3.2 室温、湿度、気圧の計測

焼成炉付近の室温、湿度、気圧の計測は、焼成炉から 1.6m の場所に温湿度圧力計(アズワン製 RHT-50)を設置し測定を行った。

2.4 試験後の K 型熱電対表面観察

K 型熱電対の耐久性は、デジタルマイクروسコープ(ニコン製 P-400R)にて焼成試験後に外観検査を行った。

3. 結果と考察

3.1 温度測定機材

図 4 は、PC のウェブブラウザから Node-RED のページにアクセスし、温度のリアルタイム表示画



図 1 電気炉の外観(左)と上部へ熱電対設置の様子(右)

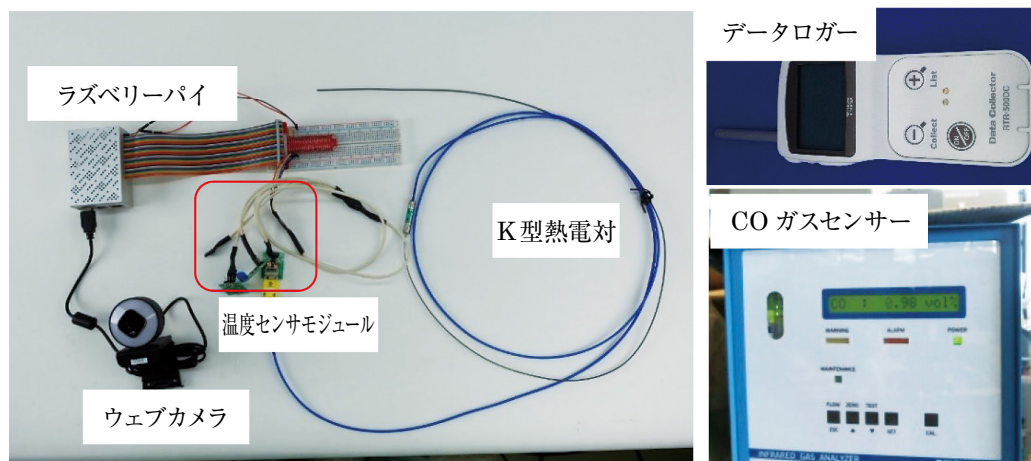
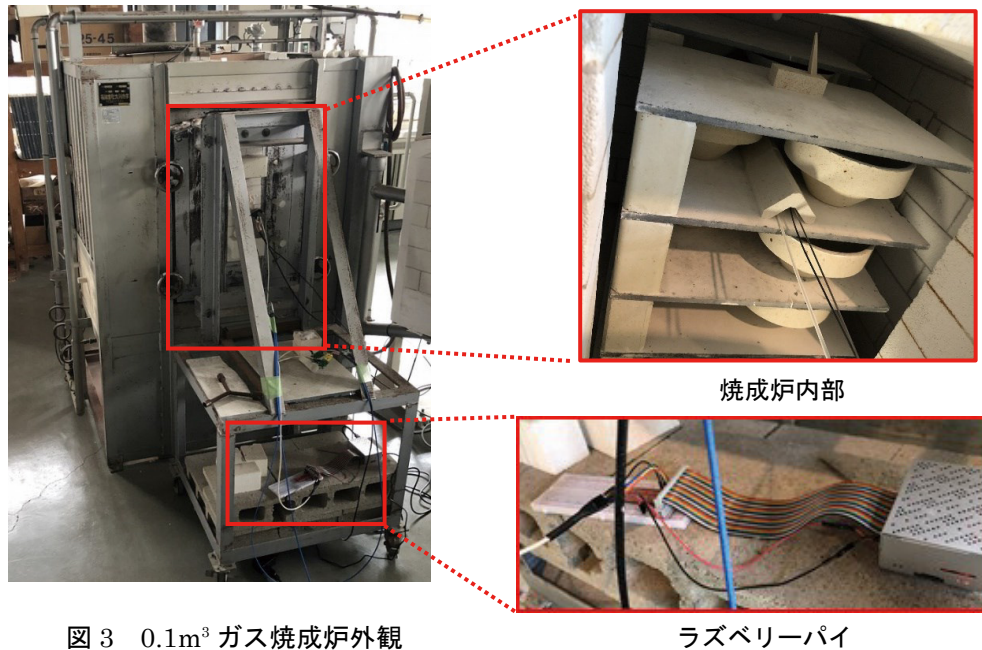


図 2 IoT センサー

図3 0.1m³ ガス焼成炉外観

ラズベリーパイ

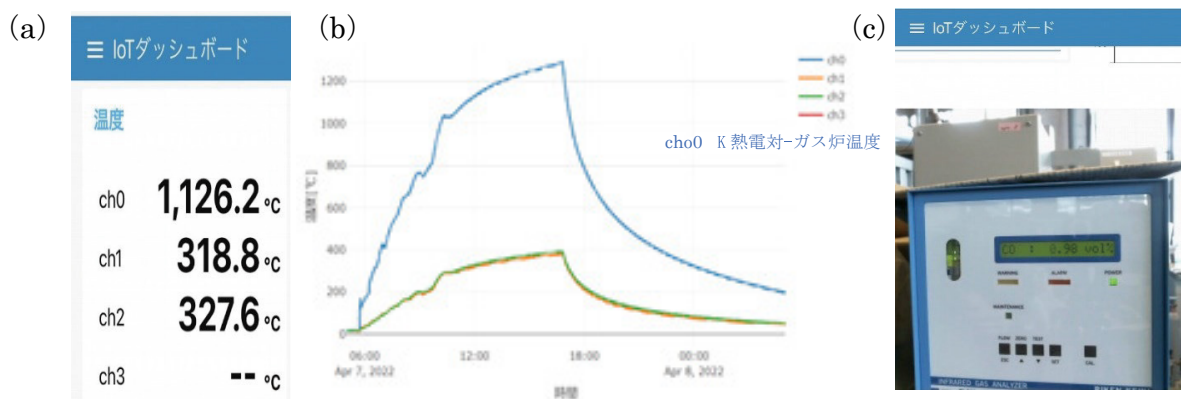


図4 Nodo-RED ページ画面 ((a)リアルタイム表示画面、(b)温度変化、(c)カメラ映像)

面及び温度変化、カメラ映像を示す。

この画面は PC 以外にもタブレット端末、スマートフォン、いずれのブラウザからも遠隔で確認することができた。

3.2 電気炉における温度計測試験

電気炉焼成試験結果を図 5 に示す。

電気炉で設定した焼成パターンを緑点線で示す。データロガーに接続した K 型熱電対の温度データ(赤実線) 最高温度は 1216°C であった。このように設定温度 1300°C に到達していないということがリアルタイムで確認することができた。

一方、ラズベリーパイに接続した K 型熱電対の

温度データ(青実線) は最高温度 1070°C であった。この原因については 3.4 項で後述する。

3.3 0.1m³ ガス焼成炉試験

3.3.1 温度計測

0.1m³ ガス焼成炉の焼成試験結果を図 6 に示す。K 型熱電対の温度データは、ラズベリーパイ及びデータロガーで取得した。最高指示温度はそれぞれ 1297°C 及び 1304°C を示した。いずれも、目標温度 1300°C 近傍であることを確認した。

CO 濃度は、あぶり(900°C) から攻め(1000°C)に入ったあたりから、CO 濃度が 5.2vol% まで上昇した。これは、熱気の流れを止める板であるダン

パーを 950℃ から閉めたことで、炉内への空気の流入がなくなり、不完全燃焼で CO が発生したためである。その後、あげ火 (1300℃) 時点で 3.7vol% まで緩やかに下降したことが確認できた。

このことから、ウェブカメラを CO 計に設置することによりリアルタイムで監視することができた。

3.3.2 室温、湿度、気圧の計測

0.1m³ ガス焼成炉の焼成試験時の、室温、湿度、気圧の測定データを図 7 に示す。

あぶり (900℃) から攻め (1000℃) に入ったあたり、図 7 の経過時間が 6h ~ 9h あたりから、気圧、

湿度が低下、室温がわずかに上昇した。炉内温度が 12h 経過時に最高温度を示したとき、気圧、湿度が極小、室温が極大を示した。

3.4 試験後の K 型熱電対表面観察

本試験で用いた K 型熱電対はデジタルマイクロスコープを用いて表面状態を観察した (図 8)。

使用回数 1 回のみ K 型熱電対は、酸化被膜の生成が確認された。一方、使用回数が複数回では、熱電対の表面は膨張や破損が確認されたことから温度異常を示したと考えられる。

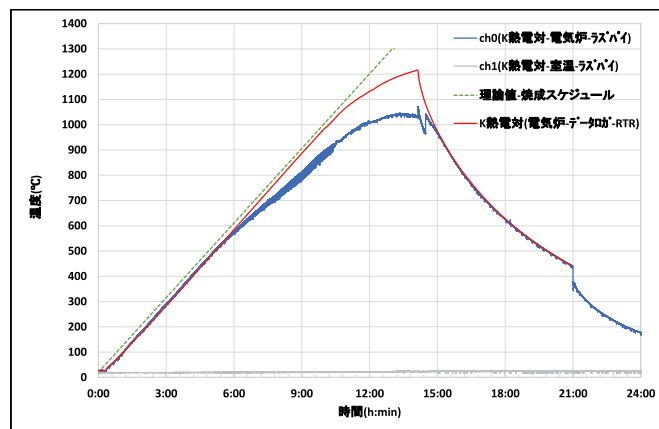


図 5 電気炉の焼成試験結果

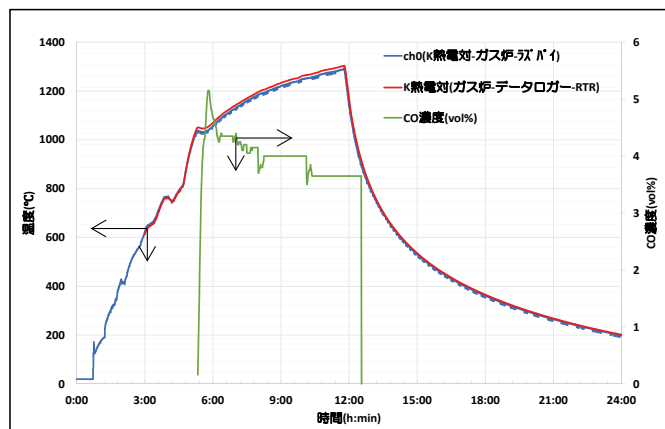


図 6 0.1m³ ガス焼成炉の焼成試験結果

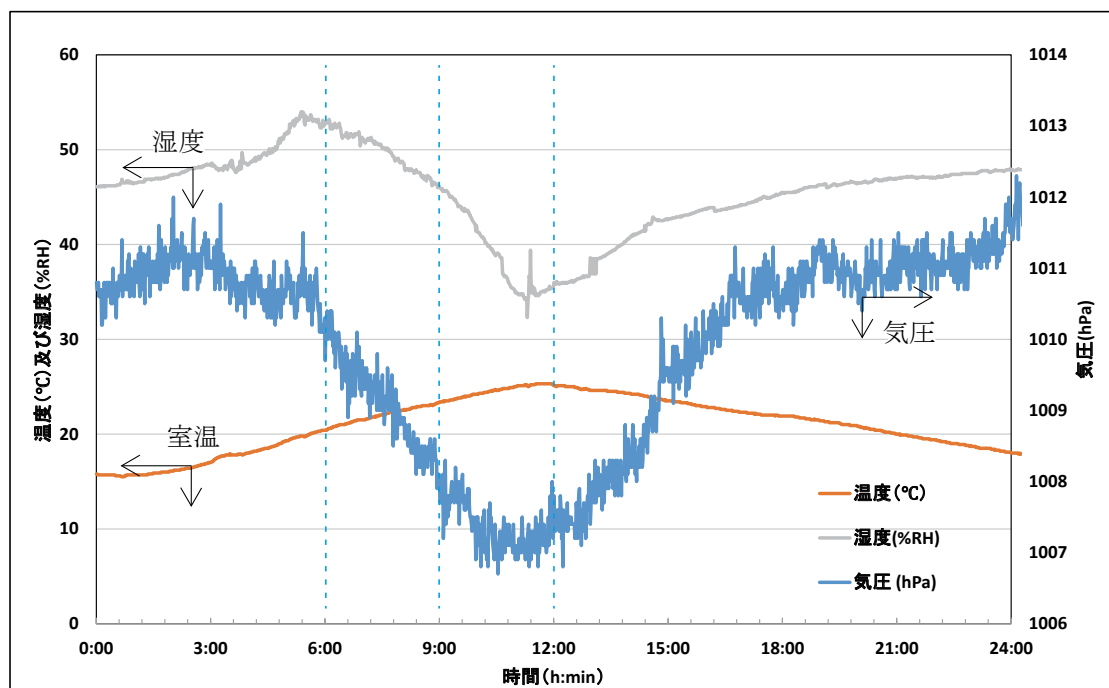


図 7 0.1m³ ガス焼成炉焼成試験時、室温、湿度、気圧を取得したデータ

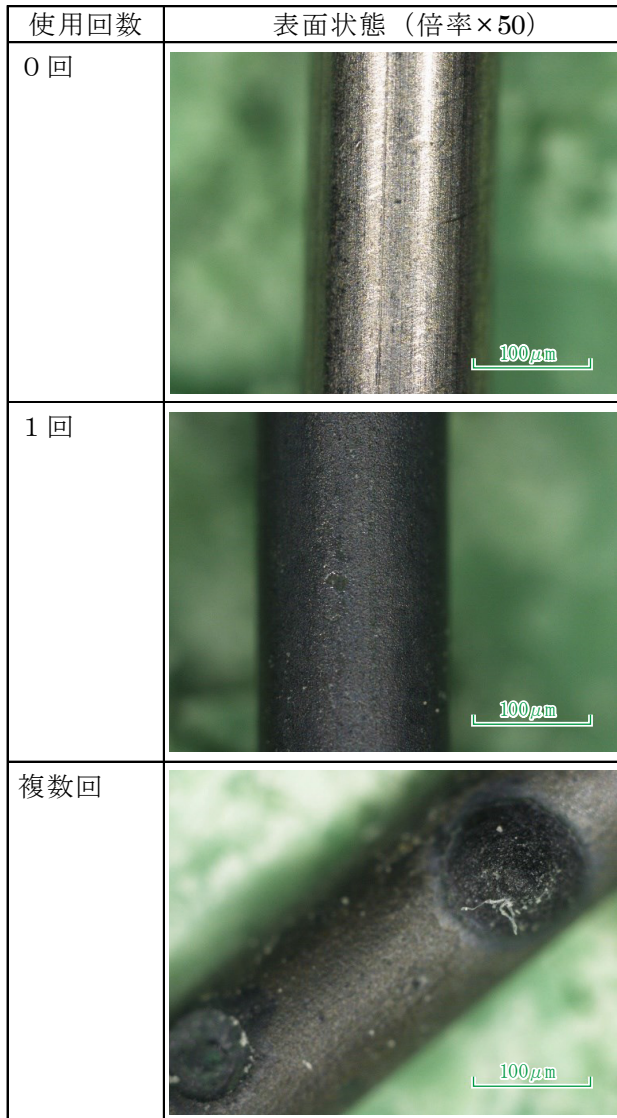


図8 K型熱電対のデジタルマイクロスコープ観察

4. まとめ

本研究では、温度センサーと、センサーから取得したデータを蓄積するための機器を調査した。また、調査した機器を用いて炉内温度分布のリアルタイム可視化を試みた結果、以下の知見を得た。

- (1) IoT センサーから取得した温度のリアルタイム表示画面は、PC やタブレット端末、スマートフォン、いずれのブラウザからも Node-RED のページにアクセスすると、確認することができた。
- (2) IoT センサーを電気炉に設置し、1300℃ の酸化焼成を行った結果、データロガーに接続した

K 型熱電対の温度データは最高温度 1216℃ を示した。このように設定温度 1300℃ に到達していないということがリアルタイムで確認することができた。この温度のズレは、熱電対保護管の劣化によるものと判明した。

- (3) IoT センサーを 0.1m³ ガス焼成炉に設置し、SK10 還元焼成を行った結果、得られた温度データは、目標温度 1300℃ 近傍であることを確認した。
- (4) CO ガスセンサーに表示された CO 濃度をウェブカメラで読取る試験を実施した結果、CO 濃度はあぶり (900℃) から攻め (1000℃) に入ったあたりから、CO 濃度が 5.2vol% まで上昇、その後あげ火 (1300℃) 時点で 3.7vol% まで緩やかに下降したことが確認できた。
- (5) 0.1m³ ガス焼成炉の SK10 還元焼成時の室温、湿度、気圧を測定したところ、炉内温度が最高温度を示したとき、気圧、湿度が極小、室温が極大を示した。
- (6) 電気炉試験で温度異常が認められた K 型熱電対をデジタルマイクロスコープで観察したところ、膨張や破損を確認した。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、IoT 支援キットをご提供頂いた福岡県工業技術センター各位、IoT 支援キットの操作方法及び温度センサー接続用の回路作成に御協力頂いた長崎県工業技術センター各位に深く感謝いたします。

文 献

- 1) 福岡県工業技術センター IoT 導入支援キットダウンロードページ
<https://www.fitc.pref.fukuoka.jp/information/downloadpage.htm>