

コメ中のカドミウム及びヒ素低減のための実施指針



農林水産省

(令和6年6月策定)

コメ中のカドミウム及びヒ素低減のための実施指針 目次

1	はじめに.....	1
(1)	本指針について.....	1
(2)	指針の活用方法.....	2
2	カドミウム及びヒ素について.....	3
(1)	コメ中のカドミウム.....	3
(2)	コメ中のヒ素.....	4
3	カドミウム及び無機ヒ素低減のための基本的な考え方.....	6
(1)	コメ中の含有実態の把握.....	6
(2)	地域に応じた低減対策の検討.....	7
(3)	カドミウム及び無機ヒ素低減の効果検証・見直し.....	8
4	無機ヒ素の低減対策技術の詳細.....	9
(1)	出穂期前後各3週間における落水管理.....	9
(2)	資材施用による低減対策.....	14
ア	含鉄資材の多量施用.....	14
イ	含鉄資材の慣行的な量の連年施用.....	17
5	カドミウムの低減対策技術の詳細.....	19
(1)	カドミウム低吸収性品種の導入.....	19
(2)	出穂期前後各3週間における湛水管理.....	22
(3)	客土.....	24
(4)	pH調整.....	25
6	指針の見直し.....	26

1 はじめに

(1) 本指針について

我が国の自然環境には様々な物質が存在している。このような物質は、動植物が育つ過程で土や水等から取り込まれ、農畜水産物等の食品に含まれることがある。カドミウムやヒ素もそのような物質であり、環境中のカドミウムやヒ素が水や食品を通じてヒトに摂取されることで、ヒトの健康に悪影響を及ぼす可能性がある。

我が国はコメを主食としており、その消費量が多いことから、食品由来のカドミウム摂取量の約3割、無機ヒ素摂取量の約7割がコメに由来すると推定されている。

コメに含まれるカドミウム及びヒ素濃度を低減し、国民のこれら物質の摂取量を減らすため、農林水産省は、カドミウムについては、平成23年8月に「コメ中のカドミウム低減のための実施指針」を策定（平成30年1月改訂）し、都道府県等と連携して低減対策に取り組んできた。また、ヒ素については、平成31年3月に「コメ中ヒ素の低減対策の確立に向けた手引き」を策定（令和4年2月改訂）し、低減対策の普及に向けて各地域で活用できる低減技術の実証等を進めているところである。

このような中、コメ中のカドミウム及びヒ素の低減対策として水管理が有効であるものの、カドミウムの低減対策として湛水管理を行う場合は、ヒ素濃度が上昇する一方、ヒ素の低減対策として落水管理を行う場合は、カドミウム濃度が上昇するといういわゆるトレードオフの関係にあることが判明している。

本指針では、新たに得られた研究事業の成果や知見等に加え、コメ中のカドミウム及びヒ素の双方を低減するための考え方を新たに盛り込んだ。

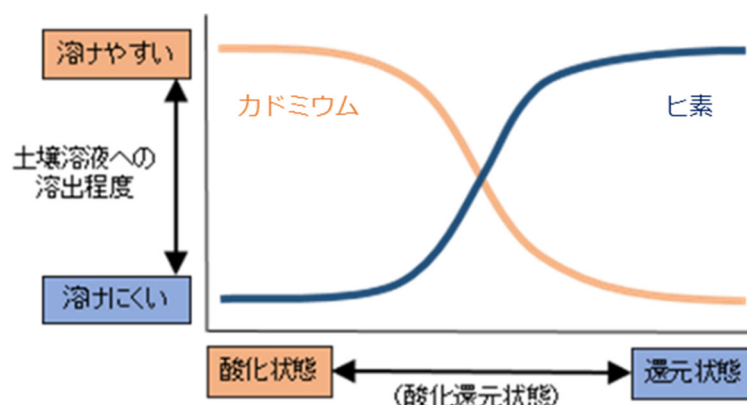


図1 カドミウム及びヒ素の土壌での溶けやすさと土壌の酸化還元状態との関係のイメージ（トレードオフ）

(2) 指針の活用方法

本指針は、主に農家に営農指導する立場にある者（普及指導員、行政担当者、営農指導員等）を対象として、低減対策を行う目安となるコメ中のカドミウム及びヒ素濃度並びに実施可能な低減対策を示している。低減対策の進め方及び指針の活用方法は以下のとおりである。

ア コメ中のカドミウム及びヒ素濃度の把握

コメ中のカドミウム及びヒ素の低減対策の効果を検証するため、低減対策の実施に先立ち、現状のコメ中のカドミウム及びヒ素の実態把握を実施することが望ましい。その際、過去の調査結果がある場合はその結果を活用することができる。

イ 地域に応じた低減対策の検討

土壌中のカドミウム及びヒ素濃度や水稻の慣行的な栽培方法等が地域ごとに異なるため、あらかじめ、本指針を参考にして地域ごとに実施可能な低減対策を選定して実施した上で、生産されたコメ中のカドミウム及びヒ素濃度を測定し、濃度が有意に低減したかどうかを検証する。その結果に基づいて地域の特性に応じた低減対策を確立することが望ましい。また、その低減対策をまとめた地域ごとの低減マニュアルを作成することが、農家に低減対策を普及するために有効である。

ウ 低減対策の効果検証及び見直し

イで検討した低減対策の実施を行った農家が生産したコメ中のカドミウム及びヒ素濃度を測定し、低減効果を検証する。想定した低減効果が得られなかった場合は、再度、本指針を参考にして、実施可能な低減対策を選定する。

2 カドミウム及びヒ素について

(1) コメ中のカドミウム

ア 基礎情報

カドミウムは、自然環境中に広く存在しているほか、銅や亜鉛等の鉱石に含まれている。現在、鉱山や工場からのカドミウムの環境中への排出は、法律や条例等に基づき規制されている。しかし、かつては、全国各地に存在する鉛、銅、亜鉛の鉱山からの鉱石採掘や金属の製錬等の産業活動によって発生する鉱山の坑内水、製錬所の排水・排煙及び廃石等の堆積場から、カドミウムが環境中に排出されていた。

イ 毒性

食品等を通じて摂取したカドミウムは、その一部が体内に吸収されるが、体外への排出速度が遅いため、徐々に腎臓に蓄積する。長期間にわたる蓄積により、腎臓のカドミウム濃度が一定の濃度に達した場合、腎臓の機能障害を生じる可能性がある。

ウ リスク評価

FAO/WHO 合同食品添加物専門家会議（JECFA）が平成 22 年に食品中のカドミウムについてリスク評価を実施し、ヒトが摂取し続けても健康に悪影響を及ぼさない 1 か月あたりの摂取量として、暫定耐容月間摂取量（PTMI）を 25 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 体重/月と設定した。また、平成 25 年及び令和 3 年に実施したリスク評価においても PTMI の値は維持されている。

我が国では、内閣府食品安全委員会が平成 20 年に食品健康影響評価を実施し、ヒトが摂取し続けても健康に悪影響を及ぼさない一週間あたりの摂取量として、耐容週間摂取量（TWI）を 7 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 体重/週と設定した。また、令和 6 年に公表した食品健康影響評価においても TWI の値は維持されている。

エ 基準値

食品安全に係る国際的な規格・基準を策定するコーデックス委員会（Codex）は、平成 18 年に精米中のカドミウムの最大基準値（ML：Maximum Level）として 0.4 mg/kg を設定した。また、多くの国においても Codex の ML を踏まえた基準値を設定している。

我が国では、厚生労働省が、平成 23 年に食品衛生法（昭和 22 年法律第 233 号）に基づくコメ（玄米及び精米）の成分規格として、カドミウム濃度が 0.4 $\text{ppm}(\text{mg}/\text{kg})$ を超えてはならないと規定した。

オ 低減に向けた対応

農林水産省は、平成 9 年度及び平成 10 年度に国産米中のカドミウムの実態調査を実施した。また、低減技術の開発を進め、湛水管理等の効果や適切な条件を明らかにした。その後、都道府県等と連携して生産現場において低減対策の普及を進めた結果、平成 20 年度及び平成 21 年度に実施した実態調査では、コメ中のカドミウム濃度は平成 9 年度及び平成 10 年度と比べて有意に低くなった。

また、平成 23 年の食品衛生法に基づくコメの成分規格の設定を受けて、同年に低減指針を策定し、低減対策のさらなる徹底を進めてきた。さらに、平成 30 年にはカドミウム低吸収性品種の開発を受けて指針の改訂を行った。

ヒ素対策として落水管理を行うことにより、土壌が酸化状態となり、土壌溶液中にカドミウムが溶出しやすくなり、土壌溶液中のカドミウム濃度が上昇する。土壌溶液中のカドミウム濃度が上昇することで、コメ中のカドミウム濃度が上昇する可能性があるため、今後は、地域によっては、ヒ素及びカドミウムの双方を低減する対策を進める必要がある。

なお、我が国より低いカドミウムの基準値を設定している国もあることから、我が国としても、輸出促進の観点でカドミウムの低減を進めることが重要であるとともに、リスクをできるだけ低減する観点から、国内の産地においてしっかりとカドミウムの低減を図っていくことが重要である。

(2) コメ中のヒ素

ア 基礎情報

ヒ素は、地殻中に分布しており、火山活動や森林火災、鉱物の風化等の自然現象によって環境中に放出されるため、農地を含めた土壌や水の中に広く存在している。我が国のように比較的新しい火山活動の影響を受けた地域では、土壌に含まれるヒ素濃度が他の地域に比べて高いとされている。一方で、我が国では公用水中のヒ素濃度は監視されており、飲料水やかんがい用水中のヒ素濃度は低く管理されている。また、ヒ素は、単体で存在する以外に、ほかの元素と結合した有機ヒ素や無機ヒ素として存在しており、化学形態によって特性が異なる。コメには主に無機ヒ素の形態で含まれている。

イ 毒性

無機ヒ素を大量かつ長期的に摂取し続けると、皮膚組織の変化やがんの発生等の悪影響があることが知られている。また、無機ヒ素を大量かつ短期間に摂取した場合、発熱、下痢、嘔吐、興奮、脱毛等の症状が現れることが報告されている。有機ヒ素については、ヒトに摂取された時にどのような健康影響があるのか明らかになっていないが、欧州食品安全機関（EFSA）や米国環境有害物質・特定疾病対策庁（ATSDR）の評価によると、一般的に無機ヒ素と比べるとその健康への悪影

響の程度は小さいとされている。

ウ リスク評価

JECFA が平成 23 年に食品中のヒ素についてリスク評価を実施し、ヒトの肺がんの発生率が 0.5%増加する無機ヒ素の摂取量に関する統計的な信頼区間の下限值 (BMDL_{0.5}) を 3.0 µg/kg 体重/日と算出した。しかし、ヒトが摂取し続けても健康に悪影響を及ぼさない摂取量は設定されなかった。また、コメを主食とする地域においては、コメが無機ヒ素の主要な摂取源となることが報告されている。

我が国では、内閣府食品安全委員会が平成 25 年に食品健康影響評価を実施し、以下のような評価及び見解を示した。

- ・無機ヒ素ばく露により、ヒトにおいて発がん（肺がん、膀胱がん等）が認められ、また染色体異常等の遺伝毒性がみられているが、現在得られている知見からは、発がんメカニズムについて判断することはできず、発がんばく露量における閾値の有無について判断できる状況にない。
- ・日本において、食品を通じて摂取したヒ素による明らかな健康影響は認められておらず、ヒ素について食品からの摂取の現状に問題があるとは考えていないが、一部の集団で無機ヒ素の摂取量が多い可能性があることから、特定の食品に偏らず、バランスの良い食生活を心がけることが重要。

エ 基準値

Codex は、平成 26 年に精米中の無機ヒ素の ML として 0.2 mg/kg を設定し、平成 28 年に玄米中の ML として 0.35 mg/kg を設定した。また、Codex の ML を踏まえた基準値を設定している国もある。

オ 低減に向けた対応

農林水産省は、国産米中の無機ヒ素の実態調査を定期的実施してきた。また、低減技術の開発を進め、出穂期前後各 3 週間での落水によりコメに含まれる無機ヒ素を低減できること等を明らかにした。この成果を踏まえ、平成 31 年に手引きを作成し、都道府県等と連携して各地域で活用できる低減技術の実証を進めている。また、その後の研究成果から、より簡易な落水条件で無機ヒ素の濃度を低減できることが明らかとなったため、令和 4 年度に手引きを改訂した。

前記のとおり、無機ヒ素の基準値を設定している国もあることから、我が国としても、輸出促進の観点でヒ素の低減を進めることが重要であるとともに、リスクをできるだけ低減する観点から、国内の産地においてしっかりとヒ素の低減を図っていくことが重要である。

今後は、引き続き低減技術の実証を進めるとともに、各地域の栽培条件等に沿った低減マニュアルの作成を進めていく必要がある。

3 カドミウム及び無機ヒ素低減のための基本的な考え方

カドミウム及び無機ヒ素は、我が国の土壤に広く存在している。カドミウムについては、土壤中のカドミウム濃度の高い地域が存在し、土壤中のカドミウム濃度が高いほど、コメ中のカドミウム濃度が高い傾向にあるため、土壤中のカドミウム濃度等を基に低減対策が必要な地域を推定することが可能である。一方で、無機ヒ素については、特定の地域で土壤中の濃度が高いわけではなく、また、土壤中のヒ素濃度が高いほど、コメ中の無機ヒ素濃度が高い傾向にあるものの、土壤中のヒ素濃度が比較的低い場合においても、コメ中の無機ヒ素濃度が高い場合があることから、低減対策が必要な地域を推定することが困難である。

また、水管理による低減対策を講じる場合は、カドミウム及び無機ヒ素のいずれか一方の危害要因を抑制するための対策により、他方の危害要因が増加するといういわゆるトレードオフの関係にあることに留意する必要がある。

これらを踏まえ、以下の考え方を参考に低減対策を実施する。

(1) コメ中の含有実態の把握

生産する玄米中のカドミウム及び無機ヒ素の含有実態を把握し、カドミウム及び無機ヒ素の低減対策の必要性の判断、低減対策を行う必要がある場合は低減対策の選定の判断及び低減対策の効果検証に当たって、その情報を活用することが望ましい。

<留意事項>

- ・実態調査は、集出荷施設単位で実施することが望ましい。調査単位が細かいほど低減対策が必要ない地域を多く設定できる可能性がある。
- ・無機ヒ素については、土壤の性質よりも栽培方法による影響が大きく、同一の地域においても生産者により栽培方法が異なると含有実態が異なる結果となる可能性があるため、生産者ごと等調査単位が細かいことが望ましい。
- ・玄米中のカドミウム及び無機ヒ素の濃度が栽培方法や天候等により変動することから、複数年にわたって含有実態を把握することが望ましい。

(2) 地域に応じた低減対策の検討

各地域で生産されるコメ中のカドミウム及び無機ヒ素の濃度に応じて、低減対策を導入することが重要である。

無機ヒ素については、内閣府食品安全委員会が「食品を通じて摂取したヒ素による明らかな健康影響は認められておらず、ヒ素について食品からの摂取の現状に問題があるとは考えていないが、一部の集団で無機ヒ素の摂取量が多い可能性があることから、特定の食品に偏らず、バランスの良い食生活を心がけることが重要」との見解を示している。また、食品衛生法に基づくコメの成分規格は設定されていないが、国民の無機ヒ素の摂取をできるだけ抑える観点から、低減対策を行う上での目安として、生産した玄米中の無機ヒ素濃度が 0.35 mg/kg を超えることがある地域では、無機ヒ素の低減技術の検討・確立等の対策に取り組むこととする。この低減対策を行う上での目安は、当該目安を超過する場合に健康影響が生じるものとして設定しているものではなく、どのような地域で低減対策をとるべきかの判断に用いる指標である。

また、無機ヒ素に加えて、玄米中のカドミウム濃度が高い地域では、玄米中のカドミウム及び無機ヒ素の双方を低減する必要があるため、カドミウム低減技術と無機ヒ素低減技術を組み合わせて実施する。この場合、水管理による低減対策は、いずれか一方の危害要因※を抑制するための対策により、他方の危害要因が増加する関係にあるため、以下の「カドミウム及び無機ヒ素の双方を低減する場合の組み合わせ例」のように水管理と水管理以外の対策を組み合わせる。地域に導入できるカドミウム低吸収性品種がある場合は、低吸収性品種を導入し、落水管理を実施することが望ましい。

※危害要因：ヒトの健康に有害影響を及ぼすおそれがある食品中の物質又は食品の状態のこと。ここでは、カドミウム及び無機ヒ素のことを指す。

【カドミウム及び無機ヒ素の双方を低減する場合の組み合わせ例】

○無機ヒ素を低減するための落水管理【4（1）】＋カドミウム低吸収性品種の導入【5（1）】

○無機ヒ素を低減するための含鉄資材の多量施用【4（2）ア】＋カドミウムを低減するための湛水管理【5（2）】

カドミウムについては、食品衛生法に基づくコメ（玄米及び精米）の成分規格が設定されており、これを遵守できるよう、生産するコメ中のカドミウム濃度が 0.4 mg/kg を超える可能性のある地域では、低減対策に取り組む必要がある。さらに、少雨や猛暑による田面の乾燥によりコメ中のカドミウム濃度が上昇する可能性があり、当該規格の遵守を確実にする必要があること、また、国民のカドミウムの摂取をできるだけ抑える必要があることから、低減対策を行う上での目安として、生産した玄米中のカドミウム濃度が 0.2 mg/kg を超えたことがある地域においては、カドミウムの低減対策を行う必要がある。

（３） カドミウム及び無機ヒ素低減の効果検証・見直し

コメ中のカドミウム及び無機ヒ素濃度は気温や出穂期の水管理により変動する。したがって、基準値等を満たすことを確認するとともに、低減対策の効果を検証するために、継続的に生産した玄米中のカドミウム及び無機ヒ素の濃度を分析することが望ましい。

検証した結果、低減対策の効果が不十分であることが判明した場合は、選定する低減対策を見直した上で、その効果を再検証する。

4 無機ヒ素の低減対策技術の詳細

(1) 出穂期前後各 3 週間ににおける落水管理

「しっかりとした中干し」を実施した上で、出穂期前後各 3 週間に 4 日間の落水を 2 回以上実施。

これまでの研究により、出穂期前後の土壌の酸化還元の状態がコメ中のカドミウム及び無機ヒ素濃度に大きく影響を与えることが分かっている。落水管理を行い、土壌が酸化的な条件である場合は、コメ中の無機ヒ素が低減する。一方で、土壌中のカドミウムが溶出しやすくなることに注意が必要である。

なお、地域によって土壌中のカドミウム及び無機ヒ素濃度が異なること、慣行の水管理の方法や水資源の状況が異なること等を踏まえ、地域ごとにどのような水管理が適切かを検討することが望ましい。

<特徴>

無機ヒ素を低減するための出穂期前後各 3 週間ににおける落水管理は、「しっかりとした中干し」※を実施した上で、水稻が無機ヒ素を吸収しやすい出穂期前後各 3 週間において、水田がよく排水されて土壌が酸化的になるような落水処理を行うことで、慣行栽培と比較してコメ中の無機ヒ素濃度を低く抑えるものである。適切な条件で行えばコメの品質や収量に影響は与えない。

※「しっかりとした中干し」：慣行的に地域において中干しを実施している時期に、断続した（不連続でも可）無降雨日（降雨量が 1 mm 未満の日）を 4 日間確保した上で、連続した無降雨日を 4 日間確保する中干し。降雨があった場合は、湛水していない場合でも表 1 の（※）に従って落水期間を延長する。断続した無降雨日を 4 日間確保すると泥状土壌の収縮沈下が生じ、連続した無降雨日を 4 日間確保すると土壌にひび及び亀裂が入り始める。

なお、カドミウム濃度が比較的高い地域では、出穂期前後各 3 週間ににおける落水管理によりカドミウム濃度の高いコメが生産される可能性があるため、カドミウム低吸収性品種の導入等適切な低減対策を実施する等の注意が必要である。

<方法>

○「しっかりとした中干し」を実施

出穂期前後各 3 週間ににおける 4 日間の落水管理による無機ヒ素低減効果を十分なものにするためには、中干し期間に「しっかりとした中干し」を実施することが重要である。

○出穂期前後各 3 週間にわたって落水を実施

「しっかりとした中干し」を実施した上で、出穂期前後各 3 週間にわたって 4 日間の落水を 2 回実施することとし、少なくともそのうち 1 回は低減効果の高い出穂前に実施する。

なお、降雨等で「しっかりとした中干し」を実施できなかった場合は、同程度の低減効果を得るため落水回数を増やし、出穂期前後各 3 週間の間に 3 日間の湛水と 4 日間の落水を 6 回繰り返す間断かんがい（3 湛 4 落）を実施する。

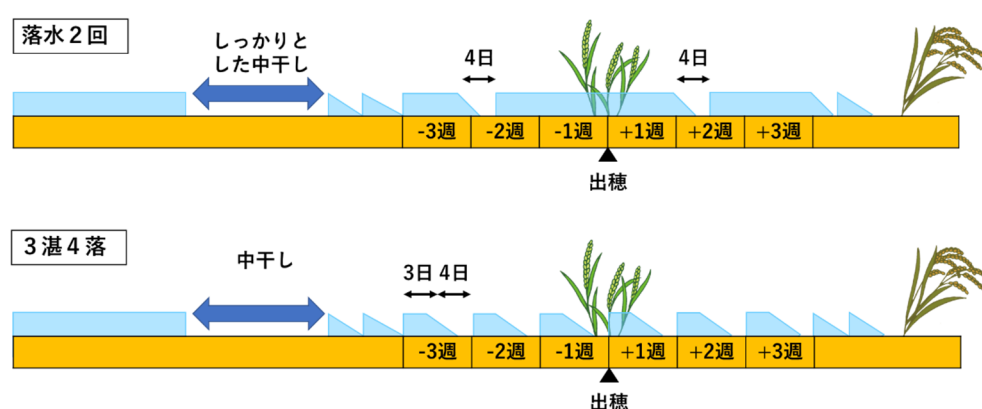


図 2 出穂期前後各 3 週間にわたる落水管理のイメージ

< 技術的な留意点 >

○水管理の方法

- ・ 落水 2 回の場合は、中干しや出穂期前後各 3 週間にわたる落水については、以下の水管理指標に基づき実施する（表 1）。
- ・ 田面の乾き具合の目安としては、土壌の性質によるが、落水期間中に降雨がなければ、4 日間落水すると田面はヒビが入る程度乾く（図 3）。
- ・ 落水、特に中干しの後は減水深が大きくなる可能性がある。
- ・ 地域によっては用水の確保が地理的条件やコスト面で困難な場合がある。

表 1 無機ヒ素低減に係る水管理指標

① 「しっかりとした中干し」の目安 慣行的に地域において中干しを実施している時期に、断続した無降雨日を4日間確保した上で、連続した無降雨日を4日間確保する。
② 出穂期前後各3週間における落水日数 連続した4日間の落水を実施する。
※ 落水期間中（中干し期間中の連続無降雨日又は出穂期前後各3週間の落水期間）に降雨があった場合 （再湛水した場合） 落水後3日経過前に湛水した場合は、連続4日間の落水をやり直す。一方で、落水後3日経過後に湛水した場合は、落水状態を3日間延長する。 （再湛水しなかった場合） 降雨日1日につき、落水期間を1日延長する。 ※落水期間延長中に降雨があった場合には、上記基準に準じて落水期間を再延長



図 3 落水4日目の田面の様子

○ほ場状態の管理

- ・落水時に確実に排水されるように、中干し時にはほ場の溝切りを確実に行う（作土層と鋤床層の境界の深さまで）。溝の末端は必ず水尻の排水溝につなげる。
- ・落水時に隣接ほ場からの水の浸透がないように畦塗り等により畔を管理する。
- ・落水時に土壌の乾燥と酸化の進行にほ場内でムラが生じないように、ほ場の均平をとる。

○落水実施による収量及び品質等への影響

- ・過度の落水はコメの収量・品質の低下を引き起こすおそれがあるため、漏水田では、収量・品質に悪影響が出ないように落水日数を調節しながら玄米中無機ヒ素濃度の低減を目指す必要がある。
- ・高温障害や冷害が懸念される状況下においては収量・品質に悪影響が出る可能性

がある。

- ・3湛4落の場合は、湛水管理時と比較すると収量が低下する可能性があるので注意が必要である。
- ・落水の実施により、コメ中のカドミウム濃度が高くなる可能性があるので、濃度上昇がどの程度かを把握し、必要に応じて、カドミウム低吸収性品種の導入（5（1））等を検討する。

<低減効果>

- ・「しっかりとした中干し」を実施した上で、出穂期前後各3週間の間に落水2回を実施した場合、湛水管理時と比較すると30%程度の無機ヒ素の低減効果がある（表2）。
- ・慣行の中干しを実施した上で、3湛4落を実施した場合、湛水管理時と比較すると30%程度の無機ヒ素の低減効果がある（表3）。
- ・落水の実施により、玄米中のカドミウム濃度が一定程度高まる場合があった（表2、表3）。

表2 水管理（落水2回）による無機ヒ素低減効果

	玄米中無機ヒ素濃度 (mg/kg)	玄米中カドミウム濃度 (mg/kg)	精玄米重 (kg/10 a)	整粒歩合 (%)
湛水管理	0.26 ^a	0.03 ^b	533 ^a	72 ^a
落水2回	0.17 ^b	0.08 ^a	534 ^a	72 ^a

※慣行の中干しを実施した上で湛水管理を実施した場合と、「しっかりとした中干し」を実施した上で出穂期前後各3週間に落水2回を実施した場合の玄米中無機ヒ素及びカドミウム濃度、精玄米重、整粒歩合の平均値を比較。

※異符号間には対応のあるt検定により5%の信頼水準で有意差があることを示す（ $n = 25$ ）。

【農林水産省研究事業】

表3 水管理（3湛4落）による無機ヒ素低減効果

	玄米中無機ヒ素濃度 (mg/kg)	玄米中カドミウム濃度 (mg/kg)	精玄米重 (kg/10 a)	整粒歩合 (%)
湛水管理	0.21 ^a	0.01 ^b	553 ^a	72 ^a
3湛4落	0.15 ^b	0.06 ^a	537 ^b	71 ^a

※慣行の中干しを実施し湛水管理を実施した場合と、慣行の中干しを実施し出穂期前後各3週間に3湛4落を実施した場合の玄米中無機ヒ素及びカドミウム濃度、精玄米重、整粒歩合の平均値を比較。

※異符号間には対応のあるt検定により5%の信頼水準で有意差があることを示す（ $n = 57$ ）。

【農林水産省研究事業】

<見込まれる導入コスト・作業負担>

- ・落水管理のための作業負担が生じる。
- ・落水を実施する前に、穂肥や防除との日程調整が必要。
- ・天気予報を定期的を確認し、落水を実施する時期を検討する必要(特に落水2回)。

(参考) 中干し等による無機ヒ素とメタンの低減に向けて

中干し等による土壌の酸化は、温室効果ガスであるメタン低減の面でも注目されている。

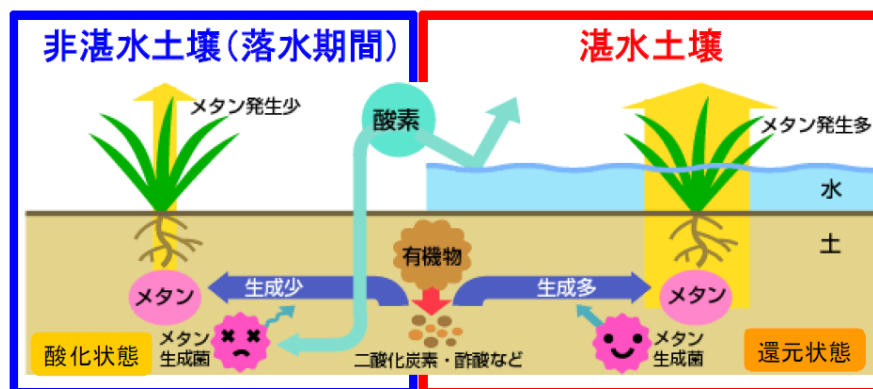
水田からのメタン排出は、我が国全体のメタン排出量の約4割を占めており、その排出削減は重要な課題となっている。

水田を湛水状態にし、土壌が還元状態になると、嫌気性のメタン生成菌の活動が活発になり、稲わら等の有機物を基質としてメタンが生成される。生成されたメタンは、水稻中の酸素を輸送する器官を通じて大気中に放出される。

この水田からのメタン排出は、中干し期間を延長する等土壌を酸化的な状態にすることで削減できることが示されている。このため、メタン対策を進めることと同時に無機ヒ素の低減も進められる可能性がある。

農林水産省では、無機ヒ素とメタンの同時低減技術や栽培条件を明らかにするため研究を進めている。

<メタンが水田で発生する仕組み>



(出典：つくばリサーチギャラリー)

(2) 資材施用による低減対策

ゼロ価鉄や酸化鉄、製鋼スラグ等の鉄を含有する資材（含鉄資材）を一度に多量に施用、又は毎年慣行的な量を施用。

ア 含鉄資材の多量施用

<特徴>

鉄を含有する資材（含鉄資材）が土壌から溶出した無機ヒ素を吸着することにより、水稻の無機ヒ素吸収を抑制するものである。

コメ中の無機ヒ素の低減効果が確認されている資材としては、製鋼スラグ資材、酸化鉄資材及びゼロ価鉄資材（鉄粉）があるが、その効果は、ゼロ価鉄資材＞酸化鉄資材＞製鋼スラグ資材の順に大きい。現在は製鋼スラグ資材が農業用として流通している。

初年度に多量に投与することで、低減効果は徐々に減少していくが、5～6年程度は一定の効果が持続する。

湛水管理と含鉄資材の多量施用とを組み合わせることにより、コメ中のカドミウムを低減させるとともに、コメ中の無機ヒ素も低減させることができる。

また、落水管理と含鉄資材の多量施用とを組み合わせることにより、落水管理のみの場合と比べてコメ中の無機ヒ素をさらに低減させることができる。

<方法>

慣行の資材施用時期に、ほ場 10 a 当たり 1～2 トンの含鉄資材をまんべんなく施用する（表 4）。

表 4 含鉄資材の種類と施用量（目安）

種類	施用量（/10 a）
製鋼スラグ資材	2 トン
酸化鉄資材	1 トン
ゼロ価鉄資材	1 トン

<技術的な留意点>

- ・低減効果は年次変動、ほ場間差が大きい。
- ・低減効果は5～6年程度持続される傾向があるが、地域によっては早期に効果が無くなる場合もあるので、十分な低減効果が得られていることを定期的に確認する。
- ・含鉄資材施用の結果、コメ中のカドミウム濃度が高くなる可能性があるため、濃度上昇がどの程度かを把握し、必要に応じて、カドミウム低吸収性品種の導入（5

(1)) 等を検討する。

<低減効果>

- ・湛水管理と含鉄資材の多量施用とを組み合わせた場合、湛水管理のみの場合と比べてコメ中の無機ヒ素濃度が最大 65%低減される。また、コメ中の無機ヒ素の低減効果は5年程度継続する（表 5）。
- ・落水管理と含鉄資材の多量施用とを組み合わせた場合、落水管理のみの場合と比べてコメ中の無機ヒ素濃度が最大 31%低減される。また、コメ中の無機ヒ素の低減効果は6年程度継続する（表 6）。
- ・湛水管理及び落水管理のいずれにおいても、ほ場によっては含鉄資材を施用することによってコメ中のカドミウム濃度が一定程度高まる場合があった。

表 5 湛水管理と含鉄資材の多量施用とを組み合わせた場合のコメ中の無機ヒ素濃度の低減割合

	【湛水管理】と【湛水管理＋含鉄資材の多量施用】とのコメ中無機ヒ素濃度の増減 (%)		
	製鋼スラグ	酸化鉄	ゼロ価鉄（鉄粉）
1年目	-49.0 ～ 3.6	-45.6 ～ -12.7	-65.0 ～ -13.8
2年目	-32.4 ～ -5.2	-37.3 ～ -6.2	-47.4 ～ - 5.6
3年目	-32.8 ～ 1.2	-31.8 ～ 0.5	-31.8 ～ 0.0
4年目	-28.0 ～ 4.7	-21.1 ～ 8.1	-29.7 ～ 8.5
5年目	-21.1 ～ 0.6	-22.9 ～ 2.4	-16.0 ～ 7.0

※湛水管理のみ実施した対照区と、湛水管理に加えて各含鉄資材を施用した試験区とを年度ごとに比較した場合のコメ中無機ヒ素濃度の増減 (%)。

※試験区では初年度のみ各含鉄資材を1～2トン施用。全ての年で出穂期前後各3週間は湛水管理を実施（ $n = 6$ ）。

【農林水産省研究事業】

表 6 落水管理と含鉄資材の多量施用とを組み合わせた場合のコメ中無機ヒ素濃度の低減割合

	【落水管理】と【落水管理＋含鉄資材の多量施用】とのコメ中 無機ヒ素濃度の増減 (%)					
	製鋼スラグ			ゼロ価鉄（鉄粉）		
1 年目	-31.1	～	-2.0	-27.3		
2 年目	-25.3	～	2.7	-20.0	～	-4.8
3 年目	-23.1	～	3.1	-13.6	～	-3.7
6 年目	-23.6	～	3.6	-14.1	～	-2.2

※出穂期前後各 3 週間に 3 湛 4 落、落水 3 回または落水 2 回を実施した対照区と、上記に加え各含鉄資材を施用した試験区とを年度ごとに比較した場合のコメ中無機ヒ素濃度の増減 (%)。

※試験区では初年度のみ各含鉄資材を 1 トン施用。(製鋼スラグ： $n = 7$ 、ゼロ価鉄： $n = 3$ ※ゼロ価鉄の 1 年目は $n = 1$)

【農林水産省研究事業】

<見込まれる導入コスト・作業負担>

- ・含鉄資材の購入費。
- ・散布に係る労力。

※散布機材がない場合は、肥料散布機等の購入費が必要。

イ 含鉄資材の慣行的な量の連年施用

<特徴>

製鋼スラグ等の含鉄資材を、慣行の栽培時に施用する量を毎年施用することで、土壌から溶出した無機ヒ素を吸着し、水稻の無機ヒ素吸収を抑制するものである。

含鉄資材の多量施用と同様に、湛水管理と含鉄資材の慣行的な量の連年施用とを組み合わせることにより、コメ中のカドミウムを低減させるとともに、コメ中の無機ヒ素も低減させることができる。

また、落水管理と含鉄資材の慣行的な量の連年施用とを組み合わせることで、落水管理のみの場合と比べてコメ中の無機ヒ素をさらに低減させることができる。

<方法>

慣行的に施用する量である 10 a 当たり 200 kg の含鉄資材を慣行の肥料施用のタイミングで毎年施用する。

製鋼スラグ資材やゼロ価鉄資材（鉄粉）等の含鉄資材で効果が確認されている。

<技術的な留意点>

- ・ 5 年ほど連用することで効果が上昇する傾向がある。
- ・ 年次変動やほ場によりその効果の現れ方が大きく異なる。
- ・ 含鉄資材施用の結果、コメ中のカドミウム濃度が高くなる可能性があるので、濃度上昇がどの程度かを把握し、必要に応じて、カドミウム低吸収性品種の導入（5（1））等を検討する。

<低減効果>

- ・ 湛水管理と含鉄資材の慣行的な量の連年施用とを組み合わせた場合、湛水管理のみと比べてコメ中の無機ヒ素濃度が最大 21% 低減される。（表 7）。
- ・ 落水管理と含鉄資材の慣行的な量の連年施用とを組み合わせた場合、落水管理のみの場合と比べてコメ中の無機ヒ素濃度が最大 27% 低減される（表 8）。
- ・ 湛水管理及び落水管理のいずれにおいても、ほ場によっては含鉄資材を施用することによってコメ中のカドミウム濃度が一定程度高まる場合があった。

表 7 湛水管理と含鉄資材の慣行的な量の連年施用とを組み合わせた場合のコメ中の無機ヒ素の低減割合

	【湛水管理】と【湛水管理＋含鉄資材の慣行的な量の連年施用】とのコメ中無機ヒ素濃度の増減 (%)		
1 年目	- 8.2	～	-5.1
2 年目	- 8.5	～	-3.2
3 年目	-14.8	～	-2.5
4 年目	-20.9	～	-0.3
5 年目	-11.1	～	0.6

※湛水管理のみ実施した対照区と湛水管理で各含鉄資材を施用した試験区とを年度ごとに比較した場合のコメ中無機ヒ素濃度の増減 (%)。

※試験区では毎年慣行の施肥時期に製鋼スラグ資材を 200 kg 施用し、出穂期前後各 3 週間は湛水管理を実施 ($n = 2$)

【農林水産省研究事業】

表 8 落水管理と含鉄資材の慣行的な量の連年施用とを組み合わせた場合のコメ中の無機ヒ素の低減割合

	【落水管理】と【落水管理＋含鉄資材の慣行的な量の連年施用】とのコメ中無機ヒ素濃度の増減 (%)		
1 年目	-14.3	～	3.2
2 年目	-16.9	～	2.8
3 年目	-18.5	～	1.0
4 年目	-12.9	～	-5.1
5 年目	-26.7	～	-5.4

※出穂期前後各 3 週間に落水 3 回または落水 2 回を実施したのみの対照区と、上記に加え含鉄資材を施用した試験区とを年度ごとに比較した場合のコメ中無機ヒ素濃度の増減 (%)。

※試験区では毎年慣行の施肥時期に製鋼スラグ資材を 200 kg 施用し、出穂期前後各 3 週間に落水 2 ～ 3 回実施 ($n = 6$)

【農林水産省研究事業】

<見込まれる導入コスト>

・含鉄資材の購入費

※肥料の選択時に鉄を多く含む肥料を選択することで対策に係る費用を抑えることができる。

・散布に係る労力

※散布機材がない場合は、肥料散布機等の購入費が必要。

5 カドミウムの低減対策技術の詳細

(1) カドミウム低吸収性品種の導入

カドミウムの吸収を抑制する形質を持った品種（コシヒカリ環1号等）に切り替える。

<特徴>

カドミウム低吸収性品種は、土壌中のカドミウムの吸収を抑制する形質を持った品種で、コメ中のカドミウム濃度をかなり低い値まで下げることが可能である。最初に開発されたのは農研機構の「コシヒカリ環1号」で、それを育種母本とした品種も開発されている。この他にもカドミウム低吸収性を有する品種等の開発が進められている。

カドミウム低吸収性品種は、コメ中のカドミウム濃度がかなり低く抑えられる特徴から、カドミウム低減対策として活用可能なだけでなく、カドミウム低吸収性品種と無機ヒ素低減のための落水管理を組み合わせることにより、カドミウムと無機ヒ素の濃度を同時に低減することが可能である。

<技術的な留意点>

- ・コシヒカリ環1号やそれを元にしたカドミウム低吸収性品種は、必須元素のマンガンをも根から吸収しにくく、水田土壌中のマンガン濃度が低いほ場ではごま葉枯病が発生しやすい。このため、土壌中のマンガン濃度が低いほ場では、栽培前にマンガン質肥料を一定量施用することが望ましい。詳細については「カドミウム低吸収性水稻品種のごま葉枯病対策に向けた土壌管理マニュアルーマンガン質肥料を用いた防止策ー Ver. 1.0（配布者限定版）」（農研機構発行、2024年3月25日）を参照する。
- ・カドミウム低吸収性品種は、土壌条件によってはマンガン不足に伴い収量が低下する場合や登熟期以降に葉の枯れ上がりの進行が早くなる場合がある。
- ・茎数が減少しやすくなる場合があるので、水管理による初期分けつの確保が必要。

<低減効果>

- ・ほぼカドミウムを吸収しない（コシヒカリ環1号やそれを元にした品種の場合は、コメ中のカドミウム濃度が高くなる条件で栽培しても最大で0.01 mg/kg程度）。

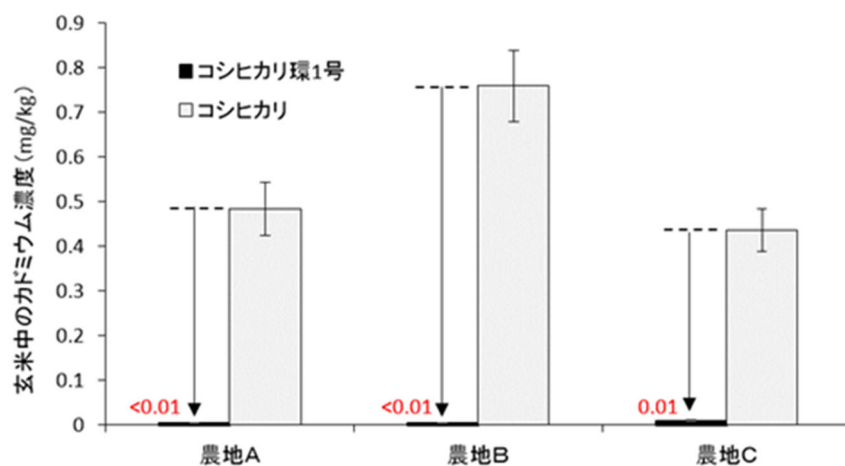


図 4 カドミウム濃度の高い水田で栽培された玄米中のカドミウム濃度の比較

【安部、倉俣ら、2017】

<見込まれる導入コスト>

- ・都道府県において品種開発、試験栽培、種子供給、品種切替えに伴う栽培技術指導等を行うことによる費用
- ・ごま葉枯病が懸念されるほ場では、ごま葉枯病対策のためのマンガン資材施用の費用

(参考) カドミウム低吸収性品種の開発について

○「コシヒカリ環1号」について

カドミウム低吸収性品種で最初に開発された「コシヒカリ環1号」(登録番号:第24338号、品種登録日:平成27年5月20日)は、重金属トランスポーター遺伝子(*OsNRAMP5*)の変異で作出されたもので、農業形質調査や食味官能試験等により、栽培特性、収量、草姿、籾・玄米の外観形質、食味が「コシヒカリ」とほぼ同等であることが確認されている。

この「コシヒカリ環1号」を育種親として、既存品種等にカドミウム低吸収性の形質を付与した品種の開発も進められており、生産現場への導入が期待される。

○「コシヒカリ環1号」の放射線育種による開発

植物は、自然放射線の作用によっても突然変異が起こることがある。放射線育種は、このような効果を活用する手法であり、1950年代から利用されている。

「コシヒカリ環1号」は、放射線を1度だけ照射した「コシヒカリ」からカドミウム低吸収の性質を持つ個体を選抜し、放射線を照射した世代から少なくとも6世代以上、栽培、選抜を進めて育成された。

同品種の栽培の過程や販売されるコメに放射線を照射することはなく、コメから人体に有害な放射線を発することもない。

このため、食べても人体に放射線の影響が出る懸念はなく、従来の手法で育成された品種と同様に安全に食べられる。

また、様々な遺伝的性質が変化した個体の中から、複数代にわたって選び抜くことで、有用な性質を持ちつつ、有害な物質を含まないような新品種として確立した上で普及している。

詳細は、農林水産技術会議事務局ウェブサイトを参照。

(<https://www.affrc.maff.go.jp/docs/mutationbreed/mutationbreeding.html>)

(参考) カドミウム低吸収性品種を導入するためには

○カドミウム低吸収形質を導入した品種の開発

各地域に適応したカドミウム低吸収性品種を開発・導入していくことが重要である。このため、「コシヒカリ環1号」に加え、既存の品種に低吸収性を付与したものを開発するとともに、これから開発される新品種についても低吸収性を付与していくことが必要である。

○地域での実証

「コシヒカリ環1号」やその他のカドミウム低吸収性を付与した品種を開発・導入する際には、各地域条件における収量や生育等について実証を行う。

○コメの産地品種銘柄の表示

既存品種にカドミウム低吸収性を付与した品種において品種群の登録をした場合、食品表示基準(平成27年内閣府令第10号)における「玄米及び精米」の品種の表示は、品種群の名称でも個別の品種の名称でも表示できる。

(2) 出穂期前後各 3 週間ににおける湛水管理

出穂期前後各 3 週間、水田の湛水状態を維持。

これまでの研究により、出穂期前後の土壌の酸化還元の状態がコメ中のカドミウム及び無機ヒ素濃度に大きく影響を与えることが分かっている。出穂期前後各 3 週間において湛水管理を行い、土壌が還元的な条件である場合は、コメ中のカドミウムが低減する。一方で、土壌中の無機ヒ素が溶出しやすくなることに注意する必要がある。

なお、地域によって土壌中のカドミウム及び無機ヒ素の濃度が異なること、慣行の水管理の方法や水資源の状況が異なること等を踏まえ、地域ごとにどのような水管理が適切かを検討することが望ましい。

<特徴>

出穂期前後各 3 週間に水田を湛水状態に保ち、土壌の還元状態を維持することで、土壌中のカドミウムを水に溶解しにくい化学的状态に変化させるものである。これにより、水稻が根からカドミウムを吸収することを抑制できる。

<方法>

地域の慣習に従った中干しを実施し、その後、原則として出穂期前後各 3 週間に湛水状態を維持する。収穫前の落水は出穂期各 3 週間後以降とする。

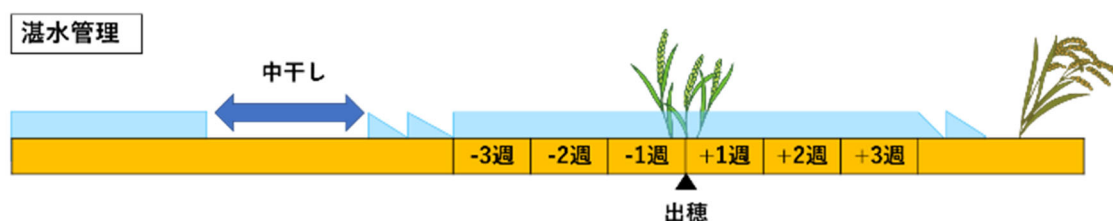


図 5 出穂期前後各 3 週間ににおける湛水管理のイメージ

<技術的な留意点>

- ・水はけの悪い水田では、あらかじめ溝切りを実施し、水管理が簡単にできるようにする。
- ・水持ちの悪い水田で湛水管理を行う場合は、作付け前（農閑期）に 10 a 当たり 1 トンから 2 トンのベントナイトを施用して床締めを行う。
- ・カドミウムの低減のために湛水管理を実施する場合は、強度の中干しはカドミウムの吸収を促進するため、中干しは、土が湿っていて足跡がつく程度とし、実施期間も 7 日から 10 日前後にとどめ、それ以上長く行わない。

- ・ 出穂期に農業用水の不足が懸念される地域や、土壌が乾燥しやすい気象条件下では、溝切り・中干し後は間断かんがいを行うことなく連続して湛水管理を行う。中干し後に間断かんがいを行う場合でも、土壌表面が乾燥するような水管理は行わない。
- ・ 収穫作業に支障を来す等により落水時期を前倒しする場合は、過去に生産されたコメ中のカドミウム濃度や試験結果等をもとに、期待したコメ中のカドミウム低減効果が発揮される範囲で落水時期を設定する。
- ・ 地域によっては用水の確保が地理的条件やコスト面で困難な場合がある。

<低減効果>

- ・ 慣行的な栽培方法（間断かんがい）時と比較すると、カドミウム濃度を最大 90% 程度低減できる（表 9）。

表 9 湛水管理によるカドミウム低減効果

水管理方法	玄米中カドミウム濃度 (mg/kg)	比率 (%)
対照区	0.50 ^a	100
湛水管理 1	0.08 ^b	16
湛水管理 2	0.03 ^c	6

※カドミウム濃度 0.33 mg/kg の土壌において、3 か年試験を実施。対照区では中干し後に間断かんがい、湛水管理 1 では出穂期前 15 日から出穂期後 25 日まで湛水管理、湛水管理 2 では移植から出穂期後 25 日まで湛水管理を実施。

※異符号間には TukeyHSD の多重比較により 5% の信頼水準で有意差があることを示す (n=3)。

【稲原ら、2007】

<見込まれる導入コスト・作業負担>

- ・ 湛水状態を維持するための水位の管理による作業負担が生じる。

(3) 客土

水稻の作土層のカドミウム濃度を下げるため、非汚染土壌を導入。

<特徴>

客土は、汚染土壌を非汚染土壌と入れ替えする、上から盛土する等して、水稻の作土層のカドミウム濃度を下げることで、土壌から農産物へのカドミウムの移行を抑制するものである。

<方法>

汚染土壌の扱いや非汚染土壌の盛土の有無により、上乗せ工法、埋込み工法、排土客土工法、反転工法等様々な工法が存在する。

通常、水稻の根の大部分は地表から 20 cm 以内に存在するため、非汚染土壌を盛土するような工法であれば、20 cm から 40 cm 程度の盛土で確実に水稻の作土層のカドミウム濃度を非汚染レベルにすることが可能である。

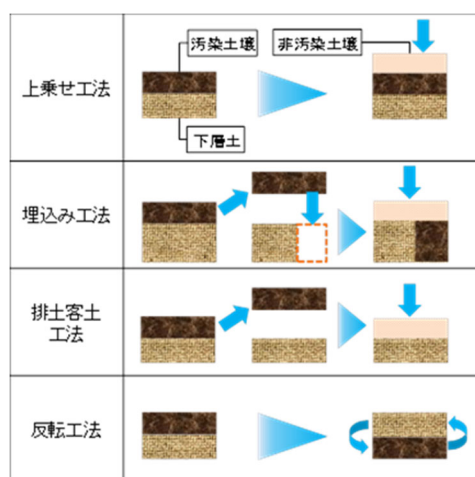


図 6 客土工法の種類

<技術的な留意点>

- ・大規模な工事が必要であり、多額の費用が必要となるため、行政単位等での実施が必要である。
- ・非汚染土壌の必要量の確保が難しく、また、外部から搬入する場合、土壌採取地の環境に対する影響への配慮が必要である。
- ・工事期間に作付けができない。

<低減効果>

- ・元来あった土壌が高濃度に汚染されていた場合でも、コメ中のカドミウム濃度を非汚染土壌で栽培した場合と同様にすることが可能である。

<見込まれる導入コスト>

- ・大規模な工事費用（地域条件等により変動する。）

（４） pH 調整

ケイ酸カルシウム、熔成りん肥等の施肥により土壌の pH を中性に近づける。

施肥により土壌の pH を中性に近づけ、土壌中のカドミウムを水に溶解しにくい化学的狀態に変化させることにより、水稻が根からカドミウムを吸収することを抑制するものである。

<方法>

pH 調整効果が長期間持続するケイ酸カルシウム（ケイカル）、熔成りん肥等を肥料として施用し、土壌の pH を中性に近づける。

<技術的な留意点>

- ・資材の施用量は、土壌の性質や施用する資材の種類によって異なるので、事前に室内試験を行い、必要な施用量を定める。
- ・カルシウム資材を過剰に投入した場合、微量元素の欠乏症や稲作後に栽培する農作物にアルカリ障害が発生する可能性があるので、施用量に注意する。

<低減効果>

- ・pH 調整単独では十分な効果は期待できないため、湛水管理と組み合わせることが望ましい。

<見込まれる導入コスト・作業負担>

- ・pH 調整効果のある資材の購入費
- ・事前の室内試験での必要な施用量の確認や施用に係る労力

6 指針の見直し

農林水産省では、引き続きカドミウム及びヒ素の含有実態調査やその低減対策に関する研究開発、実証を進め、これらの成果に基づいて、必要に応じて本指針を見直すこととする。

<参考情報>

○「カドミウム」に関する情報

https://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/kome/k_cd/index2016.html

○「ヒ素」に関する情報

https://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/kome/k_as/index.html