

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 (第2版)

平成 30 年 1 月

農 林 水 産 省

**国立研究開発法人
農業・食品技術総合研究機構
農業環境変動研究センター**

1. 本手引の目的

農林水産省は、可能な範囲で食品を経由したカドミウム摂取量を引き下げるという観点から、これまで食品衛生法に基づく基準値が設定されているコメはもちろんのこと、現在基準値が設定されていない大豆等の畑作物についても、土壌中のカドミウムを作物体に移行しにくい化学形態に変化させる吸収抑制技術や、カドミウム高吸収植物を用いた土壌中のカドミウムを浄化する技術などの開発を進めてきた。このうち、水稻については「コメ中のカドミウム濃度低減のための実施指針」（平成 23 年 8 月策定、平成 30 年 1 月改訂）を作成し、産地に対して広く対策の普及を図っているところである。

本手引では、植物を用いた土壌中カドミウムの浄化技術（以下、「植物浄化技術」）を利用した事業の実施の参考となるよう、これまで実施された試験又は事業の成果を踏まえて、実証事業の実施に当たっての留意点、ポイントをまとめた。

2. 植物浄化技術とは

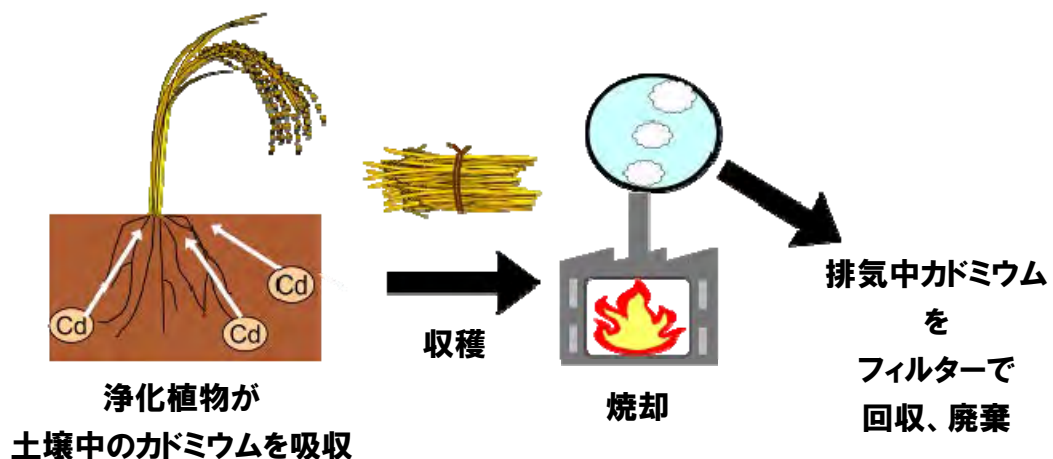
植物浄化技術は、1990 年代にアメリカや EU で研究が始まった環境修復技術である。

具体的には、土壌中の重金属などの汚染物質を特異的に吸収する植物を汚染ほ場で栽培し、生育期間を通じて汚染物質を植物体に吸収させ、十分に成長した植物体を刈り取りほ場外に持ち出すことによって、ほ場土壌中の汚染物質を除去・浄化するというものである。

日本では、農用地土壌汚染防止法が施行された 1970 年代に、初めて土壌浄化技術に適した植物の探索が試みられた。平成 13 年頃から、複数の研究機関によって浄化植物の栽培－収穫－処理の各過程におけるより効果的・効率的な技術の開発を目的とした研究が本格的に行われるようになった。

その中で、平成 15 年度から 19 年度にわたって(独)農業環境技術研究所（当時）が中心となって実施したプロジェクト「農林水産生態系における有害化学物質の総合管理技術の開発」では、道県の研究機関と連携しながら、植物浄化技術に高い適用性を持つ浄化作物として稲を選抜するとともに、気候条件が異なる複数の地域において適用性の高い品種を明らかにした。

さらに平成 26 年度から 28 年度にわたって国立研究開発法人農業環境技術研究所（現、農研機構農業環境変動研究センター）が中心となって実施したレギュラトリ－サイエンス新技術開発事業「より効率的な土壌浄化を可能にするカドミウム高吸収稲品種の選抜と栽培技術の確立」では、DNA マーカー選抜等によって、カドミウム吸収性、脱粒性、倒伏性等の形質に改良を加えた新たな品種を育成し、気象や土壌条件の異なる 4 つの地域（東北、北陸、中部、九州）で栽培試験を行い、適応性の高い品種を選抜した。



植物浄化技術のイメージ

3. 植物浄化技術の効果

前述した(独)農業環境技術研究所や、都道府県が実施した栽培試験によって明らかにされた植物浄化技術の成果を下記に示す。

植物浄化技術による単年度当たりの土壌中カドミウム濃度の低減率は概ね10%以上となっている。ただし、一部これに達していない結果が存在する。これについては土壌水分条件が思いがけない降雨等により計画通り管理されなかったことに起因する。

このように、植物浄化技術を効果的に進めるためには、カドミウム高吸収品種の選定以外に、浄化に利用する品種の生育量の確保とともに倒伏等による浄化効率の低下を回避する栽培管理についても留意する必要がある。

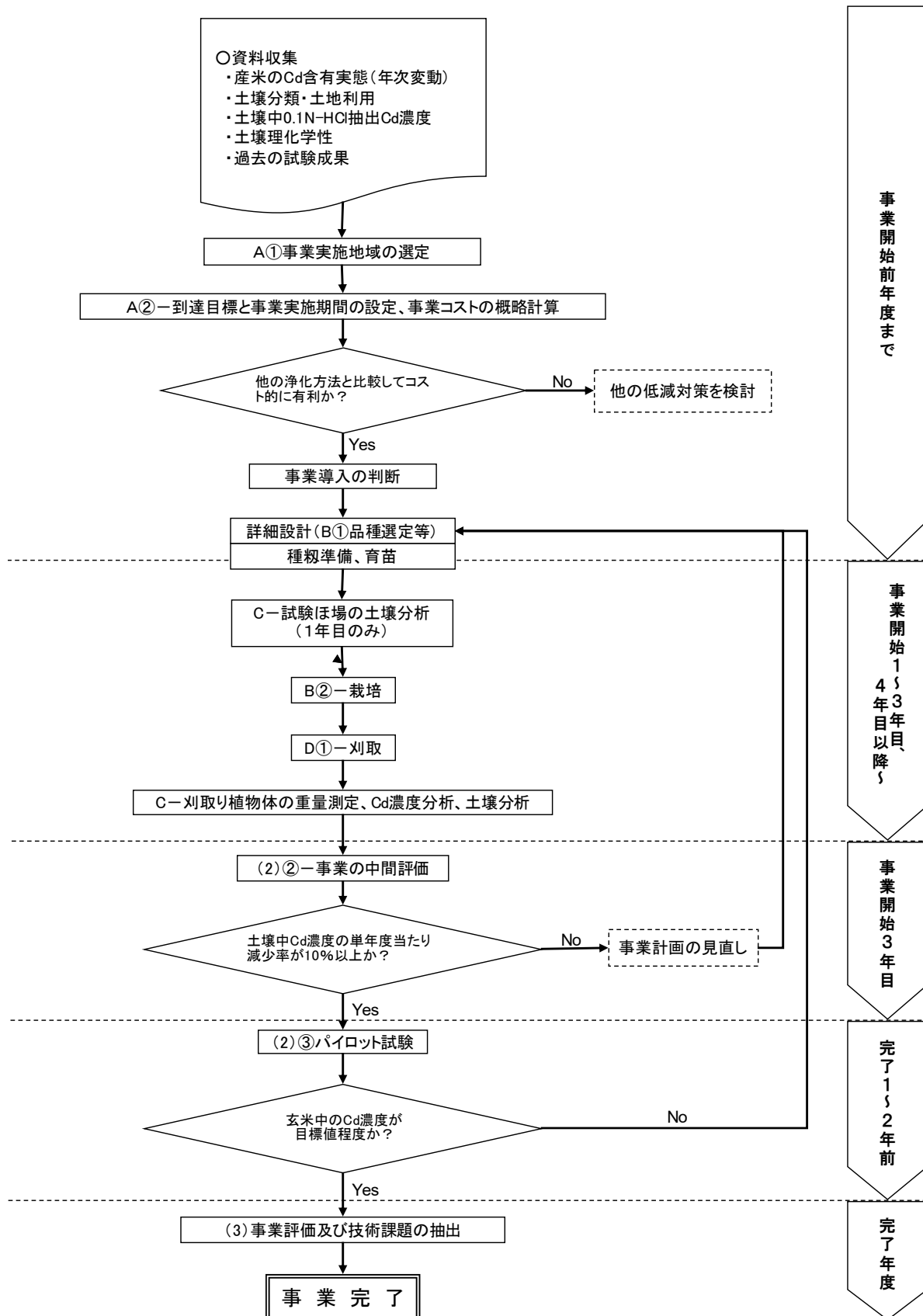
4章以降で具体的な手順と計画及び留意事項について記述する。

表 平成16～20年度に各都道府県が実施した植物浄化試験の結果

県名	ほ場 面積	土壌条件	品種	事業実 施年度	土壌中 Cd濃度	土壌中 Cd含量 (g/ha)	作物体 Cd吸収量 (g/ha)		Cd低減率 (1年目) (%)	Cd低減率 (2年目) (%)
							1年目	2年目		
秋 田 1	14	グ ラ イ 土	長香穀	H18～19	1.2	1,755	407	141	23.2	10.5
秋 田 2	7	灰色低地土	長香穀	H18～19	1.8	2,625	632	152	24.1	7.6
秋 田 3	10	灰色低地土	長香穀	H18～19	0.9	1,290	511	371	39.6	47.6
秋 田 4	12	灰色低地土	長香穀	H18～19	1.1	1,710	380	211	22.2	15.9
秋 田 5	14	グ ラ イ 土	長香穀	H18～19	1.7	2,475	487	124	19.7	6.2
秋 田 6	19	灰色低地土	長香穀	H18～19	1.4	2,130	657	497	30.9	33.7
秋 田 7	21	グ ラ イ 土	長香穀	H18～19	2.4	3,540	704	448	19.9	15.8
秋 田 8	37	グ ラ イ 土	長香穀	H18～19	1.3	2,010	449	239	22.4	15.3
秋 田 9	9	灰色低地土	長香穀	H18～19	3.7	5,490	1,383	494	25.2	12.0
秋 田 10	9	灰色低地土	長香穀	H18～19	1.6	2,415	472	246	19.6	12.7
富 山	(H16)30 (H17)46 (H18)24	グ ラ イ 土	IR-8	H16～18	0.32	480	129	112	26.9	32.0
長 野	50	灰色低地土	長香穀	H18～19	0.75	1,125	131	102	11.6	10.3
兵 庫 1 ※	8.2	灰色低地土	IR-8	H19～20	2.7	3,510	265	644	7.6	19.1
兵 庫 2	8.2	灰色低地土	ミナミユタカ	H19～20	2.5	3,250	323		9.9	

※ 兵庫1及び兵庫2は平成20年度に試験ほ場を統合し、長香穀を用いており、2年目のデータは長香穀によるものである。

4. 事業実施の手順



5. 事業計画及び留意事項

(1) 当初計画

A. 事業実施地域の選定及び事業期間の設定

① 事業実施地域

本事業の実施に当たっては、以下の条件を満たす地域において実施するものとする。

- A. 都道府県農業試験場等でカドミウム高吸収植物（品種）及び土壌等に関して類似条件による予備試験を実施し、適切なカドミウム高吸収植物（品種）と栽培方法を選定していること。
- B. 上記Aの試験結果に照らして、玄米中のカドミウム濃度に関して目標値の達成が見込めること。
- C. 地域においてカドミウム高吸収植物（品種）の栽培から処理までの一貫体系を確立することが見込めること。

[解説]

事業を効果的・効率的に進めるためには、地域の土壌及び気象条件等に合致したカドミウム高吸収植物（品種）と適切な栽培方法を選定するとともに、事業の成否について検討する必要がある。

このため、事業を実施するに当たっては、都道府県農業試験場等による植物浄化の予備試験を実施し、適切なカドミウム高吸収植物（品種）及び栽培方法の選定と当該地域の条件下での事業の成否について検討を行う。

検討の結果、玄米中のカドミウム濃度が目標値まで低下することが見込まれる場合は、当該地域で事業を実施する。

また、事業実施期間についても当該試験結果に基づいて設定することとなる。

② 到達目標と事業実施期間の設定

本事業の到達目標の設定に当たっては、過去に実施された類似条件における試験結果を勘案した上で、以下の項目について設定する。

- A. 目標とする玄米中のカドミウム濃度
- B. 目標とする土壌中 0.1N-HCl 抽出カドミウム濃度（A 又は農作物汚染リスク予測技術確立調査の履歴があればその結果から算出）
- C. 事業実施期間（B 及び過去の試験結果に基づく単年度カドミウム収奪量から算出）

○到達目標及び事業実施期間設定の方法並びに事業導入の判断の例

ア ほ場から採取した土壌の 0.1N-HCl 抽出カドミウム濃度を (C_{soil}) と設定。

イ ほ場から採取した玄米中のカドミウム濃度を C_{rice} と設定。

ウ 玄米中のカドミウム濃度の目標値を $C_{\text{rice_G}}$ と設定。

※イとウで示した玄米は、水稻が土壌中のカドミウムを吸収しやすい環境（植物浄化に適した環境）で栽培した水稻の玄米とする。

エ ア、イ及びウから、目標となる 0.1N-HCl 抽出土壌中カドミウム濃度低減量 ($C_{\text{soil_G}}$) を $C_{\text{soil}} * C_{\text{rice_G}} / C_{\text{rice}}$ と設定。

オ エの結果 ($C_{\text{soil_G}}$) と過去の試験結果における単年度のカドミウム収奪量 (V_{Cdunit}) と目標カドミウム収奪量 (V_{Goal}) を勘案して、事業期間 (T) を設定。

【算出式】 目標カドミウム収奪量 $V_{\text{Goal}} = (C_{\text{soil}} - C_{\text{soil_G}}) * 1 * 0.15 * 100 * 10$
事業期間 $T = V_{\text{Goal}} / V_{\text{Cdunit}}$

※ 土壌密度：1 g/cm³、作土層：15cm として計算。

カ 単年度の推定事業費※とオの事業期間から総事業費を推計。この費用と近傍地区における客土等に係る事業費を比較し、本事業がコスト的に有利であることが見込める場合、事業を導入。

※ 植物浄化の実施に係る主なコスト（物財費、営農に係る労働費、植物体処理費、土壌及び植物体分析費）

○目標値設定の算出例

A. 到達目標土壌中カドミウム濃度

項 目	算出式	計算例
玄米中のカドミウム濃度 (地域の最大値)	C_{rice}	0.70 mg/kg
当該ほ場の 0.1N-HCl 抽出カドミウム濃度	C_{soil}	0.75 mg/kg
目標玄米中カドミウム濃度	C_{riceG}	0.30 mg/kg
目標 0.1N-HCl 抽出カドミウム濃度	$C_{\text{soilG}} = C_{\text{soil}} * C_{\text{riceG}} / C_{\text{rice}}$	0.32 mg/kg

B. 事業実施期間

項 目	算出式	計算例
過去の試験結果による 単年カドミウム収奪量	V_{Cdunit}	20 g/10a
目標カドミウム収奪量※	$V_{\text{Goal}} = (C_{\text{soil}} - C_{\text{soilG}}) * 1 * 0.15 * 100 * 10$	64.5 g/10a
事業実施期間	$T = V_{\text{Goal}} / V_{\text{Cdunit}}$	≒ 4 年

※ 土壌密度：1 g/cm³、作土層：15cm として計算。

B. 栽培

① カドミウム高吸収イネ品種の選定

本事業で用いるカドミウム吸収植物は水稻とする。また、品種については、カドミウム吸収能が高く一定の事業効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 号から気候や地域への適性を判断して選定する（23 ページ「品種選定のまとめ」を参照）。

<品種概要>

品種	カドミウム収奪量	脱粒性	耐倒伏性	食用品種との識別性	有望度
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）	×

[解説]

これまでの試験結果を勘案し、作業の効率性などから、カドミウム吸収植物はカドミウム吸収能の高い水稻を用いることとする。

使用する品種は、カドミウム高吸収水稻品種として従来用いられてきた「長香穀」及び「IR-8」の不良形質（易脱粒性や易倒伏性（下図参照）など）を改良し、栽培しやすくカドミウム収奪量が高い品種が育成されたことから、それら新品種から選定する。

以下に、新規カドミウム高吸収イネの 3 品種の概要と国内 4 ヲ所で実施した栽培試験の結果を紹介する。



図 現地圃場における長香穀の草姿
（九州地区現地圃場、早期落水栽培）

著しい挫折型倒伏、倒伏した藁は紋枯れ病で腐りかけていた。
（2014 年 10 月 3 日撮影）

ファイレメ CD1 号

＜特徴＞

- 難脱粒性を有するため、漏生苗の原因となるこぼれ種の発生防止に寄与
- コシヒカリと同程度の耐倒伏性を獲得、出穂期以降の暴風雨には弱い
- 長い草丈、穂重型の草型であり、草姿による食用品種との識別が容易（表、図 1）
- 玄米は長粒型の赤米であるため、食用品種との識別が容易（図 2）
- 暖地などでカドミウム収奪量が高い傾向あり

＜来歴＞

ブータン原産インド型カドミウム高吸収品種「ジャルジャン」の突然変異体。突然変異により、難脱粒性と短稈化による耐倒伏性を獲得。植物浄化用品種として、現在品種登録出願中（出願番号：29773）。（系統名：MJ3）

＜栽培のポイント＞

慣行の栽培法に基づいた栽培密度や施肥量で良好に生育する。ある程度の多肥による影響は受けにくい。草型が穂重型であり稈の強度がコシヒカリ程度であるため、施肥量はコシヒカリ程度とし倒伏に留意すること。また、出穂時の稈の伸長が短く、穂の抽出程度が不完全である。

水管理については、土壌中のカドミウムを効率的に吸収させるため、中干し後は早期落水栽培とするが、水田土壌の過度の乾燥は生育とカドミウム吸収を抑制する可能性があるため、避けた方がよい。なお、このような早期の落水によって不稔が発生し採種が困難となるが、食用米への混入や穂重が軽くなることによる倒伏防止の対策となる。

病虫害対策については、白葉枯病に対する抵抗性が「かなり弱」との判定であるため、伝染源となるサヤヌカグサの防除等、適切な対策が必要である。

＜病害抵抗性＞

いもち病圃場抵抗性：真性抵抗性。白葉枯れ病圃場抵抗性：かなり弱。

表 供試品種の農業形質(2014年～2016年の平均値、茨城県つくば市慣行栽培)

品種名	出穂日 (月/日)	成熟日 (月/日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	風乾 わら重 (kg/10a)	精もみ重 (kg/10a)	倒伏程度 ¹⁾ (0-5)
ファイレメ CD1号	8/11	9/19	111	31	216	761	430	1.8
長香穀	8/4	9/4	107	27	414	596	635	5.0
コシヒカリ(比較)	8/5	9/11	91	20	326	725	697	1.2

播種日：4月下旬、移植日：5月20日前後、栽植密度：22.2株/m²、元肥 NPK=5:5:5kg/10a、追肥 NPK=5:5:5kg/10a

¹⁾ 成熟期の倒伏程度：0(無倒伏)、1(<20%倒伏)、2(<40%倒伏)、3(<60%倒伏)、4(<80%倒伏)、5(≤100%倒伏)



コシヒカリ

ファイレメ CD1号

図1 傾穂期の草姿(つくば市慣行栽培、2015年9月4日撮影)



コシヒカリ

ファイレメ CD1号

図2 玄米と粳

ファイルメ CD2 号

＜特徴＞

- 難脱粒性を有するため、漏生苗の原因となるこぼれ種の発生防止に寄与
- 極強稈により耐倒伏性は‘極強’であり、倒伏の心配がなく台風常襲地域で有効
- 長い草丈、穂重型の草型であり、草姿による食用品種との識別が容易（表、図 1）
- 玄米は大粒型の赤米であるため、食用品種との識別が容易（図 2）
- 短い芒を有する

＜来歴＞

極強稈飼料イネ品種「たちすがた」とカドミウム高吸収品種「ジャルジャン」を交配して育成した品種。「たちすがた」から極強稈と難脱粒性を、「ジャルジャン」から高カドミウム吸収性と赤米を継承。（系統名：TJTT8）

＜栽培のポイント＞

慣行の栽培法に基づいた栽培密度や施肥量で良好に生育する。新規カドミウム高吸収品種の中では最も栽培が容易で適応地域が広い。草型は穂重型であるが、稈がとても強く多肥や暴風雨による倒伏の心配はない。

水管理については、土壌中のカドミウムを効率的に吸収させるため、中干し後は早期落水栽培とするが、水田土壌の過度の乾燥は生育とカドミウム吸収を抑制する可能性があるため、避けた方がよい。なお、このような早期の落水によって不稔が発生し採種が困難となるが、食用米への混入の対策となる。

＜病害抵抗性＞

いもち病圃場抵抗性：真性抵抗性。白葉枯れ圃場抵抗性：やや強。

表 供試品種の農業形質 (2014年～2016年の平均値、茨城県つくば市慣行栽培)

品 種 名	出穂日 (月/日)	成熟日 (月/日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	風乾 わら重 (kg/10a)	精もみ重 (kg/10a)	倒伏程度 ¹⁾ (0-5)
ファイレメ CD2号	8/6	9/24	97	28	192	858	597	0.0
長香穀	8/4	9/4	107	27	414	596	635	5.0
コシヒカリ (比較)	8/5	9/11	91	20	326	725	697	1.2

播種日：4月下旬、移植日：5月20日前後、栽植密度：22.2株/m²、元肥 NPK=5:5:5kg/10a、追肥 NPK=5:5:5kg/10a

¹⁾ 成熟期の倒伏程度：0(無倒伏)，1(<20%倒伏)，2(<40%倒伏)，3(<60%倒伏)，4(<80%倒伏)，5(≧100%倒伏)



ファイレメ CD2号

コシヒカリ

図1 傾穂期の草姿 (つくば市慣行栽培、2016年9月16日撮影)



ファイレメ CD2号

コシヒカリ

図2 玄米と粳

ファイルメ CD3 号

＜特徴＞

- 難脱粒性を有するため、漏生苗の原因となるこぼれ種の発生防止に寄与
- コシヒカリと同程度の耐倒伏性を獲得（ファイルメ CD2 号より耐倒伏性が劣る。）
- 長い草丈、穂重型の草型であり籾に芒が発生することから、草姿による食用品種との識別が容易（表、図 1、図 2、図 3）
- 玄米は大粒型の赤米であるため、食用品種との識別が容易（図 3）
- 新規カドミウム高吸収品種の中ではカドミウム収奪量が最も高い

＜来歴＞

極強稈飼料イネ品種「たちすがた」、カドミウム高吸収品種「ジャルジャン」およびカドミウム高吸収品種「ネパール 555」の 3 系交配により育成したカドミウム超高吸収品種。（系統名：TJN25-11）

＜栽培のポイント＞

慣行の栽培法に基づいた栽培密度や施肥量で良好に生育する。多肥による影響は受けにくい、草型が穂重型であり長稈かつ稈の強度はコシヒカリ程度であるため、施肥量はコシヒカリ程度とし倒伏に留意すること。

芒が発生するため、採種時には脱芒を要する。

水管理については、土壌中のカドミウムを効率的に吸収させるため、中干しした後は早期落水栽培とするが、水田土壌の過度の乾燥は生育とカドミウム吸収が抑制される可能性があるため、避けた方がよい。なお、このような早期の落水によって不稔が発生し採種が困難となるが、食用米への混入や穂重が軽くなることによる倒伏防止の対策となる。

病虫害対策については、白葉枯病に対する抵抗性が「弱」との判定であるため、伝染源となるサヤヌカグサの防除等、適切な対策が必要である。

＜病害抵抗性＞

いもち病圃場抵抗性：真性抵抗性。白葉枯れ病圃場抵抗性：弱。

表 供試品種の農業形質(2014年～2016年の平均値、茨城県つくば市慣行栽培)

品種名	出穂日 (月/日)	成熟日 (月/日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	風乾 わら重 (kg/10a)	精もみ重 (kg/10a)	倒伏程度 ¹⁾ (0-5)
ファイレメCD3号	8/10	9/26	108	29	189	789	509	0.7
長香穀	8/4	9/4	107	27	414	596	635	5.0
コシヒカリ(比較)	8/5	9/11	91	20	326	725	697	1.2

播種日：4月下旬、移植日：5月20日前後、栽植密度：22.2株/m²、元肥 NPK=5:5:5kg/10a、追肥 NPK=5:5:5kg/10a

¹⁾ 成熟期の倒伏程度：0(無倒伏)，1(<20%倒伏)，2(<40%倒伏)，3(<60%倒伏)，4(<80%倒伏)，5(≧100%倒伏)



ファイレメ CD3号

たちすがた

図1 傾穂期の草姿(つくば市慣行栽培、2016年9月16日撮影)



図2 ファイレメ CD3号の芒
(つくば市慣行栽培)



ファイレメ CD3号

コシヒカリ

図3 玄米と粳

<栽培試験 1>

A 圃場（北陸地方）

<土壌>粗粒質斑鉄型グライ低地土

<耕種概要>播種日：4月中旬、移植日：5月下旬

栽植密度：22.2 株/m²（2014 年、30cmx15cm）、19.6 株/m²（2015 年以降）

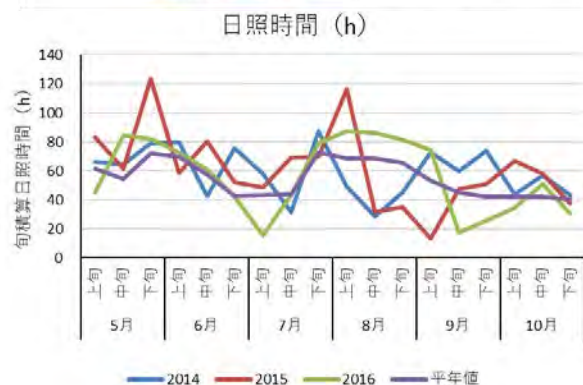
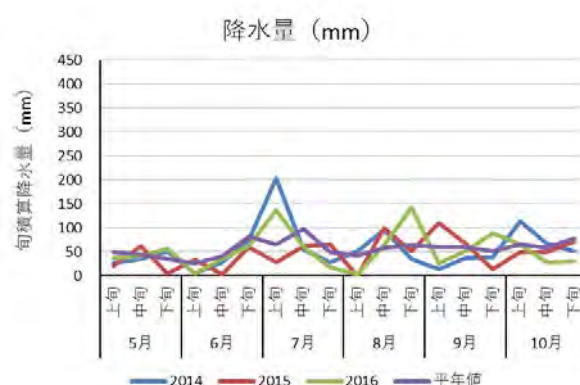
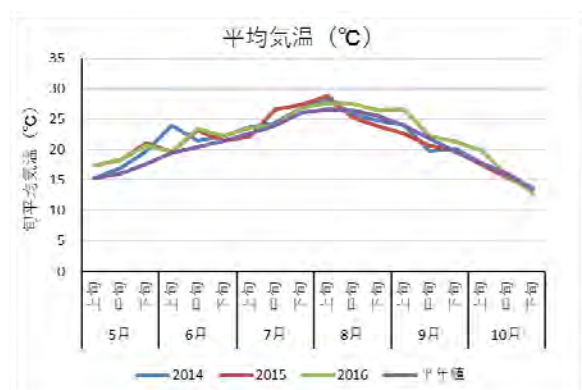
元肥；N:P:K=3：3：3 kg/10a

追肥①（7月中旬）；N:P:K=2.5：0：0 kg/10a

追肥②（7月下旬）；N:P:K=2.5：0：0 kg/10a

早期落水栽培：6月中旬～、収穫：10月上旬

<気象概要>



・特記事項

2014 年：7月上旬～中旬に降水量が多く、日照不足が続いたため、早期落水の程度が低かった。8月中旬に台風の接近あり。



図 傾穂期の草姿（A 圃場、2015 年 9 月 16 日撮影）

表1 生育概要

品種名	出穂期 (月/日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	わら重 (kg/10a)	穂重 (kg/10a)	倒伏程度 ¹⁾ (0-5)
ファイルメCD1号	8/14	90.6	32.8	232	704	248	0.0
ファイルメCD2号	8/9	83.9	26.8	191	989	180	0.0
ファイルメCD3号	8/11	99.6	28.5	190	1013	258	0.0
長香穀	8/5	93.0	25.8	472	595	460	2.7

2014～2016年平均値(ファイルメCD1号は2014-2015(穂重は2015のみ)、ファイルメCD2号・ファイルメCD3号のわら重・穂重は2015-2016、長香穀の穂重は2015-2016)

¹⁾ 成熟期の倒伏程度: 0(無倒伏), 1(<20%倒伏), 2(<40%倒伏), 3(<60%倒伏), 4(<80%倒伏), 5(≧100%倒伏)

表2 地上部の収奪量(2014年)

栽培年	品種名	イネ地上部Cd収奪量 ¹⁾		栽培前の土壌Cd濃度 ²⁾ (土壌深度: 0-15cm) (mg kg ⁻¹)
		(g/10a)	長香穀比	
2014	ファイルメCD1号	2.7	1.0	0.50
	長香穀	2.7	-	
	ファイルメCD2号	6.7	0.8	
	ファイルメCD3号	16.9	2.0	
	長香穀	8.5	-	

¹⁾ 系統選抜を目的とした小規模試験のため参考値。栽培面積: 4.5m²(ファイルメCD1号、栽植密度: 22.2株/m²、4条x25株)の2反復、1.8m²(ファイルメCD2号・ファイルメCD3号、栽植密度: 22.2株/m²、2条x20株)の2反復。反復あたりのサンプル数: Cd分析6株、収量調査6株。

²⁾ 0.1M塩酸抽出法。試験圃場の平均濃度(5点採取)。

表3 地上部の収奪量と土壌Cd濃度の推移(2015年)

栽培年	品種名	イネ地上部Cd収奪量 ¹⁾		土壌Cd濃度 ²⁾ (土壌深度: 0-15cm)		
		(g/10a)	長香穀比	栽培前 (mg kg ⁻¹)	栽培後 (mg kg ⁻¹)	減少率 (%)
2015	ファイルメCD1号	29.7	1.2	0.46	0.42	7.8
	ファイルメCD2号	38.4	1.6	0.46	0.36	22.1
	ファイルメCD3号	42.1	1.8	0.54	0.30	44.1
	長香穀	23.9	-	0.39	0.38	3.3

¹⁾ 栽培面積: 5.1m²(栽植密度: 19.6株/m²、4条x25株)の3反復。反復あたりのサンプル数: Cd分析6株、収量調査20株。

²⁾ 0.1M塩酸抽出法。各品種試験区の平均濃度(試験区中央1点採取x3反復))

表4 地上部の収奪量と土壌Cd濃度の推移(2016年)

栽培年	品種名	イネ地上部Cd収奪量 ¹⁾		土壌Cd濃度 ²⁾ (土壌深度: 0-15cm)		
		(g/10a)	長香穀比	栽培前 (mg kg ⁻¹)	栽培後 (mg kg ⁻¹)	減少率 (%)
2016	ファイルメCD2号	24.3	1.3	0.34	0.30	12.1
	ファイルメCD3号	36.5	2.0	0.33	0.26	21.3
	長香穀	18.3	-	0.32	0.30	5.2

¹⁾ 栽培面積: 5.1m²(栽植密度: 19.6株/m²、4条x25株)の3反復。反復あたりのサンプル数: Cd分析6株、収量調査20株。

²⁾ 0.1M塩酸抽出法。各品種試験区の平均濃度(試験区中央1点採取x3反復))

＜栽培試験 2＞

B圃場（東北地方）

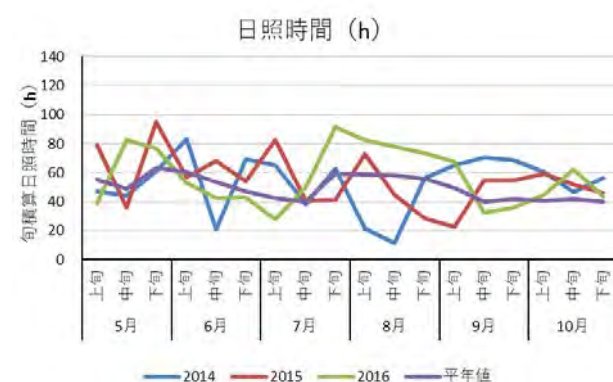
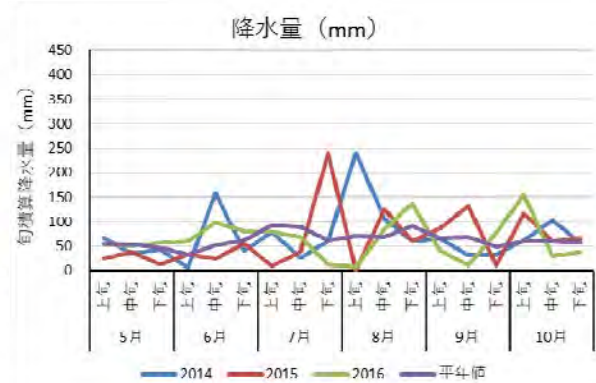
＜土壌＞斑鉄型グライ低地土

＜耕種概要＞播種日：4月下旬、移植日：5月下旬、栽植密度：20.7株/m²(22cmx22cm)、

元肥：N:P:K＝6：9：7kg/10a

早期落水栽培：7月上旬～、収穫：10月上旬

＜気象概要＞



特記事項

2015 年：7月下旬に近傍河川の氾濫があり、水田に氾濫水が流入。



図 傾穂期の草姿

(B圃場、CD1 号 2016 年 9 月 30 日、CD2 号 2016 年 10 月 4 日、CD3 号 2016 年 10 月 6 日撮影)

表1 生育概要

品種名	出穂期 (月/日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	わら重 (kg/10a)	穂重 (kg/10a)	倒伏程度 ¹⁾ (0-5)
ファイルメCD1号	8/20	90.6	26.9	234	865	309	0.1
ファイルメCD2号	8/18	95.8	22.9	165	889	199	0.0
ファイルメCD3号	8/21	105.8	24.6	160	777	150	0.0
長香穀	8/15	71.1	23.0	498	576	371	2.8

2014-2016平均値(ファイルメCD1号は2014-2015(穂重は2015のみ)、ファイルメCD2号は2014-2016(わら重・穂重は2015-2016)、ファイルメCD3号は2014,2016(わら重・穂重は2016年のみ)、長香穀の穂重のみ2015-2016)

1) 成熟期の倒伏程度: 0(無倒伏), 1(<20%倒伏), 2(<40%倒伏), 3(<60%倒伏), 4(<80%倒伏), 5(≧100%倒伏)

表2 地上部の収奪量(2014年)

栽培年	品種名	イネ地上部Cd収奪量 ¹⁾		栽培前の土壌Cd濃度 ²⁾ (土壌深度: 0-15cm) (mg kg ⁻¹)
		(g/10a)	長香穀比	
2014	ファイルメCD1号	15.6	1.4	0.45
	長香穀	11.3	-	
	ファイルメCD2号	18.4	1.3	
	ファイルメCD3号	20.2	1.5	
	長香穀	13.7	-	

¹⁾ 系統選抜を目的として小規模試験のため参考値。栽培面積: 5.8m²(ファイルメCD1号、栽植密度: 20.7株/m²、4条x30株)の2反復、2.9m²(ファイルメCD2号・ファイルメCD3号、栽植密度: 20.7株/m²、2条x30株)の2反復。サンプル数/反復: Cd分析6株、収量調査6株。

²⁾ 0.1M塩酸抽出法。試験圃場の平均濃度(5点採取)

表3 地上部の収奪量と土壌Cd濃度の推移(2015年)

栽培年	品種名	イネ地上部Cd収奪量 ¹⁾		土壌Cd濃度 ²⁾ (土壌深度: 0-15cm)		
		(g/10a)	長香穀比	栽培前 (mg kg ⁻¹)	栽培後 (mg kg ⁻¹)	減少率 (%)
2015	ファイルメCD1号	18.8	1.6	0.64	0.54	15.7
	ファイルメCD2号	20.0	1.7	0.62	0.49	20.5
	長香穀	11.7	-	0.63	-	

¹⁾ 栽培面積: 5.8m²(栽植密度: 20.7株/m²、4条x30株)の3反復。反復あたりのサンプル数: Cd分析6株、収量調査30株。

²⁾ 0.1M塩酸抽出法。各品種試験区の平均濃度(試験区中央1点採取x3反復))

表4 地上部の収奪量と土壌Cd濃度の推移(2016年)

栽培年	品種名	イネ地上部Cd収奪量 ¹⁾		土壌Cd濃度 ²⁾ (土壌深度: 0-15cm)		
		(g/10a)	長香穀比	栽培前 (mg kg ⁻¹)	栽培後 (mg kg ⁻¹)	減少率 (%)
2016	ファイルメCD2号	13.9	1.4	0.53	0.47	11.3
	ファイルメCD3号	20.6	2.1	0.51	0.40	21.6
	長香穀	9.7	-	0.50	0.46	8.0

¹⁾ 栽培面積: 5.8m²(栽植密度: 20.7株/m²、4条x30株)の3反復。反復あたりのサンプル数: Cd分析6株、収量調査30株。

²⁾ 0.1M塩酸抽出法。各品種試験区の平均濃度(試験区中央1点採取x3反復))

＜栽培試験 3＞

C圃場（九州地方）

＜土壌＞灰色低地土

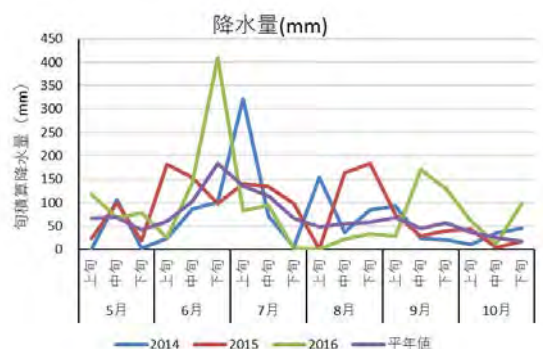
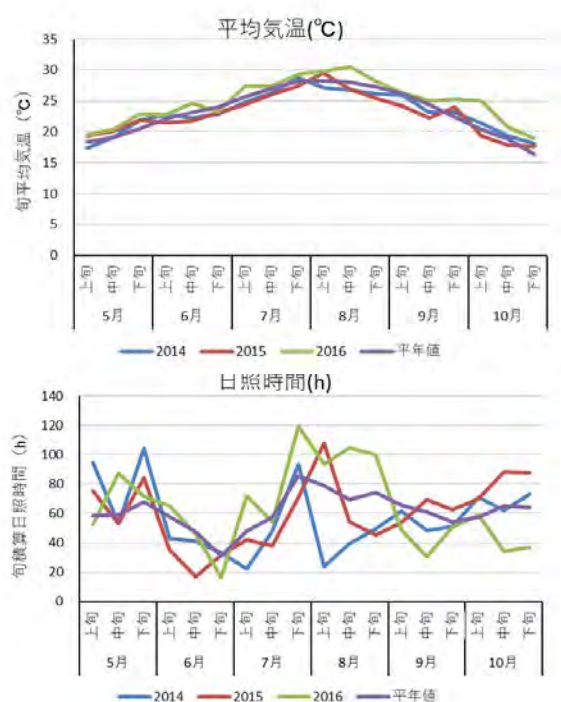
＜耕種概要＞播種日：5月下旬、移植日：6月下旬、栽植密度：22.2株/m² (30cmx15cm)

元肥：N:P:K=8.0:5.2:4.0 kg/10a

追肥：N:P:K=2.0:0.0:0.0 kg/10a

早期落水栽培：7月下旬～、収穫：10月上旬

＜気象概要＞



特記事項

2016年：8月中に極少雨により水田土壌が過乾燥気味に推移



ファイレメ CD1 号



ファイレメ CD2 号



ファイレメ CD3 号

図 傾穂期の草姿

(C圃場、CD1号2015年9月30日、CD2号2016年11月7日、CD3号2014年10月3日撮影)

表1 生育概要

品種名	出穂期 (月/日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	わら重 (kg/10a)	穂重 (kg/10a)	倒伏程度 ¹⁾ (0-5)
ファイレメCD1号	9/10	93.7	27.5	206.9	713.3	240.3	1.0
ファイレメCD2号	9/2	90.9	19.9	204.8	766.0	136.0	0.0
ファイレメCD3号	9/1	117.8	24.8	177.6	-	-	4.0
長香穀	9/2	100.2	23.6	362.4	607.3	383.7	4.0

ファイレメCD1号は2014-2016, ファイレメCD2号は2014,2016(わら重・穂重は2016のみ)、ファイレメCD3号は2014のみ

¹⁾ 成熟期の倒伏程度: 0(無倒伏), 1(<20%倒伏), 2(<40%倒伏), 3(<60%倒伏), 4(<80%倒伏), 5(≤100%倒伏)

表2 地上部の収奪量(2014年)

栽培年	品種名	イネ地上部Cd収奪量 ¹⁾		栽培前の土壌Cd濃度 ²⁾ (土壌深度:0-15cm) (mg kg ⁻¹)
		(g/10a)	長香穀比	
2014	ファイレメCD1号	27.0	1.5	0.45
	長香穀	18.5	-	
	ファイレメCD2号	22.7	1.8	
	ファイレメCD3号	19.7	1.6	
	長香穀	12.3	-	

¹⁾ 系統選抜を目的とした小規模試験のため参考値。栽培面積: 4.5m²(ファイレメCD1号、栽植密度: 22.2株/m²、4条×25株)の2反復、1.8m²(ファイレメCD2号・ファイレメCD3号、栽植密度: 22.2株/m²、2条×30株)の2反復。反復あたりのサンプル数: Cd分析6株、収量調査6株。

²⁾ 0.1M塩酸抽出法。試験圃場の平均濃度(5点採取)。

表3 地上部の収奪量と土壌Cd濃度の推移(2015年)

栽培年	品種名	イネ地上部Cd収奪量 ¹⁾		土壌Cd濃度 ²⁾ (土壌深度:0-15cm)		
		(g/10a)	長香穀比	栽培前 (mg kg ⁻¹)	栽培後 (mg kg ⁻¹)	減少率 (%)
2015	ファイレメCD1号	16.3	1.7	0.55	0.47	14.5
	長香穀	9.7	-	0.52	0.54	-3.8

¹⁾ 栽培面積: 4.5m²(栽植密度: 22.2株/m²、4条×25株)の3反復。反復あたりのサンプル数: Cd分析6株、収量調査30株。

²⁾ 0.1M塩酸抽出法。各品種試験区の平均濃度(試験区中央1点採取×3反復))

表4 地上部の収奪量と土壌Cd濃度の推移(2016年)

栽培年	品種名	イネ地上部Cd収奪量 ¹⁾		土壌Cd濃度 ²⁾ (土壌深度:0-15cm)		
		(g/10a)	長香穀比	栽培前 (mg kg ⁻¹)	栽培後 (mg kg ⁻¹)	減少率 (%)
2016	ファイレメCD1号	20.2	1.1	0.51	0.44	13.7
	ファイレメCD2号	14.3	0.8	0.59	0.42	28.8
	長香穀	17.9	-	0.55	0.44	20.0

¹⁾ 栽培面積: 4.5m²(栽植密度: 22.2株/m²、4条×25株)の3反復。反復あたりのサンプル数: Cd分析6株、収量調査30株。

²⁾ 0.1M塩酸抽出法。各品種試験区の平均濃度(試験区中央1点採取×3反復))

＜栽培試験 4＞

D圃場（中部地方(山間部)）

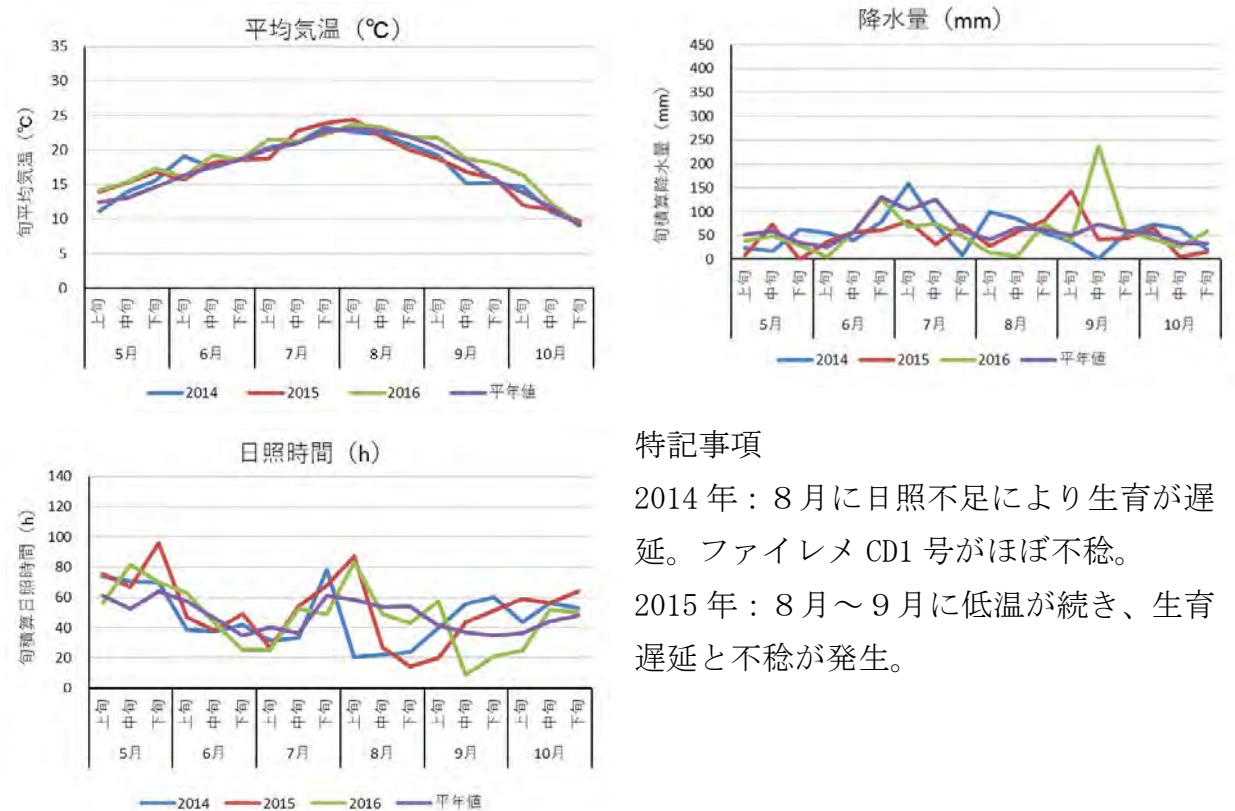
＜土壌＞普通灰色低地土

＜耕種概要＞播種日：4月中旬、移植日：6月上旬、栽植密度：20.2 株/m² (33cmx15cm)

元肥：N:P:K = 7 : 11 : 5.7 kg/10a

早期落水栽培：6月下旬、収穫：10月上旬

＜気象概要＞



特記事項

2014 年：8 月に日照不足により生育が遅延。ファイレメ CD1 号がほぼ不稔。

2015 年：8 月～9 月に低温が続き、生育遅延と不稔が発生。

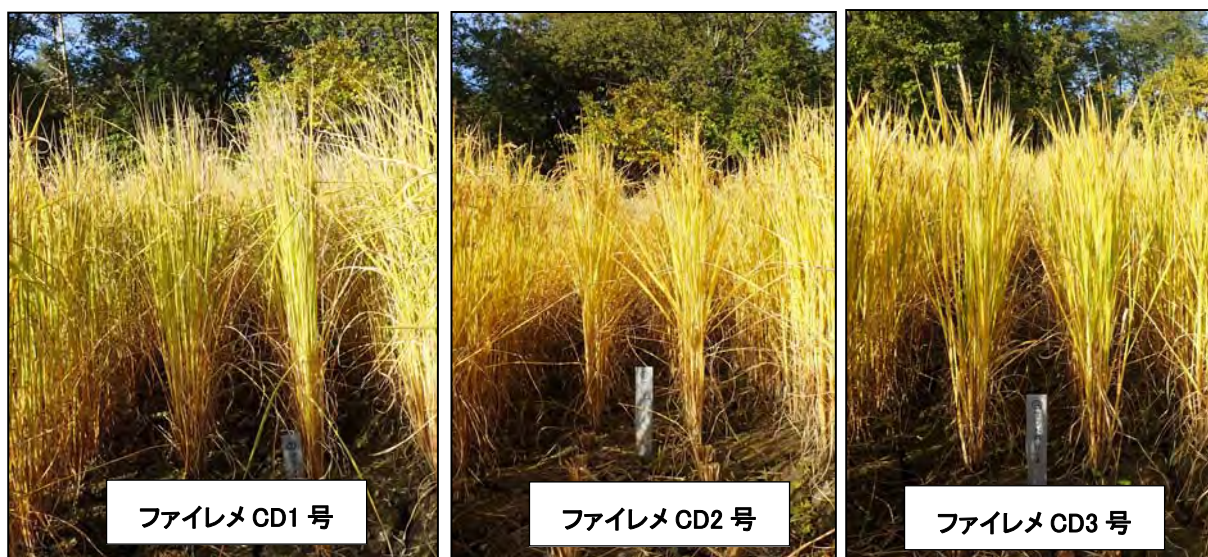


図 傾穂期の草姿（D圃場、2015 年 9 月 16 日撮影）

表1 生育概要

品種	出穂期 (月/日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	わら重 (kg/10a)	穂重 (kg/10a)	倒伏程度 ¹⁾ (0-5)
ファイルメCD1号	9/13	71.3	23.2	318	670	46	0.0
ファイルメCD2号	8/20	73.6	22.8	180	559	226	0.0
ファイルメCD3号	9/1	76.0	24.3	180	558	144	0.0
長香穀	8/28	73.1	20.2	350	564	229	0.3

2014～2016年平均値(ファイルメCD1号のみ2014-2015、ファイルメCD2号・ファイルメCD3号のわら重・穂重は2015-2016)

1) 成熟期の倒伏程度: 0(無倒伏), 1(<20%倒伏), 2(<40%倒伏), 3(<60%倒伏), 4(<80%倒伏), 5(≦100%倒伏)

表2 地上部の収奪量(2014年)

栽培年	品種名	イネ地上部Cd収奪量 ¹⁾		栽培前の土壌Cd濃度 ²⁾ (土壌深度: 0-15cm)	
		(g/10a)	長香穀比	(mg kg ⁻¹)	
2014	ファイルメCD1号	7.1	1.0	0.58	
	長香穀	7.1	-		
	ファイルメCD2号	20.2	2.1		
	ファイルメCD3号	19.5	2.0		
	長香穀	9.8	-		

¹⁾ 系統選抜を目的とした小規模試験のため参考値。栽培面積: 9.9m²(ファイルメCD1号、栽植密度: 20.2株/m²、4条x50株)の2反復、4.0m²(ファイルメCD2号・ファイルメCD3号、栽植密度: 20.2株/m²、2条x40株)の2反復。反復あたりのサンプル数: Cd分析6株、収量調査6株。

²⁾ 0.1M塩酸抽出法。試験圃場の平均濃度(5点採取)

表3 地上部の収奪量と土壌Cd濃度の推移(2015年)

栽培年	品種名	イネ地上部Cd収奪量 ¹⁾		土壌Cd濃度 ²⁾ (土壌深度: 0-15cm)		
		(g/10a)	長香穀比	栽培前 (mg kg ⁻¹)	栽培後 (mg kg ⁻¹)	減少率 (%)
2015	ファイルメCD1号	3.7	1.5	0.55	0.58	-5.7
	ファイルメCD2号	5.5	2.3	0.55	0.57	-4.1
	ファイルメCD3号	7.7	3.2	0.56	0.53	5.6
	長香穀	2.4	-	0.55	0.57	-4.2

¹⁾ 栽培面積: 9.9m²(栽植密度: 20.2株/m²、4条x50株)の3反復。反復あたりのサンプル数: Cd分析6株、収量調査30株。

²⁾ 0.1M塩酸抽出法。各品種試験区の平均濃度(試験区中央1点採取x3反復)

表4 地上部の収奪量と土壌Cd濃度の推移(2016年)

栽培年	品種名	イネ地上部Cd収奪量 ¹⁾		土壌Cd濃度 ²⁾ (土壌深度: 0-15cm)		
		(g/10a)	長香穀比	栽培前 (mg kg ⁻¹)	栽培後 (mg kg ⁻¹)	減少率 (%)
2016	ファイルメCD2号	5.9	3.0	0.51	0.52	-2.7
	ファイルメCD3号	8.9	4.5	0.47	0.46	1.9
	長香穀	2.0	-	0.51	0.52	-3.1

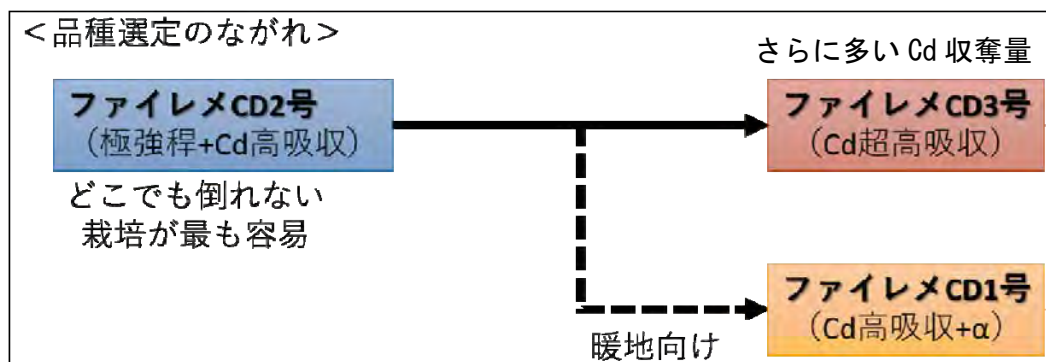
¹⁾ 栽培面積: 14.9m²(栽植密度: 20.2株/m²、6条x50株)の3反復。反復あたりのサンプル数: Cd分析6株、収量調査30株。

²⁾ 0.1M塩酸抽出法。各品種試験区の平均濃度(試験区中央1点採取x3反復)

品種選定のまとめ

カドミウム高吸収品種「長香穀」の栽培特性を改良した3品種を紹介した。これらの品種は「長香穀」と比較してカドミウム収奪量が同等もしくは、それ以上であり、難脱粒形質を有する。また、耐倒伏性においては、すべての系統で「長香穀」以上であるが、品種間に耐倒伏性の程度の差があるため、その特徴をもとに導入する品種の順位を記す。

初めて植物浄化に取り組む地域においては、耐倒伏性が最も強く栽培時の管理が容易な「ファイレメ CD2 号」を導入することを推奨する。その後、適切な施肥量が把握でき、水管理(落水と走水)が容易に行える場合には、さらにカドミウム収奪量の高い「ファイレメ CD3 号」の導入を検討する。「ファイレメ CD3 号」は実証例で示したとおり、「ファイレメ CD2 号」よりカドミウム収奪量が多いが、「ファイレメ CD2 号」と比較して稈の強度がやや弱くまた長稈であるため、圃場によっては倒伏に注意が必要である。一方、九州などの暖地においては、「ファイレメ CD2 号」や「ファイレメ CD3 号」より、「ファイレメ CD1 号」でカドミウムの収奪量が多い傾向があるため、同地域では、「ファイレメ CD2 号」の次に「ファイレメ CD1 号」の導入を検討する。



＜採種等の留意点＞

ファイレメ CD1 号～3 号は、早期落水栽培で栽培した場合、水分ストレスにより種子稔性が低下する。この形質は植物浄化を行う際には、穂の軽量化による倒伏の軽減、漏生苗の抑制そして食用イネへのコンタミ防止など多くのメリットにつながる有用形質である。しかしながら、植物浄化と同時に種もみ生産ができない。そのため、種もみの自家採種には、慣行栽培を行う採種圃場が別途必要となる。また、慣行栽培では早期落水栽培よりも倒伏しやすくなるため、耐倒伏性がコシヒカリ程度のファイレ

メ CD1 号および 3 号を栽培する際には、倒伏に留意が必要であり、各地方のコシヒカ
リの施肥量を参考にすること。

また、ファイレメ CD2 号および 3 号は、大粒のため登熟期間が長く、東北や山間地
など出穂晩限が早い地域での採種が困難となる可能性がある。その場合は、温暖な地
域に採種圃場を確保する必要がある。あるいは、寒冷地中部でも採種可能な実用的カ
ドミウム高吸収品種「秋田 119 号」の導入を検討する必要がある。（次頁の参考品種
を参照）

（参考品種） 秋田 119 号

<特徴>

- 難脱粒性を有するため、漏生苗の原因となるこぼれ種の発生防止に寄与
- コシヒカリと同程度の耐倒伏性
- 短い草丈、穂数型の草型、粳が細粒型であり、草姿による食用品種との識別が容易（表、図 1）
- 玄米が細粒型であるため、食用品種との識別が容易（図 2）
- 粳が細粒型で成熟期間が短いため、寒冷地中部においても採種が可能
- カドミウム収奪量は「長香穀」程度

<来歴>

インド型カドミウム高吸収品種「長香穀」の突然変異体。突然変異により、難脱粒性と短稈化による耐倒伏性を獲得。

<栽培のポイント>

慣行の栽培法に基づいた栽培密度や施肥量で良好に生育する。多肥による影響は少ないが、稈の強度が弱く成熟期以降は稈が開く傾向があり、倒伏に注意する必要がある。

水管理については、土壌中のカドミウムを効率的に吸収させるため、中干しした後は早期落水栽培とするが、このような早期の落水による不稔の発生程度はファイレメ CD1～3 号と比較して低い。また、早期落水時に稔性が低下した場合、遅れ穂が発生することがある。

表 供試品種の農業形質(2014年～2016年の平均値、茨城県つくば市慣行栽培)

品種名	出穂日 (月/日)	成熟日 (月/日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	風乾 わら重 (kg/10a)	精もみ重 (kg/10a)	倒伏程度 ¹⁾ (0-5)
秋田119号	8/7	9/10	72	25	568	716	546	1.3
長香穀	8/4	9/4	107	27	414	596	635	5.0
コシヒカリ(比較)	8/5	9/11	91	20	326	725	697	1.2

播種日：4月下旬、移植日：5月20日前後、栽植密度：22.2株/m²、元肥 NPK=5:5:5kg/10a、追肥 NPK=5:5:5kg/10a

¹⁾ 成熟期の倒伏程度：0(無倒伏)，1(<20%倒伏)，2(<40%倒伏)，3(<60%倒伏)，4(<80%倒伏)，5(≧100%倒伏)



長香穀

秋田119号

図1 傾穂期の草姿(つくば市慣行栽培、2015年9月4日撮影)



秋田119号

コシヒカリ

図2 玄米と粳

＜栽培試験 5＞

B圃場（東北地方）

＜土壌＞斑鉄型グライ低地土

＜耕種概要＞播種日：4月下旬、移植日：5月下旬、栽植密度：20.7株/m² (22cm×22cm)

元肥：N:P:K＝6：9：7kg/10a

早期落水栽培：7月上旬～、収穫：10月上旬

＜気象概要＞栽培試験2を参照

表1 生育概要

品種	出穂期 (月/日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	わら重 (kg/10a)	穂重 (kg/10a)	倒伏程度 ¹⁾ (0-5)
秋田119号	8/16	69.3	21.8	465.3	609	406	0.4
長香穀	8/15	102.5	22.8	421.4	548	371	2.8

2014-2016の平均値(穂重のみ2015-2016)

1) 成熟期の倒伏程度：0(無倒伏), 1(<20%倒伏), 2(<40%倒伏), 3(<60%倒伏), 4(<80%倒伏), 5(≧100%倒伏)

表2 地上部の収奪量(2014年)

栽培年	品種名	イネ地上部Cd収奪量 ¹⁾		栽培前の土壌Cd濃度 ²⁾ (土壌深度:0-15cm)
		(g/10a)	長香穀比	(mg kg ⁻¹)
2014	秋田119号	11.9	1.1	0.96
	長香穀	11.3	-	

¹⁾ 系統選抜を目的とした試験のため参考値。栽培面積：5.8m²(栽植密度：20.7株/m²、4条×30株)の2反復。反復あたりのサンプル数：Cd分析6株、収量調査6株。

²⁾ 0.1M塩酸抽出法。試験圃場の平均濃度(5点採取)。

表3 地上部の収奪量と土壌Cd濃度の推移(2015年)

栽培年	品種名	イネ地上部Cd収奪量 ¹⁾		土壌Cd濃度 ²⁾ (土壌深度:0-15cm)		
		(g/10a)	長香穀比	栽培前 (mg kg ⁻¹)	栽培後 (mg kg ⁻¹)	減少率 (%)
2015	秋田119号	13.3	1.1	0.63	0.60	3.9%
	長香穀	11.7	-	0.63	-	-

¹⁾ 栽培面積：5.8m²(栽植密度：20.7株/m²、4条×30株)の3反復。2014年の反復あたりのサンプル数：Cd分析6株、収量調査6株。反復あたりのサンプル数：Cd分析6株、収量調査30株。

²⁾ 0.1M塩酸抽出法。各品種試験区の平均濃度(試験区中央1点採取×3反復)

表4 地上部の収奪量と土壌Cd濃度の推移(2016年)

栽培年	品種名	イネ地上部Cd収奪量 ¹⁾		土壌Cd濃度 ²⁾ (土壌深度:0-15cm)		
		(g/10a)	長香穀比	栽培前 (mg kg ⁻¹)	栽培後 (mg kg ⁻¹)	減少率 (%)
2016	秋田119号	8.9	0.9	0.49	0.46	6.1%
	長香穀	9.7	-	0.50	0.46	8.0%

¹⁾ 栽培面積：5.8m²(栽植密度：20.7株/m²、4条×30株)の3反復。2014年の反復あたりのサンプル数：Cd分析6株、収量調査6株。反復あたりのサンプル数：Cd分析6株、収量調査30株。

²⁾ 0.1M塩酸抽出法。各品種試験区の平均濃度(試験区中央1点採取×3反復)



図 秋田 119 号の草姿
(K圃場 2015 年 10 月 4 日撮影)

② 栽培に当たっての留意事項

ア. 水管理

(ア) 代かき

代かきは、回数は少なくし、過剰な漏水が避けられ、かつ均平性が維持できる程度に行えば良い。

[解説]

事業の実施に当たっては、土壌中に含まれるカドミウムを植物体に吸収されやすい形態にすることが必要であり、出来る限り、作土層を酸化状態に維持する必要があることから、必ずしも代かきを念入りに行う必要はない。地域における用水量との関係から求められる適正な減水深や均平性が維持できる程度に行えば十分である。

(イ) 早期落水

栽培期間中の水管理では、最高分げつ期までは水を張り、それ以後は完全に水を落とす早期落水を行う。落水後は、水稻の生育に支障がない範囲で落水状態を維持するよう心がける。

[解説]

植物浄化の実施において、最も重要なポイントの一つが水管理である。水稻による水田土壌からのカドミウム吸収は、出穂期以降に作土層が酸化条件になることで促進されるため、最高分げつ期以降の落水は絶対条件である。過去の試験では、早期落水が徹底されなかったため、カドミウム収奪量が低レベルにとどまるという失敗事例が認められた。

特に植物浄化1年目は、落水後の乾田化の進行が穏やかなため、日射が少なく降雨量が多い年には、排水むらの無いように溝きりなど配慮が必要である。ファイレメ CD1～3号において、高い稔性が得られた場合は、乾田化不足と判断される。

＜早期落水栽培の注意事項＞

植物浄化２年目以降は、１年目と比較して落水後の乾田化の進行が早く、水田土壌が過乾燥に陥る可能性がある（図）。土壌中のカドミウムは水とともに水稻に吸収されるため、過乾燥により作土層の土壌水分が極端に減少した場合には、水の吸収とともにカドミウムの吸収量も低減する。そのため、田面上に生じた亀裂の深部まで乾燥が認められた場合には、走水を施すことがカドミウム収奪量を高めるポイントである。また、土壌の過乾燥は水稻の生育を抑制するため、葉身の巻きや出穂時の穂の伸長が著しく抑制されている場合にも走水を施すことが望ましい。



図 過乾燥気味の土壌表面

８月に降雨量が少なく用水が枯渇し、約１か月間走水も出来ない状況。

イ. 収穫時期及び方法

収穫は、「籾・ワラ一体収穫」方式で行い、収穫に当たっては、カドミウム収奪効率を向上させるため、収穫機の刈歯の高さを調節して、刈取高さが5cm程度となるようにする。

なお、収穫物の含水率が運搬も含めた処理コストに大きく影響することから、含水率40%を目安として、含水率を引き下げるよう乾燥させることとする。

[解説]

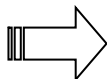
表 収穫方法の概要

収 穫 方 法	留 意 点
1. ホールクロス収穫機により籾・稲ワラを一体で収穫、ロール状に梱包後、ほ場脇に並べたパレット上に配置し、透湿防水シートによりロール上部を覆布した上で1～2ヶ月間自然乾燥する。 2. この際には、ロール上部と透湿防水シートとの間に空間を設ける。 3. 乾燥処理後の搬出は、以下に示した2通りの方法がある。	・乾燥に必要な場所を1～2ヶ月程度確保する必要がある。 ・乾燥後にロールの保形性が悪化する場合があり、搬出作業では注意が必要である。
●ケース1 ロールをラッピングマシンでラップ後トラックに積載・搬出。	・ラッピングには熟練が必要。
●ケース2 フレコンに詰め、トラックに積載・搬出。	・積載・搬出には作業資格を要するクレーン積載トラックが必要。

(参考 1) 収穫から乾燥、搬出の流れ



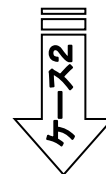
① ホールクロップ収穫機で粳・ワラ
一体収穫



② 収穫したロールをパレット上に配置
し、ロール上部を透湿防水シートで覆
った状態でロール上部とシートとの
間に空間を設け、覆布した上で1～2
ヶ月間乾燥



③ー1 ラッピングマシンでラップ後、ト
ラックに積載・搬出



③ー2 フレコンに詰め、トラックに積
載・搬出

(参考2) ほ場における自然乾燥時の留意事項

1. 収穫・加工したロールの乾燥処理に当たっては縦置きとするとともに、パレットに積載するなどして地面との間に空間を作る。
2. 透湿防水シートでロールを覆う場合には、シートとロール上部との間に空間を設け、シート上に雨水が溜まらないようにする。
3. 強風等によるシートのまくり上がりを避けるため、シートの端をロープ等でパレットに固定する。また、乾燥処理開始から2～3週間程度毎の晴天日に、シート的一方を外し、天日干しを行うとさらに乾燥効率が向上する。
4. 東北・北陸地域は、収穫期直後から季節が移行し曇天の日が増えるので、可能な範囲で早期に収穫し、乾燥処理期間を、1～1.5ヶ月を目安として確保する。
5. スペースに余裕があれば、ロールの配置方向は、両サイドに日が当たる南北方向とする。
6. 乾燥開始後2週間程度で、ロールの中心部に直径5cm程度の穴を下面まで空けるとさらに乾燥効率が向上する。
7. 自然乾燥による含水率の低下が不十分な場合、焼却処理のコストが増大するだけでなく、ラップ又はフレコン充填後に発酵熱や液体浸出が生じ、運搬や処理自体が困難となる場合がある。

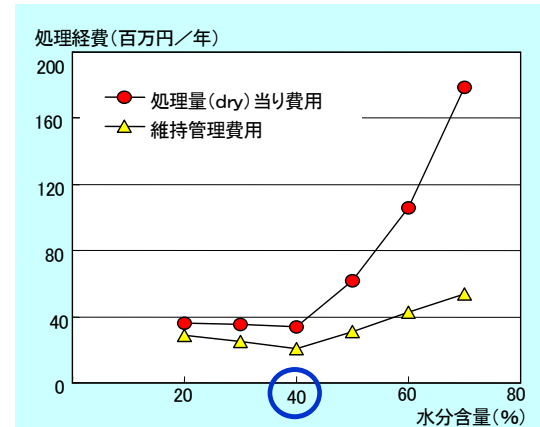
(参考 3) 収穫物の含水率が事業実施コストに及ぼす影響について

1. 以下の図表のとおり、収穫物の水分含量が高くなるほど、焼却時の燃焼効率が低下することから、焼却処理のコストが増大する。

ワラ含水率と発熱量の関係

ワラ含水率	70%	50%	40%
発熱量 (低位、kcal/kg)	650	1,600	2,100

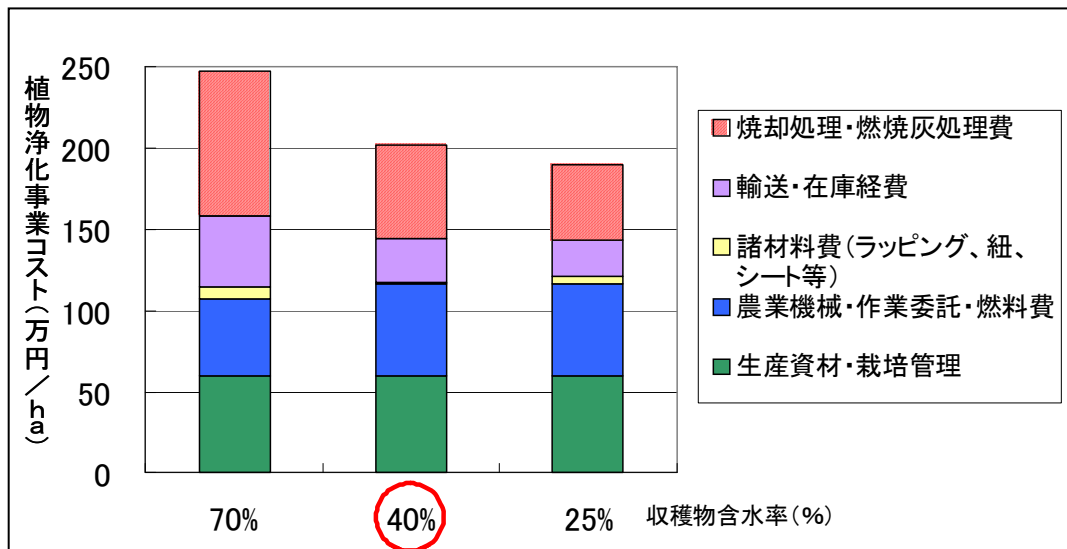
※燃焼補助剤等なしに継続して燃焼（自燃）するためには1,500kcal/kgが必要



収穫物の水分含量と焼却時の経費

注) 1t/hr×24hr×300日/年での処理経費
焼却温度は900℃と仮定

2. さらに、含水率の増加によって、輸送効率も低下すること等から、結果として、輸送費用等も含めた植物浄化事業全体のコストが増大する。



3. このため、収穫物については、含水率40%を目安に乾燥を行う必要がある。

注：上記図表は、いずれも農林水産省委託プロジェクト研究「農林水産生態系における有害化学物質の総合管理技術の開発」研究成果発表資料より引用

ウ. その他栽培管理における留意事項

施肥管理

カドミウム高吸収イネは、栽培期間を通して、土壌から珪酸、苦土、マンガンや鉄などの栄養成分も合わせて収奪する。適用するカドミウム高吸収植物が栄養欠乏によるバイオマス低下を生じ、カドミウム収奪量が低下した場合は、これらの成分を補給する。

また、過剰施肥とならないよう施肥量のコントロールを行う。

〔解説〕

これまでに実施された試験研究成果によると、1 作当たりで珪酸 100 kg/10a、マグネシウム 2 kg/10a、マンガン 1 kg/10a、鉄 0.3 kg/10a 程度の養分を収奪する事例が明らかになっている。

黒ボクグライ土でカドミウム高吸収イネを 3 作栽培した試験事例では、pH、交換性塩基（カルシウム、マグネシウム、カリウム）、可給態窒素の減少が確認されている。

このことから、効果的に事業を進めるため、カドミウム吸収作物のバイオマスが低下してカドミウム収奪量に影響を与えた場合は、土壌にこれらの成分を補給する。

また、ファイレメ CD1 号を栽培する場合は、稈の強度がコシヒカリと同程度であることを考慮し、施肥量はコシヒカリ程度とする。

エ. 転換畑で本事業を行う場合の留意事項

転換畑において、水稻以外の浄化植物を適用する場合は、高いカドミウム収奪量が見込め、かつ収穫作業が比較的容易であることなどの条件を勘案して、ソルガムを浄化植物として選定する。

これらの植物を適用した事業計画を立てる際には、水稻と異なる生育特性、連作障害の発生を考慮し、作付体系を決定したうえで事業実施期間を設定する。

[解説]

カドミウム高吸収稲に加え、比較的高いカドミウム収奪量が見込めるソルガムを適用して試験が成功した事例がある*。

ただし、植物浄化の実施に当たっては、水稻と生育特性が異なることや同一作物を連作することで生ずる連作障害を回避することを考慮し、作付体系を決定したうえで事業計画を立てる。

例えば、適用作物にかかわらず乾田栽培の場合には連作障害が発生する可能性が高いので、二連作後には浄化作物を変更する輪作体系を構築することが望ましい。

※出典：「農林水産生態系における有害化学物質の総合管理技術の開発」農林水産技術会議事務局 2009. 3

C. 分析

① 土壌の分析項目及びカドミウム吸収植物（水稻）の分析部位

土壌の測定項目及びカドミウム吸収植物の分析部位は、それぞれ以下のとおりとする。

A. 事業開始前に測定すべき土壌の項目

- ・ 0.1N-HCl 抽出カドミウム濃度
- ・ 全含有カドミウム濃度（フッ化水素酸）
- ・ 土壌 pH

B. 事業開始後、毎年度測定すべき土壌の項目

- ・ 0.1N-HCl 抽出カドミウム濃度

C. 事業開始後のカドミウム吸収植物（水稻）の測定・分析項目及び部位

- ・ 単位面積当たり収量（稲わら＋籾（穂））
- ・ カドミウム濃度（稲わら＋籾（穂））

なお、浄化植物のカドミウム吸収量を多面的に評価するため、可能であれば、以下の項目も測定する。

- ・ 採取土壌の全炭素
- ・ 採取土壌のリン酸吸収係数

[解説]

0.1N-HCl 抽出カドミウム濃度は、農用地土壌汚染対策地域の指定要件に係るカドミウムの量の検定の方法として採用されている抽出法によるカドミウム濃度である。

全含有カドミウム濃度（フッ化水素酸）は、土壌から作物へのカドミウム供給のポテンシャルを示す重要な指標であることから、事業実施前に測定・把握する必要がある。一方、過塩素酸分解法を用いて測定された土壌中カドミウム濃度をもって全含有量に代える場合があるが、同法はケイ酸構造物中のカドミウムを完全に溶出できないことに留意する必要がある。

② 試料の採取時期と採取方法

カドミウム吸収植物の分析用試料の採取時期は収穫時である。

事業開始年度の前年度に、土壌中のカドミウムを吸収しやすい環境で栽培した水稻の玄米を試料として測定し、その値を玄米中のカドミウム濃度の初期値とする。また、土壌については、毎試験年度の耕起前及び収穫後に試料を採取・測定する。

なお、理化学性に係る分析測定方法は「土壌、水質及び植物体分析方法」（平成 13 年 3 月（財）日本土壌協会編）に準ずるものとし、また、土壌及びカドミウム吸収植物試料の採取方法は以下のとおりとする。

〔解説〕

土壌及びカドミウム吸収植物（水稻）の採取方法

○カドミウム吸収植物（水稻）

採取地点を 1 ほ場当たり 5 点選定し、各地点から 20 株を採取する。

採取地点は、ほ場が四角形の場合は、ほ場の中心、ほ場の中心とほ場の頂点を結んだ線の中点とし（図 1）、ほ場の形状が特殊である場合は、ほ場内に均一に分布する 5 点とする（図 2）。

植物体の刈り高は地際から 5 cm とし、採取した 20 株は単位面積当たりの収量を求めるために、風乾後に重量を測定する。測定した 20 株からカドミウム分析用に平均的な 4 株を取り分け、稲わらと粃（穂）に分けて各々の重量を測定し、その重量比をもとに、単位面積当たりの稲わらと粃の収量を求める。4 株は部位別に粉砕し、カドミウム濃度測定用の試料とする。単位面積当たりのカドミウム収奪量は、部位別のカドミウム濃度に収量を乗じて、各部位のカドミウム蓄積量を算出し、その和をカドミウム収奪量とする。

なお、正確なカドミウム収奪量を求めるには、各試料の水分補正が必要となる。稲わらと粃に分けた試料を 70℃～80℃の通風乾燥器で 3 日間程度乾燥させ、乾燥前後の重量を測定することで、水分率を求める。カドミウム分析用の試料も乾燥後のものを用いる。

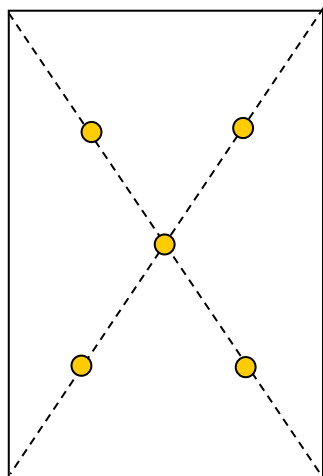


図1 ほ場が四角形の場合の例

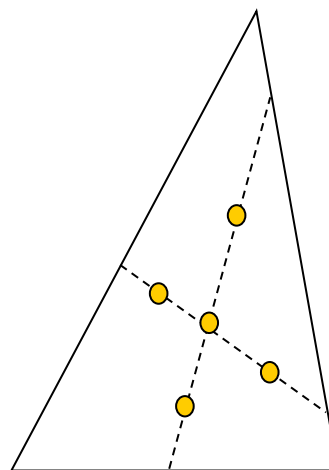


図2 ほ場の形状が特殊である場合の例

○土壌

土壌は、カドミウム吸収植物（水稻）地上部を採取（坪刈り）した後、採取地点の中心付近から採取する。

採取方法は、図3に示す点線のように任意の1点（●刈り株）を中心とし、株、畝方向に隣接する刈り株の中間線を結んだブロック状の1/4（図3では縦方向15 cm、横方向30 cm、深さ15 cmの右上ピンク色部分）、または、採土器を用いて1/4ブロックの中心地点（図3の青丸付近）から深さ15 cmの柱状に採取する。

ブロック状に採取する場合は1つの採取地点当たり2箇所ずつ採取し、採土器を用いる場合は、各地点から採取する試料の重量が1 kg以上となるよう、必要に応じて複数回採取する。

なお、後述の中間評価や事業評価において土壌からのカドミウム収奪量をより精確に把握する必要がある場合には、作土層以深15～30 cmについても作土層と同様に採取し、必要に応じて分析を行う。

採取した試料から株と根を取り除き、2 mm のメッシュで篩別後、分析に供する。

これまで実施された試験研究の結果によると、刈り株等の作物体残渣が冬期間に微生物の作用により分解され土壌中のカドミウム可吸態画分が増加する可能性が指摘されていることから、事業の実施に当たっては、耕起前と収穫後の双方の時期に土壌試料の採取・分析を行うこととする。

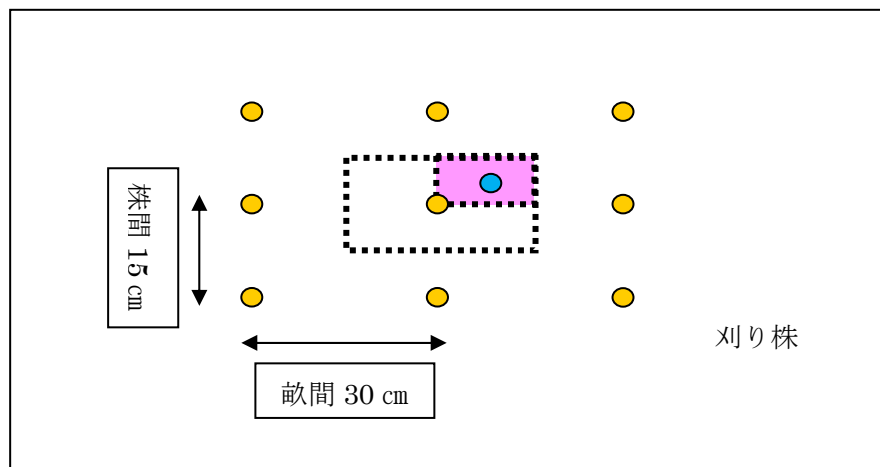


図3 土壌の採取方法（上から見たところ）

D. その他

(1) 収穫後の植物体の処理

収穫後の植物体は焼却処分を行うものとする。

「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」（「廃掃法」）上の廃棄物としての取扱いについて、事業実施地域及び処理施設が属する地方公共団体の環境部局との調整を十分に行うこととする。

また、植物体の収集運搬、処理は関係法令に従って適切に行う必要がある。

[解説]

「廃掃法」における廃棄物の定義は以下のとおり。

「一般廃棄物」： 産業廃棄物以外の廃棄物をいう（第2条第2項）。

「産業廃棄物」： 事業活動に伴って生じた廃棄物のうち、燃え殻、汚泥、廃油、廃酸、廃アルカリ、廃プラスチック類その他政令で定める廃棄物（第2条第4項）

カドミウム吸収植物の収穫方法は、B②イ「収穫時期及び方法」（31 ページ）で示したとおりであるが、収穫した植物体の処分に当たっては、廃掃法上の廃棄物としての取扱いについて、事業実施地域及び処理施設が属する地方公共団体の環境部局との調整を十分に行うこととし、植物体の収集運搬、処理は、廃掃法及び事業実施地域や処理施設が属する地方公共団体が定める条例等の関係法令に従って適切に行う。

(2) 事業コストの算出

事業実施主体は、単年度毎に事業の実施に要したコストを算出する。具体的に算定する項目は以下のとおり。

- ・ 調査計画費
- ・ 農業法人等への作業委託費（外部委託する場合）
- ・ 物財費（種苗費、農薬費、肥料費、水利費等）
- ・ 労働費
- ・ 植物体処理費
- ・ 土壌及び植物体分析費
- ・ データ解析費
- ・ 上記以外に要した経費

(3) 調査結果の評価と調査計画へのフィードバック

① 単年度毎の事業評価に係る分析測定・解析項目

単年度の事業完了後、C①「土壌の分析項目及びカドミウム吸収植物（水稻）の分析部位」（37 ページ）で測定した結果に基づいて、以下の項目について算出を行う。

- ・ カドミウム吸収植物の分析部位毎のカドミウム収奪量
- （2 年目以降、加えて以下の項目も確認）
- ・ 植物体によるカドミウム収奪量に関する経年変化
- ・ 総カドミウム収奪量

[解説]

事業の成果を評価するため、土壌中のカドミウム濃度を測定するだけでなく、カドミウム吸収植物によるカドミウム収奪量も算出する。

水稻のカドミウム蓄積量は部位によって異なることから、稲わら及び籾のカドミウム濃度に乾物収量を乗じて、各部位のカドミウム蓄積量を算出し、その和を単位面積当たりのカドミウム収奪量として評価する。

事業開始前に実施した予備試験と比較してカドミウム収奪量が低い場合は、以下の事に着目し考察を行う。

1 予備試験と比較して穂重が大きい場合（種子稔性が高い場合）

ファイレメ CD 1～3 号は早期落水栽培で不稔が生じるため、種子稔性が高いということは、予備試験と比較して落水が不十分であり、土壌水分が多い状態で維持されたと考えられる。同時に落水不足による土壌カドミウムの可給化が抑制されたことが考えられる。

2 予備試験と比較してわら重が小さい場合

排水過良（水不足）もしくは肥料不足による生育不良が考えられる。

排水過良については、早期落水栽培 2 年目以降、ほ場の排水性が促進される傾向があり、水不足による水稻の生育抑制が起きる可能性がある。

水不足による水稻の生育抑制を防ぐためには、早期落水栽培の実施年数に合わせて栽培年ごとに生育量を予備試験時の生育量と比較し、植物の生育抑制が起きない程度に落水することが重要である。

水稻の生育不良が認められ、その原因として排水過良が疑われる場合には、走水を施して水稻生育の確保に努める。

ファイレメ CD 1 ～3 号を用いた植物浄化において理想的な栽培結果はわら重が大きく、穂重が小さい状態である。これらの情報をもとに次年度の栽培時における留意点をほ場ごとに設定する。

また、水稻の生育が予備試験と同等であっても、田面上に発生した亀裂の深部まで乾燥が認められる場合には、走水を施すことで土壌中のカドミウムの可給化を促進することが重要である。

土壌からのカドミウム収奪量は、事業を進めるにつれ減少する傾向を示しつつも、栽培管理の良否により変動するため、事業開始 2 年目以降は、カドミウム収奪量の経年変化と事業開始後の総カドミウム収奪量を確認し、カドミウム収奪量が極端に減少した場合は、栽培管理の見直しを検討する。

② 事業の中間評価

事業開始 3 年目終了後に、事業成果の中間的な評価を行う。評価に当たっては、事業開始前 0.1N-HCl 抽出土壌カドミウム濃度に対する現況の 0.1N-HCl 抽出土壌カドミウム濃度から求めた減少率を評価指標とし、これが 3 割に満たない場合には見直しを行うこととする。

評価結果を踏まえ、必要に応じて、事業開始 4 年目以降に試験設計に係る以下の内容について変更を行う。

- ・ 選定品種
- ・ 栽培管理
- ・ 事業実施期間

[解説]

事業開始後、事業を進めていくに当たり、当初計画で見込んでいた結果との乖離が生じる場合がある。

カドミウム収奪量が当初計画で見込んだ量を大きく下回り、設定した事業実施期間で事業目標を達成できない状況が発生した場合には、実施計画又は試験設計の抜本的な見直しが必要となり、以下の内容について検討を行う。

- ・ 選定したカドミウム吸収植物（品種）の変更
- ・ 水管理や施肥といった栽培管理の変更
- ・ 事業実施期間の延長

ただし、事業開始後 2 年目までは、得られたデータが傾向を示すものなのか否かについて判断が難しいことから、最低でも 3 年分のデータを蓄積し、変更すべき内容が明確になってから事業計画又は試験設計の見直しを行うこととする。

なお、見直しの要否の判断基準は、事業開始後 3 年以上経過した時点で、 $0.1N-HCl$ 抽出カドミウム濃度の減少率（（事業開始前の 0.1N-HCl 抽出カドミウム濃度）-（現況 0.1N-HCl 抽出カドミウム濃度）/（事業開始前の 0.1N-HCl 抽出カドミウム濃度））が 3 割に満たない場合とする。

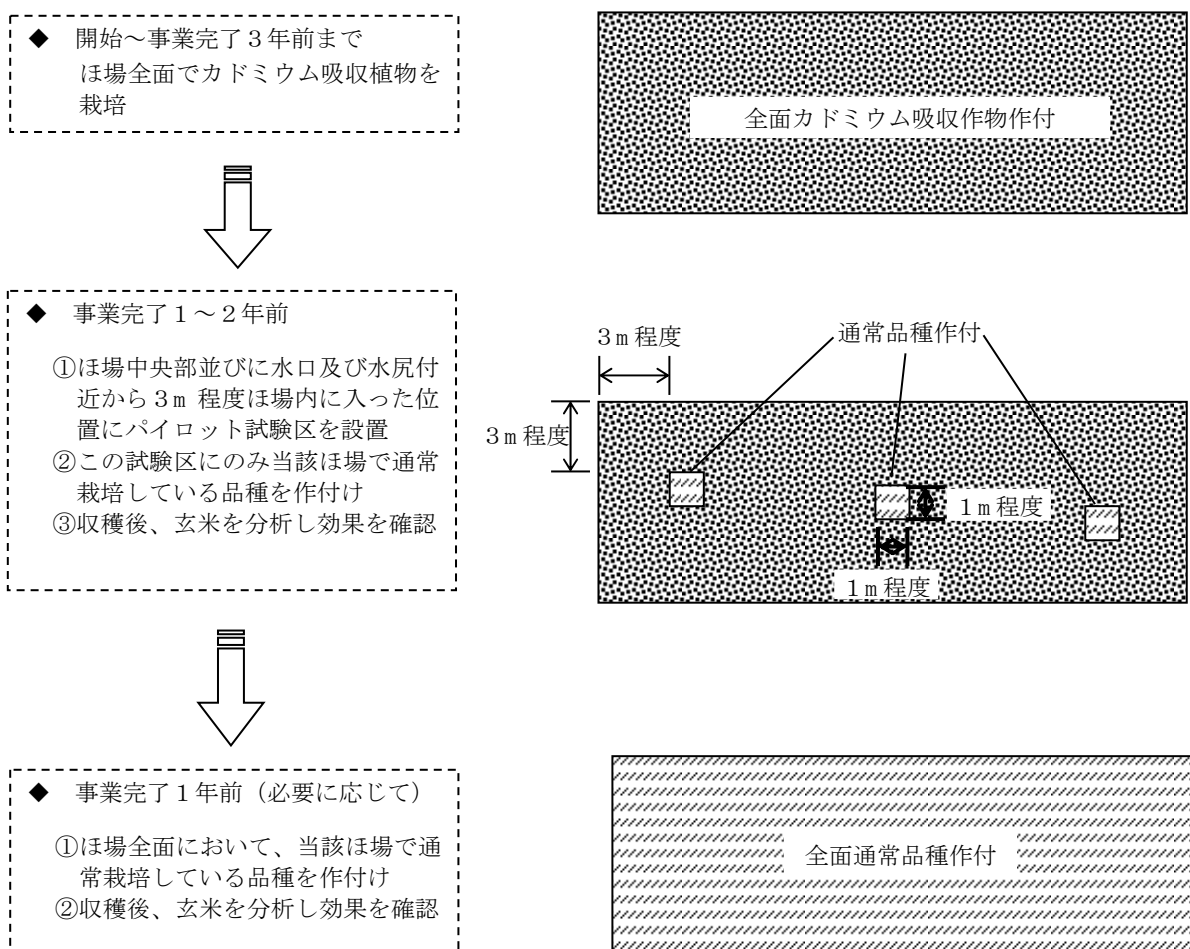
③ 事業最終年度におけるパイロット試験の実施

本事業完了後に事業評価を行う際の指標の一つとするため、事業が完了する1～2年前に、試験ほ場内にパイロット試験区を設置し、植物浄化を実施している区画と同様な栽培管理の下で、事業実施地域において通常栽培している水稻品種を栽培する。収穫後、当該収穫物(玄米)のカドミウム濃度を測定し、目標を達成していることを確認する。

なお、パイロット試験区は1m区画とし、1筆当たり、ほ場中央部と水口及び水尻付近から3m程度内部の位置の計3カ所に設置することとする。

また、必要に応じて、事業の最終年度に試験ほ場全面に事業実施地域で通常栽培している水稻品種を作付け、植物浄化を実施している区画と同様な管理を行い、収穫後の玄米中のカドミウム濃度を測定することで、事業効果の確認を行う。

[解説] パイロット試験のイメージ



(4) 事業完了前の算定項目

事業最終年度には、カドミウム高吸収植物の栽培が終了した後、以下の項目について測定又は算出を行う。

- ・ 土壌中 0.1N-HCl 抽出カドミウム濃度の実測値
- ・ 土壌中 0.1N-HCl 抽出カドミウム濃度、カドミウム収奪量に関する経年変化
- ・ 総カドミウム収奪量
- ・ 総事業コスト

[解説]

事業最終年度には、事業評価を実施する。

具体的な評価に当たっては、以下の項目について検討を行う。

- ・ 0.1N-HCl 抽出カドミウム濃度及び玄米中カドミウム濃度に関する目標の達成度
- ・ パイロット試験区における栽培された水稻玄米のカドミウム濃度の確認
- ・ 他の浄化方法(客土等)との比較による総事業コストの妥当性
- ・ 他地区へ本技術を適用する場合の課題

事業コストの妥当性の判断に係る客土等他の浄化方法との比較検討を行う際は、本事業のコストに、(2)「事業コストの算出」(41 ページ)に示した各項目に加えて、本事業を複数年にわたって実施したことによる農家の損失(生産休止による収入の中断)も算入することとする。

6. 事業完了後の評価項目

事業完了後、以下の項目を評価する。

以下の項目について計画時点で設定した目標は達成したか？

- ☐ 0.1N-HCl 抽出土壌中カドミウム濃度の経年変化
- ☐ カドミウム吸収植物体中のカドミウム濃度の経年変化
- ☐ 土壌からのカドミウム収奪量
- ☐ 事業結果は他の浄化方法（客土や水源転換等）と比較して、コスト的に有利であることが示されたか？

達成し得なかったのならば、その原因は何か？

- ☐ 気象条件及び土壌条件等の自然条件に鑑み、品種の選定は妥当であったか？
- ☐ 栽培管理は妥当であったか？
(節水管理は徹底できたか？土壌が過乾燥ではなかったか？不要なアルカリ資材の投入はなかったか？)
- ☐ 事業期間の設定は妥当であったか？
- ☐ 上記以外の原因として考えられる事項及び改善方策は何か？
〔 具体的に記述。〕

その他のチェック項目

- ☐ 地域内に存する廃棄物処理場の処理能力等に鑑み、事業面積の設定は妥当であったか？