

平成26年3月18日

レギュラトリーサイエンス新技術開発事業 研究実績報告書

課題番号：2401

加工、調理及び保管過程におけるコメ中のヒ素の化学形態別濃度の
動態解析

研 究 期 間：平成24年度～平成25年度（2年間）

研究総括者名：内藤 成弘

試験研究機関名：(独) 農業・食品産業技術総合研究機構食品総合研究所
(一財) 日本食品分析センター

I. 全体計画

1. 研究目的

加工、調理及び保管段階におけるコメ中の化学形態別ヒ素の濃度変化、すなわち「加工係数」を明らかにし、化学形態別のヒ素の経口摂取量を推定したり、コメ中ヒ素に対するリスク管理措置の方向性を検討するための基礎データを提供する。

2. 研究内容

本試験では、国産玄米で確認されているヒ素濃度の分布範囲をカバーするように、総ヒ素濃度が 0.5 mg/kg 程度、0.3 mg/kg 程度及び 0.1 mg/kg 程度の玄米のいずれか、またはその全てを用いることとし、以下本研究計画書において、それぞれの濃度を高濃度、中濃度及び低濃度と表記する。

(1) 中課題 1：コメの加工に伴うヒ素濃度の変動の解析

とう精歩留の異なる精米過程【1の1）精米試験】、無洗米製造過程【1の2）無洗米試験製造】においてコメ中の総ヒ素分析と化学形態別（無機ヒ素及び有機ヒ素）分析を行い、それぞれの過程におけるヒ素化合物の濃度変化を明らかにする。加工前後のコメ以外に、副産物である「ぬか」も分析対象とし、加工条件によってヒ素化合物がどのような割合で加工後のコメや副産物に移行するかを、差し引き法ではない直接分析により得られたデータを使って解析する。

コメの加工として代表的な【1の1）精米試験】では、ヒ素濃度が高濃度、中濃度及び低濃度の玄米を用いる。

総ヒ素分析は、湿式分解により前処理し、水素化物発生原子吸光法による測定を行う。化学形態別ヒ素分析法は、共同提案者の日本食品分析センターが開発し、農林水産省が室間共同試験による妥当性確認を実施したプロトコルに従い、コメ中のヒ素化合物を希硝酸で部分分解抽出する前処理と HPLC-ICPMS による測定で、無機ヒ素（As（Ⅲ）＋As（Ⅴ））及び有機ヒ素化合物のジメチルアルシン酸（DMA）を分析する。また、予備検討として、HPLC-ICPMS の HPLC 保持時間を通常の 10 分程度から 1 時間以上に長くして、これまで海外でコメからの検出が報告されているモノメチルアルソン酸（MMA）、アルセノベタイン（AB）、アルセノコリン（AC）、さらにこれまでの報告にない別の有機ヒ素化合物が含有されていないかを確認し、定量可能な有機ヒ素化合物が存在したときは、DMAに加えてこれらをすべて定量する。

各試験の作業はいずれも 5 回を異なる日に行い、5 回の試験繰り返し及び各試験の併行分析の結果を統計解析することにより、各試験前後の総ヒ素濃度及び化学形態別ヒ素濃度の変動を明らかにする。

ヒ素化合物の分析値の真度は認証標準物質の利用又は添加回収試験によって確認し、精度は前処理の 1 バッチ毎に同一の 2 試料の分析値のばらつきをチェックすることによって確認する。コメのヒ素分析に関する技能試験（FAPAS など）があれば参加して分析の真度を確認する。

1) 小課題1：精米によるヒ素濃度の変動解析【(一財)日本食品分析センター、(独)農研機構食品総合研究所】

ヒ素濃度が高濃度、中濃度、低濃度の「玄米」をとう精歩留95%及び90%にそれぞれとう精し（各精米を以下「95%精米」、「90%精米」という。）、「玄米」、「精米」及び「ぬか」を対象として、総ヒ素濃度及び化学形態別ヒ素濃度の分析を行う。ただし、「ぬか」の化学形態別ヒ素濃度の分析においては、玄米、精米と同一プロトコルでは「ぬか」の希硝酸による部分分解が不十分なため、総ヒ素濃度に対する無機ヒ素濃度とDMA濃度の合計の比率が約80%となる。そこで、ぬかを希硝酸で部分分解する前処理条件の見直しを行い、妥当性を確認する。精米機は一般流通米に近い仕上がり（ぬか残り）の精米が得られる精米機を使用する。とう精作業は5回を異なる日に行い、とう精作業によるヒ素濃度の変動を明らかにする。試料米の入手、とう精作業（精米機メーカへ外注）、データ解析は食品総合研究所が担当し、分析は日本食品分析センターが担当する。

2) 小課題2：無洗米製造によるヒ素濃度の変動解析【(一財)日本食品分析センター、(独)農研機構食品総合研究所】

ヒ素濃度が中濃度の「玄米」、同玄米をとう精歩留約90%でとう精した「精米」及び同玄米を原料に製造した「無洗米」について、総ヒ素濃度及び化学形態別ヒ素濃度を分析する。無洗米製造時に「肌ぬか」が除去されるが、原料米に由来する肌ぬかのみを回収できないため分析対象外とする。無洗米製造は5回を異なる日に行う。試料米の入手、とう精作業・無洗米製造作業（精米機メーカへ外注）、データ解析は食品総合研究所が担当し、分析は日本食品分析センターが担当する。

(2) 中課題2：コメの調理に伴うヒ素濃度の変動の解析

コメの調理として、標準的な条件での炊飯過程【2の1）炊飯試験】、回数を重ねる洗米過程【2の2）洗米試験】においてコメ中の総ヒ素分析と化学形態別（無機ヒ素及び有機ヒ素）分析を行い、それぞれの過程におけるヒ素化合物の濃度変化を明らかにする。調理前後のコメ以外に、副産物である「洗米水」も分析対象とし、調理条件によってヒ素化合物がどのような割合で調理後のコメや副産物に移行するかを、差し引き法ではない直接分析により得られたデータを使って解析する。中課題1と同一ロットの試料、同一の分析法を使用し、精度管理も中課題1と同様に行う。洗米水については、加熱濃縮による前処理後の試料を分析する。

1) 小課題1：炊飯によるヒ素濃度の変動解析【(一財)日本食品分析センター、(独)農研機構食品総合研究所】

家庭用電気炊飯器を用いて、ヒ素濃度が高濃度、中濃度、低濃度の「玄米」、それらをとう精して得られた「精米」及びヒ素濃度が中濃度の玄米をもとに製造した「無洗米」をそれぞれ炊飯し、炊飯前後の総ヒ素濃度及び化学形態別ヒ素濃度

を分析する。炊飯器は、玄米炊飯モードのある機種の中からマーケットシェアを参考に選択する。洗米は家庭用電気洗米器を用いて行い、洗米条件は洗米器の推奨条件を参考に決定する。炊飯は3回を異なる日に行う。炊飯米の試料調製及びデータ解析は食品総合研究所が担当し、分析は日本食品分析センターが担当する。

2) 小課題2：洗米過程におけるヒ素濃度の変動解析【(一財) 日本食品分析センター、(独) 農研機構食品総合研究所】

家庭用電気洗米器を用いて、ヒ素濃度が中濃度の「玄米」及びそれをとう精して得られた「95%精米」及び「90%精米」を洗米し、洗米開始前のそれぞれのコメ並びに1、2、3回洗米後の「洗米」及び「洗米水」の総ヒ素濃度及び化学形態別ヒ素濃度を分析する。洗米はイオン交換水を毎回換えながら3回行う。洗米中ヒ素濃度は洗米2回でほぼ減少しつくすことが予想されるが、洗米5回までの予備試験（中濃度及び高濃度の90%精米について各1回試験）により確認後に本試験を行う。洗米水中のヒ素濃度は予備試験で定量可能か確認する。洗米作業は3回を異なる日に行う。データ解析は食品総合研究所が担当し、洗米・洗米水の試料調製、分析は日本食品分析センターが担当する。

(3) 中課題3：コメの保管に伴うヒ素濃度の変動の解析

コメの保管として、異なる温度での貯蔵過程【3の1) 貯蔵試験】においてコメ中の総ヒ素分析と化学形態別（無機ヒ素及び有機ヒ素）分析を行い、コメの保管に伴うヒ素化合物の濃度変化を明らかにする。中課題1と同一の分析法を使用し、精度管理も中課題1と同様に行う。

1) 小課題1：貯蔵温度によるヒ素濃度の変動解析【(一財) 日本食品分析センター、(独) 農研機構食品総合研究所】

ヒ素濃度が中濃度の新米を15℃と25℃で1年間保管し、保管前、1ヶ月後、12ヶ月後の「玄米」中総ヒ素濃度及び化学形態別ヒ素濃度を分析する。各温度で30kg袋を5袋ずつ保管し、保管開始前は袋間の均質性を確認するため5袋から袋ごとに分析用試料を採取し、各経過月には5袋からランダムに選択した3袋から袋ごとに分析用試料を採取する。試料の貯蔵、データ解析は食品総合研究所が担当し、分析は日本食品分析センターが担当する。

3. 年次計画

項目	平成24年度	平成25年度
1. コメの加工に伴うヒ素濃度の 変動の解析		
(1) 精米によるヒ素濃度の変動 解析	ヒ素分析(日本食品分析センター) 試料調製、データ解析(食総研)	
(2) 無洗米製造によるヒ素濃 度の変動解析	ヒ素分析(日本食品分析センター) 試料調製、データ解析(食総研)	
2. コメの調理に伴うヒ素濃度の 変動の解析		
(1) 炊飯によるヒ素濃度の変動 解析	ヒ素分析(日本食品分析センター) 試料調製、データ解析(食総研)	
(2) 洗米過程におけるヒ素濃度 の変動解析	試料調製、ヒ素分析(日本食品分析センター)	データ解析(食総研)
3. コメの保管に伴うヒ素濃度の 変動の解析		
(1) 貯蔵温度によるヒ素濃度の 変動解析	ヒ素分析(日本食品分析センター) 貯蔵、データ解析(食総研)	
所要経費(合計)	13,000 千円	12,900 千円

4. 実施体制

項目	担当研究機関	研究担当者	エフオー (%)
研究総括者	食品総合研究所	内藤 成弘	30
1. コメの加工に伴うヒ素濃度の変動の解析	日本食品分析センター	○ 西村 勉	20
(1) 精米によるヒ素濃度の変動解析	日本食品分析センター	△ 松本 衣里	40
(2) 無洗米製造によるヒ素濃度の変動解析	食品総合研究所	△ 進藤 久美子	20
	日本食品分析センター	△ 松本 衣里	前出
	食品総合研究所	△ 進藤 久美子	前出
2. コメの調理に伴うヒ素濃度の変動の解析	食品総合研究所	○ 内藤 成弘	前出
(1) 炊飯によるヒ素濃度の変動解析	日本食品分析センター	△ 松本 衣里	前出
	食品総合研究所	△ 内藤 成弘	前出
		△ 進藤 久美子 (平成24年8月～)	前出
(2) 洗米過程におけるヒ素濃度の変動解析	日本食品分析センター	△ 松本 衣里	前出
	食品総合研究所	△ 内藤 成弘	前出
3. コメの保管に伴うヒ素濃度の変動の解析	食品総合研究所	○ 内藤 成弘	前出
(1) 貯蔵温度によるヒ素濃度の変動解析	日本食品分析センター	△ 松本 衣里	前出
	食品総合研究所	△ 内藤 成弘	前出
		△ 進藤 久美子 (平成24年8月～)	前出

Ⅱ. 研究実績報告

1. 中課題1：コメの加工に伴うヒ素濃度の変動の解析

(1) 成果の概要

工程表	進捗状況・成果
ヒ素濃度が中濃度の「玄米」、「精米」（とう精歩留 95 %と 90 %）、「ぬか」の総ヒ素濃度及び化学形態別ヒ素濃度を分析する。また、ヒ素濃度が高濃度と低濃度の「玄米」、「精米」（とう精歩留 95 %と 90 %）、「ぬか」の総ヒ素濃度及び化学形態別ヒ素濃度を分析する（小課題 1 関連）。(平成 2 4 年度、2 5 年度) ※ 1 ※ 2	平成 2 3 年産の中濃度玄米を家庭用精米機で歩留 95 %と 90 %に各々とう精（3 kg/回× 5 回）した試料の分析結果（1 回目まで分析終了）より、ヒ素化合物の濃度変化が判明（図 1、表 1）。(平成 2 4 年度) 平成 2 4 年産の高濃度と低濃度の玄米を家庭用精米機で歩留 95 %と 90 %に各々とう精（3 kg/回× 5 回）した試料の分析結果（1 回目まで分析終了）より、ヒ素化合物の濃度変化が判明（図 2、表 2、図 3、表 3）。(平成 2 4 年度) ぬかについて、化学形態別ヒ素分析の前処理条件を検討し、総ヒ素濃度に対する無機ヒ素濃度と DMA 濃度の合計の比率を従来条件の 79 %～83 %から 97 %～103 %に改善する条件を決定して分析（図 4、表 4-1、表 4-2、表 4-3）。(平成 2 4 年度) とう精 5 回反復試験の全分析結果より高濃度、中濃度及び低濃度のコメ中ヒ素化合物の濃度変化及びぬか中ヒ素濃度の変化が判明（図 5、表 5-1、表 5-2、図 6-1、表 6-1、図 6-2、表 6-2、図 7、表 7-1、表 7-2）。(平成 2 5 年度) 高濃度、中濃度及び低濃度のコメについて、部位別の総ヒ素、無機ヒ素及び DMA の濃度と存在量を表に、濃度を図に示した。(表 8、図 8、表 9、図 9、表 10、図 10) (平成 2 5 年度)

ヒ素濃度が中濃度の「玄米」、「精米」（とう精歩留約 90 %）、「無洗米」の総ヒ素濃度及び化学形態別ヒ素濃度を分析する（小課題 2 関連）。（平成 2 4 年度）	平成 2 3 年産の中濃度玄米を無洗米加工（180 kg/回×5 回）した試料の分析結果より、ヒ素化合物の濃度変化が判明（図 11、表 11）。（平成 2 4 年度）
成果目標：とう精、無洗米製造によるコメ中ヒ素の濃度変化、すなわち「加工係数」を明らかにする。	

＜成果の概要の補足＞

- ※ 1：コメ及びぬかの各試料について、135℃で1時間の加熱乾燥条件のもと分析用試料の水分測定を行い、試料の水分含量を補正した乾物重（乾重量）当たりの濃度を算出。
- ※ 2：総ヒ素濃度分析は湿式分解により前処理し、水素化物発生原子吸光法によりヒ素濃度を測定する分析法。
- 化学形態別ヒ素分析法はコメ、ぬか及び洗米水中のヒ素化合物を希硝酸で部分分解抽出する前処理と HPLC-ICPMS により無機ヒ素（As（Ⅲ）＋As（Ⅴ））及び有機ヒ素化合物のジメチルアルシン酸（DMA）及び定量可能な成分を測定する分析法。
- 本事業で用いた総ヒ素分析法及び化学形態別分析法の分析フロー図及び分析性能を以下に示す。

試料 コメ1 g, ぬか0.2 g又は洗米水10 g採取

↓ + 硝酸, 硫酸

湿式分解

↓

放冷

↓ + ヨウ化カリウム溶液

↓ + アスコルビン酸溶液

定容(50 mL)

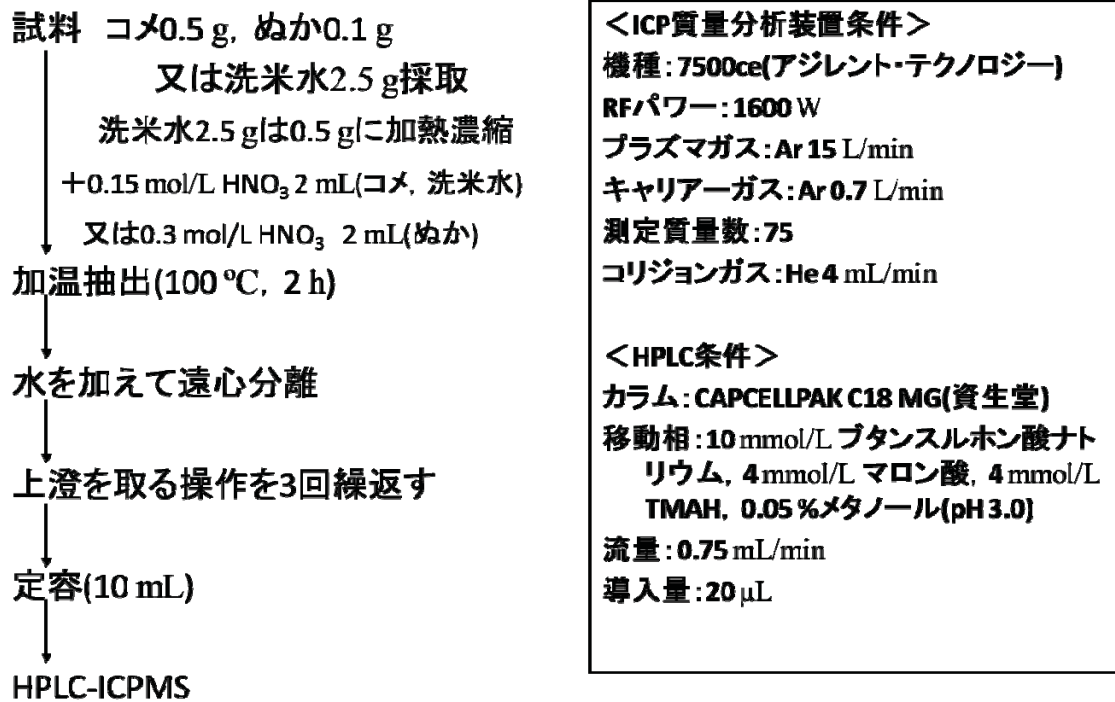
↓ + 水素化ホウ素ナトリウム溶液

↓ + 塩酸(5+1)

HYD-AAS

＜水素化物発生原子吸光光度計＞
機種：AA-220(バリアンテクノロジーズ)
水素化物発生装置：VGA-77(バリアンテクノロジーズ)
光源：ヒ素中空陰極ランプ
測定波長：193.7 nm
石英セル加熱温度：925℃

総ヒ素分析法のフロー図



化学形態別ヒ素分析法のフロー図

総ヒ素分析法及び化学形態別ヒ素分析法の検出限界と定量限界

分析対象 成分	コメ (mg/kg dw)			ぬか (mg/kg dw)			水 (mg/kg)		
	LOD	LOQ	実用LOQ	LOD	LOQ	実用LOQ	LOD	LOQ	実用LOQ
総ヒ素	0.004	0.01	0.02	0.02	0.07	0.1	0.0004	0.001	0.002
無機ヒ素	0.001	0.004	0.01	0.03	0.08	0.1	0.0004	0.001	0.002
DMA	0.002	0.006	0.01	0.02	0.06	0.1	0.0002	0.0006	0.002

注1) 総ヒ素の定量限界(LOQ)は定量限界付近のコメがないため、空試験8回繰り返しデータから求めた値

注2) 無機ヒ素及び DMA の検出限界(LOD)及び LOQ は、コメ: 0.02 mg/kg 添加回収試験、ぬか: 0.2 mg/kg 添加回収試験、水: 0.004 mg/kg 添加回収試験、各8回繰り返しデータから求めた値をコメの水分=14.8%、ぬかの水分=11.7%で補正した値

注3) 実用 LOQ は、LOD と LOQ を求める試験ごとの数値のばらつきを考慮した LOQ

総ヒ素分析法及び化学形態別ヒ素分析法の不確かさ

分析対象 成分	コメ				ぬか				水			
	併行精度 RSD _r (%)		中間精度 RSD _I (%)		併行精度 RSD _r (%)		中間精度 RSD _I (%)		併行精度 RSD _r (%)		中間精度 RSD _I (%)	
	高濃度	低濃度	高濃度	低濃度	高濃度	低濃度	高濃度	低濃度	高濃度	低濃度	高濃度	低濃度
総ヒ素	2.1	3.3	4.2	5.3	3.0	3.1	3.9	4.2	3.3	3.8	4.8	4.1
無機ヒ素	1.8	1.6	3.1	3.5	1.2	2.2	2.8	2.3	3.4	3.0	3.8	3.2
DMA	3.9	5.4	8.8	5.9	1.3	3.0	2.0	3.0	3.4	2.7	3.5	3.0

注 1) RSD_r 及び RSD_I は 3 日間各 8 併行分析の結果

注 2) コメの低濃度、総ヒ素：0.04 mg/kg 添加、無機ヒ素及び DMA：0.02 mg/kg 添加

注 3) コメの高濃度、総ヒ素：0.4 mg/kg 添加、無機ヒ素及び DMA：0.2 mg/kg 添加

注 4) ぬかの低濃度、総ヒ素：0.2 mg/kg 添加、無機ヒ素及び DMA：0.2 mg/kg 添加

注 5) ぬかの高濃度、総ヒ素：2 mg/kg 添加、無機ヒ素及び DMA：2 mg/kg 添加

注 6) 水の低濃度、総ヒ素：0.004 mg/kg 添加、無機ヒ素及び DMA：0.004 mg/kg 添加

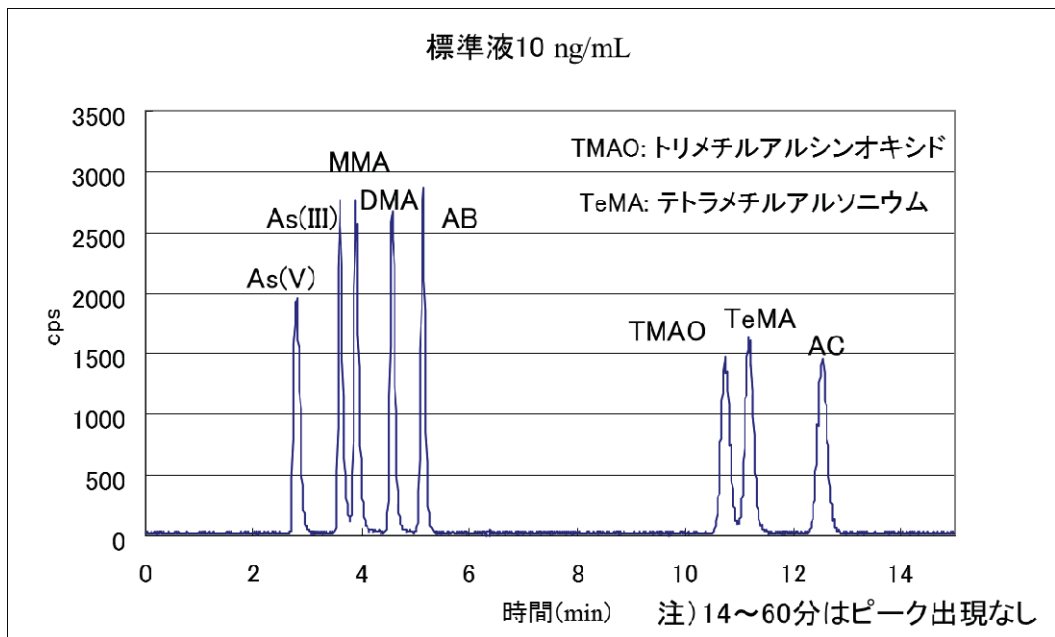
注 7) 水の高濃度、総ヒ素：0.04 mg/kg 添加、無機ヒ素及び DMA：0.04 mg/kg 添加

総ヒ素分析法及び化学形態別ヒ素分析法の回収率(%)

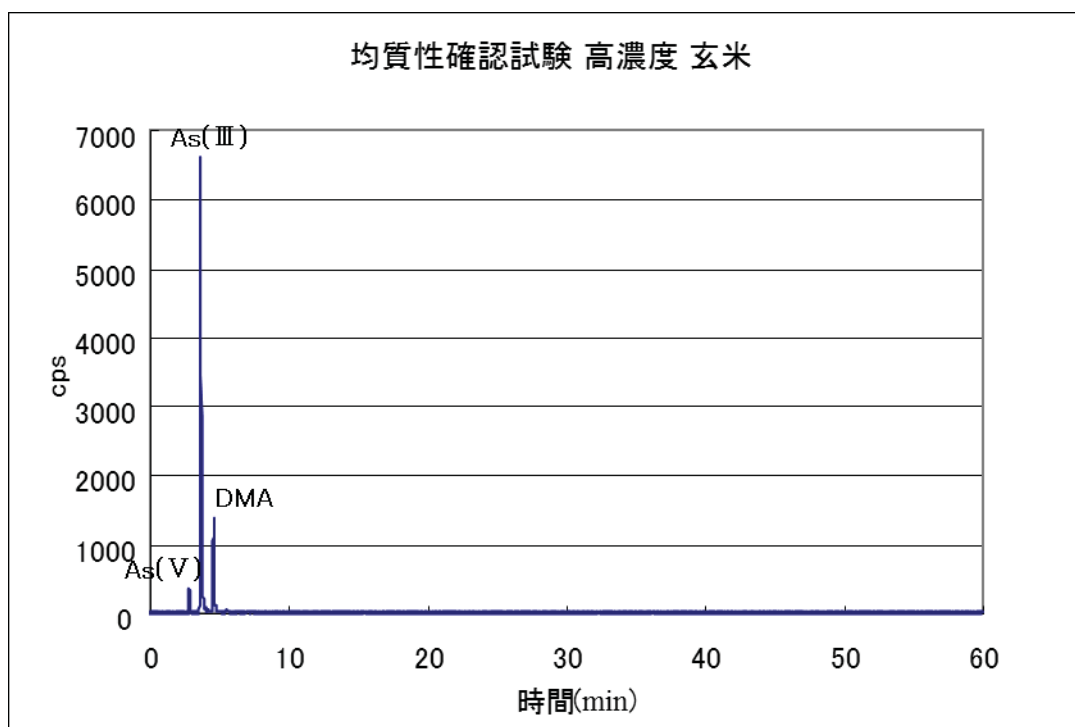
分析対象 成分	コメ		ぬか		水	
	高濃度	低濃度	高濃度	低濃度	高濃度	低濃度
総ヒ素	95～100	97～101	87～97	92～105	94～96	85～89
無機ヒ素	100～105	91～94	100～102	93～99	92～96	94～100
DMA	92～102	93～99	101～103	106～108	92～99	99～102

注 1) 添加回収試験を 3 回行った結果

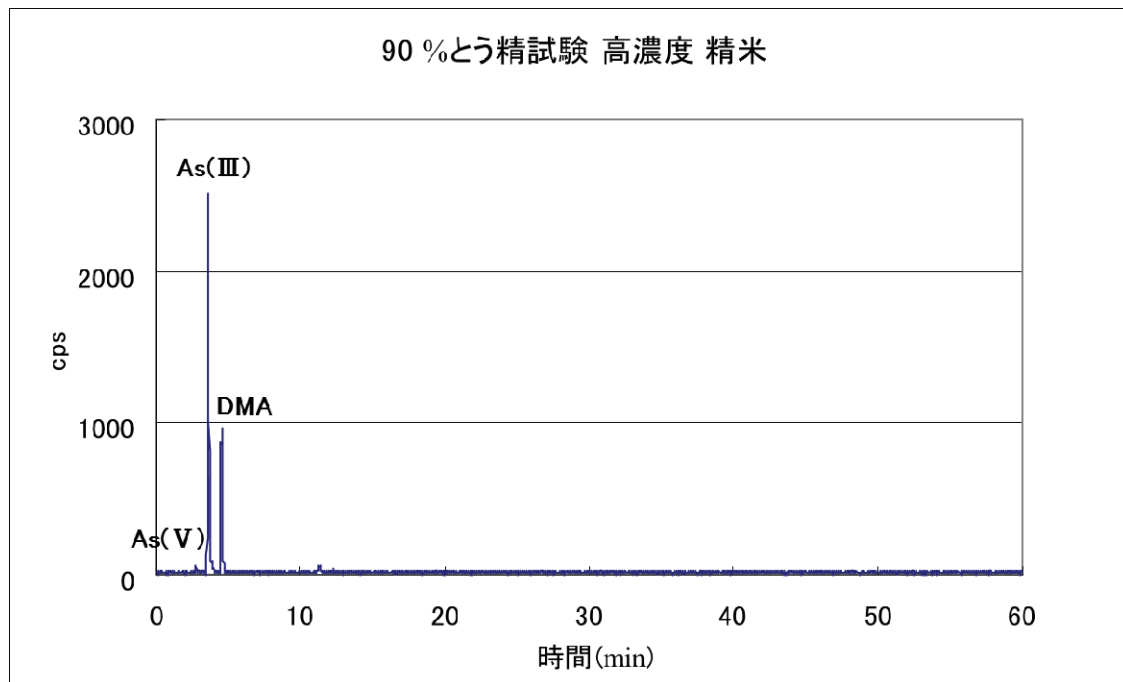
注 2) 添加濃度は不確かさの表の注 2) から注 7) 参照



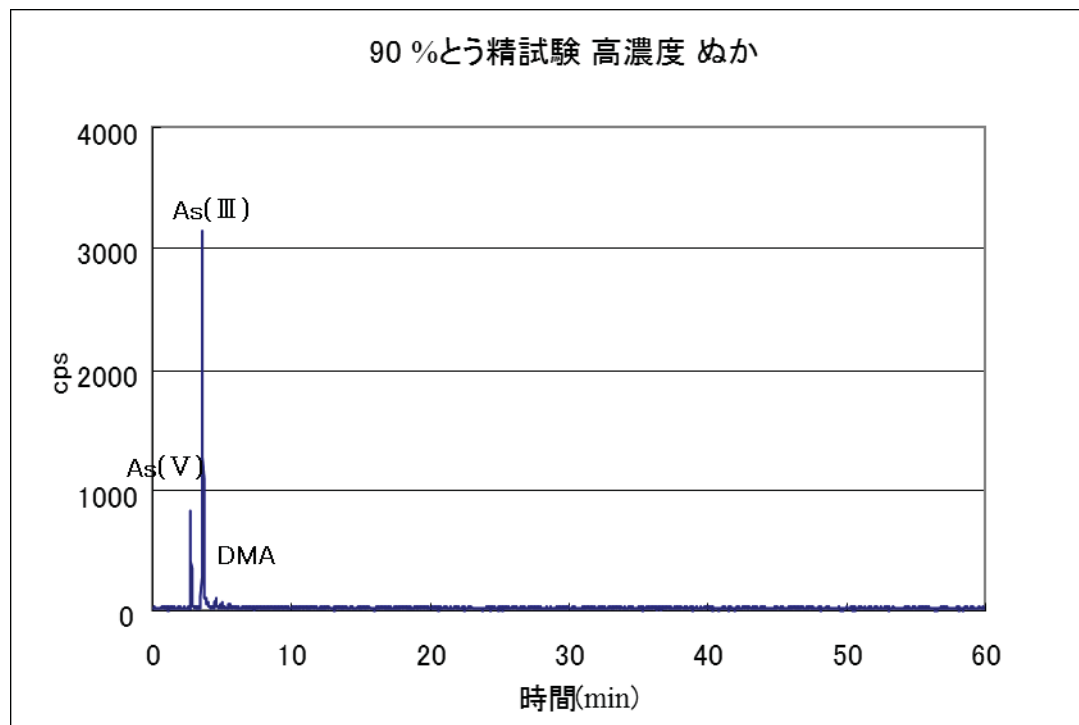
HPLC-ICPMS 法による検出化合物 (標準液)



HPLC-ICPMS 法による検出化合物 (H24 年産 高濃度玄米)

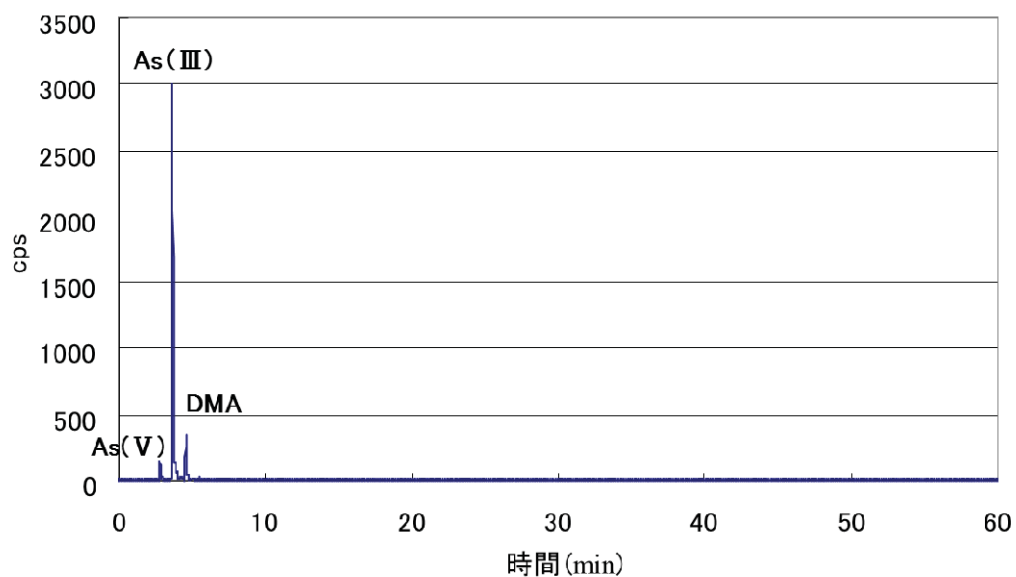


HPLC-ICPMS 法による検出化合物 (H24 年産高濃度 90%精米)



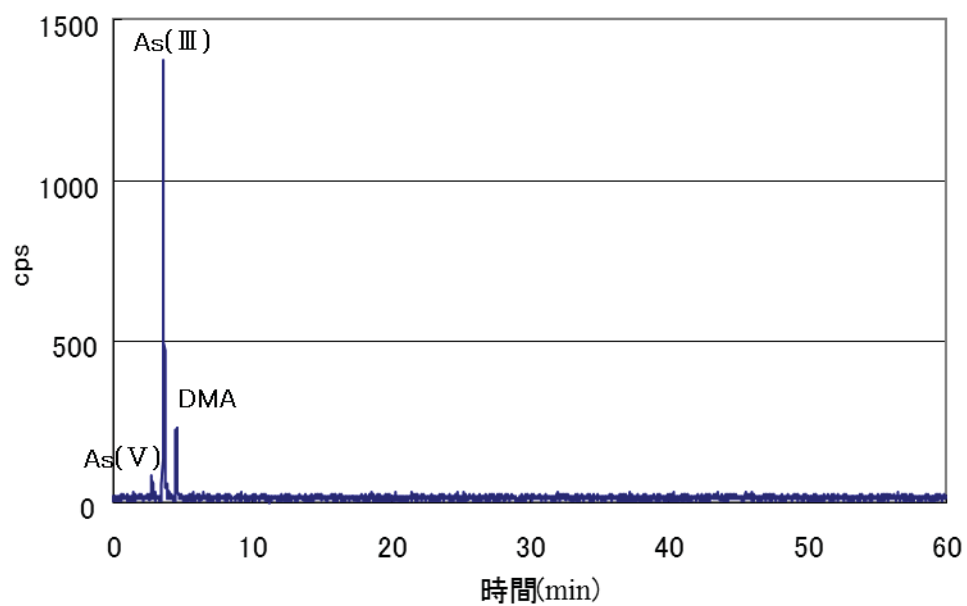
HPLC-ICPMS 法による検出化合物 (H24 年産高濃度 90 %精米時のめか)

均質性確認試験 中濃度 玄米

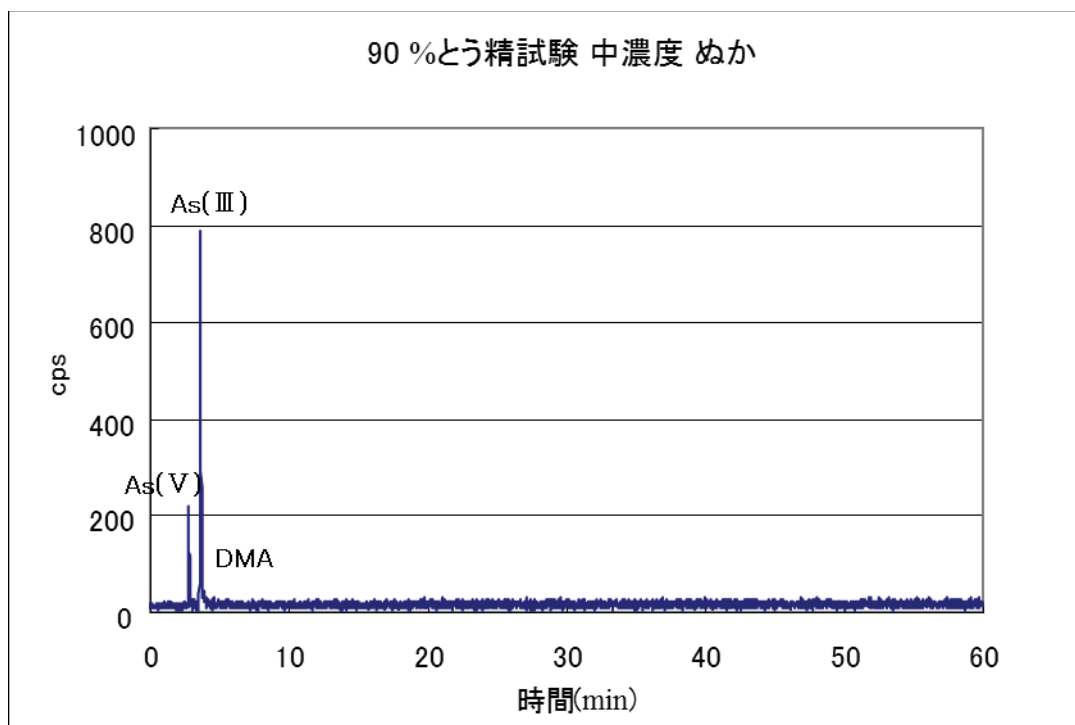


HPLC-ICPMS 法による検出化合物 (H23 年産 中濃度玄米)

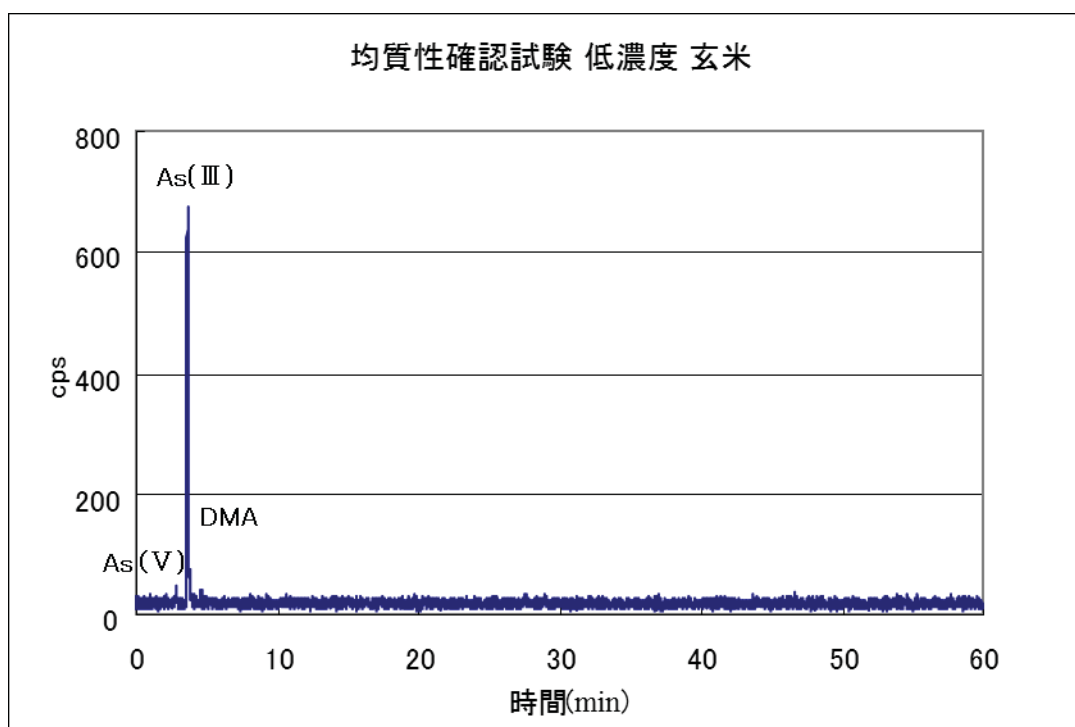
90 %とう精試験 中濃度 精米



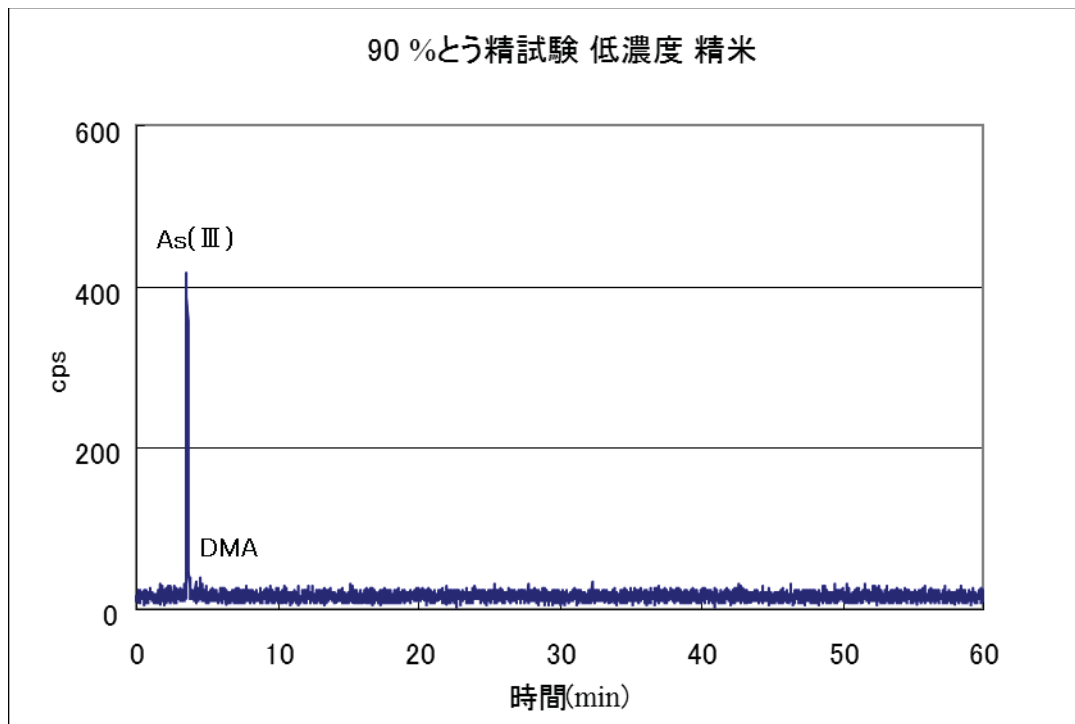
HPLC-ICPMS 法による検出化合物 (H23 年産中濃度 90%精米)



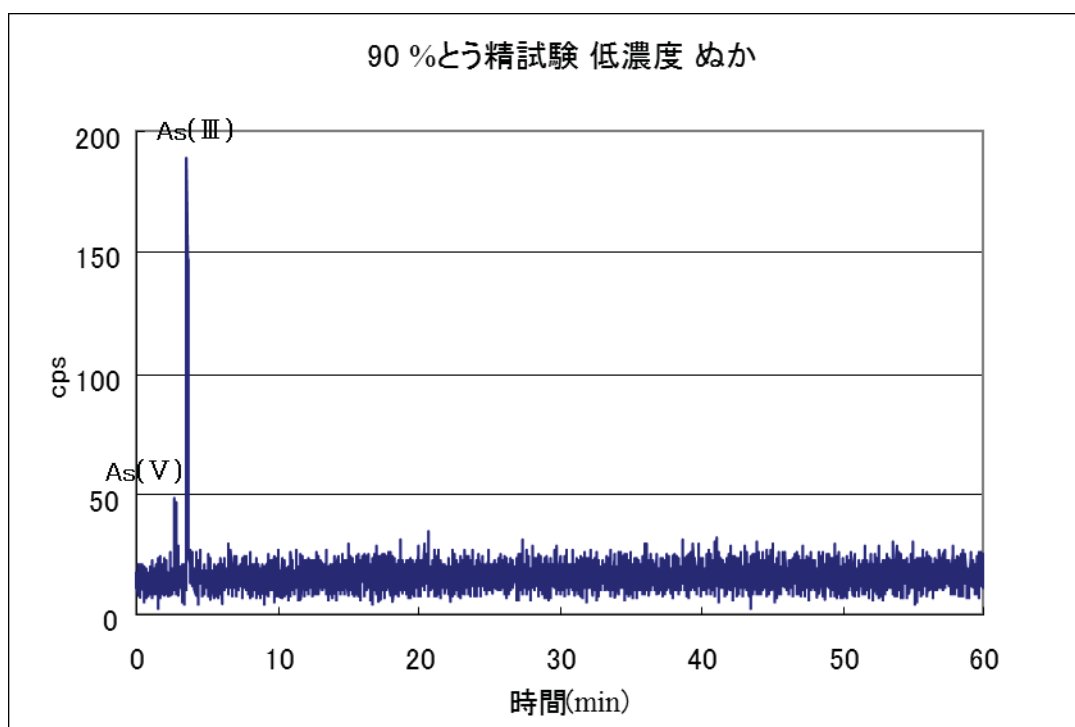
HPLC-ICPMS 法による検出化合物 (H23 年産中濃度 90 %精米時のめか)



HPLC-ICPMS 法による検出化合物 (H24 年産 低濃度玄米)



HPLC-ICPMS 法による検出化合物 (H24 年産低濃度 90%精米)



HPLC-ICPMS 法による検出化合物 (H24 年産低濃度 90 %精米時のめか)

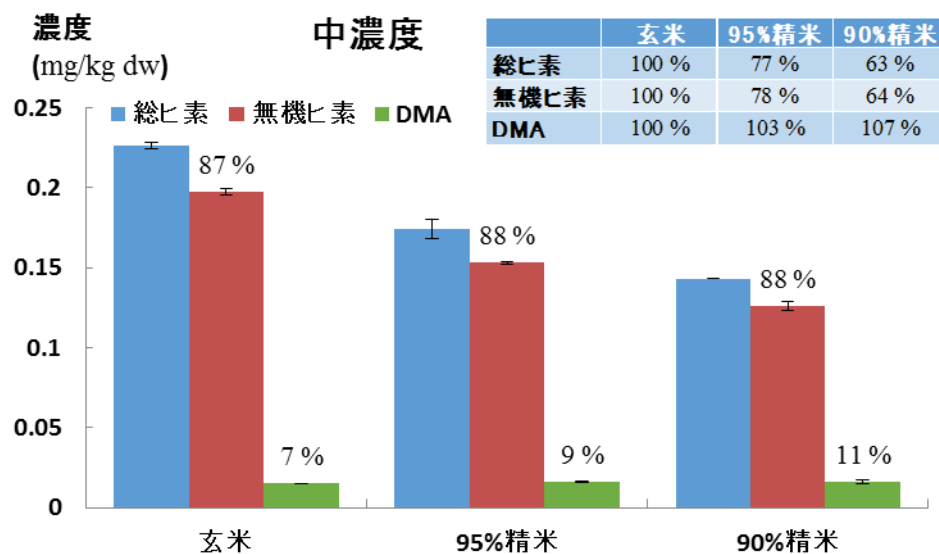


図1 とう精によるコメ中ヒ素化合物の濃度変化 (平均値±SE (標準誤差))

(平成23年産 中濃度のコメ) (とう精2回目のみ、n=2)

グラフのパーセント値は各コメの総ヒ素濃度に対する無機ヒ素濃度又はDMA濃度の割合

表1 とう精によるコメ中ヒ素化合物の濃度変化

(平成23年産中濃度のコメ、とう精1回目のみ、n=2)

成分濃度 (mg/kg dw)	玄米		95%精米		90%精米	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
総ヒ素	0.226	0.003	0.174	0.008	0.143	0
無機ヒ素	0.197	0.003	0.153	0.001	0.126	0.004
DMA	0.015	0	0.016	0.001	0.016	0.001

注) 標準偏差=0 は2個の分析値が同じ値のため

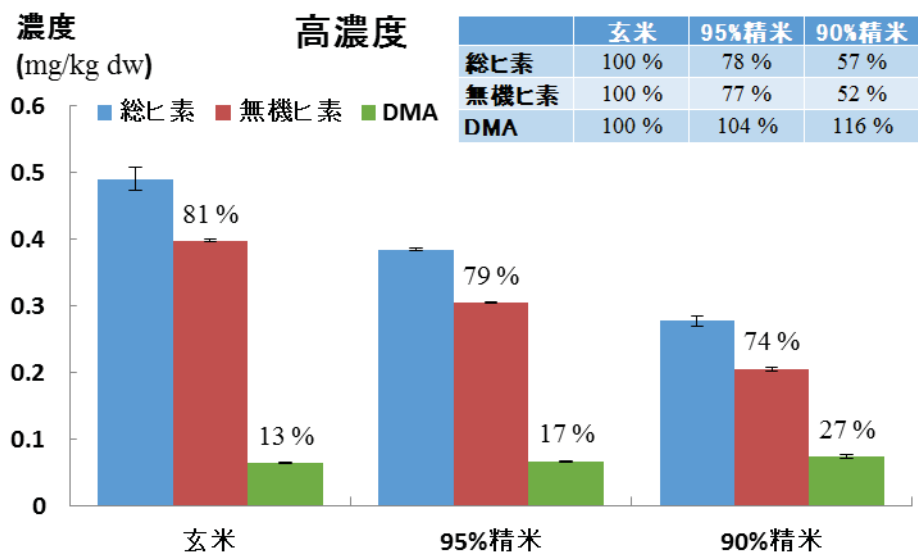


図2 とう精によるコメ中ヒ素化合物の濃度変化 (平均値±SE)

(平成24年産 高濃度のコメ) (とう精1回目のみ、n=2)

グラフのパーセント値は各コメの総ヒ素濃度に対する無機ヒ素濃度又はDMA濃度の割合

表2 とう精によるコメ中ヒ素化合物の濃度変化

(平成24年産 高濃度のコメ、とう精1回目のみ、n=2)

成分濃度 (mg/kg dw)	玄米		95%精米		90%精米	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
総ヒ素	0.491	0.025	0.385	0.002	0.278	0.011
無機ヒ素	0.398	0.001	0.305	0.006	0.206	0.003
DMA	0.064	0.001	0.067	0.001	0.074	0.004

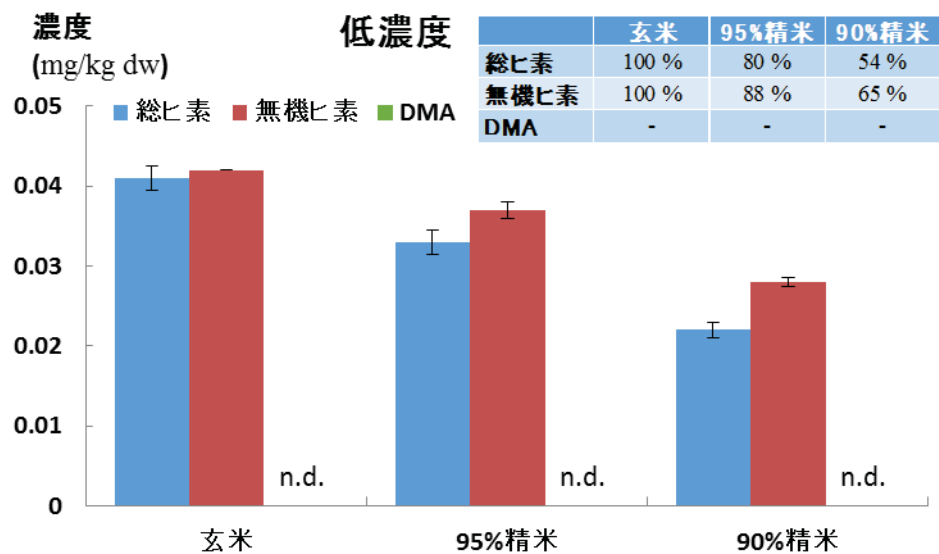


図3 とう精によるコメ中ヒ素化合物の濃度変化 (平均値±SE)
(平成24年産 低濃度のコメ) (とう精1回目のみ、n=2)

表3 とう精によるコメ中ヒ素化合物の濃度変化
(平成24年産 低濃度のコメ、とう精1回目のみ、n=2)

成分濃度 (mg/kg dw)	玄米		95%精米		90%精米	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
総ヒ素	0.041	0.002	0.033	0.002	0.022	0.001
無機ヒ素	0.042	0	0.037	0.001	0.028	0.001
DMA	n.d.	-	n.d.	-	n.d.	-

注1) n.d.はDMAの検出限界0.002 mg/kg dw未満

注2) 標準偏差=0は2個の分析値が同じ値のため

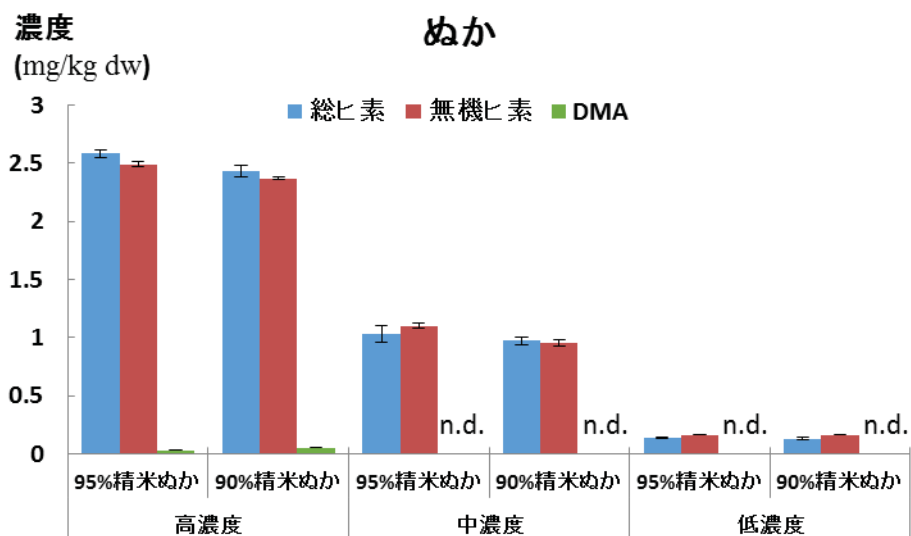


図4 とう精によるぬか中ヒ素化合物の濃度変化 (平均値±SE)
(平成23年産 中濃度のコメのぬか) (とう精1回目のみ、n=2)

表4-1 とう精によるぬか中ヒ素化合物の濃度変化
(平成24年産 高濃度のコメ、とう精1回目のみ、n=2)

成分濃度 (mg/kg dw)	95%精米		90%精米	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
総ヒ素	2.58	0.04	2.43	0.06
無機ヒ素	2.49	0.04	2.37	0.01
DMA	0.03	0.002	0.05	0.001

表4-2 とう精によるぬか中ヒ素化合物の濃度変化
(平成23年産 中濃度のコメ、とう精1回目のみ、n=2)

成分濃度 (mg/kg dw)	95%精米		90%精米	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
総ヒ素	1.03	0.10	0.97	0.04
無機ヒ素	1.10	0.03	0.95	0.04
DMA	n.d.	—	n.d.	—

注) n.d.はDMAの検出限界 0.02 mg/kg dw 未満

表 4-3 とう精によるぬか中ヒ素化合物の濃度変化
 (平成 24 年産 低濃度のコメ、とう精 1 回目のみ、n=2)

成分濃度 (mg/kg dw)	95%精米		90%精米	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
総ヒ素	0.14	0.01	0.13	0.01
無機ヒ素	0.16	0.001	0.16	0.001
DMA	n.d.	-	n.d.	-

注) n.d.は DMA の検出限界 0.02 mg/kg dw 未満

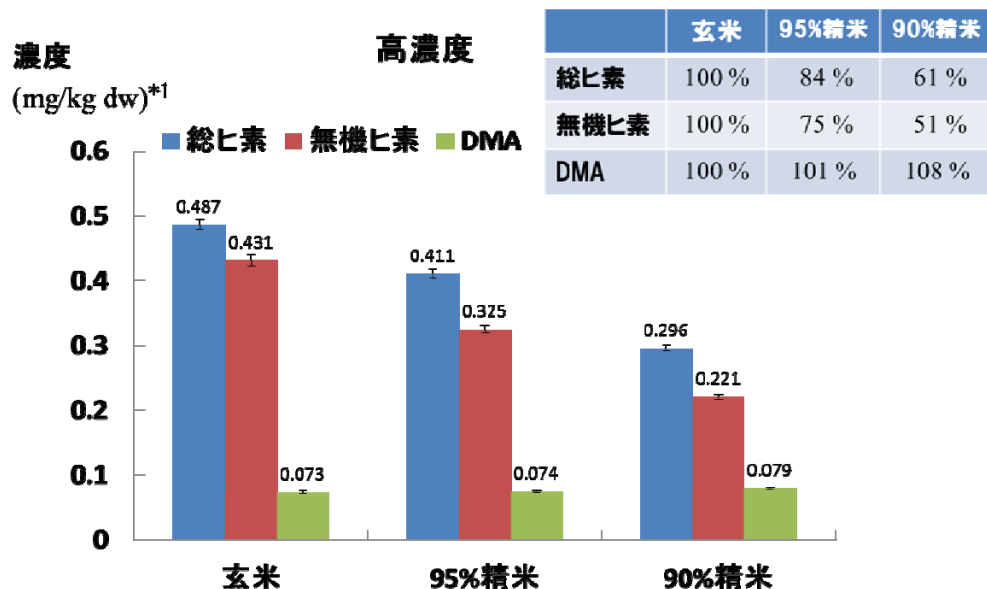


図5 とう精によるコメ中ヒ素化合物の濃度変化（平均値±SE）
（平成24年産 高濃度のコメ）（5反復試験結果）

表5-1 とう精によるコメ中ヒ素化合物の濃度変化

（平成24年産 高濃度のコメ、とう精5反復試験結果、n=2点併行×5回とう精）

成分濃度 (mg/kg dw)	玄米		95%精米		90%精米	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
総ヒ素	0.487	0.018	0.411	0.017	0.296	0.013
無機ヒ素	0.431	0.020	0.325	0.014	0.221	0.008
DMA	0.073	0.005	0.074	0.005	0.079	0.003

表5-2 とう精によるぬか中ヒ素化合物の濃度変化

（平成24年産 高濃度のぬか、5反復試験結果、n=2点併行×5回とう精）

成分濃度 (mg/kg dw)	95%精米		90%精米	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
総ヒ素	2.53	0.08	2.40	0.06
無機ヒ素	2.37	0.13	2.24	0.12
DMA	0.03	0.002	0.05	0.003

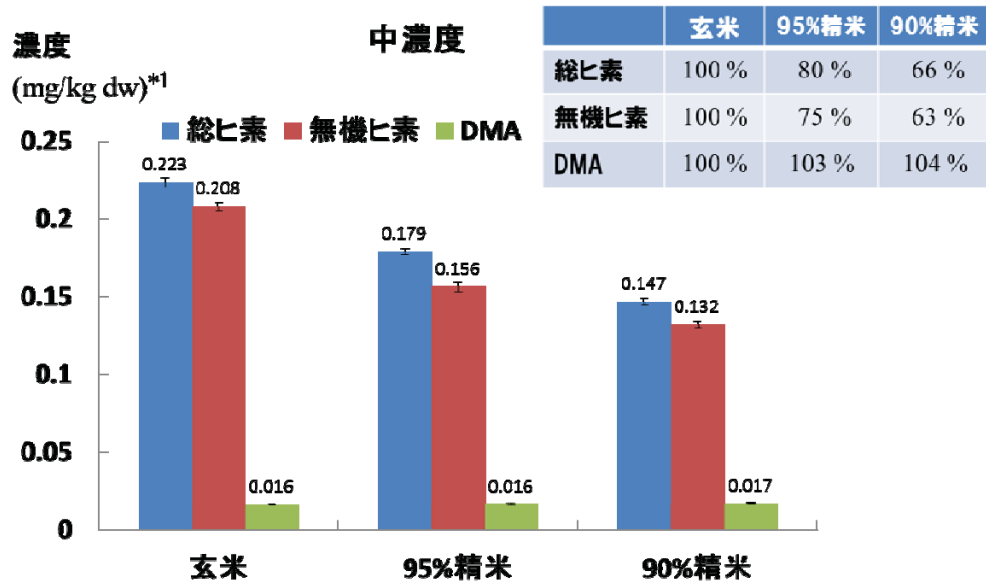
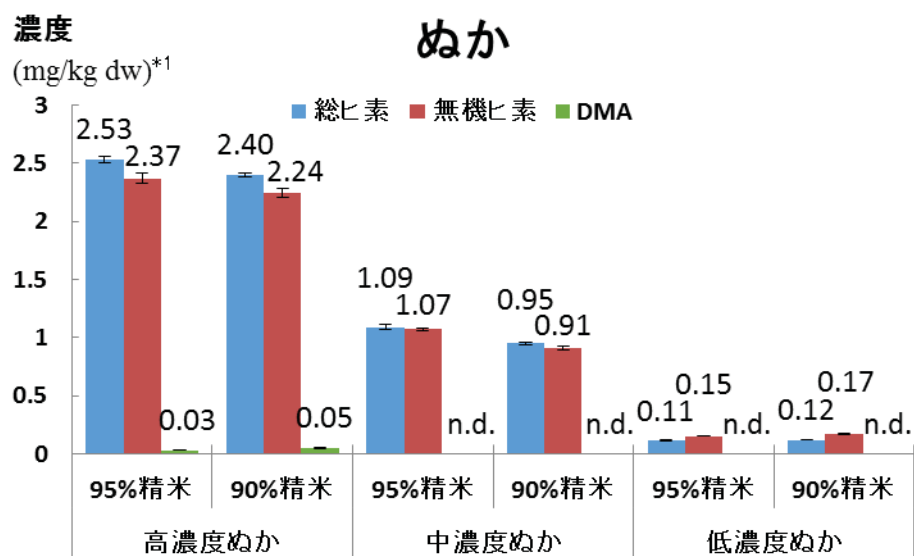


図 6-1 とう精によるコメ中ヒ素化合物の濃度変化 (平均値±SE)
(平成 23 年産 中濃度のコメ) (5 反復試験結果)

表 6-1 とう精によるコメ中ヒ素化合物の濃度変化

(平成 23 年産 中濃度のコメ、とう精 5 反復試験結果、n=2 点併行×5 回とう精)

成分濃度 (mg/kg dw)	玄米		95%精米		90%精米	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
総ヒ素	0.223	0.009	0.179	0.005	0.147	0.005
無機ヒ素	0.208	0.007	0.156	0.008	0.132	0.006
DMA	0.016	0.001	0.016	0.001	0.017	0.001



注) n.d.は DMA の検出下限 0.02 mg/kg dw 未満

図 6-2 とう精によるぬか中ヒ素化合物の濃度変化 (平均値±SE)
(平成 23 年産 中濃度のコメのぬか) (5 反復試験結果)

表 6-2 とう精によるぬか中ヒ素化合物の濃度変化
(平成 23 年産 中濃度のぬか、5 反復試験結果、n=2 点併行×5 回とう精)

成分濃度 (mg/kg dw)	95%精米		90%精米	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
総ヒ素	1.09	0.06	0.95	0.04
無機ヒ素	1.07	0.04	0.91	0.04
DMA	n.d.	—	n.d.	—

注) n.d.は DMA の検出限界 0.02 mg/kg dw 未満

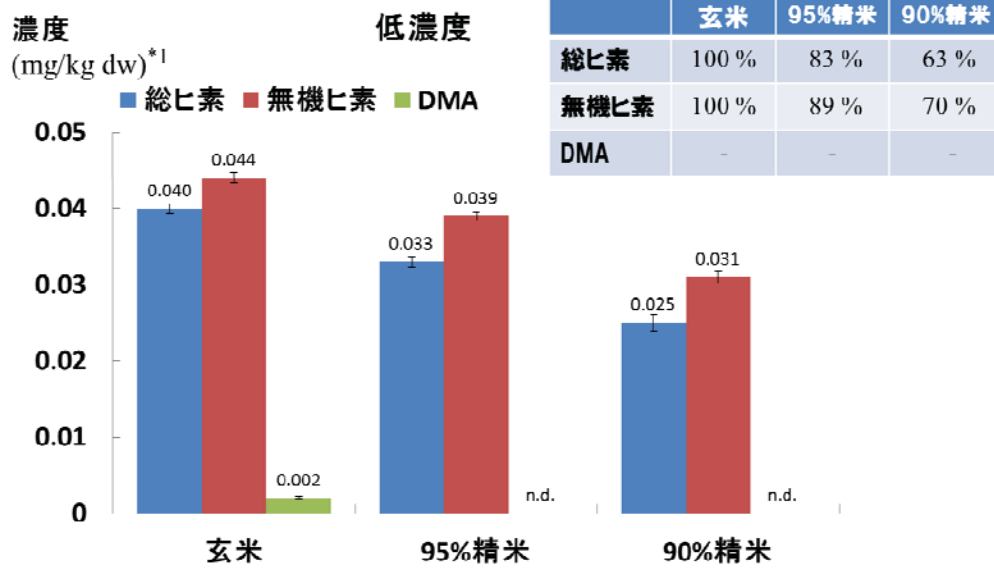


図7 とう精によるコメ中ヒ素化合物の濃度変化（平均値±SE）
（平成24年産 低濃度のコメ）（5反復試験結果）

表7-1 とう精によるコメ中ヒ素化合物の濃度変化

（平成24年産 低濃度のコメ、とう精5反復試験結果、n=2点併行×5回とう精）

成分濃度 (mg/kg dw)	玄米		95%精米		90%精米	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
総ヒ素	0.040	0.002	0.033	0.002	0.025	0.003
無機ヒ素	0.044	0.002	0.039	0.002	0.031	0.002
DMA	0.002	0.0005	n.d.	－	n.d.	－

注) n.d.はDMAの検出限界 0.002 mg/kg dw 未満

表7-2 とう精によるぬか中ヒ素化合物の濃度変化

（平成24年産 低濃度のぬか、5反復試験結果、n=2点併行×5回とう精）

成分濃度 (mg/kg dw)	95%精米		90%精米	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
総ヒ素	0.11	0.02	0.12	0.02
無機ヒ素	0.15	0.01	0.17	0.01
DMA	n.d.	－	n.d.	－

注) n.d.はDMAの検出限界 0.02 mg/kg dw 未満

表 8 部位別のヒ素化合物の存在量及び濃度（高濃度）

成分	玄米1gあたりの存在量 (ng)				濃度 (mg/kg)			
	100%-95%	95%-90%	90%	合計	100%-95%	95%-90%	90%	玄米
総ヒ素	127	113	266	506	2.53	1.13	0.296	0.487
比率	25%	22%	53%	100%	520%	232%	61%	100%
無機ヒ素	119	106	198	423	2.37	1.06	0.221	0.431
比率	28%	25%	47%	100%	550%	246%	51%	100%
DMA	2	3	71	76	0.03	0.03	0.079	0.073
比率	2%	4%	93%	100%	41%	41%	108%	100%

注) 100 %-95 % : とう精歩留（重量比）が 95 %から 100 %のぬかの部分、

95 %-90 % : とう精歩留（重量比）が 90 %から 95 %のぬかの部分、

90 % : とう精歩留（重量比）が 90 %の精米の部分

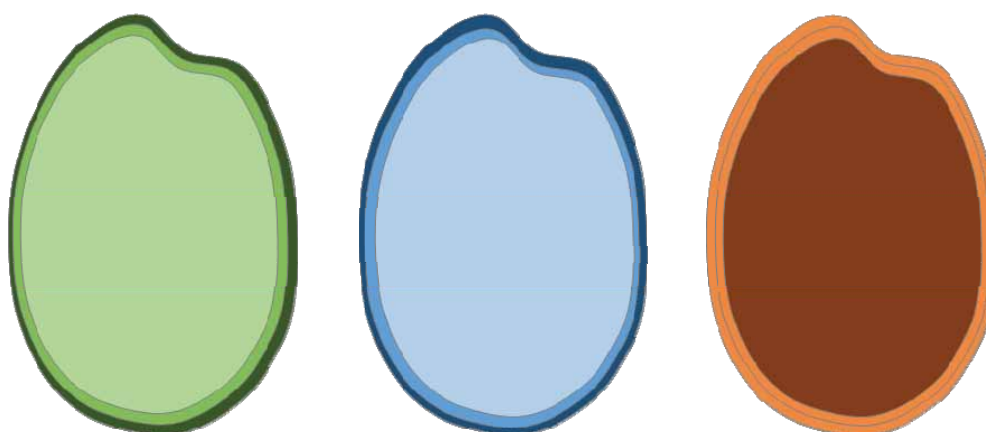


図 8 部位別のヒ素化合物の濃度を示す濃淡図（高濃度）

左：総ヒ素、中央：無機ヒ素、右：DMA

成分ごとに色が濃くなるほど濃度が高いことを示す。

表 9 部位別のヒ素化合物の存在量及び濃度（中濃度）

成分及び比率	玄米1gあたりの存在量 (ng)				濃度 (mg/kg)			
	100%-95%	95%-90%	90%	合計	100%-95%	95%-90%	90%	玄米
総ヒ素	54	40	132	227	1.09	0.40	0.147	0.223
比率	24%	18%	58%	100%	489%	179%	66%	100%
無機ヒ素	54	38	119	210	1.07	0.38	0.132	0.208
比率	25%	18%	57%	100%	514%	183%	63%	100%
DMA	n.d.	n.d.	15	15	n.d.	n.d.	0.017	0.016
比率	-	-	100%	100%	-	-	106%	100%

注) 100 %-95 %：とう精歩留（重量比）が 95 %から 100 %のぬかの部分、

95 %-90 %：とう精歩留（重量比）が 90 %から 95 %のぬかの部分、

90 %：とう精歩留（重量比）が 90 %の精米の部分

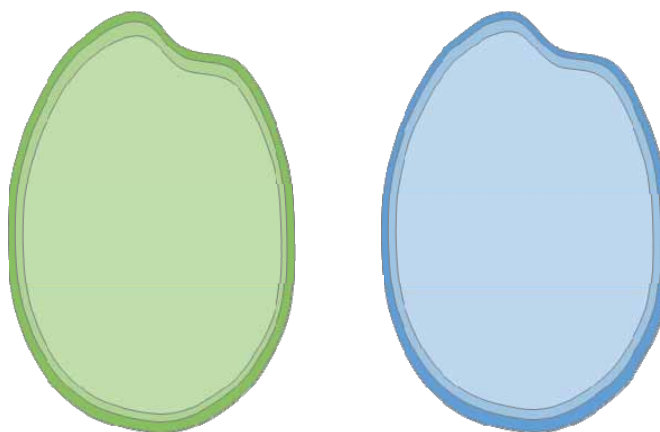


図 9 部位別のヒ素化合物の濃度を示す濃淡図（中濃度）

左：総ヒ素、右：無機ヒ素

DMA はぬか部分の濃度が LOD 未満のため図なし
成分ごとに色が濃くなるほど濃度が高いことを示す。

表 1 0 部位別のヒ素化合物の存在量及び濃度（低濃度）

成分	玄米1gあたりの存在量 (ng)				濃度 (mg/kg)			
	100%-95%	95%-90%	90%	合計	100%-95%	95%-90%	90%	玄米
総ヒ素	5	6	23	35	0.11	0.06	0.025	0.040
比率	16%	18%	66%	100%	275%	150%	63%	100%
無機ヒ素	8	10	28	46	0.15	0.10	0.031	0.044
比率	17%	21%	62%	100%	341%	227%	70%	100%
DMA	n.d.	n.d.	n.d.	-	n.d.	n.d.	n.d.	0.002
比率	-	-	-	-	-	-	-	100%

注) 100 %-95 % : とう精歩留（重量比）が 95 %から 100 %のぬかの部分、

95 %-90 % : とう精歩留（重量比）が 90 %から 95 %のぬかの部分、

90 % : とう精歩留（重量比）が 90 %の精米の部分

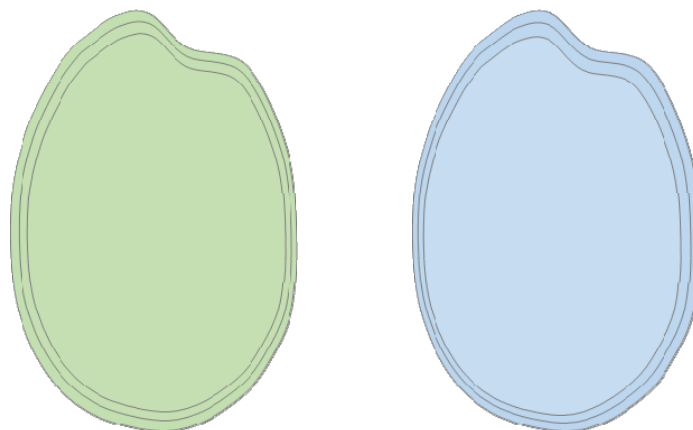


図 1 0 部位別のヒ素化合物の濃度を示す濃淡図（低濃度）

左：総ヒ素、右：無機ヒ素

DMA は各部位の濃度が LOD 未満のため図なし

成分ごとに色が濃くなるほど濃度が高い多いことを示す。

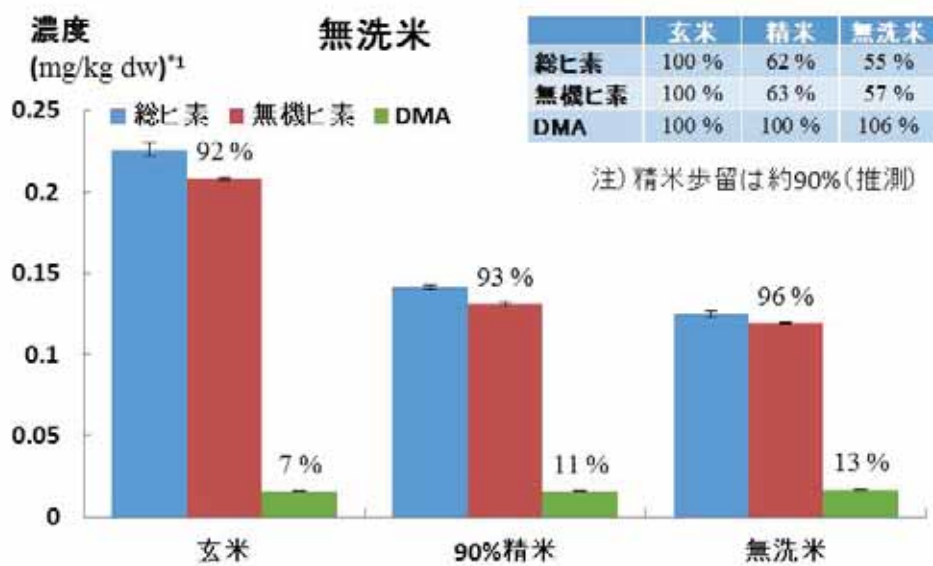


図 11 無洗米加工によるコメ中ヒ素化合物の濃度変化 (平均値±SE)

(平成 2 3 年産 中濃度のコメ) (5 反復試験結果)

グラフ中のパーセント値は各コメの総ヒ素濃度に対する無機ヒ素濃度又は DMA 濃度の割合

表 11 無洗米加工によるコメ中ヒ素化合物の濃度変化

(平成 2 3 年産 中濃度のコメ、5 反復試験結果、n=2 点併行×5 回加工)

成分濃度 (mg/kg dw)	玄米		90 %精米		無洗米		90 %精米のぬか	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
総ヒ素	0.226	0.013	0.141	0.004	0.125	0.006	0.92	0.04
無機ヒ素	0.208	0.004	0.131	0.003	0.119	0.001	0.93	0.05
DMA	0.016	0.001	0.016	0.001	0.017	0.0004	n.d.	—

注 1) 精米歩留 90 %は目安 (実測値なし)

注 2) n.d.は DMA の検出下限 0.02 mg/kg dw 未満

2. 中課題2：コメの調理に伴うヒ素濃度の変動の解析

(1) 成果の概要

工程表	進捗状況・成果
ヒ素濃度が中濃度の「玄米」、「精米」、「無洗米」を炊飯した「炊飯米」の総ヒ素濃度及び化学形態別ヒ素濃度を分析する（小課題1 関連）。（平成24年度、25年度） ※3	国内で代表的な炊飯器、炊飯条件（洗米方法、加水量）を文献調査や予備試験から検討し、電動洗米器(泉精器製作所, KOM-3)を用いてコメ3合を3回洗米（洗米時間：10秒、30秒、30秒）して電気炊飯器（象印、NP-NC10）の自動モード（玄米、5分づき米、白米、無洗米）で炊飯することに決定した。無洗米の炊飯を3回行い、炊飯米を凍結乾燥した分析用試料を調製した。（平成24年度） 3回反復の炊飯試験により、中濃度の玄米、95%精米、90%精米、無洗米とこれらの炊飯米の間のヒ素化合物の濃度変化が判明（表12）。（平成25年度）
ヒ素濃度が高濃度と低濃度の「玄米」、「精米」を炊飯した「炊飯米」の総ヒ素濃度及び化学形態別ヒ素濃度を分析する（小課題1 関連）。（平成25年度） ※3	3回反復の炊飯試験により、高濃度と低濃度の玄米、95%精米、90%精米とこれらの炊飯米の間のヒ素化合物の濃度変化が判明（表12）。（平成25年度）
ヒ素濃度が中濃度の「玄米」、「精米」及びこれらの「洗米」と「洗米水」の総ヒ素濃度及び化学形態別ヒ素濃度を分析する（小課題2 関連）。（平成24年度、25年度） ※3	炊飯試験の洗米条件を参考にして、洗米する精米の総ヒ素量と洗米及び洗米水の各総ヒ素量の合計が96～104%で一致する洗米条件（本事業で入手したコメ以外の白米450gを電動洗米器(泉精器製作所, KOM-3)を用いて5回洗米（洗米時間：10秒、30秒、30秒、30秒、30秒）を決定した。また、洗米水は2.5gを100℃で加熱して0.5gまで濃縮してから分析可能（非加熱の洗米水中ヒ素濃度（無機ヒ素、及び無機ヒ素とDMAの合計）と有意差なし（$p>0.05$））なことを明らかにした。（平成24年度）

	3 回反復の洗米試験により、中濃度の玄米、95%精米及び 90%精米について 3 回(90%精米は 5 回)洗米の各回の洗米及び洗米水のヒ素化合物の濃度変化が判明 (図 12、表 13-1、表 13-2、図 13、表 14-1、表 14-2、図 14、表 15-1、表 15-2)。(平成 2 5 年度) 無洗米中ヒ素濃度 (総ヒ素、無機ヒ素、DMA) と 90%精米を洗米した後の洗米中ヒ素濃度がそれぞれほぼ等しいことが判明 (表 12)。(平成 2 5 年度) 【追】 3 回反復の洗米試験により、高濃度の 90%精米について 5 回洗米の各回の洗米及び洗米水のヒ素化合物の濃度変化が判明 (図 15、表 16-1、表 16-2)。(平成 2 5 年度) 玄米から炊飯米までのとう精、洗米、炊飯の各工程による総ヒ素、無機ヒ素及び DMA の濃度変化、並びに無洗米加工、炊飯の各工程による総ヒ素、無機ヒ素及び DMA の濃度変化が判明 (表 17-1～表 17-30)。(平成 2 5 年度)
	成果目標：家庭用電気炊飯器による炊飯、洗米回数によるコメ中ヒ素の濃度変化、すなわち「加工係数」を明らかにする。

<成果の概要の補足>

※ 3：各コメ試料について、135 °C で 1 時間の加熱乾燥条件のもと分析用試料の水分測定を行い、試料の水分含量を補正した乾物重 (乾重量) 当たりの濃度を算出。

表 12 炊飯試験結果

試料	試料のタイプ	総ヒ素 ^a			無機ヒ素 ^a			DMA ^a			iAs/tAs ^e (%)		
		平均	標準偏差	% tAs ^b	平均	標準偏差	% iAs ^c	平均	標準偏差	% DMA ^d			
高	玄米	生米	0.501	0.010	100	0.420	0.017	100	0.072	0.003	100	84	
		炊飯米	0.487	0.009	97	0.430	0.005	102	0.072	0.009	100	88	
	95%精米	生米	0.399	0.013	100	0.322	0.009	100	0.074	0.003	100	81	
		炊飯米	0.302	0.011	76	0.242	0.007	75	0.076	0.008	103	80	
	90%精米	生米	0.299	0.008	100	0.224	0.005	100	0.076	0.004	100	75	
		炊飯米	0.235	0.005	79	0.162	0.003	72	0.083	0.001	110	69	
	(参考)	3回洗米	0.242	0.006	—	0.163	0.004	—	0.081	0.004	—	67	
	玄米	生米	0.228	0.004	100	0.206	0.005	100	0.016	0.0004	100	90	
		炊飯米	0.218	0.001	96	0.205	0.003	99	0.015	0.002	95	94	
	(参考)	3回洗米	0.225	0.002	—	0.202	0.006	—	0.016	0.001	—	90	
中	95%精米	生米	0.178	0.009	100	0.162	0.003	100	0.017	0.001	100	91	
		炊飯米	0.139	0.009	78	0.127	0.003	78	0.017	0.001	104	91	
	(参考)	3回洗米	0.135	0.008	—	0.127	0.001	—	0.017	0.001	—	94	
	90%精米	生米	0.149	0.010	100	0.135	0.004	100	0.017	0.001	100	90	
		炊飯米	0.125	0.004	84	0.114	0.003	85	0.018	0.001	108	91	
	(参考)	3回洗米	0.123	0.004	—	0.114	0.003	—	0.018	0.001	—	93	
	無洗米	生米	0.131	0.002	100	0.118	0.002	100	0.017	0.0004	100	90	
		炊飯米	0.129	0.001	98	0.116	0.002	99	0.017	0.001	100	90	
	低	玄米	生米	0.040	0.003	100	0.044	0.002	100	< LOD	—	—	110
			炊飯米	0.040	0.003	98	0.045	0.001	102	< LOD	—	—	114
95%精米		生米	0.035	0.006	100	0.039	0.001	100	< LOD	—	—	112	
		炊飯米	0.030	0.006	85	0.033	0.001	85	< LOD	—	—	112	
90%精米		生米	0.031	0.009	100	0.033	0.001	100	< LOD	—	—	107	
		炊飯米	0.021	0.005	67	0.027	0.001	81	< LOD	—	—	129	

^a mg/kg dw^b % tAs : 生米の総ヒ素濃度に対する炊飯米の総ヒ素濃度の比率 (%)^c % iAs : 生米の無機ヒ素濃度に対する炊飯米の無機ヒ素濃度の比率 (%)^d % DMA : 生米の DMA 濃度に対する炊飯米の DMA 濃度の比率 (%)^e iAs/tAs : 各試料中の総ヒ素濃度に対する無機ヒ素濃度の比率(%)

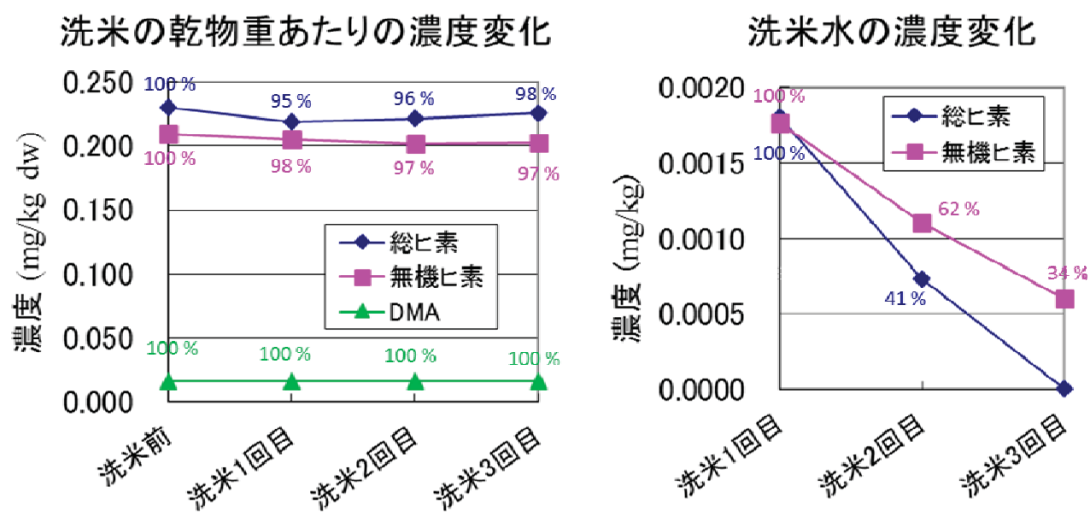


図 12 洗米によるヒ素化合物の濃度変化（中濃度の玄米）
左) 洗米の乾物重あたりの濃度変化、右) 洗米水の濃度変化

表 13-1 玄米の洗米による洗米中ヒ素化合物の濃度変化（中濃度）

試料: 洗米	分析数	総ヒ素 (mg/kg dw)		無機ヒ素 (mg/kg dw)		DMA (mg/kg dw)	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
洗米前	2点併行×3日	0.230	0.008	0.209	0.003	0.016	0.0004
洗米1回目	2点併行×3日	0.219	0.007	0.206	0.005	0.016	0.0004
洗米2回目	2点併行×3日	0.221	0.005	0.202	0.004	0.016	0.002
洗米3回目	2点併行×3日	0.225	0.002	0.202	0.006	0.016	0.001

表 13-2 玄米の洗米による洗米水中ヒ素化合物の濃度変化（中濃度）

試料: 洗米水	分析数	総ヒ素 (mg/kg)		無機ヒ素 (mg/kg)		DMA (mg/kg)	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
洗米1回目	2点併行×3日	0.0019	0.0003	0.0018	0.0003	n.d.	-
洗米2回目	2点併行×3日	0.0008	0.0003	0.0011	0.0003	n.d.	-
洗米3回目	2点併行×3日	n.d.	-	0.0006	0.0001	n.d.	-

注) n.d.は検出限界（総ヒ素：0.0004 mg/kg、DMA：0.0002 mg/kg）未満

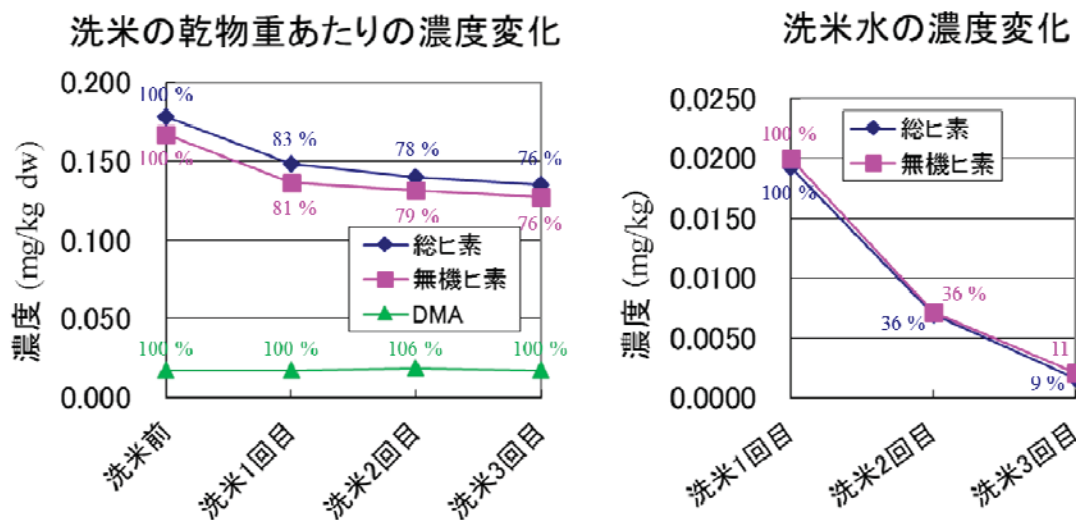


図 13 洗米によるヒ素化合物の濃度変化（中濃度の 95%精米）
左）洗米の乾物重あたりの濃度変化、右）洗米水の濃度変化

表 14-1 95%精米の洗米による洗米中ヒ素化合物の濃度変化（中濃度）

試料: 洗米	分析数	総ヒ素 (mg/kg dw)		無機ヒ素 (mg/kg dw)		DMA (mg/kg dw)	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
洗米前	2点併行×3日	0.178	0.003	0.168	0.005	0.017	0.0004
洗米1回目	2点併行×3日	0.148	0.005	0.136	0.003	0.017	0.001
洗米2回目	2点併行×3日	0.140	0.004	0.132	0.003	0.018	0.001
洗米3回目	2点併行×3日	0.135	0.008	0.127	0.001	0.017	0.001

表 14-2 95%精米の洗米による洗米水中ヒ素化合物の濃度変化（中濃度）

試料: 洗米水	分析数	総ヒ素 (mg/kg)		無機ヒ素 (mg/kg)		DMA (mg/kg)	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
洗米1回目	2点併行×3日	0.0192	0.0003	0.0200	0.0005	n.d.	-
洗米2回目	2点併行×3日	0.0070	0.0007	0.0071	0.0004	n.d.	-
洗米3回目	2点併行×3日	0.0017	0.0001	0.0022	0.0002	n.d.	-

注) n.d.は DMA の検出限界 0.0002 mg/kg 未満

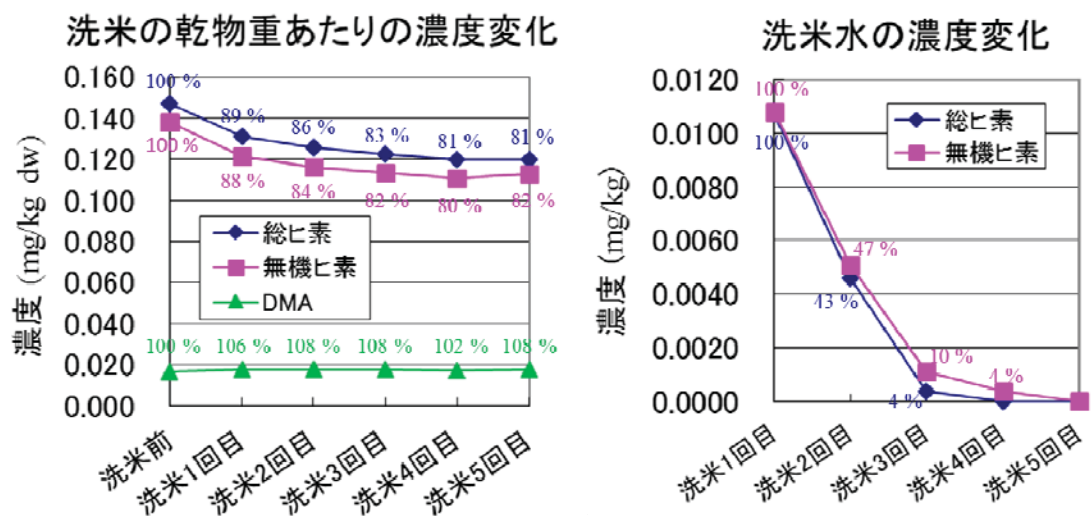


図 14 洗米によるヒ素化合物の濃度変化（中濃度の 90%精米）
 左) 洗米の乾物重あたりの濃度変化、右) 洗米水の濃度変化

表 15-1 90%精米の洗米による洗米中ヒ素化合物の濃度変化（中濃度）

試料: 洗米	分析数	総ヒ素 (mg/kg dw)		無機ヒ素 (mg/kg dw)		DMA (mg/kg dw)	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
洗米前	2点併行×3日	0.147	0.004	0.138	0.004	0.017	0.001
洗米1回目	2点併行×3日	0.131	0.006	0.121	0.002	0.018	0.0004
洗米2回目	2点併行×3日	0.126	0.005	0.116	0.001	0.018	0.001
洗米3回目	2点併行×3日	0.123	0.004	0.114	0.003	0.018	0.001
洗米4回目	2点併行×1日	0.120	0.001	0.111	0.003	0.017	0
洗米5回目	2点併行×1日	0.120	0.002	0.113	0.003	0.018	0.001

注) 標準偏差=0 は 2 個の分析値が同じ値のため

表 15-2 90%精米の洗米による洗米水中ヒ素化合物の濃度変化（中濃度）

試料: 洗米水	分析数	総ヒ素 (mg/kg)		無機ヒ素 (mg/kg)		DMA (mg/kg)	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
洗米1回目	2点併行×3日	0.0107	0.0006	0.0108	0.0005	n.d.	-
洗米2回目	2点併行×3日	0.0046	0.0007	0.0051	0.0004	n.d.	-
洗米3回目	2点併行×3日	0.0005	0.0002	0.0011	0.0001	n.d.	-
洗米4回目	2点併行×1日	n.d.	-	0.0005	0.0001	n.d.	-
洗米5回目	2点併行×1日	n.d.	-	n.d.	-	n.d.	-

注) n.d.は検出限界（総ヒ素：0.0004 mg/kg、無機ヒ素：0.0004 mg/kg、DMA：0.0002 mg/kg）

未満

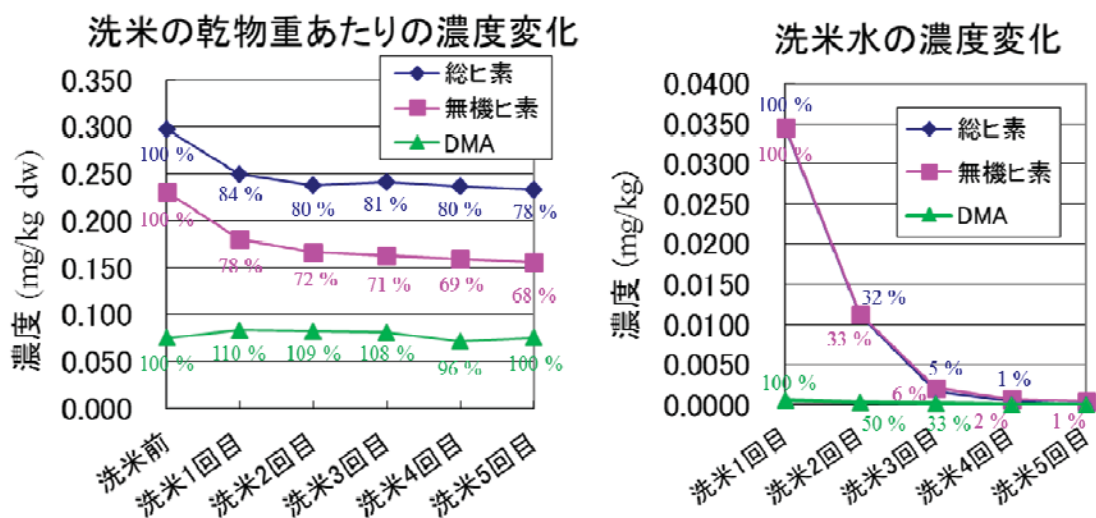


図 15 洗米によるヒ素化合物の濃度変化（高濃度の 90%精米）
 左) 洗米の乾物重あたりの濃度変化、右) 洗米水の濃度変化

表 16-1 90%精米の洗米による洗米中ヒ素化合物の濃度変化（高濃度）

試料: 洗米	分析数	総ヒ素 (mg/kg dw)		無機ヒ素 (mg/kg dw)		DMA (mg/kg dw)	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
洗米前	2点併行×3日	0.298	0.005	0.231	0.006	0.075	0.005
洗米1回目	2点併行×3日	0.250	0.008	0.180	0.004	0.083	0.003
洗米2回目	2点併行×3日	0.238	0.005	0.166	0.007	0.082	0.002
洗米3回目	2点併行×3日	0.242	0.006	0.163	0.004	0.081	0.004
洗米4回目	2点併行×1日	0.238	0.002	0.159	0.004	0.072	0.001
洗米5回目	2点併行×1日	0.233	0.003	0.157	0.002	0.075	0.005

表 16-2 90%精米の洗米による洗米水中ヒ素化合物の濃度変化（高濃度）

試料: 洗米水	分析数	総ヒ素 (mg/kg)		無機ヒ素 (mg/kg)		DMA (mg/kg)	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
洗米1回目	2点併行×3日	0.0344	0.0003	0.0345	0.0014	0.0006	0.0001
洗米2回目	2点併行×3日	0.0111	0.0010	0.0113	0.0005	0.0002	0.0001
洗米3回目	2点併行×3日	0.0017	0.0002	0.0021	0.0001	n.d.	—
洗米4回目	2点併行×1日	0.0005	0.0001	0.0007	0.0001	n.d.	—
洗米5回目	2点併行×1日	n.d.	—	0.0005	0	n.d.	—

注 1) 標準偏差=0 は 2 個の分析値が同じ値のため

注 2) n.d.は検出限界（総ヒ素：0.0004 mg/kg、DMA：0.0002 mg/kg）未満

表 17-1 総ヒ素濃度の調理による変化（高濃度の玄米）

高濃度	玄米	95%精米	90%精米	洗米			炊飯米
				1回目	2回目	3回目	
均質性試験結果	0.503						
とう精試験結果	0.487						
洗米試験結果							
炊飯試験結果	0.501						0.487
平均値	0.497	－	－	－	－	－	0.487
比率（％）	100％	－	－	－	－	－	98％

濃度の単位は mg/kg dw

洗米試験は未実施

表 17-2 無機ヒ素濃度の調理による変化（高濃度の玄米）

高濃度	玄米	95%精米	90%精米	洗米			炊飯米
				1回目	2回目	3回目	
均質性試験結果	0.398						
とう精試験結果	0.431						
洗米試験結果							
炊飯試験結果	0.420						0.430
平均値	0.417	－	－	－	－	－	0.430
比率（％）	100％	－	－	－	－	－	103％

濃度の単位は mg/kg dw

洗米試験は未実施

表 17-3 DMA 濃度の調理による変化（高濃度の玄米）

高濃度	玄米	95%精米	90%精米	洗米			炊飯米
				1回目	2回目	3回目	
均質性試験結果	0.071						
とう精試験結果	0.073						
洗米試験結果							
炊飯試験結果	0.072						0.072
平均値	0.072	－	－	－	－	－	0.072
比率（％）	100％	－	－	－	－	－	100％

濃度の単位は mg/kg dw

洗米試験は未実施

表 17-4 総ヒ素濃度の加工・調理による変化（高濃度の 95%精米）

高濃度	玄米	95%精米	90%精米	洗米			炊飯米
				1回目	2回目	3回目	
均質性試験結果	0.503						
洗米試験結果							
炊飯試験結果		0.399					0.302
平均値	0.503	0.399	－	－	－	－	0.302
比率（％）	100％	79％	－	－	－	－	60％

濃度の単位は mg/kg dw

洗米試験は未実施

表 17-5 無機ヒ素濃度の加工・調理による変化（高濃度の 95%精米）

高濃度	玄米	95%精米	90%精米	洗米			炊飯米
				1回目	2回目	3回目	
均質性試験結果	0.398						
洗米試験結果							
炊飯試験結果		0.322					0.242
平均値	0.398	0.322	－	－	－	－	0.242
比率（％）	100％	81％	－	－	－	－	61％

濃度の単位は mg/kg dw

洗米試験は未実施

表 17-6 DMA 濃度の加工・調理による変化（高濃度の 95%精米）

高濃度	玄米	95%精米	90%精米	洗米			炊飯米
				1回目	2回目	3回目	
均質性試験結果	0.071						
洗米試験結果							
炊飯試験結果		0.074					0.076
平均値	0.071	0.074	－	－	－	－	0.076
比率（％）	100％	104％	－	－	－	－	106％

濃度の単位は mg/kg dw

洗米試験は未実施

表 17-7 総ヒ素濃度の加工・調理による変化（高濃度の 90%精米）

高濃度	玄米	95%精米	90%精米	洗米			炊飯米
				1回目	2回目	3回目	
均質性試験結果	0.503						
とう精試験結果	0.487	0.411	0.296				
洗米試験結果			0.298	0.250	0.238	0.242	
炊飯試験結果			0.299				0.235
平均値	0.495	0.411	0.298	0.250	0.238	0.242	0.235
比率（%）	100 %	83 %	60 %	50 %	48 %	49 %	47 %

濃度の単位は mg/kg dw

表 17-8 無機ヒ素濃度の加工・調理による変化（高濃度の 90%精米）

高濃度	玄米	95%精米	90%精米	洗米			炊飯米
				1回目	2回目	3回目	
均質性試験結果	0.398						
とう精試験結果	0.431	0.325	0.221				
洗米試験結果			0.231	0.180	0.166	0.163	
炊飯試験結果			0.224				0.162
平均値	0.415	0.325	0.225	0.180	0.166	0.163	0.162
比率（%）	100 %	78 %	54 %	43 %	40 %	39 %	39 %

濃度の単位は mg/kg dw

表 17-9 DMA 濃度の加工・調理による変化（高濃度の 90%精米）

高濃度	玄米	95%精米	90%精米	洗米			炊飯米
				1回目	2回目	3回目	
均質性試験結果	0.071						
とう精試験結果	0.073	0.074	0.079				
洗米試験結果			0.075	0.083	0.082	0.081	
炊飯試験結果			0.076				0.083
平均値	0.072	0.074	0.077	0.083	0.082	0.081	0.083
比率（%）	100 %	103 %	106 %	115 %	114 %	112 %	115 %

濃度の単位は mg/kg dw

表 17-10 総ヒ素濃度の調理による変化（中濃度の玄米）

中濃度	玄米	95%精米	90%精米	洗米			炊飯米
				1回目	2回目	3回目	
均質性試験結果	0.235						
とう精試験結果	0.223						
洗米試験結果	0.230			0.219	0.221	0.225	
炊飯試験結果	0.228						0.218
平均値	0.229	－	－	0.219	0.221	0.225	0.218
比率（％）	100％	－	－	95％	97％	98％	95％

濃度の単位は mg/kg dw

表 17-11 無機ヒ素濃度の調理による変化（中濃度の玄米）

中濃度	玄米	95%精米	90%精米	洗米			炊飯米
				1回目	2回目	3回目	
均質性試験結果	0.208						
とう精試験結果	0.208						
洗米試験結果	0.209			0.206	0.202	0.202	
炊飯試験結果	0.206						0.205
平均値	0.208	－	－	0.206	0.202	0.202	0.205
比率（％）	100％	－	－	99％	97％	97％	98％

濃度の単位は mg/kg dw

表 17-12 DMA 濃度の調理による変化（中濃度の玄米）

中濃度	玄米	95%精米	90%精米	洗米			炊飯米
				1回目	2回目	3回目	
均質性試験結果	0.016						
とう精試験結果	0.016						
洗米試験結果	0.016			0.016	0.016	0.016	
炊飯試験結果	0.016						0.015
平均値	0.016	－	－	0.016	0.016	0.016	0.015
比率（％）	100％	－	－	99％	99％	99％	94％

濃度の単位は mg/kg dw

表 17-13 総ヒ素濃度の加工・調理による変化（中濃度の 95%精米）

中濃度	玄米	95%精米	90%精米	洗米			炊飯米
				1回目	2回目	3回目	
均質性試験結果	0.235						
とう精試験結果	0.223	0.179					
洗米試験結果		0.178		0.148	0.140	0.135	
炊飯試験結果		0.178					0.139
平均値	0.229	0.178	－	0.148	0.140	0.135	0.139
比率（％）	100 %	78 %	－	64 %	61 %	59 %	60 %

濃度の単位は mg/kg dw

表 17-14 無機ヒ素濃度の加工・調理による変化（中濃度の 95%精米）

中濃度	玄米	95%精米	90%精米	洗米			炊飯米
				1回目	2回目	3回目	
均質性試験結果	0.208						
とう精試験結果	0.208	0.156					
洗米試験結果		0.168		0.136	0.132	0.127	
炊飯試験結果		0.162					0.127
平均値	0.208	0.162	－	0.136	0.132	0.127	0.127
比率（％）	100 %	78 %	－	66 %	63 %	61 %	61 %

濃度の単位は mg/kg dw

表 17-15 DMA 濃度の加工・調理による変化（中濃度の 95%精米）

中濃度	玄米	95%精米	90%精米	洗米			炊飯米
				1回目	2回目	3回目	
均質性試験結果	0.016						
とう精試験結果	0.016	0.016					
洗米試験結果		0.017		0.017	0.018	0.017	
炊飯試験結果		0.017					0.017
平均値	0.016	0.017	－	0.017	0.018	0.017	0.017
比率（％）	100 %	105 %	－	109 %	114 %	109 %	108 %

濃度の単位は mg/kg dw

表 17-16 総ヒ素濃度の加工・調理による変化（中濃度の 90%精米）

中濃度	玄米	95%精米	90%精米	洗米			炊飯米
				1回目	2回目	3回目	
均質性試験結果	0.235						
とう精試験結果	0.223	0.179	0.147				
洗米試験結果			0.147	0.131	0.126	0.123	
炊飯試験結果			0.149				0.125
平均値	0.229	0.179	0.148	0.131	0.126	0.123	0.125
比率（%）	100 %	78 %	64 %	57 %	55 %	54 %	54 %

濃度の単位は mg/kg dw

表 17-17 無機ヒ素濃度の加工・調理による変化（中濃度の 90%精米）

中濃度	玄米	95%精米	90%精米	洗米			炊飯米
				1回目	2回目	3回目	
均質性試験結果	0.208						
とう精試験結果	0.208	0.156	0.132				
洗米試験結果			0.138	0.121	0.116	0.114	
炊飯試験結果			0.135				0.114
平均値	0.208	0.156	0.135	0.121	0.116	0.114	0.114
比率（%）	100 %	75 %	65 %	58 %	56 %	55 %	55 %

濃度の単位は mg/kg dw

表 17-18 DMA 濃度の加工・調理による変化（中濃度の 90%精米）

中濃度	玄米	95%精米	90%精米	洗米			炊飯米
				1回目	2回目	3回目	
均質性試験結果	0.016						
とう精試験結果	0.016	0.016	0.017				
洗米試験結果			0.017	0.018	0.018	0.018	
炊飯試験結果			0.017				0.018
平均値	0.016	0.016	0.017	0.018	0.018	0.018	0.018
比率（%）	100 %	103 %	104 %	112 %	112 %	113 %	112 %

濃度の単位は mg/kg dw

表 17-19 総ヒ素濃度の調理による変化（低濃度の玄米）

低濃度	玄米	95%精米	90%精米	洗米			炊飯米
				1回目	2回目	3回目	
均質性試験結果	0.048						
とう精試験結果	0.040						
洗米試験結果							
炊飯試験結果	0.040						0.040
平均値	0.043	－	－	－	－	－	0.040
比率（％）	100％	－	－	－	－	－	93％

濃度の単位は mg/kg dw

洗米試験は未実施

表 17-20 無機ヒ素濃度の調理による変化（低濃度の玄米）

低濃度	玄米	95%精米	90%精米	洗米			炊飯米
				1回目	2回目	3回目	
均質性試験結果	0.043						
とう精試験結果	0.044						
洗米試験結果							
炊飯試験結果	0.044						0.045
平均値	0.044	－	－	－	－	－	0.045
比率（％）	100％	－	－	－	－	－	102％

濃度の単位は mg/kg dw

洗米試験は未実施

表 17-21 DMA 濃度の調理による変化（低濃度の玄米）

注）分析値がすべて検出限界未満のため表は省略

表 17-22 総ヒ素濃度の加工・調理による変化（低濃度の 95%精米）

低濃度	玄米	95%精米	90%精米	洗米			炊飯米
				1回目	2回目	3回目	
均質性試験結果	0.048						
とう精試験結果	0.040	0.033					
洗米試験結果							
炊飯試験結果		0.035					0.030
平均値	0.044	0.034	－	－	－	－	0.030
比率（％）	100％	78％	－	－	－	－	68％

濃度の単位は mg/kg dw

洗米試験は未実施

表 17-23 無機ヒ素濃度の加工・調理による変化（低濃度の 95%精米）

低濃度	玄米	95%精米	90%精米	洗米			炊飯米
				1回目	2回目	3回目	
均質性試験結果	0.043						
とう精試験結果	0.044	0.039					
洗米試験結果							
炊飯試験結果		0.039					0.033
平均値	0.044	0.039	－	－	－	－	0.033
比率（％）	100％	89％	－	－	－	－	76％

濃度の単位は mg/kg dw

洗米試験は未実施

表 17-24 DMA 濃度の加工・調理による変化（低濃度の 95%精米）

注）分析値がすべて検出限界未満のため表は省略

表 17-25 総ヒ素濃度の加工・調理による変化（低濃度の 90%精米）

低濃度	玄米	95%精米	90%精米	洗米			炊飯米
				1回目	2回目	3回目	
均質性試験結果	0.048						
とう精試験結果	0.040	0.033	0.025				
洗米試験結果							
炊飯試験結果			0.031				0.021
平均値	0.044	0.033	0.028	－	－	－	0.021
比率（％）	100 %	76 %	64 %	－	－	－	47 %

濃度の単位は mg/kg dw

洗米試験は未実施

表 17-26 無機ヒ素濃度の加工・調理による変化（低濃度の 90%精米）

低濃度	玄米	95%精米	90%精米	洗米			炊飯米
				1回目	2回目	3回目	
均質性試験結果	0.043						
とう精試験結果	0.044	0.039	0.031				
洗米試験結果							
炊飯試験結果			0.033				0.027
平均値	0.044	0.039	0.032	－	－	－	0.027
比率（％）	100 %	89 %	73 %	－	－	－	61 %

濃度の単位は mg/kg dw

洗米試験は未実施

表 17-27 DMA 濃度の加工・調理による変化（低濃度の 90%精米）

注）分析値がすべて検出限界未満のため表は省略

表 17-28 総ヒ素濃度の加工・調理による変化（無洗米）

中濃度	玄米	95%精米	90%精米	無洗米	炊飯米
均質性試験結果	0.235				
とう精試験結果	0.223	0.179	0.147		
無洗米試験結果	0.226		0.141	0.125	
炊飯試験結果				0.131	0.129
平均値	0.228	0.179	0.144	0.128	0.129
比率（%）	100 %	78 %	63 %	56 %	57 %

濃度の単位は mg/kg dw

表 17-29 無機ヒ素濃度の加工・調理による変化（無洗米）

中濃度	玄米	95%精米	90%精米	無洗米	炊飯米
均質性試験結果	0.208				
とう精試験結果	0.208	0.156	0.132		
無洗米試験結果	0.208		0.131	0.119	
炊飯試験結果				0.118	0.116
平均値	0.208	0.156	0.131	0.119	0.116
比率（%）	100 %	75 %	63 %	57 %	56 %

濃度の単位は mg/kg dw

表 17-30 DMA 濃度の加工・調理による変化（無洗米）

中濃度	玄米	95%精米	90%精米	無洗米	炊飯米
均質性試験結果	0.016				
とう精試験結果	0.016	0.016	0.017		
無洗米試験結果	0.016		0.016	0.017	
炊飯試験結果				0.017	0.017
平均値	0.016	0.016	0.016	0.017	0.017
比率（%）	100 %	103 %	104 %	108 %	109 %

濃度の単位は mg/kg dw

3. 中課題3：コメの保管に伴うヒ素濃度の変動の解析

(1) 成果の概要

工程表	進捗状況・成果
ヒ素濃度が中濃度の新米「玄米」の総ヒ素濃度及び化学形態別ヒ素濃度を分析する（小課題1関連）。（平成24年度） ※4 ↓ 15℃及び25℃で1年間保管後の総ヒ素濃度及び化学形態別ヒ素濃度を分析する（小課題1関連）。（平成25年度） ※4	平成24年産の中濃度の新米（30 kg/袋×5袋）を10月10日から15℃及び25℃で貯蔵した。貯蔵開始時及び1ヶ月後の試料のヒ素濃度（総ヒ素、無機ヒ素、DMA）を分析し、15℃貯蔵の総ヒ素以外の成分は安定と判明（表18）。（平成24年度） ↓ 1年貯蔵の玄米中ヒ素濃度（（総ヒ素、無機ヒ素、DMA））は安定と判明（表18）。（平成25年度） 【追】8ヶ月貯蔵の玄米中ヒ素濃度（（総ヒ素、無機ヒ素、DMA））は安定と判明（表18）。（平成25年度）
成果目標：保管に伴うコメ中ヒ素の濃度変化を明らかにする。	

<成果の概要の補足>

※4：各コメ試料について、135℃で1時間の加熱乾燥条件のもと分析用試料の水分測定を行い、試料の水分含量を補正した乾物重（乾重量）当たりの濃度を算出。

表18 貯蔵1年の試験結果（平成24年産の中濃度のコメ）（1ヶ月まではH24年度報告）

保管	試験数	総ヒ素(mg/kg dw)		無機ヒ素(mg/kg dw)		DMA(mg/kg dw)	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
開始時	n=2×5	0.250	0.009	0.217	0.003	0.027	0.001
15℃ 1ヶ月	n=2×3	0.233	0.012	0.211	0.006	0.026	0.001
25℃ 1ヶ月	n=2×3	0.235	0.009	0.214	0.005	0.027	0.001
15℃ 8ヶ月	n=2×3	0.243	0.008	0.220	0.004	0.026	0.001
25℃ 8ヶ月	n=2×3	0.246	0.010	0.216	0.004	0.025	0.001
15℃ 12ヶ月	n=2×3	0.244	0.004	0.218	0.004	0.027	0.001
25℃ 12ヶ月	n=2×3	0.243	0.009	0.220	0.005	0.027	0.001

注1) ISO 13528 技能試験の統計解析の Annex B の B.4 と B.5 の方法で安定性を評価したところ、15℃ 1ヶ月の総ヒ素が不安定

注2) 試験数=1袋当たりの分析用試料採取数×調査した30 kg 米袋の数（3袋は5袋から毎回ランダムに決定）

Ⅲ. 主要な成果

1. 成果の内容

1) 玄米中の総ヒ素（無機ヒ素）濃度が 0.487 (0.431) mg/kg dw、0.223 (0.208) mg/kg dw 及び 0.040 (0.044) mg/kg dw の国産コシヒカリを用いたとう精試験（歩留 90 %及び 95 %について各 5 回反復）により、コメ中の総ヒ素濃度及び無機ヒ素濃度は、歩留 90 %のとう精により玄米中濃度のそれぞれ平均 64 %（総ヒ素濃度：高濃度試料 61 %、中濃度試料 66 %、低濃度試料 64 %）及び平均 62 %（無機ヒ素濃度：高濃度試料 51 %、中濃度試料 63 %、低濃度試料 71 %）に減少することを明らかにした。

2) 玄米中の総ヒ素（無機ヒ素）濃度が 0.223 (0.208) mg/kg dw 及び 0.487 (0.431) mg/kg dw の国産コシヒカリを歩留 90 %にとう精した精米を用いた洗米試験（3 回反復）により、精米をイオン交換水で 3 回洗米（洗米時間：10 秒、30 秒、30 秒、電動洗米器使用）した後の洗米中の総ヒ素濃度及び無機ヒ素濃度は洗米前の平均 82 %（総ヒ素濃度：中濃度試料 83 %、高濃度試料 81 %）及び平均 77 %（無機ヒ素濃度：中濃度試料 82 %、高濃度試料 71 %）に減少することを明らかにした。

3) 無洗米（5 回反復試験で製造）中の総ヒ素、無機ヒ素及び DMA の各濃度は、90%精米を 3 回洗米した後の洗米中の各濃度とほぼ等しいことを明らかにした。

4) 玄米、95%精米、90%精米をそれぞれ洗米試験と同条件で 3 回洗米した洗米及び無洗米を電気炊飯器の自動モードで炊飯（3 回反復試験、加水重量比：90%精米及び無洗米は 1.4 倍、95%精米は 1.6 倍、玄米は 2 倍）した結果、炊飯米中の総ヒ素、無機ヒ素及び DMA の各濃度は、炊飯前のコメ（玄米、95%精米及び 90%精米の洗米及び無洗米）中の各濃度とほぼ等しいことを明らかにした。

5) 総ヒ素（無機ヒ素）濃度が 0.250 (0.217) mg/kg dw の H24 年産コシヒカリの玄米を用いた貯蔵試験により、15 °C 及び 25 °C の貯蔵では総ヒ素、無機ヒ素及び DMA の各濃度が 1 年間安定であることを明らかにした。

6) コメ中の DMA 濃度は、とう精（歩留 90%及び 95%）、無洗米加工、洗米、電気炊飯器による炊飯、玄米貯蔵（15 °C 及び 25 °C で 1 年）によってほとんど変化しないことを明らかにした。

2. 成果の活用

1) 試験結果の概要は、コーデックス委員会食品汚染物質部会（CCCCF）で議論されるコメのヒ素汚染の防止及び低減のための実施規範の作成に関する討議文書を作成するための基

礎データとして、農林水産省から CCCF に提供された。

IV. 論文、特許等の実績等

別紙のとおり

論文、特許等の実績等

学術論文 (平成26年11月最終更新)

タイトル、著者名、学会誌名、巻、ページ、発行年月	機関名
Naito S., Matsumoto E., Shindoh K. and Nishimura T., Effect of polishing, cooking, and storing on total arsenic and arsenic species concentrations in rice cultivated in Japan. Food Chemistry, 168, 294-301 (2015) (doi: 10.1016/j.foodchem.2014.07.060)	食品総合研究所 日本食品分析センター

口頭発表

タイトル、発表者名、学会等名、発表年月	機関名

出版図書

区分: ①出版著書、②雑誌、③年報、④広報誌、⑤その他

区分	著書名、(タイトル)、著者名、出版社名、発行年月	機関名

国内特許権等

特許権等の名称	発明者	権利者 (出願人等)	特許権等の種類	番号	出願年月日	取得年月日	機関名

国際特許権等

特許権等の名称	発明者	権利者 (出願人等)	特許権等の種類	番号	出願年月日	取得年月日	機関名