

# 農業分野で注目される 磁歪クラッド材

温室の屋根を見上げると、小さな緑の箱がいくつも付いている。わずか1秒通電すると、かすかにブンという音がする。小さなデバイスの心臓部には、新開発された磁歪クラッド材が使われている。農業分野で注目されるユニークな複合材料にスポットを当てる。

## 農業技術で注目を集めた新材料

農業生産現場における病害虫の防除には、化学農薬が多く使用されている。しかし、世代交代の早い害虫では化学農薬に対する抵抗性が発達しやすく、それに伴い化学農薬の散布回数を多くするなどの悪循環が生じる。例えばトマト栽培では、多くの野菜や観賞植物などに害を与え、多くのウイルス病を媒介することから世界的な重要害虫とされるコナジラミ類による被害が大きい。この害虫は化学農薬に対する抵抗性が発達しやすく、防除が非常に困難である。

一方で、環境保全型農業の実現を目指し、化学農薬のみに依存しない病害虫防除技術の開発が求められている。

近年、害虫の防除技術として、振動による害虫の行動制御技術が国内外において注目されるようになってきている。コナジラミ類を含む昆虫の多くは、仲間とのコミュニケーションや周囲の状況を知る手がかりとして振動を利用することが明らかになりつつある。そこで、こうした昆虫の振動に対する反応を利用し、植物などに人為的に振動を与え、害虫の行動を制御して、被害を軽減させるための研究が始まっている。このような方法は、生物に備わっている本能的機構に直接働

きかけるため、化学農薬と比較して抵抗性が発達しにくいという特徴がある。

そこで注目されたのが、2018年に東北大学と東北特殊鋼(株)が共同開発した磁歪クラッド材である(詳細は連携記事参照)。この磁歪クラッド材が持つ、特定の周波数の振動を瞬時に再現性良く発生させる特徴を生かし、2018年に新しい物理的防除技術として磁歪クラッド材を用いた磁歪式振動装置の研究開発がスタートした。トマト栽培施設において、磁歪式振動装置から生じる振動をトマト株まで伝えることで、害虫密度を抑制する効果があり、さらに、振動はトマトの受粉を促進する効果も期待できる。

2020年から3年間、生物系特定産業技術研究支援センター(以下、生研支援センター)・イノベーション創出強化研究推進事業の支援を受けて、研究課題「害虫防除と受粉のダブル効果!スマート農業に貢献する振動技術の開発」において、振動技術の基礎研究を重ねた。

2022年には、農林水産省の農林水産技術会議で毎年選定される「農業技術10大ニュース」に選定され、一躍脚光を浴びた。

2023年からは、生研支援センター・オープンイノベーション研究・実用化推進事業として、振動農業技

術コンソーシアム\*及び協力機関とともに、研究課題「害虫防除および安定栽培のための振動農業技術の開発と実用化」で振動防除技術の社会実装に向けて研究に取り組んでいる。現在は、トマト栽培用の磁歪式振動装置の市販化を目指した開発が進められている。

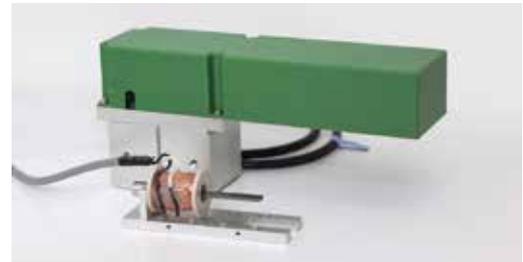
### 磁歪式振動装置による実験

磁歪式振動装置の心臓部は、厚さ約4 mm、長さ約50 mmの棒状の磁歪クラッド材である(図1)。クラッド材の周囲に交流磁場を発生させるコイルを設置し、あらかじめ設定した振動周波数、振動時間などに合わせて、電流が流れるようになっている。

磁歪式振動装置の性能実験では、宮城県内のトマト栽培施設で、害虫となるオンシツコナジラミに対する振動の防除効果の調査が行われた(図2)。

施設の一部パイプに振動装置を設置し、パイプからワイヤなどを垂らしてトマト株に振動が伝わる仕組みとなっている。

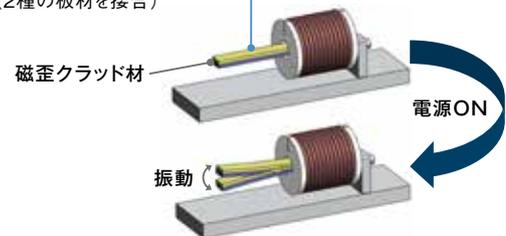
\*九州大学の立田晴記教授を代表とする振動農業技術コンソーシアム(九州大学、農業・食品産業技術総合研究機構野菜花き研究部門、宮城県農業・園芸総合研究所、兵庫県立農林水産技術総合センター、静岡県農林技術研究所、福岡県農林総合試験場、森林総合研究所、電気通信大学、東北特殊鋼(株))により実施。



磁歪式振動装置

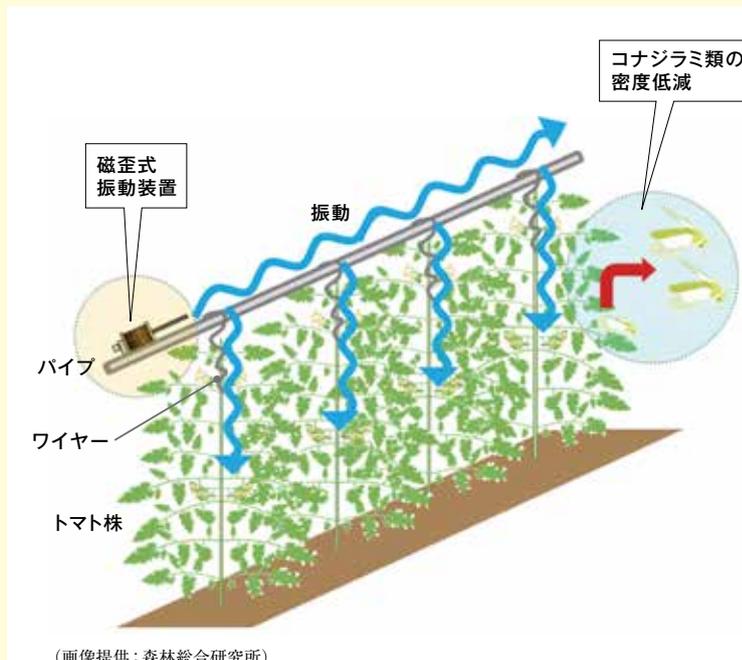


磁歪クラッド材の外観  
(2種の板材を接合)



コイルに通電させると磁歪クラッド材が振動する。

図1 磁歪クラッド材の作動



(画像提供: 森林総合研究所)



オンシツコナジラミの成虫  
(左)と幼虫(右)

(画像提供: 宮城県農業・園芸総合研究所)



図2 トマト栽培施設での実験装置

振動周波数は、害虫のコミュニケーションを阻害する周波数である300 Hz付近に設定している。振動プログラムは、1分間に1秒振動、9秒休止を6回繰り返し、これを15分おきに行い、日の出から日の入りまでの12時間の間で行う。1日当たりの振動時間はわずか10分未満であるが、害虫の防除の効果が確認できた。

### 磁化により材料が伸び縮みする「磁歪」

振動装置に使われた「磁歪材」とは、そもそものような材料だろうか。

磁歪とは、鉄などの磁性材料を磁化させた時に、材料が伸び縮みする現象である。例えば、材料に巻いたコイルに電流を流して磁場を発生させると、非接触で材料が伸び縮みする。外部から供給された電気エネルギーを機械的な力に変換できるため、この現象を生かして、物を動かしたり、物に力を加えたりすることができる。逆に、材料に外から力を与えると材料内部の磁化が変化する逆磁歪と呼ばれる現象もある。この時、材料の周囲にコイルを配置することで、電磁誘導の法則によって電気エネルギーを生み出すことができる。

一般の鉄鋼材料でも20 ppm程度の磁歪を示す。

鉄をベースとした軟磁性材はコイルやトランスなどに用いられているが、軟磁性材の中でも圧電材料並みの変位量を持つものは磁歪材料と呼ばれる。

これまで磁歪材料の用途例はあまり多くない。例えば、1970年代から2000年ごろに米国で開発されたTerfenol-D(飽和磁歪\*1000~3000 ppm程度)やGalfenol(飽和磁歪120~300 ppm)があったが、原料に希土類が使われるので高価、製造方法が特殊、衝撃に弱く脆い、などの理由から特殊用途のみに使用されていた。

これに対し、東北特殊鋼(株)はFe-Co系の磁歪材料を開発している。軟磁性材はベースとなる電磁軟鉄に各種元素を添加することで様々な特性を得ることができるが、Coを添加していくと、一般的な磁性材料に比べ大きい磁歪が得られる。開発されたFe-Co合金は、飽和磁歪は80~140 ppmであるが、一般的な鋼材の製造工程(溶解、鍛造、圧延など)で製造できる、耐衝撃性に優れ延性があるため様々な形状に加工しやすい、などの特長を持つ。

磁歪クラッド材は、開発材のFe-Co合金とNiを接

\* 飽和磁歪：磁歪現象によって材料が変形した値で、ppmで表す。

## 接合強度に優れた高精度接合 —— 拡散接合

磁歪クラッド材の開発で重要な役割を果たしたのが、クラッド技術である。

Fe-Co合金とNiの接合には、拡散接合が適用された。拡散接合とは、材料同士を密着させ、材料の融点以下の温度条件で、塑性変形ができるだけ生じない程度に加圧し、接合界面に生じる原子の拡散を利用して金属結合させる技術である(図3)。東北特殊鋼(株)の拡散接合技術の特長は、独自の加重制御工法を採用しており、接合後の寸法や形状の変化が少ないことである。また面接合が可能であり、強度に優れ気密性の高い接合が可能となる。

このような特長があることから、拡散接合は小型精密部品への適用が期待されている。接合する材料の高い寸法精度を維持したまま接合が可能なので、塊から切削する方法では難しい中空形状や微細メッシュ構造などの立体構造を精度よく実現することができる(図4)。また、様々な異種金属同士の接合が可能なのも同社技術の大きな特長である。

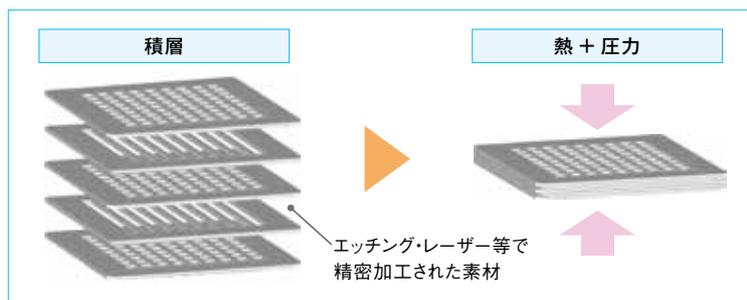


図3 拡散接合の精密部品への適用



マイクロシャワーリング  
(純Ti、リング内部に微細孔のある内部流路構造)

精密フィルター(SUS304、  
0.1 mm板を20枚積層)

図4 小型部品への適用例

合した複合材料である。二つの材料はどちらも磁歪特性を持っているが、Fe-Co合金は磁場をかけると伸びる性質があり、一方のNiは磁場をかけると縮む性質がある。そのため、これらを接合した磁歪クラッド材は、磁化させるとNi側に大きく曲がる。

## クリーンで精密な作動が可能

磁歪材は、その特性を生かして様々な用途への応用が期待されている。その一つがアクチュエータである。アクチュエータは物を動かしたり、物に力を加えたりする装置であり、電気や油圧などの力で作動するのが多い。磁歪クラッド材を使えば、電気信号により、瞬時に物をつかんだり持ち上げたりする機構を作ることができる。これにより、狙った力や振動周波数を瞬時に発生させることができる、部品点数が少なく構造がシンプル、などの特徴を発揮する。

二つ目の用途は、物の動きや力の強さを正確に感知する力センサーである。逆磁歪現象を利用して、外からの力の強さを正確に感知して、電気エネルギーを得ることができ、変位センサーやトルクセンサーに利用される。

今後期待される用途に、振動発電がある。最近、エネルギー分野で「エネルギーハーベスティング」と呼ばれる技術が注目されているが、これは身近な環境から微小なエネルギーを文字通り「収穫」し、電力に変換する技術のことで、環境発電とも呼ばれている。一般的に振動発電では、できるだけ大きい電気エネルギーを得ようとする場合、材料の固有振動数と同じ周波数のエネルギーを与え、振動を増幅する強い共振（共振）を起こすのが望ましい。磁歪材料を利用する振動発電の場合も例外ではなく、共振周波数にごく近い周波数でないと、大きなエネルギーを得ることができない。共振できる周波数帯の幅を少しでも広げられれば、電気エネルギーを得やすくなり、実用化に一歩近づくことになる。

磁歪クラッド材の材料開発を担当する、東北特殊鋼(株)渡辺将仁氏に、磁歪材への期待について伺った。

「農業用振動装置への実用化がようやく進んできたが、今後は、振動発電への応用に期待している。クラッド化によって発電可能な周波数帯の幅が広がることを確認している。加えて、耐衝撃性と加工性の良さを生かして、様々な形状の振動子に加工できるので、発電可能な周波数帯をさらに広げられると期待している。」(渡辺氏)



### 東北特殊鋼(株)

(左) 技術統括部機器開発チーム

阿部 翔太氏

(右) 技術統括部材料開発チーム

兼 製品戦略企画部 拡散接合チーム

渡辺 将仁氏



振動発電特性の評価試験

## ニーズをとらえた材料開発を進める

トマト栽培用の磁歪式振動装置は商品化を目指して、現在最終的な製品仕様が検討されている。

振動発電装置の設計・開発を担当する阿部翔太氏は、今後の開発に意欲を見せる。

「磁歪クラッド材の性能をさらに広く知ってもらうために、振動発電装置も開発することになった。トマトの害虫防除については、どの作物でどの周波数帯が求められるのかがわかれば、より多くの作物への適用が期待できる。」(阿部氏)

これまで鉄鋼材料では、農業分野の製品を想定した材料開発はあまり多くはなかった。今回の磁歪クラッド材では、先に新材料の開発を発表した後で、農業分野の研究者から注目され、実用化の道が拓けたのだという。

「機能材料開発は、どちらかというと技術者目線のシーズ先行になりがちなので、今後はニーズをとらえて最適な材料を提供することにも努めていきたい。」(阿部氏)

鉄鋼材料の豊かな知見から、新たな可能性が広がる。農業用振動装置にとどまらず、磁歪クラッド材の特長を活かした用途開発を目指し、今日もチャレンジが進められている。

●取材協力 東北特殊鋼(株)

●文 杉山香里