

# 生ホップ乾燥条件の検討及び品質への影響把握

## Examination of hop drying condition and the impact on beer quality

会津若松技術支援センター 醸造・食品科 中島奈津子 松本大志

収穫後のフレッシュホップ(生ホップ)は独特の香りを持ち、ビール製品にフレッシュさを与え個性的な製品製造に大きく寄与する。収穫後の生ホップは冷凍保存するが、保存スペースの確保が必要であり、また仕込み時の重量的な負担もことから、成分変化の少ない乾燥方法を検討した。一般的な乾燥方法である熱風通気乾燥に加え、凍結乾燥および常温減圧乾燥を行い、乾燥方法ごとに生ホップとの成分比較を行った。また、乾燥処理したホップで試験醸造を行い、乾燥方法と保存期間がビールの成分に及ぼす影響を調べた。

**Key words:** ホップ、乾燥、凍結乾燥、 $\alpha$ 酸、苦味価

## 1. 緒言

ホップはアサ科 *Hulus* 属のツル性植物である。十メートル前後まで成長し、8月頃に収穫期を迎える。収穫するのは雌株の毬花で、「ホップ」はこの毬花を示す。毬花の内部には黄色の樹脂粉末であるルプリンが存在し、ここに豊かな香り成分や苦味成分が含まれる。香りや苦味については品種ごとに特徴があり、チェコやドイツ系品種は苦味、アメリカ系品種は香りに特徴を有する傾向がある。

ビール製造において、ホップはルプリン由来の苦味や香りの特徴を与えるほか、ビールの透明度の向上や泡持ちなど製品の外観や物性にも影響を及ぼす。ビールは様々な酒類の中で唯一「苦味」を特徴とする飲料であり、ビール製造においてホップは重要な原料である。また、ホップ中に含まれる $\alpha$ 酸は抗菌作用を有し、日持ち向上など製品の品質維持にも寄与する。

一般的に、収穫後の毬花は保存性および輸送性、醸造時の操作性向上のために乾燥処理後に粒状ペレットに加工されて市販されている。近年では超臨界二酸化炭素によりルプリン含有物を抽出した液状のホップエキスも開発されている。

株式会社ホップジャパンは、ビール製造原料に近隣の契約農場で栽培された「生ホップ」を使用してビールを製造している。収穫後の生ホップを収穫数時間以内に使用する製品のほか、収穫後のホップを速やかに密封し、冷凍保管した冷凍生ホップを用いた製品もあり、いずれもホップの香味を引き出した特徴的なビールとなっている。一方、冷凍ホップは嵩高く、限られた保管場所を圧迫する。また、水分により毬花が水化し、毬花内のルプリンを露出させるための工程が増えるなどの課題があった。そこで、収穫後の形を保ったままでホップ毬花を様々な条件で乾燥、冷蔵保管した場合の乾燥処理法の違いによる品質や特性の変化について調査した。

## 2. 実験

### 2. 1. ホップの乾燥と保管

福島県田村市大越町早稲川地区の企業契約農場にて、収穫期を迎えたホップ(品種: Centennial)を令和7年8月5日に手摘みでランダムに収穫した。収穫したホップは密封して持ち帰り、重量で四等分した。下記表1のとおり試料を処理した後、重量で三等分し、脱酸素剤とともに真空包装して保管した。

表1 試料の乾燥および保管温度

	試験区	処理方法	保管温度
1	生	未処理	-30℃
2	凍結乾燥	TF10-80TNN(株) 宝エーテーエム) プログラム設定 72時間	5℃
3	常温減圧乾燥	VO-420、VT-40(ADVANTEC) 22℃一定 7日間	5℃
4	熱風通気乾燥	DG82(ヤマト科学(株)) 55℃一定 24時間	5℃

### 2. 2. 乾燥条件が異なるホップの $\alpha$ 酸および $\beta$ 酸の定量

分析試薬は、特に記載のない限り富士フィルム和光純薬(株)製の特級試薬を用いた。ホップ中の $\alpha$ 酸、 $\beta$ 酸の定量は所定法<sup>1)</sup>に基づいて行った。乾燥前重量換算 5.0g 相当の各試験区試料をアルカリ性メタノール含有トルエンにて抽出し、抽出液をアルカリ性メタノールで希釈後、355、325、および275nmの吸光度を測定して指定の回帰式から $\alpha$ 酸および $\beta$ 酸含有量(%)を求めた。

## 2. 3. 乾燥条件が異なるホップを用いた醸造試験と成分分析

2. 1. のとおり処理したホップを用い、醸造試験を行った。醸造試験は収穫(乾燥処理)直後と保存3ヶ月後に行い、成分変化を比較した。

醸造工程を図1、①～③各試験区の発酵前麦汁の製造配合を表2に示す。試験区①は煮沸時のみにホップを使用し、試験区②は煮沸時と攪拌冷却工程であるワールプール(WP)時にもホップを使用、試験区③は煮沸時とWPに加え、ドライホップ処理(DH)を行った。なお、麦汁は比重1.035、pH5.4のホップ無添加麦汁を用い、酵母は乾燥酵母 SafAle™ US-05 (Fermentis 社)を0.8g/Lの濃度で使用した。乾燥処理ホップ試料は乾燥前重量換算量を使用した。主発酵期間を7日間として25℃一定で発酵させ、①および②は発酵終了後に、③は発酵終了後に17℃、24時間静置でDH処理を行った後に遠心分離にて清澄化させた。

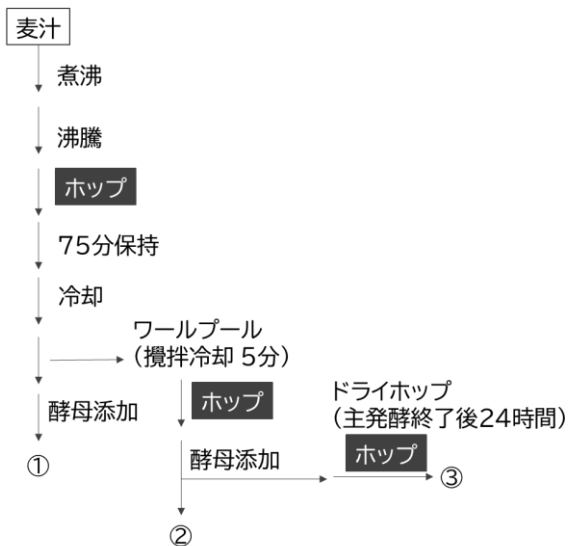


図1 試験醸造作業工程

表2 醸造試験の配合および試験区

		①	②	③
麦汁(mL)		800	800	800
ホップ(g)	煮沸	4.5	4.5	4.5
	ワールプール(WP)	-	6.8	6.8
	ドライホップ(DH)	-	-	6.8

麦汁および醸造後のビールの分析は以下のとおり行った。分析試薬は、特に記載のない限り富士フィルム和光純薬(株)製の特級試薬を用いた。

苦味価 (IBU) : 所定法<sup>1)</sup>に則り、イソ $\alpha$ 酸を苦味物質として定量し、苦味価を算出した。ビールには100mLあたり15 $\mu$ Lの1-オクタノールを添加し、20℃で20分

攪拌して脱気操作を行った。麦汁およびビールをそれぞれ10mL採取し、6N塩酸0.5mL、イソオクタン(分光分析用)20mLを加え、250rpmにて15分振とうしてイソ $\alpha$ 酸を抽出した。3000rpmにて5分間遠心分離してイソオクタン層を採取し、分析に用いたイソオクタンを対照として測定波長275nmの吸光度を測定した。測定した吸光度に50を乗じ、苦味価 (IBU) とした。

pH : PAL-pH(アタゴ(株))にて測定した。

比重: 自動温度補正システム(ATC)搭載の屈折計にて測定した。

## 3. 結果

### 3. 1. ホップの乾燥と保管

乾燥処理前の重量を100とした時の乾燥後重量の値を表3に示す。

表3 乾燥後重量の変化

		重量比
1	生	100
2	凍結乾燥	20.4
3	常温減圧乾燥	25.1
4	熱風通気乾燥	20.0

乾燥処理により異なるが、重量は1/4から1/5程度まで減少した。各試験区の外観は図2に示す。乾燥後の外観および物性を比較すると、いずれの乾燥試験区も苞が開き、内部が露出しているものも見られた。また、凍結乾燥処理区は、やや白味がかり、熱風乾燥処理区と常温減圧乾燥処理区はやや黄色味を帯びていた。乾燥後の香りを比較すると、凍結乾燥では生ホップの香りを保持し、熱風乾燥ではやや枯草のような青臭い香りが感じられ、常温減圧ではやや酸臭のような香りが感じられた。保存後は色味の変化はほとんど見られず、香りについては乾燥処理区ではすべて強度が下がっているように思われた。また、生ホップは冷凍により色や香りは保たれていた一方、強固に氷化していた。

### 3. 2. 乾燥条件が異なるホップの $\alpha$ 酸および $\beta$ 酸の定量

乾燥処理後および3ヶ月保存後の $\alpha$ 酸濃度(%)の変化を図3、 $\beta$ 酸濃度(%)の変化を図4に示す。いずれも湿重量に換算し、生ホップ(未処理・直後)の値を1とした相対値で示した。 $\alpha$ 酸は乾燥処理によって1割～4割程度減少し、貯蔵後にはいずれの試験区も減少した。貯蔵による減少は特に常温減圧乾燥、凍結乾燥の

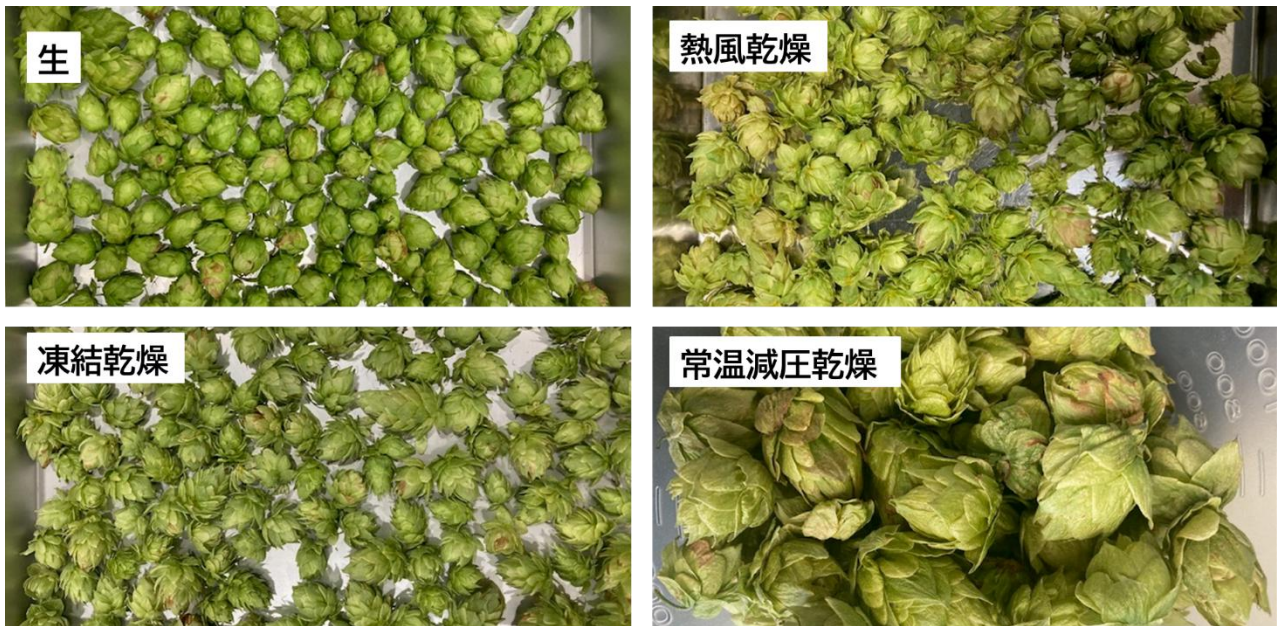


図2 各試験区の乾燥処理後の外観

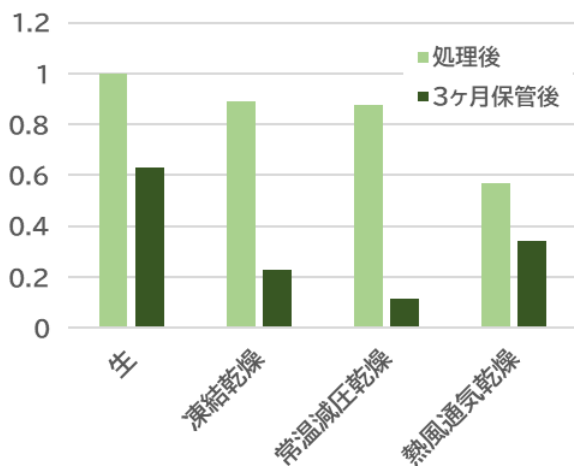


図3 各試験区の $\alpha$ 酸濃度の変化 (相対値)

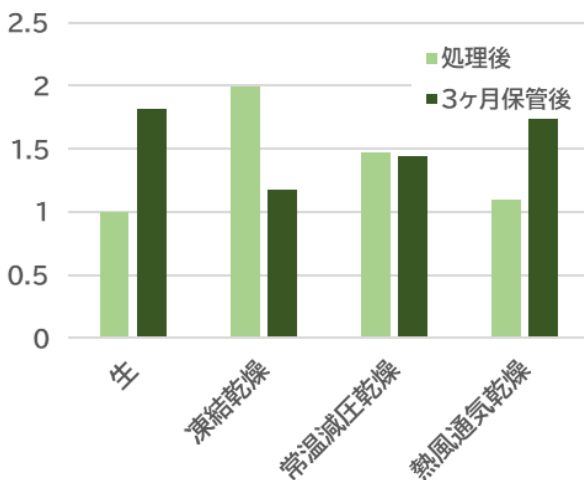


図4 各試験区の $\beta$ 酸濃度の変化 (相対値)

試験区で顕著だった。一方、 $\beta$ 酸は乾燥処理によって1.5～2倍に増加した。しかし、3か月保存後は乾燥方法によって増減に違いがみられることがわかった。

### 3. 3. 乾燥条件が異なるホップを用いた醸造試験と成分分析

試験区①～③の発酵前麦汁の成分は、比重 1.050～1.060、pHは5.0～5.6で試験区ごとの大きな差は見られなかった。

収穫（乾燥処理）直後のホップを用いた試験醸造ビールのIBUを図5に、保存3ヶ月後のホップを用いた試験醸造ビールの苦味価（IBU）を図6に示す。いずれも生ホップの試験区①（煮沸のみ）の値を1とした相対値で示した。収穫（乾燥処理）直後のホップを用いた試験醸造ビールでは、凍結乾燥処理区において苦味価の増加が、それ以外の区では苦味価の低下が見られた。特に常温減圧乾燥では苦味価が顕著に低下した。

なお、保存前後の苦味価の変化については、生ホップおよび常温減圧乾燥処理区では保存後の苦味価が2割程度、凍結乾燥処理区で乾燥直後に比べて約1/3程度まで減少した（データ非公表）。一方、熱風通気乾燥処理区においては保存前後での苦味価の大きな差は見られなかった（データ非公表）。

## 4. 考察

### 4. 1. ホップの乾燥と保管

乾燥処理によりホップ重量は生ホップの1/4から1/5に減少した。また、乾燥により実が広がったことによりばらけやすく、仕込み作業時の荷重的な負担や操作性が向上すると期待された。また、乾燥方法で比

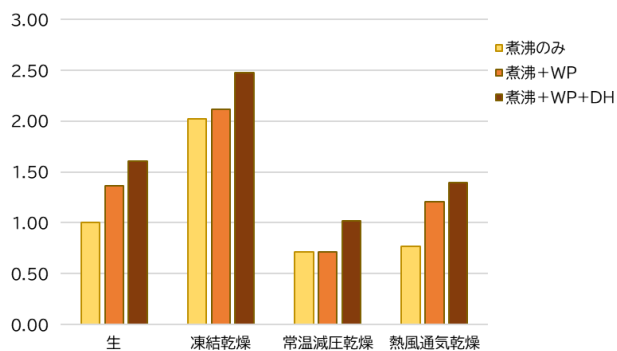


図5 乾燥方法の異なるホップで製造したビールの苦味価 (収穫直後・相対値)

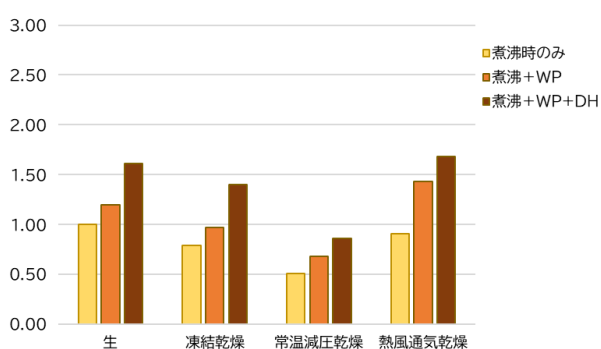


図6 乾燥方法の異なるホップで製造したビールの苦味価 (3ヶ月保存後・相対値)

較すると、熱風乾燥ではやや枯草のような香りが生じたのに対し、凍結乾燥はフレッシュな香りが保持されていた。ホップ中の精油成分は沸点が高いため、本試験での温度帯ではこれらに大きな差は生じないものと思われ、香りの違いはホップ中に酸化によって香味を低下させる物質があることを示唆する。なお、今回はホップの香气成分分析まで至らなかったが、ガスクロマトグラフ質量分析(GCMS)にてホップ中のテルペンやエステルなどの定量を予定している。

#### 4. 2. 乾燥条件が異なるホップの $\alpha$ 酸および $\beta$ 酸の定量

$\alpha$ 酸はフムロン異性体の総称である。フムロン異性体は、ロイシン、バリン、イソロイシンを出発点として合成された前駆物質(デオキシフムロン)の酸化により前駆物質ごとに生成する<sup>2)</sup>。 $\alpha$ 酸は煮沸時の熱処理で異性化し、ビールの主要な苦味成分であるイソ $\alpha$ 酸へと変化する。 $\beta$ 酸はデオキシフムロンがイソプレニル化することで生成したルプロン異性体の総称で、煮沸工程で異性化されず、直接的な苦味には関与しないとされている。

乾燥試験区ではいずれもホップの苞が開き、内部のルプリンの脱落が見られ、脱落したルプリン相当量の

$\alpha$ 酸および $\beta$ 酸が減少するのではないかと考えられた。しかし、生ホップに比べ、乾燥試験区で $\alpha$ 酸は減少した一方で、 $\beta$ 酸は横ばいまたはやや増加した結果となった。このことから、各試験区での $\alpha$ 酸および $\beta$ 酸の挙動は乾燥処理中にルプリン中の $\alpha$ 酸および $\beta$ 酸そのものに変化が起きたものと推測できる。

また、保管による影響については、 $\alpha$ 酸はいずれの試験区でも減少したが、 $\beta$ 酸は増加した試験区と減少した試験区があった。 $\beta$ 酸は煮沸工程での異性化がなく、直接的な苦味に影響を及ぼさないとされている。しかし、酸化したホップでは $\beta$ 酸酸化物が苦味に影響するとされている<sup>2)</sup>ほか、貯蔵後の苦味やバランスへの影響についても指摘されているが十分な報告は少ない。今回、乾燥処理および保存によってホップ中の $\beta$ 酸の挙動を知ることができた。呈味への影響は限定的であるかもしれないが、 $\beta$ 酸量の変化の理由とその効果については今後検討の余地があると考えられる。

#### 4. 3. 乾燥条件が異なるホップを用いた醸造試験と成分分析

生ホップおよび熱風乾燥では $\alpha$ 酸量とビールIBUの値に相関性があった。一方、凍結乾燥では処理直後のホップを使用した場合、 $\alpha$ 酸はやや減少したもののIBUが増加し、3ヶ月保存後では急激に $\alpha$ 酸が減少したにも関わらずビールの苦味価は低下しなかった。このことから、凍結乾燥処理後の $\alpha$ 酸は異性化されにくくなっていることが推測される。イソ $\alpha$ 酸は苦味の主成分であるほか、ビールのオフフレーバーのひとつである「日光臭(酸化臭)」の原因となることが知られている<sup>2)</sup>。さらなる分析や試験が必要であるが、今回の結果は、凍結乾燥ホップの有効性を支持する結果となったと考える。

なお、一般的なホップペレットは $\alpha$ 酸を抽出して固形化させており、開封後の使い切りを推奨している。ビール製造場では、香气成分の変化を避けるため、開封後のホップは香りづけには使用せず、主に苦味の付与のために使用する。苦味については既報<sup>3)</sup>で苦味価に寄与する物質がイソ $\alpha$ 酸の他に複数存在することや、ホップの酸化劣化による影響、またイソ化されない $\alpha$ 酸の存在についても報告されている。しかし、これまでの報告の多くは生ホップと熱風乾燥のホップの比較であったため、本試験による凍結乾燥ホップの挙動は新たな知見を加えるものになったと考える。

## 5. 結言

- 1) 収穫直後のホップを凍結乾燥、常温減圧乾燥、熱風通気乾燥処理した。
- 2) 未処理の生ホップを対照に収穫後と3ヶ月保存後の $\alpha$ 酸および $\beta$ 酸濃度を比較した。

- 3) 乾燥処理したホップを用いてビールを製造し、乾燥方法および保存による苦味価の変化を比較した。
- 4) 乾燥処理によって $\alpha$ 酸が減少し、保存によってさらに減少することがわかった。
- 5)  $\beta$ 酸は一般的な熱風通気乾燥では減少するが、凍結乾燥や常温減圧乾燥ではやや増加する傾向が見られた。
- 6) ホップの $\alpha$ 酸濃度はビールの苦味価に必ずしも比例せず、乾燥処理によってホップ中の $\alpha$ 酸が異性化されにくくなっている可能性が示唆された。
- 7) 今回は、香りに関するデータ取得まで実施できなかったが、苦味に与える影響について知見を得ることができた。県内クラフトビールの品質向上や製品開発等に活用され、県産クラフトビールの市場が広がることを期待している。

#### 参考文献

- 1) ビール酒造組合 国際技術委員会編. 改定 BCOJ ビール分析法.公益財団法人日本醸造協会,2023.
- 2) 吉田学.”ホップ”.日本醸造協会誌,2000,p.550-559.
- 3) 岸本徹.”「苦味価」は何を語っているのか?”.日本醸造協会誌,2021, p.688-697.