

生産性と環境負荷低減を両立する データ駆動型土壌管理技術の開発 研究開発とSociety 5.0との橋渡しプログラム (BRIDGE)

令和5年度研究開発計画 【最終評価様式】

令和6年5月
農林水産省

○実施する重点課題に○を記載（複数選択可）

業務プロセス転換・政策転換に向けた取組	SIP/FS等より抽出された取組	SIP成果の社会実装に向けた取組	スタートアップの事業創出に向けた取組	若手人材の育成に向けた取組	研究者や研究活動が不足解消の取組	国際標準戦略の促進に向けた取組
	○	◎				

○関連するSIP課題に○を記載（主となるもの）

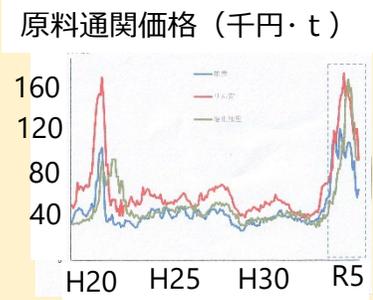
持続可能なフードチェーン	統合型ヘルスケア	包摂的コミュニティ	学び方・働き方	海洋安全保障	スマートエネルギー	サーキュラーエコノミー	防災ネットワーク	インフラマネジメント	モビリティプラットフォーム	人協調型ロボティクス	バーチャルエコノミー	先進的量子技術基盤	マテリアルの事業化・育成エコ
○													

1-1. 「生産性と環境負荷低減を両立するデータ駆動型土壌管理技術の開発」の位置付け

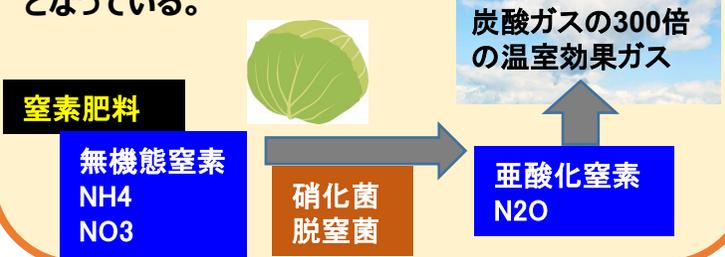
背景

【社会的課題】

・食料をめぐる情勢は大きく変化しており、国際紛争による肥料価格高騰等、不測の事態が起こるリスクが増大。このため、**化学肥料低減対策の普及が急務**。



・地球環境問題とSDGsへの対応に向け、農薬・肥料や化石燃料の使用抑制等を通じた**環境負荷の低減が必要**となっている。



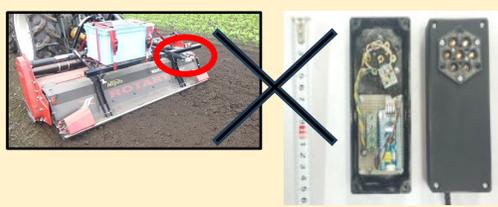
【対応施策】

・2022年9月に「**食料安定供給・農林水産業基盤強化本部（本部長岸田総理）**」を設置し、肥料価格高騰対策等を講じる。12月には **経済安全保障推進法** に基づく特定重要物資として化学肥料を指定。

・「**みどりの食料システム戦略**」では生産性力向上と持続性の両立を実現するため、2050年の達成目標として**化学肥料3割低減**を掲げている。

【ボトルネック】

・収量を維持しつつ施肥量を**低減**するには、**土壌中の養分含量や土壌物理性等の圃場内位置別の過不足を把握する必要があるが、そのセンシング手法が未確立**。

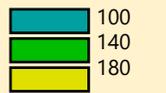


土壌センシング手法

・化学肥料の低減に資するスマート農業技術としては**可変施肥技術（SIP1）**があるが、追肥体系が中心であり、**施肥量の多い露地野菜の基肥を土壌に紐づくデータにより可変施肥できる手法は未整備**。



施肥量(kg/10a)

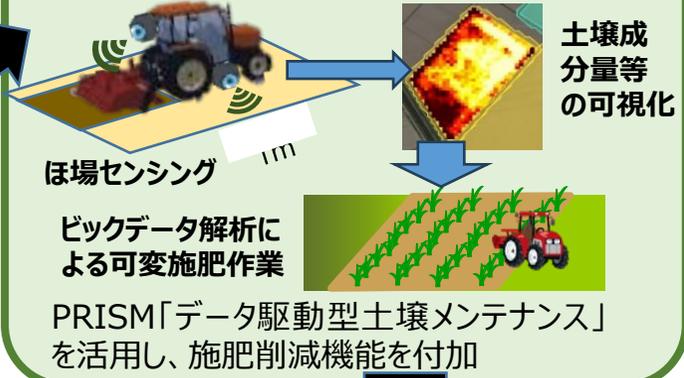


可変施肥マップ

BRIDGEでの取り組み

【研究内容】

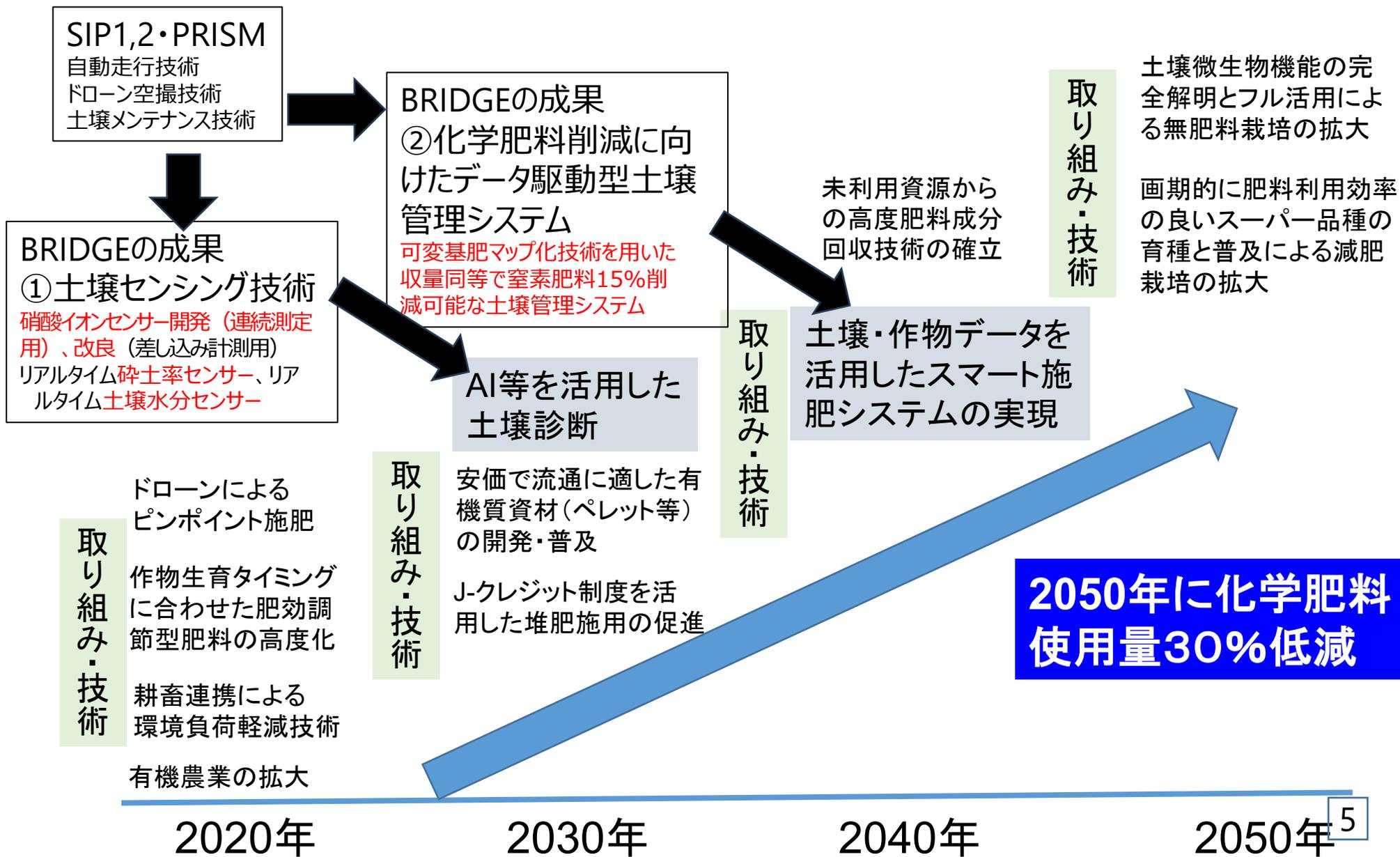
- ① **土壌ビッグデータ収集のためのセンシング技術の開発**
 - ・硝酸イオンセンサー等の実用化改良開発
 - ・センサー等による土壌ビッグデータの収集と土壌窒素量マップ化技術の開発
- ② **化学肥料削減に向けたデータ駆動型土壌管理システムの開発・実証**
 - ・収量・生育予測モデルの窒素施肥への対応改良
 - ・①の成果を活用した**土壌管理システム**開発と**肥料施用量削減効果の現地実証**



【社会実装】

- ・システムの普及・維持管理は農研機構が分担
- ・一部成果は企業により試験販売・運用を検討
- ・**農水省事業を活用し、国内農機メーカーおよびICTベンダーとの共同開発や現地実証を推進**
- ・農水省関係部局や技術移転先民間企業等による「**社会実装戦略検討会**」を設置して**具体的社会実装戦略を検討**

みどりの食料システム戦略への貢献 (化学肥料の使用低減に向けた技術革新 工程表)

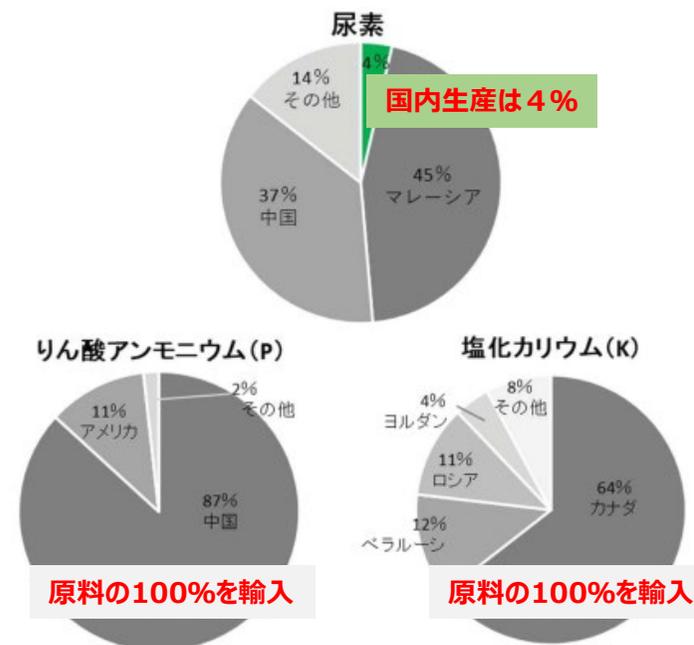


2. 解決する社会課題・背景／現状

<社会課題>

- 近年、食料をめぐる情勢は大きく変化しており、国際紛争による肥料価格高騰等、不測の事態が起こるリスクが増大。このことから、**化学肥料の低減対策等の普及が急務**となっている。このため、政府は、2022年9月に「食料安定供給・農林水産業基盤強化本部(本部長岸田総理)」を設置し、12月には**経済安全保障推進法に基づく特定重要物資として化学肥料を指定するなど**、供給安定化対策等を講じている。
- 加えて、地球環境問題への対応に向け、農薬・化学肥料や化石燃料等環境負荷の低減が必要なことから、「**みどりの食料システム戦略**」(農水省)では、2050年を目標に**化学肥料3割低減**(戦略KPI)を掲げている。
- さらに、統合イノベーション戦略2022では、サイバー空間とフィジカルの融合による新たな価値の創出を目指し、食料・農林水産分野ではスマート農業の早期社会実装を図ることとしている。

以上の食料安保や環境保全等の社会課題解決をめざした施策に、本施策は対応するものである。



化学肥料の輸入先
(2019年7月～2020年6月)

<背景／現状>

- 収量を維持しつつ施肥量を削減するには、土壌中の養分含量及び土壌物理性等の圃場位置別の過不足や良否を把握する必要があるが、その**センシング手法が未確立**である。
- 化学肥料の**低減**に資するスマート農業技術としては可変施肥技術があるが、追肥体系が中心であり、**土壌に紐づくデータにより基肥を可変施肥できる手法は未整備**である。
- このため、農林水産省では、2024年度を目標年度として土壌センシングデータに基づくスマート農機の作業指示システム「**データ駆動型土壌メンテナンス**」の開発を進めてきたところである。
- 本施策ではこの**開発スピードを加速するとともに**、施肥削減機能を付加した「**データ駆動型土壌管理システム**」の導入による化学肥料の大幅な低減効果を現地圃場で実証する。

● 研究開発等の内容

- データ駆動型土壌管理技術の社会実装に向け、SIP等において抽出された課題である要素技術の研究開発を進めると共に全体システムを構築する。
- 本事業における課題として、①土壌ビッグデータ収集のためのセンシング技術の開発、②化学肥料削減に向けたデータ駆動型土壌管理システムの開発・実証を実施し、SIP成果であるスマート農機の社会実装に向けた取り組みを進める。
- ①土壌ビッグデータ収集のためのセンシング技術の開発では、データ駆動型土壌管理技術の根幹となるセンシング技術を開発する。特に土壌物理性(碎土率、土壌水分)、土壌化学性(硝酸イオン濃度)のセンシング技術開発を推進し、碎土率センサーについてはR7年度から農作業機メーカー等と製品化に向けた開発を行うための改良開発を行う。半導体式硝酸イオンセンサー(連続測定用)については、原理検証を終え、実用化に向けた開発を進めるための試作機を完成させる。併わせて、これらのセンサーの試作機を用いて生産者圃場でビッグデータの収集と蓄積を図る。
- ②化学肥料削減に向けたデータ駆動型土壌管理システムの開発・実証では、喫緊の課題である化学肥料削減を目標として、①で開発した「本作前の緑肥の生育量(ドローン空撮)と電気化学式硝酸イオンセンサー(差し込み計測用)から土壌窒素量を推定してマップ化する技術」、および「施肥量削減に対応するキャベツ収量予測モデル(施肥設計関数)」に基づき、可変基肥マップ化技術を確立する(データ駆動型土壌管理システム)。さらに、生産者圃場において収量、肥料削減量などデータ駆動型土壌管理システムの効果の実証を進める。また、開発するシステムの適用範囲を拡大するため、気象・土壌条件の異なる地域での実証を開始する。
- BRIDGE「重点課題」との整合性については、本施策は、SIP1及びSIP2で開発された成果(スマート農業技術)を活用しつつ、当該成果に土壌管理機能を付加・高度化し、スマート農機を導入したデータ駆動型農業の普及の加速化を意図したものであるため、重点課題「SIP成果の社会実装」に整合する。

●目標

- SIP1及びSIP2で開発された**スマート農機に装着し、自動走行・自動計測・自動制御が可能な「データ駆動型土壌管理システム」**として**2023年度内に完成**させる(TRL5~7)。
- 「データ駆動型土壌管理システム」については、**複数の国内農機メーカーおよびICTベンダーと共同開発の上、技術移転を図る**。一部の開発技術については**2024年度から実用化し(BRL5~7)**、他は**スマート農業関連プロジェクト、「データ駆動型土づくり推進事業」**等を活用した**改良・実証と全国普及を進める**。これらの取り組みを進める中で、**データ駆動型土壌管理システムを実装した営農支援サービスの普及が飛躍的に進展する**。
- 「データ駆動型土壌管理システム」を装着したスマート農機の普及により、担い手農家のほぼすべてがデータ駆動型農業を実践できるようにするとともに、スマート農業等に関連する事業等に活用されることにより、他の技術開発とも組み合わせ、**みどりの食料システムに掲げた**化学肥料の3割低減(2050年目標)**を前倒し、**農業者が高騰する肥料価格等に対処**できるようにする(2040年 TRL7~8、BRL7~8)。**

社会実装にあたっては、本システムが農林水産省の重点施策である「みどりの食料システム戦略」、「スマート農業の推進」の方向性と合致することから、これらに関連した「グリーンな栽培体系への転換サポート」、「農業支援サービス事業緊急拡大支援対策」におけるスマート営農支援サービスや肥料節減に対する支援施策を活用することにより、シナジー効果および本施策の費用対効果を最大化させ、速やかな社会実装を図る。

3-3. 研究開発等の内容・社会実装の目標

テーマ名	実施内容概要 到達目標 (KPI)	R5年度実施内容 目標達成状況 (KPI)
<p>① 土壌ビッグデータ収集のためのセンシング技術の開発・実証</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・硝酸イオンセンサー等の実用化改良開発 ・農機搭載センサー等による土壌ビッグデータの収集及び可変施肥検量線の作成技術の開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・半導体式硝酸イオンセンサーについて、温湿度センサーを搭載した土壌センサモジュールを試作、実験室内において硝酸イオン濃度に応じて電流値が変化することを確認、原理検証を完了した。リアルタイム碎土率センサー、リアルタイム土壌水分センサーを開発し、生産者圃場において作業と同時に碎土率、土壌水分データを取得、マップを作成した。 ・全国6カ所の生産者圃場で碎土率センサ、土壌抵抗センサによる土壌ビッグデータを収集(約15,000メッシュ)した。また、本作前の緑肥の生育量(ドローン空撮)と電気化学式硝酸イオンセンサーから土壌窒素量を推定し、マップ化する技術を開発した。
<p>② 化学肥料削減に向けたデータ駆動型土壌管理システムの開発・実証</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・野菜の可変施肥の適応地域拡大と、地域毎の適期収穫による生産安定化のための野菜用収量・生育予測モデルの窒素施肥への対応改良 ・収量センサー付収穫機による野菜(キャベツ等)の収量マップ生成、野菜現地実証ほ場の生産性評価を実施 ・肥料費削減のためのデータ駆動型土壌管理システム開発・検証 ・緑肥の活用による肥料成分の溶脱量削減と有機物投入効果を合わせて、化学肥料の施用量削減効果を現地ほ場で実証 	<ul style="list-style-type: none"> ・キャベツの収量予測モデルにおいて、従来の気温、日射量に加えて窒素施肥量を入力に加え、窒素施肥量の削減に対応したモデル(施肥設計関数)を開発した。適応地域拡大のため、茨城県に加えて鹿児島県でも実証を実施した。 ・キャベツの収量センサー付収穫機を改良し、茨城県の生産者圃場における現地実証試験において収量マップの作成と生産性評価に用いた。 ・①で得られた土壌窒素量マップ化技術と、上記施肥設計関数を活用して可変基肥マップ化技術を開発するとともに(肥料費削減のためのデータ駆動型土壌管理システム)、茨城県のキャベツ生産者の圃場においてその効果検証に供した。 ・茨城県のキャベツ生産者圃場では、データ駆動型土壌管理システムに基づく可変施肥により化学肥料の施用量を15%削減しても一律施肥と収量に差がないことを確認し、同システムの化学肥料施用量削減効果を実証した。また、鹿児島県の生産者圃場においても、化学肥料施用量を8%削減し、収量に差がないことを実証した。

3-4. 研究開発等の内容・社会実装の目標

【テーマ① 土壌ビッグデータ収集のためのセンシング技術の開発】

【研究成果及び達成状況】

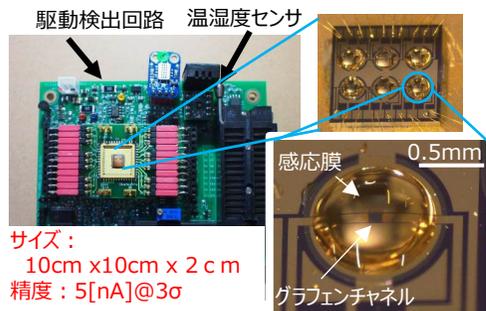
- 硝酸イオンセンサーについて、温湿度センサーを搭載した**土壌センサモジュール**を試作し、実験室内において硝酸イオンの吸着により電流値が変化することを確認、**原理検証を完了**した。
- 砕土率**、**土壌水分のリアルタイムセンサー**を開発し、農機に搭載した。圃場において耕うん作業と同時にセンシングし、**砕土率の誤差13.7%(目標値 $\leq 15\%$)**、**土壌水分誤差 $\pm 2.2\%$ ($\leq \pm 5\%$)**を達成した。

硝酸イオンセンサーの開発

硝酸イオンを直接検出する半導体式硝酸イオンセンサーを開発した。

10cm角の基盤上に6個のグラフェンチャンネルと温湿度センサーを搭載するモジュールを試作し、実験室内で硝酸蒸気に暴露し、硝酸態窒素濃度に従い出力が変化することを示した。

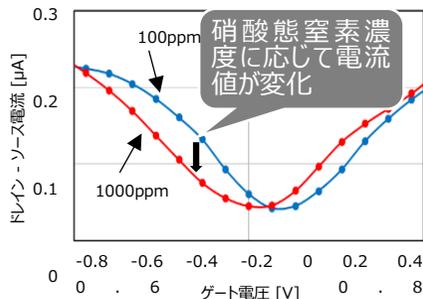
従来のセンサでは不可能だった、農機搭載による連続測定及び低水分土壌の測定が可能になり、硝酸イオン濃度に基づく可変施肥の高精度化が期待できる。



サイズ：
10cm x 10cm x 2cm
精度：5[nA]@3σ

試作した土壌センサモジュール

関連特許2件(特願2022-129576、特願2023-59728)
学会発表1件(2023 IEEE SENSORS, Oct. 2023)



硝酸態窒素吸着による
ドレインソース電流シフト

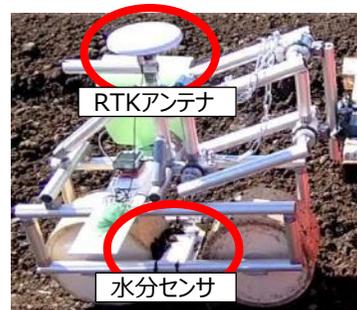
土壌水分の光学式リアルタイムセンシング技術

耕耘時に**土壌表面水分を直接・リアルタイムに計測**するLED式土壌表面水分センサを開発した。

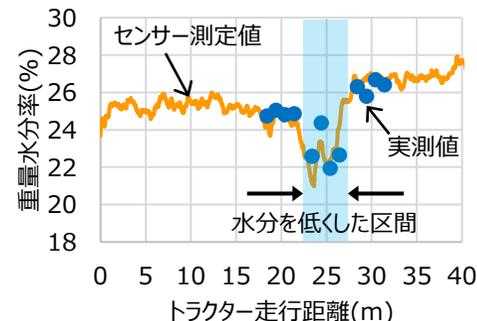
LEDによる**軽量化**、**低消費電力化**により作業機への搭載を可能とし、**誤差 $\leq \pm 2.2\%$ (目標値 $\leq \pm 5\%$)**で土壌水分のセンシングに成功し、収量向上への道筋を得た。



収量向上



作業機搭載した土壌水分センサ



圃場における水分測定結果

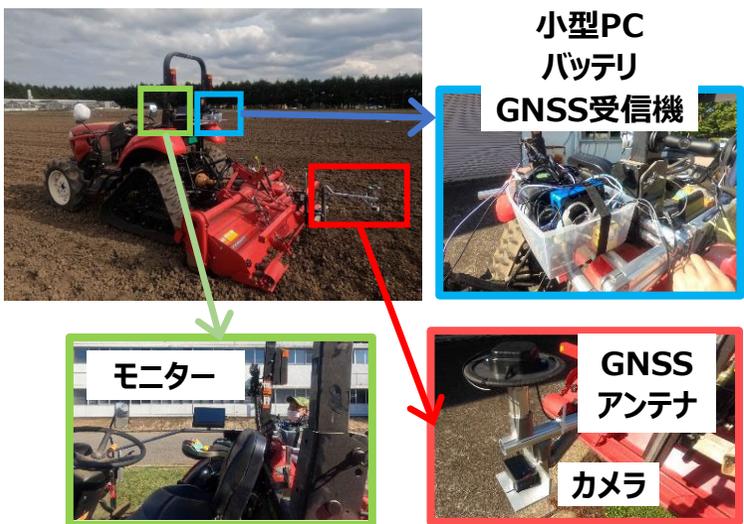
関連特許1件(特願2024-052279)

3-5. 研究開発等の内容・社会実装の目標

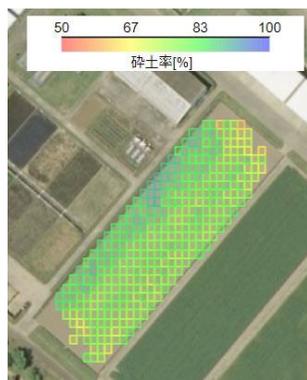
【テーマ① 土壌ビッグデータ収集のためのセンシング技術の開発】

リアルタイム碎土率センサーの開発

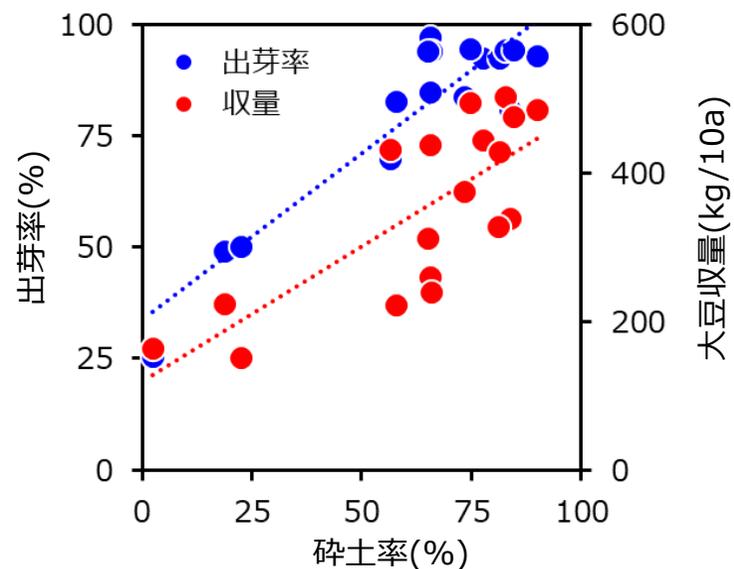
- 耕うん作業と同時にリアルタイムで碎土率を算出し、モニターに表示するシステムを開発した。
- 人手による実測値とセンシング値の決定係数は $R^2=0.80$ 、誤差RMSE=10.1% (目標値 $\leq 15\%$)であった。
- 画像取得から碎土率算出までの平均時間は4.5s(画像処理2.4s+撮影2.1s: マップ作成時の目標値 $\leq 10s$)であり、耕うん作業と同時に碎土率をセンシングし、マップ作成が可能となった。
- 大豆栽培において、碎土率を向上させることで出芽率、収量が向上することが期待できる。



リアルタイム碎土率センサー概要



試験圃場の碎土率マップ

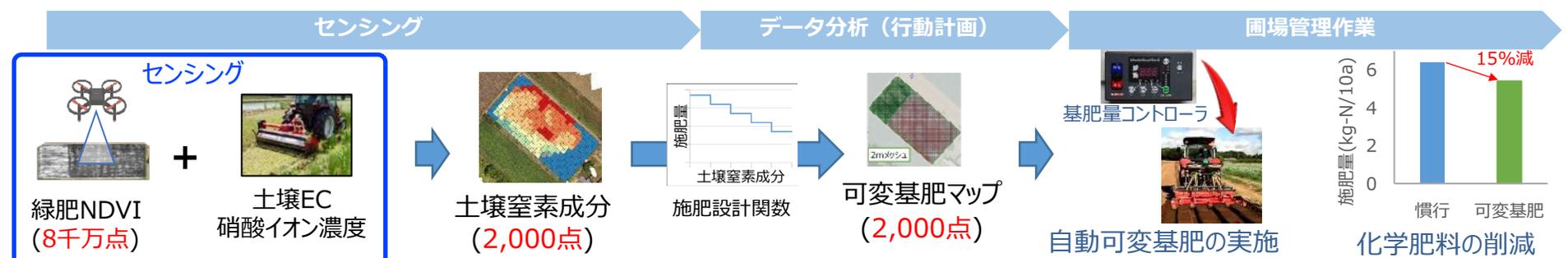


碎土率の出芽率・収量への影響

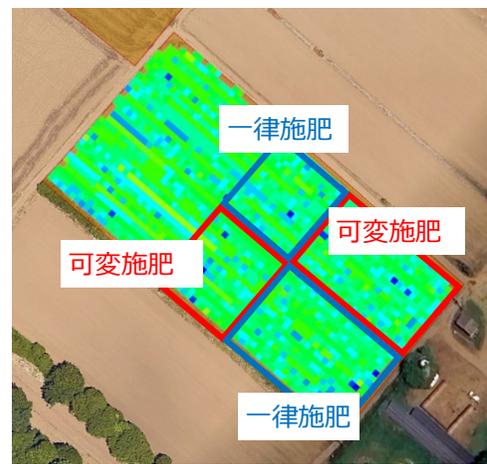
3-6. 研究開発等の内容・社会実装の目標

【テーマ② 化学肥料削減に向けたデータ駆動型土壌管理システムの開発・実証】

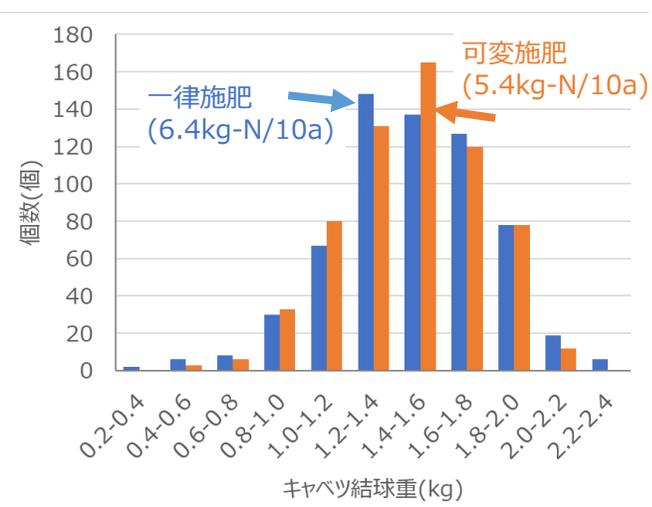
- キャベツ前に栽培する緑肥の生育状況から土壌窒素成分を推定するセンシング技術を開発し、茨城県の生産者圃場において、**可変施肥による施肥量削減(15%)の実証**を行なった。
- 茨城県つくば市の生産者圃場では収量センサー付収穫機により2mメッシュ毎の平均収量を取得した。鹿児島県指宿市の生産者圃場ではサンプリング(n=30)による収量調査を実施した。その結果、いずれも**一律施肥と可変施肥で収量に大きな差は見られなかった。**



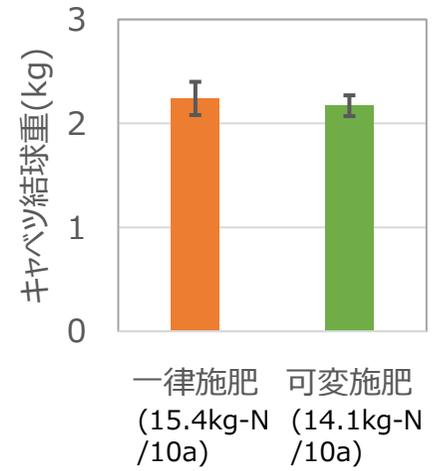
データ駆動型可変施肥システムの概要



収量センサー付収穫機により作成した収量マップ(茨城県つくば市)



結球重の分布(茨城県つくば市)



平均結球重の比較 (鹿児島県指宿市)

4-1. 実施体制及び実施者の役割分担

● 実施体制

農林水産省PD: 寺島一男

① 土壌ビッグデータ収集のためのセンシング技術の開発・実証

【実施内容】

データ駆動型土壌管理技術の根幹となる土壌物理性(砕土率、土壌水分)、土壌化学性(硝酸イオン濃度)のセンシング技術開発を推進する。

【社会実装を行う者】

(株)デンソー、(株)クボタ、(株)ヤンマーアグリ

【実施者】

国研: 農研機構、産総研、理化学研究所

大学: 信州大学、神戸大学、大阪大学

産業: (株)デンソー、(株)クボタ、(株)ヤンマーアグリ

② 化学肥料削減に向けたデータ駆動型土壌管理システムの開発・実証

【実施内容】

化学肥料削減に向け、①で開発したセンサーや土壌窒素量推定技術に基づき、可変基肥マップ化技術(データ駆動型土壌管理システム)を確立するとともに、生産者圃場においてその効果を実証する。

【社会実装を行う者】

(株)ズコーシャ

【実施者】

国研: 農研機構

公設試: 秋田県農業試験場、石川県農業総合研究センター、鹿児島県農業開発総合センター

生産者: (農)たねっこ、(農)なたうち、(株)つくば良農、(株)指宿やさいの王国

産業: (株)ズコーシャ

4-2. 実施体制及び実施者の役割分担

実施体制

農水省PD
農研機構
シニアフェロー
寺島一男氏

農林水産省「生産性と環境負荷低減を両立するデータ駆動型土壌管理技術の開発」運営委員会

構成員
外部有識者：2名
・茨城県農業総合センター環境・土壌担当
・キャベツ生産法人代表
農林水産省：2名
・農業環境対策担当
・技術政策担当

事務局
・農林水産技術会議事務局
研究統括官（生産技術）室

社会実装戦略検討会
・小橋工業株式会社 開発担当
・農林水産省技術政策担当

◆ 対象施策実施体制

研究代表
農研機構・ロボ研・中川潤一

事務局
農研機構・ロボ研・飯嶋渡

①土壌ビッグデータ収集のためのセンシング技術の開発
農研機構・ロボ研・飯嶋渡

②化学肥料削減に向けたデータ駆動型土壌管理システムの開発・実証
農研機構・ロボ研・中野有加

農研機構 ロボ研・中農研・農研機構研究センター
高精細画像等による土壌センシング技術開発

農研機構 ロボ研、産総研、信州大学
高耐久・高感度に土壌窒素量を検出するセンサーの開発・実証

理化学研究所
レーザー式水分・養分センサーの開発

京都大学、オーガニックnico、他
土壌肥沃度センシング技術の開発 他

株式会社デンソー
複合センサーによる水分、成分のセンシング技術の開発・実装

株式会社クボタ
土壌センシングの生産性評価技術の開発

ヤンマーアグリ株式会社
土壌センサー群の農機搭載技術の開発

農研機構 ロボ研・北農研、他
土壌ビッグデータのデータベース化・解析、他

株式会社 ズコーシャ
過去のデータに基づく作業マップの施工実証・検証

農研機構・生産法人・公設試、他
・北海道、秋田県、石川県、兵庫県、佐賀県における土壌ビッグデータの収集
・北海道、茨城県、鹿児島県におけるデータ駆動型土壌管理システムによる可変施肥効果実証

5-1. BRIDGE終了後の出口戦略

これまでの成果 (PRISM)

土壌センシング、メンテナンスシステムのプロトタイプ

・土壌物理性、化学性センサーのプロトタイプを開発
→農機搭載に向けロバスト(堅牢)性を検討

・土壌や作物のセンシングデータを基に、有効なほ場管理行動を判断する土壌メンテナンスAIシステムを開発

・従来より精密に可変施肥が可能な施肥機を開発

R5(BRIDGE) 実施成果

センシング技術開発

①土壌ビッグデータ収集のためのセンシング技術の開発

- ・硝酸イオンセンサー開発(半導体式)、改良(電気化学式)
- ・リアルタイム砕土率センサー、リアルタイム土壌水分センサー開発
- ・砕土率センサ、土壌抵抗センサによる土壌ビッグデータ収集
- ・緑肥の生育量(ドローン空撮)と電気化学式硝酸イオンセンサーから土壌窒素量を推定し、マップ化する技術を開発

化学肥料削減

②化学肥料削減に向けたデータ駆動型土壌管理システムの開発・実証

- ・①の土壌窒素量マップ化技術とキャベツ収量予測モデルに基づき、可変基肥マップ化技術を確立し(データ駆動型土壌管理システム)、収量同等で窒素肥料15%削減の効果を実証(茨城県下現地圃場)
- ・鹿児島県下生産者圃場において、収量同等で化学肥料8%削減を実証

R6 (農研機構課題等で実施)

【砕土率センサー、土壌水分センサー】

- ◆ 定置式土壌水分センサーについては、(株)デンソーが試験販売を検討中 (R6年度目途)

- ◆ 農林水産省クラスター事業等: 農機メーカー・作業機メーカーと連携し、砕土率センサー・作業速度制御機構を製品化・実用化 (R7年度目途)
- ◆ SIP3: 大豆を対象に砕土率センサーの現地実証 (R7年度)

【硝酸イオンセンサー】

- ◆ 農林水産省「戦略的スマート農業技術の開発・改良」で複数の生産者圃場(茨城、愛知、鹿児島)で実証 (R6~8年度)

【土壌メンテナンスAIシステム】

- ◆ (株)ズコーシャが十勝地域におけるコンサルタント事業での利用を開始する予定 (R6年度目途)

【化学肥料削減向けデータ駆動型土壌管理システム】

- ◆ 日本土壌協会、NTTデータ等と連携し、農林水産省「データ駆動型土づくり推進事業」で開発・実証・実用化 (R7年度目途)

【可変施肥機】

- ◆ 農機メーカーと連携した畝立て同時施肥機の可変施肥対応機開発 (R6~8年度 農林水産省「戦略的スマート農業技術の開発・改良」)

目標

- ◆ 化学肥料3割削減(みどりの食料システム戦略2050年目標)の前倒し実現

- ◆ 農機具メーカー等の研究開発投資誘発(年間100億円規模)

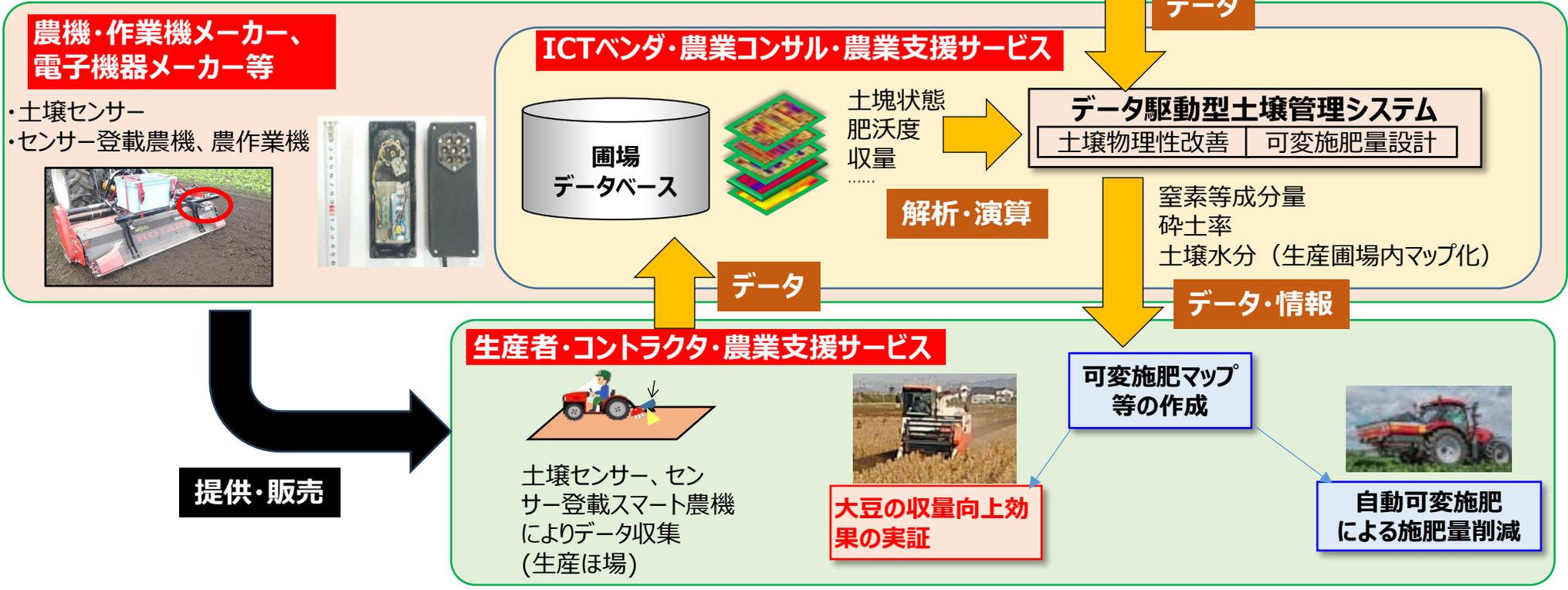
- ◆ スマート農業の早期社会実装(統合イノベーション戦略2022)

**データ駆動型土壌管理システムで
想定されるビジネスモデル（案）**

WAGRIの利用



- 基本データ、APIの利用
- 土壌インベントリー：土質、CEC、etc...
- 農業気象メッシュデータ
- キャベツ生育予測



社会実装戦略検討会（農水省BRIDGE運営委員会分科会）
 構成メンバー：作業機メーカー関係者、農水省農林水産技術会議事務局統括官室、大臣官房技術政策室、農研機構
 内容：社会実装に向けた取組内容の進捗状況等を点検し、必要な支援施策等を検討。

社会実装の推進

- ・農機メーカー、ICTベンダー等による製品化の要件検討と対応
- ・技術普及推進に有効な農水省事業等の選定と対応推進
- ・農研機構予算等での現地実証実施策の検討

6. 民間研究開発投資誘発効果及びマッチングファンド

【民間研究開発投資誘発効果、財政支出の効率化】

- 民間研究開発投資誘発効果：スマート農業の高度化に向けて、**農機具メーカー等の研究開発投資が誘発**(2020年の農業用機械器具の生産金額4,685億円の2%程度が投資されるとして**年間100億円規模**)。
- 本事業を推進したことにより、データ駆動型土壌管理システムが広く認知されることも相まって、各分野における民間研究開発投資が誘発された。農機メーカーである**(株)クボタは2021年から2025年にかけて研究開発費を4,000億円と前期に比較して6割増加させることを計画しており、2023年は1,055億円を研究開発に投資した。また、(株)デンソーは2022年に定款の事業目的に「農業」を追加し、農業分野への進出、投資を強化している。**

【民間からの貢献額（マッチングファンド）】

①土壌ビッグデータ収集のためのセンシング技術の開発・実証

3件：総額43,000千円

②化学肥料削減に向けた土壌メンテナンス技術の開発・実証

3件：総額3,000千円