

## 地中加温マットの夏季土壌殺菌に関する性能評価

伊吹 竜太\*, 岩浪 清高, 齊藤 義郎<sup>1</sup>, 齊藤順一郎<sup>1</sup>

### Evaluation of Disinfection Performance about the Soil Heating Mat in Summer

Ryuta IBUKI\*, Kiyotaka IWANAMI, Yoshiro SAITO<sup>1</sup> and Junichiro SAITO<sup>1</sup>

#### Abstract

Novel heating mat for the soil heating in summer was experimentally evaluated. The heating mat is using electric heating. When 200V is applied with temperature control of its surface temperature as 90°C and plastic film was covered on the soil under fine solar radiation, soil surrounding the mat, between soil surface and 15cm lower level, was heated over 55°C more than 4 hours. After the heating experiment, cultivation of bacteria was conducted and the disinfect performance of the mat was confirmed.

(Received November 16, 2009 ; Accepted January 13, 2010)

**Keywords** : soil heating, soil disinfect, control of continuous cropping barrier, conductive paint, cultivation

**キーワード** : 土壌加熱, 土壌殺菌, 連作障害防除, 導電性塗料, 培養試験

#### 1. 緒 言

##### 1.1 本研究の目的

冬季に圃場の加熱資材などを使用して地温を高めると旬の時期よりも早めに作物の収穫が可能となる。従来冬季のみにしか使用されてこなかった加熱資材を夏季の土壌殺菌が行えるまで高い発熱量を有するものとするれば、一度埋設した加熱資材によって、冬季の加温と夏季の連作障害防止のための加熱土壌殺菌の双方を実現できることとなり、周年利用による資材の有効活用が実現される。このような資材として現在マルチヒーティンググリッドと呼ばれる加熱資材の開発を進めている。著者らはマルチヒーティンググリッドについて、冬季の土壌温度を保持する能力及び夏季の土壌加熱消毒の能力について評価し、施設園芸栽培における周年利用について包括的試験研究を行っている。本報告では夏季の土壌加熱消毒の能力の評価試験について報告を行う。マルチヒーティンググリッドの加熱性能を実際の圃場で検証するとともに、加熱殺菌前後の培地土壌を実験室内で培養し、細菌の増殖数などを比較して、マルチヒーティンググリッドによる加熱消

毒の効果を検証した。

##### 1.2 マルチヒーティンググリッド

マルチヒーティンググリッドは東北を中心に融雪などへの利用が始まった加熱資材である<sup>1)</sup>。ガラス繊維からなるグリッド基布に導電性塗料を含浸させ、外表面には絶縁塗料をコーティングさせた構造をしており、外見はマット状である<sup>2)</sup>。導電性塗料には耐水性に優れたカーボンブラック、グラファイトが利用されている。土壌の下に埋設したマルチヒーティンググリッドに通電稼働させることによって土壌の加熱が可能である。これまでに冬季における温室内の培地温度を保持する目的で使用され、山形を中心にアサツキやアスパラガスにおいて収量が増加するという成果を上げている。従来用いられている農業用電熱温床線（ニクロム線）による加熱では、劣化に伴う断線によって使用できなくなったり、設置時に線の長さや間隔を調整する手間がかかったり使用に関しての難点があった。また、夏季の土壌殺菌に必要な高温を実現できるだけの熱量は得られない。これらを解決するマルチヒーティンググリッドの特徴として、格子形状であるため一部が欠損

<sup>1</sup> 東洋興産株式会社

\* Corresponding author (E-mail : ibuki@myu.ac.jp)

したとしても導電の経路が確保されるので補修することで使用継続が可能であり、1 m×2 m程度のマット状資材を必要枚数設置していくので、比較的容易に大面積への設置が行える。そのほか、ニクロム線では線形状であるために発熱面積が小さく、乾燥状態の土など熱の移動が不十分であると線そのものが昇温し断線してしまう。市販の農業用電熱温床線は出力電力上限を定め断線回避しているが、マルチヒーティンググリッドは発熱面積が大きいため比較的出力電力を大きくすることができ、従来よりも土壤温度を高温に維持できる。冬季と夏季の双方での利用が可能となれば、従来冬のみを使用していた加温資材を有効利用でき、費用低減を図ることができる。

著者らは冬季において土壤の温度維持性能評価を行った。マルチヒーティンググリッドとニクロム線各々の発熱量を等しくした条件での比較において、マルチヒーティンググリッドによる加熱では目標温度に達するまでの時間が短く、効率の良い加熱動作を実現している。これに伴い加熱動作がOFFの状態である時間が長くとれるため、消費電力量を比較するとマルチヒーティンググリッドの消費電力量はニクロム線を使用した場合に比べて3割ほど少ないことが確認できた。

一方、夏季における土壤消毒は連作障害を防ぐ手法として用いられている。従来法の一つに臭化メチルを用いたものがあったが、地球温暖化防止の観点から2005年までに全廃されている<sup>3)</sup>。従来用いられてきた物理的な土壤消毒には蒸気消毒・熱水土壤消毒や太陽熱消毒などがある。蒸気消毒・熱水土壤消毒では大がかりな装置の必要性・費用や手間の面で使用上の難点がある。太陽熱消毒ではマルチングした土壤を日射エネルギーのみで地表面から土壤を加熱するために十分な加熱を行うためには20～30日と長時間を必要とするとともに土壤の温度も40℃程度までしか上昇しない。マルチヒーティンググリッドによる土壤消毒は太陽熱消毒に地中からの加熱を加えることで、短時間かつ高温での土壤消毒を実現するものである。

植物に悪影響を及ぼす様々な病原菌の死滅に必要な加熱条件は55℃以上の温度で4時間以上保持することとの試験報告がある<sup>4)</sup>。そのため、冬季栽培時では20℃程度の保持温度で十分であるが、土壤消毒時にはマルチヒーティンググリッドへの供給電力を高い値に切り替え高温を得る必要がある。この際の冬季の地温保持としての利用法から夏季の土壤消毒としての利用法への切り替え作業は、温度センサー位置を作物の根の深

さからマルチヒーティンググリッド表面へ移動させることと温度制御の設定温度値の変更のみで、その手間はほとんどないに等しい。

## 2. 方 法

### 2.1 加熱消毒試験

宮城大学食産業学部敷地内に建設されたガラス温室内部にて試験を実施した。面積2 m×2 mの試験用圃場において地面と同じ高さにマルチヒーティンググリッドを設置し、その上に栽培用土を15cm程盛り、周囲を木枠で囲った。盛り土の高さに関しては小松菜などの葉菜の栽培を想定し、根域の下に加熱資材が配置される深さと考え、試験的に15cmと設定した。同時に温度センサーとして熱電対を複数設置し、培地内各所の温度を5分間隔でモニタリングした。熱電対の設置深さはマルチヒーティンググリッドの下15cmとマルチヒーティンググリッド表面、地表面下5 cmおよび地表面とした。また、日射を効果的に加熱に利用するため、土壤表面は透明マルチによって被覆した。土壤が日射から受ける熱量を計測するために、放射収支計（純放射計とも呼ぶ）（Kipp&Zonen社製、NR-lite）を使用した。放射収支計は下向きの放射量と上向きの放射熱量の差を測定するものである<sup>5)</sup>。上方からの放射は日射や大気からの放射が該当する。日中は地面からの放射量に比べ、日射の放射量が大きいため、地面は温められる。一方、夜間は日射がなく大気からの放射量に比べ地面からの放射量が大きいため、地面は冷やされる。一般的にこれは放射冷却と呼ばれ、晴天夜間によく見られる。曇天の場合は雲からの放射が大きいため、上方からの放射量が増加し、放射冷却の効果は減少する。

マルチヒーティンググリッドによる加熱の動作時において、比較的高温に設定することで加熱処理時間を短縮することができるが、加熱資材と土の接触面における水分を急激に蒸発させることは資材から土への伝熱量を著しく低下させる。そのため最適な温度設定が必要となる。水分蒸発を抑えつつ高温での加熱を実施するためにマルチヒーティンググリッドの表面温度を90℃に維持することとし、マルチヒーティンググリッド表面に温度制御用の測温抵抗体を設置して印加電圧をON-OFF制御した。

マルチヒーティンググリッドは2 m×1 mのサイズを2枚使用し、2 m×2 mの畑を加熱消毒した。一枚分の電気抵抗は $R=33$  [Ω]であり、2枚を並列に接続した。これに農業用として契約が可能な電圧 $E=200$

[V]を印加した場合、電流値 $I=E/(R/2)=200/(33/2)=12.1[A]$ 、消費電力 $P=IE=12 \times 200=2400[W]$ であった。したがって、マルチヒーティンググリッドの発熱密度は $600[W/m^2]$ となる。

## 2.2 培養による評価

加熱試験前後の土壌を持ち帰り、実験室にて培養試験を行った。試験準備として、サンプリングした土壌から試験水を作成した。土壌10gと滅菌蒸留水100mlとともに300mlビーカー中に入れ攪拌を行った。なお攪拌は攪拌機（Voltex）を利用し中強度（強度5）にて60秒間行った。その後ドラフトチャンバー内にて10倍、 $10^2$ 倍、 $10^3$ 倍、 $10^4$ 倍、 $10^5$ 倍に希釈した試験水をシャーレ内に作成したPDA（potato dextrose agar）培地上に0.2mlずつ滴下し、培地面上に火炎滅菌したスプレッダーで広げた。以上の作業により、殺菌処理済みの土壌と未処理の土壌に関して希釈濃度ごと2枚ずつの計20個のサンプルを準備した。25℃のインキュベーター内にサンプルを収めて培養を行い、培養後の様子を観察した。

## 3. 結果と考察

### 3.1 加熱時温度分布の経時変化

図1に加熱消毒時の土壌内部温度の経時変化を示す。試験開始当初は100Vの印加によって加熱を行ったが温度は全体的に低く、試験途中より200Vへと変更し

た。200Vでの印加開始後、マルチヒーティンググリッドの表面温度（図中のMat表面温度）は約1日で最高到達点に達し、その後は制御に従ってON-OFFを繰り返し、温度維持を続けた。一方、土壌の温度（図中の土壌表面温度と土壌表面下5cm温度）は日中正午付近をピークとした波形上の温度変化を描いており、日射の影響を大きく受けていることが推測できる。200Vでの印加を開始した9月15日の夕方16:45より順調に土壌温度は上昇し続け、翌16日の11:00ごろには土壌温度は加熱目標温度である55℃を超えた。その後、土壌表面温度は17:30までの約6.5時間の間55℃以上を維持し、土壌表面下5cm温度は試験終了まで55℃以上を維持し続けていた。この結果より、消毒の目標温度と時間である55℃、4時間という加熱条件を満たすことが確認できた。また、土壌中の温度分布に関して土壌の表面温度が最も低温になりやすく深部程高温を維持することができることが確認できた。今回の結果ではマルチヒーティンググリッドを中心として上下15cmの範囲すなわち土壌表面から30cmの深さまでが十分に土壌消毒に必要なとされる温度を維持していることが確認できた。深部に関して今回試験における熱電対の最深設置位置が地表から30cmであったので、より深部の温度が確認できていないが、図2から推測する限りさらに深い位置でも消毒に十分な温度が確保できているものと考えられる。

表面温度を高温に維持するためには日射が必要であ

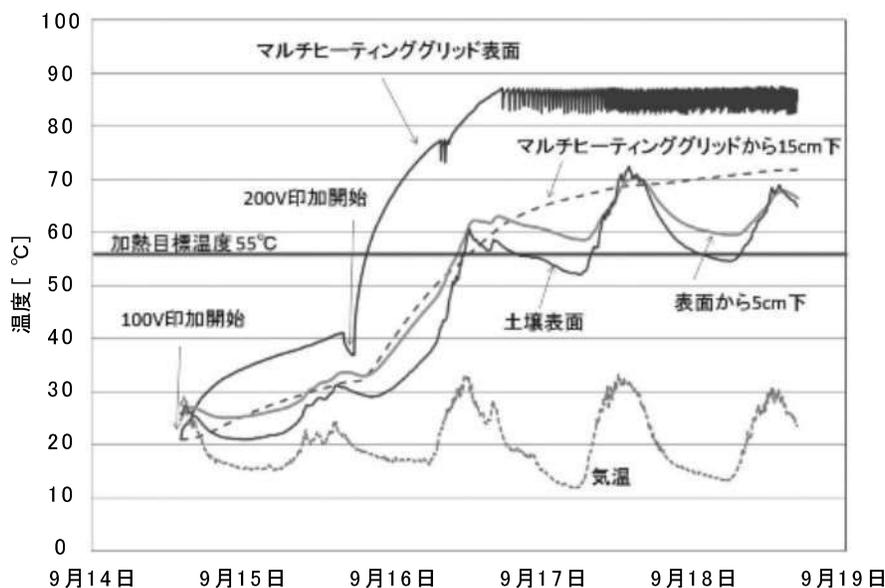


図1 加熱消毒時の土壌内部温度の経時変化（2009年）

り、加熱消毒を行う場合には天候に留意する必要がある。試験を行った16~18日の仙台の日照時間は、気象庁データによれば各々6.9時間、11.6時間、4.9時間であった。温度の経時変化の結果と合わせて考察すれば、前日夕方に加熱を開始し、翌日が晴天であれば夕方には加熱消毒が終了するものと考えられる。

図2に放射収支計による計測値を示す。16~18日は日射に恵まれ、正午付近をピークとした日射変化が得られた。最高値は瞬間的に400W/m<sup>2</sup>を超えており、マルチヒーティンググリッドからの発熱量に近い値となっている。これより、例えば時期にかかわらず消毒を行う必要がある場合、土壌表面付近にも追加してマルチヒーティンググリッドを設置することで加熱消毒が可能になると考える。

加熱の条件に関しては、農業用として実用可能な電圧200V以下を想定したものであった。埋設深に関してはより深い位置からの加熱が実施できれば、根の深い品種など利用範囲を広げることにつながり、今後継続した検討が必要であると考えている。

### 3.2 培養後の様子

図3に培養後6日後の培地の様子を示す。図中のいずれのサンプルにおいても初期段階から白色の菌が繁殖しているが、これは高温に強く植物に悪影響を及ぼさない枯草菌であると考えられる。枯草菌の一種である納豆菌の死滅には120℃での滅菌が必要であるように枯草菌は熱に強い耐性を示す<sup>6)</sup>。いずれの希釈濃度においても、加熱処理を加えたサンプルには枯草菌以外の病原菌と推定される菌の繁殖は確認されない。一方

で、未処理のサンプルには高い希釈濃度であっても納豆菌以外の菌の繁殖が確認できる。以上のような結果より、マルチヒーティンググリッドによる加熱はその保持温度と加熱時間において病原菌類を死滅にいたらせるに十分な効果を有するものであることが確認できた。

### 摘 要

マルチヒーティンググリッドによる夏季間における作物栽培培地の加熱消毒に関する試験を宮城大学食産業学部内ガラス温室に設置した試験圃場において実施した。土壌表面から15cmの深さに埋設した2m×1mのマルチヒーティンググリッドへ印加する電圧を200Vとしマルチヒーティンググリッドの表面温度を90℃に制御した。さらに土壌の表面に透明マルチを被覆することで日射エネルギーを利用した。この結果、マルチヒーティンググリッドの上下15cmの範囲にある土壌が加熱消毒に必要な加熱条件である55℃以上を4時間以上保持できることを確認した。また、PDA培地を用いた土壌中の細菌・糸状菌培養試験によって、加熱処理を実施した土壌と未処理土壌中の細菌・糸状菌を培養することで、加熱処理を実施した土壌中に植物へ悪影響を及ぼす細菌・糸状菌が存在しないことを確認し、マルチヒーティンググリッドによる加熱は土壌消毒効果を有することを確認した。

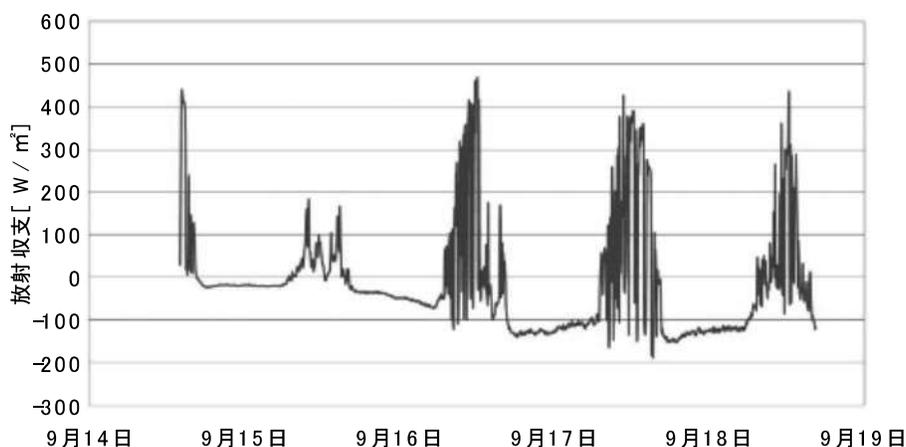


図2 2009年の夏季加熱消毒時の土壌表面から鉛直上方50cm位置における放射収支

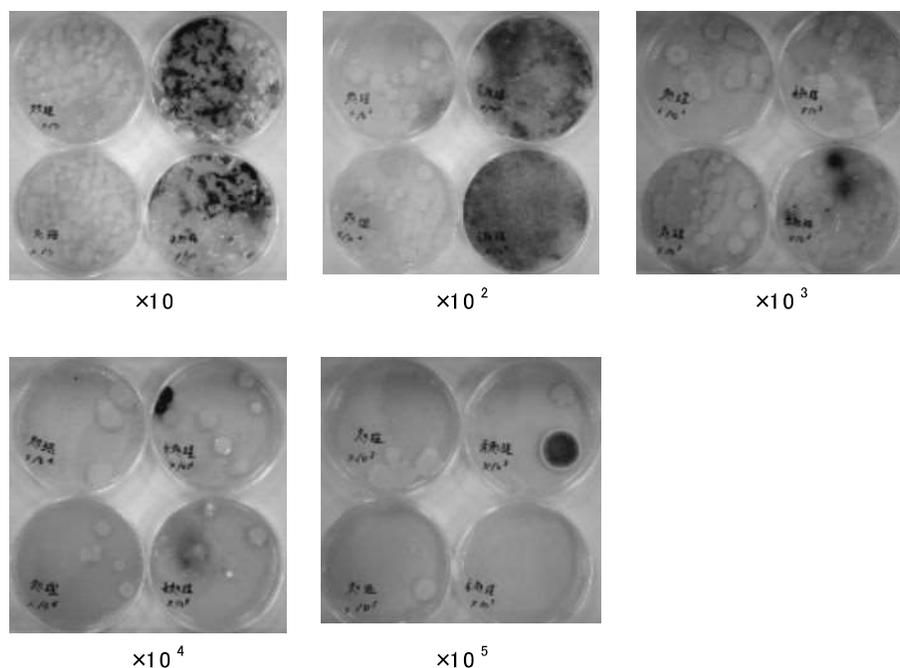


図3 培養6日後の培地サンプルの様子（各写真における左側2つが加熱処理済みサンプル、右側2つが未処理サンプル。数値は希釈処理濃度を示す。）

## 謝 辞

本研究の遂行にあたり、本学部ファームビジネス学科本蔵良三教授には培養試験についてご指導を賜りました。記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 坪田実・武井昇・鳥羽山満・渡邊信公・齊藤順一郎，融雪用発熱グリッドの開発，職業能力開発総合大学校紀要 第37号A，(2008)，pp.157-161.
- 2) 坪田実・齊藤順一郎・齊藤義郎・藤倉康晴，発熱用導電性塗料の開発と応用性，工業材料Vol.54, No.10，(2006)，pp.73-77.
- 3) 社団法人日本施設園芸協会，五訂施設園芸ハンドブック，(2003)，pp.433-439.
- 4) 国安克人・西和文・百田洋二・竹下定男，熱水注入方式（土壌病害対策），農業技術大系，土壌施肥編，第5-1巻，pp.216-2~216-7.
- 5) 三原義秋編著，温室設計の基礎と実際，養賢堂，(1988)，pp.27-28.
- 6) <http://finedays.org/natto/nattodiet.html> 「納豆菌の話」2009/10/06現在.