

## 凍結機槽内の測定技術開発

金城 洋、泉川達哉、長田 透\*

プロトン機器製造株式会社はプロトン凍結機を生産しており、その完成検査では、凍結機槽内の風速測定を行っている。測定はハンディタイプの風速計を用いて、1機につき合計135箇所を実施しているため、約240分かかっており、かなりの時間を要していた。そこで、測定時間を短縮し、生産性を向上させるため、新たな測定手法の導入検討を行った。具体的には槽内における風のシミュレーションや可視化を行うことにより、流れを解析し、測定に最適なセンサー及び測定位置を選定した。これを基に測定治具を製作した結果、測定時間を240分から30分に大幅に短縮することができ、生産性が向上すると同時に品質管理を強化することができた。

### 1 はじめに

近年、冷凍装置の需要は増加傾向にあり、食品業界はもとより物流業界、医療業界など幅広く活用されている。プロトン機器製造株式会社では、独自のプロトン凍結技術により食品本来の品質を保ち、商品の付加価値を高めることのできるプロトン凍結機を生産しており、国内はもとより海外の需要も伸びている。

その需要に対応するため、同社ではサイクルタイムの短縮と品質向上を目指していたが、凍結機の完成検査工程である槽内の風速測定にかかる時間が課題となっていた。槽内の風速のバラツキが、冷凍した製品の品質のバラツキに直結するため、同社では、各トレーごとに9箇所の風速測定を行っていた。標準的な凍結機では、トレーが5段あり、また風速設定が、L（低速）、M（中速）、H（高速）と3段階に分かれているため、1機につき135箇所を測定する必要があった。また、ハンディタイプの風速計を用いて測定を行っていたため、1箇所の測定のために、ドアを開け閉めする必要があり、1機の測定につき約240分を費やしていた。

そこで、風速測定時間を短縮し、凍結機の実産性を向上させること目的に、新たな測定手法の検討を行った。その過程で、風速センサーや測定位置の選定のため、槽

内の流れのシミュレーションや可視化を行ったので、そこで得られた知見を中心に報告する。

### 2 実験方法

#### 2-1 実験に用いた凍結機

実験には、プロトン機器製造株式会社製プロトン凍結機PF-15Bを用いた（図1）。庫内寸法は、幅600 mm、奥行き400 mm、高さ400 mmとなっており、庫内に5枚のトレーを装備している。

#### 2-2 槽内の風速測定

槽内の風速測定には、株式会社テスター社製の小型ベーン式風速計（本体：440 dp、プローブ：06359571、測定部φ16 mm）を使用した。測定の際には、扉を取り外しアクリル板で正面を塞ぎ、測定位置に空けた穴から風速計を差し込んで測定を行った。測定は、各トレーにつき6箇所、計30箇所の測定を行った。風速は、L（低速）とH（高速）の2パターンを実施した。



図2 風速測定の様子



図1 プロトン凍結機 (PF-15B)

#### 2-3 流体シミュレーション

流体シミュレーションソフト「ANSYS FLUENT17.2」を用いて、槽内の流れをシミュレーションした。モデリングは当初2次元で行ったが、実測値と全体の流れの傾

\*プロトン機器製造株式会社

向が合わないため、3次元でのモデリングに変更した。最大メッシュサイズは10 mmとし、ファンについては、境界条件の「fan」を使用して流速に応じて最大170 Paの圧力上昇を与えることにより、循環流を再現している。熱交換器がトレー間の流れに与える影響は少ないと推察されることから、熱交換器のモデリングは省略した。

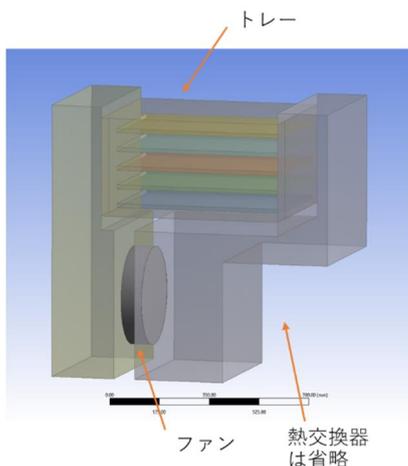


図3 3次元モデリング

#### 2-4 槽内の流れの可視化

槽内の流れの様子を把握するため、煙を用いた可視化を実施した。煙の発生源には、光明理化学工業株式会社製スモークジェネレーターSG-1とドライアイスを用意した。ドライアイスは適当な大きさに砕き、バットなどに入れ、そこに水またはお湯を注ぐことで大量の煙を発生させた。それを凍結機内のトレーの間やファンの手前に置き、ファンを起動して循環させた。内部が見えるように扉を取り外し、アクリル板に取り替えて観察を行った。

#### 2-5 風速計の選定

上記の槽内の流れ状況や、測定効率などを考慮し、測定に最適なセンサーの選定と測定位置の検討を行った。

### 3 実験結果および考察

#### 3-1 槽内の風速測定

風速測定の結果、全体的な傾向はこれまでの完成検査と同様であったが、実験に用いた風速計は、完成検査に使用している風速計より小型で応答性が速く、細かい変動も確認できる。そのため、同じ測定位置でも変動が大きく、風向きが常に変化して安定しない様子が確認できた。ただし、本測定で用いたベーン式風速計は指向性があるため、風が測定部のベーンに対して横や斜めから吹いている場合は、最大風速とはならず、局所的に風速が

低い場合でも風が正面以外から吹いているだけの可能性もある。

#### 3-2 流体シミュレーション

槽内の流れのシミュレーションの結果を図4に示す。ファンから吐出した流れが、各トレー間を流れてファンに戻る様子が確認できる。下段ほど流れが遅くなっており、遠心力の影響と思われる。

最下段の流れのシミュレーション結果を図5に示す。上流（紙面左）から下流（紙面右）への流れだけでなく、扉側（紙面手前）から奥（紙面奥）への流れが発生している場所があることが分かる。

風速計での測定値と比較したところ、同様の傾向が見られた。

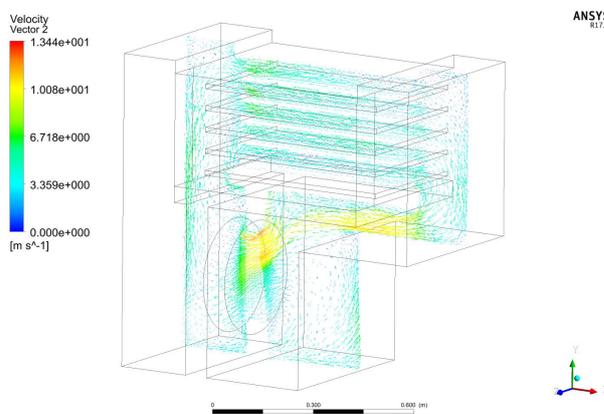


図4 流速分布（奥行き方向中央平面）

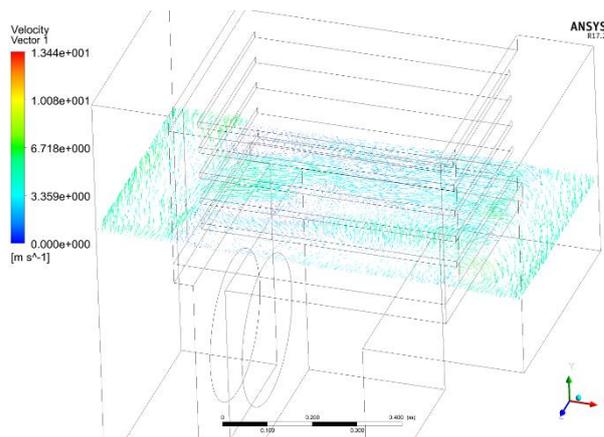


図5 流速分布（最下段トレー上）

#### 3-3 槽内の流れの可視化

スモークジェネレーターを用いた場合、煙の量が少なく、槽内の流速だと一瞬で吹き飛んでしまい、流れを観察することはできなかった。そこで、主にドライアイスの煙を用いて観察を行った。

しかしながら煙の量が多すぎると全体が真っ白になり観察ができず、逆に少ないと見えなくなるといった状況で、継続的な観察は困難であった。また、扉付近の流れは観察できるが、トレーの奥側の流れは手前側の流れと重なってしまうため観察が難しかった。

トレーと扉の間の空間で下向きの流れが発生している様子や、ファンモーター入口付近で渦を巻いている様子が確認できた。



図6 可視化の状況（トレー間）



図7 可視化の状況（ファン付近）

### 3-4 風速計の選定

上述の風速測定、シミュレーション、可視化の結果を考慮し、風速計を選定した。風速の測定方法には、実験に用いたベーン式の他に、熱線式、ピトー管式などがあるが、今回の計測では、多点を同時に測定したいことから流れに与える影響を最小限にするため、測定部が小さいこと、風速が最大5 m/s程度と比較的小さいこと、風向に関係なく最大風速を測定したいことなどから、無指向性熱線式センサーを採用した。

また測定位置については、測定やシミュレーション結果から、想定よりも流れが乱雑で不安定であり、絞り込むことは難しいと判断し、これまでと同様各トレーごと

に9箇所を測定することとした。

この結果を基に、プロトン機器製造株式会社において、センサーを購入し、図8の9箇所測定治具を作成した。各センサーは1台の専用ロガーに接続されて同時に測定でき、パソコンでリアルタイムに結果の確認が可能である。

これまで1箇所ずつ測定していた場合、1機測定を完了するのに240分かかっていたが、この測定治具を用いることで、1機30分まで測定時間を短縮することができた。また風速をCSVデータで取得することが可能となり、社内でのデータ管理が容易となった。



図8 9箇所測定治具

## 4 まとめ

凍結機の完成検査時の風速測定にかかる時間を削減するため、シミュレーションや可視化などで凍結機槽内の流れを把握し、新たな測定手法の検討を行った。

その結果、以下の結論を得た。

- ・シミュレーションおよび可視化によって、槽内の流れを把握し、流れが乱れている位置を確認した。

- ・槽内の流れに応じた最適なセンサーや測定位置を選定し、無指向性熱線式センサーを用いた9箇所の同時測定可能な治具を作成することで、検査時間を大幅に短縮することができた。

本研究は令和5年度ものづくり生産性向上支援事業「プロトン凍結機槽内の風速最適化及び測定技術開発(2023技023)」として実施したものである。

## 謝辞

本研究の実験に際し、助言およびスモークジェネレーターを貸与頂きました琉球大学工学部屋我実教授に感謝申し上げます。

## **Development of Measurement Technology for Use Inside Freezer Tank**

Hiroshi KINJO, Tatsuya IZUMIKAWA, Toru NAGATA\*

Okinawa Industrial Technology Center

\*Proton Machine Production Co., Ltd.,

Proton Machine Production Co., Ltd., manufactures Proton freezers, which undergo a completion inspection involving wind speed measurement inside the freezer tank. Formerly, this measurement was performed at a total of 135 points per unit using a handheld anemometer. As such, it took a considerable amount of time—approximately 240 minutes. To reduce the measurement time for improved productivity, we explored the possibility of introducing a new measurement method. Specifically, we simulated and visualized the wind behavior inside the tank to analyze the wind flow and to select the optimal sensor and measurement points for the new measurement method. These efforts led to the creation of a measurement jig with the measurement time significantly reduced from 240 to 30 minutes, enhancing productivity while ensuring stricter quality control.

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターに

ご連絡ください。