

マニュアルスプレッダのスケールモデルを利用した
堆肥散布特性の基礎実験

平成 26 年 1 月

(2014)

帯広畜産大学大学院 畜産学研究科

修士課程 資源環境農学専攻

坂本 樹一郎

**Basic experiments of compost application characteristic
using a scale model of manure spreader**

January 2014

Kiichirou Sakamoto

**Master Course of
Agro-environmental Science
GRADUATE SCHOOL OF
OBIHIRO UNIVERSITY**

目 次

第 1 章 緒 論	1
1.1 緒 言	1
1.2 堆肥散布機の種類および性能	3
1.3 堆肥の性状	4
1.4 研究目的	5
1.5 謝 辞	5
第 2 章 スケールモデルの設計と製作	7
2.1 供試機	7
2.2 スケールモデルの設計方針	12
2.3 供試機からの変更点	13
2.3.1 ビータの取り付け部	13
2.3.2 ビータおよびコンベアの駆動系	15
2.3.3 ビータの形状と材料	15
2.3.4 スケールモデルの組立	21
第 3 章 実験装置および方法	24
3.1 本章の目的	24
3.2 供試材料	24
3.3 スケールモデルでのビータ軸の回転数の設定	25
3.4 堆肥の散布量捕集装置および実験方法	26

3.5	ビータの取り付け角度.....	27
3.6	堆肥の含水率	27
3.7	ビータ軸の回転数.....	29
3.8	ビータの形状	29
第 4 章	室内実験の結果および考察.....	32
4.1	ビータの取り付け角度と散布特性.....	32
4.2	堆肥の含水率と散布特性.....	35
4.3	ビータ軸の回転数と散布特性.....	39
4.4	ビータの形状と散布特性.....	40
第 5 章	要約.....	43
	参考文献.....	46
	Summary.....	48

第1章 緒 論

1.1 緒 言

近年の農業分野では、土地面積当たりの生産性の向上と効率化のため、圃場への化学肥料の大量投入が行われている。これにより、土地あたりの作物の収量は大幅に向上し、食料の安定した大量生産が可能となった。しかし、その一方で、化学肥料の大量投入による土壌や河川の汚染、大気汚染などの深刻な問題も引き起こしている。また、化学肥料の主な原料であるリン鉱石は、近年枯渇が心配されている鉱物である。わが国ではリン鉱石の入手は国外に依存しており、国外での災害や為替の変動、国際事情などによって大きく価格が変動する。その都度農家の経営などにも大きな影響を与え、経営方針の変更やコストの増加に耐えられず離農せざるをえなくなるなどの問題を抱えている。また、その他にもカリ鉱石や化石燃料など多くの枯渇性資源を必要とするため、それらの高騰によっても化学肥料の価格は高騰し、多くの農業関係者を悩ませている。

北海道では現在、約 828 千頭の乳用牛が飼育されており、ここ数年微減から増加へ転じ、乳用牛頭数は前年に比べてわずかに増加している。しかし、その一方で農家戸数の減少が続いており、酪農家 1 戸当たりの飼養頭数は年々増加の一途をたどっている（農林水産省農業統計，2011）。また、このような状況は 1970 年代から続いており、1 戸当たりの酪農家の処理しなければならないふん尿の量は増大している。家畜ふん尿を堆肥とし圃場に還元する量には限界があり、処理できない余剰ふん尿は野積みや素掘りと言った不適切な方法で処理せざるをえなくなる。その結果、悪臭、川や湖沼、地下水の汚染などの深刻な畜産公害と呼ばれる環境問題を引き起こし、大きな問

題となっている。しかし、平成 11 年に「家畜ふん尿の管理適正化と利用促進を通じた環境保全型農業の実現」という観点から家畜排泄物法などの環境保全型農業の推進に関わる法律が制定され、現在では家畜ふん尿が有用な農業用資源として注目されている。

家畜ふん尿を堆肥化する際には、積み上げた堆肥内部に空気を取り入れ、醗酵の促進をするための切り返しと呼ばれる作業を行う必要がある。作業には、ブルドーザーやショベルカー、バケット付きトラクタなどの機械力を用いる場合が多いが、そのため機械の運用コストや使用後の洗浄、作業中の悪臭などのため、十分な切り返しが行われていないのが現状である。そのため、完熟堆肥と比較して高水分な不完熟堆肥が作られて施用されているのが実情である。不完熟な堆肥を用いた散布を行った場合、十分に分解が進んでいないため大きな堆肥の塊が圃場へと散布されることになる。また、散布に用いられる機械も完熟した堆肥の施用を前提に設計されており、不完熟堆肥を用いた場合、設計時に目標とされた性能を十分に発揮することができない。そのため、実際の圃場では堆肥散布量に不均一が生じていると報告されている（申，2010）。

そこで本研究は、これまで申らが行ってきた堆肥散布の圃場内変動を少なくすることを目的に、堆肥を散布する機械的な面から散布精度を向上させることを目的として実施した。具体的には慣行のマニユアスプレッダ（堆肥散布機）を供試し、そのスケールモデルを製作し、そのモデルを利用して散布特性へ影響を与えると考えられるビータの取り付け角度、ビータ軸の回転数などを任意に変更し、室内の小規模実験で散布特性を評価することを目的とした。

1.2 堆肥散布機の種類および性能

一般的に堆肥の散布にはトラクタけん引式のマニユアスプレッダが用いられている。マニユアスプレッダにはその散布方式によって数種類に分類されており、それぞれに特徴、メリット、デメリットが存在する。

1) 横軸ビータ方式

横軸ビータ式は、堆肥をうちほぐし、拡散するためにビータと呼ばれる刃を軸に対して複数枚取り付けた物を横に配置してある。トラクタ PTO の動力を用いて軸を回転させ、堆肥を後方へ散布する。機体の大きさや用途によって1軸のものと2軸のものが存在する。2軸のものは上部のビータは主に積載部から送られてくる堆肥の山を削り取ることで、散布堆肥の高さを一定に保つ機能を持っており、下部のメインビータで堆肥の散布を行う。しかし、ビータの回転方向により横方向への散布を行うことが難しい。なお、この横軸ビータ式は国産機に多く用いられている方式である。

2) 縦軸ビータ方式

ビータを軸に取り付けたものを回転させ、堆肥を散布する。基本構造は横軸ビータ方式と同様であるが、取り付け軸を縦に配置する点に違いがある。軸本数も機体のサイズによって異なり、1本のものと2本のものが存在する。縦軸ビータの場合、堆肥が後方の左右に散布が行われるため、横軸ビータ方式と比べて散布幅が広くなるという特徴を持つ。しかし、コンベアに搭載された堆肥の量が減少すると、ビータに接触する堆肥の量が減り、散布幅が縮小するなどの問題が発生する。そのため圃場内での均一な散布を行うことが難しい。なお、この方式は輸入機に多く用いられている。

3) スピナー方式

スピナーと呼ばれる高速で回転するビータに堆肥を落下させ、その回転力

を利用して散布を行う。スピナーの回転速度を調整することで堆肥の散布幅を変化させることができる特徴を持つ。

1.3 堆肥の性状

堆肥散布機は、堆肥を効率的に圃場に散布するための作業機であるが、堆肥の性状はふん尿の処理方式によって大きく異なり、一般的には砂のように団塊がなく、乾燥した状態が最良であるとされるが、実際には若干泥状の部分も含んだ状態で圃場に散布することが要求される。堆肥の性状は、表1に示すように水分の多少により大きく異なり、含水率 87%以上は液状、84～87%で泥状、84%以下が固形の様相を示すが、堆肥散布機で堆肥を散布できる限界は、固体として扱える 83%程度であると言われている。この値は、敷料を使用した場合のふんであり、発酵過程で副資材を用いないで未熟な発酵の場合に相当する。敷料使用の畜舎で堆肥を完熟させた場合には問題なく散布可能であり、おがくずや麦稈を副資材に用いることにより、堆肥は容易に散布できるようになる（澤村 篤，2002）。

表 1 ふん尿の性状

堆肥散布機の利用の容易性	容 易	易 → 難	不 可
ふん尿の性状	固 形	泥 状	液 状
施設とふん尿	乾燥ふん 堆肥醗酵ふん 堆肥腐熟ふん 固液分離後の固形分 敷料使用畜舎ふん	尿の混合しないふんのみ 水の混入しない自然流下式貯留槽のふん	ふん尿と同量の水混入 ふん尿に3倍の水混入

1.4 研究目的

現在、北海道で最も一般的に用いられているマニユアスプレッダは横軸ビータ式である。完熟堆肥を用いた場合、横軸式マニユアスプレッダの散布量分布は穏やかな台形を示す。しかし、高含水率な不完熟堆肥を散布した場合には機体中央部に堆肥が集中し、散布幅が縮小してしまうことが判明している。これは、堆肥の粉碎がうまく行われずに散布されたことに起因している(申, 2010)。このため圃場内での均一な散布を行う場合、トラクタ走行の往復の作業間隔を狭くする必要があり、機械作業効率の低下やより不均一な散布になりやすい。作業の効率化と高精度化が求められる現在の北海道農業において、高水分な堆肥の散布に対応する新たなマニユアスプレッダの改良が今後必要である。マニユアスプレッダの散布特性を向上させるためには、散布機構のビータの取り付け位置や角度、形状、回転数など複数要素の変更が必要である。しかし、現行機の大掛かりな変更を行うことは構造上の制約やコスト面から難しく、また多くの実験や労力を伴うため、改良の障害となっている。

そこで本研究は、マニユアスプレッダのスケールモデルの製作を行い、種々の機械的な条件で散布実験を重ね、供試機との散布状態の比較を行うことでスケールモデルを利用した効率的な開発手法の可能性を明らかにすることを目的とした。

1.5 謝辞

本研究は2012年4月から2014年1月の間に、帯広畜産大学大学院畜産学研究科資源環境農学専攻資源環境工学コースの農作業システム工学研究室に在学中に行われたものである。研究を進めるにあたり終始ご指導とご助言

を賜り，論文の閲読を頂いた本学の地域環境学研究部門地域環境工学分野の
主指導教員である佐藤禎稔教授に対して深く感謝の意を表す。また，本論
文の閲読を頂いた同分野の前多修二教授，岸本正准教授に対して謝意を表す
るとともに，実験装置の製作に多大な力添えを頂いた農業機械実習工場の飯
島和司氏，共同で研究を行った研究員の竹内崇通氏に深く感謝の意を表す。
さらに，本研究に際して実験に協力して頂いた，同研究室の先輩や後輩に心
から深く感謝の意を表す。

第2章 スケールモデルの設計と製作

2.1 供試機

本研究で供試したマニユアスプレッダは図 1 に示すトラクタけん引式の積載量 1.1t の横軸二段式小型マニユアスプレッダ (タカキタ, DH1180M2) である。供試機は北海道で広く一般的に使用されている横軸ダブルビータ構造を持っている。適応トラクタの馬力は 20~40PS と北海道で一般的に使用されているトラクタと比較してやや小さめの機体であるが, 供試機は本学の実験用に購入したものであり, 実機の改良も視野に入れ, 比較的安価なこの供試機に決定した。



図 1 供試マニユアスプレッダ(タカキタ, DH1180M2)

供試機の外形寸法は、表 2 に示すように全長 3,900mm，全巾 1,710mm，全高 1,750mm であり，作業幅は 2.5m である（タカキタ，2010）。供試機は機体前方の積載部に堆肥を積載し，その堆肥を後方の散布機に運搬するためのフロアコンベア（図 2）を備えている。



図 2 供試機のフロアコンベア

表 2 供試機の仕様諸元

機種名	DH1180M2
全長[mm]	3,900
全巾[mm]	1,710
全高[mm]	1,750
全重[kg]	710
散布幅[m]	2.5
最大積載量[kg]	1,100
作業幅[m]	2.5

フロアコンベアは、トラクタの PTO からの動力を用いて駆動を行っており、フロアコンベアの送り速度は図 3 に示す機体左側面に備えられたレバーを操作することで、5 段階の送り速度に変更することができる。



図 3 コンベア送り速度調整用レバー

供試機の後方に位置する散布機構は、横軸を上下に 2 本備えた横軸ダブルビータと呼ばれる方式である。上下の軸にはビータと呼ばれる刃を備えており、これらの軸を PTO の動力を用いて回転させている。上部のビータで堆肥をほぐして散布機構へ送られる堆肥の高さを一定にし、下部のビータで堆肥を打ちほぐしながら機体後方へ散布を行う。

図 4 は下部ビータであるが、下部ビータは左右対称に計 12 枚配置されて

いる。ビータの形状は上部ビータと下部ビータはほぼ同様な形状をしているが、上部ビータは一回り小さい。枚数は下部ビータと同様に、左右対称 12枚のビータが配置されている。



図 4 供試機の下部ビータの写真

供試機の下部ビータ軸の回転数は図 5 のようにフロアコンベアの送り速度に連動するように設計されており、ビータとフロアコンベアを独立させて回転数の調整を行うことはできない。また、上部ビータも同様に図 6 に示すように下部ビータと連動して回転するように製作されているため、独立して速度調整をする機構は持たない。

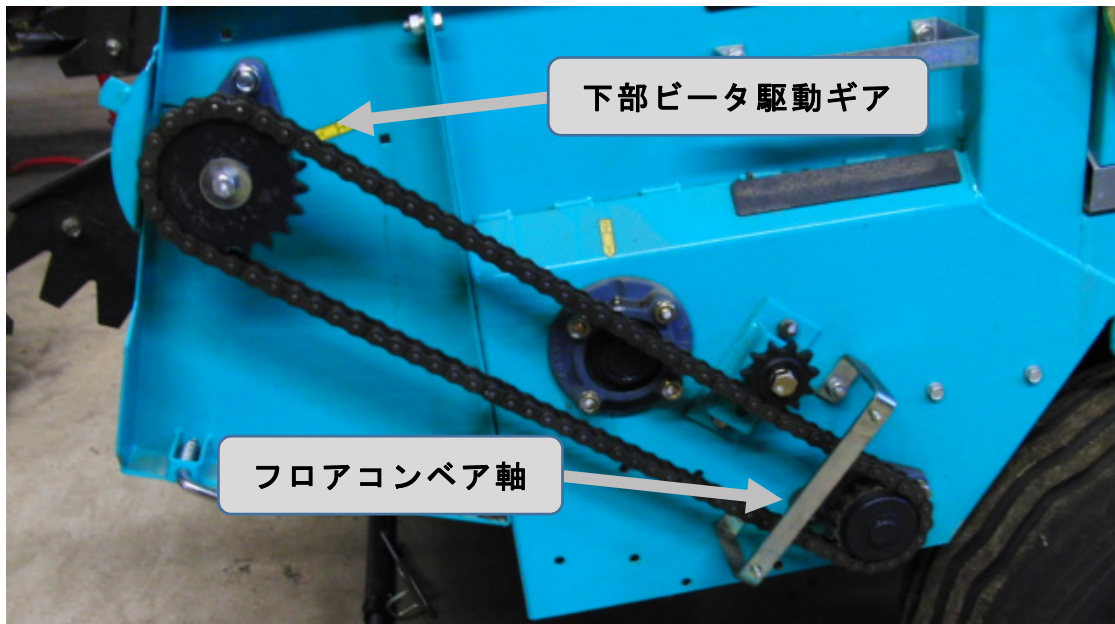


図 5 コンベア軸から下部ビータへの駆動力取り出し部

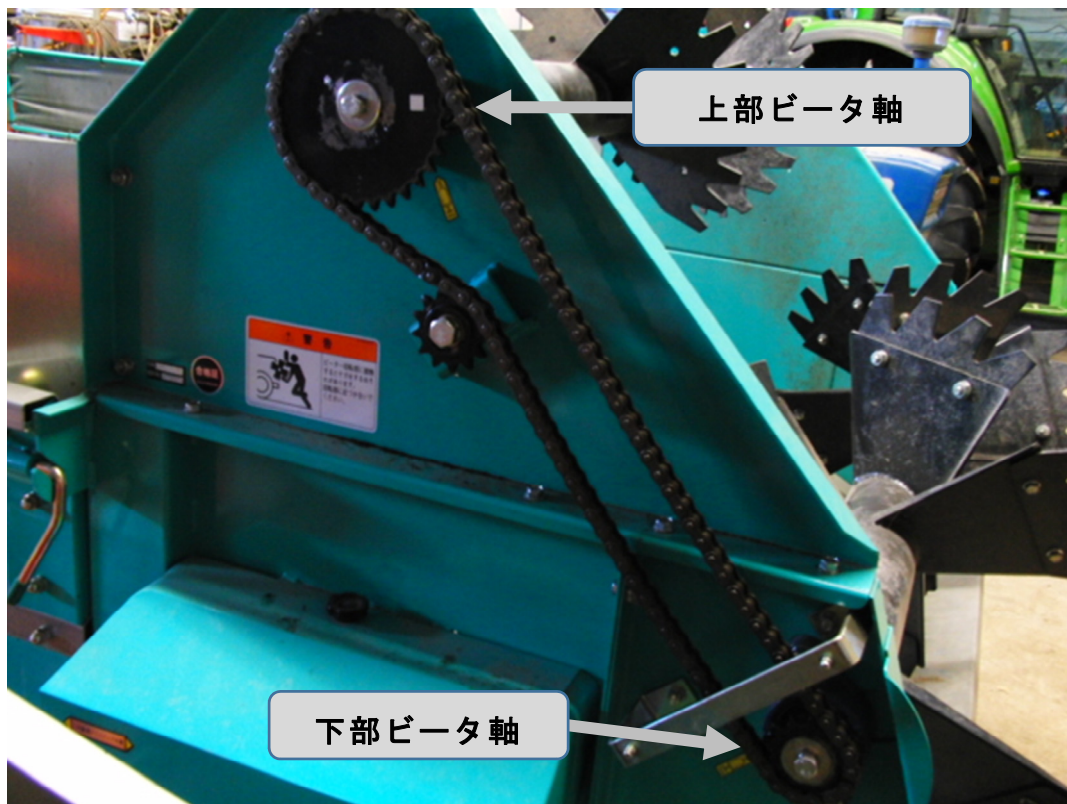


図 6 下部ビータ軸から上部ビータ軸への動力取り出し部

2.2 スケールモデルの設計方針

スケールモデルの設計を行うにあたって、まずスケールモデルの仕様を検討した。これは供試機の単純なスケールダウンモデルの製作だけでなく、散布の効率化を図るための実験にも使用することから供試機とは異なる仕様にする必要があるためである。本研究で必要とされたスケールモデルの仕様の変更は以下の方針で行った。

- 1) ビータの取り付け位置や角度を容易に変更可能な構造とする。
- 2) ビータの回転数やフロアコンベアをそれぞれ独立して変更可能な構造とする。
- 3) ビータの形状を変更することも予想されるため、容易に入手や製作が可能な材質のものを利用する。
- 4) 室内で実験を行えるようにスケールモデルの縮尺は供試機の 1/3 とする。

本研究でのマニユアスプレッタのスケールモデルの製作にあたり、設計には図 7 に示す 3 次元 CAD ソフト SolidWorks 2013 を使用し、パソコンは Windows 7 Enterprise 64bit OS を搭載した CPU : Core i5 3.47GHz RAM:8GB を搭載したものを使用した。3 次元 CAD を用いることで従来の手書きの図面に比べて、図面の編集を容易に行うことができる。作図した部品の複製が容易に行えること。拡大縮小が容易なこと。完成したデータを用いて、各部の干渉の有無の確認や稼働時に機械各部に作用する荷重を把握することができるなど、実機の製作前に今まで実機を製作した後でしか得ることのできなかった種々の情報を得ることができるなどのメリットがある。

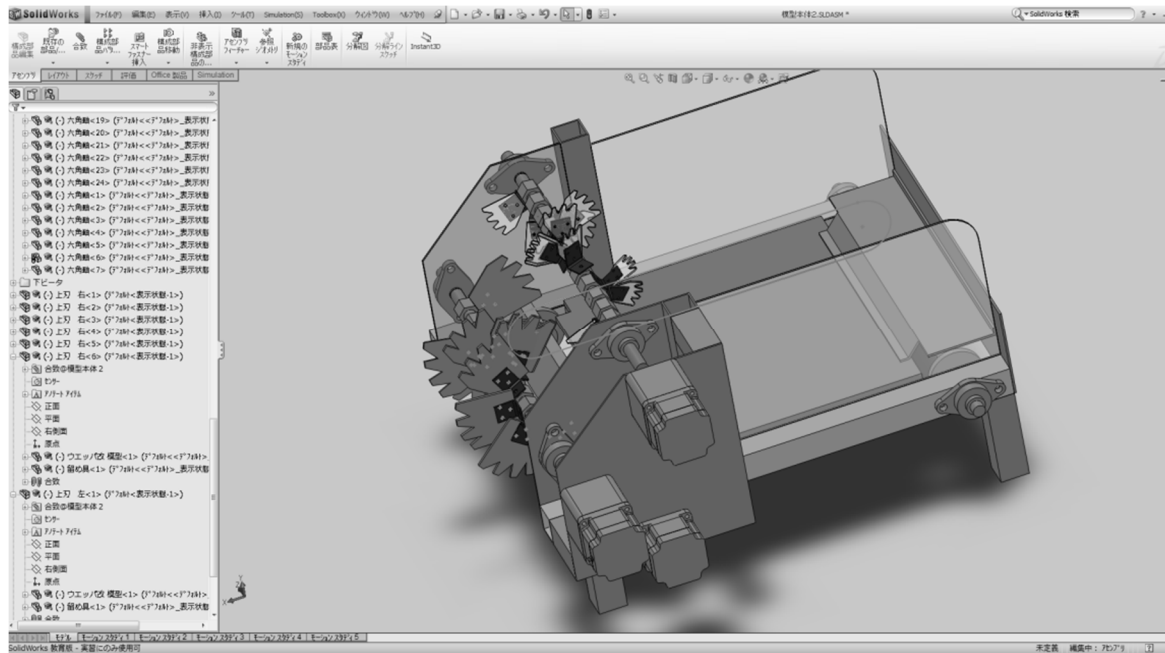


図 7 SolidWorks2010 作業画面

2.3 供試機からの変更点

2.3.1 ビータの取り付け部

供試したマニュアルスプレッダは、ビータの取り付け部分は回転する軸に対して溶接止めとなっており、下部ビータの先端部分のみがボルト留めで脱着可能な構造となっている。本研究でスケールモデルを用いた実験を行うにあたって、ビータの交換や取り外し、取り付け角度の変更が必要であると考えた。そのため供試機とは異なる取り付け方法の模索を行った。

本研究で製作したスケールモデルのビータの取り付け部分は図 8 に示す。ビータの取り付けステーの固定のため対角 36mm の六角棒の真ん中に直径 20mm の穴を開け中にモータからの軸を通せるようにし、回り止めとビータ固定用の穴として 2 か所に M6 ピッチ 1.5 でネジ穴を開けている。ビータと六角棒との固定に用いるステーは板厚 2.2mm の鉄板を切り出し、曲げ加工、穴あけ加工を施しステーとして用いている。六角棒との固定は

M6 のネジ 1 本での固定としており，バネワッシャを挟むことで緩み止めとしている。ビータの固定は M4 ネジ 3 本での固定している。本研究で製作するビータは衝撃に弱く割れやすいアクリル製および ABS 樹脂製であるため，固定用の穴部分から亀裂が発生することが予想された。そこで，荷重を分散させるためにネジ 3 本で固定した。

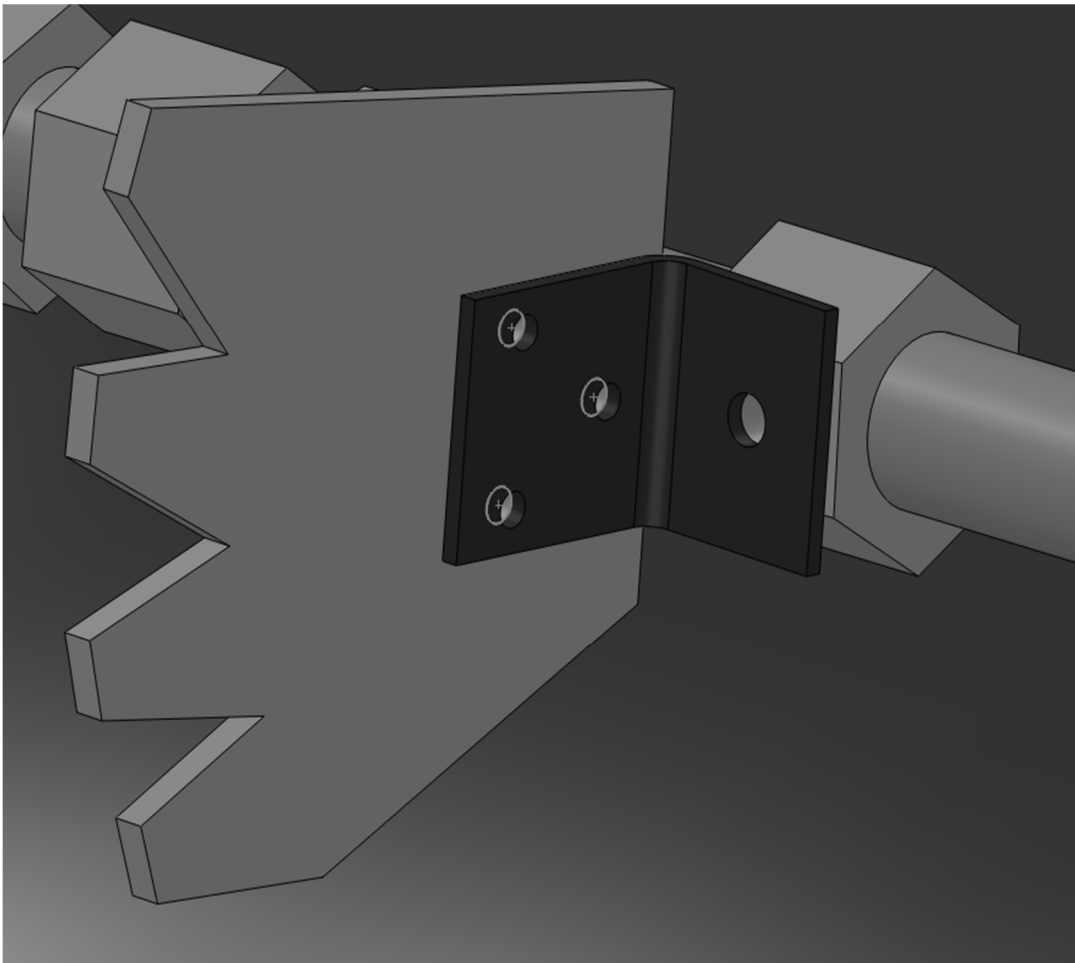


図 8 ビータ取り付け方法

2.3.2 ビータおよびコンベアの駆動系

マニュアルスプレッダではビータを回転させるために、トラクタの PTO の回転を変換し伝達している。伝達の途中には変速装置は介入しておらず、上下部ビータの回転軸の速度を個別に変更することはできない。そのため、本研究で設計、製作するスケールモデルでは個別に可変速のステッピングモータを採用することで、上下ビータとフロアコンベアの速度をそれぞれ独立して調整を行えるように変更した。本研究のスケールモデルに使用したモータは表 3 の通りである。ビータ軸の上下ではモータの減速比が異なっており、上部ビータ軸は 30:1、下部ビータ軸は 5:1 に設定した。

表 3 ビータ・コンベアモータ仕様

	コンベア用モータ	上下ビータ用モータ
販売	オリエンタルモータ	オリエンタルモータ
型式	PK596AW1	BLF512A
電源電圧[V]	単相 100V-120	単相 100V-120
定格トルク[N・m]		0.4
起動トルク[N・m]	2.1	0.8
定格回転速度[rpm]		3000
速度制限範囲[rpm]		80~4000
基本ステップ角[°]	0.72	

2.3.3 ビータの形状と材料

供試したマニュアルスプレッダのビータは厚さ 3mm の鉄板を切断し、プレスで整形していると思われる。供試機と同様にスケールモデルでも鉄製でビータを製作しようとした場合、多大な労力と時間が必要になることが予想されたため、本研究ではビータの材質を変更し、図 9 のレーザー加工機 (UNIVERSAL LASER SYSTEM, VLS2.30) と図 10 の 3D プリンタ

(GRAPHTEC, 3D プリンタ Dimension Elite) を用いてビータの製作を行った。図 11 は供試機の上軸のビータをスケールモデル用のサイズに変更した設計図であり, 図 12 は供試機の下軸のビータを同様に変更したものである。また, 図 13 は散布幅拡大を意図して供試機の下部ビータを元に 30°の曲げを加えたビータの設計図である。

図 14 のような平面的なビータを作成する場合, 加工にはレーザー加工機を用い, 材質はアクリルを使用した。アクリルは強度確保のため 5mm とやや厚めの物を使用した。本実験での結果に大きな影響は与えないと考えた。図 15 のような立体形状のビータを製作する場合は 3D プリンタを用いて製作を行った。3D プリンタを用いた場合は材料の選択は, ABS 樹脂に限定される。3D プリンタは樹脂を積層することによってモデルの製作を行うため, 積層方向をよく検討せず作った場合, 実験中に割れてしまう可能性がある。そのため, 製作段階で力の入力方向を把握することが重要である。なお, 本研究では ABS 製ビータの厚みは 3mm とした。

本研究では, これらの加工機器を用いることで, 自由な形状で高精度の部品を手に入れることができた。現状で使用できる機械では材料に樹脂以外を用いる事ができないため大きな荷重や熱の発生する場所に用いることはできず, 鋼鉄に比べて耐久度は劣る。しかし, 本実験のように使用条件が限定されており, 耐久性をそれほど必要としない実験機や試作機などに用いる場合には非常に有用であると言える。



図 9 レーザー加工機 (UNIVERSAL LASER SYSTEM, VLS2.30)



図 10 3D プリンタ (Dimension Elite)

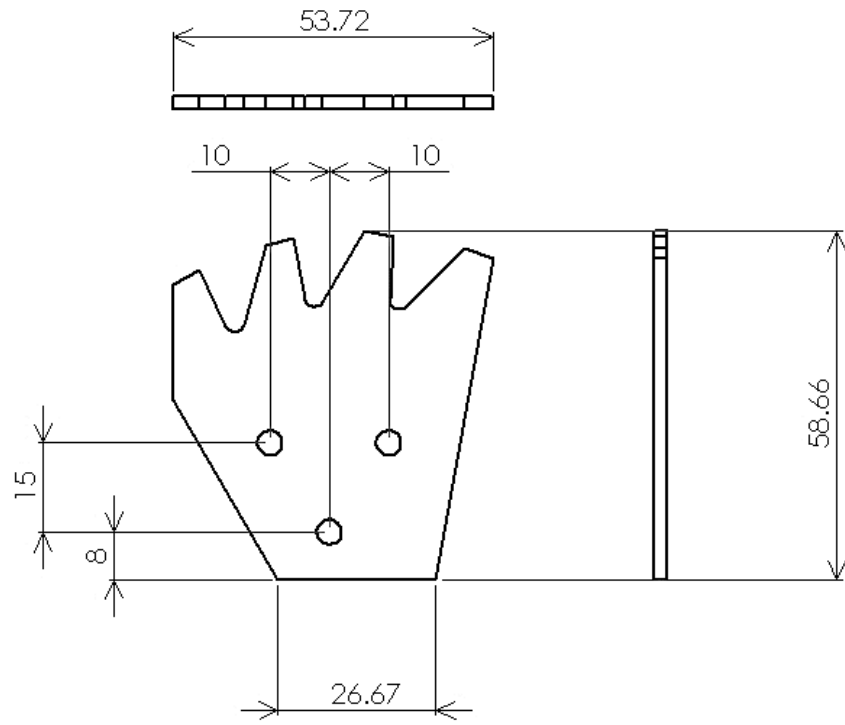


図 11 上部ビータの図面

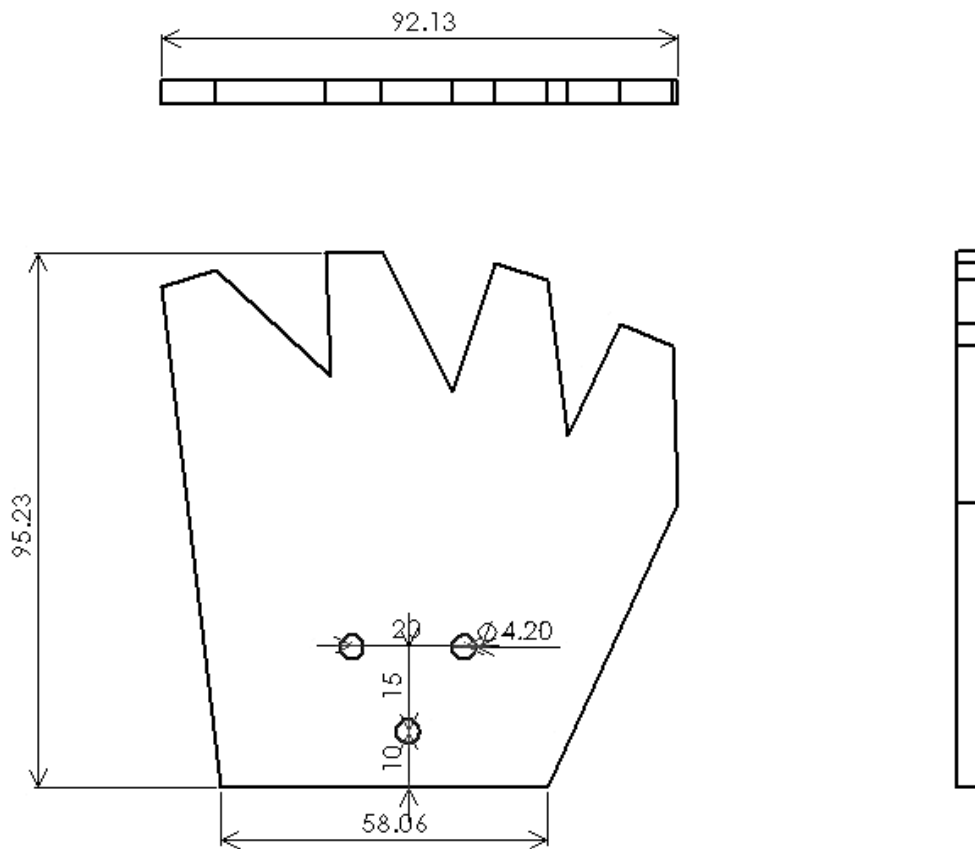


図 12 下ビータの図面

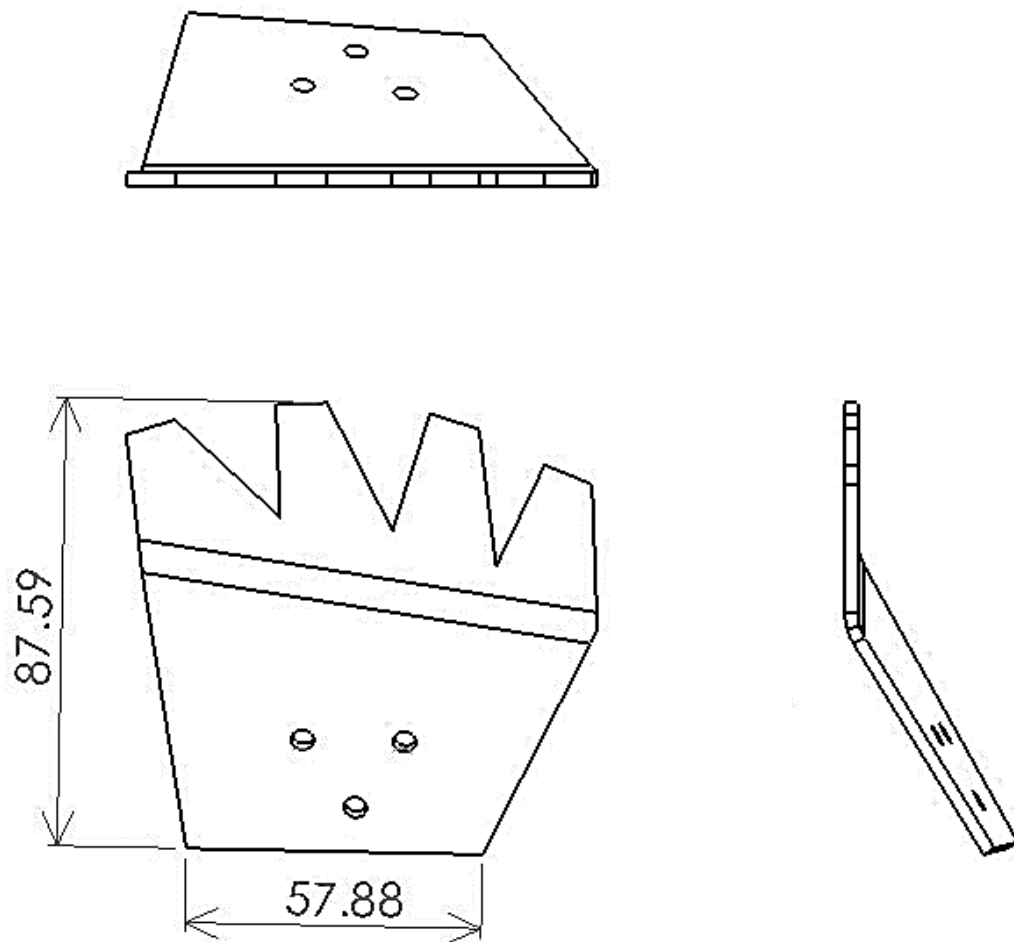


図 13 下曲げピータの図面

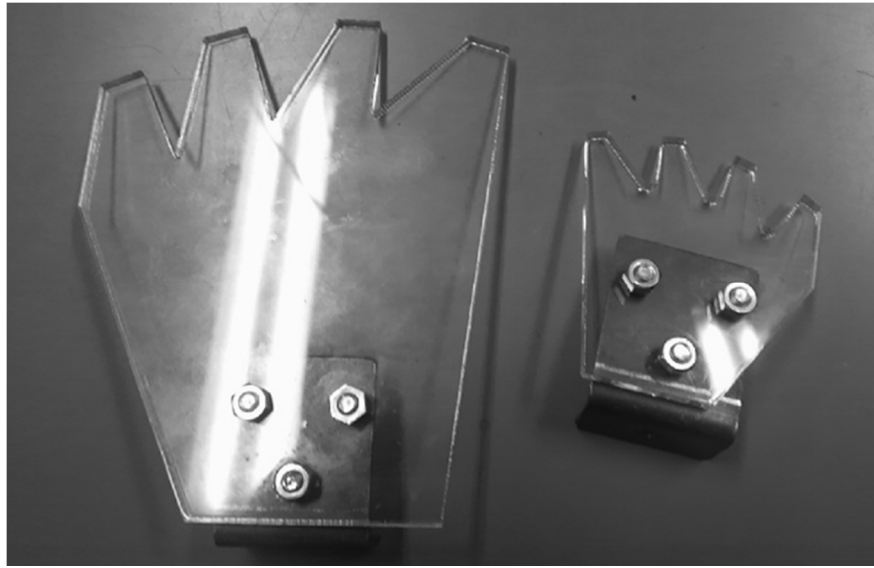


図 14 アクリル製のピータ



図 15 ABS樹脂製のピータ

2.3.4 スケールモデルの組立

図 16 と図 17 は供試したマニユアスプレッタの散布機構を対象としたスケールモデルを示す。スケールモデルの寸法は全長 753mm，全巾 678mm，全高 486mm となっている。図 17 のように機体側面に可変速モータが 3 基取り付けられてあり，下から順に，コンベア用モータ，下部ビータ軸用モータ，上部ビータ軸用モータとなっている。

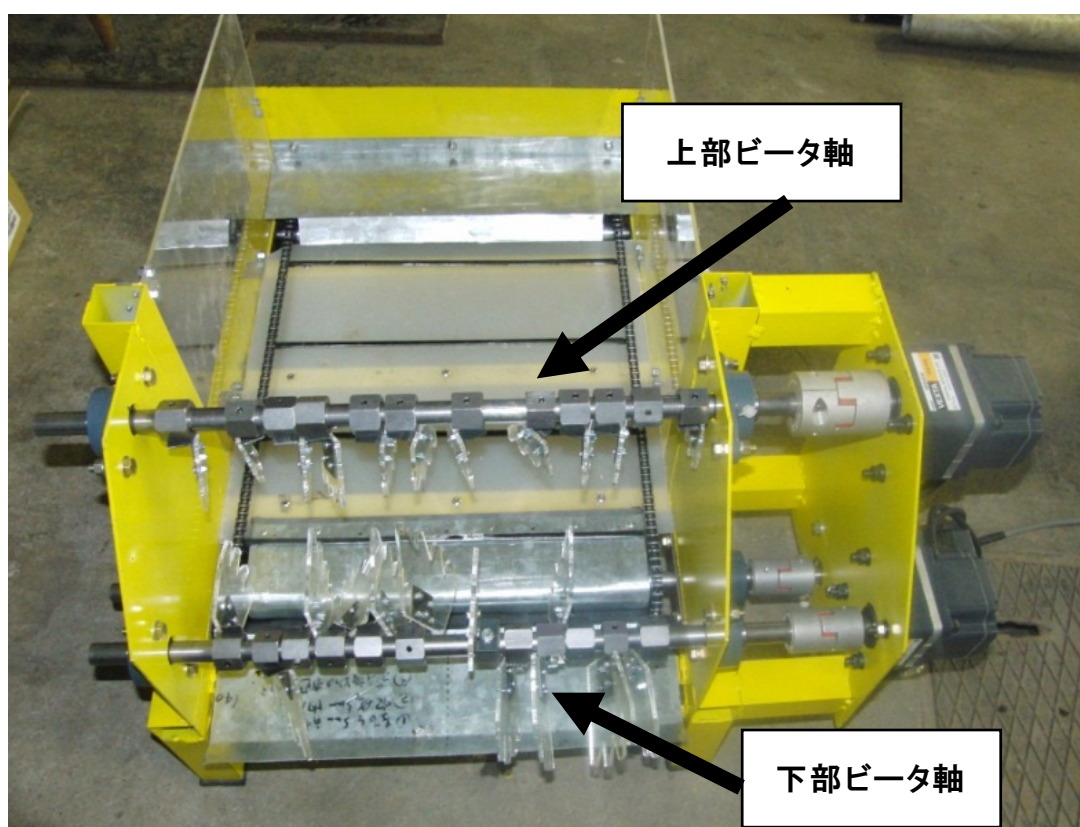


図 16 スケールモデル正面

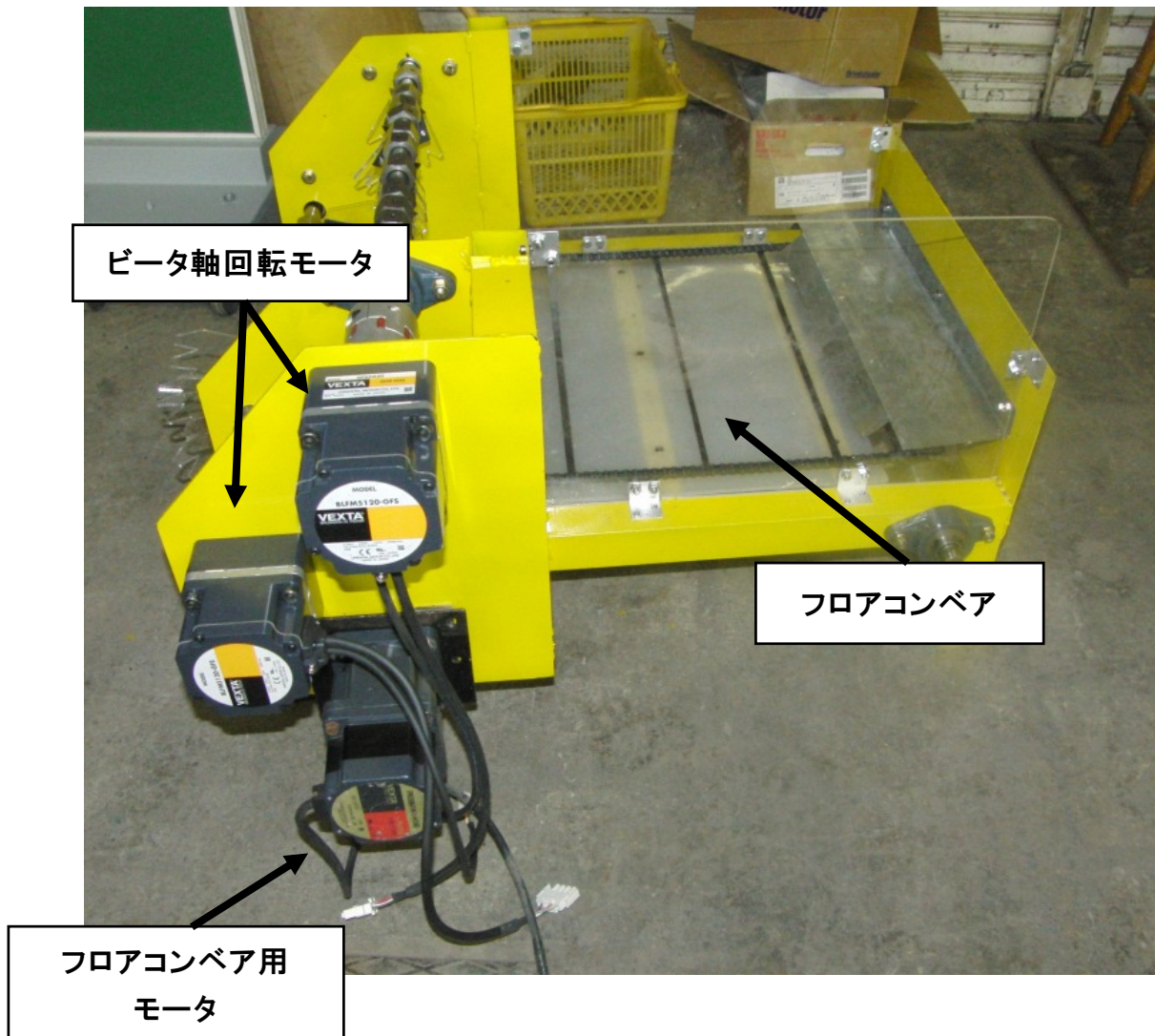


図 17 スケールモデルの側面

図 18 は上下ベータ軸用のモータ制御ユニットである。右側のつまみを回すことで 0~4,000rpm まで無段階に回転数を調節することが可能になっている。

図 19 はコンベア用のステッピングモータ制御ユニットである。右側の赤いボタンでモータの回転数を上昇させ、左側の青いボタンで回転数を下降させる。また、中の黒いボタンを押すことで回転方向を反転させることができる。回転数は 1~20rpm の範囲で変更することができるが、回転数の表示な

どはないため変更した際には一度スケールモデルで実際のコンベヤ速度を計測する必要がある。



図 18 上下ピータ用モータの制御ユニット

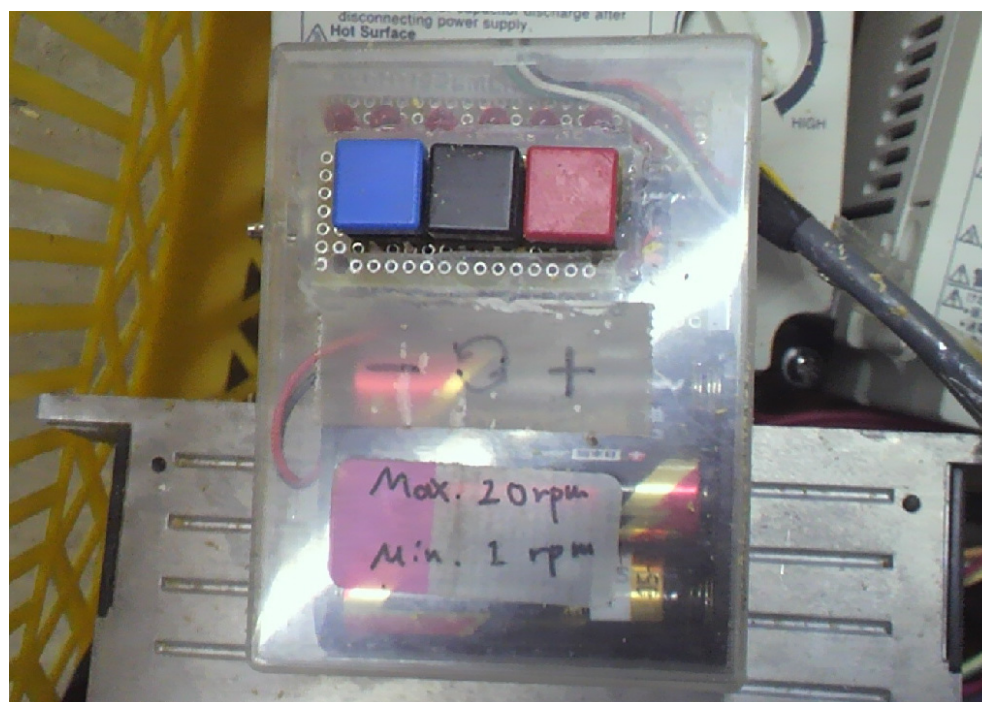


図 19 コンベア用ステッピングモータの制御ユニット

第3章 実験装置および方法

3.1 本章の目的

本章では、スケールモデルを用いて行った散布特性の室内実験装置と方法について説明する。実験は最も散布に影響を与えていると考えられる下部ビータに対して行った。ビータ軸の回転数，ビータの取り付け角度，ビータの形状などの変更を行いながら散布量分布と散布幅の変化について実験を行った。

3.2 供試材料

本研究の実験では、実際の農家で生産されている堆肥ではなく図 20 に示す市販のバーク堆肥を利用した。その理由は以下の 2 点である。

- 1) 実験材料の均一性と再現性の確保
- 2) 実験の衛生面での安全性の確保



図 20 十勝バーク 2 号(森産業株式会社)

本研究の実験で供試したバーク堆肥は、森産業株式会社の十勝バーク 2 号である。主成分はバーク（樹皮）と牛ふんの完熟堆肥で、粒子サイズが 5mm 以下になるように篩を通したものであり、実験時の含水率は約 16% である。

3.3 スケールモデルでのビータ軸の回転数の設定

スケールモデルは供試機の 1/3 の縮尺サイズとなっているため、実験を行う前に散布距離も供試機の 1/3 となるようなビータの回転数を理論的に計算で求めた。計算には 1) 式に示す物理学の斜め投射時の到達水平距離 X_L (m) を求める式を用いた。

$$X_L = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g} \quad \text{————— 1)}$$

ここに、

v_0 : 初速度 (m/s)

g : 重力加速度 (m/s^2)

θ : 投射角度 ($^\circ$)

初速度は散布物がビータの先端にあたった際、その周速度と同じ速度で飛んでいくものとして仮定した。この式から到達水平距離 X_L は初速 V_0 の 2 乗に比例することが分かる。よって、到達水平距離を 1/3 にするには初速度を $1/\sqrt{3}$ にすればよいことが分かる。この初速度を $1/\sqrt{3}$ とするスケールモデルのビータの回転数は、その周速度から計算すると 2) 式のように求められる。

$$A = \sqrt{3}B \quad \text{————— 2)}$$

ここに、

A：スケールモデルの回転数（rpm）

B：供試機の回転数（rpm）

したがって、スケールモデルの回転数を $\sqrt{3}$ 倍に増速することで供試機の $1/3$ の水平到達距離を得ることができる。供試機の下部ビータ軸回転数は400rpmとなっており、 $\sqrt{3}$ 倍した場合スケールモデルでは約700rpmとなる。

3.4 堆肥の散布量捕集装置および実験方法

散布量分布の測定はスケールモデルの散布方向に図 21 で示すアクリル製の捕集装置（1,000mm×2,000mm）を設置した。



図 21 スケールモデルと捕集装置の配置図

この捕集装置を 50mm 間隔で区切ることで 20 区画とした。散布は各区画に散布される散布物の重量を測定することで散布量分布を求めた。なお、予備実験の結果、散布量分布はほぼ左右対称形であったことから、実験は捕集装置の端をスケールモデルの中心に合わせ、片側のみの散布重量を測定した。実験は 30 秒間の散布を行い各区画に散布された重量の総重量に対する割合を求め、その実験の散布量分布の形状を確認するため左右対称のグラフを作成して評価した。

3.5 ビータの取り付け角度

図 22 のように下部ビータ回転軸に取り付けられているそれぞれのビータの迎え角度が散布に及ぼす影響を確認する実験を行った。下部ビータは中央から 2 枚ずつ A, B, C とグループ分けを行った。表 4 に示すようにグループごとのビータの取り付け角度を変更しながら実験を行い、すべてのビータに迎え角度をつけない状態と比較することによってそれぞれのビータがどの付近の散布状態に影響を与えているかを見ることができる。供試機のビータの取り付け角度は 30°となっているが、この実験では最もビータによるかき分けの効果が高いと考えられる 45°にビータの取り付け角を変更した場合についても実験を行った。

3.6 堆肥の含水率

供試したバーク堆肥の水分は 16% w.b. である。本研究ではそのバーク堆肥に加水を行い、スケールモデルを用いて散布を行う実験を行った。ビータの取り付け角度は 30°と 45°に設定し、ビータの回転速度は 700rpm で実験を行った。バーク堆肥は完全に水に浸るまで加水を行い、よくかき混ぜ

てから実験を行った。実験の際のバーク堆肥の含水率はビータ取り付け角度 35°での実験の際は 68.4%，45°での実験の際は 66.0%であった。

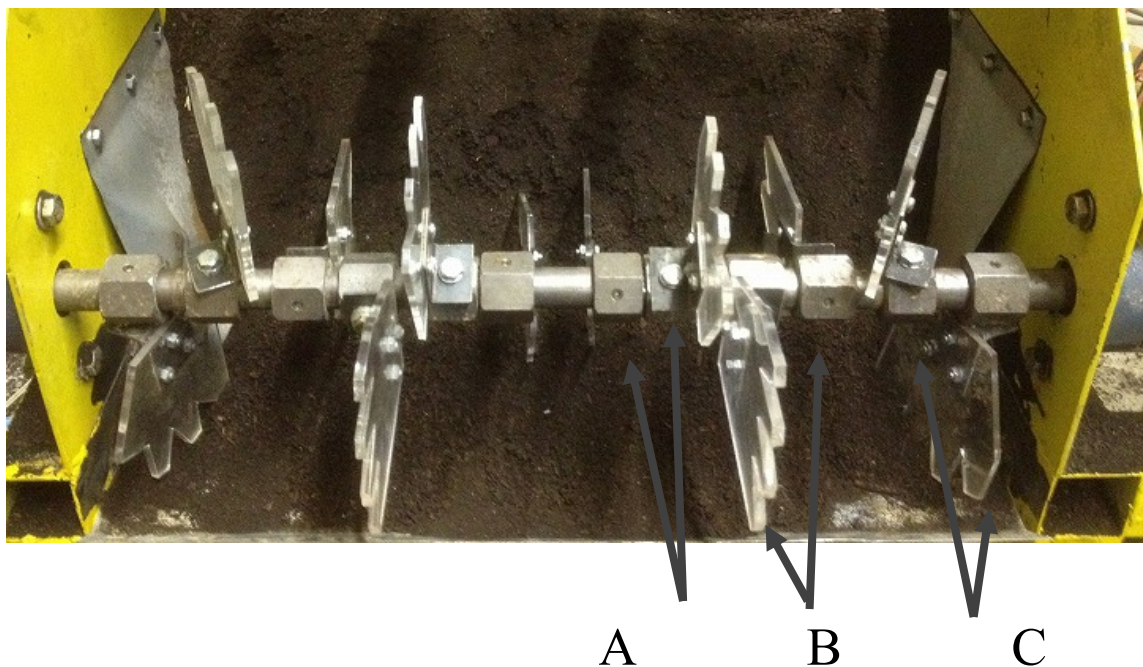


図 22 ビータの配置

表 4 ビータの取り付け角度の設定

実験番号	ビータの設定 (°)		
	1・2 枚目 (A)	3・4 枚目 (B)	5・6 枚目 (C)
全て 0°	0	0	0
A-30	30	0	0
B-30	0	30	0
C-30	0	0	30
R-30 (供試機)	30	30	30
R-45	45	45	45

3.7 ビータ軸の回転数

下部ビータ軸の回転数が散布特性に与える影響を明らかにするための実験を行った。下部ビータ軸の回転速度を 300, 500, 600, 700, 800rpm の 5 段階の回転速度に変化させて、さらにビータの取り付け角度を 30°と 45°に変化させ、散布量分布と散布幅の変化を求めた。

3.8 ビータの形状

供試機のビータは図 23 に示すように厚さ 3mm の鉄板を切り出したものが採用されている。形状は堆肥の破碎性向上を目的とした鶏冠型が採用されている。本実験ではこのビータの形状を変更することで散布量分布がどのように変化するかについて散布特性を求めた。



図 23 供試機の鶏冠型のビータ

スケールモデルではビータは図 24 のように 5mm アクリルを使用して製作した。本研究ではこれを 3D プリンタで製作したビータに (図 25) 変更して実験を行った。このビータは基本的な形状や大きなサイズの変更はないが、図 26 に示すように上部を 30°機体の外側へ向けて曲げたものを製作した。なお、実験はビータの取り付け角度 30°と 45°の 2 条件で行った。



図 24 スケールモデル用のアクリル製ビータ



図 25 曲げビータの正面

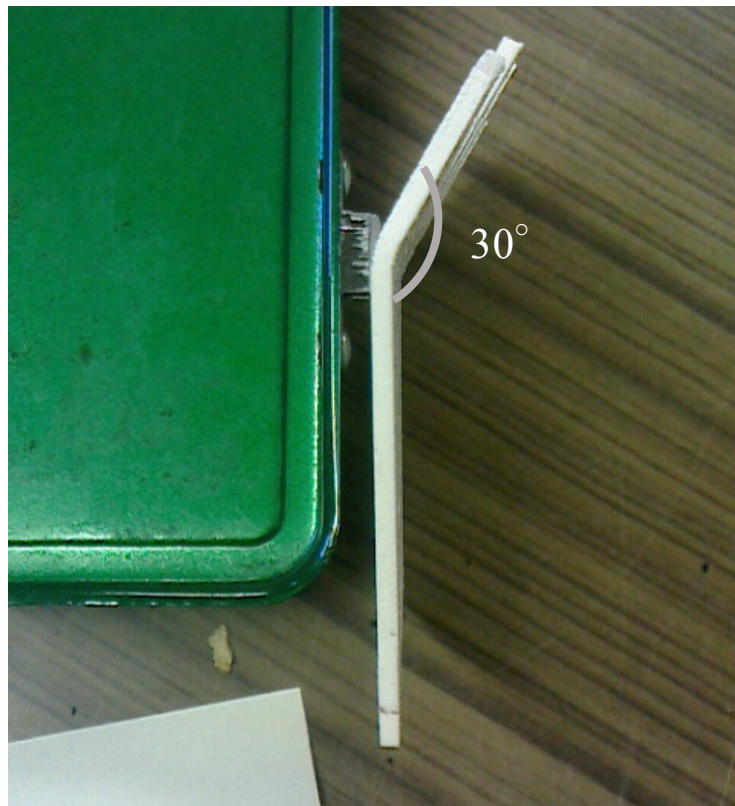


図 26 曲げビータの側面

第4章 室内実験の結果および考察

4.1 ビータの取り付け角度と散布特性

図 27 はビータの取り付け角度を中心から左右 2 枚ずつ変更し，その時の散布量分布の変化を示す。図中の A，B，C は，内側から 2 枚ずつ表 4 に示した条件でビータの取り付け角度をそれぞれ変化させ散布を行った際の散布量分布の変化を示した結果である。縦軸を散布割合，横軸を機体中心からの水平位置としている。散布量分布の比較用に全てのビータを回転方向に対して平行となる取り付け角度 0° に取り付けられた場合の結果を示した。

実験 A- 30° ，B- 30° ，C- 30° ではいずれもビータの取り付け角度を 0° に設定した場合と比較して散布量分布は機体幅の外側ではすべての条件で散布量割合が増加した。特に B- 30° と C- 30° の条件では 3~4%程度散布量割合が多くなっている。機体幅の内側では A- 30° と C- 30° の条件では機体幅の中央部の散布量割合が全て 0° に設定した場合と比較して 2%低下した。B- 30° の条件でのみ中央部分の散布量分布が約 3%増加した。原因として B のビータ 2 枚のうち中央側のビータは取り付け角度が他のビータのように外側へ向けてではなく，内側に向けて取り付けられており，中央部分へ散布を集中させやすい形状となっているためであると考えられる。

図 28 はビータの角度を変更した際の全散布量の 95%が散布された有効幅を示す。散布幅だけで比較すると，B- 30° の場合が最も有効散布幅が拡大する結果となった。しかし，実際の圃場を想定した場合は図 27 に示すように中央部分の散布量分布が高くなる結果となっており，実圃場を想定した場合これでは適さないことが分かる。A- 30° と C- 30° は大きな変化は見られないが，全て 0° の場合と比較すると全ての条件で有効散布幅の拡大が見られる

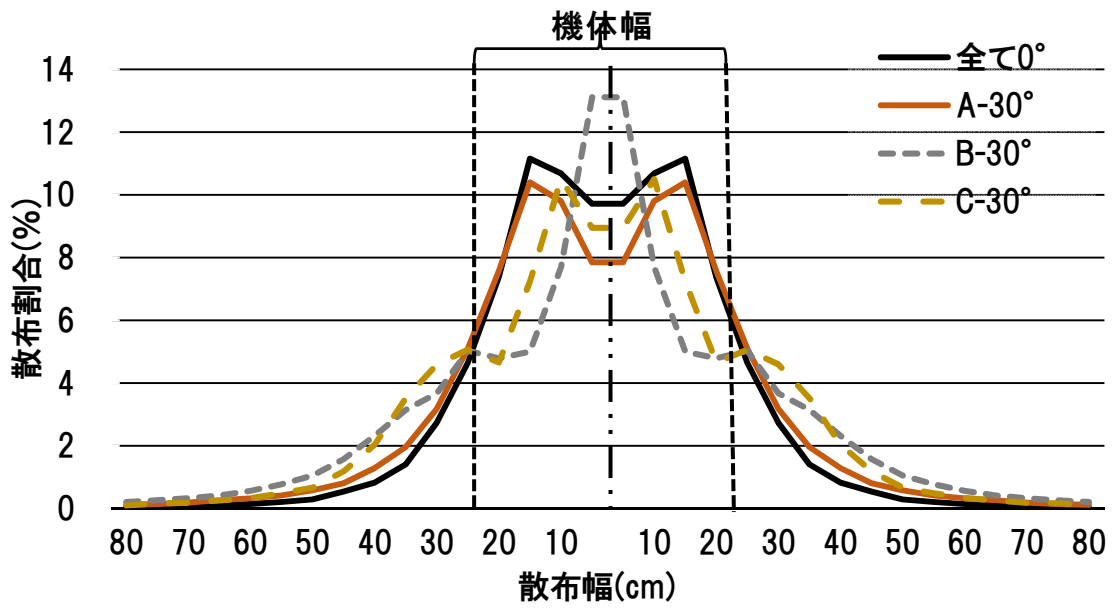


図 27 ビータの取り付け角度と散布量分布の変化

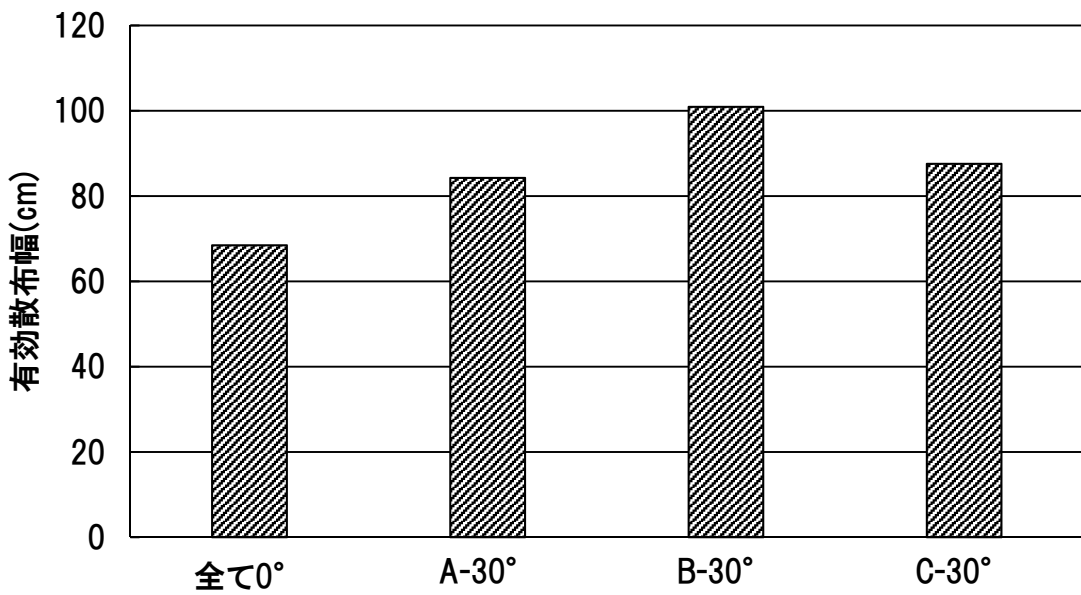


図 28 ビータの取り付け角度と散布幅の変化

ことから、ビータの取り付け角度の変化による散布幅への影響を確認することができた。

図 29 はビータの取り付け角度を全て 0° と $R-30^\circ$, $R-45^\circ$ の場合の散布分布を示したものである。全て 0° の場合と比較すると $R-30^\circ$ と $R-45^\circ$ の両方で機体幅の外側の散布が拡大していることが分かる。散布形状は供試機と同様の $R-30^\circ$ の場合、中央部に多くの散布が集中する山型となり、 $R-45^\circ$ の場合は中央の散布量が約 3%減少した台形に近い形状となることが判明した。圃場内での重複散布を考えた場合、散布分布は山形よりも台形に近い形のほうが有効であるため、 $R-45^\circ$ の場合のほうが優れた散布分布である。

また、図 30 はビータの取り付け角度を全て 0° と $R-30^\circ$, $R-45^\circ$ の場合の散布幅の変化を示したものである。全て 0° の場合と比較すると $R-30^\circ$ と $R-45^\circ$ のどちらでも散布幅の拡大を見ることができる。 $R-30^\circ$ と $R-45^\circ$ の比較を行うと $R-45^\circ$ の設定の場合、約 5%有効散布幅が拡大した。

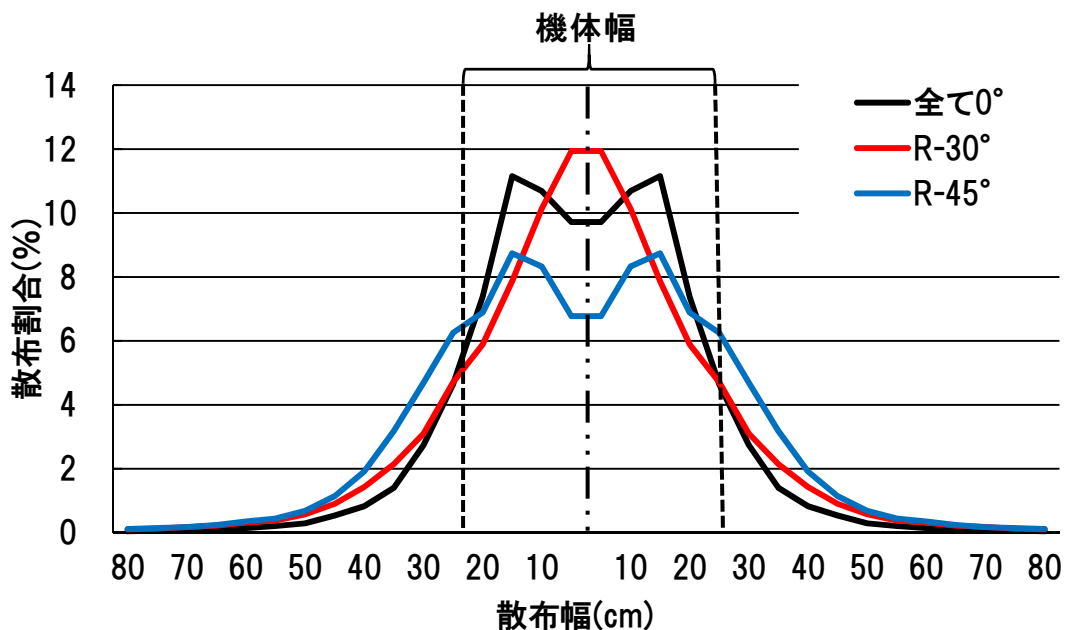


図 29 ビータの取り付け角度と散布量分布の変化

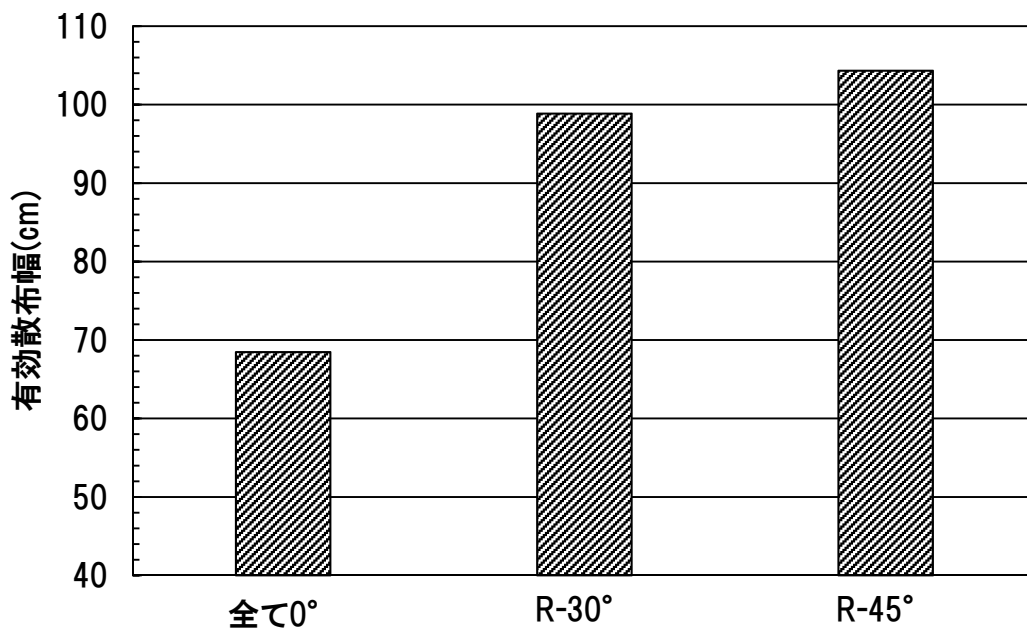


図 30 ビータの取り付け角度と散布幅の変化

4.2 堆肥の含水率と散布特性

図 31 は供試したバーク堆肥に加水を行い約 67.2% w.b.にして散布実験を行った場合の散布量分布と散布幅を示す。ビータの取り付け角度 30°と 45°ともに散布割合は水平距離 25~25cm の機体幅の内側を上辺とした緩やかな台形を示しており、機体幅の外側でもゆるやかに低下している。30°に設定した場合、散布幅 85cm 付近のグラフに小さな山が見られるのは、水分によって塊となった堆肥が散布され、散布量が局所的に増加したためである。

図 32 はビータの取り付け角度を 30°にし、乾燥状態のバーク堆肥と加水を行ったバーク堆肥との散布量分布の比較である。乾燥したバーク堆肥を用いて散布を行った場合、機体幅の内側で加水を行ったバーク堆肥を散布した場合よりも散布割合が上昇している。また、機体幅の外側では乾燥したバーク堆肥を散布した場合、急激に散布割合が低下することが判明した。

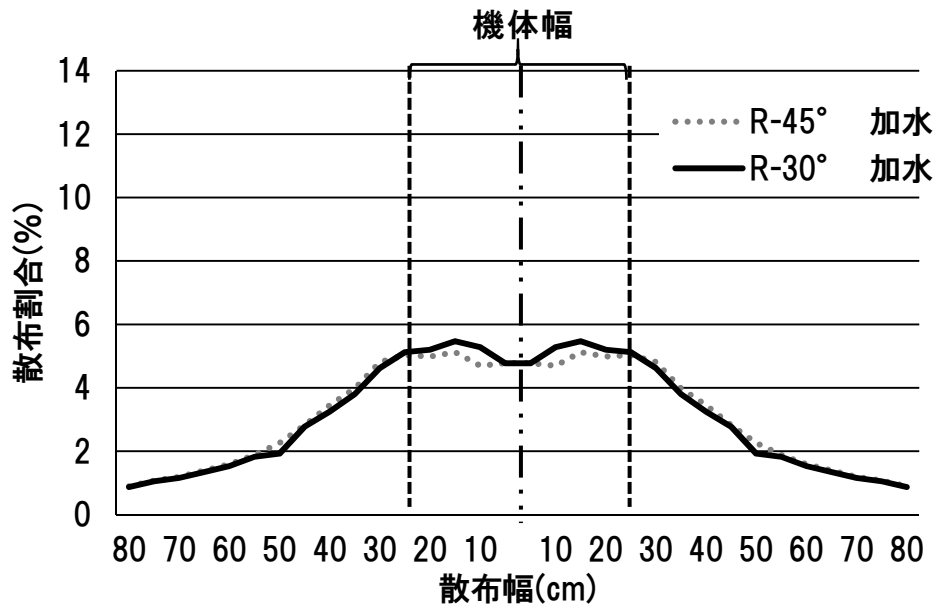


図 31 加水した堆肥を散布した場合の散布量分布の変化

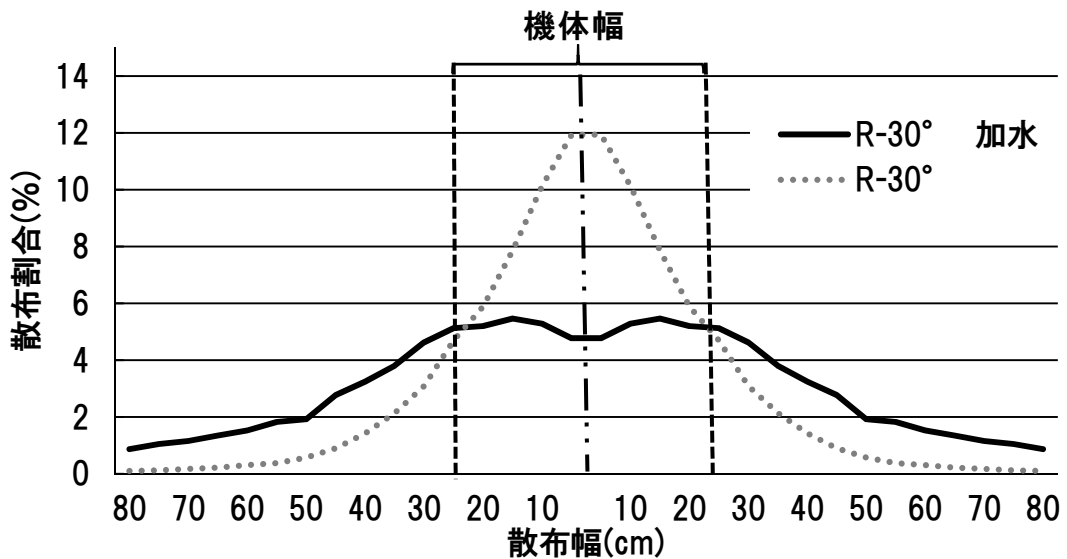


図 32 ビータの取り付け角度 30° での加水した堆肥の散布量分布の比較

図 33 はビータの取り付け角度 45°の場合で乾燥状態のバーク堆肥と加水を行ったバーク堆肥との散布量分布の比較である。30°の場合と同様に機体幅の内側で散布割合は加水したバークを散布した場合よりも高くなり、機体幅の外側で急激に散布割合が低下するということが判明した。

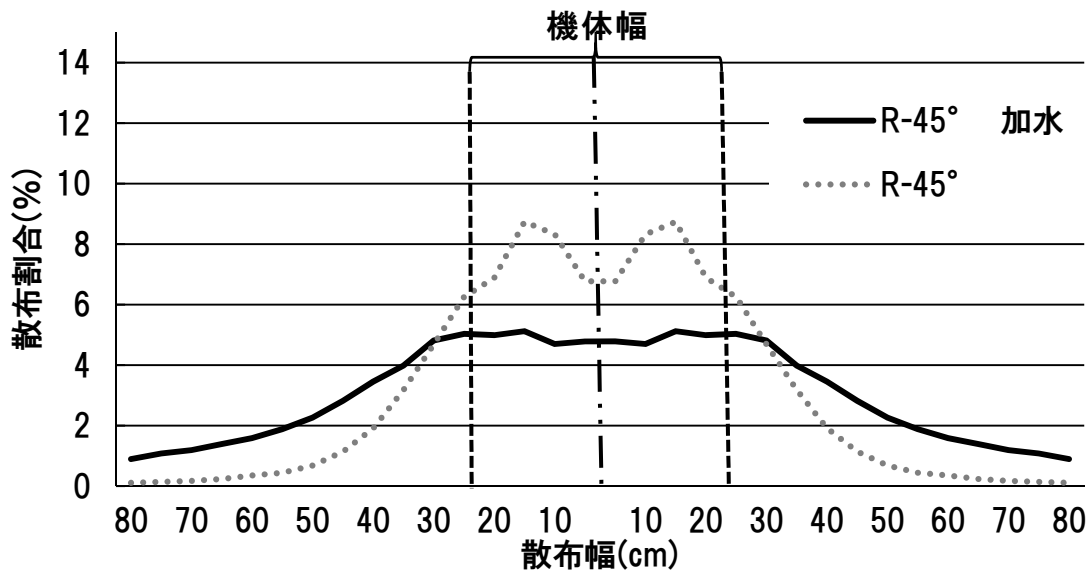


図 33 ビータの取り付け角度 45° での加水した堆肥の散布量分布の比較

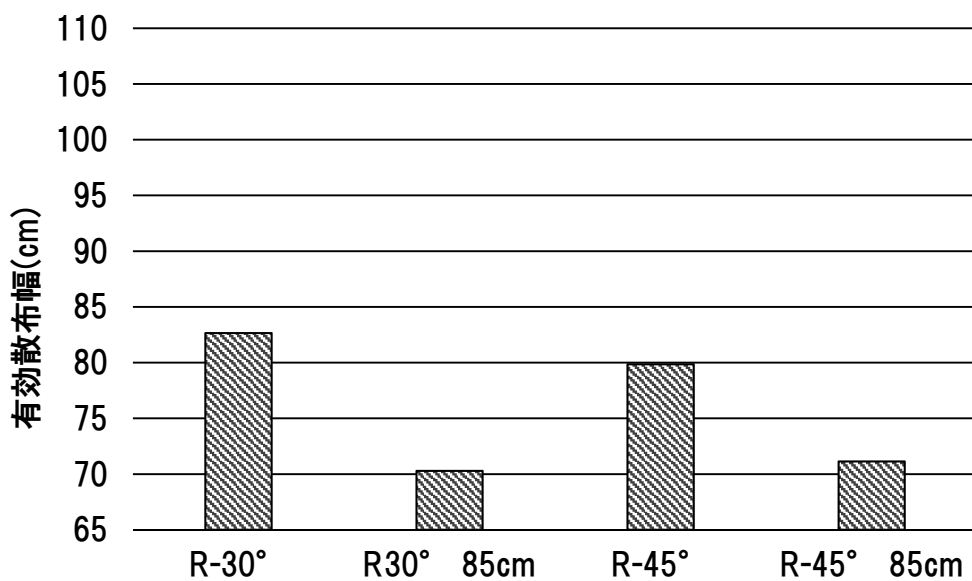


図 34 加水した堆肥を散布した場合の散布幅の変化

図 34 は加水したバーク堆肥の散布幅を示す。散布幅 85cm 以降に見られた局所的に高い数値を示した範囲も含めて計算した場合、わずかにビータの取り付け角を 30° に設定した場合のほうが散布幅が広がる。しかし、局所的に高い部分を含まない 85cm 地点までの散布量で計算した場合、ほぼ

同様の数値を示すことから、取り付け角 35°と 45°では局所的な偏りが発生しない限り散布幅に差がないと言える。

申らの研究では、供試機は高水分の堆肥を散布した場合、機体中央部分に散布が集中するという結果が報告されている（申，2010）。しかし、実験ではそれと異なり機体幅の内側では均一な散布量分布を示し、機体幅の外側も緩やかに低下するという結果となった。この違いの理由は、バーク堆肥の性状に原因があると考えられる。一般に高含水率堆肥と呼ばれる堆肥は含水率 75～84%w.b.のものとされている（家畜ふん尿処理利用の手引き，2004）。しかし、本実験で使用した加水のバーク堆肥の含水率は 67.2%w.b.である。この値は堆肥性状的に見ると機械散布に適している含水率であり、そのためこのような試験結果になったものと推察される。

本研究では、このように含水率が低くなった原因として、バーク堆肥の性状が一因であると考えた。バーク堆肥は一度完熟させた堆肥に木の皮を混ぜたもので非常に排水性が良い。そのため水に浸した後、スケールモデルに搭載しても水が滴り落ちていく様子が確認できた。そのため、本実験を行った後、堆肥の含水率上昇のために、堆肥にさらに米ぬかを混ぜ、加水を行うなどの手段を講じた。米ぬかとバーク堆肥の混合を 1：1 にした場合、最も含水率を高めることに成功したが、それでも含水率は 73.2%w.b.程度までしか上昇させることはできず、バーク堆肥での高含水率を再現した実験はこれ以上不可能であると判断した。

4.3 ビータ軸の回転数と散布特性

図 35 と図 36 は、ビータの取り付け角度を 30° と 45° にし、それぞれのビータの回転数を 500, 600, 700, 800rpm に変化させて散布を行った場合の散布量分布の変化を示す。また、図 37 は 30° と 45° の場合で回転数を変化させ

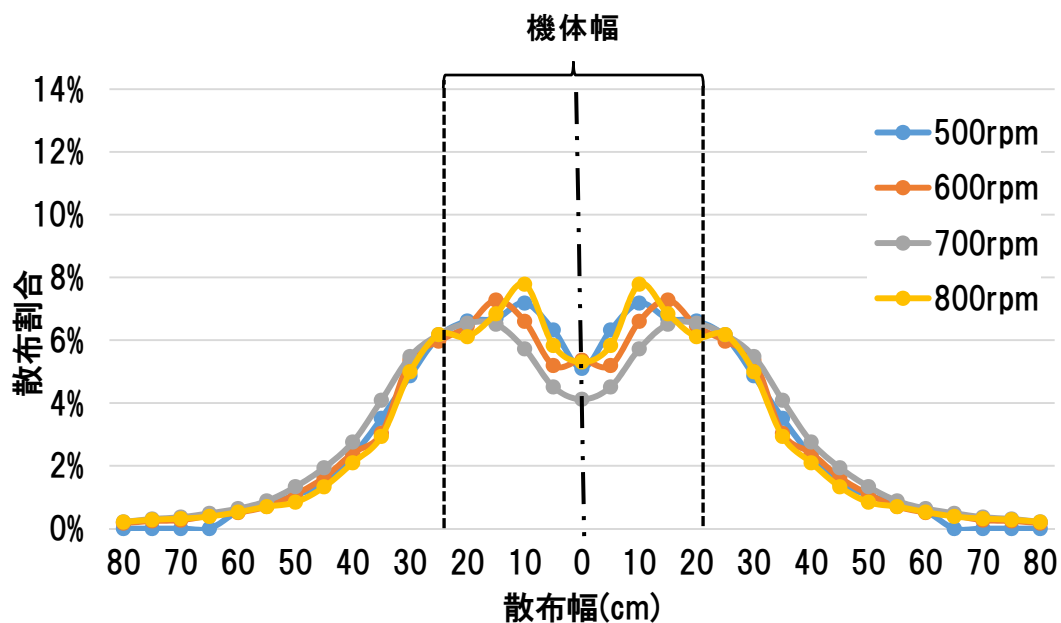


図 35 ビータの取り付け角度 30° の場合の回転数による散布量分布

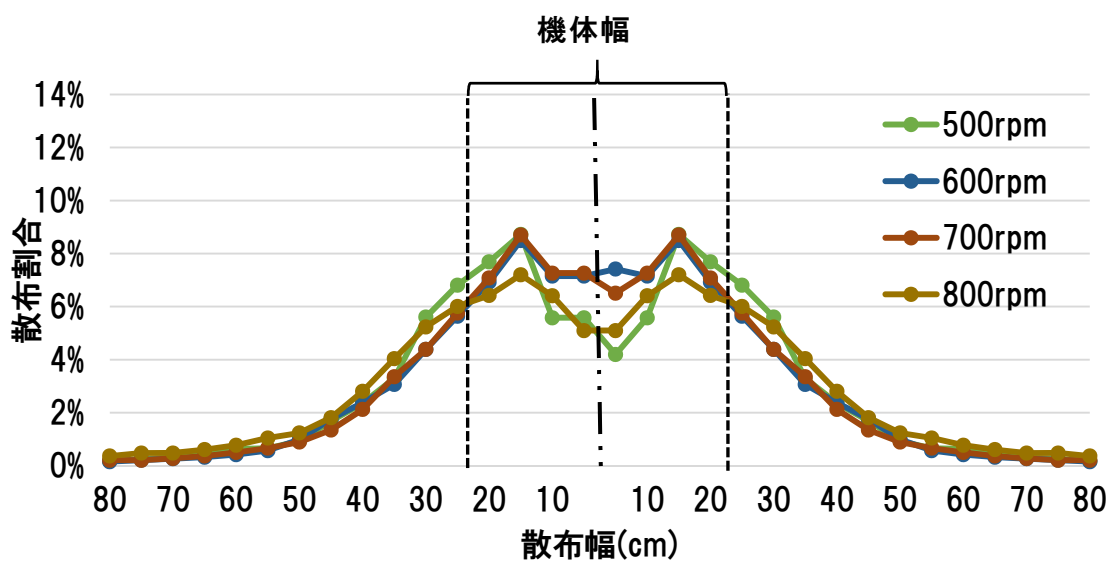


図 36 ビータの取り付け角度 45° の場合の回転数による散布量分布

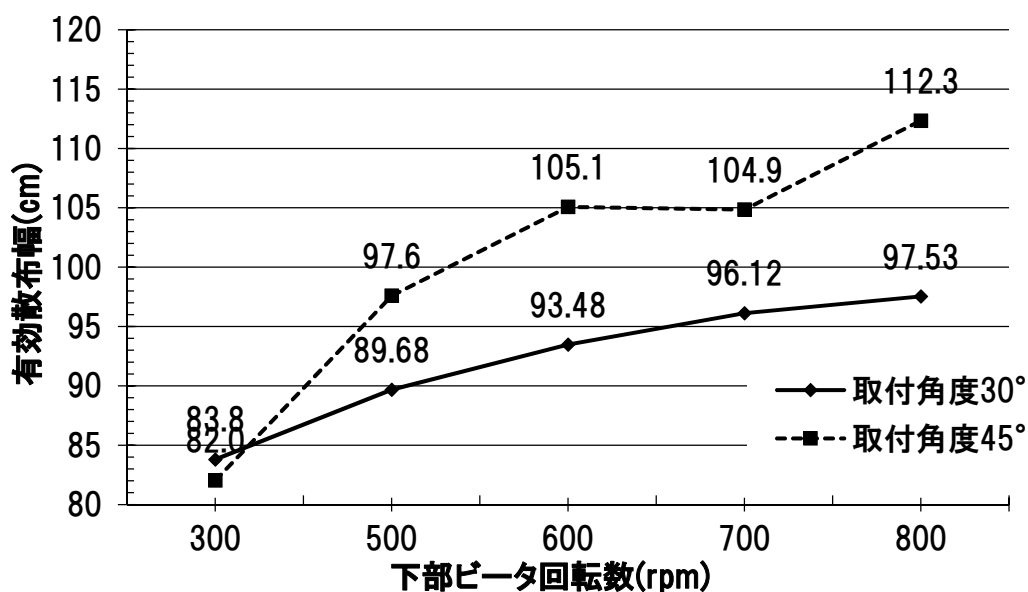


図 37 回転数と有効散布幅の変化

た場合の有効散布幅の変化を示した結果である。

ビータ軸の回転数が 300rpm の場合は 30°と 45°のどちらでも散布幅に大きな違いはなく、取り付け角 30°の場合は散布幅 83.8cm、45°は 82.0cm となった。これを 500rpm 以上へと回転数を上昇させた場合、30°と 45°の双方の散布幅は拡大することが明らかである。回転数上昇に伴う散布幅拡大の割合は 45°に設定した場合の方が大きく、最大で約 37%拡大することが判明した。また、800rpm に設定した場合 30°の場合と比べて約 15%散布幅が拡大することが判明した。

4.4 ビータの形状と散布特性

図 38 はビータの形状を板状の物と折曲げた物を用いて実験を行った場合の散布量分布の変化を示したものであり、図 39 はその場合の有効散布幅の変化を示したものである。

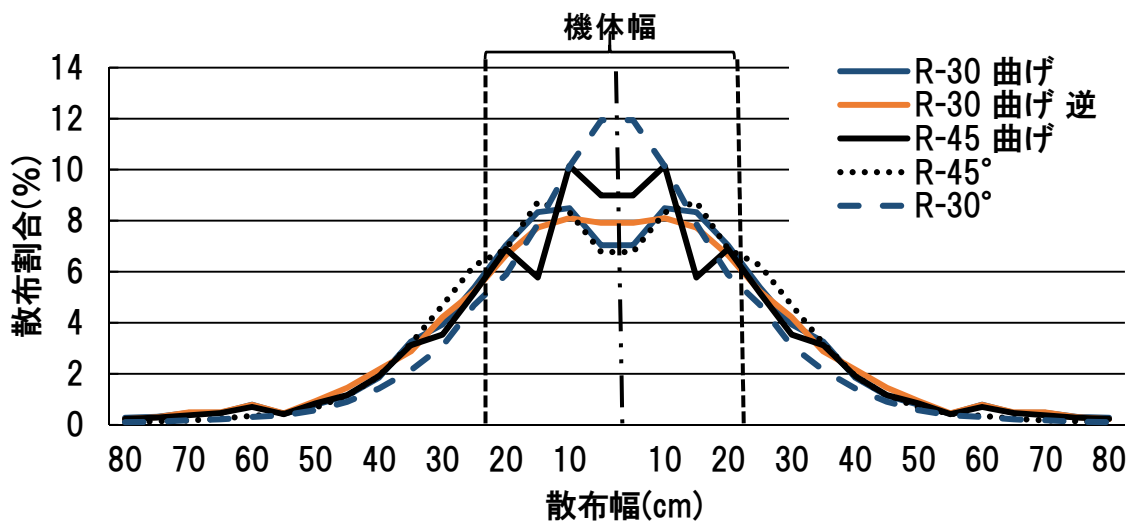


図 38 曲げビータの散布量分布

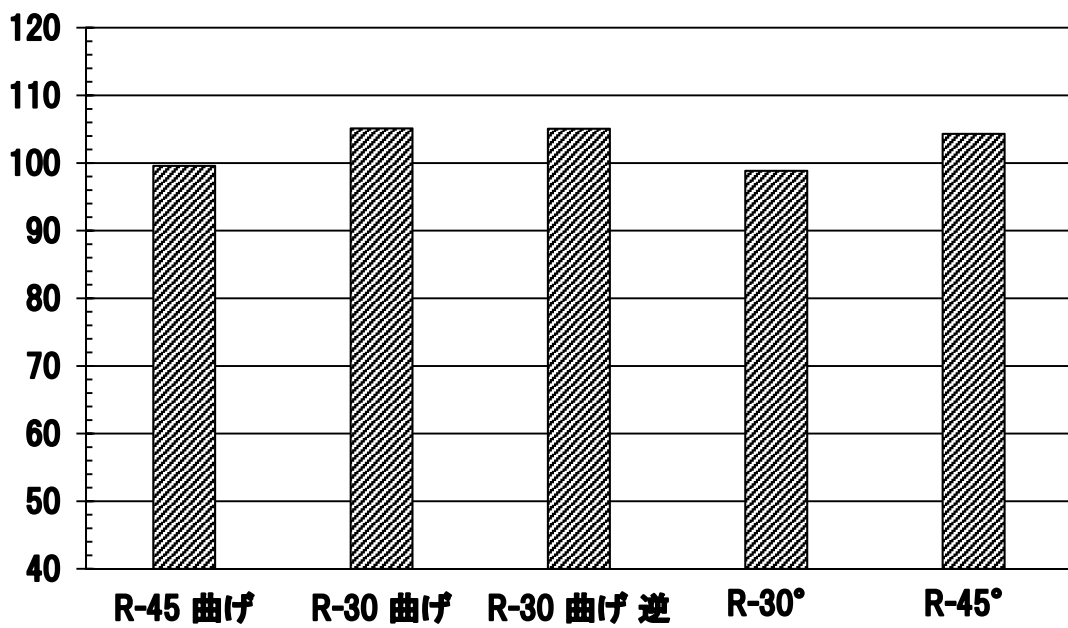


図 39 ビータの形状と散布幅の関係

直線的な板状のビータを用いた場合、同じ回転数であれば 30°よりも 45°のほうがより広い散布幅を得ることができた。しかし、曲げビータを用いた場合は取り付け角度 30°のほうがより広い散布幅を得ることができた。ビータのつめ先を機体の外側へ向けた R-30°曲げの場合と内側へ向けた R-30°曲

げ逆の場合では、R-30°曲げ逆の場合の散布分布はより台形に近いなだらかな形状となっており、均一散布に適した散布量分布となることが判明した。

第5章 要約

本研究はマニユアスプレッダの散布精度の向上を目的とした研究である。慣行のマニユアスプレッダは高含水率な堆肥の散布に適しているとは言いがたく、高含水率堆肥を用いた場合、機体中央部分に散布が集中することが報告されている。また、作業幅の縮小による作業効率の低下や圃場内での散布のムラが発生するなどの問題が生じている。そうしたなかで、堆肥散布に利用されるマニユアスプレッダの改良には多くの労力とコストが必要になる。

そこで本研究は、実際のマニユアスプレッダを縮小したスケールモデルを製作し、散布特性に影響を与えると考えられるビータの取り付け角度、ビータ軸の回転数などを任意に変更し、室内の小規模実験で散布特性を評価し、供試機の散布特性を向上させることを目的とした。

以下に本研究の要約を示す。

1. 全てのビータの取り付け角度を 0° に設定した場合と比較して、 $A-30^\circ$ と $C-30^\circ$ の実験では機体中央部分の散布量割合が低下した。その一方で $B-30^\circ$ の場合は中央部分の割合と機体幅の外側の散布量割合が増加した。全てのビータの取り付け角度を変更した実験では供試機の仕様である $R-30^\circ$ と $R-45^\circ$ を比較すると $R-45^\circ$ の設定の場合、約 5%有効散布幅が拡大し、より均一な散布量分布となった。

2. 加水したバーク堆肥での散布実験を行ったが、バーク堆肥の性状によって十分に加水を行っても保水をせず、すぐに流れ落ちてしまうため、高含水率の堆肥散布の状況を再現することはできなかった。
3. ビータの取り付け角度を 30°と 45°の場合についてビータ軸の回転数を 300, 500, 600, 700, 800rpm に変化させ散布量分布および散布幅の変化を確認した。300rpm では双方に優位な散布幅の変化を見ることはできなかったが、500rpm 以上へ増速し、45°に設定した場合の方が 30°の場合と比較してより広い散布幅が得られた。さらに、増速すると 30°と 45°のどちらの設定でも散布幅が拡大することから、散布幅拡大にはビータ回転速度の上昇が有効であることが明らかになった。
4. ビータの形状を従来の平板の鶏冠型のものから、中央部分で 30°の曲げを加えたものへと変更した。これは曲げ部分で堆肥をより外側へ散布しやすくすることを狙ったものである。平板型の場合取り付け角度 45°の場合のほうが良好な散布結果を示したが、曲げビータの場合 30°の場合のほうが良好な結果となった。全ての曲げビータを曲げ方向を内向きに取り付けた場合、散布幅の拡大の効果と機体中央付近の散布分布の改善が確認できた。

以上のことから、慣行機の改良において、まずビータ軸の回転速度を上昇させる試みが必要であると考えた。また、ビータの取り付け角度を現在の 30°から 45°へ変更するか、もしくはビータ形状を変更することでより安定して高含水率の堆肥の散布を行いやすい供試機へと改造できると思われる。

現在、本研究の結果を元に供試機のビータの試作改造を行っており、今後スケールモデルでの結果と実際の機械での散布を行った結果を照らし合わせながら、高含水率の堆肥にも対応できるマニユアスプレッダの開発に期待したい。

参考文献

清水緒美・渋谷成実：堆肥の水分がマニュアルスプレッダの散布精度に及ぼす影響，別科特別研究，2010

申 宝明・佐藤 禎稔・岸本 正・谷 昌幸・仙北谷 康・加藤拓・林 芙俊：マニュアルスプレッダの堆肥散布機構と散布精度，農機北支部報 50：25～30，2010

菅 匡基：マニュアルスプレッダの堆肥散布機構とその散布精度について，卒業研究，2010

池田 善郎・苧田 昭・梅田 幹雄：農業機械学 第3版，文永堂出版，2006

清水緒美・渋谷成実：堆肥の水分がマニュアルスプレッダの散布精度に及ぼす影響，別科特別研究，2010

坂本樹一朗：堆肥散布性能向上のためのマニュアルスプレッダ・スケールモデルの製作，卒業研究，2012

仁井田大作：マニュアルスプレッダのビータ取付角度が散布特性に与える影響，卒業研究，2013

独立行政法人農業技術研究機構畜産草地研究所 刃賀清典：家畜
排せつ物の特性と堆肥化処理の基礎

独立行政法人 畜産草地研究所飼料生産管理部 澤村 篤：堆肥散
布機械の種類と特徴について

R.A. Kepner, Roy Bainer, E.L.Barger：PRINCIPLES OF FARM
MACHINERY THIRD EDITION

株式会社タカキタ：商品紹介/マニユアスプレッダ

<http://www.takakita-net.co.jp/dl/documents/dh2.pdf>

森産業株式会社：十勝バークとは

<http://www.forex-mori.com/fertilizer.html>

家畜ふん尿処理利用の手引き 2004 HTML 版

http://www.agri.hro.or.jp/sintoku/SiryouG/ecolo/manual2004/manual04_toc.htm

Summary

Basic experiments of compost application characteristic using a scale model of manure spreader

Kiichiro Sakamoto

Agro-environmental Science GRADUATE SCHOOL OF
OBIHIRO UNIVERSITY

Today, increase number of rearing head count in the Japanese dairy farming, the amount of livestock manure that must be processed are increasing. The generic method is composting as processing of livestock manure. It may be useful on the fertilizer manure by the composting. But, when sufficient composting was not done, becomes water content of its high. When it was scattered compost high moisture content with manure spreader of custom, Inability to perform the application neat has been reported. It is not possible to make a good spreading has been reported. Because of that, I challenged to the improvement of it. However, large amount of manpower and time and money is needed to improved existing equipment. Therefore, we came up that it might be able to use reduced scale model.

The purpose of this study is to elucidate the characteristics of the fertilizer application manure spreader using a scale model. First, production of the scale

model of 1/3 it did on the basis of the actual equipment. Several experiments it did making use of this.

The summary of research is as shown below.

1. By change to 45 ° from the 30 ° (genuine) mounting angle of the beater, to confirm the change of the Characteristic of spread pattern. From the results, if set to 45 °, the spread width can be improved is found.
2. In order to spraying experiments high moisture compost, and water was added to the bark compost. However, it did not do enough water retention even after the hydrolysis enough by the properties of the bark compost. It has not been possible to reproduce the situation of high water content for the fertilizer application
3. The experiments were performed by setting the 300,500,600,700,800 rpm the rotation speed of the beater. Set the 45 ° and 30 ° the Beater attachment angle at this time, it was both comparisons. It is not possible to see the change of favorable spread width in both in 300rpm. However, in 500rpm or more, the case of the 45 ° has a wider spread width as compared to 30 ° was observed. Both setting of 30 ° and 45° by going further accelerated, it is possible to see large scatter width. From the results, I was confirmed that the increase in Beater rotational speed is effective to scatter broadening.
4. I have created what worked. Bending of 30 ° to the Beater. It is a modification of the expected scatter width is spread further. It could be better obtained when the

45 ° mounting angle when the plate-type obtain good spray results, More in the case of 30 ° when the Bended Beater became good results. However, there is no dominant effect on the spread width and Characteristic of spread pattern can be compared to that of the plate type Beater.

Finery, I thought from the results of this experiment, an attempt to increase the rotational speed of the Beater is first in the improved practice apparatus is required. Further, it is considered possible to make the machine can perform the spread more widely by changing to the 45 ° from 30 ° the mounting angle of the Beater. Currently, we have been remodeling of the equipment under test for based on the results of this experiment. Next, we would like to evaluate the usefulness of the scale model while against the result of the spraying machine and the actual results of it.