

# フルゾーン翼を用いた白米粒液化装置

## New Liquefying Equipment with a FULLZONE Impeller for "Polished Rice Grains"



(化)営業部  
小林 哲 男  
Tetsuo Kobayashi

The sake brewing industry, still relying upon traditional techniques of skilled workers in many ways, has to promote modernization such as new technical innovations, education and training of young workers, and increasing the productivity.

As a new sake brewing technique, the liquefied rice fermentation process has attracted the attention of many breweries.

We have developed automatic liquefying equipment with a FULLZONE impeller for polished rice grains. This paper shows some examples of liquefying tests using a FULLZONE impeller and the result of a liquefied rice fermentation test.

### ま え が き

清酒醸造は、従来、杜氏制度に依拠した冬季生産形態で行われる伝統的産業の一つである。近年、杜氏をはじめとする酒造専従者不足が深刻化するにいたって、年間を通じた四季醸造、及び、週休二日制を取り入れた若年従業員の年間雇用による後継者育成対策として、新しい酒造技術の開発による製造工程の簡易化と自動化等省力化、合理化指向の技術、設備が求められてきている。これらの要求に応える新しい清酒醸造技術の一つとして、掛米液化仕込法が注目されてきている。

当社は、先に人との調和を図った品温管理の自動化を目的とした「GL清酒発酵槽」<sup>1)</sup>の開発を行ってきたが、攪拌技術に支えられた「フルゾーン翼」を適用した液化装置の製作を宝酒造(株)のご指導により試みてきた。

本報では、フルゾーン翼(以下FZ翼)を備えた100L容量の「FZ液化装置」による白米粒の液化試験結果を中心に適用事例として報告する。

### 1. 液化仕込法の概要

#### 1.1 液化仕込法

液化仕込法とは、酒造りの原料である精白米と仕込水を液化装置に投入し、昇温しながら酵素によって白米中のデンプンを液化(糖化)し、発酵工程に最適な仕込温度まで急冷後、発酵槽に送液し、これに酵母(酒母)、麴米を加え並行複発酵を行わせて清酒を製造する方法である。

従来の液化仕込法における精白米の液化処理方法として、

##### (1) 破碎白米液化仕込法

あらかじめ精白米を機械破碎した後、仕込水を加えて液化する方法で、「乾式破碎法」、「高周波照射乾式破碎法」、「浸漬湿式破碎(磨碎)法」

##### (2) 白米粒液化仕込法

白米粒(丸白米)を仕込水と共に液化槽に投入して液化する方法で、「特殊酵素利用攪拌破碎法」、「高速攪拌破碎法」

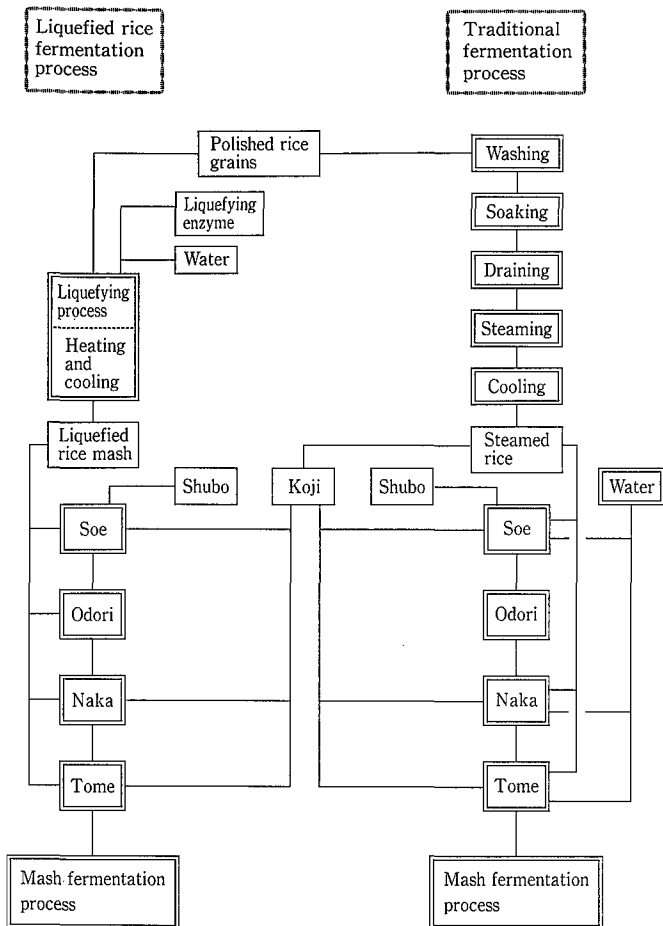
等が知られている<sup>2)</sup>。いずれも精白米の米粒を破碎して液化する方法である。

原料処理、仕込工程について蒸米を掛米とする方法と液化法との比較を第1図に示す。精白米を蒸して固体のまま発酵槽に仕込む従来の原料米処理と異なり、精白米を酵素によって液状化することに特長がある。発酵槽の仕込初期から液状化された液化もろみであるため流動性が高く、品質設計に応じた糶入れ操作、品温設定等の発酵管理が容易となり、作業の合理化、省力化が可能となる。

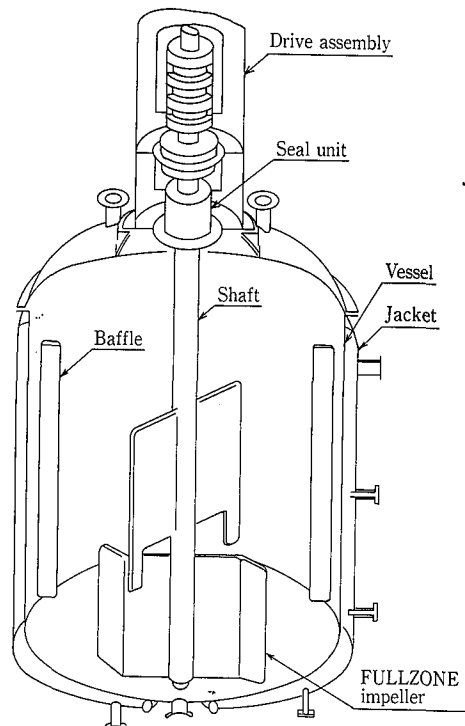
#### 1.2 液化装置の機能と課題

精白米の液化法は、原料米のデンプンの糊化とそれを酵素によって液化・糖化(オリゴ糖への転化)することが主要な役目である。液化装置は、物量の均質な攪拌混合と糊化・糖化に必要な昇温(約45°Cから約85°C)、及び、発酵槽への仕込温度(約7°C~12°C)までの急冷が自動で行える機能が要求される。

液化のための酵素反応を促進するために、白米粒を破碎して液化する方法が採用されているが、白米の糊化過程で破碎米ほど急激な糊性状となり粘性が急増することが知られている<sup>3)</sup>。このため、白米を破碎する液化方法は糊化による液粘性の急激な増大を避けるために緩慢な昇温(4~6時間)または仕込水歩合を多くしている。この液粘性の増大は攪拌状態を悪化させ部分的な液停滞部が生じる恐れがあり、不均一な温度分布、酵素反応、及び、伝熱効率の低下を来すと考えられる。また、液化・糖化液を高温度下で長く維持することは糖成分等が変質する恐れがある。



第1図 液化仕込法と従来仕込法の比較  
Fig. 1 Comparison of a liquefied rice fermentation process and the traditional fermentation process



第2図 フルゾーンを装備した撹拌槽  
Fig. 2 A FULLZONE impeller installed in a vessel

従来より、酒造りの基本として「櫛で潰すな、麴で溶かせ」と言われてきているが、白米粒を破碎させず、迅速な昇温によって液化・糖化を実現させる撹拌機能を備えた液化装置が求められていた。

## 2. フルゾーン翼の液化装置への適用

### 2.1 フルゾーン翼の概要

フルゾーン翼は2枚のワイドパドル翼をクロス配置(45度)した極めて広い液粘度範囲での効率よい混合を可能とした高効率、多機能型撹拌翼として、高分子ポリマー重合反応装置等の需要に応じている。このフルゾーン翼の特長の一つに低速回転で内容物を大きな上下流動混合を行わせることができ、固形物を含むスラリー撹拌、粉体混合撹拌にも適する。フルゾーン翼の概要図を第2図に示す。

### 2.2 液化試験

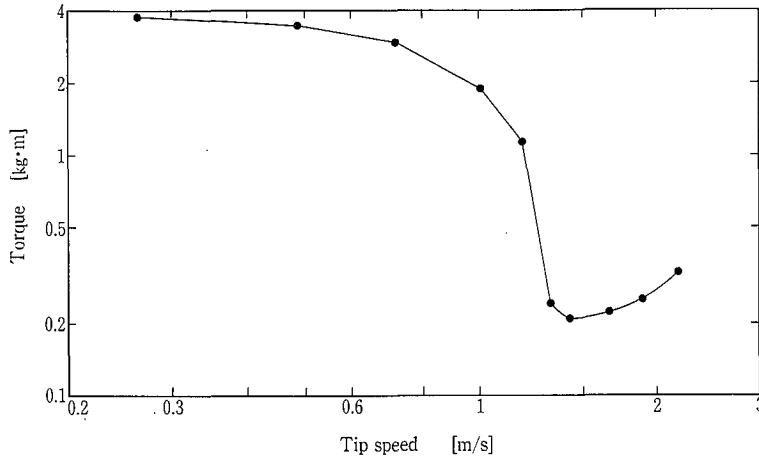
よく使用される多段ピッチパドル翼は高粘度液では、翼廻りの流体混合しか行われず、白米粒のスラリー撹拌では白米粒が増加するにつれて翼回転数を増加しなければ均一混合は困難であり、また、混合時間が長くなることが知られている。さらに高速回転になるほど翼剪断力は増加し、固形物の剪断破碎が生じるなどの知見を得ている。

フルゾーン翼を備えた撹拌テスト装置によって、白米粒を破碎させずに液化させることを目的として、撹拌条件の

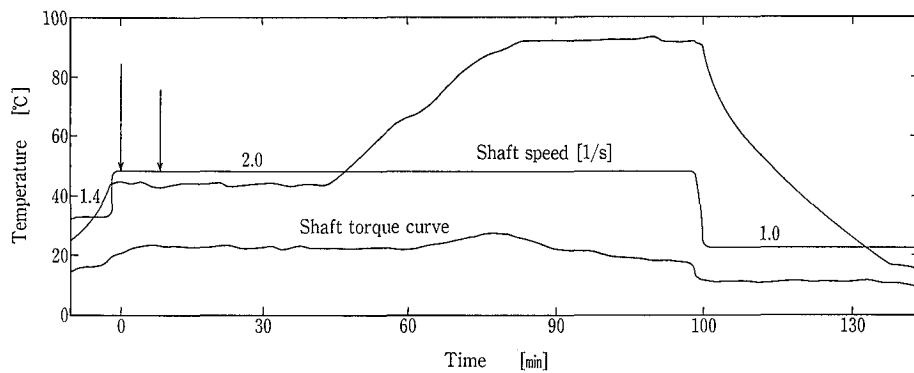
検討試験を実施した。

### 2.2.1 試験装置

- 100L液化用 FULLZONE 翼撹拌テスト装置仕様  
槽径： $\phi 500$  mm  
バッフル：2本配置  
回転数：0~3.3 1/S  
翼径：285 mm  
昇温：外套に105°C スチーム投入  
冷却：外套に水道水(約25°C) 通水  
仕込条件：  
白米投入量：43 kg (精白度75%)  
汲水投入量：70 L  
酵素添加量：2/10 000~7/10 000 (W/W 白米)
- 60L 混合状態観察用 FULLZONE 翼撹拌テスト装置仕様(アクリル槽)  
槽径： $\phi 400$  mm  
バッフル：2本配置  
回転数：0~3.3 1/S  
翼径：228 mm  
仕込条件：  
白米投入量：26 kg (市販標準米)  
汲水投入量：42 L



第3図 フルゾーン軸トルク線図  
Fig. 3 Shaft torque curve for a FULLZONE impeller



第4図 液化実験結果の1例  
Fig. 4 The result of change in temperature, etc. with time during a liquefying test

## 2. 2. 2 実験方法

### 1) 液化実験

汲水を投入後、45°Cに昇温、酵素及び白米粒を投入し約30分保持、その後90°Cまで約35分で昇温させ、約30分保持後、冷却を行った。

### 2) 混合状態観察実験

所定の白米粒投入後、常温で低速から高速へと翼回転数を増加させて、白米粒の混合状態を観察し、白米粒が破碎されない攪拌条件を種々検討した。

なお、共通測定項目として軸トルクを測定した。

## 2. 2. 3 攪拌実験結果と考察

### 1) 混合状態観察実験結果

翼回転数を0.3 1/Sから3.0 1/Sへと増加させた場合のトルクを第3図に示す。低速回転数領域では槽底部に白米粒の停滞が観察されたが、回転数を増加させると白米粒が浮遊分散混合状態となり良好な流動混合状態が得られた。この浮遊分散混合が生じる領域では、第3図に示すようにトルクの低下が見られ、さらに高回転数ではトルク増加が見られた。この増加傾向は液体混合で得られるトルク増加特性である。この最小トルクは回転数として約2.0 1/Sで得られた。これより低い回転数では白米粒の停滞が生じることから翼との摩擦による白米粒の摩擦が生じ、また、不均一混合となると考えられる。また、これより高い回転数では白米粒の良好な浮遊分散混合が得られるが翼先端の剪断力による白米粒の破碎が生じると考えられる。

白米粒の翼による摩擦、剪断破碎は米粒形状、物性、個形物充填率（密度）等によって違いがあると思われるが、白米粒の浮遊分散混合領域、すなわち、トルク最小領域となる翼回転数及びバッフル条件を設計すれば良いことがわかった。

### 2) 液化実験結果

液化実験結果の一例を第4図に示す。酵素添加量が最も少なく2/10 000 (W/W 白米)程度で実施した。白米粒投入開始時に回転数を浮遊分散混合領域となる2.0 1/Sとし、45°Cの保持時間を35分、45°Cから約90°Cまでの昇温時間を40分、90°C保持を30分、合計105分で液化、40°Cまで回転数を1.0 1/Sとして約40分で水道水による冷却が行えた。昇温後約75°C付近からトルクの増加が見られ、約30分後に白米粒投入時のトルクより低い値まで減少した。これは、酵素添加量が2/10 000 W/W 白米以上では生じなかったことから、酵素量不足で糊化デンプンの液化が遅れたと考えられる。しかし、30分後にトルク低下が起きていることから液化は達成されていると思われた。

冷却引き抜き後の観察結果では、著しい白米粒の破碎はなかったことから、白米粒の浮遊分散混合領域となる攪拌条件の設定を行えば良いと判断された。通常の3段ピッチドパドルでは、均質な混合のためには約3倍以上の回転数を必要とし、白米粒の破碎とともに、所用動力が約20%程度増加することから、フルゾーン翼が白米粒を破碎させずに液化する攪拌装置として適していると考えられた。

第 1 表 液化成分の比較

Table 1 Comparison of composition in liquefied rice between two impeller types

	Sake meter	pH [-]	Total acidity [mℓ]	Total nitrogen [w/w%]	Percentage crushed rice [%]
FULLZONE type	16.8	6.5	0.05	0.009	<5
Paddle type	16.9	6.5	0.05	0.011	90

第 2 表 試験仕込配合

Table 2 Proportion of raw materials for test sake brewing

	Mizukoji	Soe	Naka	Tome-1	Tome-2	Total
Total rice (kg)						30.0
Liquefied rice (kg)		6.5	6.5	6.5	6.5	26.0
Rice for Koji (kg)	0.7	0.83	0.83	0.83	0.83	4.0
Water (kg)	2.0	10.4	10.4	10.4	10.4	43.6
Enzyme (g)		3.0	3.0	3.0	3.0	12.0
Lactic acid (mℓ)	12.5					12.5
Cultured yeast (g)	28.0					28.0

Cultured yeast used in this test : K-701

第 3 表 発酵経過の比較

Table 3 Comparison as a function of mash fermentation with liquefied rice between two impeller types

Day	Sake meter		Alcohol [%]		Total acidity [mℓ]		Amino acidity [mℓ]		Number of yeast fungi [ $\times 10^8/g$ moromi]	
	FZ	PD	FZ	PD	FZ	PD	FZ	PD	FZ	PD
Soe										
Odori	14.1	14.5	2.8	0.8	2.7	2.5	0.2	0.2	4.0	2.6
Naka	11.2	11.6	4.1	3.0	2.5	3.3	0.2	0.2	8.1	5.7
Tome-1	11.4	11.8	5.0	4.0	2.3	2.7	0.2	0.2	8.1	5.4
Tome-2	11.4	11.8	4.2	4.0	2.6	3.0	0.2	0.2	7.9	5.4
2	10.2	11.4	4.9	4.6	2.8	2.8	0.2	0.2	7.5	4.9
3	8.6	9.4	9.6	7.8	3.0	3.2	0.3	0.3	7.0	4.9
6	4.8	5.5	13.4	12.0	3.1	3.4	0.3	0.3	6.2	5.2
8	2.9	3.6	16.0	15.0	2.8	3.2	0.4	0.4	5.3	4.6
10	-14.0	-21.0	17.0	16.4	2.8	3.3	0.4	0.4	5.3	4.7
11	-7.0	-15.0	18.0	17.4	3.2	3.4	0.4	0.5	5.0	4.5
12	-2.0	-8.0	18.8	18.2	3.0	3.3	0.5	0.6	4.7	4.4

FZ : FULLZONE type, PD : Paddle type

### 液化仕込試験結果

前述の結果に基づき、フルゾーン翼による白米粒を破碎せずに液化が行えることが実証されたが、粒を残した場合の液化液の成分、また、これを用いた仕込による酒造について検討することとした。試験仕込については宝酒造(株)研究所で、前述の 100L FULLZONE 液化装置と同径の液化タンクを使用し、2 段ピッチドバドル翼との比較仕込試験を実施した。

#### 1 液化試験結果

液化条件は前述とほぼ同条件で実施し、ピッチドバドル翼は、翼径φ200 mm、回転数約 6.7 1/S で液化した。

第 1 表に液化液の成分と白米粒の破碎の程度を示す。

ここで、破碎度は次式で定義した。

$$\text{破碎度} = (1 - \text{液化後整粒数} / \text{液化前整粒数}) \times 100$$

ただし、整粒とは原料白米粒の粒径の約 50 % 以上が残存するものとし、整粒数は残存液化物当たりとした。

第 1 表に示すように、ピッチドバドル翼では破碎度が 90 % 以上となり、ほとんど白米粒は破碎されていたのに対し、フルゾーン翼は 5 % 以下であり、白米粒はほとんど破碎されていなかった。

#### 3. 2 液化仕込試験結果

前述した異なるタイプの攪拌機を用いた白米粒液化もろみによる液化仕込試験を実施した。第 2 表に清酒醸造の仕込配合を示す。

使用白米：75 %精白米（滋賀県産日本晴），液化用  
 使用麴米：70 %精白米（同上），常法により蒸きょうし，  
 清酒用麴胞子を接種，常法により培養した。  
 使用酵母：協会酵母701号，培養酵母  
 発酵温度：15 °C

発酵経過を第3表に示す。

フルゾーン翼による液化もろみでは，いずれの発酵段階でもピッチドパドル翼と比較して酵母数が多く，白米粒が潰れない液化もろみで酵母の増殖は良好であった。結果として，ポーメの切れも良く，アルコールの生成も速く良好な発酵経過が得られた。成分経過はフルゾーン翼の液化もろみの方が酸の生成量がやや少なかった。

また，もろみ液の圧搾時における沓過速度はフルゾーン翼による液化もろみの方が約30 %速く，沓過性能の改善がみられ，圧搾時間の短縮が図れることがわかった。

官能検査の結果を第4表に示す。白米粒を破碎しないフルゾーン翼による液化もろみを使用した清酒の方が，白米粒が破碎される液化もろみを使用した清酒より香りが高く，かつ，味は端麗で良好であるという結果であった。

#### 4. フルゾーン翼液化装置の位置付け

当社は，ガラスライニング製及びステンレス製タンクを通じ，多様な形式の攪拌装置を提供してきている。酒造業界には，貯酒，調合，発酵タンクを中心とした取り組みから攪拌技術を活かした醸造設備の提供を推進したいと考えている。

白米粒を破碎させずに液化する白米粒液化装置として，固液分散混合，伝熱効率アップ，白米の糊化，酵素反応の促進等の厳しい攪拌条件に，フルゾーン翼が適用可能であることが実証でき，醸造・発酵・食品分野へ一つの新しい技術が提供出来るものと考えている。

#### むすび

白米粒の液化仕込法は清酒醸造において，新しい醸造技術の一つとして注目を浴びつつある。専従従業者不足による労務対策として，少人数で週休二日制の導入を目指した週仕舞い仕込等生産の合理化，省力化が図れる一つの酒造

第4表 官能検査結果

Table 4 Comparison of sake taste between two impeller types

	Fragrance	Flavor	Total
FULLZONE type	1.2	1.3	1.2
Paddle type	1.3	1.7	1.6

Grade points : 1. Good, 2. Average, 3. Poor  
 (Number of testers : 10)

方法と言え。しかし，手造りを基本としていた「匠」の技で醸し出される清酒の酒造現場に自動機械化設備をどのように対応させ，技術の伝承，さらなる技術の向上を図っていくかが今後の清酒業界の課題と言えらるであろう。また醸造設備として，酒造専従者が使いやすく，手足となる酒造システム化が重要となると思われる。

今回，フルゾーン翼の液化装置への適用を宝酒造俵殿のご指導の基に押し進め，白米粒を破碎させずに液化することを可能とし，清酒についてもほぼ満足いただける結果を得ることが出来た。今後もこの経験を生かし，より人との調和を重視した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。

なお，宝酒造俵殿に18K Lの白米粒液化槽用のフルゾーン翼を納入して，約1年が経過するが，現在もなお順調に試験を行っていただいている。

最後に，今回のフルゾーン翼の液化装置への適用試験に多大なるご協力とご配慮をいただきました宝酒造俵殿に深謝申し上げますとともに，貴重な資料の割載の許可をいただきました矢野忠徳常務取締役殿に深謝申し上げます。また，直接ご指導下さいました高山卓美製造部専門部長（元酒類研究所所長），内田正裕灘工場長（元酒類研究所部長）をはじめご助言，ご協力をいただきました関係各位の皆様へ深く感謝申し上げます。

#### 〔参考文献〕

- 1) 小林，西久保：神鋼パンテック株式会社技報，Vol. 37 No. 1 (1993) p. 23
- 2) 姫野国夫：醸造協会誌，88，(10) (1993) p. 756
- 3) 深谷伊和男：醸造協会誌，83，(4) (1988) p. 218