

## I はじめに

金沢市において生産されている金箔は日本全国の 99%を占めており、重要な伝統産業である。金箔の製造工程は延金、澄打ち、箔打ちに大別される。このうち澄打ち工程において使用される澄打紙には、原料として稲わらの茎の「ニゴ」と呼ばれる部分が大量に必要とされる。図 1 に稲わらの葉身と葉鞘を取り除いた茎の模式図を示す。ニゴとは図 1 に示す第 1 節間のことで、穂首節と穂首節下の止葉節の葉鞘が着生する節（以下、止葉節と呼ぶ）の硬い部分を取り除いた部分である。

ニゴの採取は、現在は人手により行われている。稲わらを 1 本ずつ穂首節側と止葉節側を切断した後、ニゴを覆っている葉鞘から引抜いて採取しており、採取能率は極めて悪い。そのため、製箔業界からは、取り扱いとメンテナンスが容易で、しかも安価なニゴ採取機械の開発が強く望まれている。

本研究の目的はニゴの採取に必要とされる労力や時間を削減し、澄打紙の生産を安定させることである。昨年度は穂首節側と止葉節側の双方の不要な部分を同時に切断する「ニゴ切出し機」を試作した。作業員 4 名についてニゴ採取能率を測定した結果、手作業より 20.9%~82.5%、平均 49.8%採取能率が向上した。作業分析の結果、さら

にニゴ採取能率を向上させるためには、ニゴを葉鞘から抜き取る作業を機械化する必要があった。実現できれば、ニゴ採取能率はハサミを使用した手作業の約 2~3 倍になると考えられた。

そこで本年度は、葉鞘からニゴを引き抜く作業の機械化について検討した。手作業による葉鞘からのニゴ抜き作業を観察すると、葉鞘を指で挟む把持力とニゴを引き抜く力を微調整しながら滑りが発生しないようにしていると考えられた。同様のことを機械で実現するには各種のセンサーとモーター制御が必要になり、機械の製造コストを上昇させる要因となる。そこで機械を簡素化するために、ニゴを引抜くことができる荷重条件を発見するために引抜力と把持力の関係を調べた。

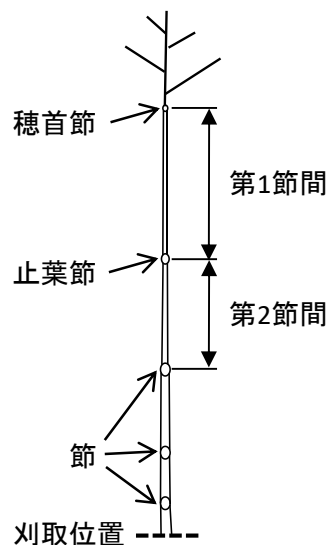


図1 水稻茎の模式図

## II ニゴ引抜力の測定

### 1. 実験試料

実験に供試した水稻は、石川県立大学実験農場で栽培されたコシヒカリである。慣行どおり自脱コンバインを使用して刈取りと脱穀を行った。通常脱穀後の稲わらは短く切断されて水田上に排出されるが、今回は切断しないで排出して集め、室内で「はさがけ」して保管した。

測定に供した試料はニゴ切出し機で切断されたことを想定して穂首節の下側を切断し、そこから全長 250mmになるよう切り取られた稲わらである。図 2 に試料の穂首節部分の例を示す。穂首節を切り取る際に一緒に葉身も切断され、葉身の一部が残った状態になっている。穂首節より下部は葉鞘に覆われることなく、ニゴはむき出しになっている。この部分の長さは個体によりばらつきがある。葉身と葉鞘の接合部から右側はすべて葉鞘に覆われた状態になっている。

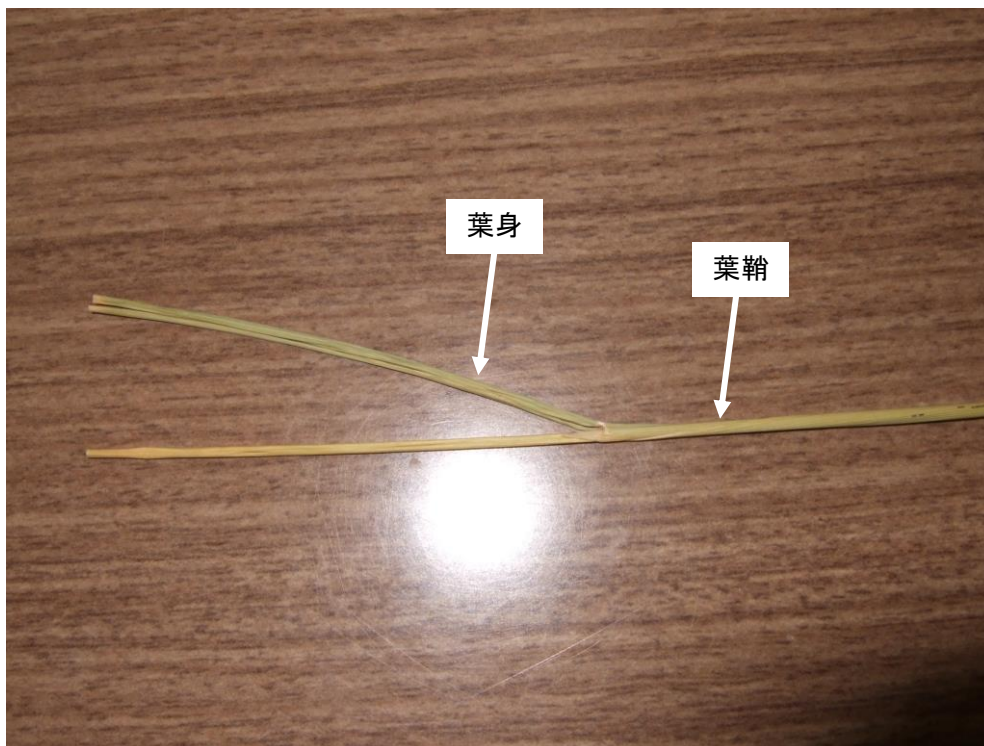


図 2 実験試料

## 2. 実験装置

稲わらの葉鞘部分を把持し、ニゴを葉鞘から引き抜く場合に必要な引抜力と把持力の関係を、図 3 に示す実験装置を使用して調査した。

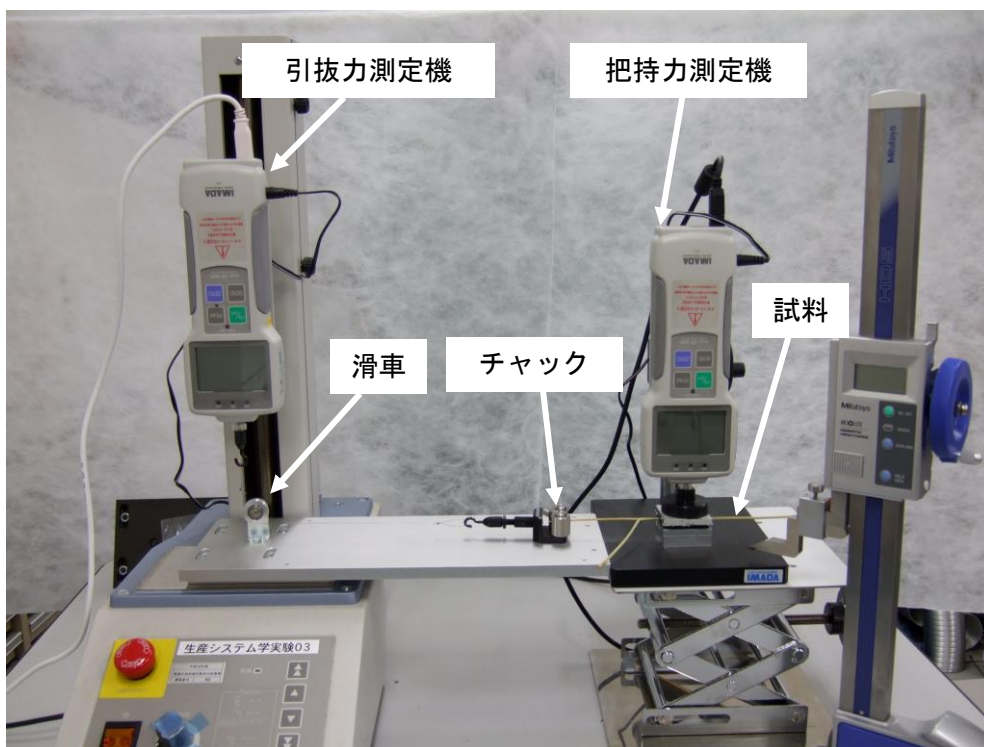


図 3 実験装置

図4に示すように、試料の穂首節側のニゴ部分をローレットカム式チャックで固定し、他方は葉鞘ごと把持力測定機の先端部分で押し付けるようにして台座とで挟み把持する。把持部分は、40mm×40mmのアルミ板である。予備実験の結果、アルミ板のままでは葉鞘が滑り、ニゴを葉鞘から引き抜くことができなかった。試行した結果、把持部の表面に日本工業規格で規定された細目（粒度#320）の布ヤスリを貼り付け、滑りを防止した。

把持力測定機はネジで昇降する手動スタンドに取り付けられており、所定の荷重で葉鞘を把持する。引抜き測定機は電動計測スタンドに取り付けられており、モーター駆動により上昇する。この時、滑車を通して釣り糸が引っ張られて（図5）、ローレットカム式チャックが水平に引っ張られ、ニゴが水平に抜ける仕組みになっている。

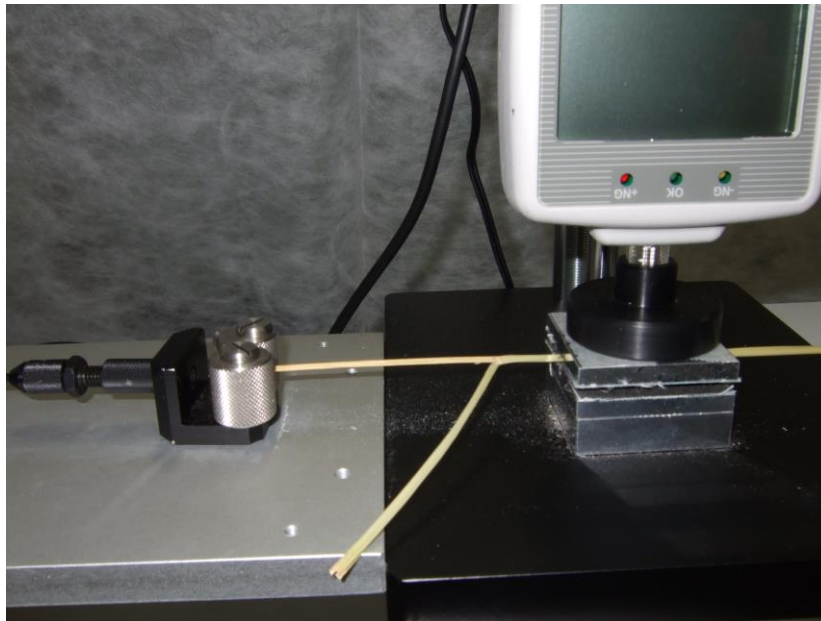


図4 ローレットカム式チャックと把持部分

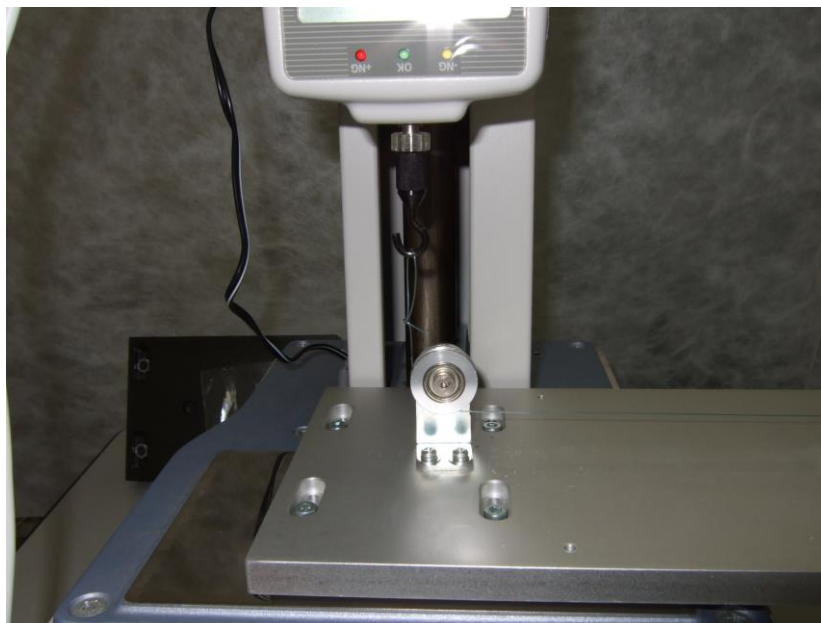


図5 滑車部分

### 3. 実験方法

稲わらの含水率の影響を調べるため、収穫直後、収穫 2 日後、収穫 4 日後、収穫 7 日後、収穫 14 日後、収穫 21 日後、収穫 28 日後、収穫 2 年後の稲わらから試料を切り出した。把持力を 5N、10N、20N、30N、40N に設定し、各 20 本ずつ計 100 本の引抜き力を測定した。引抜き速度は 5mm/s とした。測定後、ニゴの抜けた長さで試料全体の重量を測定し、後日乾燥機で 105℃、5 時間乾燥後、再度重量を測定して湿量基準含水率  $M_w$  [%w.b.] (以下、水分と呼ぶ) を求めた。計算式は次のとおりである。

$$M_w = W_w / (W_d + W_w) \times 100 \quad [\%w.b.] \quad (1)$$

ただし、 $W_w$  : 水分の重量 [g]、 $W_d$  : 乾物の重量 [g]

## III 実験結果と考察

### 1. ニゴ引抜き成功率

滑ったり破断したりすることなく、葉鞘からニゴを引抜くことができた割合は収穫後日数の経過により変化がみられた。図 6 にニゴ抜き取り成功率を示す。収穫直後の試料では、今回の荷重条件においてはニゴを葉鞘から引き抜くことはできなかった。収穫 2 日後になるとニゴ抜き取り成功率は 85%以上となり、収穫 4 日後以降は 100%ニゴを葉鞘から引き抜くことが可能であった。

実際に収穫直後の試料から手作業でニゴを引き抜くことを試みたが著しく困難であり、葉鞘を剥き取らないとニゴを採取することはできなかった。

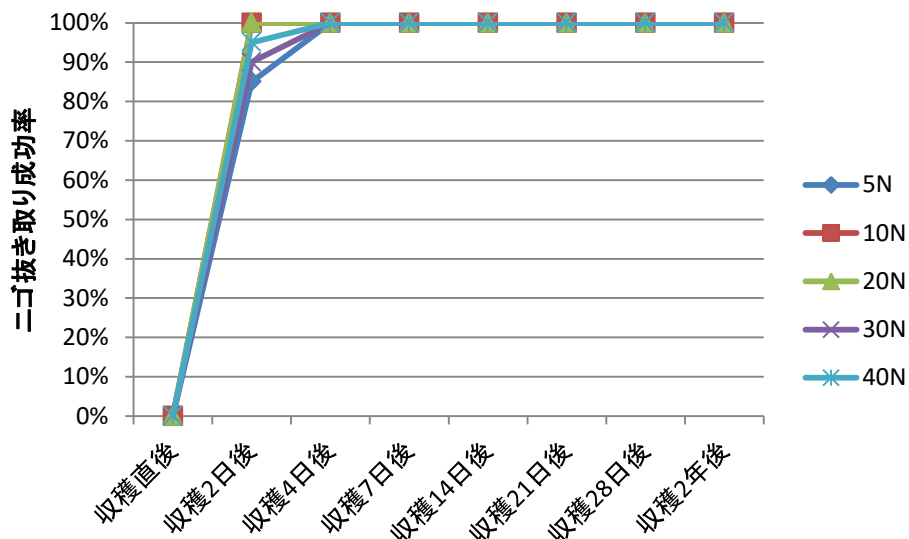


図 6 ニゴ抜き取り成功率

収穫直後の試料について実験時の挙動を観察した結果を図 7 に示す。把持力が 5N の時はすべて把持部分と葉鞘に滑りが発生した。把持力が 10N になると滑りが発生した後ローレットカム式チャックで固定されたニゴ部分で破断するが発生した。さらに把持力が 20N、30N になると

滑りが発生することなしに破断してしまう場合が発生し、40N ではすべて破断してしまった。

これらの結果から次のことが考えられる。収穫直後は稲わらの水分が多いため葉鞘とニゴが強く密着しており、ニゴを引き抜くためには比較的大きな力が必要になる。把持力が小さい場合は把持部と葉鞘との摩擦力が小さいため滑りが発生すると考えられる。把持力が大きい場合は把持部と葉鞘との摩擦力が大きいため引抜力が上昇し、摩擦力に達する前にニゴの引張強さより大きい引抜力が働くため破断する。

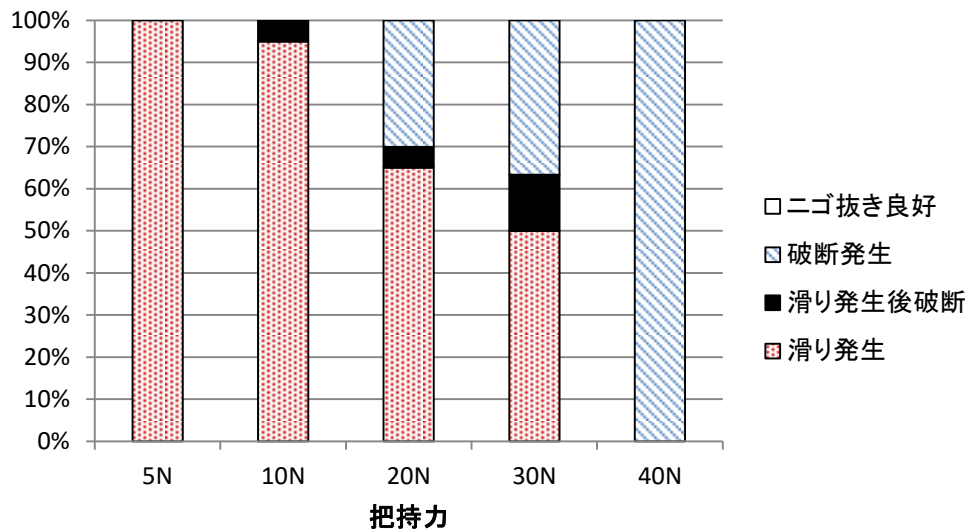


図 7 実験時の稲わらの挙動 (収穫直後)

## 2. 稲わらの水分

葉鞘からニゴを引き抜くには収穫後 4 日以降の稲わらが適当であった。稲わらの水分を測定した結果を図 8 に示す。

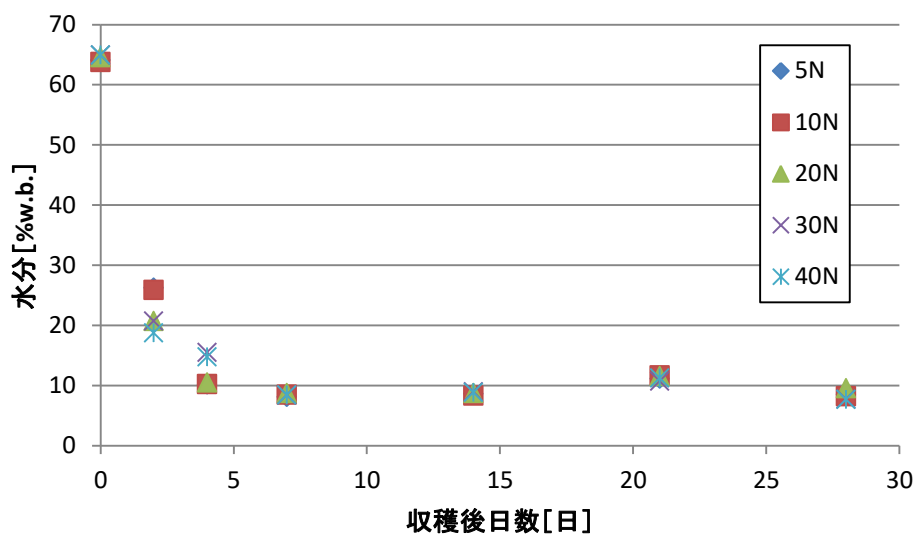


図 8 稲わらの水分の変化

グラフから、収穫後から収穫 2 日後にかけて稲わらの水分は急激に低下し、収穫 4 日後以降はほぼ 10%w.b.程度で一定になることが分かる。また収穫後約 2 年が経過した稲わらも水分はほぼ 10%w.b.程度であった。

したがって、葉鞘からニゴを引き抜くためには稲わらの水分を 10%w.b.程度まで乾燥させる必要があることがわかった。

### 3. 稲わらの把持力とニゴ引抜力の関係

ニゴ引抜力の測定結果の例を図 9 に示す。今回使用した荷重測定器は圧縮力を正值、引張力を負値として記録するためニゴ引抜力のグラフは負値を表示している。引抜き開始後、ニゴは葉鞘との静止摩擦力によって動かないため、引抜力は静止摩擦力と釣り合いながら上昇し最大値となる。これを過ぎると引抜力は静止摩擦力より大きくなるためニゴは動き始め、このため引抜力は低下に転じる。理論的には引抜力は動摩擦力と釣り合い一定になるはずであるが、測定対象が植物体であることやニゴが移動すると葉鞘が空洞になる影響で引抜力は変動し低下していくと考えられる。

本研究では、ニゴ引抜き機を設計するために引抜力の最大値に注目した。

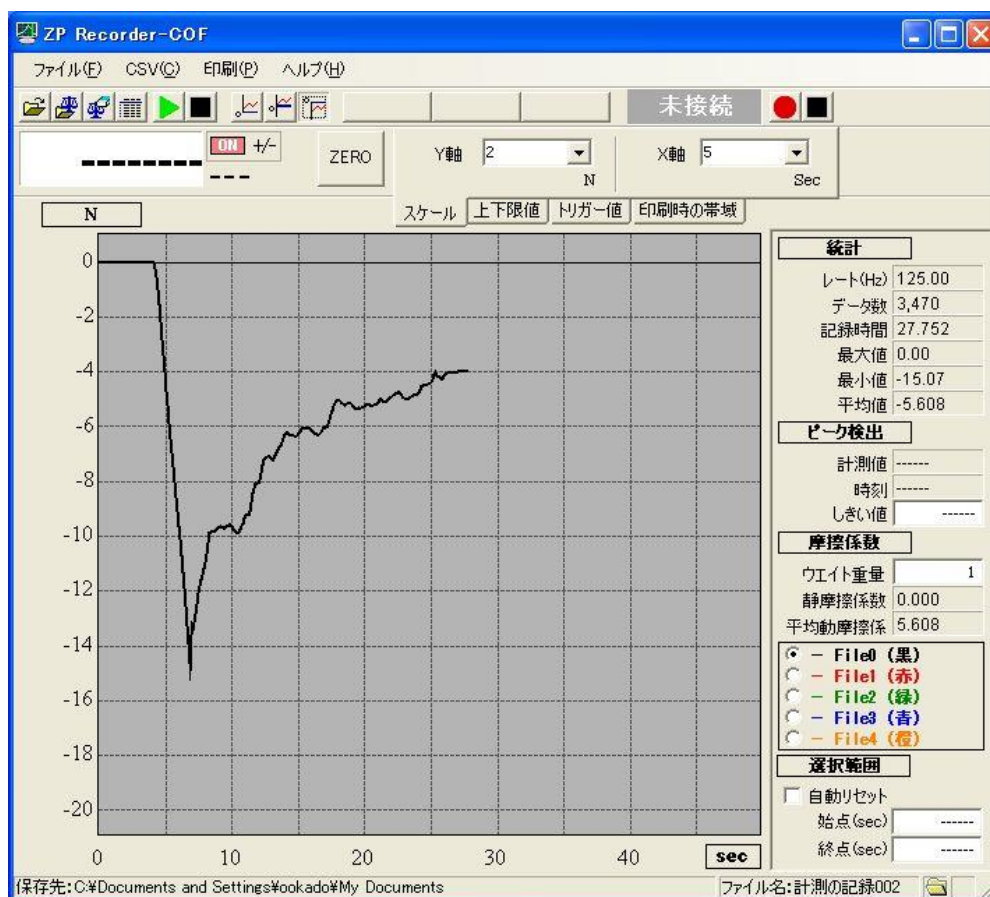


図 9 ニゴ引抜力の測定例

ニゴ引抜き成功率が 100%であった収穫後 4 日以降の試料について把持力とニゴ引抜力の最大値（以下、引抜力と略す）との関係を図 10 から図 15 に示す。

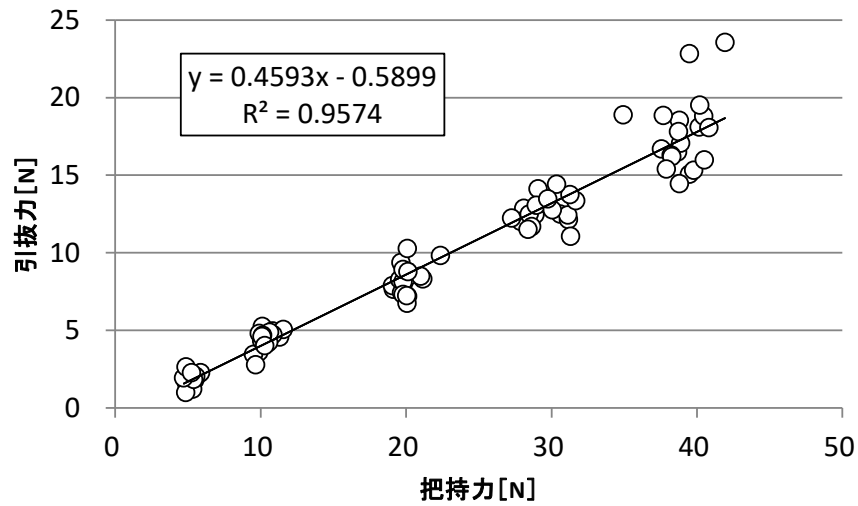


図 10 ニゴ引抜き力と場磁力の関係（収穫 4 日後）

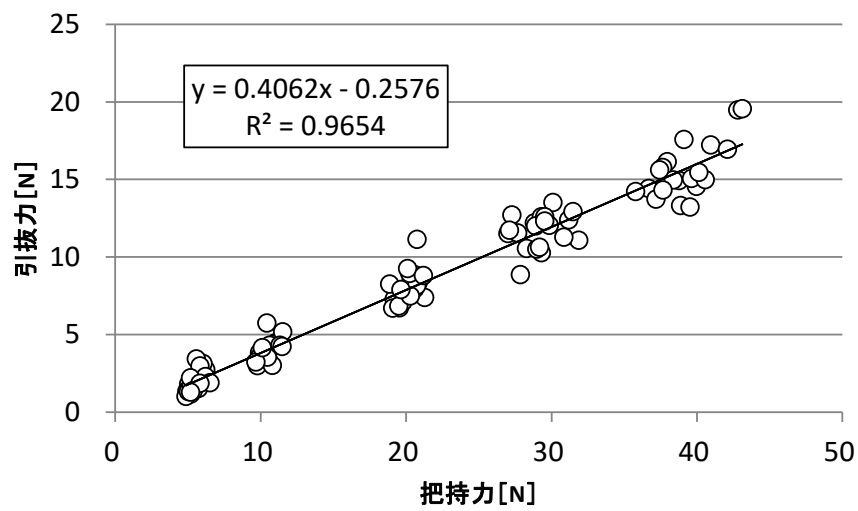


図 11 ニゴ引抜き力と場磁力の関係（収穫 7 日後）

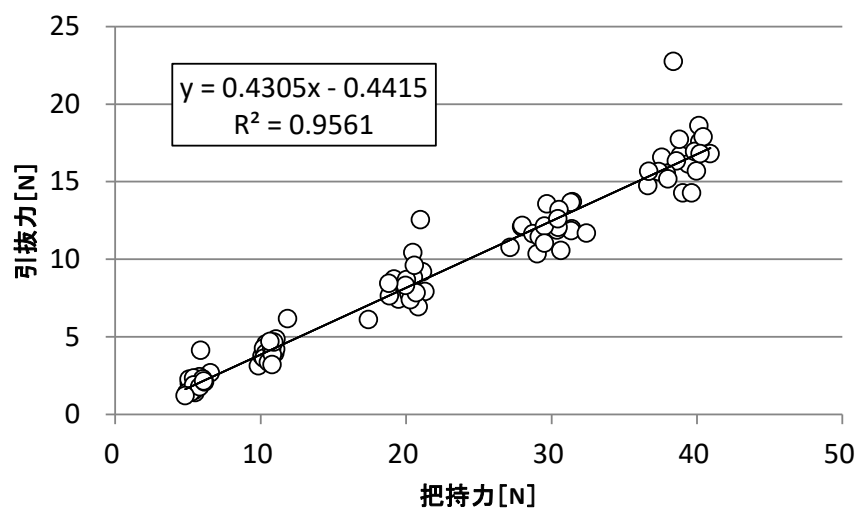


図 12 ニゴ引抜き力と場磁力の関係（収穫 14 日後）

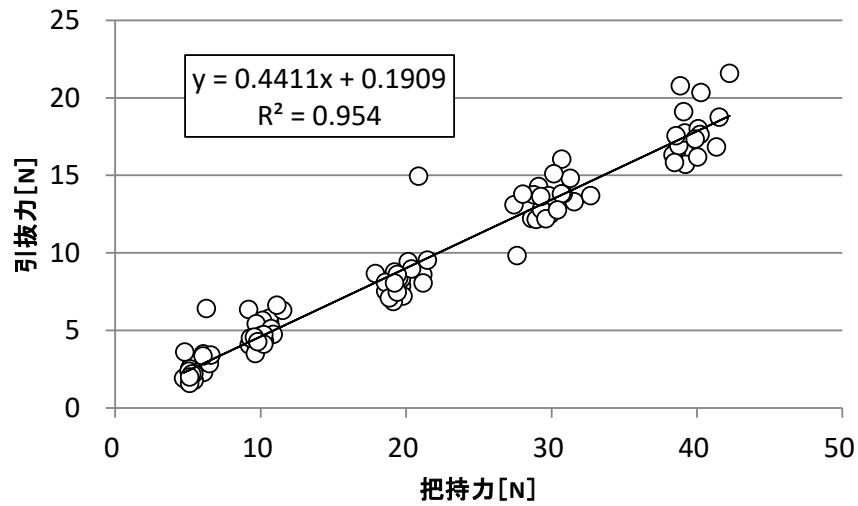


図 13 ニゴ引抜き力と場磁力の関係（収穫 21 日後）

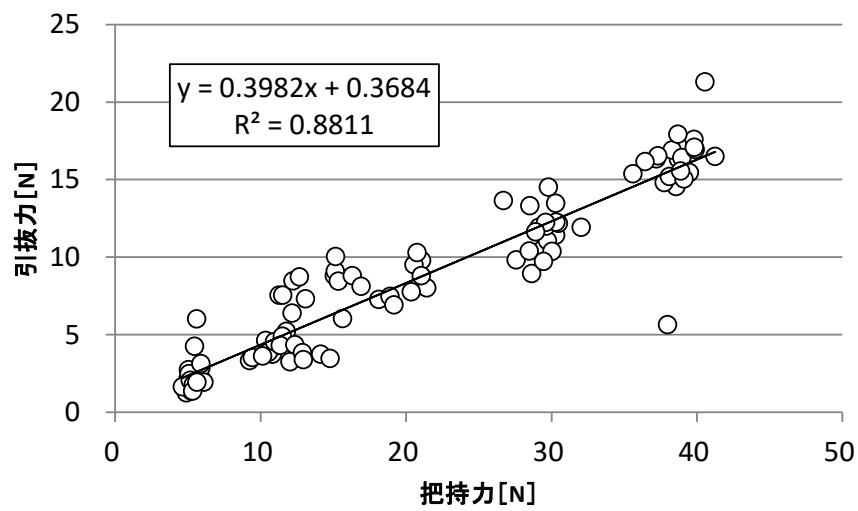


図 14 ニゴ引抜き力と場磁力の関係（収穫 28 日後）

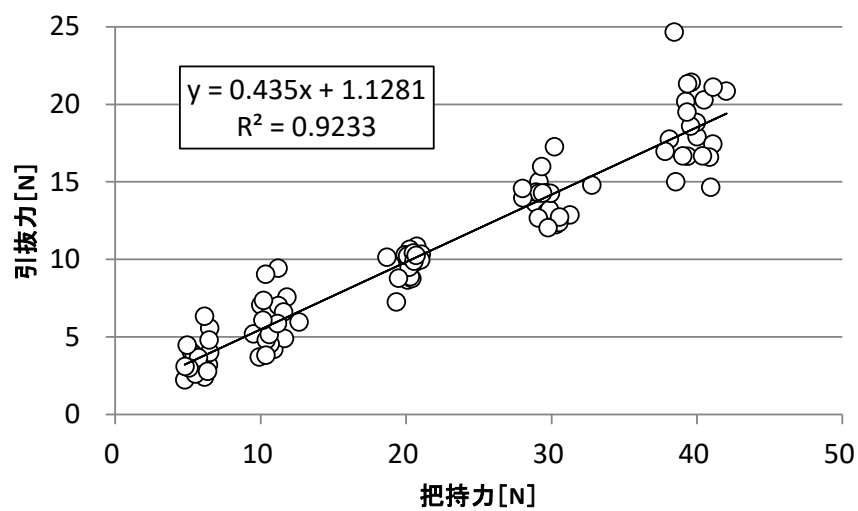


図 15 ニゴ引抜き力と場磁力の関係（収穫 2 年後）

グラフより引抜力と把持力は比例関係があり、決定係数も高い値を示した。今回の実験で設定した把持力の最大値が 40N 程度の場合は 20N 程度の力でニゴを引き抜くことができるがわかった。

#### IV まとめ

「ニゴ切出し機」の作業能率を向上するため、葉鞘からニゴを引き抜く作業の機械化について検討した。ニゴ引抜力と把持力の関係を調べた結果、下記のことが明らかとなった。

- 1) 収穫直後の水分が多い稲わらではニゴを葉鞘から引抜くことは困難であった。
- 2) ニゴを葉鞘から引き抜くためには、稲わらの水分を 10%w.b.程度まで乾燥させる必要がある。
- 3) 稲わらの水分を 10%w.b.程度まで乾燥させるためには、室内で 4 日間を要した。
- 4) ニゴ引抜力と把持力は比例関係があり、把持力の最大値が 40N 程度の場合は 20N 程度の力でニゴを引き抜くことができるがわかった。

本年度の研究結果から、葉鞘からニゴを引き抜く作業の機械化のための基礎データを入手できた。今後は、ニゴの切出しから引抜きまでを自動的に行うニゴ採取機械を目標にして、機構設計と実験機の試作を行う予定である。

なお、本研究の結果は平成 26 年 5 月、琉球大学で開催される農業食料工学会第 73 回(2014 年度)年次大会において発表を予定している。

#### 参考文献

- 1) 大角雅晴、2013、「金沢箔における澄打紙製造に関する研究－簡易ニゴ抜き機の改良とニゴ切出し機の試作－」、平成 24 年度－研究成果報告書－、金沢箔技術振興研究所、p19