

AI・IoTを活用した県内産業のスマート化推進に関する試験・研究開発 (②にんにく乾燥工程管理システムの開発)

Study on smarter industries of Aomori using AI and IoT
(2. Development of garlic drying process management system)

古川 元

少子高齢化に伴う人口減少に対応するため、これまでも製造業等におけるAI・IoT等のデジタル技術の活用による生産性の向上を目指しているが、コロナ禍によりその重要度が増大した。また、昨今、あらゆる産業において、データ駆動型経営にシフトしながら企業風土やサービス等を変革することで新たな価値を創造し競争上の優位性を獲得していくDX(デジタルトランスフォーメーション)の推進が求められている。

本研究では、にんにく乾燥工程における省力化、省エネ化、品質維持を実現するため、IoTを活用した乾燥工程管理システムの開発を行った。また、乾燥状態推定システム、乾燥装置及び乾燥状態推定方法として特許を出願し、実用化のため県内企業へ技術移転を開始した。



図 乾燥進捗と完了日予測結果の表示画面

1. はじめに

本研究は、令和元年度に県内にんにく生産事業者から相談を受け検討に着手したものである。本県の主要産物であるにんにくは、その多くが収穫後に乾燥されてから出荷されるが、この「にんにく乾燥工程」において、従来加温機の状況やにんにくの状態は見回りと手作業で確認されていた。また、にんにくを入れたコンテナを積みシートで覆う「シート乾燥[1]」と呼ばれる乾燥方式が主流であるが（図1、図2）、シートで覆われることにより、乾燥開始後は容易に中の様子を確認することができないことも課題である。

本研究では、IoT 技術を活用することで温度や質量などを自動計測し、遠隔監視することで見回る手間を減らす「省力化」と、乾燥完了日を予測することで燃料消費量を必要最小限に抑える「省エネ化」を目指すシステム開発を行った。IoT 技術によってデータを収集する構成は製造業の現場、いわゆる「スマート工場」などでも用いられるが、本研究の対象は水分の多い農産物であり、高温多湿な環境下での電子機器の通信能力確保が課題となる。



図1 シート乾燥用の設備（シートをかける前）

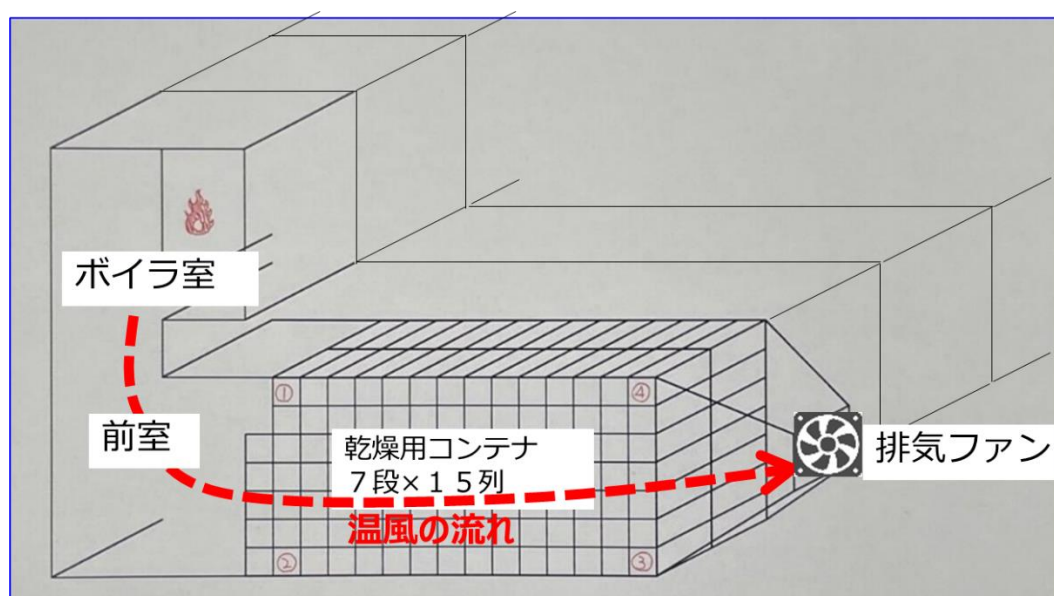


図2 乾燥現場の模式図

2. 実験方法

2.1. モニタリングシステムの開発

シートに覆われるにんにくの状態を把握するため、温湿度およびにんにくの質量を測定し、遠隔地からモニタリングできるシステムを開発した（図 3）。



図 3 モニタリングシステムの構成

2.1.1. センサデバイス

温湿度センサについては、コイン電池により長時間駆動し、かつ長距離通信が可能なモノワイヤレス社製の TWELITE ARIA RED[2]を試用した。質量についても TWELITE による通信とし、4 ポイント式のロードセル、HX711 搭載ロードセルアンプモジュール、TWELITE 無線モジュールを接続する電子基板を作成し、コンテナの底部に設置する下敷きでにんにくの質量変化を確認できる構成にした。温湿度センサとロードセル用の基板は下敷きの裏側に設置した（図 4）。これにより、コンテナや加温機等を改造することなく、既存設備に後付けが可能なシステムとした。

2.1.2. 送受信機と中継器

温湿度と質量のデータを研究所に送信するため、TWELITE のデータを受信し、WiFi 通信によってインターネットに送信する送受信機を作成し現場に設置した。WiFi 通信用のモジュールには、ESP32 搭載の M5Stack 社製 ATOML Lite[3]を使用し、WiFi 環境については PIXELA 社製の USB ドングルとプリペイド SIM によって確保した。また、TWELITE の通信周波数は 2.4GHz であり、水分を多く含むにんにくの密集した空間では電波強度が低下するため、センサデバイスと送受信機間に中継機を設置することとし、モノワイヤレス社製の MONOSTICK[4]を使用し、現場の通信状況に応じて配置した（図 5）。

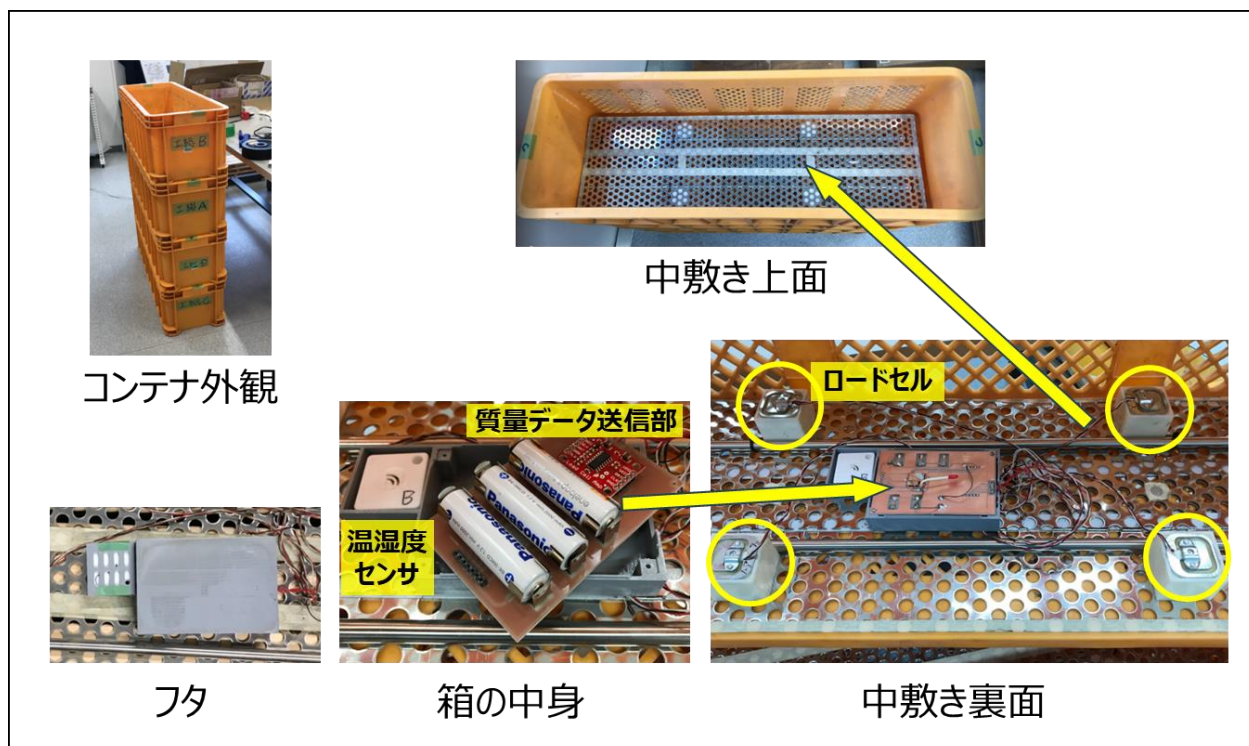


図 4 コンテナ内に設置したセンサデバイス

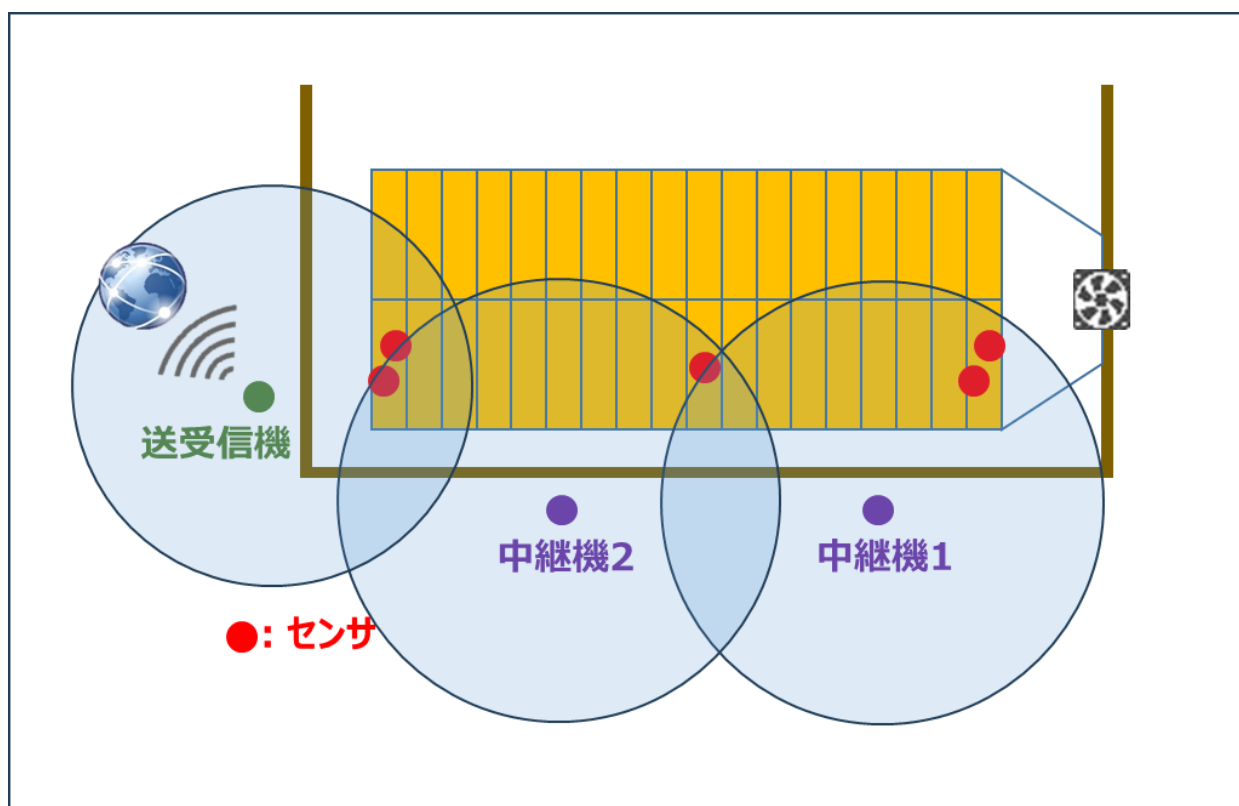


図 5 システムの配置イメージ（上から見た図）

2.1.3. 受信データの処理

研究所に送信されたデータは、ビジュアルプログラミングツールである Node-RED[5]を使用して処理を行った。具体的には、温度と湿度のデータから水蒸気量を求め、コンテナの位置による水蒸気量の差分や、にんにく質量の減少率などを算出し、時系列データの保存・分析に特化したデータベースである InfluxDB[6]に蓄積した。

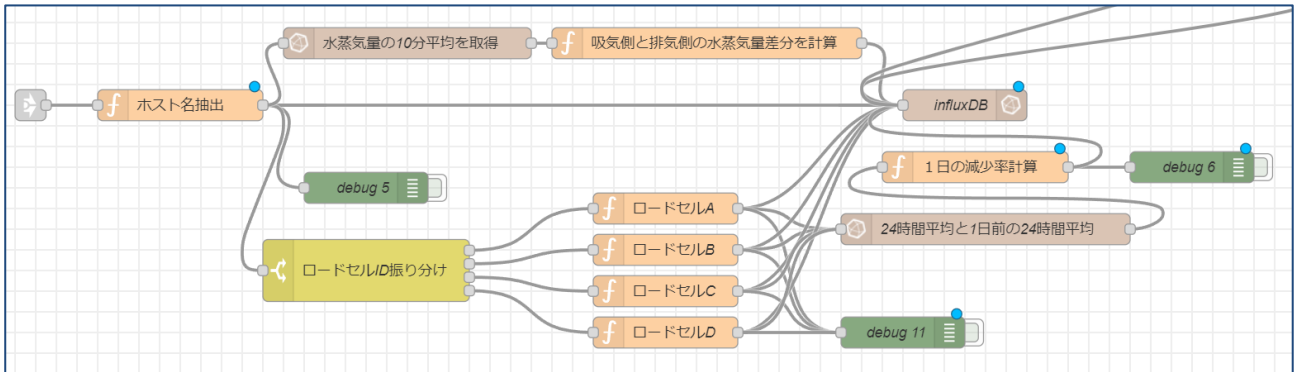


図 6 Node-RED によるデータ処理

2.1.4. データの可視化と通知

InfluxDB に蓄積したデータは、リアルタイムで監視・可視化することが可能なダッシュボードツールの Grafana[7]を使用して可視化を行った。温湿度や水蒸気量、質量のほか、電波強度や電池電圧を表示し、外部からもスマートフォン等で閲覧可能とすることで、現場の作業者とも共有した。また、高温などの異常時はビジネスチャットツールの Slack[8]に通知が届く設定とした。

3. 実験結果

3.1. 取得データ概要

図 7 に令和 5 年度の取得データを PC 上でモニタリングした画面を示す。にんにく乾燥は毎年 6 月下旬から 8 月上旬にかけて 3 週間から 4 週間ほど行われるが、実証現場 A では連続して加温をする連続乾燥を行い、実証現場 B では夜間に加温を止めて送風のみを行うテンパリング乾燥[8]が行われた。温度変化から乾燥方式の違いが見て取れたが、乾燥がすすむにつれて質量が減少していく現象については同様であることがわかった。なお、実証現場 A では令和 4 年と令和 5 年の 2 カ年、実証現場 B では令和 5 年のみデータを取得した。

3.1.1. 連続乾燥のデータ分析

連続乾燥が行われた実証現場 A のデータから、加温機に近い吸気側と、排気ファンに近い排気側との差分の時間変化を図 8 に示す。ここで、乾燥初期は吸排気の水蒸気量差分が大きいですが、乾燥が進むにつれてその差が小さくなる様子が見て取れたため、乾燥進捗を管理するパラメータとしてこの値が有効であることがわかった。

実証現場 A のデータから、24 時間平均の質量について前日同時刻からの減少率を時間軸でプロットしたものを図 9 に示す。こちらも乾燥が進むにつれて値が小さくなり、2 カ年とも乾燥を終えた日の前日に 0.3%台になっていたことから、乾燥を終える目安として有効であることが分かった。

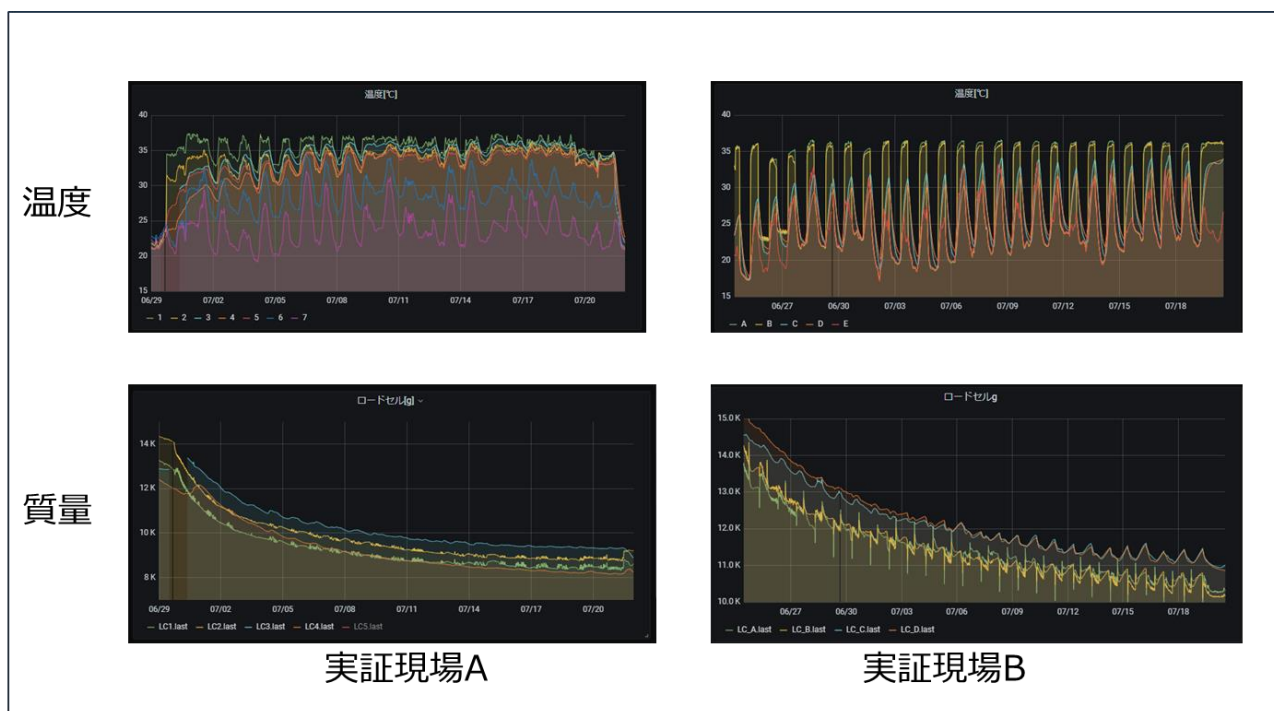


図 7 R5 取得データ（モニタリング画面）

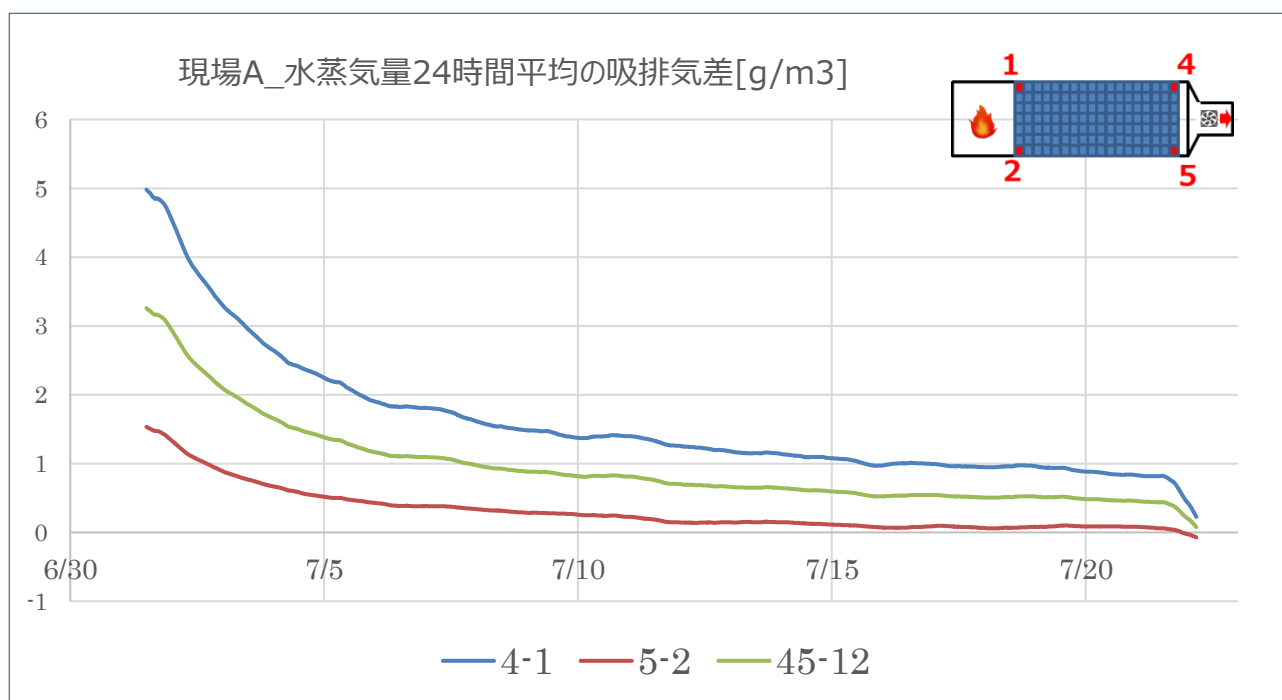


図 8 水蒸気量の吸排気差分

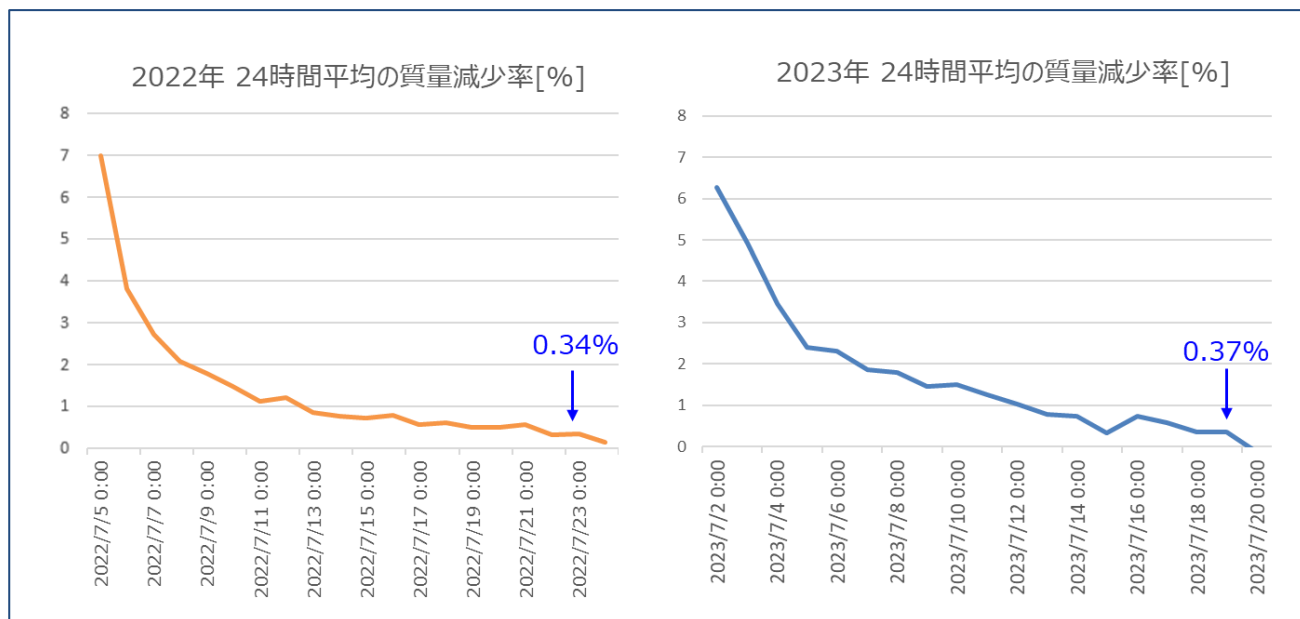


図 9 質量減少率の時間変化

3.1.2. テンパリング乾燥のデータ分析

テンパリング乾燥が行われた実証現場 B では、夜間に加温を止めるため 24 時間平均のデータからは客観的な変化を確認することができない。このため、加温されている時間帯の 10 時から 14 時のデータのみを抽出して水蒸気量の吸排気差分をとったが、日によって大きな増減があった（図 10 赤丸部）。ここで各日の天候と照らし合わせたところ、雨天の翌日に差分が大きくなる傾向が確認でき、夜間の送風時間で外気に含まれる水分の影響を受けたものと考えられた。

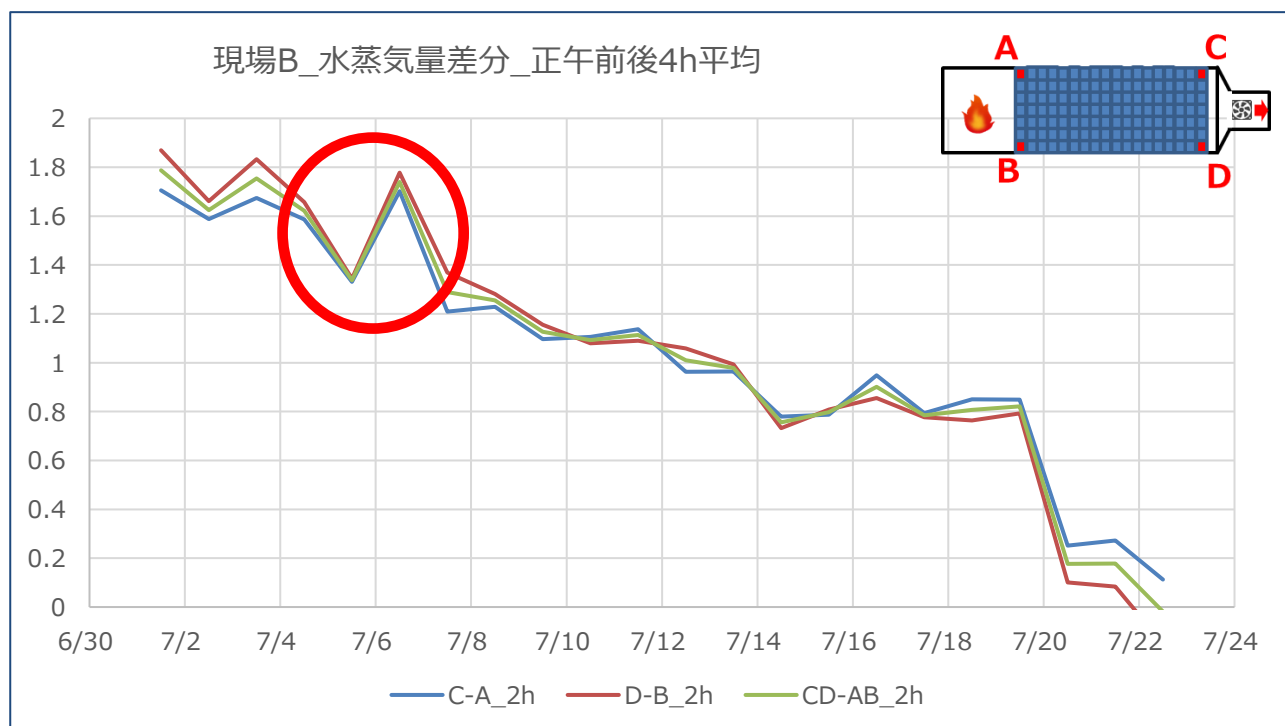


図 10 10 時～14 時の水蒸気量差分

図 11 に、晴天だった 7 月 5 日から、未明から早朝にかけて雨天だった 7 月 6 日の水蒸気量差分の変化を示す。両日の時間帯ごとの違いをみると、加温開始直後の 9 時ごろは両日で差が大きいのに対し（赤丸部）、加温終了直前の 15 時ごろには前日と同程度の値に戻っていることがわかる（青丸部）。このことから、夜間の外気による影響を除外するには、加温終了前の時間帯に注目する必要があると考えた。

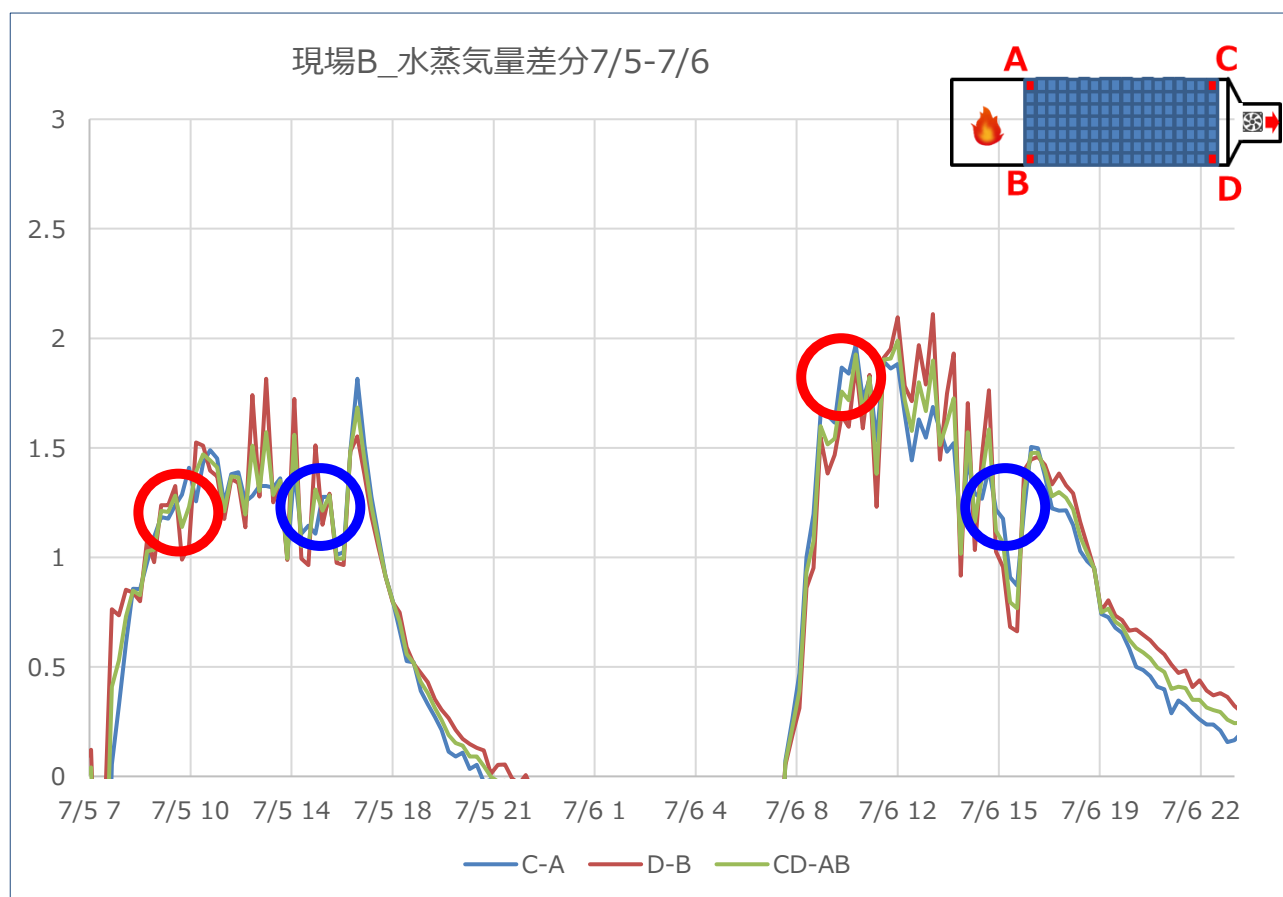


図 11 7/5~7/6 の水蒸気量差分

ここまでの分析結果から、テンパリング乾燥のデータについては、加温の終了する 16 時以前の 2 時間平均を扱うこととし、かつその値の 3 日平均を用いることで、乾燥期間全体の時間変化を平滑化することができた。質量減少率についても同様であり、乾燥終了前日の値は 0.14%であったため、連続乾燥、テンパリング乾燥ともに 0.5%を下回ることが終了の目安となると考えられる（図 12）。

以上のことから、乾燥方式の異なる現場においても、データの追加処理によって水蒸気量と質量変化を乾燥進捗や完了日の予測に適用可能であることが分かり、取得済みデータに基づく予測結果を表示する機能を、冒頭に示したようにモニタリングシステムに追加した。

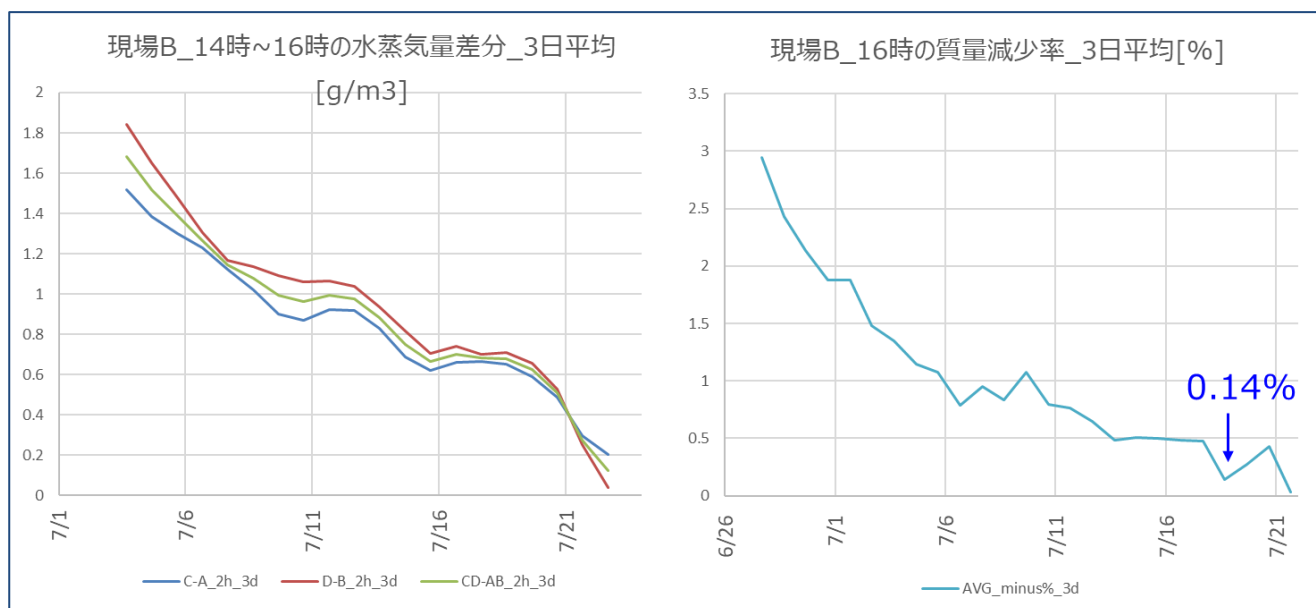


図 12 加温終了前に注目した時間変化

4. まとめ

にんにく乾燥の既存設備に後付け可能なモニタリングシステムを開発することで、複数の現場でデータを取得することができた。これにより乾燥進捗に伴う質量や水蒸気量の変化が確認でき、取得済みのデータに基づく予測が可能であることが分かった。また、データ処理によって連続乾燥・テンパリング乾燥の両方に適用できることが分かったため、他の生産者の施設においても同様に乾燥進捗の把握と完了日予測が可能と考えられる。今後は、本システムの製品化を目指す県内製造業者に対する技術移転を継続する予定である。

5. 参考文献

- [1] ニンニク収穫後乾燥時の「シート乾燥」における温度分布の特徴（青森県産業技術センター野菜研究所）（農研機構 HP 掲載）
<https://www.naro.affrc.go.jp/org/tarc/seika/jyouhou/H22/yasai/H22yasai036.html>
- [2] TWELTE ARIA RED <https://mono-wireless.com/jp/products/twelite-aria/index.html>
- [3] ATOM Lite <https://docs.m5stack.com/en/core/ATOM%20Lite>
- [4] MONOSTICK <https://mono-wireless.com/jp/products/MoNoStick/index.html>
- [5] Node-RED <https://nodered.org/>
- [6] InfluxDB <https://www.influxdata.com/>
- [7] Grafana <https://grafana.com/ja/grafana/>
- [8] ニンニクのテンパリング乾燥による高品質化（青森県産業技術センター野菜研究所）（農研機構 HP 掲載）
<https://www.naro.affrc.go.jp/org/tarc/seika/jyouhou/H24/yasaikaki/H24yasaikaki001.html>