

コメ中のカドミウム低減のための 実施指針

消費・安全局

平成23年8月策定、平成30年1月改訂

農林水産省

コメ中のカドミウム低減のための実施指針 目次

- I はじめに
- II コメ中のカドミウム
 - 1 カドミウムとは
 - 2 コメ中のカドミウム
- III 食品に含まれる汚染物質対策の基本的考え方
- IV カドミウム低減対策
 - 1 低減対策を講じるべき段階
 - 2 低減対策の検討
 - 3 低減対策の実施
 - (1) 優先して対策を実施する範囲の絞込み
 - (2) 主要な対策
 - ア カドミウム低吸収性イネの利用
 - ① 「コシヒカリ環1号」の概要
 - ② 効果
 - ③ 対策に当たっての技術的留意事項
 - イ 湛水管理を中心とする吸収抑制
 - ① 概要
 - ② 効果
 - ③ 対策に当たっての技術的留意事項
 - ④ 有効性の判断
 - ウ 客土
 - ① 概要
 - ② 効果
 - ③ 技術的問題点
 - (3) その他の対策技術
 - ア 植物浄化
 - ① 概要
 - ② 効果
 - ③ 対策に当たっての技術的留意事項
 - ④ 用いる浄化植物
 - イ 土壌洗浄
 - ① 概要
 - ② 効果
 - ③ 技術的問題点

V 今後の取組

（参考１）食品中のカドミウムによる健康影響について

（参考２）酸化還元状態の変化に伴う土壌中カドミウムの変化について

◎本資料に関する問い合わせ先

I はじめに

我が国には、過去の鉱山開発等の結果として、カドミウム濃度の高いコメが生産される可能性の高い地域が存在する。また、

- ・ 我が国の国民の食品からのカドミウム摂取量は、他国に比べてより高い傾向にあること
- ・ 食品衛生法に基づくコメ中のカドミウムの規格基準が「0.4 ppm (mg/kg) 以下(玄米、精米)」に設定されていること
- ・ コメを輸出する場合、各国や地域が定めている国内又は域内基準を満たす必要があること

等の理由から、コメ中のカドミウム低減対策の重要性は依然として高い。また、各産地においては、それぞれの生産実態に応じた低減対策を講じることが必須である。

このため、農林水産省は、都道府県等が各地域の実態に応じて低減対策を指導、推進することを期待し、これまでの低減技術に関する研究開発や有効性評価の成果等を基に、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、コメ中のカドミウム低減のための実施指針を作成した。

なお、本指針に記載した各低減技術の詳細な技術情報は、農林水産省が作成している既存の技術マニュアル等に記載されていることから、必要に応じてそれらの資料を参照されたい。

II コメ中のカドミウム

1 カドミウムとは

カドミウムは、全国の土壌に普遍的に存在する重金属である（表1参照）。

我が国では、土壌や降雨の特性から、土壌中のカドミウムが溶け出しやすい。また、廃鉱山に含有されているカドミウムや、鉱山や精錬所などの産業活動によって排出されたカドミウムが、大気や河川を經由して、一部地域の農地に蓄積したこと等により、農地土壌中のカドミウム濃度が高く、さらにはカドミウム濃度の高いコメが生産される可能性の高い地域が存在する。

表1 自然環境中におけるカドミウムの存在状況

農地等平均濃度※	0.228 mg/kg
水田	0.300 mg/kg
畑	0.211 mg/kg
樹園地	0.291 mg/kg
林地	0.155 mg/kg

※ 0.1 mol/L 塩酸抽出によるカドミウム濃度（日本土壌協会，1984を一部改変）

一定量以上のカドミウムを、食品を通じて数十年にわたり継続して摂取し続けると、腎臓（近位尿細管）の機能に悪影響を及ぼす可能性がある（参考1参照）。

食品を通じた国民の平均的なカドミウム経口摂取量は、健康に悪影響が生じるレベルにはないが、欧米諸国における摂取量に比べると高い傾向にある。また、カドミウム濃度の高いコメを食べ続けた場合、カドミウム摂取量の高い状態が継続する可能性がある。

2 コメ中のカドミウム

水田土壌に存在するカドミウムは、水稻の生育過程で根を通じて吸収され、子実に蓄積する。これまで、水田土壌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も高い傾向が観察されている（図1参照）。

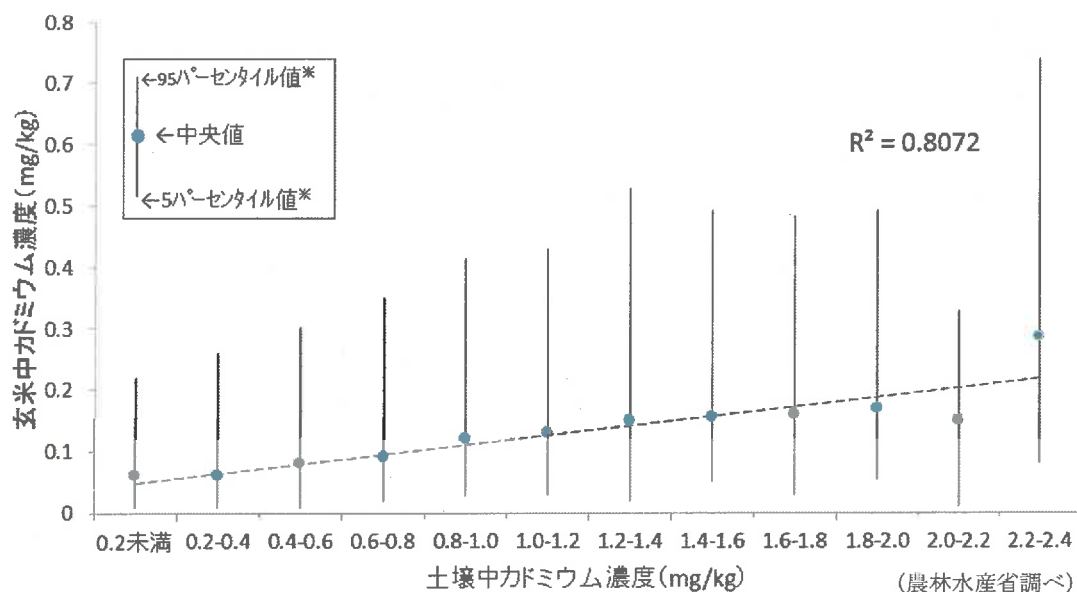


図1 土壌中のカドミウム濃度と玄米中のカドミウム濃度の関係

土壌中のカドミウム濃度とそこで生産された玄米中のカドミウム濃度について、土壌中カドミウム濃度の区分ごとに、玄米中カドミウム濃度のデータの分布を示すとともに、各グループにおける中央値と土壌中カドミウム濃度との関係をグラフ化したもの。

※グラフ中の土壌中カドミウム濃度の各階級に示したデータバーは、5パーセンタイル値から95パーセンタイル値までの範囲を示している（5パーセンタイル値、95パーセンタイル値：数値を小さい方から順番に並べたとき、小さい方から5%目（データが100個あれば5番目）、95%目（データが100個なら95番目）の値をそれぞれ示すもの）。

土壌に含まれるカドミウムの水稻への移行は、土壌の酸化還元電位や pH 等に左右される。このため、同じ水田であっても、気象状況や水管理等の栽培管理状態の違いによって、生産されたコメ中のカドミウム濃度は変動することが観察されている。

また、玄米に含まれるカドミウムは、とう精や、洗米、炊飯過程を経ても、含有濃度はほとんど減少しないことが観察されている（表 2 及び表 3 参照）。ただし、米糠中のカドミウム濃度は、玄米及び精米と比較して高い傾向がみられた。

表 2 原料玄米、精米及び米糠のカドミウム濃度※
(() 内は玄米中のカドミウム濃度に対する比率 (%))

試料	玄米 (mg/kg)	精米 (mg/kg)	米糠 (mg/kg)	とう精歩合 (%)
試料 1	0.0453 (100)	0.0436 (96.2)	0.0639 (141.1)	90.1
試料 2	0.0635 (100)	0.0626 (98.6)	0.0904 (142.4)	88.7
試料 3	0.1164 (100)	0.1109 (95.3)	0.1701 (146.1)	83.6
試料 4	0.1205 (100)	0.1169 (97.0)	0.1640 (136.1)	89.7
試料 5	0.1176 (100)	0.1124 (95.6)	0.1470 (125.0)	92.0
試料 6	0.0156 (100)	0.0153 (98.1)	0.0224 (143.6)	88.4

供試品種：ヒノヒカリ、きらら 397、ひとめぼれ、コシヒカリ、あきたこまち

※ 2 連から 5 連の分析の平均

出典：守山ら，食品衛生学雑誌，第 44 巻，第 3 号，p145-149，2003

表 3 調理に伴う精米中のカドミウム濃度の変化
(() 内は精米時のカドミウム濃度に対する比率 (%))

カドミウム濃度※ ² (mg/kg)		
精米時	水洗後※ ³	炊飯後※ ⁴
0.064±0.003 (100)	0.060±0.001 (93.8)	0.063±0.003 (98.4)

供試品種：チヨニシキ

※1. 水洗後及び炊飯後の精米中のカドミウム濃度に有意差は認められない。

(5%有意水準、t 検定)

※2：いずれも乾燥重量当たりの濃度

※3：精米 500 g にイオン交換水 2 l を加え自動洗米機で 1 分間洗米することを 2 回繰り返し洗したもの

※4：水洗後の精米に重量比 1.4 倍のイオン交換水を加え 1 時間浸水させた後、電気炊飯器で炊飯したもの

出典：Kumiko Shindoh and Akemi Yasui, *Food Sci. Technol. Res.*, 9(2), 193-196, 2003

Ⅲ 食品に含まれる汚染物質対策の基本的考え方

食品を通じた汚染物質の摂取量を低減するためには、食品の生産、加工、流通、消費段階のうち適切な段階において、以下の対策を講じることが有効である。

- ・ 排出抑制や除去により、食品の生産環境における汚染物質の濃度を下げる。
- ・ 有効性が確認された低減技術を導入し、食品の生産方法等を改善する。

これらの対策によって、食品に含まれる汚染物質の濃度分布が全体として低濃度側に移動し、結果として消費者の摂取量が低減される（図 2 参照）。

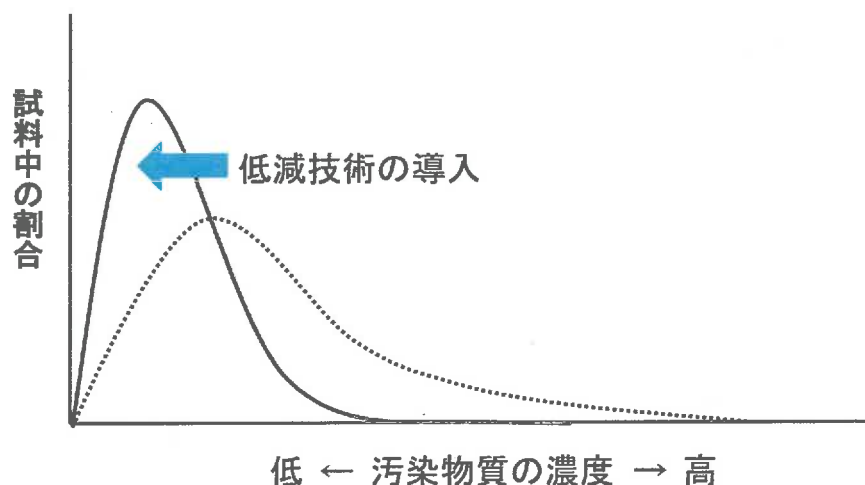


図 2 低減技術による食品中汚染物質低減効果

コメ中のカドミウムの場合は、

- ① 土壌に含まれるカドミウムを除去し、水稻の生産環境におけるカドミウム濃度を下げる
- ② 水稻による土壌からのカドミウム吸収を低減する技術を導入する

のいずれか又は双方の対策を講じることが、コメ中のカドミウム低減に有効である。

汚染物質の濃度分布として、図 2 では峰が 1 つ（単峰型）の例を示している。汚染物質の濃度分布を示すと峰が複数現れることもある。こうした場合は生産条件などが異なるデータが混ざっている可能性があり、対策の効果を分布の形状の変化から判断する際には、このようなデータを分離した上で解析すること等が必要である。

食品と汚染物質の組み合わせによっては、加工段階で汚染物質を除去することが

可能であるが、そうでない場合には、生産段階における低減対策が重要となる。その際、食品に含まれる汚染物質の化学的な分解・除去は、食品に含まれる他成分が化学変化し安全でないものに変化するという可能性を科学的に否定できない限り、低減技術として用いるべきではない。

なお、濃度分布に基づいて設定された基準値は、上記の対策が有効に機能しているかを確認するための有効な手段である。ただし、基準値を設定し、検査を行い、基準値を超過することが判明した食品を市場から排除するだけでは、一定濃度を超える汚染物質を含む食品が市場に流通することはある程度防止できるものの、

- ・ 濃度実態からみて低すぎる基準値では、排除される食品の量が増大
- ・ 抽出検査にならざるを得ないため、一定の確率で基準値を満たさない食品が流通する

等の問題が生じる可能性がある。

IV カドミウム低減対策

1 低減対策を講じるべき段階

カドミウムのコメへの移行特性等を考慮すると、水田管理や水稻の栽培等の生産段階で、適用可能なカドミウムを低減するための対策を講じることが最も有効である。

なお、食品衛生法に基づく規格基準が 0.4 ppm (mg/kg) 以下（玄米、精米）に設定されていることから、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、その基準値を遵守できるよう、生産されるコメ中のカドミウム濃度に応じた低減対策を講じる必要がある。また、そうでない地域においても、国民のカドミウム摂取をできるだけ減らすため、低減対策を講じることが望ましい。

2 低減対策の検討

コメ中のカドミウムを低減するための生産段階での実行可能性が高い対策として、①カドミウムをほとんど吸収しないイネ品種に置き換える「カドミウム低吸収性イネの利用」、②土壌の酸化還元電位等のコントロールによって水稻による土壌からのカドミウム吸収を抑制する「湛水管理を中心とする吸収抑制対策」及び③カドミウム濃度の低い土壌を盛り土する「客土」がある。それぞれの対策の特徴を表4に整理した。これらは「3（2）主要な対策」で技術の概要を紹介する。

表4 主要なカドミウム低減対策の特徴

対策	対策の具体的内容	低減効果	問題点	概算コスト (10 a 当たり)
カドミウム低吸収性イネの利用	従来品種に替えてカドミウム低吸収性イネを作付け	コメ中のカドミウム濃度が 0.01 mg/kg 程度まで低下	・ 土壌中のカドミウム濃度は変化せず	栽培の追加コストは不要(品種育成等のコストは必要)
湛水管理を中心とする吸収抑制対策	出穂期前後各3週間にわたって、水田を湛水状態(還元状態)に維持	通常栽培時に比べコメ中のカドミウム濃度が 60-90%低下	・ 用水の確保 ・ 土壌中のカドミウム濃度は変化せず	管理に係る人件費(地域によっては用水費等が必要)
客土	汚染された農地に非汚染土壌を盛土	土壌中のカドミウム濃度が非汚染レベルまで低下	・ 地域条件等によりコストが増減 ・ 客土材の確保が困難	500 万円/回程度

これらコメ中のカドミウム低減対策の選択と実施についての基本的な手順は以下のとおり。

[優先して低減対策が必要な範囲の特定]

コメ中のカドミウム濃度のデータを整理し、優先して低減対策が必要な地域やほ場の範囲を特定する。ただし、カドミウム低吸収性品種については、低減対策が必要な地域のみならず、それ以外の地域においても作付けを検討する。

[優先して低減対策を実施する範囲の絞り込み]

必要に応じて、優先して低減対策を実施する範囲を絞り込む(3(1)参照)。

[低減対策の実施]

0.4 mg/kg を超える濃度でカドミウムを含むコメが生産されたことのあるほ場やその周辺のほ場のほか、コメ中に 0.2 mg/kg から 0.3 mg/kg 程度の濃度でカドミウムを含むコメが生産されたことのあるほ場では、低減対策を実施する。

当該地域で利用可能なカドミウム低吸収性イネの品種があれば、その品種の作付けをまずは検討する(3(2)ア参照)。地域の条件に合った品種がないなど、カドミウム低吸収性イネを作付けする条件が整わない場合には、原則出穂前後各3週間にわたる湛水管理を中心とする吸収抑制対策(3(2)イ参照)を実施する。

[土壌浄化対策の実施]

カドミウム低吸収性イネの作付けができない上、湛水管理による吸収抑制対策

を実施してもコメ中のカドミウム濃度が十分に低減されない場合には、翌年以降、食用品種の栽培を中断するとともに、土壌浄化対策として客土（３（２）ウ参照）を実施する。

なお、各水田で実施する対策を選択する際には、

- ・ 地域で栽培が可能なカドミウム低吸収性イネ品種
- ・ 生産されるコメ中のカドミウム濃度
- ・ 地域内で対策が必要な面積
- ・ 対策に要する期間とコスト
- ・ 農業用水上流側における排出源対策の必要性和そのコスト
- ・ 対策に投入可能な予算
- ・ 当該ほ場所有者の営農継続の意思
- ・ コメ中のカドミウム問題に対する地域関係者の意見

等を総合的に勘案して判断する。

特に、カドミウム低吸収性イネは、栽培環境や水管理の方法にかかわらず、コメ中のカドミウム濃度が非常に低くなり、農業者と消費者の双方に利点がある（参考参照）。このカドミウム低吸収性は単一遺伝子のみが変異しているため、戻し交配によって、品質などをほぼ変えずに既存の品種に低吸収性を付与することが可能である。このため、今後、既存の作付品種や新品種に低吸収性の付与が進むことが期待される。

〔参考〕カドミウム低吸収性イネの利用の利点

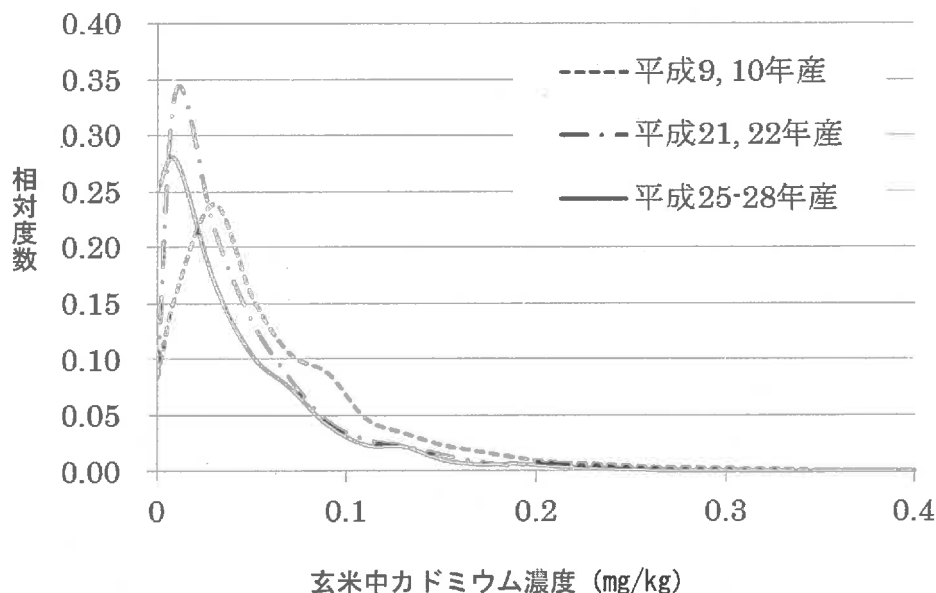
- ・ 土壌中カドミウム濃度にかかわらず、コメ中のカドミウム濃度が極めて低い。
- ・ カドミウム吸収抑制を目的とした出穂期前後の湛水管理が不要になり、農家を始めとする農業関係者の負担が軽減させる。また、早期の落水が可能となり収穫期の作業性が向上する。

【参考】低減技術の取組の拡大と有効性の検証

(1) コメ中のカドミウム濃度の実態調査結果

これまで実行したコメ中のカドミウム低減対策の効果を検証するため、平成 9、10 年度と平成 21、22 年度に実施した国産の出荷段階のコメ中のカドミウムの濃度分布を比較した結果を下図に示す。平成 9、10 年度の調査に比べて、平成 21、22 年度の調査では濃度分布が低濃度方向に移動し、高濃度域は少なくなった。この結果は、都道府県や生産者が実施してきた低減対策が国民のコメからのカドミウム摂取量の低減につながっていることを示している。

さらに、本指針を策定後のデータとしては、平成 25 年から 28 年にかけて全国の水田ほ場から立毛状態で採取したコメの調査結果が得られている。出荷用のコメを採取した調査とは試料採取時期・方法が異なり単純に比較することはできないが、下図が示すように、大部分の試料のカドミウム濃度は 0.2 mg/kg 以下となっており、カドミウムの低減対策が引き続き有効であることを示している。



- ※ 平成 9、10 年度には、全国の水田を対象として、水稻の作付面積 50 h a 当たり 1 点の比率で試料が採取できるように採取地区を選定し、2 年をかけて計 37, 250 点の試料を採取した。
- ※ 平成 21、22 年度には、各年に全国 1, 000 点を米作付面積で比例配分して市町村ごとの試料点数を決定し、2 年をかけて計 2, 000 点の試料を採取した。
- ※ 平成 25 年度から 28 年度には、全国 3, 000 点を米作付面積で比例配分して市町村ごとの試料点数を決定し、収穫期近くの水田内から稲を採取し、乾燥・調製して試料とした。

(2) 低減技術（湛水管理及び客土）の普及状況と評価

農林水産省は、平成 14 年に「水稻のカドミウム吸収抑制のための対策技術マニュアル」を公表し、湛水管理を基本とした対策の普及を図った^{※1}。府県や J A グループも本マニュアルを参考に、更に詳細なマニュアル等を独自に作成して現場に普及を図った結果、湛水管理を導入した水稻作付面積は全国で約 4 万ヘクタール（平成 23 年）に達した^{※2}。

また、コメ中のカドミウム濃度が農用地の土壤の汚染防止等に関する法律に基づく指定要件を超過するような高濃度汚染地域では、県が農用地土壤汚染対策計画に従って客土を中心とする対策を行った。平成 27 年度現在、全国で 6,569 ヘクタールにおいて対策事業等が完了しており、その進捗率は約 93% である^{※3}。

これらの対策の普及により、(1) のとおり、コメ中のカドミウム濃度分布が低くなったことから、これら対策を、引き続き主要な対策として指針に位置付けることとする。

※1 水稻のカドミウム吸収抑制のための対策技術マニュアル（平成 14 年 11 月作成、平成 17 年 3 月改訂）

※2 米流通安心対策事業で報告された面積

※3 平成 27 年度農用地土壤汚染防止法の施行状況について（平成 28 年 12 月 16 日 環境省水・大気環境局土壤環境課発表資料）

(3) 「植物浄化」と「土壌洗浄」の評価

これら技術は、コストの大きい客土を代替するカドミウム除去技術として期待され、平成 22 年以降、その実用化に向けた実証・普及を図ってきた。

しかしながら、「植物浄化」については、これまでの実証により、主なカドミウム高吸収品種である「長香穀」が倒伏しやすく、容易に脱粒することなどから、カドミウムの収奪効果が安定しないという問題が明らかになった。したがって現段階で、未だ期待される成果が得られていない。（3（3）ア参照）。

「土壌洗浄」については、平成 23 年以降、自治体による実証試験が行われ、土壌中カドミウム濃度及び洗浄後に作付した作物中カドミウム濃度が大きく低下するという成果が得られている（3（3）イ参照）。しかしながら、洗浄用の薬剤や排水処理装置等の費用を含む面積当たりのコストが客土の 7 割程度かかる（10a 当たり 350 万円程度）ことや、土壌の種類によっては洗浄効果にばらつきがあり確実な低減技術とするには利用実績が不足していることなどから、現段階では、「客土」に代わり得る技術とするには十分ではない。

このように、いずれの技術も現場で普及するには未だ効果や実行可能性が低い。

3 低減対策の実施

(1) 優先して対策を実施する範囲の絞り込み

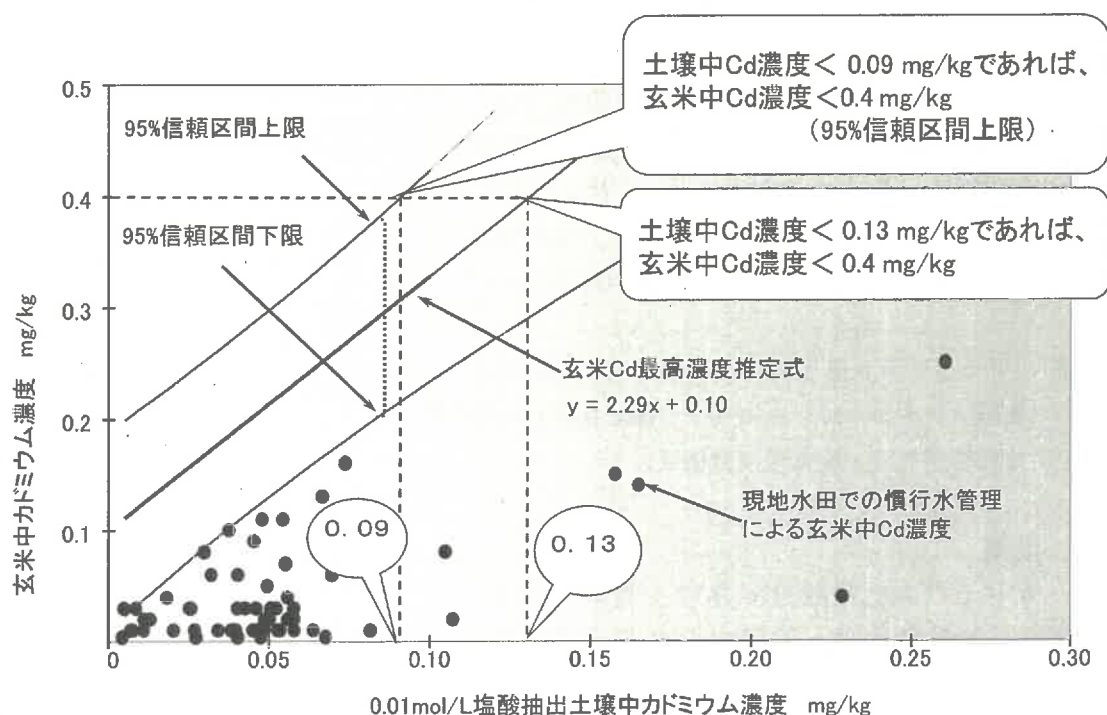
水稻へのカドミウムの移行は、土壤中のカドミウム濃度だけでなく、栽培時の土壌の酸化還元状態、土壌 pH、土壌中有機物含量等の水田土壌の物理化学的特性に大きく影響される。このため、優先して低減対策が必要な地域は、基本的にコメ中のカドミウム濃度に基づいて判断する。

低減対策が必要な地域やほ場の範囲の絞り込みに活用できる情報※を既に保有している地域では、低減対策の必要性の判断に当たってその情報も活用する。

※ 絞り込みに活用できる情報の例

土壌の物理化学的特性（カドミウム濃度など）とそこで生産されたコメ中のカドミウム濃度のデータをもとにした両者の関係（以下の例を参照）

○ 土壌中のカドミウム濃度からコメ中のカドミウム濃度を推定した例



水稻吸収抑制対策技術マニュアル（三重県）を一部改変

出穂期以降、無湛水状態で栽培した水稻から得られた玄米中のカドミウム濃度を測定。その濃度と土壌中のカドミウム濃度の分析結果をもとに、水田土壌中のカドミウム濃度からそこで生産される玄米のカドミウム濃度の範囲を推定している。

(2) 主要な対策

ア カドミウム低吸収性イネの利用

① 「コシヒカリ環 1 号」の概要

「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、コシヒカリを基にして、(独)農業環境技術研究所(当時。現(国研)農研機構)が突然変異により作出した品種である。土壤中カドミウム濃度が高いほ場で酸化的な水管理によりイネを栽培するなど、従来品種では玄米中のカドミウム濃度が 0.4 mg/kg を超過する場合でも、コシヒカリ環 1 号の玄米中のカドミウム濃度は 最大 0.01 mg/kg 程度であった(②参照)。この品種は、生育、収量、食味、病害耐性等の形質にかかわらない、イネの第 7 染色体上の重金属トランスポーター遺伝子 (*OsNramp5*) の変異である。外観品質調査、食味官能試験等により、品質についてはコシヒカリとほぼ同等であることが確認された。したがって、コシヒカリに替えてコシヒカリ環 1 号を作付けることにより、栽培方法を変更することなく、また品質に悪影響を及ぼすことなく、確実にカドミウム濃度が非常に低いコメを生産することができる。

コシヒカリ以外の品種が栽培されている地域においては、コシヒカリ環 1 号を育種素材として用い、地域に適したイネ品種にカドミウム低吸収性遺伝子を導入することで、カドミウム低吸収性イネの新品種が育成できる。カドミウム低吸収性遺伝子を他の品種に効率よく導入できるよう、DNA マーカーが開発され、これを利用した選抜方法のマニュアル[※]が作成・公表されている。既に(国研)農研機構や各地方自治体において、100 種類以上のカドミウム低吸収性イネ品種・有望系統の育成・開発が進んでいる。

※ 「「コシヒカリ環 1 号」の判別マーカーによるハイスループットな DNA マーカー選抜実験プロトコール ver1.0 - DNA 抽出から電気泳動まで-」(平成 27 年 3 月 農業環境技術研究所土壌環境研究領域)

② 効果

カドミウム低吸収性イネは、栽培環境や水管理の方法によらずカドミウムをほとんど吸収せず、子実中のカドミウム濃度は非常に低い。コシヒカリとコシヒカリ環 1 号をカドミウム濃度の高い土壌で栽培し、玄米中のカドミウム濃度を比較した結果を図 3 に示す。コシヒカリでは、玄米中カドミウム濃度が 0.4 mg/kg を超過する条件であっても、コシヒカリ環 1 号の玄米中カドミウム濃度は、最大で 0.01 mg/kg であった。

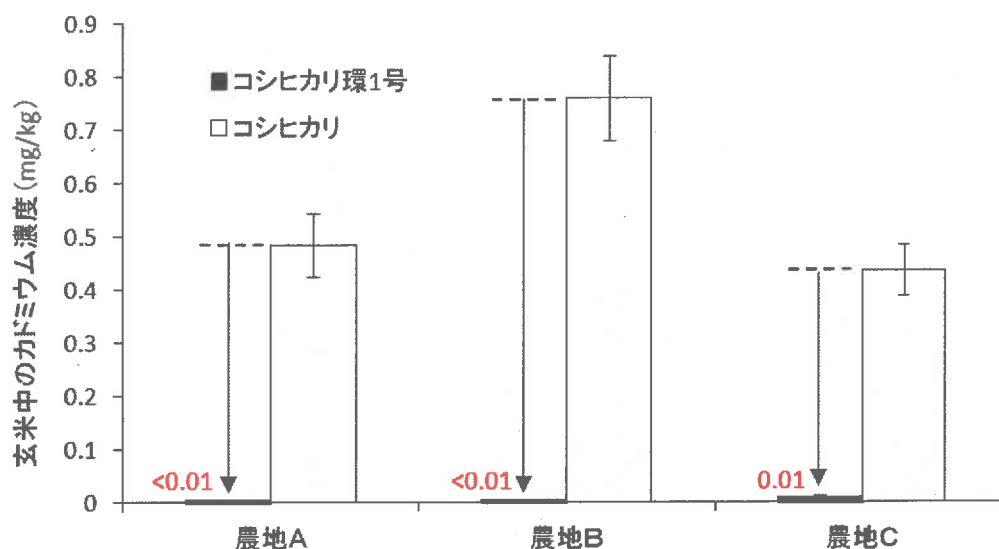


図3 カドミウムで汚染された水田で栽培された玄米中のカドミウム濃度
※エラーバーは標準偏差を示す

出典：安部、倉俣ら，育種学研究，第19巻，p109-115，2017

③ 対策に当たっての技術的留意事項

今までの研究や実証の結果、コシヒカリ環1号とコシヒカリでは、栽培特性、収量、草姿、籾・玄米の外観形質、食味はほぼ同等であり、コシヒカリが栽培されている地域であれば、コシヒカリと同じ栽培暦を用いて栽培可能と考えられる。図4から図11に、コシヒカリ環1号とコシヒカリを様々な地域で栽培した際の収量や外観形質を比較した結果を示す。食味についても、表5のとおり、食味官能試験により、コシヒカリ環1号とコシヒカリはほぼ同等であることが確認された。

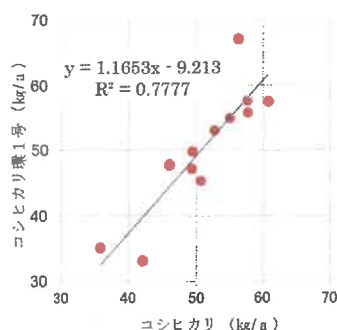


図4 精玄米収量

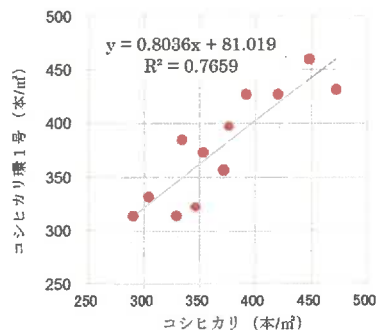


図5 穂数

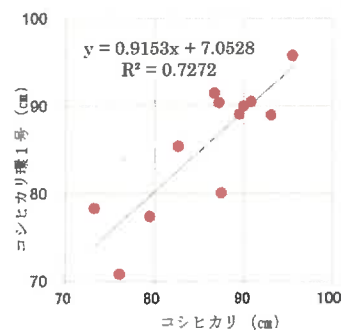


図6 稈長

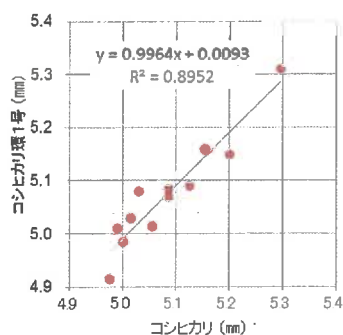


図7 粒長

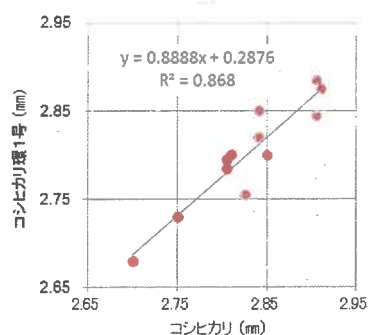


図8 粒幅

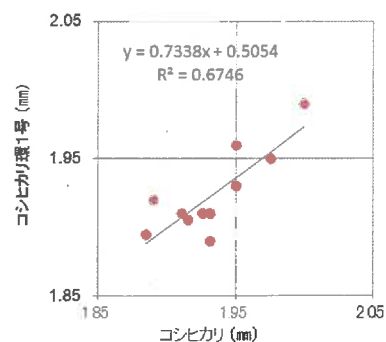


図9 粒厚

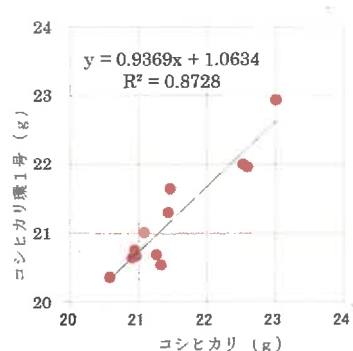


図10 玄米千粒重

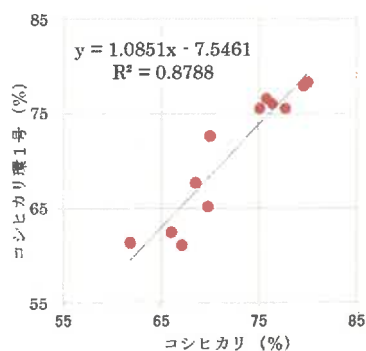


図11 整粒歩合

図4～11の出典：独立行政法人 農業環境技術研究所 土壤環境研究領域ほか，品種登録出願に関する参考成績書 水稻「lcd-kmt2」（権利保護），p17-19，2013

表5 コシヒカリとコシヒカリ環1号を比較した食味官能試験結果

総合評価			外観	香	味	粘り	硬さ
評価値	信頼区間	有意差					
0.200	±0.368	なし	0.050	-0.050	0.150	0.150	-0.250

専門パネル20名による。

コシヒカリを基準米として、基準米を0としたときの官能評価（-3～+3）の平均値。正の値が基準より優れること、負の値が基準より劣ることを示す。

出典：独立行政法人 農業環境技術研究所 土壤環境研究領域ほか，品種登録出願に関する参考成績書 水稻「lcd-kmt2」（権利保護），p9，2013

カドミウム低吸収性イネを用いる際には、以下に留意する。

- ✓ カドミウム低吸収性イネは、間断かん水等の土壤が好気的な条件で栽培してもコメ中のカドミウム濃度が非常に低いため、カドミウムの吸収抑制のための湛水管理（(2)イ参照）は不要である。
- ✓ 必要なカドミウム低吸収性イネの種籾の生産体制を整備するなどして、

種籾を確保する必要がある。カドミウム低吸収性イネはこれ以外の品種と容易に見分けがつかないため、種子の増殖時には両者が混ざらないよう気を付ける。

- ✓ カドミウム低吸収性イネは、必須元素のマンガンを根から吸収しにくく、ごま葉枯れ病が発生しやすい。このため、マンガンが欠乏する可能性のあるほ場では、マンガンを慣行栽培より多めに投入することが望ましい（なお、マンガンの施用を必要とするほ場の条件や投入水準などは今後更に調査することとしている。）。また、カドミウム低吸収性イネは、生育後期の葉の枯れ上がりが早い傾向にある。
- ✓ 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、既存品種と同じ品種銘柄で販売する場合には、農産物検査法における同一の産地品種銘柄（品種群）の申請を行う。
- ✓ 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、各地域の主要作付品種に低吸収性を付与した品種を開発するとともに、これから開発される新品种についても低吸収性を付与していくことが必要である。
- ✓ 「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。

イ 湛水管理を中心とする吸収抑制

① 概要

「湛水管理」は、出穂期の前後各 3 週間にわたり水田を湛水状態に保ち還元状態とすることで、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、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（参考 2 参照）。

「pH 調整」は、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状态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。ただし、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て実施することが望ましい。

② 効果

湛水管理による吸収抑制対策を実施すれば、玄米中のカドミウム濃度が 60 から 90%程度下がることが確認された（表 6－1 及び 6－2 参照）。

表 6－1 湛水管理による吸収抑制対策の効果（試験 1）

水管理方法	玄米中カドミウム濃度 ^{※1} (mg/kg)	比率
通常の水管理	0.50 ^a	100%
湛水管理 1 ^{※2}	0.08 ^b	16%
湛水管理 2 ^{※3}	0.03 ^c	6%

水田土壌：中粗粒グライ土、カドミウム濃度：0.33 mg/kg (0.1 mol/L 塩酸抽出)

※1：3ヶ年の試験での平均値、異符号間には有意差あり（5%有意水準、Tukey 法）

※2：出穂 15 日前から出穂後 25 日目までにわたって湛水管理を実施

※3：移植から出穂後 25 日目までにわたって湛水管理を実施

出典：稲原ら、日本土壌肥科学雑誌, 第 78 巻, 第 2 号, p149-155, 2007

表 6－2 湛水管理による吸収抑制対策の効果（試験 2）

水管理方法	玄米中カドミウム濃度 ^{※1} (mg/kg)	比率
湛水なし ^{※2}	0.66	100%
湛水管理 ^{※3}	0.18	27%

カドミウム濃度 2.4 mg/kg (0.1 mol/L 塩酸抽出) の灰色低地土を用いてポット栽培

※1：3ヶ年の試験での平均値であり、湛水管理によって玄米中カドミウム濃度が有意に低減（5%有意水準、t 検定）

※2：出穂 21 日前から出穂後 21 日目までの間は間断かん水

※3：出穂 21 日前から出穂後 21 日目までにわたって湛水管理を実施

出典：京都府農業総合研究所資料

③ 対策に当たっての技術的留意事項

a 湛水管理

農業用水の不足や、水田の減水深が大きいこと等の理由から、出穂期の前後の期間に湛水状態が保たれない場合、コメ中のカドミウム濃度が上昇する。このため、湛水管理の実施に当たっては、必要な用水量を確保する必要がある。また、湛水管理は以下の点に注意して実施する。

- ✓ 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。
- ✓ 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の強度とし、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。

- ✓ 出穂時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水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水を行う場合でも、土壌表面が乾燥するような水管理は行わない。
- ✓ 原則として出穂3週間前から出穂3週間後までは、常に水が張られた状態を保つ。
- ✓ 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。
- ✓ 落水時期は原則として出穂から3週間後以降とする。
- ✓ 収穫作業に支障を来す等の理由から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。
- ✓ 「コシヒカリ環1号」又はカドミウム低吸収性を付与された品種を利用する場合、カドミウムの吸収抑制のための湛水管理は不要である。

表7 出穂後の落水時期と玄米中カドミウム濃度の関係

落水時期※ ¹	玄米中カドミウム濃度※ ² (mg/kg)	比率
出穂当日	1.4 ^a	100%
出穂後7日目	1.3 ^a	93%
出穂後14日目	0.87 ^b	62%
出穂後21日目	0.49 ^c	35%

カドミウム濃度 0.78 mg/kg (0.1 mol/L 塩酸抽出) の細粒グライ土を用いてポット栽培

※1: 出穂までは湛水状態で水稻を栽培

※2: 異符号間には有意差あり (5%有意水準、Tukey 法)

出典: 農林水産省行政対応特別研究「農用地土壌から農作物へのカドミウム吸収抑制技術等の開発に係る研究」(平成12~14年度)における成果

b pH 調整

- ✓ 施用する肥料としては、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)、熔成りん肥等が推奨される。
- ✓ 肥料の施用量は、土壌の性質や施用する肥料の種類によって必要量が異なるので、事前に室内試験を行い、必要な施用量を定める。
- ✓ カルシウム肥料を投入しすぎた場合、微量元素の欠乏症や水稻後作物にア

ルカリ障害が発生する可能性があるので、投入量に注意する。

④ 有効性の判断

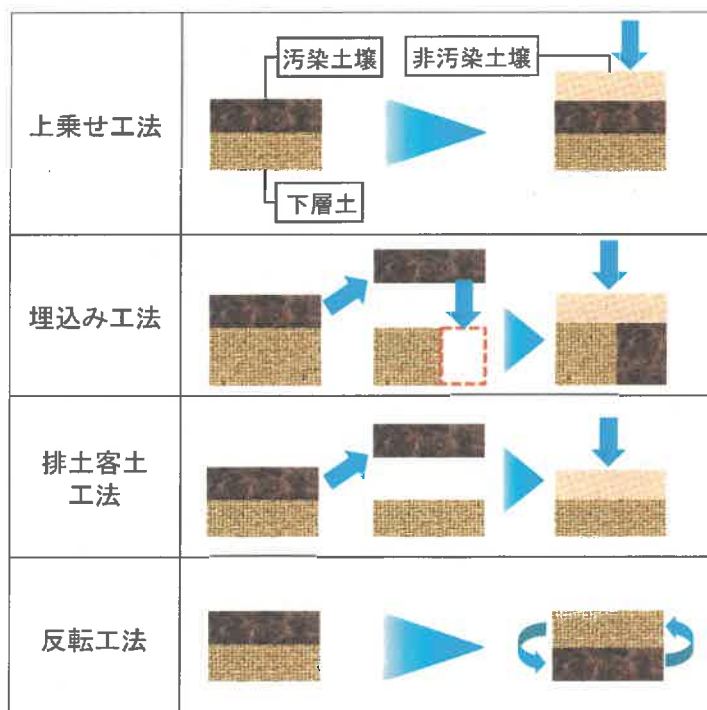
生産されたコメ中のカドミウム濃度を分析した結果、想定した低減効果が得られない場合は、吸収抑制対策は効果不十分と判断する。なお、以前に吸収抑制対策を実施したことがない地域では、3年程度にわたって吸収抑制対策を実施した後、低減効果を検証することが望ましい。

吸収抑制対策のみでは効果が不十分と判断された場合、食用品種の作付けを中断するとともに、土壌浄化対策である客土を実施する。また、農業用水の不足等の問題から、物理的に湛水状態の維持が困難な事態が生じた場合も、効果不十分と判断された場合と同様に対応する。

ウ 客土

① 概要

客土は、汚染された農地に非汚染土壌で盛り土等を行うことによって、土壌から農産物へのカドミウムの移行を抑制する対策である。汚染土壌の扱いや非汚染土壌の盛り土の有無により、上乘せ工法、埋込み工法、排土客土工法、反転工法など様々な工法が存在する。



中央環境審議会土壌農薬部会資料（平成 22 年 3 月 8 日）を一部改変

図 12 客土工法の種類

② 効果

通常、水稻の根の大部分は地表から 20cm 以内に存在する。このため、非汚染土壌で盛り土をする工法であれば、元来あった土壌が非常に高濃度に汚染されていても、20 cm から 40 cm 程度の盛り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。

③ 技術的問題点

客土対策は、他の対策に比べて非常にコストが高く、短期間に大面積を実施することが困難である。

また、非汚染土壌を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。

(3) その他の対策技術

「植物浄化」と「土壌洗浄」は、コストの大きい客土を代替するカドミウム除去技術として開発された。しかし、土壌やその他環境の影響を受け、効果が不安定であること、コストを含めた実行可能性の観点から課題があるなどの理由で現場での普及が進んでいない。

ア 植物浄化

① 概要

「植物浄化」は、カドミウム吸収能が高い植物（以下「浄化植物」という。）を栽培し、土壌中のカドミウムを吸収した浄化植物を収穫した後、カドミウムを大気等の環境中に拡散させずに回収可能な施設で焼却処理することにより、農地を浄化する対策である。

② 効果

植物浄化用イネ品種の選抜過程において、「ファイレメ CD1号」から「ファイレメ CD3号」を用いることにより、1回の作付で土壌中のカドミウム濃度（0.1 mol/L 塩酸抽出）を最大 44%低下させた。また、地上部のカドミウム収奪量は、カドミウムの吸収量が多く植物浄化にこれまで用いられてきたイネ品種「長香穀」に比べて最大 2.1 倍であった。表 8 に植物浄化による土壌中カドミウム低減率及び収奪量の事例を示す。

表8 植物浄化による土壤中カドミウム濃度の変化（単年）

品種	土壌カドミウム低減率 （%）	イネ地上部カドミウム収奪量 （長香穀比）
ファイレメ CD1号	7.8 ～ 15.7	1.0 ～ 1.7
ファイレメ CD2号	11.3 ～ 28.8	0.8 ～ 1.8
ファイレメ CD3号	21.6 ～ 44.1	1.5 ～ 2.1

注）本表は、平成26年度から28年度に全国3ヶ所の現地ほ場で実施した結果である。

土壌中のカドミウム濃度は、作土層（深度0 cmから15 cm）の土壌で評価したもの。

低減率は、計算式「（作付前の土壌中カドミウム濃度－作付後の土壌中カドミウム濃度）／作付前の土壌中カドミウム濃度」で算出した。

出典：植物による土壌のカドミウム浄化技術確立実証事業実施の手引（平成30年1月）

③ 対策に当たっての技術的留意事項

浄化植物の生長が悪かった、農地の水分含量が低い状態を維持できなかった等の理由から浄化植物のカドミウム収奪量が低下した場合、土壌中のカドミウム濃度が十分に低下しない可能性がある。このため、本対策の実施においては、浄化植物のカドミウム収奪量を維持するための栽培管理を徹底する必要がある。

さらに、収穫後の浄化植物は、含まれているカドミウムを適切に回収することが可能な施設で焼却処理する必要がある。

④ 用いる浄化植物

用いる浄化植物はイネとする。その品種については、カドミウム吸収能が高く一定の成果が見込めるファイレメ CD1号、ファイレメ CD2号、ファイレメ CD3号から選定することを基本とする。農業試験場等による予備試験の結果を勘案し、地域の土壌や気候条件に適した品種と栽培方法を選定する。

<品種概要>

品種	Cd 収奪量	脱粒性	耐倒伏性	食用品種との識別性
ファイレメ CD1号	○	なし	中	赤米、長粒、長稈、草姿
ファイレメ CD2号	○	なし	極強	赤米、大粒、長稈、草姿、強稈性
ファイレメ CD3号	◎	なし	強	赤米、大粒、長稈、草姿、芒あり
長香穀（対照品種）	△	甚	極弱	細粒、草姿、籾色（穂色）

植物浄化技術の詳細については、「植物による土壌のカドミウム浄化技術確立実証事業実施の手引（平成30年1月）」を参照のこと。

イ 土壌洗浄

① 概要

「土壌洗浄」は土壌に塩化第二鉄を加えて、カドミウムを水中に溶出させた後、溶出したカドミウムを回収した後に排水することによって、土壌中カドミウムを除去する技術である。具体的には、以下の工程で実施する。

- 水田に農業用水と塩化第二鉄を入れ、作業深度を可変かつ一定に維持可能なロータリーを装着したトラクターを用いて塩化第二鉄を含む水と土壌を混合。
- 水に溶出したカドミウムを処理装置で回収した上で排水。
- 農業用水のみを水田に入れて、工程 a と同様に水と土壌を混合し、水に溶出したカドミウムを回収した後に排水（本工程を 2 回から 3 回繰り返す）。

なお、対策に要する期間は、必要な機材の設置、撤去を含め 2 ha 規模で 90 日間程度である。

土壌と水を混合する際の水深を 45 cm 以上とすることで、土壌中のカドミウム濃度を 60% から 80% 程度低くすることが可能である。事前に室内での予備洗浄試験を行うことで土壌からのカドミウムの低減率を精度良く予測できる。

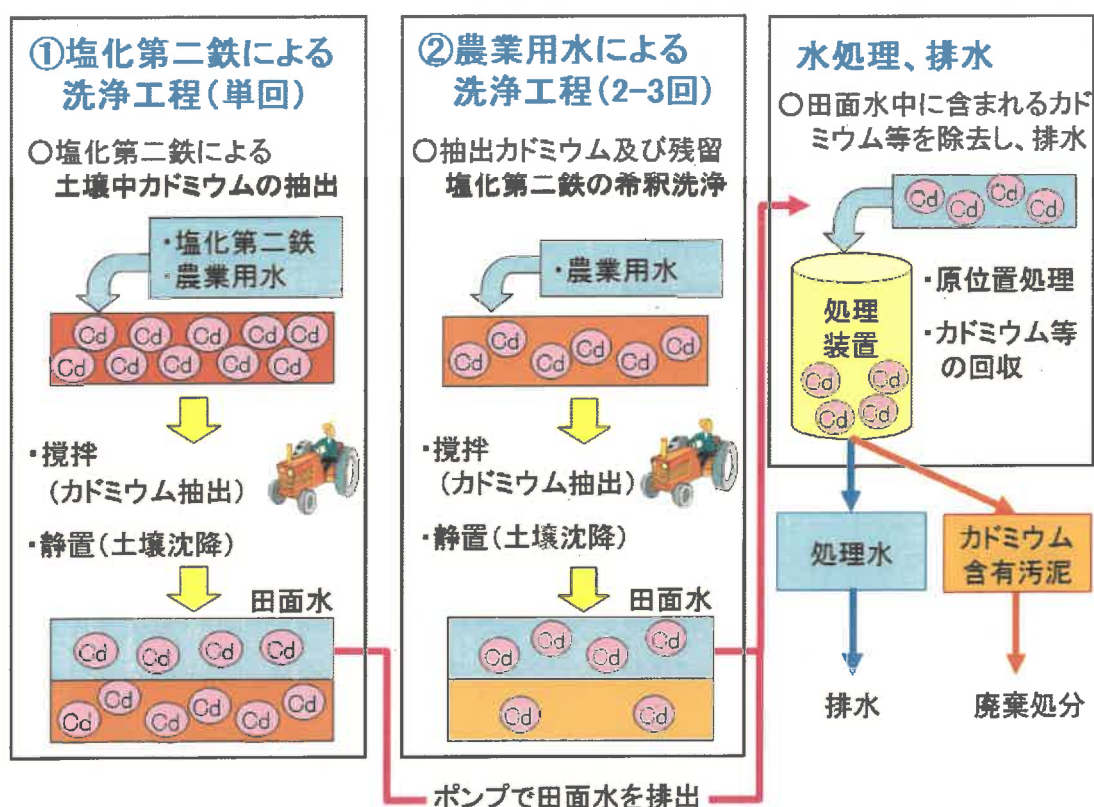


図 13 土壌洗浄技術の概要

② 効果

消費・安全対策交付金を活用した土壌洗浄技術の実証では、作物の収量を損なうことなく、子実中のカドミウム濃度が低下し、その効果は複数年にわたって継続した（図 14 から図 17）。

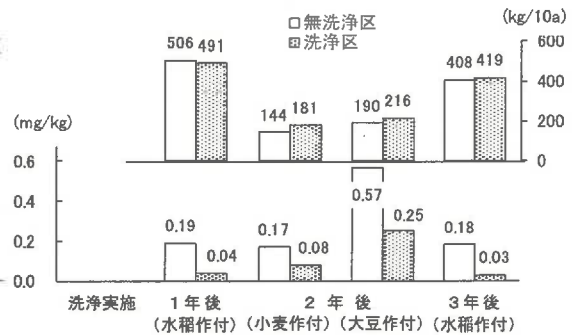
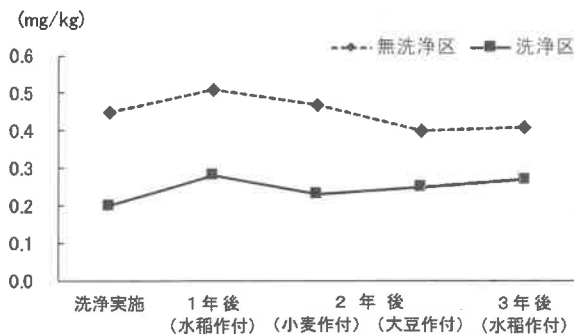


図 14 土壌中のカドミウム濃度の推移（A県）

図 15 各種穀物の（上段）収量と
（下段）子実中のカドミウム濃度（A県）

出典：平成 21～23 年度消費・安全対策交付金成果検討会資料

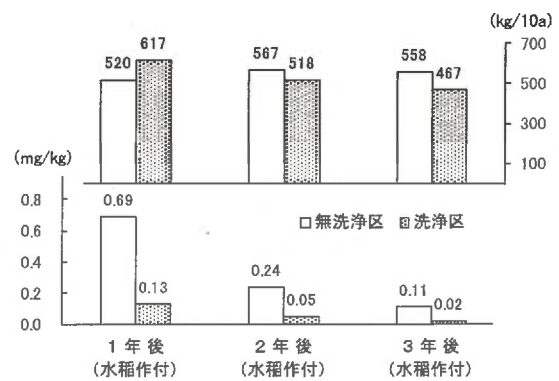
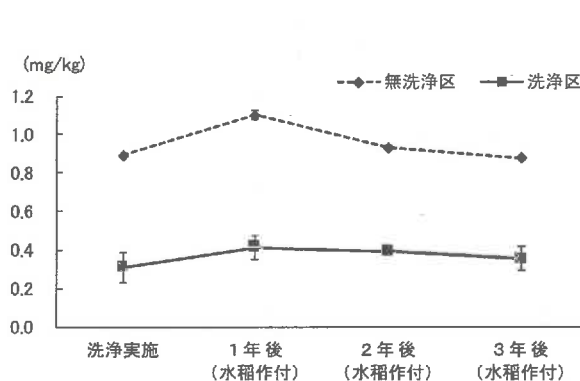


図 16 土壌中のカドミウム濃度の推移（B県）

図 17 （上段）玄米収量と
（下段）玄米中カドミウム濃度（B県）

※ 土壌中のカドミウム濃度は 0.1mol/L 塩酸抽出によるもの。

出典：平成 25～27 年度消費・安全対策交付金成果検討会資料

③ 技術的問題点

- ✓ 水に溶出したカドミウムを回収するための処理装置を、対策を実施するほ場周辺に設置する必要がある。
- ✓ 対策に必要な農業用水を確保する必要がある。

- ✓ 対策により土壌の物理性が変化するため、対策終了後最初に生産した農作物、特に畑作物の生育や収量に影響を及ぼすことがある。
- ✓ 対策により土壌中の無機態窒素が著しく増加することがあるため、対策後 1 作目の水稻に倒伏が生ずることがある。
- ✓ 土壌の種類によってはカドミウム抽出に高濃度の塩化第二鉄が必要となり、費用対効果について検討する必要がある。

なお、対策の設計等については、「薬剤による土壌のカドミウム浄化技術確立実証調査計画指針」（平成 19 年 7 月 農林水産省、（独）農業環境技術研究所）を参照のこと。

V 今後の取組

これまで、カドミウム濃度の高いコメが生産される可能性の高い地域において、都道府県や研究機関が中心となり、本指針に基づく対策を実施してきたことによって、各産地で生産されるコメ中のカドミウム濃度が低下したことを確認しているが、その状態を維持するためには、対策を継続的に実施することが必要である。また、各地域における新たな低減技術の実証成果を踏まえて、地域の栽培条件を勘案した技術の体系化を推進するとともに、国内産のコメに含まれるカドミウム濃度が、国際基準をより低くする動きがあった場合にも問題にならないレベルまでに低減することが期待される。

今後、農林水産省は以下に取り組む。

- ① 都道府県の協力の下、新たな品種導入や低減技術体系の有効性を引き続き検証。
- ② 定期的に、国産米中のカドミウム濃度の実態や、地域の対策状況を調査。
- ③ ①の検証結果や②の実態調査結果を基に、本指針を随時見直す予定。

その際、効率的な運用のもと低減対策が十分な成果をあげている地域を本指針に基づく対策の到達目標の例として紹介する。

カドミウム低吸収性イネの育成・実証と早期普及

農林水産省は、カドミウム低吸収性イネの普及拡大を図るため、各都道府県に、カドミウム低吸収性を付与したイネの育成・普及を促すとともに、今後、農研機構において自ら育成する主要な食用品種にカドミウム低吸収性の付与を進める。また、カドミウム低吸収性イネの普及状況について定期的に確認していく。

（参考１）食品中のカドミウムによる健康影響について

食品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、長期間にわたって、徐々に腎臓に蓄積する。

長期間にわたる腎臓への蓄積の結果、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。このため、食品を通じた低濃度のカドミウムの摂取による健康への有害な影響は、数十年にわたってカドミウムを摂取し続けた結果生じる慢性毒性である。

（参考２）酸化還元状態の変化に伴う土壌中カドミウムの変化について

水田に水を張った湛水状態を維持すると、土壌は還元状態（酸化還元電位の値は小さくなる）となるが、落水すると土壌は酸化状態（酸化還元電位の値は大きくなる）となる。

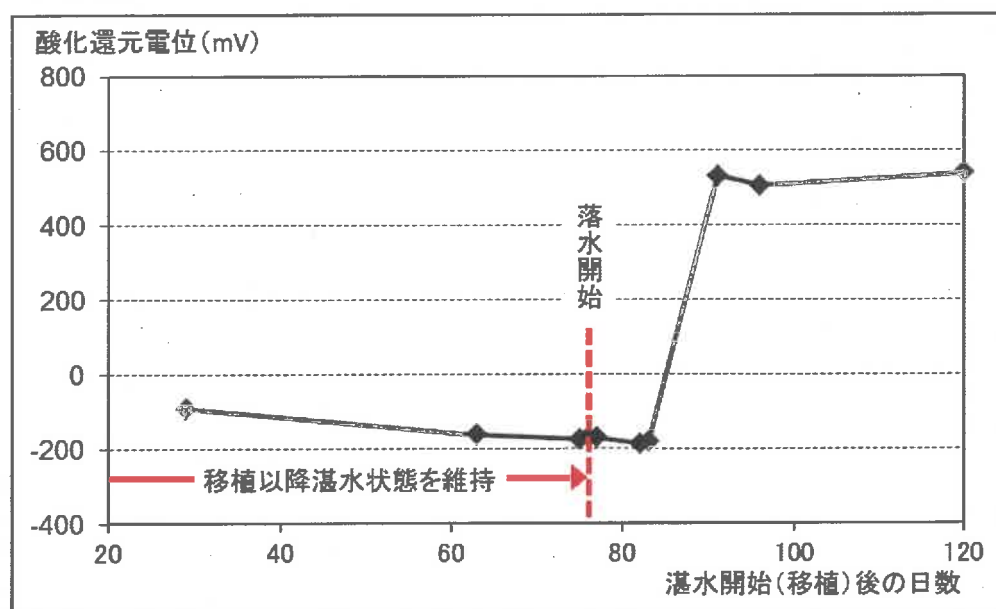


図1 湛水状態の変化に伴う土壌の酸化還元電位の変化

注1：水稻をポットで栽培し、定期的に土壌の酸化還元電位を測定。移植以降湛水状態を維持し、移植後75日目に落水。

注2：使用土壌：細粒グライ土、総カドミウム濃度 0.29 mg/kg

出典：農林水産省行政対応特別研究「農用地土壌から農作物へのカドミウム吸収抑制技術等の開発に係る研究」（平成12～14年度）における成果

土壌の還元状態が維持されると、土壌中のカドミウムは共存する硫黄と結合し極めて水に溶けにくい硫化物（硫化カドミウム）を形成すると考えられている。

表 カドミウムの形態と水に対する溶解度

化合物	水に対する溶解度 (g/100 g H ₂ O)
塩化カドミウム CdCl ₂	54.7
塩化アンモニウムカドミウム CdNH ₄ Cl ₃	35.5
硝酸カドミウム Cd(NO ₃) ₂	61.3
硫酸カドミウム CdSO ₄	43.4
硫化カドミウム CdS	2.11×10^{-8}

注：いずれの化合物も水温 25℃における溶解度（出典：化学便覧）

この結果、土壌中のカドミウムが、イオンとして土壌中の水面分に溶けにくくなるため、水稻による土壌中のカドミウム吸収が抑制される。

一方、土壌が酸化状態となると、カドミウムは硫化物を形成することが困難となる。この結果、土壌溶液中に溶け出すカドミウムイオンの量が増加するため、水稻による土壌中のカドミウム吸収が増大する。

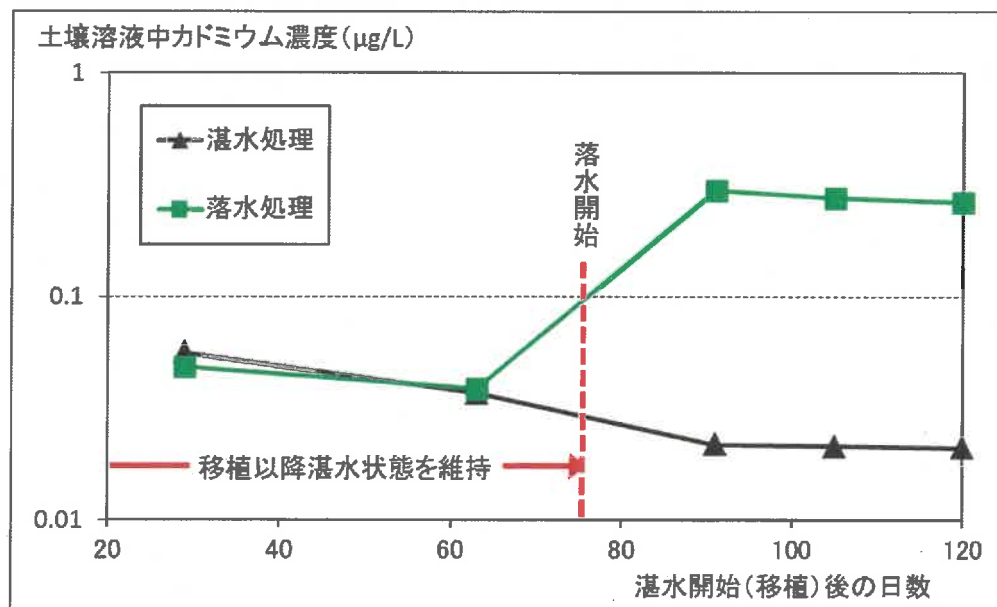


図2 湛水状態の変化に伴う土壌溶液中カドミウム濃度の変化

注1：水稻をポットで栽培し、定期的に土壌溶液を採取してカドミウム濃度を測定。落水処理群は移植後 75 日目に落水し、湛水処理群はそれ以降も湛水状態を維持

注2：使用土壌：細粒グライ土、総カドミウム濃度 0.29 mg/kg

出典：農林水産省行政対応特別研究「農用地土壌から農作物へのカドミウム吸収抑制技術等の開発に係る研究」（平成 12～14 年度）における成果

◎本資料に関する問い合わせ先

問い合わせ先	電話番号	担当地域
農林水産省消費・安全局 農産安全管理課	03-3592-0306	全国
北海道農政事務所 消費・安全部安全管理課	011-330-8816	北海道
東北農政局 消費・安全部安全管理課	022-221-6097	青森県、岩手県、宮城県、 秋田県、山形県、福島県
関東農政局 消費・安全部安全管理課	048-740-0367	茨城県、栃木県、群馬県、 埼玉県、千葉県、東京都、 神奈川県、山梨県、 長野県、静岡県
北陸農政局 消費・安全部安全管理課	076-232-4106	新潟県、富山県、石川県、 福井県
東海農政局 消費・安全部安全管理課	052-223-4670	岐阜県、愛知県、三重県
近畿農政局 消費・安全部安全管理課	075-414-9000	滋賀県、京都府、大阪府、 兵庫県、奈良県、和歌山県
中国四国農政局 消費・安全部安全管理課	086-224-4511	鳥取県、島根県、岡山県、 広島県、山口県、徳島県、 香川県、愛媛県、高知県
九州農政局 消費・安全部安全管理課	096-300-6169	福岡県、佐賀県、長崎県、 熊本県、大分県、宮崎県、 鹿児島県
内閣府沖縄総合事務局 農林水産部消費・安全課	098-866-1672	沖縄県

◎食品中のカドミウムに関する情報のウェブサイト

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