

## 目 次

## 巻頭言

- ・東北支部創立 60 周年にあたって . . . . . 元支部長 夏賀元康

## 研究報告

- ・マイルドな脱水が青果物の保存および生存率に与える影響 . . . . . 早川香寿美・山崎未遊・折笠貴寛・小出章二 . . . 1
- ・逆浸透膜装置を利用した園芸用地下水の長期脱塩技術  
. . . . . 小池修・高橋正明・酒井博幸・萩原昌司・石井雅久・奥島里美 . . . 5
- ・高温期のハウス内における着用物と細霧冷房による作業員に対する暑熱軽減効果 . . . . . 小池修・高橋正明・庄子友夫 . . . 9
- ・Effect of Direct Seeded Rice (DSR) Method Using Broadcasting and Hill drop Systems Compared to  
Transplanted Rice (TPR) . . . . . Alain NZEYIMANA・Mitsuhiko KATAHIRA・Hiroyuki SHIRATSUCHI . . . 13
- ・UAV(無人航空機)を利用した農作物の生育診断 (第2報) . . . . . 田邊 大・中坪あゆみ・片平光彦・小林隆・嶋田 浩 . . . 17
- ・寒冷地北部における水稲不耕起V溝直播の現地実証(第2報) . . . . . 野沢智裕・工藤忠之 . . . 21
- ・春季代かき水稲V溝乾田直播の播種後乾燥対策技術 (第2報) . . . . . 野沢智裕 . . . 25
- ・営農再開に向けた除染後農地での露地野菜等の試験栽培 . . . . . 竹倉憲弘・山下善道・金井源太・根本知明・薬師堂謙一 . . . 29

## トピックス

- [シンポジウム・現地見学会報告] . . . . . 37
- [若手の会活動の報告] . . . . . 39
- [功績賞を受賞して] . . . . . 41

## 支部会記事

- 庶務報告及び会計報告 . . . . . 42
- 平成 29 年度研究発表会発表課題 . . . . . 50
- 農業食料工学会東北支部役員及び役員体制 . . . . . 54
- 農業食料工学会東北支部規約・表彰規程と内規・役員選挙規程・投稿規程 . . . . . 55

東北地域農業食料工学関係の研究担当者名簿 . . . . . 61

団体賛助会員名簿・個人会員名簿 . . . . . 67

## 東北支部創立 60 周年にあたって

元支部長（2011～2014 年度） 夏賀元康

支部創立 60 周年、おめでとうございます。私は 2011～2014 年度の 2 期 4 年間支部長を拝命しました。本部会規程の改訂により学会長が 2 期 4 年の重任が可能になり、支部会でも同様の改訂がなされて私がその最初の例になりました。

さて、この間の最大の出来事は支部長就任直前の 2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災です。この震災により、太平洋沿岸の岩手・宮城・福島 3 県は甚大な被害を受けました。さらに大震災によって引き起こされた福島第一原子力発電所の事故は広範囲に放射性物質をまき散らし、農産物などに甚大な被害をもたらしました。農業食料工学会は東日本大震災調査検討委員会を立ち上げて取り組み、東北支部でも太平洋側 3 県の研究機関、特に東北農研センターが主になって農地の復興などに取り組んできました。

つぎに、学会にとってこの間の最大の出来事は学会名の変更です。2013 年 9 月に農業機械学会から農業食料工学になりました。学会の構成員の対象分野が広がってきたことに対応することが目的だったのですが、賛否両論が当然予想される変更ができたのは学会長の熱意と重任規程の改訂のおかげです。当時の大下学会長が発案し、2 期 4 年の任期中に学会員の意見を聴き、理事会で侃々諤々の議論を重ねて実現にこぎ着けました。これに伴い支部会も農業食料工学会東北支部になりました。農業と食料を学会名に取り込むことにより会員の範囲が広がり会員拡大のチャンス、ということで、支部会員の皆さんに積極的に新規会員の勧誘をしていただきましたが、残念ながらあまり功を奏さなかったようです。

在任中は活動方針として、地域貢献、国際貢献、会員数増加、支部運営の世代交代などを挙げましたが、思うような成果は上げられませんでした。これは必ずしも震災の影響だけではないので、支部長として忸怩たる思いがあります。いろいろと問題を抱えているのが現実ですが、支部の活性化と体質改善に引き続き取り組んでいただきたいと思います。今後の益々の発展を祈念しています。

# マイルドな脱水が青果物の保存および生存率に与える影響

早川香寿美\*・山崎未遊\*\*・折笠貴寛\*\*・小出章二\*\*

## Influence of Mild Dehydration for Preservation and Survival Rate of Vegetables

Kasumi HAYAKAWA\*・Miyu YAMAZAKI\*\*・Takahiro ORIKASA\*\*・Shoji KOIDE\*\*

### Abstract

In this study, moisture content changes of cabbage sample during dehydration and rehydration were investigated. We evaluated the survival ratio by electrical impedance and cell viability determined by the triphenyl tetrazolium chloride (TTC) method. Results show that changes in moisture content during dehydration and rehydration can be approximated by exponential model and Page's model, respectively. With regard to the results of both electrical impedance spectroscopy and TTC method, it is clear that the cabbage sample dehydrated followed by rehydrated was survived. Result of a sensory test for dehydrated and rehydrated cabbage is as good as fresh one. Thus it can be said that mild dehydration of vegetable would be an effective method for long term preservation of vegetables.

[Keywords] cabbage, dehydration, preservation, water activity

### 1. 結論

近年、単身世帯の増加や女性の社会進出などの要因により食の簡便化が進んでいる。特に、その手軽さや調理時間の短縮といった観点からカット野菜の消費量は増加傾向にある<sup>1)</sup>。しかし、カット野菜はその製造工程において多大なストレスを受けており、生鮮青果物と比較して生理的・化学的変化が起こりやすい。流通期間も1~2日と短い<sup>2)</sup>。また、カット野菜の原料となる青果物の水分活性は0.98~0.995程度<sup>3)</sup>と非常に高く、食中毒菌を含む細菌が繁殖しやすい環境である。このような背景から、カット野菜の長期保存技術の開発が望まれている。

そこで著者らは青果物を脱水させ、水分活性を低下させることによりその保存性の向上を図ることを着想した。脱水により青果物の水分活性を低下させることが可能となれば、腐敗や食中毒菌の繁殖を抑制することが可能になる。また、脱水により呼吸や目減りを抑えることができれば、青果物の鮮度や品質を現在より長く保持することができると考えられる。しかし、基本的に目減りを避けて保存される青果物において、水分量を減少させ、その保存性の向上を図ろうとした例は見当たらない。また、脱水による青果物の生理的・理化学的特性の変化や、生食用としての可能性について検討した例もほとんど見当たらない。

そこで本研究では、カット野菜の長期保存技術の開発に資する基礎的な知見を得るために、青果物をマイルド（ここでは脱水率10~30% w/w）に脱水させ、その生理的・理化学的特性および含水率の測定を行った。さらに、生食用としての可能性について検討するために、脱水させた青果物の保存試験および官能評価も行った。ここでは、指定野菜<sup>4)</sup>のひとつであり、カット野菜の原料として広く利用される<sup>5)</sup> キャベツを用いて測定を行った結果を報告する。

### 2. 材料および方法

#### (1) 供試材料

供試材料として、市販のキャベツ (*Brassica oleracea* var. *capitata*, 初期水分94.6%) を使用した。キャベツは購入後1日以内に実験に供試した。本研究において、生鮮（購入直後）試料をコントロール (Control) とし、Control を-80℃で完全に凍結させた後、解凍した試料をネガティブコントロール (NC) とした。

#### (2) 試料の成形

キャベツの外葉を取り除いた後、大きな葉脈を除く葉身部分を切り取った。その後、これを直径18mmの円形試料および細断試料（長さ98.7mm, 幅6.3mm, 厚さ0.8mm）として成形した。

#### (3) 実験の構成

本研究では次の3つの実験を行った。はじめに実験1では、キャベツの脱水および復水に関する基礎的なデータの取得を目的として、脱水中および復水中におけるキャベツの含水率変化および脱水後のキャベツの水分活性を測定した。次に実験2では、脱水および復水に伴うキャベツの生理的・理化学的特性の変化について検討するため、脱水および復水終了直後におけるキャベツの電気インピーダンスおよび細胞活性度の測定を行った。さらに実験3では、脱水後のキャベツを5日間保存し、復水させた際の生理的・理化学的特性の変化について検討した。ここでは電気インピーダンスと細胞活性度に加えて目減り、色彩色度、糖度およびアスコルビン酸含有量の測定を行った。さらに、生食用としての可能性を検討するために、官能評価も行った。

#### (4) 脱水、復水および保存方法

##### 1) 脱水方法

\* : 岩手大学大学院農学研究科

\*\* : 岩手大学農学部

表1 キャベツの脱水・復水条件

	脱水温度 (°C)	脱水率 <sup>a</sup> (%)	復水温度 (°C)
実験1	5, 15, 25 <sup>b</sup>	30	5, 15, 25
実験2	25	10, 20, 30	25
実験3	25	30	25

a: 脱水率は試料の初期質量に対する質量減少の割合を指す。

b: 水分活性測定時の脱水温度は25°Cとした。

表2 試験区の設定

	脱水	復水	保存	凍結
Control	×	×	×	×
P-Control	×	×	○	×
D	○	×	×	×
R	○	○	×	×
PD	○	×	○	×
PR	○	○	○	×
NC	×	×	×	○

脱水温度および脱水率は表1の通りとした。脱水は次のように低温通風乾燥にて行った。インキュベータ (MIR-153, 三洋電機株式会社) 内に設置した網上に、成形した試料を重ならないように静置した。脱水開始から脱水完了時間が経過した時点でインキュベータから試料を取り出し、試料の質量を測定することで脱水率を確認した。

#### 2) 復水方法

復水温度は表1のように設定した。復水には、ペーパータオル (220 mm×230 mm, 日本製紙クレシア株式会社) を四つ折りにし、蒸留水 20 mL をしみこませたもの (以後、濡れタオルと称す) を用いた。作成した濡れタオルはラップフィルム (旭化成ホームプロダクツ株式会社) で包み、脱水温度と同じ温度に設定したインキュベータ (MIR-153, 三洋電機株式会社) 内に保管した。復水は、脱水後の試料を脱水温度と同じ温度の濡れタオルにはさむことで行った。復水中は一定時間ごとに試料の質量を測定し、試料の質量比が初期質量の95%以上になったところで復水を終了した。

#### 3) 保存方法

Control および脱水した試料をそれぞれジッパー付きのポリエチレン製の袋 (189 mm×177 mm, 旭化成ホームプロダクツ株式会社) に入れた後、シリンジを用いて袋内を真空にした。その後、袋内に100 mLの空気を注入し、5°Cのインキュベータ内で5日間保存した。

#### 4) 試験区の設定

1) ~3) の処理を組み合わせ、表2のように試験区を設定した。以後、脱水操作を行った試料 (D, R, PD, PR) については表2の略語の後ろに脱水率を示す数字をつけて表記するものとする。

#### (5) 測定方法

##### 1) 脱水中および復水中の含水率変化

105°C - 24時間法により測定したキャベツの乾物質量および脱水中、復水中の試料の質量変化の測定結果を用い、脱水中および復水中のキャベツの含水率変化を算出した。

##### 2) 水分活性

Control および脱水直後の円形試料1枚の水分活性を水分活性測定装置 (AquaLab Series 4TE DUO, デカゴン社) により測定した。

##### 3) 電気インピーダンス

志塚らの方法<sup>6)</sup>に従って測定し、試料のレジスタンス ( $\Omega$ ) およびリアクタンス ( $-\Omega$ ) を算出した。次に、得られた各測定周波数におけるレジスタンスを横軸に、リアクタンスの絶対値を縦軸にプロットし、ベクトル軌跡<sup>7), 8)</sup> (Cole-Coleプロット) を作成した。その後、Cole-Coleプロットの頂点座標<sup>9)</sup>を抽出した。得られた値はControlの頂点座標の値で除すことにより、対Control比として表した。

##### 4) 細胞活性度

Steponkusらの方法<sup>10)</sup>に準じて測定を行った。その後、分光光度計 (V-630, 日本分光株式会社) により530 nmにおける吸光度を測定した。Koideらの方法<sup>11)</sup>に準じて、吸光度を試料の初期質量で除すことにより初期質量あたりの細胞活性度 OD ( $g^{-1}$ ) を表した。得られた値はControlの細胞活性度の値で除すことにより、対Control比として表した。

##### 5) 目減り

保存前後の試料質量を電子天秤 (HR-60, 株式会社エー・アンド・デイ) により測定し、試料の目減りを算出した。

##### 6) 色彩色度

試料表面の色を簡易型分光色差計 (CR-13, コニカミノルタセンシング株式会社) を用いて  $L^*a^*b^*$  が表色系により測定した。試料表面を2回、裏面を1回測定し、測定結果の平均値を試料の色彩とした。測定は同一試料について行った。

##### 7) 糖およびアスコルビン酸含有量

中元ら、および小林らの方法<sup>12), 13)</sup>を一部改変して試料の処理を行い、試料懸濁液の作成を行った。作成した試料懸濁液の糖度は糖度計 (PAL-J, 株式会社アタゴ) により測定し、測定値を4倍したものを粉碎前試料の糖度 (Brix%) とした。アスコルビン酸含有量の測定には小型反射式光度計 (RQフレックス, MERCK) を用い、測定値を4倍したものを粉碎前試料のアスコルビン酸含有量 ( $mg/L$ ) とした。その後乾物質量をもとに、乾物1gあたりの糖含有量 ( $g/g-dw$ ) およびアスコルビン酸含有量 ( $mg/g-dw$ ) を求めた。

##### 8) 官能評価

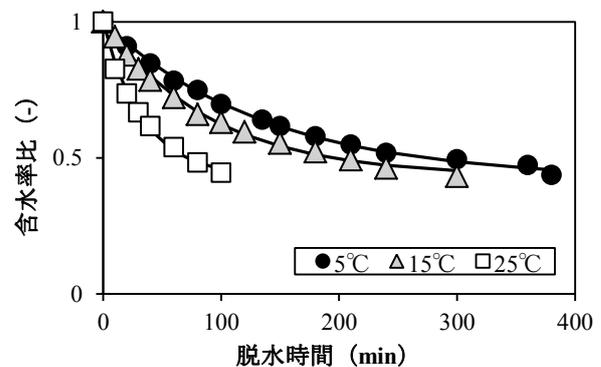


図1 脱水中のキャベツの含水率変化

図中のマーカーは測定値を、実線は計算値を示す。

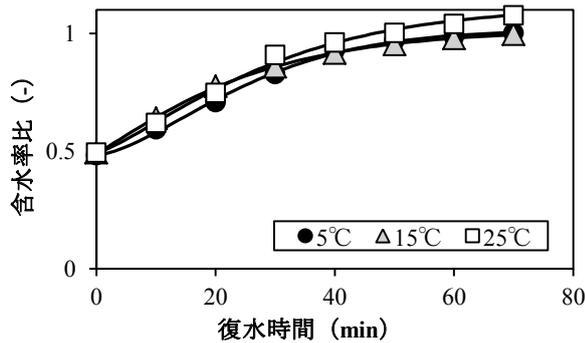


図2 復水中のキャベツの含水率変化  
図中のマーカーは測定値を、実線は計算値を示す。

5人のパネルによりP-ControlおよびPR30に対する官能評価を実施した。評価法はControlを基準とした相対評価とした。評価項目はみずみずしさ、色彩、透明感、好ましさ、香りおよび総合評価とし、それぞれ-3（非常に悪い）、-2（かなり悪い）、-1（やや悪い）、0（基準に同じ）、1（やや良い）、2（かなり良い）および3（非常に良い）の7段階評価を行った。それぞれの評価項目において、得られたスコアの平均値を評価値とした。

### 3. 結果および考察

#### (1) 実験1

##### 1) 脱水中の含水率変化

図1に脱水中の試料含水率変化を指数モデル<sup>14)</sup>により解析した結果を示す。なお、ここに示す含水率比とは初期含水率に対する比である。図1より、キャベツの脱水曲線は指数モデルにより精度良く表されていることが示された。なお、得られた脱水速度定数はArrhenius型の温度依存性を示した（データ省略）。

##### 2) 復水中の含水率変化

図2に復水中の試料含水率変化およびPage式<sup>15), 16)</sup>による解析結果を示す。図2より、キャベツの復水曲線はPage式により精度良く表されていることが示された。一方で、復水速度定数の変化は復水温度の上昇に比例していなかったことから、復水時の含水率変化には温度依存性はないものと考えられる。

##### 3) 水分活性

初期質量比30%まで脱水させた試料の水分活性は0.971となり、Controlの水分活性0.986よりも低い値を示した。水分活性が低くなるにつれて細菌の繁殖が抑制される<sup>17)</sup>ことから、脱水後のキャベツでは細菌の繁殖抑制による保存性向上の可能性が示唆された。

#### (2) 実験2

##### 1) 電気インピーダンス

図3に、電気インピーダンス測定により得られたCole-Coleプロットの頂点座標を示す。青果物においてCole-Coleプロットの円弧の大きさはその鮮度指標となり得るとされており<sup>8)</sup>、凍結などにより細胞膜の構造に致命的障害を受けたものでは円弧が消失する<sup>18)</sup>。図3左下にあるNCの頂点座標に比べて、脱水後および復水後の試料の頂点座標のほうが明らかに原点から遠い位置にある。このことから、脱水後および復水後の試料は細胞膜健全性を保っている可能性が示唆された。

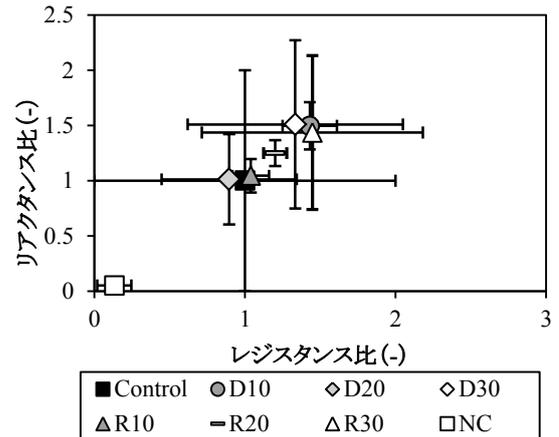


図3 キャベツのCole-Coleプロット頂点座標

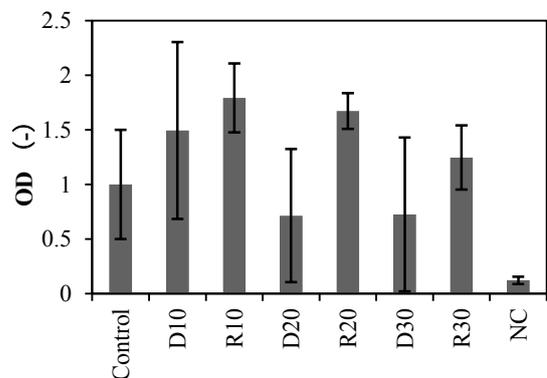


図4 キャベツの細胞活性度

##### 2) 細胞活性度

図4に、細胞活性度の測定結果を示す。脱水後および復水後の試料の細胞活性度はいずれの条件においてもNCのものより大きな値を示した。細胞活性度の測定に用いたTTCの還元能力は植物細胞内のミトコンドリアに含まれる酵素活性の指標として知られており<sup>19)</sup>、TTC還元法を用いて測定された細胞活性度は細胞の生存を植物生理学の観点から確認する指標として広く用いられているものである<sup>20)</sup>。このことから、脱水後および復水後の試料は生存を保っていることが示された。また、復水後の細胞活性度が脱水後に比べて大きな値を示していたという興味深い結果も得られた。

#### (3) 実験3

##### 1) 目減り

P-Controlの目減りが $14.2 \pm 6.3\%$ であったのに対し、PD30の目減りは $10.4 \pm 6.2\%$ であった。しかし、PD30は保存前に脱水を行っているため、目減りをどう解釈するのかは今後の検討課題である。

##### 2) 色彩色度

PR30の色差は $2.9 \pm 0.6$ であったのに対し、P-Controlの色差は $2.1 \pm 0.3$ となった。これより、PD30において色彩変化は見られたものの、その変化はP-Controlと同程度であったことが示された。

##### 3) 電気インピーダンスおよび細胞活性度

P-ControlおよびPR30のCole-Coleプロット頂点座標はどちらもControlのものに近い位置にあった（データ省略）。また、P-ControlおよびPR30において細胞活性度の値はControlと同等

であった(データ省略)。これより、キャベツでは脱水後に保存および復水操作を行った後も細胞膜健全性および生存を保っていることが示された。

#### 4) 糖およびアスコルビン酸含有量

PR30 において糖およびアスコルビン酸含有量はどちらも Control や P-Control に比べて低い値を示した(データ省略)。これは脱水温度が 25 °C と高かったことと、脱水のために試料が空気にさらされていたことによりアスコルビン酸の酸化分解が生じた<sup>21)</sup> ことによるものと考えられる。

#### 5) 官能試験

図 5 に官能試験の結果を示す。Control と PR30 において、「みずみずしさ」および「香り」に有意差 ( $p < 0.05$ ) が見られた。一方、Control と P-Control では「透明感」以外の項目に有意差 ( $p < 0.05$ ) が見られた。さらに、「好ましさ」および「総合評価」については P-Control と比べて PR30 の方がより Control に近いという結果になった。これより、脱水後に保存したキャベツの見た目については復水操作を行うことで新鮮なキャベツ (Control) に近づけることが示唆された。

#### 4. 要約

本研究では、マイルドな脱水による青果物の長期保存についてキャベツを用いて検討を行い、以下の知見を得た。

- (1) 脱水および復水はキャベツの生存に影響を与えなかった。
- (2) 脱水、保存および復水によるキャベツの品質への負の影響はわずかであった。

これらの知見はカット野菜の新たな長期保存技術の開発に資するものと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 農林水産省生産局, 2014. 加工・業務用野菜をめぐる情勢.
- 2) 泉 秀実, 2001. カット野菜の品質特性と微生物的安全性, 日本食品保蔵科学会誌, 27 (3), 145 - 156.
- 3) 内野敏剛, 2015. 農産物物性と生理, 農産食品プロセス工学 (豊田浄彦, 内野敏剛, 北村 豊編), 文永堂, 38.
- 4) 農林水産省, 2013. 野菜をめぐる情勢.
- 5) 農畜産業振興機構, 2012. カット野菜製造の実態と市場動向.
- 6) 志塚 淳, 小川幸春, 田川彰男, 2008. 脱水ダイコンの物理的, 電気的性質に及ぼす凍結および解凍操作の影響, 日本食品科学工学会誌, 55 (4), 158 - 163.
- 7) Cole, K. S., 1932. Electric phase angle of cell membranes, The journal of General Physiology, 15 (6), 641 - 649.
- 8) 加藤宏郎, 1988. 高周波インピーダンスによる農産物の非破壊鮮度判定 (第 1 報) — 青果物の電気特性と内部品質および容量結合による非接触抵抗測定 —, 農業機械学会誌, 50 (6), 99 - 107.
- 9) Watanabe, T., Orihara, T., Shono, H., Koide, S., Ando, Y., Shiina T., and Tagawa, A., 2016. The influence of inhibit avoid water defect responses by heat pretreatment on hot air drying rate of spinach, Journal of Food Engineering, 168, 113 - 118.
- 10) Steponkus, P., and Lanphear, F. O., 1967. Refinement of the triphenyl tetrazolium chloride method of determining cold injury, Plant Physiology,

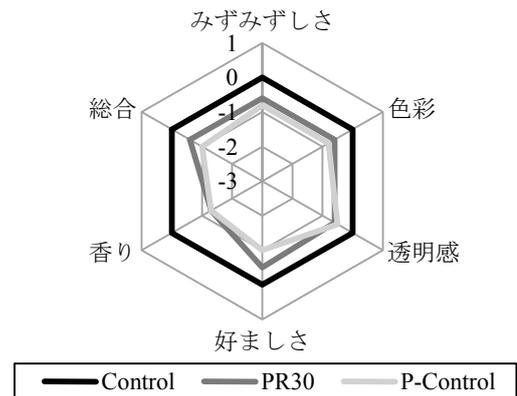


図 5 キャベツの官能試験の結果

42, 1423-1426.

- 11) Koide, S., Shibuya, K., Nishiyama, Y., and Uemura, M., 2001. Cell viability of Japanese radish cylinders immersed in hypertonic solutions, 3rd IFAC/CIGR Workshop on Control Applications in Post-Harvest and Processing Technology, 149 - 154.
- 12) 中元博明, 鄭 紹輝, 2007. 上場台地における中国紅心ダイコンの栽培適性の検討, 佐賀大学海浜台地生物環境研究センター, 9, 51 - 56.
- 13) 小林千種, 松本ひろ子, 粕谷陽子, 山嶋裕季子, 宮川弘之, 新藤哲也, 貞升友紀, 田原正一, 植松洋子, 2012. 食品中ポリソルベート類の比色定量法および LC - MS による確認法の改良, 東京都健康安全研究センター研究年報, 63, 159 - 166.
- 14) 小出章二, 折笠貴寛, 小出冬菜, 村松良樹, 田川彰男, 2016. 乾燥米飯の乾燥・保存・吸水における含水率予測, 日本食品保蔵科学会誌, 42 (2), 59 - 64.
- 15) Doymaz, I., 2007. Air-drying characteristics of tomatoes. Journal of Food Engineering, 78, 1291 - 1297.
- 16) Kashaninejad, M., Mortazavi, A., Safekordi A., and Tabil, L.G., 2007. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts, Journal of Food Engineering, 78, 98 - 108.
- 17) 横関源延, 1973. 微生物の発育と水分活性, 食品の水-水分活性と水の挙動 — (日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 138 - 147.
- 18) Ohnishi S., and Miyawaki, O., 2005. Osmotic dehydrofreezing for protection of rheological properties of agricultural products from freezing-injury, Food Science and Technology Research, 11 (1), 52 - 58.
- 19) 山崎博子, 庭田英子, 矢野孝喜, 長菅香織, 山崎 篤, 2010. ニンニクリン茎の自発休眠, 他発休眠および呼吸速度に及ぼす収穫後温度の影響, 東北農業研究センター研究報告, 111, 17 - 27.
- 20) 酒井 昭, 1987. 凍結保存—動物・植物・微生物—, 朝倉書店, 176 - 177.
- 21) 山田則子, 田淵三保子, 2002. カット野菜のビタミン C 含量に及ぼすウコギ抽出液の影響, 山形県立米沢女子短期大学紀要, 37, 115 - 120.

# 逆浸透膜装置を利用した園芸用地下水の長期脱塩技術

小池修\*・高橋正明\*・酒井博幸\*\*・萩原昌司\*\*\*・石井雅久\*\*\*\*・奥島里美\*\*\*\*\*

## Long Term Desalination Method of Groundwater for Horticulture Using Reverse Osmosis Membrane Device

Osamu KOIKE \*・Masaaki TAKAHASHI \*・Hiroyuki SAKAI \*\*・Shoji HAGIWARA \*\*\*・  
Masahisa ISHII \*\*\*\*・Limi OKUSHIMA \*\*\*\*\*

### Abstract

In order to use groundwater salted by the Great East Japan Earthquake, the reverse osmosis membrane device was operated for three years in the strawberry-cultivation greenhouse. Electric conductivity of groundwater was about 1dS/m, it was desalted, sufficient quality and quantity of purified water was obtained. Desalination cost was estimated to be 564 yen/m<sup>3</sup> with property expenses and electricity charges.

[Keywords] reverse osmosis membrane device, groundwater for horticulture, desalination cost

### 1. 緒言

東日本大震災の影響により、地下水の塩分濃度が広範囲で高まり、施設園芸の栽培用水に使用することができない状況となった。地下水の塩分濃度を簡易に把握する方法としては、電気伝導度（以下ECという）が一般的に計測されている。イチゴ栽培の盛んな宮城県南部沿岸地域における浅層地下水のECは、震災前では概ね1dS/m以下であった<sup>1)</sup>のに対し、震災後には3dS/mを超える場所も多く現れた。その後、徐々に低下する傾向がみられている<sup>2)</sup>が、依然として塩分濃度の高い場所もあり、栽培用水を得るために塩分濃度の比較的低い地下水をくみに行くなどの対策を余儀なくされている例が現在でもみられる。

農業現場において、塩分濃度が高くなった地下水を淡水化する手段として逆浸透膜の利用が可能であり<sup>3) 4)</sup>、宮城県内では、いくつかのタイプの装置による実証試験も行われている<sup>5) 6)</sup>。しかし、数年間の長期にわたって農業現場で運用された例は非常に少なく、長期運用の可能性と、その際に必要なメンテナンスやコスト等については明らかではない。

そこで本報では、逆浸透膜装置を長期運用した現地で3年間調査を行い、造水量、水質、必要なメンテナンスおよびコスト試算の結果をまとめたので報告する。

### 2. 試験方法

#### (1) 供試した逆浸透膜装置

逆浸透膜装置はアクア・カルテック製LC900HP/SEを用いた。装置の大きさは幅440mm×奥行295mm×高さ885mm、電源はAC100V、最大浄化能力は3,024L/日である。食品製造業等の業務用で利用されているもので、農業現場での利用例はほとんどない。

#### (2) 設置場所

宮城県亘理郡亘理町内のイチゴ土耕栽培パイプハウス内に設置した。栽培面積は約10aで、浄水の目標造水量は1m<sup>3</sup>/日以上とした。

#### (3) 脱塩システム

設置した脱塩システムは図1のとおりで、地下4mの井戸から砂ろ過器を通して揚水ポンプ（川本製作所製N3-135SHN、現地の都合により2015年10月28日に同社製NF2-250SKに変更）で地下水をくみ上げ、逆浸透膜装置に送水した。その際、逆浸透膜装置への送水管に10μmフィルターを設置し、藻類の発生等を抑制するために黒色フィルム等でフィルターケースを覆った。装置内では、5μmフィルター、活性炭フィルター、1μmフィルターの順に通り、増圧ポンプを経て最後に並列つなぎの逆浸透膜フィルター3本で浄化され、浄水は貯水槽に送水し、排水は既設のウォーターカーテン用排水路等に排出した。

\* : 宮城県農業・園芸総合研究所 宮城県名取市

\*\* : 宮城県農林水産部農業振興課 宮城県仙台市青葉区

\*\*\* : 農業・食品産業技術総合研究機構食品研究部門 茨城県つくば市

\*\*\*\* : 農業・食品産業技術総合研究機構本部 茨城県つくば市

\*\*\*\*\* : 農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究部門 茨城県つくば市

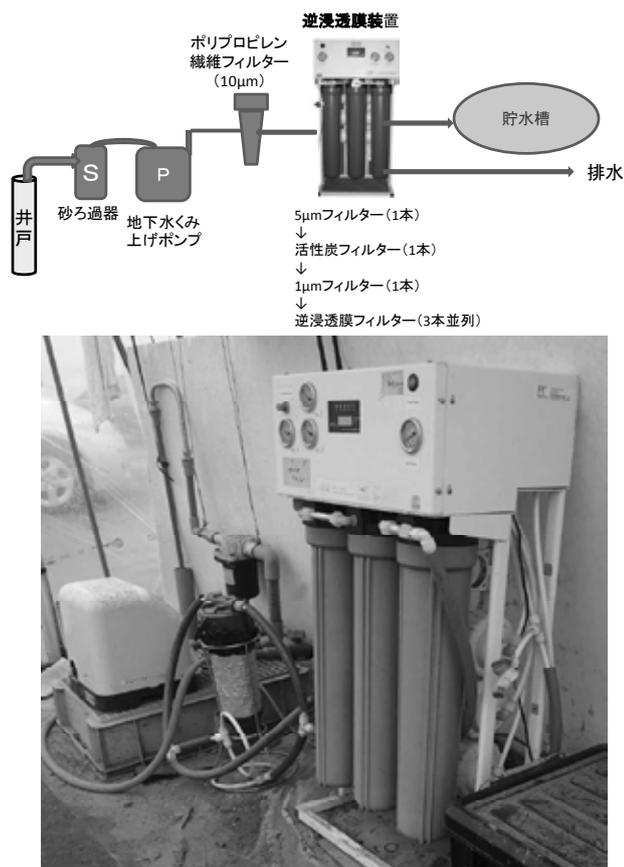


図1 逆浸透膜装置を利用した地下水脱塩システムの概略図（上）と設置状況写真（下）

#### (4) 本システムの設置時期

2014年7月9日に現在のシステムを設置し、同年9月10日から稼働開始した。

この現地ハウスには、2011年12月16日に逆浸透膜装置を導入し、その後、装置の台数および機種の変更、システムの簡略化を行い、現在のシステムとした。

#### (5) 動作設定

水圧は0.5MPa (5kg/cm<sup>2</sup>) とした。2014年9月10日から1時間45分稼働・15分休止の繰り返し運転（1日に21時間稼働）とし、休止時に毎回15秒間フラッシングを行った。

2015年10月19日以降は、1時間20分稼働・10分休止の繰り返し運転（1日に21時間20分稼働）とし、休止時に毎回30秒間のフラッシングを行った。また、イチゴ栽培用水が不要の時期（6月上旬～8月下旬、年によって多少の前後あり）は、6時間毎に10～15分程度のフラッシング運転を行った。

#### (6) メンテナンス

逆浸透膜フィルターは、経時的に浄化水量が減少するため、1年に1回新品に交換した。交換時期は2014年10月8日、2015年8月12日（以上イチゴ栽培開始前～栽培初期）、2016年5月19日、2017年4月12日（以上イチゴ栽培後期）である。

その他のフィルター類は、1年に1～2回交換した。

また、システムに不具合が発生した場合にはその都度修繕した。

#### (7) 調査項目

地下水・浄水・排水のEC、pH、ナトリウムイオン濃度は堀場製作所製コンパクト水質計、塩化物イオン濃度は光明理化学工業製北川式水質検知管を用いて測定した。処理水量は愛知時計電機製流量計、消費電力量は大崎電気工業製普通電力量計で計測し、表示値を読み取り記録した。調査間隔は、2014年9月～2015年6月は2週間から3週間程度、2015年9月以降は1か月程度とし、他にメンテナンスを行う場合等にも実施した。

### 3. 結果と考察

#### (1) 浄水の造水量

3年間の造水量の推移を図2に示した。

試験1年目の2014年～2015年は、現システムへの改修前である前作途中から使用していた逆浸透膜フィルターを10月に交換し、直後の造水量は2.5m<sup>3</sup>/日以上となった。その後、造水量は減少していき、1月以降は1.1～1.3m<sup>3</sup>/日程度であった。

イチゴ栽培が終了した夏季は、造水せずにフラッシング運転を40～61分/日行い、その期間中の8月に逆浸透膜フィルターを交換した。

試験2年目の2015年～2016年も、1年目と同様の傾向を示した。2015年10月19日に装置の稼働設定を変更し、それまで3分/日のフラッシングを8分/日に増やしたところ、造水量は一時1.8m<sup>3</sup>/日に回復したが、その後は減少し、2月以降は約1.2m<sup>3</sup>/日であった。

現地生産者から、春以降の気温上昇に伴いかん水量を増やしたいとの要望があり、5月19日に逆浸透膜フィルターを交換し、造水量約1.9m<sup>3</sup>/日を確保した。

夏季は、造水せずフラッシング運転を40分/日行った。

試験3年目の2016年～2017年も概ね同様の傾向を示した。稼働開始時の造水量は約2.5m<sup>3</sup>/日と前作終了時よりも多くなった。夏季のフラッシング運転は、膜性能の維持のために実施していたが、結果として造水量の増加につながった。その後は造水量が急激に減少したため、11月24日にフラッシングを3時間実施したが、回復には至らず、3月下旬には約1.3m<sup>3</sup>/日まで減少した。春季の造水量をより多く確保するため、4月12日に逆浸透膜フィルターを交換したが、交換後の造水量は約1.4～1.5m<sup>3</sup>/日程度であった。前年5月交換後の約1.9m<sup>3</sup>/日より少なくなった原因は判然としないが、この時期は近隣で排水路設置工事が行われ、地下水がくみ上げられていたことも要因と推測された。

イチゴの栽培用水を必要とする9月上旬～翌年6月上旬頃の浄水の造水量は、フラッシング処理やフィルター交換を適宜行うことで3年間とも目標とする1m<sup>3</sup>/日以上を確保することができた。

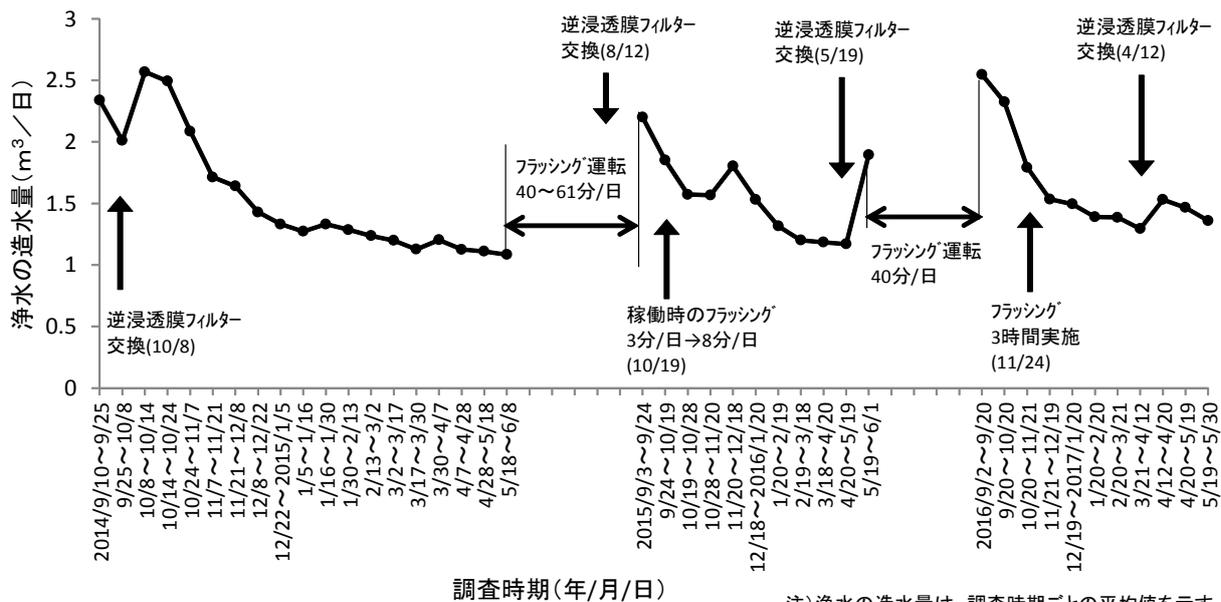


図2 浄水の造水量推移

(2) 浄水等の水質

脱塩システム稼働開始時、供試した地下水ECは1dS/m程度で、以降上下を繰り返しながら徐々に低下し、2017年5月には0.6dS/m程度であった(図3)。旧装置を運転していた2011年12月~2012年6月の地下水ECは2.3~3.3dS/mであった<sup>3)</sup>が、2016年10月以降は、イチゴ栽培用水の上限とされる0.7dS/mを超える値は観測されなかった。

3年間の本研究期間における地下水の水質は、EC0.53~1.23dS/m、ナトリウムイオン濃度70~185mg/L、塩化物イオン濃度35~220mg/L、pH6.2~7.5であった(表1)。この地下水を脱塩処理することにより、浄水の水質は、EC0.05~0.15dS/m、ナトリウムイオン濃度9~33mg/L、塩化物イオン濃度2~30mg/L、pH5.3~6.3となり、イチゴの栽培用水として問題なく使用することができた。耐塩性の低いイチゴでは、ECが0.4dS/mでも塩害の発生がみられるとの報告<sup>7)</sup>もあり、現地生産者も今しばらくは脱塩を継続する意向であった。

一方、排水の水質は、ECなどいずれも地下水よりも高い値を示した。

(3) 実施したメンテナンス

逆浸透膜フィルターおよびその他フィルター類の交換の他、2015年8月12日および2017年4月25日に装置内の増圧ポンプ各1台を増圧不良のため交換、2016年1月20日には装置内の給水電磁弁を動作不良のため交換した。いずれの交換作業も、装置のメンテナンスに慣れていない作業者が1人で1時間以内に完了できるものであった。

(4) 脱塩システムに係る費用

逆浸透膜装置等一式にかかる物財費を試算した(表2)。導入費としては装置代、ポンプ代等655千円、年間維持費として逆浸透膜フィルターおよびその他フィルター代

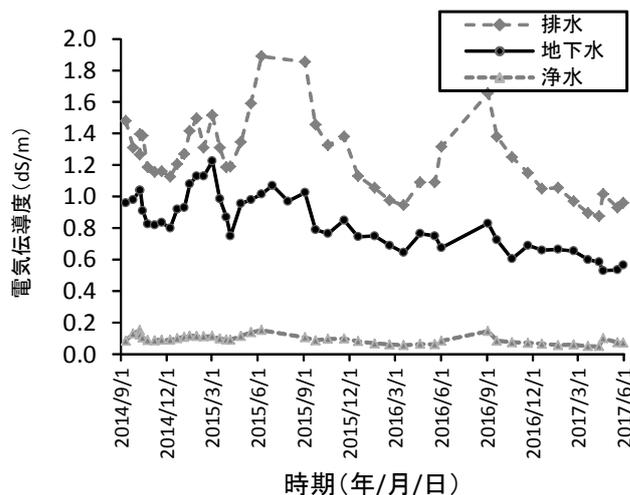


図3 地下水、浄水、排水の電気伝導度推移

表1 地下水、浄水、排水の水質

	Na <sup>+</sup> (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	pH
地下水	117 ( 70~185)	111 (35~220)	7.1 (6.2~7.5)
浄水	19 ( 9~ 33)	11 ( 2~ 30)	5.9 (5.3~6.3)
排水	170 (110~280)	168 (55~340)	7.4 (6.4~7.8)

注) 数値は調査期間中の平均値を示し、( )内は最小値および最大値を示す

113千円、2年に1回程度の部品費34千円となった。これらの費用と造水実績をもとにイチゴ栽培用水の造水1m<sup>3</sup>にかかる費用を試算すると、電力料金のみでの計算では58円、これに物財費を含めて計算すると564円となった。現地ハウスの所在する地域の業務用水道料金は、1m<sup>3</sup>当たり280円であり、本装置でEC1dS/m程度の地下水を脱塩すると費用は水道料金の約2倍となった。地下水のECが

高いほど造水量は減少する<sup>4) 8)</sup>ため、震災直後のようなEC3dS/m程度の地下水を脱塩する場合には、より高コストになると考えられた。

水道が利用できるのであれば、逆浸透膜装置を利用するよりも低コストで栽培用水を確保することができると考えられるが、今回の現地のように塩分濃度の高い地下水を使用せざるを得ない場合には、水道引き込みや海水を脱塩する大型逆浸透膜装置のような高額な費用をかけなくても、市販の食品製造等業務用のコンパクトな逆浸透膜装置を利用して園芸作物等の生産が可能となる。

表2 イチゴ栽培用水の造水1m<sup>3</sup>にかかる費用試算  
(2016~2017年作)

項目	金額	算出方法
逆浸透膜装置等一式設置費用	94 千円	装置の耐用年数7年で均等割
年間維持費用	113 千円	フィルター類一式の費用
その他費用	17 千円	部品交換2年で34千円を均等割
年間造水運転電力料金	26 千円	2016年9月~2017年5月の消費電力量1392.7kWhをもとに計算
年間フラッシング運転電力料金	1 千円	2016年6月~9月の消費電力量49.4kWhをもとに計算
計	251 千円	
造水1m <sup>3</sup> にかかる電力料金	58 円	2016年9月~2017年5月の造水量445m <sup>3</sup> をもとに計算
造水1m <sup>3</sup> にかかる費用	564 円	2016年9月~2017年5月の造水量445m <sup>3</sup> をもとに計算

注1)金額は消費税抜き

2)導入・稼働実績をもとに試算

#### 4. 摘要

東日本大震災の影響で塩分濃度の高まった地下水をイチゴ栽培に使用するための技術として、逆浸透膜装置を3年間現地で運用し、造水状況等を調査した。その結果、以下の知見を得た。

(1)食品製造等業務用の逆浸透膜装置を利用することにより、EC1dS/m程度の地下水を脱塩し、栽培用水として十分な水質を3年間得ることができた。

(2)逆浸透膜フィルターを1年に1回交換し、フラッシング処理を適宜行うことにより、浄水の造水量はイチゴ栽培10aの目標水量とした1m<sup>3</sup>/日以上を確保することができた。

(3)逆浸透膜装置等一式にかかる物財費は、装置等の導入に655千円、毎年発生するフィルター代に113千円、2年に1回程度発生する交換部品代に34千円となった。

(4)イチゴ栽培用水の造水1m<sup>3</sup>にかかる費用は、電力料金のみで58円、これに物財費も含めると564円と試算された。

#### 謝辞

本研究は、農林水産省「食料生産地域再生のための先端技術展開事業」により実施した。また、現地農家の宍

戸孝行氏には、本研究に多大な御協力をいただいた。ここに記して謝意を表す。

#### 参考文献

- 1)農林水産省東北農政局農村計画部資源課, 2012. 地下水盆地地下水制御活用技術確立型「仙台平野南部地区」調査報告書.
- 2)農林水産省東北農政局農村計画部資源課, 2015. 海岸地域における地下水調査「東北地区」調査報告書.
- 3)酒井博幸, 山村真弓, 高橋正明, 上山啓一, 石井雅久, 2012. 逆浸透膜を利用した栽培用水の確保, 東北農業研究, 65, 139-140.
- 4)石井雅久, 森山英樹, 奥島里美, 萩原昌司, 酒井博幸, 高橋正明, 上山啓一, 2012. 逆浸透膜装置による地下水の除塩技術に関する検討, 農業環境工学関連学会合同大会講演要旨集.
- 5)酒井博幸, 2015. 津波被災農地の除塩対策13. 宮城県の地下水の塩類濃度上昇と逆浸透膜装置を利用した脱塩効果, 日本土壌肥科学雑誌, 86(5), 447-448.
- 6)萩原昌司, 安藤泰雅, 鍋谷浩志, 石井雅久, 酒井博幸, 高橋正明, 2015. 食料生産地域再生のための先端技術—地中熱利用の高効率ヒートポンプ・地下水の低コスト脱塩技術—, FOOMA JAPAN 2015 アカデミックプラザ研究発表要旨集, 22, 31-34.
- 7)大鷲高志, 加藤春男, 村主栄一, 2014. 灌水への海水添加がイチゴの収量および果実品質に及ぼす影響, 園芸学研究, 13別1, 155.
- 8)萩原昌司, 鍋谷浩志, 石井雅久, 酒井博幸, 高橋正明, 2013. 被災農地におけるRO装置を用いた地下水の脱塩に関する検討, 生態工学会年次大会発表論文集, 91-92.

# 高温期のハウス内における着用物と細霧冷房による 作業員に対する暑熱軽減効果

小池修\*・高橋正明\*・庄子友夫\*\*

## Heat Alleviating Effect of Wearing Articles and Fine Mist Cooling in Greenhouse at High Temperature Season to Agricultural Workers

Osamu KOIKE \*・Masaaki TAKAHASHI \*・Tomoo SHOJI \*\*

### Abstract

In this study, heat alleviating methods to agricultural workers in greenhouse were investigated. Wearing air conditioning clothing, mobile compact fan and so on, the surface temperature of the workers decreased, and the subjective symptoms of heat were also alleviated. Using a fine mist cooling, the temperature inside the greenhouse was lowered about 3°C than control. So by adding a fine mist cooling, the surface temperature of the workers tended to further decrease, and the subjective symptoms of heat were further improved.

[Keywords] air conditioning clothing, mobile compact fan, fine mist cooling, heat alleviating effect

### 1. 緒言

夏季のハウス内は、高温環境の中で野菜等の栽培管理や収穫作業等が行われており、熱中症にかかるリスクが高い。ハウス内の暑さを軽減する方法としては、換気・通風、遮光などが一般的に行われている。しかし、これらの対策を行っても作業員が暑さを感じる状況が改善されないことも多く、更なる暑熱軽減対策が必要となっている。

農作業時の暑熱を着衣で軽減する方法として、ファン付き作業着（以下空調服という）がある<sup>1) 2)</sup>。また、空調服を着用するとき、機能性下着を着用することや、移動式小型ファンを併用することで効果の高まることが報告されている<sup>3) 4)</sup>。さらに、ハウス内で細霧冷房を使用することにより、暑熱環境が改善され、空調服との併用で衣服内の温度がさらに低下するとの報告もある<sup>5)</sup>。

東日本大震災後に宮城県内で増加した大規模土地利用型経営体では、大規模水稲育苗ハウスの高度利用として水稲育苗終了後に野菜等の作付けが行われているが、高温期の暑熱環境が非常に厳しい状況にある。

そこで本報では、高温期のハウス内作業における作業員の暑熱軽減対策として、大規模水稲育苗ハウス等を対象に作業員の着用物とハウス内環境改善による暑熱軽減試験を実施し、作業員の体表面温度、暑さの自覚症状等を比較検討したので報告する。

### 2. 試験方法

#### (1) 実施場所

供試した暑熱対策の効果検証のため、面積規模の異なる2種類のハウスで実施した。

小規模ハウスでの試験は、宮城県農業・園芸総合研究所で行った。ハウスの面積は0.8a（間口6.3m、長さ12m、棟高3.6m、南北棟）、被覆資材は全面農P0フィルムで、トマト低段密植栽培（栽植密度5000本/10a）を行い、夏季はハウスサイドを全開の上、北面上部に設置の換気扇2台をハウス内気温25°C以上で作動させた。なお、細霧冷房の有無によるハウス内気温差を調査するため、同規模で同様の栽培が行われているハウスをもう1棟用意した。

大規模水稲育苗ハウスでの試験は、宮城県東松島市内で行った。ハウスの面積は18a（間口7.2m、長さ42mの6連棟、軒高3.0m、棟高5.7m）で、ミニトマトをポット等で栽培し、夏季はハウスサイドを全開の上、内張天井（高さ2.75m）のスーパーラプシートFX（遮光率30%）を遮光のため展開した。

#### (2) 試験区の構成

試験区の構成を表1に示した。既存技術の組み合わせをベースとしているが、筆者らが事前に行った予備的な試験では、頭部に一定程度の冷涼感が得られることが有効と考えられたことから、ネッククーラーを頭部に巻く対策を追加した（図1）。

\* : 宮城県農業・園芸総合研究所 宮城県名取市

\*\* : 一般社団法人宮城県農業会議 宮城県仙台市青葉区

各供試物の仕様、動作条件は以下のとおりとした。

吸汗速乾半袖シャツは、ポリエステル100%の丸首で、色はネイビーとした。綿Tシャツは、綿100%の丸首半袖で、色は黒とした。空調服は、(株)空調服製P-500Nで、色はモスグリーン、風量は「強」で使用した。移動式小型ファンは、車載用DC12V扇風機と12Vバッテリーを接続したもので、手押し台車にクリップと面ファスナーで取り付け、風量は「強」(1m離れた位置で風速約1.5m)とした。ネッククーラーは、大作商事製DNIMC4NBを常温の水道水に十分に浸してから使用した。細霧冷房は、小規模ハウスではイーエス・ウォーターネット製マイクロフォガーセットⅢをハウス内気温が25℃を超える晴天日に30秒噴霧30秒停止の条件で稼働した。大規模ハウスでは、いけうち製セミドライフォグ微霧冷房加湿システムを2016年9月に設置し、設定温度23~25℃(+3℃で噴霧開始)、設定湿度80%、30秒噴霧30秒停止の条件で稼働した。

表1 試験区の構成

試験区	胴体部		頭部		ハウス環境
	下着	上着	送風	冷却物	
上半身暑熱対策 +細霧冷房	吸汗速乾 半袖シャツ	空調服	移動式 小型ファン (手押し台車に設置)	ネッククーラー (額に巻いて使用)	細霧冷房
上半身暑熱対策	吸汗速乾 半袖シャツ	空調服	移動式小型ファン (手押し台車に設置)	ネッククーラー (額に巻いて使用)	-
対照	綿Tシャツ	-	-	-	-

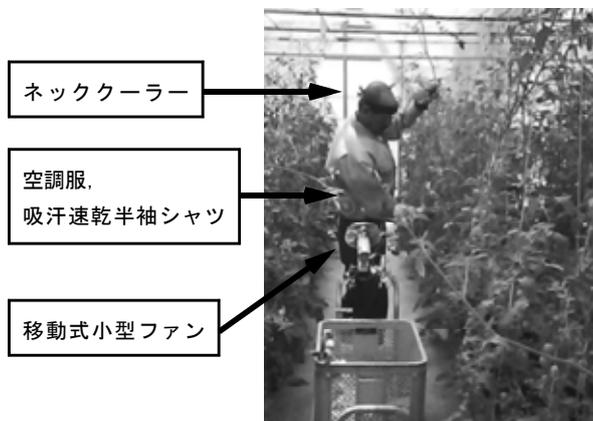


図1 上半身暑熱対策

### (3) 実施方法

小規模ハウスでの実験は、2016年8~9月の間、トマト芽かき・摘芯・誘引・収穫作業を対象に、1日につき3区を1回ずつ、それぞれ30分間実施した。被験者はトマト作業に精通した40歳代男性1人で、試験回数は各5回行った。細霧冷房の有無によるハウス内気温の比較については、2棟のハウスに温湿度計を設置し計測した。

大規模水稻育苗ハウスでの試験は、2016年7~8月の間、ミニトマト誘引作業を対象に、上半身暑熱対策区と対照区の2区を1日につき1回ずつ、それぞれ30分間実施した。被験者はミニトマト作業に精通した50歳代男性2人で、試験回数は各区2回行った。細霧冷房設置後の2016年9月

~10月は、ミニトマト芽かき作業を対象に、1日に3区を1回ずつ、それぞれ20分間実施した。被験者はミニトマト作業に精通した40歳代男性1人で、試験回数は各区2回行った。

いずれの場合も、被験者の下半身の着衣は作業ズボン、靴下、スニーカーとした。

なお、本試験の実施前には、被験者に対し趣旨を説明し同意を得た上で行った。

### (4) 調査項目

被験者の作業後の各部位表面温度は、放射温度計(HO RIBA IT550)で計測した。心拍数は、胸部に心拍計(POLAR M400)を装着して計測した。作業能率は、作業距離をメジャーで計測し、作業時間1分当たり換算した。暑さの自覚症状(1:全く気にならない~3:気になる~5:非常に気になるの5段階自己評価)および暑熱対策等に対する評価は、作業後に聞き取りした。ハウス内の気温は温湿度計(T&D RTR-503)、WBGT(暑さ指数)はWBGT計(鶴賀電機 401F)で計測した。

## 3. 結果と考察

### (1) 細霧冷房の降温効果(小規模ハウス)

小規模ハウスにおいて細霧冷房を稼働すると、細霧冷房のないハウスに比べて内部の気温は低くなることが確認された。図2にハウス内気温の一例を示す。2016年8月3日午前8時30分~午後3時の間、細霧冷房の稼働により平均-2.6℃、最大で-5.4℃の降温効果が確認された。

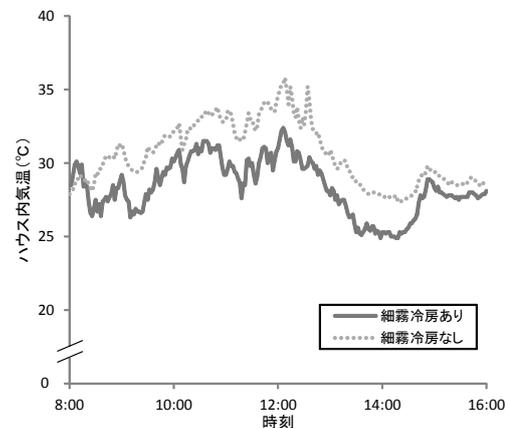


図2 小規模ハウスにおける細霧冷房の有無による気温推移(2016年8月3日)

### (2) 作業者の暑熱軽減効果(小規模ハウス)

上半身暑熱対策区の作業中のハウス内WBGTは、対照区と同程度で、作業後の各部位表面温度は対照区に比べ、頭頂部が-5.9℃と有意差が認められた(表2)。また、下着(胸)は-2.4℃、胴体(胸)は-2.1℃と低くなる傾向がみられた。

上半身暑熱対策+細霧冷房区の作業中のハウス内暑熱環境は、対照区よりも軽減されており、WBGTは-2.1℃と

有意差が認められた。また、作業後の各部位表面温度は対照区に比べ、頭頂部が-6.4℃、下着（胸）が-2.5℃と有意差が認められた。さらに、胴体（胸）は-2.0℃、下着（背中）は-1.2℃と低くなる傾向がみられた。

人が快適に感じる平均皮膚温（所定の測定部位の平均値）は多くの実験から約33~34℃とされる。体表面温度34℃以上を暑さを感じる温度域として今回の結果をみると、対照区は暑さを感じ不快な温度となったが、上半身暑熱対策区と上半身暑熱対策+細霧冷房区はその度合いは対照区より少なく、胴体（胸）は快適温度が保たれていた。

作業者の心拍数には区間差はみられず、作業能率も同程度であった（表3）。作業後の暑さの自覚症状は、対照区4.4に対し、上半身暑熱対策区2.6、上半身暑熱対策+細霧冷房区2.2と有意差が認められた。上半身に風を感じる暑熱対策によって涼しくなり、細霧冷房の霧がさらに冷涼感を高めたと考えられた。

以上、作業者上半身の暑熱対策を行うことにより、作業後の各部位表面温度が低下し、特に頭頂部の温度低下が顕著であった。細霧冷房を追加することにより、各部位表面温度はさらに低下する傾向がみられ、霧が作業者の顔に当たることで冷涼感を得られるため暑さの自覚症状もさらに改善することが確認された。

なお、トマトの生育への影響は確認されなかった。

表2 作業者に対する暑熱軽減効果（小規模ハウス）

試験区	作業後の各部位表面温度					作業中のハウス内WBGT
	下着		胴体		頭頂部	
	胸	背中	胸	背中		
	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
A 上半身暑熱対策+細霧冷房	33.3	34.5	33.8	35.3	34.5	29.8
	(-2.5)	(-1.2)	(-2.0)	(-0.6)	(-6.4)	(-2.1)
B 上半身暑熱対策	33.4	34.8	33.7	35.6	35.0	31.6
	(-2.4)	(-0.9)	(-2.1)	(-0.3)	(-5.9)	(-0.3)
C 対照	35.8	35.7	35.8	35.9	40.9	31.9
有意差	A vs C		ns		ns	**
	B vs C		ns		ns	**

注1) 作業後の各部位表面温度は、40歳代男性(n=5)の平均値。  
 注2) 作業中のハウス内WBGTは、試験回数5回の平均値。  
 注3) ( )内は、対照区との差を示す。  
 注4) 有意差:\*\*は1%水準、\*は5%水準で対照区と有意差あり、nsは有意差なし(Dunnett法)。

表3 作業者に対する負荷軽減効果（小規模ハウス）

試験区	心拍数	最大心拍数	作業能率	暑さの自覚症状
	(回/分)	(回/分)	(m/分)	(5段階)
A 上半身暑熱対策+細霧冷房	101.7	117.0	1.4	2.2
B 上半身暑熱対策	100.3	115.4	1.4	2.6
C 対照	100.3	114.6	1.3	4.4
有意差	A vs C		ns	*
	B vs C		ns	*

注1) 数値は40歳代男性(n=5)の平均値。  
 注2) 有意差:\*は5%水準で対照区と有意差あり、nsは有意差なし(心拍数、最大心拍数、作業能率はDunnett法、暑さの自覚症状はSteel法)。

(3) 作業者の暑熱軽減効果（大規模ハウス）

7~8月に行った試験では、上半身暑熱対策区の作業中のハウス内WBGTは対照区と同程度で、作業後の各部位表面温度は、胴体（背中）が-2.3℃と有意差が認められた（表4）。頭部には差がみられず、遮光により日差しが弱まっていることで暑熱軽減効果が得られていると考えられた。

体表面温度34℃以上を暑さを感じる温度域としてみると、対照区は暑さを感じ不快な温度となったが、上半身暑熱対策区はその度合いは対照区より少なく、胴体（胸、背中）は快適温度が保たれていた。

作業者の心拍数および作業能率に区間差はみられなかった（表5）。暑さの自覚症状は、対照区が作業後4.5に対し、上半身暑熱対策区は2.5と有意差が認められた。被験者からは、空調服の風とネッククーラーの冷涼感がよいとの意見があった。その一方、移動式小型ファンの首が不安定で風向きが固定しにくいとの指摘があり、その影響で風が頭部に当たらないことがあったため、設置方法の改善が必要と考えられた。

表4 作業者に対する暑熱軽減効果（大規模ハウス、7~8月）

試験区	作業後の各部位表面温度				頭部部	作業中のハウス内WBGT
	下着		胴体			
	胸	背中	胸	背中		
	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
上半身暑熱対策	32.8	32.9	33.4	33.0	36.8	26.5
	(-0.2)	(0.3)	(-1.0)	(-2.3)	(-0.2)	(-0.5)
対照	33.0	32.6	34.4	35.3	37.0	27.0
有意差	ns	ns	ns	*	ns	ns

注1) 作業後の各部位表面温度は、50歳代男性(n=4)の平均値。  
 注2) 作業中のハウス内WBGTは、試験回数2回の平均値。  
 注3) ( )内は、対照区との差を示す。  
 注4) 有意差:\*は5%水準で有意差あり、nsは有意差なし(t検定)。

表5 作業者に対する負荷軽減効果（大規模ハウス、7~8月）

試験区	心拍数	最大心拍数	作業能率	暑さの自覚症状
	(回/分)	(回/分)	(m/分)	(5段階)
上半身暑熱対策	93.0	103.5	1.1	2.5
対照	96.1	105.5	1.1	4.5
有意差	ns	ns	ns	*

注1) 数値は50歳代男性2人(n=4)の平均値。  
 注2) 有意差:\*は5%水準で有意差あり、nsは有意差なし(心拍数、最大心拍数、作業能率はt検定、暑さの自覚症状はMann-WhitneyのU検定)。

9~10月に行った試験では、作業中のハウス内WBGTは3区とも同程度で、作業後の各部位表面温度は、上半身暑熱対策区で下着（背中）-2.5℃、上半身暑熱対策+細霧冷房区で下着（背中）-4.4℃、頭頂部-2.3℃となった（表6）。

作業者の心拍数には区間差はみられず、作業能率は向上する傾向であった(表7)。暑さの自覚症状は、対照

表6 作業者に対する暑熱軽減効果(大規模ハウス、9~10月)

試験区	作業後の各部位表面温度					作業中の ハウス内 WBGT (°C)
	下着		胴体		頭部部 (°C)	
	胸 (°C)	背中 (°C)	胸 (°C)	背中 (°C)		
上半身暑熱対策 +細霧冷房	31.0 (-1.1)	28.5 (-4.4)	31.6 (-0.2)	31.8 (-1.2)	30.8 (-2.3)	22.2 (1.2)
上半身暑熱対策	31.0 (-1.1)	30.4 (-2.5)	31.8 (0.0)	33.2 (0.2)	31.9 (-1.2)	22.0 (1.0)
対照	32.1	32.9	31.8	33.0	33.1	21.0

注1) 作業後の各部位表面温度は、40歳代男性(n=2)の平均値。

注2) 作業中のハウス内WBGTは、試験回数2回の平均値。

注3) ( )内は、対照区との差を示す。

表7 作業者に対する負荷軽減効果(大規模ハウス、9~10月)

試験区	心拍数 (回/分)	最大 心拍数 (回/分)	作業能率 (m/分)	暑さの 自覚症状 (5段階)
上半身暑熱対策 +細霧冷房	86.8	99.0	3.9	1.5
上半身暑熱対策	88.0	98.5	3.2	1.5
対照	89.2	100.0	2.7	3.0

注) 数値は40歳代男性(n=2)の平均値。

区が作業後3.0に対し、上半身暑熱対策区1.5、上半身暑熱対策+細霧冷房区1.5と軽減される傾向がみられた。

以上、7~8月の高温期においては、作業者上半身の暑熱対策を行うことにより、作業後胴体表面温度が低下し、冷涼感が得られることから暑さの自覚症状も軽減することが確認された。細霧冷房については、9~10月のため暑熱環境が厳しくない中での試験であったが、細かい霧が作業者周辺に噴霧されることで頭頂部や下着の表面温度を低下させることが確認された。

なお、ミニトマトの生育への影響は確認されなかった。

#### 4. 摘要

高温期のハウス内作業者への暑熱対策技術として、空調服、細霧冷房等の組み合わせによる暑熱軽減効果を試験した。その結果、以下の知見を得た。

(1) 吸汗速乾半袖シャツ・空調服・移動式小型ファン・ネッククーラーによる作業者上半身の暑熱対策を行うことにより、作業後の各部位表面温度が低下し、特に頭頂部の温度低下が顕著であった。また、冷涼感が得られることから暑さの自覚症状も軽減した。遮光資材を展張した条件の下では、頭頂部表面温度の対照区との有意差はみられなかった。

(2) 細霧冷房により、ハウス内気温は3℃程度低下した。

(3) 作業者上半身の暑熱対策に加え、ハウス内で細霧冷房を行うことにより、作業者の各部位表面温度はさらに低下する傾向がみられた。細霧が作業者の頭部に当たることから冷涼感を得られることから、暑さの自覚症状もさらに改善した。

(4) 暑熱対策の有無による作業者の心拍数、作業能率とも明確な差はみられなかった。

#### 謝辞

本試験は農林水産省「食料生産地域再生のための先端技術展開事業」において実施した。また、大規模水稲育苗ハウスでの試験では、株式会社パスカファーム立沼の多大なる御協力をいただいた。ここに記して謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 中央農業研究センター, 2007. 農作業快適化のためのファン付き作業服(空調服)改良技術, 関東東北陸研究成果情報.
- 2) 宮城県農業・園芸総合研究所, 2007. ファン付き作業着(商品名:空調服)の利用による高齢者の農作業の軽労化, 東北農業研究成果情報.
- 3) 宮城県農業・園芸総合研究所, 2015. 高温期の園芸施設内におけるファン付き作業服の暑さ軽減効果を高める着用方法, 東北農業研究成果情報.
- 4) 宮城県農業・園芸総合研究所, 2015. 高温期の園芸施設内における移動式小型ファンによる暑熱軽減対策, 東北農業研究成果情報.
- 5) 高橋正明, 小池修, 酒井博幸, 石井雅久, 2016. 高温期の園芸施設内作業における暑熱軽減技術の開発, 農業施設学会大会講演要旨, 69-70.

# Effect of Direct Seeded Rice (DSR) Method Using Broadcasting and Hill Drop Systems Compared to Transplanted Rice (TPR)

Alain NZEYIMANA\* • Mitsuhiro KATAHIRA \* • Hiroyuki SHIRATSUCHI \*\*

## Abstract

Rice is grown once a year and cultivation period is from May to October in Japan generally. Planting is one of the most challenging operations in rice cultivation. Direct seeding and transplanting methods are the most important systems used worldwide. TPR method is also dominating other methods in rice planting not only in Japan but also worldwide. Even if this method is the most used, it requires more energy; during the process; in terms of labour, time and cost. Studies are conducted in order to cut-off the energy spent in rice cultivation in order to increase rice productivity as well as quality. We, therefore, conducted this study in order to compare the two methods cited above: DSR and TPR using two systems of DSR: Broadcasting (BCS) system and Hill drop (HDS) system by examining the effect of the mentioned methods on field efficiency, growth and yield. Three (3) different fields have been used by sampling randomly 3 small plots; within each field; of 20 hills for HDS and TPR and a small plot of 20cm x 300cm. Our field survey started at the planting step by calculating the Field work efficiency of the machines used in field. Recording the plant height, SPAD and number of tillers on different stages of the plant gave us the opportunity of examining the growth of the plant in each planting system. Yield and yield components also have been determined. However, we found that Hill-drop system is the most efficient rice planting method in term of field work efficient. This system doesn't have significant difference with transplanting one.

[Key words] Planting methods, Field work efficiency, Growth, Yield

Abbreviations: Direct seeded Rice (DSR), Transplanted rice (TPR), Hill drop system (HDS), Broadcasting system (BCS). Nber: number

## I Introduction

Rice is a staple food in Japan. Although diversification of dietary life is making rice consumption and production decrease, it is still main agricultural product and production of rice is 8.6 million ton and consumption of it, is 7.2 million tons in 2012 (Masahiro Hosaka, Rice Objective Yield Survey in Japan). Nowadays, rice cultivation is done in different ways in the world. The most important cultivation methods are transplanted and direct seeded rice. Transplanting is the most common and elaborate method of crop establishment for rice not only in Asia but also worldwide. Rice seedlings grown in a nursery are pulled and transplanted into puddled and levelled fields 15 to 40 days after seeding (DAS). Rice seedlings can either be transplanted manually or by machine.

Direct seeding of rice refers to the process of establishing the crop from seeds sown in the field rather than by transplanting seedlings from the nursery (Farooq et al., 2011). Direct seeding avoids three basic operations, namely, puddling (a process where soil is compacted to reduce water seepage), transplanting and maintaining standing water. Due to high technology, high labor cost and shortage of skilled labor, rice cultivation is shifting from transplanted to direct seeded in America, Western Europe such as Italy and France, Russia, Japan, Cuba, India, Korea, and the Philippines and in some parts of Iran (Akhgari, 2004). Labor saving of DSR method induced by preparation of nursery and TPR, causes the reduction of 11.2% in total

production cost. DSR methods have several advantages over TPR (Singh et al., 2005a). However, we conducted this research in order to determine which method is more efficient among Broadcasting and Hill-drop systems as DSR methods and TPR.

## II Methods and Materials

### 1. Test place

For this study, we used the Yamagata University Field Science Center upland field, Takasaka, Tsuruoka city. The test fields were: 98.5m × 29.75m for broadcasting system, 99.86m × 29.15m for Hill drop system and 99.9m × 29.70m for Transplanting system.

### 2. Materials

#### (1) Broadcasting system



Fig.1 Direct rice seeding of Broadcasting

\* Graduate School of Agricultural Science, Yamagata university 1-23, Wakabamachi, Tsuruoka, Japan

\*\* NARO Agricultural Research Center for Tohoku Region, 3 Shimo-furumichi, Yotsuya, Daisen, Akita 014-0102, Japan

We used Iseki tractor with model “GEAS AT410” used attaching with broadcasting machine of three buckets with nine outlets mounted on rotary tiller of 3m of width.

(2) Hill drop system



Fig.2 Direct rice seeding of hill drop

We used Kubota NSU87 Transplanting machine with hill drop attachment of 8 rows has been used.

(3) Transplanting system



Fig.3 Transplanter

We used Kubota NSU87 Transplanting machine of 8 rows.

3. Composition of test blocks

Three different plots have been chosen randomly within each field. For Broadcasting system, a small plot of 30cm × 150cm has been set randomly as well as a small plot of 20 hills for Hill drop and Transplanting systems.

4. Cultivation outline

Table 1 Inputs applied in the three fields

System	Date	Product	Qty (per ha)
BCS	3/20	Manure fertilizer	100tonne
	5/12	N-P-K: 22-17-17	3000kg
	6/6	Herbicide	25kg
	6/9	Herbicide	100kg
	6/21	Herbicide	100kg
	7/26	Herbicide	100liter
	7/30	Bactericide	80liter
	8/15	Pesticide	80liter
HDS	3/20	Manure fertilizer	100tonne
	4/27	N-P-K: 17-17-17	1300kg(221 kg-N/ha)
	5/1	N-P-K: 7-7-7	2700kg(189kg-N/ha)
	6/19	N-P-K: 13-13-13	500kg(65kg-N/ha)
	7/14	N-P-K: 15-0-20	1500kg(2.25 kg-N/10a)
	5/1	Herbicide	100kg

TPR	5/26	Herbicide	100kg
	7/21	Fungicide	50kg
	7/30	Insecticide and Fungicide	80liter
	8/15	Insecticide	80liter
	3/20	Manure fertilizer	100tonnes
	5/17	N-P-K:7-7-7	3500kg(245kg-N/ha)
	6/20	N-P-K:13-13-13	500kg(65kg-N/ha)
	7/12	N-P-K:15-0-20	1500kg(2.25 kg-N/10a)
	5/10	Herbicide	30liters
	5/17	Herbicide	100kg
	5/26	Herbicide	100kg
	5/17	Insecticide and Fungicide	5kg
	6/5	Insecticide	60kg
	7/30	Insecticide and Fungicide	80liters
	8/15	Insecticide	80liters

Rice variety: Haenuki (For Hill drop system, we used iron coated seeds)

5. Investigations

(1) Field work efficiency

By calculating Work ability and Theoretical working rate using formula

$$\eta = \frac{C}{Ct}$$

where C is the Work ability which is equal to Field area / T

(working period) and Ct is theoretical working rate which is equal to  $0.36 \times b \times v$  (b is Implement width and v is the working speed of the machine)

(2) Germination

DSR is only one concerned with germination. Broadcasting and Hill drop system are the ones to be examined using their test plots respectively

(3) Growth

After 25 days, plant height, number of tillers and SPAD has recorded in order to examine the growth and this exercise has been repeated three times for each field after a period of two weeks.

(4) Yield and Yield components

- 1) Record measurements of culm length, panicle length and inter-node length
- 2) Count the number of spikelet per hill
- 3) Calculate the ripening ratio:

$$\frac{\text{Number of ripened grains}}{\text{Number of ripened grains} + \text{Number of unripe grains}} \times 100$$

4) Weight of 1,000 grain of paddy & brown rice

5) Yield per 1,000 paddy rice grain:

$$\frac{\text{Weight of brown rice per } 1 \text{ m}^2}{\text{Total number of paddy rice grains per } 1 \text{ m}^2} \times 100$$

**III Results and discussion**

**1. Field work efficiency**

Using the formula mentioned above, we found that Hill drop system (HDS) is the most efficient method in term of field work efficiency where 0.87 has been calculated; Transplanting system is also more efficient with 0.70 compared to Broadcasting system which has 0.31 only.

**Table 2 Field work efficiency**

	BCS	HDS	TPR
	Area(m <sup>2</sup> ): 2,930.4	Area(m <sup>2</sup> ): 2,910.9	Area(m <sup>2</sup> ): 2,967.03
$\eta = \frac{c}{c_t}$	T(s): 3,920	T(s): 2,920	T(s): 3,700
C=	C: 0.75	C: 0.997	C: 0.802
Area/T	b(m): 3	b(m): 2.4	b(m): 2.4
	v(s/m): 2.20	v(s/m): 1.32	v(s/m): 1.33
$Ct=0.36 \times b \times v$	Ct: 2.38	Ct: 1.14	Ct: 1.15
	$\eta=0.31$	$\eta=0.87$	$\eta=0.70$

**2. Germination**

Number of tillers germinated in the test plots have been recorded for both methods: BSC and HDS. Their averages show that Hill drop system is the most germinated with a significant difference more than 5%, using Lsd-ANOVA software.

**3. Growth**

Three different parameters have been recorded in order to examine the growth.

**(1) Plant height**

At the beginning, the plant height is different most from broadcasting system (BCS) to other two methods. We can say that the germination rate

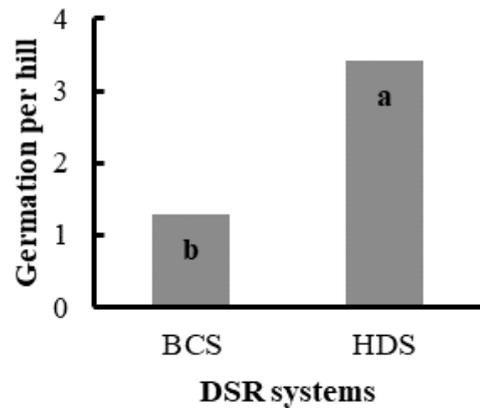
has an impact at this stage. But, an improvement occurs during the second stage where plants in broadcasting system are in same group as transplanted ones (TPR) and a significant difference occurs on plants which are in Hill drop system (HDS). Finally, during the last stage of growth check, we found that no significant value differ the plants located in the three (3) different fields.

**(2) Number of tillers**

The number of tillers is very dependent to the germination process. Due to the low germination rate of Broadcasting, the number of tillers is also inferior compared to other methods during the stage 1 and 2. But, same as plant height, this case changes at the stage 3 where all methods can be classified in the same group which means no significant difference has been recorded.

**(3) SPAD**

During SPAD test, the difference between the growth stages could be signified by the number of tillers. Which means that, as the number of tillers increases,



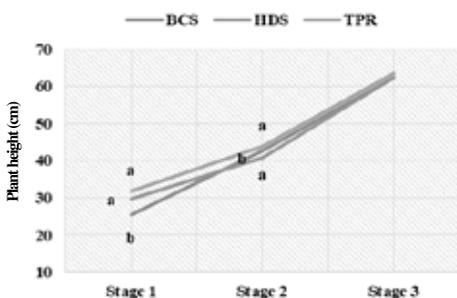
**Fig.4 DSR germination analysis**

**Table 3 DSR germination analysis**

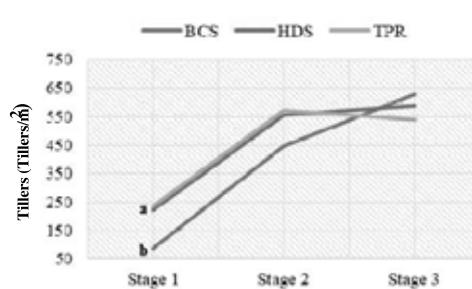
Planting system	First stage of growth				Second stage of growth				Third stage of growth			
	Plant height (cm)	Tillers/m <sup>2</sup>	SPAD	Leaf	Plant height (cm)	Tillers/m <sup>2</sup>	SPAD	Leaf	Plant height (cm)	Tillers/m <sup>2</sup>	SPAD	Leaf
Broadcasting	25.4 <sup>b</sup>	86 <sup>b</sup>	34.9 <sup>b</sup>	7.2	42.6 <sup>a</sup>	448	40.7 <sup>b</sup>	10	62.3	628	44.7 <sup>a</sup>	12.2
Hill drop	29.7 <sup>a</sup>	223 <sup>a</sup>	37.3 <sup>ab</sup>	5.8	40.8 <sup>b</sup>	556	43.4 <sup>b</sup>	8.8	62.3	588	38.1 <sup>c</sup>	10.7
Transplanting	31.8 <sup>a</sup>	235 <sup>a</sup>	40.5 <sup>a</sup>	6.8	43.9 <sup>a</sup>	573	46.3 <sup>a</sup>	9	63.5	539	41 <sup>b</sup>	11

Significant difference of 5% has been tested by using Lsd-ANOVA software.

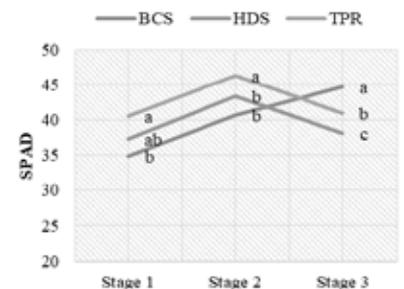
Analysis of each parameter has been done individually in the three growth stages as following



**Fig.5 Plant height Analysis**



**Fig.6 Tiller analysis**



**Fig.7 SPAD analysis**

the SPAD decrease. The decrease of SPAD has a negative impact on the yield. This means that limitation on the number of tillers is very important in order to get a good yield.

#### 4. Yield

##### (1) Number of spikelet per hill

This is the number of all kernel located on plant panicle. BCS has the highest value of the number of spikelet per plant. Significant value is noted between BCS and no significant value noted between HDS and TPR. Density of rice spacing in BCS is one of the factors which outcomes this value. During our survey, we noted that density between hills is less on BCS compared to HDS and TPR. This means that the quantity of nutrients absorbed by the plant in BCS is more than the one absorbed in HDS or TPR.

##### (2) Comparison of 1000 grains weight of paddy and husked rice

Measuring the weight of 1000 grains of paddy rice, we can note that none of the 3 systems has unique value which is greater with a significant value to others. This means that non-significant value between the methods noted on this parameter.

##### (3) Ripening Rate

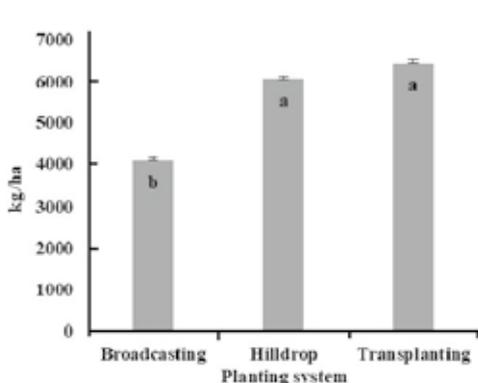
Ripening is the period when the grain increases in size and weight as the starch and sugars are trans-located from the culm and leaf sheaths where they have accumulated. This parameter has a relation with the previous one (Nber of Spikelet). Quantity of nutrients absorbed and density can explain why this system has a high value of ripening rate. A significant value is noted between BCS and the other two systems (HDS and TPR). Non-significant value noted between HDS and TPR.

##### (4) Brown rice yield

The results showed that non-significant value between TPR and HDS yield;

**Table 4 Yield components**

Panting system	Spikelets (grains/m <sup>2</sup> )	Weight of 1000 grains of paddy rice (g/1000grains)	Weight of 1000 grains of brown rice (g/1000grains)	Ripening rate (%)
Broadcasting	120 <sup>a</sup>	27.15	22.8	87.82 <sup>a</sup>
Hill drop	97.1 <sup>b</sup>	28.23	24.45	72.45 <sup>b</sup>
Transplanting	96.7 <sup>b</sup>	27.35	23.15	74 <sup>b</sup>



**Fig.8 Brown rice yield analysis**

while on BCS, a significant value noted between this system and the two previous ones.

#### IV Conclusion

- 1) Direct Seeded Rice (Hill drop system) is the most efficient method with 87%, compared to TPR and BCS which has 70% and 31 respectively, in term of field work efficiency.
- 2) Hill drop system is also leading in germination among DSR systems where a significant difference which is more than 5% has been noticed.
- 3) Transplanting system is still the most efficient one in terms of yield as well as Hill drop system; while a significant difference value has been note on BCS which is lower than TPR and HDS.

#### Acknowledgements

This research was supported by grants from the Project of the NARO Bio-oriented Technology Research Advancement Institution (the special scheme project on vitalizing management entitise of agriculture, forestry and fisheries)

#### References

- M.F. Hossain, M.A. Salam, M.R. Uddin, Z. Pervez and M.A.R. Sarkar, 2002. A Comparative Study of Direct Seeding Versus Transplanting Method on the Yield of Aus (summer) Rice. *Journal of Agronomy*, 1: 86-88.
- Kim JK, Lee MH, Kim YS (2000). Labor saving cultivation technologies of rice in Korea- direct seeding and machine transplanting-national crop experimental station, Rural Development Administration (RDA), Republic of Korea
- Naklang K, Fukai S, Nathabut K (1996). Growth of rice cultivar by direct seeding and transplanting under upland and lowland conditions. *Field Crop Res.*, 48: 115-123.
- Pandey S, Mortimer M, Wade I, Tuong TP, Lopez K, Hardy B (2002). Direct seeding: research strategies and opportunities. IRRI International Rice Research Institute, p. 383.
- Singh Y, Singh G, Johnson D, Mortimer M (2005a). Changing from transplanted rice to direct seeding in the rice-wheat cropping system in India.
- Ameen, A., et al. (2014) Performance of Different Cultivars in Direct Seeded Rice (*Oryza sativa* L.) with Various Seeding Densities. *American Journal of Plant Sciences*, 5, 3119-3128.
- Aslam, M., Shah, S.H. and Nazir, M.S. (2002) Biological Response of Direct-Seeded Course Rice to Seeding Density and Planting Time. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 39, 12-14.

# UAV（無人航空機）を利用した農作物の生育診断（第2報）

- マルチスペクトルカメラを用いたバレイショほ場のセンシング -

田邊 大\*・中坪あゆみ\*\*・片平光彦\*\*・小林隆\*\*・嶋田 浩

## Growth Monitoring of Horticulture Crops Using Unmanned Aerial Vehicle (part 2) -Sensing for potato field with multispectral camera-

Dai TANABE\*・Ayumi NAKATSUBO\*\*・

Mitsuhiko KATAHIRA\*\*・Takashi KOBAYASHI\*\*・Hiroshi SHIMADA

### Abstract

Remote sensing techniques is important for crop management in precision agriculture. Recently years, unmanned aerial vehicles (UAVs) have been focused on new platform of remote sensing. Therefore, we investigated field monitoring techniques using UAVs and multispectral camera to obtain horticulture crop information. In 2017, monitoring system which combined UAV and multispectral camera used for remote sensing in potato field. Results showed that NDVI image showed the progress of growth and health of the etiolation in potato field. NDVI and SPAD values decreased as progress of the time. In addition, these values showed high correlation. NDVI values and SPAD values had high correlation on May 29, June 20, July 20, 27. As Yield investigation, standard was 2863kg/10a, non-standard was 1984kg/10a. Non-standard showed a trend small one, bitten and Soft rot pathogen. Non-standard yields showed high correlation for NDVI value on June 6. I will investigate it in future what kind of effect the difference in NDVI values of the portent period has on feeding damage, outbreak of soft rot pathogen. In the potato field, the monitoring with UAV for aerial photography and the multi-spectrum camera are effective

[Keywords] UAV, monitoring, potato, multispectral camera, NDVI

### 1. 緒言

現在、我が国では農業従事者数が年々減少しており<sup>1)</sup>、担い手不足による耕作放棄地の増加が問題になっている。特に、中山間地ほ場は大規模化や大型機械には不向きな立地もあり、耕作放棄地の増加が著しい。山形県鶴岡市では、増加する中山間地ほ場の放棄地利用を促進するための政策を施行している<sup>2)</sup>。また、生産現場では担い手不足から来る篤農技術の途絶が危惧され、情報技術を高度に活用したデータに基づく農業、精密農業が注目されており、基幹技術としてリモートセンシング技術がある。農業における広域リモートセンシングは人工衛星や航空機による情報を基にしたものが開発されているが、それらに代わる新しいプラットフォームとしてUAV（無人航空機）が登場してきた。

そこで本研究では中山間地ほ場での耕作放棄地の高度利用を想定し、冷涼な中山間地ほ場に適応する作物としてバレイショに注目した。本報では畑輪作でのモデル作物としてバレイショを栽培し、そのほ場でのUAVの利活用について検討した。本年度はUAVとマルチスペクトルカメラを組み合わせたモニタリングシステムでバレイショほ場を空撮し、得られた情報とバレイショの生育データとの相関を評価して開発システムのバレイショへの適用性について報告する。

\*山形大学大学院農学研究科

\*\*山形大学農学部

### 2. 材料と方法

#### (1) 試験ほ場

実験は山形県鶴岡市に位置する山形大学農学部附属やまがたフィールド科学センター(高坂農場)内(長辺40m, 短辺20m, 面積: 8a)のほ場で行った。試験ほ場は2017年4月21日に粗耕起した後、4月25日に施肥と耕うんを行い、芽出したバレイショを畝間75cm, 株間30cmの条件で定植した。供試したバレイショの品種はトヨシロである。施肥体系は土改剤として苦土重焼リンを20kg/10a、基肥が高度化成肥料(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O, 14:14:14)を8.4kg-N/10a、追肥として5月29日に硫酸を4.2kg-N/10a散布した。雑草・病害虫防除は、4月17日にダイアジノン5%粒剤(殺虫剤)6kg/10a, 4月28日にセンコル水和剤(除草剤)を100g/10a散布した。生育期間中は、5月30日にアディオオン乳剤(殺虫剤)を2000倍希釈、ジマンダイセン水和剤(殺菌剤)500倍希釈、スターナ水和剤(殺菌剤)を1000倍希釈、アプローチ展着剤5mL/10Lを添加して200L/10a散布した。6月16日にはモスピラン水溶剤(殺虫剤)を3000倍希釈、ライメイフロアブル(殺菌剤)を2000倍希釈、アグリマイシン100水和剤を1000倍希釈し、散布した。

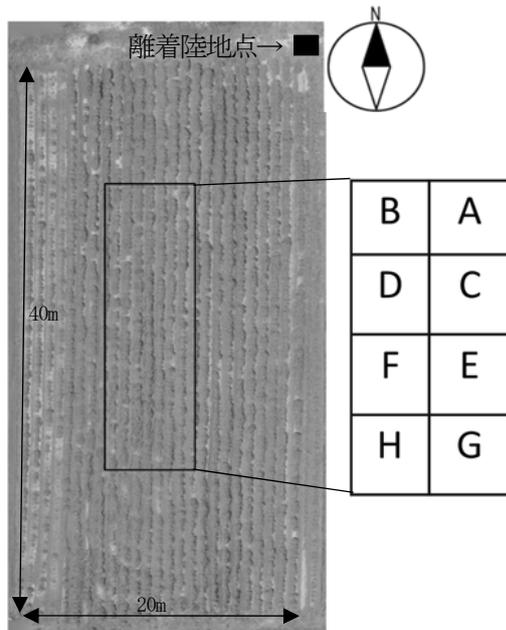


図1 試験ほ場の概要と調査区

## (2) 実験機の構成と撮影条件

ほ場の空撮は空撮用マルチコプター (DJI, S900) にマルチスペクトルカメラ (Tetoracam, MicroMCA/RGB3+) を取り付けに行った (図1, 図2)。空撮後の画像はPixelWrenchi2 (Tetoracam) で合成して解析した。空撮は太陽が高い位置にある 10:00 から 14:00 の間に行った。

供試した UAV は基盤が内蔵されたプレート部、ESC やモーターが搭載されるアーム部、ジンバルやスキッドが搭載される下腹部で構成した。プレートにはコントローラー、3軸加速度センサー、3軸ジャイロセンサー、気圧計などのフライトコントローラーやGPS (DJI, A2)、受信機 (DJI, Lightbridge2) などが搭載されている。特に、フライトコントローラーは、機体の状態や飛行環境に合わせて各モーターの回転速度を制御しているため、従来の無人ヘリコプター以上の安定した飛行が可能である。UAV の機体寸法は縦・横が900mm、高さが640mmである。ペイロードは8.2kgである。機体の主要諸元を表1に示す。

供試したマルチスペクトルカメラは解像度が1280×1024で、視野角は35.7°×28.9°×44.8°となっている。マルチスペクトルカメラは4つのレンズを搭載しており、Red、Green、Blue、680nm、700nm、800nmの6バンドを捕捉することができる。カメラの主要諸元を表2に示す。なお、空撮時にはカメラのタイムラプス機能を使い、2秒間隔で画像を取得した。ジンバルは3つのブレスレスモーターが搭載されており、機体の傾きに応じてカメラの角度を一定に保持する。

空撮はバレイショが萌芽した後の5月29日、開花を開始した6月6日、開花期の6月20日、黄化を開始した7月13日、黄化期の7月20日、7月27日に行った。

UAV の操作はあらかじめ指定した離着陸地点 (人工芝のヘリポート) から離陸させ、ほ場中心から上昇させていった。撮影高度は約80mである。試験ほ場の空撮に要した飛行時間は約5分であ

った。撮影はカメラに搭載されているタイムラプス機能を使い、2秒間隔で画像を取得した。



図2 空撮用マルチコプター



図3 マルチスペクトルカメラ

表1 空撮用マルチコプターの主要諸元

機体	型式	S900
	全長(mm)	900
	全高(mm)	640
	最大積載量(g)	8,200
バッテリー ①/②	電圧(V)①/②	22.2V/22.2V
	電流(mAh)①/②	12,000/10,200
	重量(g)①/②	1,757/1,476

表2 マルチスペクトルカメラの主要諸元

寸法	115.6mm × 80.3mm × 50mm
質量	400g
バンド数	6バンド
バンド	Blue (400-470nm)
	Green (480-500nm)
	Red (570-700nm)
	NDVI Red (680nm)
	Red Edge (700nm)
	NDVI NIR (800nm)

### (3) 画像解析

供試センサーは4つのレンズを搭載しており、それぞれR、G、B、680nm、700nm、800nmの6バンドを捕捉することができる。画像は4つの異なる位置にあるレンズで取得されるため、前記した画像合成ソフトで視差の補正と画像の合成を行った。

取得した画像は6バンド分あるので、取り込んだ画像から6チャンネルのTIFF画像を作成した。さらに合成したTIFF画像から3チャンネル（680nm、700nm、Green）を選択し、BMP形式のカラー画像を作成した。その後、作成したカラー画像からNDVIを算出した画像を作成した。また、3チャンネルのカラー画像から、植物体のピクセルごとの680nm、700nm、の値を測定し、測定値からNDVI値を算出した。算出したNDVI値と収量などのデータと照合した（図4）。

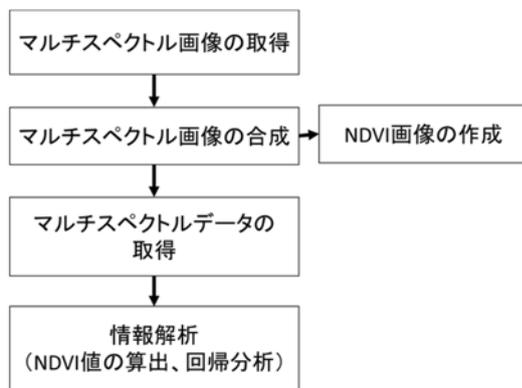


図4 画像解析プロトコル

## 3. 結果

### (1) 画像合成

図5に試験ほ場の各時期のNDVIの画像、図6に地上部の様子を示す。色が濃いところはNDVI値が高く、薄いところはNDVI値が低いことを示している。

萌芽期に当たる5月29日の画像では萌芽の進行が確認できた。萌芽の進行にはばらつきがあるが、これは定植時の種イモの状態に違いによって引き起こされた。次に生育期間である6月6日、6月20日の画像では次第にNDVIが高くなり、畝間の縮小とともに生育量が旺盛になっていることが確認できた。開花期である6月20日のNDVI画像では濃い部分に白い斑点が確認できる。これはNDVI値の低い花器が移りこんだものであり、図6に示す6月20日の画像からも確認できる。黄化期である7月13日から7月20日、7月27日の画像では植物体が枯れていったため、葉面積が減少していくことが確認できた。なお、7月27日の画像では黒い部分と白い部分が混在していることがわかる。これは地上部が二次生長を始め、枯れた茎葉と新たに伸長してきた分枝が混在していたためであり、図6に示す7月27日の画像からも確認できる。以上から、本研究のモニタリングシステムはバレイショほ場に対する生育状況のモニタリングに使用できると考えられる。

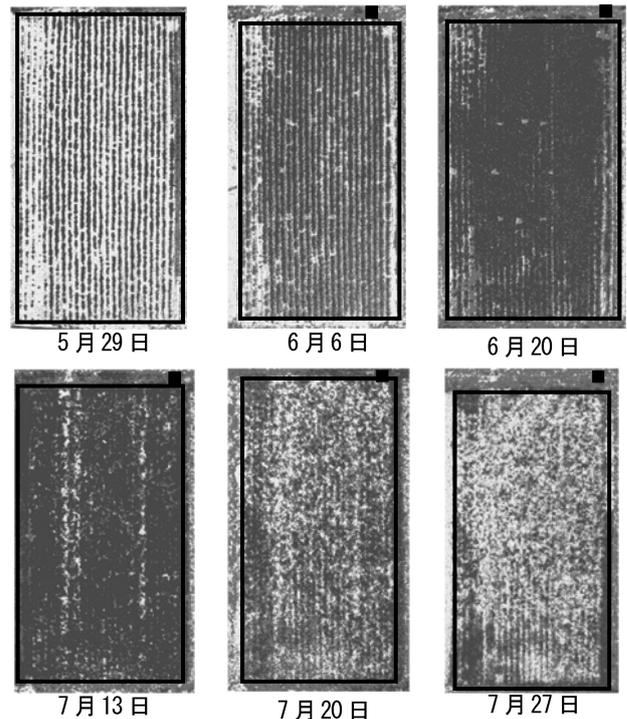


図5 各時期のNDVI画像



図6 試験ほ場の様子

### (2) NDVI値とSPAD値

図7にNDVI値の推移、図8にSPAD値の推移、図9にNDVIとSPADの相関関係を示す。

NDVI、SPADともに時期が進むにつれ値が小さくなっていった。これはバレイショの地上部が少しずつ黄化していき、光合成活性が落ちていったためである。

また、黄化期にあたる7月20日、7月27日のNDVI値とSPAD値のばらつきが大きくなった。これは黄化期の地上部で二次生長が発生し、新葉と黄化葉が混在していたため引き起こされた。このことから、生育初期のほうが生育後期よりもノイズが少なくデータのばらつきが小さいため、NDVIを用いたバレイショのモニタリングには生育初期が有効である。

また、NDVI値とSPAD値には高い相関が見られた。SPAD値は植物の葉に含まれるクロロフィル量を示す<sup>3)</sup>ことから、本研究のモニタリングシステムでバレイショ地上部のクロロフィル量を空撮画像から推定することができる。

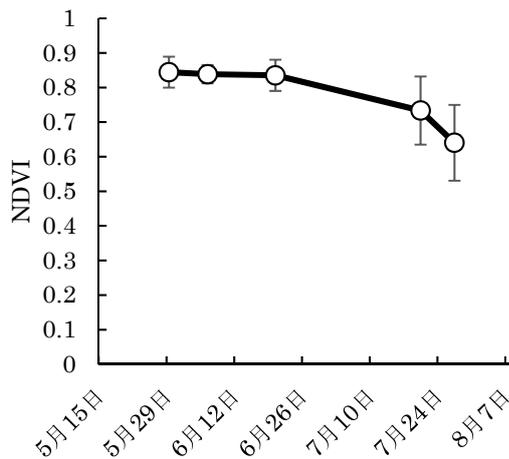


図7 NDVI 値の推移

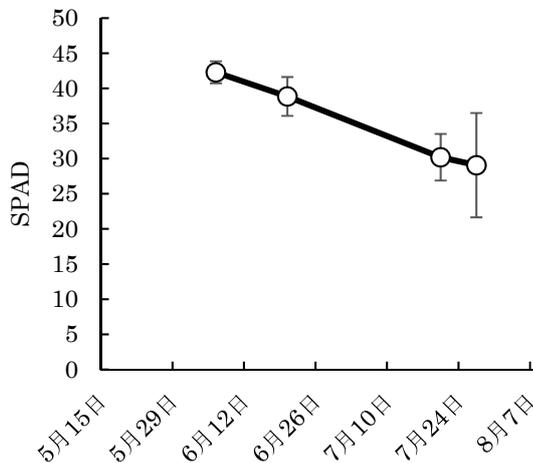


図8 SPAD 値の推移

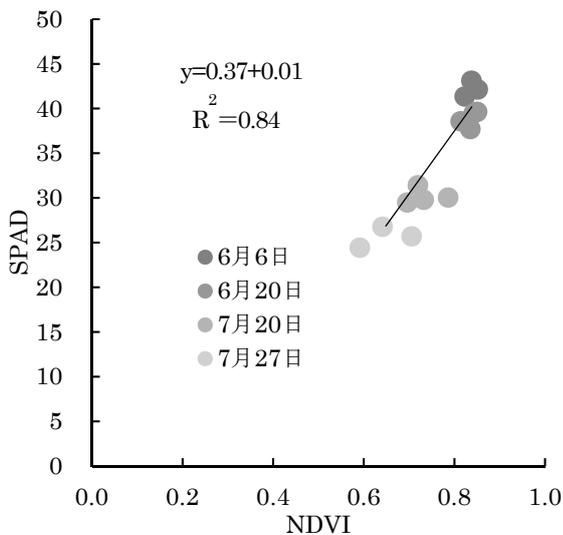


図9 NDVI と SPAD の関係

(3) バレイショ収量調査結果と NDVI との相関関係  
図10に各区のバレイショ収量を示す。

バレイショの平均収量は規格内品が2863kg/10a、規格外品が1984kg/10aとなった。また規格外収量のばらつきが大きくなった。規格外品の内訳で多かったものは小玉、食害、軟腐病であった。

表3に収量と各時期のNDVI値の相関係数を示す。生育初期のNDVI値と収量で相関のある傾向が見られ、時期が進むごとに相関は小さくなっていった。バレイショは萌芽後10~20日ごろに塊茎を形成する。すなわち、調査日の6月6日は萌芽日から算出して塊茎の形成期に該当し、窒素吸収量を増加させて塊茎の肥大促進に影響を及ぼしたと考えられる。

表3 収量と構成要素

	株あたりの塊茎数 (個株 <sup>-1</sup> )	平均塊茎重 (g個 <sup>-1</sup> )	収量 (kg10a <sup>-1</sup> )
規格内	5.7 (0.73)	110.2 (17.41)	2884.8 (523.89)
規格外	7.0 (2.13)	70.1 (24.52)	2298.4 (991.58)

注：括弧内の数値は標準偏差を示す

表4 収量および品質と NDVI の関係

撮影日	収量(kg/10a)			塊茎個数割合(%)			
	合計	規格内	規格外	規格内	小玉 (40g以下)	食害 (ケラ)	軟腐病
6月6日	0.48	0.18	0.73	0.49	0.06	0.37	0.27
7月13日	0.12	0.30	0.35	0.46	0.03	0.20	0.08
7月20日	0.01	0.20	0.02	0.01	0.05	0.26	0.10
7月27日	0.01	0.12	0.06	0.15	0.00	0.01	0.01

注：数値は決定係数R<sup>2</sup>を示す

#### 4. まとめ

本研究では UAV にマルチスペクトルカメラを搭載したモニタリングシステムでバレイショほ場を空撮し以下の結論を得た。

- 1) 空撮 NDVI 画像から植生の違いや黄化の進行が確認された。
- 2) NDVI 値と SPAD 値は時期が進むにつれ減少していった。これらの間には高い相関が見られた。
- 3) 塊茎形成期での NDVI 値は収量との相関が最も高かった。

#### 参考文献

- 1) 農林水産省, 平成 28 年農業構造動態調査  
<http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/noukou/index.html>, accessed October 31, 2013.
- 2) 鶴岡市, 農業農村振興計画  
<https://www.city.tsuruoka.lg.jp/sangyo/nourinsuisan/aguripran.html>  
accessed November 5, 2017.
- 3) コニカミノルタ  
<https://www.konicaminolta.jp/instruments/products/color/chlorophyll/index.html> accessed October 22, 2017.

# 寒冷地北部における水稲不耕起V溝直播の現地実証（第2報）

— 営農環境に応じた播種床造成方法による導入 —

野沢智裕・工藤忠之

## Field Demonstration Test for the V-furrow No-Till Direct Seeding in Northern Cold District

Part 2: Introduce technology by sowing method according to farming environment

Tomohiro NOZAWA, Tadayuki KUDO

〔キーワード〕 水稲, 乾田直播, 不耕起V溝直播, 播種床造成

### 1. はじめに

水稲不耕起V溝直播は、温暖地の愛知県農業総合試験場で開発された水稲栽培技術であるが、筆者らは、2008年に寒冷地北部の青森県で現地試験を実施し、当地においても、春に融雪水を利用して代かきを実施し、乾燥させて播種床造成を行うことによって導入可能な技術であることを明らかにし、前報で報告した。その後、(地独)青森県産業技術センター農林総合研究所では、寒冷地において安定的に栽培できる水稲直播技術とするための試験研究を行って技術を体系化し、2014年3月に「水稲V溝乾田直播栽培マニュアル」として取りまとめた。

これを受けて青森県農林水産部では、2015年度からの2年間、「水田農業の革新技術緊急普及事業」の中で、この技術を普及させるための実証栽培を現地生産者に委託して行い、筆者らが調査を担当した。この実証栽培では、生産者からの要望で、営農環境に応じた数種の播種床造成方法が試された。調査の結果、いずれの播種床条件でも実用的な栽培が可能であることを示す成績が得られたため、本報で報告する。なお、青森県では水稲不耕起V溝直播の呼称を水稲V溝乾田直播としているが、本報では、水稲不耕起V溝直播と記載する。

### 2. 方法

#### (1) 試験条件

- 1) 実証年次 2015～2016年
- 2) 実証場所 青森県田舎館村, 板柳町, 青森市, 七戸町
- 3) 供試機 代かき機, ロータリ, アップカットロータリ, パワーハロ, ケンブリッジローラ, 不耕起V溝直播機等



足跡深さ概ね2 cm以下の土壌の硬さを確保

図1 播種時の土壌条件(右写真の状態を目安とした)

- 4) 播種床造成方法 不耕起V溝直播機の播種精度を保つために、図1のように播種時の足跡深さが概ね2 cm以下となるような土壌条件(地耐力)を確保した。その方法は、各生産者の営農環境(気象・水利・機械装備・労働力等)において合理的と考えられるものとし、①代かき後乾燥, ②完全不耕起, ③浅耕, ④耕起後鎮圧の4種から選択した。
- (2) 栽培管理 「水稲V溝乾田直播栽培マニュアル」に準拠しつつ、除草方法や施肥等に適宜工夫を加えて栽培した。
- (3) 調査方法 水稲の生育は、一般的な調査基準に従った。労働時間は、生産者の作業日誌より集計した。

### 3. 結果・考察

#### (1) 実証栽培の全体概要

- 1) 播種日は、2015年が4月27日～5月1日、2016年が4月25日～27日であった。
- 2) 出芽期は概ね5月下旬で、出芽数は目標の100～140本/m<sup>2</sup>に対し、98～245本/m<sup>2</sup>と良好であった。
- 3) 出穂期は、2015年が8月1日～11日、2016年が8月8日～15日で、2015年より2016年が遅かった。い

れの地域でも安全出穂期内の出穂期であったため、遅れは問題にならない程度であったと判断された。

- 4) 成熟期は、2015年が9月18日～10月2日、2016年が9月22日～10月3日で、地域の慣行栽培（移植栽培）と比較して1週間～2週間程度の遅れとなったが、登熟は良好であった。このため、収穫作業は移植栽培との作業分散が図られた。
- 5) 全刈収量は525～720kg/10aと地域の平均収量対比で97～119%と良好な成績であった。
- 6) 検査等級は全て1等で品質も良好であった。

## (2) 各事例毎の成績

### 1) 田舎館村の事例

#### a. 播種床造成から播種までの作業体系

生産者は、直播と移植を組み合わせることで、作業期間の拡大と労力の分散を図ることをねらい、農閑期に播種床造成ができる「①代かき後乾燥」を選択した。

2015年は、前年秋にロータリ耕を行っておいて、3月下旬に融雪水を利用して代かき機を用いて代かきを行った。その後、圃場の乾燥を待ち5月1日に播種を行った。

2016年は、前年秋にロータリ耕後、秋の雨水で湛水状態となったため秋に代かきを行った。翌春、圃場の乾燥を待つて4月27日に播種した。

#### b. 出芽状況及び収量

出芽期は2015年が5月23日、2016年が5月20日で、出芽数は185～198本/㎡と目標(100～140本/㎡)と比べ良好だった。

全刈収量は、2015年が720kg/10a、2016年が697kg/10aで、地域平均収量より2割程度多かった。

#### c. 考察

2015年、2016年とも地域平均収量比120%前後の高収量を得ているため、「①代かき後乾燥」は寒冷地において実用的な播種床造成方法であることが再確認できた。

2016年の播種床造成方法とした前年秋の雨水を利用する代かきについては、天候によって困難な年もあると考えられるが、生産者は春作業の分散となり余裕ができたとして評価している。今後も代かき時期は、臨機応変に降雨や積雪の状況で秋と春に分散する意向であった。

### 2) 板柳町の事例

#### a. 播種床造成から播種までの作業体系

2015年は「②完全不耕起」とした。不耕起V溝直播機は、稲株や稲わらがあっても播種可能だが、稲わらに挟み込まれた種籾の多くは水分不足となって出芽しないため、稲わらを圃場から搬出してから4月30日に播種した。

2016年は、「①代かき後乾燥」とし、前年秋にロータリ耕を行っておいて、3月中旬に圃場にたまった融雪水を利用して代かきを行った。その後、圃場の乾燥を待つて、4月27日に播種を行った。

#### b. 出芽状況及び収量

2015年、2016年とも播種後、圃場が乾燥気味で経過し、出芽期は2015年が6月1日、2016年が5月29日と他の実証地より遅れた。出芽数は2015年が160本/㎡、2016年が98本/㎡で、目標数を確保した。2016年の出芽率は34.2%と低下したが、原因は覆土不足と播種後の土壌乾燥によるもので、湛水してから（調査後）遅れて出芽した個体が多く観察された。

全刈収量は2015年が580kg/10aで地域の平均収量と同等、2016年が667kg/10aで地域の平均収量より1割程度多かった。

#### c. 考察

生産者は法人経営であり、これまで移植栽培のみで50ha規模の作業を行ってきたが、直播栽培で作業分散を図りたいと考え、経営に適した直播栽培を模索していた。湛水直播（鉄コーティング）を試行したところ、播種床造成作業や播種作業が移植栽培の作業と競合し、期待に反したことから、今回、不耕起V溝直播を試した。

2015年に選択した「②完全不耕起」について、大幅な省力化が図れると生産者は考えていたが、稲わら処理作業に労力を要し、他の播種床造成方法より時間を要することが明らかになった。収量は地域平均収量比97%だったことから栽培的には問題はなかったと思われる。漏水田は論外だが、秋に稲わらを収集して耕畜連携に活用する場合にはこの方法も選択肢となり得ると考えられる。

2016年は、田舎館村の多収事例を参考に「①代かき後乾燥」を選択した。その結果地域収量比112%の多収が得られ、生産者は、代かきで播種床造成を行う不耕起V溝直播を導入する意向を示した。

### 3) 青森市の事例

#### a. 播種床造成から播種までの作業体系

2015年は、「③浅耕」を選択した。具体的には、水持ちの良い圃場を選び、4月下旬にロータリで浅く耕起した直後に播種した。ロータリによる浅耕は主に稲わら処理を目的としたものである。

2016年は、「④耕起後鎮圧」を選択した。具体的には、4月下旬にアップカッターロータリで耕起した直後にケンブリッジローラで圃場表面を鎮圧し、その後播種した。

#### b. 出芽状況及び収量

出芽期は2015年が5月23日、2016年が5月22日、出芽数は205～233本/㎡と、目標よりかなり多く確保した。

全刈収量は2015年が570kg/10a、2016年が600kg/10aで、地域の平均収量と同程度だった。

#### c. 考察

生産者は、これまでロータリシードによる乾田直播を実施してきたが、雪解けが遅い年には春作業に遅れが生じた経験から、計画的に作業が進められる播種床造成を望んだ。「①代かき後乾燥」は、乾燥に要する日数が予

想できないため、2015年は「③浅耕」、2016年は「④耕起後鎮圧」による播種床造成を選択した。「③浅耕」は、地域平均収量比99%と栽培上の問題はなかったが、水持ちの良い水田に限られるため、圃場を選ばず計画的に播種作業を実施するためには鎮圧を加えた「④耕起後鎮圧」が有利と考えて切り替えた。生産者は、従来のロータリシーダ直播より春作業が計画的に進行したと評価していて、今後もこの播種床造成で実施する意向であった。

#### 4) 七戸町の事例

- a. 播種床造成から播種までの作業体系  
生産者は「④耕起後鎮圧」を選択した。

2015年は、4月下旬にロータリ浅耕後、ケンブリッジローラで鎮圧し、播種した。

2016年は4月下旬にパワーハロで耕起後、ケンブリッジローラで鎮圧し、播種した。

#### b. 出芽状況及び収量

出芽数は2015年が245本/㎡、2016年が193本/㎡で目標より多く確保した。なお、2016年は出芽率が46.6%と2015年より25ポイント程度低下したが、これは除草剤の薬害によるものであり、播種床造成方法ロータリをパワーハロに変更した影響ではない。

全刈収量は2015年が525kg/10a、2016年が555kg/10aで、地域平均収量と同等であった。

表1 実証栽培成績（①代かき後乾燥及び②完全不耕起による播種床造成の事例）

実証場所		田舎館村		板柳町	
土壌タイプ		中粒質普通低地水田土		細粒質グライ化灰色低地土	
経営体		水稲を主とした 約25ha規模の個別経営		水稲を主とした 約50ha規模の法人経営	
年度	(年)	2015	2016	2015	2016
水稲直播面積	(ha)	17	17	3	3
供試面積	(a)	97	97	30	60
播種床造成方法		代かき後乾燥 秋にロータリ耕、 春に融雪水代かき		代かき後乾燥 秋にロータリ耕、 その後雨水代かき	
所要時間		耕起 0.33 代かき 0.42 計 0.75		耕起 0.33 代かき 0.42 計 0.75	
備考		39.0kWのホイルトラクタを使用		47.8kWのホイルトラクタを使用	
品種		まっしぐら (中生種)		つがるロマン (中生種)	
播種日	(月/日)	5/1		4/30	
播種量	(kg/10a)	8.0		7.5	
窒素施肥量	(kg/10a)	12.3 (基9.5+追2.8)		11.2 (基8.4+追2.8)	
出芽期	(月/日)	5/23		6/1	
出穂期	(月/日)	8/6		8/11	
成熟期	(月/日)	10/1		9/29	
出芽数	(本/㎡)	185		160	
出芽率	(%)	67.1		61.9	
稈長	(cm)	83.5		77.3	
穂長	(cm)	17.3		19.1	
穂数	(本/㎡)	620		460	
1穂粒数	(粒)	60.8		61.3	
倒伏程度	(0無-5甚)	2		0	
全粒数	(粒/㎡)	37,700		28,100	
玄米千粒重	(g)	24.8		25.7	
登熟歩合	(%)	81.7		85.5	
坪刈収量	(kg/10a)	764		618	
全刈収量	(kg/10a)	720		580	
地域平均収量比	(%)	119		97	
玄米蛋白質含有率(%、DB)		7.9		6.8	
検査等級	(等)	1		1	

注1) 播種床造成の所要時間は生産者の作業日誌より集計。

注2) 収量は水分15%に調製し、ふるい目1.9mmで選別した玄米重。実証試験地の全刈収量は生産者からの間取り。

注3) 地域平均収量比は、農林水産省が公表した当該年の水稲の市町村別収量（ふるい目1.7mm）を同省が公表した当該年の青森県のふるい目別収量から算出した係数を用いて1.9mmに換算した値に対する全刈収量の比率。

注4) 注1, 注2, 注3は表2も同様。

表2 実証栽培成績 (③浅耕及び④耕起後鎮圧による播種床造成の事例)

実証場所 土壌タイプ	青森市				七戸町				
	細粒質斑鉄型グライ低地土				多腐植質普通アロフェン質黒ボク土				
経営体	水稻を主とした 約70ha規模の個別経営				水稻と大豆の複合経営の 約100ha規模の法人経営				
年度	(年)	2015		2016		2015		2016	
水稻直播面積	(ha)	20		25		35		42	
供試面積	(a)	30		90		42		90	
播種床造成方法		浅耕		耕起後鎮圧		耕起後鎮圧		耕起後鎮圧	
		春にロータリ浅耕		春にアップカッター耕、 その後ケンブリッジローラ		春にロータリ浅耕、 その後ケンブリッジローラ		春にパワーハロ耕、 その後ケンブリッジローラ	
所要時間	(h/10a)	耕起	0.33	耕起	0.33	耕起	0.33	耕起	0.22
				鎮圧	0.33	鎮圧	0.13	鎮圧	0.13
		計	0.33	計	0.66	計	0.46	計	0.35
備考		47.8kWのホイルトラクタを使用				50.0kWのホイルトラクタを使用			
品種		ほっかりん (早生種)		ほっかりん (早生種)		まっしぐら (中生種)		まっしぐら (中生種)	
播種日	(月/日)	4/27		4/25		4/28		4/26	
播種量	(kg/10a)	9.3		8.0		10.0		12.0	
窒素施肥量	(kg/10a)	10.4 (基8.4+追2.0)		11.0 (基10.0+追1.0)		12.3 (全量基肥)		12.0 (全量基肥)	
出芽期	(月/日)	5/23		5/22		5/15		5/20	
出穂期	(月/日)	8/1		8/8		8/11		8/15	
成熟期	(月/日)	9/18		9/22		10/2		10/3	
出芽数	(本/m <sup>2</sup> )	205		233		245		193	
出芽率	(%)	63.9		84.5		71.1		46.6	
稈長	(cm)	69.0		71.5		75.3		75.1	
穂長	(cm)	16.7		16.2		16.9		17.2	
穂数	(本/m <sup>2</sup> )	510		570		425		440	
1穂粒数	(粒)	47.4		51.6		61.6		64.3	
倒伏程度	(0無-5甚)	0		0		0		0	
全粒数	(粒/m <sup>2</sup> )	24,300		29,400		26,300		28,300	
玄米千粒重	(g)	26.2		24.1		24.4		24.0	
登熟歩合	(%)	89.2		86.7		79.0		85.7	
坪刈収量	(kg/10a)	568		628		507		570	
全刈収量	(kg/10a)	570		600		525		555	
地域平均収量比	(%)	99		106		98		104	
玄米蛋白質含有率(%,DB)		7.5		7.4		7.0		7.0	
検査等級	(等)	1		1		1		1	

## c. 考察

七戸町の生産者も青森市の生産者と同様に経営規模が大きいことから計画的な作業を望み、「④耕起後鎮圧」を選択した。鎮圧前の耕起作業については、ロータリよりパワーハロが高効率であったことから、「④耕起後鎮圧」にはパワーハロが有利であると考えられる。

## 4. まとめ

生産者の営農環境(気象・水利・機械装備・労働力等)に応じた播種床造成方法で不耕起V溝直播機が利用できる圃場条件を整え、実証栽培に取り組んだ。その結果、各実証地で実用性を示唆する成績が得られた。

播種床造成方法として、「①代かき後乾燥」は秋冬の気候の影響を受けるが、農閑期への作業分散と多収生産

を実証した。「④耕起後鎮圧」は計画的な春作業を進めたい大規模生産者に適し、慣行並の生産性を実証した。

「②完全不耕起」、「③浅耕」も実用可能であった。

以上のように、不耕起V溝直播は数種の播種床造成方法の選択が可能で、様々な営農環境に導入できる自由度をもった水稻栽培技術であることが明らかになった。

## 参考文献

- 1) 愛知県農業総合試験場作物研究部, 不耕起V溝直播栽培の手引き(改訂第4版), 2007
- 2) 野沢智裕・横山裕正, 寒冷地北部における水稻不耕起V溝直播の現地実証, 農業機械学会東北支部報 No. 56, 13-16, 2009
- 3) 青森県産業技術センター農林総合研究所, 水稻V溝乾田直播栽培マニュアル, 2014

# 春季代かき水稲V溝乾田直播の播種後乾燥対策技術（第2報）

— 覆土装置の改良効果 —

野沢智裕

## Countermove Against the Dryness of the V-furrow Direct Seeding After the Spring-Puddling Seedbed Preparation

Part 2: Improvement effect of covering equipment

Tomohiro NOZAWA

〔キーワード〕 水稲, 乾田直播, 不耕起V溝直播, 覆土, 出芽

### 1. はじめに

水稲V溝乾田直播は、生産コストの低減、作業競合の解消や労働時間の削減などの効果が期待できることから、青森県農林水産部が県内への普及拡大を進めており、2017年の県内取組面積は248haとなった。

播種床造成方法としては、融雪水を利用して春に代かきを行って乾燥させる方法（春季代かき）が一般的である。しかしこの方法の場合、播種後の圃場の乾燥によって出芽が遅れる事例も散見されている。寒冷地の水稲直播栽培において、出芽の遅れは生育のばらつきや出穂遅延、除草剤散布適期が狭まる等の問題が発生する原因となることから、その対策が求められていた。

水稲V溝乾田直播は、播種時の土壤水分が高いと覆土不足になることが多い。これに播種後の降雨が極端に少ない条件が重なることで水稲種子が乾燥し、出芽遅れが顕著に発生する。筆者らは、この対処技術として、播種後に圃場が乾燥した段階で覆土を追加することが有効であること、また、その作業に代かき機が使用できることを明らかにし前報で報告した。

この度、播種機メーカーが、覆土不足を解消するために従来と構造の異なる覆土装置を開発し、オプション部品として販売を開始した。覆土不足が解消されると後作業で覆土を追加する必要がなくなることから、筆者はその効果を検討することとした。その結果、従来型の覆土装置に比べて出芽が早まることや生育が斉一化するなど、問題の解決方法となり得ることを示唆する結果が得られたため本報で報告する。

### 2. 方法

(1) 試験場所：青森県産業技術センター農林総合研究所

水田圃場（青森県黒石市田中、細粒質普通低地水田土）

(2) 供試機：不耕起V溝直播機（S社・AD-102、条間20cmの10条播き、40kWのトラクタに装着）

(3) 試験区の構成

10条ある覆土装置のうち、供試機の後方から見て右側5条に「かき棒型覆土装置」（以下、「改良型」）、左側5条を「分銅型覆土装置」（以下、「従来型」）を装着し、作業速度5km/h前後で播種した。圃場は達観評価で土壤水分の高い圃場（以下、播種時土壤水分「高め」）と適度に乾燥した圃場（以下、播種時土壤水分「適度」）を1筆ずつを供試した。播種時土壤水分「高め」は、どうか播種作業が可能な地耐力を有しているものの、「従来型」では覆土不足で水稲種子が露出する圃場である。一方、播種時土壤水分「適度」は、播種作業に十分な地耐力を有し、「従来型」でも覆土可能な圃場である。なお、供試圃場の土壤は塑性限界が土壤含水比30%、液性限界が土壤含水比53%で、播種時土壤水分「高め」は土壤含水比が40%程度、播種時土壤水分「適度」は土壤含水比が30%程度である。

以上のような条件で、播種時土壤水分条件2水準×覆土装置2水準の4試験区を設置した。

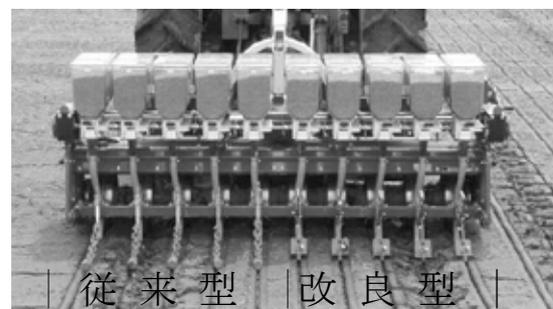


図1 試験時の覆土装置の取付状況

(4) 耕種概要

2015年3月31日～4月1日に代かき。同年4月28日に播種時土壌水分「高め」に播種。4月30日に播種時土壌水分「適度」に播種。使用種子は中生品種「まっしぐら」の浸種籾（チウラム剤塗抹処理）。使用肥料はLPコート100日タイプとし、播種時土壌水分「適度」圃場では尿素を追肥。湛水管理は5月29日以降とした。試験処理の効果攪乱を避けるため、走水は実施しなかった。

(5) 気象経過

2015年の根雪終わりは3月27日で、平年より4日遅かった。加えて4月上旬の気温が低温傾向で推移した。そのため圃場の乾燥が遅れ、例年では播種期となる4月第6半旬になっても、ほとんどの圃場の乾燥は不十分であ

った。播種後、降水量は5月第3半旬を除いては平年より大幅に少なかった。気温は高温傾向で推移した。そのため、圃場は過乾燥状態となった。

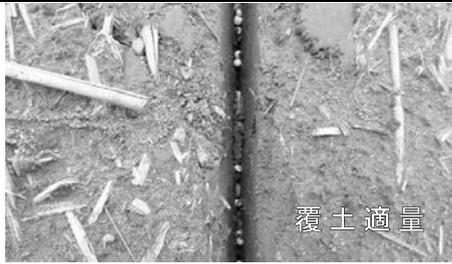
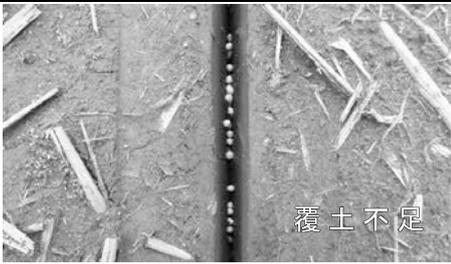
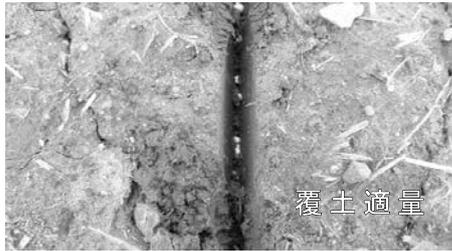
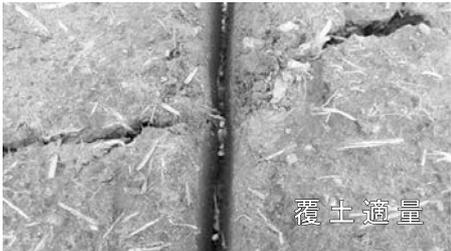
なお、このような気象条件は、出芽が遅れる事例が多くなる典型的なパターンである。

3. 結果・考察

(1) 供試した覆土装置の特徴

「従来型」、「改良型」とも、土壌作用部がV字状の播種溝の上部を移動し、その際に発生する摩擦力によって土を削り落として覆土する仕組みである。覆土量は水稻種子が僅かに隠れる程度が良く、覆土量が多過ぎると

表1 覆土装置の特徴

項目		改良型	従来型
土壌作用部		かき棒	分銅
覆土原理		播種溝上部の土壌を摩擦力で削り落とす	同左
摩擦力獲得方法		ばねの弾性力	分銅の重さ
外観写真			
播種直後の覆土状況の写真	播種時土壌水分「高め」		
	播種時土壌水分「適度」		

出芽の障害となるため、「従来型」は、鎖の先端に取り付けた分銅を土壤に作用させ、少量の土で覆土する構造となっている。分銅が土壤表面を押さえつける力は11N前後であるが、土壤は水分が高いと粘性があるため、削り落とされる土量が極端に少なくなる。また、播種溝の土壤表面に凹凸があると分銅が跳動して正常に作用しないこともある。これにより覆土不足が発生する。

一方、「改良型」は、土壤作用部となるかき棒を、ばねの弾性力で地面に30～35Nの力で押さえつける構造と

なっている。このため、土壤作用部がV字状の播種溝の上部を移動する際に土壤に作用する力が強く、土壤表面への追従性も向上している。

表1の写真に示したように、播種直後の覆土状況は、「従来型」では播種時土壤水分「高め」条件で覆土不足となったが、「改良型」では適度な覆土量が確保できることが確認された。また、「改良型」は播種時土壤水分「適度」条件でも覆土が多すぎることはなく適度な覆土量となった。

表2 各区の水稲生育調査結果

播種時土壤水分 区名（覆土装置）	高め		適度	
	改良型	従来型	改良型	従来型
施肥窒素量 (kg/10a)	10.3		10.0+2.0	
播種量 (kg/10a)	9.0		7.5	
播種期 (月・日)	4月28日		4月30日	
出芽始め期 (月・日)	5月14日	5月18日	5月14日	5月17日
出芽期 (月・日)	5月19日	5月23日	5月19日	5月20日
出芽揃い期 (月・日)	5月24日	5月25日	5月24日	5月24日
出芽数 (本/m <sup>2</sup> )	236	233	205	190
出芽率 (%)	76.0	75.1	79.3	73.5
出穂期 (月・日)	8月4日	8月6日	8月4日	8月5日
成熟期 (月・日)	9月23日	9月23日	9月23日	9月23日
倒伏程度 (0無-5甚)	0	0	1	1
稈長 (cm)	81.5	82.8	81.2	83.5
穂長 (cm)	18.2	18.2	17.9	17.7
穂数 (本/m <sup>2</sup> )	475	495	515	505
1穂粒数 (粒)	63.3	63.7	65.2	65.6
総粒数 (粒/m <sup>2</sup> )	30,000	31,500	33,700	33,100
登熟歩合 (%)	90.0	85.4	84.2	83.6
玄米千粒重 (g)	24.7	24.9	24.5	24.6
粗玄米重 (kg/a)	69.7	70.3	73.6	76.5
精玄米重 (kg/a)	66.8	66.9	69.6	68.0
検査等級 (等)	1	1	1	1
玄米タンパク質含有率 (%)	7.7	7.6	8.2	8.1

(注) 土壤水分は遠観による評価。「高め」は、トラクタ車輪の沈下が僅かで、播種可能な地耐力を有しているものの、従来型覆土装置では覆土不足で種粒が露出する土壤水分の状態。

「適度」は、十分な地耐力を有し、従来型覆土装置でも適度な覆土ができる土壤水分状態。

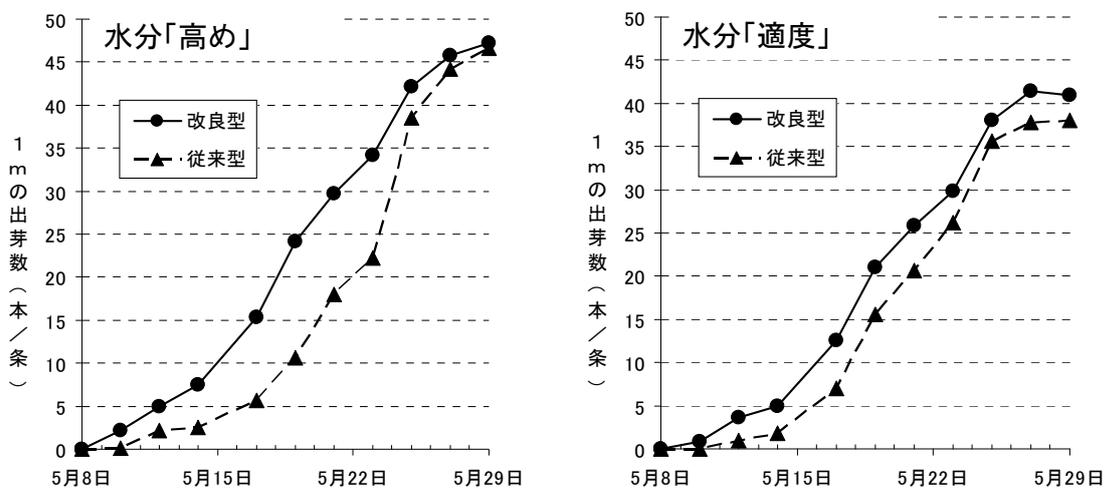


図1 各区の出芽数の推移

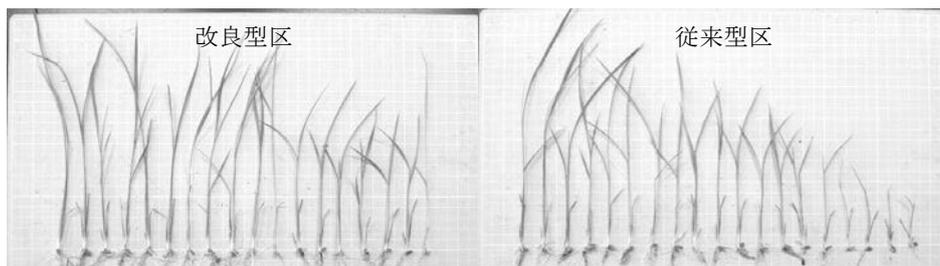


写真1 播種時土壌水分「高め」条件の苗立ち個体（6月8日撮影）

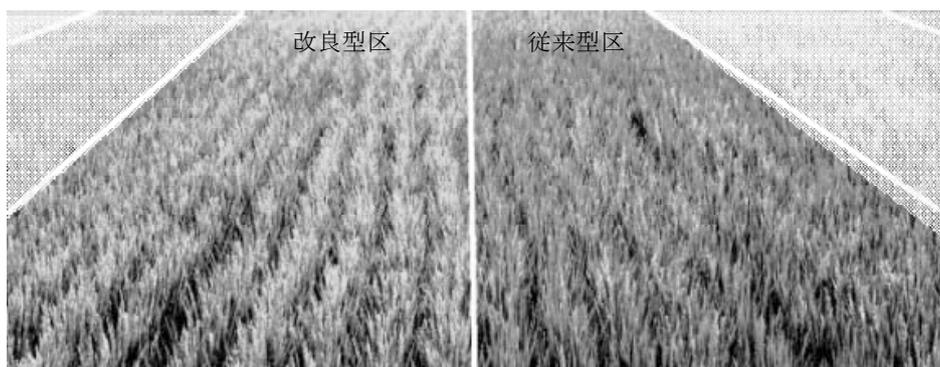


写真2 播種時土壌水分「高め」条件の出穂状況（8月7日撮影）

## (2) 覆土装置の改良効果

### 1) 生育の差異

#### a. 播種時土壌水分「高め」の条件の場合

「改良型」は、「従来型」に比べて、出芽始め期と出芽期が4日早く、出芽揃い期が1日早かった。出芽率は同等であった。苗立ち個体の生育は斉一化していた（写真1）。出穂期は2日早かった（写真2）。成熟期は同日で、収量や品質は同等であった。

#### b. 播種時土壌水分「適度」の条件の場合

「改良型」は、「従来型」に比べて、出芽始め期が3日早く、出芽期が1日早く、出芽揃い期は同日であった。出穂期は1日早かった。成熟期は同日で、収量や品質は同等であった。

### 2) 播種後乾燥対策技術としての評価

出芽期を、下限温度を11.5℃とする有効積算法で50℃に到達する日と仮定すると、播種時土壌水分「高め」圃場では5月15日、播種時土壌水分「適度」圃場では5月19日となる。

これに対して、「従来型」では播種時土壌水分「高め」で8日遅れ、播種時土壌水分「適度」で1日遅れ、「改良型」では播種時土壌水分「高め」で4日遅れに短縮し、播種時土壌水分「適度」で同日で、遅れは解消された。

これらの結果は、改良型覆土装置が出芽遅れを緩和したことを示唆しており、改良型覆土装置が播種後土壌乾燥による出芽遅れの対策技術として有望と考えられる。

## 4. まとめ

春季代かき水稲乾田V溝直播で、播種後の圃場乾燥によって出芽が遅れる事例が散見されていたため、その対策技術として改良型覆土装置の有効性を検討した。

出芽遅れを誘発する播種時土壌水分の高い条件で改良型覆土装置を用いた結果、従来型覆土装置を用いた場合に比べ、出芽始め期と出芽期が4日早まり、苗立ち期の生育は斉一化することが確認された。適水分条件では、出芽始め期が3日、出芽期が1日早まった。改良型覆土装置は、従来型覆土装置に比べて出芽遅れを緩和していることが確認された。

以上の結果から、改良型覆土装置は、春季代かき水稲V溝乾田直播の課題であった播種後土壌乾燥による出芽遅れの対策技術として有望である。

## 参考文献

- 1) 愛知県農業総合試験場作物研究部, 不耕起V溝直播栽培の手引き(改訂第4版), 2007
- 2) 野沢智裕・工藤予志夫, 春季代かき水稲V溝乾田直播の播種後乾燥対策技術, 農業食料工学会東北支部報 No.60, 51-56, 2013
- 3) 青森県産業技術センター農林総合研究所, 水稲V溝乾田直播栽培マニュアル, 2014

# 営農再開に向けた除染後農地での露地野菜等の試験栽培

竹倉憲弘\*・山下善道\*\*・金井源太\*\*・根本知明\*\*\*・薬師堂謙一\*\*\*\*

## Open Field Vegetable Production in Decontaminated Farmland As an Attempt for Resumption of Farming

Kazuhiro TAKEKURA・Yoshimichi YAMASHITA・Genta KANAI・Tomoaki NEMOTO・Kenichi YAKUSHIDO

### Abstract

Some vegetables were demonstrated to be produced without exceeding the food standards of radioactive cesium (RCs) density in decontaminated field that is located about 40 km northwest from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station.

The decontamination of field had been held as following process after the nuclear power station accident. The surface soil of the field was removed up to 5 cm depth and the field was filled with borrow soil that is sometimes sand or less fertile. To reduce RCs uptake by plants, the soil of the field was controlled to have exchangeable potassium more than 40 mg/100 g by application of manure and fertilizer. The RCs density of the soil was 106-122 Bq/kg at 2015.

Examined plants were potato, dasheen, sweet corn and dent corn. All of the plants have had enough yield compared to standard of Fukushima prefecture and enough low value of RCs density compared to the food standard, 100 Bq/kg.

[Keywords] 農地除染, 営農再開, 露地野菜, 鳥獣害対策, 農地保全

### 1. はじめに

2011年3月の東京電力福島第一原子力発電所事故(以下、原発事故)による放射性物質の拡散により、福島県をはじめとする東北地方および関東地方の太平洋側の各地が放射性物質で汚染された。福島県内では福島第一原子力発電所から半径20 km圏内を警戒区域、20 km圏外の放射線量の高い地域が計画的避難区域および緊急時避難準備区域に指定され、警戒区域および計画的避難区域では区域外への住民の避難が行われ、営農が制限されることとなった。2012年4月には、放射線量に応じた避難指示区域の再編が行われ、帰還困難区域、居住制限区域、避難指示解除準備区域の3つの区域に見直された。帰還困難区域および居住制限区域では引き続き営農が制限されたが、避難指示解除準備区域では営農再開できるようになった。その後、避難指示の解除および住民の帰還が地域ごとに段階的に行われ、2017年3月末までに帰還困難区域を除く大部分の地域の避難指示が解除されるに至り、住民の帰還とともに営農も徐々に再開している。

避難指示区域のうち、太平洋沿岸の地域(浜通り沿岸部)は比較的温暖な気候で水稻や園芸作物の栽培が盛んであった。一方、内陸部の地域(阿武隈地域)は気候が冷涼で、畜産や葉たばこの生産が盛んな地域であった。これら避難指示区域の農地では、原発事故により長期にわたり営農が行われなかったため、雑草の繁茂等の荒廃が見られた。また、農地の除染が順次行われたものの、とくに表土削り取りによる除染では、表土を5 cm程度除去した後に客土として山砂が投入される状況も見られ、地力低下が懸念されている。さらに、帰還後の営農再開にあたり、生産基盤等の営農環境の変化や農家自身の高齢化等により、原発事故前とは異なる作目の生産を

検討する農家の意向も見られる。

これらの状況を踏まえて、避難指示区域での営農再開を推進していくための各種の試験栽培が、福島県農業総合センターや国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構(農研機構)等の試験研究機関、大学等により実施されてきている<sup>1)</sup>。著者等は、露地野菜等の栽培による営農再開の可能性を明らかにするため、阿武隈地域の除染後農地において放射性物質の吸収抑制対策を行いながら実証的な露地野菜等の試験栽培を行った。その結果、放射性Cs濃度が一般食品の基準値以下になるとともに、福島県経営指標等の生産量を目標とした収量が得られることを実証したので本稿で報告する。なお、本稿で報告する試験栽培は、福島県農業総合センター 浜地域農業再生研究センターと農研機構の東北農業研究センターおよび中央農業研究センターが共同で行ったものである。施肥設計および収量調査等を福島県農業総合センターが、圃場作業および放射性Cs濃度測定等を農研機構が分担して担当した。

### 2. 試験栽培圃場

試験栽培を行った圃場は、福島県伊達郡川俣町の避難指示区域(試験時点では避難指示解除準備区域、2017年3月31日付で避難指示解除)にある4筆、合計133 aの畑地の傾斜圃場である。この圃場は、農林水産省の農地除染対策実証事業<sup>2)</sup>により2012年に周囲の水田6.1 ha、畑地4.1 haの計10.2 haとあわせて表土削り取りによる除染が行われ、削り取り後の客土には一部に山砂が投入された。2015年の収穫後に試験栽培圃場の作土層の土壌を採取し測定した放射性Cs濃度は、106~122 Bq/kgであった。試験栽培以前は、圃場の一部で露地野菜および小麦の試験栽培が行われていたほか

\* : 農研機構 中央農業研究センター(茨城県つくば市観音台2-1-18)

\*\* : 農研機構 東北農業研究センター(福島県福島市荒井字原宿南50)

\*\*\* : 福島県農業総合センター 浜地域農業再生研究センター(福島県南相馬市原町区萱浜字巢掛場45-169)

\*\*\*\* : 農研機構 九州沖縄農業研究センター(熊本県合志市須屋2421)

は、ホワイトクローバー、イタリアンライグラス、フェストロリウム等の牧草を栽培し管理されていた。

### 3. 圃場準備

#### (1) 除草剤散布

2015年、2016年ともに3月末にブームスプレイヤー（丸山製作所 BSM-420S）で除草剤（ラウンドアップマックスロード、75～100倍、90～100 L/10 a）を圃場全体に散布した（写真1）。



写真1 除草剤散布



写真2 明渠施工



写真3 ロータリー耕耘



写真4 堆肥施用

#### (2) 明渠施工

圃場の排水性改善および周辺圃場等からの土壌の流入防止のため、2015年、2016年ともに3月下旬から4月中旬にかけて、圃場1筆ごとの外周に明渠溝堀機（ヤンマーUS535、ニプロ RD-252）で明渠を施工した（写真2）。

#### (3) ロータリー耕耘

2015年、2016年ともに4月中旬から5月中旬にかけて、ロータリー（クボタ KL44Z、クボタ RM180Z）により耕耘した（写真3）。2015年については、試験栽培初年度であり、前作として牧草が栽培されていたことから、耕耘は1筆ごと3～6回行った。2016年のロータリー耕耘は1筆ごと1～2回であった。2015年は、サトイモおよびスイートコーンの栽培圃場については、5月中下旬にロータリー（マッセイファーガソン 5465、MASCHIO C250）による深耕を行った。

#### (4) 堆肥施用

放射性セシウムの吸収抑制対策として、堆肥中のカリ成分による土壌改良を行った。2015年、2016年ともに4月中下旬に、マニュアルスプレッダー（マッセイファーガソン 5465、デリカ DXT-1700）で圃場全体に牛糞粗穀堆肥の施用を行った（写真4）。土壌分析結果をもとに交換性カリ含量が40 mg/100 g以上になるように、堆肥施用量は2 t/10 a（窒素およびリン酸成分11 kg/10 a、カリ成分27 kg/10 a）とした。2016年のスイートコーン栽培圃場のみ堆肥施用量を可変させ、3つの施用区（0, 2, 4 t/10 a）を設けた。

### 4. バレイショの試験栽培

#### (1) 植付

2015年の試験栽培に用いた品種はメークインで、圃場面積は20.2 a（1畝約60 m），前作は牧草（イタリアンライグラス）であった。2016年はキタアカリを用い、面積は5 a（1畝約30 m）で、前作は小麦であった。植付前の種芋にベンレート水和剤（種芋量に対し0.3%）を粉衣した。また、肥料として被覆尿素肥料（LPコート100、2015年：40 kg/10 a（窒素成分17 kg/10 a）、2016年：30 kg/10 a（窒素成分13 kg/10 a））を散粒器で全層施肥した。施肥量は福島県の施肥基準に準じたもので、以下の他の作目においても同様である。さらに、2015年は虫害防除剤（ダントツ粒剤、6 kg/10 a）を手で条撒きした。圃場への種芋の植付は、2015年は4月27～28日に、2016年は4月26日に、エイブルプランター（ヤンマーAF326JR、鋤柄農機 TAP-110M）で高畝を成形しながら行った（写真5）。条間は90 cm、株間は27 cm、栽植密度は5,300 株/10 aであった。作業能率は2015年が約165 min/10 a、2016年が約130 min/10 aであった。

2015年のメークインはSサイズおよびMサイズを切断せず丸のまま用いたが、Mサイズはエイブルプランターのコンベアに挟まり搬送部の回転が停止し、植付が中断する場合があった。2016年に用いたキタアカリではコンベアでの挟まりは発生しなかった。

植付後に2015年は除草剤（ゴーゴーサン散粒剤F、6 kg/10 a）を手巻きで全面散布した。2015年は除草剤の効きが悪く、これは植付後にしばらく降雨がなく圃場が乾燥していたためと考えた。そこで、2016年はゴーゴーサン乳剤（100 L/10 a）を背負動噴（丸山製作所 MSB1100Li）で全面散布した。

## (2) 栽培管理

2015年は5月18日にロータリーカルチ（クボタ GR16-75、ニプロ RM-313HKA）で中耕を、5月28日および6月8日に中耕培土を行い（写真6）、6月11日に土寄せ機（オーハシ ST-302）で土寄せを行った（写真7）。また、6月17日にブームスプレーヤー（クボタ GR16-75、丸山製作所 KBM-410）でリドミル MZ 水和剤（600倍、300 L/10 a）を散布し（写真8）、7月6日にエンジン式動力噴霧機（丸山製作所 MS5000ENR-2K）でホライズンドライフロアブル（1,000倍、100 L/10 a）を散布した。



写真5 バレイショ 植付



写真6 バレイショ 中耕培土



写真7 バレイショ 土寄せ



写真8 バレイショ 防除

2016年は6月3日に中耕を、6月17日に中耕培土を行い、土寄せは行わなかった。そして、6月17日にホライズンドライフロアブル（1,000倍、300 L/10 a）を散布した。

## (3) 収穫

2015年の収穫作業は、8月3～4日および18～19日に自走式掘取機（ニプロ GRA650）で行った（写真9）。自走式掘取機では搬送部での茎葉の絡まりが発生するなどにより、1畝60mの収穫作業に17分程度かかるほど時間を要したことから、トラクタ装着タイプのコンベア式掘取機（ヤンマーEF116、ニプロ BL65 FDG-4S）によりバレイショを掘り上げ、クローラー運搬車で追従しながら手作業で拾い上げる体系について検討した。その結果、掘り上げに要する時間は1畝5分程度で、自走式掘取機より効率的と判断した。収量は3.9 t/10 aで、目標収量3.0 t/10 aを上回った。放射性Cs濃度（ $^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$ 、以下同様）は2.66 Bq/kg・FWで、一般食品の放射性Csの基準値100 Bq/kgを下回った。

2016年は前年の反省のもと、収穫作業前の7月20日に残穂処理機（マメトラ MH851E）を用いて茎葉の刈り払いを行った（写真10）。収穫作業は7月25日にコンベア式掘取機で掘り上げてクローラー運搬車で追従しながら手作業で拾い上げた（写真11）。掘り上げの



写真9 バレイショ 収穫（自走式掘取機）



写真10 バレイショ 茎葉刈り払い



写真11 バレイショ 収穫（コンベア式掘取機）

作業能率は約 200 min/10 a であり、拾い上げも含めた作業能率は約 340 min/10 a であった。収量は 3.1 t/10a で、目標収量 3.0 t/10 a を上回った。放射性 Cs は検出されなかった (検出限界値 3.0 Bq/kg)。

## 5. サトイモの試験栽培

### (1) 植付

栽培品種は 2015 年、2016 年はともに石川早生および土垂を用いた。2015 年の栽培面積は 11.6 a (石川早生 5.1 a, 土垂 6.5 a) で、前作は牧草 (フェストロリウム) であった。2016 年は 5 a (石川早生 3.2 a, 土垂 1.8 a) で、前作は小麦であった。両年の両品種とも、条間は 90 cm, 株間は 30 cm で、栽植密度は 2,800 株/10 a であった。

2015 年の石川早生は、4 月 16 日にベンレート水和剤 (親芋量に対し 0.5 %) を親芋に粉衣し、パイプハウス内に列状に土中埋設して芽出した (写真 12)。5 月 14 日に被覆尿素肥料 (LP コート 100, 30 kg/10 a (窒素成分 13 kg/10 a)) を散粒器で全層施肥し、エイブルプランター (ヤンマー AF326JR, 鋤柄農機 TAP-110M) で高畝の成形、マルチ敷設を行った (写真 13) 後、野菜移植機 (キセキ PVH1-90) で親芋の植付を行った (写真 14)。土垂については、芽出しおよび畝立、マルチ敷設を行わず、被覆尿素肥料 (LP コート 100, 30 kg/10 a (窒素成分 13 kg/10 a)) を散粒器で全層施肥し、野菜移植機で平畝に植付を行った。植付作業時には、石川早生の場合は野菜移植機のホッパー部に芽が上向きになるよう親芋を供給したため、植付後の親芋は概ね芽が上向きになっていた。一方、土垂は芽出しおよびマルチ敷設を行わなかったため、出芽が大幅に遅れた。試験地は標高が 600 m ほどあり気温が低いこともあり、芽出しおよびマルチ敷設は必要であると判断した。植付後しばらく降雨がなかったため、適宜灌水を行った。

2016 年は、石川早生については 4 月 13 日および 4 月 25 日にベンレート水和剤 (親芋量に対し 0.5 %) を粉衣し、培土を入れた育苗箱内に埋設し、ガラス温室内で水に浸漬させ芽出した (写真 15)。5 月 16 日に被覆尿素肥料 (LP コート 100, 30 kg/10 a (窒素成分 13 kg/10 a)) を手で畝内に局所施肥し、エイブルプランターで高畝の成形、マルチ敷設を行った後、手作業で植付を行った。土垂については芽出し作業は行わず、5 月 18 日に上記と同様の方法で植付を行った。植付作業の作業能率は約 340 min/10 a であった。土垂は芽出しを行わなかったが、植付約 1 ヶ月後には出芽した。前年は植付後に灌水を行ったが、2016 年は降雨があったため行わなかった。

### (2) 栽培管理

2015 年は 6 月 2~3 日および 7 月 28~30 日に株元の手除草を、6 月 30 日、8 月 20 日に刈払機による畝間の刈り払いを行った。6 月 17 日および 7 月 21 日には、背負動噴 (丸山製作所 MSB1100Li) で除草剤 (バスタ, 100 倍, 60 L/10 a) を畝間に散布した。

2016 年は 6 月 22 日および 9 月 5 日に株元の手除草を、9 月 28 日にハンマーナイフモア (パロネス HMA80) による畝間の刈り払いを行った。7 月 1 日には、背負動噴で除草剤 (バスタ, 100 倍, 100 L/10 a) を畝間に散布した。また、9 月に入りハスモンヨトウの若齢幼虫による食害が一部に見られたため、9 月 5 日にエンジン式動力噴霧機 (丸山製作所 MS5000ENR-2K) で殺虫剤 (アディオン乳剤, 2,000 倍, 60 L/10 a) を散布した。



写真 12 サトイモ 芽出し (2015 年)



写真 13 サトイモ 畝立, マルチ敷設



写真 14 サトイモ 植付 (2015 年)



写真 15 サトイモ 芽出し (2016 年)



写真 16 サトイモ 掘り上げ

### (3) 収穫

2015年の収穫作業は、10月5～6日に行った。地上部を高さ10cmほどで手鎌で刈り取った後、トラクタ装着タイプのコンベア式掘取機（ヤンマーEF116、ニプロBL65FDG-4S）を用いて掘り上げ（写真16）、乾燥促進のために手作業で株を反転させた。その後、圃場にて付着した土壌を乾燥させた後、10月14～15日に圃場内で親芋、子芋、孫芋に選別する作業を行った。選別作業に要した時間は、8人作業で約8時間であった。石川早生の収量は2.8 t/10aで、目標収量1.5 t/10aを上回った。放射性Cs濃度は0.21 Bq/kg・FWで、一般食品の放射性Csの基準値100 Bq/kgを下回った。

2016年の収穫作業は、10月17～20日に前年と同様の方法で行った。掘り上げ作業の作業能率は約360 min/10aであった。その後、圃場にて付着した土壌を乾燥させた後、10月19～20日に圃場内で親芋、子芋、孫芋に選別する作業を行った。石川早生の収量は1.5 t/10aで、目標収量1.5 t/10aと同等であった。放射性Csは検出されなかった（検出限界値3.5 Bq/kg）。

## 6. スイートコーンの試験栽培

### (1) 播種

2015年、2016年ともに、栽培品種はおひさまコーン88で、栽培面積は14.4a、条間75cm、株間26cmで、栽植密度は5,100本/10aであった。両年とも使用した圃場は同じで、前作は牧草（イタリアンライグラス）であった。2015年は5月25日に被覆尿素肥料（LPコート100、80kg/10a（窒素成分34kg/10a））を散粒器で全層施肥した後、シーダーマルチャー（ヤンマーEF116、日本プラントシーダーSDM-T3547F）で平畝を形成しながら、マルチ敷設を行わず播種を行った（写真17）。播種後にローラーで転圧した後、ブームスプレイヤー（丸山製作所BSM-420S）で除草剤（ゲザノンゴールド、500倍、100L/10a）を散布した（写真18）。



写真17 スイートコーン 播種 (2015年)



写真18 スイートコーン 除草剤散布

2016年は5月25日に被覆尿素肥料（LPコート100、80kg/10a（窒素成分34kg/10a））を散粒器で全層施肥した後、畝立およびマルチ敷設は行わず、真空播種機（マッセイファーガソン382、タカキタJS4102）で播種した。翌日にK型ローラー（クボタKL44Z、IHIスターTKR2020）で転圧を行った後、6月17日にブームスプレイヤー（丸山製作所BSA-500E1）で除草剤（ゲザノンゴールド、400倍、100L/10a）を散布した。また、6月16日に虫害対策としてダイアジノン粒剤5を手で条撒きした。

### (2) 栽培管理

2015年は6月25日にロータリーカルチ（クボタGR16-75、ニプロRM-313HKA）で中耕培土を行った。病害虫の防除のため、雄徳伸長開始時期の7月21日にカスケード乳剤（2,000倍、180L/10a）を、雌穂絹糸抽出期の7月31日および8月11日にプレバソンプロアブル5（2,000倍、200L/10a）をそれぞれエンジン式動力噴霧機（丸山製作所MS5000ENR-2K）で散布した。

2016年は7月7日にロータリーカルチで中耕培土を行った。また、7月26～27日、8月4日に手作業で株元を中心とした除草を行った。病害虫防除のため、雄徳伸長開始時期の7月20日にプレバソンプロアブル5（2,000倍、200L/10a）を、8月5日にアディオソル乳剤（2,000倍、140L/10a）をそれぞれエンジン式動力噴霧機で散布した。

### (3) 収穫

2015年は8月26～27日に手もぎで子実全量を収穫した。7人作業で作業時間は計5時間であった。子実の収量は1.9 t/10aで、目標収量1.5 t/10aを上回った。放射性Cs濃度は0.37 Bq/kg・FWで、一般食品の放射性Csの基準値100 Bq/kgを下回った。

2016年の収穫は9月1日に行った。8月中旬に襲来した台風7号および9号の影響で、圃場全体に倒伏被害が出た。そのため、収穫は堆肥0 t/10a区の一部、2 t/10a区および4 t/10a区については株の最上部の子実のみ収穫した。収量は堆肥0 t/10a区で1.3 t/10a、2 t/10a区で1.6 t/10a、4 t/10a区で1.7 t/10aで、堆肥2 t/10a以上の区では目標収量1.5 t/10aを上回った。放射性Csは検出されなかった（検出限界値4.5 Bq/kg）。

## 7. デントコーンの試験栽培

### (1) 播種

品種は2015年がスノーデント108、2016年がスノーデント125Tであった。圃場面積は2015年は32.7aで、前作は牧草（フェストロリウム）であった。2016年は45a圃場2筆の計90aで、うち1筆の前作はデントコーンおよびサトイモで、もう1筆はバレイショであった。両年とも条間は75cm、株間26cmで、栽植密度は5,100本/10aであった。

2015年の播種は、5月27日に真空播種機（マッセイファーガソン382、タカキタJS4102）で播種同時側条施肥を行った（写真19）。肥料は化成複合肥料（NN444）で、施肥量は100kg/10a（窒素成分14kg/10a）であった。また、虫害対策としてダイアジノン粒剤5を圃場全体で12kg散布した。播種作業時間は1時間であった。播種後にローラーで転圧した後、ブームスプレイヤー（丸山製作所BSM-420S）で除草剤（ゲザノンゴールド、500倍、80L/10a）を

散布した。散布濃度および散布量は規定通りであったが、除草剤の効きが悪かった。これは播種前後に降雨がほとんどなく、圃場が非常に乾燥した状態であったことが一因であると思われる。降雨が少なく圃場が乾燥している場合には、散布量を増やす必要がある。

2016年は5月26日に前年と同様の方法で播種を行い、肥料は窒素46%粒状尿素(尿素46)を33kg/10a(窒素成分15kg/10a)とダイアジノン粒剤5を標準量散布した。播種作業能率は10min/10aであった。播種後にK型ローラー(クボタKL44Z, IHIスターTKR2020)で転圧した(写真20)。前年の播種直後の除草剤(ゲザノンゴールド)が効かなかったことから、2016年は4~5葉期に他の除草剤とまとめてゲザノンゴールドを散布することとして、播種直後の散布は行わなかった。

### (2) 栽培管理

2015年は、6月17日にブームスプレイヤー(丸山製作所BSM420S)で除草剤(ワンホープ乳剤, 800倍, 100L/10a)を散布した(写真21)。ワンホープ乳剤はイチビには効果がないことから、7月6~7日に手作業でイチビを除草した。

イチビにも効果がある飼料用トモロコシ用の除草剤としてアルファード液剤が登録されたことから、2016年はアルファード液剤の使用と、ワンホープ乳剤とイチビの選択的除草剤であるシャドー水和剤の混合散布の効果を検討することとした。すなわち、圃場を2区画に分け、一方の区画はゲザノンゴールドとアルファードを、もう一方の区画はゲザノンゴールド、ワンホープ乳剤、シャドー水和剤を、ブームスプレイヤーを用いて6月17日に散布した。どちらの区画も変わらず雑草の除草および生育抑制の効果が見られ、イチビもほとんど確認できなかった。

### (3) 収穫

2015年は10月13日に汎用型飼料収穫機(タカキタSMR1000)および自走ラップマシーン(タカキタSW1120DM)を用いて収穫を行った。SMR1000には、ロックロップアタッチ(SMR-RC)を装着して使用した(写真22)。収穫梱包したロールの個数は25個で、収量は3.0t/10a、ロール1個あたりの質量は平均396.2kgであった。収穫機の作業速度は0.85m/s、梱包まで含めた作業能率は0.6h/10aであった。放射性Cs濃度は2.23Bq/kg・FWであった。

2016年の収穫は、10月3~4日に汎用型飼料収穫機および自走ラップマシーンで行った。SMR1000には、マルチヘッドアタッチ(SMR-MH)を装着して使用した(写真23)。前年は梱包作業が律速になっていたことから、2016年はラッピングマシーン2台で梱包作業を行った。収穫梱包したロールの個数は62個で、収量は3.7t/10a、ロール1個あたりの質量は546.3kgであった。収穫機の作業速度は0.40m/s、梱包まで含めた作業能率は0.5h/10aであった。放射性Cs濃度は0.93Bq/kg・FWであった。

## 8. 鳥獣害対策

圃場周辺では、野生鳥獣としてイノシシ、タヌキ、キツネ、ハクビシン、カラス、ハト、キジ等を確認していたため、鳥獣害対策を施すこととした。栽培試験を開始する前の2015年3月から4月にかけてのべ7日間で、4筆の圃場全体の外周約600mに野生獣害対策用の電気柵(サージミヤワキ猪熊防除柵, 3段張り)の設置を



写真19 デントコーン 播種



写真20 デントコーン 転圧



写真21 デントコーン 除草剤散布



写真22 デントコーン 収穫 (2015年)



写真23 デントコーン 収穫 (2016年)

表1 収量および放射性Cs濃度のまとめ

作目	年	品種	収量 (t/10a)	放射性Cs濃度 (Bq/kg・FW)		
				<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs+ <sup>137</sup> Cs
パレイショ	2015	メークイン	3.9	0.60	2.06	2.66
	2016	キタアカリ	3.1	検出せず (<3.0)	検出せず (<2.4)	検出せず
サトイモ	2015	石川早生	1.5	検出せず	0.21	0.21
	2016	石川早生	1.9	検出せず (<3.5)	検出せず (<3.3)	検出せず
スイートコーン	2015	おひさまコーン 88	1.9	0.10	0.28	0.37
	2016	おひさまコーン 88	1.6	検出せず (<4.5)	検出せず (<3.6)	検出せず
デントコーン	2015	スノーデント 108	3.0	0.34	1.89	2.23
	2016	スノーデント 125T	3.7	0.21	0.72	0.93

福島県経営指標等の生産量を目標にした収量

パレイショ：3.0t/10a, サトイモ：1.5t/10a, スイートコーン：1.5t/10a

注)・2016年のスイートコーンの収量は堆肥施用量2t/10a区のデータを掲載した

- ・放射性Cs濃度はゲルマニウム半導体検出器で測定し、すべて収穫日を基準日に減衰補正した
- ・一般食品の放射性Cs濃度の基準値は100Bq/kgである

行った(写真24, 25)。また、電気柵のワイヤー下に防草シート(日本ワイドクロス強力アグリシート, 100mm幅)の敷設を行った。

スイートコーンの栽培圃場については、上記の電気柵に加え、鳥害対策として、2015年は7月29日に、2016年は8月5日に、約2mの高さに約2m間隔でテグスを張った。また、ハクビシン等の中小型野生獣による子実の被害を防止する目的で、獣害防止柵(楽落くんライト<sup>3)</sup>:ハクビシンやアライグマ、タヌキ等の中型野生獣を対照とした低コスト型獣害防止柵)を2015年は7月21~22日に3人作業で約6時間かけ、2016年は7月13~26日に4人作業で約3時間かけて設置した(写真26, 27)。

圃場全体の外周に設置した電気柵、スイートコーン圃場に設置したテグス、獣害防止柵(楽落くんライト)により、作物への鳥獣害の被害は、ごく一部に鳥害が見られたのみであった。電気柵の管理として、2015年は生育期間を通して2~3週間に一度の頻度で、番外および防草シート周りの雑草を刈払機で刈り払った。2016年は作業の軽労化および効率化を図るため、刈り払いに変えて除草剤(ラウンドアップマックスロード, 100倍)の散布を6月上旬および9月上旬の2回行って管理した。その結果、いずれの年も、下草接触による電気柵の電圧低下は見られなかった。



写真24 電気柵設置作業



写真25 電気柵設置作業



写真26 獣害防止柵設置作業



写真27 獣害防止柵設置状況

## 9. 試験栽培後の農地保全

試験栽培圃場は傾斜圃場であり、また一部に山砂が客土されていたため、栽培中に一部で土壌（表土）の流亡が見られた。そこで、2015年の収穫後、翌年の試験栽培まで圃場の雑草の繁茂を抑制するとともに土壌の流亡を防止する目的で、9月下旬に圃場の一部約30aに牧草（ヘアリーベッチ）を播種し、20aに牧草とくず小麦を混播した。播種量は牧草のみの播種区が0.6 kg/10 a、混播区が牧草0.4 kg/10 a、くず小麦1.0 kg/10 aであった。作業は播種前にロータリー耕耘を行ってから種子を散粒器で圃場全面に散播し、播種後にバーチカルハローで覆土および整地、ローラーで転圧を行った。肥料は散布しなかった。

圃場周辺は例年12月末ごろに根雪状態になるが、2015年12月末時点で牧草のみの播種区も牧草とくず小麦の混播区も圃場一面を牧草または小麦で均一に被覆できており、雑草抑制および土壌流亡防止に効果を発揮していた。表土削り取り除染で山砂を客土した圃場ではとくに、土壌が流亡しやすいと見られる。収穫後に牧草等を播種することは、とくに土壌の流亡防止に効果的であり、除染後農地の休耕中の管理方法としても適切であると考えられる。

## 10. まとめ

阿武隈地域の除染後農地において、放射性物質の吸収抑制対策を行いながら露地野菜等の試験栽培を行った。表土削り取り除染および山砂の客土による地力低下や放射性物質の作物への吸収の懸念があったものの、堆肥等の施用による土壌改良および放射性物質の吸収抑制対策により、福島県経営指標等の生産量を目標とした収量が得られ、なおかつ収穫物は一般食品の放射性Cs濃度の基準値100 Bq/kgを大幅に下回ることを実証した。

## 謝辞

本研究は復興庁および農林水産省の食料生産地域再生のための先端技術展開事業（福島県内 農業・農村分野）の「持続的な畜産経営を可能とする生産・管理技術の実証研究」により実施したものである。栽培試験にあたっては、本田勝信氏をはじめとする住民の皆さんに物心両面での多大なるご協力とご支援をいただいた。また、栽培試験においては農研機構 東北農業研究センター 技術支援センター 業務第1科（福島）が主として圃場作業を担当したほか、圃場作業および運搬等については農研機構 つくば技術支援センター 観音台業務第1科に、デントコーンの播種については東北農業研究センター 技術支援センター 業務第2科に、デントコーンの収穫については畜産研究部門 飼養管理技術研究領域 作業技術ユニットおよび同 技術支援センター 那須業務科の支援をいただいた。さらに、放射性Cs濃度については東北農業研究センター 農業放射線研究センターで測定していただいた。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 鈴木幸雄, 野田正浩, 根本知明, 2016. 避難指示区域等の営農再開・農業再生に向けた実証研究（第1報）, 福島農業総合センター研究報告 放射性物質対策特集, 2, 51-78.
- 2) 農林水産省, 2013. 農地除染対策実証事業の結果, <http://www.maff.go.jp/j/nousin/seko/josen/>
- 3) 埼玉県農業技術センター, 2016. 楽らくんライト設置マニュアル, <https://www.pref.saitama.lg.jp/b0909/cyoujyuu-tantou.html>