

# 循環型社会に向けた有機性廃棄物のリサイクルシステム

Organic Wastes Recycling Systems for Resources Circulating Societies

宮坂 邦夫 Kunio Miyasaka

山田 雄司 Yuji Yamada

沼田 利一 Toshikazu Numata

紅林 利彦 Toshihiko Kurebayashi



バイオガスシステム



人工ゼオライト製造設備



堆肥センター

自走式混合堆積機

図1 日立グループの有機性廃棄物リサイクルシステム

地球温暖化防止、環境負荷低減のため、日立グループは有機性廃棄物の各種リサイクルシステムを組み合わせたトータルソリューションを構築し、地域に最適なエネルギー・資源循環システムを提案している。

## 1 はじめに

2003年度の環境省の廃棄物に関する統計によると、日本国内の廃棄物総量のうち、有機性廃棄物は全体の約70%を占め、その量は約2億9,000万tと推定されている。内訳は汚泥が約46%、家畜排せつ物が22%であり、木くず、食品残渣(さ)の順で以下に続く。農林水産省では、これら動植物由来の再生可能な有機物のことを「バイオマス」と定義し、2002年12月にバイオマスの利用促進に関する計画、取り組みをまとめ、「バイオマス・ニッポン総合戦略」として提案し、閣議決定された。2006年3月には、これまでのバイオマスの利用状況や2005年2月の京都議定書発効後における情勢の変化など

を踏まえて見直しを図り、地球温暖化対策という観点からも、林地残材などの未利用バイオマスの利活用や国産バイオ燃料導入などを含めたバイオスタウン構築を促している。

さらに、廃棄物処理法の改正により、排出者責任がますます強化され、農業・環境三法(「持続性の高い農業生産方式の導入の促進に関する法律」、「肥料取締法の一部を改正する法律」、「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」)の施行とも相まって、有機性廃棄物のリサイクルは、行政、生産者、消費者が個々に取り組むべき課題となってきた。

汚泥はエネルギー源であるばかりではなく、脱水後に炭化

農林水産省、経済産業省、環境省などの連携プロジェクトである「バイオマス・ニッポン総合戦略」が2002年12月に閣議決定された。2004年8月には地域のバイオマスを効率的かつ総合的に利用するための「バイオマスタウン」の実現に向けた取り組みが始められた。

また、2006年3月にはわが国の温室効果ガス削減目標達成の一環として国産バイオ燃料導入を促進するための「新たなバイオマス・ニッポン総合戦略」が決定され、有機性廃棄物のエネルギー化/資源化へのニーズが、処理処分施設の残余容量のひっ迫とあわせてますます拡大している。

日立グループは、バイオマスを利用する際のさまざまな課題に対応し、豊富なバイオマス利用技術や環境浄化システムを開発して実用化するとともに、これらを組み合わせたトータルソリューションを提供している。

すれば、燃料、融雪材などへの利用ができる。また、一部工業汚泥の焼却灰は多孔質であることから、吸着材、吸湿材、脱臭材、および土壤改良材などに多用できるゼオライト化への変換が可能である。

家畜ふん尿はエネルギー源として、また、肥料、土壤改良材として重要な資源である。

廃木材、間伐材の焼却処分は厳しく規制されているが、木質バイオマスには蒸し焼きにした際に発生する可燃ガス(水素、一酸化炭素など)や木炭、木酢液の利用のほか、堆(たい)肥化における水分調整材、さらには路盤材としての有効活用がある。

しかし、バイオマスを利用するには、(1)広域に分布する資源の収集や、(2)植物資源発生量の地域的・季節的変動、(3)生成物の安定的な利用の促進などの課題がある。また、バイオマスは地域ごとに種類や発生量が大きく異なることから、その特徴を生かしながら地域のニーズに合った循環システムを構築しなければならない。

日立グループは、豊富なバイオマス利用技術や環境浄化システムを有していることから、これらを効果的に組み合わせた適切なトータルソリューションを提供している。

ここでは、地域特有のさまざまなバイオマスや廃棄物の特徴を生かし、その地域のニーズに合った循環システムの例として、林地、畜産、農作物残渣の処理・再利用システム、および焼却灰のゼオライト転換の取り組みについて述べる(図1参照)。

## 2. 自己完結型のエネルギー・資源循環インフラモデル

### 2.1 モデルの構築

林業事業所からの木質廃棄物に炭化システムを適用することにより、乾留ガスによる発電・廃熱回収が可能となる。これに食品廃棄物などからのメタン発酵によるエネルギー回収を組み合わせることで、自己完結型のエネルギー・資源循環モデルが構築できる(図2参照)。さらに、メタン発酵処理液や消化残渣からの有用農業資材の再生産システムと統合することで、省エネルギー型の資源循環型システムの構築を図った。このモデルには以下の特徴があり、地域社会に役立つものと

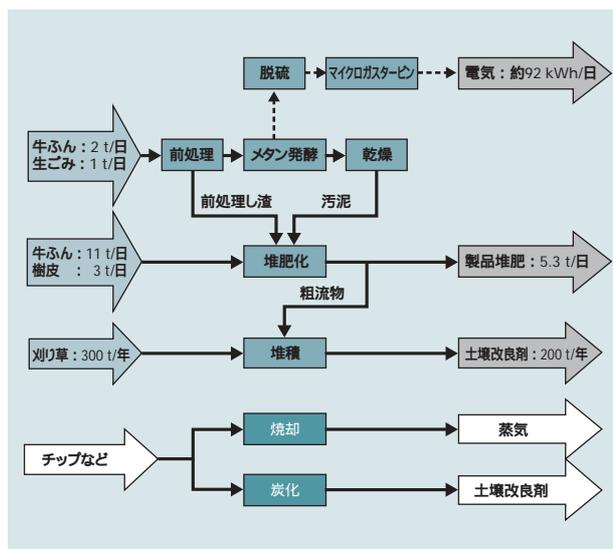


図2 自己完結型エネルギー・資源循環インフラモデル

日立グループで保有する各種のコンポーネントを組み合わせ、エネルギーを効率よく利用した自己完結型のシステムを構築・提案している。

期待している。

- (1) 含水率が高くガス発生量の多い生ごみをメタン発酵処理し、エネルギーとして有効利用が可能
- (2) 後処理が困難なメタン発酵処理水は、炭化などの廃熱で乾燥するため、排水処理が不要
- (3) 発生する熱源・発電などを有機的に利用し、創エネルギーかつ省エネルギーシステムを構築

これらのメタン発酵と、堆肥化システムについて次に述べる。

### 2.2 環境負荷低減型メタン発酵システム

日立グループは、山梨県内で乳牛ふん尿を原料として、1日の処理量が5 m<sup>3</sup>の規模におけるメタン発酵システムの実証実験を2002年6月から2004年3月まで実施した。

このメタン発酵システムの概要を図3に、実証実験プラントの外観を図4にそれぞれ示す。

システムの特徴は、(1)原料全量について雑菌などを加熱殺菌する工程を備え、メタン発酵残渣(消化液)をそのまま液肥として安全に使用できることと、(2)加熱殺菌の際の熱は熱交換器で回収しエネルギーを効率よく利用することである。原

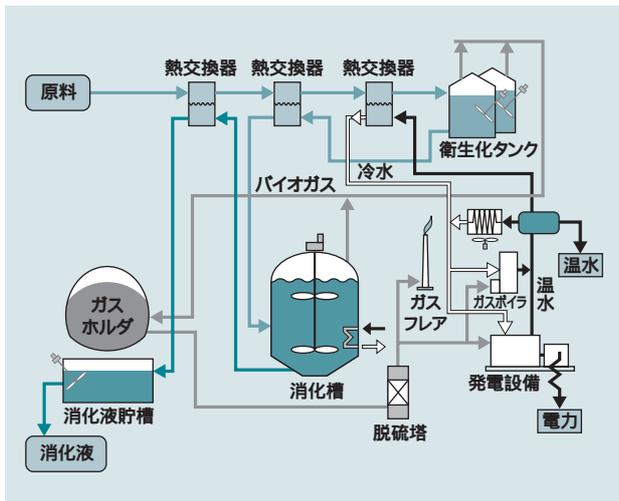


図3 メタン発酵システムの概要  
原料を加熱殺菌することで、メタン発酵消化液を液肥として安全に使用できる。また、熱交換器で熱を回収して省エネルギー化を推進している。



図4 実証実験プラントの外観  
1日の処理量が5 m<sup>3</sup>の規模で実証実験を行った。

料のふん尿全量は、消化槽の前段に設置されている衛生化タンクで、70℃で1時間、加熱処理する。70℃まで昇温された原料は、熱交換器を介して再び原料の加温に利用された後、発酵温度(37℃)に調整されて消化槽に供給され、むだのない熱利用を行っている。熱交換器は、乱流効果で閉塞(そく)の生じにくい独自構造のものを用いている。

実証実験では、実験期間を通じて、メタンを約60%含有するバイオガスを原料1 m<sup>3</sup>当たり平均で20 Nm<sup>3</sup>の割合で得ることができた<sup>1)2)</sup>。この結果から試算すれば、バイオガスは1 Nm<sup>3</sup>当たり約21.5 MJの熱量を有することになり、発電効率30%の発電設備では原料1 m<sup>3</sup>当たり約36 kWhの発電が可能と推測できる。処理規模にもよるが、システムの設備動力のほとんどをバイオガスによる発電で賄うことが可能と試算される。

このシステムでは発生したバイオガス中のメタンガスを回収し、発電などに利用して電力あるいは温水に転換して、一部を設備運転に利用し、余剰電力が得られればそれを売電して運営費用に充当できる。すなわち、有機性廃棄物を電気と液肥という資源に変換させることができるシステムであり、省エネルギーや環境負荷低減へ貢献できるものと期待する。

### 2.3 環境負荷低減型堆肥化システム

従来、家畜ふん尿などを肥料として利用するため、各農家では堆積型の堆肥化が行われてきたが、3か月から半年の発酵期間と大規模なスペースが必要であることや、臭気の発生が著しいことから、近年では堆肥化プラントによる好気発酵が主流となっている。

一般的な堆肥化システムでは、プロフによる送気、あるいは機械的な切り返しを行うことによって酸素を供給している。

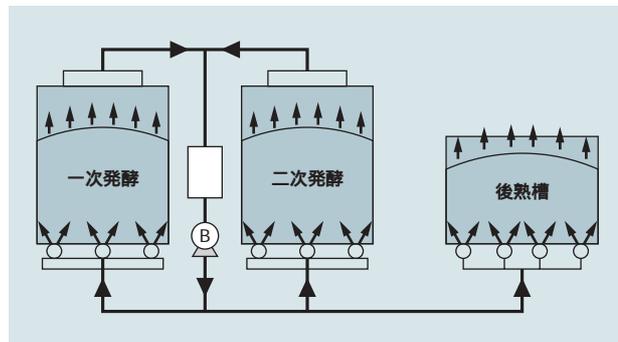
日立グループは、微生物の能力を最大限に発揮するために、「好アルカリ高温発酵」を生かすことのできる「吸引・送気発酵システム」を採用している。この好アルカリ菌は、pH 9～10、温度70～80℃で生育可能であり、その働きにより、温度の立ち上げを加速し、高温高速発酵を可能にしている。この菌を有効に活用するため、発酵ガス中のアンモニアと発酵熱を再利用する最も合理的な方法として、発酵槽内の発酵ガスを吸引し、再度槽内に送気する「吸引・送気システム」を開発した(図5参照)。

さらに、このシステムにおいては、吸引量を送気量より多くし、過剰分を生成堆肥に送気することにより、次のような特徴を有する設備となっている。

- (1) 冬期での発酵温度の安定により、良好な堆肥を製造
- (2) 発酵槽が負圧になり、発酵ガスの拡散を防止
- (3) 発酵槽から外気が取り込まれることにより、酸素補給が可能
- (4) 生成堆肥に発酵ガスを送気することにより、特別な設備がなくても脱臭が可能

このように、日立グループの「吸引・送気システム」は、最小限の機械設備で高温高速発酵が可能であり、完熟までの期間をほぼ1か月半に短縮することができる。この結果、環境負荷の大きい畜産廃棄物を有効資源として再利用することができる。

高温好気発酵の必要条件是次のとおりである。



注:略語説明 B (Blower)

図5 吸引・送気発酵システムの概要

一次発酵、二次発酵の槽内から発酵ガスを吸引し、新鮮な空気と混合して再度発酵槽に送気する。

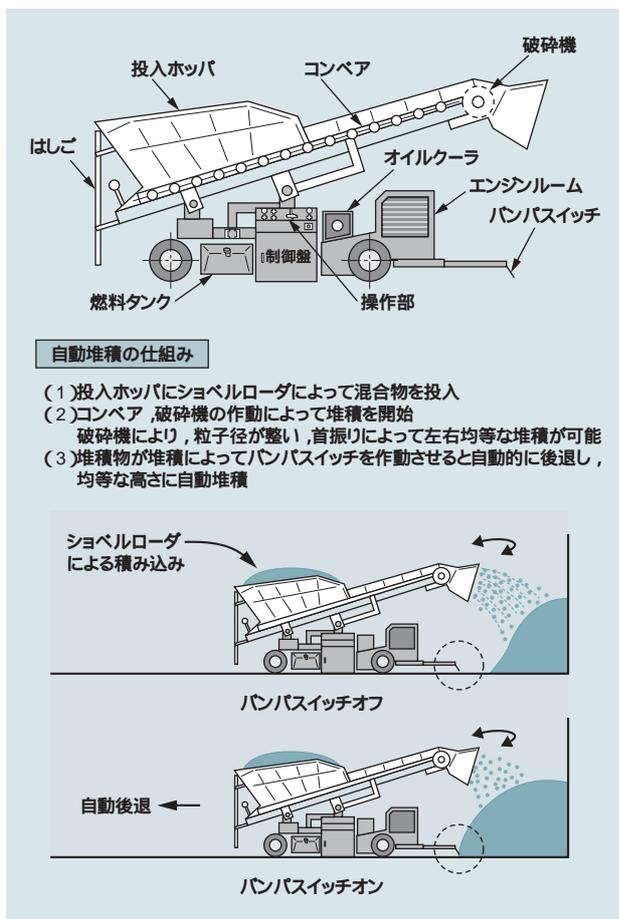


図6 自走式混合堆積機「スカラベくん」の構造と仕組み  
規模が大きい場合には自走式の混合堆積機を用いる。

### (1) 積み込み時含水率

通気性を確保し、微生物の生育条件を満たす含水率は50～60%が適正である。

### (2) 温度

吸気・送気方式では、発酵ガスを吸引・送気することにより、冬期でも送気温度が40℃前後と高く、発酵温度の低下を抑えることができる。

### (3) 通気性の維持

含水率と同時にかさ比重を0.6 t/m<sup>3</sup>以下にすることにより、堆積発酵での通気性を確保している。生素材に混合する水分調整材として比重が低く、形状の壊れにくいものを選定するとともに、生成堆肥を水分調整材として添加し、破碎機付き混合機で粉碎混合する。

なお、規模が大きい場合は、日立グループの自走式混合堆積機「スカラベくん」を用いることにより、さらに効率よく、かつ均等な空隙（げき）を維持させることができる（図6参照）。

## 3. 灰から生まれた新環境商品「人工ゼオライト」

### 3.1 人工ゼオライトとは

ゼオライトは鉱物の一種で、天然に産出する天然ゼオライトと、化学的に薬品類から製造される合成ゼオライトがある。石

炭灰などの焼却灰を主原料とし、その灰粒子表面にゼオライトの結晶を析出させたものが一般に人工ゼオライトと呼ばれる。人工ゼオライトの結晶は、表面がスポンジのように無数の穴を持つ多孔質構造で、比表面積が大きく、多孔質の表面にさまざまな物質を取り込む吸着機能と、分子構造のマイナス電荷部位に結合していた陽イオン（Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>）を重金属などの別の陽イオンと交換する陽イオン交換機能を持っている。人工ゼオライトの原料となる石炭灰は「再生資源の利用促進に関する法律」によって指定副産物に定められたことから、その有効利用の開発がいつそ求められる状況下にある。石炭灰などの焼却灰から高付加価値な人工ゼオライトに転換する技術は、有機性廃棄物の積極的な再資源化をめざす新技術の一つである。

### 3.2 人工ゼオライト製造設備

石炭灰の人工ゼオライトへの転換は、水酸化ナトリウム（NaOH）を含むアルカリ溶液による石炭灰の水熱反応から、石炭灰表面にゼオライト結晶を析出させ、多孔質な結晶体に変化させて行う。石炭灰と人工ゼオライトの顕微鏡写真を図7に示す。日立グループは、株式会社ゼオテックと連携して、中部電力株式会社碧南火力発電所に石炭灰を原料とする人工ゼオライト製造プラントを2004年10月に納入した（図8参照）。国内最大級の石炭火力発電所である碧南火力発電所からは、年間約90万トンの石炭灰が発生しており、発電所の運転開始以降、石炭灰のさまざまな有効利用を進めてきた。そして、さらなる利用促進をめざし、付加価値の高い商品として石炭灰を原料とする人工ゼオライトに着目した。中部電力で

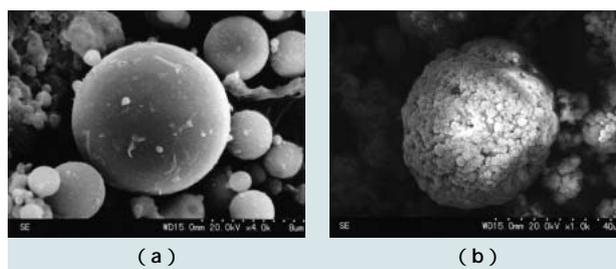


図7 石炭灰と人工ゼオライト  
石炭灰(a)と人工ゼオライト(b)の顕微鏡写真を示す。



図8 人工ゼオライト製造設備<sup>3)</sup>  
中部電力株式会社碧南火力発電所構内に設置した人工ゼオライト製造設備の外観(a)と建物の内部(b)を示す。



図9 実証プラント

日立設備エンジニアリング株式会社十王事業所(茨城県)に設置した実証プラントの建屋の外観(a)と内部(b)を示す。

は、製造能力が年産3,000 tの人工ゼオライト製造工場を建設し、商品名「シーキュラス」として販売に至っている。

日立グループは、石炭灰はもとより、各種焼却灰を原料とする人工ゼオライト転換技術を確立するため、製造能力が年産50 t規模の実証プラントを設置した(図9参照)。人工ゼオライトは製造時の合成条件を変化させることで、用途の目的に応じた品質や機能を持たせることが可能であり、実証プラントによって最適な製造条件を確立・検証する。また、実証プラントでは単にゼオライト転換技術の確証だけでなく、人工ゼオライトや製造時に排出される廃液などの周辺環境についての影響成分を分析・測定し、その安全性も確認している。

廃棄物としての焼却灰の埋め立て処理が困難になることが予想される中で、人工ゼオライトへの転換は、処理問題の解決手段の一つとして持続的で有効なものである。

### 3.3 人工ゼオライトの用途

人工ゼオライトの持つ吸着性や陽イオン交換機能を応用し、環境改善の資材としてさまざまな用途での実証試験が行われている。中部電力では、人工ゼオライトを地球環境の改善に役立てる循環型資源・新環境商品と位置づけており、さまざまな分野において用途開発試験や実証試験を展開し、その成果を基に広く普及活動を実施している。その中から、同社が実施した人工ゼオライトが適用できる主な環境浄化機能の例を以下に示す。

#### (1) 農業・緑化用土壌の保肥・保水力向上

人工ゼオライトは多孔質で陽イオン交換容量が大きいので、農業・緑化用土壌の保肥・保水力向上に資する材料であり、肥料成分の流亡や溶脱を防止し、野菜や花卉(き)類の生育促進に効果がある。また、連作障害で問題を抱えていた電照菊栽培などに効果的である(図10参照)。

#### (2) 重金属吸着などの水質浄化

人工ゼオライトは水に溶解した鉛などの重金属やアンモニアを吸着する能力が高いので、工場廃水などの水質浄化に効果を発揮する。そのため、人工ゼオライトは、2005年4月に国土交通省の新技术情報提供システムに登録された。射撃場に人工ゼオライトを用いた鉛排水浄化設備を図11に示す。



図10 電照菊栽培の事例

人工ゼオライトを施用したハウス内を示す。ハウス内の左側に人工ゼオライトを施用している。



図11 射撃場の鉛排水浄化設備  
人工ゼオライトが鉛排水を浄化する。



図12 日立空気清浄機「EP-AV500」

フィルタに中部電力株式会社の人工ゼオライト「シーキュラス」を採用している。

#### (3) 悪臭ガスなどの吸着機能

人工ゼオライトは悪臭ガス、特にアンモニアや酢酸などの水溶性ガスに対する吸着は特異的なものがあり、活性炭をしのぐ吸着性能を有している。その効果を検証したうえで、日立グループが製造・販売する空気清浄機のフィルタには中部電力の人工ゼオライト「シーキュラス」を使っている(図12参照)。

#### (4) 生態系コンクリートブロックへの利用

河川護岸ブロックや道路擁護壁ブロックには、自然回帰志向を反映し、植物や苔(こけ)類が活着しやすい環境配慮型の製品が求められている。そこで、人工ゼオライトを混入した生態系コンクリートブロックが実用化され、各種工事に採用されている。生態系コンクリートブロックの施工例を図13に示す。



図13 道路擁護壁ブロックの施工例  
植物が活着しやすく環境に配慮した製品である。

以上は人工ゼオライトの実証例の一部であり、さまざまな環境浄化の対応資材として適用用途は多い。特に、農業の土壌改良ではきわめて有効であることが検証されている。また、人工ゼオライトを使用することで、従来にない環境浄化方法を、自然な環境に合った新しい方法で提案が可能となる。

### 3.4 今後の取り組み

日立グループは、人工ゼオライトのビジネス展開を行っている。人工ゼオライトと成り得る原料としては石炭灰のほかに、有機性廃棄物の焼却灰、製紙工場から排出される製紙スラッジ焼却灰、上下水道の処理場から排出される汚泥焼却灰などがある。焼却灰の大半は、灰捨場や処理場で埋設処分されているのが現状である。

日立グループは、それら廃棄物を未利用資源として、人工ゼオライトへの転換の可能性を求めて、転換試験、および目的の用途に応じた製造試験や実証プラントによるサンプル製造

を実施している。廃棄物の有効利用の先細りや処理場の問題などの対応策として人工ゼオライト転換は有効な技術であり、人工ゼオライトはさまざまな環境の改善用リサイクル製品として有効活用が可能なものである。国内での環境資材としての用途・市場開拓はもちろんであるが、将来的には国内外を含めて、地球規模で問題となっている砂漠化の防止策向けに、土壌改良用資材あるいは水質浄化を含む生活環境改善の資材として、人工ゼオライトのビジネス展開を行う。

## 4. おわりに

ここでは、日立グループが取り組んでいるバイオマスのリサイクルシステムの概要について述べた。

バイオマスからメタンガスなどをエネルギーとして再利用するとともに、バイオマスを新たな資源として回収再利用することは、地球温暖化防止と循環型社会形成に向けて不可欠な取り組みである。廃棄物は「燃やさない」、「埋めない」ことが求められており、官・民それぞれが社会的責任を果たしていく必要がある。

日立グループは、有機性廃棄物の新たなリサイクル技術の開発を継続するとともに、リサイクル率のいっそうの向上を図り、地球温暖化防止と循環型社会システムの構築に貢献していく考えである。

### 参考文献

- 1) 隈崎, 外: 加熱前処理と汚泥/汚泥熱交換器を利用したメタン発酵技術, 第40回下水道研究発表会講演集(2003.7)
- 2) 隈崎, 外: 加熱前処理と汚泥/汚泥熱交換器を利用したメタン発酵技術(続報), 第41回下水道研究発表会講演集(2004.7)
- 3) 中部電力株式会社: 技術資料

### 執筆者紹介



宮坂 邦夫  
1975年日立金属株式会社入社, 株式会社日立プラントテクノロジー 社会・産業システム事業本部 水処理計画統括部 所属  
現在, 水処理, バイオマス設備の計画設計業務に従事



山田 雄司  
1996年日立金属株式会社入社, 株式会社日立プラントテクノロジー 社会・産業システム事業本部 水処理システム事業部 水処理システム技術統括部 所属  
現在, 水処理システムの開発に従事



沼田 利一  
1974年日立工業株式会社(現日立設備エンジニアリング株式会社)入社, 十王事業所 原子力・電機設計部 環境システム開発センター 所属  
現在, 人工ゼオライト製造設備の実証機運用とプラント開発設計に従事



紅林 利彦  
1989年日立製作所入社, トータルソリューション事業部 プロジェクト統括本部 環境エネルギーソリューションセンター 所属  
現在, 環境ソリューション提案に従事  
日本土壌肥科学会会員