

G L 清酒発酵槽の開発

The Development of a Glasslined Sake Fermenter



(化)第2 営業部
小林 哲 男
Tetsuo Kobayashi
(環)E O 技術室
西久保 善 之
Yoshiyuki Nishikubo

In recent years, skilled workers at sake breweries have become old, and decreasing in number year by year.

The sake brewing industry, still relying upon traditional techniques of skilled workers in many ways, have to promote modernization, such as technical innovation, education and training of young workers and increasing the capacity of production facilities.

For the modernization of sake brewing, it seems to be important to develop an automatically controlled fermentation system which is well harmonized with human skills, and also well suited for delicately different ways of fermentation in producing individual brands of sake at various breweries.

We have developed a glasslined auto sake-fermenter for the purpose of satisfying the demand for high-quality brewing and reducing the traditional sake brewers labor.

This paper introduces some examples of automatically controlled sake fermentation conducted at several sake breweries with our newly developed glasslined fermenter.

まえがき

清酒は、良質の磨かれた酒造好適米と酒の発酵に適した水、吟味された麴(麴カビ)と酵母を用い、長年の経験と勤による伝統技術に生きる杜氏と蔵人らによって精魂込めて醸し出される。

近年、酒造従業員が年々減少し、経験豊富な杜氏も高齢化が進み、伝統技術で生きてきた酒造業界も技能の技術化と若年労働者への伝承、設備の合理化、大型化など近代化が求められてきている。さらに、平成4年4月からの級別制度の廃止にともない競争激化時代を迎え、生き残りのために特色のある優れた商品開発が求められてきている。

現在、大手酒造メーカーなどを中心に大型化、機械化が進められてきているが、酒造メーカーごとに異なる複雑微妙な酒造りが画一化されず、人との調和によって絶妙なる清酒が醸し出される酒造システムの開発が望まれている。

当社は、従来の酒造りの労力を少しでも緩和し、かつ、質の高い酒造りに応えるために、ジャケット付ガラスライニング製清酒発酵槽(以下G L 清酒発酵槽)の開発を試み

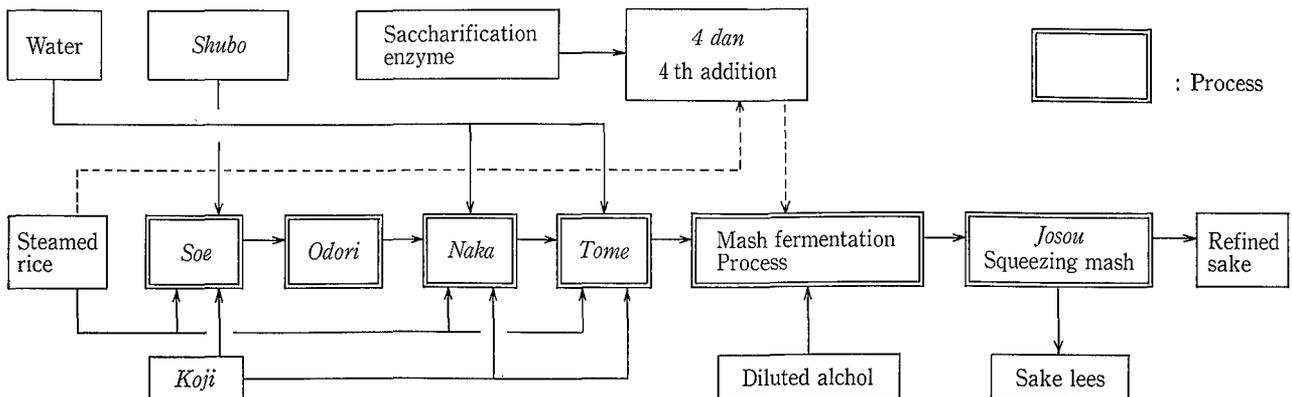
てきた。

本報では、23K L 容量のG L 清酒発酵槽を用い、S社およびI社で総米6 tonの試験仕込を行なったので、適用事例として報告する。

1. 清酒発酵槽の機能と課題

1.1 清酒発酵槽の機能

清酒醸造工程には種々の工程があるが、その中で重要な工程の一つにもろみ製造工程がある。もろみ製造工程を第1図に示す。もろみの仕込は、酒母で育成した酵母をもろみ中で増殖させるために「添」、「仲」、「留」と1日1回、3回に分けて原料である蒸米を仕込む(3段仕込)。「添」の翌日に「踊り」という酵母の増殖を図る仕込休みがある。「留」後、4~5日で酵母増殖が盛んとなり、発酵熱による品温が上昇する。もろみ発酵は麴カビの酵素による固体である蒸米の液化、糖化と、酵母によるアルコール発酵を継続して行わせるいわゆる並行複発酵であり、糖化と発酵のバランスを保ち清酒の香味をよくする上で、普通15°Cを中心にもろみ品温を10~18°Cという低温で管理



第1図 もろみ製造工程
Fig. 1 A mash production process

ることが求められる¹⁾。

この品温管理がもろみ発酵で最も大切であり、清酒の品質を左右すると言われている。特に吟醸酒などの質の高い特定名称酒はさらに低温で、長期(約1ヶ月)に渡ってもみ発酵が行なわれることから、より正確できめ細かな品質管理作業ともろみの混和を目的とする糶入れ作業は、重労働となり、長年の経験を心要とする。

このようにもろみ製造に用いられる発酵槽は、次のような機能が求められると考えられる。

- (1) 品種に応じた設定品温が容易に設定でき、正確な品温管理が容易に行える。
- (2) 発酵工程に応じた糶入れが自由に設定でき、糶入れ管理が容易に行える。

上記2項目を中心とした機能を発酵システムとしていかに構築して行くかが課題であり、技能の技術化、省力化のために人との調和を図って行くことが重要になるといえる。

2 目標課題

もろみ発酵の管理操作は種々の項目があるが、ここでは品温管理と糶入れ操作について言及する。

総米仕込量が1~3 ton規模では、特に冷房せずに冬季の造りに大きな問題はないとされるが、それ以上となる品温調節には冷却設備が必要となり、また、手糶入れが難となることから大型化には解決すべき課題でもある。もろみ発酵の品温管理の自動化、糶入れ操作の機械化にたつて、次の目標課題を列挙した。

(1) 品温制御手法の確立

もろみ発酵においては、純粹培養に見られる完全混合に近い通気攪拌発酵槽などと比較して、槽内の混合は極めて慢であり、アルコール生成量が少ない発酵が旺盛な場合(発酵前期)に発生する発酵ガス(主成分:炭酸ガス)による緩やかなもろみ流動混合が期待できるだけである。したがって、ジャケットからの熱移動(除熱効果)の応答が低いと推察されることから、最適な温度制御の方策をとる必要がある。

(2) 糶入れ制御手法の確立

もろみ形態は、「添」、「仲」、「留」の3段仕込時の蒸米などの固形分が多く流動が困難なもろみ状態から、液化、消化が進みアルコール発酵が進んだ流動し易いもろみ状態へ移行して行く。その状態ごとに糶入れの目的が異なり、大きく分けて、蒸米仕込時の均し混和、「留」後の発酵が付着による浮上膨潤米と下部もろみ液との混合(荒糶入れ)、発酵後期の堆積もろみの上下混合、上槽時(4段、ル添含む)のもろみを均一にする混合という糶入れ操作があると思われる。したがって、ある程度の幅をもった糶入れ操作が簡単に組み込めることが必要となる。また、品質制御の観点から、槽上下のもろみ温度差をなくし、熱移動を高めるための攪拌(糶入れ)効果を知っておく必要がある。

これらの操作方法は、蔵ごとのノウハウに関わり、一律決めることは困難と思われる。もろみ品温、糶入れは蔵ごとに清酒の品質別にパターンが確立しているものの、原料処理方法やもろみ成分変化でその都度変更するというきめ細かな管理が要求されている。

2. GL清酒発酵槽の概要

試験仕込に適用したGL清酒発酵槽プラントのフローシートの概略図を第2図に示す。槽径が2800 mm、槽高が3200 mmで上下を鏡板構造とし、ジャケットは槽胴部と下部に独立して配置し、槽外部は75 mmのスタイロホームと0.4 mmのSUS304の外装板で保冷工事を施している。写真1に試験仕込に用いた23KL容量のGL清酒発酵槽を示す。

2.1 品質管理設備

もろみ品温の測定として槽上部、中部、下部の3箇所とジャケットへの冷水入口と出口配管中にそれぞれ测温抵抗体を挿入し、経過温度を自動記録した。品温制御のために空冷式冷却装置(5°Cの冷水供給)と電気ヒーター内蔵の加温器(20°Cの温水供給)を設置し、冷水循環ポンプ(P-01)、温水循環ポンプ(PO-3)を通して、冷水供給調節弁(MV-01)、温水切換弁(MV-02, MV-03)で冷水、温水の供給量を制御した。

2.2 攪拌設備

糶入れ目的と清酒の冷温貯蔵、火入れ冷却のために、3枚翼のペラ攪拌機(翼径:450 mm, 1.5 KW)を槽下部に配置した。大きな縦旋回渦流が発生するように攪拌軸を偏芯させて設置している。さらに、柔らかいもろみ攪拌を行なうために、槽底部中心にガス噴出ノズル(80A)1本を、周囲に複数個を配置した。ガスは槽上部に設置したノズルより、発酵ガスを回収、冷温凝縮後、圧搾し、ガストックタンクに溜め、無菌フィルターを経て、電磁弁の開閉で1本のノズルごとに5~10秒間隔で、2~5秒噴出、大気泡を発生させることができる。

3. 運転管理・制御システム

試験仕込として、パソコンと計測制御機器を接続して、当社開発のプロセス運転監視モニターパッケージソフト(PMX-98:プロセスモニタ)を用い自動運転監視を行った。プラントの電気計装全体系統図を第3図に示す。パ

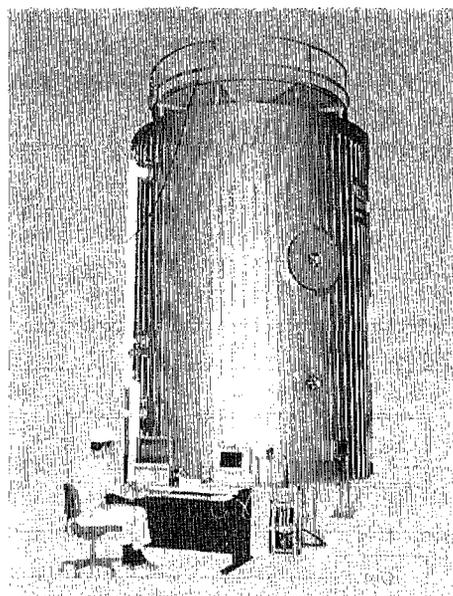
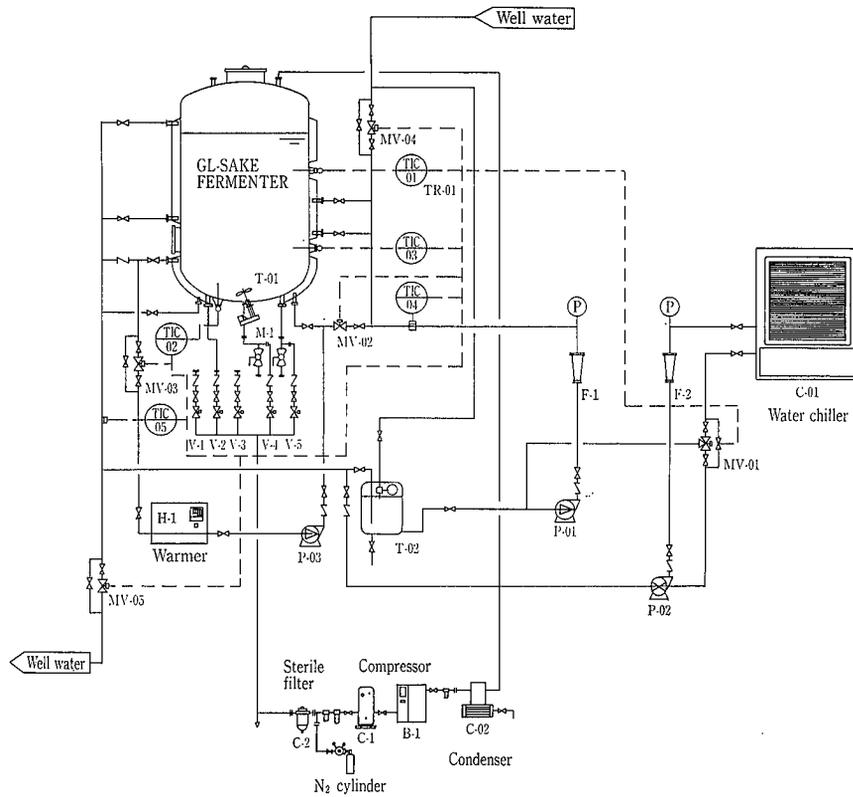
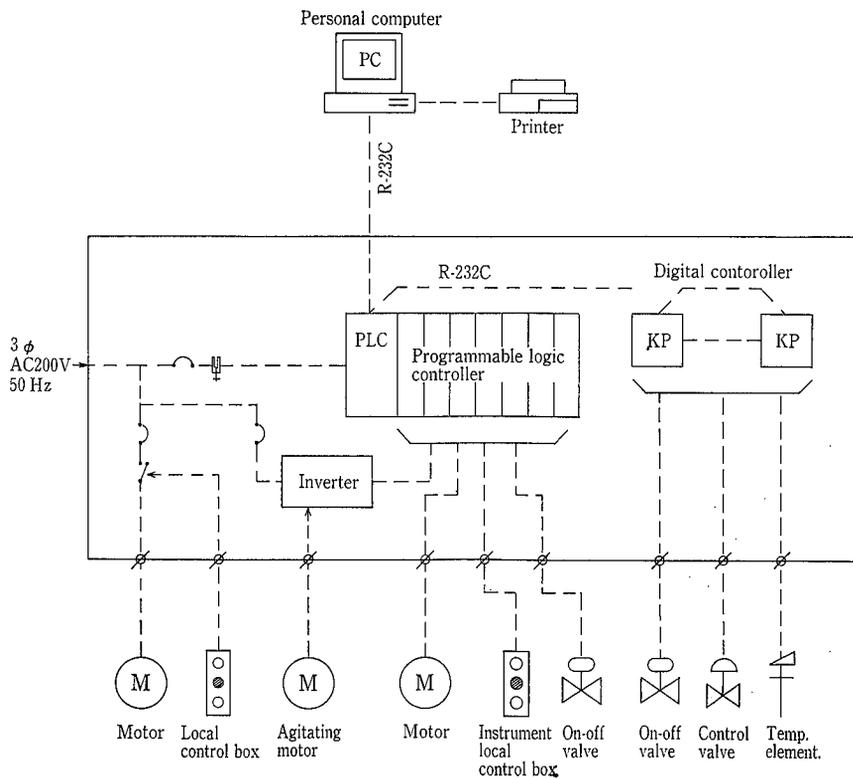


写真1 試験仕込に用いたGL清酒発酵槽
Photo. 1 The GL-sake fermenter for mash production test



第2図 GL清酒発酵槽プラントのフローシート
 Fig. 2 Flow diagram of GL-sake fermenter plant



第3図 試験プラントの電気計装全体系統図
 Fig. 3 Electric & instrumentation diagram of a test plant

コンは日本電気製 PC-9800 シリーズを用い、計測制御機器は PLC (Programable Logic Controller) と温度指示調節計から構成されている。計測制御機器との接続は、通信インターフェース (RS-232C)、I/O ボードを通してデータ伝送、制御指示が行える。

今回の試験仕込においては、品温制御を現場操作盤に設置した温度指示調節計で主に行い、手法を確立してから PLC 内に取り組んだ温度データにより計算機制御を行わせる。攪拌機はインバータを介して、回転数、操作時間を、ガス噴出電磁弁は操作時間を運転プログラムを有する PLC によって、上位パソコン、または、現場操作スイッチの指令で制御できる。糶入れパターンを杜氏の立ち合いのものに決定後、PLC 内にプログラムを組み込んだ。

試験仕込の結果

試験仕込として、それぞれの蔵で純米吟醸酒、吟醸酒、醸造酒を行った。ここでは、その一例の概要を紹介するとともに、品温管理操作、糶入れ操作の説明を行なう。

1 仕込配合ともろみ経過

精米歩合60%の多用途米を用い、総米5800 kg の純米酒 (精米歩合からは吟醸酒に入る) 吟醸酒の試験仕込を行った。仕込配合を第1表に、もろみ品温経過の表示画面 (データ収集後再構成したもの) を写真2に示した。

品温グラフには初期設定した品温パターン、測定品温 (槽上、中、下平均値)、および、ジャケット内の循環冷却温度が表示される。各成分は手分析結果をキーボードより入力し、アルコール、ポーム、および、BMD 値 (留後) 日数にその日のポームを乗じた値) をグラフ化したもの

である。上槽後の検定値は、日本酒度+3.5、アルコール (日本清酒度) 18.3%、酸度2.05、アミノ酸度1.70で、やや辛口のすっきりした、かつ、旨味のある純米酒ということであった。

4.2 品温管理操作

杜氏から示された設定品温をもとに、もろみ測定品温 (3点容量分割平均値) とジャケット入口、出口温度の経過を逐次読み取り、もろみ品温 (T_M) とジャケット平均水温 (T_J) との温度差 (ΔT_m) に対する伝熱応答速度をジャケット水温を種々変更して調査し、品温管理方針を決定した。

(1) 応答特性

留後の発酵前期、中期、後期と発酵状態によって応答時間 (品温降下応答速度) にある程度の幅がみられたが、 ΔT_m によって大きく変動し、特に急冷操作は過冷却状態を引き起こす (オーバーシュート) 結果となった。もろみ品温の上昇率、すなわち、発酵熱変化を予測して ΔT_m を設定することが重要となることを見いだした。発酵熱による一定期間 (30分) の T_M の平均変化率を求め、変化率の大きさに対応させて ΔT_m 、すなわち、 T_J を制御した。ジャケットへの冷水供給量を冷水供給調節弁の開度によって制御し、品温 (T_M) 変化量に対応させた T_J となるようにジャケット入口温度を直接制御するカスケード制御を行なうこととした。

本制御方式では、 T_J は急激な温度変動がなく、もろみの過冷却を引き起こすことはなくなり、仕込時を除いてその後の数回の発酵では、設定品温パターンに対してほぼ 1°C 以内に品温制御を行なうことができた。

第1表 試験仕込配合

Table 1 Proportion of raw materials for a test sake brewing

	Shubo	Soe	Naka	Tome	Total
Total rice (kg)	350	1 005	1 680	2 965	5 800
Rice for steaming (kg)	240	715	1 305	2 380	4 640
Rice for koji (kg)	110	290	375	385	1 160
Water (l)	620	1 100	2 100	4 010	7 840

A sake brewing was done using white rice of 50% polishing ratio. Kyokai yeast No. 9 (K-9) was used.

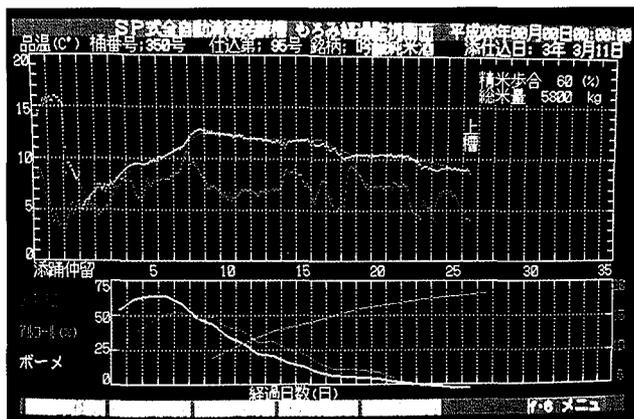


写真2 品温経過表示画面の例

Photo. 2 An example display of mash temperature progress

(2) 温度分布

発酵前期の固形物量が多い場合（「留」後2～4日）、槽中心、周囲、および、槽上下で最大2～3℃の差が生じる傾向にあった。なお、槽壁から200mm以上離れた位置ではもろみ品温はジャケット温度に影響されていなかった。また、槽上下温度差が生じた場合、下部ジャケットへの冷水供給制御、および、1分程度のガス攪拌によるもろみの上下流動を行なうことにより温度差を解消する効果が現われた。なお、「留」後のもろみ発酵期間に温水供給（設定品温より1℃以下となる場合に作動するように設定）を行なうことはなかった。

4.3 権入れ操作

GL清酒発酵槽は、ペラ攪拌、ガス攪拌、ペラーガス併用攪拌が選定できることから、それぞれ単独使用と併用使用を試み、もろみ状貌の観察、酒質をもとに権入れパターンを検討し、権入れ方策を決定した。

(1) 仕込工程における権入れ

「添」、「仲」、「留」仕込の蒸米量が多い場合、ガス攪拌単独で仕込開始の均し権入れは可能であるが、物量が多くなると権入れは不十分であると判断された。ペラ攪拌単独では、仕込開始から連続回転すれば均し権入れは可能であるが、蒸米の破碎が一部発生する傾向にあった。ペラ攪拌を主体としたガス併用権入れを試み、ペラ攪拌5分、ガス攪拌1～2分、休止1～2分の繰り返し間欠運転を行なうことで、均し権入れを行なうことができた。権入れは仕込作業時間内のみとした。

(2) もろみ発酵工程権入れ

「留」後の荒権入れは、浮上膨潤米層が堅く形成される前にガス攪拌を間欠運転し、徐々に崩れて行くことで強いペラ攪拌による荒権入れや人手による棒権入れを行なうことなく、ガス抜きが行え、浮上米をもろみ液に浸漬させることができた。ガス権入れの間欠運転は6時間程度のインターバルで2～6分のガス噴出を行なうと、ガスの通気道に沿って発酵ガスが抜けることを確認した。

その後の権入れにおいて、1日1～2回のペラ攪拌単独、ガス攪拌単独を試みた。ペラ攪拌はもろみの微細化を促進させ過ぎる傾向にあった。1～2分のガス攪拌単独により、槽底部に堆積したもろみは連続上向流動を起し、槽全体に緩やかな権入れが行えた。もろみ発酵中はガス攪拌のみの権入れで運転することとした。

(3) 上槽工程

もろみを圧搾機に掛ける前に均一混合する必要があるこ

とから、上槽中のもろみの沈降堆積を避けるため5分運転、5～10分休止のペラ攪拌の間欠運転を行なった。また、上槽前の4段掛け（蒸米または蒸米を酵素等で糖化した後、もろみに投入する操作）やアル添操作を行なう場合にも同様の運転を行なった。

これら全ての権入れ操作は、スイッチ操作で単独運転、また、工程別運転が行える。

む す び

全国の醸造場2000余りの中でも、酒造専従者減少の労務対策とともにサバイバル指向で品質改良の研究や清酒製造に、酒造りのノウハウというべき杜氏の経験と勘をデータ化し、コンピュータ・システム制御を導入する試みが行われつつある。手造りを基本としてきた伝統技術である「匠」の酒造現場に自動化機械をどのように対応させ、技術の伝承、向上を図って行くかが清酒業界の一つの課題といえるであろう。エキスパート・システム、ファジィ理論などAI技術の導入もなされて行くと思われるが、酒造専従者のプライドを重視した、人間の手助けとなるシステム化が重要となると考えられる。

当社は、酒質に最も適したグラスライニング製の貯酒槽、火入れ冷却槽、調合タンク、手仕込の発酵槽などに多くの実績があり、ユーザ各位よりご愛顧をいただいている。

今回品温管理、権入れ操作の方策を杜氏の御指導の基に押し進め清酒発酵の自動化を試みたが、今後もこの経験を生かし、より技術アップし、より高度なエンジニアリングを提供して行きたいと考えている。

数回の仕込試験において、ペラ・ガス攪拌がもろみ発酵、酒質へ及ぼす影響は特に見いだされず、優れた品温管理により「小規模手仕込と遜色のない酒が醸せた」との杜氏のお言葉をいただいた。

最後に今回の試験仕込に多大なるご協力とご配慮をいただきました白瀧酒造株式会社殿、株式会社飯沼本家殿に深謝申し上げます。また、直接御指導下さいました白瀧酒造の高綱杜氏、飯沼本家の菅原杜氏に心より感謝申し上げますとともに、ご助言をいただきました関係各位の皆様にも厚く感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 財団法人 日本醸造協会編：最新酒造講本，1986
- 2) 野口収次，平田逸郎：神鋼パンテック技報，Vol. 34 No. 1 (1990) p. 15