

第 **1** 章

乾燥とは何か

《 乾燥の必要性 》

1.1 乾燥は水分の蒸発・昇華現象

◆ 乾燥は、水分の蒸発・昇華現象

広辞苑（岩波書店）によると、

「かんそう【乾燥】…湿気や水分がなくなること、また、なくすこと」

「しょうか【昇華】…固体が液体になることなく直接に気体になること」と書かれています。

産業における「乾燥」とは、比較的少量の水や有機溶媒などの液体を含む材料（湿り材料）に熱エネルギーを与えて液体を蒸発させて除去し、乾いた製品を得る操作をいいます（図1.1）。

水をいったん凍結させ、氷から蒸気に昇華させることによって元の水分を除去する操作を「凍結乾燥」といいます。凍結乾燥は、今日、食品や医薬品の製造に使われ、たいへん重要な操作です。【(5.9) 節 参照】

熱を加えない脱水（例 洗濯機の脱水槽）は、乾燥の操作に含めませんが、乾燥の前処理操作としてよく使われます。【(6.1) 節 参照】

◆ 乾燥操作は、熱エネルギーを大量に消費する

大気圧下で20℃の水1gを蒸発させるには2,454 Jのエネルギー（蒸発熱）が必要です。たとえば100 Wの電熱ヒーターが発生するエネルギーをすべて水の蒸発に使ったとすると $2454 \text{ J}/100 \text{ W} = 24.5 \text{ s}$ となり、少なくとも約25秒間加熱する必要があります（表1.1）。

0℃の水1gを昇華させるには、融解熱334 Jと蒸発熱2,502 Jの和、2,836 Jのエネルギーが必要です（表1.2）。

◆ 乾燥操作は、エネルギー効率を向上させることが大切である

乾燥操作では大量のエネルギーを消費するので、もし大量に水を含んでいる場合には、乾燥の前にはできるだけ脱水し、比較的少量の水を蒸発させるように工夫し、エネルギー効率を向上させることが大切です。【(6.1) 節 参照】

「熱力学的温度」（絶対温度）と「セ氏温度 [℃]」とは次の関係にあります。
 熱力学的温度 [K] = セ氏温度 [℃] + 273.15
 セ氏温度 [℃] = 熱力学的温度 [K] - 273.15

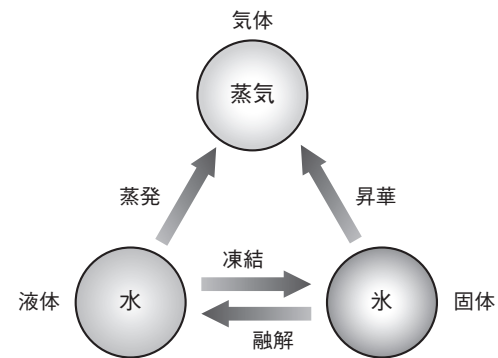


図1.1 水の蒸発と氷の昇華

表1.1 水の蒸発熱

温度	[℃]	0	20	40	60	80	100
	[K]	273	293	313	333	353	373
水1gを蒸発させるのに必要なエネルギー [J]		2,502	2,454	2,407	2,359	2,309	2,257

日本機械学会蒸気表（1980）

表1.2 氷の融解熱と昇華熱

温度	[℃]	0
	[K]	273
氷1gを融解させるのに必要なエネルギー [J]		334
氷1gを昇華させるのに必要なエネルギー [J]		2,836

注1) 1 W = 1 J/s

100 W (ワット) は、1 s (秒) あたり 100 J (ジュール) のエネルギーを発生することに相当する。

注2) 1 cal = 4.1855 J

1 cal (カロリー) は約 4.2 J に相当し、1 J は約 0.24 cal に相当する。

1.2 乾燥のはじまり

◆ 乾燥は、水の誕生とともに始まった

地球は太陽系の一惑星であり、太陽のエネルギーが地上に降り注いでいます。「乾燥」は、地球上に誕生した「水」の「太陽エネルギー」による蒸発が始まりですが、これは地球上に人類が誕生するよりもはるか以前から起きていた現象です。これが「天日乾燥」であり、現在でも日常生活の中で重要な乾燥方法です。

水の蒸発に必要なエネルギー源は、火山から噴出したマグマだったかもしれないし、あるいは、自然に発生した山火事であったかもしれません。

◆ 人類は、火の使用を始めた

人類が他の動物と違う点として「火の使用」があげられます。よく知られているように、40万年ほど前の北京原人が火を使っていたことは確かなことです。しかし、それ以前に人類が火を使っていなかったというわけではなく、原始人たちは長い年月の間には山火事などに何度も出会ったにちがいありません。はじめは恐れている、そのうちに恐れずに近づく者も現れたでしょう。山火事がおさまったあと、火のあたたかさの心地よさを知り、また、焼け跡に残された果実などが食物になることも知ったことでしょう。

◆ 太陽の恵みを受けた天日乾燥

人類がどのようにして火を手に入っていたかは、遺跡からの発掘物、文献、絵画などから知ることができます。いろいろな「火起しの術」が知られていますが、ここでは火打石式(図1.2)と弓錐式(図1.3)を示します。どちらも「マッチ」を持たない場合に現在でも利用されている方法です。

図の説明からわかるように火打石式のホクチ(火口)やツケギ(付木)、弓錐式の木板など「乾燥した材料」でないと火を起こせないことは明らかです。そこで天日乾燥によって乾燥した材料を得ていたであろうことは、容易に想像されます。

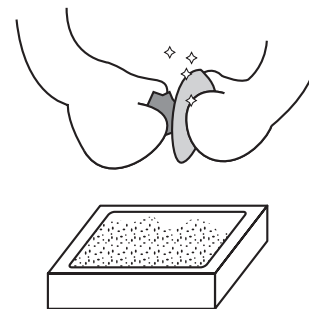


図 1.2 火打石式

火打石で発生した火花をホクチ(火口)と呼ばれる、きわめて火のつきやすいもので受け止め、ポツンと赤い火種を作り、さらにツケギ(付木)に移してこれを燃えあがらせる。

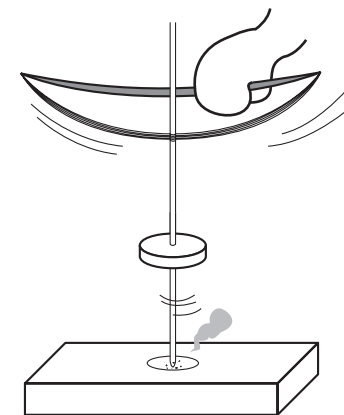


図 1.3 弓錐式

かたい棒をやわらかい木板の上で回転させ、摩擦熱で木板が焼け焦げ、やがて高温の炭の粉末ができ、これが火種となる。ツケギ(付木)に移してこれを燃えあがらせる。

注) 現代人が自由に、かつ安全に「火」を手に入れることができるようになるには、

- 1827年 ウォーカーによる「燐マッチ」の発明
 - 1845年 シュレッターによる「赤燐」の発見
 - 1855年 ルンドストロムによる「赤燐マッチ」の発明
- まで待たなくてはならなかった。

参考文献：岩城正夫著「原始技術史入門」、pp. 74~85、新生出版(1976)

1.3 乾燥操作は、なぜ必要か

もみ ぎめ
— 籾米の乾燥: 米は生きている —

◆ 穀物には、カビ類と菌類の微生物が存在している

収穫後の穀物には、カビ類と菌類の微生物が存在しています。カビ類と菌類にとって最も適した温度は20~30℃の範囲であり、収穫時期の気温条件がこれにあたります。また、菌類の繁殖には温度と共に水分が必要で、大気相対湿度90%以上のときに最適条件です。【相対湿度→(2.4)節 参照】

◆ 穀物は、収穫後も生きている

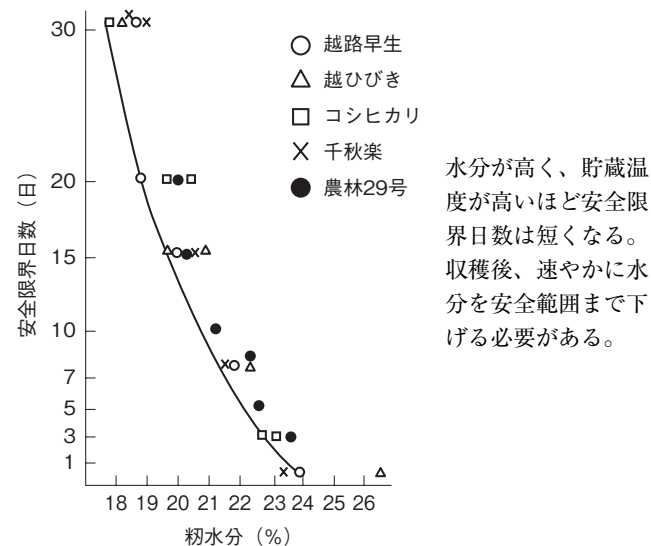
一般に収穫時の水分は、籾米の場合20~25% (湿量基準)、小麦の場合はさらに高く30~40% (湿量基準)の高水分となっているために、収穫(脱穀)後の穀物は変質しやすく、水分を迅速に下げることがあります。

また、穀物は収穫後も生きており、酸素呼吸をしながら二酸化炭素(炭酸ガス)と水を放出し、エネルギーを放散させています。穀物の水分が高く温度が高いほど、この活動は盛んになり、放散するエネルギー量も多くなるため、穀物の温度は外気温度より高くなります。このため、収穫後の穀物を袋詰め状態で長時間放置したり、無通風のままで堆積貯蔵すると、穀温と湿度が上昇し微生物が異常繁殖し、米では変質してヤケ米となります。

◆ 籾米の安全限界日数

図1.4は、収穫された穀物の安全限界日数を示したものです。水分が高く、貯蔵温度が高いほど安全限界日数は短いので、変質防止のためには収穫後速やかに水分を安全範囲まで下げる必要があります。以前は架干し(はさぼし、はざぼし)と呼ばれる天日乾燥(図1.5、図1.6)で刈り取った稲を乾燥していましたが、近年は大きなエネルギーをかけた乾燥機で籾米を乾燥します。収穫後の穀物を乾燥する目的は、収穫した穀物の品質保持管理(変質防止)、貯蔵性・加工性の向上を図ることにあります。

参考文献：造賀和成、化学装置、2007年8月号、p.60(2007)



水分が高く、貯蔵温度が高いほど安全限界日数は短くなる。収穫後、速やかに水分を安全範囲まで下げる必要がある。

図 1.4 籾水分と安全限界日数の関係



図 1.5 架干し (はさぼし、はざぼし)

ヤケ米は、微生物の寄生繁殖・高水分籾の呼吸熱による穀温上昇により、米の化学物質が分解した状態の米をさす。

収穫後の穀物を乾燥する目的は、収穫した穀物の品質保持(変質防止)、貯蔵性・加工性の向上をはかるためである。



図 1.6 架干し (はさぼし、はざぼし)