



粒剤散布装置の開発に関する研究. 第1報 : 理論的計算と散布装置の試作(農業工学)

西村, 功
川村, 恒夫
幸, 宣夫

(Citation)

神戸大学農学部研究報告, 15(1):123-127

(Issue Date)

1982

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.24546/00227262>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/00227262>



粒剤散布装置の開発に関する研究

第1報 理論的計算と散布装置の試作

西村 功*・川村 恒夫*・幸 宣夫*

(昭和56年8月10日受理)

THE DEVELOPMENT OF GRANULAR APPLICATOR

I Theoretical Consideration and Developing of the Machine

Isao NISHIMURA Tsuneo KAWAMURA and Nobuo SAIWAI

Abstract

The broadcaster and the limesower are usually used in order to scatter granular manures and agricultural chemicals. It is impossible to use such high-performance machines in the field where the crops have grown for an additional fertilizing and the pest control. Therefore shooting type granular applicator becomes available, which spreads granular manures, agricultural chemicals and seeds through the air from the ground.

For this purpose we are now under developing the granular applicator as a fertilizing, pest control machine and sowing machine, and making theoretical researches and experimental investigations. This type of granular applicator shoots up a capsule in which granular substances are contained to the previously calculated height. Then the capsule bursts automatically and granular substances are diffused in the air and scattered uniformly on the ground

1) The development of the shooting machine

The mechanism of the shooting machine is based on the rapid shooting a capsule produced by compressed power coiled spring. The machine without any artificial power is easily handled manually.

2) The mechanism of the diffusion of substances

The capsule shot up draws a string which is connected to the machine. when the string is tight, the capsule is torn and the contained substances are diffused into the air.

3) Theoretical calculation for the uniform distribution

For the uniform distribution of granular substances we consider collectively factors of the initial velocity, the projection angle, the shooting direction, the bursting height of a capsule, the number of capsules demanded and the mass of a capsule.

The demanded kinetic energy for shooting and broadcasting of a capsule is the total amount of a capsule's potential energy in the bursting point, the bursting energy and the diffusion energy of granular substances. The diffusion energy is calculated with the diameter of broadcasting area, the mass of a capsule, the angle of flying each granules after bursting and the height of the bursting point. The spring constant k is defined to be the most important factor by the design of the shooting machine. the following equation was employed to choose the spring of constant k ,

$$k = \sqrt{2(Mgh + \sum_1 \frac{1}{2}m_1v_1^2 + E_2)} / x .$$

* 園場機械学研究室

緒 論

現在、粒状肥料、農薬の散布には走行式散布装置として、ブロードキャスタ、ライムソアなどの使用が考えられるが、作物が成長した時点において追肥や防除のためにそれらの走行式高性能機械を圃場内に入れることは、困難なことが多く実用上不可能な面がある。そこで、圃場内で使用することなしに、農道や畦畔から、自走型打上機（打上式粒状物質散布装置）によって、粒状肥料、農薬、種子などを空中より散布する方法が有効な手段となる。

ヘリコプタでの農薬、種子の空中散布は、大規模散布となり、ドリフトによる散布損失および、農薬による公害の問題がある。従って小規模の散布も必要であり、打上式粒剤散布装置の開発は必要であると思われる。施肥機、防除機、および、播種機としての機能をそなえた打上式粒剤散布装置を試作し、広範囲に応用、利用できるように理論的、実験的研究を行う。

研究目的

打上式粒剤散布装置は、粒状肥料、農薬、または、種子を詰めたカプセルと、そのカプセルを所定の高さまで打上げるための打上機からなる。打上機は高度な動力源を使用せず、コイルスプリングより発生するインパルス力のみを利用し、取り扱い易い人力用機械とする。カプセルを畦畔、農道から所定の角度、方向に打上げ、炸裂点において、糸の緊張による衝撃反力でカプセル表面上に付けられたミシン目を破りカプセル内の粒状物質を空中で拡散させ地上に均一に散布させる散布機を開発することを目的とする。

打上機の開発、粒状物質の空中拡散法、均一散布のための理論的、実験的研究の3項目について総合的に研究し、打上げ初速度、打上角度、方向、カプセルの炸裂高さ、カプセル1個の重量等の散布に関する要因を関連づけ、散布最適条件を求める。

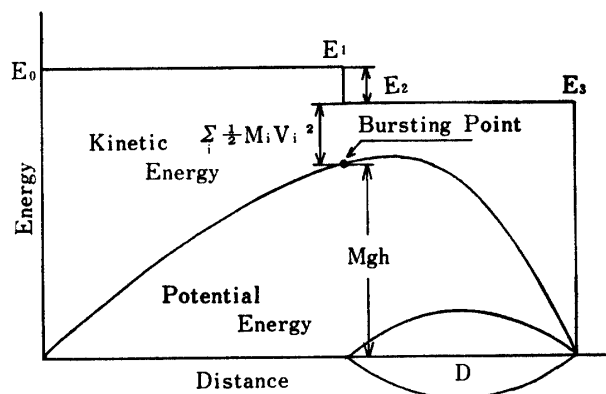
今回の実験目的は均一散布を最終目標として、それに必要な各要因の関連づけのための基礎実験となるものである。また同時に、打上機自体のメカニカルな運動の様子もとらえる。従って、本実験では打上機の開発、空中拡散法の2点にしぼり、実験結果は次報に報告する。

理論計算式

打上機のコイルスプリングによって発生するエネルギーは運動エネルギーとしてカプセルに与えられ、カプセル炸裂時には位置エネルギーと粒状物質の拡散エネルギーに変化

する。エネルギー損失が無いと仮定すれば、カプセル飛行中、粒状物質拡散中のいずれの時点をとっても位置エネルギー、運動エネルギーの和は一定である。

カプセル 打上げに必要なエネルギーを求めるために、Fig.1 に示すようなエネルギー関係について考える。縦軸にエネルギー、横軸にカプセルおよび、粒状物質の水平飛距離をとる。カプセルは運動エネルギー $E_0 (= \frac{1}{2} M V^2)$ を持って、所定の角度で打上げられる。カプセル上昇に従って位置エネルギーは増加し、Fig.1 のように飛行放物線に沿って増大する。



- E_0 Initial Energy
- E_1 Energy of a capsule
- E_2 Bursting Energy
- E_3 Sumation of flying granules Energy
- M Mass of a capsule
- V Initial velocity
- v Velocity after bursting
- h Height of bursting point
- D Diameter of broadcasting

Fig. 1. Energy demanded for shooting and broadcasting

カプセルには、あらかじめ所定の長さの繰り出し糸が本体と結びつけられており、カプセルが所定の高度（炸裂高さ h ）に達すると、繰り出し糸に衝撃反力が働きカプセルのミシン目を引裂く。その際に、ミシン目を破るエネルギー E_2 が消費される。炸裂直前のカプセルの持つエネルギー E_1 は、 E_0 に等しく、炸裂直後は E_2 が消費され、従って $E_1 - E_2 - Mgh$ のエネルギーが粒状物質を飛散させるのに必要なエネルギー（拡散エネルギー）となる。

拡散エネルギーは各粒状物質の運動エネルギー $\frac{1}{2}mv^2$ の総和として表わされる。よって次式が成立する。

$$E_1 - E_2 - Mgh = \sum_i \frac{1}{2} m_i v_i^2 \quad (1)$$

$$E_1 = E_0$$

$$\therefore E_0 = Mgh + \sum_i \frac{1}{2} m_i v_i^2 + E_2 \quad (2)$$

各粒状物質のもつ質量を m_1 、速度を v_1 とする。

打出しの際にカプセルに与えるべき運動エネルギー E_0 は、 $Mg h + \sum \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + E_2$ で表わされ、打出し初速度 V は、 $E_0 = \frac{1}{2} M V^2$ より求められる。しかし、エネルギー損失のため理論上の必要エネルギー E_0 より大きくとらなければならない、 $\frac{1}{2} M V^2 \geq E_0$ が成立するような初速度 V が必要である。

$\frac{1}{2} M V^2$ はコイルスプリングの伸びによって蓄えられたエネルギー $\frac{1}{2} k x^2$ より取り出すことにすると次式が成立しなければならない。

$$\frac{1}{2} k x^2 \geq \frac{1}{2} M V^2 \quad (3)$$

k はコイルスプリングのばね定数、 x はスプリングの伸びである。

分布に対して大きな影響力を持ち、最も重要な部品であるコイルスプリングのばね定数は次式で表わされる。

$$k = \sqrt{2(Mg h + \sum \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + E_2)} / x \quad (4)$$

従って、カプセル重量、炸裂高さ、拡散エネルギー、コイルスプリングの伸びを決定することで、ばね定数は求まり、スプリングの設計が可能になる。

炸裂後の各粒状物質はそれぞれの速度、運動方向を持っており、ある範囲内に落下する。いま拡散エネルギー推定のために、各粒状物質はすべて同速度 v で飛散し、また、物質はすべて同じ大きさで同質量 m とする。

$$\begin{aligned} \sum \frac{1}{2} m_1 v_1^2 &= (\sum \frac{1}{2} m_1) v^2 \\ &= \frac{1}{2} M v^2 \end{aligned} \quad (5)$$

Fig. 2 に示すように、高さ h の炸裂点において水平方向に対して θ_2 の角度で速度 v で飛行する物質が、炸裂点の真下の地点から落下点までの距離 D に達したとすると v は次式で表わされる。

$$v = \frac{g D}{\sqrt{2 g (h \cos^2 \theta_2 + D \sin \theta_2 \cdot \cos \theta_2)}} \quad (6)$$

直径 D の円内を散布範囲とするときの拡散エネルギーは、

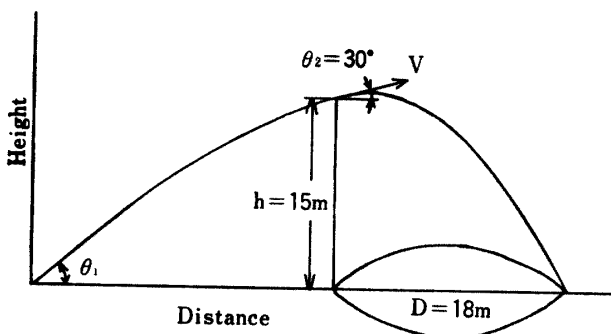


Fig. 2. Model of shooting and broadcasting

D 、 h 、 θ_2 、 M を代入することで算出される。

$$\begin{aligned} \sum \frac{1}{2} m_1 v_1^2 &= \frac{1}{2} M v^2 \\ &= \frac{M g D^2}{4(h \cos^2 \theta_2 + D \sin \theta_2 \cdot \cos \theta_2)} \end{aligned} \quad (7)$$

よって、カプセルおよび、粒状物質の運動をそれぞれ明らかにすることによって打上げおよび、粒状物質の拡散エネルギーが理論式として表わされ、数値を決定代入して理論必要エネルギーが得られ、ばね定数も求められる。

(1) カプセル飛行に関するエネルギー計算例

上記の式に、Fig. 2 に示す数値を代入してエネルギー計算例を示す。

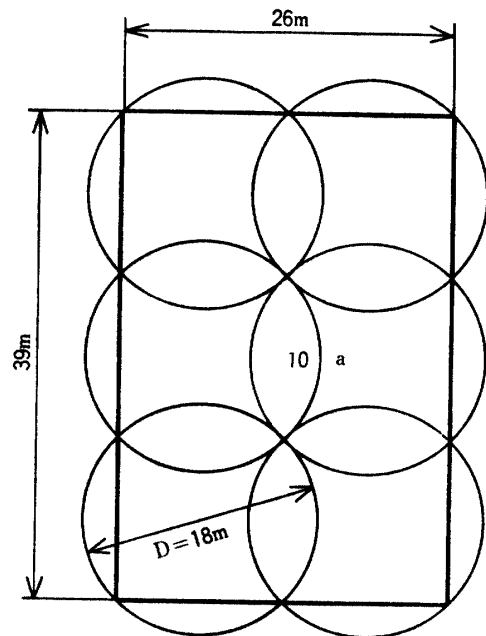


Fig. 3. 10a covered by 6 capsules

カプセルに農薬を詰め防除機として使用する場合、防除の標準散布量を $10a$ 当り 3 kg f として、Fig. 3 に示す散布方法によって $10a$ の圃場を6個のカプセルで均一に散布すると仮定する。従って、1個のカプセル重量は 0.5 kg f であり炸裂高さ 15 m として1個のカプセルで直径 18 m の円形散布をさせる。

i) 炸裂点でのカプセルの位置エネルギー

$$Mg h = 73.5 \text{ J}$$

ii) 炸裂直後の各粒状物質の運動エネルギーの総和

$$\sum \frac{1}{2} m_1 v_1^2 = 20.6 \text{ J}$$

iii) 炸裂エネルギー

室内実験による推定値 E_2 は、約 1.5 J である。よって、最初打上げに必要なエネルギー E_0 は 95.6 J である。

(2) コイルスプリングの設計

投てき、炸裂、および、拡散に必要なエネルギー95.6 Jよりコイルスプリングのばね定数を求める。
インパルス力を投てきに変える打上機の機構は、クランクとコイルスプリングの組み合わせによるもので、コイルスプリングはクランク半径 r の2倍引張られる。 $r = 100\text{mm}$ とすると、(4)式よりばね定数は 0.48 kg f/mm となる。ばね定数はスプリング材質、線径、平均巻径、有効巻数で表わされるので、 $k = 0.48 \text{ kg/f mm}$ となるように各値を決めればよい。ただし、スプリングのせん断応力はその材質、線径、使用条件で決まる許容せん断応力以下におさえる必要がある。

粒剤散布装置の試作

前述の基本構造、理論計算に基づき、散布装置の製作は次のように行った。

(1) 打上機本体

打上機の動力源は小型エンジン等を使用せず手動式ハンドルを回転させることによって、得る。打上機フレームは $50\text{mm} \times 50\text{mm} \times 3\text{mm}$ のアングルを使用しその大きさは高さ 800mm 、横 1000mm 、幅 300mm である。またスプリングの引張力によって全体が歪むことのないように各面の対角線に平綱で補強した。打上時の瞬間的衝撃でフレームが倒れたり、移動することのないように、安定のためフレーム下部に $50\text{mm} \times 100\text{mm} \times 1000\text{mm}$ のチャンネルを2本平行にわたした。打上機の概要図を Fig. 4 に示す。

(2) 減速装置

力の伝達は打上機の上面に軸中心を一直線上に並べたスプロケットとローラチェーンからなる減速機によって、人が回転させるハンドル軸（駆動軸）からクランク軸（従動軸）まで伝達される。駆動軸と従動軸間は2段にわけ、5 : 1 の減速比を設けた。第1段では2 : 1、第2段では2.5 : 1とした。軸径は 20mm 、各軸間距離は 300mm で、回転軸はビロブロックで固定した。また、ハンドル回転中スプリングの引張力でハンドルが逆回転しないように、駆動軸にラチェットを取りつけた。スプロケットおよびローラチェーンは、呼び番号40を選んだ。

(3) クランクおよびアーム

従動軸の両端にはクランクとアームがある角度で固定されており、クランクにはスプリングの一端がとりつけてある。アームはクランクと共に回転し、インパルス力を投てき力に変えカプセルはアームの高速回転によって、打上げられる。アームの高速回転はスプリングがク

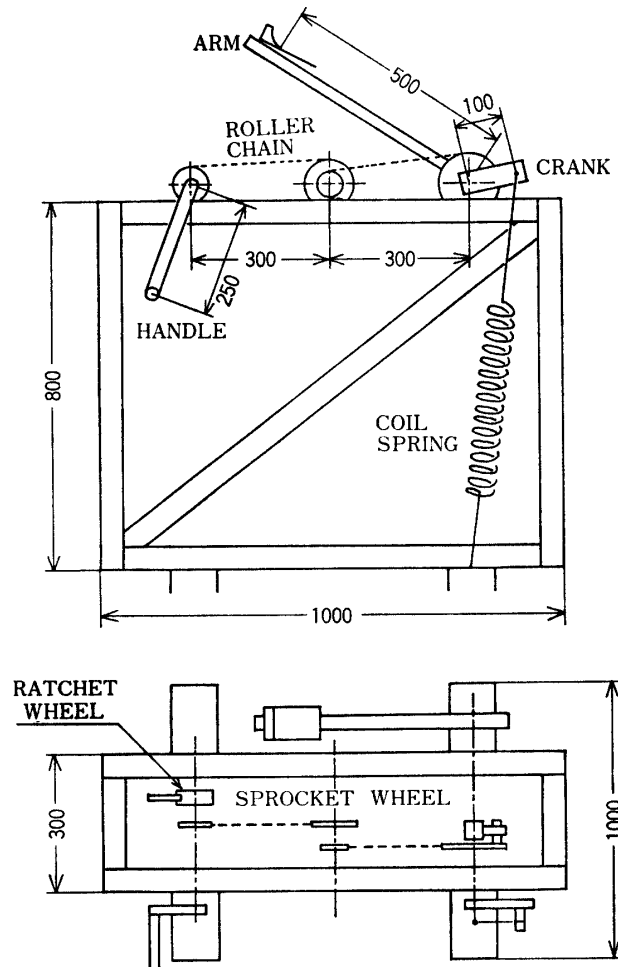


Fig. 4. Outline of shooting machine

ランク半径の2倍引張られたとき従動軸と従動軸のスプロケットの互いの爪がはずれ、スプリングの引張力によってクランクが回転することで得られる。

従動軸のアーム側には円板が固定されており、 30° ぎざみの2対づつのボルト穴のある円板とアームとを固定することで、クランクとアームのなす角度が変えられる。アームは、外径 30mm 、内厚 3mm 、アームの長さ 500mm の中空アルミ棒とした。

(4) カプセル受け台

アームにはカプセルを載せ、その打出し姿勢をとるための受け台がとりつけてあり、受け台はアームに沿ってスライドし受け台と回転軸との長さ（アームの長さ）を変えることのできる構造である。受け台は打上角度微調のために、アームに対して 0° から 20° の範囲で任意に傾斜させることができる。受け台はアルミ板で製作した。

(5) コイルスプリング

カプセル飛行に関するエネルギー計算例の条件のもとで

コイルスプリングを設計すると、ばね定数は 0.48 kg f/mm となる。実際にカプセルを投てきし条件に近い散布をさせるのに改良を重ねた結果、最終的なスプリングの各値はばね定数 1.0 kg f/mm 、線径 7 mm 、平均巻径 35 mm 、巻数43回で、材質はSWPを使用した。

スプリングの一端はクランクに、他端はターンバックルを通してチャンネルに固定した。ターンバックルによってスプリングの初期張力の調節を行うことができる。クランク半径 100 mm の使用において、スプリングに蓄えられるエネルギーは 229 J で、クランクにかかる最大力は、 217 kg 、最大せん断応力は 42.4 kg/mm^2 である。

(6) 繰り出し糸回収

繰り出し糸は打上機本体とカプセル表面上の2本のミシン目のはいたテープとを結びつけ、カプセル炸裂に必要な衝撃反力を与える。カプセルが上昇し糸を繰り出してゆく途中で糸が絡まないように、また糸の回収が容易にできるようにリールを使用した。繰り出し糸は魚釣用テグス10号のナイロン糸を使用した。

(7) カ プ セ ル

カプセルの形状は直径 90 mm 、高さ 80 mm の円筒形で高さ 40 mm の円筒が2本の平行なミシン目に入ったテープで、のり付けすることで向い合わせに組み合わせられる。従って、所定の長さのナイロン糸を繰り出した後、糸に衝撃反力が働いた時ミシン目に沿って破れ、カプセル本体は2つに分裂する。カプセル体積は約 510 cm^3 で粉を 300 gf 詰めた。カプセル本体の材質は厚さ 0.5 mm のボール紙である。カプセルにナイロン糸を連結したようすを、Fig. 5 に示す。

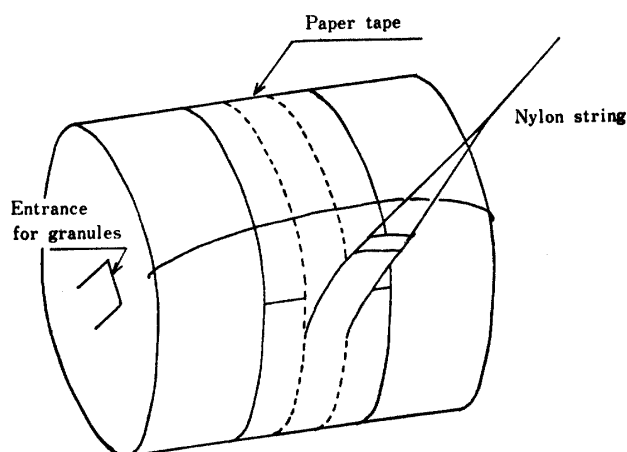


Fig. 5. Outline of a capsule

実 験 方 針

カプセルを所定の条件通り打上げ、散布させることのできる能力を持った今回試作の粒剤散布装置を使用して、散布実験を行う。分布に影響を与えると思われる因子（打上角度、糸の長さ、アームの長さ、スプリングのばね定数、カプセル重量等）を実験パラメータにとり、分布状態の変化について調べる。また、アームに加速度計をとりつけ、打上時のアームの運動についても調べる。

摘 要

カプセルを所定の高度で炸裂させ、粒状物質を拡散させる場合、打上時に必要とされるエネルギーは炸裂点におけるカプセルの位置エネルギーとカプセル炸裂エネルギー、および、粒状物質の拡散エネルギーとの和で表わされ、そのエネルギーを運動エネルギーとして打上機で打出せばよい。

拡散エネルギーは散布範囲、カプセル重量、炸裂後の物質の飛出し角度と炸裂高さで表わされ、推定可能である。

打上機の設計においてコイルスプリングのばね定数は、打上時に必要とされるエネルギーとスプリングの伸び量より決定することができ、許容せん断応力を考慮することによってスプリング全体の設計ができる。

参 考 文 献

- 1) 川村 登・木谷 収・梅田重夫・伊佐務・石原 昂・江崎春雄・岡村俊民：農作業機械学，173-174，文永堂，1980.
- 2) 青木 弘・木谷 晋：工業力学，51-54，森北出版，1978.
- 3) 益子正己・岩井 実：機械設計製図，第二版，193-205，産業図書，1978.
- 4) 小栗富士雄：機械設計図表便覧，訂正第二版，8-1-16，コロナ社，1971.
- 5) ばね技術研究会：ばね，第二版，183-185，丸善，1970.
- 6) 西村 功・川村恒夫・幸 宣夫：農機関西支部報，50，93-94，1981.
- 7) 福村省三：弾道の数学，1-77，東京開成館，1935.