

「可変施肥」とは何か？

圃場での作物の生育状態は均一ではなく、どうしてもばらつきが出てきます。「可変施肥」とは、作物の生育や土壌などのばらつきに合わせて、圃場の状況に応じた施肥を行う技術です。ばらつきの情報は、センサによるセンシング(観測)で取得し、その結果をもとに、施肥量を自動的に制御します。適切な施肥量をコントロールすることで、収穫物の全体の品質を安定化させたり、逆に肥料の過剰散布による環境への負荷を低減させたり倒伏を防ぐことが可能となり、最終的には農家の増収にもつながります。

情報収集に関して、可変施肥は、「センサベース」と「マップベース」の2つに大きく分けられます(図1)。センサベースは、圃場でトラクターなどに装備されたセンサでセンシングし、施肥機を制御して散布する技術です。

一方のマップベースは、あらかじめ施肥マップを作成して、施肥をするときに、施肥機がマップ上の位置を認識して施肥を制御します。このため、位置情報を把握できるGNSS(全地球航法衛星システム)のガイダンスシステムが必須となります。

可変施肥で用いられるセンシング

可変施肥では、圃場内の作物の生育や土壌などのばらつきを把握することが、まず必要となります。それを把握するために「生育センシング」「土壌センシング」「収量センシング」が用いられます(図2)。

生育センシングは作物の生育を観測するもので、車載型センサの他にドローンや衛星も用いられます。作物が保有する窒素量を調整する「窒素可変施肥」などに利用されます。

土壌を観測する土壌センシングでは、トラクター装着型のセンサを用いる場合は土壌のサンプリングと化学分析を併用します。ドローンや衛星によるセンシングは、圃場の表層の腐植含量の把握にとどまっています。

収穫物の状態を観測する収量センシングは、コンバインに装着されたセンサを用いて、生育がいい場所・中間の場所・悪い場所の3段階のゾーニングをするときなどに利用されます。

図1 センサベースとマップベース

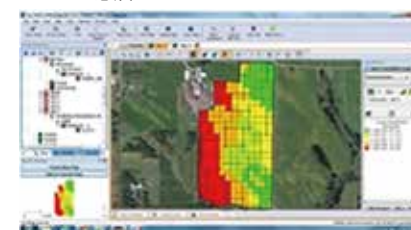
センサベース可変施肥



- 実用化されているのは生育センサのみ
- 追肥で利用(小麦、馬鈴薯)
※本州では水稻

マップベース可変施肥

GNSSが必須



- 生育、土壌、収量のセンシングデータが実用化
- すべての作物の基肥で利用可能

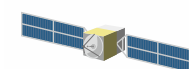
センサベースの可変施肥では車載型の生育センサが実用化されており、小麦や馬鈴薯などで使用されている。マップベースの可変施肥では衛星やドローンなども使われ、生育だけでなく土壌や収量のセンシングも可能。マップ作成の手間はあるが、得られたデータから次作の基肥での利用も可能なため、すべての作物に対応できる。

図2 センシングの種類

生育センシング



車載型
低空リモートセンシング
(UAVなど)



高層リモートセンシング
(人工衛星)

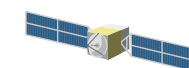
土壌センシング



サンプリングと化学分析の併用による多成分マップ作成可



表層のみ
(腐植含有量、水分)



収量センシング



水分測定部
質量測定部



コンバインに装着されたセンサ

なお、施肥機と操作端末がISOBUS対応(基礎編・第3節参照)の場合は、施肥機の操作やGNSSによる自動操舵を操作端末1台で行えます。

いかにして施肥量を計算するか

写真1は十勝管内の圃場の衛星による可視画像です。黒い部分があったり、また土の色がばらついていて、施肥を単純に一律の量で行うと局所的な倒伏や生育不足が生じる原因となってしまうので、部分ごとに細かく設定しての可変施肥が必要です。

では、センシングデータをもとにどのように施肥量を計算するのでしょうか。たとえばセンサベースの可変施肥では、センシングと同時に施肥機を制御するので、その場での計算が重要となります。

秋まき小麦の止葉期^{とめば}の場合、追肥量決定のための生育診断指標がすでにあるので、生育診断に使用される手分析データをセンサ値に置き換えて施肥量を計算させます。このため、車載型生育センサを利用する場合は、車両が走行するだけで1秒ごとに最適な追肥が自動的に行われます。

これに対し、生育診断指標がない時期では、人が任意に基準となるセンサ値と施肥量を決定する必要があります(図3)。

実際の効果と、導入の際の下限面積について

可変施肥の効果については、特に秋まき小麦の可変施肥の実証データが数多く存在していて、それらによると、倒伏の軽減や、粗原収量^{*}4%の増加効果が認められています。実際に可変施肥を導入したユーザーからは、今まで施肥量を控えめにしていたが、増収ギリギリを狙う“攻め”ができるようになったとの意見も出ています。

北海道では、秋まき小麦以外にもてん菜や馬鈴薯、にんじん、たまねぎ、キャベツで実証実験が行われており、可変施肥による増収効果は数%から最大5%ほどであることが示されています。

こうした可変施肥に必要な機器を導入する際、どれくらいの耕作面積で採算が取れるのでしょうか。車載型生育センサによるセンサベースでの試算では、機器の組み合わせによって若干の違いはありますが、初期費用としておよそ600万円かかります。単品の作物のみで使用する場合は、経営規模70～100haが必要なので、大規模農家や企業農家、あるいは共同

^{*}粗原収量：畑で採れたままの状態の収量。

写真1 圃場の衛星による可視画像

圃場数十をサンプリングして分析した結果、たとえば秋まき小麦で窒素量換算10a当たり6～7kgの施肥量の差があった。秋まき小麦の総窒素施肥量は10ha当たり15～16kgなので、6～7kgものばらつきは無視できない量といえる。



図3 診断指標のない時期、地域、品種の追肥量算出方法

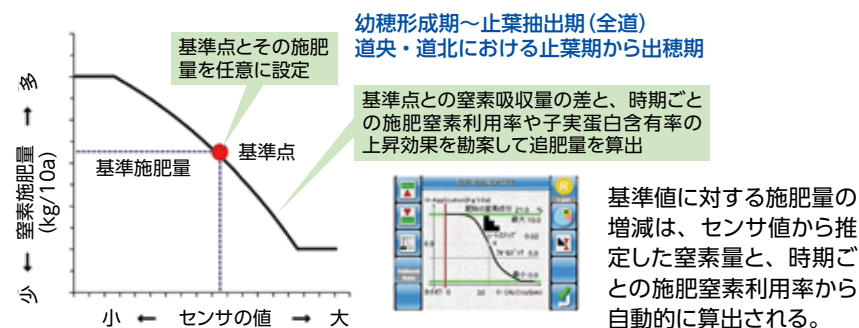


図4 可変施肥の効果の検討

償却対象	センサベース			センサベース+マップベース		
	秋まき小麦のみで利用			小麦・馬鈴薯・てん菜で利用		
	小麦(ha)	畑3品(ha)	畑4品(ha)	各作物(ha)	畑3品(ha)	畑4品(ha)
生育センサー式	13.9	41.8	55.8	4.9	14.8	19.7
可変施肥機込み	24.3	72.8	97.1	8.2	24.5	32.7

アプリケーション(ソフトウェア)の追加で
利用下限面積の大幅な低減が可能

での利用がお勧めです。

一方、センサベースだけでなくマップベースも利用して品目を増やし、最終的に追肥だけでなく基肥でも適応できるようにすると、24～33haという、平均的な個別利用でも採算がとれると考えられています(図4)。

可変施肥の効果を見るときに注意点

可変施肥を行う上では、その効果がある圃場を見極めることが大切です。たとえば、「土壌の腐植」と「生育の関係」を比べる方法があります。写真1のような圃場の画像と、その生育マップを比べると、「土壌の黒い箇所（腐食が多く窒素が多い）ほど生育が良い圃場」と、逆に「土壌の黒い箇所で生育が劣る圃場」もあります。前者は土壌の腐植と生育の間に「正の相関」があり、後者は「負の相関」があるといえます。土壌センシングにもとづくこうしたケースでは、植物が利用できる可給態窒素の不足や、黒い箇所が腐植含量によるものではなく、水分量が多い所であることもあります。

負の相関の圃場では、可変施肥の効果は小さくなるので、機器の導入の前にこうした圃場の判別を行うことで、無駄な投資を抑え、効果的な導入を行えるようになります。

また、土壌に石や礫が多いために作物の生育期間の後半で急激に生育が低下するケースや、土壌の物理的特性や排水性が悪い箇所で収穫時の枯れ上がりが遅いケースなども確認されています。このような物理特性が良くない箇所では肥料の増量が無駄になるケースもあるので、圃場自体の改良や、それぞれの箇所における施肥の時期や、作物の種類に応じた施肥マップの作成が重要となります。

可変施肥の実際

（株）トプコンポジショニングアジアの機器を例に、実際の可変施肥*がどう行われるかを見ていきましょう。流れのイメージをつかんでください。

センサベース可変施肥

通常は、各圃場にどれくらい施肥をするかを作業者が設定しなければなりません。写真のシステムを使えば、生育量に合わせて、それぞれの箇所での施肥量が自動的に設定されます。

作業機に搭載した生育センサCropSpec（写真2）がとらえたデータを受

*実際の可変施肥：センサベース可変施肥は、野外ではなく室内でのデモンストレーションです。

写真2～6 センサベース可変施肥

写真2



車両に搭載される生育センサ（製品名CropSpec）。レーザ光を使用して、作物の生育量を検知する

写真3



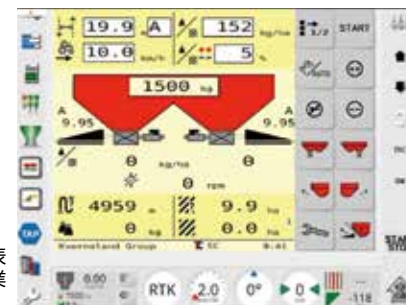
車両に設置されるコンソール端末。生育センサがとらえた生育量を施肥量に変換して、実際に肥料を撒く作業機に送る

写真4



生育センサのセンシングの様子ですがコンソールの画面で確認できる。車両の左右にレーザをあててセンシングを行っている

写真5



コンソールに表示された、作業機の設定画面

写真6



施肥量が作業機に送られると、実際に撒かれた施肥量が画面上に色分けして表示される

けたコンソール（写真3）は、生育量を施肥量に変換します。生育が悪い箇所には肥料を多く撒き、生育が良い箇所には肥料を少なく撒くという設定がここで自動的に行われ、実際に肥料を撒く作業機に送られます。コンソールの画面では車体左右にレーザ光が広がり、センシングのようすがわかります（写真4）。同時に作業機の状態もわかるようになっています（写真5）。施肥量が作業機に送られると、実際に撒かれた施肥量が画面上に色分けして表示されます（写真6）。

マップベース可変施肥

マップベースの可変施肥では、トラクターを走行させて作業機に境界線を記録させます。

まず圃場を登録し(写真7)、境界線の記録をどこから行うかを設定します(写真8)。実際にトラクターを操作して作業境界線を記録します。境界線はディスプレイ画面上で青いラインによって表示されます(写真9)。

次に施肥マップの作成の流れを見ます。まず、該当する圃場の生育データを読み込んで、そのデータを表示します(写真10、11)。

次に「処方箋マップの作成」で施肥量や使う肥料を決め、それを保存します(写真12)。どの生育量に対し、どれくらいの施肥量を撒くかを示すグラフを使って細かい設定をすることもできます(写真13)。

作成した処方箋マップをダウンロードしてUSBメモリで境界線を設定した作業機にわたし、トラクターを走行させれば、後は作業機が自動的に施肥を行ってくれます。このように、作業機の境界線設定や処方箋マップの作成は簡単に操作しやすいよう作られています。

写真10



該当する圃場(大きな緑の部分)に、車両搭載センサやドローンおよび衛星から得られた生育データを読み込む

写真11



読み込んだ生育データが表示された状態



写真12

処方箋マップを作成する画面。どの肥料を使うかを定める「製品の選択」画面



写真13

左にあるグラフなどを使って細かいレシピ設定も可能

写真7~13 マップベース可変施肥

写真7



圃場の登録

写真8



境界線を作成

写真9

トラクターを運転して境界線を記録

