

環境に優しい「高効率肥料」 —持続可能な農業に向けて技術改良が進む—

技術・イノベーション情報部 インダストリーイノベーション室 野崎駿介

高効率肥料が注目される背景

化学肥料の過剰な使用は、肥料由来の窒素分の自然環境流出による温室効果ガスの排出や、河川などの水質悪化の原因となる。しかし、化学肥料を全く使用せずに作物を栽培することは現実的ではない。環境負荷を減らしつつ食料を安定的に生産するために、高効率肥料が注目され始めている。高効率肥料とは、成分が土壌中へ溶けていく速度や期間を調節することができる肥料である。大きく3種類に分類することができ、土壌中の水分に溶けにくくしたものや、水溶性肥料をプラスチックで被覆したものなどがある（図表1）。

図表1：高効率肥料の種類

化学合成緩効性肥料	硝化抑制剤入り肥料	被覆肥料
土壌中の水分に少しずつ肥料成分が溶けていき、作物に緩やかに吸収される。	微生物による硝酸化成作用を阻害する薬剤を含んでおり、土壌中に窒素を長期間保持させる。	水溶性肥料をプラスチックなどでコーティングしたもの。コーティングの材料や厚みにより肥料の溶出を制御する。

出所：「肥料便覧 第6版」（農山漁村文化協会）から三井物産戦略研究所作成

高効率肥料は1960年代から存在しており、変化していくニーズに対応する形で、性能の向上や環境負荷の低減などの価値を付加する技術開発が継続的に進められている。例えば、米国環境保護庁（EPA）は、高効率肥料の開発を「中小企業イノベーション研究プログラム（SBIR）」の一つとして取り上げている。

高効率肥料の使用は、適切なタイミングと量の施肥に繋がる。例えば、水田へ使用した場合に、収量を落とさずに自然環境へ流出する窒素分を約30%削減できる¹という報告がある。また、被覆肥料では、作物により数値は異なるものの、通常の肥料の使用量を20%～30%減らすことができる²とされている。追肥などの作業も不要となり、作業効率の向上が狙える。高効率肥料は通常の肥料と比べて、一般的には高価だが³、施肥の最適化などにより、トータルとしてコスト削減に繋がると考えられる。

¹ 農研機構ウェブサイト「緩効性肥料による水田からの窒素流出負荷低減効果」

https://www.naro.go.jp/project/results/4th_laboratory/niaes/2020/niaes20_s10.html#:~:text=%E6%B0%B4%E7%94%B0%E3%81%B8%E3%81%AE%E7%B7%A9%E5%8A%B9,%E6%A0%BD%E5%9F%B9%E3%81%8C%E5%8F%AF%E8%83%BD%E3%81%A8%E3%81%AA%E3%82%8B%E3%80%82（最終アクセス：2024年1月4日、以降リンクについて、全て同じ）

² 菅野均志、西尾 隆「樹脂系被覆肥料による革新的な施肥技術の開発と今後の展望」

https://www.jstage.jst.go.jp/article/do.jo/86/1/86_KJ00010191677/_pdf

³ 成分などの違いにより一概には言えないが、高効率肥料の価格は、通常の肥料の価格の最大3倍～4倍程度ある。

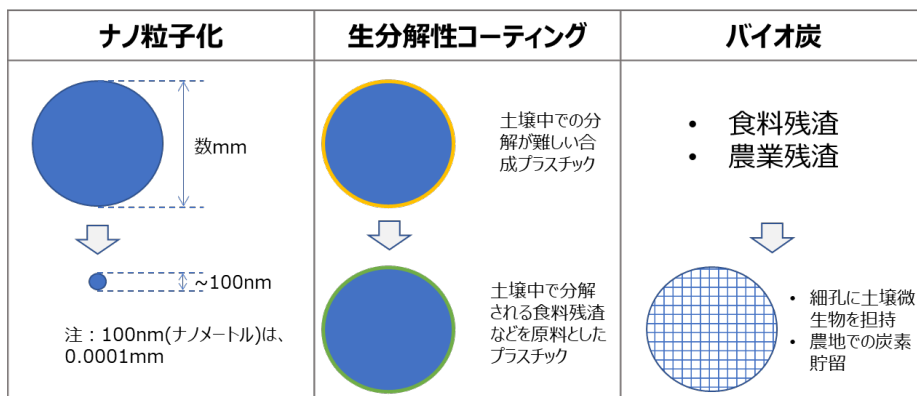
農林水産省「農業資材の供給の状況に関する調査について」（令和3年9月）

<https://www.maff.go.jp/j/press/nousan/sizai/attach/pdf/210929-3.pdf>

技術改良により進化する高効率肥料

前述のように、高効率肥料は技術改良が続けられている。技術改良により解決を図れる課題としては、①環境負荷のさらなる低減、②高付加価値化の2つがある。①に対応する技術には「ナノ粒子化」や「生分解性コーティング」が、②については「バイオ炭」の活用が挙げられる（図表2）。

図表2：高効率肥料の課題解決に有望な技術



出所：三井物産戦略研究所作成

(1) ナノ粒子化

ナノテクノロジーの肥料への適用が試みられている。肥料成分をナノサイズ（100nm以下）まで小さくすることにより、成分が作物の細胞壁をすり抜け、従来の肥料よりも速く吸収される。例えば、窒素肥料では、施肥量のおよそ80%は外部環境へ流出してしまう⁴と言われており、そのような問題の解決への貢献が期待できる。

一般的な肥料は数mm以上の大きさである。それをナノ粒子まで小さくするには、肥料自体をナノ粒子化する、もしくはナノ粒子に肥料成分を吸着させるなどの方法がある。ナノ粒子の製造方法には、粉碎（ミル）などにより大きな物質を物理的に小さくする「トップダウンアプローチ」と、ゾルゲル法⁵などで化学的に合成するといった「ボトムアップアプローチ」がある。トップダウンアプローチは、ボトムアップアプローチと比較して、ナノ粒子化するためのエネルギーを多く消費する。また、粒子の分布が広がるため、大きなサイズの粒子も発生させてしまうなどの問題がある。一方で、ボトムアップアプローチはより均一な粒子の作製が可能になるが、溶液中での製造になるため、用途によっては乾燥・粉体化などの工程が必要になる。アプリケーションに合わせた経済合理性の高いプロセスの選定が重要になるだろう。

⁴ 国連環境計画（2019年）「フロンティア2018/19 新たに懸念すべき環境問題」

https://www.iges.or.jp/jp/publication_documents/pub/bookchapter/jp/10343/Frontiers2018-19_j_nitrogen_FINAL.pdf

⁵ 化学的な反応により溶液中で微細な粒子を均一に作製する方法

(米) Aqua-Yieldは、「nanoliquid」技術により10nm～100nmのナノ粒子に肥料成分を吸着させた肥料を開発、販売している(図表3)。同技術は、肥料以外にもバイオスティミュラントや農薬へも適用可能である。同社は事業拡大を図り、2023年10月、米国農務省(USDA)が主導する肥料の国内生産拡大プログラムを通じて約126万ドルの資金を得たことで注目されている。

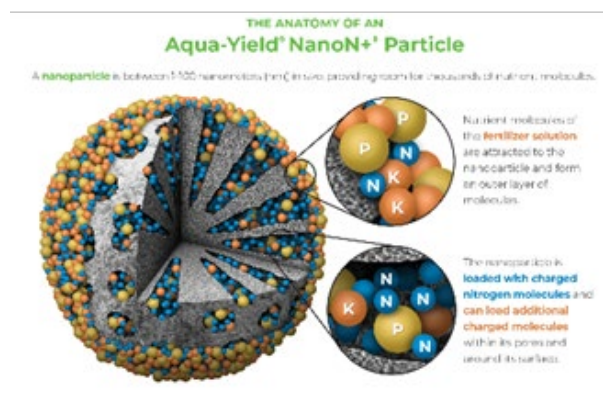
(2) 生分解性コーティング

被覆肥料は、肥料の周囲をフェノール樹脂などの材料でコーティングした肥料であり、高効率な肥料として1960年代より使われてきた。コーティングの厚みにより、肥料成分が溶けだす速さや作用期間を調節することができる。

近年では、被覆肥料のコーティング部分が、農地からマイクロプラスチックとして河川や海に流出することが問題視され始めている。そのような背景のもと、コーティング素材を生分解性の材料に置き換える取り組みが活発になっている。日本国内では、2022年に全国農業協同組合連合会など3団体が、「緩効性肥料におけるプラスチック被膜殻の海洋流出防止に向けた取組方針」を発表し、2030年までにプラスチックを使用した被覆肥料に頼らない農業を目指すとしている⁶。住友化学も2022年に、土壤中で高い分解性を有する樹脂を使った被覆肥料を登録した⁷。被覆肥料のさらなる環境負荷の低減を目指し、業界全体で取り組む姿勢がうかがえる。

こうした中、さらなる環境への配慮として、食料廃棄物などから生分解性コーティング用の材料を提供する企業が現れ始めている。2022年に三洋化成工業が、食用に適さない米(非食用米)由来の生分解性樹脂「ネオリザ」を使った被覆材を開発したことを発表している⁸。(独) Biowegは、食のサプライチェーンにおける食品残渣などから、肥料に使用可能な微生物を用いた生分解性プラスチックを開発している。同社は2023年11月に、医薬品・農業分野の大手(独) Bayerと、種子コーティングや被覆肥料の被覆材の研究開発での提携を発表した⁹。

図表3 : Aqua-Yieldのnanoliquid技術



出所 : Aqua-Yieldウェブサイト

<https://www.aquayield.com/our-technology>

⁶ 全国農業協同組合連合会他「緩効性肥料におけるプラスチック被膜殻の海洋流出防止に向けた取組方針」

http://www.jaf.gr.jp/pdf/202201_torimatome.pdf

⁷ 住友化学「分解性被覆肥料の開発について」(2022年5月24日)

https://www.sumitomo-chem.co.jp/news/detail/20220524_2.html

⁸ 三洋化成工業「非食用米を用いた生分解性樹脂「ネオリザ®」を用いた肥料被覆材を開発—環境負荷低減につながる被覆材で持続可能な農業の実現に貢献—」(2022年12月1日)

<https://www.sanyo-chemical.co.jp/wp/wp-content/uploads/2022/12/k20221201.pdf>

⁹ Bioweg “BIOWEG and Bayer Forge Collaborative Partnership to Develop New Biodegradable Seed Coatings and Formulation Materials”, 16 NOV 2023

<https://mb.cision.com/Main/14749/3876449/2432364.pdf>

このように、生分解性の材料が被覆材料へ使われることに加え、その原料や製法も含めてより環境に配慮したものへと転換していく可能性がある。

(3) バイオ炭

多孔質材料に肥料成分を吸着させることで肥料効率を向上させる取り組みがある。多孔質材料中の細孔に吸着した肥料成分は材料の中での移動速度が遅いため、外への拡散も遅くなる。この性質を利用すれば、効能を長期間持続させられる。

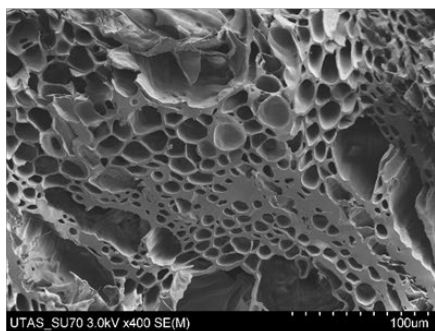
近年では、木材などを蒸し焼きにして作られるバイオ炭に注目が集まっている。バイオ炭とは、「燃焼しない水準に管理された酸素濃度の下、350℃超の温度でバイオマスを加熱して作られる固形物」と定義されている¹⁰。原料となる木材などはそのまま放置すると、微生物などにより分解され、二酸化炭素として大気中に放出されてしまうが、炭化して難分解性の状態にすることで、土壌中へ炭素を貯留することができる。2020年には、バイオ炭を農地施用することがJ-クレジット制度の対象として認められた。

バイオ炭は自然由来の多孔質材料であり、従来、保水性などを改善できる土壌改良資材としての働きが期待されていた。最近では、作物にとって有益な土壌微生物を担持させ、高付加価値化を狙う取り組みが増えている。

(米) bio365は、非常に小さな細孔を有するバイオ炭、「bioCORE」を開発した(図表4)。bioCOREは細孔中に水分を保持できるしくみになっている。そこに栄養素や微生物などを組み合わせた高機能のバイオ炭を開発・販売している。

(日) TOWINGは植物や食品の残渣を炭化させ、土壌微生物を吸着させた高機能バイオ炭「宙炭(そらたん)」を販売している(図表5)。2023年に同社は農林中央金庫と提携し、同金庫の持つネットワークをカーボンのクレジットの販売に結び付けるなどして、肥料の高付加価値化に取り組んでいる¹¹。

図表4 : bioCORE



出所 : bio365ウェブサイト
<https://www.bio365.com/benefits>

図表5 : 宙炭(そらたん)



出所 : TOWINGウェブサイト
<https://towing.co.jp/blogs/products/%E5%AE%99%E7%82%AD>

¹⁰ 農林水産省「J-クレジット制度における「バイオ炭の農地施用」の方法論について」

<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/climate/jcredit/biochar/attach/pdf/biochar-2.pdf>

¹¹ 農林中央金庫、TOWING「農林中央金庫と株式会社 TOWING との業務提携について」(2023年10月6日)

https://www.nochubank.or.jp/news/news_release/uploads/2023/23-

[28_%E8%BE%B2%E6%9E%97%E4%B8%AD%E5%A4%AE%E9%87%91%E5%BA%AB%E3%81%A8%E6%A0%AA%E5%BC%8F%E4%BC%9A%E7%A4%BETOWING%E3%81%A8%E3%81%AE%E6%A5%AD%E5%8B%99%E6%8F%90%E6%90%BA%E3%81%AB%E3%81%A4%E3%81%84%E3%81%A6.pdf](https://www.nochubank.or.jp/news/news_release/uploads/2023/23-28_%E8%BE%B2%E6%9E%97%E4%B8%AD%E5%A4%AE%E9%87%91%E5%BA%AB%E3%81%A8%E6%A0%AA%E5%BC%8F%E4%BC%9A%E7%A4%BETOWING%E3%81%A8%E3%81%AE%E6%A5%AD%E5%8B%99%E6%8F%90%E6%90%BA%E3%81%AB%E3%81%A4%E3%81%84%E3%81%A6.pdf)

今後の展望

高効率肥料は、化学肥料の過剰使用の抑制に繋がることから、持続可能な農業に向けた重要な資材となる。今後は上記の技術を用いた次世代の高効率肥料にも注目が集まるだろう。コストなどの課題はあるものの、日本をはじめ、北米、欧州、中国で使われ始めている。これらの地域での活用がさらに進めば、コストダウンも期待できる。現状、単位面積当たりの肥料の使用量が低く、今後の人口増加が見込まれるサブサハラアフリカなどの地域においても、高付加価値の作物を中心に高効率肥料が普及していくものと思われる。本稿で取り上げたナノ粒子化や生分解性コーティングの技術は、素材を扱う企業が強い分野でもあり、そのような技術を持った企業が既存の肥料メーカーと提携するなど、他分野からの参入余地もあるだろう。

原料に食料残渣などを使う企業も現れてきており、サーキュラーエコノミーの観点からも重要な取り組みと言える。ただし、廃棄物などを原料として確保することはサプライチェーン構築においてコストがかかり、原料の品質の安定化などは課題となり得る。

肥料自体の効率性を高めても、トータルの施肥量が過剰になっては意味がない。適切に使用するためには、例えば、衛星・航空機・ドローンなどを利用したリモートセンシングを組み合わせたモニタリングシステムの活用が考えられる。肥料が不足している区画に高効率肥料をピンポイントで施用することができれば、施肥管理をより効果的に行うことができるだろう。

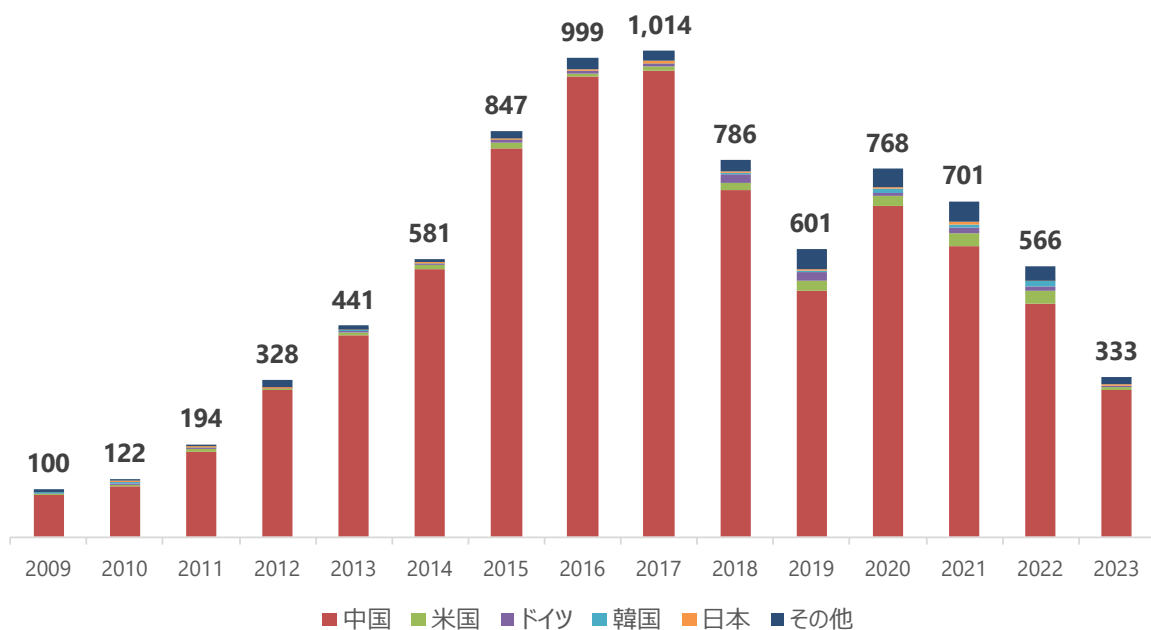
高効率肥料をより広く普及させるには、その効果をアピールすることに加えて、高効率肥料を使うことの意義を農家と共有していくことが大切だ。バイオ炭などによるカーボンクレジットといったインセンティブを活用して、少しずつ環境に優しい農業資材への転換を進めることが重要になる。

「高効率肥料」に関する知財レポート

技術・イノベーション情報部 知的財産室 松浦 由依

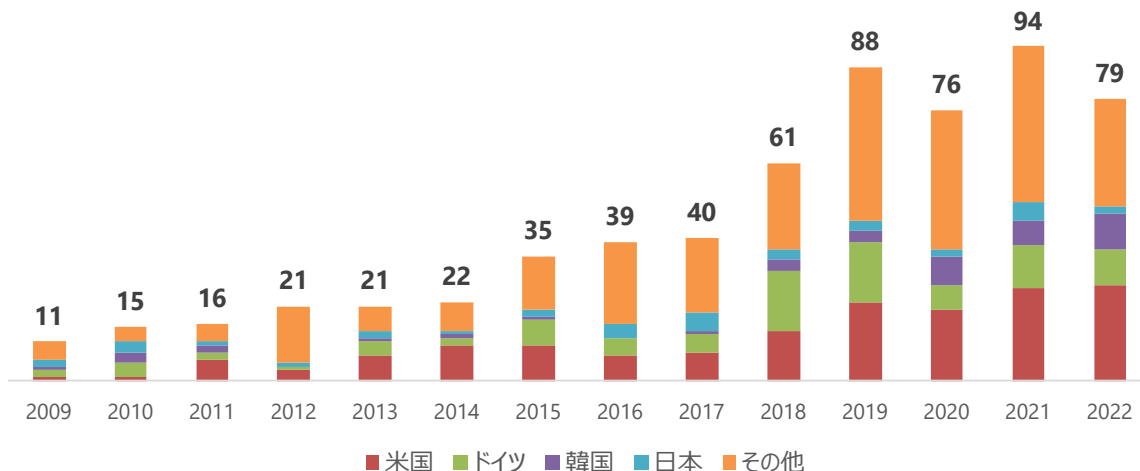
本稿では、『2024年に注目すべき技術』で取り上げた「高効率肥料」に関する特許出願の国際動向を調査・分析し、レポートする。すべての調査・分析はPatSnap社が提供するグローバル特許検索・分析ツールであるPatSnap Analyticsおよび各種技術情報検索ツールであるPatSnap Discoveryを利用して実施した。各種データの取得日は2023年12月1日である。

図表1：高効率肥料に関する特許出願の件数推移



出所：PatSnap Analyticsのデータから三井物産戦略研究所作成

図表2：高効率肥料に関する特許出願の件数推移（中国を除いたもの）



出所：PatSnap Analyticsのデータから三井物産戦略研究所作成

特許出願の年次トレンド

高効率肥料に関する特許出願件数は、グラフからわかるように中国からの特許出願件数が最も多く、全件数の92%を占めている。このため、中国からの出願件数の変動が全体の傾向に大きく影響しており、2017年のピーク以降、減少傾向にあるようにもみえる。しかし、中国を除くと、他の国々からの出願件数は増加していることが確認できる。なお、グラフ上、2022年の特許出願件数は減少しているが、特許出願が公開されるまでのタイムラグを考慮する必要がある。データより、2022年の最終的な特許出願件数（中国を除く）は約112件と予測される。

中国からの特許出願のうち中国以外の国にも出願される比率は2%であり、ほとんどが中国国内のみでの保護を求めている。参考までに、米国からの特許出願のうち米国以外の国にも出願される比率は79%である。この比率は、その国の技術が国外でどれだけ保護を求められているかを示す指標であり、その国のイノベーションが国際市場においてどれだけ影響力を持つかを反映している。

中国以外の国からの特許出願は、自国のほか、欧州、カナダ、オーストラリア、ブラジル、インド、オーストリア、メキシコなどさまざまな地域にも出願されている。

技術的焦点

2009年以降の特許出願データから技術的焦点について分析する。

高効率肥料に関する特許出願として、環境への影響を最小限に抑えることを目的とするさまざまな発明が出願されている。たとえば、遅効性窒素を含む肥料の組成により、肥料からの栄養素の放出が時間をかけて行われ、環境への流出を減らすことを意図する発明、栄養素の放出をコントロールする新しい肥料に関する発明、硝化阻害剤としての新規な混合物に関する発明などが出願されている。

また、環境に優しいアプローチとして、生分解性ポリマーでコーティングされた尿素肥料に関する発明、肥料の粒子が抗凝固剤として機能するナノ粒子を含むバイオベースの肥料コーティングに関する発明、生分解性材料から作られた液体肥料に関する発明なども出願されている。これらの発明は、生分解性材料の使用やナノテクノロジーの応用など、環境への影響を減らすためのアプローチを提案している。特に、インドからの出願が増加しており、持続可能な農業への関心の高まりを示している。

代表的な特許出願人

1. BASF（ドイツ）：硝化阻害剤の改良により環境への影響を最小限に抑える。
2. ジェイカムアグリ（日本）：生分解性および肥料成分の溶出コントロールに優れた被覆粒状肥料の開発。
3. Koch Agronomic Services（米国）：窒素安定化剤の使用や計算による窒素肥料の最適化。



「2024年に注目すべき技術」（フルレポート）は[こちら](#)

当レポートに掲載されているあらゆる内容は無断転載・複製を禁じます。当レポートは信頼できると思われる情報ソースから入手した情報・データに基づき作成していますが、当社はその正確性、完全性、信頼性等を保証するものではありません。当レポートは執筆者の見解に基づき作成されたものであり、当社および三井物産グループの統一的な見解を示すものではありません。また、当レポートのご利用により、直接的あるいは間接的な不利益・損害が発生したとしても、当社および三井物産グループは一切責任を負いません。レポートに掲載された内容は予告なしに変更することがあります。

