

にんにく株割り加工機の製作

青森職業能力開発短期大学校 斉藤 功朗

Production of processing Machine for splitting garlic bulb

Atsuro SAITO

要約 市場に出回っているにんにく株割り加工機のうち、廉価な物にはにんにくへの損傷発生率が高い。また、加工サイズ変更のための操作部も固くて扱い難いほか、サイズの微調整もできない。そしてメンテナンスができない構造となっている。このため、廉価でありながら操作やメンテナンスもしやすく損傷発生も少ない、にんにく株割り加工機の製作を行うことを目的としている。本研究では新たな加工機的设计・製作を行い、にんにく少量投入時と大量投入時の、損傷発生率と作業効率を評価した。

I はじめに

青森県は、にんにくの生産量が日本一である。青森県産のにんにくは、ホワイト6片という品種が主流である。これは1株が基本的に6片の粒で構成されており、他の品種に比べて1片の粒が大きい。農事組合法人鬼丸農園の提案で、このにんにくの株を1片ずつにばらす装置の製作をテーマとして取り組んできた。実践的な教育訓練の一環として総合制作実習の授業科目の中で実施するため、共同研究として取り組み始めてからは、平成28年度で2年目となる。

生産者が利益を増すためには、にんにくを加工品として販売することが挙げられる。これには、にんにくの株を割るなどの作業を要する。株割り装置は廉価な市販機械が既にあり、そちらを使用したところ4割以上の不良品が発生する。また、加工サイズ変更のための操作部も固くて扱い難いほか、サイズの微調整もできない。そしてメンテナンスができない構造となっている。このため、廉価でありながら操作やメンテナンスもしやすく損傷発生も少ない、にんにく株割り加工機の製作⁽¹⁾を行うことを目的としている。

装置を廉価にするほか保守性を上げるため、仕上がりは、常に人が作業補助をするマンマシンとする。

II 株割りの概要

1 株割りとは

にんにくの株とは、茎と根を切り落とした玉状態を

いう。株全体を外皮が覆っているため凸凹した1つの玉状態に見える。この外皮を破り、僅かに残っている茎の根元から実を剥がし、1片ずつの粒状態にばらすことを株割りという。株割り後の粒もそれぞれが皮を纏っており、これを便宜上ここでは「内皮」と呼ぶこととする(図1)。

今回の株割りに際しては「根付き」と呼ばれる状態のものの使用を最終的に見据えている。スーパーなどの店頭で見かけるような外皮も真っ白で根が全く伸びていない「根擦り」済みの株とは異なり、根付き株は外皮が厚く土が付いており根も少し残っている。根付き株は一般には流通しておらず、入手するには時期を選ぶため実験では装置がほぼ完成するまでの間、根擦り済み株を使用することが多くなる。



図1 株割り前後の様子

2 株割り機に求められる条件

根付き株を株割りする際の注意点として、実に傷が付かないことは勿論、内皮が剥れていない状態で仕上げることを要求されている。株割りそのものが失敗した株は手作業により補完するため、6片が完全に株割りされていなくともよいが、手でばらし易いように粒同士の接合は緩んでいることが望ましい。これらの他、今回の株割り機に要望される条件は、主に以下に示す5つである。

- ① 廉価な装置で、数十万円で販売可能
- ② 内皮が剥れるか実に傷が付いた場合は不良とし、不良率は2割以下
- ③ 農家または中小規模の農業施設でも使用・操作・保守が容易
- ④ 人の手だけによる、株割り作業時間の1株につき7秒よりも高効率
- ⑤ にんにくのサイズ M~2L に合わせる調整操作が容易

III 株割り機の構想と設計

1 動作機構の構想

株割りを手作業で行う際は、にんにく株を手で掴み、にんにく粒に対して内側から外側へ向けて指を引っ掛けてから引っ張り力を加えている。しかし機械で行う場合は機構と制御が複雑になり、条件から大きく外れるため、通常の手作業とは異なる方法で力を加えることにした。一般的な株割り装置では圧縮力またはせん断力を利用している。このうち圧縮力のみを利用した廉価な装置では不良発生の割合が高かった。また、せん断力を利用した装置は、ベルトコンベアを使用しており高額となっている。そこで、株の試し割りを、機械の動きをイメージして行ったところ以下の特徴が見られた。

- ① 圧縮力のみによる株割り
 - ・株割りされた後の粒がばらけることが少ないため手作業での追加作業が増える。
 - ・力の逃げ場が無いため粒が傷付きやすい。
- ② 圧縮力にせん断力を加えた株割り
 - ・株割りされた後の粒がばらけるため株割り作業後に手作業を加える必要が無い。
 - ・せん断力の方向へ株割り後の粒が逃げられるため粒が傷付きにくい。

このことから、圧縮力にせん断力を加えた株割りを行う装置として製作することで、株割り時のにんにく

に対する負荷を分散して不良発生率を下げられる見込みがある。廉価で不良発生の少ない機構を考えて実験を繰り返した結果、石臼に近い動作構造であれば、機構がシンプルながらもにんにくに対して圧縮力の他にせん断力や回転力も加え得るため、開発構想の主軸に選ぶこととした。

2 石臼状構造の工夫

まず図2に示すように上下二つの板が作り出す隙間に、株が入る広さの空洞を設けた。下板は円錐型にし、外周へ向かう傾斜を付けた。通常の石臼で回転するのは上板であるが、株の連続投入をする目的と全体の組立て構造を簡単にする目的から、下板を回転させる構造とした。下板の回転により起こる遠心力と傾斜により、空洞へ投入された株には外周へ移動する力が与えられる。株が外周へ移動すると空洞の天井が低くなり、上板と下板に株が接触する。この状態から更に株を狭い隙間へ移動させることで、上下の板による圧縮力とせん断力を株に加える構造とした。

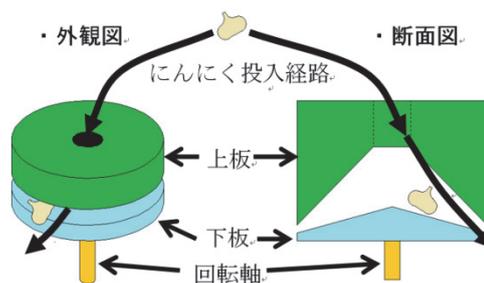


図2 石臼状機構の様子

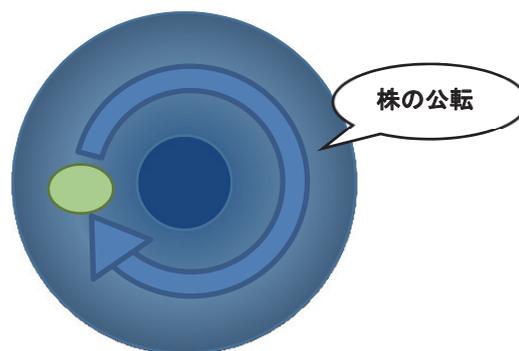


図3 石臼状機構を上から透かして見た図

実際に動作させると思うように行かない部分が発生したため、いくつかの工夫を施し改善を行った。

図2の時点では、株がこれ以上外周の狭い隙間へ移動することなく、平面図で見れば図3のように地球の公転のような軌道になり、株はほとんど割れること

がない。この原因は株が外周へ向かう力を、上板が株に接触することで押し留めているためと考えられる。

そこで公転軌道上で株割りできる工夫をすることにした。まずは株の公転軌道上で、上板が次第に低くなり隙間が狭くなるようにした。これには図4のように上板の中心位置と下板の回転軸をずらして配置し、上板と下板の隙間に片寄りを持たせて行っている。これで株が下板と共に公転を続けられ、株割りすることができる。

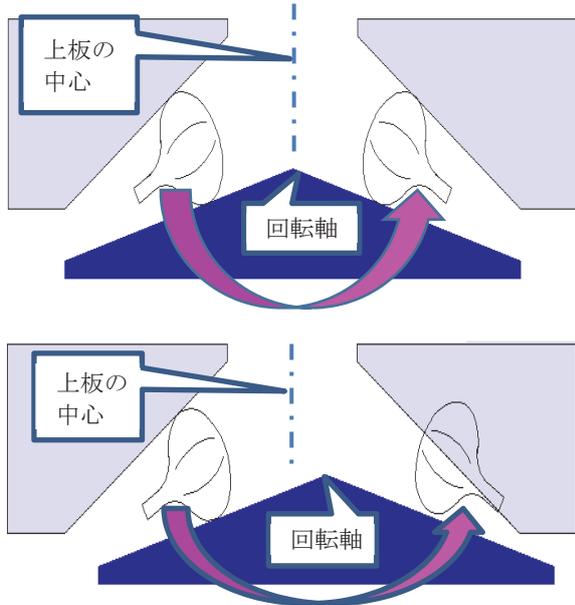


図4 軸ずれによる隙間の片寄り

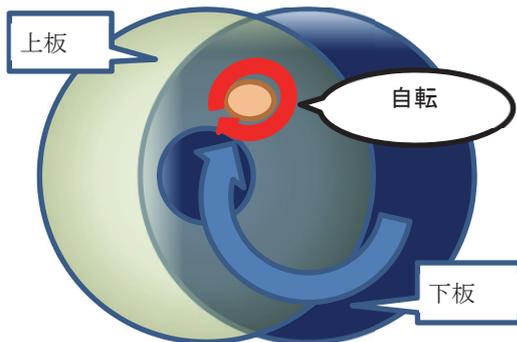


図5 狭い隙間に入らずその場で自転する株

しかしこれだけでは株割りはほとんど成功しなかった。観察を行った結果判明した原因は、にんにく株の回転である。この機構では、上下の板が株に接触することになる。株から見てこの上下の板は、せん断方向に動くため回転力として株に伝わり、株の動きを地球に例えると自転が起りやすくなる。自転の起きた株は、図5のように公転軌道上を動くうち、隙間が狭く

なってくると公転することを止めてその場に留まり、狭い隙間に入らない。この原因としては、自転により下板と株の摩擦が減っていることが考えられる。この他、使用するにんにく株が土付きであることや株の外皮が剥れた際の屑なども出ることから、実験を繰り返すうちに株と下板との摩擦は更に少なくなり、株は下板の動きに付いていかず全く株割りがされなくなった。

これに対して行った処置としては、図6、図7に示すように下板の一部に低めの突起を設けた。一箇所に留まり自転している株に対して、この突起が当たることにより狭い隙間へと後押しすることができる。この処置においては、下板の突起と上板から圧縮力とせん断力が株に加わるため、単純な圧縮力のみによる株割りのような無理な負荷が株に発生しない見込みである。動作実験を行ったところ、株は狭い隙間に押し込まれて株割りされるようになった。また、実験の際、同時に複数個の株を投入することにより株割りが更に早く実行されることが確認された。

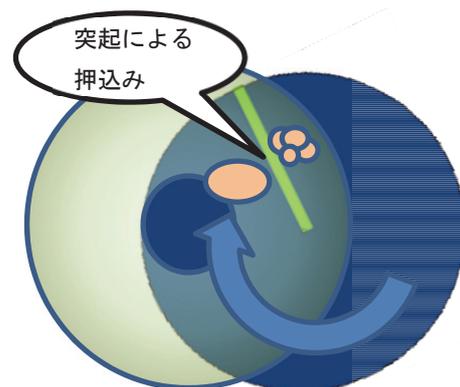


図6 突起による押込み 平面図

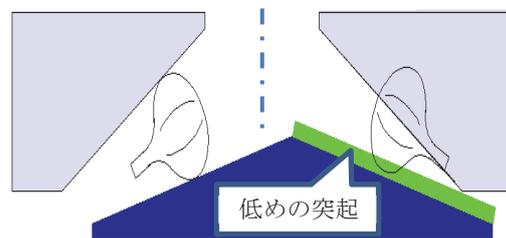


図7 突起による押込み 断面図

IV 寸法設計および材料選定

1 石臼状部品の材料選定

廉価な既製品では株割り時、にんにく株に直接接触する部品の素材が硬いゴムであった。にんにくが傷付くほか、ゴムも摩耗して10mmの隙間が発生していた。

このゴムは車のタイヤに近い硬さであるため、JIS K 6253 での硬度ショア A65 となる。これに対して柔らかい硬度ショア A15 では、ゴムが柔らか過ぎてにんにくが沈み込んでしまい、株割りさせることができなくなる他、株割り後のにんにく粒の内皮までが剥れ易くなってしまった。これを踏まえて、にんにくに過大な負荷が掛かりそうになるとゴムが凹む程度の硬さを狙い、硬度ショア A30 で弾力のある NBR スポンジゴムの材質を選定した。また、株割りでスポンジゴムが傷付き、部品寿命が短くなることを予防するため、表面に 1mm 厚のゴムシートを貼り付けた。

石臼構造部のスポンジゴムを外側から支える土台としては、SUS304 ステンレスの板を用いることにより、にんにくを潰す 20kgf ほどの力に耐えられる剛性と、耐食性を考慮した。

筐体の骨組みとしては、加工対象が食品であることから耐食性を考慮し、また設計段階からの調整・変更ができるようアルミフレームで製作している。

2 石臼状部分の寸法

石臼状部分の設計・製作により実現したい要件を以下にまとめる。

- ・ 2L サイズの大きいにんにく株も投入できる。
- ・ 同時に複数個のにんにく株が中に入る。
- ・ 無駄な時間が少なく株割りできる。
- ・ 株割り前のにんにくが外へ零れ落ちない。

設計のため測定したにんにく株のサイズについては、ホワイト 6 片種の 2L サイズのにんにく株を 40 個測定した中で最も大きいものが、株の直径 77mm、実の高さ 44mm、芯の高さ 74mm である。

これらに基づいて寸法設計の要素を表 1 のように決めていき、図 8 のように設計した。

表1 寸法設計の要素

投入口の直径	100mm
下板の直径	400mm
外周に生じる上板と下板の隙間	30mm
軸ずれの距離	30mm
下板の斜面角度	15°
上板の内側の斜面角度	35°
上板全体の直径に対する傾斜角度	0°

石臼状部分を実際に製作したところ、手作りで成形したため多少の寸法違いは発生しており、外周にできる上板と下板の隙間は 10mm になっている。

上板と下板の間にできる空洞については、大きい株が投入されても空洞内に約 10 個が入るサイズとなっている。

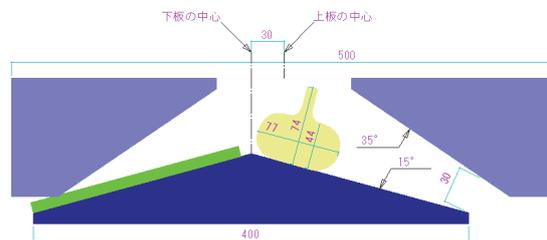


図8 石臼状部分の断面寸法

軸ずれの距離については、近過ぎるとにんにく株 1 個だけを投入した場合、株割りされるまでに石臼構造部が何周も回転するためスムーズに作業が進まない。軸ずれの距離を大きくするほどすぐに株割りされるが、距離を離し過ぎると、外周にできる上板と下板の隙間から株割り前のにんにく株が外へ零れ落ちてしまう。このため軸ずれを 20~30mm 程度とし、必要に応じて上板と下板の隙間の高さを調節できるようにした。

下板の円錐型の斜面角度は、急峻にすると装置全体が大きくなるため、にんにくが外周へ移動することを補助できる角度とした。角度を 15° にすることで、48rpm で回転するゴムシート材の上をにんにくの株および粒が外周へ移動することができている。

V 装置の試作と改良

装置を試作し、実験を行ったが、不具合も発生したためトライアンドエラーで数箇所の改良を行った。

1 モーターの変更

下板を回転させるモーターについては始め、廉価な既製品で用いられているものと同じ AC100V60W モーターを使用した。実験をした際に過負荷で頻りに停止したため 90W に変更した。この変更の際、株割りがうまくいかない場合にモーター速度を変えて様子を見られるように要望を受け、可変速モーターを選定した。ギヤ比 1 : 1 であれば回転速度は 1.3~48rpm の範囲で調整できる。

2 上板の土台の補強

作業能率を高くするため複数個のにんにく株を同時に株割りしたところ、上板の土台に用いた厚さ 2mm の SUS304 ステンレス板の外周に歪みが生じ塑性変形

が起きた。圧力センサや体重計を取り付けて株割りによる荷重を測定したところ、瞬間的には 50kgf 強の荷重が加えられていた。これに対処するため上板の外周にアルミフレームの骨組みを取り付けて補強を施したところ、上板の歪みは無くなり問題が解消された。

下板には厚さ 3mm の SUS304 ステンレス板を用いているが、こちらは直径が小さいこともあり歪みが生じていない。

3 上板と下板の固定方法

図 2 の上板および下板に用いているスポンジゴムは、厚さ 1mm のゴムシートを介してにんにくの株割り作業に接触する部位であり、劣化時の交換を検討する必要がある。図 9 のように、上板ではスポンジゴムをステンレス板とアルミフレームで挟み込むことで固定し、下板では面ファスナーによりステンレス板とゴムスポンジを固定した。これにより、株割り実験において固定部分がずれることなく維持でき、ねじの締結を行えば部品交換も可能となり、メンテナンス性が向上した。



図9 固定されたゴムスポンジの様子

4 高さ調節用の機構

上板と下板の間に作られる隙間から、にんにくが吐出されるが、この隙間が狭いと株割り後の 2L サイズのにんにく粒をスムーズに吐出することができない。この状態で下板の回転を続けると、粒となったにんにくは上板と下板の隙間で強く圧迫されながら外周に向かい、結果、茎にぶつかり傷付くものや、内皮が剥れてしまうものが増えてしまった。逆に上板と下板の隙間が広いと、にんにくが吐出用の隙間から、まだ株割りされていない M サイズのにんにく株が外へ零れ落ちる。これらのことから、投入されるにんにくのサイズ M~2L に応じて、上板と下板の間に作られるにんにく吐出用の隙間の高さを調節する必要がある。これについては加工対象が個体差のあるもののため、微調節ができる機構を農事組合法人鬼丸農園から要求された。

高さ調節機構については、始めラボジャッキや自動車用のパンタジャッキを用いて安価に製作したが、ジ

ヤッキ耐荷重がクリアしていても繰り返しの株割り実験に耐久することができなかった。ジャッキが壊れる原因は、いずれも図 10 に示すようなねじ山の破損になっている。ラボジャッキにおいては、めねじの部品が厚さ 1mm しかなく、山数が少ないため、おねじからの荷重を受けるめねじの接触面積が少なかったことから、めねじが破損している。パンタジャッキにおいては、おねじに対して部品を陥没させて食い込ませて固定している構造であるが、おねじの外周約 45mm のうち 3mm 幅程度の陥没でしか部品が食い込んでおらず、部品からの荷重を受けるおねじの接触面積が少なかったことから、おねじが破損している。この問題に対しては、おねじとめねじの接触面積を増やすため、大きな台形ねじと厚みのあるブロックナットを使用して独自に X リンク式昇降機構を製作して取り付けることで解決した。

製作した X リンク式昇降機構を図 11 に、製作した装置の全体写真を図 12 に示す。

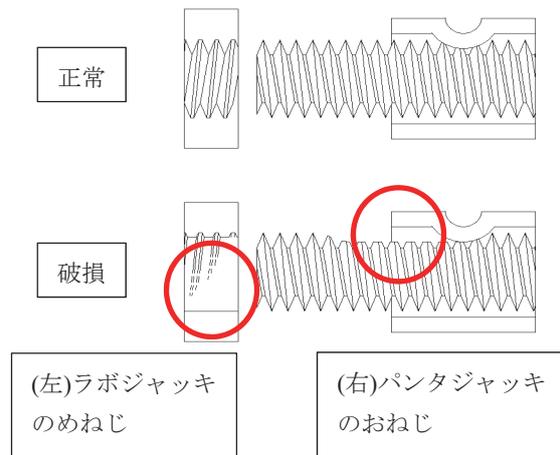


図10 ジャッキの故障原因

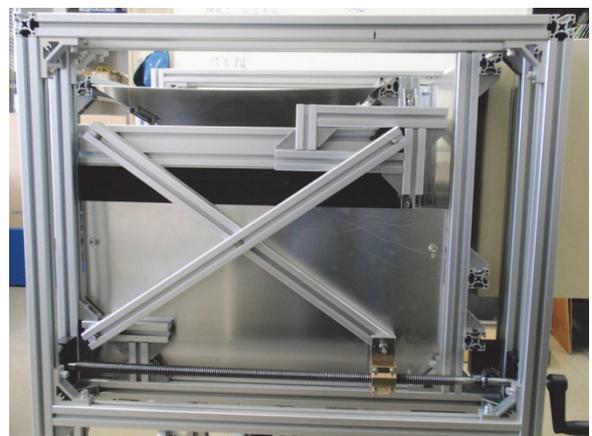


図11 製作したXリンク式昇降機構



図12 製作した装置の全体写真

VI 装置の評価

改良した筐体での稼働実験を行った。土と根の付いていないにんにく株を用いての実験となったが、以下の4項目に着目した。

- ① 株割りで不良品となった粒の割合
- ② にんにく1株あたりの加工に要する時間
- ③ 連続加工による装置の耐久性
- ④ 高さ調節機構の機能性

1 不良発生率

実験では、まず加工機のにんにく吐出用の隙間の高さを変更しながら、にんにくのサイズ毎に適した隙間の高さを調べた。実際の運用では一度に複数個のにんにく株を投入するため、石臼状構造内部が満タンにならない程度の量を同時に投入して実験を行った。

用途としては水による洗浄を行わずに食用として販売することから、ダメージ評価の基準として、目視により内皮が剥れた粒や実が傷が付いた粒があれば不良品とし、不良の個数を数える際は、完全には株割りがされていない複合粒についても1粒毎に計算対象の数値に入れている。

加工機での実際の株割りでは、投入した株のうちのいくつかは6片の粒に割れておらず、2粒以上がくっついたまま吐出された。この場合は手作業による追加加工が必要となる。手作業で株割りする場合は、茎から6片の粒を剥がす作業とすると1株につき6回の割る手間が掛かる。この手間数をどの程度低減できるかを株割り実行率としている。しかし1株は6片の構成

とも限らない。このため投入した株数ではなく、吐出された粒の数量を基に、割る手間数を数えた。

これらの結果を表2に示す。実験に用いた株の総数は表に示す計65株となる。不良発生率が20%以下の範囲内で、株割り実行率が高くなる隙間高さが望ましいとすれば、Mサイズは25mm、Lサイズは28mm、2Lサイズは38mmが適していることになる。しかしこの数値は、装置の改良や、にんにく株の状態および個体差により変化するため、傾向を掴むことにしかならない。傾向としては、不良発生率をより低く抑えるためには隙間高さを大きくすればよいことが分かる。

表2 にんにくサイズ毎の隙間高さと結果の傾向

サイズ	隙間	一度での投入数	不良発生率	株割り実行率
M	25mm	10株	20%	87%
	28mm	10株	15%	66%
	31mm	10株	7%	55%
L	28mm	5株	19%	91%
	31mm	5株	7%	81%
	33mm	5株	6%	62%
2L	31mm	5株	25%	77%
	33mm	5株	23%	79%
	35mm	5株	21%	79%
	38mm	5株	20%	68%

2 加工時間

加工時間の測定を行う前に、表2の実験後に装置が故障した。このため、装置の耐久性が問題として挙げられる。装置の修復・改良を行った後、今度は耐久性の確認と加工時間を測定するため、にんにく株の連続投入実験を行った。現在の装置で不良発生率が20%以下になる隙間高さの値を表2と同様に測定したところMサイズは25mm、Lサイズは34mm、2Lサイズは37mmとなったため、この値で実験を行なった(表3)。

表3 にんにくの加工に要する時間

サイズ	M	L	2L
株の数 [個]	257	145	100
総重量 [kg]	9.6	9.3	9.0
隙間の高さ [mm]	25	34	37
加工機稼働時間 [秒]	90	76	160
株割り実行率 [%]	55.2	47.8	31.3
不良品発生率 [%]	11.3	14.1	7.9
隙間の高さ [mm]	25	34	37

実験の結果から、1株あたりの加工機での株割り加工時間は、人の手で作業する場合よりも短縮できる見込みとなった。ただし、現実にはにんにく株から剥れた外皮を除去する作業、良品と不良品を見分ける作業、株割りされていない株を見つける作業が発生する。

具体的な株割り加工時間は、人の手で行う場合1株あたり7秒であるのに対し、

Mサイズのにんにくでは0.63秒

Lサイズのにんにくでは1.10秒

2Lサイズのにんにくでは5.11秒

このように時間短縮ができることになった。これは株割り加工機の改良前である昨年度の成果「Mサイズ1株あたり2.01秒」という値よりも速くなっている。

2Lサイズの加工時間が特に長くなっている理由は、実験中に装置が停止してしまったためである。停止する際の状況は2つある。1つは、停止する前に、にんにく株が割れずに装置が稼働している時間があり、その後モータ出力がにんにく株の株割り荷重に負けて停止した。もう1つはモータのギヤが噛み合わせから外れたため、操作者が停止させた。表3の加工機稼働時間は、2Lサイズでのモータ停止時間は除いた数値を記載している。

株割り実行率を $A[\%]$ として式(1)のように求め、1株あたりの加工機での株割り加工時間を D として式(2)のように求めた。

Mサイズのにんにくでは「 $D=0.63$ 秒」

Lサイズのにんにくでは「 $D=1.10$ 秒」

2Lサイズのにんにくでは「 $D=5.11$ 秒」

$$A = \frac{B - C}{B} \times 100[\%] \quad \dots \text{式(1)}$$

$$D = \frac{E}{F} \times \frac{100}{A} \quad \dots \text{式(2)}$$

A: 株割り実行率

B: 割る手間の総数 (にんにく粒の総数)

C: 加工機での株割り後に残った割る手間数

D: 1株あたりの加工機での株割り加工時間

E: 連続投入での株割り加工時間

F: 連続投入した株の数

3 連続加工による装置の耐久性

にんにく株の連続投入で株割り加工実験を行ったことによる装置の耐久性ではM, Lサイズでは約10kgの

加工に耐久していたが、2Lサイズの実験では装置が度々停止(計5回以上)してしまった。このためモータの出力改善や、モータとギヤをつなぐカップリングの再選定など、対策を必要とすることが判明した。

連続投入実験では、にんにくの投入口で複数個のにんにくがせめぎ合った結果、石臼構造部内へ自然に落下しない状況も発生した。このためスムーズな作業をするには投入口の改善も必要である。投入口の様子を図13に示す。

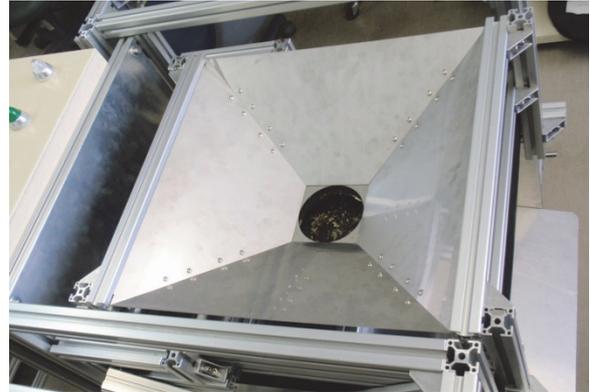


図13 投入口の写真

4 高さ調節機構の機能性

Xリンク式昇降機構の操作については、操作部が硬くならずスムーズに昇降できた。株割り時には、機構の隙間が原因で上板にぐらつきが見られる。ぐらつきが装置の稼働に悪影響を与える様子は、現時点では見られないが、今後改善を視野に入れるべきか検討している。

5 製作費用

現在の装置に使用されている材料費の内訳は以下のようになる。設計変更に対応しやすい材料を用いたため、更に低価格にすることも可能である。

- 20万円・・・筐体および制御盤
- 5万円・・・Xリンク式昇降機構
- 3万円・・・外装(予定)

VII おわりに

連続投入の耐久性を上げ、連続投入におけるにんにく各サイズの適正隙間高さを調べることと、石臼状機構の製作精度を上げていきたい。

[参考文献]

- (1) アグリビジネス創出フェア 2017、東北能開大 青森校 <http://www3.jeet.or.jp/aomori/college/doc/agri2017report.pdf>

