

農業機械学会東北支部報

NO.43 DEC.1996

平成8年12月

目 次

研究報告

・ナタネ脱酸油・軽油の混合油の噴霧粒径	富樫千之・松森一浩・上出順一	1
・測距輪と傾斜計を使った地形測量装置	岡部祐加子・本橋匂司・高野 剛	7
・第5輪のみによるトラクタの位置認識	本橋匂司・高野 剛・益子祐二	11
・微分幾何学的アプローチによる枕地の最短旋回軌道	鳥巣 謙・田中健一・武田純一	15
・トラクタ走行による土壤圧縮の有限要素法による解析	広間達夫・阿部考志・太田義信	21
・農業情報WWWサーバーの構築に関する研究	中村典裕・嶋田 浩・稻元民夫	27
・被覆型直播栽培に関する実証（第2報）	若松正夫	31
・畦畔除草ロボットに関する基礎的研究（第1報）	武田純一・油川圭太	35
・試作オウトウシェーカによる圃場試験	赤瀬 章・鈴木 洋・上出順一・高木陽介	39
・オウトウ果実の脱離特性	赤瀬 章・鈴木 洋・上出順一・高木陽介	43
・線要素パターン検出方式の画像処理による線の形状判別	高橋照夫・張 樹槐・孙 明・福地 博	49
・農産物の比熱に関する研究	加藤弘道・福地 博	55
・米の乾燥過程における胴割れ発生	登嶋 守・R.C.バウテスタ・戸次英二	61
・ニンニクの予措乾燥に関する研究（第3報）	佐藤 賢・片平光彦・戸次英二	65
・加熱通風によるニンニクの乾燥特性と運転経費	片平光彦・佐藤 賢・戸次英二	69
・除湿乾燥方式を採用した米麦乾燥調製施設の実態（第2報）	高橋昭喜・大里達朗・伊藤勝浩・高橋 修・新田政司	75
・農業工学におけるファジイ理論応用の現状	吳 慧敏・太田義信	79

トピックス

新技術・新製品コーナー	85
海外研究報告	91
シンポジウム	97
巧績賞・奨励賞表彰者	112
奨励賞梗概	113

支部会記事

庶務報告および会計報告・幹事役割分担表	114
平成8年度研究発表会発表課題	120
農業機械学会東北支部規約・東北支部報投稿規定	122
農業機械学会関係の研究担当者名簿	124
団体賛助会員名簿	130

ナタネ脱酸油・軽油の混合油の噴霧粒径

富樫千之*・松森一浩*・上出順一**

Particle Diameter in Injecting Mixture of Deacidified Rapeseed Oil and Petrol

Chiyuki TOGASHI*, Kazuhiro MATSUMORI*, Jun-ichi KAMIDE**

Abstract

The authors measured, by the immersion method, the sizes of sprayed droplets of the mixed rapeseed deacidified and light oil. The catching liquid used in the method was silicon oil. The results obtained are summarized as follows:

1. The ratio of the sizes of 0 to 50 μm rose with the increased of the ratio of rapeseed deacidified oil.
2. The relationship was linear between the droplets size and ratio of rapeseed deacidified oil, and the droplets gained in size with the increase of the ratio of rapeseed deacidified oil.
3. The droplets sizes varied according to kinematic viscosity of oil. It showed a linear increase to 30 mm^2/s of kinematic viscosity, but a gradual increase over 30 mm^2/s .

I まえがき

植物油をディーゼル機関の燃料として使用する場合、植物油単独で使用するだけではなく、軽油と混合して使用する方法があり、ナタネ油¹⁾²⁾、大豆油³⁾⁴⁾、ひまわり油⁵⁾⁶⁾、オリーブ油⁷⁾等で軽油との混合燃料による負荷性能、長時間運転および排気ガス等の運転試験の報告がみられる。このうち、ナタネ脱酸油と軽油の混合燃料とした負荷運転試験等の結果、熱効率および燃料消費率は、脱酸油の割合が大きくなるほど、高くなる傾向を示した⁸⁾。しかし、機関性能に直接的に関連する噴霧特性の一つである植物油の噴霧粒径の報告はわずか⁷⁾⁹⁾¹⁰⁾で、さらに植物油と軽油の混合油による噴霧粒径の報告は全くみられない。

そこで本報では、ナタネ粗製油のなかの脱酸油と軽油の混合油の噴霧粒径をナタネ脱酸油および軽油を含めて液浸法⁹⁾⁻¹¹⁾によって測定するとともに、動粘度との関係で整理・分析したので報告する。

II 実験材料

1. 供試燃料

(1) 供試燃料の種類

供試燃料は、ナタネ粗製油のなかでディーゼル機関の代替燃料として最も可能性が高かった脱酸油¹²⁾¹³⁾、軽油および両油の混合油（脱酸油87.5%・軽油12.5%、脱酸油75%・軽油25%、脱酸油62.5%・軽油37.5%、脱酸油50%・軽油50%、脱酸油37.5%・軽油62.5%、脱酸油25%・軽油75%、脱酸油12.5%・軽油87.5%）とした。ナタネ脱酸油はN社から入手、軽油は一般に市販されているものである。

(2) 動粘度

供試ナタネ脱酸油、軽油および混合油の動粘度は、ウベローデ粘度計で測定し、図1に示す。動粘度は軽油の混合割合が大きくなるほど、また温度が高くなるほど低下したが、温度依存性は脱酸油が多いほど大きかった。

(3) 比重

浮秤比重計によって測定した脱酸油および軽油の比重（20°C / 4°C）は、それぞれ0.920および0.837であった。

2. 受止め液

噴霧粒径の直径を測定する最も簡便な方法は、

*宮城県農業短期大学 **山形大学農学部

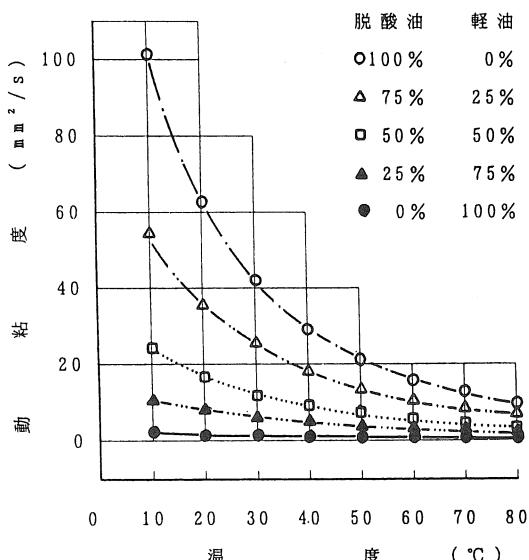


図1 供試油動粘度の温度依存性

噴霧された液滴を適切な受止め液の中に没入させて拡大写真をとり、直接粒子径を測定する液浸法である⁹⁾⁻¹¹⁾。そこで、本報でもこの測定方法で行うこととした。

混合油の受止め液として条件は、ナタネ油および軽油両油の化学的・物理的な性質を同時に満足しなければならない。植物油の受止め液としては、メチルセルロース、メチルアルコールおよび水の混合液⁶⁾（以下MMW液という）、シリコン油⁸⁾⁹⁾が、軽油の受止め液としてはシリコン油⁹⁾⁹⁾がある。図2に示すように、軽油の液滴粒子はMMW液中で短時間に溶解する。シリコン油には植物油脂などの脂肪族および芳香族炭化水素などが溶解する⁹⁾とともに、シリコン油は温度が高くなると動粘度が低下し、植物油噴霧粒子が受止め液（シリコン油）中で運動しながら集合合体する¹⁰⁾。しかし、実験温度20°Cの条件下において、噴霧粒子を受止め液で捕捉してから短時間で写真撮影すれば、噴霧粒子の集合合体および溶解がわずかであるため使用が可能である¹⁰⁾。このことから、脱酸油、軽油および両油の混合液の受止め液は、シリコン油（WF-30）とした。

ウベローデ粘度計で測定したシリコン油の動粘度を図3に示す。浮秤比重計によって測定した比重は、0.977（20°C/4°C）であった。

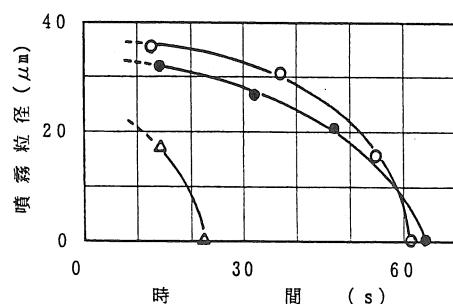
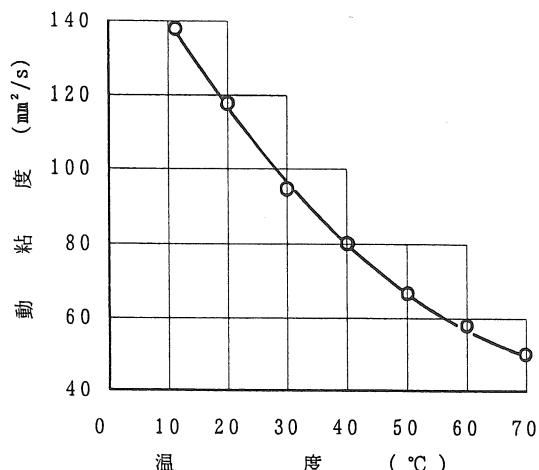
図2 MMW液中の軽油噴霧粒径変化
(3個の噴霧粒子)

図3 シリコン油動粘度の温度依存性

3. 写真撮影

噴霧液滴は、顕微鏡（オリンパスG-23X）で拡大し、カメラ（ニコンM-35.S）で撮影した。使用フィルムは前報¹⁰⁾と同様にカラーフィルム（ISO400）とした。

4. 噴射ノズル

供試噴射ノズルは小型ディーゼル機関（ヤンマー ディーゼルK.K., HA4B, 定格出力/回転数: 2.57kW/2400rpm）に使用されているスロットルタイプ¹⁴⁾を、燃焼室から取り外して供試した。ノズル噴射圧力は15.68MPaである。

III 測定方法

運転中と同様の高温・高圧下における燃料の噴霧粒径は、常温より小さくなる傾向を示す¹⁵⁾が、取扱が困難なため、新家⁶⁾および飯本ら¹⁶⁾と同様に室温・大気圧下での噴射試験とした。

実験の具体的手順は以下のとおりである。大気中に向けば水平に噴射した噴霧液滴をシャーレに塗布した受止め液で捕捉し、顕微鏡写真で拡大撮影した後、プリントした噴霧粒子の径を直接測定する。

1. 噴射条件

回転数は機関とB形Vベルト2本で連結した電気動力計で調整し、1800rpmとした。噴射はレギュレータハンドルをフルの状態とし、1回のナタネ脱酸油および軽油の噴射量は約0.025gおよび0.026gであった。噴霧の捕捉時間は各燃料で3～4秒とした。液滴捕捉シャーレと噴射ノズルの距離は、燃料到達度から0.6, 0.8, 1.0mとし、噴射中心線から0.15～0.2m程度外した位置とし

た（図4）。実験時の気温は、20°Cであった。

2. 受止め液

ナタネ脱酸油および軽油の受止め液としてのシリコン油は、蒸留水と混合することなくそのまま使用した。

3. 噴霧液滴の撮影

シャーレに捕捉した噴霧液滴は、顕微鏡で80倍（接眼レンズ8X, 対物レンズ10X）に拡大し、カメラで撮影した。撮影枚数は、1つの実験条件に1本のフィルムを使用した。

噴霧液滴の捕捉終了から写真撮影終了までの時間は、噴霧液滴の受止め液への溶解および噴霧液滴間の合体を最小限とするため30秒以内⁹⁾¹⁰⁾とした。このため、受止め液を塗布したシャーレ1個での写真撮影は4～5枚であった。

IV 実験結果および考察

撮影した脱酸油と軽油の混合油の噴霧粒子の一例を写真1に、受止め距離0.6mで捕捉、測定した噴霧粒子を25μmごとに分類し、度数分布曲線として図5に示す。

噴霧粒子の粒度分布のピークは、脱酸油の割合が大きい場合には概ね50～75μmとなり、脱酸油50%・軽油50%より脱酸油の割合が少なくなると0～50μmになった。なお、受止め距離が0.8, 1.0mと長くなても混合油の度数分布はほぼ同様の傾向であった。

軽油の割合が大きい混合油ほど小さな粒径の割合が高くなることから、0～50μmの度数を供試油

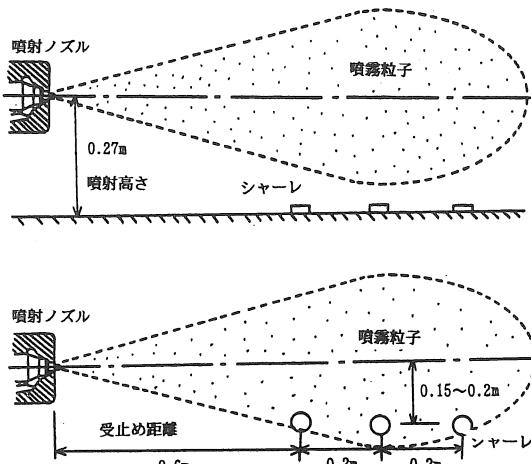
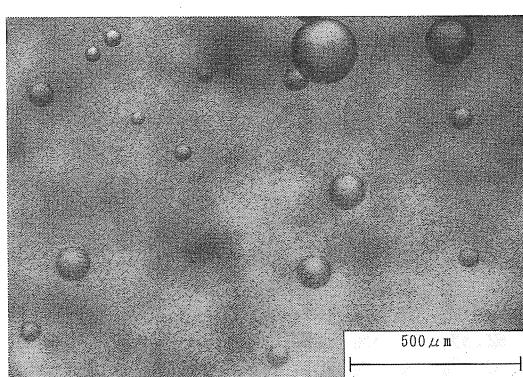
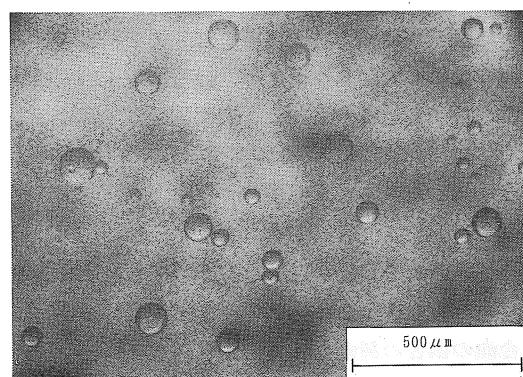


図4 噴霧粒子の受止め位置



ナタネ脱酸油75%：軽油25%



ナタネ脱酸油25%：軽油75%

写真1 混合油の噴霧粒子

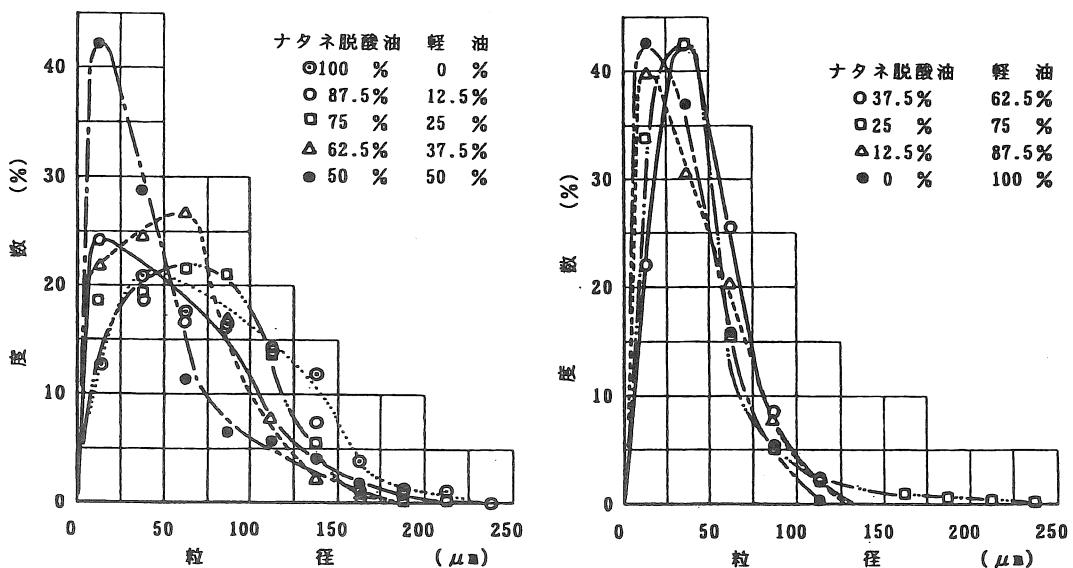
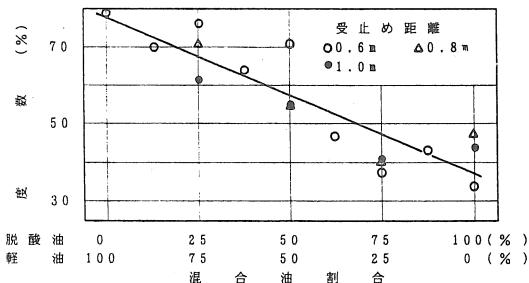


図5 噴霧粒子の度数分布

の混合割合との関係で図6に示す。脱酸油の割合が大きくなるほど、0-50 μm の度数がほぼ線形的に減少した。

図6 0-50 μm 噴霧粒径割合

燃焼時間は噴霧粒子容積に対して噴霧粒子表面積の大小に影響されるため、総噴霧粒子容積を総噴霧粒子表面積で除した比表面積粒径で算定され⁶⁾¹⁶⁾、平均噴霧粒径として表される。噴霧粒子から算定した平均噴霧粒径および測定個数を表1に示す。

脱酸油が多くなるにつれて平均噴霧粒径が大きくなる傾向を示した。そこで、平均噴霧粒径と混合油の割合の関係で図7に示す。

脱酸油100%だけでなく、脱酸油75%・軽油25%，脱酸油50%・軽油50%，脱酸油25%・軽油75%の混合油も受止め距離の違いによる平均噴霧粒径の差

異はわずかであった。

抜山ら¹⁵⁾¹⁷⁾は、薄刃気孔と円筒液孔の組合せを使用して、アルコール、グリセリンおよび水の溶液の平均噴霧粒径 d を実験的に求め、重力単位系の無次元式で以下のように提案している。

$$d = k(D/v) \cdot (\sigma/\gamma_f)^{0.25} \cdot (\gamma_f/\gamma_a)^{0.25} \cdot \sqrt{g} [1 + 3.31(\mu_f \cdot \sqrt{g}/\sqrt{\sigma_0 \cdot \gamma_f \cdot D})]$$

ここで、記号は以下のとおりである。

k : 燃料、ノズルの種類による定数[−]

D : 噴射ノズルのポート径[m]

v : 噴射速度[m/s]

σ : 表面張力[kgf/m]

γ_f : 燃料の比重[kgf/m³]

γ_a : 空気の比重[kgf/m³]

g : 重力加速度[m/s²]

μ_f : 燃料の粘性係数[kgf/m²]

表1 供試油の平均噴霧粒径

(単位: μm)

供 試 油	受 止 め 距 離 (m)			
脱酸油	軽油	0.6	0.8	1.0
100 %	0 %	123(227)	103(1145)	117(1663)
87.5%	12.5%	113(889)		
75 %	25 %	102(386)	117(601)	123(1511)
62.5%	37.5%	88(804)		
50 %	50 %	101(607)	94(741)	82(563)
37.5%	62.5%	66(663)		
25 %	75 %	81(1153)	59(982)	66(901)
12.5%	87.5%	66(568)		
0 %	100 %	44(401)		

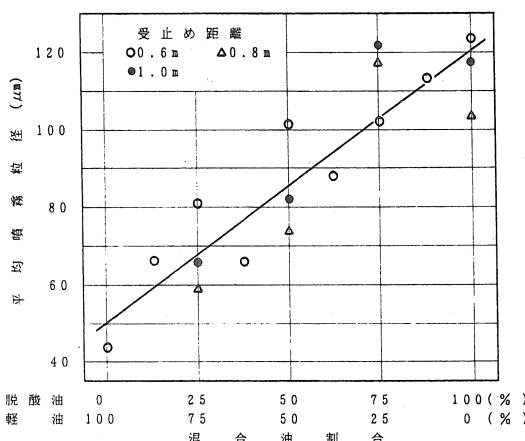


図7 混合油割合と平均噴霧粒径

同一噴射ノズルを使用して、噴射圧等の噴射条件を一定とすれば、平均噴霧粒径は燃料の表面張力、比重および粘度に影響される⁶⁾。植物油の表面張力および比重は、ごく一部を除いてほとんど差がなく $30\sim34\text{mN/m}$ ¹⁸⁾ および $0.911\sim0.930(20^\circ\text{C})$ ¹⁹⁾ である。同様に軽油は、 $27\sim30\text{mN/m}$ ²⁰⁾ および $0.837(20^\circ\text{C})$ である。これに対して、燃料の動粘度の違い（図1）はかなり大きく、この差異が平均噴霧粒径の違いになる。

上述のように、抜山ら¹⁷⁾の実験式からナタネ油等の植物油の平均噴霧粒径が軽油より大きくなることを報告しているが、実験範囲は比重で $0.8\sim1.2$ 、表面張力で $30\sim73\text{mN/m}$ 、動粘度で約 $1.2\sim30\text{mm}^2/\text{s}$ である。ここで、抜山ら¹⁷⁾の式において、比重、表面張力および動粘度の違いによる平均噴霧粒径の変化を見る。平均噴霧粒径は比重 $0.883\sim0.922$ の範囲で約 3 % 減少し、表面張力 $27\sim34\text{mN/m}$ の範囲でほとんど変動がない。これに対して、動粘度 $1.6\sim30\text{mm}^2/\text{s}$ 間の平均噴霧粒径は、動粘度が高くなると大きくなり約 4 倍になる。しかし、本実験の結果から動粘度 $1.6\sim30\text{mm}^2/\text{s}$ 間の平均噴霧粒径は約 2 倍で、抜山ら¹⁷⁾の結果と比較するとかなり小さくなかった。すなわち、ナタネ油等の植物油の平均噴霧粒径が軽油より大きくなることは、抜山ら¹⁷⁾の実験式から定性的には説明されるが、定量的な把握は十分とはいえない。このことの原因は、噴射ノズルおよび噴射条件の違いと考えられる。

図8は平均噴霧粒径を動粘度 (20°C) との関係

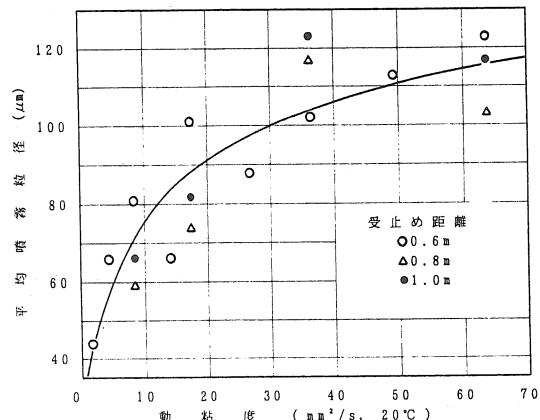


図8 動粘度と平均噴霧粒径

で表したものである。動粘度が高くなるにつれて平均噴霧粒径は線形的に大きくなるが、動粘度約 $30\text{mm}^2/\text{s}$ をすぎると平均噴霧粒径は漸増状態となる。このように動粘度の高い植物油においても平均噴霧粒径はそれほど大きくならないことから、ディーゼル燃料としても着火遅れ時間が長くならないものと考えられる。

以上のように、ナタネ脱酸油と軽油の混合油の噴霧粒径を液浸法によって測定するとともに、動粘度との関係で整理・分析したが、平均噴霧粒径を動粘度との関係でさらに詳細に分析するためには、高動粘度であるパーム油などを供試して温度を変えながら実験する必要がある。

V まとめ

植物油をディーゼル機関の燃料として使用する場合、植物油単独で使用するだけではなく、軽油と混合して使用する方法がある。しかし、植物油と軽油の混合油による噴霧特性の一つである噴霧粒径の報告は全くみられない。

本報では、ナタネ粗製油のなかの脱酸油、軽油および両油の混合油の噴霧粒径の測定を液浸法によって行った。

結果は以下のとおりであった。

- 1) $0\sim50\mu\text{m}$ の噴霧粒径度数は、脱酸油の割合が大きい混合油ほど高くなる傾向となった。
- 2) 平均噴霧粒径と混合油の脱酸油割合との関係は直線的になり、平均噴霧粒径は脱酸油の割合

- が大きい混合油ほど大きくなる傾向となった。
- 3) 平均噴霧粒径の違いは、動粘度の差異によるが、動粘度が $30\text{mm}^2/\text{s}$ (20°C) までは線形的に大きくなるが、それより動粘度が高くなると漸増し、平均噴霧粒径はあまり大きくならない傾向を示した。
- 研究の一部は宮城県農業短期大学「特別試験研究費」によって行った。
- ### 参考文献
- 1) Johansson, E.:Swedish Tests on Rape-seed Oil as Alternative to Diesel Fuel, Veg. Oil Fuels, 337-346, 1982
 - 2) Wangner, G.L., Peterson, C.L.,:Vegetable Oils Alternative Sources of Liquid Fuels for Diesel Engine, Pac. Northwest Reg. Am. Soc. Agric. Eng., 1-18, 1982
 - 3) Borgelt,S.C., Harris,F.D.:Endurance Tests Using Soybean Oil-Diesel Fuel Mixture to Fuel Small Pre-Combustion Chamber Engine, Veg. Oil Fuels, 364-373, 1982
 - 4) Baldwin, J.D.G., Cochran,B.J., Keesey, M.M.:Longevity of CI. Engine Using "Diesel" Mixtures,Pap Summ. Meet. Am. Soc. Agric. Eng., 1-17, 1983
 - 5) Yarbrough,C.M.,Lepori,W.A.:Compression Ignition Performance Using Sunflower Seed Oil, Pap Winter Meet. Soc. Agric. Eng., 1-10, 1981
 - 6) Araya,K. : An Analysis of Diesel Engine Startability Fueled with Sunflower Oil,J. of Environ. Sci. Lap., Senshu Univ. No.2,1-166, 1991
 - 7) Rakopolos, C. D. : Olive Oil as a Fuel Supplement in DI and IDI diesel Engines, Energy, Vol.17, No.8, 787-790, 1992
 - 8) 富樫千之・上出順一：ナタネ脱酸油・軽油の混合燃料による小型ディーゼル機関の運転, 宮城農短大報, 43, 61-68, 1995
 - 9) 棚沢 泰・武野真也：燃料油粒などの直径測定用受止め液について, 機械学会論文集, 35(2 76), 1741-1751, 1969
 - 10) 富樫千之・上出順一：ナタネ脱酸油の噴霧粒径, 農機誌, (印刷中)
 - 11) 廣安博之：噴霧の測定, 内燃機関の燃焼に関する計測, 山海堂, 105-115, 1973
 - 12) 富樫千之・上出順一：ナタネ粗製油による小型ディーゼル機関の運転(第1報)－負荷性能試験一, 農機誌, 57(6), 87-95, 1995
 - 13) 富樫千之・上出順一：ナタネ粗製油による小型ディーゼル機関の運転(第2報)－長時間負荷運転試験と始動試験一, 農機誌, 58(2), 87-95, 1996
 - 14) 富樫千之：ナタネ粗製油の噴霧粒径, 農機学会東北支部報, 42, 3-8, 1995
 - 15) 長尾不二夫：内燃機関講義上巻, 238-247, 養賢堂, 1969
 - 16) 飯本光雄・松尾昌樹・内野敏剛：ディーゼル燃料油としてのナタネ油の噴霧粒径, 千葉大園学報, 30, 13-18, 1982
 - 17) 抜山四郎・棚沢 泰：液体微粒化の実験（第4報）－液体の諸性質が噴霧粒径に及ぼす影響一, 機械学会論文集, 5(18), 68-75, 1939
 - 18) 喜多源逸：油脂化学及試験法, 至文堂, 570-571, 1958
 - 19) 小原哲二郎編：食用油脂とその加工, 建帛社, 25-47, 1981
 - 20) 小川 勝：燃料油, 海文堂, 86-108, 1961

【閲読者コメント】植物油と軽油の混合油の噴霧粒径について興味深い結果が得られています。今後、より実際に近い条件での検討を期待します。

【著者回答】今後、①植物油粘度が噴霧粒径に及ぼす影響、②噴射ノズルが噴霧粒径に及ぼす影響、の実験を行う予定ですが、さらに、背圧の影響に関する実験も加えたいと考えています。

測距輪と傾斜計を使った地形測量装置

岡部祐加子*・本橋國司*・高野 剛*

Geographical Surveying Device Using Distance Measuring Wheel and Tiltmeter

Yukako OKABE*, Kuniji MOTOHASHI*, Tsuyoshi TAKANO*

1. はじめに

筆者らは自律型位置認識システムの研究を行っている。その装置は走行した距離と路面の傾斜を認識する機能を持つ。その機能を応用し、実験区の三次元データを収集し、コンピュータにより地形図の作成を試み、測量精度と省力化について検討した。

2. 位置計測装置

装置は農業用トラクタ (KUBOTA-4212DT, 4WD, 31kW), 試作の測距輪, 2軸の傾斜計 (トキメック, TCM-X-90), コンピュータ (EPSON, PC286LST) からなる (図1)。この装置から左右の測距輪の進行距離 L_R, L_L と傾斜角 α, β を収集する。

測距輪には直径400mm, 幅80mmの直径が変化しない焼き付けゴムタイヤを使用した。これをトラクタの後輪軸上に設置し、測距輪車軸内にロータリーエンコーダを埋設して回転数を求めた。また、路面の凸凹の影響を小さくするため、スプリングで30kg~50kgの接地荷重を加え、平らなコンクリート路面上で10m当たりの基準パルス (32718/10m) を求め、距離換算をした。使用したロータリーエンコーダ (コパルRMW38) の分解能は4096パルス/回転なので計算上の最小測距値は0.307mm/パルスとなる。

傾斜計はサーボ加速度計タイプで傾斜は電圧で出力される。最大感度は0.1度、使用したトラクタのホイールベースは1.82mなので使用した装置での高低差の最大感度は0.0032mとなる。

収集したデータは図2のように「距離データ」はカウンタボード (CONTEC,CNT24-4A(98)), 「傾斜データ」はアナログ/デジタル変換ボード (AD12-16TA(98)) を経てコンピュータに取り

込まれ、二次元座標に変換され、トラクタの走行軌跡としてリアルタイムでモニターに表示される。データはフロッピーディスクに保存され、室内に持ち帰り改良した市販のプログラムを通して等高線図に作図される。

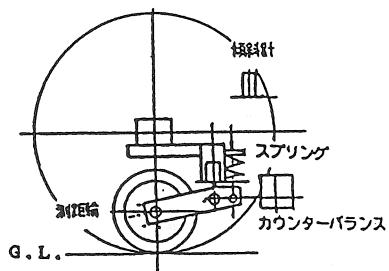


図1 実験装置

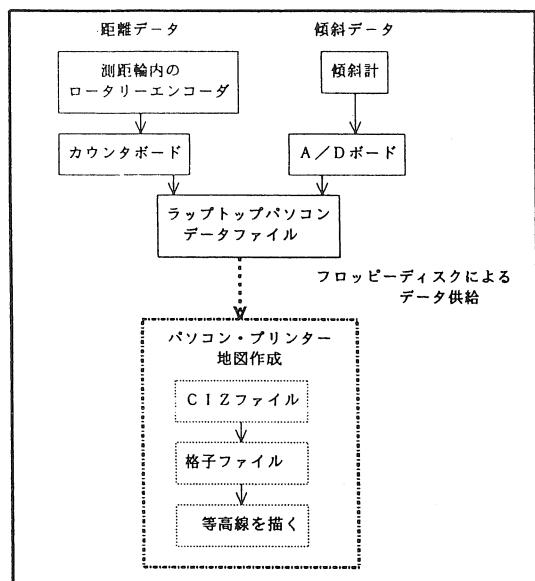


図2 装置のシステム構成

3. 計算方法

測距輪間隔をTRD、左右測距輪の進行距離 L_R 、

L_L とおくと

車体の移動距離 $L = (L_R + L_L)/2$

舵取り角 $\omega = (L_R - L_L)/TRD$

旋回半径 $r = L/\omega$

トラクタの縦(前後方向)傾斜を α 、横傾斜を β とすると

左右方向の移動距離 $X = \Sigma (L \cdot \sin \Sigma \omega \cdot \cos \beta)$

前後方向の移動距離 $Y = \Sigma (L \cdot \cos \Sigma \omega \cdot \cos \alpha)$

高低差 $Z = \Sigma (L \cdot \sin \alpha)$

となる。

これらの式を使い三次元座標計算を行う。これを基にコンターマップを作成する。

4. 実験

平坦な牧草地と傾斜のある牧草地にそれぞれ縦(Y)50m×横(X)20mの実験区を取った。

平坦地は横(X)20mを0.5m間隔に区切り、縦方向に41本のライン(L1～L41)を作成し、横(X)20mを0.5m毎の41点、縦(Y)50mを0.2m毎の251点、計10291点のレベル測量を行った。その時、L1の1点目を基準点(X,Y,Z)=(0,0,0)と仮定し、それぞれの測定点との差により高低差(Z)を導いた。傾斜地は横(X)20mを1.3m間隔に区切り、17本のライン(L1～L17)を作成し、縦251点×横17点=計4267点のレベル測量を行った。これらを基準として自動地形測量装置の結果を検討した。以下、自動地形測量装置による測量を「機械測量」と呼ぶ。

機械測量では「直線走行法」と「蛇行走行法」の2つの走行法で測定した(図3, 4)。

直線走行法とはトラクタを設定した17本(平坦地では41本)の各測量ラインに沿って直線走行させ、データを収集し、後で各ラインデータをつなぎ合わせる事によって面のデータにする方法である。

蛇行走行法とはトラクタで連続するU字カーブを描きながら走行させ、はじめから面データを収集することである。

今回の実験では直線走行法はトラクタの速度を0.4m/sとし、0.5秒間隔でデータを収集した。蛇行走行法では1.2m/s、1.0m/s、0.7m/sで走行し、0.1秒間隔でサンプリングを行った。

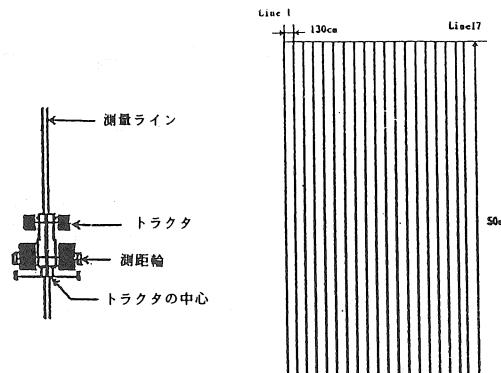


図3 直線走行法

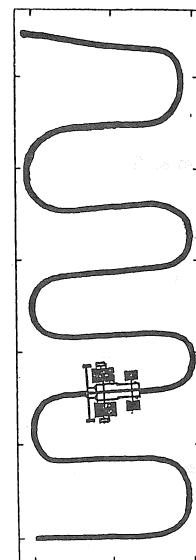


図4 蛇行走行法

5. 結果と考察

直線走行法と比べ、蛇行走行法の方がレベル測量を用いた等高線図に近い等高線が描けた(図5, 6)。直線走行法の等高線図には多くの縦の波が出た。これら等高線図に出た波は直線走行法が独立したラインをつなぎ合わせて面データを作成するため、各ラインの出発点がライン毎にずれていると、このような波になる。生じた波は測定時のスタート・終了地点認識における人為的ミスによる縦(Y)方向のずれである。現にY=50m地点でのレベル測量と直線走行法との高低差(Z)の差の大きなラインを取り出し、傾斜地直線走行法の等

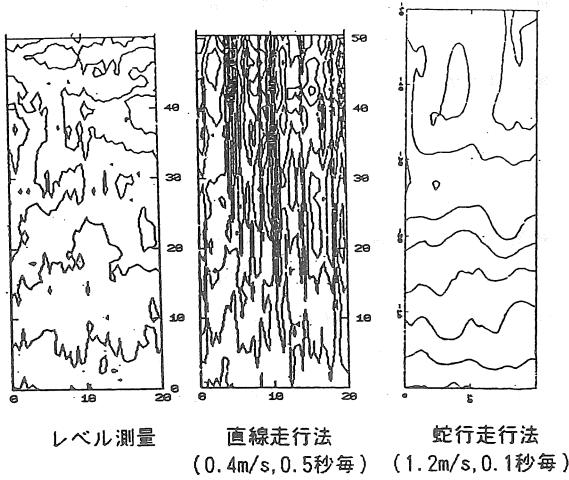


図5 平坦地 等高線 0.05m

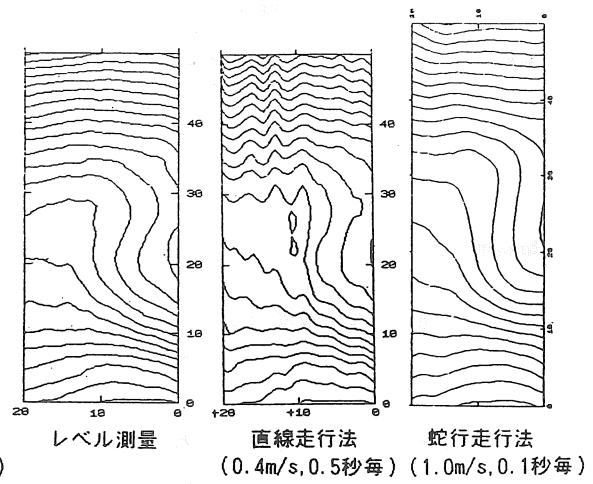


図6 傾斜地 等高線 0.2m

高線図に重ねてみると、波の中心にL2,L4,L8,L11,L13,L17がのることが分かった。

また、L11,L12,L13における波はL11,L13の高低差の誤差が大きいのに対して、L12が小さいため両端に引っ張られてできた波である。したがって、スタート地点の人為的認識ミスがクリアされれば、波はなくなると考えられる（図7）。蛇行走法では地形の等高線に沿って走行が可能のこと、始めから面データとして収集するためにこのような波は生じなかった。

蛇行走法は走行ルートを自由に変えることができるため、障害物を避けての測定や測定時間の短縮が計れるがその反面、ほとんど測定データのない地域もできる。これらの地域はプログラム上の補間によって補われるため、実際の地形とは異なった等高線が描かれることがある。しかし、このような場合ではこの補間作用によって、本来の地形から大幅にずれることはない。

表1は平坦地、傾斜地における機械測量の精度である。直線走行法では各ライン毎の精度の平均を面データの精度としたため、等高線図の結果とは異なった。以上の結果から、傾斜地での等高線に沿った走行法である蛇行走法が信頼できるものと思われる。表2では従来のレベル測量との所要時間を傾斜地のデータで比べたものである。蛇行走法では従来のレベル測量の1/51の時間で、直線走行法に比べても1/10の時間での測定が可能

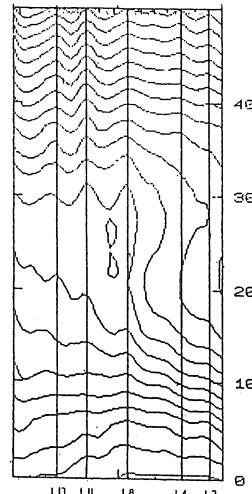


図7 傾斜地 直線走行法 等高線0.2m

なことが分かった。

実際にレベル測量ではここまで細かい測定は行われないが、同じ大きさの実験区で同様の方法で1000点前後のレベル測量を行い、等高線図を作成すると約12時間かかった。

「直線走行法」と「蛇行走法」を比較すると「直線走行法」の利点としては

- ・まんべんなく実験区内を走行するため、大きな測定漏れがない。

一方、欠点としては

- ・測定開始地点に測量装置が戻るまでの無駄な時間がかかる。

表1 精度

実験区	走行法	平均土標準偏差 (m)
平坦地	直線	0.033±0.025
	蛇行	0.120±0.083
傾斜地	直線	0.136±0.083
	蛇行	0.050±0.027
レベル測量高低差 - 機械測量高低差 の 平均土標準偏差		

表2 従来のレベル測量との比較（傾斜地）

測定面積	測定点数	機械測量	
		直線走行	蛇行走行
50m×20m	4267点	50m×20m	50m×20m
16時間	12時間	2時間30分	4分
データ入力	55分	(不要)	(不要)
解析・表示	30分	30分	30分

- ・測定ライン上を直線走行する運転技術が必要。などがあげられる。

「蛇行走行法」の利点は

- ・測量時間の短縮が可能。

平坦地	レベル測量の1/72
	直線走行法の1/6
傾斜地	レベル測量の1/51
	直線走行法の1/10

- ・等高線に沿って計測ができるため、傾斜の変化が穏やかで精度の高い水準測量ができる。

- ・障害物を避けて測量できる。

欠点としては

- ・測定軌跡が大まかなため、測定点が少なく、プログラム上の補間に頼ることになる。
- ・トラクタの位置認識が不十分。

以上の欠点のうち、最も大きな問題はトラクタの位置認識が不十分なことである。特に大面積の

場合、位置認識の誤りは水準測量そのものの意味さえ失ってしまう。この問題の解決には自律型位置認識装置の開発が必要不可欠である。

6. 結論

機械測量について2つの方法を試みた。その結果測定地の等高線に沿った方向に蛇行走行すると良い結果が得られた。しかし測量の最も大切な信頼性と言う点では直線走行法の方が優れている。

また、この装置を使用する事で「時間」「労力」の省力化、また測量という専門分野において、初心者が気軽に測量が行えるという利点を確かめることができた。

機械測量蛇行走行法はトラクタの位置認識が不十分、コンピュータのメモリーの都合上の制限があるなど、改良すべき点も多いが、機械測量は従来のレベル測量よりも、より簡便かつ迅速に地形を読み取り、等高線図を作成できる可能性を持っていると言える。

引用文献

- 1) 本橋、嶋田、田中；自動地形測量装置の開発 農土誌62(2), 133-138, 1994
- 2) 本橋、嶋田、田中、高野；測距輪による走行軌跡の計測、農機誌57(2), 29-35, 1996
- 3) 本橋、高野、田中、嶋田；測距輪による位置認識、農機誌58(1), 43-48, 1996

【閲読者コメント】 大変興味深く拝見いたしました。営農レベルで、水田の均平作業等への応用が十分考えられる研究と思う。実用化のためには装置の簡易化等が必要となるはずですが、今後の見通しについて考えがあればご教示願いたい。

【著者回答】 今後は装置の位置認識を確実なものとし、さらに地形測量の精度を高めたいと考えています。この研究では2つの測距輪を使用していますが、現在はハードを改良し、測距輪を1つにした、より簡単な装置にて、実験を進めています。

第5輪のみによるトラクタの位置認識

本橋國司*・高野 剛*・益子祐二*

Positional Knowledge of Tractor Using a 5th wheel

Kuniji MOTOHASHI*, Tsuyoshi TAKANO*, Yuji MASUKO*

1. はじめに

筆者らは第5、6輪から進行距離を、両輪の距離差から機体の旋回角を求めトラクタの位置座標を計算する実験を行った^{1), 2)}。この装置は急旋回中は距離差の中にしめるノイズの割合が相対的に小さくなり比較的正確な認識ができた。しかし、路面の凹凸などがあると直線走行しても直線と認識されない場合が多いという問題があった。すなわち、小さな左右輪の距離差が凹凸によるノイズなのか、あるいは旋回によるものなのか正確に判別できなかったためである。この問題に対し”しきい値”を使ったノイズの除去や大きな凹凸の影響を除く”トレンド除去”などの対策を打ったが完全な解決にはならなかった。そこで左右輪の距離差を使う方法ではなく第5輪のみで距離と旋回角の両方を求める方法、即ち測距輪のキャスター機能から旋回角を求める方法の可能性について実験を行った。

2. 位置計測装置

図1に実験装置を、表1に仕様を示す。測距輪は第5輪のみで、トラクタのフロントウェイト装着部分に自作の延長フレームを取り付け、これに焼き付けゴム車輪を使ったキャスター機能付き測距輪を取り付けた。測距輪を機体前方にオーバーハングさせたため第5輪旋回角は最大45度近くにもなり、機体の旋回を敏感に捉えることができた。測距輪からは測距、測角情報が、また傾斜計からは機体の前後左右の傾斜情報が0.1秒ごとに取り込まれ、これらの4つの情報からコンピュータ画面に表示する2次元座標が計算される(式(1)～(4)参照)。

3. 実験

図1の測距輪の旋回角を α 、第5輪の進行距離をL、後車軸から測距輪のピボット点までの距離をWB5、測距輪のトレールアーム長さをAとするとき各々の機体旋回角 ω 、軌跡座標(X, Y, Z)は

$$\omega = L \sin \alpha / (WB5 - A \cos \alpha) \quad (1)$$

$$X = \Sigma (L \sin (\sum \omega) \cos \gamma) \quad (2)$$

$$Y = \Sigma (L \cos (\sum \omega) \cos \beta) \quad (3)$$

$$Z = \Sigma (L \sin \beta) \quad (4)$$

より計算される。 β, γ はトラクタの前後、左右傾斜角である。

1) 式の α の最小分解能は360/4096度である。 α は機体の中心線と測距輪のなす角度なので計測

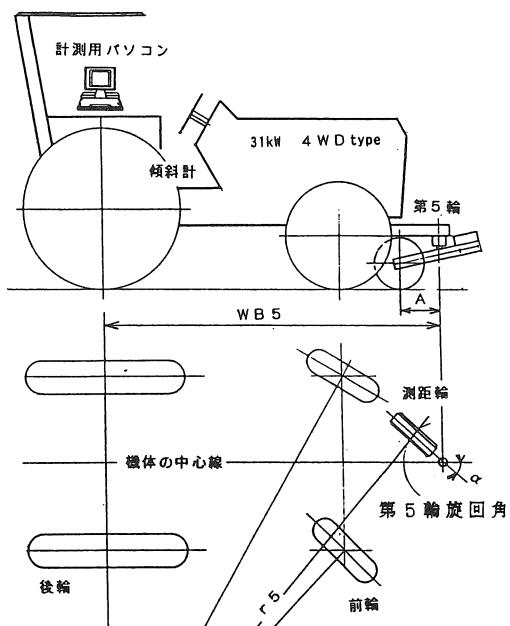


図1 実験装置

開始時正しく0に設定しなくてはならない。しかし実際には0とすることは難しく、0近辺で試験した。

実験では直線走行の認識ができるか、また旋回角の認識が正しくできるかを試験した。5~10cmの草が生えたグラウンド上で①直線走行試験、②2, 5, 10回の旋回試験、③2, 4回の8の字走行試験、④往復走行試験、任意経路を走行する試験を行った。走行速度は0.8~0.9m/sである。①~③の場合、運転者は目印の測量ロープに沿って直線走行し、旋回走行時には所定の回数旋回し再び直線走行し実験を終了した。終了後データをFDに収集し、再現した座標値、旋回角から試験結果を評価した。

表1 実験装置の仕様

tractor	4WD type 31kW
	wheel base 1820mm
fifth wheel	φ400 printed rubber tire
	width 80mm
	ground contact load 10kg
instruments	encoder(RMW-38,4096p/rev)
	counter board(CNT24-4A)
	tiltmeter(TCM-X-90)
	A/D board(AD12-16TA)
	computer(PC-268)

4. 実験結果と考察

図2は直線走行時の第5輪旋回角 α の振れを示している。凹凸のある路面上を走行するトラクタは運転者が直線に合わせる操舵をしないと直線走行しない。それに凹凸があると機体がローリングし第5輪が舵取りをしたように首振り運動をする。両者が合わさって図のような α のふれを生じる。しかし、 α は機体の旋回角 ω に換算されると約1/22になり、変動(標準偏差で約0.8度)はあるものの平均値はほぼ0になる。それでも走行軌跡が直線とならないのはサンプリングを0.1秒しているので、 ω の積算値((7)式) θ が予想以上に大きくなるためである。また、Lにも変動がある(約6~7%)。そのため凹凸のある路面上で

は走行軌跡がなかなか直線と認識されない。この問題に対し移動平均法による平滑化と切り捨ての効果を検討した。

第5輪旋回角 α については感度が鈍るために平滑化ができない。進行距離Lについては1.9秒の時間遅れを許容するとし、19個までの平滑を行ってみた。変動幅6~7%であったものが、約1.5%にまで低下した。しかし、ほとんど効果がなかった。この結果からすると軌跡のずれは、そのほとんどが α に起因していると思われる。そこで±2度以内の α をノイズと見なし旋回角 ω への換算をしないこととした。直線走行時の α の標準偏差が0.6~0.8度であったのでほぼ3 σ 相当を不感帯としたことになる。この処置をすると、人間がロープに沿って走ることができる程度の直線走行を直線と認識することができた。以上は問題に対するソフト的対策であるがハード的な対策も考えられる。 α の±2度の振れは測距輪が左右に約10mm振れていると解釈できる。図1のAと α は反比例の関係にあるから、Aを長くすれば α の振れ幅を小さくできると思われる。また、キャスターのピボット点をローリング軸に近づけるほどローリングの影響は少なくなるとも思われる。ハードの改良は今後、実施する予定である。

図3は10回の360度旋回試験結果である。右旋回、左旋回の両方について半径3, 5mで2, 5, 10回旋回した。旋回半径を以下の式から、機体の総旋回角 θ を(7)式から計算した。

$$R5 = (WB5 - A \cos \alpha) / \sin \alpha \quad (5)$$

$$R0 = R5 \cos \alpha - A \sin \alpha \quad (6)$$

$$\theta = \sum \omega \quad (7)$$

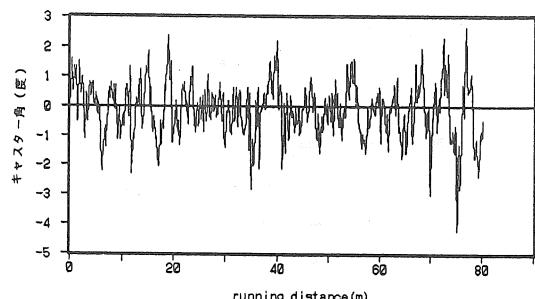


図2 直線走行時の α の振れ

ここで

R5:測距輪の旋回半径

R0:後車軸中心の旋回半径

実験で得られた結果を表2に示した。総旋回角 θ の誤差は平均値でみれば+1~-3度で何れも所定の旋回角に近く、また、 θ の変動率は0.5%以下で第5、6輪の場合にくらべ安定していた。旋回の場合、直線走行と違い切り捨てなどの処理を一切行っていない。直線走行時、 α の振れを調べたところ、標準偏差にして0.6~0.8度、統計的には±2度の振れがあることがわかった。従って旋回中にもこの程度の α の変動はさけられないものと考えられる。また、スタート時に α が0でないこれが積算されて θ の誤差となる。これらが合算されて表2のような誤差になったと思われる。

図4は右旋回、左旋回を組み合わせた8の字旋回時の旋回角認識精度を調べた結果である。例として4回の旋回結果を示した。

この場合には α の初期設定、および旋回角の認識共に正確であったらしく、最終の θ は0.7度となった。以上の結果からこの装置は条件さえよければ旋回角を正確に認識できると思われた。そこで任意経路を走行し、軌跡を描かせるとともに、光波測距角儀で通過点を測定し、トラクタから求まる座標と光波測距角儀から求めた座標が一致するかどうか試験した。

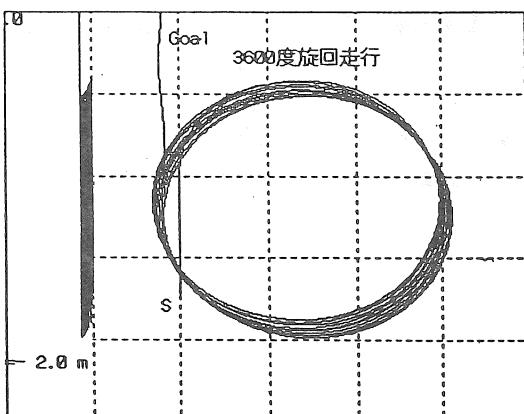


図3 360度旋回走行時の軌跡

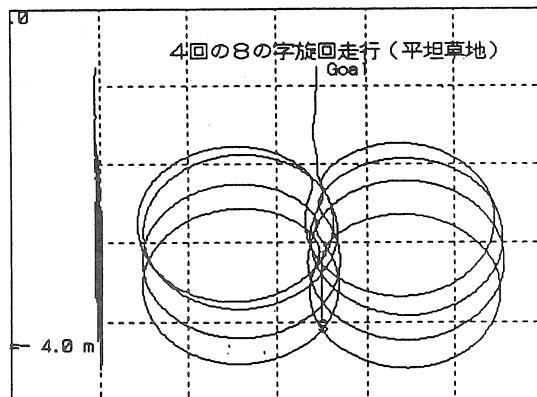


図4 8の字旋回時の走行軌跡

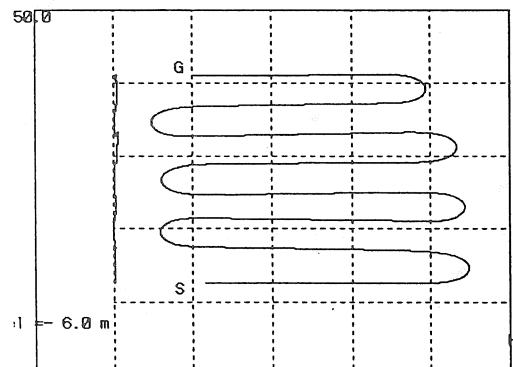


図5 往復走行軌跡

図5は往復走行した結果である。光波による通過点計測をしなかったがほぼ正確に軌跡をとらえられた。しかし、毎回このような結果が得られたわけではなく、安定性に欠けた。特に轍や凹凸の激しいところでは正確な軌跡が描けなかった。観察によれば凹凸の激しいところでは測距輪が飛び跳ね、正確に α を測定できていないことがあった。今回は測距輪荷重を10kgとした。この荷重は低すぎたと思われる。図6は平坦な牧草畠を走行した時の走行軌跡の一例である。黒丸は光波測距角儀を使って割り出した通過点である。刈り株や凹凸が激しかったためか、一致すべき両者は必ずしも一致していない。

表2 旋回角の認識精度

	2回転	5回転	10回転	旋回半径(約)
Test No.	720 deg	1800 deg	3600 deg	
1	723.6	1798.0	3583.0	$r = 5\text{ m}$ 右旋回
2	714.9	1804.8	3598.1	$r = 3\text{ m}$ 右旋回
3	717.6	1805.7	3592.6	$r = 5\text{ m}$ 左旋回
4	722.0	1795.6	3615.0	$r = 3\text{ m}$ 左旋回
mean	719.53	1801.03	3597.18	
std	3.46	4.32	11.62	
変動率%	0.48	0.24	0.32	

5. 結論

第5輪からの距離と第5輪旋回角、及び機体の傾斜情報からトラクタの走行軌跡を求める基礎的な実験を行った。

直線走行のばあい、路面の凹凸や機体のローリングによって第5輪の旋回角が振れ直線と認識できなかった。この問題を解決するためデータの平滑化と不感帯（1種のしきい値）を設けることを検討した。その結果、軌跡認識の誤りは主として第5輪旋回角に原因があった。しかし、第5輪の旋回角の平滑化が不可能なため平滑化は問題の解決にならなかった。ハードの改良による改善も示唆されたが今回は±2度の不感帯を作るというソフト的対策により直線走行を認識させた。

第5輪旋回角の信頼性を確かめるため720, 1800, 3600度の旋回試験を行った。その結果、旋回角を誤認識率0.5%以下で認識した。左右旋回を

繰り返す8の字旋回でもほぼ正確な認識ができた。しかし、任意経路の走行試験では路面の凹凸のため正確な認識ができなかった。今後どうすれば測距輪が安定するかについて検討したい。

引用文献

- 1) 本橋, 嶋田, 田中, 高野; 測距輪による走行軌跡の計測, 農機誌57(2), 29-35, 1996
- 2) 本橋, 高野, 田中, 嶋田; 測距輪による位置認識, 農機誌58(1), 43-48, 1996

〔閲読者コメント〕 論文の中には示されていませんが、自由経路走行時の認識誤差はどれくらいですか。又、その値は、走行距離が大きいほど大きくなる結果でしたか。

〔著者回答〕 図6の自由走行時の認識誤差は約1m位です。誤差は走行距離が大きくなるほど大きくなりました。現在ハードの改良をした装置で実験していますが、第5輪荷重を大きくすると旋回角の認識が安定するという結果が得られています。

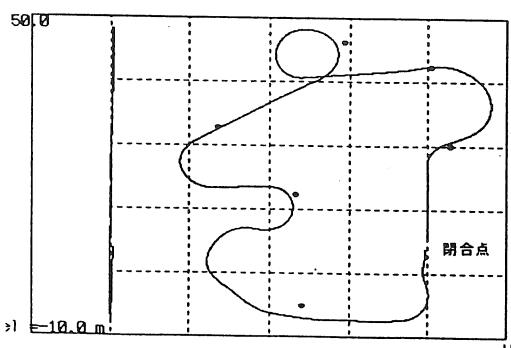


図6 自由経路走行結果(●光波による通過点)

微分幾何学的アプローチによる枕地の最短旋回軌道

鳥巣 諒*・田中健一*・武田純一*

Optimal Paths of Headland for Tractor from Differential Geometry Perspective

Ryo TORISU*, Ken-ichi TANAKA*, Jun-ichi TAKEDA*

Abstract

This paper concerns the optimal path and minimum time problems in headland for a tractor. We apply the mathematical theorem that is derived by Dubins and extended by Reeds and Shepp to the headland pattern analysis.

Main results are summarized as follows:

- (1) Optimal paths are achieved for the input when travel velocity is maximum and steering angle is maximum or zero. They are composed solely of arcs of circles and straight line segments.
- (2) Optimal path is a function of wheelbase length L , minimum turning radius R_m of a tractor, and direction of travel(forward or backward).
- (3) Optimal paths and minimum times are changed by the parameter of furrow width (d).

[Keywords] 枕地(headland), 旋回技術(round technique), 最短旋回軌道(optimal path)

I はじめに

圃場内での作業効率を向上させるためには、枕地でのトラクタ・作業機系の旋回を効率的に行うことが望ましい。そのため、枕地旋回に関して、居垣による初等幾何学・運動学的な観点からの先駆的な研究¹⁾がある。これは、枕地でのトラクタの旋回方法の直観的な考察を行ったもので、幾つかの問題点はあるものの、基本的にはほぼ正しい結論を得ている。また、村田ら²⁾は古典変分法を拡張した最大原理を用いて枕地問題を理論的に解明している。特にトラクタの運動を曲率と軌道の関係で定式化しているところにそのオリジナリティがある。ただし、その推論と得られた結論には若干の問題がある。

枕地問題とは、与えられた枕地をトラクタで最短時間あるいは最短距離で旋回するには、どのような操縦法を行えばよいかという問題である。トラクタがこれまで作業をしてきた畠から次の畠へ入るために枕地で方向転換を行うが、通常は、2つの畠は平行でかつその幅も定まっている。前述の2つの論文も明確には言明されていないがこの

ことを仮定している。

一方、2つの畠が平行でない、すなわち初期位置と終端位置を任意の関係に広げると、農業の場のみならず、ある初期位置・状態にある車両（車輪型移動ロボット）を希望するもう一つの終端位置・状態に移動させるという、より一般的な大きい範囲の問題となり、piano-mover problem³⁾と呼ばれることがある。この拡張された問題は応用数学^{4),5)}、ロボット工学⁶⁾の分野でも色々な関連問題として最近、研究が進んでいる。特に、後者の2つの分野では、車両系を非ホロノミック系としたものである。著者らも別論文⁷⁾で検討しており詳細はそちらに譲る。

本論文の目的は、応用数学の分野で得られた2つの定理^{4),5)}を用いて、農業における狭義の枕地問題を明確に定義し、正解を与えることである。

II 枕地問題

1) 狹義の枕地問題の定義

本論文で検討する枕地におけるトラクタの初期位置と終端位置は図1で示す状態を考える。すな

わち圃場は長方形とし、これまで作業して来た畠と次に入る畠は平行とする。枕地の奥行きは十分あるものと仮定する。このような状況下で、トラクタを操縦する場合、次の畠に最短時間で入るためににはどのような運転・操縦を行えばいいかという問題である。なお、片ブレーキによる旋回は本論文では考慮しないものとする。

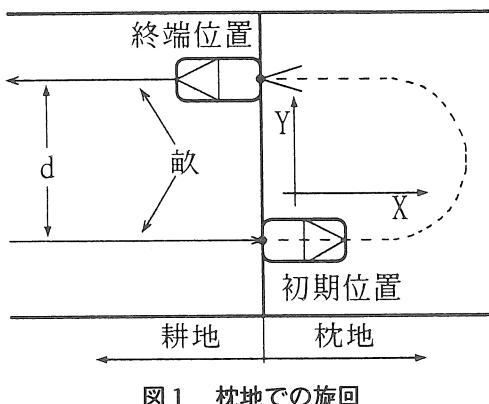


図1 枕地での旋回

2) トラクタ運動の定式化

基本的には低速時のトラクタの運動は剛体の平面運動であり、操舵角と後輪点周速度の2つの入力を操作することによって、運動が制御される。ところが、トラクタの走行速度は最大速度に制限がある。また、操舵角にも制限があり、トラクタは最小旋回半径より大きな運動しかできない。通常、この運動は2輪等価モデルで表され、左右後輪点中心の座標と車体の姿勢角（ヨ一角）で表される⁹⁾。

3) 微分幾何的な見方への変換

操舵機構を持つ剛体の平面運動をDubins⁴⁾や村田ら²⁾は以下に述べるように曲率に制約のある曲線問題に変換して枕地問題にアプローチした。この微分幾何的な見方に変えると、質点の運動を考えることができる。すなわち、ある速度を持つ質点（後輪点）を考え、また、操舵角はこの質点が運動する場合の軌道の曲率半径を定める働きをすると考えると前輪点の運動を考えなくてよい。すなわち、トラクタの剛体運動を速度ベクトルをもつ質点の運動と見なしていることになる。

4) 数学の定理

上に述べた立場に立って、Dubinsは、ある初

期位置で一定の速度ベクトルを持つ質点が、与えられた終端位置で与えられた速度ベクトルを持つとき最も短くなるような軌道を求めた。ただし、速度ベクトルの大きさは運動の間、常に一定とする。ReedsとSheep⁵⁾はさらに運動の方向を前進だけでなく後退も許す場合に拡張して最短軌道を求めた。

これらの内容を車両の操縦法に適用すると、ある位置から別の任意の位置に移動する場合の最短軌道を得るために、次の2つの操縦原理を採用していることになる。

（操縦原理1）速度は、前進であれ後退であれ、一定で最高速度をとる。

（操縦原理2）操舵角は、右であれ左であれ、最大に切るか、あるいはゼロにする。

以上のこととは、直観的にも了解されることで、早く到達しようと考えるとスピードは最高に出し、ハンドル操作は最大に切るように努めるであろう。また、Uターンする場合を考えても、ある速度ベクトルを持つ場合には静止した質点を移動させる場合のように単純な2点を結ぶ線分にはならないことも直観的に分かることである。

5) 最短軌道導出の条件と仮定

これまで示した条件と仮定をまとめると。

（条件1）操舵角 α は、 $|\alpha| < \alpha_m [\text{rad}]$ 。

〔結論〕 $\alpha = \pm \alpha_m$ または、 $\alpha = 0$

（条件2）走行速度 v は、 $|v| < V_m [\text{m/s}]$ 。

〔結論〕 $v = \pm V_m$

（条件3）車両は前輪操舵・後輪駆動とし、

ホイールベースは $L [\text{m}]$ とする。

ここで、 α_m ：最大操舵角、 V_m ：最大速度。

（仮定）前進と後退の切り替え時のギアシフトの時間、操舵における人の動作遅れ等は無視する。

6) 操舵角 α と旋回半径 R の関係

2輪等価モデル理論から、操舵角 α の時の旋回半径を $R [\text{m}]$ とすると、次の関係が成り立つ。

$$R = L / \tan \alpha$$

当然、この関係は、最小旋回半径 R_m 、最大操舵角 α_m の場合にも成り立つ。

III 枕地問題の解法

以上の操縦原理を枕地問題に適用すると、はじめ、X軸のプラス方向のベクトルを持つ質点がX軸の負の方向のベクトルを持ち、かつ、Y軸方向に距離 d 離れた位置に移動する場合の最短距離を求める問題である。なお、この場合 d は敵幅を表し、最初から与えられるものである。この問題は、以下に示すように、敵幅 d と速度の方向（前進だけの場合と後退も許す場合の2つ）で解が異なってくる。このため、敵幅 d をパラメータとして、前進だけの場合と後退も許す場合の2つのケースに分けて検討する。

1) 前進だけの場合

直観的に分かりやすいので、①はじめにパラメータ d が $d = 2 R_m$ のときを考える。このときは、ハンドルを最大に切っておくとよいことは明らかである（図2(ア)）。②次に、 $d > 2 R_m$ のときは、図2(イ)に示すように、車両がY軸と水平になった瞬間ハンドルを水平に戻し、入る敵の半円と接する位置でハンドルを逆に切ればよい。同図から、明らかなように、最短軌道は円弧と直線で構成される。③最後に、 $d < 2 R_m$ のときであるが、 d を固定した場合、最短軌道は速度を最大に出し、最大操舵角で切り替えるので、導かれる軌道は円弧を次々に接続したものになる。これを具体的に実行すると、図2(ウ)と図3(ア)に示す2通りの結果が得られるが、この場合、角度 ϕ [rad]の大きさによって旋回距離が変化する。すなわち、 ϕ が大きければ大きいほど旋回距離は長くなる。よって、図3(ア)は最短旋回軌道ではない。

以上の考察から、前進だけを許す場合の最短軌道は、敵幅 d によって変化し、最短距離 S [m]と最短時間 T [s]は、次のようになる。

$d \geq 2 R_m$ のときは、Pを直進距離とすると、

$$S = \pi R_m + P, \quad T = \frac{\pi R_m + P}{V_m}$$

$d < 2 R_m$ のときは、図2(ウ)と図3(ア)において、錯角より、 $\angle BAC = \angle DEC$ であるから、弧 $BC =$ 弧 DC となる。よって、

$$S = \pi R_m + 4 R_m \phi, \quad T = \frac{\pi R_m + 4 R_m \phi}{V_m}$$

ここで、図2(ウ)のとき、 $\phi = \cos^{-1} \left(\frac{2 R_m + d}{4 R_m} \right)$

$$\text{図3(ア)のとき、 } \phi = \cos^{-1} \left(\frac{2 R_m - d}{4 R_m} \right)$$

2) 後退も許す場合

後退も許す場合は、パラメータ d が① $d = 2 R_m$ の時と② $d > 2 R_m$ の時は、わざわざ後退運動をする必要がないことは図2(ア)と(イ)から明らかであろう。③ $d < 2 R_m$ の時は、前進だけの場合と同様、最短軌道は速度は最大に出し、最大操舵角で切り替えるので、導かれる軌道は円弧を次々に接続したものになる。図2(カ)と(キ)の2つの軌道が得られる。両者の軌道を計算すると、2つの軌道は同じ長さとなり、その距離は πR_m となる。また、2つの異なった d を比較した場合でも上の結果から敵幅 d には無関係ということが分かる。

以上の結果から、後退も許す場合の最短軌道は、敵幅 d が $2 R_m$ より小さいか大きいかで異なる。 $2 R_m$ より大きい場合には、前進だけの場合と同じで後退を使う必要がない。 $2 R_m$ より小さい場合には、与えられた d に対して2つの軌道の異なった解が存在する。これは注目すべきことである。しかも、最短距離 S と最短時間 T は、 d の変化には無関係である。これらをまとめると、次のようになる。

$d > 2 R_m$ のときは、

$$S = \pi R_m + P, \quad T = \frac{\pi R_m + P}{V_m}$$

$d < 2 R_m$ のときは、図2(カ)において、錯角より、 $\angle BAC = \angle DEC$ であるから、弧 $BC =$ 弧 DC となる（図2(キ)も同様）。よって、

$$S = \pi R_m, \quad T = \frac{\pi R_m}{V_m}$$

3) 前進と後退の併用

図4は $R_m = 1.5[m]$ としたとき、以上の結果を図解したものである。敵幅が小さくなればなるほど後退を併用した方が最短距離になっている。

農作業ではトラクタのホイールベース L や最小旋回半径 R_m に比較して、敵幅が小さい場合が多い。そのような場合に後退を併用した旋回法が使われる根拠が明確に示されている。熟練したオペレータが後退も併用して旋回していることは、ギ

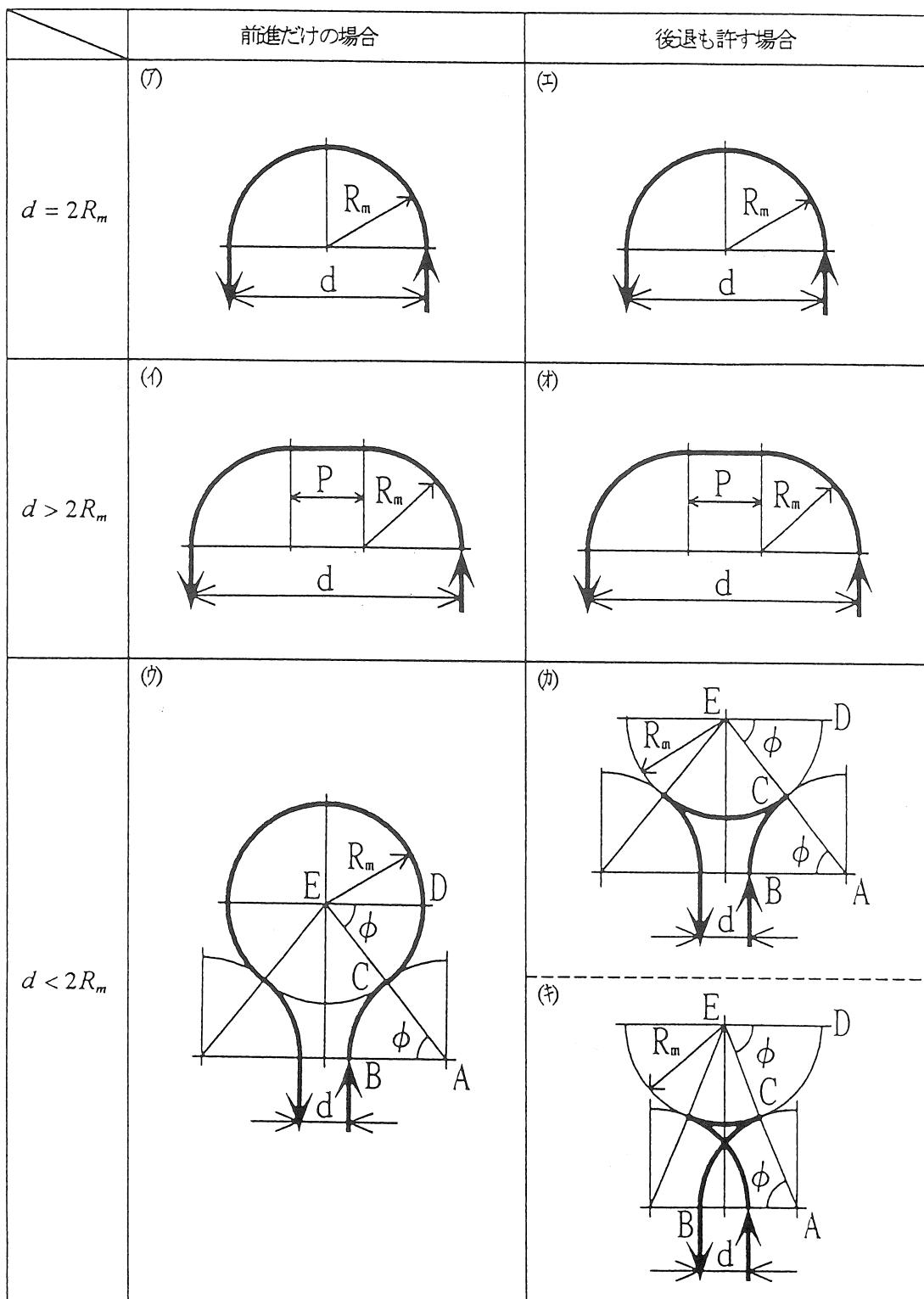


図2 最短旋回軌道

アシフトの時間ロスを補うに余りあるメリットがあるからと予想される。

4) 居垣と村田らの研究に関する再検討

居垣の研究では、①最大操舵角と最大速度を取るということを暗黙の仮定として使っていた。直

観的に明らかということで明記されていなかったと思われる。②ところが、彼は前進だけの場合、図3(ア)の場合も最短軌道として分類しているが、前述した通り、これは誤りである。③後退も許す場合に図3(イ)の操舵角ゼロの場合（直線路）が存在するとしているが、これも誤りである。そうはいうものの直観的な考察からほとんど正解を得ていることは十分に評価される。村田らの研究でも、②と③について同じ誤りがある。

5) 最短時間と最短距離の関係

図2(イ)の軌道を考えた場合、もし速度が最大速度の半分になても軌道そのものには変化がない。一般に運動学モデルの場合には、運動軌跡は速度に無関係に決まる。一方、操舵角を小さくすると軌道半径は大きくなる。例えば、 $d = 4 R_m$ の場合、最大操舵角が α_m ならば、最短旋回軌道は図5に示す実線になり、 $\alpha_m / 2$ ならば、最小旋回半径が2倍になり最短旋回軌道は破線のような半円になる。以上のことから、最高速度が前提にあり、ギアの入れ替え時間等が無視できるならば、最短時間と最短距離は同じになる。

6) 最高速度について

居垣や村田らの研究では速度一定という条件で解かれたもので、厳密には最高速度という結果は入っていない。これに関しては別のアプローチが必要で、筆者らも、枕地の最短時間制御問題を最適制御の観点からいろいろ検討している。そこでは、車両諸元を与え、速度と操舵角を未知の入力として、枕地の最短軌道を求めている。これは一

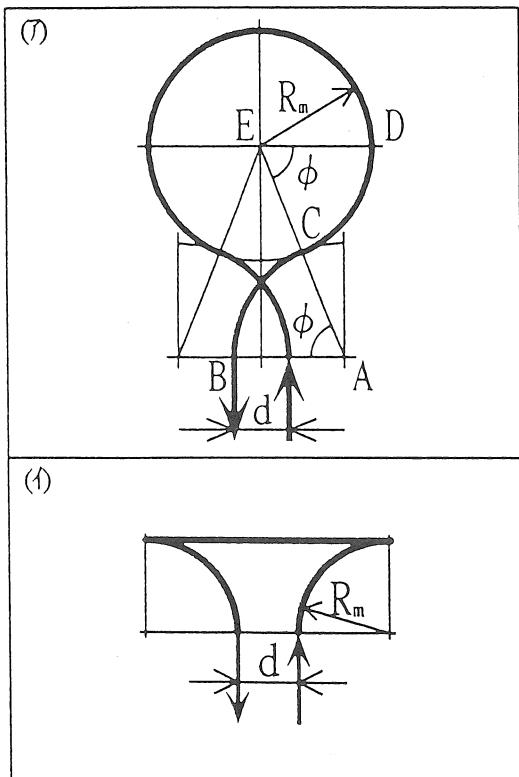


図3 居垣や村田らの旋回軌道

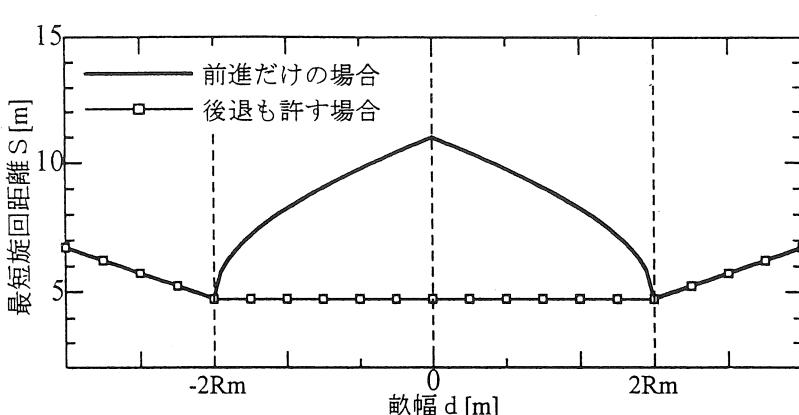


図4 故幅の違いによる最短旋回距離 ($R_m = 1.5$ [m] のとき)

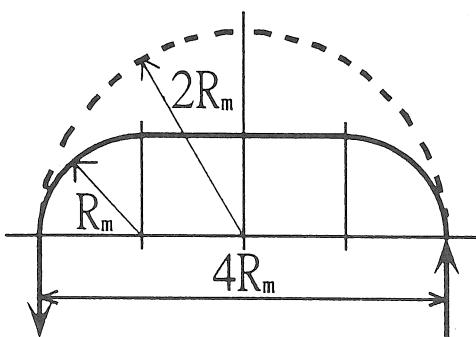


図5 最大操舵角が異なる場合の最短旋回軌道

種の逆問題で、このような状態になるためにはどのような入力となるかという問題、すなわち、どのようにハンドルを切り、どういう速度で走ればいいかという問題を解くことになる。その詳細は別報⁷⁾に譲る。

IV おわりに

これまで展開した理論は非常に理想化されたものであり、実際の農作業システムと合わないという批判があると思われるが、ものごとの成り立ちを解明にするためには、混沌とした現象から本質的な事柄のみを抽出し、理想化を行うことが大切なのである。オペレータの技能やハンドル入力から操舵輪までの慣性系の問題、機構の時間遅れ等は、後から評価することができる。

これまでの結果をまとめると次のようになる。

トラクタの諸元を定めて枕地の最短旋回軌道を求めるとき、

(1) 犁幅が最小旋回半径 R_m の 2 倍よりも大きい場合には、速度は、前進かつ最高速度で走る。舵取は、最大操舵角とゼロの場合の組み合わせを採用する。

(2) 犁幅が $2R_m$ より小さい場合には、後退を併用した方が前進だけの場合より速い。この場合も、速度は最高速度 ($\pm V_m$) にし、舵取は、最大操舵角 ($\pm \alpha_m$) を採用する。しかも、最短旋回時間はパラメータ犁幅 d によらず、常に一定となる。

今後は、これらの基本的な性質に、人の動作遅れなどの特性、車両に固有の伝達遅れ、片ブレーキ操作による回転半径の減少等を考慮した枕地最短時間を考察してみようと考えている。

参考文献

- 1) 居垣：4輪トラクタの耕起能率に関する研究，I. 圃場内側での旋回法と走行距離について，農機誌, 25(2), 71-75, 1963
- 2) 村田, 田川, 石橋：最大値原理と枕地最短旋回距離, 農機誌, 50(5), 91-92, 1988
- 3) Jean-Paul Laumond *et al.* : A motion planner for nonholonomic mobile robots, IEEE Trans. on Robotics and automation, 10(5), 577-593, 1994
- 4) L.E.Dubins : On curves of minimal length with a constraint on average curvature and with prescribed initial and terminal positions and tangents, Amer. J. Math., 79, 497-516, 1957
- 5) J.A.Reeds, L.A.Shepp : Optimal paths for a car that goes both forwards and back-wards, Pacific J. Math., 145(2), 367-393, 1990
- 6) 中村：非ホロノミックロボットシステム，（第3回）幾何学的な非ホロノミック拘束の下での運動制御, 日本ロボット学会誌, 11(6), 837-844, 1993
- 7) 鳥巣, 田中, 井前, 石川：トラクタの枕地最短旋回時間問題（第1報），農機誌（投稿中）
- 8) 鳥巣, 武田, 伴野：連結車両の極低速時の運動を表す基礎方程式, 農機誌 52(5), 27-34, 1990

[閲読者コメント] 枕地の奥行きは十分あるものとして考慮されていますが、一般的にはなるべく短く制限し、処理工程を少なくする方が効率的であるといわれています。今後最短時間との関係で最適な枕地距離を見つけるような研究をされる予定はありますか。

[筆者回答] ご指摘の通り、枕地の奥行きについては一般的に短くしたほうがよいといわれています。今後、広く使用されている片ブレーキによる旋回も考慮に入れて、奥行きを短くする旋回方法を実験等によって検討していく予定です。

トラクタ走行による土壤圧縮の有限要素法による解析

—土の負荷時と除荷時の粘弾性定数の測定—

広間達夫*・阿部考志*・太田義信*

Finite Element Analysis for Soil Compaction under a Running Wheel

—Measurement of Constants for Loading and Unloading Soil Model—

Tatsuo HIROMA*, Koshi ABE*, Yoshinobu OTA*

Abstract

This paper describes a combined model for soil which are viscoelastic model under loading and elastic model under unloading. The model behaves like a plastic body under loading and unloading. The constants of the viscoelastic model and the elastic modulus of the elastic model are measured with unconfined compression tests in which a soil sample is deformed with constant strain rate up to 10% strain and then are kept under constant stain and finally are unloaded. The constants are practically measured and verified with simulations by use of FEM. Soil compaction under a running wheel can be calculated by use of the combined model.

[Keywords] trafficability, soil compaction, finite element method, viscoelasticity

1. 緒 言

トラクタや作業機の走行によって圃場内の土は圧縮され、場合によっては下層土の過圧縮により作物の生育に影響が生じる場合がある。大型作業機を使用しているアメリカやヨーロッパでは土壤踏圧が既に大きな問題になっている¹⁾。日本でもトラクタや作業機の大型化とともにこれらの問題が顕在化しつつある。これらの対策のために、低圧タイヤやゴムクローラの採用、ワイドトレッドトラクタやワイドフレームトラクタ等の車両の開発が試みられている²⁾。また、土の圧縮の程度を土壤硬度で評価し、車両の圃場内走行が土壤硬度に及ぼす影響³⁾が調べられている。

一方、土の圧縮現象を力学的に解明することも必要である。著者らは、トラクタ走行時の車輪接地応力の解析を有限要素法を用いて検討している⁴⁾。有限要素法を用いれば、接地応力分布と同時に土の応力及びひずみの状態が得られる。開発した有限要素法プログラムは、土を粘弾性体として

取り扱っているが、接地法線応力の最大値が接地部の前半で生じるなどの実験結果で得られる現象を表現できる。しかし、車輪通過後の土の弾性回復が大きくて、わだちの形成効果が小さいことが分かった。塑性構成式を用いればこの事が解決されると思われるが、体積圧縮を表現できる構成式⁵⁾は非常に複雑である。負荷時は粘弾性的性質を持ち除荷時には弾性体として振る舞うモデルを採用することによって、塑性の性質を近似的に表現できる。本研究では、有限要素解析に必要な負荷時と除荷時の粘弾性定数及び弾性定数を測定する。

2. 負荷及び除荷モデル

負荷時のモデルとして、応力緩和や弾性余効現象を表すことができる最も簡単なモデルとして図1に示す3要素固体モデルを採用し、除荷時は弾性体モデルを採用した。このモデルは、図4に示すように、除荷後の永久ひずみを表現できる。土の粘弾性定数の測定にはクリープ試験や振動試験

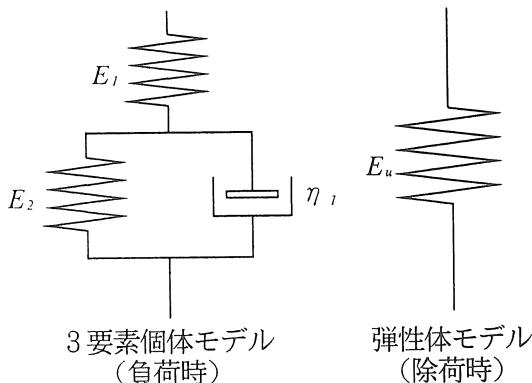


図1 土の負荷除荷モデル

が行われる⁶⁾。また一定ひずみを保った応力緩和試験⁷⁾も試みられている。土を粘弾性体及び弾性体で表したモデルは、一種の近似モデルであるので、適用する現象に近い条件で試験することが良い結果をもたらすと考えられる。そこで、車輪通過による土の変形の観点から、車輪に接触した土が最初は急速に変形し、徐々に変形速度が遅くなり、最後に除荷される場合を想定した圧縮除荷試験を行う。試験では、土試料を一定速度で圧縮変形させた後、変形を止めて応力緩和を生じさせ、最後に除荷する方法が用いられる。

負荷時の3要素固体モデルの応力 σ とひずみ ϵ の関係は、次式で表される。

$$\sigma + p_1 \frac{d\sigma}{dt} = q_0 \epsilon + q_1 \frac{d\epsilon}{dt} \quad (1)$$

ここで p_1 , q_0 , q_1 は

$$\left. \begin{aligned} p_1 &= \frac{\eta}{E_1 + E_2} \\ q_0 &= \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2} \\ q_1 &= \frac{E_1 \eta}{E_1 + E_2} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

で与えられる。

このモデルを定ひずみ速度 $d\epsilon_0/dt$ で変形させると、試料に発生する応力は次式で得られる。

$$\sigma = (q_1 - p_1 q_0) \frac{d\epsilon_0}{dt} \times (1 - e^{-\nu p_1}) + q_0 t \frac{d\epsilon_0}{dt} \quad (3)$$

次に、変形開始後 $t = t_r$ で変形を止めるとモデルは(4)式で表される応力緩和挙動を示す。時間 $t = t_r$ で、応力とひずみがそれぞれ $\epsilon = \epsilon_r$, $\sigma = \sigma_r$ であるとするとき、応力緩和挙動が次式で与えられる。

$$\sigma = q_0 \epsilon_r + (\sigma_r - q_0 \epsilon_r) e^{-(t-t_r)/p_1} \quad (4)$$

したがって、定ひずみ状態の応力緩和試験の結果を用いると、(4)式から q_0 及び p_1 を求めることができる。さらに、時間 $t = t_r$ における、 σ_r , ϵ_r および q_0 , p_1 を(1)式に代入すれば q_1 が求められる。したがって、負荷時の粘弾性定数は(5)式で得られる。

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= \frac{q_1}{p_1} \\ E_2 &= \frac{q_0 q_1}{q_1 - q_0 p_1} \\ \eta &= \frac{q_1^2}{p_1 - q_0 p_1} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

また、除荷時の弾性定数は

$$\sigma = E_u \epsilon \quad (6)$$

から求められる。

なお、有限要素法の計算には3軸応力系の諸定数が必要である。そのために、単軸応力系から3軸応力系の諸定数に変換する⁷⁾。変数 λ

$$\lambda = \frac{1 - 2\nu}{1 + \nu} \quad (7)$$

を導入すると、体積弾性定数 K_i , K_z 横弾性定数 G_i , G_z 及び体積変形及びせん断変形の粘性定数 η_K 及び η_G が得られる。

$$\left. \begin{aligned} K_i &= \frac{E_i}{3(1-2\nu)} \\ G_i &= \frac{E_i}{3(1+\nu)} \\ \eta_K &= \frac{\eta(\lambda+2)}{9\lambda} \\ \eta_G &= \frac{\eta(\lambda+2)}{6} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

ここで、 ν はポアソン比であり、添字*i*は負荷時の粘弾性モデルの弾性要素1,2及び除荷時の弾性要素uを表している。

3. 実験方法

直径60mm, 高さ150mmの円柱形の供試体を用

いて側方非拘束1軸圧縮試験を行った。図2に試験装置の概要を示す。供試体の圧縮変形及び除荷は油圧シリンダで行い試料の変形速度は流量制御弁で回路に流れる油の流量を調整して行った。

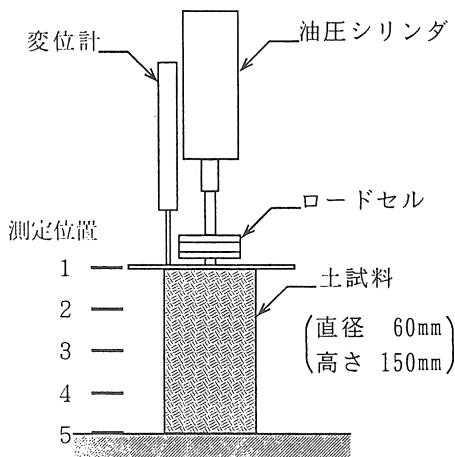


図2 側方非拘束一軸圧縮試験装置の概要

実験には、岩手大学農学部付属農場で採取した土を供試した。土性を表1に示すが、国際土壤学会法の土性分類による分類ではロームに相当する。供試体は、含水比を約70% (d.b.) に調整した土を、モールドとランマーを用いて密度が均一になるように5層に分けて突き固めて製作した。突き固めの目標とした湿潤密度は1.4~1.5g/cm³である。しかしこの範囲を外れる供試体が多数出来上がったので、これらも全て試験に用いることにした。

表1 土の組成

土粒子の密度	(g/cm ³)	2.79
液性限界	(%, d.b.)	76.0
塑性限界	(%, d.b.)	54.4
粒度分析		
粗砂分	(%)	24.0
細砂分	(%)	37.0
シルト分	(%)	30.0
粘土分	(%)	9.0

実験は、供試体を一定変形速度で10%のひずみまで圧縮変形させた（定ひずみ速度試験）後、シ

リンダを止めて約3秒間一定ひずみ状態を保ち（応力緩和試験），最後にシリンダを戻す（除荷試験）ことで行った。また負荷時のひずみ速度の影響を調べるために、負荷時の変形速度を変えて行った。

粘弾性モデルの弾性要素1及び2，除荷時の弾性モデルのポアソン比は、本来それ異なっていると思われるが、これらを区別して測定することが困難であったので、ポアソン比は、全て等しいと仮定した。試験終了後、図2に示す5個所の位置で直交する2つの直径を測定して、これらの平均値を試験終了後の供試体の平均直径とし、半径ひずみを計算した。この時の垂直ひずみと半径ひずみの比を供試体のポアソン比とした。

4. 実験結果および考察

実験中の応力の変化の1例を、負荷時のひずみ速度が今回の実験では0.23s⁻¹の場合について図3に示す。図3で、①の部分が定ひずみ試験、②の部分が応力緩和試験であり、③の部分が除荷試験結果である。定ひずみ速度試験において応力勾配が徐々に減少すること、定ひずみ試験で応力緩和が生じていることなど、粘弾性体の性質を良く示している。除荷時には応力がほぼ直線的に変化しており、弾性体の性質を示している事が分かる。この場合の実験結果から求めた諸定数は図3中に示してある。求められた諸定数を用いて、時間経過に対する応力の変化を計算したのが、図中の破線である。負荷過程および除荷過程で計算値は実験値と良く一致していることが分かる。応力が緩和する過程では、計算結果の応力は時間の経過とともに一定値に近づくが、実験結果では応力の減少が続いている。この事は、粘性定数が大きくて緩和時間が長い要素も含んでいることを示唆している。この現象を表すためにはさらにvoigt要素を増やすことが考えられるが、車輪下の土の圧縮を検討する場合では、3要素モデルでも十分であると考えられる。この場合のひずみと応力の関係を図4に示す。供試体に負荷を与えた後には永久ひずみが存在するが、本モデルでこの現象を十分表現できる事が分かる。なお、負荷過程で実験値と計算値に若干の差があるのは、油圧シリ

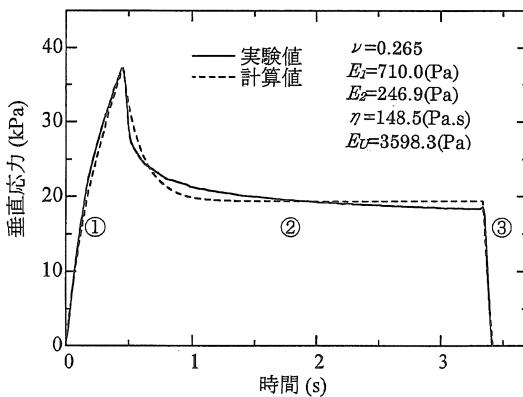
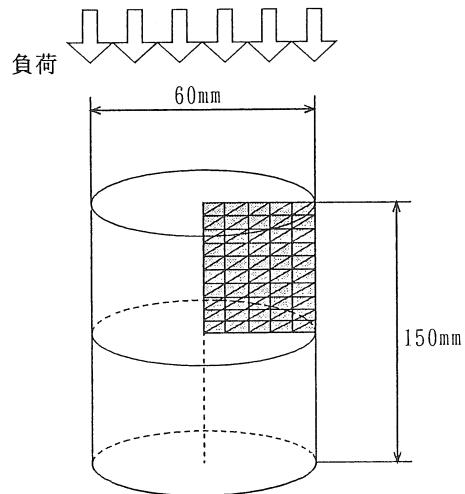
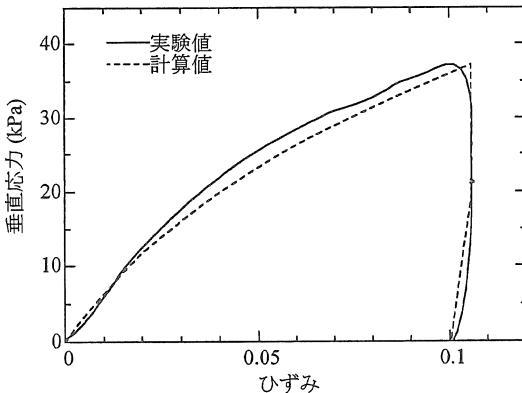
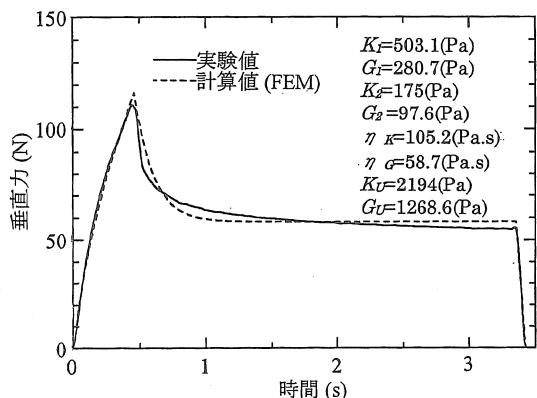
図3 垂直応力の変化(ひずみ速度 0.23s^{-1})

図5 土の有限要素解析モデル

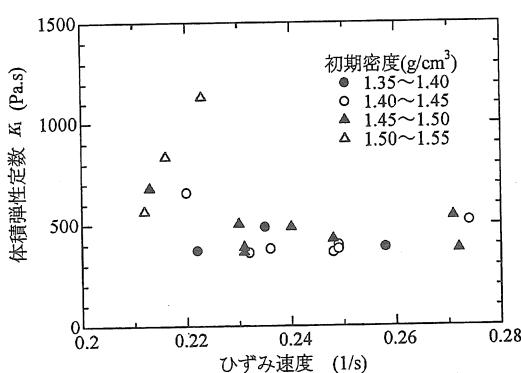
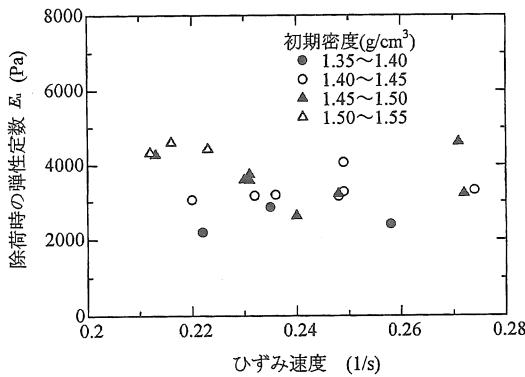
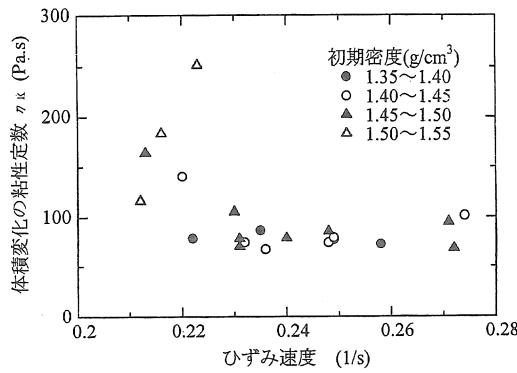
図4 ひずみと垂直対応力の関係
(ひずみ速度 0.23s^{-1})図6 垂直力の変化の有限要素法による計算結果
(ひずみ速度 0.23s^{-1})

ソダが停止するためには減速する時間が必要であり、そのために負荷試験中一定速度になっていかなかったことによると考えられる。

ここで求められた諸定数の妥当性を検討するために、有限要素解析を行った。円筒形試料を軸対称及び上下対称として取り扱い、図5に示した半径30mm、高さ75mmのモデルを解析に用いた。計算は、負荷時における最終変形に達するまでにかかる時間の1/20の時間増分で行ったが、最終変形量の1/20の変位増分を与えて最終変形量まで変形させ、その後変位の増分量を0として定ひずみ試験が終了するまで計算を行い、最後に除荷時の変形速度から求めた変位増分を与えて除荷計算をした。図4の実験について計算を行った結果を

時間の経過に対する軸荷重の変化で図6に示す。計算に用いた諸定数は、図4に示される単軸応力系の値を3軸応力系に変換した値で、これらの値を図6に示す。計算された値を破線で示すが、計算の結果は実験結果と良く一致しており、本方法で負荷時の粘弾性定数と除荷時の弾性定数を求めることができる事が分かる。

1軸圧縮試験で求められた諸定数について、定ひずみ試験における負荷時のひずみ速度の効果に関して調べた。負荷時のひずみ速度が粘弾性体モデルの弾性要素1の体積弾性定数 K_1 に及ぼす影

図7 体積弾性定数 K_v のひずみ速度による影響図8 除荷時の弾性定数 E_u のひずみ速度による影響図9 体積変化の粘性定数 n_k のひずみ速度による影響

響を図7に示す。体積弾性定数 K_v は、ひずみ速度が 0.22s^{-1} から 0.27s^{-1} の範囲ではほぼ一定であった。ひずみ速度が 0.22s^{-1} 以下で大きな値が得られているが、これらは初期密度が $1.50\text{g}/\text{cm}^3$ 以上

の結果である。除荷時の弾性体モデルの弾性定数を図8に示す。この場合も、実験範囲ではひずみ速度の影響が見られない。その値は、負荷時の弾性要素1の体積弾性定数 K_v の6倍程度あり、供試土が塑性変形挙動を示している事が分かる。図9はひずみ速度の体積変化に関する粘性定数 n_k の変化を示す。 n_k の値も初期密度が $1.50\text{g}/\text{cm}^3$ 以上の場合を除けばひずみ速度の影響をあまり受けていない。

この他の定数でも同様な傾向を示し、このモデルが、車輪が接近し離れていく場合の土のモデルとして妥当である事が分かる。供試土の密度が大きくなれば、弾性定数が大きくなると思われるが、今回の実験では、十分に確認できなかった。

5. 結 言

トラクタ走行による土の圧縮現象の有限要素解析を行うために必要な土の力学モデルについて検討した。

(1) 負荷過程は3要素固体モデル、除荷過程は弾性体モデルを採用することによって、土の塑性挙動が表現できる。

(2) このモデルの諸定数は定ひずみ速度試験と定ひずみ試験および除荷試験を組み合わせた側方非拘束1軸圧縮試験から求められる。

(3) ここで得られた諸定数の妥当性を、有限要素解析による1軸圧縮シミュレーションで確認した。

(4) 車輪走行時の車輪下の土の圧縮挙動の解析が可能となった。

参考文献

- 1) Taylor, J.H. and W.R.Gill : Soil Compaction: State-of-the-art report, J.of Terramechanics, 21(2), 195-213, 1984
- 2) 近江谷和彦：耕地環境と土壤踏圧，農業機械学会アクティ21「耕地環境」プロジェクト論文集, 47-60, 1993
- 3) 近江谷和彦, 佐野泰将, 寺尾日出男：車両のほ場走行と土壤高度に関する研究, 農業機械学会北海道支部報, 32, 14-18, 1991
- 4) 広間達夫, 太田義信, 片岡崇：車輪下の土壤

- 変形の有限要素法による解析（第3報），農業機械学会誌，56(6)，3-10，1994
- 5) 橋口公一：最新弾塑性学，朝倉書店，1990
- 6) 土壌物理研究会：土の物理学，森北出版，1979
- 7) 筱田 昭・吉村和彦：FEMによる土の粘弹性挙動解析（第1報），農業機械学会誌，41(3)，369-373，1979
- 8) 広間達夫，太田義信，片岡崇：土の3軸応力系粘弹性定数の測定，テラメカニックス，13，27-32，1993

〔閲読者コメント〕 実験結果と計算結果がよく一致しております。モデル及び諸定数の設定方法の妥当性が伺われます。今後の研究の展開に有用と思われますが、実際の車輪の走行状態はどのような範囲を想定しているかお教え願いたい。

〔著者回答〕 粘弹性の性質を示す含水比が比較的高い土の上を車輪が走行するのを想定しています。現在開発中の車輪走行解析プログラムでは、任意の接地荷重、走行速度及び進行低下率が設定でき、あらゆる走行状態の解析が可能です。

農業情報WWWサーバーの構築に関する研究

中村 典裕*・嶋田 浩*・稻元 民夫*

Study on Establishment of WWW Server for Agricultural Information

Norihiro NAKAMURA*, Hiroshi SHIMADA*, Tamio INAMOTO*

Abstract

Since March 1996, our campus LAN system has been connected to the Internet on twenty-four-hour basis. At the same time, we have experimentally developed the WWW server to provide overall information of our college. But at the first stage, this server did not include any scientific nor academic information. However, as an academic research institute, our college has much stored the agricultural information, which might be useful for the researchers, students and/or academic staffs.

So we started to provide this information on the WWW server. At the first step, we selected geographical information data, which we have been studied with local government. But, this information is not suite to the Web form, and then data conversions are needed.

This paper describe the general concepts of our campus LAN system, the constructions of the WWW server system, and data conversion for Web forms.

[Keywords] internet, WWW, geographic information system

1. キャンパスネットワークの現状

秋田県立農業短期大学（以下、農業短大）では、1994年にコンピュータ室の機器を更新するのと同時に学内LANを整備し、教官室と研究室間で情報交換が可能になる体制を整えた。この段階では、学外との接続は、モ뎀サーバーを通じた方式であったために、インターネットとの接続は、電子メールのみであった。

しかし、1996年3月になり、秋田大学との間で専用線（64k bps）による接続が実現したため、学内LANをインターネットに接続することになりました。この時点で、手元のコンピュータを学内のLANシステム（図1）に接続することにより、インターネットの提供する多様なサービスを享受することが出来るようになった。

現在、短大で提供しているサービスは電子メール、WWW、ftp、telnetなどである。newsの配信は、現時点ではまだ開始していない

い。

2. 秋田県立農業短期大学WWWサーバー

農業短大では、インターネットへの接続開始直後から、WWWサーバーを試験的に設定し、大学の概要や、簡単な学科の紹介を行っている。情報を提供するためのサーバ機は、専用に運用することが望ましいため、旧式ではあるが手持ちのコンピュータ(Macintosh LC(68020(16MHz)10M/100M)を利用している。サーバ用ソフトウェアはMac Http 2.0である。

WWWサーバーをこうした情報提供に用いる事の利点としては、①画像や図表を使った情報を簡単に提供することが出来る、②世界中に普及しているため、接続用の高機能ソフトウェアが安価に入手できる、③情報を発信する際の手順が容易で、誰でも手軽に情報提供者となれる、などが考えられる。実際、農業分野でもこうした特徴を踏まえ

てか、いくつかのWWWサーバー^{1),2)}が稼働している。

農業短大においても、大学の概要のみでは情報提供が不十分であり、これまで学内に蓄積されて来た、多様な農業情報を提供する必要があると考える。その第一段階として、農業機械研究室では、秋田県メッシュ情報をWWWサーバーで提供する事とした。

3. 秋田県メッシュ情報の提供

秋田県農政部と農業短期大学とでは、共同で、野菜の適地選定を支援するシステムの開発³⁾を行って来た。これは、気象条件や社会経済条件を多面的に利用して野菜の適地を数値化して判定しようとする試みである。このシステムの開発に当たっては、各種の農業情報の整備も同時に実行して来た。表1には、現在までに整備済みのデータを示す。

これらのデータを整備すると同時に、営農情報を画像化して直感的に把握する事を目的として、

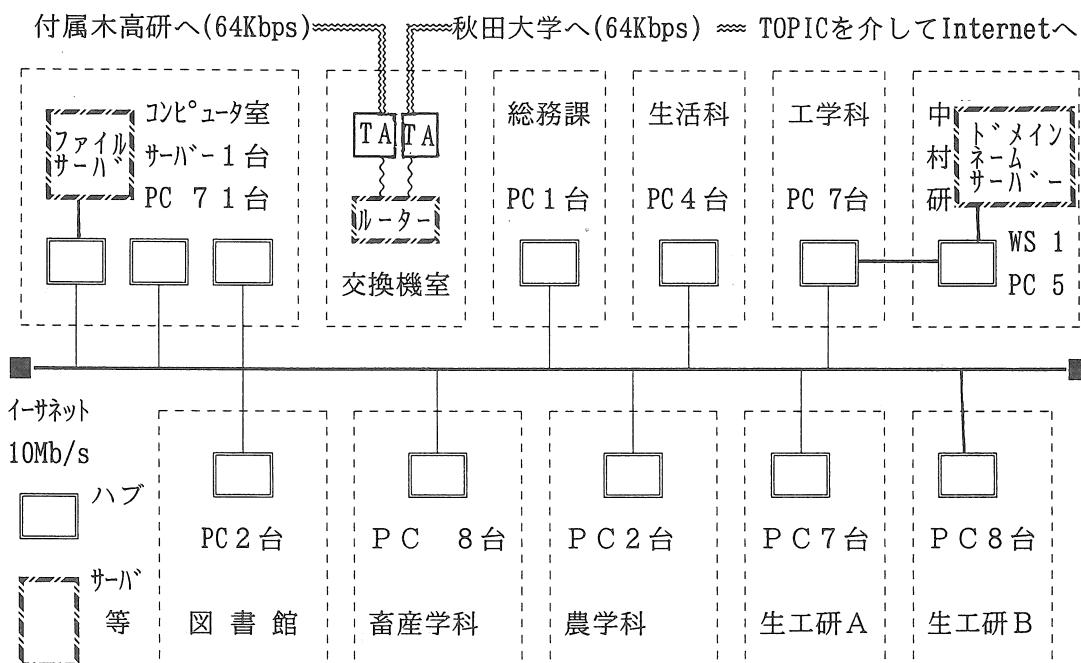


Fig.1 Network Configuration of Akita Prefectural College Of Agriculture.

Table 1 List of Data for Akita Geographic Information System

ファイル名	カテゴリー	精度(最小メッシュサイズ)	データソース
●年間平均気温	気象データ	1 km × 1 km	AMeDAS加工データ
●年間降水量	気象データ	1 km × 1 km	同上
●標高データ	地理データ	250m × 250m	国土数値情報
●農家率データ	センサス	集落単位	農林統計協会
◎土壤評価ランク(12種)	土壤データ	250m × 250m	秋田県農業試験場
◎農業生産力指標(22種)	センサス	集落単位	農林統計協会
○日気温(366日,3値)	気象データ	1 km × 1 km	AMeDAS加工データ

注) 印はそれぞれ、●:現在WWWで提供中、◎:準備中、○:検討中を意味している。

各種のデータ表示用ツールの開発を行って来た。これらは、全県の情報を表示する1kmメッシュ表示ツールと、その詳細版である250mメッシュ表示ツール、更には市町村単位で情報を見ることのできる市町村メッシュ表示ツール（メッシュサイズは250m）などである。

こうしたデータ表示用ツールは、メッシュデータを読み込み、その数値に応じて色分けして画面上に描く仕組みになっている。つまり、このシステムを用いる場合には、データである数値メッシュファイルと、画像を表示するためのデータ表示用ツールとが揃わなければ、ディスプレイ上で画像を見ることは出来ない訳である。

こうした構造をそのままWWWで再現することは現時点では困難であるため、今回は数値であるメッシュデータを画像ファイル化する作業を行った。数値メッシュデータを、あらかじめ画像ファイルとしておく事により、種々の農業データをWWWを通じて簡単に入手することが可能となるのである。この作業の手順を以下に示す。

- ①WindowsのDOS窓で従来の画像表示ツールを作動させ画像を表示させる。
 - ②スクリーンカッタープログラムCUT4)を利用して、BMP形式の画像ファイルとしてネットワークドライブ上に保存する。
 - ③Macintosh上で画像ファイル変換ソフトGraphic Converterを使い、ネットワークドライブ上のファイルの画像形式をGIF形式に変換する。
- こうして作成した画像データは、html形式の文章中で参照することによって、農業情報WWW

サーバーを通じて提供することが可能となった。図2～4に、実際の提供状況を示す。

4. 今後の課題

こうして、本学のWWWサーバーにおいて秋田県農業情報メッシュを提供することが可能になった。しかし、現時点では提供できる情報が極めて限定されており、十分な内容の情報提供とは言い難い。また、数値に応じて色を変化させ、ディスプレイ上で、メッシュ情報を細かく分析する、などといった、従来のデータ表示プログラムでは可能であったような対話的な利用方法は、現時点では不可能である。

今後は、データの一層の充実を図る一方で、java言語などをを利用して、より対話的な画像表示方法を実現する方法を考えてゆく予定である。

参考文献

- 1) 二宮正士：農業インターネット入門(1～3), 農業情報利用, 増刊号, 96-116, 1996
- 2) 山本謙治：インターネット農業情報概観, 農業情報利用, 増刊号, 69-75, 1996
- 3) N. NAKAMURA, Y. KOBAYASHI, W. OZAWA : The experimental construction of the crop assessment system, Proceedings of 6th International Congress for Computer Technology in Agriculture, Wageningen, 1996
- 4) 代永雅久：CUT033J, フリーソフト&シェアウェアPACK8000, アスキー, 333, 1995

秋田県気象・農業情報提供システム

このページでは、秋田県内の気象・農業情報を、画像データで提供しています。
画像データの閲覧を希望する項目を次の中から選んで下さい。

土 地 情 報	標 高 デ 一 タ	
気 象 デ 一 タ	年 間 平 均 気 温	年 間 降 水 量
農 業 情 報	集 落 の 農 家 率	

Fig. 2 Agricultural Information Menu 1 (Select Category)

秋田県気象・農業情報提供システム

標高データ

このページでは、秋田県内全69市町村の標高データを、画像データで提供しています。

画像データの閲覧を希望する市町村名を次の中から選んで下さい。

1 : 秋田市	2 : 能代市	3 : 横手市	4 : 大館市	5 : 本荘市
6 : 男鹿市	7 : 湯沢市	8 : 大曲市	9 : 鹿角市	10 : 小坂町
11 : 鷹巣町	12 : 比内町	13 : 森吉町	14 : 阿仁町	15 : 田代町
16 : 合川町	17 : 上小阿仁村	18 : 琴丘町	19 : 二ツ井町	20 : 八森町
21 : 山本町	22 : 八竜町	23 : 藤里町	24 : 峰浜村	25 : 五城目町
26 : 昭和町	27 : 八郎潟町	28 : 飯田川町	29 : 天王町	30 : 井川町
31 : 若美町	32 : 大潟村	33 : 河辺町	34 : 雄和町	35 : 仁賀保町
36 : 金浦町	37 : 象潟町	38 : 矢島町	39 : 岩城町	40 : 由利町
41 : 西目町	42 : 鳥海町	43 : 東由利町	44 : 大内町	45 : 神岡町
46 : 西仙北町	47 : 角館町	48 : 六郷町	49 : 中仙町	50 : 田沢湖町
51 : 協和町	52 : 南外村	53 : 仙北町	54 : 西木村	55 : 太田町
56 : 千畠町	57 : 仙南村	58 : 増田町	59 : 平鹿町	60 : 雄物川町
61 : 大森町	62 : 十文字町	63 : 山内村	64 : 大雄村	65 : 稲川町
66 : 雄勝町	67 : 羽後町	68 : 東成瀬村	69 : 皆瀬村	

Fig.3 Agricultural Information Menu 2 (Select Municipality)

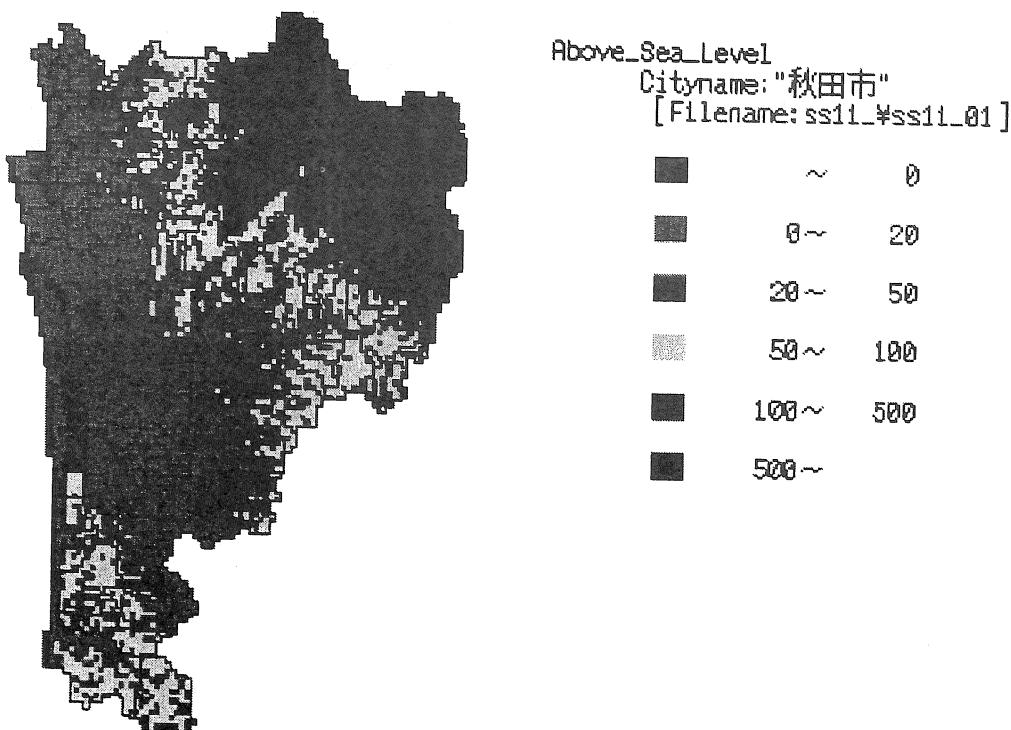


Fig.4 The Image of Land Level (Akita City)

被覆型直播栽培に関する実証（第2報）

—試作2号機による栽培について—

若松正夫*

Practical Use of Rice Seeder Having Covering Device for Polyethylene Film (Part 2)

—Cultivation Using a Prototype Power Driven Rice Seeder—

Masao WAKAMATSU*

[キーワード]：被覆直播，ポリエチレンフィルム被覆，3葉時フィルム除去，動力牽引播種同時被覆機

1. はしがき

1995年は、歩行用播種同時被覆試作1号機による栽培を実証した。使用結果の試作1号機の改良点は、2人で牽引しても泥に足がとられ人の疲労が大きいことと、牽引力の変動が落下播種量にも大きく影響をあたえることから、牽引力が安定する動力による牽引がのぞましいと判断した。

しかし、14日間に及ぶフィルム被覆前半に降雨がありフィルムガバビタしとなつた。その後フィルム面に水が残つたが、苗立ち、生育には影響はなく、勿論鳥害は全くなかつた。5月9日に草丈の伸長によりフィルムが盛り上がつたことから5月11日に湛水して除覆した。各品種とも3葉に達しており、出穂期も周辺の移植栽培並みであつた。この結果から、機械を改良して試作を来年も継続することとして試作2号機の検討を開始した。現在、大半の農家が田植機を所有するなかで2台を保有することになれば安価な播種機であることが重要である。したがつて、播種機を牽引する動力部門を農機販売店で下取りして田植装置部分が使用不能となつて放置してある乗用田植機の動力部門を利用することにした。来年度実施農家はこのような田植機を収集して改良される播種機の販売を待つてゐる状況である。

播種同時被覆機の基本的機構は、横150cm×縦120cmの鉄製の枠のなかに、5つのタンクを設置した。タンクの後方に幅135cm×厚さ0.02mm×

長さ200mのポリエチレンを装備し、そのうしろにフィルムの両端を土中にうめこむ車輪があるのは1号機と同様である。本年は、4月26日から5月13日にかけ6カ所実施し、そのうち、3カ所を主体に調査しているので報告する。



図1 動力牽引播種同時被覆機操作状況

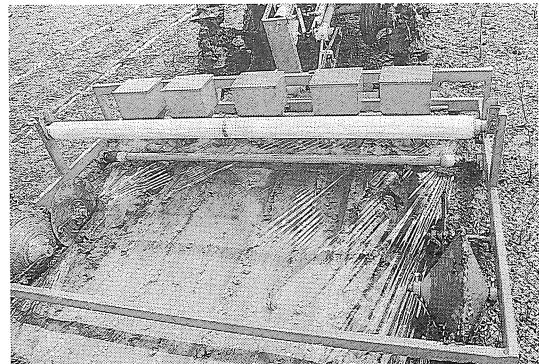


図2 試作2号機改良する被覆部分の状況

*山形市漆山4464-2

2. 試作機の諸元

牽引動力部門は、Y社乗用5条型田植機でシートフレームは操作可能であった。播種機は横150cm×縦120cm×厚さ1cmの鉄枠が基本型となる。前方鉄板の中央に高さ10cmの鉄板を取り付けその先端を動力部門のシートフレームにボルトで固定し播種機を牽引する。

前方鉄板の5cm後方に更に鉄板を取り付け、ここに深さ3cm程度掘れ上下できる作溝板を5つの播種タンクの前に設置した。播種機構は、点播様式をとり、1ヵ所催芽糲2~4粒できるようにタンクの糲落下口に接して、8個の糲受皿を塗りつけた合成樹脂板の円盤をつけ、合計5つの円盤の中心を鉄ポークで連結して、回転をスムーズにするため、土をしつかりつかむよう12の突起をつけた円板を鉄ポークの両端につけた。順調に回転するとm²当たり20株となるが円板と鉄枠間に泥がつまるとスリップし m²当たり16株まで減少して粗植となつている。播種タンクの10cm後方に（前年より10cm近づけた）幅135cmのポリエチレンを支える装置は、フィルム軸ポールの穴に長さ2cmの鉄棒をはめ固定する構造である。この装置の後方30cmの場所にフィルムの両端5cm前後を土中に埋没するため直径30cm×厚さ3mmの円板をとりつけたのは1号機と同様である。また、縦両方の鉄枠の下に幅12cmの滑走橋をとりつけたのも1号機と同様である。この機械の水田までの運搬は、農家の所有する軽トラックに動力部門を乗せ、播種機は動力部門に固定したボルトをはずして、車との空間に積み込むことができるため移動が遠距離でも迅速にできる。

3. 試作2号機の改良点

6ヵ所で実施した結果、来年度一層栽培が安定するため改良すべき点は、次ぎのとおりである。

①シートフレームは上下操作ができるため播種機の縦両端にある滑走橋の機能がうすいことから取りはずす。

②播種は、受け皿を回転させる両端の車輪が回転することによって発生するが、この車輪に鉄枠との空間に泥がつまつて車輪が空転したり、土壤条件によっては車輪がすべるなど欠陥の改良が必要

である。幸いに使用した田植機には動力伝導装置があり、これからベルトで播種機の播種受け皿の5つのタンクを連結する鉄棒に受けとめ円板を固定してベルトをつなげば確実に受け皿を回転させる。なお、この伝導装置は3段階変速することから土壤条件によって播種間隔を変更できるので播種機の機能が高まる。

③播種同時被覆フィルムは、風上から風下にむかって被覆して行く場合は土面に順調に密着するが、風下から風上に機械が進行するとき、風があるとフィルムと土面に空気がはいりフィルムがはずれやすくなる。このことから土面にちかいところにフィルムが広がるような装置をつけて、風によるトラブルを回避できるようにしたい。

④被覆したフィルムが、14日前後にわたる被覆期間風によつてはがされないようにするため、フィルム埋没円板のすぐ後方に算盤玉のような土寄せ円板をつけ、その効果も検討する。

⑤動力部門の先端が畦畔に到着したならば、被覆したフィルムの切り離しを人手で本年は実施したが、来年度の試作機は人手によることのない方法を考えている。

4. 栽培方法

1) 調査水田農家の主たる耕種

NO. 1 農家

4月27日播種同時フィルム被覆 + 5月14日フィルム除去、品種、どまんなか、ササニシキ、はえぬき、ひとめぼれ、コシヒカリ

NO. 2 農家

5月8日播種同時フィルム被覆 + 5月23日フィルム除去、品種、ひとめぼれ

NO. 3 農家

5月13日播種同時フィルム被覆 + 5月27日フィルム除去、品種、ひとめぼれ

2) 播種

各農家とも鳩芽糲を使用し、各実証田の10a当たり播種量はおおよそ2kgである。なお、投下される種糲は土壤に埋没することがないので、酸化剤、商品名カルバー剤は使用していない。1つの播種タンクには、鳩胸発芽糲2kgを搭載できるので、50a当たりの水田を種糲補給せず実施でき

る。10 a当たりの播種作業時間は、おおよそ50分で大手メーカー市販の動力乗用灌水直播機の10 a当たり作業時間と変わりはない。

3) 除草剤の使用

No.1とNo.3農家は代掻き後シーゼットフロアブル剤、フィルム除去後プッシュ粒剤、6月14日にマメットSM粒剤の計3回散布した。No.2農家は代掻き時使用せず、フィルム除去後シーゼットフロアブル剤を使用したが、ノビエを主体に各種雑草がかなり残存したことから、稲の生育が6葉となつた6月13日にクリンチャー・バスME剤を散布した。この殺草効果は著しかつたことから、来年以降の除草体系は、クリンチャー・バスME剤を軸に検討したい。

4) 窒素肥料の施用

No.1農家は元肥に緩効性肥料で10 a当たり窒素成分量で6 kg、5葉に達した5月21日に10 a当たり窒素成分量で1 kg、更にひとめぼれの穗首分化期にあたる7月9日に10 a当たり窒素成分量1 kg、合計8 kgは移植栽培の場合と同一である。5月8日播種のNo.2農家の播種田は、高度化成で窒素成分元肥量6 kgに、5葉時に達した6月1日に窒素成分量で2 kg、No.3農家は、高度化成で窒素成分量5 kgを元肥して、6月1日に窒素成分量1 kgのみの元肥で登熟末期を迎えていた。

5) 作溝作業

収穫作業を効率的に実施するため山形県では6月下旬に作溝と中干しを実施している。しかし、さくらんぼ地帯の山形県内陸地域は6月下旬は収穫最盛期で水田作業を実施できる状況ではない。被覆型直播栽培は、フィルム被覆時の土壤状態は作溝作業を実施するには好適で、フィルム被覆と被覆の空間土面に10 a当たり2本溝をつける。おおよそ、14日間前後灌水しないためしっかりと作溝が固まるため、その後くずれることなくすみやかに灌水、排水ができ水操作による生育調整も的確に実施できる利点がある。

6) 生育調整剤の使用

倒伏しやすいササニシキ、コシヒカリは直播栽培に適さないとされているが、被覆型直播栽培では、2 cm前後溝を掘つて播種されるが、溝の壁が6月末にくずれて茎の基部を埋めることから倒

伏抵抗性が高まる。また、フィルム被覆時の作溝は本田初期から自在に生育を診断しながら適切に水管理が可能なうえに、No.1農家のササニシキ、コシヒカリは、生育調整剤を使用した結果、登熟末期の現在まったく倒伏していない。被覆型直播栽培では、現在現地で移植栽培される品種いづれも栽培可能である。

5. 結果と考察

1) 被覆期間の気象

本年は、5農家が初めて実施したが異口同音にフィルム被覆による高温障害の不安をうつたえ早い除去をもとめるが、2カ年の結果では葉先がフィルムに密着しても全く障害はなかつた。一般的に水田は通水を速やかにするため、尻水口が水口より低いので草丈は長い方が水管理は楽である。

表1は、前年よりおそい5月17日に被覆した時刻別温度調査の結果である。被覆内温が40℃以上となるのは、11時頃から16時にわたる5時間程度である。

2) 生育

No.1農家の直播田は、播種後4日間晴天が続いたことから、芽と根がすべて発生したため、5月1日から12日まで延8日降雨のなかで5日と9日かなりの降雨量がありフィルムが水没し、その後フィルム面に水が除去するまで残つたが、苗立ちは良好で補植は前年同様実施しなかつた。

被覆型直播栽培を実証している地帯の田植最盛期は5月21日であり、6月1日現在の生育を両者を比較してみると4月27日播き、5月8日播き水田では、1葉から分けつしており移植栽培は全く分けつしていない。当地では初期茎数の確保は収量確保には極めて重要である。

被覆型直播栽培の2カ年の1 m²当たり穂数の状況をみると、おおよそ、1 m²当たり450本程度のため、1 m²当たり穂数を4万前後確保するには1穂当たり穂数の多くなる栽培法や品種の選択、穂数の確保が劣る場合は千粒重の重い品種の栽培がのぞましい。前年の結果では、偏穂重型で大粒のどまんなかが最も多収となり、ついで大粒のはえぬきで、いづれも山形県の主力品種であつた。

過去に多収技術確立にかんする研究の一課題と

表1 日中時刻別温度調査 (1996年5月17日, 晴天) (単位: °C)

調査時間	5時	7時	9時	11時	13時	15時	16時	18時
外気温	10.0	13.0	20.2	20.5	21.6	22.0	21.2	17.5
被覆内温度	17.0	22.5	32.0	41.0	44.0	43.5	40.0	29.5
被覆内気温	13.5	17.0	24.0	34.0	34.5	37.5	37.5	26.0

表2 生育調査 (1996年)

品種	区分	播種期 移植期 月日	農家 番号 No.	6月1日			出穂期 月日	成 熟 期			1穂当 穀数 粒	上位延 3葉身長 cm	第1 節間長 cm	
				草丈 cm	茎数 本/m ²	葉数 枚		稈長 cm	穗長 cm	穗数 本/m ²				
				直播	4/27	1	20.0	150	5.4	8.8	74.0	19.5	491	75.5
ひとめ ぼれ	移植	5/8	2	12.5	168	5.0	8.11	86.5	20.8	450	99.6	44820	114.5	38.6
		5/13	3	14.0	78	4.5	8.14	86.1	17.7	469	76.9	36066	94.0	32.1
コシヒ カリ	移植	5/21	3	17.0	75	5.0	8.10	82.3	18.2	510	60.3	30753	82.7	34.3
	直播	4/27	1	26.0	115	5.1	8.15	82.6	17.3	470	81.2	38164	103.3	34.7

して、元肥の窒素量を少量にして穗首分化期頃にかなりの窒素量を下層に注入して多収を確保した生育相と5月13日播き被覆型直播栽培のひとめぼれの生育相は極めて類似している。全般に出穂揃に肥効がつよく葉色が濃緑の場合、玄米の粗蛋白値が高くなる傾向にあるが、5月13日播きのひとめぼれは、出穂揃はかなり葉色は退色していることから、粗蛋白値の低いおいしい米となる可能性が高い。

栽培の場合、安全出穂限内に出穂することが重要であるが4月27日播種の被覆型直播栽培は栽培各品種とも5月21日の移植栽培と同時期の出穂となつたのは2カ年とも同様である。5月8日播き被覆直播型栽培のひとめぼれの出穂期は、5月21日植え移植栽培のひとめぼれの出穂期より1日おくれ、5月13日播き被覆型直播栽培の場合は4日おくれであつた。山形県の平坦部の安全出穂期の限界は8月20日で、前年は8月16日となつた。しかし、4月26日播き被覆型直播のコシヒカリは8月15日の出穂期となり、本年の出穂期も8月15日となつた。したがつて被覆型直播の場合でも、

コシヒカリが安全出穂期内の出穂にするには4月中の播種がのぞましい。

【閲読者コメント】実用研究を精力的に進められていることに敬服します。ただ、新技術には農家の不安も大きいわけで、被覆型直播栽培の長所と短所及びその対策が具体的で分かりやすいことが望れます。

【著者回答】長所はフィルム播種同時被覆によつて播種期間が拡大し、当地の移植栽培品種はどれでも直播可能であり、苗立ち安定し、鳥害はなく、かつ、倒伏しにくい土壌条件となることである。

短所は試作2号機の場合、被覆フィルムが播種作業時に十分埋没しないものが、2週間の被覆期間に強風があるとはがされるフィルムがあり、強風でも絶対はがされない改良を試作3号機に装備してその効果を検討したい。作業時間が多少かかるが栽培の安心感を基本とするつもりです。

畦畔除草ロボットに関する基礎的研究（第1報）

—既存作業の分析—

武田純一*・油川圭太*

Fundamental Research on Robotics for Weeding Paddy Field Levees(Part 1)

—Analysis of conventional working conditions—

Jun-ichi TAKEDA*, Keita ABURAKAWA*

Abstract

The levee weeding is one of severe work which has still remained in paddy field works. The needs for levee weeding machine is getting higher not only for small-sized farmers but also large scale farmers. The main objective of this research work is to develop levee weeding robot. In this paper, the conventional working conditions of levee weeding were analysed for basic knowledge of levee weeding.

The working rate of bush cutter and self-propelled levee weeding machines were about 60 and 5 to 8 minutes per 10a, respectively. The weeding was carried out 3 to 4 times for conventional farming in a season. The total length of levee of several plots were analysed. And the problems for development of levee weeding machines were discussed.

[Keywords] paddy field, levee, weeding, robot

1. はじめに

水稻作における主な作業の機械化はほぼ完了し、現在管理作業の機械化について各方面で検討されている。畦畔の除草作業は、現在刈払い機を用いて作業を行っている例がほとんどであり、水稻作中でも残された過酷な作業の一つである。本研究では、水田畦畔の除草作業について焦点を当て、この作業ができるだけ合理的にしかも労働負荷の少ないようにすること、そして、将来的に自律型の除草ロボットの開発を行うことを目的とする。本報では、除草ロボット開発の基礎資料とするべく、現状の除草作業について調査したので報告する。

なお、作業状況の調査には本学附属滝沢農場の坂本甚五郎、阿部岳、西政佳、武田伸也技官のご協力を得た。ここに記して謝意を表する。

2. 調査項目と調査方法

既存作業等の調査は、岩手大学農学部附属滝沢農場を対象とした。同農場の総水田面積は543.9aで1区画は約40a (50×80m) である。主な調査項目と調査方法について以下に示す。

1) 作業時間の調査

米の生産費調査¹⁾より、10a当たりの作業時間を調査した。また、附属農場の作業日誌を基にし、平成7年度の水稻作業の各作業の作業時間についても調査した。

2) 刈取り状況の調査

農場の技官4名を対象とし、5mの直線区間の畦畔を刈取る作業速度、刈取りピッチ等について実測した。

3) 畦畔の雑草の生育調査

附属農場の3号水田畦畔内に調査区を設け、5月下旬から約1週間ごとに雑草の総草丈について実測した。なお、採植密度等については調査しなかった。

4) 既存除草機に関する調査

既存の自走式除草機について、作業能率をカタログより調査した。

3. 調査結果と考察

1) 水稲作業時間の変遷

図1と図2に生産費調査から得られた、10a当たりの稻作の作業時間と各作業の時間割合の変遷を示す。図1より分かるとおり、耕起、田植え、稻刈り等の機械化の進展の結果、この30年間における作業時間は約1/3に減少している。

生産費調査の作業分類によれば、除草は本田の中耕除草や除草剤の散布を意味し、畦畔の草刈りはかん排水管理に含まれている。従って、畦畔除草のみの正確な時間はこの資料からはつかめないものの、平成7年度では管理作業の時間が9.5時間で最も大きな値になっている。また、この作業の割合は図2からも明らかのように、全作業時間中の約20%を占め、大きな割合になっている。

なお、附属農場における平成7年度の各水田作業時間の割合についても、全作業時間中最も時間割合の大きい作業は、畦畔の除草作業で約14%を占めていた。同農場は実験農場のために、一般農家との直接的な作業時間の比較はできないものの、畦畔の除草作業に要する時間は比較的大きいことが分かる。

畦畔の除草作業を、同農場では田植え終了後から稻刈り直前までの間に3～4回実施している。なお、一般の農家でも、同程度の回数を実施していた。

2) 水田畦畔の断面図

図3に附属農場の水田地形の、概略の断面図を示す。一般の農家の畦畔の天端は約40cm程度で、狭いところでは30cm程度のところも見られる。同農場の天端は約80～100cmで、一般農家の2～3倍の長さとなっている。排水溝側の法面長さと農道側の雑草の生えている法面長さは、それぞれ約0.7m、1.5mであった。水田側の法面の場合は約0.4mである。なお、水田一区画は農道によって分けられており、互いの畦畔を共有しているところはない。

3) 畦畔の断面設定

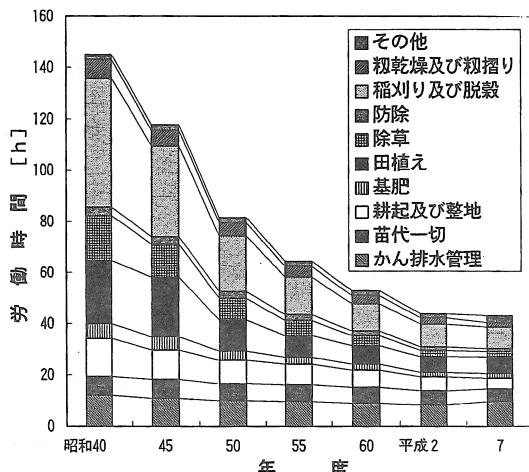


図1 稲作作業時間の変遷(米生産費調査より)

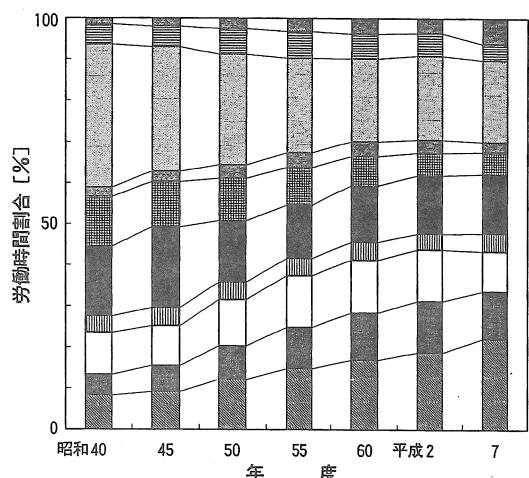


図2 作業別時間割合の変遷(米生産費調査より)
注：凡例は図1と同じ

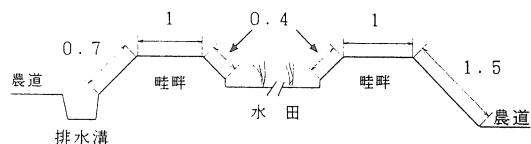


図3 滝沢農場の水田断面 (単位: [m])

ここで、畦畔の面積を試算する上で、畦畔のディメンジョンを図4のように設定した。畦畔1と2は附属農場の畦畔をモデルにしている。畦畔3と4は一般農家をモデルにしている²⁾。なお、畦畔2と4は畦畔を共有しているような場合を想定した。

4) 畦畔の周囲長と畦畔面積

図5に、矩形圃場における圃場の長辺長x[m]

と、畦畔の周囲長 L [m] の関係を示した。 L は x と区画面積 S [m^2] をパラメータとして、次式で表される。

$$L = 2(x + S/x)$$

ただし、圃場の4隅の長さは無視した。この結果、既存の10a, 30a区画では140mと260m、附属農場の40a区画では260mで、既存の30a区画の場合と同等の周囲長であった。

図6は、区画の周囲長と畦畔面積の関係をしたものである。既存の10a, 30a区画では、100~200m²と200~380m²であった。附属農場の40a区画水田の畦畔面積は400~550m²であり、既存区画の畦畔面積の100~50%増しとなる。また、最近見られるようになった1ha区画(80×125m)の大区画圃場では、畦畔1のモデルを適用すると800m²を越えるが、これを小さな区画にすれば、畦畔面積は増加し作業時間も多くなる。

5) 刈取り状況

被験者4名の、単位刈幅当たりの作業速度の平均値は、表1に示すように天端、水田側法面、排水溝側法面、農道側法面のそれぞれが、0.09, 0.05, 0.09, 0.13m/sであった。各作業箇所によって若干のばらつきがあったが、水田側の法面の作業速度が小さいのは、刈った草を水田側に落とさないようにするために、細心の注意を払っているためだと思われる。逆に、農道側の法面の刈取り速度が速いのは、刈りっぱなしでよいので最も速くなっている。

単位面積当たりの作業時間は、各場所により違うが総平均で12.4s/m²であった。また、刈取りピッチは約20cmで、刈刃の直径の約80%を用いて刈っていることが分かる。

なお、この作業のデータは7月30日のもので、最も草の量の多い1回目の刈取りでは、多少このデータよりも時間がかかると思われる。

以上の結果、附属農場の40a区画水田の畦畔を刈るためにには、約110分を要することになる。

6) 雜草生育調査

図7は、対象区の雑草の生育調査の結果を示したものである。対象とした草はノビエ、ヒメジョン、オーチャードグラス、クローバーの4種である。後の2者は牧草であるが、対象区に生育していた

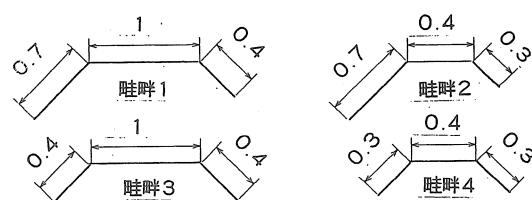


図4 畦畔の断面設定(単位: [m])

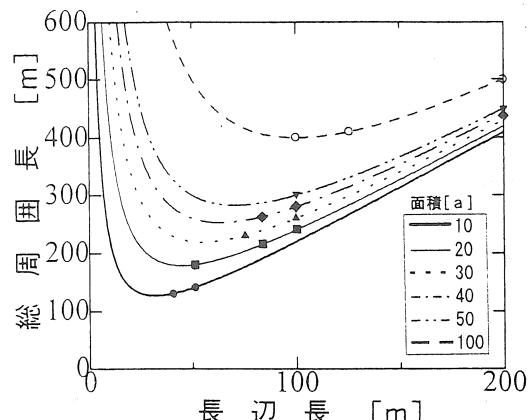


図5 区画の長辺長と総周囲長の関係

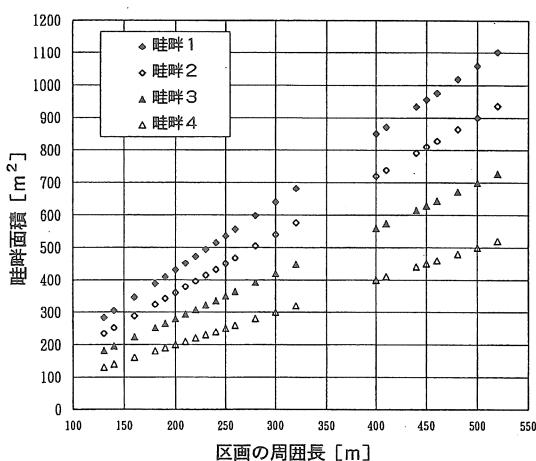


図6 総周囲長と畦畔面積の関係

表1 刈取り状況の調査結果

	天端	法面		
		水田側	排水溝側	農道側
作業速度	[m/s]	0.05	0.09	0.13
作業時間	[s/m ²]	11.69	18.37	11.56
刈取りピッチ	[m]	0.20	0.23	0.21
		0.19		

ので指標に加えた。今年度の第1回目の除草は6月5日で、そのときの草丈はオーチャードグラスが約1m、ノビエが約70cm、クローバーが約25cmであった。草丈はこの時期が最も高く、2回目以降ではオーチャードグラスを除くと草丈が約20cm程度になると刈取っていることが分かる。刈取り高さはほぼ5cm程度で均一に刈られていた。

なお、ヒメジョンは2回目以降の除草により、ほとんど見られなくなった。また、当然であるが時期により異なった雑草が生えて来ていた。

7) 既存機械の作業能率

表2に、最近市販されている自走式の2面刈り畠畔除草機の性能をまとめた。これらの除草機の10a区画での作業能率は約5~8分であり、刈払い機では10a当たり約30分であるので刈払い機と比較すると自走式の作業能率がかなり高くなっている。しかし、附属農場の畠畔のように畠畔の天端が長い場合は、少なくとも2回周回しなければならないことになる。また、一般農家の圃場でも、どちらかの法面は刈り残されることになるので、再度周回するか、人力で刈るかする必要があり、必ずしもカタログ値通りの作業能率にはならない。また、刈刃が固定長であり畠畔への適応性が問題点として挙げられる。

4.まとめと今後の課題

以上の結果をまとめると、次の通りである。

- 1) 今回の調査では、水稻作業において畠畔の除草作業の時間割合が最も大きいことが分かった。
- 2) 刈払い機と畠畔除草機の作業能率は、それぞれ10a当たり約30分、5~8分であった。
- 3) 実際の水稻畠畔の形態は地形などにより大きく異なり、除草機械も刈幅等についてある程度の適応性を持たせる必要がある。
- 4) また、除草機械の自律走行化に当たっては、畠畔の検知と走行性の確保、畠畔に存在する障害物、たとえば杭や給排水構の認識・回避、安全性の確保等に関する検討も重要な課題である。

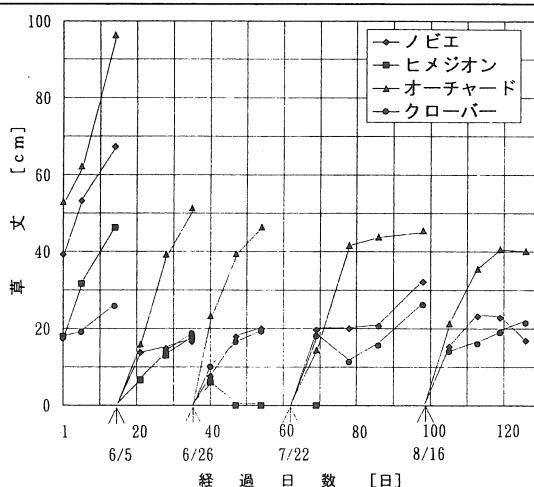


図7 雜草の生育調査結果

注：マークは草刈りが行なわれた日を示す。

表2 市販機の比較

型 式	A 社	B 社
全長×全幅×全高 [mm]	1635×745×1035	1600×820×950
全装備重量 [kg]	53.5	49
エンジン出力 [PS]	2.8 <最大4>	2.8 <最大5>
車速 [m/s]	0~0.74 (無段変速)	L0.3, H0.45
形 式	バナイフカッター	
刈 幅 [mm]	580 (メイン330, サイド270)	600 (310×2)
刈 刃 刈 高 さ [mm]	メインのみ30~60 (3段)	0~60 (3段切替)
回 転 数 [rpm]	メイン, サイド共に約3,600	メイン2500, サイド2800
サイドカッター最大傾斜角 [度]	70	60
作業能率* [min/10a]	3.2	L7.8, H5.2

* : 作業能率は最大作業速度で10a区画(20m×50m)畠畔を1周する時間

参考文献

- 1) 農林水産省統計情報部：農業経営統計調査及び農業生産組織生産費調査（平成7年産米生産費），1-18, 1996など
- 2) 農業土木学会編著：農業土木ハンドブック（改訂5版），丸善，468-469, 1989

【閲読者コメント】畠畔の除草作業は、水稻作の最後の機械化の課題かもしれません。成果に期待しています。

【著者回答】畠畔をめぐる状況は多様で、解決すべき問題がたくさんありますが、当面附属農場の畠畔をモデルにして、基礎的な研究を行っていく予定です。

試作オウトウシェーカによるほ場試験

赤瀬 章*・鈴木 洋*・上出順一*・高木陽介*

Harvesting Tests with a Prototype Cherry Shaker

Akira AKASE*, Hiroshi SUZUKI*, Jun-ichi KAMIDE*, Yousuke TAKAGI*

Abstract

The cherry shaker was built as a trial and field tests were carried out in order to perform a feasible study for harvest of cherry fruits for processing. The main results are as follows: (1) Setting a large stroke generating case at the bottom of the boom enabled one man to harvest cherry fruits. (2) By setting the clamp instead of the hook at the tip of the boom, a man could perform harvesting operations consistently. (3) The bark hardly was damaged in the harvesting operations. (4) The limbs with large laterals and the slender limbs are not suitable for mechanical harvesting. Cutting off a tip part of a limb would be desirable in harvesting.

[Keywords] cherry for processing, cherry shaker, limb shaker, clamp, field test

1. 緒言

山形県の加工用オウトウの生産量は年間約4000tであり、そのすべてが手で収穫されている。収穫労働力が年々減少していることから、加工用オウトウの機械収穫が望まれている。

1994年度は、市販されている梅用シェーカを供試してほ場試験を行い、オウトウ収穫での実用性を検討した¹⁾。その結果、全振幅36~40mmの梅用シェーカでは、オウトウの落果率が低く、果梗抜け果が多く発生した。

そこで1995年度は、全振幅を大きくできるようにシェーカを改造してほ場試験を行った²⁾。その結果、全振幅8cm、振動数13.3Hzにおいて、落果率、果梗付き果率の値が共に高くなった。また果实の損傷は軽微で、着色加工したところ全く問題のないことが明らかになった。しかし、振幅を拡大する部分がブーム先端にあるため、先端部が重く作業に補助者が必要だった。また先端部が枝に引っかけるだけのフックであるため、シェーカの振動を適正に枝に伝え、樹皮の損傷をなくすためには、フック部の枝にゴムチューブを巻かなければならなかった。

そこで今回、こうした作業性を改良したオウト

ウシェーカを試作し、ほ場試験を行ったので報告する。

2. 試作オウトウシェーカ

試作オウトウシェーカの仕様を表1に示す。

表1 オウトウシェーカの仕様

エンジン (M社製 TL26)	
排気量	25.6cc
出力	1.4ps
回転数	8000rpm
ミッション	
ウォームギヤ減速比	1/10
ストローク	80mm
シェーカ (N社製)	
設定ストローク	80mm
設定振動数	13.3Hz
総重量	14.4kg
ブーム, クランプ	8.05kg
エンジン, フレキシブルシャフト	6.35kg

図1はブームの先端のクランプ部、図2は手元の開閉ハンドル部を示している。振動しているブームの先端にクランプがあるため、ハンドルを引く

*山形大学農学部

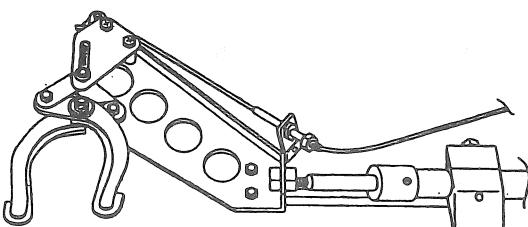


図1 クランプ部

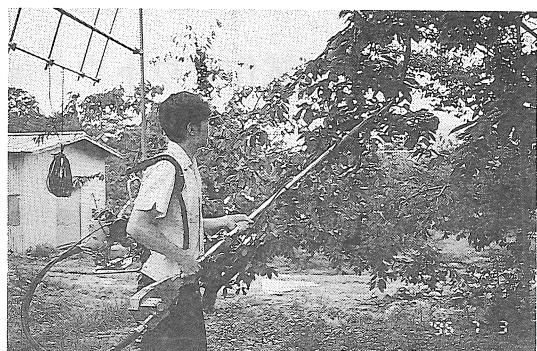


図3 オウトウ振動収穫作業

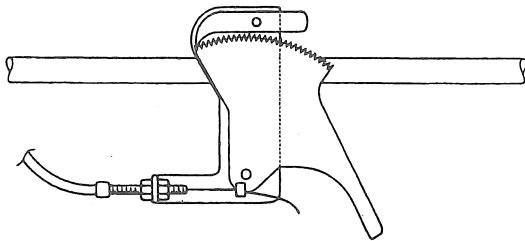


図2 開閉ハンドル部

ことによりワイヤーが引かれ、クランプ上部のリンクを引き上げてクランプを閉じ、枝を締め付ける方法を採った。そして開閉ハンドル部のラチェットの爪がかみ合うことにより、枝を締め付けた状態に固定できる。また、樹皮への損傷を考えクランプの内側にはゴムが付けられている。

図3は、実際の作業の様子を表している。このように作業は一人で行うことができ、樹皮への損傷も全く見られなかった。

3. ほ場試験

1) 実験方法

実験は次の手順で行った。(1)対象とする枝の全長(L), 基部直径(d), 側枝の全長・基部直径を測定する。(2)振動したとき,どの位置の果実が落下したかを調べるために,枝になっている状態で果実の個数を記録する。(3)オウトウ樹の下草の上に果実を受けるためのビニールシートを敷く。(4)シェーカーで3~5秒間振動する。(5)落下した果実を果梗付き果と果梗抜け果に分け個数を確認し,果実の質量, 糖度を測定する。なお,糖度は屈折糖度計で測定した。

2) 実験結果および考察

表2はオウトウ振動収穫試験の条件および結果を表している。試験はナポレオンを中心に佐藤錦, サミットの3品種について行った。表中Lは枝の基部からクランプ位置までの長さ, dはクランプ部の直径, tは振動時間を表している。落果率, 先端落果率は果実の脱離した割合であり,前者は枝全体を, 後者はクランプより先を対象としている。

表2 オウトウ振動収穫試験の条件および結果

実験番号	実験月日	実験場所	品種	1	d	1°	d°	t	先端落果率 (%)	果梗付き落果率 (%)	果梗付き率 (%)	果梗抜け落果率 (%)	果梗抜け率 (%)	不落果 (%)	糖度	
				(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(s)				m	g	m	g	
1	6/14	イ	佐藤錦	210	4.0	85	2.1	5	85.7	89.7	68.4	4.2	12.0	4.8	14.8	4.1 11.2
2	6/19	ロ	サミット	228	3.2	90	2.1	5	89.4	—	100.0	4.5	9.6	—	—	5.1 9.5
3	6/19	ロ	ナポレオン	211	4.2	79	2.2	3+3	31.8	—	98.9	4.0	10.8	4.1	11.0	4.1 10.2
4	6/19	ロ	サミット	200	2.9	123	1.5	5	68.3	—	100.0	4.3	9.3	—	—	4.2 9.3
5	6/26	イ	ナポレオン	133	2.6	65	1.3	5	32.1	—	98.2	4.0	7.3	4.9	8.4	3.7 7.2
6	6/26	イ	ナポレオン	221	4.3	110	2.5	5	21.3	47.7	93.5	3.6	7.4	4.1	7.3	3.7 7.6
7	6/28	ハ	ナポレオン	138	2.7	30	2.1	3	98.6	—	92.8	6.8	11.3	—	—	—
8	7/1	ニ	ナポレオン	297	4.5	151	2.0	3	74.2	97.5	74.8	7.0	11.9	7.4	11.8	6.8 12.1
9	7/2	ハ	ナポレオン	215	3.0	116	2.0	3	95.7	97.8	40.8	5.7	11.2	6.2	11.8	—
10	7/2	ハ	ナポレオン	181	3.0	107	2.0	3	64.3	69.2	48.2	5.2	10.7	5.7	12.1	—
11	7/2	ハ	ナポレオン	244	3.7	127	2.1	3	47.1	30.8	82.5	5.1	8.2	5.4	10.2	—
12	7/3	ロ	ナポレオン	185	3.6	80	2.7	3	68.2	79.0	85.9	6.0	12.0	5.5	12.0	5.2 12.1

イ. 山形県鶴岡町 ロ. 山形市駅迎堂 ハ. 村山市大久保 ニ. 蔵岡市山形大学附属農場

実験番号1は佐藤錦での実験であり、枝はほぼ真っ直ぐで大きな側枝もなく、先端落果率が高くなっている。実験番号2, 4はサミットでの実験であり、果梗付き果率は100%と非常に高い値が得られた。これは、収穫適期よりもかなり早かったために果肉が硬かったことが原因だと思われる。実験番号6の先端落果率が低かったのは、1結果枝当たりの果実数が多く、枝が非常にしだれていたためと思われる。

いろいろな形態の枝を振動したが、振動収穫には次の三つの大きな条件が必要と思われる。(1)果実が熟し過ぎていないこと。(2)果実の密度が低いこと。(3)枝がしだれていないこと。これらの観点から圃場試験の結果を検討した。なお、図中の番号は実験番号に対応している。

糖度と果梗付き果率の関係を図4に示す。糖度が高くなると果梗付き果率は低くなることが分かる。

また、クランプより先の側枝を含めた枝の長さを l_a とし、単位長さ当たりの果実数、すなわち先端果実数/ l_a と先端落果率の関係を調べた(図5)。単位長さ当たりの果実数が多いと先端落果率が低くなることが分かる。

さらに、枝の細長さ、しだれ具合を示す値としてクランプより先の枝の長さ($l - l_c$)をクランプ部の直径 d_c で除した値と先端落果率の関係を調べた(図6)。実験番号10, 12の枝については、枝先が切られていたために、 $(l - l_c)/d_c$ の値が低くなっている。このように枝先を切ることは、振動収穫には有効と思われる。

4. クランプ部での枝の振動

シェーカによって与えられるクランプ部での枝の振動状態(振動数、全振幅、最大加速度)および無負荷時のクランプとブームの振動状態を把握するために、次の実験を行った。

1) 実験方法

実際には場にあるオウトウの木の枝を供試し、実験を行った。実験は枝の基部から88cm, 133cm, 170cmの位置をクランプし、それについて加速度計によりクランプ部での枝の振動状態を測定した。また、無負荷時のクランプとブームの振動

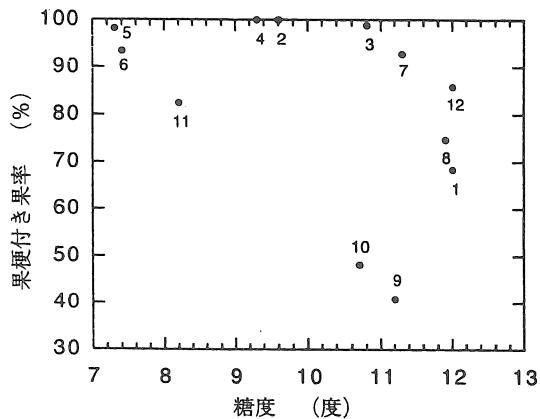


図4 糖度と果梗付き果率の関係

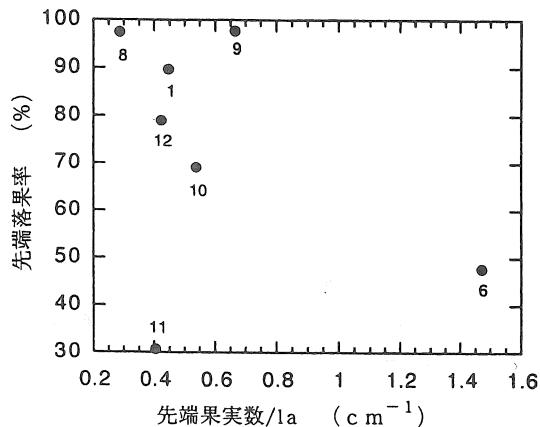


図5 先端果実数/ l_a と先端落果率の関係

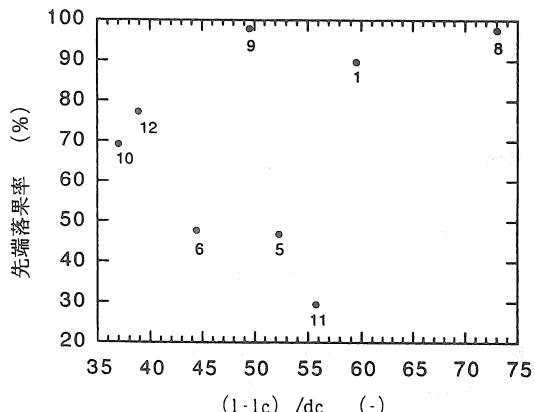


図6 $(l - l_c)/dc$ と先端落果率の関係

表3 クランプ部での枝の振動

	1c/1		
	0.326	0.493	0.630
振動数 (Hz)	10.0	9.6	10.0
最大加速度 (g)	19.1	15.0	17.6
全振幅 (cm)	6.58	5.58	6.04
補正係数 (-)	0.691	0.691	0.691
ナポレオン	1=270cm	d=3.8cm	

表4 無負荷時のクランプとブームの振動

	クランプ	ブーム
振動数 (Hz)	11.8	12.5
最大加速度 (g)	31.6	6.3
全振幅 (cm)	9.6	1.7
補正係数 (-)	0.85	0.84

状態については、枝をクランプしない状態でクランプとブームに加速度計を取り付け実験を行った。

2) 実験結果および考察

枝が正弦振動していると仮定して、測定した振動数と最大加速度から全振幅を算出した。表3は、枝の振動状態の実験結果を表している。クランプ部の枝の振動数、振幅がシェーカの設定振動数13.3Hz、設定振幅8cmよりも低くなっているのは、枝を挟持することにより、ブーム自体が振動したためだと思われる。

表4は、無負荷時のクランプとブームの振動状態の実験結果を表している。振動数が設定振動数よりも若干低くなっているのは、ブームの中の可動軸およびクランプを振動させることによるものと思われる。振幅が9.6cmと設定振幅よりも大きくなっているのは、枝をクランプしていないため機械的な衝撃が影響していると思われる。

5. 摘要

加工用オウトウの振動収穫を実用化するために、小枝を対象とした小型シェーカを試作し、ほ場試験を行った。主な結果は、次の通りである。

- (1) 大振幅発生部を手元に置くことにより、作業が一人で行えるようになった。
- (2) フックをクランプに改良したことにより、枝を

つかみ、締め付ける作業を手元で一貫して行えるようになった。

- (3) 樹皮損傷は全く見られなかった。
- (4) 大きな側枝がなく、枝がしだれていないものが振動収穫には適している。枝先を切ることも一つの方法である。

参考文献

- 1) 赤瀬 章・上出順一・山本隆儀・本間清治・仁木 正: 小枝を対象としたさくらんぼの振動収穫—梅用シェーカを使用した場合—, 農作業研究, 第30巻第2号, 102-110, 1995
- 2) 赤瀬 章・上出順一: 小枝を対象としたオウトウシェーカの開発(第1報)—シェーカの改良とは場試験, 農業機械学会誌(掲載可)

【閲読者コメント】枝の太さと状態、着果個数等を見ながら振動の振幅と振動数を手許で随時瞬間に変える方法はいかがですか。

【著者回答】振動数を変えることにより、振動の状態(節の位置、振幅)を変えることができるるので、有効であると考えます。

オウトウ果実の脱離特性

赤瀬 章*・鈴木 洋*・上出順一*・高木陽介*

Mechanical Properties of Detaching Cherry Fruits

Akira AKASE*, Hiroshi SUZUKI*, Jun-ichi KAMIDE*, Yousuke TAKAGI*

Abstract

A pulling test and a vibrating test were carried out in order to investigate the detachable properties of cherry fruits. The main results obtained are as follows: (1) The sugar content and the color index a^* showed a higher linearity with the fruit mass. (2) In the pulling test, the detachment force between spur and stalk (SS force) was lower than that between stalk and fruit (SF force), as the fruit mass was smaller. But when the mass became larger, SF force was about one third of SS force. (3) As a cherry fruit was pulled in the opposite direction of stalk, the detachment force became extremely low. (4) In the pulling and the vibrating tests, stalk was detached from the spur either at α or at β part as shown in Fig.8. From the longitudinal sections at α and β , a detachment layer was found to be at α . (5) In the vibrating test with 6cm of stroke and 10Hz of frequency, fruits with stalk were resulted from the system having one or two fruits per spur, but the stalkless fruits were obtained from the system which had many fruits per spur.

[Keywords] cherry, pull detachment force, shaking, detachment time

1. はじめに

オウトウを機械収穫する際、いずれの方法を採用するにしても、果実を脱離させるための力を明らかにすることが必要である。そこでオウトウ果

実の引っ張りによる脱離抵抗力を品種や成熟ステージを変えて測定した。振動収穫の際には、果実が果梗付きの状態で脱離するのが望ましいが、条件によっては果梗抜け果が生ずる場合もある。

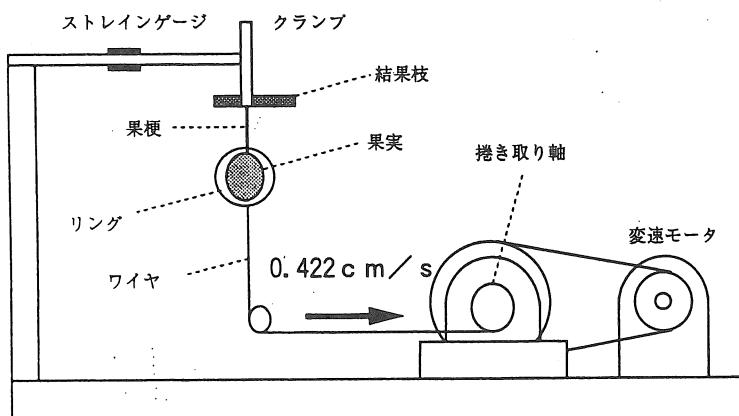


図1 脱離抵抗力測定装置

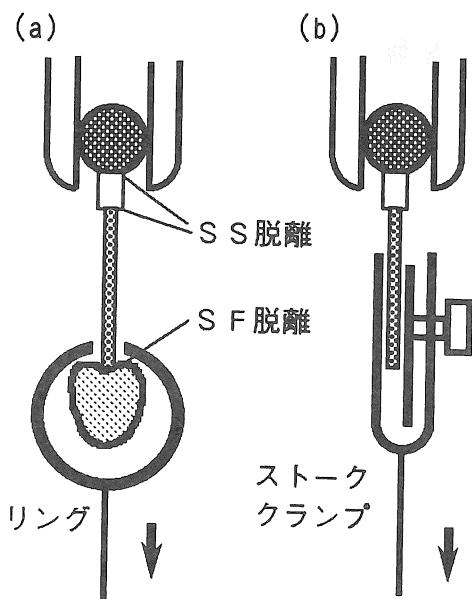


図2 果実および果梗を引っ張る方法

従って結果枝(spur)と果梗(stalk)間の脱離抵抗力(S S 脱離力)、果梗と果実(fruit)間の脱離抵抗力(S F 脱離力)を測定した。つぎに果実の付いた結果枝を振動させ、振動に対する抵抗すなわち脱離時間を、振動条件およびオウトウの品種や成熟ステージを変えて測定した。

2. 引っ張り試験

1) 実験装置および方法

オウトウ果実の引っ張りによる脱離抵抗力の測定装置を図1に示す。結果枝を片持ち梁の先端のクランプに固定し、果実にリングをかけてリングを一定速度(0.422cm/s)で引っ張った。脱離抵抗力は片持ち梁(燐青銅製、幅21mm×厚さ5.1mm×長さ249mm)に貼り付けたストレインゲージによって測定した。較正は図1のクランプ部に質量が既知の重錘をぶら下げるこにより行った。ワイヤは延びると望ましくないので、中心に細い針金の入ったリード線($\phi 1.1\text{mm}$)を使用した。果実を引っ張るのにリングを使用するとS S 脱離力とS F 脱離力の小さい方の値が測定される(図2(a))。S F 脱離が生じた時は、図2(b)のように果梗をストーク クランプで挟持して同一試料のS S 脱離力を測定する。

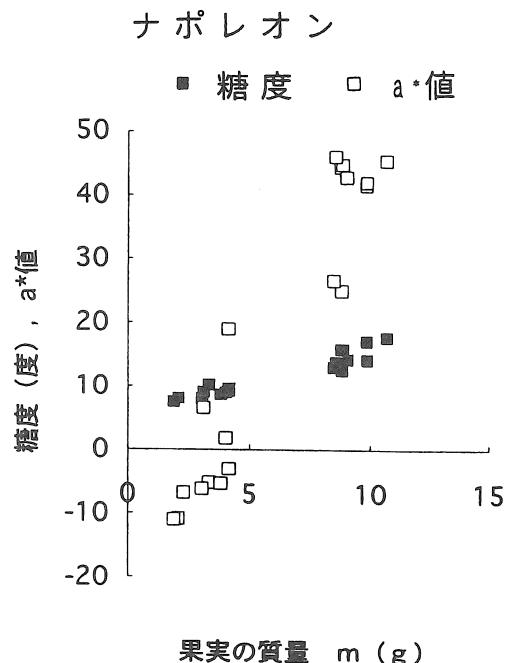


図3 果実の質量と糖度、a*値の関係

測定項目は果実の質量、糖度、色($L^*a^*b^*$)、果梗の長さ・直径、脱離部位、脱離抵抗力である。果実質量は果梗を含まない質量である。糖度はアタゴ社製自動補正式屈折計ATC-1で果頂部の果汁を測定した。果実色はミノルタ社製測色計CR-13を用いて果実中で最も赤い部分を測定した。測定値の L^* 、 a^* 、 b^* はそれぞれ明度、緑-赤方向、青-黄方向を表わす。

供試した品種はナポレオン、佐藤錦、高砂、サミット²⁾、天香錦、高陽錦²⁾であり、収穫日を変えて実験を行った。

2) 実験結果および考察

(1) 果実の質量、糖度、a*値

果実は日数の経過に伴って質量を増し、成熟が進む。そこで果実の質量、糖度、色の関係を調べた。オウトウの着色度は成熟に伴って値が高くなる a^* 値³⁾で表示した。図3はナポレオンの例であるが、質量の増大に伴って糖度および a^* 値は共に直線的に高くなった。

(2) 果梗方向に引っ張った場合

果実を果梗方向に引っ張る場合は、果梗が鉛直方向になるように結果枝をクランプ(図1)に挟

持した。図4はチャート上の曲線の一例である。時間の経過と共に抵抗力が大きくなり、脱離が生ずる。そのときの最高値を脱離力とした。(a)はSF脱離、(b)はSS脱離であり、ピーク時の曲線形態が異なっている。(a)では脱離直前でオウトウ果実の果皮が延びるため曲線になっている。

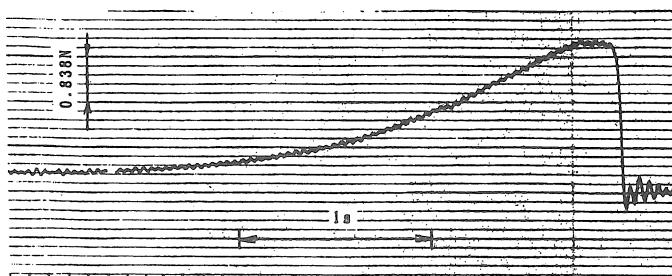
図5は各品種の果実の質量と脱離力(SF, SS脱離)の関係を示している。(a)はナポレオンであり、質量が小さい時は多くの場合SS脱離して果梗付き果が生じている。しかし質量が大きくなるとSF脱離が生じており、質量の増大に伴いSF脱離力が急激に低下していることが分かる。これは果実の成熟が進み果肉が軟化するためである。それに対してSS脱離力は果実質量の増大によって僅かであるが高くなっている。これは果梗直径の増大とともに結果枝と果梗の結合部が太くなったものと思われる。質量mが大きい場合のSF脱離力とSS脱離力は同一材料の値であり、前者は後者の約1/3である。これはmが大きい場合、オウトウを引っ張り力で収穫しようすると、果

梗抜け果のみが生ずることを表している。図5(a)～(d)から、ナポレオンは他の品種に比べてSF脱離力が大きいことが分かる。これはナポレオンの果肉が堅い²⁴⁾ことによるものである。その結果、振動収穫では果梗抜け果が少なくて有利になる。

(3) 引っ張り方向が脱離力に及ぼす影響

オウトウを手収穫するとき、引っ張り方向によつて果実のとれ易さが異なることは経験的に知られている。図6(a)は果実が結果枝になっている状態を示しており、θは果梗の方向と引っ張り方向のなす角である。 $\theta = 0$ の時は、果梗方向に引っ張る前項(2)の状態である。図6(b)は結果枝をクランプし果実を引っ張っている状態で、θが大きい場合である。図7は果梗と引っ張り方向のなす角θと脱離力の関係を示す。SF脱離力はθが大きくなてもその大きさが変化しない。それは図6(b)から分かるように果梗が曲がり、果実部の果梗は鉛直方向になるからである。それに対してSS脱離力はθが大きくなると急激に小さくなり、その値はSF脱離力よりも小さく、SS脱離

(a) SF 脱離



(b) SS 脱離

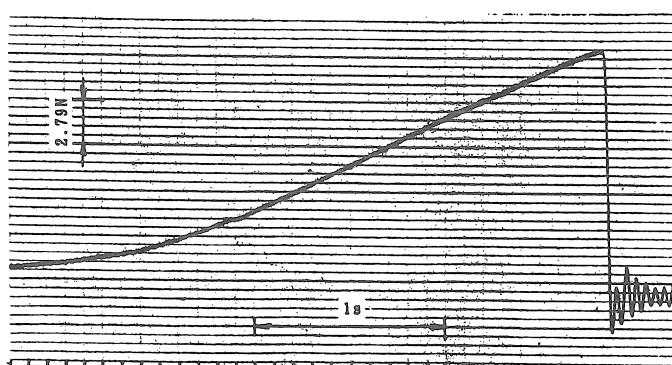


図4 オウトウ脱離抵抗力のチャート

ナポレオン (1996. 7. 5.) $m=9.83\text{ g}$, 糖度=17.0度, $a^*=41.4$

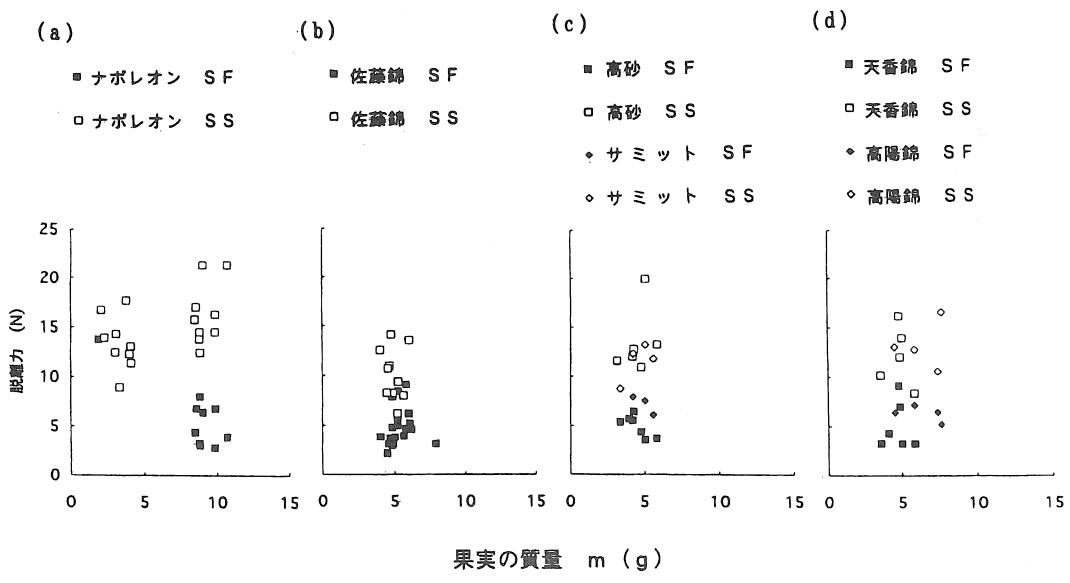


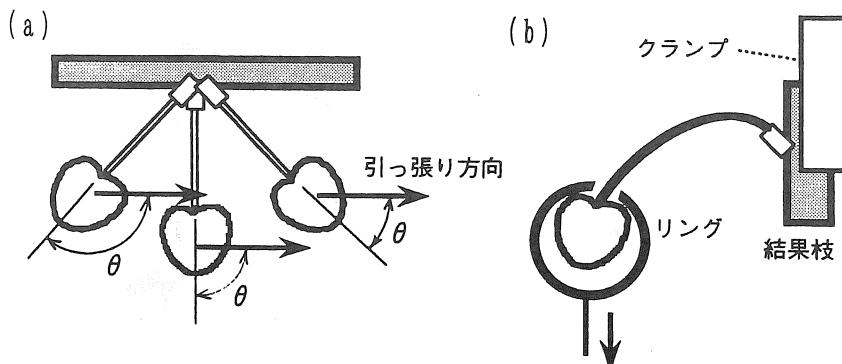
図5 各品種の脱離力

しか生じていない。このことは振動収穫において結果枝に加えられる振動の方向が適正であれば、多くの果梗付き果が生ずることを示している。

(4) 結果枝と果梗の結合部の縦断面

引っ張り試験で S S 脱離する場合、図 8 (a) の α 部または β 部で脱離した。そこで結果枝に付いている果実を 70% のアルコール漬けにして約 1 カ月固定した材料から、氷結ミクロトームで切片を作り、写真撮影をした。図 8 (b) は結果枝と果梗の結合部 (α 部, β 部) の縦断面図である。2 果付きの場合であり、維管束が 2 本の果梗に分かれ

ている。果梗の付け根 (α 部) にくびれが見られる。(c) は α 部を更に拡大した図である。果梗部の細胞は細長く、果梗に平行に並んでいる。しかしくびれ部の細胞は丸く厚膜化して小さく、くびれの延長方向にも見られる。それに対して β 部は、(b) において外形のくびれが見られるが、 α 部のような特殊化した層の発達は見られない。従って α 部は本来の脱離層であるが、 β 部はそうではないように思われる。引っ張り試験において β 部でも脱離するのは上記のように物理的に弱いからであろう。

図6 果梗に対して角度 θ で引っ張る場合

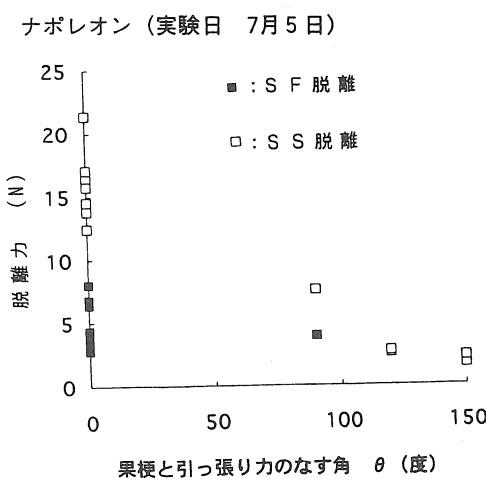


図7 果梗と引っ張り力のなす角 θ が脱離力に及ぼす影響

3. 振動試験

オウトウ果実が付いている結果枝に正弦振動を与える、振動条件（ストローク、振動数）と脱離を要する時間の関係を調べた。その結果の一部は既に報告した⁵⁾。オウトウでは1結果枝当たりの果実数が少ない場合は1～2個、多い場合は10数個に達する。その個数は品種と栽培法に左右される。図9は多くなっている状態を示している。本報では、1結果枝当たりの果実数、葉数と果実の脱離時間の関係を調べた。オウトウの振動脱離試験装置は文献5と同じである。

(1) 実験結果および考察

1結果枝当たりの果実数と落果状態の関係を表1に示す。6cm, 10Hzでは果実が1から2個なら、100%果梗付きで収穫できる。個数が増えると果梗抜け果が多くなる。これは振動収穫の圃場試験において、適正な振動を与えてても1結果枝の果実数が多いと良い結果が得られなかつことと一致している。2cm, 16.7Hzでは果実数に係わらず不落果が多く、落果しても果梗抜け果が多くなっている。

4. 摘要

オウトウ果実の脱離特性を引っ張り試験と振動試験で調べた。主な結果は次の通りである。

1) 果実質量の増大に伴い、糖度および a^* 値は直

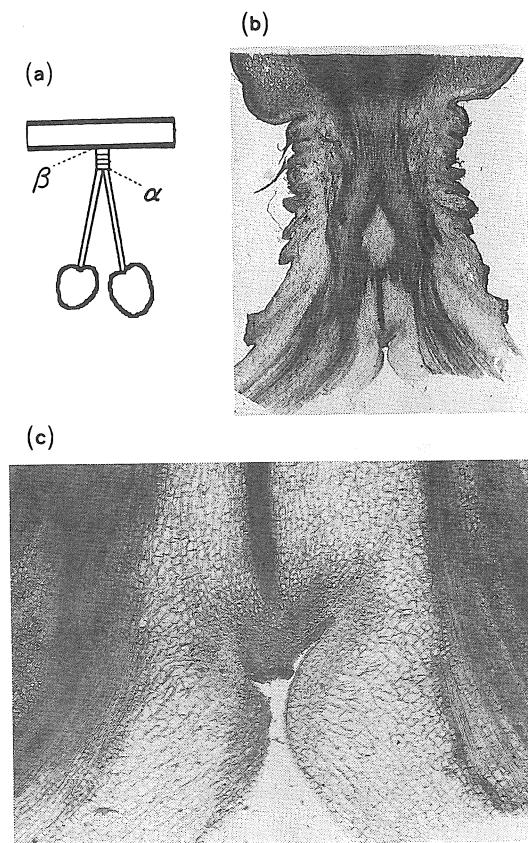


図8 結果枝と果梗の結合部の縦断面図

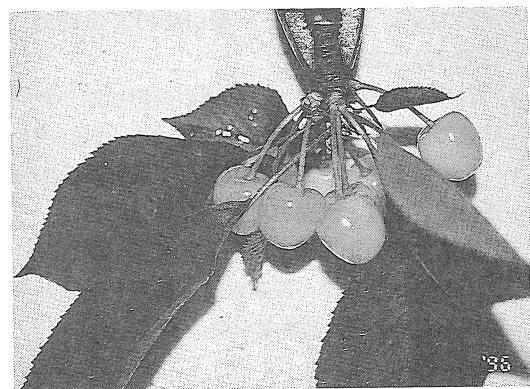


図9 1結果枝に多数の果実がなっている例

線的に高くなつた。

2) 果実質量が小さい時は結果枝と果梗の脱離力（S S 脱離力）は果梗と果実の脱離力（S F 脱離力）より小さい。しかし果実質量が大きくなると、S F 脱離力はS S 脱離力の約1/3である。

表1 1結果枝の果実数と3秒間の加振による落果状態の関係

果実数	6 cm, 10Hz				6 cm, 8.3Hz				2 cm, 16.7Hz			
	n	A	B	C	n	A	B	C	n	A	B	C
1～2個	3	100%	0%	0%	2	33%	0%	67%	9	21%	21%	57%
3～9個	4	90	10	0	5	50	4	46	6	30	37	33
10個以上	3	50	47	3	4	36	0	45	2	24	28	48

n : サンプル数, A : 落果 (果梗付き果), B : 落果 (果梗抜け果), C : 不落果

- 3) 果実を果梗方向と反対方向に引っ張ると、脱離力は極めて小さい。
- 4) 引っ張り試験および振動試験では、果実の脱離は α 部、 β 部で生ずる(図8)。 α 部、 β 部の縦断面図から α 部が脱離層であると思われる。
- 5) ストローク6cm、振動数10Hzの振動を結果枝に与える時、1結果枝当たりの果実が1、2個なら果梗付き果が多い。しかし果実の個数が増えると果梗抜け果が多く発生する。

参考文献

- 1) Lamouria,L.H.,Brewer,H.L.:Determining Selected Bio-Engineering Properties of Olives, Trans.ASAE,271-274,1965
- 2) 佐竹正行他：オウトウの作業便利帳—高品質安定生産のポイントー, 農山漁村文化協会, 119-121,1993
- 3) 石黒 亮他：オウトウ品種の成熟に伴う果実形態の推移, 東北農業研究, 46,215-216,1993
- 4) 山形県農林水産部農蚕園芸課：果樹振興指標資料編(生産と流通の現状), 11,1995
- 5) 赤瀬 章・上出順一・山本隆儀：小枝を対象としたサクランボの振動収穫—梅用シェーカを使用した場合ー, 農作業研究, 30(2),102-110, 1995

うに果梗と結果枝のなす角が小さいと、結果枝と平行の振動が有効ですし、同図真ん中の粒のように果梗が結果枝と直角をなす場合には、果梗を含む面内でしかも結果枝と直角方向の振動が有効となります。いずれの場合も、果実相互または果実と結果枝の衝突は避けがたいと思われます。従って振幅を大きくして果梗付き果を確保し、しかも振動数もある程度高くして、速やかに脱離させると衝突の機会が少くなり、損傷が抑えられると思います。

【閲読者コメント】果梗付き果を収穫しようとすれば、結果枝に平行に振動がかかればよいようですが、その際果実相互の衝突による損傷はいかがですか。

【著者回答】本論文では、果梗と引っ張り力のなす角度が180度に近いと脱離力が小さくなることを示しています。すなわち図6(a)の左の粒のよ

線要素パターン検出方式の画像処理による線の形状判別

高橋照夫*・張樹槐*・孫明*・福地博*

Distinction of Line-Shape by Picture Processing Introduced Detection Method of Line-Element Pattern

Teruo TAKAHASHI*, Shuhuai ZHANG*, Ming SUN*, Hiroshi FUKUCHI*

Abstract

This paper describes on a new picture process method on distinction of line-shape and the detection precision of line-shape element to attempt speeding of a method to judge a shape of an object from lines. Picture process of this method is divided into a part of preliminary making patterns of 3×3 picture element and a part of shape distinction process of a line.

Part of the beginning examined the representation angle patterns of 110 with line-element patterns of 162 on straight line and arc, and made them as table data. Part of the second made use of those for a check with detection of lines each part of an object.

Detection precision in drawing pictures was about 5 degrees above length of 20 picture elements on inclination of straight line, and was within 5 degrees in extent from 15 to 165 degrees on a tangent angle of arc. Precision of a radius of curvature of arc was within 10 % when a temporary center angle was above 80 degrees.

[Keywords] distinction of line-shape, picture processing, line-element-pattern detection

1. はじめに

近年果実の収穫作業をはじめ種々の農作業の自動化・ロボット化に関する研究が活発に行われている¹⁾。その中でテレビカメラによる入力画像から実時間制御のための情報を得る画像処理法の開発・改良も重要な課題の一つになっている。とくに、リンゴ収穫作業のように屋外で移動しながら行う作業の画像処理では次の2点に留意すべきと思われる。一つは、目標物はもちろんのこと、その周囲にあって作業の障害になる物体（例えば枝や支柱など）の識別であり、もう一つは実時間制御に向けた処理アルゴリズムの高速化である。

これまでの果実収穫ロボットの研究を例にとって、果実の識別は色情報処理やパターン認識の手法^{2,3)}によってほぼ可能になりつつある。しかし、果実を含め物体の形状を判定する簡便な方法が見出されておらず、果実周囲の枝などのように色やパターンが特定できない物体の判別についてはあまり検討されていない。又上述の各手法とも個々

の画素に対する繰り返し操作が多いため一般に処理時間が長くなる傾向にある。

本研究は、物体の形状を輪郭から判定する方法の高速化を図るために、デジタル画像における線の微小部分の描画形式をパターン化して利用する画像処理方式の開発を目的にしている。本報では、直線や円弧の線要素パターンとその特徴値を予めテーブルデータにしておき、物体の輪郭各部の検出と照合にそれらを用いる方式について、その考え方を述べ、線の形状要素の検出精度を検討した。

2. 本方式の考え方と画像処理手順

(1) 本方式の考え方 物体の形状を輪郭から判定する方法には、微分オペレータ等で輪郭の各点を検出し、それらに順次回帰式を当てはめる方式⁴⁾やテンプレートとの一致度をみるパターン認識方式⁵⁾がある。最近ではさらに改良ハフ変換による直線や円の検出⁶⁾、ニューラルネットワークや遺伝アルゴリズムを用いたパターン検出⁷⁾などの方

式も試みられている。

物体の輪郭に対するこのような操作は、画像の点の連結に対する直線・曲線の区別、傾きの把握など線の形状を判別する処理にほかならない。

ところで、コンピュータ内部で取り扱われるデジタル画像では、画素が図1のように正方格子状に配置されるので、線は縦と横方向の画素の組み合せで表され、線が滑らかであればその描画形式は線の太さや傾きによってほぼ定まるという特徴がある。例えば、太さが一様な直線は同図Aのように傾きに応じた画素パターンの繰り返しで、曲線は同図Bのように接線角度の変化に伴い画素の連結方向が徐々に変化する形式で描かれる。又、ほとんどの滑らかな線は、種々の直線や円弧の画素パターンの組み合せで表される。

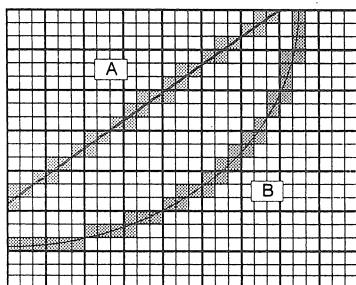


図1 デジタル画像における線の描画例

そこで、描画上の制約条件を前提に、予め線の形状とそれを構成する微小部分の画素パターンとの関係を求めておき、画素の連結状態が検出されたときにそれらと照合して形状判別を行うことが考えられる。

こうした考え方を類似するものとして、角度検出用のKirschのオペレータ⁸⁾や平面形状検出用の大津らのオペレータ⁹⁾などがあり、いずれも 3×3 画素（以下セルと呼称）をパターン範囲とし、パターン数をそれぞれ8及び25個に設定している。ただし、これらのオペレータでは常にセル中心の画素に関するパターンを検出しなければならないため、画素を一つずつ走査する必要がある。

本方式では、走査関連の処理の高速化のため走査がセル単位で済むように、滑らかな線がセル内で取り得る線要素パターンを予め全て調べておく

ことにする。その場合には図1の太線枠で示すようにパターン数が多くなるものの、処理対象は9分の1に減少する。なお、パターン範囲については、2値画像で $n \times n$ 画素とした場合そのパターン総数は2の $n \times n$ 乗となり n とともに急増するので、実用上 n 値は3が適当と思われる。

一方、線の形状と画素の連結パターンの関係を角度の面からみると、直線の場合には連結パターンの平均角度が一定なのに対し、円弧の場合にはその変化割合が一定となる。

そこで、線の形状判別について本方式では、線要素パターンの傾きの状態を検出し、それらが上述のどちらの性質に属するかによって直線部分か円弧部分かを判定する。

(2) 線要素パターンの内容 画素の連結状態をセルで区切ると各セル内の画素状態が明確になる反面、隣接セルとの関係が分かりにくくなる。その関係を把握するために必要なパターン因子としては、①線の太さや領域内の位置に関するアクティブ画素数、②パターンの方向性を表す角度、③画素の集合状態を表すアクティブ画素の重心、及び④隣接セルとの連結状態を表す辺パターンなどが挙げられる。本報ではこのうち⑤と⑥を用いて隣接セルとの関係を調べることにした。

線要素パターンの形状と角度の関係は、①角度が特定されるもの、②方向性に広がりのあるもの、及び③方向性の不定なものに分けられる。このうち④のパターンについては、種々の傾きの直線をセル単位で走査したときの出現頻度分布から代表的な角度が求められるので、本報では①と②のセル（角度セルと呼称）は予め代表角度を決めておき、線の傾き角度の検出に用いた。

(3) 画像処理手順 本方式の画像処理は、図2のフローチャートに示すように、(a)事前に線要素パターンと線の形状を関係付けるためのパターンテーブルファイルの作成と、(b)作業時に用いる形状判別処理の二つに大別される。

(a)では、①テレビ画面内における種々の形状の直線と円弧のテンプレートの描画、②セルの走査による画素パターンの収集と番号付け、③角度セルの検出と代表角度の決定、及び④線要素パターンファイルの作成の各処理を行う。

(b)では、まず①上述の線要素パターンファイルを入力して初期条件を設定する。次に②テレビカメラから画像を入力し、③2値化とフィルタリングによって目標物を抽出する。得られた2値画像について、④セルの走査で線要素パターンを検出するとともにラベリングを行う。それらの結果をもとに⑤輪郭各部の角度セルから平均角度を求め、⑥輪郭全体の角度分布の特徴から線の形状を判定する。この後物体形状の判別処理が必要になる。

農作業時の処理は②～⑥の繰り返しになる。

(a) 線要素パターンファイルの作成 (b) 線形状の判別処理

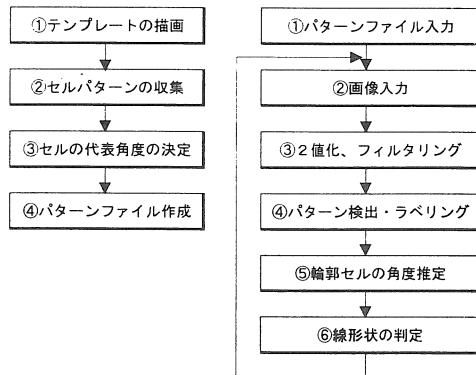


図2 画像処理手順

3. 画像処理の例

(1) 線要素パターンテーブルの作成例 横×縦が640×400ドットの15インチテレビ画面内では1セルが約1mm四方で表されるので、テンプレートの作画条件は、寸法が約20ドット以上で輪郭が滑らかな物体を対象に表1のように設定した。作画にあたっては、各傾きの直線を長さ、幅とも1/10ドット刻みとして式(1)で、又各半径の円弧を中心

表1 線要素パターンテーブルの作画条件

形 状 項 目	条 件	備 考
直 線	長 さ	80画素
	太 さ	1～5画素
	傾 き	0～360度 角度 (1～60度間隔) パターン
円 弧	半 径	10～180画素 (10間隔)
	太 さ	1～5画素
	中 心 角	360度

角を1/10度刻みとして式(2)で、それぞれ浮動小数点計算のあと整数化してx, yの座標値を算出した。一本の直線又は円弧を描画するたびにセル単位の走査を実施し、パターン形状を9次元の配列データとして検出し番号付けを行った。その際アクティブ画素数が3～6のセルを角度セルとみなして代表角度を調べた。なお、画面上x軸を右向き、y軸を下向きにとり、直線の傾きは水平から反時計回りの角度で表した。

直線：

$$\begin{aligned} x &= x_0 - L \cdot \cos \theta - t \cdot \sin \theta + 0.5 \\ y &= y_0 + L \cdot \sin \theta + t \cdot \cos \theta + 0.5 \end{aligned} \quad (1)$$

円弧：

$$\begin{aligned} x &= x_0 - r \cdot \cos \delta + 0.5 \\ y &= y_0 + r \cdot \sin \delta + 0.5 \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 x_0, y_0 は中心座標、Lは長さ、tは幅、rは半径、θは傾き角度、δは中心角。単位は長さがドット、角度がラジアン。

その結果、パターン数は図3のように直線の傾き角度の間隔が狭いほど多くなり、その間隔が5度以下では飽和状態になった。そのときのパターン数は、円弧テンプレートとの合計で162、角度セル数が110であった。角度セルの代表角度は約23度の倍数で表されるものが多く、円周を16等分した場合の角度に近似した。なお、パターン数に

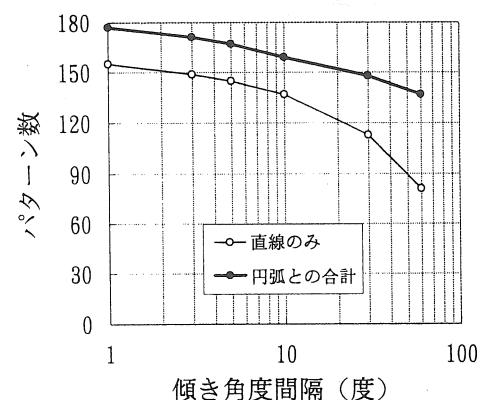


図3 直線の傾き角度間隔とパターン数

は各直線の末端パターンも含まれている。これらの結果より、線要素パターンテーブルは直線の角度間隔が5度の場合について各セルのパターンに番号と代表角度を対応させて作成した。

(2)作画画像の処理例 図4に作画画像の処理過程を示す。同図(a)の長方形は式(1)で長さ160画素、幅15画素、傾き20度として、円形は式(2)で半径を50画素としてそれぞれコンピュータ内部で描画したものである。

同図(b)は(a)のパターン状況の例であり、図中の数字は画素がアクティブであることを示す。輪郭付近では、角度セルよりも角度の明確でないセルの方が多く、輪郭の傾きはこれらのセルが連結した状態で表されている。

同図(c)～(e)は各領域の輪郭セルである。その抽出は、アクティブ画素数が1～8個のセルとそれらに隣接するセル、及び全画素がアクティブのセルでは少なくとも一辺が非アクティブ領域に接するものという基準で行った。

同図(c)の数値は輪郭セルのパターン番号であり、番号7はセル内の画素が全てアクティブである。長方形と円弧の交差部分あるいは長方形の辺同士の交差部分では、該当するパターン番号がないため図には表示されず空白になっている。

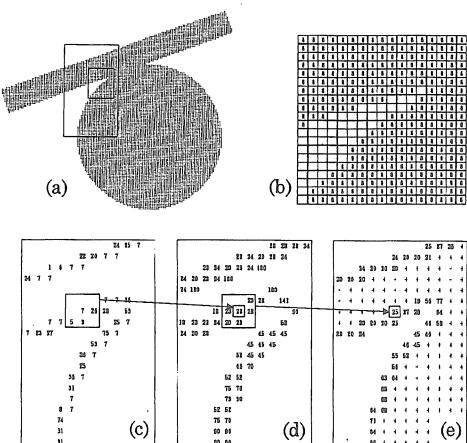


図4 2値画像の処理例 (a)2値画像, (b)画素パターンの例, (c)パターン番号, (d)セルの角度, (e) 3×3 セルの平均角度

同図(d)は輪郭付近の各セルの角度を表す(単位は度、180は0度の意)。各値は、上述のような輪郭セルのパターン状況を考慮し、同図(c)の小枠で示すように各セルの近傍 3×3 セルで作られるパターンを角度セルのパターンにあてはめて求めた。

長方形の斜辺部分をみると、各セルの検出角度は0～28度で実際の傾きとの差が大きい。しかし、さらに各セルの近傍 3×3 セルの値を平均する(小枠で示す)と同図(e)のようにはば5度以内の誤差に収まった。円弧についても同様であった。

以上のような操作を輪郭全体に実施して角度変化を調べた結果、長方形の斜辺部分は直線、円の輪郭は円弧と判別された。

(3)線の形状要素の検出精度 線の主な形状要素である直線の傾き角度、円弧の接線角度及びその曲率半径に関する検出精度は次のようにあった。

a. 直線の場合 直線の傾き角度の検出精度は、式(1)で長さ20～150画素、幅2画素の直線を3度から98度までほぼ5度おきに描画し、 3×3 セルのパターンから代表角度を求め、各長さに対する平均角度を算出した。結果を図5に示す。

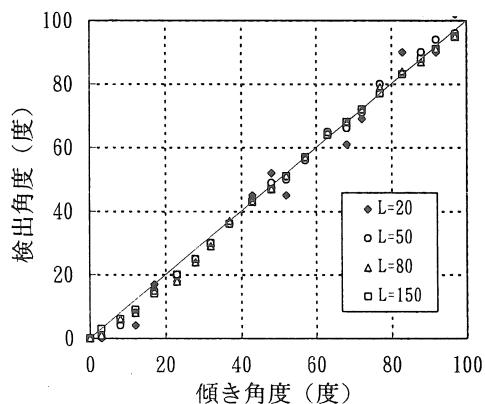


図5 直線の傾き角度の検出結果

同図によれば誤差は、長さ20画素のとき全体的にほぼ5度の範囲に収まったが、傾きが50度及び70度付近で7～8度になった。これは線の末端がセル内で中途となって角度計算に影響を及ぼしたためである。そのため傾き角度の検出では最低 6×6 セル程度の範囲が必要である。長さが50画素以上では誤差がさらに小さくなる傾向があり、全体的にみると直線の傾きの検出精度は長さ20画素以上について約5度とみなされる。

b. 円弧の場合接線角度の検出精度は、半径30～120画素の場合について、接線角度15～165度の範囲で周長約6セル分の円弧を15度間隔で順次描画し、図4(e)と同様に 3×3 セルの平均角度を求

めて調べた。

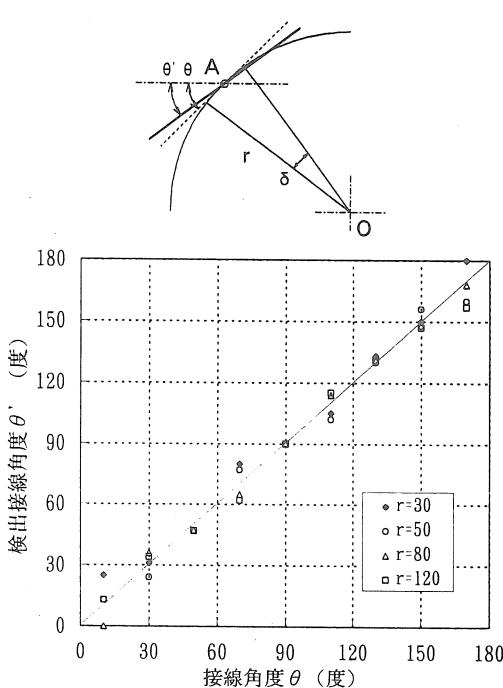


図6 円弧の接線角度の検出結果

その結果は図6のように、半径が小さいほど誤差が大きくなる傾向がみられたが、おむねいずれの半径でも5度以内の誤差範囲にあった。

次に曲率半径については、半径30~160画素で、中心角を約5~110度まで変化させた場合に両端で検出された接線角度と両座標間の弦長sから式(3)で曲率半径 r' と中心角 δ を算出した。

$$r' = s / \sqrt{2(1 - \cos \delta)} \quad (3)$$

ここで、 θ_1 、 θ_2 は両端の接線角度。

結果は、 δ を横軸に、計算による曲率半径と原半径の比を縦軸にとって原半径別に図7に示す。半径比は、 δ が約60度以下では1の上下に散らばりが大きかった。中心角が比較的小さい円弧では接線角度の誤差が小さくても曲率半径の計算への影響は大きくなる。 δ が80度以上ではいずれの半径でもほぼ0.9~1.1の範囲に収まり、計算精度は約10%であった。

(4)果実画像の処理例 実際のビデオ画像への適用性をみるために、収穫時期のリンゴ園で撮影した逆光状態の果実画像の処理例を図8に示す。処理

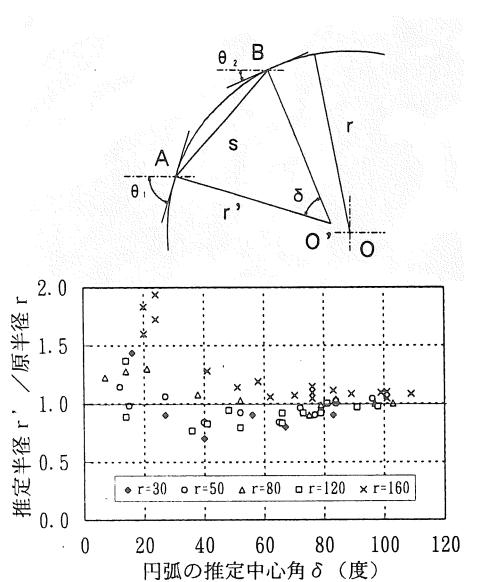


図7 円弧の曲率半径及び中心角の推定

方法は、カラーの原画像(同図(a))に対しRGBの各信号を移動平均後、輝度(256階調)のしきい値100以下をアクティブとする2値化を行い、以後前述の処理手順にしたがって輪郭セルの角度を検出した。

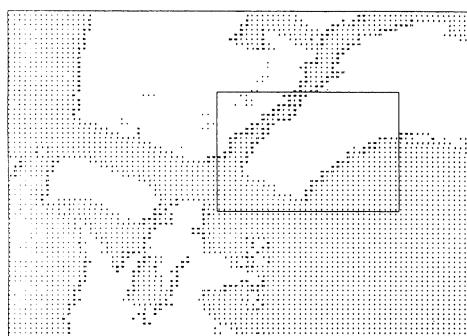
同図(b)は抽出された輪郭の一部であり、輝度の高い葉の部分が消失したが、リンゴと枝の輪郭は原状に近い。各部の角度は同図(c)のように、おむね妥当な結果が得られた。ただし、ノイズ等の影響で不良の個所もあり、線の形状判別のためにはさらに検討が必要である。

なお、処理手順②から⑤までの所要時間は、パソコン(CPU:インテル486ODP, 50MHz, プログラム:C言語)で約8秒、各処理の時間割合は、②のファイル入力(640x400x3バイト, EMSメモリから)が25%、③が34%、④のパターン検出が12%、ラベリングが22%、⑤が7%となり、入力以外では2値化とラベリングの割合が高かった。

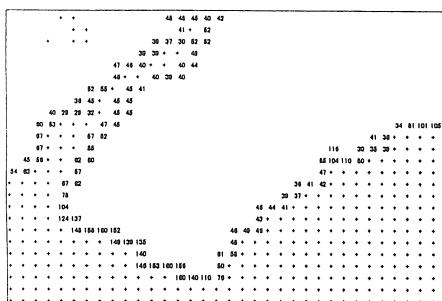
以上のように、作画画像での基礎的な検出精度はほぼ十分であり、又実際のビデオ画像にも適用可能性のあることが分かった。線の交差部分の処理対策とともに、ノイズ対策、2値化・ラベリング処理の高速化が今後の課題である。



(a) 果実原画像



(b) 輪郭の抽出結果（一部）



(c) 輪郭セルの平均角度の例（単位：度）

図7 リンゴ果実画像の処理例

4. 摘要

本報では、物体の形状を輪郭から判定する方法の高速化を図るために、デジタル画像における線の描画形式を 3×3 画素の線要素パターンで表して利用する画像処理方式について、その考え方を述べ、線の形状要素に関する精度を検討した。

(1) 本方式の画像処理は、事前に直線や円弧の線要素パターンテーブルを作成する部分と、作業時の形状判別処理の二つに大別される。

(2) 線要素パターンテーブルは、パターン数162、角度セル数110で作成した。

(3) 本方式による線の形状要素の検出精度は、直線の傾きでは、長さ20画素以上のとき約5度、円弧の接線角度では、半径が30画素以上のとき5度、曲率半径では、中心角が80度以上のとき約10%であった。

(4) 果実画像の処理例では、輪郭各部の角度はおおむね妥当な値であったが、実用化のためにはノイズ対策や2値化処理等の高速化が必要である。

参考文献

- 岡本嗣男・白井良明・藤浦建史・近藤直：生物にやさしい知能ロボット工学，実教出版，1992
- 孫明・高橋照夫・戸次英二：テレビカメラによる収穫時のリンゴ果実の識別(2)，農機学会講演要旨55：237-238, 1996
- 張樹槐・高橋照夫・福地博・寺尾日出男：果樹園作業の自動化に関する研究(1), 農機誌, 58(1):9-16, 1996
- 森俊二・板倉梅子：画像認識の基礎（I）前処理と形の特徴抽出，オーム社，1993
- 長尾真：画像認識論，コロナ社，1995
- 山川烈・内野英治・平川克巳他：組合せファジィハフ変換とその医用画像処理への応用, BMSFA, 95-01-09 : 71-79, 1995
- 長尾智晴・安居院猛・長橋宏：遺伝的手法を用いた2値図形のパターンマッチング，信学論J 76-D II (3) : 557-565, 1993
- 田村秀行監修：コンピュータ画像処理入門，総研出版, 1994
- 大津展之・栗田多喜夫・関田 嶽：パターン認識－理論と応用，朝倉書店，1996

【閲読者コメント】アルゴリズムの高速化の方法を検討されているが、提案された方法は、従来の方法と比べてどの程度の高速化が図られたかご教示下さい。

【著者回答】従来の方法にもありますが、パターン検出後の処理対象が減少した分と角度計算が簡易になった分でおよそ4～5倍というところです。実用的な画像処理時間としては2秒以下を一つの目安にしています。

農産物の比熱に関する研究

加藤 弘道*・福地 博*

Studies on Specific Heat of Fruits and Vegetables

Hiromichi KATO*, Hiroshi FUKUCHI*

Abstract

Specific heat of fruits and vegetables were measured. The relation between the specific heat and moisture contents were investigated. And those results were compared with empirical equation of Siebel and Monvoisin. As to specific heat above the freezing point, they were located on the intermediate value of Siebel's and Monvoisin's. And it seems that the specific heat depends on not only moisture contents, but also components of fruit or vegetable.

1. はじめに

農産物の比熱は、冷蔵庫や冷凍機を設計あるいは選択するとき、また、農産物の予冷、冷却、冷凍などの所要時間を予測するときには不可欠の要素である。比熱を計算で求めるにはSiebelやMonvoisinの式が古くから知られているが²⁾、これらはいずれも水分のみに基づくもので、ある食品の凍結点以上の比熱を c_1 [J/gK]、凍結点以下の比熱を c_2 [J/gK]、水分（湿量基準含水率）を M [%]、固体分率を S [%] とすれば、Siebel は

$$\begin{aligned} c_1 &= (4.19M + 0.838S) / 100 \\ &= 0.0335M + 0.838 \quad \dots \dots \textcircled{1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_2 &= (2.095M + 0.838S) / 100 \\ &= 0.0126M + 0.838 \quad \dots \dots \textcircled{2} \end{aligned}$$

で求められるとしており、また、Monvoisin は

$$\begin{aligned} c_1 &= (4.19M + 1.676S) / 100 \\ &= 0.0251M + 1.676 \quad \dots \dots \textcircled{3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_2 &= (2.095M + 1.676S) / 100 \\ &= 0.0042M + 1.676 \quad \dots \dots \textcircled{4} \end{aligned}$$

で表されるとしている。すなわち、両者とも水の比熱を $4.19[\text{J/gK}] = 1[\text{cal/g°C}]$ 、水の比熱を $2.1[\text{J/gK}] = 0.5[\text{cal/g°C}]$ としているが、固体分の比熱を前者は $0.838[\text{J/gK}] = 0.2[\text{cal/g°C}]$ とし、後者は $1.68[\text{J/gK}] = 0.4[\text{cal/g°C}]$ としている点が異なっている。テキストとして使われている文献^{4), 5), 8)} および文献^{2), 7)} に掲載の各種農産物の比熱は

Siebel の式によく一致している。

さらに、中島らは⁵⁾ 固形分の熱容量は有機物、無機物を問わず $0.3[\text{cal/g°C}] = 1.26[\text{J/gK}]$ 近辺の値を有するので、水溶液の場合次式で求められるとしている。

$$\begin{aligned} c_1 &= 1 - 0.7S/100 = 0.007M + 0.3[\text{cal/g°C}] \\ &= 0.0293M + 1.26[\text{J/gK}] \quad \dots \dots \textcircled{5} \end{aligned}$$

本研究は、いくつかの果実・野菜の比熱を実測し、比熱と水分との関係を求め、先達の式との比較を試みようとするものである。

なお、実験の遂行にあたっては当講座卒業の中山雅博君の多大な協力を得たことを記して謝意を表する。

2. 実験方法

(1) 比熱の測定方法

比熱の測定は混合法を用いた。すなわち、水熱量計（島津理化機器製、WK-100）に水を入れて質量 W' （熱量計の質量 W 、水 w' ）と温度 t' を測定し、計量した質量 w の試料を熱湯（ブドウのみ 60°C ）に温度 t が平衡するまで浸し、試料をすばやく熱量計に入れてよくかきませ、最高の温度 T を読む。このことから、かくはん棒を含めた熱量計の水当量を N とすれば、試料の比熱 c_1 は次式で表わされる。

$$c_1 = (N + w') (T - t') / w (t - T) \quad \dots \dots \textcircled{6}$$

氷結点以下の比熱の測定は、前述の氷結点以上の場合とほぼ同様であるが、試料を -20°C になるまで冷凍させておく点と、計算に融解潜熱が加わることが異なる。試料の融解点(氷結点) t_1 と水分M(%)を3回以上の繰り返し測定で求めておき、水と試料との混合後の水温をTとすれば、比熱 c_2 は、

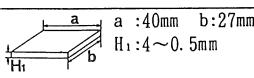
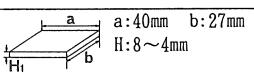
$$(N + w')(t' - T) = w[c_1(T - t_1) + \gamma + c_2(t_1 - t)] \dots\dots\text{⑦}$$

より求められる。ここで、 γ は潜熱 [J/g] で次式より求めた。

$$\gamma = 3.34M \dots\dots\text{⑧}$$

供試材料の水分は、 105°C 、24時間絶乾法で求めたが、乾燥前の試料の質量としては加温又は凍結直前の初期質量wを用いた。乾燥直前の試料の質量も計量したが、初期質量と比べて、加温又は

表1 供試材料の大きさ

品名	氷結点以上	氷結点以下
タケノコ	長さ40mm直径12mmの円柱	—
レタス		左に同じ
アスパラガス	直径10~8mm 長さ45mmのだ円柱	左に同じ
セロリ		左に同じ
ハクサイ		左に同じ
カボチャ	一辺20mm又は16mmの立方体 (種子を除く)	一辺16mmの立方体
ピーマン	 を8等分 厚さ2.5mm (種子を除く)	 を8等分 厚さ2.5mm (種子を除く)
キュウリ	直径27mm長さ12mmの円柱	直径24mm 長さ12mmの円柱
カブ	一辺16mmの立方体	左に同じ
ジャガイモ		一辺20mm又は16mmの立方体
ニンジン		一辺16mmの立方体
サツマイモ		一辺16mmの立方体
ナシ	一辺16mmの立方体 (種子をのぞく)	左に同じ
ブドウ	直径22mmの一粒	左に同じ
リンゴ	一辺16mmの立方体	左に同じ
グリンピース	直径10mmの一粒	左に同じ
トウモロコシ		左に同じ

凍結中および比熱測定中に脱水、吸湿により多少変化するからである。

(2) 供試材料

比熱は農産物の水分のみならず、構成成分に影響されると思われる。そこで、測定のたびごとに青果市場で購入した葉茎菜類（レタス、アスパラガス、セロリ、ハクサイ、タケノコ）、果菜類

(カボチャ、ピーマン、キュウリ、トウモロコシ、グリーンピース)、根菜類(ジャガイモ、カブ、ニンジン、サツマイモ)、果実類(ナシ、ブドウ、リンゴ)の17品目を供試して、比熱の比較を試みた。

なお、グリンピースとスィートコーンは一般に穀類に属するが、「完熟していない生食用のそれらは（枝豆も含めて）果菜類に属させてよい」という本学園芸農学講座の奥瀬一郎教授のご助言により、果菜類として扱った。

供試材料の大きさは、ブドウ、グリンピースのような粒状のものはそのままで、他は表1に示すような大きさに切りそろえた。

3. 実験結果と考察

表2 供試材料の加温・凍結所要時間、及び平衡時間

品目	氷結点以上		氷結点以下	
	加温時間	平衡時間	凍結時間	平衡時間
ハクサイ	4	2	45	6
セロリ	6	3	45	7
アスパラガス	4	3	20	4
レタス	3	3	20	2
タケノコ	4	3	—	—
カボチャ	8	6	120	7
ピーマン	2	2	20	3
キュウリ	8	6	130	9
カブ	5	5	135	7
ジャガイモ	8	6	130	8
ニンジン	8	5	45	7
サツマイモ	8	4	120	6
ナシ	4	4	110	7
ブドウ	8	5	160	8
リンゴ	4	4	120	7
グリンピース	3	1.5	12	1.5
トウモロコシ	3	1.5	12	1.5

〔单位min〕

供試材料の温度が、湯温と等しくなるまでの所要時間（加温時間）、 -20°C に達するまでの所要時間（凍結時間）、および熱量計中の水温と平衡するに要する時間（平衡時間）を表2に示した。試料が小さいので加温時間と平衡時間は数分の短時間であったが、凍結するにはかなりの時間を要している。

(1) 氷結点以上の比熱

1. 葉莖菜類

レタス、アスパラガス、セロリ、ハクサイ、タケノコの5品目、合計30回の測定データに基づく比熱 c_1 と水分Mとの関係を図1に示した。また、その直線回帰を最小2乗法で求めた実験式は次のように表される。これを図には実線で、Monvoisinの式を破線で、Siebelの式を一点鎖線で示した。

この式はMonvoisinの式にやや類似しているが、相関係数こそ5%の有意水準で比熱と水分間に関連があるものの、分散分析を行った結果は水分間には有意差が認められない。このことは図で、回帰直線より大きくずれている点が多々見られるところからもうかがえる。各水分における比熱の信頼限界はおよそ±0.105 [J/gK] であった。これには水分の範囲が92~98%と狭いことの影響も考えられる。

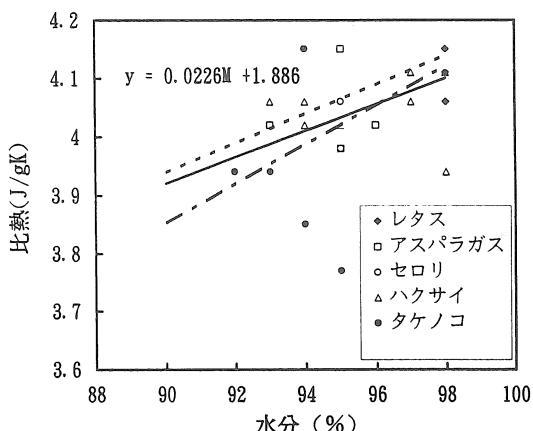


図1 薺菜莢類の水分と比熱の関係

口、果菜類

カボチャ、ピーマン、キュウリ、グリンピース、
スイートコーンの5品目、合計27回の測定データ

に基づく比熱と水分との関係を図2に示したが、その実験式は次式で表される。

$$c_1 = 0.0298M + 1.198 \dots \text{⑩}$$

この式は中島らの示した式と一致している。相関係数は0.851と高く、分散分析を行った結果も危険度1%水準で高度の有意差が認められた。

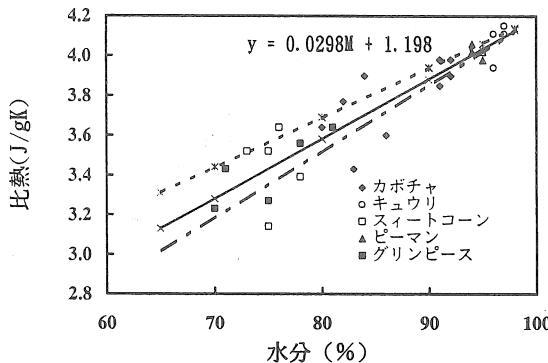


図2 果菜類の水分と比熱の関係

ハ. 根菜類

カブ、ジャガイモ、ニンジン、サツマイモの4品目、合計30個の測定データに基づく水分と比熱との関係を図3に示した。実験式は次式で示される。

$$c_1 = 0.0310M + 1.047 \dots \text{⑪}$$

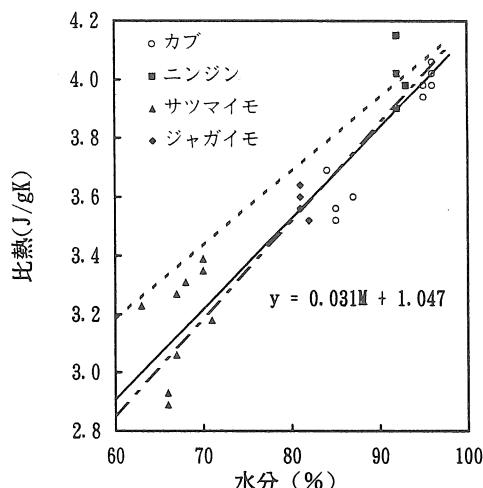


図3 根菜類の水分と比熱の関係

この式はSiebelの式に類似している。水分と比熱の相関係数は0.952と高く、分散分析の結果も

水分間に高度の有意差が認められた。

二. 果実類

ブドウについては、95~100℃の熱湯中では皮が破裂して比熱の測定ができなかったので、60℃にして実験を行ったが、7回の繰り返し測定で、水分は85~87%のせまい範囲にあるにもかかわらず、その比熱は3.81~4.15 [J/gK] とばらつき水分と比熱との相関は見られなかった。そこで、果実については、ナシとリンゴの2品目、合計10個のデータに基づき検討した。比熱と水分との関係を図4に示したが、相関係数の検定でも、また、分散分析の結果も高度の有意差があると認められた。直線の回帰式は次式で示される。

$$c_1 = 0.0314M + 1.047 \dots \text{⑫}$$

この式は、根菜類の式およびSiebelの式に類似している。

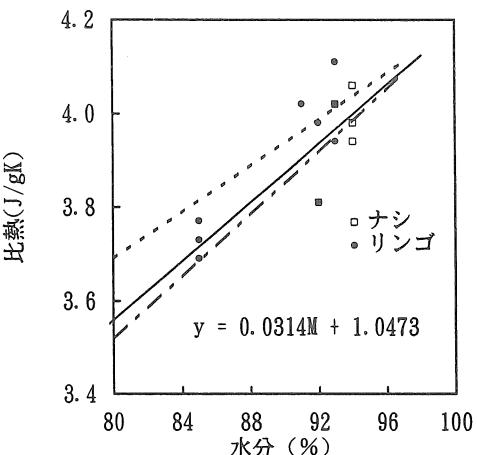


図4 果実類の水分と比熱の関係

ホ. まとめ

以上述べたように氷点以上の比熱については、回帰直線⑨~⑫はともに図1~5に示されるようにMonvoisinの式とSiebelの式との中間に位置しているが、各点はかなりばらつきが見られる。この理由の一つとしては青果物の比熱は水分に大きく左右されるが、固形分の影響も幾分あるのではなかろうかと思われる。

そこで、供試材料の成分を調べ表示したのが表3である。この表より特に目につくのは糖質の含有量である。糖質の少ないのは葉茎菜類、キュウ

り、およびカブである。これらと結果の思わしくないブドウを除き、図示したのが図5である。それらの実験式は次式で表される。

$$c_1 = 0.0314M + 1.076 \cdots \text{⑬}$$

表3 100 g当たりの成分量〔単位g〕
(日本食品標準成分表¹⁾より)

品名	水分	タンパク質	脂質	糖質	纖維	灰分
ハクサイ	95.9	1.1	0.1	1.9	0.4	0.6
セロリ	94.1	0.7	0	4.0	0	1.2
アスパラガス	93.1	1.9	0.1	3.3	0.9	0.7
カボチャ	88.9	1.2	0.1	8.1	1.0	0.7
キュウリ	96.2	1.0	0.2	1.6	0.4	0.6
グリーンピース	76.5	7.4	0.4	12.0	2.7	1.0
カブ	92.9	2.1	0.1	2.7	0.9	1.3
サツマイモ	68.2	1.2	0.2	28.7	0.7	1.0
ジャガイモ	79.5	2.0	0.2	16.8	0.4	1.1
スイートコーン	74.7	3.3	1.4	18.7	1.2	0.7
ニンジン	90.4	1.2	0.2	6.1	1.0	1.1
ナシ	88.6	0.3	0.1	10.1	0.6	0.3
リンゴ	85.8	0.2	0.1	13.1	0.5	0.3
ブドウ	84.4	0.5	0.2	14.4	0.2	0.3
タケノコ	88.6	3.6	0.1	6.0	0.7	1.0
ピーマン	93.5	0.9	0.1	4.2	0.8	0.5

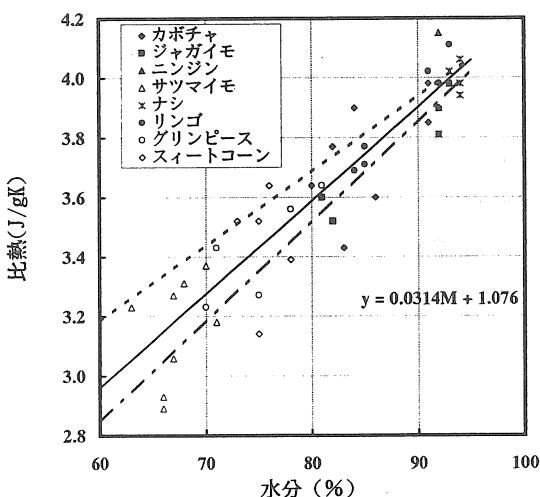


図5 水分と比熱の関係

(2) 氷結点以下の比熱

氷結点以下の比熱と水分との関係を図6～7に示した。いずれも水分と比熱との相関は見られな

い。これは主として次の3つの要因が重なって生じたものと思われる。①凍結潜熱 γ を水分より求めたこと。この方法によると前述の文献^{2), 4), 6), 7), 8)}での表示値ともよく一致している。しかし青果物はタンパク質、脂質、糖質、ビタミンなどの水溶液であるから、その潜熱は水分のみの関数では表せないのでないだろうか。脂肪分の多い食品の凍結潜熱や蒸発潜熱については種々の理論式や実験式が見られるが、脂質の少ない食品の氷結潜熱を求める式はこの計算式しか見あたらない。②計算式では、氷結点から-20℃間は完全に凍結していて比熱は一定として取り扱っていること。Heissは食品の含有水分にたいする析出した氷結水分量の割合を氷結率と呼び、この氷結率Pと(現在の)品温θとの関係は、θ_iを食品の氷結点とすると、 $P = 1 - \theta_i / \theta$ で表せるとしている²⁾。この式によると食品の品温が低いほど氷結率は増えるが、氷結点によって氷結率は違ってくる。また、Riedelによると、-20℃でも氷結しないで残る結合水があるとしている。すなわち-20℃でも完全に氷になっておらず、それ以上の温度ではなおさらである。③測定中試料と熱量計以外からの熱の授受があったことも推察される。

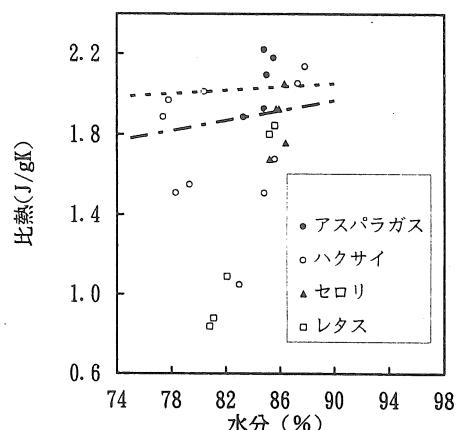


図6 葉茎菜類の水分と比熱の関係
(氷点下)

いま、計測により氷結点以上の比熱の値⑨～⑫がほぼ正確に求められたものとすれば、氷の比熱を2.1 [J/gK] として、これらの式から2.1M/100を差し引いて、次式で求められるものとも思

われる。

$$\text{果菜類では } c_2 = 0.0083M + 1.257$$

$$\text{根菜類では } c_2 = 0.0100M + 1.047$$

$$\text{果実類では } c_2 = 0.0104M + 1.047$$

(4) 氷結点以下の比熱については、混合法が妥当であったか否かが疑問視され、水分との関係が明瞭ではなかった(図6~7)。

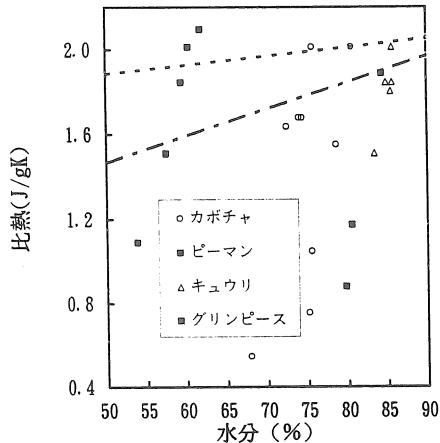


図7 果菜類の水分と比熱の関係
(氷点下)

4. 摘要

青果物の比熱を混合法により実測し、比熱と水分との関係を調べ、SiebelやMonvoisinらの実験式と比較検討して次のような結果を得た。

(1) 氷結点以上の比熱 c_1 [J/gK] については、ばらつきの多い葉茎菜類を除き、水分(%)、湿量基準含水率)との関係が次式に示すように明瞭に求められ、いずれも比熱はMonvoisinの式で求められる比熱とSiebelの式で求められる比熱との間に位置した。

$$\text{葉茎菜類 } c_1 = 0.0226M + 1.886 \text{ (図1)}$$

$$\text{果菜類 } c_1 = 0.0298M + 1.198 \text{ (図2)}$$

$$\text{根菜類 } c_1 = 0.0310M + 1.047 \text{ (図3)}$$

$$\text{果実類 } c_1 = 0.0314M + 1.047 \text{ (図4)}$$

(2) c_1 について、供試材料の成分中特に差異が見られる糖質に着目し、糖質の比較的多い青果物について実験式を求めたところ次の式が得られた。

$$c_1 = 0.0314M + 1.076 \text{ (図5)}$$

(3) 氷結点以上の比熱と水分とは比例関係にあるとはいえるものの、ある一つの式では表し難く青果物の種類によって多少異なるものと思われる。

引用文献

- 科学技術庁資源調査会：四訂食品成分表 女子栄養大学出版部 1994
- 加藤舜郎：食品冷凍の理論と応用 光琳書院 p.69~71, p.322~324, p.327~328 1970
- 加藤舜郎・石渡憲治：食品冷凍法 恒星社厚生閣 1970
- 庄司・細川・森嶋：農産機械学 朝倉書店 p.162~163 1971
- 中島敏・小林次郎：食品工業の伝熱と蒸発(食品工学シリーズ第8巻) 光琳書院 p.1 43, p.151~153 1968
- 永島守正他8名：農業施設 文永堂 p.251 1968
- 藤巻正生他多数：食品工業 恒星社厚生閣 p.909 1985
- 森野一高他4名：農業施設学 朝倉書店 p.100~102 1969

[**読者のコメント**] 細胞を含んだ植物体の比熱には細胞内溶液や細胞組織における水分の存在状態が関係しますので、単純に水分Mとの線形関係になるとは考えられません。これに対する著者の見解をお聞かせ下さい。

[**著者回答**] ご指摘の通りだと考えています。このような観点から本研究を手がけ、同一水分でも細胞内溶液によって(すなわち、産物の種類によって)比熱は異なるだろう、また細胞内溶液が似通ったものごとにまとめるようにし、溶液濃度の違いは水分の違いに基づくもの、との考え方で研究をすすめてきました。

米の乾燥過程における胴割れ発生

—うるち米ともち米の発生比較—

登嶋 守*・R.C.バウテスタ*・戸次英二*

Fissure Produced in Drying Process of Rough Rice
—Comparison of Nonwaxy and Waxy Rice—

Mamoru TOSHIMA*, R.C.BAUTISTA*, Eiji BEKKI*

Abstract

In the air oven chamber adjusted by combining the temperatures 25, 30, 35, 37 and 40°C with the humidities of 40, 50, 60 and 70%, the effects on fissure which should produce during drying were investigated for Mutuhomare of nonwaxy variety and Yukimimochi of waxy variety. The rough rice grains used for experiment were placed as forming a single grain layer at the central position of column in a small-sized model dryer. The velocity of the air flowing inside column was 0.6 m/s in average. The presence of fissure was checked after elapsed 72 hours since finished drying. Serious fissure started to occur at the drying rate of 0.8 m/s for nonwaxy grains and 1.5 %/h for waxy grains. Nonwaxy grains contained amylose of 18.9%, and the Gelatinization Temperature (GT) of its starch was relatively high. In contrast to it the waxy grains contained a little amylose of 1.8% only and was low in GT. Therefore, it was known that the grains with low GT and less amylose content as waxy grain was at lower drying rate when started to occur fissure.

1. 緒 言

乾燥過程で発生した胴割れ穀は、その後の収穫、精米、選別、精選の過程で、碎米へ発展することがあり¹⁾、屑米の増加による歩留りの低下をきたす。また、玄米の姿で受ける品質検査で、胴割れ粒は被害粒として格付けの品位を下げる結果となる。

Bhashyamら²⁾によると、穀の乾燥過程における胴割れ発生は、Gelatinization Temperature (GT)とAmylograph粘性とに関連すると述べられている。筆者らは同じ乾燥条件でもち米とうるち米の胴割れの抵抗性を検証比較した。

2. 実験方法

1)供試材料：1995年10月3日に弘前大学付属農場で収穫された表1に示す穀を各実験区に供試した。

表1 供試穀

実験区	品種	水分(初期-終期)	初期全胴割れ率
1	ゆきみもち	23.6-15.3%	0.20%
2	むつほまれ	22.5-15.2	11.2
3	むつほまれ	22.6-15.0	9.60

もち米(ゆきみもち)のアミローズ含有率は1.8%，うるち米(むつほまれ)は19.5%であった。また、GTはもち米が低く、うるち米が高かった。

2)実験装置：恒温恒湿槽(タバイ, PR-1ST)の中に図1に示す小形の模型乾燥機を置いた。番号を付した位置に温度、湿度、風速の各センサーをそれぞれ取り付けた。中央部に単粒層を形成するよう供試穀を入れた。

3)測定項目と測定器具：重量は直示上皿天秤(ザウトリウス, 2255型)，水分は赤外線水分計(ケッ

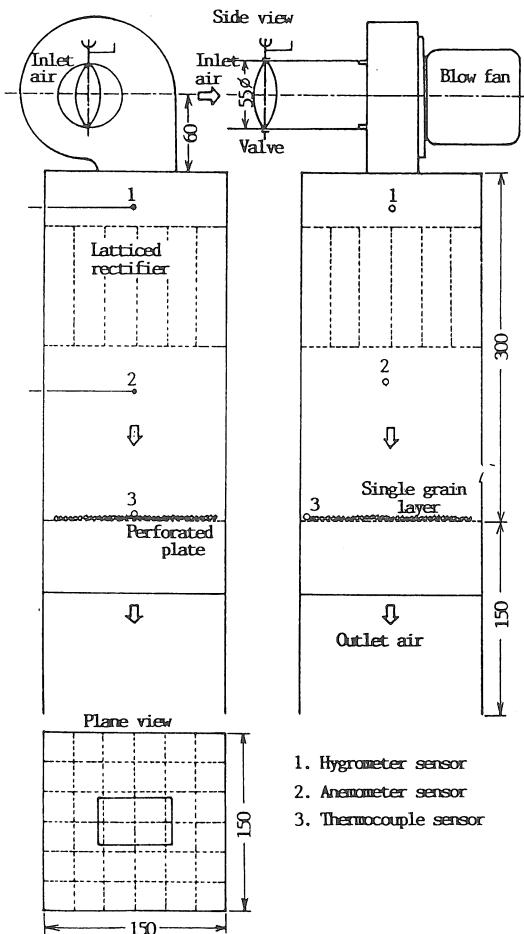


図1 乾燥装置(恒温恒湿槽内)

ト,F-1A型), 温・湿度は白金抵抗体-ポリマフィルム(エース,YH-22-P2型), 温度はT型熱電対, 風速は定温度型熱式風速計(日本科学工業,6141型), 静圧はU字管でそれぞれ測定した。胴割れは乾燥終了72時間後に手で皮をむいた穀を, うるち米は透視光, もち米は反射光で各250粒を虫眼がねで検視した。

4) 実験区の構成 通風の温度, 湿度, 風速を表2のとおり組み合わせて実験区とした。

表2 実験区の構成

実験区	組合せ	備考
1	温度(25,30,35,37,40℃)×湿度(40,50,60,70%RH),	もち米
2	風速0.6m/sに固定	うるち米
3	温度(25,30,35,40℃)×風速(0.1,0.6,2.3,4.3,6.2m/s) 温度50%RHに固定	うるち米

3. 結果と考察

1) 風速と乾燥速度の関係

水分22.6%のうるち米を恒温50%の下で乾燥すると, 風速による乾燥速度への影響はほとんど見られなかった。単粒層で乾燥を行ったのは, 乾燥速度に及ぼす風速の影響を排除するためであったから, 通常の穀乾燥の風速範囲にある0~6m/sで乾燥速度が変化しないことをまず確認した。(図2)

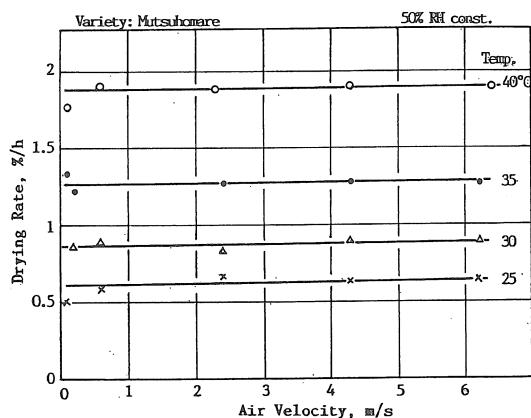
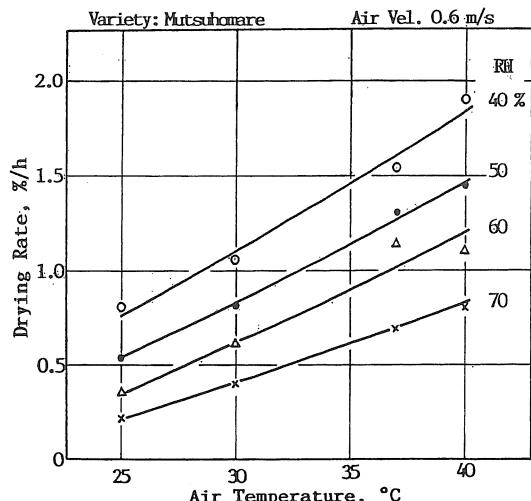


図2 乾燥速度に及ぼす通風速度の影響

2) 乾燥温度と乾燥速度の関係

a) うるち米

通風速度0.6m/sの一定の下で, 各通風湿度における通風温度に対する乾燥速度の関係は図3のとおりであった。

図3 通風温度の乾燥速度に及ぼす影響
(うるち米)

通風温度に対する乾燥速度が市販の乾燥で通常示されている乾減率よりも全般に高いのは、周囲空気が常に恒温・恒湿の状態におかれる单粒層のためである。

b) もち米

同じく、もち米については図4のとおりであった。

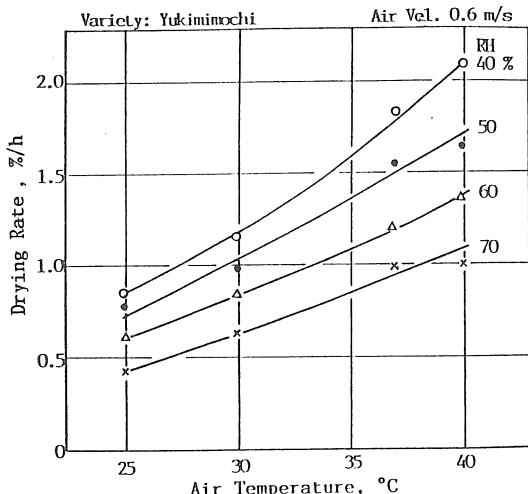


図4 通風温度の乾燥速度に及ぼす影響
(もち米)

両者を比較して、もち米の方が全般に乾燥速度が速い。

3) 乾燥温度と全胴割れの関係

a) うるち米

どの設定湿度でも高温になるほど全胴割れの発生率は高くなつたが、湿度70%になると10%前後の僅かな影響になった。(図5)

b) もち米

同様に湿度が低くなるほど、全胴割れ発生率に及ぼす温度の影響が強くなつた。(図6)

4) 乾燥速度と胴割れの関係

温度と湿度によって影響を受けた乾燥速度と全胴割れ率との関係について、うるち米ともち米を一図にのせて比較した。(図7) うるち米はもち米と比べて胴割れの発生する立ち上がりが早い。うるち米が、約0.7%/h付近から立ち上がるのに対し、もち米は1.4%/h付近からである。ここでshade dryは実験室内で陰干しした試料で、11.2%の全胴割れ率であった。

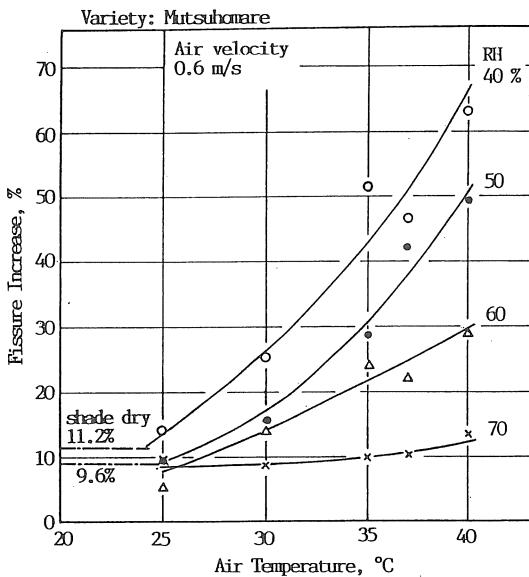


図5 通風温度と全胴割れの関係(うるち米)

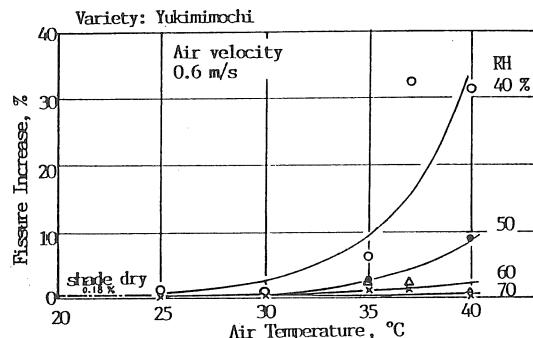


図6 通風温度と全胴割れの関係(もち米)

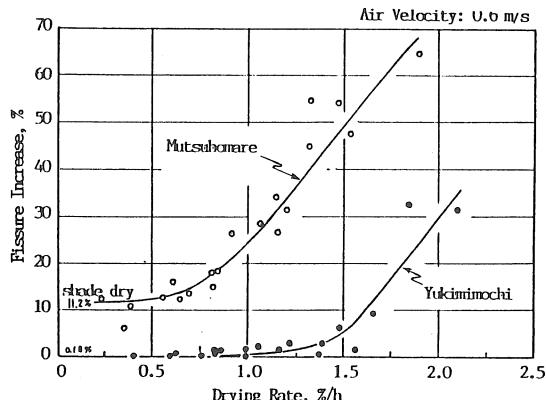


図7 乾燥速度に対する全胴割れ率のうるち米ともち米の比較

湿度60～40%の間ではもち米の方が通風温度の全胴割れに及ぼす影響は小さい。

5) 通風速度と全胴割れの関係

恒湿50%で各通風温度における風速と全胴割れの関係を調べると図8のとおりで、全般に全胴割れの検査値にばらつきが見られるが、この風速の範囲では、各通風温度において風速の影響は小さい。すなわち、図2で乾燥速度に対する風速の影響が小さかったことから、全胴割れの発生についても同様に、影響が小さいといえる。

6) 乾燥速度と全胴割れの関係(湿度50%に固定)

通風湿度を50%に固定して、通風の温度と速度を変えた場合、乾燥速度が速くなるにつれて、全胴割れが増加した。(図9)

図7の結果と比較して乾燥速度に対する全胴割れの上昇率が低いのは、湿度を50%に固定したか

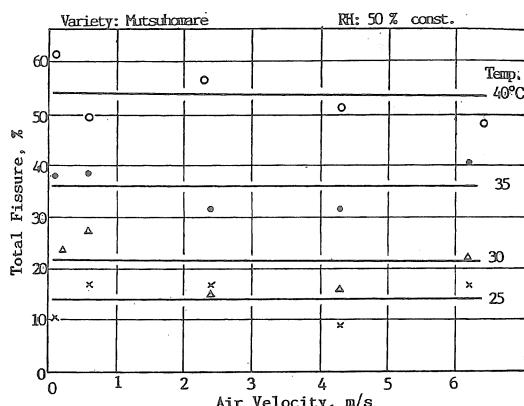


図8 通風速度と全胴割れの関係

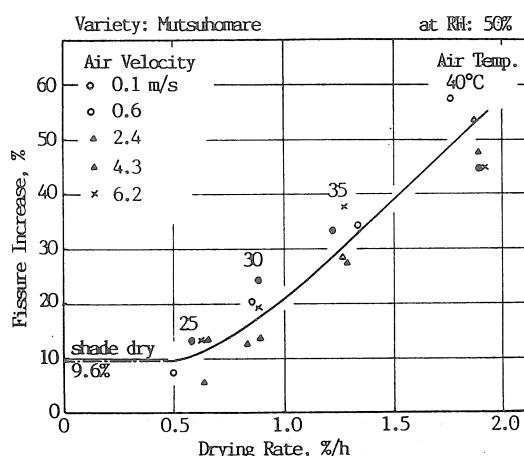


図9 通風湿度50%における乾燥速度と全胴割れの関係

らである。

4. 摘要

温・湿度を任意に設定しうる恒温恒湿槽内に各測定センサーを取り付けた小型の模型乾燥機を置き、内部に設けたうるち米ともち米の単粒層に一定風速を与えて乾燥実験を行い、両者の乾燥速度に対する胴割れの抵抗性を比較した。

1) 胴割れ粒を被害粒として5%以内にとどめようとするならば、もち米の有効な乾燥速度は1.4%/h、うるち米は0.7%/hで、市販の循環式乾燥機の性能で示されている乾減率には近かった。

2) うるち米に対し湿度を50%に固定し、通風の温度と速度を変化させた実験で、単粒層のため風速による乾燥速度への影響はなく、胴割れ発生率にも同様であった。

3) もち米とうるち米の胴割れ抵抗性を比べると、もち米は乾燥速度が速いにもかかわらず、胴割れが発生しにくく、強い抵抗性のあることが分かった。

4) これらの結果をうるち米ともち米の化学的特性に関連づけると、もち米はGTが低く(糊化が早く)、胴割れに対して強い。アミローズ含量が19.5%と高いうるち米は、GTが高くて胴割れし易いことがわかった。

参考文献

- 1) 山下 律也：米のポストハーベスト新技術，農業機械学会，p.15, 1991
- 2) Bhashyam, N.K., G.N.Raju, T.surinivas, B.S.Naidu: physicochemical studies in relation to cracking properties in rice using isogenic lines. J.Food Sci.Tech.21 (9,10) 272-277, 1984

〔閲読者コメント〕 うるち米を透視光と反射光で検視したとき差がないのかどうか、また透視光と反射光の違いが図7の値に影響ないのかどうかをお教え願います。

〔著者回答〕 胴割れを正確に検視するために透視光と反射光を使い分けたので、それによる差はなく、図7の値にも影響はありませんでした。

ニンニクの予措乾燥に関する研究（第3報）

—乾減経過と盤茎貫入力の関係について—

佐藤 賢*・片平光彦*・戸次英二*

Studies on Preparatory Drying for Storage of Raw Garlic Bulb (Part 3)
—Drying Progress and Penetrating Stress in Bottom Part—

Ken SATO*, Mitsuhiro KATAHIRA*, Eiji BEKKI*

Abstract

There are two ways which measure the weight reduction of whole bulb and the decrease of hardness compressed onto the bottom part of a bulb in order to decide the final time of drying. Penetrating force mentioned particularly as a subtitle has empirically depended on the thumb touch sense of an operator. If obtainable a simple measuring tool for it, the bulb's moisture content suitable for storage could be estimated without the use of moisturemeter. Therefore, the objective of this study is to make clear the relation between compressive hardness and penetrating force to the rootless bottom part of a garlic bulb. As the moisture of bottom part in a garlic bulb reduced, its interior tissue changed to hard state. In contrast to that the penetrating stress of a bottom part before drying was 17MPa for the sample collected in Kizukuri and 14MPa for the sample collected Tokiwa, these stresses at the end of drying increased to 20MPa for Kizukuri and 15MPa for Tokiwa. The strength of bottom part after drying was generally different from the volume of individual bulb and initial strength before drying.

[Keywords] garlic bulb, preparatory drying, drying rate, penetrating resistance
ニンニク球根, 予措乾燥, 乾燥速度, 貫入抵抗

1. 緒言

生食用ニンニクの貯蔵に備えて、予措乾燥は從来自然の風乾により初期重量の25%の減量¹⁾を目安にしてきた。また、ニンニク球根を構成する組織のうち花茎、外皮、盤茎は、多くの水分を含んでいるため、各部位の乾燥が不十分な場合には、かびや腐敗の発生源となる。現場における乾燥終了の判断は、減少する重量の測定によらず、盤茎を指で押して、その硬さから簡易に判断してきた。このような測定者の経験と勘による判断は、個人差から結果的に乾燥後の水分にむらを生じてしまい、貯蔵後市場へ出荷するさい、高質のそろったニンニクを安定して供給できなくなってしまう。本報は指で押す動作を簡易な測定具に置きかえることをねらいに、予措乾燥中の盤茎部の貫入力を測定して、乾燥終了の判断ができる数値を見出そ

うとした。

2. 実験方法

(1) 供試材料：1995年7月3, 8, 14日に青森県の木造町と常盤村で収穫されたニンニク球根（品種：福地ホワイト6片種）は、図1に示すような形態で、緑色の外皮の下に薄い被膜に包まれた6個の鱗茎が花茎の周囲に取り巻き、細根の付け根となる盤茎と連結している。測定対象となるこの盤茎は5mm程度の厚みを有し、多くの水分を含んだ根が密集して弾力的である。乾燥は農産物汎用乾燥機（佐竹、VDR3A型）を用い、初期重量から約25%減量した時点で乾燥を終了した。測定用材料として球根70個を任意に抽出した。なお、乾燥条件は加熱温度40℃、送風量0.08~0.28m³/sであった。

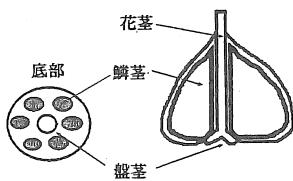


図1 ニンニク球根の分解図

(2) 測定法：使用した万能試験機（島津、IM-100型）は図2に示すとおりで、圧縮力が500Nまで測定できるようにレンジ幅を変えるようになっている。測定値は万能試験機付属のレコーダに紙送り速度100mm/minで記録される。波形記録から経時変化と最大値を読みとった。圧縮には、10mm/minで上下するクロスヘッドに試料受台を特装し、頂部のはりに取り付けた圧縮用ロードセルに底部が平面をなす貫入ポンチ（底面5φ）を装着した。試料は木製の固定台上に球根の盤茎部を上に向けて置き、その中心部にポンチの先端が当たるように調整した。小島ら²⁾によると貫入ポンチの底面積が大きい場合は、個体への接触が不均衡になると述べているので、それを考慮して径を決めた。

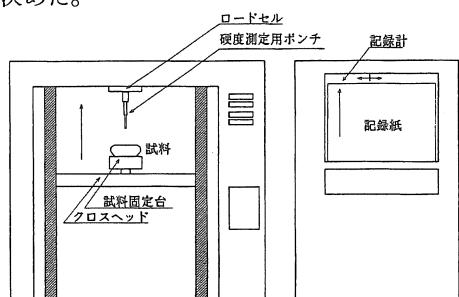


図2 万能試験機による測定状態

(3) 測定項目

- 1) 重量減少率：抽出しておいた70個の材料からさらに3個ずつを8hごとに任意に抽出し、直示上皿天秤（ザルトリウス、2255型：精度 5×10^{-4} g）で秤量し、初期重量との差から重量減少率を求めた。
- 2) 盤茎の貫入抵抗：秤量を終えた各試料に対し、前記の万能試験機で盤茎部の貫入力を測定して、ポンチの底面積で除した。
- 3) 鱗茎水分：貫入力の測定を終えた試料について

て、水分を測定した。方法は、1mm厚に細断した鱗茎50gを精秤した後、直ちに赤外線水分計（ケット、F-2B型）付属の試料皿に載せ、被熱温度90℃、放熱時間70分の絶乾乾燥条件のもとで³⁾行った。

3. 実験結果

(1) 盤茎に対する貫入力

ポンチを盤茎部へ貫入させた力の経時変化は図3のとおり描かれた。

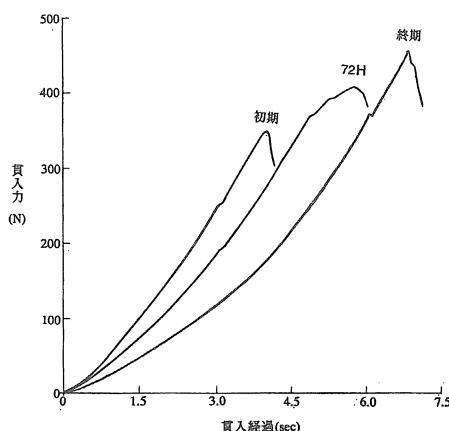


図3 貫入力の経時変化例

経過曲線の形は常盤産と木造産ともに同じであったが、最大値に差があった。個体間の差が顕著であった。貫入経過中に一時降伏する点が見受けられたが、これは球根内部に滑りの生じた生物降伏点⁴⁾と思われ、微少な変化で個体によって発生しない場合もあった。盤茎組織の相違によるものである。貫通する直前には、最大貫入力を示し、その後はポンチの先端が花茎にくい込んで行くと、しだいに貫入力を下げた。乾燥が進行するにつれて組織内は外側が軟化し、内側が硬化して、貫入力の最大値を上昇させて行くことが分かった。これを盤茎側から見ると、乾燥初期に水分を多く含んで弾力性のある組織になっており、貫入力の立ち上がりが急である。乾燥が経過するにつれて組織から水分が除かれて行き、盤茎と結合している花茎との境界部も脆くなつた。

(2) 最大貫入力と重量減少率の経過

木造産試料の最大貫入力と鱗茎の重量減少率の経過を図4に示す。112h乾燥した時点の重量減少率は23.2%，最大貫入力は乾燥初期に387.1N

であったのが122.3N上昇して、終了時に509.6Nとなった。乾燥による鱗茎の重量減少率 (y_m) は乾燥経過時間 x に対して次の対数関数で回帰される。

$$y_m = 7.61 \ln(x) + 0.26$$

盤茎の最大貫入力 (y_p) も同様に次式となる。

$$y_p = 46.20 \ln(x) + 364.42$$

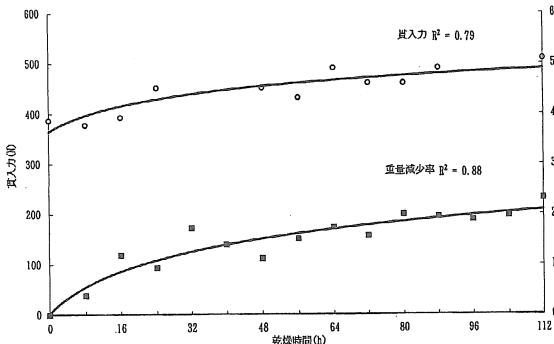


図5 最大貫入抵抗と重量減少率の経過(常盤産)

乾燥初期の32時間位までは、盤茎部からの蒸発水分が多いため、最大貫入力がやや早く上昇している。これは鱗茎の重量減少経過と同様の傾向であった。

次に、常盤産試料の最大貫入力と重量減少率の経過を図5に示す。

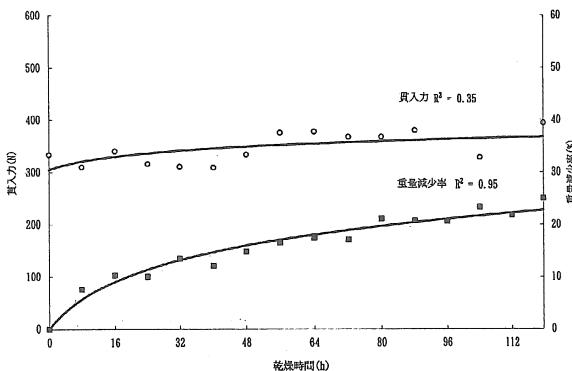


図4 最大貫入力と重量減少率の経過(木造産)

120 h 乾燥した時点の重量減少率は25.0%，最大貫入力は乾燥初期に333.2Nであったが、61.0 N上昇して394.2Nとなった。乾燥による鱗茎の重量減少率 (y_m) は、

$$y_m = 8.20 \ln(x) + 0.02$$

と木造産とほぼ同じように経過した。盤茎の最大

貫入力は、

$$y_p = 22.62 \ln(x) + 304.77$$

となり、これを木造産と比較すると、乾燥初期の貫入力の変化が小さく、初期と終期に最大貫入力の差が約1/2の61.3Nも小さくなっている。これは試料の体積が木造産より比較的小さく、盤茎組織が緻密でなかったためである。乾燥初期の最大貫入力は木造産より53.9Nも低かった。

(3) 最大貫入抵抗と重量減少率の関係

図6に示すとおり、両者の関係は一次式で回帰され、木造産と常盤産試料は、

$$y_r = 0.24 y_m + 16.93$$

$$y_r = 0.10 y_m + 14.14$$

となった。乾燥終了時の最大貫入抵抗は木造産が23.1MPa、常盤産が17.9MPaであった。これらは、乾燥の進行につれていずれも増大しているが、直線の傾きは木造産の方が大きく、盤茎の乾減に対して貫入抵抗の増大する割合が高かったことを示している。

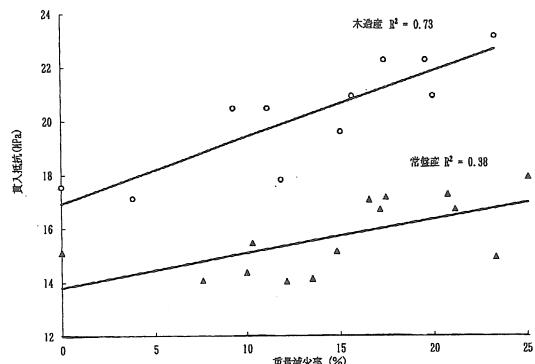


図6 重量減少率と最大貫入抵抗の関係

貫入抵抗の差は、乾燥初期に2.4MPaであったのが、終期には5.2MPaに開いた。最大貫入抵抗は同じ重量減少率でも個体によって大きな差があることが分かった。個体は産地の栽培条件や圃場での生育によって体積を異にし、貫入強さをえるものと思われる。したがって、ある定まった最大貫入抵抗値で乾燥終期を判断することは不可能である。ただし、限定された地域や圃場で生産された材料に対しては適用可能である。また、貫入抵抗の大なるほど緻密な盤茎をもつと判断され、品質の良否に関連すると思われる。

(4) 鱗茎水分と最大貫入抵抗の関係

図7に示すとおり、両者の関係は一次式で回帰される。これらの直線は次式のとおりである。

$$y_r = -1.01 y_w + 83.35$$

$$y_r = -0.71 y_w + 59.45$$

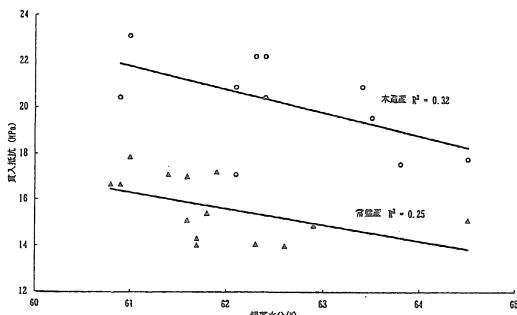


図7 鱗茎水分と最大貫入抵抗の関係

盤茎水分の測定値ではないため、乾燥初期と終期の間の水分移動が小さく、X軸の変動幅が小さくなつたが、木造産、常盤産ともに鱗茎水分が減少するにつれて貫入抵抗が大きくなる傾向があつた。両産地とも鱗茎水分の減少につれて、最大貫入抵抗は増大する傾向を示したが、相関は小さく、さほど大きな差ではなかつた。したがつて、相互の関連があまり強くないことから、計測した盤茎の貫入強さで鱗茎水分を推量することは難しいと思われる。

4. 摘要

1) ニンニク球根の盤茎は、初期の一様な弾力的状態から乾燥が進むにつれて内部組織が脆くなり、素の貫入力は縮小していった。すなわち、重量減少率25%の終期に近づくほど組織への貫入力の上昇速度が緩慢となり、弾力性がなくなつた。

2) 乾燥経過中の鱗茎の重量減少率と盤茎の最大貫入力を同時に見ると、いずれも対数関数的な線形で回帰されてそれぞれの相関係数R²は高かつた。すなわち、乾燥初期の段階は比較的よく乾燥するが、終期に近づくほど緩慢となり、終止まで112hも要した。この緩慢速度の乾燥が特徴である。

3) 産地を異にして比重の相違する二種類の試

料について、両者とも乾燥の進行につれて最大貫入抵抗増加の傾向を示す一次式で回帰された。比重の大きな個体は、初期の最大貫入抵抗が大きく、回帰直線の勾配が強くなり、乾燥終了時にはその差を大きくした。すなわち、最大貫入抵抗は、球根の比重によって増加傾向や仕上がり時の最大貫入抵抗に差がでたため、個体間の差は極めて大きいといえる。

4) 可食部分の鱗茎の水分と盤茎の最大貫入抵抗との関係は、緩やかな勾配をもつ一次式で回帰される。しかし、鱗茎水分は乾燥全般で3.5%程度しか変化せず、また回帰直線の相関も低いことから、鱗茎水分をもって最大貫入抵抗を推量したり、また逆のこととも困難である。

5) 乾燥程度を表す重量減少率が同じでも個体間差が大きいため、盤茎の最大貫入抵抗から乾燥程度を推量することは不可能である。一律の貫入抵抗値を乾燥の目安として示すのでなく、産地や圃場、年次などの条件を限定すれば、使用が可能となる。乾燥終了後の最大貫入力の高い個体は比重が大きいので、充実した品質の良いものとして判断するのに、利用しうるかもしれません。

参考文献

- 青森県：畑作園芸試験場業務年報, p.45, 1974
- 小島孝之, 石橋貞人：農産食品の力学的性質に関する研究（第3報），農機誌32, 145~149, 1971
- 片平光彦, 戸次英二：ニンニクの予措乾燥に関する研究（第2報），農機東北支報No.42, 65~68, 1995
- 石橋貞人, 小島孝之：農産食品の力学的性質に関する研究（第1報），農機誌30, 235, 1969

【閲読者コメント】盤茎の大きさを考えるとポンチ直径をφ3位にした方が、貫入力が小さくなり水分との関係が出来易いのではないかと思いますが如何ですか。

【コメントに対する著者の見解】野菜類ではφ5のポンチが使用されておりますが、ニンニクの盤茎ではφ3の方が適しております。

加熱通風によるニンニクの乾燥特性と運転経費

片平光彦*・佐藤 賢*・戸次英二*

Drying Characteristics and Running Costs of Raw Garlic Bulb in Heated Aeration

Mitsuhiko KATAHIRA*, Ken SATO*, Eiji BEKKI*

Abstract

Drying experiments of raw garlic bulb were carried out under negative, positive and zero pressures in a drying chamber. The differences in bulb temperatures were 1 to 2°C even at every layers under negative and positive pressures at the early stage of drying, and after that the difference was negligible. At zero static pressure, 1°C bulb temperature difference was maintained during the drying period, at every layers which was the smallest in the three experiments. The rate of weight reduction was 0.21%/h for negative, 0.18%/h for positive and 0.14%/h for zero static pressures, respectively. The differences in weight reduction at every layers were not so significant. Drying characteristics of garlic bulb was influenced by its size. Kerosene consumption was 1.33 to 1.39L/h, with a small difference among the three experiments. The consumption of electricity was 1.37 to 1.17kW. The lesser the exhaust air volume, the smaller was the consumption of electricity. The total cost for 1kg of weight reduced were ¥183.83/kg for negative, ¥209.75/kg for positive and ¥280.89/kg for zero pressures, respectively. The longer the drying period, the higher the cost.

1. 緒 言

良質のニンニク球根を市場へ安定供給するには、貯蔵期間中にかびや発芽の発生を抑制しなければならない。そのため、収穫直後に花茎や盤茎から水分を蒸散させる予措的乾燥が一般的に奨励されている。乾燥方法は主にビニールハウスを利用してきたが、最近多水分農産物に汎用できる乾燥機が市販され、その利用頻度が徐々に高まってきている。本報はその乾燥機を利用した場合、静圧の違いによる球根の品温経過と乾燥特性、および運転経費について検討したものである。

2. 実験方法

(1) 供試材料：1995年7月3, 8, 14日に青森県木造町と常盤村で収穫されたニンニク球根（品種：福地ホワイト6片種）を供試した。1回の実験につき約200kgのニンニクを張り込んだ。

(2) 供試乾燥機：図1に実験に使用した農産物

汎用乾燥機（佐竹、VDR3A型）の乾燥室を示す。これは乾燥室がエアパック部と下部の鋼板による複合体形をなしている。そのため、乾燥室内は静圧によって、エアパックの裾部と鋼板の連結部で内気の漏出あるいは外気の漏入を引き起こす。

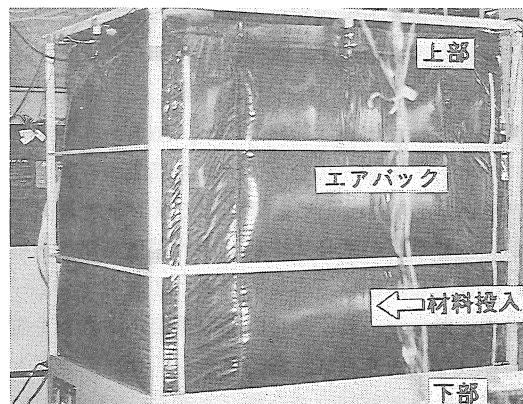


図1 供試機VDR3Aの乾燥室

(3) 実験区の構成

乾燥室内の静圧を陰、陽、零の三通りになるように調節し、それぞれを実験区とした。静圧の調整は、乾燥室後方の排風管内に特装した風量調節弁で行った。すなわち、これを全開すると陰圧に、 $1/2$ に絞ると零圧に、 $1/4$ で陽圧へ転ずる。

(4) 測定項目

- 1) 風量：風速測定は送風側が送風管内にサーミスタ式風速計（芝浦電子、PA2611型）、排風側が風量調節弁後方の排風管内に定温度型熱式風速計（日本科学工業、6141型）の各センサを取り付けた。
- 2) 静圧：図1に示す乾燥室内の上部と下部に静圧管を引き込み、それらをU字管で測定した。

3) 通風の温・湿度：入風は空気取り入れ口の前方300mmの位置に、湿度センサ（エース、白金薄膜抵抗体・ポリマフィルム）とT型熱電対を配置した。送風は乾燥室内にある送風管の前方300mmの位置に、温・湿度センサ（芝浦電子、TPH-2C・PH-2C型）を取り付け、排風は乾燥室下部に温・湿度センサ（チノー、HV-P30型）を取り付け、各温・湿度を感知した。各測定電圧は変換器（入風：エースYH-22-P2型、送風：芝浦電子SC-370型、排風：チノーHN-T114型）を介してデータロガ（英弘精機、MP-090型）に入力し、パーソナルコンピュータ（日本電気、PC-9801DX型）へ収録した。室温は実験装置から2m離れた床上1.5mの空間にT型熱電対を固定した。

4) 球根温度：球根の表皮から鱗茎へ向けてT型熱電対を10mmの深さで埋め込んだ個体を15個作成し、図2のa-1～c-5の各位置に配置した。

5) 乾減重量と形状変化：乾燥室内における球根の配置を図2に示す。球根を充填したコンテナは上下2段積みとし、①～⑩に配置した。単粒重量測定用の特定球根は10個作成し、No.1～5を床下に吊るし、No.6～10をコンテナ上部表面に置き、8h間隔で重量の変化を測定して減少率を算出した。乾燥前後の重量減少率と形状変化を知るために特定球根20個は、各コンテナに2個ずつを①～⑩の位置に置いた。単粒重量の秤量には直上皿天秤（ザルトリウス、2255型）を、コンテナごとの秤量には電気抵抗式台秤（クボタ、KL-10型）を用いた。寸法はノギスで測定した。

6) 消費電力：三相電力計（日置、3184型）で計測し、データロガに入力してパーソナルコンピュータに収録した。

7) 燃料消費量：電気抵抗式秤（クボタ、KL-10型）で、燃料供給時に随時秤量した。

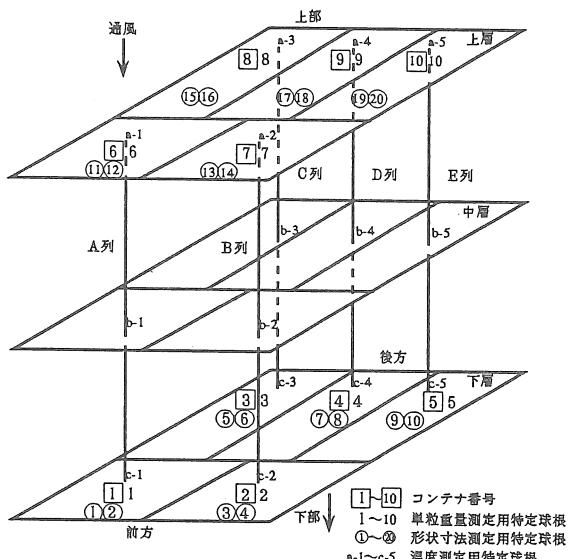


図2 重量と温度測定用特定球根の配置図

3. 実験結果と考察

(1) 静圧：経時変化を図3に示す。風量調節弁を全開にした場合、乾燥室内の静圧は送風側が -15.7 mmAq 、排風側が -16.9 mmAq であった。両側の差は 1.2 mmAq で、圧力損失が小さかった。弁を $1/2$ の開度にして乾燥室の静圧を零とした場合は、送・排風側の圧力損失がなく、それぞれ0付近で終始安定した。弁をさらに $1/4$ の開度まで絞って、静圧0の位置を排風機付近へ移すと、

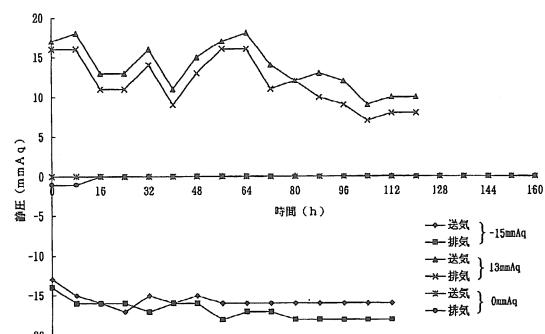


図3 乾燥室内静圧の経時変化

乾燥室内は陽圧に転じて送風側が平均で13.6mm Aq、排風側が11.7mm Aqとなった。両側の差は1.9mm Aqと小さな圧力損失であった。しかし、測定時間ごとの静圧の経時変動が大きく、排風の一部がエアパックの裾から周囲へ押し出されるなど運転状態が不安定であった。

(2) 風量：風速測定値の平均値で求めた風量と風量比を表1に示す。陰圧設定では、エアパックの裾から周囲空気の漏入があり、送風量よりも排風量が多くなった。陽圧設定では、通風がエアパックの裾を通して周囲空気へ漏出し、送風量よりも排風量が少くなっている。静圧の項で述べたように、風量も経時変動が大きく、特に送風管内において顕著であった。乾燥室が鋼板製の一体形で製作されたものでは漏出や漏入がないため、送風管と排風管を流れる風量は等しくなるが、本供試機のようにエアパックの裾を乾燥室下部に垂らした体形では、このような漏出あるいは漏入が生じる。零圧設定では、送風機と排風機の各風量がほぼ等しくなり、漏出あるいは漏入がなく両者が均衡した。

表1 送・排風の速度から求めた風量

実験区(静圧mm Aq)	-15	13	0
送風側風速(m/s)	5.40	1.47	2.59
送風側風量(m ³ /s)	0.28	0.075	0.13
排風側風速(m/s)	8.22	0.80	2.00
排風側風量(m ³ /s)	0.50	0.049	0.12
風量比(m ³ /s・t)	1.39→1.80	0.39→0.51	0.68→0.88

(3) 通気の温・湿度：図4-a～cに示すように、陰圧では、乾燥室内の上部と下部で温度差が平均1℃程度であった。また、湿度差は乾燥経過の初期で約5%程度であったが、20h経過後は1%程度に減少した。すなわち、排風には依然高い乾燥能力が残されていたことがうかがえる。陽圧では、排風温度がエアパック用ファンモータからの放熱が加わって送風側よりも高くなった。そのため、陰圧の場合とは異なる温度分布となった。また、排風量と共に送風量も減少したため、バーナ燃焼時の燃料供給量の絞りが不十分となつたことに加えて、乾燥経過の後半に室温が上昇したため、送風温度が40℃の設定に対して最大47.7℃まで上昇した。零圧ではエアパックの裾から内気の漏出が

若干あった。空気の出入りが少ない気流下では、エアパック用ファンモータからの放熱の影響が最も受けやすい状態にあり、その熱が乾燥室下部に配置された温・湿度センサへ作用して、空気温度

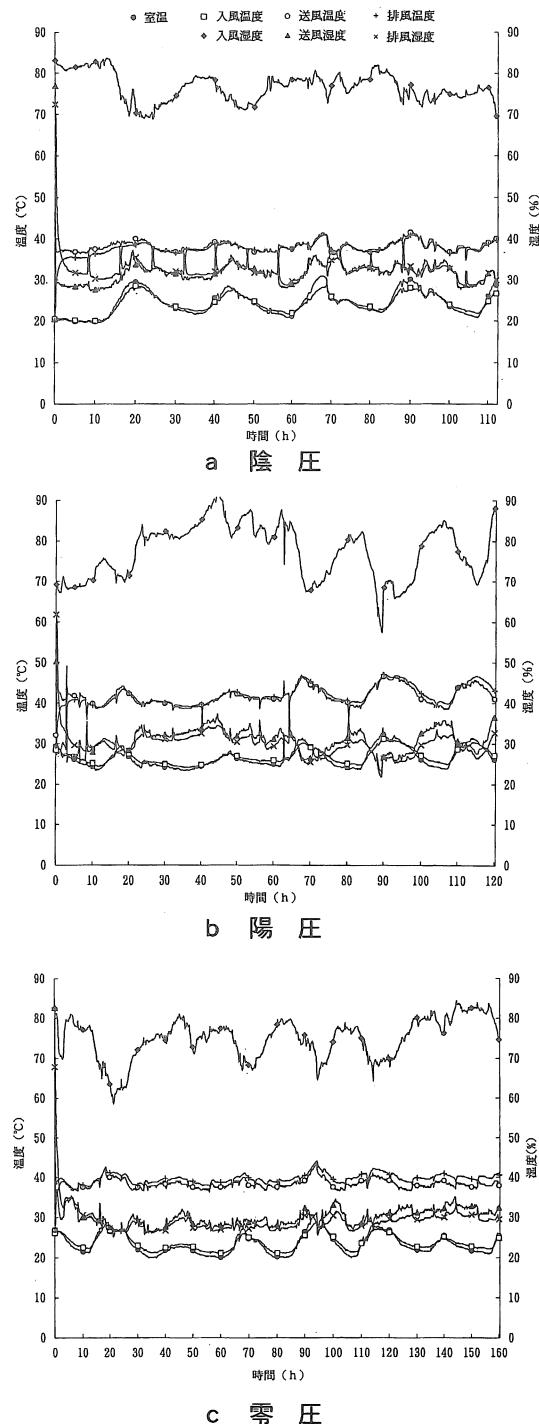


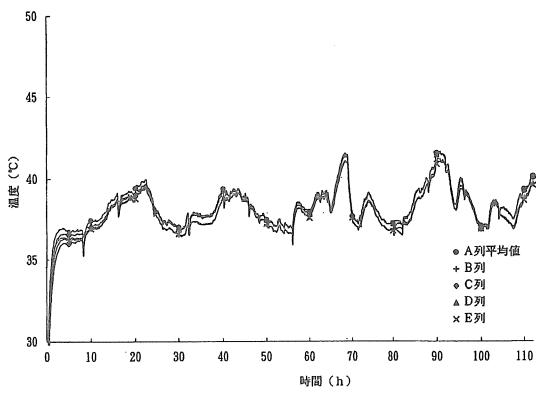
図4 入・送・排風の温湿度経過

を蒸散の多い乾燥初期を除き常に高める結果となつた。そのため、平均温度で送風側が38.4°Cであったのに対し、排風側で39.4°Cと約1°C高くなつた。

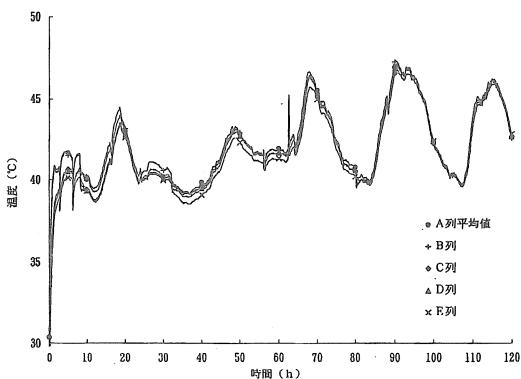
(4) 球根の温度：縦列方向の温度経過を図5-a～cに示す。陰圧では、乾燥開始後20hまで上層

と下層間で2～3°Cの温度差がみられ、縦方向は横方向とほぼ同様であるが、BとE列が他列より1, 2°C低く経過した。陽圧では送風温度が40°Cの設定を超えたため、球根温度もそれに追随して上昇し、最高で47.5°Cに達した。各層間の差は乾燥過程の前半に当たる60hまで、上・中・下層間に2～3°Cの差を生じ、縦方向でも同時刻までBとE列間に2～3°Cの差があった。しかし、その後いずれもその差を縮小させ、乾燥終期では全列で品温が均衡した。零圧では、縦・横方向ともに乾燥期間の全般にわたり1°C程度の差で経過し、その差を乾燥終期まで継続した。しかし、各層間の差は、三つの実験の中で最も小さかった。

(5) 重量減少率：乾減経過を図6-a～cに示す。陰圧では上層と下層に2.07%の差を生じ、縦方向でも分散が大きく、位置による差がみられた。陽圧でもほぼ同様の傾向であったが、零圧ではその差が1%程度と小さかった。同図のa～cを比較して、上・下層間では位置による差が明瞭であるが、縦方向では位置による減少率が一定していない。縦方向では、乾減量の差が位置によるものではなく、個体そのものの乾燥特性の相違によるものと思われる。すなわち、球根体積が大きい個体ほど減少率を大きくする傾向がある。特定球根の寸法縮小率と重量減少率を表2に示す。各部位の寸法の平均縮小率は個体によって異なり、乾燥室内の静圧による差が判然としない。重量減少率は単粒重の結果と同様であった。コンテナ充填球根重量の減少率は、表3に示すとおり配置箇所による差が見られない。測定値の分散は気流の影響で



a 陰圧



b 陽圧

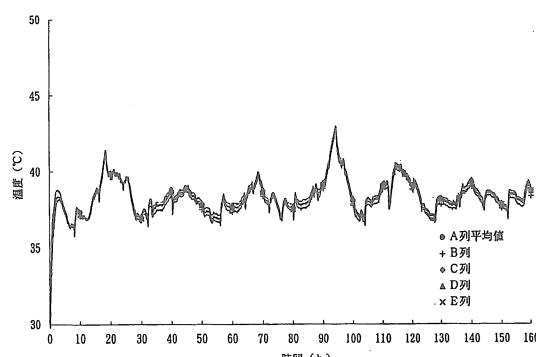
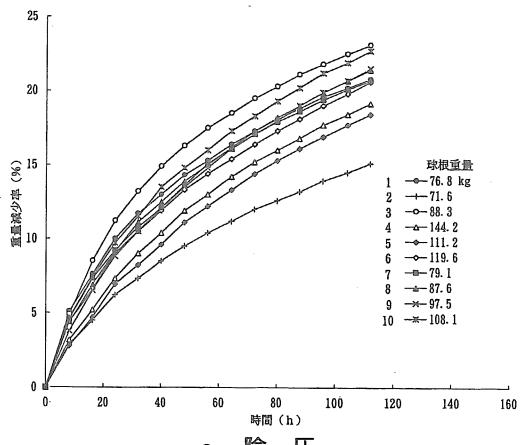


図5 球根温度の経過



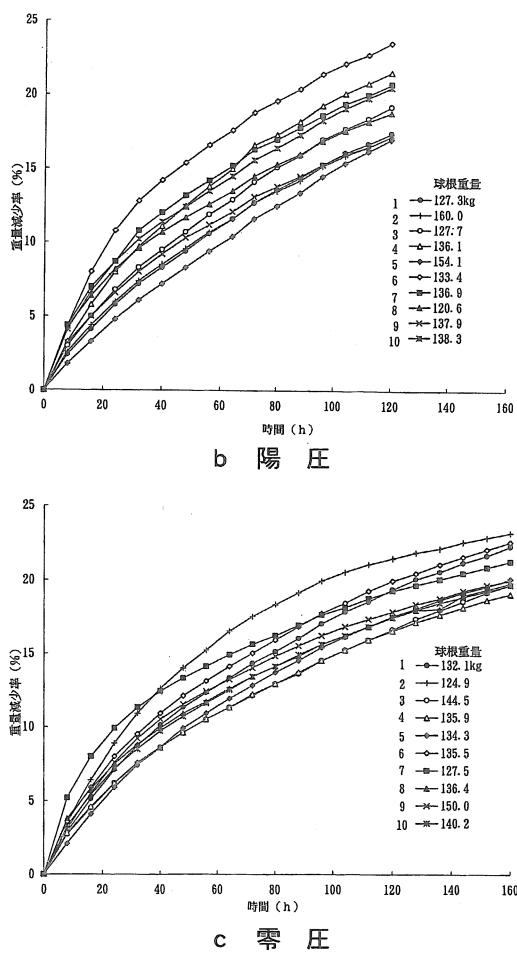
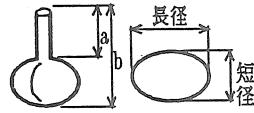


図6 乾減経過

表2 特定球根の寸法(cm)と重量(kg)の縮小(減少)率(%)

実験区	項目	乾燥前	乾燥後	差	縮小(減少)率
静圧	a	7.54	6.98	0.56	7.4
	b	12.81	12.11	0.70	5.5
	b-a	5.27	5.13	0.14	2.7
-15 (mmAq)	長径	6.15	5.53	0.62	10.0
	短径	5.80	5.38	0.42	7.2
	重量	106.56	84.11	22.45	21.1
+13	a	8.84	8.67	0.17	1.9
	b	13.61	12.97	0.64	4.7
	b-a	4.77	4.30	0.47	9.9
0	長径	6.70	6.46	0.24	3.6
	短径	6.65	6.38	0.27	4.1
	重量	116.89	92.54	24.35	20.8
静圧	a	9.00	9.00	0.00	0.0
	b	13.80	13.39	0.41	3.0
	b-a	4.80	4.39	0.41	8.5
0	長径	6.94	6.68	0.26	3.7
	短径	6.35	6.11	0.24	3.8
	重量	126.38	96.84	29.54	23.4



はなく、コンテナへの充填量が不均等であったことと、球根の体積も相違したためと考えられる。

(4) 燃料消費量：表4に示すとおり、燃料消費量は乾燥終了までの所要時間が長い実験区ほど多くなった。しかし、毎時消費量は3試験区とも1.33～1.39L/hの範囲内にあり、いずれも近似している。乾減重量1kg当たりの灯油料金を単価42

表3 球根充填コンテナの重量減少率

実験区 (静圧 mmAq)	-15			13			0		
	初期重量	終期重量	重量減少率	初期重量	終期重量	重量減少率	初期重量	終期重量	重量減少率
コンテナNo.1	19.94kg	15.28kg	23.37%	18.40kg	14.34kg	22.07%	18.62kg	18.62kg	24.18%
2	20.20	15.26	24.46	19.68	15.46	21.44	19.86	15.36	22.66
3	20.20	15.58	22.87	18.94	14.78	21.96	17.26	13.44	22.13
4	20.16	15.76	21.83	18.46	14.60	20.91	20.02	15.66	21.78
5	19.98	15.24	23.72	19.26	15.10	21.60	19.46	15.26	21.58
6	20.02	15.62	21.98	19.72	15.54	21.20	18.52	14.42	22.14
7	20.22	15.44	23.64	19.86	15.76	20.64	19.48	15.26	21.66
8	20.68	15.98	22.73	18.74	14.64	21.88	18.88	14.82	21.50
9	20.30	15.76	22.36	18.62	14.72	20.95	18.96	14.76	22.15
10	19.80	15.32	22.63	18.46	14.54	21.24	19.14	14.92	22.05
平均値	20.15	15.52	22.96	19.01	14.95	21.39	19.02	14.80	22.18

円/Lで試算すると141~218円となり、乾燥時間が長いほど高くなる。ここに、一般農家で同様の試算をした結果は、79.3円/kg¹⁾と報告されており、本実験の結果はこれと比較して1.8~2.8倍に当たる。農家では、夜間および昼間の降雨時以外は加温せずに通風のみで乾燥を進めるため、燃料消費量が少ない結果となっている。

(5) 消費電力：電力の平均消費量は、陰圧で1.

表4 燃料と電力の消費量

実験区(静圧mmAq)	-15	13	0
燃料消費量(L)	155.68	159.60	219.20
毎時燃料消費(L/h)	1.39	1.33	1.37
燃料料(円/kg)	141.34	164.86	218.26
電力消費量(kWh)	151.20	140.40	203.20
消費電力(kW)	1.35	1.17	1.27
電気料金(円/kg)	42.49	44.89	62.63
燃料+電力消費量(kWh)	1634.53	1657.44	2100.83
燃料+電力料金(円/kg)	183.83	209.75	280.89

* kgは全て乾減水分
37kW、陽圧で1.17kW、零圧で1.27kWであった。排風量が多いほど電力を多く消費した。乾減重量1kg当たりの電力料金を13円/kWhで試算すると42.49~62.63円/kgとなり、乾燥時間が長びくほど電力消費量が多くなった。

(3) 総合運転経費：灯油の低位発熱量を10,360 kcal/kg (=12.04kWh/kg) として、消費した灯油の熱量を求め、これに電力消費量も合算すると、表4に示すとおり陰圧で1,634.53kWh、陽圧で1,657.44kWh、零圧で2,100.83kWhとなり、陰圧が最も少なかった。1kgの水分を乾減するのに要した総合運転経費は、陰圧で183.83円、陽圧で209.75円、零圧で280.89円と相互の差は大きくなる。排風量調節弁を絞ることで電力消費は低下するが、燃料消費量に差がないため、乾燥が長びくほど全体の運転経費が高くなつた。

4. 摘 要

1) 乾燥室内の静圧が陰圧の時には、送風側の温度は設定温度の40℃に対し、外気温の上昇した昼間に2℃程度まで超えることがあったが、全体としては良好に制御されていた。零圧では内気の漏出が若干あり、エアパック用ファンモータからの放熱がニンニク積載層を通過した空気の温度を1~2℃上昇させた。陽圧では、内気の漏出がエ

アパックの裾の全周で生じ、送風温度は40℃の設定に対し7℃も超えることがあった。

2) 球根温度は送風設定温度の40℃に対し、陰圧で乾燥の初期段階に上・中・下層に1~2℃の温度差がみられた。しかし、その後漸減してほとんど差がなくなった。零圧では乾燥前半に縦・横方向ともに1℃以内の差で経過した。陽圧では乾燥室内の気流の乱れが強くなり、乾燥の前半で縦・横方向ともに2℃の差が生じたが、後半は1℃以内に減少した。だが、全体的に乾燥室内の位置による差は僅少であった。

3) 特定球根の乾燥による形状寸法の縮小について、ニンニクの個体差が大きく、送風量と静圧を変えた実験区間に差が認められなかった。乾燥室内に配置した単粒重量減少率の差について、陰圧と陽圧で上・下層にそれぞれ2%の差があり、零圧ではその差が僅少であった。縦方向での差はいずれの実験区も判然としなかった。コンテナに充填した全重量については、充填量や球根の大小が乾燥速度に影響を与えるので、位置による差はないと考えられた。ニンニク球根では、乾燥特性に因る個体間に差があることが分かった。

4) 燃料の毎時消費量は1.39~1.33L/hとなり、実験区ごとの差がほとんどなく、機器仕様書の記述の範囲内にあった。消費電力は平均1.37kW~1.17kWとなり、排風量を絞るほど少なくなった。排風弁を絞ることで電力消費量は低下するが、毎時燃料消費量の差は小さいので、1kgの水分を乾減するのに要した費用は陰圧で183.83円、零圧で280.89円、陽圧で209.75円となり、乾燥が長びくほど運転経費を引き上げる結果となつた。

参考文献

- 1) 青森県農林部：主要品目の技術・経営指標, 156~161, 1988

[閲読者コメント] 図6-cの球根重量127.5kgの曲線の変化が他と異なっていますが、理由は何でしょうか。

[著者回答] 球根の配置位置が送風口付近にあり、乾燥初期の高水分の時期にその影響を強く受けたためです。

除湿乾燥方式を採用した米麦乾燥調製施設の実態(第2報)

高橋昭喜*・大里達朗**・伊藤勝浩*・高橋修*・新田政司***

Actual Conditions of Rice and Wheat Drying Facilities
Adopting a Dehumidifying Drying System (Part2)

Akiyoshi TAKAHASHI*, Tatsuro OHSATO**, Katsuhiro ITOH*
Osamu TAKAHASHI*, Masashi NITTA***

[キーワード]除湿乾燥方式、米麦乾燥調製施設

1. はじめに

近年、農業の基軸となる食糧生産には、高品質化と低コスト化が要望されている。特に高品質化を強く反映した動きの一つとして、米の良食味化が挙げられる。生産者サイドにおいては、品種はもとより、栽培法や乾燥法などの方法論までが論ぜられ、「おいしい米を」という消費者ニーズへの対応が求められている。

このような流れの中から開発された新しい乾燥方式として、除湿乾燥方式、太陽熱乾燥方式がある。どちらも「限りなく自然乾燥に近い」を付加価値とした有利販売を主眼に置いており、特に除

湿乾燥方式は、急速に実用段階に入った経緯がある。本県においては、平成3年度のライスセンターへの採用を皮切りに、平成6年度現在で9ヶ所設置され稼働している。

しかし、除湿乾燥方式は建設コスト、稼働コスト、ともに従来の火力乾燥方式に比較すると割高になる。また、秋期に低温高湿条件となる東北地域における適応性に疑問が指摘されていた。そこで、その性能と利用実態について調査を行い、利用法について検討を行った結果、実用化の知見を得たので報告する。

2. 試験方法

(1)調査施設

表1 調査施設

実験区No.	調査施設	調査月日
1	J R一関市乾燥調製施設	平成3年11月10日～11月12日
2	紫波町糯種子乾燥調製施設	平成4年7月13日～7月15日
3	紫波町糯種子乾燥調製施設	平成4年9月24日～9月26日
4	J A北上市乾燥調製施設(口内)	平成4年10月9日～10月13日
5	J A一関市乾燥調製施設	平成4年10月18日～10月21日
6	J A盛岡市乾燥調製施設	平成5年7月9日～7月10日
7	J A盛岡市乾燥調製施設	平成5年7月11日～7月13日
8	J A北上市乾燥調製施設(後藤野)	平成5年10月17日～10月19日

(2) 調査作物

表 2 供試作物

試験区No.	供 試 作 物
1	水稻 (品種: こがねもち)
2	小麦 (品種: コユキコムギ)
3	水稻 (品種: ヒメノモチ)
4	水稻 (品種: ひとめぼれ)
5	水稻 (品種: こがねもち)
6	小麦 (品種: ナンブコムギ)
7	小麦 (品種: ナンブコムギ)
8	水稻 (品種: あきたこまち)

(3) 調査内容

温度・相対湿度(外気、送気、排気)、粒水分、
単粒水分偏差等の乾燥能力に関する調査項目に關

しては、第1報と同様の方法で行った。今回は、施設の適切な利用法を検討するため、第1報の結果を含めて、乾燥コスト等の試算も行った。

3. 施設の概要

調査施設における乾燥部は、除湿機、送風機、貯留槽で構成される。除湿機によって作られた乾燥空気が送風機（ロータリーコンプレッサー）によって貯留槽に送られ、フロア面から穀層を通過した空気は排気となって、貯留槽上部に設けられた排塵ファンから外へ排出される構造になっている。荷受け設備の容量、除湿機の能力、送風機の送風量、系列数、1系列の貯留槽設置数等は、対象面積（処理量）によって決められる。その概要を表3、4に示す。

表3 調査施設の概要

施設名	乾燥方式	対象面積	計画処理量(乾糲)
A. JA一関市乾燥調製施設	貯留型常温除湿乾燥 ^{*1}	水稻 100ha (もち)	500 t
B. JA北上市(口内)乾燥調製施設	貯留型常温除湿乾燥 ^{*1}	水稻 381ha	2,500 t
C. 紫波町糯種子乾燥調製施設	貯留型常温除湿乾燥 ^{*1}	水稻 40ha 小麦 7ha	191 t 21 t
D. JA盛岡市乾燥調製施設	貯留型常温除湿乾燥 ^{*2}	水稻 98ha 小麦 59ha	689 t 177 t
E. JA北上市(後藤野)乾燥調製施設	貯留型常温除湿乾燥 ^{*2}	水稻 300ha 小麦 90ha 大豆 40ha	2,025 t

注1) *1: Y社製常温定湿乾燥(DAG)方式、*2: S社製常温自然乾燥(ACS)方式

注2) B-E施設は倉庫指定を受けている。

表4 調査施設の概要

施設の概要							
荷受能力 (t/h×基)	乾燥設備の仕様				能力		
	除湿機 (PS×基)	送風機 (m³/min×基)	ドライストア:t (t×基)	送風量 (m³/min・BIN)	加温有	装置無	
A. 10 (10×1)	20×2	1,000×2	600 (50×12)	167			無
B. 40 (20×2)	20×4	1,450×4	2,200 (50×44)	132			無
C. 10 (10×1)	20×1	1,000×1	300 (50×6)	167			無
D. 10 (10×1)	20×2	1,000×2	600 (50×12)	167			有
E. 40 (20×2)	20×4	1,500×4	1,800 (50×36)	167			無

4. 試験結果

貯留型常温除湿乾燥は、第1報の結果と同様、気象条件による乾燥能力の変動が大きく、特に10月から11月の低温高湿条件により低下することがわかった。乾減率でみると、0.1～0.2(%/h)で推移することが多いため、乾燥時間を多く必要とす

るが、乾燥後の水分偏差は小さくなることが明らかになった。

エネルギー効率は、条件による変動は大きいものの、火力乾燥に比較すると同程度から劣り、脱水経費でみても高コストになる。表5に試験結果の概要を示す。

表5 除湿乾燥条件と試験結果

試験区	1	2	3	4	5	6	7	8
供試重量(kg)	2,043	4,750	7,000	12,063	5,384	5,068	8,041	8,432
初期水分(%)	19.3	16.8	24.7	23.2	21.7	30.3	29.6	25.7
水分偏差(%)	1.13	1.48	4.78	2.56	4.03	4.00	3.98	—
堆積高さ(cm)	24	50	80	138	62	50	80	96
風量比(m³/s.t)	—	1.18	0.44	0.26	0.65	0.87	0.49	0.36
仕上重量(kg)	1,947	4,476	6,115	10,771	4,942	4,079	6,411	7,396
仕上水分(%)	15.0	11.7	13.8	15.6	14.7	13.4	11.7	15.3
水分偏差(%)	0.91	0.33	2.26	0.51	0.52	0.11	0.13	1.91
乾燥時間(h)	43.0	49.5	44.6	108.0	64.0	28.0	42.0	40.0
乾減率(%/h)	0.13	0.10	0.20	0.07	0.10	0.60	0.43	0.26
外気温度(℃) (平均)	4.0–11.0 (8.7)	18.8–31.0 (22.6)	17.6–23.0 (20.6)	7.1–19.7 (13.9)	11.4–16.8 (12.6)	17.2–23.0 (19.6)	21.8–27.6 (24.0)	6.4–17.5 (12.8)
湿度(%) (平均)	42–79 (67)	61–95 (70)	47–97 (86)	52–98 (87)	69–92 (82)	55–91 (74)	55–89 (77)	42–99 (72)
送気温度(℃) (平均)	5.5–14.3 (11.4)	22.7–31.9 (25.9)	20.2–27.4 (24.5)	9.6–23.0 (17.8)	13.4–24.7 (16.2)	23.7–31.0 (25.1)	24.0–36.0 (30.7)	10.8–22.8 (18.4)
湿度(%) (平均)	43–76 (61)	37–57 (49)	49–67 (60)	49–85 (69)	42–83 (66)	36–54 (44)	32–62 (48)	36–82 (47)
排気温度(℃) 湿度(%)	5.6–13.7 44–76	19.7–31.7 86–100	19.4–24.5 54–89	9.6–20.4 78–100	13.1–19.0 66–90	—	—	10.5–18.1 55–95
消費電力量 (kW)	53.2	48.1	53.4	305.4	93.5	53.1	62.2	36.7
燃料消費量 (L/h)	0	0	0	0	0	2.5	2.8	0
エネルギー効率 (kWh/kg水)	22.4	8.7	2.7	29.5	13.5	2.2	2.3	1.4

注1) 試験区1～5の消費電力量に関しては施設全体を対象としており、試験区6～8に関しては乾燥に要した燃料及び電力（純粋な乾燥コスト）を調査した。

表6 岩手県内の常温除湿乾燥施設の実態

乾燥方式	乾燥温度 (°C)	乾減率 (%/hr)	乾燥後の水分 偏差(%)	エネルギー効率 (kWh/kg水)	脱水経費 (円/kg水)
除湿乾燥					
貯留型常温 除湿乾燥	{無加温 加温	5~30 20~40	0.05~0.25 (0.10~0.40)	0.5~2.5 (0.5~3.0)	1.4~(7.0) (2.7~5.5)
循環型常温除湿乾燥	15~30	0.10~0.25	1.0~1.5	0.5~1.1	18~39
(比較)循環型火力乾燥	30~45	0.50~0.80	2.0~2.5	1.0~2.0	6~11

注1)貯留型乾燥は1ピントン50t、循環型は50t容量

注2) () は推定値

注3)脱水経費は、電気料金35円/kWh、灯油料金35円/Lで試算

5. 考 察

乾燥コストを判断する上で、エネルギー効率を一つの目安にしたわけであるが、特に表5からもわかるように、エネルギー効率をみる場合には、注意しなければならない点がある。具体的にみると、調査区1, 2, 4, 5のエネルギー効率が高いのは、外気条件等の乾燥条件が良くなかったため、乾減率が低下し、消費電力量が増大したためと思われる。また、試験区1に関しては、乾燥条件の中で、処理量が少なかったことも影響して、効率的に電力を利用できなかったと思われる。施設全体のエネルギー消費量から乾燥コストをみる場合は、適切な処理量についても考慮すべきであると考えられた。

これまで、ライスセンターを中心とした除湿乾燥施設について、乾燥能力の調査を中心に続けてきたが、新規導入の際の目安として、稼働実態やコスト面の大まかな把握が必要であると考え、推定や過去の知見を含めた形で、表6のようによりまとめた。なお、ここでもやはり条件による変動が大きいことを理由に、エネルギー効率の推定値の範囲を広くしている。上限値が高いのは、過去の調査事例を踏まえて、稼働形態や気象条件が最悪の時を想定しているためである。

6. 摘 要

平成3~5年度に、岩手県内の除湿乾燥方式を採用した米麦乾燥調製施設の実態を調査した。結果は以下の通りである。

1) 乾減率は0.1~0.2(%/h)で推移することが多いため、乾燥時間を多く要するが、乾燥後の水分偏差は小さくなる。

2) エネルギー効率は、条件による変動は大きいが、火力乾燥に比較すると同程度から劣り、脱水経費でみても高コストになる。

3) 施設の利用上は、プール処理の励行、適正な風量比の設定、半乾貯留方式の活用、ローテーションの徹底、稼働率の向上等についての考慮が必要である。

参考文献

- 1) 岩手県立農試：平成3~6年度試験研究成績概要集
- 2) 西山喜雄：常温除湿乾燥の調査研究、JA全農施設資材部, 22~62, 1994
- 3) 大里達朗他：大規模乾燥調製施設における除湿乾燥に関する研究(第1報)，農業機械学会東北支部報No.40, 41~46, 1992

【閲読者コメント】夜間の低温高湿下で除湿乾燥をどのようにしますか。

【著者回答】特に10~11月には、低温高湿条件の出現頻度が増し、乾燥能力が低下します。除湿乾燥機に補助的な加温装置を付けるなどして、送風空気の乾燥能力を高めることも必要です。また、新規導入の際は、地域の気象条件を充分考慮・検討する必要があります。

農業工学におけるファジィ理論応用の現状

吳 慧敏*・太田義信*

Present State of Application of Fuzzy Theory in Agricultural Engineering

Huimin WU*, Yoshinobu OTA*

[キーワード] ファジィ理論, ファジィ制御, ファジィ推論, ファジィ線形計画法

1. はじめに

ファジィ理論が1965年にカリフォルニア大学のL.A.Zadeh教授によって提唱されてから、はや30年が過ぎた。この数十年間にファジィ理論の応用は多方面の分野で行われている。

ファジィ理論に基づくファジィ制御方式は、1974年にロンドン大学のE.H.Mamdaniが、スチムエンジン実験装置の制御へ適用したのが初めてである¹⁾。ファジィ理論の工業面の応用は1980年にF.L.Smidth社（デンマーク）が開発したセメントキルン用の制御器によって実用化が始まったと言われており、日本では、1983年に富士電機・富士ファコムが浄水場の凝集剤注入制御に導入したのが最初である²⁾。1987年に仙台市の地下鉄の自動運転にエキスパートシステムとして、導入されたファジィ制御の実用化が産業界に注目された。近年、ファジィ制御の実用化研究は、製鉄プロセス、汚水処理プロセス、溶接ロボットなどを完成させている。

これまでファジィ理論の応用は主に工業分野に関連するものであったが、農業工学におけるファジィ理論の応用は、1980年代からアメリカで始まった。ロータリ式乾燥機の制御、ディーゼル機関の燃料噴射タイミング、蒸気機関の速度制御、灌漑日程計画などの応用例がある³⁾。日本では1980年代末からファジィ理論の応用研究が始まり、長沢らは1990～1994年に“農作業計画へのファジィ理論導入に関する基礎研究”的テーマで「農作業研究」に3報を発表した⁵⁻⁷⁾。また、1995年に“農作業研究とファジィ”という講座が「農作業研究」

に開設されて、連続3報にわたって基礎理論と応用について解説した⁸⁻¹⁰⁾。さらに、関連する他学会誌等にもファジィ理論の応用例が報告されている⁴⁾。

2. 農業工学におけるファジィ理論

1990年以来、農業工学におけるファジィ理論の導入は①農作業計画、②作物の環境制御、③穀物乾燥の自動制御、④果実追熟の制御、⑤機械による物理的な除草法の開発、⑥農業機械の経済寿命の評価などに及んでいる。

(1) 農作業計画

農作業計画は複雑で多様性があり、しかも季節性、地域性、個別性が強いため、確定値として決定しにくい農業情報を必要とするものである。農作業においては工業やその他の産業に比べて天候、圃場の大きさ、農作物の種類、収穫適期、作業内容などの種々の影響を受けるために、作業期間の制約条件は厳密なものではなく、ある程度の期間内に収まれば良いという場合が多く、また、作業面積の目的関数も必ずしも最大値ではなく、ある水準よりも大きければよいとする幅のある場合が多い¹¹⁾。例えば、作業期間が一部重複している代かき、田植え作業の複合負担面積の計算において、通常の線形計画法によれば、作業期間を制約条件とし作業面積を目的関数とすると、その計算結果は最大作業面積になる。作業期間の制御条件と作業面積の目標値を満足できるように線形メンバーシップ関数で表し、ファジィ不等号によるファジィ線形計画問題として定式化すれば、求めた解は現

実際に近い数値となり、ファジィ理論は農作業計画策定のためにより有効な方法であると考えられる。

(2)作物の環境制御

施設園芸分野のファジィ理論の応用については、星¹¹⁾による温室の冬期間の夜間暖房制御に関する研究と、連ら¹²⁾によるハウス内環境の制御システムに関する研究がある。星によれば、作物生産においては最大の成長速度だけが制御の目標にはならず、経済性、省エネルギー、省力化、高品質などの複数の目標を均衡させることが要求されるとして、そのために生産者に制御動作が理解やすい環境制御装置のソフトウエアを開発するために、制御に関する経験と知識を図形と言葉で記述する方法を開発した。この方法は「CICオペレータ」と名付けられ、重心法などの一般的なファジィ制御アルゴリズムは使用せず、拡張ファジィ制御アルゴリズムと呼ばれる新しいアルゴリズムを開発して用いている。すなわち、3個のCICオペレータで平均気温、気温変化、最低気温を満足するシミュレーション実験を行い、冬期間にこれまでより省エネルギー的な温室の夜間暖房制御が可能になることを示した。

連ら¹²⁾の研究は、北陸地域におけるトマトの半促成栽培を対象として、栽培農家への聞き取り調査結果からルールを作り、栽培者の意図する収量、品質、コスト、生育ステージ、天候などに適合する合理的な環境設定（温度、湿度）をファジィ理論により導出した。また、ファジィ理論を応用して、モデルハウス内のエネルギー低減並びに制御応答性の向上を目的として最適環境制御法も検討している。その結果、従来のON/OFF制御に比べて、ファジィ理論の導入による制御方式は省エネルギー効果と迅速な制御効果を示している。

(3)穀物乾燥の自動制御

Q.Zhangら¹³⁾は穀物の乾燥ルールとファジィメンバーシップ行列式を結び付けたファジィ制御を導入して、次の制御目標を構築している。①乾燥機出口でのトウモロコシ水分を15%～16%に制御する。②乾燥機出口でのトウモロコシ損傷率はできるだけ小さくなるように制御する。これらにファジィ制御方法を用いた結果、乾燥ルールの数を減少し、ルールの推定時間も短縮できた。

(4)果実追熟の制御

天野ら¹⁴⁾¹⁵⁾は果実追熟の自動制御装置を用いたバナナの追熟制御に、ファジィ理論を導入して実験を行った。この研究で用いたファジィ推論法はファジィ関係の合成則に基づくものであり、Mamdaniが初めて開発したファジィ制御法によるものである。第1報¹⁴⁾のファジィ推論は2入力1出力で構成した。すなわち、前件部変数は累積炭酸ガス放出量の偏差、累積炭酸ガス放出量の偏差変化分であり、後件部変数は作業量の変化分である。ファジィ理論を導入することによって、これまでの制御方法に比べて、かなり正確に累積炭酸ガス放出量を制御できることを示した。また、ファジィ制御規則を改善することによって、累積炭酸ガス放出量増減の傾向を的確に把握している。

第2報¹⁵⁾では、第1報で構築した累積炭酸ガス放出量制御のためのファジィ推論部の入力変数に、チャンバ内の炭酸ガス濃度値を追加した。その結果、3入力変数2出力のファジィ推論により、炭酸ガス濃度に影響された追熟設定温度の上下変動が改善されて、温度設定が適切に行われるようになった。さらに最終累積炭酸ガス放出量と目標値との差が90mg/kg以下となり、追熟制御が極めて精度よく行われることを明らかにした。

(5)機械による物理的除草法

柴田ら¹⁶⁾は、機械による物理的除草法を実現するための農作業要素技術として、格子状に植え付けられた作物配列の規則性を利用して、作物と雑草が混在する野菜畠でCCDカラービデオカメラに収録した画像の2値化処理により作物のみを抽出するファジィ推論手法を開発した。

これまでの研究では、画像処理によって土と植物体を「色」で分離し、作物と雑草を「大きさ」で識別する手法を採用している。しかしながら、作物が雑草よりも大きいという制約があるので、抽出エラーを生ずることがある。ファジィ推論により画面上における各物体の位置はそれぞれの重心のx-y座標で表わし、図1に示した手順で作物配列を推定した。このように画像処理手法にファジィ推論手法を加えると、作物の抽出精度が向上することを示した。

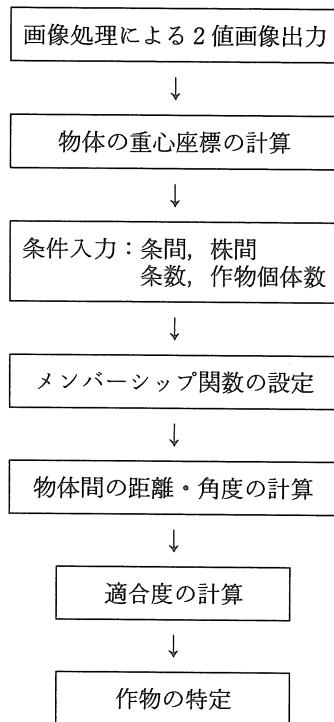


図1 配列推定の手順

(6) 農業機械の経済寿命の評価

農業機械の更新を繰り返す農業経営においては、新しい農業機械を購入した場合と農業機械の耐久年数が過ぎて故障が多くなった場合には、総費用年価は高くなる。

野口ら¹⁷⁾は農業機械の経済寿命の判断に必要な総費用年価を求めるに当って、農業機械の年間利用時間に関するファジイデータを総費用年価の計算に導入して、経済寿命の判断基準について検討した。使用の一例として、水田用トラクタと畑用トラクタの経済寿命の試算と評価を試みており、農業機械の故障による農作業の機会損失の年価については、全ての年度について考慮しない場合と、修理費の年価と同じにした場合とを仮定して試算している。その結果、ファジイデータを用いた総費用年価の計算から、次のことを明らかにした。
 ①経過年数について、経済寿命になる可能性およびファジイデータの曖昧さの程度を α -レベルで定量的に判断できること。
 ②総費用年価について、畑用トラクタは水田用トラクタより少なく、年間

利用時間の変化が総費用年価の変化に与える影響が小さいこと等を示した。

(7) 海外におけるファジイ理論の応用

X.Q.GuiとC.E.Goering³⁾は、1990年に農業工学分野におけるファジイ理論の導入の紹介と応用例を報告している。ファジイ理論の応用例については表にまとめているが、1990年以降の応用例も著者が追加記入して表1に示した。それらはモデル化とその最適化、数式化モデルによる評価・判定、AIとエキスパートシステム、パターン認識およびファジイ制御など多岐にわたる分野において、ファジイ理論が応用されていることを示している。

3. ファジイ理論の応用上の特徴

以上のようなファジイ理論の応用研究例から見ると、農業工学において応用されているファジイ理論は、主にファジイ推論とファジイ線形計画法である。

(1) ファジイ推論

ファジイ推論はいくつかのファジイ命題から、ある一つのファジイ命題を導き出す推論法であり、いくつかのエキスパートの感覚や経験の知識を並列にかつ同時に考慮して、厳密ではないがほぼ妥当な結果を得るのが、ファジイ推論の考え方である⁶⁾。工業分野でも農業においても実用例は最も基本的なファジイ推論を用いたものが多く、特に複雑な自動制御に対してはファジイ推論が柔軟に対応できると考えられる。例えば穀物乾燥の自動制御、作物の環境制御、果実追熟の制御、無農薬除草などが応用例である。

具体的には、快適温度を17°Cとしたエアコンの制御ルールを設定して、ファジイ理論によりエアコンの制御を行うファジイ推論の解析がある⁸⁾。その場合、全体の推論結果として得られたあいまいな情報から「非ファジイ化」を行う必要があり、非ファジイ化として重心法、最大グレード法と平均値法という3つの方法があるが、人間の感覚との適応性がよいので重心法が一般に用いられている。

(2) ファジイ線形計画法

今までの農業工学分野におけるファジイ線形

表1 ファジィ理論応用の実例³⁾

モデル化と最適化	数式化によるプログラミング	AIとエキスパートシステム	パターン認識	制御	その他
農業用水の運用	用水の供給計画	大豆病気の診断	土壤浸食の評価	穀物乾燥の自動制御 ¹³⁾	森林生態学
野生生物生息地のモデル化	家畜飼養頭数の管理	ロータリ式乾燥機の制御	機械・施設の故障診断	灌漑日程計画	水汚染の評価
マーサーマシンシステム	食物添加物の評価	ファジィエキスパートシステムの概要	小麦と植物油の品質評価	ディーゼル機関の燃料噴射タイミング	リモートセンシング
穀物生産量の予測	圃場走行性の判定 ¹⁸⁾	ファジィプロローグ	画像解析と音声認識	蒸気機関の速度制御	ファジィコンピュータ
局所農業の作物収穫量シミュレータ ¹⁹⁾		ハウス栽培の作物管理法の学習 ²²⁾		搾乳機の真空ポンプ制御 ²⁰⁾	自律走行制御によるログスキッタ ²¹⁾

計画法は、主にZimmermann²³⁾による「ファジィ不等号によるファジィ線形計画法問題の定式化」を用いて、多くの農作業計画の策定を行っている。ファジィ線形計画法では、目標と制約の数値を意思決定者の主観で決めたメンバーシップ関数で表し、目標と制約の双方を考慮して、その最大満足度をもつ解を求めるものである。ある線形計画問題において目標と制約が大体の数値で与えられる場合、そのデータと不等号を用いて線形メンバーシップ関数に変換できれば、通常の線形計画問題に帰着できるとするのが基本的な考え方である。具体的な計算例は、参考文献7)を参照されたい。

たがいに競合する農作業計画、あるいは複数の農業機械の使用計画を策定する場合は、いくつかの目的のうち、1つの目的を最適にして他の複数個の目的はある程度満足できれば良いという場合が多い。例えば、通常の線形計画法において、作業時間と負担面積を計算する時、負担面積を最大にすれば、作業時間も最大になってしまふ。一方、作業時間を最小にすれば、負担面積も最小になってしまふ。つまり負担面積の最大と作業時間の最小ということは対立しており、両立しない矛盾した要求のために、通常の線形計画法では最適解は求められない。

このように競合する目標がいくつかある場合で、意思決定者の主観により大体の目安が分かることには、ファジィ線形計画法が有効である。数多くの評価項目を総合して判断したい場合には、この

手法が適用できると考えられる。

4. 今後の問題点

(1) ファジィ推論

ファジィ推論を用いる場合には、メンバーシップ関数の決定方法を検討する必要がある。メンバーシップ関数は決定する人によってまったく異なる値であるから、メンバーシップ関数を決定する時に、その分野のエキスパートおよび経験を有する人から十分に聞き取り調査を行い、何回かの修正が必要と思われる。それにより、ファジィ推論を応用した自動制御システムの構築から最適制御が実現される。

作物制御の場合には、作物の収量、品質、生育ステージ、天候などのデータ収集と整理についての工夫が必要と考えられる。

穀物乾燥の制御では、最初の応用として86%ぐらいの制御精度は認められた¹³⁾が、さらにその制御の精度を向上するために、経験者の知識と多量のプロセスデータを収集することが必要となる。

果実追熟の制御の場合には、追熟加工現場の実際の職人芸的な経験と勘を取り込んで、さらにきめの細かい自動制御が期待されるし、バナナ以外の他の果実の追熟制御も望まれる。

無農薬除草の場合には、作物1個体が2個以上に分離された場合はエラーを生じやすいので、配列推定を行う前に個体数についての対策が必要である。また、2値化の結果によっては、作物と雑

草が連結して残り、抽出精度を低下させるなども起り得るので、今後の検討課題である。

農業機械の経済寿命評価の場合、長期に及ぶ総費用年価の変化については、その予測の客觀性と信頼性について、長期間にわたる実際の追跡調査が必要となるであろう。

(2) ファジイ線形計画法

ファジイ線形計画法を用いる場合には、ある程度の線形計画法による解の予測が必要である。また、農作業計画にとって、聞き取り調査から最適と思われる農作業者のメンバーシップ関数を決定することは比較的に困難な場合がある。これは最近の農家といえば、先進大規模農家から第2種兼業農家に至るまで多様なエキスパートがあり、農作業者の経験、勘、主観による判断の結果に差違があると思われるからである。従って、計算を行う前に、設定される条件式に対する目的関数の解をある程度は予想することが必要となる。また、多岐にわたる制約条件式や目的関数の満足度を向上させるには、その満足度範囲の設定も重要である。

具体的にはメンバーシップ関数を設定した作業期間と負担面積以外にも、作業能率や作業コストなどの多くの要因も含めて定式化をした方が現実に近づくと考えられる。また、作業期間については作物栽培適期と天候条件をも考慮にいれて、農作業計画の策定に適用することが求められる。

5.まとめ

今までに農業工学においてファジイ理論を応用している事例について調べてみた。いくつかのファジイ推論を応用した報告から、ファジイ制御は実用化されていることは明らかであるが、ファジイ線形計画法については導入の可能性について研究段階にある。実際問題で応用されている作業計画の策定やシステム開発の例はあまり多く見当たらない。

ファジイ推論の考え方は、いくつかのエキスパートの感覚や経験の知識を活用しながら、ほぼ妥当な結果得ることである。従って、複雑な自動制御にはファジイ推論が柔軟に対応できると見られる。また、メンバーシップ関数を決定する時に、広範

囲な聞き取り調査を行い、何回かの修正を行うのはファジイ自動制御を実現する場合に肝要である。

ファジイ線形計画法の考え方は、ある線形計画問題において目標と制約が大枠で与えられる時、その数値と不等号を組合せて線形メンバーシップ関数で表現できれば、通常の線形計画問題として取り扱えるとしている。競合する目標がいくつかあって複雑にからみ合っており、しかも数多くの評価項目を総合して判断したい場合には、ファジイ線形計画法が有効であると考えられる。具体的な運用には、設定される条件式に対する目的関数の解をある程度は予想することがやはり必要と思われる。

参考文献

- 1) 伊藤 修：ファジイコントローラ，数理科学284,55-62,1987
- 2) 菅野道夫：ファジイ理論の最近の応用をめぐって，数理科学 284,5-9, 1987
- 3) Gui,X.Q.,C.E.Goering : Introduction, to Fuzzy Set Theory and Applications, Trans. ASAE,33(1),306-313,1990
- 4) 荒尾真樹：ファジイコントローラ，農業機械学会誌,51(3),119-122,1989
- 5) 長沢教夫, 小中俊雄, 小池正之, 湯沢昭太郎, 瀬能誠之：農作業計画へのファジイ理論導入に関する基礎研究（第1報），農作業研究,25(1),24-30,1990
- 6) 長沢教夫, 小中俊雄, 小池正之, 湯沢昭太郎, 瀬能誠之：農作業計画へのファジイ理論導入に関する基礎研究（第2報）,農作業研究, 25(1),31-37,1990
- 7) 長沢教夫, 西崎邦夫, 小中俊雄：農作業計画へのファジイ理論導入に関する基礎研究（第3報）,農作業研究,29(2),90-96,1994
- 8) 笹尾 彰：農作業研究とファジイ（1）,農作業研究,30(1),54-57,1995
- 9) 長沢教夫：農作業研究とファジイ（2）,農作業研究,30(2),152-159,1995
- 10) 野口良造：農作業研究とファジイ（3）,農作業研究,30(3),237-244,1995
- 11) 星 岳彦：図形と言葉で制御方法を表現し

- た拡張ファジイ環境制御の基礎的検討, 農業
気象, 47(4), 225–232, 1992 Journal of General Systems, 2(4), 209–21
5, 1976
- 12) 連 小東, 中野和弘, 倉田和彦, 渡辺秀一:
ハウス内環境の制御システムに関する研究
(第2報), 農業施設26(1), 39–49, 1995
- 13) Zhang, Q., J.B. Litchfield : Knowledge
Representation in a Grain Drier Fuzzy
Logic Controller, J. agric. Engng Res.
57, 269–278, 1994
- 14) 天野辰哉, 濑尾康久, 森嶋 博, 川越義則:
ファジイ理論による果実追熟制御の研究(第
1報), 農業機械学会誌, 55(2), 137–142,
1993
- 15) 天野辰哉, 濑尾康久, 森嶋 博, 川越義則:
ファジイ理論による果実追熟制御の研究(第
2報), 農業機械学会誌55,(3), 133–137, 1993
- 16) 柴田洋一, 西崎邦夫, 大谷隆二: 無農薬除
草のための基礎的研究(第2報), 農業機械學
会誌, 57(6), 125–132, 1995
- 17) 野口良造, 小中俊雄, 瀧川具弘, 小池正之,
遠藤敏史: ファジィデータを用いた農業機械
の経済寿命の評価, 農業機械学会誌, 57(6),
77–86, 1995
- 18) Thangavadivelu, S., T.S. Colvin: Traffic
-ability Determination Using Fuzzy Set
Theory, Trans. ASAE, 34(5), 2272–2278, 1991
- 19) Ambuel, J. R., T.S. Colvin, D.L. Karlen : A
Fuzzy Logic Yield Simulator for Prescription
Farming, Trans. ASAE, 37(6), 1999–2009, 1994
- 20) Tan, J., Z. Chang : Linearity and a
Tuning Procedure for Fuzzy Logic Cont
rollers, Trans. ASAE, 37(3), 973–979, 1994
- 21) Edwards, D.B., J.R. Canning : Developing
a Radio-controlled Log Skidder with
Fuzzy Logic Autonomous Control, Trans.
ASAE, 38(1), 243–248, 1995
- 22) Kurata, K., N. Eguchi : Machine Learning
of Fuzzy Rules for Crop Management in
Protected Cultivation, Trans. ASAE, 33(4)
, 1360–1368, 1990
- 23) Zimmermann, H.J : Description and
Optimization of Fuzzy Systems, International

〈新技術コーナー〉

圧縮空気を利用した散布作業システム

(マクロシードペレット散布機の開発)

長谷川三喜*

1. はじめに

大粒の成形複合肥料の表面に牧草種子を付着させたマクロシードペレットは、傾斜草地の不耕起造成や更新、農家裏山の野草地や林地の牧養力向上に有効であり、その効果が実証されている。ここでは、各種の肥料資材が散布可能で、急傾斜地等、従来の作業機では作業が困難な場所で有用と考えられる「圧縮空気を利用した散布作業システム」についてマクロシードペレットを対象に進めてきた開発の経緯を紹介する。

2. マクロシードペレット

マクロペレットは、1個あたりの重さが約12gの楕円球型で、長径38mm、短径30mm、厚さが20mmという大粒の成形複合肥料である。マクロシードペレットはこの表面に粘着性の糊で牧草種子を付着させたもので、傾斜草地において次の効果が得られる。

- 効果1.長期の肥効持続（作業回数の減少）
- 効果2.肥料成分の表面流出回避（環境保全）
- 効果3.施肥播種同時作業（作業回数の減少）
- 効果4.付着種子の発芽生長促進（草生改良）



しかし、大粒で種子が付着した資材を散布する作業機は未開発であり、傾斜地では人がペレットを担いで上り下りしながら散布している。さらに、不耕起造成では1haあたり2~2.5トンもの大量散布を必要とし、大面積散布時の散布作業の能率

向上と軽労化が大きな課題となっている。

3. 敷設作業省力化の考え方

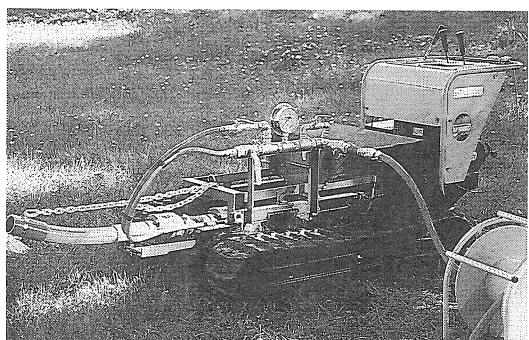
そこで、われわれは次の考え方に基づく作業システムを構築し、これに適合する散布機開発を行って、マクロシードペレットの省力散布技術の実用化を目指した。

- ①急傾斜不整地での大量散布は定置広域散布が有効。
- ②複雑傾斜地内への進入や移動は歩行型小型機が有効。
- ③大粒の資材を広域散布するには高速空気流利用が有効。
- ④散布機から散布動力源と資材運搬機能を切り離せば小型化が可能。
- ⑤資材運搬は傾斜地適応性の高い運搬手段を別に用意。

4. 開発した散布作業システム

a. マクロシードペレット散布機

上述の考えに基づいて開発したのが写真の散布機である。本機は空気搬送エゼクタと小容量ホッパのみを搭載した歩行型クローラで、エアーホースにより散布動力を得る構造である。写真の噴出口には1~2.5mの噴管が差込まれ、作業者がこれを手を持って筒先の方向を変えながら定置散布する。



空気搬送エゼクタは、円筒内面に設けた小孔ノズルから圧縮空気を噴出することにより、円筒入

口から大量の空気を吸引し、円筒内に高速空気流を発生させる装置である。ペレットは生成された空気流によってホッパより吸引される。また噴管内で徐々に加速していくため、破碎や種子剝離が少なく、噴管先端では高速度が得られる。本機の仕様性能を以下に示す。

形式：歩行クローラ型（ガソリン 5 p s）

寸法：1700×900×900（ホッパ30L）

エゼクタ：内径50mm×2台直列

空気消費量：2.0(m³/min)/台

ペレット吐出能力：600kg/h

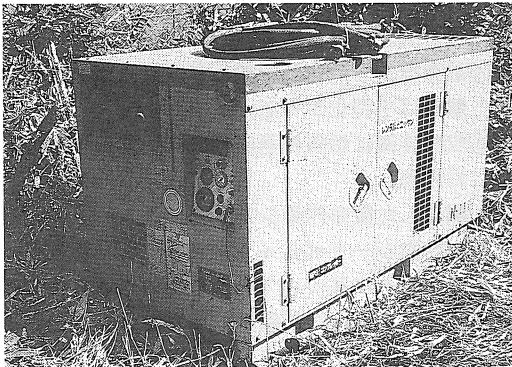
ペレット飛距離：50m（水平距離）

地点からの散布可能面積：10～20a

作業者数：2名（ペレット投入、噴管操作）

b. 動力源

散布動力となる圧縮空気は50psクラスのエンジンコンプレッサによって供給される。



建設機械のレンタル会社より容易に入手でき、散布対象地近くの取付け道路等に搬入して、エアーホースで散布機と連結して使用する。エアーホースは内径1インチ、長さ30m程度のものを用意し、散布対象地の状況に合わせて数本を連結して使用する。エアーホースの延長は120m程度まで可能である。

c. 種子塗布

写真の種子塗布装置を用いて作業を行う。

市販のカルバーコーティング装置を改造したもので、以下の仕様性能を示す。

形式：回分式（1回、1袋(20kg)投入）

寸法：900×900×1300（重量50kg）

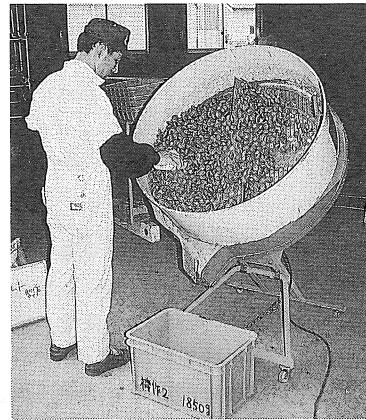
処理能率：400kg/h(3min/1袋(20kg))

作業者数：2名（ペレット投入、糊制作）

d. ペレット運搬

種子塗布済みのマクロシードペレットを運搬す

る小型運搬車（積載量100～150kg）を使用。



5.まとめ

本作業システムは、現在、数箇所で実証試験を行っている。散布飛距離や作業能率、燃料消費、マクロシードペレット着地後の種子付着や発芽状況については、所期の性能を示す事が確認された。

以上述べてきたように、われわれが開発した「圧縮空気を利用した散布作業システム」は、動力源と散布機構を分離して散布機を小型化したため、傾斜不整地適応性が非常に高くなっている。また、構造が単純な空気搬送エゼクタ装置を用いたため、資材の性状を選ぶことなく広域の散布距離が得られ、傾斜地での定置散布を可能にしている。さらに、使用するコンプレッサは一般建設機械としてレンタル制度が確立しており、一日数千円で利用する事が出来る。加えて散布機構だけを搭載した散布機の制作費用も高額ではないなど、多くの特長を備える。

そのため本方法は、従来法による作業が困難な場所の各種資材の汎用散布作業システムとして、種々発展する可能性のある方法であると考えている。

〈新製品コーナー〉

1. ごぼうハーベスターの開発と商品化

(株)ササキコーポレーション*

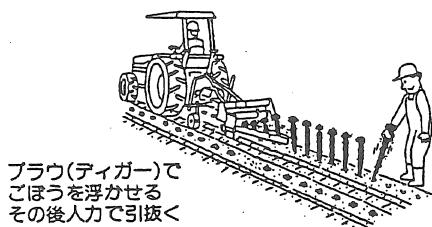
1. はじめに

平成5年、農水省は農業機械化促進法の改正で「農業機械等緊急開発実用化事業」を実施するようになった。この事業の目的は、わが国の農業における担い手の確保、土地利用型農業における生産体制の整備等を図ることにあり、労働力を大幅に軽減する革新的な農業機械等の開発およびその効果的な導入によって生産性の向上を実現しようとするものである。

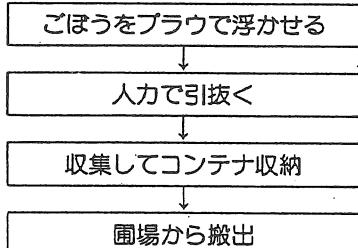
ここに紹介するごぼうの収穫機械「ごぼうハーベスター」は本事業の主旨に沿ったもので、弊社が独自に研究開発を進めて、3年目で発表した商品である。

2. ごぼう収穫の従来の方法

従来のごぼうの収穫は、トレンチャーでごぼうの側部に構を掘り、人力で引き抜く方法とディガーやプラウでごぼうを土中から浮かして、人力で引き抜く方法であった。いずれも中腰姿勢での重労働である。



収穫行程



収穫行程は4行程でそれぞれ人力で行なっていた。

引き抜いた後はコンテナに詰め、運搬車の荷台に持ち上げて、圃場から運びだして収容する。

3. 開発技術のテーマ

- ①ディガーやごぼうを抜き上げて土を除去。
- ②ごぼうの首部をコンベアで挟持し、連続的に引き抜く。
- ③抜き上げたごぼうを整列させて、シートで放出。
- ④シートからごぼうを受ける収納作業台の牽引方法。

4. 研究開発の結果

従来、人が行っていたごぼうの浮き上げ→引き抜き→コンベア収納→搬出の4行程を今回開発のトラクタのPTO駆動によるごぼうハーベスターでは、1行程で作業を終えることができる。

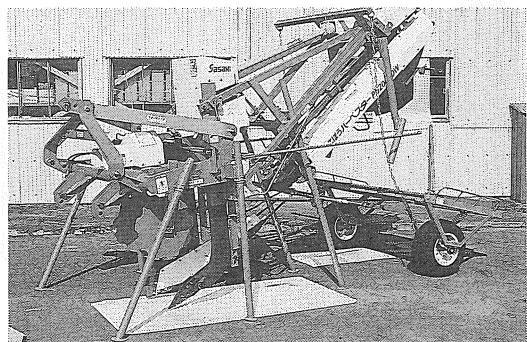
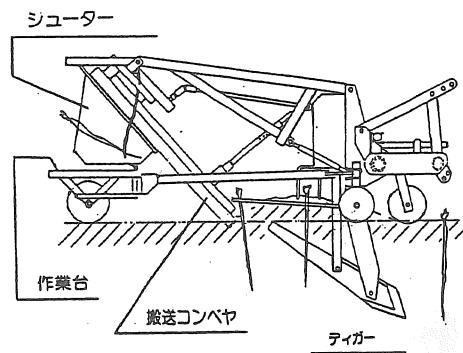


写真1 全体図

主要諸元		
形 式	PH2000DW	
全 長	4240mm	
全 幅	2380mm	
全 高	2740mm	
重 量	840kg	
採 取 条 数	1条	
スライド量	980mm	
作 業 速 度	0.6~1.0km/h	
適応トラクタ	80~120PS	

作業はトラクタのオペレータ1名、補助者1~2名の計2~3名で行い、10a当たり2~3時間の省略化が実現できた。なお、関連特許を4件出願済みである。作業内容はトラクタに装着した本機をごぼうの1畠をまたぐ状態でけん引し、1対のディガーライナが上下振動しながらごぼうの左右の土をほぐしながら地表に押し上げて行く。後ろ上りに取付けたディガーには土が付着しないように滑りの良い樹脂板を装備している。これが振動しながら前進すると、ごぼうは土と共にその土圧で自ら地表に押し上げられる。

さらに、首出し装置が余分な土を横に排除するので、ディガーライナの終端付近ではごぼうの首部が露出し、次行程の搬送ベルトに挟まれやすくなる。搬送ベルトはディガーライナ後端より少し低い位置にあり、ごぼうがスムーズに搬送部に移行できるようになっている。ごぼうは1対のベルトに左右から挟まれ、そのまま斜め上後方に引き抜かれてながら搬送される。



写真2 デッガーとコンベア部

搬送されたごぼうはシューターによって一定方向に向きをそろえて、収納作業台車に送られる。補助者は台車の位置でごぼうを整え、横に収納する。伴走者がいる場合は、その荷台にごぼうをそのまま収納することができる。

これらの一連の作業を1行程で行うことのできる高能率の作業機である。

下の写真是作業者がトラクタのオペレータと補助者の2名で収納している様子で、従来の中腰姿勢を解消して楽に高能率的に作業できるようになった。



写真3 トラクタけん引作業中の様子

なお、本ハーベスターは搬送部と収納作業台車部を分離でき、リフターとしても使用できるので、畑の際まで作業可能である。

5. おわりに

農家からの要望と農政の新企画事業に沿ったごぼうハーベスターの開発により、各地から大きな反響をいただいている。弊社は本機により農家の生産性向上に寄与できるものと期待している。今後も現状に即した改良を進める所存であるが、支部会員諸氏の御批判や御助言を賜れば幸いである。

2. ニンニク根切機（ルートシェーバー）の開発と商品化

（株）ササキコーポレーション

1. はじめに

野菜関連の機械化は、地域による栽培体系の違いから水稻にくらべ困難な面がある。特に植え付け、収穫、調製等の機械化が望まれている。青森県の特産品であるニンニクはわが国最大の生産量を誇り、生産合理化のための機器の開発が強く望まれている。ここに紹介するニンニク根切機は、収穫後の機械乾燥と調製の邪魔になる根と茎の切除作業を機械化したものである。

2. 開発要望の背景

作業体系の中でニンニクを効率的に乾燥するには、付着土を除去するとともに、投入量を密過ぎず粗過ぎず、乾燥空気が全体に行きわたるように根と茎を切除し、適度な空隙量を確保する必要がある。

従来、この切除作業は人力で行われ、多大の労力と時間が費やされてきた。また、この作業は夏の暑い盛りの作業で、大変な苦労を伴っている。作業方法は各農家の独自の刃物で切除していたが、短時間に大量処理するには人手を多く繰り出さなければならず、作業が各戸に集中してしまう。このような背景があって機械化が急速に望まれていた。

3. 開発技術のテーマ

- ①ニンニクに傷をつけないで、根をなるべく根際から切除。
- ②同時に茎も切除でき、茎の長さを調節。
- ③一人か二人程度で連続大量に処理。
- ④危険性の回避。

4. 研究開発の結果

本開発の最大のテーマは、いかにしてニンニクに傷をつけないで、根際まで刃物を入れるか、しかも簡単に連続して作業ができるかという点にあつた。

ニンニクの個々の鱗片は成長して大きく膨らみ、ニンニク球の下部中央部をへこます。そこから根が伸びているので、根元まで切除するさいに鱗片の下部を切除するおそれがあり、商品価値を損なわないようにしなくてはならない。切断しないギリギリのところを切除しようにもカッターの回転圧によりヒゲ根が逃げてしまい、切り残しが多く出る。ニンニク球の大きさは個々バラバラであるから、ニンニクを固定して確実に根元から切除するにはいかにすればよいか、研究はここに集中した。

その結果、ニンニク球を乗せるバスケットをコンペアに取り付けた。この奥面にはヒゲ根部分だけを外側に出し、なおかつニンニク球がやや水平に保持されるような切り欠きをつけておき、このバスケットに手前からニンニク球を人手により簡単に置くことができるものである。バスケットはコンペアに連続して取り付けられており、ニンニク球を任意に1個ずつ置くことができる。

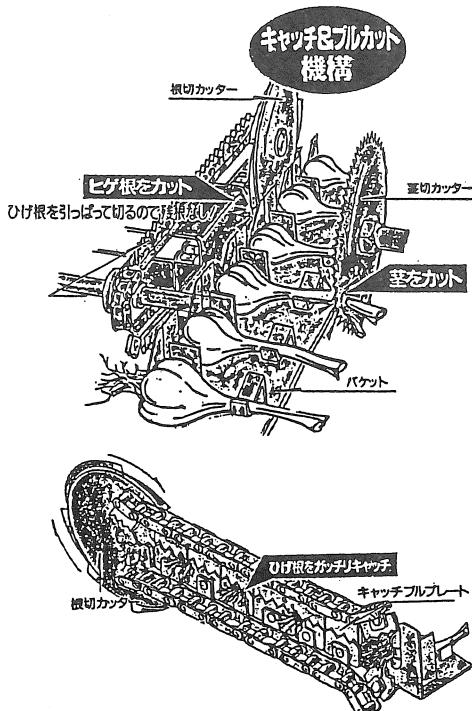
次にこのコンペアとは別にこれにやや平行して上下一対のチェーンコンペアを伴走させた構造になっている。このチェーンコンペアにはそれぞれヒゲ根をつかむ部材が取り付けられており、上下から相互に圧着してヒゲ根をしっかりと保持したまま、バスケットコンペアに伴走する。バスケットコンペアとチェーンコンペアはニンニク球を保持したまま同じ速度で搬送をすることになるが、ここに一つの工夫がある。

それは、この2種類のコンペアは先に進むほどその間隔が拡がるようになっている。つまり、バスケット壁面の切り欠きから出したニンニクのヒゲ根が、チェーンコンペアに取り付けられた部材で保持されたまま引っ張られる状態で進む。進むほどニンニク球はバスケットの壁面に固定され、ヒゲ根がピーンと張り切った所で、バスケットの壁面外側ギリギリに設置してある丸カッターで切断

される。よって、ヒゲ根はニンニク球ギリギリから傷をつけることなく、きれいに切除される。

また、根切り用カッターに対抗した位置に茎用カッターを配置してあるので、ヒゲ根を切除する直前に茎葉を切除する。この茎葉の切断長は茎用カッターの設置位置をずらすことによって調整できる。

コンベアの搬送距離は一人が座って作業できる長さを保っているので、余裕をもって連続大量処理ができる。搬送部は開放になっているので、コンベアを挟んで向かい合って座れば二人での作業が可能である。



切除装置はカバーリングされており、異物等が混入した場合や緊急に停止しなければならないときには緊急停止装置があり、緊急停止レバーを押すだけで危険を回避できる。

本機の動力源として、作業場で使うモーター駆動タイプと圃場内で作業できるトラクタPTO駆動タイプがある。

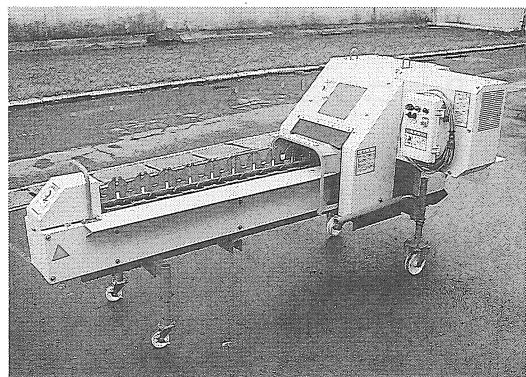


写真1 電動機用

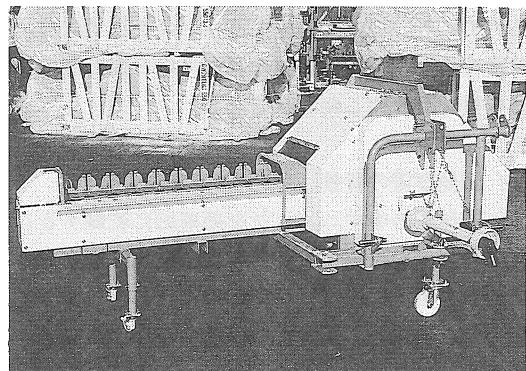


写真2 トラクタPTO 駆動用

主要諸元

駆動方法	形 式	動 力	重 量	処理能力
トラクタ用	GR451T	15~40PS	189kg	4000個/h
電動用	GR451M	100V2基	153kg	(2.5a相当) 100W, 300W

〈海外研究報告〉 1

オーストラリアの米生産用機械と乾燥・貯蔵・調製施設

戸次英二*

Machinery for Rice Production and Facilities for Rice Drying,
Storage and Processing in Australia

Eiji BEKKI*

はじめに

4月にニューサウスウェルズ州立のヤンコ農業研究所（Yanco Agricultural Institute, 略称 Y A I）へ出かけた。これを機会に稻作の現況および関連機械と施設を見聞した。

Y A I の近所にオーストラリアで唯一の米生産者組合（Ricegrowers' Co-operative Limited, 略称 R C L）の本部があり、日本からの米事情視察者は米作地帯の代表的な町であるリートンの市街と近郊のライスマイルにある訪問者センターから、R C L → Y A I → 米作農家を通過するルートをたどっている。筆者は Y A I で R C L の技術と営業の二人のマネジャーを紹介され、Bulk Storage Facilities と Rice Mill を案内された。

オーストラリア米への注目

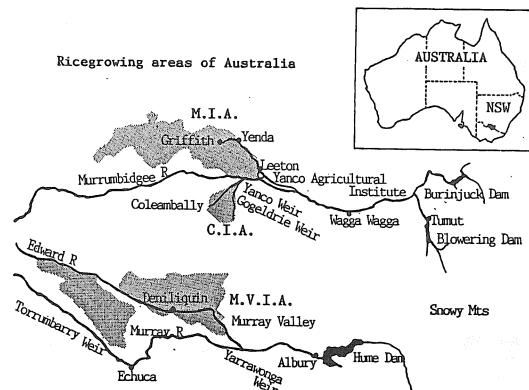
わが国は平成5年に米の凶作に見舞われ、各国から有償で緊急輸入した。消費者はこれらの米を結果的に試食する機会に遭遇したわけである。

この中で、商業生産に徹し、中粒種を生産しているカリフォルニアとオーストラリアが比較的好評を博した。わが国の生産者や消費者はこれらの国々からの輸入攻勢にそなえて、注目するようになった。両国とも稻作を企業として利潤を追求する意欲は旺盛で、「消費者の喜好に合う食味と安い価格」を追求している。

栽培の端緒と現況

明治39年に松山市出身の高須賀氏によってオーストラリア南部のビクトリア州北部で栽培が試みられた。これが最初である。明治43年には現在の米作地帯になっているニューサウスウェルズ州の南部で、取水系のダムや水路の建設が始まり、現

在の三大灌漑区が構成された（図1）。耕作は畜力から始まり、現在の機械化一貫作業へと進展してきた。栽培面積は单収の伸びに伴って昭和48年頃から急速に拡大し、現在12万haでha当たり約9t（穀）の单収により110万tの生産量をあげている。これまで生産量の大半が東南アジアと中近東への輸出であったが、これからのはこ先を日本へ一部変えることは間違いない。



オーストラリア南部（ニューサウスウェルズ州）の米栽培地帯と水系

1) 輪作体系

イギリス連邦に所属してヨーロッパからの移民がほとんどであるから、輪作体系をしっかりと組んだ栽培が基本になっている。体系は農家によって相違するが、5～7年の期間で組み立てられている。例えば、5年では牧草（羊）－米－米－麦類－休耕、6年では米－米－牧草（羊）－牧草（羊）－麦類－休耕である。羊の放牧が国柄だけに、水田に草丈の低い牧草が植えられ、そこに羊を放している風景は印象的であった。

2) 品種

中粒種が全作付面積の75%を占め、カリフォル

ニアの2種を交配して生れたAmaroo(1987)が大半を占めている。これは日本人の口に合わない。最近、カリフォルニア種のM7に日本種のSomewakeを交配してきたMillinが日本戦略用として開発され、アボリジニ語の魅惑の意味のように日本人の気をひきつけられるか、こちらの様子をうかがっている。リートン市にあるライスマルの訪問者センターでは、御飯を炊いて来訪者に試食させている。一般に好評の声が多い。東北のアキタコマチ、ひとめぼれ、どまんなかよりも若干劣る程度の食味ではなかろうか。Millinを開発したY A I のDr.Lewinは、炊いた後に冷えると少々硬くなるようなので、この点の改良を今後進めると言っていた。

3) 畦畔造成と播種圃場の準備

輪作体系で翌年水稻を作付けする予定の圃場は、越冬前に圃場整備（明渠・畦畔造成、耕起・整地等）を行う。畦畔は米国の水田と同じように等高線に沿って造成される。専門の業者（Landscape Co.）がレーザ光線を用いて行っていた（写真）。畦畔は40cm程度の高さに盛土となるので、その側が低くならないように、中央から土を寄せてくる。土壤は比較的軟かく軽いような壤土あるいは砂壤土で、作業がし易いように見受けた。わが国に多い埴土あるいは埴壤土の感覚とは異なる。



レーザー光線を使った畦畔造成工事

4) 播種

降雪がないまま春季を迎える。収穫と同じ年の9月～11月に播種が行われる。播種作業は飛行機（Aerial sowing、播種量125kg/ha）かドリル（播種量135、160kg/ha）を使い、標準栽植密度150～200株/m²を目標としている。飛行機は昭和35年以降に利用の伸びが著しく、ドリルは昭和31年にアメリカのGrassland Drillを導入して試行したSod sowing（不耕起施肥・播種）と耕起後の圃場に施肥・播種する通常のCombine sowingが

ある。分けつ本数が少ないせいか、わが国の直播で見られる栽植密度より多い印象であった。

5) 栽培管理

米を栽培しているこのリベリナ地方は、オレンジやブドウの果樹栽培も盛んで、特別防疫地区に指定されており、外部からの病害虫侵入に対して厳しい監視がなされている。高温・低湿の乾燥気候のため、一般に病害虫防除の薬剤散布は行われず、除草剤も成育初期にだけ散布していると聞いた。収穫中の水田に立っても日本やカリフォルニアで見られたイナゴがいっせいに飛び立つ姿はそれほど多くはない。水田の水深調節は、前記のDr.Lewinの説明では栽植密度と関連が深いそうで、特にきめ細かく指導している。発芽期：3～5cm、幼穗形成期：10～15cm、減数分裂期：20～25cm、開花期：25～30cmである。

6) 収穫と運搬

圃場で太陽直射による胴割れ(Sun-cracking)を避けるため、穀水分22%付近で収穫するように指導している。収穫期間は品種構成や播種時期を変えて幅広くなっている。これは収穫機械類や乾燥・貯蔵施設の設計と運用の面で有利である。収穫は大型の普通形コンバイン、運搬は大型のトレーラやワゴンを使って行われている。軟かい地盤の水田で稼働するコンバインと硬い路上に待機する大型トレーラの間を畦畔越えワゴン(Bank-out wagon)が中継する方法である。大型トレーラは「刈ったら直ぐ運ぶ」の態勢で、専任の運転手が効率的に進めている。

乾燥・貯蔵と調製施設

約110万tの収穫量に対し、これをほぼ貯蔵可能な93万t容量の施設が整備されている。穀で貯蔵するので、施設は乾燥と貯蔵の機能だけをもつPaddy Storage(16か所)と呼ばれている。そこから精米、選別、精選、包装、製品保管、出荷の機能をもつ施設であるRice Mill(6か所)へ移送される。そこで発生した穀殻、糠、碎米等の副産物は飼料化の施設であるStockfeed Mill(2か所)へまわされる。この3種類の施設をRice Industry Facilitiesと総称している。各施設は三つの灌漑区に分散配置され、高速道路網でつながっている。

〈海外研究報告〉 2

アメリカ合衆国における環境保全研究について

雁野 勝宣*

Recent Progress and Prospects on Research for Conservation of Environment
and Sustainable Agriculture in U.S.A

Katsunobu GANNO*

1. はじめに

今春、OECD（経済協力開発機構、本部はパリ）からの資金援助で、アメリカ合衆国における環境保全の研究状況を把握する機会が与えられた。平成8年4月17日から1か月間と短期間ではあったが、合衆国の研究者との意見交換を通じて貴重な経験をしたのでここに概要を報告する。

2. 共同研究の課題とわが国の環境保全研究

今回の共同研究のテーマを「耕うん法が浅層地下水の水質に及ぼす影響」としたこともあり、耕うん法を重点的に取り上げることとした。耕うん法が環境保全に及ぼす影響については、参考文献(1)に報告しているので、参考されたい。筆者は、耕うん法によって肥料溶脱を軽減する技術を開発したが(2)、比較的規模の小さい圃場を対象としていた。従来から保全耕うん法は、一般に、表面流出の水質を改善するのに最も良い方法だとされている。しかし、耕うん法が肥料溶脱や農薬流出に及ぼす影響については、一定の結論は得られていない。それ故、各種耕うん法の環境保全技術としての評価並びに新しい視点からの耕うん法の開発が望まれている。本共同研究では、日米双方の耕うん法を主体とした技術開発についてその現状と今後の発展方向について議論し、意見交換を行った。

3. アメリカ合衆国における環境保全の研究状況

訪問先は、アイオワ州立大学で、アイオワ州の首都デモイン(Des Moines)から車で約40分のAmesという町にあり、伝統のある大学であった。在籍したのは、Dept.of Agricultural and Biosystems

Engineeringで、共同研究者のBaker博士は、化学出身の教授で、土壤中における肥料成分や農薬等の流出、移動について大規模な試験圃場で研究を行っている。学会誌等に発表した論文も数多くあり、アメリカの中でも精力的に活動している研究者の一人である。氏とは、外国文献による動向調査の過程で、その名を知り、今回の訪米の端緒となった。滞米中に、筆者が前任地の九州農業試験場で開発した「畦表面硬化法による硝酸態窒素素脱制御技術」について、セミナーで紹介した(45分)。米国側の評価はよく、発表後には、コスト面ではどう考えているかとか、畦表面硬化作業機の性能はどうかについての質問があった。今回の訪米で得られたことを、以下に示す。

①米国では、いうまでもなく化学物質の飲料水への混入は社会問題であり、古くから研究が行われている。大学農場内の試験圃場に土壤中の硝酸濃度、農薬の濃度等が測定できるように採水装置をとりつけた大型の井戸が随所に設置されていた。

②耕うん法としては、従来のプラウ耕はほとんど行われておらず、現在では保全耕うん法と称されるチゼルプラウ耕が主流である。また、リッジ耕うん法という作物残渣を有効利用する方法も増えてきている。

③今回の訪米で注目すべきことは、米国側も土壤を一部圧縮して肥料の溶脱を防止しようとする研究を展開中である。これは、LCD (Localized Compaction & Dominingの略称) と称されていた。米国側研究者の「畦表面硬化技術」に対する評価を一言で表すなら、これは小区画(小面積)に対応するものであるということであり、LCDは大規模(大面積)に対応できるということであろう。

*東北農業試験場

か。日米双方とも、土壤を圧縮することにより、水の移動を抑制するという考えは共通しており、いかに水の移動を制御できるかということである。新しい視点から耕うん法の見直しや新しい手法の開発が望まれるが、現時点では目立った技術開発はなされていない。

④今回の訪米において、是非とも確認しておきたいことがあった。それは、環境保全に資する耕うん法は果たしてどの耕うん法がよいのか、である。これについては、Baker博士は、ケースバイケースだと言っていた。すなわち、肥料や除草剤散布後に大量の降雨があれば、いずれの耕うん法においても、溶脱が生じる。しかし、保全耕うん法は、土壤侵食には効果的である。米国では、現在問題となっているのは、土壤侵食（エロージョン）と硝酸態窒素溶脱による水質汚染である。もう一つ、特に印象に残ったのは、アイオワ州立大の構内にある国立土壤耕うん研究室(National Soil Tilth Laboratory)を見学した時に、ミミズの研究を大々的にしていることであった。このミミズの役割は、ミミズが化学物質の下層への通り路に関連しているということが言われてたので一層興味深かった。

⑤環境保全研究のあるべき姿を見せられた。すなわち、実規模圃場での研究手法、たとえば、濃度測定のための大井戸掘りと分析方法など。耕地面積がわが国と比較して大規模なため、大型機械による作業が行われる。アイオワ州では、トウモロコシと大豆が作付け面積の大半を占め、化学肥料や農薬施用も多い。なお、化学肥料の施用形態はわが国と比較して異なり、(米国は液肥で、わが国は化成肥料一粒状)，これは聞いたところではコストが低いということらしい。

4. おわりに

滞在中に、ASAE(アメリカ農業工学会)主催の第11回AMC(Agricultural Machinaery Conference, 会場はアイオワ州のCedar Rapids市のホテル)が開催され、2日間参加した。この会議では、プレゼンテーションの仕方やアメリカの環境保全の最新の研究動向を知る上で大変有意義であった。最後に、Baker博士からは公私にわたり

暖かい支援を受けことに感謝したい。

参考文献

- 1) 雁野勝宣：耕土保全・環境保全からみた耕うん法に関する研究動向、III 耕うん法が環境保全に及ぼす影響。農作業研究、28(3):165-171. 1993
- 2) 雁野勝宣ら：畦表面硬化法による硝酸態窒素溶脱制御。農作業研究、29(2):130-136. 1994

〈海外研究報告〉 3

University of California at Davis 滞在記

張 樹槐*

Experiences in University of California at Davis

Shu-Huai ZHANG*

1. はじめに

今年の正月早々から7月中旬までの約6ヶ月間、平成7年度文部省海外研究開発動向調査員として、アメリカ合衆国のCalifornia大学Davis校に滞在する機会に恵まれた。Davisは、アメリカ合衆国の西海岸にあり、California州の州都であるSacramentoや西海岸の有名な商業、観光都市San Franciscoにも近い人口約5万の大学都市である。西海岸は、地理的に太平洋を隔ててアジアに近いこともあろうか、昔から多くのアジア系住民が移り住んでおり、大学にもアジア系の学生が多く、大学によっては全学生数の約40%を占めるところもあるようである。筆者が滞在したDavisでも、キャンパス内で顔立ちや肌色が自分に似た人をよく見かけ、英語が上手に話せない私でも特別に違和感が感じられなかった。また、同時期に北大の川村周三先生や岩大の片岡 崇先生、東京農工大の渋沢 栄先生も同じDepartmentに滞在していたので、なにか日本にいるようで、実に楽しい半年の研究生活であった。

2. University of California at Davis

Davis校は、California大学の九つもあるキャンパスの一つである。学部はEngineering, Letters and Science, Agricultural and Environmental Scienceの三つあり、大学院は一つ、Professional SchoolはLaw, Management, Medicine, Veterinary Medicineの四つである。農業機械分野は工学部にあり、名前もAgricultural Engineeringから数年前にBiological and Agricultural Engineeringという生物色のものに変わった。話によると、やはり入学者の確保や研究補助金の取得の関係で、昔の名前ではちょっと難しくなったようである。今日本の大学でも改組などで、農業機械の名前がほとんど消え、生物生産機械とかのようなものになったのは、アメリカにその源流があるよう気が

がした。

3. Pictiaw CHEN 教授の研究室

筆者がお世話になったのはPictiaw CHEN教授の研究室で、中国、日本、韓国、イスラエル、マレーシアからの数人の外国の研究員がいた。中にはもう数年滞在している人もおり、本当にアメリカが移民の国で、日本のように国際化、国際化と言わなくても自然にそうなっている感じがした。

CHEN教授はタイの華僑で、タイ語や中国語、もちろん英語にも堪能で、研究面でも生活面でもいろいろと親切にして頂いた。筆者がDavisに行く前に先生にどこか安全で良い宿舎がないかと頼んだら、保証金や最初の月の家賃までも立て替えて頂いたほどである。また、先生は関東、関西の大学の先生と付き合いがあり、数回特別講演に来日した経験を持つ。その関係か、筆者の滞在中、生研機構など日本から数人の研究者が海外調査などで先生を訪ねていた。

先生の研究は、主に農産物内部品質の非破壊計測に関するもので、特に最近は核磁気共鳴のNMR画像処理技術による方法で、いろいろな農産物の内部品質評価方法について検討している。筆者も先生の研究室のPost Doctorをしている韓国からの留学生Kimさんと一緒にニンニクの内部品質評価について研究を行った。

4. 学生生活

アメリカの大学は普通九月新学期が始まり、Fall, Winter, Springの三学期で一年学年となっている。Summer Quarterは6月中旬から9月中旬までの夏休みとなっている。その間、各学部主催の特別講義があり、一般市民向けのものが多く、結構高い受講料が取られるようである。

学生の授業に関しては、筆者も幾つかに出席したが、全般的に見て学生の勉学意欲が日本の学生

と比べられないほど高いことに感心した。授業中の質問やその後先生の部屋を訪ねる学生の姿がよく見られ、日本もそうなってほしいなと思った。先生も授業に非常に熱心で、OHPやスライド、時にはビデオまで使って、またいつも事前に授業の進め方、内容について学生に知らせ、終わりにアンケートを実施しその授業の改善に努力しているようである。これは、もちろん先生の考え方や大学の自己評価方法等によるところもあるが、その一因として毎学期学生達が自分で、各先生の授業にランクをつけ、後輩たちの授業選択の基準にしていることも非常に大きいではないか。というのは、学生が集まらない授業が消えてしまう場合もあるようだからである。

学生の授業料に関しては、表1に示すように、日本の国立大学とあまり変わらないが、州立大学のため州外の学生がその約3倍となる。また法律などの専門大学院はもっと高いことが分かる。

表1 1996年春季の授業料一覧

	一般	法律	経営	医学	獣医
California	\$1,290	\$4,398	\$2,804	\$2,590	\$2,465
Non-California	\$3,857	\$8,247	\$5,371	\$5,157	\$5,032

学生の卒業率は表2のように大体15学期、5年かかる。この事からも良く知られているように、アメリカの大学は入るのがやさしいが、卒業するのが難しいことの一端を窺える。

表2 UC Davis学部学生の卒業率

学年	入学者数	卒業率(4年)	卒業率(5年)
1987	3,336	29%	72%
1988	3,417	31%	72%
1989	3,120	34%	68%

また、大学院生もほとんど同じで、単位取得に必死である。というのは、授業の単位がある最低得点以上でないと、学位のための研究を始めることができない仕組みとなっている。この点は日本の研究重視とかなり違って、大学院生と言っても、あくまで学生で、研究者ではないので、幅広く知識の習得に力を入れているようである。

5. 研究活動

Biological and Agricultural Engineeringの名前のとおり、農業機械そのものの研究が年々少くなり、生物や植物の計測、制御に関連するものが多くなった。中には草刈り機の研究で雑草コントロールという植物に引っ掛けたものもあり、なにか時代の流れかなと感じた。

また、農業機械分野は、工学部にあるが、農学部の先生との共同研究や博士課程の学生の共同指導などと、あまり組織に縛れていないのが実情である。現実に筆者がお世話になった先生も、工学部と農学部の両方に所属し、学部学生の授業や大学院のゼミなども両学部で行っている。特に研究の面においては、農学部の先生との共同研究が多いようで、学部学生や大学院生も両方の授業やゼミに自由に参加できる。このことを見て、今現在日本の大学で進められている改組は、なにか所属とかの組織の話ばかりで、各学問分野の壁が段々なくなっている現状で、一番大事な教育研究のためになるかなと感じた時もある。

Davisでは、最近特にFood Engineeringの分野は、学生の就職も良いという関係で、たくさんの大学院生が学んでいた。その中で、ただ一人日本にも数回特別講演で訪れていたUpadhyaya教授が、耕うんや土壤力学などの農業機械らしい研究をしていることに感心した。

筆者が滞在中、Departmentの先生や大学院生、訪問学者による研究紹介のゼミに参加して、一番印象に残った研究といえば、トマト畠の除草ロボット、ホルモン剤による生物防除、NMRによる農産物の内部品質評価に関するものであった。

6. おわりに

約半年のDavis滞在であったが、なにか大学生に戻った気分で、授業やゼミ等に参加し、すこしアメリカの教育、研究システムが分かったような気がする。この貴重な経験を、日本での今後の教育研究活動に活かしていきたいなと思っている。

最後に、Davis滞在中いろいろとお世話になつた方々に感謝を申し上げ、また留守中なにかとご迷惑をかけた無礼をお許し願いたく申し上げます。

〈シンポジウム報告〉

「田んぼや畠ではたらくコンピュータ」

岩渕 和則*

A Symposium Review “*Computer in Agriculture*”

Kazunori IWABUCHI*

本シンポジウムは平成8年8月18日（日）13時より、山形大学農学部第4講義室において、開催された（主催：農業機械学会東北支部、共催：鶴岡市、後援：鶴岡市教育委員会）。当日の参加者は80名で、一般社会人が多数を占め、高校生および大学生はやや少なく、2割程度の参加であった。

このシンポジウムの目的は、大学等における研究成果を平易に解説し、学生や一般の方に学問のおもしろさを知って頂くことにあり、身近な話題として農地管理や収穫にコンピュータがどのような原理で働いているのかを提供した。以下にシンポジウムでの講演および総合討論の概要を記した。

なお本稿では当日のテキストから図表や一部文章を割愛し、また講演部分の表現はすべて敬体に統一した。

【基調講演】農業とコンピュータ

山形大学 上出順一（農業機械学会東北支部長）

ワープロや事務器、インターネットなど、今では、コンピュータは私達の身近なものとなっております。また、エアコン、冷蔵庫、電子レンジなどにもコンピュータが組み込まれ、日常生活のなかでいろいろなところでコンピュータが使われています。農業分野においても、経営計算や情報収集面での利用のほか、温室や各種施設の環境の制御や農業機械の自動化、農業ロボットにいろいろな形でコンピュータが利用されています。コンピュータというと表示装置（ディスプレー）や操作盤（キーボード）の付いたものと思われますが、必ずしもそのような形のものばかりではなく、外からみてコンピュータとわからないものもあります。

I. コンピュータの種類

コンピュータは科学計算を目的として開発されました。機器製造技術（ハードウェア）や利用技術（ソフトウェア）の進歩によって、さまざまな発達をとげ、いろんな種類のコンピュータがいろんなところで利用されています。

(1) スーパーコンピューター：宇宙開発、原子力研究などの複雑な科学計算に利用。

(2) 大型（汎用）コンピューター：事務会計計算、銀行（オンライン処理）、図書館、データ通信などに利用。

(3) オフィスコンピュータ：大型コンピュータと通信回線で接続、端末機として使用。

(4) ミニコンピュータ（制御用）：工場のロボット制御、製造行程管理等。

(5) パーソナルコンピュータ：ワープロ、文書作成、計測、制御等。

(6) ワンボードコンピュータ：エアコン、冷蔵庫、電子レンジ等。

II. コンピュータの機能

コンピュータにはいろんな種類があり、用途も様々ですが、コンピュータの働きをみると人間と似た機能を持っていることがわかります。工場で働くロボットは、人間と同じように決められた仕事を疲れも知らずに夜通してくれ、スーパーコンピュータは膨大で複雑な計算を瞬時にやってくれます。コンピュータは、ある面では人間以上の能力をもっています。いろんなロボットはコンピュータの進歩によって発達しました。人間がロボットに抱いた夢は、自分に代わって仕事をし、自分の言うことを何でもしてくれる召使のようなもの、もう一つは、巨大な力や、自分にない優れた能力を持ったものへの憧れがありました。前者の召使

に当たるものは工場のロボットであり、後者に当たるものは鉄腕アトムです。将来、知能をもった、人間に近いロボットができることでしょうが、ロボットがいかに発達しても人間のような感情をもったコンピュータはできないでしょう。

ところで、人間の行動をみると、目や耳などの五官から入った情報（信号）を頭（脳）で判断（処理）し、その結果、必要な行動をおこなっています。一方、コンピュータの組み込まれたエアコンについてみると、センサーによって室温を計測し、室温が設定温度と同じになるようにヒーターやクーラーを作動させます。このようにコンピュータを組み込んだ機器と人間には、各種センサーと感覚器官、コンピュータと頭脳、アクチュエータと手足のような対応関係があります。

III. 農業機械の自動化

機械が大型化、高速化、複雑化くると、これを長時間運転するのに非常に精神的緊張を続けなければならなりません。運転操作に高度な技能や熟練を必要としないで、誰でもが容易に、しかも安全、確実に使用できる機械が望ましいのです。そのために農業機械や施設にいろんな面で自動化がなされています。自動化の目的は、人間が機械を運転操作して仕事をしていたものを、機械それ自体に人間が行っていたと同じような運転操作をさせようとするものです。自動化は機械を使う人間の負担を少しでも軽減しようとするところに狙いがあります。

自動化の方式として、機械式、油圧式、電気式などがありますが、最近ではマイクロコンピュータや専用ICが制御用に使われています。

IV. コンピュータの農業への利用

(1) 経営管理・経営管理等への利用 市場流通情報、経営計算、会計管理、生産技術情報、気象情報

(2) 農業施設での利用 ○ 植物工場・温室の環境制御と管理（温度、日射、灌水、養液）、乾燥・貯蔵施設での計測、制御（水分、温度、ガス濃度）、選果施設での製品検査（重量、大きさ、色、熟度、内部品質）

(3) 農業用ロボット 産業用ロボットは、工場内の整備された環境の下で規格品を扱うのに対して、

農業用ロボットの場合は、①作業が屋外の過酷な環境条件下で行われ、②対象となる農産物の形や大きさ、色、熟度がバラバラである、③農産物はいたみやすいこと、④圃場内で移動を伴うこと、⑤作業者の技術レベルが低い場合が多いことなどが特徴で、工場で使用されるロボットに比べて利用が困難のものが多いのです。以下に研究開発中のものも含めて、農業用のロボットの一例を示します。

○ トランクタの自律走行 ○ 施肥ロボット ○ 田植ロボット ○ 果樹防除ロボット ○ 収穫ロボット（ぶどう、トマト） ○ 自動乳搾りロボット ○ 接木ロボット
(4) 人工知能・エキスパートシステム

エキスパートシステムは、専門的分野について、問題解決をしたり、助言してくれるシステムです。○栽培管理システム（実施すべき作業の種類及び時期） ○ 施肥量判定システム（追肥の支援） ○ 病害診断システム（病害診断、防除方法の支援） ○ 作付計画支援システム（地域の作付計画、作付による障害発生の診断支援） ○ トランクタ導入決定支援システム（利用形態、作業機、負担面積などから適切なトランクタの選定） ○ コンバイン故障診断システム（トラブル対策方法の支援）

【位置計測】機械が考える自分の位置

北里大学 高野剛

トランクタを無人で走らせる等の「農作業の自動化」が試みられています。農業の生産性を考えると、なるべく低価格な装置で無人化する必要があります。無人作業に必要とされる車両の位置計測の性能は、非常に高いものが求められます。

I. 自動走行に必要な機械

トランクタを無人で走らせるることは、人間の動作（見る、判断する、操作する）を、主に3つの機械（位置を計る、計算、判断する、操作を行う）に行わせることになります。「位置を計る機械」は、人間の目に相当し「コンピュータ」は、頭脳部分に相当します。

II. 位置を計る機械の重要性

仮に、無人トランクタが予定の走行路からはずれて走った場合、コンピュータは、「位置を計る機械」からの情報をもとに計算や状況判断を行って、操

作命令をモータに送り、ハンドルを回します。「位置を計る機械」が正確に位置を検知できなければ、トラクタは、作物を踏みつぶして進んだり、とんでもない方向に暴走してしまうでしょう。トラクタの自動走行では、この「位置を計る機械」が非常に重要な役割を担っています。

III. 位置を計る装置とその方法

機械で位置を計る方法は、作業内容によって様々なものがあります。たとえば果樹園の農薬散布など、いつも走行経路が同じ場合には、軌道（誘導ケーブル）沿って走らせ、走行距離のみ測定すれば良い方法もあります。しかし、ほとんどの農作業の走行経路は、同じとは限りません。主に、以下のような方法と装置で位置の検出が行われています。

1. 画像処理や超音波センサ

人間が行っている位置の検出に近い方法です。これは、カメラで前、側方を撮影し、画像に現れる作物や、牧草の刈り取り部、末刈り取り部を明暗や色で判別する。また超音波センサは、作物や走行のための目印（畦、畝）に向けて放射し、その反射波で対象物までの距離を検出する。どちらも、検出する「位置」は、「対象物からの位置」を意味し、収穫作業などに適した計測方法です。田んぼや畑の中に、目印になるような物がない場合、「田畑の中の自分位置」を検出しなければなりません。その方法について説明します。

2. 外部情報や施設を利用した位置計測

・GPS（全地球的測位システム）

カーナビゲーションシステムや測量の分野で使用されてる装置です。高度約20,000kmを周回する4つ以上のGPS衛星より送られてくる軌道データと時間情報を受信します。それより3次元座標と時間の未知数X, Y, Z, tを4つの方程式に導き、解くことにより求めます。単体で受信する場合の精度は、数十mで、測量用など複数で受信する(DGPS)方式であれば、数cmの精度で検出可能ですが、1千数百万と非常に高価です。

・地磁気方位センサ

地球の北極から南極へ向かって磁力線が分布しています。地磁気センサは、磁力線の向きから車両進行方位を検出する。走行距離と方位で移動位

置が求められます。

・光学式位置センサ

移動車両から光を放射して畠の隅に設置したポール間の角度を検出します。ポール間の距離が分かっていれば、3つのポール間の角度から三角測量(正弦定理、余弦定理)の原理で位置と進行方向を求めるすることができます。

3. 内部情報を利用した位置計測

(車両に搭載したセンサ情報(距離、速度、加速度、角速度)の利用)

微少時間毎に、車両の進行方向と距離を検出し、逐次積算すれば車両の走行軌跡が求められ、位置を算出することができます。

・ジャイロ

車両の角速度(回転方向)を検出するセンサで、航空機やカーナビゲーションにも便用されています。トンネル内などでGPS信号が得られない時でも、ジャイロとタイヤの回転距離より位置を推定することが可能になります。

・左右輪速度差

左右一対の車輪からの距離情報より車両の進行距離と進行方向を推定する。簡単な装置と、簡単な計算式(加減乗除と三角関数)で位置を算出することができます。原理は「まっすぐに走行している時は左右の回転数は同じ。旋回して走行している時は、左右の回転数に差が生じ、その差は旋回の程度に比例する。」というものです。

トラクタの走行軌跡は、直線走行と旋回走行区間に分けられ、微少な時間での旋回の軌跡は、一点を中心とする定常円の弧の一部とみなすことができます。

左右輪間距離(トレッド)は、定数なので、後は左右の車輪の回転数をいかに正確に計測するかが問題になります。トラクタは、作業機をけん引したり、ぬかるんだオフロード地を走ることを考えると、駆動している後輪はスリップすることが予想されます。そこで距離を正確に計るための車輪(測距輪)を使用します。この測距輪に回転数を感知するセンサ(ロータリエンコーダ)を取り付けることで理論上約0.3(mm)の距離まで計ることができます。トラクタに搭載したコンピュータは、センサからの出力信号を0.1(秒)毎に読

みとり、位置計算を行って、瞬時にテレビ画面に、スタート地点からの走行軌跡と現在の位置を出力します。

・レーダドップラ速度計

測距輪は、路面に接触して回転しているので、当然、泥がタイヤに付着したり、路面のくぼみに入ったり、石に乗り上げて、うまく計測できない場合があります。そこで、路面に接触しなくとも距離を計れる「レーダドップラ速度計」というセソサを使用しました。

レーダドップラ速度計の原理：一般的に送信機から電波を発射して、反射されて戻ってくる電波を受信する無線装置のことを「レーダ」と言います。また「ドップラ」は、みなさんが物理で習っているドップラ効果（音源が観測者に向かってくるときは、高い音に、遠ざかるにつれて低い音に聞こえる。）を指しています。レーダ速度計は、地面に向けてある周波数の電磁波を発射します。反射して戻ってきた電磁波の周波数は、レーダ速度計が地面に対して動いていなければ送信周波数と一致します。しかし、速度計が反射波に向かって動いていた場合は高く、また逆の場合は、低い周波数が観測されます。この送信周波数と受信周の差は、速度に比例するので、その差から速度を求めることができます。この速度から積分して位置を求めます。あとは、測距輪と同じ位置計算を行えば良いわけです。レーダ速度計は、地面に接触していないので測距輪のように路面の凹凸や石に乗り上げてしまうなど、直接に影響は受けない長所があります。しかし、トラクタが揺れたり、傾いたりすると、速度計と地面との角度が変化してしまったり、風が強い日などは、なびいた草の影響でうまく速度を計測できない短所もあります。また人間がゆっくり歩くような微速度（0.3（m/s）以下）では、感度が落ちて検出されない時もあります。この速度計を使って、人間がこのトラクタを操縦して走り、どのくらいの誤差で位置を計測できるのか、試験を行いました。実際に走った位置は、光波測距測角儀（測量機器）で計測して、レーダ速度計で計算した位置と比較しました。その結果スタート地点から60（m）程度の走行であれば正確に位置を計測していますが、以後走行

距離が長くなるほど誤差が累積し、約400(m)の走行した地点での誤差は、2~3(m)になってしまいます。コースと速度条件を同一にして複数回走行させても結果は同じにはなりませんでした。実際の農作業に使用する場合、例えば1ha（100m × 100m）の場所での作業走行距離は、約5000(m)以上になります。完全無人走行を前提とすれば、長距離を安定して正確に位置を計測できなければなりません。この条件を満たすためには、まだまだ装置と計算プログラムの改良をしなければなりません。また走行途中でGPSや外部標識等を利用して、累積する位置計測誤差を取り消す方法も考える必要があります。

【走行】自分で考え、自分で走る機械（1）

一作物条間を走る畦間自動走行管理機

北海道農業試験場 大下泰生

I. はじめに

農業分野においても、自動化・省力化のためにコンピュータ制御による農業機械が増えてきており、さらには農作業を無人化・ロボット化するための研究も盛んになっています。コンピュータ制御機械の代表例としては温室の空調装置や米麦の乾燥機があります。しかし、農業の主要な作業である耕うんや収穫作業など、園場で走行し、運転操作を伴う機械は依然として無人化・ロボット化が進んでいません。これには機械コスト・使用環境・対象作業の多様性など農業特有の問題を抱えていることによる、とは言うものの一方では就農者の高齢化や後継者不足など、いやがおうでも作業の自動化や無人化が求められる状況になりつつあります。そのため、園場作業の自動化は今後の重要な課題となるでしょう。

そこで、東北農業試験場では、これから農業機械に要求されるであろう安価で簡易構造のコンピュータ制御による自動化技術を開発することを目的として、作物条間を走行して追肥などの作業を行う「畦間自動走行管理機」を試作しました。ここではその概略を紹介しながら、農業機械に適した自動走行技術を検討します。

II. 自動走行制御方式

自動走行のために必要となる技術は、自分が圃

場のどの位置にいて、どちらの方向に走ればよいかを認識することです。そのためには自己位置検出のための装置、走行方向を調整するためのメカニズム、さらには作物や障害物を検出するためのセンシング装置なども必要となるでしょう。自動走行制御方式にはいくつかの分類方法がありますが、ここではおよそ次の4種に分類しました。

①固定経路方式

この方式には、作業車が走行する経路をあらかじめ決めておき、その経路に誘導ケーブルを埋設し、これに電流を流して磁界を作り、作業車が磁界を検知して走行する方法などがあります。果樹園用防除機などの試験例があります。

②内界情報方式

速度計や加速度計を使用して、車両の走行距離や走行方向を検知して自己位置を求める方法です。航空機の慣性航法などがこの方式を採用しております。ただし、累積誤差を生じるため連続走行する場合には問題があります。地磁気方位センサやGPS（グローバル・ポジショニング・システム、人工衛星による測位システム）を使用して位置や方位の補正を行う方法もあります。

③外界情報方式

外界の各種情報により自己位置を検知する方式であり、人間に例えると視覚・触覚などに相当するセンサ・測定装置を用いる方式です。これに類別される方式には、稲収穫において稲株列を触覚センサで検出し自動操向するコンバインや、トラクタのプラウ耕において光電センサを用いて既耕地と未耕地の境界を検出して自動操向する例などがあります。最近では画像処理技術が発達しており、画像データより作物列を検知し、列に沿って自動走行したり、障害物を検出する手法が数多く研究されています。画像処理は今後大いに期待できる手法ですが、処理時間や識別能力などに問題があり、実用化されるまでには今少しの時間を要するでしょう。

④外部標識方式

圃場端などに特定の標識を立て、これにより車両の自己位置を検知し走行方向を調整する方式で、光（レーザー等を含む）、電波、音波などを媒体として標識までの距離と角度から三角測量の原理

で位置検出を行います。GPSもこの類型に含まれると、測定精度やコストの面で最も実用化の可能性が高いと考えられます。

III. 自動走行制御技術の一例（畦間自動走行管理機）

1. 試作機の概要

圃場における自動走行技術の開発を試みた一例として、作物列を検出して追肥などの管理作業を行なう畦間自動走行管理機があります。試作機は6輪式の小型管理機で、制御部、検出部、走行部および電源部で構成されております。制御部はシングルボードコンピュータ（Z80CPU）を中心に、入力ボード、A/D変換ボード、走行用DCモータ駆動用ドライバボード、出力ボードにより構成されます。検出部には作物、障害物等をセンシングするために各種センサを使用しました。走行部は片側の各車輪が同一回転で駆動されるスキッドステアリング方式で、左右各1個のDCモータの回転方向、回転速度差により前進、後進、旋回を行なう。電源には走行用DCモータへの給電用に蓄電池、コンピュータ・センサ等への給電用に携帯用発電機を搭載しています。

2. 走行制御方法

①畦間走行

試作機の走行制御方式は先の分類法では外界情報方式に相当し、左右の作物列をガイドとして走行し、作物列に接近しきると走行方向を修正し、常に条間の中央を走行するよう方向制御を行ないます。作物列の検出にはマイクロスイッチと超音波式近接スイッチを用いました。マイクロスイッチは構造が簡単で、作物に接触することにより確実に検出できますが、雑草等にも反応する問題があります。超音波式近接スイッチは作物列や障害物を非接触で検出するために取り付けました。検出範囲はセンサ前方20~30cmです。検出性能を調査した結果、超音波放射方向に対し垂直な平面（4×4cm以上）は検出可能ですが、細い茎や超音波放射方向に対して傾斜している葉については検出精度が低下しました。

②枕地旋回

枕地での旋回角度検出のために地磁気方位センサを使用しました。使用した地磁気方位センサは

フラックスゲイト式磁力計で、直行するXおよびY軸の2軸方向に磁力計が取り付けられており、それぞれの検出方向における磁界強度に比例した電圧を出力します。

試作機は機体側方に取り付けられた作物検出用マイクロスイッチにより、畦間で作物が存在する時にはスイッチがONとなり、枕地にて作物が無くなりスイッチが連続してOFFの状態になることにより終端を検出します。枕地では機体を超信地旋回（左右車輪を逆回転させて1点旋回させる方法）させながら地磁気方位センサの出力電圧を検出し、電圧の変化から機体が90度回転したと認識したときに回転を停止し、作物列の直角方向に1条分の長さだけ直進し、さらに機体を90度回転させて次の条間に向かって走行します。

③走行パターン

作物条間を走行するパターンとして3方式を想定しました。（A）は基本的な走行方式で、1条毎に条間を走行する方式です。（B）は機体の両側の作物に同時に作業を行う場合を想定し、1条おきに条間を走行し、作業時間の短縮を図った走行方式です。（C）は機体片方の作物に対して作業を行なう場合を想定した走行方式で、例えば機体右側に作業装置が装着されている場合は1行程目では第1列目の作物に対して作業を行い、枕地で180° 旋回し、同じ条間を引き返し2列目の作物に対して作業を行い、3行程目は1条間飛び越し、3列目の作物に対して作業を行う方式です。

④光電スイッチおよび反射盤による走行方式

試作機は外界情報方式に加えて、外部標識方式による走行制御も可能で、主に簡易マルチ栽培圃場における薬剤散布作業を想定したものです。試作機の走行・停止・旋回等の制御は、畦の四隅に設置した反射盤および機体に取り付けた光電センサを利用して行います。

3. 走行試験結果

畦間走行では、マイクロスイッチによりグラスポールを確実に検出し、検出後の方向修正は円滑に行われました。枕地旋回では、制御角度に若干のズレを生じ、枕地横移動時の走行方向が条方向に対して直角方向に正確に制御されませんでした。これは地磁気方位センサの測定誤差や駆動装置の

チェン・ギヤ等の遊びによるものと考えられます。しかし、多少進行方向にズレを生じても確実に条間に進行することができ、試作機の制御方式の实用性が確認されました。

簡易マルチ栽培圃場において光電スイッチおよび反射盤による走行試験でも概ね良好な走行性能が得られました。ただし、光電センサの検出距離は最大1m程度であり、反射盤を確実に検出するためには、検出時の光電センサと反射板との距離をできるだけ短くする必要がありました。

VII. 終わりに

試作した畦間自動走行管理機は簡易なセンサや制御機構ながら良好な畦間走行・枕地旋回を行うことが可能で、トウモロコシの追肥や大豆の防除作業に使用することができました。

しかし、作業試験の結果、いくつかの問題点も摘出された。例をあげれば、①軟弱な圃場や凹凸の激しい圃場では走行不可能なこと。②機体、特に電装品に防水対策を施していないため、雨天や作物に露が付着している時には作業走行不可能なこと。③マイクロスイッチによる検出方法では作物と雑草の判別ができないため、大きな雑草が繁茂している場合、マイクロスイッチが作物と雑草の両方に反応して迷走してしまうこと。④連続作業は蓄電池容量から2時間程度であること。また、作業速度は0.2m/sと極めて遅いこと、等です。

これらの問題は本機が試作機であり、十分な基本性能を有していないことが原因ですが、見方を変えれば農業特有の使用環境により生じているものも多いと思います。

【走 行】自分で考え、自分で走る機械（2）

—無人で畑を耕す自動走行トラクター—

秋田県立農業短期大学 嶋田 浩

I. はじめに

“自分で考え、自分で走る機械”として、私たちが研究のために試作した『自動走行トラクタによる耕うん作業の無人化』システムを紹介します。ほ場内での自分の位置を測定し、その位置情報により無人走行して、畑を耕うんするトラクタです。この自動走行トラクタは、（1）人間が与えた考え方や手順に従って、（2）種々の外界／内界情

報を取り込み、(3) 様々な計算を行い、その結果を評価し、(4) 種々の装置をコントロールし、(5) 目的とする耕うん作業を行います。これら一連の仕事を司るのがコンピュータです。一見すると複雑そうなシステムですが、機能毎に分かれた部分を一つ一つ取上げて、自動走行トラクタの仕組みや全体をまとめているコンピュータの役割を簡単に述べていきます。

II. 自動走行トラクタの考え方

1. ロータリティラーによる耕うん作業

主要な農作業の一つに耕うん作業があります。これは土壤を作物栽培に適した状態にするため、耕起、反転、攪拌、碎土する作業です。一般にロータリ耕うんは、折り返し走行による塗りつぶし作業になります。人間の場合、(1) 作業者自身の経験／知識／技量／対象作物／ほ場の形状を考慮して、(2) 耕うんする深さ／碎土の程度／枕地の長さ／走行速度／経路を決め（経路／作業計画）、(3) 直進を維持しつつロータリの上げ下げや舵取り（操舵／作業機制御）を行います。さらに(4) 作業状況を確認し、(5) かつ不測の事態にも対応しなければなりません。人間は非常に高度な情報処理を瞬時に行ないながら作業しているのです。また、ほ場作業の他にも、作業機の装着と点検／調整、車庫－ほ場間の移動という仕事があります。

2. どこまでコンピュータに任せるのか

残念ながら私たちのシステムは全行程を自動化している分けではありません。「車庫－ほ場間の移動」や「経路／作業計画」、「作業状況の判定」については高度な判断／情報処理が必要であり、解決しなければならない課題が山積しています。“特定ほ場における作業”のみを無人化／自動化しました。従って、ここで紹介する『自分で考え、自分で走る機械』とは、「人間が監視するほ場において、無人でロータリ耕うんを行う、測位機能を持った自動走行トラクタ」のことです。その基本的な考え方は以下のようになります。

- (1) 人が予め経路／作業計画を作る。
- (2) 三角測量の原理に基づく位置センサーでほ場内における自車両の位置を測る（測位）。
- (3) 位置情報を用いてトラクタの操舵を無人

化／自動化する。

(4) 経路／作業情報と位置情報を照らし合わせて作業を行う。

(5) 経路／作業情報の記憶、測位、情報の照合／判断、操舵／作業機制御はプログラムにより搭載したコンピュータに行わせる。

例えるなら、1)自分達の位置を測る人、2)位置情報と与えられた作業手順を確認しながら運転と耕うんをする人が、分担して仕事をします。しかも運転操作する人は周囲を見ることができません。従って、如何にして精度と安定度の高い位置情報が得られるかが重要になります。

III. 自動走行トラクタのシステム構成

1. システムの概要

いろいろな要素がありますが、基本的なものは、1)メインコンピュータ、2)測位装置、3)走行・操舵制御装置、4)作業機制御装置だけです。2)～4)の各装置がメインコンピュータと各種インターフェースを介して情報のやりとりを行います。各装置には様々なセンサが取付けてあり、レバー位置／走行速度／エンジン回転数／作業機位置などの情報が得られ、トラクタの状態を知ることができます。種々の状態量を各種センサで測定し、それを基に様々な制御を行っているのです。

2. 測位装置

測位装置は近赤外線式位置センサと反射ポールで構成されます。測位方法は次のようにになります。

- (1) その位置関係が既知であるほ場の4隅に光を回帰反射するポールを立てます。(2) 1本のポールを原点とするX-Y座標系を作ります。
- (3) トラクタ上に固定した位置センサから順次360度回転する一条の近赤外線を投光します。
- (4) ポール表面で反射した光が戻ってきた時の角度をポール方位として測定します。

(5) 4つのポール方位およびポール座標値を基に、三角測量の原理で（三角形の成立条件を利用して）トラクタのXY座標値と走行方位を計算します。

(6) メインコンピュータにデータを送ります。実は使用した位置センサも独立した専用コンピュータであり、(3)～(6)の事項を処理しています。その測位周期はおよそ0.5秒になります。

3. 走行・操舵制御装置

本システムでは左右操舵レバーの位置をコントロールして走行・操舵制御を実現しています。クローラ型トラクタの操舵方式はスキッドステアリングと言い、左右のクローラに速度差を与えて舵取りを行います。速度差がゼロならば直進し、左のクローラが速ければ右に旋回します。

3.1 操舵レバーの位置制御装置

本装置では、左右のクローラと連動している操舵レバーをただ単にDCモータで動かしているだけです。スイッチをONになるとモータが回転してレバーが移動します。目標位置で止めます。戻すときは+/-を切り換えるだけです。前進／後退はレバーを前後に、左旋回は右、右旋回は左のレバーをより大きく動かすだけです。リレーと言う電気部品を使って、この一連の動作をメインコンピュータでコントロールしています。

3.2 操舵レバー操作量の決め方

装置としては単純なのですが、これをどのように操作するかが問題となります。何らかの理由により目標作業ラインからトラクタがズレた場合、運転者はどうするでしょうか。横方向のズレと方位のズレ（ここでは位置偏差／方位偏差と呼ぶことにします）の程度によりレバーを操作しています。位置偏差と方位偏差が大きければ操舵量も大きくしなければなりません。各偏差が小さければレバー操作も少なくてよいはずです。このように考え、人間の感覚と同じようにその操舵量を決めることにしました。ファジー理論（ここでは詳述しません）を応用すれば何とかなりそうです。直進走行中は、経路／作業情報と測位情報から各偏差を算出してファジー推論を行い、左右操舵レバーの操作量を具体的に決めます。その操作量に従って前述のDCモータを駆動し、適正な位置までレバーを動かします。

4. 作業機制御装置

使用したトラクタには、3点リンクヒッチの昇降、動力取出し軸（PTOと略します）の回転／停止をコントロールする回路が標準で装備されています。そこでそれらの信号線を調べ、リレーを介してコンピュータで制御できるように改良しました。経路／作業計画に従って、指定された位置

でPTOの回転／停止やロータリティマーの上げ／下げを制御します。

IV. 自動ロータリ耕うん作業アルゴリズム

アルゴリズムとは『問題を解決するために明確に定義された規則や手順の集まりであり、それを実行することにより目的達成が可能となるもの』を言います。そのアルゴリズムに従った命令や手順を、コンピュータが理解できる形式にして人間が予め与えるものをプログラムと言います。IIIで述べたそれぞれの制御回路／機器を意味のある一連の動きとしてうまくコントロールし、結果として“ロータリ耕うん作業”とするためには経路／作業計画に基づくデータとプログラムが必要です。

1. 経路／作業データ

経路計画に際しては、トラクタの走行パターンを直進／定状円旋回／その場旋回に限定します。また、直進作業／枕時旋回／単なる移動の区間に分けて作業計画を立てます。折返し走行による塗りつぶし作業を考えましょう。第1区間は直進作業、第2区間は一定半径による枕地旋回、第3区間は直進作業・・・と繰返すことにより1枚のは場を仕上げます。では、測位情報を基に無人で作業させるためにはどのようなデータが必要でしょうか。私たちは次のように考えました。

- (1) 区間毎の始点と終点のX Y 座標値と目標方位（走行・操舵制御の基礎情報）
- (2) その区間での走行パターン（直進か、旋回か）
- (3) 作業機の昇降情報（但し、下げる程度＝耕深は人間が予め設定しておく）
- (4) PTO回転／停止情報（作業機を下げる、回転とすれば、耕うん中となります）

これらを1単位とする制御データを人間が全行程分用意し、プログラム中に符号化して予め与えました。

2. 自動作業アルゴリズム

反射ポールを利用する位置センサは平坦な場で使用され、その測位誤差は累積することはありません。また、ロータリ掛けは直進作業であることを考え合わせると、作業機昇降点の不揃いは枕地処理で済むので、作業方向の制御誤差よりも横方向と方位のズレによる作業精度の低下が問題であると考えました。従って、各作業開始点における

る横方向の位置偏差と方位偏差の確認／修正に重点をおくアルゴリズムとしました。

- 1)有人運転により第1作業区間の始点に移動して一旦停止します。2)プログラムを実行して自動作業モードに移行します。この時人間はトラクタから下車します。3)位置センサを初期化し、経路／作業データを読み込み、無人で作業を開始します。
- 4)各直進区間の始点における位置偏差修正は、枕地内での後退→前進の切替えし走行により目標作業ラインに近づけます。5)また方位偏差が大きいと判断した場合は、その場旋回（クローラを等速かつ左右逆回転させることにより、その場での方向転換が可能）で方位偏差修正を行います。6)直進作業では、”各始点からの走行距離により作業機の昇降やPTOの回転／停止位置を判断して”ロータリ掛けを行います。7)次の作業開始点へは一定半径の旋回により移動します。8)作業計画に基づいて所定の行程数だけ作業します。9)作業終了後は有人運転では場外へ移動します。

V. 自動ロータリ耕うん作業結果と課題

今まで述べてきたシステムによる走行試験を行いました。実作業幅2.0[m]で直進作業区間長40[m]×6行程および枕地部分を、走行距離約380[m]でおおよそ5.5[a]の耕うん作業を25分程度で仕上げました。この時の走行速度は約0.5[m/sec]ですが、作業時間の半分程度は枕地での旋回と位置／方位偏差の修正に費やしました。その仕上がり具合は”運転操作の未熟な初心者”程度と言ったところです。作業軌跡の目標ラインに対する横方向の位置偏差が±10[cm]内と比較的良好な結果もありましたが、気温／雲量／太陽高度等によって周囲の条件が変化すると使用した位置センサの測定精度が悪くなり、最大で±50cm程度蛇行した例もありました。ベテランオペレータのようなスムーズな運転操作や作業の仕上がり具合にするためには、位置センサの改良を行って測位精度を改善したり、自動作業アルゴリズムの見直しをする必要があります。

また、表題には”自分で考え、自分で走る機械”とあります、私たちのシステムでは単に位置情報と経路／作業情報を照合するだけで、本来的な意味での”自分で考え”ながら走る機械ではありません。

せん。「どういう経路で作業しようか」、「障害物はないか」、「うまく耕うんしているか」など、経路計画、危険／障害物回避、結果判定等の問題は未解決です。

【収 穫】自分で考え、自分でリンゴをとる機械

弘前大学 張 樹槐

I. はじめに

リンゴ生産における農作業は、大きく分けると春の剪定から、摘花、受粉、摘果、薬剤散布、袋かけ、除袋、収穫までと多岐にわたっています。この中で、収穫作業は最も厳しい労働で、その作業時間は10アールあたり約100時間と、全作業時間の約4割を占めています。しかも、リンゴ生産における作業は、スピードスプレーヤによる薬剤散布以外は、ほとんど人手に頼っているのが現状です。このような情勢に加えて、外国産リンゴの輸入解禁などの自由化が急速に進展したことから、産地間・果実間の競争が国内はもちろん、国際的レベルでも激化しており、さらには農業従事者の高齢化や労働力不足などが深刻化している現在、低コスト・高品質な果実生産を実現するためには、わい化栽培に代表される新しい栽培技術による省力化を一層進めることはもちろんの事、その関連農作業の機械化・自動化は不可欠な課題であります。しかし、農業における自動化機械は、一般産業で用いられる機械とは異なり、その使用環境、対象物は多種多様で、その機械の開発には数々の難しい問題を抱えております。例えば、リンゴの場合、品種によってその形状や色調が異なったり、リンゴ園においては自然光や茎葉などの影響によって、取るべきリンゴはどこにあるのかを検出することさえ非常に難しいという状況があります。そこで私たちは、果樹園作業用自動化機械の開発を最終目的とし、まず最初のステップとして、リンゴが木のどこにあるのかを検出する方法を確立するためにこの研究を開始しました。

II. リンゴの検出

木になっているリンゴがどこにあるのかを検出する方法としては、だれでもまず我々の目のような機械（センサー）で識別する方法を思いつくでしょう。私の研究もこれに似た小型のCCDカメ

ラというものを利用しています。ただし、ビデオカメラは対象物を映すだけで、対象物が何で、どこにあるのかまでは教えてくれません。このため、コンピュータ技術をフルに活用する画像処理という手法を用います。

1. 色を利用する方法

リンゴの色といえば、まず赤を想像するでしょう。リンゴの品種によっては緑色に近いものもありますが、栽培されている品種の中では赤い色のものが最も多く、その代表的な品種としては、「ふじ」や「つがる」があります。一方、木の葉は緑色ですので、最も一般的なリンゴの検出方法としては、果実と葉の色の違いを利用するものが挙げられます。

物の色は三原色（赤Red、緑Green、青Blue）によって構成されております。すなわち、独立した三種類の色の割合を変えて、組み合わせるだけで、すべての色を作り出す事ができます。これはビデオカメラやCCDカメラのようなセンサーも例外ではありません。CCDカメラなどで撮影された画像は、ある機械を通れば赤、緑、青に分かれられ、さらにコンピュータでも扱える「数字」に変換されます。この機械は画像処理ボードと呼ばれ、赤、緑、青の三色のそれぞれの色の強さ（濃度）を8ビット（0から255までの数字）の値に変換してくれます。我々はこの0～255の数字を見ると、どの部分は赤が強く、どの部分は緑が強いのか等がわかります。この数字の大きさやその分布によって、撮影された画像において、どの部分がリンゴ（赤）なのか、どの部分が葉（緑）なのかがコンピュータにも区別できることになります。

実際の計算処理は、もうちょっと複雑です。例えば赤、緑、青の三色の濃度が0～255段階に分かれていますが、これはあくまで画面の中のわざかに一点（画面は点の集まりです）における値に過ぎません。1画面の点の数が横640点×縦480点だとしたら、1画面のデータの大きさは $3 \times 256 \times 640 \times 480 = 235,929,600$ ビット ≈ 1 MB（メガバイト）になります。ビデオカメラの画像信号は1秒間30画面ですから、1秒間のデータを蓄積して解析するには約30 MB近いメモリが必要となります。これでは、普通のコンピュータでは仕事量

が多くて短時間では対応しきれないので、一般的には画像を処理する前に、0～255段階に分かれている濃度階調を、ある値（しきい値と呼ぶ）で0か1かの2段階にしてしまいます。すなわち濃淡のある綺麗な画像をまったくの白黒の画像にしてしまいます。この操作を2値化といいますが、そのしきい値の選び方にはテクニックが必要であり、普通自分が欲しい情報とそれ以外のものが区別できるように選択します。リンゴの場合、リンゴの部分を残し、それ以外の葉や枝などを除去すればリンゴの検出ができるようになります。ただし、リンゴの品種や樹上のリンゴの場所、太陽光の影響、有袋と無袋のものなどの違いによってその色が微妙に変わるので、先に述べたしきい値の選択は実はそう簡単ではありません。

2. 形状を利用する方法

前述した色を利用する方法は、画像処理のアルゴリズム（コンピュータが行う手順）が簡単で、しかも処理速度が速いという利点がある反面、野外のような多様な自然環境に対応し難いという欠点を持っています。例えば、逆光の条件で撮影された画像については、しきい値の設定は順光の場合と異なる数字を選択しなければなりません。しかし、我々人間は夜間の光がほとんどない場合でもどこがリンゴで、どこが葉なのかを区別できます。このことは我々人間がリンゴを識別する場合、色もさることながら、その形状をも非常に重要な要因にしていることが理解されます。そこで画像処理のパターン認識技術によるリンゴの検出に関する研究を試みました。

この研究では、リンゴの形状が一般に球形なので、その輪郭画像が円形になることを利用してリンゴを探そうというものです。具体的にはリンゴのエッジ（端）情報を含む2値化画像の中から円形に最も近い部分を探し出し、それをリンゴであると判定するものです。

まず人間の目のような役割をもつ撮影装置のビデオカメラ、画像信号をパソコンが処理できる数字に変換する画像入出力ボード、画像解析用のパソコン用コンピュータの3部分で構成されています。果樹画像入力は、上述の装置を利用してリンゴ園で数種の光条件のもとに果樹を録画したのち、研

究室へ持ち帰り再生してパソコンに取り込みました。取得した果樹画像はパソコンの表示装置の仕様を考慮し、 640×480 の8ビットディジタルRGB画像のそれぞれ1画面としました。ただし供試りんごの品種及び画像処理時間等も考慮して、RGB画像中のR情報(赤い画面)のみを使用しました。

りんごの検出アルゴリズムは、まず画像入出力ボードにより果樹のビデオ画像から原画像を取得し、その原画像に対し平滑化(線を滑らかにする)及びエッジ抽出(輪郭をとらえる)処理によってりんごの輪郭線を2値画像として抽出しました。次にりんごの検出は統計解析の分散値計算により、得られたりんごの輪郭線がどの程度円形に近いかによって行いました。その結果次のことが分かりました。

- 1) 平滑化及びエッジ抽出処理によって明瞭なりんごの輪郭線を含む2値画像が得られました。
- 2) ふじと王林の異なる2品種について、りんごの検出実験を行った結果、2品種ともりんごを認識することができ、果実の色の違いによる影響は認められませんでした。
- 3) 果樹園での撮影条件として順光、逆光、葉陰の影響を調査した結果、今回作成したアルゴリズムでは光条件にかかわらずりんごの輪郭線が約80%以上得られていれば、果樹のビデオ画像の中からりんごを検出できました。
- 4) りんご果実の大部分が葉の中に隠れている場合、また数個が重なっていて個々の輪郭線抽出ができない場合、りんご検出は困難でした。

そのほかには処理時間の長い事例も見られ、これらの対策については今後検討していく予定です。

3. 赤外線カメラを利用する方法

赤外線というのは、もちろん電磁波の仲間で、しかし発見されたのはその熱効果によるところから熱線ともいわれてきました。その波長はおよそ0.75μm～1mmで、その中で、0.75～2.5μmの部分は近赤外線、2.5～25μmの部分は中赤外線(普通赤外といふ)、25μm以上の部分は遠赤外線と呼ばれています。面白いことに世の中に存在するすべての物体は、その温度の大きさに応じ特定の波長の赤外線を放射します。その波長の大きさや分布はプランク・ウィーンの法則によって求めることが

できます。つまり、ある物体の放射する赤外線の強さ(振幅)や波長を測定すれば、逆にそのものの温度が分かります。これは、皆さんも良く見るサーモグラフィーの基本原理です。

すべての生物や植物が呼吸しており、りんごの木の場合も例外ではありません。特にその葉は、光合成作用によりエネルギーを取り入れ、木全体の成長に欠かせないものです。その一方、葉から水分の蒸散も生じます。この水分の蒸散は、葉と果実では異なるので、その間に温度差が存在すると考えられます。そこで、赤外線カメラで、りんごの木を撮影して得られたサーモグラフィーによって、果実と葉を区別できないかと試みました。その結果、りんごと葉の間に温度差が存在します。この温度差は人間が一目で分かるように色で表現されています。その色の違いにより、今までの画像処理の技術を使えば、簡単にりんごと葉を区別することができました。特にCCDカメラが使えない夜間の場合でも、はっきりと識別することができました。

4. その他の方法

前述した3つの方法以外には、果実と葉などの反射分光特性を利用する研究も行われています。これは、近赤外線領域における果実と葉の反射率の違いを利用するもので、ミニトマトやブトウ、キュウリ等の収穫ロボットに応用されています。これを利用するためには、特定な波長の近赤外線を透過させるフィルタが必要となります。

III. おわりに

実際の収穫作業となると、さらに考慮しなければならない問題があります。例えば、画面上でりんごの位置が分かっていても、それがカメラからどれだけ離れた木にあるのかという三次元的な位置が計測できないと、収穫ロボットはどこに行けばいいのかはわかりません。この問題を解決するために、現在我々の研究室では2台のCCDカメラでのステレオ法計測による位置計測を試みています。

【環境情報】作物環境・作物情報をパソコンで見る

I. パソコンで見る作物環境・作物情報とは

「作物の環境」とは気温や日照時間などの天気や土の栄養や水の温度や量などをいいます。また「作物の情報」とは作物がどれぐらい大きくなつたか、良く育っているか、病気にかかっていないか、あるいはいつ実がなるかなどを指します。

きょうは、パソコンという便利な道具を用いてこれら情報をいろいろ計算したり、図表に表して農業生産に役立てるためにどんな仕組みが考えられていて、現在どんなところまで進んでいるのかについて紹介します。「作物の環境」とか「作物の情報」の一番身近なものは、農家の人が田んぼや畠を見回ってわかる土の乾き具合や作物の育ち具合などですが、ここでは個々の農家の田んぼや畠のことだけではなく、もう少し広い範囲（県内とか市町村内）の作物の環境や作物の情報を扱うことも考えています。もう少し具体的に理解していただくために、農業生産が毎年どのように行なわれているかを簡単に述べてみます。

(1) 地域の全体的な計画を考える——「過去の環境や作物の情報を利用する」どんな作物をどこで栽培すればいいか、他の作物と作業的に競合しないか、何をどれぐらい生産するか、いつ、どこへ販売するかを考える。

(2) 個々の農家が地域全体の計画を参考にして栽培計画を考えるどんな作物をどこにどれぐらい栽培すればもうかるかなどを考え、必要な種や機械や材料を準備する。「過去と現在の情報から予測する」

(3) 栽培計画を実行し、全体の栽培状況（環境、作物）を知り、対策を立てる時期が来たら田んぼや畠を耕し、気温などを考えて種を播き、苗を移植する。作物が大きくなると、育ち具合は良いか、肥料は十分か、あるいは病気や害虫におかされていないかを観察し、必要なら肥料や薬や水を与えて育ちを助けてやる。さらにいつ実がつくか、あるいはつかせた方が良いかなどを考え可能な調節をして収穫する。「今の状況（環境・作物）を知り、対策を立てる」

つまり、現在の農業は市町村などの広い地域単位の計画等があって、それに基づいて個々の農家が作物栽培を行なつてることになります。また、

栽培後も個々の農家だけではなく全体の状況（環境と作物の）を知りながらいろいろ対策をたてることが求められていると言えます。そのためには、作物の環境や栽培方法などはもちろんですが、その他の地域全体のさまざまな情報をもコンピュータに蓄えて、それらを基に推定とか予測とかを行ない、農家の人が考える時の資料を提供する仕組（システム）が必要となります。

現在、試されているものの多くは下記の(1), (2), (3)です。これらの仕組（システム）を研究することは、将来、無人で田んぼや畠を監視するシステム（圃場モニタリングシステム）が完成した場合それらの情報を受入れて農業生産に役立たせるための準備でもあります。

- (1) 栽培適地を探す
- (2) 作物環境・作物情報を知る
- (3) 分析して必要な対策を立てる

II. 地域の情報をコンピュータで扱う方法「メッシュ情報システム」

1. メッシュ情報ってなに

メッシュとは「網目」のことです。テレビの天気予報で全国の温度や雨の様子が地図の上に色で表示されますが、あれがメッシュ情報の代表例です。日本全国を一定の網目状に区分して、その1つ1つのさまざまな情報（たとえば温度など）をコンピュータに蓄えて表示していることになります。網目の大きさによって、経度1度、緯度40分毎に区分した1次メッシュ（約80km四方）、1次メッシュを縦横8等分した2次メッシュ（約10km四方）、さらに縦横10等分した3次メッシュ（約1km四方）のほか3次メッシュをさらに細かく区分した250mメッシュ等が利用されています。網目が細かいほどコンピュータが扱う情報の数が多くなります。ちなみに私の住む秋田県は、東西104、南北197の約2万個の1kmメッシュの集りで、250m区画の場合はその16倍の32万ものメッシュ数になります。

2. どんなメッシュ情報があるか

日本では国土地理院が、1kmメッシュ内の平均標高、最大・最低標高、起伏量、傾斜量、表層地質、地形、土壤などの地理的な情報のほか、そのメッシュが水田、畠、果樹園なのか、沼、河川

なのかといった土地利用情報など多くのメッシュ情報を整備してありますので必要に応じて利用できます。また、気象庁などでは日本の月別や半旬ごとの平均気温、最高・最低気温、降水量、日照などのメッシュ情報を整備していますし、民間の気象会社や県が独自に毎日の気温や日照のメッシュ情報をパソコン通信などで農家へ伝えています。さらに、最近は市町村を250m～50mメッシュに細かく区分し、詳しい地形や地質、あるいは人口などの情報や地震対策などの防災情報を蓄えて利用するようになります。また、これらの基礎的な情報を組み合わせてさらに有益なメッシュ情報を工夫することもあります。農業分野においてもたとえば降水量と地形の組み合わせから農業機械作業の危さや作業可能な日の程度を推定したり、細かい標高データから霜の降りやすさの度合いをメッシュ化することなども試みられています。これらは広い意味での作物が生育する環境に関係した情報と言えます。

III. 作物の環境情報・作物情報を利用した農業情報システム

1. 地域の農業環境情報を知りたい

私たちが開発に関係した秋田県の農業情報システムには以下のメッシュ情報が含まれています。

- 1) メッシュ識別情報
- 2) 地理・地形メッシュ情報
- 3) 地質・土壌情報
- 4) 土地利用情報
- 5) 気象関係
- 6) 集落農業生産力指標
- 7) その他（必要に応じて利用者が作成可能なシステムが付属しています）

2. 野菜の栽培適地を見つけ出したい

1) 適地選定システムの概要

前の項では、作物の栽培環境などに関する基礎的な情報を利用する仕組みについて述べました。ここでは、それらを利用しながら特定の作物（野菜を考える）の栽培適地を探す時にいろいろな観点で資料を提供するシステムについて紹介します。

2) 野菜栽培適地の考え方

何を基準に適地を選ぶかは重要なポイントですが、稲の場合は穂が出てから実が完熟（登熟）する

までの積算気温、障害不稔の条件、イモチ発生条件など比較的はっきりしています。しかし、野菜の場合は作型が多いのに加えて稲のように広い範囲で共通して利用できる栽培上の目安がはっきりしていません。そこで、たとえば次のような考え方で試してみました。

ある野菜について栽培の盛んな産地があるとします（例えれば、能代のねぎ）。その産地の作り方を参考にして、栽培に必要な期間の積算温度を過去の気象データから求め、それをもとに気温メッシュ情報を用いて他のメッシュの収穫日を推定します。さらに、その収穫日当たりの市場の有利性を判断して評価します。もう一つ、野菜栽培で重要な「抽だい」（花芽がつく）の危険性を特定時期の気温メッシュより評価し、両者を合せて評価します。また必要に応じて土壌の条件などによる評価を追加することもできますし、そのまま検討材料とすることもできます。

3) 具体的な選定手順例

(1) 最初に作物情報を準備する

露地移植ねぎ栽培（作型）を例とすると、ねぎ栽培の盛んな能代地方の作り方を参考とします。

過去の気温データより播種～移植（4月中旬～7月上旬）の積算気温、移植～収穫（7月上旬～10月下旬）の積算温度を予め求めます。ここではいずれも0度基準としてあります。これを作物情報ファイルに下記のように記入しておきます。この情報は必ずしも能代の値にこだわる必要はありません。栽培に関する知識のある人がこれに少し上乗せしたり、減らして試してみることも可能です。また、育苗をハウスで行うとした場合は、さらに数値を減らすこともできます。

(2) 市場情報を準備する

いつなら市場で高く売れるのかといった評価指數を、市場の単価、あるいは単価×出荷量などのデータとして蓄えておきます。

(3) 積算気温から収穫日と市場評価を推定する

システムに組込まれた全県平年平均気温メッシュをもとに、各メッシュ毎に必要な積算気温に達する日を探し、収穫日の推定メッシュを作り、さらに市場情報をもとに市場評価メッシュを作ります。

(4) 抽だい危険度を推定する

次に抽だいの危険度を推定します。ネギの場合には苗が小さい時に低温に合うと抽だい（花芽がつく）の危険があることから作物情報ファイルには予め播種後何日当たりに低温にあったら具合が悪いかの日数（検索日）と、どの温度ならだめ（限界温度）なのかも書込んでおきます。もちろん何回か試しが必要ですが、結果はたとえば5点満点で評価して0点は危険がなく5点が最も危険と扱います。

（5）結果を総合評価する

このシステムでは、野菜適地総合評価を次の式で求めて適地の程度をランクづけします。総合評価=市場評価（10点満点）- 抽だい危険度（5点満点），ただし、これらの点数や式は今後試しながら直して行く必要があると考えています。

（6）他の要因を加えて評価する。

気象的な面で適地であっても、土壤の面からみて都合の悪いところがあるかもしれません。また、非常に交通の便が悪かったり、そこに農業で頑張る農家がないかもしれません。

3. いつ稲の穂が出るか知りたい

1) どうしたら穂の出る時期がわかるか

稲が生育する過程を予想することは簡単ではありませんが、世界中でいろいろ研究されています。その一つに稲の「発育速度」という概念をもとに生育を予想する考え方があります^{4,5)}。簡単に説明しますが、芽が出た時の状態を0（ゼロ）とし、穂が出た時の状態を1と考える（発育を指標化する=発育指数）。0から1に至る間の発育度合いを計算式で表すために、実際の稲をたくさん調査して計算式に必要な値（変数）を求めます。たとえば次のような式が提案されています。

$$(1) \text{発育速度} = a(T-b)$$

$$(2) \text{発育速度} = aT + bL + c$$

$$(3) \text{発育速度} = a(T-b)(L-c)$$

ここで、Tは日平均気温、Lは日長時間（可照時間）です。つまり稲の発育を温度と日の長さで表すことになります。実際の稲を調査してどの式が一番あっているかを調べます。農業試験場で「あきたこまち」など数品種について調べたところ、どの式でも2日ぐらいの誤差で予想できることがわかりました。実際は、毎日の発育速度を必要な期間全部足し算をして（積算）合計が1にな

るようになります。

ここまで解ると、次は先ほどのメッシュ情報（毎日の平均気温）を用いて各メッシュごとの計算を行ない穂の出る時期を予想します。ただし、2万個のメッシュがあれば2万回の計算することになります。また場所によって田植の時期が異なるので予め田植日をメッシュ情報として蓄えておくことになります。

IV. 将来の無人監視システム（圃場モニタリングシステム）はどんなもの。

将来農家の人がたんぱに行かなくても、稲の様子や水の管理ができるようになるためには、次のページのような自動的に田んぼを監視する装置が必要となります。この装置に求められる働きは次のように考えられています。

（1）作物の環境を測定する

気象関係（気温、湿度、風向風速、日照、日射量、降水量）

土壤関係（地温、肥料分、水分、硬さ）用水関係（水温、水深、蒸発量、流量、地下水位）

（2）作物の状態を調べる

生育状況（草丈、茎数、根の張り、葉数、葉面積、葉色）

病害虫（病気の兆候、害虫の発生状況、鳥害）

（3）情報を遠くへ伝える

無線伝送（1つの圃場内の伝送、多数の圃場からの伝送）

有線伝送（画像も含めた伝送）

（4）情報を分析して伝える

分析関係（生育予測、施肥計算、防除警報、収穫予測）

伝達関係（作図、作表、メッシュ化）

今のところ、実現可能なものは（1）の気象関係と土壤、用水関係の一部分のみです。（2）の作物の生育状況を自動的に測定する方法はほとんど未解決で、実際は農家の人や普及所の人が田んぼへ出かけて測定しています。たとえば、稲の生育状況は草丈や茎の数が大事な目安ですが、1株程度は計る方法があっても1枚の田んぼで何ヶ所か測定する工夫が不可欠ですし、葉の色などを含めて作物をテレビカメラのようなもので測定するにしても、晴れの日、曇りの日、雨の日、朝と夕

方で写りが変るので簡単ではありません。（3）については最近のコンピュータ技術が進歩したお陰で解決の見とおしはありますが問題はコストです。（4）については作物、土壤肥料、病理などの専門家がいろいろ研究をしていますが、コンピュータで利用できる計算式などを明らかにすることが必要です。

総合討論では、主なものをあげると
【農業用ロボットのメーカーとの共同研究状況は？】
『開発がかなり進んでいる機械もあり、市場に出回っている物、ほぼ実用的なところまで来ている物もある。しかし農業用ロボットは使用する条件が厳しい等開発が困難な面もあり、共同研究はそれほど多くはない。』

【農業用ロボット開発の意図は？】『労力軽減が第一である。しかし全自動を目指している機械と半自動を目指している機械がある。やはり作物を作っている人が収穫の喜びを感じられるようになければ、作物生産の意欲が沸かないだろう。一方では、夜間に人が寝ている間に仕事ができる等さらなる夢がもてるような機械もあるだろう。』等があった。特に農業用ロボット開発の意図に関しては、討論のほとんどがこれに費やされ、様々な意見が出された。上述したのは意見のまとめである。農業用ロボット開発には一種の思想が大切で、工業製品とは異なり、収穫の喜びを生産者から奪わないロボットも必要であるとの結論に至った。ロボット研究の新たな課題であろう。

シンポジウム終了後にアンケートを回収し、有意義なシンポジウムだったかどうか、内容の理解し易さ、講師の話し方等を回答して頂いた。講演にカラーOHPやビデオ、カラー液晶プロジェクターを使用したこともあり、内容の理解に関しては、多くの方から良く理解できたとの回答を頂き、また講師の話し方も聞き易く理解し易かったという意見が多数であり、好評であった。しかし、中には「中学生には無理な内容である」、「テキストには分かり易いものと、そうでないものもあった」という指摘もあった。再度読み返してみると専門用語に解説が十分加えられていない箇所や、やや高度な内容の部分もあり、配慮が十行き渡っ

ていないところがあった。次回のシンポジウム企画の際にはテキスト作成に十分時間をとる必要があることを留めておく。

最後に本シンポジウムは鶴岡市および平成8年度文部省科学研究費補助金研究成果公開促進費研究成果公開発表（B）の援助を受けた。ここに記して謝意を表する次第である。

また、シンポジウムの企画会議に御協力頂きました岩手大学農学部西山教授、そして快く講師を引き受け頂き、迅速な対応でバックアップをしていただいた「東北若手の会」のメンバーに心より感謝する次第である。

