

安全な農畜水産物安定供給のための包括的レギュラトリーサイエンス研究推進委託事業

「省力的かつ現場で使い易いコメの無機ヒ素低減技術の開発」

令和４年度 最終年度報告書

課題番号	18065121
課題名	省力的かつ現場で使い易いコメの無機ヒ素低減技術の開発

研究実施期間	平成３０年度～令和４年度（５年間）
代表機関	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農業環境研究部門
研究総括者	板橋 直
研究総括者 連絡先	TEL : 029-838-8311
	FAX : 029-838-8199
	E-mail : sunaita@affrc.go.jp
共同研究機関	国立大学法人 島根大学生物資源科学部
	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 (東北農業研究センター、中日本農業研究センター、西日本農業研究センター、農業環境研究部門)
	岩手県農業研究センター
	長野県農業試験場
	愛知県農業総合試験場
	三重県農業研究所
	秋田県農業試験場
	千葉県農林総合研究センター
	新潟県農業総合研究所
	富山県農林水産総合技術センター 農業研究所
	滋賀県農業技術振興センター
	地方独立行政法人 大阪府立環境農林水産総合研究所
	山口県農林総合技術センター

＜別紙様式3＞最終年度報告書

1 研究目的

日本人の食生活において主要な無機ヒ素の摂取源となっているコメ中のヒ素のリスクを低減するためには、水田を好氣的に管理することによって土壌中のヒ素の溶出が抑制される性質を利用することが有効である。しかし、このときにカドミウムが可溶化して水稻に吸収されるというトレードオフ問題を解消する必要があった。そこで、これまでの研究によって、出穂前3週間から出穂後3週間の間に湛水3日・落水4日の間断灌漑（以後、間断灌漑3湛4落と記載。）を行えば、同期間に湛水管理で栽培された場合と比較して、コメ中カドミウム濃度の上昇を抑制しつつ無機ヒ素濃度を最大で半分程度まで低減できることを明らかにした。さらに、鉄資材の多量1回施用により玄米ヒ素濃度が低減すること、鉄資材施用と水管理の併用によってコメ中無機ヒ素とカドミウム濃度を同時に低減できることを明らかにしてきた。

また、生産現場に新たな管理を導入するにあたっては、現場での実行性に加え、収量・品質への影響も考慮する必要がある。そこで本研究では、収量・品質を落とさずに間断灌漑3湛4落と同等のコメ中無機ヒ素低減効果を持ち、現場での実行性の高い水管理を中心とした栽培管理技術の開発、そのための水管理のタイミングの参考になる使いやすい指標の開発に取り組む。さらに、鉄資材既施用区の低減効果の持続性、安価な資材の新規連年施用によるヒ素、カドミウムの低減効果の確認、コメへのヒ素蓄積の大きいイネ生育期間の特定および玄米中ヒ素濃度の早期予測を目的とする。

このため、本研究では、

1. 水管理・資材施用によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発

2. コメへのヒ素蓄積の大きいイネ生育期間の特定

により、間断灌漑3湛4落と同等のコメ中無機ヒ素低減効果を持ち、生産現場で実行性の高い水管理を中心とした栽培技術の開発、およびコメへのヒ素蓄積の大きいイネ生育期間の特定を目標とする。

その結果、

1. 安全な食料生産による国民の健康保護

2. コーデックスや輸出先国の基準に適合した生産技術により、コメの輸出促進に貢献すると期待される。

2 研究内容

(1) 研究課題

1) 水管理・資材施用によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発（中村 乾・農研機構 農業環境研究部門）

研究期間の前半では、出穂前後計6週間の間に2回（初年目は3回）、4日間連続して圃場が乾けば、間断灌漑3湛4落と同等のコメ中無機ヒ素濃度低減効果があるとの仮説を、気象、土壌、栽培品種の異なる各地域で検証する。また、落水期間に降雨があった時の灌漑のタイミングを決めるための水管理指標のプロトタイプを開発する。研究期間の後半では、開発した水管理指標のプロトタイプを利用した間断灌漑を行い、収量・品質に影響することなくコメ中無機ヒ素低減効果が得られることを実証する。さらに、高温障害が懸念される地域では出穂後は湛水管理、冷害が懸念される地域では出穂前は湛水管理としてもコメ中無機ヒ素低減効果が得られるかどうかを検証する。生産性向上を目的とした省力的な栽培体系における落水管理による低減効果についても検討する。

研究期間を通じて、排水過良田では落水回数・日数の最適化による収量・品質改善効果を検証する。排水不良田では、降雨状況に応じた入水・落水タイミングの管理や溝切りによる表面排水により、玄米無機ヒ素の低減効果が確実に得られることを実証する。

また、安価な資材である製鋼スラグを通常の土作りを目的とした施用量で連用することによる玄米カドミウムと無機ヒ素の低減効果の経年的な変化、および収量・品質への影響を明らかにする。さらに、鉄資材を多量施用した試験圃場で玄米のカドミウムと無機ヒ素濃度のモニタリングを継続し、資材によるヒ素・カドミウム低減効果の持続性を明らかにする。

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構（以下、農研機構と記載。）農業環境変動研究センター（現農業環境研究部門）は課題全体の統括を行うと共に、ヒ素等の分析や各種測定機器の圃場への設置を分担する。共同研究機関は現地試験地の設定、栽培管理、生育調査、植物体と土壌溶液の採取、収量調査などを行う。

- (ア) 寒冷地における水管理によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発（平成30年度早期終了）
- (イ) 北陸地方のグライ低地土における水管理によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発
- (ウ) 中国地方の灰色低地土における水管理によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発（令和2年度早期終了）
- (エ) 東北地方のグライ台地土における水管理によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発
- (オ) 中部地方の灰色グライ低地土における水管理によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発
- (カ) 東海地方の細粒質普通灰色台地土における水管理によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発
- (キ) 東海地方の灰色低地土における水管理によるヒ素・カドミウム同時低減のための現

場実行性の高い栽培管理技術の開発

- (ク) 東北地方のグライ低地土における水管理・資材によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発
- (ケ) 関東地方のグライ低地土における水管理・資材によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発
- (コ) 北陸地方の細粒質斑鉄型グライ低地土における水管理・資材によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発
- (サ) 北陸地方の灰色化低地水田土における水管理・資材によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発
- (シ) 関西地方のグライ低地土における水管理・資材によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発
- (ス) 関西地方の灰色台地土における水管理・資材によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発
- (セ) 中国地方の礫質灰色化低地土水田における水管理・資材によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発
- (ソ) 中国地方の灰色化低地土における水管理・資材によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発

2) コメへのヒ素蓄積の大きいイネ生育期間の特定（赤羽幾子・農研機構 農業環境変動研究センター）（令和2年度早期終了）

初年目は、農業環境変動研究センター内の水田圃場において出穂前後から成熟期にかけて複数回、稲体をサンプリングし、詳細にヒ素吸収量を測定することでヒ素吸収の大きい生育期間の特定に必要なデータの取得を行う。二年目は3府県の圃場で同様のサンプリングを行い、三年目にかけて異なる地域におけるヒ素吸収盛期を明らかにする。また、5ヵ年の間に出穂後の止葉等の総ヒ素濃度から当該年の玄米無機ヒ素濃度を推定する方法を開発する。

（2）達成目標

湛水管理ではコメ中無機ヒ素濃度がコーデックス基準値を超える懸念がある場合において、コメ中無機ヒ素濃度を半分程度まで低減できる、現場で実行可能な水管理を中心とした栽培管理技術を確立するとともに、ヒ素吸収の盛んな生育期間の特定とそれに基づく玄米中無機ヒ素濃度の早期予測法を開発する。

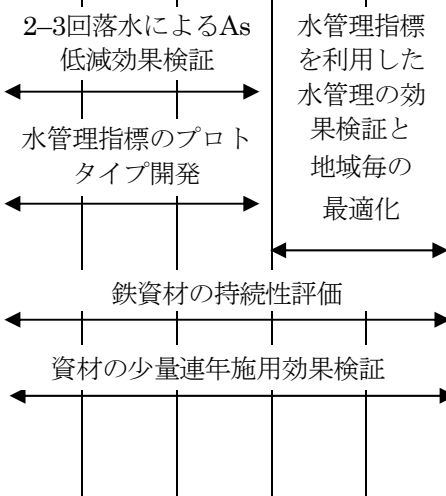
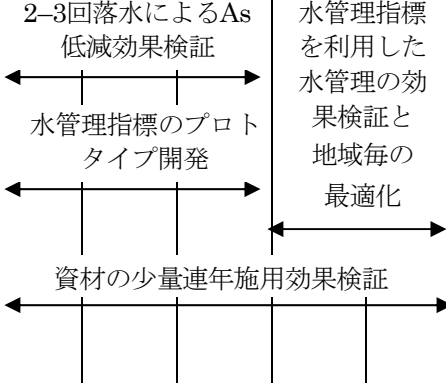
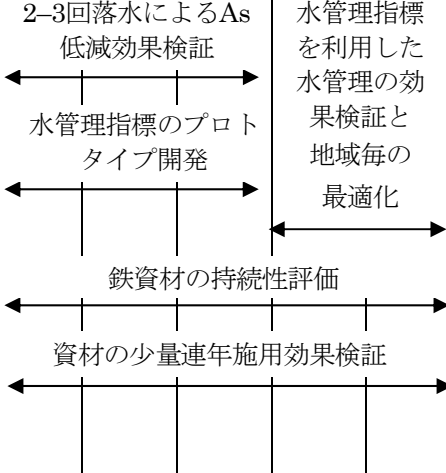
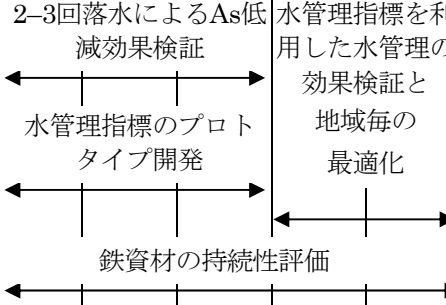
（3）研究開発された成果の取扱い

研究代表機関が中心となって水管理を中心とした栽培管理技術のマニュアルを策定し、玄米中無機ヒ素濃度の早期予測式とともに行政部局に引き渡すことで、行政施策の推進に貢献する。また、得られた研究成果は、知財の取得可能性を検討したうえで、秘匿がふさわしくない情報は早期に論文化等により公開することで、県等による取組みが円滑に進むように取り組む。

(4) 年次計画

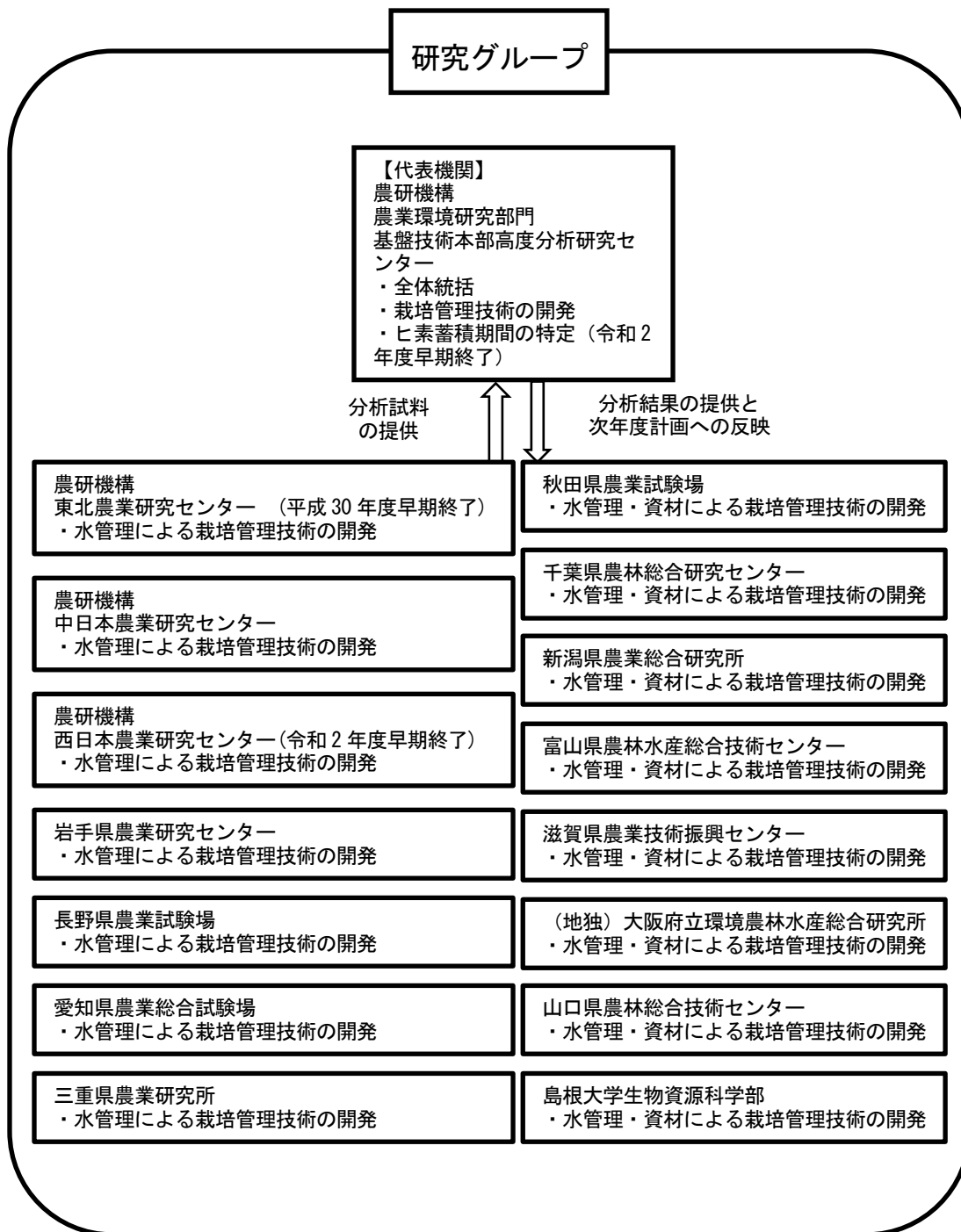
研究課題	研究年度				
	3 0	3 1	2	3	4
1. 水管理・資材施用によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発	2-3回落水によるAs低減効果検証 			水管理指標を利用した水管理の効果検証と地域毎の最適化 	
(1) 寒冷地における水管理によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発 (平成30年度早期終了)	2-3回落水によるAs低減効果検証 				
(2) 北陸地方のグライ低地土における水管理によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発	2-3回落水によるAs低減効果検証 			水管理指標を利用した水管理の効果検証と地域毎の最適化 	
(3) 中国地方の灰色低地土における水管理によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発 (令和2年度早期終了)	2-3回落水によるAs低減効果検証 				
(4) 東北地方のグライ台地土における水管理によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発	2-3回落水によるAs低減効果検証 			水管理指標を利用した水管理の効果検証と地域毎の最適化 	

(5) 中部地方の灰色グライ低地土における水管理によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発	2-3回落水によるAs 低減効果検証 水管理指標のプロト タイプ開発	水管理指標 を利用した 水管理の効 果検証と 地域毎の 最適化
(6) 東海地方の細粒質普通灰色台地土における水管理によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発	2-3回落水によるAs 低減効果検証 水管理指標のプロト タイプ開発	水管理指標 を利用した 水管理の効 果検証と 地域毎の 最適化
(7) 東海地方の灰色低地土における水管理によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発	2-3回落水によるAs 低減効果検証 水管理指標のプロト タイプ開発	水管理指標 を利用した 水管理の効 果検証と 地域毎の 最適化
(8) 東北地方のグライ低地土における水管理・資材によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発	2-3回落水によるAs 低減効果検証 水管理指標のプロト タイプ開発 鉄資材の持続性評価 資材の少量連年施用効果検証	水管理指標 を利用した 水管理の効 果検証と 地域毎の 最適化
(9) 関東地方のグライ低地土における水管理・資材によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発	2-3回落水によるAs 低減効果検証 水管理指標のプロト タイプ開発 鉄資材の持続性評価	水管理指標 を利用した 水管理の効 果検証と 地域毎の 最適化

(10) 北陸地方の細粒質斑鉄型グライ低地土における水管理・資材によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発	 2-3回落水によるAs 低減効果検証 水管理指標のプロト タイプ開発 鉄資材の持続性評価 資材の少量連年施用効果検証 水管理指標 を利用した 水管理の効 果検証と 地域毎の 最適化
(11) 北陸地方の灰色化低地水田土における水管理・資材によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発	 2-3回落水によるAs 低減効果検証 水管理指標のプロト タイプ開発 鉄資材の持続性評価 資材の少量連年施用効果検証 水管理指標 を利用した 水管理の効 果検証と 地域毎の 最適化
(12) 関西地方のグライ低地土における水管理・資材によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発	 2-3回落水によるAs 低減効果検証 水管理指標のプロト タイプ開発 鉄資材の持続性評価 資材の少量連年施用効果検証 水管理指標 を利用した 水管理の効 果検証と 地域毎の 最適化
(13) 関西地方の灰色台地土における水管理・資材によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発	 2-3回落水によるAs低 減効果検証 水管理指標のプロト タイプ開発 鉄資材の持続性評価 資材の少量連年施用効果検証 水管理指標を利用した水管理の 効果検証と 地域毎の 最適化

(14) 中国地方の礫質灰色化低地土水田における水管理・資材によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発	2-3回落水によるAs低減効果検証 水管理指標のプロトタイプ開発 鉄資材の持続性評価 資材の少量連年施用効果検証 水管理指標を利用した水管理の効果検証と地域毎の最適化
(15) 中国地方の灰色化低地土における水管理・資材によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発	2-3回落水によるAs低減効果検証 水管理指標のプロトタイプ開発 鉄資材の持続性評価 資材の少量連年施用効果検証 水管理指標を利用した水管理の効果検証と地域毎の最適化
2. コメへのヒ素蓄積の大きいイネ生育期間の特定 (令和2年度早期終了)	As吸収盛期特定 玄米中As濃度推定方法開発

(5) 研究体制



(6) 実施体制

研究項目	担当研究機関・研究室		研究担当者	エフォート (%)
	機関	研究室		
研究総括者	農研機構農業環境変動研究センター (～2021.3)、農業環境研究部門 (2021.4～)	有害化学物質研究領域 (～2021.3)、化学物質リスク研究領域 (2021.4～)	◎ 加藤直人 (～2019.3) ◎ 板橋 直 (2019.4～)	5 8
1. 省力的かつ現場で使いやすいコメの無機ヒ素低減技術の開発	農研機構農業環境変動研究センター	有害化学物質研究領域	○ 山口紀子 (～2021.3)	10
(1) 水管理・資材によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発	農研機構農業環境変動研究センター (～2021.3)、農業環境研究部門 (2021.4～)	有害化学物質研究領域 (～2021.3)、化学物質リスク研究領域 (2021.4～)	△ 中村 乾 須田碧海 山口紀子 (2021.4～) 安部 匡 (2021.4～) 石川 寛 (2021.4～)	30 20 前出 5 5
	基盤技術本部高度分析研究センター (2021.4～)	環境化学物質分析ユニット (2021.4～)	馬場浩司	30
1) 寒冷地における水管理によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発 (平成30年度早期終了)	農研機構東北農業研究センター	生産環境研究領域	永田 修	5
2) 北陸地方の灰色低地土における水管理によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発	農研機構中央農業研究センター (～2021.3)、中日本農業研究センター (2021.4～)	所長 農産安全研究統括監 水田利用研究領域	荒尾知人 (～2020.3) 川崎 晃 (～2021.3) 平内央紀 (～2019.3) 鈴木克拓 (2019.4～) 有賀琢人 (2022.4～)	5 20 30 30 5
3) 中国地方の灰色低地土における水管理によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発 (令和2年度早期終了)	農研機構西日本農業研究センター	生産環境研究領域	松森堅治 (～2020.3) 徳田進一 (2020.4～) 望月秀俊 森 伸介 (～2019.12)	5 5 5 5
		水田作研究領域	長田健二 (～2020.3) 小林英和 (2020.4～)	5 5

4) 東北地方のグライ台地土における水管理によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発 5) 中部地方の灰色グライ低地土における水管理によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発 6) 東海地方の細粒質普通灰色台地土における水管理によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発	岩手県農業研究センター	生産環境研究部	葉上恒寿(~2020.3) 12 島 輝夫(~2020.3) 4 白木正俊 12 (2020.4~2022.3) 伊藤美穂 4 (2020.4~2022.3) 佐々木俊祐 6 (2022.4~) 横田紀雄 2 (2022.4~)	
	長野県農業試験場	環境部	諸 人誌 15 上原敬義 (~2020.3、 5 2021.4~) 吉川(岡崎)直人 5 (~2021.3) 島上卓也 10 (2020.4~2022.3) 曾根原寛和 5 (2022.4~)	
	愛知県農業総合試験場	環境基盤研究部 作物研究部	日置雅之 10 (~2020.3) 安藤 薫 10 糟谷真宏 (~2019.3) 5 小田柴帆里 5 (2019.4~2021.3) 瀧 勝俊 5 (2019.4~2021.3) 大橋祥範 (2020.4~) 5 出原清士郎 5 (2021.4~) 田中雄一 10 (2022.4~) 遠山孝通 5 森崎耕平 5 浅野智也 (~2020.3) 5 黒野綾子 5 (~2020.3) 伊藤 真 (~2020.3) 5 杉浦直樹 (~2019.3) 5 伊藤 晃 (2019.4~) 5 柏木啓佑 (2019.4~) 5 日置雅之 (2020.4~) 5 森田真菜 (2021.4~) 5 杉浦和彦 (2022.4~) 5	

7) 東海地方の灰色低地土における水管理によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発	三重県農業研究所	フード・循環研究課	水谷嘉之 (~2022.3) 大門奈那子 (~2020.3) 藤井琢馬 山本有子 (~2019.3) 加藤美祢子 (2019.4~2020.3) 瀬田聡美 (2020.4~) 前川充希子 (2020.4~2022.3) 橋爪不二夫 (2022.4~) 前田貴文 (2022.4~)	10 10 20 10 10 10 10 10
8) 東北地方のグライ低地土における水管理・資材によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発	秋田県農業試験場	生産環境部	伊藤正志 (~2021.3) 薄井雄太 (2019.4~) 伊藤千春 渡辺恭平 (~2020.3) 中川進平 松田英樹 (2020.4~2021.3) 西澤航平 (2021.4~)	30 30 5 5 5 5 5
9) 関東地方のグライ低地土における水管理・資材によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発	千葉県農林総合研究センター	土壌環境研究室 水田利用研究室	太田黒 駿 (~2021.3) 横山とも子 (~2019.3) 松下みどり (2021.4~) 西川英輝 (~2022.3) 土田 駿 (2022.4~)	6 2 4 8 2
10) 北陸地方の細粒質斑鉄型グライ低地土における水管理・資材によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発	新潟県農業総合研究所	基盤研究部	本間利光 石井勝博 (~2021.3) 門倉綾子 (2021.4~) 水野貴文	25 20 25 20
11) 北陸地方の灰色化低地水田土における水管理・資材によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発	富山県農林水産総合技術センター	農業研究所 土壌・環境保全課	中田 均 山田宗孝 稲原 誠 (2019.4~) 浅木日央里 (2020.4~)	20 20 10 20

1 2) 関西地方のグライ 低地土における水管 理・資材によるヒ素・カ ドミウム同時低減のた めの現場実行性の高い 栽培管理技術の開発	滋賀県農業技術 振興センター	環境研究部	楠田理恵 (2020.4~) 猪田有美 (2019.4~2020.3) 河村紀衣 (2019.4~) 野 雄大 (~2019.3) 高山尊之 山田善彦 (2019.4~2021.3) 武久邦彦	20 10 15 10 10 5 10
1 3) 関西地方の灰色台 地土における水管理・ 資材によるヒ素・カド ミウム同時低減のため の現場実行性の高い栽 培管理技術の開発	大阪府環境農林 水産総合研究所	食と農の研究部	荒川竜太 (2020.4~) 佐野修司 (~2020.3) 岩本百合香 森川信也 金剛穂波 (2019.4~)	15 5 5 5 5
1 4) 中国地方の礫質灰 色化低地土水田におけ る水管理・資材による ヒ素・カドミウム同時 低減のための現場実行 性の高い栽培管理技術 の開発	山口県農林総合 技術センター	農業技術部	原田夏子 (~2019.3) 藤村澄恵 (~2021.3) 平田俊昭 (~2021.3) 西田美沙子 (2021.4~) 渡辺卓弘 (2021.4~) 吉村剛志 (2021.4~)	30 30 20 30 10 10
1 5) 中国地方の灰色化 低地土における水管 理・資材によるヒ素・カ ドミウム同時低減のため の現場実行性の高い 栽培管理技術の開発	島根大学	生物資源科学部	松本真悟 春日純子	20 30
(2) コメへのヒ素蓄積 の大きいイネ生育期間 の特定 (令和2年度早期終了)	農研機構農業環 境変動研究セン ター	有害化学物質研究領 域	△ 赤羽幾子 安部 匡 石川 覚 須田碧海 馬場浩司	15 前出 前出 前出 前出

(注1) 研究総括者には◎、小課題責任者には○、実行課題責任者には△を付すこと。

(7) 各年度の研究費

平成30年度	39,444千円
平成31年度	34,824千円
令和2年度	31,961千円
令和3年度	38,927千円
令和4年度	35,155千円

3 研究成果の概要

(1) 主な成果

1) 成果の内容

- ① 水稻の穂中のヒ素含有量は、出穂の前2週間から後2週間にかけての穂の重量増加に伴って増加
- ② 水管理指標を用いた出穂の3週間前から3週間後にかけて行う2回の4日間の落水処理は、間断灌漑3湛4落と同等の玄米無機ヒ素濃度低減効果
- ③ 自動水管理者を用いた間断灌漑3湛4落は、玄米無機ヒ素濃度低減に有効
- ④ 製鋼スラグの少量連年施用は、無施用に比べ最大2割の玄米無機ヒ素濃度低減
- ⑤ 含鉄資材の多量単回施用による無機ヒ素濃度低減効果は、施用初期に大きく、その効果は5年程度持続

2) 成果の活用

これらの成果は、国内外の学会等で公表されたほか、農研機構が取りまとめた技術マニュアル「コメのヒ素低減のための栽培管理技術導入マニュアル ～コメの収量・品質への影響を抑えつつ、ヒ素を低減するために～（第2版）」（令和3年3月）として公表され、農林水産省の発行した「コメ中ヒ素の低減対策の確立に向けた手引き」（平成31年3月策定、令和4年2月改訂）に一部反映

(2) 各研究課題の成果

1) 小課題名：水管理・資材施用によるヒ素・カドミウム同時低減のための現場実行性の高い栽培管理技術の開発

(ア) 研究目標

湛水管理によるコメ中無機ヒ素濃度がコーデックス基準値を越える懸念がある場合において、コメ中無機ヒ素濃度を半分程度まで低下できる、現場で実行可能な水管理を中心とした栽培管理技術を確立する。

(イ) 研究内容

水管理法については、十分な土壌の乾燥を得るための水管理指標を開発するとともに出穂前後計6週間の間に4日間連続して圃場を乾かすための落水を2-3回行い、同水管理に間断灌漑3湛4落と同等のコメ中無機ヒ素低減効果があることを検証した。そのために気象・土壌条件の異なる水田圃場に①湛水区および②出穂前後落水2あるいは3回区を設け、栽培期間中の土壌の溶存ヒ素・カドミウム濃度およびEh、収穫時に玄米中無機ヒ素、カドミウム濃度の測定ならびに収量・品質への影響を調査した。特に最終年の落水2回区では、早期落水の実施および長雨対策を目的とし、出穂3週間前または中干し後湛水の終了時に1回目の落水を開始、1回目の落水期間終了後、3日間湛水をはさんで2回目の落水を行った。加えて、③地域の実情に即した水管理区として落水1回管理、間断灌漑主体管理および中干し延長主体管理を設け、①および②と同様の観測を行うことで、玄米中無機ヒ素低減およびカドミウム濃度の上昇抑制効果を検証した。また、自動水管理システムを用いて間断灌漑3湛4落を行い、出穂前後の体積含水率、Eh、溶存ヒ素・カドミウム濃度および玄米中無機ヒ素・カドミウム濃度を測定するとともに、コメ中ヒ素低減効果が得られるかどうかを検証した。温室効果ガスの発生抑制効果についても、落水2回管理および落水2回＋中干し延長管理による玄米中無機ヒ素低減効果とともに検証した。

資材少量施用試験については、出穂前後落水2または3回試行区内に製鋼スラグ資材施

用区を設け、製鋼スラグ資材（200 kg/10 a）を5年間連用し、上記水管理試験と同様の測定を行い、無施用区と比較した。資材多量施用試験については、平成25年度または平成28年度に鉄資材を多量施用（1～2 t/10 a）した試験区において、湛水管理下での施用後10年目または落水2～3回管理下での施用後6年目の玄米中ヒ素濃度低減およびカドミウム濃度上昇抑制効果の持続性を調査した。

（ウ）研究結果

（1）水管理試験

プロジェクト実施期間（平成30（2018）年～令和4（2022）年）を通しての水管理試験の結果は、水管理指標に従えば、出穂前後の落水回数を2回まで減らしても間断灌漑3湛4落と同等の玄米中無機ヒ素低減効果が得られることを示した。ここで、水管理指標としては、次の要件を満たすものとして策定した。すなわち、

中干し：無降雨日数が4日間程度に（断続的でもよい）に達した後、さらに連続した4日間程度の無降雨日が得られるまで実施（生育に障害を来す場合にはこの限りではない）。

中干し期間中の降雨に対しては、下に準拠して延長。その結果、中干しが出穂3週間前頃まで延長された場合には、中干し後、3～7日間湛水後に出穂期前後の落水を実施。中干し延長が長期に及んだ場合は、湛水期間を3日まで短縮。

出穂期前後の落水：落水期間中に4日間（約96時間）連続して土壌を乾かした後、入水。

落水期間中の降雨への対応：

降雨により再湛水した場合

落水開始後3日（72時間）経過前に再湛水した場合には落水をやり直し、4日間連続して土壌を乾かした後、入水

落水開始後3日（72時間）経過後に再湛水した場合には、落水をやり直し、3日間連続して土壌を乾かした後、入水

降雨はあったが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

なお、落水期間延長中に再度降雨があった場合には、上の基準に準じて落水期間を再延長。落水期間延長に上限を設けず、しっかり乾かすことを重視

落水3回、2回および1回管理での玄米中無機ヒ素濃度は、いずれの落水管理でも湛水区に比べて有意に低下した（表 水管理1～3）。湛水区の玄米中無機ヒ素濃度がコーデックス基準値 0.35 mg kg^{-1} を超えた圃場では、湛水区からの低下率が間断灌漑3湛4落（平成28（2016）年～2018実施）での47%に対し、落水3回、2回および1回でそれぞれ40%、50%および38%となり、落水2回管理で間断灌漑3湛4落と同等の玄米中無機ヒ素低減効果が得られた（図 水管理-1）。落水3回管理は落水回数が多いにもかかわらず低減効果は低めとなったことは、上記の水管理指標に準拠せず、降雨があっても落水期間を最大7日間までに制限していたことが原因と考えられた。また、落水1回管理では落水期間延長は水管理指標に従い実施していたが、落水2回管理の低減効果に及ばなかった。本結果は、落水2回管理が、湛水管理によるコメ中無機ヒ素濃度がコーデックス基準値を越える懸念がある場合に、コメ中無機ヒ素濃度を半分程度まで低下できる、現場で実行可能な水管理であることを示す。

中干しが玄米中無機ヒ素濃度に与える影響を調べるため、中干し期における土壌の体積含水率低下と、落水2回管理による湛水管理からの玄米中無機ヒ素濃度低下との関係进行调查した。その結果、中干し時の体積含水率低下が大きいほど落水2回による玄米中無機ヒ素濃度低減効果が大きく現れていた（図 水管理-2）。他方、中干し期の体積含水率低下には、玄米中カドミウム濃度、精玄米重および整粒歩合に対する影響は見られなかった。これらの結果は落水管理による玄米中無機ヒ素低減には、体積含水率の低下を伴うしっかりとした中干しも重要であることを示す。

落水管理の適用範囲を調べるため、間断灌漑3湛4落、落水3回、落水2回および落水1回の全落水区と湛水区の玄米中無機ヒ素濃度の比較を、湛水区玄米中無機ヒ素濃度の階級別に行った。その結果、湛水区の玄米中無機ヒ素濃度が 0.2 mg kg^{-1} よりも低い場合には湛水区と落水区の間に有意差はなく、それより高い場合には有意差が生じた。このことは、落水管理による玄米中無機ヒ素低減効果は湛水区無機As濃度 0.2 mg kg^{-1} 以上の圃場で現れることを示す。言い換えると湛水区無機ヒ素濃度 0.2 mg kg^{-1} 以下の圃場では、しっかりとした中干しで対応すれば良いことが示唆される。

玄米中カドミウム濃度は、これまでの試験において落水管理を行うと湛水管理に比べて上昇する傾向が見られた。大部分の圃場では上昇しても低濃度に抑えられたが、土壌のカドミウム含量が高い圃場では対策が必要と考えられた。今後、玄米中カドミウム濃度の上昇が懸念される地域で、間断灌漑3湛4落をはじめ落水2回や落水1回を行う場合には、玄米中カドミウムの蓄積を抑制する対策が必要になると予想される。その対策としてはカドミウム低吸収性品種の導入が考えられるが、それが難しい場合には土壌のpH矯正が有効となる可能性がある。腐植質グライ低地土および細粒質斑鉄型グライ低地土水田の上記落水2回区内において、目標pH 6.0～6.5に設定した炭酸石灰施用試験を3年間実施し、玄米中カドミウム濃度に与える影響を調査した。その結果、施用区で測定期間の土壌pH（深さ10 cm）がpH 6.3以上であった年に玄米中カドミウム濃度が無施用区に比べて36-79%低下した。また、玄米中カドミウム濃度が低下した年には、施用区における栽培後土壌の塩基飽和度が、それまでの40-50%から地力増進基本指針の基本的な改善目標値70-80%付近まで回復していた。このことから塩基飽和度は、玄米中カドミウム濃度低下の指標となりうることが示された。同時に石灰飽和度は60-80%で、新潟県の水田土壌改良目標値である40-50%を上回っていたことから、pH矯正資材としては、塩基バランスを保つ効果が期待できる炭酸苦土石灰が適していると考えられた。

玄米の収量（精玄米重）および品質（整粒歩合）については各落水管理と湛水管理の間に有意差は見られなかった。ただし精玄米重は土壌の粘土含量と落水回数に影響を受ける傾向が見られた（図 水管理-3）。前述の間断灌漑3湛4落および落水1～3回区の精玄米重を湛水区と比較すると、粘土含量が25%を超える圃場では、間断灌漑3湛4落区および落水3回区で湛水管理に比べて低下する傾向が見られた。その低下は粘土含量増加とともに大きくなり、粘土含量40%の圃場における間断灌漑3湛4落区では湛水区に比べて9%低下していた。また、その低下は圃場によっては落水3回よりも間断灌漑3湛4落で大きくなっていたことから、粘土質土壌では落水回数が増えるほど収量低下の危険が大きくなる可能性がある。また、粘土含量35%付近の圃場では落水2回区でも収量低下傾向が見られた。これらの結果は粘土含量が多い圃場では、落水管理による収量変化に注意が必要であることを示す。

表 水管理-1 <水管理試験 2018> 出穂前後の水管理の違いが玄米中無機ヒ素・カドミウム濃度、精玄米重および整粒歩合に与える影響（平均値; $n = 13$ ）

	玄米中無機As濃度		玄米中Cd濃度		精玄米重	整粒歩合
	mg kg ⁻¹		mg kg ⁻¹		kg (10a) ⁻¹	%
湛水	0.24	a	0.02	b	541	66
落水3回	0.18	b	0.06	a	532	66
3湛4落	0.16	b	0.09	a	523	65
分散分析	***		***		n.s.	n.s.

異なるアルファベット間にはTukeyHSDの多重比較により5%水準で有意差があることを示す。
*, **および***はそれぞれ5%、1%および0.1%水準で有意、n.s.は5%水準で有意でないことを示す。

表 水管理-2 <水管理試験 2020> 出穂前後の水管理の違いが玄米中無機ヒ素・カドミウム濃度、精玄米重および整粒歩合に与える影響（平均値; $n = 12$ ）

	玄米中無機As濃度		玄米中Cd濃度		精玄米重	整粒歩合
	mg kg ⁻¹		mg kg ⁻¹		kg (10a) ⁻¹	%
湛水	0.32	a	0.01	b	523	61
落水2回	0.25	b	0.04	a	533	60
落水3回	0.25	b	0.05	a	526	60
分散分析	***		***		n.s.	n.s.

異なるアルファベット間にはTukeyHSDの多重比較により5%水準で有意差があることを示す。
*, **および***はそれぞれ5%、1%および0.1%水準で有意、n.s.は5%水準で有意でないことを示す。

表 水管理-3 <水管理試験 2021–2022> 出穂前後の水管理の違いが玄米中無機ヒ素・カドミウム濃度、精玄米重および整粒歩合に与える影響（平均値; $n = 15$ ）

	玄米中無機As濃度		玄米中Cd濃度		精玄米重	整粒歩合
	mg kg ⁻¹		mg kg ⁻¹		kg (10a) ⁻¹	%
湛水	0.23	a	0.05	b	542	78
落水1回	0.18	b	0.08	b	549	77
落水2回	0.16	b	0.11	a	540	76
分散分析	***		***		n.s.	n.s.

異なるアルファベット間にはTukeyHSDの多重比較により5%水準で有意差があることを示す。
*, **および***はそれぞれ5%、1%および0.1%水準で有意、n.s.は5%水準で有意でないことを示す。

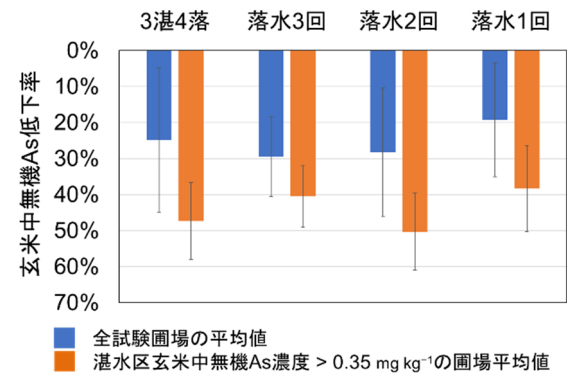


図 水管理-1 <水管理試験 2016–2022> 出穂前後各3週間の落水管理による湛水管理からの玄米中無機ヒ素 (As) 濃度の低下率。間断灌漑3湛4落(2016–2018)も記載

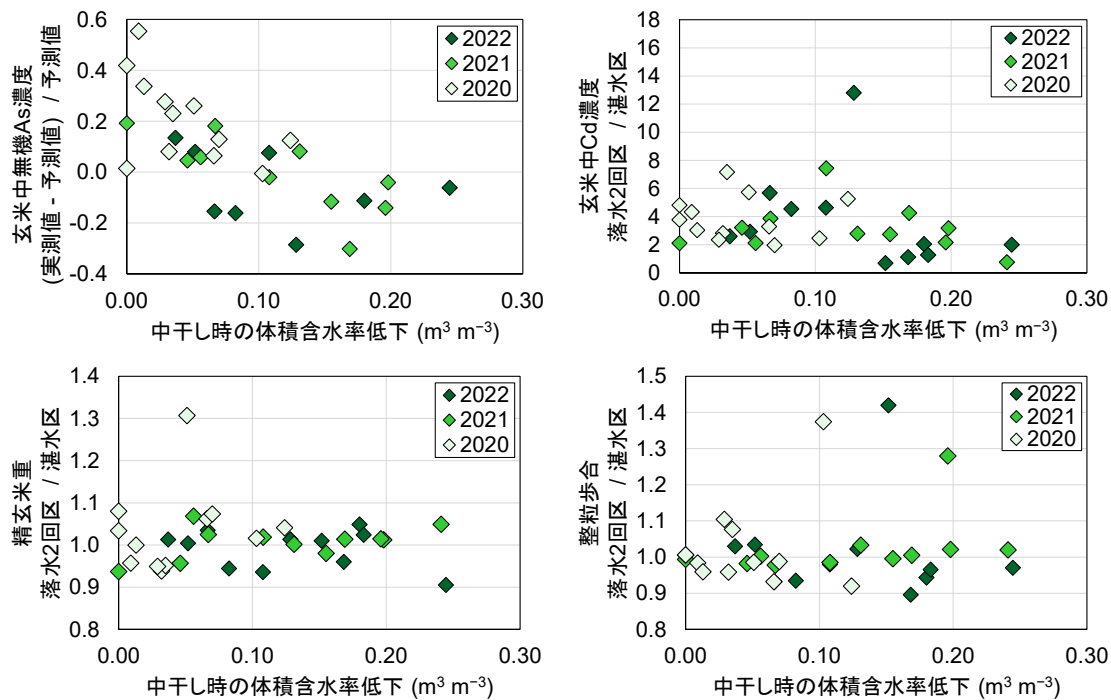


図 水管理-2 中干し期の体積含水率低下が落水2回管理の玄米中無機ヒ素（As）・カドミウム（Cd）濃度、精玄米重および整粒歩合に与える影響

玄米中無機As濃度のグラフでは、湛水区玄米中無機As濃度 $<0.2 \text{ mg kg}^{-1}$ の圃場および耕盤に亀裂が入り漏水状態になった圃場のデータは不記載。また、同グラフにおける「予測値」は、落水2回管理における近似式、 $y = x / (1 + 1.78x)$ と湛水区玄米中無機As濃度から算出（y、湛水区での玄米中無機As濃度；x、湛水区での玄米中無機As濃度）

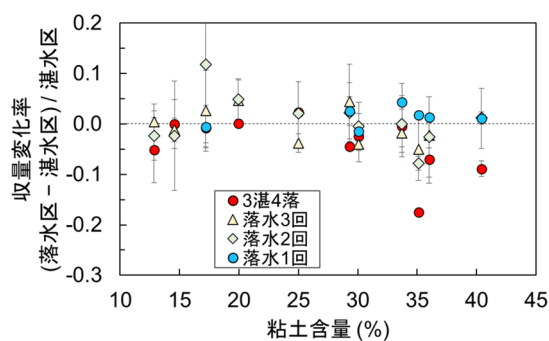


図 水管理-3 <水管理試験 2016–2022> 土壌の粘土含量と間断灌漑3湛4落、落水3回～1回の水管理による湛水管理からの収量変化率の関係

(2) 自動水管理試験

自動水管理システムWATARASを水口と水尻に設置した試験圃場では、プログラムに従った有効な水管理が実行され、落水時の土壌には明瞭な体積含水率低下およびEh上昇が観測された。玄米中無機ヒ素濃度は、間断灌漑3湛4落区で湛水区に比べて有意に低く、2年間の結果では低下率18%であった（表 水管理-4）。また、間断灌漑3湛4落区では湛水区に比べて精玄米重が有意に低下しており、同試験圃場の粘土含量が30%と高めであることが原因と考えられた。なお、本試験圃場での作業時間を基にすると、水管理に要する時間は、自動水管理の導入により、手動管理に比べて83%削減されると試算された。本結

果は、自動水管理システムを用いて間断灌漑3湛4落を行うことで、水管理に関わる労力を軽減した上で玄米中無機ヒ素濃度を低下できることを示す。

表 水管理-4 <自動水管理試験2021-2022> 出穂前後の水管理の違いが玄米中無機ヒ素・カドミウム濃度、精玄米重および整粒歩合に与える影響 (2年間の平均値 ; $n = 4$).

	玄米中 無機As濃度 mg kg^{-1}	玄米中 Cd濃度 mg kg^{-1}	精玄米重 kg (10a)^{-1}	整粒歩合 %
湛水	0.19	< LOQ	560	49
3湛4落	0.15	< LOQ	533	45
分散分析	***	-	*	n.s.

数値は平均値 $\pm$ 標準偏差, $n = 4$; < LOQは定量下限値未満を示す. Cdの定量下限値は 0.022 mg kg^{-1}

*, **および***はそれぞれ5%、1%および0.1%水準で有意、n.s.は5%水準で有意でないことを示す。

(3) 温室効果ガス発生抑制試験

2回落水区のメタン発生量は湛水区と比較して33%減少し、中干し延長・2回落水区では75%の減少となった。この時の玄米無機ヒ素濃度は、湛水区と比較してそれぞれ28%、37%の減少となり、中干し期間が延長することで、メタン、玄米無機ヒ素濃度ともに減少することが確認された。一方で、収量については、湛水区と2回落水区では同程度であったのに対し、中干し延長区では2割減収となった（表 GHG-1）。

以上から、落水2回管理は、メタン発生量、玄米無機ヒ素濃度を低下させながら、湛水区と同程度の収量を維持することが示された。

表 GHG-1 積算メタン発生量、玄米無機ヒ素濃度および収量と湛水区からの減少率

水管理	メタン		玄米品質・収量			
	積算発生量	減少率	無機ヒ素濃度	減少率	収量	減少率
	(kg C/10a/シーズン)	(比湛水区)	(mg/kg)	(比湛水区)	(kg/10a)	(比湛水区)
湛水区	11.6	-	0.22 ± 0.01	-	540 ± 76	-
標準中干し・ 2回落水区	7.8	33%	0.16 ± 0.01	28%	539 ± 28	0%
中干し前倒し延長・ 2回落水区	3.0	75%	0.14 ± 0.01	37%	438 ± 30	19%

(4) 資材少量継続施用

製鋼スラグ200 kg/10a の連用3年目から、水管理によらず、すべての試験区において、資材施用によって茎葉の総ヒ素濃度が減少した（図 資材-1a。1～2年目は茎葉の分析をおこなっていない）。このことから、200 kg/10a の製鋼スラグ施用は、イネのヒ素吸収の抑制に効果があったと考えられた。一方、玄米無機ヒ素の低減割合は、地点間差、年次間差が大きく、対照区のヒ素濃度が高い地点ほど低減割合が高い傾向があった（図 資材-1b）。玄米、茎葉ともに、資材の連用にとまなう経年的なヒ素低減効果の増大はみとめられなかった。玄米無機ヒ素濃度／ワラ総ヒ素濃度比は、資材施用区の方が高かった

(図 資材-2)。イネによるヒ素吸収量が減少したことにより、玄米に分配される割合が抑えられた可能性がある。また、玄米、茎葉ともにヒ素低減割合と対照区の遊離酸化鉄濃度、可給態ケイ素濃度、ワラのケイ素濃度の間に明確な関係は認められなかった(図 資材-3)。資材連用3年目までは、製鋼スラグ連用区の玄米カドミウム濃度が対照区よりも高い地点があったが、連用5年目は製鋼スラグの施用による玄米・茎葉のカドミウム濃度が増加した圃場はなかった(図 資材-4)。資材施用区と無施用区の精玄米重、整粒歩合に有意差はなかった。

(5) 資材多量施用持続性

湛水管理

製鋼スラグ、ゼロ価鉄、酸化鉄資材の多量施用により、施用初年目は玄米中の無機ヒ素濃度が20～50%低減し、同一圃場における玄米中無機ヒ素低減割合は、ゼロ価鉄>酸化鉄>スラグの順であった。また、資材無施用区で栽培した玄米中の無機ヒ素濃度が高い圃場ほど、低減効果が高かった。資材施用による玄米中無機ヒ素濃度の低減割合は、同一圃場では経年的に低くなる傾向があった。資材多量施用から10年後も、対照区よりも資材区で土壤中遊離酸化鉄濃度が高い傾向が維持されていたが、資材施用区と無施用区における玄米無機ヒ素濃度には有意差はなかった(図 資材-5)。含鉄資材の多量施用から10年間、資材施用区と無施用区の精玄米重、整粒歩合に有意差はなかった。

落水管理

製鋼スラグ2 t/10a施用後6年間、落水3回あるいは落水2回処理で栽培をおこなった圃場では、対照区と比較し、資材施用区の玄米無機ヒ素濃度が低い傾向があった(図 資材-6a, b)。廃棄鉄粉1 t/10aによるヒ素低減効果は、3地点中1地点のみで6年間持続していた。玄米中カドミウム濃度は、製鋼スラグ、廃棄鉄粉施用区ともに施用初年目は減少したが、3年目以降に濃度が増加した圃場があった(図 資材-6c, d)。施用含鉄資材の多量施用から6年間、資材施用区と無施用区の精玄米重、整粒歩合に有意な差はなかった。

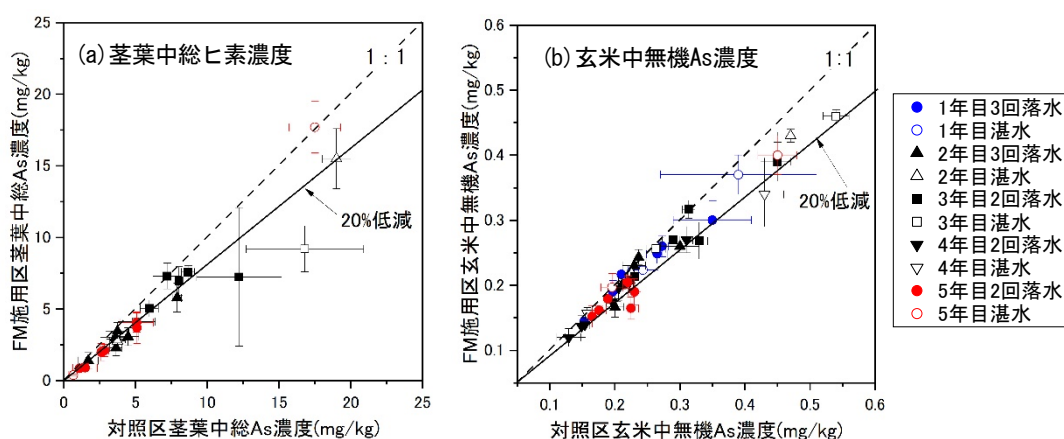


図 資材-1 <資材少量施用2018-2022>対照区と資材施用区の茎葉中総ヒ素濃度(a)および玄米中無機ヒ素濃度(b)の比較

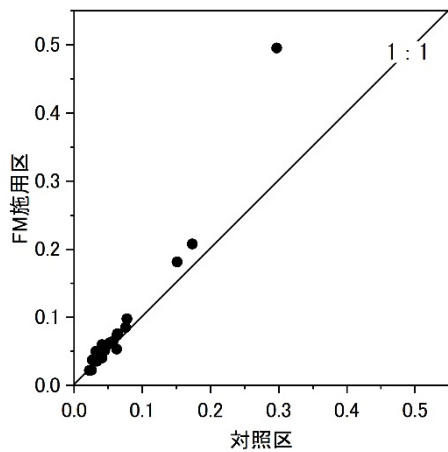


図 資材-2 <資材少量施用2020-2022>
対照区と資材施用区の玄米無機ヒ素濃度
／茎葉総ヒ素濃度比の比較

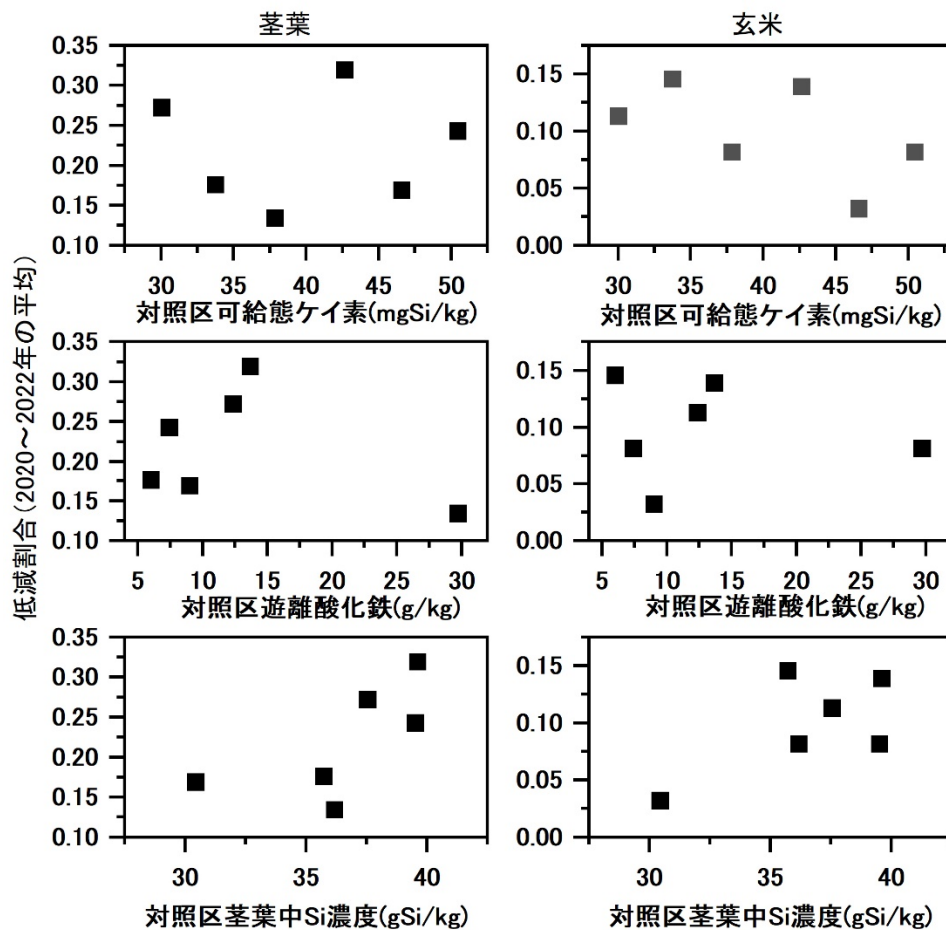


図 資材-3 <資材少量施用 2020-2022> 茎葉中総ヒ素および玄米中無機ヒ素の低減割合
と対照区栽培前土壌の可給態ケイ素濃度、遊離酸化鉄濃度、対照区茎葉中ケイ素濃度と
の関係

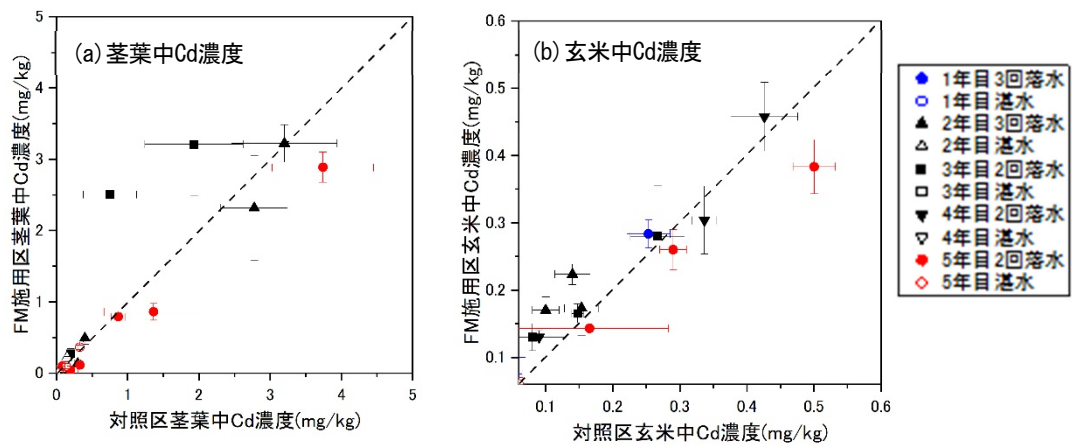


図 資材-4 <資材少量施用 2018-2022> 対照区と資材施用区の茎葉中カドミウム (Cd) 濃度(a)および玄米中 Cd 濃度(b)の比較

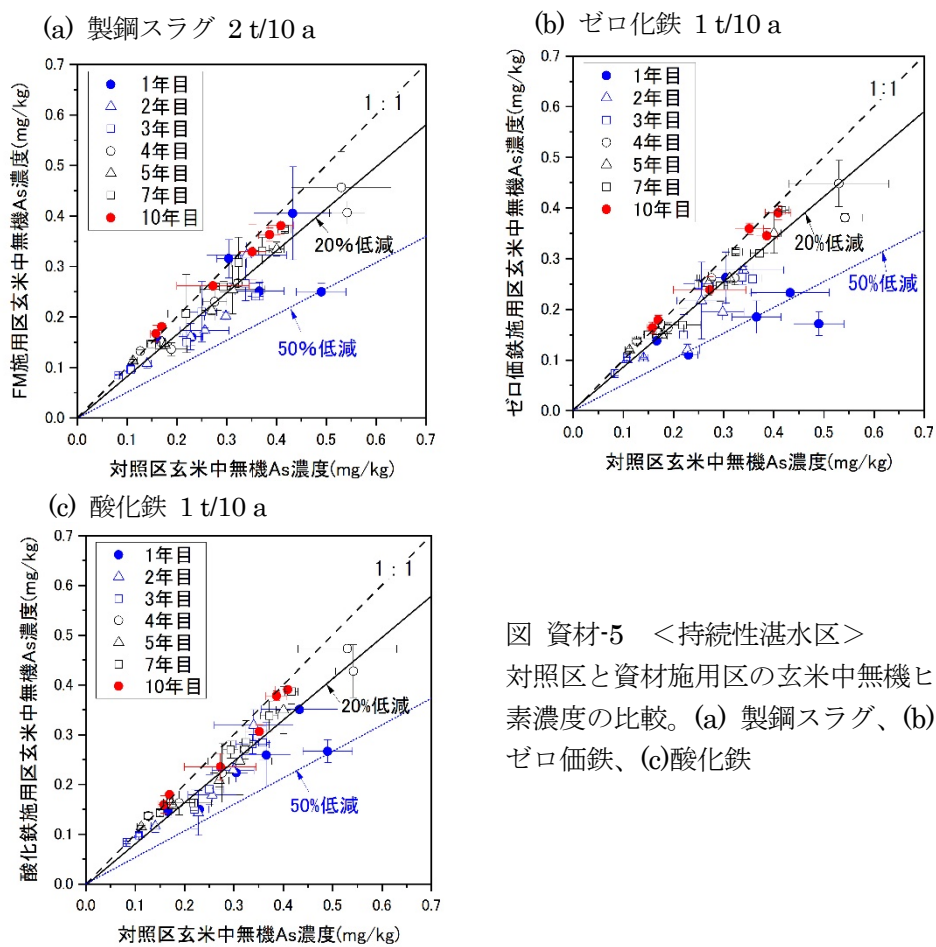


図 資材-5 <持続性湛水区>

対照区と資材施用区の玄米中無機ヒ素濃度の比較。(a) 製鋼スラグ、(b) ゼロ価鉄、(c)酸化鉄

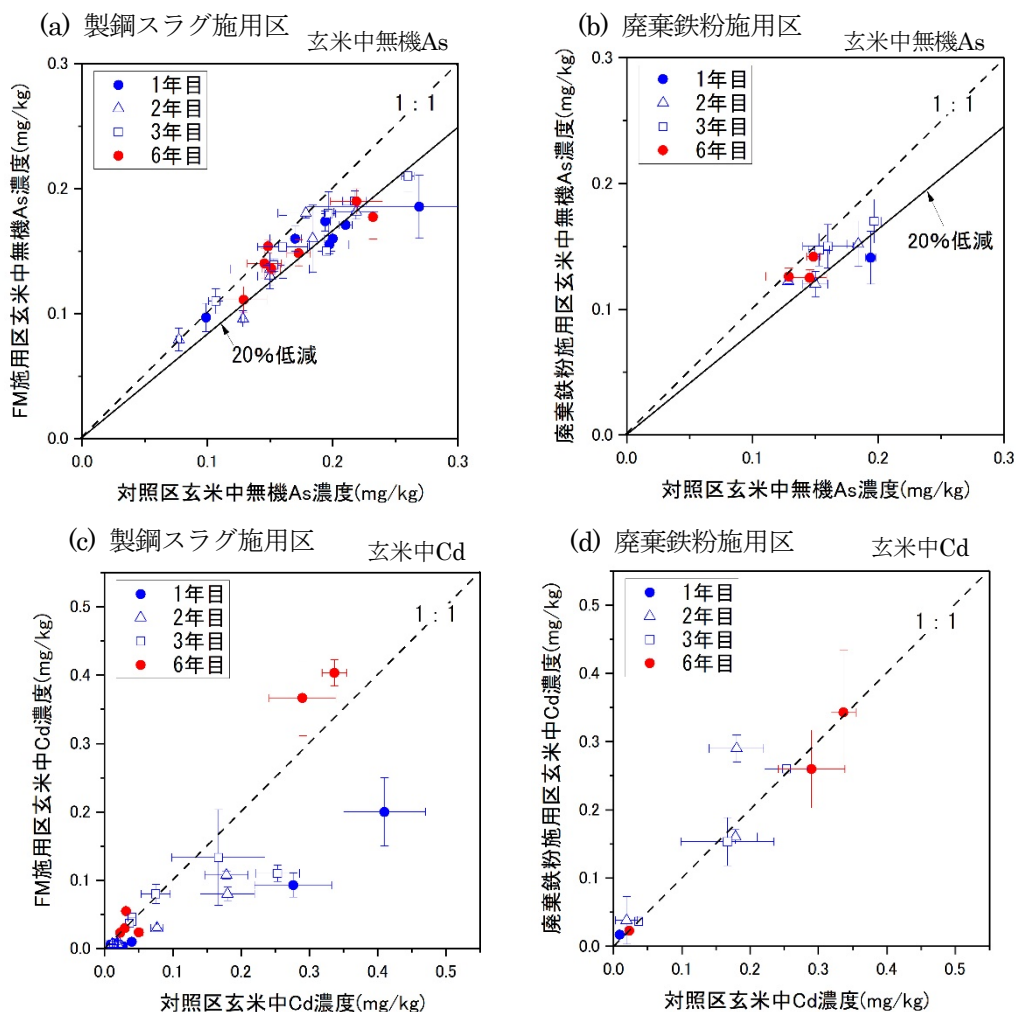


図 資材-6 <持続性落水区> 対照区と資材（製鋼スラグ(FM): (a, c)、廃棄鉄粉 (b, d)）施用区の玄米中無機ヒ素（As; a, b）、カドミウム（Cd; c, d)濃度の比較

(エ) 研究成果の活用における留意点

出穂期前後の期間の落水処理を行うことにより、玄米カドミウムが上昇する傾向がみられることから、土壌のカドミウム含量が高い圃場では対策が必要と考えられる。また、粘土含量の高い圃場では、落水回数が多いと精玄米重が低下する傾向が見られた。土壌pHが低下した圃場において含鉄資材を施用する場合は、玄米カドミウム濃度が上昇する懸念がある。

(オ) 研究目標の達成に当たっての問題点

特になし

2) 小課題名：コメへのヒ素蓄積の大きいイネ生育期間の特定

(ア) 研究目標

初年目は、農業環境変動研究センター内の水田圃場において出穂前後から成熟期にかけて複数回、稲体をサンプリングし、詳細にヒ素吸収量を測定することでヒ素吸収の大きい生育期間の特定に必要なデータの取得を行う。二年目は3府県の圃場で同様のサンプリングを行い、三年目にかけて異なる地域におけるヒ素吸収盛期を明らかにする。また、5ヵ年の間に出穂後の止葉等の総ヒ素濃度から当該年の玄米無機ヒ素濃度を推定する方法を開発する。

(イ) 研究内容

- (1) コメへのヒ素蓄積の大きいイネ生育期間の特定においては、異なる土壌および気象条件下で栽培された水稻地上部のヒ素吸収盛期を検証するため、4圃場で生育時期別に地上部サンプルを採取し、部位別のヒ素濃度と乾物重からヒ素吸収量の推移を解析した。
- (2) 出穂以降の止葉等の総ヒ素濃度から玄米無機ヒ素濃度を予測する方法の開発においては、水管理試験を実施する14圃場の湛水区および出穂前後落水2回試行区において、出穂以降（出穂日、出穂5日後、10日後、3週後）の止葉を含む稲体の採取および気温の観測を行った。止葉の総ヒ素濃度と登熟期の日平均気温を用いて、玄米無機ヒ素濃度を予測するモデル式を作成した。

(ウ) 研究結果

- (1) 水稻地上部のヒ素蓄積量は、出穂日前後各2週間の期間中に多いことを、4圃場、3品種で明らかにし、ヒ素低減のための水管理期間に水稻のヒ素吸収盛期が含まれることを確認した（図 吸収盛期-1）。
- (2) 出穂3週後の止葉総ヒ素濃度と登熟期の日平均気温を入力変数としたモデル式は、落水区、湛水区ともに、玄米ヒ素濃度を精度よく予測できることを示した（図 吸収盛期-2）。

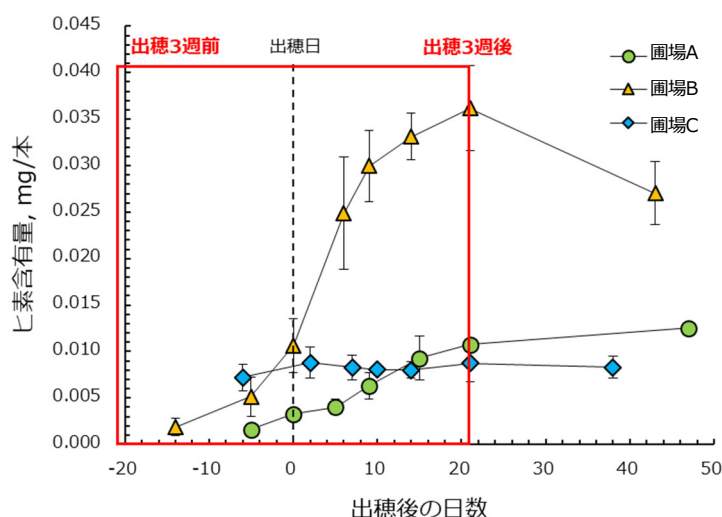


図 吸収盛期-1 水稻地上部へのヒ素蓄積経過

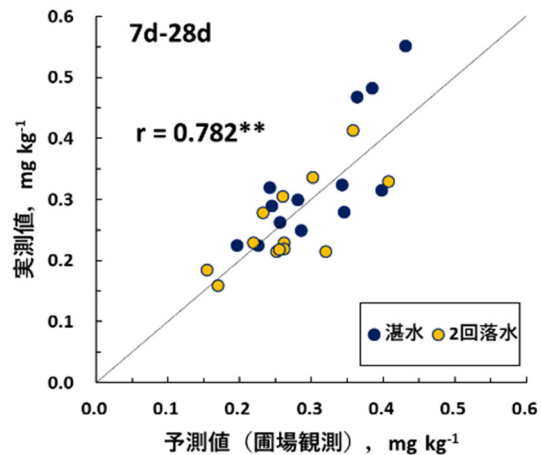


図 吸収盛期-2 出穂 3 週後の止葉総ヒ素濃度と出穂期の気温を入力パラメータとした玄米無機ヒ素濃度予測式の検証結果

予測式： $\log(\text{玄米無機ヒ素濃度}) = 0.406 \log(\text{出穂後 3 週間での止葉ヒ素濃度}) + 1.44 \log(\text{出穂後日 7-28 日間の日平均気温}) - 3.09$ 、 $R^2 = 0.856$

(エ) 研究成果の活用における留意点

玄米ヒ素濃度の予測は、出穂後3週間目の止葉の総ヒ素濃度を用いることで予測精度が高いことを示したが、それよりも早期の止葉では精度が高くないことに留意が必要である。

(オ) 研究目標の達成に当たっての問題点

特になし

4 研究成果の発表

別添のとおり

5 研究期間中に生じた問題、今後の課題等

特になし