

IoT 機器を用いた麺の簡易乾燥*

武山 進一**

小規模での乾麺製造における麺の調湿乾燥に、家庭用除湿機等の機器を用いる方法を検討した。シングルボードコンピュータ Raspberry Pi で、各種センサーからの情報を収集しながら、除湿機および加湿器の運転を制御することで、麺の変形を抑えるための緩慢乾燥を可能とし、簡易的な麺の乾燥方法を確立した。

キーワード：IoT 機器、Raspberry Pi、麺、簡易乾燥

Simple Drying of Noodles Using IoT Devices

TAKEYAMA Shinichi

Keywords: IoT devices, Raspberry Pi, Noodle, Simple Drying

1 はじめに

乾麺の製造には通常、調湿機能を有する乾燥設備が必要であるため、当センターでの麺に関する試験研究は生麺にとどまり、乾麺に関しては行なえない状況にあった。常温での麺の乾燥に関しては、いかに緩慢な調湿乾燥を行えるかが重要であり、単純にエアコンを除湿モードで稼働させて麺の乾燥を行なうと、乾燥途中で麺線が大きく変形してしまい市販品の様な直線状の麺線にならないことは経験済みであった。湿度を徐々に低下させる手段をネックと考えていたところ、IoT (Internet of Things) 機器の一種で、無線方式でスイッチ操作する機器の存在を知る機会があった。これを温湿度センサーが接続可能なシングルボードコンピュータと組み合わせることで、除湿機等の機器の運転操作をプログラム化し、麺の調湿乾燥に利用できると考えた。

シングルボードコンピュータ Raspberry Pi4 (以下、Raspberry Pi4) はその基盤上に GPIO (汎用入出力) ポートが設けられ各種センサー部品の接続が可能で、その具体的な方法に関しては各種書籍の他にインターネットブログ等で多数紹介されている。また、無線方式で家電製品等のスイッチ操作が行える機器に関しては、スマートフォン(アプリ)等からの操作が一般的ではあるが、Raspberry Pi4 から操作するためのプログラムソースがブログ等で紹介されている。これらの情報をもとに、両者を組み合わせることで、目的とする機器類の運転制御が可能になると考えた。

本研究では、一般向け家電製品である衣類乾燥用除湿機ならびに加湿器を用い、その運転制御に安価な IoT 機

器として関心が高まっている Raspberry Pi4 を利用することで、湿度制御による自然乾燥法で麺の乾燥方法を検討した。

2 実験方法

2-1 製麺方法

麺の原料は、小麦粉「オリンピック」、岩手県小麦粉「ゆきちから」、「銀河のちから」(いずれも府金製粉株式会社製)を使用。原料粉 3 kg ないし 1 kg スケールで、食塩 2% (対粉)、加水率 31~34% の配合とし、切刃 16 番角、麺帯 1.3~1.4 mm 厚でロール製麺した。なお、食塩量は、冬期においては、4% (対粉) に変更して製麺した。

製麺後の麺は直ちに竿(ステンレス製パイプ)に掛け、その竿を大型のステンレス製室内物干しに固定し、その際に麺線の長さを約 3 m (片側約 1.5 m) に調整して麺を切断した。

2-2 実験環境

乾燥室には、広さ 21 m² (約 13 畳) の実験室を充てた。窓(南西側)はカーテンで直射日光が射し込まない様に対策するとともに、天井に設けられた通気用開口部 2ヶ所は段ボールで塞ぎ、通気を遮断した。

麺の乾燥に要する時間は 10 数時間以上に及ぶことから、作業効率を考慮し製麺を午後に行い、直ちに乾燥を開始し翌朝迄行なうこととした。この夜間乾燥時の室温については、その日の天候や季節の影響を受けることとなった。特に、秋後半~冬の期間中は 20℃ を下回る低温と低湿度の環境となった。このため冬期においては、室温確保のため実験室備え付けのエアコンで暖房(室温設

* 令和 3 年度技術シーズ創生・発展研究事業 可能性調査研究

** 食品技術部

定 23℃) するとともに、その風が直接麺に当たることを回避するため、乾燥に用いる物干しを高さ 1.8m のパーティションで囲みそれをポリエチレンシートで覆うことでビニルハウス状態とし、機材類はその内部に設置した。

試験は、6 月から開始しており前記した冬期間対策前迄を常温環境、それ以降を冬期環境と区別し、それぞれの実施内容を記すこととする。

2-3 水分測定

原料の小麦粉と麺の水分測定は、水分測定用アルミ製容器を用いる方法により 135℃、1 時間乾燥、茹でた麺の水分測定は、アルミ箔袋を用いる方法¹⁾により 135℃、2 時間乾燥で測定した。

2-4 湿度調整用の機器

除湿には、サーキュレーター衣類乾燥除湿機 IJDC-K80 (アイリスオーヤマ製) を用いた。その除湿機操作パネル部の運転ボタン、風力切替えボタン部分には、無線式スイッチ操作機器 SwitchBot ボット (SwitchBot 株式会社製) を取付け、機器制御用コンピュータから無線 (Bluetooth 方式) でそれらのボタンを操作した。

加湿には、気化ハイブリッド加湿器 HVH-700R1 (アイリスオーヤマ製) を用い、除湿機同様に電源ボタン、モード選択ボタン部分には無線式スイッチ操作機器を取付け、遠隔操作した。

2-5 機器制御用コンピュータ及び各種センサー

機器制御用コンピュータには、Raspberry Pi4 Model B(4GB) を用いた。OS 及び必要とするソフトウェア、ライブラリ類はインターネット接続してインストール、ならびに環境整備した。

Raspberry Pi4 には、温度湿度測定のための高精度温度湿度センサー SHT31 (SENSIRION 社製)、麺の乾燥時の麺重量測定のための 2 kg 用ロードセル(シングルポイント、ビーム型、Sensor and Control Company Limited. 製) を、それぞれ GPIO ポート経由で接続し、また麺の乾燥状態撮影用として C270n HD ウェブカメラ (ロジクール製) を USB 接続した。接続構成を図 1 に示す。

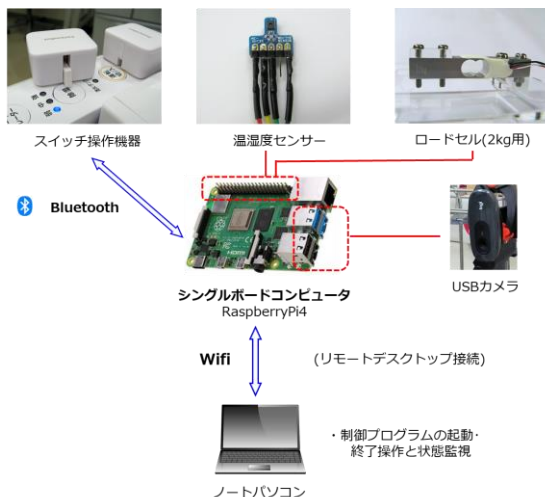


図1 接続構成

2-6 機器制御用プログラム

各種センサー類を Raspberry Pi4 で利用するにあたりこの用途で標準的に使用されているプログラム言語 Python (パイソン) で、麺の乾燥制御用プログラムを自作した。センサー類を取り扱うためのソースコードは、書籍や各種のインターネットサイトでサンプルとして公開されているものを参考とし適宜引用利用した。

作成したプログラムの処理概要ダイアグラムを図 2 に示す。処理内容としては、①温湿度測定データ、②麺(一竿分)の重量測定データを Excel 形式で、③麺の乾燥状態を撮影した画像ファイルとして保存しながら、収集した湿度値と予め設定しておいた設定値 (目標湿度) を比較して、④除湿機能の ON/OFF 制御を行うというもので、一連のすべての処理を 1 分間隔で実行させている。また、麺を乾燥する場合、乾燥が急すぎると麺線を変形させてしまうことから、測定湿度が設定値を下回った場合に除湿機能を止め、浅野らが行った乾燥法²⁾を参考にして、一定の待機時間 (1 ないし 2 時間) 後に除湿機能を再開するという処理ロジックとした。このための設定項目は、目標湿度 (% 値) と待機時間 (分数) であり、それらをステップと称し (奇数ステップは湿度値、偶数ステップは分数)、湿度を徐々に低下させる内容での設定組合せを CSV ファイルとして作成しておき、プログラム開始時に読み込ませる方式とした。この様にして、乾燥時の湿度制御をその日の天候 (気温・湿度) に応じて柔軟に行える様にした。

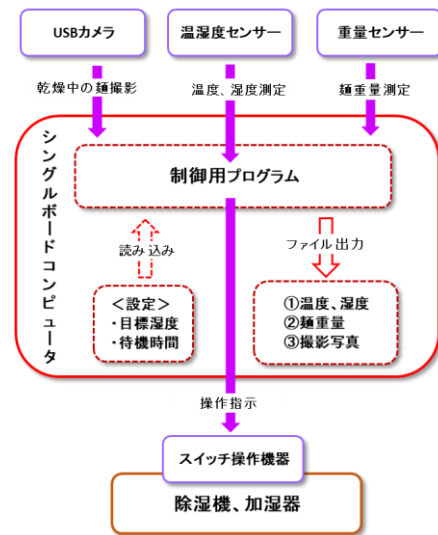


図2 処理概要ダイアグラム

2-7 麺乾燥状態の観察

乾燥中の麺線を 1 分間隔で撮影した画像ファイルは、乾燥終了後に早送り動画 (タイムラプス動画: 12 時間分を 30 秒で再生) に合成し、乾燥中の麺線状態 (収縮、変形) の観察・評価に用いた。

3 結果及び考察

3-1 常温環境での麺の乾燥

3-1-1 最低湿度の検討

原料粉 3 kg の麺生地を製麺して竿掛けすると約 30 分程度で、麺線周辺の湿度は 80%前後に上昇した。そこから徐々に湿度を低下させ翌朝（約 15 時間後）に麺の乾燥を終了させることを目標とした。この最終段階で目標とする湿度（以下、最低湿度）の検討から開始することとした。過乾燥は麺線の変形を起こすことから、乾燥終了段階ではその湿度を維持することになる重要な設定と考えた。試験では、出来るだけ緩慢な乾燥を行う様にした上で、最低湿度を 50%、60%、65%に設定した麺の乾燥を実施した。このとき、湿度を 5%刻みで 60 分ずつ待機しながら低下させることで、麺線の状態（変形の有無）を観察した。

その結果、最終段階の湿度を 65%に設定した場合に、麺線の変形を最小限にとどめ（写真 1）、終了時（約 15 時間後）の麺水分量が目標（14%以下）に達することが出来た。この検討により、最低湿度の設定を 65%とすることにした。



写真 1 乾燥終了後の乾麺
（左：最低湿度 55%設定、右：最低湿度 65%設定）

3-1-2 湿度制御の検討

麺線の変形を抑えるための湿度制御による緩慢乾燥条件を検討した。麺の乾燥は表面から進行し、乾燥速度が速過ぎると表面ばかり先に乾いて内部の乾燥が遅れる結果、形状が曲がったり、乾燥中に脆くなって折れたりする³⁾。そのため乾燥を緩慢に行う必要があり具体的には、除湿による乾燥を間欠的に行ない麺線内の水分が均一化（麺線内部から表面への水分移動）する時間をとることとした。乾燥制御プログラムに読み込ませる設定（設定湿度、待機時間）の一例を表 1 に示す。開始直後は 30 分の待機時間を設け湿度の上昇を待たせた。その後設定した湿度（表 1 の場合、76%）に達する迄、除湿機を作動させて除湿を開始し、設定湿度に達した時点で次の待機時間に移行させた。この時、湿度が設定値（76%）を下回っていた場合には、除湿を開始することなく次の待機時間に移行させる処理とした。麺乾燥時の水蒸気に伴う

湿度上昇のみならず、その日の天候に由来する湿度の影響や、夜間の室温低下に伴う湿度上昇等、外部環境要因の影響が多いことから一様な結果は得にくい状況ではあったものの、表 1 に示す様な設定によりほぼ安定した緩慢乾燥が行えるようになった。

ステップ No.	設定値		湿度
	待機時間(分)	目標湿度(%)	
0	30		
1		76	
2	60		
3		74	
4	60		
5		72	
6	60		
7		70	
8	60		
9		69	
10	60		
11		68	
12	60		
13		67	
14	60		
15		66	
16	60		
17		65	
18	60		
19		65	
20	60		
21		65	
22	60		
23		65	
24	120		
25		65	
26	120		
27		65	
28	120		

表 1 湿度、待機時間の設定例

乾燥時の温度、湿度変化記録結果の一例を図 3 に示す。この時の湿度の設定は、76→70%間は 2%、70→65%間は 1%間隔で下げる設定とし、各設定到達後に待機時間（除湿 OFF）時間を 60 分保持した。乾燥終了時の麺線に変形はなく、麺の水分は 14.1%であり、目標とする緩慢乾燥が行えた。

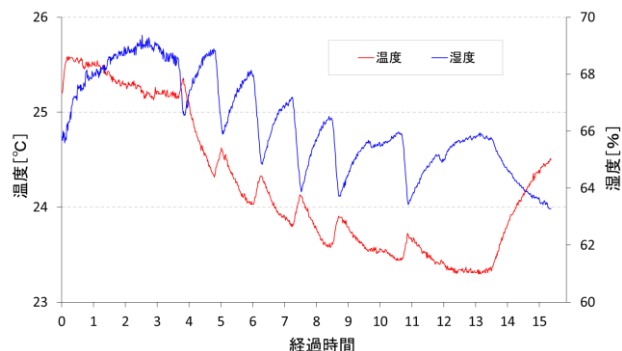


図 3 麺乾燥時の温度・湿度変化（時期：6月下旬）
最低湿度（乾燥最終段階の湿度）設定 65%

3-1-3 乾燥状況の把握

緩慢乾燥を行い最終的な湿度を 65%迄下げること、麺線の変形を抑えた乾麺の試作が行えるようになったが、乾燥終了の判断は麺の乾燥状態を触感で判断していたため、出来上がりの乾麺の水分量はバラつくこととなった。本来、乾燥終了判断は麺水分量で判断すべきであることから、乾燥中の麺重量をリアルタイム測定することを検討した。具体的には、重量センサー（ロードセル）を導入し、それに一竿分の麺線（約 800 g）を吊り下げ（写真

2)、1分間隔で重量を測定するというもの。重量センサーには2kg用を用いたが、重量値が温度の影響を受け易いことが確認されたため、両者の関係性を調査した上で補正式求め、温度に依存しない重量値を得ることとした。

乾燥開始～終了迄の麺重量データと実測麺水分量から、乾燥中の麺水分量を計算し、湿度と麺水分の関係プロットした結果を図4に示す。

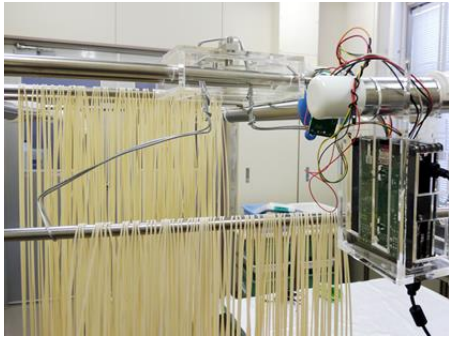


写真2 乾燥中の麺線重量測定の様子

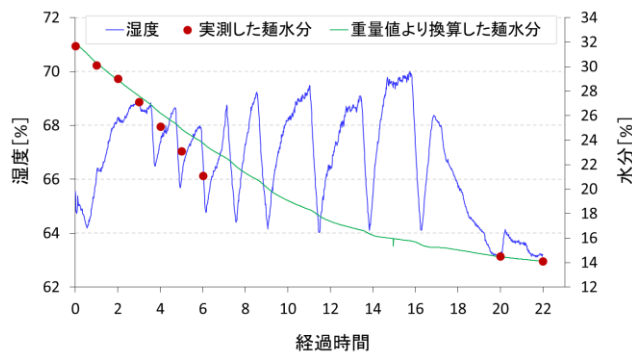


図4 乾燥時の湿度と麺水分量の変化

グラフで示した麺水分量は、乾燥終了時の実測水分値を基にした計算値だが、乾燥開始時の実測水分値とも一致した。ただし乾燥途中段階（この場合、3～6時間経過時）では、実測値と一致しない場合があった。これは、乾燥途中では、麺線のサンプリング場所で水分量に差があるため（麺線の上部より下部の方の水分値が高い）、一致しないものと考えられた。

以上より、乾燥開始時の麺の水分量（実測）から、乾燥中の正確な麺水分量が算出可能となり、乾燥終了の際の判断（麺水分量 14.0%）に用いることとした。

3-2 冬期環境での麺の乾燥検討

3-2-1 麺線の縦割れ現象対策

9月頃からの乾燥し易い天候に入ると、麺線が縦割れする現象が発生するようになった（写真3）。乾燥後の麺を切断する際の衝撃で割れる場合や、ポリエチレン製袋での保管中に割れが進行することも確認した。このことに関しては、食塩の配合割合（対小麦粉）を2%から4%に増加させることで、麺線の割れが発生しなくなった。乾燥は食塩が多いと乾き難くなるため、湿度が低く表面乾

燥が早過ぎる時は食塩量を増やす事が行われており³⁾、その効果を確認することとなった。なお、乾麺は本来長期保管に向けた食品であることから、冬の低湿度期間を考慮すれば、年間を通し食塩配合量を4%に設定すべきと判断した。

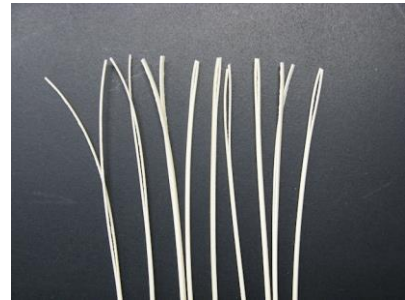


写真3 縦割れした麺線

3-2-2 室温ならびに低湿度への対策

10月下旬頃になると夜間の室温は20℃を下回るようになり、乾燥開始16時間経過しても麺水分は15%台と、麺の乾燥に長時間を要する様になった。また、湿度も40～50%と、乾燥開始時から65%未満の状態となりこれまで通りの調湿による乾燥が行えなくなった。乾燥を促すためには、液体の水から気体の水蒸気に気化させるための潜熱が必要になることから、室温を上げる必要がある。このとき温度に比例する形で飽和水蒸気量が大きくなることで相対湿度は低下し、さらに乾燥した低湿度環境となる。このような状況で湿度制御を行うには強制的に湿度を上げる必要があるため、加湿器を併用することにした。

暖房は部屋に備え付けのエアコンを稼働させるだけであったが、天井部分から吹き出す温風の影響を回避するため、乾燥に用いる器具及び機器類全体をシートで被い密閉に近い状態にし（容積約3.2m³）、その中で麺の乾燥を行うこととした（写真4）。



写真4 全体をシートで覆い密閉環境にした乾燥設備

乾燥室に暖房（エアコン23℃設定）を入れ、加湿に関しては加湿器を湿度60%未満で作動させ、湿度65%に達したら停止させるという制御をプログラムに追加した。

この設定は、湿度 65%を維持するにあたり除湿機と加湿器が同時に作動すること（競合状態）を回避するために、加湿のための湿度設定を下げたもの。

密閉した環境で麺の乾燥を行った際の、湿度ならびに麺の重量変化の記録結果を図 5 に、また乾燥終了時の乾麺の写真 5 に示す。

除湿機で湿度を緩やかに低下させ、最終設定湿度に達してからは、加湿器でその湿度を維持させるという湿度調整によって、冬期においても麺線がほぼ直線状態の乾麺の試作が安定して行えるようになった。

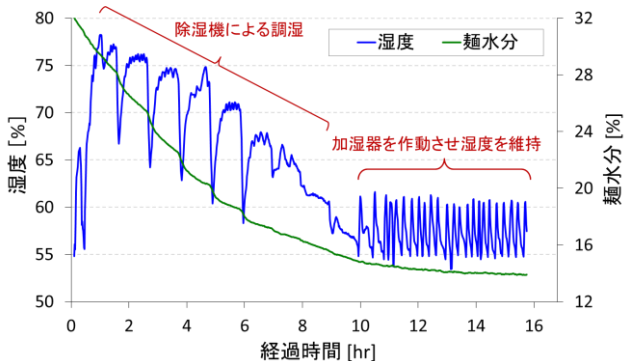


図 5 密閉環境で乾燥した場合の湿度と麺水分量の変化

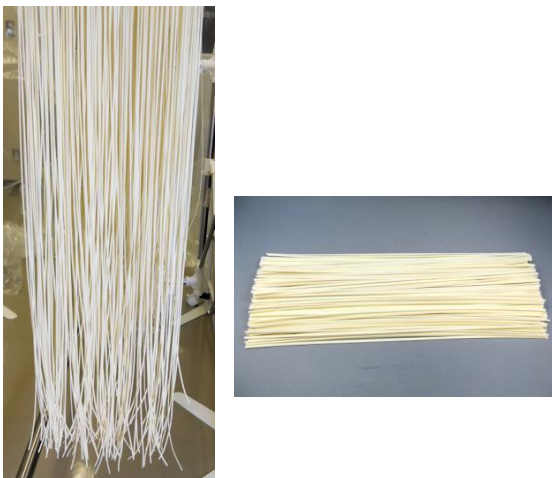


写真 5 密閉環境で乾燥した乾麺
(左：乾燥終了時の麺、右：切断した麺)

4 結 言

小規模での乾麺製造における麺の簡易乾燥方法を検討した。乾燥は調湿による自然乾燥で行い、その為の機器として、家庭用の除湿機・加湿器を用い、またその制御に IoT 機器を利用した。

乾燥中の麺の変形を抑えるために緩慢乾燥が必要とされたが、天候や気候の影響を受ける環境での検討であったことから、乾燥条件に関する以下の知見を得た。

- 1) 常温環境では、待機時間をとりながら、湿度を 2 ないし 1% ずつ、65% 迄低下させることで麺水分量 14% 迄乾燥出来た。
- 2) 冬期環境では、乾燥設備を密閉状態にした上で室内暖房 (23°C 設定) を用い、且つ低湿度対策として加湿器を併用し、湿度 65% を維持する必要がある。

以上により、オールシーズン対応の“簡易設備による乾麺乾燥システム”を確立した。本システムは、容易に入手可能な家電製品による構成で、費用面でも安価 (10 万円以下) なのが特徴といえる。

麺に関する試験研究を行う場合に乾麺での評価が可能となると共に、乾麺製造を考える小規模事業者 (麺の製造販売者) には技術面での対応が可能となった。

また、今回の手法での調湿乾燥は、麺以外にも適用可能と考えられることから、今後は他の食品を対象とする検討も実施していきたい。

謝 辞

本研究の実施にあたり、株式会社小山製麺 代表取締役 高橋政志様、工場長 宍戸千秋様より乾麺製造に関する貴重なご助言をいただきましたことを感謝いたします。

文 献

- 1) 小麦の品質評価法—官能検査によるめん適性—：農林水産省食品総合研究所, 昭和 60 年 11 月
- 2) 浅野松夫、可知正夫：農業機械学会誌, 20, p129-131 (1958)
- 3) 小田聞多著：新めんの本, 食品産業新聞社 (1994)