

工学などという概念のない太古から嗜好品として世界中で愛されてきたお酒の製法には、多くの化学工学の手法が含まれている。経験に基づくのが化学工学であることを考えれば、酒造りは最も古くからある化学工学のひとつといえるかもしれない。

では、現代の酒造りは？ と覗いてみると、理論に則って工学的に扱われる技術がある一方で、未だに理論が解明されず経験の蓄積によって生み出されている技術があるのも事実であり、酒造りの中には、化学工学の本質や魅力が詰まっているように思われる。今回の紹介する酒造りの技術を通して、化学工学の本質や魅力を再考する機会にさせていただければ幸いである。

という主旨ですが、この特集は編集委員会あとの飲み会から生まれた企画で、内容も硬軟とりまぜたものになっていますので、肩肘張らずに酒の席のネタとしてご一読ください。

(編集担当：城戸操介)†

## 酒類製造の概要

山岡 洋

### 1. お酒とは

我が国の酒税法では、酒類とは「アルコール分1度以上の飲料(薄めてアルコール分1度以上の飲料とすることができるもの(アルコール分が90度以上のアルコールのうち、第7条第1項の規定による酒類の製造免許を受けた者が酒類の原料として当該製造免許を受けた製造場において製造するもの以外のものを除く。))又は溶解してアルコール分1度以上の飲料とすることができる粉末状のものを含む。)をいう。」と定義されている。そのため、アルコール事業法の適用を受けるもの(同法の規定する特定アルコールを精製し又はアルコール分90度未満に薄めたもので、明らかに飲用以外の用途に供されると認められるものを含む。)や薬事法の規定により製造(輸入販売を含む。)の許可を受けたアルコール含有医薬品・医薬部外品などは酒税法上の酒類から除かれる。

また、酒税法では、酒類をビール又は発泡酒に該当するものとアルコール分10度未満で発泡性を有する酒類から

なる「発泡性酒類」、米、麦、ぶどうなどの原料を発酵させて造る「醸造酒類」、アルコール含有物を蒸留して造る「蒸留酒類」及びこれらの酒類に別の酒類やほかの物品を加えて造る「混成酒類」の4種類に大きく分類するとともに、原料及び製造方法の違い等により17品目に区分している(表1)。

### 2. 原料

お酒の原料としては、色々な種類のものが利用されているが、発酵させてアルコールを造ることができるものは全て原料となり、それには、糖質原料とデンプン質原料がある。

糖質原料には、ブドウ、リンゴ、ナシ、ブルーベリーなどの果実、サトウキビやリュウゼツラン(テキーラの原料)などの植物、蜂蜜、乳などがある。これらには、ブドウ糖、果糖、砂糖、乳糖などが含まれていて、発酵するとアルコールができる。

蜂蜜から造られるお酒は「ミード」と呼ばれており、中央アジアやモンゴルなどでは乳から造られた乳酒が飲まれている。

一方、デンプン質原料には、米、大麦、ライ麦、トウモロコシなどの穀類やサツマイモ(甘藷)、ジャガイモなどのイモ類がある。これらは、ブドウ糖がネックレスのチェーンのよ



Summary of Alcoholic Beverage Production  
Hiroshi YAMAOKA  
1987年 山口大学大学院農学研究科修士課程修了  
現在 (独)酒類総合研究所 研究企画知財部門 部門長  
連絡先 〒739-0046 広島県東広島市鏡山3-7-1  
E-mail h.yamaoka@nrib.go.jp

2015年3月19日受理

† Kido, K

25, 26年度化工誌編集委員(7号特集主査)  
千代田化工建設(株)

表1 酒税法における酒類の分類及び定義

酒類	種別	内 訳(酒税法第3条第3号から第6号まで)	
		アルコール分1度以上の飲料 (酒税法第2条)	
酒類	発泡性酒類		ビール、発泡酒、その他の発泡性酒類(ビール及び発泡酒以外の酒類のうちアルコール分が10度未満で発泡性を有するもの)
	醸造酒類 <sup>(注)</sup>		清酒、果実酒、その他の醸造酒
	蒸留酒類 <sup>(注)</sup>		連続式蒸留しょうちゅう、単式蒸留しょうちゅう、ウイスキー、ブランデー、原料用アルコール、スピリッツ
	混成酒類 <sup>(注)</sup>		合成清酒、みりん、甘味果実酒、リキュール、粉末酒、雑酒

(注)その他の発泡性酒類に該当するものは除かれる。

品 目	定 義 の 概 要(酒税法第3条第7号から第23号まで)
清酒	* 米、米こうじ及び水を原料として発酵させてこしたもの(アルコール分が22度未満のもの) * 米、米こうじ、水及び清酒かすその他政令で定める物品を原料として発酵させてこしたもの(アルコール分が22度未満のもの)
合成清酒	* アルコール、しょうちゅう又は清酒とぶどう糖その他政令で定める物品を原料として製造した酒類で清酒に類似するもの(アルコール分が16度未満でエキス分が5度以上等のもの)
連続式蒸留しょうちゅう	* アルコール含有物を連続式蒸留機により蒸留したもの(アルコール分が36度未満のもの)
単式蒸留しょうちゅう	* アルコール含有物を連続式蒸留機以外の蒸留機により蒸留したもの(アルコール分が45度以下のもの)
みりん	* 米、米こうじにしょうちゅう又はアルコール、その他政令で定める物品を加えてこしたもの(アルコール分が15度未満でエキス分が40度以上等のもの)
ビール	* 麦芽、ホップ及び水を原料として発酵させたもの(アルコール分が20度未満のもの) * 麦芽、ホップ、水及び麦その他政令で定める物品を原料として発酵させたもの(アルコール分が20度未満のもの)
果実酒	* 果実を原料として発酵させたもの(アルコール分が20度未満のもの) * 果実に糖類を加えて発酵させたもの(アルコール分が15度未満のもの)
甘味果実酒	* 果実酒に糖類又はブランデー等を混和したもの
ウイスキー	* 発芽させた穀類及び水を原料として糖化させて発酵させたアルコール含有物を蒸留したもの
ブランデー	* 果実若しくは果実及び水を原料として発酵させたアルコール含有物を蒸留したもの
原料用アルコール	* アルコール含有物を蒸留したもの(アルコール分が45度を超えるもの)
発泡酒	* 麦芽又は麦を原料の一部とした酒類で発泡性を有するもの(アルコール分が20度未満のもの)
その他の醸造酒	* 穀類、糖類等を原料として発酵させたもの(アルコール分が20度未満でエキス分が2度以上等のもの)
スピリッツ	* 上記のいずれにも該当しない酒類でエキス分が2度未満のもの
リキュール	* 酒類と糖類等を原料とした酒類でエキス分が2度以上のもの
粉末酒	* 溶解してアルコール分1度以上の飲料とすることができる粉末状のもの
雑酒	* 上記のいずれにも該当しない酒類

うにたくさん繋がったデンプンを主成分とした作物である。

### 3. お酒の造り方

お酒の原料である糖質原料やデンプン質原料を糖化したものは、「酵母」によってアルコール発酵されてお酒になるが、これを「醸造酒」という。醸造酒は糖化の有無等で細かくは3つに分けられる。1つは、単発酵酒と呼ばれるお酒で、糖分を含む果実などをそのまま発酵させたものであり、果実酒などがある。2つ目は、原料を糖化した後に発酵をおこなうお酒で、単行複発酵酒といい、大麦を糖化させた後に発酵させて造るビールなどが、これに当たる。3つ目は、原料の糖化と発酵を同時におこなうお酒で、並行複発酵酒といい、清酒がこれに該当する。

一方、発酵した後に蒸留操作をおこない、蒸気を冷やして液体にしたものは「蒸留酒」であり、しょうちゅう、ウイ

スキー、ブランデーなどがある。

「混成酒」は、醸造酒や蒸留酒などをもとにして、混合したり、糖類や香料などを加えたり、草根本皮などを漬けたりして造るお酒で、合成清酒、みりん、リキュールなどがあり、これらは発酵はしていない。

発酵に伴ってアルコールとともに炭酸ガスができる。多くのお酒では、これを空気中に放出しているが、ビールなどでは、ビール中に溶かし込んで利用している。

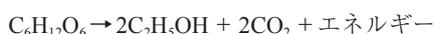
#### 3.1 発酵

発酵は酵母がおこなう。酵母は、大きさが10ミクロン程度と普通では目に見えない微生物である。学名はサッカロマイセス・セレビスエ(*Saccharomyces cerevisiae*)と言う。

この酵母は、砂糖やブドウ糖などの糖分を栄養として生きている。人間がご飯に含まれるデンプンを最終的に水と炭酸ガスに分解してエネルギーを得ているのに対し、酵母はエチルアルコールと炭酸ガスにしている。このアルコー

ルを我々人間はお酒として飲んでいるのである。

酵母の体内では、糖分の一つであるブドウ糖1個から2個のアルコールと2個の炭酸ガスをつくり出し、この時に得られるエネルギーを利用している。



180 gのブドウ糖からは、理論上、 $2 \times 46 \text{ g} = 92 \text{ g}$ のアルコールがつくられる。これは、アルコール分16%のお酒720 mLに相当する。ただし、実際の発酵では、お酒の甘味として残ったり、酵母の増殖に使われたりするので、このように効率良くはいかない。

また、人間が生きていくためには、炭水化物のほかにタンパク質や脂質、ビタミンなどが必要となるが、酵母も同様に、窒素成分や、リン酸、カリウムなどの成分を必要とする。純粋な糖分やデンプンに酵母を加えても、発酵できない。適度な栄養が含まれる穀類や果物だから、発酵できるのである。

### 3.2 糖化

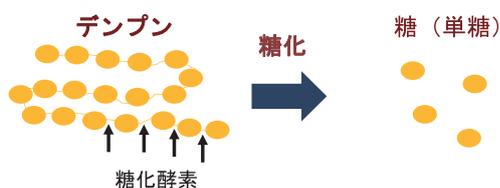
発酵をおこなう酵母は、お酒の原料に含まれるデンプン自身を栄養分として利用できない。人間は体の中にデンプンを糖分に変える消化酵素を持っているのに対し、酵母にはその酵素がないためである。そのため、デンプン質原料である米や麦などの穀類を原料とする場合は、含まれるデンプンを糖化してやる必要がある。

ブドウ糖がたくさん繋がった構造をしたデンプンを分解してブドウ糖にするのが「糖化」である(図1)。

ヨーロッパと東洋では、この糖化の方法が異なっており、ヨーロッパでは麦芽を、東洋ではカビを利用する。麦芽は、大麦を発芽させた後、脱根、乾燥させたものである。この麦芽の中にはデンプンを糖化する酵素が多量に含まれている。

一方、東洋では、カビを生やした麴を使って糖化する。清酒醸造で使用される麴は、蒸した米に黄麴菌(アスペルギルス・オリゼー (*Aspergillus oryzae*))というカビを生やしたものである。麴には黄麴菌がつくる糖化酵素がたくさん含まれており、デンプンを糖化することができる。また、黄麴菌は糖化酵素以外のタンパク質を分解する酵素などもつく

デンプン：ブドウ糖が何百個もつながったもの  
ブドウ糖：デンプンを構成する糖 (●)



デンプンのチェーンを酵素で次々に切って、バラバラにしてブドウ糖にする。

図1 デンプンの糖化の模式図

る。味噌や醤油を造る時にもこの麴が使われるが、味噌や醤油では、大豆に含まれるタンパク質を分解してつくるため、タンパク質分解酵素の力が強い麴を使用する。中国、朝鮮、東南アジアの国々も麴と同じようなもので糖化する。

ちなみに、日本の麴に当たるものを、中国では曲、朝鮮半島ではヌルク、タイではルクバンという。

### 3.3 蒸留

お酒を加熱すると沸騰する。沸騰して蒸気となった水やアルコールなどを冷却すると元の液体に戻る。こうして得られるのが蒸留酒で、この操作を「蒸留」という。

蒸留では、水とアルコールのほか、原料に含まれる香りや、発酵でできた香り成分が一緒に出てくる。そのため、色々な蒸留酒ができることになる。

蒸留の歴史としては、紀元前にギリシャの哲学者アリストテレスが蒸留に関して記述したものがあがるが、直接の蒸留酒の技術は中東で生まれ、東西に伝播したと考えられている。

西へ向かった蒸留技術は、中世のヨーロッパにおける錬金術の中で研究され、蒸留酒が生まれてきたと考えられている。また、東に向かった技術は、日本へは15世紀に沖縄(琉球王朝時代)に伝えられた。

蒸留にはいくつかの特徴がある。蒸留すると、アルコール分の高い液体が得られる。これは、アルコールの方が水より沸点が低い蒸発しやすいためである。醸造酒では、世界で最も高いアルコール分を達成できる清酒でも、20%程度が限界である。発酵では、発酵をおこなう酵母がアルコールの作用に耐えられず死んでしまい、限度があるからである。

また、蒸留の方法には、単式と連続式の二つがある。

単式は、発酵した醪(もろみ)や醸造酒を蒸留釜に入れ、加熱して蒸留するもので、風味豊かな蒸留酒となり、本格しょうちゅう、モルトウイスキー、ブランデーなどの製造に用いられている。

一方、連続式は、単式の蒸留原理を何十段にも重ねた構造の蒸留塔に、発酵した醪や醸造酒を連続的に供給して蒸留する方法で、製造されるお酒は風味が少ない代わりに非常にきれいな蒸留酒になる。

モルトウイスキーやブランデーなどの製造に用いられる単式蒸留機を「ポットスチル」と言う。また、連続式蒸留機は、1826年にロバート・スタインによって発明され、1830年(1831年説もある。)にアイルランド人のイーニマス・コフィが改良して特許(パテント)をとったことから、「パテントスチル」とも言われている。

蒸留したお酒は、普通は無色透明であるが、ウイスキーやブランデーは琥珀色をしている。それは、蒸留後、樽などに貯蔵することによって、樽からの色や風味成分が加わるためである。