Ⅰ　荷受け・乾燥施設

1．乾燥の基礎知識

収穫直後の農産物は水分が高く、非常に変質しやすいため、すみやかに水分を除去し、貯蔵性を向上させるとともに品質を維持する乾燥技術は非常に重要である。乾燥とは、一般に常温、または加熱された空気を堆積した農産物中に送り込み、農産物内の水分を蒸発させ、出てきた水蒸気を排除することをいう。 しかし、あまり急激な乾燥は、かえって品質を低下させ、大豆の場合には、外観品質とともに、豆腐加工適性や蒸煮特性が低下するため、基礎的な理論をよく理解し、効率的な乾燥をこころがけなければならない。以下、乾燥に起因する被害粒の発生を中心に、大豆乾燥の基礎理論を説明するが、裂皮粒もしわ粒も栽培期間中に発生するものもあるので、誤解のないようにしたい。たとえば、栽培期間中に発生する裂皮は、大豆種子の大粒化、種皮と子葉の生育のアンバランス、種皮の形態や物理的強度がその原因と考えられている。また、栽培期間中に発生するしわ粒は、成熟期の高温や天候による急激な吸湿や乾燥に起因すると言われている。

1）被害粒発生機構

大豆は、米麦の子実と比較して、[1] 殻がついていない、[2] 粒が大きい、という物理的な特徴がある。このため、乾燥に関しては、[1] 大豆表面から外気中に水分が移動しやすい、[2] 大豆の内部では中心部の水分が表面へ移動しにくい、という特徴があり、これが被害粒を発生しやすい要因となり、大豆の乾燥を難しくしている。

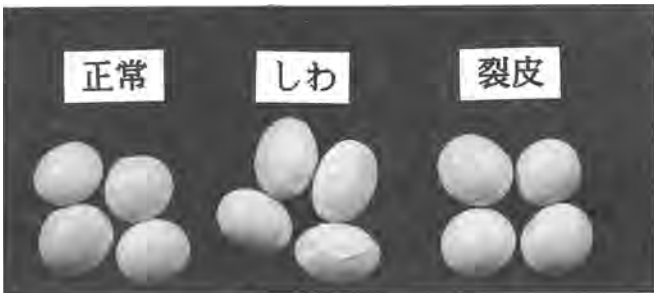


写真 1-1-1　大豆乾燥に起因して発生する被害粒

高水分大豆の乾燥に起因して発生する被害粒は、主に裂皮粒としわ粒であり、裂皮粒は乾燥開始後 30 分から 1 時間で発生するが、しわ粒は乾燥終了後 2 ～ 3 日後に徐々に発生する。このことから、その被害粒は、以下に示すような発生経緯をたどると考えられている。つまり、

① 乾燥前は、粒内の水分分布は高水分ではあるが、均一である。
② 乾燥が始まると、粒表面からの水分移動が大きくなり、表面近くの水分が低く、粒中心部の水分が高い状態になる。
③ 大豆表面の水分が低くなると、その部分の大豆はほぼ水分に比例して収縮しようとするが、粒中心部の水分は高い状態にあるので、自由に収縮できず、粒表面（表皮）に引張応力が発生する。
④ 乾燥開始後 30 分～ 1 時間でその引張応力は最大値を示し、表皮の引張破壊限界を超えたときに「裂皮」が生じる。
⑤ 乾燥が終了すると、大豆の中心部から粒表面に向かって水分移動が起こる。乾燥初期に引張応力を受け、破壊しないまでも変形を起こした表皮は、水分が高くなり、逆に圧縮応力を受け「しわ」が発生する。

以上のように、裂皮粒もしわ粒もその発生要因は乾燥初期の粒内部と粒表面との間の水分勾配がその原因である。乾燥中の水分勾配と表皮に発生する応力の推移は図 1-1-2 のようになる。図 1-1-2 は、初期水分 19.7％の高水分大豆を絶対湿度のほぼ等しい送風温湿度条件（a）35℃ － 20％と（b）25℃ － 60％で乾燥した時の大豆 1 粒内の水分勾

配と大豆表皮に働く水分応力を計算し、比較したものである。35℃－20%の乾燥条件での平衡水分（材料を温度・湿度の一定な空気中に長時間放置し、ある一定の水分に落ち着いたとき、その水分を平衡水分といい、とくに乾燥過程で平衡に達するとき､これを動的平衡水分という｡ここでいう平衡水分とは動的平衡水分のことである)は5.4%と低く、乾燥開始１時間で、粒表皮の水分はすぐにほぼ平衡水分に達し、粒中心部との水分勾配は約 15%になる。その結果、水分勾配に起因して大豆表皮に発生する応力は、表皮の引張破壊限界 9MPa を上回るため皮が切れ、被害粒発生割合は 97%に達する。それに対し、25℃－60%では、平衡水分が 9.6% と高く、乾燥速度は遅くなるが水分勾配は 10%と低く抑えられるため、表皮の引張破壊限界を上回ることがなく、被害粒はほとんど発生しない。以上のように、大豆の乾燥では、乾燥初期に表皮に大きな応力が作用し、被害粒が発生しやすくなるので、とくに、乾燥初期の送風温度を低く抑えて、送風湿度を比較的高く維持する等、ゆっくりとした乾燥に留意しなければならない。しかし、送風温度を抑えることにより、乾燥速度が低下してしまうので処理量が低くなり、乾燥施設の効率的な運営に支障をきたす可能性も示唆される。この問題を解決するために、送風温度を高くした状態で送風空気を加湿する調湿乾燥や、大豆の水分変化に応じて送風温湿度を適正に制御する方法が、現在、研究されている。

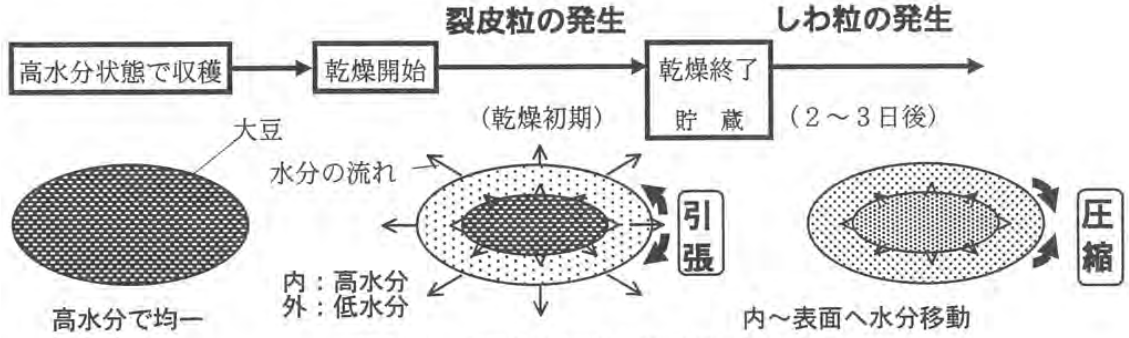


図 1-1-1　大豆乾燥における被害粒発生機構（大黒ら，2000，農機学会誌，62（3），140-148）

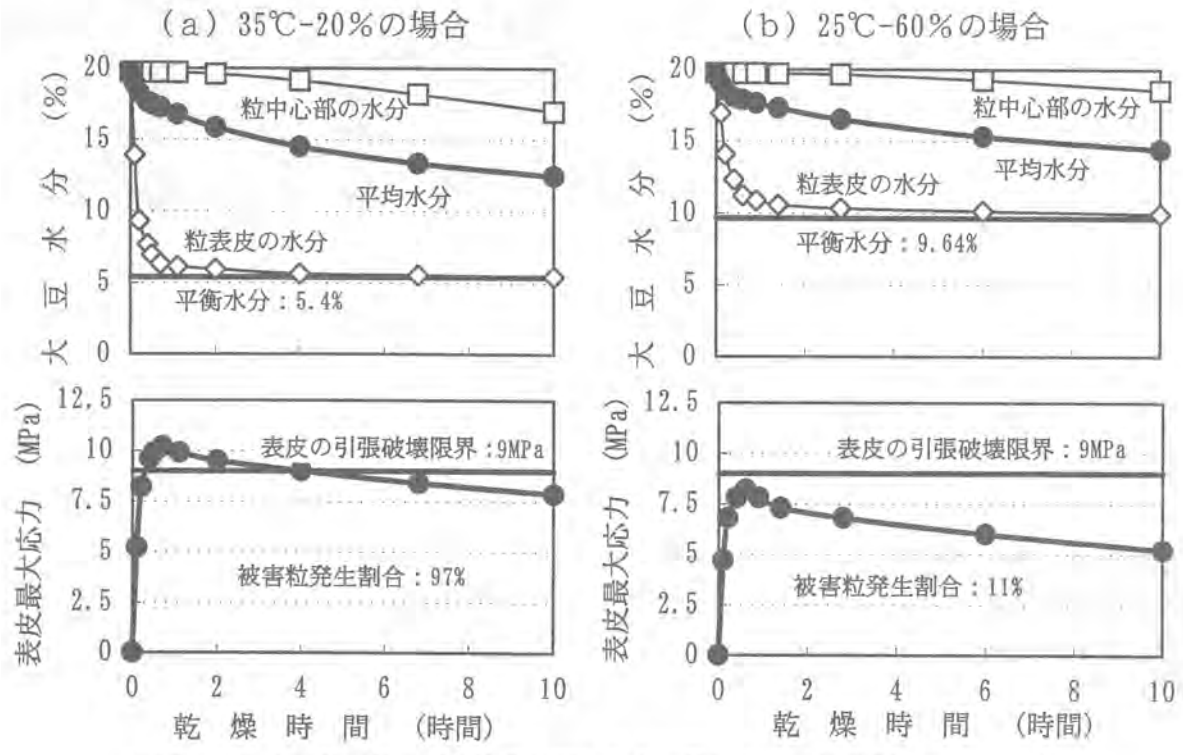


図 1-1-2　大豆乾燥時の粒内水分勾配と表皮に発生する応力（品種：エンレイ）

2）乾燥条件と被害粒発生割合及びその品種間差

裂皮粒やしわ粒の発生割合は品種間に大きな差があることが知られている。表 1-1-1 は薄層状態（穀粒が堆積しておらず、堆積層が 1 ～ 2 粒程度の状態）で初期水分約 20％の大豆 5 品種について乾燥試験を行い、被害粒発生割合を比較した結果である。また、図 1-1-3 は同様に 5 品種について、いろいろな初期水分での薄層乾燥試験結果をまとめて、被害粒が 10％以内に抑えられる送風温度、送風湿度を示したものである。供試 5 品種の中で被害粒が発生しやすい順はエンレイ＞タチナガハ＞ワセシロゲ＞フクシロメ＞スズユタカであり、最も被害粒の発生の少ないスズユタカはエンレイやタチナガハの約 3 分の 1 の発生割合である。乾燥に起因して発生する被害粒の種類にも品種間で大きな差があり、とくにタチナガハは他の品種と比較して、裂皮粒よりもしわ粒が発生しやすい傾向がある。一般に、粒径が大きい品種ほど被害粒の発生が多くなるが、この原因は、上述したように粒径の大きな品種は粒の中心部の水分が低下しにくく、乾燥中の水分勾配が粒径の小さな品種より大きくなり、大きな応力が表皮に働くことによる。そのほか、表皮の強度や水分による膨張係数に品種間差があり、これらの要素も被害粒の発生に大きく影響しており、品種を変えて乾燥を行う場合は注意が必要である。

堆積通風乾燥の場合、送風空気が堆積層を通過するに従い、大豆粒内から蒸発した水分により送風湿度が上がるため、堆積層への送風空気の入気部分で乾燥速度が速く、被害粒の発生も起こりやすい。表 1-1-1、図 1-1-3 は薄層状態での結果であり、通常の堆積通風乾燥では薄層乾燥より被害粒の発生は少なくなるが、堆積層への入気部分ではこのような被害粒発生割合になる可能性がある。一般に大豆の乾燥では、送風温度を低く抑えるように指導され

表 1-1-1　大豆乾燥における送風温度条件と被害粒発生の関係（大豆初期水分：19 ～ 20％）

送風温度 ℃	送風湿度 %	エンレイ		タチナガハ		ワセシロゲ		フクシロメ		スズユタカ	
		しわ	裂皮	しわ	裂皮	しわ	裂皮	しわ	裂皮	しわ	裂皮
25	20	0.0	97.0	2.7	47.7	－	－	－	－	－	－
	40	1.2	41.7	0.3	9.2	0.0	5.0	－	－	0.0	0.0
	60	6.1	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	－	－	0.0	0.0
30	20	0.3	93.4	5.1	27.6	0.0	43.2	－	－	0.0	28.1
	40	3.6	16.2	16.8	1.6	0.0	5.4	0.0	1.4	0.0	0.8
	60	0.6	0.0	0.5	0.5	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
35	20	0.0	97.8	3.9	59.6	0.0	45.2	0.2	49.0	0.0	19.4
	40	6.9	19.6	15.9	1.7	0.0	10.2	0.0	0.6	0.0	0.2
	60	0.0	0.5	2.1	0.5	0.0	0.0	0.2	1.2	0.0	0.0
40	20	0.0	98.0	2.8	83.0	0.0	59.6	－	－	0.0	16.9
	40	1.4	46.1	8.5	5.7	0.0	11.4	－	－	0.0	2.0
	60	2.5	14.1	0.5	1.3	1.1	1.2	－	－	0.0	0.0

ているが、表 1-1-1 に示すように、被害粒発生割合は送風温度より送風湿度の影響を大きく受ける。さらに、地域や収穫時期、乾燥の時間帯によって外気の温湿度条件が大きく異なるので、大豆乾燥に適する送風温度の上限を一概に決定することはできない。図 1-1-3 の結果から、薄層乾燥での被害粒発生割合 10%以下を大豆乾燥における送風温湿度条件の適正化を図る基準とすると、初期水分が 18%の場合には、乾燥初期の送風湿度が 40%を下回らないように送風温度を調節することにより、品種によらず被害粒の発生をほぼ抑えることができると考えられる。同様に初期水分が 20%の場合、乾燥初期の送風湿度 60%を下限として乾燥すべきである。また、以上の送風湿度で乾燥するためにどのレベルまで加温できるかを知るためには、湿り空気線図を用いて、外気の温湿度状態から、加温した場合の送風湿度を推定する必要がある。

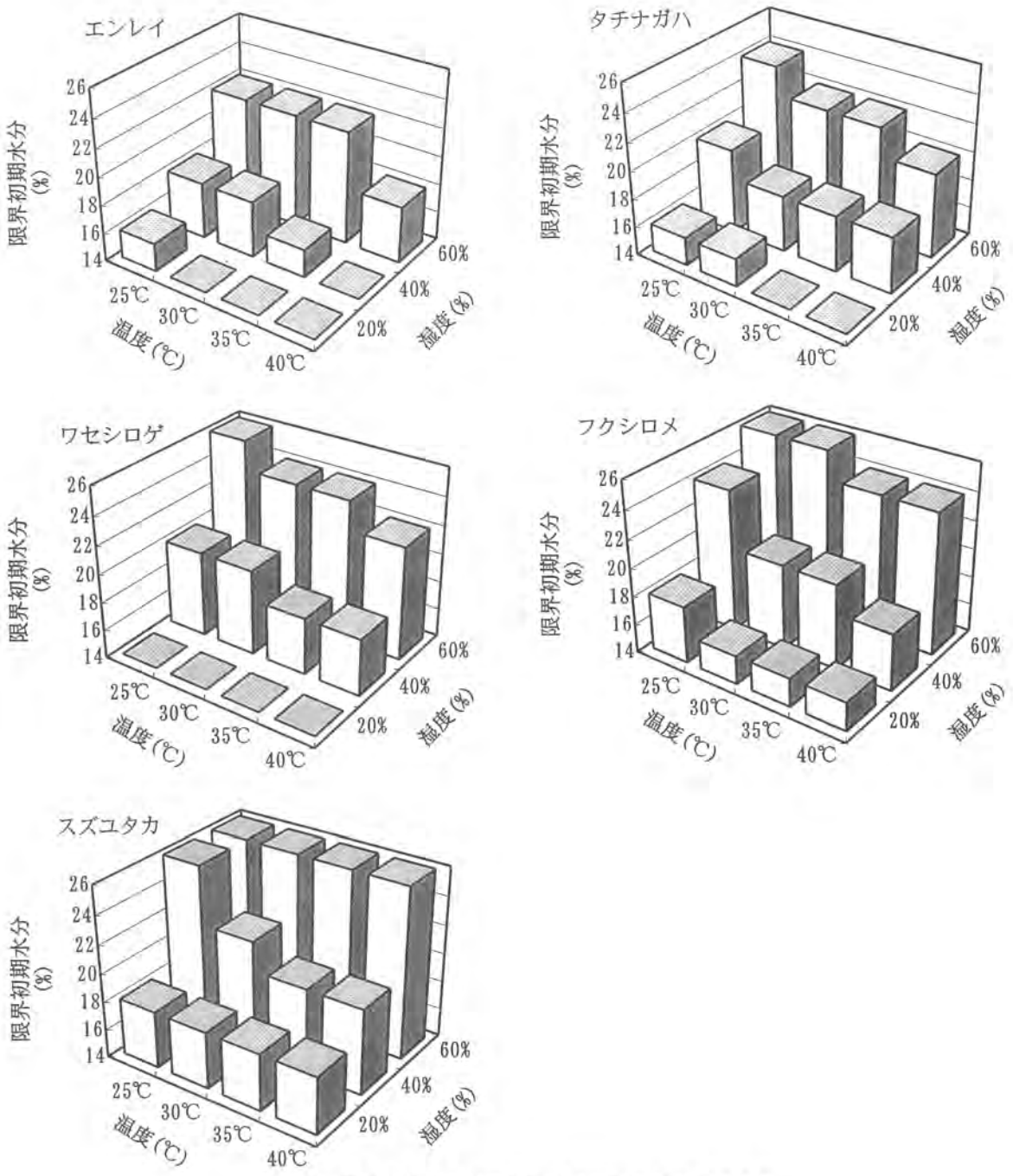


図 1-1-3　薄層乾燥において被害粒を 10%以内に抑えるための送風温湿度条件と限界初期水分
（供試品種：エンレイ、タチナガハ、ワセシグロ、フクシロメ、スズユタカ）

２．乾燥処理と品質

１）被害粒と吸水率及び固形分溶出率の関係

裂皮やしわは外観を損ねるばかりでなく、[1] 加工時の浸漬工程での吸水速度の不均一、[2] 原料の損失、[3] 排水汚染等加工・流通上の問題になるとされている。図 1-2-1、図 1-2-2 は裂皮粒発生割合と固形分溶出率及び吸水率の関係を示したものである。吸水率や固形分溶出率は乾燥に起因して発生した裂皮粒の発生割合と有意な正の相関があることから、表皮が切れたことにより、水の吸収が速くなり、大豆の成分も外に流出しやすくなったことが容易に想像できる。また、同じ被害粒でもしわ粒と吸水率等との間には相関がないことが確かめられている。

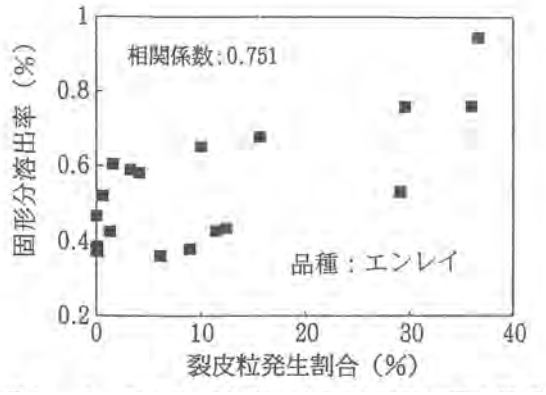


図 1-2-1　裂皮粒発生割合と固形分溶出率の関係

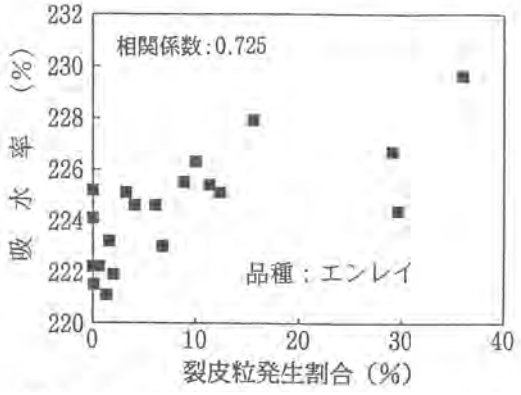


図 1-2-2　裂皮粒発生割合と吸水率の関係

吸水率の変動により、浸漬後圧力釜で蒸煮する味噌加工や納豆加工では、蒸煮大豆の硬さにむらが生じ、一定の品質が得られなくなる可能性がある。また、大豆中の窒素化合物や炭水化物が溶出すると、原料のロスとなることから、乾燥時の被害粒の発生を抑制することが、大豆加工の品質維持のために非常に重要である。

２）乾燥温度と大豆加工適性

乾燥温度や乾燥方法と大豆加工品質の関係は、昭和 50 年代前半に食品総合研究所で詳しく検討されており、その結果を中心にここで述べる（日作記 46（1）67-74，48（2）291-302，食品総合研究所研究報告 34 号 13-28，38 号 23-32)。表 1-2-1 は、堆積通風乾燥における乾燥温度と大豆加工適性の関係を示したものである。被害粒の発生は、乾燥温度が高くなるに従って増加し、送風温度 40℃では、無加温、20℃、30℃に比べて有意な差が認められる。しかし、その結果は、タンパク質抽出率、豆乳の pH、蒸煮大豆重量増加率、蒸煮大豆の水分含量、蒸煮大豆の色調に影響せず、有意差が生じてない。とくに豆乳の pH に変化がないことから 40℃程度の乾燥温度では大豆の成分組成までには影響が及ばないと考えられる。また､乾燥温度 40℃では被害粒とはいってもほとんどがしわ粒であり、前述のように、破砕や裂皮など吸水率やタンパク質や固形分の流出にほとんど影響がなく、蒸煮豆の煮くずれも少なかったためと思われる。蒸煮後 30 分の大豆は 30℃、40℃乾燥で他の試験区より軟らかく仕上がるという結果がでているが、これは大きな問題とはならず、むしろ好ましい結果になることもある。以上のように、裂皮等の被害粒の発生がなければ､乾燥温度 40℃でも加工適性上の大きな欠点にはならないと考えられる。しかし､この結果は、乾燥後あまり貯蔵期間をおかずに試験した結果であり、米の乾燥のように、乾燥温度の影響が長期貯蔵後の品質に大きく表れてくる可能性もある。これらの点については今後の研究を待たなければならない。

３）乾燥方法と大豆加工適性及び豆腐・納豆の品質

表 1-2-1 は自然乾燥と、静置式乾燥機を用いた 30℃乾燥、循環式乾燥機を用いた 30℃乾燥について、大豆の加工適性を比較した結果である。循環型乾燥では、穀粒循環時に発生する裂皮、破砕が増加し、1）の結果同様、吸水率や固形分流出率が増加する。また、循環型乾燥では裂皮や破砕により発芽率は大きく低下している。しかし、タンパク質抽出率、豆乳の pH、蒸煮大豆重量増加率、蒸煮大豆の色調は試験区間で有意な差が表れていない。

表 1-2-2 は工場規模での豆腐製造試験結果である。豆乳のタンパク質収率及び固形物収率が自然乾燥で高い傾向が認められる。また、静置型乾燥、循環型乾燥の離水率が自然乾燥と比較して低く、豆腐が硬くなる傾向があるが、別途行った官能評価の結果からは、乾燥試料間に著しい差異は認められなかった。表 1-2-3 は工場規模での納豆製造試験結果である。静置型乾燥、循環型乾燥では吸水率・蒸煮大豆の水分含量が高く、蒸煮大豆や納豆が軟らかくなり、窒素溶解率・窒素分解率・アンモニア態窒素が増加する傾向がある。裂皮や破砕の多い循環型乾燥では、浸漬中剥離や蒸煮中煮くずれが生じ、その結果、納豆の外観・色・総合評価が低下している（表 1-2-4)。

このように、乾燥方法の影響として最も重大な問題は、循環式乾燥機で問題とされるような裂皮粒や破砕粒の多発であり、とくに、納豆や煮豆のような蒸煮大豆の形がそのまま製品の品質として評価される加工品では、これらの被害粒が発生しないように乾燥方法に注意しなければならない。

表 1-2-1　大豆の乾燥方法と加工適正の変化（品種：トヨスズ）

試験区名	初期水分 %	正常粒 %	しわ粒 %	裂皮粒他 %	吸水率 %	発芽率 %	浸漬液中固形分 %
自然乾燥	17.3	72.4	27.4	0.2	121	85	0.4
静置型乾燥	18	74.8	18.1	6.8	127	91	1.3
循環型乾燥	22.4	19.4	7.8	72.8	132	10	3

試験区名	タンパク質抽出率 %	蒸煮大豆重量増加率倍	蒸煮大豆水分含量 %	蒸煮大豆の硬さ		蒸煮大豆の色調		
				蒸煮直後 g	30 分後 g	Y %	x	y
自然乾燥	91.6	2.18	59.1	300	460	36.7	0.383	0.371
静置型乾燥	92.2	2.18	59.5	290	340	36.9	0.384	0.372
循環型乾燥	92	2.2	60.8	250	329	37.8	0.383	0.371

注） 静置型乾燥とは、静置式乾燥機を用いた送風温度 30℃での乾燥方法。硬さは上皿天秤の上で大豆粒を押しつぶしたときに表示された重さで表記。
循環型乾燥とは、循環式乾燥機を用いた送風温度 30℃での乾燥方法。（食総研　平ら　1979 年）

表 1-2-2　大豆の乾燥方法と豆腐製造試験（品種：トヨスズ）

試験区名	原料大豆使用量 kg	吸水率 %	生産量 L	豆乳				
				タンパク質含量 %	タンパク質含量 %	固形物濃度 %	固形物収率 %	pH
自然乾燥	60	100	395	4.2	73.9	8.6	64.5	6.64
静置型乾燥	60	117	320	4.8	66.2	9.65	57.8	6.7
循環型乾燥	60	127	340	4.54	66.5	8.55	54.7	6.67

試験区名	豆腐					
	離水率		かたさ	pH	色調	
	30 分後 %	60 分後 %	g/cm2		Y %	y
自然乾燥	4.1	6.7	62	5.84	69.6	0.341
静置型乾燥	3	4.6	87	5.86	70.5	0.342
循環型乾燥	3.7	6	86	5.8	70.6	0.34

（食総研　平ら　1979 年）

表 1-2-3　大豆の乾燥方法と納豆製造試験（品種：トヨスズ）

試験区名	吸水率%	蒸煮大豆		
		水分 %	重量増加率 倍	かたさ g
自然乾燥	116	55.4	1.93	496
静置型乾燥	127	57.4	1.96	370
循環型乾燥	139	60.4	2	210

試験区名	納豆					
	水分 %	pH	かたさ g	窒素溶解率%	窒素分解率%	アンモニア態窒素 mg%
自然乾燥	63.1	7.9	1116	55.1	4.8	87.3
静置型乾燥	63.8	8	1094	69	8.3	157.4
循環型乾燥	64.9	7.92	826	61.1	6.1	161.7

（食総研　平ら　1979 年）

表 1-2-4　大豆の乾燥温度と納豆の官能評価

項目	評価
外観	自然乾燥＞静置型乾燥＝循環型乾燥
香り	自然乾燥＝静置型乾燥＝循環型乾燥
色	自然乾燥＝静置型乾燥＞循環型乾燥
粘り	自然乾燥＝静置型乾燥＝循環型乾燥
旨味	自然乾燥＝静置型乾燥＝循環型乾燥
苦味	自然乾燥＝静置型乾燥＝循環型乾燥
アンモニア臭	自然乾燥＝静置型乾燥＝循環型乾燥
総合評価	**自然乾燥＞静置型乾燥＞循環型乾燥**

（食総研　平ら　1979 年）

３．大豆乾燥設備の形式と特徴

機械設備には、設備を構成する機械個々の特徴とは別にシステムとしての特徴がある。大豆子実がどのような工程で乾燥されるか、また、角ビンや循環式乾燥機などがどのように使用されるかなどについて、いくつかの代表的な大豆乾燥工程の概要を簡単なフローと図で説明するとともに特徴をあげる。

１）循環式乾燥機を採用した例

乾燥設備に循環式乾燥機を採用した設備である。乾燥機の容量、基数は１日あたりの計画処理量に合わせて設定されるため、乾燥機の容量を超えての乾燥は出来ない。そのため、計画処理量を超えないように、適切な収穫計画の立案とその確実な実行が求められる。この方式では、荷受設備、調製設備、出荷設備も１日の計画処理量に合わせて設定されるため、工程のどこにも原料や製品の滞留はなく、荷受けした分は、全量出荷することとなる（図 1-3-1）。

２）貯留乾燥ビン（角ビン）を採用した例

乾燥設備に貯留乾燥ビンを採用した設備である。ビン数、送風量は、計画処理量に合わせて設定されるが、貯留ビン、乾燥ビンの稼働数配分が状況にあわせて変えることができる。そのため、荷受量の変動にも比較的対応しやすい施設といえる。また、貯留乾燥ビンを断熱することで米麦カントリーエレベーターに準じた長期貯蔵機能も付加できる。（図 1-3-2）。

以上、大豆子実の乾燥設備について、２つの代表的形式を上げて説明した。どの形式の施設を採用するかは、基本的には荷受期間と１日の荷受量およびその変動量などによって決定される。ただし、設備全体として運用操作面および費用の上からも利用しやすい施設とするためには、乾燥設備だけではなく、調製設備の能力とコスト、また、必要作業者の人数など総合的に検討する必要がある。

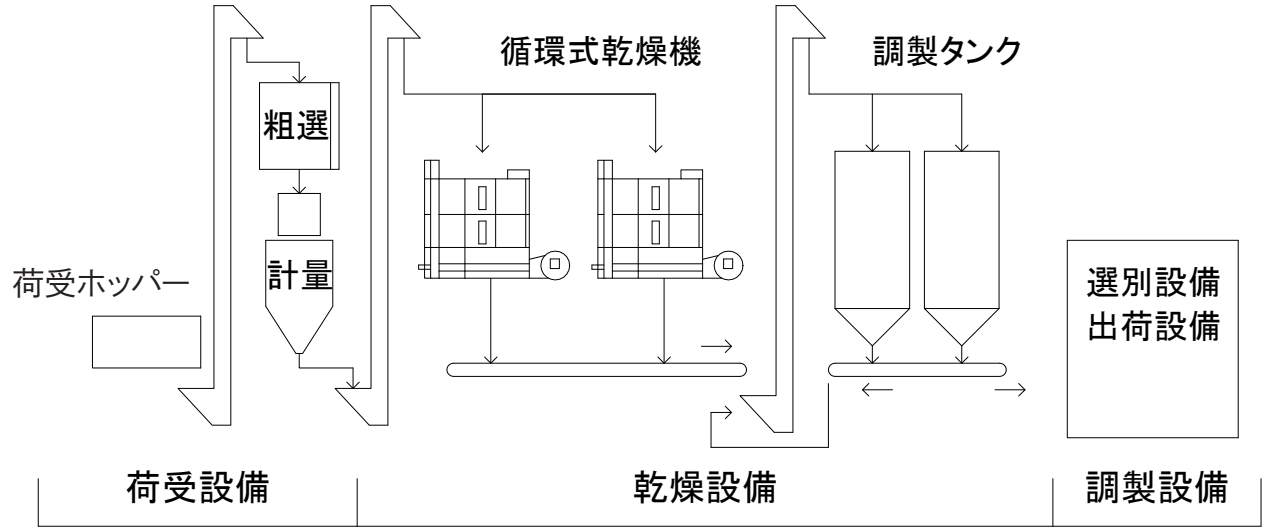
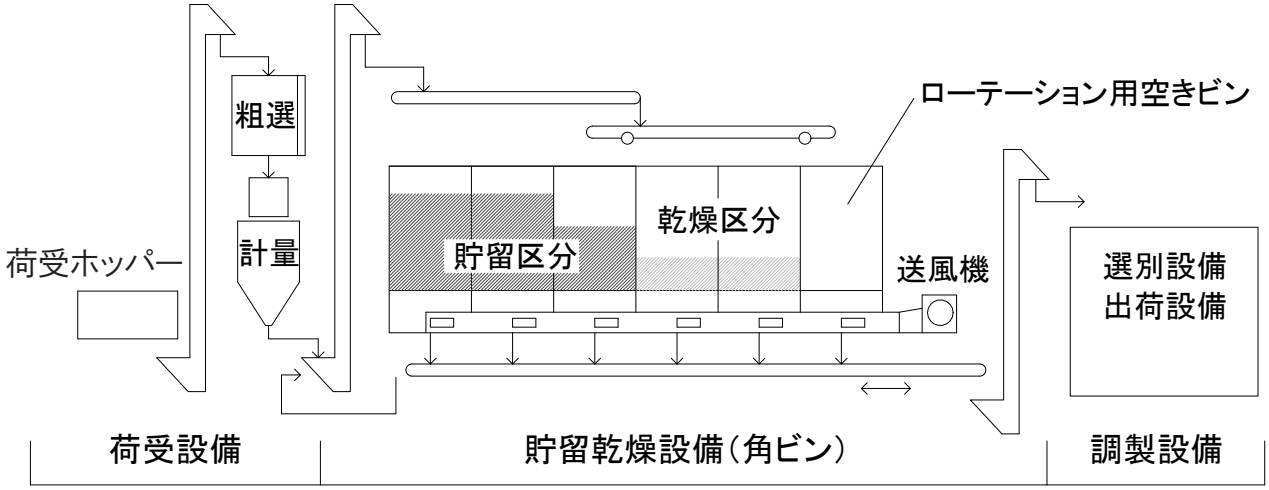


図 1-3-1　循環式乾燥設備フローシート



注記　本図はシンプルな例。実施時は規模等により異なる。

図 1-3-2　貯留乾燥設備（角ビン）フローシート

４．荷受設備

１）搬入形態と容器

施設への搬入形態は、生産規模や収穫機等の諸条件により 30kg 程度の袋詰め、1t 程度のフレコンあるいはハードコンテナによる搬入が予想される。荷受けが混雑している場合は、荷受け待ちの間に小袋からコンテナに移し替えることも行われる。大規模な場合は、トラックばら積み搬入もある。30kg 袋は農家の個別調達もあるがフレコンやハードコンテナは乾燥施設運営側の貸し出しとなることが多い。ハードコンテナの例を写真 1-4-1。写真 1-4-2 に示すタイプはメッシュ篭の内側にシートを取り付けた簡単な物で、回転フォークリフトで傾けて荷下ろしする。これは価格が安い。写真 1-4-1 に示すタイプはフォークリフトで荷受けホッパーの上に運びレバー操作で底を開いて落とす。これらのコンテナは送風機を取り付けて通風することができるようになっている。大豆の収穫は晩秋から初冬が多く、季節的には荷受けの待ち時間で変質する可能性は低いと思われる。しかし、荷受け変動対応として原料大豆の一時貯留に利用するなど、大豆子実が高水分にもかかわらず、何らかの理由で乾燥までの待ち時間が長い場合は通風が必要になることもある。その他、収穫した穀物運搬用の入れ物については、様々なものが農業資材メーカーから発売されており、大豆での利用も検討できる。なお、ハードコンテナ、メッシュコンテナとも折たた

んで保管できる。トラックばら積みの荷下ろしは、油圧リフトや電動ウインチでトラックを傾斜させる方法がある。ダンプトラックを利用できれば作業性は良い。

写真 1-4-1　ハードコンテナの荷受の様子

写真 1-4-2　メッシュコンテナの荷受の様子

2）荷受ホッパーの形状と配置

荷受ホッパーは、原料を施設に受け入れる入り口である。形状は通常逆四角錐で、格子状の面を荷受場の床面と同一、あるいは夾雑物などの混入防止のために床面よりやや上げて設置し、下部はピット内におさめられる。荷受けした原料は、通常、高所にある後工程の機械投入口まで昇降機で持ち上げられる場合が多い。その昇降機と荷受けホッパーとの接続は図 1-4-1 に示すように、(a) の直接続と (b) の設備配置やホッパー数等の都合で間にコンベアを介在させる方法がある。(c)はピット施工を少なくできるサークルフィーダー内蔵の浅型荷受けホッパーである。

(1) 各方式の特徴

(a) は、リターン方式の荷受け場に用いられる。リターン方式とは、原料大豆を運ぶトラックがバックをして荷受ホッパーに近寄り荷を下ろすものである。このタイプは、通常は 1 荷受系列 1 ～ 2 ホッパーであり、(b) に比べてピット工事も少ないことから設備費用が安い。小規模な施設はこのタイプを選択することが多い。しかし、荷受系列が多い大規模施設にも採用されることもある。

(b) は、主に通り抜け方式荷受け場に用いられる。通り抜け方式とは、原料を運ぶトラックが前進のまま荷受ホッパーの上を通り抜けて停止し、荷受ホッパーに荷下ろしするものである。バックの必要が無いのでトラックの運転が楽であり、効率的に荷下ろしできる。さらに効率を上げるため、1 荷受系列に 2 ホッパー設置し、交互に荷下できるようにする場合もある。しかし、ピット工事費用が嵩むほか、ホッパーの上をトラックが通るため丈夫に作る必要があり高価になり易い。また、通り抜ける際にタイヤに付いた泥や石がホッパー内に混入する恐れがある。大型の設備によく採用される。

(c) は、(a) と同じリターン方式荷受け場に用いられるが、ピット工事の費用がさらに少ない低コスト方式である。この方式のホッパーはピットを浅くすることで工期を短縮しコストを抑えることを目的としたもので、ホッパー途中に平らな部分を作ることでホッパー高さを低くしてある。そのため、通常のホッパーのように自然流下では全ては排出できず、平らな部分に回転する羽根を取付けて排出する仕組みである。通常のホッパーと同様に最初は自然流下で排出口から排出するが、自然流下で排出できなくなったらセンサーで検知し羽根を回転し強制排出する。

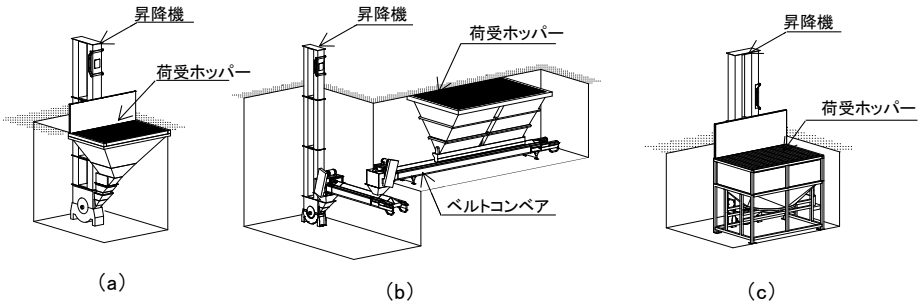


図 1-4-1　各種荷受けホッパー

(2) 荷受ホッパー格子上での夾雑物の除去

収穫作業の状況によっては、夾雑物の分離が不十分で莢や茎切れが大量に混入した原料が持ちこまれることがあり、荷受昇降機での詰まり（ブリッジなど）や粗選機の選別機能に障害が発生する等、施設の荷受工程での不具合につながることがある。このような場合には、荷受けホッパーの格子の上にさらに網を設け、夾雑物が設備へ混入するのを防ぐことも行われる。網上に残された夾雑物は人手で取り除くことになる。

(3) 荷受けホッパーの容量選定

荷受けホッパーの容量選定は、搬入される原料の一荷口の大きさによって決めることが多い。すなわち、通常、一荷口を収容できる容量を選定することで、搬入車両からの荷下ろしを短時間とすることができ、効率的な荷受けになるほか、搬入車両も次の作業に向かうことができる。一荷口の大きさより小さいホッパーの場合、続くコンベアや昇降機がホッパー内部を一定程度空けるまで荷下ろしを待つことになる。

3）荷受計量器

(1) ホッパースケール

穀物乾燥設備で通常使用されている計量器の構造・外観例を図 1-4-2 に示す。外観を図 1-4-3 に示す。これらの計量器は、汎用性が高く米麦大豆に使用できることが多い。計量器の操作や制御は専用に作られたコンピュータで行われ、質量データのほかに内蔵されたセンサーで測定した水分データも記録できる。さらに、あらかじめ登録されたマスターデータより検索または選択することで原料持ち込み者の名前や情報が簡単に計量器に入力される。これらの情報と計測結果は荷受け伝票に印字されるほかオンライン事務処理あるいはオフライン処理用に USB メモリに記録することなどが可能となっている。オートサンプラーで採取されたサンプルは自主検査と生産者への歩留まり見本提示などに用いられる。機種選定にあたっては、毎時荷受量に対応できるよう適切な能力を持つものにする。

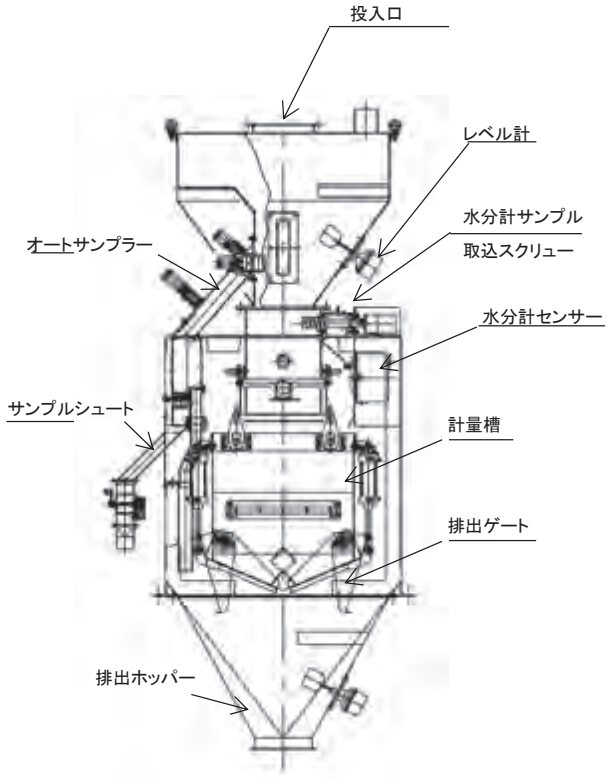


図 1-4-2　ホッパースケール構造図

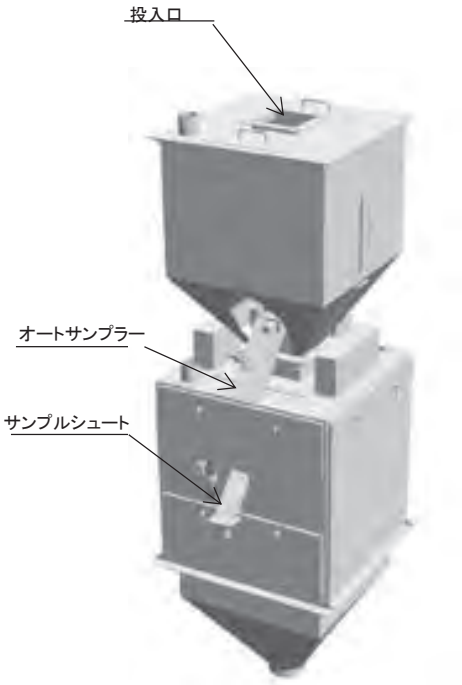
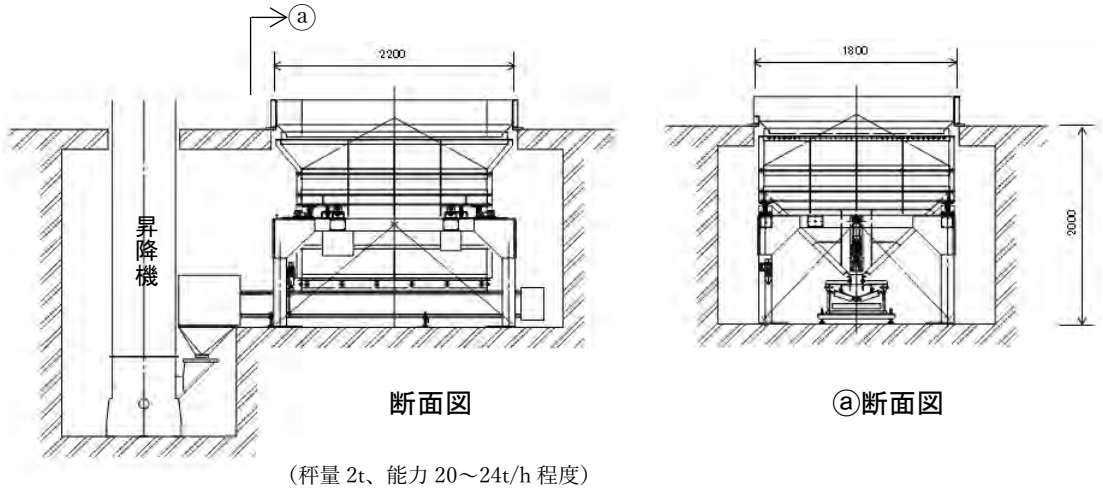


図 1-4-3　ホッパースケール外観図

(2) ピットスケール

ピットスケールとは、荷受ホッパー自体を計量装置とし、ホッパーの質量を投入した原料ごとに計量できるようにしたもので、ホッパーに直接原料を投入する事により原料の質量のみを正確に計測するものである。選別前に計量するので原料大豆中の夾雑物を無視できない場合は問題になる。しかし、荷受ホッパーと計量器が複合化されて機器費用が下がるほか空間利用効率が上がる等、低コスト設備と言える。ピットスケールを図 1-4-4 に示す。



（秤量 2t、能力 20～24t/h 程度）

図 1-4-4　ピットスケール

4）荷受能力・系列の決定について

荷受け設備の能力は、1 日荷受量を荷受設備稼動時間で除した値に作業効率を加味して決定される。必要荷受能力を 1 系列で処理できない場合は 2 系列として、必要荷受能力を 2 分割した同一能力の設備を 2 系列設置する。

$$\text{必要荷受能力 t/h} = \frac{\{(\text{1日荷受量 t}) \div (\text{荷受設備の1日の稼働時間 h})\}}{(\text{作業効率})}$$

5．大豆用自主検査装置

大豆用自主検査装置は、大豆乾燥施設で個人毎に持ち込まれた大豆の個人毎の大粒・中粒・小粒の持ち分を決定するために使用する。装置は、屑取りを行う転選機、大きさを分ける選別機、重さを計測する計量機から構成され、個人毎にサンプルを装置に入れると自動的に大粒・中粒・小粒・屑粒・夾雑物を選別し、その割合をコンピュータが計算し、スムーズかつ高精度に持ち分の決定を行えるものである。機種には半自動型と全自動型があり、以下に解説する

1）半自動型自主検査装置

半自動型とは、選別行程と計量行程の作業を別々に行うタイプの装置であるが、コンパクトな機構で粗選、転選、粒径選別の装置で構成される。少ない量でのサンプル検査でも大粒、中粒、小粒、屑粒、夾雑物を能率よく、高い精度で選別できる。機械能力は、サンプル 1 件最大 300g で 20 件／時間程度である。

2）全自動型自主検査装置

全自動型とは、サンプルを投入すると計量機、転選機（傾斜型コンベア方式）、回転式選別機 2 台により、大粒、中粒、小粒、屑粒、夾雑物の選別作業が自動的に行われ、選別結果は付帯コンピュータに保存し、自動的に選別結

果のわかる伝票が発行される。サンプルシール機もつけることができるので、サンプルの管理･保存も容易である。機械能力は、サンプル 1 件最大 300g で 20 ～ 25 件 / 時間程度である。

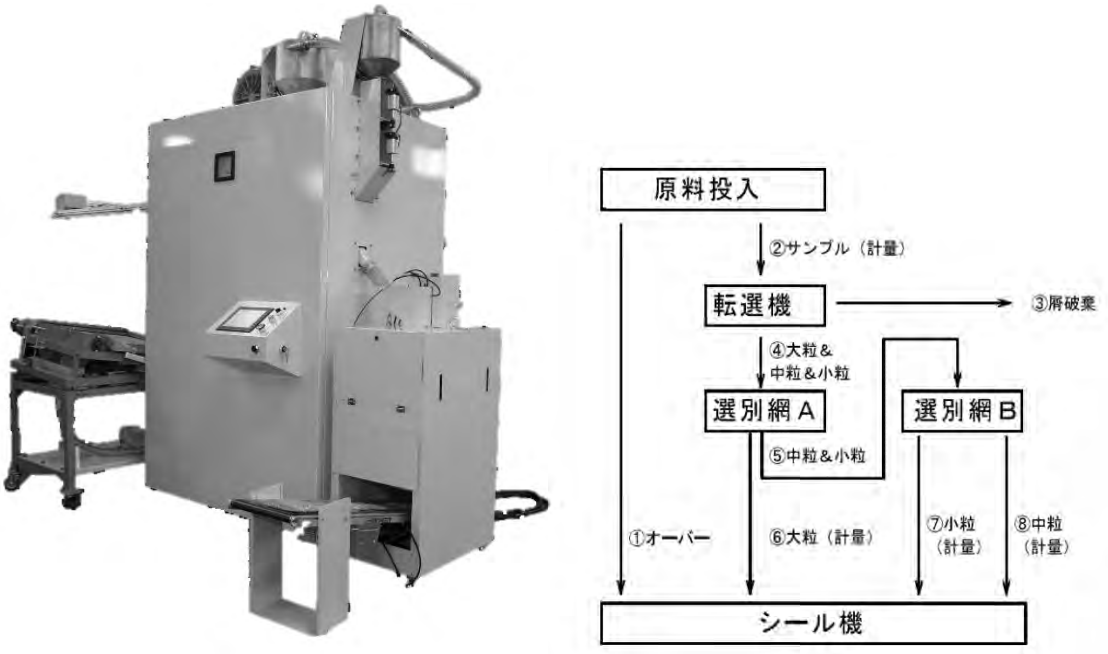


図 1-5-1　全自動型自主検査装置の外観および構成（提供：讃光工業株式会社）

６．水分計

水分計はその後の乾燥工程や個人の持ち分決定に大きく関与する。水分計は定期的に点検を行い、その精度を維持するように努める必要がある。

１）高周波容量式水分計

高周波容量式水分計は、穀粒の水分によって誘電率が変化するので、その変化を高周波容量の変化に置換して測定する水分計である。写真 1-6-1 は、大豆用高周波容量式水分計の例である。高周波容量式水分計は、非破壊で測定できるので、使いやすい反面、かさ密度により値が変わるので、測定する大豆の容量が一定になるように、付属の容器を用いて慎重に水分計内に試料を投入することが重要である。

２）大豆用単粒水分計

単粒水分計は電気抵抗式水分計の一種で、試料水分の増加に従い、試料の電気抵抗が減少することを利用したものである。電気抵抗式水分計には、穀粒と電極間の接触抵抗値を安定させるために粉砕した試料を電極間に入れ一定圧力で加圧して測定するものと、平板やロールで電極間の試料を圧砕して直流抵抗値を測定するものがある。単粒水分計は、回転速度差を持つロール電極に試料を一粒ずつ送り込み、圧砕しながら電極にはさまれた穀粒の電気抵抗を測定する方式である。かつては、平均水分、各粒の水分、偏差、測定粒数、度数分布を出力できる大豆用単粒水分計としても市販されていたが、現在では関連機器へ組み込まれて利用されている。ホッパースケール内に組み込み、荷受計量と同時に測定できるものもある（写真 1-6-2）。

３）荷受計量器への水分計の取付

荷受計量器に高周波容量式水分計や単粒水分計を取付けることで、計量と合わせて大豆の水分測定が可能となり、測定された水分データはデータ収量装置とオンライン化することで効率的な施設運用が可能となる。

4）荷受け原料の水分分布

コンバイン収穫の普及に伴って、フレコンバッグやトラックにバラ積みされて、乾燥施設に一度に大量に搬入されるようになっている。荷受け後は、水分計により水分測定され、水分値に合わせて乾燥されるが、搬入される大豆の栽培や収穫時の条件などによって、水分値に大きなばらつきがでる場合がある。簡易水分計で 21.1％表示されたものであっても、16.1％～ 27.5％まで分布する事例もある。場合によっては、機械乾燥による過乾燥が心配される状況のものもある。収穫前の立毛条件での水分測定が重要であり、さらに汚粒防止のためには茎水分にも留意し、適切なコンバイン収穫作業を実施することが重要である。

写真 1-6-1　高周波容量式水分計の外観（提供：株式会社ケツト科学研究所）

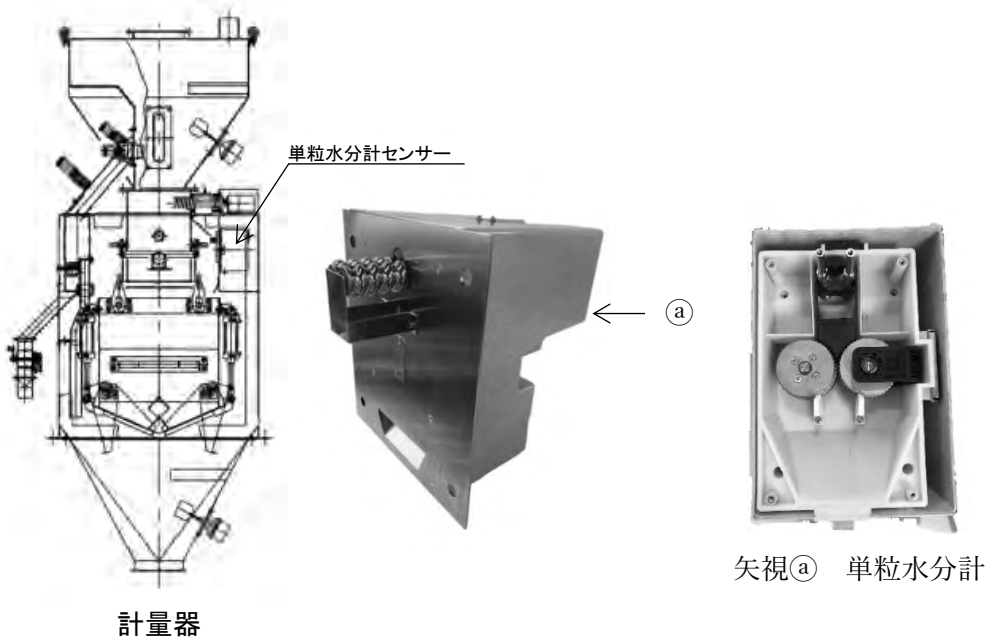


写真 1-6-2　単粒水分計センサー（提供：讃光工業株式会社）

７．原料の一時貯留設備

１）一時貯留設備の必要性

毎日の荷受量に変動があり、荷受量より乾燥調製出荷量が少ない場合は、未処理大豆原料が施設内に残ることになる。この場合は、生原料の一時貯留設備の設置を検討する。また、収穫を早く終了したいとか収穫適期が短いなどの理由で短期間に大量の原料が搬入される場合も生原料の一時貯留設備が必要になる。乾燥設備能力を入荷量に合わせることでも原料受け入れ早期終了が可能であるが、通常、乾燥機設備の方が原料タンク設備より高価となるためタンクを導入することが多い。また、原料タンク付設により乾燥調製の作業量にムラが少なくなる。例えば、雨天で荷受がなくても原料タンクから引き出せば乾燥と調製作業ができる。ここまで、生原料の一時貯留について述べたが、一般的に一時貯留タンクは、各設備間の能力のアンバランス対応や各工程間を材料がスムーズに流れ設備の稼動効率を上げることに使用される。したがって、乾燥設備と選別設備の間や粒選別と色彩選別の間などにも付設されることがある。タンクは付設された工程によって、原料タンクや一時貯留タンク、調製タンクなどの呼び方となる。

２）一時貯留設備の選定

後に述べる角ビンや丸ビンは原料の一時貯留と乾燥機能を合わせ持つので採用例が多い。これらの方式のほかに建物内部あるいは屋外にタンクを設置することでも対応可能である。タンクの形状は四角型、丸型いずれも製作されている。図 1-7-1 に小型の屋外平床丸型ビンの例を示す。未乾燥の生原料の一時貯留を実施する場合に配慮すべき事項として、貯留期間中の原料の変質防止と貯留容器内の結露防止がある。すなわち、原料が高水分の場合は変質防止のための通風装置が必要である。また、容器内部への結露が懸念される場合は、屋根及び壁体を断熱構造にするなどの配慮が必要になる。

３）一時貯留設備の容量

生原料の一時貯留設備の容量は、荷受期間中の荷受量と乾燥量との差を累積計算してその最大量を収容できるように決定する。乾燥済み材料の貯留タンク容量は、稼動期間中の乾燥工程と調製工程の処理量差の累積量を計算して決定する。ただし、累積量は言わば各設備の処理能力間のアンバランス量であるから、設備能力の選定により変化する。設備コスト低減や作業効率の向上をねらいとして各設備能力の選定を行い、最適の貯留タンク容量を決定する。

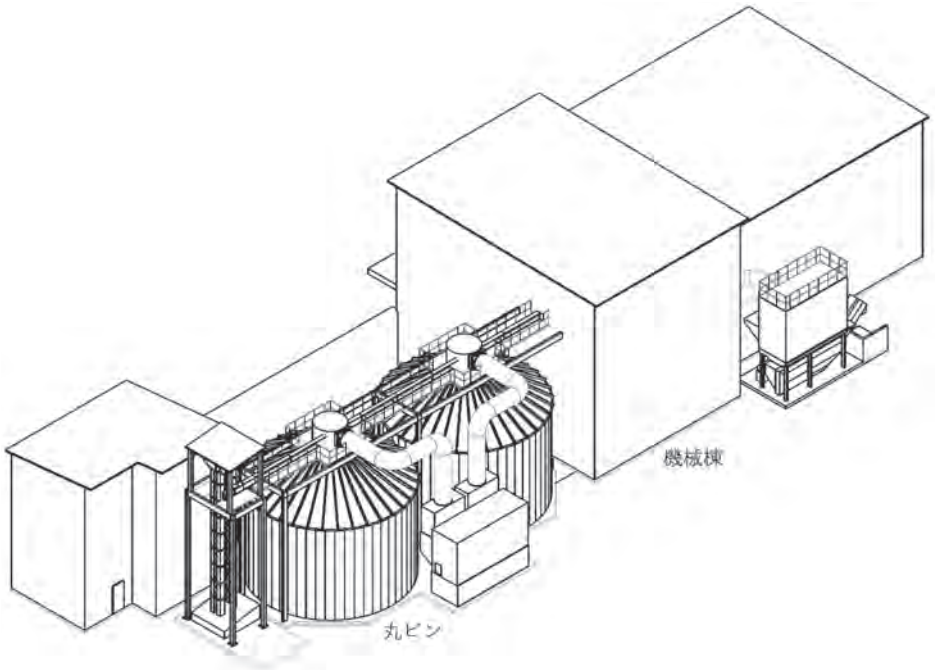


図 1-7-1　小型屋外平床丸型ビン