

鉄コーティング種子を用いた水稲 の直播栽培

—コーティング直後から播種でき、発熱と出芽
遅延問題を解決—

2025



2025 年 12 月

山内 稔

目 次

	<u>まえがき</u>	4
1	<u>鉄コーティング種子</u>	4
	1.1 コーティングの目的と原理	
	1.2 種子予措、発芽の早さ、品種	
	1.3 コーティング資材の組成・分量・特性	
	1.4 種子の準備から播種までの作業の流れ	
2	<u>鉄コーティング種子の準備</u>	11
	2.1 資材の準備	
	2.2 種子の準備	
	2.3 コーティング作業	
	2.4 コーティング後	
	2.5 長期保存	
	2.6 発芽テスト	
3	<u>圃場の準備</u>	20
	3.1 直播に適した水田	
	3.2 直播に失敗する水田、成功しても省力性に欠ける水田	
	3.3 直播用の水田を準備するポイント	
4	<u>肥料と農薬</u>	23
	4.1 肥料	
	4.2 農薬	
5	<u>播種</u>	24
	5.1 播種時期が苗立ちと収穫の時期に及ぼす影響	
	5.2 表面播種	
	5.3 点播・条播と散播の違い	
	5.4 点播・条播	
	5.5 散播	
	5.6 播種量	
6	<u>芽干し</u>	30
7	<u>代かき後の直播</u>	31
	7.1 散播（湛水播種）	
	7.2 点播・条播（代かき水を一時的に落として播種）	
	7.3 その他	
8	<u>無代かき直播</u>	33
	8.1 無代かき湛水直播	

	8.2 乾田直播	
	8.3 代かきから無代かきへ移行した直播事例	
	8.4 無代かきが苗立ち率と漏生イネの発生に及ぼす影響	
9	鳥害による苗立ちの低下	35
10	土壌還元による苗立ちの低下	36
11	病害虫と水生生物による苗立ちの低下	37
12	安定多収のポイント	39
	12.1 播種量の適正化	
	12.2 水管理の改善	
	12.3 肥培管理	
	12.4 新たな鉄コーティング種子と従来型の収量比較	
13	サステナビリティ	42
	13.1 コーティング資材の安全性	
	13.2 減化学肥料	
	13.3 減化学農薬	
	13.4 水資源の保全	
	13.5 温暖化対策—高温障害、メタンの発生抑制	
	13.6 雑草イネの発生抑制	
	13.7 湿田とその乾田化、湛水直播と乾田直播	
	13.8 資材の低価格化	
14	知的財産権・資材と技術指導	43
	14.1 資材	
	14.2 技術指導	
	参考資料	43
	執筆者・連絡先	

まえがき

近年、アジア・アフリカ地域では急速な経済成長とそれに伴う農業労働力の不足を背景に、従来の移植栽培よりも省力的な水稻の直播栽培が広く注目されています。そのような状況下で、アジアではWet seeding（代かき直後に強制排水して催芽種子を播種する方法）が1980年代から普及していますが、その背景には、水を張った水田にイネ種子を播くと浮いて流れ、苗立ちが不安定になるという問題があります。この浮き苗の課題を解決し、湛水状態での播種（Water seeding）を可能にしたのが、2004年に開発された鉄コーティング技術です。しかし、この従来型の鉄コーティング技術には、鉄の酸化熱によるコーティング作業の煩雑さや、発芽に時間がかかることによる苗立ちの不安定さといった克服すべき課題がありました。

本マニュアルの核となるのは、これらの課題を解決するために2022年に開発された新しい鉄コーティング技術です。この新技術は、鉄の酸化熱の発生を調整するとともに焼石膏を選択することで、種子のコーティング直後の播種を可能にし、さらには余剰のコーティング種子の長期保管も可能にしました。また、催芽種子と同等の迅速な発芽を実現し、初期生育を安定させます。従来型との違いは種子コーティングであり、栽培方法は同じです。

直播栽培には一般に、苗立ちの不安定さを補うために強制排水や過度な化学肥料・農薬の使用を招きやすいという課題があります。そこで、このマニュアルは、新鉄コーティング技術を用いて、資材への過度な依存を避け、安定した収量とサステナビリティを両立させる栽培法を提案します。

本マニュアルが提示する栽培法は、日本国内の限られた地域で開発されました。そのため、地域特有の環境や栽培慣行に適合させるためには、さらなる工夫や改良が必要です。ぜひ、本マニュアルを皆様の地域での直播栽培成功の第一歩としてご活用ください。

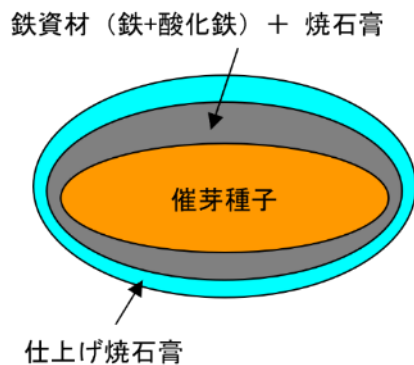
1 鉄コーティング種子

1.1 コーティングの目的と原理

水中で種子は浮力を受けて浮きやすいため、比重の大きい鉄資材（鉄と酸化鉄の混合物）でコーティングします。鉄コーティングにより代かきをした水田での湛水条件下での播種（代かき水を張った状態での播種、英語ではWater seedingと呼ばれます。現在アジアで普及しているのは代かき水を強制落水した後の催芽種子の播種でWet seedingと呼ばれます）が実施可能になります。

コーティングにはバインダーと呼ばれる糊の成分が必要です。鉄コーティング種子では、水、鉄さび、および焼石膏がバインダーとなります。

- 水はコーティング時にスプレーしますが、催芽種子にも含まれています。水のバインダーとしての役割はコーティング層や種子が乾くと無くなります。
- 鉄さびは鉄が酸化して生成されます。そのため、鉄資材に含まれる鉄の濃度が高いほどコーティングは強くなります。
- 焼石膏には、バインダーとしての役割とともに、鉄の酸化反応を促進する役割もあります。焼石膏は水中で少しずつ溶けるため、バインダーとしての役割は一時的です。



水をスプレーしながらイネ種子の表面を鉄資材と焼石膏で覆います。

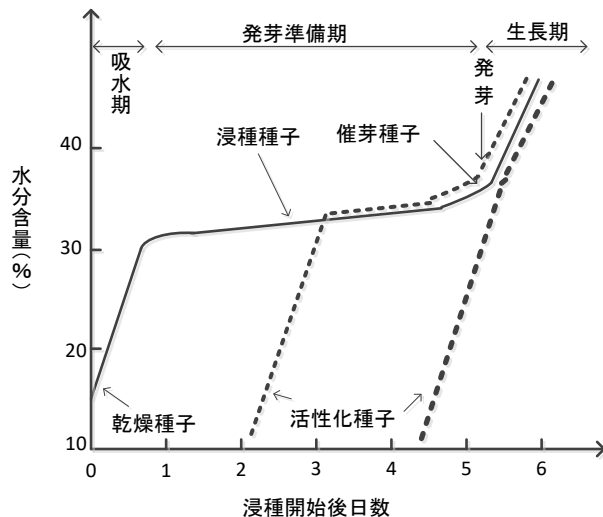
鉄の酸化が始まると発熱します。そこで酸化鉄を混ぜて鉄の濃度を変え、酸化反応の強さを調節します。

鉄は空気中で、また播種後は水中でも酸化します。

1.2 種子予措、発芽の早さ、品種

直播では発芽の早い種子を使うことが、苗立ちの安定化や雑草対策に有利です。種子の発芽の早さは以下の順です。

催芽種子＞浸種種子＞活性化種子＞乾燥した無処理の種子



種子を水に浸けると吸水期と発芽準備期を経て発芽し、生長します。

活性化種子とは発芽準備期に浸種を止めて乾燥させたもので、無処理の乾燥種子より早く発芽します。しかし、生長を開始するためには吸水時間（1 日）が必要で、浸種種子や催芽種子に比べて遅れます。

- 発芽率が高く維持されておれば、低温保管庫で備蓄した前年産種子は浸種処理をおこなわなくても活性化しており、収穫直後の種子より早く発芽します。
- 一方で、発芽率が低下（95%以下）した種子は、浸種してその後乾燥し活性化種子にすると発芽率が10%ほどさらに低下します。そのため、発芽率の低下した種子は活性化種子とせず、催芽種子の状態で播種します。
- 鉄コーティングについては品種による適、不適はありません。一方で、品種間には発芽や初期生長の早さ、草丈、および耐倒伏性に違いがあり、直播に適、不適があります。
- 鉄コーティング処理により、種子伝染性の病虫害の発生が少なくなります。そのため、例年種子伝染性病害の発生が少ない地域では、種子消毒は省略可能です。種子消毒（温湯消毒含む）済みの種子を使うこともできますが、パダン SG（鉄コーティング種子の発芽率が低下）とモミガード（鉄のコーティングがもろくなる）によって消毒された種子は不適です。

1.3 コーティング資材の組成・分量・特性

鉄コーティング種子の比重、強度、発熱、発芽時間という4つの重要な特性は、鉄濃度、鉄コーティング比、水分含量の3要素によって決定されます。

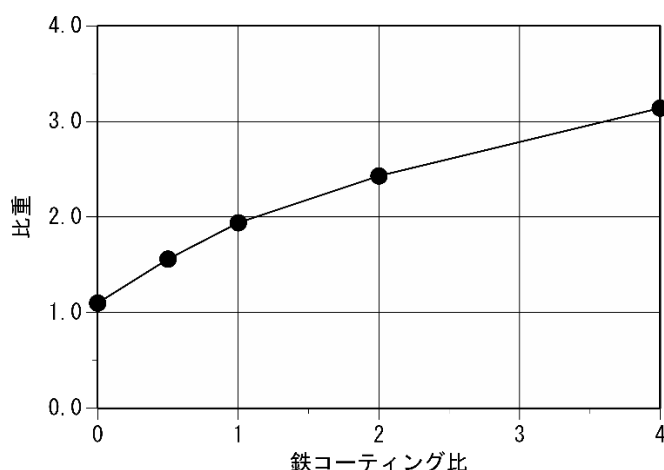
資材は鉄資材（鉄粉と酸化鉄粉の混合物）と焼石膏です。鉄粉は「還元鉄粉」、酸化鉄はミルスケール（鋼材の製造過程で生成される、鉄の酸化物被膜）等で、その組成は鉄濃度で示します。

$$\text{鉄濃度 (\%)} = \text{鉄粉の重さ} / (\text{鉄粉の重さ} + \text{酸化鉄の重さ}) \times 100$$

イネ種子に付着させる鉄資材の量は鉄コーティング比で表します。

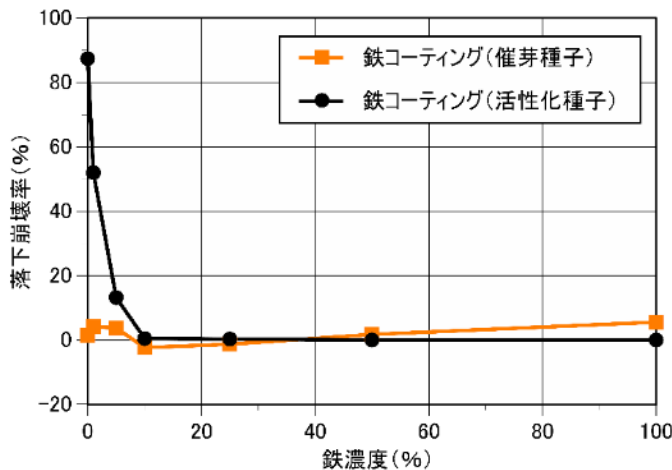
$$\text{鉄コーティング比} = \text{鉄資材の重さ} / \text{イネ種子の乾燥重}$$

焼石膏は、コーティング直後に水中に播種しても崩壊しにくいものを選定しています。

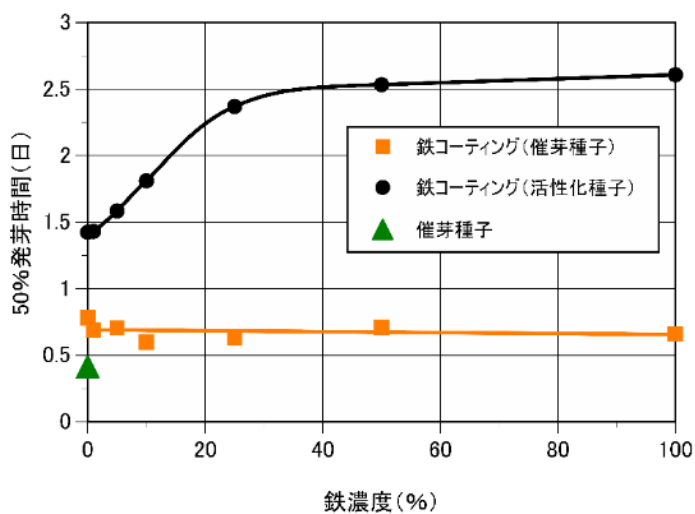


鉄コーティング比と比重の関係 イネ種子の比重は約 1.0 で、水中で浮きやすい状態です。コーティング比が大きくなると比重が大きくなり、種子が重く土壌とよく密着して活着しやすく浮きません。

コーティング層の強度は水分含量と鉄資材に含まれる鉄粉の濃度によって決まります。コーティング種子が湿った催芽状態であれば、播種時や保管時に機械的に強くなっています。これは水がバインダーとなっているためです。ところが、コーティング層を乾燥させて活性化種子にすると、バインダーは錆のみです。そのため鉄濃度が 10% 以下に低いときコーティング層が弱くなります。



コーティング層に含まれる鉄濃度と落下崩壊率の関係 コーティング層の強さは、コーティング種子を高所から落下して、その時に壊れるコーティング層の程度で測定します。落下崩壊率が65%以上のときは播種時にコーティング種子が破損しやすくなります。



コーティング層に含まれる鉄濃度と50%発芽時間の関係 発芽の早さは種子が水につかって、その半数が発芽する時間、すなわち 50%発芽時間（日）で表します。

発芽は催芽種子で早く、次にコーティングした催芽種子です。コーティングした活性化種子では遅く、鉄濃度が50%以上に高くなるとさらに遅くなります。

鉄濃度を上げるとコーティング層が固く強くなりますが、鉄の酸化発熱が強く種子の温度が上昇するため、放熱が必要です。種子の温度は、発熱と放熱のバランスによって決まります。鉄粉の種類によって発熱の程度が異なります。加えて、放熱は作業場の気温、湿度、風の有無、種子の水分含量（催芽種子と乾燥種子の違い）等によって変動します。コーティング後に種子を薄く広げれば放熱が大きく種子温度の上昇は小さく、逆に固まりにしておくと放熱が小さく温度が上昇します。

イネ催芽種子を鉄コーティング比 0.5 でコーティングし種子用の網袋（40×60cm）に堆積厚 5 cmに詰めたとき、温度上昇の最大値は鉄濃度 10%と 25%において 9℃で違いはありませんでしたが、堆積厚を 10cm にすると鉄濃度 10%では温度上昇の最大値は 13℃、25%では 28℃でした。

鉄濃度 50%の資材はコーティングの落下試験における強度が従来の鉄コーティング種子（鉄濃度 90～100%）とほとんど同じです。一方で、鉄濃度が低いため発熱の程度は従来型に比べて小さく、コーティング作業は容易になります。

鉄資材に含まれる鉄濃度と酸化発熱の程度、放熱の目安、およびコーティングの強度 鉄コーティング比 0.5 の例

鉄濃度 %	発熱程度	放熱の目安 堆積厚 cm	コーティングの強度	
			催芽種子	活性化種子
0～10	小	10	強	弱
25	中	5	強	中
50	大	3	強	強
90～100	きわめて大	1	強	強

放熱の目安は、コーティング済み種子を網袋に詰めた時の厚みを示します。催芽種子では水もバインダーとなり、コーティングの強度は高まります。



鉄コーティング比 0～1.0 の種子
コーティング直後



鉄コーティング比 0～1.0 の種子
酸化・乾燥処理後（従来型）

標準的な仕様は、鉄資材の鉄濃度 10～25%、鉄コーティング比 0.5、催芽種子です。鉄濃度が高いほど、薄く広げて保管する必要があります。種子用の網袋にコーティング直後の種子を詰める場合、温度上昇を室温より 10℃以下に抑える目安は、鉄濃度 10%では網袋の堆積厚 10 cm、鉄濃度 25%では堆積厚 5 cmです。

鉄コーティング比と分量 (kg) 種子 (乾燥重) 1kg の例

鉄コーティング比		0.1	0.5	1.0
混合	鉄資材 (kg)	0.1	0.5	1.0
	焼石膏 (kg)	0.01	0.05	0.1
鉄資材と焼石膏の混合品 (kg)		0.11	0.55	1.1
仕上げ焼石膏 (kg)		0.01	0.05	0.05

焼石膏は鉄資材に 10%混ぜます。混合品も市販されています。仕上げの焼石膏は鉄資材の重さの 10%量ですが、鉄コーティング比が 0.5 以上のときは 5%程度に減量します。

鉄コーティング比や鉄濃度は栽培条件などに合わせて調節します。

鉄コーティング比は好条件であれば 0.05 程度まで低下させても催芽種子の苗立ち安定化効果を期待できます。小さい鉄コーティング比はコーティング作業を短時間かつ容易にし、酸化発熱を抑え、また資材費を大幅に削減します。一方で、播種後に風が強いと田面水が揺れて浮きやすくなり、落水時はスズメによる食害を受けやすくなります。

鉄コーティング比は最大 2 程度まで上げることができます。水中で安定し、スズメによる食害も強く抑制します。しかし、コーティングに時間がかかり、酸化発熱も大きくなり、資材費が上がり、播種ホッパーが重くなります。

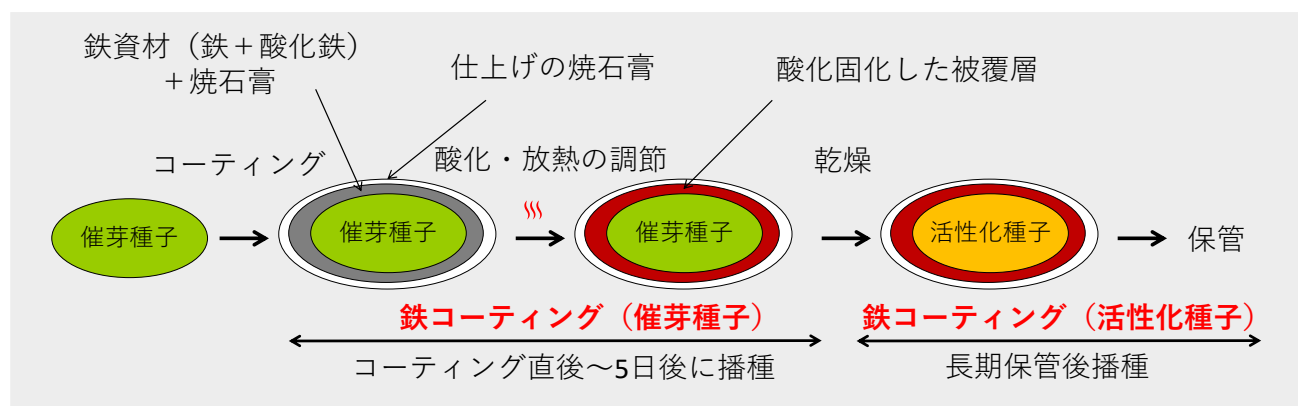
1.4 種子の準備から播種までの作業の流れ

従来の鉄コーティング種子は大量に作り置きして長期保存し、いつでも播種できるという「作り置き」タイプの省力性でした。新技術では、催芽種子をコーティングして直後から播種し、余れば数日後に、または長期保存後に播種するというタイプの省力性です。すなわち、播種当日に必要な量だけコーティングして播き、急用や気象条件等により播種が中断または遅延する場合は網袋に入れた状態で、または薄く広げて播種まで保管します。逆に、播種日前にコーティングして 1～5 日（目安）後に播けます。乾燥すれば長期保存後に播種できます。そのため「作り置き」タイプもできます。

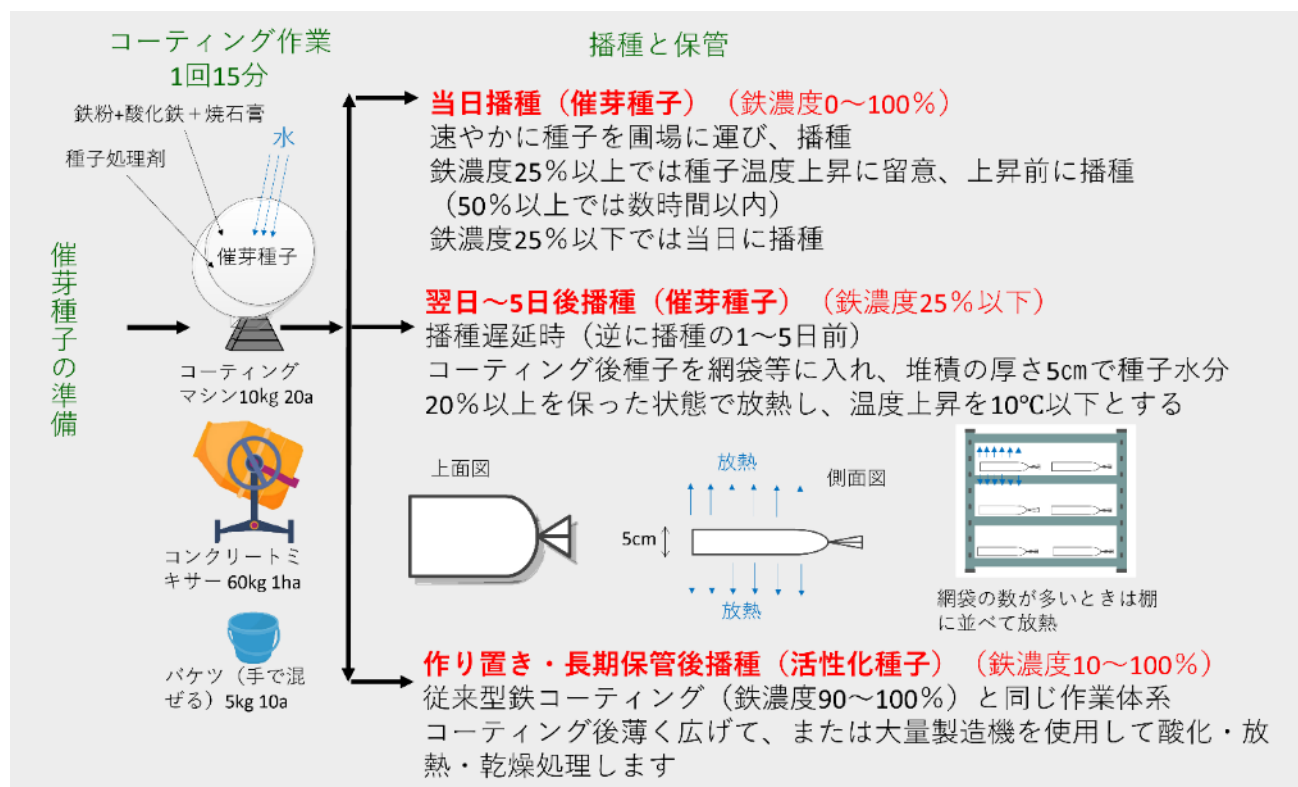
本技術の背景には①催芽種子をコーティングして直後に播種すれば発芽と初期生長が早く確実、②コーティングした種子を大量に準備して長期間保存するのは発芽率の低下や自然災害などが不安、③コーティング種子は短時間作業で多量に準備できることなどがあります。

直播成功の確実性や省力性に基づいた推奨順は以下の通りです。

当日播種 > 翌日～5 日後播種 > 5 日～長期保管後播種



鉄コーティングにおける鉄の酸化、催芽種子の乾燥、および播種の関係



コーティング、鉄濃度および播種のタイミングの関係

- 当日播種（催芽種子）（鉄濃度 0～100%）：鉄濃度や鉄コーティング比に関わらず、また面積に関わらず直播に取り組みます。留意点は鉄濃度が高いときは発熱して種子温度が上昇する前に播くことです。鉄濃度が10%程度であれば、発熱が小さく種子はほとんど傷みません。
- 翌日～5日後播種（催芽種子）（鉄濃度 25%以下）：酸化発熱が弱ければ、種子を網袋などに入れて催芽状態に保てます。鉄濃度は25%以下に限られます。
- 作り置き・長期保管後播種（活性化種子）（鉄濃度 10%～100%）：
 - 鉄濃度 50%～100%：従来型と同じ
 - 鉄濃度 25%～50%：従来型に比べて種子を酸化発熱により傷めるリスクが減り、出芽遅延や固結問題が改善されます。
 - 鉄濃度 10%～25%：酸化発熱、出芽遅延および固結問題はさらに改善されます。翌日～5日後播種（催芽種子）の実施を作り置き・長期保管後播種に変更できます。
 - 鉄濃度 10%以下：鉄さびのバインダー効果が小さいため、コーティング強度が低下し、実用的でない場合があります。

例として、西日本において5月に初期害虫イネミズゾウムシの発生地帯で標準仕様の鉄コーティング種子（鉄濃度10%、鉄コーティング比0.5）1ha分を準備する作業の流れは以下のようになります。

(1) 50 kgの種子（乾燥重）を浸種して催芽種子を準備します。水温が20～25℃程度であれ

ば、2～3 日十分な水量で浸種します。

- (2) 混合済みの鉄資材（鉄、酸化鉄、焼石膏）（鉄と酸化鉄 25 kg＋焼石膏 2.5 kg）を 27.5 kg、仕上げの焼石膏を 2.5 kg 秤量します。種子処理剤（初期害虫防除用ヨーバルシード FS）を 550mL 準備します。
- (3) コーティングします。通常、1 回のコーティング作業に要する時間は 15±5 分です。大型のコンクリートミキサーを使えば、1 回で 40～80 kg (1ha 分) の種子を処理できます。
 - ① 種子の水を切り、コンクリートミキサーに入れ、回転させながら種子処理剤を入れます。（作業時間 1 分）
 - ② 混合済みの鉄資材を 3 回に分けて入れます。十分な量の水をスプレーします。（10 分）
 - ③ 仕上げの焼石膏を 3 回に分けて入れます。（5 分）このとき水スプレーはしません。
- (4) 保管・播種
 - ① 当日播種（催芽種子）：圃場へ運び播種
 - ② 翌日～5 日後播種（催芽種子）：網袋に堆積厚 5～10 cm で保管し、夕刻に攪拌して湿気を逃がす その後静置して、5 日目までに播種
 - ③ 作り置き・長期保管後播種（活性化種子）：コーティング種子を薄く広げて、または大量製造機を使い酸化・放熱・乾燥（水分含量 14% 以下）処理します。その後、湿気を避けて暗所に保管、播種します。
 - ④ 翌日～5 日後播種（催芽種子）を作り置き・長期保管後播種（活性化種子）に切り替える場合は、5 日後以降に乾燥処理します。

2

鉄コーティング種子の準備

2.1 資材の準備



- (1) 鉄コーティングに適合した特性を持つ鉄粉、酸化鉄粉および焼石膏の各単品を購入します。秤量し混合します。ポリ袋やコンクリートミキサーを使うと混合は効率的です。
- (2) 混合品（プレミックス品、鉄粉と酸化鉄粉からなる鉄資材と焼石膏を混合した製品、仕上げの焼石膏を含みません）を使用する場合は混ぜる必要はありません。しかし資材費は高くなります。
- (3) 仕上げの焼石膏を秤量します。
- (4) 湿気があると鉄は酸化し、また焼石膏は変質します。資材や混合品はポリ袋等に入れ密封して乾燥保管します。

資材の入手については下記にお問合せください。

- J A
- 執筆者（お問い合わせコーナー）

その他、留意事項

- 従来型鉄コーティングに使用する焼石膏とシリカゲルは使用できません。
- 微細な鉄粉（単体）は消防法における危険物（可燃物）に該当します。

2.2 種子の準備

種子を浸種して催芽します。気温が低いときは催芽機等で加温します。種子が鳩胸状態になった時がベストで、胚がもみ殻を透けて見える～若干出芽でコーティングに使用できます。出芽しすぎてもコーティング時に芽が折れなければ大丈夫です。

2.3 コーティング作業

催芽種子をコーティングします。コーティングに要する時間は、種子の量に関わらず 1 回あたり 15 分±5 分です。時間をかけたコーティングは種子を傷めます。保護メガネ・防塵マスク・手袋を着用して作業します。

- (1) 種子をコーティングマシンに入れる前に余分な水を切ります。種子の入った網袋を数分間吊るし、またはパレットの上に置きます。水を切った種子をコーティング用機械に入れます。
- (2) 必要に応じて防除用の種子処理剤を添加し、種子の表面に塗布します。
- (3) 鉄資材と焼石膏の混合物を全量の 1/3 程度入れます。
- (4) 鉄資材と焼石膏の混合物が種子の周りに付着したら、混合物を追加します。必要に応じて水をスプレーしながら、この作業を繰り返します。
- (5) 混合物がコーティングマシンの回転盤に付着するときは早めにへらなどでそぎ落とします。そぎ落とすのが難しいときは、水を付着部にスプレーして落とします。
- (6) 混合物をすべて種子に付着させたら、できるだけ多くの水をスプレーします。種子表面が鉄資材で均一におおわれている時はスプレー不足です。十分に水をスプレーして、コーティング作業の終了後にも鉄の酸化が進むようにすることがコツです。水スプレーを止める目安は、種子の回転盤内での動きを観察し、滑らかに流れる状態（水が若干不足気味）が崩れるとき（若干過剰気味）です。（コーティング開始後の目安は 10 分）
- (7) 以降水スプレーはしません。仕上げ用の焼石膏を少しずつ 3 回に分けて投入します。数分回転させ、コーティングを硬くします。

水スプレー量とコーティングの関係 鉄資材の鉄濃度 12.5%の例



水スプレー不足時のコーティング種子 表面は均一に鉄資材でおおわれています。見た目にきれいなコーティングですが、水のスプレー量は不足しています。この時、種子はコーティングマシンやコンクリートミキサーの中でスムーズに流れます。この状態は水量不足です。



適度な水スプレー量 少しモミの地肌が見え始めます。このときコーティングマシンやコンクリートミキサーの中でスムーズに流れていた種子は崩れ始めます（波打つように流れる）。この時が適度な水量です。



適度な水スプレー量の種子に、さらに水をスプレーすると、**過剰気味の水スプレー量**となりモミの地肌が広がり、コーティングは不均一になります。適度な水量です。

鉄コーティング種子の準備には、適度～過剰気味の水量が、不足気味の水量より適しています。



過剰気味の水量の種子に、仕上げの焼石膏を添加した時の種子表面の様子です。焼石膏が過剰な水を吸収し、べたべた感や固まり感はなくなり、コーティングの見た目の不均一性も緩和されます。



コーティング翌日の種子の様子です。鉄粉がさびて薄い茶色になっています。

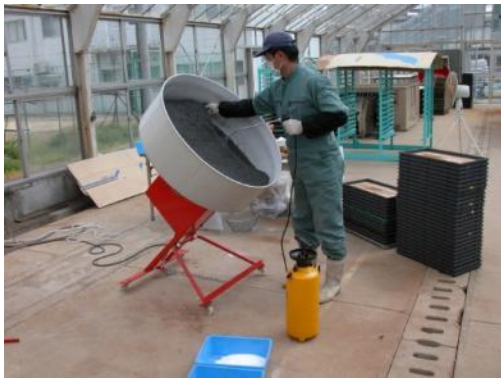
水スプレー不足の場合は、鉄粉の酸化が不足し、種子表面から剥がれ落ちる鉄資材の量が増えます。

過剰気味の水量であっても鉄コーティング種子はうまく仕上がります。

種子コーティングは様々な方法で実施できます。



数キロの種子であれば、バケツを使って手作業でコーティングできます。



コーティングマシンでは1～10kgの種子を処理できます。



コンクリートミキサーを使うときは内部の攪拌用の羽は取り外します。1回で処理できる種子量は数キロ～60kg程度です。

大型のコンクリートミキサーを使い、一度に多量の種子をコーティングする作業の手順です。スプレーヤーも手動または電動加圧式の大きめのものを使用します。



- (1) 網袋で浸種した種子は、パレットなどの上に置き水を切ります。40～80kgを容量110Lのコンクリートミキサーに入れます。写真の網袋は20kgの種子を浸種したものです。コーティング時間の目安は15分です。



ドラムの底部では種子が攪拌不足になる場合があります。長い柄のついたひしゃくやスコップでかき混ぜます。水スプレーは十分に行います。

- (2) コンクリートミキサーを回し、鉄資材と焼石膏の混合物を投入します。水をスプレーします。種子の動きはドラムの角度を変えて調節します。
- (3) 多めの水スプレーがポイントです。表面が粉っぽい状態は水量不足です。
- (4) 最後に仕上げの焼石膏を投入し、コーティング種子の表層を覆います。仕上げの焼石膏の投入開始後は水をスプレーしません。



(5) 網袋や大型のコンテナに詰めます。

2.4 コーティング後

- 未使用の鉄粉、酸化鉄粉、焼石膏、それらの混合物はポリ袋に入れ密封して、湿気を避けて保管します。変質するとコーティングに使用できません。
- 早めに機械を水洗します。回転盤に錆びた鉄が強く付着した場合は砂利と水を入れて攪拌・洗浄します。

コーティング当日に播種するとき



コンテナ、バケツ、網袋等に入れて圃場に運搬し、播種します。

コーティング当日に播種しないとき

湿潤状態の鉄コーティング種子（催芽種子）は網袋や網箱に 5～10 cmの堆積厚で詰めた状態で 5 日間程度保存できます。長く保存すると種子の水分含量が低下して発芽速度が低下します。

⚠ 発熱を防ぐための堆積厚の目安（催芽種子の短期保管）

- 鉄濃度 10%の場合：10 cm以下
- 鉄濃度 25%の場合：5 cm以下

⚠ コーティング当日の夕刻（作業の終了時）に、種子の入った網袋を軽く攪拌して、内部の湿気を逃がします



網袋に保存し、放熱しつつ、コーティングされた催芽種子の乾燥を避けます。種子用の網袋（40x60cm）に 5a 分の種子（乾燥種子重換算で 2.5 kg）を入れたとき堆積厚は 5 cm（写真左、全重 5 kg 程度）、10a 分の種子（5.0 kg）では 10 cmになります（写真右、全重 10 kg程度）。



催芽種子に含まれる水分が出て凝縮するのを防ぐため、また網袋表面からの放熱のため、床との隙間を空けます。

コーティング当日は催芽種子に水分が多く含まれています。そのため一晩放置すると多量の凝縮水が出ます。また網袋の内部で発芽する場合もあります。これを避けるため、コーティング当日の夕方のみ、網袋を軽くもんで、内部の種子を外気に当て、軽く水分を飛ばします。翌日以降は不要です。播種まで暗所に静置します。



種子の量が多いときは網目のコンバイン袋などを使い、パレットの上に置きます。

注意 鉄コーティング種子をブルーシートの上に広げると水分や温度の管理が粗くなります。

2.5 長期保存

コーティング後数日のうちに播種を予定して網袋に保存していたが、都合により播種を延期して長期保存する場合は、従来型の鉄コーティング種子と同様に乾燥して保存します。乾燥した鉄コーティング種子（活性化種子）の保存性は品種や種子源等によって変動します。

納入時の種子の品質が高い場合（発芽率 95～100%）は、風乾により数ヶ月、大量製造機で熱風（35℃）乾燥したときは 1 年以上保存できます。種子の発芽率が 95%以下で品質が低い場合は、活性化種子にするとさらに大きく低下しますので、長期保存には不適です。種子の品質が低い場合は、鉄コーティング後催芽種子の状態で播種します。

コーティング層に含まれる水はバインダーの役割を果たしていますが、乾燥するとその機

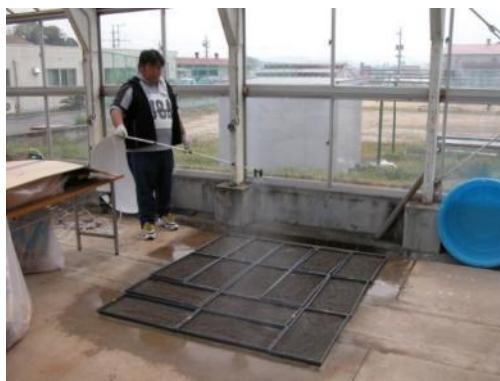
能が失われ、鉄さびが主要なバインダーになります。鉄資材に含まれる鉄濃度が 10%の時は、発生する錆が少ないので保存・運搬時に、また播種時に壊れやすくなっています。25%以上ではこの問題は軽減され、50%以上ではコーティング層は固く強くなっています。

コーティング種子は酸化発熱して乾燥し、しだいに反応が緩やかになり発熱は小さくなります。発熱の程度は鉄の種類と濃度によります。鉄濃度が 25%のときは薄く広げて放熱することが必要になる場合があり、50%では必ず必要です。種子の温度は 40℃以上にならないようにします



苗箱間に棒などはさんで、熱がこもらないように、十分に隙間を取ります。育苗棚や苗運搬用のコンテナを使うと作業は楽に、効率的に行えます。

風があると種子が早く乾き、酸化がすすみません。また、気温が低い（10℃以下）ときも酸化が遅くなります。



薄く広げたため水が蒸発して酸化（錆の発生）が少ないときは、苗箱に入った種子に水をスプレーします。コーティング種子は水を吸収します。苗箱の中に水がたまらない程度を目安にします。



熱が逃げるようにして、再度乾燥させます。コーティング種子の色は鉄濃度が高いときは全面茶色の錆色になります。鉄濃度が低いと灰色～黒色です。

表面が乾いたように見えても種子の内部は湿っていることが多く、乾燥に時間がかかります。



1 週間後に苗箱を積み重ねます。このまま播種予定日まで保管します。

注意 十分に乾いていない鉄コーティング種子をバケツや網袋に入れると種子が傷み、長期保存できません。



長期保存するときは、従来型の鉄コーティング種子の大量製造機の使用が便利です。酸化と乾燥処理を 2 日で完了できます。

2.6 発芽テスト

種子の発芽率をコーティングの前後に測定することで、直播栽培に失敗したとき、どの段階で発芽率が低下したかを解明できます。コーティング直後やその後の保存中の発芽率の低下は、コーティングに使用した種子の質が悪かったか、コーティング時に熱がこもって高温になったか、コーティング後の乾燥が不十分なときに起こります。



プラスチック製使い捨てのシャーレーにコーティング前、または後の種子を 100 粒ほど入れ、十分な量の水を添加（直径 9cm 高さ 20 mm のシャーレーでは水を 20mL 程度）、25～30℃で 1 週間放置後、発芽した種子としまなかった種子を数え、発芽率を計算します。

テスト中の水交換は不要です。水が腐るのは種子が不良のためです。



シャーレーの代わりに、スーパーの食品トレイ、使い捨てコップ、ペットボトルなど何でも使えます。

気温が低いときは恒温器や育苗器に入れます。

3

圃場の準備

3.1 直播に適した水田

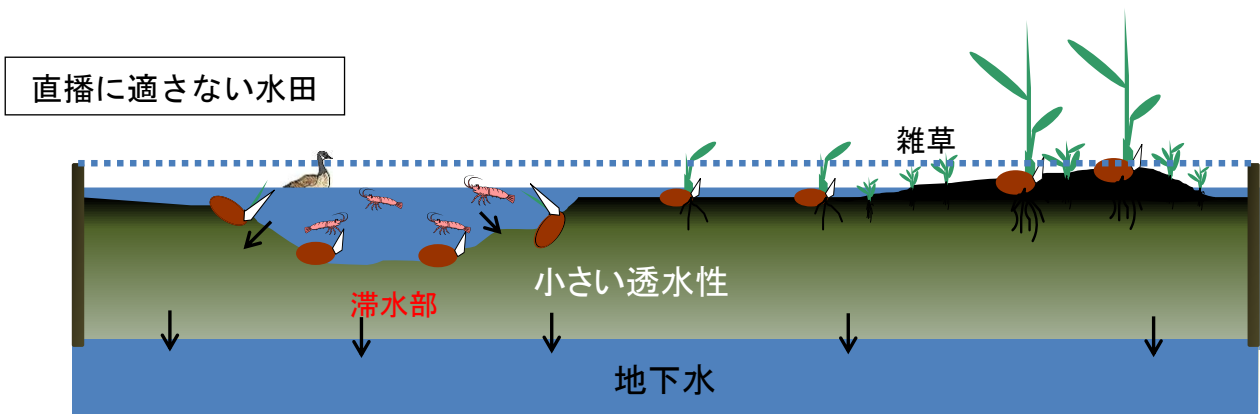
直播と移植では水管理と病害虫の発生生態が異なります。そのため直播栽培は、水田を団地化して導入することが望まれます。

鉄コーティング種子の直播では出芽時に表面落水します。芽干しと呼ばれ、苗立ちの安定化に必須です。そのため目標とする水田は以下の通りです。

- 均平
- 適度の透水性（1日当たり10～20mmの減水深）
- 明渠または溝（迅速な入排水）
- 高く丈夫な畦畔
- 必要なときに入排水できること

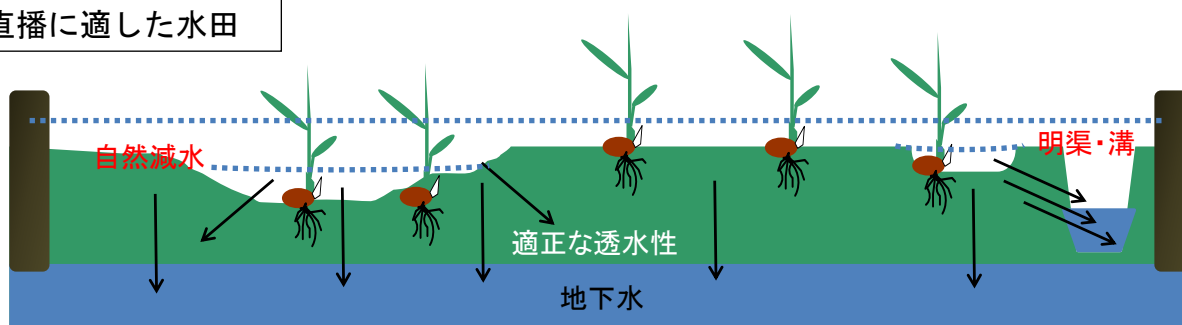
3.2 直播に失敗する水田、成功しても省力性に欠ける水田

移植用に準備された水田をそのまま直播に転用すると水や雑草の管理に時間をとられます。落水しても凹部に滞水部ができ、その結果、土壌還元による生育阻害、病虫害、水生生物によるかく乱、鳥類の飛来と食害、および高温時の水温の過度の上昇による枯死等により苗立ち不良になります。一方で凸部ではひび割れて、雑草もはびこります。イネの出芽と初期生育も不均一で、除草剤をまくタイミングが難しくなります。畦畔が低く崩れやすいと、深水にできず除草剤の効果が劣ります。



不均平、代のかきすぎで透水性が低い、明渠や溝がない、低くて弱い畦畔、必要な時に水を入れられない、このような水田は直播に不適です。

直播に適した水田



適度に均平化され透水性のある水田、また明渠や溝、高く丈夫な畦畔があり必要な時にすぐ入排水できる水田では、直播を省力・安定的に実施でき、多収が見込めます。このような水田では強制落水を避けることができ、除草剤の効きもよく、病害虫の被害も少なくなります。

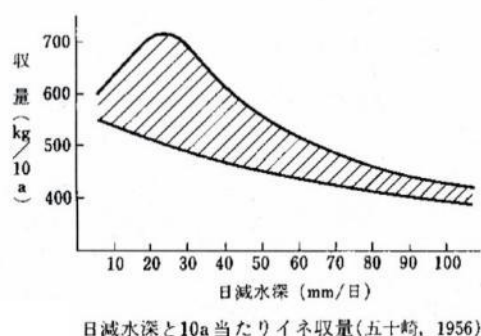
3.3 直播用の水田を準備するポイント

(1) 適度の代かき

代かきには①均平化する、②水持ちを良くする、③雑草をすき込み、後発雑草の発生を抑制する、④肥沃度を高めるといった効果があります。近年は環境保全のため、浅水入水後、土引き（均平化）して、適度の強さで代かきすることが推奨されています。

作業者は特に以下の2点を意識して作業しましょう。

- 大規模圃場の均平化：代かき作業のみで圃場全体を均平にすることは困難であり、無理に均平化を図ろうとすると過度な代かきとなり、かえって透水性が低下します。広い圃場では、事前のレーザーレベラーによる圃場整備が非常に有効です。（ただし、レーザーレベラーの利用は必須ではありません。）
- 適度な透水性の確保：1日あたりの減水深が10mm以上ある圃場では、2～3cm程度の凹みに水が溜まって2～3日で自然に水がなくなります。適度な透水性は、作業の省力化や健全な根系の発達に役立ちます。減水深が20～30mmの範囲で最大の収量が得られるという報告があります。



適度の代かきで日減水深を10～20mmに保つことが省力・低コスト・安定多収に結びつきます。過度の代かきは濁水を生じさせ水環境を汚染します。

(2) 明渠や溝の準備

明渠や溝を準備しておけば、代をかきすぎて滞水部が発生しても、排水できます。

【設置方法とメリット】

トレンチャーやバックホーを使って設置します。トラクターや耕うん機の車輪跡を利用する方法もあります。

明渠により、給排水を迅速に行えるようになり、適期を逃さずに除草剤を散布できます。また、苗の根を健全に保ち、倒伏を予防する効果もあります。



溝掘り機を用いた明渠設置作業



バックホーを用いた明渠設置作業

明渠導入のポイントは必要な水田のみに設置することです。必ずしも圃場の周囲にめぐらす額縁明渠である必要は無く、I（アイ）字やL（エル）字型でよい場合も多くあります。重要なことは、必ず排水口につなげることです。

明渠設置後は、80%ほど土壌が出る程度の浅水湛水で代かきをします。明渠から50cm離れたところまで代をかき、明渠の端まで種をまかないようにします。また、掘り出した土壌は圃場の中に薄く広げるようにします。



直播水田における芽干しの様子。明渠があれば代を強くかいても滞水部の発生は抑えられます。



明渠にはデメリットもあります。土が盛り上がると雑草が生えます。栽培面積も減ります。

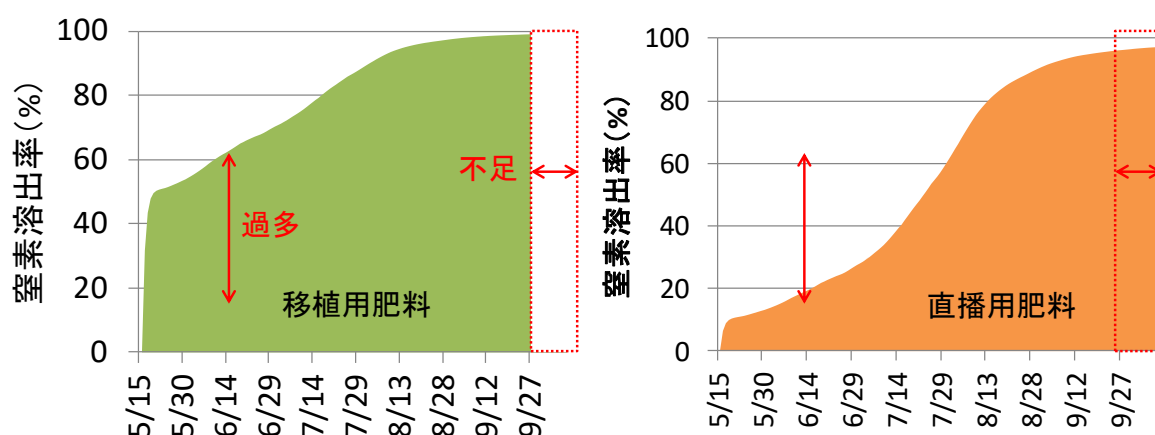


明渠は収穫後も残ります。必要に応じて農閑期に修復し、春に備えます。

4.1 肥料

施肥方法は、条播・点播の場合は側条施肥、散播の場合は全層施肥になります。直播導入の主目的は省力性であるため、追肥が不要な基肥一発体系が多く採用されています。

一発肥料は直播専用肥料を使います。直播では播種後1ヶ月は胚乳の養分を使って生育するため、速効性窒素は不要です。また、収穫時期が移植に比べて7~10日遅れることから肥効期間を伸ばします。移植栽培では茎数(穂数)を確保するため分けつ肥料を施用しますが、直播では播種量によって容易に茎数(穂数)を確保できるため、分けつ肥を入れません。



移植用肥料を直播に使うと初期窒素が多すぎて肥料ロス、茎数過多、細茎化しやすくなります。一方で、登熟期には倒伏しやすく、窒素が切れ低収量、低品質となる可能性があります。直播専用肥料では生育後半に肥料を効かせ、収量を向上させます。

高温対策として追肥が必要な場合は、流し込み施肥を使って省力化します。また、ドローンによる空中散布専用肥料の追肥も実用化されています。

直播専用の一発肥料は緩効性肥料の割合が高くなるため、コスト高になる傾向があります。そこで、完熟堆肥や有機物を積極的に施用して肥沃度を高めます。鉄コーティング種子の直播は表面播種であるため、完熟堆肥や有機物を積極的に使用できます。

4.2 農薬

移植と直播では栽培体系と病虫害の発生生態が異なるため、農薬の使用にあたっては注意が必要です。使用にあたっては、直播に登録があること、また飼料イネ(WCS)に対する農薬の使用については、(一社)日本草地畜産種子協会作成の「稲発酵粗飼料生産・給与技術マニュアル」を確認してください。

(1) 除草剤

直播栽培は移植栽培と異なり、イネと雑草が同時に生育をスタートすることから、除草剤の散布適期が限られます。播種前後に使用できる初期剤や播種同時に使用可能な初中期一発剤と本葉が展開した後の初中期一発処理剤の組み合わせが基本です。最近では、芽干し後ノビエがやや大きくなった圃場でも効果の高い初中期一発処理剤も開発されていま

す。芽干しの期間に雑草が多発したときは中後期剤クリンチャーバス液剤やアレイル SC が効果的です。

雑草管理は移植栽培より難しくなります。特に多い失敗は代かきで雑草を十分に抑えていない時に、すなわち田面でヒエが芽を切っている状況下で播種したときに発生します。移植栽培では一発処理剤でこのような雑草を抑えることができますが、直播栽培では播種同時に使用できる初期剤や初中期一発剤は移植時に使う一発処理剤に比べて効果が小さく、十分に雑草を抑えることができません。そのため、代かきから播種までの時間を長く取り過ぎないことが重要で、目安は代かき後 1～3 日です。

(2) 殺虫剤・殺菌剤

鉄コーティング処理は種子伝染性の病虫害の発生を抑制します。そのため、例年種子伝染性病害の発生が少ない地域では、種子消毒を省くことも可能です。

播種から苗立ち期に発生する病虫害の防除は苗立ちの安定化につながります。特殊な病虫害ではないので適正な農薬により様々な方法で対応できます。また、移植栽培と同じように苗立ち期以降の防除も必要です。

殺虫殺菌剤の防除体系は以下の通りです。

- 初期・中期病虫害（いもち病、イネミズゾウムシ、イネドロオイムシ等）に種子処理剤を使用。鉄コーティング時に処理できます。ヨーバルシード FS（初期害虫・チョウモク害虫）、ルーチンシード FS（いもち病）、エバーゴルシード FS（紋枯病）、ルミスパンス FS（ウンカ類）等 ヨーバルシード FS は芽干しで排水できないトラブル時に初期害虫を抑えますので、苗立ちの安定化につながります。
- 点播・条播では移植水稻における箱処理剤を付属の粒剤散布機を使用して播種同時に土中施用することもできます。
- 初期害虫（イネミズゾウムシ、イネドロオイムシ）には本田粒剤も有効です。
- 中後期病虫害（いもち病、紋枯病、ウンカ類、カメムシ類）には本田粒剤を使用。
- スクミリンゴガイには登録薬剤（メタアルデヒド粒剤、燐酸第二鉄粒剤、チオシクラム粒剤、カルタップ粒剤等）を使用。

5

播種

5.1 播種時期が苗立ちと収穫の時期に及ぼす影響

発芽と初期生長は温度によって強く影響されます。そのため、温帯地域では播種時期の違いは苗立ちに要する日数や収穫日に影響します。

- 直播失敗のリスクが小さいのは田植え後の暖かくなつてからの播種です。播種後の生育が早く、1～2 週間で苗立ちするので、生産者は気が楽です。しかし、収穫が遅くなります。
- 田植の直前、同時、直後に播種すると 2～3 週間で苗立ちします。収穫は田植えに比べて 10 日ほど遅れます。
- 移植用の苗と同時期（すなわち田植の 3 週間前）に播種すると、本田では低温のため生育は遅れ、苗立ちに 3～4 週間かかり、その間に雑草がはびこります。また周り

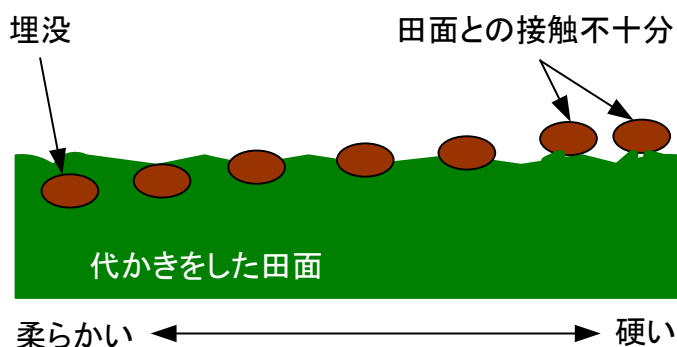
の水田には水が入っていないので、水鳥のターゲットになりやすい問題があります。直播失敗のリスクが大きく、また精神的にも疲れます。

5.2 表面播種

鉄コーティング種子は湛水直播と乾田直播に使用できます。

- (1) 鉄コーティング直播は表面播種です。土中播種すると苗立ちに失敗します。
- (2) 表面播種では播いた種子の一部が地表面にみえます。同じ1枚の水田でも、土壌のやわらかいところでは種子は土に浅く埋もれますが、芽干しすれば出芽します。
- (3) 田面は硬めのほうが適しています。

注意 播種前に野外で鉄コーティング種子に直射日光が長時間あたると、鉄板と同じように高温になり種子が傷みます。

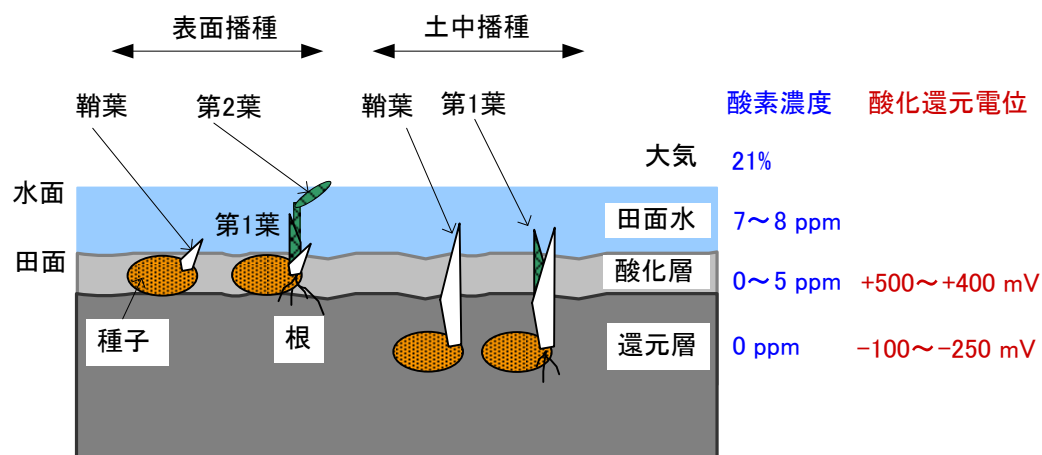


鉄コーティング種子の表面播種では播いた種子の半分が見え、残りが浅く埋もれて見えません。

田面との接触が不十分なときは吸水できません。この時は湛水期間を長くして、土壌と密着させます。乾田直播の時は、播種後の鎮圧により苗立ち率を10%程度高めることができます。

アメリカやアジアで広く実施されている湛水直播は表面散播です。水中では種子に浮力がかり浮きやすくなります。アメリカでは荒く耕起して発生した土塊で種子を挟むことにより、アジアでは落水することにより、鉄コーティング直播では種子の比重を大きくすることにより、種子の浮遊を抑えます。種子は土壌表面の酸化層にとどまり、酸素があるため第1葉と根が伸長します。

土中播種では種子が浮かないメリットがあります。しかし、酸素不足や還元障害で枯死する危険性が高くなります。日本ではこれらを防ぐために、酸素発生剤やモリブデン化合物でコーティングし正確な深さに播種して、落水出芽（出芽時に落水して土中深くまで乾かすこと）により、還元障害を回避します。海外では湛水直播の土中播種は実施されていません。



5.3 点播・条播と散播の違い

移植栽培と似た外観で直播栽培に切り替えたい、密植をさけて病虫害の侵入を避けたい、また、倒伏しやすいコシヒカリなど直播に適していない品種を栽培する場合は点播・条播が適します。

一方で、現在所有している機械を活用したい、また作業速度を上げたい場合は散播が適しています。

	点播・条播	散播
機械	専用直播機	動力散布機、ブームスプレーヤー（乗用管理機）、ブロードキャスター（肥料散布機）、無人ヘリ、ドローン
播種量	4 kg/10a 程度 種子代が高い場合に有利	5 kg/10a 程度
メリット	<p>★ 苗立ち（栽植密度）が安定</p> <ul style="list-style-type: none"> 手取り除草可能 倒伏しやすい品種に適す 見た目が移植苗の植え付けに似ており、移植から直播への切り替えが精神的に楽 側条施肥でき、省力的 播種時に溝を切れ、芽干ししやすい 	<ul style="list-style-type: none"> 作業速度が早い 湛水したまま播種できるため除草剤が良く効く 様々な機械を活用できる。小面積では手播きも可能
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> 播種スピードが遅い 播種時の落水作業が必要 専用直播機が必要 播種量の調節は機械の設定範囲内に限られる。 	<p>★ 苗立ち（栽植密度）を高精度でコントロールできない</p> <ul style="list-style-type: none"> 手取り除草できない 倒伏しやすい品種には使えない 明渠または溝切が必要 全層施肥であり、手間がかかる

★ 点播・条播では株間、条間が決まっているので、苗立ち率が非常に悪くても（たとえば15%）、栽培に大きな支障はなく、見た目も悪くありません。

★ 散播で苗立ち率が大きく下がると、栽培が非常に難しくなります。見た目にも悪く、栽培を中止する場合があります。

5.4 点播・条播

- (1) 表面播種できる専用機で播種します。
- (2) 作溝と覆土をせず、鉄コーティング種子を田面に自然落下させます。
- (3) 湛水状態では走行位置の把握が難しく、また種子が水流で移動するため、条播・点播できません。そのため播種時に一時的に水を落として播種します。
- (4) 排水量を減らすためには、代かき時の水量を調節します。水量が多い場合は、播種前日夕方に排水を開始すると、翌日午前の播種に適した田面の状態になります。

- (5) 播種後に湛水し、その後芽が出たら芽干しします。



【鉄コーティング種子専用点播機】

鉄コーティング種子の播種と同時に、施肥と防除できます（側条施肥、除草剤、殺虫殺菌剤）。

排水用の溝切機が装備されています。溝が浅すぎ滞水部が発生するときは、明渠が必要です。



田面が固い部分における播種直後の様子。作溝と覆土をせず、自然落下させます。鉄コーティング種子、除草剤（小さな白い点）、側条施肥された肥料（溝の中）を確認できます。

5.5 散播

- (1) 代かきの翌日から3日以内を目安に水深5cm程度で播種します。
- (2) 代かき直後に強制落水して播種すると、種子が深く沈み苗立ち不良になります。湛水播種します。
- (3) 散播では様々な播種機が使用可能です。
- (4) 散播では明渠または排水用の溝を切り、滞水部の発生を防ぎます。
- (5) 隣接田への鉄コーティング種子や薬剤のドリフトに注意します。



動力散布機にはさまざまな形状のノズルがあります。単なる筒状のもの（黒色）や渦巻状のもの（青色）ではコーティングが壊れることはほとんどありませんが、遠くと近くに同時に散播できるもの（赤色）では、壊れることがあります。

播種時に鉄コーティング種子が壊れるとオペレーターの顔に破片が飛ぶ恐れがあります。保護メガネとマスクを着用します。



動力散布機を用いる場合、水田の周りから散播します。初めてのときは、半量ずつ鉄コーティング種子を動力散布機に入れ、2周することで全面均一に散播できます。湛水直播と乾田直播に使用できます。



広い水田では散布に労力がかかるため、田植え機や乗用管理機の活用も有効です。動力散布機以外にブームスプレーヤーや施肥用のブロードキャスターなども使えます。



無人ヘリによる散播では、風圧で田面が露出しないように播種時の水深（5cm）を確保します。



棚田におけるドローン散播は手軽に取り組める直播です。畦畔が弱くて細い場合は作業者の安全にもつながります。

5.6 播種量

播種量は苗立ち数を左右し、収量に影響します。直播では苗立ち数が 100 本/m^2 のとき、収量が高く安定します。移植栽培に慣れた生産者が直播栽培に切り替えるときは、苗立ち数不足で減収しやすいので注意します。種苗費を抑えるためには下限の 100 本/m^2 を目標とします。

$$\text{苗立ち数 (本/m}^2\text{)} = \frac{\text{播種した種子数/m}^2}{100} \times \text{苗立ち率 (\%)} / 100$$

1 粒の種子の重さに基づいて、播種した種子数/m²は重さに換算でき、播種量 (kg 乾燥種子/10a) として表記されます。

苗立ち率 (播いた種子のうち苗に生長する割合) は様々な要因によって変動します。一般に、代かきをした条件下では、鉄コーティング種子 (活性化種子) の苗立ち率は 50±20% (30%~70%) です。

播種時期の土壌還元や病害虫問題の発生頻度との関係から、苗立ち率は東日本では高く (50~70%)、西日本では低く (30~50%) なる傾向があります。種子処理剤、特に初期害虫防除剤は苗立ちを高めて安定化させます。

鉄コーティング種子の苗立ち率は、催芽種子が無処理の種子や活性化種子に比べて高くなります。無代かき湛水直播と乾田直播では、代かきした水田に比べて苗立ち率が 10~20%程度高くなります。

鳥害やスクミリングガイ (ジャンボタニシ) による食害は苗立ち率を著しく低下させます。気象条件も加味して、予期しないトラブルが発生しても苗立ち数 100 本/m² 以上を確保できるように播種量を多めに設定します。

苗立ち率と播種量の関係

苗立ち率が 30~70%程度で変動するときに、苗立ち数 100 本/m²を目指すには、播種量は 4~8 kg/10a 程度になります。

苗立ち率が 50%のとき 1m² あたり 200 粒の鉄コーティング種子を播くと、苗立ち数は 100 本/m²になります。200 粒は通常の品種 (千粒重 25 g、1 粒重 25mg) では乾燥種子 5kg/10a に相当します。

苗立ち数 100 本/m²を確保するために必要な苗立ち率と播種量の関係

苗立ち率 (%)	播種量 (kg/10a)
30	8.3
40	6.3
50	5.0
60	4.2
70	3.6

点播機の設定

点播機では条間は 30 cmに設定されているため、播種量は株間と一株にまかれる種子の粒数で決まります。点播で播種量を 4 kg/10a 以上に設定するためには、株間 14cm では一株当たり 7 粒、株間 16 cmでは 8 粒、株間 18 cmでは 9 粒、株間 21 cmでは 10 粒必要です。

点播では一株粒数の調節がきわめて重要です。一株 1 粒の違いは播種量 10%の違いに相当します。

直播栽培では、苗立ち期の湛水や滞水部において還元障害、カモによる食害、病虫害、水生生物、および高温時の播種では水温の過度の上昇等によるかく乱が発生しやすく、苗立ちの低下を招きます。芽干しは、鉄コーティング種子の直播において苗立ちを成功させるためのキーとなる技術です。

- 播種後鉄コーティング種子が田面で芽を切ったとき（播種後 2～7 日）に開始します。期間中は滞水部をなくします。ヒタヒタ水は厳禁です。芽干しの期間は通常 2～7 日です。
- 温暖地と寒冷地で管理が異なります。基本は、温暖地では鞘葉の伸長が認められたときから不完全葉・本葉の展開まで、寒冷地では不完全葉の伸長が始まったときから本葉の展開時までです。
- 芽干しと落水出芽は異なります。落水出芽は土中播種用の苗立ち確保の水管理です。運動靴で歩けるほどに田面を土中深くまで十分に乾かして酸化状態にします。一方で、芽干しは、従来は水苗代に使われていた表面播種用の苗立ち確保の方法です。表面排水して土壌を飽水状態とし、乾いても軽いひび割れ程度までです。
- 芽干しは苗立ち不良や不揃いな初期生育をふせぎます。
 - 根が地中に張り「たこ足」の発生を防ぎ、耐倒伏性を高めます。
 - 還元障害を防ぎます。
 - 除草剤による薬害の発生を防ぎます。
 - 病虫害や水生生物によるかく乱を防ぎます。
 - 水鳥の飛来を防ぎます。
 - 気温が高いときの滞水部での水温の過度の上昇による枯死を防ぎます。



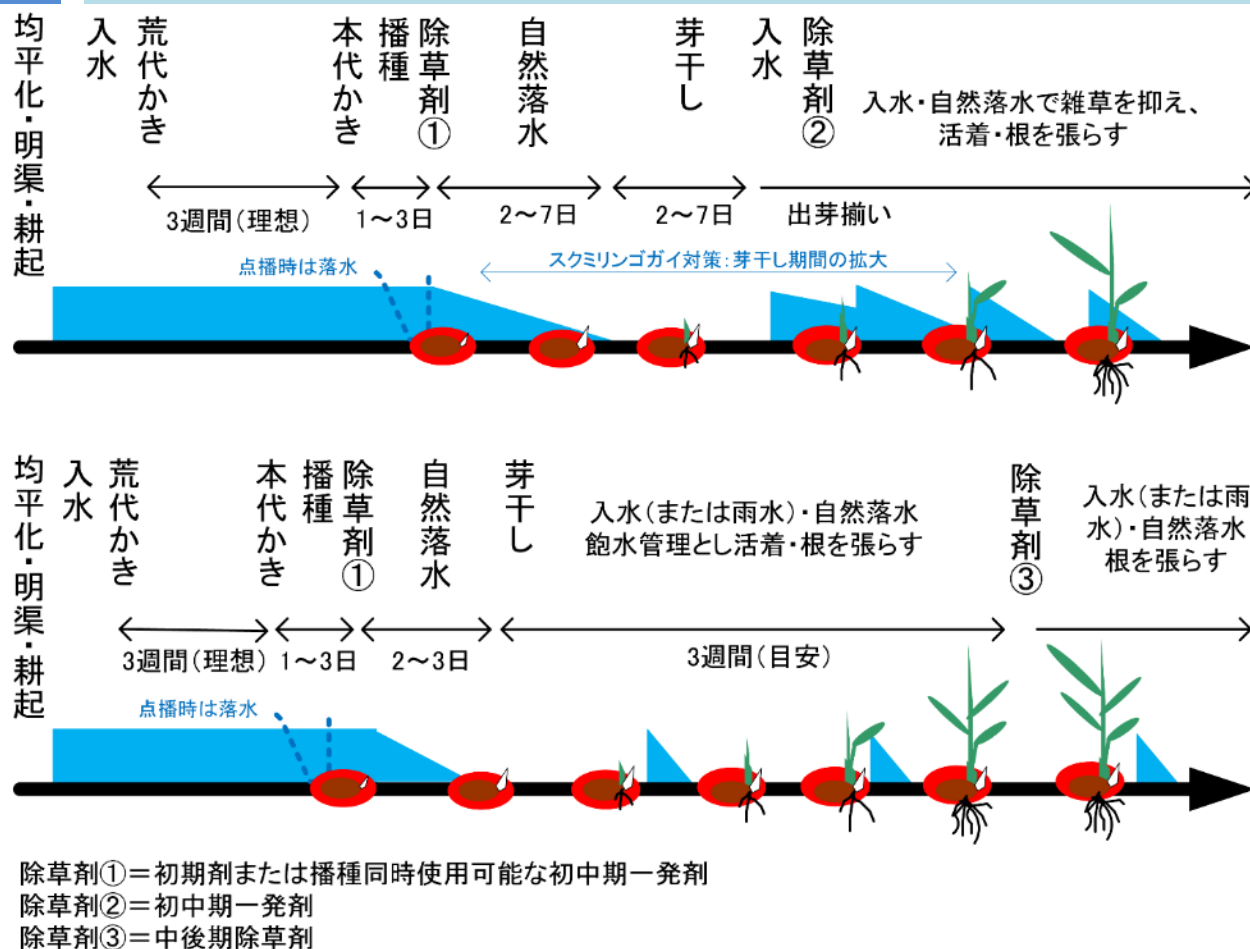
芽干しは飽水管理（足跡に水が溜まる程度の湿潤状態）が理想です。播種時に切った溝に水はたまっていますが、種子の周りは水が切れているのが望ましい姿です。



表面播種では、特に芽干し時に、播いた種子の多くが田面に見え、種子の生長を観察できます。写真は鞘葉が伸び、不完全葉が出てきたところで、芽干し開始の 1～2 日後です。

7

代かき後の直播



鉄コーティング種子の代かき後の湛水直播の基本パターン

上図：湛水期間の長い湛水直播(Water seeding with pinpoint flooding)の体系 湛水期間を長くして、水による保温と雑草の発生を抑制します。

下図：湛水期間を短くした湛水直播(Water seeding with delayed flooding)の体系 干し気味の水管理でイネミズゾウムシやスクミリングガイによる苗立ち不良を軽減します。

7.1 散播（湛水播種）

- (1) 秋の収穫後から春先にかけて、均平化し明渠を入れます。耕うんにより雑草を抑えます。
- (2) 本代かきの3週間ほど前に荒代をかきます。必須ではありませんが、雑草の管理に有効です。荒代をかかないときは、除草剤または耕うんにより、水を入れて本代をかく前に雑草を抑えます。
- (3) 浅水で適度の強さで本代をかきます。代かき水の中に播種します。落水作業を省略でき、かつ雑草の発生を抑えます。鉄コーティング直播の主要なメリットです。
- (4) 代かき1日～3日後を目途に播種し除草剤①を散布します。播種が遅れると雑草の勢いが強くなります。
- (5) 播種後は自然減水により落水します。水が少ないときは補水します。

- (6) 落水を完了する時期の目安は、鉄コーティング種子の表面に白い鞘葉の先端が見えた時です。日平均気温が 17℃を下回るような低温条件下では、鞘葉の伸長期がとくに低温に弱いため不完全葉が展開する時期まで落水を遅くし、または飽水管理します。遅霜が予報されるときは湛水します。暖かい時期では播種後 2 日、寒い時期では 7 日ごろになります。落水が遅れると根が水中でタコ足状に伸び、転び苗になります。
- (7) 落水の完了後、芽干しを開始します。芽干しを完了する時期の目安はイネが活着（根が土中に張り、根付くこと）する時で、不完全葉（緑色の針のような芽）や第 1 葉が見える時期です。しかし、病虫害（イネミズゾウムシ等）や水生生物（ジャンボタニシ等）による害があるときは芽干し期間を延長します。芽干し期間の目安は、寒くて、または適切な農薬の使用により病虫害・水生生物による害が抑えられているときは 2 日、暖かい時期は 7 日、ジャンボタニシが生息している水田では 3 週間ほどになります。
- (8) 芽干しを始めて数日（晴天時には 3 日ほど、通常 5～7 日）後には田面が乾きひび割れが始まりますので、補水し湿らします。降水で田面が湿っているとき補水は不要です。補水は週に 1 回程度です。芽干しが 3 週間であっても実際に補水するのは、数回のみです。芽干しが長引いて雑草がはびこり、除草剤②で対応できないと思われる時は、芽干し期間中にクリンチャーバスなどで枯草します。
- (9) イネの出芽が揃い、病虫害や水生生物による害が小さくなったら、入水します。除草剤②を入れた後は湛水を維持して雑草を抑えます。その後イネが生長して田面を覆い雑草を抑えるようになったら、入水する間隔をあけて干し気味に管理し根を張らします。
- (10) 移植では栽植間隔が広く雑草を抑えるため常時湛水しますが、鉄コーティング直播では播種量 5 kg/10a の密植気味で雑草を抑え、また表面播種であるため、干し気味の管理で根張りを促します。移植と直播では水管理が異なります。

7.2 点播・条播（代かき水を一時的に落として播種）

点播または条播するときは、一時的に落水して播種、側条施肥、および除草剤①の散布を行い、直ちに再入水します。代かき水を落とす作業、水の無駄遣い、水質汚濁、雑草が生えやすいなど課題もありますが、点播・条播のメリットも多くあります。

7.3 その他

代かき後の直播は様々な方法で実施できます。必要に応じて鉄コーティング比や鉄濃度を変えて実施します。

Wet seeding（代かき水を落として播種、出芽揃い期に水入れ）はアジアで広く実施されている催芽種子の散播における水管理法です。日本では潤土直播または無コーティング直播と呼ばれています。代かき直後に強制落水して、種子が土壌の表面に密着するように播種します。鉄コーティング種子は Wet seeding できます。鉄コーティング種子は重いので土中播種にならないよう、土壌は硬めの条件で播種します。落水しており、初期除草剤は使えません。出芽揃い期に入水して初中期一発剤、または落水状態で中後期剤を使用します。浮き苗が発生しにくい条件であり、鉄コーティング比は小さくでき、バケツなどで楽に、コーティングできます。

鉄コーティング種子は無代かきで湛水直播と乾田直播ができます。適地は代かきをしなくても日減水深 30 mm 以下の漏水の少ない湿田です。

メリットは、代かきしないため、一層の省力・低コスト化をめざせること、および苗立ちの安定化性です。

デメリットは、均平化された水田であること、除草剤の使用回数が増えること、および施肥量が高まることです。加えて、漏生イネや雑草イネの発生に注意が必要です。

8.1 無代かき湛水直播

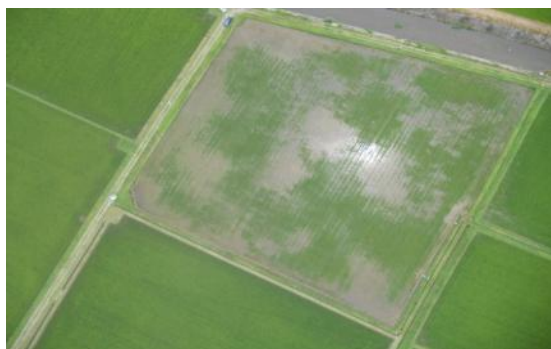
鉄コーティング種子の湛水直播において、代かきをしません。アメリカ・カリフォルニアの催芽種子の湛水直播と同じですが、鉄コーティング種子では重いので苗立ちは安定化します。

8.2 乾田直播

一般に行われている乾田直播との違いは、表面播種であることと播種後少なくとも半日以上湛水することです。一般の乾田直播では種子は降雨由来の水を土中で吸って出芽しますが、鉄コーティング種子の乾田直播は表面播種であり、吸水が不十分なためです。

一方で、播種直前に降水があると一般の乾田直播は実施できませんが、鉄コーティング種子の乾田直播は無代かき湛水直播に切り替えて実施します。

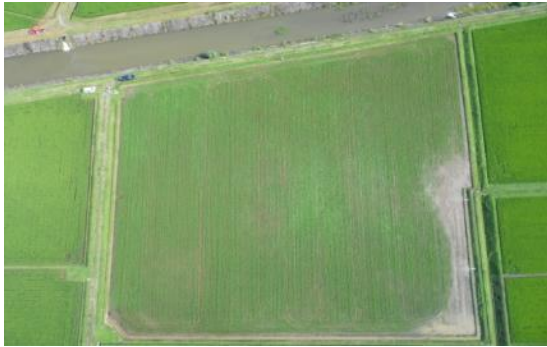
8.3 代かきから無代かきへ移行した直播事例



代かき後の湛水直播。滞水部が発生し苗立ちは不良でした。1haの水田では代かきによる均平化は難しく、代のかきすぎのため滞水部の発生を回避できませんでした（2011年）。そのためイネミズゾウムシに起因する苗立ち不良が広く発生しました。



播種前にレーザーレベラーで均平化した後、無代かきで鉄コーティング種子を湛水直播（2012年）。



その結果、滞水部はほとんどなく、還元障害や病虫害は発生せず、苗立ちが安定化しました（2012 年）。

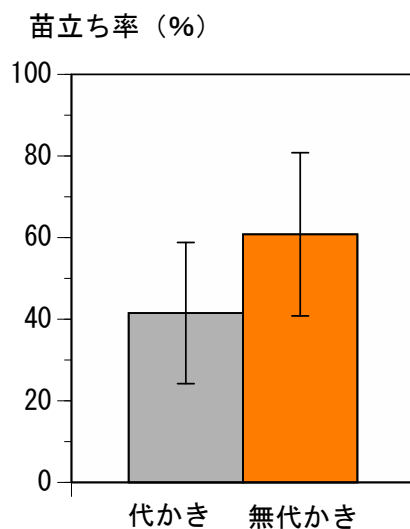


無代かき水田では水を入れて代かき水田と同じように播種できます。写真は点播機の使用例です。

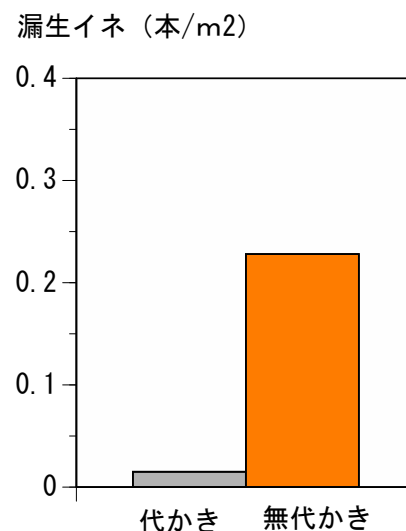


鉄コーティング種子の乾田直播では、畑状態で散播後、入水、半日以上湛水して、種子に水を吸わせます。

8.4 無代かきが苗立ち率と漏生イネの発生に及ぼす影響



苗立ち率は無代かき条件下で高くなる傾向があります（広島県福山市）。



無代かき条件下では漏生イネが発生しやすくなります（広島県福山市）。

漏生イネや雑草イネ発生の予防には収穫時に種子を落とさないこと、また遅まきにして、播種や湛水の直前にグリホサート系除草剤（ラウンドアップ等）で生えている雑草を枯らし、その後耕起せずに鉄コーティング種子を表面播種することです。

漏生イネや雑草イネの発生時には代かき後の湛水直播や移植へ切り替えます。

9 鳥害による苗立ちの低下

鉄コーティングにより鳥害を軽減することができます。鳥の種類によって被害の特徴が異なり、それぞれの対応が必要となります。

<スズメ>



コーティング層が硬くて食べるのに時間がかかり、被害を軽減できます。

播種量が小さいときに食害を受けると苗立ち数不足で収量が低下します。播種量が5kg/10a程度のときは、若干の鳥害を受けても苗立ち数不足になりにくくなります。

コーティング比や鉄濃度を上げると被害は小さくなります。

<カワラヒワ>



鉄コーティングによる食害軽減はカワラヒワにも有効です。スズメに比べて被害が強いので、鉄コーティング比や鉄濃度の上げ幅をスズメのとき以上に高めます。

<カモ>



湛水状態で食害が発生します。落水するとカモは飛来しません。

深水のとき被害は大きくなります。食害は夜間にも発生します。播種後数日たっても田面水が濁り、播いた種子が消えている場合は、夜間カモが来ている可能性があります。浅水管理や芽干しが飛来防止に有効です。

<カラス>



カラスによる被害については詳細が十分に確認されていません。群れで飛来し苗立ちを全滅させる、苗を引き抜くなどイタズラをするという報告があります。

水田への飛来、または周辺でカラスの群れが確認される場合は、圃場の周囲や中央部にテグスを張る、芽干し中であれば入水するなど放置しないことが肝心と思われます。

鉄コーティング種子の直播では、鉄コーティング比や鉄濃度を調節すれば、落水することにより、カモ、スズメ、およびカワラヒワによる食害を解決できます。カラスについては未解決です。

10

土壌還元による苗立ちの低下



無代かきでは透水性が大きく、水はたまりません。一方、代をかき過ぎると透水性が小さくなり滞水部が発生します。



滞水部では苗立ち不良になります。無代かきではイネも生えますが、雑草も多く発生します。



滞水部では死んだ種子や転んだ種子が多くなります。転んだ種子は落水状態を継続すると一部は回復し、立ち上がります。



土壌還元はイネの生育を遅らせるため、感染により枯死する種子も多くなります。



透水性が大きい無代かき水田では生育は旺盛です。一方で、代かき水田では特に滞水部で還元障害のため根の伸長が抑制されます。そのため田面で転ぶ苗が多くなります。

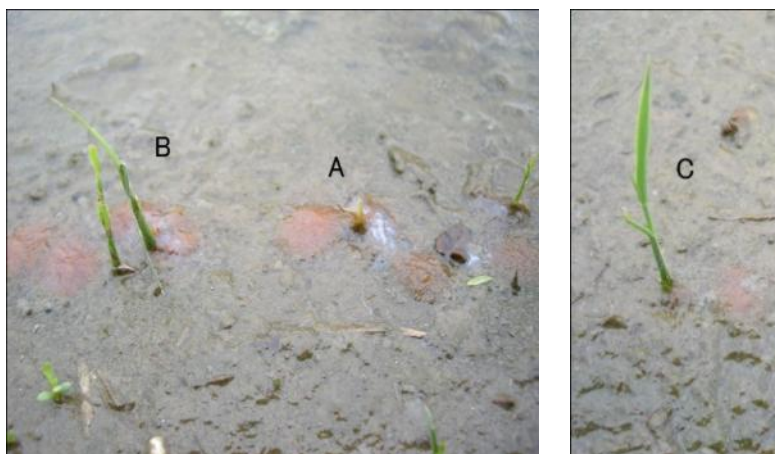
対策は代かきの強さを適度にする、また明渠を入れて、滞水部を発生させないことです。

11

病虫害と水生生物による苗立ちの低下

鉄コーティング種子の直播ではイネミズゾウムシ、モノアラガイ類、スクミリンゴガイ、ユスリカ、カブトエビ、苗腐れ（ピシウム菌）による苗立ち被害が確認されています。

このような問題は、海外でも多く報告されています。水管理や適正な農薬の使用により解決できます。鉄コーティング直播では中山間地の耕作放棄水田や森林に隣接する水田でよく発生し、被害の程度は播種時期によっても変わります。深刻な場合は数十アールの水田において苗立ちが皆無になります。



播種後に食害を受けた苗

A：出芽直後の被害、B：本葉展開中の被害、C：被害の小さいイネ（播種3週間後、苗立ち率30%の水田で撮影）。直播では初期病虫害の防除が苗立ちの安定化につながります。

平場の水田で鉄コーティング直播は成功していますが、これは周りの移植田において箱施

用剤等により病害虫が十分に防除されているおかげかもしれません。



イネミズゾウムシによる加害



ユスリカ



モノアラガイ類による加害



苗腐れ

病虫害や水生生物によるかく乱が発生するときの現象

- 播種後 3～5 日に発芽や出芽を確認したが、その後元気がなくなり、苗の色が薄くなり、苗が転び、または立ったまま枯れた。種子が発芽しなかったように観察される。途中で種子がなくなった。
- 播種 1 週間後、鞘葉が展開して不完全葉が伸長中に、それらが何かに噛み切られたような状態になっている。
- 表面に播いたが、1 週間後には種子が土中にもぐって見えなくなっている。
- 田面にはイネも雑草も全く生えていない。

病虫害や水生生物によるかく乱への対策

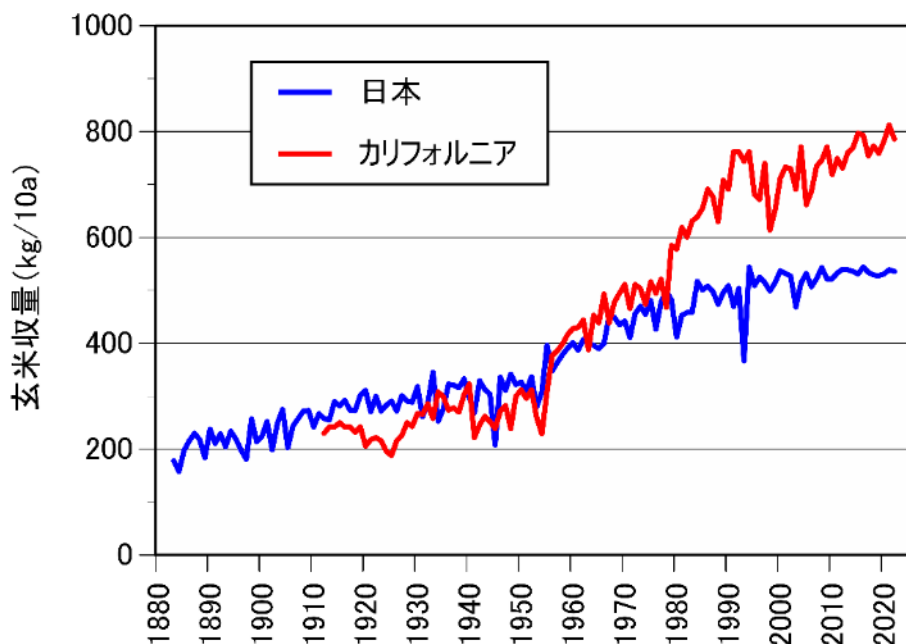
水管理を改善して落水期間を長くすることは有効な対策です。それが難しいときは農薬を使用します。

- 被害は芽干しにより軽減されます。特に長期の芽干しは有効です。
- 湛水播種を落水播種に切り替えます。
- 無代かき湛水直播や乾田直播は本問題を解決します。
- コーティング時の種子処理剤の使用は省力的で大変有効です。本田防除も有効です。適切な農薬の使用は、芽干しが不完全な場合でも、苗立ちの確保につながります。
- 苗立ち不良が発生した後では、農薬を散布しても回復できません。治療よりも予防が重要です。

12

安定多収のポイント

鉄コーティング直播は表面播種技術です。直播の場合「表面播種では多収を目指せない」という意見もありますが、湛水表面播種しているカリフォルニアの収量は 1980 年までは日本と同じでしたが、その後増加し現在では 1.4 倍です。このことは表面播種で多収を目指すことを示しています。



カリフォルニアと日本の収量比較（農水省および米国農務省のデータを使用） 主な植付け方法はカリフォルニアでは催芽種子の無代かき湛水表面播種、日本では移植。

鉄コーティング直播では適正に栽培すれば移植と同等か、数パーセント上回る収量となります。

コシヒカリの移植と鉄コーティング表面条播の比較
(2005 年 9 月収量調査後の様子、試験水田)



移植（水尻側）



鉄コーティング（中央部）



鉄コーティング（水口側）

直播における茎数の多さに着目します。2003 年から 2005 年までの 3 年間の平均玄米収量は移植 493kg/10a、鉄コーティング条播 528kg/10a。このときの播種量は 232 粒/m² (6.2kg/10a)、苗立ち数 141 本/m²、苗立ち率 60.9%。

多収性品種の多くは穂重型であり、分げつが少ないため密植気味が適しています。移植では条間が決まっており、また苗箱数を減らすため密植は難しいのですが、直播では播種量を増やし容易に対応できます。

省力低コストで安定多収めざし、環境にやさしい付加価値の高い鉄コーティング直播を実

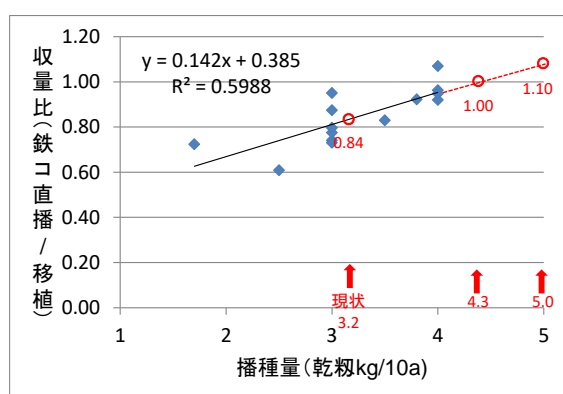
現するためのポイントは次の通りです。

12.1 播種量の適正化

現地の直播水田における収量は移植と同じか、10%程度の低下傾向が見られます。主な原因は播種量の不足です。また水と肥培管理の不備や雑草管理の失敗もあります。収量を高めるには移植栽培と直播栽培の違いをよく理解する必要があります。

直播栽培における高収量は苗立ち数 100～150 本/m² 程度で達成されます。ところが、現地の鉄コーティング直播では、苗立ち数 60～80 本/m² の地域が多く、収量は移植栽培比 90% にとどまっています。苗立ち数を高めて、早期に茎数（穂数）を確保し、かつ雑草に負けない圃場として、安定多収を達成するために、播種量の適正化が重要です。

播種量の適正化による収量の向上



データ：2015年度大規模実証圃、ただし岡山県（対照区無し）と徳島県（ジャンボタニシによる苗立ち不良）のデータを除く

全農大規模実証圃（2015 年度）における

播種量と収量の関係

なお、倒伏を心配して播種量を減らす場合がありますが、その効果は水管理や肥培管理の適正化や耐倒伏性品種の導入効果に比べてはるかに小さく、逆に、収量が不安定になり、青未熟粒も増えます。

12.2 水管理の改善

不適切な水管理は苗立ちの不安定化、雑草管理の失敗、タコ足の発生による倒伏につながり、収量を低下させます。代かきをした水田で水管理を省力的に適正・迅速化するためには明渠が有効です。

倒伏には挫折型、なびき型、および根転び型の 3 種があります。直播で問題になるのは、水管理の不備に起因する根転び型倒伏です。イネは根張りが弱くタコ足になり、中干ししても土壌が乾かず柔らかい部分で倒伏します。田面を乾燥させ、根系を健全にします。

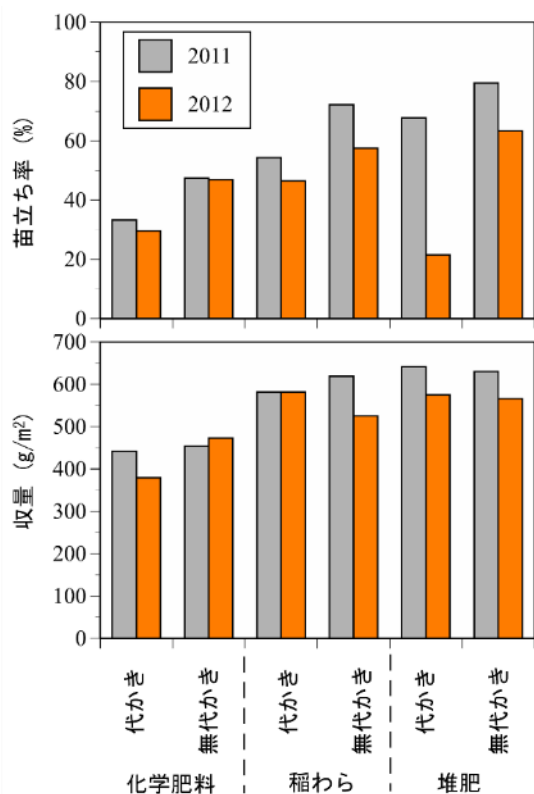
対策としては、芽干しを実施するとともに、明渠・溝により水田全面の入排水を確実に、また迅速化します。漏水の少ない水田では代かきを軽く行う、または無代かきにします。また、苗立ちが完了し、イネが田面を覆い雑草との競争に優るようになった後は、水入れの間隔を広げて飽水・干し気味に管理し、根張りを促しつつ、土壌を乾かすことも重要です。

温暖化ガスの発生を抑制するため、また高温障害による白未熟粒の発生を抑制する目的で根の活量を高めるため、間断灌漑により土壌を酸化的に保つことは鉄コーティング直播イネ

の多収につながります。

12.3 肥培管理

鉄コーティング種子の直播において、有機物や堆肥の施用は収量を上げます。



化学肥料、稲わら、牛ふん堆肥連用圃場における鉄コーティング種子の代かきと無代かき湛水散播直播における苗立ちと収量（農研機構西日本農業研究センターの水田、2011年、2012年）

12.4 新たな鉄コーティング種子と従来型の収量比較

新たな鉄コーティング種子の直播では従来型や移植より多収を目指せます。

3種の鉄コーティング種子の発芽と圃場における苗立ちと収量
(品種あきさかり、広島県三原市、2023/5/25 播種)

鉄コーティング種子の種類	コーティング日	シャーレー		播種18日後				播種117日後	
		発芽率	発芽速度	苗立ち率	草丈	個体重	分けつ個体	全重	精玄米重
		%	d	%	cm	mg	%	Kg/10a	Kg/10a
新鉄コーティング (催芽種子)	5/25	93.7	0.55	51.4	12.9	31.9	53.7	1697	609
新鉄コーティング (活性化種子)	3/14	91.9	1.82	52.7	12.2	24.8	26.1	1579	583
従来鉄コーティング (活性化種子)	3/14, 4/28	94.0	2.50	48.8	11.4	20.2	15.0	1490	535

発芽速度は50%の種子が発芽する日数 催芽種子と活性化種子の発芽率は98.7%, 95.7%, 発芽速度は0.25d, 1.48d 広島県におけるあきさかりの移植平均収量は571kg/10a

種子製造の省力性、出芽の早さ、収量は、新鉄コーティング（催芽種子）≧新鉄コーティング（活性化種子）≧従来型鉄コーティングです。

直播栽培の導入は人や環境に及ぼす影響が大きいため、以下に挙げた様々な観点からサステナビリティについての慎重な検討が不可欠です。

13.1 コーティング資材

鉄コーティング直播では鉄、酸化鉄、および焼石膏が毎年土壌に投入されることとなります。そのため、人と環境への安全性が重要です。以下の理由から、環境への悪影響は小さいと考えられます。

- 使用する鉄、酸化鉄、および焼石膏は環境負荷の小さい天然物またはそれに由来する資材です。
- 鉄コーティング種子の直播で水田に投入される鉄は 2.5kg/10a です（播種量 5kg/10a、鉄コーティング比 0.5 の場合）。
- 水田土壌には鉄成分が 7%程度含まれており元々多量に存在しています。
- 肥沃度を高めるため鉄を含む土壌改良資材の施用（連年施用で鉄分換算 34kg/10a）が推奨されています。本技術での使用量はその 1/13 です。

13.2 減化学肥料

表面播種であるため還元障害を受けにくくなっています。堆肥や有機物を施用でき、化学肥料の使用量を減らすことができます（肥料コストの低減）。

13.3 減化学農薬

必要に応じて農薬の使用・不使用を選択できます。

- 除草剤の使用回数は、直播栽培では移植栽培に比べて増加します。雑草の発生具合にもよりますが、一般に乾田直播で 4 回、湛水直播で 2 回、移植で 1 回程度です。催芽種子を鉄コーティング後、代かき水を落とさずに播種する場合には、雑草の発生をより強く抑えますので、移植と同じレベルにまで減らすことが可能と思われます。
- 防除については、環境負荷が小さい種子処理剤による防除が可能であり、本田防除剤の使用に比べて、環境への負荷が小さくなります。
- 鉄コーティング直播では種子伝染性病害の発生が抑制されます。これは、鉄が錆びるときに発生する活性酸素の効果で、自然現象です。種子消毒剤の使用を減らせます。
- 鉄コーティングによる鳥害の回避は鉄の皮膜が硬いことによる物理的な効果と思われます。忌避剤は不要です。
- 鉄コーティング直播は表面播種であり酸素発生剤は不要です。

13.4 水資源の保全

鉄コーティング種子の代かき後の湛水直播は、代かき水を落としませんので節水できます。加えて、代かき水には多量の栄養塩類や粘土が含まれていますので、それらの流亡に伴う水質汚濁を回避できます。湿田では無代かきで直播でき、土壌かく乱の抑制により水質汚濁を軽減できます。

13.5 温暖化対策—高温障害、メタンの発生抑制

鉄コーティング直播では、芽干し、飽水・干し気味の管理、および中干しを実施します。また湿田では無代かきや乾田直播も可能です。これらは、メタンガスの発生を抑制し、地球

温暖化対策に直結しています。

13.6 雑草イネの発生抑制

直播栽培では雑草イネの発生が深刻です。鉄コーティング種子の栽培が開始され 20 年以上経過していますが、雑草イネの発生は報告されていません。代かき後の湛水直播であること、芽干しは実施するが表面排水に止め強く土壌を干さないことが、雑草イネの発芽を制限していると想定できます。

13.7 湿田とその乾田化、湛水直播と乾田直播

水田の乾田化は乾田直播を容易にして省力化やコスト削減、代かき濁水の流出防止また温室効果ガスメタンの排出量を削減できるというメリットがあります。元来、水田は湛水状態にあることで生物多様性の維持、水質浄化、洪水緩和、土壌保全などの環境保全機能を持っています。一方で、湿田で代かきをすると環境負荷が高まり、農作物の生産性を低下させます。鉄コーティング種子は湛水、乾田および無代かき条件下での直播が可能であり、水田の状況に合わせて導入することにより、サステナビリティに寄与できる可能性を持っています。

13.8 資材の低価格化

日本の生産資材費は高止まりしています。そこで鉄コーティング資材の低価格化を目指した研究がおこなわれています。

鉄コーティング直播の導入にあたっては、様々な観点からサステナビリティについて検討することが望まれます。

14 知的財産権・資材と技術指導

本マニュアルには特許技術が含まれています（日本特許第 7092423 号（2022 年）および中国特許番号 ZL 2022 1 1548935.4）（鉄コーティング種子の製造・利用に関する特許）。つきましては、健全な稲作技術の発展に繋げるため、特許権の尊重とコンプライアンスの遵守にご協力をお願いいたします。

14.1 資材

実施許諾権を所有する法人または個人が製造・販売する資材をお使いください。この資材を使用する場合、コンプライアンスは守られています。

14.2 技術指導

資材、コーティングおよび栽培に関わる技術や実施許諾権については執筆者にお問い合わせください。

参考資料

- 井上博喜、山内稔、宮川久義 2009 [種子の鉄コーティング処理によるイネ育苗期病害の防除](#) 日本植物病理学会報 75 : 164-169
- 栗久宏昭 2009 [水稻鉄コーティング直播でのイネミズゾウムシによる苗立ち不良の発生](#) 平成 20 年度近畿中国四国農業研究成果情報
- 槇原大悟、土井一行、富田怜那、菊田真由実、山内稔 2025 [新たな鉄コーティング技術の汎用性拡大に向けた低コスト資材の有効性検証](#) 日本作物学会講演会第 260 回講演会要旨集 p4

松浦昌平、竹本一恵、東條元昭、山内稔 2012 [水稻の鉄コーティング湛水直播における *Pythium arrhenomanes* による苗立ち不良](#) 日本植物病理学会報 78 : 301-304

宮川久義、山内稔、井上博喜 2013 [鉄コーティング種子調製機で製造された鉄コーティング種子の種子伝染性病害防除効果](#) 関西病虫研報 55 : 23-30

佐藤 徹、東聡志、市川岳史 2011 [北陸地域における水稻鉄コーティング湛水直播栽培のコーティング量、播種深および播種後の水管理が出芽・苗立ちに及ぼす影響](#) 日本作物学会紀事 80 : 157-164

瀧村勇二、星野滋 2010 [水稻鉄コーティング直播でのモノアラガイ類による苗立ち不良の発生](#) 平成 21 年度近畿中国四国農業研究成果情報

特許第 4441645 号 鉄粉被覆稲種子の製造法 (発明者：山内稔、特許権者：農研機構) 出願日 2004/1/6

特許第 7092423 号 稲種子の直播方法及び稲種子の被覆方法 (発明者：山内稔、特許権者：山内稔) 出願日 2022/1/28

山内稔、土門正幸、嘉納百樹、藤原逸平 2008 [鉄コーティング種子の大量製造技術](#) 近畿中国四国地域における新技術 (近畿中国四国農業研究センター 2007 年の成果情報) 7 : 22-24

山内稔 2012 [鉄コーティング種子を用いた水稻湛水直播技術](#) 日本作物学会紀事 81 : 148-159

山内稔 2017 [A Review of Iron-Coating Technology to Stabilize Rice Direct Seeding onto Puddled Soil](#) Agronomy Journal 109 (3) : 739-750

山内稔、塩見峻、樋口亮、山川紳哉、村岡賢一、中西一泰、阿部浩人、東野裕広、田中達也、山本晋弘、石濱典子、神田芙美佳、小野広樹、岩田和彦 2018 鉄コーティング種子を用いた水稻の直播栽培 マニュアル 2018 1-57 全国農業協同組合連合会

山内稔 2019 水稻の鉄コーティング直播栽培における省力安定多収と環境との調和 土づくりとエコ農業 51 : 27-34

山内 稔、本間智己、森本真之佑、緒方翔、佐藤博之 2022 [酸化発熱と出芽遅延の問題を解決し、造粒直後から直播できる鉄コーティング種子](#) 第 254 回日本作物学会講演会 p. 21

山内 稔、緒方翔、本間智己、森本真之祐、片島恒治、河良信善、阿曾沼広樹、大久保智博、日高秀俊、佐藤博之 2023 [鉄コーティング種子の播種期間の拡大 \(製造直後～長期保管\) と直播栽培における苗立ち](#) 第 256 回日本作物学会講演会 p. 40

山内稔、緒方翔、本間智己、森本真之佑、佐藤博之、片島恒治、河良信善、阿曾沼広樹、大久保智博、日高秀俊 2024 [種子製造を省力化し出芽遅延問題を解決した新たな鉄コーティング直播技術](#) 日本作物学会第 257 回講演会要旨集 p138

山内稔、佐伯貴知、高嶋和彦、古園 修治、窪田陸也、長谷川哲司、長友瑞生、藤田幸利 2024 [九州山地中央部の棚田における新たな鉄コーティング種子のドローン散播](#) 日本作物学会第 258 回講演会要旨集 p. 4

入手できない資料については、お問い合わせコーナーからご請求ください。

2025 年 12 月 25 日

執筆者 山内 稔 (ヤマウチ ミノル) 農学博士

連絡については、お問い合わせコーナーをご利用ください。研究歴については、科学技術振興機構の研究者情報データベース [Reserchmap](#) をご覧ください。