

令和 7 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号        23303  
研究開発課題名    データ利活用等のデジタル化の推進による社会課題・地域課題解決のための実証型  
                         研究開発（第 2 回）  
副        題        デジタル技術を活用した日本酒製造条件管理技術の開発

（1）研究開発の目的

日本酒文化を守るためにデジタル技術を活用し醸造工程の作業負荷軽減を図る。具体的には、小規模酒蔵への導入普及を想定した IoT モニタリングシステムを構築し実証酒蔵に設置を行い効果の検証を行う。収集したセンシングデータの解析、および酒米の特性解析技術を高度化し、従来よりも安定的に良質な日本酒製造を実現するシステム構築を目指す。

（2）研究開発期間

令和 5 年度から令和 7 年度（3 年間）

（3）受託者

山形県＜代表研究者＞

（4）研究開発予算（契約額）

令和 5 年度から令和 7 年度までの総額 30 百万円（令和 7 年度 16 百万円）  
※百万円未満切り上げ

（5）研究開発項目と担当

研究開発項目 1 アルカリ崩壊試験法による醸造条件管理の確立

研究開発項目 1-1 アルカリ崩壊試験法によるデータ収集（山形県）

研究開発項目 1-2 試作装置による計測と相関評価（山形県）

研究開発項目 1-3 醸造条件への反映手法確立（山形県）

研究開発項目 2 醗発酵工程管理手法の開発

研究開発項目 2-1 醗発酵工程モニタリング方法の開発（山形県）

研究開発項目 2-2 小仕込み層との相関評価（山形県）

研究開発項目 2-3 醗発酵工程の画像解析（山形県）

研究開発項目 3 IoT による醸造条件モニタシステム構築

研究開発項目 3-1 IoT モデルシステム開発（山形県）

研究開発項目 3-2 IoT モデルシステム試験導入（山形県）

研究開発項目 3-3 新規センシング機能付与（山形県）

(6) 特許出願、外部発表等

|       |            | 累計（件） | 当該年度（件） |
|-------|------------|-------|---------|
| 特許出願  | 国内出願       | 1     | 1       |
|       | 外国出願       | 0     | 0       |
| 外部発表等 | 研究論文       | 0     | 0       |
|       | その他研究発表    | 5     | 2       |
|       | 標準化提案・採択   | 0     | 0       |
|       | プレスリリース・報道 | 6     | 0       |
|       | 展示会        | 7     | 4       |
|       | 受賞・表彰      | 0     | 0       |

(7) 具体的な実施内容と最終成果

研究開発項目 1 アルカリ崩壊試験法による醸造条件管理の確立

研究開発項目 1-1 アルカリ崩壊試験法によるデータ収集

- ・2023 年産米については、酒蔵から試料提供されたものを含み 80 サンプルの溶解特性測定を実施、過去のデータから今期の仕込みの条件を提示、酒蔵での酒造りに反映した
- ・2024 年産米について、玄米粉を用いた溶解性の分析を 10 サンプル行い、今年の原料米の溶解性について年度比較を実施した
- ・同様に 2024 年産米、2025 年産米についてアルカリ崩壊試験を実施して、各年の平均値から、2023 年産米が非常に溶けにくい米だったことが数値としても顕在化された
- ・また、分析の高速化のために米を粉化してアルカリ崩壊試験を実施し、従来、約 600min 前後の試験時間であるものを約 180min に短縮できる可能性を確認した

研究開発項目 1-2 試作装置による計測と相関評価

- ・試作機と導入装置でのアルカリ崩壊試験結果を比較したところ、概ね同等の計測結果が得られることが確認された
- ・導入したアルカリ崩壊試験装置では、計測結果が迅速にレポート出力されることから、分析作業の迅速化と効率化が図られた

研究開発項目 1-3 醸造条件への反映手法確立

- ・原料米分析を行う酒米のアルカリ崩壊試験の実施をした
- ・アルカリ崩壊試験による酒米の溶解性の傾向を県内の酒造の技術者へ情報提供し、醸造方法のアドバイスをを行った
- ・個別の地域や品種について、具体的な酒米の特性を踏まえて、個別により具体的なアドバイスをを行った
- ・一般に醸造が難しい溶解性の低い酒米において、日本酒の品質を維持するための対応策を具体的に指導した

研究開発項目 2 醪発酵工程管理手法の開発

研究開発項目 2-1 醪発酵工程モニタリング方法の開発

- ・正確に成分を分析するための分析装置を導入し、2023 年の酒造りにおいて成分分析を実施した
- ・モニタリングに向け実証酒蔵 3 社を訪問、醪発酵の現状と課題の聞き取り調査を実施した
- ・画像解析を行うための撮影環境構築、解析装置導入した
- ・透明な容器を用いて発酵状況を撮影と超音波測定を実施。超音波測定によって得られた波形と醪発酵画像との関連を解析した
- ・醪発酵過程での糖分析を行い、酵素力価の違いによる糖の生成過程を分析し、酵素力価の低い麹での糖生成総量が低いことを確認した
- ・溶けやすい酒米ではオリゴ糖の残存が多い傾向となり、これが複雑な味わいを作ることが推察された

#### 研究開発項目 2-2 小仕込み槽との相関評価

- ・本槽と小仕込み槽での平行発酵条件を設定し、各種パラメータの同時計測を行った
- ・適切な温度制御を行ったところ、日本酒度、アルコール濃度、酸度、アミノ酸度について、本槽と小仕込み槽で同様の時系列推移が確認された
- ・日本酒度とアルコール濃度について、散布図へプロットしたところ、同一検量線上に分布することから、小仕込み槽の日本酒度から本槽のアルコール濃度推定できる可能性が確認された

#### 研究開発項目 2-3 醪発酵工程の画像解析

- ・全面ガラスの容器にカメラや照明を設置し、上面、側面よりタイムラプス撮影を行った
- ・これまで不明だった醪の動きが観察できた
- ・超音波測定により、内部の変化に合わせて波形が変化することが確認できた
- ・上部からの撮影画像に対し、AI 画像分類処理による状態推定を検証したところ、試験環境では良い結果が得られ、状態推定できる可能性があることが分かった
- ・コメの粒状検出は想定通りの傾向はみられたが、精度を上げる必要があることが分かった
- ・画像、超音波等の各個別の結果を組み合わせることで醪発酵の状態推定の精度向上が期待できた

#### 研究開発項目 3 IoT による醸造条件モニタシステム構築

##### 研究開発項目 3-1 IoT モデルシステム開発

- ・実証酒蔵 3 社の酒造りに立ち会い、IoT システムによるデータ収集の計画を策定、ネットワークインフラ等、IoT システムに必要な環境を整備した
- ・実証酒蔵 3 社に温度センサ、環境測定センサを設置しテスト運用を実施した
- ・酒造りに使える IoT プラットフォームの構成を設計検討した

##### 研究開発項目 3-2 IoT モデルシステム試験導入

- ・ネットワーク環境の整備されていない酒蔵の現場へ Wi-Fi 環境を整備した
- ・酒蔵でニーズの高い温度測定のセンサを 3 種開発し 3 社の酒蔵に設置した
- ・データの見える化を実現し現場作業の効率化を実現した
- ・電源配線の無い環境も考慮したバッテリー駆動の検証を実施した
- ・LoRa 通信による長距離通信システムを構築し検証を実施した

##### 研究開発項目 3-3 新規センシング機能付与

- ・酒造りの現場で求められているのは、醪発酵の際の醪の成分のセンシングであった
- ・アルコール濃度を間接的に簡易に測定するために水位計（水圧測定）の測定実験を行い、可能性を見出すことができた
- ・醪発酵に影響があると考えられる醪内の溶存酸素の測定実験を実施した

#### (8) 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

##### 【計画】

研究開発項目 1 で取り組んだ「アルカリ崩壊試験法による醸造条件管理の確立」では、我々の保有している特許を活用し製品化されたメーカー製の「酒米溶解度測定装置」を利用し、その分析スピードや測定のしやすさなどが、十分に酒造りの現場で活用できうるものであることが実証できた。今回の研究で、その測定データから、さらに詳細に酒米の溶解特性を把握するためのデータ分析手法を確立することができ、特許出願に至っている。改めて、酒のもとになる「酒米」の状態を把握することが醸造条件決定のための重要なファクターであり、酒の品質を左右するものであることが実証できた。本研究の成果を幅広く醸造業界・研究機関に周知し、「酒米溶解度測定装置」の有効性を広めていく。装置メーカーには、装置のさらなる改良を促し、製品として

の完成度の向上、業界での普及を進めていく。

研究開発項目2の「醗酵工程管理手法の開発」では、これまで杜氏の経験によるものが大きかった発酵工程の管理を、糖・比重・アルコール度・酸度などを分析装置で数値化することで、管理できる糸口が見いだすことができた。醸造条件を決定するための小仕込みと本槽との相関関係に関する研究では、温度条件を合わせることで、出来上がる酒の品質を合わせこむことができたことが分かった。このことについては、山形県酒造組合のメンバーである酒蔵に情報提供し、醸造条件決定のプロセスに活用してもらう。発酵工程の把握のため画像解析を行ったが、醗の動きを画像でとらえるというおもしろい結果を得ることができている。実際の酒造りは透明なタンクで作るわけではないため、画像解析というアプローチだけでは難しい。今回得られた結果から、超音波や距離センサなど他のセンサの活用も視野に入れて、タンクの内部の状況を把握するための研究を進めていく。酒造りは毎年一度しか行うことができないため、今後も継続してデータを蓄積して共有していくことが重要である。引き続き酒蔵や支援団体と協力しながら、実用的な技術となるよう研究を継続していく。

研究開発項目3の「IoTによる醸造条件モニタシステム構築」では、3社の酒蔵で実証を行うことで、現場で抱えている課題、IoTに求められているニーズの把握などを行うことができた。当初懸念していた、伝統的な酒造り現場でのデジタル技術に対する拒絶感のようなものは、小さな改善から進めていくと大きな問題にならないことが分かった。今回のシステムでは、できる限り安価な部材で構成し、普及を目指した。一定の成果はあったと考えられるが、新たな課題も明らかになっている。現場での通信環境の問題では、Wi-Fiを整備するだけでなく、最近安価になってきているキャリアの無線通信なども視野に入れ、醸造を行っている3～6か月の期間だけ設置するものを目指していく。電源については、無配線で利用できるセンサ開発を行う。全体のシステムとしてはオープンソース化を目指し普及を進めていく。酒蔵がシステムを維持することは難しいことから、ITベンダーなどに本システムを周知し、事業化していくことを目指す。

地域の課題として酒造りの現場で技能継承が難しい状況であることには変わりはない。本県の業界全体を巻き込んで本研究の成果の啓蒙普及・活用を進めていく。

## 【展望】

本研究は実証研究であることから、研究成果を幅広く利用してもらうことが必要だと考える。本県では、研究成果を活用する酒蔵を増やしていき5年後には、現在の倍以上の酒蔵でデジタル活用を行っている状況にしていきたい。

我々公設試験場は、他県の試験場とのつながりも深い。同じように酒造りを支援している公設試験場もあり、抱えている課題は類似している。本研究実施中も、他県公設試験場から視察があった。本研究のモデル（山形モデル）を他県公設試に広め、日本全体で課題解決に結びつくよう周知・連携を行っていく。

IoTシステムや画像解析の技術などは、他の産業でも応用可能な技術である。酒造りの現場で実証されたものとして、他の発酵食品製造、食品製造、他の製造業へと技術の普及に努めていく。データ管理については、公的な組織のバックアップや支援が有効であることも併せて周知し、各産業での類似モデルを形成することを目指していく。

本実証で得られた知見は、マニュアル化し可能な限りインターネット等で公開するようにしていく。

酒造りの現場では、高齢化が進み技能伝承が難しいという話で、今回の研究はスタートしている。若者が従事しても、古いやり方についていけず離職することも多かった。今回、デジタル技術の活用を現場で行ったところ、若い蔵人が関心をもって酒造りに取り組み始めたという話を聞いている。若者定着のためにも新しい技術を積極的に伝統的な産業に投入し日本の文化である「日本酒」の継承に役立てていきたい。