110

ビール貯酒タンク模型を用いた研究

高本雄治[○] (サッポロビール [株]), 齋藤善雄 (東邦大学), 河西勝興 (サッポロビール [株])

A study on cooling process of water in small lagertank

Yuji TAKAMOTO, Yoshio SAITO, and Katsuoki KAWANISHI

ABSTRACT

We have used lagertanks in the storage process of beer, and the shape of lagertank is cylindro-conical. The outer wall of the tank is cooled for maturing beer during the storage process with experienced control system. However the cooling process in the tank is hardly known, so we have studied the cooling process with cylindro-conical mini-tank. Here we report the cooling process based on the visualization and the measurement of temperature in the tank.

Keywords: Visualization, Cylindro-conical tank, Cooling

1. 緒言

貯酒工程はビールを熟成させることを目的としたビール製造工程の一つである。そこでは一般にシリンδροコニカル型タンク（円柱の下端が円錐状のタンク）が用いられている。そのタンクの外壁は冷却制御され、タンク内のビール温度を管理することによりビールを熟成させる。従って、タンク内の冷却過程を知ることは、ビール熟成にとって重要であるが、実際のシリンδροコニカル型タンクは規模が大きいので、タンク内のビールの冷却過程を詳細に知ることは困難である。そこで、我々はタンク内の冷却過程を調べる第一歩として、シリンδροコニカル型ミニタンクを用い、タンク外壁冷却時におけるミニタンク内の水の様子を墨流し等の方法を用いて検討したので報告する。

2. 実験

2.1 材料

(1) シリンδροコニカル型ミニタンク

シリンδροコニカル型ミニタンク（以下ミニタンク）の模式図を図1に示す。可視化のため材質は透明なアクリルとした。

ミニタンクの内径は100mm 高さは600mmとし、コーン部の先端の角度は60度とした。円柱状の容器（内径140mm、高さ700mm）を準備し、タンク全体をその円柱容器に入れ、円柱容器に0~3℃のプロピレングリコールを含む水（冷媒）を循環注入してタンク外壁を冷却した。

(2) ミニタンク内の水量および初期温度

ミニタンク内に注入する水量は、直径と水高の比が1:4（水量2250mL）となるように調製した。初期水温は約10℃とした。

2.2 方法

(1) 墨流し法による可視化

冷媒で適当な時間冷却し、ピペットを用いて墨汁を約80μLをミニタンク壁際もしくは水面中心より注入した後、墨汁の流れる様子を3台のCCDカメラにより撮影した（図2）。

(3) ミニタンク内の水温測定

ミニタンク内の水温を熱電対温度センサーを用いて測

定した。センサーは図3に示す位置に配置し、各点の温度を1秒間隔で計測した。

3. 結果および考察

3.1 墨流し法によるミニタンク内の流れの可視化

墨汁をミニタンク内に注入したときの例を図4に示した。その結果、冷却初期に底に生じた流れが徐々に成長し、水面まで達することが分かった。

3.2 水温測定

図5に温度センサーによる各点での温度変化の様子を示した。No. 1センサー(タンクの底)の測定温度は、指数関数的に減少する。No. 2センサーの位置から順次、上方に向かって水温が下がり、最後に水面の中心付近の水温が下がる。No. 1センサー以外の水温は、最初なだらかに減少し、その後急激に減少する。これは水の密度が約4℃が最高で4℃を境に密度が下がり、その密度が下がった水が上昇することにより急激な温度下降が生じたと考えられる。

それぞれのセンサー番号を横軸に取り、各センサーが5℃を示すまでの時間を図5から求め、その時間を縦軸に取ったのが図6である。No. 1センサーの位置を0として各センサーの鉛直方向の距離から、流れの平均速度を推定するとコーン部を含む部分では0.31mm/s、円柱部分では0.34mm/sであった。(No. 1センサーとNo. 2センサーの鉛直距離は136mm、その他のセンサー間の距離は50mmである。)

4. まとめ

墨流し法による可視化と水温測定の結果を総合すると、以下の冷却過程が推察される。

- ① 壁面で冷却された水は、4℃に近づくことにより密度が高くなり壁際を急落下する。
- ② コーン部底の温度は上から下降してくる水により急速に下がる(図5のNo. 1センサー参照)。
- ③ コーン部の底付近にある下降してきた水は、さらに

冷却され4℃以下となる。その結果、水の密度が小さくなることにより浮力が生じ、コーン壁面に沿って上昇し始める。

- ④ この結果、円筒壁面を下降する密度の高い水とコーン壁面を上昇する密度の低い水が衝突する(図4参照)。
- ⑤ 衝突した水は、タンク中心付近へ向かう流れを形成する。
- ⑥ タンクの中心に向かった流れは、中心付近で下方および上方に向かい、2つの対流が形成される。
- ⑦ 下方に形成された対流は徐々に成長し、上方の対流を押し上げ表面に達する。
- ⑧ 最終的に壁面では上昇流、中心は下降流の大きな対流ができる。

以上の結果、墨流しによる可視化およびミニタンク内の水温測定によりシリンドロコニカル型ミニタンク内の冷却過程が明らかにされた。現在、ここで用いたタンクとほぼ同じ容量の円柱型タンクおよび先端が半球のタンクの冷却について検討しているが定性的にはほぼ同様な結果が得られている。

参考文献

- 1) Unterstein, K.: Zylindrokoniische Gartanks, Brauwelt, Nr27(1992), pp. 1280-1286

図1 タンク模式図 (IN と OUT は冷媒の出入口)

図3 タンクの温度センサー位置
各番号は温度測定点

図2 カメラ位置

図4 直径と水嵩の比が1:4の流れの例

図5 タンク内の温度測定
(センサー番号は図3と対応)

図6 それぞれのセンサー位置における水温が
5°Cとなるまでの時間
(A : 1回目、B : 2回目)