

陶磁器分野におけるAI、IoT活用技術の開発(その2)

陶磁器科 稲尾恭敬、吉田英樹、山口英次

要 約

焼成炉内温度分布のリアルタイム可視化技術を確立するため、本研究では0.5m³ガス焼成炉の上段、中段、下段で各5点ずつ、計15点にR型及びK型熱電対を配置し、接続したラズベリーパイ及びデータロガーにて多点温度データのリアルタイム可視化とデータ蓄積を行うことができた。また蓄積した多点温度データは遠隔にてパソコンやスマートフォンでリアルタイムに閲覧できることを確認した。

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

1. はじめに

前報¹⁾において、0.1m³ガス焼成炉内の上段、中段、下段の3点温度分布およびCO濃度のリアルタイム可視化システムを構築した。

今年度は、温度分布のリアルタイム可視化システムのスケールアップを図るため、当センターが保有する0.5m³ガス焼成炉に対して15点同時に温度分布測定可能なシステムの構築を試みた。

2. 実験方法

温度測定対象として強制バーナー2本を有する0.5m³ガス焼成炉（炉内寸法：幅850mm、高さ700mm、奥行き850mm）を選定し、図1の丸数字部分の温度を取得できるように窯積みしながら熱電対を配置し、ラズベリーパイ及びデータロガーに接続した。

上、中、下段の中心（図1中③、⑧、⑬、以下丸数字は図1中の配置場所を示す）にR型熱電対を配置し、それ以外の12カ所にはK型熱電対を配置した。データロガー（グラフテック製GL200A）には前記R型熱電対3本とK型熱電対6本（①、②、④、⑤、⑥、⑨）を接続し、2台のラズベリーパイにはK型熱電対を3本ずつ（No.1：⑦、⑩、⑮ No.2：⑪、⑫、⑭）、計6本を接続した。

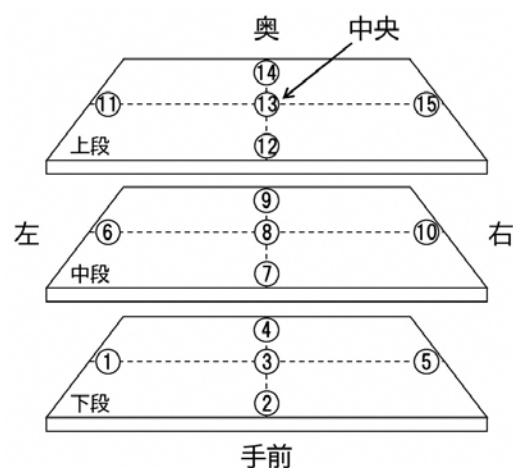


図1 熱電対の配置図

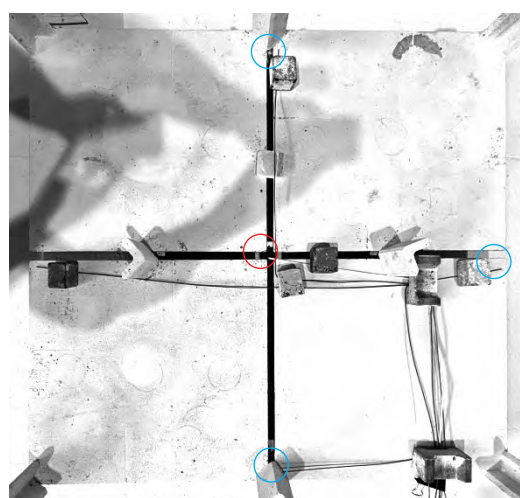


図2 熱電対の配線例（上方から撮影）
（○はK型、○はR型の配置場所を示す）

図2に熱電対を実際に配置した様子(上方から撮影)を示す。焼成物の配置に極力影響を与えないように考慮しながら、手前と奥、及び左右にK型熱電対を配置し、中心にはR型熱電対を配置した。

窯積みを完了した様子を図3に示す。今回は焼成品のダミーとして碗形状の焼成体と5寸皿の焼成体を配置した。1段目(下段)は碗25個と熱電対を配置し、2～3段目は碗28個、4段目(中段)は碗25個と熱電対、5段目は碗28個、6～7段目は5寸皿20枚、8段目(上段)は5寸皿17枚と熱電対をそれぞれ配置した。

図4にセッティングを完了した測定機材の全体像を示す。データロガーはネットワークに直接接続できなかったため、図中に示すようにデータロガーの温度表示画面をノートPCに接続したwebカメラで映像入力した。

図5は、図4のセッティングのうちラズベリーパイ2台及びwebページ確認用ノートPCを示す。ラズベリーパイには、ブレッドボードを介して

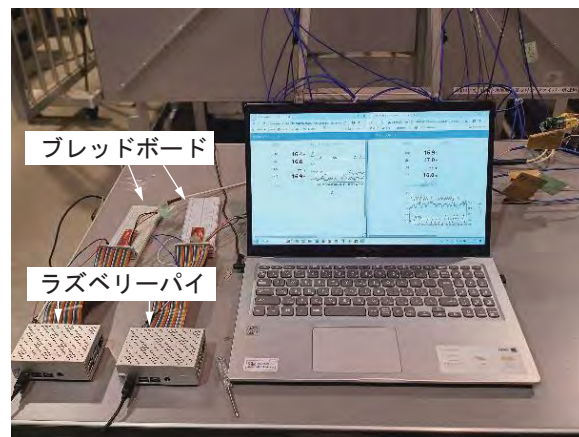


図5 ラズベリーパイとモニタリング用PC部分

熱電対を接続した。各種データは、PCやタブレットなどのwebブラウザからラズベリーパイ上のNode-REDで生成したwebページにアクセスすることで、リアルタイムに取得データを閲覧できるか確認した。

以上のようなセッティングのもとで、SK10(1300℃)還元焼成で温度計測試験を実施した。

3. 結果と考察

各配置場所で示された最高温度の比較を図6に示す。最も高くなった場所は中段の中央⑧と奥⑨、最も低くなった場所は上段奥⑭であった。従来、焼成炉の中心は燃焼炎から最も遠く、また周囲を製品で囲まれているため一般的に最も低くなると考えられているが、今回の試験ではそれに反する結果となった。

図6中の赤枠で囲った配置場所の温度データ(⑦、⑩、⑪、⑫、⑭、⑮)はラズベリーパイ+K型熱電対で取得したもので、1258～1278℃

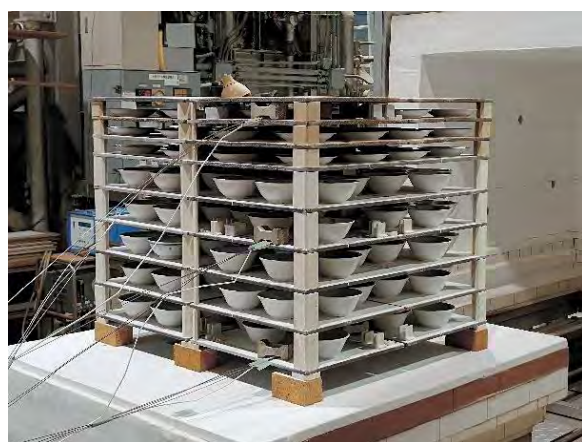


図3 窯積みの様子



図4 測定機材セッティングの様子(全体)

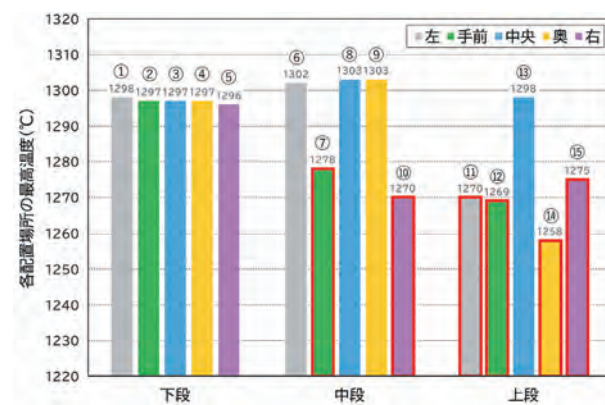


図6 各配置場所の最高温度の比較
(赤枠はラズベリーパイで取得したデータ)

と軒並み1280℃を下回る結果であった。一方、上中下段の中央部に配置したデータロガー+R型熱電対(③、⑧、⑬)は1297~1303℃、データロガー+K型熱電対(①、②、④、⑤、⑥、⑨)は1296~1303℃の範囲で、ラズベリーパイとデータロガーでは得られた温度データに明らかな差異が認められた。

図7にデータロガー及びラズベリーパイで取得した温度グラフの一例を示す。データロガーで取得した温度グラフはなめらかな温度変化を示しているのに対し、ラズベリーパイの温度グラフには段差や細かい上下動などが記録されており、データロガーのデータとは明らかに異なる挙動が認められる。この原因は現段階では不明であるが、ラズベリーパイ本体と熱電対モジュールは、図5に示すようにブレッドボードと呼ばれる容易に端子を抜き差し可能な基板を介して簡易的に接続していることから、接続端子がむき出し状態となっている。そのため、端子部分の接触不良や電氣的ノイズなどが入り込んだ可能性が考えられる。

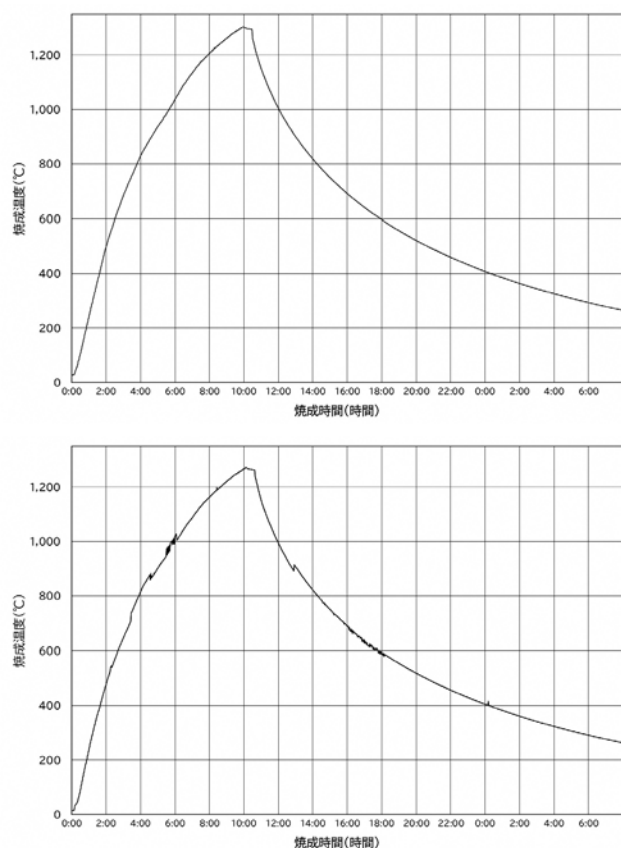


図7 取得した温度グラフ
(上：データロガー⑨、下：ラズベリーパイ⑩)

今後継続的に温度試験していく中で、ラズベリーパイの接続端子の改善やR型、K型の配置場所変更などを行いながら、測定機材の特性差の影響についても検討したい。

以上、ラズベリーパイの取得データに不確定要素はあるものの、ラズベリーパイで取得したデータは、PCやタブレットなどのwebブラウザからラズベリーパイ上のNode-REDで生成したwebページにアクセスすることで、リアルタイムに取得データを閲覧できた。また、データロガーとwebカメラを組み合わせることによりリアルタイムで多チャンネルの温度を監視することができ、窯の上段、中段、下段に対して炉内温度分布の15点同時リアルタイム可視化システムを構築できた。本システムを用いて窯の多点温度分布データが収集できれば、製品の積み方の最適化や製品品質の安定化に役立つことが期待できる。

今後、産地企業が所有する量産用ガス焼成炉への適用も引き続き検討を進めたい。

4. まとめ

本研究では、0.5m³ガス焼成炉の上段、中段、下段にK型及びR型熱電対を合計15カ所に設置し、SK10還元焼成を行った結果、以下の知見を得た。

(1) 各熱電対配置場所で作された最高温度を比較した結果、最も高くなった場所は中段の中央と奥、最も低くなった場所は上段奥であった。

(2) 各測定機材で得られた温度データを比較した結果、ラズベリーパイはデータロガーに比べて20℃ほど低い温度を示した。

(3) データロガーとラズベリーパイでそれぞれ取得した温度グラフを比較したところ、ラズベリーパイの温度グラフには段差や細かい上下動など、データロガーのデータとは明らかに異なる挙動が認められた。これはラズベリーパイと熱電対の接続に用いたブレッドボードや熱電対モジュールの特性が影響していることが考えられる。

(4) ラズベリーパイの取得データに不確定要素はあるものの、0.5m³ガス焼成炉内の上段、中段、下段の温度分布を15点同時にリアルタイムで可視化できるシステムを構築することができた。

今後は、接続端子の改善などを行いながら、測定機材の特性差の影響についても検討したい。

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。

参考文献

- 1) 稲尾恭敬、吉田英樹、長崎県窯業技術センター研究報告、No.70、20-23（2022）