

「合成生物学、データ科学等の先端技術を利用した肥料成分の有効活用・省肥料化・肥料生産等に関する技術」に関する研究開発構想
(個別研究型)

令和7年4月

内閣府

文部科学省

目次

1 構想の背景、目的、内容.....	2
1.1 構想の目的.....	2
1.1.1 政策的な重要性.....	2
1.1.2 我が国の状況.....	3
1.1.3 世界の取組状況.....	3
1.1.4 構想のねらい.....	4
1.2 構想の目標.....	5
1.2.1 アウトプット目標.....	5
1.2.2 アウトカム目標.....	5
1.3 研究開発の内容.....	6
1.3.1 研究開発の必要性.....	6
1.3.2 研究開発の具体的内容例.....	7
1.3.3 研究開発の達成目標.....	8
2 研究開発の実施方法、実施期間、評価、社会実装に向けた取組.....	9
2.1 研究開発の実施・体制.....	9
2.2 研究開発の実施期間.....	10
2.3 評価に関する事項.....	10
2.4 社会実装に向けた取組.....	10

1 構想の背景、目的、内容

1.1 構想の目的

1.1.1 政策的な重要性

健康で充実した国民生活の基礎として重要な食料については、気候変動による耕作環境の変化や人口増加に伴う需要の拡大等により、世界的な食料需給が不安定化しつつある。さらに足元では、穀倉地帯であるウクライナ情勢の緊迫化が世界的な調達競争の激化を促進したことに見られるように、食料安全保障をめぐる課題が顕在化している。このため、我が国では、食料安全保障の強化に向けた構造転換対策を講じること¹し、過度な輸入依存からの脱却に向けた構造転換的な課題への対応、生産者の急減に備えた生産基盤の構造転換対策、生産資材等の価格高騰による影響緩和対策等の取組²が進められている。さらに、令和6年6月に施行された改正食料・農業・農村基本法³においては、新たに食料安全保障の確保を基本理念の一つとして掲げているところである。

こうした食料安全保障の確保においては、それに必要となる肥料の安定供給が課題となっている。我が国では、主要な化学肥料原料である尿素、りん酸アンモニウム、塩化カリウムのほぼ全量を海外からの輸入に依存⁴している。近年、世界的な穀物需給の変動等によって化学肥料原料の調達価格が不安定となっているほか、主要な化学肥料原料の供給国は特定の地域に偏在しているため、その政情変化等によって供給が停滞するなどの影響が生じており、我が国の農業現場への肥料の安定供給が脅かされている⁵。そうした状況を踏まえ、経済施策を一体的に講ずることによる安全保障の確保の推進に関する法律（令和4年法律第43号）に基づくサプライチェーンの強靱化の取組において肥料が「特定重要物資」に指定され、備蓄体制の構築が進められているところであり、この安定的な供給体制の構築は、経済安全保障の観点からも喫緊の課題である。

他方で、肥料の主要成分である窒素（N）、リン（P）、カリウム（K）

¹ 「物価高克服・経済再生実現のための総合経済対策」（令和4年10月28日閣議決定）

² 「食料安全保障強化政策大綱（改訂版）」（令和5年12月27日食料安定供給・農林水産業基盤強化本部）

³ 「食料・農業・農村基本法」（平成11年法律第106号）

⁴ 「肥料をめぐる情勢」（令和7年2月農林水産省公表）

⁵ 「肥料に係る安定供給確保を図るための取組方針」（令和4年12月28日農林水産大臣公表）

等は、国内においても家畜排せつ物や下水汚泥、食品残さ等の資源や土壌等に広く分布⁶しており、これを効率的に活用することは、我が国の肥料の安定供給に貢献していくことに繋がる。

こうした背景の下、本構想は、個別研究型として、研究開発ビジョン（第二次）で定められた「合成生物学、データ科学等の先端技術を利用した肥料成分の有効活用・省肥料化・肥料生産等に関する技術」において、我が国の技術による自律性の確保と国際的な優位性の獲得を目指すものである。

1.1.2 我が国の状況

我が国における肥料成分の有効活用・省肥料化を目指した研究開発は、土壌診断やスマート施肥システムによる適正施肥技術の開発、肥料の国内循環利用システム構築等を中心に進められている。先端技術を活用した研究開発については、大学や国立研究開発法人が連携し、土壌微生物のデータベース化、微生物機能の解析、栽培管理支援システムの開発等が進められている。

さらに、微生物叢データに基づく作物選定や栽培方法のコンサルティングの社会実装に向けた取組として、大学発のベンチャー企業も設立⁷されてきており、生物機能を利用した製品及び生産システムの開発等の社会実装が進みつつある。

1.1.3 世界の取組状況

近年、国内外において合成生物学とこれを活用した「バイオものづくり」に急速な進展がみられる。米国のスタートアップ企業では、微細藻類であるシアノバクテリアに遺伝子組換え技術を適用し、高純度のバイオ燃料を製造する取組が進められている。また、韓国では遺伝子組換え植物（ベンザミアナタバコ）を用いた動物用ワクチンが世界で初めて上市され、タイや米国でも植物を生産基盤としたワクチンや抗体の開発と試験が行われている。

肥料分野では、米国の「肥料生産拡大プログラム」において、家畜排せ

⁶ 「Plant nutrition for sustainable development and global health」(Ann Bot 2010 Apr)

⁷ 例えば、サンリット・シードリングス株式会社などがある。

つ物を用いた肥料開発を支援する取組が行われているほか、欧州では、下水汚泥を有機肥料や堆肥として農業に有効利用する取組や、下水処理後の汚泥中のリンを回収し再利用を図る取組が進められている。これらのほか、肥料の高機能化や環境負荷低減にも効果のあるナノスマート肥料やバイオ系肥料の開発が進展している。合成生物学等の先端技術を活用した取組では、オランダと米国でプラズマ技術を用いた環境負荷の低い窒素固定技術の開発や、水素細菌を活用した土壌内での窒素固定化の研究開発が進められている。

1.1.4 構想のねらい

我が国における食料安全保障の確保は、国内の農業生産の増大を基本とし、これと併せて、国内生産では賄えない食料の安定的な輸入の確保、凶作や輸入の途絶等の有事に備えた備蓄を図ることによって行われている。国内の農業生産の増大のためには、人、農地や生産資材等の資源が確保され、土地生産性及び労働生産性の向上により食料自給力を確保することが必要である。農業の重要な生産資材の一つである肥料は、作物の成長に不可欠な窒素、リン、カリウムなどの栄養分を補給する役割を果たしており、無肥料で作物を栽培する場合、一般的に、化学肥料を与えて作物を栽培する場合と比べ収量や品質の低下が起きることとなる。無肥料での栽培が作物の収量等に与える影響は、作物の種類や土壌条件等によって異なるが、過去の無肥料での栽培試験によると、例えば、水稻で 22%減収、麦類で 61%減収となるという試験結果⁸が示されている。

一方、化学肥料原料となる資源は世界的に一部の地域に偏在しており、輸入に依存している我が国も肥料原料輸出国の動向により世界の肥料の需給がひっ迫すると、農業生産の不安定化に直結する状況にある。近年の国際情勢の変化により、化学肥料原料の価格の高騰や供給リスクが顕在化しており、我が国における安定的な供給体制の構築は経済安全保障の観点からも喫緊の課題である。

このため、本構想では、合成生物学やデータ科学等の先端技術を活用し、土壌等に広く分布している肥料成分の有効活用、少ない肥料でも作物が収穫できる省肥料化、未利用資源を活用した肥料生産の各領域における革新

⁸ 「肥料制度の解説」（令和 5 年 10 月農林水産省公表）

的な技術の開発を行う。これらの技術開発を通じ、特定重要物資である肥料の国産化を促進し、有事に向けた食料安全保障の強化を図るとともに、我が国の技術自律性の確保と国際競争力の向上に貢献することを狙いとす

る。

また、本構想で開発する技術は、近年の気候変動に適応できる強靱な植物や、その影響を緩和する農業資材等の開発への応用が期待でき、これにより国内外の未利用肥料資源の戦略的活用や国内バイオ産業の底上げに寄与することが期待される。

1.2 構想の目標

1.2.1 アウトプット目標

本構想では、合成生物学やデータ科学等の先端技術を活用し、土壌等に広く分布する肥料成分を効率的に回収して作物生産に有効活用する技術体系の開発、イネやイモ類のような主要な農作物や飼料を対象として省肥料で生育可能な革新的植物の開発、未利用資源から肥料を生産する技術等の開発に取り組む。これにより、有事において肥料供給が停滞した場合でも、農作物の減収による食料供給の不足を解消できる技術の性能指標の獲得を目指すことで、食料自給力の向上を図る。開発した技術は、ほ場等で実証し、その効果を定量的に評価する。平時にも活用可能な技術については、例えば温室効果ガス排出量等において既存の肥料製造技術以下の環境負荷であるか、現在供給されている肥料が変動する価格帯と同等の価格帯で供給可能な経済性を有するか、等の観点からも検証し、持続可能な食料生産システムとして、事業終了後に公的利用及び民生利用への社会実装につなげていく。ただし、本構想に基づく研究開発においては、合成生物学を活用してゲノム編集等を施した微生物を開放環境中で用いることは想定していない。

1.2.2 アウトカム目標

本構想で開発される肥料関連の革新的技術を活用・普及し、有事の際に国民の生存に直結する食料自給力の確保に貢献することを目指す。また、土壌、大気、下水汚泥、食料残さ、海水等の国内未利用資源を最大限に活用した肥料生産と有効利用、さらに省肥料での作物生産を実現することで、

肥料使用量に対する国内資源利用割合は、「食料・農業・農村基本計画」にて示される目標値に貢献する。

本構想で開発される技術は、下水汚泥、食料残さ、工業副産物等の産業廃棄物の肥料化や、省肥料で栽培可能な植物が普及されれば農地からの温室効果ガスの排出削減や窒素の流出による河川・湖沼の富栄養化等の低減にも貢献する。また、肥料成分であるリンやアンモニアは、半導体、医薬品、バイオ燃料の原料としても高い需要が見込まれるため、関係省庁と緊密に連携し、環境親和性の高い資源循環型農業の実現や、幅広い産業への需給保障への貢献が期待される。さらに、肥料以外の農業分野においても、開発される微生物や植物の機能強化及びそれらの相互作用を活用する技術により、病虫害防除や生理状態の改善に寄与する微生物農薬やバイオステイミュラントの開発、気候変動に強い植物の育成等への応用が期待される。

さらに、研究開発には若手研究者の積極的な参画を促し、関連分野における高度な人材育成にも貢献する。

1.3 研究開発の内容

1.3.1 研究開発の必要性

肥料は国民の生命を守る食料生産の基盤であるが、我が国は主要な化学肥料原料のほぼ全量を輸入に依存しており、国際情勢の変動等に伴って供給途絶リスクが顕在化している。したがって、有事においても安定した肥料供給を確保するために、肥料成分の有効活用、省肥料化、そして肥料生産に寄与する革新的技術の獲得が必要である。

近年、国内外において急速に進展する合成生物学と、これを活用した「バイオものづくり」は、化学素材、燃料、医薬品、動物繊維、食品等、様々な産業分野で利用されている。しかし、肥料成分の有効活用、省肥料化、肥料生産等において、これらを十分に活用した技術は国内外でまだ確立されていない。国内に蓄積された繊細な発酵制御や、物理的・化学的な物質の吸着・回収技術、世界トップレベルの遺伝子改変技術とシステム生物学的アプローチ、さらにはデータサイエンスやAIなどの新技術も活用した微生物・植物相互作用研究等、我が国の強みを最大限に活かし、肥料成分の有効活用、省肥料化、肥料生産における我が国独自の革新技術を確立する。その際には、我が国の多様な土壌環境に対応した技術適用性の評価

もあわせて実施する。これらの取組により、肥料の確保・維持に関わる我が国の技術的優位性・自律性を強化する必要がある。

1.3.2 研究開発の具体的内容例

以下の例と関連する研究開発を実施することで、特定重要物資である肥料の自給率向上を促進し、我が国の食料安全保障の確保と持続可能な農業の実現に貢献する。

(1) 微生物等を活用した肥料成分を有効活用する技術の開発

肥料成分は、大気や土壌等、国内にも広範囲に薄く分散して存在するが、現状、これらを十分に活用できていない。合成生物学、データ科学、システム生物学等の先端技術を利用し、微生物群、植物、土壌の相互関係を解明・強化することで、これらの肥料資源を効率的に回収し、食料生産等へ有効活用する技術の開発を行う。

・微生物を用いた肥料成分回収技術

合成生物学等を利用し、大気や土壌等に低濃度で分布する肥料成分を効率的に回収・可溶化する能力を微生物に対して付与する技術の開発。

・微生物と植物の共生制御技術

蛍光等によるバイオイメーキングやデータ解析技術等を利用して、多様な環境における微生物群、植物、土壌の相互関係を解明し、その機能を包括的に評価する指標（土壌生物性指標）を確立するとともに、これを利用して相互関係を強化することで、植物への肥料成分供給量を高める技術の開発。

・植物に肥料成分を高貯蔵させる技術

合成生物学等を利用し、植物を改変することで微生物との相互関係を強化し、供給された肥料成分を高貯蔵する植物の開発。

・肥料成分高貯蔵植物の活用技術

データ科学等を利用し、肥料成分を高貯蔵する植物を、緑肥やコンパニオンプランツとして作物生産に活用するための栽培パラメータの開発。

(2) 省肥料で植物を育成する技術の開発

肥料成分が不足する場合、作物の収量は顕著に低下するが、肥料成分の吸収・利用効率は植物自身の能力や作付けされる土壌の種類や微生物の性

質に大きく依存する。イネやイモ類のような主要な農作物を対象に、化学肥料使用量を効果的に削減するため、先端技術を活用して肥料成分の吸収・利用効率を高め、省肥料で栽培可能な植物や、微生物と植物の相互関係を活用した関連技術の開発を行う。

- ・肥料成分動態解析技術

植物が肥料成分を代謝・利用する過程について、放射性同位元素（RI）イメージングやデータ解析技術等を利用して詳細に解析し、合成生物学等を用いて改良すべき非効率なプロセスを特定する技術の開発。

- ・革新的省肥料植物の作製技術

合成生物学等を利用し、肥料成分の代謝・利用プロセスに改良を加え、肥料成分を効率的に吸収・利用できる革新的な省肥料植物を開発。

- ・省肥料で植物を栽培する技術

データ科学等を利用し、施肥量を抑制しつつ作物や飼料として十分な収量を得られる栽培技術や、肥料の吸収を促進し省肥料化を図るバイオスティミュラント等の開発。

- ・省肥料で栽培可能かつ強靱な植物の創出

イネまたはイモ類を対象に、合成生物学等の先端技術を利用し、省肥料で栽培できる植物に環境ストレスや病害に強い性能を付与した植物を開発。開発された植物の農業現場での普及を想定し、その性能をほ場レベルで定量的に明らかにするための試験栽培を実施。

(3) 未利用資源や植物等から肥料成分を生産する技術の開発

下水汚泥、食料残さ、家畜排せつ物、産業排水、海水等の肥料成分を含む未利用資源や、肥料成分を高濃度に含む植物バイオマス等を肥料生産に活用するため、生物的、化学的、物理的手法のほか、これらを組み合わせた手法により肥料成分を選択的に吸収・濃縮し、肥料生産や産業利用に活用する技術の開発を行う。

1.3.3 研究開発の達成目標

肥料成分を効率的に回収し有効活用する技術体系、省肥料で育成可能な革新的植物、未利用資源から肥料を生産する技術等、各要素技術を統合し、安定した肥料供給による食料自給力の確保を実現する革新的な性能指標を

提示する。さらに、開発した技術の一部は平時にも活用できるよう、コスト面や環境負荷における有効性についても検討する。

性能指標としては、例えば、農作物栽培時の肥料投入量の削減割合、微生物を活用した肥料成分の回収量・回収効率、無施肥で栽培した場合の植物の収量、未利用資源からの肥料生産効率などが考えられる。

より具体的な目標は、提案者の設定した個別の達成目標を基本としつつ、文部科学省及び JST のサポートの下、採択後、研究開発を開始するにあたって行う研究計画の調整において定めるとともに、研究開発開始後は、協議会における意見交換の結果も踏まえ、必要に応じて目標の見直しを行う。

2 研究開発の実施方法、実施期間、評価、社会実装に向けた取組

2.1 研究開発の実施・体制

アウトプット目標に関する研究開発提案（全てのアウトプット目標を実施する研究開発提案を含む）を広く募ることとする。

研究開発課題の決定にあたっては、本構想のアウトプット目標等をより詳細に設定するため、研究開発対象となり得る技術動向を踏まえて、プログラム・オフィサー（PO）、当該関係分野の有識者、関係府省等による意見交換を経た上で研究公募を行う。

一部の課題は実現可能性調査（FS）として研究を実施することとし、その後、当該研究の結果等を基にステージゲート法による評価を行い、本格的な研究開発に移行することとする。その際、FS 実施期間については国際情勢等を考慮して柔軟に設定することとする。

また、研究代表者（研究開発課題の実施責任を法人が担う場合は当該法人を含む。以下同じ。）は、PO の指揮・監督の下、本構想の実現に向け責任を持って研究開発を推進する。JST 等の助言に基づき、研究代表者は、適切な技術流出対策を行うよう体制を整備するとともに、研究インテグリティの確保に努め、適切な安全保障貿易管理を行うよう、これらを推進するとともに、研究開発に必要な事項を行う。

さらに、研究開発成果を民生利用のみならず公的利用にもつなげていくことを指向し、社会実装や市場の誘導につなげていく視点を重視するという本プログラムの趣旨に則り、研究代表者は PO 及び研究分担者との協議の上、知的財産権の利活用方針を定めることとする。その際には、研究開

発途中及び終了後を含め、知的財産権の利活用を円滑に進めることができるように努めることとする。

なお、研究開発成果の利活用にあたりその成果にバックグラウンド知的財産権が含まれる場合には、その利活用についても同様に努めることとする。

2.2 研究開発の実施期間

各研究開発課題の実施期間は原則 6 年以内とする。構想全体で最大 45 億円程度の予算を措置する。

2.3 評価に関する事項

自己評価は毎年実施する。外部評価の実施時期は原則、研究開発の開始から 3 年目に中間評価、研究開発終了年に最終評価を実施する。具体的な時期については、担当する PO が採択時点でマイルストーンを含む研究計画とともに調整した上で、JST が決定するものとする。

2.4 社会実装に向けた取組

本構想は、肥料成分の有効利用、省肥料化、肥料生産に寄与する革新的技術の開発を通じ、有事において国際的な肥料供給の不安定性に左右されない強固な肥料自給システムの構築を目指すものである。一方、開発される技術の一部は、次のような社会実装が想定される。例えば、未利用資源等から肥料を生産する技術からは、下水汚泥などの産業廃棄物の活用に展開できるほか、省肥料で育成できる植物では、農地から流出する肥料成分による土壌や地下水の環境汚染の低減に寄与する公的利用が期待される。また、微生物を活用して肥料成分を有効活用する技術及び未利用資源等から肥料を生産する技術からは、バイオスティミュラントなどの農業用資材や、半導体・医薬品・バイオ燃料等の工業用原料としての民生利用への展開が期待される。このためには、研究代表者と潜在的な社会実装の担い手として想定される関係行政機関や民間企業等との間で、将来的な共同開発の実施に向けた調整や、社会実装イメージ及び研究開発の進め方を議論・共有する取組等の伴走支援が有効である。なお、ゲノム編集等の合成生物学を活用して開発された技術については、円滑な社会実装を実現するため、

研究開発期間中から、開発された技術に応じた必要な規制対応方針を確認し、技術の特性、安全性及びベネフィットを整理する。また、これらの情報を社会に正確に伝えるアウトリーチ活動を実施し、社会受容の促進を図る。

したがって、今後設置される協議会を活用し、参加者間で機微な情報も含め、社会実装に向けて研究開発を進める上で有用な情報の交換や協議を安心して円滑に行うことのできるパートナーシップを確立することが重要であり、関係者において十分にこの仕組みの運用を検討する必要がある。なお、協議会の詳細は別に示す。また、PO は研究マネジメントを実施する際には、協議会における意見交換の結果も踏まえるものとする。