

平成20年度
生研センター研究報告会

平成21年3月5日

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
生物系特定産業技術研究支援センター
農業機械化研究所

平成20年度 生研センター研究報告会

1. 開催日時 平成21年3月5日(木)
2. 場 所 ラフレさいたま 3F「櫻ホール」
(さいたま市中央区新都心3-2 TEL: 048-601-1111(代))
3. 日 程
 - 1) 開 会 10:00
 - 2) 挨 拶 10:00~10:10
 - (1) (独) 農業・食品産業技術総合研究機構
 - (2) 農林水産省
 - 3) 情勢報告 10:10~10:40
 - (1) 農林水産省生産局
 - (2) 農林水産省農林水産技術会議事務局
 - 4) 生研センターの研究内容 10:40~12:20
 - ① 基礎技術研究部
 - ② 生産システム研究部
 - ③ 園芸工学研究部
 - ④ 畜産工学研究部
 - ⑤ 評価試験部・特別研究チーム(安全)
 - ⑥ 特別研究チーム(ドリフト)
 - ⑦ 特別研究チーム(ロボット)

《 昼 食 》
 - 5) 研究報告 13:20~17:20
 - ① 高精度畑用中耕除草機の開発
 - ② ドリフトの簡易測定・評価法
 - ③ コンバインにおける湿材適応性拡大に関する研究

《 休 憩 》

 - ④ イチゴ収穫ロボットの開発
 - ⑤ イチゴの高密植移動栽培装置の開発
 - ⑥ 堆肥原料の簡易な通気抵抗測定技術の開発
 - ⑦ バイオディーゼル燃料適用時のトラクタ性能
 - 6) 総合討議 17:20~17:50
 - 7) 閉 会 17:50

目 次

1. 高精度畑用中耕除草機の開発	1
2. ドリフトの簡易測定・評価法	13
3. コンバインにおける湿材適応性拡大に関する研究	27
4. イチゴ収穫ロボットの開発	39
5. イチゴの高密植移動栽培装置の開発	47
6. 堆肥原料の簡易な通気抵抗測定技術の開発	57
7. バイオディーゼル燃料適用時のトラクタ性能	67

高精度畑用中耕除草機の開発

基礎技術研究部 後藤隆志、手島司、藤井幸人、大西正洋
長澤教夫、小倉昭男（現退職）

共同研究実施会社 井関農機(株)、小橋工業(株)

はじめに	2
1. 開発目標	2
2. 開発機の構造と作用	2
3. 開発機の性能	3
1) 作業能率試験	3
2) 所要動力・燃料消費量試験	3
3) 作業精度・栽培試験	4
4) モニタ試験	9
4. 試験結果の概要	10
5. 開発機の効果と利用上の留意点	11
1) 開発機の効果	11
2) 開発機利用上の留意点	11
おわりに	12
参考文献	12

はじめに

大豆の中耕培土は、除草、土壌通気性の確保、倒伏防止等の目的で広く行われており¹⁾、つめを逆転させたロータリ式中耕除草機（以下「従来機」）により土を飛ばす方法（以下「R」）や、つめを正転させた同機の後方に培土板を取付けて土を作物側に寄せる方法（以下「R+m」）が一般的である。梅雨期中耕培土を行う地域も多いが、これらの方法により水分の高い土壌条件下で作業すると、ロータリづめで土を練り付け土壌物理性を悪化させる。そのため、土壌水分の高い状態が長く続くとその間は作業できず²⁾、雑草が繁茂してしまうことがある。また、受託作業の増加等により高能率化が要望されているが、従来機の作業速度は0.5~0.8m/s程度と遅い。

そこで、これらの問題の改善をねらい、2対のディスクを前後に設けて中耕除草及び培土を行う中耕除草機（以下「開発機」または「D」）を開発したので、報告する。

1. 開発目標

以下を開発目標として設定した。

- ① 湿潤な土壌条件下でも、土を練らず、株元まで精度良く培土できる機械とする。
- ② 従来機より高速作業が可能な機械とする。

2. 開発機の構造と作用

開発機の平面図と側面図を図1に、外観を図2に示す。開発機は、前後に設けられた1対のディスクが作物条間を通過する際に土壌反力により回転し、土を横に反転移動させることにより中耕除草及び培土を行う。トラクタ用と乗用管理機用があり、外周に切欠きのないディスクを前列に、切欠き付きの花形ディスクを後列に取付けている。条間、作業速度及び土壌条件に応じ、前・後列ディスクの角度や後列ディスクの横方向取付け位置を変更でき、土が硬い時に作用させるチゼルを有している。

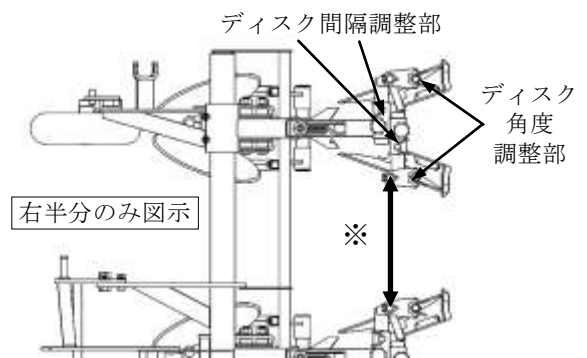


図1 開発機の2平面（トラクタ用3号機）



図2 開発機の外観（左：トラクタ用2号機、右：乗用管理機用2号機）

培土量の変更は、後列ディスクの角度や間隔の調整（図1）により行い、後列ディスクの取付け角度の変更により、作物が小さい時でも作業できる（図3）³⁾。

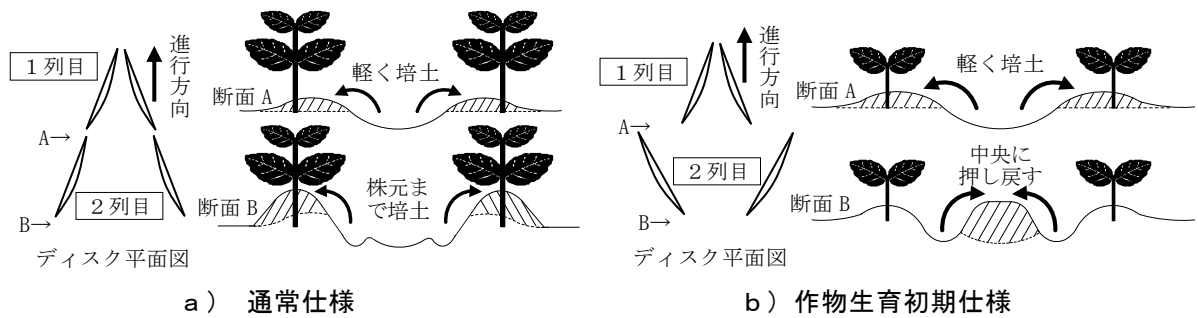


図3 ディスク配列とディスク通過後のほ場断面

3. 開発機の性能

1) 作業能率試験

(1) 試験方法

長辺 72m の小麦跡 7 年目転換畑（土性 SiC）と長辺 198m の水稻跡初年目転換畑（土性 SL-CL）において、作業能率試験を行った。表 1 に供試ほ場の条件を示す。

(2) 試験結果

開発機は、1.0~1.4m/s 程度の高速作業が可能であった。開発機のほ場作業量は 72~95a/h であり、0.5~0.6m/s で作業した従来機の 1.7~1.9 倍であった（表 1）。

表 1 作業能率試験の条件と結果

供試機		乗用管理機用		トラクタ用					
		D	R	D	R	D	R	D	R+m
条件	作土の土性	SiC		SiC		SL-CL		SL-CL	
	作土の液性指数	0.30		0.11		-0.12		0.39	
	作物条間 (cm)	70		70		73		73	
	ほ場長辺 (m)	72	72	72	72	198	198	198	198
結果	作業面積 (a)	18	18	18	18	17	17	17	17
	作業速度 (m/s)	1.39	0.62	1.19	0.60	1.30	0.64	0.97	0.54
	ほ場作業量 (a/h)	79	41	72	41	95	50	73	42
	ほ場作業効率 ¹⁾ (%)	75	88	80	91	90	95	92	96

1) ほ場内全作業時間に対する培土作業時間の割合

2) 所要動力・燃料消費量試験

(1) 試験方法

ロータリ耕後の大豆跡 2 年目転換畑（土性：L、作土の液性指数 0.58←黒ボク土が混入しているため、見た目の性状に比べ液性指数が高い）において、トラクタの機関回転速度を 1,900rpm に合わせて作業速度を 3 段階に変え、従来機（R）を対照機として所要動力と燃料消費量を測定した。所要動力はトラクタの機関回転速度と排出ガス温度から機関動力を推定する方法⁴⁾により、燃料消費量は容積式の流量センサにより測定した。

(2) 試験結果

開発機の中耕断面積あたり所要動力は、作業速度が半分程度の従来機とほぼ同じであった。また、作業速度 1.1m/s 時の開発機の中耕体積あたり燃料消費量は、作業速度 0.5m/s 時の従来機の 43%、0.8m/s 時の従来機の 56%であった（図 4）。

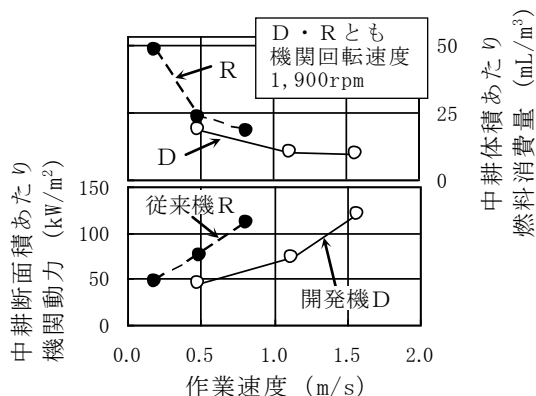


図 4 所要動力と燃料消費量の測定結果

3) 作業精度・栽培試験

(1) 試験方法

通常仕様（図 3 a）の開発機（予備試作機、1号機、2号機）と従来機を供試し、4年間に渡り延べ 14 箇所の大豆（条間 70~75cm）栽培ほ場において延べ 28 回試験し、作業精度、雑草量、土壌物理性、品質収量等を測定した（表 2）。設定作業速度は、開発機 1.2m/s、従来機 0.65m/s とした。従来機の 1 回目は R のみで、2 回目は R+m と R で作業した（下記「④雑草防除性能」以降の「R+m 区」は、1 回目が R、2 回目が R+m、「R 区」は 2 回とも R で作業）。土壌条件欄に下線を引いた試験は、湿潤な土壌条件で行った。

表 2 作業精度試験の供試ほ場条件、大豆品種と作業日

場所	年度	ほ場	土性	大豆品種	は種日	1回目作業		2回目作業		雑草採取日	土壌調査日	収穫日
						日	土壌条件(液性指数)	日	土壌条件(液性指数)			
秋田	06	水稻跡1年目転換畑	SL-CL	リュウホウ	6/2	6/21	<u>湿潤(0.48)</u>	7/10	<u>過湿(0.73)</u>	8/3	10/11	10/11
	07	大豆跡2年目転換畑			5/27	6/26	中庸(0.42)	7/11	中庸(0.33)	8/2	8/2	10/10
	08	水稻跡1年目転換畑			5/31	7/3	乾燥(-0.12)	7/16	<u>湿潤(0.39)</u>	8/26	8/26	10/7
新潟	05	大豆跡2年目転換畑	LiC	エンレイ	6/1	6/30	<u>過湿(0.46)</u>	7/14	<u>湿潤(0.43)</u>	9/27	-	10/11
	06	大豆跡3年目転換畑			5/31	6/29	乾燥(0.05)	7/31	<u>過湿(0.46)</u>	9/21	10/5	10/5
	07	大豆跡4年目転換畑			5/24	6/20	中庸(0.34)	7/4	<u>過湿(0.53)</u>	9/20	10/10	10/10
	08	大豆跡5年目転換畑			5/23	6/19	乾燥(-0.34)	6/30	中庸(0.34)	9/24	9/24	10/3
	05	スーダングラス跡	CL		6/1	6/30	中庸(0.17)	7/13	中庸(0.14)	9/27	-	10/11
	06	普通畑			6/1	6/29	乾燥(-0.13)	7/31	中庸(0.08)	9/22	10/5	10/5
07	普通畑	5/25		6/20	乾燥(-0.10)	7/4	中庸(0.23)	9/21	10/11	10/11		
埼玉	05	小麦跡1年目転換畑	L	6/28	7/21	<u>湿潤(0.35)</u>	8/4	乾燥(-0.23)	10/2	-	10/28	
	07	小麦跡7年目転換畑	SiC	6/30	7/25	中庸(0.15)	8/7	乾燥(-0.03)	9/18	9/18	11/13	
	08	小麦跡8年目転換畑		7/6	7/23	乾燥(-0.19)	8/5	中庸(0.24)	9/2	9/10	11/4	

(2) 試験結果

① 作業状況

開発機は、作業速度や土壌条件等に応じ、前・後列ディスクの角度や後列ディスクの横方向位置を適切に調節することにより、従来機と同様な畝断面形状の培土作業を円滑に行うことが可能であった。初期の試作機においては、1 対の左右ディスクの前後位置をずらせていたため、機体に作用する横方向の土壌反力のバランスが崩れ、ディスクの通過位置が左右にずれることがあったが、この問題は、ディスクを左右対称に取付けることで解決した。

湿潤な土壌条件においては、従来機ではロータリづめによる土の練り付けや培土板による土の圧縮が起こった（図5中・右）が、開発機では土の練り付けが少なかった（図5左）。また同条件下の中でも特に軟弱なほ場では、開発機、従来機ともに、トラクタや乗用管理機の進行低下率が15～35%程度になることがあり、このような条件では、けん引抵抗の増大を防ぐため、耕深が深くなりすぎないように注意する必要がある。



図5 湿潤な土壌における開発機(左)と従来機(中：R+m、右：R)の作業状況（2006年秋田）

② 砕土性能

湿潤土壌条件下でも開発機（D）は土の練り付けや圧縮が少なく、同条件下での開発機の砕土性能は、Rと比べると同程度であった（図6右）が、R+mより良好であった（図6左、図7）。湿潤でない土壌条件下での開発機の砕土性能は、R+mより良好であった（図6左）が、Rに比べると劣った（図6右）。

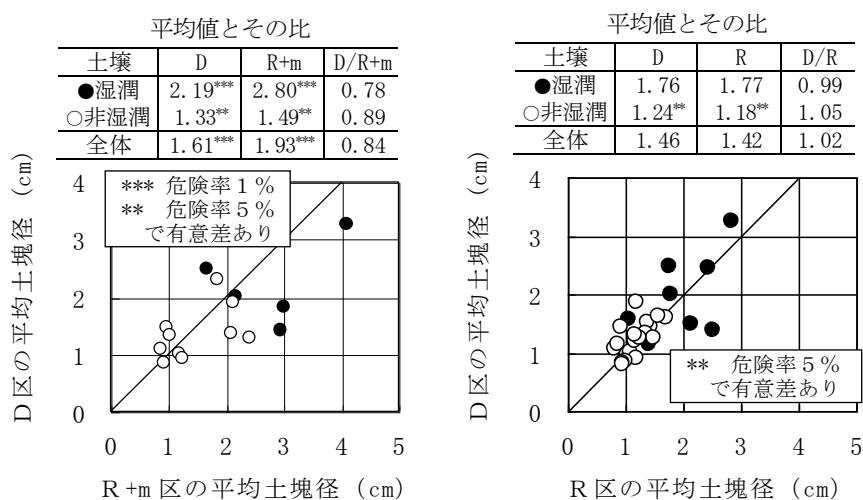


図6 表層の砕土状態



図7 開発機(左)と従来機(中・右：R+m)で砕土状態の差が大きかった例（2005年新潟転換畑）

③ 培土性能

開発機 (D) は湿潤土壌条件下でも土移動を円滑に行うことができ、D 区の培土成功率 (株元まで培土されている進行方向距離の割合) は、R+m 区に比べやや高い傾向があった (図 8 左)。D 区と R 区の培土成功率は、同程度であった (図 8 右)。

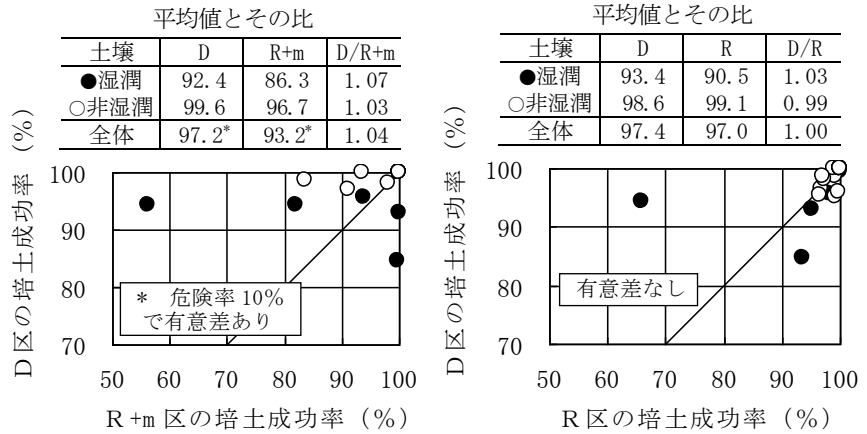


図 8 培土成功率

④ 雑草防除性能

14 ほ場全体における開発機区 (D 区) の条間の雑草 (収穫前 2 カ月～1 週間に調査) は、R+m 区に比べ乾物重で約 50%、本数で約 35%、R 区に比べ乾物重で約 30%、本数で約 45% 少なかった (図 9、図 10)。

条間の雑草は、湿潤土壌で作業した場合に、従来機区との差が大きい傾向があった。

14 ほ場全体における D 区の株間の雑草は、R+m 区に比べ乾物重で約 40%、本数で約 45%、R 区に比べ乾物重で約 45%、本数で約 55% 少なかった (図 11、図 12)。

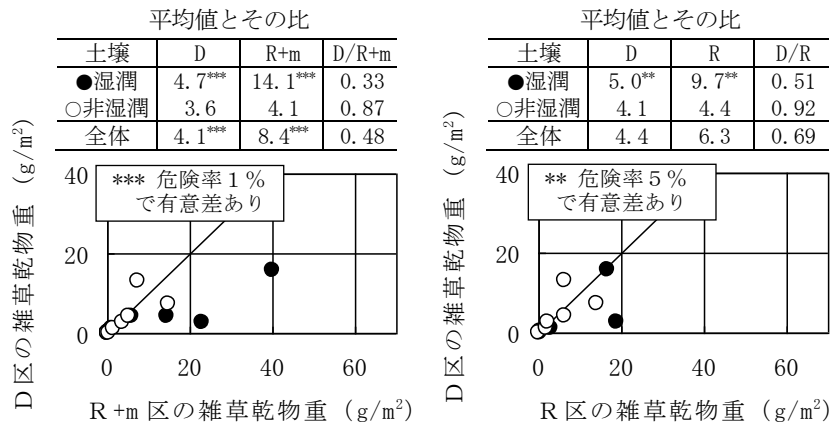


図 9 条間の雑草乾物重

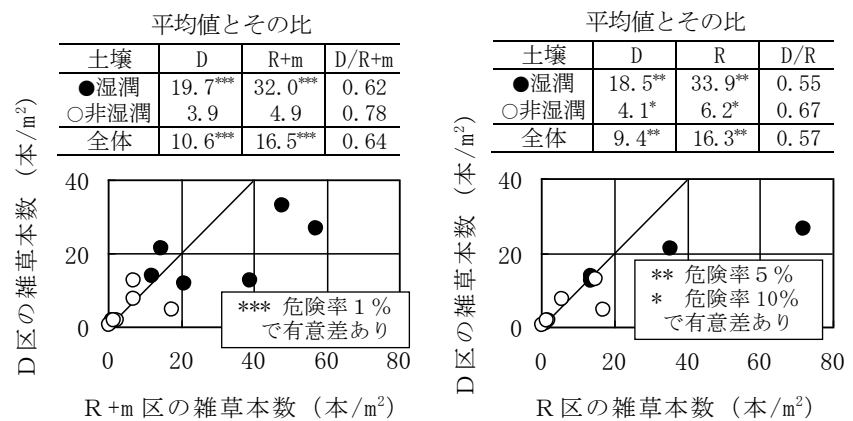


図 10 条間の雑草本数

開発機の除草性能が高かったのは、従来機では雑草と土壌を混和するのに対し、開発機では土壌を反転し雑草を埋没させる作用が強いためではないかと思われる。

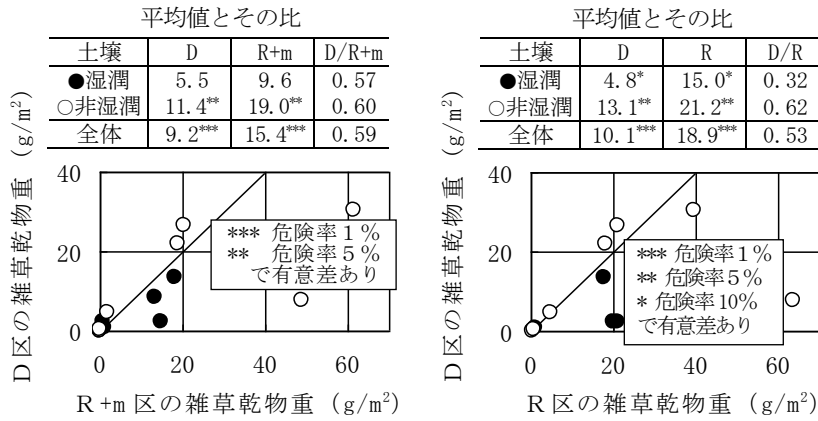


図 11 株間の雑草乾物重



a) 開発機区 (D区)

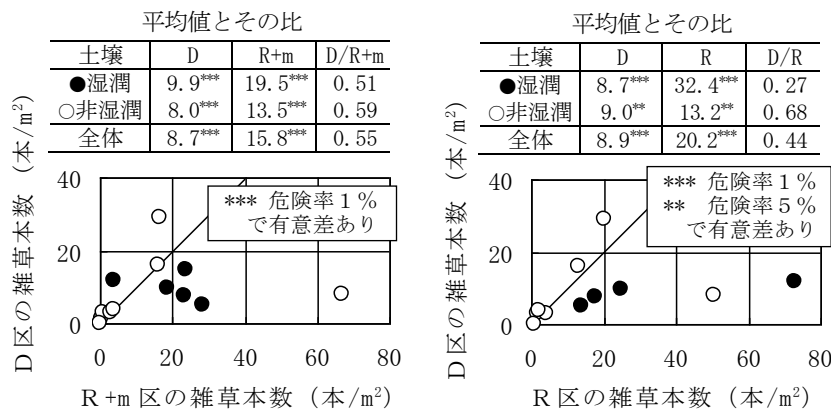


図 12 株間の雑草本数



b) 従来機区 (R+m区)

図 13 雑草量の差が大きかった例 (2005年新潟転換畑)

⑤ 土壌物理性

湿潤土壌条件下で作業した場合、開発機区 (D区) の収穫前約2ヵ月から収穫直前の土壌は、R+m区に比べ、比較的膨軟で過乾燥にならない状態 (R+m区より固相率が5%低く、矩形板沈下量が35%大きく、含水比が10%高い。) が保たれていた (図 14 左~図 16 左)。土壌が湿潤でない条件で作業した時の固相率と土壌含水比は、D区とR+m区で差がなかった。

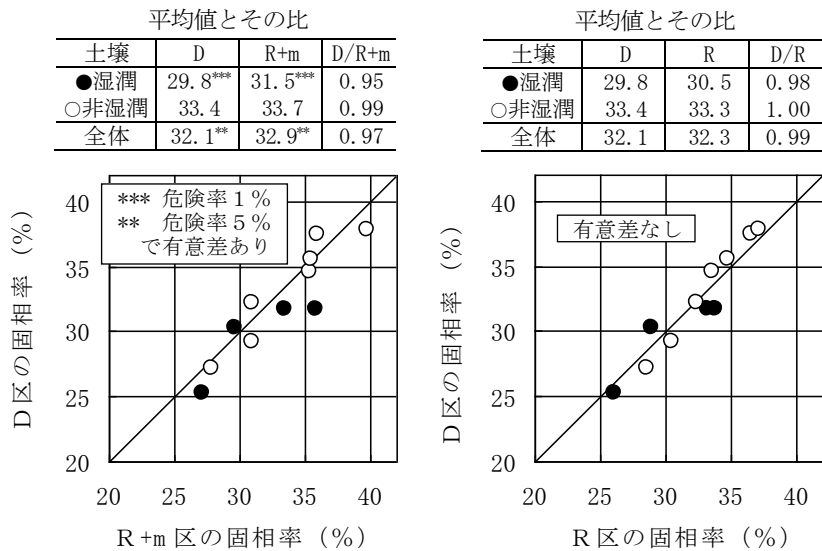


図 14 収穫前の畝表層 (深さ 0~5cm) 土壌の固相率

湿潤土壌条件下で作業した場合、開発機区（D区）の土壌は、R区に比べても、比較的軟らかな状態（R区より矩形板沈下量が17%大きい。）が保たれていた（図15右）。

⑥ 大豆の品質

湿潤土壌条件下で作業した場合、開発機区（D区）の大豆は、R+m区に比べ被害粒数率が約20%低く（図17左）、大粒重率が約10%高かった（図18左）。

被害粒の中で多かったのは、しわ粒数率（R+m区全体で約8%）、未熟粒数率（同約5%）、虫害粒数率（同約5%）であった。湿潤土壌条件下で作業した場合、R+m区に比べD区の未熟粒数率は約45%、虫害粒数率は約25%少なかったが、しわ粒数率は5%少ない程度で有意差はなかった。

⑦ 大豆の収量

湿潤土壌条件下で作業した場合、開発機区（D区）の大豆収量（子実重-被害粒重）は、

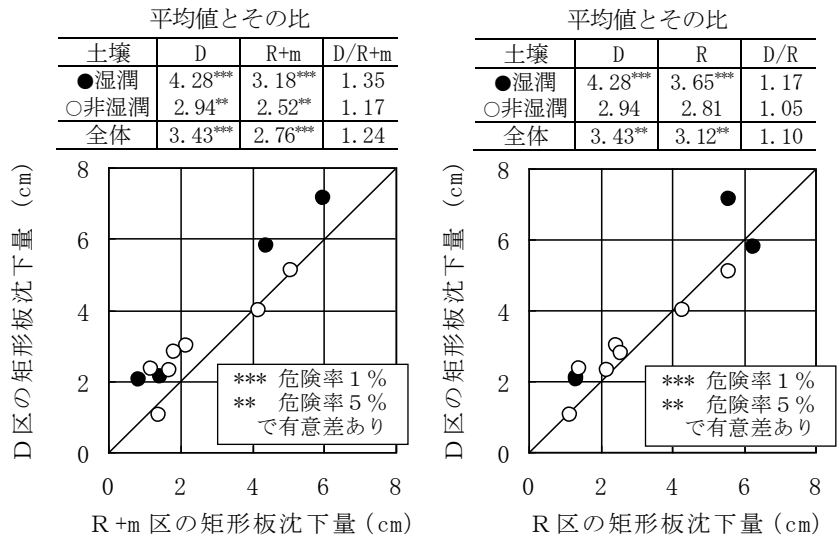


図15 収穫前の畝表層土壌の矩形板（5×10cm・荷重500N）沈下量

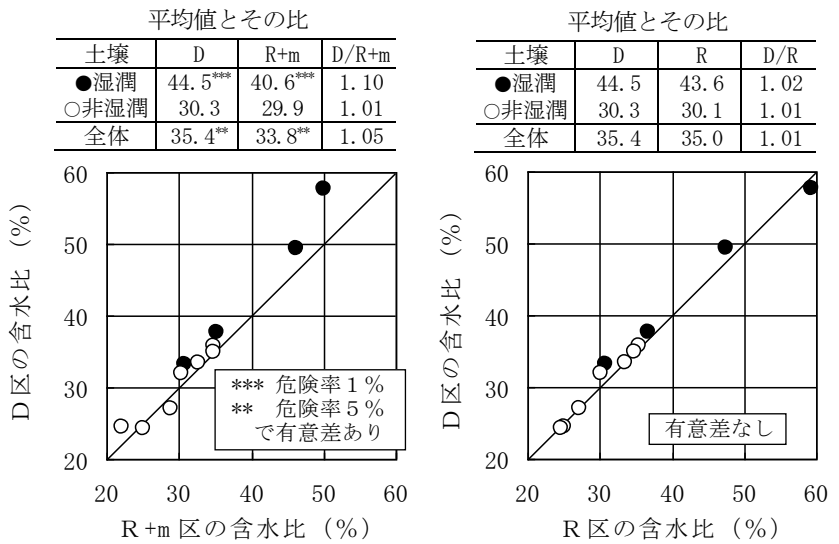


図16 収穫前の畝表層（深さ0~5cm）土壌の含水比

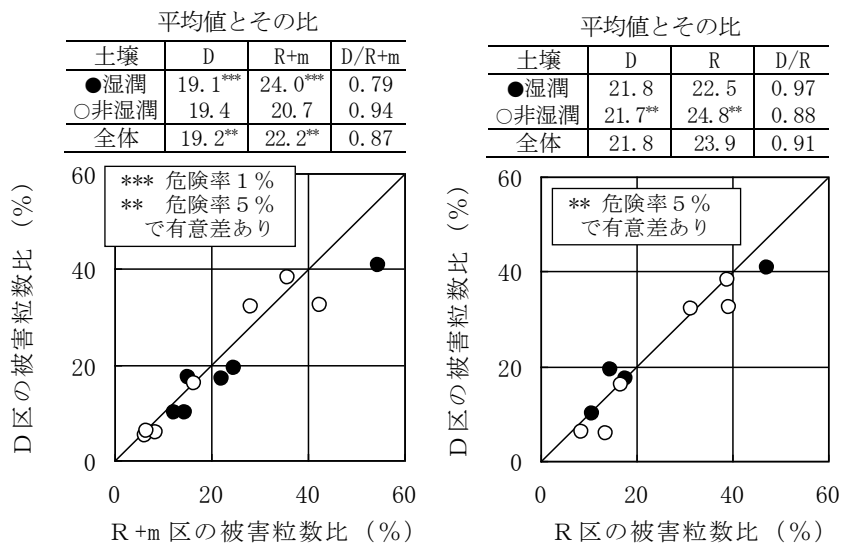


図17 大豆の被害粒数率

R+m 区に比べ約 15%多かった (図 19 左)。これは、湿潤な土壌条件下で作業しても、開発機は土を練り付けたり圧縮したりすることが少なく、砕土も比較的良好であるため、前述したように、土壌が比較的膨軟で過乾燥になりにくい(毛管水の上昇が妨げられにくい)状態であったためと思われる。

土壌が湿潤でない状態で作業した時の D 区の大豆収量は、R+m 区と同程度であった (図 19 左)。

また、R 区に比べ、D 区の大豆収量は 4%多かった (図 19 右) が、有意差はなかった。

4) モニタ試験

(1) 試験方法

2007 年及び 2008 年の 2 年間、秋田県 (潟上市、井川町)、岩手県 (花巻市)、宮城県 (大崎市)、新潟県 (長岡市、新潟市、上越市)、埼玉県 (熊谷市)、福岡県 (中間市、岡垣町、遠賀町) の大豆生産組合、大規模農家等を対象にモニタ試験を行い、作業終了後に、所定の設問と自由回答欄を設けたアンケート

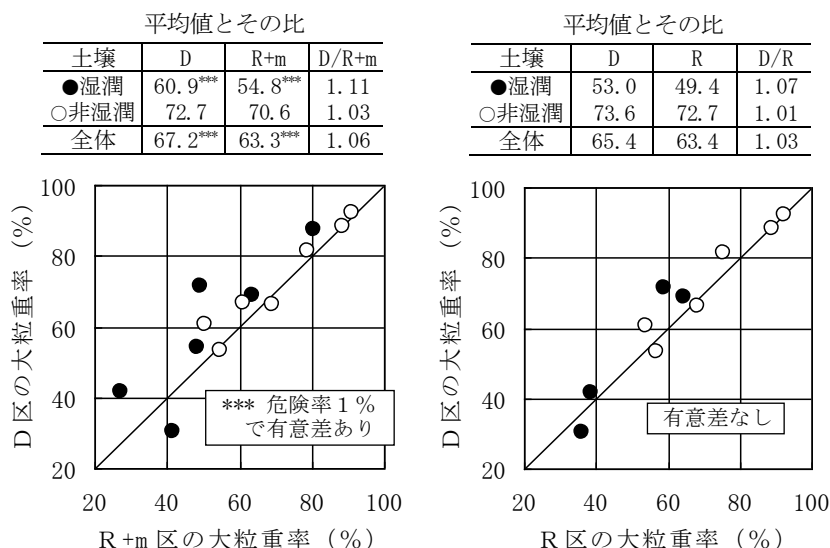


図 18 大豆の大粒重率

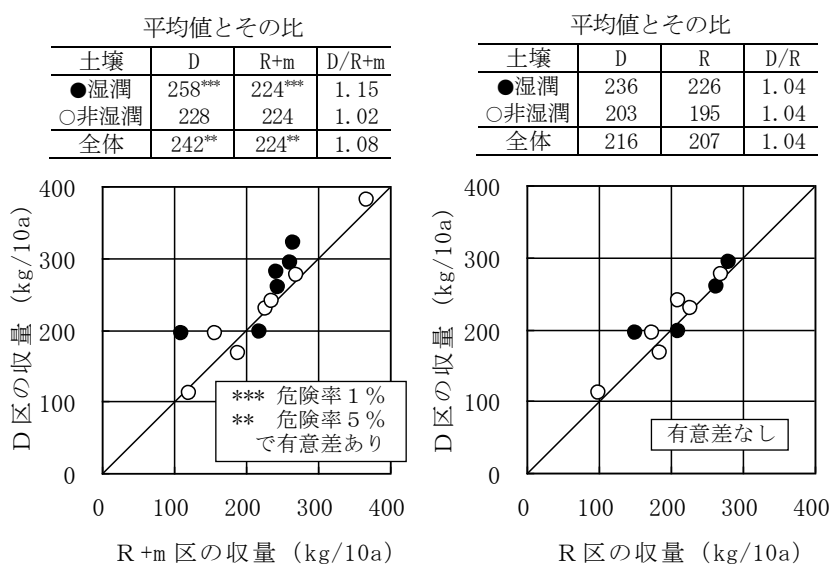


図 19 大豆の収量

表 3 モニタ試験の概要

年度	2007 年度			2008 年度						計
	トラクタ用		乗管用	トラクタ用			乗用管理機用			
機械	1号機		1号機	2号機A	2号機B	2号機C	2号機A	2号機B	2号機C	8 台
地域	秋田	岩手	新潟	秋田	宮城	埼玉	新潟	新潟	福岡	9 地区
作業面積	未調査	1 ha	未調査	2.5 ha	50 ha	8 ha	28 ha	55 ha	12 ha	156.5ha
回答人数	7	1	1	2	1	1	4	6	4	27

調査を行った。表3に、モニタ試験の概要を示す。

(2) 試験結果

① 設問に対する回答

図20に、開発機の性能評価に関する設問への回答結果を示す。「十分満足」、「まあまあ満足」の割合は、「作業能率」で92%、「培土の精度」で88%、「土壌物理性悪化の低減」と「湿潤土壌への適応性」で81%、「除草効果」で67%であった。また、「ディスクの調整」については、33%の方から「ややめんどろ」との意見をいただいたため、3号機の試作において改善した。

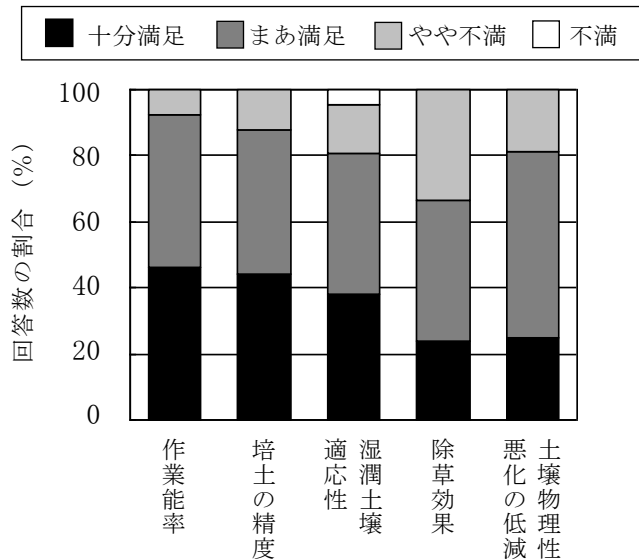


図20 モニタ試験における開発機の性能評価結果

② 自由回答での意見

自由回答欄では、「開発機は排水の悪いほ場に適した機械である」、「直進が難しい湿潤な土壌でも、従来機に比べ作物を傷めにくい」、「従来機では作業ができなかった、大きな石があるほ場でも作業可能」などの評価をしていただくとともに、「早く市販してほしい」という意見が複数寄せられた。一方、「ディスクへの土付着を減らしてほしい」という意見、部品強度の問題や部品が外れる問題への意見があり、これらについては3号機の試作において対応した。また、「乾燥した硬い土壌では、ディスクの食い込みと砕土が悪い」、「水田地帯ではディスク式の機械を使うことが少ないので、利用マニュアルがほしい」という意見も出された。

③ その他

トラクタ用2号機のうちB機は延べ50ha、乗用管理機用2号機のうちC機は延べ67ha 作業したが、ディスクの摩耗はほとんどなかった。

4. 試験結果の概要

ロータリ式従来機を対照機として開発機の試験を行い、以下の結果を得た。

- ① 長辺が72mと198m、作物条間が70cmと73cmのほ場において、作業速度1.0~1.4m/sで作業した開発機のほ場作業量は72~95a/hであり、0.5~0.6m/sで作業した従来機の1.7~1.9倍であった。また、開発機の単位面積あたり燃料消費量は、従来機の約半分であった。
- ② 延べ14ほ場で試験した結果、作業後（収穫前2カ月~1週間）の雑草乾物重は、従来機（1回目を逆転ロータリ、2回目を正転ロータリ+培土板で作業、以下同）で作業した区に比べ、

条間で約 50%、株間で約 40%少なかった。また、作業後の雑草本数は、従来機で作業した区に比べ、条間で約 35%、株間で約 40%少なかった。

- ③ そのうち、湿潤な土壌条件で作業した 6 ほ場の開発機区では、土の練り付けや圧縮が少なく、砕土が良好で（従来機区より平均土塊径が約 20%小さい）、収穫前の土壌は膨軟で柔らかく（従来機区より固相率が約 5%低く、矩形板沈下量が約 35%大きい）、水分が保たれていた（従来機区より含水比が約 10%高い）。そのため、従来機区に比べ、これらのほ場における開発機区の大豆収量は約 15%多く、大粒重率は約 10%高かった。

5. 開発機の効果と利用上の留意点

1) 開発機の効果

- ① 大豆の増収効果：湿潤な土壌で作業した場合に、土壌物理性の悪化が軽減されることから、大豆の増収が期待できる。
- ② 大豆の品質向上効果：作業能率と湿潤土壌適応性の向上により適期作業がしやすくなること、雑草防除効果が高いことにより、雑草が繁茂してしまうケースが減り、コンバイン収穫時における大豆の汚粒の減少が期待される。
- ③ 機械利用費の低減効果：機械の価格は従来機と同程度で、作業能率が向上し、燃料消費量が減少することから、面積あたりの機械利用費の低減が期待できる。また、受託作業を大規模に行っている生産組合などでは、機械台数の削減も期待できる。
- ④ 受託作業面積の拡大効果：作業能率が向上するため、受託作業を拡大する余地がある地域では、中耕培土作業の受託面積の拡大が期待できる。
- ⑤ 除草剤や手取りによる除草経費と労力の低減効果：雑草防除効果が高いため、除草剤散布や手取り除草の経費や労力の低減が期待できる。

2) 開発機利用上の留意点

- ① 株元まで精度良く培土できるよう、作物を挟んで対向する後列ディスクの間隔（図 1 の※、標準値 40~50cm）を調節する。また、作業速度や土壌条件に応じ、後列ディスクの角度を調節して適切な培土量が得られるようにする。
- ② 土が硬いために耕深が浅くなる時は、付属のチゼル（図 1）を下向きにして作用させる。
- ③ 条間を変える場合は、作物を挟んで対向する後列ディスクの間隔（図 1 の※）が変わらないように調節する。また、条間を広くする時には、必要に応じ前列ディスクの角度を調節して残耕が出ないようにする。
- ④ 作物が小さく、培土すると埋没してしまう時は、後列ディスクの取付け角度を通常と逆にし、条間中央側に土を寄せる（図 3 b）。

おわりに

以上のように、開発機の湿潤土壌条件下における作業精度、雑草防除効果や大豆の収量に及ぼす効果、高速作業性などが実証され、開発機は開発目標を達成したと判断された。これらの結果を受け、開発機は2009年度に市販化される予定である。

本研究の実施にあたり、鋤柄農機(株)、秋田県農林水産技術センター、秋田県地域振興局農林部、新潟県農業総合研究所、埼玉県農林総合研究センター、農研機構中央農業総合研究センター、岩手県農業研究センター、福岡県農業総合試験場、JAあきた湖東、JAおんが、新潟市などの関係各位、並びにモニタ試験にご協力いただいた生産者の方々に多大なご協力をいただいた。厚く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 有原丈二：中耕・培土、大豆の機械化栽培とコンバイン収穫事例集、(財)日本豆類基金協会、27-33、1999
- 2) 倉田和彦ら：転換畑大豆作における作業不可能日の推定法、農作業研究 53、1-9、1985
- 3) 後藤隆志、手島司：中耕除草機、特許第 4005512 号、2007
- 4) 後藤隆志ら：トラクタ用省エネ運転指示装置の基礎的研究、平成 18 年度生研センター研究報告会資料、73-81、2007

ドリフトの簡易測定・評価法

特別研究チーム（ドリフト） 宮原佳彦、水上智道、臼井善彦、安食恵治
猪之奥康治、太田智彦、山田祐一
生産システム研究部 林和信
基礎技術研究部 牧野英二
新潟大学 中野和弘

はじめに	14
1. 研究のねらい	14
1) 研究の背景	14
2) 研究の目標	15
2. 農薬成分量と感水紙付着液斑の被覆面積率の関係についての検証	16
1) 試験方法	16
2) 結果および考察	17
3. ドリフト試験用標準付着度指標の作成	19
1) 作成方法	19
2) 結果および考察	19
4. 感水紙付着液斑被覆面積率の効率的測定手法の確立	21
1) 開発手順	21
2) 結果および考察	22
おわりに	25
参考文献	25

はじめに

農業生産現場においては、2005（平成18）年5月から新たな食品の農薬残留基準（いわゆるポジティブリスト制）が実施されていることにより、農薬の適正かつ安全な使用を徹底すること、特に、農薬散布時の飛散（すなわち、「ドリフト」）の防止や抑制について配慮が求められている。このため、国や都道府県等の農薬および防除機に関係する公的機関を中心に、ポジティブリスト制施行前後から、ドリフトの実態調査やその防止や抑制に係わる試験研究が精力的に行われてきた¹⁾。当生研センターにおいても、2005年度に特別研究チーム（ドリフト）が編成され、ドリフト低減技術（ノズル、汎用薬液散布装置および果樹園用防除機等）の開発を精力的に進めてきた。さらに、それらの開発研究の中で頻繁に行われるほ場試験等においてドリフトの発生状況やその程度を簡易に測定あるいは評価する手法が必要であったことから、開発研究と並行して、ドリフトの測定および評価の方法、あるいは測定技術や機材等について技術的な検討を行ってきた。

本稿では、それらの検討の中で、液剤散布機を対象にしたドリフト試験で用いられる「感水紙」²⁾を用いたドリフト程度の簡易な測定および評価手法について幾つかの知見が得られたことから、これらをまとめて報告する。

1. 研究のねらい

1) 研究の背景

ポジティブリスト制度の下では、最も厳しい基準値として、現状で参照すべき基準値がない場合（いわゆる、一律基準）を含めて0.01ppmが適用される。これは、農薬散布の実態調査等から見て、ドリフトを低減あるいは抑制する何らかの対策がとられない限り、近接する領域へのドリフトが発生する可能性が高く、使用される農薬成分や栽培される作物の種類によっては、残留基準値を超過する恐れがあると考えられている。このため、公的試験研究機関を中心に、農薬散布時のドリフト発生実態の調査やその防止・抑制に係わる試験研究や技術開発が行われた。当生研センターにおいても、これまでの防除機に関する研究開発の蓄積を活かしつつ、ブームスプレーヤ用ドリフト低減型ノズル³⁾をはじめとするドリフト防止・抑制技術に関する研究開発に力を注いで来た。幸い、これまでのところ、農薬散布時のドリフトを起因とする残留農薬基準超過事例は報告されていないが、これは、各方面におけるドリフト防止対策が実行され、成果を上げている結果と考えられ、関係者のご努力に敬意を表する次第である。しかし、今後もポジティブリスト制が継続して実施されていく以上、新たな散布技術の開発やドリフト防止・抑制対策が現れる度に、その有効性を検証する必要があり、その都度、ドリフト発生状況の調査やほ場におけるドリフト試験等が引き続き行われるであろう。

ところで、ドリフトは農薬に関わる現象であり、その成分量を直接分析し、測定することは、一般に、高度な設備と測定技術が必要であり、コストや労力も必要とする。また、ドリフトという現象自体が、気象、作物、ほ場等の要因を含む多様かつ不安定な要因が複合的に作用し合う結果現れる複雑な現象であるため、できるだけ多くの条件で試験を行うことが必要となる。したがって、農薬成分量を定量分析する方法によりドリフトを把握することは容易でない。このため、ほ場等において現実の散布作業と並

行して測定ができ、また、特に大がかりな設備や高度な測定技術を必要としない、簡易なドリフト測定・評価法として、液滴が付着した箇所が変色する性質を持った試験紙、すなわち、「感水紙」を用いて、ドリフトした液滴を捕捉し、変色した液斑の数や広がりやの多少を測定し（これが付着した農薬成分量の多少に相当すると仮定する）、ドリフトした農薬成分の多少を評価する手法が最も一般的な方法である。しかし、この方法においては、①感水紙上の液斑面積と農薬成分量との関係は理論的には相関があるはずであるが、実際に検証された例が少ない、②目視の指数化は個人差が生じやすい、また③作業能率が低く、時間がかかる、等の問題が指摘されている。

このため、生研センターでは、2005～2007（平成17～19）年度において、特別研究チーム（ドリフト）の研究課題である「防除機における薬剤ドリフト低減化技術の確立ードリフトの簡易測定・評価法の検討」の下で、ドリフト試験において捕捉される液滴中の成分量と液滴が付着した感水紙面上の液斑面積との関係を実験的に検証するとともに、感水紙付着液斑面積を簡易に測定し、あるいは、その多少を評価する手法について検討した⁴⁾。

2) 研究の目標

本稿では、以下の事項について明らかにするため、試験や技術的検討を行った。

(1) 農薬成分量と感水紙付着液斑被覆面積率の関係についての検証

ブームスプレーヤーやスピードスプレーヤー（以下、SS）等の液剤散布機におけるドリフトを簡易に測定し評価する方法として、ドリフトを調査する場所に感水紙を設置し、これに付着した液斑を標準付着度指標に基づいて目視により指数化し、その値を比較することにより、ドリフト程度を評価する方法が多く行われている。これは、感水紙上の付着液斑面積と、ドリフトとして捕捉された農薬の成分量との間に相関があることを前提としているが、これが定量的に検証された例は少ない。そこで、農薬成分トラップ（捕捉資材）と感水紙とを同時に用いて、農薬希釈液を散布する際に発生したドリフトを、同位置・同時に捕捉し、成分トラップに捕捉された農薬成分量と感水紙面の付着液斑被覆面積率との関係を検証する。

(2) ドリフト試験用標準付着度指標の作成

生研センターでは、感水紙面上の付着液斑の被覆程度を目視で評価・判定するために、平成3年度に製作した「標準付着度指標」⁵⁾を用いている。同指標は、本来、果樹等で樹冠内の枝葉への薬液付着程度を評価するために作成したものであり、液斑被覆程度が低い（付着指数1～2程度の）感水紙サンプルは差が現れにくい場合がある。多くのドリフト試験ではそのような付着程度の低いサンプルが多数回収されることも多く、同指標はドリフトの評価には適さないのではとの指摘があった。

このため、付着指数1、2、3程度に判定される被覆面積率の範囲から、区切りとなる面積率（0.1、1.0、2.5、5%等）に相当する付着液斑画像を用いた指標を作成する。なお、それらの指標は、今度ドリフト試験等で、ドリフト低減効果を有する粗大粒子ノズルが利用される場面が増加することを考慮し、従来ノズルの微細粒子主体の液斑、並びに、ドリフト低減型ノズルの粗大粒子主体の液斑のそれぞれについて作成する。

(3) 感水紙付着液斑被覆面積率の効率的測定法の確立

標準付着度指標を用いて感水紙面上の付着液斑の被覆程度を目視で評価・判定する方法は、簡易であるため、大量のサンプルを迅速に処理することが可能となるなど利点があるが、測定者毎の個人差を生じる恐れがある。また、そこで最近では、パソコン上で稼働する市販の画像処理ソフトを使用して感水紙面の付着液斑の画像から被覆面積率を算出する方法が採られることがある。しかしながら、この方法では、画像処理用ソフトの購入費用に加え、多数の感水紙を対象に煩雑な手順に沿って熟練者により実施する必要があるため、多くの労力、時間を要する。そこで、感水紙面に付着した液斑の被覆面積率を簡易かつ迅速に算出することができる画像処理アルゴリズムを構築し、そのアルゴリズムを基にした画像処理ソフトを開発する。

2. 農薬成分量と感水紙付着液斑の被覆面積率の関係についての検証

1) 試験方法

ドリフトとして捕捉された液滴中の農薬成分量は、理論的には同位置で感水紙面に捕捉され付着した液滴の合計体積が求められれば、散布液中の成分濃度から推定可能である。感水紙付着液斑は、ある程度は液滴の大小や多少を表すことは明らかであるが、液滴の重複や紙面に付着する際の粒径の拡張の程度により、正確な粒子の合計体積を表すには至らない。そこで、以下の方法により、ドリフトとして捕捉した散布液滴中の農薬成分またはトレーサ成分を分析・定量し、これと同位置で液滴を捕捉した感水紙面の付着液斑の被覆面積率の測定値とを比較し、両者の関係を検証することとした。

(1) トレーサ (Mg) を用いた試験

- ① わい化リンゴ園 (岩手県農業研究センター) の風下側ほ場境界から距離 (10m、20m) の位置にプラスチックシャーレと感水紙を設置した。
- ② $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ の水溶液 (Mg 濃度 300ppm 前後に調製) を市販 SS で散布し、その後、速やかにシャーレと感水紙を回収した。供試 SS のノズルは、生研センターが開発中の SS 用ドリフト低減型ノズル試作 I 型 (中空円錐形噴霧、以下試作 I 型)、市販粗大粒子ノズル (中空円錐形噴霧、以下市販 DL)、慣行ノズル (中空円錐形噴霧) とした (表 1)。

表 1 使用したノズルの散布条件 (Mg ドリフト量測定時)

ノズル種類	試作 I 型 ²⁾	市販 DL	慣行 ³⁾
噴霧圧力 (MPa)	1.5	1.5	1.5
体積中位径 (μm) ¹⁾	344.0/317.7	168.7	92.4
100 μm 以下体積割合 (%)	7.2/5.1	22.8	55.2

注 1) 流量の異なる複数のノズルから代表的なノズルを選定した。

2) 試作 I 型は異径の 2 頭口ノズルのためそれぞれのデータを記載。

3) ほ場試験ノズルと同等品を測定した。

③ 回収したシャーレの内表面の付着物質を溶出し、原子吸光度計を用いてその溶液中の Mg 量を定量した。また、同時に回収した感水紙は、イメージスキャナを用いてカラー静止画像とし、さらに画像処理ソフト（Win ROOF、三谷商事製）⁶⁾を用いて、付着液斑の被覆面積率を測定した。

(2) 農薬を用いた試験

① 生研センター散布実験棟内に模擬作物を設置し、扇風機（工場用3台、100V/AC）により人工的に発生させた風速約 1 m/s の微風条件下において、模擬作物より風下方向に 1～10m までの距離でガラスシャーレと感水紙を3列設置した（図1）。

② スミチオン乳剤（MEP50%）の清水による 1000 倍希釈液（MEP 濃度 500ppm）を試験用の小型ブームスプレーヤで散布し、その後、速やかにシャーレと感水紙を回収した。供試 SS のノズルは、表2の4種類のノズル（A～D）である。

③ 回収したシャーレからは、内表面の付着物質を溶出し、高速液体クロマトグラフィーを用いて溶出液中の MEP を定量した。また同時に回収した感水紙は、イメージスキャナを用いてカラー静止画像とし、さらに前記画像処理ソフトを用いて、付着液斑の被覆面積率を測定した。

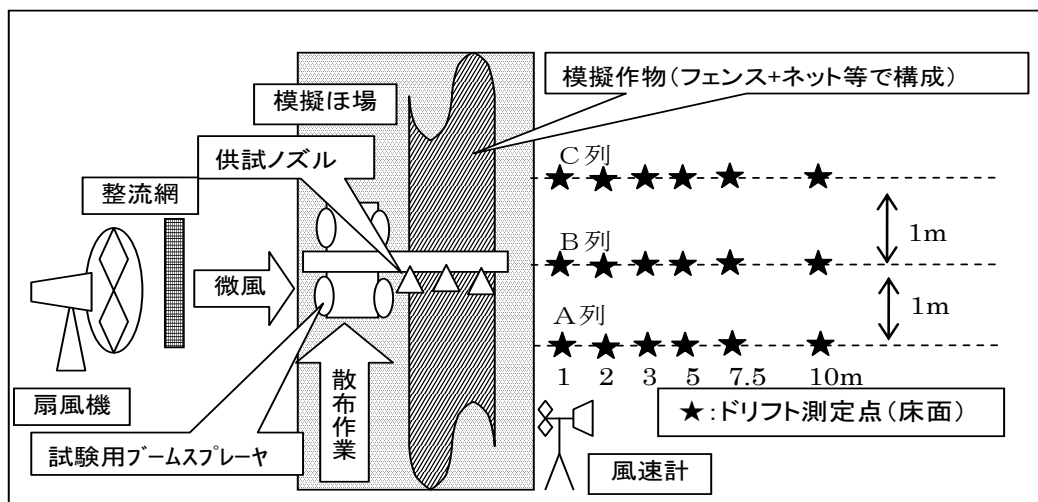


図1 測定の模式図

表2 使用したノズルの散布条件（MEP ドリフト量測定時）

ノズル種類	A	B	C	D
噴霧圧力 (MPa)	2.6	2.0	1.5	1.5
体積中位径 (μm)	69.2	74.0	304.4	58.7
100 μm 以下体積割合 (%)	80.9	76.0	6.9	93.5

2) 結果および考察

(1) トレーサ (Mg) を用いた試験

感水紙液斑被覆面積率と Mg ドリフト量を比較したところ、両者は直線で近似され、非常に高い相関が認められた（図2）。また、使用した3種類のノズルは、その噴霧粒子の体積中位径の異なるものの、

ほぼ同様の傾向を示し、ノズルによる差異は認められなかった。以上から、感水紙付着液斑の被覆面積率から、同じ測定点における Mg ドリフト量を推定する可能性が見出された。

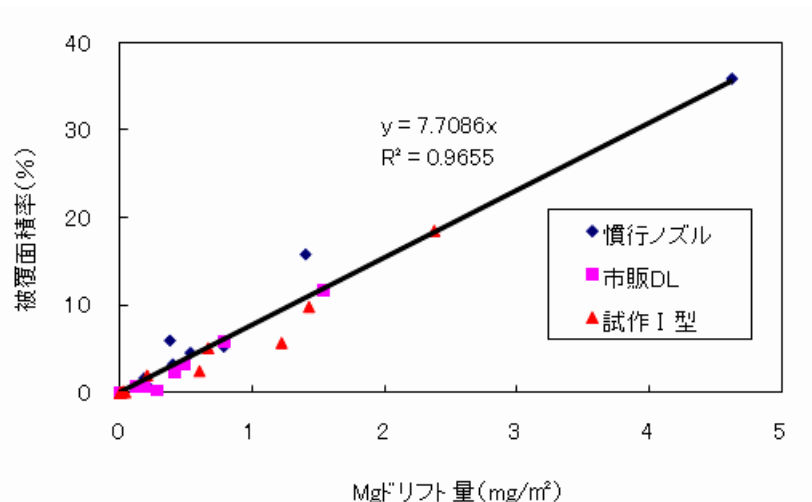


図2 捕捉 Mg 量と感水紙付着液斑被覆面積率の関係

(2) 農薬を用いた試験

供試ノズル4種類 (A~D) について、シャーレで捕捉された MEP 量と感水紙液斑被覆面積率とを比較した結果、被覆面積率が 20%以上の領域も含めた全データについては、被覆面積率と MEP 量とは高い相関が認められ、その関係は Mg の場合と異なり、対数関数で近似された (図3 a))。しかも、被覆面積率が 20%以下の領域についてはノズル毎に僅かに違う傾向を示した (図3 b))。これは、ノズルの体積中位径の差異に起因していると推察された。このことから、被覆面積率の範囲によっては、前記のトレーサを用いる場合よりも推定精度は低くなるものの、被覆面積率に基づいて MEP ドリフト量を推定することは十分可能と考えられた。なお、農薬は数多く存在するため、正確な推定を行うためには、農薬の種類を変えてさらに試験を行い、関係を明確にすることが必要である。

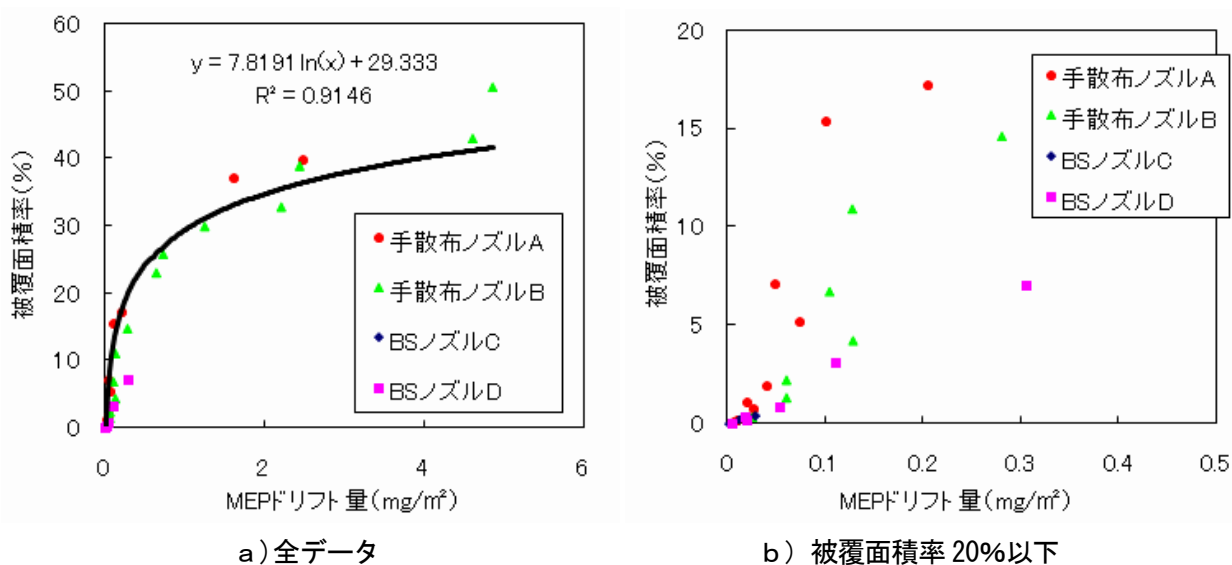


図3 捕捉 MEP 量と被覆面積率の関係

3. ドリフト試験用標準付着度指標の作成

1) 作成方法

前述のとおり、「標準付着度指標」を用いて感水紙付着液斑の被覆程度を目視で指数化する方法は、簡便ではあるが、個人差を生じやすいなどの問題がある。そこで、付着指数1～3程度に判定される被覆面積率の範囲から、区切りとなる面積率（0.1、1.0、2.5、5%等）に相当する付着液斑画像を用いた指標を以下の方法により作成した。

(1) 付着度指標のための感水紙付着液斑画像サンプルの作成

生研センター散布実験棟内で人工的に発生させた微風条件の下（風速約1 m/s）、体積中位径が微細な慣行ノズル（中空円錐形噴霧）と粗大なドリフト低減型緊プロノズル（扇形噴霧、以下、緊プロ DL ノズル）を用いて清水を噴霧（噴霧圧約1.5MPa）し、被覆面積率の異なる感水紙を人為的に作成した。その際のノズル噴霧圧力、体積中位径、100 μ m以下体積割合は表3に示す。

感水紙は回収した後、A4サイズの台紙に貼付して、イメージスキャナ（CanoScan LiDE600F）により解像度800dpiのカラー画像データとして取得した。

表3 使用したノズルの散布条件

ノズル種類	慣行	緊プロ DL
噴霧圧力 (MPa)	1.5	1.5
体積中位径 (μ m)	72.6	304.4
100 μ m以下体積割合 (%)	70.8	6.9

(2) 被覆面積率の算出

画像処理ソフト（WiT、Logical Vision 社製）⁷⁾を用いて、取得した感水紙の付着液斑被覆面積率を算出し、それに対応する2値画像（R成分）を取得した。

(3) 感水紙付着液斑画像サンプルの選定

標準付着度指標の境界となる被覆面積率（例えば、0.1%、2.6%、5.1%など）とほぼ同率の被覆面積率のR成分2値画像を選定し、慣行ノズルと緊プロ DL ノズルについてそれぞれ指標を作成した。

2) 結果および考察

従来の標準付着度指標⁵⁾を図4に、新たに作成した指標の一部を図5に示す。また、表4に同指標のそれぞれの付着度指数と付着液斑被覆面積率の範囲との関係⁸⁾を表す。

従来の標準付着度指標では、付着度指数（1～9）毎に該当する被覆面積率の範囲（表4）のほぼ中間値に相当する感水紙を指標として採用（例えば、付着度指数4は被覆面積率20.1～40.0%であるが、ほぼ中間値に相当する被覆面積率30.2%の感水紙）しているため、指数間の境界が明瞭ではなく、判別が困難となる場合があった。この問題点を解決するため、新たに作成した指標では指数の境界となる被覆面積率の感水紙を採用した。また、従来の標準付着度指数では、0.1～2.5%の範囲を付着度指数「1」

と評価していたため、微量域を重要視するドリフト評価の際に不都合が生じていた。そこで、付着度指数1の範囲を代表する値として0.1%と1.0%に相当する指標を作成した。その結果、微量域におけるドリフト評価をより詳細に行うことが可能となった。さらに、従来の慣行ノズルとともに、粗大粒子を噴霧する緊プロ DL ノズルを用いてドリフト指標を作成したことにより、今後ノズルの噴霧に応じたドリフト指標の使い分けが可能となった。

これらの指標は、電子ファイルとして保存されており、利用希望者に対しては配布が可能である。

表4 標準付着度指数と付着液斑被覆面積率の関係^{注)}

付着度指数	被覆面積率 (%) の範囲	付着度指数	被覆面積率 (%) の範囲
0	0.1 以下	6	60.1～70.0
1	0.1～2.5	7	70.1～80.0
2	2.6～5.0	8	80.1～90.0
3	5.1～20.0	9	90.1～99.9
4	20.1～40.0	10	100
5	40.1～60.0		

注)「カンキツの調査方法(農水省果樹試験場興津支場、1987)」の「薬剤付着度標準表」における付着指数(標点)と被覆面積率(付着面積)の関係に準拠。

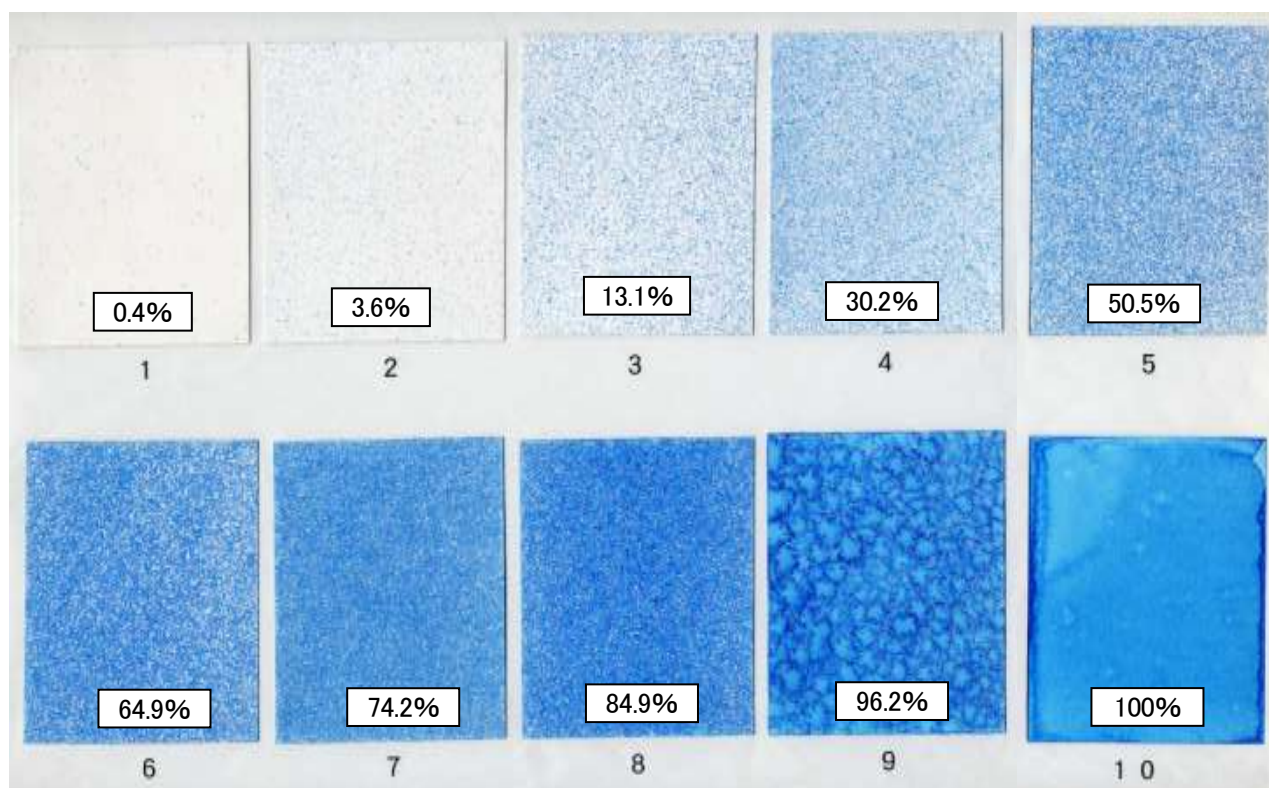
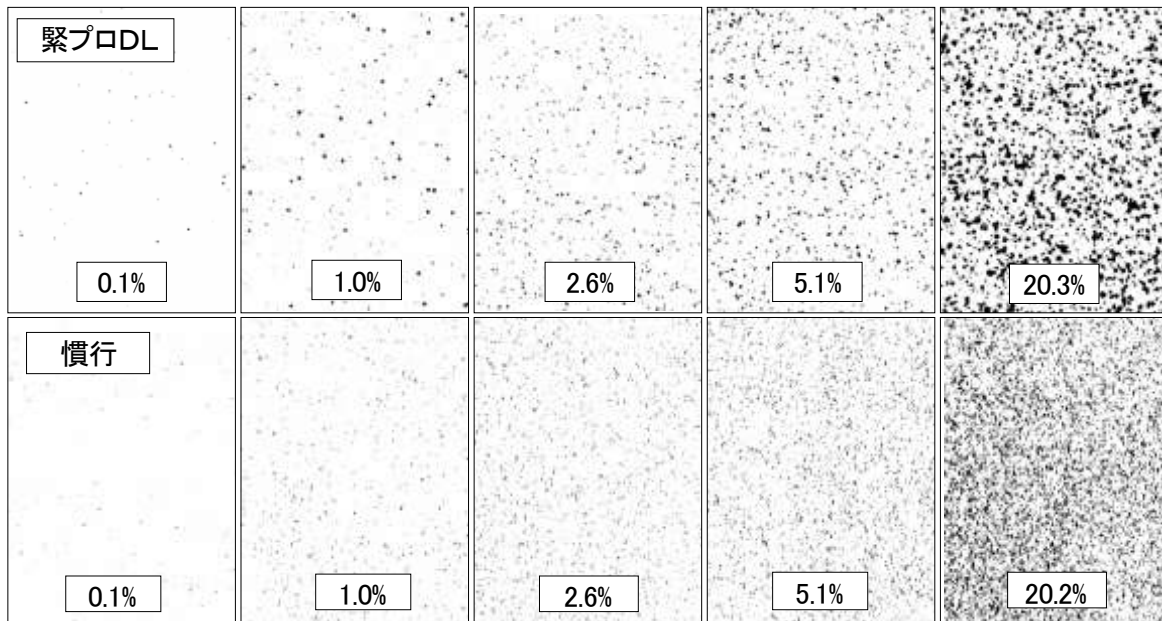


図4 標準付着度指標 (生研センター作成、平成3年度)⁵⁾



注) 付着度指数 1 : 0.1~2.5%、付着度指数 2 : 2.6~5.0%、付着度指数 3 : 5.1~20.0%、表 5 参照

図 5 粗大粒子（緊プロ DL）および微細粒子（慣行）ノズルのドリフト指標

4. 感水紙付着液斑被覆面積率の効率的測定手法の確立

1) 開発手順

前記の新たな指標の作成により、個人差は生じ難くなったと考えられるが、ドリフト試験では膨大な数の感水紙サンプルが回収されるため、より迅速に処理すること、また、可能であれば、一般的の人による測定が行えることが望まれる。そこで、感水紙面の付着液斑画像から被覆面積率を算出する作業を一般の人が簡易かつ迅速に行うことができる専用画像処理ソフトを以下の手順で開発した。

- (1) 供試材料：ドリフト試験で回収した感水紙（76×52mm）を A4 サイズの台紙に最多で 8 枚貼付されたものを市販イメージスキャナ（CanoScan LiDE600F, Canon 製）で読み込んだカラー画像（400dpi、800dpi）を処理対象画像とした。
- (2) 市販画像処理ソフトを用いた感水紙付着液斑被覆面積率の算出：市販の画像処理ソフト（Win ROOF、三谷商事製）⁶⁾ を用いて、手動設定した閾値で 2 値化を行い、感水紙面上の薬液付着液斑の被覆面積率を算出した（以下、手動測定という）。
- (3) 被覆面積率算出のための画像処理アルゴリズムの検討：市販の画像処理アルゴリズム構築ソフト（WiT、Logical Vision 社製）⁷⁾ を用いて、感水紙面上の薬液付着液斑のカラー画像から、被覆面積率を自動算出するアルゴリズムを構築した（以下、自動測定という）。
- (4) 自動測定と手動測定の比較：同一の感水紙画像について、手動測定と自動測定によりそれぞれ被覆面積率を算出させ、両者の処理結果と処理に要する時間を計測し、比較した。
- (5) 感水紙静止画像取得時の解像度の検討：同一サンプルの解像度 800dpi の画像（理論上感水紙が感知

可能な最小粒径に対応) と 400dpi の画像について自動測定による算出値を比較した。

(6) 専用画像処理ソフトの開発：前記の方法で構築した自動算出アルゴリズムに基づいて、市販ソフトを利用せずにパソコン上で独立して動作する専用画像処理ソフトを開発した。

2) 結果および考察

(1) 感水紙付着液斑の画像処理アルゴリズム

構築した画像処理アルゴリズム (図 6) では、先ずカラー原画像から RGB 色系の R 画像 (変色部と未変色部のコントラストが B、G 画像よりも強い傾向にある) を抽出し、最大 8 面の測定領域を設定し、それぞれの測定領域毎に、二値化 (変色部と未変色部の分離) 時の閾値を輝度ヒストグラムに基づいて判別分析法で自動決定する。さらに、付着液斑の画素数と検出対象領域の総画素数に基づいて被覆面積率を算出する。また、原画像に雨滴や指紋等による変色部分が含まれる場合は、粒径に基づいた測定対象を選択する処理 (ラベリング処理) を行い測定対象から除外する。これら一連の処理はワンクリック操作で行い、全サンプルの被覆面積率、二値化画像、閾 (しきい) 値を同時に出力表示する (図 7)。

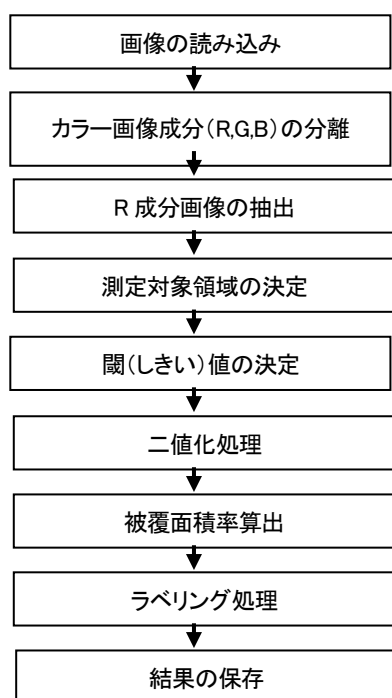


図 6 画像処理のフロー



図 7 市販画像処理ソフト (自動処理アルゴリズム構築) による自動被覆面積率算出結果の一例

(2) 自動測定と手動測定との比較

自動および手動測定により、それぞれ算出した被覆面積率では高い相関が認められた (図 8)。また、手動測定の原画像 1 枚 (8 サンプル) 当たりの平均測定所要時間が 3 分 19 秒であったのに対し、自動測定では約 1/7 の 29 秒であった (使用パソコン: OS=Windows XP、CPU=Intel Pentium4/3.0GHz)。

(3) 感水紙静止画像取得時の解像度の影響について

解像度の異なる同一の感水紙画像（400dpi、800dpi）の被覆面積率を自動測定で算出し、比較した結果、両者には間高い相関（決定係数 $R^2=0.99$ ）が認められた（図9）。また、この結果から、解像度の低い400dpiの画像を原画像としても測定精度に大きな影響が無いことが分かった。

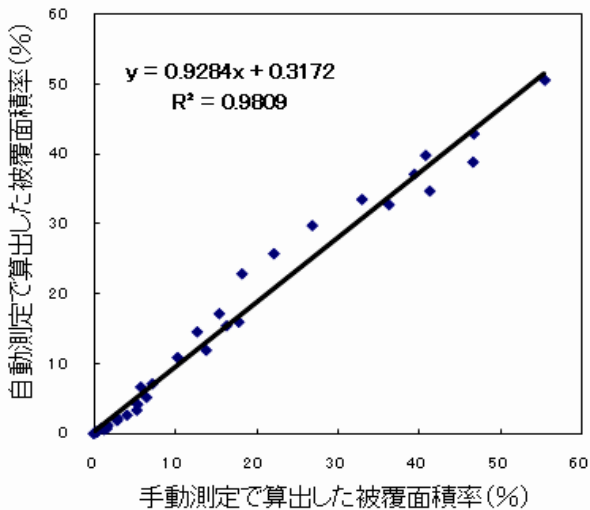


図8 自動測定と手動測定の被覆面積率の関係

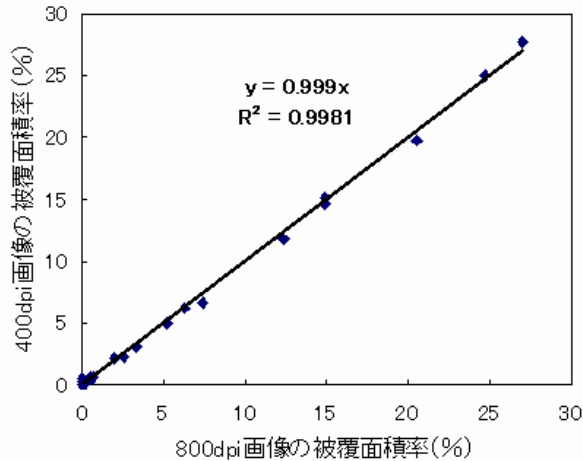


図9 400dpi と 800dpi 画像の被覆面積率の関係

(4) 画像処理ソフトの開発

① 開発ソフトの特徴

開発したソフトは、プログラミング言語「C#」を用いて開発され、Windows パソコン（OS：Windows2000 Service Pack3 以降）で動作する。同ソフトは、前述の自動算出アルゴリズムに基づいて、感水紙付着液斑の被覆面積率の算出を自動的にを行い、その結果を出力・表示する（図10）。これらの算出結果はCSV形式のファイルとして保存可能である。

② 開発ソフトを用いた感水紙付着液斑被覆面積率測定作業の能率

開発ソフトは、入力画像の読み込みから被覆面積率の保存までの所要時間が1分程度であり、表5のように、市販ソフトを使用した場合と比較して4倍以上の作業能率を有している。

感水紙付着液斑の被覆面積率測定に本ソフトを用いた場合、市販ソフトの操作に熟練した測定者が同じ測定を行った場合とほぼ同等の測定を行えることを確認した（図11）。

表5 開発ソフトと市販ソフトによる被覆面積率算出時間の比較

項目	所要時間 ¹⁾	
	Windows XP ²⁾	Windows Vista ³⁾
開発ソフト	1分4秒	20秒
対照市販ソフト(WinROOF Ver. 5)	4分34秒	3分49秒

注1) 測定対象に400dpi画像を使用し、それぞれ3反復測定して平均所要時間を算出した。

2) 使用パソコン:Windows XP=CPU Intel Pentium4 (2.8GHz)

3) 使用パソコン:Windows Vista=CPU Intel Xeon(3.16GHz)

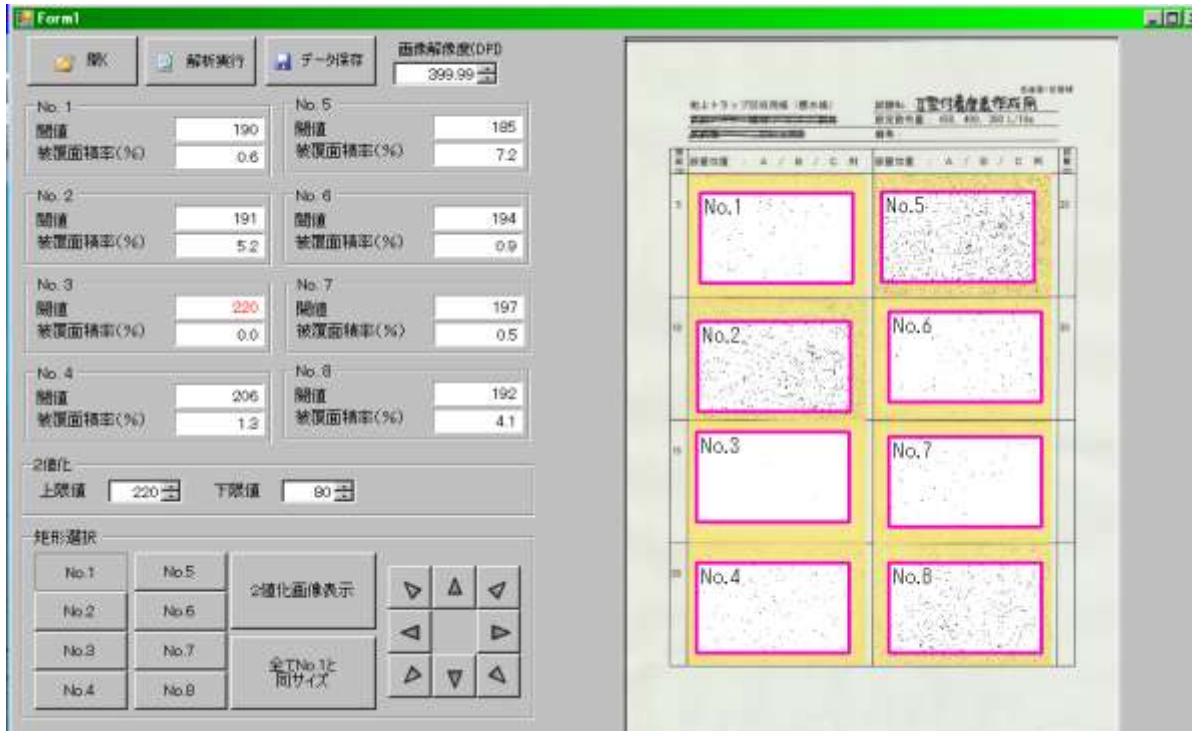


図 10 開発ソフトの実行画面の例（左側：測定結果表示、右側：測定対象画像（A4判））

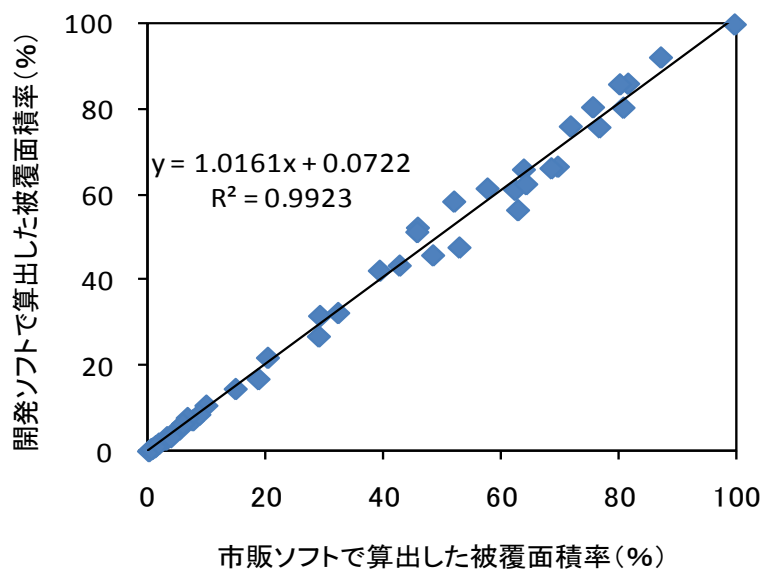


図 11 開発ソフトと市販ソフトで算出した被覆面積率算出値の関係

以上より、感水紙付着液斑の被覆程度に基づいて、ドリフトを評価する場合に、従来よりも効率的で、かつ、測定者の個人差による影響が少ない評価が可能となった。

本ソフトは、農研機構の職務作成プログラムとして登録し、その後、一般に公開する予定である。

おわりに

2005（平成18）年のポジティブリスト制施行後、関係各方面のドリフト対策への取り組みの結果、今日まで、当初懸念されたドリフトの問題が表面化する事態には至っていない。同制度は継続的に実施されていくものであり、ドリフト対策を含めた農業生産現場における農薬の適正使用に関する配慮は、今後も不断の努力と対応が求められていくことは言うまでもない。このため、生研センターでは、これまでのドリフト低減型ノズルおよびブームスプレーヤ（環境保全型汎用薬液散布装置）の開発に引き続き、果樹園において、ドリフトおよび作業被曝の低減と高精度・高能率散布を実現する防除機（果樹用農薬飛散制御型防除機）等の開発を進めている。今回報告したドリフトの簡易測定・評価手法は、当センターのそれら新たな技術開発で利用してだけでなく、現在各方面で取り組まれているドリフト低減・防止対策に取り組んでいる各方面において利用され、農家をはじめとする現場関係者の負担が少しでも軽減されるよう希望している。

本研究の実施に当たっては、ほ場試験等で岩手県農業研究センターに、農薬並びにドリフト対策に関する情報、試験方法等について（社）日本植物防疫協会の方々に、多大なるご協力を賜った。改めてここに記して感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 日本植物防疫協会編：「地上防除ドリフト対策マニュアル」、2005、同協会ホームページ、
<http://www.jpfa.or.jp/driftmanual.pdf>
- 2) スプレーイングシステムジャパン（株）：「感水紙」、同社ホームページ、
<http://www.spray.co.jp/products/kansuishi01.html>
- 3) 生研センター：平成18年度研究成果情報「農薬散布時のドリフトを大幅に低減するブームスプレーヤ用ノズル」、同センターホームページ、<http://brain.naro.affrc.go.jp/iam/>
http://brain.naro.affrc.go.jp/iam/Urgent/iam_upro127.htm
- 4) 生研センター：平成19年度事業報告、p.182-189、2008
- 5) 生研機構（現生研センター）：平成3年度事業報告、p.99-100、1991
- 6) 農林水産省果樹試験場興津支場：カンキツの調査方法、1987
- 7) 画像処理ソフトウェア「WinROOF、三谷商事(株)」のホームページ
<http://www.image.mitani-corp.co.jp/products/winroof/top.html>
- 8) 画像処理ソフトウェア「WiT、日本FAシステム(株)」のホームページ
<http://www.jfas.co.jp/product/mv/software/wit.htm>

コンバインにおける湿材適応性拡大に関する研究

生産システム研究部 栗原英治、日高靖之、梅田直円、杉山隆夫
澁谷幸憲（現東北農研）、中山夏希
野田崇啓、臼井善彦、内間亜希子（現退職）
共同研究実施会社 三菱農機(株)

はじめに	28
1. 湿材適応性拡大の定義	28
2. 従来機における湿材収穫作業時の現状把握	29
1) 脱穀部の性能	29
2) 選別部の性能	29
3. 脱穀部における湿材適応性拡大の検討	30
1) 基礎試験	30
2) 試作機の概要	31
3) ほ場試験	32
4. 選別部における湿材適応性拡大の検討	34
1) 基礎試験（はっ水方法の選択）	34
2) 試作機の概要	34
3) ほ場試験	35
4) 耐久性試験	36
おわりに	37
参考文献	37

はじめに

日本の水稻生産において広く利用されている自脱コンバインは、近年、内燃機関の高馬力化や本機の高機能化にともない、収穫作業の高速化や高能率作業が可能となっているため、大規模農家、営農集団、コントラクタ等の経営規模拡大に大きく貢献している。しかしながら、表1に示すように、水稻生産全体に占める収穫作業時間（刈取脱穀）の割合は依然として高く、さらに収穫作業体系においては、水稻が湿材（朝露や夜露が付着した水稻、倒伏して濡れた水稻等）である場合、自脱コンバインの脱穀部における脱穀所要動力の急増、および選別部における選別性能の低下等が発生するため大きな問題点となっている。そして、これら2つの大きな問題点のため、自脱コンバインによる収穫作業時間帯は制限されることが多く、1日の収穫可能面積が限られてしまい、収穫適期における作業が困難となり、低コスト化や高品質化の障害につながっている。これらのことは、大規模農家や営農集団のみならず、小規模農家、中山間地域等についても当てはまることから、水稻生産の低コスト化を図るためにも、湿材適応性技術は必要と考えられた。

そこで、本研究においては、自脱コンバインの収穫可能な条件の拡大、例えば、午前10時から午後4時までの収穫作業時間帯を前後1時間ずつ拡大するため、自脱コンバインの脱穀選別部における湿材適応性拡大を図ることを目的とした。

1. 湿材適応性拡大の定義

はじめに、湿材適応性拡大に関して定義付けを行った。図1に示すように、水稻のわら水分及び籾水分は、収穫適期に近づくにつれて、日内変化の曲線を描きながら徐々に低下する。そして、水稻に朝露や夜露等が付着している場合、わら水分及び籾水分がより高い状態となるため、自脱コンバインによる収穫作業は困難となり、通常は収穫作業時間帯は制限されることが多い。また、水稻は、わら水分及び籾水分が高くなるに従って、より湿材となることから、「コンバインの湿材適応性拡大」とは、「収穫作業が可能なわら水分及び籾水分条件をより高水分域にシフトさせること」を意味し、これにより、「コンバインによる収穫作業時間帯の拡大」が可能になるといえる。

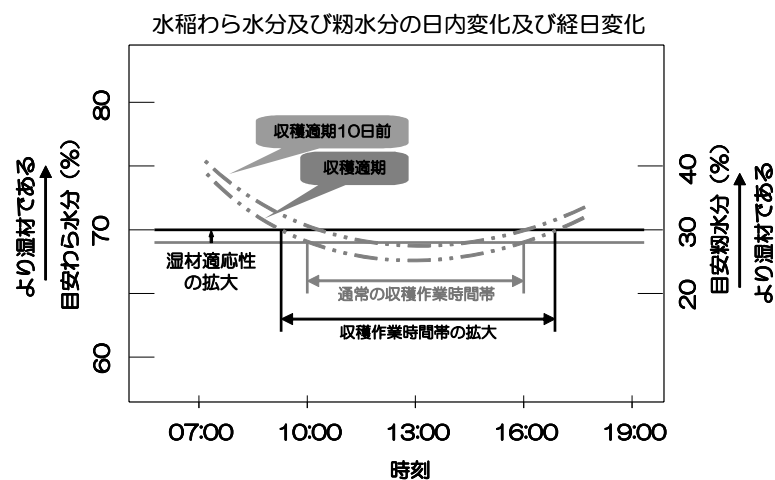


図1 湿材適応性拡大の定義

表1 作業別直接労働時間

	(時間/10a)
種子予措	0.38
育 苗	3.86
耕耘整地	4.18
基 肥	1.05
直 ま き	0.01
田 植	4.55
追 肥	0.63
除 草	1.69
管 理	6.93
防 除	0.77
刈取脱穀	<u>4.90</u>
乾 燥	1.56
生産管理	0.74
計	31.25

農林水産省生産局農産振興課 H15年10月稲作関係資料より

2. 従来機における湿材収穫作業時の現状把握

1) 脱穀部の性能

従来機の脱穀部に関して、湿材収穫作業時の現状を数値的に把握するため、市販の2条刈自脱コンバイン（I社製HA13, 9.6kW）を用いて、脱穀部所要動力の日変化測定試験を行った。試験に先立ち、脱穀部駆動中間軸にひずみゲージ（KYOWA KFG-2-120-D2-11）を貼り、コンバインの収穫作業時における脱穀部所要動力の測定を可能にした。試験時間は、朝露や夜露等の影響を把握するため7:00~18:00とした。対象水稻は生研センター附属農場の‘朝の光’とし、試験区間を25m、作業速度を0.7m/s程度とした。あわせて試験区間におけるわら水分及び籾水分を測定した（標準法）。なお、チャフシーブと送塵弁の設定は標準とした。

脱穀部所要動力の日変化測定試験結果を図2に示す。脱穀部所要動力は朝露がある早朝ほど急増し、夜露が付着し始める夕方にかけて徐々に増加した。脱穀部所要動力の日変化曲線は、わら水分や籾水分の日変化曲線と同じようなカーブを描くことから、脱穀部所要動力の増減は、わら水分や籾水分の変動に影響を受けていると考えられた。そこで、湿材収穫作業時における脱穀部所要動力の急増を抑制できれば、コンバインによる収穫作業時間帯の拡大につながると考えた。

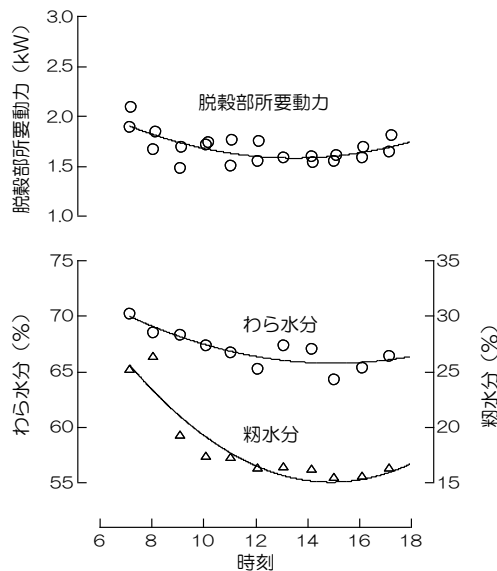


図2 脱穀部所要動力の日変化測定試験結果

2) 選別部の性能

従来機の選別部に関して、湿材収穫作業時の選別性能を数値的に把握するため、市販の2条刈自脱コンバイン（I社製HA13, 9.6kW）を用いて精度試験を行い、排塵わら流量に対する排塵口損失を調査した。対象水稻は生研センター附属農場の‘朝の光’とし、朝露が付着した水稻と朝露が完全に乾いた水稻とした。全収穫区間を30mとし、うち助走区間を25m、試験区間を5mとした。作業速度を0.3~0.6m/sとし、試験区間におけるわら水分及び籾水分を測定した（標準法）。なお、チャフシーブと送塵弁の設定は標準とした。

精度試験の結果を図3に示す。朝露が完全に乾いた水稻（わら水分66~68%）では、今回の試験条件下において排塵口損失が2%以下であった。しかし、朝露が付着した水稻（わら水分67~75%）を供試した場合、低速作業域であっても排塵口損失が3%を超え、さらに排塵わら流量が200kg/hを超えた付近より排塵口損失が急増した。これは、図4に示すように、濡れた脱穀処理物がコンバインの揺動選別部の各部位に付着し、グレンパン上での滞留やチャフシーブでの目詰まりが発生して、揺動選別部の選別性能が低下することが原因と考えられた。そこで、自脱コンバインの湿材収穫作業時における選別性能の向上を図るため、濡れた脱穀処理物の付着性に着目し、付着の原因となる揺動選別部の濡れを防止するため、同部材のはっ水性向上について検討を行った。

試験条件			
コンバインの種類	自脱型	供試水稻	朝の光
型式（機関出力）	I社製HA13（9.6kW）	稈長（cm）	101（平均）
刈取条数	2	立毛角（度）	78（平均）
作業速度（m/s）	0.3~0.6	チャフシーブ設定	標準
助走区間（m）	25	送塵弁設定	標準
試験区間（m）	5		

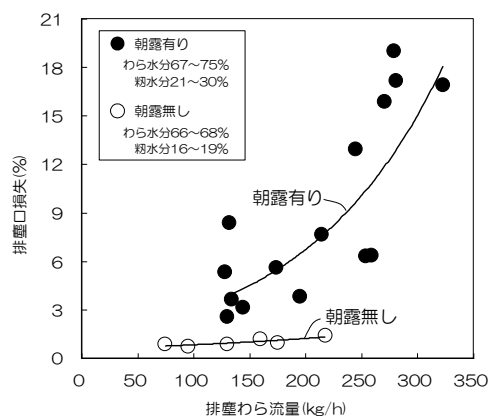


図3 従来機の選別性能

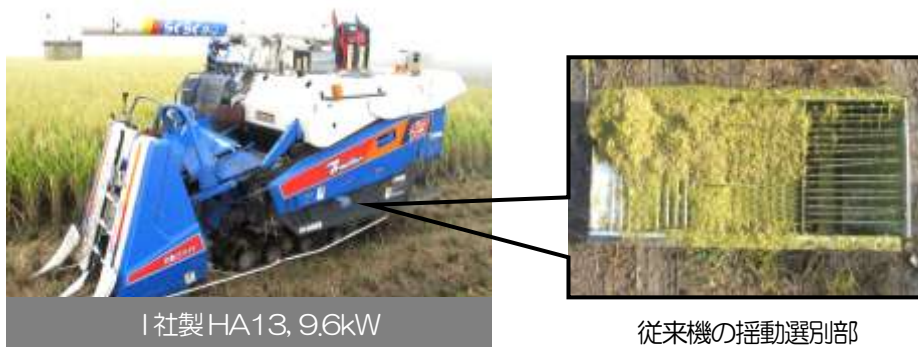


図4 湿材収穫時における被選別物の付着状況

3. 脱穀部における湿材適応性拡大の検討

1) 基礎試験

(1) 送塵弁に作用するモーメントの測定

自脱コンバインの送塵弁は、主として脱穀部のこぎ胴カバー内側に位置し、こぎ胴カバー外側にある送塵弁開度調節レバー（図5）により、手動にて数段階に調節可能である。送塵弁は、脱穀処理物の流れを制御しながら最適な脱穀をする作用を担っているが、わら屑が多くなると制御の範囲を超えてわら屑が停滞し、脱穀所要動力の急増につながると推察された。そこで、わら屑が多くなった場合、一時的に送塵弁を開くためバネを用いることとした。その際、設計資料として必要なバネ定数は、送塵弁に作用するモーメントを測定して算出した。供試コンバインの送塵弁と送塵弁開度調節レバーを連結するシャフトにひずみゲージを貼り、収穫作業時における送塵弁に作用するモーメントを測定した。対象水稻は生研センター附属農場の‘朝の光’とし、試験区間を20m、作業速度を0.8m/s程度とした。なお、チャフシーブの設定は標準とした。

ほ場における収穫試験を行った結果、供試コンバインの収穫作業時における送塵弁に作用するモーメントは、平均で約0.2N・m、最大で約0.5N・mであった。

(2) 送塵弁開度制御機構

① 基本構造

図5に示すように、送塵弁にある一定以上のモーメントが作用した場合、こぎ室より一時的に処理物を逃がすことにより、脱穀部所要動力の低減を可能とする弾性部材（引張り用コイルばね）を用いた送塵弁開度制御機構を考案した。本機構における送塵弁は、脱穀処理物を逃がした後、初期設定位置に復帰することとなる。なお、この供試コンバインの収穫作業時における送塵弁に作用するモーメント（平均で約0.2N・m、最大で約0.5N・m）を考慮し、弾性部材のバネ定数を0.3N/mmとした。



図5 こぎ胴カバー外側（自脱コンバイン）

② 基礎試験

考案した送塵弁開度制御機構による脱穀部所要動力の低減効果を確認するため、供試コンバインを用いて収穫試験を行った。対象水稻は生研センター附属農場の‘朝の光’とし、試験区間を20m、作業速度を0.6~0.8m/sとした。なお、チャフシープの設定は標準とした。

基礎試験結果を表2に示す。送塵弁制御を行った場合には、送塵弁制御無しの場合と比較して、送塵弁に作用するモーメントが低減するとともに、自脱コンバインの脱穀部所要動力が平均で約10%低減した。

2) 試作機の概要

基礎試験結果をもとに、図6に示すように、送塵弁開度制御機構を備えた試作1号機を開発した。2条刈自脱コンバイン(M社製VMS16, 11.8kW)の脱穀部のこぎ胴カバー外側に送塵弁開度制御機構を設置し、リンク機構を介して、こぎ胴カバー内側に位置する送塵弁の開度制御を行う構造とした。送塵弁は、初期開度調節レバーによって任意の位置に初期設定され、送塵弁にある一定以上のモーメントが作用した場合のみ、開く方向に動き、脱穀処理物を逃がした後、初期設定位置に復帰することとなる。但し、排塵口損失及び排稗口損失の発生抑制のため、送塵弁の最大開度を規制した。また、送塵弁の開度状況を把握するため、送塵弁開度制御機構にポテンシオメータを取り付け、ポテンシオメータの出力値により、送塵弁の開度状況を確認できるようにした。あわせて、脱穀部駆動中間軸にひずみゲージを貼り、コンバインの収穫作業時における脱穀部所要動力の測定を可能にした。

表2 基礎試験結果

送塵弁制御	弾性部材	コンバイン		脱穀部駆動中間軸		送塵弁
	ハネ定数 (N/mm)	作業速度 (m/s)	トルク (kg·m)	回転数 (rpm)	所要動力 (kW)	モーメント (N·m)
無し	-	0.6	1.52	1163	1.81	0.20
	-	0.8	1.65	819	1.39	0.11
	-	0.8	1.65	1013	1.72	0.20
	-	0.8	1.84	967	1.83	0.17
	-	平均	1.67	991	1.69	0.17
有り	0.3	0.6	1.22	1184	1.48	0.05
	0.3	0.8	1.42	978	1.43	0.02
	0.3	0.8	1.50	1014	1.56	0.05
	0.3	0.8	1.56	1091	1.74	0.02
	0.3	平均	1.42	1067	1.55	0.03
試験条件						
コンバインの種類	自脱型	試験区間 (m)	20		標準	
型式 (機関出力)	社製HA13 (9.6kW)	チャフシープ設定	供試水稻		朝の光	
刈取条数	2	籾水分 (%)	18~19			
作業速度 (m/s)	0.6~0.8	わら水分 (%)	68~69			

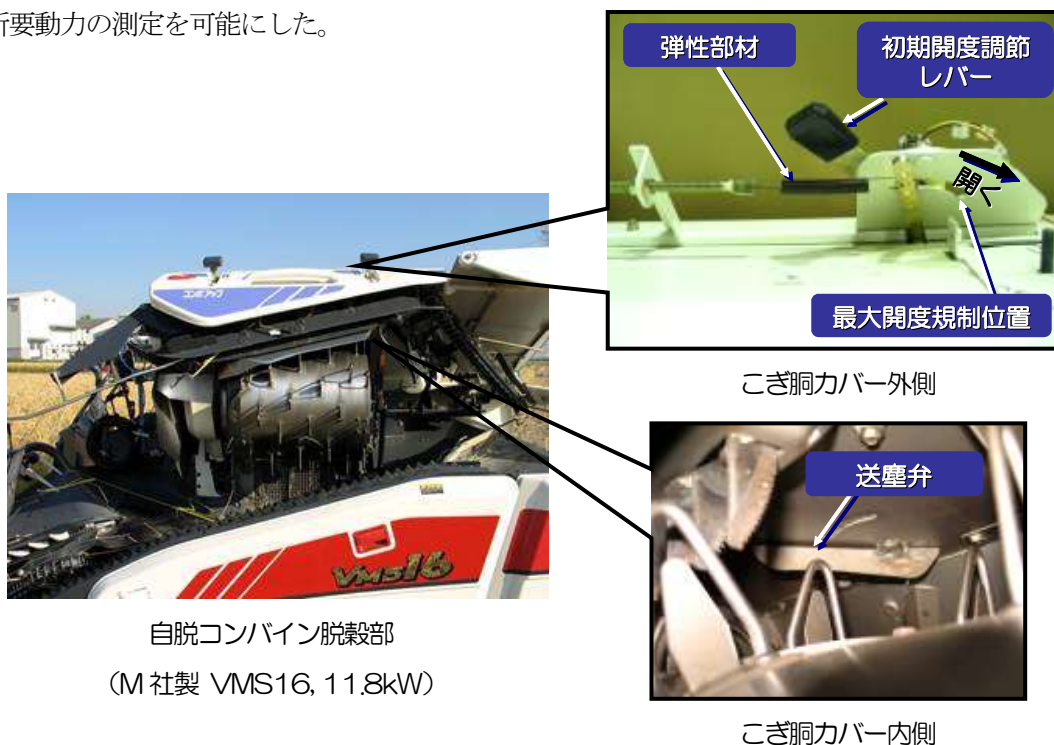


図6 送塵弁開度制御機構を備えた試作1号機

3) ほ場試験

(1) 脱穀部所要動力の日変化測定試験

コンバインの湿材収穫作業時における送塵弁開度制御機構の効果を確認するため、試作1号機を用い、脱穀部所要動力の日変化測定試験を行った。試験時間は、朝露や夜露等の影響を把握するため7:00~17:00とした。対象水稻は生研センター附属農場の‘朝の光’とし、試験区間を30m、作業速度を0.9~1.0m/sとした。あわせて、試験区間におけるわら水分及び籾水分を測定した。なお、チャフシーブの設定は標準とした。

(2) 精度試験

送塵弁開度制御機構を用いた場合の排塵口損失及び排稈口損失を調査するため、上記脱穀部所要動力の日変化測定試験と並行して、精度試験を行った(図7)。対象水稻は生研センター附属農場の‘朝の光’とした。全収穫区間を30mとし、うち助走区間を25m、試験区間を5mとし、作業速度を0.9~1.0m/sとした。なお、チャフシーブの設定は標準とした。

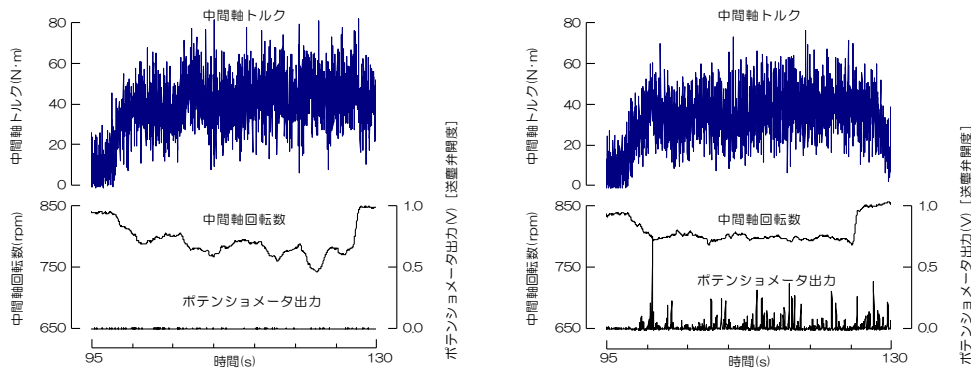


図7 精度試験の様子

(3) 試験結果および考察

① 送塵弁の作動状況

バネAを用いた際の送塵弁開度制御機構の作動状況例を図8に示す。(a)送塵弁制御無しの場合では、中間軸トルクの変動が大きく、中間軸回転数が著しく低下した。一方、(b)送塵弁制御有りの場合では、送塵弁に作用するモーメントに応じて送塵弁が開くため、送塵弁制御無しの場合と比較し中間軸トルクの変動が小さくなり、中間軸回転数の低下は少なかった。送塵弁開度制御機構は、こぎ室内における脱穀処理物の詰まりの発生を抑制するため、脱穀部所要動力が低減すると考えられた。



(a) 送塵弁制御無し

(b) 送塵弁制御有り

図8 送塵弁開度制御機構の作動状況例

② 脱穀部所要動力の日変化測定試験結果

試作1号機を用いて、脱穀部所要動力の日変化測定試験を行った結果、図9に示すように、朝露や夜露等が付着した湿材収穫作業時における脱穀部所要動力が低減した。また、朝露等が乾いた通常の収穫作業時間帯においても同様の効果があり、脱穀部所要動力は日平均で7%程度低減した。

よって、図9の近似曲線から推定すると、送塵弁開度制御機構を用いると、例えば10時の脱穀部所要動力であれば、ほぼ9時位まで同じ所要動力で作業できることから、穫作業時間帯を前後1時間ずつ拡大して、自脱コンバインによる収穫作業ができると考えられた。

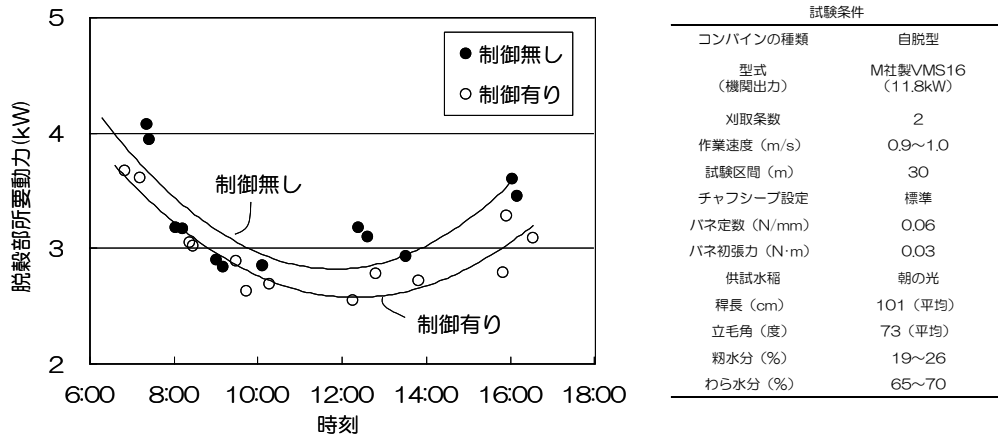
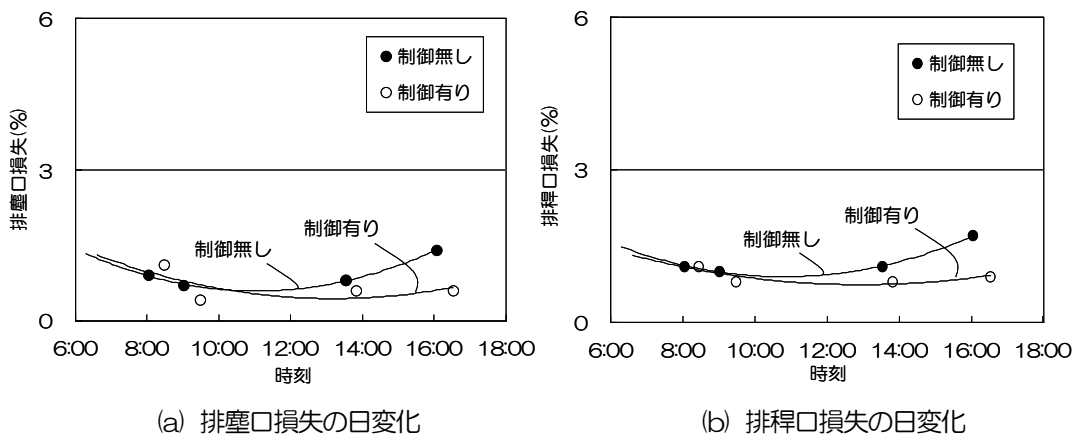


図9 送塵弁開度制御機構の性能

③ 精度試験結果

脱穀部所要動力の日変化測定試験と並行して、精度試験を行った結果、図10に示すように、送塵弁制御有りの場合の排塵口損失及び排稈口損失は、送塵弁制御無しの場合と比較し、終日増加しなかった。さらに、穀粒口の品質を調査した結果、表3に示すように、送塵弁制御有りとなしの場合では、その全ての試験区で顕著な差は認められず、送塵弁開度制御機構は品質に悪影響を及ぼさないと考えられた。



(a) 排塵口損失の日変化

(b) 排稈口損失の日変化

図10 精度試験結果

表3 品質調査結果

送塵弁制御	時刻	重さ(g)					割合(%)				
		単粒	枝稈付善粒	穂切粒	脱ぶ・損傷粒	ゴミ・わら	単粒	枝稈付善粒	穂切粒	脱ぶ・損傷粒	ゴミ・わら
無し	8:03	578	32.0	5.2	1.0	2.5	93.4	5.2	0.8	0.2	0.4
	9:02	610	34.8	6.1	1.2	2.8	93.2	5.3	0.9	0.2	0.4
	13:33	593	31.6	6.0	1.5	2.3	93.4	5.0	1.0	0.2	0.4
	16:05	577	33.9	7.1	1.7	2.7	92.8	5.4	1.1	0.3	0.4
	平均	590	33.1	6.1	1.3	2.6	93.2	5.2	1.0	0.2	0.4
有り (バネA)	8:28	525	36.0	5.0	0.7	3.4	92.1	6.3	0.9	0.1	0.6
	9:30	531	32.5	6.9	0.7	1.9	92.7	5.7	1.2	0.1	0.3
	13:51	652	35.4	7.1	1.5	2.5	93.3	5.1	1.0	0.2	0.4
	16:34	550	34.8	6.2	1.4	1.9	92.6	5.9	1.0	0.2	0.3
	平均	565	34.7	6.3	1.1	2.4	92.7	5.7	1.0	0.2	0.4

4. 選別部における湿材適応性拡大の検討

1) 基礎試験（はっ水方法の選択）

従来機の揺動選別部の部材として用いられている冷延・表面処理鋼板（SECCP）と比較し、はっ水性の高い部材を見出すため、室内基礎試験を行った。供試部材は 100×100mm のテストピースとし、試験区は、①従来機の部材として用いられている冷延・表面処理鋼板（SECCP）、②はっ水加工であるフッ化樹脂コート、③はっ水性樹脂である超高分子ポリエチレン、④アルミニウム、⑤ステンレス（SUS）の 5 試験区を設け、これらのはっ水性能（接触角及び滑落角）について調査した。試験条件については、室内温度 20℃、室内湿度 60%、落水量 0.04ml（蒸留水）、落下高さ 20mm とした。

室内基礎試験結果を表 4 に示す。まず、接触角については、①冷延・表面処理鋼板よりも、②フッ化樹脂コート及び③超高分子ポリエチレンの方が大幅に大きかった。また、④アルミニウム及び⑤ステンレスについては、①冷延・表面処理鋼板と比較して大きな違いはなかった。次に、滑落角については、①冷延・表面処理鋼板よりも、②フッ化樹脂コート及び③超高分子ポリエチレンの方が大幅に小さかった。また、④アルミニウム及び⑤ステンレスについては、①冷延・表面処理鋼板よりも滑落角が大きかった。これらの試験結果より、②フッ化樹脂コート及び③超高分子ポリエチレンは、従来機の部材と比較し、はっ水性能が高いと判断した。そのため、装置を試作するにあたり、これらを用いることとした。

表 4 室内基礎試験結果

供試部材 (100×100mm)	接触角（度）				滑落角（度）			
	測定値	平均値	測定値	平均値	測定値	平均値	測定値	平均値
1 冷延・表面処理鋼板 SECCP	44.0	43.0	45.5	44.2	54.0	56.0	65.0	58.3
2 フッ化樹脂コート FEP-PFA	91.5	89.5	90.0	90.3	27.0	28.0	27.0	27.3
3 超高分子ポリエチレン	87.5	80.0	84.5	84.0	32.0	30.0	33.0	31.7
4 アルミニウム	42.0	49.0	35.5	42.2	65.0	64.0	64.0	64.3
5 ステンレス SUS	41.0	40.0	44.0	41.7	75.0	72.0	72.0	73.0

2) 試作機の概要（I 社製 HA13, 9.6kW）

(1) はっ水加工

濡れた脱穀処理物の付着軽減を図るため、図 11(a)に示すように、グレンパン、チャフシーブ、ストロラックをはじめとする揺動選別部を構成する部品全般に対して、はっ水加工（フッ化樹脂コート）を施した。今回の加工においては、フッ化樹脂コートの膜厚を 20μm とした。なお、フッ化樹脂コートについては、部材の肉厚が若干増すものの、揺動選別部の基本構造はそのままよいという利点を備えていた。

(2) はっ水性樹脂

濡れた脱穀処理物の付着軽減を図るため、図 11(b)のように、部分的にはっ水性樹脂（超高分子ポリエチレン）を採用した。なお、今回採用した部材は樹脂素材であるため、強度上、チャフシーブのフィンの肉厚を 3mm 以下に加工することは困難であり、従来機の部材肉厚 1mm を約 2mm 上回る加工となった。

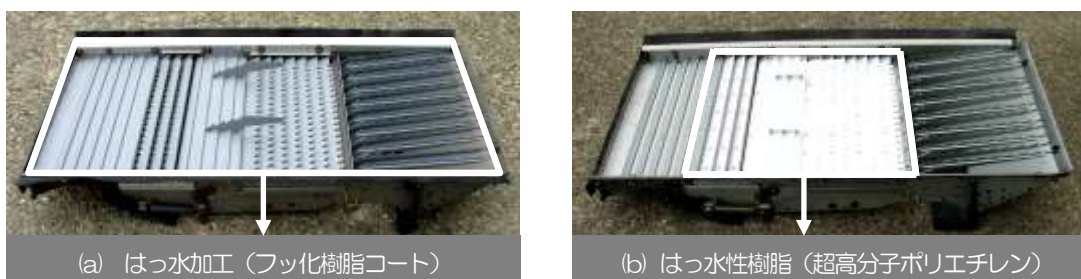


図 11 試作した揺動選別部

3) ほ場試験

(1) 精度試験

試作した2種類の揺動選別部について、湿材収穫作業時の選別性能を確認するため、供試コンバインを用いて精度試験を行った。試験区は、①従来機の揺動選別部、②基礎試験において高いはっ水性能を有していたはっ水加工（フッ化樹脂コート）を施した揺動選別部、③同じく基礎試験において高いはっ水性能を有していたはっ水性樹脂（超高分子ポリエチレン）を採用した揺動選別部の3試験区を設け、排塵わら流量に対する排塵口損失を調査した。対象水稻は生研センター附属農場の‘朝の光’とし、朝露が付着した水稻とした。全収穫区間を30mとし、うち助走区間を25m、試験区間を5mとした。作業速度を0.3~0.6m/sとし、試験区間におけるわら水分及び籾水分を測定した。なお、チャフシーブと送塵弁の設定は標準とした。

(2) 被選別物重の確認試験

試作した2種類の揺動選別部に付着する被選別物重を調査するため、供試コンバインを用いて収穫試験を行った。試験区は、①従来機の揺動選別部、②はっ水加工（フッ化樹脂コート）を施した揺動選別部、③はっ水性樹脂（超高分子ポリエチレン）を採用した揺動選別部の3試験区を設け、経時的に被選別物重を測定した。収穫試験は、朝露の付着している早朝7:00より開始し、朝露の付着が無くなるまで行った。対象水稻は生研センター附属農場の‘朝の光’とし、作業速度を0.6m/s程度とした。なお、チャフシーブと送塵弁の設定は標準とした。

(3) 試験結果及び考察

① 精度試験結果

精度試験の結果を図12に示す。はっ水加工を施した揺動選別部及びはっ水性樹脂を採用した揺動選別部は、従来機と比較し、ともに排塵口損失が低減した。これは、揺動選別部にはっ水加工を施したことや、はっ水性樹脂を採用したことにより、濡れた脱穀処理物が揺動選別部の各部位に付着しにくくなり、選別性能が向上したことが原因であると考えられた。なお、今回試作したはっ水加工とはっ水性樹脂を比較すると、はっ水加工の方がより低い排塵口損失を示しており、これは、はっ水性樹脂の場合、チャフシーブのフィンの肉厚を3mm以下に加工することが困難であり、はっ水加工と比較して選別性能が劣ったと考えられた。

② 被選別物重の確認試験結果

揺動選別部の被選別物重を経時的に確認した結果、図13に示すように、今回試作した2種類の揺動選別部は従来機と比較し、早朝であるほど被選別物重が少なかった。このことから、今回試作した2種類の揺動選別部は従来機よりも優れたはっ水性能を有していたと考えられ、精度試験結果の裏付けを行うことができた。

試験条件			
コンバインの種類	自脱型	供試水稻	朝の光
型式(機関出力)	粒製-HA13(9.6kW)	稈長(cm)	98(平均)
刈取条数	2	立毛角(度)	78(平均)
作業速度(m/s)	0.3~0.6	チャフシーブ設定	標準
助走区間(m)	25	送塵弁設定	標準
試験区間(m)	5		

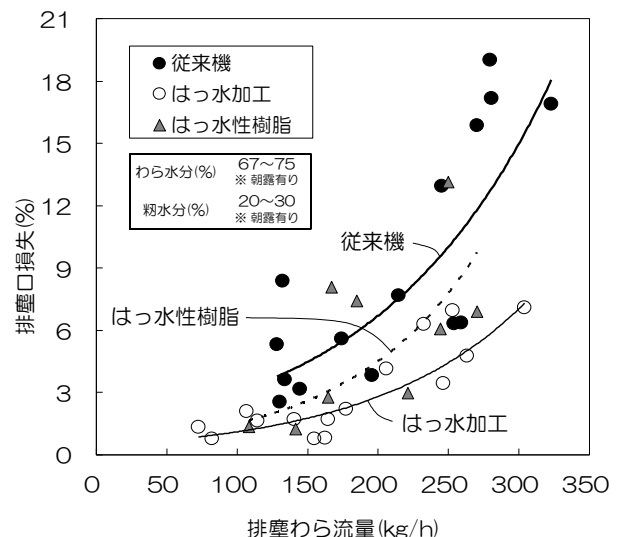


図12 試作した揺動選別部の選別性能

試験条件			
コンバインの種類	自脱型	供試水稻	朝の光
型式(機関出力)	I社製HA13 (9.6kW)	稈長 (cm)	100 (平均)
刈取条数	2	立毛角(度)	77 (平均)
作業速度 (m/s)	0.6	チャフシーブ設定	標準
試験区間 (m)	68	送塵弁設定	標準

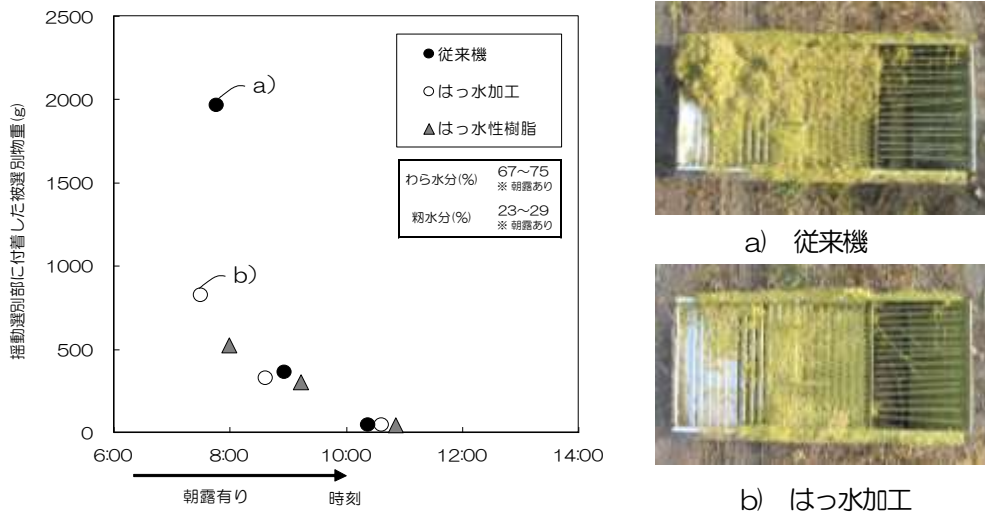


図13 試作した揺動選別部の被選別重経時変化

4) 耐久性試験

(1) 方法

① 工業的な耐摩耗性試験

これまでの基礎試験及びほ場試験の結果から、はっ水加工の方がはっ水性樹脂よりも、優れた選別性能を有していると考えられた。そこで、はっ水加工（フッ化樹脂コート）に着目し、その耐久性について、さらに検討を重ねた。はじめに、フッ化樹脂コートの工業的な耐摩耗性を調査した。耐摩耗性の確認については、東京都立産業技術研究所に依頼し、めっきの耐摩耗性試験（JIS H 8503）を行った。フッ化樹脂コート（膜厚 20 μm）を施したテストピースを用いて、JIS H 8682-3 に準じた砂落とし摩耗試験を行い、試験箇所への導通の有無から素地の露出を判定した。なお、試験時の気温を 22℃、湿度を 40% とした。

② ほ場における耐久性試験

フッ化樹脂コートの工業的な耐摩耗性を把握した後、ほ場における耐久性を調査した。5条刈自脱コンバイン（K社製AR70, 52kW）の機体より揺動選別部を取り外し、図14に示すように、チャフシーブのフィン部分にフッ化樹脂コート（膜厚 20 μm）を施し、生研センター附属農場において、約8haの水稲を対象とした耐久性試験を行った。耐久性試験においては、生研センター附属農場の従来通りのコンバインの使用方法



図14 はっ水加工を施した試作チャフシーブ

とし、作業日誌（日時、面積、品種）の作成を依頼した。耐久性試験の終了後、揺動選別部を取り外し、チャフシーブのフィンについて厚さ、質量、接触角等を調査し、耐久性試験の前後における変化について確認した。

(2) 試験結果及び考察

① 工業的な耐摩耗性試験

フッ化樹脂コートを施した揺動選別部の工業的な耐摩耗性を調査するため、JIS H 8682-3 に準じた砂落とし摩耗試験を行った結果、試験時間 480 秒で素地の露出が確認された。このことから、フッ化樹脂コートはアルミニウムの複合被膜の分類に準じる耐摩耗性であり、工業的な耐摩耗性を確認することができた。

② ほ場における耐久性試験

供試コンバインを用いて、生研センター附属農場において約 8ha の耐久性試験を行った結果、揺動選別部のチャフシーブにはっ水加工を施したことによる収穫作業中のトラブルは特に発生しなかった。耐久性試験の終了後、機体より揺動選別部を取り外し、チャフシーブのフィンについて、厚さ、質量、接触角等を調査したところ、はっ水加工の顕著な剥がれや著しいはっ水性能の低下は確認されなかった。よって、ある一定の耐久性を把握することができた。

おわりに

以上、従来機における湿材収穫作業時の現状把握を行うとともに、自脱コンバインの脱穀部および選別部における湿材適応性拡大を確認することができた。本成果を活用し、コンバインの通常の収穫作業時間帯を拡大することによって、コンバインの利用可能面積が拡大するため、面積当たりの機械償却費の低減に寄与できると考えている。なお、本研究については、「コンバインの稼働時間拡大に関する研究」に移行し、実証試験を行うとともに、実用化を図る予定である。

また、本研究の実施にあたり、送塵弁開度制御機構の試作については、三菱農機株の川村芳弘氏、はっ水加工に関しては、(株)杉田機工の杉田栄稔氏、大信フッ素工業(株)の杉田幸通氏、工業的な耐摩耗性試験に関しては、東京都立産業技術研究所の吉本圭子氏らの協力を得た。ここに記して改めて感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 栗原ら：コンバインの湿材適応性拡大に関する研究（第1報）、農機誌 70(4)、83-89
- 2) 栗原ら：コンバインの湿材適応性拡大に関する研究（第2報）、農機誌 70(4)、90-97
- 3) 生研センター：平成 16 年度事業報告、2005
- 4) 生研センター：平成 17 年度事業報告、2006
- 5) 生研センター：平成 18 年度事業報告、2007

イチゴ収穫ロボットの開発

特別研究チーム（ロボット） 山本聡史、林 茂彦、吉田啓孝（現退職）
齋藤貞文、小林 研、重松健太（現農水省）
石綿陽子
共同研究実施会社 エスアイ精工(株)、(株)前川製作所

はじめに	40
1. 開発目標	40
2. 着果状態調査	41
3. 栽培ベッドの通路側から果実に接近する収穫ロボットの開発	42
1) 開発機の構造と作用	42
2) 開発機の性能	44
4. 栽培ベッドの下側から果実に接近する収穫ロボットの開発	45
5. 栽培ベッドの内側から果実に接近する収穫ロボットの開発	45
おわりに	46
参考文献	46

はじめに

人間とロボットが共存する社会が近づきつつある。次世代ロボットビジョン懇談会の報告¹⁾によると、我が国の社会全体が抱えるテーマである少子・高齢化への対応、安心・安全な社会の実現、便利でゆとりある生活の実現などに対して、ロボット技術を産業、生活および公共の場で積極的に利用することが提言され、その具体的な利用場面として製造・生産（多品種変量生産、農業生産）、生活（家事支援、接客案内）、医療・福祉（医療ミスの低減、介護者支援）、公共（防犯警備）などが想定されている。農業生産において次世代ロボットが活躍する場面として最も期待されているのが果菜類の収穫作業である。

これまで、トマト^{2)、3)}、ミニトマト⁴⁾、キュウリ⁵⁾、ナス⁶⁾、イチゴなどを対象とした果菜類収穫ロボットに関する研究が進められてきた。イチゴの場合には土耕栽培を対象にしたロボット⁷⁾の他、高設栽培を対象としたロボット⁸⁾の研究が進められている。現在普及している高設栽培には様々な方式のものがあるが⁹⁾、一般に高設栽培では果実の着果範囲が小さく、葉などの障害物が比較的少ないことからロボット収穫に適していると考えられている。その普及面積は現在 400ha 程度（全国の作付面積の 6%弱）と推定され増加傾向にある。高設栽培技術の一つの発展方向として、早生品種や四季成り品種を活用した大規模施設での周年生産システムの構築が期待され¹⁰⁾、その実現のためには規模拡大のネックとなっている収穫・パック詰作業の省力化が必須の課題である。

このような状況のもと、生研センターでは、農林水産省の次世代農業機械等緊急開発事業において 2003 年度より要素技術の開発に主眼を置いた研究課題「果菜類ロボット収穫技術の開発」に取り組み、3 年が経過した 2006 年度より実用化に向けた研究課題「イチゴ収穫ロボットの開発」に取り組んでいる。研究期間は 5 年間で 2011 年度以降の実用化を目指している。

本稿では、これまでエスアイ精工(株)と共同開発を進めている「栽培ベッドの通路側から果実に接近するイチゴ収穫ロボット」について報告する。また、収穫精度向上に向けた課題として生研センターで取り組んでいる「栽培ベッドの下側から果実に接近するイチゴ収穫ロボット」及び(株)前川製作所と共同開発中の「栽培ベッドの内側から果実に接近するイチゴ収穫ロボット」について報告する。

1. 開発目標

高設栽培用のイチゴ収穫ロボットを開発するための基礎資料を得ることを目的に、イチゴ生産者を対象に栽培の状況や収穫ロボットに対する要望などに関してアンケート調査を実施した¹¹⁾。回答者の 7 割以上が収穫ロボットの必要性を感じており、開発への期待が高かった。また、収穫ロボットと作業者が相互に補完して収穫を行っても良いという回答が多く、その場合に収穫ロボットに 7 割以上の収穫割合を期待していた。さらに、収穫ロボットの導入にあたり、栽培様式の変更、ジベレリン処理、品種の変更などには否定的であるが、これらに比べ果柄付きイチゴの出荷やパック方式の変更に対しては肯定的であった。

これまで研究開発された収穫ロボットの技術的課題として、①収穫適期の果実を 100%収穫することは困難、②収穫速度が遅い、③果実を傷める、④不整地での安定走行が困難、⑤そのために開発コストが高くなる、などが指摘されている。これらの課題に対処するため、生産者の意識調査の結果を加

味し、イチゴ収穫ロボットの開発目標・コンセプトを設定した。果実を100%収穫できないことに対してロボットは収穫容易な果実のみを確実に収穫するものとし、遅い収穫速度に対してロボットは夜間稼働するものとした。また、果実の傷みに対しては果柄を切断する収穫方式を採用し、不整地走行に対してはレールを敷設した。つまり、収穫ロボットは作業者が寝ている夜間に収穫容易な果実のみをゆっくり確実に収穫し、朝になってロボットが収穫できなかった果実を、作業者が収穫するという協働作業体系を想定している。

2. 着果状態調査

ロボット収穫に適した栽培方法や品種を検討するため、目視により着果状態を図1のように5段階に分類し、品種や時期の異なるイチゴの着果状態を調査した。



図1 着果状態の分類（横方向）

その結果、果実の着果状態は品種や収穫時期でばらつき、収穫が容易と考えられる果実全体が露出する分類A~Cの割合は19~66%であった(図2)。摘果を十分行う栽培管理では生育が旺盛となる春季にも分類A~Cの割合が高かった。

また、高設栽培ベッドの通路側と内側から観察したときの着果状態を調査した。その結果、視点が通路側の場合、果実全体が露出する割合が2月で40%、5月で57%であった。内側の場合では85%以上となり、ロボット収穫が容易となることが示唆された(図3)。

さらに、果実を下側から見た場合について図4のように着果状態を分類して調査した。その結果、分類aが37%、分類bが24%、分類cが14%であり、果実が下側に露出している分類a~cの割合は75%であった。

着果状態を調査した結果、通路側から見た場合に時期により果実全体が露出する割合が低くなるが、内側から見た場合、果実全体が露出す

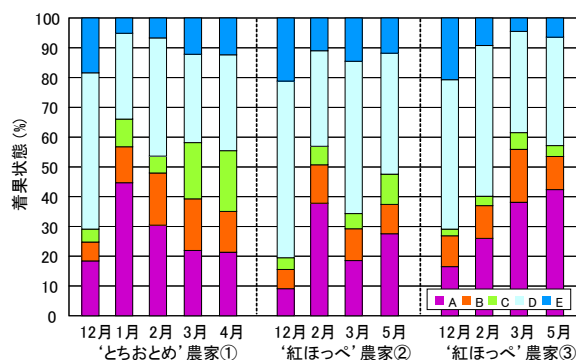


図2 品種、時期が異なる着果状態の比較

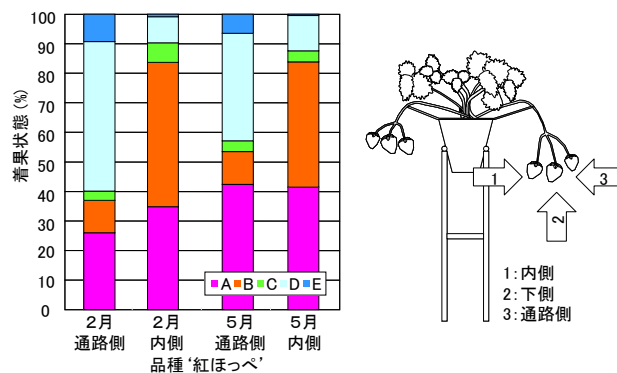


図3 通路側と内側から見た着果状態の比較

る割合が安定して高いことがわかった。これを踏まえ、内側からの摘み取りが可能となれば、収穫精度の向上が期待できると考えられた。また、下側から見た場合も通路側より果実が露出する割合が高いことがわかった。



図4 着果状態の分類（下側）

3. 栽培ベッドの通路側から果実に接近する収穫ロボットの開発

1) 開発機の構造と作用

開発機は高設栽培ベッド間の通路に沿って敷設したレール上を移動し、収穫作業を行う（図5）。

主な構成要素は走行部、視覚部、マニピュレータ部、ハンド部、収容部、であり、制御用PCにより制御する（図6）。各部の構成・機能は以下の通りである。ロボットの全ての機器はバッテリーにより駆動し、連続8時間の稼働が可能である。



図5 高設栽培ベッドと開発機の外観

(1) 走行部

レール上を移動する際、約20cmピッチで走行・停止を繰り返す間欠移動を行う。ロボットは、停止時に通路側から果実を認識し、摘み取りを行う。

往路で栽培ベッドの片側の果実を収穫し、通路の端に到達した時点でマニピュレータ部を反転させ、復路で隣の栽培ベッドの片側の果実を収穫する。

(2) 視覚部

視覚部はデジタルカラーCCDカメラ（512×480画素）3台と

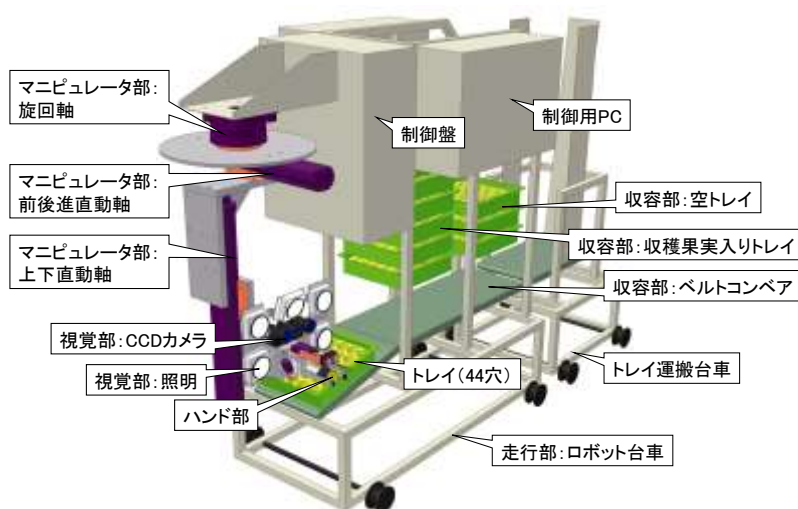


図6 開発機的主要な構成要素

パルス点灯型 LED 照明 5 灯からなる (図 7)。各カメラと照明に偏光フィルタを装着しており、照明とカメラの偏光方向を調整することにより果実表面のハレーションの発生を抑え鮮明な画像を撮影することができる。

100mm 間隔で配置した左右カメラで画像を撮影する。図 8 のように画像処理を施して赤熟果を認識した後、ステレオ画像法により目的果実の三次元位置を計測する。図 9 のように左カメラから撮影した画像の中から赤色部とその上側の緑白色部を抽出した後、両者の面積割合から着色率を推定する。さらにロボットでの収穫可否の判断も行う。左右カメラの間に配置した中央カメラにより三次元位置の測定誤差を補正し、目的の果柄を認識し、その曲がり具合を推定する。

収穫ロボットは夜間稼動することを前提としているため、光環境の変化が少ない状態で安定した画像が得られ、高精度な着色度合いの判定が期待できる。

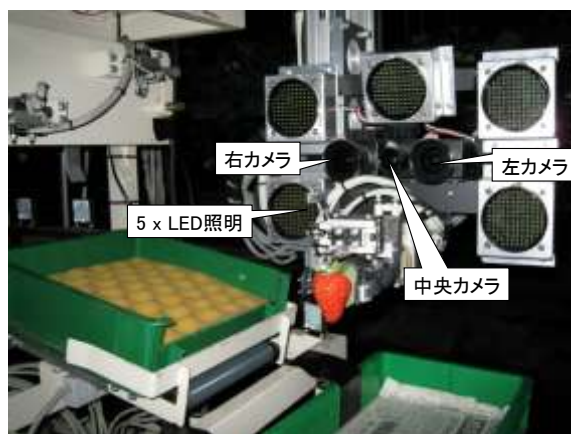
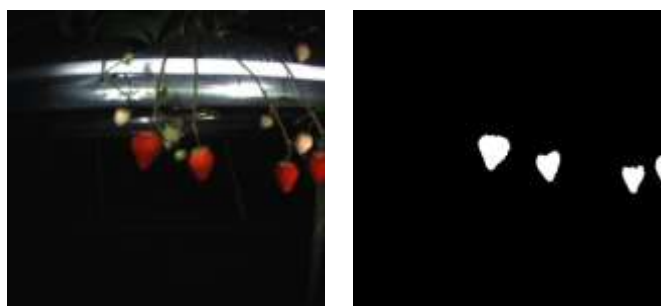


図 7 視覚部の外観



(a) 原画像 (b) 二値化画像

図 8 赤熟果の抽出



図 9 着色率の推定

(3) マニピュレータ部

マニピュレータ部には円筒座標系マニピュレータを用いた。このマニピュレータは旋回軸の下に前後方向と上下方向の直動軸を配置した構造で、機構が簡単で剛性が高いという特徴がある。上下および前後の直動軸のストロークはそれぞれ 400mm、300mm、動作速度は 500mm/s である。マニピュレータ部を制御することにより視覚部で測定した果実の三次元位置にハンド部を接近させる。

(4) ハンド部

果実に傷付けず果柄を切断して摘み取るため、ハンド部は吸引パイプと

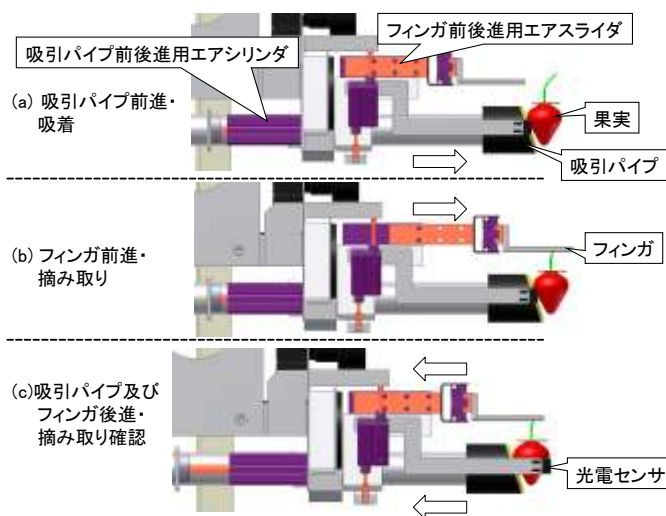


図 10 ハンド部の前後進動作

カッター付き把持フィンガから構成され、両者は独立して 40mm のストロークで前後移動する。図 10 に採果動作を示す。マニピュレータ制御によって赤熟果の手前に接近したのち、果実の手前で吸引パイプを前進させ果実を吸着する。そして把持フィンガを前進させ果柄をフィンガ間に挿入する。この状態でフィンガを閉じることにより果柄を切断し、摘み取りを行う。果実の摘み取りの成否を確認するため光学センサを備える。

目的の果柄をフィンガで確実に把持・切断するため、フィンガ間の距離を拡げる必要があるが、隣接する未熟果の果柄も同時に切断することが危惧された。しかし、フィンガ間の距離が狭いと、果柄が曲がっている場合に果柄をフィンガ間に挿入できず、収穫できない現象が観察された。そこで、視覚部で推定した果柄の曲がり具合に基づき、2 台のエアシリンダを組み合わせてフィンガを図 11 のように左右 15° 傾斜させ、曲がった果柄にも対応可能とした。

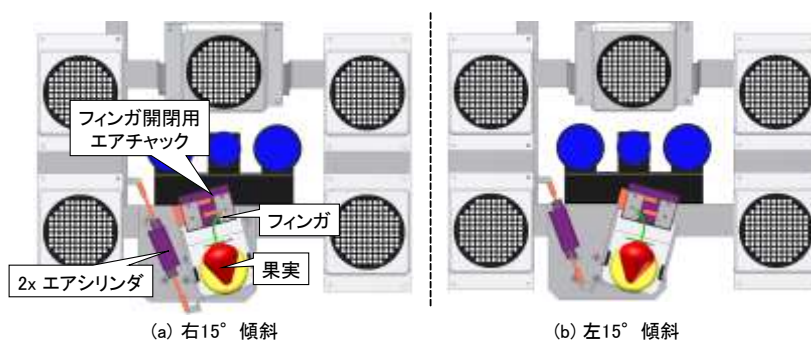


図 11 ハンド部の傾斜動作

(5) 収容部

収容トレイにはイチゴを整置するための窪みを 44 穴設けたスポンジを敷いた。ロボット後部に空の収容トレイまたは収穫果実入り収容トレイを積載するトレイ運搬台車をけん引し、台車が収穫果実で満載になった時点で切り離し、空の収容トレイを積載した別のトレイ運搬台車と連結する。

2) 開発機の性能

(1) 基礎性能試験

着色率の判定機能を確認するため、着色率の異なる果実（‘紅ほっぺ’、供試数：100 個）を用いて作業者と画像処理による判定を比較した。開発機は作業者の判断と比較すると、着色率をやや高く判定した（図 12）。この結果から判断すると、開発機は収穫適期前の果実を誤って収穫してしまう場合がある。未熟果を収穫してしまうと、生産者の収益に影響することは明らかであり、引き続きこの判定機能の高精度化が必要である。

カメラ前方約 20cm に果実を置いて収穫時間を計測した結果、果実を認識して摘み取り、トレイに収容して初期姿勢に復帰するまでの時間は 12.3~13.4 秒であった。

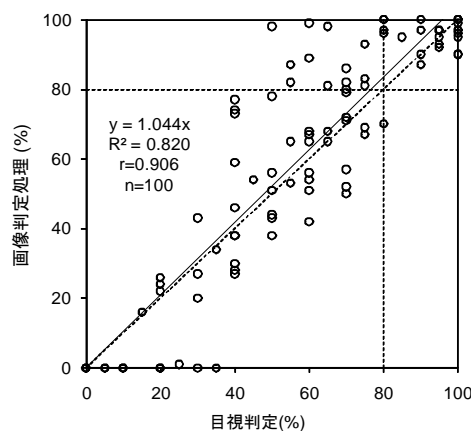


図 12 着色率の測定結果

(2) 連続収穫試験¹²⁾

2007年5月及び12月に‘紅ほっぺ’を栽培している愛媛県の試験ほ場にて長さ36mの試験区を設け、開発機の性能試験を実施した。表1に試験結果を示す。収穫適期果実を収穫した割合は5月で51～69%、12月で28～35%であった。開発機が収穫可能と判断し、摘み取りを試みて成功する割合が60～80%であったことから、12月の試験では開発機が収穫不可能と判断して収穫適期果実の摘み取りを試みなかった結果、収穫成功率が低下したと考えられた。収穫時間は収穫適期果実数によりばらつきがあり、1試験区で20～30分であった。現在、コストや設置環境を考慮した小型軽量化、収穫性能・速度の向上、畝間を含めた移動方法等を検討している。

表1 連続収穫試験結果

試験番号	試験日	収穫適期果実数	作業時間	収穫成功率(%)
1	5/14	55	23' 24"	58.2
2	5/15	72	29' 17"	69.4
3	5/30	88	28' 23"	51.1
4	12/27	47	17' 17"	27.7
5	12/28	63	23' 19"	34.9

4. 栽培ベッドの下側から果実に接近する収穫ロボットの開発

実際のは場では複数の果実が重なっている場合が多く、個々の果実の認識が困難であり、収穫対象果実と隣接果実を同時に摘み取ることも起こり得る。こうした問題を解消するため、生研センターでは高設栽培ベッドの果実を下側から認識して接近する技術、目的果実と隣接する果実を引き離して摘み取る技術を開発している。すなわち、イチゴ果実は果頂部から見た場合、ほぼ円形に近い形状なので、一般的な粒子解析手法の応用により、多少重なった果実同士でも容易に識別できる。熟度判別は栽培ベッド内側から着色率測定ユニットにより行う。また、接近して果頂部を吸着し、圧縮空気を吐出することにより隣接果実を引き離した後、目的果実のみを把持・摘み取るエンドエフェクタを備える。さらに作業者と同様のスナップ動作により果実に果柄を残さないよう摘み取る。

図13に示す基礎試験装置を用いて‘紅ほっぺ’が10株定植された栽培ベッドを50台供試して試験を行った。その結果、収穫適期果実の収穫成功率が67.1%であった。その内訳として、収穫適期果実の位置検出率は89.0%、着色率測定結果に基づく収穫適期判定率は83.4%、採果率は90.3%であった。下側から見た着果状態(図4参照)別の収穫成功率は、分類aで69.3%、分類bで75.7%、分類cで51.7%、分類dで61.0%であった。果実の損傷率は12.5%、誤採果率は13.9%、果柄残存果割合は12.0%であった。栽培ベッド(長さ:1m、収穫適期果実数:平均2.3個)1台の平均処理時間は127sであった。現在、損傷率及び誤採果率の低減、作業能率の向上を目指し改良を行っている。

5. 栽培ベッドの内側から果実に接近する収穫ロボットの開発

着果状態の調査結果に基づき、通路側だけではなく内側から果実に接近可能な

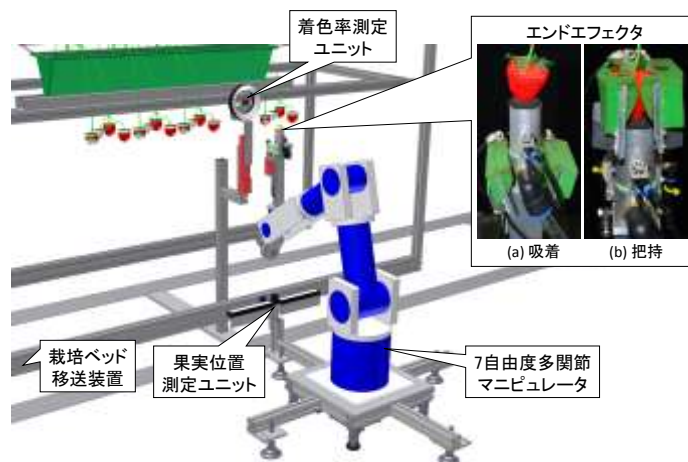


図13 下側接近を特徴とする収穫ロボットの基礎試験装置

小型マニピュレータを有するイチゴ収穫ロボットを(株)前川製作所と共同開発している(図14)。小型マニピュレータは5自由度の多関節型であり、内側からの接近を可能とするため、マニピュレータの第1関節を対象果実のほぼ真下に位置するような構成にするとともに、回り込みに十分なリンク長を確保した。リンクに中空構造を用いてモータ等のケーブルを収容可能とした。収容部は直動軸を2台備え、果実の大きさ別に粗選別する機能を有する。現在、試験ほ場にて試作機の改良及び性能試験を実施している。

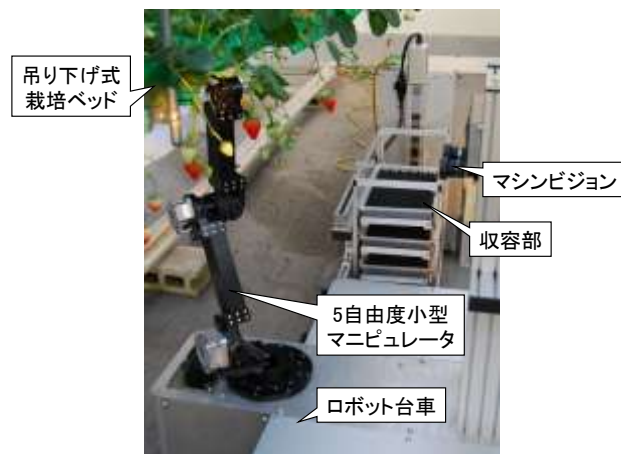


図14 内側から接近する収穫ロボットの外観

おわりに

国際競争に打ち勝つ大規模施設園芸を構築し発展させていくためには省力化、自動化が不可欠であることはもちろんのこと、生産履歴や農産物情報の活用が一層重要になってくる。収穫ロボットはこれらの要望に応え、規模拡大のための必須ツールと考えられ、期待も大きい。2007年度から開始された農林水産省の「担い手の育成に資するIT等を活用した新しい生産システムの開発」—超省力施設園芸生産技術の開発—の中で、イチゴ収穫ロボットを導入し、労働時間の徹底的な削減と大幅な収量向上により、生産コストの大幅な低減を達成する技術の開発が進んでいる。今後、こうした事業と連携しつつ、実用化に向けて開発改良を進める。

参考文献

- 1) 「次世代ロボットビジョン懇談会」報告書(2004)
- 2) 林 茂彦 他(1997), 野茶研報 12, 133-141.
- 3) Monta, M. et al. (1998), J.JSAM 60(6), 97-104.
- 4) スブラタ, I.D.M. 他(1996), 農業機械学会誌 58(4), 45-52.
- 5) 有馬誠一 他(1994), 農業機械学会誌 56(6), 69-76.
- 6) 林 茂彦 他(2003), 植物工場学会誌 15(4), 205-210.
- 7) 近藤 直 他(2000), 植物工場学会誌 12(1), 23-29.
- 8) 有馬誠一 他(2001), 植物工場学会誌 13(3), 159-166.
- 9) 岡 昌二(2001), 施設と園芸 112, 40-48.
- 10) 望月龍也(2005), 施設と園芸 129, 4-8.
- 11) 林 茂彦 他(2004), 生研センター研究成績 16-1.
- 12) 二宮和則 他(2008), 日本生物環境工学会 2008年大会講演要旨, 296-297.

イチゴの高密度植移動栽培装置の開発

園芸工学研究部 林 茂彦、吉田啓孝（現退職）、齋藤貞文
山本聡史

共同研究機関 農研機構 東北農業研究センター
宮城県農業・園芸総合研究所
大阪府立大学大学院生命環境科学研究科
株式会社 誠和

はじめに	48
1. イチゴ高密度植移動栽培システムの開発構想	48
2. 高密度植移動栽培装置（基本モデル）	48
1) 装置の構成および動作	48
2) 栽培ベンチ	50
3) 縦移送ユニット	50
4) 横移送ユニット	50
5) 底面給水ユニット	50
6) 頭上かん水ユニット	51
7) 防除ユニット	51
8) 制御ユニット	51
9) 基本性能	51
3. 高密度植移動栽培装置（低コストモデル）	54
1) 装置の構成	54
2) 装置の基本性能	54
おわりに	55
参考文献	55

底面給水ユニット、ゲート型の防除ユニットおよび制御ユニットから構成される（図3、図4）。また、装置にはイチゴを養液栽培するための栽培ベンチが、各縦移送ユニットに8台（計16台）、横移送ユニットに1台、合わせて17台積載できる。

栽培ベンチが横移送ユニットAまたはBに載って待機している状態で下葉とりや収穫などの作業を行うことを前提とし、それぞれの状態を初期位置Aまたは初期位置Bと呼び、初期位置から次の初期位置までの動作を1サイクルと定義する。図5に動作のフローチャートを示す。横移送ユニットが停止している状態から作業者がサイクル移動の操作ボタンを押すと、栽培ベンチを載せた横移送ユニットAと何も載せていない横移送ユニットBが同時に図4の右端点位置まで移動する。移動後、横移送ユニットA上の栽培ベンチは、縦移送ユニットBの引き込み部によって、縦移送ユニットBに乗り移る。この時、縦移送ユニットBにある8台の栽培ベンチは、乗り移った栽培ベンチによって順次押し込まれ、反対側にある横移送ユニットBに最も近い栽培ベンチが横移送ユニットBに乗り移る。横移送ユニットBは栽培ベンチを積載後、横移送ユニットAと共に図4の左端点位置まで移動する。縦移送ユニットAも縦移送ユニットBと同様の引き込み部を有し、横移送ユニットBにある栽培ベンチを縦移送ユニットAに引き込むことにより、横移送ユニット側の栽培ベンチ1台が横移送ユニットAに乗り移り初期位置A



図3 基本モデルの全体

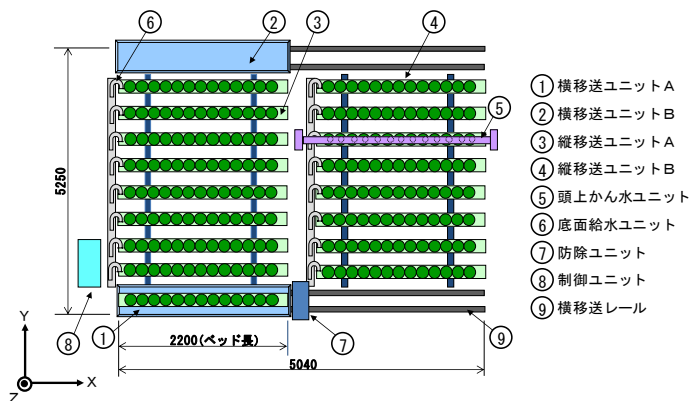


図4 基本モデルの模式図

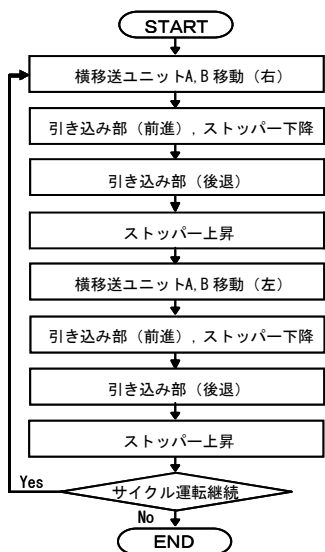


図5 装置の基本動作

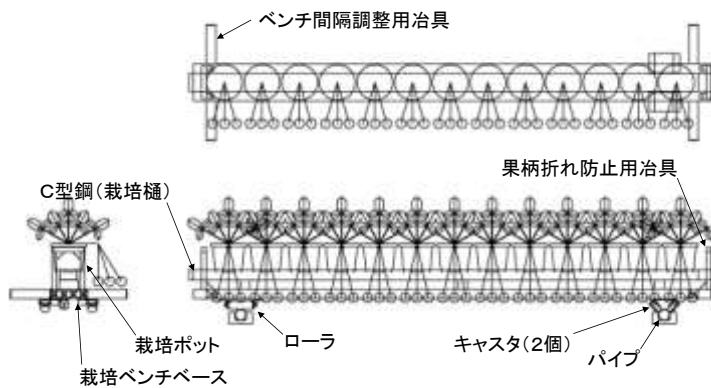


図6 栽培ベンチA

に戻る。これら一連の動作によって栽培ベンチは循環移動する。

2) 栽培ベンチ

栽培ベンチは、栽培ベンチベース、C型鋼（長さ：2,200mm）、果柄折れ防止用具、ベンチ間隔調整用具、ベース下部の移動機構から構成される（図6）。C型鋼を底面給水用の栽培槽として用い、排水側には給水された給水液が貯留するように発泡スチロール製の堰を設けた。また、C型鋼には、底面給水ポット（直径：160mm、容量：1.3L）を13個配置できる。移動機構は、縦移送ユニット上の直管パイプ（φ48.6mm）を移動するためのローラー1本および、キャスター4個からなる。キャスターの取付角を90°とすることでキャスターがパイプを挟持し、縦移動時の栽培ベンチの転倒を防止する構造とした。なお、栽培ベンチ1台の質量はおよそ19kgで、栽培ポットを13個配置した時の質量はおよそ32kgであり、栽培ベンチAの静摩擦係数は0.07、動摩擦係数は0.01であった。

3) 縦移送ユニット

縦移送ユニットは、横移送ユニットから移動してきた栽培ベンチを貯留し、この状態で栽培を行う。1.8mの間隔で配置された2本の直管パイプ（φ48.6mm）、横移送ユニットにある栽培ベンチを引き込むための引き込み部、引き込みすぎた栽培ベンチを縦移送ユニット側に戻すためのストッパーで構成される。さらに、引き込み部は、栽培ベンチを縦移送ユニット側に引き込むための引き込み用アーム、引き込み用モータ、位置決め用リミットスイッチ、アーム先端に取り付けた引き込みフックから構成される（図7）。

4) 横移送ユニット

横移送ユニットは、走行用モータ、横移送用レール2本、操作ボタン、移動中の栽培ベンチの落下を防止するための落下防止ストッパー、端点検出用リミットスイッチで構成され、縦移送ユニットから乗り移った栽培ベンチを隣の縦移送ユニットに移動する。横移送ユニットの動作は、急発進を防ぐため、モータのスロースタートを1秒にし、停止は給水液こぼれ防止、オーバーラン防止の観点から2段階の速度制御とした。つまり、端点検出用リミットスイッチを各横移送ユニットに対して左右2個ずつ配置し、横移動中に最初のリミットスイッチを検出すると高速運転モード(252.9mm/s)から低速運転モード(1.28mm/s)に移り、次のリミットスイッチの検出によって横移送ユニットは0.1秒に設定したスローダウン後に完全に停止する。また、操作ボタンは、サイクル運転の開始を行うためのもので、作業者が操作しやすいように高さ660mmに設置した。

5) 底面給水ユニット

底面給水の方法には、栽培ベンチが循環移動することを考慮して栽培管理が容易な腰水法を用い、初期位置Aで停止している時に全ての栽培ベンチに給水することとした。つまり、給水ノズル（φ8mm）は縦移送ユニットAおよびBに固定され、縦移送ユニット上の16台と、横移送ユニットA上の栽培ベンチに給水する。底面給水ユニットは、24時間タイマーによって管理され、設定された時刻に一定時間給水を行う。また、給水ノズルの反対側には排水桶を設置し、栽培ポットに給水されなかった余剰水は排水桶を通して回収され、再び給水タンクに戻る。

6) 頭上かん水ユニット

底面給水のみのかん水では、塩類集積等による生育障害や初期生育の不良が起る恐れから、頭上かん水も併用できる構成とした。頭上かん水ユニットは、縦移送ユニット B に設置され、図 8 に示すように 13 本の貫入棒と、それらを上下させる電動スライダ、および給水ポンプから構成される。各貫入棒の先端にはかん水ドリッパー（給水量：8L/h）が取り付けられており、各ポットへ均一に給水量する。貫入棒は、通常ポット上面より 485mm 上方で待機しており、貫入棒の真下に栽培ベンチを積載した横移送ユニットが移動を開始すると、385mm 下降して給水を行う。給水時間は、0~25 秒まで任意に設定可能である。

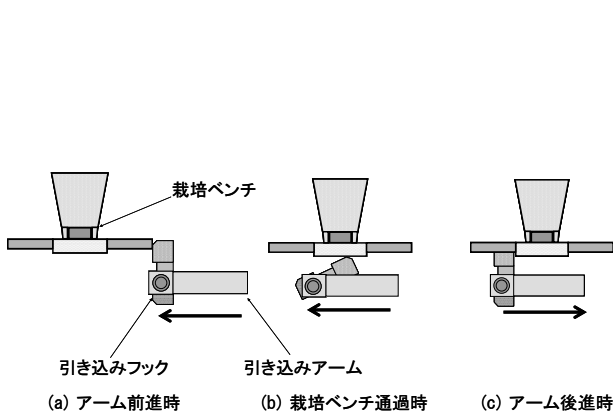


図 7 引き込みアームの動作

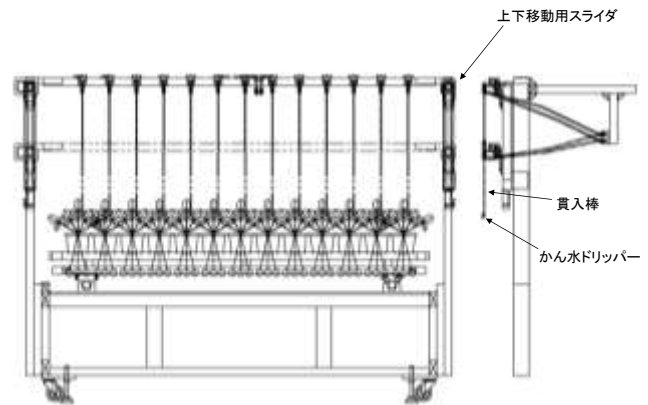


図 8 頭上かん水ユニット

7) 防除ユニット

防除方法は、栽培ベンチが循環移動する点を考慮して、定位置にて薬液を散布する方式とした。防除ユニットは、ゲート型で横移送ユニット A の中央に設置され、3 個の低ドリフト散布ノズルを左右に 2 個、上側に 1 個配置した構成である。なお、散布量や生育に応じてノズルの数と噴出位置を任意に変更できる。防除ユニットは、栽培ベンチを載せた横移送ユニット A が縦移送ユニット B 側に、移動を開始するとともに作動し、横移送ユニット A がゲートを通り、縦移送ユニット B に到達すると停止する。

8) 制御ユニット

制御ユニットは、主に PLC、入出力機器、24 時間タイマーおよびサブタイマーで構成され、PLC には上述した基本動作を実行するためのプログラムがストアしてある。

制御プログラムには、かん水モードと作業サイクルモードがあり、かん水モードは、朝 1 回の頭上かん水ユニットによる給水と 1 日 3 回の底面給水ユニットによる給水を自動で行う。作業サイクルモードは、作業者が操作スイッチを押すことで 1 サイクルし、定植や収穫作業等が行える。

9) 基本性能

(1) 基本モデルの 1 サイクル消費電力と所要時間

17 台全ての栽培ベンチ A にポットを配置した状態で、上述の初期位置 A から移動動作を開始し、1 サイクル運転中の電力値をサンプリングレート 1Hz で記録した。この測定を 10 回行い、記録した電力値を解析することにより、1 サイクルの消費電力量を求めた。なお、頭上かん水ユニットの作動時間を 10 秒とした。また、記録したデータから 1 サイクルの平均所要時間を求めた。

横移送ユニット A および B の移動時の消費電力はおよそ 232W、引き込み部が駆動し栽培ベンチを縦移送ユニットに引き込む時の消費電力はおよそ 138W であった (図 9)。なお、消費電力はサイクル運転開始後 40 秒あたりで最大 552W となった。1 サイクルあたりの平均消費電力量は 3.67Wh であった。また、1 サイクルの所要時間の平均は 71.2 秒であった。

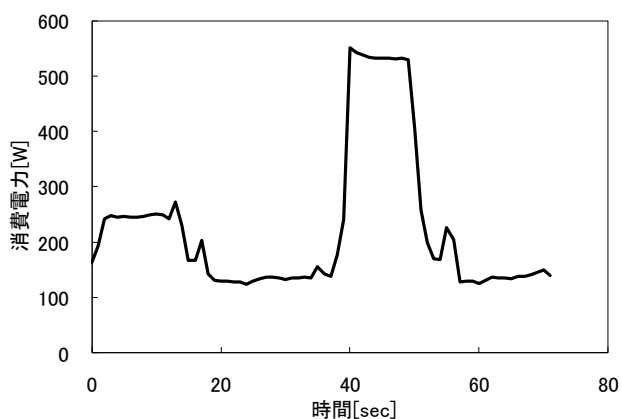


図 9 消費電力 (1 サイクル)

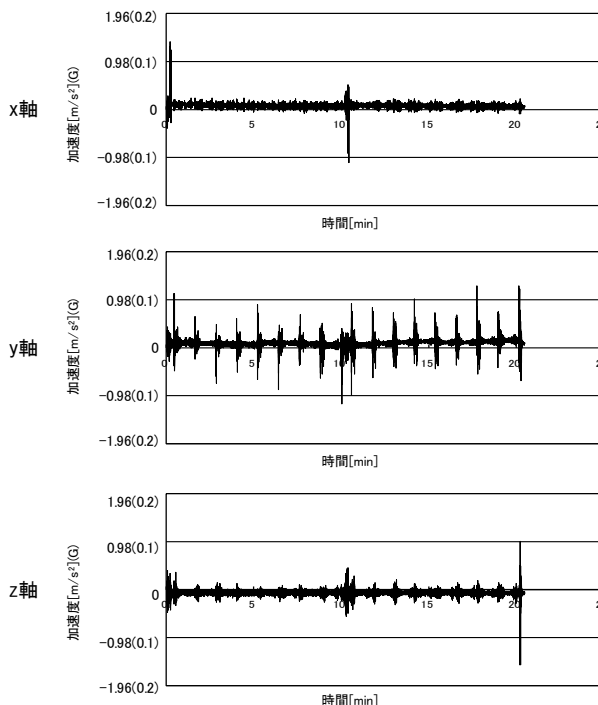


図 10 栽培ベンチの振動加速度

(2) 移動時の栽培ベンチの振動加速度

栽培ベンチにかかる振動加速度の測定は、栽培ベンチベース上に 3 軸加速度センサーを設置し、その栽培ベンチが 17 サイクルして元の位置に戻る間の加速度をサンプリングレート 25Hz で計測した。なお、図 4 に示すように、x 軸を横移送方向、y 軸を縦移送方向、z 軸を鉛直方向とした。

測定結果を図 10 に示す。x 軸方向の加速度は $-1.147 \sim 1.264 \text{m/s}^2$ ($-0.117 \sim 0.129\text{G}$)を示し、横移送ユニットの停止時に加速度が大きく検出された。y 軸方向の加速度は $-1.117 \sim 1.441 \text{m/s}^2$ ($-0.114 \sim 0.147\text{G}$)を示し、横移送ユニットから縦移送ユニットに栽培ベンチが引き込まれる時に加速度が大きく検出された。z 軸方向の加速度は $-11.345 \sim 8.825 \text{m/s}^2$ ($-1.157 \sim -0.900\text{G}$)で、重力加速度を無視すると $-1.539 \sim 0.980 \text{m/s}^2$ ($-0.157 \sim 0.100\text{G}$)であり、横移送ユニットから縦移送ユニットに乗り移る際に加速度が大きく検出された。これらの結果より、栽培ベンチを移動するときに生じる加速度は最大で 1.47m/s^2 (0.15G)程度であり、横移送ユニットの停止時と、横移送ユニットから縦移送ユニットへの乗り移り時において、栽培ベンチに加速度が生じることが明らかとなったが、目視では栽培槽内の給水液の逸出は確認されなかった。

(3) 移動時のイチゴ果実の挙動

栽培ベンチの移動によって着果している果実が揺れて、ポットや他の果実と接触することが考えられることから、移動時のイチゴ果実の挙動を調べた。図 11 に示すように栽培ベンチに固定したビデオカメ

ラで赤熟果実を録画し、画像解析によって果実の重心位置を算出することで果実の挙動を測定した。なお、上述の栽培ベンチにかかる加速度の測定結果より、横移送および栽培ベンチの乗り移し時に大きな加速度が検出されたことから、これらの動作時のみの挙動を録画、解析することとし、表1に示す供試イチゴを栽培ベンチ中央に配置し、横移送中は x-z 軸平面に対して、栽培ベンチ乗り移し時は y-z 軸平面に対して、各供試イチゴを3回撮影し、画像解析を行った。解析の方法は、まず撮影した動画データの1フレームを画像処理ボードに転送し、その RGB 画像から式(1)により色度 T を求める。次に、色度 T を2値化し、画像上での果実の重心位置を求めて変位置を計算する。

$$T = \frac{R}{R+G+B} \times 255 \quad (1)$$

ここで、 T ：色度、 R 、 G 、 B ：各画像の濃度値。

さらに、式(2)により画像上の重心位置の変位から実際の果実移動距離を計算する。なお、撮影時に対象果実を中央に配置したことから画像の歪みは無視した。

$$d = k \cdot P \quad (2)$$

ここで、 d ：実際の果実の変位[mm]、 k ：変換係数[mm/pixel]、 P ：画像上の重心位置の変位[pixel]。

供試した果実3果において、横移送中の果実の挙動は、x軸で $\pm 22.6\text{mm}$ で、z軸で $\pm 3.8\text{mm}$ であった。また、縦移送中の果実の挙動は、y軸で $\pm 7.8\text{mm}$ で、z軸で $\pm 4.2\text{mm}$ であった。解析結果の例(ポット1)を図12に示す。ただし、ポット上の他の果実も対象果実と同期しており、果実同士の接触は観察されなかった。

表1 供試イチゴの性状

ポット No.	赤熟果実			未熟果実			
	果実重 (g)	果実長さ (mm)	果実幅 (mm)	未熟果個数 (個)	果実重 (g)	果実長さ (mm)	果実幅 (mm)
1	17	38.0	36.0	1	4	25.3	20.7
2	23	49.0	37.7	4	1~3	15.7~29.0	11.8~18.0
3	13	36.6	31.7	1	1	19.4	18.6

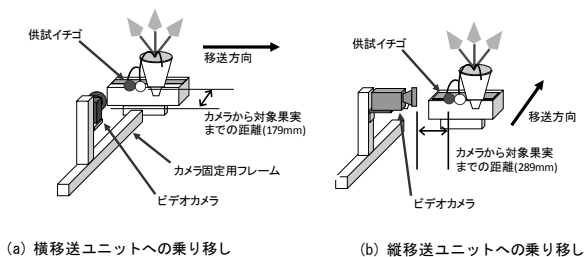


図11 果実の撮影

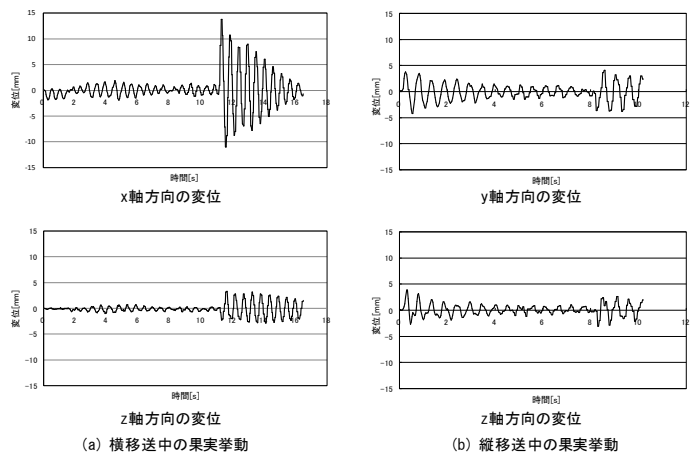


図12 移動中の果実の挙動解析結果(ポット1)

3. 高密度植移動栽培装置（低コストモデル）

1) 装置の構成³⁾

低コストモデルは、基本モデルから得た知見を生かしたうえで、実用化および大規模化を考慮して、主に以下の点について開発改良を行った。①部材の簡素化として、基本モデルで使用したアルミフレーム（45×45mm）から農芸用鋼管（φ31.8mm）を主に使用した。②横移送ユニットの移送方法について、横移送ユニットの往復動作により栽培ベンチを搬送する方法から、コンベアによる一方向搬送に変更した。③縦移送ユニットの移送方法について、左右の縦移送ユニットが交互に栽培ベッドを移送する方法から、左右同期して移送する方法に変更した。また、縦移送ユニットは、引き込み用スライドモータ、2基の回転モータ、回転モータに取り付ける2本の引き込み棒で構成され、引き込み棒には500mm間隔で引き込みフック(116mm)を取り付けた（図13）。

また、栽培ベンチの低コスト化と栽培の安定を図るため、新たに栽培ベンチを試作した。農芸用鋼管のフレームにC型鋼を固定し、その上に市販の「いちごステーション」のプランタを載せた構造であり、フレーム下部に車輪を取り付けることにより、レール上を移動する（図13）。

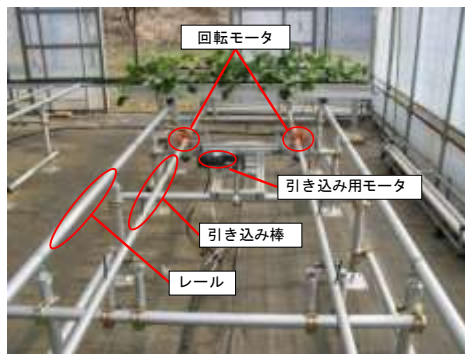


図13 引き込み機構



図14 低コストモデルによる密植栽培

2) 装置の基本性能⁴⁾

低コストモデルは、長さ4.2mの栽培ベンチを42台搭載でき、1台の栽培ベンチに32株のイチゴが栽培可能であった。栽培ベンチの間隔は50cmであるため、栽植密度は15,300株/10a程度と高密度植が可能となった（図14）。装置の基本性能は、栽培ベッドの1サイクルに要する時間は約58秒で、栽培ベッドが1循環、つまり42サイクルに要する消費電力は124.3Whであった。また、1循環中に栽培ベンチに作用する振動加速度は最大0.82Gであったが、栽培上問題の発生はない。

低コストモデルを用いた定植作業のタイムスタディ調査を行った結果（被験者：33才男性）、初期位置にある栽培ベンチに定植苗を植付ける作業は全体の92%、定植苗のあるトレイや被覆用の土の準備作業は全体の5%、次の栽培ベンチが初期位置にくるまでの

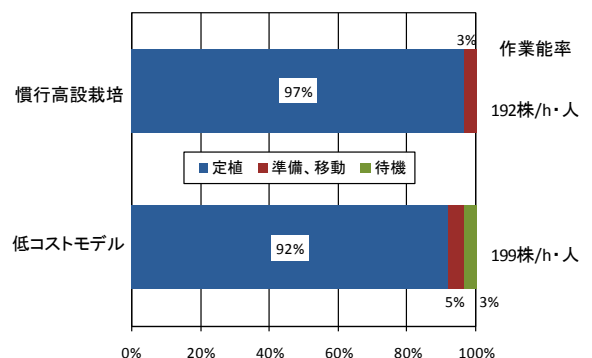


図15 定植作業の調査結果

待機状態が全体の3%であった(図15)。作業能率は199株/h・人であり、慣行栽培とほぼ同程度であった。

おわりに

イチゴの高密度植移動栽培技術の確立を目指して、その中心となるハードウェアとして移動栽培装置を開発した。基本モデルではおよそ12,500株/10aの高密度植栽培が可能であった。そして、低コストモデルを試作開発することにより、およそ15,300株/10aの高密度植栽培を実現した。現在、宮城県農業・園芸総合研究所の2連棟ハウスに低コストモデル(大きさ10.8×9.6m)を設置し、栽培試験を実施しており、生育は順調である。今後は、農家レベルでの実証試験を実施し、装置の実用化に向けて給水方法および株あたり収量に関する栽培データを蓄積するとともに、装置の作業性等を詳細に評価する必要がある。

参考文献

- 1) 林ら: 冷蔵苗利用によるイチゴの高密度植移動栽培システム. 日本生物環境工学会, 講演要旨, pp.310-311, 2008
- 2) 吉田ら: イチゴの高密度植栽培のための移動栽培装置の開発. 農業機械学会誌, 70(4): 98-106, 2008
- 3) 齋藤ら: イチゴ移動栽培装置の実用性向上. 日本生物環境工学会, 講演要旨, pp.312-313, 2008
- 4) 生研センター: 平成20年度事業報告, 2009

堆肥原料の簡易な通気抵抗測定技術の開発

畜産工学研究部 原田泰弘、皆川啓子、道宗直昭

はじめに	58
1. 堆肥原料の調製に関する問題点	58
2. 評価技術に求められる機能と検討事項	59
1) 評価技術の要件	59
2) 検討事項	60
3. 基礎試験	60
1) 目的	60
2) 方法	60
3) 結果の概要	61
4) 測定装置の仕様の検討	62
4. 測定装置の構造と性能	63
1) 測定装置の構造	63
2) 測定装置の性能	63
3) 通気型堆肥化装置との比較試験	64
おわりに	65
参考文献	66

はじめに

堆肥化は、家畜ふん尿を圃場へ施用する前に微生物を活用して生ふん尿中の易分解性有機物を分解し、作物に障害を与えないで生産性を高めるような成分組成を持つようにする操作であり、易分解性有機物の分解に寄与する微生物として、酸素が十分存在する状態で活躍する好気性微生物を利用する方法が一般的である。したがって、家畜ふん等を効率的に堆肥化するためには、酸素（空気）を供給しやすいように堆肥原料の通気性を確保することが重要であり、そのためには堆肥原料の通気性が確保されているかどうかを把握する方法が必要である。これまで副資材を混合するなどして堆肥原料の通気性を改善する（以下、堆肥原料の調製）ために、「堆肥原料の水分を55～72%程度に調整する」ことが指標とされてきたが、堆肥化の現場においては、水分測定は時間がかかる、測定機器類がないなどの理由から難しく、堆肥原料の調製は作業者の経験に基づいて行われているのが実状である。また、副資材としてオガクズやモミガラ等が使用されているが、季節的な供給量の変動などを理由に地域によっては副資材の入手が困難になってきている。

堆肥化処理施設において堆肥原料の通気性を簡易に把握できれば、堆肥原料の調製や堆肥化処理を確実に行うことが可能となる。適切な目安を得ることで副資材を過不足なく混合することができ、堆肥化の促進につながる。そこで、家畜ふん等の堆肥化の難易を初期段階で簡便に把握するために、堆肥原料の通気性を簡易に評価する技術を開発する。

1. 堆肥原料の調製に関する問題点

堆肥化の一連の作業を簡単に表せば、図1のような流れになる。畜舎のふん尿は、一旦ふん尿置場へ搬出され、堆肥原料の調製を経て堆肥化装置（図2 通気型堆肥化装置）へ投入される。堆肥化装置へ投入された後は、ある一定の期間堆肥化処理されたあと、堆肥置場へと移される。ここで、ある一定の期間とは営農現場毎に異なり、そこに設置された堆肥化装置の機能上強制的に排出されるまでの期間、もしくは畜舎から搬出されるふん尿の量と堆肥化装置の処理量とのバランスによる期間などであり、堆肥化の良否に関係なく排出されることも多い。一般に、堆肥化装置は、畜舎から搬出された

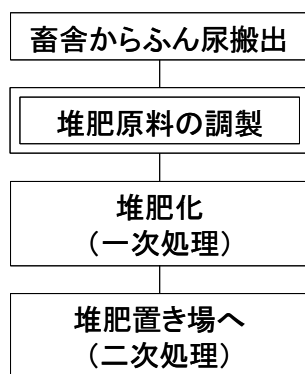


図1 堆肥化作業の概要

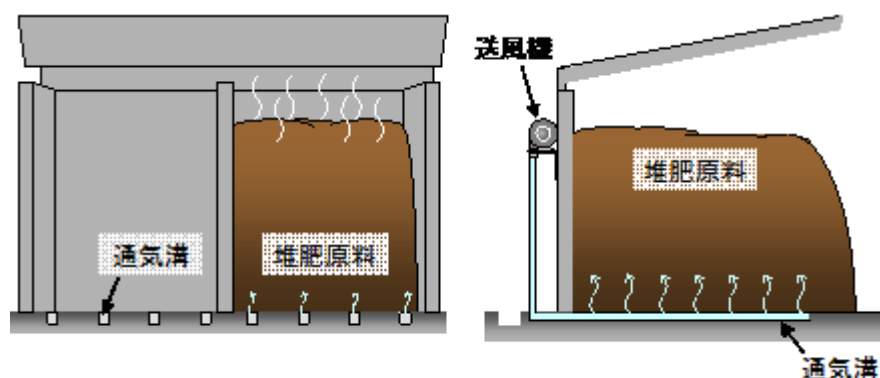


図2 通気型堆肥化装置の概要（通気床から強制通気）

ふん尿の水分の変動、堆肥化時の乾燥しやすさ（主に雰囲気温度、湿度）の変動などにより、夏季と冬季とでは処理能力に差がある。従って、堆肥原料の調製もその変動する処理能力に合わせた対応が求められることになる。一般に、堆肥化では通気装置として堆肥原料 1 m³ あたり 100L/min 程度の空気が供給され、通気装置として 1.0～2.5kPa 程度の静圧を有する送風機が推奨されている（中央畜産会、2000）。堆肥原料のムラ（物理的な不均一性など）や季節的な変動に対応しやすくするためには、静圧に余裕のある送風機を選択する方が



図3 堆肥原料は不均一

が良いが、静圧が高いほど運転コストが高くなるため、通気構造や堆肥原料は通気性が良いほうが望ましい。既に述べたとおり、堆肥原料の調製は「水分調整」と言われることが多く、水分が指標として用いられることが多い。しかし、水分の測定は、乾燥炉や天秤等の分析機器を必要とし、時間がかかる、原料にムラがあるために、試料 1 点あたり数 10g 程度の分析を複数点行っても原料全体の水分を把握することが難しいなどの問題がある（図3）。バケツなどを使用して見掛けの容積重を求め、これを指標とする場合もあるが、我々の経験では、非常に通気性の良い（水分の低い）場合には有効であるが、通気性の良否の判断が求められる範囲（例えば、乳牛ふん 75%程度）で値バラツキ、使用しにくいと考えられる。一方、オガクズなどの副資材は、価格の高騰や入手が困難な地域があり、古紙、剪定残さ、コーヒー粕、キノコの廃菌床などが副資材として検討されている（市川ら、1999 ほか）ほか、最近では、蕎麦殻、落花生の殻なども使用されており、農家ではそのときに入手可能な副資材を用いている例もある。以上のように、堆肥原料の調製は、水分の把握が難しいことや、堆肥化装置の処理能力の変動、入手可能な副資材の種類の変更などによって、求められる副資材の混合量の把握が困難な場合があるという問題がある。

2. 評価技術に求められる機能と検討事項

1) 評価技術の要件

目標は、堆肥原料の通気性そのものを評価する技術の開発である。その技術は、バケツによる測定から容積重を求める方法などと同様に、1 回あたり数分の作業で終了できるような評価の簡便さ、手軽さが重要と考えられる。その上で、通気性を数値で判定し、堆肥原料の調製にフィードバックすることが必要である。また、どれほど混合しても、堆肥原料中には必ずムラが存在するため、そのムラを含めて評価できるように、ある程度の量をまとめて評価できなければならない。使用される副資材も多くの種類があるため、様々な副資材を評価対象にでき

ることが望ましい。これらを基に、堆肥原料の通気抵抗を測定できる技術として装置化することとした。表1に測定装置に求められる機能など概要を示す。

表1 測定装置の要件と開発のための課題

要件	課題
① 誰でも簡単に評価できる	装置構造（大きさ、容量、質量、取扱性、汎用性）
② できるだけ多くの副資材に対応できる （長稈の稲ワラなどは除く）	
③ 通気性そのものを評価できる	装置構造（通気量、通気方法、通気抵抗測定範囲）
④ 短時間（数分/回）で評価できる	
⑤ 評価結果を原料の調製に活用できる	数値判定、使用方法
⑥ 保守管理（清掃など）が簡単	堆肥原料との接触部位の限定

2) 検討事項

堆肥原料は、副資材の混合割合や堆積高さによって容積重が異なり、副資材の混合割合が少なければ容積重は大きくなり、また高く堆積されるほど自重によって密な状態となる。堆肥原料の通気性は、堆積された状態を想定して把握するほうが望ましい。そこで測定装置の容器内において堆肥原料を密にし、そのときの通気性に関するデータを得るため基礎試験を行った。

3. 基礎試験

1) 目的

測定装置の良好な取扱性のためには、少ないサンプル量で評価できるほうが手軽であるが、堆肥原料全体をより正確に評価するためには多いサンプル量で評価するほうが望ましい。装置の大きさ（サンプルの充填量）および通気抵抗の測定範囲などを決定するためのデータを得ることを目的に試験を行った。

2) 方法

試験は、大泉ら（1983）の行った測定方法を参考に、堆肥原料を円筒容器に充填して荷重を加えて堆積高さを推定し、荷重を加えた状態で通気を行い、そのときの通気抵抗を測定した。堆肥原料は、乳牛ふん尿（88.0%w. b.）に、オガクズ（31.0%w. b.、平均粒径1.3mm）、モミガラ（11.4%w. b.、平均粒径3.1mm）、戻し堆肥（32.6%w. b.、平均粒径3.0mm）を各々混合して供試した。混合割合は、乳牛ふん尿に対し、オガクズは0.66、0.26、0.21、0.18、0.13、モミガラは0.41、0.16、0.15、0.12、戻し堆肥は1.02、0.76、0.64、0.54、0.51の割合（重量）で混合した。通気量は、堆積高さが0.5～2.0mのときに堆肥原料1m³あたり50L/min、100L/minに設定した。また、容器の

重錘：500mm 堆積時の質量 M を基準とし、
 $M \times n$ 相当の荷重を加えた
 dn ： $M \times n$ 相当荷重後の沈下量

∴ 堆積高さ H は、次式で推定

$$H = 500 + 500 \times n - \sum dn$$

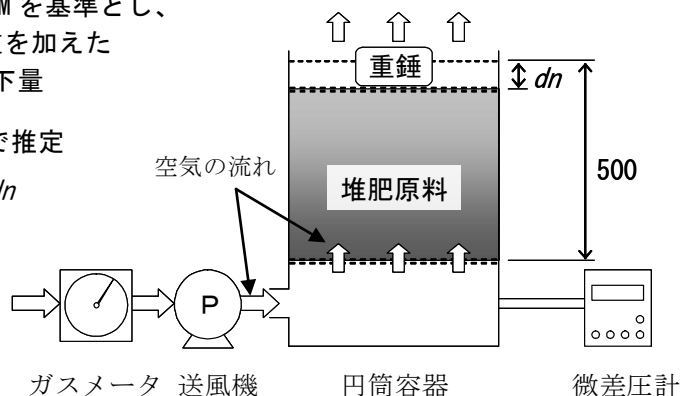


図4 基礎試験方法の概要

径が通気性に及ぼす影響等を調査するため、内径 100mm、200mm、500mm で行った。基礎試験装置の構成および試験方法の概要を図4に示す。

3) 結果の概要

見掛風速と通気抵抗の関係の一例を図5に示した。これらは、副資材の種類、異なる混合割合毎に得られた。また、内径が異なる3種類の容器それぞれの測定データから、図4のように荷重を加えたときに沈下量が同じ場合の通気性を比較した(図6)。これらの結果を検討し、簡易な装置を開発するために以下のとおり整理した。

- (1) 粗状態で充填したとき堆肥原料の容積重は容器の径が異なってもほぼ同じと考えられた。
- (2) 沈下量が同じ場合、堆肥原料の通気性は、容器の径が異なってもほぼ同じと考えられた。

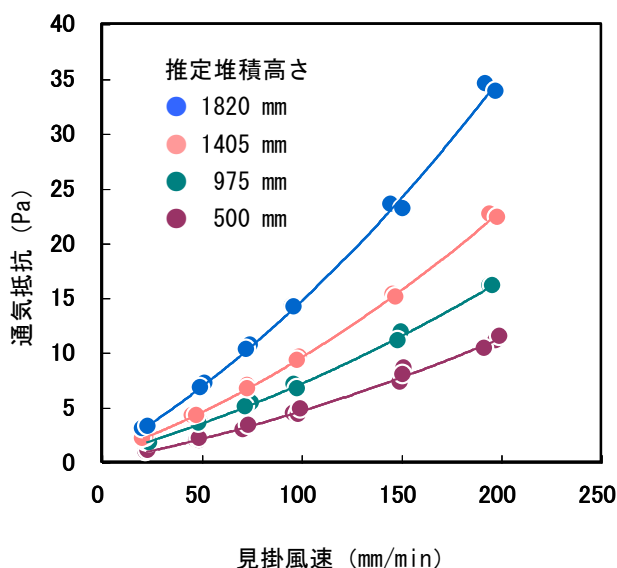


図5 見掛風速と通気抵抗の測定結果例

(オガクズ、混合割合 0.26、水分 76.1% のとき)

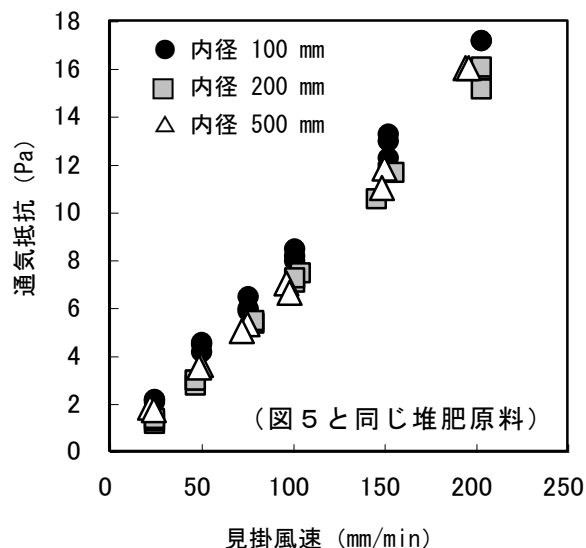


図6 異なる径の容器による見掛風速と通気抵抗の測定結果例

(図5と同じ堆肥原料)

4) 測定装置の仕様の検討

(1) 容器の大きさなど

基礎試験の結果から、容器の径は 100～500mm の範囲内で設定可能と判断した。堆肥原料からサンプルを採取する場合、例えば片手にサンプル袋を持ち、もう一方の手に移植ゴテなどを持って作業を行なう。開発する測定装置で同様の作業を行う場合、片手でサンプルを充填する容器を持つ。測定装置の容器は小さいほど作業性は良いが、多いサンプル量で評価するほうが望ましいため、堆肥原料が充填された状態で 3 kg 程度以下を想定し、有効容積（充填量）を 2 L とした。

(2) 測定装置の開発イメージ

測定装置は、現場で堆肥原料の通気性を数値で判定し、堆肥原料の調製にフィードバックできることが必要である。ただし、堆肥原料に求められる通気性は、堆肥化装置に装備されている通気用送風機の性能、通気床構造等によって異なるため、目安を得るためには、現場毎に実施に投入される堆肥原料の通気性と測定装置による通気抵抗値との関係を予め把握しておくことが必要である。例えば、開放直線型の攪拌装置付き堆肥化装置では、堆肥原料の切返し（攪拌）と排出口への移動が同時に行なわれ、一旦投入した堆肥原料は排出まで取出すことができない（図 7 b）。そこで、堆肥化が良好に進行している箇所の堆肥原料で、測定装置によるデータの蓄積を図り、次に投入を予定している堆肥原料に対して、蓄積された測定装置のデータに基づいて良いと判断される状態まで副資材を混合することにより、通気性を確保することができる（図 7 a）。つまり測定装置は、その現場において通気性が良いと判断される堆肥原料の通気性のデータを基に、これから投入する堆肥原料の調製を支援できるような装置として開発することとした。

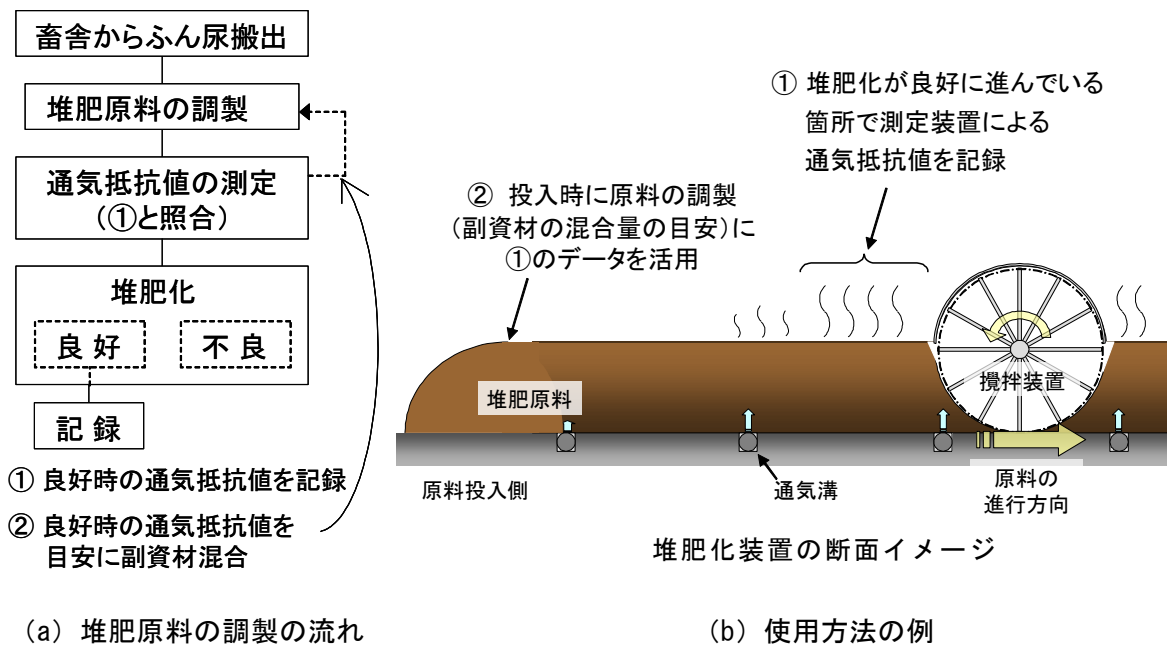


図 7 測定装置を開放直線型の攪拌装置付き堆肥化装置で使用する場合

4. 測定装置の構造と性能

1) 測定装置の構造

基礎試験で得られたデータを検討して決定した仕様と装置の概要を示す（図8、表2）。測定装置は、堆肥原料を充填する容器と試料の通気抵抗を測定する計測部で構成し、計測部には送風用ポンプ（吐出量 2 L/min、ダイヤフラム式）、圧力計（計測範囲 0~100 Pa、精度±5.0%FS）が内蔵され、堆肥原料に通気したときの通気抵抗を測定する。

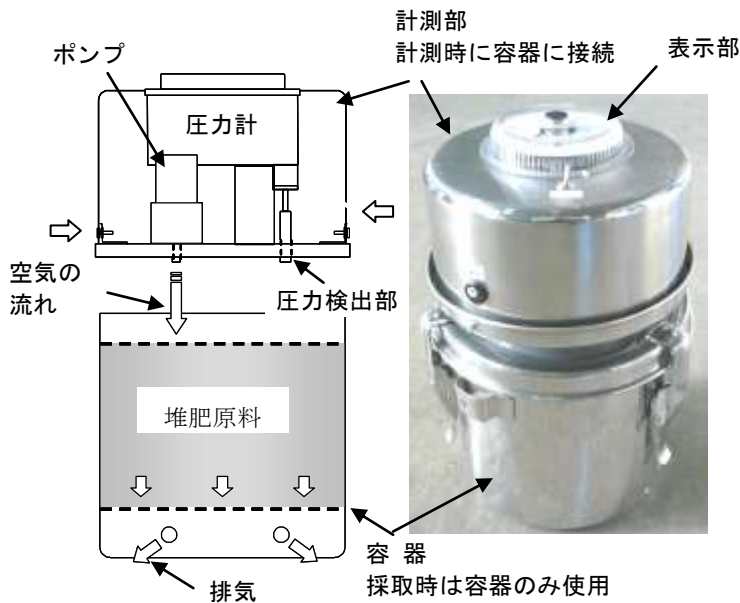


図8 測定装置とその概要

表2 通気抵抗測定装置の仕様

外径×高さ (mm)	180×280 (把手を除く)	
質量 (kg)	2.6	
計測部	電源 (DC V)	6
	通気量 (L/min)	2.0
	圧力範囲 (Pa)	0~100
容器	材質	ステンレス
	容量 (L)	2.0
	質量 (kg)	1.3

2) 測定装置の性能

(1) 基礎試験データとの比較

測定装置を供試して、基礎試験で得られたデータから推定した通気抵抗値と比較し、性能を調査した。試験は、乳牛ふん尿（88.0%w. b.）に対し、オガクズ（31.0%w. b.、平均粒径 1.3mm）、モミガラ（11.4% w. b.、平均粒径 3.1mm）、戻し堆肥（32.6% w. b.、平均粒径 3.0mm）を基礎試験と同じ割合で混合して堆肥原料を作成し、それぞれ 10 回ずつ測定した。なお、基礎試験で得られたデータから推定した通気抵抗値は、図5の結果（他の混合割合の設定も含む）から、測定装置と同じ通気条件のときの値を抜粋して堆積高さとの関係性を求め、測定装置の充填量と同じ高さの堆肥原料の通気抵抗を推定した（図9）。

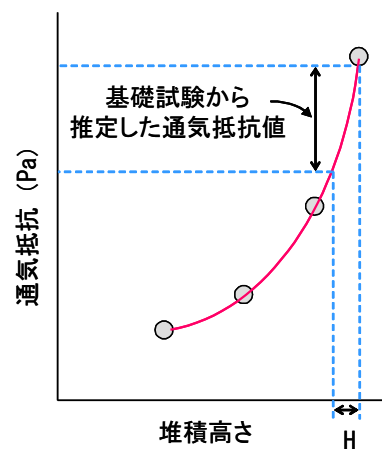


図9 基礎試験からの推定方法の概要

（通気量、高さ H は測定装置と同じ条件）

結果を図 10 に示す。測定装置による通気抵抗値は、基礎データによる通気抵抗値が高くなるほど高くなる傾向が得られた。また、データの通気抵抗値が高い堆肥原料では、測定装置の測定範囲を超えることがあった。なお、副資材を完全に均一に混合することは不可能であることや、不均一な堆肥原料を全く同じように充填することも不可能であることなどから、室内試験でも測定値にはある程度のバラツキが発生する。現場で堆肥原料全体を評価するためには、測定点数は多いほどよいと考えられた。

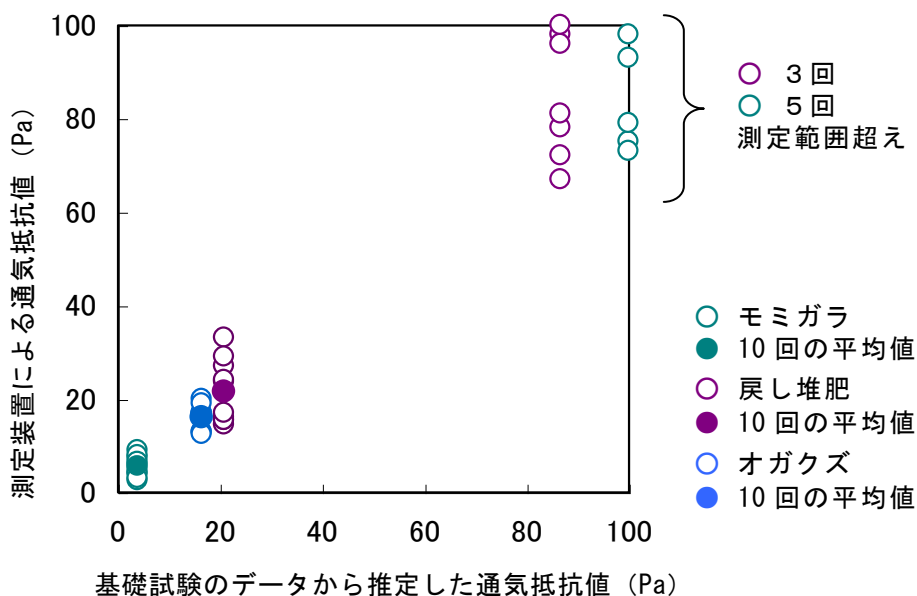


図 10 測定装置による通気抵抗値と基礎試験データの推定通気抵抗値との比較例

3) 通気型堆肥化装置との比較試験

測定装置で通気型堆肥化装置に投入される堆肥原料の通気性を評価し、通気型堆肥化装置の発酵槽の下部静圧と比較した。通気型堆肥化装置の通気床は清掃して空状態で風量と通気抵抗の関係を調査した。その後、堆肥原料を 0.5m、1.0m、1.5m 堆積し (図 11)、風量を変えながら下部静圧を測



(a) 清掃後、目詰り防止のオガクズを敷いた

(b) 1m 堆積された堆肥原料

図 11 通気型堆肥化装置への堆肥原料の投入



(a) 堆肥原料の採取

(b) 容器と計測部を接続中

図 12 測定装置による通気抵抗測定風景

表 3 通気型堆肥化装置との比較試験例¹⁾

(試験期間)	測定装置の 通気抵抗値 (Pa)	測定時間 (s/点)	発酵槽の下部静圧 ²⁾ (Pa)	原料の種類 (副資材)
① (11/10~11/14)	10.8 標準偏差 2.6 n=10	145	0.5m 堆積 20 1.0m 堆積 63 1.5m 堆積 124	肉用牛ふん (戻し堆肥)
② (12/ 1~12/ 3)	35.8 標準偏差 7.7 n=10	210	0.5m 堆積 43 1.0m 堆積 189 1.5m 堆積 448	乳牛ふん、豚ふん 鶏ふん (戻し堆肥)

1) 堆肥化装置は床面に通気溝を有する通気型堆肥舎で、いずれも堆肥化が良好に開始。

2) 測定装置と同じ通気条件のときの値。1m 堆積時に 1m³あたり 100L/min に相当。

定した。また、測定装置で堆肥原料の通気抵抗を測定した (図 12)。

測定装置による通気抵抗値は、基礎試験と同様に、発酵槽の下部静圧が高くなるほど高くなる傾向が得られた。これらは、いずれも堆肥化が良好に開始された。なお、既に述べたが、堆肥原料に求められる通気性は、堆肥化装置毎に異なる。測定装置は、堆肥化が良好に進行しているときに測定装置によるデータ蓄積を行っておき、測定装置のデータに基づいて通気性が悪いと判断される堆肥原料のときに、良いと判断される状態まで副資材を混合することで、堆肥原料の調製作業の支援が可能と判断された。

おわりに

堆肥原料そのものの通気性を評価できる装置として一定の開発目標に達したと考える。今後の計画

として、測定事例を重ねながら作業手順のマニュアル化などを進め、実用化を図っていく予定である。本研究の実施においては、岡山県高松農業高校、(財)日本農業研究所、埼玉農総研センター等、関係各位の多大なるご協力を賜った。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 市川ら：牛ふんの堆肥化における粉碎古紙利用の影響、愛知農総試研報、1999
- 2) 大泉ら：堆積した堆肥の容積重推定法に関する一考察、千葉畜セ研報、1983
- 3) 中央畜産会：堆肥化施設設計マニュアル、2000
- 4) 生研センター：平成 19 年度事業報告、2007
- 5) 生研センター：平成 20 年度事業報告、2008

バイオディーゼル燃料適用時のトラクタ性能

評価試験部 清水一史、千葉大基
高橋弘行、原野道生

はじめに	68
1. バイオディーゼル燃料の性状	69
2. バイオディーゼル燃料適用時のトラクタ性能（出力、燃費及び排出ガス）	70
1) 試験方法	70
2) 試験結果	71
3. 残留メタノール分の多いバイオディーゼル燃料	72
1) メタノール添加軽油による試験	72
2) 残留メタノール分の多いバイオディーゼル燃料適用時のトラクタ性能	73
4. 長時間バイオディーゼル燃料を適用した場合の性能変化	73
1) 試験方法	73
2) 試験結果	75
おわりに	76
参考文献	76

はじめに

再生可能エネルギーであるバイオマス燃料は、大気汚染防止や廃棄物削減、石油燃料の消費削減の観点から注目されている。その中でバイオディーゼル燃料は、主に廃食用油を原料とするものが国内で5000kL／年程度生産され、代替燃料として農業機械、建設機械など特殊自動車に搭載されるディーゼル機関（以下、オフロード機関）への利活用が期待されている。

平成21年2月25日には、安全、安心なバイオ混合燃料の確保、普及を目的に改正された「揮発油等の品質の確保等に関する法律」（以下、品確法）が施行され、これにより、①エタノールまたはエチルターシャリーブチルエーテル（Ethyl Tertiary-Butyl Ether：ETBE）とガソリン、脂肪酸メチルエステル（Fatty Acid Methyl Ester：FAME）と軽油を混合する者（以下、特定加工業者）は、適切な混合を行い得る設備を有していること等を要件に、事業開始前に事業者登録が必要となる。②特定加工業者が、バイオ混合燃料を公道を走行する自動車用の燃料として販売または自ら消費するときに、その品質が品確法に規定するガソリンまたは軽油の強制規格（表1）に適合していることを事業者自らまたは分析機関に委託して確認することが義務づけられた。

国内農業機械メーカー等においても、品確法における強制規格に適合した軽油（以下、品確法軽油）についての使用を保証しているものの、自己責任での使用となるバイオディーゼル燃料100%では、出力や燃費、排出ガス等の性能を公表しておらず、点検・整備方法等も確立されていないのが現状となっている。

生研センターでは、バイオディーゼル燃料の利用上の指針を示すため、平成18年度から2年間、バイオディーゼル燃料と軽油の混合燃料をトラクタ機関に使用した場合の出力や燃費、排出ガスへの影響調査を行ってきた。更に、今年度からはバイオディーゼル燃料100%を長時間使用した場合の性能等への影響調査を実施している。そこで本報では、これまで得られた結果の概要を紹介する。

表1 品確法における軽油強制規格

項目	満たすべき基準
硫黄分	0.001 質量%以下
セタン指数	45 以上
蒸留性状（90%留出温度）	360℃以下
トリグリセリド	0.01 質量%以下
総FAME	0.1 質量%以下 5 質量%以下（※）
※メタノール	0.01 質量%以下
※酸価	0.13 mg KOH／g 以下
※ぎ酸、酢酸及びプロピオン酸の合計	0.003 質量%以下
※酸価の増加	0.12 mg KOH／g 以下

※脂肪酸メチルエステルが0.1質量%を超え、5質量%以下の場合は、「※」の項目も満たす必要有り。

1. バイオディーゼル燃料の性状

JIS 2号軽油（以下、軽油）1種類、廃食用油を原料としてアルカリ触媒法により製造された国産バイオディーゼル燃料6種類の燃料性状分析を行った結果（表2）をみると、バイオディーゼル燃料は、軽油と比べて、密度、流動点が高い、酸素分を含む、低位発熱量が少ないなどの特徴があり、水分、

表2 軽油及びバイオディーゼル燃料の主な性状

項目	単位	軽油	製造所A	製造所B	製造所C	製造所D	製造所E	製造所F
密度（15℃）	g/cm ³	0.8271	0.8880	0.8864	0.8868	0.8834	0.8861	0.8910
引火点	°C	72	168	67	163	41	27	173
動粘度（40℃）	mm ² /s	3.304	5.123	4.601	4.449	4.314	4.660	6.008
流動点	°C	-15.0	-7.5	-2.5	-5.0	-7.5	-2.5	-2.5
水分	ppm	28	907	283	613	561	348	1200
灰分	質量%	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01	0.01	0.01
硫黄分	ppm	5	6	8	4	3	2	2
セタン指数		64.9	54.8	55.3	55.0	56.4	55.5	53.7
10%残留炭素分	質量%	0.01	0.61	0.80	0.72	0.48	1.15	3.27
酸価		-	0.30	0.71	0.80	0.13	0.12	0.28
低位発熱量	kJ/kg	43030	38010	37970	38550	38800	38300	38180
メタノール分	質量%	-	0.04	0.79	0.16	1.30	1.59	0.01 未満
目詰まり点	°C	-13	-8	-4	-6	-7	-5	-6
ヨウ素価		-	117	121	127	116	119	115
酸化安定度	h	-	1.4	0.5	3.9	2.0	5.2	0.0
汚染度	mg/kg	4.9	5.4	17.9	2.7	45.6	71.7	41.0
酸素分	質量%	0.5 未満	10.4	9.8	10.5	11.0	11.2	10.8
炭素分	質量%	86.1	77.1	77.0	77.1	76.8	76.5	77.1
遊離グリセリン	質量%	-	0.00	0.03	0.01	0.02	0.00	0.00
モノグリセリド	質量%	-	0.95	1.04	1.58	0.43	0.75	0.76
ジグリセリド	質量%	-	0.88	0.45	0.46	0.16	0.96	1.43
トリグリセリド	質量%	-	5.52	1.90	0.70	0.75	2.42	16.73
総グリセリン	質量%	-	0.94	0.55	0.55	0.23	0.58	2.12
蟻酸	mg/L	-	9	3	2	3	5	3
酢酸	mg/L	-	4	2	2	1	4	3
プロピオン酸	mg/L	-	2	1	2	1 未満	1	4
総FAME	質量%	-	89.50	92.17	95.04	97.00	92.28	80.97
リノレン酸ME	質量%	-	6.41	6.33	8.10	7.18	6.05	5.12

メタノール分、トリグリセリド等のグリセリド類が残留するなど、その性状は様々であった。また、バイオディーゼル燃料製造の際、メタノールが使用されるが、残留メタノール分が多いバイオディーゼル燃料ほど引火点が下がり、燃料を取扱う上で危険性が増す。更に品確法軽油に対し、質量分率で5%を超えない範囲で混合して用いるFAMEの要求品質を規定するために作成された日本工業規格JIS K2390「自動車燃料—混合用脂肪酸メチルエステル（FAME）」の品質基準値と比較すると、基準に適合しない項目（表2の□部分）が多く、特に10%残油の残留炭素分、トリグリセリドでは、全ての燃料が基準値を大幅に超え、調査したバイオディーゼル燃料を軽油と混合した場合に、軽油強制規格（表1）に適合せず、品確法軽油として利用できないことが明らかとなった。

2. バイオディーゼル燃料適用時のトラクタ性能（出力、燃費及び排出ガス）

1) 試験方法

表2のバイオディーゼル燃料3種類（製造所A、製造所B、製造所C）をそのまま、あるいは軽油と混合して、3気筒副室式機関（22.1kW、/2500rpm、1.498L）に供試し、オフロード機関の排出ガス規制に用いるディーゼル特殊自動車8モード法（以下、D8法）（表3）により試験を行った。測定項目は、機関軸トルク、機関回転速度、燃料消費量、各部温度、一酸化炭素（CO）、炭化水素（HC）、窒素酸化物（NO_x）、粒子状物質（PM）、黒煙濃度等とした。なお、バイオディーゼル燃料と軽油との容積混合割合を①バイオディーゼル燃料100%、②バイオディーゼル燃料50%+軽油50%、③バイオディーゼル燃料25%+軽油75%、④軽油100%とした（以下、B100、B50、B25、軽油）。

表3 ディーゼル特殊自動車8モード法の運転条件

運 転 モード	運 転 状 態		重み係数（WF）
	機関回転速度 (rpm)	機関負荷率 (%)	
1	定格回転速度	100	0.15
2		75	0.15
3		50	0.15
4		10	0.10
5	中間回転速度 注)	100	0.10
6		75	0.10
7		50	0.10
8	アイドリング回転速度	—	0.15

注) 中間回転速度：最大トルク回転速度が定格回転速度の60～75%の範囲にある場合、中間回転速度はその回転速度となる。最大トルク回転速度が定格回転速度の60%未満の場合、中間回転速度は定格回転速度の60%となり、最大トルク回転速度が定格回転速度の75%以上の場合、中間回転速度は定格回転速度の75%となる。

2) 試験結果

各燃料の1モード及び5モードにおける機関出力、燃料質量流量及び燃料消費率(表4)を見ると、機関出力については、燃料の種類や混合割合に係わらず軽油と同程度であった。また、一定の仕事をするために必要な燃料の質量いわゆる燃料消費率については、軽油と比べて低位発熱量が少ないバイオディーゼル燃料の混合割合が高いほど上昇した。

また、ディーゼル機関の排出ガスで特に問題となるNO_xとPMの平均排出率を見ると、NO_xについては燃料の種類や混合割合の条件に関わらず軽油と同程度であり(図1)、PMについては、バイオディーゼル燃料の混合割合が高いほど、すす成分の生成が抑制されることにより減少した(図2)。

表4 バイオディーゼル燃料の混合割合別機関出力と燃費

運 転 モード	項 目	燃 料									
		製造所A			製造所B			製造所C			軽油
		B100	B50	B25	B100	B50	B25	B100	B50	B25	
1	機関出力 (kW)	22.6	22.2	22.6	22.6	22.4	22.4	22.5	22.6	22.2	22.1
	燃料質量流量 (kg/h)	6.81	6.26	6.10	6.73	6.17	6.03	6.72	6.25	5.93	5.79
	燃料消費率 (g/kWh)	301.9	281.9	269.5	297.8	274.9	269.0	297.9	276.9	267.3	261.9
5	機関出力 (kW)	14.9	14.9	15.1	15.1	15.3	15.3	15.2	15.2	15.3	14.9
	燃料質量流量 (kg/h)	4.52	4.22	4.06	4.36	4.09	4.00	4.41	4.12	3.97	3.81
	燃料消費率 (g/kWh)	303.5	283.2	269.7	288.0	266.7	261.0	290.0	270.2	259.8	256.3

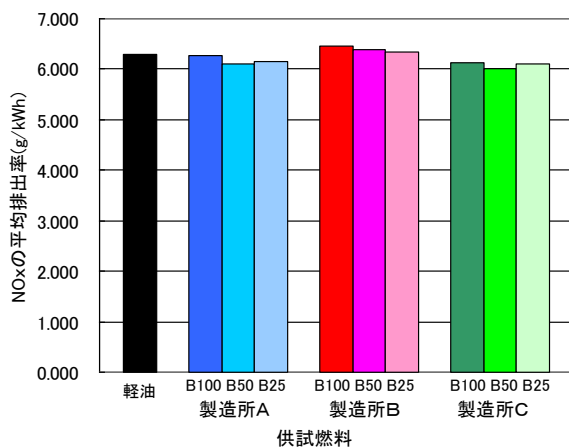


図1 窒素酸化物の平均排出率

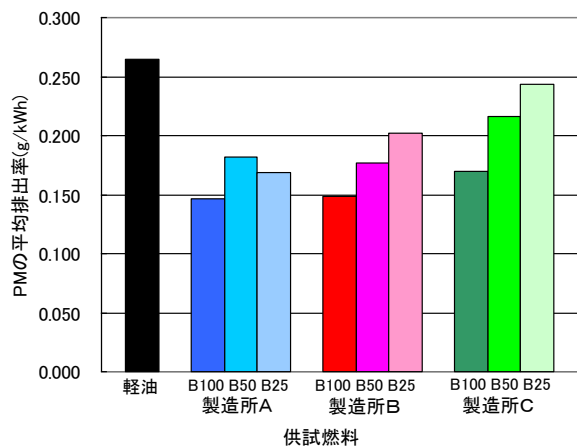


図2 粒子状物質の平均排出率

3. 残留メタノール分の多いバイオディーゼル燃料

表2のバイオディーゼル燃料2種類（製造所D、製造所E）をそのまま3気筒副室式機関（22.1kW/2500rpm, 1.498L）に供試した際、暖機運転中、燃料噴射ポンプから燃料噴射ノズルにかけての燃料配管中に気泡が発生した。これら燃料は、他の燃料と比べてメタノール分（沸点64.7℃）の割合が高く、燃料噴射ノズル付近の温度が90℃を超えていたため、メタノールが気化したものと考えられた。

1) メタノール添加軽油による試験

(1) 試験方法

軽油をそのまま、あるいはメタノールを添加して、3気筒副室式機関（18.4kW/2600rpm, 1.463L）を搭載したトラックに供試し、型式検査方法基準と同様の方法によりPTO性能試験を行った。測定項目は、PTO軸トルク、PTO回転速度、燃料消費量、各部温度とした。なお、軽油に添加したメタノールの容積添加割合を①メタノール0%、②メタノール0.5%、③メタノール1.0%、④メタノール1.5%（以下、M0、M0.5、M1.0、M1.5）とし、気化したメタノールを目視で確認できるように、燃料配管のゴムホースを透明のビニールホースに交換した。

(2) 試験結果

M0燃料を除く全ての燃料（M0.5、M1.0、M1.5）で、目視により燃料配管中の気泡を確認した。また、PTO出力及び燃料質量流量（図3）を見ると、メタノールの添加割合が高いほど、特に定格回転速度付近で燃料質量流量が低下し、これに伴いPTO出力が低下した。これは、噴射される燃料中に気化したメタノールが混入し、本来の噴射量が確保できなくなったためと考えられた。

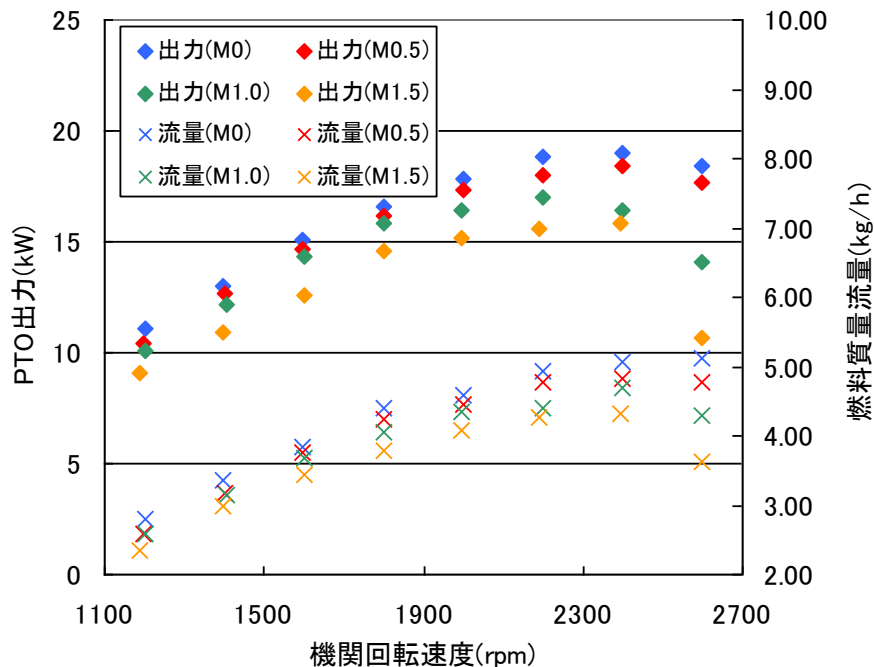


図3 メタノール添加軽油によるPTO出力と燃料質量流量

2) 残留メタノール分の多いバイオディーゼル燃料適用時のトラクタ性能

(1) 試験方法

表2のバイオディーゼル燃料2種類（製造所D、製造所E）をそのまま3気筒副室式機関（22.1kW、/2500rpm、1.498L）に供試し、2.と同様の方法により試験を行った。測定項目は、機関軸トルク、機関回転速度、燃料消費量、各部温度、CO、HC、NO_x、PM、黒煙濃度等とした。

(2) 試験結果

各燃料の1モード及び5モードにおける機関出力、燃料質量流量及び燃料消費量を見ると、1モードにおいて、製造所A～Cの燃料と比べて、燃料流量が9～12%低下したことにより、出力が8～12%低下した。また、排出ガス特性に変化がみられ、特に4モードでのCO、HCの排出量が増加した（表5）。

表5 残留メタノールの機関出力、燃費及び排出ガスへの影響

運 転 モード	項 目	燃 料				
		製造所D	製造所E	製造所A	製造所B	製造所C
		B100	B100	B100	B100	B100
1	機関出力 (kW)	19.9	20.7	22.6	22.6	22.5
	燃料質量流量 (kg/h)	6.03	6.34	6.81	6.73	6.72
	燃料消費率 (g/kWh)	302.5	305.6	301.9	297.8	297.9
4	CO 排出量 (g/h)	52.865	29.396	14.954	17.565	15.710
	HC 排出量 (g/h)	15.795	4.623	2.092	1.219	0.964
5	機関出力 (kW)	14.8	14.7	14.9	15.1	15.2
	燃料質量流量 (kg/h)	4.28	4.29	4.52	4.36	4.41
	燃料消費率 (g/kWh)	288.2	291.3	303.5	288.0	290.0

4. 長時間バイオディーゼル燃料を適用した場合の性能変化

1) 試験方法

製造所Aのバイオディーゼル燃料（表6）をそのまま3気筒副室式機関（22.1kW/2800rpm、1.498L）を搭載した新車のトラクタに供試し、D8法の機関回転速度と機関負荷率を参考に作成した運転パターン（表7）により繰り返し運転を行った。また、繰り返し運転開始前及び運転50時間毎に、バイオディーゼル燃料及び製造ロット毎のバイオディーゼル燃料性状が一定でない可能性があるため性状の同じ（同じロットの）軽油を供試し、型式検査方法基準に則ったPTO性能試験及びD8法に定める機関回転速度及び機関負荷率において、出力、排出ガス等の測定を行った。測定項目は、PTO回転速度、PTOトルク、燃料消費量、各部温度、CO、HC、NO_x、黒煙濃度等とした。なお、繰り返し運転にあたっては、トラクタメーカーの取扱説明書に従って点検・整備を実施した。

表 6 供試燃料の主な性状

繰り返し回数	回	—	175	141	145	89
運転期間	時間	—	0~175	176~316	317~461	462~現在
項目	単位	軽油	製造所 A-1	製造所 A-2	製造所 A-3	製造所 A-4
密度	g/cm ³	0.8280	0.8864	0.8893	0.8904	0.8886
動粘度	mm ² /s	3.369	4.801	5.447	5.838	5.262
流動点	°C	-17.5	-2.5	-5.0	-5.0	-5.0
水分	ppm	67	1100	933	1100	954
硫黄分	ppm	4	3	3 未満	3 未満	3 未満
セタン指数		61.6	53.7	52.7	53.1	51.6
蒸留性状 (90%留出温度)	°C	339.5	432.0	372.2	560.0	380.0
酸価		—	0.14	0.15	0.15	0.18
低位発熱量	kJ/kg	43700	37580	36950	36750	36960
メタノール分	質量%	—	0.01 未満	0.01 未満	0.01	0.01 未満
ヨウ素価		—	114	116	114	114
トリグリセリド	質量%	—	1.18	6.01	8.56	4.70
総 FAME	質量%	—	94.0	83.5	81.0	85.7

表 7 運転パターン

時間 (秒)	機関回転速度 (rpm)	機関負荷率 (%)	運転状態
4	アイドリング回転速度	0	
8	無負荷最高回転速度	0	
30+418	2800 (定格回転速度)	100	移行+安定
30+418		75	移行+安定
30+418		50	移行+安定
30+418		10	移行+安定
30+418	1700 (中間回転速度)	100	移行+安定
30+418		75	移行+安定
30+418		50	移行+安定
30+418	アイドリング回転速度	0	移行+安定
4	アイドリング回転速度	0	
計 3600			

2) 試験結果

運転開始してから現在まで 550 時間（運転パターンの繰り返し 550 回）が経過している。400 時間経過時点まで、性能に変化は見られなかったものの、400 時間以降、全負荷域（スロットルレバーが全開位置）における CO 濃度及び黒煙濃度が増加し始めた（図 4）。また、徐々に PTO 出力の低下、燃料消費率の上昇も見られるようになり、軽油を供試した場合で、運転パターンによる繰り返し運転開始前と比べて、550 時間経過時点の全負荷域における PTO 出力は、0.4~1.2kW 低下し、燃料消費率は、9~24g/kWh 上昇した（図 5）。これらの原因として、残留トリグリセリドにより、燃料噴射ノズル先端や燃焼室内にカーボンが堆積し、燃料噴射の分布に偏りが生じていることが考えられるが、詳細については次年度実施予定の機関分解調査で明らかにする。

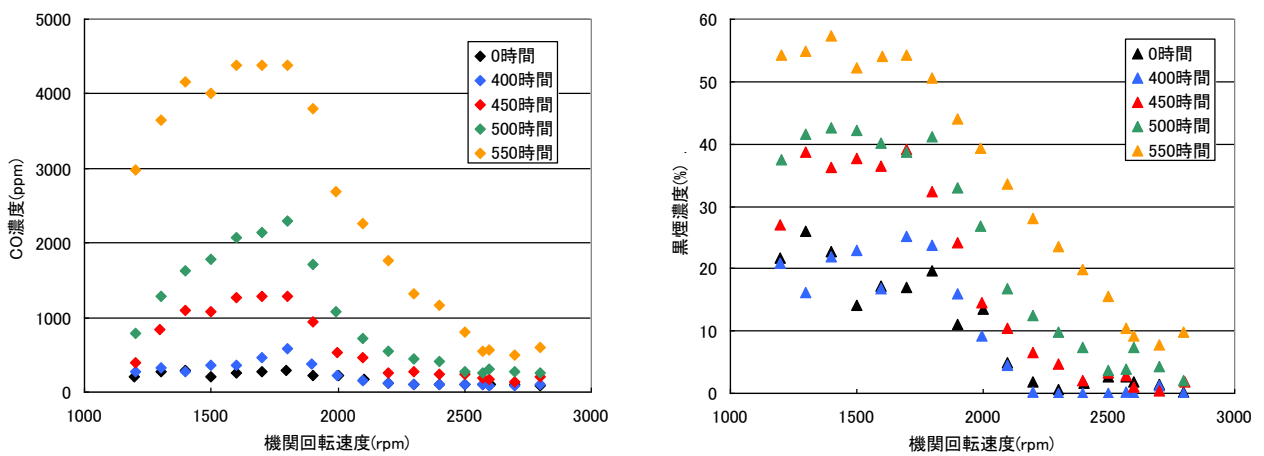


図 4 全負荷域における CO 濃度及び黒煙濃度の推移（軽油を供試燃料とした場合）

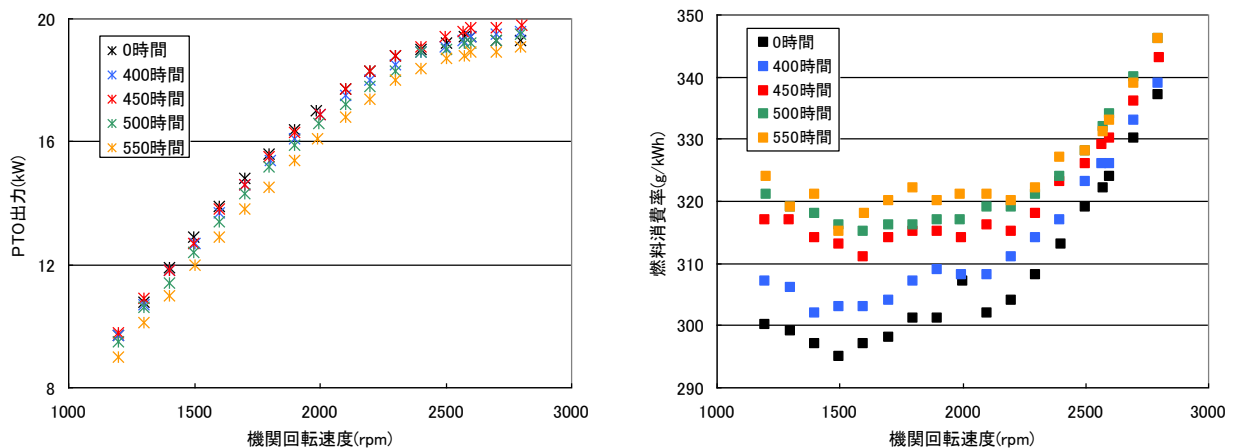


図 5 全負荷域における PTO 出力及び燃料消費率の推移（軽油を供試燃料とした場合）

おわりに

これまでの調査や試験の結果から、以下が明らかになった。

- 1) アルカリ触媒法により製造されたバイオディーゼル燃料は、軽油と比べて、低位発熱量が少ない、流動点が高い、酸素分を含むなどの特徴があり、水分、メタノール分、トリグリセリド等のグリセリド類が残留するなど、その性状は様々である。
- 2) 軽油と比べて、低位発熱量が少ないため、バイオディーゼル燃料をそのまま、あるいは軽油と混合して使用した場合、バイオディーゼル燃料の割合が高いほど、燃料消費率が上昇する。
- 3) D8 法による排出ガス測定の結果では、 NO_x については、使用したバイオディーゼル燃料の種類や混合割合に係わらず同程度であり、また、すすなどのPMについては、バイオディーゼル燃料の割合が高いほど減少する。
- 4) 残留メタノール分が多いバイオディーゼル燃料では、引火点が下がり、燃料を取扱う上で危険性が増すだけでなく、オフロード機関に使用した場合、噴射ノズル付近の燃料配管中でメタノールが気化し、排出ガス特性の変化や燃料流量低下に伴う出力低下が起こる。

今後も、バイオディーゼル燃料を供試して、運転パターンの繰り返し運転を行い、引き続き性能変化を試験、調査する。また、運転終了後には、機関の分解調査を行う予定である。さらに、軽油を同一型式のトラクタへ供試し、同様の運転パターンの繰り返し運転を行い、性能変化を見ることで、バイオディーゼル燃料を長時間使用した場合との比較を行う予定である。

参考文献

- 1) 生研センター：「バイオディーゼル燃料のトラクタへの利活用の研究」平成19年度事業報告 P154～155, 2007.3
- 2) 生研センター：「バイオディーゼル燃料のトラクタへの利活用の研究」平成19年度事業報告 P154～155, 2008.3
- 3) 千葉大基ら：「バイオディーゼル燃料適用時のトラクタPTO性能について」農業環境工学関連学会2007年合同大会講演要旨集, 2007.9
- 4) 千葉大基ら：「バイオディーゼル燃料適用時のエンジン排出ガス特性」農業機械学会第67回年次大会講演要旨, 2008.3
- 5) 社団法人日本農業機械工業会：「農業機械におけるバイオ燃料の利用促進に向けた取組手法の調査・分析に関する調査報告書」, 2008.3
- 6) 清水一史：「バイオディーゼル燃料のトラクタへの利活用の研究」農機研ニュース No. 50, P8, 2007.9

本報告の取扱いについて

本報告の全部又は一部を無断で転載・複製
(コピー) することを禁じます。
転載・複製に当たっては必ず原著者の許諾
を得て下さい。

平成 20 年度 生研センター研究報告会

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
生物系特定産業技術研究支援センター
農業機械化研究所

〒331-8537 埼玉県さいたま市北区日進町 1-40-2
Tel. 048-654-7000 (代)

印刷・発刊 平成 21 年 3 月 5 日